化工安全

技术手册

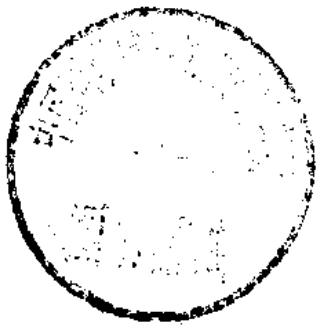
冯肇瑞　杨有启　主编



化学工业出版社

化工安全技术手册

冯肇瑞　杨有启　主编



化学工业出版社

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（京）新登字039号

内 容 提 要

本书将各个学科领域中涉及化工安全技术的内容结合多年的实践经验，加以整理并系统化，汇编成便于使用的手册型工具书。书中着重应用方面的介绍和实用数据的收集。安全技术工作人员可以从中找到技术性的答案。设计和生产人员也可以从本书取得有用的数据，并提高所从事工作的安全水平。

化工安全技术手册

冯肇瑞　杨有启　主编

责任编辑：林晨虹
封面设计：季玉芳
*
化学工业出版社出版发行
（北京市朝阳区惠新里3号）
煤炭工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所经销
*
开本787×1092 1/16 印张56 1/4 字数 1410 千字
1993年2月第1版　1993年2月北京第1次印刷
印　数 1—4,100
ISBN 7-5025-1043-5/TQ·610
定　价42.30元

序

安全技术是劳动保护科学的重要组成部分，是一门涉及范围广、内容丰富的边缘性学科，它已经为越来越多的科学工作者、广大的工程技术人员和安技人员所熟悉。

安全技术是生产技术发展过程中形成的一个分支，它与生产技术水平紧密相关。随着化工生产的不断发展，化工安全技术也随之不断充实和提高，目前，已经形成专业系统内容。由于，化工生产特点有异于其它工业生产，客观上具有较大的危险性。所以，保证化工企业的安全生产显得特别重要，只有实现安全生产，才能实现生产装置的长期、稳定、安全运转，从而，才能使企业取得较好的效益。这一目的和保障广大职工的安全与健康；保障国家财产不遭受损坏，一直是广大安技工作者的工作中心。

为了满足广大安技工作者的需要，有利于安全管理工作现代化，系统地掌握安全技术知识，从而认识安全生产规律，开展事故预测、预防技术，我们用了若干年时间，组织有关专家，在广泛吸收国内外经验的基础上，将涉及有关学科领域的安全技术知识及数据资料，进行系统化，编集成便于设计、科研、生产使用的手册型工具书。我高兴地向广大读者介绍并推荐这本手册，并深信这本手册的出版将对化学工业的安全生产起到十分有益的作用。

王培和

1991年9月20日

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

前　言

在治理整顿、深化改革的进程中，保证职工在生产劳动中的生命安全和身体健康，防止重大灾害恶性事故的发生，使生产的经济效益落在实处，是当前经济战线上的头等大事。

化学工业是国民经济的重要支柱之一，其产品有的是其它工业和农业必需品，有的则直接为人民生活服务。但由于化学物品和工艺过程具有易发生火灾、爆炸、中毒等事故的危险，因此应特别重视安全生产。

建国以来，在国家“安全第一、预防为主”的方针指导下，经过化工战线上的职工不懈努力，在化工安全领域里，取得了很大的成绩并积累了丰富的经验。企业事故逐年下降，安全面貌也大有改观。但从当前的形势看来，化工技术的发展日新月异，出现的安全新问题也日益增多。许多同志都希望得到具有一定深度和广度的化工安全技术工具书，以满足跟上工业发展和提高业务水平的需要。

由于安全技术是综合性的学科，有关书籍往往在面上论述较广而深度不够。有鉴于此，特组织有关专家，用数年时间，编出了“化工安全技术手册”一书，以敷应用。本书的特点为：

1．对每一个安全技术涉及的学科领域，都作了比较深入的探讨，并结合多年的实践经验，进行了系统化的整理。

2．尽量收集了实用的有关数据。

3．尽可能选用了世界范围内推出的最新资料。

本书撰写承蒙化工部劳安司大力协助，王培和副司长审阅了全稿；本书第一章由石化总公司高维民、沈保森审校，在此一并表示深切谢意。

由于编辑者水平所限，错误之处在所难免，敬希各界同行不吝指教。

编者

1991.9

本书编写人员名单

（按章号顺序排列）

李崇理　诸洪坤　王树藩　郝纹一

蒋永明　杨海涛　杨有启　孙桂林

杨泗霖　戴新民　孙维生　陈安之

王淑荪　嵇敬文　程兴仁　王春华

冯肇瑞

冯肇瑞　杨有启　主编

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

目　录

绪论

第1章　安全设计

1.1　安全设计 …… 6
1.1.1　安全设计的群众性与专业化 …… 6
1.1.2　安全设计的落实 …… 7
1.2　建厂选址与平面布置 …… 8
1.2.1　建厂选址 …… 8
1.2.1.1　厂址与城市的相关位置 …… 8
1.2.1.2　厂址与周围环境的相互关系 … 8
1.2.1.3　与邻近企业的关系 …… 8
1.2.1.4　厂址的地理条件 …… 8
1.2.2　工厂的平面布置 …… 9
1.2.2.1　平面布置的基本条件 …… 9
1.2.2.2　总体布置的基本原则 …… 9
1.2.2.3　道路 ……13
1.2.2.4　防火堤 ……13
1.2.2.5　设备间距 ……14
1.3　安全评价 ……15
1.3.1　工艺过程的安全评价 ……15
1.3.2　物料危险性评价 ……15
1.3.3　化学反应危险性评价 ……15
1.3.4　对于运转条件失常造成的危险性的评价 ……18
1.4　土建工程 ……20
1.4.1　化工装置土建工程安全设计的特点 ……20
1.4.2　建筑物的防火与防爆 ……20
1.4.2.1　构筑物的耐火结构 ……21
1.4.2.2　耐火结构的选用基准 ……23
1.4.2.3　需用耐火结构的部位 ……23
1.4.2.4　耐火覆层材料 ……23
1.4.2.5　建筑物的防火、防爆结构 ……24
1.5　塔器的安全设计 ……26
1.5.1　安全设计工作中应该注意的几个问题 ……26
1.5.2　一般的安全措施 ……27
1.5.3　设备材料 ……27
1.5.4　设备结构 ……27
1.5.5　设备压力 ……27
1.5.6　压力容器 ……30
1.5.6.1　规范 ……31
1.5.6.2　内压容器 ……31
1.5.6.3　外压容器 ……31
1.5.6.4　高压厚壁容器 ……31
1.5.7　锅炉 ……31
1.5.7.1　规范 ……31
1.5.7.2　锅炉安全 ……31
1.5.8　换热器 ……32
1.5.8.1　规范 ……32
1.5.8.2　换热器的安全 ……32
1.5.9　配管 ……32
1.5.9.1　规范 ……32
1.5.9.2　配管安全 ……32
1.5.10　贮罐 ……34
1.5.10.1　规范 ……34
1.5.10.2　贮罐安全 ……34
1.6　有毒物质的扩散与卫生保健 ……36
1.6.1　污染暴露源对健康的危害 ……36
1.6.1.1　泄漏释放源 ……37
1.6.1.2　各种不同的释放源 ……38
1.6.2　释放源的控制 ……39
1.6.2.1　变更工艺过程 ……39
1.6.2.2　物料替代 ……39
1.6.2.3　壳装 ……40
1.6.2.4　隔离 ……40
1.6.2.5　罩封 ……40
1.6.2.6　局部通风换气 ……40
1.6.2.7　稀释通风 ……41
1.6.2.8　改变工作习惯 ……41
1.6.2.9　人身防护 ……41
1.6.3　泄漏释放源的控制方法 ……42
1.6.3.1　转动机器中的释放源 ……42

1.6.3.2 泵和压缩机泄漏的监控方法 …42
1.6.3.3 安全设计中防止泵和压缩机泄漏的注意事项 …42
1.6.3.4 阀门的泄漏释放 …44
1.6.3.5 阀门的耐火安全结构 …44
1.6.3.6 敞口管线 …45
1.6.3.7 法兰的泄漏释放 …45

第2章 燃烧爆炸的预防和灭火措施

2
.1 常用术语及理论 …47
2.1.1 燃烧 …47
2.1.1.1 燃烧和燃烧过程 …47
2.1.1.2 燃烧形式 …47
2.1.1.3 闪点、燃点 …48
2.1.1.4 自燃和自燃点 …48
2.1.1.5 燃烧速度 …53
2.1.1.6 燃烧热和燃烧温度 …55
2.1.1.7 燃烧产物 …63
2.1.1.8 燃烧理论 …63
2.1.2 爆炸 …65
2.1.2.1 爆炸特征 …65
2.1.2.2 爆炸分类 …65
2.1.2.3 可燃气体爆炸 …66
2.1.2.4 可燃粉尘爆炸 …79
2.1.2.5 可燃气体与可燃粉尘混合物的爆炸 …88
2.1.2.6 易爆物热分解爆炸 …90
2.1.2.7 爆炸理论 …91
2.2 爆炸参数计算 …92
2.2.1 易爆化合物的氧平衡与爆炸变换方程 …92
2.2.1.1 氧平衡 …92
2.2.1.2 氧系数 …92
2.2.1.3 爆炸变化方程理论确定法 …93
2.2.1.4 爆炸变化方程式经验确定法 …94
2.2.1.5 爆炸产物的体积 …96
2.2.2 气体爆炸参数 …96
2.2.2.1 爆炸参数计算 …96
2.2.2.2 影响爆炸爆速的因素 …98
2.2.3 凝聚相爆炸物爆轰参数计算 …99
2.2.3.1 爆轰参数的理论计算 …99
2.2.3.2 爆轰参数的近似计算 …101
2.2.3.3 影响爆速的因素 …104
2.2.4 爆热、爆温、爆压 …104
2.2.4.1 爆热 …104
2.2.4.2 爆温 …110
2.2.4.3 爆压 …112
2.2.4.4 爆炸能量 …113
2.3 爆炸的破坏作用 …116
2.3.1 爆炸破坏形式 …116
2.3.1.1 震荡作用 …116
2.3.1.2 冲击波 …116
2.3.1.3 碎片冲击 …116
2.3.1.4 造成火灾 …116
2.3.2 冲击波 …116
2.3.2.1 冲击波的形成 …116
2.3.2.2 冲击波的计算 …117
2.3.2.3 冲击波的破坏作用 …117
2.3.2.4 冲击波的超压 …118
2.3.3 爆炸物的爆炸效应 …118
2.3.4 爆炸产物的扩散与蔓延 …118
2.3.4.1 有毒液化介质的毒害区 …118
2.3.4.2 可燃液化气容器破裂的燃烧区 …119
2.4 燃烧、爆炸物理参数的测定 …119
2.4.1 燃烧参数测定 …119
2.4.1.1 闪点的测定 …119
2.4.1.2 自燃点的测定 …121
2.4.1.3 最小点火能量的测定 …123
2.4.1.4 混合危险性的测定 …123
2.4.1.5 冲击感度、摩擦感度的测定 …125
2.4.2 爆炸参数测定 …126
2.4.2.1 爆炸极限的测定 …126
2.4.2.2 爆炸压力的测定 …128
2.4.2.3 火焰逃逸界限的测定 …129
2.5 燃烧、爆炸的预防 …130
2.5.1 预防燃烧爆炸的一般原则 …130
2.5.1.1 防止引起着火、爆炸的措施 …130
2.5.1.2 火灾爆炸的局限化措施 …131
2.5.2 防止可燃物外逸泄漏 …131
2.5.3 消除点火源 …133
2.5.3.1 明火 …133
2.5.3.2 高热物及高温表面 …134
2.5.3.3 自然发热及化学反应热 …134
2.5.3.4 冲击、摩擦 …136

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2.5.3.5 绝热压缩 …… 136
2.5.3.6 电气火花 …… 136
2.5.3.7 静电火花及雷电 …… 136
2.5.3.8 光线及放射线 …… 136
2.5.4 惰化、稀释 …… 137
2.5.5 耐燃、抗爆结构 …… 138
2.5.5.1 耐火构造 …… 138
2.5.5.2 抗爆结构 …… 138
2.5.6 安全间距 …… 138
2.5.7 防油堤和防爆墙 …… 139
2.5.8 阻火器 …… 139
2.5.9 水封 …… 140
2.5.10 紧急切断 …… 140
2.5.11 泄压 …… 141
2.6 贮罐及贮罐区 …… 144
2.6.1 贮罐种类 …… 144
2.6.2 贮罐及罐区安全 …… 144
2.6.2.1 安全间距 …… 144
2.6.2.2 防火堤 …… 145
2.6.2.3 防火设备 …… 147
2.6.2.4 洒水设备 …… 147
2.6.2.5 贮罐的安全设备 …… 147
2.7 灭火及灭火设施 …… 148
2.7.1 灭火机理 …… 148
2.7.1.1 冷却 …… 148
2.7.1.2 抑制反应量 …… 149
2.7.1.3 减少反应物质浓度 …… 149
2.7.1.4 初期灭火 …… 149
2.7.2 灭火剂 …… 150
2.7.2.1 水 …… 150
2.7.2.2 泡沫灭火剂 …… 151
2.7.2.3 干粉灭火剂 …… 153
2.7.2.4 卤代烷灭火剂 …… 153
2.7.2.5 二氧化碳灭火剂 …… 154
2.7.2.6 7150灭火剂 …… 154
2.7.3 灭火器 …… 155
2.7.3.1 泡沫灭火器 …… 155
2.7.3.2 酸碱灭火器 …… 155
2.7.3.3 干粉灭火器 …… 155
2.7.3.4 二氧化碳灭火器 …… 156
2.7.3.5 “1211”灭火器 …… 157
2.7.3.6 灭火器的使用和保养 …… 158
2.7.3.7 灭火器的配置 …… 158
2.7.4 消火栓 …… 159
2.7.4.1 室内消火栓 …… 159
2.7.4.2 室外消火栓 …… 159
2.7.5 灭火设施 …… 160
2.7.5.1 喷水灭火装置 …… 160
2.7.5.2 二氧化碳灭火装置 …… 162
2.7.5.3 “1211”灭火装置 …… 163
2.7.5.4 干粉灭火装置 …… 164
2.7.5.5 泡沫灭火装置 …… 165
2.7.5.6 氮气灭火装置 …… 170
2.7.5.7 蒸汽灭火装置 …… 171
2.7.5.8 烟雾自动灭火器 …… 172
2.7.6 警报、信号及检测仪表 …… 174
2.7.6.1 传感器 …… 174
2.7.6.2 信号发射机 …… 179
2.7.6.3 信号接收机 …… 180
2.7.6.4 检测仪器 …… 180
2.7.6.5 联动、紧急动作 …… 183

第3章 静电和雷电

3.1 名词术语和基本概念 …… 185
3.1.1 通用名词术语 …… 185
3.1.1.1 电荷和电量 …… 185
3.1.1.2 电场 …… 185
3.1.1.3 电位 …… 187
3.1.1.4 导体 …… 188
3.1.1.5 绝缘体 …… 188
3.1.1.6 高斯定理 …… 189
3.1.1.7 电容 …… 189
3.1.1.8 静电场能量 …… 190
3.1.2 专用名词术语 …… 191
3.1.2.1 物质静电特征参数 …… 191
3.1.2.2 静电灾害名词术语 …… 195
3.2 静电产生、放电和引燃 …… 195
3.2.1 静电产生的基本方式 …… 195
3.2.1.1 接触起电 …… 195
3.2.1.2 破断起电 …… 196
3.2.1.3 感应带电 …… 196
3.2.1.4 电荷迁移 …… 196
3.2.2 影响静电产生的因素 …… 196
3.2.2.1 物质种类 …… 196
3.2.2.2 杂质 …… 196

3.2.2.3 表面状态 …… 196
3.2.2.4 接触特征 …… 196
3.2.2.5 分离速度 …… 196
3.2.2.6 带电历程 …… 196
3.2.3 静电积聚和放电 …… 197
3.2.3.1 静电积聚 …… 197
3.2.3.2 静电放电 …… 197
3.2.4 静电引燃 …… 200
3.2.4.1 引燃能量 …… 200
3.2.4.2 放电引燃能力的确定 …… 200
3.2.4.3 引燃界限 …… 202
3.2.5 静电放电的生理效应 …… 203
3.3 静电危害及灾害 …… 203
3.3.1 固体静电 …… 203
3.3.1.1 固体带电 …… 203
3.3.1.2 固体静电危害 …… 204
3.3.2 液体静电 …… 204
3.3.2.1 液体带电 …… 204
3.3.2.2 液体静电危害 …… 206
3.3.3 粉体静电 …… 206
3.3.3.1 粉体带电 …… 206
3.3.3.2 粉体静电危害 …… 208
3.3.4 气体静电 …… 208
3.3.4.1 气体带电 …… 208
3.3.4.2 气体静电危害 …… 208
3.3.5 人体静电 …… 209
3.3.5.1 人体带电 …… 209
3.3.5.2 人体静电危害 …… 209
3.4 静电控制 …… 209
3.4.1 固体静电控制 …… 209
3.4.1.1 降低电阻率 …… 209
3.4.1.2 增大湿度 …… 210
3.4.1.3 电离 …… 210
3.4.1.4 接地 …… 210
3.4.1.5 接地金属网的应用 …… 210
3.4.2 液体静电控制 …… 211
3.4.2.1 排除可燃物 …… 211
3.4.2.2 液体电荷产生的控制 …… 211
3.4.2.3 液体电荷的泄漏 …… 212
3.4.3 粉体静电控制 …… 213
3.4.3.1 粉体电荷产生的控制 …… 213
3.4.3.2 粉体电荷的泄漏 …… 213
3.4.4 气体静电控制 …… 213
3.4.5 人体静电控制 …… 214
3.4.5.1 消除人体静电 …… 214
3.4.5.2 消除衣物静电 …… 214
3.4.6 防静电接地 …… 214
3.4.6.1 接地基本条件 …… 214
3.4.6.2 实际系统中的接地要求 …… 215
3.4.6.3 接地方法 …… 217
3.4.6.4 接地系统的建立和监测 …… 219
3.4.7 静电管理指标 …… 220
3.4.7.1 导体带电指标 …… 220
3.4.7.2 非导体带电指标 …… 220
3.5 静电测量 …… 221
3.5.1 静电测量的一般问题 …… 221
3.5.2 电位和电场强度测量 …… 221
3.5.2.1 导体电位测量 …… 221
3.5.2.2 表面电位测量 …… 221
3.5.2.3 空间电位测量 …… 222
3.5.2.4 电场强度测量 …… 222
3.5.3 电量和电荷密度测量 …… 223
3.5.3.1 电量测量 …… 223
3.5.3.2 面电荷密度测量 …… 223
3.5.3.3 体电荷密度测量 …… 224
3.5.4 静电电流测量 …… 226
3.5.4.1 导体流向大地的电流 …… 226
3.5.4.2 非导体流向大地的电流 …… 226
3.5.5 静电放电电量测量 …… 226
3.5.6 材料参数测量 …… 227
3.5.6.1 时间常数测量 …… 227
3.5.6.2 电阻率和电导率测量 …… 227
3.5.6.3 介电常数测量 …… 229
3.6 防雷 …… 229
3.6.1 雷电种类和参数 …… 230
3.6.1.1 雷电种类 …… 230
3.6.1.2 雷电参数 …… 230
3.6.2 雷电危害和易受雷击的建筑物 …… 231
3.6.2.1 雷电危害 …… 231
3.6.2.2 易受雷击的建筑物 …… 231
3.6.3 防雷装置 …… 232
3.6.3.1 接闪器 …… 232
3.6.3.2 引下线 …… 235
3.6.3.3 接地装置 …… 236
3.6.3.4 消雷装置 …… 238
3.6.4 防雷措施 …… 238
3.6.4.1 防直击雷 …… 238
3.6.4.2 防雷电感应 …… 242

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3.6.4.3 防雷电侵入波 …… 242

第4章 压力容器

4.1 名词术语与基本概念 …… 246
4.1.1 压力及其单位 …… 246
4.1.1.1 压力 …… 246
4.1.1.2 压力来源 …… 246
4.1.1.3 单位与换算 …… 247
4.1.2 压力容器分类 …… 248
4.1.2.1 按压力等级划分 …… 248
4.1.2.2 按工艺用途分类 …… 248
4.1.2.3 按危险程度分类 …… 248
4.1.2.4 按容器种类分类 …… 248
4.1.2.5 介质的划分 …… 250
4.1.3 饱和状态和临界状态 …… 250
4.1.3.1 饱和压力及其计算 …… 250
4.1.4 侵蚀、腐蚀、疲劳和蠕变 …… 259
4.1.4.1 侵蚀 …… 259
4.1.4.2 腐蚀 …… 259
4.1.4.3 疲劳 …… 260
4.1.4.4 蠕变 …… 260
4.1.5 钢材机械性能 …… 261
4.1.5.1 强度 …… 261
4.1.5.2 塑性 …… 262
4.1.5.3 韧性 …… 262
4.1.5.4 硬度 …… 262
4.1.5.5 温度对低碳钢机械性能的影响 …… 262
4.1.6 安全系数和许用应力 …… 263
4.1.6.1 应力与应变 …… 263
4.1.6.2 安全系数 …… 264
4.1.6.3 许用应力 …… 264
4.2 设计制造 …… 271
4.2.1 设计一般要求 …… 271
4.2.1.1 设计单位资格 …… 271
4.2.1.2 容器结构 …… 272
4.2.1.3 材料选用 …… 276
4.2.1.4 其它 …… 280
4.2.2 容器壁厚计算 …… 281
4.2.2.1 计算公式参数 …… 281
4.2.2.2 筒体、封头的强度计算公式 … 284
4.2.3 压力容器制造 …… 285
4.2.3.1 制造单位 …… 285
4.2.3.2 材料复验 …… 285
4.2.3.3 容器焊接 …… 286
4.2.4 组装与胀接 …… 289
4.2.4.1 组装 …… 289
4.2.4.2 胀接 …… 293
4.3 安全装置 …… 294
4.3.1 泄压装置 …… 295
4.3.1.1 种类 …… 295
4.3.1.2 安全泄放量 …… 295
4.3.2 安全阀 …… 297
4.3.2.1 分类与结构 …… 297
4.3.2.2 选用与安装 …… 298
4.3.2.3 维护与检验 …… 300
4.3.2.4 安全阀排放能力计算 …… 301
4.3.3 爆破片 …… 305
4.3.3.1 爆破片选用原则 …… 305
4.3.3.2 爆破片泄放面积计算 …… 305
4.3.3.3 爆破片厚度 …… 305
4.3.3.4 爆破片的制造要求 …… 305
4.3.3.5 爆破片维护、检验 …… 306
4.3.4 防爆帽 …… 306
4.3.5 压力表 …… 307
4.3.5.1 结构、原理 …… 307
4.3.5.2 选用、安装 …… 307
4.3.5.3 使用、检验 …… 308
4.3.6 液位计 …… 308
4.3.6.1 分类与选用 …… 308
4.3.6.2 安全要求 …… 308
4.3.7 气瓶安全附件 …… 308
4.3.7.1 安全泄压装置 …… 308
4.3.7.2 瓶帽 …… 309
4.3.7.3 防震圈 …… 309
4.4 使用管理 …… 309
4.4.1 新容器验收 …… 309
4.4.2 容器普查 …… 310
4.4.3 立卡建档、维护检修 …… 311
4.4.3.1 立卡建档 …… 311
4.4.3.2 正确操作、维护检修 …… 312
4.4.4 定期检验 …… 315
4.4.4.1 检验单位、检验员的资格、条件 …… 315
4.4.4.2 检验周期 …… 315

4.4.4.3 定期检验前准备工作 …… 316
4.4.4.4 检验内容 …… 317
4.4.4.5 检验方法 …… 318
4.4.4.6 压力试验 …… 325
4.4.5 在役容器的检验和缺陷处理 …… 329
4.4.6 事故调查与上报 …… 331
4.4.6.1 常见破坏形式和主要特征 …… 331
4.4.6.2 物理爆炸威力的估算 …… 331
4.4.6.3 事故分类与处理 …… 334
4.4.6.4 事故调查与上报 …… 335
4.5 蒸汽锅炉 …… 336
4.5.1 分类与参数系列 …… 336
4.5.1.1 分类 …… 336
4.5.1.2 锅炉参数系列 …… 338
4.5.2 锅炉运行 …… 338
4.5.2.1 点火、升压 …… 338
4.5.2.2 正常运行 …… 339
4.5.2.3 停炉保养 …… 340
4.5.3 锅炉给水 …… 341
4.5.3.1 水中杂质及其危害 …… 341
4.5.3.2 水质标准 …… 342
4.5.4 常见事故 …… 344
4.5.4.1 水位异常 …… 344
4.5.4.2 汽水共腾与水击 …… 344
4.5.4.3 燃烧异常 …… 344
4.5.4.4 承压部件损坏 …… 344
4.6 气瓶、槽车 …… 345
4.6.1 总的规定 …… 345
4.6.1.1 适用范围 …… 346
4.6.1.2 设计、制造、充装、检验的资格 …… 346
4.6.1.3 类别划分 …… 346
4.6.1.4 设计压力 …… 347
4.6.1.5 气瓶漆色 …… 347
4.6.2 气体充装量 …… 347
4.6.2.1 气体状态方程 …… 347
4.6.2.2 压缩气体充装量(充装压力) …… 347
4.6.2.3 液化气体充装量(充装系数) …… 349
4.6.2.4 溶解乙炔钢瓶的充装 …… 352
4.6.2.5 液化气槽车充装 …… 354
4.6.3 温度升高时满液瓶压的变化 …… 354
4.6.3.1 过量充装钢瓶温度升高时压力值 …… 355
4.6.3.2 防止气瓶超装的措施 …… 355
4.6.4 使用管理 …… 356
4.6.4.1 使用 …… 356
4.6.4.2 运输 …… 356
4.6.4.3 储存 …… 356
4.6.4.4 定期检验 …… 357

第5章 电气安全

5.1 电气安全基础 …… 359
5.1.1 触电事故种类 …… 359
5.1.1.1 电击和电伤 …… 359
5.1.1.2 电击种类 …… 359
5.1.1.3 直接接触电击和间接接触电击 …… 360
5.1.2 电流对人体的作用 …… 360
5.1.2.1 电流界限 …… 360
5.1.2.2 电流持续时间 …… 360
5.1.2.3 电流种类 …… 362
5.1.2.4 电流途径 …… 362
5.1.2.5 人体状况 …… 363
5.1.3 电磁场对人体的作用 …… 363
5.1.3.1 波段和场源 …… 363
5.1.3.2 电磁场对人体的作用 …… 364
5.1.3.3 电磁场防护概要 …… 366
5.1.4 触电事故管理 …… 366
5.1.4.1 触电事故调查 …… 366
5.1.4.2 触电事故分析 …… 367
5.1.5 触电急救 …… 367
5.1.5.1 脱离电源 …… 367
5.1.5.2 急救方法 …… 368
5.2 触电防护技术 …… 368
5.2.1 安全电压 …… 368
5.2.1.1 人体允许电流 …… 368
5.2.1.2 人体电阻 …… 368
5.2.1.3 安全电压值及其应用 …… 368
5.2.1.4 电源及回路配置 …… 369
5.2.1.5 功能特低电压 …… 369
5.2.2 绝缘 …… 370
5.2.2.1 绝缘损坏 …… 370
5.2.2.2 绝缘指标 …… 370
5.2.3 屏护 …… 373
5.2.3.1 屏护装置材料和安装 …… 373

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

5.2.3.2 屏护装置安全要求 …… 373
5.2.4 间距 …… 373
5.2.4.1 线路间距 …… 373
5.2.4.2 变配电设备间距 …… 378
5.2.4.3 用电设备间距 …… 380
5.2.4.4 检修间距 …… 380
5.2.5 保护接地 …… 381
5.2.5.1 基本名词术语 …… 381
5.2.5.2 保护接地原理 …… 381
5.2.5.3 保护接地应用范围 …… 383
5.2.5.4 接地电阻值 …… 383
5.2.5.5 接地电阻测量 …… 384
5.2.6 保护接零 …… 386
5.2.6.1 基本名词术语 …… 386
5.2.6.2 保护接零原理 …… 386
5.2.6.3 保护方式选择 …… 387
5.2.6.4 保护接零应用范围 …… 387
5.2.6.5 工作接地 …… 388
5.2.6.6 重复接地 …… 388
5.2.6.7 保护装置整定 …… 388
5.2.6.8 接零装置 …… 389
5.2.6.9 相零回路阻抗测量 …… 390
5.2.7 漏电保护 …… 391
5.2.7.1 动作参数 …… 391
5.2.7.2 电压型漏电保护装置 …… 392
5.2.7.3 零序电流型漏电保护装置……392
5.2.7.4 中性点型漏电保护装置 …… 393
5.2.7.5 泄漏电流型漏电保护装置……393
5.2.8 电工安全用具 …… 394
5.2.8.1 种类和用途 …… 394
5.2.8.2 使用安全要求 …… 395
5.2.8.3 安全用具试验 …… 395
5.2.9 检修安全 …… 395
5.2.9.1 主要安全制度 …… 396
5.2.9.2 停电安全技术措施 …… 398
5.2.9.3 低压带电检修 …… 398
5.2.10 其它防护技术…… 398
5.2.10.1 加强绝缘…… 398
5.2.10.2 不导电场所…… 399
5.2.10.3 等电位保护…… 399
5.2.10.4 电气隔离…… 399
5.2.10.5 绝缘监视…… 400
5.2.10.6 过电压防护…… 400
5.3 电气防火防爆 …… 401
5.3.1 爆炸性物质和危险场所 …… 401
5.3.1.1 爆炸性物质 …… 401
5.3.1.2 危险场所 …… 403
5.3.2 电气火灾和爆炸原因 …… 410
5.3.2.1 危险温度 …… 411
5.3.2.2 电火花 …… 411
5.3.3 防爆电气设备 …… 411
5.3.3.1 通用要求 …… 411
5.3.3.2 各类设备防爆要求 …… 413
5.3.4 电气防火防爆安全技术 …… 415
5.3.4.1 电气设备选型 …… 415
5.3.4.2 防爆电气线路 …… 418
5.3.4.3 变电所和配电所 …… 122
5.3.4.4 接地和接零 …… 122
5.4 化工常用电气设备安全运行 …… 124
5.4.1 变配电设备 …… 424
5.4.1.1 变配电所通则 …… 421
5.4.1.2 变压器 …… 425
5.4.1.3 高压开关 …… 426
5.4.1.4 互感器 …… 426
5.4.1.5 电力电容器 …… 428
5.4.2 电气线路 …… 428
5.4.2.1 线路种类和特点 …… 428
5.4.2.2 线路安全运行条件 …… 429
5.4.3 用电设备 …… 430
5.4.3.1 电机和低压电器外壳防护等级 …… 433
5.4.3.2 电动机 …… 433
5.4.3.3 低压电器 …… 136
5.4.4 专用电气设备 …… 439
5.4.4.1 单相电气设备 …… 439
5.4.4.2 电焊设备 …… 440
5.4.4.3 电动起重机 …… 440

第 6 章 起重与搬运

6.1 起重搬运机械的分类 …… 444
6.1.1 起重机械的分类 …… 444
6.1.2 搬运机械分类 …… 445
6.2 起重机械基本参数及工作级别 …… 446
6.2.1 起重机械的基本参数 …… 446
6.2.2 起重机工作类型 …… 446

6.2.3 起重机的工作级别和机构工作级别 …… 447
6.2.3.1 起重机工作级别 …… 447
6.2.3.2 机构工作级别 …… 448
6.3 起重机械的易损零部件 …… 449
6.3.1 吊钩 …… 449
6.3.1.1 吊钩种类和特点 …… 449
6.3.1.2 吊钩的危险断面 …… 450
6.3.1.3 吊钩的安全检查 …… 451
6.3.2 钢丝绳 …… 451
6.3.2.1 钢丝绳种类 …… 451
6.3.2.2 钢丝绳破断原因 …… 453
6.3.2.3 钢丝绳选用计算 …… 453
6.3.3 起重链条及化纤绳 …… 470
6.3.3.1 起重链条绳 …… 470
6.3.3.2 化纤绳 …… 471
6.3.4 制动器 …… 473
6.3.4.1 种类和性能 …… 473
6.3.4.2 制动器的选用 …… 476
6.3.4.3 制动器的检查 …… 476
6.4 桥式类型起重机 …… 476
6.4.1 桥式起重机 …… 476
6.4.1.1 基本性能 …… 477
6.4.1.2 桥梁、运行机构安装技术要求 …… 477
6.4.2 龙门式起重机 …… 481
6.4.2.1 龙门起重机的稳定性 …… 481
6.4.2.2 龙门起重机安装技术要求 … 484
6.4.3 桥式类型起重机安全装置 …… 485
6.4.4 桥式起重机零部件常见损坏原因及消除方法 …… 485
6.5 臂架类型起重机 …… 490
6.5.1 汽车式起重机 …… 490
6.5.2 轮胎式起重机 …… 490
6.5.3 塔式起重机 …… 491
6.5.3.1 塔式起重机分类 …… 491
6.5.3.2 塔式起重机主要技术参数 … 493
6.5.3.3 安全要求 …… 493
6.5.4 臂架类型起重机的稳定性 …… 494
6.5.5 臂架类型起重机的安全装置 …… 496
6.6 起重机的验收 …… 501
6.6.1 桥式起重机的试验方法 …… 501
6.6.1.1 电气设备的试验要求 …… 501
6.6.1.2 负荷试验 …… 501
6.6.1.3 静负荷试验 …… 501
6.6.1.4 动负荷试验 …… 502
6.6.2 桥式起重机的试验方法 …… 502
6.6.2.1 安全装置的检测 …… 502
6.6.2.2 空载试验 …… 502
6.6.2.3 额定负荷试验 …… 502
6.6.2.4 超载25%静载试验 …… 502
6.6.2.5 超载10%动载试验 …… 503
6.6.2.6 连续作业试验 …… 503
6.7 简易起重工具与人力搬运 …… 503
6.7.1 简易起重工具 …… 503
6.7.1.1 千斤顶 …… 503
6.7.1.2 手拉葫芦 …… 503
6.7.1.3 卷扬机 …… 504
6.7.1.4 桅杆 …… 505
6.7.2 人力搬运安全管理 …… 508

第7章 焊接安全

7.1 概述 …… 511
7.1.1 名词术语 …… 511
7.1.2 焊接工伤事故和职业危害 …… 511
7.2 气焊与气割安全 …… 513
7.2.1 常见事故 …… 513
7.2.2 常用危险品 …… 513
7.2.2.1 乙炔 …… 513
7.2.2.2 电石 …… 515
7.2.2.3 液化石油气 …… 516
7.2.2.4 氧气 …… 517
7.2.3 乙炔发生器 …… 518
7.2.3.1 乙炔发生器的火灾爆炸事故 …… 518
7.2.3.2 乙炔发生器设计制造的安全要求 …… 519
7.2.3.3 安全装置 …… 521
7.2.3.4 安全试验 …… 525
7.2.3.5 乙炔发生器使用安全 …… 527
7.2.4 气焊常用气瓶 …… 528
7.2.4.1 氧气瓶 …… 528
7.2.4.2 乙炔瓶 …… 531
7.2.4.3 液化石油气瓶 …… 532
7.2.4.4 气瓶的定期检验和涂色 …… 533
7.2.5 焊割炬 …… 533

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

7.2.5.1 设计制造安全要求 …… 533
7.2.5.2 焊割炬使用安全 …… 533
7.2.6 氧气与乙炔胶管 …… 535
7.2.6.1 胶管爆炸着火事故的原因……535
7.2.6.2 安全措施 …… 535
7.2.7 氧气与乙炔管道 …… 536
7.2.7.1 管道发生着火爆炸的原因 … 536
7.2.7.2 安全措施 …… 536
7.3 手工电弧焊安全 …… 538
7.3.1 常见事故 …… 538
7.3.2 电焊机 …… 539
7.3.2.1 焊机保护性接地与接零安全要求 …… 539
7.3.2.2 焊机空载自动断电保护装置…539
7.3.2.3 焊机的维护与检修 …… 539
7.3.3 常用工具 …… 542
7.3.3.1 电焊钳安全要求 …… 542
7.3.3.2 焊接电缆安全要求 …… 542
7.3.4 电焊烟尘和弧光辐射防护 …… 542
7.4 气电焊与等离子弧焊安全 …… 542
7.4.1 安全特点 …… 542
7.4.2 弧光辐射防护 …… 543
7.4.2.1 弧光组成及危害 …… 543
7.4.2.2 防护措施 …… 544
7.4.3 电焊烟尘与有毒气体防护 …… 544
7.4.3.1 电焊烟尘的来源 …… 544
7.4.3.2 电焊烟尘的危害 …… 544
7.4.3.3 有毒气体来源 …… 545
7.4.3.4 电焊烟尘和有毒气体的卫生标准 …… 546
7.4.3 防护措施 …… 546
7.4.4 射线防护 …… 548
7.4.4.1 来源与危害 …… 548
7.4.4.2 防护措施 …… 548
7.5 特殊焊接作业安全 …… 548
7.5.1 燃料容器检修焊补安全 …… 549
7.5.1.1 置换动火的安全措施 …… 549
7.5.1.2 带压不置换动火安全措施……550
7.5.2 水下焊接与切割安全技术 …… 551
7.5.2.1 水下焊割作业工伤事故 …… 551
7.5.2.2 安全措施 …… 551
7.6 焊接安全管理 …… 554
7.6.1 焊接工作场所与消防措施 …… 554
7.6.1.1 焊接工作场所 …… 554
7.6.1.2 灭火措施及灭火物质的选择…554
7.6.2 焊接安全检查 …… 554
7.6.2.1 电石库 …… 554
7.6.2.2 乙炔站 …… 555
7.6.2.3 气瓶库 …… 557
7.6.2.4 乙炔与氧气管道的布设 …… 558

第 8 章 化工厂腐蚀与防护

8.1 化工厂的腐蚀 …… 560
8.1.1 腐蚀 …… 560
8.1.2 腐蚀与安全 …… 560
8.1.3 腐蚀的分类 …… 560
8.1.4 腐蚀机理 …… 561
8.1.4.1 化学腐蚀 …… 561
8.1.4.2 电化学腐蚀 …… 561
8.2 腐蚀类型 …… 561
8.2.1 全面腐蚀 …… 561
8.2.1.1 腐蚀速度 …… 561
8.2.1.2 耐蚀等级 …… 561
8.2.2 电偶腐蚀 …… 561
8.2.3 缝隙腐蚀 …… 562
8.2.3.1 腐蚀机理 …… 562
8.2.3.2 影响因素 …… 562
8.2.3.3 防止缝隙腐蚀方法 …… 562
8.2.4 孔蚀 …… 563
8.2.4.1 腐蚀机理 …… 563
8.2.4.2 影响因素 …… 563
8.2.4.3 防止孔蚀方法 …… 563
8.2.5 晶间腐蚀 …… 563
8.2.5.1 腐蚀机理 …… 563
8.2.5.2 影响因素及防止方法 …… 563
8.2.6 应力腐蚀破裂 …… 563
8.2.6.1 腐蚀机理 …… 564
8.2.6.2 腐蚀特征 …… 564
8.2.6.3 防止应力腐蚀方法 …… 564
8.2.7 氢损伤 …… 564
8.2.7.1 氢腐蚀 …… 564
8.2.7.2 氢脆 …… 566
8.2.8 腐蚀疲劳 …… 566
8.2.9 选择性腐蚀 …… 566
8.2.9.1 黄铜脱锌 …… 566
8.2.9.2 铸铁石墨化 …… 567

8.3 腐蚀监测 …… 567
8.3.1 电阻法 …… 567
8.3.2 极化阻力法 …… 567
8.3.3 电位法 …… 567
8.3.4 无损检验技术 …… 567
8.3.5 化学法 …… 567
8.3.6 挂片法 …… 567
8.3.7 监测孔 …… 568
8.3.8 氢监测 …… 568
8.3.9 涡流技术 …… 568
8.3.10 超声技术 …… 568
8.4 腐蚀防护 …… 568
8.4.1 正确选材 …… 568
8.4.2 合理设计 …… 587
8.4.2.1 避免缝隙 …… 587
8.4.2.2 消除积液 …… 587
8.4.3 电化学保护 …… 587
8.4.3.1 阳极保护 …… 587
8.4.3.2 阴极保护 …… 587
8.4.4 缓蚀剂 …… 587
8.4.4.1 缓蚀原理 …… 587
8.4.4.2 缓蚀剂分类 …… 587
8.4.4.3 影响因素 …… 587
8.4.4.4 常用缓蚀剂 …… 588
8.4.5 金属保护层 …… 588
8.4.5.1 保护层防护方法分类 …… 588
8.4.5.2 表面处理 …… 589
8.4.5.3 化学转化膜 …… 589
8.4.5.4 金属衬里 …… 590
8.4.5.5 复合板材 …… 591
8.4.6 非金属保护层 …… 591
8.4.6.1 表面处理 …… 591
8.4.6.2 胶接剂 …… 592
8.4.6.3 衬里种类 …… 594
8.4.6.4 涂层种类 …… 594
8.4.6.5 设备内壁用涂料 …… 594
8.4.6.6 设备构筑物用涂料 …… 594
8.4.7 非金属设备 …… 596
8.5 防腐蚀工程 …… 596
8.5.1 一般规定 …… 596
8.5.1.1 沥青类防腐蚀工程 …… 596
8.5.1.2 水玻璃类防腐蚀工程 …… 596
8.5.1.3 硫磺类防腐蚀工程 …… 596
8.5.1.4 树脂胶泥和玻璃钢防腐蚀工程 …… 596
8.5.1.5 耐腐蚀涂料工程 …… 597
8.5.1.6 耐酸陶管工程 …… 597
8.5.2 工程验收 …… 597

第9章 职业中毒与尘肺

9.1 工业毒物 …… 599
9.1.1 概述 …… 599
9.1.1.1 定义 …… 599
9.1.1.2 工业毒物的来源 …… 599
9.1.1.3 工业毒物的物理状态 …… 599
9.1.1.4 工业毒物的分类 …… 600
9.1.2 工业毒物的毒性 …… 600
9.1.2.1 毒性 …… 600
9.1.2.2 毒性评价方法 …… 601
9.1.2.3 毒性分级 …… 601
9.1.3 工业毒物的作用条件 …… 602
9.1.3.1 化学结构、理化性质与毒性的关系 …… 602
9.1.3.2 环境因素与毒性的关系 …… 602
9.1.3.3 个体因素与毒性的关系 …… 603
9.1.4 毒物的毒理作用 …… 603
9.1.4.1 对酶系统的干扰 …… 603
9.1.4.2 对氧的吸收、运输的阻断作用 …… 604
9.1.4.3 对脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）合成的干扰 …… 604
9.1.4.4 对局部组织的刺激与腐蚀作用 …… 604
9.1.4.5 组织毒性 …… 604
9.1.4.6 致敏作用 …… 604
9.2 职业中毒 …… 605
9.2.1 一般概念 …… 605
9.2.1.1 定义 …… 605
9.2.1.2 职业中毒的特点 …… 605
9.2.2 工业毒物在化工行业中的分布 … 606
9.2.3 毒物的吸收、分布与排出 …… 607
9.2.3.1 吸收 …… 607
9.2.3.2 毒物在体内的分布 …… 608
9.2.4 职业中毒的临床表现 …… 609
9.2.5 几种常见化学毒物急性中毒的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

临床表现 …… 609
9.2.6 职业中毒的诊断 …… 609
9.2.6.1 诊断依据和诊断过程 …… 609
9.2.6.2 诊断的注意事项 …… 609
9.2.7 急性职业中毒的抢救与治疗 …… 617
9.2.7.1 现场急救设施与准备 …… 617
9.2.7.2 抢救原则 …… 618
9.2.7.3 现场急救的复苏术 …… 618
9.2.7.4 解毒剂的应用 …… 619
9.3 尘肺 …… 620
9.3.1 生产性粉尘及其危害 …… 620
9.3.1.1 生产性粉尘的来源 …… 620
9.3.1.2 粉尘的理化特性及卫生学意义 …… 620
9.3.1.3 粉尘的测定 …… 621
9.3.1.4 粉尘的危害 …… 621
9.3.2 矽肺 …… 622
9.3.2.1 化学工业中可能发生矽肺的行业 …… 622
9.3.2.2 影响矽肺发病的因素 …… 622
9.3.2.3 矽肺的临床表现 …… 622
9.3.2.4 矽肺的诊断 …… 623
9.3.2.5 肺功能测验及劳动能力鉴定…623
9.3.2.6 矽肺的治疗 …… 624
9.3.3 其它尘肺 …… 624
9.3.3.1 炭黑肺 …… 625
9.3.3.2 滑石肺 …… 625
9.3.3.3 铸工尘肺 …… 625
9.3.3.4 电焊工尘肺 …… 626
9.3.3.5 煤肺 …… 626
9.3.4 尘肺的并发症 …… 627
9.3.4.1 肺结核 …… 627
9.3.4.2 肺部感染 …… 627
9.3.4.3 肺原性心脏病 …… 627
9.3.4.4 自发性气胸 …… 628
9.4 防毒措施 …… 628
9.4.1 防毒技术措施 …… 628
9.4.1.1 以无毒低毒的物料代替有毒高毒的物料 …… 628
9.4.1.2 改革工艺 …… 629
9.4.1.3 生产设备管道化、密闭化、机械化 …… 629
9.4.1.4 隔离操作和自动控制 …… 630
9.4.2 防毒的管理教育措施 …… 630
9.4.2.1 加强领导 …… 630
9.4.2.2 加强防毒的宣传教育，健全有关防毒的管理制度 …… 630
9.4.2.3 加强监测，严格执行工业卫生法规 …… 630
9.4.2.4 严格执行“三同时”方针……630
9.4.2.5 卫生保健措施 …… 631
9.4.2.6 加强防毒的科学研究 …… 631
9.4.2.7 二次尘毒源的消除 …… 631
9.4.3 个人防护措施 …… 631
9.4.3.1 皮肤防护 …… 631
9.4.3.2 呼吸防护 …… 631
9.4.4 通风排毒措施 …… 631
9.4.4.1 局部送风 …… 631
9.4.4.2 局部排风 …… 632
9.4.4.3 全面通风换气 …… 632
9.4.5 净化回收措施 …… 632
9.4.5.1 燃烧净化法 …… 632
9.4.5.2 冷凝净化法 …… 638
9.4.5.3 吸收净化法 …… 640
9.4.5.4 吸附净化法 …… 649
9.5 车间空气中有害物质的测定 …… 652
9.5.1 空气样品的采集 …… 652
9.5.1.1 采集方案的设计 …… 652
9.5.1.2 采样方法 …… 656
9.5.1.3 采样注意事项 …… 660
9.5.2 常见毒物测定方法 …… 660
9.5.2.1 测定方法 …… 660
9.5.2.2 常见毒物的测定方法 …… 669
9.5.2.3 实验室标准气的配制 …… 669
9.5.3 有害物质浓度表示方法 …… 676
9.5.3.1 气体体积换算 …… 676
9.5.3.2 浓度表示方法 …… 676
9.5.3.3 测定结果的表达方式 …… 677
9.5.4 测定结果的评价 …… 677
9.5.4.1 测定过程的质量控制 …… 677
9.5.4.2 样品的评价 …… 679
9.5.4.3 测定点的评价 …… 679
9.5.4.4 劳动环境的评价 …… 679
附表9-1 车间空气中有害物质的最高容许浓度 …… 680
附表9-2 居住区大气中有害物质最高容许浓度 …… 681
附表9-3 地面水水质卫生要求 …… 682

附表9-4 地面水中有害物质的最高容许浓度 …… 682
附表9-5 十三类有害物质的排放标准…683
附表9-6 第一类工业废水最高容许排放浓度 …… 685
附表9-7 第二类工业废水最高容许排放浓度 …… 685

第10章 通风除尘

10.1 常用术语…… 686
10.2 全面通风…… 687
10.2.1 稀释通风的必要通风量和换气次数…… 687
10.2.2 稀释通风的气流组织…… 691
10.2.3 自然通风…… 692
10.3 局部吸气…… 694
10.3.1 吸气罩…… 694
10.3.1.1 吸气量计算…… 694
10.3.1.2 吸气罩结构…… 707
10.3.2 管道…… 710
10.3.2.1 管道设计步骤…… 710
10.3.2.2 管道阻力计算…… 711
10.3.2.3 管道阻力平衡…… 712
10.3.2.4 管道设计注意事项…… 713
10.3.3 离心式风机…… 714
10.3.3.1 风机性能参数与性能表示法…… 714
10.3.3.2 风机的选择与使用…… 715
10.4 旋风除尘器…… 717
10.4.1 结构…… 717
10.4.2 性能及其影响因素…… 719
10.4.2.1 性能…… 719
10.4.2.2 结构对性能的影响…… 720
10.4.2.3 工作条件对性能的影响…… 720
10.4.3 性能的推算…… 721
10.4.3.1 分离界限粒径…… 721
10.4.3.2 除尘率…… 724
10.4.3.3 阻力…… 725
10.4.4 设计…… 725
10.4.5 使用与维护…… 727
10.4.5.1 并联和串联…… 727
10.4.5.2 积灰和堵塞…… 728
10.4.5.3 磨损与漏风…… 729
10.5 洗涤除尘器…… 730
10.5.1 结构…… 730
10.5.2 性能、特点和基本设计数据…… 733
10.5.3 文丘里除尘器性能的推算…… 735
10.5.4 洗涤除尘器的使用…… 736
10.6 袋式除尘器…… 742
10.6.1 结构…… 742
10.6.1.1 滤袋…… 742
10.6.1.2 清灰机构…… 743
10.6.1.3 外壳、灰斗和排灰机构…… 747
10.6.2 滤料…… 748
10.6.2.1 纤维材料…… 748
10.6.2.2 制造方法…… 749
10.6.3 性能…… 749
10.6.3.1 除尘率和阻力…… 749
10.6.3.2 影响性能的因素…… 750
10.6.3.3 阻力的推算…… 750
10.6.4 设计…… 752
10.6.4.1 滤袋的运行阻力…… 752
10.6.4.2 过滤面积和过滤速度…… 752
10.6.4.3 清灰方法的选择…… 752
10.6.4.4 滤料的选择…… 753
10.6.4.5 滤袋形式的选择…… 754
10.6.4.6 进气口位置的选择…… 755
10.6.4.7 辅助措施…… 755
10.6.5 运行与维护…… 757
10.6.5.1 运行…… 757
10.6.5.2 维护…… 759
10.7 颗粒层除尘器…… 759
10.7.1 结构…… 759
10.7.2 影响性能的因素…… 761
10.7.3 滤料…… 762
10.8 电除尘器…… 762
10.8.1 结构…… 762
10.8.1.1 电极…… 762
10.8.1.2 清灰装置…… 762
10.8.1.3 气流分布装置…… 767
10.8.1.4 外壳及灰斗…… 768
10.8.1.5 供电装置…… 768
10.8.2 性能…… 768
10.8.3 设计…… 769
10.8.4 运行与维护…… 770

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

10.9 除尘器的选择…… 771

第11章 防护用品及其正确选用

11.1 术语…… 773
11.1.1 个人防护用品…… 773
11.1.2 呼吸器官护具…… 773
11.1.2.1 过滤式呼吸器…… 773
11.1.2.2 隔绝式呼吸器…… 773
11.1.2.3 面罩…… 773
11.1.2.4 滤毒罐（盒）…… 773
11.1.2.5 滤尘器…… 773
11.1.2.6 防毒时间…… 773
11.1.3 眼面防护具…… 773
11.1.4 工业安全帽…… 773
11.1.5 工作帽…… 773
11.1.6 防护手套…… 774
11.1.7 防护鞋（靴）…… 774
11.1.8 防护服…… 774
11.1.8.1 防毒服…… 774
11.1.8.2 防腐蚀服…… 774
11.1.8.3 防火服…… 774
11.1.8.4 防静电服…… 774
11.1.9 护耳器…… 774
11.1.9.1 耳塞…… 774
11.1.9.2 耳罩…… 774
11.1.9.3 防噪音帽盔…… 774
11.1.10 安全带…… 774
11.1.11 安全绳…… 774
11.1.12 安全网…… 774
11.1.13 护肤用品…… 774
11.1.13.1 护肤剂…… 774
11.1.13.2 洗消剂…… 775
11.2 防护用品分类…… 775
11.2.1 按用途分类…… 775
11.2.2 按防护部位分类…… 775
11.3 呼吸器官防护用品…… 775
11.3.1 过滤式呼吸器…… 775
11.3.1.1 过滤式呼吸器的使用条件…… 775
11.3.1.2 防尘呼吸器…… 775
11.3.1.3 防毒呼吸器…… 777
11.3.1.4 选用和保存…… 779
11.3.2 隔绝式呼吸器…… 781
11.3.2.1 自给式呼吸器…… 781
11.3.2.2 长管呼吸器…… 782
11.3.2.3 使用与保存…… 782
11.3.3 自救器…… 783
11.3.3.1 规格…… 783
11.3.3.2 使用与保养…… 783
11.3.4 合理选用呼吸器…… 784
11.4 防护服和护肤用品…… 785
11.4.1 防护服…… 785
11.4.1.1 防护服主要品种及性能…… 785
11.4.1.2 防护服的选用和维护…… 791
11.4.2 护肤用品…… 792
11.4.2.1 护肤膏（剂）…… 792
11.4.2.2 皮肤保洁剂…… 793
11.5 头部防护用品…… 793
11.5.1 安全帽…… 793
11.5.1.1 安全帽的结构…… 793
11.5.1.2 种类规格…… 794
11.5.1.3 技术要求…… 794
11.5.1.4 选用和保养…… 794
11.5.2 工作帽…… 795
11.5.3 送风防护头盔…… 795
11.6 眼部、面部防护用品…… 795
11.6.1 主要品种和性能…… 795
11.6.1.1 焊接用眼防护具…… 795
11.6.1.2 炉窑用眼防护具…… 797
11.6.1.3 防冲击眼护具…… 797
11.6.1.4 微波防护眼镜…… 797
11.6.1.5 激光防护镜…… 797
11.6.2 眼防护具的选用…… 797
11.6.2.1 种类和型号选择…… 797
11.6.2.2 选用高质量眼护具…… 798
11.6.2.3 使用…… 798
11.6.2.4 滤光片选用…… 798
11.7 手部的防护用品…… 798
11.7.1 防护手套品种和性能…… 798
11.7.1.1 耐酸碱手套…… 798
11.7.1.2 电工绝缘手套…… 798
11.7.1.3 电焊工手套…… 798
11.7.1.4 防寒手套…… 798
11.7.2 防护手套的选用…… 799
11.8 足部的防护用品…… 799
11.8.1 防护靴（鞋）品种及性能…… 799

11.8.1.1 分类…… 799
11.8.1.2 主要品种及性能…… 799
11.8.2 防护靴（鞋）的选用与维护…… 801
11.9 防噪音用品…… 801
11.9.1 防噪音用品及性能…… 801
11.9.1.1 耳塞…… 801
11.9.1.2 耳罩…… 802
11.9.1.3 防噪声帽盔…… 802
11.9.2 护耳器测试及性能要求…… 802
11.9.3 防噪声用品的选用…… 803
11.10 安全带和安全网…… 803
11.10.1 安全带…… 803
11.10.1.1 性能与技术要求…… 803
11.10.1.2 安全带品种和材料…… 804
11.10.1.3 选用和保养…… 805
11.10.2 安全网…… 805
11.10.2.1 安全网的结构及材料…… 805
11.10.2.2 安全网的技术要求…… 805
11.10.2.3 选用…… 806

第12章 系统安全分析与评价

12.1 名词术语…… 808
12.2 系统安全分析与评价…… 808
12.2.1 分析和评价步骤…… 808
12.2.2 进行评价的方法…… 808
12.3 如果……怎么办…… 812
12.4 危险性可操作研究…… 813
12.5 故障类型和影响分析、致命度分析… 820
12.5.1 故障类型和影响分析…… 820
12.5.2 致命度分析…… 824
12.5.3 应用例…… 825
12.6 事故树分析…… 828
12.6.1 具体编树方法…… 829
12.6.2 由事故树进行工艺改进…… 832
12.6.3 事故树的定量计算…… 835
12.7 事件树分析 ETA …… 840
12.8 原因结果分析…… 843
12.9 危险度分级法…… 846
12.10 人的因素分析…… 860
12.11 社会风险评价…… 862
12.11.1 美国民用核电站评价（WASH-1400）…… 862
12.11.2 美国坎威（Canvey）岛安全评价…… 866
12.11.3 荷兰雷几蒙德（Rijnmond）地区安全评价…… 867
12.12 结语…… 869
附表 物质系数表…… 871
本章参考文献…… 874
附录…… 875

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

绪　　论

化工产品是很多工业部门离不开的基础原料，有的还是人们日常生活的必需品，其用途的广泛是其它工业产品无可比拟的。

但生产化工产品所用的原料、中间体甚至产品本身，有百分之七十以上具有易燃、易爆或有毒的性质，生产大多在高温、高压、高速、有毒等严酷条件下进行，经常因处理不当而发生事故。不仅职工的生命财产受到危害，事故还容易扩大蔓延，对周围居民造成公害。因此，搞好化工厂的安全工作，不仅是保证生产顺利进行的必要条件，也是保证社会稳定的重要因素。

化工产品的制造一般通过物理变化和化学反应，不仅工艺复杂而且有些反应十分剧烈，极易失控，而且大多在反应容器或管道中进行，难于监视，所以化工生产比其它工业具有更特殊的潜在危险性。一旦操作条件发生变化、工艺受到干扰产生异常，或因人的特性和素质欠佳等原因造成误操作，潜在危险就会发展成为灾害性事故。

虽然如此，化工厂的事故也可以采取防范措施使之降低或避免。如果设计时对生产安全能周密考虑，在厂址选择和装置布置上防止事故的扩大蔓延；在工艺流程上采取完善的安全系统；在设备制造和维修中精心设计把好材质、加工关；在运行中进行严密的管理；在后勤支援上配备足够的医护、消防等措施以减缓事故后果的严重程度，则事故大半会得到防止，即使发生了也不会造成灾难性后果。

当前化工厂的事故之所以还没有得到完全控制，主要原因是安全技术水平（包括设计和管理水平）没能跟上生产发展的要求。因此急需安全技术知识和安全管理水平的提高。另外，安全工作在有关部门中得不到应有的重视也是一个重要原因，生产正常时相安无事，事故发生后又束手无策，致使小事故发展成为大事故。

一、我国化学工业的发展及其特征

世界化学工业的发展潮流是向大型化、连续化、自动化发展。我国虽然起步较晚，但也离不开这种趋势。建国以来至80年代末期，我国化学工业已经建立了23个行业，品种和规格达到了3.7万多种。工厂规模特别是石油化工、化肥、三酸两碱等基本化学工业也进入世界先进行列。化学工业在国民经济中已占有举足轻重的地位。

化工生产的发展和安全的关系如何，是我们应该密切注视的问题。

1．生产规模的大型化

解放以前，我国的化学工业十分落后，以化肥为例，只有大连、南京两家工厂、合成氨年产量不过万吨左右，其它如酸碱、油脂、染料等行业工厂规模很小，有的仅是作坊，化工产品基本依赖进口。

建国以后，经过三年恢复和第一个五年计划建设，我国化学工业象其它产业一样，得到了恢复和发展。50年代中，吉林、兰州、太原、成都等地都相继建立了年产2.5万吨级的合成氨厂，60年代又在浙江衢县、上海吴泾等地建成了20多个中型氮肥厂。在此期间我国著名化工专家侯德榜先生开创了碳酸氢铵新工艺，简化了氮肥生产过程，使其具备了普及条件。几年中小化肥厂在全国遍地开花，不仅培养了大批化工人才，而且产量也构成与大中型化肥

L-6969

相匹敌的能力。从70年代开始我国从国外引进了日产千吨合成氨以及相配套的大型尿素装置，目前已建成了13套年产30万吨合成氨的大型化肥装置。以合成氨计算，从1970～1985年，产量增长了7倍。

石油化工的发展代表一个国家的化学工业水平。我国早期的石化工业主要靠石油炼制厂废气作原料，50年代兰州化学工业公司合成橡胶厂就是用兰州炼油厂的废气作原料的，后来又生产酒精和聚苯乙烯。当时石油炼厂与石化工厂只是部分原料的供应关系。由于乙烯在炼厂废气中只占14～15%，作为原料供不应求，世界各国出现了以炼厂石脑油和天然气凝析液为原料、采用烃类裂解技术制造乙烯的大型石化工厂，生产乙烯的装置也由50年代的10kt级一跃而为100～300kt级。

化工装置的大型化，在基建投资和经济效益上是无可争辨的。以基建而论，由于化工装置大部分是由塔、槽、釜、罐等设备构成，而投资额与容器设备的表面积成正比，产量则与其容积成正比。这样产量越大而投资越少，促进了装置的大型化。

从经济效益来看，大型化能够合理利用原材料，降低消耗定额，减少操作人员以及相对的后勤支援和公用工程的投资。

但是大型化也存在着设备制造、搬运、安装条件等限制，以及大量原料贮存和处理的困难。

从安全角度考虑，大型化会带来重大的潜在危险性。

（1）加工能量大增加了能量外泄的危险性　化工生产所用的原材料，多半本身就是能源或毒性源。加工过程中一旦外泄，就会燃烧爆炸或产生易爆的蒸气云团或毒气云，给人民财产带来巨大的灾难。1974年英国Flixborough地区化工厂已内酰胺原料环已烷泄漏发生的蒸气云爆炸和1984年印度博帕尔发生的异氰酸甲酯泄漏所造成的中毒事故，都是震惊世界的事故。

（2）单线生产更为普遍　大型化为了提高经济效益，则把各种生产有机地联合起来，一个厂的产品就是另外一个厂的原料，输入输出只是在管道中进行，多数装置直接接合，形成直线连接，不仅规模变大而且更为复杂，装置间的相互作用强了，独立运转成为不可能。由于直线连接形成了许多薄弱环节，使系统变得非常脆弱。

（3）放弃了中间贮存设备，使弹性生产能力日益减弱过去化工生产往往在工序或车间之间，设置一定的贮存能力以调节生产的平衡，大型化必然带来连续化和自动控制操作，不可能也不必要再设置中间贮存能力，但因此也导致生产弹性的减弱。

（4）控制集中化和自动控制，使系统复杂化　没有控制的集中和自动化也谈不上大型化。但控制设备和计算机也有一定的故障率，如果是开环控制，人是子系统的一员，人的低可靠性增大了发生事故的可能。

（5）设备条件要求日益严格　工厂规模大型化以后，对工艺设备的处理能力、材质和工艺参数要求更为提高。如轻油裂解、蒸汽稀释裂解的裂解管壁温要求都在900℃以上，合成氨、甲醇、尿素的合成压力要求都在100atm以上，高压聚乙烯压缩机出口压力为3500atm，高速水泵转速达25000转/分，天然气深冷分离在－120～－130℃的条件下进行，这些严酷的生产条件，给设备制造带来极大的难度，同时也增加了潜在危险性的严重程度。

（6）大型化给社会带来威胁　工厂大型化基本上是在原有厂区上逐渐扩建的，大量职工的生活需求又使厂区与居民区越来越近，一旦事故发生，便会对社会造成巨大影响。

2．工艺过程的连续化和自动控制

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

连续化和自动控制是大型化的必然结果。

化工生产有间歇操作和连续操作之分，前者的特点是各个操作过程都在一组或一个设备内进行，反应状态随时间而变化。原料的投入和产出都在同一地点，危险性原料和产品都在岗位附近。因此很难达到稳定生产，操作人员的注意力十分集中，劳动强度也很大，容易发生事故。这种生产方式不可能大型化。

连续操作的特点是各个操作程序都在同一时间内进行，所处理的原料在工艺过程中的任何一点或设备的任何断面上，其物理量或参数（如温度、压力、以及浓度、比热、速度等）在过程的全部时间内，都要按规定要求保持稳定。这样便形成了一个从原料输入，经过物理或化学处理、形成产品的连续过程，原料不断输入，产品不断输出，使大型化成为可能。

连续大型化的生产很难想象能用人工控制。50年代中在某些化工生产中使用负反馈的定值控制方式，使工艺过程比较平稳，后来随着工艺技术的发展，逐步进入了集中控制，自动控制和计算机控制，实现了工艺过程控制的自动化，保证了运转条件和产品质量的稳定，同时也提高了生产的安全性。

连续化生产的操作比起间歇操作要简单，特别是各种物理量参数在正常运转的全部时间内是不变的，不象间歇操作不稳定随时间变化。但连续化生产中外部或内部产生的干扰非常容易侵入系统，影响各种参数发生偏离。由于各子系统的输入输出是连续的，上游的偏离量很容易传递到下游，进而影响系统的稳定。连续化生产装置和设备之间的相互作用非常紧密，输入输出问题也较间歇操作复杂，所以必须实现自动控制，才能保持稳定生产。

自动控制虽然能增加运转的可靠性，提高产品质量和安全性，但也不是万无一失的。美国石油保险协会曾调查过炼油厂火灾爆炸事故原因，其中因控制系统发生故障而造成的事故即达6.1%，所以即使采用自动控制手段，也应加强管理、搞好维护，不可掉以轻心。

3．间歇操作仍是化工生产的主要方式

间歇操作的特点是所有操作阶段都在同一设备或地点进行。原料和触媒、助剂等加入反应器内，进行加热、冷却、搅拌等操作，使之发生化学反应，经过一段时间反应完成后，产品从器内全部或部分卸出，然后再加入新原料周而复始地进行新一轮的操作。

间歇操作适于生产批量较少而品种较多的化工产品，如染料、医药、精细化工等产品。这种生产方式仍是化工生产的重要方式之一。有些集中控制或半自动控制的化工装置也还残留着间歇操作的部分特性。

进行间歇操作时由于人机接合面过于接近，发生事故很难躲避，岗位环境不良，劳动强度也大。因此在中小型工厂中，如何改善间歇操作的安全环境和劳动条件，仍是当今化工安全的主攻方向。

二、化工事故的特征

化工事故的特征基本上是由所用原料特性、加工工艺方法和生产规模所决定的。为了预防事故，必须了解这些特点。

1．火灾爆炸中毒事故多且后果严重

根据我国30余年的统计资料说明，化工厂的火灾爆炸事故死亡人数占因工死亡总人数的13.8%，占第一位；中毒窒息事故致死人数为总人数的12%，占第二位，其它为高空坠落和触电，分别占三、四位。

很多化工原料的易燃性、反应性和毒性本身确定了上述事故的频繁发生。反应器、压力容器的爆炸以及燃烧传播速度超过音速时的爆轰，都会造成破坏力极强的冲击波，冲击波超

压达0.2atm时会使砖木结构建筑物部分倒塌、墙壁崩裂，被压住的人员将会达30%。如果是在室内爆炸，一般要增加7倍的压力，任何坚固的建筑物都承受不了这样大的压力。

由于管线破裂或设备损坏，大量易燃气体或液体瞬间泄放，便会迅速蒸发形成蒸气云团，并且与空气混合达到爆炸下限，随风漂移，如果飞到居民区遇明火爆炸，其后果是难以想象的。据估计50t的易燃气体泄漏，将会造成直径为700m的云团，在其覆盖下的居民，将会被爆炸火球或扩散的火焰灼伤，其辐射强度将达14W/cm²，而人能承受的安全辐射强度仅为0.5W/cm²，同时还会因缺乏氧气窒息致死。

多数化学物品对人体有害，生产中由于设备密封不严，特别是在间歇操作中泄漏的情况很多，容易造成操作人员的急性和慢性中毒。据化工部门统计，因一氧化碳、硫化氢、氮气、氮氧化物、氨、苯、二氧化碳、二氧化硫、光气、氯化钡、氯气、甲烷、氯乙烯、磷、苯酚、砷化物等16种物质造成中毒、窒息的死亡人数占中毒死亡总人数的87.9%。而这些物质在一般化工厂中都是常见的。

化工装置的大型化使大量化学物质处于工艺过程中或贮存状态，一些比空气重的液化气体如氨、氯等，在设备或管道破口处以15～30度呈锥形扩散，在扩散宽度100m左右时，人还容易察觉迅速逃离，但在距离较远而毒气浓度尚未稀释到安全值时，毒气影响宽度可达1公里或更多，人则很难逃离并导致中毒，1984年印度博帕尔事故造成两千余人死亡就是特大的事例。

2．正常生产时事故发生多

正常生产活动时发生事故造成死亡的占因工死亡总数66.7%，而非正常生产活动时仅占12%。

（1）化工生产中有许多副反应生成，有些机理尚不完全清楚，有些则是在危险边缘如爆炸极限附近进行生产的，如乙烯制环氧乙烷、甲醇氧化制甲醛等，生产条件稍一波动就会发生严重事故。间歇生产更是如此。

（2）化工工艺中影响各种参数的干扰因素很多，设定的参数很容易发生偏移，而参数的偏移是事故的根源之一，即使在自动调节的过程中也会产生失调或失控现象，人工调节更易发生事故。

（3）由于人的素质或人机工程设计欠佳，往往会造成误操作如看错仪表、开错阀门等。特别是现代化的生产中，人是通过控制台进行操作的，发生误操作的机会更多。

3．材质和加工缺陷以及腐蚀的特点

化工厂的工艺设备一般都是在严酷的生产条件下运行的。腐蚀介质的作用、振动、压力波造成的疲劳、高低温度影响材质的性质等都是在安全方面应该引起重视的问题。

化工设备的破损与应力腐蚀裂纹有很大关系。设备材质受到制造时的残余应力、运转时拉伸应力的作用，在腐蚀的环境中就会产生裂纹并发展长大，在特定的条件下，如压力波动、严寒天气就会引起脆性破裂，造成巨大的灾难性事故。

制造化工设备时除了选择正确的材料外，还要求正确的加工方法，以焊接为例，如果焊缝不良或未经过热处理则会使焊区附近材料性能劣化，容易产生裂纹使设备破损。

4．事故的集中和多发

化工生产常遇到事故多发的情况，给生产带来被动，化工装置中的许多关键设备、特别是高负荷的塔槽、压力容器、反应釜、经常开闭的阀门等，运转一定时间后，常会出现多发故障或集中发生故障的情况，这是由于设备进入到寿命周期的故障频发阶段。日本在70年代

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

初期，石油化工、合成氨等工厂事故频繁发生，火灾爆炸恶性事故连续不断，经过三年努力采取安全措施才稳定下来。通过分析认为是50～60年代进口的设备已达到浴盆曲线的故障多发期．由此得出教训，即对待多发事故必须采取预防对策，加强设备检验、充实备品备件，及时更换使用到期的设备。

三、化工安全的展望

建国以来，特别是近十年的改革开放，我国的化学工业和石化工业虽然有了长足的发展，但离开国民经济的需求还有相当的距离。最近国家已作出决策，“八五”期间要进一步发展石油化工，首先是解决穿衣问题的化纤工业，其次是民用、农用塑料和工程塑料，还要发展合成橡胶、合成洗涤剂和各种化工原料，要为农业和各种精细化工提供原材料，还要发展化肥。在此期间，新建和扩建以乙烯为代表的14个石油化工项目，再增加乙烯生产能力200万吨。

如此宏伟的目标，没有安全生产的保证是无法实现的。必须保证新建和扩建企业的顺利投产和运行，保证已有企业不断发挥自己的潜力，同时保证职工在劳动过程中的安全健康和高生产效率。为此必须提高企业的安全性。

提高化工企业的安全性主要从两个方面着手：在硬件方面，提高设备的可靠性；在软件方面，加强现代化的安全管理。

对于大型化工企业的安全问题，首先要考虑设备和控制技术的可靠性，当前设备故障诊断技术发展很快，如断裂力学在评价压力容器寿命方面的应用，机械零部件失效分析，振动监测、声发射技术测定容器裂纹的发展，易燃易爆及有害气体自动报警装置，以及本质安全、自动防止故障技术在加强控制系统可靠性方面的应用等，都是保障设备和工艺安全运转的重要手段，急应加强引进、吸收和推广。

对于中小型化工企业，也应加速技术改造，在设备操作上加强密闭化、机械化和集中控制，增强防护设施，使操作人员脱离不良的劳动环境。

另外一个方面就是加强现代化的安全管理。实践已经证明，只有通过有效的管理才能对危险性进行有效的控制。

近年来随着工业技术的进步，安全管理方式也有很大的发展，其中最主要的是引入系统工程的方法，解决危险性的辨识和评价问题。

危险性具有潜在性质，在一定条件下它可以发展成为事故，但也可以采取措施抑制它的发展，新技术的采用也可能带来新的危险性。所以辨识危险性已构成一个十分重要的问题，这个问题解决了，就可以解决安全问题的一半。当前国内外积极推行的安全评价技术，就是在危险性辨识的基础上，对危险性进行定性和定量评价，并根据评价结果采取优化的安全措施，这两种技术的使用，使安全管理上升了一个新台阶。

为了保证安全生产，必须熟悉生产，因此安全人员的知识水平应该与生产人员持平，在知识容量上则应高于生产人员。过去由于种种原因，安全不被重视，安全人员素质差，不熟悉生产、不了解设备、不能充分掌握工艺过程中的危险性，这就构成了一个极大的隐患。国外有的化工企业实行生产科长与安全科长每年轮换担任的制度，这是有道理的。

工业技术不断发展，必须及时提高安全人员的素质和知识水平，才能保证生产的正常安全运转，这也是编写本书的目的。

第1章 安全设计

1.1 安全设计

在工业生产的整个过程中，都要涉及到安全问题。安全工程同时也是一项系统工程。不论是哪一种生产行业，从科学研究开始，经过小型试验、中间试验和扩大试验，再经过设计、建设和正式生产，无时无刻不涉及安全问题。化工行业当然不会例外。设计工作是工业生产中的一个非常重要的环节。安全设计对于工业生产的安全具有决定性的影响。如果在设计过程中有任何疏忽，有时会造成不可弥补的损失。

1.1.1 安全设计的群众性与专业化

工业生产中的安全问题在很大的程度上要依靠全体工作人员的安全意识，化学工业的设计工作当然也不会例外。只有人人关心安全，方才能够达到预期的安全目的。但是，随着工业水平的不断发展，工业安全工程的技术水平，其中包括化工安全工程的技术水平，也在不断提高。如今，安全工程已经发展成为一门专业学科。因此，如何实现化工厂的安全设计，除了要依靠全体设计人员以外，还必须要有科学的设计管理方法。其中引起化工行业逐渐重视的就是如何实现安全设计的问题，而目前最为突出的问题则是安全专业技术人员的培养问题。

安全设计是完成设计工作的一个重要环节。安全问题既要由每个设计人员具体考虑，在设计工作中安排所需的安全措施；同时还要有专业安全设计人员进行集中管理，通盘考虑方才能够达到总体安全的目的。为了做好安全设计工作，一方面要不断加强广大设计人员的安全意识；另一方面还要着重提高专业安全设计人员的业务素质。

从生产的角度看，工业安全有两个侧面。一个是以防火、防爆为主的安全措施；另一个侧面则是防止污染扩散形成的暴露源对人身造成的健康危害。火灾和爆炸是化工行业的最大的威胁。但是由于化工行业全体人员吸取过去的经验教训在安全方面所做的不懈的努力，在生产中的不安全因素正在逐渐克服。污染扩散对于人身健康造成的损失与火灾爆炸的情况则有所不同。有害和有毒物质对于人身健康的危害虽然有时是急性的，但大多数都是属于慢性的。急性健康危害容易引起人们的重视，慢性健康危害却常常被人忽视。然而一旦对于人身机体造成损伤则往往无法恢复。由于这种危害形成的过程漫长，操作工人流动频繁，结果使受害人很难确定当初的危害源。而从社会的角度看，又无法采用流行病学的调查方式确定受害人的人数。这也正是环境污染的普遍规律。谈到化学工业的安全设计，自然要涉及这两方面的安全问题。

专门从事安全工作的技术人员就需要具备两个方面的专业知识。一方面，从事安全工作的专业人员除了要具备化工方面的专业知识以外，还要侧重了解有关燃烧和爆炸方面的专业知识；另一方面还要具备生物化学和毒理方面的专业知识。随着安全工作的专门化，很难要求安全专业的技术人员同时精通这两方面的专业知识。最近的趋势是分成两个专业分枝，一个分枝着重钻研防火、防爆的专业知识，国外已经设有安全工程师的职称；另一个分枝则是

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

在已经具备生物化学专业知识的基础上研究如何从事防治化工行业中的卫生保健工作，国外对于这类技术人员称为卫生保健师。在安全设计工作中同时需要这两类技术人员。

1.1.2 安全设计的落实[13]

安全专业技术人员如何在设计过程中进行工作也是一个值得重视的问题。安全专业技术人员是负责安全的专业技术人员，在设计工作中要参与设计工作；但是，安全专业技术人员又不能从事具体的设计工作。所以只有在具体进行设计工作的各专业设计人员和安全专业技术人员的密切配合下，方才能够设计出符合安全要求的化工装置。

在设计工作中，安全专业技术人员需要了解本工程项目中的技术内容，积极收集有关安全的法规、标准和规范，以及同样及类似工业装置中的安全措施和发生事故、灾害的经验教训，经过消化处理，形成符合本装置要求的适用参考资料；与此同时，还要参考有关的安全检查纲要，编写本装置设计工作中的安全检查表，作为在设计过程中安全检查的依据；另一方面，要在项目负责人的支持下，在各个设计环节中参与各阶段的设计会审工作。

根据目前国内的情况，设计工作是在接受设计任务书之后开始，现从防火、防爆和卫生保健的两个角度出发，将安全专业技术人员参与设计工作的要点列于表1-1以供参考。

表 1-1 在各个设计阶段中安全专业技术人员重点工作参考表

安全重点 阶段名称	防 火 防 爆	工 业 卫 生
设计准备阶段	了解设计任务书内容	
	1.收集有关规范及同类型装置出现的事故情况 2.了解工程项目中危险品种类及用量 3.编制本装置危险物料名称及性能表及危险反应区划表 4.整理同类或类似装置发生火灾及爆炸事故的分析资料 5.提出本装置防火及防爆的问题及解决办法 6.针对厂址的地理及气候条件，从防火、防爆的角度提出具体意见	1.了解工程项目中有毒化学物品的名称、用量 2.调查了解当地的流行病史及放射本底值 3.编制本装置毒性物料名称及性能表 4.整理接触与本装置相同的毒性物料的健康损害调查报告 5.提出有毒物质的毒性及防治办法 6.针对本装置的毒性及有损人身健康的疾病、公害情况，从职工保健的角度出发提出具体措施
初步设计	1.根据总图设计，针对设备的安全距离和危险区的级别提出具体意见 2.检查防火、防爆及泄爆结构，提出具体意见 3.对于各项主要设备的防火防爆结构提出建议，作为设备设计及采购的参考	1.针对处理大量有毒物质设备的规划位置提出具体意见和防治污染的具体措施 2.检查照明及通风设备的设计，提出具体意见 3.提出有关防止或减少机泵、阀门、法兰泄漏的建议；提出有关控制有毒物质泄漏的办法，最好是提出重点控制对象的最高浓度值，检测手段和检测方法
施工图设计	1.检查最终设计中有关设备、配管、电气、仪表的防火、防爆及防止故障事故的具体措施是否符合有关规范的规定，是否符合本装置的具体情况	1.检查照明、通风设备的情况 2.查明有关噪声检测的规定，使用的检测仪器和检验规范 3.检查各种机器定货合同中规定的噪声指标及适用的检测规范

1.2 建厂选址与平面布置[7]

1.2.1 建厂选址

建厂之初选定厂址的工作是关系到一个工厂前途的关键。如果在选址工作中疏忽大意，造成的错误往往是不可弥补的，或者要花费大量的财物和人力方才可以弥补。

在现有的工厂中进行改建或扩建时，也要密切结合既有的装置条件，或者根据扩建的具体情况，按照建厂选址的标准进行详尽的考虑选择厂址时应该从以下几个方面进行考虑。

1.2.1.1 厂址与城市的相关位置

要从国民经济建设计划和城市布局的角度考虑。避免重复建厂，造成以后销售困难和运输费用昂贵的缺陷。在一个城市中，要选在工业区建厂，以利城市的总体发展，便于利用工业区在公用工程供应方面的优越条件，合理配置给、排水，以及供电、运输系统及其他公用设施。

1.2.1.2 厂址与周围环境的相互关系

要注意外界环境对新建厂或扩建装置的影响，同时还要注意本厂或本装置对周围环境的影响。主要注意环境污染。

1.2.1.3 与邻近企业的关系

要趋利避害，既要利用已有的设施进行最大程度的协作，又要避开可能招致的危害。与相邻工厂或设施的防火间距不应小于表1-2的规定。

表 1-2 石油化工企业与相邻工厂或设施的防火间距[15]

相邻工厂或设施 \ 防火间距(m) \ 石油化工企业生产区	工艺装置或设施	液化烃罐组	可能携带可燃液体的高架火炬
居住区、公共福利设施、村庄	100	120	120
相邻工厂（围墙）	50	120	120
国家铁路线（中心线）	45	55	80
厂外企业铁路线（中心线）	35	45	80
国家或工业区铁路编组站（铁路中心线或建筑物）	45	55	80
厂外公路（路边）	20	25	60
变配电站（围墙）	50	80	120
架空电力线路（中心线）	1.5倍塔杆高度		80
Ⅰ、Ⅱ级国家架空通信线路（中心线）	40	50	80
通航江河岸边	20	25	80

1.2.1.4 厂址的地理条件

要从环境医学、生物学、流行病学、气象学、地质学、地理学等各个方面进行多科学的考察。具体要求有以下几点。

（1）有良好的工程地质条件。不要将厂址选在有滑坡、断层、泥石流、严重流砂、淤泥、溶洞、地下水位过高以及地基土承载力低于1kg/cm²的地区。在旧城郊区要注意有无旧坟群。在工业区要特别注意地下埋设物的情况。以免在土建施工过程中造成意想不到的困难。

（2）厂址选在沿江河、海岸的位置时，要使其位于江河、城镇和重要桥梁、港区、船厂、水源等重要建筑物的下游，借以避免废水和废气对居民区造成污染。

（3）避开爆破危险区、采矿崩落区以及可能会受到洪水威胁的地区。选在水坝下游方向时，要考虑如果水坝被洪水冲垮时厂区是否会遭受损失。

（4）有良好的气象卫生条件。产生有毒气体及烟尘的企业要特别注意避开窝风的地带。同时要考虑季节风向、台风强度、雷击、积雪及地震的影响和危害。

（5）不要将厂址选在自然疫源区、高放射本底区和传染病疫区。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（6）凡是产生有毒气体、烟尘等有害因素的企业，应将厂址选在工业区的下风侧并与居民区保持一定的防护距离。

1.2.2 工厂的平面布置

从安全的角度看，工厂的平面布置第一要重视安全距离；第二要进行区块化。这不但有助于安全生产，也便于生产管理和生产操作。工厂总平面布置的防火间距，除另有规定者外，不应小于表1-3[9]的规定。设备建筑物平面布置的防火间距见表1-4[9]。

1.2.2.1 平面布置的基本条件

工厂区应根据以下所列各项进行区块化划分：

（1）工艺装置区

（2）罐区

（3）公用设施区

（4）接运及发送装卸区

（5）辅助生产设施区

（6）管理区

1.2.2.2 总体布置的基本原则

（1）考虑工艺装置区内的设备布置时，要以设备的功能为出发点，结合本工艺过程的具体情况，从原料进厂、经过生产到成品贮存，以不交错为原则，确定装置设备的布置方式。具体要点为

① 根据工艺流程和设备运转的要求，按照工艺过程、运转顺序和安全生产的需要，规划设备的安装位置。

② 按照投料生产、中间产品以及成品产出的顺序进行布置。工艺装置区要与罐区保持一定的安全距离。这样可以简化配管，安全生产。

③ 接运原料区和产品发送区要分开设置，以免互相干扰。

④ 凡是装有可燃性流体、且有泄漏危险的装置，要布置在火源的下风位置。这样在此类装置万一发生故障、可燃性物质漏泄外流时，有可能避免火灾和爆炸的重大事故。

⑤ 凡是办公室一类的人员集中的建筑物或车间，要布置在远离危险区的位置上。各工区和各单元装置之间，要保持一定的安全距离，中间留有空地。这样做可以避免灾害的扩大，把灾害控制在最小范围。

（2）具体的规划方式

① 工厂管理部门的办公建筑物要布置在工厂的管理区。管理区与生产区之间应设隔离墙。

② 辅助生产区尽可能集中设置。机修厂和研究室要远离罐区和工艺装置区。机修厂要布置在干管接点和公用道路附近的地点。如果不可避免，要采取降低噪声的措施，尽量减少噪声对居民的干扰。

③ 公用设施区要设在远离工艺装置区、罐区和便于保卫的位置上。以免在遇到紧急情况时中断水、电、汽等的供应。由厂外进入厂区的公用工程干管不要通过危险区；如果不能避免，应采取必要的保护措施。要从将来扩建的角度考虑，留出备用空地。

锅炉设备和配电设备可能会成为引火源，所以要设在使用可燃性流体设备的上风位置上。

表 1-3 石油化工企业总平

防火间距（m） 项目 / 项目			工艺装置 甲	工艺装置 乙	工艺装置 丙	全厂性重要设施	明火及散发火花地点
工艺装置		甲	30/25	—	—		
		乙	25/20	20/15	—		
		丙	20/15	15/10	10		
全厂性重要设施			35	30	25		
明火及散发火花地点			30	25	20		
地上可燃液体储罐	$甲_B$、乙类 固定顶	>5000m³	50	40	35	50	40
		>1000m³至5000m³	40	35	30	40	35
		>500m³至1000m³	30	25	20	35	30
		≤500m³或卧式罐	25	20	15	30	25
	浮顶或丙类固定顶	>5000m³	35	30	25	35	30
		>1000m³至5000m³	30	25	20	30	25
		>500m³至1000m³	25	20	15	25	20
		≤500m³或卧式罐	20	15	10	20	15
液化烃储罐		>1000m³	60	55	50	70	60
		>100m³至1000m³	50	45	40	60	50
		≤100m³	40	35	30	45	40
可燃气体储罐>1000m³至50000m³			25	20	15	30	30
液化烃及 $甲_B$、乙类液体		码头装卸油区	35	30	25	40	35
		汽车装卸站	25	20	15	30	25
		铁路装卸设施、罐车洗罐站	30	25	20	35	30
灌装站		液化烃	30	25	20	35	30
		$甲_B$、乙类液体及可燃与助燃气体	25	20	15	30	25
甲类物品库（棚）或堆场			30	25	20	35	30
罐区甲、乙类泵房（包括加铅、添加剂设施及其专用变配电室）			20	15	10	20	15
污水处理场			30	25	20	35	30
铁路走行线段（中心线）			20	15	10	—	—
车行主干道（路面边）			15	10	8	—	—
可能携带可燃液体的高架火炬			90	90	90	90	60
厂围墙（中心线）			10	8	6	—	—

① 罐组与其它设施的防火间距按相邻最大罐容积确定。

② 分子适用于石油化工装置，其防火间距按相邻两单元的火灾危险性类别确定；分母适用于炼油装置。

③ 联合装置内各工艺装置之间的防火距离应按本规范第421条有关规定执行。当一个装置的成品直接进入另一个装置时，两个装置的防火间距可减小但不应小于15m，丙类之间不应小于19m。
工艺装置或装置内单元的火灾危险性分类举例见本规范附录五。

④ 工艺装置或可能散发可燃气体的设施与工艺装置的明火加热炉相邻布置时，其防火间距应按与明火的防火间距确定。

⑤ 独立的分变配电所、车间办公室等，可减少25%（火炬除外）。

⑥ 单罐容积等于或小于1000m³，可减少25%；大于50000m³。应增加25%。（火炬除外）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

固布置防火间距[15]

地上可燃液体储罐								液化烃储罐			可燃气体储罐	液化烃及甲B乙类液体			罐装站		甲类物品库（柜）或堆场	其专用变配电室（包括加铅、添加剂设施及罐区甲、乙类泵房（包	污水处理场	铁路走行线段（中心线）	车行主干道（路面边）	附注
甲B、乙类固定顶				浮顶或两类固定顶											液化烃	甲B、可燃气体及乙类液体						
> 6000 m³	> 1000 m³ 至 5000 m³	> 500 m³ 至 1000 m³	≤ 500 m³ 或卧式罐	> 5000 m³	> 1000 m³ 至 5000 m³	> 500 m³ 至 1000 m³	≤ 500 m³ 或卧式罐	> 1000 m³	> 100 m³ 至 1000 m³	≤ 100 m³	> 1000 m³ 至 50000 m³	码头装卸区	汽车装卸站	铁路装卸设施	汽车洗罐站							
																						②
																						③
																						④
																						⑤
																						①④
	储罐间距见本规范第五章																					
50	40	35	30	40	35	30	25															
45	35	30	25	35	25	20	15															
40	30	25	20	30	20	15	10															
30	25	20	15	20	15	10	8	40	30	25												④⑥
50	40	35	30	40	35	30	25	55	45	40	25	—										
25	20	15	10	20	15	12	10	45	35	30	15	20	—									
25	20	15	10	20	15	12	10	50	40	35	20	25	15	18								④
35	30	25	20	25	20	17	15	45	40	35	20	30	20	25	—							⑦
30	25	20	15	20	15	12	10	40	35	30	15	25	16	20	—	—						
35	30	25	20	25	20	15	10	60	50	40	20	35	25	30	30	25	—					①⑨
20	15	12	10	15	12	10	8	35	30	25	15	15	10	12	25	20	20	—				④⑧
30	25	20	20	25	20	20	20	40	35	30	25	40	25	30	30	25	30	20	—			①⑩
25	20	20	15	20	15	15	10	35	30	25	15	25	15	15	20	15	25	12	10	—		⑪
20	15	12	10	15	12	10	8	25	20	15	10	10	6	8	10	8	10	8	8	—	—	
90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90	60	90	50	50	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	6	8	10	10	10	8	10	—	—	

⑦ 丙类液体，可减少25%。（火炬除外）。

⑧ 本项包括可燃气体、助燃气体的实瓶库。

乙、丙类物品库（棚）和堆场可减少25%；丙类可燃固体堆场可减少50%（火炬除外）。

⑨ 罐组的专用泵房与其罐组的防火间距，甲A类不应小于15m；甲B、乙类不应小于12m浮顶、丙类不应小于10m（对小于或等于500m³的储罐不应小于8m）。

⑩ 事故存液池的防火距离可按污水处理场的规定执行。

⑪ 表中间距只适用于内燃机车，对蒸汽机车应增加25%（火炬除外）。

表 1-4　设备、建筑物平面布置的防火间距(m)[16]

项目				控制室、变配电室、化验室、办公室、生活间	明火设备	介质温度低于自燃点的工艺设备								介质温度等于或高于自燃点的工艺设备	
						可燃气体压缩机或压缩机房		中间储罐电脱盐脱水罐			其他工艺设备或房间			内隔热衬里反应设备	其他工艺设备或其房间
液化烃和可燃液体类别				—	—	—	—	甲$_A$	甲$_B$、乙$_A$	乙$_B$、丙$_A$	甲$_A$	甲$_B$、乙$_A$	乙$_B$、丙$_A$	—	—
可燃气体类别				—	—	甲	乙	—	甲	乙	—	甲	乙	—	—
液化烃和可燃液体类别				—	—	—	—	甲$_A$	甲$_B$、乙$_A$	乙$_B$、丙$_A$	甲$_A$	甲$_B$、乙$_A$	乙$_B$、丙$_A$	—	—
控制室、变配电室、化验室、办公室、生活间		—	—	—											
明火设备		—	—	15	—										
介质温度低于自燃点的工艺设备①	可燃气体压缩机或压缩机房②	—	甲	15	22.5	—									
		—	乙	9	9	—									
	中间储罐、电脱盐脱水罐③	甲$_A$	—	22.5	22.5	15	9	—	—	—					
		甲$_B$、乙$_A$	甲	15	15	9	7.5	—	—	—					
		乙$_B$、丙$_A$	乙	9	9	7.5	7.5	—	—	—					
	其他工艺设备或其房间④ ⑤	甲$_A$	—	15	22.5	9	7.5	9	9	7.5	—	—	—		
		甲$_B$、乙$_A$	甲	15	15	9	—	9	9	7.5	—	—	—		
		乙$_B$、丙$_A$	乙	9	9	7.5	—	7.5	7.5	—	—	—	—		
介质温度等于或高于自燃点的工艺设备⑥	内隔热衬里反应设备	—	—	15	4.5	9	7.5	22.5	15	9	9	7.5	4.5	—	
	其他工艺设备或其房间	—	—	15	4.5	9	4.5	15	9	9	7.5	4.5	—	7.5	—

① 查不到自燃点时，可取250℃。

② 单机驱动功率小于150kW的可燃气体压缩机可按介质温度低于自燃点的“其他工艺设备”确定其防火间距。

③ 中间储罐的最大容积应符合本规范第4·2·28条的规定。当单个液化烃储罐的容积小于50m³、可燃液体储罐小于100m³、可燃气体储罐小于200m³时，可按介质温度低于自燃点的“其他工艺设备”确定其防火间距。中间储罐与电脱盐脱水罐之间的防火距离不应小于9m。中间储罐之间的防火距离应符合本规范第五章的有关规定。

④ 含可燃液体的水池、隔油池等可按介质温度低于自燃点的“其他工艺设备”确定其防火间距。

⑤ 对丙$_B$类液体设备的防火间距不限。

⑥ 设备的火灾危险类别按其处理、储存或输送物质的火灾危险性类别确定；房间的火灾危险性类别按房间内火灾危险性类别最高的设备确定。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

冷却塔不要设在生产装置或高大建筑物的上风位置，不要靠近铁路、公路或其它公用设施。大型冷却塔会产生很大的噪声，所以要设在不会影响附近居民的适当位置。

④ 生产区应与居民区（住宅、学校、医院等）、公路、铁路保持一定的安全距离。生产区中的各种装置应根据工艺流程和装置功能的要求进行合理规划，并从安全的角度出发规划成适当的区块，并应考虑到将来扩建的需要，留出备用空地。

用于危险性反应和在超高压条件下运转的危险性大的单元装置，应设在即使发生危险也不会威胁其他单元装置的位置上。

⑤ 罐区。要和办公室和辅助生产区之间保持足够的安全距离。罐区、工艺装置区和公路之间要留出有效的空地。罐区最好设在较比生产区略低的地带，决不允许设在高坡上。为了防止灾害扩大、有利于救灾活动，应在各罐区和各个贮罐之间按规定留出空地，并设置拦液（油）堤。

全厂性高架火炬有发生火灾的危险，宜位于工艺装置区的下风侧。

⑥ 装卸设施区。用于接运原料和发送成品的装卸设备应规划在能够充分利用厂区周围运输设备的位置上。在各装置之间应该规划最合理的交通运输路线，尽量避免原料、中间产品和成品的交叉和迂回运输。

成品库、装灌站和装运站等机动车辆进出频繁的设施应布置在厂区边缘或厂区外靠近海港和公路的位置上，不得规划在必须通过工艺装置区和罐区的地带，并应与居民区、公路和铁路保持一定的安全距离。

1.2.2.3 道路

原则上应该利用厂区道路将整个厂区分隔成几个矩形区块。在厂区周围和中间的位置上应规划主要干线道路。厂区周围的道路要修成环形线。在环形线上至少应在两个方向上与厂区内附近的道路连接。厂区道路与公路之间至少有两个连接点。当受地形限制时可设置备有回车场的尽头式消防车道。道路的布置不得妨碍救火活动或安全操作。道路的宽度原则上应能使两辆对开的机动车辆安全会车。道路与各个装置之间至少应该保持1m的距离。

（1）工艺装置区的道路布置

① 干线道路。布置在各个区块的周围，宽度最好取在10～30m之间。

② 分支道路。布置在各个区块以内，宽度不应小于4m。路面上的净空高度不应小于4.5m。

（2）罐区道路布置　主要应该根据贮罐的容量和一个拦油（液）堤的容量确定。可以沿着所有贮罐的一个方向或者沿着两个方向铺设必要的道路。

1.2.2.4 防火堤

（1）规模　防火堤的有效容积应符合下列规定：

① 固定顶罐，不应小于罐组内一个最大储罐的容积。

② 浮顶罐、内浮顶罐，不应小于罐组内一个最大储罐容积的一半。

③ 当固定顶罐与浮顶罐或内浮顶罐同组布置时，应取以上两款规定的较大值。

（2）立式贮罐至防火堤内堤脚线的距离不得小于罐壁高度的一半，卧式贮罐至防火堤内堤脚线的距离不得小于3m。

（3）拦油（液）堤内贮罐的布置方式　设在按照（1）项规定设置的拦油（液）堤内的贮罐，不论是纵、横排列，一律不得多于两排。但单罐容积小于或等于1000m的丙B类储罐不在此限。

（4）与厂内道路的相互关系　拦油（液）堤应与厂区道路邻接。路面宽度应为拦油（液）堤内所设贮罐中直径最大的贮罐直径的1/5以上，或4m，两者取大值。若贮罐容量不到200千m，拦油（液）堤应设在不妨碍救火的道路一侧或设在邻接空地的位置上。

1.2.2.5　设备间距

（1）注意事项

① 各工艺装置区之间应该保留适当的空地。规划空地时，要使其在发生火灾时能够防止直接与起火装置靠近的装置和设施不会受到火焰加热，邻近设备中的可燃性物质也不会被辐射热引燃。由于空地的阻隔，被引燃起火的液体不会从火灾地点流到或飞散到其它设备上。

② 规划防灾空地时，要根据附近的高压装置、可燃性物质的量以及在可燃性物质发生漏泄时着火的危险程度，决定所留空地的大小，同时还应该考虑到为救火活动所必须的空间。

③ 具体规划方式。在进行具体规划时，尽可能避免把几个工区集中布置，否则容易引起重大火灾等灾害，救火工作也很困难。装有大量易燃物的设备不要集中设置。

④ 设备规划的一般注意事项。首先要决定设备布置的方式，即直线形布置、分组布置、方块式布置等。各种设备原则上应该采用水平布置方式。尽可能将设备安装在地面上，以便容易操作、确保安全。所有设备上的配管、阀门、仪表，应该根据工艺流程图确定设置的位置和方位，以免操作时出现混淆，同时要注意留出能够保证操作和便于维修的空地。注意留出能够保证装置运转和其它方面需要的净空。阀门自控仪表设施，要设在能够安全运转和操作的位置上，尽可能设在地面上。要留出将来准备扩建需用的空地。

（2）塔器类的布置　为搬运塔盘、填料、塔器附件等所需的空地应预留在地面道路的两侧。人孔应根据道路的方向、检修和操作的位置来确定方位，应设在靠近检修区的一侧。

（3）换热器的布置　应该尽可能设在地面上。在管箱一端准备抽出管束所用的空地要留在靠近道路的一侧。在壳体封头一端应留出1.8～3m的空地；在管箱一端至少要留出管束长度加1.5m的空地。在钢框架上设置换热器时，从管箱一端到平台扶手之间要留出0.9～1.2m的距离。

（4）压缩机的布置　最好设在建筑物内。压缩机房的位置最好设置在装置上风位置上。

如果压缩机用来压缩可燃性气体，最好将压缩机房设计成开放式的。墙壁和操作台的结构应能保持良好的通风。在压缩机的前后，应留出一定的空间，以便在日后检修时能够抽出连杆和活塞。

（5）钢结构和管架的布置　最好沿厂区的纵横两个方向沿直线排列。不要设在火炬等有可能成为引火源的一类设备的下风位置。管架的宽度要考虑到将来扩建的需要，一般要多留出30%的裕度。相互交叉的管架至少要留出600mm的高低差。横跨道路或铁路的管架高度不得妨碍车辆的通行。如果管架为一层，一般应把管径大的管道设在管架的两侧；在大口径管道的内侧设置工艺管道，中间设置公用工程管道。如果管架为两层，应在上层设置公用工程管道，下层设置工艺管道。

（6）仪表间的布置　原则上应设在危险性小的位置上，设在工艺装置区的一端。可燃性气体、液化烃、可燃性液体的在线分析一次仪表间与工艺设备的防火间距不限。布置在爆炸危险区内非防爆型的在线分析一次仪表间（箱）应正压通风。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1.3 安全评价

1.3.1 工艺过程的安全评价

通过安全评价设法除去各种危险性，或者采取适当的方式加以限制。一套装置是由许多个单元工艺过程经过高度的有机集合构成的。每个工艺过程又有各种不同的阶段，每个阶段对于其他阶段都会产生影响。所以整个工艺过程的安全运转是一个非常复杂的问题。因此，在评价工艺过程的整体安全性时，就要将整个工艺过程划分为若干区块，然后从安全角度考虑一个区块对于另一个区块产生的影响。

经过安全评价确定设计条件、安全措施和开车、停车条例。设计条件要保证工艺过程的安全运转；安全措施要能达到在实际运转过程中遇到工作条件多少偏离设计条件时能够恢复正常；开车、停车条例要能确保安全。

1.3.2 物料危险性评价

在化工生产过程中，要使用各种不同材料制成的设备；处理、使用、贮存各种不同的原料和催化剂；生成各种不同的中间产品、反应生成物、副产品、最终产品和废弃物。在物料危险性评价工作中，要详细了解各种物料的物理和化学性质，进而对其危险性一一进行评价。经过评价，分别采取有效的措施。

通过物料危险性评价，需对本装置中的各种物料的固有的、或潜在的危险性采取必要的安全措施。例如，各种物料中由于加热产生化学反应对于火势有助长作用的特性（过氯酸释放氧气）、爆炸分解的特性（高压乙烯）、有可能会引起爆轰的特性（高压乙烯）、产生聚合热的特性（乙烯）、自燃性（乙烯基乙炔）以及加水会释放可燃性气体的特性（碳化钙）等。

1.3.3 化学反应危险性评价

在化学反应中，有的是放热反应，爆炸反应，有的是在反应中生成爆炸性混合物和有害物质的反应。例如，氧化反应和过氧化物的反应时常会引起燃烧，有时还会生成高压而造成爆轰，结果产生剧烈的爆炸现象。卤化反应以及在制造金属有机化合物所用的烷烃化反应是在反应过程中会生成爆炸性混合物或有害物的反应。因此，必须要进行反应危险性评价，借划以危险性大的反应和普通的化学反应。A.C.Shabia 曾经将各种典型的化学反应的危险性进行过等级分类，现列于表1-5，以供参考。

在以上所列的各种反应中，除了反应本身的危险性以外，还必须要针对由于反应中的热行为失调而造成的危险性进行评价。根据在化工生产运转过程中的热行为的不同，可以将化学反应分为等温反应、绝热反应和非等温非绝热反应。

等温反应是指在反应过程中必须输入或释放热量，从而保持恒温的反应。等温反应如果是吸热反应，在热源发生故障时就会将一部分尚未达到安全程度的未反应物质送入下一道工序，造成异常反应；如果是放热反应，而又遇到冷却系统出现故障，则会使反应温度突然升高，造成事故。

绝热反应是指在反应过程中所需的热量取自投放的物料中所含的热量。绝热反应也有吸热反应和放热反应。在吸热反应中，如果热源中断，就会和等温反应一样，导致同样的不良

表 1-5 化学反应危险度分类表[8]

反应类别	危险度				
	A(危险)	B(特殊)	C(特殊)	D(普通)	E(普通)
还原反应	罗申蒙德(Rosenmund)反应〔RCOCl的Pd催化加氢还原〕 高压催化反应	锂镁加氢还原 二烷基铝加氢 低压催化还原		克莱门逊(Clemmensen)〔羟基加Zn+HCl还原〕 汞钠齐 米尔文-庞道夫(Meerwein-Pundriff)反应〔醛、酮类加羟基铝还原〕	锌-醋酸 锌-盐酸 锌-苛性钠 硫酸亚铁铵 四醋酸铅
氧化反应	臭氧分解 亚硝酸 过氧化物〔低分子物或有两到三个阳离子基团的化合物〕	电解氧化 高分子量过氧化物	次氯酸丁酯(Butyl Hypochlorid) 氯	空气或I_2(RSH→R_2S) 奥盆诺尔(Oppenauer)反应〔仲醇的丙酮化合物经间-丁氧基铝氧化生成酮类化合物〕	过氧化氢(稀释溶解) 硝酸、过锰酸盐、二氧化锰、铬酸、重铬酸盐的水溶液
烷烃化反应	乙炔的碱金属化合物 阿尔登特-埃斯特尔特(Arndt-Eistert)反应〔重氮甲烷与酰基氯作用生成重氮酮类化合物〕 重氮烷烃与醛类化合物的反应	格里雅(Grignard)反应〔卤代烷烃在无水醚中与金属镁反应，生成反应试剂〕 有机金属化合物，例如，二烃基锌、二烃基镉、脂肪族或芳烃族锂	碱金属 碱金属酰胺及其加氢化合物 醛类或酮类化合物与氰酸	碱金属的烃氧基化合物 狄尔斯-阿尔德(Diels-Alder)二烯烃反应	雷福尔马茨基(Refelmatsky)反应〔卤代酯与羰基酸的化合物在锌的作用下发生的反应〕 迈克尔(Michael)反应〔活性甲基化合物在盐基催化剂的存在下生成α-、β-不饱和羰酸的化合物〕
碳-氧反应	重氮烷烃		环氧乙烷	威廉逊(Williamson)反应〔烷氧基钠与烷基卤化物反应生成醚〕	甲醛盐酸
碳-氮反应			氰甲基化 乙撑亚胺 环氧乙烷	氯甲基化 季胺化	
缩合反应	二硫化碳和氨基乙酰胺反应生成噻唑酮		偶姻缩合 二酮与硫化氢反应 二酮与NH_2·NH_2反应生成吡唑	厄仑美尔(Erlenmeyer)反应〔由乙醛和马尿酸(苯酰胺基醋酸)反应，合成了内酯〕 佩金(Perkin)反应〔α,ω-二卤化物在烃氧基金属化合物的存在下合成活性亚甲基化合物的缩合反应〕 醋酸乙酯	采用下列催化剂进行的缩合反应：磷酸，$AlCl_3$，$ZnCl_2$，$NHSO_4$，$SnCl_4$，H_2SO_4，$NaHSO_4$，$POCl$，HCl，$FeCl_3$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

反应类别	危险度				
	A(危险)	B(特殊)	C(特殊)	D(普通)	E(普通)
				醇醛缩合反应〔乙醛与氢氧化钠作用，生成三羟基丁醛(Aldol)〕 克莱森(Claisen)反应〔酯类化合物与金属钠反应，生成β-酮酸的缩合反应〕 诺文葛尔(Knoevenagel)反应〔羰基化合物与活性亚甲基化合物以及胺类化合物和氨等进行的脱水反应〕 二酮与二胺反应，生成喹唑啉(Quinazolin) 二酮与半卡巴肼(Semicarbazide)反应，生成吡唑(Pyrazole) 二酮与氨反应，生成吡唑 氨与乙二胺反应，生成咪唑啉(Imidazoline)	
胺化反应		液氨	氨基碱金属		氨水
酯化反应	羟酸与重氮甲烷(Diazomethan) 乙炔与羧酸乙烯基酯的反应	卤化烷烃基镁(Alcoxylmagnesium)		有机，醇酸、酰基氯或酸酐烷基硫酸(Alkyl Sulfonic Acid)的碱金属盐氯亚硫酸烷基酯(Alkyl Chlorsulfite)与羧酸碱金属盐的酯交换	有机、无机，羧酸的银盐的卤化反应
腈的水溶液和酯的加水反应					腈的水溶液加水分解
简单的复分解置换反应				简单复分解置换反应	
过氧化物及过酸的制造及其反应	浓缩状态			稀释状态	
热分解		加压		常压	
施密特(Schmidt)反应		施密特反应〔羰基化合物与叠氮化氢酸在强酸的存在下反应，生成含氮化合物〕			
曼尼期(Mannich)反应				曼尼期反应〔活性亚甲基与胺类化合物作用，形成氨甲基化反应〕	
卤化反应			Cl_2, Br_2		

后果；如果是放热反应，由于反应热随同反应生成物一并被排出该设备以外，反应温度的峰值就要取决于投放物料的温度。如果投放物料的热容大，就需要添加稀释剂。遇到这种情况，最关键的问题就是要将温度维持在安全限度以内，或者设法增设二次冷却设备，以免造成事故。

在非等温、非绝热的反应中，虽有某种程度的热转移，但在反应进程中温度并不恒定。吸热反应虽然可以采用直接受火的反应器，有时却会出现焦化现象，从而造成危险。若为放热反应而又不可能使用稀释剂时，就必须对冷却表面和反应物质进行温度控制，避免温度过度升高，防止反应失控。

表1-6所列，是通用设备的危险性及其安全措施。

表 1-6 通用设备的危险性及其安全措施[8]

可能会发生的危险性	安全对策
反应的各项条件（如生成物的组成、反应压力、反应温度等）由于某种原因而发生变化，造成失控，结果使温度或压力上升，成为灾害的原因	为防止温度、压力上升，配备下列设施： 1）利用控制阀将反应物料送至安全场所的设备 2）报警或自动停车装置
在反应的同时，发生有危险性的副反应 1）生成有害物质或爆炸性物质的副反应 2）由于副反应物质的影响，使传热表面迅速遭受污染；装置内部有造成堵塞的危险 3）生成气体或挥发性物质，反应压力有上升的危险 4）副反应是放热反应，结果使释放的热量比正常反应大（例如氧化反应、卤化反应等）。当反应速度大时，危险性更大	采取以下的对策： 1）在反应物料中掺入游离的抑制剂，借以抑制异常副反应 2）如果需要防止生成爆炸性物质以及由此形成的爆炸性混合物，要设置连续检测报警装置或者其它防止危险的措施
由于反应物料的配比不当，生成爆炸性混合物	采用联锁装置，使反应物料的配比不会超过规定的范围
因投料量急剧增加，出现异常的释放热量	设置能够按照正确的给量投料的装置；冷却能力要充足
冷却效果恶化，发生危险反应 1）冷却热量与反应温度的变化成直线关系，一旦热量有急剧变化，很难控制热量 2）冷媒停止流动，反应热量升高	采取以下措施，改进冷却效果： 1）设计能够适应释放热量增大的冷却性能 2）设置在冷媒停止流动时能够自动停车的装置
由于压力升高，结果使反应速度加快，反应热增大	设置泄压装置
在反应过程中生成的液体排放困难，液面升高，造成故障	设置与蒸馏设备同样的液位控制装置
进行危险性化学反应的设备	1）与其它相同的设备布置在一起。不要靠近使用大量可燃性物质的设备 2）将非常危险反应的设备分别单个设置在防爆墙内
使用毒性或可燃性气体的反应设备	露天布置。如设在室内，要设法换气，并安装气体检测器

表1-7所列是针对各种不同的危险性采取的安全措施。

1.3.4 对于运转条件失常造成的危险性的评价

必须对运转条件的危险性进行评价，这不单指在正常情况（包括开车和停车），还包括

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 1-7 针对各种危险性的各种安全措施[8]

针对目标	一　　般　　措　　施
可燃性物质	1．在燃点以下的温度条件下进行处理 2．在爆炸范围以外的浓度状态下运转 3．如在爆炸范围以内或附近的状态下运转，应设置浓度计，或者采用稀释法、设置控制爆炸装置及爆炸压力释放装置 4．如果贮罐中的可燃性物质有可能排入大气，形成爆炸性混合物，应在贮罐排气口处装设阻火器，或利用惰性气体进行气封
特殊可燃性物质	1．氧化剂应贮存在与其它可燃性物质互相隔离的防火区内 2．禁水性物质若与水接触，会生成可燃性气体。贮存时要与水源隔离，若已生成可燃性气体，应设法置换 3．设置控制自燃性物质的冷却系统和辅助冷却系统 4．设置抑制自燃性聚合物聚合的抑制系统。设置释放聚合压力的系统 5．设计能够承受爆炸分解压力或爆炸压力的设备，设置安全装置，温度、压力控制装置
化学反应危险性	1．在可能会由于化学反应升温的设备上应设置泄压装置 2．对于有特大危险性的反应，除了要设置泄压装置以外，还要设置爆炸抑制装置，并在此装置与其它装置连接系统的导入口上设置防止爆炸传播的装置 3．在进行放热反应的反应器上装设冷却装置和急冷装置 4．在进行氧化反应的反应器上装设精确计量的输氧装置和检测输氧过量的报警装置
由于工作条件的影响造成的危险性	1．凡是难以控制的工艺过程，都要按最高危险度进行设计，同时另外装设泄压装置和反应物质的迅速排放装置 2．在高压设备上设置适当的泄压装置 3．在负压设备上采取下列基本措施： ① 对于用以防止空气侵入为主的设备，应使用仅只装设管件和阀门的结构 ② 为了保持负压，应设置适当联锁装置和压力报警装置 ③ 在采用喷射器的减压装置上，应采用水封装置进行平衡，以便在蒸汽停供的情况下保持负压 4．在高温条件下使用的设备的材料应能在相应的温度条件下保持足够的强度 5．在低温条件下使用的设备，应选用在低温条件下不会出现脆性的材料。同时还要考虑到由于误操作可能达到的低温范围 6．在粉尘或雾滴状态下运转的设备，要注意以下事项： ① 研讨有无产生粉尘爆炸的危险 ② 如果的确存在粉尘爆炸的危险，要设置泄放爆炸压力的泄压装置和防止爆炸的装置 7．对于在爆炸危险度很大的状态下运转的设备，要采取以下措施： ① 凡是使用可燃性气体或液体的设备，如果会有气体或液体泄漏，由于液体会立即气化，在一定的压力和温度的条件下会在大面积的范围内形成处于爆炸范围的气体浓度，因此，应将此类设备设在通风流畅的场所；考虑在设备的周围设置可燃性气体报警器；还可以设置与报警器连动的排放系统，以便从设备中排出内容物，同时使设备停运 ② 凡是由于爆炸会造成污染物累积的设备（例如，可能会造成乙炔积累的空气分离器），要设置消除污染物的装置（例如，在空气分离器上装设乙炔氧化装置），以及压力泄放装置和爆炸抑制装置；同时还要装设检测仪表
针对设备和装置采取的措施	1．工艺装置和设备的结构，应以最高危险条件为设计基准，借以设计成不会泄漏和破坏的结构。对于加热炉的调整方式、操作平台和梯子的栏杆以及安全爬梯等的安全性，都要进行详细研讨 2．应当设置能够在早期发现静止设备和转动机器在运转状态下发生位移和小量泄漏的仪表 3．为了防止设备在运转中由于压力上升造成爆炸，要设法采取下列措施： ① 在会有升压危险的设备上要设置泄压装置（安全阀、爆破膜、爆破门等） ② 根据具体情况，设置爆炸抑制装置 ③ 为了使设备在异常条件下仍然处在爆炸范围以外，要设置惰性气体气封系统

续表

针对目标	一　　般　　措　　施
防止气体滞留的措施	1．尽可能采用露天设备 2．如果采用室内设备，要设置通风换气装置，防止气体滞留 3．为了防止液体滞留而产生气体，在设置装置的地面上要做斜坡，并且要采用阻止液体渗透的地面结构
着火源管理	1．电气设备要适应危险区的划分，采用适当的防爆结构 2．装置内的明火（锅炉、加热炉、火炬等），除了设备自身要采用适当的结构以外，还要布置在适当的位置上 3．使用导电率低的可燃性液体时，为了防止在灌装过程中产生静电，要做接地或做接地连接 4．设置避雷针，防止构筑物因遭受雷击破坏。要做接地或做接地连接，防止产生杂散电流

由于运转条件变动可能会引起的异常状态或紧急状态的危险性。

评价的主要对象是工作条件中的压力、温度、处理量和浓度。在道（Dow）化学公司的评价法中，将评价对象分为高压或低压工艺，高温或低温工艺，使用大量可燃性液体、且在爆炸范围内或在接近爆炸范围内运转的工艺，当装置发生泄漏时有可能会发生爆炸的工艺，有可能会出现蒸气爆炸危险的工艺、有可能会积累导致爆炸的污染物的工艺，在粉尘或烟雾状态下运转的工艺，有可能会出现难以控制的工艺或反应，单纯进行物理性作业（分离、过滤、混合等）的工艺、连续式或间歇式工艺；同时列出适用的安全措施。

1.4 土建工程

1.4.1 化工装置土建工程安全设计的特点

化工厂内的土建工程可以分为建筑物和构筑物两大类。构筑物是指不属于在其中进行生产或生活活动的建筑物。由于化工装置中滞留可燃性气体和可燃性蒸气的机会比较多，容易发生火灾和爆炸，所以在化工装置土建工程的设计过程中，特别注意防火和防爆问题。化工装置中的设备多采用露天布置，所以基础一类的构筑物就成为土建工程中的重点。从安全的角度出发，除了在基础工程要注意不均匀沉降以外；在建筑物和其它构筑物的设计中则要注意防火和防爆。

1.4.2 建筑物的防火与防爆

建筑设计的防火应按照GBJ16—87“建筑设计防火规范”的规定。建筑物的耐火等级见表1-8。化工装置中的建筑物和构筑物都必须具备良好的通风换气条件以及不燃性和耐火性的结构。化工装置中安装容器和换热器的钢结构以及设置泵和压缩机用的厂房通常都采用开放式的结构。而用于装设不适于露天设置的仪表的仪表室则要采用密闭式结构，以防可燃性气体由外部侵入，与此同时，还要采用强制正压通风，地面标高应高于室外地面。

设在室内的化工设备，除了要具备上述的通风换气条件和采用耐火结构以外，还要考虑到周围环境有发生爆炸的机会，屋顶、立柱和承重墙必须按照耐爆或泄爆的原则进行设计。近年来，有的还将这类建筑物设计成完全封闭式的结构。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 1-8 建筑物构件的燃烧性能和耐火极限

构件名称		燃烧性能和耐火极限（h） / 耐火等级	一 级	二 级	三 级	四 级
墙		防火墙	非燃烧体 4.00	非燃烧体 4.00	非燃烧体 4.00	非燃烧体 4.00
		承重墙、楼梯间电梯井的墙	非燃烧体 3.00	非燃烧体 2.50	非燃烧体 2.50	难燃烧体 0.50
		非承重外墙、疏散走道两侧的隔墙	非燃烧体 1.00	非燃烧体 1.00	非燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
		房间隔墙	非燃烧体 0.75	非燃烧体 0.50	难燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
柱		支承多层的柱	非燃烧体 3.00	非燃烧体 2.50	非燃烧体 2.50	难燃烧体 0.50
		支承单层的柱	非燃烧体 2.50	非燃烧体 2.00	非燃烧体 2.00	燃 烧 体
梁			非燃烧体 2.00	非燃烧体 1.50	非燃烧体 1.00	难燃烧体 0.50
楼 板			非燃烧体 1.50	非燃烧体 1.00	非燃烧体 0.50	难燃烧体 0.25
屋顶承重构件			非燃烧体 1.50	非燃烧体 0.50	燃 烧 体	燃 烧 体
疏散楼梯			非燃烧体 1.50	非燃烧体 1.00	非燃烧体 1.00	燃 烧 体
吊顶（包括吊顶搁栅）			非燃烧体 0.25	难燃烧体 0.25	难燃烧体 0.15	燃 烧 体

注：1. 以木柱承重且以非燃烧材料作为墙体的建筑物，其耐火等级应按四级确定。

2. 高层工业建筑的预制钢筋混凝土装配式结构，其节点缝隙或金属承重构件节点的外露部位，应做防火保护层，其耐火极限不应低于本表相应构件的规定。

3. 二级耐火等级的建筑物吊顶，如果用非燃烧体时，其耐火极限不限。

4. 在二级耐火等级的建筑中，面积不超过100m²的房间隔墙，如执行本表的规定有困难时，可采用耐火极限不低于0.3h的非燃烧体。

5. 一、二级耐火等级民用建筑疏散走道两侧的隔墙，按本表规定执行有困难时，可采用0.75h非燃烧体。

6. 建筑构件的燃烧性能和耐火极限，可按《建筑设计防火规范》附录二确定。

1.4.2.1 构筑物的耐火结构

构筑物除了要考虑在起火时不被引燃以外，还要考虑不要由于火灾的热量使构筑物的强度下降、变形或遭受破坏，最后导致倒塌。耐火结构就是指能够在一定的时间内经受火灾加热的结构。

（1）结构材料的热影响　化工装置的构筑物主要采用钢结构、混凝土结构、钢架钢筋混凝土结构。使用最多的是钢结构。

现以GB150—89“钢制压力容器”中所列各种钢材的耐火强度为例，列于表1-9，以供参考。

具体钢材的屈服点在高温条件下的下降程度则因钢材的品种和制造方法而异。在评价钢

表 1-9 钢管高温力学性能值

钢号	壁厚mm	在下列温度(℃)下的$\sigma_{0.2}(\sigma_s)$ MPa										在下列温度(℃)下10万小时的σ_D MPa								
		20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	400	425	450	475	500	525	550	575	600
碳素钢钢管																				
10	≤16	205	181	172	162	147	132	123	113	108	—	170	127	91	61	—	—	—	—	—
	17～40	195	176	167	157	142	127	118	108	103	—	170	127	91	61	—	—	—	—	—
20	≤16	245	221	211	196	176	162	147	137	127	—	170	127	91	61	—	—	—	—	—
20G	≤16	245	221	211	196	176	162	147	137	127	—	170	127	91	61	—	—	—	—	—
	17～40	235	211	201	186	167	152	137	127	123	—	170	127	91	61	—	—	—	—	—
低合金钢钢管																				
16Mn	≤16	320	294	274	255	235	216	201	191	181	—	187	140	99	64	—	—	—	—	—
	17～40	310	284	265	245	225	206	191	186	176	—	187	140	99	64	—	—	—	—	—
15MnV	≤16	350	323	304	284	265	245	225	206	196	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	17～40	340	314	294	274	255	235	216	201	191	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12CrMo	≤16	205	181	172	162	152	142	132	123	118	113	—	—	—	—	111	75	—	—	—
	17～40	195	176	167	157	147	137	127	118	113	108	—	—	—	—	111	75	—	—	—
15CrMo	≤16	235	211	196	186	176	162	152	142	137	132	—	—	—	—	132	87	56	—	—
	17～40	225	201	186	176	167	152	142	137	132	127	—	—	—	—	132	87	56	—	—
12Cr1MoV	≤16	255	230	216	201	191	176	167	157	152	142	—	—	—	—	170	123	85	52	—
10MoWVNb	≤16	295	270	260	250	245	235	225	216	201	186	—	—	—	—	145	—	—	—	—
	17～40	285	260	250	240	235	225	216	206	191	181	—	—	—	—	145	—	—	—	—
12Cr2Mo	≤16	280	260	245	230	221	206	196	186	176	172	—	—	—	—	133	91	69	56	—
	17～40	270	250	235	221	211	196	186	176	167	162	—	—	—	—	133	91	69	56	—
1Cr5Mo	≤16	195	176	167	162	157	152	147	142	137	127	—	—	160	125	93	69	53	39	27
	17～40	185	167	157	152	147	142	137	132	127	123	—	—	160	125	93	69	53	39	27

材的耐火性能时，要对钢材在高温时以及经过加热后的强度性能进行对比。

（2）钢结构构件的耐火强度　钢梁、钢柱连接件或者端部约束件在遭受火灾时的性能变化又和以上所列钢材性能变化的示例有若干差异。由于构件的使用部位不同，在挠度、压缩应力、热应力和热变型等方面的性能也分别有所不同。

在进行设计时，应该使钢材在遭受火灾时实有的应力度不大于在相应的温度条件下的屈服点，也就是说，应该采用与钢材的容许温度相对应的火灾容许应力度。严格地讲，钢材的容许温度会因构件的使用部位而异，因此，耐火覆层就不可能按统一的规定施工。所以，在设计时只能规定钢材的容许温度。例如采用普通钢材制造的钢梁，应该取16kg/cm²作为长期容许应力度。在进行修正计算时，钢材的容许温度取350℃。钢柱经过按照遭受火灾时的压缩系数修正，同样也取350℃。端部约束件以构件断面在200℃的平均温度条件下承受热应力的影响造成局部破坏为极限条件，设计足够的耐火覆层，防止局部破坏。

（3）钢筋混凝土结构　这种结构的耐火性能取决于钢筋和混凝土的耐火性。钢筋的耐火性如前所述。混凝土的耐火性能则要取决于混凝土材料的品质及混凝土的配比。一般情况下，大粒径骨料的耐高温性能较高。碎石要比砂砾好。混凝土加热至450℃以上时，由于水泥砂浆产生脱水作用，使砂浆和骨料的结合力减弱。另外还由于混凝土内部的热膨胀以及化学

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

分解，使两者的结合力进一步减弱，最后导致混凝土崩溃剥落。硅酸盐混凝土的膨胀性最大，所以在高温条件下结合力的丧失程度也最大。因此，当钢筋混凝土覆层的混凝土厚度加大时，由于混凝土受热脱水剥落需要一段时间，可以延缓内部钢结构的破坏时间。如果在这段时间内将火灾扑灭，就可以起到保护钢结构不受破坏作用。

1.4.2.2 耐火结构的选用基准

在选择化工装置的耐火结构时，必须要根据装置现场发生火灾的危险度，以及发生火灾的预想情况确定。

火灾的预想情况：主要取决于燃烧物的类别。

（1）挥发性低的可燃性液体发生火灾时，大多数都是地面火灾或容器内的火灾。

（2）挥发性高的可燃性液体或高温可燃性液体发生火灾时，火焰多半是向上喷射，所以在流出点以下的部位一般不会发生燃烧。

（3）加压的可燃性液体在配管或容器破坏着火时，喷出的火焰产生火炬效应，在其周围的装置会被加热毁坏。

（4）高塔一类的设备在发生火灾时会出现烟囱效应，形成腾空烈火。

1.4.2.3 需用耐火结构的部位

化工装置中的构筑物大多是用来支持重型容器或机器的高大支架、平台、通道或管架，形式多种多样，大都有潜在的危险性。必须根据上述的火灾预想情况，选定需要做耐火结构的部位和方式。

（1）使用或处理可燃性物料的塔器等大型设备有可能因为周围出现的小规模火灾（例如，因泵或换热器泄漏造成的火灾），使塔器倒塌，造成大规模火灾，所以要在这类塔器的支架上做耐火结构（例如，塔裙、加热炉支架）。

（2）对于虽然是使用或处理不燃性物料，但是如果出现倒塌仍然会有诱发大规模火灾的可能性的塔器，同样要做上述的耐火结构（例如，使用或处理毒性物料的塔的塔裙）。

（3）设在危险区内的、安装机器的台架、管架的构筑物多半是设在可能会发生火灾的危险区内，如果这类构筑物一旦倒塌，也会造成火灾。所以需要在构筑物的立柱、横梁或支撑部位（例如，安装容器、换热器的钢架主体上的立柱、横梁；管架主体上的支撑构件等）做耐火结构。

（4）可燃性液体或液化气贮罐的支撑件（例如，球罐支腿；危险物料贮罐的支架）。

（5）在紧急状态下需要操作的配管、配线的支架（例如；紧急仪表的导线槽；油压管的支托架等）。

耐火结构的包覆范围因预想的火灾状态而异。根据以上所列的各种情况，耐火结构的施工范围一般是在地面以上5～10m的高度。

1.4.2.4 耐火覆层材料

钢结构构件的耐火结构通常采用包覆耐火层的办法。随着近年来超高层建筑采用钢结构的发展，耐火覆层材料的品种也不断增多。在设计过程中要根据具体情况，结合各种耐火材料的特征选用。在实际施工之前，应该根据有关的标准对覆层材料进行考核试验。在各种试验方法中，各测温点所示的钢材温度一般规定在350℃以下，最高取在450℃。按照有关的标准规定，在加热过程中，在相应的结构构件上不得因钢材屈服出现变形、破坏和材料剥落的现象。

表1-10所示为耐火材料的种类和特征。

表 1-10 各种耐火覆层材料的种类和特征

耐火材料种类		特征	
		优点	缺点
混凝土耐火材料	普通混凝土 轻质混凝土 轻量骨料混凝土 泡沫混凝土（浇注时发泡）	1．可以在现场浇注或制成板材 2．采用轻量混凝土浇注时，经过加热，可以制成微裂纹很少的轻量耐火材料制品	1．浇注后由于收缩出现龟裂，耐火性能降低 泡沫混凝土经浇注后收缩裂纹特大（宽度在5mm以上） 2．高强度混凝土系列制品在加热时会爆裂进飞
砂浆耐火材料	水泥砂浆涂料 重晶石砂浆涂料 轻石砂浆涂料 熟石灰、蛭石灰浆涂料	1．灰浆涂料中含有大量结晶水，在结晶水蒸发之前钢材的温度不会上升，耐火时间长 重晶石和蛭石系列的水泥灰浆的耐火时间更长 2．可以喷涂，也可以刷涂，施工时间短	1．收缩时不能避免龟裂，耐火性能因而降低，受热后龟裂程度增大，表层剥离。必须加装板条方能增大粘结效果 2．涂层中含有水分，会使钢材生锈，所以在室外装置上必须加装保护层 3．喷涂施工时必须防止喷雾飞散
石棉喷涂 矿渣棉喷涂		1．采用喷涂施工，覆层的厚度可以自由调节，施工时间短 2．无裂纹。涂层轮廓紧贴钢架外形，受热后不产生裂纹	1．比重轻，耐火性能不好 2．附着力小，容易受风雨侵蚀剥落。材料有吸水性，钢架容易生锈 3．由于有以上缺点，表面要包铁皮或涂砂浆 矿渣面的纤维长度特短，更容易剥落
硅酸钙耐火材料板 石棉耐火材料板		1．质轻。有一定的强度 2．采用粘结剂粘合，施工进度快 3．与喷涂技术比较，保养工作量小	1．采用水玻璃系列粘合剂，受雨水侵蚀会使粘合力降低 2．比重轻，吸水性高，容易使钢架生锈 3．必须防止接头部位开裂

1.4.2.5 建筑物的防火、防爆结构

建筑物的防火设计应根据GBJ16—87“建筑设计防火规范”的规定。

（1）防火门 是装在建筑物的外墙、防火墙或者防火壁的出入口上、用来防止火灾蔓延的门。防火门具有耐火性能，当它与防火墙形成一个整体后，就可以达到阻断火源，防止火灾蔓延的目的。

防火门的结构多种多样。常用的结构有卷帘式铁门、单面包铁皮防火门、双面包铁皮防火门、金属网嵌镶玻璃防火门、自动闭锁式防火门等。

（2）防火墙 是专为防止火灾蔓延而建造的墙体。其结构有钢筋混凝土墙、砖墙、石棉板墙和钢板墙，也可以采用耐火灰浆等一类的不燃性材料在一般墙体上抹制耐火层。

为了防止火灾在一幢建筑物内蔓延燃烧，通常采用耐火墙将建筑物分隔成若干小区。但是，由于建筑物内增设防火墙，从而使其成为复杂结构的建筑物，如果防火墙的位置设置不当，就不能发挥防火的效果。在一般的L、T、E或H型的建筑物内，要尽可能避免将防火墙设在结构复杂的拐角处。为了防止火灾在相邻的建筑物之间蔓延，原则上要将两幢建筑物相对的两面墙做成防火墙。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）防火壁　防火壁和防火墙同样都是为了防止火灾蔓延的目的建造的。只不过防火墙是建在建筑物内；防火壁则是建在两座建筑物之间或者建在有可燃物存在的场所。像屏风一样单独屹立。其主要目的是用于防止火焰直接接触，同时还能够隔阻燃烧的辐射热。防火

表 1-11　建筑物防火、耐火及防爆结构

类别			内容概要
防止火灾蔓延措施	防火结构	危险品制造厂的建筑物	地坪不得有台阶。墙、柱、地面、横梁和楼梯一律采用不燃性材料制造。如果着火时有向外蔓延的危险，外墙应采用耐火结构
		露天设置的危险品贮罐用的泵房	用于设置露天危险品贮罐所用的泵以及泵的附属电动机之用的建筑物或构筑物（统称泵房），其墙壁、立柱、地面应该一律采用不燃性材料建造
		危险品贮存仓库	墙、立柱及地面应该采用耐火结构。横梁应该采用不燃材料制造
		危险品室内贮存库的贮罐专用室	贮存所的贮罐专用室的墙、立柱、地面及横梁一律采用耐火结构
		设置化工设备用的建筑物	建筑物的墙、立柱、地面、横梁、屋顶、楼梯（仅限与该化工设备邻近的部分）必须采用不燃性材料建造
	防火门	危险品制造厂的建筑物	防火墙上不应开门窗洞。如果必须开设，应采用甲级防火门窗，其两侧的墙身截面厚度均不应小于12cm
		危险品贮存仓库	防火墙上不应开门窗洞。如果必须开设，应采用甲级防火门窗，其两侧的墙身截面厚度均不应小于12cm
		危险品贮存库的泵房	防火墙上不应开门窗洞。如果必须开设，应采用甲级防火门窗，其两侧的墙身截面厚度均不应小于12cm
		危险品室内贮存库的贮罐专用室	贮罐专用室不设窗户。出入口应设随时能够打开的自动闭锁防火门
	防火壁	危险品制造厂等	如果危险品制造厂未能按规定留出保安距离，应采用不燃性材料建造有防火效果的防火壁
	防火墙	危险品制造厂等的建筑物	防火墙应突出难燃烧体的外表面 40cm。防火带的宽度，从防火墙的中心线起，每侧不应小于2m
防爆措施	泄爆结构	危险品制造厂的建筑物	房顶采用石棉板、金属板或其他轻质的不燃材料建造。不设天窗
		危险品贮存仓库	房顶采用石棉板、金属板或其他轻质的不燃材料建造。不设天窗
		危险品室外贮罐的泵房	房顶采用石棉板、金属板或其他轻质的不燃材料建造。
		危险品室内贮存库的贮罐专用室	房顶采用不燃材料建造。不设天窗
	屏障壁	高压气体贮罐、处理设备	如果设备间距小于规定的距离，应建造厚度在12厘米以上的钢筋混凝土屏障壁
		高压气体压缩机	在压缩机与气体钢瓶灌装站（压缩乙炔钢瓶，或10MPa压力的压缩气体容器）之间，或者在压缩机与装好气体的钢瓶堆放场地之间，应建造屏障壁

壁不承重，所以不必具有防火墙那样强度，只要具有适当的耐火性能即可。

（4）防爆墙　防爆墙是用来保护附近的设施，免遭爆炸冲击波的压力、爆炸飞散物以及爆炸火灾的侵袭破坏。其结构必须能够充分承受爆炸冲击波的冲击，同时还要根据爆炸冲击波的性质，设置在能够充分发挥保护作用的位置上。根据通常惯例，一般是设在靠近爆炸源的位置上，借以增大保护效果。

防爆墙采用钢板、钢筋混凝土、增强钢筋混凝土预制块作为结构材料，有的还可以采用堆土的办法构筑。根据实验结果表明，以大厚度的钢筋混凝土结构的防爆墙的阻断爆炸冲击波的效果最为显著。防爆墙的本来目的就是用来防止爆炸冲击波的破坏作用，所以也没有必要来要求防爆墙经过爆炸之后仍然保持完好无损的状态，纵然出现一些裂纹也无碍于事。但是用来构筑防爆墙的材料（例如，混凝土或钢板）却不允许出现部分剥离或破碎飞散的现象。

（5）防爆泄压设施　凡是用来装设具有爆炸危险的化工装置的建筑物，必须做耐爆结构或泄爆结构，借以减少爆炸时造成的破坏。

有爆炸危险的甲、乙类厂房，应按照GBJ16—87“建筑设计防火规范”的规定设置必要的泄压设施。泄压设施宜采用轻质屋盖作为泄压面积。易于泄压的门、窗、轻质墙体也可以作为泄压面积看待。

作为泄压面积的轻质屋盖和轻质墙体的每平方米重量不宜超过120kg。

泄压面积与厂房体积的比值（m/m）宜采用0.05～0.22。

化工装置建筑物中采用的防火及防爆结构见表1-11。

1.5　塔器的安全设计

1.5.1　安全设计工作中应该注意的几个问题

化工装置是为了完成某种化学过程的装置，是一套用来将原料物质经过化学或物理处理，制成成品的生产系统。这是一套采用大量工艺设备、经过有机组合形成的统一体，也就是说，是一套完整的系统。因此，化工装置的安全也就是经过设计制成的大量工艺设备各自的安全性及其有机组合体的安全性的综合。为了确保化工装置的这种有机组合的安全性，在进行设计工作时应该从以下的角度出发进行考虑。

（1）在正常运转状态下，在各条生产线组成单元中的物料都不在爆炸范围以内。

（2）在正常运转状态下，对于可能会造成反应失控的各种因素都可以进行充分控制。

（3）在开车或停车时，要能够了解运转条件偏离正常运转条件的详细情况。

（4）要对异常状态（腐蚀、磨耗、由高压部分向低压部分的泄漏等）采取措施。

有关运转条件的确定、反应的控制方法以及与工艺过程安全有关的各项工程项目应该在初步设计阶段做出决定。

承担落实安全对策的任务，由于各个行业的企业和工程公司的组织机构各不相同，不一定非要求完全一致。但是，由于目前的化工生产技术水平不断提高，最有成效的方式是在安全专业技术人员的参与下由各个专业技术职能部门与设计部门共同研究落实安全化对策，待设计完成后再由审查部门或设计部门进行综合审查，同时听取安全专业技术人员的意见，最后定案。

在此情况下，各个职能部门之间可能会有遗漏的空白点。为了解决这个问题，可以根据

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

过去的经验或事故调查的报告，由安全专业技术人员编制出安全检查项目表，由有关的专业职能部门逐一核对，查漏补齐，以求万全。

1.5.2 一般的安全措施

针对物质的危险性、化学反应的危险性和运转条件造成的危险性，以及其他各种各样的危险性，制定具体的安全措施，如表1-5所列。表中未曾将使用或处理可燃性气体或毒性物质的设备有空气侵入或有物料外漏的防止方法列出，因为这类设备必须采用密闭式设备，应该具备防止内漏或外漏的能力。

1.5.3 设备材料

静止设备和转动机器所用的材料，应该根据工艺的流体、流速、温度和压力腐蚀性等工作条件方面的各种因素具体考虑，从耐蚀性、强度和可加工性（特别是可焊性和机械加工性）的角度出发，选择能够满足要求的材料。

在耐蚀性方面，能够在各种各样的使用环境中完全耐蚀的材料在实际中是没有的。所以只能采用能够在预想的环境中经受腐蚀的程度被控制在容许的范围以内的材料。材料的腐蚀程度分为不腐蚀、轻微腐蚀、腐蚀和严重腐蚀四级如表1-12所列。设计的腐蚀裕度（mm）取决于腐蚀速度（mm/年）。

表 1-12 设备材料的腐蚀分级表

腐蚀程度	不腐蚀	轻微腐蚀	腐蚀	严重腐蚀
腐蚀速度（mm/Y）	<0.05	0.05～0.13	0.13～0.25	>0.25
腐蚀裕度（mm）	0	≥1	≥2	≥3

很大的流速会造成磨蚀，在高温条件下材料的耐蚀性会有变化，流体中含有微量元素也会使腐蚀性增大。在选用设备材料时要充分考虑这些条件造成的影响，分别采用去除腐蚀性物质、添加防腐剂或抑制剂的辅助办法加以解决或缓解。

1.5.4 设备结构

在化工装置中，要使用不同的原料。即便使用同一种原料，原料的组分也会有变化。催化剂的钝化，也要求改变运转条件。在出现上述情况时，还要使设备的工作条件保持一定。因此，化工设备的结构，必须要根据最苛刻的工作条件进行设计。采用水或空气为冷媒的冷却设备，由于要受大气温度条件的影响，也要有同样的要求。至于反应装置，由于其工作条件要有大幅度的变化，必须采用相应的控制装置，将工作条件控制在设定的范围以内。

1.5.5 设备压力

为了叙述方便，现将设计化工设备时使用的几种压力的定义及单位的几种压力的定义及单位简单介绍如下。

（1）最大工作压力系指在正常操作情况下容器顶部可能出现的最高压力。

（2）设计压力系指在相应设计温度下用以确定容器壳体厚度的压力，即标记在铭牌上的容器设计压力，其值不得小于最大工作压力。

在进行设计计算时，已经计入了一个安全系数。各国压力容器设计规范内圆筒和球壳体计算公式及适用范围汇总表见表1-13。由表可见，压力容器壳体的设计安全系数多取在2.5～3之间。

表 1-13 各国压力容器设计规范内圆筒和球壳体计算公式及适用范围

国别	规范名称	计算公式	适用范围	安全系数			
				$n_b\left(n_b^t\right)$	$n_s\left(n_s^t\right)$	n_D	n_n
中国	GB150—89《钢制压力容器》	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]^t\phi-p}$ 球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]^t\phi-p}$	$K\leqslant1.5$；$p\leqslant0.4[\sigma]^t\phi$ $K\leqslant1.35$；$p\leqslant0.6[\sigma]^t\phi$	3.0	1.6（奥氏体不锈钢$n_s=1.5$）	1.5	1.0
	钢制石油化工压力容器设计规定 1977	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]^t\phi-p}+C$ 球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]^t\phi-p}+C$	第一篇 $p<9.82$MPa 第二篇 $p=9.82\sim98.2$MPa $p\leqslant0.4[\sigma]^t\phi$	$\geqslant3$（$\geqslant2.6$）	$\geqslant1.6$（奥氏体不锈钢$\geqslant1.5$）	最小值 $\geqslant1.25$ 平均值 $\geqslant1.5$	$\geqslant1$ $\geqslant1$
	钢制石油化工压力容器设计规定 1982及1985	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]^t\phi-p}+C$ 球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]^t\phi-p}+C$	$p<34.37$MPa	$\geqslant3.0$	$\geqslant1.6$（奥氏体不锈钢$\geqslant1.5$）	最小值 $\geqslant1.25$ 平均值 $\geqslant1.5$	$\geqslant1$
西德	AD压力容器规范1983 B 10 圆筒内壁允许设计应力 圆筒外壁允许设计应力	圆筒 $\delta=\frac{pD_o}{2.3[\sigma]^t\phi-p}+C$ $\sigma_i=\frac{p(D_o-\delta_o)}{2.3\delta_o}<[\sigma]$ $\sigma_o=\frac{p(D_o-3\delta_o)}{2.3\delta_o}<[\sigma]$	$1.2<K<1.5$		(1.5)		
英国	BS 5500非直接火压力容器 1982	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]-p}$ 球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]-1.2p}$	$K\leqslant1.3$ 碳钢、碳锰钢低合金钢 奥氏体不锈钢	$\leqslant50$℃ 2.35 $\geqslant150$℃ 2.35 $\leqslant50$℃ 2.5 $\geqslant150$℃ 2.5	$\leqslant50$℃ 1.5 $\geqslant150$℃ 1.5 $\leqslant50$℃ 1.50 $\leqslant150$℃ 1.35	1.3	
瑞典	国家工业安全局：压力容器规范 1967	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]\phi}+C$ 球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]\phi}+C$	$\frac{\delta_{min}}{D_i}\leqslant0.05$		1.5		

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

国别	规范名称	计算公式	适用范围	安全系数 $n_b\left(n_b^t\right)$	安全系数 $n_s\left(n_s^t\right)$	安全系数 n_{ll}	安全系数 n
日本	压力容器的构造 JIS B 8243—1981	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]^t\phi-1.2p}$ $\delta=\frac{p}{2}\left(\sqrt{\frac{[\sigma]^t\phi+p}{[\sigma]^t\phi-p}}-1\right)$ 球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]^t\phi-0.4p}$ $\delta=\frac{D_i}{2}\left(\sqrt{\frac{2[\sigma]^t\phi+p}{2[\sigma]^t\phi-p}}-1\right)$	$p\leqslant 29.46$MPa $\frac{\delta}{D_i}\leqslant 0.25$, $p\leqslant[\sigma]^t\phi/2.6$ $\frac{\delta}{D_i}<0.25$, $p>[\sigma]^t\phi/2.6$ $\frac{\delta}{D_i}\leqslant 0.178$, $p\leqslant[\sigma]^t\phi/1.5$ $\frac{\delta}{D_i}>0.178$, $p>[\sigma]^t\phi/1.5$	(4)	(1.6)	(1.5)	1
日本	JIS B 8248—1967 压力容器用多层卷圆筒	$p=\frac{200}{\sqrt{3}}\sigma_a\frac{1}{n_b}\phi\left(2-\frac{\sigma_s}{\sigma_b}\right)\ln K$	<350℃	3.2			
	三菱重工卷板式容器制造规范 1965	$\ln K=\frac{\sqrt{3}\,n_b p}{200\sigma_a^t\left(2-\frac{\sigma_b^t}{\sigma_s^t}\right)\phi}$		3.2	1.8		
	高压气体协会：高压设备和机器壁厚计算标准	$p=\frac{200}{\sqrt{3}n_s}\sigma_a a\,\phi\left(2-\frac{\sigma_s}{\sigma_b}\right)\ln K$	$p\leqslant 343.7$MPa 卷板式容器	3.0			
苏联	高压容器材料、强度计算标准和方法暂行技术指导资料（草案）	$p=[\sigma]\phi\eta\ln K$	$p\leqslant 98.2$MPa	3.0 2.6 2.6	1.8 1.5 1.5	备注 150～200℃ 201～300℃ 301～400℃	
美国	ASME锅炉及受压容器规范Ⅲ 1986 一级部件 注：右列公式只是进行分析设计前帮助设计者得出一个设计中使用的试用厚度，但分析后也决不得小于右列公式所求得的厚度	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]-p}$ 球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]-p}$		(3)	(1.5)		
	二级部件	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]-1.2p}$ $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]+0.8p}$	(1) 周向应力（纵向接头） $\delta\leqslant\frac{D_i}{4}$, $p\leqslant 0.385[\sigma]$ (2) 纵向应力（环向接头） $\delta\leqslant\frac{D_i}{4}$,	(3)	(1.5)		

续表

国别	规范名称	计算公式	适用范围	安全系数 n_b	n_s	n_D	n_a
美国	二级部件	球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]-0.4p}$	$p\leqslant1.25[\sigma]$ $\delta\leqslant0.356R_i$ $p\leqslant0.665[\sigma]$				
	ASME 锅炉及受压容器规范 Ⅷ-1 1986	圆筒 $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]\phi-1.2p}$ $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]\phi+0.8p}$ 球壳 $\delta=\frac{pD_i}{4[\sigma]\phi-0.4p}$	<3000磅/英寸² (20.62MPa) (1) 环向应力 (纵向接缝) $\delta\leqslant D_i/4$； $p\leqslant0.385[\sigma]\phi$ (2) 纵向应力 (环向接缝) $\delta\leqslant D_i/4$； $p\leqslant1.25[\sigma]\phi$ $\delta\leqslant0.356R_i$ $p\leqslant0.665[\sigma]\phi$	4.0	1.5	1.5	1.0
	ASME Ⅷ-1 附录 Ⅰ—1986	圆筒 $\delta=R_i\left(\sqrt{\frac{[\sigma]\phi+p}{[\sigma]\phi-p}}-1\right)$ $\delta=R_i\left(\sqrt{\frac{p}{[\sigma]\phi}+1}\right)$ 球壳 $\delta=R_i\left(\sqrt[3]{\frac{2[\sigma]\phi+p}{2[\sigma]\phi-p}}-1\right)$	(1) 环向应力 (纵向接缝) $\delta>D_i/4$； $p>0.385[\sigma]\phi$ (2) 纵向应力 (环向接头) $\delta>D_i/4$； $p>1.25[\sigma]\phi$ $\delta>0.356R_i$ $p>0.665[\sigma]\phi$				
	ASME锅炉及受压容器规范 Ⅷ-2 1986 计算的最小壁厚取①、②、③中的最大者 注：F为在设计点上的壳体壁内的径向薄膜力	圆筒 ① $\delta=\frac{pD_i}{2[\sigma]-p}$ $\ln\frac{(R_i+\delta)}{R_i}=\frac{p}{[\sigma]}$ ② $\delta=\frac{\frac{1}{4}pD_i+F}{[\sigma]-0.5p}$ ③ 须考虑对轴向结构的不稳定性或翘曲	$p\leqslant0.4[\sigma]$ $p>0.4[\sigma]$ F为正值并$>0.5pR_i$ F为负值	(3)	(1.5)		
西德	AD 压力容器规范 1983 B1	圆筒 $\delta=\frac{pD_o}{2[\sigma]^t\phi+p}+C$ 球壳 $\delta=\frac{pD_o}{4[\sigma]^t\phi+p}+C$	$K\leqslant1.2$		(1.5)		

1.5.6 压力容器

化工厂中所用的压力容器是指设计压力≥0.1MPa的容器。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1.5.6.1 规范

根据GB150“钢制压力容器”的规定，该标准适用于设计压力最高为35MPa；最低为0.1MPa的钢制压力容器。设计压力≥35MPa≤70MPa的压力容器国家标准正在制定中。设计压力低于0.1PMa的容器则属于正常容器，有关的国家标准亦在编制中。

GB150“钢制压力容器”不适用于：

（1）直接火焰加热的容器。

（2）受辐射作用的容器。

（3）经常搬运的容器。

（4）与旋转或往复机械连在一起自成体系的、或作为组成部件的压力容器。

（5）设计压力低于0.1MPa的容器。

（6）真空度低于0.02MPa的容器。

（7）公称容积小于450L的容器。

（8）要求做疲劳分析的容器。

（9）已有其它行业标准管辖的容器。

1.5.6.2 内压容器

在设置安全阀时，容器的设计压力应不小于安全阀的开启压力。

1.5.6.3 外压容器

当采用仪表控制内压时，设计外压应取内、外压的最大压差为最高工作压力。若无法取压差值时，则应取0.1MPa为安全真空值。

1.5.6.4 高压厚壁容器

需要具备特别高的安全性。此类压力容器与一般的压力容器不同，会产生各种各样的应力。在封头与筒体、筒体与接管嘴的结合部位如果存在不连续部分，则会产生不连续应力；当存在温度梯度时，由于热膨胀率的不同，会产生热应力。当此类应力虽然达到材料的屈服点、但尚未造成破坏时，称为一次应力。如果再加上其它原因产生的应力从而使环箍破坏时，称为二次应力。出现这种情况，就会造成设备弯曲。因此，在设计时要进行高精度的应力分析。进行这样的应力分析时，可以根据ASME第Ⅷ篇第2章的有限因素法进行。

1.5.7 锅　炉

1.5.7.1 规范

锅炉的设计必须按照1980年7月11日原国家劳动总局颁布的“蒸气锅炉安全监察规程”第三章“结构”中的规定。

1.5.7.2 锅炉安全

在化工厂中，锅炉用于发生蒸汽，是公用工程中的一项重要设备。从安全角度来看，蒸汽是一种不活泼气体，用来吹扫或稀释可燃性气体，不但价格便宜，而且可以获得良好效果，不论是在正常还是异常情况，都可以使用。

最近，锅炉的用途已经不仅局限于单纯地向其它设备供给蒸汽，还用来与发电机配套，作为厂内自备的备用发电装置，以备万一厂内供电系统发生障碍时作为临时电源使用。从安全的角度看，锅炉本身的保安装置已经可以保证锅炉的安全运转。所以在设计工作中主要是要将锅炉设在万一发生火灾或爆炸事故时不会受到影响的地区。

1.5.8 换 热 器

1.5.8.1 规范

非直接受火的钢制管壳式换热器的设计应按照GB151—89“钢制管式换热器”的规定。

1.5.8.2 换热器的安全

换热器有各种各样的形式。化工厂采用的换热器主要有管式换热器（包括浮头式、U形管式和固定管板式换热器）和空冷式换热器。

如果换热器选型不当，由于膨胀作用，会产生剧烈的爆炸事故；还容易出现由高压部分向低压部分泄漏，从而引起爆炸的事故。特别是在冷却器中出现可燃性液体漏入冷却水中时，则会造成火灾、爆炸或水质污染事故。

换热器在安全方面的主要问题是易受腐蚀。虽然一般的换热器基本上不会由于物理作用产生腐蚀。但在冷凝器或冷却器中，由于在冷凝部位产生应力集中现象，从而造成严重的腐蚀。应力集中出现在管子根数最多的最外面的一层管子。这可能是在组装管束时形成的残余应力造成的。冷却器中使用海水冷却的管子，除了海水本身有腐蚀之外，也经常出现压力腐蚀现象，这可能是由于海水污染沉积的水垢附着在管子上，从而使冷却效率降低，结果使管子的温度上升、热应力增加的结果。

空冷式换热器的进口管的流速增大时，容易造成冷凝部分的腐蚀或磨蚀。因此，最好是将脱硫用的反应器的流出流体的平均线速度调在3.0～7.5m/s，冷凝器的平均线速度调在17m/s以下。

1.5.9 配 管

1.5.9.1 规范

化工厂配管的防火设计参照“石油化工企业防火设计规范”中的有关规定。

1.5.9.2 配管安全

配管通常是泛指管子、阀门和法兰等管件的总称。化工厂需用的配管的数量很大，要想将在各种条件下使用的配管毫无遗漏地进行充分保养恐怕很难办到，因而也就很容易造成不规则的腐蚀和磨蚀。由于腐蚀造成泄漏而引起火灾和爆炸的事例在化工厂和炼油厂中是众所周知的事实。从腐蚀的类型看，在各种装置的配管中，以全面腐蚀最多，属第一位；其次是局部腐蚀和特殊腐蚀。据报告，腐蚀率的上限平均为0.2～1mm/y。从配管的用途看，以用于输送海水的腐蚀程度最大，用于输送汽油、河水以及硫酸等物料的配管次之。按装置的类别划分，以冷凝器、冷却器的冷却水配管（包括海水和河水配管）、精馏塔的汽油气化管和加热炉出口的输送管等遭受腐蚀最为常见。

配管的腐蚀一般出现在以下所列部位：

（1）配管的弯曲部位、拐弯部位、流线形管段中有液体流入而流向又有变化的部位，都容易产生腐蚀。

（2）产生气化现象时，与液体接触的部位较比与蒸气接触的部位更容易遭受腐蚀。

（3）在排液管中，经常没有液体流动的管段经常会出现局部腐蚀。

（4）在有温差的状态下使用的液体或蒸气配管经常会出现剧烈的局部腐蚀。

（5）埋设管线外部下表面最容易产生迅速腐蚀。

在以上所列的配管中，若有内容物急速流动，出于腐蚀和其它方面的考虑，在设计时应

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

该计入腐蚀裕度。腐蚀裕度应根据配管的种类、用途和腐蚀程度取值，通常取在1.5～6mm的范围以内。

在塔器类的连接配管中，为了防止出现事故，要从安全的角度出发，考虑阀门的装设位置。在布置排液管、管道过滤器和法兰盖时，应按照相应标准的规定。

有关配管的安全措施如表1-14所列。

表 1-14 配管的危险性及其安全措施

出现的危险性		一 般 措 施
由于材料被腐蚀造成的破坏	由于在高温条件下配管的强度不足造成的破坏	1．温度增高，抗拉强度和屈服点下降，在 350℃ 以上的温度条件下不要使用碳钢 2．要求高温强度时，350℃以下使用沸腾钢或半镇静钢的配管；在350℃时，应根据不同的温度分别使用镇静钢、铝钢、Cr-Mo钢和不锈钢
	低温脆性破坏	要使用没有低温脆性的奥氏体不锈钢以及铝、镍铜合金的配管。一般情况下，－45℃以上时使用铝镇静钢和硅镇静钢；－45℃～－100℃ 使用低镍钢；－100℃ 以下使用奥氏体不锈钢、9％镍钢、渗铝钢
	腐蚀性流体的破坏	1．针对海水配管的盐分腐蚀破坏，要使用可锻铸铁管、水泥砂浆衬里管，并在两者的外表面做焦油或沥青包覆层 2．针对硫化氢的腐蚀，根据不同的温度条件，分别使用铬钢、不锈钢或渗铝钢 3．在高温条件下的氢脆性显著，要用 Cr-Mo钢 4．针对硫的腐蚀，根据腐蚀的程度不同，分别采用 5 Cr-、7 Cr、9 Cr钢管
	流体磨蚀造成的破坏	虽然可以使用 5 Cr-0.5Mo钢、13Cr钢，但在高温条件下效果很小。采用 18-8 不锈钢耐磨蚀的效果很好
	应力腐蚀造成的破坏	采用渗铝钢
	高温氧化腐蚀	在高温配管中，为了防止高温氧化，要用奥氏体不锈钢管、5 Cr或 9 Cr 钢管
	埋设配管由于腐蚀造成的破坏	1．为了防止由于水分造成的破坏，要在配管的外表面做沥青包覆层，采用镁电位差防腐法或选择排流器防腐法 2．针对由于水分造成的破坏，要在配管外面做沥青包覆层，采用 Mg 电位差防腐法或选择排流防腐法防腐
由于移动造成的破坏	由于热收缩造成的破坏	由于管内流体和管外温度的变化，使配管产生伸缩，针对这种现象，应敷设弯管。大中径的管子，弯管的曲率半径应取在配管直径的 4 ～ 5 倍以上。也可以设膨胀节或挠性管
	振动破坏	由于往复泵的脉动作用以及过小节流孔引起的振动，会使台架等设施产生接触摩耗，结果会造成疲劳破坏。针对这种现象，要在配管的支托架上敷设适当的配管、弯管或膨胀节，借以消除振动
	地基沉降和地震造成的破坏	1．选择适当的埋设位置埋设配管，或将立管做成挠性管 2．针对地震破坏的影响，在配管的整体系统中设置适当的弯管，同时设置适当的支托件，防止破坏
异常压力造成的破坏	由于误操作产生异常高压，造成破坏	1．在高压系统和低压系统之间的接点处设置止回阀 2．设置安全阀、爆破膜。在塔器的配管接点部位安装安全阀。在液化气的配管系统中安装安全阀。在高压气体的导管中要安装安全阀
	由于在配管中产生分解反应产生的异常压力	1．在乙烯和过氧化物的配管中，可能会出现突发的分解反应，造成异常高压，因此，要在塔器和配管的接头处以及在压缩机和进气口之间的换向阀处装返阻火器 2．在乙烯和氧气的配管中，根据规定，要限制气体的流速和压力

续表

出现的危险性		一　般　措　施
其它	防止静电灾害	将配管接地或作接地连接。在油轮用的装、卸油配管和陆地上的配管的接点处，要在陆地部分的适当的位置上装设绝缘法兰并将配管作导电连接
	防止爆炸性杂质积累造成的灾害	例如在乙烯配管中若有微量铁粉，就有可能成为引爆的介质。因此，在此类配管中，就要采用无积尘部位的结构。同时，还要将配管做成能够进行内部清扫的结构
	防止由于杂质或夹杂物造成事故	在泵和阀门的进口装设管道过滤器

1.5.10　贮　　罐

1.5.10.1　规范

有关化工厂贮罐方面的防火防爆规定参阅“石油化工企业防火设计规范”中的有关规定。

1.5.10.2　贮罐安全

化工厂的贮罐有多种多样，分别用于贮存原料、中间产品和成品。在大型炼油厂中，贮罐在设备中占有很大的比例。例如，在日产30万桶的炼油厂中，原油贮罐的容量为200万m^3。如果包括成品贮罐在内，必须要有400万m^3的容量，按占地面积换算，占地约90万m^2。化工厂虽然没有像炼油厂那样规模的贮罐设备，但所贮存的物料多为有腐蚀性的或有毒性的。在贮存方面的问题也较多。

表1-15所列是各种类型的贮罐及其特点和用途。

表 1-15　各种贮罐的安全特性

贮罐类型	结构及其使用范围	安　全　特　性
锥顶罐	圆顶立式贮罐，适于在常压或接近大气压的条件下贮存用。建造费用便宜	贮存挥发性液体时，由于呼吸作用蒸发气从排气口大量逸散（约5%）。罐内形成的爆炸性混合气体，预防火灾困难
球顶罐	仅只罐顶是圆形的，其他同锥顶罐。可以在稍高的压力下使用（压力在350mm水柱左右）	1．可以用来贮存汽油一类的挥发性高的液体。遇到破坏性引燃时，爆炸的危险性要比锥顶罐大 2．可以用氮气一类的惰性气体在液面上进行气封，借以防止内容液体的氧化、分解或聚合
浮顶罐	贮罐有浮顶。浮顶与贮罐内壁之间有密封结构。浮顶可以随同液面自由升降。用于贮存原油、航空燃料油和汽油等	1．由于液面随同罐顶升降，几乎没有蒸发损耗和爆炸性混合气体，所以火灾危险性很小 2．在降雨和降雪量大的地方，浮顶有下沉的危险 3．若采用机械密封，遇到地震时贮罐会成为引火源
地下罐	在地下建造的贮罐，多为圆筒罐。用于在市区地面狭窄的地段贮存可燃性气体	1．由于贮罐建在地下，温度变化少，可以有效地预防火灾 2．由于贮罐要受到排气和地下潮气的侵蚀，一定要注意防腐
球罐	由于结构方面的有利条件，可以贮存高压物料。用于贮存在常压下不能贮存的液化气和城市煤气。有利于在常温高压下作贮存之用	1．球罐比圆筒罐的强度高，壁厚小 2．若用于贮存液化石油气等一类的可燃性液体，必须要采用耐火结构，也可以设置喷水灭火设施

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

贮罐类型	结构及其使用范围	安　全　特　性
低温罐	单层壁或夹套壁贮罐。有保冷层。用于在低温常压下贮存液化气和沸点温度极低的乙烯、液化石油气和液化天然气	1．由于是在常温或在低温条件下贮存，缓和了对容器本身要求的苛刻条件。适合于贮存大量物料 2．由于压力在0.01～0.005MPa，贮罐在破坏时不会出现爆炸的危险性，流出的液体处于低温状态，气化时要从周围环境中吸收大量的热量，所以不易大量扩散。如果建有拦液围堰，能够减少由于扩散造成的火灾 3．缺点：保冷材料从大气中吸收潮气，从而使保冷性能劣化

针对各种类型贮罐的危险性，列出相应的安全措施，如表1-16所列。

表 1-16　各种贮罐的危险性及安全措施

出现的危险性		一　般　措　施
锥顶罐	贮罐超压或由于产生负压造成破坏的危险	1．根据内容液的挥发性，设置适当的排气口或安全阀 2．采用可以从上方泄压的罐顶 3．设置喷水设施，防止由于外界气温上升、产生蒸气而造成超压
	由于罐内产生的爆炸性混合气体引燃产生爆炸的危险	1．使贮罐与其他设备保持适当的距离，以减少火灾蔓延，便于消防活动 2．在排气管上装设阻火器 3．装设接地系统，防止由于静电积累、雷击或者由于产生火花形成引火源。将灌输口设在面对检尺口的对面一侧 4．设置灭火用的固定式灭火器
	由于腐蚀等各种原因造成泄漏危险	1．设置拦油(液)围堰，防止漏液流出扩散 2．针对腐蚀性液体以及在液体中掺杂的腐蚀性物质，采用耐蚀性材料制造贮罐壳体，或在贮罐中做耐蚀衬里 3．为了防止罐底接触地面产生电腐蚀，在贮罐底板外侧涂防锈涂料；并在与罐底接触的基础上10mm的范围内浸涂含硫量低的重油或沥青 4．为了防止液面异常上升，除了要装设能够大致测出液量的液位指示计以外，还要设置检尺口，以便准确检测液量
	由于呼吸作用的影响，在液体中混入水分，从而使水分漏入连接在贮罐上的其它装置	1．在罐底装设排水管 2．装设升降管，使水分可以直接返回到加热装置
	由于结构和强度不适配，造成贮罐破坏	1．采用足够的强度和结构(耐震、耐风压结构) 2．采用铸钢制造的贮罐专用截止阀。凡是与配管连接的接头一律装设缓冲装置，防止损坏贮罐
球罐	由于气温上升，球罐温度升高	1．装设喷水冷却装置 2．装设泄压装置 3．设计压力取球罐(裸罐)壳体温度在55℃时的液化气压力
	由于装灌过量造成破坏	装设液位计，加装自动止回阀，从而可以预先知道液量，有时还可以装设防止装灌过量的安全阀
	由于在贮罐上连接的配管破坏造成大量漏泄。	装设紧急断流阀和执行机构
	由于发生火灾，使贮罐受热，温度上升，使球罐破坏	1．设置冷却球罐用的喷水冷却装置，在球罐的支腿上装设隔热保护层 2．留出安全距离

续表

出现的危险性		一 般 措 施
低温罐	低温脆性造成破坏	选用无低温脆性的材料 -46℃以上(丙烷)采用铝镇静钢；-46℃以下采用2.5或3.5%镍钢；达到-196℃(天然气)时采用9%镍钢或渗铝钢
	贮罐与基础连接的部分由于土地中的水分冻结将罐底拱起，或者由于基础的温差造成弯曲破坏	1. 在罐底浇灌隔热性强的珍珠岩混凝土，作为保冷层 2. 在基础中预留缝隙通道，使空气能够通畅流通，或者在基础中预埋电加热设施；或者敷设防冻液的循环管路
	气温上升，结果使罐中的内压上升，造成夹套壁罐的内壁破坏	1.利用压缩机打循环，使罐内蒸气重新液化，防止内压上升
	由于内层壁破坏，造成泄漏危险	1. 在内、外壁之间的保冷材料层中封入干燥氮气，防止保冷材料吸湿，借以使漏出的可燃性气体不会生成可燃性气体 2. 装设爆炸性混合气体检测器，检测内壁与外壁之间有无爆炸性混合气体 3. 设置拦油(液)堤
	邻近的火灾蔓延造成的危险	留出足够的安全距离

1.6 有毒物质的扩散与卫生保健[10],[1]

1.6.1 污染暴露源对健康的危害

化工厂中有毒及有害物质污染释放暴露源是对工人及技术人员（特别是对工人）健康极大的威胁。这是一种慢性积累中毒，发现症状往往需要几年甚至更长的时间，但是，一旦出现症状，也就很难根治，而中毒的人数又不会是少数几个。所以已经引起国内外的注意与研

表 1-17 化学工业有害物质暴露源

	间歇或连续	是否偶然	工人是否参与操作	重要程度	控制办法*
泄露扩散					
泵密封泄露	间有	否	否	高	M
法兰泄露	连续	否	否	低	M
搅拌器密封泄露	间有	否	否	中	M
阀杆泄露	连续	否	否	高	M
工艺操作					
取样	间歇	是	是	中	W,E
换过滤器	间歇	是	是	低	W,P
测量液位	间歇	是	可能	低	E,W
排气及火炬燃烧	间有	否	否	中	E
挤出成型	间有	否	是	中	E
材料处理					
加入固体物料	间歇	是	是	中	
倒灌液体	间有	否	否	高	E
装袋	连续	否	是	高	E
装桶	连续	否	是	高	E,W

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

	间歇或连续	是否偶发	工人是否参与操作	重要程度	控制办法*
抖袋	间歇	否	是	高	E.W
筛分	连续	否	否	中	E
敞口搅拌	间歇	否	否	中	E.P
Baumbury搅拌	间有	否	是	高	E.P
磨碎	间有	否	否	中	E.P
维修					
打开设备	间歇	是	是	高	W.P
仪表管线排液	间歇	是	是	中	W.P
焊接	间歇	是	是	高	E.W.P
涂漆	间歇	是	是	中	W.P
喷砂	间歇	是	是	高	E.P
包绝热层	间歇	是	是	高	W.P
拆绝热层	间歇	是	是	高	W.P
化学清洗	间歇	是	是	中	W.P
清洗油脂	间歇	是	是	低	E
切割及灼烧	间歇	是	是	中	W.P
装卸催化剂	间有	是	是	高	W.P
废弃物处理					
袋库清扫	间歇	是	是	高	P
废液及污水排气	间有	否	否	高	E
清扫喷溅液体	间歇	是	是	中	P
扫地	间歇	是	是	低	W
焚烧	间有		可能	中	E
废水处理	连续	否	否	中	E
废渣处理	间歇	是	是	中	W.P

*M. 维修——主要是指进行监控，采用更换泵密封、重装阀门压盖填料、紧固法兰、堵住风管上的洞眼的办法进行修理。
P. 人身保护——采用净化空气的办法，如果属于短时间的有害性的操作，一般采用配戴防毒面具的办法。
W. 注意工作方法——站在有害物质释放源的上风侧；不要使挥发性的有害物质泄漏在地面上。
E. 技术措施——改进设备或工艺，防止或控制有害物质的释放，例如，焊接管接头，采用气密泵、废气清洗洗器，对废液排放系统进行密封以及局部通风换气等一类的办法。

究（见表1-17）。由表可见，在化工厂中可能出现的有毒物质的释放源来自泄漏、工艺操作、材料处理、维修和废弃物处理，其中最难处理的是少量的、经常性的泄漏。在设计工作中，要想达到安全的目的就必须对于这些可能出现的污染释放源加以注意并提出控制措施。

各种常见的催化剂对人身健康的影响见表1-18。

表 1-18 各种催化剂对健康的影响

催化剂名称	对健康的影响
氧化铝(Al_2O_3)	公害
氯化铝	分解HCl，有刺激性
烷基铝	与肺接触造成急性灼伤
氧化铬(CrO_3)	Cr_3^+，低毒，可能会转化为Cr_6^+，有毒，致癌
钴	刺激肺
碳酸氢钴($CoH(CO)_4$)	急性呼吸系统症兆
三氧化二铁(Fe_2O_3)	铁末沉着
钼化物	肺尘病
镍化物	硫化低镍(Ni_3S_2)可能致癌
碳酸镍	急性呼吸系统症兆
铂及其化合物	低毒，皮炎
氧化钍	低毒，有放射性
铀	肾损伤
钒	刺激呼吸系

化工厂的污染暴露源有以下几种。

1.6.1.1 泄漏释放源

这是指盛装物料密封不严之处的跑料。从法兰和密封处的漏料量虽然微不足道，累积起来却是一套设备的主要泄漏源，结果会

使局部的污染浓度超标，形成对人体有害的暴露源。有些泄漏源如若不加控制，时间一长则会形成大量泄漏，例如，阀杆处的泄漏如不及时检修，天长日久，就会形成大漏。另有一些泄漏源，例如，泵密封泄漏，虽然一般的漏量很小，但是，如果不加维修，就会造成整个密封破坏。从总的情况看来，在维修保养作业良好的装置中，泵和阀门造成的泄漏要比法兰重要得多。出于上述原因，一般总是将监控和维修的重点放在泵和阀门上，但是如果发现法兰有可疑泄漏，也应引起重视。总之，泄漏虽然不会造成灾难性的密封破坏，但是工人持续接触则会对健康造成危害。有的泄漏释放源本身纵然不会超标，但是多种释放源叠加，却会超标。

1.6.1.2 各种不同的释放源

工艺操作现代化的化工厂都是采用计算机控制，因而常规的操作工不会接触原料、中间体和成品。但是，总还有若干需要工人直接接触工艺物料的工作。在工艺物流中取样就是一个例子。虽然依靠装设在线分析仪可以大大减轻工人取样的工作量，但是仍然还有需要工人取样的时候，例如，在需要检验在线分析仪的性能的时候，以及在没有安装在线分析仪的场合。如果在取样时要将易挥发的液体放入取样管中，在取样时就会承受暴露接触。如果在取样时是通过一套循环管路将试样放入一个取样瓶中，暴露接触的程度就会很低。

在化工过程中，大多数过滤器都是轻易不会更换的，或者是采用自动反向冲洗的方式清洗，所以很少会产生污染暴露的问题。然而仍然有不少过滤器需要采用人工进行更换或清洗。如果有这样的操作机会，而操作工人又不遵循正确的操作方法，那就会出现严重的污染暴露。如果在打开过滤器之前先将过滤器中的有毒物质排放干净，再根据需要进行清洗或吹扫，那么在打开过滤器的时候就不会有严重的污染暴露接触。如果过滤器中采用的是纸滤筒，不论采用冲洗或吹扫的办法都不会将挥发性物质除净，在更换这样的滤筒、并且暂时存放时，就会缓慢释放有毒气体。

贮罐中的液位测量工作经常都是自动进行的。但是，偶尔也要采用人工的办法进行。这就需要从贮罐顶部的一个小开孔中放下一根标尺进行测量。即便已经装设了自动液位检测系统，有时也要采用人工的办法进行校验。在打开贮罐顶部测量孔的盖子的时候，根据贮存液体的不同，或多或少要释放出一些蒸气。如果手头没有防毒面具，操作工人就要站在测量孔的上风位置进行操作。

废气排放管和火炬管是用来将安全阀释放的污染物输送到工作区以外之用的。但是，有时候排放管口的标高却刚好处于和操作平台或相邻设备的操作平台同等高度的位置上。在这种情况下，操作工在处于下风位置时，就会遭受污染暴露的侵袭。如若这种操作平台不是经常使用，由于废气排放口排出的废气积累，等到操作工登上操作平台操作时，就会使操作工丧失操作能力，甚至造成操作工跌落。贮罐只有在接料装灌时方才进行排气，所以时常会发生这样的事故。经常采用的措施是加高排放口的高度，使其高出操作平台，或者多花一些费用，将排放的尾气进行一次洗涤处理。

挤出作业是固体产品经常采用的一种方式。塑料就是从密闭的生产系统中出料的。在挤压出料时，聚合物一般处于高温状态，其中所含的添加剂和低聚物在高温下都是易挥发性的物质。结果就在挤压头处产生烟雾。这种烟雾骚扰操作人员，增加厂房的清扫工作量。根据烟雾组分的不同，严重时会造成健康灾害。如有需要，要进行局部通风换气，同时还要进行精确的温度控制，借以控制气溶胶的生成。

物料在工艺装置中连续移动没有任何机会向外释放，也不会产生泄漏。但是在某些物料使用的过程中不能单靠盛装物料的容器。只要是将物料从贮存容器中放出，或者装入容器之

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

中贮存，就会有一定程度的泄漏。液体物料存入固定罐中，要排挤出一定量的空气，为了避免贮罐过压，就要将被排挤的空气排放至大气。

在装桶、装灌罐车的过程中，容器在一开始的时候是空罐。装灌的物料会有部分挥发。挥发量的大小取决于装灌的时间长短。喷洒装灌时，物料从罐顶处的灌装管口离开装灌设备，以自由落体的方式落入罐底，挥发性物质的挥发量较大；采用浸入式灌装法进行灌装时，罐中的液位逐渐上升，没有溅洒现象，挥发量较小。

在移送液体物料时，产生的蒸气可以采用捕集的办法收集起来，然后送到高位排气管排放或送至火炬中燃烧。也可以送回贮罐中。还可以采用冷却的方法使其液化，然后送回贮罐。

在物料处理的过程中，敞口搅拌可以使蒸气扩散。在间歇生产工艺过程中，有时要在敞口容器中加入固体物料。由于液体会蒸发，在加入固体物料时，容器上部的气体会被加入的固体物料排挤，一部分蒸气从罐顶的开孔或从敞口上部挥发。挥发物质的释放量取决于温度、液体的挥发性、搅拌程度、固体物料的加料速率以及敞口的大小或容器顶部开孔的大小。控制的方法经常是采用局部通风排放废气的办法，在容器上口形成负压，还可以采用旋转阀一类的密闭式加料系统。

固体物料的搬运一般是采用敞开搬运的方法。一方面是因为都认为固体物料加料造成灾害的机会较小，另一方面是因为设计全密闭的固体物料搬运系统比较困难。采用密闭式物料搬运系统时，经常是在流态化的状态下利用气力搬运。采用这种搬运方法时，污染物质的释放机会与移送液体的情况相似。在圆筒仓和料斗中加入固体物料时会排挤出一部分空气，其中含有粉尘。另一方面，用于气力输送的空气必须要从搬运物料的容器中排出。这部分空气应该送入一套空气滤清器中进行除尘。

1.6.2 释放源的控制

这是降低有害及有毒物料的主要方法。除此之外，虽然还有下列几种方法可供采用，但是，总的说来都可以说是权宜之计，所以在设计之初就应该对如何控制污染释放进行详尽的考虑，制定有效的措施。这是设计工作中很值得重视的步骤。

1.6.2.1 变更工艺过程

可以除去在有毒物质的释放源，或者减少暴露量。如果使用干料会造成粉尘释放，可以改用熔融液态物料输送，或者制成溶液输送。采用电动叉车代替内燃机叉车就可以除掉内燃机产生的一氧化碳。离心过滤机可以代替板框过滤机。变更工艺过程可以提供一套操作方便、成本便宜的工艺过程。但是，采用这种新的工艺操作方法时，要从设计一项工程项目之初着手，同时还应当考虑到由此会引起的所有的问题。

1.6.2.2 物料替代

这可以看作是变更工艺过程的一个特例，是用危险性较小的物料替代危险性较大的物料。采用低毒性物料代替高毒性物料，可以大大减少控制的工作量。采用毒性虽然相同但挥发性较低的物料替代挥发性较高的物料，从而降低释放率和暴露量，可以减少造成灾害的机会。但是，采用物料替代的办法也有它的风险性。因为，有时在起初认为是低毒性的物质后来会显现出原先想象不到的毒性。说不定和原先被取代的那种物料的毒性不相上下。之所以会发生这种令人不愉快的事实，是因为某些保健方面的资料特别缺少，有些物质根本就没有这方面的资料。

1.6.2.3 壳装

从理论上讲，如果能设计出一种完全采用壳装方式，将物料完全盛装在所用的容器和配管之中，那么也就不会发生毒性暴露的问题。但是，这并不是完全可以办到的事实。因为实际上是存在泄漏释放和敞口操作的工艺过程。然而，壳装方式还是消除了大部分的毒性暴露的机会，所以是化工厂乐于采用的控制泄漏的方法。然而在许多化工厂中，密闭盛装要在控制压力、温度条件，采用直接受火加热的操作方式或者是在要求防止产品损耗的条件下采用的，所以并不能完全依靠这种方法达到卫生保健的目的。在某些间歇作业的生产工艺中，可以改用连续密闭作业的方式进行生产。遇到这种情况，采用壳装操作方式的确是一种出路。对于在某些工艺过程中既可以采用敞口方式也可以采用密闭方式处理物料的工序，采用壳装方式也是一种可取的办法。有些工程技术人员认为采用壳装方式是一种完善的解决办法，认为这已经达到了彻底控制污染暴露的目的。其实不然。应当认识到壳装方式决不是完美无缺的办法。因为泄漏和毒性暴露的机会仍然存在，有时还必须要另外采用其它的附加控制手段。

1.6.2.4 隔离

隔离是指采用物理的方式将暴露源与工人隔离开的方式。虽然就某种意义上说，密闭盛装也是一种隔离方式，但是隔离通常是指一种控制设施，用以阻止泄漏物质向工人所在的环境大气中扩散。在生产氰化氢或四乙基铅一类的剧毒物质的工厂中，隔离的工作方式早已采用。在这种生产过程中，整套生产设备被完全隔离在一所无人存在的建筑物中或隔离区中。由于计算机程序的开发和使用，减少了工人必须靠近生产设备的机会。机器人的出现，更进一步减少了工人的需要量。自动仪器可能使这种需要量进一步减少。当发生意外事故、需要有人进入隔离区时，可以停车抽风换气，让工人戴上防毒面具进入隔离区。虽然目前这种隔离方式只限于剧毒的工艺过程．但是，由于工艺控制技术的不断发展，隔离方式可能成为控制中等程度的毒性物质生产的一种工作方式。

1.6.2.5 罩封

罩封是介于壳装和隔离之间的一种办法。这是指将设备封装在一套隔离罩中。有了隔离罩，泄漏的物质虽然仍旧是释放到空气之中，但是这部分空气却被顶装式排气罩或落地式隔离罩控制，被限制在工艺设备的范围以内。最常用的隔离罩是用于干粉状的物料的运输设备，将运输机、传送装置、斗式提升机、筛网等都装设在薄金属板制成的落地式罩箱里。在罩箱里用抽气机将环境空气抽成负压。因此，如果罩箱上如有漏气的地方，就会使空气由外向内漏。从这种意义上讲，薄金属板的罩箱可以看作是局部通风换气的一种特例。罩封的方式虽然经常采用，但却是一种笨拙的控制设施，因为这种方法限制了工人从外部接近设备的可能性。在用于可燃性物料的时候，还要考虑防火和防爆问题。罩封一般常用于现代化的装桶机。

1.6.2.6 局部通风换气

局部通风换气是指在释放源与工人之间形成一道控制表面或者隔离带，借以将污染物控制在一定的范围以内，使其达不到工人的呼吸区域。这种方法采用由风机和风管构成的一套设施。风机和风管在控制表面上把空气吸进排气罩。抽气的速度要能够捕获到气体或蒸气，并将它引入排风罩。局部通风换气适用于控制不可避免的泄漏现象，借以防止造成毒性暴露的一种方式。排气罩通常附加在或者装设在设备上，用来罩住释放点。局部换气通风不可能达到100%的有效程度，因为捕获不能彻底，也不能将所有的释放点完全罩住。局部通风换气最常用的场合是在一些不可能完全封闭的工艺过程。在化工装置中，某些取样点或难以避

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

免的密封泄漏处有时需要采用局部通风换气的方法。局部换气通风虽然既麻烦又不方便，而且需要很大的维修工作量；但在业已建成的装置中，如果出现了在设计阶段没有预见到的问题，却可以作为有效的补救办法。出于这个原因，在发现需要采用这种既简单、又节约、而且可以奏效的办法的时候，经常会得到采用。

1.6.2.7 稀释通风

局部通风换气是在空气污染物尚未达到呼吸区之前将其捕获，而稀释通风则是在空气污染物业已与空气混合在一起、但在达到工人呼吸范围之前，用来从工作位置上排除一部分含有污染物的空气，借以降低在工作位置附近环境中的污染物含量。稀释通风的目的并不能防止毒性暴露，只是将这种暴露维持在可以容许的水平。虽然稀释通风并不适用于剧毒物质，但它最适合于在一个车间中有许多工人干活、并有许多低毒性物质（例如链烃类化合物）释放源的地方。例如在机加工车间及合成纤维生产车间。废气的排风量要取决于有害污染物的释放量、工作位置的空间大小、以及一些预估的混合系数。由于污染物的释放率和混合系数通常是未知数，因此设计参数只能根据经验估计，而且有时往往过低。另一方面，虽然可以计算出容许的毒性暴露平均水平值，但是某个具体的工人如果位于污染物混合不均匀的场所，就可能受到超剂量的毒性暴露。稀释通风一般仅适用于低释放率、低毒（低挥发）性的场合下使用。

1.6.2.8 改变工作习惯

改变工作习惯是指改变在干活时的工作方法或方式，借以尽量减少毒性暴露，工人所采取的预防性的工作方法。以上几项控制措施虽然是减少毒性暴露的主要措施，但是为了减少毒性暴露，工人还可以就以下几个方面改变工作习惯，作为补救措施：

（1）用吸尘器代替人工清扫或吹扫。

（2）对将来可能要做的粉尘处理作业改用湿法处理。

（3）把设置位置不合适的局部通风排气罩改换到合适的位置。

（4）细心处理还有残留粉末物料的空袋子。

（5）迅速清除泄漏出的物料。

（6）在更换罩盖及罩箱面板时动作尽可能迅速。

工人为减少毒性暴露可以做到的事情还可以列举成百上千的例子。养成良好的工作习惯不仅是防止工人人身事故的通用方法，在经过采用工程技术方法减少毒性暴露未见控制成效之后，改进工人的实际工作习惯也是防止超剂量暴露必须要的方法。

1.6.2.9 人身防护

使用呼吸保护器可以防止人身吸入毒性暴露物。呼吸保护器的种类繁多，要根据污染物（粒子、有机气体、酸性气体等）的性质、车间空气中的污染物的含量，以及要使用呼吸防护器的具体情况（常规使用、急救、逃生等等）选用。选用合适、使用得当时，呼吸保护器可以起到相当大的保护作用。呼吸保护器的保护效果可以采用保护系数表示。保护系数是呼吸保护器外面的空气污染物的浓度和保护器里面的空气污染物的浓度的比值。个人使用的、口罩式简单呼吸保护器的保护系数可以达到5～10；一个面罩式呼吸保护器的保护系数可以达到50；而一个外接空气源、可以在保护罩里面提供正压空气的呼吸保护器的保护系数可以超过1000。

所有的防毒面具都有优点和缺点。空气过滤净化设备简单便宜，不需要提供压缩空气气源，但是在过滤元件失效时必须要进行更换，而且它们达不到高水平的防护。供气防毒面具，如正压配套呼吸器（SCBA），可以提供高水平的防护效果，但是笨重、昂贵，而且供气时间通

常只能持续30分钟。供气防毒面具改用压缩空气供气时可以维持较长的工作，但是由于要使用软管供应，限制了工人的手脚。

紧急防毒面具通常是有效的，但只能在生命有危险的情况下短时间穿戴。空气净化防毒面具也只用于短时间的维修工作。常规使用的防毒面具的困难之处在于它不同于安全帽、手套等人身防护用品。防毒面具配戴起来很不方便，所以很难得到工人的配合。工人的合作不但需要保证要穿戴防毒面具，而且要穿戴合适。因为一个不合适的防毒面具很容易漏泄，结果是起不到防护作用。防毒面具似乎是花费不多就能提供防护的方法。但是如果失败，还不如在建厂之初就改用其它控制方法。

1.6.3 泄漏释放源的控制方法

由于泄漏释放造成的污染暴露对于化工厂中工作人员的健康损害受到越来越大的重视，在化工厂中对于泄漏释放源的调查和管理进行了大量工作。首先是设计并制造出一些可靠的检测仪器，然后是制定了各式各样的法规和规范，从而迫使化工厂不得不对厂内的污染暴露源进行定期检测和控制，[3]从而取得了明显的效果。

现将美国未颁布泄漏释放控制条例前的机泵和阀门的泄漏情况列于表1-19作为参考。表中所称的释放系数（Emmission Factor）是由美国环境保护局（EPA）在选定的炼油厂和化工厂的现场测定的。由表可见在尚未实施该条例之前机泵和阀门的泄漏情况。

表 1-19 美国在未颁布泄漏污染控制条例前基本有机合成化工厂中泄漏释放系数

泄漏扩散源	无控泄漏释放系数(kg/h)
输送液体用轻型泵	
填料密封	0.12
单机械密封	0.12
双机械密封	0.12
无密封	0.0
阀门	
气体	0.021
轻质液体	0.010
重质液体	0.0003
泄气安全阀	
气体	0.12

1.6.3.1 转动机器中的释放源

（1）泵　泵的泄漏部位在轴封处。目前经常采用的密封方法是采用填料密封和机械密封。采用机械密封治理泄漏的效果并不比填料密封好，但是在使用中从不漏到开始出现泄漏的时间间隔较长。机械密封中以双密封的效果较好，但是仍然不能满足现在的要求。

（2）压缩机　压缩机的释放系数是泵的5～6倍，但在化工装置中的总泄漏量中，压缩机的泄漏量只占1～8%。原因在于压缩机虽是大型设备，但在装置中的台数有限。压缩机中最常用的密封形式是迷宫式密封，主要的控制方法是控制密封面的泄漏。

各种机泵在无控状态下的释放情况如表1-20及表1-21所列。

1.6.3.2 泵和压缩机泄漏的监控方法

根据现在采用的检测方法，采用规定的检测仪器、按照一定的时间间隔对泵和压缩机进行监控检测时，泄漏释放量一般规定不得超过10,000ppm。超过这个标准的就要进行检修。如果测定值低于500ppm，以后就可以免于监控，采用这样的监控方法，可以大大减少监控检测的工作量。泵密封释放控制系统的效率见表1-22。

1.6.3.3 安全设计中防止泵和压缩机泄漏的注意事项

（1）注意选用适当的密封类型与密封材料：要想防止或减少泵和压缩机的泄漏，应当注意选用适当的密封材料和密封结构。在设计阶段，很难确定所用泵的细节。只能将这项工

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 1-20 基本有机合成化工厂(SOCMI)及炼油厂的无控泄漏释放

泄漏释放源	10家炼油厂	无控释放(%)				
		SOCMI			醋酸乙烯厂	乙烯厂
		A	B	C		
泵密封						
轻质液体用	4	12	12	12	2	2
重质液体用	1	5	5	5	1	0.1
压缩机	3	7	7	7	8	1
总计	8	24	24	24	11	3.1
总释放量(t/y)	3231	37	117	365	43	809

表 1-21 炼油厂和有机化工厂无控泵密封的释放系数

物料种类	炼油厂	无控释放系数(kg/h/释放源)
		有机化工厂
轻质液体	0.114	0.0494
重质液体	0.021	0.0214

表 1-22 泵密封释放控制系统的效率

控制系统	控制效率(%)	
	有机化工厂	石油炼厂
每季检漏及维修	30	70
每月检漏及维修	60	80
双机械密封	100	100

作留待采购工作中具体解决。最好的办法是在设备设计中规定所用泵的泄漏量，与此同时，规定在关键场所的某些监控对象有害物质的释放浓度。如果能对密封的结构提出建议，则可以有利于日后在运转期间控制泵泄漏的效果。

① 密封结构。最常用的是填料密封。这种密封结构容易出现泄漏。在检修工作中一般是采用上紧填料压盖的办法减少泄漏量，如果采用这种办法不起作用，那就必须更换填料。对于要求泄漏量较严的泵，最好是采用双机械密封。双机械密封又分为顺列双机械密封和对列双机械密封。采用双机械密封时，利用密封阻漏液 (barrier sealing fluid) 可以控制泄漏量和泄漏流向。这样就可以达到控制泄漏量的目的。但是，在采用密封阻漏液时需要采用一套阻漏液循环系统，从而增加了设备成本。波纹管密封也有较好的密封效果。另外还有一种无密封泵，结构如图 1-1 所示。根据调查的统计，采用这种无密封泵时，泄漏量等于零。在需要特别控制的有毒物质的输送工艺过程中，如果采用这种泵，可以达到较为理想的效果。

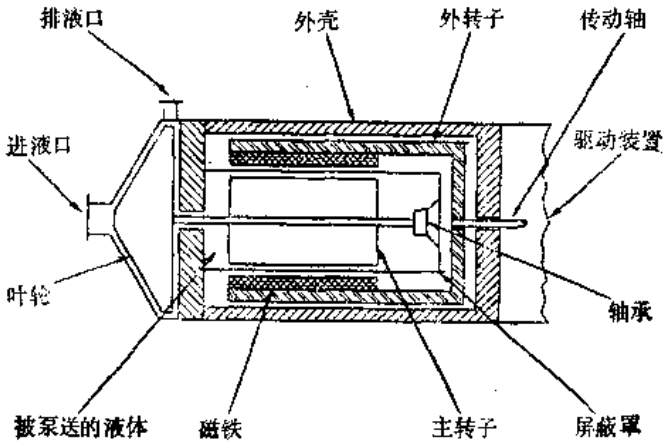


图 1-1 无密封泵

② 密封材料。按照目前的使用情况，基本上可以分为石棉填料和非石棉填料两大类。目前在国内现有设备中使用的填料仍然以石棉填料为主。由于石棉对工人健康的危害，生产石棉填料受到很大的限制。在新建装置中如果注意到这个问题，可以免去将来更换的费用和时间。现在化工工业中常用的非石棉填料共有以下几种。

（1）碳素纤维填料

（2）石墨填料

（3）玻璃纤维填料

（4）聚苯并咪唑填料

（5）金属填料

表 1-23 基本有机合成化工厂(SOCMI)及炼油厂的无控泄漏释放

泄漏释放源	10家炼油厂	无控释放(%)				
		SOCMI			醋酸乙酯厂	乙烯厂
		A	B	C		
阀门						
气体	47	17	19	18	20	26
轻质液体用	31	29	31	30	6	40
重质液体用	1	1	1	1	1	0
泄压阀						
气体	6	10	8	9	12	2
法兰	5	16	16	19	16	28
开口管线	1	0	0	0	12	1
总计	91	73	24	24	67	97
总释放量(t/y)	3231	32	117	365	43	809

表 1-24 一家大型炼油厂挥发性有机化合物(VOC)的无控释放估计值

释放源	设备台数或设施件数	VOC泄漏释放	
		磅/小时	%
阀门	11 500	283	60.0
法兰	46 500	25	5.3
泵密封	350	54	11.5
压缩机	70	46	9.8
安全阀	100	21	4.5
排液管	650	42	8.9
总计		471	
总释放量(t/y)		2063	

1.6.3.4 阀门的泄漏释放

表1-23和表1-24所列是有关化工厂和炼油厂中阀门、法兰和机泵在无控状态下的泄漏量的对比情况。根据统计，阀门泄漏在无控泄漏释放量中占70%，法兰泄漏占5%，两者合计约占67%～91%。在炼油厂中，阀门的泄漏量占60%，而阀门的件数仅为法兰件数的1/4。阀门装设的布局常常是密集装设，在使用高毒性的物质的设备中，阀门更为密集，所以更应该加以特别注意。这种情况足以说明阀门在控制泄漏释放工作中的重要程度。这个统计数字说明在控制泄漏释放中，阀门和法兰非常值得注意。在设计过程中若不加以注意，日后在运转期间就要花费很大的精力和费用方才可以得到改进。

1.6.3.5 阀门的耐火安全结构

阀门的机构若不耐火，遇到火灾时，附近的阀门会被辐射热烤坏而扩大火灾的范围。因此，在关键部位要安装气密密封的阀门。现用的气密密封阀门计有：波纹管式密封阀、隔膜式密封阀、压紧式密封阀、磁极对式密封阀、磁流体密封阀和混合式密封阀。蝶阀也能够满足耐火安全的要求。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

1.6.3.6 敞口管线

（1）所有单端连接阀门的敞口管线，应在阀门的另一端加装法兰盖、管帽或丝堵，也可以在这个阀门的外端加装另一个阀门封闭。除了在运转过程中要求将工艺介质流过阀门外，其余时间一律应将阀门关闭。

（2）采用双阀式放空系统时，只有在运转过程中要求将两个阀门之前的液体或气体放空时方才可以将阀门打开。

（3）当在敞口管线上装有两个阀门时，首先应将靠近工艺介质的阀门关闭，然后才可以关闭最外边的第二道阀门。

1.6.3.7 法兰的泄漏释放

法兰的无控泄漏释放量占总泄漏量的5%～28%。虽然阀门的泄漏系数较低，但在装置中安装的个数较多，所以在总泄漏量中所占从比重也较大。在一个大型炼油厂中，阀门的用量约为11,500个；而法兰的用量却达46,500个。化工厂中法兰的释放系数比炼油厂的大，两者的释放系数的比例一般为三比一。依靠紧固螺栓的办法降低法兰的释放量的效果不大。只有选用合适的垫片方才可以降低法兰的释放量。目前总的趋势是改掉现用的石棉垫片。在新建的装置中，若能在设计的开始就注意到密封垫片的选用问题，不但可以明显降低法兰的释放量，还可以省去日后被迫更换密封垫片所增加的费用，同时会大大节约为此所需的时间。近20年来，各垫片制造厂正在设计制造各种改进型的密封垫片。利用各种不同的弹性体为粘合剂，加入各种不同的填料，制成各种新型的改进密封垫片。螺旋缠绕垫片由多个同心金属环构成，在两个金属环之间有一个环形空间，两个环之间的间距≤0.79mm。在这个空隙之间过去是用石棉填充，现在已改用特氟纶、柔性石墨、陶瓷、石英以及石墨/石英。根据报道，采用石墨为填料的缠绕垫片的释放量一般低于以石棉为填料的垫片。新近还有采用石英纸或绿泥石纸为填料的垫片。

另外还有采用包封法兰的办法治理法兰泄漏。具体的办法是先在法兰盘的内沿上做出坡口，再将一个密封环焊在法兰的对接部位，如图1-2所示。遇有需要时，可以将这个密封环用砂轮磨掉，然后再焊上另一个密封环。

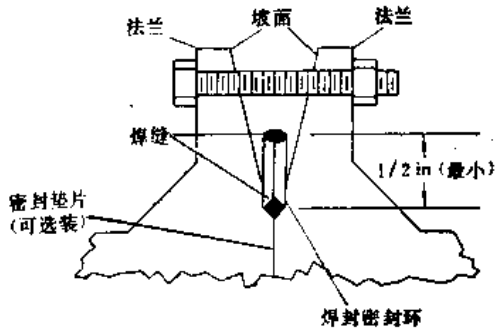


图 1-2 密封结构

本章参考文献

[1] Lipton Lynch Health Hazard Control in the Chemical Process Industry, 1987.
[2] W.F.Dimmick, K.C.Hustvedet U.S.Environmental Protection Agengce.Emissions and Their Control, Air Pollution Control Association Meeting, 1984.

〔3〕U.S.Enviromental Protection Agency Compilation of Air Polution Emmision Factor, Vol.1 Stationary Point and Area Sources, AP 42, 4th ed.September 1985.
〔4〕Louis Theodore Joseph P.Rey nolds, Francis B.Taylor Accident and emergency Mannagement. 1989.
〔5〕H.B.F.Gow & R.W.kay Emergency Planing for Industrial Hazards 1988.
〔6〕Rogen D.Griffin Principle of Harzardous Materials Management 1988.
〔7〕（日）难波桂芳编“化工厂安全工程”，李崇理等译，化工出版社出版，1986
〔8〕（日）野村福次等编“化学プラントの安全对策技术”，1978。
〔9〕石油化工安全卫生监督指南，高维民主编，劳动出版社出版，1991。
〔10〕化工安全技术手册，一至四册，化学工业部劳动安全司主编。
〔11〕职业安全卫生法规标准选，一至三册，中国石化总公司编。
〔12〕石油化工企业职业安全卫生设计规定。
〔13〕（日）难波桂芳编“化工厂系统安全管理”，冯肇瑞等译，1983。
〔14〕（美）玛克斯·皮特斯等著“化工厂的设计和经济学”，中国化工咨询服务公司译，1988。
〔15〕石油化工企业防火设计规范。
〔16〕建筑设计防火规范。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第 2 章　燃烧爆炸的预防和灭火措施

2.1　常用术语及理论

2.1.1　燃　　烧

2.1.1.1　燃烧和燃烧过程

1．定义

燃烧是可燃物与助燃物（氧或氧化剂）发生的一种发光放热的化学反应。是在单位时间内产生的热量大于消耗热量的反应。它包括产生局部急剧反应带的发火过程和反应带向未反应部分传播的传播过程。

2．燃烧条件

燃烧必须同时具备下述三个条件：①可燃性物质；②助燃性物质；③点火源。三者同时存在，相互作用，燃烧方可产生。

3．燃烧过程

可燃物质状态不同，燃烧过程也不同。如图 2-1 所示。

（1）气体最易燃烧，燃烧所需热量只用于本身的氧化分解，并使其达到燃点；

（2）液体在点火源作用下，先蒸发成蒸气，然后蒸气氧化分解而燃烧；

（3）固体燃烧分两种情况：对于硫磷等简单物质，受热时首先熔化，继之蒸发变为蒸气进行燃烧，无分解过程；对于复杂物质，受热时首先分解为物质的组成部分，生成气态和液态产物。然后，气态、液态产物的蒸气着火燃烧。

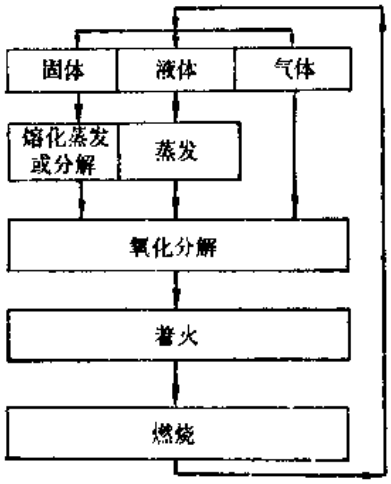


图 2-1　物质燃烧过程

2.1.1.2　燃烧形式

由于可燃物质存在状态不同，其燃烧形式亦不同。

（1）均一系燃烧　系指在同一相中进行的燃烧。如氢气在氧气中的燃烧、煤气在空气中的燃烧。

（2）非均一系燃烧　系指可燃物与助燃物并非同相，如石油（液相）、木材（固相）在空气（气相）中的燃烧。

（3）混合燃烧　系指可燃气体同助燃气体预先混合而后进行的燃烧。

（4）扩散燃烧　系指可燃气体由容器或管道中喷出，其分子同空气中氧分子相互接触扩散而产生的燃烧。

（5）蒸发燃烧　系指可燃液体蒸发产生可燃蒸气的燃烧。萘、硫黄等可燃固体借加热升华或熔融成蒸发物而进行的燃烧亦属蒸发燃烧。

（6）分解燃烧　很多固体或不挥发性液体经热分解产生可燃性气体而进行的燃烧为分解燃烧。

（7）表面燃烧（均热形燃烧）可燃性固体（木材等）燃烧热解的结果使其碳化，在已生成无定形碳的固体表面上所进行的燃烧为表面燃烧。铝箔、镁条等金属的燃烧即属此种燃烧。

（8）完全燃烧与不完全燃烧　根据燃烧反应进行的程度（燃烧产物）分为完全燃烧和不完全燃烧。

2.1.1.3　闪点、燃点

1．闪燃与闪点

易燃、可燃液体（包括具有升华性的可燃固体）表面挥发的蒸气与空气形成的混合气，当火源接近时会产生瞬间燃烧。这种现象称为闪燃。引起闪燃的最低温度称闪点。

闪点数据由标准仪器测得，有开杯式和闭杯式两种。常见闪点如无说明系指闭杯式测定值。可燃气体、蒸气的闪点见表2-1。

2．燃点

可燃物质在空气充足条件下，达到某一温度时与火源接触即行着火（出现火焰或灼热发光），并在移去火源之后仍能继续燃烧的最低温度称为该物质的燃点或着火点。易燃液体的燃点，约高于其闪点1～5℃。

2.1.1.4　自燃和自燃点

1．自燃点

系指可燃物在没有火焰、电火花等火源直接作用下，在空气或氧气中被加热而引起燃烧的最低温度（引燃温度）。可燃气体蒸气的自燃点见表2-1。

一般，液体相对密度越小，其闪点越低，而自燃点越高；液体相对密度越大，闪点越高，而自燃点越低。如汽油、煤油、轻柴油、重柴油、蜡油、渣油的闪点随其相对密度增大而逐渐升高，自燃点逐渐降低，见表2-2。

2．受热自燃和自热自燃

（1）受热自燃　可燃物质在外部热源作用下温度升高，达到自燃点而自行燃烧谓之自燃。

（2）自热燃烧　可燃物在无外部热源影响下，其内部发生物理的、化学的或生化过程而产生热量，并经长时间积累达到该物质自燃点而自行燃烧的现象。

引起物质自然发热的原因有：分解热（如赛璐珞）、氧化热（如不饱和油脂）、吸附热（如活性炭）、聚合热（如液体氰化氢）、发酵热（如干草）等。

3．影响自燃的因素

（1）热量积累　热量积累与下列因素有关。

① 导热率。由于保温作用，导热率越小热量越易积累；

② 堆积状态。薄片状、粉末状可燃物堆积紧密，中心部处于绝热状态易自燃；

③ 空气的流通。空气流通利于散热，有通风的场所很少发生自燃。

（2）热量发生速率　热量发生速率可以用发热量同反应速度的乘积表示，并受以下因素影响。

① 温度。温度增高反应速度增高，其生成热量亦增加；

② 发热量。发热量大的物质可能积累的热量也大；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-1 爆炸性气体、蒸气特性表

物质名称	引燃温度组别	引燃温度（℃）	闪点（℃）	爆炸极限 下限（容积%）	爆炸极限 上限（容积%）	蒸气密度（空气=1）
I						
甲烷	T1	537	气体	5.0	15.0	0.55
IA						
丙烯腈	T4	481	0	2.8	28.0	1.83
乙醛	T4	140	-37.8	4.0	57.0	1.52
乙腈	T1	524	5.6	4.4	16.0	1.42
丙酮	T1	537	-19.0	2.5	13.0	2.00
氨	T1	630	气体	15.0	28.0	0.59
异辛烷	T2	410	-12.0	1.0	6.0	3.94
异丁醇	T2	426	27.0	1.7	19.0	2.55
甲异丁酮	T1	475	14.0	1.2	8.0	3.46
异戊烷	T2	420	<-51.1	1.4	7.6	2.48
一氧化碳	T1	605	气体	12.5	74.0	0.97
乙醇	T2	422	11.1	3.5	19.0	1.59
乙烷	T1	515	气体	3.0	15.5	1.04
丙烯酸乙酯	T2	350	15.6	1.7		3.50
乙醚	T4	170	-45.0	1.7	48.0	2.55
甲乙酮	T1	505	-6.1	1.8	11.5	2.48
3-氯 1,2-环氧丙烷	T2	385	28.0	2.3	34.4	3.29
氯丁烷	T3	245	-12.0	1.8	10.1	3.20
辛烷	T3	210	12.0	0.8	6.5	3.94
邻二甲苯	T1	463	172.0	1.0	7.6	3.66
间二甲苯	T1	525	25.0	1.1	7.0	3.66
对二甲苯	T1	525	25.0	1.1	7.0	3.66
氯化苯	T1	590	28.0	1.3	11.0	3.88
乙酸	T1	485	40.0	4.0	17.0	2.07
乙酸正戊酯	T2	375	25.0	1.0	7.5	4.99
乙酸异戊酯	T2	379	25.0	1.0	10.0	4.49
乙酸乙酯	T2	460	-4.4	2.1	11.5	3.04
乙酸乙烯树脂	T2	385	-4.7	2.6	13.4	2.97
乙酸丁酯	T2	370	22.0	1.2	7.6	4.01
乙酸内酯	T2	430	10.0	1.7	8.0	3.52
乙酸甲酯	T1	475	-10.0	3.1	16.0	2.56
氰化氢	T1	538	-17.8	5.6	41.0	0.93
溴乙烷	T1	511	<-20.0	6.7	11.3	3.76
环己酮	T2	420	33.8	1.3	9.4	3.38
环己烷	T3	260	-20.0	1.2	8.3	2.90
1,4二氧杂环乙烷	T4	180	12.2	2.0	22.0	3.03
1.2-二氯乙烷	T2	412	13.3	6.2	16.0	3.40
二氯乙烯	T1	451	-10.0	5.6	16.0	3.35
二丁醚	T4	175	25.0	1.5	7.6	4.48
二甲醚	T3	240	气体	3.0	27.0	1.59
苯乙烯	T1	490	32.0	1.1	8.0	3.59
噻吩	T2	395	-1.1	1.5	12.5	2.90

续表

物质名称	引燃温度组别	引燃温度（℃）	闪点（℃）	爆炸极限 下限（容积%）	爆炸极限 上限（容积%）	蒸气密度（空气=1）
癸烷	T3	205	46.0	0.7	5.4	4.90
四氢呋喃	T3	230	-13.0	2.0	12.4	2.50
1,2,4-三甲苯	T1	485	50.0	1.1	7.0	4.15
甲苯	T1	535	4.4	1.2	7.0	3.18
1-丁醇	T2	340	28.9	1.4	11.3	2.55
丁烷	T2	365	气体	1.5	8.5	2.05
丁醛	T3	230	-6.7	1.4	12.5	2.48
呋喃	T2	390	0	2.3	14.3	2.30
丙烷	T1	466	气体	2.1	9.5	1.56
异丙醇	T2	399	11.7	2.0	12.0	2.07
己烷	T3	233	-21.7	1.2	7.5	2.79
庚烷	T3	215	-4.0	1.1	6.7	3.46
苯	T1	555	11.1	1.2	8.0	2.70
三氟甲基苯	T1	620	12.2			5.00
戊醇	T3	300	32.7	1.2	10.5	3.04
戊烷	T3	285	<-40.0	1.4	7.8	2.49
醋酐	T2	315	49.0	2.0	10.2	3.52
甲醇	T1	455	11.0	5.5	36.0	1.10
丙烯酸甲酯	T2	415	-2.9	2.4	25.0	3.00
甲基丙烯甲酯			10.0	1.7	8.2	3.60
2-甲基乙烷	T3	280	<0			3.46
3-甲基己烷	T3	280	<0			3.46
硫化氢	T3	260	气体	4.3	45.0	1.19
汽油	T3	280	-42.8	1.4	7.6	3.40
壬烷	T3	205	31	0.7	5.6	4.43
环戊烷	T2	380	<-20			2.42
甲基环戊烷	T2					
乙基环丁烷	T3	210	<-20	1.2	7.7	2.90
乙基环戊烷	T3	260	<21	1.1	6.7	3.39
萘烷	T3					
丙烯	T2		气体	2.0	11.7	1.49
甲基苯乙烯	T1					
二甲苯	T1	465	30	1.0	7.6	3.66
乙苯	T2	430	15	1.0	7.8	3.66
三甲苯	T1	485	50	1.1	6.4	4.15
萘	T1	540	80	0.9	5.9	4.42
异丙基苯	T2		31	0.8	6.0	4.15
甲基异丙基苯	T2					
松节油	T3					
石脑油	T3					
煤焦油石脑油	T3					
丙醇	T2	405	15	2.1	13.5	2.07
丁醇	T2	340	29	1.4	10.0	2.55
己醇	T3					
环乙醇	T3					
甲基环己醇	T3	295	68			3.93

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

物质名称	引燃温度组别	引燃温度(℃)	闪点(℃)	爆炸极限 下限(容积%)	爆炸极限 上限(容积%)	蒸气密度(空气=1)
苯酚	T1					
甲酚	T1					
双丙酮醇	T1					
戊间二酮(乙酰丙酮)	T2					
甲酸甲酯	T2	450	<-20	5.0	20.0	2.07
乙酰基醋酸乙酯	T2					
氯代甲烷(甲基氯)	T1	625	气体	7.1	18.5	1.78
氯乙烷	T1	510	气体	3.6	14.8	2.22
苯胺	T1					
正氯丙烷	T1	520	<-20	2.6	11.1	2.71
二氯丙烷	T1	555	15	3.4	14.5	3.90
氯苯	T1					
苯基苯	T1					
二氯苯	T1		66	2.2	12	5.07
烯丙基氯	T2					
氯乙烯	T2	413	气体	3.8	29.3	2.16
二氯甲烷(甲叉二氯)	T1	605		13.0	22.0	2.93
乙酰氯	T3					
氯乙醇	T2	425	55	5	16	2.78
乙硫醇	T3					
四氢噻吩	T3					
亚硝酸乙酯	T6					
硝基甲烷	T2	415	36	7.1	63	2.11
硝基乙烷	T2	410	28			2.58
甲胺	T2	430	气体	5.0	20.7	1.07
二甲胺	T2		气体	2.8	14.4	1.55
三甲胺	T4		气体	2.0	11.6	2.04
二乙胺	T2		<-20	1.7	10.1	2.53
三乙胺	T1					
正丙胺	T2		<-20	2.0	10.4	2.04
正丁胺	T2					
环已胺	T3					
二胺基已烷	T2					
N,*N*-二甲基苯胺	T3					
甲苯胺	T1					
吡啶	T1	550		1.7	10.6	2.73

Ⅰ B

异戊间二烯	T3	220	-53.8	1.0	9.7	2.35
乙烯	T2	425	气体	2.7	34.0	0.97
环氧乙烷	T2	428	气体	3.0	100.0	1.52
环氧丙烷	T2	430	-37.2	1.9	24.0	2.00
1,3-丁二烯	T2	415	气体	1.1	12.5	1.87
城市煤气	T1		气体	5.3	32.0	
环丙烷	T1	495	气体	2.4	10.4	1.45

续表

物质名称	引燃温度组别	引燃温度（℃）	闪点（℃）	爆炸极限 下限（容积%）	爆炸极限 上限（容积%）	蒸气密度（空气=1）
1,3-丁二烷	T2					
乙基甲基醚	T4	190	气体	2.0	10.1	2.07
乙醚	T4	170	-45.0	1.7	48.0	2.55
1,4-二噁烷	T2					
1,3,5-三噁烷	T2	410		3.6	29.0	3.11
四氢糠醇	T3					
丙烯酸乙酯	T2					
丁烯醛	T3					
丙烯醛	T3		<-20	2.8	31.0	1.94
焦炉煤气	T1					
四氟乙烯	T2					
I C						
乙炔	T2	305	气体	1.5	82.0	0.90
氢	T1	560	气体	4.0	75.6	0.07
二硫化碳	T5	102	-30	1.0	60.0	2.64
水煤气	T1		气体	7.0	72.0	
硝酸乙酯	T6					

表 2-2

物质	闪点(℃)	自燃点(℃)	物质	闪点(℃)	自燃点(℃)	物质	闪点(℃)	自燃点(℃)
汽油	<28	510～530	轻柴油	45～120	350～380	蜡油	>120	300～380
煤油	28～45	380～425	重柴油	>120	300～330	渣油	>120	230～240

③ 水分。水分存在，对少数反应起触媒作用，使反应速度加快；多数情况下影响不显著。

④ 表面积。粉末状、纤维状可燃物表面积大，其内含有大量空气易自燃；如反应系不仅是固体，且有液体渗入，反应速度与两相界面即表面积成比例，表面积越大越易自燃。

⑤ 催化物质。催化物质的存在会加速发热反应。如水分对干性油脂的氧化，酸或碱对赛璐珞的加水分解等。

⑥ 陈化 由氧化而发热的物质，必需其表面尚未被氧化。

4。自燃点的影响因素

（1）压力 压力越高，则自燃点越低。如苯在1atm下自燃点为680℃，10atm下590℃，25atm下为490℃。

（2）组成 可燃气体与空气混合，其组成为化学计算量时自燃点最低。

（3）催化剂 活性催化剂能降低物质的自燃点。如汽油在铁管中测得自燃点为685℃，在石英管中为585℃，在铂坩锅中则为390℃，而钝性催化剂则能提高物质的自燃点。

（4）分子结构 有机物自燃点有下述规律：

① 在同系物中自燃点随分子量的增加而降低；如甲烷的自燃点高于乙烷、丙烷的自燃点。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

② 正位结构的自燃点低于其异构物的自燃点；如正丙醇自燃点540℃，而异丙醇则为620℃；

③ 饱和碳氢化合物比相应其不饱和碳氢化合物自燃点为高；如乙烷（515℃）＞乙烯（425℃）＞乙炔（305℃）；

④ 苯系低级碳氢化合物自燃点高于同碳脂肪族碳氢化合物；如苯＞己烷，甲苯＞庚烷；

⑤ 最低级的脂肪族酸、酮的自燃点较高；最低级的醇类和醋酸酯类的自燃点较低。乙醚与含一个碳原子的最低级脂肪族二元混合物、以及乙醚与二甲苯的二元混合物具有较低的自燃点，与乙醚的自燃点相近。

（5）粒度　可燃固体粉碎得越细、粒径越小，其自燃点越低。表2-3为硫铁矿自燃点随粒度变化情况。

表 2-3

分　级	筛子网眼尺寸(mm)	自燃点　(℃)	分　级	筛子网眼尺寸(mm)	自燃点　(℃)
1	0.20～0.15	406	3	0.10～0.086	400
2	0.15～0.10	401	4	0.086	340

（6）气体析出量　对于受热分解，析出气体的固体物质，析出物越多，自燃点越低。

（7）受热时间　有些固体物质受热时间越长，自燃点越低。

2.1.1.5　燃烧速度

1．气体燃烧速度

（1）火焰传播速度　火焰传播速度也称燃烧速度。系指自表面（*Self-Similar*）的火焰垂直于气体的未燃烧部分表面而深入传播的恒定速度。烃类燃烧速度见表2-4。

（2）层流燃烧速度（*laminar burning Velocity*）

气体流动在低雷诺数下，火焰在气体中的传播呈层流状态，其前进速度为层流燃烧速度。

（3）薄层燃烧速度（*tabulated burning Velocity*）

即在层流或“静流”（*static flow*）条件下测得的气体燃烧速度。它表示火焰传播的最低固有传播速度。

（4）燃烧速度与火焰速度　燃烧速度同火焰速度并非一回事。在多数火灾或爆炸现场已燃和未燃气体均在运动，燃烧速度加上整体运动方为火焰速度。

2．液体燃烧速度

液体燃烧速度取决于液体的蒸发，其燃烧速度有下面两种表示法。

（1）重量速度　系指每米^{2}可燃液体表面，每小时内烧掉液体的重量（kg/m^2·h）；

（2）直线速度　系指每小时烧掉可燃液层的高度（cm/h）。某些液体的燃烧速度见表2-5。

3．固体燃烧速度

（1）固体燃烧速度　一般小于可燃液体、可燃气体，不同固体物质其燃烧速度有很大差异。萘及其衍生物、三硫化磷、松香等可燃固体受热熔化、蒸发、气化、分解氧化、起火燃烧，一般速度较慢；硝基化合物、含硝化纤维素的制品等，燃烧是分解式的，燃烧剧烈、

表 2-4 烃类在空气中的燃烧速度(管内火焰传播法)

物质	最大燃烧速度 (cm/s)	气体浓度 (%)	物质	最大燃烧速度 (cm/s)	气体浓度 (%)
甲烷	33.8	10.0	3-己炔	45.4	3.1
乙烷	40.1	6.3	4-甲基-1-戊炔	45.6	2.9
丙烷	39.6	4.5	3,3-二甲基-1-丁炔	47.7	2.9
正丁烷	37.9	3.5	丙二烯	73.8	6.0
异丁烷	34.9	3.6	1,2-丁二烯	58.0	4.3
正戊烷	35.5	2.9	1,3-丁二烯	54.5	4.3
异戊烷	36.6	2.9	1,2-戊二烯	51.8	3.5
新戊烷	33.3	2.9	顺式-1,3-戊二烯	46.5	3.5
正己烷	38.5	2.5	反式-1,3-戊二烯	45.6	3.4
2-甲基戊烷	36.8	2.5	1,4-戊二烯	46.6	3.3
3-甲基戊烷	38.7	2.5	2,3-戊二烯	50.7	3.4
2,2-二甲基丁烷	45.7	2.4	2-甲基-1,3-丁二烯	45.0	3.4
2,3-二甲基丁烷	36.3	2.5	1,5-己二烯	44.2	2.8
正庚烷	38.6	2.3	2-甲基-1,3-戊二烯	39.0	2.8
2,2-二甲基戊烷	34.8	2.1	2,3-二甲基-1,3-丁二烯	41.6	2.9
2,3-二甲基戊烷	36.5	2.2	苯	44.6*	2.9
2,4-二甲基戊烷	35.7	2.2	甲苯	38.8*	2.4
3,3-二甲基戊烷	35.3	2.1	邻二甲苯	34.1*	2.1
2,2,3-三甲基戊烷	35.9	2.2	1,2,4-三甲基苯	34.3*	1.9
3,2,4-三甲基戊烷	34.6	1.9	正丁苯	35.9*	1.7
正癸烷	40.2*	1.4	叔丁基苯	36.6*	1.8
正十六烷	40.7*	0.9	1,2,3,4-四氢化萘	36.2	1.6
乙烯	68.3	7.4	二苯基甲烷	33.2	1.4
丙烯	43.8	5.0	反式萘烷	33.9	1.6
1-丁烯	43.2	3.9	环丙烷	49.5	5.0
异丁烯	37.5	3.8	环丁烷	56.6	3.9
1-戊烯	42.6	3.1	甲基环丙烷	49.2	3.9
2-戊烯	43.1	3.4	环戊烷	37.3	3.2
2-甲基-1-丁烯	39.0	3.1	甲基环丁烷	44.6	3.2
3-甲基-1-丁烯	41.5	3.1	乙基环丙烷	47.5	3.4
1-己烯	42.1	2.7	顺式-1,2-二甲基环丙烷	46.3	3.2
2-甲基-1-戊烯	39.6	2.8	反式-1,2-二甲基环丙烷	46.2	3.2
4-甲基-1-戊烯	40.5	2.6	甲叉环丁烷	51.5	3.6
2-甲基-1-丁烯	39.3	2.7	螺戊烷	39.9	3.5
2,3-二甲基-1-丁烯	39.2	3.8	环戊烯	10.4	3.5
2,3-二甲基-2-丁烯	37.2	3.4	环己烷	38.7	2.7
1-癸炔	41.2*	1.6	甲基环戊烷	36.0	2.8
乙炔	141	10.1	乙基环丁烷	44.7	2.8
丙炔	69.9	5.9	1,2,3-三甲基环丙烷	43.5	2.6
1-丁炔	58.1	4.4	2-环丙基丙烷	12.7	2.7
2-丁炔	51.5	4.4	2-环丙基丙烯	44.9	2.9
1-丁烯-3-炔	75.6	4.4	环己烯	40.3	—
1-戊炔	52.9	3.5	异丙基环丁烯	39.1	2.7
2-戊炔	51.3	3.4	2-环丙基丁烷	39.8	2.5
1-己炔	48.5	3.0	2-环丙基-1-丁烯	42.5	2.4

* 用本生灯法测定，与管中火焰传播法相比，测定值约大10%。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

速度快。

同一种可燃固体，其燃烧表面积与体积之比值越大，则燃烧速度越大，反之亦然。

（2）某些固体燃烧特性　表2-6、2-7为部分化学纤维、塑料的燃烧特性。

2.1.1.6　燃烧热和燃烧温度

（1）燃烧热　燃烧热即1摩尔可燃物质完全烧尽时所放出的全部热量。在数值上等于燃烧产物的生成热。表2-8为标准状态下（25℃，1atm）一些可燃物的燃烧热。

表 2-5　液体的燃烧速度

液体名称	直线速度 (cm/h)	重量速度 ($kg/m^2 \cdot h$)	相对密度
苯	18.9	165.37	$d_{16}=0.875$
乙　醚	17.5	125.84	$d_{15}=0.715$
甲　苯	16.08	138.29	$d_{4}=0.86$
航空汽油	12.6	91.98	$d_{16}=0.73$
车用汽油	10.5	89.85	
二硫化碳	10.47	132.97	$d=1.27$
丙　酮	8.4	66.36	$d_{16}=0.79$
甲　醇	7.2	57.6	$d_{16}=0.8$
煤　油	6.6	55.11	$d_{10}=0.835$

（2）燃烧的扩展　燃烧的扩展只有在某点的燃烧热很高，足以使临近各层混合物被加热到燃点时，燃烧才开始扩展。燃烧的加热强度决定于反应放出的热量及反应速度。燃烧原始温度越高，就增加了开始反应的强度，加速了放热因而加强了燃烧过程。

表 2-6　化学纤维燃烧特征

纤维名称	燃烧过程、灰烬状态
锦　纶	接近火焰边熔融边缓慢燃烧，冒白烟有刺鼻气味，灰烬呈褐色玻璃球状硬块
涤　纶	接近火焰边熔融，边冒黑烟燃烧，有芳香气味，灰烬为黑褐色玻璃球状
腈　纶	近火焰边收缩边熔融边燃烧，有特殊气味，灰烬为脆而不规则的黑色块状
维　纶	近火焰软化收缩缓慢燃烧，有特殊臭味，灰烬是黑褐色不规则状
丙　纶	接触火焰边熔融边缓慢燃烧，有石蜡气味，无灰烬，剩余部分为透明球状物
氯　纶	近火焰收缩熔融，不发火，有氯气臭味，剩余物为不规则黑色块状体
粘胶纤维	接触火焰迅速燃烧，有烧纸气味，残留少量灰白色灰烬

表 2-7　塑料燃烧特征

塑料名称		燃烧难易	离开火源后状态	燃烧物表面状态	火焰特征	气　味	燃烧热 (cal/g)
热塑性塑料	聚氯乙烯	难　燃	不　燃	软　化	黄色、外边绿色	盐酸气味	4315
	聚乙烯	易　燃	燃　烧	熔融滴落	蓝色、上端黄色	石蜡气味	11140
	聚丙烯	易　燃	燃　烧	膨胀滴落	蓝色、上端黄色	石油味	10506
	聚苯乙烯	易　燃	燃　烧	发　软	橙黄色、浓黑烟	特殊气味	9604
	尼　龙	缓　燃	燃　烧	熔融、滴落	蓝色、上端黄色	烧羊毛味	7371
	有机玻璃	易　燃	燃　烧	发　软	黄色、上端蓝色	香　味	
	赛璐路	急剧燃烧	燃　烧	全烧完	黄　色	嗅不到味	4134
热固性塑料	酚醛塑料（无填料）	难　燃	不　燃	裂纹、变深色	黄色火花	甲醛味	3219
	酚醛塑料（木粉填料）	缓　燃	不　燃	膨胀裂缝	黄色、冒黑烟	木材、甲醛味	
	脲醛塑料	难　燃	不　燃	膨胀、裂缝发白	黄色、上端淡蓝色	甲醛味	
	三聚氰胺塑料	难　燃	不　燃	膨胀、裂纹发白	淡黄色	甲醛味	

表 2-8 可燃物质的燃烧热

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)	物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
1.烃氧化物			丙烯	气	491.99
甲烷	气	212.80	1-丁烯	气	649.45
乙烷	气	372.82	顺式-2-丁烯	气	647.81
丙烷	气	530.60	反式-2-丁烯	气	646.81
正丁烷	气	687.65	异丁烯	气	645.43
异丁烷	气	685.65	1-戊烯	气	806.85
正戊烷	液	845.16	顺式-2-戊烯	气	805.34
异戊烷	气	843.24	反式-2-戊烯	气	804.26
新戊烷	气	840.49	三甲基乙烯	液	797.30
正己烷	液	995.01	1-己烯	气	964.26
2-甲基戊烷	液	993.71	顺式-2-己烯	气	962.66
3-甲基戊烷	液	994.25	反式-2-己烯	气	961.66
2,2-二甲基丁烷	液	991.52	顺式-3-己烯	气	962.66
2,3-二甲基丁烷	液	993.05	反式-3-己烯	气	961.66
正庚烷	液	1151.27	1-庚烯	液	1113.37
2-甲基己烷	液	1149.97	1-辛烯	液	1269.82
3-甲基己烷	液	1150.55	二异丁烯	液	1266.40
3-甲基戊烷	液	1151.13	1-壬烯	气	1436.58
2,2-二甲基戊烷	液	1147.85	1-癸烯	液	1582.12
2,3-二甲基戊烷	液	1149.09	乙炔	气	310.62
2,4-二甲基戊烷	液	1148.73	丙炔	气	463.11
3,3-二甲基戊烷	液	1148.83	乙基乙炔	气	620.64
2,2,3-三甲基丁烷	液	1148.27	二甲基乙炔	气	616.13
正辛烷	液	1307.53	1-戊炔	气	778.03
2-甲基庚烷	液	1306.28	2-戊炔	气	774.33
3-甲基庚烷	液	1306.92	1-己炔	气	935.45
4-甲基庚烷	液	1307.09	1-庚炔	气	1092.89
3-乙基己烷	液	1307.39	1-辛炔	气	1280.34
2,2-二甲基己烷	液	1304.64	1-壬炔	气	1407.78
2,3-二甲基己烷	液	1306.86	1-癸炔	气	1565.22
2,4-二甲基己烷	液	1305.80			
2,5-二甲基己烷	液	1305.00	丙二烯	气	464.71
3,3-二甲基己烷	液	1305.68	1,2-丁二烯	气	619.98
3,4-二甲基己烷	液	1307.04	1,3-丁二烯	气	607.49
2-甲基-3-乙基戊烷	液	1307.58	1,2-戊二烯	气	778.31
3-甲基-3-乙基戊烷	液	1306.80	顺式-1,3-戊二烯	气	762.21
2,2,3-三甲基戊烷	液	1305.83	反式-1,3-戊二烯	气	762.11
2,2,4-三甲基戊烷	液	1305.29	1,4-戊二烯	气	768.71
2,3,3-三甲基戊烷	液	1306.64	2,3-戊二烯	气	766.61
2,3,4-三甲基戊烷	液	1306.28	异戊间二烯	气	761.61
2,2,3,3-四甲基丁烷	液	1303.03	3-甲基-1,2-丁二烯	气	774.51
正壬烷	液	1463.80	香叶烯	液	1490.40
正癸烷	液	1620.06			
2,7-二甲基辛烷	液	1617.80	苯	液	780.98
正十一烷	液	1776.32	甲苯	液	934.50
正十六甲	液	1932.59	乙苯	液	1091.03
			邻二甲苯	液	1088.16
乙烯	气	337.23	间二甲苯	液	1087.92

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
对二甲苯	液	1088.16
苯乙烯	液	1050.61
丙苯	液	1247.19
异丙苯	液	1246.52
1-甲基-2-乙基苯	液	1245.26
1-甲基-3-乙基苯	液	1244.71
1-甲基-4-乙基苯	液	1244.45
1,2,3-三甲基苯	液	1242.36
1,2,4-三甲基苯	液	1241.58
1,3,5-三甲基苯	液	1241.19
α-甲基苯乙烯	液	1204.90
β-甲基苯乙烯	液	1203.80
丁苯	液	1403.46
1,2,4,5-四甲基苯	固	1395.00
五甲基苯	固	1547.60
六甲基苯	固	1705.10
顺式-六氢萘满	液	1351.6
反式-六氢萘满	液	1350.9
萘	固	1232.5
二氢化萘	固	1299.8
四氢化萘	液	1334.1
顺式萘满	液	1502.9
反式萘满	液	1500.2
1-甲基萘	液	1389.6
2-甲基萘	固	1386.9
蒽	固	1492.8
菲	固	1586.5
蒽	固	1687.1
9,10-二氢蒽	固	1742.6[a]
菲	固	1685.3
并四苯	固	2140.9[b]
苯并蒽-[a]	固	2143.7[a]
苯并菲-[a]	固	2137.6[a]
苯并菲-[c]	固	2147.1[a]
苯并联蒽	固	3389.8
α-蒎烯	液	1483.0
β-蒎烯	液	1485.1
α-苧烯	固	1473.9
二苯基甲烷	固	1653.8
四苯基甲烷	固	3102.4[a]
1,1-二苯基乙烷	固	1806.4
1,1,1-三苯基乙烷	固	2533.2
1,1,2-三苯基乙烷	固	2526.8
对称四苯基乙烷	固	3249.3
五苯基乙烷	固	3988.5
1,4-二苯基丁烷	液	2117.1
1,1-二苯基乙烯	液	1767.0[b]

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
三苯乙烯	固	2482.3[b]
四苯乙烯	固	3201.6[b]
苯基乙炔	液	1025.4
二苯基乙炔	固	1732.8
顺式-1,4-二苯基丁二烯	固	2030.4
反式-1,4-二苯基丁二烯	固	2025.6
1,1,4,4-四苯基丁二烯	固	3463.4
1,2,3,4-四苯基丁二烯	固	3470.4
二苯基丁二烯	固	1970.1
苯基环丙烷	液	1212.0
联苯	固	1493.3
联苯撑	固	1486.3
1,2-二苯乙烯	固	1703.3
顺式1,2-二苯乙烯	液	1769.6[b]
反式1,2-二苯乙烯	固	1759.3[b]
苯芊	液	1806.6
苯稠[9、10]菲	固	2138.1[a]
环丙烷	气	499.85
环丁烷	液	650.19
环戊烷	液	786.66
甲基环丁烷	液	801.10
环己烷	液	936.57
甲基环戊烷	液	941.14
环庚烷	液	1098.85
甲基环己烷	液	1091.13
乙基环戊烷	液	1097.50
	液	1095.44
顺式-1,2-二甲基环戊烷	液	1097.06
反式-1,2-二甲基环戊烷	液	1095.64
顺式-1,3-二甲基环戊烷	液	1096.39
反式-1,3-二甲基环戊烷	液	1095.90
环辛烷	液	1258.53
甲基环庚烷	液	1246.40
乙基环己烷	液	1248.23
丙基环戊烷	液	1253.74
1,1-二烷烷环戊烷	液	1246.65
顺式-1,2-二甲基环己烯	液	1248.31
反式-1,2-二甲基环己烯	液	1246.76
顺式-1,3-二甲基环己烯	液	1245.65
反式-1,3-二甲基环己烯	液	1247.38
顺式-1,4-二甲基环己烯	液	1247.40
反式-1,4-二甲基环己烯	液	1245.78
环壬烷	液	1417.64
丙基环己烷	液	1404.34
丁基环戊烷	液	1410.10
丁基环己烷	液	1560.78

续表

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
环己烯	液	893.7
环庚烯	液	1051.3
1-甲基-1-环己烯	液	1049.6
环己二烯	液	848.6
环辛四烯	液	1084.9
聚乙烯	固	311.70[c]
聚异丁烯(分子量4000)	固	628.30[c]
聚异丁烯(分子量200000)	固	628.04[c]
聚苯乙烯	固	1035.10[c]
2.醇类化合物		
甲醇	液	173.6
乙醇	液	326.7
正丙醇	液	483.1
异丙醇	液	479.4
正丁醇	液	639.3
异丁醇	固	765.4
仲丁醇	液	635.9
叔丁醇	液	631.9
正戊醇	液	792.7
正庚醇	液	1107.1
正辛醇	液	1263.6
正壬醇	液	1420.2
正癸醇	液	1576.9
鲸蜡醇	固	2502.7
乙二醇	液	282.2
丙三醇	液	397.4
赤藓醇	固	504.8
甘露糖醇	固	728.3
二甘醇	液	566.6
苯甲醇	液	893.2
糠醇	液	609.2
环戊醇	液	740.5
环己醇	液	891.0
顺式-1,2-环己二醇	固	841.6
反式-1,2-环己二醇	固	842.6
3.醛类		
甲醛	气	134.1
乙二醛	液	172.5
乙醛	液	278.6
缩乙醛	液	810.2
丙醛	液	434.2
异丁醛	液	589.7
叔丁醛	液	592.1
戊醛	液	742.8
庚醛	液	1062.1
甘油醛	液	338.1
丙烯醛	液	393.6
巴豆醛	液	542.1[a]
苯甲醛	液	844.6
肉桂醛	液	1113.4
水杨醛	液	797.0
胡椒醛	固	870.9
香草醛	固	915.0
糠醛	液	560.1
4.酮类		
丙酮	液	427.9
丁酮	液	582.8
二乙基甲酮	液	737.2
乙酰丙酮	液	642.2
叔己酮	固	893.0
环戊酮	液	686.9
环己酮	液	841.0
3-甲基环戊酮	液	834.4
环庚酮	液	996.7
苯乙酮	液	989.0
苯基丙酮	固	1149.1
	固	1556.4
二苯基甲酮	固	1868.7
丁二酮-(2,3)	气	903.4
苄叉丙酮	固	1615.6
二苯酰乙烷	固	1921.8
二苯酰乙烯	固	1887.2
苯酚酮	固	806.1
刺柏酮	固	1269.0
樟脑	固	1410.5
2,4-二甲基-4,5苯苯酮	固	1615.2
5.醚类		
二甲醚	气	347.6[a]
甲基乙基醚	气	505.9
乙醚	液	652.3
叔丁醚	液	1268.7[b]
苯甲醚	液	906.0
苯乙醚	液	1060.1
对丙烯基苯甲醚	液	1325.1
二苯醚	固	1461.1
乙烯化氧	液	302.1[a]
呋喃	液	498.0
四氢吡喃	液	598.8
二氢吡喃	液	705.9
四氢吡喃	液	750.9
联苯抱氧	固	1400.5
缩水甘油	液	415.9[a]

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
儿茶酚二甲醚	液	1023.9
氧杂蒽	固	1549.0
1,3-二噁茂烷	液	406.4
1,3-二噁烷	液	559.5
1,4-二噁烷	液	565.0
α-甲基葡糖甙	固	842.5
乙酰化过氧	液	453.0
丙酰化过氧	液	757.7
丁酰化过氧	液	1069.7
黄樟脑	液	1245.3
异黄樟脑	液	1235.1
6.酸 类		
甲 酸	液	60.86
乙 酸	液	209.0
丙 酸	液	365.8
丁 酸	液	522.2
戊 酸	液	681.9
异戊酸	液	678.0
α-甲酸丁酸	液	679.0
三甲基乙酸	固	677.0
己 酸	液	839.2
辛 酸	固	1455.9
十二酸	固	1766.9
十四酸	固	2078.5
十六酸	固	2389.4
十八酸	固	2700.4
丙烯酸	液	327.9
巴豆酸	固	478.2
油 酸	液	2712.5
草 酸	固	52.23
丙二酸	固	206.5
琥珀酸	固	356.8
马来酸	固	324.6
富马酸	固	319.0
肥 酸	固	668.9
苯甲酸	固	772.1
邻甲苯酸	固	926.1
间甲苯酸	固	923.8
对甲苯酸	固	923.1
2,3-二甲基苯甲酸	固	1080.4
2,4-二甲基苯甲酸	固	1078.5
2,5-二甲基苯甲酸	固	1079.9
2,6-二甲基苯甲酸	固	1082.7
3,4-二甲基苯甲酸	固	1076.0
3,5-二甲基苯甲酸	固	1076.6
肉桂酸	固	1040.8
苯乙酸	固	931.5
二苯基乙酸	固	1607.4
三苯基乙酸	固	2332.7
邻酞酸	固	770.4
异酞酸	固	765.4
对酞酸	固	762.3
醋酸酐	液	431.0
马来酸酐	固	332.3
酞 酐	固	779.0
天冬铵酸	固	386.3
巴比上酸	固	359.0
谷氨酸	固	537.0(b)
尿 酸	固	458.8
马尿酸	固	1008.4
羟基醋酸	固	166.8
d-酒石酸	固	280.2
dL-酒石酸	固	276.7
meso-酒石酸	固	280.7
乳 酸	固	321.2
苹果酸	固	320.1
柠檬酸	固	466.6
β-羟基丁酸	固	488.4
没食子酸	固	634.3
水杨酸	固	722.7
7.酯 类		
甲酸甲酯	液	236.2
乙酸甲酯	液	381.2
乙酸乙酯	液	539.1
乙酸乙烯酯	液	498.1
乙酸丙酯	液	699.4
乙酸异丙酯	液	682.6
乙酸丁酯	液	848.6
乙酸异丁酯	液	846.6
丙酸甲酯	液	537.9
丙酸乙酯	液	691.8
丁酸甲酯	液	692.8(a)
丁酸乙酯	液	847.7
戊酸甲酯	液	848.0
戊酸乙酯	液	1004.0
异戊酸甲酯	液	845.0
异戊酸乙酯	液	1000.0
三甲基乙酸甲酯	液	842.0
三甲基乙酸乙酯	液	999.0
巴豆酸甲酯	液	652.9
巴豆酸乙酯	液	806.6
8.酚 类		
酚	固	730.4

续表

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
邻甲酚	固	880.3
间甲酚	液	896.9
对甲酚	固	880.9
α-萘酚	固	1185.9
β-萘酚	固	1187.7
1,2,3,4-四氢-1-萘酚	液	1292.7
丁子香酚	液	1287.8
异丁子香酚	液	1278.8
百里酚	固	1351.0
薄荷醇	固	1510.7
间苯二酚	固	683.7
儿茶酚	固	684.9
焦儿茶酚	固	639.3
栎醇	固	704.9
9.醌类		
对苯醌	固	656.3
氢醌	固	681.8
1,2-萘醌	固	1107.7
1,4-萘醌	固	1101.2
对蒽醌	固	1545.6
茜素	固	1449.2
邻菲醌	固	1544.4
10.碳水化合物		
阿戊糖	固	559.9
木糖	固	560.5
纤维素（100%结晶）	固	664.7[c]
纤维素（100%无定形）	固	676.9[c]
半乳糖	固	670.2
d-葡萄糖	固	674.0
d-果糖	固	676.3
鼠李糖	固	718.6
三乙酰纤维素（100%结晶）	固	1302.0[c]
三乙酰纤维素（100%无定形）	固	1312.0[c]
乳糖	固	1350.9
蔗糖	固	1351.3
麦芽糖	固	1351.3
棉子糖	固	2027.5
11.含氮化合物		
甲胺	气	258.3
二甲胺	气	420.6
三甲胺	气	578.6
乙胺	气	415.7
二乙胺	液	722.8
三乙胺	液	1036.8
丁胺	液	721.4
仲丁胺	液	719.1
叔丁胺	液	716.0
乙撑亚胺	液	380.9
苯胺	液	811.0
甲替苯胺	液	974.8
二甲基苯胺	液	1143.8
苄胺	液	965.9
二苯基胺	固	1532.2
三苯基胺	固	2267.8[a]
α-萘胺	固	1264.1
β-萘胺	固	1261.9
吡啶	液	665.0
2,3-二甲基吡啶	液	970.4
2,4-二甲基吡啶	液	969.6
2,5-二甲基吡啶	液	970.2
2,6-二甲基吡啶	液	968.8
3,4-二甲基吡啶	液	970.1
3,5-二甲基吡啶	液	971.1
α-皮考啉	液	817.5
β-皮考啉	液	819.7
γ-皮考啉	液	817.0
乌洛托品	固	1004.7
邻甲苯胺	液	965.5
间甲苯胺	液	966.5
对甲苯胺	固	959.6
联苯胺	固	1557.8
吡咯	液	568.4
甲酰胺	液	136.5
乙酰胺	固	282.9
丙酰胺	固	440.3
丁酰胺	固	509.7
丁酰亚胺	固	438.3
苯酰胺	固	848.4
酞酰亚胺	固	850.4
乙酰替苯胺	固	1011.4
对氨基苯乙酮	固	1129.7
对氨基苯甲酸乙酯	固	1122.1
乙腈	气	312.1
丁腈	液	613.9
异丁腈	液	612.4
苄腈	液	968.2
肌铵酸	固	400.0
天冬酰胺	固	463.0
L-谷酰胺	固	614.8[b]
L-苏氨酸	固	490.9[b]
dL-苏氨酸	固	502.4[a]
肌酸	固	560.4

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
dL-脯氨酸	固	652.2(a)
L-缬氨酸	固	697.9(b)
dL-鸟氨酸	固	724.4(a)
白氨酸	固	853.1(b)
L-异白氨酸	固	855.2(b)
dL-异白氨酸	固	856.8(a)
L-苯基丙氨酸	固	1110.5(b)
dL-苯基丙氨酸	固	1112.3
L-色氨酸	固	1345.5(b)
α-萘甲腈	固	1326.9
β-萘甲腈	固	1321.1
氰	气	261.9
丙炔腈	液	496.8
叠氮环戊烷	液	820.5
叠氮环己烷	液	966.0
偶氮苯	固	1560.6
肼撑苯	固	1591.4
重氮胺基苯	固	1582.8
肼	气	45.57
1,1-二甲基肼	液	473.3
草酰胺	固	203.4
甘氨酸	固	230.9(b)
e-氨基丙酸	固	399.7
氨基甲酸乙酯	固	387.6
dL-地衣聚糖	固	880.7(a)
尿素	固	151.7
5-氧四唑	固	163.9
四唑	固	219.0
5-氨基四唑	固	246.2
四氧嘧啶	固	273.6
5-氰基四唑	固	318.4
5-甲氧基四唑	固	341.3
尿素	液	409.6
咪唑	液	433.3
吡唑	液	447.1
黄嘌呤	液	516.0
1,5-二甲基四唑	液	532.2
吡嗪	液	546.3
嘧啶	液	547.9
哒嗪	液	566.6
鸟嘌呤	固	596.9
腺嘌呤	固	663.7
吡咯烷	液	673.8
苯并三唑	固	795.0
哌啶	液	827.6
脱氧扑尔敏	固	843.6
靛红	固	861.0
3-己内酰胺	固	861.6
5-苯基四唑	固	933.2
1-苯基四唑	固	949.8
吲哚	固	1021.2
咖啡因	固	1015.2
6-甲基己内酰胺	固	1015.7(a)
7-甲基己酰内胺	固	1016.1(a)
甲替己酰内胺	固	1029.1
8-羟基喹啉	固	1064.9
咔唑	固	1476.5
靛兰	固	1816.2
硝基甲烷	液	175.3
硝仿	液	109.6
硝基乙烷	液	325.4
1-硝基丙烷	液	481.2
2-硝基丙烷	液	477.4
1,3-二硝基丙烷	液	433.6
1,1-二硝基丙烷	液	446.3
2,2-二硝基丙烷	液	442.2
1-硝基丁烷	液	637.6
2-硝基丁烷	液	634.0
三硝基甘油	固	356.0
硝基尿素	固	129.1
硝基苯	液	739.2(a)
邻二硝基苯	固	703.7
间二硝基苯	固	697.2
对二硝基苯	固	695.6
顺式-4-硝基苯乙烯	固	1723.2
反式-4-硝基苯乙烯	固	1716.2
顺式-4,4′-二硝基苯乙烯	固	1675.3
反式-4,4′-二硝基苯乙烯	固	1670.3
苦味酸	固	617.3
邻硝基苯甲酸	固	730.6
间硝基苯甲酸	固	727.2
对硝基苯甲酸	固	729.1
对硝基苯胺	固	759.3
2,3-二硝基苯胺	固	732.3
2,4-二硝基苯胺	固	719.4
2,5-二硝基苯胺	固	724.5
2,6-二硝基苯胺	固	723.0
3,4-二硝基苯胺	固	727.3
3,5-二硝基苯胺	固	725.0
3-硝基对甲苯胺	固	915.1
5-硝基对甲苯胺	固	910.4
4,4′-二硝基肼撑苯	固	1496.4
12.硫化合物		
甲硫醇	气	383.0
乙硫醇	液	591.1
丙硫醇	液	673.2(b)

续表

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)	物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
异丙硫醇	液	671.8[a]	苄基氯	液	886.4
丁硫醇	液	831.8	邻氯乙基苯	液	1052.4
异丁硫醇	液	830.0	对氯乙基苯	液	1053.0
仲丁硫醇	液	830.3	邻二氯苯	液	707.1
叔丁硫醇	液	828.0	间二氯苯	液	706.3
戊硫醇	液	844.0[e]	对二氯苯	固	701.3
苄硫醇	液	1084.0[b]	六氯苯	固	567.4
二甲硫	液	521.1	α-六氯环已烷	固	655.5
甲基乙基硫	液	675.2[b]	β-六氯环已烷	固	653.7
乙基硫	液	833.9	γ-六氯环已烷	固	658.8
甲基丙基硫	液	833.1	δ-六氯环已烷	固	655.7
甲基异丙基硫	液	831.8	乙撑氯醇	液	285.1
甲基丁基硫	液	989.8	表氯醇	液	423.0[a]
丙基乙基硫	液	989.4	乙酰氯	气	242.0
丙基硫	液	1145.7	苯酰氯	液	782.8
丙撑硫	液	493.3[e]	氯醋酸	固	173.5
二甲二硫	液	665.4	三氯醋酸	固	192.8
乙二硫	液	976.4	三氯乙酸甲酯	液	288.9
丙二硫	液	1288.9	2-氯-1,3-丙二醇	液	403.3[a]
甲 砜	固	428.3[b]	3-氯-1,2-丙二醇	液	401.4[a]
甲基乙基砜	液	581.6[b]	对氯苯甲酸	固	732.7[a]
乙 砜	固	736.8[b]	五氯酚	固	556.5
苯 砜	固	1559.0[b]	二氯甲烷	气	139.2
硫代醋酸	液	272.8[a,b]	1,1-二氯乙烯	气	262.2
噻 吩	液	675.6	四氯乙烯	固	160.3[c]
四氢化噻吩	液	632.2[e]	氯 苯	液	741.9
2-甲基噻吩	液	829.7	邻二氯苯	液	707.6
3-甲基噻吩	液	829.3	间二氯苯	液	704.3
噻 蒽	固	1729.7	对二氯苯	液	704.7
硫 脲	固	354.9	4-氯甲苯	液	895.6
牛磺酸	固	382.9	苯川三氯	液	805.7
L-蛋黄酸	固	759.2[b]	间氯苯川三氯	液	767.6
薛佛酸	固	998.2	十六氯乙基环已烷	液	501.7
13.卤素化合物			邻氯苯甲酸	固	736.3
甲基氯	气	164.8	间氯苯甲酸	固	732.8
甲叉二氯	气	106.8	对氯苯甲酸	固	731.7
氯 仿	气	70.5	间三氯苯醋酸	固	759.9
乙基氯	气	317.9	甲基溴	气	184.0
氯乙烯	液	296.5	乙基溴	气	341.8
乙叉二氯	液	272.1	溴乙烯	液	290.9
六氯乙烷	固	110.0[a]	溴丙烷	液	491.5[d]
氯乙烯	气	303.9	溴异丙烷	液	490.4[d]
聚氯乙烯	固	273.7[c]	丁基溴	液	649.2[d]
1,1-二氯乙烯	液	261.9	仲丁基溴	液	646.5[d]
四氯乙烯	液	217.6	1,2-二溴丁烷	液	614.3[d]
戊基氯	液	801.1[a]	戊基溴	液	805.2[d]
1,2,3-三氯丙烷	液	414.6	甲基碘	液	194.7[a]
氯 苯	液	743.0	碘 仿	固	162.1

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)	物质	状态	燃烧热 (kcal/mol)
乙基碘	液	359.2	硫（斜方晶体）	固	70.96
14.无机化合物			二硫化碳	液	402.7
氢	气	68.32	钙	固	151.8
碳（金刚石）	固	94.51	镁	固	143.7
碳（石墨）	固	94.05	铝	固	400.5
一氧化碳	气	67.64	铁	固	267.1
氟化氢	气	156.6	镍	固	57.3
氨	气	261.9			
氢	气	91.44			

注：〔a〕在20℃时的数值；
〔b〕初始压力为30个atm的定容燃烧物；
〔c〕单位为kcal/单体量；
〔d〕化合物中的溴原子折算成溴分子（液）时的标准燃烧热；
〔e〕化合物中的硫原子折算成斜方晶体硫（固）时的标准生成热；
表中数据引自日本化学会编《化学便览》（基础篇Ⅰ），丸善（1966年）。

（3）燃烧温度　可燃物质燃烧所产生的热量在火焰燃烧区域内析出，因而火焰温度即燃烧温度，常见物质的燃烧温度见表2-9。

表 2-9　可燃物质的燃烧温度

可燃物质	燃烧温度 (℃)	可燃物质	燃烧温度 (℃)
甲烷	1800	木材	1000～1177
乙烷	1895	镁	3000
乙炔	2127	钠	1400
甲醇	1100	石蜡	1427
乙醇	1180	一氧化碳	1680
丙酮	1000	硫	1820
乙醚	2861	二硫化碳	2195
原油	1100	液化气	2110
汽油	1200	天然气	2020
煤油	700～1030	石油气	2120
重油	1000	火柴火焰	750～850
烟煤	1647	燃着的卷烟	700～800
氢气	2130	橡胶	1600
煤气	1600～1850		

2.1.1.7　燃烧产物

可燃物质完全燃烧时，其燃烧产物为化合物中的元素：碳成为二氧化碳、氢成为水，硫成为稀硫酸，氟与氯和溴成为卤化氢，碘成为碘分子。火灾条件下某些化学物质的生成物见表2-10。

2.1.1.8　燃烧理论

（1）活化能理论　燃烧是一种化学反应，而分子间发生化学反应的首要条件是相互碰撞，但相互碰撞的分子不一定都能产生反应，只有具有一定活化能的少数活化分子碰撞才会

表 2-10 某些物质的燃烧产物

可燃物质	生成物质
芳香族含硫化合物	硫化氢、硫醇、硫醚、噻吩、亚硫酸酐
丙酮	酮类
无烟火药	乙炔、氰类、一氧化碳、氮氧化物
雷酸汞	醋酸酯、酯酸、硝酸的酯类氮氧化物、氰化氢、氰类、水银蒸气和有机汞的化合物
橡胶	异戊二烯、高级不饱和碳氢化合物
脂肪酸	丙烯醛、巴豆醛
清漆、含硝化纤维素的产品	一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、氰酸
萘	联萘
硝化甘油	一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物
薄膜赛璐珞	一氧化碳、二氧化碳、氰化物
松节油	异戊二烯、苯的同系物及蒎等
甲醇	一氧化碳、氢、甲醛、巴豆醛、甲烷、乙炔乙烯、氢和一氧化碳
乙醚	乙醛、乙烷、过氧化物和乙烯的化合物
脂肪类醚类	醛类

发生反应。当明火接触可燃物时，部分分子获得能量而成为活化分子，有效碰撞次数增加因而发生燃烧反应；

（2）过氧化物理论　该理论认为，在燃烧反应中氧在热能作用下被活化而形成—O—O—键，使可燃物变为过氧化物。过氧化物不稳定，在受热、撞击、摩擦等情况下分解而燃烧、爆炸。如，氢和氧的燃烧反应中，首先生成过氧化物，然后过氧化物与氢反应生成水，反应式如下：

$$H_2 + O_2 \longrightarrow H_2O_2$$

$$H_2O_2 + H_2 \longrightarrow 2H_2O$$

（3）链锁反应理论　该理论认为，气态分子间的作用，不是两个分子直接作用得出最后产物。而是活性分子自由基与另一分子作用产生新自由基，新自由基又迅速参加反应，如此延续下去形成一系列的链锁反应。链反应通常分直链反应与交链反应两种，任何链反应均由三个阶段构成，即链的引发、链的传递（包括支化）和链的终止。以氢、氧支链反应说明：

链的引发

$$H_2 + O_2 \xrightarrow{\triangle} 2\dot{O}H \quad (1)$$

$$H_2 + M \xrightarrow{\triangle} 2\dot{H} + M \quad (2)$$

链的传递

$$\dot{O}H + H_2 \longrightarrow \dot{H} + H_2O \quad (3)$$

链的支化

$$\dot{H} + O_2 \longrightarrow \dot{O} + \dot{O}H \quad (4)$$

$$\dot{O} + H_2 \longrightarrow \dot{H} + \dot{O}H \quad (5)$$

链的终止

$$2\dot{H} \longrightarrow H_2 \quad (6)$$

$$\dot{H} + O_2 + M \longrightarrow H_2O + M \quad (7)$$

慢速传递

$$H\dot{O}_2 + H_2 \longrightarrow \dot{H} + H_2O_2 \quad (8)$$

$$H\dot{O}_2 + H_2O \longrightarrow \dot{O}H + H_2O_2 \quad (9)$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

链的引发需有外来能源激发，使分子键破坏生成第一个自由基，如(1)、(2)式。链传递（包括支化）是自由基与分子反应，如式(4)、(5)、(8)、(9)所示。链终止即引向自由基消失的反应，如(6)、(7)式所示。M为惰性分子。

2.1.2 爆　炸

2.1.2.1 爆炸特征

爆炸是物质的一种急剧的物理、化学变化。在变化过程中伴有物质所含能量的快速释放，变为对物质本身、变化产物或周围介质的压缩能或运动能。爆炸时物系压力急剧增高。

爆炸表现有以下特征：

（1）爆炸的内部特征　物系爆炸大量能量在有限体积内突然释放或急骤转化，并在极短时间内在有限体积中积聚，造成高温高压，对邻近介质形成急剧的压力突跃和随后的复杂运动。

（2）爆炸的外部特征　爆炸介质在压力作用下，表现出不寻常的移动或机械破坏效应，以及介质受振动而产生的音响效应。

一般将爆炸现象分两个阶段：一是某种形式的能量以一定的方式转变为单物质，或产物的压缩能；二是物质由压缩状态膨胀，在膨胀过程中做机械功，进而引起附近介质的变形破坏和移动。

2.1.2.2 爆炸分类

1．按爆炸性质分类

（1）物理爆炸　由物理变化引起的爆炸，如蒸汽锅炉或液化气、压缩气体超压引起的爆炸。

（2）化学爆炸　由化学变化引起的爆炸，如可燃气体、蒸气的爆炸，以及炸药的爆炸。

2．按爆炸速度分类

（1）轻爆　爆炸传播速度为每秒数十cm至数m的过程。

（2）爆炸　爆炸传播速度为每秒10m至数百m的过程。

（3）爆轰　指传播速度为每秒1000m至数千m以上的爆炸过程。爆轰是在一定浓度极限范围内产生的。表2-11为某些可燃物的爆轰范围，表2-12为其传播速度。

表 2-11　混合气体爆轰范围

混合气体		爆轰范围		混合气体		爆轰范围	
可燃气体	空气或氧气	下限（%）	上限（%）	可燃气体	空气或氧气	下限（%）	上限（%）
氢　气	空　气	18.3	59.0	氢	氧　气	25.4	75.0
氢　气	氧　气	15.0	90.0	乙　炔	空　气	4.1	50.0
一氧化碳	氧　气	38.0	90.0	乙　炔	氧　气	3.5	92.0
氨	氧　气	25.40	75.0	乙　醚	空　气	2.8	4.5
丙　烷	氧　气	3.20	37.0	乙　醛	氧　气	2.6	24.0

3．按反应相分类

（1）气相爆炸

① 可燃气体混合物爆炸。可燃性气体或可燃液体蒸气同助燃性气体按一定比例混合，在着火源作用下而引起的爆炸称为爆炸性混合气体爆炸。可燃气体除氧气，天然气、乙炔、

表 2-12 某些可燃物质的爆轰速度

1.混合物的爆轰速度

混合气体	含量 (%)	速度 (m/s)	混合气体	含量 (%)	速度 (m/s)
乙醇-空气	6.2	1690	甲烷-氧	33.3	2146
乙醇-氧	25.0	2356	丙烷-氧	25.0	2600
乙烯-空气	9.1	1734	苯-氧	11.8	2206
一氧化碳-氧	66.7	1264	乙炔-氧	40.0	2716
二硫化碳-氧	25.0	1800	氢-氧	66.7	2821

2.高压乙炔爆轰速度(纯度98%)

压力 (kg/cm^2)	爆轰速度 (m/s)
5	1050
10	1100
15	1320
20	1500
25	1600

3.炸药类爆轰速度

炸药、起爆药	爆轰速度 (m/s)
迭氮铅	5300
雷汞	5400
三硝基甲苯	8870
苦味酸	7260
硝化甘油	8625

液化石油气等外，还包括汽油、苯类、醇类、醚类等可燃液体蒸发出来的蒸气。

② 气体热分解爆炸。单一气体由于分解反应产生大量的反应热而引起的爆炸。如乙炔、乙烯、氯乙烯、环氧乙烷、丙二烯、甲基乙炔、乙烯基乙炔、二氧化氯、肼、叠氮化氢等在分解时引起的爆炸。

③ 可燃粉尘爆炸。可燃性固体的微细粉尘，在一定浓度、呈悬浮状态分散在空气等助燃气体中时，由着火源作用而引起的爆炸谓之粉尘爆炸。如分散在空气中的镁、铝、钛、硅钙以及硫磺、小麦等粉尘所引起的爆炸。

④ 可燃液体雾滴爆炸。空气中易燃液体被喷成雾状物剧烈燃烧时引起的爆炸。如油压机喷出的油雾所引起的爆炸。

⑤ 可燃蒸气云爆炸。可燃蒸气云产生于泄漏、喷出后所形成的滞留状态。比空气轻的气体浮于上方，重的则沉覆于地面，滞留于低洼、阴井之处，可随风飘移形成连续气流带同空气混合达其爆炸极限，在火源存在下即可引起爆炸。

可燃蒸气云的危险程度取决于可燃气云的密度、气云片的大小、泄漏速度、气云与空气混合浓度、飘移面积与方向以及风力扩散速度。

（2）凝聚相爆炸

① 液相爆炸。包括聚合爆炸、蒸气爆炸和不同液体混合所引起的爆炸。

② 固相爆炸。包括爆炸性物质的爆炸，固体物质混合、混融所引起的爆炸等。

2.1.2.3 可燃气体爆炸

1. 单一气体分解爆炸

（1）乙炔热分解爆炸　乙炔分解产生的热量为54kcal/mol，假定无热损失，火焰可以达3100℃，其分解反应方程式如下：

$$C_2H_2 \longrightarrow 2C(固) + H_2 + 54kcal/mol$$

在容积为1L的容器里测定乙炔分解爆炸压力为初始压力的9～10倍。达到最高压力的时

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

间，初压为2kgf/cm²时为0.18s；初压为10kgf/cm²时为0.03s。分解爆炸的诱导距离随初压增大而减小。表2-13为乙炔在直径2.5mm管道中测得诱导距离。

表 2-13 乙炔的爆炸诱导距离

乙炔初压（atm）	3.5	3.8	5.0	20.0
诱导距离（m）	9.1	6.7	3.7	0.9～1.0

压缩乙炔有爆炸危险，但压力降到临界压力（1.4kgf/cm²）以下就不会爆炸。此外，乙炔类化合物也具有分解爆炸性能。乙烯基乙炔分解爆炸的临界压力为1.05～1.34kgf/cm²；甲基乙炔20℃时为4.4kgf/cm²，120℃时为3.1kgf/cm²。

（2）乙烯分解爆炸　乙烯分解爆炸按下面反应式进行。

$$C_2H_4 \longrightarrow C(\text{固}) + CH_4 + 30.44\text{kcal/mol}$$

分解爆炸所需能量随压力增高而降低。如有氯化铝存在时，分解爆炸更易发生。乙烯在0℃下分解爆炸临界压力为40atm。

（3）氮氧化物分解爆炸　氮氧化物在一定压力下，可以产生分解爆炸，按下述反应进行。

$$N_2O \longrightarrow N_2 + \frac{1}{2}O_2 + 19.5\,\text{kcal/mol}$$

$$NO \longrightarrow \frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}O_2 + 21.6\,\text{kcal/mol}$$

$$NO_2 \longrightarrow \frac{1}{2}N_2 + O_2 + 8\,\text{kcal/mol}$$

N_2O分解爆炸临界压力为2.5kcal/cm²，NO的分解爆炸压力为15kgf/cm²。在该情况下90%以上可分解为N_2和O_2。

（4）环氧乙烷分解爆炸　环氧乙烷分解爆炸临界压力为0.38kgf/cm²，其分解反应如下：

$$C_2H_4O \longrightarrow CH_4 + CO + 32.11\text{kcal/mol}$$

$$2C_2H_4O \longrightarrow C_2H_4 + 2CO + 2H_2 + 7.98\text{kcal/mol}$$

当125℃时，初压由2.5kgf/cm²增至12kgf/cm²，最大爆炸压力与初压之比可由2倍增到5.6倍；初压对终压有很大影响。

2．混合气体爆炸

（1）可燃气体（蒸气）/空气混合气　将可燃气体或蒸气按一定比例与空气混合均匀，一经点燃，化学反应瞬间完成并形成爆炸。火焰是以一层层同心球面的形式向各方传播的。火焰速度在距着火点0.5～1m处是固定的，每秒若干米甚至还小些。此后逐渐加速达每秒数百米以至数千米。若火焰传播途中有障碍，将由于气体温度上升、压力急剧增加而造成极大的破坏作用。

（2）可燃气（蒸气）/氧气混合气　用氧气代替空气，与可燃气/空气所形成的爆炸无本质上的区别。与可燃气/空气混合气比较，爆炸上限明显提高，而爆炸下限变化不大。

（3）可燃气/其它助燃气混合气　可燃气或可燃蒸气与其它助燃性气体混合亦可导致

爆炸。如氯/氢混合气在一定比例时具有爆炸性。当氢中含氯为50%时，发生的爆炸作用最强烈。在给定条件下相应的数值为：

爆炸下限为5%（体积）；

爆炸上限为85%（体积）；

最大爆炸压力为8.67kgf/cm²。

3. 爆炸极限

（1）爆炸极限的物理意义　可燃气体或可燃液体蒸气与空气或氧气混合物，在引火源作用下能引起爆炸的范围称为爆炸极限。其最低浓度叫做爆炸下限，最高浓度叫做爆炸上限。

就火焰蔓延速度而言，刚好能使火焰蔓延的最低浓度称为爆炸下限（或着火下限）；刚好使火焰蔓延的最高浓度称为爆炸上限（或着火上限）。可燃气体、蒸气在空气中的爆炸极限见表2-1。

（2）影响爆炸极限的因素

① 初始温度。初始温度越高，引起的反应越容易传播，爆炸极限范围越大，即爆炸下限降低而爆炸上限增高。如丙酮在0℃、50℃、100℃时的爆炸极限分别为4.2～8.0%、4.0～9.8%、3.2～10.0%。初始温度对混合物爆炸极限的影响见表2-14。

表 2-14　初始温度对混合物爆炸极限的影响

可燃物	混合物温度（℃）	爆炸下限（%）	爆炸上限（%）	可燃物	混合物温度（℃）	爆炸下限（%）	爆炸上限（%）
丙酮	0	4.2	8.0	煤气	300	4.40	14.25
	50	4.0	9.8		400	4.00	14.70
	100	3.2	10.0		500	3.65	15.35
煤气	20	6.00	13.4		600	3.35	16.40
	100	5.45	13.5		700	3.25	18.75
	200	5.05	13.8				

② 初始压力。一般爆炸性混合物初始压力增高，使其分子间距更为接近，碰撞几率增高，因此使燃烧反应易进行，爆炸极限范围扩大。

一般情况下，随着压力增大，爆炸上限明显提高，爆炸极限范围扩大。已知可燃气体中只有一氧化碳随着压力增加，其爆炸极限范围变小。

降低压力，则爆炸极限范围缩小。待压力降至某值时，其上、下限重合，此时的最低压力即爆炸的临界压力，低于临界压力系统不爆炸。表2-15为压力对甲烷爆炸极限的影响。

表 2-15　压力对甲烷爆炸极限的影响

初始压力（kgf/cm²）	爆炸下限（%）	爆炸上限（%）	初始压力（kgf/cm²）	爆炸下限（%）	爆炸上限（%）
1	5.6	14.3	50	5.4	29.4
10	5.9	17.2	125	5.7	45.7

③ 惰性介质及杂质。爆炸性混合物中惰性气体含量增加，则其爆炸极限范围缩小。当惰性气体增加到某一值时，混合物不再发生爆炸。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

惰性气体种类不同对爆炸极限的影响亦不同，以汽油为例，其爆炸范围按氮气、燃烧废气、二氧化碳、氟里昂21、氟里昂12、氟里昂11顺序依次缩小。

水等杂质的存在对气体反应影响很大。如无水、干燥的氯没有氧化性能；干燥的空气不能完全氧化钠或磷；干燥的氢氧混合物在1000℃下也不会自行爆炸；痕量水会急剧加速臭氧、氮氧化物等物质的分解；少量硫化氢会大大降低水煤气及其混合物的燃点促其爆炸。

④ 容器。容器材质及尺寸等对物质的爆炸极限均有影响。实验表明，容器管道直径越小，爆炸极限范围越小。当管径小到一定程度时火焰便不能通过。这一直径称为临界直径。

容器材料也有很大影响，如氢和氟在玻璃器皿中混合，即使在液态空气温度下，置于黑暗中也会产生爆炸，而在银器中，于一般温度下才能发生反应。

⑤ 能源。火花能量、热表面面积、火源与混合物接触时间等，对爆炸极限均有影响。如甲烷在100 V电压、1A电流火花作用下，无论在何种比例下均不爆炸；若电流增加到2A时，其爆炸极限为5.9～13.6%；3A时为5.85～14.8%。各种混合物都有一个最小引燃能量，一些气体、蒸气与空气形成的混合物的最小引燃能量请见本书第三章表3-10。

4. 爆炸极限的计算

（1）根据化学计算浓度近似计算　爆炸性气体完全燃烧时，其化学理论浓度可用来确定链烷烃类的爆炸下限，公式如下：

$$l_{下} \approx 0.55 c_0 \tag{2-1}$$

式中　0.55——常数；

c_0——爆炸性气体完全燃烧时化学理论浓度。

若空气中氧浓度按20.9%计，c_0可用下式确定。

$$c_0 = \frac{20.9}{0.209 + n_0} \tag{2-2}$$

式中　n_0——可燃气体完全燃烧时所需氧分子数。

如甲烷完全燃烧时，其反应式为：

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O \qquad 此时 n_0 = 2$$

则 $l_{下} = 0.55 c_0 = 0.55 \times \frac{20.9}{0.209 + 2} = 5.2$

由此得甲烷爆炸下限计算值为5.2%，比实验值5.0%相差不超过10%。

该法除运用于链烷烃类之外，也可用来估算其它可燃气体爆炸下限，但估算C_2H_2、H_2以及含N_2、Cl_2、S等有机可燃气者误差较大。该法不适用于无机可燃气体。

根据n_0可由表2-16直接求出空气中化学计算浓度。

（2）用爆炸下限计算爆炸上限　斯派可夫斯基（Spakowski）称，在常压25℃的链烷烃空气中的爆炸上限与下限有如下关系。

$$l_{上} = 7.1 l_{下}^{0.56} \tag{2-3}$$

柴倍太堪司（Zabetakis）认为，在上限附近不伴随冷火焰的情况下，下式是适用的

$$l_{上} = 6.5 \sqrt{l_{下}} \tag{2-4}$$

将式（2-1）代入式（2-4）得

$$l_{上} = 4.8 \sqrt{c_0} \tag{2-5}$$

（3）北川法　日本北川澈三提出不同的气体的爆炸上限可用特定公式计算。根据不同气体由表2-17查出$2n_0$计算公式，然后由表2-18查出c_0即为爆炸上限值。

表 2-16 可燃气浓度与必需氧气量的关系

氧分子数 n_0	氧原子数 $2n_0$	可燃气体浓度（%） 空气中 $C_0=\frac{20.9}{0.209+n_0}$	可燃气体浓度（%） 氧气中 $Z_0=\frac{100}{1+n_0}$	氧分子数 n_0	氧原子数 $2n_0$	可燃气体浓度（%） 空气中 $C_0=\frac{20.9}{0.209+n_0}$	可燃气体浓度（%） 氧气中 $Z_0=\frac{100}{1+n_0}$
1	0.5	45.5	80.0	3	5.5	7.1	26.7
	1.0	29.5	66.7		6.0	6.5	25.0
	1.5	21.8	57.2		6.5	6.1	23.5
	2.0	17.3	50.0		7.0	5.6	22.2
2	2.5	14.3	44.5		7.5	5.3	21.1
	3.0	12.2	40.0		8.0	5.0	20.0
	3.5	10.7	36.4		8.5	4.7	19.0
	4.0	9.5	33.3		9.0	4.5	18.2
3	4.5	8.5	30.8		9.5	4.2	17.4
	5.0	7.7	28.6		10.0	4.0	16.7

表 2-17 可燃气体$2n_0$计算公式表

类别	$2n_0=a\alpha-b$	有机可燃性气体	类别	$2n_0=a\alpha+b$	有机可燃性气体
空气中	$2n_0=0.5\alpha+2.5$	链烷烃（$\alpha\geqslant3$）	空气中	$2n_0=0.5\alpha+1.5$	胺类、卤代烃
	$2n_0=0.5\alpha+2.0$	链烷烃（$\alpha=1\sim2$） （链）烯（烃） 脂肪族环状烃 芳香族烃 酮 一氯代烃（$\alpha\geqslant3$）		$2n_0=\alpha$	有机酸
				$2n_0=\alpha-0.5$	酯类、醇类
			氧气中	$2n_0=0.5\alpha$	链烷烃
				$2n_0=0.5\alpha-0.5$	（链）烯（烃） 脂肪族环状烃

注：α值为可燃气体分子中含C原子数。

如计算C_2H_6爆炸上限，$\alpha=2$，查表2-17，$2n_0=0.5\alpha+2.0=3.0$，查表2-18得其爆炸上限为12.2%。

（4）由含碳原子数计算爆炸极限　脂肪族碳氢化合物爆炸极限的计算，可按脂肪族氢化合物含碳原子数（n_c）与爆炸上、下限的关系式求得。

$$\frac{1}{l_{下}}=0.1347\times n_c+0.4343 \tag{2-6}$$

$$\frac{1}{l_{上}}=0.01337\times n_c+0.05151 \tag{2-7}$$

（5）根据闪点计算爆炸极限　根据易燃气体的闪点，查该温度（闪点）易燃液体的饱和蒸气压进行求取。闪点和爆炸下限可以互相推算。

$$l_{下}=100\times p_{闪}/p_{总} \tag{2-8}$$

式中　$p_{闪}$——闪点下液体的饱和蒸气压，mmHg；

$p_{总}$——混合气体总压力，一般取760mmHg。

例如苯闪点－14℃，查得－14℃时苯的饱和蒸气压为11mmHg，其下限为

$$l_{下}=100\times\frac{11}{760}=1.45\%\ （实测为1.4\%）$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-18 链烷烃化学理论量浓度及其上、下限计算值(CaLc)与实测值(ObS)的比较

可燃气体	分子式	α	化学理论量浓度		下限		上限		
			$2n_s$	C_0 (%)	obs (%)	calc (%)	obs (%)	$2n$	calc (%)
甲 烷	CH_4	1	4	9.5	5.0	5.2	14.0	2.5	14.3
乙 烷	C_2H_6	2	7	5.6	3.0	3.1	12.5	3.0	12.2
丙 烷	C_3H_8	3	10	4.0	2.1	2.2	9.5	4.0	9.5
丁 烷	C_4H_{10}	4	13	3.1	1.8	1.7	8.5	4.5	8.5
异丁烷	C_4H_{10}	4	13	3.1	—	1.7	8.4	4.5	8.5
戊 烷	C_5H_{12}	5	16	2.5	1.4	1.4	7.8	5.0	7.7
异戊烷	C_5H_{12}	5	16	2.5	—	1.4	7.6	5.0	7.7
二甲丙烷	C_5H_{12}	5	16	2.5	—	1.4	7.5	5.0	7.7
正已烷	C_6H_{14}	6	19	2.2	1.2	1.2	7.5	5.5	7.1
二甲丁烷	C_6H_{14}	6	19	2.2	—	1.2	7.0	5.5	7.1
甲基戊烷	C_6H_{14}	6	19	2.2	—	1.2	7.0	5.5	7.1
庚 烷	C_7H_{16}	7	22	1.9	1.05	1.0	6.7	6.0	6.5
二甲戊烷	C_7H_{16}	7	22	1.9	—	1.0	6.7	6.0	6.5
辛 烷	C_8H_{18}	8	25	1.6	0.95	0.9	6.0	6.5	6.1
异辛烷	C_8H_{18}	8	25	1.6	—	0.9	6.0	6.5	6.1
壬 烷	C_9H_{20}	9	28	1.5	0.85	0.8	5.6	7.0	5.6
四甲基戊烷	C_9H_{20}	9	28	1.5	—	0.8	4.9	7.0	5.6
二乙基戊烷	C_9H_{20}	9	28	1.5	—	0.8	5.7	7.0	5.6
癸 烷	$C_{10}H_{22}$	10	31	1.3	0.75	0.7	5.4	7.5	5.3

（6）两种以上可燃气体或蒸气混合物的爆炸极限 理·查特里 (Le chatelier) 认为，复杂组成的可燃气体或蒸气混合物的爆炸极限，可根据各组分已知的爆炸极限按下式求之。该式适用于各组分间不反应、燃烧时无催化作用的可燃气体混合物。

$$l_m = \frac{100}{\frac{V_1}{l_1} + \frac{V_2}{l_2} + \cdots \frac{V_n}{l_n}} \tag{2-9}$$

式中 l_m——混合气体的爆炸极限，%；

l_1、l_2、l_n——混合气中各组分的爆炸极限，%；

V_1、V_2、V_n——各组分在混合气体中的浓度，%。

例如一天然气组成如下：甲烷80% ($l_{下}=5.0\%$)、乙烷15% ($l_{下}=3.22\%$)、丙烷4% ($l_{下}=2.37\%$)、丁烷1% ($l_{下}=1.86\%$) 求爆炸下限。

$$l_m = \frac{100}{\frac{80}{5.0} + \frac{15}{3.22} + \frac{4}{2.37} + \frac{1}{1.86}} = 4.369$$

式2-9也可用于计算混合气体爆炸上限，此时，l_1、l_2、l_n为各组分的爆炸上限。表2-19及表2-20为某些混合气体的爆炸极限。

（7）压力下爆炸极限的计算 几种物质在1～10atm范围内爆炸极限的实验计算式如下：

CH_4：
$$l_{上} = 56.0(p-0.9)^{0.040} \tag{2-10}$$

C_2H_6：
$$l_{上} = 52.5(p-0.9)^{0.045} \tag{2-11}$$

C_3H_8：
$$l_{上} = 47.5(p-0.9)^{0.043} \tag{2-12}$$

表 2-19 氢、一氧化碳、甲烷混合气体

混合气体组成（%）			爆炸极限（%）		混合气体组成（%）			爆炸极限（%）	
H_2	CO	CH_4	实测值	计算值	H_2	CO	CH_4	实测值	计算值
100	0	0	4.1～75	—	0	25	75	6.4～—	6.5～—
75	25	0	4.7～—	4.9～—	0	0	100	5.6～15.1	—
50	50	0	6.05～71.8	6.2～72.2	25	0	75	4.7～—	5.1～—
25	75	0	8.2～—	8.3～—	50	0	50	5.4～—	4.75～—
10	90	0	10.8～—	10.4～—	75	0	25	4.1～—	4.4～—
0	100	0	12.5～73.0	—	90	0	10	4.1～—	4.2～—
0	90	10	11.0～—	11.1～—	33.3	33.3	33.3	5.7～26.9	6.0～32.4
0	75	25	9.5～—	9.6～—	55	15	30	4.7～—	5.0～—
0	50	50	7.7～22.8	77.5～25.0	48.5	0	51.5	—～33.6	—～24.5
0	40	60	7.2～—	7.2～—					

表 2-20 某些混合气体的爆炸极限

类别	组成（体积%）							实测值（体积%）		计算值（体积%）	
	CO_2	C_mH_n	O_2	CO	H_2	CH_4	N_2	下限	上限	下限	上限
焦炉气	1.9	3.9	0.4	6.3	54.4	31.5	1.6	5.0	28.4	4.5	28.1
城市煤气	2.5	3.2	0.5	10.5	47.0	25.8	10.5	5.6	31.7	5.4	31.6
水煤气	6.2	0.0	0.3	39.2	49.0	23	3.5	6.9	69.5	6.1	65.4
发生炉煤气	6.2	—	0.0	27.3	12.4	0.7	53.0	20.7	73.7	19.0	70.5
天然气	—	5.16	0.1	—	—	87.4	3.2	4.8	13.46	—	—

C_2H_4：$$l_{上}=64.0(p-0.2)^{0.082} \tag{2-13}$$

C_3H_6：$$l_{上}=43.5(p-0.2)^{0.035} \tag{2-14}$$

式中 $l_{上}$——可燃气体爆炸上限，%；

p——压力，atm。

（8）可燃气体与惰性气体混合物爆炸极限的计算 在可燃气体混合物中混入氮、二氧化碳等惰性气体时，其爆炸极限计算可将惰性气体和可燃气体混合分成若干组，每组由一种可燃组分与另一种非可燃组分组成，然后分别进行计算。

如某回收煤气平均成分如下，求爆炸极限：

组分名称	CO	CO_2	N_2	O_2	H_2
体积%	58	19.4	20.7	0.4	1.5

① 组：CO、CO_2

$58(CO)+19.4(CO_2)=77.4(CO+CO_2)$

求出 惰性气体/可燃气体的比值即$\frac{CO_2}{CO}=\frac{19.4}{58}=0.33$查图2-2可得$l_{上}=70\%$，$l_{下}=17\%$；

② 组：N_2、H_2

$1.5(H_2)+20.7(N_2)=22.2(H_2+N_2)$，其中$\frac{N_2}{H_2}=\frac{20.7}{1.5}=13.8$，查图2-2得$l_{上}=76\%$，$l_{下}=64\%$。将上述计算所得之$l_{上}$、$l_{下}$代入公式即可求出煤气爆炸极限：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$l_{上}=\frac{77.4+22.2}{\frac{77.4}{70}+\frac{22.2}{76}}=71.5\% \qquad l_{下}=\frac{77.4+22.2}{\frac{77.4}{17}+\frac{22.2}{64}}=20.3\%$$

对于有惰性气体混入的多组分可燃气体混合物的爆炸极限，也可用下式计算：

$$l_m=l_f\frac{\left(1+\frac{B}{1-B}\right)\times 100}{100+l_f\frac{B}{1-B}} \tag{2-15}$$

式中 l_m——含惰性气体混合物的爆炸极限，%；

l_f——混合物中可燃部分的爆炸极限，%；

B——惰性气体含量，%。

如某干馏气体成分如下，求爆炸极限：

$$\left.\begin{array}{ll}C_mH_n & 1\%\\ CH_4 & 3\%\\ CO & 3\%\\ H_2 & 10\%\end{array}\right\}\text{可燃气体17\%、}\qquad \left.\begin{array}{ll}CO_2 & 18\%\\ N_2 & 65\%\end{array}\right\}\text{惰性气体83\%}$$

其中，可燃部分中：

$$C_mH_n\ 1\%\ 占\frac{\frac{1}{100}}{\frac{17}{100}}=5.9\%$$

$$CH_4\ 3\%\ 占\frac{\frac{3}{100}}{\frac{17}{100}}=17.6\%$$

$$CO\ 3\%\ 占\frac{\frac{3}{100}}{\frac{17}{100}}=17.6\%$$

$$H_2\ 10\%\ 占\frac{\frac{10}{100}}{\frac{17}{100}}=58.8\%$$

混合物可燃部分的爆炸下限

$$l_{f下}=\frac{100}{\frac{17.6}{5}+\frac{5.9}{3.1}+\frac{17.6}{12.5}+\frac{58.8}{4.1}}=4.7\%$$

混合物的爆炸下限

$$l_下=4.7\times\frac{\left(1+\frac{0.83}{1-0.83}\right)\times 100}{100+4.7\times\frac{0.83}{1-0.83}}=22.5\%$$

混合物可燃部分的爆炸上限

$$l_{t上}=\frac{100}{\frac{5.9}{28.6}+\frac{17.6}{15}+\frac{17.6}{74.2}+\frac{58.8}{74.2}}=41.5\%$$

混合物爆炸上限

$$l_{上}=41.5\times\frac{\left(1+\frac{0.83}{1-0.83}\right)\times100}{100+\frac{0.83}{1-0.83}\times41.5}=80.5\%$$

其它可燃气体，如乙烷、丙烷和二氧化碳、氮混合物的爆炸极限可用图2-3进行计算。

（9）可燃气体爆炸范围图　它是一种图示法，运用它可立即得出不同比例混合气的爆炸极限，一般只用于三成分系统，即用三角形座标法来计算。三成分系统有如下三种情况：

① 由可燃气体F、助燃气体S、惰性气体I各一种组成，见图2-4(*a*)(1)；

② 由两种可燃气体F_1、F_2同助燃气体S组成，见图2-4(*a*)(2)；

③ 由可燃气体F，同两种助燃气体S_1、S_2组成，见图2-4(*a*)(3)。

图中斜线部分相当于爆炸范围。x_1、x_2；X_1'、X_2'；X_1、X_2表示可燃气体的爆炸上、下限。

① 三角座标图读法　见图2-4(*b*)，图中任何一点表示三种成分的不同百分比。读法即在该点作三条平行线，分别与三边平行，由三条平行线与相应边的交点可读出其含量。如图中m点A(50)、B(20)、C(30)；n点A(20)、B(70)、C(10)；如点在AC边上，则B为0其它类推。

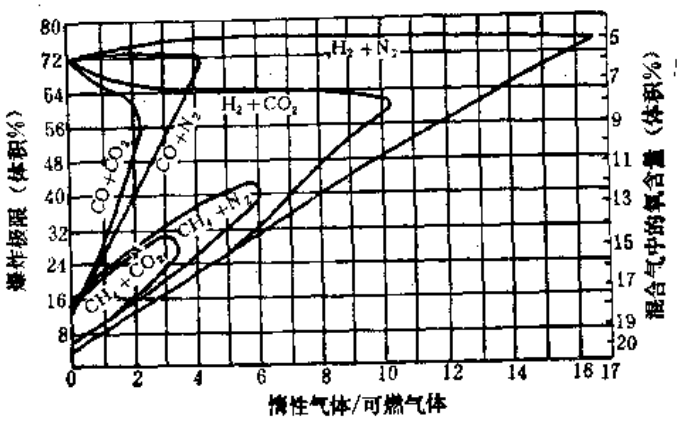


图 2-2　氢、一氧化碳、甲烷和氮、二氧化碳混合气的爆炸极限

② 可燃气（或蒸气）-助燃气体-惰性气体三组分系的爆炸范围（在直径5 cm管中的上部传播）如图2-5～图2-22所示。

5. 最小点燃能量

最小点燃能量是在规定条件下能引起爆炸性混合物发生燃爆的最小电火花所具有的能量。一些可燃气体、蒸气与空气的混合物的最小点燃能量请见本书第3章。

最小点燃能量与化学结构的关系如下：

（1）点燃能量按链烷＞链烯＞炔烷的顺序降低；

（2）链的长度增加和支链增多使点燃能量增加；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

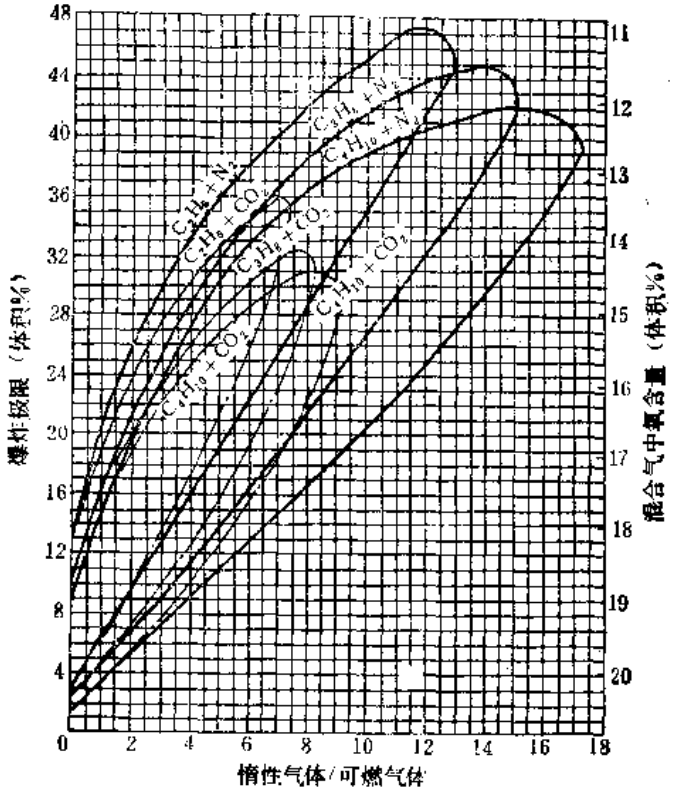


图 2-3　乙烷、丙烷、丁烷和氢、二氧化碳混合气的爆炸极限（空气中）

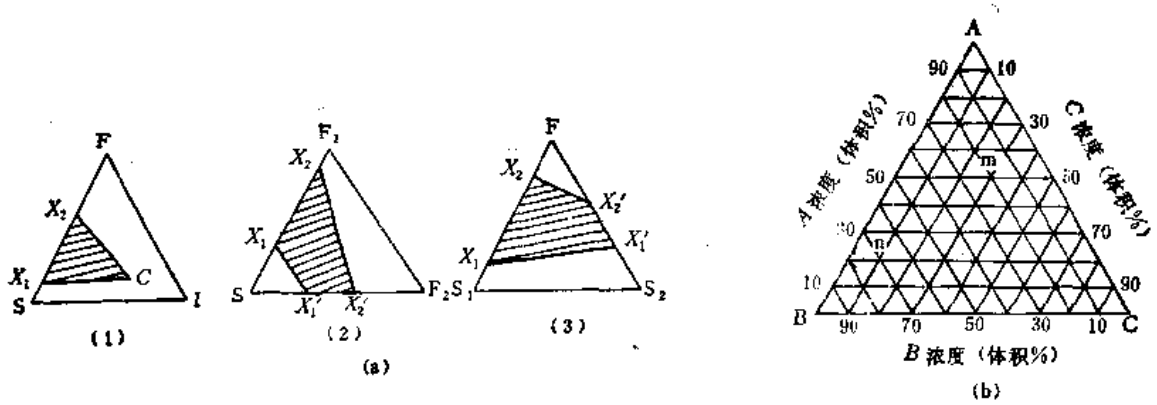


图 2-4　三成分系混合气组成三角坐标

（3）共轭键结构一般使点燃能量降低；

（4）凡有负取代基者，点燃能量按SH＜OH＜Cl＜NH_2的顺序增大；

（5）伯胺比叔胺、仲胺的点燃能量大；

（6）醚、硫醚、酯、酮能增大点燃能量；

（7）过氧化物能降低点燃能量；

（8）芳香烃的点火能量与具有相同数量碳的脂肪烃有同样的倾向。

6．爆炸压力

可燃气体（蒸气）同空气的混合物在密闭容器中着火时，火焰急速传播到整个容器。其传播速度低于音速者，压力也同样上升。此压力叫做爆炸压力。有关几个术语如下：

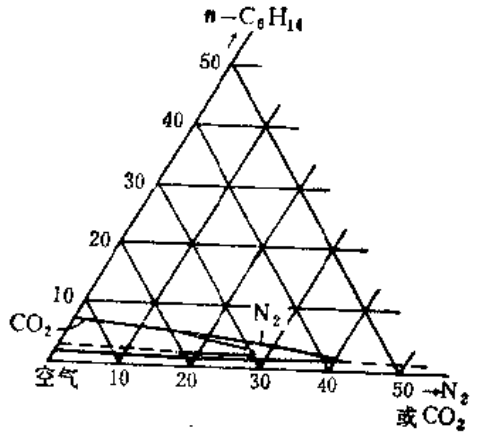


图 2-5 己烷蒸气-空气-氮气或二氧化碳系的爆炸范围

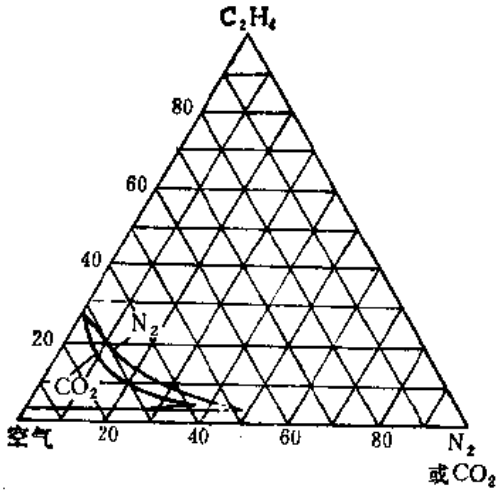


图 2-6 乙烯-空气-氮气或二氧化碳系的爆炸范围

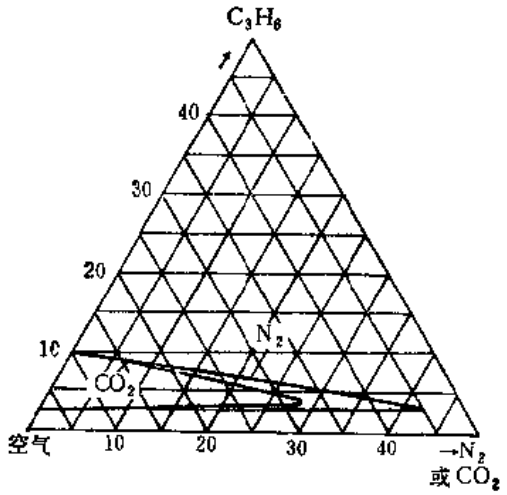


图 2-7 丙烯-空气-氮气或二氧化碳系的爆炸范围

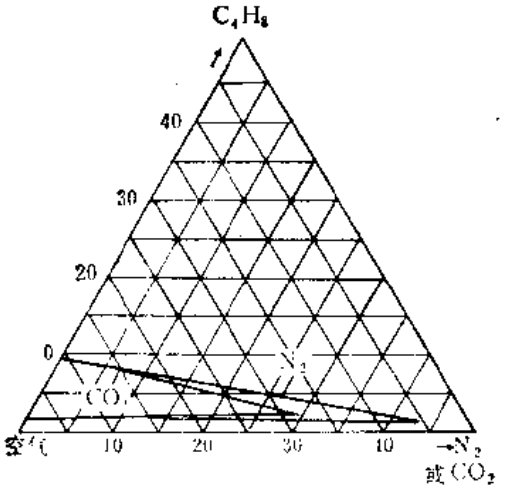


图 2-8 1-丁烯-空气-氮气或二氧化碳系的爆炸范围

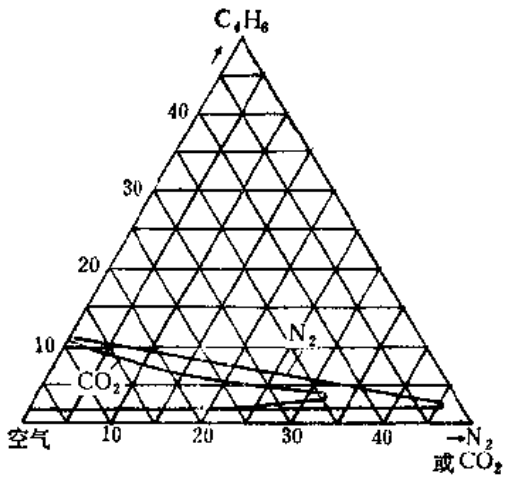


图 2-9 1，3-丁二烯-空气-氮气或二氧化碳的爆炸范围

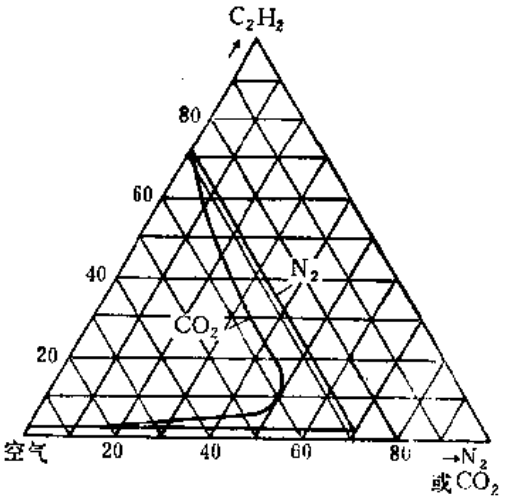


图 2-10 乙炔-空气-氮气或二氧化碳系的爆炸范围

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

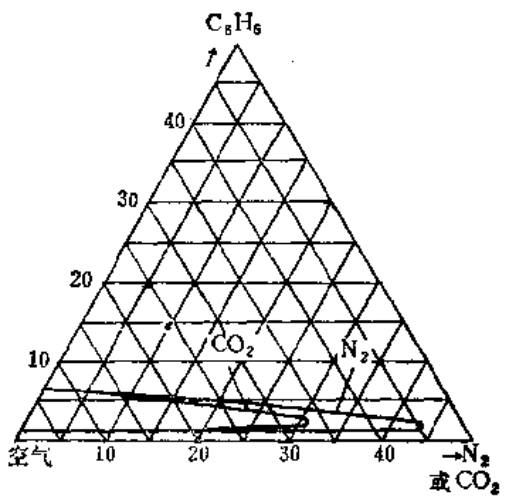


图 2-11 苯蒸气-空气-氮气或二氧化碳系的爆炸范围

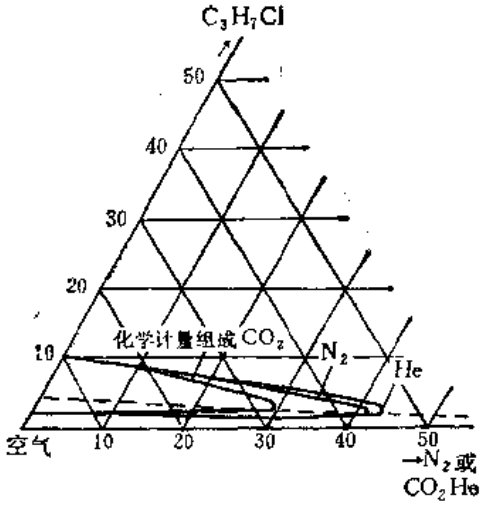


图 2-12 氯丙烷-空气-氮气或二氧化碳、氦系的爆炸范围

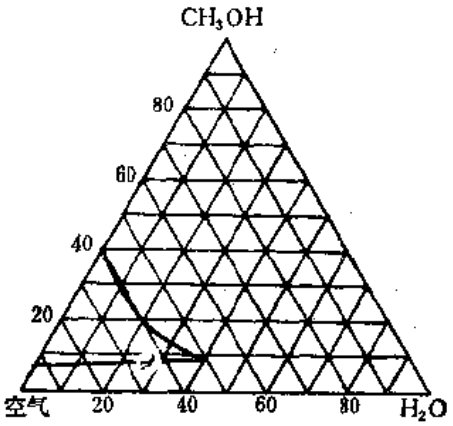


图 2-13 甲醇蒸气-空气-水蒸汽系的爆炸范围

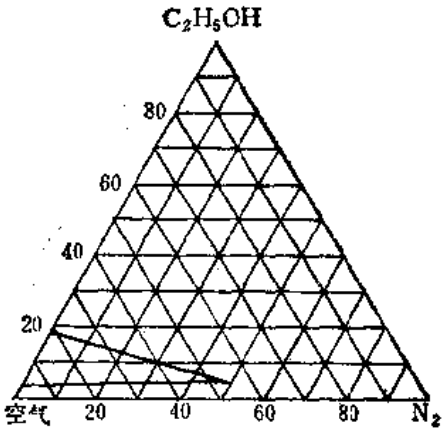


图 2-14 乙醇蒸气-空气-氮气系的爆炸范围

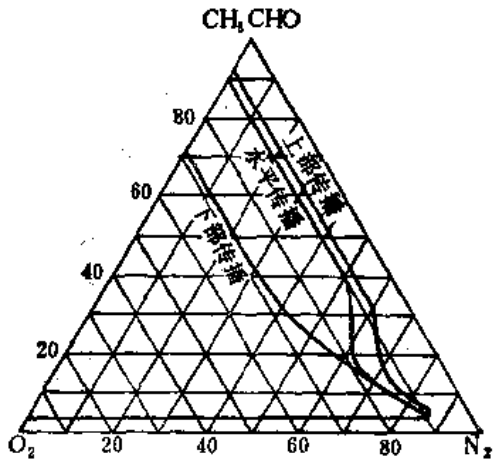


图 2-15 乙醛蒸气-氧气-氮气系的爆炸范围

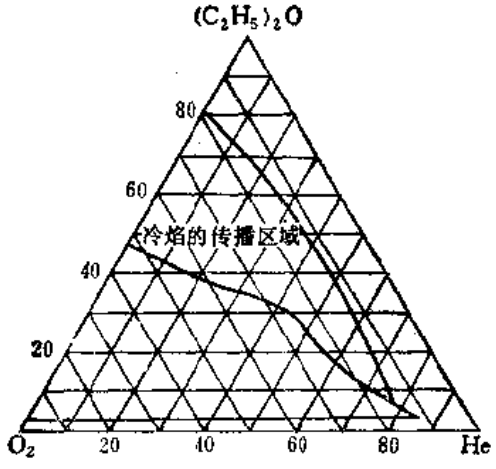


图 2-16 乙醚蒸气-氧气-氦系的爆炸范围

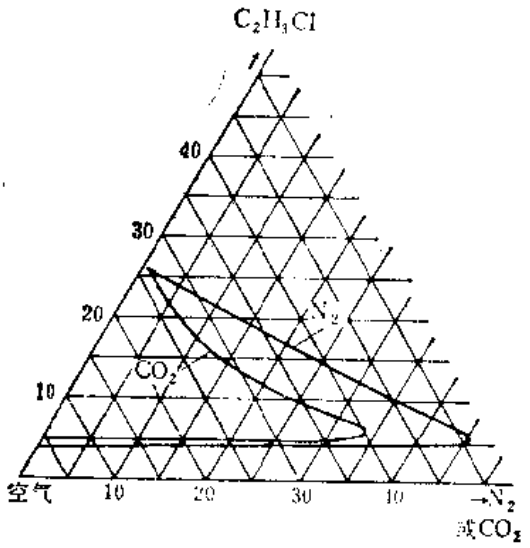


图 2-17 氯乙烯-空气-氮或二氧化碳系的爆炸范围

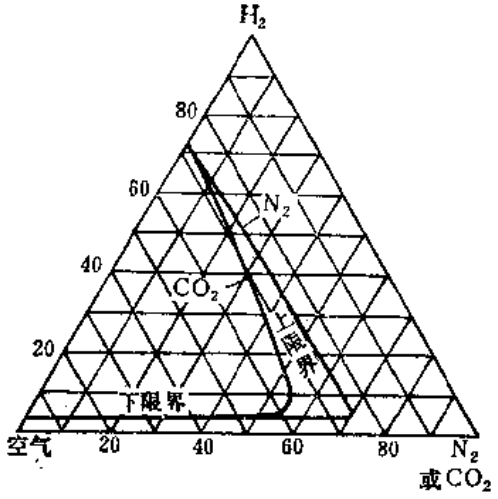


图 2-18 氢气-空气-氮或二氧化碳系的爆炸范围

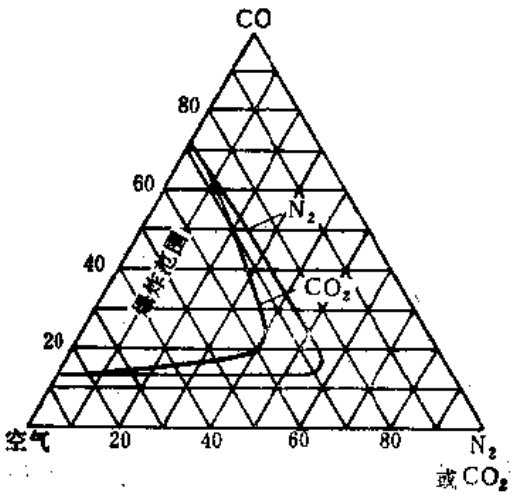


图 2-19 一氧化碳-空气-氮或二氧化碳系的爆炸范围

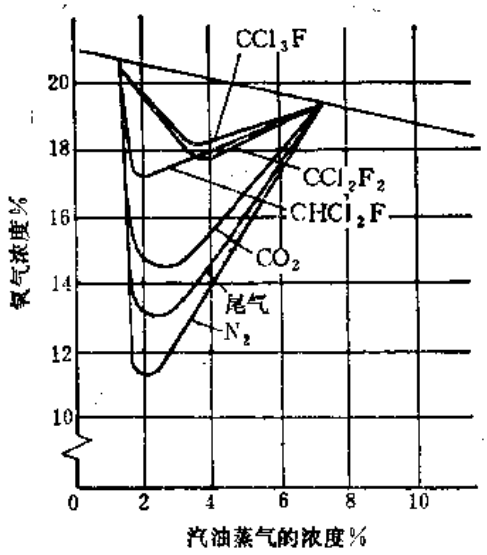


图 2-20 汽油蒸气-空气-各种惰性气体系的爆炸范围

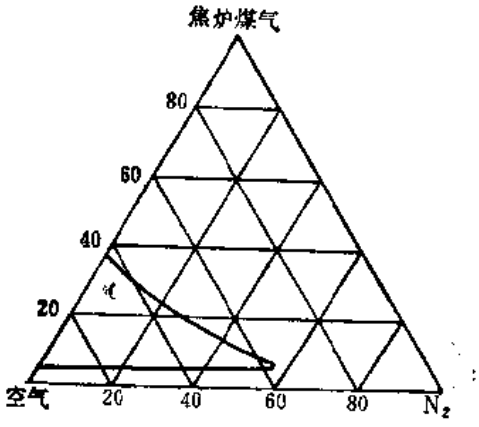


图 2-21 焦炉煤气-空气-氮系的爆炸范围

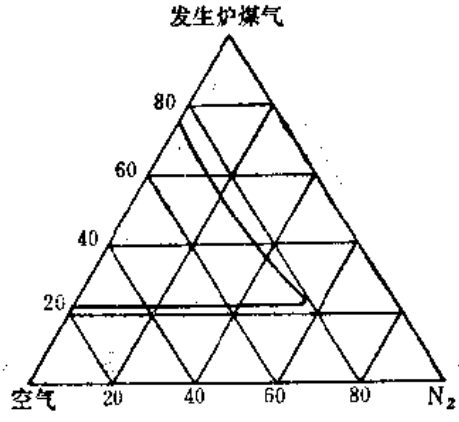


图 2-22 发生炉煤气-空气-氮系的爆炸范围

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（1）最大爆炸压力　即爆炸压力的最大值（绝对压力），同初始压力之比，只有少数大于8:1；

（2）最大爆炸压力时间　从压力开始上升至达到最大值的时间；

（3）爆炸压力最大上升速度　爆炸压力上升速度（dp/dt）是衡量爆炸强度的尺寸，表明单位时间压力上升值。而最大爆炸压力上升速度指压力-时间曲线的最大斜率所表达的压力上升速度；

（4）爆炸压力平均上升速度　最大爆炸压力除以达到最大爆炸压力时间得到的平均上升速度。

表2-21所示为可燃气体、蒸气与气体混合物的爆炸压力测定数据。测定是在常压、65℃、容积10L的容器中进行的。

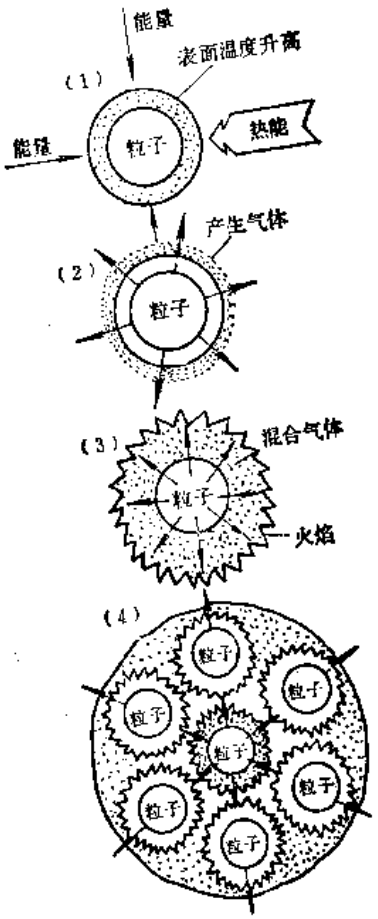


图 2-23　粉尘爆炸过程

2.1.2.4　可燃粉尘爆炸

1．粉尘爆炸机理

粉尘爆炸是因其粒子表面氧化而发生的。其爆炸过程（图2-23）包括以下几个阶段：

（1）粒子表面接受热能时，表面温度上升；

（2）粒子表面的分子产生热分解或干馏作用成为气体排放在粒子周围；

（3）该气体同空气混合成为爆炸性混合气体，发火产生火焰；

（4）这种火焰产生的热，进一步促进粉末的分解不断成为气相，放出可燃气体与空气混合而发火、传播。

2．爆炸极限

许多工业可燃粉尘的爆炸下限在20～60g/m³之间，爆炸上限在2～6kg/m³之间。

碳氢化合物一类粉尘如能完全气化燃尽，则爆炸下限可由布尔格斯-维勒（Burgess-Wheeler）关系式计算。

$$c \times Q = k \qquad (2\text{-}15)$$

式中　c——爆炸下限浓度；

Q——该物质每摩尔的燃烧热或每克的燃烧热；

k——常数。

碳氢化合物的单位重量燃烧热均大致相等，其爆炸下限约为45～50g/m³。部分粉尘和纤维的爆炸极限如表2-22(a)所示。

粉尘爆炸极限受以下因素影响。

（1）粒度　粉尘爆炸下限受粒度的影响很大，粒度越高（粒径越小）爆炸下限越低。一般当可燃粉尘粒径大于400μm时，强点燃源也很难使其爆炸。当不可爆的粗粉中所含的可爆细粉量超过其爆炸下限时，混合粉尘即有爆炸危险。

（2）水分　含尘空气有水分存在时，爆炸下限提高，甚至失去爆炸性。欲使产品成为

表 2-21 某些物质的爆炸压力

	气体或蒸气浓度，V%														
	2	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	15	16	18
丙　酮															
p_{max}	—	—	4.4	4.4	5.6	5.8	5.6	5.3	4.3	—	—	—	—	—	—
t	—	—	0.44	0.20	0.07	0.08	0.08	0.16	0.52	—	—	—	—	—	—
v_{max}	—	—	9.4	35.2	108.1	140.6	105.5	63.3	11.1	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	7.7	21.1	70.3	84.4	70.3	33.4	7.7	—	—	—	—	—	—
丙 烯 腈															
p_{max}	—	—	—	4.4	5.6	6.9	7.3	7.7	—	7.6	7.3	6.8	—	—	—
t	—	—	—	0.132	0.104	0.049	0.044	0.042	—	0.068	0.13	0.23	—	—	—
v_{max}	—	—	—	35.2	65.0	160.0	175.8	196.9	—	175.8	140.6	62.6	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	—	21.1	54.5	140.6	168.7	182.8	—	112.5	56.2	28.1	—	—	—
丁　烷															
p_{max}	—	—	5.1	6.8	6.8	4.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
t	—	—	0.132	0.057	0.0567	0.407	—	—	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	—	—	50.3	147.7	161.7	18.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	38.7	119.5	119.5	12.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
苯															
p_{max}	5.1	—	6.5	6.8	5.4	3.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
t	0.14	—	0.05	0.06	0.14	0.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	59.8	—	130.1	161.7	70.3	4.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	35.2	—	161.7	112.5	38.7	3.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
丁　醇															
p_{max}	—	—	4.9	6.7	6.6	7.3	—	6.8	—	6.7	5.7	4.9	—	—	—
t	—	—	0.26	0.088	0.08	0.064	—	0.11	—	0.11	0.36	0.56	—	—	—
v_{max}	—	—	29.9	135.0	140.6	189.8	—	112.5	—	109.0	26.4	17.6	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	19.3	77.3	84.4	112.5	—	68.6	—	66.8	15.8	8.8	—	—	—
乙　醚															
p_{max}	3.3	—	5.4	5.3	7.3	7.0	5.6	—	—	—	—	—	—	—	—
t	0.36	—	0.107	0.101	0.051	0.056	0.40	—	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	25.7	—	65.0	87.9	210.9	147.7	26.0	—	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	8.8	—	51.0	52.7	140.6	126.6	14.1	—	—	—	—	—	—	—	—

	气体或蒸气浓度，V%														
	5	7	8	10	12	13	14	15	16	18	20	25	30	40	35
乙　醛															
p_{max}	—	5.3	2.2	6.6	6.6	—	6.3	—	5.5	4.6	—	—	—	—	—
t	—	0.088	0.070	0.049	0.051	—	0.068	—	0.192	0.42	—	—	—	—	—
v_{max}	—	72.1	87.9	147.7	140.6	—	98.4	—	35.9	14.1	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	59.8	80.9	133.6	126.6	—	91.4	—	28.1	10.5	—	—	—	—	—

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

	气体或蒸气浓度，V%														
	5	7	8	10	12	13	14	15	16	18	20	25	30	40	35
乙　炔															
p_{max}	5.6	8.5	9.4	10.1	10.4	10.5	10.3	10.1	9.7	—	7.9	7.0	—	—	—
t	0.0336	0.019	0.0185	0.012	0.015	0.017	0.02	0.024	0.025	—	0.043	0.175	—	—	—
v_{max}	175.8	443.0	703.1	773.4	843.7					—	316.4	98.4	—	—	—
$\bar{v}$	161.7	421.9	509.7	843.7	703.1	618.7	513.3	421.9	386.7	—	168.7	40.4	—	—	—
乙　醇															
p_{max}	3.4	—	6.5	6.8	7.0	—	6.7	—	6.3	5.6	5.1	—	—	—	—
t	0.94	—	0.06	0.056	0.064	—	0.084	—	0.23	0.33	0.72	—	—	—	—
v_{max}	5.3	—	144.1	175.8	161.7	—	145.9	—	54.4	22.9	16.7	—	—	—	—
$\bar{v}$	3.5	—	105.5	119.5	109.0	—	80.9	—	28.1	16.9	7.0	—	—	—	—
氢															
p_{max}	—	—	—	—	—	—	—	4.3	—	—	4.6	4.8	7.0	7.1	7.0
t	—	—	—	—	—	—	—	0.029	—	—	0.028	0.025	0.011	0.010	0.0112
v_{max}	—	—	—	—	—	—	—	193.3	—	—	210.9	218.0	696.1	773.4	703.1
$\bar{v}$	—	—	—	—	—	—	—	147.7	—	—	161.7	189.8	632.8	703.1	518.0
甲　醇															
p_{max}	—	—	4.6	5.6	6.0	—	—	6.3	—	5.9	5.3	—	—	—	—
t	—	—	0.22	0.08	0.08	—	—	0.06	—	0.10	0.18	—	—	—	—
v_{max}	—	—	33.4	127.8	140.6	—	—	213.0	—	123.0	70.3	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	21.1	70.3	73.8	—	—	105.5	—	50.0	28.1	—	—	—	—
氯乙烯89%＋甲醇11%															
p_{max}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.2	4.9	3.1	—	—	—
t	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.72	0.48	0.72	—	—	—
v_{max}	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7.0	16.7	5.3	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.0	10.5	4.2	—	—	—

	气体或蒸气浓度，V%														
	1.2	2	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15
丁内酯（350°F）															
p_{max}	—	—	—	2.4	3.8	4.9	5.1	5.5	5.6	5.3	4.9	—	4.7	—	—
t	—	—	—	0.60	0.105	0.069	0.047	0.046	0.042	0.059	0.07	—	0.079	—	—
v_{max}	—	—	—	5.3	60.8	135.3	175.8	193.3	218.0	161.7	114.3	—	60.5	—	—
$\bar{v}$	—	—	—	38.7	35.9	70.3	109.0	119.5	133.6	91.4	70.3	—	59.8	—	—
环 己 烷															
p_{max}	—	6.3	—	7.3	4.7	3.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
t	—	0.08	—	0.052	0.112	0.92	—	—	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	—	105.5	—	154.7	67.5	6.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	87.9	—	140.6	42.2	4.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—

续表

	气体或蒸气浓度，V%														
	1.2	2	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	15
乙　烷															
p_{max}	—	—	—	—	4.8	5.9	6.5	6.9	6.0	5.3	3.7	3.5	—	—	—
t	—	—	—	—	0.0856	0.06	0.048	0.047	0.079	0.149	0.80	0.88	—	—	—
v_{max}	—	—	—	—	63.3	117.8	138.9	175.8	77.3	54.8	7.3	6.2	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	—	—	56.2	98.4	133.6	147.7	73.8	35.2	43.9	3.9	—	—	—
乙　烯															
p_{max}	—	—	—	—	—	6.5	6.7	7.3	8.4	7.9	7.5	6.6	5.6	4.2	—
t	—	—	—	—	—	0.041	0.038	0.034	0.018	0.020	0.044	0.105	0.20	0.40	—
v_{max}	—	—	—	—	—	175.8	182.8	219.7	597.6	583.6	225.0	158.2	52.7	14.1	—
$\bar{v}$	—	—	—	—	—	158.2	175.8	210.9	464.0	393.7	168.7	63.3	28.1	8.8	—
二氯乙烯															
p_{max}	—	—	—	—	—	—	—	5.3	6.3	—	6.6	—	5.0	4.4	—
t	—	—	—	—	—	—	—	0.28	0.207	—	0.18	—	0.23	1.34	—
v_{max}	—	—	—	—	—	—	—	32.3	46.4	—	6.40	—	35.2	6.5	—
$\bar{v}$	—	—	—	—	—	—	—	19.3	31.6	—	36.9	—	21.1	3.2	—
己　烷															
p_{max}	5.1	6.2	6.5	6.4	3.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
t	0.12	0.08	0.06	0.10	0.72	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	59.8	119.5	175.8	108.3	7.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	42.2	77.3	105.5	63.3	5.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

	气体或蒸气浓度，V%														
	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2-丙　醇															
p_{max}	—	—	—	—	4.6	6.0	6.5	—	6.3	—	4.9	—	—	—	—
t	—	—	—	—	0.23	0.08	0.072	—	0.12	—	0.70	—	—	—	—
v_{max}	—	—	—	—	33.4	109.7	135.3	—	93.2	—	10.2	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	—	—	19.7	73.8	91.4	—	52.7	—	7.0	—	—	—	—
异 丙 醚															
p_{max}	—	4.6	6.3	7.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
t	—	0.22	0.088	0.061	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	—	45.0	93.2	117.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	21.1	71.3	116.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
粗 汽 油															
p_{max}	5.6	6.3	6.6	—	4.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
t	0.11	0.07	0.06	—	0.36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	70.3	175.8	175.8	—	21.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	51.6	87.9	109.0	—	14.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

	气体或蒸气浓度，V%														
	1.5	2	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
丙烷															
p_{max}	—	—	—	5.2	6.5	6.7	5.9	3.4	—	—	—	—	—	—	—
t	—	—	—	0.098	0.057	0.056	0.129	1.36	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	—	—	—	87.9	168.7	175.8	96.7	2.5	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	—	53.4	112.5	119.5	45.7	2.5	—	—	—	—	—	—	—
二氯丙烯															
p_{max}	—	—	—	—	—	5.8	6.2	—	3.9	—	—	—	—	—	—
t	—	—	—	—	—	0.20	0.174	—	0.22	—	—	—	—	—	—
v_{max}	—	—	—	—	—	47.5	77.3	—	54.5	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	—	—	—	—	—	28.8	35.2	—	17.6	—	—	—	—	—	—
甲苯															
p_{max}	2.8	5.5	—	6.2	6.5	4.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
t	1.28	0.16	—	0.08	0.10	0.26	—	—	—	—	—	—	—	—	—
v_{max}	3.0	59.8	—	154.7	168.7	28.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\bar{v}$	2.1	35.2	—	77.3	64.7	17.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—

温度对爆炸压力参数的影响

	80°F (26.5℃)	100°F (37.8℃)	150°F (65.6℃)	200°F (93.3℃)	250°F (121.1℃)	300°F (148.9℃)	350°F (176.7℃)	400°F (204.4℃)
丙酮（空气中的浓度6%）								
p_{max}	—	—	6.6	6.5	5.8	5.6	5.1	4.9
t	—	—	0.07	0.063	0.065	0.058	0.05	0.045
v_{max}	—	—	140.6	154.7	161.7	196.9	210.9	210.9
$\bar{v}$	—	—	91.4	101.9	87.9	98.4	101.9	109.0
甲醇（空气中的浓度15%）								
p_{max}	—	—	6.3	6.3	6.0	5.4	5.3	4.9
t	—	—	0.06	0.052	0.049	0.046	0.043	0.039
v_{max}	—	—	213.0	218.0	196.9	196.9	210.9	210.9
$\bar{v}$	—	—	105.5	112.5	123.0	119.5	123.0	126.6
乙醇（空气中的浓度8%）								
p_{max}	—	—	6.5	6.3	6.0	5.5	5.1	5.0
t	—	—	0.06	0.057	0.054	0.045	0.042	0.042
v_{max}	—	—	144.1	161.7	161.7	210.9	218.0	221.5
$\bar{v}$	—	—	105.5	109.0	110.7	123.0	119.5	119.5
异丙醇（空气中的浓度8%）								
p_{max}	—	—	6.0	6.0	5.8	5.5	5.1	4.8
t	—	—	0.08	0.07	0.065	0.060	0.054	0.045
v_{max}	—	—	109.7	135.3	140.6	140.6	154.7	161.7
$\bar{v}$	—	—	73.8	84.4	87.9	91.4	94.6	105.5

续表

	80°F (26.6℃)	100°F (37.8℃)	150°F (65.6℃)	200°F (93.3℃)	250°F (121.1℃)	300°F (148.9℃)	350°F (176.7℃)	400°E (204.4℃)
丁醇（空气中的浓度5％）								
p_{max}	—	—	7.3	6.7	6.3	5.8	5.3	5.3
t	—	—	0.064	0.05	0.049	0.05	0.049	0.038
v_{max}	—	—	189.8	196.9	218.0	218.0	221.5	225.0
$\bar{v}$	—	—	112.5	133.6	126.6	112.5	109.0	140.6
粗汽油（空气中的浓度2％）								
p_{max}	—	—	6.3	6.0	5.9	5.3	4.9	4.6
t	—	—	0.07	0.068	0.057	0.056	0.052	0.050
v_{max}	—	—	140.6	140.6	147.7	147.7	161.7	161.7
$\bar{v}$	—	—	86.9	89.6	103.7	94.9	91.4	93.2
苯（空气中的浓度3％）								
p_{max}	—	—	6.5	6.3	5.9	5.6	5.1	4.9
t	—	—	0.05	0.05	0.048	0.048	0.042	0.042
v_{max}	—	—	161.7	179.3	195.5	210.9	210.9	218.0
$\bar{v}$	—	—	130.0	123.0	123.0	116.0	119.5	116.0
甲苯（空气中的浓度3％）								
p_{max}	—	—	7.0	6.5	6.0	5.8	5.3	4.9
t	—	—	0.067	0.058	0.056	0.055	0.048	0.042
v_{max}	—	—	154.7	161.7	168.7	168.7	175.8	703.1
$\bar{v}$	—	—	103.7	112.5	109.0	105.5	109.0	358.9
氢（空气中的浓度30％）								
p_{max}	7.6	7.4	7.0	6.3	5.9	5.6	5.3	4.6
t	0.008	0.0104	0.011	0.012	0.013	0.0135	0.0135	0.013
v_{max}	703.1	703.1	625.8	632.8	632.8	689.0	689.0	689.0
$\bar{v}$	949.2	703.1	696.1	527.3	457.0	421.9	393.7	393.7
丙烷（空气中的浓度5％）								
p_{max}	7.3	6.9	6.7	6.3	5.9	6.2	5.3	5.1
t	0.059	0.058	0.056	0.054	0.048	0.044	0.043	0.041
v_{max}	158.2	160.0	176.8	182.8	193.4	196.9	210.9	221.5
$\bar{v}$	123.0	119.5	119.5	116.0	123.0	140.6	123.0	123.0

表中 p_{max}—最大爆炸压力；
t—达到最大爆炸压力的时间；
v_{max}—压力上升的最大速度；
$\bar{v}$—压力上升的平均速度。

不爆炸的混合物，至少应含50％的水。

（3）氧的浓度　粉尘与气体的混合物中，氧气浓度增加将导致爆炸下限降低

（4）点燃源　粉尘爆炸下限受点燃源温度、表面状态的影响。温度高、表面积大的点燃源，可使粉尘爆炸下限降低。

3．爆炸压力和爆炸强度

可燃粉尘爆炸时的破坏力亦用爆炸压力及压力上升速度表示（图2-24）。最大爆炸压力和最大压力上升速度可用系统试验方法获得，数据见表2-22（b）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-22(a) 易燃易爆粉尘和可燃纤维特性表

粉尘种类	粉尘的名称	引燃温度组别	高温表面沉积粉尘(5mm厚)的引燃温度 (℃)	云状粉尘的引燃温度 (℃)	爆炸下限浓度 (g/Nm³)	粉尘平均粒径 (μm)	危险性种类
火药	一号硝化棉	T13	154			100目	爆
	吸收药(片状药)	T13	154			片状	爆
	吸收药(小粒药)	T13	150			小粒	爆
	2/1模单药	T13	148				爆
	2/1药 粉	T13	146			100目	爆
	双基小粒药	T13	140				爆
	片状双基药	T13	164				爆
	黑 火 药	T12	230			100目	爆
炸药	梯 恩 梯	T12	220				爆
	奥克托金	T12	220				爆
	2号硝铵煤矿炸药	T12	218				爆
	2号硝铵岩石炸药	T13	198				爆
	8321炸药	T13	198				爆
	黑索金(钝感品)	T13	194				爆
	黑 索 金	T13	159				爆
	特 屈 儿	T13	158				爆
	泰 安	T13	157				爆
	泰安(钝感品)	T13	158				爆
金属与矿物	铝(表面处理)	T11	320	590	37～50	10～15	爆
	铝(含油)	T12	230	400	37～50	10～20	爆
	铁 粉	T12	242	430	153～240	100～150	易导
	镁	T11	340	470	44～59	5～10	爆
	红 磷	T11	305	360	48～64	30～50	易
	炭 黑	T12	535	>690	36～45	10～20	易导
	钛	T11	290	375			爆
	锌	T11	430	530	212～284	10～15	易导
	电 石	T11	325	556		<200	易
	钙硅铝合金	T11	290	465			易导
	8%钙-30%硅-55%铝	T11	>450	640			易导
	硅铁合金(45%硅)	T11	445	555		<90	易导
	锆 石	T11	305	360	92～123	5～10	易导
化学药品	硬酯酸锌	T11	熔 融	315		8～15	易
	萘	T11	熔 融	575	28～38	80～100	易
	蒽	T11	熔融升华	505	29～39	40～50	易
	己 二 酸	T11	熔 融	580	65～90		易
	苯二(甲)酸	T11	熔 融	650	60～83	80～100	易
	无水苯二(甲)酸(粗制品)	T11	熔 融	605	52～71		易
	苯二(甲)酸腈	T11	熔 融	>700	37～50		易
	无水马来酸(粗制品)	T12	熔 融	500	82～113		易
	硫 磺	T11	熔 融	235		30～50	易
	乙酸钠酯	T11	熔 融	520	51～70	5～8	易
	结 晶 紫	T11	熔 融	475	46～70	15～30	易
	四硝基卡唑	T11	熔 融	395	92～129		易
	二硝基甲酚	T11	熔 融	340		40～60	易
	阿斯匹林	T11	熔 融	405	31～41	60	易

续表

粉尘种类	粉尘的名称	引燃温度组别	高温表面沉积粉尘（5mm厚）的引燃温度（℃）	云状粉尘的引燃温度（℃）	爆炸下限浓度（g/Nm³）	粉尘平均粒径（μm）	危险性种类
化学药品	肥皂粉	T11	熔融	575		80～100	易
	青色染料	T11	350	465		300～500	易
	萘酚染料	T12	395	415	133～184		易
合成树脂	聚乙烯	T11	熔融	410	26～35	30～50	易
	聚丙烯	T11	熔融	430	25～35		易
	聚苯乙烯	T11	熔融	475	27～37	40～60	易
	苯乙烯(70%)						
	丁二烯(30%)	T11	熔融	420	27～37		易
	粉状聚合物						
	聚乙烯醇	T11	熔融	450	42～55	5～10	易
	聚丙烯酯	T11	熔融	505	35～55	5～7	易
			炭化				
	聚氨酯（类）	T11	熔融	425	46～63	50～100	易
	聚乙烯四酞	T11	熔融	480	52～71	＜200	易
	聚乙烯氮戊环酮	T11	熔融	465	42～58	10～15	易
	聚氯乙烯	T11	熔融	595	63～86	4～5	易
			炭化				
	氯乙烯	T11	熔融	520	44～60	30～40	易
	(70%)苯		炭化				
	乙烯(30%)粉状聚合物	T11					易
	酚醛树脂(酚醛清漆)	T11	熔融	520	36～49	10～20	易
			炭化				
	磷苯二甲酸（粗的）	T11	熔融	650		80～100	易
	磷苯二甲酸酐(粗的)	T11	熔融	605		500～1000	易
	顺丁烯二（酸）酐	T11	熔融	500		500～1000	易
橡胶天然树脂	钠丁间酮酸酯	T11	熔融	520		5～8	
	聚丙烯腈	T11	炭化	505		5～7	
	聚氯酯	T11	熔融	425		50～100	
	有机玻璃粉	T11	熔融炭化	485			易
	骨胶（虫胶）	T11	沸腾	475		20～50	易
	硬质橡胶	T11	沸腾	360	36～49	20～30	易
	软质橡胶	T11	沸腾	425		80～100	易
	天然树脂	T11	熔融	370	38～52	20～30	易
	玷把树脂	T11	熔融	330	30～41	20～50	易
	松香	T11	熔融	325		50～80	易
	货贝胶W	T11	结壳	475		20～50	易
	壳胶	T11	结壳	590		500～600	易
沥青蜡类	硬蜡	T11	熔融	400	26～36	30～50	易
	绕组沥青	T11	熔融	620		50～80	易
	硬沥青	T11	熔融	620		50～150	易
	煤焦油沥青	T11	熔融	580			易
	软沥青(EP54)	T11	熔融	620		50～80	易
农产品	裸麦粉（未处理）	T11	325	415	67～93	30～50	易
	裸麦谷物粉(未处理)	T11	305	430		50～100	易
	裸麦筛落品(粉碎品)	T11	305	415		30～40	易
	小麦粉	T11	炭化	410		20～40	易

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

粉尘种类	粉尘的名称	引燃温度组别	高温表面沉积粉尘（5mm厚）的引燃温度（℃）	云状粉尘的引燃温度（℃）	爆炸下限浓度（g/Nm³）	粉尘平均粒径（μm）	危险性种类
农产品	小麦谷物粉	T11	290	420		15～30	易
	小麦筛落粉（粉碎品）	T11	290	410		3～5	易
	乌麦、大麦谷物粉	T11	270	440		50～150	易
	筛米粉	T11	270	410		50～100	易
	玉米淀粉	T11	炭化	430		20～30	易
	马铃薯淀粉	T11	炭化	430		60～80	易
	布丁粉	T11	炭化	395		10～20	易
	糊精粉	T11	炭化	400	71～99	20～30	易
	砂糖粉	T11	熔融	360	77～99	20～40	易
	砂糖粉（含奶粉）	T11	熔融	450	83～100	20～30	易
	黑麦谷粉	T11	305	430		50～100	易
	黑麦面粉	T11	325	415		30～50	易
	黑麦滤过的粉末（磨碎）	T11	305	415		30～40	易
	豆麻饼子和磨坊粉末	T11	285	470			易
	米滤过的粉末	T11	270	420		50～100	易
纤维类粉	可可子粉（脱脂品）	T12	245	460		30～40	易
	咖啡粉（精质品）	T11	收缩	600		40～80	易
	啤酒麦芽粉	T11	285	405		100～150	易
	紫苜蓿	T11	280	480		200～500	易
	亚麻籽粉	T11	285	470			易
	菜种饼粉	T11	炭化	465		400～600	易
	鱼粉	T11	炭化	485		80～100	易
	烟草纤维	T11	290	485		50～100	易
	木棉纤维	T11	385				易
	人造短纤维	T11	305				易
	亚硫酸盐纤维素粉	T11	380				易
	木质纤维	T11	250	445		40～80	易
	纸纤维	T11	360				易
	椰子粉	T11	280	450		100～200	易
	软木粉	T11	325	460	44～59	30～40	易
	针叶树（松）粉	T11	325	440		70～150	易
	硬木（丁钠橡胶）粉	T11	315	420		70～100	易
燃料	泥煤粉	T11	260	450		60～90	导
	褐煤粉（褐煤）	T11	260		49～68	2～3	导
	褐煤粉（炼焦用）	T11	230	485		3～5	导
	有烟煤粉	T11	235	595	41～57	5～10	导
	瓦斯煤粉	T11	225	580	35～48	5～10	导
	焦炭用煤粉	T11	280	610	33～45	5～10	导
	贫煤粉	T11	285	680	34～45	5～7	导
	无煤煤粉	T11	>430	>600		100～150	导
	水炭粉（质硬）	T11	340	595	39～52	1～2	易导
	泥煤焦炭粉	T11	360	615	40～54	1～2	易导
	裸煤焦炭粉	T11	235			4～5	易导
	煤焦炭粉	T11	430	>750	37～50	4～5	易导
	焰粉	T11	235	595		5～10	
	石墨	T11	不着火	>750		15～25	
	炭黑	T11	535	>690		10～20	

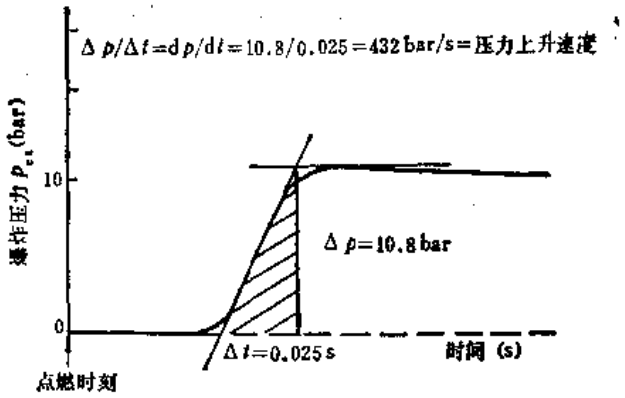


图 2-24 粉尘爆炸压力上升速度的定义

4. 最小点燃能量与最易点燃浓度

粉尘的最小点燃能量指最易点燃的混合物经20次连续试验刚好不能点燃时的能量值。表2-21列入了各种粉尘最小点火能量。

粉尘的最小点燃能与其浓度有很大关系，而且每种粉尘都有一个最易点燃的浓度。最易点燃浓度可用下式计算：

$$C_{EM\cdot min} = | C_{Pmax} - (C_{(dp/dt)max} - C_{Pmax}) | \qquad (2\text{-}17)$$

式中 $C_{EM\cdot min}$——最易点燃的粉尘浓度；

C_{Pmax}——最大爆炸压力的浓度；

$C_{(dp/dt)max}$——最高爆炸强度的浓度。

浓度向较低或较高方向变动，即引起最小点燃能量上升。装置在开车及停车时往往易达到最易点燃浓度，因此许多爆炸发生在此时。

2.1.2.5 可燃气体与可燃粉尘混合物的爆炸

1. 爆炸极限及计算

可燃性气体或可燃性液体蒸气混入含尘空气内，会使其爆炸下限浓度降低，危险性增大。即使可燃气体及可燃粉尘都没有达到其爆炸下限，但当二者混合在一起时，可形成爆炸性混合物。即使强引燃也不能引爆的粉尘，掺入可燃气或可燃蒸气以后即可能变成爆炸性粉尘。

混合物里粉尘爆炸下限与气体中的可燃气浓度之间的关系可近似地用下式表示：

$$E_{XuStH} = E_{XuSt}\left(\frac{C_G}{E_{XuG}} - 1\right)^n \qquad (2\text{-}18)$$

式中 E_{XuStH}——混合物粉尘爆炸下限；

E_{XuSt}——粉尘爆炸下限；

E_{XuG}——可燃气体爆炸下限；

C_G——可燃气体浓度。

2. 爆炸压力和爆炸强度

混合物中可燃气体含量增加，爆炸强度也增加；最大爆炸压力只有微小变化（很难点燃的粉尘例外）。

混合物中可燃气浓度低于爆炸下限时，对可燃粉尘爆炸强度的影响很大。掺入的可燃气

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 3-22(b) 各种粉尘的最大爆炸压力及压力上升速度

粉尘种类	点燃尘雾最小火花能(mJ)	最大爆炸压力(kgf/cm²)	压力上升速度(kgf/cm²·s) 平均	压力上升速度(kgf/cm²·s) 最大	防止电火花点燃尘雾限制氧的百分数	粉尘种类	点燃尘雾最小火花能(mJ)	最大爆炸压力(kgf/cm²)	压力上升速度(kgf/cm²·s) 平均	压力上升速度(kgf/cm²·s) 最大	防止电火花点燃尘雾限制氧的百分数
金属粉尘						酚醛树脂	10	5.6	119	420	14
雾化的铝	15	6.3	245	700+	7	松香基树脂	…	5.6	133	525	
磨碎的铝	…	4.9	140	297.5		聚丙烯腈	20	6.3	140	350	
捣碎的铝	10	7.0	700	700+	4	聚酰胺	20	6.3	126	490	
硼(85%B,8%Mg)	60	6.3	63	175		聚酯—玻璃纤维混合物(65—35)	50	5.95	154	420	
羰基合铁	20	3.5	105	490	10	聚酯乙醇树脂	160	4.55	35	70	
电解铁	240	3.15	35	70	13	聚乙烯树脂	30	5.6	105	245	13
氢还原铁	80	3.15	56	122.5	13	聚乙二醇对酞酸酯	35	6.3	112	525	13
雾化镁	120	5.6	140	367.5	3	聚苯乙烯	15	6.3	168	490	14
磨碎镁	40	6.65	210	700+	①	聚醋酸乙烯酯树脂	120	5.25	84	210	
捣碎镁	20	5.6	238	700+	①	合成硬橡胶	30	6.65	77	210	15
锰	80	3.5	91	192.5	15	清漆	10	5.25	98	245	14
硅	80	7.35	140	700	13	苯乙烯—顺(式)丁烯二酐聚合物	20	6.6	161	665	
钍	5	3.5	98	227.5	①						
氢化钍	3	4.2	147	472.5	6						
锡	160	2.45	35	87.5	16	尿素树脂	80	5.95	56	140	17
钛	10	5.6	238	700+	①	乙烯基丁缩醛树脂	10	4.2 ②	35	70	14
氢化钛	60	6.65	266	700+	13	氯乙烯—丙烯腈聚合物	15	5.95	119	315	
铀	45	3.85	112	245	①	乙烯系共聚物树脂	60	2.8	14	35	
氢化铀	5	3.15	203	437.5	0.5	农产品					
钒	60	2.45	14	21	13	苜蓿	320	4.55	35	70	
锌	650	3.5	42	122.5	10	棉花纤维	60	7.0	63	210	
锆	5	4.55	56	612.5	②	桂皮	40	8.05	98	280	
氢化锆	60	4.2	168	612.5	11	甘橘树皮(脱水)	45	7.0	84	210	
铌钴合金(60-40)	100	5.6	175	595		苜蓿籽	80	4.2	28	70	15
铝铜合金(50-50)	100	4.9	56	175		可可粉	100	4.34②	38.5	84	
铝镍合金(60-40)	80	5.6	182	700+		咖啡	160	3.5	10.5	17.5	13
硅钙合金	220	5.25	28	700+		碾碎的玉米棒	60	8.4	84	262.5	
道氏合金	80	5.95	252	700+	①	玉米粉	30	7.7	154	472.5	10
锰铁(1.4%C)	80	3.15	98	297.5		棉籽	80	6.3	56	175	15
硅铁(80%Si)	280	6.3	105	252	19	谷物糊精	40	7.35	126	490	
低碳钛铁	80	3.85	154	665	13	糠醛余渣	40	7.35	98	280	
铝镁合金(50-50)	80	6.3	280	700+	①	谷物粉尘	30	6.65	70	192.5	
塑料						格尔种子(Guar soed)	60	7.35	98	332.5	
烯丙醇树脂	20	7.35	196	700+		石松子	40	5.95	161	490	13
丁苯树脂	60	5.6	98	280		坚果壳	50	7.35	133	280	
醋酸纤维素	10	7.7	196	472.5	11	脱水洋葱	…	4.2 ②	28	87.5	
丙酸纤维素	45	7.35	112	332.5		脱水豌豆	40	7.0	147	420	
香豆酮-茚树脂	10	5.95	196	595	14	果胶	35	7.7	126	560	
对酞酸二甲酯	20	6.3	217	700		甘薯淀粉	25	6.65	161	560	
树胶(阿拉伯透明树胶等)	30	6.65	105	350	14	除虫菊	80	5.6	42	105	
木质树脂	20	5.6	119	332.5	17	稻谷	40	6.65	70	192.5	
甲基纤维素	20	7.0	133	420		黄豆	50	7.0	84	227.5	15
甲基丙烯酸甲酯	15	7.0	35	122.5	14	糖	30	6.3	112	350	

续表

粉尘种类	点燃尘雾最小火花能(mJ)	最大爆炸压力(kgf/cm²)	压力上升速度(kgf/cm²·s) 平均	压力上升速度(kgf/cm²·s) 最大	防止电火花点燃尘雾限制氧的百分数	粉尘种类	点燃尘雾最小火花能(mJ)	最大爆炸压力(kgf/cm²)	压力上升速度(kgf/cm²·s) 平均	压力上升速度(kgf/cm²·s) 最大	防止电火花点燃尘雾限制氧的百分数
油桐	240	7.7	98	245		乳白朊	50	6.3	63	192.5	13
小麦尘	50	7.35	105	245		褐煤	60	6.3	56	192.5	15
面粉	50	6.65	84	262.5		肝蛋白质	45	5.6	56	157.5	
发酵粉	50	7.35	70	175		凝汽油剂	40	5.95	70	210	12
其他						多聚甲醛	20	7.0	175	700+	
己二酸	70	5.25	84	262.5		泥炭褐泥煤	50	5.95	63	157.5	
硬脂酸铝	15	6.65	84	332.5		季戊四醇	10	6.3	119	665	14
阿斯匹灵	25	5.95	140	700+		夹硫氮杂蒽	…	5.6	98	297.5	16
美国枞树皮粉尘	40	6.3	203	665		酞酐	15	4.9	91	297.5	14
醋酸铵	100	5.6	42	140	17	植物甾醇	10	5.25	105	560	
木质素磺酸钙	100	5.6	42	140		煤焦油（占物质体积					
活性炭	…	2.8②	14	21		58%）沥青	20	6.65	133	420	15
酶凝酪素	60	4.55	28	70	17	普鲁卡因青霉素	…	3.5②	70	140	
纤维素	80	7.0	77	192.5	13	天然硬橡胶	50	5.6	84	266	15
松木炭	…	2.8②	14	17.5		羽链状酞酸钠	95	3.85	17.5	35	
煤（低挥发物）	…	3.15	21	42		肥皂	60	5.95	42	122.5	
煤（中挥发物）	120	4.2	21	42	18	烷基芳基磺酸钠	…	3.25②	28	87.5	
煤(高挥发物匹兹堡煤层)	60	5.95	56	157.5	16	苯甲酸钠	80	5.95	126	700+	
次烟煤	60	6.65	84	210		羟氧基乙酸钠纤维素	560	4.2	21	42	
软木	45	7.0	140	385		山梨酸	15	6.3	210	700+	
重氮苯胺	20	6.3	203	700+		硫磺	15	5.6	119	332.5	11
二硝基邻甲酚	80	3.85②	91	157.5	15	维生素B_2	80	5.6	70	157.5	
联二苯	60	3.85	28	105		木屑	20	7.7	112	385	17
硬沥青	25	6.3	84	262.5							
六甲撑四胺	10	7.0	168	700+	14						

① 根据空气—CO_2混合物进行的试验，钍、钛、铀、锆、道氏合金和一定的镁与镁合金粉在纯CO_2中点燃。
② 用较旧的实验技术测量的数据。

对反应剧烈的粉尘爆炸的影响比对反应较弱的粉尘爆炸的影响小。

3．最小点燃能量

在混合物里粉尘最小点燃能量有可能明显下降。能量较小的火花隙（$E<E_{M\min}$）通常不能点燃爆炸性粉尘/空气混合物，但能引起掺入可燃气（或蒸气）粉尘混合物的爆炸。

2.1.2.6 易爆物热分解爆炸

单纯在热作用下，易爆物发生不可控制的爆炸称为热爆炸。

1．临界状态

临界状态系指易燃物受热后，既可能转变为爆炸也可能转变为缓慢热分解的状态。只要稍微改变临界状态的温度或易爆物的几何尺寸等，就会导致易燃物突然发生爆炸或者进行平稳的热分解；达到临界状态后，在临界状态，经过一段时间，易爆物温度就快速上升。由易爆物开始受热到出现温度快速上升的时间就是热爆炸的延滞期。延滞期可用下式表达：

$$\tau_0=\frac{CRT_0^2}{QAE}e^{E/RT_0} \tag{2-19}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中 τ_0——热爆炸延滞期；

T_0——容器壁温度（与环境温度相同）；

R——通用气体常数；

Q——分解反应生成一摩尔产物所放出的热量；

A——指前因子；

E——化学反应的活化能；

C——爆炸物的比容。

一些易爆物的延滞期见下表。

爆炸物	临界温度（℃）	延滞期	爆发点（℃）
硝化棉	143	7小时20分	185～195
泰安	145	2小时20分	215
特屈儿	148	1小时25分	190～200
吉纳	152	25分	230～235
梯恩梯	243	1小时20分	290～300

2．易爆物的热安定性

由于存放条件（温度、湿度、堆放体积、通风条件等）的不同，易爆物会产生各种不同程度的变化。在热作用下，易爆物保持其物理化学性质不发生明显变化的能力叫做易爆物的热安定性。

2.1.2.7 爆炸理论

1．链锁反应理论

该理论认为，爆炸的实质是燃烧，燃烧的链锁反应理论也可用于解释爆炸。还认为燃烧波要传波下去，就必须利用燃烧反应的能量为新的基本反应提供活化能。

2．爆炸波学说

该学说认为，爆炸性混合物在外界冲击作用下可使其迅速分解，使得机械、热的和化学的加速爆炸的现象依次发生。爆炸物中所有能引起爆炸的能都变为热能而引起冲击。气体冲击能使次一层爆炸物加热和分解并变成气体，依次冲击到新的一层上。

3．爆炸的电子本性假说

该假说以原子间结合的不牢固性来解释爆炸物质的不稳定性。在普通化学反应中，电子可以由一个原子跳到另一个原子上。在某些特别灵敏的爆炸物中价电子结合更弱。即使在很小的冲击下也会发生分子的变化，不仅以热的形式放出能量，而且还放出具有功能的游离电子。

4．流体动力学爆轰理论

该理论认为，爆轰是冲击波在炸药中传播而引起的。冲击波在炸药中的传播有两种情况。一种是与惰性介质中传播的冲击波相似，不引起炸药的化学变化，并且在传播中逐渐衰减下去。另一种是由于冲击波的剧烈压缩而引起炸药的快速化学反应，反应放出的能量又支持冲击波的传播，使其维持定速而不衰减。

2.2 爆炸参数计算

2.2.1 易爆化合物的氧平衡与爆炸变换方程

2.2.1.1 氧平衡

氧平衡是指爆炸性物质中的氧用来完全氧化其内可燃元素后所多余或不足的氧量。氧平衡是用来衡量爆炸物中氧含量与可燃元素含量的相对关系的。

对于组成为$C_aH_bO_cN_d$的爆炸性物质氧平衡如下：

$$\text{氧平衡}=\frac{\left[c-\left(2a+\frac{b}{2}\right)\right]\times 16}{M} \tag{2-20}$$

式中 16——氧原子量；

M——爆炸性物质分子量；

a、b、c、d——原子数。

随氧含量改变，可能出现三种氧平衡：

（1）正氧平衡 当 $c-\left(2a+\frac{b}{2}\right)>0$ 时，分子中所含氧除完全氧化可燃元素外尚有富裕；

（2）零氧平衡 当 $c-\left(2a+\frac{b}{2}\right)=0$ 时，分子中所含氧刚好能完全氧化可燃元素而无剩余；

（3）负氧平衡 当 $c-\left(2a+\frac{b}{2}\right)<0$ 时，分子中所含氧不足以完全氧化所含可燃元素。

如硝化甘油$C_3H_5(ONO_2)_3$或$C_3H_5O_9N_3$的氧平衡为

$$\text{氧平衡}=\frac{\left[9-\left(2\times 3+\frac{5}{2}\right)\right]\times 16}{227}=+3.5\%\text{或}0.035\text{g/g爆炸物}$$

一些物质的氧平衡列入表2-23。

2.2.1.2 氧系数

氧系数表明爆炸物分子被氧饱和的程度，是爆炸性物质所含氧量与完全氧化所需氧量之比的百分数。对于$C_aH_bO_cN_d$类混合物其氧系数为

$$A=\frac{c}{\left(2a+\frac{b}{2}\right)}\times 100\% \tag{2-21}$$

$$\text{或}\ A=\frac{2c}{(4a+b)}\times 100\% \tag{2-22}$$

如梯恩梯$C_7H_5O_6N_3$的氧系数为

$$A=\frac{6}{\left(2\times 7+\frac{5}{2}\right)}\times 100\%=\frac{6}{16.5}\times 100\%=36.36\%$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-23 物质的氧平衡

物质名称	分子式	氧平衡 g/g爆炸物	物质名称	分子式	氧平衡 g/g爆炸物
梯恩梯（TNT）	$C_6H_2(NO_2)_3CH_3$	-0.74	硝化纤维素(13.47N%)	$C_{24}H_{29}N_{11}O_{41}$	-0.286
黑索金（RDX）	$(CH_2N-NO_2)_3$	-0.216	雷汞	$Hg(CNO)_2$	-0.113
奥克托金（HMX）	$(CH_2N-NO_2)_4$	-0.216	硝酸铅	$Pb(NO_3)_2$	+0.242
特屈儿（Te）	$(C_6H_2(NO_2)_4NCH_3$	-0.474	硝酸钾	KNO_3	+0.396
硝化甘油(NG)	$C_3H_5(ONO_2)_3$	+0.035	硝酸钠	$NaNO_3$	+0.470
硝化乙二醇	$C_2H_4(ONO_2)_2$	0.000	硝酸铵	NH_4NO_3	+0.200
泰安（PETN）	$C_5H_8(ONO_2)_4$	-0.101	铝粉	Al	-0.890
二硝基甲苯（DNT）	$C_6H_3(NO_2)_2CH_3$	-1.144	木粉	$C_{36}H_{70}O_{28}$	-1.380
四硝基甲烷（TNM）	$C(NO_2)_4$	+0.490	石蜡	$C_{18}H_{38}$	-3.460
硝基胍（NQ）	$CN_4H_4O_2$	-0.303	沥青	$C_{30}H_{18}O$	-2.760
硝化纤维素（11.96N%）	$C_{24}H_{31}N_9O_{38}$	-0.387	轻柴油	$C_{16}H_{32}$	-3.420

2.2.1.3 爆炸变化方程理论确定法

（1）爆炸反应时间短促　爆炸温度很高，爆炸产物之间进行的反应很快；

（2）视爆炸过程为一绝热等容过程，所放出的热量全部用以加热爆炸产物；

（3）高温下的爆炸产物服从理想气体状态方程。

根据氧平衡情况，$C_aH_bO_cN_d$类物质的爆炸有以下三种变化方程：

（1）第一类爆炸物　符合$2a+\frac{b}{2}\leqslant c$的正氧平衡和零氧平衡爆炸性物质，其爆炸反应方程用下式表示：

$$C_aH_bO_cN_d = xCO_2 + yCO + mO_2 + uH_2O + pNO + wN_2 + Q_V$$

方程式中各项系数可根据质量守恒定律按下式求出：

① $x+y=a$；② $u=\frac{b}{2}$；③ $2x+y+2m+u+p=c$；④ $2w+p=d$；⑤ $k_p^{CO_2}=\frac{RT}{V}\cdot\frac{y^2m}{x^2}$；⑥ $k_p^{N_2\cdot O_2}=\frac{V^2}{w\cdot m}$。

式⑤中　V——1mol爆炸物爆炸产物所占体积；

R——理想气体常数；

$k_p^{CO_2}$——二氧化碳反应平衡常数，各种物质反应平衡常数见表2-24；

T——爆温。

解上述六个方程式求出系数，爆炸反应方程就可确定了。为简化计算，可忽略生成量极少的物质（如NO）。

爆温用渐近法求得，先设T_1为爆温，由T_1值及表中所需的平衡常数解六个联立方程得到爆炸产物成分，然后计算出爆热求爆温T。如T_1与T差别不大，即可认为原求之爆炸组分为所求的组分。如相差很大可用其平均值作为假设爆温重新计算直到所得温度与假设温度相符合为止。

（2）第二类爆炸物　符合$2a+\frac{b}{2}\geqslant c\geqslant a+\frac{b}{2}$的负氧平衡物质，其爆炸反应方程由下式表示：

$$C_aH_bO_cN_d = xCO_2 + yCO + uH_2O + hH_2 + wN_2 + Q_V$$

表 2-24 反应热及平衡常数计算表

温 度 (K)	300	400	600	800	1000
$CHN \rightleftharpoons \frac{1}{2}H_2 + \frac{1}{2}N_2 + C + 31.280$	-20.98	-15.21	-9.55	-6.73	-5.04
$NO \rightleftharpoons \frac{1}{2}O_2 + \frac{1}{2}N_2 + 21.477$	-15.09	-11.156	-7.219	-2.250	-4.068
$2N \rightleftharpoons N_2 + 170.240$	-118.63	-87.47	-56.21	-40.52	-31.84
$CO + 3H_2 \rightleftharpoons CH_4 + H_2O + 45.892$	-24.68	-15.60	-6.296	-1.507	-1.425
$CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2 + 9.660$	-4.95	-3.17	-1.44	-0.61	-0.39
$CO + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons CO_2 + 66.767$	-44.74	-32.41	-20.07	-13.90	-10.199
$C(石墨) + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons CO + 27.202$	-23.93	-19.13	-14.34	-11.93	-10.48
$OH + \frac{1}{2}H_2 \rightleftharpoons H_2O + 67.107$	-46.29	-33.91	-21.47	-15.22	-11.444
$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons H_2O + 57.107$	-39.79	-29.24	-18.63	-13.29	-10.06

解下列五个方程可得上式各项系数：

① $x + y = a$；② $2u + 2h = b$；③ $2x + y + u = c$；④ $2w = d$；⑤ $k_P^{CO_2 \cdot H_2} = \frac{yu}{xh}$。

（3）第三类爆炸物 符合 $a + \frac{b}{2} > c$ 的负氧平衡物质，其爆炸反应方程由下式表示：

$$C_a + H_bO_cN_d = xCO_2 + yCO + 2C + uH_2O + hH_2 + wN_2 + Q_V$$

上式各项系数由下面六个方程求得：

① $x + y + z = a$；② $2x + y + u = c$；③ $2h + 2u = c$；④ $2w = d$；⑤ $k_P^{CO_2 \cdot H_2} = \frac{yu}{xh}$；

⑥ $k_P^{CO_2 \cdot C} = \frac{RT}{V} \cdot \frac{y^2}{x}$。

具体计算过程也是用渐近法，同前。

$$反应：A + B + \cdots = G + H + \cdots + \Delta E, \quad k_P = \frac{p_A \cdot p_B}{p_G \cdot p_H}$$

2.2.1.4 爆炸变化方程式经验确定法

1. 吕-查德里方法

该法基于最大爆炸产物体积的原则，在体积相同时偏重于放热多的反应。该原则及方法对自由膨胀的爆炸产物的最终状态是比较正确的。

（1）对第一类爆炸物，其爆炸产物的组分写法是将氧用以完全氧化氢为水和完全氧化碳为二氧化碳，并生成分子状态N_2。对正氧平衡爆炸物，还有分子状态的氧，而CO_2和水蒸汽的解离反应以及氮氧化物生成则予以忽略。如硝化甘油爆炸产物的组分可写成：

$$C_3H_5O_9N_3 \longrightarrow 3CO_2 + 2.5H_2O + 1.5N_2 + 0.25O_2$$

梯恩梯与硝酸铵零氧平衡配比的混合物其爆炸变化方程式可写成：

$$C_7H_5O_6N_3 + 10.5NH_4NO_3 \longrightarrow 7CO_2 + 2.35H_2O + 12N_2$$

（2）对负氧平衡不太大的第二类爆炸物，其爆炸产物组分的写法是，首先将碳氧化为

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

CO，如所含氧没有用完，则将剩余部分平均地用以氧化CO为CO_2，氧化氢为H_2O。如黑索金爆炸变化方程可写成：

$$C_3H_6O_6N_6 \longrightarrow 1.5CO_2 + 1.5CO + 1.5H_2O + 1.5H_2 + 3N_2$$

泰安爆炸变化方程可写为：

$$C_5H_8O_{12}N_4 \longrightarrow 3.5CO_2 + 1.5CO + 3.5H_2O + 0.5H_2 + 2N_2$$

（3）对负氧平衡较大的第三类爆炸物，其爆炸产物的组分写法是，首先将3/4的氢氧化为H_2O，剩余氧平均用于氧化碳为CO和CO_2，很显然CO为CO_2量的2倍，并产生固体游离碳。如梯恩梯的爆炸变化方程可写为

$$C_7H_5O_6N_3 \longrightarrow 1.88H_2O + 2.06CO + 1.03CO_2 + 3.9C + 0.62H_2 + 1.5N_2$$

特屈儿爆炸变化方程为

$$C_7H_5O_8N_5 \longrightarrow 1.88H_2O + 1.53CO_2 + 3.06CO + 2.41C + 0.62H_2 + 2.5N_2$$

2．布伦克里、威尔逊方法

该方法是从能量上的优先性考虑最有利的反应。

（1）第一类爆炸物的爆炸变化方程为

$$C_aH_bO_cN_d \longrightarrow \frac{b}{2}H_2O + aCO_2 + \frac{d}{2}N_2 + \left(c - 2a - \frac{b}{2}\right)O_2$$

（2）第二类爆炸物的爆炸变化方程为

$$C_aH_bO_cN_d \longrightarrow \frac{b}{2}H_2O + \left(c - a - \frac{b}{2}\right)CO_2 + \left(2a - c + \frac{b}{2}\right)CO + \frac{d}{2}N_2$$

即首先将氢氧化为H_2O，碳氧化为CO，剩余氧将CO氧化为CO_2。如黑索金爆炸变化方程为

$$C_3H_6O_6N_6 \longrightarrow 3H_2O + 3CO + 3N_2$$

（3）第三类爆炸物的爆炸变化方程为

$$C_aH_bO_cN_d \longrightarrow \frac{b}{2}H_2O + \left(c - \frac{b}{2}\right)CO + \left(a - c + \frac{b}{2}\right)C + \frac{d}{2}N_2$$

即将氢完全氧化为水，剩余氧将碳氧化为CO，未能氧化的碳以固体游离碳析出，产物中无CO_2生成。如梯恩梯爆炸变化方程为

$$C_7H_5O_6N_3 \longrightarrow 2.5H_2O + 3.5CO + 3.5C + 1.5N_2$$

该方法应用较广，尤其含氧量极不足的第三类爆炸物大都采用此法。

3．阿瓦克扬方法

该法为确定$C_aH_bO_cN_d$类凝聚爆炸产物最终组分的半经验计算法。计算基础建立在与氧系数A值有关的真实性系数K的假设上，真实性系数K与氧系数A之间的单值关系为

$$K = 0.32A^{0.14} \tag{2-23}$$

爆炸变化方程可写成：

$$C_aH_bO_cN_d = xCO_2 + yCO + zC + uH_2O + hH_2 + mO_2$$

其中 $u = K\frac{b}{2}$；$h = \frac{(1-K)b}{2}$。x、y、z、m的求取根据氧系数A分为三种情况：

（1）$A>100\%$，分子中含氧较多可设产物组分中无游离碳，即$z=0$，，其它按下式确定：

$$x = (1.4K - 1.4)a;\quad y = 1.4a(1-K)\ ;$$

$$m=\frac{1}{2}(c-2x-y-u)$$

（2）$A<100\%$，可假定爆炸产物中无氧生成，即$m=0$，其它按下式确定：

$$x=1.16c(K-0.568)-0.5u;$$

$$y=c-(2x+u)=c[1-2.32(K-0.568)];$$

$$z=a-(x+y)$$

（3）$A<100\%$但$c>\left(a+\frac{b}{2}\right)$，此时$z=0$，$m=0$，其它按下式确定：

$$x=0.7\left(c-\frac{b}{2}\right)K-0.4a;$$

$$y=1.4a-0.7\left(c=\frac{b}{2}\right)K$$

2.2.1.5 爆炸产物的体积

爆炸产物体积系指气体产物体积，一定量爆炸物爆炸时，在标准状态下的气体产物体积称为爆炸物的比容或爆容（V_0，L/kg）。

若爆炸变化方程确定，V_0可由阿佛加德罗定律求得，设爆炸变化方程为

$$aM_a+bM_b+\cdots\cdots+mM_m=xA+yB+\cdots\cdots+nC$$

则爆炸产物的体积V_0用下式求得：

$$V_0=\frac{(x+y+\cdots\cdots+n)\times 1000}{aM_a+bM_b+\cdots\cdots+mM_m}\times 22.4\text{L/kg} \tag{2-24}$$

式中 M_a、M_b……M_m——爆炸物各组分的分子量；

a、b……m——爆炸物各组分的摩尔数；

A、B……C——爆炸产物各组分分子量；

x、y……n——产物各组分的摩尔数。

如求阿乌托80/20的爆炸体积，其爆炸变化方程为

$$11.35NH_4NO_3+C_7H_5N_3O_6=\!=\!=7CO_2+25.2H_2O+12.85N_2+0.425O_2$$

$$V_0=\frac{(7+25.2+12.85+0.425)\times 22.4\times 1000}{11.35\times 80+227}=897.48\text{L/kg}$$

2.2.2 气体爆炸参数

2.2.2.1 爆炸参数计算

气体爆炸参数计算系指已知爆炸性气体初始状态参数（p_0、V_0、T_0、u_0）求爆炸时状态参数（p_2、V_2、T_2、u_2），公式如下：

（1）爆炸压力（p_2）

$$p_2=\frac{1}{k+1}p_0D^2 \tag{2-25}$$

（2）压力增长（p_2-p_0）

$$p_2-p_0=p_0Du_2 \tag{2-26}$$

（3）爆炸温度（T_2）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$T_2 = \frac{2k}{k+1} T_{混} \tag{2-27}$$

（4）爆速（D）

$$D = \frac{k+1}{k} \sqrt{\frac{k \times 8310 T_2}{M_n}} \tag{2-28}$$

（5）爆炸产物移动速度（u_2）

$$u_2 = \sqrt{\frac{2(k-1)}{k+1} Q_V} \tag{2-29}$$

（6）爆炸体积（V_2）

$$V_2 = \frac{k}{k+1} V_0 \tag{2-30}$$

式中 p_0——爆炸气体初始密度，g/cm^3；

k——等熵指数；

$T_{混}$——混合气体按爆热计算的爆炸分解温度；

M_n——爆炸产物的平均分子量；

Q_V——爆热，kcal/kg。

Q_V按爆炸产物质量单位计算，因此，$Q_V = Q \times 427g$。g 为重力加速度 9.8m/s²；427 为热功当量，kg·m/kcal；Q为热值，cal/kg。上述计算中，D和u_2通常用m/s表示；p_2用kgf/cm²表示。其计算值与实测值的比较见表2-25。

表 2-25 氢氧混合气P_2、T_2、D计算值与实测值

爆炸性混合气体	p_2 atm	T_2 K	爆速(D), m/s		分解产物	
			计算	实测	OH	H
$2H_2+O_2$	18.05	3585	2836	2819	25.3	6.9
$(2H_2+O_2)+O_2$	17.4	3390	2302	3314	28.5	1.8
$(2H_2+O_2)+3O_2$	15.3	2970	1925	1922	13.5	0.2
$(2H_2+O_2)+5O_2$	14.7	2630	1752	1100	6.3	0.07
$(2H_2+O_2)+N_2$	17.37	3367	2378	2407	14.7	3.3
$(2H_2+O_2)+3N_2$	15.63	3003	2033	2055	5.5	0.9
$(2H_2+O_2)+5N_2$	14.39	2685	1850	1822	2.1	0.2
$(2H_2+O_2)+2H_2$	17.25	3314	3354	3273	5.9	6.5
$(2H_2+O_2)-4H_2$	15.79	2976	2027	3527	1.2	3.0

例：设H_2、O_2混合气体摩尔比为3:2；试计算初压为1atm时的爆炸参数。

解：如不考虑爆炸产物离解，爆炸反应方程可写为

$$3H_2 + 2O_2 \longrightarrow 3H_2O + \frac{1}{2}O_2 + 3 \times 57.8\text{kcal}$$

先求按爆热计算的爆炸分解温度$T_{混}$（参看2.2.4.2）：

$$\sum \overline{c_{vi}} = 3c_{vH_2O} + 0.5c_{vO_2} = 3(4 + 21.5 \times 10^{-4}t) + 0.5(4.8 + 4.5 \times 10^{-4}t)$$

$$= 14.4 + 66.8 \times 10^{-4}t$$

$$t = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4bQ}}{2b} = \frac{-14.4 + \sqrt{14.4^2 + 4 \times 66.8 \times 173.4 \times 10^3 \times 10^{-4}}}{2 \times 66.8 \times 10^{-4}}$$

$$= 4129℃$$

$$T_{爆}=4129+273=4402K$$

$$\sum\overline{c_{vi}}=43.81$$

$$\sum\overline{c_{pi}}=43.81+1.98\times3.5=50.74\quad(\because c_p-c_v=R=1.98\text{kcal/kgmol}\cdot\text{K})$$

$$k=\frac{\sum\overline{c_{pi}}}{\sum\overline{c_{vi}}}=\frac{50.74}{43.81}=1.16$$

$$\therefore\quad T_2=\frac{2k}{k+1}T_{爆}=\frac{2\times1.16}{2.16}\times4402=4728K$$

爆炸产物的平均分子量：

$$M_n=\frac{3\times18-0.5\times32}{3.5}=20$$

爆速：

$$D=\frac{k+1}{k}\sqrt{\frac{k\cdot8310}{M_n}}=\frac{1+1.16}{1.16}\sqrt{\frac{1.16\times8310\times4728}{20}}$$

$$=2812\text{m/s}$$

爆炸产物移动速度：

$$\mu_2=\sqrt{\frac{2(k-1)}{K+1}}\,Q_v=\sqrt{\frac{2(1.16-1)}{1.16+1}\times\frac{173.4}{20}\times1000\times427\times9.8}=1240\text{m/s}$$

爆炸压力增长：

$$p_0=0.624\times10^{-3}\text{g/cm}^3$$

$$p_2-p_0=p_0\cdot D\cdot u_2=0.624\times10^{-3}\times281200\times124000$$

$$=2.18\times10^7\text{dyn/cm}^2=2.18\text{kg/cm}^2$$

2.2.2.2 影响爆炸爆速的因素

1．初始密度

对初始压力高或初始密度大的气体，爆速增加显著。如乙炔混合气体的压力由5 atm增加到30atm时，爆速由100m/s增加到1600m/s。

2．其它因素

爆热高、爆炸产物平均热容量小的混合气体，其爆速大、爆压高。初温对爆速影响较小，但对起爆条件及由燃烧转爆炸的难易程度有影响。

由$D=\frac{k+1}{k}\sqrt{\frac{k8300}{M_n}T_2}$可以看出，爆炸产物平均分子量$M_n$越小，爆速越大。惰性气体加入到爆炸性混合气体后，分子量低者增加爆速，反之降低爆速（见表2-26）。

表 2-26 惰性气体对爆速的影响

爆炸性混合气体	p_2 atm	T_2 K	爆速（D），m/s	
			计算值	测量值
$(2H_2+O_2)$	18.05	3583	2806	2919
$(2H_2+O_2)+1.5He$	17.66	3412	3200	3010
$(2H_2+O_2)+3He$	17.11	3265	3432	3130
$(2H_2+O_2)+1.5Ar$	17.60	3412	2117	1950
$(5H_2+O_2)+3Ar$	17.11	3265	1907	1800

在CO和O_2混合气中加入少许水蒸汽可增加爆速；若水蒸汽含量太多，则增加不明显。如加入1.2%的水，爆速为1675m/s。加入24.9%的水则爆速为1526m/s。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

过量氢可增加爆鸣气的爆速，过量氧则降低其爆速。

2.2.3 凝聚相爆炸物爆轰参数计算

2.2.3.1 爆轰参数的理论计算

较多人认为，气相爆轰流体力学理论仍可用来研究凝聚炸药的爆轰过程。气相爆轰的基本方程如下：

$$D=\sqrt{-\frac{p_2-p_0}{V_0-V_2}} \tag{2-31}$$

$$u_2=(V_0-V_2)\sqrt{\frac{p_2-p_0}{V_0-V_2}} \tag{2-32}$$

$$p_2-p_0=\frac{1}{2}(p_2+p_0)(V_0-V_2)+Q_V \tag{2-33}$$

$$\text{或}\quad D=u_2+c_2 \tag{2-34}$$

以及状态方程$p=f(V\cdot T)$均适用于凝聚相爆炸物。

由于凝聚爆轰产物处于高温、高压状态，且在爆轰瞬间各产物存在复杂的化学动力平衡，很难用实验法直接确定其状态方程，目前均用经验或半经验的状态方程。

1．阿贝尔（Abel）余容状态方程

对于不能忽略分子本身容积的实际气体可采用该方程：

$$p(V-\alpha)=nRT \tag{2-35}$$

$$\text{或}\quad p=\rho nRT/(1-\alpha\rho) \tag{2-36}$$

式中　α——余容；

$n=\frac{1}{M_n}$——气体产物平均分子量倒数；

R——气体常数。

对于爆炸产物遵守阿贝尔方程的炸药，其爆轰参数按下式近似计算：

$$V_2\approx\frac{k_2V_0+\alpha}{k_2+1} \tag{2-37}$$

$$p_2\approx\frac{2Q_V(k_2-1)}{V_0-\alpha} \tag{2-38}$$

$$T_V\approx\frac{2Q_Vk_2}{(k_2+1)c_V} \tag{2-39}$$

$$u_2\approx\sqrt{\frac{k_2-1}{k_2+1}Q_V} \tag{2-40}$$

$$D\approx\frac{V_0}{V_0-\alpha}\sqrt{2Q_V(k_2^2-1)} \tag{2-41}$$

其中

$$k_2=1+\frac{nR}{c_V}$$

2．泰勒维里型展开式

泰勒（Taylez）采用了维里状态方程式：

$$pV = nRT\left(1 + \frac{b}{V} + 0.625\ \frac{b^2}{V^2} + 0.287\ \frac{b^3}{V^3} + 0.193\ \frac{b^4}{V^4}\right) \qquad (2\text{-}42)$$

式中 b——分子余容，等于分子体积的4倍乘以阿佛加德罗常数，称为对气体混合物的维里系数。

$$b = \sum n_i b_i$$

式中，n_i为爆炸产物第i个类型的摩尔数，b_i为该类型分子的摩尔系数或第二维里系数。一些爆轰产物成分在高温时计算的第二维里系数见表2-27。

表 2-27 高温时爆轰气体产物b_i值

气体	b_i, cm³/mol	气体	b_i, cm³/mol
氢	15.2	一氧化氮	37.0
二氧化碳（转动）	63.0	氮	34.0
二氧化碳（不转动）	37.0	一氧化二氮	63.9
一氧化碳	33.0	水蒸汽	7.9
氢	14.0	甲烷	37.0
		氧	35.0

该方程算出的爆速值误差较大，但用它计算爆轰气体对外膨胀做功特别方便。

3. B-K-W状态方程

该方程是以余容作为密度和温度函数的状态方程。方程式如下：

$$\frac{pV}{RT} = 1 + xe^{\beta x} \qquad (2\text{-}43)$$

$$x = k\sum x_i k_i / V(T+\theta)^2 \qquad (2\text{-}44)$$

式中 x_i——第i种爆炸物在总爆炸物中所占的摩尔数；

k_i——第i种爆炸产物的余容因数。

几种爆炸产物的余容因数与其分子量的关系如左表。

产物	余容因数k_i	k_i/M_i
H_2O	250	13.89
N_2	380	13.57
CO	390	13.93
CO_2	600	13.64
平均	—	13.76±0.155

方程式中α、β、k和θ是根据实验数据选择的，见表2-28。

表 2-28 B-K-W方程各参数及主要产物余容

参数组	β	k	α	θ	产物余容值，cm³/g							
					H_2O	CO_2	CO	N_2	H_2	O_2	NO	CH_4
不生成固定碳	0.16	10.91	0.50	40	250	600	390	380	180	350	386	520
生成大量固定碳	0.959	12.69	0.50	40	250	600	390	380	180	350	386	520

该方程目前广泛用于凝聚炸药爆轰参数计算，对含碳、氢、氧、氮炸药计算数值与实测值相当接近。

4. L-J-D状态方程

是将爆炸产物当作液体列出的方程。方程式如下：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$\left(p+\frac{N^2d}{V^2}\right)V-0.7816(Nb)^{1/3}V^{2/3}=RT \tag{2-45}$$

式中 V——摩尔体积；

N——阿佛加德罗常数；

b——分子余容，为分子体积4倍；

d——液体中一对相邻分子中心之间的平均距离。

该方程对低密度（$\rho_0<1.3g/cm^3$）炸药较为适用。

5. 兰道-斯达纽柯维奇方程式

是将凝聚炸药爆轰产物看成与固体结晶相似，提出的状态方程。

$$p=AV^{-r}+\frac{BT}{V} \tag{2-46}$$

式中 r——分子间距；

B——为体积的某函数，压力大时B为常数，压力小时$B\to R$。

凝聚爆炸物爆轰参数的理论计算相当复杂，工程上一般用近似计算法。

2.2.3.2 爆轰参数的近似计算

1. 经验推算法

凝聚炸药爆轰产物的近似状态方程如下：

$$p=AV^{-r}=A\rho^r \tag{2-47}$$

或 $$pV^r=A \tag{2-48}$$

式中，A和r是与炸药性质有关的常数。由上式可导出以下近似关系式：

$$D=4\sqrt{Q_V} \qquad D=4\sqrt{Q_V}$$

$$p_2=\frac{1}{4}\rho_0D^2 \qquad p_2=\frac{1}{r+1}\rho_0D^2$$

$$\rho_2=\frac{4}{3}\rho_0 \qquad \rho_2=\frac{r+1}{r}\rho_0$$

$$u_2=\frac{1}{4}D \qquad u_2=\frac{1}{r+1}D$$

$$c_2=\frac{3}{4}D \qquad c_2=\frac{r}{r+1}D$$

式中r值可由$D(\rho_0)$的实验数据反推或根据爆轰产物组成确定，但在粗略估算时可取$r=3$。

例：已知梯恩梯$\rho_0=1.64g/cm^3$时，$D=7000$米/秒，试求其爆参数。

解：已知$r_{TNT}=3$，$\rho_0=1.64g/cm^3$，$D=7000m/s$

$$p_2=\frac{r+1}{r}\rho_0=\frac{4}{3}\times1.64=2.184g/cm^3$$

$$p_2=\frac{1}{r+1}\rho_0D^2=\frac{1}{4}\times\frac{1.64\times(7000\times100)^2}{10^9}=225.4kbar$$

$$u_2=\frac{1}{r+1}D=\frac{1}{4}\times7000=1750m/s$$

$$c_2=\frac{r}{r+1}D=\frac{3}{4}\times 7000=5250\text{m/s}$$

2．经验公式计算法

（1）康姆莱特（Kamlet）经验计算法是1968年康姆莱特等提出计算爆炸物爆压和爆速的半经验计算公式。公式如下：

$$p_2=15.58\varphi\rho_0^2 \tag{2-49}$$

$$D=1.01\varphi^{\frac{1}{2}}(1+1.30\rho_0) \tag{2-50}$$

$$\varphi=NM^{\frac{1}{2}}Q^{\frac{1}{2}} \tag{2-51}$$

式中 N——每克爆炸物爆炸后形成气体产物的摩尔数；

M——气体爆炸产物的平均分子量；

Q——爆炸物的爆热。

N、M、Q按下面方法计算：

$$C_aH_bO_dN_c\rightarrow\frac{1}{2}cN_2+\frac{1}{2}bH_2O+\left(\frac{1}{2}d-\frac{1}{4}b\right)CO_2+\left(a+\frac{1}{2}d-\frac{1}{4}b\right)c$$

$$N=\frac{2c+2d+b}{48a+4b+56c+64d}$$

$$M=\frac{56c+88d-8b}{2c+2d+b}$$

$$Q=\frac{-(\Delta H_{\text{生产物}}-\Delta H_{\text{f爆炸物}})}{12a+b+14c+16d}=\frac{28.9b+47.0\left(d-\frac{1}{2}b\right)+\Delta H_{\text{f爆炸物}}}{12a+b+14c+16d}$$

式中，ΔH_f为炸药的生成热焓（卡/克）。该式用于硝酸酯、叠氮化物、硝基胍、硝基氨基胍等爆速计算误差较大。

（2）氮当量公式计算法是我国科学工作者提出的计算炸药爆速、爆压的氮当量公式：

$$D=(690+1160\rho_0)\sum N \tag{2-52}$$

$$p=10.92(\rho_0\sum N)^2-5.74 \tag{2-53}$$

式中 D——爆炸物爆速，m/s；

p——爆炸物的爆压，kPa；

ρ_0——爆炸物的密度，g/cm³；

$\sum N$——爆炸物的氮当量，$\sum N=\frac{100}{M}\sum x_iN_i$

其中 M——爆炸物的分子量；

x_i——1摩尔爆炸物生成第i种爆轰产物的摩尔数；

N_i——第i种产物的氮当量系数。

在确定爆轰产物成分时，假定生成物顺序为HF、H_2O、CF_4、CO_2等，这样用直接写出法写出爆炸反应方程式。各种爆轰产物的氮当量系数N_i如下：

产　物	HF	CF_4	H_2O	CO	CO_2	N_2	O_2	H_2	C	Cl_2
N_i	0.577	1.507	0.54	0.78	1.35	1	0.5	0.564	0.15	0.876

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）修正氮当量公式计算法　前一种方法没有考虑爆炸的分子结构对其爆速的影响，对不同分子结构爆炸物计算时偏差大，因此对氮当量公式修正如下：

$$D = (690 + 1160\rho_0)\sum N^m \tag{2-54}$$

$$p = 11.06(\rho_0\sum N^m)^2 - 8.40 \tag{2-55}$$

式中　$\sum N^m$为修正的氮当量系数。

$$\sum N^m = \frac{100}{M}\left(\sum P_i N_{Pi} + \sum B_K N_{BK} + \sum G_i N_{Gi}\right)$$

式中　M——爆炸物的分子量；

$P_i N_{Pi}$——每摩尔爆炸物形成第 i 种爆炸物的摩尔数及氮当量系数；

$B_K N_{BK}$——爆炸物分子中第k种化学键出现的次数及氮当量系数；

$G_i N_{Gi}$——爆炸物分子中第 i 种基团出现的次数及其当量系数。

修正的氮当量系数如下：

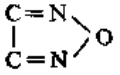
产　　物	CF_4	HF	H_2O	CO	CO_2	N_2	O_2	H_2	C	Cl_2
N_{Pi}	1.630	0.632	0.626	0.723	1.279	0.981	0.553	0.195	0.149	1.194

用该式计算了166种爆炸物，628个爆速数据，平均绝对误差±1.9%。

化学键的氮当量系数N_{BK}

化　学　键	N_{BK}	化　学　键	N_{BK}
C—H	-0.024	C—F	-0.1477
C—C	0.0628	C—CL	-0.0435
$\overline{\cdots}C=C\overline{\cdots}$	-1.0288	C—O	-0.0439
$C\overline{\cdots}C$	0.0101	C=O	-0.1792
C=N	-0.0077	N—F	0.01266
C≡N	-0.0128	N—O	0.0139
O—H	-0.1106	$N\overline{\cdots}O$	-0.0023
N—N	-0.0578	C—N	0.090
C=C	0.0345	$C\overline{\cdots}N$	0.0807
C≡C	0.214		

基团的氮当量系数

基　　团	N_{Gi}	基　　团	N_{Gi}
	-0.0064	$-OH\cdot NH_2$	0.0470
		$C-NO_2$	0.0016
	-0.0163	$N-NO_2$	-0.0028
	-0.2542	$C-ONO_2$	0.0022
N≡N	0.0065	N—ONO	0.0429

2.2.3.3 影响爆速的因素

爆炸物的爆速首先取决于本身的化学性质，主要是爆炸物的能量性质。对于碳、氢、氧、氮系统的单体炸药，爆速随其爆热与比容的增加而增加。详见表2-29。

表 2-29 爆炸物的爆速与爆热和比容的关系

炸药	Q_V, kcal/kg	V_0, L/kg	ρ_0, g/cm³	D, m/s
梯恩梯	1000	740	1.60	7000
特屈儿	1090	740	1.601	7319
黑索金	1380	900	1.60	8200
硝酸胍	645	1076	1.66	7920

爆炸物的爆热与爆炸物的氧平衡和生成热有密切关系，而炸药的氧平衡和生成热又取决于炸药的分子结构，因而炸药的分子结构对其爆速也有一定的影响。

2.2.4 爆热、爆温、爆压

爆炸物爆炸时，以快速放热形式释放其化学能，并形成高温高压气体。爆炸产物在向周围介质膨胀时产生冲击波，并传递动能给周围介质，从而完成对介质的粉碎、破坏、压缩和抛掷等机械功。

2.2.4.1 爆热

1. 爆热的理论计算法

盖斯定律指出，反应热效应与反应进补的路程无关，只与系统的最初状态和最终状态有关。据此可以得出，爆热等于爆炸产物的生成热减去炸药本身的生成热，如下式所示：

$$Q_{2.3} = Q_{1.3} - Q_{1.2} \tag{2-56}$$

式中 $Q_{2.3}$——爆热，一般用Q_V表示；

$Q_{1.3}$——爆炸产物生成热的总和；

$Q_{1.2}$——炸药的生成热。

例：已知泰安分子量M = 316，生成热为 129.37kcal/mol，爆炸变化方程式为

$$C(CH_2NO_3)_4 \rightarrow 4H_2O + 3CO_2 + 2CO + 2N_2 + Q_V$$

求泰安的爆热。

由表2-30查得H_2O、CO_2、CO、N_2的生成热各为57.78kcal/mol、94.51kcal/mol、26.88kcal/mol和零。

$$Q_{2.3} = 4\times 57.78 + 3\times 94.51 + 2\times 26.88 - 129.37 = 439.04\text{kcal/mol}$$

上式各生成热均为18℃时的定压热效应Q_P，而爆热应为定容热效应，故需换算：

$$Q_V = Q_P + 0.577n$$

其中，$n = 4 + 3 + 2 + 2 = 11$mol

$\therefore Q_V = 439.04 - 0.577\times 11 = 445.4$kcal/mol

或$Q_V = 445.4\times 1000/316 = 1409.5$kcal/kg

依基尔霍夫定理，基准温度不同（15℃、18℃、25℃）物质生成热也不同。但对工程计算，由基准温度不同而引起的误差较小，故一般不作校正。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-30 某些物质的生成热(定压，18℃)

物质	分子量	分子式	生成热ΔH_f kcal/mol
叠氮化铅	291	PbN_6	−115.5
雷汞	284	$Hg(CNO)_2$	−64.1
斯蒂酚酸铅	468	$C_6H_3N_3O_8Pb$	204.1
特屈拉辛	188	$C_2H_8N_{10}O$	103.6
三叠氮三聚氰	204	C_3N_{12}	−21.9
二硝基重氮酚	210	$C_6H_2O_6N_4$	−27.8
硝基甲烷(NM)	61	CH_3NO_2	21.85
三硝基甲烷	151	$CH(NO_2)_3$	91.1
四硝基甲烷	196	$C(NO_2)_4$	−8.4
硝基胍	104	$CH_4N_2O_2$	21.86
硝酸胍	122	$CH_5N_4O_3$	91.2
梯恩梯(TNT)	227	$C_7H_5N_3O_6$	17.5
1,3,5-三硝基甲苯	213	$C_6H_3(NO_2)_3$	11.4
苦味酸(PA)	229	$C_6H_3N_3O_7$	54.7
特屈儿(TE)	287	$C_7H_5N_5O_8$	−4.70
2,4-二硝基甲苯	182	$C_7H_6N_2O_4$	18.7
2,6-二硝基甲苯	182	$C_7H_6N_2O_4$	4.7
间硝基甲苯(MNT)	137	$C_7H_7NO_2$	10.7
六硝基二苯胺	439	$C_{12}H_5O_{12}N_7$	−5.32
三硝基苯胺	228	$C_6H_4N_4O_6$	20.07
黑索金(RDX)	222	$C_3H_6N_6O_6$	−15.64
奥克托金(HMX)	296	$C_4H_8N_8O_8$	−17.9
吉纳(DINA)	240	$C_4H_8N_4O_8$	76.3
1,5-二硝基萘	218	$C_{10}H_6O_4N_2$	−3.5
1,8-二硝基萘	218	$C_{10}H_6O_4N_2$	−6.6
1,3,6,8-四硝基萘	308	$C_{10}H_4O_8N$	−1.6
硝基脲	105	$CH_3O_3N_3$	67.65
硝酸胍	123	$CH_5N_3O_4$	134.84
泰安(PETN)	316	$C_5H_8N_4O_{12}$	129.37
硝化甘油(NG)	227	$C_3H_5N_3O_9$	88.63
硝化乙二醇	152	$C_2H_4N_2O_6$	59.25
硝酸铵	80	NH_4NO_3	87.36
硝酸钠	85	$NaNO_3$	111.72
硝酸钾	101	KNO_3	118.09
过氯酸铵	117.5	NH_4ClO_4	70.2
过氯酸钾	138.5	$KClO_4$	104.5
水(汽)	18	H_2O	57.78
水(液)	18	H_2O	68.37
一氧化碳	28	CO	26.88
二氧化碳	44	CO_2	94.51
一氧化氮	30	NO	−21.6
二氧化氮(气)	46	NO_2	−12.2
二氧化氮(液)	46	NO_2	−3.1
氨	17	NH_3	11.0
甲烷	16	CH_4	18.3
乙炔	26	C_2H_2	−53.2
乙烯	28	C_2H_4	−11.6
石蜡*	254	$C_{18}H_{38}$	133.5

续表

物　　质	分　子　量	分　子　式	生成热，ΔH_f kcal/mol
木粉*	986	$C_{30}H_{50}O_{25}$	1360
沥青*	394	$C_{34}H_{14}O$	142
轻柴油*	224	$C_{16}H_{32}$	158

*为定容条件的生成热。

2．爆热的经验计算法

近似计算爆热的阿瓦克扬（Abakaн）法可简化计算。它的实质是将爆炸产物和它们的生成热作为氧系数的函数。

对 $C_aH_bO_cN_d$ 类炸药，爆热计算式可写为以下形式：

（1）当 $A \geqslant 100\%$ 时

$$Q_V = 0.32A^{0.24}(94a + 28.75b) - Q_{V(炸药)},\ \text{kcal/mol} \tag{2-57}$$

（2）当 $A \leqslant 100\%$ 时

$$Q_V = 0.32A^{0.24}(47c + 5.25b) - Q_{V(炸药)},\ \text{kcal/mol} \tag{2-58}$$

式中　A——氧系数；

$Q_{V(炸药)}$——炸药的定容生成热，kcal/mol。

例：已知黑索金的 $Q_{Vf} = -22.3$kcal/mol，试求黑索金（$C_3H_6O_6N_6$）的爆热。

解：
$$A = \frac{6}{3 + 2 \times 3} = 66.67\%$$

$$Q_V = 0.32 \times 66.67^{0.24}(47 \times 6 + 5.25 \times 6) - (-22.3)$$
$$= 274.9 + 22.3 = 297.2\text{kcal/mol}$$

或
$$Q_V = 297.2/222 \times 1000 = 1338.7\text{kcal/kg}$$

3．爆炸物的生成热

（1）电子转移法　该法是用来计算燃烧热，并由燃烧热求生成热。该法认为物质的燃烧过程是电子由碳、氢等原子转移到氧原子上的过程。实验发现定压条件下，1mol原子的电子转移至氧原子L时，则该物质要放出26.05kcal的热量。

对于 $C_aH_bO_cN_d$ 类有机化合物的燃烧热，在定压条件下，可按下式计算：

$$Q_P = 26.05(4a + b - p) + \zeta_j\Delta_j \tag{2-59}$$

式中　a、b——在1mol（或1kg）的物质中，碳和氢的摩尔原子数；

p——已经与氧相连接的碳和氢原子的电子数目，即C—O、H—O等键类型的键数；

ζ_j——在分子中 j 类型取代基包括短共价键的数目；

Δ_j——j 类型取代基的热化学修正值，见表2-31。

求出燃烧热就可根据盖斯定律计算生成热

$$Q'_{f,s} = Q'_{f,s} - Q'_{s,s} \tag{2-60}$$

式中　$Q'_{f,s}$——炸药生成热；

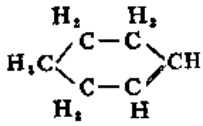
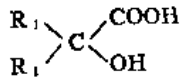
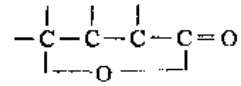
$Q'_{f,s}$——完全燃烧时产物的生成热总和；

$Q'_{s,s}$——炸药的燃烧热。

为计算物质的熔化热和蒸发热，可按下边近似式计算

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 3-31 热 化 学 的 校 正 值

基 团、键	结 构	校正值 Δ_j	
		kcal/mol	kJ/mol
芳香族烃类中的含硫基团	$Ar—SO_3H$	−23.4	−93
芳香族稠环核		−20.0	−84
脂肪、芳香族化合物中的硝基原子团	$R—NO_2$	−13.0	−54.4
芳香族酸中的羧基原子团	$Ar—COOH$	−13.0	−54.4
偕二硝基化合物中硝基原子团	$R—CH(NO_2)_2$	−10	−41.8
芳香族自由基键合	$Ar:Ar$	−6.5	−27.2
芳香族自由基与烯烃自由基	$Ar:C=C$	−6.5	−27.2
芳香族自由基与炔烃自由基	$Ar:C\equiv C$	−6.5	−27.2
三硝基甲烷中的硝基原子团	$ALK—C(NO_2)_3$	−6.5	−27.2
芳香族自由基和腈基	$Ar:CN$	−6.5	−27.2
尿素原子团	$CON=$	−6.5	−27.2
芳香族和脂肪族自由基	$Ar:ALK$	−3.5	−14.6
芳香族自由基和氮（氨的类型）	$Ar—N=$	−3.5	−14.6
季碳原子	$(R)_4C$	−3.5	−14.6
酰胺类	$R—CONH_2$	−3.5	−14.6
酸中的羧基原子团	$ALK—COOH$	0	0
硝酸酯类	$R—ONO_2$	0	0
四硝基甲烷中的硝基原子团	$C(NO_2)_4$	0	0
叔级醇类	$(R)_3C—OH$	+3.5	+14.6
酚 类	$Ar—OH$	+3.5	+14.6
硝基胺类	$R—NHNO_2$	+3.5	+14.6
仲级醇类	$R_2CH—OH$	+6.5	+27.2
环中的乙烯键		+6.5	+27.2
脂肪族和芳香族酮类	$(R_2)C=O$	+6.5	+27.2
有取代基的酰胺	$RC(=O)—NHN(R_2$	+6.5	+27.2
芳香族自由基与氯	$Ar:Cl$	+6.5	+27.2
含氧酸		+6.5	+27.2
芳香族酯类	$Ar—COO—Ar$	+10.0	+41.8
羧酸酐	$Ar—C(=O)—O—C(=O)—$	+10.0	+41.8
伯级醇类	$R—OH$	+13	+54.4
乙烯键	$>C=C<$	+13	+54.4
脂肪族和芳香族醛	$R—C(=O)H$	+13	+54.4
脂肪族伯胺	$ALK—NH_2$	+13	+54.4
芳香族仲胺	$Ar—NH—Ar$	+13	+54.4
内 酯		+13	+54.4
脂肪族自由基和氯（溴）	$ALK:Cl(Br)$	+13	+54.4

续表

基　团、键	结　构	校　正　值　Δ_i	
		kcal/mol	kJ/mol
芳香族自由基和溴	Ar、Br	+13	+54.4
芳香族酯类	Ar—COO—Ar	+13	+54.4
脂肪族酯类	R—C(=O)—OR	+16.5	+69.1
脂肪族自由基和腈基	ALK—CN	+16.5	+69.1
醚　类	$R_1—O—R_2$	+19.5	+91.6
脂肪族仲胺	$(ALK)_2NH$	+19.5	+91.6
芳香族叔胺	$(Ar)_3N$	+19.5	+91.6
脂肪族叔胺	$(ALK)_3N$	+26	+108.6
炔键（完全取代）	$R_1—C\equiv C—R$	+33.1	+138.5
脂肪族系列中的异腈类	R—N=C	+33.1	+138.5
脂肪族碘的衍生物	R-I	+40.1	+167.8
炔　键	H—C≡C—H(R)	+46.1	+192.9

熔化热：有机化合物　$q_{熔}=0.0135T_{熔}$

无机化合物　$q_{熔}=0.006T_{熔}$

简单物质　$q_{熔}=0.0025T_{熔}$

蒸发热：非极性液体　$q_{蒸}=0.213T_{沸}$

式中　$T_{熔}$——物质的熔点，K；

$T_{沸}$——物质的沸点，K。

例：计算梯恩梯的燃烧热和生成热。

已知其分子式为$C_6H_2(NO_2)_3CH_3$，则$a=7$，$b=5$，$p=0$，由表3-31查出 R-NO_2的校正值为－13kcal/mol，因$\xi_i\Delta_i=3\times(-13)=-39$kcal/mol。

$$Q_{p燃}=26.05\times(4\times7+5)-39=820.65\text{kcal/mol}$$

梯恩梯为固态，查其熔点$t_{熔}=80.8$℃，其校正熔化热为

$$q_{熔}=0.0135\times(273+80.8)\approx4.78\text{kcal/mol}$$

$$\therefore Q_{p燃}=820.65-4.78=815.87\text{kcal/mol}$$

梯恩梯完全燃烧反应式为

$$C_6H_2(NO_2)_3CH_3\xrightarrow{[O]}7CO_2+2\frac{1}{2}H_2O+1.5N_2+815.87\text{kcal}$$

按盖斯定律可求其生成热为

$$Q_{f,2}=94.5\times7+68.4\times2.5-815.87=16.63\text{kcal/mol}$$

（2）键能加和法　分子中每种键都具有一定能量，在$C_aH_bO_cN_d$类炸药分子中所有的键全部分裂成为碳、氢、氧、氮气态原子所需的总能量与这些元素在标准状态下的生成热的差值，即为炸药分子的生成热。通过下式可以求得：

$$E=\left(aQ_{CO_2}+\frac{b}{2}Q_{H_2O}-Q_{p燃}\right)+as+\frac{b}{2}Q_{H_2}+\frac{c}{2}Q_{O_2}+\frac{d}{2}Q_{N_2}\qquad(2\text{-}61)$$

式中　$\left(aQ_{CO_2}+\frac{b}{2}Q_{H_2O}-Q_{p燃}\right)$——炸药的生成热$Q_f$；

E——炸药分子中各键能总和；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

as——碳的升华热；

$\frac{b}{2}Q_{H_2}$、$\frac{c}{2}Q_{O_2}$、$\frac{d}{2}Q_{N_2}$——H_2、O_2、N_2离解为单原子在标准状态的热效应。

已知分子各键能总和、碳的升华热和H、O_2、N_2离解为单原子标准状态的热效应后，即可求出生成热。此法对一般简单物质是可行的，对结构复杂的分子偏差较大。键能数据见表2-32～表2-34。

表 2-32 共价键键能 kcal/mol键

	H	Li	C	N	O	Cl	F	S	Be
H	104.2	59.8	98.7	93.4	110.6	103.1	135.5	82.9	51.9
Li	59.8	29.3	102.7	73.0	119.4	120.4	147.1	—	—
Be	51.9	—	163.4	85.2	143.2	119.0	164.8	70.8	—
C	98.7	102.7	86.0	80.4	83.8	79.8	112.0	64.8	163.4
N	93.4	73.0	80.4	37.8	57.0	45.8	66.4	26.8	85.2
O	110.8	119.4	83.8	57.0	33.6	36.9	45.9	68.4	143.2
Al	70.4	56.7	63.7	77.0	103.1	102.8	136.7	64.5	—
Cl	103.1	120.4	79.8	45.8	36.9	57.9	41.5	63.2	119.0
F	135.5	147.1	112.0	66.4	45.9	41.5	37.8	72.0	164.8
S	82.9	—	64.8	26.8	68.4	63.2	72.0	50.3	70.3

表 2-33 短共价键键能 kcal/mol键

键	键能	键	键能
O=O	96.0	Al≡N	174.2
N=O	143.1	N≡N	225.9
N=N	105.5	C≡C	195.6
S=O	110.3	C=O（甲醛）	163.0
N=S	67.5	C=O（醛类）	171.0
C=N	145.9	C=O（酮类）	173.0
S=S	83.9		

表 2-34 某些键的生成热ΔQ_f kcal/mol键

键	ΔQ_f	键	ΔQ_f
C—H	+3.93～+4.0	C—（苯环）	-8.6
C—H（苯环）	+7.2	C=C	-29.6
C—C	-2.34	C≡C	-62
C—N	-10.7	C=N	-13.8
C—O	+11.5	C≡N	-28.6
C=O（醇、酯、酸）	+17.5	C=O（醛）	+31.0
N—N	-37	C=O（酮）	+34.0
N—H	+3.63	C—NO_2（苯系）	+18.7
O—O	-26.36	C—NO_2	+18.2
O—H	+28.72	N—NO_2	+10.5
N=N	-50.68	O—NO_2	+15.2

2.2.4.2 爆温

爆炸物爆炸时所放出的全部热量将爆炸产物加热到的最高温度称爆温。爆温实测较为困难，因此理论计算具有很重要的实际意义。

为简化理论计算，作以下假定：

（1）爆炸过程近似地视为定容过程；

（2）爆炸过程是绝热的，反应放出的全部热量用来加热爆炸产物；

（3）爆炸产物的热容只是温度的函数，而与爆炸时所处的压力（或密度）状态无关（此假定对高密度炸药爆温的计算会引起一定误差）。

1．由爆炸产物平均热容计算爆温

根据上述假设可以得到：

$$Q_v = \bar{C}_v t = (a + bt)t$$

$$\therefore \quad bt^2 + at - Q_v = 0$$

$$\text{爆温} = \frac{-a + \sqrt{a^2 + 4bQ_v}}{2b} \tag{2-62}$$

利用该式计算必须知道爆炸产物成分或反应方程式以及爆炸产物的热量。产物热容量计算法如下。

卡斯特平均分子热容式：

二原子气体　$\bar{c}_v = 4.8 + 4.5\times10^{-4}t$

水　蒸　汽　$\bar{c}_v = 4.0 + 21.5\times10^{-4}t$

三原子气体　$\bar{c}_v = 9.0 + 5.8\times10^{-4}t$

四原子气体　$\bar{c}_v = 10 + 4.5\times10^{-4}t$

五原子气体　$\bar{c}_v = 12 + 4.5\times10^{-4}t$

碳　$\bar{c}_v = 6.0$

食　盐　$\bar{c}_v = 28.3$

三氧化二铝　$\bar{c}_v = 23.86 + 67.3\times10^{-4}t$

上式适用于4000℃以下（其实验温度为2500～3000℃）；三氧化二铝的式子适用于0～1400℃。

例①　计算TNT爆温，已知爆炸变化方程式如下：

$$C_6H_2(NO_2)_3CH_3 = 2CO_2 + CO + 4C + H_2O + 1.2H_2 + 1.4N_2 + 0.2NH_3 + \\ + 266.08\text{kcal/mol}$$

先计算产物热容量：

对二原子气体　$\bar{c}_v = (1 + 1.2 + 1.4)(4.8 - 0.00045t)$

$= 17.28 + 0.00162t$

对水　$\bar{c}_v = 1\times(4.0 + 0.00215t) = 4.0 + 0.00215t$

对CO_2　$\bar{c}_v = 2\times(9.0 + 0.00058t) = 18.0 + 0.00116t$

对NH_3　$\bar{c}_v = 0.2\times(10.0 + 0.00045t) = 2.0 + 0.00009t$

对C　$\bar{c}_v = 4\times6 = 24$

全部爆炸产物热容量$\sum Q_{vf} = 68.28 + 0.00502t$

由此得：$a = 65.28$，$b = 0.00502$将此值代入得：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$t=\frac{-65.28+\sqrt{65.28^2+4\times0.00502\times266.08\times1000}}{2\times0.00502}$$

$$=3260℃$$

或 $t=3260+273=3533K$

例② 计算乙醚爆炸之爆温。先列出燃烧反应式，并按理论空气量将氮量也列入。$C_4H_{10}O+6O_2+22.6N_2=4CO_2+5H_2O+22.6N_2$（∵空气中$N_2:O_2=79:21$∴$6O_2$对应的$N_2$为$6\times\frac{79}{21}=22.6$）

产物热容：

$$22.6(4.8+0.0004t)=108.48+0.01017t$$

$$5(4.0+0.00215t)=20.0+0.01075t$$

$$4(9.0+0.00058t)=36.0+0.00232t$$

$$\sum\bar{c}_v=164.48+0.02324t$$

已知乙醚燃烧热为650300kcal/kgmol，由式2-62得知：$650300=(164.48+0.02324t)t$

$$\therefore\ t_{爆温}=\frac{-164.48+\sqrt{164.48^2+4\times0.02324\times650300}}{2\times0.02324}$$

$$=2826℃$$

上面计算视原始温度为0℃，虽然室温与0℃有差异，但因$t_{爆温}$很高对计算结果准确性无显著影响。

一般用卡斯特数据算出的$\bar{c}_v$值稍低，致所求出的爆温 t 值需稍高一些。上边的热容均为定体积热容，符合密闭容器爆炸。

2. 由爆炸产物内能值计算法

由热力学定律得知：$-dE=dQ+pdV$，爆炸被认为定容过程即$dV=0$。爆炸放出的全部热量均转变为其产物的内能，即$\Delta E=-Q_v$。所以用产物变化的内能数据可以算出爆温。

首先假定一个爆温，按此温度查表2-35，求出其爆炸产物的全部内能 ΔE，并与该爆炸物的爆热Q_v进行比较，如偏差较大，就假设一个爆温重新计算ΔE值，如ΔE值很接近Q_v值，此假设温度即为爆温。

例：梯恩梯与硝酸铵混合物的爆炸变化方程式如下：

$$11.35NH_4NO_3+C_7H_5(NO_2)_3\longrightarrow7CO_2+25.2H_2O+12.85N_2$$
$$+0.425O_2+1135kcal$$

假设爆温为3200K查表3-40得到：$\Delta E_{CO_2}=33.998$kcal/mol、$\Delta E_{H_2O}=26.655$kcal/mol、$\Delta E_{N_2}=18.217$kcal/mol，$\Delta E_{O_2}=19.632$kcal/mol。

总内能值为

$$\Delta E=7\times33.998+26.655\times25.2+18.217\times12.85+19.632\times0.425$$

$$=1152.1kcal$$

此数较$Q_v=1135$千卡为大，假设温度较高，故重新设爆温为3000K，同样求得

$$\Delta E=7\times31.382+25.2\times24.466+12.85\times16.839+0.425\times18.112$$

$$=1060.3kcal$$

由此看出，假设温度又偏低了些。但可知爆温介于3000～3200K间，假设在该温度区间的ΔE值呈线性关系，就可以得到

$$T = 3200 - \frac{\frac{1152.1-1135}{1152.1-1060.3}}{200} = 3163\,K$$

或 $t = 3163 - 273 = 2890℃$

表 2-35 各气体和石墨（C固）291～5000K内能变化值 (kcal/mol)

温度 K	H_2	O_2	N_2	CO	NO	OH	CO_2	H_2O	NH_3	石墨 (C固)
291	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
300	0.045	0.045	0.045	0.045	0.046	0.046	0.062	0.054	0.06	0.0188
400	0.541	0.557	0.544	0.545	0.561	0.558	0.804	0.667	0.760	0.2663
500	1.041	1.089	1.047	1.052	1.085	1.064	1.633	1.300	1.51	0.5845
600	1.542	1.646	1.562	1.573	1.624	1.572	2.534	1.958	2.34	0.962
700	2.046	2.226	2.090	2.111	2.28	2.079	3.494	2.649	3.25	1.386
800	2.553	2.825	2.635	2.666	2.755	2.592	4.504	3.368	4.23	1.864
900	3.065	3.440	3.196	3.239	3.347	3.112	5.554	4.114	5.27	2.334
1000	3.591	4.069	3.771	3.826	3.954	3.696	6.639	4.889	6.39	2.839
1200	4.648	5.358	4.964	5.039	5.203	4.732	8.893	6.712	8.78	3.894
1400	5.752	6.682	6.199	6.295	6.492	5.869	11.233	8.239	11.36	5.006
1600	6.869	8.034	7.467	7.579	7.809	7.045	13.624	10.054	14.12	6.164
1800	8.081	9.407	8.762	8.889	9.141	8.261	16.087	11.955	17.01	—
2000	9.302	10.803	10.076	10.218	10.491	9.509	18.570	13.924	20.01	8.544
2200	10.555	12.223	11.407	11.560	11.852	10.785	21.092	15.949	23.10	—
2400	11.837	13.664	12.951	12.915	13.226	12.088	23.635	18.020	26.26	11.614
2600	13.145	15.124	14.105	14.278	14.609	13.413	26.202	20.128	29.49	—
2800	14.477	16.698	15.469	15.649	16.001	14.758	28.786	22.267	32.77	—
3000	15.829	18.112	16.839	71.029	17.397	16.120	31.382	24.466	36.08	14.794
3200	17.200	19.632	18.217	18.414	18.799	17.497	33.998	26.655	39.45	—
3400	18.586	21.170	19.603	19.804	20.204	18.891	36.641	28.868	42.82	—
3500									44.51	18.034
3600	19.987	22.275	20.993	21.199	21.614	20.299	39.294	31.114	46.22	—
3800	21.402	24.295	22.387	22.599	23.034	21.720	41.947	33.387	49.66	—
4000	22.828	25.874	23.783	24.003	24.458	23.150	44.615	35.679	53.10	21.364
4200	24.267	27.470	25.187	25.408	25.888	24.598	47.296	37.959	56.58	—
4400	25.714	29.078	26.595	26.818	27.324	26.054	49.991	40.243	60.05	—
4600	27.173	30.697	28.007	28.234	28.768	27.524	52.687	42.537	63.55	—
4800	28.640	32.318	29.418	29.657	30.219	29.009	55.379	44.839	67.05	—
5000	30.118	33.943	30.840	30.971	31.679	30.497	58.118	47.182	70.57	—

2.2.4.3 爆压

爆炸压力是引起破坏的直接原因，爆炸压力的大小与容器的尺寸无关，对于均相蒸气-空气混合物，一般来说爆炸压力只取决于混合物的组成、初始压力和初始温度。最大爆压按下式计算：

$$P_{最大} = \frac{T_{最高}}{T_0} P_0 \frac{n}{m} \text{或} T_{最高} = \frac{P_{最大}}{P_0} T_0 \frac{m}{n} \qquad (2\text{-}63)$$

式中 P_0、$P_{最大}$——初始压力与爆炸最大压力，atm；

T_0、$T_{最高}$——初始温度与爆炸最高温度，K；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

m、n——爆炸前、后的气体分子数。

如将乙醚的最高爆温2826℃代入上式求得最大压力如下：

$$P_{最大}=\frac{2826+273}{273}\ (1)\ \frac{31.6}{29.6}=12.1\text{atm}$$

上式计算没有考虑热损，按理论空气量计算，因而是最大的。

2.2.4.4 爆炸能量

爆炸的能量，系指可燃性气体或蒸气与氧反应产生的化学能；以及压缩气体膨胀、液化气体迅速蒸发等而放出的物理能。

1．物理能量

（1）压缩气体与水蒸汽的爆炸能量

压缩气体爆炸的热力学过程是绝热过程，其爆炸能量也就是气体绝热膨胀所做的功。理想气体绝热膨胀所做功的计算式如下：

$$L_g=\frac{pV}{k-1}\left[1-\left(\frac{1}{p}\right)^{\frac{k-1}{K}}\right]\times 10^4 \qquad (2\text{-}64)$$

式中 L_g——气体绝热膨胀所做功，kgf/m；

p——气体绝对压力，kgf/cm²；

V——容器的容积，米³；

K——气体绝热指数。

气体绝热指数可按分子组成确定其近似值，如双原子气体 $k=1.4$，三原子和四原子气体 $k=1.2\sim1.3$。常用气体 k 值见表2-36。

表 2-36 常用气体的k值

气体	k值	气体	k值
空气	1.4	丙烯	1.15
氮气	1.4	一氧化碳	1.395
氧气	1.391	二氧化碳	1.295
氢气	1.412	一氧化氮	1.4
甲烷	1.315	一氧化二氮	1.274
乙烷	1.18	二氧化氮	1.31
丙烷	1.13	氰氢酸	1.31
正丁烷	1.10	硫化氢	1.32
乙烯	1.22	二氧化硫	1.25

例：压力为11atm（绝热）容积为1m³的压缩空气容器爆炸时空气所做的功为

$$L_g=\frac{11\times10^4\times1}{1.41-1}\left[1-\left(\frac{1}{11}\right)^{\frac{1.41-1}{1.41}}\right]=134000\text{kg}\cdot\text{m}$$

设爆炸持续十分之一秒，则破坏力为

$$N=\frac{134000\times10}{75}=17866.7\text{马力}$$

对于绝热指数为1.4或接近1.4的空气、氮气、氧气、氢气和一氧化碳等气体还可用下式计算：

$$L_g = C_g V \tag{2-65}$$

式中 L_g——气体爆炸能量，kgf·m；

V——气体体积，m^3；

C_g——压缩气体爆炸能量系数kgf·m/m^3。（表2-37）

表 2-37 常压下压缩气体爆炸能量系数（K＝1.4时）

绝对压力 kgf/cm²	爆炸能量系数 kgf·m/m³	绝对压力 kgf/cm²	爆炸能量系数 kgf·m/m³
3	2.02×10^4	41	6.70×10^5
5	4.61×10^4	51	8.60×10^5
7	7.46×10^4	65	1.13×10^6
9	1.05×10^5	151	2.68×10^6
11	1.36×10^5	321	6.48×10^6
17	2.36×10^5	491	8.22×10^6
26	3.94×10^5		

压缩气体爆炸能量计算公式也适用于水蒸汽，对过热蒸汽$K=1.3$；干饱和蒸汽$K=1.135$；湿饱和蒸汽$K=1.035+0.1x$，（x为蒸汽干度）。计算结果误差较大。也可用下式计算：

$$L_s = C_s V \tag{2-66}$$

式中 L_s——水蒸汽爆炸能量，kgf·m；

V——水蒸汽体积，米³；

C_s——干饱和水蒸汽爆炸能量系数，kgf·m/m^3，见表2-38。

表 2-38 常用压力下的干饱和蒸汽爆炸能量系数

绝对压力 kgf/cm²	爆炸能量系数 kgf·m/m³	绝对压力 kgf/cm²	爆炸能量系数 kgf·m/m³
4	4.5×10^4	14	2.8×10^5
6	8.5×10^4	26	6.2×10^5
9	1.5×10^5	31	7.7×10^5

（2）液化气、高温饱和水的爆炸能量

液化气体和饱和水蒸汽当容器破裂发生爆炸时所放出的能量包括器内蒸汽（水蒸汽）的爆炸能量以及处于过热状态液体的爆炸能量。由于两者相比前者很小往往忽略不计，过热状态液体的爆炸能量按下式计算：

$$L_L = 427[(I_1 - I_2) - (S_1 - S_2)T_1]W \tag{2-67}$$

式中 L_L——过热状态液体的爆炸能量，kgf·m；

I_1——容器破裂前的压力或温度下饱和液体的焓，kcal/kg；

I_2——在大气压力下饱和液体的焓，kcal/kg；

S_1——容器破裂前的压力或温度下饱和液体的熵，kcal/kg·K；

S_2——在大气压力下饱和液体的熵，kcal/kg·K。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

饱和水的爆炸能量按下式计算：

$$L_W = C_W V \tag{2-68}$$

式中 V——容器内饱和水所占容积，m^3；

C_W——饱水的爆炸能量系数，$kgf \cdot m/m^3$；其值见表2-39。

表 2-39 常用压力下饱和水爆炸能量系数

绝对压力 kgf/cm²	爆炸能量系数 kgf·m/m³	绝对压力 kgf/cm²	爆炸能量系数 kgf·m/m³
4	9.6×10^5	14	4.1×10^6
6	1.7×10^5	26	6.7×10^6
9	2.7×10^6	31	7.7×10^6

例：一废热锅炉汽包，直径2m，长5m，运行中（表压力为8kgf/cm²）破裂爆炸，炸前水位在汽包中心上边约0.2m处，计算汽包破裂时的爆炸能量。

解：汽包容积为15.7m³，饱和水体积为9.8m³，饱和蒸汽体积为5.9m³。

查上表得绝对压力$P = 9kgf/cm^2$的饱和蒸汽及饱和水的爆炸能量系数分别为

$$C_s = 1.5\times10^5 \qquad C_W = 2.7\times10^6$$

饱和蒸汽爆炸能量为

$$L_s = C_s V = 1.5\times5.9\times10^5 = 0.885\times10^6 kgf\cdot m$$

饱和水爆炸能量为

$$L_W = C_W V = 2.7\times9.8\times10^6 = 2.65\times10^7 kgf\cdot m$$

故汽包破裂时的爆炸能量为

$$L = L_s + L_W = 0.885\times10^6 + 2.65\times10^7 = 2.74\times10^7 kgf\cdot m$$

2. 化学能量

（1）化学爆炸能量 准确计算爆炸性混合气体爆炸能量是困难的，一般只是估算。即假定参与爆炸反应的气体的百分比，然后按其燃烧热计算爆炸能量：

$$L_H = V \cdot H \cdot 427 \tag{2-69}$$

式中 L_H——化学爆炸所做的功，$kgf\cdot m$；

V——参与反应的可燃气体积（标准状态下），m^3；

H——可燃气体的高燃烧热值，$kcal/m^3$；

427——换算系数，1kcal = 427kgf·m。

例：1kg汽油完全蒸发并与空气混合达爆炸极限，遇火花在1秒钟内爆炸，试求爆炸所做的功。

1kcal = 427kg·m，1kW = 102kg·m/s，1kg汽油的燃烧热 = 10300kcal。

因此，$\dfrac{427\times10300}{1\times102} = 4.31\times10^4 kW$

若爆炸在1/10秒内发生，功率增大10倍，即达431000kW；若在10分钟内发生，则功率降为：43100 ÷ 600 = 72kW。这就不足爆炸，爆炸之所以有很大的推毁力，就在于爆炸反应是瞬间（1/10、1/100秒）发生的。

（2）化学爆炸产物体积及扩散影响范围　化学爆炸按完全燃烧计，产生的高温气体体积，以及扩散影响范围按下面方法算：

以液态烃C_nH_{2n}（$n=3\sim6$）为例，分子量$M=12n+2n=14n$g/mol，分子体积$v=14n/d=17.5n$ml/mol，设液体相对密度$d=0.8$。在标准状态下蒸发1mol该液体为20℃的蒸气，其体积为24升，故蒸发液态烃时将生成的体积为　　$24000/17.5n=1370/n$倍

液态烃完全燃烧反应式如下：

$$C_nH_{2n}+1.5nO_2\longrightarrow nCO_2+nH_2O$$

所需空气量为$1.5n/0.21$，因此按完全燃烧比例组成混合气体时其体积为（$7n+1$）倍。所以由一定体积易燃液体按完全燃烧比例组成混合气体时，它的体积相当于：

$$1370(7n+1)/n=9590+1370/n\text{倍}$$

若$n=3$，则有10046.7倍；$n=6$则有9818.3倍。可以认为，爆炸性混合气体爆炸其体积平均为原液体体积的10000倍左右。

若爆炸气体产物达1500℃，则体积又要膨胀6倍，即：$(273+1500)/(273+20)=6$倍。

设罐内贮有1000L易燃液体，爆炸时产生的燃烧气体为$10000\times6\times1=60000m^3$，该气体在地面以半球形扩散，其扩散半径$r$为

$$(1/2)(4/3)\pi r^3=60000\therefore r=30.6m$$

即以罐为中心，在直径60m高30m内之可燃物质会直接引起火灾。

2.3　爆炸的破坏作用

2.3.1　爆炸破坏形式

爆炸常伴随发热、发光、压力上升、真空和电离等现象，具有很大的破坏作用。它与爆炸物的数量和性质、爆炸时的条件，以及爆炸位置等因素有关。主要破坏力形式有以下几种。

2.3.1.1　震荡作用

在遍及爆炸破坏作用内，有一个能使物体震荡、使之松散的力量。

2.3.1.2　冲击波

爆炸冲击波最初出现正压力，而后又出现负压力。爆炸物的量与冲击波成正比，而冲击波压力与距离成反比。

2.3.1.3　碎片冲击

机械设备、装置、容器等爆炸后产生许多碎片，飞出后会在相当大的范围内造成危害。一般碎片在100～500m内飞散。

2.3.1.4　造成火灾

爆炸气体扩散通常在爆炸瞬间完成，对一般可燃物不致造成火灾，且冲击波尚有灭火作用。但爆炸的余热或残余火种会点燃破损设备内不断流出的可燃气体或易燃、可燃液体蒸气而造成火灾。

2.3.2　冲　击　波

2.3.2.1　冲击波的形成

冲击波是由压缩波迭加形成的，是波阵面以突跃形式在介质中传播的压缩波。在传播中

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

使介质状态发生突跃变化。其传播速度大于扰动介质的音速，速度大小取决于波的强度。

2.3.2.2 冲击波的计算

将气体状态参数用流速u、比容V、压力p、爆速D、内能E、焓H来表示，则冲击波可按下列各式计算（式中下角标1、2分别表示爆炸前、后的状态）：

按质量守恒原则得：

$$\frac{D-u_1}{V_1}=\frac{D-u_2}{V_2}$$

按动量守恒原则有：

$$\frac{(D-u_1)^2}{V_1}+p_1=\frac{(D-u_2)^2}{V_2}+p_2$$

$$E_1+\frac{(D-u_1)^2}{2}+p_1u_1=E_2+\frac{(D-u_2)^2}{2}+p_2u_2$$

又从$H=E+pu$可得：

$$H_1+\frac{(D-u_1)^2}{2}=H_2+\frac{(D-u_2)^2}{2}$$

进一步可求得：

$$(D-u_1)^2=\frac{V_1^2(p_2-p_1)}{V_1-V_2},\quad (D-u_2)^2=\frac{V_2^2(p_2-p_1)}{V_1-V_2}$$

$$E_2-E_1=\Delta E=\frac{1}{2}(p_2+p_1)(V_1-V_2) \tag{2-70}$$

$$H_2-H_1=\Delta H=\frac{1}{2}(p_2-p_1)(V_1+V_2) \tag{2-71}$$

式2-70、2-71为表示冲击波能量变化的雨贡纽方程式，亦即R-H方程式。

表 2-40 冲击波压力及其效应

超压Δp kgf/cm²	冲击波破坏效应
0.002	某些大的椭圆形窗玻璃破裂
0.003	产生喷气式飞机的冲击音
0.007	某些小的椭圆形窗玻璃破裂
0.01	窗玻璃全部破裂
0.02	有冲击碎片飞出
0.03	民用住房轻微损坏
0.05	窗户外框损坏
0.06	屋基受到损坏
0.08	树木折枝，房屋需修理方能居住
0.10	承重墙破坏，屋基向上错动
0.15	屋基破坏，30%树木倾倒，动物耳膜破坏
0.2	90%树木倾倒，钢筋混凝土柱扭曲
0.3	油罐开裂，钢柱倒塌，木柱折断
0.5	货车倾覆，民用建筑全部毁坏，人肺部受伤
0.7	砖墙全部破坏
1.0	油罐压坏

2.3.2.3 冲击波的破坏作用

在离爆炸中心一定距离的地方，空气压力会随时间发生迅速而悬殊的变化。压力突然升高然后降低，反复循环数次渐次衰减下去。开始产生最大正压力即冲击波波阵面上的超压。多数情况下，冲击波的破坏作用是由超压Δp引起的。Δp可以达到数至数十大气压。其破坏作用见表2-40。

冲击波还会直接危害在它波及范围内的

表 2-41

Δp kgf/cm²	破　坏　效　应
>1.0	大部分人员会死亡
0.5～1.0	损伤人的听觉器官、或产生骨折
0.2～0.3	人体受到轻微损伤
<0.2	能保证人员安全

人身安全，详见表2-41。

2.3.2.4 冲击波的超压

冲击波波阵面上的超压与产生冲击波的能量有关。在其它条件相同的情况下，气体爆炸能量越大，冲击波强度越大，波阵面上的超压也越大。

爆炸气体产生的冲击波是立体冲击波，它以爆炸点为中心，以球面向外扩展传播。随半径增大，波阵面表面积增大，超压逐渐减弱，最后Δp—0，冲击波变成声波。表2-42为100kgTNT爆炸时，在与爆炸中心不同距离测得的冲击波超压值。

表 2-42 距爆炸中心不同处的冲击波超压

距离，m	15	16	20	25	30	35
Δp，kgf/cm²	0.93	0.768	0.521	0.330	0.192	0.129

2.3.3 爆炸物的爆炸效应

爆炸物在爆炸时形成高温、高压的产物，能对周围介质产生强烈冲击和压缩作用，使与其相接触或接近的物体产生运动、变形、破坏与飞散等有害效应。这种爆炸物对周围物体的各种机械作用称为爆炸效应。

爆炸物的做功能力又称为爆炸威力，或爆炸能量，它可以理论计算或实验求得（前面已叙及）。TNT爆炸所放出的能量为1146kcal/kg，通常以1000kcal/kg作为TNT当量，用来计算和评价爆炸效应，（由于引用参数不同，有的文献是1155kcal/kg，有的是1120kcal/kg）。TNT缓慢燃烧的发热量为3800kcal/kg，因此TNT爆炸只有1/3的热量用来对外做功（产生爆炸效应）。

2.3.4 爆炸产物的扩散与蔓延

2.3.4.1 有毒液化介质的毒害区

液化介质在容器破裂时会产生蒸气爆炸。当液化介质为有毒物质，如液氨、液氯、二氧化硫、二氧化氮、氰氢酸等，爆炸后会造成大面积毒害区。毒害区范围用下述方法求取。

设有毒液化介质重量Wkg、容器破裂前介质温度为t℃，液体介质比热Ckcal/kg℃，当容器破裂时内压降至大气压，处于过热状态的液体温度迅速降至其标准沸点t_0℃，此时全部液体放出热量为

$$Q = W \cdot C \cdot (t - t_0)$$

设介质汽化热为$q$kcal/kg，Q全部用于汽化，则其蒸发量$W' = Q/q = \dfrac{WC(t-t_0)}{q}$，

如介质分子量为M，则在沸点下蒸发蒸气的体积为

$$V = \frac{22.4W'}{M} \cdot \frac{273+t_0}{273} = \frac{22.4WC(t-t_0)}{Mq} \cdot \frac{273+t_0}{273}$$

V除以该毒物致死浓度就可得出中毒伤亡区。

例：计算容量为1000kg液氯贮罐在50℃破裂时蒸发的氯气体积及毒害区。

将液氯有关数据代入上式。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$V=\frac{22.4\times1000\times0.23[50-(-34)]}{71\times69}\cdot\frac{273-34}{273}=77.34m^3$$

液氯密度为1440kg/m³，1000kg液氯相当于0.69m³，$\frac{77.34}{0.69}=112$ 破裂后比破裂前体积增大112倍。

若在空气中氯气浓度达0.09%，人吸入5～10分钟致死，则使人致死的有毒空气体积为

$V=77.34\times100/0.09=8.6\times10^4m^3$

2.3.4.2 可燃液化气容器破裂的燃烧区

可燃液化气贮罐一旦破裂在器外发生二次爆炸，器内全部液化气几乎全烧掉。爆炸产生的热量将燃烧产物（水蒸汽、二氧化碳）及空气中的氮气升温膨胀，形成体积巨大的高温燃气团，使周围形成一片燃烧区。

以液化石油气（按丙烷计）为例，计算这种容器破裂所产生的高温燃气的体积及其燃烧范围。

设容器装液化丙烷Wkg，容器破裂一部分蒸发为气体，并产生燃烧爆炸，另一部分以雾状液滴散落在空气中，同时被燃烧。若燃烧完全，按下列反应式进行：

$$C_3H_8+5O_2\longrightarrow3CO_2+H_2O$$

每kg丙烷需氧160/44=3.64kg，需空气量3.64/0.21=17.33kg，Wkg丙烷完全燃烧生成燃气的重量为(17.3+1)Wkg。丙烷燃烧值为11010kcal/kg（液），设燃气比热为0.3kcal/kg·℃，则燃气温度可升高11010/18.3×0.3≈2000℃，燃气在标准状态下密度约为1.25kg/m³，则Wkg丙烷完全燃烧生成的燃气在2000℃时的体积为

$$\frac{18.3W}{1.25}\cdot\frac{273+2000}{273}\approx122Wm^3$$

设燃气以半球形向地面扩展，则高温燃气扩散半径为

$$R=\sqrt[3]{\frac{122W}{\frac{1}{2}\times\frac{4}{3}\pi}}=\sqrt[3]{0.477\times122W}=3.9\sqrt[3]{W}\ m$$

2.4 燃烧、爆炸物理参数的测定

2.4.1 燃烧参数测定

2.4.1.1 闪点的测定

1. 测定方法的分类

闪点测定仪器有许多种类，目前经常使用的见表2-43。

2. 密闭方式的测定

（1）泰格密闭式试验器　试验器构造如图2-25所示，测定时将试验器置于不通风处。如试样闪点＞13℃，将水装入液槽；如闪点＜13℃将乙二醇水溶液一类低凝固点的水溶液充满液槽。用50±0.5ml量筒取移入容器内，用标准球大小调节试验火焰，使试样温度以每30秒0.5℃的速率上升。

当试样温度达到比预计闪点低6℃时，去掉火焰一秒钟，以后每上升0.5℃就重复一次，将确认明显着火的试样温度作为闪点。测定进行两次，差值在1℃以内可认为正确。

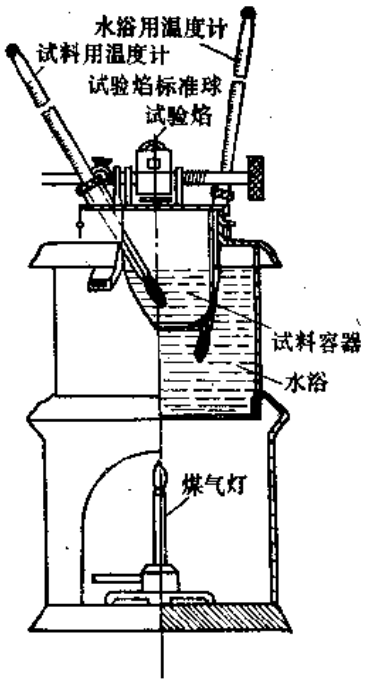


图 2-25 泰格密闭式闪点试验器

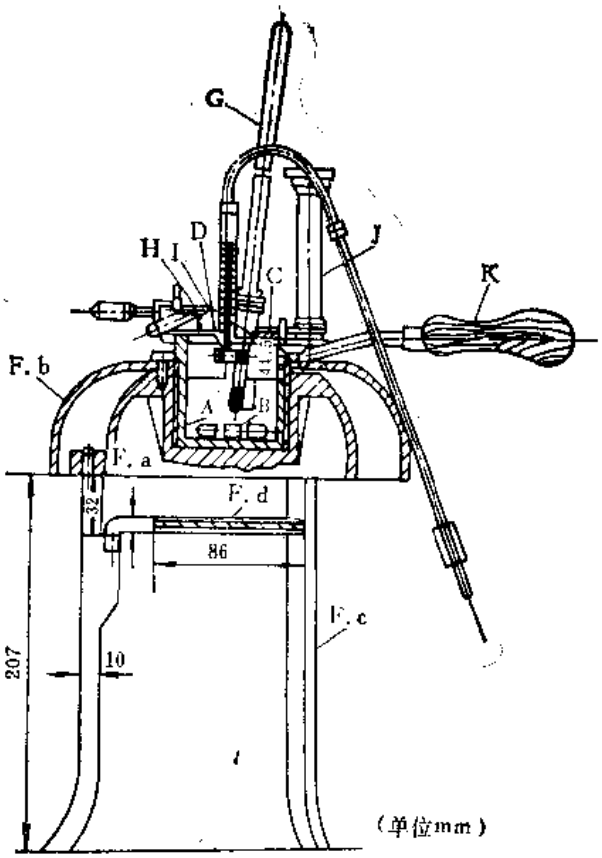


图 2-26 宾斯基-马丁密闭式闪点试验器（燃气加热）

A—油盂；B—搅拌器；C—油盂的盖；D—开关器；E—铜性轴；F—加热器；a—空气浴；b—弯曲的板；c—三脚架；G—温度计；H—导火焰管；J—开关器的握手；K—油盂握手

（2）宾斯基-马丁密闭式闪点试验器

该试验器结构如图2-26所示。试验时将试样装到容器的标线，试样温度以5～6℃/min的上升速度加热，搅拌器以90～120转/min的速度搅拌。如试样闪点＜104℃，在低于预计闪点10℃时除掉试验火焰，之后每上升1℃重复一次。闪点＞104℃的试样，从低于预计闪点16℃时开始，每上升2℃，就重复一次。闪点用整数值表示。第二次测定闪点若＜104℃，两次测定差若小于2℃；超过104℃时若小于11℃，其结果都认为是正确的。

3．敞开式试验器

克利弗兰敞开式闪点试验器　该试验结构如图2-27所示。试样装到容器标线位置，温度计大致保持在容器的中心和内壁的中央，水银球下端保持在由底面算起6.5毫米的位置。试样以17℃/分的速率加热，达到低于预定闪点55℃时进行调节，若低于28℃就以5.5℃/分的速率加热。试验火焰由28℃低温起开始摇动，温度每上升2度则进行反复操作直到着火。作2次测定，如差值在8℃以内取其平均值，并化为整数值表示。

4．推算法

闪点（t_f）可用下列各式进行推算：

（1）由沸点t_b推算

$$t_f(℃)=0.6946t_b(℃)-73.7 \qquad (2\text{-}72)$$

（2）由含碳数n的推算

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-43 闪点试验器种类

类别	日本			美国		
	试验器种类	测定范围	标准	试验器种类	测定范围	标准
密闭式	泰格式测定器	<80℃	JIS K 2539	泰格式测定器	<80℃	ASTM D-56
	宾斯基-马丁式测定器	>50℃	JIS K 2265	宾斯基-马丁式测定器	>80℃	ASTM D-93
敞开式				泰格式测定器	<80℃	ASTM D-1310
	克利弗兰式测定器	>80℃	JIS K 2274	克利弗兰式测定器	>80℃	ASTM D-92

$$(t_f + 277.3)^2 = 10410\,n \qquad (2\text{-}73)$$

2.4.1.2 自燃点的测定

1. 测定方法的分类

（1）升温法 以规定的加热速度使试样温度上升，测定发生着火的温度。该法操作简单但结果分析困难，存在着须在低于着火温度进行预热的缺点。

（2）定温法 向保持一定温度的装置中，迅速投入试样将发生着火的最低温度作为自燃点。该法操作虽麻烦，但能很好的进行结果分析，不存在预热的影响。

为区别两种方法，标记〔升〕、〔定〕符号。

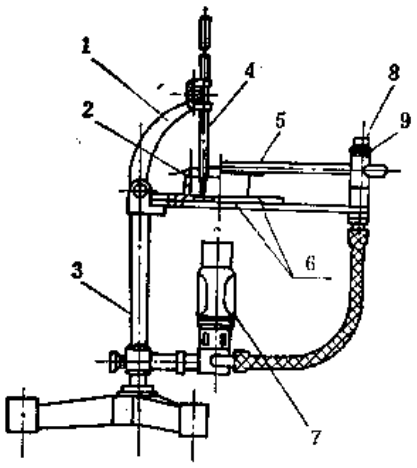


图 2-27 克利弗兰敞开式闪点试验器

1—温度计保持架；2—油盂；3—加热板支持架；4—温度计；5—试验火焰管；6—加热板；7—煤气燃烧器；8—煤气调节阀；9—试验火焰操作部分

2. 可燃气体自燃点的测定

（1）导入法〔定〕 向保持一定温度的容器里导入混合气体，看其是否着火，若不着火就反复上升温度，直至着火记下温度。也有将燃料、氧化剂代替混合气体预先放入的做法，但受器壁的影响较大。

（2）弹筒法〔升〕 在容器中装入混合气体，将其加热至着火温度，以此温度为自燃点。着火时可由弹筒内压力的激烈变化得知。但气体温度分布不均匀，器壁影响较大。

（3）流通法〔升·定〕 在加热管子中通过混合气体以求着火温度的方法。该法受预热影响较小，但与气体流速有关。同心管法是这种方法的一种。用同心管分别送入加热的可燃气体和空气（或氧气），在出口处混合，看其是否着火。若没着就将空气继续加热。该法如将气体混合充分可避免器壁影响，作为气体自燃点测定该法可靠性最高。其装置如图2-28所示。

（4）绝热压缩法〔升〕在筒形容器里装入混合气体，落下活塞，由于压缩而使之着火。记下着火时的活塞位置，假定过程为绝热压缩，用下式求取自燃点：

$$T_2/T_1 = (V_1/V_2)^{\gamma-1} = (p_2/p_1)^{1-\frac{1}{\gamma}} \qquad (2\text{-}74)$$

式中 T_1——混合气体初始温度；

T_2——着火温度；

V_1p_1——初始体积、压力；

V_2p_2——着火时体积、压力；

r——气体定压与定容比热之比。图2-29为其测定装置。

（5）冲击波管法〔升〕 用冲击波管产生冲击波使混合气体着火。温度由冲击波的速度测定值、能量、质量、动量守恒计算出来。

（6）预热法〔升〕 预先将混合气体加热到比自燃点低的某一温度，然后再给预能量使之着火。如预热温度接近着火温度，只给少量能量就会达到自燃点。

3．可燃液体、固体自燃点的测定

（1）滴油法〔定〕 将粉尘、油滴等滴到保持一定温度的金属制、磁制或玻璃制的锅里，观察其是否着火的方法亦称坩埚法。图2-30为美国标准ASTMD2155-36T所规定的装置。

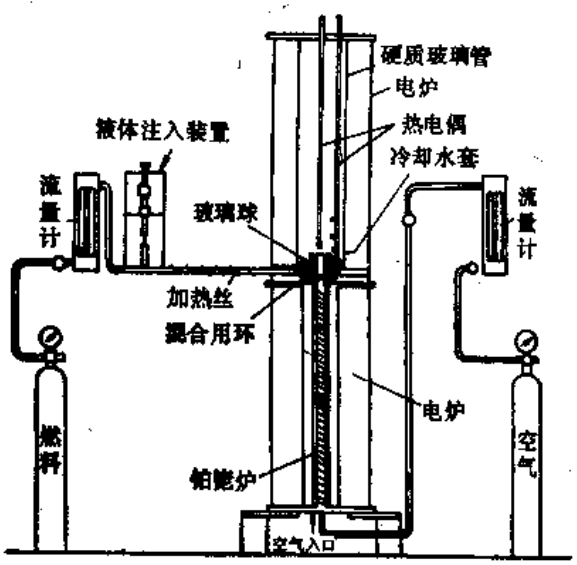


图 2-28 同心管法测定着火温度的装置

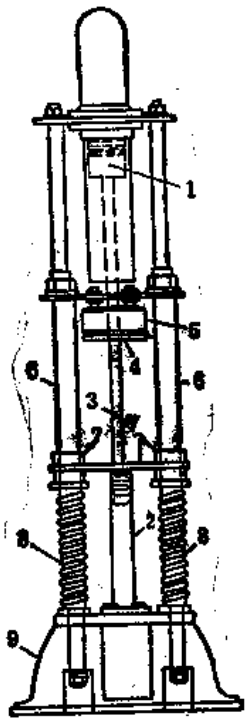


图 2-29 绝热压缩测定装置（Roegene）

1—驱动活塞；2—压缩活塞；3—连接轴；4—铁板；5—电磁铁；6—支承框架；7—缓冲器；8—弹簧；9—基座

将少量试样(0.1mL)用0.25mL～1mL注射器注入在电炉上事先预热的200mL锥形烧瓶内。在黑暗房间里观测5分钟。若瓶内立即产生火焰，就可以认为着火。增减温度对试样作一系列测定，将发生着火的最低温度作为其自燃点。

（2）油浴法〔升〕 将装有试样的容器放入油浴内升高温度，读取着火时的油浴温度。

（3）放热法〔升〕 一面将试样以一定速度加热，一面测定试样内外的温度，两者的交点即为着火温度。试样的多少有影响，越多着火温度越低。

（4）重量法〔升〕 用石英弹簧和热天平，一面加热试样一面测定其重量，重量减少的变点即为着火温度。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（5）接触法〔定〕 使试样与保持一定温度的金属等接触，观测其着火温度。

4．易爆化合物自燃点的测定

炸药自燃点的测定是用“赫斯赖” (Horsley) 试验装置进行。在直径14cm、深7cm的铁制器皿中，放入低熔点合金加热使其熔化后满到距上口2cm处，插入直径1cm、长12cm的硬质玻璃试管，插到离底部2cm深处。然后取0.5 g炸药(其中有0.1 g硝化甘油炸药和0.05 g起爆药）投入试管中，测出点火或者分解时的最低温度。

2.4.1.3 最小点火能量的测定

测定时，为使能量值易连续变化，且易求得其值，故以火花作为点火源。

1．气体最小点火能的测定

测定装置如图2-31所示。测定时，首先将一定组成、温度、压力的可燃性混合气体装入直径为1.25cm的球形容器内，放电极于容器中央。电极由不锈钢棒制成，极间距用附带的测微计正确调整以便测定。电极连接固定电容、可变电容和静电电压表。系统的整体静电电

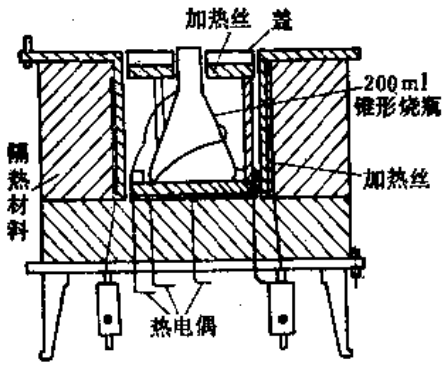


图 2-30 美国标准ASTM法测定着火温度的装置

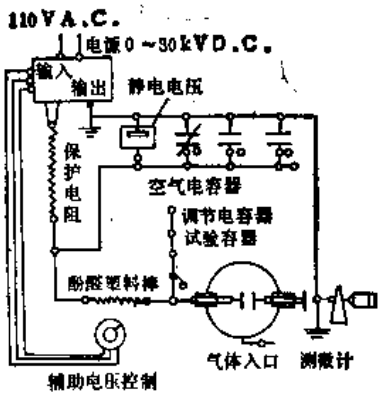


图 2-31 最小点火能的测定装置

容用静电电容计准确测定，电容器全部用空气电容，以消除介电后效的误差。充电时，将110 V交流用变压器升压，使用整流后的30kV直流电源，使电容器缓慢充电，电压上升电极间飞出火花，此时测定电压。试样若没有着火继续增加电容，求着火时的静电电容C，由V和C按下式求火花能量E。

$$E=\frac{1}{2}CV^2 \tag{2-75}$$

2．粉尘最小点火能的测定

粉尘的测定与气体测定的原理相同，关键的问题是如何在电极间造成均匀的尘云。现有上吹法与下吹法两种。前者用后边测定爆炸极限的装置，先将试样装在容积为1.28 L，内压为0.35～1.1kg/cm²(表压)的容器里，打开螺旋阀的同时，将粉尘吹起，并在底部以上100mm火花电极处形成均匀粉尘云。后一种方法用图2-32所示装置。将粉体从上面落下形成均匀粉尘云。点火能量的测定与气体的测定相同。

2.4.1.4 混合危险性的测定

混合危险是一种分析极为困难而又复杂的现象，其危险程度的测定方法至今尚未建立。但是，通过着火滞后时间的测定，来了解两种物质接触后，需多少时间发生火焰，对于分析

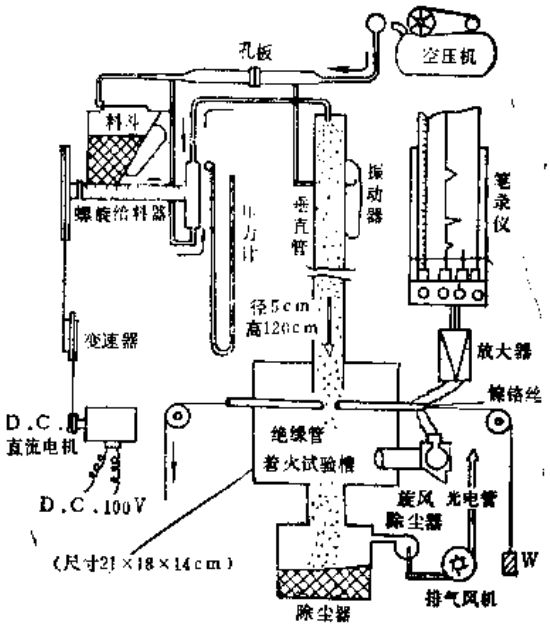


图 2-32 粉体下落法测定最小点火能的装置

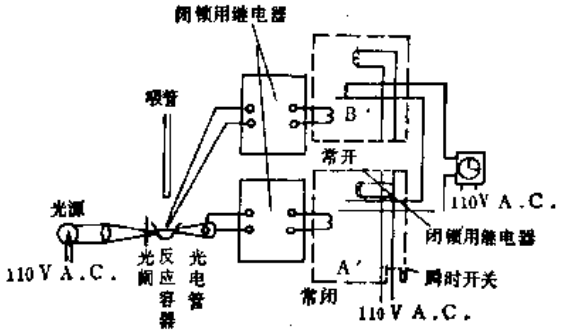


图 2-33 滴落式着火滞后试验装置

混合危险甚为重要。

1. 滴落式着火滞后试验装置

试验装置如图2-33所示。在玻璃反应容器内装入氧化剂，由光源射来的光经透镜和可变光阑聚焦，通过非常靠近液面的地方射到光电管上。如将燃料用吸液管滴到酸上，使酸表面产生波动，光线被反射，折射而不能进入光电管，使计时机构启动的电子继电器A动作，反应器有两根铝质探针，探知由发生火焰所形成的电离化，藉发生的信号停止计时器的第二个继电器B动作。为在第二次着火时计时器不再启动，设置了闭锁用的继电器。这种装置虽简单，但存在着混合状况不好，温度控制困难，重现性相当差的缺点。

2.Pion着火滞后测定装置

装置如图2-34所示。它与1均是测定液体火箭推进剂方面研究的装置。将氧化剂如发烟硝酸装入外侧的容器内，插入卡销调节楔，把装有燃料的内容器加以固定。如将调节楔卸掉，燃料容器落下，从下部4个孔流进氧化剂，二者相混合，不久即着火。测定从燃料容器落下到着火的时间。取信号的电极位于外壁和装置的中心。

3. Henkin着火温度和滞后测定装置

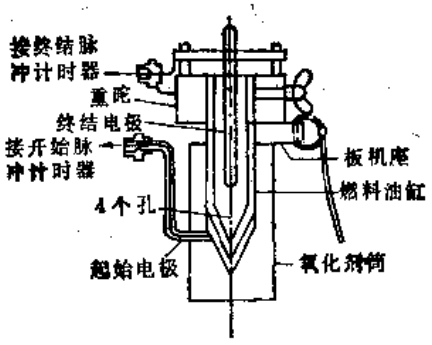


图 2-34 Pion着火滞后试验装置

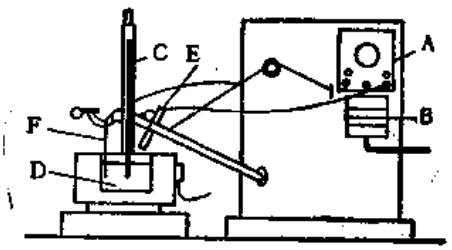


图 2-35 Henkin着火温度测定装置

A、B—继电器；C—铜管；D—加热浴；E—屏蔽装置；F—电极

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

装置如图2-35所示。该法特点是将试样装入容器内，在密闭状态下加热测定。首先将试样装入铜管中，记录装入时间及爆炸电路被切断的时间。该法有很大危险要有妥善的屏蔽设施。用该法求出着火温度和着火滞后的关系，可得到禁忌配合的资料。

2.4.1.5 冲击感度、摩擦感度的测定

火药类在外部能量作用下产生爆炸时，将对此的抵抗性尺度称为感度。

冲击感度系指对打击、冲撞等纯机械冲击的感度，和对雷管、爆轰冲击感度的总称。它可用落锤试验、平头弹枪击试验，殉爆试验等进行测定。

摩擦感度的测定，一般是将试验夹于硬且摩擦系数大的两固体面之间。在加压下，将一面急速滑动进行试验。设两面间滑动摩擦系数为μ，两面间垂直压力为N，则摩擦力$R=\mu N$。通常使面的滑动速度一定，以增减N的方法进行试验来求摩擦感度。或将N固定，通过改变滑动速度来测定。

1. 冲击感度的测度

（1）落锤试验　图2-36所示为日本滑降式试验机。将干燥试样（胶质状试样）做成厚0.7mm、直径10mm的圆板状。粉状或半胶质状试料，取0.1～0.2mm（半球状匙一满匙）装入用直径20mm圆形锡箔（80～100g/m²）做成的直径为12mm的盘子里，将其夹在钢砧座上的高度、直径均为12mm的二个圆筒轴之间，钢砧座如图2-36所示那样，盖上有放气孔的盖子。把重量为5kg的铁锤落到圆筒轴上，用下边的标准判定试样是否爆炸。

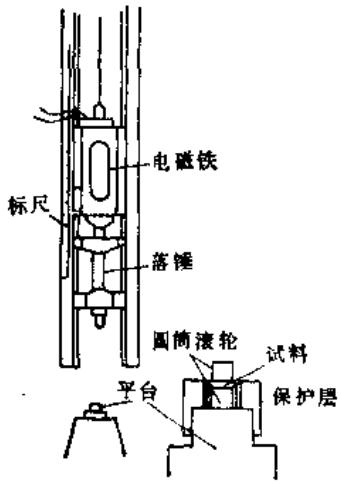


图 2-36　落锤试验机

① 发生爆炸声和烟，试样完全消失，外圆筒轴面上残留有爆痕，用布轻擦抹不掉时，为全爆；

② 虽发生爆炸声和烟，但试样略有残余，残留爆痕与上相同时，为半爆；

③ 无爆炸声和烟，试样几乎全部残留，在圆筒轴面上稍残留黑色线状爆痕，用布轻擦也抹不掉时，判定为分解；

④ 无爆炸声和烟，试样无变化，有时圆筒轴面留有黑色线状爆痕，但用布轻擦即能抹掉时，判为未爆。

在同一高度连续做6次试验，仅爆炸一次或推定仅爆炸一次的落下高度按下面例子可以求得，并将此作为1/6爆点。以落高5、10、15、20、30、40、50厘米中的适当落下高度进行试验，1/6爆点用下表所示的落下高度范围求得，用它表示火药类的落锤感度。

例：落下高度20厘米时为2/6（分子为爆炸次数，分母为试验次数），落下高度15cm时为0/6，1/6爆点被推定为15cm～20cm，所以感度等级被判定为四级。试验使用过的圆筒轴，若根据上述判定标准被判定为爆炸时，就不能再继续使用。

此外，落锤感度的表示方法还有：以同一落高反复试验一次也不爆炸的最高落高（不爆点），和50%爆炸的临界爆炸点。

（2）平头弹射击感度试验　该法以试样爆炸所需子弹极限速度表示感度。子弹与试样两端均为平面圆柱状，固态试样为直径20～25mm，长大于20mm的裸药。可塑或粉状试样则

落锤感度（等级）	1/6爆点（cm）
1 级	5以下
2 级	5～10
3 级	10～15
4 级	15～20
5 级	20～30
6 级	30～40
7 级	40～50
8 级	50以上

填入内径30mm的酚醛树脂管内，固定在图3-37的木台上。将直径和长均为15mm的铜、钢或铝合金的子弹，用口径15mm、长100cm内面光滑的来复式枪对试样作水平冲击射击。弹速与发射药量的平方根成比例，弹速用光电装置测定。是否爆炸利用爆破仪检查，或用试样一端接触的导爆线是否爆炸来检查。

2. 摩擦感度的测定

（1）乳钵试验　将干燥试样放入磨砂瓷制乳钵里，温度保持在20～30℃，用瓷制乳棒揉擦听听是否发生爆鸣。在相同条件下，以苦味酸为基准药进行试验并比较结果。该法是一种个人差异相当大的原始试验方法。乳钵和乳棒间所加压力以30～35kg为标准。德国采取将试验结果分为① 无反应；② 弱爆炸声；③ 强爆炸声来表示，看作①对摩擦钝感；②中等；③非常敏感。

（2）德国材料试验所的摩擦式试验机

该机为H.Koenen和K.H.Ide发明如图2-38所示。在25×25×5mm瓷质摩擦板和直径10mm、长15mm，端面呈球形（曲率半径10mm）的瓷质摩擦片之间，夹上可通过0.5mm筛孔的试样10mm³，加上荷重驱动马达，使摩擦板作10mm的往复移动。荷重在0.5～36kg间可调，在此范围内摩擦速度恒定。对敏感起爆药荷重在0.1～1kg间可调，可用与上述结构相同的小型试验机。同一荷重做6次试验，将试验结果分为：无反应、局部反应、发生火焰、弱爆音、强爆音。根据结果将爆炸性物质分为以下四类：



图 2-37　平头弹射击感度试验

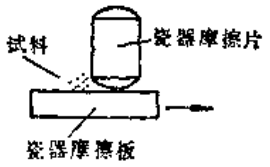


图 2-38　德国材料试验所式摩擦片和摩擦板

第一类　钝感的物质（几乎无反应）；

第二类　稍微敏感的物质（能看到变色或分解状态的物质），TNT属此类；

第三类　敏感的物质（1～36kg荷重可引起着火），季戊炸药、黑索金属此类；

第四类　极敏感的物质，起爆药、氯酸钾和赤磷的混合物属此类。

2.4.2　爆炸参数测定

2.4.2.1　爆炸极限的测定

1. 可燃气体爆炸极限的测定

（1）爆破筒法　装置如图2-39所示。它是美国矿山局设计的测定装置，A为内径5cm、长150cm硬质玻璃筒，下端B为研磨玻璃板盖，将其装在水银槽C上密闭。测定时，将A抽真空后，把送入气体量用微压计F读出。空气经干燥管G送到筒内变成大气压力。然后，将水银平衡瓶H上下反复举10～30分钟使筒内组成达到均匀。接着卸掉C、摘下B，同时使电火花在J处形成或用火焰接近。见着火部分生成的火焰在筒中升到顶部时，可认为该混合气

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

具爆炸性。然后将组成稍作改变若不爆炸，再把组成向原组成靠近进行反复测定。将发生与不发生爆炸的中间值作为极限值。该法测定值较宽，就防止危险而言还是合适的。

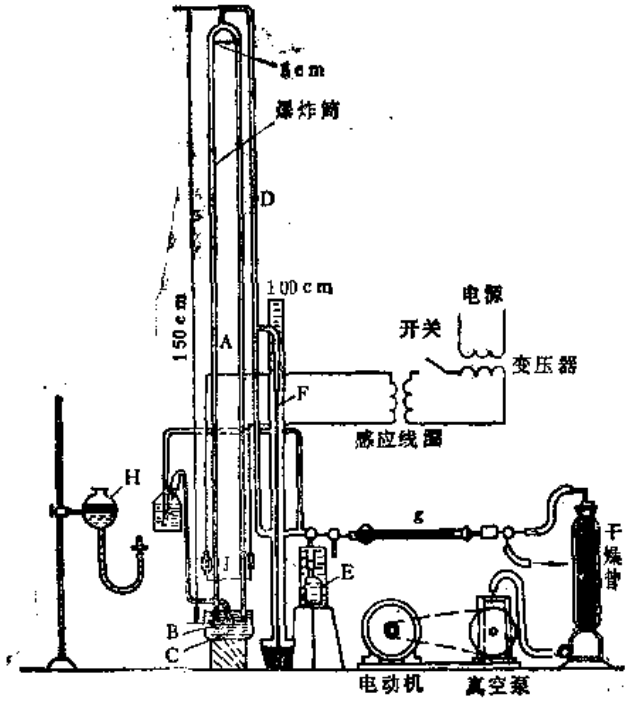


图 2-39 美国矿山局型爆炸极限测定装置

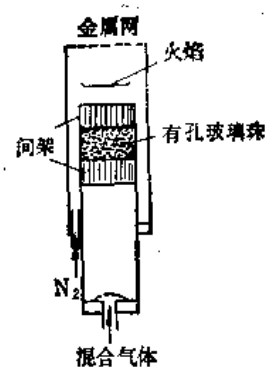


图 2-40 平面火焰燃烧器

（2）平面火焰法 装置如图2-40所示。它是采用特殊燃烧器的装置，将达到稳定火焰的极限浓度作为燃烧极限的方法。该燃烧器产生的火焰是平的，因此称为普通平面火焰。其特点是不像（1）那样跳动，可以检查燃烧速度和火焰温度，在极限时的火焰温度为最低火焰温度。

该法极限值由燃烧速度与组成关系曲线求出。在实际中，燃烧速度在极限时也不会为“零”，而有5厘米/秒左右。因此，一般将极限附近急烈下降的曲线外推而求出。该法所求极限值比（1）测得的极限值有更低的趋势。

2．可燃粉尘爆炸极限的测定

北川测定装置如图2-42所示。外径为82mm、高51mm、厚6mm 硬质玻璃圆筒用铝合金支架固定。筒的侧面装有带旋塞的支管，筒内两侧设有火花放电电极。铝架子是磨平的端面用直径100mm、厚5mm的硬质聚氯乙烯的盖板盖好，并涂以真空润滑油封堵保持气密。铝支架下部连在漏斗导管上，漏斗导管下部装有圆锥形黄铜栓，将一定量试样装入该栓周围。爆炸筒净容积为525ml。

用真空泵将爆炸筒内空气经减压支管抽走。合上开关电磁伐被打开，空气进入减压的爆炸筒内，由该空气流将圆锥形栓顶起，并把粉尘吹散在爆炸筒内。在合上开关同时，时间继电器动作达一定时间后，在放电间隙上发生火花，飞散的粉尘即被点燃。从开启开关到放电的时间间隔称为起燃延迟时间。在同一条件下实验十次，求出引起爆炸次数的百分率，将其作为爆炸几率（x）。

预先求出 x 值显示为最大的最适宜真空度和起燃延迟时间，在此条件下改变粉尘浓度

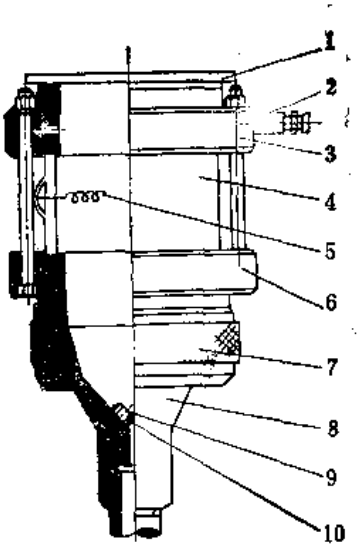


图 2-41 爆炸筒详图

1—上盖；2—减压用侧管；3—玻璃圆筒上部座（硬铝）；4—玻璃圆筒；5—电极（白金）；6—玻璃圆筒下部座（硬铝）；7—手动盖（硬铝）；8—粉状体搅拌部分；9—圆锥塞子；10—粉状体供试品

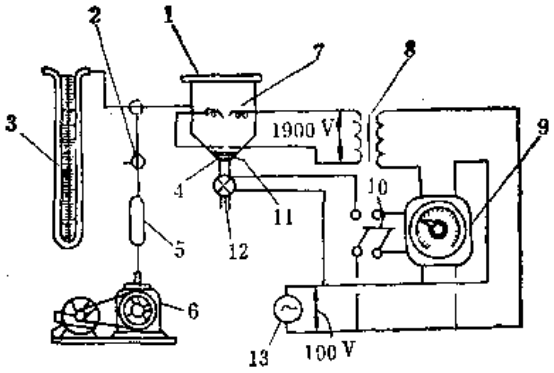


图 2-42 粉尘爆炸界限测定装置

1—上盖；2—三路旋塞；3—水银压力计；4—圆锥体塞子；5—干燥管；6—真空泵；7—爆炸筒；8—变压器；9—计时器；10—开关；11—供试品粉状体；12—电磁阀；13—电源

$\left(c=\frac{w}{v}\right)$求得测定值，于是在 $x-c$ 关系图上可得S形曲线。由该曲线求得 $x=50\%$ 时的粉尘浓度来作为极限浓度。

2.4.2.2 爆炸压力的测定

在密闭或接近密闭的容器内发生燃烧或传播爆炸波时，压力随时间变化。直接测定此压力的压力传感器有机械式压力计、压电式压力量计、电容压力计、电阻丝应变压力计、电感压力计、光学压力计等。

1．机械式压力计

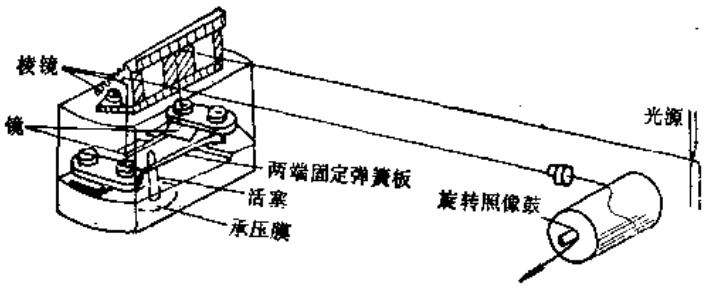


图 2-43 弹性膜压力计

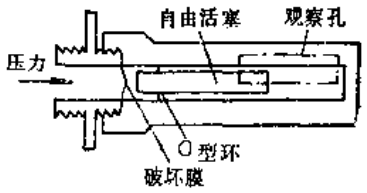


图 2-44 自由活塞压力计

测定静压用布尔登管式压力计和U形压力计，这类压力计一般对2000Hz以下的频率没有响应。利用金属薄膜压力弹性变形的薄膜压力计，根据金属种类、形状、膜的厚度等得到各种特性的压力计，适于测定爆炸压力。

还有用光学或电学的方法显示薄膜的变形速度和变形量的压力计（见图2-43）。还有如图2-44那样的自由运动的活塞动作，以2500次/秒的高速摄影机进行摄影，用此描述出时间

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

和变位曲线，从活塞质量求出加速度，而标出压力的方法。

另外，只需获得最大压力值，使用铅板爆破计比较方便。它是测定安装在容器上铅板（或其他金属板）的凹陷量，再按事先做成的校正曲线求出压力值。响应频率在3000Hz以下，用于低频高压场合最好。

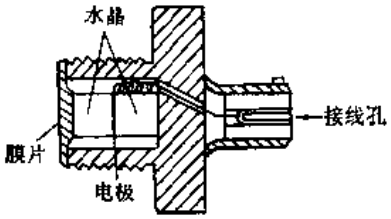


图 2-45 压电式压力传感器

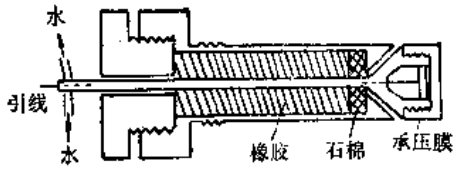


图 2-46 电容式压力传感器

2．压电式压力传感器

将压力加至某种晶体上会产生电位差，这种现象称为压电现象。压电式压力传感器就是按此道理制成的，结构如图2-45所示。压力变化ΔP产生的电压信号由$(KA)\Delta P/C$给出。K为压电系数；A为表面积；C是电容。晶体的C可由$C=\varepsilon S/4\pi d$给出，式中d为厚度、ε导电率。

3．电容式压力计

如图2-46所示，由向一个方向动作的弹性膜与固定膜组成一组电容、测定电力范围用改变膜的厚度进行调节，响应频率可至1000Hz。电容式压力计优于压电式压力计，它能测静压、温度适应范围广、坚固等。缺点是灵敏度提高则线性降低。

4．电阻丝应变压力计

又称应变计，它利用金属丝受压变形时电阻发生变化的原理，它们之间有如下关系：

$$K=(\Delta R/R)/(\Delta L/L) \tag{2-76}$$

式中，R及ΔR为电阻及电阻变化；L及ΔL为长度及长度的变化；K是应变感度，各种金属丝有其固定的常数。

该种型式压力计，分为薄膜承受压力，用电阻丝测出变形的方法，和作用薄膜上的压力由可伸缩的筒承受，将其变形用电阻测量仪表测出的方法。与此相类似的压力计，还有将上述伸缩筒代之以受力变形时发生磁性变化的磁致伸缩管，这就是磁致伸缩压力计。

5．电感式压力计

它是将压力变化转换为电感变化而进行测定的仪器。有变化铁芯的磁导率，改变线圈间铁芯的位置及偏斜永久磁铁的磁场等方法。一般多用于特殊目的，不常用测定爆炸压力。频率响应在10kHz之下，传感器易做成大型的。

6．光学压力计

这类压力计有两种，一种是利用光学测定物理的位移；另一种是用光学摄取密度变化，使用纹影照像和干涉仪。前者根据光学上不均匀介质的光线绕射，利用刀刃（Knife edge）对光遮栏，观测作为亮度差的折射率变化；后者用分成两个光路的光的干涉，求介质折射率变化的方法。无论哪一种，为获得大视野，装置都很庞大，使用很不方便。

2.4.2.3 火焰逃逸界限的测定

北川研究室利用图2-47实验装置，测定了在高压下乙炔、丙二烯、甲基乙炔等的分解爆

炸火焰通过细小缝隙的界限。

爆炸容器内容积各为1立升的两个室构成，第一室为起爆室，第二室为火焰传播室，都放进同样的气体。中间插入SUS27制的试验缝隙如图2-48所示，在其中心开圆孔，直径在1.0～5.0mm，长度在10～40mm之间进行变化。用白金丝熔断法点火，分解爆炸的判定根据应变仪指压计的记录来进行。

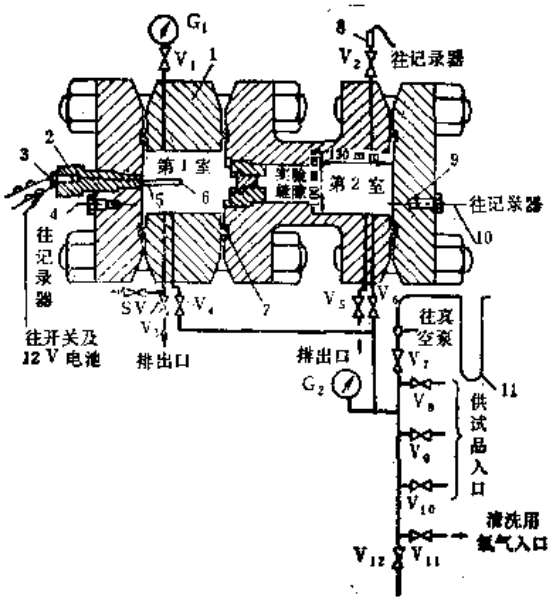


图 2-47 试验装置流程图

1—不锈钢组件；2—聚四氟乙烯；3—引燃器；4—热电偶；5—电极；6—白金丝；7—铝衬；8—应变仪机械压力计；9—橡皮；10—热电偶；11—水银压力计

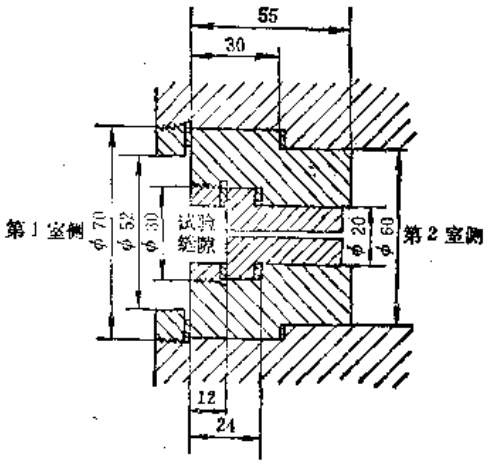


图 2-48 试验用缝隙

火焰逃逸间隙的测定，可以了解一方着火时火焰通过间隙是否会引起另一方混合气体着火，这对于防爆电机设计是必要的。

2.5 燃烧、爆炸的预防

2.5.1 预防燃烧爆炸的一般原则

预防事故发生，限制灾害范围，消灭火灾，撤至安全地方是防火防爆的基本原则。

2.5.1.1 防止引起着火、爆炸的措施

应根据不同类型的爆炸，制订出相应的切合实际的预防计划。预防计划一般有两个方面：①对具有爆炸性物质的管理；②对构成爆炸的点火源的管理。

为了不让混合气体的组分达到爆炸范围，可采用下列措施：

（1）使混合气的组分处在爆炸下限以上或上限以上；

（2）使用惰性气体取代空气；

（3）使氧气浓度处于其极限值以下。

为此，应防止可燃气体向空气中泄漏，或防止空气进入可燃气体中；应控制、监视混合气体组分浓度；装设气体组分接近危险范围的报警装置。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

为了控制点火能源，应研究有关冲击摩擦、明火、高温表面、绝热压缩、自然发热、电气火花、静电火花及热辐射、光辐射等8种点火源产生的条件，并采取相应的对策。

2.5.1.2 火灾爆炸的局限化措施

一旦发生火灾爆炸，必须采取局限化措施尽量减小灾害范围，局限化对策有以下几方面：

1. 安全装置

（1）安全装置种类 基本安全装置是防止正常情况下发生爆炸的装置，包括成分控制装置（混合比、防止助燃物质混入，掺入惰性气体等）；温度控制装置（防止发生反应失控、抑制蒸气压等）；着火源切断装置（预防静电发生、消除灰尘雾滴等过滤装置）。

异常抑制装置包括防止火焰传播的装置（冷却器、安全罩、充填环、阻火器、隔离地带等）；控制发生聚合、分解的装置（加入反应抑制剂、冷却装置等）；控制反应失控的装置（控制异常反应、控制聚合分解反应等）；预防着火的装置(蒸汽幕、惰性气体幕、水幕等)以及使灾害局限化的安全装置。

（2）局限化安全装置

① 泄压装置。

a. 高压。如安全阀、安全板、回流阀、放空阀、其它（如泄料阀装置）；

b. 低压真空。如密封装置、排气装置、吸收装置、安全板、其它。

② 截止流体和防止回流装置。如紧急截断阀、防止过流阀、逆止阀等。

③ 操作标准测定器。如液面计、压力计、温度计、流量计、pH值、浓度计、密度计、分析仪器、气体检测器等。

④ 报警装置。如蜂鸣器、警铃、指示灯。

⑤ 应急措施。如紧急切断电源、紧急切断液体、紧急分流、紧急排出液体、紧急冷却、紧急通入惰性气体、紧急加入反应抑制剂等。

⑥ 应急措施系统。如安装开关、紧急停车等自动操作系统。

⑦ 防护设施。如防油堤、燃烧池、防火墙、隔断墙、防爆墙等。

⑧ 避难设施。信号（电话、铃、警笛、扩音器等）、标志（指示逃离方向等）、安全通道、安全梯等。

2. 防止可燃物堆积

在有火灾爆炸危险场所及其附近不允许堆放大量可燃物。

3. 留有空地

在有爆炸的危险场所周围（作业场所或库房），必须保留一定的空地或留有足够的安全距离，使爆炸灾害不危及其它建筑和居民。

4. 防爆墙

高压实验设备和高压试验工厂应用防爆墙围起来，读取数据和操作等在墙外进行。在具有爆炸危险的设备和建筑物周围亦应设置防爆墙，防止爆炸碎片危害周围。

2.5.2 防止可燃物外逸泄漏

1. 泄漏类型

泄漏可分为从设备向大气泄漏、设备内部泄漏以及由设备外部吸入等三种类型。

按压力分则有高压喷出、常压流出和真空吸入。

按操作状态可分为正常运转时的泄漏、停电、断水及辅助系统异常引起的泄漏和启动、停止等作业时的泄漏。

2. 成套设备大量泄漏的主要原因

（1）设备泄漏的危险因素　包括腐蚀或浸蚀；裂痕；变形；疲劳、老化；吸收废气等引起材质的变化；脱碳和渗碳引起材质的变化；设备、配管的伸缩与热膨胀；蠕变；低温脆性等。

（2）运转和控制方面的危险因素　包括异常升温、降温；异常升压、降压；流速异常；流量异常；液面异常升降或抖动；堵塞、结水垢；冻堵；水锤作用；热平衡或原料平衡被破坏；伺服系统紊乱；停电、停水、停汽等。

（3）维修、防护方面的危险因素　包括检查失误（忽略异常征兆）；试验、检查时未

表 2-44　泄漏位置及泄漏原因

泄漏位置	原　因	问　题　所　在
衬垫	材质不良	耐腐蚀性、耐热、耐压
	表面压力不够	最小残余压应力、压缩有缩孔-位移、硬度、厚度
	有缺陷、破裂、变形	混入异物、机械强度、使用不良、疲劳、内压、振动、热应力、反复荷重、过紧
	形式不好紧固力不够	最小表面压力、面座形式、加工精度、强度不够、垫料厚度、由振动而松弛、热变形、疲劳、内压、偏紧
法兰盘	面平行度不良	加工不良、偏紧、表面粗糙、热变形、畸变
	变　形	强度不良、加工不良、热变形、耐腐蚀、使用不当、材质等级不够
	缺陷、破裂	加工不良、使用不当、热应力疲劳、等级不够、外力、局部应力、蠕变、腐蚀
螺钉拧入处	破损、缺落	允许表面压力、混入异物、温度、压力、振动、老化、密封不良
	腐　蚀	材质选定、老化
	轴偏摆、松弛	转数、加工精度、由外力引起变形
	不垂直	选型、加工精度、制造不良、使用不当
	内压力不当	选型、密封液压力、装置的内压力变动
焊缝	气　泡	焊条选择、焊接姿势、焊接电流、坡口不良、表面加工、卷进异物、检查方法、材质
	裂　纹	材质选择、残余应力、反复荷载、局部应力、水击、热应力、振动、应力腐蚀
	腐　蚀	材质选定、残余应力、热影响、疲劳、耐热
扩散装置	松　弛	扩散率、温度波动、热膨胀、疲劳、振动、加工精度、蠕变
	破　裂	扩散率、腐蚀、反复荷载、热应力、材质缺陷、水击、振动
阀片	缺落、破裂	混入异物、紧固力过大、热变形、腐蚀
	表面压力不够	材质不良、螺钉精度不良、加工精度、表面硬度低、热膨胀、使用变形、磨损
	松　弛	螺钉精度不良、振动、水击、脉动、热膨胀、外力、温度低
主体材料开裂	裂　纹	反复荷载、蠕变、外力、材质缺陷、局部应力、应力腐蚀、破裂、异常压力、异常温度、残余应力
	孔	腐蚀（包括点蚀、电蚀）、外力、材料缺陷

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

发现某些缺陷（观察失误、误判断）；维修方法不当；保养不当；组合不良（水平、找正、标准调整、平衡处理不当）；螺钉连接不良；维护不良引起不均匀受力等。

泄漏原因参见表2-44。

3. 防止泄漏的对策

防止泄漏必须根据泄漏类型、泄漏物质状态、泄漏压力、时间等选择适当的方法。在方案设计时采取根本对策；在运转、维护时实行操作检查等预防措施，包括制止突然泄漏的应急措施。泄漏的各种措施见表2-45。

表 2-45 设备、配管的泄漏形式、原因及措施

设备配管	泄漏部位	原　因	措　施
塔槽热交换器配管、阀等	接　头	法　兰 （1）垫片材质选择不当 （2）固定不良 （3）松动 （4）腐蚀	（1）减少接头（焊接） （2）防止振动 （3）消除热应力（使用各种膨胀结构） （4）选用耐腐蚀材料 （5）修正配合表的平行度 （6）加强紧固（冷锁紧、热锁紧）
压缩机、送风机、搅拌机、阀门	滑动部	轴封部 （1）磨损 （2）变形 （3）腐蚀 （4）使用条件的变化 （5）调整不良 （6）型号不对 阀的密封压盖 （1）磨损 （2）使用条件的变化 （3）垫片选择不良	（1）清洗异物并防止其混入（冲洗、使用滤网） （2）修正不均匀紧固等 （3）改变材质式清洗机构 （4）改成干式运转 （5）调整螺钉 （6）变更密封形式（平衡型） （7）处理轴表面 （8）使用润滑油 （9）改变垫料等级
安全装置的逃气排水阀、通风孔	排放部位	泄漏部位 （1）型号选择不当 （2）设置方法不好 （3）操作不良 （4）使用条件变化	（1）选用合适的型号 （2）正确设置、消除背压 （3）除去垃圾、水垢，早期修理 （4）改造成凸型面结构 （5）回收（冷却、加压凝缩、吸收、工艺流程回收）

2.5.3 消除点火源

2.5.3.1 明火

1. 吸烟

吸烟（包括打火机、火柴）所引起的火灾约占全部火灾数的17%。香烟的燃烧温度，在吸烟时为650～800℃，点燃放着时为450～500℃。为避免吸烟引起火灾可采取下列措施：

（1）建立严格的吸烟制度，指定允许吸烟的场所；

（2）吸烟处需配备足够的烟灰缸，在灰缸内可装些砂子或水；

（3）在使用易燃液体或大量易燃物、挥发性危险物品的场所，严禁带入香烟火柴；

（4）设立明显的禁烟标志。

2. 取暖器具

由电炉、取暖用火炉等引起的火灾占全部火灾的5%，是冬季起火危险的重点。火炉有以下三方面引起火灾的危险。

① 辐射加热的危险（辐射热使周围墙壁和其它可燃物着火）；

② 火焰接触的危险（使周围的墙和可燃物着火）；

③ 热源本身的危险。

其防火措施如下：

（1）对辐射加热、火焰接触的预防措施

① 离开可燃物的距离，四侧为0.5m以上（有方向性者，在其前方距1m以上），上方为1m以上；

② 在可燃性地板上使用时，应放在不燃、隔热的台子上；

③ 不能挪作它用（如干燥等）。

（2）对热源的预防措施

① 燃油火炉。应掌握说明书上的正确使用方法，在了解其危险性的基础上使用；应用围栏圈定；避免在人员来往频繁处使用；平放在不燃性垫台上使用；应当用燃点＞45℃的煤油；燃料应存放在安全的地方；要确认完全熄火后再进行移动或加油；有沸腾、溢流可能的物品不要放在炉子上；对器具要仔细检查，及时清扫；落差式火炉要避免在有风和日光直射的地方使用，移动时应卸下贮油罐并尽可能避免振动；加压式火炉的喷嘴不得堵塞，并应保持一定的压力。

② 燃气炉。防火措施除上述辐射加热及火焰接触的防护措施外，还有以下几点：橡皮管的使用长度在2m以上，定期检查是否老化或龟裂；使用液化石油气时须使用专用胶管；胶管不要接触过热金属或被门等夹住；气源插入炉口处用夹具夹紧，防止胶管脱落；使用液化气（石油）时要定期检查气罐、阀门、压力调节器、安全阀、管子等有否漏气。气罐要放置室外通风良好无阳光直射的地方。

③ 其它火源。如焦炭、煤炉等现在使用场合较少，起火原因除辐射热对周围可燃物加热或与火焰接触外，还可能由未处理好的灰烬等原因引起着火。

3．焊接、切割

详见本书第7章的有关内容。

2.5.3.2 高热物及高温表面

属于高热物及高温表面的有：①高温蒸汽管道表面；②高温气体、液体管道及热交换器的金属表面；③高温管道的托梁、滑板及轨道等；④加热炉、干燥炉炉壁；⑤裂解炉、加热釜、废热锅等；⑥还原触媒中混入空气等。以上均会成为燃烧爆炸的点火源。

对上述点火源主要采取隔热措施，采用绝热材料对热表面进行保温绝热处理。

2.5.3.3 自然发热及化学反应热

1．因氧化反应而发热的物质

由氧化反应引起自然发热的物质常见的有油浸物、煤、黄磷、金属粉末等。

（1）油浸物发热的预防措施

① 油布、油纸要充分干燥后再捆包或贮藏；

② 为防止蓄热，不要大量贮藏和堆积过高；不要贮藏在通风不良的仓库或室内；

③ 避免贮藏在高温、高湿场所，尤其夏季应选择凉快的场所贮藏。脱脂的渣子等要冷却后再堆积或包装；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

④ 不要贮藏在日光直射的地方；

⑤ 要防止混入促进油氧化的杂物（金属粉等）。碎屑物要投入车间设置的浸油物专用带盖金属容器内，每天工作结束后烧掉或妥善处理；

⑥ 尽量缩短贮藏期，大量、长时间贮藏油浸物要定期测量温度，监视发热情况；

⑦ 贮藏、使用易自燃的油类要避免泄漏，附近不要放置纤维状和粉末之类物质。

（2）煤自然发热的预防措施

① 防止接触水。贮煤场应选择排水好、干燥的地方。最好是混凝土地面。否则要用滚子压实，不要用木材铺在下面；

② 隔绝热。蒸汽管道、温水、烟道等高温物体不要通过贮煤场周围（包括下面）；

③ 煤堆积高度控制在3～4m以下，每堆数量控制在200 t 左右。贮藏量大的场所，用混凝土墙分割贮煤场；

④ 新采出的煤在前半年贮藏期内重点检测温度。

（3）黄磷　黄磷熔点44℃，在干燥空气中燃点为60℃，潮湿空气中燃点更低．常温下即会氧化着火。为防止它与空气接触，可将其贮于水中，盖严防止水蒸发。容器放在平稳安全之处，防止掉下，歪倒造成破损。

（4）金属粉末　铝、镁、锌等金属粉末或碎片，如大量堆积，在空气中很容易氧化发热。特别是有湿气、酸、碱等存在时，更将促进自燃的发生。对此应加强管理防止金属粉末堆积，及时清理消除，以及在产生此类粉尘的设备内充填惰性气体。

2．因分解反应而发热的物质

属于此类物质有代表性的是硝化纤维类的硝化棉、赛璐珞、火药等，化学药品中也有很多分解发热的物质。

（1）赛璐珞

① 夏季要特别注意，避免日光直射；

② 不要放在高温（干燥机、烟道、蒸汽管道周围）或日光直射的场所，要放在通风换气良好的地方；

③ 透明薄片制品、废赛璐珞、再生品等自燃危险性很大，不需要的应尽快处理；

④ 贮藏场所要挂出明确的标示牌。

（2）化学药品类　过氯酸盐、氯酸盐、硝酸盐、过锰酸盐等无机过氧化物、有机过氧化物以及碱金属的过氧化物等在一定条件下均会分解放热，亦应采取隔绝空气、防水防潮、降温、妥善保管等安全措施。

3．发酵引起发热的物质

发酵作用引起物质发热的预防措施是：将发酵物在堆积贮藏前充分干燥，防止细菌繁殖；湿度应保持在30%以下；每一堆的量不能太多，堆放高度不能太高，确保产生的热量能够很快放散。

4．禁水性物质

该类物质因遇水反应而发热，或溶于水而放出溶解热（或稀释热），如浓硫酸、浓硝酸等应密闭保存，防水、防潮。

5．其它自然发热物质

混合危险发热、聚合发热、聚氨酯泡沫成型以及有机金属化合物（三烷基铝、二烷基铝）等的防护措施参见本节有关部分。

2.5.3.4 冲击、摩擦

由于机械设备损伤而成为点火源的有：飞散物的冲击、物体掉落时的撞击、倒塌物的冲击、管道、设备破裂时产生的撞击、搅拌机桨叶与罐体内壁的撞击、气锤的冲击以及其它飞来物的冲击等。

由于设备之间的摩擦或冲击而成为点火源的有：塔、管、槽的振动而产生的摩擦、容器内残存物的摇晃、罐体与浮筒的冲击、开闭油罐出入口时的撞击以及由锤、扳手等工具产生的撞击等。

为了防止冲击、摩擦引燃引爆，可采取如下措施。

（1）紧固设备、防止零部件松动；

（2）不要选择钢、铁等易氧化、发热量大的材料做工具。要选择铍铜合金那样软性的不易氧化且发热量小的材料做工具；

（3）对于轴承、滑轮、联轴器、制动器、切削机械等，需加强保养，按时润滑，减小摩擦；

（4）在粉碎机、混合机、搅拌机前设置磁铁分离器，防止混入金属异物；

（5）在允许条件下，降低机械运转速度，以减少摩擦。

2.5.3.5 绝热压缩

在与周围不进行热交换的状态下压缩气体时，压缩过程所耗功全部转变成热能。这种热能蓄于气体内使其温度上升，进而引起燃烧或爆炸。

设压缩前气体容积为V_0、绝对温度为T_0、压缩后容积为V，则压缩后其上升温（绝对）可由下式求出：

$$T = T_0\left(\frac{V_0}{V}\right)^{r-1} \tag{2-77}$$

式中 r——常数，可取5/3（单原子分子）

或7/5（双原子分子）或3/6（三原子分子）。

硝化甘油、硝化甘醇、硝酸酯等爆炸感度高的液体，以及二硫化碳等燃点低的物质，在绝热压缩过程中易起火爆炸。

在关闭压缩机的排水阀，放出塔、槽中的排出物以及抽出成品时开、关动作过快，都可能造成绝热压缩而异常升温。

2.5.3.6 电气火花

电气火花种类多，引燃危险大。电气火花的预防措施参见第5章有关部分。

2.5.3.7 静电火花及雷电

参见第3章。

2.5.3.8 光线及放射线

（1）光线 波长小于380nm的紫外线及波长大于770nm的红外线，均有促进化学反应的作用。具有很高的热效应，可使某些不稳定物质着火或爆炸。

玻璃瓶、金鱼缸、橱窗等的聚焦作用可引起着火或爆炸。对此应采取蔽光的措施。

（2）放射线 放射线是放射性元素衰变时放射出的高速粒子束或电磁波。放射线能使气体电离，显示曝光作用、荧光作用。

放射线能够促进化学反应而发热，并有起火的可能。因此对它要采取“密封”和“屏蔽”

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

的措施。采用铅容器、重质钢筋混凝土壁等进行严密的屏蔽，并对钥匙严加管理，防止被盗及其它事故。

2.5.4 惰化、稀释

惰化是用氮气等惰性气体取代氧，也就是用惰性气体稀释可燃气体、蒸气的爆炸性混合物，以抑制燃烧爆炸的方法。常用的惰性气体有氮气、二氧化碳、水蒸汽以及卤代烃等燃烧阻止剂。

1．惰性气体用量

采用惰化防爆不必用惰性气体全部取代空气中的氧，而只要稀释至一定的程度即可。最高允许氧含量见表2-46和表2-47。

表 2-46 气体、液体的最高氧含量

物质名称	最高氧含量（%）		物质名称	最高氧含量（%）	
	N_2作稀释剂	CO_2作稀释剂		N_2作稀释剂	CO_2作稀释剂
一氧化碳	5.6	5.9	丙　酮	13.5	15.0
氢	5.0	5.9	苯	11.2	13.9
二硫化碳	—	8.0	甲　烷	12.1	14.6
乙　炔	6.5	9.0	乙　烷	9.0	10.5
乙　烯	8.0	9.0	丙　烷	9.5	11.5
丙　烯	9.0	11.0	丁　烷	9.5	11.5
甲　醇	8.0	11.0	戊　烷	12.1	14.4
乙　醇	8.5	10.5	己　烷	11.9	14.5
乙　醚	—	10.5	汽　油	11.6	14.4

注：相应环境条件为20℃、1atm。

表 2-47 用 N_2 惰性可燃粉尘最高氧含量

粉尘种类	最高允许氧含量（V%）	粉尘种类	最高允许氧含量（V%）
煤　粉	14.0	硬脂酸钙	11.8
月桂酸镉	14.0	木　粉	11.0
硬脂酸钡	13.0	松香粉	10.0
有机颜料	12.0	甲基纤维素	10.0
硬脂酸镉	11.9	轻金属粉尘	4～6

注：系强点火源作用。

惰性气体用量按下式计算：

① 使用纯惰性气体（不含氧及可燃物）进行惰化：

$$x = \frac{21 - O}{O} V \tag{2-78}$$

式中 x——惰性气体用量，米^3；

O——最高允许氧含量，%，见表2-46；

V——设备中原有空气体积，米^3；

② 使用含氧惰性气体惰化：

$$x = \frac{21 - O}{O - O'} V \tag{2-79}$$

式中 O'——惰性气体中的氧含量，%。

生产装置进行惰化保护时，实际氧含量必须保持比临界氧含量再低10%。

通入惰性气体时，必须注意装置里的气体混合均匀。在生产过程中，要对惰性气体的流量、压力或对氧气浓度进行测试。

2. 惰性气体使用方式

惰性气在生产中的使用可参看表2-48。

表 2-48 惰性气体使用方式

生产场所	使用方式
易燃、爆固体的破碎、研磨、筛分、混合、输送	可在惰性气体复盖下进行。如粉煤制备系统的充氮保护
可燃易爆物质的贮存、运输过程。如各种贮罐等	若条件允许，可加入惰性气体隔绝空气，或于周围设置固定惰性气体网点
有火灾危险的工艺装置	在装置附近设惰性气体接头
在火灾爆炸场所、可能产生火花的电气、仪表装置	向内部充惰性气体
可燃易爆物质设备、贮罐和管道等检修动火前 工艺装置、设备、管道、贮罐投用前	用惰性气体置换

2.5.5 耐燃、抗爆结构

2.5.5.1 耐火构造

耐火构造应选择不燃材料。混凝土、砖、瓦、石棉板、矿棉、玻璃棉、沙浆、灰泥、玻璃、石材等硅酸盐材料、钢铁、铝以及其它金属材料均是典型的不燃材料。

不燃材料不能简单说成耐火材料，或对防火一定有效，是否耐火不仅仅指材料是否燃烧，还与其在赤热条件下是否产生强度下降、熔融、碎裂、破裂以及热透过等性质有关。

如铁质材料，当温度>500℃时，几乎失去原有强度，温度在800～1200℃时就不能保持原结构。铝熔点为658℃，火灾温度可使它熔融。即使混凝土、硅等，当只有一面暴露于火灾中时，就会发生破裂，石棉板会因脱出结晶水而破裂，玻璃往往在火灾中破裂，加金属网的玻璃虽然避免了破裂，但辐射热能顺利通过，靠近玻璃的可燃物会因辐射而着火。

建造耐火构造采用不燃材料是必需的，但不注意构造也是难以达到防火目的的。具体要求请参阅本书第1章。

2.5.5.2 抗爆结构

抗爆结构需能经受住一定可燃物质的最大爆炸压力而不破坏。这类容器和设备必须设计成压力容器或抗爆容器。容器试验压力至少是正常工作压力的7倍。

对抗爆容器和设备而言，应选择轴向对称结构，避免用箱形和大的平面结构。

2.5.6 安全间距

使用、贮藏危险品或生产危险品的工厂、装置以及贮罐相互之间以及与周围的建筑物、

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

交通道路之间，要保持一定的安全距离。各种情况下的安全间距参阅本书第1章。

2.5.7 防油堤和防爆墙

对于贮存可燃或易燃液体的罐、槽，为防止火灾发生后危险品流出，使灾害扩大范围，需在其周围筑起防油堤以缩小燃烧面积。

为了避免爆炸灾害的扩展，在有爆炸危险和无爆炸危险的装置间，以及具有较大爆炸危险的设备周围要设置防爆墙、壁障等，阻止爆炸飞散物、火焰及冲击波的袭击。

防爆墙为钢筋混凝土墙，钢筋交错的地方捆扎牢固。墙厚通常为30～40cm，加厚墙脚埋入地下深度应大于1m。防爆墙应能承受30kg/cm²的冲击压力。

2.5.8 阻 火 器

阻火器一般安装在易产生燃烧、爆炸的设备、燃烧室、高温氧化炉、反应器与输送可燃气体、易燃液体蒸气的管道之间，以及易燃液体、可燃气体的容器、管道、设备的排气管上。

阻火器有金属网阻火器、波纹金属片阻火器、砾石阻火器等。阻火器的灭火作用是当火焰通过狭小孔隙时，由于冷却作用使热损失突然增大而中止燃烧。

影响阻火器性能的因素为阻火层厚度及其孔隙或通道的大小。

对于甲烷阻火孔的临界直径为0.4～0.5mm、氢及乙炔的为0.1～0.2mm、汽油及天然石油气的为0.1～0.2mm等。

（1）金属网阻火器　该阻火器为用若干层具有一定孔径的金属网将空间分成许多小孔隙（图2-49）。对一般有机溶剂4层金属网已可阻止火焰蔓延，实际应用10～12层。阻火网以直径0.4mm的铜丝或钢丝制成，网孔一般为210～250孔/cm²（37～40目/英寸）。

（2）砾石阻火器　该阻火器以砂粒、卵石、玻璃球或铁屑、铜屑为填料，将器内空间

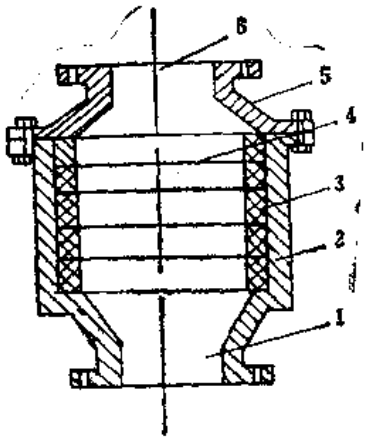


图 2-49　金属网阻火器
1—进口；2—壳体；3—垫圈；4—金属网；5—上盖；6—出口

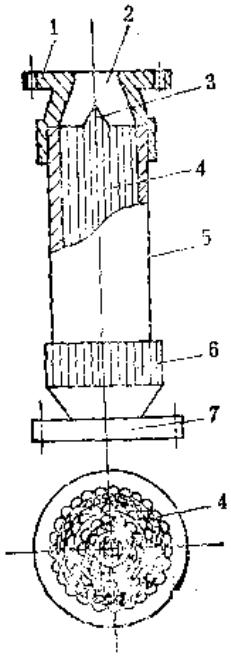


图 2-50　波纹金属片阻火器
1—上盖；2—出口；3—轴芯；4—波纹金属片；5—外壳；6—下盖；7—进口

分隔成许多小孔隙。阻火效果比金属网好。前者阻止CS_2火焰较困难，而后者效果较好。

填充砾石直径可为3～4mm。也可用玻璃球、瓷环、金属环、小管径玻璃以及金属管束等作为填料。直径150mm管内填充厚100mm砾石层，可以阻止各种溶剂火焰蔓延；厚200mm可阻止CS_2火焰。

（3）波纹金属片阻火器　由沿两个方向皱折的波纹薄板组成或由交迭置放的有波纹的带材绕制而成。后者可制成方形或圆形阻火器，带的材料一般为铝，也可用铜镍合金、铜、黄铜、不锈钢等制成。带材厚0.05～0.07mm；波纹带正三角形孔隙的内部高度为0.43mm。

（4）阻火器尺寸　阻火器内径和外壳长度是根据安装阻火器管道的直径决定的。阻火器内径一般取安装阻火器管道直径的4倍。阻火器内径、外壳长度与管道直径的关系见表2-49。

表 2-49　阻火器内径、外壳长度与管道直径关系

管道直径（毫米）	阻火器内径（毫米）	阻火器外壳长度（毫米）	
		波纹金属片式	砾石式
12	50	100	200
20	80	130	230
25	100	150	250
38	150	200	300
50	200	250	350
65	250	300	400
75	300	350	450
100	400	450	500

2.5.9 水　封

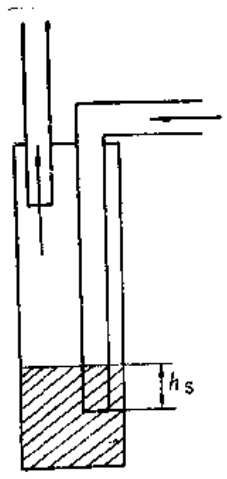


图 2-51　水封

水封属于阻火器的一种，但其填料是水（如图2-51所示）。一般用在气体管道与生产设备之间，或设置在污水管道之间，用以防止外部火焰窜入有着火爆炸危险的设备或管道，或阻止火焰在设备和管道之间扩展。其结构分敞开式与封闭式两种，均用于低压系统阻火。

水封主要靠一段封闭液柱高度分隔系统达到阻火目的。在实际应用中，设计封闭液柱高度应为实验高度的2倍。

使用中注意检查水位不使其降低，冬季可通入蒸汽防止结冻，或用水与乙二醇混合液以及三甲酚磷酸酯等作为防冻液。

2.5.10 紧急切断

紧急切断装置是为了防止事故传播到其它设备或管道而配置的安全装置。安全装置可以联动，也可单独操作，使产生异常状态的装置与其它装置隔开，使发生泄漏的连续处理装置隔离或者停止向产生异常反应的设备中供料等。通常使用的有低熔点合金阻火闸门、紧急切

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

断阀等。

2.5.11 泄　　压

在爆炸初始阶段或爆炸扩展时，采取的使原来密闭的装置暂时地、或持久地向无危险方向敞开的一切措施均属于爆炸卸压措施。

爆炸卸压分容器卸压和房间卸压。容器卸压详见第4章。

1．厂房泄压

室内最大允许压力$\Delta p=0.15kgf/cm^2$、排除燃烧产物的时间 $t=0.18\sim0.20s$时，厂房泄压面积按下式计算：

$$F=\frac{f\cdot V_{室}}{100}\ (米^2) \tag{2-80}$$

式中 f——室内容积与泄压面积之比。

$$f=K\frac{C\cdot\Delta Vt}{\sqrt{T_{爆炸}}}\ (\%) \tag{2-81}$$

式中 K——与燃烧有关的系数，一般在0.75～0.83之间；

C——气体混合物在室内所占的体积百分比。

$$C=\frac{V_{气}}{V_{室}\cdot\beta_{计量}} \tag{2-82}$$

式中 $V_{气}$——事故当时在房间内危险气体式蒸气可能达到的体积m^3；

$\beta_{计量}$——气体式蒸气与空气混合后的计量浓度。当气体在室内扩散程度达到最大时可认为$C=100\%$；

$V_{室}$——房间体积，m^3；

$T_{爆炸}$——爆炸时的最高温度（K），为燃烧最高温度理论值的0.9倍，即$T_{爆炸}=0.9\times T_{理论}$；

ΔVt——$1m^3$计量浓度气体混合爆炸后得到的体积量。

$$\Delta Vt=\frac{T_{爆炸}}{T_0}\times\frac{m}{n}-1\ (m^3) \tag{2-83}$$

式中 T_0——初始温度，K；

m——爆炸后燃烧产物的克分子数；

n——爆炸前混合物的克分子数。

公式计算的基本条件：

甲烷、乙烯、氢、丙酮、乙炔、苯、乙烷、丙烷、乙醇、氨等爆炸混合物采用11～13%的泄压面积。

美国和日本将厂房爆炸危险分为四级，相应的泄压面积见表2-50。

2．抑制爆炸装置

该装置在爆炸的初始阶段就可约束和限制燃烧爆炸的范围，防止容器里出现不允许的高压、借以保护容器免遭破坏，人员免受伤亡。

该装置由能检测初始爆炸的传感器和压力式的灭火剂罐组成。灭火剂罐通过自动检测与控制装置，在尽可能短的时间里将灭火剂均匀地喷射到被保护的容器里，扑灭燃烧控制爆炸的发生。这种装置在停电后的一定时间内仍能继续工作。

表 2-50 厂房爆炸危险等级与泄压比值

	厂房爆炸危险等级	泄压比（m^2/m^3）
美国	弱级（颗粒粉尘）	0.0332
	中级（煤粉、合成树脂、锌粉）	0.065
	强级（干燥室内的漆料、溶剂蒸气、铝粉、镁粉等）	0.22
	特级（丙酮、汽油、甲醇、乙炔、氢等）	尽可能大
日本	弱级（谷物、纸、皮革、铅、铬、钙等粉尘）	0.0334
	中级（木屑、炭屑、奶粉、锑、锡、等粉尘、乙烯树脂、尿素、合成树脂粉尘）	0.0667
	强级（充满煤气的淀粉、油漆干燥或热处理室、醋酸纤维、苯酚树脂粉尘、铝、镁、锆等粉尘）	0.2
	特级（丙酮、汽油、甲醇、乙炔、氢等）	>0.2

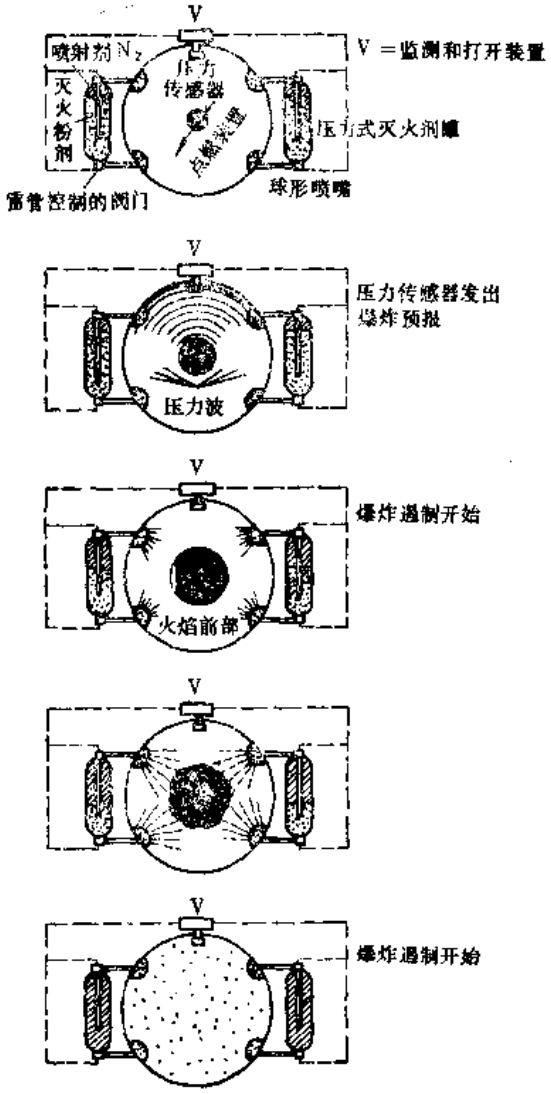


图 2-52 爆炸遏制系统

（1）传感器的选择 传感器应迅速检测初始爆炸，并送出信号。它有三种类型。

① 热电传感器。是直接摄取热源，并送出电信号的传感器。由于其检测范围小，而故障热源又无法确定，因此很少应用。

② 光学传感器。是利用光电效应制作的传感器。对于粉尘爆炸，由于粉尘云的辐射吸收作用而使得信号显著滞后，加之传感器的有效表面会被工作介质污染，使信号指示的滞后时间增大，以至应用也不多。

③ 压力传感器。由于容器内初始爆炸压力以声速均匀地向周围扩展，所以使用压力传感器最为合适。传感器与放大器连接，当达到预先指定压力时，灭火剂罐阀门开启，灭火剂喷出对爆炸进行抑制。如图2-52所示。

（2）灭火剂需要量 灭火器需要量与保护容积符合三次方定律。灭火剂需要量按下式计算：

$$Z_2=\frac{\sqrt[3]{V_1}}{\sqrt[3]{V_2}}\cdot\frac{V_2}{V_1}\cdot Z_1 \qquad (2\text{-}84)$$

式中 Z_2——需要的灭火剂罐数；

Z_1——试验容器中所需灭火剂罐数；

V_2——被保护容器的容积；

V_1——试验容器容积。

3. 紧急排放

在紧急状态下，需将设备或装置内物料（气态或液态）迅速排放掉。一种是将液态物料迅速排入贮槽（或罐、池），另一种是将气态物料（或废气）送入空中燃烧。

火炬系统如图2-53所示，用分离罐将送往火炬的气体中所夹带的蒸气雾和冷凝液分离出

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

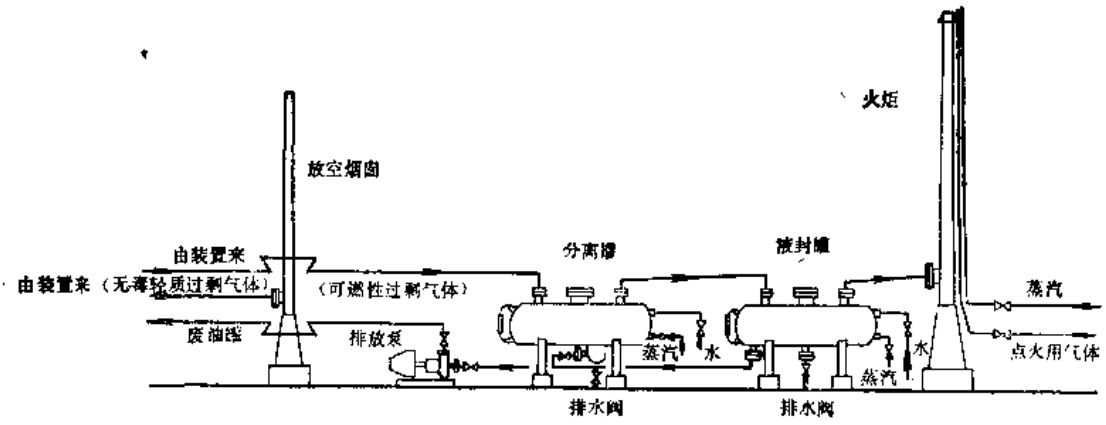


图 2-53 火炬系统图

来，通过阻火器送入火炬，利用常明点火器点燃使其燃烧。

4．燃烧火炬的辐射热强度

火炬辐射热强度按下式计算（并见图2-54所示）：

$$q = \frac{528W\sqrt{M}}{4\pi[x^2 + H(H + 120D)]} \tag{2-85}$$

式中 q——辐射热强度，kcal/m²·h；

W——气体最大排放量，kg/h；

M——气体平均分子量；

x——考虑点至火炬中心的水平距离，m；

H——火炬筒高度，m；

D——火炬筒直径，m。

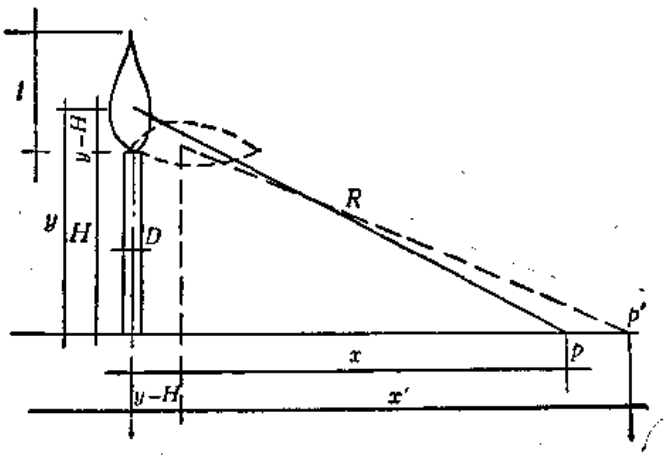


图 2-54 计算火炬辐射热强度

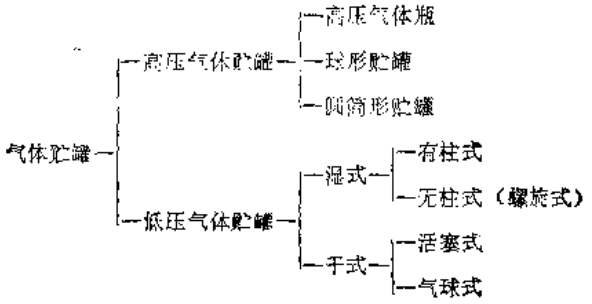
辐射热对操作人员和设备的安全是有很大影响的。当辐射强度为5400kcal/m²·h（相当于太阳辐射强度的6倍），8秒钟就有痛感，20秒钟人体皮肤开始起泡。人体长时间能忍受的辐射热强度为1188kcal/m²·h，设备能承受的辐射热强度为4050kcal/m²·h。

2.6 贮罐及贮罐区

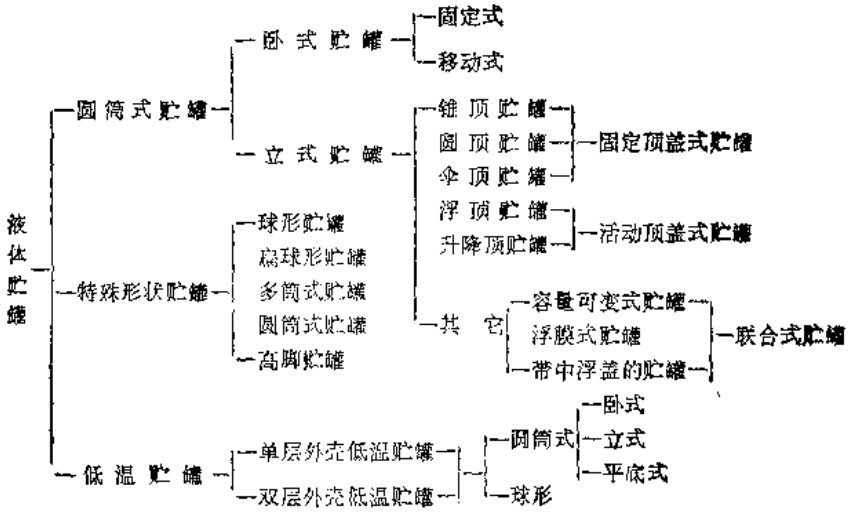
2.6.1 贮罐种类

贮罐是贮存气体、液体的工业用原料、中间产品或最终产品而不影响被贮存物品原有性质的设备。

气体贮罐种类见下表。



液体贮罐的分类见下表。



下列五类贮罐安全要求最高。

（1）充入惰性气体的可变容量贮罐；

（2）有洒水设备和用绝热材料覆盖、充入惰性气体的锥顶贮罐；

（3）充入惰性气体的低压贮罐；

（4）浮膜式贮罐中的贮存物蒸气与空气完全隔绝的贮罐；

（5）浮动顶盖贮罐。

2.6.2 贮罐及罐区安全

2.6.2.1 安全间距

1. 贮罐间的安全间距

（1）易燃、可燃液体贮罐　易燃、可燃液体贮罐可分组布置，但总容积≯20000m³。地上贮罐不应与地下或半地下贮罐放在同一组内；突沸性油品不得与非突沸性易燃、可燃液

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

体布置在同一组内（闪点＞120℃、单罐容积＜500m³的突沸性油品除外），贮罐与贮罐之间的间距，见表2-51。

表 2-51 易燃、可燃液体贮罐间距

名称	立式固定顶贮罐			卧式贮罐
	地上	半地下	地下	地上及半地下
易燃液体	0.75D	0.5D	0.25D	D
可燃液体	0.5D	0.4D	—	0.75D

注：1. D为两相邻贮罐中较大罐的直径（m）；
2. 不同液体、不同形式贮罐之间的防火间距采用上表较大值；
3. 浮顶罐之间或闪点＞120℃的可燃液体罐之间的间距，可按上表规定减少25%，并可不大于25m；
4. 地上卧式贮罐成排布置时，排与排之间距应不小于其中最长卧罐长度之半。

（2）液化石油气贮罐 液化石油气贮罐成组布置时不应超过两排，且一组总容积为4000m³。罐组与罐组之间距不小于20m（罐壁至罐壁）。当贮罐组设有防火堤时，两相邻防火堤外侧基脚线之间的距离不应小于7m。液化碳三、碳四组分的压力常温贮罐、液化乙烯的压力低温贮罐间距见表2-52。

表 2-52 液化石油气贮罐之间的防火间距

名称	地上球罐	地上卧罐	半地下及地下卧罐
液化碳三、碳四	0.5D	D	0.5D
液化乙烯	D	D	0.5D

注：1. D为两相邻贮罐中较大罐的直径（m）；
2. 地上卧式贮罐成排布置，排与排之间距不应小于其中最长卧罐长度之半，且不小于6m。

（3）可燃及助燃气体贮罐 可燃气体贮罐之间的防火间距，应不小于表2-53中的规定。氧气贮罐之间的间距，应为相邻两罐中较大罐的半径。

表 2-53 可燃气体贮罐之间的防火间距

名称	防火间距
固定容积贮罐	0.65D
水槽式贮罐	0.5D

2. 贮罐与其它设施间的安全间距

易燃、可燃液体贮罐，石油液化气贮罐、可燃气体贮罐与其它设施的安全间距应不小于表2-54中的规定。

2.6.2.2 防火堤

为防止贮罐破裂、内容物大量泄漏造成灾害蔓延，以及对于水灾、或由其他区域流来的易燃液体起到防护作用，需在贮罐周围修筑防火堤。

1. 间隔堤的设置

贮罐组内应按下列规定设置间隔堤：

表 2-54 贮罐与其它设施的防火间距

项目		工艺生产装置			全厂性重要辅助生产设施	机修、仪修、电修、汽车库、中心试验室等明火或散发火花地点	易燃、可燃液体贮罐		液化石油气贮罐
		相邻面生产单元类别					甲、乙类浮顶罐，丙类固定顶罐	甲乙类固定顶罐	
		甲	乙	丙					
易燃、可燃液体贮罐	甲、乙类浮顶罐丙类固定顶罐	30	25	20	35	30			
	甲、乙类固定顶罐	40	35	30	45	40			
液化石油气贮罐		60	45	40	60	50	40	50	
水槽式可燃气体贮罐		25	20	15	30	25	15	25	40

其它详见第1章。

（1）易燃和可燃液体贮罐之间；

（2）水溶性和非水溶性的易燃、可燃液体贮罐之间；

（3）相互接触能引起化学反应的易燃、可燃液体贮罐之间；

（4）具有腐蚀性的液体贮罐与其他易燃、可燃液体贮罐之间；

（5）当单罐容积等于或超过5000m³时，每两个贮罐与其它贮罐之间。

2．防火堤的容量

（1）防火堤内无分隔堤或按第1条（1）、（4）、（5）的规定设置分隔堤时，防火堤内有效容积应为其中最大贮罐地上部分的容积；

（2）按第1条（2）、（3）规定设置分隔堤时，分隔堤内有效容积应为该堤中最大贮罐地上部分的容积；

（3）常压低温液氨贮罐宜设防护堤，堤内有效容积应为所围贮罐总容积的75%。

3．防火堤的高度

防火堤越高越好，但太高会防碍消防活动，以及不便于平时检查。

（1）防火堤高度以1～1.6m为宜，它是土堤时其顶宽不宜小于0.5m。

（2）液化石油气贮罐之防火堤高度不应超过1m；

（3）防火堤的实际高度应比计算高度至少高0.2m。间隔堤高度应低于防火堤高度0.3m。

4．贮罐与防火堤间的距离

防火堤内侧基脚线至最近贮罐外壁的距离，不宜小于该贮罐高度之半，且不少于3m。

两组相邻防火堤外侧基脚线之间的距离，不应小于7m。防火堤外侧基脚线至建筑物、构筑物的距离，不宜小于10m。

5．防火堤的构造

防火堤的构造要求确保被收留的危险物不会流到堤外。一般用钢筋混凝土或土等非燃烧材料建造，能够承受自重、土压、液压、地震、以及负荷、温度变化的影响。

6．管道设置的限制

防火堤内不要设置与贮罐无关的管道（不包括该罐消防设备管道）。管道穿越防火堤或

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

分隔堤处，应当用非燃烧材料封闭。最好不要穿越，因为在地震时首先在管线穿越处裂损，使防火堤失去原有性能。

7．阶梯与排水口

防火堤上应在不同方向设两个以上的安全出入台阶或坡道，分隔堤上至少设一个台阶或坡道。

如果雨水等积存堤内，就会减少防火堤内容纳油的容积，因此需设排水口，排水口的阀门应设在防火堤外，且要安装易辨认开、关状态的装置。

2.6.2.3 防火设备

易燃、可燃液体贮罐均应设置空气泡沫灭火设备，其设置方式（固定、半固定、移动式）应根据贮罐容量、布置状况、物料火灾危险性确定，每个贮罐应设置泡沫产生器不少于两个。固定泡沫装置管线控制阀门应设在防火堤外。在采用固定、半固定式灭火设备时，仍应设置一定数量的移动式泡沫灭火设备。

2.6.2.4 洒水设备

贮存易受气温影响而产生蒸气物质的贮罐，为防止其蒸发损失及贮罐内压增高，一般都安装有洒水装置。

洒水强度按贮罐表面积计算为每平方米每分钟不小于3 L。

贮罐设置固定洒水设施，其洒水管线的控制阀宜设于距罐壁10m以外的地点，控制阀后的洒水管线应采用防锈材质。

2.6.2.5 贮罐的安全设备

1．通气设备

这是为防止贮罐内超压或形成负压引起贮罐立体破坏而设置的装置，如通气孔、机械呼吸阀、液压呼吸阀等。

（1）通气孔 对于室外可燃液体常压贮罐，可设置通气孔以保持罐内压力与大气平衡。通气孔直径一般在30mm以上，用带有阻火器的无阀通气管做成，置于罐顶。

（2）机械式呼吸阀 机械式呼吸阀结构如图2-55所示。它是用铸铁或铝铸成的盒子，内有两个阀门：阀1是罐内蒸气出口，当罐内空间气体压力增高时此阀开启，将罐内气体导入大气；阀2为空气入口，当罐内压力低于大气压时此阀打开，空气进入罐内。在这两个阀的上面没有易开启的盖子便于检查和修理。为防止阀门堵塞，在其外面通气孔上装置有色金属制成的金属网。

（3）液压式呼吸阀 液压式呼吸阀也称液压安全阀，是为防止罐上机械式呼吸阀故障而设置的，其压力稍高于机械式呼吸阀。

液压呼吸阀法兰装在贮罐顶的阻火器上，阀体内充润滑油。当罐内外压力平衡时，阀内油面也处于平衡（见图2-56）；当罐内压力大于大气压力，罐内蒸气以气泡形态经油层冲出导入大气；当罐内压力低于大气压力，贮罐则吸入空气以维持内外压力平衡。

阀内润滑油要求具有较好的流动性，其凝固点要低于当地最低气温，并且不易挥发。

2．阻火器

可燃液体贮罐的通气管，为防止由外部火源引起着火，要安装阻火器，一般，使用多层金属网的阻火器。

带湿气的蒸气容易使阻火器冻结堵塞，因此冬季应定期检查、检修。

3．贮罐的接地

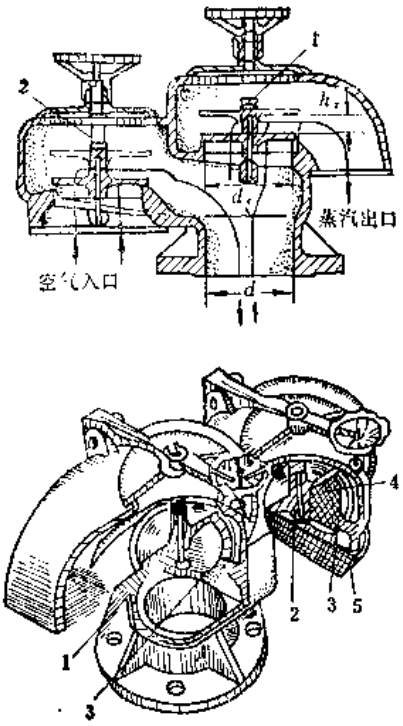


图 2-55 机械式呼吸阀

1—压力阀；2—真空阀；3—阀座；4—导向杆；5—金属网

贮罐接地目的在于使雷电导入大地，消除两座以上贮罐之间的静电电位差，以及减缓贮罐底部的电化腐蚀。接地电阻通常规定10Ω以下。

4．测量仪表

对于可燃、易燃液体贮罐，一定要安装液面指示计或液面自动检测装置。对压力贮罐需安装压力表，或压力自动指示仪表。

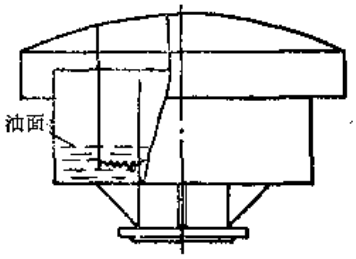


图 2-56 液压式呼吸阀

5．排水管

对于石油、液化气等贮罐，几乎都会在罐底部积水。因此，必须于底部安设排水管，及时将水排掉。排水管在严寒地区有结冻的危险，室外贮罐一定要考虑防冻措施。

6．贮罐防腐

由于贮罐平顶盖积存雨水，会造成顶盖因腐蚀而漏雨；贮罐金属外表与土壤接触会产生电解，导致大面积腐蚀和点腐蚀。因此，在贮罐外表面及贮罐底板上刷防锈漆，或者把含硫低的重油与砂混合物铺设在贮罐地基上（厚为10mm），而在其上安置贮罐。

贮罐内部腐蚀是由所夹杂水溶液产生的酸性物质造成的，其防止措施是在贮罐内衬以防腐衬里。

7．抗震

为防止地震造成二次灾害，关键连接部位应串用软管或抗震接头。

2.7 灭火及灭火设施

2.7.1 灭火机理

根据燃烧三要素，可采取除掉可燃物、隔绝氧气（助燃物）、将可燃物冷却到燃点以下等灭火措施。

2.7.1.1 冷却

将火灾反应产生的热量排到反应体系之外，降低温度，使火灾反应速度下降，缩小反应系的规模，最终将反应系温度降到燃点以下，这就是冷却作用。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

低于火灾温度的不燃性物质都具有一定的冷却作用。对于灭火剂，除利用其显热外，还可利用它的蒸发潜热和分解热起冷却作用。

冷却剂只有停留在反应系内才有冷却效果。水的蒸发潜热大，冷却效果好；但是，多数情况下水易迅速流落到反应系之外，有效利用率不高，而强化液、泡沫等可弥补这个缺点，提高水的滞留性。

2.7.1.2 抑制反应量

抑制氧气、可燃物对火灾反应系的供给量，就可能控制火灾、减少生成热使之小于放出的热量，使可燃物间接地冷却到燃点以下，起到灭火作用。

1．氧气的抑制

泡沫、粉末等覆盖在燃烧物表面上，TEC（三成分共沸体）覆盖在燃烧物表面上，都是隔绝氧气窒息灭火的方法。矿井火灾的密闭灭火则有大规模抑制氧气灭火的方法。

2．可燃物的抑制

（1）固体可燃物的抑制　除移开可燃物外，还可将整个仓库密闭起来防止火势蔓延、或用防火挡板防止蔓延。

（2）可燃液体、蒸气的抑止

① 关闭总阀门。对于液体泄漏、喷射等火灾务必先关闭来料总阀门，切断可燃物来源；

② 转移抑制供给量。关闭总阀门尚不能抑止泄漏时，可打开安全阀或向排气管排放，或转输到其它贮罐内，以切断可燃物的供给量；

③ 降低可燃气体或蒸气压力。移走或减压放出，对于气体也可以降低压力以抑制喷出量。若是液化气，则由于蒸发耗费了潜热而自身被冷却，蒸气压自动降低。

此外，对容器进行冷却，也可以降低压力，所以火灾时喷水就意味着抑制可燃气体的供给量。

④ 其它抑制。用泡沫覆盖燃烧着的液体表面，可以起到抑制反应的作用。如在液面上再喷洒水滴或用特殊乳化剂使液面乳化，则可降低液体的蒸发速度，从而抑制了可燃物的供给量。

2.7.1.3 减少反应物质浓度

1．减少氧气浓度

氧气浓度低于15%以下，燃烧速度明显变缓。燃烧物无论处于何种状态，减少氧气浓度都是抑制火灾的有效手段。

2．减少可燃物质的浓度

（1）在火灾发生的地方，不参加火灾反应的液体或气体具有减少可燃物浓度的效果。如水、不燃蒸发性液体、氮气、二氧化碳以及水蒸汽等都有稀释降低可燃物浓度的作用；

（2）降低可燃物质蒸气压或抑制其蒸发速度，均能收到降低混合气体中可燃气体浓度的效果。

2.7.1.4 初期灭火

火灾扩大之前，一个人用少量灭火剂即能扑灭之火灾称初期火灾。初期火灾的灭火活动叫做初期灭火。

一般，建筑物起火后3分钟，约有10m²的地板、7m²的墙壁、5m²的天花板燃烧，火灾温度达到700℃左右。此时，超出一个人的灭火能力，即不属初期灭火范围。

可燃液体着火，其灭火活动的难易取决燃烧表面积的大小。通常将1m²可燃液体表面着火视为初期灭火范围。

发生火灾时，只要条件合适，火灾的规模随时间推移成指数关系扩大。因此，应在火灾初期阶段迅速扑灭。为此应做好下面三项工作：

（1）彻底检查、整顿、消除能引起火灾扩大的条件；

（2）制定防火计划，健全消防体制，进行防火教育和训练，火灾发生时能采取恰当对策；

（3）对消防器材进行维护检查，作到随时可用。

2.7.2 灭 火 剂

2.7.2.1 水

1．物理性质

水的物理性质见下表。

项　　目	数　据	项　　目	数　据
分子式	H_2O	融点（℃）	0.0
分子量	18.02	沸点（℃、/大气压）	100.0
密度（克/厘米³、0℃液体）	1.000	蒸发潜热（卡/克、沸点）	539.9
粘度（液体、20℃、厘泊）	1.005	比热（卡/克·度，液体、15℃）	1.000
表面张力（达因/厘米、液体、20℃）	72.75	导热率×10⁵（卡/厘米·秒·度，0℃）	131

2．灭火作用

（1）冷却作用　当水与燃烧物接触时被加热、气化吸收大量热使燃烧物冷却。

（2）对氧的稀释作用　水遇到燃烧物后汽化生成大量水蒸汽，能够阻止空气进入燃烧区，并能稀释燃烧区的氧，减弱燃烧强度。

（3）对水溶性可燃、易燃液体的稀释作用　水溶性可燃、易燃液体发生火灾允许用水扑救时，水与可燃、易燃液体混合后，可降低它的浓度及燃烧区内可燃蒸气的浓度，从而使燃烧强度减弱。

（4）水力冲击作用　由水枪喷射出来的加压水流，其压力可达每平方厘米数公斤力乃至数十公斤力。高压水流强烈冲击燃烧物和火焰，可以冲散燃烧物，使燃烧强度显著减弱。

3．灭火时形态及应用范围

（1）直流水和开花水（滴状水）　经水泵加压由直流水枪喷出之柱状水流称直流水；由开花水枪喷出之滴状水流称开花水。直流水、开花水可用于扑救一般固体物质的火灾（如煤炭、木制品、粮草、棉麻、橡胶、纸张等），还可扑救闪点大于120℃，常温下呈半凝固状态的重油火灾。

（2）雾状水　由喷雾水枪喷出，水滴直径小于100微米的水流称雾状水。它可大大提高水与燃烧物或火焰的接触面积，因而降温快灭火效率高。可用于可燃粉尘、纤维状物质、谷物堆囤等固体物质火灾的扑救，也可用于电气设备火灾的扑救。

但是与直流水相比，开花水和雾状水的射程均较近，不能远距离使用。

4．注意事项

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（1）禁水性物质如碱金属和一些轻金属，以及电石、熔融状态的金属火灾不能用水扑救；

（2）非水溶性可燃、易燃液体火灾、原则上不能用水扑救。但原油、重油火灾可用雾状水扑救；

（3）直流水不能用于扑救带电设备火灾，也不能扑救可燃粉尘（面粉、铝粉、煤粉、糖粉、锌粉等）聚集处的火灾；

（4）大量贮存浓硫酸、浓硝酸场所火灾，不能用直流水扑救，必要时宜用雾状水扑救。

2.7.2.2 泡沫灭火剂

1．化学泡沫灭火剂

由两种化学药剂水溶液通过化学反应产生的灭火泡沫称为化学泡沫。化学泡沫由发泡剂、泡沫稳定剂或其它添加剂组成。

（1）YP型化学泡沫灭火剂性能

表 2-55 YP型化学泡沫灭火剂技术性能表

项目	粉型	
	酸性粉	碱性粉
组分	18mol结晶硫酸铝，其中无水硫酸铝含量48～52%，水不溶物≤0.1%	碳酸氢钠85～92%，蛋白泡沫灭火剂，余量。水不溶物≤0.25%
外观	白色或浅绿色粉末	白色或浅黄色粉末
细度	通过20目筛100%，通过200目筛≤25%	通过80目筛≥90%
水分	≤2%	≤1%
发泡倍数	≥6	
持久性	发泡25分钟后剩余泡沫体积大于发泡液体体积4.5倍	
pH值	由泡沫析出的液体呈中性	

（2）YPB型化学泡沫灭火剂性能

表 2-56 YPB型化学泡沫灭火剂技术性能表

项目	YPB_A型		YPB_B型	
	酸性粉	碱性粉	酸性粉	碱性粉
细度（%，通过20目筛）	100	—	100	—
（%，通过200目筛）	≤25	—	≤25	—
（%，通过80目筛）	—	≥90	—	≥90
水分(%)	≤2	≤1	≤2	≤1
发泡倍数	6～8		6～8	
有效灭火面积(米²)（1只MPB灭火器）	2		2.5～3	
封闭性（分）	>10		>10	

（3）发泡性能检查 称取碱性粉与酸性粉各5 g，分别溶于50mL水中（水温10℃），将两种溶液同时注入1000mL量筒中，测出产生泡沫体积，按下式计算发泡倍数：

$$发泡倍数=\frac{泡沫体积(毫升数)}{110}$$

如发泡倍数小于4，则该泡沫粉不能再使用。

2．蛋白泡沫灭火剂

它是以动物性蛋白质（牛、马、猪的蹄角。毛血）或植物性蛋白质（豆饼、菜籽饼等）的水解浓缩液为基料，加入适当稳定剂、防腐剂和防冻剂等添加剂的起泡性液体，其技术性能见表2-57。

表 2-57 蛋白泡沫灭火剂技术性能表

项目		泡沫液类型		
		植物蛋白型6%	动物蛋白型	
			6%	3%
相对密度(20℃)		>1.11	>1.13	>1.16
pH值(20℃)		6.0～7.5	6.0～7.5	6.0～7.5
粘度(厘泊，20℃)		≤15	≤15	≤50
流动点(℃)		≤-5	≤-10	
沉降物(%)		≤0.2	≤0.2	
沉淀物(%)		≤0.1	≤0.1	
高温稳定性	沉降物(%)	≤0.2	≤0.2	
	沉淀物(%)	≤0.1	≤0.1	
腐蚀率(mg/d·dm²)		≤25	≤25	
发泡倍数		≥7.0	≥7.0	
25%析液时间(mln)		≥6.5	≥6.5	
灭火时间(s)		≤120	≤120	
90%控制时间(s)		≤70	≤70	
回燃时间(min)		≥12	≥12	

表 2-58 氟蛋白泡沫性能指标表

项目		泡沫液类型	
		6%型	3%型
相对密度（20℃）		>1.13	>1.16
pH值（20℃）		6.0～7.5	6.0～7.5
粘度（厘泊，20℃）		≤15	≤50
流动点（℃）		≤-10	≤-10
沉降物（%）		≤0.2	≤0.2
沉淀物（%）		≤0.1	≤0.1
高温稳定性	沉降物（%）	≤0.2	≤0.2
	沉淀物（%）	≤0.1	≤0.1
腐蚀率(mg/d·dm²)		≤25	≤25
发泡倍数		≥6.5	≥6.5
25%析液时间（min，20℃）		≥6.0	≥6.0
90%控制时间（s）		≤60	≤60
灭火时间（s）		≤90	≤90
回燃时间（min）		≥12	≥12

表 2-59 “轻水”泡沫灭火剂技术性能表

项目		配方代号	
		1号	5号
相对密度（20℃）		0.992	0.992
粘度（厘泊·20℃）		4.8	4.8
pH值		8.4	8.4
凝固点（℃）		-3	-3
沉降物（%）		0.2	0.2
沉淀物（%）		痕迹量	痕迹量
高温稳定性	沉降物（%）	0.24	0.22
	沉淀物（%）	痕迹量	痕迹量
6%预混液的表面张力γ_0（25℃，达因/厘米）		16.0	14.9
发泡倍数		7.5	7.0
25%析液时间（分）		3.0	3.0
90%控制时间（秒）		25	24.5
灭火时间（秒）		40	36
回燃时间（分）		>5	>5

3．氟蛋白泡沫灭火剂

含有氟碳表面活性剂的蛋白泡沫灭火剂称为氟蛋白泡沫灭火剂或氟蛋白泡沫液，其性能见表2-58。

4．水成膜泡沫灭火剂

水成膜泡沫灭火剂又称“轻水”泡沫灭火剂或氟化学泡沫灭火剂。它由氟碳表面活性剂、无氟表面活性剂（碳氢表面活性剂或硅酮表面活性剂）和改进泡沫性能的添加剂（泡沫稳定剂、抗冻剂、助溶剂以及增稠剂等）及水组成，性能如表2-59。

5．抗溶性泡沫灭火剂

用于扑救水溶性可燃液体（醇、酯、醚、醛、酮、有机酸、胺等）火灾的泡沫灭火剂称为抗溶性泡沫灭火剂。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-60 KR-765型抗溶性泡沫灭火剂技术性能表

项　　目	指　标	说　　明
相对密度（20℃）	1.18～1.20	
pH值（20℃）	9～11	
粘度（20℃）	≤6°E	用恩氏粘度计测定
冰结点（℃）	≤－15	将泡沫液冷冻至－10℃，观测解冻温度
发泡倍数	≥6	用6.25升/秒泡沫产生器在3公斤/厘米²压力下产生泡沫，用标准容积盘测定倍数
25%析液时间（分）	≥2	用直径186毫米高50毫米析液盘测定
耐液性（%）	≥30	用95%乙醇测定
抗烧时间（分）	≥3	用95%乙醇测定
灭火时间（分）（2米²盘）	≤2	燃料为95%乙醇，用6.25升/秒泡沫产生器产生泡沫，混合液供给强度为15升/分·米²

6．高倍数泡沫灭火剂

它是一种以合成表面活性剂为基料的泡沫灭火剂。它与水按一定比例混合通过高倍数泡沫产生器，可生成数百至上千倍的泡沫，因而称为高倍数泡沫。

表 2-61 YEGZ型高倍数泡沫灭火剂性能

项　　目	型　　号			
	YEGZ6A	YEGZ3A	YEGZ6B	YEGZ3B
外　观	浅红色透明液体	浅红色透明液体	浅红色透明液体	浅红色透明液体
相对密度（20℃）	1.03	1.05	1.04	1.05
pH值（20℃）	7.0～7.5	7.0～7.5	7.0～7.5	7.0～7.5
粘度（厘泊，20℃）	7～10	10～15	10～15	15～20
流动点（℃）	－15	－7.5	－7.5	－7.5
混 合 比	6%	3%	6%	3%
发泡倍数	600～700	600～700	850～900	850～900
25%析液时间（分）	>6	>3	>3	>3
90%掉型时间（秒）	29～33	25～30	30～40	30～40
灭火时间（秒）	37～47	35～37	45～55	45～55

2.7.2.3 干粉灭火剂

它又称粉末灭火剂，是一种干燥的、易于流动的微细粉末。它由能灭火的基料和防潮剂、流动促进剂、结块防止剂等添加剂组成。一般借助于专用的灭火器或灭火设备中的气体压力将其喷出，以粉雾形式灭火。

2.7.2.4 卤代烷灭火剂

卤代烷即以卤素原子取代烷烃分子中的部分或全部氢原子的产物。一些低级烷烃的卤代物具有不同程度的灭火作用，这些具有灭火作用的低级卤代烷统称卤代烷灭火剂，常用卤代烷灭火剂如下表。

名　　称	化 学 式	代　　号
二氟一氯一溴甲烷	CF_2ClBr	HaLon 1211
三氟一溴甲烷	CF_3Br	HaLon 1301
二氟二溴甲烷	CF_2Br_2	HaLon 1202
四氟二溴乙烷	$C_2F_4Br_2$	HaLon 2402

2.7.2.5　二氧化碳灭火剂

二氧化碳俗称碳酸气，学名碳酐，本身不燃亦不助燃，制造方便、易于液化，便于装罐和贮存。

表 2-62　几种干粉灭火剂主要性能

项　　目	钠盐干粉（暂行标准）	改性钠盐干粉（天津消防科研所样品）	硅化钠盐干粉			氨基干粉
			上海消防科研所产品	北京消防器材厂产品	沈阳于洪消防器材厂产品	
含水量（重量%）	≤0.1	≤0.2	≤0.2	≤0.1	≤0.1	≤0.2
颗粒细度(%，200目筛余物)	≤20	≤20	≤15	≤15	≤20	≤15
比表面积（厘米²/克）	2200～2500	2500～3000	2000～3000	—	—	2000～3500
吸湿性（重量%）	≤1.2	<3.5	≤1.5	≤1.2	<1.0	≤1.5
松密度（克/厘米³）	0.9～1.1	—	0.9～1.1	0.9～1.15	0.9～1.0	0.9～1.0
填充密度（克/厘米³）	—	—	1.1～1.35	1.2～1.4	1.2～1.4	1.1～1.35
比重（20℃）	—	2.14	2.17～2.21	2.16～2.20	2.16～2.20	2.17～2.21
结块粘结性（毫米）	≥16	—	≥15	>18	16～20	≥15
流动性（秒）	18～25	20～25	≥15	<25	12～15	≤15
喷射率（%）	≥90	—	≥90	>90	≥90	≥90
灭火效能(米²/公斤)(66°车用汽油)	≥0.25	—	—	≥0.55	0.55～0.6	—

表 2-63　1211、1301灭火剂技术指标

项　　目	药　剂　名　称	
	1211	1301
纯度（%浓度，最小摩尔）	99.0	99.6
酸度（ppm，最大重量）	3.0	3.0
水分（ppm，最大重量）	20	10
高沸点杂质（%，最大重量）	0.01	0.01
卤离子	试验合格	试验合格
气相中含惰性气体（%浓度，最大摩尔）	不适用	1.5
悬浮物或沉淀物	看不见	看不见

表 2-64　二氧化碳性能指标表

CO_2纯度	≥99.5%（重量）
空气或惰性气体	≤0.5%（重量）
液态水含量	≤0.01%（重量）
含 油 量	≤10ppm
其他杂质	0

注：上表为美国对CO_2质量要求

2.7.2.6　7150灭火剂

7150灭火剂是一种无色透明液体，主要成分为三甲氧基硼氧六环，其化学式为$(CH_3O)_3B_3O_3$，是扑救镁铝合金等轻金属火灾的有效灭火剂。

表 2-65　7150灭火剂物理性质表

项　　目		性　　质
外　　观		无色透明液体
硼酐总含量（%）		60
密度D_4^{20}（克/厘米³）		1.2196
折射率n_D^{25}		1.3987
运动粘度（厘斯·25℃）		19.57
凝固点（℃）		-31.5
闭　点（℃）		15.5
腐蚀率（毫米/年）	铝	0.0009
	紫　铜	0.0002
	不锈钢	0.0005
	碳　钢	0.0031

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

各类灭火剂适用范围见表2-66。

表 2-66 各类灭火剂适用范围表

灭火剂			火灾种类				
			木材等一般火灾	可燃液体火灾		带电设备火灾	金属火灾
				非水溶性	水溶性		
液体	水	直流	○	×	×	×	×
		喷雾	○	△	○	○	△
	水溶液	直流（加强化剂）	○	×	×	×	×
		水加表面活性剂	○	△	△	×	×
		水加增粘剂	○	×	×	×	×
		水胶	○	×	×	×	×
		喷雾（加强化剂）	○	○	○	×	×
		酸碱灭火剂	○	×	×	×	×
	泡沫	化学泡沫	○	○	△	×	×
		蛋白泡沫	○	○	×	×	×
		氟蛋白泡沫	○	○	×	×	×
		水成膜泡沫（轻水）	○	○	×	×	×
		合成泡沫	○	○	×	×	×
		抗溶泡沫	○	△	○	×	×
		高、中倍数泡沫	○	○	×	×	×
	特殊液体（7150灭火剂）		×	×	×	×	○
气体	卤代烷	二氟二溴甲烷（1202）	△	○	○	○	×
		四氟二溴乙烷（2402）	△	○	○	○	×
		四氯化碳	△	○	○	○	×
		二氟一氯一溴甲烷（1211）	△	○	○	○	×
		三氟一溴甲烷（1301）	△	○	○	○	×
	不燃气体	二氧化碳	△	○	○	○	×
		氮气	△	○	○	○	×
固体	干粉	钠盐、钾盐、Monnex干粉	△	○	○	○	×
		磷酸盐干粉	○	○	○	○	×
		金属火灾用干粉	×	×	×	×	○
	烟雾灭火剂		×	○	×	×	×

注：○—适用；△—一般不用；×—不适用。

2.7.3 灭火器

2.7.3.1 泡沫灭火器

（1）MP型手提式泡沫灭火器 技术性能见表2-67。

（2）MPZ型手提舟车式泡沫灭火器 技术性能见表2-68。

（3）MPT型推车式泡沫灭火器 技术性能如表2-69所示。

2.7.3.2 酸碱灭火器

MS型手提式酸碱灭火器技术性能见表2-70。

2.7.3.3 干粉灭火器

（1）MF型手提式干粉灭火器 技术性能见表2-71。

表 2-67 MP型手提式泡沫灭火器技术性能

型号 新	型号 旧	药液总量 (L)	喷射时间 (s)	射程 (m) 集中点	射程 (m) 最远	筒身耐压试验压力 (kgf/cm²)	重量 (kg) 装药	重量 (kg) 不装药	外型尺寸 (长×宽×高) (mm)	发泡倍数	泡沫持久性
MP 8	MP11	8.3	60	8	10	25	12.6	4.1	174×163×545	8	30分钟泡沫消失量≥50%
MP 10	MP11A	9.55	60	8	10	25	14.55	4.1	173×199×588	8	30分钟泡沫消失量≥50%

表 2-68 MPZ型手提舟车式泡沫灭火器技术性能

型号 新	型号 旧	药液总量 (L)	喷射时间 (s)	射程 (m) 集中点	射程 (m) 最远	筒身耐压试验压力 (kg/cm²)	重量 (kg) 装药液	重量 (kg) 不装药液	外型尺寸 (长×高×宽) (mm)	发泡倍数	泡沫持久性
MPZ8	MP21	8.3	60	8	10	25	12.6		174×163×575	8	30分钟泡沫消失量≥50%
MPZ10	MP21A	9.55	60	8	10	25	15.39	4.85	173×199×630	8	30分钟泡沫消失量≥50%

表 2-69 MPT 型灭火器技术性能

型号	容量 (L)	喷射时间 (s)	射程 (m) 集中点	射程 (m) 最远	内药液 (kg) 药粉	内药液 (kg) 清水	外药液 (kg) 药粉	外药液 (kg) 清水	重量 未装药	重量 装药液
MPT65	65	170	≥15	≥17	6.3	7	4.55	42	73	133
MPT100	100	175	≥16	≥18	9	10	6.5	60	85	170.5

表 2-70 MS 型灭火器技术性能

型号 新	型号 旧	药液装量 (L)	喷射时间 (s)	射程(m) 集中点	射程(m) 最远	筒体强度试验压力 (kg/cm²)	重量(kg) 装药	重量(kg) 未装药	药剂重量 (kg) 1号药剂	药剂重量 (kg) 2号药剂	外形尺寸(mm) 长×宽×高
MS 8	MS11	8.3	40	8～10	12	25	12	3.4	0.62	0.19	164.8×187.6×550
MS 10	MS11A	9.5	50	10	12	25	14	4	0.72	0.21	173×199×588

表 2-71 MT 型干粉灭火器技术性能

型号	装粉量 (kg)	喷射时间 (常温) (s)	喷射距离 (m)	灭火参考面积 (m²)	适应温度 (℃)	二氧化碳充量 (g)	绝缘性 (×10⁴V)	外型尺寸 (mm)
MF 1	1	≤8	≥2	0.8	-10～45	25	1	92×302
MF 2	2	≤11	3～4	1.2	-10～45	50	1	112×345
MF 4	4	≥14	4～5	1.8	-10～45	100	1	230×140×450
MF 8	8	≤20	≥5	2.5	-10～45	200	1	284×171×563

（2）MFT型推车式干粉灭火器　技术性能如表2-72所示。

（3）背负式喷粉灭火器　技术性能如表2-73。

2.7.3.4 二氧化碳灭火器

（1）MT型手轮式二氧化碳灭火器　技术性能如表2-74。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-72 MFT 型干粉灭火器技术性能

型号	容量 (L)	灭火射程 (m)	工作压力 (kgf/cm²)	喷射时间 (s)	外形尺寸 (mm)
MFT35	35	10～13	8～12	17～20	528×520×1040
MFT50	50	8～10	15～20	30～35	600×520×1100
MFT70	70	10～13	14	>30	621.5×575×1292

表 2-73 背负式喷粉灭火器技术性能

型号	总重量 (kg)	装粉量 (kg)	工作压力 (kgf/cm²) (20℃)	有效射程 (m)	喷射时间 (s)	灭火面积 (m²)	外形尺寸 (mm)
MFP9	23	3×3	8～10	10～12	3×3	5～7	388×180×395

表 2-74 MT型二氧化碳灭火器技术性能

型号		二氧化碳充装量 (kg)	充装系数 (kg/L)	喷射时间 (s)	射程 (m)	二氧化碳纯度 (%)	外形尺寸 (mm)
新	旧						
MT2	MT12	1.85～2.1	0.72	≤20	1.2～1.4	≥96	102×180×565
MT3	MT13	2.85～3.1	0.72	≤30	1.8～2.0	≥96	114×180×650

（2）MTZ型鸭嘴式二氧化碳灭火器 性能如表2-75。

表 2-75 MTZ型二氧化碳灭火器技术性能

型号		二氧化碳充装量 (kg)	充装系数 (kg/L)	喷射时间 (s)	射程 (m)	二氧化碳纯度 (%)	外形尺寸 (mm)
新	旧						
MTZ5	MTZ4	4.8～5.1	0.72	≤45	2～2.20	≥96	125×275×625
MTZ7	MTZ6	6.8～7	0.72	≤55	2.2～2.5	≥96	152×275×795

2.7.3.5 “1211”灭火器

（1）MY型手提式“1211”灭火器 性能见表2-76。

表 2-76

型号	灭火剂数量 (kg)	密封试验压力(20℃) (kg/cm²)	氮气储气压力(20℃) (kg/cm²)	工作温度 (℃)	射程 (m)	喷射时间 (s)	重量 (kg)	外形尺寸 (mm)
MY0.5	0.5	25	15	-40～50	2	8～10	1.2	70×238
MY1	1	25	15	-40～50	3	10～12	2	90×281
MY2	2	25	15	-40～50	3	12～14	3.2	97×425
MY4	4	25	15	-40～50	4.5	14～16	6.5	133×490
MY6	6	25	15	-40～50	5	16～18	9.3	145×555

（2）MYT型推车式“1211”灭火器 性能如表2-77。

表 2-77 MYT型“1211”灭火器技术性能

型号	“1211”充装量(kg)	氮气压力(20℃)(kg/cm²)	喷射距离(m)	喷射时间(s)	平均喷射强度(kg/s)	工作温度(℃)	喷射面积(m²)	强度试验压力(kg/cm²)	重量(kg)	外形尺寸(mm)
MYT25	25	12	7～8	25	1	-25～50	2.5	30	67	465×520×1000
MYT40	40	12	7～8	40	1	-25～50	2.5	30	84	465×520×1600

2.7.3.6 灭火器的使用和保养（见表2-78）

表 2-78 灭火器的使用和保养

灭火器类型	泡沫灭火器	CO_2灭火器	CCL_4灭火器	干粉灭火器	“1211”灭火器
规格	10 L 65～130L	2kg 以下 2～3kg 5～7kg	2kg 以下 2～3kg 5～8kg	8 kg 50kg	1 kg 2 kg 3 kg
使用方法	倒置稍加摇动或打开开关，药剂即喷出	一手持喇叭筒对着火源，一手打开开关即可喷出	只要打开开关，液体就可喷出	提起圈环，干粉即可喷出	拔下铅封或横销，用力压下压把即可喷出
保养和检查	1.放在使用方便的地方 2.注意使用期限 3.防止喷嘴堵塞 4.冬季防冻，夏季防晒 5.一年一检查泡沫低于4倍应换药	每月测量一次，当小于原量1/10时，应充气	检查压力，小于定压时应充气	放在干燥通风处，防潮防晒。一年检查一次气压，若重量减少1/10时应充气	放在干燥处，勿碰撞，每年检查一次质量

推车式干粉灭火器每隔3年，干粉贮罐需经25kg/cm²水压试验；CO_2钢瓶需经225kg/cm²的水压试验，合格后方能继续使用。

2.7.3.7 灭火器的配置

小型灭火器配置种类及数量，应根据场所的火灾危险性、占地面积、有无其他消防设施等情况综合考虑，一般可参照表2-79配置。

表 2-79 灭火器的配置

场所	配置数量(个/m²)	备注
甲、乙类露天生产装置	1/150～1/100	1.装置占地面积大于1000m²选用小值，小于1000m²选用大值 2.不足一个单位面积，但超过50%时，按一个单位面积计算 3.灭火器最少配置数量为2个
丙类露天生产装置	1/200～1/150	
甲、乙类生产装置	1/50	
丙类生产装置	1/80	
甲、乙类仓库	1/80	
丙类仓库	1/100	

小型灭火器系指10L泡沫、8kg干粉、5kg二氧化碳等手提式灭火器。采用其它型灭火器，可按灭火剂的当量进补换算。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

易发生火灾的个别地点，可适当增设较大的泡沫、干粉等手推式灭火器。

小型工厂在缺乏全厂性消防设施时，除按上表设置小型灭火器外，宜根据火灾危险性增设手推式灭火器。

2.7.4 消 火 栓

2.7.4.1 室内消火栓

室内消火栓是由阀门控制的一种固定消防供水设备。

（1）规格性能 见表2-80。

表 2-80

型号	进水口		出水口		强度试验压力 (kgf/cm²)	密封试验压力 (kgf/cm²)	工作压力 (kgf/cm²)	重量 (kg)	外形尺寸 (mm)
	型式	口径 (in)	型式	口径 (mm)					
SN50	管牙	2	内扣式	50	15	10	≤10	4.25	165×125×199
SN65	螺纹	$2\frac{1}{2}$		65				5.3	189×140×210

（2）维护保养和检查 平时应检查是否完好；有无生锈、漏水现象；接口垫圈是否完整无缺；阀杆上应经常加注润滑油；定期放水检查，以保证应急开启自如。

2.7.4.2 室外消火栓

室外消火栓分为地上式、地下式两种。

1. 室外地上消火栓

（1）规格性能 见表2-81。

表 2-81

规格型号	工作压力 (公斤力/厘米²)	进水口径 (mm)	出水口径 (mm)
SS 150	≤10	150	150
SS 100	≤16	100	100×65×65
SS 65	≤16	100	65×65

（2）维护保养和检查

① 每月或重大节日前，必须对消火栓进行一次检查；

② 清除阀塞启闭杆端部周围杂物，将专用扳头套于杆头，检查是否合适，转动启闭杆，加注润滑油；

③ 用油纱头擦出水口螺纹上的锈渍，检查扣盖内橡胶垫圈是否完好；

④ 打开消火栓查供水情况，放净锈水后再关紧，并观察有无漏水现象；

⑤ 外表油漆剥落应及时修补；

⑥ 检查并清除消火栓附近障碍物。

2. 室外地下消火栓

（1）规格性能 见表2-82。

表 2-82

规格型号	工作压力 (kg/cm²)	进水口径 (mm)	出水口径 (mm)
S×150	≤16	150	150
S×100	≤8	100	100×65
S×100A	≤16	100	100

（2）维护保养和检查

① 每月或重大节日前，必须进行一次检查和保养；

② 检查消火栓井盖是否完好，出水口是否完整无损，启闭杆是否灵活，必要时应加注润滑油；

③ 检查并清除井内垃圾、砂土等杂物；

④ 开启消火栓，检查供水情况，放净锈水后关闭，查看有无漏水现象；

⑤ 检查并清除消火栓周围障碍物；

⑥ 密封件老化变质应及时更换；

⑦ 外表油漆剥落，应及时补修。

2.7.5 灭火设施

2.7.5.1 喷水灭火装置

1. 湿式喷水灭火装置

主要由喷淋头、支管、干支管、干管、总管、报警阀、水轮报警器、控制盘、水泵及重力水箱等组成。管网充压，当保护对象着火后闭式喷头打开自动喷水，具有控制火势或灭火迅速的特点。

（1）易熔合金锁封喷淋头　由溅水盘、调节螺钉、本体、合金片和密封盖等组成。保护区温度达一定值时，易熔合金熔化锁片脱落。密封盖失去支承、被水冲掉，喷口打开，水经溅水盘向四周均匀喷洒。

① 喷头释放温度（如表2-83所示）

表 2-83

类别	公称释放温度 (℃)	适用温度范围（℃）（室内、平顶下）	颜色
普通	72	≯38	不上色
中	100	≯65	白色
高	141	≯107	兰色

② 喷淋头流量（如表2-84所示）

表 2-84

喷口压力 (kgf/cm²)	0.7	1.05	1.40	1.75	2.10	2.46	3.51	5.27	7.03
流量（升/秒）	1.13	1.38	1.57	1.77	1.95	2.13	2.58	3.15	3.65

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

③ 安装高度 3.5m

④ 保护面积 7～9m²

（2）玻璃球阀喷淋头 由溅水盘、调节螺钉、玻璃球和本体等组成。玻璃球内充不同颜色液体，其释放温度亦不同。当环境温度高于释放温度时，玻璃球破裂，水自喷口喷出。

① 喷头公称释放温度（如表2-85所示）

表 2-85

公称释放温度（℃）	57	68	79	93	141	182	227	260	343
液体颜色	橙	红	黄	绿	蓝	紫	黑	黑	黑

② 喷淋头流量（如表2-86所示）

表 2-86

压力 (kg/cm²)	0.35	0.5	1	2	3	4	6	7
流量 (L/s)	0.78	0.93	1.3	1.84	2.21	2.59	3.18	3.37

③ 安装高度 3m

④ 保护面积 9m²

2．干式喷水灭火装置

（1）充气干式喷水灭火装置 供水管网、喷淋头布置与湿式装置完全相同。不同的是管网充气不足水。压缩空气将水阻于管网之外，着火时气体由开放的喷淋头排出，水山空气伐进入管网经喷淋头灭火。

（2）带感温探测器的干式喷水灭火装置 供水管网、喷淋头布置和充气式基本相同，但喷淋头是开式的。其控制方法有两种：一是利用自动喷淋头控制阀门；二是在每组干支管上附设感温探测器来控制进水阀门。该装置通常安装在火灾危险性较高的场所。

（3）开式喷淋头 它的喷口是开放的，只能用于非充气干式灭火装置。

3．预作用式喷水灭火装置

它是在装有闭式喷淋头的干式喷水灭火装置上附加一套报警装置，形成兼有双重控制的变型系统。喷淋头和探测器均是感温元件。探测器的控制温度应选择低一些，发生火灾时，首先动作并发出警报．打开进水阀使水进入管网，又引起人们注意。火场温度继续升高达喷淋头动作温度后开始喷水。它克服了干式装置延缓喷水时间，和湿式装置易渗水的缺点。

4．水幕

它是能喷出幕帘状水流的管网设备。由水幕头、支管、自动喷淋头控制阀、手动控制阀、干支管等构成，用于分割冷却保护对象。

室外水幕供水，应能满足全部水幕头同时开放的流量。保护竖直面的供水强度，每米平均流量不小于0.5L/s。水压应能保证最高最远的水幕头有3m以上的压头。在上述条件下能保证1小时以上的供水。

自动水幕系统，每组水幕头需在与供水管相连接的配管上安装带有感温探测器的自动控制装置，所控制的水幕头应不超过8只。

2.7.5.2 二氧化碳灭火装置

该装置按设备形式分为固定灭火系统和移动灭火系统；按灭火用途分为全淹没系统和局部应用系统；按其控制形式分为自动灭火系统和手动灭火系统。

二氧化碳灭火装置一般由储气钢瓶组、配管和喷头组成。

（1）二氧化碳灭火用量

二氧化碳灭火用量与被保护场所的容积用途、密闭性和可燃物料等有关。

厂房、库房等全淹没系统二氧化碳灭火用量一般不小于表2-87的规定。

（2）根据灭火试验，不同容积的厂房、库房二氧化碳用量不应小于表2-88规定。

表 2-87

保护场所	二氧化碳用量 (kg/m³)	二氧化碳浓度 (体积%)
汽车库、停车站、汽车修理厂、变电室、发电机室	0.73～1.14	34～47
通讯机器室、电子计算机室	1.14	47
棉花库房或厂房、纸张库房或厂房	2.0	65
木材加工厂、库	2.69	75

表 2-88

厂房、库房容积 (m³)	二氧化碳用量 (kg/m³)	最低需要量（贮存量）(kg)
<50	1.0	20
50～150	0.9	50
150～1500	0.8	135
>1500	0.75	1200

实际设计时，应将上表用量乘以表2-89的修正系数作为设计计算量。

表 2-89

设计浓度（体积%）	34	40	45	50	55	60	65	70	75
修正系数	1.0	1.25	1.49	1.70	2.0	2.3	2.75	2.95	3.45

（3）根据灭火试验，易燃液体、可燃气体燃烧需要二氧化碳的最低灭火浓度见表2-90，但设计浓度应比试验浓度至少增加20%。

表 2-90 最低二氧化碳浓度

燃烧物质	最低浓度 (%)	设计浓度 (%)	燃烧物质	最低浓度 (%)	设计浓度 (%)
氢	62	74	乙醇	36	43
乙炔	55	66	丁二烯	34	41
二硫化碳	55	66	乙烷	33	40
一氧化碳	53	64	苯	31	37
环氧乙烷	44	53	煤气或天然气	31	37
乙烯	41	49	环丙烷	31	37
异丁烷	30	36	煤油	28	34
丙烷	30	36	汽油	28	34
丙烯	30	36	柴火油、润滑油	28	34
己烷	29	35	丙酮	26	31
戊烷	29	35	甲醇	26	31
丁烷	28	34	甲烷	25	30
乙醚	38	46	二氯乙烯	21	25

注：1.上表中灭火浓度系指密闭状态下的二氧化碳灭火浓度。

2.建筑物房间有孔洞（即开口面积）时，应根据开口面积每平方米至少补偿二氧化碳量5kg。

3.经常保持90℃以上的房间每超过3℃，二氧化碳总计算量增加1%；保持－18℃的密闭房间，每低0.5℃二氧化碳总计算量亦增加1%。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2.7.5.3 “1211”灭火装置

1.“1211”灭火剂性能

“1211”化学名称为二氟一氯一溴甲烷CF_2ClBr（又称BCF）是一种低毒、不导电的液化气体灭火剂。当温度超过800℃时，其分解产物中的HBr、HCl毒性较大。它的绝缘电阻为2500kΩ，气态击穿电压为36.6～15.3kV/cm，为良好的绝缘体。对金属腐蚀性极小，其抑爆峰值为6.75%（即“1211”蒸气占燃烧区体积的比例）。

它在常温常压下为无色、略带甜昧的气体，比空气重5倍。在不同温度下其液体密度、蒸气密度、蒸气压力变化见表2-91。

表 2-91 “1211”液体、蒸气密度及蒸气压

温度（℃）	液体密度（kg/L）	蒸气密度（kg/L）	蒸气压力（kgf/cm²）
-60	2.06		
-40	2.02		
-20	1.97		
-4			1.03
0	1.90	0.008	1.27
20	1.83	0.015	2.66
40	1.75	0.025	4.90
60	1.67	0.037	8.11
80	1.58	0.054	12.40
100	1.47		18.20

2.“1211”灭火浓度

“1211”的灭火浓度与可燃物的种类、数量、燃烧特性、通风系统以及空间容积的密闭性能有关。根据试验测定，“1211”对各种可燃气体和液体的最低灭火浓度不应低于表2-92的要求。

不同建筑物、设备、物料的灭火浓度需经试验确定。当建筑物有孔洞或开孔面积时，灭火剂易漏失，需要有相当的补偿量。不同对象的最低灭火浓度应不小于表2-93的要求。

表 2-92 “1211”最低灭火浓度

可燃物	最低浓度		可燃物	最低浓度	
	体积比（%）	（g/m³）		体积比（%）	（g/m³）
二氯乙烯	2.7	210	丁酮	5.8	435
甲苯	3.3	250	氢	6.15	460
正庚烷	6.5	485	丁烷	5.9	445
正己烷	5.8	435	丙烷	5.9	445
环己烷	5.7	380	甲烷	4.6	345
乙醇	6.2	465	乙烷	5.8	435
甲醇	24.7	1850	异丁烷	5.2	390
异丙醇	5.6	420	乙烯	9.6	720
苯	4.8	360	氯乙烯	5.37	400
丙酮	4.9	370			

表 2-93 不同对象最低灭火浓度

灭火对象	最低浓度（kg/m³）	开口补偿量（kg/m²）
汽车库、停车场、汽车修配厂、发电机房、变电所、锅炉房、通机房、危险物品	0.33	2～3
棉花、纸类库房	0.54	4～6
木材加工品库房	0.68	5～6

船舶舱室的灭火浓度一般不应小于表2-94的最低灭火浓度要求。

据初步试验，“1211”灭火剂对可燃气体和易燃液体局部火灾需有足够的供给强度。能

扑灭液面火灾的最低供给强度140g/m²·s。

敞开液面“1211”灭火延续时间一般不宜超过20 s，亦不应小于5 s。敞开液面火灾，每平方米液面需要“1211”灭火剂量不应小于2L（即3.66kg），“1211”储存量不应小于计算量的1.25倍。

3.“1211”灭火系统

“1211”灭火装置按其设备形式分为固定式灭火系统、半固定式灭火系统和移动式灭火设备；按灭火用途分为全充满系统和局部应用系统；按控制形式分自动灭火系统和手动灭火系统。

“1211”灭火系统与二氧化碳系统相似，一般由“1211”储罐，加压装置、选择阀、输送管道、喷射设备等组成，见图2-57。

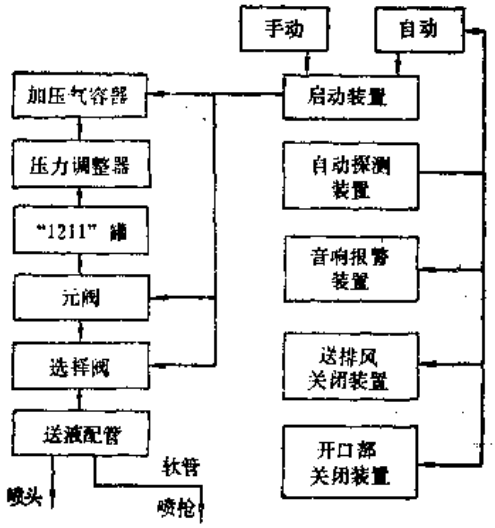


图 2-57 “1211”灭火系统构成

表 2-94 舱室灭火浓度

舱室名称		灭火浓度(g/m³)
干货舱		200
燃油锅炉舱	舱容<500m³	150
	舱容>500m³	230
双层底以外的燃油舱或燃油深舱		200
油船油泵舱		400
油船油舱		400

4. 设计注意事项

为达到好的灭火效果，全充满系统围护结构的材料应采用耐火材料。在设有机械通风设备房间的通风机、房间的开孔面积，在喷射灭火剂之前应自动关闭，以减少灭火剂的流失。计算灭火空间容积，可扣除不燃物的容积。

严密的房间应设置泄压孔，泄压孔面积按公式（3-95）计算。

$$A=\frac{14.1Q}{\sqrt{P}} \tag{2-86}$$

式中 A——泄压孔面积，cm²；

Q——“1211”喷射量，kg/s；

P——密闭间的允许压力，kgf/cm²。

2.7.5.4 干粉灭火装置

1. 干粉灭火剂类型

干粉是微细的固体颗粒。目前采用的有碳酸氢钠（钠盐干粉）、碳酸氢钾（钾盐干粉）、磷酸二氢铵，尿素干粉（氨基干粉）等。

2. 干粉灭火剂用量

干粉灭火剂的用量与灭火时间、单位体积或单位表面上需要干粉量有关。干粉灭火时间一般可采用20秒。

（1）单位空间灭火剂量 密闭厂房、库房和洞室的干粉灭火用量不应小于 0.6kg/m³。若空间有障碍应适当增加喷头，保证干粉喷射到任何部位，干粉用量可采用1kg/m³。若有

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

敞开的门、窗、孔、洞时，应根据敞开面积，增加补偿量。补偿量不应小于2.4kg/m²（敞口面积）。

（2）单位面积灭火剂量　扑救易燃、可燃液体火灾，干粉灭火剂的用量按燃烧液体面积进行计算。侧向喷射时，每平方米燃烧液面的干粉量不小于2.4kg。由上向下垂直喷射时，每平方米燃烧液面的干粉量不小于3.6kg。喷头喷射压力可采用0.7～3.5kg/cm²。对于扑灭油罐火灾，根据液面积的大小和喷射方式，其干粉用量不小于表2-95的规定。

表 2-95　油罐单位面积需干粉量

油罐液面积 (m²)	由罐壁侧向喷射 (kg/m²)	由罐上方喷射 (kg/m²)
6	3.33	5.66
6～10	3.80	6.40
10～20	4.60	7.80
20～30	5.27	8.66
30～40	6.62	9.25

（3）厂房、库房内部喷射干粉用量

厂房、库房内部喷射干粉用量可按式(2-96)计算。

$$W = C(V - V_1) + 2.4A \qquad (2\text{-}87)$$

式中　W——干粉量，kg；

V——建筑物容积，m³；

V_1——建筑物内不燃物体积，m³；

A——不能关闭的门、窗面积，米²；

C——每立方米空间需用干粉量，一般采用0.7kg/m³。

3．干粉灭火系统

干粉灭火系统有手动操作、半自动操作和自动操作三种系统。一般由干粉储罐、储气瓶（储压装置）、减压阀、选择阀、管道、喷头等组成（见图2-58）。

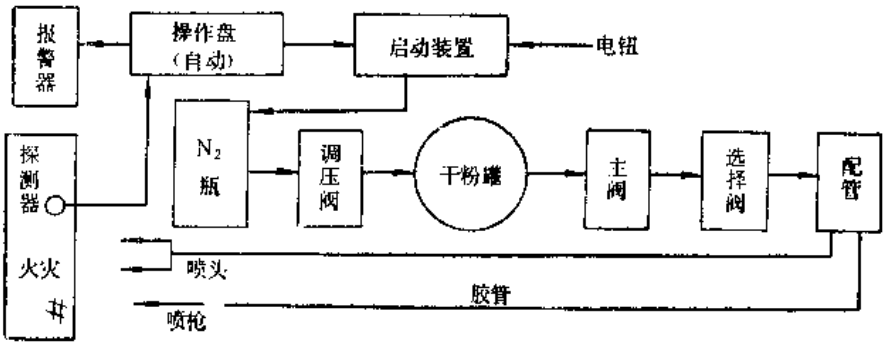


图 2-58　干粉灭火装置系统图

2.7.5.5　泡沫灭火装置

泡沫灭火装置按化学药剂不同分为化学泡沫和空气机械泡沫灭火装置两大类。化学泡沫消防设施又可分为双粉泡沫灭火系统和单粉泡沫灭火系统。双粉泡沫灭火系统又可分为湿式和干式双粉泡沫灭火系统。按灭火设备形式还可分为固定式、半固定式和移动式灭火系统。

空气泡沫消防设施按混合液浓度分为3%、6%两种；按泡沫的发泡倍数可分为低倍数、半倍数、高倍数空气泡沫三种；按泡沫性质分为磺化石油产品泡沫、水解蛋白泡沫、抗溶泡沫、氟蛋白泡沫和轻水泡沫等。

1．空气泡沫灭火系统

（1）固定式空气泡沫灭火系统　固定式空气泡沫灭火系统一般由消防水泵、泡沫液罐、比例混合器、混合液管线和泡沫室等组成。常用的固定式空气泡沫灭火系统按水与泡沫

液的混合方式可分五种流程。

① 环泵比例混合流程　该流程将泡沫比例混合器安在水泵出水管与吸水管之间的旁通管上，借水流喷射作用形成负压，泡沫液按比例被吸入，形成的混合液送至泡沫产生器，吸入空气形成泡沫，进行喷射灭火；

② 侧线压入式比例混合流程　该流程将混合器装在水泵出口管上，利用泡沫液泵将泡沫液按比例地压入混合器的水流中进行混合，然后将混合液送往泡沫产生器产生泡沫扑灭油罐火灾；

③ 水轮驱动式比例混合流程　该流程是在送水管路中装设一个水轮机和一个由其驱动的空气泡沫泵。当压力水通过水轮机时，泡沫液泵即开始动作，将泡沫液按比例压入流程与水轮机出水管的水流进行混合，混合液送至泡沫产生器产生泡沫，扑灭火灾；

④ 压力比例罐混合流程　该流程是将空气泡沫液罐和比例混合器设在水泵出水管上，使排出水的一部分进入泡沫液罐，利用水压将泡沫液压入比例混合器的低压区，同时又利用比例混合器的喷射作用来吸入泡沫液使其与水混合，然后送至泡沫产生器产生泡沫进行灭火；

⑤ 固定在泡沫产生器上喷射器流程　该流程是油槽式空气泡沫消防流程，主要将泡沫产生器固定于油槽罐壁，泡沫液借消防供水带入泡沫产生器，产生的泡沫直接入罐分布于液面上灭火。

（2）半固定空气泡沫灭火系统　半固定空气泡沫灭火系统由泡沫室和带有接口的泡沫混合液管线组成主要用于罐区。混合液管线引至防火堤外，其向堤外坡度不宜小于1%。发生火灾时，泡沫液由泡沫消防车供给，通过水带与引至堤外的泡沫混合液管线接口相接，将其送入罐内。

（3）移动式灭火设备　对于油罐容积小，且罐区内或附近有足够泡沫灭火力量时，为节约投资可采用移动式灭火设备。它是用泡沫钩枪或泡沫管架代替泡沫室（或泡沫产生器），以消防车代替水泵，以水带代替管道的泡沫消防车灭火系统。空气泡沫液与水的混合，由消防车上的比例混合器来完成。

（4）泡沫灭火装置技术数据（表2-96）

（5）贮罐空气泡沫灭火系统计算

① 液面积　圆柱形油罐液面积按公式（2-88）计算。

表 2-96　泡沫灭火装置技术数据

① 空气泡沫比例混合器技术数据

型　号	调节阀指针位置	混器进口压力 (kg/cm²)	吸入泡沫液 (L/s)	配用泡沫喷射设备举例
PH32	25	6～12	0.24	配25L泡沫产生器或泡沫枪
	50		0.48	配50L泡沫产生器或泡沫枪
	100		0.96	配100L泡沫产生器或泡沫钩枪
	150		1.44	配150L泡沫产生器
	200		1.92	配2个100L泡沫产生器或泡沫炮
PH64	200	6～12	1.92	配2个100L泡沫产生器或泡沫炮
	300		2.88	配300L泡沫炮
	400		3.84	配4个100L泡沫产生器

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

② 空气泡沫室技术数据

型号	规格 (L/s)	混合液流量、泡沫产生量 (L/s)			
		工作压力 2 kgf/cm²		工作压力 5 kgf/cm²	
		混合液	泡沫液	混合液	泡沫液
PS13A	25	2.393	16	3.785	25
PS14A	50	4.785	32	7.570	50
PS15A	100	9.570	64	15.140	100
PS16A	150	14.355	96	22.710	150
PS17A	200	19.140	128	30.280	200

③ 空气泡沫产生器技术数据

型号	工作压力 (kgf/cm²)	规格 (L/s)	
		混合液量	泡沫量
PC_4	5	4	≥25
PC_8	5	8	≥50
PC_{16}	5	16	≥100
PC_{24}	5	24	≥150

④ 空气泡沫管枪技术数据

型号	工作压力 (kgf/cm²)	流量 (L/s)				射程 (m)
		水	空气泡沫液	混合液	空气泡沫	
PQ_4	7	3.76	0.24	4	≥25	≥24
PQ_8	7	7.52	0.48	8	≥50	≥28
PQ_{16}	7	15.04	0.96	16	≥100	≥32

⑤ 空气泡沫炮技术数据

型号	工作压力 (kgf/cm²)	流量 (L/s)				射程 (m)	
		水	泡沫液	混合液	泡沫	泡沫	水
PP_{17}	10	30.08	1.92	32	200	45	50
PP_{27}	10	30.08	1.92	32	200	45	50

⑥ 泡沫钩管技术数据

型号	配合空气泡沫混合器				
	型号	调节阀指针位置	钩管进口压力 (kgf/cm²)	混合液 (L/s)	泡沫量 (L/s)
PG_{16}	PH_{32}	100	5	16	100

⑦ 升降式泡沫管架技术数据

型号	规格 (L/s)	配合空气泡沫比例混合器					
		型号	规格 (L/s)	调节阀指针位置	工作压力 (kgf/cm²)	混合液 (L/s)	泡沫量 (L/s)
PJ_{16}	100	PH32	200	100	2	9.57	64
					5	15.14	100

$$A=\frac{\pi D^2}{4} \tag{2-88}$$

式中 A——液面积，m^2；

D——贮罐直径，m；

π——圆周率（3.1416）。

矩形罐（或油槽）液面积按下式计算。

$$A=a\times b$$

式中a、b为油槽之长、短边长（m）。卧式罐组或堆场的燃烧液面积，按土堤内的面积计算（堆场亦可按占地面积计算），计算结果大于400m^2时，仍按400m^2计算。浮顶油罐燃烧液面积可按罐壁与泡沫挡板之间的环形面积计算。

② 泡沫量 泡沫需要量可按公式（2-89）计算。

$$Q=A\cdot q_1 \tag{2-89}$$

式中 Q——泡沫量，L/s；

A——液面积，m^2；

q_1——泡沫供给强度（L/s·m^2），见表2-97。

表 2-97 炼油厂、石油化工厂固定顶油罐空气泡沫供给强度

设置方式 / 液体闪点	供给强度			
	泡沫（L/s·m^2）		混合液（L/min·m^2）	
	固定式或半固定式	移动式	固定式或半固定式	移动式
<60℃	0.8	1.0	8	10
≥60℃	0.6	0.8	6	8

a．消防力量较弱或缺乏经验，应适当提高油罐泡沫供给强度。固定式泡沫系统的供给强度应不小于1.00L/s·m^2，移动式灭火设备扑救油罐的泡沫供给强度应不小于1.25L/s·m^2；

b．浮顶罐的泡沫供给强度应考虑泡沫流散展开的可能。采用PC_4、PC_8泡沫产生器时，其泡沫供给强度应不小于1.25L/s·m^2；采用PC_{16}泡沫产生器时，其泡沫供给强度应不小于1.5L/s·m^2。

③ 泡沫室数（或泡沫产生器数） 需要设置的泡沫室数（或泡沫产生器数）可按公式（2-90）计算。

$$N=\frac{Q}{q_2} \tag{2-90}$$

式中 N——泡沫室数（个）；

Q——泡沫量，L/s；

q_2——每个泡沫室（或泡沫产生器）的泡沫产生量，L/s。

④ 泡沫混合液量 贮罐需要的泡沫混合液量可按公式（3-91）计算。

$$Q_{混}=Nq_{混} \tag{2-91}$$

式中 $Q_{混}$——每个贮罐需要泡沫混合液量，L/s；

N——贮罐上的泡沫室数，个；

$q_{混}$——每个泡沫室需要的混合液量，L/s。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

⑤ 泡沫液常备量　空气泡沫液的常备量（或贮存量）可按公式（2-92）计算。

$$Q_{液}=0.108Q_{混} \tag{2-92}$$

式中 $Q_{液}$——泡沫液常备量，（m^3或T）；

0.108——按6%配比，30分钟用液量系数。

⑥ 灭火用水量　灭火用水量系指配制泡沫的用水量，可按公式（2-93）计算。

$$Q_{灭水}=0.94Q_{混} \tag{2-93}$$

式中 $Q_{灭水}$——泡沫灭火用水量，L/s；

0.94——混合液内含水比例；

$Q_{混}$——泡沫混合液量，L/s。

灭火用水常备量（或称灭火储水量）可按公式（2-94）计算。

$$Q_{水备}=1.8Q_{灭水} \tag{2-94}$$

式中 $Q_{水备}$——灭火用水常备量，m^3或T；

1.8——30分钟用水量系数。

2. 氟蛋白泡沫灭火系统

氟蛋白空气泡沫系在空气泡沫液中加入0.02%氟碳表面活性剂 $C_{10}F_{19}O\langle\bigcirc\rangle SO_4Na$ 而成的泡沫。它具有较高的灭火性能，适于液下喷射灭火。一般用于固定式或半固定式液下喷射灭火设施。

（1）固定式系统　固定式氟蛋白泡沫液下喷射灭火系统一般由消防水泵、比例混合器、混合液管线、高背压泡沫产生器、泡沫管线和泡沫喷射口组成。

油罐着火后需迅速组织冷却，防止罐体变形或破裂。在10分钟内不能调动足够数量消防车对油罐进行冷却的罐区，应设置临时高压消防给水系统，并宜安装固定式氟蛋白泡沫液下喷射灭火系统。

（2）半固定式系统　在有较强的消防车辆的石油化工企业内，或邻近有较强消防车辆的油罐区，一般设置半固定式氟蛋白泡沫液下喷射灭火系统。该系统由泡沫混合液管线、高背压泡沫产生器、泡沫管线、泡沫喷射口组成；也可只设泡沫管线和泡沫喷射口，而高背压泡沫产生器在灭火时临时接装，使用完拆下保存在消防车上或消防器材库内。采用后一种方法，可减少高背压泡沫产生器数量节约钢材和投资，但所需高背压泡沫产生器数量，除满足罐区内最大罐着火使用外，还应有一定的备用量。

（3）设计数据

① 高背压泡沫产生器　国产高背压泡沫产生器的技术数据见表2-98。

表 2-98　高背压泡沫产生器技术数据

型　　号	配备的比例混合器（刻度位置）	进口水压力（kgf/cm^2）	混合液量（L/min）	背　压（kgf/cm^2）	泡沫倍数
GPC960	100	8	960	2	2.6～3.0
GPC480	50	8	480	2	2.6～3.0

② 氟蛋白泡沫供给强度　氟蛋白泡沫混合液供给强度不小于8L/min·m^2。

③ 灭火延续时间　氟蛋白泡沫一次灭火延续时间可按5分钟计算；氟蛋白泡沫储备量

为一次灭火计算量的6倍。为设计简化计算，氟蛋白泡沫液的储存量和灭火用水量可按30分钟计算。

④ 泡沫喷射速度　一般情况下，泡沫的喷射速度不应超过3m/s。

3．抗溶泡沫灭火系统

（1）抗溶泡沫液的组成　该泡沫液由两部分组成，一部分为浓液起发泡作用；另一部分是锌皂，作为稳定剂，主要成分及配比见表2-99。

表 2-99　抗溶性泡沫液配方

水解原料配比　（重量比）	蹄角粒：水：石灰＝1.00：5.00：0.22
去钙剂用量	42g碳酸氢钠/每升水解液；　6 g碳酸钠/每升水解液
中和剂用量	24～41mL盐酸（1：1）/每升去钙液（以pH为准） 45～55mL氯化锌（d＝1.30）/每升去钙液
防腐剂用量	混合甲酚 3 mL/每升去钙液
锌皂原料配比　（体积比）	乙醇胺：辛酸：氨气：氯化锌＝2.32：1.00：1.88：1.47
混合中间品配比（体积比）	浓液：锌皂＝3：2，22克氯化铵/每升混合液

（2）抗溶泡沫灭火系统组成　抗溶性泡沫灭火系统适用于水溶性有机溶剂贮罐区灭火。它分为固定式或半固定式抗溶泡沫灭火系统。

固定式抗溶泡沫灭火系统由消防水泵、比例混合器、管线、泡沫室和泡沫缓冲器组成。

表 2-100　抗溶性泡沫供给强度

水溶性液体名称	供给强度 (L/s·m²)
甲醇、乙醇、异丙醇、醋酸乙酯等	1.50
异丙醚	1.80
乙　醚	3.50

半固定式抗溶泡沫灭火系统由比例混合器、管线和泡沫缓冲器组成。半固定式的灭火用水由消防车或高压消火栓供应。

（3）抗溶泡沫设计数据

① 泡沫供给强度　水溶性有机溶剂对泡沫的破坏能力较大。抗溶性泡沫供给强度不应小于表2-100的要求。

② 混合比　实验证明，抗溶性泡沫与水按6：94（或7：93）的比例混合，产生的泡沫性能较好，因此不应小于6：94（6份抗溶性泡沫液与94份水相混合）。

③ 混合液输送速度和时间　实验表明，在200m长管道中，输送速度低于2m/s、输送时间在100 s以上时，抗溶泡沫液的性能将显著降低。因此，抗溶泡沫混合液在管道内流速不应小于2m/s，在管道内停留时间不宜超过100s。一般情况，混合液输送管道长度不应超过200m。

④ 灭火延续时间　水溶性有机溶剂对泡沫的破坏性能较大，宜在较短时间内扑灭火灾。一次灭火延续时间不应超过10分钟，泡沫液的储备量可按30分钟计算。

2.7.5.6　氮气灭火装置

用氮气作为固定灭火装置的灭火剂，宜用来扑救高温高压物料的火灾。

固定式氮气灭火装置系统与二氧化碳灭火系统相同。氮气灭火需要量可按公式（2-95）进行计算。

$$Q = \frac{21\% - x\%}{x\%} \cdot V \qquad (2\text{-}95)$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中 Q——氮气需要量，m^3；

21%——空气中含氧量；

V——灭火空间体积，m^3；

x%——停止物质燃烧的最高含氧量，见表2-101。

表 2-101 氮气灭火最高含氧量

燃烧物名称	汽油	丙酮	乙醇	甲烷	乙醚	乙烯	氢气	二硫化碳
停止燃烧的最高含氧量（%）	15	15	15	14.5	13	10	5.9	8

用钢瓶储存时，1kg氮气体积为0.8m^3，灭火氮气的储备量不宜小于计算量的3倍。

2.7.5.7 蒸汽灭火装置

1．蒸汽灭火浓度

将蒸汽施放到燃烧区，使燃烧区氧含量降低到一定限度时，燃烧将停止。试验得知，汽油、煤油、柴油和原油的蒸汽灭火浓度不宜小于35%即燃烧区空间每立方米体积内应有不少于0.284kg水蒸汽。厂房、库房、舱室灭火的蒸汽量可按公式（2-96）计算。

$$W = 0.284V \tag{2-96}$$

式中 W——蒸汽量（kg）；

V——室内空间体积（米^3）。

所有门、窗、孔、洞均能封闭的汽油、煤油、柴油生产车间和储存舱室，蒸汽的供给强度不应小于0.002kg/m^3·s；除窗、照明、通风天窗外，均能封闭的房间，蒸汽供给强度不应小于0.005kg/m^3·s。

蒸汽灭火延续时间可采用3分钟。实践证明，饱和蒸汽的灭火效果优于过热蒸汽。

2．蒸汽灭火系统

蒸汽灭火装置一般分为固定式蒸汽灭火系统和半固定式蒸汽灭火设备。

固定式蒸汽灭火系统，一般由蒸汽源、蒸汽分配箱、输气干管、蒸汽支管和配气管等组成。

半固定式蒸汽灭火设备，由蒸汽源、蒸汽分配箱、输气干管、蒸汽支管和接口短管组成。

固定式蒸汽灭火系统常用于生产厂房、石油泵房、油船舱室等场所，对建筑物容积不大于500米^{3}的室内灭火效果最好。半固定式蒸汽灭火设备常用于露天装置的炼塔、换热器、反应器、冷却器、框架区以及可燃液体泵房等处。

3．蒸汽灭火系统技术数据

（1）气源及管长 灭火蒸汽管线汽源压力不应小于6kgf/cm^2，输气干管和蒸汽支管的长度不应超过60m。当输气干管和蒸汽支管的总长度超过60m时，宜分设灭火蒸汽分配箱，保证蒸汽的灭火效果。

（2）配气管线 建筑物房间或舱室内的配气管线数量及其最小直径可按表2-102的决定。

（3）输气干管、蒸汽支管 从蒸汽锅炉至分配箱或自分配箱至保护建筑物的蒸汽输气干线、蒸汽支管的直径可按表2-103决定。

表 2-102 房间、舱室配气管线最小数量、直径

房间、舱室、体积 (m^3)	配气管最少数量（条）	配气管最小直径(mm) 供给强度 0.002 $kg/m^3 \cdot s$	供给强度 0.005 $kg/m^3 \cdot s$
<25	1	20	32
25～150	1	25	40
150～450	1	32	60
450～850	2	32	60
850～1700	2	40	70
1700～3850	3	40	70
3850～5400	4	40	70

表 2-103 蒸汽输气干管、蒸汽支管直径计算表

房间、舱室的总体积 (m^3)	输气干管、支管直径(mm) 供给强度 0.002 $kg/m^3 \cdot s$	供给强度 0.005 $kg/m^3 \cdot s$
<25	20	32
25～150	25	40
150～450	32	60
450～850	50	90
850～1700	60	100
1700～3850	70	125
3850～5400	80	150

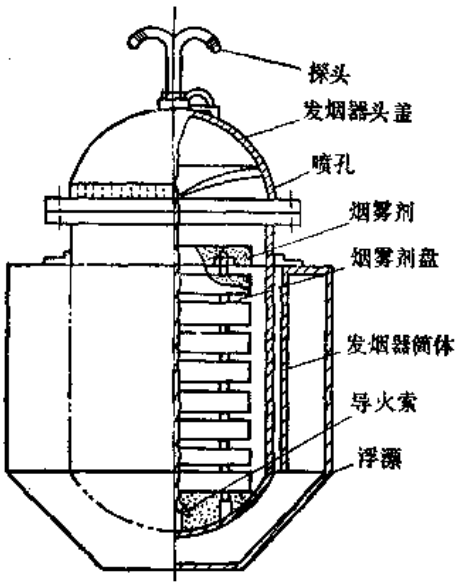


图 2-59 烟雾自动灭火器

2.7.5.8 烟雾自动灭火器

1. 烟雾自动灭火器构造

它主要由发烟器和浮漂两部分组成，其构造如图2-59所示。

（1）发烟器 它主要有头盖、筒体和烟雾剂盘三部分。头盖上装有探头、喷孔、密封薄膜、导火索和导流板。探头内装有导火索，用探头帽罩住，再用低熔点合金封闭。头盖上有90个喷孔，沿圆周分两排均匀分布。密封薄膜可防止油气、水蒸汽进入发烟器使烟雾剂变质。筒体呈圆柱形、正中间有立杆用以绑扎导火索。烟雾剂盘分层装在筒体内，盘高30mm盘间距12mm，每盘装烟雾剂3～6kg。

（2）浮漂 它是借助液体浮力，将发烟器漂浮在液面上的装置。其浮力大小可按液体比重调节，使发烟器头盖上的喷孔高出液面350～370mm。

（3）烟雾剂 它是在发烟火药基础上研制的一种特殊灭火剂，呈深灰色粉末状。其组成及理化性质见表2-104、表2-105。

表 2-104 烟雾灭火剂组分

组分名称	含量（%重量）	组分名称	含量（%重量）
硝酸钾	50.5	三聚氰胺	26.0
木炭	12.5	碳酸氢钠	8.0
硫磺	3.0		

2. 灭火原理

烟雾灭火剂中的硝酸钾是氧化剂，木炭、硫磺和三聚氰胺是还原剂，它们在密闭系统中可维持燃烧而不需外部供氧。碳聚氢钠为缓燃剂，可降低发烟剂燃烧速度，使其维持在适当

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 2-105 烟雾灭火剂物理、化学性质

项目		数据
水分（%）		<0.6
细度（140目筛通过%）		全部
燃速（s）		80～100
发气量（ml/g）		250～300
燃烧气体组成（%）	二氧化碳（CO_2）	40.8
	氮（N_2）	44.25
	氧（O_2）	0.2
	一氧化碳（CO）	7.5
	氨（NH_3）	0.4
	甲烷+氢（CH_4+H_2）	4.65
	其他气体	2.2

范围内不致引燃或爆炸。烟雾灭火剂燃烧产物为85%以上的二氧化碳和氮气等不燃气体。

当油罐起火后，罐内温度上升到110℃时，低熔点合金熔化，探头帽脱落，导火索裸落被点燃，并很快引燃烟雾剂。烟雾剂燃烧后，迅速产生大量含二氧化碳和氮气的烟雾，使发烟器内压力上升，当达到一定压力时，烟雾冲破发烟器头盖上的密封薄膜，由喷孔向四周喷出。在液面上形成一层均匀、浓厚的云雾状惰性气体层，使油面与空气隔绝，同时使罐内可燃蒸气浓度急剧下降（氧气浓度亦下降），从而达到灭火目的。

一般烟雾灭火时间在2分钟左右。

3. 安装要求

（1）采用烟雾自动灭火器时，油罐顶部要有15～30%的防爆泄压面积，防止失火爆炸罐顶受到较大破坏；

（2）贮罐顶部中央应设有使发烟器和浮漂顺利进出的孔口；贮罐中心滑道的三根钢丝绳松紧程度应一致，防止浮漂卡阻倾斜。安装时要防止碰破密封薄膜和探头；

（3）宜安装在直径13～16m的钢板拱顶柴油、原油和重油贮罐。不同直径贮罐应选择不同型号的烟雾灭火装置，见表2-106。

表 2-106 烟雾自动灭火器选用表

油罐		烟雾灭火器型号	烟雾剂量
直径，m	容量，m^3		（kg）
13～15	2000	ZW16	110
11～12	1000	ZW12	60
6～10	700	ZW10	35

（4）安装在需加热的油品（原油、重油等）贮罐中，应控制加热温度一般不宜超过40℃；否则，烟雾剂中部分成分易升华和分解，会缩短其使用期限。

4. 检查要点

（1）定期检查探头、密封薄膜是否脱落或损坏，一经发现，应及时更换或修补；

（2）一般每隔2～3年将发烟器取出打开头盖，检查烟雾剂是否有结块或表层呈黄色（硫黄升华析出）现象。如有上述情况必须更换烟雾剂；如无异常，可取部分药剂化验分

析，水分含量是否超出规定值，发气量是否在规定范围内。如发气量在规定范围内，只有水分增加，则将原药剂烘干可继续使用；如发气量、水分含量均不符合规定，必须全部更换；

（3）烟雾剂为易燃品，应存放在符合安全要求的专用仓库里。

2.7.6 警报、信号及检测仪表

自动火灾报警设备是根据火灾初期阶段产生大量的烟和热，由传感器检知，经中间继电器将信号输出，为火灾接收机所接收，并预报警的设备。

2.7.6.1 传感器

传感器种类很多，分为感温式和感烟式两大类。

1. 定温传感器

（1）双金属型定温探测器　双金属型定温探测器结构如图2-60所示。它是在一个不锈钢圆筒型外壳内固定两块磷铜合金片，磷铜片两端有绝缘套，在中段部位固定一对金属触头，每个触头各由导线引出。由于外壳热膨胀大于磷铜片，故在受热后磷铜片被拉伸使二触头靠拢。当达到预定温度则触点闭合，导线构成闭合回路，便输出报警信号给报警器报警。

另一种双金属片定温探测器是由热膨胀系数不同的双金属片和固定触点组成。当环境温度升高时，双金属片由于膨胀系数不同而向上弯曲，使触点闭合，输出报警信号，其结构如图2-61所示。

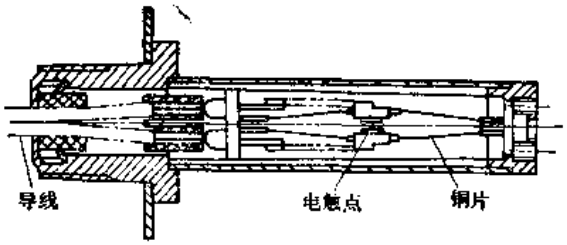


图 2-60　双金属型定温控制器

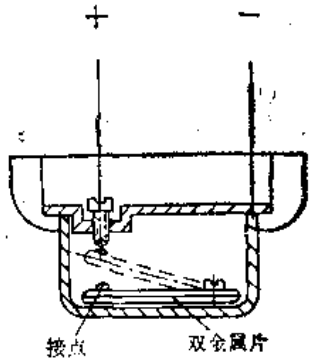


图 2-61　双金属片定温探测器

双金属定温型探测器除适用于一般场合外，还适用于锅炉房、厨房等室温较高的场所。圆筒型为防爆型探测器，可以在有甲烷、一氧化碳、水煤气、汽油蒸气等易燃易爆场所使用。

（2）易熔金属型定温探测器JWD型定温探测器结构如图2-62所示。在吸热罩中间与特种螺钉间焊一小块低熔点（熔点70～90℃）合金，使螺钉与拉杆连接，拉杆上端一定距离处有一弹性接触片及固定触点，平时处于常开状态。当发生火灾温度升至标定值时，低熔点合金熔化，拉杆借弹簧的弹力弹起，使接触片与触头接触通电发出报警信号。

该探测器结构简单、牢固可靠，很少误动作。其适用范围同双金属定温探测器。

（3）线性感温探测器　它的热敏元件是沿着一条线连续分布的，线段上任何一点温度异常，均能感应报警。常用的有热敏电缆型及同轴电缆型两种。

热敏电缆型构造如图2-63所示。它是在两根钢丝导线外面各罩上一层热敏绝缘材料后拧在一起，置于编织电缆的外皮内。热敏绝缘材料能在预定温度下熔化，造成两条导线短路，使报警器发出火灾信号。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

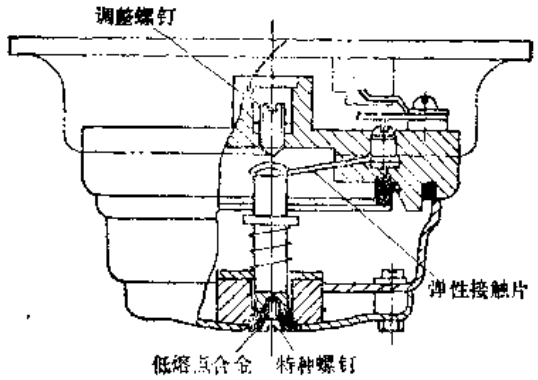


图 2-62 JWD型定温探测器

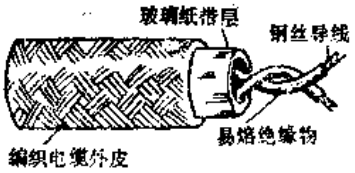


图 2-63 热敏电缆型线性感温探测器

同轴电缆型如图2-64所示。它是在金属丝编织的网状外导体中放置一根导线，在内、外导体之间用一种特种绝缘物充填隔绝。这种充填物在常温下呈绝缘体特性，一旦遇热达到预定温度就变成导体，造成内外导体之间短路，使警报器发生警报信号。

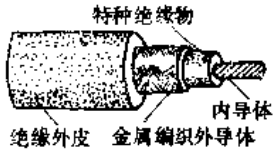


图 2-64 同轴电缆型线性感温探测器

2。差温式探测器

火灾发生时，室内局部温度将以超过常温数倍的异常速率升高。差温探测器就是利用这种异常速率产生感应的探测器。它分机械式和电子式两种。膜盒型差温探测器属于机械式的一种，其结构如图2-65所示。

它的感热外罩与底座形成密闭的气室，只有一个很小的泄漏孔与大气相通。当环境温度缓慢变化时，气室内外空气通过泄漏孔进行调节，使内外压力保持平衡。火灾发生时，环境温升速率很快，气室内空气由于急剧受热而膨胀，来不及由泄漏孔外逸，使气室压力增高，将波纹片鼓起，接通了触点便发生了火灾报警信号。

这种探测器灵敏度高，可靠性好，不受气候变化影响，因而应用广泛。

3。差定温组合探测器

它是将差温式、定温式两种探测器结合在一起，同时兼有两种功能的探测器。其一种功能失效另一种功能仍能起作用，因而可靠性较高。按其结构，有机械式和电子式两种。

（1）机械式差定温探测器 JW-JC 型差定温探测器结构如图2-66所示。它的差温探测部分与膜盒型基本相同；而定温探测部分与易熔金属型相似。工作原理是：弹簧片的一端用低熔点合金焊在外罩内侧，当温度达到标定温度时，低熔点合金熔化，弹簧片弹回，压迫固定在波纹片上的动触点，接通电源，发生警报信号。

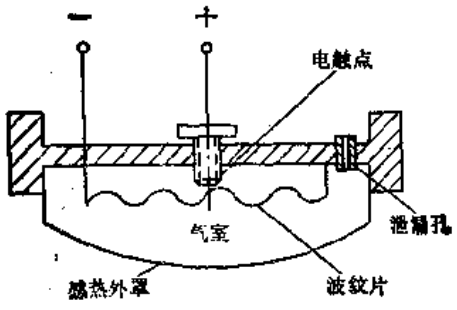


图 2-65 膜盒型差温探测器

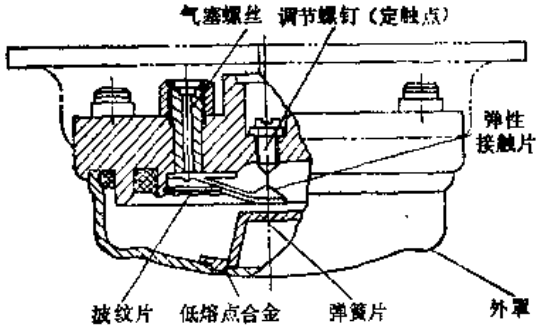


图 2-66 JW-JC型差定温探测器

（2）电子式差定温探测器　JW-JC型电子式差定温探测器的电原理图如图2-67所示。它用三只热敏电阻R_1、R_2、R_3，其特性阻值均随温度升高而下降。其中差温探测部分的R_1和R_2阻值相同，特性相似。R_2在铜外壳上，对外界温度变化较为敏感；R_1在一特制金属罩内，对环境温度变化不敏感。当环境温度缓慢变化时，R_1与R_2阻值相近，BG_1处于截止状态。发生火灾时，R_2因直接受热阻值迅速下降；R_1则反应较慢阻值下降少，这就导致A点电位降低，当降到一定程度，BG_1便导通，BG_2也随即导通，向报警器输出火警信号。

定温探测部分由BG_2、R_5组成。当温度高至标定值时，R_5阻值降至动作值使BG_2导通，接着BG_3也导通，向报警器发出火警信号。

4．光辐射探测器

（1）红外光辐射探测器　可燃物燃烧后，其火焰辐射光谱大体分两类。一类是炽热炭粒产生的热辐射，其光谱特征是连续的；另一类是由化学反应生成的大量气体和离子所产生的辐射光谱，是间断的，一般位于紫外和红外区。红外光辐射探测器就是利用红外敏感元件来探测火情的传感器。HWH-2型红外火焰探测器结构如图2-68所示。它在红色玻璃后面，用塑料支架于中心处固定着硫化铅红外光敏元件；采用反射式光学聚焦系统，使接收的红外光聚于光敏元件上。在光敏元件前窗口处置一锗片，以滤除可见光。前置放大器用印刷电路板固定在探头后部。

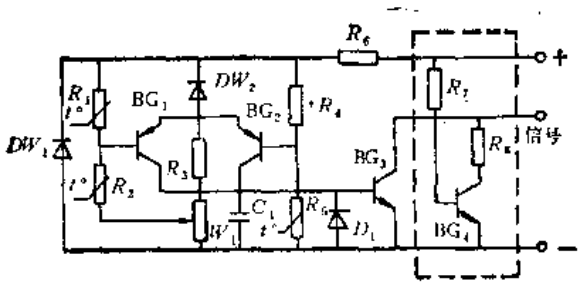


图 2-67　电子式差定温探测器

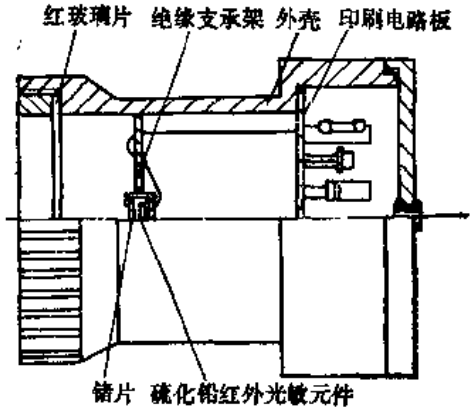


图 2-68　HWH-2型红外探测器

当出现火焰时，硫化铅光敏元件将接收的断续的红外辐射转换成电信号。此电信号经BG_1、BG_2、BG_3、BG_4组成的两级工作点稳定的电流反馈电路放大，将信号放大1万倍送到三极阻容低通滤波器，见图2-69。滤去干扰信号，有用信号经后级放大器可得到足够的幅度。信号经BG_5放大后送到由D_1～D_4组成的正反向限幅器，使任何有用信号均限幅在±1.2伏。电容C_{12}与电容（$C_{13}+C_{14}$）组成电容分压电路（分压比1:10），经过限幅器的信号幅度为24伏，分压后为0.24伏。可使任何瞬变干扰信号都不会造成后面触发器的导通。但当信号连续到达电容（$C_{13}+C_{14}$）时，将迅速充电达到0.6伏足以使继电器动作发出报警信号。

红外线探头安装须避开阳光直射、反射以及强烈的灯光照射，否则易引起误报。

（2）紫外光辐射探测器　有机化合物燃烧辐射出紫外光。紫外探测器采用紫外光敏管检知紫外光，具有可靠性较高、输出功率大、耐高温、寿命长、反应快速的特点。

紫外探测器结构如图2-70所示。在玻璃外壳内装有两根高纯的钨或钼丝制成的电极。当

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

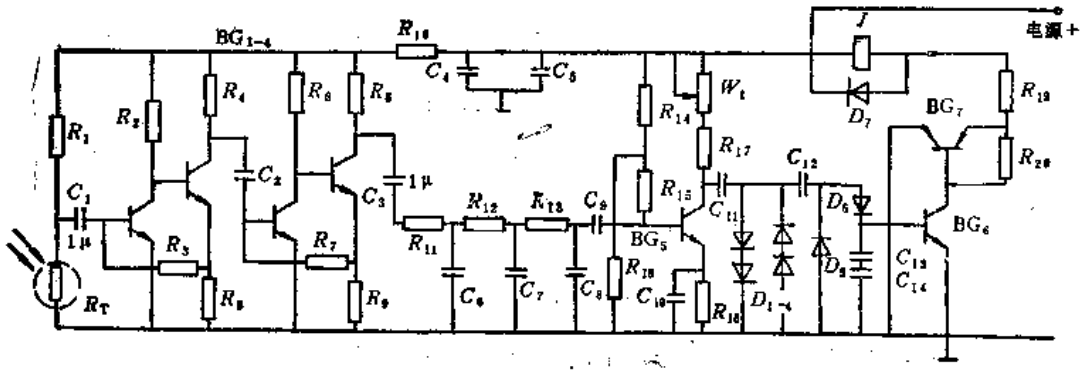


图 2-69 HWH-2型红外探测器

电极接受到紫外光辐射时立即发射出电子，并在极间电场作用下被加速。由于管内充入定量的氢和氮气，所以当这些被加速而具有较大功能的电子同气体分子碰撞时，便将气体分子电离，电离后的正负离子又被加速，又会使更多的气体分子电离。于是在极短时间内会形成雪崩式的放电过程，使紫外光敏管由截止状态变为导通状态，驱动电路系统发出报警信号。

在使用中应避免阳光直接照射光敏管。在安装紫外探测器的区域及邻近区域内禁止电焊作业，也不允许安装发出大量紫外线的碘钨灯等照明设备，以免引起误动作。

5．感烟探测器

（1）离子感烟探测器　它的主要敏感部件是两个相互串联的电离室（图2-71）：一与外界基本不相通称内电离室；另一与外界相连通称外电离室。内外电离室各置一块放射源镅^{241}(Am^{241})片，不断放射出α粒子，使室内空气部分电离，生成的正、负离子在电场作用下，各向负、正电极移动。电压恒定时，电流亦恒定。随着电压的变化，电流也相应变化，形成图2-72所示的内外电离室的伏-安特性曲线。

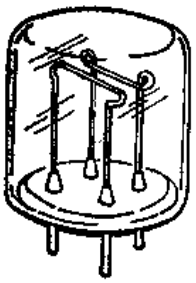


图 2-70 紫外光敏管结构

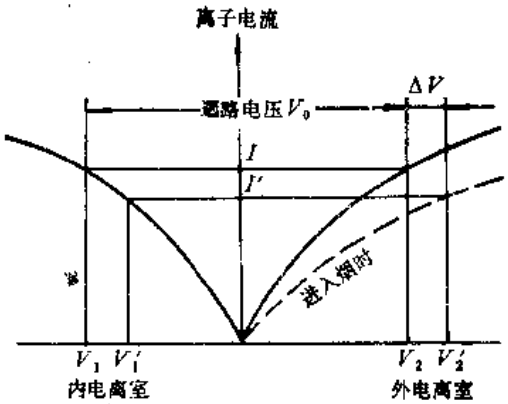


图 2-71 电子感烟探测器工作原理示意图

由图中曲线可以看出，在通常情况下，探测器两端的外加电压V_0（回路电压）等于内外电离室电压之和，即$V_0=V_0=V_1+V_2$。当火灾发生时，烟雾粒子进入外电离室，带电粒子被烟雾粒子吸附，运动速度大为降低，离子电流减小，V_1、V_2都将发生变化，达到规定值时，开关电路动作，送出报警信号。

采用内外电离室串联可减少环境温度、湿度、气压等自然条件变化对离子电流的影响，

以提高其工作稳定性。它具有较高灵敏度、寿命长、安装使用方便等特点，且对人体不会带来危害。

（2）光电感烟探测器　光电感烟探测器是利用起火时产生的烟雾能够改变光的传播这一特性研制的。它分为遮光型和散射型两种。

遮光型探测器　它的结构原理如图2-73所示。主要部件由一个光源（灯泡或发光二极管）和一个相对应的光敏元件。光源发出的光通过透镜聚成光束，照射到光敏元件上，光敏元件将接收到的光的能量转换成电信号，使整个电路维持正常状态。当光源与光敏元件之间有烟雾存在时，到达光敏元件上的光显著减弱，光敏元件便将光强度的变化转变为电的突变信号，再利用适当的放大电路放大后，使报警器发生报警信号。

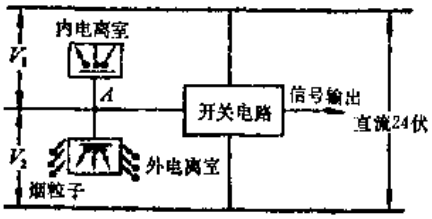


图 2-72　内外电离室的伏-安特性曲线

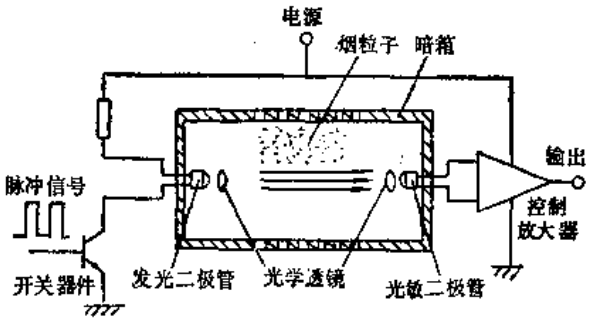


图 2-73　遮光型光电感烟探测器原理

散射型探测器　它的结构原理见图2-74。外面有一个多孔的暗箱，能阻止外部光线进入器件内部，但烟雾粒子能自由进入。在特殊设计的“迷宫”式暗箱内，也有一个电光源和一个光敏元件，分别设置在特定位置上。没有烟雾时，光源发出的光不能到达光敏元件上；一旦烟雾粒子进入并达到一定数量后，光源发出的光经烟粒反射或散射而达到光敏元件，产生光敏电流，再经放大电路放大后便能使报警器报警。

这种探测器适用于火势蔓延前产生可见烟雾的场合。使用中需定期清洁、除去积灰，特别是光源和透镜表面不能有灰尘和脏物，否则将导致灵敏度显著下降甚至失灵。

（3）激光感烟探测器　它是利用激光具有方向性强、亮度高、单色性及抗干扰性好等优点制成的。其结构如图2-75所示。

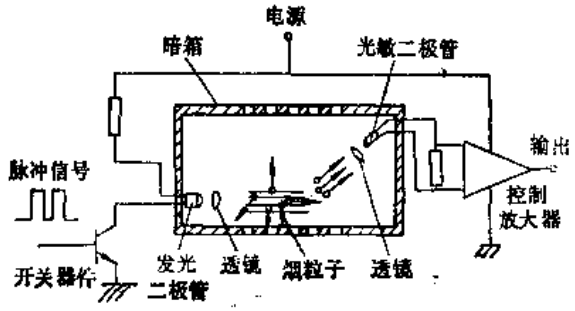


图 2-74　散射型光电感烟探测器原理

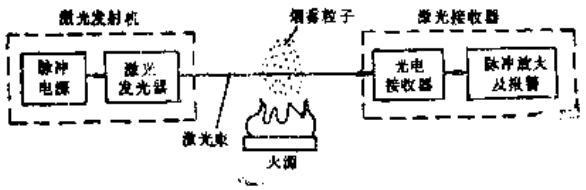


图 2-75　激光感烟探测器结构

激光器在脉冲电源的激发下，发出一束脉冲激光投射到接收部的光电接收器上，转换为电信号后经放大电路放大，控制报警器不发生警报。如在激光束经过途中被大量烟雾遮挡而减弱到一定程度时，光电接收器信号减弱，便发出报警信号。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

它的实际监视区为一线状窄条（故称型探测器）适用于较大的库房，以及某些易燃材料的堆垛、货架等处。使用中应保持光学部分不受灰尘或其他脏物沾污，并应经常清洁处理，以保证透光性能良好。

（4）管道抽吸式感烟探测器　它主要用于船舶上，以探测密闭货舱中的烟火。

结构如图2-76所示，主要由三部分组成：

抽风机及管道　将各货舱着火时所产生的烟雾，通过吸烟口、管道抽至感烟探测器。一般在采用二氧化碳、卤代烷灭火系统的货舱内，抽取烟样的管道就利用灭火管路；如采用水、泡沫等灭火系统，则吸烟管道应另行敷设。抽风机必须设有备机。

其他两部分是，感烟探测器和火灾报警设备。

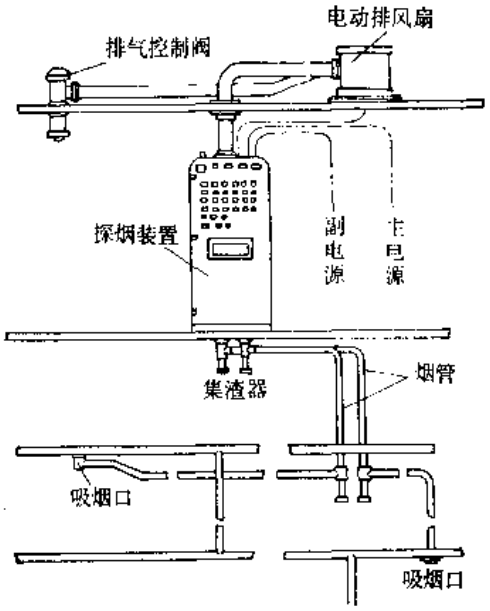


图 2-76　管道抽吸式感烟探测器结构组成

它的装置系统如图2-77所示。货舱内空气不断被风机吸入经管道送至感烟探测器。无烟时，探测器的音频灯发出的光线经透镜会聚成平行光束，因光敏管置于光线垂直方向的上方，射不到光敏管上。如有烟雾存在时，平行光束受到烟粒的反射及散射而到达光敏管上，光敏管将光信号转为电信号，并经放大后使报警器动作，发出声、光报警。

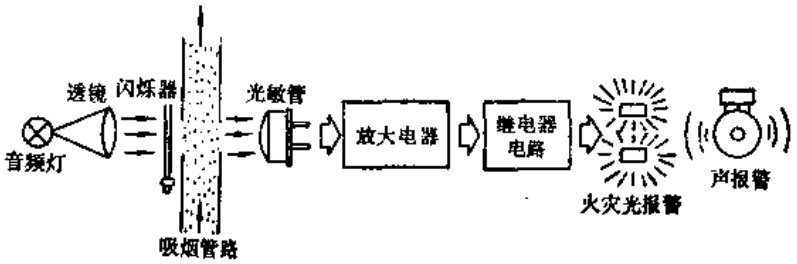


图 2-77　管道抽吸式感烟探测器工作系统

2.7.6.2　信号发射机

信号发射机按配线方式，大致分为P型和T型两种。

P型信号发射机，发现火灾的人将塑料等制的保护板打破，按动电钮就能将信号传递到接收机设备。可分三级，室外用的带防潮结构有动作确认装置的为1级；室内用的有动作确认装置的为2级；没有确认装置的为3级。

P型发射机作为探测器的辅助手段，除用于工厂等室外设施的火灾报警之外，还广泛用于特殊报警（火灾警铃）的启鸣，配线的导通试验等，也能配以附属装置用于电话联络和巡回记录。应将其设在人们易看见的消火栓旁边、大厅内、楼梯附近。配置密度应为1000米^{2}一个，安装高度以1.2～1.5米为宜。

中间继电器虽有的和P型一样设有按钮，但多数借助探测器的动作将其报警区域的固有信号向外发出。因此，多使用由代码板发生脉冲，多数配线中特定配线的短路，特定频率的振荡和扫描电路等。

T型发射机分为室外用的防潮型的1级和室内用的2级，均可用于通话。

2.7.6.3 信号接收机

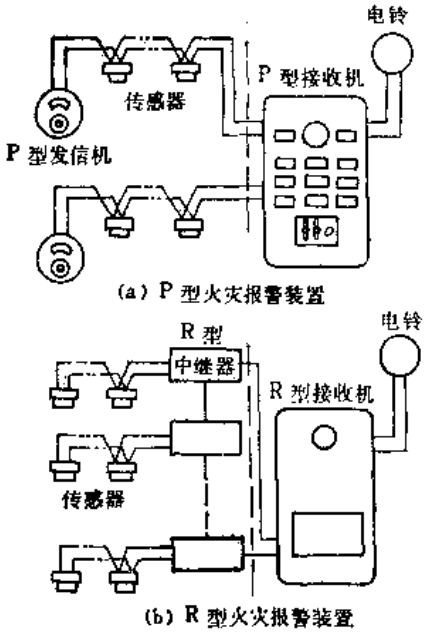


图 2-78 火灾报警设备的配线

信号接收机是从探测器等接收信号将发生火灾的情况通知给与建筑物有关者。根据图2-78的配线方式，大致可分为P型和R型。无论哪种，均由继电器组、显示装置、电源、检查装置等的主功能回路和附属装置构成。

P型接收机在各报警区域分别设置区域继电器，由探测器的信号使电铃、蜂鸣器发出火灾警报，同时以指示灯显示，并将这些显示动作保持到人们对其确认为止。为使区域继电器能够起到它在信号接收机功能上所起的重要作用，采用了双触点构造的设备，并对一组触点的功能加以限制，以防误报。

在上述的指示灯中，有显示火灾发生的火灾灯和显示发生火灾地点的地址灯，根据同样理由分别用2个并列的电珠。用接收机内的检查装置能够对这些表示火灾的功能进行校验，主收机的主电源电压是交流100伏，工作回路电压一般为直流24伏，所以需要整流电源。附属装置有手动或自动的整体或分区电铃控制回路，以及和消火栓、固定灭火设备相连动的装置等。

R型接收机借助中间继电器发出固定信号而动作，因此它的接收电路亦不同。但它的主要功能和P型接收机是相同的，只是将地址灯用记录装置或用数字显示电路代替。要求R型同P型都要具有配线监视、在停电时动作等功能，并配有检查装置。

2.7.6.4 检测仪器

1. 氧气分析仪

由于液态氧的蒸发或氧气泄漏等原因，会造成局部低洼处氧气浓度异常超高，在这些地方工作常因碰撞等原因造成着火烧伤。因此可用氧气探测器、奥氏气体分析器来测定空气中氧的浓度。此外，有利用氧分子的磁性效率（磁距+3446）比其它气体分子磁距高的性质来进行测定的氧气分析器。工业常用的氧气安全检测仪表见表2-107。

表 2-107 常用测氧仪表

名 称	型 号	测 定 范 围	生 产 厂（商）
袖珍测氧仪	CY-7	0~5%、0~25%	新安江分析仪器二厂
控氧仪（在线分析）	KY-2	0~5%	新安江分析仪器二厂
氧气检测仪	AY-1	0~25%	抚顺煤矿安全仪器厂
便携式测氧仪	BY-1	0~25%	无锡化工仪表厂
控氧仪	KY2	0~21%、0~100%	上海光华仪表厂
氧气测定器	OX-1	0~10%、0~25%	日本理研计器株式会社

2. 氢气分析仪

氢气与空气相比，具有异常高的导热率。在0℃、一个大气压情况下，导热率对空气为1时，则氢气为7.12。利用这种性质测定精氢气来冷却惠斯登电桥的加热白金丝所产生的不

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

平衡电流，能把它作为氢气浓度自动显示在计量仪器上。作为低浓度用的有0～15%的，作为纯度测定用的有50～100%的氢气分析仪，常用的氢气检测仪表见表2-108。

表 2-108 常用氢气检测仪表

名　　称	型　　号	测 量 范 围	生　产　厂
热导式氢气分析器	RD-2059	0～6%	四川仪表九厂
氢分析器	RD-03	0～6%	四川仪表九厂
氢气测定器	AQG-4	0～10/0～30	抚顺煤矿安全仪器厂

3．可燃气体检测仪

石油化工生产装置的设备、管道、阀门等，一旦泄漏可燃气体或蒸气（可燃液体）且达到一定浓度，就会有发生燃烧、爆炸的危险。因此在可燃气体泄漏并能导至燃烧、爆炸可能的场所要设置可燃气体探测器。当可燃气浓度达到危险值时，就会发出报警。

A．催化型可燃气体探测器

（1）结构原理　它是利用难熔金属铂丝受热后的电阻变化测定可燃气体浓度的。当可燃气体进入时，由于铂丝催化作用，使其表面产生氧化反应。反应热使铂丝温度升高、电阻发生变化。通过测定铂丝电阻率变化，就可测出可燃气体存在及其达到的浓度。

图2-79为测量部分电原理图。为克服环境温度对元件影响，一般将补偿元件与敏感元件分别构成电桥两臂，以减少测量误差。D_2为敏感元件、D_1为补偿元件。这一电路在一定的测量范围内，C、D间产生的失衡电压与可燃体浓度成正比。用标准气样对电路的指示仪表进行标定后，就可测定可燃气体所达到的浓度。一般取爆炸浓度下限（$L.E.L$）为100%，报警值定为爆炸下限浓度的1/4。

为延长探测元件使用寿命，这类探测器均装有过滤器，气体进入须先行净化。

（2）分类

① 手动式　手握吸球现场采集待测气体。一般制成便携式，由巡检人员携带现场，对可疑处进行检测。如HRB-15型可燃气体检测仪即是此类型。

② 导入式　用微型气泵采样，有便携式和固定式两种。RH101型即为十五点固定式可燃气体报警器。它的检漏器中包括泵、电机及管路，体积较大。但反应迅速，能随时测出可燃气体的浓度变化。其部分结构见图2-80。

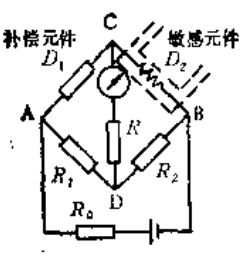


图 2-79　可燃气体检测仪电路原理

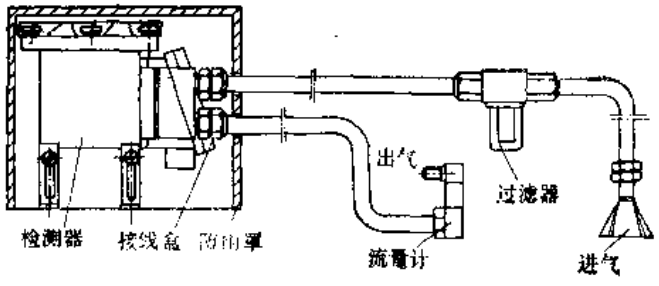


图 2-80　RH101型可燃气体探测器部分结构图

③ 扩散式　是采用气体扩散原理收集气样，本身不带任何气泵或橡皮球，因而体积较小，但反应时间较长。

（3）使用注意事项

① 每次使用前先预热，保证探测元件、补偿元件处于稳定状态后，方能进行电气调整；

② 探测器内不得吸入可燃液体或水；

③ 调零时，指针右摆且不能调零表明检测元件使用寿命到期，指针左摆且不能调零表明补偿元件损坏。以上均需更换元件，重新调试使用；

④ 使用一段时间后，应对过滤芯、吸入器的过滤网用甲苯或酒精清洗保证通气性能良好；

⑤ 防爆结构不允许随意拆卸，更不允许在现场拆装；

⑥ 禁止与含硅酮和铅的气体接触，以便防止催化剂中毒，缩短使用寿命。

B．半导体可燃气体探测器

它采用灵敏度较高的气敏半导体元件，整机体积较小，电路较简单，对探测氢、一氧化碳、甲烷、乙醇、乙醚、天然气等可燃气体很灵敏。

（1）结构原理　QN、QM系列气敏半导体元件，是以二氧化锡材料掺入适量有用杂质，在高温下烧制成的多晶体（为N型材料）。在工作温度下（250～300℃），遇可燃气体电阻减小。可燃气体浓度不同，阻值下降幅度亦不同。根据这一特性将可燃气体浓度大小转换为电信号，配以适当电路即可进行监测和报警。

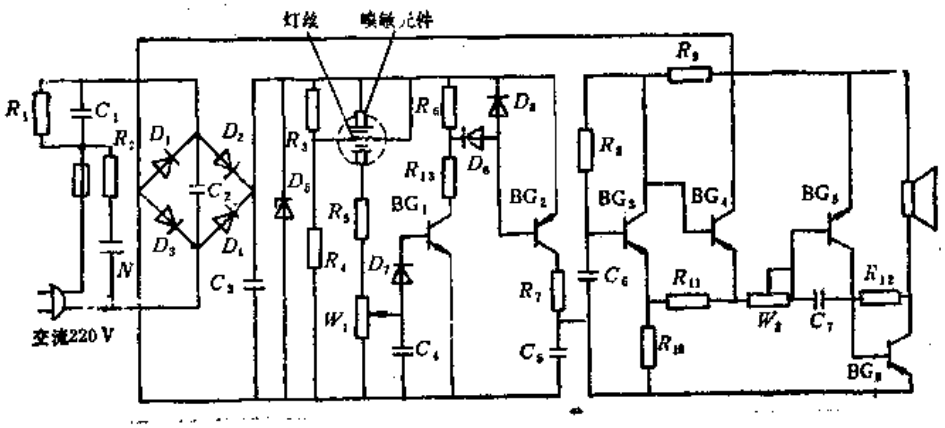


图 2-81　BJ-3A型可燃气体探测器电原理图

BJ-3A型半导体可燃气体探测器的电原理如图2-81所示。当交流电经电容C_1降压后，输入D_1～D_4组成的桥式整流电路，再经C_3滤波，D_5稳压至6V直流电压，供气敏元件QM-N5加热（加热电路由R_3、R_4组成）；同时供BG_1、BG_2组成的开关电路和由$BG_{3\sim6}$组成的报警音响电路，QM-N5与R_5、W_1组成报警信号取样电路。无可燃气体，BG_1处于截止状态；有可燃气体时，QM-N5阻值下降，W_1中点电位升高，使BG_1变为导通状态，因而导致R_6两端电压升高，又促使BG_2导通，于是经R_7输出直流电压给报警音响电路，使其发出声报警信号。调整W_1可使上述过程发生在可燃气体的特定浓度，即可预先标定报警点。

（2）使用注意事项

① 安装位置应根据泄漏气体性质区别对待：天然气、煤气较空气轻，泄漏后迅速上升，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

探测器应装在设备上方或天花板附近；液化石油气较空气重，应安装在距地面50厘米以下为宜。

② 每月应检查一次，现场检查可用棉花球蘸上一点酒精靠近气敏元件，如有报警表明工作正常。

③ 气敏元件对多种可燃气体均敏感。在有混合气体存在场所，它不能作为分辨混合气体的组分来使用。

④ 不能在混有硫化氢气体的场所使用，否则元件会产生“中毒”现象，且不能恢复；也不能在有酸、碱腐蚀性气体中长期使用。

⑤ 气敏元件要避免直接油浸或油垢污染，长期使用需防止灰尘堵塞防爆金属网或防爆多孔金属罩。常用可燃气体检测仪见表2-109。

表 2-109 常用可燃气体检测仪

名　　称	型　　号	生　产　厂
可燃气体测爆仪	KCB-12H	浙江省宁海无线电厂
携带式可燃气体测爆仪	KCB-12	浙江省宁海无线电厂
可燃气体测爆仪	RH-31	南京分析仪器厂
甲烷检测报警器	RH-101A	南京分析仪器厂
携带式嗅敏检漏仪	DG-4	上海精华仪表厂
监控式可燃气体报警器	BJ-4	哈尔滨通江晶体管厂
可燃气体检漏仪	QM-104	辽源市电子技术实验厂
多路可燃气体报警器	QM-308	辽源市电子技术实验厂
可燃性气体检测报警器	KJB-1	燕山石油化学总公司仪表厂
可燃性气体检测器	KJB-2	燕山石油化学总公司仪表厂
携带数字式可燃气体检测仪	KJ-1	江苏省无锡化工仪表厂
数字式可燃气体测量仪	RH-01	北京自动化仪表二厂
混合可燃气防爆测量仪	HRB-IS、BS、KSS	北京自动化仪表二厂
气体检测仪	QJ-4	武汉半导体二厂
携带式可燃气体探测器	TC-4	哈尔滨通江晶体管厂
可燃气体测爆报警仪	KCB-1	浙江省宁海无线电厂
甲烷测定器	AQG-1	抚顺煤矿安全仪器厂
乙烯检测报警器	RH-101B	南京分析仪器厂
乙烯测定器	AQG-5	抚顺煤矿安全仪器厂
乙炔测定器	AQG-6	抚顺煤矿安全仪器厂
丙烷测定器	AQG-7	抚顺煤矿安全仪器厂
戊烷测定器	AQG-8	抚顺煤矿安全仪器厂
汽油蒸气检测报警器	RH-101C	南京分析仪器厂

2.7.6.5 联动、紧急动作

在化工生产装置中，除工艺上具有自动控制调节功能外，还应具有报警、联动和应急动作等功能，这是非常有效的安全措施。

1. 联动

系指如下功能而言：即如果两种以上状态共存时才能发生的事故，用检测仪器对其中一种状态进行监视，若发现异常，则将信号直接发往与其联动的控制机械，借以控制另一种状态的发生，作到防患于未然。如煤矿中甲烷浓度达到危险浓度时，能自动切断电源防止瓦斯爆炸的电源断路器以及瓦斯报警器等等，都是联动的实例。

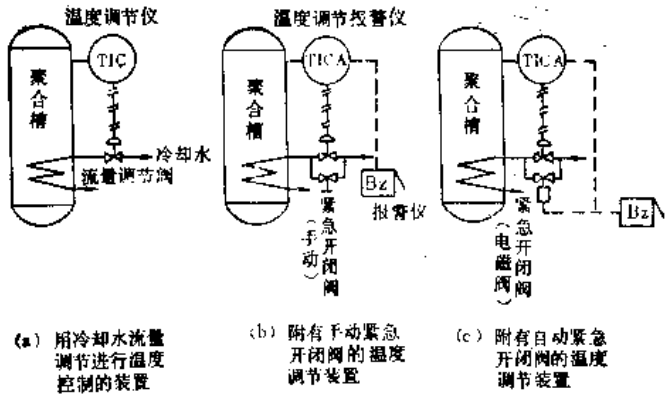


图 2-82 聚合反应装置控制冷却水流量的温度调节系统

2. 应急动作

系指由于突然发生的外部干扰和控制系统故障，使被控制量产生大的偏差，仅靠正常状态下的调节功能已不能确保安全时，借助于检测仪器的异常信号用与普通控制动作不同的特殊手段来避免危险而言。

应急动作和联动虽然希望能借助于测量仪器发出的信号自动地进行，但实际上也有只设操作开关，靠操作人员确认报警后，用手动操作使之联动和进行应急动作。

3. 实例

以标记（badge）式聚合装置的温度控制为例加以说明，见图2-82。

（1）聚合反应为放热反应，需进行冷却吸收反应热以保持适当温度。图2-82(a) 是用温度调节器在温度上升时，以增加冷却水流量来保持适当温度的最简单的控制装置。在该控制系统中，当流量调节阀口径较大时，不能进行精密流量调节，温度偏差较大，因此流量调节阀口径不能太大。但若冷却水温度上升，水压下降以及异常反应等突然发生的外部变化，使温度急剧上升时，尽管调节阀全开也达不到冷却水量要求，难以避免因反应剧烈而造成的爆炸危险。因此，想用这种控制装置保证安全运行，就得降低反应速度，或在较低的温度下进行反应。

（2）图2-82(b) 是在温度调节装置中设置了报警触点，当槽内温度上升异常时发出警报，并设置与冷却水流量调节阀并联的大口径应急安全阀（手动），以便听到温度报警时，操作人员可用手打开该阀，使大量冷却水流入。这样虽能够防止剧烈反应而造成的危险，但应急动作是操作者用手来操作的，因此从发现温度异常到进行处置的时间滞后是难免的。

（3）图3-82（c）是使用大口径电磁阀代替手动应急安全阀，借助温度调节器的警报触点动作使警报蜂鸣器发出声响，同时打开电磁阀使冷却水量增加。当温度降低时再自动关闭电磁阀，进行正常自动调节。应急操作完全是自动进行的，因此从发现异常温度到应急动作是没有时间滞后的。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第 3 章　静电和雷电

静电在化工工业的各个生产领域普遍存在，液体、粉体、固体都能产生静电。

静电不但引起人们的不适或不便，还能引起严重的爆炸和火灾。

雷电也是大自然中的静电，也常常是引起爆炸和火灾的危险源。

3.1　名词术语和基本概念

3.1.1　通用名词术语

3.1.1.1　电荷和电量

1．电荷

电荷是物质的固有属性之一。电荷有两种。一种是正电荷，用符号“+”表示；另一种是负电荷，用符号“-”表示。负电荷总是与电子相联系的；正电荷则是与失去电子的原子、原子团或分子相联系的。如果某物体带有正的或负的电荷，那就是该物体失去或得到了一些电子的结果。电荷之间存在着相互的作用，同性电荷相互排斥，异性电荷相互吸引。

电荷的数量，称为电量，常用符号Q、q表示，在国际单位制中，它的单位是库仑，简称库。

2．电量守恒定律

通常，物体中正负电荷的数量是相等的。物体在宏观上不呈现电性能。有了带正电荷的物体就必然同时出现带负电荷的物体，而且电量相等。总之，电荷既不能被创造，也不能被消灭，只能被转移（分离或中和）。电荷在转移前后，其总电量（正负电量的代数和）不变。这一规律叫做电量守恒定律。

3.1.1.2　电场

1．电场

电荷及电荷周围对引入电荷有力的作用的区域叫做电场。通过电场，能使两个不相接触的带电体彼此吸引或排斥。电场具有能量，能与其它形式的能量相互转化。

宏观上对观察者没有位移的电荷称为静电荷。由静电荷产生的电场称为静电场。

2．库仑定律

在真空中两个点电荷通过电场相互作用时，作用力F的大小与它们的电量Q_1和Q_2的乘积成正比，而与它们之间距离r的平方成反比，即

$$F=\frac{Q_1Q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \tag{3-1}$$

式中　ε_0——真空介电常数。

作用力的方向沿着它们连线的方向。如果Q_1和Q_2的电荷异性，则作用力F为吸力；如果Q_1和Q_2的电荷同性，则F为斥力。这个规律叫做库仑定律。这个作用力叫做电场力。

在公式3-1中，采用国际单位制时，F的单位为牛顿、r的单位为米、Q_1和Q_2的单位为C(库仑)、$\varepsilon_0=8.845\times10^{-12}$(F法)/m。

3. 电场强度

电场强度是单位正电荷在电场中受到的电场力。即

$$E = \frac{F}{q} \tag{3-2}$$

E是一个矢量，其方向和试验电荷所受到力的方向一致。电场强度的单位是 V/m。

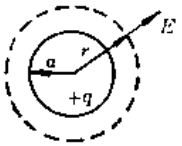
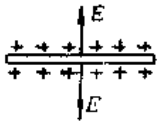
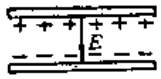
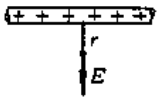
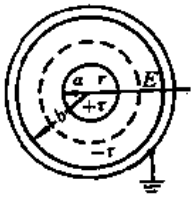
点电荷的电场强度E进一步可以写成

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\ \frac{Q}{r^2}r^0 \tag{3-3}$$

式中，r^0是单位矢量，方向由源点指向场点。

几种典型结构的电场强度按表3-1计算。

表 3-1 几种典型结构的电场强度计算公式

场源情况	图形	电场强度	场强的方向
半径为a的导体球（电荷面密度为$\sigma=\frac{q}{4\pi a^2}$）		球外$E=\frac{q}{4\pi\varepsilon r^2}$ 紧靠球面处$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$ 球内$E=0$	由球心指向场点 由球心指向场点
无限大导电板（电荷面密度为σ）		$E=\frac{\sigma}{2\varepsilon}$	垂直于导电板，由导电板指向场点
两块平行的无限大导电板（电荷面密度为$+\sigma$和$-\sigma$）		板间$E=\frac{\sigma}{\varepsilon}$ 板外$E=0$	垂直于导电板，由正极指向负极
无限长直导线（电荷密度为τ）		$E=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon r}$	垂直于导线，由导线指向场点
无限长同轴电缆（电荷线密度为τ，外壳接地）		在$a<r<b$处 $E=\frac{\tau}{2\pi\varepsilon r}$ 在$a\geqslant r$或$r\geqslant b$处 $E=0$	垂直于轴线，由轴线指向场点

4. 电场强度的叠加原理

在空间某给定点由n个点电荷共同产生的电场强度是各个点电荷单独在这一点产生的电场强度的叠加（矢量和）

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \cdots + E_n = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{k=1}^{n}\frac{Q_K}{r_K^2}r_K^0 \tag{3-4}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中 r_K——点电荷Q_K与场点之间的距离，m；

r_K^0——由点电荷Q_K指向场点的单位矢量。

如果空间某给定点的电场强度是由大尺度连续分布的电荷产生的，则上式中的叠加就应代之以积分。设dQ为电荷分布中的任一电荷元，那么带电体的电场强度

$$E = \frac{1}{4\pi E_0}\int \frac{dQ}{r^2} r^0 \tag{3-5}$$

5. 电力线

电力线是形象地表示电场分布的常用图线。空间任一点上电力线的切线方向就是该点电场强度的方向；电力线的疏密程度即表示电场强度的大小。垂直于电场强度的单位面积上所穿过的电力线根数正比于电场强度的大小。

电力线有如下性质：(1) 既不闭合，也不中断；起始于正电荷，终止于负电荷；(2) 任何电力线都不会相交。

图3-1是几种简单静电场的电力线分布图。

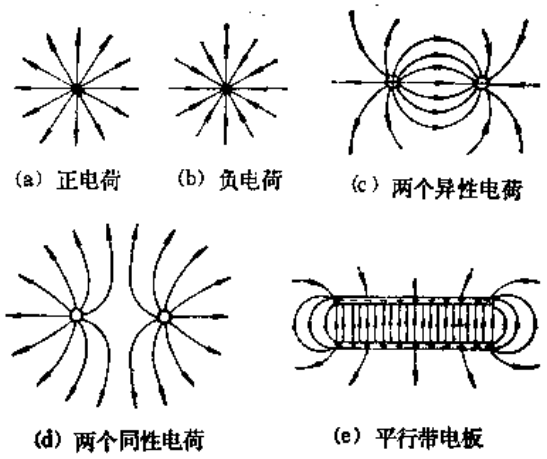


图 3-1 几种电场的电力线

3.1.1.3 **电位**

1. 电压

在电场中，单位正电荷由a点移到b点时，电场力所做的功称为a点到b点的电压，又称为电位差，即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \int_a^b E \cdot dl \tag{3-6}$$

功的单位为J（焦耳）。

U_{ab}也只与a、b两点的位置有关，与所取的路径无关。所以在静电场中，从任一点起，不论沿任何闭合路径回到该点，它的电压为零，即

$$\oint_l E \cdot dl = 0 \tag{3-7}$$

静电场中电场强度的闭合线积分为零，这是静电场的基本特征之一。

在均匀电场中，如果l表示由a点沿电力线方向到b点的距离，则

$$U_{ab} = El \tag{3-8}$$

2. 电位

在公式（3-6）中，如以b为零电位参考点，则这时电压U_{ab}也可称为a点的电位，用φ_a表示。电位φ_a与a点到参考点之间的路径无关，当参考点选定后，只与a点的位置有关。所以φ_a只有单一的值，这叫做电位的单值性。电位是标量，电位的单位是V（伏）。

当电荷分布在有限区域时，可取无限远点作为电位的参考点；在工程实用上，则常常取大地作为电位的参考点。

a、b两点间的电位差U_{ab}也可用a、b两点的电位φ_a、φ_b来表示：

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b, \ \text{V} \tag{3-9}$$

3. 等位面

静电场中电位相等的各点所组成的曲面叫做等位面。

当电荷沿等位面移动时，电场力不作功；等位面与电力线是成正交的，电位降落的方向

就是电力线的方向。

3.1.1.4 **导体**

导体是具有大量自由带电粒子，能很好传导电流的物体。导体电阻率一般都低于$1\times10^{-7}\cdot\Omega m$。

1. 静电感应

在电场中，导体内的自由电子受到电场力的作用，向着与电场相反的方向移动。如图3-2，导体的ab面显示出带负电，导体的cd面显示出带等量的正电。这种导体内的电荷因受外电场作用而重新分布的现象叫做静电感应。

2. 静电平衡

由于静电感应，导体的两个表面上带有正负电荷，导体内部因之而形成了一个和外电场E方向相反的附加电场E'。当E和E'完全抵消，即内部的电场E_i等于零时，自由电子的定向运动才完全停止，这种状态称为导体的静电平衡状态。

处于静电平衡状态的带电导体，电荷的分布情况决定于导体表面的弯曲程度。一般来说，表面弯曲程度大（例如尖角处）的地方，电荷密度也大，附近的电场也较强；反之，表面弯曲程度小（例如平坦处）的地方，电荷密度也小，附近的电场也较弱。

静电场中静止导体内部任何一点的电场强度为零；整个导体是一个等位体，导体的表面是一个等位面；导体的内部各处没有静电荷，电荷只能分布于导体的外表面。

3. 静电屏蔽

如果把空腔导体放进电场（图3-3a），由于导体内部任一点的场强为零，导体起了隔绝外电场的作用，使外电场不能透入空腔内部。

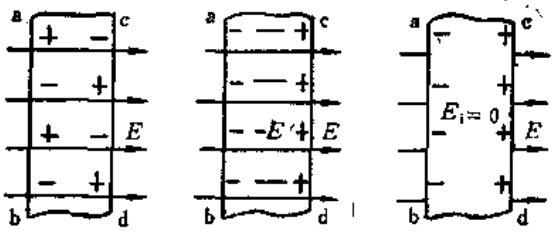


图 3-2 电场中的导体

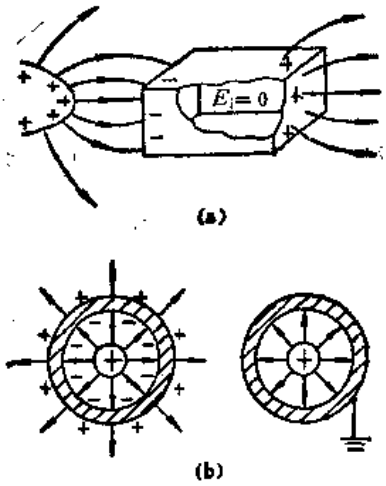


图 3-3 静电屏蔽

反之，如果空腔导体内有带电体而产生电场（图3-3b），并将空腔导体外表面接地，则外表面的感应电荷就由于接地而消失，使空腔内带电体的电场不能穿透到外部。这两种情况都叫做静电屏蔽。

3.1.1.5 **绝缘体**

绝缘体是由电介质组成的能阻止传导电流的物体。绝缘体电阻率高于$1\times10^{7}\Omega\cdot m$。

1. 极化和极化强度

在外电场力的作用下，电介质内的正负电荷会在空间位置上发生很小的偏移，形成电偶

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

极子，宏观上破坏电的中性状态，这种现象叫做电介质的极化。极化状态下的电荷叫做极化电荷，也称束缚电荷。

电介质的极化强度 P 与电介质的合成场强 E 保持以下关系

$$P = x\varepsilon_0 E \tag{3-10}$$

式中 x——电介质极化率；

ε_0——真空介电常数，$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-2}\text{F/m}$。

2. 电位移

是考虑电介质极化时描述电场的一个物理量，它和电场强度的关系是

$$D = \varepsilon_0 E + P = (1 + x)\varepsilon_0 E,\ \text{c/m}^2 \tag{3-11}$$

3. 介电常数

决定于电介质极化特征，联系 D 和 E 的一个系数，一般表达式为

$$\varepsilon = (1 + x)\varepsilon_0,\ \text{F/m} \tag{3-12}$$

在各向同性的线性电介质中，ε 为常数，并保持下列关系

$$D = \varepsilon E \tag{3-13}$$

ε 与 ε_0 的比值称相对介电常数，即

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \tag{3-14}$$

3.1.1.6 高斯定理

1. 真空中的高斯定理

在真空中，穿出闭合面的 E 通量等于该面内所有电荷的代数和与真空介电常数 ε_0 的比值，而与闭合面的形状和在闭合面内外电荷的分布无关。这一定理称为高斯定理。其数学表达式为

$$\oint_s E \cdot \mathrm{d}S = \frac{q}{\varepsilon_0} \tag{3-15}$$

式中 E——闭合面上任一点的电场强度；

$\mathrm{d}S$——该点上面积元。

2. 介质中的高斯定理

电介质的电场可视为自由电荷与极化后形成的束缚电荷一同在真空中产生的电场。有电介质时高斯定理可以写成

$$\oint_s E \cdot \mathrm{d}S = \frac{q + q'}{\varepsilon_0} \tag{3-16}$$

式中 q——闭合面内自由电荷的代数和；

q'——闭合面内束缚电荷的代数和。

经过变换，上式可改写为

$$\oint_s D \cdot \mathrm{d}S = q \tag{3-17}$$

这就是说，在任何电场中，通过任一闭合面电位移矢量的通量或 D 通量等于该闭合面内存在的自由电荷的代数和。

3.1.1.7 电容

1. 两导体的电容

是表示两导体带电能力的物理量。如图 3-4，两导体间的电压为 U，则每一导体上的电

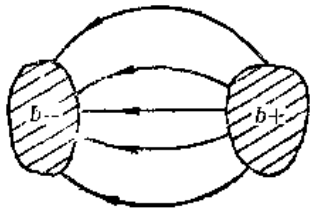


图 3-4 两导体的电容

量为

$$Q = CU \tag{3-18}$$

如果导体间的电介质是线性的，则Q与U保持正比关系。其比例常数就是电容C。

电容C与介质的性质和分布有关，还与导体的形状、大小、相互位置有关。

电容的单位是C/V，即法拉（F），简称法。在实际应用中，常用微法（μF）、微微法（$\mu\mu$F或pF）作为单位。

如果把组成电容的导体之一移至无限远，电容就变为某导体的电荷与其电位的比值，通常称之为孤立导体的电容。

2．部分电容

对于（$n+1$）个导体，0号导体为参考导体，第k个导体的电量可用下式表达：

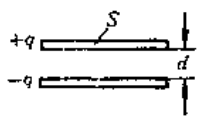
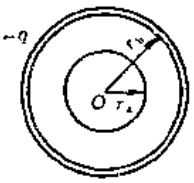
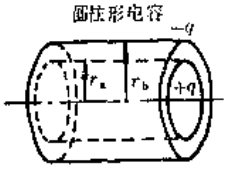
$$q_k = C_{k1}U_{k1} + C_{k2}U_{k2} + \cdots + C_{k0}U_{k0} + \cdots + C_{kn}U_{kn} \tag{3-19}$$

式中，U_{k0}称自有部分电容、C_{k1}、$C_{k2}\cdots C_{kn}$称互有部分电容。

3．电容计算

几种典型结构的电容计算公式列于表3-2。

表 3-2 几种典型结构的电容计算公式

结构形式	电容值（电介质的电容率为ε）
平板电容  	$C = \frac{\varepsilon S}{d} F$ 式中 S——极板面积，m^2； d——极板间的距离，m
球形电容  	$C = \frac{4\pi\varepsilon r_a r_b}{r_b - r_a} F$ 式中 r_a、r_b——分别为内球外表面与外球内表面的半径，m； 若$r_b \to \infty$，则半径为r_a的孤立导体球的电容为 $C = 4\pi\varepsilon r_a$
圆柱形电容  	$C = \frac{2\pi\varepsilon l}{\ln \frac{r_b}{r_a}} F$ 式中 l——电容器长度，m； r_a、r_b——分别为内柱外表面与外柱内表面的半径，m

电容的串联与并联列于表3-3。

3.1.1.8 静电场能量

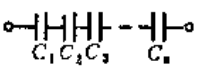
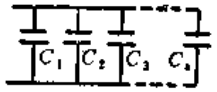
1．能量

指静电场中储存的能量。静电场能量表现为电场力能推动带电体发生机械运动而作功。

对于两导体系统，如两导体分别带有电荷$+Q$与$-Q$，则电场能量为

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 3-3 电容的串联与并联

接法	接线图	等值电容 C
串联		$C=\dfrac{1}{\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\cdots+\frac{1}{C_n}}$
并联		$C=C_1+C_2+C_3+\cdots+C_n$

$$W_e=\frac{1}{2}QU=\frac{1}{2}CU^2=\frac{1}{2}\frac{Q^2}{C},\ \text{J} \tag{3-20}$$

式中 U——两导体间的电压，V；

C——两导体的电容，F。

对于既有体电荷又有面电荷的一般情况，静电能量为

$$W_e=\frac{1}{2}\int_v\rho\varphi\mathrm{d}V+\frac{1}{2}\int_s\sigma\varphi\mathrm{d}S \tag{3-21}$$

式中 ρ、σ和φ——体电荷密度、面电荷密度和电位。

2. 能量密度

电场能量密度即单位体积中的电场能量。电场能量密度可用场量E和D按下式计算：

$$W_e=\frac{1}{2}E\cdot D \tag{3-22}$$

由此可得到电场能量的另一表达式：

$$W_e=\int_v W_e\,\mathrm{d}V=\frac{1}{2}\int_v E\cdot D\mathrm{d}V \tag{3-23}$$

3.1.2 专用名词术语

3.1.2.1 物质静电特征参数

1. 体积电阻率

单位横截面积，单位长度的电阻。单位欧·米（Ω·m）或欧·厘米（Ω·cm）。

2. 表面电阻率

一个正方形相对两边之间的电阻。单位是欧（Ω）。

3. 电导率

电阻率的倒数，表明物质导电能力的参数。单位是西/米（S/m）。

4. 静电导体

体积电阻率$1\times10^6\,\Omega\cdot$m或表面电阻率$1\times10^7\,\Omega$以下，不将其绝缘起来就不会聚集静电荷的物体。

5. 静电非导体

即静电绝缘体，指体积电阻率$1\times10^{10}\,\Omega\cdot$m或表面电阻率$1\times10^{11}\,\Omega$以上，能积累大量静电荷的物体。

6．静电亚导体

指体积电阻率介于 $1\times10^{8}\Omega\cdot m\sim1\times10^{10}\Omega\cdot m$、表面电阻率 $1\times10^{10}\sim1\times10^{11}\Omega$ 之间的物体。

7．介电常数

见3.1.1.5之3。一些气体、液体的相对介电常数和电导率见表3-4；一些固体的相对介电常数和电阻率见表3-5。

表 3-4 气体、液体的相对介电常数和电导率

名称	相对介电常数	电导率（s/m）	名称	相对介电常数	电导率（s/m）
空气	1.00059	10^{16}	三氯甲烷	4.9 (20)	$<1\times10^{-8}$ (25)
氮	1.00058	—	甲烷	32.63 (25)	1.5×10^{-7} (25)
二氧化碳	1.00098	—	己烷	1.89 (20)	1×10^{-15} (18)
氢	1.00026	—	丙醛	18.5 (17)	1×10^{-2} (25)
乙醇	24.30 (25)	1.35×10^{-7} (25)	苯乙醚	4.22 (20)	$<1.7\times10^{-9}$ (25)
醋酸乙酯	6.02 (25)	1.0×10^{-7} (25)	二硫化碳	2.64 (20)	7.8×10^{-16} (18)
甲苯	2.379 (25)	1×10^{-13} (25)	醋酸	6.15 (20)	6×10^{-7} (25)
苯	2.248 (20)	3.8×10^{-12} (20)	丙酮	20.7 (25)	4.9×10^{-7} (25)
水	28.54 (25)	4.15×10^{-9} (18)	二氯乙烷	10.4 (25)	4.0×10^{-9} (25)
乙醚	21.1 (21)	1.20×10^{-4} (0)	二氯乙烯	9.20 (25)	8.5×10^{-7} (25)
苯胺	7.06 (20)	2.4×10^{-8} (25)	四氯化碳	2.24 (20)	4×10^{-16} (18)
硝基苯	34.82 (25)	2×10^{-8} (25)	环己烷	2.05 (20)	1.9×10^{-13} (20)

注：括号内为试验温度。

8．击穿强度

绝缘物在强电场作用下，发生急剧破坏的最小电场强度。

部分气体、液体、固体的击穿强度见表3-6、表3-7、表3-8。

9．逸出功

又叫脱出功或功函数，是从物质上拉出一个电子所需外界做的功。逸出功常以电子伏特为单位。

10．双电层

两种物质紧密接触，其间距离小于25×10^{-8}cm时，发生电子转移，界面两侧出现大小相等、符号相反的一组电荷层。

11．接触电位差

两种物质接触面上双电层之间的电位差。

12．静电起电序列

按照两种物质接触起电的特征，把接触时带正电的依次排在前面、把接触时带负电的依次排在后面构成的物质序列。

下面是两个典型的静电起点序列：

（1）（+）玻璃-头发-尼龙-羊毛-人造纤维（螺萦）-绸-醋酸人造丝-奥纶（聚丙烯腈短纤维）棉混纺-纸浆和滤纸-黑橡胶-涤纶（三菱）-维纶（聚乙烯醇缩甲醛纤维）-沙纶-达可纶（聚酯纤维）-涤纶（*Ic*，*c*）-电石-聚乙烯-可耐可纶-赛璐珞-玻璃纸（赛璐玢）-聚氯乙烯-聚四氟乙烯（-）

（2）（+）乙基赛璐珞-酪朊-帕司派克司-塔夫诺尔-硬橡胶-醋酸赛璐珞-玻璃-金属-

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 3-5 固体的相对介电常数和电阻率

名　　称	相对介电常数	体积电阻率（Ω·m）	表面电阻率（Ω）
云　母	4～7	1×10^{11}～1×10^{15}	—
玻　璃	3.6～10	1×10^{11}～1×10^{14}	—
陶　瓷	4～6	1×10^{11}～2×10^{12}	—
钛陶瓷	30～90	1×10^{10}～1×10^{12}	—
石　棉	3.0～3.5	1×10^{8}～1×10^{11}	—
硫　磺	2～4.2	1×10^{15}～1×10^{19}	—
硫化天然橡胶	2.5～4.6	1×10^{13}～1×10^{17}	—
氯丁橡胶	7.5	1×10^{8}～1×10^{10}	—
丁苯橡胶	2.9	1×10^{8}	—
硅橡胶	3～3.5	1×10^{12}～1×10^{15}	—
异丁橡胶	3～4	1×10^{13}～1×10^{14}	—
氯化聚乙烯	6～8	1×10^{12}	—
石　蜡	1.9～2.5	1×10^{8}～1×10^{17}	—
松　香	2.6～3.5	1×10^{12}～1×10^{14}	—
环氧树脂	3.4～5.0	1×10^{14}～1×10^{15}	—
苯酚树脂	4.0～8.4	1×10^{9}～1×10^{14}	—
聚酯树脂	2.8～8.1	1×10^{12}	—
聚苯乙烯	2.4～2.65	$>1\times10^{14}$	1×10^{15}～1×10^{18}
聚甲醛	3.7～3.8	$>1\times10^{14}$	$>1\times10^{14}$
聚甲基丙烯酸甲酯	3.5～4.5	$>1\times10^{14}$	$>1\times10^{15}$
尼　龙	3.9～5.0	1×10^{10}～1×10^{15}	$>1\times10^{14}$
聚乙烯	2.25～2.35	$>1\times10^{18}$	—
赛璐珞	3.3～11	1×10^{8}～1×10^{10}	—
醋酸纤维素	4.0～6.0	1×10^{4}～1×10^{13}	—
硝酸纤维素	7.0～7.5	1×10^{13}	—
聚氯乙烯	2.4～2.65	$>1\times10^{14}$	—
聚四氟乙烯	2.0	$>1\times10^{18}$	—
聚丙烯	2.25	1×10^{14}	—
丝　绸	1.3～2.0	1×10^{7}～1×10^{12}	—
木　材	2.3	2.5×10^{10}	—
纸	1.2～2.6	1×10^{5}～1×10^{10}	—

表 3-6 气体电介质的击穿场强　　(kV/cm)

气体种类	击穿场强	气体种类	击穿场强
空　气	35.5	一氧化碳	45.5
氢	15.5	氨	56.7
氧	29.1	甲　烷	22.3
氮	38.0	丙　烷	37.2
二氧化碳	26.2	乙　炔	76.2

聚苯乙烯-聚乙烯-聚四氟乙烯-硝酸赛璐珞（-）

13. 静电火花能量

静电放电时由放电火花释放出来的能量。

14. 静电放电

指静电电荷通过气体、液体等介质进行的迅速中和现象。气体放电是由于碰撞电离发展

表 3-7 液体电介质的击穿场强 (kV/cm)

液体名称	击穿场强	液体名称	击穿场强
乙醇	700～800	硝基苯	1300
四氯化碳	1600	甲苯	1300
二硫化碳	1400	二甲苯	1500
丙酮	640	氯仿	1000
苯	1500	变压器油	1000

表 3-8 固体电介质的击穿场强 (kV/cm)

固体名称	击穿场强	固体名称	击穿场强
云母	200～2000	石蜡	200～300
有机玻璃	130～400	橡胶	100～300
瓷	200～280	聚乙烯	180～280
绝缘纸	80～500	聚氯乙烯	160～200
绝缘漆	200～1200	塑料	30～290

成电子崩的结果。气体放电包括电晕放电、刷形放电和火花放电。沿固体表面可发生闪络，即沿面放电。此外，如空气中有悬浮的带静电荷粒子，还可能发生雷状放电。

15. 静电泄漏

指静电电荷沿绝缘体体积或表面进行的缓慢的中和现象，是静电电荷通过传导形式的消散。

16. 时间常数

液体或固体上的电荷或电位泄漏至初始值的$\frac{1}{e}$时所需的时间（e为自然对数的底）。时间常数用τ表示，单位为秒，且

$$\tau = \varepsilon\rho \tag{3-24}$$

式中 ε——介电常数；

ρ——电阻率。

17. 半衰时间

液体和固体上的电荷或电压泄漏至初始值的1/2所需的时间，其大小为0.693τ。

18. 静置时间

带电体所带静电泄漏至某一比较安全的范围以内时所需要的时间。

19. 流动电流

系随液体流动的电荷形成的电流。

20. 电动电势

即ζ电势，系固体与液体接触时，液体滑切面上的电位。

21. 面电荷密度

带静电导体的表面单位面积上的净电荷量。

22. 体电荷密度

固体或液体的单位体积上的净电荷量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

23. 荷质密度

单位质量的物质所携带的净电荷量。

3.1.2.2 静电灾害名词术语

1. 静电引燃

当带静电体附近的电场强度超过介质的击穿场强时，即发生静电放电。火花放电、传播型刷形放电、刷形放电等静电放电都可能具有足够的放电能量和功率，引燃所在空间的爆炸性混合物。这种由静电火花导致的燃爆即静电引燃。

2. 静电电击

指发生在人体与其它物体之间的静电放电对人体造成的冲击式电击。静电电击可发生在带静电人体与接地导体或其它导体之间，也可发生在带静电物体（包括带静电绝缘体）与人体之间。静电电击可能给人以短促、强烈的打击，并由此引起二次事故。

3. 静电妨碍生产

由于静电力（库仑力）的吸引与排斥作用，高强度静电场的击穿作用以及各种静电放电的干扰等破坏作用，均能影响正常生产，如降低产品质量，降低生产效率，妨碍正常操作，损坏电子元器件，造成电子装置误动作等。

4. 电晕噪声

指由带电体尖端发出电晕放电时产生的噪声。负极性尖端较正极性尖端的电晕噪声强。电晕噪声频带宽，中心频率约为 1 MHz/s。电晕噪声可能妨碍无线电设备、通讯设备的正常工作。此外，电晕放电时产生的臭氧、氧化氮有损伤某些有机材料的作用；放射的电磁波亦可能危害人体健康。

5. 静电斑痕

指由于不同类型的静电放电在感光胶片等材料或制品上留下的曝光或烧伤痕迹。

3.2 静电产生、放电和引燃

3.2.1 静电产生的基本方式

生产过程中静电电荷的主要来源是接触起电。处于绝缘状态的两种不同材料紧密接触而后迅速分开时，将分别带有等量异性电荷。导体能由其周围的一个或一些带电体感应带电。物体也可通过其它物体的电荷迁移或离子流的冲击而直接带电。

3.2.1.1 接触起电

接触起电可发生在固体-固体、液体-液体或固体-液体的分界面上。气体不能由这种方式带电，但如果气体中悬浮有固体颗粒或液滴，则固体颗粒或液滴均可以由接触方式带电，以致这种气体能够携带静电电荷。

两种不同的固体紧密接触其间距离小于25×10^{-8}cm时，少量电荷从一种材料迁移到另一种材料上，于是两种材料带异性电荷，材料之间出现 1 V 量级的接触电位差。将两材料分离时，必须做功以克服异性电荷之间的吸引力，同时，两种材料之间电位差也将增大。在分离过程中，若还有一些接触，这个增大的电位差有将电荷跨过分界面拉回的趋势。若是两种导体，在分离时电荷完全复合，每一导体带电都为零。如果一种材料或两种材料都是非导体，则不能完全复合，分开的材料上会保留部分电荷。因为接触时两表面间的空隙极小，所以，尽管保留的电荷量极小，但在分离后两表面之间的电位差很容易达到数千伏。如果将相接触

的两材料互相摩擦，分离后带电将会增加。

液体的接触带电主要取决于离子的出现。一种极性的离子（或粒子）吸附于分界面上，并吸引极性相反的离子，于是在邻近表面处形成一个电荷扩散层。当液体相对分界面流动时，就将扩散层带走，产生异性电荷的分离。同固体中的情况一样，只要液体的非导电性以阻止电荷复合，分离时将因作功而产生高电压。这种过程在固体-液体和液体-液体交界面都会发生。

3.2.1.2 破断起电

不论材料破断前其内电荷分布是否均匀，破断后均可能在宏观范围导致正负电荷分离，即产生静电。这种起电即破断起电。固体粉碎、液体分裂过程的起电都属于破断起电。

3.2.1.3 感应带电

任何带电体周围都有电场，放入此电场中的导体能改变周围电场的分布；同时在电场作用下，导体上分离出极性相反的两种电荷。如果该导体与周围绝缘则将带有电位，称为感应带电。由于导体带有电位，加上它带有分离开来的电荷，因此，该导体能够发生静电放电。

3.2.1.4 电荷迁移

当一个带电体与一个非带电体相接触时，电荷将按各自电导率所允许的程度在它们之间分配。这就是电荷迁移。当带电雾滴或粉尘撞击在固态物体上（如静电除尘）时，会产生有力的电荷迁移。当气体离子流射在初始不带电的物体上时，也会出现类似的电荷迁移。

3.2.2 影响静电产生的因素

静电产生受物质种类、杂质、表面状态、接触特征、分离速度、带电历程等因素的影响。

3.2.2.1 物质种类

相互接触的两种物体材质组合不同时，界面双电层和接触电位差亦不相同，起电强弱也不同。在静电序列中相隔较远的两种物体相接触产生的接触电位差较大。

3.2.2.2 杂质

一般情况下，混入杂质有增加静电的趋向。但如杂质降低原有材料的电阻率，则加入杂质将有利于静电的泄漏。

由于静电产生多表现为界面现象，所以，当固体材料表面被水及其它污物污染时会增强静电。

3.2.2.3 表面状态

表面粗糙，使静电增加；表面受氧化也使静电增加。

3.2.2.4 接触特征

接触面积增大、接触压力增大都可使静电增加。

3.2.2.5 分离速度

分离速度越高，所产生静电越强。所产生静电大致与速度的二次方成正比。

3.2.2.6 带电历程

带电历程会改变物体表面物性，从而改变带电特征。一般情况下，初次或初期带电较强，重复性或持续性带电较弱。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3.2.3 静电积聚和放电

3.2.3.1 静电积聚

1．积聚

绝缘体带电后由于材料本身的高电阻而使电荷保持在绝缘体上；被绝缘的导体也将使电荷保持在导体上，二者均称为静电的积聚。

通常情况下，纯净的气体是绝缘体，因此悬浮状态的颗粒云、液滴云或雾都能将它们的电荷保持很长的时间而与其自身的电导率无关。

2．泄漏

在所有情况下，电荷以一定速率泄漏，其速率由系统内绝缘体的电阻决定。因此系统危险程度直接决定于该系统的电阻、电阻率或电导率的大小。

静电泄漏是按指数规律进行的。其电量（或电位）随时间的变化按下式确定

$$Q = Q_0 e^{-\frac{t}{Rc}} \tag{3-25}$$

式中 Q_0——泄漏开始前的电量，C；

R——泄漏电阻，Ω；

C——带电体电容，F；

t——从开始泄漏的时间，s；

Rc——时间常数，s。

如果材料是均匀的，时间常数可用介电常数和电阻率表示，即

$$\tau = RC = \varepsilon\rho \tag{3-26}$$

这时，电量可表示为

$$Q = Q_0 e^{-\frac{t}{\varepsilon\rho}} \tag{3-27}$$

3．电位

在许多工业生产过程中，静电连续产生，并积累在一个孤立的导体上。例如，稳定的带电液体或粉体，流入一个孤立金属容器时就是如此。孤立导体上的电位是电荷的输入速率与泄漏速率平衡的结果，其等效电路如图 3-5 所示。其电位和电量也是按指数规律变化的。其电位由下式给出

$$U = IR[1 - e^{-\frac{t}{Rc}}] \tag{3-28}$$

式中 U——导体的电位，V；

C——导体的电容，F；

R——对地泄漏电阻，Ω；

I——静电充电电流，A；

t——从充电开始的时间，s。

当 t 很大时，达到最大电位为

$$V_{max} = IR \tag{3-29}$$

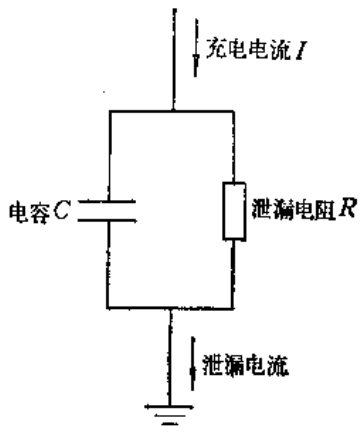


图 3-5 带静电导体的等效电路

3.2.3.2 静电放电

积聚在液体或固体上的电荷，对其它物体或接地导体放电时可能引起灾害。静电放电在形式上和引燃能力上有很大差别。

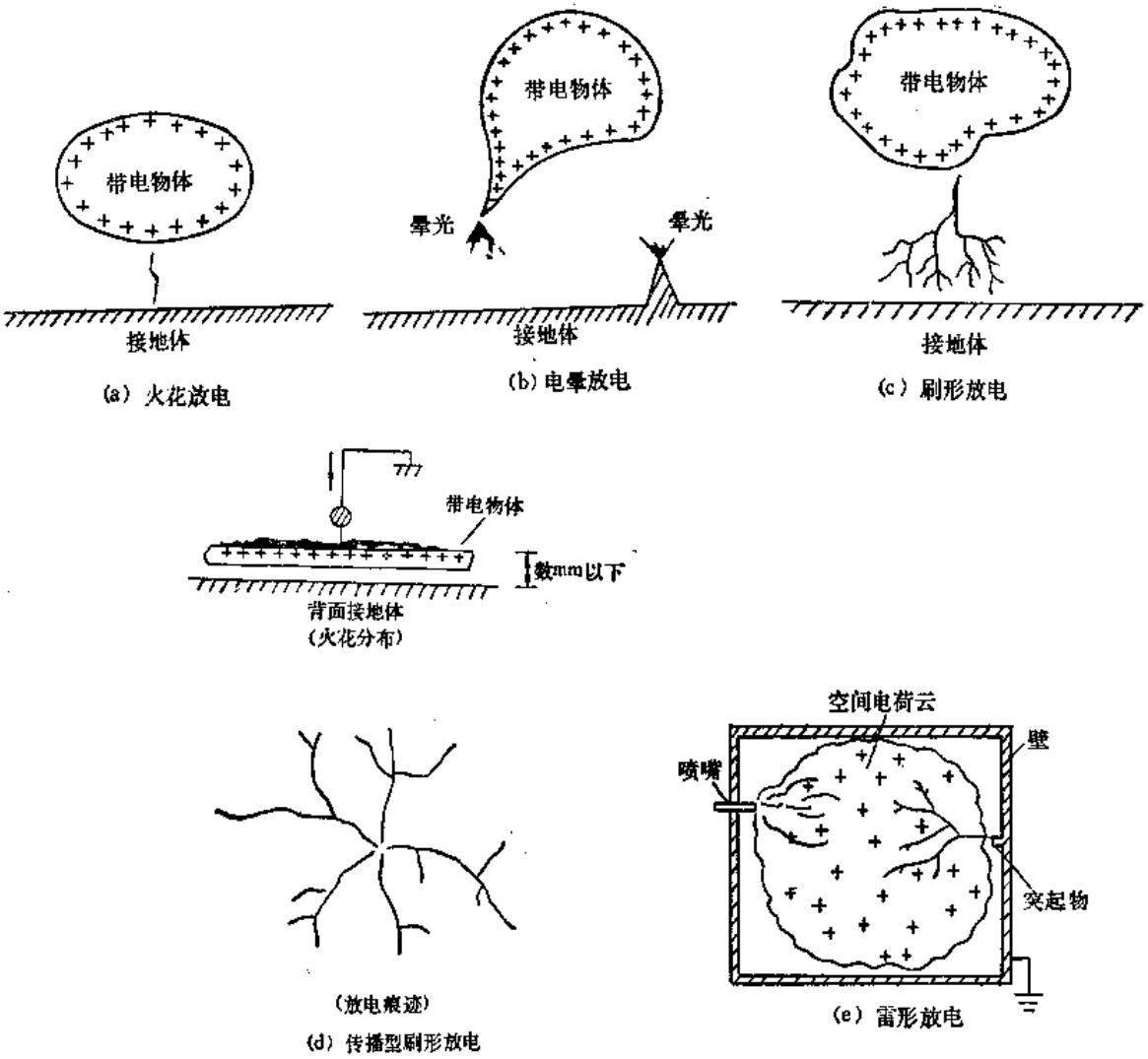


图 3-6 静电放电

图3-6绘制了几种常见静电放电的火花形状。

1. 火花放电

火花放电是发生在液态或固态导体之间的放电。其特征是有明亮的放电通道，通道内有密度很高的电流，整个通道内的气体完全电离。放电很快且有很响的爆裂声。

两导体之间的电场强度超过击穿强度时就会发生火花放电。对于平板或曲率半径很大的面，如果间隙为10mm或10mm 以上，击穿强度约为 3×10^3kV/m；如果间隙减小，击穿强度略略增大。

因为发生放电的是导体，所以所有电荷几乎全部进入火花，即几乎火花消耗掉所有静电能量。图3-5所示等效电路的火花能量为

$$W=\frac{1}{2}QU=\frac{1}{2}CU^2,\quad J \tag{3-30}$$

式中 Q——导体上的电量，C；

U——导体的电位，V；

C——导体的电容，F。

这是能量的最大值。如果导体和大地之间的放电通路上有电阻，火花能量将小于该值，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

但火花延续时间较长。表3-9中给出一些典型导体的电容值。

表 3-9 典型电容

物　　体	电　容　(μμF)
小金属器具（勺子、喷嘴）	10～20
小容器（水桶、50L圆桶）	10～100
中型容器（250～500L）	50～300
大型工厂器材（反应室）直接或接地体围线	100～1000
人　体	100～300

下面是一个放电火花能量计算例子。从磨具上落下来的粉末流入一个未接地的金属圆筒。如取电流$I=1\times10^{-7}$A，取圆筒对地的泄漏电阻$R=1\times10^{12}\Omega$，圆筒电容$C=50\mu\mu$F，则圆筒上的最高电位为

$$U_{max}=IR=100\text{kV}$$

放电火花释放的最大能量将是

$$W_{max}=\frac{1}{2}CU^2_{max}=250\text{mJ}$$

产生100kV电位时圆筒内的电量为

$$Q_{max}=CU_{max}=5\times10^{-6}J$$

2．电晕放电

当导体上有曲率半径很小的尖端存在时，则发生电晕放电。电晕放电可能指向其它物体也可能不指向某一特定方向。

电晕放电时，尖端附近的场强很强，尖端附近气体被电离，电荷可以离开导体；而远离尖端处场强急剧减弱，电离不完全，因而只能建立起微小的电流。电晕放电的特征是伴有“嘶嘶”的响声，有时有微弱的辉光。

电晕放电可以是连续放电，也可以是不连续的脉冲放电。电晕放电的能量密度远小于火花放电的能量密度。在某些情况下，如果升高尖端导体的电位，电晕会发展成为通向另一物体的火花。

3．刷形放电

刷形放电发生在非导体和导体之间，是自非导体上许多点发出短小火花的放电。每个火花由非导体表面能够流进其内的电量来决定。其放电总体经常有刷子似的形状。如果导体很尖，导体处的放电将具有电晕放电那样向前扩展的特征。

刷形放电的局部能量密度可能具有引燃能力。实验结果表明，释放的能量一般不超过4mJ。

当高电阻率绝缘薄膜背面贴有金属导体、薄膜两平面带有异性电荷时，薄膜被极化，处于类似已充电电容内的电介质状态。如果一个导体从另一面接近非导体表面，则总的静电场将促使表面上大面积的电离。这时非导体表面较大面积上的电荷会通过周围的电离了的气体快速流向初始放电点，构成所谓传播型刷形放电。这种放电是沿绝缘表面进行，并能形成能量很大的密集火花，有时是很危险的。

4．场致发射放电

是从物体表面发射出电子的放电。其放电能量很小，因此只有在涉及敏感度很高的易爆物品时才需要重视。前边介绍的几种放电，都决定于高场强带来的气体电离，与场致发射放电的电离过程不同。当两导体表面接近至其间距离在10^{-3}mm以下、两导体间的电位差达50V时，可观察到场致发射放电发生。这时的场强超过5×10^{4}kV/m，比通常的放电场强3×10^{3}kV/m大得多。

5. 雷形放电

当悬浮在空气中的带电粒子形成大范围、高电荷密度的空间电荷云时，可发生闪雷状的所谓雷形放电。受压液体、液化气高速喷出时可能发生雷形放电。雷形放电能量很大，引燃危险也很大。

3.2.4 静电引燃

3.2.4.1 引燃能量

静电放电能否引燃易燃混合物，取决于混合物的成分和温度、放电能量以及能量随时间的分布和在空间的分布。引燃源经常是导体的火花放电。因此，火花放电通常被用来测试引燃能量。通常，选取试验电压为10kV。如图3-7中的曲线所示，对于一种给定的可燃物，能够使其引燃的最小能量是其在空气中浓度的函数。对应于曲线最低点的能量即最小引燃能量。最小引燃能量可以测量。

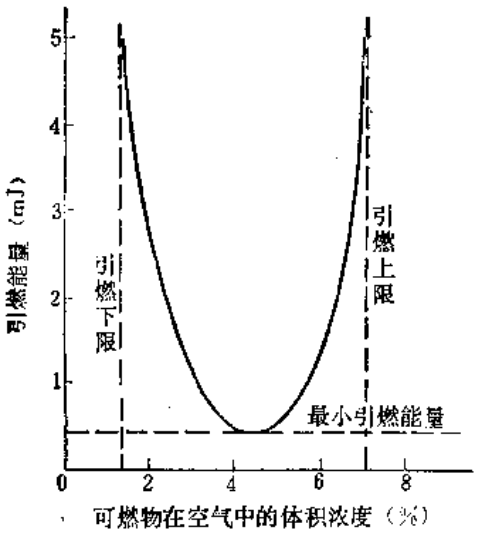


图 3-7 引燃能量与可燃物浓度的关系

大多数有机蒸气和烃类气体的最小引燃能量都在0.01mJ至0.1mJ之间。乙炔和氢在空气中的最小引燃能量都是0.02mJ左右，而炸药的最小引燃能量可低至0.001mJ。

一些气体、蒸气与空气形成的混合物的最小引燃能量见表3-10，一些粉体与空气形成的混合物的最小引燃能量见表3-11。

由表3-11所列数据可以看出，悬浮状粉尘云的最小引燃能量多为数十mJ；不同种类粉尘的最小引燃能量在很大的范围内变化。粉尘云的最小引燃能量既决定于其化学成分，也决定于其颗粒大小和分布。颗粒减小或细小颗粒所占的比例增加，都会使最小引燃能量降低。某粉尘颗粒线度与最小引燃能量的关系见表3-12。一般应用经200目（75微米）筛网筛分的粉尘来确定粉尘云对引燃的敏感性。

3.2.4.2 放电引燃能力的确定

1. 火花放电

导体的火花放电时间极短、能量又很集中，构成最严重的静电引燃危险。为了确定火花放电的引燃能力，通常可将贮存的静电能量$\left(即\frac{1}{2}CU^{2}\right)$与所考查的可燃物的最小引燃能量直接加以比较。如果放电路径上有电阻，则贮存能量的一部分会耗散在电阻上，且火花延续时间会延长。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 3-10 气体蒸气最小引燃能量 (mJ)

名称	最小引燃能量	名称	最小引燃能量
丙烯腈	0.16	醋酸乙酯	0.46
乙炔	0.019	二乙醚	0.19
乙醛	0.376	二甲醚	0.29
丙酮	1.15	环已烷	0.22
异丁烷	0.52	氢	0.019
乙烷	0.25	甲苯	2.5
乙胺	2.4	二硫化碳	0.009
氨	680	丁烷	0.25
丁酮	0.27	丙醛	0.32
乙烯	0.096	丙烯	0.282
环氧乙烷	0.065	苯	0.20
氯丁烷	1.2	庚烷	0.24
氯丙烷	1.08	甲醇	0.14
醋酸	0.62	硫化氢	0.077
甲烷	0.28	1,3-丁二烯	0.13
丙烷	0.25	已烷	0.24
丙烯乙醛	0.13	异戊烷	0.21
环丙烷	0.17	异辛烷	1.35
环戊烷	0.23	异丙醇	0.65
三乙胺	1.15	氯化丙烷	0.23

表 3-11 粉体最小引燃能量 (mJ)

名称	悬浮状	层积状	名称	悬浮状	层积状
铝	10	1.6	酞酸酐	—	15
铁	20	7	阿斯匹林	25	160
镁	20	0.24	聚乙烯	15～30	—
钛	10	0.008	聚苯乙烯	15	—
锆	5	0.0004	酚醛树脂	10	40
硅	80	2.4	醋酸纤维	10	—
硫	15	1.6	环氧树脂	9	—
硬酯酸铝	10	40	聚甲基丙烯酸甲酯	15	—
聚氯乙烯	40	—	米	40	—
聚丙烯腈	20	—	小麦淀粉	25	—
尼龙	20	—	软木	35	—
人造丝	240	—	砂糖	30	—
橡胶	50	—	大豆	100	—
虫胶	50	—	玉米	50	—
麻	35	—	奶粉	50	—
纸	60	—	棉花	25	—
小麦	40	—	木质素	20	—

2. 电晕放电

电晕放电引燃能力比火花放电的要小得多。因此，电晕放电能够用于感应式静电消除器以消除静电。但在有可燃物出现的场合，系统设计时应考虑其危险性。

3. 刷形放电

来自非导体的刷形放电，由于高绝缘电阻阻碍电荷的流动，所释放能量的速率比较低，

表 3-12 粉尘最小引燃能量与颗粒大小的关系

颗粒线度（μm）	最小引燃能量（mJ）
710～1680	>5000
355～709	250～5000
180～354	50～250
5～179	<50

但刷形放电比电晕放电的引燃能力大。

对于传播型刷形放电，无论有无金属背衬，其引燃能力都很强。

需要精确确定刷形放电的引燃能力时，应当直接用有关的可燃物作引燃试验。对于传播型刷形放电，如果能够估计出贮存在非导体上静电的总能量，可将其与最小引燃能量作比较，以确定放电的引燃能力。

3.2.4.3 引燃界限

1. 导体放电引燃

导体放电通常属于火花放电。火花能量与导体积蓄的静电能量基本相等，即发生火花放电时，静电能量全部用于引燃。因此，可以用混合物的最小引燃能量作为引燃界限。如用导体电位或电量表示，其引燃界限分别为

$$U=\sqrt{\frac{2W_{min}}{C}}$$

$$Q=\sqrt{2CW_{min}}$$

式中 W_{min}——最小引燃能量，J；

C——放电导体间的电容，F。

2. 非导体放电引燃

非导体放电一般是刷形放电和电晕放电。一次放电只能释放带电体积蓄的部分能量。因此，准确的引燃界限是很难确定的。

对于电晕放电和刷形放电，最小引燃能量0.01mJ以下的混合物（如氢和氧的混合物），引燃界限约1kV；最小引燃能量0.01～0.1mJ的混合物（如氢、乙炔与空气的混合物），引燃界限约为8～10kV；最小引燃能量0.1～1mJ的混合物（大部分可燃气体或蒸气与空气的混合物），引燃界限为20～30kV；最小引燃能量1mJ以上的混合物（一般为粉尘混合物），引燃界限为40～60kV。

对于传播型刷形放电，面电荷密度$2.5\times10^{-4}c/m^2$可用作引燃界限。

在电荷分布不均匀，或非导体内带有低电阻率的带静电的局部，或带电体附近有接地导体，或带电情况变化较大的情况下，应降低引燃界限。

3. 空间电荷放电引燃

对于最小引燃能量0.1mJ以下的混合物，电晕放电即认为是有危险的。其引燃界限很低。

对于最小引燃能量0.1～1mJ的混合物，直径（圆筒形的直径和高度；方形的长度、宽度和高度）0.7m以上空间电荷云，可将平均电场强度1kV/cm作为引燃界限。

对于直径（圆筒形和方形同上）1.5m的空间电荷云，可将平均电场强度3～5kV/cm作为引燃界限。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3.2.5 静电放电的生理效应

当人体上发生放电时，人能感觉到的最小火花能量大约为1mJ，亦即相当人体电容约300μF而带有约2.5kV的电位的情况。静电放电时不同人的生理效应是不同的。例如：有些人10mJ能量就可引起肌肉收缩而不适；而另一些人则可承受数百mJ的静电而无严重的肌肉收缩。1000mJ的静电对很多人都具有强烈作用。对于使人们失去知觉的放电，其能量估计为数百J。

因为绝大多数情况下，放电能量都低于100mJ，从而生理上严重的电击是很少的。当然即使不考虑电击本身的危害，也不可忽略放电时的肌肉反应会引起二次事故。例如，通过碰掉工具或通过人的跌倒引起事故等。

当人体电容（放电前电容）为100pF时，人体静电放电电击特征见表3-13。

表 3-13 人体带电与电击强度的关系

人体带电电位 (kV)	电击强度	备注
1.0	完全无感觉	
2.0	手指外侧有感觉，但不疼	发出微弱的放电声
2.5	有针触的感觉，有哆嗦感，但不疼	
3.0	有被针刺的感觉，微疼	
4.0	有被针深刺的感觉，手指微疼	看见放电的晕光
5.0	从手掌到前腕感到疼	从指尖延展放电，发光
6.0	手指感到剧疼，后腕感到沉重	
7.0	手指和手掌感到剧疼，有微麻木感觉	
8.0	从手掌到前腕有麻木的感觉	
9.0	手腕子感到剧疼，手感到麻木沉重	
10.0	整个手感到疼，有电流过的感觉	
11.0	手指感到剧麻，整个手感到被强烈地电击	
12.0	整个手感到被强烈地打击	

人体对地电容多为数十至数百pF。

3.3 静电危害及灾害

3.3.1 固体静电

3.3.1.1 固体带电

绝缘材料正越来越多地用于化工生产设备和构件。例如：用于管道、容器、薄膜、涂层和衬里；还广泛用于橡胶、塑料、胶片等物料的生产。此料材料的体积电阻率和表面电阻率分别超过约$10^{12}\Omega\cdot m$和$10^{12}\Omega$。因此，电荷在其上能保持很长时间（时间常数大于20s左右）。绝大多数合成聚合物属于这类材料。

这类材料很易通过接触起电而带电。例如：流经塑料管的粉体流或液体流，以及薄膜材料在金属滚筒上的传送等。在相互接触的表面上由于摩擦而产生大量电荷。此外，当带电的液体和粉体流入绝缘容器时，使容器带电。

绝缘体电阻率很高，以致其上能够保持的最大电荷量不由传导性决定，而由带电表面附

近的大气之击穿强度决定。理论研究表明，当表面远离接地金属时，对常温常压下的空气，最大面电荷密度大约为30μc/m²。

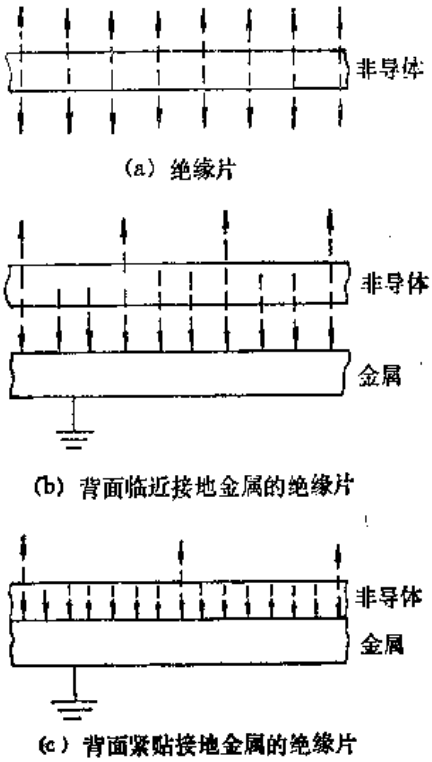


图 3-8 带电的高绝缘体薄膜

对于面积很大的绝缘体薄膜，击穿所需电荷密度决定于是否有接地金属接近或接触。当带电一侧及相对一侧没有金属时，电荷产生的电场大致在两侧等量地垂直向外，即如图 3-8 (a) 所示。当薄膜背面有接地金属时，则引起电场重新分布，大部分电力线指向金属，剩下少量从表面向外，即如图 3-8 (b) 所示。图中，箭头密度表示电场强度的大小。在这种情况下，薄膜能够带上比 30μc/m² 大得多的面电荷密度而不发生放电。当薄膜与金属涂层或衬里相接触时，从表面指向外部的场线更少，即如图3-8(c)所示。这时，不引起放电的电荷密度更大。

3.3.1.2 固体静电危害

绝缘材料的带电给生产带来危害有两方面。其一是由于电场力作用使生产不能顺利进行，例如：印刷业纸张的相吸、纺织业纺丝的不整齐等。其二是对于化工工业生产环境中存在有可燃气体的场合，静电放电可成为引燃引爆的点火源。后者是十分危险的。

绝缘材料带电后，可直接从其表面放电或对接地金属体放电。其放电形式与绝缘材料的形状及接地金属构件的形状等有关。绝缘材料表面的放电一般来说是刷形放电。刷形放电能够引燃最小引燃能量4mJ 以下的可燃混合气体。在有些情况下，最小引燃能量较大的可燃混合气也能被引燃。例如，材料被污染将导致表面导电性增强，于是，污染面积内的电荷会象导体火花放电那样放电，其引燃能力也是很强的。

绝缘材料在进行各种生产加工时，极易带电。例如：薄膜往卷轴上卷绕时，绝缘材料管内输送粉体、液体时等都将使绝缘材料带电。如发生放电即可能引燃可燃混合气体。

除此以外，靠近带电的绝缘材料的组件或产品不接地的金属导体和不接地的人体，都能被感应而带电。带电的导体或人体发生火花放电时，将其贮存的能量全部放出也将是十分危险的。

3.3.2 液体静电

3.3.2.1 液体带电

化工生产中液体的加工工艺是多样的，下面区分不同的运动状态下液体中电荷产生的机理。

1. 单相液体在管道中的流动

液体流经管道时发生电荷分离（见3.2.1.1），且流出管口的液体是带电的。其电荷量大小决定于许多因素，其中之一是流动状态，湍流比层流能产生更多的电荷。对于单相液体层

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

流，产生的电荷与流动速度成正比；湍流时则与流动速度的平方成正比。湍流危险性更大，以下介绍的主要是液体流动为湍流状态下电荷的产生。

对于单相液体，如果电导率足够低，以致能够积累和保持危险的电荷，其流出无限长管道时的电荷密度按如下经验公式计算：

$$\rho \approx 5v \tag{3-31}$$

式中 ρ——电荷密度，$\mu C/m^3$；

v——液体的线速度，m/s。

满足下列关系的管道可以认为是无穷长管道。

$$L > 3v\tau \tag{3-32}$$

$$\tau = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0}{\gamma} \times 10^{12} \tag{3-33}$$

式中 L——管道长度，m；

τ——液体的松弛时间，s；

ε_r——液体的相对介电常数；

ε_0——真空介电常数，$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} F/m$；

γ——液体的电导率，pS/m。

2．液体-液体混合物或液体-固体混合物在管道中的流动

当这些混合物通过管道抽送时，产生电荷的方式与单相液体相同，因为分界面有所增加，产生电荷的速率比单相时大。电荷密度不易计算。

3．液体穿过滤网和过滤器的流动

滤网和网纱是很粗的过滤器，其目数一般小于350目（孔的线度为30μm），它们主要用来滤去液体中的大颗粒。通常情况下，它们不引起静电电流的明显增加。因此，在考虑单相流体时可忽略。如果有第二相存在，它们将加强分散，使系统其它地方电荷量增加。

细孔过滤器会构成高静电发生器。一般情况下，过滤越细密，电荷产生量越大。通过微孔过滤器产生的电流比通过管道产生的电流大几个数量级。液滴离开这种过滤器时的电荷密度多在$10\mu C/m^3$到$5000\mu C/m^3$之间。细孔过滤器的电荷产生量是很难准确预计的，即使同类过滤器也能给出相差很大的结果。

细孔过滤器产生的静电电流决定于液体流动速率、液体电导率、液体中的离子类型，以及决定于过滤器微孔表面状态。通常，产生的电流随流动速率的增大而增大。当液体电导率很低时（0.1pS/m），随液体电导率的增加，产生的电流起伏也增大。其原因在于随着液体电导率的增加，液体中离子浓度增大。当液体电导率较高时，由于松弛，产生电荷的复合过程，使得过滤器中产生的电荷又随液体电导率的继续增加而减小。其原因是由于自然条件及液体内离子浓度的千差万别，以及液体与过滤器微孔分界面的复杂性，通过过滤中产生电流量很难预测。

4．固体或液体向液体内的注入

任何注入过程（例如水向烃类液体中的注入过程）都产生电荷，这种产生电荷的过程非常复杂。液相的电导率的降低将阻滞松弛作用，从而促进注入时电位升高。

5．液注的飞溅

当液体从管口流出注入贮存容器时，有两个过程将会产生带电的雾云。

（1）当液注分裂成液滴，则在管路内产生的电荷将分散到各液滴上，从而形成带电

雾云。

（2）如果液注喷到障碍物上，在接触部位能产生额外的电荷，从而使形成的雾云带更多的静电。其电位既决定于障碍物表面的特征和清洁度；又决定于液体内离子的类型和浓度。一般情况下，液体的导电性越好，电荷的产生量越大。例如：水的喷注比油的喷注产生的电量大，但水油混合物能够产生比二者都大的电荷量。

6．喷嘴的液滴喷射

从喷嘴喷出的雾气流将会大量带电。首先管道内侧液层受气流切向力的作用被解体为许多液滴，以及液滴沿管道内表面运动，均使喷出的液滴带电。电量的大小将决定于液体的电导率和气体速度等因素。

7．搅拌和混合

容器内液体的任何运动部位产生静电，电量大小决定于液体电导率和液体与同它相接触的固体表面之间的相对运动。因其湍流较小，产生的电荷量一般远小于液体流经管道或细孔过滤器时产生的电荷量。但在某些混合过程中也会发生灾害。

3.3.2.2 液体静电危害

液体流动分离出的电荷有复合趋势，但是对低电导率液体则能够保持电荷不被复合。液体送入接地金属容器后，电荷泄漏快慢决定液体时间常数τ。一般认为：在许多场合，如果液体的电导率大于50pS/m，即大致相当于其时间常数为0.35s，不可能积累能引起灾害的电荷量。醇类、酮类、所有重油（含有残余物）、原油都属于这类液体。煤油、汽油等轻油的电导率通常低于50pS/m，能保持相当大的电量。

当液体带电时，电场存在于其内部及其周围空间，当这些场强足够高时，就会发生放电。一般来说，发生在液体内部的放电没有引燃危险，但可以引起化学变化。这种变化能改变液体的性能或引起有关设备的腐蚀。

空气中的放电是有危险性的。油罐内部液面与接地罐壁或其它金属构件之间的场强超过击穿强度时，即发生放电。放电能量的大小及引燃的可能性，也是很难估计的。

对地电阻$10^6\Omega$以上的导体或非导体在带电液体的作用下可以带电，一旦发生放电，危险性极大。这种情况如：

（1）低电导率液体流经绝缘导体时，绝缘导体上可能由于与液体相摩擦，或由于带电液体电荷的传递等而产生电荷，如：管路上的绝缘法兰或绝缘管路上的孤立金属部分或整个非导体管路本身带电等。

（2）带电液体倒入不接地的金属罐时，由于感应或电荷的转移使绝缘的金属罐带电。

（3）浸在液体中的导电体，其电位与其所处位置的液体电位相等。例如：取样系统的取样壶、测温器等及液面指示的金属浮子等。

（4）带电云雾向物体上的喷注。例如：气漏旁边的不接地物体。

由此可见，放置在带电液体周围的孤立物体都可能带电，而且是十分危险的。

3.3.3 粉体静电

粉体指颗粒状固体物质。包括微细的粉尘乃至颗粒或碎片。不论是悬浮状态（云状粉尘）还是沉积状态（块结粉尘），都应考虑粉体的静电特征。

3.3.3.1 粉体带电

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

粉体大量产生接触起电。电荷产生量通常是很难预计的。只要粉体与不同的表面相接触，例如在搅拌、研磨、筛滤、倒入过程中，以及空气输送过程中，都可能起电。

悬浮在空气中的粉体所携带电荷量不会超过某一限值。因为在此限值以上，每个颗粒表面的电场强度将足够使其周围的空气电离，从而将电荷泄漏掉。表面场强决定于粉粒大小、形状及表面电荷密度。对于完全分散的粉粒，其能保持的最大表面电荷密度为$10\mu C/m^2$。随着各粉粒相互接近，粉云边界处场强增大，如果发生放电，所带电量总荷将减少。

单位质量粉体携带的电荷称为荷质比。荷质比是解决粉体静电现象的重要参数之一。对于球形粉粒，荷质比由下式求出：

$$q=\frac{3\sigma}{\rho r} \tag{3-34}$$

式中 q——荷质比，$\mu C/kg$；

σ——面电荷密度，$\mu C/m^2$；

ρ——粉粒密度，kg/m^3；

r——粉粒半径，m。

对于悬浮在空气中完全分散的粉体，当σ接近$10\mu C/m^2$时，达到最大荷质比。粉粒较小的粉体能携带较大的电荷量。

根据体电阻率，可分为三类粉体。

（1）低电阻率粉体　体电阻率约$1\times10^6\Omega\cdot m$以下的粉体，例如金属粉末；

（2）中电阻率粉体　体电阻率大致在$1\times10^6\Omega\cdot m$到$1\times10^{12}\Omega\cdot m$的范围内的粉体，例如许多有机粉体；

（3）高电阻率粉体　体电阻率$1\times10^{12}\Omega\cdot m$以上的粉体。

实际上，低电阻率粉体很少存在，即使金属粉体，其氧化膜将也能使其体电阻率增大到可按中电阻率粉体考虑。表3-14给出了中电阻率粉体在不同过程中带电状况的实测数据。

表 3-14　中电阻率粉体产生的静电

操　作	荷质比（$\mu C/kg$）
筛　滤	$10^{-2}\sim10^{-5}$
倾　倒	$10^{-1}\sim10^{-3}$
纸带传送	$1\sim10^{-2}$
研　磨	$1\sim10^{-1}$
致　微	$10^{2}\sim10^{-1}$

中电阻率粉体结成块状时，其所保持的电荷决定于粉体与大地间的电阻。如果粉体处于接地容器中或与接地的金属部分相接触，则由粉块的体电阻率确定电荷的保持量。粉块的体电阻率包括各粉粒间的电阻。粉块的时间常数由下式给出

$$\tau=\varepsilon\varepsilon_0\rho,\ s \tag{3-35}$$

式中 ε——粉体相对介电常数；

ε_0——真空介电常数，$\varepsilon_0=8.85\times10^{-12}F/m$；

ρ——粉块体电阻率，$\Omega\cdot m$。

对于体电阻率$1\times10^{12}\Omega\cdot m$的粉块，由上式得到时间常数大约为20s。即使不考虑粉粒间的接触电阻，处于中电阻率范围上限的粉体也能将其上电荷保持相当长的时间。

高电阻率粉体所产生的电荷量与其迁移状态有很大的关系。迁移状态指粉体处于悬浮状态还是半结块状态。当粉体块状时，即使与接地金属相接触，也能将其电荷保持数小时甚至数天。在许多场合，粉体保持的电荷量受电场强度制约，因此，其表面电荷密度可以处于$10\mu C/m^2$的量级。

3.3.3.2 粉体静电危害

1．尘云放电

当尘云中带电粒子所产生的场强足够高时，就会发生尘云内部放电或尘云对大地的放电。近期研究表明这些放电为电晕型放电。就目前已有的证据来讲，尘云放电的引燃危险性很小。尘云放电可引燃非常敏感的混合物，如悬浮的微细粉尘或可燃混合气体。

2．结块粉体的放电

随着粉体结块的形成，其电荷密度及周围电场强度增大，发生静电放电的几率增加。

对于中电阻率粉体，只要粉体处于接地金属容器内或与接地金属相接触，当粉体相互接触时绝大多数电荷被泄漏掉。在这种情况下，粉体表面的放电不可能引燃最小引燃能量20mJ至30mJ之间的尘云。在非导体容器之内，泄漏缓慢得多，对大地放电构成的引燃危险性较大。

无论容器是否导电，高电阻率粉体进入容器后，电荷都不会通过容器传导而泄漏掉。在集粉点粉粒与容器器壁之间常发生低能空气放电。大容器中可能出现的长距离放电，有较大的引燃能力。

3．固体放电和人体放电

粉体处理系统中的绝缘导体很易通过接触而起电。例如，当粉体流经一段绝缘的金属管道时，管道就能带电且达到很高的电位，能够对地产生大能量的火花放电。不论是处于悬浮状态还是处于堆集状态的粉体都能通过感应方式或通过传递方式使其周围之绝缘导体带电。因此将粉体倒入一个没接地的金属容器能够导致容器的火花放电，放出的电量等价于容器内积累的电荷总量。

一些粉体操作中人体与粉体需紧密接触。例如，粉体的采样，粉体从一个容器往另一个容器的输送等。如果操作人员处于非接地状态，即构成一个绝缘导体，由于感应或电荷传递，人体能积累数量可观的电荷。

3.3.4 气体静电

3.3.4.1 气体带电

纯净气体或气体混合物（例如大气）的运动，产生静电的量是极小的。然而悬浮在气体中的液体或固体颗粒能够产生和携带较多的静电电荷。这些粒子可能是外部物质，如锈皮、水滴，也可能是气体本身的凝聚物，如二氧化碳“干冰”、液化的薄雾或湿汽中的液滴。带电是由粒子的接触起电产生的。分离开的电荷可能留在与气体相接触的各种装备，如管道或喷嘴上。气流也会使其周围的任何孤立导体感应带电。

3.3.4.2 气体静电危害

不论是大型工业吸尘器管嘴的带电，还是细小物品气动传输系统中管道的带电，除非设备由金属制成且保持接地，否则都可能导致可燃气的引燃和人体的强烈电击。粉体的气动输送是气体携带电荷的特例，具有前述粉体静电的特点。

任何含有颗粒物质的压缩气体的逸出或放出都有潜在危险。例如从进出气口、阀门或法兰盘漏缝处喷出的带有水珠或锈末的压缩气体时可产生危险的静电。由于氢和乙炔的最小引燃能量很低，所以只要氢-空气或乙炔-空气混合气含有颗粒物杂质时，装放这些混合气需要格外谨慎。

液化二氧化碳的释放，会导致产生气体和二氧化碳干冰的混合物体。这种混合体能够高

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

度带电。在喷嘴上及气体撞击的绝缘金属导体上曾测到高达几千伏的静电电位。因此，当用二氧化碳用作惰性气体时，如果不采取适当的防范措施就可能产生灾害。液化石油气（例如液态丙烷）快速膨胀时也能形成雾珠。灌装液化石油气瓶时泄漏到大气中的液化石油气是有危险的。

3.3.5 人体静电

3.3.5.1 人体带电

人体的体电阻率很低，可视为导体。当人体穿着绝缘鞋或站在绝缘地板上时，则人体能够通过接触起电而带电。人体也能通过感应而带电，还能与其它带电体接触而被传导带电。最为常见的是由于穿着的衣物带电。常见人体带电过程如下：

（1）人体从椅子上站立起来或擦拭墙壁等过程（最初的电荷分离发生在衣物或其它相关物体外表面，然后，人体由感应带电）。

（2）人体在高电阻率材料制成的地毯等绝缘地板上的走动（最初的电荷分离发生在鞋和地板之间，然后，对于导电性鞋，人体由电荷传递而带电；对于绝缘鞋，人体是因感应而带电）。

（3）脱下外衣时的静电。这是发生在外层衣物与内层衣物之间的接触起电，人体则经过电荷传递或感应而带电。

（4）液体或粉体从人拿着的容器内倒出（该液体或粉体把一种极性的电荷带走，将等量异性的电荷留在人体上）。

（5）与带电材料相接触。如对高度带电粉体取样时的带电。

当存在连续起电过程时，由于电荷泄漏和放电，使得人体最高电位被限制在约50千伏以下。

3.3.5.2 人体静电危害

1．人体火花放电

带电人体贮存的总能量由表达式$\frac{1}{2}CU^2$给出。典型的人体电容在100μμF到300μμF之间。并非所有贮存在人体上的能量都释放在放电火花中，其释放能量的大小决定于放电的环境。当混合物最小引燃能量约小于100mJ时，应采取防范措施。

2．衣物放电

在许多情况下衣物能够带电。如果人体接地，衣物一般不会发生严重的火花放电，因为带电衣物发出的电力线中，只有一小部分指向人体。衣物的放电受材料的电阻率限制，放电的能量也很小。除了最小引燃能量很低的场合，例如氧气很充足或处理易爆物的场合，放电没有危险性。

然而，若将一件衣服脱去，其上的电荷将容易保留且容易发生危险的火花放电。

3.4 静电控制

3.4.1 固体静电控制

3.4.1.1 降低电阻率

许多由聚合材料制成的产品（如橡胶），加入适当的添加剂（如碳黑等），可制成导电

性制品。

防止电荷积聚，以防止产生不良后果所需电阻率决定于不良后果的性质，如所考虑的是粉尘污染还是引燃危险等；同时，还决定于电荷在材料上积累的速率。表面电阻率和体积电阻率分别低于$1\times10^{7}\Omega$和$1\times10^{6}\Omega\cdot m$时，一般认为不产生不良后果（当与易爆物有关联的情形另外考虑）。在许多实用场合，表面电阻率和体积电阻率分别低于$1\times10^{11}\Omega$和$1\times10^{10}\Omega\cdot m$时，在正常的环境条件下可认为是允许的。

3.4.1.2 增大湿度

对于许多材料，包括棉花、醋酸纤维素、纸张、橡胶等，湿度增加能使电阻率明显降低，对于降低静电是很有用的。相对湿度越高，降低静电的效果越好。为防止大量带电，相对湿度应在50%以上；为了提高降低静电的效果，相对湿度应提高到65～70%。但是，许多聚合材料有很强的吸湿性，必须将相对湿度提高到80%甚至90%这样难以达到的高水平，才得以保证电荷向大地的泄漏。

装设专用增湿器、喷射水蒸汽、向地面撒水都能起到增湿的作用。

3.4.1.3 电离

电荷附近大气的电离，有助于高电阻率材料表面上电荷的中和。但在混合物最小引燃能量很低的场合，例如有可燃混合气体存在的场合，应用电离技术应特别小心。这种技术在避免人体遭受电击方面是很有价值的。

电离广泛应用于高电阻薄膜的处理。利用电离原理的以下三种静电消除器都得到了应用。

1. 感应式静电消除器

处于薄膜电场中的接地尖针或导电金属丝产生电晕放电，可为中和薄膜上的电荷提供离子。感应式静电消除器的不足是薄膜上的电位必须高于接地尖针（或细丝）的起始放电电位，消除器才能正常工作。为提高消除器工作效率，应正确安装消除器，即安装在远离接地金属物品部位。感应式静电消除器也可以安全地用于最小引燃能量大于0.2mJ有可燃混合气体的场合，但不能用于有更敏感的气体（如氢）存在的场合。

2. 高压电源式静电消除器

将针上加上高压，针尖处就产生电离。通常将5kV到10kV的工频电压接在一排尖针上。这些静电消除器中，无电击型的可防止人体接触时发生电击；防爆型的可用于可燃气体场合，但应取得国家防爆技术鉴定合格证方才准许使用。

3. 放射源式静电消除器

通过放射源产生电离，其离子电流通常很小。放射性电离本身不产生引燃危险。但也有可能发生对装置的放电。在易燃环境中使用也必须采取防范措施（无源式静电消除器多有此要求）。

为了消除不规则物体上的静电电荷，可采用高压离子风机或放射源离子风机。

3.4.1.4 接地

应特别注意既有金属体，又有高电阻率非导体的系统的接地。系统中的孤立金属部分，如衔接两段非金属管道的一段金属管道、非金属管道内的加固用金属丝、缠绕在管道外层的金属网以及一些被高电阻材料绝缘的金属构件、阀门等不可遗漏。

3.4.1.5 接地金属网的应用

将接地的金属网置于高电阻率材料内或包在高电阻率材料的表面，能起到一定的控制静

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

电的作用。

内部的接地网使得部分电荷流入大地，但对于高电阻材料，电荷迁移率很低，接地网的主要作用在于增大系统对地电容，以增加发生放电所需要的电荷量，并由此提高系统的安全性。

表面的接地网也给电荷提供了流入大地的途径；但对于高度带电的材料，随着电荷向网上转移可能形成电晕放电。在合理设计的系统中，这些放电对大多数可燃性混合物没有引燃危险，但不能排除引燃高敏感度混合物的可能性。

若接地不好，则不论是内部网还是外部网，都可能导致高能量放电。

3.4.2 液体静电控制

3.4.2.1 排除可燃物

可以采取通风或加入惰性气体的方法除去可燃物。浮顶式油罐就是一种除去罐内混合物的油罐。

如果有出现可燃性气体的可能，可采取以下方法防止静电放电：

（1）将包括人体在内的所有导体连成整体并予以接地；

（2）限制静电产生在最低限度；

（3）最大限度地消散静电电荷。

上述方法可单独使用，亦可配合使用。

3.4.2.2 液体电荷产生的控制

1．流动速率

静电荷的产生随液体流动的速率增加而增加。而且，高速流动会冲击第二相物质而增加管道内的静电。为此，注油口应位于油罐底部。在向罐内装入低电导率（电导率小于50pS/m）液体时，如管道内有第二相物质，则流动速率不应大于1m/s。在没有第二相物质存在时，流动速率上限一般不得超过7m/s；但有时限制在2m/s范围内。

石油制品等低电导率液体经管道输送时，其流速与管径之间应满足以下关系：

$$v^2D \leqslant 0.64$$

式中 v——流动速率，m/s；

D——管道内径，m。

酯类、酮类、醇类液体的流速不得超过10m/s；乙醚在管径12mm、二硫化碳在管径24mm的管道内输送时，流速不得超过1.5m/s。

2．顶部喷溅

由低电导率液体自由喷入引起液体在表面上飞溅和撞击是静电带电的重要原因。在油罐内应避免顶部喷溅进油，应采取底部注入或将输油管伸到底部注油的办法。

从油罐上方装油时，为了减小冲击，宜于沿罐壁注油；为了减小喷溅，宜采用图3-9所示斜管口或人字管口注油。

3．搅动和搅拌

应保持低电导率液体与空气、蒸气通过喷嘴的搅动和机械性搅拌在最低限度，因为液体上的雾花可能产生和带有静电。

4．消除不相溶成分

低电导率液体中出现第二相液体时，会大大增加静电的产生。最常见的第二相液体是水。

应尽量消除第二相液体，如尽量减少罐内和管道内的水。

3.4.2.3 液体电荷的泄漏

1．松弛

当液体高度带电时（如流过细孔过滤器以后），绝大部分静电电荷可在松弛容器内泄漏。松弛容器通常是一段大直径的管道，或者是一个小贮罐似的容器。对于电导率2pS/m以下的液体，松弛室内停留时间不应小于3τ。这里，τ为该液体的泄漏时间常数。停留时间一般不应短于30s。对于导电性能更差的液体，停留时间不应短于100s。

2．抗静电添加剂

加入抗静电添加剂，可以将液体电导率提高到50pS/m以上，从而将其泄漏时间常数降低到完全可以消除静电灾害的程度。

3．电离

可采用辐射的方法加强液体表面附近空气的电离，以中和液体内的电荷。但是，实际上几乎不采用这种方法，因为这种方法需要几乎无法接受的大量的放射源，而且只限于减少表面附近液体中的电荷。

管道用感应式静电消除器对消除高流速液体的静电有一定效果。其结构如图3-10所示。

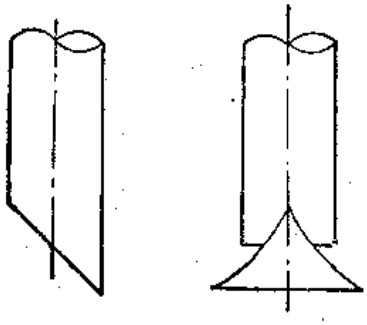


图 3-9 注油管口

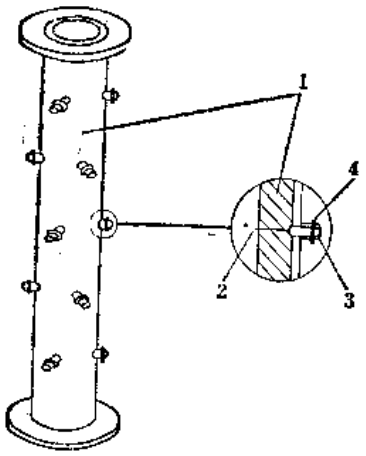


图 3-10 管道用感应式静电消除器

1—长1～2m、直径250mm、壁厚50mm的聚乙烯管；2—半径0.05mm的尖针；3—直径12mm的堵塞；4—定位垫圈

在1m多长的钢管内衬以壁厚50mm、内径与输油管道一致的高绝缘套筒，纵向装设5环电晕针，每环3支，并沿径向错开。电晕针末端固定在钢管上，并将钢管予以接地。

4．操作和设计要点

表 3-15 液体静置时间 (min)

液体电导率(s/m)	容器容积 (m^3)			
	<10	10～50	50～5000	>5000
$>10^{-8}$	1	1	1	1
$10^{-12}\sim10^{-8}$	2	3	10	30
$10^{-14}\sim10^{-12}$	4	5	60	120
$<10^{-14}$	10	15	120	240

在液体输入或吸出贮罐的过程中，不允许取样、不允许用检尺操作。

液体经装入、搅拌等操作后，应静置一段时间才能进行取样、测温、计量等操作。静置时间决定于液体电导率和容器容积。轻质油料等低电导率液体的静置时间见表3-15。铁路槽车和汽车槽车装车完毕，必须静置2分钟以后

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

才能进行取样、测温和计量工作。对于金属贮罐内的单相液体，3τ或100秒即可。如果液体内悬浮有不相溶的第二相物质（如水），松弛时间应在30min 以上，使第二相液体沉降下来，并使沉降电势减弱。

接地的金属投掷物落入罐内也可能导致放电引燃。在液面带有危险静电的情况下，应避免上述投掷过程。

3.4.3 粉体静电控制

3.4.3.1 粉体电荷产生的控制

对于高电阻率粉体，高密度状态（半集结状态）比低密度状态产生的单位静电少。但是，由于粉体处理系统产生的静电受粉体流动性、扩散性等很多因素的影响，实际上很少采用控制电荷产生以减小静电危险的方法。

3.4.3.2 粉体电荷的泄漏

1．增大湿度

正常状态下，空气是非导电体，与相对湿度大小无关。因此，增大湿度对任何粉尘云的静电泄漏是无效的。

提高相对湿度能降低许多粉体的表面电阻率，能使处于接地金属容器中的集结状粉体的静电得到泄漏。不过，对于吸湿性材料，在相对湿度超过70% 的条件下处理粉体是不实际的。

2．电离

悬浮有粉体的气体，能通过电离大大增加其电导率。这种电离可由导体尖端的电晕放电或由放射源产生。实际上，除了偶尔用于防止表面粉尘积累电荷外，这种方法不用于消除粉体静电。由于离子的复合，在范围较大的空间发生电离是很困难的。用这种方法消除静电时，将要中和的电荷总量一般都大于由放射电离系统迁移的电荷量。

当面电荷密度接近10μC/m^2，且电场强度接近击穿场强时，接地的尖端、导电探极或导线附近即发生电晕放电，对于云状粉体即有消电作用。对于高电阻率粉体，位于集结点的探极或导线在粉体进入容器时能使其静电大大降低。如果粉体进入的是非导体容器，接地探极或导线也能为积累的电荷提供一条接地通路，有利于避免传播型刷形放电。

在有烃类气体等最小引燃能量很低的物质存在的场所，大容器内很难避免由细棒或细丝引起足够引燃能量的放电。因此，应该用其它方法，例如，充惰性气体防止引燃。这时，可以用细棒来避免电击。

3．抗静电添加剂

对于粉体，没有像用于降低液体电阻率那样的抗静电添加剂。添加剂可用于固体聚合物，但当这些聚合材料被处理成粉粒时，通常不使用添加剂。

3.4.4 气体静电控制

在所有可燃气处理系统中，主要防范措施是将系统内所有金属设备连成整体，并予以接地。气体能够撞击到的系统外部的金属部件也应连成整体，并予以接地。有可能积聚电荷的地方应避免使用非导体。

3.4.5 人体静电控制

3.4.5.1 消除人体静电

在人体与大地之间通过鞋和地板提供一条导电性途径可以减少人体静电。用于这一目的的鞋有两种，即导电鞋和防静电鞋。只要地板不阻碍电荷的泄漏，两种鞋都是有效的。导电鞋用于没有250V触电危险的场所、防静电鞋用于有250V触电危险的场所。

两种鞋的电阻都随使用时间的延长而增加。鞋底上形成的绝缘层（如油层、蜡层）也会增大鞋的电阻。因此，应该按时检查防静电鞋。

导电地板的表面电阻率一般为10^5～$10^8\Omega$。导电地板材料和导电地板的使用说明应分别在其产品说明书中给出。

3.4.5.2 消除衣物静电

一般情况下，只要人体接地，不论是直接接地还是通过导电鞋、防静电鞋与导电地板接地，人就可以穿上任何材料制作的衣服。但是，有易爆物品的场所例外，因为这种场所可能形成敏感度很高的可燃气混合物。集成电路生产车间也属例外。后面两种情况下，不应该穿着高电阻率材料制作的服装、导电的外衣应接地。用经过抗静电处理的材料或导电材料可制成抗静电衣物。

在有可燃气体混合物或最小引燃能量很小的粉尘云出现的场合不应该脱下衣服。

3.4.6 防静电接地

静电接地的作用是泄放导体上可能集聚的电荷，使导体与大地等电位，使导体间电位差为零。

金属导体应直接接地；体积电阻率$1\times10^{10}\Omega\cdot$m以下、表面电阻率$1\times10^{11}\Omega$以下的非金属体、电导率$1\times10^{-10}$S/m以上的液体应间接接地；体积电阻率$1\times10^{10}$～$1\times10^{12}\Omega\cdot$m，表面电阻率$1\times10^{11}$～$1\times10^{13}\Omega$的非金属体、电导率$1\times10^{-10}$～$1\times10^{-12}$S/m的液体除应间接接地外，还应配合必要的静置时间；而对于体积电阻率$1\times10^{12}\Omega\cdot$m以上、表面电阻率$1\times10^{13}\Omega$以上的非金属体、电导率$1\times10^{-12}$S/m以下的液体，除应间接接地外，还应采取屏蔽、电离等防静电措施。

3.4.6.1 接地基本条件

1．对地电阻（接地电阻）

对地电阻是接地的基本条件。该电阻决定于收集电荷的速率和安全要求。该电阻约制着导体上的电位和储存能量的最大值，即

$$U_{max}=IR\text{和}W_{max}=\frac{1}{2}CU_{max}^2=\frac{1}{2}CI^2R^2$$

当导体上的电位达到一定数值时，电场强度超过大气的击穿强度，火花能量超过可燃物的最小引燃能量，即发生引燃。

最高电位值的限制最为重要。通常操作中，导致引燃性放电的最低电位约为300V。在生产火药的工厂，100V就被认为是危险的。因此，其静电安全泄漏的条件为

$$R<\frac{100}{I},\ \Omega$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 接地判据

判别接地须考虑充电电流。充电电流多在10^{-11}～10^{-4}A之间，相应的电阻则介于10^{13}～$10^{6}\Omega$之间。若取最大的电流值，则$10^{6}\Omega$的电阻可保证在任何情况下得以安全地消散。选择电阻应注意以下几点。

（1）两种金属接触良好时，其间电阻很少超过数欧。通常小于100Ω是很容易的，而且，除非设备有严重问题且经常受到腐蚀，不可能随着时间恶化到高于$10^{6}\Omega$的水平。

（2）金属与金属相接时，若其间电阻达数千Ω，则说明其间存在有腐蚀性生成物或油漆。这时，电阻随着时间有升高到超过$10^{6}\Omega$的危险。

（3）供防静电的接地与其它用途的接地共用时，接地电阻应满足供电和配电系统接地或防雷接地的要求。

为了检测方便，可指定静电对地电阻须在10～1000Ω之间。即实际选定的电阻值比作为上限的值$10^{6}\Omega$小得多。

10Ω的标准对金属系统是适用的，而对于含有非金属成分（如塑料）的系统不完全适用。对于有非金属成分的系统应分别对待，并符合下面两节的要求。

3.4.6.2 实际系统中的接地要求

1. 全金属系统

（1）固定结构　金属设备的主体结构以及固定在上面的主要部件，例如，反应器、研磨机和油罐，以及诸如管道之类的器具，通常都是用螺栓固定或焊接在一起的永久性装置。一般情况下，它们直接与电网的接地系统相连接。因此，为了防避雷电，它们的对地电阻在可行之处都应小于10Ω。一般不难达到10Ω或更小的接地电阻并稳定下来。这样，由条件恶化使电阻超过$10^{6}\Omega$的危险性极小。因此，10Ω作为最大电阻值以避免静电灾害是合理的。在大多数情况下，不需特别接地连接即可以达到这个要求。只有当设备的设计和使用不进行专门接地很难使其对地电阻保持在低水平的情况下才有必要专门接地。

如果设备主要部件与主体结构没有直接的电气连接，例如，可伸缩的底座、振动式底座、负载箱上的部件等，除非可以使用选定的更大的电阻，应专门接地以保证对地电阻在10Ω以下。

有时，管道可能是与设备主体结构连接得不很好的临时装置，并混用数段非导体管段，这就需要专门接地。用屏蔽连接器将各金属管段连接起来的办法往往会遇到实际困难，因此，只有当设计允许超过10Ω时才采用这种方式。

（2）可移动的金属部件　这些多是设备的各种构件，包括滚筒和车载油罐。它们不能通过设备的主体与大地永久性相接。在许多情况下，它们的对地电阻可能远低于$10^{6}\Omega$。但在某些场合，例如，放在干水泥地面或汽车轮胎上的场合，其电阻就不能适当地控制，而且会随着使用远远超过$10^{6}\Omega$。在这种情况下应采取适当的接地措施。其对地电阻最好保持在10Ω以下；其最低要求是：只要将易燃液体装入或倒出容器时可能出现可燃混合物且部件上可能积聚静电电荷者，即应保持前面所介绍的接地状态。

2. 带有不导电零件的金属设备

金属结构的设备往往带有一些不导电的零件。这些零件会影响导电连续性和接地效果。实际例子有润滑油和润滑脂，以及用聚四氟乙烯和聚氯乙烯等高电阻率非导体制成的部件。正常情况下，设备的所有金属部件都应接地。其方法为直接接地或通过适当的接地连接线接地，且所有对地通路的电阻均应小于10Ω。即使由于相关设备的设计使接地遇到一定的困

难，也应该设法解决。

对于静电泄漏而言，小于$10^6\Omega$（或者更为一般地，小于$\frac{100}{I}\Omega$）的对地电阻是完全合适的。很多场合可以利用这一条件。用于转动轴、搅拌器等润滑的油或脂就是这样的例子。用导电刷压在转动轴上虽然有一定的作用，但导电刷很难调节，也难以保持原有状态，长期使用效果不够稳定。测试表明，轴承润滑薄层的穿跨电阻不超过$10^3\Omega$。这就是说，不用特殊接地装置也能泄放静电。对于其它设备部件，例如滚筒传送器或螺旋进料器，很难达到10Ω。这时，只要对地电阻小于$10^6\Omega$即可。在这些情况下，只要能同时满足下列两个条件，即可认为对地电阻在$10^6\Omega$以内：

（1）按非导体的体积电阻率和泄漏通道尺寸计算出其电阻小于$10^6\Omega$；

（2）正常运转情况下所做的测试与计算结果相符，电阻稳定保持在$10^6\Omega$以下。

这种方法省略了为满足10Ω的标准所需要的专用接地装置。

当涉及高电阻率聚合物（如绝缘元件）时，几乎不可避免地会出现$10^6\Omega$以上的电阻。唯一的解决办法是将孤立导体与邻近的接地金属器件连通起来。其最大对地电阻的合适值为10Ω。有聚四氟乙烯包封的球形阀门、由外覆聚四氟乙烯喷层垫圈绝缘的管道隔离环、各塑料接口之间的金属管道以及塑料管线末端的金属喷嘴等属于这种情况。

主要问题是确定可能绝缘的设备部件。在很多情况下，设备内部的非导电部分是看不见的，而且不能用外部电阻测试法来确定。因此，任何使用非导体材料的变更，都应仔细分析非导体材料的引入是否会造成金属部件的绝缘。

3．高绝缘非导体材料

诸如玻璃和高绝缘聚合物等材料经常用作设备的主要部件。前述方法亦可用于高绝缘材料。应当满足的基本条件是非导体部件任何一点对地电阻都小于$\frac{100}{I}\Omega$。但是，需要有大量紧密相邻的接地点才能做到这一点。这是难以做到的。因此，非导体将可能长时间保留电荷。

高绝缘非导体尽管可能引燃一些易燃混合物，但总的来说，其放电能量较小。但是，如果高绝缘非导体受到导电材料（例如，水）的表面污染，且污染没有覆盖整个表面，又不与地相连，则可构成能够形成高能量火花的绝缘导体。非导体系统经常含有金属部件，如果这些金属部件不接地也可能产生放电火花。例如，塑料管道中的衔接片和法兰以及非导体包层中的金属网都可能构成上述金属部件。

鉴于高绝缘非导体的静电特性和起火危险，在可能的情况下，应避免在有大量可燃混合物或可燃液体的场所使用这些材料。

非导体系统中的所有孤立导体都应接地。但是，在很多情况下，需要使用特殊的接地装置，且其状态保持和检查是比较困难的。也就是，不一定都是理想情况。

仅仅没有接地并不一定引燃成灾。起火危险还决定于：

（1）非导体带电的概率；

（2）导体产生可燃火花的概率；

（3）出现可燃混合物的概率。

应当估计静电引燃的概率，并运用最适宜的方法来减小这个概率。使这个概率不高于其它引燃源引燃的概率，并达到用户能够接受的水平。在0区和1区，必须采取适当的方法，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

防止非导体和导体上产生和保留静电荷以消除静电灾害；而且，几乎所有情况下都涉及一定形式的接地问题。在2区，如果静电不是操作中的普遍问题，且不太可能达到危险程度，则引燃概率非常低，以至于可以免去非导体系统中导体的防静电接地。

4．导电材料和抗静电材料

这些材料既具有聚合材料的性能（如抗腐蚀性），又具有体积电阻率低的特点。利用其低电阻率防止静电积聚至危险程度。当然，必须与大地相连接。其基本要求是对地电阻小于$\frac{100}{I}\Omega$，通常在$10^1\sim10^8\Omega$之间。一般情况下，用$10^6\Omega$作为最大对地电阻是合适的。如不能满足，应按$\frac{100}{I}\Omega$考虑。只有在特殊场合而且估计了灾害情况后才能选用$10^8\Omega$以上的对地电阻。

5．接地要求提要

就阻值而言，尽管能够采用高达$10^8\Omega$的电阻，但只要电阻能够比较方便地保持在低水平上，则固定金属设备所有部位的对地电阻的合适值为10Ω。除固定设备在绝缘底座上，或在衔接处可能出现高电阻率污物等情况外，一般不需要专门接地。活动金属部件的对地电阻也应为10Ω及10Ω以下。后者可用专门的接地连接线来完成。

一般来说，用于有可燃混合物存在的场合的设备，不应采用高绝缘材料制作构件。对于不同场所，无法提出通用的接地要求，而应采取不同的安全措施。

抗静电材料和导电材料都能防止静电的积累。

表3-16给出了0、1、2区静电接地要求提要。

表 3-16 静电接地一览表

设备类型	最大对地电阻（Ω）	要求提要
金属设备主体	10	正常情况下处在接地状态
大型固定金属构件（反应釜贮粉仓等）	10	正常情况下处在接地状态；如构件固定在非导体底座上，应专门接地
金属管道	10	正常情况下处在接地状态，如衔接处不能满足10欧的要求，可用专用接地线将两边连接起来
活动金属构件（滚筒等）	10	通常需要专门接地
带有非导体器件的金属设备（转动轴、搅拌器等）	10^6	如不能满足$10^6\Omega$的要求，应专门接地，使对地电阻小于10Ω；在特殊情况下，可按$\frac{100}{I}\Omega$要求
高电阻率非导体构件（带有或不带孤立金属部件）	无通用值	只在不会积累大量静电电荷导致引燃成灾的场合才使用非导体材料，在不存在电荷积累的情况下，2区不须接地
导电材料或抗静电材料制成的构件	$10^6\sim10^8$	

3.4.6.3 接地方法

静电接地装置可以与其它接地装置共用接地极，也可以单独埋设接地极。静电接地装置各部位应连接良好、可靠；不应埋设于腐蚀性强的地方；并能防止机械损坏、便于检修，不

妨碍操作。

接地线应采用有足够机械强度、耐腐蚀、不易折断的多股软铜线或接地体。移动设备的接地线应采用4～10mm²的多股软铜线，不得用链条作接地线。

接地线与接地端子的连接见图3-11。固定设备用螺栓连接，有相对位移的地方应加挠性连接线。移动设备用专用线夹、鳄形夹或蝶形夹连接。地下部分用焊接。配管跨接办法如图3-12所示。如有必要，设备的旋转部分可用碳刷与滑环连接。

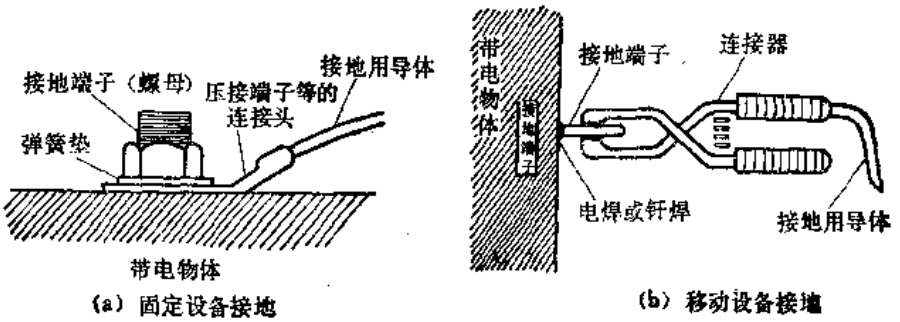


图 3-11 静电接地

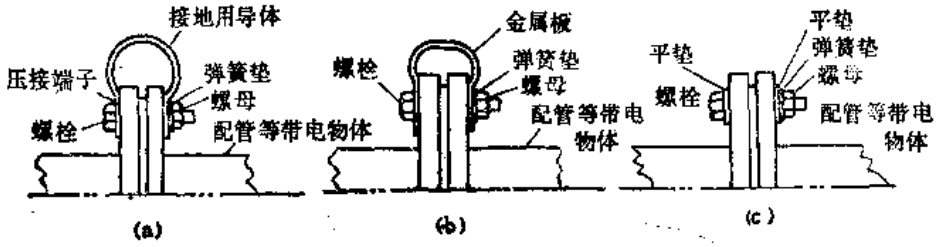


图 3-12 配管跨接

汽车槽车、火车槽车、油船装卸作业前均应接地；作业结束后方可拆除接地。汽车槽车行走时，宜采用导电橡胶带拖行接地，而不宜采用金属链条拖行接地。

金属采样器、检尺器、测温器应经导电性绳索接地。

应尽量采用内部有螺旋状金属线或金属网的软管。金属线或金属网应与管口金属连接件互相连接起来，并予以接地（图3-13a）。软管上的金属喷嘴等亦应与软管跨接并接地(图3-13b)。对于导电橡胶制成的软管，亦应接地，并保证足够大的接触面积。

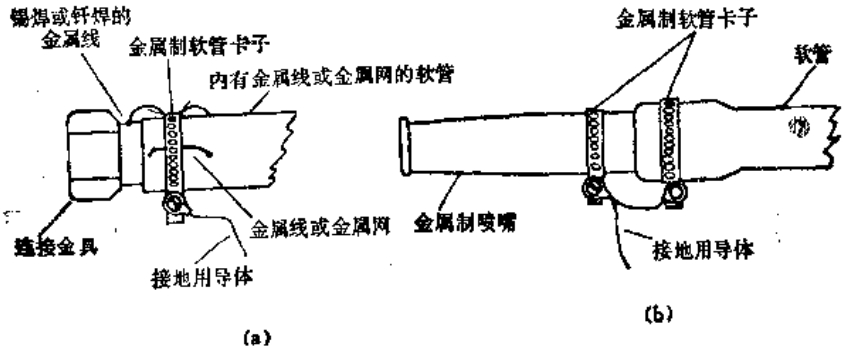


图 3-13 软管跨接和接地

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

非金属导体的接地，其接地端子可按图3-14进行。图中，a是在带电体外侧用螺丝固定接地端子；b是将接地端子埋入带电体内。为减小接触电阻，邻接处应垫金属箔、涂导电膏；结合面积不得小于20cm²。

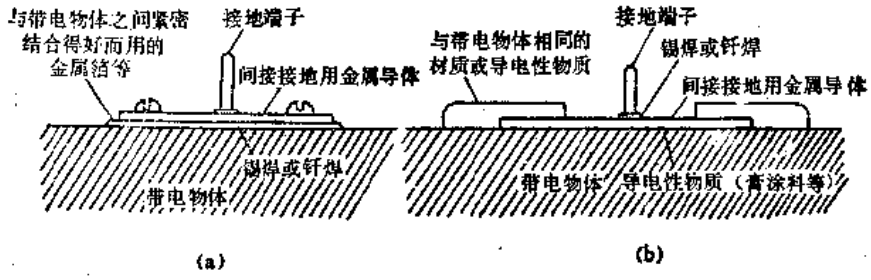


图 3-14 非导体接地

用于屏蔽的导体必须采取接地措施。所谓屏蔽，就是将接地导体靠近带电体，使其间电容大大增加，以降低带电体的电位。图3-15所示的网状屏蔽、螺旋状屏蔽以及其它形状的屏蔽，不论是金属材料制成的，还是导电纤维、导电橡胶等材料制成的，均应良好接地。

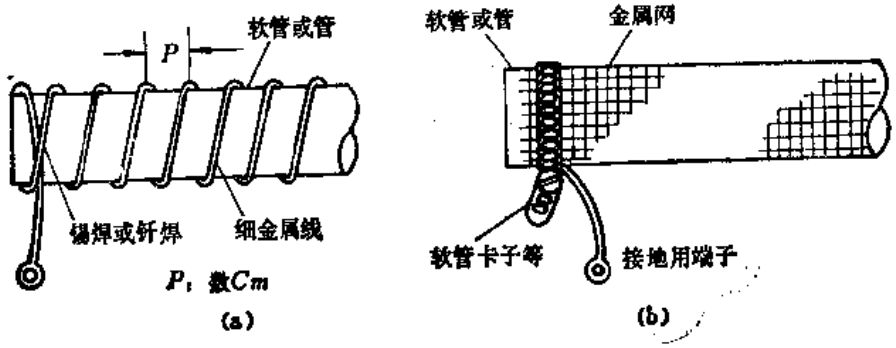


图 3-15 屏蔽和接地

3.4.6.4 接地系统的建立和监测

1. 设计

在设计阶段应考虑发生静电灾害的可能性及相应的接地要求。在没有其它接地装置可用的情况下，可在地下打入或埋入铜条或铜板以实现接地。屏蔽线、金属条带、电刷等专用接地装置应保持良好的状态。需要专门接地的部件应与金属结构用螺栓连接或焊接，使满足最大对地电阻10Ω的要求。

接地装置设计要点：

（1）静电接地是设备安全运行的必要内容；

（2）接地连接应明显可见，便于检查；

（3）接地装置应牢靠、位置固定，并不受腐蚀性生成物或油漆的影响；

（4）接地装置应易于安装和更换；

（5）用于活动设备的接地电缆应配备能穿透漆层或锈层的接线夹。设备运转前先将接线夹夹上；设备运转结束之前及危险静电消除之前，接线夹应保持在夹牢位置。

2. 监测

设备开始使用前、设备运行巡视检查中以及设备维修和变动之后，应检查静电接地。

监测的基本项目是测量设备各部位与大地之间的电阻。这种测量可弥补外观检查的不足，有利于发现孤立导体和查明接地装置的缺陷。

在允许对地电阻大于10Ω的场合，应保证电阻的稳定性；监测系统应能监测较高的电阻值。

3.4.7 静电管理指标

3.4.7.1 导体带电指标

处在绝缘状态的导体由于同其它物体摩擦，由于接触带电体，由于带电体的感应，由于附近高压源所产生离子的附着以及由于吸附带电粒子均可能带电。

表 3-17 导体泄漏电阻指标

泄漏电阻 (Ω)	带电量 (电位范围，kV)
$<1\times10^{6}$	几乎无 (<0.01)
$1\times10^{6}\sim1\times10^{8}$	少 (0.01~0.1)
$1\times10^{8}\sim1\times10^{10}$	一般 (0.1~1)
$>1\times10^{10}$	多 (>1)

泄漏电阻越大，越容易积累危险静电。泄漏时间常数即导体泄漏电阻与导体电容的乘积。当泄漏时间常数0.01s以下、电容100pF以下时，导体几乎不带静电；当泄漏时间常数0.01s以上、电容100pF以下时，导体应看作是可带电导体，并可参照表3-17考虑。

人体泄漏电阻一般不得超过$10^{8}\Omega$；但在下列情况下，最好不超过$10^{7}\Omega$。

（1）有氢、乙炔、二硫化碳等最小引燃能量0.1mJ以下的爆炸性混合物；

（2）有与氧或其他助燃气体形成的爆炸性混合物；

（3）组装、检查半导体元件。

为了防止静电电击，人体泄漏电阻最好不超过$10^{5}\Omega$。

3.4.7.2 非导体带电指标

对于非导体，常用体积电阻率（或电导率）和表面电阻率作为带电指标。液体电导率1×10^{-8}S/m以下、粉体电阻率$1\times10^{8}\Omega\cdot m$以上、固体体积电阻率$1\times10^{8}\Omega\cdot m$以上或表面电阻率$1\times10^{10}\Omega$以上都属于可能带静电的非导体。带电量可参照表3-18考虑。

表 3-18 非导体带电指标

电导率 (S/m)	体积电阻率 (Ω·m)	表面电阻率 (Ω)	带电量 (电位范围，kV)
$>1\times10^{-8}$	$<1\times10^{8}$	$<1\times10^{10}$	几乎无 (<0.1)
$1\times10^{-10}\sim1\times10^{-8}$	$1\times10^{8}\sim1\times10^{10}$	$1\times10^{10}\sim1\times10^{12}$	少 (0.1~1)
$1\times10^{-12}\sim1\times10^{-10}$	$1\times10^{10}\sim1\times10^{12}$	$1\times10^{12}\sim1\times10^{14}$	一般 (1~10)
$<1\times10^{-12}$	$>1\times10^{12}$	$>1\times10^{14}$	多 (>10)

非导体带电引燃指标见表3-19。如果是体积电荷，则电荷密度指标易行制定。为了防止电击，非导体电位不应超过10kV。板（带）状非导体背面有导体时，其面电荷密度不得超过$100\mu c/m^{2}$。空间电荷云直径0.7m以上者平均电场强度不得超过1kV/cm，直径1.5m以上者平均电场强度不得超过3kV/cm。

表 3-19 非导体带电引燃指标

最小引燃能量 (mJ)	静电电位 (kV)	面电荷密度 ($\mu C/m^{2}$)
<0.1	<1	<1
0.1~1	<5	<3
1~10	<10	<7
>10	<10	<10

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

为了防止放电引燃，还可以考虑限制带电体的表面积。当最小引燃能量小于0.1毫焦时，带电面积不得超过4cm²；当最小引燃能量为0.1～1mJ时，带电面积不得超过25cm²。

各项管理指标应根据运行经验确定。

3.5 静电测量

静电测量主要包括静电电位及其相关量、静电电量及其相关量、电阻、电容及其相关量的测量。

3.5.1 静电测量的一般问题

（1）应选用使用方便、可靠性高的测量仪表。在爆炸危险场所测量应选用防爆型仪表。

（2）测量前仔细阅读仪表使用说明，了解其测量原理和使用范围。

（3）测量前调零、调整灵敏度并选择量程。

（4）测量分析由测量导致引燃的危险性。在排除引燃危险性以后再进行测量；并应事先考虑发生意外情况时的应急措施。

（5）为防止测量时发生放电，应使测量仪表的探头缓慢接近带电体。即使防爆型仪表也应如此。

（6）同一项目应测量数次，在复现性较好的情况下，取其平均值和最大值。

（7）除记录测量数据外，还应记录环境温度和相对湿度。

3.5.2 电位和电场强度测量

3.5.2.1 导体电位测量

导体电位可用接触式静电电压表（包括有直流放大环节的仪表）测量。接线及等值电路如图3-16所示。引线最好用同轴电缆；引线不长时，也可用绝缘良好的导线。为减小测量误差，仪表输入阻抗不得低于$1\times10^{12}\Omega$。使用前应检查仪表绝缘。检查方法是先用仪表测量其它电源，随后断开，观察仪表指针衰减速度。如衰减为起始值的37%的时间（即时间常数）小于1min，则认为仪表绝缘不良，应处理合格后或换表测量。

用这种方法测量时，由于与带电体对地电容C_0并联了仪表电容C_m，导体对地电位略有降低。测量仪表指示的对地电位为

$$U_m=\frac{C_0}{C_0+C_m}U$$

式中，U为接通仪表前导体对地电位。

用这种方法测量非导体的电位只能得到大致数据。测量时最好通过金属箔与非导体接触。

3.5.2.2 表面电位测量

表面电位宜用非接触式仪表测量。有电容分压和电阻分压两大类。前者在测量探极与带电体之间设置一定的电容，后者则设置一定的电阻。由测量等值电路（图3-17）可知，两种方法的探极电位U_d分别为

$$U_d=\frac{C_1}{C_1+C_2}U \text{ 和 } U_d=\frac{R_1}{R_1+R_2}U$$

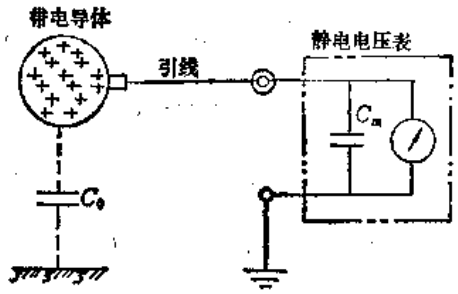


图 3-16 导体电位测量

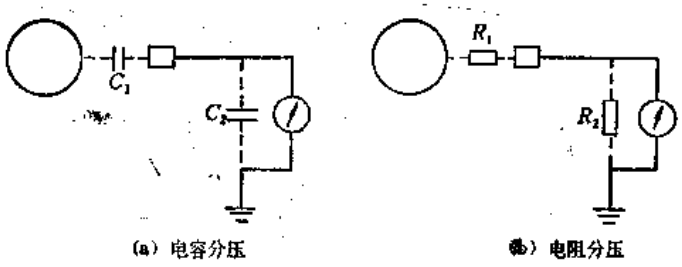


图 3-17 非接触式测量原理

式中，U为带电体电位，其它符号见图。

属于电容分压的有静电感应式仪表、旋转叶片式仪表和振动电容式仪表；属于后者的主要是电离式仪表。

非接触式仪表测量时，选择好量程后，应将测量探极慢慢接近被测带电体，其间应保持规定的测量距离。当带电薄膜材料背面有接地导体时，应注意防止探极接近时发生传播型刷形放电的危险。

用这种方法测量带电体宽平部位时，所得结果应当是可靠的。如用这种方法测量尺寸小或曲率半径小的带电体，所得数据偏低，必要时应予修正。

如计及带电体对地电容C_0和带电体与探极罩之间的电容C_3（图3-18），则测量时带电体电位应低于测量前的电位。其大小为

$$U_m = \frac{C_0}{C_0 + C_3 + \dfrac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}} U$$

式中，U为测量前带电体的表面电位、其它符号见图。

如果带电体上有正、负两种电荷，测量数值也可能偏低。如带电体背面有相反电荷或接地导体，虽然所测得结果较低，但其电量可能很大。因此，不能仅仅由所测得电位数值判别其危险性。

测量时，探极上不得发生放电。否则，除产生较大的测量误差外，还可能导致其它危险。

采用电离式测量仪表测量时，如探极前方气流速度过大，可导致测量数值偏低。

非接触式仪表测量会改变电容的分布。改变程度难以简单确定。因此，应对非接触式仪表进行校准。校准方法如图3-19所示。为适应被校表的不同量程，高压源应当可调；充电金属板不宜太小，圆板直径不宜小于0.5m、方板边长不宜小于0.5m，并应光滑、无尖角；探极对准金属板中心，距离与实际测量距离相同。

3.5.2.3 空间电位测量

其测量方法是先在空间放置球状或棒状检测电极，然后再用静电电压表测量电极的电位。因为放入电极会改变电场的分布，加之仪表本身电容的影响，所以只能测量得到大致的数值。如果检测电极上有漏导电流流过，测量误差将更大。

3.5.2.4 电场强度测量

因为探极在不同强度的电场中被感应出不同的电位，所以电场强度的测量类似用非接触

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

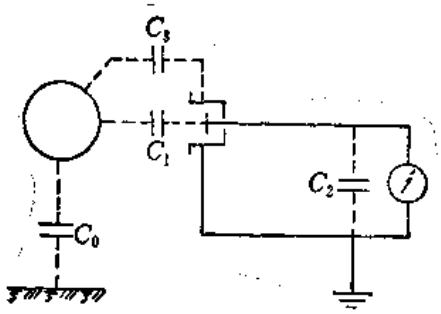


图 3-18　非接触式测量等值电路

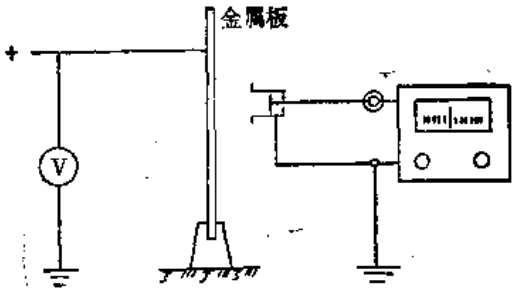


图 3-19　非接触式静电电压表校准

式仪表对静电电位的测量。通常用静电场测量仪测量电场强度。所测得数值系指探极前方电场强度的平均值。

由于置入探头引起原有电场的变化，测量值一般都高于置入探极前的实际值。

对于均匀电场，测出电位后，可通过换算求出电场强度。

3.5.3　电量和电荷密度测量

3.5.3.1　电量测量

1．导体电量测量

导体是等位体，如测得其电位为U、电容为C，即可按下式求得电量为

$$Q = CU$$

2．绝缘体电量测量

绝缘体电量用法拉弟筒测量。法拉弟筒及其测量原理如图3-20所示。将带静电绝缘体置于筒内后，由于感应，内筒外表面带上与绝缘体等量的同性电荷，外筒内表面则带上与绝缘体等量的异性电荷。如内、外筒之间的电容为C_t，则被测电量应为

$$Q = (C_t + C_a + C_m)U$$

C_a采用绝缘性能良好的苯乙烯电容或陶瓷电容。一般取$C_a > 0.01\mu F$。这时，C_t和C_m可忽略不计。

法拉弟筒亦可用于导体电量的测量。

利用法拉弟筒原理还可以测量连续移动的线状或片状带电体的局部电量。测量原理见图3-21。这时，法拉弟筒内筒、外筒的两端都是开口的。对于线状带电体，应做成圆柱形筒；对于片状带电体，应做成方箱形筒。这样测量得到的电量是处于内筒范围内的那部分带电体上的电量。

3.5.3.2　面电荷密度测量

面电荷密度用非接触式仪表测量。如带电表面的背面邻近处没有其它电荷，其测量原理和等值电路如图3-22所示。探极为圆板电极。探极屏蔽的前方向四周延展，有较大的面积，以使探极与带电表面之间的电场均匀分布。用这种方法测量时，如果仪表指示的是带电体对地电位U_0，则探极上的电量及与其相对的局部带电体上的电量均为

$$Q = \frac{C_0 C_m}{C_0 + C_m} U_0$$

面电荷密度均为

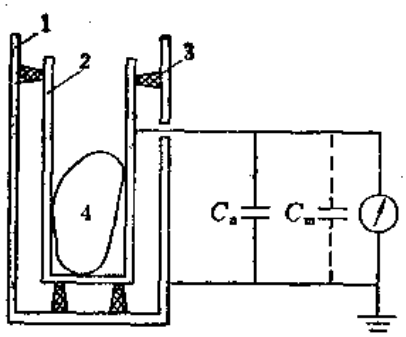


图 3-20 法拉第筒测量原理

1—外筒；2—内筒；3—绝缘；4—被测带电体；
C_s—测量电容；C_m—仪表电容

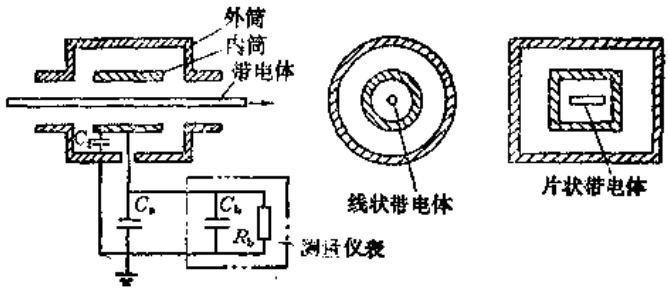
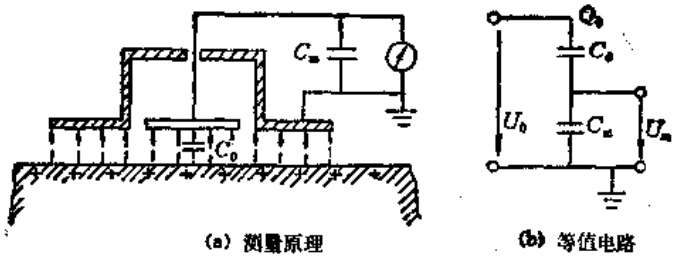


图 3-21 局部电量测量



(a) 测量原理　　(b) 等值电路

图 3-22 面电荷密度测量

$$\sigma = \frac{Q}{S}$$

式中，S为探极面积。这样得到的面电荷密度实际上是S面积上的平均电荷密度。因此，为了比较准确地了解带电体各点的面电荷密度，在仪表灵敏度不难达到的情况下，应减小探极面积。

对于薄层带电体，其背面相反极性的电荷会对测量产生很大的影响。为此，须如图3-23所示，在薄层带电体背面敷设一接地的金属板。这时，带电体背面相反极性电荷的影响将被接地导体上电荷的作用抵消。

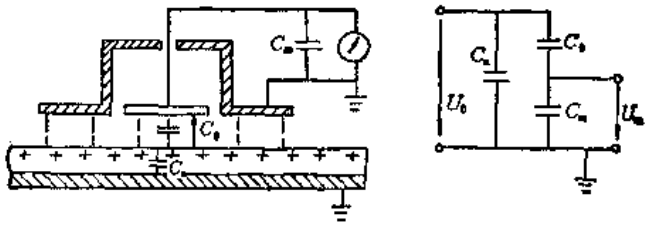


图 3-23 薄层材料面电荷密度测量

3.5.3.3 体电荷密度测量

体电荷密度可用法拉第筒测量，也可配合适当型式的辅助装置用静电电压表或静电场测量仪测量。

对于需要取样的带静电体，测量原理见图3-24。取样器直径约0.5m，用金属网制成。如

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

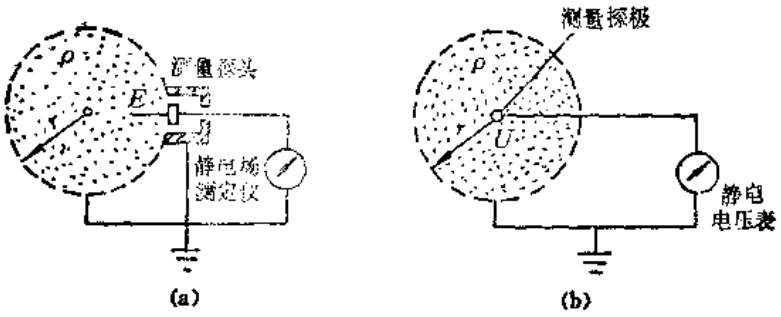


图 3-24 体电荷密度测量

测量得到边缘电场强度为E，可求得体电荷密度为

$$\rho=\frac{3\varepsilon E}{r}$$

如测量得到中心电位为U，可求得体电荷密度为

$$\rho=\frac{6\varepsilon U}{r^2}$$

管道内带电体体电荷密度的测量如图3-25所示。测得边缘电场强度或中心电位后，体电荷密度分别按下式计算：

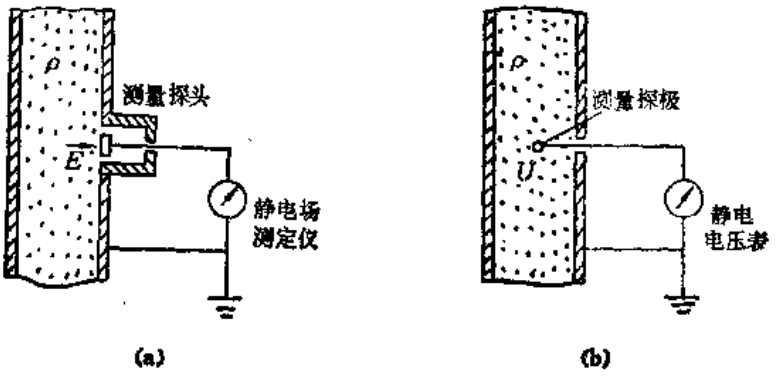


图 3-25 管道体电荷密度测量

$$\rho=\frac{2\varepsilon E}{r}\quad 或\quad \rho=\frac{4\varepsilon U}{r^2}$$

用这种方法测量体电荷密度时，如带电体带电不均匀或带有不同极性的电荷，测量结果将带有较大误差。因为探极伸入带电体内部会改变原有场的分布，造成电荷的泄漏也比较大，所以，测量中心电位的方法可能带来较大的测量误差。

空间分布的粉状或雾状带电物料的电荷密度可用图3-26所示吸入式法拉第筒测量。这种测量是在气流运动

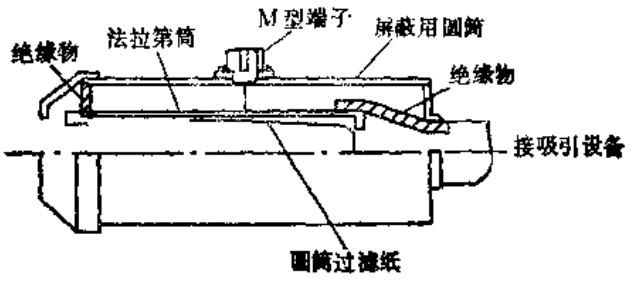


图 3-26 空间电荷密度测量

中进行的。如已知吸入气流体积V，则可按下式计算电荷密度

$$\rho=\frac{Q}{V}$$

式中，Q是法拉弟筒上的电量。电荷密度也可按下式计算

$$\rho=\frac{Qz}{m}$$

式中 z——粉状、雾状带电物料的空间浓度，kg/m³；

m——所积存粉状、雾状带电物料的质量，kg。

3.5.4 静电电流测量

3.5.4.1 导体流向大地的电流

如图3-27所示，在导体与大地之间连接电流表即可测量静电电流。因为电流表内阻R_m与绝缘电阻R_i并联，所以全部静电电流为

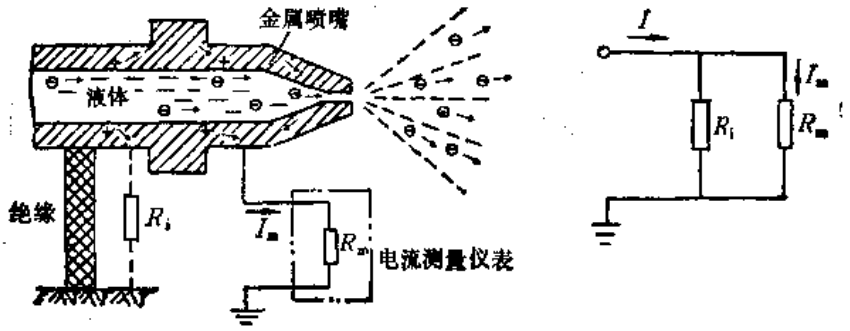


图 3-27 导体静电电流测量

$$I=\left(1+\frac{R_m}{R_i}\right)I_m$$

式中，I_m为电流表读数。如$R_m \ll R_i$，则

$$I\approx I_m$$

因为静电电流一般只有1×10^{-11}～1×10^{-6}A，所以，应采用高灵敏度的μA级仪表、仪表连接线应采用屏蔽线。

3.5.4.2 非导体流向大地的电流

测量非导体与大地之间的电流，应如图3-28所示，在非导体外包以金属箔或导电涂料之后再进行测量。

3.5.5 静电放电电量测量

电晕放电可接入直流电流表测量。

刷形放电和火花放电必须用冲击电流计、示波器或静电电压表测量。其接线如图3-29所示。冲击电流计的偏转角决定于线圈的初速度，而线圈的初速度又决定于冲击电流，经过标

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

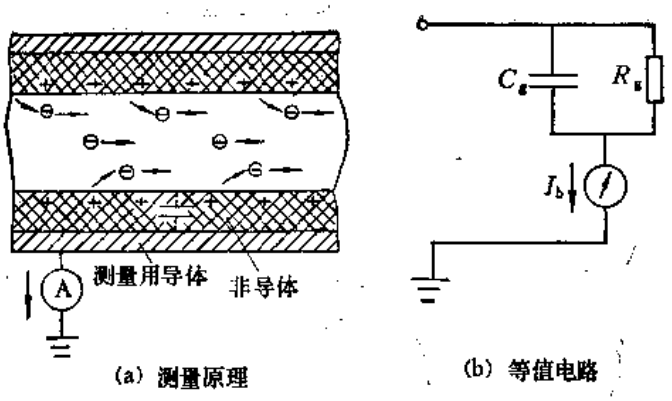


图 3-28 非导体静电电流测量

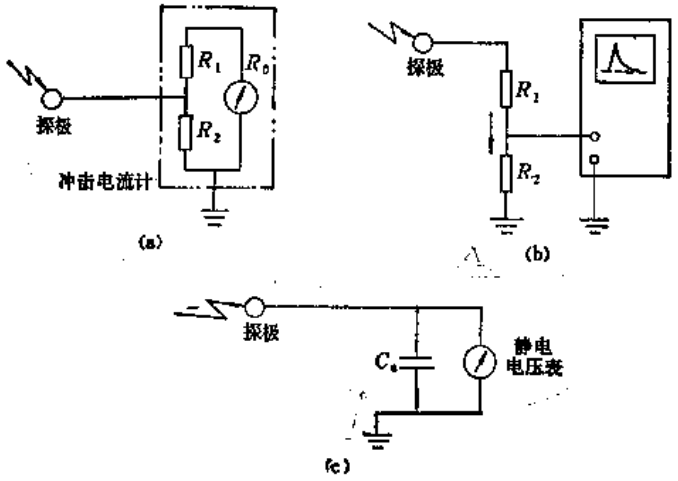


图 3-29 放电电量测量

定，可直接指示放电电量。用示波器测量是依其放电曲线来计算放电电量的；用静电电压表测量是根据电量等于电容与电容电压乘积的规律设计的。

该项测量应同时进行电位测量。放电金属球的直径应在1～30mm范围内。如测量放电电流，应串联1MΩ左右的电阻，以保护测量仪表。

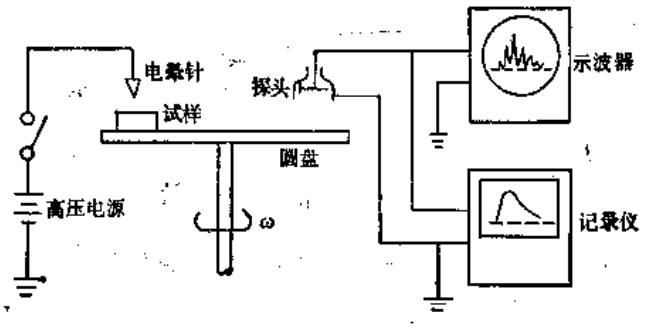


图 3-30 时间常数测量

3.5.6 材料参数测量

3.5.6.1 时间常数测量

时间常数可按$\tau = e\rho = RC$计算，也可按图3-30所示方法测量。测量时，圆盘以ω的角速度转动。电晕针给试样充电至一定程度后断开高压源，试样开始放电。由所得曲线衰减特征可求得时间常数。

3.5.6.2 电阻率和电导率测量

固体电阻率用图3-31所示专用电极和标准试样测量。A极直径80mm、B极直径50mm、C极内径、外径分别为54mm和74mm、试样厚度2mm或4mm、直径100mm（如为正方形，则

边长120mm)。测量体积电阻率时，开关合向下方，并按下式计算：

$$\rho_V = \frac{\pi(D_C + D_B)^2}{16b} R_V$$

式中 ρ_V——体积电阻率，Ω·m；

D_C——C极内径，m；

D_B——B极直径，m；

b——试样厚度，m；

R_V——体积电阻，Ω。

测量表面电阻率时，开关合向上方，并按下式计算：

$$\rho_s = \frac{2\pi R_s}{\ln\frac{D_C}{D_B}}$$

式中 R_s——表面电阻。

固体电阻率亦可采用图3-32所示管形电极测量。其B极高度可取50mm、B极与C极之间的距离可取10mm，并小于试样厚度的2倍。这时，体积电阻率和表面电阻率按下列二式计算：

$$\rho_V = \frac{2\pi(L_B + S)R_V}{\ln\frac{D_B}{D_A}} \quad 和 \quad \rho_s = \frac{R_s}{\pi D_B}$$

式中，R_s为B极与一个C极之间的表面电阻。

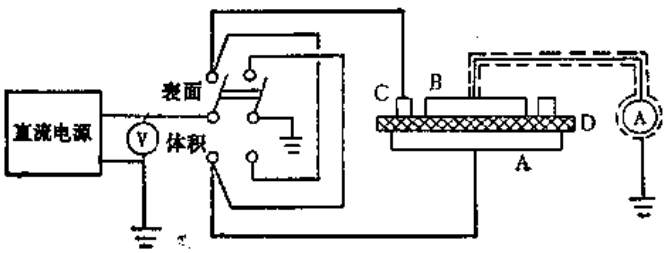


图 3-31 固体电阻率测量

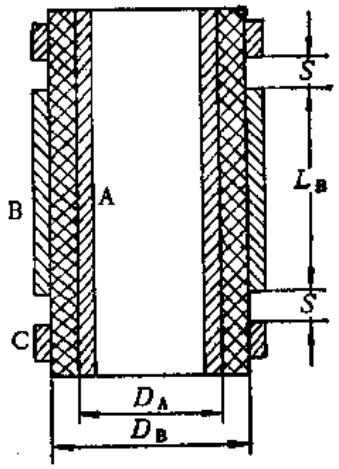


图 3-32 管形试样和电极

液体电导率需应用能容纳液体的电极测量。对于图3-33所示电极，电导率按下式计算：

$$\gamma = \frac{\ln\frac{D_A}{D_B}}{2\pi(L_B + S)R}$$

粉体电导率也需应用能容纳粉体的电极测量。对于图3-34所示电极，电导率按下式计算：

$$\gamma = \frac{16b}{\pi(D_C + D_B)^2 R}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

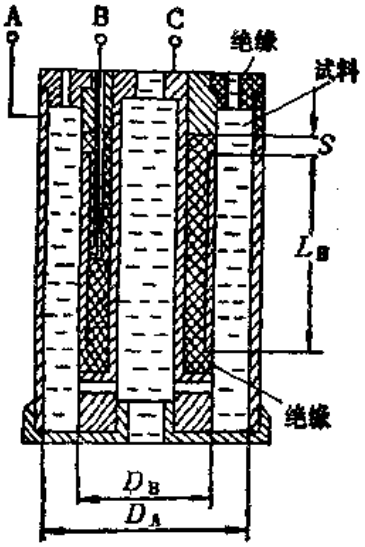


图 3-33 液体电导率测量电极

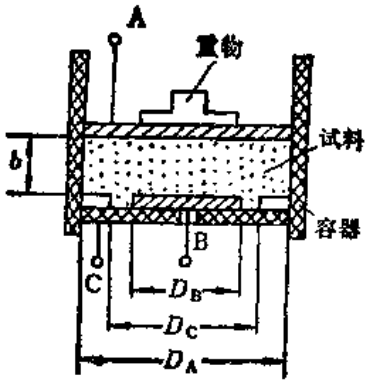


图 3-34 粉体电导率测量电极

3.5.6.3 介电常数测量

介电常数的测量是先测量得到电极间介质的电容，然后根据给定的几何尺寸换算出介电常数。

对于图3-31所示圆盘形介质，介电常数按下式计算：

$$\varepsilon=\frac{16bC}{\pi(D_A-D_B)^2}$$

对于图3-32所示管形介质，介电常数按下式计算：

$$\varepsilon=\frac{C\ln\dfrac{D_B}{D_A}}{2\pi(L+S)}$$

对于图3-33所示液体介质，介电常数按下式计算：

$$\varepsilon=\frac{C\ln\dfrac{D_A}{D_B}}{2\pi(L+S)}$$

为了保证测量的准确性，可将试样和电极全部屏蔽起来。

如能测量得到时间常数τ和电阻率ρ，亦可由下式求得介电常数

$$\varepsilon=\frac{\tau}{\rho}$$

3.6 防　　雷

雷电是一种自然放电现象。雷击房屋、线路及电力设备等物体时，会产生雷电过电压。雷电所波及的范围内，会严重损坏设施、设备并危及人身安全。各类工业建筑物和构筑物应根据具体情况采取适当的防雷措施。

3.6.1 雷电种类和参数

3.6.1.1 雷电种类

按照雷电的危害方式，主要可分为以下几种。

1．直击雷

大气中带有电荷的积云对地电压可高达几亿伏。积云同地面凸出物之间的电场强度达到空气的击穿强度时，产生的放电现象称为直击雷。其每一放电过程分为先导放电、主放电和余光。先导放电是从雷云向大地发展的不太明亮的一种放电。当先导放电到达地面凸出物顶部时，立即发生从凸出物顶部向雷云发展的极明亮的主放电。主放电后有微弱的余光。大约50%的直击雷有重复放电性质。平均每次雷击有三、四个冲击，最多能出现几十个冲击。第一个冲击的先导放电是阶段形先导放电；第二个以下冲击的先导放电是箭形先导放电。阶段形先导放电时间约5～20ms、箭形先导放电约1ms；主放电不超过0.05～0.1ms；余光延续时间约30～50ms。

2．雷电感应

雷电感应又称为感应雷，分静电感应和电磁感应两种。静电感应是积云接近地面时，在地面凸出物顶部感应出大量异性电荷，在积云与其它部位或其它雷云放电后，凸出物顶部电荷失去束缚，以雷电波的形式高速传播形成的。电磁感应是发生雷击后，雷电流在周围空间产生迅速变化的强磁场在附近的金属导体上感应出很高的电压形成的。

3．球雷

积云放电时形成的发红光或白光的球状带电气体。其直径多为20cm上下、运动速度约为2m/s、持续时间一般为数秒钟到数分钟。

4．雷电侵入波

由于雷击，在架空线路或空中金属管道上产生的冲击电压沿线路或管道的两个方向迅速传播的雷电波称为雷电侵入波。其传播速度为300m/μs（在电缆中为150m/μs）。

3.6.1.2 雷电参数

1．雷电流幅值

雷电流幅值即主放电时雷电流的最大值，可达数十至数百千安。作防雷设计时按100kA考虑。雷电流幅值概率（雷电流出现的百分数）P可用下式表达：

$$\lg P = -\frac{I_{1f}}{108} \tag{3-36}$$

式中 I_{1f}——雷电流幅值，kA。

我国雷电流幅值的概率曲线见图3-35。

2．雷电流陡度

系指雷电流瞬时值随时间上升的速率。雷电流陡度可高达50kA/μs，平均陡度约30kA/μs。

3．雷电放电时间

雷电放电时间极短，全部时间一部不超过500ms；每次主放电不超过0.1ms；作防雷设计时一般取波头为2.6μs，波头形状为斜角形。

4．雷电冲击过电压

雷电冲击过电压系指雷电压的最大值，直击雷的冲击过电压U_s主要决定于雷电流陡度

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

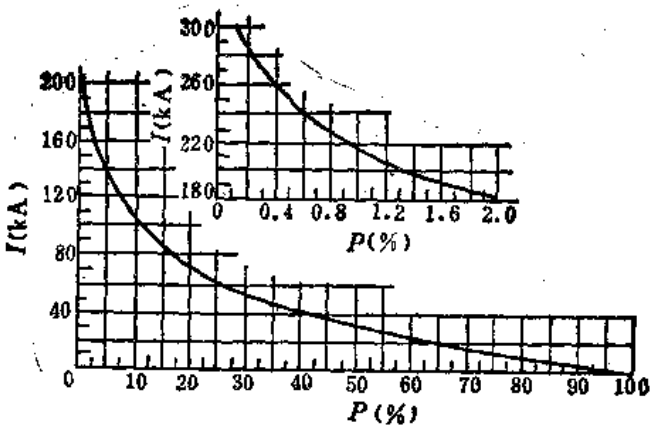


图 3-35 我国雷电流幅值概率曲线

和雷电流通路的特征，其大小为：

$$U_g = I_{1f}R_c + L\frac{di_1}{dt},\ \text{kV} \tag{3-37}$$

式中 i_1、I_{1f}——雷电流和雷电流幅值，kA；

R_c——防雷装置的冲击接地电阻，Ω；

L——雷电流通路的电感（如电流通路长度 l 以m为单位，则 $L=1.3l\ \mu H$），H。

雷击点距电力线路50m以外时，线路上雷电感应的冲击过电压U_g可按下式近似计算：

$$U_g = \frac{25I_{1f}h}{S},\ \text{kV} \tag{3-38}$$

式中 I_{1f}——雷击点雷电流幅值，kA；

h——导线平均高度，m；

S——线路距雷击点的水平距离，m。

雷电感应的冲击过电压只在极少的情况下达到500～600kV。

3.6.2 雷电危害和易受雷击的建筑物

3.6.2.1 雷电危害

雷电有以下四方面的危害：

1. 爆炸和火灾

直击雷放电、二次放电、球雷侵入、雷电流转化的高温等均可能引起爆炸和火灾。

2. 电击

直击雷放电、二次放电、球雷打击、跨步电压以及绝缘击穿均可能使人遭到电击。

3. 毁坏设备和设施

冲击电压、可击穿电气设备的绝缘、力效应可造成设备线圈散架、设施毁坏等。

4. 事故停电

电力设备、电力线路以及电气仪表遭雷击损坏均可能导致停电。

3.6.2.2 易受雷击的建筑物

以下建筑物和构筑物是容易遭受雷击的建筑物和构筑物：

（1）旷野孤立的或高于20m的建筑物和构筑物；

（2）金属屋面、砖木结构的建筑物和构筑物；

（3）河边、湖边、土山顶部的建筑物和构筑物；

（4）地下水露头处、特别潮湿处、地下有导电矿藏处或土壤电阻率较小处的建筑物和构筑物；

（5）山谷风口处的建筑物和构筑物；

（6）建筑物群中25m以上高于其它建筑物和构筑物的建筑物和构筑物。

3.6.3 防雷装置

一套完整的防雷装置包括接闪器（避雷针、避雷线、避雷网、避雷带）或避雷器，以及引下线和接地装置。避雷针主要用来保护露天变配电设备、建筑物和构筑物。避雷线主要用来保护电力线路。避雷网和避雷带主要用来保护建筑物。避雷器主要用来保护电力设备。

3.6.3.1 接闪器

避雷针、避雷线、避雷网、避雷带以及建筑物的金属屋面（正常时能形成爆炸性混合物，电火花会引起强烈爆炸的工业建筑物和构筑物除外）均可作为接闪器。

1. 接闪器的保护范围

（1）单支避雷针的保护范围　其保护范围按图3-36确定。

① 地面上的保护半径r_0为

$$r_0 = 1.5h, \ \text{m} \tag{3-39}$$

式中　h——避雷针高度，m。

② 高度h_x水平面上的保护半径r_x为

$$\left.\begin{aligned} &\text{当}\ \ h_x \geqslant \frac{h}{2}\text{时}, \ r_x = (h - h_x)P, \ \text{m} \\ &\text{当}\ \ h_x < \frac{h}{2}\text{时}, \ r_x = (1.5h - 2h_x)P, \ \text{m} \end{aligned}\right\} \tag{3-40}$$

式中　P——高度影响系数。

$h \leqslant 30\text{m}$时，$P = 1$

$30 < h \leqslant 120\text{m}$时，$P = \dfrac{5.5}{\sqrt{h}}$

（2）两支等高避雷针的保护范围　其保护范围按图3-37确定。

① 两针外侧保护范围按单支避雷针确定。

② 两针之间的保护范围按连接两针顶点及中点O的圆弧确定，O点高度为

$$h_0 = h - \frac{D}{7P}, \ \text{m} \tag{3-41}$$

式中　h_0——两针间保护范围最低点高度，m；

D——两避雷针间的距离，m；

P——高度影响系数，仍按前述原则确定。

两针之间高度h_x水平面上最小保护宽度（O-O截面上）的一半b_x为

$$b_x = 1.5(h_0 - h_x), \ \text{m} \tag{3-42}$$

当两针间距离增大至$D = 7hP$时，$h_0 = 0$，即两针之间不再能构成联合保护范围。两针间距离与针高之比(D/h)不宜大于5。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

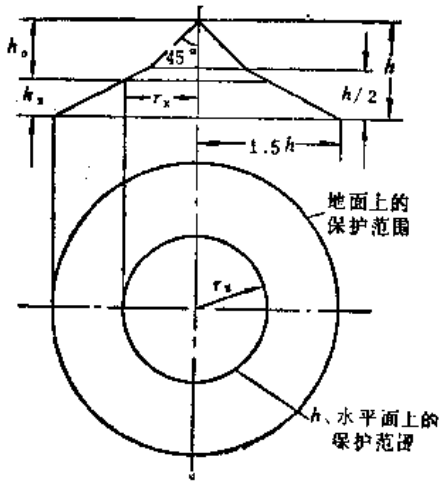


图 3-36 单支避雷针的保护范围

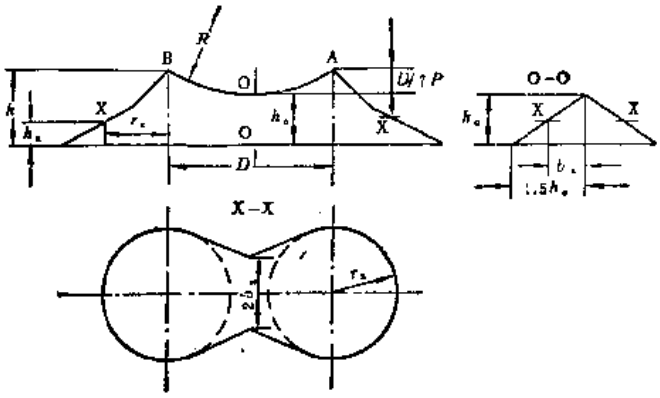


图 3-37 两支等高避雷针的保护范围

（3）多支等高避雷针的保护范围 其保护范围按图3-38和图3-39确定。

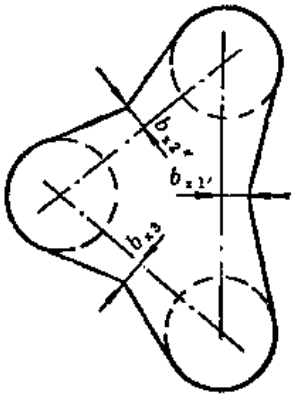


图 3-38 三支等高避雷针在h_x水平面上的保护范围

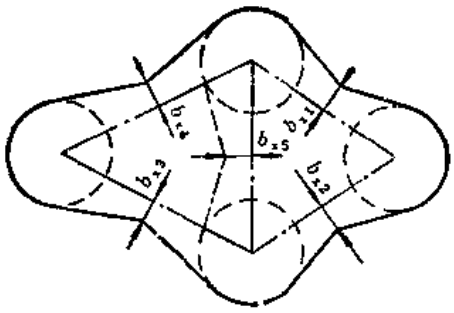


图 3-39 四支等高避雷针在h_x水平面上的保护范围

① 三支等高避雷针所形成三角形外侧保护范围仍按单支和两支等高避雷针确定；三角形内侧也按两支等高避雷针确定：如果每两针之间都能满足$b_x \geqslant 0$的条件，则高度h_x水平面上全部面积在三针联合保护范围之内。

② 四支及四支以上的等高避雷针可以分成两组或两组以上的三支等高避雷针，按三支等高避雷针确定其保护范围。

（4）不等高避雷针的保护范围 其保护范围按图3-40确定。

① 两针外侧保护范围按单针确定。

② 两针内侧先按单针确定较高针A附近的保护范围，再找到与较低针B等高的等效避雷针A′的位置，并按两支等高避雷针确定其间保护范围，其最低点高度h_0为

$$h_0 = h_B - \frac{D'}{7P}, \ \text{m} \tag{3-43}$$

式中 h_B——较低避雷针的高度，m；

D'——较低避雷针与等效避雷针之间的距离，m。

③ 多支不等高避雷针的保护范围按图3-38、图3-39、图3-40类似的办法确定。

（5）单根避雷线的保护范围　其保护范围按图3-41确定。图中，h 是避雷线最大弧垂点的高度；α称为避雷线的保护角。保护角越小，保护效果越好。当保护角在20°以下时，绕击率*不超过0.1%；当保护角超过30°时，绕击率显著增加。一般避雷线的保护角取为20°～30°。选取保护角既要从安全角度考虑到被保护设施的特点和重要性，又要考虑到当地雷电活动情况和经济上的合理性。避雷线的保护范围亦可按下式确定：

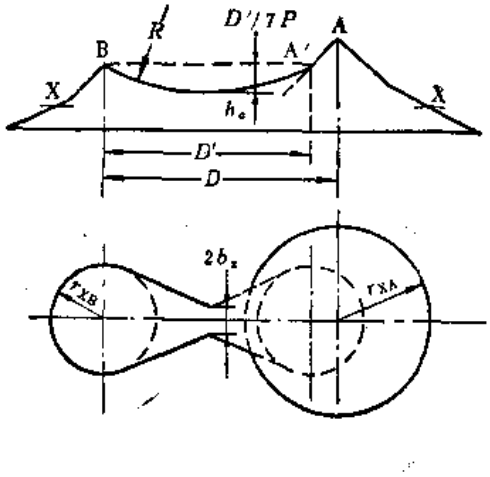


图 3-40　两支不等高避雷针的保护范围

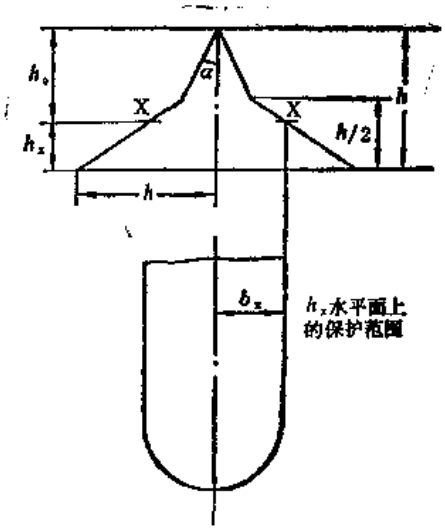


图 3-41　单根避雷线的保护范围

$$\left.\begin{aligned}&\text{当}\quad h_x\geqslant\frac{h}{2}\text{时},\ b_x=\alpha(h-h_x)P,\ \text{m}\\&\text{当}\quad h_x<\frac{h}{2}\text{时},\ b_x=(h-bh_x)P,\ \text{m}\end{aligned}\right\}\qquad(3\text{-}44)$$

式中　h_x——被保护物高度，m；

h——避雷线高度，m；

b_x——高度h_x水平面上保护宽度的一半，m；

α、b——考虑取不同保护角时的计算系数，按表3-20确定。

表 3-20　避雷线保护范围计算系数

保护角 α	20°	25°	30°
a	0.36	0.47	0.58
b	1.64	1.53	1.42

单根避雷线端部保护范围与两侧保护范围相同。

（6）两根平行避雷线的保护范围　其保护范围按图3-42确定。

① 两避雷线外侧保护范围按单根避雷线确定。

② 两避雷线内侧保护范围由通过两避雷线最大弧垂点a、b及O点的圆弧确定。O点在避雷线中间，所在高度

* 绕击率：绕过避雷线击中被保护设施的雷击次与总雷击次数的比值。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$h_0 = h - \frac{D}{4P},\ \text{m}$$

式中 h_0——两避雷线间保护范围最低点的高度，m；

D——两避雷线间的距离，m。

③ 两避雷线端部保护范围可按两支等效避雷针确定，等效避雷针的高度可近似取为避雷线高度的80%。

（7）避雷针、避雷线联合保护范围 其保护范围按图3-43确定。将避雷线各点看作是等效避雷针，如等效避雷针B和C，其等效高度取为避雷线该点高度的80%；然后分别在A与B、A与C之间按两支避雷针的方法确定其保护范围。

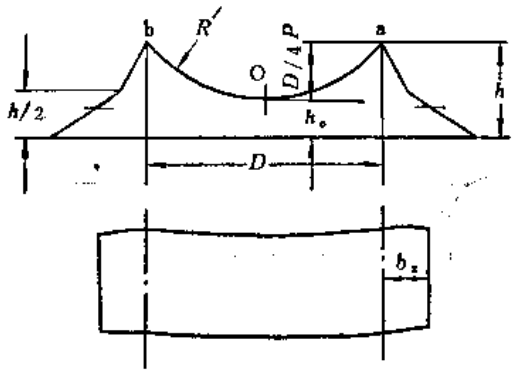


图 3-42 两根平行避雷线的保护范围

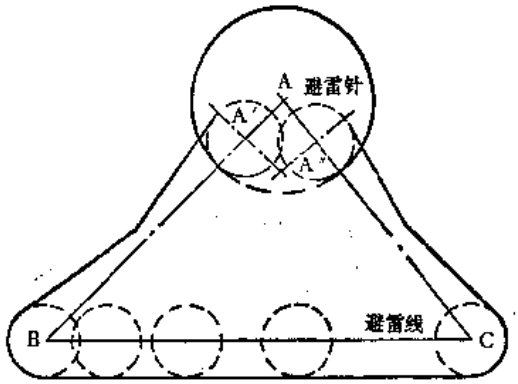


图 3-43 避雷针和避雷线的联合保护范围

2. 接闪器的材料

接闪器所用材料的尺寸应能满足机械强度和耐腐蚀的要求，还要有足够的热稳定性，以能承受雷电流的热破坏作用。避雷针、避雷网和避雷带一般采用圆钢或扁钢制成。其尺寸要求见表3-21。

表 3-21 接闪器常用材料的最小尺寸

类别	规格	圆钢或钢管		扁钢	
		圆钢直径（mm）	钢管直径（mm）	截面（mm²）	厚度（mm）
避雷针	针长1m以下	12	20	—	—
	针长1～2m	16	25	—	—
	针在烟囱上方	20	—	—	—
避雷网或避雷带	6×6～10×10m网格或间距6～10m的带网、带在烟囱上方	8	—	48	4
		12	—	100	4

避雷线一般采用截面积不小于35mm²的镀锌钢绞线。

为防止腐蚀，接闪器应镀锌或涂漆；在腐蚀性较强的场所，还应适当加大其截面积并采取其它防腐措施。

接闪器截面锈蚀30%以上时应予更换。

3.6.3.2 引下线

引下线一般采用圆钢或扁钢，其尺寸和防腐蚀要求与避雷网、避雷带相同。如用钢绞线

作引下线，其截面不应小于25mm²。

引下线应沿建筑物和构筑物的外墙敷设，并经最短途径接地；建筑艺术要求较高者，可以暗设，但截面应加大一级。建筑物和构筑物的金属构件（如消防梯等），可用作引下线，但所有金属构件之间均应连成电气通路。

采用多根引下线时，为了便于测量接地电阻和检查引下线、接地线的连接状况，宜在各引下线距地面1.8m处设断接卡。

在易受机械损坏的地方，地面以上约1.7m至地面以下约0.3m的一段引下线和接地线应加竹管、角钢或钢管保护。采用角钢或钢管保护时，应与引下线连接起来，以减小通过雷电流时的电抗。

互相连接的避雷针、避雷网、避雷带或金属屋面的接地引下线一般不应少于2根；其间距离不应大于表3-22所列数值。

表 3-22 引下线之间的距离（m）

建筑物和构筑物类别	工业第一类	工业第二类	工业第三类	民用第一类	民用第二类
最大距离	18①	24	30②	24	—

注：1. 工业第一类，系指使用或贮存大量爆炸危险物质，正常时能形成爆炸性混合物，电火花会引起强烈爆炸，造成巨大破坏和人身伤亡者。

2. 工业第二类，系指虽然使用或贮存危险性物质，但正常时不形成爆炸性混合物，不易引起爆炸或不致造成巨大破坏和人身伤亡者。

3. 工业第三类，系指除一、二类外，凡属需要防雷者。

4. 民用第一类是指具有重大政治意义的建筑物；民用第二类是指重要的公共建筑物。

① 用于防止直击雷者为18米；用于防止雷电感应者为18～24米。

② 有困难时，可放宽为40米，建筑物或构筑物周长和高度均不超过40米者，可只设一根引下线。

引下线截面锈蚀30%以上者，应及时予以更换。

3.6.3.3 接地装置

1. 一般要求

防雷接地装置与电力设备接地装置的要求大致相同。但其材料尺寸应稍大，所用人工接地体和接地线的尺寸不应小于表3-23所列数值。

表 3-23 防雷接地体和接地线的最小尺寸

材料名称	圆钢直径（mm）	扁钢		角钢厚度（mm）	钢管壁厚（mm）
		截面（mm²）	厚度（mm）		
材料尺寸	10	100	4	4	3.5

为了防止跨步电压伤人，防直击雷接地装置距建筑物和构筑物出入口和人行道的距离不应小于3m。当小于3m时，应采取下列措施之一。

（1）水平接地体局部深埋，埋设深度1m以上；

（2）水平接地体局部包以绝缘物（例如，包以50～80mm厚的沥青层）；

（3）采用沥青碎石地面或在绝缘体上方敷设50～80mm厚的沥青层，其宽度应超出接地装置2m；

（4）埋设帽檐式或其它型式的均压条。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 接地电阻值

防雷接地电阻值一般指冲击接地电阻值。

（1）防直击雷的接地电阻　建筑物和构筑物防直击雷的接地电阻不应大于表3-24所列数值。

表 3-24　防直击雷的接地电阻(Ω)

建筑物和构筑物类别	工业第一类	工业第二类	工业第三类	民用第一类	民用第二类
接地电阻	10	10	20～30	10	10～30

（2）防雷电感应的接地电阻　第一类和第二类工业建筑物和构筑物防雷电感应的接地电阻不应大于10Ω，其接地装置应与电气设备的接地装置共用；其它建筑物和构筑物一般没有防雷电感应的要求。

（3）防雷电侵入波的接地电阻　防雷电侵入波的接地，如电缆金属外皮、阀型避雷器（或保护间隙）、架空线路绝缘子铁脚、空中金属管道的接地，接地电阻与建筑物、构筑物类别和线路特征有关，一般不应超过10～30Ω。

3. 接地电阻冲击系数

冲击接地电阻一般不等于工频接地电阻。这是因为巨大的雷电流自接地体流入土壤时，接地体附近形成很强的电场，将土壤击穿并产生火花，这相当于增加了接地体的截面，增加了泄流面积，减小了接地电阻，在强电场的作用下，土壤电阻率也有所降低，也减小了接地电阻。另一方面，由于雷电流陡度很大，有高频特性，使接地体本身的电抗增大，如接地体较长，其后部泄放电流受到影响，接地电阻有可能增大。一般情况下，前者的影响较大，后者的影响较小，即冲击接地电阻一般都小于工频接地电阻。土壤电阻率越高、雷电流越大、接地体越短，冲击接地电阻减小越多。

冲击接地电阻与工频接地电阻的比值称为冲击系数。即

$$\alpha=\frac{R_c}{R_g}$$

式中　α——冲击系数，一般在0.2～1.25范围内；

R_c——冲击接地电阻；

R_g——工频接地电阻。

一般情况下，接地体冲击系数可按下式计算：

$$\alpha=\frac{1}{0.9+a\frac{(I_c\rho)^m}{L^P}}$$

式中　I_c——通过接地体的雷电冲击电流，kA；

ρ——土壤电阻率，kΩ·m；

L——垂直接地体长度、水平带形接地体长度或水平环形接地体直径，m；

a、m、P——接地体形状系数：对垂直接地体，$a=0.9$、$m=0.8$、$P=1.2$；对水平带形和环形接地体，$a=2.2$、$m=0.8$、$P=1.2$。

冲击电流波头为3～6μs时，接地体冲击系数亦可由表3-25、表3-26和表3-27查取。

表 3-25 长2～3m直径6cm以下垂直接地体的冲击系数

土壤电阻率Ω·m	雷电流（kA）			
	5	10	20	40
100	0.85～0.90	0.75～0.85	0.6～0.75	0.5～0.6
500	0.6～0.7	0.5～0.6	0.35～0.45	0.25～0.3
1000	0.45～0.55	0.35～0.45	0.25～0.30	—

注：表中根据不同条件给出确定的范围，并且，较大值用于3 m长的接地体，较小值用于2 m长的接地体。

表 3-26 宽2～4cm扁钢或直径1～2cm圆钢水平带形接地体由一端引入雷电流时的冲击系数

土壤电阻率（Ω·m）	接地体间距离（m）	雷电流（kA）			
		5	10	20	40
100	5	0.80	0.75	0.65	0.50
	10	1.05	1.00	0.90	0.80
	20	1.20	1.15	1.05	0.95
500	5	0.60	0.55	0.45	0.30
	10	0.80	0.75	0.60	0.45
	20	0.95	0.90	0.75	0.60
	30	1.05	1.00	0.90	0.80
1000	10	0.60	0.55	0.45	0.35
	20	0.80	0.75	0.60	0.50
	40	1.00	0.95	0.85	0.75
	60	1.20	1.15	1.10	0.95
2000	20	0.65	0.60	0.50	0.40
	40	0.80	0.75	0.65	0.55
	60	0.95	0.90	0.80	0.75
	80	1.10	1.05	0.95	0.90
	100	1.25	1.20	1.10	1.05

一般接地体的冲击利用系数约为工频利用系数的0.9倍，并可按表3-28选取。

各种接地装置的冲击接地电阻亦可按表3-29近似确定。

3.6.3.4 消雷装置

消雷装置由顶部的电离装置、地下的地电荷收集装置及其中间的连接线组成。

消雷装置不是通过控制雷击点来防止雷击事故的。常见消雷装置的保护原理是利用积云的感应作用，在顶部电离装置附近形成强电场，并通过尖端放电使空气电离，产生向积云移动的离子流，使积云受到屏蔽和得到中和，以保持空间电场强度不超过空气的击穿强度，消除落雷条件，抑制雷击的发生。

电离装置可以做成不同的形状（板形、锥形等）。其上应有多支放电针，其高度一般不得低于30 m。地电荷收集装置应采用浅埋平面延伸式装置，以利于收集地电荷。连接线只通过毫安级的小电流，所用材料应满足机械强度的要求。

表 3-27 宽2～4cm扁钢或直径1～2cm圆钢水平环形接地体，由环的中心引入雷电流，引入处与环有3～4处连接时的冲击系数

土壤电阻率（Ω·m）	100			500			1000		
雷电流(kA)	20	40	80	20	40	80	20	40	80
环直径4m	0.6	0.45	0.35	0.50	0.40	0.25	0.35	0.25	0.20
环直径8m	0.75	0.65	0.50	0.55	0.45	0.30	0.40	0.30	0.25
环直径2m	0.8	0.70	0.60	0.60	0.50	0.35	0.45	0.40	0.30

3.6.4 防雷措施

3.6.4.1 防直击雷

1. 防直击雷的范围

第一类、第二类工业建筑物和构筑物和第一类民用建筑物和构筑物均需采取防直击雷措

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 3-28 接地体冲击利用系数

接地体型式	接地体根数	冲击利用系数	备注
几根水平射线（每根长10～80m）	2	0.83～1.0	较小值用于较短射线者
	3	0.75～0.90	
	4～6	0.65～0.80	
以水平接地体连接的垂直接地体	2	0.80～0.85	垂直接地体间距与长度之比为2～3，较小值用于较小比值者
	3	0.70～0.80	
	4	0.70～0.75	
	6	0.65～0.70	

施；第三类工业建筑物和构筑物、第二类民用建筑物和构筑物的易受雷击部位也需采取防直击雷措施。

除上述建筑物和构筑物外，其它易受雷击的建筑物和构筑物、有爆炸或火灾危险的露天设备（如露天油罐、露天贮气罐等）、高压架空电力线路、发电厂和变电站等也应采取防直击雷措施。

表 3-29 工频接地电阻与冲击接地电阻的比值($1/\alpha$)

土壤电阻率（Ω·cm）	≤1×10^4	5×10^4	1×10^5	≥2×10^5
一般接地装置	1.0	1.5	2.0	3.0
环绕房屋的接地装置	1.0			

2. 防直击雷的要求

各种建筑物和构筑物防直击雷的基本要求列入表3-30。

装设独立避雷针和架空避雷线应注意以下几点：

（1）不应设置在人经常通行的地方；

（2）应当装设单独的接地装置；

（3）严禁在装有避雷针或避雷线的构筑物上架设通讯线、广播线和低压线；

（4）装有避雷针或避雷线的构架上的照明灯电源线，必须采用直接埋入地下带金属外皮的电缆或穿入金属管的导线，并经10m以上才能引进室内。

装设在建筑物和构筑物屋面上的接闪器（包括建筑物和构筑物的金属屋面）均应互相连接，并与建筑物和构筑物的金属结构连接起来。对于工业建筑物和构筑物，应与电气设备共用接地装置，接地装置宜沿建筑物和构筑物四周敷设。

露天装设的有爆炸危险的金属封闭气罐和工艺装置，当其壁厚不小于4mm时，允许不装设接闪器，但必须接地，接地点不应少于二处，其间距离不应大于30m，冲击接地电阻不应大于30Ω。

3. 防反击的要求

防雷装置承受雷击时，其接闪器、引下线和接地装置都呈现很高的冲击电压，可能击穿邻近的导体之间的绝缘，造成反击。由于反击，可能酿成火灾或爆炸，也可能引起人身事故。为了防止反击，必须保证接闪器、引下线、接地装置与邻近导体之间有足够的安全距离。

（1）独立避雷针空气中距离　独立避雷针及其引下线与其它金属物体在空气中的最小距离应符合下式要求：

$$S_{k1}\geqslant 0.3R_c+0.1h_x$$

式中　S_{k1}——空气中的距离，m；

表 3-30 各类建筑物和构筑物防直击雷要求

类　　别	基　本　要　求
第一类工业建筑物和构筑物	1. 装设独立避雷针或架空避雷线，使被保护建筑物和构筑物及突出屋面的物体（如风帽、放散管等）均处于保护范围内 对排放有爆炸危险气体、蒸汽或粉尘的管道，保护范围应高出管顶2m以上 2. 难以装设独立避雷针或架空避雷线时，可在建筑物和构筑物上装设避雷针或沿整个屋面装设网格不大于6×6m的避雷网 装设均压环，环间垂直距离不应大于12m，并应与建筑物和构筑物内的金属结构和金属设备相连，可利用电力设备接零干线或接地干线作均压环 对排放有爆炸危险气体，蒸汽或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等，管顶或其附近避雷针针尖高出管顶3m以上，保护范围应高出管顶2m以上
第二类工业建筑物和构筑物	在建筑物和构筑物上装设避雷网或避雷针，避雷网应沿屋角、屋脊、屋檐和檐角等易受雷击部位在整个屋面敷设，网格不应大于10m 对排放有爆炸危险气体、蒸汽或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等，管顶或其附近避雷针针尖宜高出管顶3m以上，保护范围宜高出管顶1m以上 其他屋面保护范围之外的金属物体可不装设接闪器而直接同屋面防雷装置相连；其他屋面保护范围之外的非金属物体应装设接闪器，并同屋面防雷装置相连
第三类工业建筑物和构筑物	易受雷击部位装设避雷带或避雷针 采用避雷带时，避雷带与屋面上任何一点的距离不应大于10m 采用避雷针时，单支避雷针的保护范围可按60°保护角确定，两支避雷针之间的距离不宜大于30m、且不宜超过避雷针有效高度15倍 其他屋面保护范围之外的物体的保护同第二类工业建筑物和构筑物要求 砖砌烟囱、钢筋混凝土烟囱宜在烟囱上装设避雷针或避雷环
第一类民用建筑物和构筑物	在建筑物和构筑物上装设避雷网或避雷带，并应沿屋角、屋脊、檐角和屋檐等易受雷击的部位敷设 避雷网网格不应大于10m，避雷带与屋面上任何一点的距离不应超过5m 其他突出屋面物体的保护同第二类工业建筑物和构筑物要求
第二类民用建筑物和构筑物	同第三类工业建筑物和构筑物要求

R_c——避雷针装置的冲击接地电阻，Ω；

h_x——校验点离地面的高度，m。

S_{k1}一般不得小于5m。

（2）架空避雷线空气中距离　一端接地的架空避雷线与其它金属物体在空气中的最小距离应符合下式要求：

$$S_{k2} \geqslant 0.3R_c + 0.16(h + \Delta l)$$

式中　S_{k2}——空气中的距离，m；

h——避雷线支柱高度，m；

Δl——避雷线上校验点与接地支柱间的距离，m。

两端接地的架空避雷线与其它金属物体在空气中的最小距离应考虑一个分流系数，即

$$S'_{k2} \geqslant \beta[0.3R_c + 0.16(h + \Delta l')]$$

式中　S'_{k2}——空气中的距离，m；

β——分流系数；

$\Delta l'$——校验点与较近的支柱间的距离，m。

分流系数β按下式计算：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$\beta=\frac{1+\dfrac{\tau R_c}{1.24(h+l_2)}}{1+\dfrac{h+\Delta l'}{h+l_2}+\dfrac{\tau R_c}{6.2(h+l_2)}}\approx\frac{h+l^2}{2h+l_2+\Delta l'}$$

式中 l_2——校验点与较远的支柱间的距离，m；

τ——雷电流波头（一般取2.6），μs。

对于避雷线的中点（即最大弧垂点），分流系数 $\beta=\frac{1}{2}$，空气中的最小距离可简化为

$$S'_{k2}\geqslant 0.15R_c+0.08\left(h+\frac{l}{2}\right)$$

式中 l——避雷线两支柱之间的距离，m。

避雷线引下线与其它金属物体之间的最小距离与避雷针引下线同样要求；避雷线两端接地时，也应考虑一个分流系数。

S_{k2}和S'_{k2}一般不得小于5m。

有避雷线的电力线路，15℃无风时，档距中央导线与避雷线的最小距离宜符合下式要求：

$$S_{k3}\geqslant 0.012l+1$$

式中 S_{k3}——空气中距离，m；

l——线路档距，m。

（3）接地装置地下距离 独立避雷针或架空避雷线的接地装置与其它地下金属物体之间的最小距离应符合下式要求：

$$S_{d1}\geqslant 0.3R_c$$

式中 S_{d1}——地下距离，m。

如果避雷线两端接地，也应乘以分流系数，即

$$S'_{d1}\geqslant 0.3\beta R_c$$

式中 S'_{d1}——地下距离，m。

S_{d1}和S'_{d1}一般不得小于3m。

（4）工业建筑物上防雷装置的距离 第二类工业建筑物和构筑物防雷装置的引下线与不相连接的金属物体之间的最小距离应符合下式要求：

$$S_{k4}\geqslant 0.05l_x$$

式中 S_{k4}——空气中距离，m；

l_x——引下线校验点到地面的长度，m。

（5）民用建筑物上防雷装置的距离 第一类民用建筑物和构筑物防雷装置的引下线与不相连接的金属物体之间的最小距离应符合下式要求：

$$S_{k5}\geqslant 0.2R_c+0.05l_x$$

式中 S_{k5}——空气中距离，m。

第一类民用建筑物和构筑物接地装置与不相连接的地下金属物体之间的最小距离应符合下式要求：

$$S_{d2}\geqslant 0.2R_c$$

（6）树木距离 如树木高于建筑物和构筑物，且不在防雷装置保护范围以内时，树木

与建筑物和构筑物之间的最小距离不应小于5m。

为了防止防雷装置对带电体的反击事故，在可能发生反击的地方，可加装避雷器或保护间隙，以限制带电体上可能产生的冲击电压。

3.6.4.2 防雷电感应

雷电感应也能产生很高的冲击电压，在电力系统中应与其它过电压同样考虑；在建筑物和构筑物中，主要应考虑防止雷电感应引起反击导致爆炸和火灾。因此，除电力系统外，第一类和第二类工业建筑物和构筑物有防雷电感应的要求。

1．防静电感应的要求

为了防止静电感应，应满足以下要求：

（1）将建筑物和构筑物内的金属设备、金属管道、金属构架、电缆金属外皮、钢屋架、钢窗等较大金属构件予以接地；

（2）将建筑物和构筑物的金属屋面、屋面结构钢筋、屋面金属网格以及突出屋面的金属物体予以接地。

防静电感应的接地装置应与电气设备接地装置共用。

2．防电磁感应的要求

为了防止电磁感应，平行敷设的长金属物体，如管道、构架、电缆外皮等，相距不到100mm时，每隔20～30m须用金属线跨接；交叉或接近不到100mm时，交叉或接近处也应跨接。

同时，管道连接处，如弯头、阀门、法兰盘等，不能保持良好接触时，须用金属线跨接。用丝扣紧密连接的ϕ25及以上的管接头和法兰盘，在非腐蚀情况下，可不跨接；而对于第二类工业建筑物和构筑物，一般可不跨接。

3.6.4.3 防雷电侵入波

1．变配电装置防雷电侵入波

（1）35kV变电所　在未沿全线架设避雷线的35kV线路，其变电所进线段应采用图3-44所示保护接线。图中FZ是阀型避雷器，GB是管型避雷器；管型避雷器GB_1的工频接地电阻不宜超过10Ω。

35kV的小容量变电所，可根据负荷重要性和雷电活动情况等条件适当简化保护接线。容量3150～5000kVA、1000～3150kVA和1000kVA以下的变电所进线段简化保护接线分别如图3-45、图3-46和图3-47所示。图中JX是保护间隙。

35kV变电所电缆进线段保护接线如图3-48所示。图中，FJ是接地器。

（2）3～10kV变电所　进线段保护接线可参考图3-49适应选用。图中，FS是阀型避雷器，DK为电抗器。

变电所进线母线上阀型避雷器FZ与主变压器之间的电气距离不宜大于表3-31所列数值。

3～10kV配电变压器可用三相阀型避雷器、两相阀型避雷器一相间隙（同一配电网中，各间隙必须装在同一相导线上）或三相间隙保护如图3-50所示。保护装置应尽量靠近变压器装设，并与变压器外壳和变压器低压中性点（或中性点不接地系统中，击穿保险器的接地端）共用接地装置。

多雷地区的3～10kV配电变压器，为防止低压边雷电侵入波和反变换波*击穿高压边绝

* 反变换波系指高压边遭受雷击，避雷器放电，其接地装置呈现较高的对地电压，并经低压中性点通过变压。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

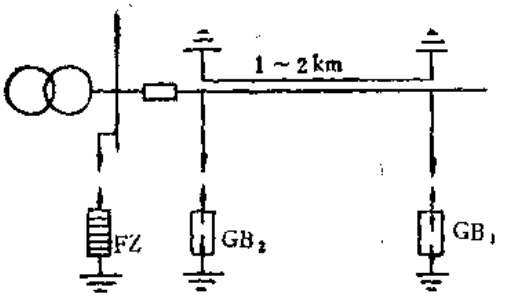


图 3-44　35kV变电所进线保护接线

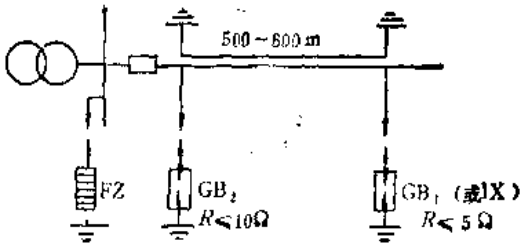


图 3-45　3150～5000kVA35kV变电所简化保护接线

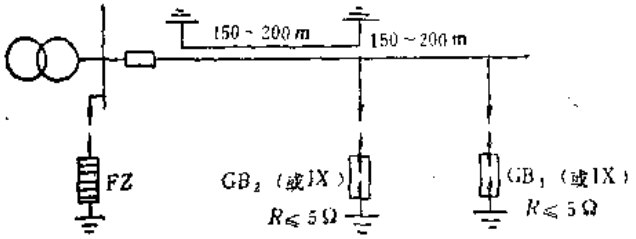


图 3-46　1000～3150kVA35kV变电所简化保护接线

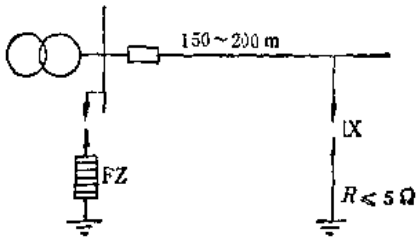


图 3-47　1000kVA以下35kV变电所简化保护接线

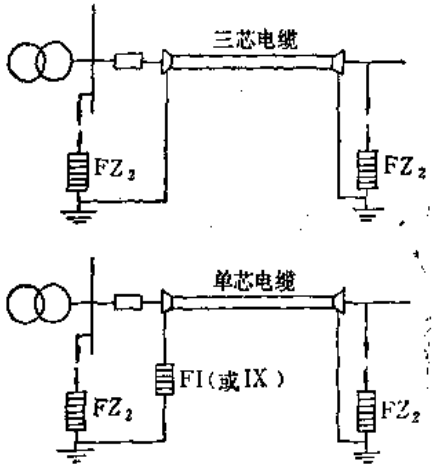


图 3-48　35kV变电所电缆进线保护接线

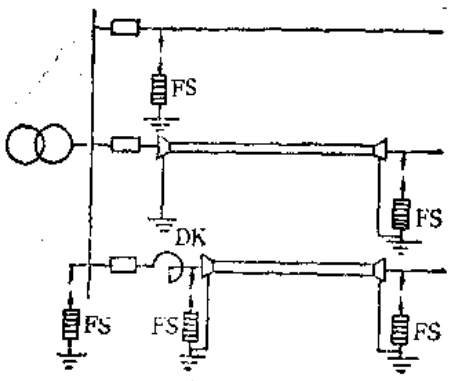


图 3-49　3～10kV变电所进线保护接线

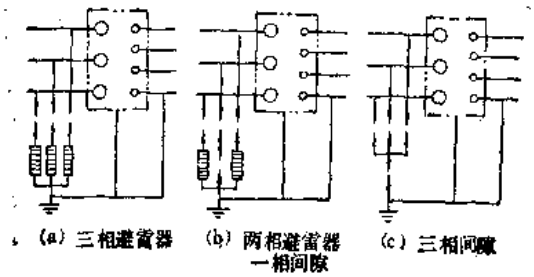


图 3-50　3～10kV变压器防雷电侵入波接线

表 3-31 避雷器与3～10kV主变压器的最大电气距离(m)

雷季经常运行的进线路数	1	2	3	4及以上
最大距离	15	23	27	30

缘，低压边宜装设一组低压避雷器或击穿保险器。

35/0.4kV配电变压器的高、低压边均应装设阀型避雷器保护。

多雷地区或易受雷击地段，直接与架空线连接的电度表宜采取防雷电侵入波措施。

2. 建筑物和构筑物防雷电侵入波

各类建筑物和构筑物防雷电侵入波，主要是防止沿低压供电线路和架空金属管道侵入的雷电波，其基本要求列入表3-32。

表 3-32 建筑物和构筑物防雷电侵入波要求

类别	基本要求	
	供电线路	金属管道
第一类工业建筑物和构筑物	1. 全长采用直接埋地电缆 入户处电缆金属外皮与防雷电感应接地装置相连 2. 采用长度不小于50m的金属铠装直接埋地电缆 入户处电缆金属外皮与防雷电感应接地装置相连，电缆与架空线连接处装设阀型避雷器，并与电缆金属外皮和绝缘子铁脚一起接地，冲击接地电阻不应大于10Ω	入户处与防雷电感应接地装置相连 邻近100m内，每25m左右接地一次，各冲击接地电阻均不应大于20Ω
第二类工业建筑物和构筑物	1. 采用长度不小于50m的金属铠装直接埋地电缆 与第一类工业建筑物和构筑物之2相同 2. 采用架空线 入户处装设阀型避雷器或2～3mm保护间隙，并与绝缘子铁脚一起接到防雷接地装置上，冲击接地电阻不应大于5Ω 邻近的三基电杆绝缘子铁脚应接地，由近至远，第一处冲击接地电阻不应大于10Ω，其他二处均不应大于20Ω	入户处与防雷接地装置相连 邻近25m左右接地一次，冲击接地电阻不应大于10Ω
第三类工业建筑物和构筑物	入户处绝缘子铁脚与防雷及电气设备接地装置相连	入户处与防雷及电气设备接地装置相连
第一类民用建筑物和构筑物	1. 全长采用直接埋地电缆 入户处电缆金属外皮与接地装置相连 2. 采用架空线转直接埋地电缆 与第二类工业建筑物和构筑物之2相同 3. 采用架空线 入户处装设避雷器，并同绝缘子铁脚一起接到接地装置上，邻近的两基电杆绝缘子铁脚应接地，冲击接地电阻均不应大于30Ω	入户处与接地装置相连
第二类民用建筑物和构筑物	入户处绝缘子铁脚接地，冲击接地电阻不应大于30Ω	入户处接地，冲击接地电阻不应大于30Ω

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

条件许可时，第一类工业建筑物和构筑物全长宜采用直接埋地电缆供电，爆炸危险较大或年平均雷暴日在30日/年以上的场合，第二类工业建筑物和构筑物应采用长度不小于50m的金属铠装直接埋地电缆供电。

除年平均雷暴日不超过30日/年，或低压线不高于周围的建筑物，或线路接地点距入户处不超过50m，或土壤电阻率低于200Ω·m，且采用钢筋混凝土杆及铁横担等几种情况外，低压架空线路接户线绝缘子铁脚均宜接地，冲击接地电阻不宜超过30Ω。

第4章 压力容器

压力容器广泛应用于化工生产中的化学反应、传热、传质、物料贮存等各个方面，常见的形式有反应器、蒸汽锅炉、换热器、塔器、贮存器等，化工厂的装备约有20～50%属于压力容器。

压力容器是一种具有爆炸危险的特种设备，必须加强安全管理。

压力容器分为非直接火压力容器和直接火压力容器。前者即通常所述的压力容器（亦称受压容器），它们之中又把气瓶、槽车等移动式容器单独列出进行安全管理。对于后者，凡以水为介质产生蒸汽的直接火压力容器称为蒸汽锅炉。

4.1 名词术语与基本概念

4.1.1 压力及其单位

4.1.1.1 压力

1. 定义

压力是一物质垂直均匀地作用于他一物体上单位面积上力的量度。在物理学中称为压强，工程上习惯叫做压力。

2. 气体压力

气体压力是指在密闭容器内单位面积器壁上所受到的气体分子的合作用力的量度。

气体压力大小决定于在单位时间内气体分子对器壁碰撞的次数和每一个分子对器壁撞击力的大小。

3. 表压和绝对压力

表压是指测量压力的仪表（压力表、压力计）上所指示的压力值。表压是表压力的简称，又称计示压力。用工程压力作测量压力的单位以at表示。

表压只是表明被测容器中的压力与容器周围大气压的差值，所以是一个相对的压力值。其关系式如下：

$$\text{表压(at)} = 1.0332 \times (\text{标准大气压} - 1) \tag{4-1}$$

绝对压力（简称绝压）是从绝对真空算起的压力值。亦以工程压力作为测量压力的单位（以ata表示）。与表压的关系式如下：

$$\text{绝压(ata)} = \text{表压(at)} + \text{当地大气压} \tag{4-2}$$

在工程计算中，为了简便起见，往往取当地的大气压等于0.0981MPa(1kgf/cm²)。

4.1.1.2 压力来源

压力容器的压力来源可以分为两类，一类是气体的压力在器外产生（增大）的，另一类是气体的压力是在器内产生（增大）的，详见表4-1。

常用的压力容器，介质压力大多产生于器外，即大部分容器的工作介质都是各种压缩气体、水蒸汽或加压液体。在器内产生压力的压力容器，但是这种容器由于压力是在器内产生的，因而危险性较大，对压力控制的要求也应该更严格。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-1 压力容器的压力来源

受压方式	压力源	工作介质	机理		最高压力
器外产生（增大）	气体压缩机	压缩气体	容积型（如：活塞式、螺杆式、转子式、滑片式等）	通过缩小气体的体积，增加气体的密度来提高气体的压力	取决于压缩机出口的气体压力
			速度型（如：离心式、轴流式、混流式等）	通过增加气体流动速度并使气体的动能转变为势能来提高气体压力	
		液化气体	通过加压、降温使气体液化		液化气体压力随温度提高而升高。它取决于环境温度、介质温度
	蒸汽锅炉	水蒸汽	由于水和水蒸汽的比容不同，在体积一定的密闭锅筒内，随着炉水受热蒸发，蒸汽密度不断增加，压力随之升高		限于锅炉的出汽压力或减压阀的调整压力
器内产生（增大）	介质在器内发生体积增大的化学反应	器内介质	由于化学反应产生气体，体积增大，在密闭容器内即会产生较高的压力		取决于参加反应物的数量和化学反应的程度
	器内介质的聚集状态发生改变		一般是液态或固态物质在器内受热蒸发或分解为气体，体积剧烈膨胀，但因受到容器容积的限制，产生气压或升高原气压		取决于聚集状态发生变化的程度
	介质在器内受热，温度剧烈升高		一般少见。根据查理定律：一定质量的气体在体积不变的情况下，温度与压力的关系，如果由于特殊原因，气体在器内吸收大量热量，致使温度剧烈升高，则它的压力会大大增加		取决于温度剧烈升高的程度

4.1.1.3 单位与换算

压力的单位是由力和面积的单位决定的。常用的压力单位有以下几种。

1. 工程压力

工程压力即工程大气压，又称公制大气压，是工程上所用的压力单位。1工程压力等于1平方厘米面积上受到1公斤力，即1kgf/cm^2。

2. 物理大气压

物理大气压又称标准大气压，以atm表示。一个标准大气压是指在纬度为45°的海平面上（即重力加速度为9.80665m/s^{2}处），气温为0℃时的大气压。在数值上为水银密度13.595×10^{3}kg/m^{3}时，0.76米高的水银柱所产生的压强值，即等于1.0332kgf/cm^{2}或760mmHg(汞柱）或1.013×10^{5}Pa（帕）。

物理大气压（atm)与工程大气压（at）的关系式如下：

$$1\text{atm} \approx 0.9679\text{at} + 1 \qquad (4\text{-}3)$$

3. 巴和毫巴

巴（bar）和毫巴（mbar）是气象学上用以量度大气压强的单位。巴定义为1m^{2}面积上受到均匀作用的10^{5}N（牛顿）的力时的压强值。毫巴是巴的千分之一。

4. 法定计量单位

按照法定计量单位规定，压力、压强、应力的单位统一为帕斯卡（Pa），其量纲式为N/m^2。

$$1Pa = 1N/m^2 \tag{4-4}$$

5. 压力单位换算

不同压力单位的换算，见表4-2。

表 4-2 压力单位的换算

国际制SI Pa (N/m^2)	工程大气压 (kgf/cm^2)	磅/英寸² (lbf/in^2)	物理大气压 (atm)	毫米汞柱 (mmHg)	巴 (bar)	米水柱 (mH_2O)
1	1.02×10^{-5}	1.45×10^{-4}	9.87×10^{-6}	7.5×10^{-3}	1×10^{-5}	1.02×10^{-4}
9.81×10^{4}	1	14.22	0.968	736	0.981	10
6.89×10^{3}	7.03×10^{-2}	1	6.8×10^{-2}	51.7	6.9×10^{-2}	0.7
1.01×10^{5}	1.033	14.69	1	760	1.013	10.33
1.33×10^{2}	1.36×10^{-3}	1.93×10^{-2}	1.32×10^{-3}	1	1.33×10^{-3}	1.35×10^{-2}
10^{6}	1.02	14.48	0.987	7.5×10^{2}	1	10.2
9.81×10^{3}	1×10^{-1}	1.42	9.68×10^{-2}	73.56	9.81×10^{-2}	1

4.1.2 压力容器分类

压力容器使用广泛，品种繁多，分类方法也不少。根据不同的要求，可以有多种分类方法。见表4-3。

从安全管理和技术监督的角度来考虑，压力容器一般分为两大部分，即固定式容器和移动式容器。见图4-1。

4.1.2.1 按压力等级划分

压力是压力容器最主要的一个工作参数。为了便于对固定式压力容器的分级管理和进行技术监督，可按其设计压力（p）的大小分为低压、中压、高压和超高压四个压力等级，详见表4-4。

4.1.2.2 按工艺用途分类

生产工艺过程中的作用原理按表4-5进行分类。

在一个容器中，如同时具有两个以上的工艺作用原理时，应按工艺过程中的主要作用来划分。

4.1.2.3 按危险程度分类

基于安全管理和国家安全监察的需要，根据压力容器的工作压力高低、介质的危险性和危害程度、压力和容积的乘积值以及在生产过程中的作用，将压力容器划分为三类，详见表4-6。

4.1.2.4 按容器种类分类

按照我国《压力容器安全监察规程》，国家对于压力容器的分类见图4-2。

在一类容器和二类容器中，又分为一类＊容器、一类＊＊容器，二类＊容器和二类＊＊容器。＊＊容器的制造、使用管理要比＊容器严格些。一类＊＊容器是指铬钼钢制容器，如抗氢钢$2^1/_4Cr$-$1M_o$钢，但不包括奥氏体不锈钢制容器。二类＊＊容器是指二类容器中的下列容器之一：（1）剧毒介质容器；（2）设计压力≥50kgf/cm²的容器；（3）易燃或有毒

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-3 压力容器的分类方法

按器壁厚度分	薄壁容器（$K=\frac{D_0}{D_i}$ ≤1.1～1.2[①]）	按工作压力分	低压容器
	厚壁容器（K>1.1～1.2）		中压容器
按壳体几何形状分	球形容器		高压容器
	圆桶形容器		超高压容器
	轮胎形容器	按工作壁温分	低温容器（≤-20℃）
按结构材料分	钢制容器		常温容器
	铸铁容器		高温容器（>350℃）
	有色金属容器	按安全管理分	固定式容器
	非金属容器		移动式容器
按介质形态分	气态容器	按工艺用途分[②]	反应容器（代号R）
	液态容器		换热容器（代号H）
按承压方式分	内压容器		分离容器（代号S）
	外压容器		贮运容器（代号T）
按制造方法分	焊接容器	按介质危险程度分	非易燃、无毒介质容器
	铆接容器		易燃或有毒介质容器
	锻造容器		剧毒介质容器
	绕板容器	按我国《容规》[③]分	一类容器
	绕带容器		二类容器
	复层容器		三类容器
按安放型式分	立式容器		
	卧式容器		

① 式中K为直径比，D_0为容器外径，D_i为内径。

② R (Reaction)、H (Heat transfer)、S (Separation)、T (Transpors and Storage Vessels)。

③ 即原国家劳动总局1981年5月颁发的《压力容器安全监察规程》。

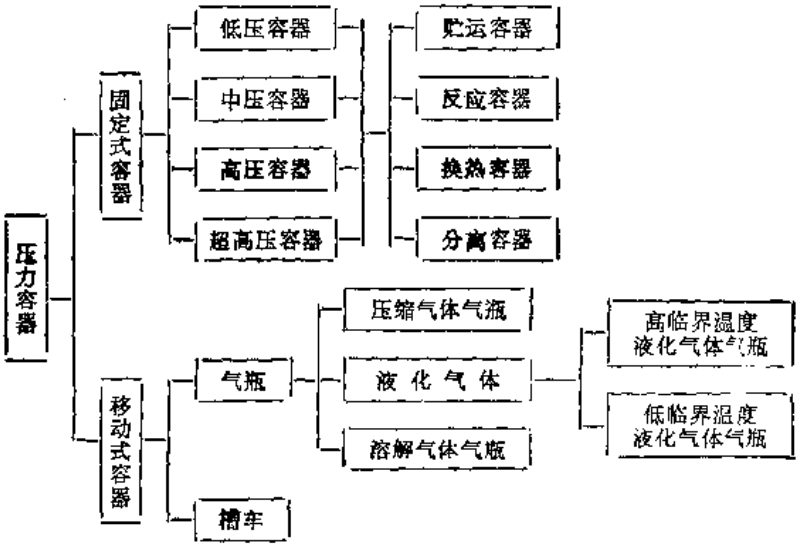


图 4-1 压力容器安全管理分类

表 4-4 压力等级划分 Pa (kgf/cm²)

压力等级	工作压力范围
低压	9.81×10^4 (1) $\leqslant p<156.96\times10^4$ (16)
中压	156.96×10^4 (16) $\leqslant p<981\times10^4$ (100)
高压	981×10^4 (100) $\leqslant p<9810\times10^4$ (1000)
超高压	$p\geqslant9810\times10^4$ (1000)

表 4-5 压力容器按工艺作用原理分类

压力容器名称	作用原理	举例
反应容器	主要是用来完成介质的化学反应	反应器、发生器、反应釜、分解锅、分解塔、聚合釜、高压釜、超高压釜、合成塔、变换炉等
换热容器	主要是用来完成介质的热量交换	热交换器、冷却器、冷凝器、蒸发器、加热器、硫化锅、消毒锅、蒸压釜、蒸煮器、染色器等
分离容器	主要是用来完成介质的流体压力平衡和气体净化、分离	分离器、过滤器、集油器、缓冲器、贮能器、洗涤器、吸收塔、铜洗塔、干燥塔等
贮运容器	主要是用来盛装生产和生活用的原料气体、液体、液化气体	各种型式的贮罐、槽车（铁路槽车、汽车槽车）

表 4-6 压力容器按介质危险程度分类

介质＼压力（用途）	低压容器		中压容器			高压超高压容器	废热锅炉		
	分离、换热	反应、贮运	分离、换热	反应	贮运		低压 $D_i<1$m	低压 $D_i\geqslant1$m	中压
非易燃、无毒	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ
易燃或有毒	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ ($p_w\cdot V<4.9\times10^5$) Ⅱ ($p_w\cdot V\geqslant4.9\times10^5$)	Ⅰ ($p_w\cdot V<4.9\times10^6$) Ⅱ ($p_w\cdot V\geqslant4.9\times10^6$)	Ⅱ			
剧毒	Ⅰ ($p_w\cdot V<1.96\times10^5$) Ⅱ ($p_w\cdot V\geqslant1.96\times10^5$)		Ⅱ						

注：p_w—最高工作压力（Pa），V—容积（m^3），$p_w\cdot V$的单位是Pa·m^3。
1.96×10^5Pa·$m^3=2000l\cdot$kgf/cm²，4.9×10^5Pa·$m^3=5000l\cdot$kgf/cm²，4.9×10^6Pa·$m^3=50000l\cdot$kgf/cm²。

介质的压缩气体、液化气体，且容积大于1m³的容器；（4）铬钼钢制容器。

4.1.2.5 介质的划分

压力容器介质可分为无毒介质、非易燃介质、剧毒介质、有毒介质和易燃介质等。详见表4-7。

4.1.3 饱和状态和临界状态

4.1.3.1 饱和压力及其计算

盛于密闭容器里的液体，在一定的温度下，向容器残留空间的蒸发，最后将保持气、液

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

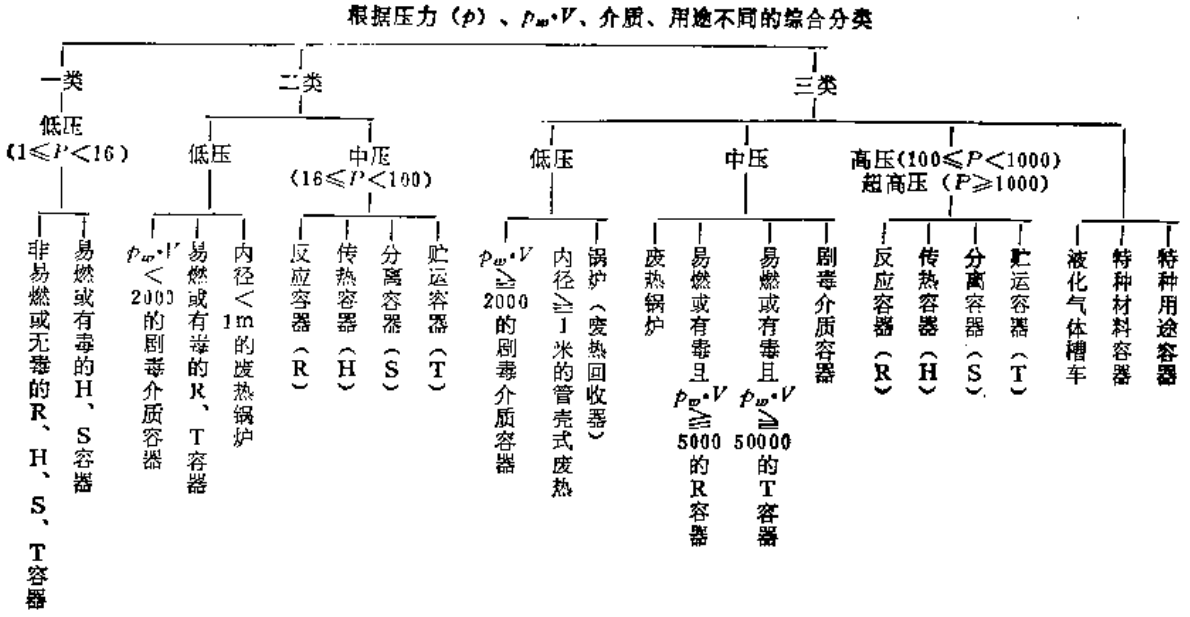


图 4-2 我国压力容器分类图

注：p_w—最高工作压力，kgf/cm²，V—容器容积，l

表 4-7 介质的界限划分

分 类	界 限	举 例
剧毒介质	是指进入人体量<2mg/l即会引起肌体严重损伤或致死作用的介质	氯、氟、氢氟酸、氢氰酸、光气、氟化氢、碳酰氟等
有毒介质	是指进入人体量≥2mg/l即会引起人体正常功能损伤的介质	二氧化硫、氨、一氧化碳、氯乙烯、甲醇、氯化乙烯、硫化乙烯、乙炔、二硫化碳、硫化氢等
易燃介质	是指与空气混合的爆炸下限<10%或爆炸上限和下限之差值>20%的气体	一甲胺、乙烷、乙烯、氯甲烷、环氧乙烷、环丙烷、丁烷、氢、三甲胺、丁二烯、丁烯、丙烷、丙烯、甲烷等

两相动态平衡，这种状态叫做饱和状态，这时的蒸气叫做饱和蒸气。饱和蒸气所具有的压强叫做饱和蒸气压简称饱和压力。

液化气体的饱和压力随温度上升而增加，随温度下降而减少。它和温度的关系，可由一些经验公式来表达，知道了温度或某一温度的液体饱和压力，可求出给定温度下液体的饱和压力。

饱和蒸气压的计算方法，可下列几类：

（1）常见的无机气体

$$\lg p = -\frac{A}{T} + B \qquad (4\text{-}5)$$

式中 p——饱和蒸气压，atm；

T——液化气体的绝对温度，K；

A、B——系数，按表4-8选取。

（2）常见的碳氢化合物

表 4-8 系数A、B值

气体名称	A	B	适用温度范围（K）
氨	1198	5.007	243～403
氯	1052.2	4.427	243～403
二氧化氮	1826	6.20	313～423
二氧化硫	1287	4.898	263～393
硫化氢	930.5	4.441	223～373

注：K＝273.15＋℃。

$$\lg p = A - \frac{B}{C + t} \tag{4-6}$$

式中 p——饱和蒸气压，atm；

t——液化气体的温度，℃；

A、B、C——系数，按表4-9选取。

表 4-9 系数A、B、C

气体名称	A	B	C	适用温度范围（℃）
丙烯	4.69877	1220.33	309.800	0～91.4
正丁烷	4.11248	1030.34	251.041	－0.5～75
异丁烷	4.30613	1120.165	271.853	－11.72～134.4
1-丁烯	4.76632	1480.036	320.536	45～147.2
异丁烯	4.31123	1118.99	266.563	－7.01～144.7
2-顺丁烯	3.98191	957.372	236.712	3.73～60
2-反丁烯	4.02579	977.994	242.052	0.88～60

（3）其它各种有机化合物

$$\lg p = A - \frac{B}{t + 230} \tag{4-7}$$

式中 p——饱和蒸气压，mmHg；

t——液化气体温度，℃；

A、B——系数，根据不同种类的气体的沸点，按表4-10选用；气体的沸点可参见表4-11“常见气体的物理数据”。

（4）通用的气体饱和蒸气压计算公式

$$\lg \frac{p_1}{p_2} = \frac{R_0}{4.57}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) \tag{4-8}$$

式中 p_1、p_2——温度为T_1、T_2时的饱和蒸气压，atm；

T_1、T_2——气体的绝对温度，K；

R_0——气体在标准沸点下的蒸发潜热，kcal/kg·mol。

$$R_0 = r \cdot M$$

M——分子量；

r——气体的蒸发潜热，按表4-11选取。

利用公式（4-8）可以在查得某一温度下的蒸气压（例如临界温度和临界压力）和它在

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-10　各种有机化合物计算蒸汽压力的A、B值

化合物 / A、B值 / 沸点温度（℃）	烃(饱和、不饱和)		卤代烷		正烷基伯胺		醚		酯		环戊烷系	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
-161.6	6.27189	231.95										
-103.7	6.41791	446.63										
-88.9	6.45742	504.66										
-84.0	6.47067	524.12										
-78.2			6.60611	565.50								
-47.7	6.57176	672.75										
-42.1	6.58224	695.50										
-34.5	6.61011	729.08										
-32.0			6.69647	755.50								
-24.0			6.74304	795.62								
-23.65							6.85542	820.17				
-23.2	6.64347	778.12										
-10	6.68321	836.52			6.77853	857.5						
-5	6.69953	859.05			6.79583	880.88						
0	6.71385	881.30			6.81324	904.46						
5	6.72922	904.40	6.8206	925.85	6.83123	928.35						
10	6.74502	927.41	6.83416	948.8	6.84864	952.25						
15	6.76216	950.93	6.84816	972.0	6.86636	976.46	6.95371	997.86				
20	6.77681	974.30	6.86201	995.3	6.88481	1001.0	6.96652	1021.5				
25	6.79521	998.20	6.87571	1018.7	6.90277	1025.6	6.97999	1045.3				
30	6.80888	1021.3	6.89004	1042.4	6.92081	1050.4	6.99311	1069.2	7.17696	1117.0		
35	6.82520	1045.3	6.90420	1066.2	6.93935	1075.5	7.00647	1093.3	7.19055	1142.0		
40	6.84155	1069.4	6.91821	1090.1	6.95821	1100.9	7.01969	1117.5	7.20414	1167.3		
45	6.85809	1093.8	6.93281	1144.3	6.97717	1126.5	7.03317	1141.9	7.21746	1192.6	6.83790	1088.2
50	6.87473	1118.3	6.94723	1138.0	6.99616	1152.3	7.04688	1166.5	7.23108	1218.1	6.85223	1112.0
55	6.89149	1143.1	6.96186	1163.1	7.01519	1178.3	7.06046	1191.2	7.24502	1243.8	6.86642	1135.9

注：当某种物质的沸点温度在表中所列温度之间时，用插入法求取A、B值。

标准沸点的蒸发潜热（又称汽化潜热），即可算出所需温度下的饱和蒸气压。因为这是一种通用公式，所以对某些气体误差较大一些，而且T_1与T_2相差越大，计算的误差也越大。因此要尽可能在已有的数据中，选用所需温度最为接近的数据。实在无比较接近的数据时，才选用它的临界数据。

例：求温度为30℃时液氯的蒸气压。

解：1. 若已知液氯在10℃时的蒸气压$p_1 = 4.96$atm，则由表4-11查得液氯的蒸发潜热为

$r = 69$kcal/kg，分子量$M = 70.91$，得

$R_0 = r \cdot M = 69 \times 70.91 = 4892.79$kcal/kgmol

$T_1 = 10 + 273 = 283$K；$T_2 = 30 + 273 = 303$K

$p_1 = 4.96$atm

将以上数值代入式（4-8）得

$$\lg \frac{p_1}{p_2} = \frac{R_0}{4.57}\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right) = \frac{4892.79}{4.57}\left(\frac{1}{303} - \frac{1}{283}\right) = -0.2497$$

表 4-11 常见气体的物理数据

气体名称	分子量 M	沸点 t_b (℃)	蒸发潜热(标准沸点下) r (kcal/kg)	临界性质 温度 (℃)	压力 MPa (atm)	密度 (g/l)	压缩系数 Z
氢	17.03	-33.4	328	133	10.94(111.5)	235	0.242
氯	70.91	-34.5	69	144	7.47 (76.1)	573	0.276
二氧化硫	64.06	-10.0	93	157	7.63 (77.8)	524	0.268
三氧化硫	80.06	44.8	118.5	218.3	8.18 (83.4)	633	
二氧化氮	46.01	21.2	170	158.2	9.81 (100)	570	
四氧化二氮	92.01	22.4		158.2	9.81 (100)	570	0.232
一氧化氮	30.01	-151.7	106.6	-94	6.38 (65)	520	
氧化亚氮	44.02	-88.5		36.5	7.03 (71.7)	452	0.271
硫化氢	34.08	-60.5	131	100.4	8.72 (88.9)	373	0.268
氯化氢	36.46	-85.0	106	51.4	8.05 (82.1)	420	0.266
溴化氢	80.91	-66.7		91.9	8.29 (84.5)	801	0.295
碘化氢	127.92			150.8	8.03 (81.9)		
氟化氢	20.01	19.4	327.76	230.2	6.28 (64)	290	0.223
氯化氢	27.03	25.7	223	183.5	4.90 (49.9)	200	0.197
甲烷	16.03	-161.5	138	-82.5	4.49 (45.8)	162	0.290
乙烷	30.07	-88.6	147.95	32.2	4.73 (48.2)	205	0.285
丙烷	44.09	-42.07	101.8	96.8	4.12 (42.0)	219	0.277
丁烷	58.1	-0.5	92.1	153.0	3.68 (37.5)	228	0.274
戊烷	72.15	36.1	85.35	196.6	3.27 (33.3)	232	
异丁烷	58.1	-11.7	87.67	134.9	3.53 (36.0)	221	0.283
异戊烷	72.15	27.85	81.06	187.8	3.22 (32.8)	234	
乙烯	28.05	-103.9	125	9.5	4.95 (50.5)	218	0.270
丙烯	42.08	-47.0	104.55	91.9	4.45 (45.4)	232	0.274
1-丁烯	56.11	-6.1	93.3	146.4	3.89 (39.7)	232	0.277
异丁烯	56.11	-6.9	91.16	144.7	3.87 (39.5)	234	0.270
顺-2-丁烯	56.11	3.9	99.4	163	4.02 (41)	239	
反-2-丁烯	56.11	1.05	96.87	155	4.02 (41)	239	
1-戊烯	70.13	29.95	83	201	3.91 (39.9)	238	
顺-2-戊烯	70.13	37.1	86.3	208	3.46 (35.3)	238	
反-2-戊烯	70.13	36.36	82	206	3.44 (35.1)	238	
2-甲基1-丁烯	70.13	31.1	93	195	3.43 (35.0)	238	
丙二烯	40.06	-37.5	121	120	5.3 (54.0)	247	
1,3-丁二烯	54.09	-4.4	97	152	4.19 (42.7)	246	0.271
1,2-丁二烯	54.09	10.3	101	171	4.36 (44.4)	247	
1,4-戊二烯	68.11	26.05	81	204	3.67 (37.4)	246	
2-甲基-1,3-丁二烯	68.11	34.08	85	211	3.73 (38.0)	246	
3-甲基-1,2-丁二烯	68.11	40	87	223	3.87 (39.4)	247	
反-1,3-戊二烯	68.11	42.3	88	223	3.87 (39.4)	246	
3-二甲基1-丁烯	84.16	41.23		192	2.61 (26.6)	230	
氟甲烷	34.03	-78.2	124	44.6	5.89 (60.0)	275	
氯甲烷	50.5	-24.1	102.45	143.1	6.46 (65.9)	353	0.276
溴甲烷	94.05	3.56		194	5.05 (51.5)	567	
氯乙烷	64.5	12.27	91.5	187	5.27 (53.7)	330	
溴乙烷	108.95	38.4	69.5	231		513	
2-氯丙烷	78.54	34.8		212	4.57 (46.6)	391	
溴三氟甲烷	148.93			67	3.83 (39.0)	745	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

气体名称	分子量 M	沸点 t_b (℃)	蒸发潜热 (标准沸点下) r (kcal/kg)	临界性质 温度 (℃)	压力 MPa (atm)	密度 (g/l)	压缩系数 Z
F-11	137.37	23.8	43.51	198	4.38 (44.6)	554	
F-12	120.9	-29.8	39.86	111.9	3.98 (40.6)	558	0.273
F-21	102.9	8.9	57.86	178.5	5.00 (51.0)	522	0.271
F-22	86.47	-40.8	55.92	96	4.82 (49.1)	525	0.264
F-13	104.47	81.4		28.9	3.75 (38.2)	580	0.278
F-23	70.02	-82.1		25.9	4.68 (47.7)	525	0.263
F-12B$_1$	165.38	-4.0		154	4.04 (41.2)	658	
F-113	187.38	47.6	35.07	214.1	3.41 (34.8)	576	
F-114	170.92	3.8	37.78	145.7	3.16 (32.2)	582	
F-142	160.5	-9.8		138	3.99 (40.7)	435	0.258
F-143	84.04	-47.6		73.1	3.78 (38.5)	434	0.280
F-152a	66.05	-25.0		114.0	4.36 (44.4)	392	0.278
F-116	138.0	-78.2		19.7	2.88 (29.4)	608	0.283
氯乙烯	62.5	-13.4		156.5	5.42 (55.2)	371	
溴乙烯	106.96	15.8		200	6.86 (69.9)		0.275
氟乙烯	46.05	-72.1		54.7	5.06 (51.6)	322	0.269
偏二氯乙烯	64.0	-85.7		30.1	4.33 (44.1)	417	0.284
四氟乙烯	100.02	-76.3		33.3	3.82 (38.9)	582	0.274
三氟氯乙烯	116.47	-27.9		105.3	3.83(39.01)	555	0.270
顺-1-氯1-丙烯	76.53	32.8		217.8	4.61 (47.0)	337	
反-1-氯1-丙烯	76.53	37.4		225	4.64 (47.3)	333	
六氟丙烯	150.02	-29.6		85.0	3.16 (32.2)	600	
六氟化硫	146.06	-63.5		45.5	3.64 (37.1)	753	0.275
三氟化硼	67.8	-100		-12.3	4.83 (49.2)	591	
四氟化碳(F-14)	88.01	-128		-46.5	3.62 (36.9)	626	0.272
环氧乙烷	44.05	10.7	139	192	6.79 (71.0)	315	0.255
环氧丙烷	58.05	33.9	121	209	4.77 (48.6)	312	
环丙烷	42.05	-32.8	118.91	124.6	5.31 (54.1)	243	
甲醚	46.07	-23.7	111.6	126.9	5.1 (52.0)	271	0.285
甲乙醚	60.09			164.7	4.26 (43.4)	270	
乙醚	74.12	34.6	86	193.8	3.48 (35.5)	262	
乙烯基甲醚	58.08	6		173.8	4.51 (46.0)	252	0.289
甲醛	30.03	-21	170	137	6.56 (66.9)	266	
乙醛	44.05	20.2	137	188	5.36 (54.6)	261	
光气	98.9	8	58.97	181.7	5.48 (55.9)	520	0.285
甲胺	31.06	-6.5	198.6	157	7.22 (73.6)	216	0.279
乙胺	45.09	16.5	149	183.6	5.49 (56)	248	0.274
二甲胺	45.08	6.9		164.8	4.97 (50.7)	256	0.280
三甲胺	59.11	2.9		161.0	4.02 (41.0)	233	0.287
乙二腈	52.04			126.5	5.7 (58.1)		
甲硫醇	48.11	6.8	122	196.8	7.0 (71.4)		
乙硫醇	62.13	34.4	111	225.5	5.32 (54.2)		
氧硫化碳	60.07	-50.2		105	6.98 (61)		
二甲基硫醚	62.13	35.9	102	229.9	5.36 (54.6)	306	
环丁烷	56.1	11.5	108.1	196	4.9 (50.0)		
F-13B$_1$	148.93	-57.8		67	3.86 (39.3)	745	0.280

续表

气体名称	分子量 M	沸点 t_b (℃)	蒸发潜热(标准沸点下) γ (kcal/kg)	临界性质 温度 (℃)	压力 MPa (atm)	密度 (g/l)	压缩系数 Z
呋喃	68.07	31.36	96.3	214	5.15 (52.5)	312	
螺旋戊烷	68.11	38.98		193.6	3.23 (32.9)	220	
四氯化碳	153.82	77	52.1	283.1	4.41 (45.0)	558	
乙炔	26.04	−83.8(升)	198	36	6.08 (62)	231	
乙腈	41	81.7		274.7	4.68 (47.7)	240	
空气	28.96	−192.3	47	−141	3.65 (37.2)	310	0.292
氧气	32	−183.0	50.92	−118.6	4.88 (49.7)	436	0.292
氢	20.6	−252.7	108.5	−239.6	1.26 (12.8)	31	0.304
氮	28.02	−195.8	47.58	−147.1	3.29 (33.5)	311	0.291
氩	39.95	−185.7	38.99	−122.3	4.75 (48.4)	531	0.296
氦	4.003	−268.9	4.66	−267.9	0.22 (2.26)	69	0.300
氖	20.18	−245.9		−228.7	2.64 (26.9)	483	0.296
氪	83.8	−152.9		63.8	5.32 (54.2)	910	0.291
氙	131.3	−108.0		16.6	5.69 (58.0)	1110	0.290
氡	38.0	−188.2	40.52	−129.0	5.05 (51.5)	574	0.292
一氧化碳	28.01	−192	50.5	−140.2	3.38 (34.5)	301	0.294
二氧化碳	44.01	−78.4	137.9	31.0	7.15 (72.9)	468	0.274

表 4-12 液氧、液氩特性表

温度(℃) \ 项目 / 符号 / 单位	饱和蒸气压 $p_{饱和}$ (atm)	常压密度 d (kg/l)	压缩系数 $\alpha\times10^6$ (1/atm)	膨胀系数 $\beta\times10^6$ (1/℃)
液氧特性				
0	3.64	1.4685	130	187
5	4.25	1.4545	139	192
10	4.96	1.4402	149	199
15	5.69	1.4257	160	205
20	6.57	1.4108	172	212
25	7.49	1.3955	185	219
30	8.60	1.3799	200	226
35	9.84	1.3640	216	234
40	11.14	1.3477	237	242
45	12.52	1.3311	256	250
50	14.14	1.3141	276	259
55	15.34	1.2967	300	268
60	17.59	1.2789	324	278
液氩特性				
0	4.24	0.6386	111	204
10	6.07	0.6247	122	217
20	8.46	0.6103	137	234
30	11.51	0.6052	158	257
40	15.34	0.5795	185	285
50	20.06	0.5629	220	313
60	25.80	0.5452	262	338

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$\frac{p_1}{p_2}=0.5627$$

$$p_2=\frac{p_1}{0.5627}=\frac{4.96}{0.5627}=8.8\text{atm}$$

由表4-12（液氯、液氨特性数值表）查知$t=30℃$时的蒸气压力为8.6atm，计算误差为

$$\Delta=\frac{8.8-8.6}{8.6}\times100\%=2.3\%$$

2. 若无相近的数据，则查表4-11得

氯的临界数据$T_c=144+273=417K$，$p_c=76.1\text{atm}$

利用公式（4-8）计算，则

$$T_1=T_c=417K,\quad p_1=p_c=76.1\text{atm}$$

$$T_2=303K,\quad p_2=?$$

$$\lg\frac{p_c}{p_2}=\frac{R_0}{4.57}\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_c}\right)=\frac{4892.79}{4.57}\left(\frac{1}{303}-\frac{1}{417}\right)=0.96598$$

$$\frac{p_c}{p_2}=9.2465$$

$$p_2=\frac{p_c}{9.2465}=\frac{76.1}{9.2465}=8.2\text{atm}$$

用临界温度和临界压力时，计算误差为

$$\Delta=\frac{8.2-8.6}{8.6}\times100\%=-4.7\%$$

常用低压液化气体的饱和蒸气压，见表4-13。

饱和液体的密度随着温度上升而减小，而饱和蒸气的密度随着温度上升而增大。在某一温度下，物质的气态和液态的平衡共存处于这样的状态：即在这种状态下，饱和液体的密度和饱和蒸气的密度相等，因而共存的气、液两相间的界面消失，气体和液体的一切热力性质都相同，汽化热和表面张力等于零，这样状态称为物质的临界状态。

物质处于临界状态下的基本物理参数，叫做该物质的临界参数。如临界温度、临界压力、临界密度、临界压缩系数等。

临界温度，常用T_c（或t_c）表示，它是加压使气体液化时所允许的最高温度。这就是说，当温度高于某物质的临界温度时，该物质只能处于气态，单纯用加压的方法不能使它液化。

临界压力的符号一般用p_c，它是在临界温度下使气体液化所需的最小压力，即等于临界温度时的饱和蒸气压。

临界密度（d_c）是临界状态下物质的密度。临界体积（V_c）是临界状态下一定质量的液体所能占有的最大体积。

水的临界参数为

$$p_c=225.6\text{ata},\quad T_c=647.15\text{K},\quad V_c=0.00317\text{m}^3/\text{kg}。$$

常见气体的临界参数，可参见表4-11。

表 4-13 液化气体在不同温度(°C)下的饱和蒸气压(atm)

名 称	分子式	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
氨	NH_3	4.24	6.08	8.46	11.52	15.34	20.06	25.78	32.64	40.78	50.34	61.51
氯	Cl_2	3.64	4.96	6.57	8.60	11.14	14.14	17.59	21.58	26.24	31.54	37.45
乙 烷	C_2H_6	23.71	29.93	37.29	45.97	(32.2 °C)* 48.16						
丙 烷	C_3H_8	4.70	6.31	8.30	10.71	13.59	17.00	21.00	25.66	31.05	37.27	(96.8)* 42.01
正丁烷	正-C_4H_{10}	1.02	1.46	2.05	2.81	3.75	4.92	6.34	8.04	10.05	12.41	15.16
异丁烷	异-C_4H_{10}	1.55	2.18	2.99	4.00	5.25	6.78	8.60	10.76	13.30	16.25	19.66
环丙烷	C_3H_6	3.44	4.70	6.28	8.23	10.58	13.38	16.69	20.55	25.01	30.14	36.02
乙 烯	C_2H_4	40.45	(9.5 °C)* 50.5									
丙 烯	C_3H_6	5.81	7.74	10.12	12.98	16.39	20.41	25.12	30.58	36.90	44.19	(91.9℃) 45.4
1-丁烯	1-C_4H_8	1.24	1.77	2.51	3.41	4.53	5.90	7.56	9.54	11.87	14.60	17.76
异丁烯	异-C_4H_8	1.30	1.85	2.57	3.49	4.63	6.03	7.72	9.74	12.12	14.91	18.14
丙二烯	C_3H_4	3.60	4.94	6.62	8.68	11.17	14.15	17.66	21.77	26.55	32.07	38.42
1,2-丁二烯	1,2-C_4H_6			1.39	1.95	2.71	3.64	4.79	6.20	7.90	9.92	12.31
1,3-丁二烯	1,3-C_4H_6	1.18	1.70	2.37	3.23	4.30	5.61	7.20	9.10	11.36	14.01	17.10
乙 炔	C_2H_2	26.01	33.67	42.91	54.01	(35.2 °C)* 60.6						
氟利昂-11	CCl_3F				1.24	1.72	2.33	3.09	4.03	5.17	6.54	8.15
氟利昂-12	CCl_2F_2	3.03	4.14	5.54	7.27	9.36	11.86	14.84	18.35	22.47	27.29	32.90
氟利昂-13	$CClF_3$	19.58	25.11	31.74	(28.9 °C)* 38.2							
氟利昂-21	$CHCl_2F$	0.70	1.05	1.51	2.12	2.90	3.88	5.11	6.60	8.39	10.53	13.04
氟利昂-22	$CHClF_2$	4.87	6.66	8.91	11.68	15.05	19.08	23.88	29.52	36.13	43.84	(96℃)* 49.1
氟利昂-23	CHF_3	24.85	32.43	41.70	(25.6 °C)* 47.7		1.					
氟利昂-113	$C_2F_3Cl_3$						1.09	1.49	1.99	2.62	3.39	4.32
氟利昂-114	$C_2F_4Cl_2$	0.87	1.26	1.78	2.46	3.31	4.36	5.65	7.20	9.05	11.25	13.82
氟利昂-116	C_2F_6	17.93	23.21	(19.7 °C)* 29.4								
氟乙烯	C_2H_3F	14.79	19.20	24.50	30.82	38.30	47.10	(54.7 °C)* 51.6				
四氟乙烯	C_2F_4	17.19	22.34	28.59	36.14	(33.3 °C)* 38.9						
一氯甲烷	CH_3Cl	2.56	3.58	4.88	6.50	8.50	10.92	13.81	17.24	21.26	25.94	31.38
氯乙烷	C_2H_5Cl			1.30	1.83	2.57	3.45	4.55	5.89	7.51	9.43	11.69
1-氯丙烷	1-C_3H_7Cl						1.12	1.54	2.07	2.75	3.57	4.57
二氟-氯溴甲烷(F12B1)	CF_2ClBr	1.17	1.68	2.33	3.17	4.21	5.49	7.04	8.89	11.08	13.64	16.64
溴甲烷	CH_3Br		1.29	1.82	2.52	3.56	4.81	6.38	8.30	10.63	13.42	16.73
溴乙烷	C_2H_5Br					1.06	1.47	1.99	2.76	3.64	4.73	6.04
溴乙烯	C_2H_3Br	0.52	0.79	1.18	1.70	2.39	3.28	4.40	5.80	7.51	9.58	12.04
偏二氯乙烯	$C_2H_2Cl_2$	0.29	0.44	0.66	0.95	1.33	1.83	2.46	3.24	4.19	5.34	6.71

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

名　称	分子式	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
氯乙烯	C_2H_3Cl	1.62	2.36	3.25	4.38	5.78	7.43	9.52	11.91	14.77	18.06	21.85
偏二氟乙烯	$C_2H_2F_2$	22.02	28.17	35.54	(30.1℃)* 44.1							
三氟溴甲烷 (F13B1)	CF_3Br	8.38	11.04	14.28	18.16	22.78	28.23	34.64	(67℃)* 39.8			
甲　胺	CH_5N	1.33	2.01	2.95	4.09	5.64	7.59	10.00	12.95	16.51	20.73	25.70
二甲胺	C_2H_7N		1.13	1.63	2.29	3.22	4.40	5.87	7.68	9.88	12.52	15.64
三甲胺	C_3H_9N		1.32	1.89	2.63	3.40	4.43	5.81	7.41	9.31	11.55	14.16
乙　胺	C_2H_7N			1.15	1.69	2.36	3.25	4.39	5.80	7.53	9.61	12.05
氢氰酸	HCN				1.17	1.67	2.31	3.31	4.50	5.90	7.84	10.07
乙二腈	C_2N_2	2.36	3.39	4.74	6.46	8.62	11.29	14.53	18.44	23.11	28.65	33.19
环氧乙烷	C_2H_4O			1.47	2.10	2.86	3.87	5.15	6.72	8.63	10.91	13.62
氯甲醚	C_2H_5ClO		0.14	0.22	0.34	0.50	0.73	1.03	1.42	1.93	2.56	3.35
甲　醚	C_2H_6O	2.64	3.70	5.06	6.77	8.87	11.42	14.48	18.10	22.35	27.29	33.02
甲基乙烯基醚	C_3H_6O		1.16	1.55	2.02	3.35	4.43	5.87	7.56	9.59	12.01	14.87
甲乙醚	C_3H_8O		1.11	1.62	2.27	3.04	4.07	5.34	6.89	8.76	10.98	13.59
碳酰氯(光气)	$COCl_2$		1.10	1.57	2.20	3.04	4.07	5.35	6.92	8.80	11.04	13.67
硫化氢	H_2S	10.28	13.63	17.71	22.61	28.40	35.18	43.06	52.14	62.56	74.50	88.13
二氧化硫	SO_2	1.53	2.27	3.25	4.53	6.17	8.24	10.79	13.90	17.63	22.07	27.29
硫氧化碳	COS	6.44	8.56	11.16	14.27	17.97	22.30	27.34	33.16	39.85	47.59	56.25
二硫化碳	CS_2						1.13	1.53	2.04	2.73	3.53	4.49
甲硫醇	CH_4S		1.17	1.68	2.37	3.24	4.34	5.70	7.35	9.34	11.69	14.45
乙硫醇	C_2H_6S					1.19	1.65	2.24	2.98	3.89	5.00	6.33
一氧化二氮	N_2O	30.76	39.42	49.82	62.27	(36.5℃)* 71.7						
四氧化二氮	N_2O_4				1.54	2.44	3.74	5.57	8.09	11.49	15.98	21.81
氟化氢	HF			1.02	1.44	1.99	2.93	4.03	5.43	7.17	9.29	11.86
氯化氢	HCl	26.15	33.59	42.46	52.95	65.27	79.71	(51.4℃)* 82.1				
溴化氢	HBr	12.67	16.57	21.25	26.80	33.32	40.59	49.63	59.68	71.18	84.4*	
碘化氢	HI	3.82	5.21	6.94	9.05	11.59	14.59	18.10	22.17	26.84	32.15	38.16
二氧化碳	CO_2	34.40	44.42	56.53	71.17	(31℃)* 72.9						

* 表示临界状态。

4.1.4　侵蚀、腐蚀、疲劳和蠕变

4.1.4.1　侵蚀

侵蚀是指金属表面在机械或物理因素作用下引起的破坏。如管道、筒体内壁和阀芯等受高速气流的冲刷磨损；锅炉受热面（如对流管束、省煤器、空气预热器等管子和管板）受烟气中飞灰的磨损。

4.1.4.2　腐蚀

腐蚀是指材料在周围介质的作用下引起的破坏。广义的腐蚀，从材料上讲包括金属和非金属；从引起破坏的因素而言包括物理的、机械的、生物的和化学的各种因素在内。本手册介绍的腐蚀只限于金属材料在周围介质的作用下，由于化学或电化学作用引起的破坏。

1. 化学腐蚀

金属与周围的介质发生化学作用而引起的破坏，称为化学腐蚀。金属在干燥气体中的腐

蚀，如硫酸生产中，硫铁矿焙烧炉中SO_2气体对设备的腐蚀、钢材被高温水蒸汽的氧化腐蚀，金属在非电解质中的腐蚀，如金属在无水酒精和石油中的腐蚀；高温氢引起金属的脱碳等都属于化学腐蚀。

钢材暴露于高温氢中时，氢渗入钢材，使钢中含氢量增加，渗入钢材中的氢与渗碳体中的碳发生化学反应，形成甲烷。其反应式为：

$$Fe_3C + 2H_2 \rightleftharpoons 3Fe + CH_4 \uparrow$$

甲烷在钢中的溶解度很小，且不易逸出，就聚集在晶界的缺陷处及位错附近，钢材的塑性大为降低。钢材脱碳后变得疏松，在应力的作用下，极易产生裂纹，导致容器脆性破坏。

在一定的压力和温度下，氮也具有氢类似的特性，也能渗入钢材中，与某些合金元素发生化学反应而生成氮化物，使材料变脆。

2. 电化学腐蚀

金属在电解质溶液中或潮湿空气中，由于金属中含有不同的元素或杂质具有不同的电位，与周围介质发生电化学作用而产生的破坏，称为电化学腐蚀。其特点是，腐蚀介质中有能导电的电解质溶液存在；腐蚀过程中有电流产生。大气腐蚀（如钢铁在大气中生锈），土壤腐蚀（如埋在地下的金属管件腐蚀），海水腐蚀（如含氯离子水对不锈钢的腐蚀），酸、碱、盐溶液等电解质腐蚀等，都属于电化学腐蚀。

金属材料没有应力，也会发生腐蚀，不过当存在应力时会大大加快腐蚀的进展；腐蚀的结果往往会使材料产生点坑、沟槽和裂纹，在腐蚀所产生的缺陷部位应力增高，应力的增大又反过来加快腐蚀缺陷的进展，人们把腐蚀介质和应力结合作用引起材料的破坏，叫做应力腐蚀。

腐蚀破坏的方式一般分为四类：即均匀腐蚀（又称一般性腐蚀），局部腐蚀（又称选择性腐蚀，如点状腐蚀，沟槽腐蚀等），晶间腐蚀，穿晶腐蚀（又名横断腐蚀）。

影响腐蚀的因素很多，如溶液的酸碱度，溶液中氧含量和二氧化碳含量、温度、流速、材料应力集中的状况，残余应力的大小，材料化学成份和杂质含量，材料表面的光洁度、材料热处理情况以及热负荷等。关于腐蚀的机理有的尚在探索之中。引起应力腐蚀破坏的例子，请参见表4-14。其它有关内容在第8章有详述。

4.1.4.3 疲劳

通过试验研究，发现材料在交变载荷的作用下（如压力容器频繁的开停车，或工作压力、工作温度上下波动很大，还有如内燃机的曲轴在运动中一会儿受拉，一会儿受推等），当应力于一定数值，交变次数达到某一数目后，就会在材料内部有缺陷的地方或者应力集中处出现裂纹，随着交变载荷的继续作用，裂纹逐渐扩大，最终导致材料破坏。这种由于交变应力而使材料产生裂缝的现象，叫做疲劳。锅炉压力容器的使用期内交变次数在10^2～10^5之间，属于低循环疲劳（或低周疲劳）。

4.1.4.4 蠕变

金属材料的工作温度高于某个数值时，即使应力小于材料的屈服极限，并且保持大小不变，但材料的变形会随着时间的流逝而不断增大，不过，这种增大的绝对速度是十分缓慢的。材料在高温下出现的这种现象叫做蠕变。

一般说来，如果材料的使用温度小于它的熔化温度的25～35%，则可以不考虑它的蠕变。对碳素钢和低合金钢，以350～400℃为界限。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-14 引起应力腐蚀破坏的例子

环境	碳素钢及低合金钢	铬不锈钢	奥氏体不锈钢	铝合金	铜合金	金合金	镁合金	镍合金	钛合金
海水		1,2		1			2		1,2
水、水蒸汽		3	1,4	1	1,4		1,2	3	
氯化物及其水溶液		1	1,4	1			1,2		1
硝酸	1				1				
发烟硝酸									1
硝酸盐	3	1							
$FeCl_3$、$FeCl_2$		1				1			
盐酸	1			1	1				1
氢氟酸							2	1	
硫酸	1		1		1				
硅酸								1	
氢氧化钾	1,4	3	1,4		1			3	
氨	1,2				1,2				
氢氰酸	2					1			
汞及其化合物					1				
锌	1								
镉									1
一氧化碳、水分、二氧化碳共存	2								
硫化氢	1								

注：1．晶界面破坏；2．晶粒内破坏（又称穿晶破坏）；3．晶界面高温破坏；4．晶粒内高温破坏。

4.1.5 钢材机械性能

钢材受到外力作用时，它有抵抗变形和断裂的能力。钢材这种抵抗变形和断裂的能力称为材料的机械性能。常规机械性能主要包括强度、塑性、韧性、硬度等。

4.1.5.1 强度

常用的强度指标有屈服极限、抗拉强度、疲劳极限和金属材料在高温时的持久强度、蠕变极限。

屈服极限又称屈服强度，它是指材料做拉伸试验过程中出现屈服现象时的应力值，称为材料的屈服极限。如果有些材料的屈服现象不明显或无屈服现象，则以塑性变形量达到试样基准长度的0.2%时的应力，以$\sigma_{0.2}$表示，定义为材料的屈服极限。不同温度下材料的屈服极限值不同。一般提供的材料屈服极限是常温（一般是20℃）下通过试验得出的数值。它的单位是Pa（kgf/mm^2）、或MPa(kgf/cm^2)。屈服极限用σ_s表示。

抗拉强度又称强度极限，它是材料在拉伸试验中，从开始加载荷到发生断裂时，所能达到的最大名义应力值。用符号σ_b表示，单位和屈服极限相同。

疲劳极限，对低碳钢和低合金钢，是指在常温下，经一千万次（10^7次）的循环次数而不发生破坏的最大应力。对绝大多数压力容器（包括锅炉，气瓶），即使频繁加压、卸压或压力、温度周期性大幅度波动，也不至于达到十万次以上的循环，故而一般给出材料的低周疲劳曲线，适用低循环次数（10^2～10^5）时，不发生疲劳的最大应力值，做为疲劳极限。进行压力容器设计时，某些开停频繁或压力、温度周期性大幅度变动工况的压力容器，应用疲劳极限进行强度的校核，或做疲劳分析。

金属材料在高温条件下的持久强度，是评定承载元件在高温条件下长期使用的强度指标。由于材料的持久强度试验要一直做到试样断裂，因此，它可以反映金属材料在高温下长期使用至断裂时的强度和塑性性能。它是以在给定的温度下，经过一定时间而断裂时所能承受的最大应力来表示。符号σ_b^t代表材料在温度t℃，经过10^5小时而断裂时所能承受的最大应力。持久强度测定时，一组试样的平均值用σ_b^t表示，试样的最小值用$\sigma_{b,min}^t$表示。

蠕变极限是说明金属材料在某一温度条件下抵抗蠕变的能力。工程上常用的是条件蠕变极限，即在设计温度下材料经过10^5小时产生1%蠕变变形的应力，用σ_1^t表示。

4.1.5.2 塑性

塑性是指钢材在外力作用下产生塑性变形的能力，代表塑性指标的是延伸率（δ）和断面收缩率（ψ）。当试样的基准长度与其直径比为5时，其延伸率以δ_5表示；为10时，以δ_{10}表示。两者之间一般有下列关系：

$$\delta_5 = 1.2\delta_{10} \tag{4-9}$$

延伸率这一塑性指标并不反映在强度计算中，但和制造过程中的冷加工及焊接等关系密切，从而也直接影响到压力容器使用中的安全。延伸率低，在锤击、剪切、冷卷、冲压等冷制过程中和焊接时，可能产生裂纹，甚至脆性断裂；在使用中将使容器的塑性储备的安全性降低。

表示材料塑性的另一个指标是屈强比ν，它是屈服极限与强度极限之比值，即$\nu = \sigma_s/\sigma_b$，ν越小，表示材料的屈服极限与强度极限的差距越大，即塑性越好。关于制造容器的材料的屈强比ν是否应加控制或如何控制，目前还没有标准。有些国家规定按不同的屈强比选用不同的安全系数n_s，屈强比太高的材料，安全系数也高些。有些国家则规定许用应力$[\sigma]$必须同时满足对强度极限和对屈服极限的安全系数n_b和n_s，这也就间接地控制了选用屈强比太高的材料。

4.1.5.3 韧性

韧性又叫冲击韧性，它是指材料抵抗冲击载荷的能力。从能量观点认为钢材在变形过程中，当它吸收的能量达到某一数值时便发生断裂，利用断裂前吸收的能量的大小来衡量材料的韧性。

材料的韧性用锤击一定形状的缺口试样的冲击功来表示。常用的缺口形式有U型和V型缺口两种。冲击韧性的大小称为冲击值，以a_k表示。对于低温容器用钢必须提供V型缺口的夏比（又译为“却贝”）试样试验值。

压力容器用钢材在满足强度要求并具备良好塑性的情况下，有时（特别在低温下）仍不能避免脆断，故对压力容器用钢还有韧性的要求。一般要求U型缺口（又称梅氏）冲击值不低于6kg·m/cm²，用作高压无缝钢瓶碳素钢的冲击值要求≥4kg·m/cm²。

4.1.5.4 硬度

硬度表示材料抵抗硬物对其表面侵入的一种能力。由于测定方法不同，表示硬度的指标有多种。如用金钢石压入法，测得的硬度为洛氏硬度，以H_{RC}表示；生产中常用最多的是钢球压入硬度法，所测得的硬度值反映了钢材表面抵抗另一硬物体压入时所引起的塑性变形能力，用这种方法测得的硬度，称为布氏硬度，以H_B表示。

4.1.5.5 温度对低碳钢机械性能的影响

在不同的温度下进行静拉伸试验，可以发现，随着温度的升高，金属材料的机械性能也跟着发生变化。图4-3表示低碳钢的各项机械性能随温度而变化的情况。总的来说，随着温

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

度的升高，金属材料的强度（σ_b和σ_s）降低；塑性（δ和ψ）增加；冲击韧性（a_k）则先降低而后增加。温度对低合金钢的强度和塑性性能的影响，与碳素钢基本相似，只是影响的程度不大显著。

由于在不同温度下，静拉伸试验所得的强度指标（σ_b和σ_s）是不同的，因此，必须说明拉伸试验时试样的温度。此时，材料的强度极限和屈服极限分别以符号σ_b^t和σ_s^t来表示。

另一方面，随着温度的升高，由静拉伸试验所得的拉伸曲线的形状也发生变化。如温度对低碳钢拉伸曲线的影响，见图4-4所示。在室温下，拉伸曲线具有屈服平台，并有锯齿。温度稍升高时，屈服平台有所降低，锯齿减少。当温度升高至200℃左右时，屈服平台更降低，锯齿基本消失。温度升至300°C以及更高时，屈服平台消失，只能得到条件屈服极限$\sigma_{0.2}$了。

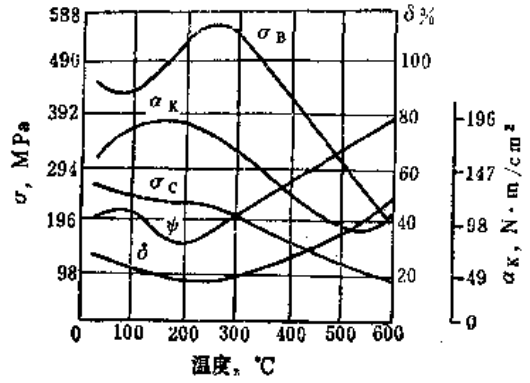


图 4-3 温度对低碳钢机械性能的影响

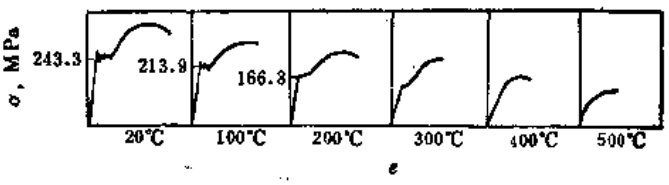


图 4-4 温度对低碳钢静拉伸曲线的影响

4.1.6 安全系数和许用应力

4.1.6.1 应力与应变

材料的内部的应力、应变可以通过试件的拉伸试验、从试件的拉伸曲线（应力-应变曲线）中看出。应力是金属材料在受到外力作用时内部的单位面积上的力，其单位长度上的变形称为应变。在20℃时，低碳钢的拉伸曲线如图4-5图中纵坐标表示材料的应力，横坐标表示相对伸长（应变）。试件开始被拉伸时，应力、应变的关系如OA线所示，这一线段可以近似地看成一直线，表示应力的增加与试件的伸长成正比。A点是弹性变形的极限，相应于该点的应力就是材料的弹性极限σ_e。

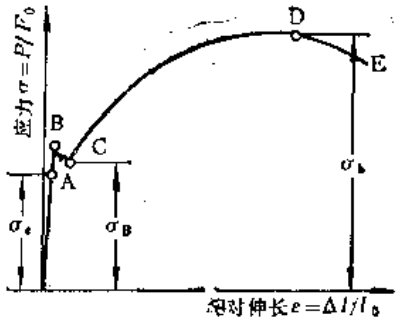


图 4-5 低碳钢的拉伸曲线

BC段成锯齿形，可近似地看作一水平线，表示外力不变时试件仍在继续伸长，即材料暂时丧失了抵抗继续变形的能力，这时的应力就是它的屈服点σ_s。

此后，拉力继续增加，变形也继续增加，到D点时承受的拉力为最大，对应于D点的应力就是材料的抗拉强度σ_b。

超过D点，试件的变形继续增大，但截面不断减小，试件所承受总拉力反而减小，到达E点后试件断裂。

4.1.6.2 安全系数

安全系数是承压设备设计中一项基本因素，是为了在设备使用期间对可能损害设备安全运行的各种因素提供适当的安全裕度。它反映一个国家对锅炉、压力容器安全管理的技术政策。对应于材料的强度特性分别有抗拉强度安全系数（n_b）、屈服强度安全系数（n_s）、持久强度安全系数（n_d）和蠕变极限安全系数（n_n）。

影响安全系数的因素很多，主要是材料的可靠性、提供材料的机械性能数据的代表性、材料屈强比大小、承压元件的重要性、强度计算公式的正确性、制造工艺的完善性、检验技术的先进性、检验项目的多少和检验的要求高低以及材料使用的经验积累等。随着强度理论和制造、检测技术的发展、钢材性能不断的改善、使用经验的积累，几十年来安全系数是逐步减小的。$n_b \geqslant 5$，第二次世界大战时$n_b \geqslant 4$，六十年以后的应力分析设计规范(ASME Ⅷ-2)中$n_b \geqslant 3$。我国五十年代时容器设计$n_b \geqslant 4$，现为$n_b \geqslant 3$。

我国承压设备强度计算时规定的安全系数见表4-15。

表 4-15 压力容器、锅炉和气瓶的安全系数

名称		抗拉强度(σ_b) 安全系数	屈服强度(σ_s、σ_s^t) 安全系数	持久强度($\overline{\sigma_D^t}$、$\sigma_{D,min}^t$) 安全系数	蠕变极限(σ_n^t) 安全系数
符号 压力容器		n_b ≥3	n_s、n_s^t ≥1.6	n_d ≥1.5(1.25)	n_n^t ≥1
锅炉	水管式	2.5	1.5	1.5	
	锅壳式	2.7	1.6		
气瓶	无缝	≥2.5	≥1.67		
	有缝	≥3	≥1.9		

表4-15中压力容器$n_s \geqslant 1.6$适用于碳素钢、低合金钢；奥氏体不锈钢的n_s、$n_s^t \geqslant 1.5$。当容器的设计温度不到蠕变温度极限，且允许有较大变形时，许用应力值可适当提高到$2\sigma_s/3$，但最多不超过$0.9\sigma_s^t$（此时可能产生1%永久变形）。此规定不适用于法兰或其它在有微量永久变形就产生泄漏或故障的场合。

4.1.6.3 许用应力

许用应力（$[\sigma]$）是指在使用中允许达到的应力值，它等于材料的强度（σ）除以安全系数，即$[\sigma]=\frac{\sigma}{n}$。$[\sigma]$取下列三个计算值中的最小值：

$$[\sigma]_b^t=\frac{\sigma_b^t}{n_b};\quad [\sigma]_s^t=\frac{\sigma_s^t}{n_s};\quad [\sigma]_D^t=\frac{\sigma_D^t}{n_D} \qquad (4\text{-}10)\sim(4\text{-}12)$$

变形有严格要求的压力容器还应将蠕变极限和上述三个计算值中的最小值比较，取两者中的较小值作为强度计算中的许用应力。

在锅炉强度计算中，按上述原则确定的许用应力称为基本许用应力（$[\sigma]_J$），再根据受压元件是否受热、有无接管孔及接管孔的性能再乘上修正系数（η）便得到许用应力，即：$[\sigma]=\eta[\sigma]_J$。例如对无孔、或有焊接管孔、翻边管孔的锅筒或集箱受热时，$\eta=0.90$；有胀接管孔、手孔等非焊接管孔的锅筒或集箱受热时，$\eta=0.85$；有胀接管孔、手孔等非焊接管孔的锅筒或集箱不受热时，$\eta=0.95$。

压力容器常用钢板的许用应力值见表4-16，钢管见表4-17，锻件见表4-18，螺栓见表4-19。水管锅炉的基本许用应力见表4-20，锅壳式锅炉的见表4-21。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-16 压力容器常用钢板许用应力值

序号	钢号	钢板标准	钢板使用状态	板厚 (mm)	常温机械性能 σ_b MPa (kgf/cm²)	常温机械性能 σ_s MPa (kgf/cm²)	在下列温度（℃）下的许用应力值 (kgf/cm²) ≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475
碳素钢钢板																	
1	A_3F、AY_3F	GB912—82 GB3274—82	热轧	≤4 4.5～12	373(3800)	235(2400)	1140	1140	1140	1120	1040	—	—	—	—	—	—
2	A_3 AY_3	GB912—82 GB3274—82	热轧	≤4 4.5～12	373(3800)	235(2400)	1140	1140	1140	1120	1040	—	—	—	—	—	—
3	A_3R	YB536—69	热轧或正火	6～16	373(3800)	243(2480)	1270	1270	1270	1250	1160	1060	970	910	870	620	410
				17～36	373(3800)	226(2300)	1270	1270	1250	1190	1090	1000	940	880	840	620	410
				38～60	373(3800)	216(2200)	1270	1270	1220	1100	1060	970	910	840	810	620	410
4	20g	GB713—72	热轧或正火	6～16	402(4100)	245(2500)	1370	1370	1370	1310	1220	1130	1030	970	870	620	410
				17～25	402(4100)	235(2400)	1370	1370	1310	1250	1190	1090	1000	940	870	620	410
				26～60	392(4100)	226(2300)	1370	1310	1250	1190	1130	1060	970	910	870	620	410
低合金钢钢板																	
5	16MnR	YB536—69	热轧	6～16	510(5200)	343(3500)	1730	1730	1730	1730	1590	1470	1380	1270	950	670	430
				17～26	490(5000)	324(3300)	1670	1670	1670	1630	1500	1380	1280	1220	950	670	430
				27～36	490(5000)	304(3100)	1670	1670	1660	1530	1410	1280	1220	1160	950	670	430
				38～60	471(4800)	284(2900)	1600	1600	1560	1440	1340	1220	1160	1090	950	670	430
			正火	6～20	490(5000)	314(3200)	1670	1670	1670	1560	1440	1310	1250	1190	950	670	430
				21～38	471(4800)	294(3000)	1600	1600	1590	1470	1380	1250	1190	1130	950	670	430
				40～60	461(4700)	275(2800)	1570	1560	1500	1330	1310	1100	1130	1060	950	670	430
6	15MnVR	YB536—69	热轧	6～16	530(5400)	392(4000)	1800	1800	1800	1800	1800	1750	1630	1500	待定	待定	待定
				17～25	510(5200)	373(3800)	1730	1730	1730	1730	1730	1660	1530	1410	待定	待定	待定
			正火	6～20	500(5100)	363(3700)	1700	1700	1700	1700	1700	1630	1500	1380	待定	待定	待定
				21～38	490(5000)	343(3500)	1670	1670	1670	1670	1660	1530	1410	1280	待定	待定	待定
				40～60	481(4900)	324(3300)	1630	1630	1630	1630	1560	1440	1340	1220	待定	待定	待定

续表

序号	钢号	钢板标准	钢板使用状态	板厚 (mm)	常温机械性能 σ_b MPa (kgf/cm²)	常温机械性能 σ_s MPa (kgf/cm²)	在下列温度(℃)下的许用应力值(kgf/cm²) ≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	475	500	520	540	560
7	15MnVNR	YB536—69	正火	11～25	568(5800)	422(4300)	1930	1930	1930	1930	1930	1840	1720	1500	待定	待定	—	—	—	—
				26～38	549(5600)	412(4200)	1870	1870	1870	1870	1870	1780	1660	1530	待定	待定	—	—	—	—
				40～50	530(5400)	392(4000)	1800	1800	1800	1800	1800	1690	1590	1470	待定	待定	—	—	—	—
8	18MnMoNbR	YB536—69	正火加回火	16～50	589(6000)	441(4500)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1800	1200	待定	待定	—	—
				>50～80	568(5800)	412(4200)	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1930	1800	1200	待定	待定	—	—
				>80～115	559(5700)	392(4000)	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1900	1880	1780	1200	待定	待定	—	—
9	16MnDR	GB3531—83	正火	6～20	490(5000)	314(3200)	1670	1670	1670	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				21～38	471(4800)	294(3000)	1600	1600	1590	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	09MnTiCuX1DR	GB3531—83	正火	6～26	441(4500)	314(3200)	1500	1500	1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				27～40	422(4300)	294(3000)	1430	1430	1430	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	09MnZVDR	GB3531—83	正火	6～20	461(4700)	324(3300)	1570	1570	1570	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	06MnNbDR	GB3531—83	正火或调质	6～16	392(4000)	294(3000)	1330	1330	1330	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	15CrMo		正火加回火	6～60	441(4500)	275(2800)	1500	1500	1500	1410	1340	1250	1190	1130	1080	1050	990	670	450	290
				>60～100	432(4400)	265(2700)	1470	1470	1440	1340	1280	1190	1130	1060	1030	1020	990	670	450	290

高合金钢板 ①

钢号	在下列温度(℃)下的许用应力值 (kgf/cm²) ≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700	注
1CH8Ni9Ti	1330	1330	1330	1200	1170	1080	1040	1040	1010	990	990	990	990	920	760	600	470	380	290	230	②
	1330	1130	1000	930	870	800	770	770	750	730	730	730	730	730	700	600	470	380	290	230	

① 薄板标准GB3280—82，板厚≤4mm；厚板标准GB3281—82，板厚>4～25mm。

② 许用应力值仅适用于允许产生微量永久变形之元件，对于法兰或其它有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-17 压力容器常用钢管许用应力值

序号	钢号	钢管标准	壁厚 (mm)	常温机械性能 σ_b MPa (kgf/cm²)	常温机械性能 σ_s MPa (kgf/cm²)	在下列温度(℃)下的许用应力值 (kgf/cm²) ≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	520	540	560	580
	碳素钢钢管																				
1	10	YB231—70 YB237—70	≤14 ≤20	334 (3400)	206 (2100)	1130	1130	1090	1030	940	840	780	720	700	620	410	—	—	—	—	—
2	20	YB231—70 YB237—70 YB800—70	≤14 ≤20 ≤34	392 (4000) 392 (4000)	246 (2500) 216 (2200)	1330 1330	1330 1220	1330 1160	1250 1060	1130 970	1030 880	940 810	880 750	840 730	620 620	410 410	— —	— —	— —	— —	— —
	低合金钢钢管																				
3	16Mn	YB231—70	≤14	490 (5000)	324 (3300)	1670	1670	1670	1630	1500	1380	1280	1220	950	670	430	—	—	—	—	—
4	15MnV	YB800—70	≤34	490 (5000)	353 (3600)	1670	1670	1670	1670	1670	1560	1440	1310	待定	待定	待定	—	—	—	—	—
5	09Mn2V	YB231—70	≤14	451 (4600)	314 (3200)	1530	1530	1530	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	16Mo	YB231—70	≤14	392 (4000)	246 (2500)	1330	1330	1310	1220	1130	1030	970	910	890	880	860	690	450	—	—	—
7	12Cr1MoV	YB231—70	≤14	471 (4800)	255 (2600)	1600	1470	1380	1280	1220	1130	1060	1000	980	970	940	910	890	680	490	310
8	15CrMo	YB237—70 YB529—70	≤20 ≤24	441 (4500) 441 (4500)	255 (2600) 235 (2400)	1500 1500	1470 1340	1380 1250	1280 1190	1220 1130	1130 1060	1060 970	1000 910	980 890	970 880	950 860	940 840	670 670	450 450	290 290	— —
	高合金钢钢管																				
9	1Cr18Ni9Ti	GB2270—80		(≤20℃) 1330 1330	(100) 1330 1130	(150) 1330 1000	(200) 1260 930	(250) 1170 870	(300) 1080 800	(350) 1040 770	(400) 1040 770	(425) 1010 750	(450) 990 730	(475) 990 730	(500) 990 730	(525) 990 730	(550) 920 730	(575) 760 700	(600) 600 600	(625) 470 470	(650) 380 380	(675) 290 290	(700) 230 230	*

* 同表4-16注②。

表 4-18 压力容器常用锻件许用应力值

序号	钢号	锻件标准	常温机械性能 σ_b MPa (kgf/cm²)	常温机械性能 σ_s MPa (kgf/cm²)	在下列温度(℃)下的许用应力值(kgf/cm²) ≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	520	540	560	580	600
	碳素钢锻件																				
1	20	JB755—85	373 (3800)	196 (2000)	1250	1130	1060	1000	910	810	750	690	670	620	410	—	—	—	—	—	—
	低合金钢锻件																				
2	16Mn	JB755—85	451 (4600)	275 (2800)	1530	1530	1500	1380	1310	1190	1130	1060	950	670	430	—	—	—	—	—	—
3	20MnMo	JB755—85	510 (5200)	(3600)	1730	1730	1730	1730	1730	1720	1660	1560	1500	1330	860	510	—	—	—	—	—
4	15MnMoV	JB755—85	589 (6000)	441 (4500)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1800	1200	800	530	—	—	—	—
5	20MnMoNb	JB755—85	618 (6300)	471 (4800)	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	2100	1800	1200	待定	待定	—	—	—	—
6	09Mn2V	JB755—85	441 (4500)	275 (2800)	1500	1500	1500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	15CrMo	JB755—85	441 (4500)	255 (2600)	1500	1470	1380	1280	1220	1130	1060	1000	980	970	950	940	670	450	290	—	—
8	12Cr1MoV		441 (4500)	255 (2600)	1500	1470	1380	1280	1220	1130	1060	1000	980	970	940	910	890	680	490	310	—
9	Cr5Mo	JB755—85	589 (6000)	392 (4000)	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1940	待定	待定	1000	730	550	420	320	240	190

序号	钢号	锻件标准	常温机械性能 σ_b MPa (kgf/cm²)	常温机械性能 σ_s MPa (kgf/cm²)	在下列温度(℃)下的许用应力值(kgf/cm²) ≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	575	600	625	650	675	700	注
	高合金钢锻件																					
10	1Cr18Ni9Ti	JB755—85	490 (5000)	196 (2000)	1330	1330	1330	1260	1170	1080	1040	1040	990	990	920	760	600	470	380	290	230	①
					1330	1130	1000	930	870	800	770	770	730	730	730	700	600	470	380	290	230	

① 许用应力值仅适用于允许产生微量永久变形之元件，对于法兰或其它有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不能采用。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-19 压力容器常用螺栓许用应力值

序号	钢号	钢材标准	螺栓规格 (mm)	常温机械性能 σ_b MPa(kgf/cm²)	常温机械性能 σ_s MPa(kgf/cm²)	在下列温度（℃）下的许用应力值（kgf/cm²） ≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	445	500
	碳素钢螺栓																
1	A3AY3	GB700—79	<M24	373 (3800)	235 (2400)	890	820	760	700	630	580	540	—	—	—	—	—
			M24～M36	373 (3800)	235 (2400)	960	860	820	760	680	620	580	—	—	—	—	—
2	35	GB699—65	<M24	530 (5400)	314 (3200)	1190	1070	1000	930	830	760	700	—	—	—	—	—
			M24～M48	510 (5200)	294 (3000)	1200	1080	1020	940	860	780	720	—	—	—	—	—
	低合金钢螺栓																
3	40MnB	GB3077—82	<M24	804 (8200)	687 (7000)	2000	1800	1790	1690	1660	1570	1460	1290	—	—	—	—
			M24～M48	765 (7800)	638 (6500)	2170	1930	1870	1830	1800	1700	1570	1400	—	—	—	—
			>M48～M56	765 (7800)	638 (6500)	2410	2150	2070	2040	2000	1890	1740	1560	—	—	—	—
4	40MnVB	GB3077—82	<M24	834 (8500)	736 (7500)	2140	1940	1890	1830	1800	1710	1600	1430	—	—	—	—
			M24～M48	804 (8200)	687 (7000)	2330	2100	2030	2000	1970	1870	1730	1570	—	—	—	—
			>M48～M56	804 (8200)	687 (7000)	2590	2330	2260	2220	2190	2070	1930	1740	—	—	—	—
5	40Cr	GB3077—82	<M24	804 (8200)	687 (7000)	2000	1800	1740	1690	1660	1600	1510	1370	—	—	—	—
			M24～M48	765 (7800)	638 (6500)	2170	1930	1870	1830	1800	1730	1630	1500	—	—	—	—
			>M48～M56	765 (7800)	638 (6500)	2410	2150	2070	2040	2000	1930	1810	1670	—	—	—	—
6	35CrMoA	GB3077—82	<M24	834 (8500)	736 (7500)	2140	1940	1890	1830	1800	1770	1690	1570	1500	1430	1130	800
			M24～M48	804 (8200)	687 (7000)	2330	2100	2030	2000	1970	1930	1830	1730	1650	1530	1130	800
			>M48～M80	804 (8200)	687 (7000)	2590	2330	2260	2220	2190	2150	2040	1930	1830	1530	1130	800
			>M80～M105	736 (7500)	589 (6000)	2220	2000	1930	1890	1850	1810	1740	1630	1560	1480	1130	800

序号	钢号	钢材标准	螺栓规格 (mm)	常温机械性能 σ_b MPa (kgf/cm²)	常温机械性能 σ_s MPa (kgf/cm²)	在下列温度（℃）下的许用应力值（kgf/cm²） ≤20	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	625	650	675	700
7	1Cr18Ni9Ti	GB1220—75	<M24	540 (5500)	196 (2000)	1250	1060	940	880	810	750	720	720	690	690	690	600	470	380	29[illegible]	230
			M24～M48	540 (5500)	196 (2000)	1330	1130	1000	930	870	800	770	770	730	730	730	600	470	380	290	230

表 4-20 水管锅炉在不同计算壁温下的基本许用应力[σ]j MPa(kgf/mm²)

钢号		10	A₃g	15g	20 20g	12Mng	16Mng	14MnMovg 18MnMoNbg
σ_b		333(34)	372(38)	372(38)	402(41)	432(44)	470(48)	638(65) 588(60)
σ_s		205(21)	216(22)	215(22)	225(23)	275(28)	284(29)	490(50) 441(45)
计算壁温 t_{bj} (℃)	20	133(13.6)	143(14.6)	143(14.6)	150(15.3)	173(17.6)	188(19.2)	235(24)
	100	126(12.9)	135(13.8)	137(14.0)	143(14.6)	161(16.4)	180(18.4)	227(23.1)
	150	121(12.4)	130(13.3)	133(13.6)	138(14.1)	161(16.4)	176(18.0)	219(22.3)
	200	117(12.0)	126(12.8)	130(13.3)	134(13.7)	161(16.4)	169(17.3)	215(21.9)
	220	112(11.5)	119(12.2)	125(12.7)	132(13.5)	156(16.0)	163(16.7)	215(21.9)
	240	107(11.0)	114(11.7)	119(12.2)	131(13.4)	151(15.4)	158(16.2)	215(21.9)
	250	104(10.7)	112(11.5)	117(11.9)	130(13.3)	149(15.2)	156(16.0)	215(21.9)
	260	102(10.5)	110(11.3)	114(11.6)	127(13.0)	146(14.9)	153(15.7)	215(21.9)
	280	99(10.1)	104(10.7)	109(11.1)	122(12.5)	140(14.3)	148(15.1)	215(21.9)
	300	94(9.6)	101(10.3)	102(10.6)	117(12.0)	135(13.8)	143(14.6)	215(21.9)
	320	89(9.1)		99(10.1)	111(11.4)	132(13.5)	140(14.3)	215(21.9)
	340	84(8.6)		93(9.5)	105(10.8)	130(13.3)	138(14.1)	215(21.9)
	350	82(8.4)		90(9.2)	102(10.6)	129(13.2)	137(14.0)	215(21.9)
	360	80(8.2)		88(9.0)	101(10.3)	128(13.1)	134(13.7)	213(21.7)
	380	76(7.8)		82(8.4)	96(9.8)	126(12.8)	128(13.1)	210(21.4)
	400	71(7.3)		78(8.0)	91(9.3)	123(12.6)	123(12.6)	207(21.1)
	410	69(7.1)			86(8.8)			
	420	67(6.9)			80(8.2)			
	430	62(6.4)			76(7.8)			
	440	55(5.7)			67(6.9)			
	450	49(5.0)			58(6.0)			
	460				50(5.2)			
	470				44(4.5)			
	480				39(4.0)			
	490				33(3.4)			
	500				27(2.8)			

注：1. 表中粗线下方的数据系按持久强度 σ_D^t 计算的。

2. 计算壁温的数值如介于表中两相邻数值时，$[\sigma]_j$ 可用算术内插法确定。

表 4-21 钢壳式锅炉钢材在不同计算壁温下的基本许用应力[σ]j MPa(kgf/mm²)

钢号		10	A₃g	15g	20 20g	12Mng	16Mng
σ_b		333(34)	372(38)	372(38)	402(41)	441(45)	510(52)
σ_s		205(21)	216(22)	216(22)	245(25)	294(30)	343(35)
计算壁温 t_{bj} (℃)	200	110(11.2)	117(11.9)	121(12.4)	125(12.7)	150(15.3)	158(16.1)
	210	108(11.0)	114(11.6)	119(12.1)	125(12.7)	148(15.1)	155(15.8)
	220	104(10.7)	110(11.3)	116(11.8)	123(12.6)	146(14.9)	152(15.5)
	230	102(10.5)	109(11.1)	114(11.6)	123(12.6)	143(14.6)	150(15.3)
	240	100(10.2)	107(10.9)	110(11.3)	122(12.5)	140(14.3)	148(15.1)
	250	98(10.0)	104(10.7)	109(11.1)	121(12.4)	138(14.1)	146(14.9)
	260	96(9.8)	102(10.5)	105(10.8)	119(12.1)	136(13.9)	143(14.6)

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

钢号		10	A_3g	15g	20 20g	12Mng	16Mng
计算壁温 t_{bj} (℃)	270	94(9.6)	100(10.2)	102(10.6)	117(11.9)	133(13.6)	140(14.3)
	280	92(9.4)	98(10.0)	101(10.3)	114(11.6)	130(13.3)	137(14.0)
	290	90(9.2)	96(9.8)	99(10.1)	111(11.4)	128(13.1)	135(13.8)
	300	87(8.9)	94(9.6)	97(9.9)	110(11.2)	126(12.8)	133(13.6)
	310	85(8.7)	—	94(9.6)	107(10.9)	125(12.7)	131(13.4)
	320	83(8.5)	—	92(9.4)	102(10.6)	123(12.6)	130(13.3)
	330	80(8.2)	—	89(9.1)	101(10.3)	122(12.5)	129(13.2)
	340	78(8.0)	—	86(8.8)	98(10.0)	121(12.4)	128(13.1)
	350	76(7.8)	—	84(8.6)	97(9.9)	120(12.3)	127(13.0)
	360	75(7.6)	—	82(8.4)	94(9.6)	119(12.2)	125(12.7)
	380	71(7.3)	—	76(7.8)	89(9.1)	117(11.9)	119(12.2)
	400	67(6.8)	—	73(7.4)	84(8.6)	114(11.7)	114(11.7)

注：1. 表中的σ_b、σ_s均系材料在常温下的强度。

2. 表中的20g、12Mng和16Mng的σ_b，σ_s值适用于板厚为6～16mm情况，若板厚大于16mm时，应按GB713-72确定。

4.2 设计制造

4.2.1 设计--般要求

容器设计直接影响其安全运行，主要有以下三个方面：①容器的结构是否合理。结构不良的容器，往往因产生过高的局部应力而在反复的加压和卸压过程中导致破坏；②制造容器所用的材料是否合适。容器选材不当，即使具有足够的壁厚，也可能在使用的条件下，或是由于材料韧性的降低而发生脆性断裂，或是由于工作介质对材料产生腐蚀破裂等；③容器是否具有必需的壁厚。容器的壁厚太小会使它在压力的作用下产生过度的弹性变形和塑性变形，并导致容器破裂。

4.2.1.1 设计单位资格

1. 审批程序和条件

压力容器的设计单位，根据压力容器的种类划分，按照表4-22的要求实行分级审批，其条件如表4-23所示。

表 4-22 压力容器设计单位的审批

类别	批准单位	备案单位
液态气体槽车、超高压容器、特种用途容器、第三类反应容器和贮运容器的设计单位	国务院主管部	劳动人事部锅炉压力容器安全监察局
其它第一、二、三类容器的设计单位	省级主管部门	省、自治区、直辖市锅炉压力容器安全监察处

申请书内容应包括：

① 设计的压力容器类别、品种、典型产品和参数；设计成套装置的，还须注明成套装置的名称、规格和典型产品。

② 技术力量状况，如：设计人员、设计审批人员和主要技术负责人的名单、专业和技术职称等。

表 4-23 压力容器设计单位的审批条件

设计单位	设计人员	设计审批人员
①具有与所设计的压力容器类别、品种相适应的技术力量和设计手段	①具有压力容器设计方面专业知识的高级工程师、工程师、助理工程师、技术员或技师	①具有较全面的压力容器设计专业知识的高级工程师或工程师
②具有健全的设计管理制度和技术责任制	②熟悉有关规程、规定、标准和技术条件，并能结合制造、使用情况正确执行	②熟悉有关规程、规定、标准和技术条件，并能指导设计人员正确执行
	③必须经单位技术负责人同意	③必须经单位技术负责人任命

③ 近五年来的主要设计项目和典型压力容器的设计资料（一种或数种）。

2. 设计图纸

（1）压力容器设计图纸　压力容器的设计，应由设计单位技术负责人批准。设计文件（包括：设计计算书、设计说明书和设计图纸）上必须有设计、校对和审批人员签字。设计总图除上述要求外，还必须有单位技术负责人签字和《压力容器设计单位批准书》的编号和批准日期；没有《压力容器设计单位批准书》的图纸不得在社会上流通，制造厂可拒绝加工。

通用性成套装置中的压力容器设计，必须经主管部门召开的设计审查会通过；

第三类压力容器的设计在完成审批程序后，应报送省、市、自治区锅炉压力容器安全监察处备案。

（2）锅炉设计图纸　锅炉设计图纸的审批见表4-24。

表 4-24 锅炉设计图纸的审批

类别	审批单位
全国性的锅炉定型设计	国务院主管部和劳动人事部锅炉局
非全国性的锅炉定型设计	省、自治区、直辖市主管部门和同级劳动局锅炉处

锅炉设计的审查范围是：（i）锅炉本体受压部分；（ii）锅炉范围内的管道；（iii）安全附件、仪表；（iv）锅炉本体烟道；（v）平台、走道、扶梯。

制造单位送审资料是：（i）锅炉总图；（ii）主要受压部件图；（iii）受压元件强度计算书；（iv）锅炉设计说明书；（v）其它与锅炉安全有关的设计资料。

锅炉总图上应有劳动部门锅炉压力容器安全监察机构的审批标记，无审批标记的总图不得流通。

4.2.7.2 容器结构

压力容器结构的设计应符合以下原则。

（1）避免结构上的形状突变，使其平滑过渡　受压壳体存在几何形状突变或其它结构上的不连续，都会产生较高的不连续应力，因此应该尽量避免。实在难以避免时必须采取平滑过渡的结构形式，防止突变。

（2）能引起应力集中或削弱强度的结构应相互错开　在压力容器中，总是不可避免地存在一些局部应力较高或对部件的强度有所削弱的结构，如开孔、转角、焊缝等部位。这些结构在位置上应相互错开，以防局部应力叠加，产生更高的局部应力，导致容器的破坏。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）避免产生较大的焊接应力或附加应力的钢性焊接结构　刚性大的焊接结构既可以使焊接构件因焊接时的膨胀或收缩受到约束，产生较大的焊接应力。也可以使壳体在压力或温度变化时的变形受到约束，产生附加的弯曲或拉伸应力。因此在设计时应采取措施予以避免。

1．封头

（1）形状及尺寸

a．压力容器的凸形封头最好采用椭圆形封头，并选用标准型式。标准椭圆形封头的长短轴比值（封头半径与不包括直边高度在内的封头高度之比）为2。采用非标准椭圆形封头时，长短轴之比值不得大于2.6。

b．在封头半径与高度之比值相同的情况下，碟形封头较椭圆形封头存在较大的弯曲应力，因此应尽少采用碟形封头。采用碟形封头时，封头过渡区的转角半径应不小于封头内直径的10%，且应不小于封头厚度的3倍。以防止封头在过渡部分或其附近产生更高的弯曲应力。

c．标准椭圆形封头的直边高度应符合表4-25的规定。

表 4-25　标准椭圆形封头的直边高度（mm）

封头材料	碳素钢、低合金钢			不锈钢		
壁厚	4～8	10～18	≥20	3～9	10～18	≥20
直边	25	40	50	25	40	50

d．无折边球形封头使筒体产生较大的附加弯曲应力，因此只适宜用于直径较小、压力较低的无毒、非易燃介质的容器。在任何情况下，无折边球形封头的球面半径都不应大于圆筒体的内直径。因为封头球面半径过大将与平板封头相似，产生很高的边界应力。确定无折边球形封头的厚度时应核算与其联接的圆筒体的边缘应力，务必使筒体的最大合成应力（包括边缘应力在内）不超过材料屈服极限的两倍。封头与筒体必须采用保证全焊透的焊接结构。

e．锥形封头只在容器的生产工艺确实需要的情况下才采用。无折边锥形封头的半顶角α不得大于30°。无折边锥体连接处的对接焊缝必须采用全焊透结构。半顶角α大于30°的锥形封头应采用折边的结构或在锥体与筒体的联接处采用加强结构，以避免产生过高的附加弯曲应力。采用折边锥形封头时，折边过渡区的转角内半径应不小于圆筒体内直径的10%，且应不小于锥体厚度的3倍。

f．平板角焊封头一般不宜用于压力容器。需要采用时应有足够的厚度，并采用保证全焊透的焊接结构。

（2）拼接与连接焊接

a．用两块钢板拼的凸形封头，拼接焊缝离中心的距离应小于公称直径的1/4。

b．用多块扇形板组拼的凸形封头必须具有中心圆板，中心圆板的直径应小于封头直径的1/2。

c．封头与筒体的焊接必须采用全焊透结构，特别是平板封头、无折边球形封头与锥形封头，更应在结构设计上确保焊透。平板封头、无折边球形封头，禁止采用图4-6的焊接

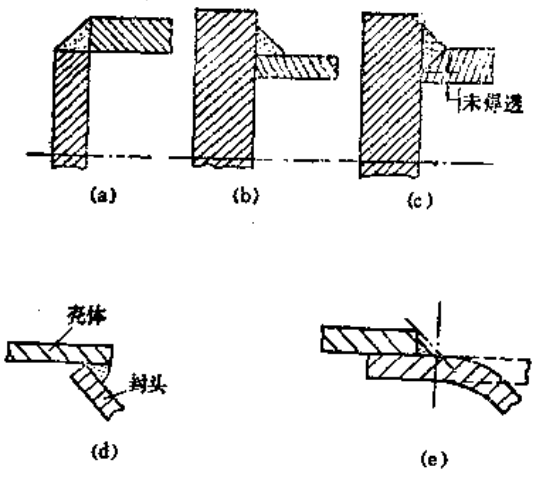


图 4-6 禁止采用的角接焊结构

结构。

2. 对容器开孔及开孔结构的要求

（1）关于开设检查孔、人孔的要求 内径<1000mm的反应容器、贮运容器，如不能利用工艺管道通孔检查内部时，应开设检查孔；内径≥1000mm的容器，如不能利用其它可拆装置进行内部检验和清洗时，应开设人孔。对于液氨贮罐、超低温的液氧、液氮容器，确实难于开设检查孔者，可由设计单位列出焊缝经100%探伤合格、在规定使用寿命内安全使用者、即可不作内部检查的措施。并报上级主管部门和同级劳动部门同意，可不设检查孔。

对于工作介质为高温或有毒气体的容器，为了防止介质喷出伤人，人孔或手孔的密封盖应采用内闭式。盖的结构应保证密封垫圈不会被气体吹出。

（2）开孔位置与尺寸的限制

a. 容器壳体（包括圆筒体与封头）上所开的孔一般应为圆形、椭圆形或长圆形。在壳体上开椭圆形或长圆形孔时，孔的长径与短径之比不得大于2。

b. 在圆筒体上开椭圆形或长圆形孔时，为了减小开孔对筒体强度的削弱，孔的短径一般应设在筒体的轴向（径向）。

c. 壳体上的所有开孔都应与焊缝错开。开孔边缘与焊缝的距离，应大于开孔处实际壁厚的3倍，且不小于100mm。在椭圆形或碟形封头上开孔时，孔的边缘与封头周边间的投影距离应不小于封头外径的10%。

d. 筒体或封头的开孔直径应符合以下规定：

i. 在圆筒体开孔，对于内径不大于1500mm的圆筒，最大孔径不应超过筒体内径的1/2，且不大于500mm；对于内径大于1500mm的圆筒体，最大孔径不应超过筒体内径的1/3，且不大于1000mm；

ii. 凸形封头或球形容器的开孔最大直径应不大于壳体内直径的1/2，且不大于500mm；

iii. 锥形封头的开孔最大直径应不大于孔中心处锥体内径的1/3。

（3）开孔补强 在容器上开孔，受压壳体即因结构不连续而引起应力集中，在孔的边缘产生很高的局部应力。为了降低壳体开孔边缘的局部应力，在开孔处应进行补强。

如果开孔的直径较小，而且孔又焊接有较厚的工艺接管，或者壳体本身的厚度有较大的裕量，则接管或壳体壁厚裕量就可以起补强作用，在这种情况下，开孔也可以不另行补强。允许不另行补强的接管尺寸见表4-26。

开孔补强的结构型式有整体补强和用补强元件补强，后者包括采用厚壁接管或另加焊补强圈等。由于补强圈搭焊结构常常引起较大的局部应力，而且采用高强度钢焊接时又容易产生裂纹，因此这种补强结构型式一般只适用于材料的屈服极限不大于4000kgf/cm²、且补强圈的厚度不超过壳体壁厚的1.5倍的情况下。近年来，对整体补强或用厚壁接管全焊透结构进行补强已开始采用极限设计法。这种方法进行开孔补强的基本准则就是使开孔周围的局部应力（薄膜应力与不连续应力的叠加）不大于材料屈服极限的两倍，开孔后壳体的屈服压力

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-26 允许不另行补强的接管尺寸

p (kgf/cm²)	厚度余量系数K	筒体内直径D_i或球体内半径R_i（mm）				
		≤1000	≤2000	≤3000	≤4000	≤6000
≤6	1.0	57×5	57×5	76×6	76×6	76×6
	1.1	76×6	76×6	89×6	89×6	89×6
	1.2	89×6	89×6	89×6	89×6	89×6
	1.3	108×6	108×6	159×7	159×7	159×7
≤10	1.0	38×3.5	45×3.5	57×5	57×5	76×6
	1.1	57×5	57×5	76×6	76×6	89×6
	1.2	76×6	76×6	89×6	89×6	108×6
	1.3	89×6	89×6	108×6	159×7	159×7
≤16	1.0	32×3.5	38×3.5	45×3.5	57×5	76×6
	1.1	45×3.5	45×3.5	57×5	76×6	89×6
	1.2	57×5	57×5	76×6	89×6	108×6
	1.3	76×6	89×6	89×6	108×6	159×7
≤25	1.0	25×3.5	38×3.5	45×3.5	57×5	76×6
	1.1	38×3.5	45×3.5	57×5	76×6	89×6
	1.2	45×3.5	57×5	76×6	89×6	108×6
	1.3	57×5	76×6	89×6	108×6	159×7

注：1.材料的常温屈服点σ_s>4000kgf/cm²时，应采用全焊透结构。
2.壳体的设计温度≤－20℃（奥氏体不锈钢不在此限）时，其结构应满足低温容器的要求。
3.厚度余量系数K由比值$(S-C)/S_0$确定。式中S为实际壁厚，S_0为计算壁厚，C为壁厚附加量。

表 4-27 补强要求

项目	开孔补强面积 A(mm²)	有效补强范围① 有效宽度 B(mm)	有效高度 h (mm) 外侧高度 h_1	内侧高度 h_2
内压容器	$A=d\times S_0$	$B=2d$	$h_1=\sqrt{d(S_t-C)}$ 或 h_1=接管实际外伸高度（取二者中较小值）	$h_2=\sqrt{d(S_t-C-C_2)}$ 或 h_2=接管实际内伸高度（取二者中较小值）
外压容器	$A=0.5d\times S_0$			
椭圆形碟形锥形封头	$A=d\times S_0$			
平盖	$A=0.5d\times S_0$			

①筒体或封头开孔补强区有效范围，可按图6-6确定（WXYZ区域）。

基本上与未开孔时的屈服压力相同。

开孔补强可以用等面积法进行补强计算，有关各种补强结构有效补强面积的计算方法如下：

筒体或封头进行开孔补强时，其补强区的有效范围按图4-7确定。

图中 A_1——筒体或封头承受内压或外压所需厚度和壁厚附加量两者之外的多余量，$A_1=(B-d)[(S-C)-S_0]$mm²；

A_2——接管承受内压或外压所需厚度和壁厚附加量两者之外的多余金属，$A_2=2h_1(S_t-S_{t0}-C)+2h_2(S_t-C-C_2)$mm²；

A_3——在补强区内的焊缝截面积，mm²；

A_4——在补强区的另加的补强截面积，mm²。

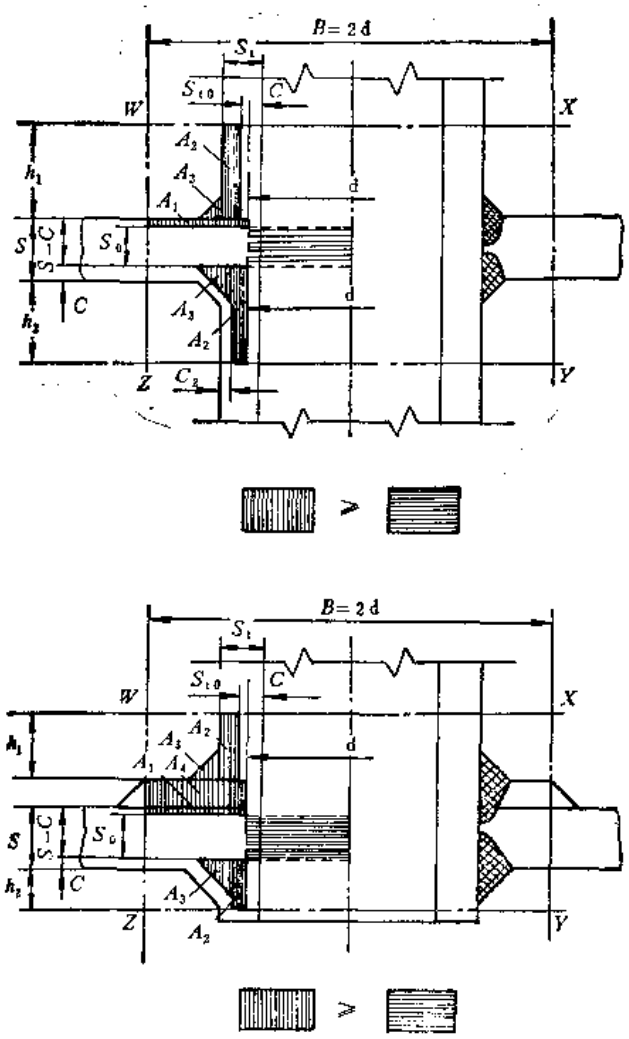


图 4-7 有效补强范围示意图

若$A_1+A_2+A_3\geqslant A$，则开孔不需另外补强；

若$A_1+A_2+A_3<A$，则需另加补强，其面积$A_4\geqslant A-(A_1+A_2+A_3)$。

局部补强结构，见示意图 4-8、图4-9。

4.2.1.3 材料选用

锅炉、压力容器用钢应按表2-48选用。

1. 材质

锅炉、压力容器用钢应有良好的性能。良好的低倍组织和组织稳定性，内中分层、夹杂物、气孔、疏松等缺陷应在标准规定之内，不得有白点、裂纹。

制造锅炉、容器的材料质量及规格应符合国标、部标和有关技术条件要求。锅炉、容器制造厂应有钢厂提供的质量证明书。证明书上应有炉（罐）号、批号、实测的化学成分和机械性能、供货熔炼热处理状态。低温容器钢还应有夏比v形缺口试样的冲击值和脆性转变温度。

含碳量>0.24%的材料，不得用于焊制容器。

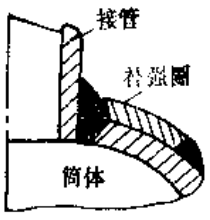


图 4-8 补强圈结构

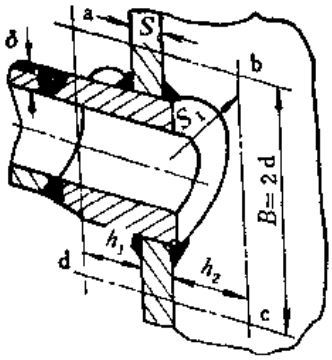


图 4-9 厚壁补强管结构

制造高压容器的钢板，制造温度≤－40℃（厚度S>20mm）的容器钢板，制造 50m³ 以上球罐、且有抗应力腐蚀的或S>38mm的碳素钢板、或S>25mm的16MnR、15MnVR 钢板应逐张进行超声波探伤合格。

常用的制造锅炉的钢板的理化性能见表4-29。部分压力容器用钢板理化性能见表4-30。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-28 锅炉、压力容器常用钢板

钢种 / 分类	碳素钢	低合金钢	高温钢	低温钢	不锈钢
锅炉	A_3g, 15g, 20g	16Mng, 14MnMoVg 18MnMoNbg	18MnMo	—	
压力容器	A_3F, A_3 A_3R, 20g	16MnR, 15MnVR 18MnMoNbR	18MnMbNbR, 15CrMo, 14Cr1Mo, 12Cr2Mo等	16MnDR, 09Mn2VDR 06MnNbDR, 09MnTiCuXtDR	0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9Ti, 00Cr18Ni10等

注：压力容器用抗氢氮钢板有0.5Mo、0.5Cr－0.5Mo钢、2¼Cr－1Mo钢等。

几种钢板的压力容器使用范围及限制条件见表4-31。

2．工艺性能

即具有良好的冷、热加工性能，如轧制、成型、锻造和焊接性能。用控制钢材的延伸率（δ_5）指标和冷弯性能以保证材料的机械加工性能，而用碳当量来估计钢材的可焊性。

碳当量法是根据钢材的化学成分与焊接热影响区淬硬性的关系，粗略地评价钢材焊接时产生冷裂纹的倾向和脆化倾向的一种估算方法。

碳素钢和低合金钢常用的碳当量（C_E）计算公式如下：

$$C_E = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} + \left(\frac{P}{2}\right) \qquad (4\text{-}13)$$

式中右边各项中的元素符号表示钢中化学成份元素的百分含量，括号内磷成分在其含量$P>0.05\%$才计入。

经验证明，当$C_E<0.4\%$时，钢材的淬硬倾向不大，可焊性优良，焊接时一般不用预热；当$C_E=0.4\sim0.6\%$时，淬硬倾向增大，施焊时应预热75℃以上，并应控制焊接规范等工艺措施；当$C_E>0.6\%$，淬硬倾向强，属于较难焊的钢材，施焊时应预热150℃以上，并严格工艺措施。

硫、磷、氧等杂质不仅恶化钢材的机械性能，而且严重影响其工艺性能。低熔点的硫化铁使钢材产生热脆性，即钢材中的硫化铁杂质在钢材热加工时，会局部熔化导致钢材开裂，并在焊接时造成焊缝热裂和热影响区出现裂纹，使焊接性能变坏。磷也恶化钢的焊接性能，使焊缝和热影响区产生裂纹。

3．对介质的耐腐蚀性

对于均匀腐蚀，材料的评选标准可参见表4-32。

4．低温容器用钢

设计温度小于－20℃的容器习惯上称为低温容器。低温容器突出的问题是在低温下的脆性破裂。

材料冲击试验中，冲击值α_k与温度、缺口形状、取向、材料的化学成分、热处理状态、冷加工程度、焊接热影响区、板厚以及试验方法等有关，在其他情况相同，仅改变温度时发现当试验温度降低到某一范围，α_k值急剧降低；而温度低于这一范围的下限时，材料呈现脆性。我们把这个温度称为材料的脆性转变温度（又称韧性——脆性转变温度），以表示材料由塑性转变为脆性的临界温度。但是，并不是所有的金属材料都具有冷脆性，如奥氏体不锈

表 4-29 工业锅炉用钢板适用范围、化学成份和机械性能标准值

钢的种类	钢号	技术标准	适用范围 工作压力 (kgf/cm²) ≤	适用范围 壁温 (℃) ≤	强度级别 (kgf/cm²)	化学成分 (%) C	Si	Mn	P ≤	S ≤	机械性能(常温) 钢板厚度 (mm)	σ_b (kgf/mm²)	σ_s (kgf/mm²)	δ_5 (%)≥	δ_{10} (%)≥	a_k (kgf/cm²) 常温≥	a_k (kgf/cm²) 时效≥
碳素钢	A_3g②④	GB713—72	16	450	22	0.14～0.22	0.15～0.30	0.35～0.65	0.045	0.045	4～20	38～40	22	27	23	7.0	3.0
												41～43		26	22	7.0	
												44～47		25	21	6.0	
	15g③	GB713—72	60	450	23	0.12～0.20	0.15～0.30	0.35～0.65	0.040	0.045	4～20	36～38	23	28	24	6.0	3.5
											21～40	39～40	22	27	23		
												41～42		26	22		
											41～60	43～46	21	25	21		
	20g③	GB713—72	60①	450	25	0.16～0.24	0.15～0.30	0.35～0.65	0.040	0.045	6～16	41～42	23	26	22	6.0	3.5
											17～25	43～44	24	25	21		
											26～36	45～47	23	24	20		
											37～60	48～50	23	23	19		
低合金钢	12Mng③	GB713—72	60	400	30	≤0.16	0.20～0.60	1.10～1.50	0.040	0.045	6～16	≥45	30	21		6.0	3.0
											17～25	≥44	28	19			
	16Mng③	GB713—72	60	400	35	0.12～0.20	0.20～0.60	1.20～1.60	0.040	0.045	6～16	≥52	35	21		6.0	3.0
											17～25	≥50	33	19			
											26～36	≥48	31	19			
											37～60	≥48	29	19			

①制造不受辐射热的锅炉时，工作压力不受限制。

②Cr、Ni、Cu含量各≯0.3%，总和≯0.7%。

③Cu含量≯0.35%。

④A_3g虽是甲类普通钢板，因可制造低压小型锅炉的锅筒，故技术条件接近优质钢的要求。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-30 常用压力容器钢板化学成份、机械性能标准值

序号	钢号	钢板技术标准	钢板使用状态	板厚 (mm)	化学成分 (%) 碳 (C)	硅 (Si)	锰 (Mn)	磷 (P)	硫 (S)	其它合金元素	机械性能 σ_s MPa (kgf/mm²)	σ_b MPa (kgf/mm²)	δ_5 (%)	常温a_k (kgf·m/cm²)	冷弯试验 (d: 弯心直径) a: 试样厚度
1	A_3F AY_3F	GB912-82 GB3274—82	热轧	≤4 4.5～12							≥2.35 (24)	≥3.73 (38)	≥26		$d=1.5a$
2	A_3 AY_3	GB912—82 GB3274—82	热轧	≤4 4.5～16							≥2.35 (24)	≥3.73 (38)	≥26		$d=1.5a$
3	A_3R	YB536—69	热轧或正火	6～16 17～36 38～60	≤0.22	0.12～0.30	0.40～0.65	≤0.045	≤0.040		≥2.35(24) ≥2.26(23) ≥2.26(22)	≥3.73 (38)	≥26	≥7.0 ≥6.0 ≥6.0	$d=1.5a$
4	20g	GB712—72	热轧或正火	6～16 17～25 26～60	≤0.16～0.24	0.15～0.30	0.35～0.65	≤0.045	≤0.040		≥2.46(25) ≥2.35(24) ≥2.26(23)	≥4.0 (41)	≥26 ≥25 ≥23	≥6.0	$d=2a$
5	16MnR	YB536—69	热轧 正火	6～16 17～26 27～36 38～60 6～20 21～38 40～60	≤0.20	0.20～0.60	1.2～1.6	≤0.045	≤0.040		≥3.43(35) ≥3.24(33) ≥3.0 (31) ≥2.85(29) ≥3.14(32) ≥2.94(30) ≥2.75(28)	≥5.10(52) ≥4.9 (50) ≥4.9 (50) ≥4.71(48) ≥4.9 (50) ≥4.71(48) ≥4.61(47)	≥21 ≥20 ≥19 ≥19	≥6.0	$d=2a$ $d=3a$ $d=3a$ $d=3a$
6	15MnYNR	YB536—69	正火	11～25 26～38 40～50	0.12～0.20	0.20～0.50	1.30～1.70	≤0.045	≤0.040	Y: 0.16～0.25 N: 0.014～0.022	≥4.22(43) ≥4.12(42) ≥3.92(40)	≥5.69(58) ≥5.49(56) ≥5.30(54)	≥18 ≥17 ≥17	≥6.0	$d=3a$
7	15MnYR	YB536—69	热轧 正火	6～16 17～25 6～20 21～38 40～60	≤0.18	0.20～0.60	1.20～1.60	≤0.045	≤0.040	V: 0.04～0.12	≥3.92(40) ≥3.73(38) ≥3.63(37) ≥3.43(35) ≥3.24(33)	≥5.30(54) ≥5.10(52) ≥5.00(51) ≥4.90(50) ≥4.81(49)	≥18 ≥17 ≥17 ≥17 ≥17	≥6.0	$d=3a$
8	18MnMoNbR	YB536—69	正火加正火	15～50 >50～80 >80～115	0.17～0.23	0.17～0.37	1.35～1.65	≤0.040	≤0.040	Mo: 0.45～0.65 Nb: 0.025～0.050	≥4.41(45) ≥4.12(42) ≥3.92(40)	≥5.69(58) ≥5.49(56) ≥5.30(54)	≥16 ≥16 ≥16	≥7.0	$d=3a$
9	0Cr18Ni9Ti				≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.020	Cr: 17～19 Ni: 8.0～10.5 Ti: ～0.80		≥5.4 (55)	≥42		
10	1Cr18Ni9Ti				≤0.12	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.020			≥5.4 (55)	≥42		

表 4-31 几种钢板的使用范围

钢号	使用范围	备注
A_3F、AY_3F	$p\leqslant 6$ kgf/cm², t=0～250℃, S≤12mm	不得用于盛装易燃、有毒介质容器
A_3、AY_3	$p\leqslant 10$kgf/cm², t=0～350℃, S≤16mm	不得用于盛装液化石油气容器
16Mn		不得用于容器壳体，可用于法兰
16MnR		S＞30mm板，应是正火状态供货

注：p为容器设计压力，t为钢板使用温度，S为钢板厚度。

表 4-32 材料耐蚀性评选标准

级别	均匀腐蚀速度，mm/年	使用情况
A	＜0.125	耐腐蚀材料，可用于重要部位（最易受到腐蚀危险的部位）
B	0.125～1.25	一般使用材料，广泛用于非重要部分，适用于容许某种程度的腐蚀情况
C	＞1.25	不适用材料，特别是如果没有防腐蚀措施，不宜使用

钢、铝、铜、镍等具有面心立方晶格的金属，并没有冷脆现象。

设计温度为－20～－250℃的压力容器用钢，要求在低温工作条件下具有足够的韧性，其V型缺口夏比试样冲击值d_k在设计温度下应不小于2.1kg·m/cm²。

5. 高温容器用钢

材料在高温下工作，除蠕变现象外，还可能发生石墨析出、珠光体球化、奥氏体钢碳化物析离和再结晶使晶粒变粗、材料变脆等组织变化，导致材料的机械性能降低。此外，高温下金属材料与氧易化合，生成疏松氧化物使抗氧化能力下降，材料腐蚀速度加快，应力腐蚀更为突出；高温用钢往往其合金元素含量较高，因而导热系数降低，热膨胀系数增高，可焊性降低等等。设计温度＞450℃的容器所选用的材料除持久强度作为强度计算依据外，还应具有高温下防止氧化和腐蚀的性能以及长期组织稳定的性能。因此，一般选用耐热钢。

4.2.1.4 其它

压容器设计除选材得当、结构合理、计算正确的要求外，还应该满足检修、检验方便，安全附件齐全，技术条件周密等要求。

1. 技术条件考虑周密

设计图纸上的技术条件除有关制造加工的要求和使用、维修、检验的注意事项外，还应针对容器的不同用途和结构提出相应要求。例如由于结构或工艺等原因，容器不允许注满水或被耐压试验液体沾染，只能用气体介质进行耐压试验时，在技术条件中应明确要求制造时该容器的主要焊缝应进行100%的无损探伤；探伤合格后方准做气压试验；又如设计夹套容器，应在图纸上分别写明壳体和夹套的试验压力和允许的内外压差值、耐压试验的步骤和要求；设计不允许介质有微量泄漏的容器或剧毒介质的容器，技术条件中必须要求对容器进行气密性试验。进行气压试验、气密性试验，必须按照《规程》要求作出试验方案，报批同意，且有试验警戒区，以防发生意外，等等。

2. 方便检修和检验

压力容器设计时就应考虑到容器运行操作方便，安装、检修、检验的方便。例如根据容器的大小开设必要的人孔、手孔、检查孔、监视孔。$D_i\geqslant 1000$mm的压力容器和大管锅炉的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

锅筒以及$D_i \geqslant 800$mm的水管锅炉锅筒，如不能利用其他可拆装置进行内部检查和清洗时，应在筒体或封头上开设人孔、检查孔。椭圆形人孔的尺寸不应小于280×380mm，为了减少开孔对筒体强度的减弱，人孔的短轴应设在筒体的轴向，人孔和超过允许不补强孔尺寸的检查孔等对筒体的削弱应进行补强。炉墙上的长方形人孔一般为400×450mm，圆形人孔直径应不小于450mm。$D_i \leqslant 1000$mm的压力容器和锅炉集箱必须开设必要的手孔、检查孔、监视孔、清扫孔。锅炉受压元件上的手孔，其短轴不应小于80mm，洗炉孔直径不得小于50mm。工作介质为高温或有毒物质的容器，为防止介质喷出伤人，孔盖应采用内闭式，盖的结构能保证衬垫不会被吹出。需罐内作业的容器，孔盖的设计应启闭省力，并尽可能设置联锁装置，当人员在罐内作业时，孔盖无法关上，等等。从设计上为安全检修、安全检测创造有利条件。为了方便定期检验，对大型、有保温层的容器，可设计局部活套式保温结构。

3．安全附件齐全

安全附件是承压设备必不可少的附件，必须根据工作条件和工艺特点，配齐安全附件。有关安全附件的结构、原理见专章，其选用要求和安装等见本章第3节。

化工压力容器设计除了考虑强度问题外，还应考虑性质相抵触的化学物质在意外情况下相遇而可能发生化学爆炸的情况。在防止物理爆炸的同时，采取可靠措施防止化学爆炸的发生。

4.2.2 容器壁厚计算

4.2.2.1 计算公式参数

1．设计压力（p）

设计压力系指在相应设计温度下，用以确定容器壳壁计算厚度及其元件尺寸的压力。一般略高于容器最高工作压力。可按表4-33的原则选取。计算容器各部分的壁厚及其元件尺寸时，容器设计压力，应计入容器该部分截面处所受的液柱静压力。

表 4-33 设计压力选取原则

序号	容器受压状况和介质		设计压力（p）
1	内压容器	①装有安全泄放装置的中低压容器	取1.05～1.10倍最高工作压力
		②高压容器	取略高于最高工作压力
		③介质为液化气体	根据充装系数和可能达到的最高温度来确定p_w，p略高于p_w
2	外压容器		≥实际工作过程中可能产生的最大内外压力差

最高工作压力系指容器顶部在工作过程中，可能产生的最高表压力。液化气体容器的最高工作压力，参见表4-34。混合液化石油气的设计压力参见表4-35，在无可靠保温措施时，只有略高于50℃时的异饱和蒸气压力，如异丁烷5.89kgf/cm²、丙烷16.52kgf/cm²、丙烯19.92kgf/cm²，其设计压力分别为6kgf/cm²(0.59MPa)、17kgf/cm²（1.67MPa）和20kgf/cm²(1.96MPa)。应当指出，蒸汽锅炉的设计压力等于额定压力加上最大流量时锅筒到锅炉出口之间的压力降，与压力容器不同，它不考虑安全阀动作时的压力升高值。

2．设计温度（t）

压力容器的设计温度，应取容器在正常操作时相应的设计压力下，壳壁或元件金属的最高或最低（指≤－20℃）温度。

表 4-34 液化气体容器的最高工作力压（p_w）

容器介质	保冷情况	最高工作压力（p_w）
临界温度>50℃的液化气体	有可靠的保冷措施	为最高工作温度下的饱和蒸气压力
	无保冷措施	不得低于50℃时的饱和蒸气压力
临界温度<50℃的液化气体	有可靠的保冷措施，确保低温贮存	不得低于试验实测的最高温度下的饱和蒸气压力
	无保冷措施或无试验实测数据	不得低于50℃时的气体压力（介质在规定的最大充装量时）

表 4-35 混合液化石油气容器的最高工作压力（表压力）

混合液化石油气	异丁烷饱和蒸气压力（50℃时）5.89kgf/cm²	丙烷饱和蒸气压力（50℃时）16.52kgf/cm²	最高工作压力
饱和蒸气压力①（50℃时）	<5.89		取50℃时异丁烷的饱和蒸气压
	>5.89		取50℃时丙烷的饱和蒸气压
		>16.52	取50℃时丙烯的饱和蒸气压

①如果有可靠的保冷措施，可在地区的最高气温下，实测容器内可能达到的最高温度，作为设计温度。

盛装标准沸点≤－20℃的液化气体容器，壁温受环境影响而可能≤－20℃时，其设计温度还应考虑地区最低温度。见表4-36。

表 4-36 我国部分地区极端气温（℃）

地名	极端气温		地名	极端气温		地名	极端气温	
	最高	最低		最高	最低		最高	最低
哈尔滨	35.4	－38.1	西安	45.2	－20.6	福州	39.5	－2.5
长春	36.4	－36.5	西宁	39.4	－21.9	洛阳	41.4	－17.4
沈阳	35.7	－30.5	汉中	41.6	－10.1	汉口	38.7	－14.9
抚顺	36.3	－35.2	北京	40.6	－27.4	长沙	39.8	－9.5
锦州	35.7	－24.7	天津	42.7	－18.1	南昌	39.4	－7.7
营口	38.8	－25.7	大同	37.7	－27.6	桂林	38.5	－4.5
大连	34.4	－21.1	太原	38.4	－24.6	广州	37.6	－0.1
呼和浩特	36.9	－31.1	济南	42.7	－19.7	成都	35.3	－4.3
乌鲁木齐	40.9	－41.5	南京	40.5	－13	宜宾	42	－1.6
兰州	39.1	－23	合肥	38.8	－20.6	贵阳	39.6	－9.5
玉门	29.2	－26.7	上海	40.2	－12.1			
银川	35.0	－24.3	杭州	42.1	－10.5			

3. 焊缝系数（ϕ）

$$\text{焊缝系数}\phi=\frac{\text{焊缝区材料强度}}{\text{本体材料强度}}\leqslant 1 \qquad (4\text{-}14)$$

焊缝系数ϕ表示焊缝强度受焊接过程影响了强度而引出的，是确定容器壁厚的一个参数。它根据焊接接头型式和焊缝的无损检验程度来确定。详见表4-37。

表4-37适用于压力容器。蒸汽锅炉的焊缝系数ϕ与上表略有不同。蒸汽锅炉的锅筒焊缝要求作100%探伤、对水管式锅炉，手工电焊时的双面焊$\phi=1$，有垫板的单面焊$\phi=0.8$，有

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-37 焊缝系数ϕ值

焊接接头型式	检验程度		
	全部探伤	局部探伤	不探伤
双面焊的对接焊缝	1.0	0.85	0.70
单面焊的对接焊缝有紧贴基本金属的垫板	0.90	0.80	0.65
单面焊的对接焊缝，无垫板	—	0.70	0.60

注：我国《规程》规定，每台锅炉和压力容器都应作探伤，不允许不探伤。

氩弧焊打底的单面焊有坡口对接焊缝$\phi=0.90$，一般的坡口单面焊$\phi=0.75$；锅壳式锅炉的手工电弧焊，双面焊的对接焊缝$\phi=0.95$，有垫板的单面焊$\phi=0.80$，一般单面对接焊$\phi=0.70$。对锅壳式锅炉和水管锅炉的熔剂层下的自动焊，双面焊的$\phi=1$，有坡口的单面焊$\phi=0.85$（水管锅炉）和0.80（锅壳式锅炉）

4. 壁厚附加量（C）的确定

$$C=C_1+C_2+C_3 \qquad (4\text{-}15)$$

式中 C_1——钢板或钢管厚度的负偏差，参见表4-38和表4-39；

C_2——腐蚀裕度；

C_3——冷、热加工减薄量，封头冲压时的壁厚拉伸减薄附加量，参见表4-40。

表 4-38 钢管厚度负偏差C_1值

钢管种类	壁厚（mm）	负偏差（%）
碳素钢 低合金钢	≤20 >20	15 12.5
不锈钢	≤10 >10～20	15 20

表 4-39 钢板厚度负偏差C_1值(mm)

钢板厚度	2.0	2.2	2.5	2.8～3.0	3.2～3.5	3.8～4.0	4.5～5.5
c_1	0.18	0.19	0.2	0.22	0.25	0.3	0.5
钢板厚度	6～7	8～25	26～30	32～34	36～40	42～50	52～60
c_1	0.6	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3

表 4-40 壁厚拉伸减薄附加量C_3

封头型式		壁厚拉伸减薄附加量，C_3
椭圆形、碟形、及折边锥形	壁厚 <40mm	≥10%
	壁厚 >40mm	≥13%
球形		≥15%

热卷筒体壁厚的加工裕度由制造厂根据加工工艺自行附加。

锅炉锅筒制造时的壁厚附加量C按表4-41选用。

5. 壁厚（S）

壁厚有设计时的设计壁厚、计算壁厚（S_0，不包括C）。一般说，设计壁厚与制造厂实

表 4-41 锅炉锅筒的壁厚附加量C (mm)

制造工艺		C
热卷	高压锅筒筒体	4
	中压锅筒筒体	3
冷卷	热校	1
	冷校	0

际选用的钢板厚度是一致的，否则，实际壁厚不得小于设计壁厚。

最小、最大壁厚的限制：容器用碳钢、低合金钢，S不小于3mm；不锈钢S不小于2mm。蒸汽锅炉的锅筒壁厚不小于6mm。着火的锅炉锅筒（额定压力≤25kgf/cm²）置于600～900℃烟道的，$S\geqslant$30mm；置于火焰中的$S\geqslant$20mm。

4.2.2.2 筒体、封头的强度计算公式

筒体、封头的壁厚计算，见表4-42。

表 4-42 筒体、封头的壁厚计算

计算种类	计算公式
单层焊接圆筒体壁厚	$S=\frac{p\cdot D_i}{200[\sigma]^t\phi-P}+C$
球壳和球形封头壁厚	$S=\frac{p\cdot D_i}{400[\sigma]^t\phi-P}+C$
椭圆形封头壁厚	$S=\frac{p\cdot D_i\cdot K}{200[\sigma]^t\phi-0.5P}+C$

注：该表不适用蒸汽锅炉。

表中符号意义：

p——设计压力，在强度校核计算中，为最高允许工作压力，kgf/cm²；

D_i——圆筒或封头内直径，mm；

$[\sigma]^t$——设计温度下容器筒体或封头材料的许用应力。在校核计算时按容器工作状态下实测的最高壁温代替设计温度，kgf/mm²；

ϕ——减弱系数，一般ϕ等于焊缝减薄系数；但筒体上还有开孔减弱则取两者中小的一个；假如孔开在焊缝处（一般应尽量避免）则减弱系数等于开孔减弱系数和焊缝减弱系数的乘积；

C——壁厚附加量，mm；

S——圆筒或封头的计算壁厚，选择的钢板厚度应大于或等于计算壁厚，mm；

K——椭圆形封头形状系数；

$$K=\frac{1}{6}[2+(D_i/2h_i)^2]$$

式中 D_i——封头内径，mm；

h_i——封头内壁曲面高度，mm。

标准椭圆形封头（长轴：短轴＝2:1）的$K=1$。

对多层钢带和扁平钢带制造的厚壁容器（多用于高压容器上）的壁厚强度计算公式，仍

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

采用表4-42中的“单层焊接圆筒体壁厚”公式。但式中$[\sigma]^t\phi$值应改用下式计算：

$$[\sigma]^t\phi=\frac{S_i}{S-C}[\sigma]_i^t\phi_i+\frac{S_0}{S-C}[\sigma]_0^t\phi_0 \tag{4-16}$$

式中的S_i为多层或扁平钢带容器的内筒厚度，S_0为层板或扁平钢带层的总厚度，S_i应$\geqslant\frac{1}{4}S_0$。$[\sigma]_i^t$为设计温度下内筒材料的许用应力，$[\sigma]_0^t$为设计温度下层板或扁平钢带材料的许用应力，对多层容器$[\sigma]_0^t=[\sigma]^t$，对扁平钢带容器，$[\sigma]_0^t=0.9[\sigma]^t$。$\phi_i$为内筒焊缝系数，$\phi_0$为层板层的焊缝系数，层板纵焊缝$\phi_0=0.95$，扁板钢带层$\phi_0=1.0$，热套层焊缝$\phi_0=0.95$。

扁平钢带容器的设计温度应小于200℃，钢带缠绕角为26～31°。

在完成强度计算后，对细高容器应作稳定计算，对卧式容器应校核各横截面处的弯曲应力。

4.2.3 压力容器制造

4.2.3.1 制造单位

1. 制造单位必须具备的条件

（1）具有与所制造的压力容器类别、品种相适应的技术力量、工装设备和检测手段；

（2）具有健全的制造质量保证体系和质量管理制度；

（3）能严格执行有关规程、规定、标准和技术要求，保证产品制造质量。

2. 审批程序

制造单位必须向主管部门和当地锅炉压力容器安全监察机构提出书面申请，并报送《压力容器制造与质量保证手册》。经审查同意后，由当地锅炉压力容器安全监察机构发给《压力容器制造申请与批准书》，填报审批；

再按表4-43的规定，经有关主管部门逐级进行初审、复审，合格后发给签字盖章的《制造批准书》和劳动部门签署的《压力容器制造许可证》，方可制造容器。

表 4-43 制造单位的审批规定

容器种类	初审	复审
第一、二类压力容器的制造单位	地、市劳动部门会同主管部门进行	省、市、自治区锅炉压力容器安全监察机构会同省级主管部门进行
第三类压力容器的制造单位	省、市、自治区锅炉压力容器安全监察机构会同省级主管部门进行	劳动人事部锅炉压力容器安全监察局会同国务院主管部进行

现场组装大型压力容器（如球罐）的安装单位，也应按本要求办理相应的压力容器制造许可证。

制造许可证的使用规定，见表4-44。

压力容器产品的质量监督由锅炉压力容器安全监察机构或者授权的劳动部门检验所进行。

4.2.3.2 材料复验

材料复验是保证承压设备制造质量的第一关，材料质量直接影响承压设备的安全使用。

1. 复验

表 4-44 制造许可证的使用规定

分　类	有 效 期	批准延长使用期限	申请换证期限	持证单位须知	监督检查单位
第一、二、三类及“自用”类	4年。过期作废	不得超过半年	有效期满前3～6个月	（1）不得转让、涂改、伪造或买卖。 （2）严格执行规程和技术条件。 （3）保证产品质量。 （4）凡发现违反上述规章的单位，应限期改进，责令整顿或给予严肃处理，直至撤消制造资格	各级锅炉压力容器安全监察机构

材料必须具有质量合格证明书，根据规定对材料的机械性能和化学成分进行必要的复验，以证实材料的可靠性。

除了本章4.2.1.3节所述对钢板作必要的无损探伤复验外，对压力容器主体材料需作理化性能和其它有关性能的复验：

① 用于制造Ⅲ类容器材料，Ⅰ、Ⅱ类容器材料证明书不全的材料；

② 设计图样上规定有特殊要求项目的材料；

③ 制造单位对资料数据有怀疑的材料。

2．材料变更

应严格按图施工，按设计规定的材料制造承压设备。由于种种原因，制造单位需改变结构或用别的牌号代用时，必须征得设计单位的同意，并附上设计单位的证明文件。

4.2.3.3 容器焊接

1．焊工资格

承担压力容器、蒸汽锅炉及受压元件焊接工作的焊工，必须按原国家劳动总局颁布的《锅炉压力容器焊工考试规则》的规定，经过操作技能和基本知识考试合格，持有地、市以上劳动部门发给的《锅炉压力容器焊工合格证》才准许担任相应的钢制压力容器制造及受压元件修理的焊接工作。焊缝处应打上焊工代号钢印。

表 4-45 焊接环境

风　速	≥10m/sec
相对湿度	>90%
下雨、下雪	室　外
焊件温度①	<0℃

① 在始焊处100mm范围内预热到手感温暖的温度（约15℃）方可施焊。

2．焊接环境

遇有表4-45所列的任一情况，若无有效措施，禁止施焊。

3．焊接工艺评定

焊接工艺评定是焊接工艺的科学实验工作的一部分。通过焊接工艺试验，确定合理的焊接工艺（预热温度，层间温度，焊接电流的种类、极性、大小，焊接方法，焊接材料，焊后热处理规范等）。

锅炉、压力容器的焊接工艺评定应按《压力容器安全监察规程》附件二进行。它是指按预定的焊接工艺规程，对样板施焊、热处理，然后对样板进行外观检查、无损探伤、焊接接头机械性能测定（强度和延伸率测定试样2个，弯曲试验试样6个，冲击值试样9个）、焊接接头金相试验和硬度试验，根据上述检查和试验的结果进行评定是否合格。对要求做晶间腐蚀倾向试验的，则焊接接头除上述试验外，还应按《不锈钢耐酸晶间腐蚀倾向试验方法》

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

作试验。

经评定合格的焊接工艺，需要改变焊接工艺参数、热处理规范、焊接方法、焊接材料的任何一项内容，都必须重新进行焊接工艺的评定。制造单位采用新材料试制容器或首次焊接的钢种也应重做焊接工艺的评定。

焊缝的返修应经过评定验证的焊接工艺，其评定方法同焊接工艺评定。同一部位的返修次数一般不应超过二次。

4. 预热、后热及焊后热处理

（1）预热　预热是为了减小淬硬程度和热影响区的温度差别，防止产生焊接裂纹和减少由温度造成的焊接应力。

焊前要否预热及预热温度多少应根据钢种、板厚、结构刚性、接头型形、焊接材料、焊接方法及焊接环境等决定，通常由可焊性试验来确定。预热温度一般为100～200℃。预热范围不能过小，对接接头每侧加热宽度不应小于板厚的5倍，一般在坡口两侧各75～100mm范围内保持一个均热区域，测温点取在均热区域的边缘。

（2）后热　焊后将焊件保温缓冷，以减缓冷却速度，起到和预热相似的效果。对于冷裂纹倾向性大的低合金高强度钢等材料，还有一种专门的后热处理，称为消氢处理。即在焊后立即将焊件加热到250～350℃，保持2～6小时后空冷，这样处理的目的是使焊缝中的扩散氢加速逸出，降低焊接区域的氢含量，防止产生冷裂纹（又称延迟裂纹）。若焊后需作热处理、且热处理在焊后就进行的焊件可不作消氢处理。

（3）焊后热处理　焊后热处理是为了消除或降低焊接残余应力，防止产生裂纹和改善焊接接头区域的机械性能。焊后热处理时损失材料部分强度；提高其塑性和韧性，增加抗脆断性能。焊后热处理也有利于减缓或防止应力腐蚀。

应作热处理的条件见表4-46。

表 4-46　应进行热处理的条件

材　　料	对接焊缝处厚度*Smm		冷成形和中温成形筒体厚度Smm
	未 预 热	焊前预热100℃以上	
碳 素 钢	$S>34$	$S>38$	$S\geqslant 0.03D_i$
16MnR	$S>30$	$S>34$	$S\geqslant 0.03D_i$
15MnVR	$S>28$	$S>32$	
12CrMo	$S>16$		
其它低合金钢	任意厚度		$S\geqslant 0.025D_i$
相类似材料	可沿用上述规定		$S\geqslant 0.03D_i$

* 1.不同厚度的对接焊缝厚度S，应按薄者考虑。

2.设计图样上注明为防止应力腐蚀需作热处理的容器，其厚度不受此表限制。

不同钢种热处理的温度不同，其方案应通过试验确定。以下数据仅供参考。如碳素钢焊后退火处理的温度为600～650℃；含钒低合金钢为550～590℃；铬钼耐热钢、马氏体不锈钢、铁素体不锈钢等焊后在650～760℃不同温度范围作回火处理。处理时加热和冷却速度不能太快，对于厚壁容器控制在50～150℃/时，加热炉内各点最大温差不得超过50℃；保温时间按板厚确定（每mm厚度1～2分钟），但最短不少于半小时，最长不超过3小时。整体热处理时，进炉和出炉的温度应在300℃以下。分段热处理时，炉外部分应保温，每次热处理的重叠部分不短于1m。

5. 焊缝质量的检验

焊缝质量检验包括三个方面，即外观（表面）质量、无损探伤和焊接试板的性能试验。

（1）焊缝缺陷　见表4-47。

表 4-47　常见的焊接缺陷及特征(熔化焊)

缺陷种类	特征
焊缝外形尺寸及形状不符合要求	焊缝外形尺寸（如长度、宽度、加强高、焊脚）不符合要求，焊缝成形不良
咬边	焊缝表面上焊缝金属与母材交界处形成凹下的沟槽
焊瘤	焊缝边缘或焊件背面焊缝根部存在未与母材熔合的金属堆积物
弧坑	焊缝末端收缩处的熔池未被填满，在凝固收缩后形成凹坑
气孔	存在于焊缝金属内部或表面的孔穴
夹渣	残存在焊缝中的宏观非金属夹杂物
未焊透、未熔合	焊缝金属与母材之间或焊缝金属之间的局部未熔合
裂纹	存在于焊缝或热影响区内部或表面的缝隙

（2）焊缝表面质量　焊缝的外形尺寸应符合设计图纸或有关技术标准的要求。焊缝的加强高度（见图4-10）不能太高或太低。太高易产生较大的二次应力；太低局部削弱，强度不够，故不得低于母材。其值应符合表4-48的要求。

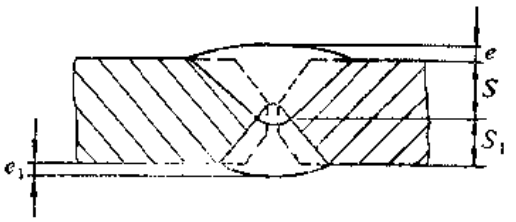


图 4-10　焊缝的加强高度

表 4-48　焊缝加强高度的规定值(mm)

焊缝深度$S(S_1)$①	焊缝加强高度$e(e_1)$	
	手工焊	自动焊
≤12	0～1.5	0～4
12<S≤25	0～2.5	0～4
25<S≤50	0～3	0～4
S>50	1～4	0～5

① 焊缝深度——对单面焊为母材厚度；对双面焊为坡口直边部分中点至母材表面的深度，两侧分别计算。

焊缝与母材应圆滑过渡；焊缝及热影响区内外表面不得有裂纹、气孔、弧坑和肉眼可见的夹渣等缺陷，发现以上缺陷则应打磨消除，打磨后的厚度应不小于母材，否则需补焊。局部的咬边深度不得大于0.5mm，咬边连续长度不应大于100mm，并且焊缝两侧咬边总长度对压力容器不得超过该焊缝长度的10%；对锅炉管子不得超过管子周长的$\frac{1}{4}$，且不超过40mm。焊缝上的熔渣和两侧飞溅物必须消除。

（3）焊缝无损探伤　压力容器焊缝无损探伤的要求及合格标准见表4-49。采用超声波探伤时，还应用射线探伤复验，复验长度为表4-49规定值的20%，且不小于300mm；选择射线检验时，对壁厚大于38mm的容器还应作超声波探伤复查，复查长度为表4-49规定值的20%，且不小于300mm。复验的部位宜取T字形焊缝、有怀疑处等易产生焊接缺陷的部位。复验中若发现超标缺陷，则应增加10%的复验长度；若又发现超标缺陷，则应100%焊缝进行复验。第一类容器和第二类容器中属于*级容器，若在20%长度探伤中发现超标缺陷，应增加10%（相应焊缝总长度）的探伤长度，如仍有不合格，则对容器所有焊缝全面探伤检查。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表4-49中＊＊指下列情况：

① 介质为剧毒性质的第Ⅱ类容器；

② 设计压力≥50kgf/cm²；

③ 介质为易燃的压缩气体、液化气体或介质为有毒、且容积大于1m³；

④ 第Ⅰ、Ⅱ类容器中采用铬钼钢焊制；

⑤ 锅炉锅筒的全部对接焊缝和集箱的纵向对接焊缝；外径＞159mm或壁厚＞20mm的集箱的环缝，也按＊＊的要求。

＊指＊＊所列情况以外的Ⅰ、Ⅱ类容器。

公称直径≥250mm的接管对接焊缝应进行探伤检查。

表4-49中，局部探伤时应对焊缝相交部位、仰焊部位全部进行探伤，对横焊及立焊部位给予较多数量的探伤，但总探伤量按规定数量控制。

表 4-49 射线和超声波探伤要求和合格标准

探伤比例				
探伤方法			射线	超声波
探伤数量			占相应对接焊缝（环＋纵）总长%	
容器类别	Ⅰ	＊	≥20	≥20
		＊＊	100	100
	Ⅱ	＊	≥20	≥20
		＊＊	100	100
	Ⅲ		100	100
合格标准				
探伤方法			射线 GB3323-82	超声波 JB1152-81
容器类别	Ⅰ		三级	二级
	Ⅱ	＊	三级	二级
		＊＊	二级	一级
	Ⅲ		二级	一级

表4-49中合格标准的级别指焊缝内气孔的级别，详见表4-88。

焊缝内部不允许有任何裂纹、未熔合；双面焊或加垫板单面焊的焊缝中不允许存在未焊透。二、三级焊缝内允许存在的单面未焊透其深度不应超过壁厚的15%，且最大不超过2mm，其长度不应超过二、三级焊缝夹渣总长的规定。

由于焊接缺陷对低温容器的脆性断裂影响很大，所以低温容器对焊缝质量要求更为严格。低温容器不允许焊缝有咬边缺陷，咬肉、弧坑、焊疤等都必须打磨平滑或焊补，缺陷消除后还得表面探伤，不应有表面裂纹；为避免应力集中或未焊透、夹渣等缺陷，小直径容器与封头连接的环缝不宜用衬环，而应采用单面焊双面焊透的工艺；对接焊缝坡口若用火焰切割的，则应对局部凹凸不平部分进行整修；火焰切割和冷剪的坡口面不允许有裂纹、分层和夹杂等缺陷。

（4）焊接试板　一般说，每台承压容器应有一块焊接试板。承压容器制造根据规定制作焊接试板，进行焊接接头的机械性能试验。试板的材料、焊接和热处理工艺应和设备本身一样。试板经过100%无损探伤检查后制作机械性能试验的试样。无损探伤检查结果应作记录。机械性能试样是拉力试验试样2个，弯曲试验试样（面弯、背弯各2个，S≥20mm时侧弯2个），冲击试验试样9个（焊缝、熔合线、热影响区各3个）。焊接接头强度应不低于母材规定值的下限；弯曲试验时弯曲角度按表4-50规定，若试样拉伸面上有长度＞1.5mm的横向（试样宽度方向）裂纹或缺陷，或长度＞3mm的纵向裂纹或缺陷则不合格（试样的四棱先期开裂不计）。3个试样的冲击值的算术平均值应不低于母材规定的下限，且试样最低值还应不得比母材规定值下限低1kg·m/cm²。

4.2.4 组装与胀接

4.2.4.1 组装

1. 安装、现场组装

表 4-50 弯曲试验弯曲角度表

焊接型式	钢种		弯轴直径D（mm）	支座间距离（mm）	弯曲角度d度
双面焊	碳素钢母材抗拉强度规定值下限	<44kgf/mm²	2S	4.2S	180
		44～45kgf/mm²	3S	5.2S	180
	普通低合金钢		3S	5.2S	100
	铬钼钢和铬钼钒钢		3S	5.2S	50
	奥氏体钢		2S	4.2S	100
单面焊	碳素钢和奥氏体钢		3S	5.2S	90
	其他合金钢		3S	5.2S	50

注：表中S为试样厚度，mm。

安装质量的好坏也直接影响锅炉压力容器的安全、可靠性，因而压力容器、锅炉的专业安装单位必须经劳动部门审核批准才可以从事安装工作。安装作业必须严格执行国家的规范，如安装工作压力≤25at的锅炉，应按《机械设备安装工程施工及验收规范》第六册有关工业锅炉的要求施工；工作压力＞25at的锅炉，按照《电力建设施工及验收技术规范（锅炉机组篇）》和《火力发电厂承压管道焊接篇》施工。大型压力容器的组装需在现场施工者，应将现场施工质量保证体系报当地劳动部门审批。

安装过程中应对安装质量实行分段验收和总体验收。验收由使用单位和安装单位共同进行，总体验收时应有上级主管部门和劳动部门参加。有关安装质量的技术资料，如安装竣工图、质量检验数据，施工质量证明书合格证等，在安装竣工后施工单位应移交给使用单位。

2。筒体组装

（1）焊缝布置要求见表4-51。

（2）封头主要尺寸允差　椭圆形、碟形、折边锥形封头直边部分上的纵向皱折深度≤1.5mm。

椭圆形、碟形封头主要尺寸允差见表4-52。表中直径允差、最大最小直径差、表面凹凸量适用于折边锥形和球形封头；直边高度允差亦适用于折边锥形封头。

（3）组装纵、环焊缝处的对口错边量　见表4-53的要求。

（4）等厚和不等厚钢板的对接要求　见表4-54。

（5）纵、环焊缝的棱角度（E）、最大最小直径差（e）值　见表4-55。

（6）分段交货的容器，其分段处的外圆周长允差　见表4-56。

（7）筒体不直度　见表4-57。

3。球罐

公称容积在50m³以上的球形容器的组装要求：

（1）球壳或球形封头分瓣冲压的尺寸允差　见表4-58。

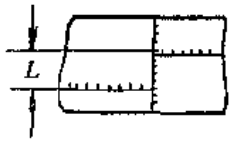
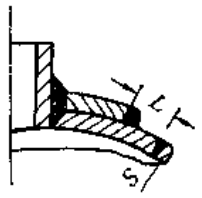
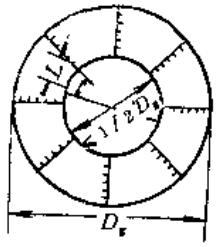
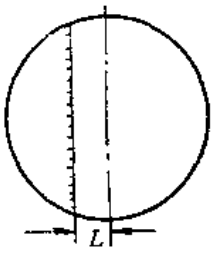
（2）球壳组装与焊后允差规定见表4-59。

4。其它结构容器的制造允差

热套压力容器、钢制焊接球形罐、多层压力容器、扁平钢带压力容器、钢制列管式换热器等压力容器及其受压元件的材料、设计、制造、组焊以及安装等所涉及的各类技术条件，除应符合《设计规定》、JB741—80《钢制焊接压力容器技术条件》外，还应分别符合相应的技术条件，并应严格遵守原国家劳动总局颁发的《压力容器安全监察规程》。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-51 焊缝布置要求

容器部件	焊缝位置	图示	焊缝间距(mm) L
筒节	相邻两条纵焊缝（包括两相邻筒节或筒节与封头的组焊）		$L>3S$且$\geqslant 100$
筒节	开孔补强与筒体的相邻焊缝		$L>3S$
凸形封头	中心板与扇形板拼装的封头，两相邻的扇形板焊缝（包括中心圆板的拼接焊接焊缝）		$L>3S$且$\geqslant 100$
封头	($D_g>1200$) 钢板对接的封头，对接焊缝与封头中心线①		$L<\frac{1}{4}D_g$

① 封头由瓣片和顶圈板对接制成时，焊缝方向只允许是径向和环向的。

表 4-52 椭圆形、碟形封头主要尺寸允差①(mm)

封头公称直径 D_g	直径允差 ΔD_g	最大最小直径差 e	表面凹凸量 c	曲面高度允差 Δh_1	直边高度允差 Δh_2
<800	±2	2	2	±4	+5 −3
800～1200	±3	3	3	±6	
1300～1600	±4	6	4	±8	
1700～2400	±5	8	4	±12	
2600～3000	±6	9	4	±16	
3200～4000	±6	10	4	±20	

① 见图4-11。

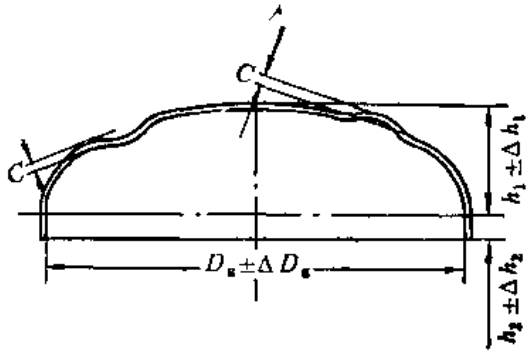


图 4-11 主要尺寸的允差

表 4-53 组装纵焊缝、环焊缝处的对口错边量

	纵缝	环缝
单层钢板	错边量$b\leqslant 10\%$，且$\leqslant 3mm$	① 壁厚$S\leqslant 6mm$时，$b\leqslant 25\%S$ ② $6<S\leqslant 10mm$时，$b\leqslant 20\%S$ ③ $S>10mm$时，$b\leqslant 10\%S$，且$\leqslant 2mm$
复合钢板	错边量$b\leqslant 10\%$，且$\leqslant 2mm$	错边量$b\leqslant 10\%$，且$\leqslant 2mm$

表 4-54 等厚和不等厚钢板对接要求 (mm)

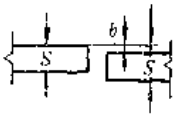
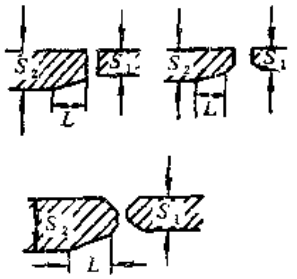
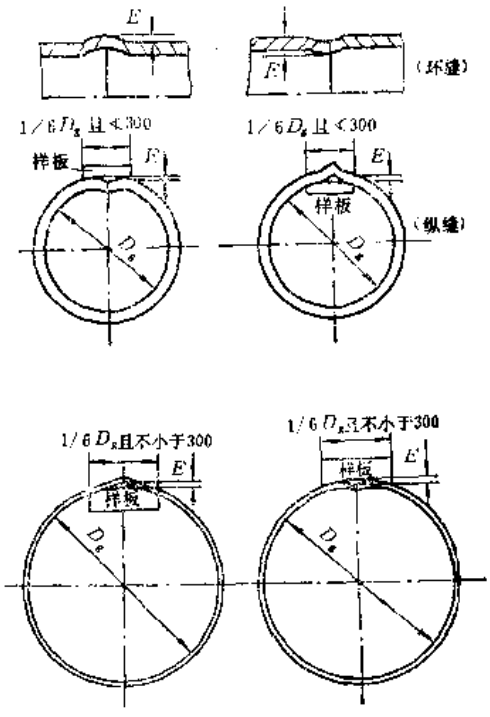
等厚钢板厚S	$\leqslant 6$	$6<S\leqslant 10$	$S>10$		复合钢板
对口错边量b	$\leqslant 20\%S$	$\leqslant 20\%S$	$\leqslant 10\%S+1$且$\leqslant 6$		$b\leqslant 10\%S$，且$\leqslant 2mm$
薄板厚度S_1	$\leqslant 10$		>10		
厚差 $\Delta S=S_2-S_1$	>3		$>30\%S_1$或>5	 $L\geqslant 3(S_2-S_1)$	

表 4-55 E、e 值规定

板材	棱角度E		最大最小直径差e	
	纵缝	环缝	受内压	受外压
单层钢板 复合钢板	$\leqslant 0.1S+2mm$ 且$\leqslant 5mm$		$\leqslant 1\%D_g$ 且$\leqslant 25mm$	$\leqslant 0.5\%D_g$ 且$\leqslant 25mm$



标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-56 分段交货的容器其分段处①的外圆周长允差(mm)

公称直径D_g	<800	800～1200	1300～1600	1700～2400	2600～3000	3200～4000
外圆周长允差	±5	±7	±9	±11	±13	±15

① 分段处端面不平度应不大于$1/1000D_g$，且不大于2mm。

表 4-57 筒 体 不 直 度

筒体长度 H(m)	$H\leqslant 20$	$20<H\leqslant 30$	$30<H\leqslant 50$	$50<H\leqslant 70$	$70<H\leqslant 90$	$H>90$
筒体不直度 Δh(mm)	$\leqslant 2H/1000$ 且$\leqslant$20mm	$\leqslant H/1000$	$\leqslant$35	$\leqslant$45	$\leqslant$55	$\leqslant$65
检查方法	通过中心线的水平和垂直面即沿圆周0°、90°、180°、270°四个部位拉ϕ0.5mm的细钢丝测量。测量位置离纵焊缝的距离不小于100mm。当筒体厚度不同时，计算不直度应减去厚度差。					

表 4-58 球壳或球形封头分瓣冲压的瓣片尺寸允差(mm)

项目			技术要求
瓣片最小宽度			>500
成形后	曲率允差		任意部位间隙①$E\leqslant 3$
	坡口要求(图4-12)	表面	平滑，焊后不许有裂纹、分层等缺陷
		局部凹凸	≤2溶渣、氧化皮清除干净
		角度α	$\leqslant\pm 2°30'$
		钝边a及尺寸t	$\leqslant\pm 1.5$
	几何尺寸允差(图4-13)	长度方向弦长L	$\leqslant\pm 2.5$
		宽度方向弦长	$\leqslant\pm 2$
		对角线弦长C	$\leqslant\pm 3$
		对角线交叉距离	≤5

① 当球瓣弦长≥2000mm时，用弦长≥2000mm样板检查；≥1500且<2000mm时，用弦长≥1500mm样板检查；<1500mm时，用弦长1000mm样板检查。

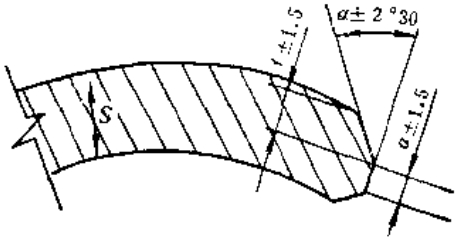


图 4-12 坡口要求示意图

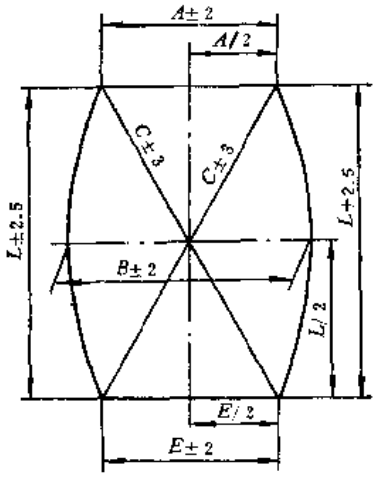


图 4-13 几何尺寸允差图

4.2.4.2 胀接

为保证锅炉管子的胀接工作的质量，事前应做试胀工作，以确定合理的胀管率。胀接管子管端硬度应小于管板，若大于管板硬度或管子硬度$H_B>170$时，应予退火处理，退火长度不得小于100mm；管端伸出量以6～12mm为宜；管端喇叭口的扳边应与管子中心线成12°～15°角，并应伸入管孔内0～2mm；火管锅炉高温侧的管端必须90°扳边，并保证管边与管板严密接触；胀接管端不应有起皮、皱纹、切口和偏斜等缺陷；在胀接过程中应随时检查胀口的质量，及时发现并消除缺陷。

表 4-59 球壳组装与焊后允差规定(mm)

项目			技术条件
对接焊缝①	间隙		≯2
	局部间隙		应≤±2
对接焊缝对口错边量 b	等厚度壳板		$b\leqslant 0.1S$,且≯3
	相邻板厚度差	<3	$b\leqslant 0.05S_1+(S_2-S_1)$,且≤4
		≥3或>$\frac{1}{4}S_1$	厚板边缘按薄板削成等厚 削薄宽度$L\geqslant 3(S_2-S_1)$;$b\leqslant 0.1S$,且≯3
对接焊缝形成的棱角E(包括错边量)	焊接前		$E\leqslant 7$(用弦长$L\geqslant 1000$mm样板量)
	焊接后		$E\leqslant 10$ (同上)
焊后球壳②允差	内径		≯±0.35%规定内径
	椭圆度		≯0.7%规定内径,且≯80

① 当采用新钢种,新工艺制造球罐时,对接焊缝间隙根据需要确定,可不受此限。

② 如在制造单位至少每个板带进行顺利预组装,则内径允差≯0.5%规定内径;椭圆度≯1%规定内径,且不大于100mm。

锅炉管子的胀管率(H)应控制在1～1.9%范围内,即

$$H=\frac{d_1-d_2-\delta}{d_3}\times 100\% \tag{4-17}$$

式中H为胀管率,%;d_1为胀完后的管子内径,mm;d_2为未胀时的管子内径,mm;d_3为未胀时的管孔内径,mm;δ为未胀时管孔直径与管子外径之差,mm。

4.3 安全装置

1。压力容器安全附件

用于压力容器的安全附件包括安全阀、爆破片、紧急放空阀、液位计、压力表、单向阀、限流阀、温度计、喷淋冷却装置、紧急切断装置等。

选用安全附件应满足两个基本要求:即安全附件的压力等级和使用温度范围必须满足承压设备工作状况的要求;制造安全附件的材质必须适应承压设备内介质的要求。

2。锅炉安全附件

安全阀、压力表和水位计是锅炉必不可少的安全附件。此外,还有高低水位警报器,送、引风联锁装置,火焰监视器和紧急切断阀,防爆门,排污装置以及为了监测锅炉运行工况而装设的测温、测负压、测流量等仪表。

锅炉蒸发量>0.5t/h时,锅筒上至少装设两只安全阀、两只独立的和锅筒直接相接的压力表,根据受热面组成情况,应在可分式省煤器、过热器、再热器以及排污膨胀器等处装设安全阀和压力表。蒸发量>0.2t/h的锅炉应装设彼此独立的两只水位计,当水位计离操作地面高度大于6m时,还应加装低地位水位计。锅炉锅筒液位高低是锅炉安全运行的关键,因此蒸发量≥2t/h的锅炉,必须装设高低水位警报器,警报器的报警信号须能区分高低水位。在锅炉锅筒和水冷壁管下集箱的最低处应装设两只串联的排污阀;蒸发量较大或给水碱度较高的锅炉上锅筒应装设连续排污装置。燃油锅炉在油枪进油管上应装快速切断阀。燃油、气、煤粉的锅炉则应在炉膛上方、烟道等部位装设足够大面积的防爆门,等等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3. 气瓶安全附件

气瓶的安全附件主要是防震圈、有泄气孔的瓶帽，液氯等钢瓶的易熔塞，氧气瓶和液化石油气瓶等的减压阀等。

4.3.1 泄压装置

安全泄压装置是一种超压保护装置。它具有这样的性能：当容器在正常的工作压力下运行时，它保持严密不漏，而一旦器内压力超过规定，它就能自动地、迅速地、足够量地把容器内部的气体排出，使容器内的压力始终保持在最高许可压力范围以内。同时，它还有自动报警的作用，促使操作人员采取措施。

4.3.1.1 种类

安全泄压装置按其结构型式可以分为阀型、断裂型、熔化型和组合型等几种。

1. 阀型安全泄压装置

阀型安全泄压装置就是常用的安全阀，这种安全泄压装置的特点是它仅仅排泄压力容器内高于规定的部分压力，而一旦容器内的压力降至正常操作压力时，它即自动关闭。它可避免容器因出现超压就得把全部气体排出而造成浪费和生产中断。据此，它被广泛应用。其缺点是：密封性能较差；由于弹簧等的惯性作用，阀的开放常有滞后作用；用于一些不洁净的气体时，阀口有被堵塞或阀瓣有被粘住的可能。

2. 断裂型安全泄压装置

常用的断裂型安全泄压装置是爆破片和防爆帽。前者用于中、低压容器，后者多用于超高压容器。它的特点是密封性能较好、泄压反应较快以及气体内所含的污物对它的影响较小等。但是由于它在完成泄压作用以后即不能继续使用，而且容器也得停止运行，所以一般只被用于超压可能性较小而且又不宜装设阀型安全泄压装置的容器中。

3. 熔化型安全泄压装置

熔化型安全泄压装置就是常用的易熔塞。它是通过易熔合金的熔化使容器内的气体从原来填充有易熔合金的孔中排出从泄放压力的。它主要用于防止容器由于温度升高而发生的超压。一般多用于液化气体气瓶。

4. 组合型安全泄压装置

组合型安全泄压装置同时具有阀型和断裂型或阀型和熔化型的泄放装置。常见的有弹簧安全阀和爆破片的组合型。这种类型的安全泄压装置同时具有阀型和断裂型的优点。即它既可以防止阀型安全泄压装置的泄漏，又可以在排放过高的压力以后使容器能继续运行。组合型安全泄压装置的爆破片可以在安全阀的入口侧，也可以在出口侧，前者主要是利用爆破片把安全阀与气体隔离，以防安全阀受腐蚀或受污物堵塞粘结等。容器超压时，爆破片断裂、安全阀开放排气。待压力降至正常操作压力时，安全阀关闭，容器可以继续运行。这种结构要求爆破片的断裂对安全阀的正常动作没有任何妨碍，而且要在中间设置检查孔，以便及时发现爆破片的异常现象。后一种（即防爆片在安全阀的出口侧）可以使防爆片不受气体的压力与温度的长期作用而产生疲劳，而利用爆破片来防止安全阀的泄漏。这种结构要求及时把安全阀与爆破片之间的气体（由安全阀漏出的）排出，否则将使安全阀失效。

4.3.1.2 安全泄放量

为防止承压设备超压必须在单位时间内泄放出物质的数量称为安全泄放量（G'）。安全泄放量应大于或等于进入设备气体的量加上设备内由于各种反应产生的气体量之和，它可按

下述原则确定。

1．介质为压缩空气或水蒸汽的贮罐

压缩机贮气罐的安全泄放量取为压缩机每小时的最大排气量；其它承压气体贮罐的安全泄放量，由进气管直径和气体流速按式（4-18）计算确定。

$$G' = 0.28 v \rho d^2 \tag{4-18}$$

式中 G'——承压气体容器的安全泄放量，kg/h；

v——气体流速，一般可在下列范围选择，m/s；蒸汽：20～30；过热蒸汽：30～60；其他气体：10～15；

ρ——气体在安全阀入口处压力、温度下的密度，kg/m³；

d——容器进口管内径，cm。

2．介质是液化气体的容器

介质为易燃液化气体或装设在有可能发生火灾的环境下工作的非易燃液化气体承压容器的安全泄放量根据有无绝热材料保温层按照式（4-19）、（4-20）计算。

（1）容器无绝热材料保温

$$G' = \frac{61000 F A^{0.82}}{r} \tag{4-19}$$

（2）容器有良好的绝热保温

$$G' = \frac{2.61(650-t)\lambda A^{0.82}}{s \cdot r} \tag{4-20}$$

式中 G'——安全泄放量，kg/h；

F——系数，按下面规定选用；

容器在地面下，用砂土覆盖时，0.3；

容器在地面上，1.0；

容器在地面上，有喷淋装置，喷淋量＞10L/m²·min时，0.6；

r——安全阀泄放压力下液化气体的蒸发潜热，kcal/kg；

A——容器受热面积，按下列公式计算，m²；

半球形封头的卧式容器：$A = \pi D_0 L$

椭圆形封头的卧式容器：$A = \pi D_0 (L + 0.3 D_0)$

立式容器：$A = \pi D_0 L'$

球形容器：$A = \frac{1}{2}\pi D_0^2$，或从地面算起7.5m高度以下的包括的外表面积，取两者中的较大值。上述各计算公式中的符号意义及单位如下。

D_0——容器（包括绝热保温层在内）外径，m；

L——容器总长（容器两端顶点距离），m；

L'——立式容器内部最高液位，m；

s——容器保温层厚度，m；

λ——常温下绝热材料的导热系数，参见表4-60；

t——泄放压力下的饱和温度，℃。

3．蒸汽锅炉

蒸汽锅炉锅筒的安全泄放量等于锅炉额定的最大连续蒸发量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-60 常用绝热材料

名称牌号 \ 项目		容量 kg/m³	导热系数，λ kcal/m·h·℃	比热 kcal/kg	其它特性
碳酸镁 $4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 5H_2O$		400	0.060(20℃)	0.24	含湿量≤2.5%
		130	0.034(20℃)	0.24	
玻璃棉		130	0.040(30℃)	0.20	直径3～30微米
膨胀珍珠岩（珠光砂）		≤80	0.035(30℃)	0.16	含湿量≤0.5%
		150	0.034(20℃)	0.20	
矿渣棉	100号	≤100	0.038(30℃)	0.18	含湿量≤2%
	150号	≤150	0.040(30℃)	0.20	含湿量≤2%
	200号	≤200	0.045(30℃)	0.20	含湿量≤2%

4．化学反应容器

由于化学反应使压力升高的容器，其安全泄放量根据化学反应可能产生的最大气体量及反应时间来确定。

在安全阀设计计算或校核计算时，安全阀排放量（G）应大于或等于安全泄放量(G')。

4.3.2 安 全 阀

4.3.2.1 分类与结构

见表4-61。

表 4-61 安全阀的分类和结构特点

分类方式	名称	作用原理	结构特点
按整体结构及加载机构的型式划分	杠杆式	利用重锤和杠杆来平衡作用在阀瓣上的力	（1）通过加载机构（杠杆和重锤等）重锤的重量或位置的变换可以获得较大的作用力或开启压力，且调整容易而较正确 （2）所加载荷不因阀瓣的升高而增加 （3）结构简单但笨重，限用于中、低压场所 （4）加载机构对振动敏感，常因振动而产生泄漏 （5）适用于温度较高的场合，但回座压力一般较低，有的要降到工作压力的70%以下才能保持密封，故不适用于持续运行的系统
	弹簧式	利用压缩弹簧的力来平衡介质作用在阀瓣上的力	（1）通过调整螺母，调整螺旋圈形弹簧压缩量，从而按需要来校正安全阀的开启压力 （2）结构紧凑，灵敏度较高。安装位置不受严格限制。应用广泛。对振动的敏感性差，且可用于移动式的压力容器上 （3）弹簧力随阀的开启高度变化，不利于阀的迅速开启 （4）长期高温会影响弹簧弹力，因此用于温度较高的容器上，须考虑弹簧的隔热或散热，从而使结构复杂
	脉冲式	通过辅阀的加载机构（杠杆式或弹簧式）动作而产生的脉冲作用带动主阀动作	结构复杂，通常只适用于安全泄放量很大的容器上或用于高压的场合

续表

分类方式	名 称	作 用 原 理	结 构 特 点
按阀瓣开启高度(h)与阀座喉径(d_1)之比划分	全启式	利用气体的膨胀冲力对阀瓣的反作用增加阀瓣的开启高度	$h\geqslant\frac{1}{4}d_1$，结构较复杂，排量大
	微启式		$h<\frac{1}{4}d_1$，一般为 $\frac{1}{12}d_1$、$\frac{1}{20}d_1$或$\frac{1}{40}d_1$，结构较简单，应用广泛
按气体排放方式划分	全封闭式		气体全部通过排放管排放，介质不外泄，主要用于有毒、易燃气体容器上
	半封闭式		排出的气体一部分通过排气管，还有一部分从阀盖与阀杆之间的间隙中漏出，多用于不会污染环境的气体容器上
	敞开式		没有装排气管的联接结构，排出的气体不能引到外面，而直接由阀瓣上方排入周围的大气空间，多用于压缩空气、蒸汽介质等容器上

4.3.2.2 选用与安装

安全阀的选用，应根据压力容器的工作压力、温度、介质特性来确定。选用时，除了注意正确选型，还应注意它的压力范围和它的排量。常用弹簧式安全阀的参数，见表4-62。

表 4-62 弹簧式安全阀系列表

类 别	型 号	公称压力P_g MPa(kgf/cm²)	适用介质	工作温度 ≤℃	公称直径 D_g(mm)
全启式弹簧安全阀	A42Y-16C	(16)	油品、空气	300	32～200
	A42Y-40	(40)			32～150
	A42Y-64	(64)			32～100
	A42Y-100	(100)			32～100
	A44Y-16C	(16)	油品、空气	300	40～150
	A44Y-40	(40)			40～150
	A44Y-64	(64)			40～100
	A44Y-100	(100)			40～100
	A48Y-16C	(16)	蒸汽	350	32～150
	A48Y-40	(40)			32～150
	A48Y-64	(64)			32～100
	A48Y-100	(100)			32～100
	SA42Y-160	(160)	氨氢气、油品、空气	150	40
	SA42Y-320	(320)			32
	KA42Y-16P	(16)	硫化氢		40～80
	KA42Y-40P	(40)			40～80
	KA42Y-64P	(64)			40～80
	KA42Y-100P	(100)			40～80
	SA38Y-16C	(16)	蒸汽、气体	350	80～100
	SA38Y-40	(40)			80～100
	$SA42_sY$-16C	(16)	石油气、空气	450	50～150
	$SA42_sY$-40	(40)			50～150
	$SA42_sY$-100	(100)			50～100

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

类　别	型　号	公称压力P_g MPa(kgf/cm²)	适用介质	工作温度 ≤℃	公称直径D_g (mm)
微启式弹簧安全阀	A21H-16C	(16)	空气、蒸汽	200	15～25
	A21H-40	(40)			15～25
	SA41H-16C	(16)	氨、油品、空气	300	25
	SA41H-25	(25)			25
	SA41H-40	(40)			25
	SA41H-64	(64)			25
	A41H-16C	(16)	氨、油品、空气	300	32～100
	A41H-25	(25)			32～100
	A41H-40	(40)			32～80
	A47H-16C	(16)	蒸汽	350	50～100
	A47H-25	(25)			50～100
	A47H-40	(40)			50～80
	SA37H-16C	(16)	蒸汽	350	80～150
	SA37H-25	(25)			80～100
	SA37H-40	(40)			80～100
	SA41H-160	(160)	氨氢气、油品、空气	150	15、32
	SA41H-320	(320)			15、32
	A43H-16C	(16)	蒸汽、气体	350	80～100
	A43H-40	(40)			80～100

注：型号中的“A”表示安全阀，A后第一个阿拉伯字母表示阀门联接型式，如1为内螺纹、2为外螺纹、4为法兰、6为焊接；第二个阿拉伯数字表示结构型式，1为封闭型微启式、2为封闭型全启式、3为带扳手双弹簧微启式、4、8为带扳手全启式、5、7为带扳手微启式、6为带控制机构全启式、9为脉冲式，再后一个字母代表阀座密封面或衬里材料，H为合金钢、Y为硬质合金、F为氟塑料、W表示由阀体直接加工的阀座密封面；短划后的阿拉伯数字为公称压力数值；最后一个字母表示阀体材料代号，C为碳素钢ZG25Ⅰ、Z为铸铁HT25-47、1Cr18Ni9Ti为P、Cr5Mo为I、12Cr1MoV为V等。此外，A前有S者，表示上海阀门厂的企业标准中非标准安全阀。在结构型式代号右下角加一小“S”的，表示带散热器安全阀。

安全阀铭牌上的直径指明了公称直径（D_g），安全阀排放能力计算中（见4.3.2.4）需要阀的喉径（d_1）。其D_g与d_1关系见表4-63。市售最普通的安全阀A27W的D_g与d_1关系见表4-64。

安全阀的安装应注意以下几点：

① 新装安全阀，应附有产品合格证。安装前，应由安装单位负责进行复校、加以铅封并出具安全阀校验报告。

② 安全阀应铅直地安装，并应装设在容器或管道气相界面位置上。

③ 安全阀的出口，应无阻力或避免产生背压现象。若装设排泄管，其内径应大于安全阀的出口通径，安全阀排出口应注意防冻；对盛装易燃或有毒、剧毒介质的容器，排泄管应直通室外安全地点或进行妥善处理。排泄管上不准安装任何阀门。

④ 承压设备与安全阀之间不得装有任何阀门。对盛装易燃、易爆、有毒或粘性介质的容器，为便于更换、清洗，可装截止阀，其结构和通径尺寸应不妨碍安全阀的正常运行。正常运行时，截止阀必须全开并加铅封。

⑤ 安全阀与锅炉压力容器之间的连接短管的截面积，不得小于安全阀流通截面。数个

表 4-63 上海阀门厂的安全阀公称直径与喉径关系表(mm)

公称直径 D			15	20	25	32	40	50	80	100	150	200
全启式	P_g 16.40.64.	阀座喉径d_1				20	25	32	50	65	100	125
		喉部截面积A(cm^2)				3.14	4.91	8.04	19.63	33.18	78.54	122.7
		开启高度h	$\geqslant\frac{1}{4}d_1$									
	P_g 100	阀座喉径d_1				20	25	32	40	50	80	
		喉部截面积A(cm^2)				3.14	4.91	8.04	12.57	19.63	50.27	
		开启高度h	$\geqslant\frac{1}{4}d_1$									
	P_g 160.320.	阀座喉径d_1				15	20					
		喉部截面积A(cm^2)				1.77	3.14					
		开启高度h	$\geqslant\frac{1}{4}d_1$									
微启式	P_g 16.25.40.64.	阀座喉径d_1	12	16	20	25	32	40	65	80		
		喉部截面积A(cm^2)	1.13	2.01	3.14	4.91	8.04	12.57	33.18	50.27		
		开启高度h	$\geqslant\frac{1}{40}d_1$				$\geqslant\frac{1}{20}d_1$					
	P_g 160.320	阀座喉径d_1	8			12	14					
		喉部截面积A(cm^2)	0.50			1.13	1.54					
		开启高度h	$\geqslant\frac{1}{20}d_1$									

表 4-64 A27W的D_g、d_1关系表 (mm)

公称直径D_g	15	20	25	32	40	50
喉 径 d_1	16	20	25	31	37	48

安全阀同时装在一个接管上，其接管截面积应不小于安全阀流通截面积总和的1.25倍。请注意，选用安全阀及其校验时，安全阀的排气压力不得超过容器设计压力（见图4-14）。

在压力容器上，请注意$p \neq p_w$，$p < p_开$（$p_开$为安全阀开启压力）。

4.3.2.3 维护与检验

安全阀应加强日常的维护保养，保持清净，防止腐蚀和油垢、脏物的堵塞；经常检查铅封，防止他人随意移动杠杆式安全阀的重锤或拧动弹簧式安全阀的调节螺丝；为防止阀芯和阀座粘牢，根据承压设备的实际情况制订定期手拉（或手抬）排放制度，如蒸汽锅炉锅筒安全阀一般应每天人为排放一次，排放时的压力最好在规定最高工作压力的80%以上；发现泄漏应及时调换或检修，严禁用加大载荷（如杠杆式安全阀将重锤外移或弹簧式安全阀过分拧紧调节螺丝）的办法来消除泄漏。

安全阀每年至少作一次定期检验。定期检验内容一般包括动态检查和解体检查。如果安全阀在运行中已发现泄漏等异常情况，或动态检查不合格，则应作解体检查。解体后，对阀芯、阀座、阀杆、弹簧、调节螺丝、锁紧螺母、阀体等逐一仔细检查，主要检查有无裂纹，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

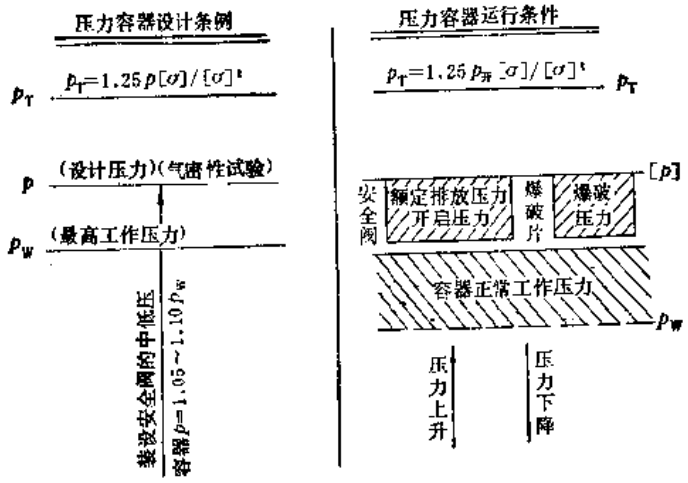


图 4-14 $p_{开}$与p、p_W、〔p〕关系示意图

伤痕、腐蚀、磨损、变形等缺陷。根据缺陷的大小，损坏程度或修复，或更换零部件，然后组装进行动态检查。

动态检查时使用的介质根据安全阀用于何种承压设备上来决定。用于蒸汽系统的安全阀采用饱和蒸汽；用于其他压缩气体的则用空气；用于液体的选用水。用于蒸汽系统的安全阀因条件所限用空气作动态检查后装到运行系统上去仍需作热态的调压试验。

动态检查的步骤为组装；升压（缓慢地将压力升至工作压力）；保压（在工作压力下保持3～5分钟应无泄漏）；升压动作（应在规定的开启压力下立即动作，记录动作时压力）；降压回座（记录回座压力）；再保压（即回座后在工作压力下保持3分钟，应无泄漏）。若开启压力、回座压力符合表4-65的规定，在工作压力下无明显泄漏，并且在额定排放压力下，阀提升高度达到规定值时，安全阀校验认为合格。动态检查结束应当场将合格的安全阀铅封，检验人员、监督人员填写检验记录并签字。

表 4-65 锅炉安全阀校验压力，at

锅炉工作压力P	安全阀开启压力P_A	安全阀回座压力
<13	$P+0.2$ $P+0.5$	$P_A-0.4$ $P_A-0.6$
13～39	$1.04P$ $1.06P$	$0.94P_A$ $0.92P_A$
>39	$1.05P$ $1.08P$	$0.93P_A$ $0.90P_A$

安全阀动态检查（又称校验）时所用压力表的精度不得低于1级，表盘直径一般应不小于150mm。

4.3.2.4 安全阀排放能力计算

安全阀排放能力计算公式是由流体绝热流动理论方程推导而得的，其表达形式很多，综合各种表达形式并根据我国有关规程规定，推荐以下几个计算公式。

1. 排入大气，介质为气体

$$G = A \cdot p_A \cdot C_0 \cdot X \cdot \sqrt{\frac{M}{ZT}} \qquad (4\text{-}21)$$

式中 G——安全阀排放能力，kg/h；

A——安全阀最小流通截面积，cm^2；

对全启式安全阀，即 $h \geqslant \frac{1}{4}d_1$ 时，$A = \frac{1}{4}\pi d_1^2$；

对微启式安全阀，即 $h < \frac{1}{4}d_1$ 时；平面型密封 $A = \pi D h$ 锥型密封面 $A = \pi d_1 h \sin\phi$。

h——安全阀开启高度，cm；

d_1——安全阀阀座喉径，cm；

D——安全阀阀座口径，cm；

ϕ——锥型密封面的半锥角度；

p_A——安全阀开启压力，kgf/cm²（绝压）；

C_0——流量系数，由安全阀结构决定，制造厂提供。若无提供数据，可按下述规定选用。

全开式0.60～0.70；带调节环的微启式0.4～0.5；不带调节环的微启式安全阀0.25～0.35。

X——气体特性系数，由气体的 K 值查表4-66；K 值见表4-67。

M——气体分子量；

T——阀入口处气体温度，绝对温标，K；

Z——气体在 p_A、T 下的压缩系数，先从表4-11（常见气体的物理数据）查出气体的临界压力 p_C 和临界温度 T_C，计算对比压力 $p_r = p_A/p_C$、对比温度 $T_r = T/T_C$，然后由 p_r、T_r 查图4-14和图4-15，得到 Z^0 和 Z'，再代入下式计算求得 Z。

$$Z = Z^0 + Z'\theta$$

式中 Z^0——简单气体压缩系数，查图4-15；

Z'——非简单气体压缩系数校正值，查图4-16；

θ——压缩系数校正因数，根据下式计算。

$$\theta = \frac{3}{7}\left[\frac{lg\,p_c}{(T_c/T_b)-1}\right] - 1$$

式中 T_b——常压下沸点，查表4-11，绝对温标，K；

T_c——气体的临界温度，查表4-11，绝对温标，K。

表 4-66 气体特性系数 X 值表

K	X	K	X	K	X
1.00	236	1.22	252	1.46	268
1.02	237	1.24	254	1.48	270
1.04	238	1.26	255	1.50	271
1.06	240	1.28	257	1.52	272
1.08	242	1.30	258	1.54	274
1.10	244	1.32	260	1.56	275
1.12	245	1.34	261	1.58	276
1.135	246	1.36	263	1.60	277
1.14	246	1.38	264	1.62	278
1.16	248	1.40	265	1.64	280
1.18	250	1.42	266	1.66	281
1.20	251	1.44	267	1.68	282

表 4-67 常用气体绝热指数 K 值表

空　气	1.4	二氧化氮	1.31	F-11	1.135
氮　气	1.4	二氧化硫	1.25	F-12	1.138
氧　气	1.397	一氧化二氮	1.274	F-13	1.15
氢　气	1.412	氨　气	1.32	F-21	1.12
一氧化碳	1.395	甲　烷	1.315	F-22	1.194
一氧化氮	1.4	乙　烷	1.18	F-114	1.094
氯　气	1.35	丙　烷	1.13	氯甲烷	1.28
氯化氢	1.31	正丁烷	1.10	氯乙烷	1.19
硫化氢	1.32	乙　烯	1.22	过热蒸汽	1.3
二氧化碳	1.295	丙　烯	1.15	干饱和蒸汽	1.135
氨　气	1.66	氩　气	1.66	乙　炔	1.25

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

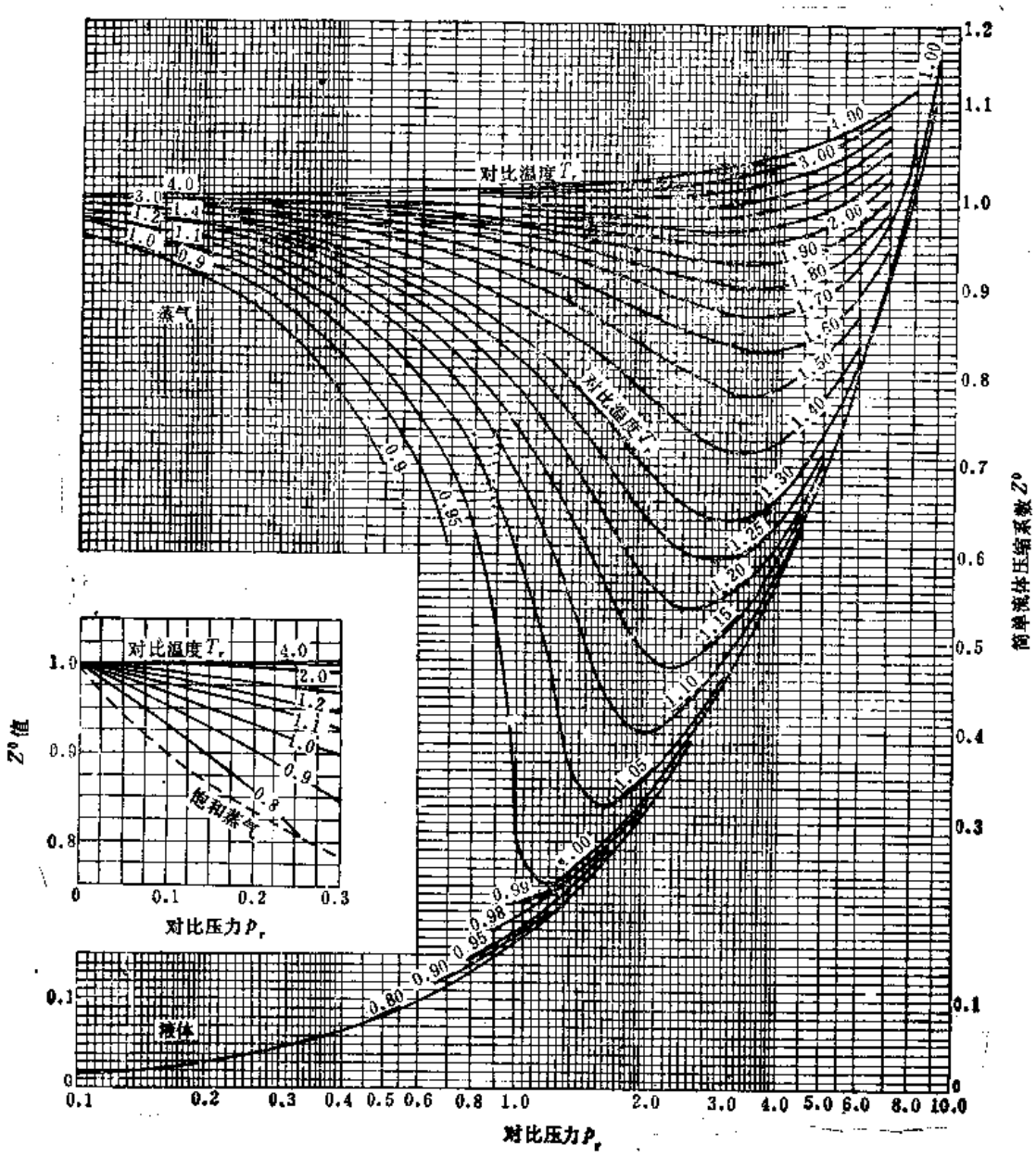


图 4-15 简单气体压缩系数图

2. 排入大气，蒸汽锅炉的蒸汽安全阀

$$G = A \cdot p_A \cdot \mu \cdot K \qquad (22)$$

式中 G——安全阀排汽量，kg/h；

A——安全阀流通截面积，制造厂提供或按下式计算，mm²；$A = \frac{\pi}{4} d_1^2$；d_1为安全阀最小流通截面直径，mm。

μ——流量系数，制造厂提供或按阀提升高度（h）与阀座内径（d_n）的比选用；

$$\frac{h}{d_n} \geqslant \frac{1}{4}, 0.235; \quad \frac{h}{d_n} \geqslant \frac{1}{12}, 0.098;$$

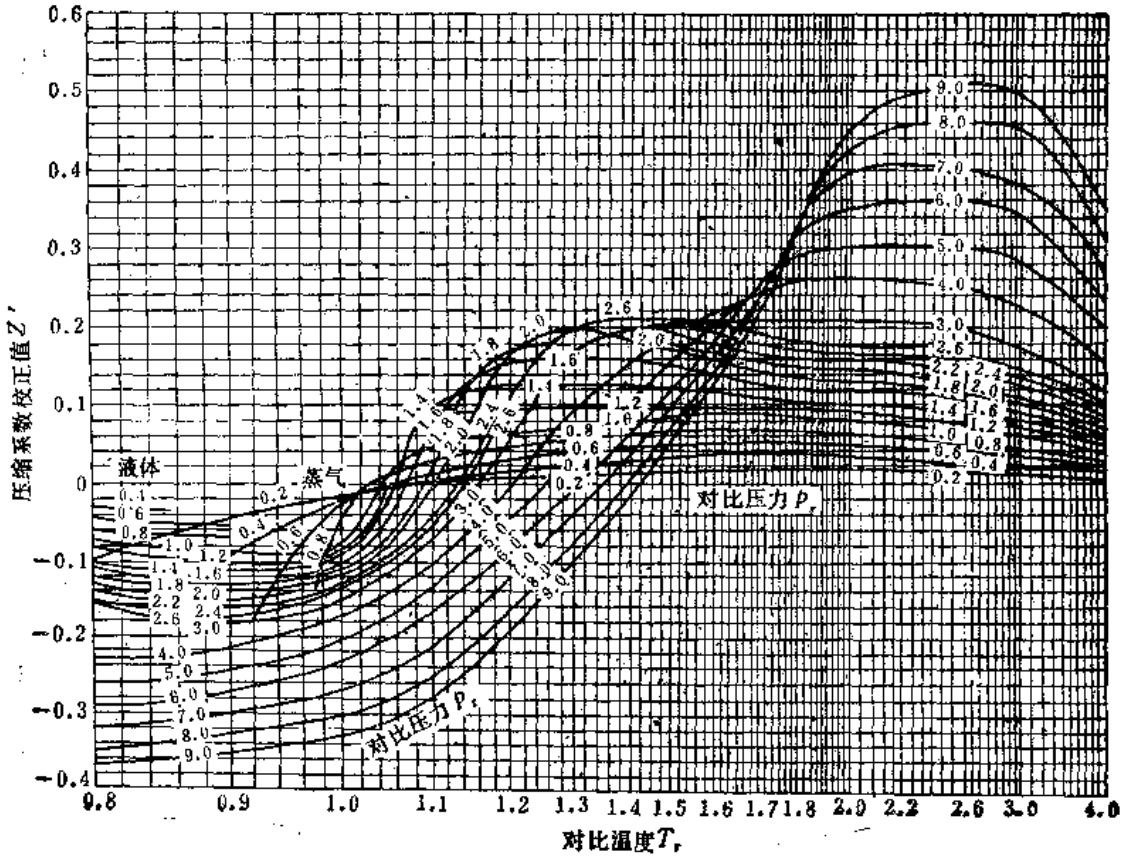


图 4-16 非简单气体压缩系数校正值

$$\frac{h}{d_n} \geqslant \frac{1}{20}, 0.085; \quad \frac{h}{d_n} \geqslant \frac{1}{40}, 0.048。$$

p_A——安全阀开启压力，见表4-65，kgf/cm²（绝压）；

K——安全阀入口处蒸汽比容修正系数，按下述规定求得。

阀入口处蒸汽压力（即开启压力，p_A）≤121 ata时，

介质为饱和蒸汽，$K = 1$；

介质为过热蒸汽，$K = \sqrt{\frac{v_b}{v_g}}$；

$p_A = 121$ ata时，

饱和蒸汽，$K = \sqrt{\frac{2.1}{p_A v_b}}$；

过热蒸汽，$K = \sqrt{\frac{2.1}{p_A v_g}}$

式中 v_b——阀入口处压力下饱和蒸汽比容，m³/kg；

v_g——阀入口处压力和温度下过热蒸汽比容，查有关资料，m³/kg；

p_A——阀入口处压力，kgf/cm²（绝压）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4.3.3 爆 破 片

4.3.3.1 爆破片选用原则

爆破片一般使用在以下几种场合：

（1）存在爆燃或异常反应使压力瞬间急剧上升的场合，这种场合弹簧式安全阀由于惯性而不相适应；

（2）不允许介质有任何泄漏的场合，各种形式的安全阀一般总有微量的泄漏；

（3）运行产生大量沉淀或粘附物，妨碍安全阀正常动作的场合。

爆破片的爆破压力的选定，一般为容器最高工作压力的1.15～1.3倍。压力波动幅度较大的容器，其比值还可增大。但任何情况下，爆破片的爆破压力均应小于压力容器的设计压力。

4.3.3.2 爆破片泄放面积计算

爆破片一般有平板型和预拱型两种型式。相同材料制成的爆破片两种型式起爆压力是一样的，但预拱型具有较高的抗疲劳能力。爆破片的设计计算包括材料选用、泄放面积计算、爆破片厚度的计算。

$$A \geqslant \frac{G'}{\mu p_b x \sqrt{\dfrac{M}{2T}}} \tag{4-23}$$

式中 A——爆破片泄爆面积，cm^2；

G'——承压设备安全泄放量，见设备安全泄放量的计算一节所述，kg/h；

μ——流量系数，根据接管形式按图4-17选用；

p_b——爆破片设计爆破压力，一般取设备最高工作压力的1.15～1.3倍，操作压力波动幅度＞20%时，可取1.7，kgf/cm^2；

X——气体特性系数，查表4-66，表4-67；

M——气体分子量；

Z——气体压缩系数，见式（4-21）；

T——气体温度，K。

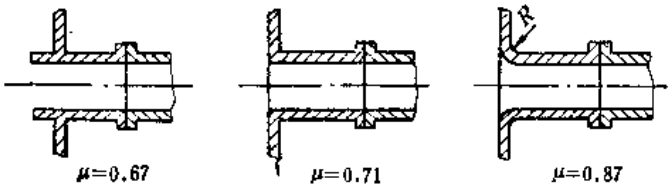


图 4-17 爆破片接管形式及流量系数

4.3.3.3 爆破片厚度

爆破片厚度计算的经验公式很多，由于影响爆破压力的因素比较复杂，故计算爆破压力往往同实际爆破压力相差较大，因此爆破片制造厂必须根据压力、温度、爆破片材质选用计算公式，并在不断实践中摸索出适合制造厂特点的误差较小的计算公式。

4.3.3.4 爆破片的制造要求

爆破片应由劳动人事部锅炉压力容器安全监察局颁发许可证的单位制造。由于爆破片厚

度精度要求很高，制造爆破片的原材料应进行仔细的检查，表面要求平整、光洁、无划痕、结疤、锈蚀、裂纹、凹坑、气孔等缺陷，厚度必须均匀。制造后应逐片测厚，同批爆破片厚度允许偏差为±3%。

由于爆破片厚度计算经验公式存在的误差，所以制造后的爆破片一定要经过试验验证，合格的方可使用。试验数量为同批生产量的5%，且不少于3片。试验温度应尽可能接近工作温度。实测爆破压力与设计爆破压力的允许许偏差，当工作温度＜200℃时按表4-68的规定；当工作温度≥200℃时，允许偏差为表4-68规定的两倍。

表 4-68 爆破片爆破压力允许偏差(kgf/cm²)

爆破压力，P_b	$1\leqslant P_b<4$	$4\leqslant P_b<10$	$10\leqslant P_b\leqslant 320$
允许偏差，%	±8	±6	±4

所谓同一生产批量是同材料、同规格、同炉号、同工艺。验证试验时，有一片爆破压力不合格，则应加倍试验，若仍有不合格，该批爆破片不准使用。

4.3.3.5 爆破片维护、检验

爆破片安装要可靠，夹持器和垫片表面不得有油污，夹紧螺栓应上紧，防止膜片受压后滑脱；运行中应经常检查法兰连接处有无泄漏；由于特殊要求在爆破片和容器之间装设了切断阀的，则要检查阀的开闭状态，并有措施保证在运行中此阀处于全开位置；爆破片排放管的要求可以参照安全阀。

爆破片一般满6个月或12个月更换一次。此外，容器超压后未破裂的爆破片以及正常运行中有明显变形的爆破片应立即更换。更换下来的爆破片应进行爆破试验，并记录、积累和分析、整理试验数据以供设计时参考。

4.3.4 防 爆 帽

1. 结构特点

防爆帽又称爆破帽，也是一种断裂型的安全泄压装置，防爆帽的样式较多，它的主要元件就是一个一端封闭、中间具有一薄弱断面的厚壁短管。当容器内的压力超过规定，以致它的薄弱断面上的拉伸应力达到材料的强度极限时，防爆帽即从此处断裂，气体即由管孔中排出。图4-18是国内一些高压釜所使用的防爆帽。为了防止防爆帽断裂后飞出伤人，在它的外面常装有套管式保护装置。

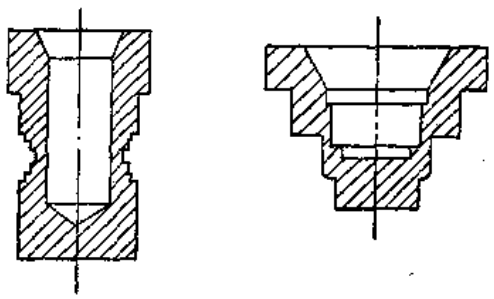


图 4-18 防爆帽

防爆帽结构简单，制造较容易，且爆破压力误差较小，比较易于控制。它适用于超高压容器，因超高压容器的安全泄压装置不需要得大的泄放面积，且爆破压力较高，防爆帽的薄弱断面可有较大的厚度，使它易于制造。

2. 防爆帽壁厚计算

目前采用以下两种方法。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（1）按轴向拉伸应力计算

这种方法把防爆帽在内压力作用下在最薄弱断面上所产生的轴向拉伸应力作为当量应力，假定它达到材料的强度极限，防爆帽即断裂。即

$$S = \frac{d}{2}\left(\sqrt{1 + \frac{p}{\sigma_b}} - 1\right) \tag{4-24}$$

式中 S——防爆帽最薄弱断面的壁厚，cm；

d——防爆帽内直径，cm；

p——设计爆破压力，kgf/cm²；

σ_b——防爆帽材料的强度极限，kgf/cm²；

（2）按下列经验公式计算

$$S = \frac{Pd}{4.4\sigma_b} \tag{4-25}$$

式中的符号与公式（4-24）相同。

3. 防爆帽制造要求

同爆破片的制造一样，制造防爆帽的材料也要求具有比较均匀的成分与性能，所以同批制造防爆帽的材料也必须保持相同的成分与热处理条件。

防爆帽的内外径尺寸公差不一定要求过严，但对它的薄弱断面的实际壁厚必须严格控制，壁厚大于1mm的防爆帽，允许偏差可以控制在0.5～1%的范围内。

制成后的防爆帽也必须经过抽样作爆破压力试验，只有经过试验合格，防爆帽才能投入使用。

4.3.5 压 力 表

4.3.5.1 结构、原理

测量容器内压力的压力表，普遍所用的是由无缝磷铜管（氨压表则用无缝钢管）制成的弹簧椭圆形弯管式。弯管一端连通介质，另一端是自由端，与连杆相接，再由扇形齿轮、小齿轮（上下游丝）及指针显示。

4.3.5.2 选用、安装

根据容器的设计压力或最高工作压力正确选用压力表的精度级。低压设备的压力表精度不得低于2.5级；中压不应低于1.5级；高压、超高压则不低于1级。为便于操作人员观察和减少视差，选用的压力表量程最好为最高工作压力的两倍，一般应掌握在1.5～3倍的范围内；表盘直径不得小于100mm。

锅炉压力表的精度为：工作压力＜25kgf/cm²的锅炉，压力表精确度不应低于2.5级；工作压力≥25kgf/cm²的锅炉，压力表的精确度不应低于1.5级；工作压力＞140kgf/cm²的锅炉，压力表的精确度应为1级。

压力表应装在照明充足、便于观察、没有振动、不受高温辐射和低温冰冻的地方；表与设备间的连接管上应装三通旋塞或针形阀，以便切换或现场校验；介质为高温蒸汽时，应在三通旋塞和设备之间装U形管（又名存水弯管），高温蒸汽先在弯管中冷凝，使高温蒸汽不直接与压力表元件接触，防止元件因高温作用而损坏或变形。存水弯管用钢管时，其内径不应小于10mm；用铜管时，其内径不应小于6mm。介质为高温或具有强腐蚀性时，应采用隔离装置（详见安全装置章）。

4.3.5.3 使用、检验

根据设备允许的最高工作压力，在压力表刻度盘上划以红线，作为警戒。但不准将红线划在表盘玻璃上，以免因玻璃位置的转动产生误判断而导致事故。运行中应保持压力表清净，表面玻璃清晰；进行定期吹洗，以防堵塞；一般应半年进行一次校验，合格的应加封印；若无压时指针不到零位或表面玻璃破碎、表盘刻度模糊、封印损坏、超期未检验、表内漏气或指针跳动等，发生上述情况之一者，均应停用、修理或换新。

4.3.6 液 位 计

4.3.6.1 分类与选用

见表4-69。

表 4-69 液位计的分类及用途

类 别	适用范围	不适用范围
玻璃管式	装置高度在3m以上	易燃、有毒的液化气体容器
玻璃板式	装置高度在3m以下	
浮子式	低压容器	液面波动较大
浮标式	装置高度在3m以上	液面波动较大
压差式	液面波动变化小	

4.3.6.2 安全要求

锅炉水位计是锅炉的主要安全附件之一。在设计和安装中，每台锅炉至少应装两个独立的水位计（蒸发量≤0.2t/h的锅炉可装一个）。蒸发量大于2t/h的锅炉，必须装设高低水位警报器。锅炉水位表，其最低可见边缘应比锅炉最低安全水位至少低25mm。为了防止汽、水连通管的阻塞出现假水位，连通管内径不得小于18mm，当连通管长度>500mm或有弯曲时，内径还应放大。汽、水连通管上的阀门及水位计玻璃管内径都应≥8mm；汽、水连通管应互相平行、保持水平；玻璃管或玻璃平板的中心要垂直连通管；水位计应装在便于观察的地方，并有足够的照明；用两个或两个以上水位计显示液位时，各水位计应上下交错足够的重叠部位以保证不间断地指示水位；玻璃管则应加防护罩；安装玻璃管时，用力须均匀，冲洗水位计时应先做好暖管工作，防止受力不均或急冷急热而碎裂；应定期冲洗等。

上述设计、安装和使用水位计时所提出的接管防堵、横平竖直、中心对准、用力均匀、便于观察、足够照明、连续指示、可靠防护、定期冲洗等要求也适用于压力容器的液面计。盛装易燃、有毒液化气体的压力容器液面计必须采用平板型，不得使用玻璃管液面计，照明灯具应符合防爆要求；对大型贮槽应选用安全灵敏的液面指示器（如放射性液位指示器、超声式、激光发射式、差压式等，见安全装置章）。

4.3.7 气瓶安全附件

4.3.7.1 安全泄压装置

气瓶的安全泄压装置主要是防止它在遇到火灾等特殊高温时瓶内气体受热膨胀而发生破裂爆炸。气瓶安全泄压装置有爆破片、易熔塞等。

爆破片一般装在瓶阀上，一般只适用于某些种类的高压气瓶。

易熔塞是一个在排气小孔内灌充有易熔合金的安全装置。这种安全泄压装置主要适用于低压液化气瓶。

但是，易燃、助燃和有毒气体气瓶装设泄放装置时，在火灾时反而扩大灾情，且平时易于泄漏。所以除了用于特殊场所（火车、轮船等）以及盛装非可燃气体的气瓶以外，其它的气瓶不必要装设安全泄压装置。至于盛装剧毒气体，如光气、氢氰酸、溴甲烷、四氧化二氮

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

等气体的气瓶，应禁止装设安全泄压装置。以免这些剧毒气体渗漏或意外排泄，引起工作人员中毒或污染环境。

4.3.7.2 瓶帽

瓶帽是为了防止气瓶瓶阀被碰坏的一种保护装置。如果没有保护装置，常会在气瓶搬运过程中被撞击而损坏，使有毒或易燃气体泄出造成危害。有时甚至会因瓶阀被撞断而使瓶内气体高速喷出，以致气瓶向气流相反方向飞动，造成伤亡事故。瓶帽一般用螺纹与瓶颈联接（高压气瓶），瓶帽上应开有孔，一旦瓶阀漏气，漏出的气体可从小孔中排出，以防瓶帽打飞伤人。

4.3.7.3 防震圈

防震圈是为了防止气瓶瓶体受撞击的一种保护装置。目前普遍采用的是两个紧套在瓶体外面的、用塑料或橡胶制造的防震圈。气瓶的防震圈不但要求具有一定的厚度（一般不应小于25～30mm），而且还应具有一定的弹性。

4.4 使 用 管 理

使用管理是压力容器安全管理工作中最重要的方面。

使用管理工作首先做好使用单位的压力容器安全管理责任制。做好压力容器使用管理的基础工作，如立卡建档、制定安全操作规程、维护检修规程和定期检验制度等，新工人的考核上岗。在这些工作中，同时贯彻压力容器的分级管理原则，切实做到分工明确，各司其责。

鉴于我国《压力容器安全监察规程》是1981年5月颁发、1982年4月1日开始执行，1931年5月前尚无全国统一的规程，1982年4月1日以前制造、使用的容器的问题较多，因此要做好压力容器普查工作。购进的新容器则要认真做好验收工作，从而逐步使新、老容器符合《压力容器安全监察规程》的规定。

4.4.1 新容器验收

新容器安装、投入使用前应按《条例》和《压力容器安全监察规程》的规定，认真做好首次检验和办理申证手续。

1. 首次检验

首次检验指使用单位审验制造厂的出厂资料，作外观检查和必要的复验工作。

（1）有《规程》规定的图样、强度计算书（中压以上的反应容器和贮运容器应予提供）、产品合格证和质量证明书。

图样上应有压力容器设计单位批准号的字样，图样应标明结构、外形尺寸和受压元件壁厚。产品合格证和质量证明书上应有必要的签章；局部探伤容器的无损探伤部位，在简图上的焊缝编号和表格中的编号应予一致。主要受压元件（筒壳、封头或端盖、开孔补强、主法兰、主螺栓和换热器管板等）所用材料的化学成份、机械性能，应是材料制造厂的实测数据，并符合《规程》和材料标准。

（2）容器的结构合理。不得有不合理的平板角焊结构。

（3）钢制容器的主体材料的选用应符合《规程》和《钢制石油化工压力容器设计规定》。

（4）组装几何尺寸应符合JB741—80《钢制焊接容器技术条件》等标准。

（5）用超声波测厚仪实测容器的受压元件壁厚。实测的最小壁厚应不小于设计壁厚。

（6）检查焊缝质量。外观检查时，焊缝的局部咬边深度不得大于0.5mm。焊缝和热影响区表面不允许有裂纹、气孔、弧坑和肉眼可见的夹渣等缺陷，焊缝外形尺寸应符合规定。

若发现焊缝外表质量不好或怀疑焊缝内部质量时，应向容器制造厂吊片。如制造厂摄片质量和评片不符合GB3323—82《钢焊缝射线照相及底片等级分类法》，或使用单位、锅炉压力容器安全监察部门复验焊缝内部质量有超标缺陷的容器，制造厂应认真执行“三包”。返修合格者，由制造厂出具“返修质量证明书”的才予认可。

（7）安全附件应按《压力容器安全监察规程》规定装设齐全，并经校验合格。容器设计压力低于压源压力的容器，在通向容器进口的管道上应装设减压阀。在减压阀的低压侧应装设安全阀和压力表。

（8）使用单位应有符合《压力容器安全监察规程》的安全操作规程。

2. 申请发证

经过使用单位首次检验合格，或由使用单位委托压力容器检验单位检验合格，由使用单位填写表格，向当地劳动部门或授权发证的上级主管部门申请发证。由发证单位发给《压力容器登记使用证》的容器，方可投入使用。

《压力容器登记使用证》在检验周期内有效，若容器使用超过检验期不予检验者，则自行失效。

4.4.2 容器普查

压力容器数量大、分布广，介质复杂，管理基础薄弱。为了加强安全管理，应该有组织地开展普查工作。

1. 普查目的

查清压力容器台数及其分布、管理和技术状况，明确专人管理和建立分级管理制度，为登记使用创造条件。

2. 普查范围

普查的范围即《压力容器安全监察规程》规定的范围（参见4.1.2）。

3. 普查领导小组

普查压力容器应有使用单位的主管生产设备的厂长负责、设备、技术、安全等职能部门和容器集中的车间主任等有关人员组成领导小组，以统一安排工作计划、步骤、要求、验收等。

4. 普查工作内容

压力容器普查应是思想落实、组织落实和无损检测工作落实。通过外观检查后，停机无损检测使工作深入进行，达到普查目的。具体内容有：

（1）压力容器是否做到专门部门、专人管理；

（2）压力容器管理制度、定期检验制度是否建立健全并认真执行；

（3）压力容器基础工作，如立卡建档是否健全；

（4）压力容器本体结构是否合理，材质和焊缝质量是否符合规定、标准；

（5）压力容器有哪些宏观缺陷，如裂纹、腐蚀、变形、渗漏等；

（6）压力容器的工艺流程、工艺条件有否超压、超温、超负荷现象；

（7）压力容器安全附件是否齐全、灵敏、可靠，定期校验是否正常；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（8）安全操作规程是否符合《压力容器安全监察规程》等。

压力容器的普查工作，在作外观检查工作完成后，根据查出问题，分类排队。除了需要停机作无损探伤、内部检验列出计划以外，着重解决结构严重不合理、年久失修等危及安全运行的容器，予以停用、大修乃至报废更新，以防事故的发生。

通过普查工作，容器使用单位建立健全管理制度，并通过无损检测和检验工作，消除不允许的缺陷，完整技术档案，为向发证机关领取《压力容器登记使用证》创造条件。

4.4.3 立卡建档、维护检修

所有容器均须立卡建档，做好基础管理。操作人员经过培训、考核上岗，做好维护检修等日常管理。

4.4.3.1 立卡建档

1. 登记卡片

登记卡片是容器使用单位内部管理的一种表格，一台容器一卡，见表4-70。并按表4-71的内容填写压力容器一览表。

表 4-70 压力容器登记卡片

厂　　车间　　年　月　日登记

容器名称			容器类别			容器图号	
制造单位			制造年月			出厂编号	
主体材质			内衬材质			投入生产年月	
容器规格	内径(mm)		操作条件	压力(kgf/cm²)		容器结构特点简图	
	壁厚(mm)			温度(℃)			
	长(高)(mm)			介质			
	容积(m³)			壁温(℃)			
重量	筒体(kg)		检验周期	外部检查　年			
	内件(kg)			内外部检验　年			
	总重(kg)			全面检验　年			
外壁防腐措施			设计使用年限				
内壁防腐措施			试验压力(kgf/cm²)				
安全装置名称			规格		数量		
备　　注							

注：各单位在印制此表时，用纸尺寸要统一，表心尺寸可按210×130mm设计。

2. 容器档案

每台容器一份技术档案（技术资料），包括图样、强度计算书、制造厂出厂的产品合格证、质量证明书、运行、检验、检修记录、安全附件校验记录和事故记录等。若无图纸时，则需测绘简图或图纸；无强度计算书时则需补作强度核算书。容器质量不明时，则需通过无损检测、检验工作，查明设备技术状况。检查、修理记录见表4-72，检验鉴定记录见表4-73。

表 4-71 压力容器一览表

厂　　车间　　年　月　日

序号	容器名称	类别	规格(mm) 内径×厚度×高	容积 (m^3)	材质	总重 (kg)	制造单位	制造年月	投产年月	结构特点和用途	设计寿命	检验周期	操作条件 温度 (℃)	操作条件 压力 (kgf/cm^2)	操作条件 介质

注：1.类别栏填容器分栏：如中压三类反应容器填R_{2-3}，低压二类换热器填H_{1-2}。

2.各单位印制此表时，用纸尺寸要统一，表心尺寸可按300×180mm设计。

4.4.3.2 正确操作、维护检修

1. 正确操作

压力容器的操作人员应严格执行“岗位责任制”、“安全操作规程”，正确开、停车，按规定的操作参数（压力、温度、负荷等）进行工作。遇到下列异常现象之一时，操作人员有权立即采取紧急措施并及时报告有关部门。

（1）容器工作压力、介质温度或壁温超过许用值，采取各种措施仍不能使之下降；

（2）容器的主要受压元件发生裂纹、鼓包、变形、泄漏等缺陷，危及安全；

（3）安全附件失效，接管端断裂、紧固件损坏，难以保证安全运行；

（4）发生火灾且直接威胁到容器安全运行。

2. 日常保养

压力容器类型、品种较多，日常保养的项目不尽相同，但应不少于下列维护保养工作：

（1）经常保持容器安全附件灵敏、可靠；

（2）定期擦拭安全附件、仪表和铭牌，使之保持洁净、指示清晰；

（3）根据介质特性，防止容器受到腐蚀；

（4）转动部件的润滑，以保持运转正常；

（5）做好容器及其工作场所的清洁工作。

3. 定期检修

压力容器应有定期检修计划，并予以实施，以保持容器的工作能力，延长使用寿命，确保安全使用。

（1）及时、正确地解决定期检验中发现的问题、缺陷。

（2）及时消除容器变形、泄漏和腐蚀，并做好敲铲油漆。

（3）当发现裂纹缺陷，应查明原因，予以修理。

（4）用焊接修理容器时，要由持有《锅炉压力容器焊工合格证》之焊工担任。修理焊

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-72　压力容器检查修理记录

容器名称		容器类别		制造单位		出厂编号	
年　月　日	检查修理原因及检查修理记录				记录人	容器负责人员	

注：各单位在印制此表时，用纸尺寸要统一，表心尺寸可按210×130mm设计。

表 4-73 压力容器检验鉴定记录

年 月 日

容器名称		容器类别		制造单位		出厂编号	
设计压力 kgf/cm²		操作压力 kgf/cm²		检验日期	年 月 日	记录人	

耐压试验

试验压力	kgf/cm²
容积残余变形	%
直径残余变形	%
焊缝泄漏情况	
密封情况	

无损检验

检查方法	检查部位	数量

化学成份%

C	P	S	Mn		

检验的部位

高（长）度，毫米	0°	90°	180°	270°

检验单位专章　　检验人员签字　　容器负责人员签字

注：1.无损检验包括：无损探伤、测厚、测硬度、金相。
2.各单位印制此表时，用纸尺寸要统一，表心尺寸可按215×130mm设计。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

接缺陷时，应挑去缺陷才予施焊，不得采用敷焊。

（5）容器的补焊修理、挖补、更换受压元件时，应制订技术计划和工艺要求，并经使用单位的压力容器专管部门同意后，方可进行。

（6）容器内部有压力时，不得对主要受压元件进行任何修理或紧固工作。

（7）进入容器内工作前，注意的安全事项，见4.4，4.3。

4.4.4 定期检验

锅炉、压容器、气瓶和槽车的定期检验制度的执行是使用单位安全使用的重要条件之一。

4.4.4.1 检验单位、检验员的资格、条件

压力容器的年度检验计划应报主管部门和当地锅炉压力容器安全监察机构备案。

定期检验，由当地锅炉压力容器安全监察机构授权或批准的检验单位进行。劳动部门的检验单位有锅炉压力容器所，企业、企业主管部门的压力容器检验站。从事检验工作的人员应经当地劳动人事部门考核批准。

检验单位对容器进行检验，应由设备技术人员、主管容器的安全技术人员和检验人员共同负责进行。

检验单位、检验员应符合的条件，见表4-74。

表 4-74 检验单位、检验员的条件

检验单位	检验员	
具有与检验范围相适应的、并经考核的检验员 具有必要的检测仪器和设备 能正确贯彻有关规程、规定、标准、确保检验质量	技术职称	
	一、二类容器	三类容器
	技术员以上	助理工程师、技师以上
	年限	
	从事压力容器安全技术工作	从事压力容器技术工作+安全技术工作
	2年以上	2年+1年以上
	工作能力	
	具有与所承担的检验工作相适应的技术水平，能独立承担检验任务 能使用一般常用的检测仪器 熟悉有关规程、规定、标准	

4.4.4.2 检验周期

1. 压力容器检验周期

（1）压力容器的定期检验周期，可分为外部检查、内外部检验和全面检验。应根据容器的技术状况和使用条件，由使用单位自行确定，但至少必须符合表4-75的要求。

（2）检验周期缩短 属于表4-76所列情况的压力容器，定期检验周期应予缩短。

（3）检验周期延长 属于表4-77所列

表 4-75 定期检验的周期

定期检验的方式	至少进行一次的周期，年
外部检查	1
内外部检验	3
全面检验	6

注：装有触媒的反应容器，如触媒使用期长于表列的检验周期，而又经过验证，容器内无腐蚀者，可根据触媒使用期，确定检验周期，并应注册备查。

表 4-76 缩短检验周期的情况

容器情况		要求缩短的周期	检验的方式
用于强腐蚀介质和运行中发现有严重缺陷 无法进行内部检验		每年至少进行一次 每3年进行一次	内部检验 耐压试验
使用期	已达15年 已达20年	每2年进行一次 每年进行一次	内外部检验 内外部检验
介质对容器材料的腐蚀情况不明，材料焊接性能差或制造时曾产生过多次裂纹并经多次返修		投产使用满一年	内部检验

表 4-77 全面检验期限的延长

容器情况	查验、确认	延长期限，年
非金属衬里	衬里完好、壳体无损坏	至8但≯8
非腐蚀介质或有可靠的金属衬里	经1～2次内部检验、确认无腐蚀	至9但≯9
使用期限超过十五年或二十年	经内外部检验，确认无严重缺陷和问题	至3但≯3

情况的压力容器，经慎重分析、研究后，全面检验期限可以延长。

因情况特殊不能按期进行全面检验的压力容器，经使用单位提出确切理由，报上级主管部门审查同意，同级劳动部门备案后，可适当延长其全面检验期限。

（4）属于下列情况之一的压力容器，在投入使用前，应作内外部检验，必要时作全面检验。

a. 停用二年以上，需要恢复使用的。

b. 由外单位拆卸调入将安装使用的。

c. 改变或修理容器主体结构，而影响强度的。

d. 更换容器衬里的。

2. 锅炉的检验周期

锅炉应每年进行一次停炉作内外部检验，每六年作一次水压试验。设备状态和管理工作良好的锅炉，经劳动部门同意后可每两年作一次内外部检验。对于下列情况，锅炉投入运行前应进行内外部检验和水压试验：新装、移装或停运一年以上的锅炉；承压元件经重大修理或改造过的，强度可能受到影响的锅炉。

3. 气瓶定期检验周期

根据盛装介质的腐蚀性大小，气瓶的检验周期分别为三年、二年和五年。压缩空气、氧气、二氧化碳、氮气等一般气体气瓶为三年；氯、氨、二氧化硫、氯化氢、氟化氢等腐蚀性介质的气瓶为二年；氦、氖、氩、氪、氙等惰性气体的气瓶为五年。

4. 液化石油气汽车槽车定期检验

每年作一次内外部检验，每五年进行一次全面检验。但新槽车投入使用后的第二年必须进行首次全面检验。年度检验如发现严重缺陷，应提前进行全面检验。

4.4.4.3 定期检验前准备工作

容器进行内外部检验或全面检验前，应做好下列准备工作：

（1）排除内部介质，并用盲板隔离。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（2）盛装易燃、有毒或窒息性介质的容器，必须经过置换、中和、清洗、消毒等处理，并取样分析，保证容器空间中易燃或有毒介质的含量符合 TJ36—76《工业企业设计卫生标准》第32条规定和动火安全规定。

（3）必须切断与容器有关的电源。

（4）将容器人孔全部打开，拆除容器内件，清除内壁的污物。

（5）有关人员进入容器内检查时，必须有人监护并应使用电压小于12伏的低压防爆灯。检验仪器和修理工具的电压若超过36伏、则应采用绝缘良好的软线和可靠的接地线。

（6）有保温层的容器，外部检查和内外部检验时，一般可不拆除保温层。如怀疑壳体（焊缝）有缺陷时应拆除检查。但全面检验时，应部分或全部拆除保温层。

4.4.4.4 检验内容

1. 外部检验项目

见表4-78。

表 4-78 外部检查项目

序 号	项 目	内 容
1	容器的防腐层、保温层及设备铭牌	是否完整无损、有无撞落、松脱或变质
2	器壁表面	有无锈蚀、凹陷、鼓包、变形、裂纹及局部过热
3	焊缝、接管、法兰及其它可拆连接处	有无泄漏
4	外壁有保温层及其它覆盖层的容器	有无泄漏迹象
5	泄漏孔、信号孔、检查孔及受压元件	有无漏液漏气迹象
6	安全附件	选用、装设是否符合要求，维护是否良好，有无超期使用，是否齐全、灵敏、可靠，接地线是否良好
7	紧固螺栓以及管件、附件	是否齐全正常，有无松动、腐蚀
8	设备基础及联接管道的支承	是否适当，有无倾斜、下沉、裂纹、震动摩擦以及不能自由胀缩等不良现象
9	容器运行情况	操作温度、压力、介质是否符合设计规定，有无异常

注：1.发现有腐蚀情况，应测量腐蚀深度，及其分布位置。
2.如对有保温层的容器的壁温测量点有疑问时，应用水银温度计或磁性温度计复查。
3.容器外部检查情况，包括检查日期、发现的问题以及检验结论等，应认真填写容器检验记录存档，并将缺陷消除。

2. 内外部检验项目

见表4-79。

筒体、封头等通过上述检验后，发现内外表面有腐蚀等现象时，应对有怀疑部位进行多点壁厚测量。测量的壁厚如小于最小壁厚时，应重新进行强度核算，并提出可否继续使用的意见并确定许用最高工作压力。

容器内、外壁的检查必须清洗至露出金属表面。高压容器主螺栓、螺栓密封元件等的检查，也要在清洗后进行。

3. 全面检验项目

（1）外部检查和内外部检验的全部项目。

（2）对主要焊缝（或壳体）进行无损探伤抽查，抽查长度为容器焊缝总长（或壳体面积）的20%。对高压、超高压的反应容器，应进行100%超声波探伤，必要时还应作表面

表 4-79 内外部检验项目

序 号	项 目	内 容
①	外部检查的全部项目	见表6-78
②	内外表面、开孔接管处	有无裂纹、介质腐蚀（包括腐蚀深度及分布情况）或磨损冲刷等缺陷
③	全部焊缝	有无裂纹
④	封头过渡区和其它应力集中部位	有无断裂和裂纹
⑤	容器的衬里	是否有鼓凸、开裂、皱折、裂纹、腐蚀及其它损坏现象
⑥	高压超高压容器的主要紧固螺栓	应逐个进行外形宏观检查（螺纹、圆角过渡部位、长度等），并用磁粉或着色探伤检查有无裂纹

注：对序号③的怀疑部位，应采用10倍放大镜检查或采用磁粉、着色进行表面探伤。如发现表面裂纹时，还应采取超声波或射线进一步抽查焊缝总长的20%（对锻制或拔制的无缝容器，抽查面积应不小于总面积的20%）。如没有发现表面裂纹，则对制造时已进行100%无损探伤检查的容器，可不作进一步抽查；但对制造时采用局部无损探伤检验的容器，仍应进一步作适当的抽查（可以小于20%，但不得小于10%）。
如发现序号⑤所列的缺陷有可能影响容器本体时，应将该衬里部分或全部去掉，并检查壳体是否有腐蚀或裂纹。

探伤。

（3）设计压力 $p \leqslant 0.3\text{MPa}(3\text{kgf/cm}^2)$ 且 $P \times V = 490\text{l}\cdot\text{MPa}(5000\text{l}\cdot\text{kgf/cm}^2)$，工作介质为非易燃或无毒的容器，如采用10倍以上放大镜检查或表面探伤，没有发现缺陷，可以不作射线或超声波探伤抽查。

（4）超声波或射线探伤合格标准，应符合制造时采用的探伤标准的合格级别。

（5）容器内外部检验合格后应进行耐压试验，耐压试验压力 $p_T = = \eta \cdot p$，详见4.4.4.6。如容器的实际最高工作压力低于设计压力时，p_T 可取容器的安全泄压装置开启压力或爆破压力。

经过定期检验的容器，由检验单位的人员对所检验的容器作出检验报告。检验报告应指明容器可否继续操作使用或需要采取降压操作、特殊监测等措施。检验报告应放入容器档案内。

4.4.4.5 检验方法

1. 外观检查方法

见表4-80。

2. 表面探伤

（1）液体渗透检查（或称渗透探伤、着色探伤） 渗透探伤检查方法是检查焊缝及工件表面的裂纹、折迭、分层和气孔等缺陷。

渗透探伤包括着色法和萤光法。每种方法都有三种渗透剂可供使用。即：水洗型（又称自乳化型），后乳化型，溶剂除去型。

基本操作流程，见图4-19。配方见表4-81～83。

（2）磁粉探伤（又名电磁探伤、磁力探伤） 磁粉探伤应按 JB3965-85标准《钢制压力容器磁粉探伤》进行。其探伤设备、探伤人员、磁粉材料、工件准备、操作方法及其技术要求、试块的使用均有明确规定。现将控制磁粉探伤的有关常识及质量控制的一些问题列在下面。

a．应用 磁粉材料应用于检查铁磁性材料制成的容器焊缝及工件表面或近表面的裂纹和其它缺陷。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-80 外观检查的方法

分类	方式	方法	适用范围
直观检查	①肉眼检查	直接观察或借助放大镜（一般5～10倍）	容器的表面情况；如有无局部磨损的沟槽或局部腐蚀的深坑、斑点容器壳体，有无凹陷、鼓包等局部变形防腐层和保温层，是否完好 金属表面，有无明显的重皮、折叠或裂纹等缺陷。
	②灯光检查	借用灯光照射，长度较大的管式容器，可以用内壁反光仪；装有手孔的小型容器，可用手伸入触摸	容器内表面缺陷：如腐蚀的深坑、斑点或凹陷、鼓包等局部变形
	③锤击检查	一般为0.5kg左右的手锤轻轻敲击容器或其部件的金属表面，根据声响、弹跳（手感）来判断是否存在缺陷	判断金属部位存在的缺陷：一般声音清脆、弹跳好的无重大缺陷；反之，声音闷浊、弹跳失常则可能是被击部位及其附近有重皮、折叠或晶间腐蚀、断裂腐蚀造成的裂纹等缺陷，还可用于检查铆接容器的铆钉是否松动、腐蚀、断裂等
量具检查	①量具检查	利用各种不同的量具（平直尺，弧形样板，游标深度卡尺等）对容器的内外表面进行直接测量	测量容器部件的平直度或弧度，以检查发现轴向或周向变形，测量对接偏差、棱角度、椭圆度，或磨损沟槽、腐蚀深坑的深度以确定磨损或腐蚀程度等
	②钻孔检查（少用）	一般用手钻或电钻在容器表面腐蚀最严重的地方钻出一个直径为6～10mm的穿透孔，清除毛刺后，用简易的量具测量器壁剩余厚度	用于测定剩余壁厚及腐蚀深度或裂纹、金属重皮、折叠等缺陷
	③超声波测厚	常用的有共振式和脉冲式等型式 把待测表面清理干净并打磨到一定的光洁度，然后按仪器使用说明标定后，在探头与待测表面涂上声耦合剂，再紧贴表面稍移动，直接读数	测定壁厚
	④硬度计测硬	见有关规定	测定容器金属焊缝及其热影响区的硬度，以判断材料、焊缝是否发生裂纹、氢脆等缺陷

b．工件准备　被检工件表面，需经外观检查合格后，方可进行探伤；被检工件表面应清洁、干燥，没有油脂、铁锈、氧化皮、油漆涂层、焊剂和焊接飞溅物。一般应该用砂纸、砂轮打磨工件、焊缝（包括热影响区）表面，以决定磁粉堆积时缺陷的真伪。

c．磁化　由于缺陷可能出现在工件任何方向，通常需要在两个（两次磁力线方向相互垂直）或多个方向上进行磁化，且磁化区域应有适当的覆盖范围。

d．磁粉探伤设备　使用触头法进行周向磁化时，磁化电流值对工件厚度T＜19mm时，电极间距的电流值I为3.5～4.5A/mm；T≥19mm时，I＝4～5A/mm。使用磁轭法的，使用的磁铁应具有一定的磁助势。当使用磁轭最大间距时，交流电磁轭至少应有44N（～4.5kg）的提升力，而直流电磁轭至少应有177N（～18.1kg）的提升力。

e．磁粉应具有高磁导率和低剩磁性质，且磁粉之间不应相互吸引。磁粉的粒度应不小于200目。磁粉应置于密封器内，且应在干燥的环境中贮存。否则，应将磁粉在60～70℃的温

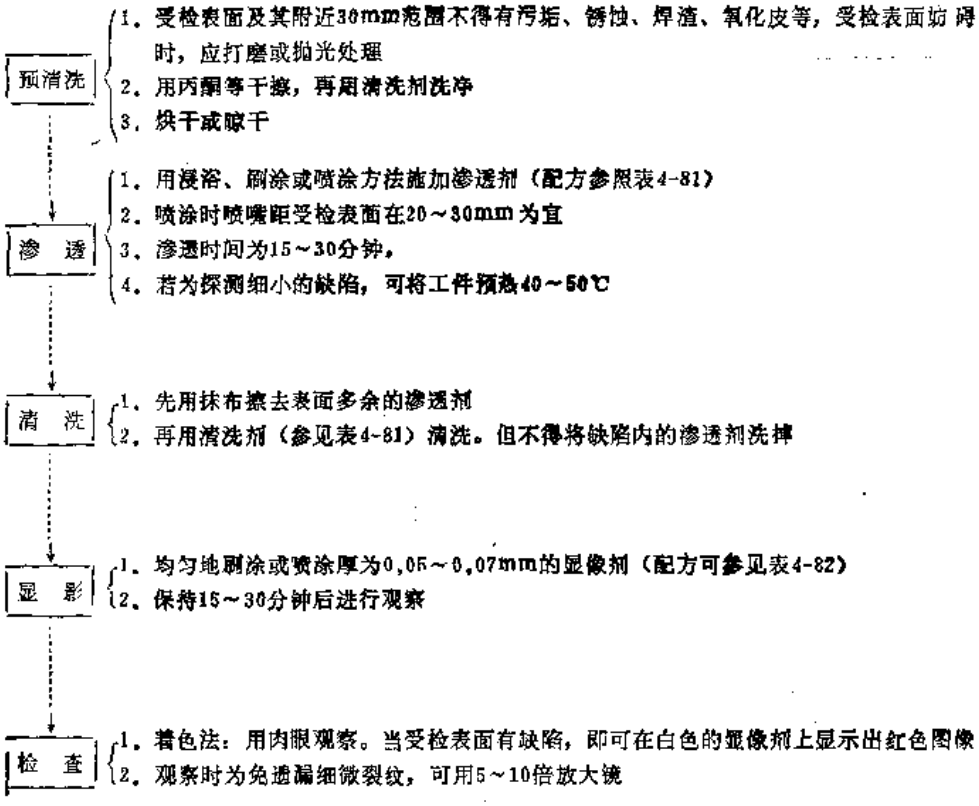


图 4-19 渗透探伤基本操作流程图

注：1．采用后乳化型渗透剂时，渗透探伤基本操作流程图要求在清洗之前刷涂乳化剂（配方见表4-83）。

2．采用溶剂除去型渗透剂时，可在受检表面刷涂溶剂，而后用干净抹布擦干。

3．渗透剂若能用水清洗去的，则可用水喷法洗净。水压以1.2kgf/cm²为宜、不得大于3.5kgf/cm²，水温不超过43℃。

表 4-81 渗透剂配方

配方编号	配方顺序	成分	比例	清洗剂或乳化剂编号	显像剂编号
1*	1	苏丹Ⅳ	1g/100cc		1*
	2	苯	20%	丙酮	
	3	煤油	80%		
2*	1	水杨酸甲酯	30%	丙酮	1*
	2	煤油	60%	煤油30%	3*
	3	松节油	10%	变压器油70%	
	4	苏丹Ⅳ	18g/100cc	1*	4*
3*	1	128 烛红	0.7g/100cc	变压器油	1*
	2	水杨酸甲脂	25%	(HH-B)30%	
	3	苯甲酸甲脂	10%	煤油 70%	
	4	松节油	15%	1*	
	5	煤油	50%	2*	2*

度下经2小时以上烘干，方可使用。磁粉使用后，通常不回收。

f．湿磁粉悬浮液必须按规定检查合格。

g．为避免漏检，每个受检区域应进行两次检查。两次检查的磁力线方向应大体上垂直，每次检查区域要有足够重迭。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-82 显像剂的配方

配方编号	成　　分	比　　例	备　　注
1#	氧化锌 苯 火棉胶(5%) 丙　酮	5g/100cc 20% 70% 10%	适用浸、刷或喷涂，为喷涂方便，可再加入40～50%丙酮稀释
2#	氧化锌 工业丙酮 P.Д.B稀释剂 火棉胶(5%)	10g/100cc 65% 20% 15%	用于喷涂，成批生产检验用P.Д.B稀释剂可用二甲苯代替
3#	油溶锌白 苯 火棉胶(5%) 工业丙酮	50g/100cc 20% 20% 60%	
4#	过氯乙烯树脂 工业丙酮 二甲苯 油溶锌白	30g/100cc 60% 40% 5g/100cc	将树脂倒入丙酮中充分搅拌，使其溶解后再倒入二甲苯，继续搅拌10～15分钟后，再加入油溶锌白

表 4-83 乳化剂的配方

配方编号	成　　分	比　　例	备　　注
1#	乳化剂(OP-10) 工业乙醇 工业丙酮	50% 40% 10%	上海助剂厂产
2#	乳化剂(平平加) 油酸 2 丙　酮	60% 5% 35%	必须配用50～60℃的热水冲洗
3#	乳化剂(平平加) 工业乙醇	120g/100cc 100%	水浴加热互溶成膏状物即可使用

在黑光灯或一般照明灯光下，肉眼检查。

3. 超声波探伤

利用超声波深入金属工件、焊缝，并由一表面进入另一面时，在缺陷界面边缘发生反射的特性来检查工件、焊缝中内部缺陷。这是超声波探伤的简单原理。超探无射线危害，仪器设备简单，但无记录凭证。超声波探伤现行标准是 JB1152—81《锅炉和压力容器对接焊缝超声波探伤》。

（1）适用范围　JB1152—81适用于焊接件对接处厚度8～120mm 的锅炉和钢制压力容器对接焊缝的超声波探伤，也适用于其它工业类似用途的压力容器对接焊缝。

JB1152—81 不适用于铸钢、奥氏体不锈耐酸钢及允许根部未焊透的单面焊钢制压力容器对接焊缝的超声波探伤。也不适用于曲面半径小于125mm和内半径与外半径之比小于80%的纵缝探伤。

（2）操作人员　超声波探伤操作应由持有劳动部门签发的合格证书人员担任。

（3）探伤仪和探头　其组合灵敏度在达到所探工件最大声程处的探伤灵敏度时，有效

灵敏度余量至少应为$10d_B$；探伤仪应具有衰减量不少于$50d_B$连续可调的衰减器，其精度为任意相邻$12d_B$的误差小于$\pm 1d_B$，最大累计误差应$\leqslant \pm 1d_B$；分辨力应能将CSK-ⅠA型试块上$\phi 50$与$\phi 44$两孔分开，当两孔反射波的波幅相同时，其波峰与波谷的差不小于$6d_B$。应在规定的试块上测定入射角和K值（K为斜探头折射角β的正切值，即$K=\operatorname{tg}\beta$），标准试块有CSK-ⅠA、CSK-ⅡA、CSK-ⅢA。

（4）操作

a．探伤表面　探头移动区应将锈蚀、油垢、漆膜、飞溅及其它污物清除干净。

b．耦合剂为工业甘油、浆糊、机油等。

c．探测频率一般采用2.5MHz。板较薄时，可用5MHz。

d．探伤面和探头移动区　厚度为8～46mm的焊缝探伤面为筒体外壁或内壁焊缝两侧，探头移动区P_1与被探工件厚度T的关系式为：$P_1 \leqslant 2TK+50$mm；厚度为＞46～120mm的，$P_1 \leqslant TK+50$mm。

推荐应用的斜探头K值为：板厚$T=8$～25mm时，$K=3.0$～2.0；$T>25$～46mm时，$K=2.5$～1.5；$T>46$～120mm时，$K=2.0$～1.0。

若需检验焊缝横向缺陷，应将焊缝磨平后探测。

e．距离——波幅曲线　该曲线以所用探头和仪器在CSK-ⅡA或CSK-ⅢA试块上实测的数据绘制而成，系定量线、判废线和测长线组成，定量线与判废线之间称为Ⅱ区，判废线以上称为Ⅲ区。不同板厚范围的距离——波幅曲线的灵敏度见表4-84。

表 4-84　距离—波幅曲线的灵敏度

试块型式	板厚(mm)	测长线	定量线	判废线
CSK-ⅠA	8～46	$\phi 2\times 40-18d_B$	$\phi 2\times 40-12d_B$	$\phi 2\times 40-4d_B$
	＞46～120	$\phi 2\times 40-14d_B$	$\phi 2\times 40-8d_B$	$\phi 2\times 40+2d_B$
CSK-ⅡA	8～15	$\phi 1\times 6-12d_B$	$\phi 1\times 6-6d_B$	$\phi 1\times 6+2d_B$
	＞15～46	$\phi 1\times 6-9d_B$	$\phi 1\times 6-3d_B$	$\phi 1\times 6+5d_B$
	＞46～120	$\phi 1\times 6-6\ d_B$	$\phi 1\times 6$	$\phi 1\times 6+10d_B$

（5）判废标准　不允许存在下列缺陷：

当缺陷反射波的波高位于判废线上及Ⅲ区时；

缺陷波的波高位于定量线上及Ⅱ区的条状缺陷，且缺陷指示长度超过表4-85数值时。表中T为板厚，板厚不等的焊缝以较薄板为准。

表 4-85　最大允许的缺陷指示长度

级别	条状缺陷指示长度l
一级	$l=\frac{1}{3}T$，但最小可为10，最大不超过30
二级	$l=\frac{2}{3}T$，但最小可为12，最大不超过40

关于缺陷的总长和密集程度的规定：单个缺陷长应小于表4-85者，在任意$2T$焊缝长度范围内（但不超过150mm）缺陷指示长度总和超过表4-85规定时；在任意测定的8mm深度范围内，缺陷测定间距$a<8$mm，以缺陷之和作为单个缺陷计，$a>8$mm时，分别计算；反射波高

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

位于Ⅱ区的点状缺陷，其指示长度小于10mm，按5mm计。

4．射线探伤

射线探伤在锅炉、压力容器焊缝检验中，是应用最广泛的，它能发现焊缝内部的气孔、夹渣、未熔合、未焊透和裂纹等缺陷，并予以定量，又有底片作记录凭证。

现行射线探伤标准是GB3323—82《钢焊缝射线照相及底片等级分类法》。在1982年前制造的在役容器则是采用JB928—67《焊缝射线探伤标准》。定期检验时，对在役容器应以当时制造的探伤标准进行评定，因此，下面以介绍GB3323—82为主，同时介绍JB928—67。

一般来说，射线照相技术GB3323-82比JB928—67要严。相同的照相底片上，GB3323—82的点状缺陷评定级别则要比JB928-67放宽一级至一级半。两个标准的质量评级一级对一级，二级对二级，以此类推，而GB3323—82仅为四级。

（1）适用范围　射线探伤包括X射线和γ射线照相。它适用于钢制对接焊缝和其它可透照的焊缝，包括电弧焊、电渣焊、气体保护焊和气焊。照相厚度范围为2～120mm。

（2）射线照相技术要求

a．焊缝表面要求　它同超声波探伤一样，焊缝需经表面检验合格后才能进行。

b．射线照相方法　分为甲级、乙级。

甲级是有特殊要求的场合。采用非增感性胶片，不使用增感屏，或使用金属箔增感屏。乙级是一般的X射线照相，采用增感性胶片和萤光增感屏。

c．几何不清晰度　甲级≤0.2mm，乙级≤0.4mm。

d．透度计灵敏度　见表4-86。

表 4-86　透度计灵敏度

方法等级	射线通过材料的总厚度T，mm				
	GB3323-82		JB928-67		
	≤50	>50	<6	6～15	>15
甲　级	1.5%	1.25%	φ0.1mm钢线	2.0～2.5%	1.5～2.0%
乙　级	2.0%		0.15mm钢线	2.5～3.0%	2.0～2.5%

注：1．GB3323—82标准中，穿透厚度小于5mm时，以辨认φ0.1mm的钢线为最低限度

2．透度计灵敏度是底片上可见的钢线最小线径(mm)除以穿透厚度T(mm)，乘以100%。

金属丝(钢丝)透度计的规格，GB3323—82与JB928—67是不同的。钢丝直径GB3323—82是几何级数递增的，JB928—67是算术级数递增的。GB3323—82分三个型号：Ⅰ号的标志是1Fe7，适用T甲级是64～120，乙级是40～120，钢丝编号及直径为1(3.20mm)、2(2.50)、3(2.0)、4(1.6)、5(1.25)、6(1.0)、7(0.8)；Ⅱ号的标志是6Fe12，适用T甲级是20～64mm、乙级是15～40mm，钢丝编号及直径为6(1.0mm)、7(0.8)、8(0.63)、9(0.5)、10(0.4)、11(0.32)、12(0.25)；Ⅲ号的标志是10Fe16，适用T甲级是<20mm、乙级是<15mm，钢丝编号及直径为10(0.4mm)。11(0.32)、12(0.25)、13(0.2)、14(0.16)、15(0.125)、16(0.10)。JB928-67分4个型号：1号适用T≤20mm，钢丝直径为0.1、0.15、0.20、0.25、0.30、0.35、0.4；2号适用T=5～50mm，钢丝直径为0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、1.0；3号适用T=50～100mm，钢丝直径为0.8、1.0、1.2、1.4、1.6、1.8、2.0；4号适用T>100mm，钢丝直径为1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0、4.5。

透度计应放在射线源一侧有效照相范围一端的焊缝上，细线在外侧，钢丝垂直于焊缝。每张底片上都必须有透度计影象（周向曝光除外）。

e．胶片本身的灰雾黑度应≤0.3。

f．底片上标志的要求　底片上必须有工件编号、底片编号、定位记号、日期等标志，这些标志应离焊缝边缘至少5mm，并应与工件上的标志相符。

g．必要时在胶片后面放置1mm以上厚度的铅板，用以屏蔽散射线的影响。

（3）焊缝合格等级

a．锅炉、压力容器焊缝的合格级别

对于工作压力≥0.0981MPa（1kgf/cm²）的固定式蒸汽锅炉，对接焊缝不低于二级为合格。

对于额定出口热水温度≥120℃的热水锅炉，对接焊缝不低于二级为合格；对<120℃的热水锅炉则为三级合格。

对于三类压力容器（包括槽车、焊接气瓶）和规定焊缝作100%探伤的一、二类容器，不低于二级为合格；对于焊缝作局布探伤的一、二类容器（包括液化石油气钢瓶），对接焊缝则不应低于三级为合格。

b．在役老容器按JB741—80《钢制焊接压力容器技术条件》制造的，探伤标准采用JB928—67，纵焊缝不低于二级为合格，环焊缝不低于三级为合格。若按JB741—73《钢制焊接容器技术条件》制造的，设计压力 P≤4.9MPa（50kgf/cm²）的容器，纵焊缝、环焊缝均为不低于三级合格；P>4.9MPa（50kgf/cm²）的容器，纵焊缝不低于二级为合格，环焊缝不低三级为合格。

（4）焊缝质量评级

a．要求合格级别的焊缝内不准存在的缺陷

一级焊缝内不准有裂纹、未熔合、未焊透、条状夹渣。

二级、三级焊缝内不准有裂纹、未熔合以及双面焊和加垫板的单面焊中的未焊透。

b．点状缺陷的评级　对于不同尺寸的气孔（包括点状夹渣）应按表4-87进行换算。表内气孔点数的分子项为GB3323—82标准，分母项为JB928—67标准。

表 4-87　气孔换算表

气孔尺寸(mm)	≤0.5	>0.5 ≤1.0	>1 ≤1.5	>1.5 ≤2.0	>2.0 ≤3.0	>3.0 ≤4.0	>4.0 ≤5.0	>5.0 ≤6.0	>6.0 ≤7.0	>7.0 ≤8.0	>8.0
气孔点数	0.5/0.5	1/1	2/2	2/3	3/5	6/8	10/12	10/16	15/20	15/24	25/

当母材厚度 T≤6mm时，尺寸≤0.5mm的气孔（包括点状夹渣、下同）也应计入评级，气孔点数按0.5计；当 T>6～25mm时，0.5mm气孔可不计点数；当 T>25～50mm时，0.7mm的气孔可不计点数；当 T>50mm时为母材厚度1.4%的气孔可不计点数。

锅夹渣按表4-87气孔数量评级，但数值取1/2核算之。

各级气孔的限量（包括点状夹渣）按表4-88规定评定。表中的数字系指底片上任何10×50mm²的焊缝区域内（宽度小于10mm的焊缝仍以50mm长度计），一、二、三级焊缝中气孔点数，多者用于厚度上限，少者用于厚度下限，中间厚度的气孔点数用插入法决定，可按数字修约法推算至整数。表中分子项仍为GB3323—82，分母项为JB928—67标准。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-88 气孔(包括点状夹渣)的分级

等级 \ 母材厚度(mm) / 气孔点数	2.0～5.0	5～10	10～20	20～50	50～120	50～100	100～120
一	2～4/0～2	4～6/2～3	6～8/3～4	8～12/4～6	12～18/	/6～8	/8～12
二	3～6/2～4	6～9/4～6	9～12/6～8	12～18/8～12	18～26/	/12～16	/16～24
三	4～8/3～6	8～12/6～9	12～16/9～12	16～24/12～18	24～35/	/18～24	/24～36
四	点数多于三级						

注：母材厚度$T\leqslant 20$mm时，单个气孔（包括点状夹渣）的尺寸超过母材厚度的1/3时，即作为四级。

c．条状夹渣的评级　条状夹渣的评级见表4-89，GB3323—82与JB928—67相同。条状夹渣必须同时满足单个条状夹渣长度、条状夹渣群总长及条状夹渣间距的规定。

表 4-89 条状夹渣的评级

级别	单个条状夹渣长度	条状夹渣间距	条状夹渣群总长
二	$\frac{1}{3}T$，最小可为4，最大不超过20	$<6L$ $\geqslant 6L$	不超过单个条状夹渣长度 在任何12T焊缝长度内不超过T
三	$\frac{2}{3}T$最小可为6，最大不超过30	$<3L$ $\geqslant 3L$	不超过单个条状夹渣长度 在任何6T焊缝长度内不超过T
四	大于三级者为四级		

注：1.表中T为母材金属厚度，L为相邻两夹渣(或夹渣群)中较长者的长度。
2.当焊缝长度不足12T（二级）或6T（三级）时，可按比例折算。如T或折算的条状夹渣群总长小于单个条状夹渣长度时，以单个条状夹渣长度为允许值。

d．未焊透的评级　GB3323—82规定，只有在设计时焊缝系数≤0.7时，才允许有未焊透。即：二级焊缝内存在的单面未焊透，其深度不应超过壁厚的15%，且最深应≤1.5mm；三级则不超过壁厚的20%，且最深不超过2mm。各级焊缝内单面未焊透的长度不超过该级焊缝夹渣群总长的规定。JB928—67规定较松，单面焊（未加垫板）的焊缝系数≤0.7时，未焊透长度可不限。

未焊透深度必须采用一定深度凹槽的缺陷尺，在底片上产生对比黑度，以便推定缺陷深度。

e．焊缝缺陷的综合评级　在12T焊缝长度内（焊缝长不足12T时，以焊缝长度为限）几种缺陷同时存在时，应先按各类缺陷单独评级。如有两种缺陷，应将其级别数之和减一作为缺陷综合的焊缝质量评级。如有三种缺陷，应将其级别数之和减二作为缺陷综合的焊缝质量等级。

4.4.4.6 压力试验

压力容器的耐压试验和气密性试验，应在内外部检查合格后进行。除了有压力容器设计资格的设计图样规定要求用气体代替液体进行耐压试验外，不得采用气压试验。需要进行气密性试验的压力容器，要在液压试验合格后进行。耐压试验是检查容器强度、制造工艺质量等综合性试验，气密性试验是为了检查容器的严密性。

1．试验压力

压力容器的耐压试验和气密试验的压力，应符合图样要求，且不小于表4-90的规定。

对壁温≥200℃的压力容器，耐压试验压力为P_T再乘以比值$[\sigma]/[\sigma]^t$。即

$$P_T^t = P_T \cdot [\sigma]/[\sigma]^t = \eta \cdot P \cdot [\sigma]/[\sigma]^t \qquad (4\text{-}26)$$

式中 P——压力容器的设计压力，kgf/cm²；

P_T^t——耐压试验压力，kgf/cm²（>200℃）；

P_T——耐压试验压力，kgf/cm²（常温）；

η——耐压试验系数（按表4-90规定）；

$[\sigma]$——常温度下材料的许用应力，kgf/cm²；

$[\sigma]^t$——设计温度下材料的许用应力，kgf/cm²；

当$[\sigma]/[\sigma]^t$之比值大于1.8时，取1.8。

锅炉水压试验压力的规定见表4-91。

表 4-90 压力容器耐压试验和气密试验的压力规定(kgf/cm²)

容器名称	压力等级	耐压试验压力 $P_T=\eta \cdot P$		气密试验压力
		液(水)压	气 压	
非铸造容器	低 压	1.25 P①	1.20 P	1.00 P
	中 压	1.25P	1.15 P	1.00 P
	高 压	1.25P		1.00 P
	超高压	1.25P		1.00 P

① 对不是按内压强度计算公式决定壁厚的容器，如考虑稳定因素等设计的容器，应适当提高耐压试验的压力。

表 4-91 锅炉水压试验压力的规定(kgf/cm²)

名 称	锅筒工作压力p	试验压力p_T
锅炉本体	<6	1.5p且≮2
	6～12	p+3
	>12	1.25p
过热器	任何压力	与锅炉本体相同
可分式省煤器	任何压力	1.25p+5

注：1.再热器的p_T等于再热器工作压力的1.5倍。

2.直流式锅炉本体的p_T等于介质出口压力的1.25倍，且不小于省煤器进口压力的1.1倍。

2．试验介质及其温度

见表4-92。

表 4-92 试验介质及其温度

试验方式	介 质	介质温度 t(℃)	
液压试验	洁净水①	碳素钢、16MnR等低合金钢 其它低合金钢③ 其它钢种 新钢种	5℃<t<70℃，一般宜保持15℃ t>材料脆性转变温度、且≮5℃ 应高于材料脆性转变温度，具体温度值按设计图样规定
	石油蒸馏产品，可燃液体 其它液体	材料脆性转变温度<t<介质闪点 材料脆性转变温度<t<液体沸点	
气压试验	干燥、洁净的空气② 氮气或其它惰性气体	t>15℃	
气密试验		t>5℃	

① 对不锈钢容器，水中氯离子含量，应≤25p.p.m。

② 定期检验时，若容器内有残留易燃气体存在，会导致爆炸时，禁止使用空气做试验介质。

③ 不包括低温容器。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3. 试验程序

进行耐压试验应由专人负责，明确分工及其安全要求。

准备工作：试验设备与其它相连接的设备、管道可靠隔离（上盲板等）；试压设备上的安全泄放装置（安全阀、爆破片）取下，上盲板；试验用加压泵，应用手动泵（若用电动泵则应保证升压速度能控制在要求范围）泵应试动证明完好；精度符合的压力表（低压要求压力精度不低于2.5级，中压和高压、超高压分别不低于1.5级和1级）两只，按要求装好；设备外壁应保持干燥；各部位的紧固螺栓必须装配齐全；人员应站在各自的安全处所。

进水将设备内空气全部排净（空气阀应装设在设备最高点），待空气阀溢出水流后，稍等几分钟，使容器壁温和介质温度相同和气体跑掉，然后开始升压。详见表4-93。

耐压试验升、降压速度，表4-94可供参考。

表 4-93 耐压试验顺序和要求

方法	程序	要求
液压试验	进液、排气	待充满后，稍待使壁温与介质温度同
	$0\to p_T$升压	逐级缓慢升压
	保持p_T	10～30分钟
	$p_T\to p$降压	逐级缓慢降压
	保持p	不少于30分钟，检查
	$p\to 0$卸压	逐级缓慢卸压

表 4-94 升、降压速度

步骤	速度 (at/min)		分级
升压	容器等级	$0\to p$ / $p\to p_T$	$0\to p_T$(级)
	低、中压	1～3 / 1～2	2
	高压、超高压	3～5 / 1～2	≥3
降压	容器等级	$p_T\to 0$	$p_T\to 0$(级)
	低、中压	3～5	2
	高压、超高压	5～7	≥3

注：1. p—设计压力；p_T—试验压力。

2. 升压，每级的压力不大于50at。

3. 逐级升、降压，每一级停压2分钟，一切正常后再继续升、降至规定值。

4. 停压时间（在耐压试验压力p_T下）：
压力容器根据容积大小为10～30分钟，然后降至设计压力保持30分钟，同时进行检查。

5. 设计压力低的取较小值，反之，取较大值。

4. 注意事项

（1）耐压试验过程中，如果发现有异常响声、压力下降、油漆剥落，加压时压力表指针不上升或指针来回不定摆动或加压装置发生故障等不正常现象时，应立即停止试验，卸压，并查明原因。

（2）对夹套容器应先进行内筒耐压试验，合格后再组焊夹套，并对夹套作耐压试验。

（3）新制造的压力容器在耐压试验后，应及时将试验液体排净，并用压缩空气或其它惰性气体将容器表面吹干。

（4）当容器原始资料失落，原设计压力、使用温度、材质等情况不明时，不能企图用耐压试验的方法来推算允许的工作压力。耐压试验也不能代替无损探伤。不要重复多次做耐压试验。

（5）在役容器进行试验前应根据内外部检查和测得的最小壁厚进行强度校核，在P_T下容器承压元件内的应力不得超过材料在试验温度下屈服极限的90%（如用气体进行耐压试

验时，不得超过80%）。在役容器的实际最高工作压力低于设计压力时，P 可取容器的安全装置开启压力或爆破片爆破压力。

5．合格标准

压力容器的耐压试验合格标准，见表4-95。

表 4-95 耐压试验合格标准

名称	合格标准	
容器及全部焊缝	无渗漏	
容器	无可见的异常变形	
返修焊缝深度>9mm或>$\frac{1}{2}$壁厚的高强度钢制容器的补焊部位	复查无超过原定标准缺陷①	
设计要求作残余变形率测定的容器，气瓶	径向 ③	≤0.03%
	容积 ②	≤10%

① 按原探伤法进行复查。

② 容积残余变形率按下式计算：

$$\varepsilon=\frac{\Delta V'}{\Delta V}\times 100\% \qquad (4\text{-}87)$$

式中 ε—容积残余变形率，%；

$\Delta V'$—容积残余变形值，ml；

ΔV—容积全变形值，ml。

用内测法测定容积全变形时，容积全变形值用下式计算：

$$\Delta V=\frac{1}{1+p_T\cdot\beta_t}(A-B-V\cdot p_T\cdot\beta_t)$$

式中 A—试验时总压入水量，ml(实际测定)；

B—试验管路在试验水温和试验压力下的压入水量，ml；（根据实际测定，不包括管路容积，在5～40℃范围内任意水温下的实测值均可；不同试验压力使用同一管路时，应按不同试验压力分别测定；管路几何尺寸改变时，应重新测定）。

V—容器实际容积，ml；

p_T—耐压试验压力，kgf/cm²；

β_t—耐压试验压力及温度下水的等温压缩系数。

③ 内径残余变形测量的截面数，按表4-96规定。

表 4-96 内径残余变形测量的截面数

筒体长（m）	6	6～12	>12
截面数	2	3	5

截面应位于筒体中部，沿筒节均匀分布，每个截面定点测量相互垂直的两个直径；

当容积残余变形率过高时，应认真研究，特别要复查开孔削弱部位变形和裂纹等。

6．气压试验

气压试验的危险性比液压试验大，假如在同样的压力下发生爆炸，爆炸威力比水大千百倍，其倍数大小可参见表4-97。

表 4-97 介质为空气和水在不同压力下爆炸威力比较表

爆破的压力(ata)	5	11	51	151	321	401
空气破坏力为水的倍数	13181	6270	1570	583	288	234

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

规定采用气压试验的容器，进行气压试验前，应全面复查有关技术文件，并进行强度校核，确认无误，经单位技术负责人和安全部门检查、批准，并有可靠的安全防护措施，方可进行。在试验和检查中不得敲击和震动受压元件。

试验步骤参见表4-98。

表 4-98 气压试验程序和要求

方法	程序	要求
气压试验	$0\rightarrow p_T$的10%(升压)	缓慢升压
	保持p_T的10%	保持10分钟，检查焊缝及连接部位
	逐级升压至p_T①	合格后，缓慢升压
	保持p_T	保持10～30分钟
	降压$p_T\rightarrow p$	缓慢降压
	保持p	保持30分钟，同时进行检查
	卸压	缓慢

① 指继续升压到规定试验压力(p_T)的50%，其后按每级为规定p_T的10%的级差升至试验压力(p_T)。

7．气密性试验

（1）气体气密试验 容器须经水压试验合格后方可进行气密试验。试验压力按表4-90规定。升压应缓慢，达到规定的试验压力后，保持30分钟，在焊缝和连接部位涂肥皂水进行检验。小型容器亦可浸水中进行检查。气体温度不低于5℃。

（2）煤油渗漏试验 将焊缝能够检查的一面清洗干净，涂上白垩粉浆并晾干。在焊缝另一面涂煤油，使表面得到足够的浸润，经半小时后白粉上没有油渍为合格。

（3）氨渗透试验 在容器焊缝上贴一条比焊缝宽20mm、用5%硝酸亚汞或酚酞水溶液浸渍过的纸条，然后往容器内通入含氨（体积比约1%）的压缩空气，在达到试验压力5分钟后纸条上未出现黑色或红色斑点为合格。

8．安全措施

压力试验，尤其是气压试验、气密性试验必须要有安全措施，以免发生爆炸、伤亡事故。主要是：

（1）压力试验要有方案，经单位技术负责人批准后，安全部门派员现场监督。

（2）各部位的紧固螺栓必须装配齐全，螺丝满扣。试验前应对安全防护措施、试验准备工作进行全面检查。

（3）压力试验要有警戒线，在升压过程中和试验压力上，任何人不得接近容器，待降到设计压力或最高工作压力时方可检查。

（4）试验准备工作、试验过程中，应有必要的见证。并有试验现场负责人的确认，方可升压和检查。

4.4.5 在役容器的检验和缺陷处理

4.4.4.4适用于按《压力容器安全监察规程》设计、制造的压力容器（俗称新容器）。对于未按这个规程制造的容器，即1984年底以前投入使用（有的地方是指制造厂出厂日期）的容器（俗称老容器）、尤其是“十年内乱”期间制造、使用的容器，先天性缺陷较为普遍，加之使用管理较差，后天失调，应加快技术更新、改造。但是，属上述范围的老容器数量很大，若按制造标准进行检验和处理，企业承受能力有困难。因此，需要一个符合维持使用的原则，以确保安全使用至下一个检验周期或更长时间。表4-99所列原则为最低安全要求。石油、化工生产则应制定不低于和高于该要求的标准。

表4-99为老容器检验要求和缺陷处理原则。表“注”是从严掌握的几种压力容器。

在役压力容器注重容器结构检查和容器运行中发生的或扩展的“活缺陷”。对制造焊接形成的点状缺陷、夹渣缺陷适当放宽。

表 4-99 老容器检验要求和缺陷处理原则

项目	检查内容	缺陷处理
结构检查	1．《钢制石油化工压力容器设计规定》中规定的禁用结构 2．筒体与封头（端盖）的角焊结构 3．夹套的角焊结构 4．凸形封头无直边 5．频繁间歇操作的可开盖、产生高应力集中和复杂应力状态的结构 6．搭接结构、器壁外贴板结构等	一般应予大修或判废。其中第3、4、5、6的容器，若使用应力水平较低、且经认真的焊缝无损探伤，查明无裂纹、变形等，可予修理或限期判废更新
表面缺陷检查	在役老容器应十分注重表面缺陷、尤其是表面裂纹的检查。即： 1．检查表面裂纹。所有容器应认真检查焊缝表面（含热影响区）。先用肉眼和放大镜，再在需要检查和有怀疑部位采用表面探伤法。应力集中部位的角焊缝必须检查	发现表面裂纹应分析产生原因，一般可采用打磨消除，深度超过壁厚7%或2mm的应补焊。必要时可用挖补方法。属于材质不当形成的裂纹则应判废
	2．检查表面腐蚀。它分为点腐蚀和均匀腐蚀，均应用超声波测厚仪实测壁厚	分散的点腐蚀，腐蚀深度大于五分之一壁厚（不含腐蚀裕量C_2）和直径200mm范围内、点腐蚀总面积不超过40cm²或沿任一直径的点腐蚀长度之和超过40mm时，应降压使用或堆焊、挖补，严重时判废均匀性面腐蚀，按剩余的平均壁厚（扣除下一个检验期的腐蚀量）核算强度；非均匀性面腐蚀，按最小剩余壁厚（扣除下一个检验期的腐蚀量）核算强度，强度不足时应修理
	3．检查变形、凹陷、鼓包、剥落、过烧等缺陷，应详细记录部位、尺寸和程度	若不能满足强度和安全要求的，应降压使用或判废
	4．检查机械损伤、工夹具焊迹、电弧擦伤、弧坑等缺陷	不严重时可打磨消除
	5．检查焊缝内外表面的咬边	疲劳操作的容器、低温容器，任何咬边均应打磨消除或打磨后补焊，其它容器的内焊缝咬边深度不超过0.5mm，连续长度不超过100mm、且焊缝两侧咬边总长不超过该焊缝长度10%者，可不处理。否则应打磨消除或打磨后补焊。其外焊缝咬边深度不超过1.0mm，连续长度不超过100mm、且焊缝两侧咬边长度不超过该焊缝总长15%者可不处理。否则应修理
组装尺寸检查	检查容器组装的对接错边、棱角度等	属一般性超过现行制造标准的，可打磨处理或不处理；较严重超标者，应对该部位焊缝作内外部无损探伤，有裂纹、未熔合、未焊透的，则应消除缺陷、补焊修复；严重者应降压使用或判废
材质检查	1．尽可能查明材质（钢种、牌号） 2．同时检查材料使用后的缺陷，如裂纹、严重腐蚀等	使用中产生的缺陷与材质有关时，应停止使用；若使用情况良好，可允许继续使用
焊缝内部探伤检查	下列情况之一者，应作焊缝内部无损探伤，否则可不作。 1．表面检查焊缝（含热影响区）发现裂纹或较严重的气孔、咬边、错边、棱角等缺陷； 2．使用时发生过焊缝泄漏； 3．制造时较多地补焊；	发现的裂纹和近表面的未熔合、未焊透以及沿焊缝柱状晶呈“八”字形分布等危险缺陷，均应挖除，并确认消除干净和补焊。严重者应予判废 条状夹渣和内部未熔合、未焊透缺陷，可比现行制造合格标准适当放宽，点状夹渣、气孔可放宽1～2级处理

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

项　目	检　查　内　容	缺　陷　处　理
焊缝内部的探伤检查	4．拟以气体或液化气体或易燃介质进行气压试验者，应作100%探伤检查； 5．用户或检验员认为有必要时	特殊情况下，可进行安全评定
安全附件检查	必须按《压力容器安全监察规程》认真检查安全附件的配置，并检验其可靠性。 1．计算安全泄放装置（安全阀、爆破片）的排放能力； 2．检验安全阀排放压力； 3．校验压力表	1．未按《压力容器安全监察规程》配置安全附件的容器，不得继续使用； 2．应装设安全阀（或爆破片）、减压阀、压力表、液位计、温度测量仪表的，应装设齐全 3．检验员应对安全附件的校验报告予以确认

注：1．在设计压力下工作的剧毒介质容器、低温容器和高温容器；其材质应满足原设计规范。不符合设计规范和材质不明或使用情况不良的，应限期停用或改作它用。

2．对剧毒介质容器、低温、高压、承受交变载荷和频繁间歇操作的容器，结构检查和处理应予从严。

3．对剧毒介质容器、低温容器、高强钢焊制容器和承受交变载荷或频繁间歇操作容器以及高压紧固螺栓等，应严格检查表面裂纹。

4．对剧毒介质容器、低温容器、高压容器、高强钢焊制容器、承受交变载荷或频繁间歇操作容器，若制造时未进行焊缝内部无损探伤或探伤报告和质量可疑者，必须作焊缝内部无损探伤检查。

表4-99所示内容不能应用到新容器的制造和验收及其投产后的定期检验。新容器应遵循设计规定和制造质量标准。

在役容器检验时，应确定容器的最高许可工作压力，即作强度校核计算。一般可采用制造时所采用的强度计算标准，或按现行设计规定计算。在作强度校核时，若材料牌号或材料机械性能不清时，可按同类材料的最低标准值选取。计算时的腐蚀裕量（C_2）应考虑满足到下个检验期的平均腐蚀量。介质压力随环境气温而变化的容器，最低环境气温可取当地气象资料历年日最低温度月平均值的最低值（见表4-36）。

在役容器检验后，检验员应出具检验报告，并对提出的检验结果和修理意见负责。并由检验单位技术负责人审批、加盖单位检验印章。

在役压力容器中的老容器，不能采用常规检验和修理确定安全性能的特殊情况时，可按中国压力容器学会《压力容器缺陷评定规范》（CVDA—1984）进行安全评定。需从事安全评定前，应书面申报主管部门和使用单位所在省级劳动部门锅炉压力容器安全监察机构同意。

4.4.6　事故调查与上报

4.4.6.1　常见破坏形式和主要特征

见表4-100。

4.4.6.2　物理爆炸威力的估算

第2章介绍了化学爆炸力的计算方法，本节介绍物理爆炸力的计算方法。

1．介质全部是压缩气体

$$W=\frac{PV}{k-1}\left[1-\left(\frac{1}{P}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right]\times 10^4 \qquad (4\text{-}29)$$

式中　W——爆炸时释放的能量，kgf·m；

P——气体压力，kgf/cm²（绝压）；

表 4-100 承压容器常见的破坏形式和主要特征

形式	特征	原因
塑性破坏（延性破坏）	（1）圆筒形容器、破裂后一般成两头小，中间大的鼓形 （2）具有较大的塑性变形（主要特征），容积变形率可达10～20% （3）断口呈撕裂状，多与轴向平行，一般呈暗灰色的纤维状 （4）断口不齐平，与主应力方向成45°角，破坏部分拼合时，沿断口线有间隙 （5）破裂时一般不产生碎片（或少量碎块） （6）爆破口的大小视容器爆破时的膨胀能量而定。膨胀能最大（特别是液化气体）裂口也大 （7）爆炸压力与计算爆破压力相近	（1）超压运行 （2）液化气过量充装 （3）腐蚀，壁厚减薄继续运行而强度不足 （4）安全附件不全、失灵 （5）其它有关原因
脆性破坏（低应力破坏）	（1）没有（或很小）塑性变形，碎块拼拢，其周长和容积与爆破前无明显变化 （2）断口齐平，断面有晶粒状光亮，常出现人字纹（辐射状）其尖端指向断裂点，而始裂点往往是有缺陷的或形状突变处 （3）破坏时大多裂成碎块，常有碎片飞出 （4）大多数发生在较低温度 （5）破坏常发生在低应力状态，即破坏时容器内的实际压力远小于计算的爆破压力。绝大多数发生在材料的屈服限以下	（1）材料使用温度低于它的脆性转变温度，产生低温脆裂（冷脆） （2）缺口引起应力高度集中 （3）热处理不当，如回火脆性等 （4）高强度钢的焊接裂纹 （5）钢材中含P、S过高
疲劳破坏	（1）破坏时无明显塑性变形 （2）破坏一般是从一些应力集中的地方开始，特别易发生在接管处 （3）断口有明显的宏观特征，有二个区域：疲劳裂纹扩展区和最后断裂区。疲劳裂纹扩展区有贝纹状花纹光亮的细瓷样断口，最后断裂区一般呈脆性断口 （4）一般无碎片，只是容器开裂，泄漏失效 （5）破坏总是经过多次反复载荷（交变应力作用）后发生，破坏时的应力一般低于材料的抗拉强度	（1）频繁地、反复地加、卸压 （2）操作压力波动幅度大（如超出设计压力20%） （3）工作温度发生周期性变化 （4）结构、安装缺陷使其部件不能自由地膨胀和收缩
蠕变破坏	（1）破坏时具有明显的塑性变形 （2）破坏后对材料进行金相分析时，金相组织有明显变化，晶粒长大、析炭、氮化物、合金组织球化等，有时还会出现蠕变的晶间裂纹 （3）发生在高温和受力的条件下，为时较长，破坏时的应力低于材料在使用温度下的强度限	高温容器设计时选材不当或运行中超温使用、局部过热
腐蚀破坏	（1）均匀腐蚀：使壁厚减薄，导致强度不够而发生塑性破坏 （2）局度腐蚀：① 使容器穿孔 ② 造成腐蚀处应力集中，在交变载荷下，成为疲劳破坏的始裂处 ③ 造成强度不足而发生塑性破坏 （3）应力腐蚀：有穿晶腐蚀、晶间腐蚀，属低应力破坏，使材料强度降低或完全消失。一般不引起金属外表的变化	和介质物理、化学特性、应力状态、工作条件等有关

V——设备容积，m^3；

k——气体的绝热指数，见表4-67。

为了与破坏力进行比较，常常将爆炸能量折算成相当于多少$T\cdot N\cdot T$（三硝基甲苯）量，427×10^3kgf·m相当于1kg$T\cdot N\cdot T$。

2. 介质是饱和水和饱和蒸汽

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

这类设备爆炸时释放能量等于饱和蒸汽绝热膨胀作的功加饱和水因压力突然降低而迅速蒸发膨胀所作的功，即总功（W）等于蒸汽作功（W_1）加上饱和水作功（W_2）。W_1按式（4-28）计算，V为蒸汽在设备中所占的容积。W_2按下式计算。

$$W_2=[(i-100)-(S-0.3115)\times 373]\cdot J_2\cdot 427 \qquad (4\text{-}30)$$

式中 W_2——饱和水绝热膨胀至大气压时所作功，kgf·m；

i——爆炸前设备内压下饱和水的焓，kcal/kg；

S——爆炸前设备内压下饱和水的熵，kcal/kg·k；

J_2——容器内饱和水重量，kg。

3. 破坏力的估算

压力容器爆炸的能量一般消耗于三个方面：撕裂容器、将碎片抛出和产生冲击波。前两项所消耗的能量约占爆炸能量的3～15%，其中将容器进一步撕裂所消耗的能量是极小的。

压力容器爆炸时飞出的碎片具有较大的动能，可造成人员伤亡和设备损坏。碎片对人体的伤害程度主要决定于它的动能。据罗勒（Rhore）的研究，碎片动能在2.6kg·m以上，可致人外伤；6.0kg·m以上时，可致骨部轻伤；超过20kg·m时，骨部重伤。碎片在离开壳体时常具有80～120m/s的初速度，即使在飞离容器较远的地方也常有20～30m/s的速度，在此速度下，重量为1kg的碎片就能致人重伤甚至死亡。

压力容器爆炸，高压气体大量冲出，使周围空气受到冲击而发生扰动，即使其压力、密度、温度等产生突跃变化，这种扰动在空气中传播就成为冲击波。空气冲击波中状态的突跃变化最明显地表现在压力上，气压随着时间发生迅速而急剧地变化。开始时，压力突然升高，产生一个很大的正压力，接着又迅速减少，在几毫秒内降至零，并继续下降至小于大气压（即为负压），如此反复循环数次，压力衰减。在爆炸中心附近，空气冲击波波阵面上最大正压力可以达几个甚至十几个大气压力，导致建筑物、设备、管道等的严重破坏。

压力容器爆炸绝大部分能量变成空气冲击波，而建筑物破坏程度与冲击波能量大小、建筑物的形状、结构以及建筑物与爆炸中心距离等有关，用一定数量的$T\cdot N\cdot T$进行爆炸实验，观察和测量爆炸范围建筑物损坏情况和它们与爆炸中心的距离。根据实验数据利用相似法的原理，估算出容器爆炸的威力相当于多少kg$T\cdot N\cdot T$。下面介绍估算方法。

（1）冲击波强度（大气压）对人员的伤害程度见表4-101。

（2）以冲击波的气浪压力（正压）作为破坏基准的估算公式，适用于玻璃、木板、窗框类的破坏情况。

$$U=1000\left(\frac{R}{R'}\right)^3 \qquad (4\text{-}31)$$

式中 U——压力容器爆炸时产生冲击波能量的$T\cdot N\cdot T$当量，kg；

R——破坏物与爆炸中心的距离，m；

R'——1000kg$T\cdot N\cdot T$地面爆炸实验数据，由表4-102选定。

（3）以冲击波的冲击力作为破坏基准的经验公式，适用于砖墙等破坏作用时间较长的情况。

$$U=U'\left(\frac{R}{R'}\right)^3 \qquad (4\text{-}32)$$

式中 U——设备爆炸时产生冲击波能量的$T\cdot N\cdot T$当量，kg；

U'——实验用$T\cdot N\cdot T$数量，kg；

R——破坏物与爆炸中心距离，m；

R'——实验测得数据，见表4-103。

$$U=\left(\frac{R}{E}\right)^3 \tag{4-33}$$

式中 U——设备爆炸时产生冲击波能量的$T\cdot N\cdot T$当量，kg；

R——破坏物与爆炸中心距离，m；

E——计算产生冲击波能量的系数，查表4-104。

表 4-101 冲击波强度对人员的伤害程度

强 度 (atm)	程 度
0.2～0.3	轻 伤
0.3～0.5	中 等 伤
0.5～1.0	重伤或死亡
1.0以上	大部分死亡

表 4-102 1000kg$T\cdot N\cdot T$地面爆炸时建筑物破坏情况与距离

建筑物的破坏情况	气浪压力 (atm)	离爆炸中心距离(m)
窗户玻璃损坏	0.06	231
受压窗户玻璃大部分损坏	0.08～0.10	136～144
窗框及木板套窗破损	0.15～0.20	109～90
窗框及木板套窗大部分损坏	0.25～0.30	～75
屋瓦掉下、隔板墙破裂	0.4～0.5	56～49
房架松动、柱架折断	0.6～0.7	44～39
小平房倒塌	1.5	27～28

表 4-103 钢筋混凝土墙的破坏距离

$T\cdot N\cdot T$, U' (kg)	墙 厚 (cm)	破坏距离 (m)	开裂的最大距离 (m)
20	12	$5>R'>3.5$	6
	20	$R'<1.75$	3.5
46	20	$5>R'>3.5$	6
	30	2.5	3

表 4-104 计算产生冲击波能量的系数E

破 坏 情 况	系数E值
厚Hm的砖墙破口	$0.4/\sqrt{H}$
厚Hm的砖建筑物裂缝和崩落	$0.6/\sqrt{H}$
木板墙破坏	0.7
窗栏、门、板壁破坏	2.8
窗框中的玻璃完全破坏	8.0

4.4.6.3 事故分类与处理

压力容器的事故分类见表4-105。

表 4-105 按损坏程度分类

事故分类	损 坏 程 度
爆炸事故	锅炉、压力容器在使用中或试压时发生破裂，压力瞬时降至等于外界大气压力的事故
重大事故	上述设备由于受压部件严重损坏（如，变形、渗漏），附件损坏或炉膛爆炸等被迫停止运行，必须进行修理的
一般事故	损坏程度不严重，不需要停止运行进行修理者

根据事故原因分类，见表4-106。

对严重违反锅炉、压力容器安全法规，造成重大损失的责任人员，锅炉压力容器安全监察机构有权提请有关部门追究行政责任、经济责任直到刑事责任。符合下列情况之一者，即为重大损失：死亡一人；重伤三人；直接经济损失达1万元以上的。

直接经济损失包括：本单位和周围建筑物、设备等造成的损失；人员伤亡时按国家规定应偿付的丧葬、抚恤等费用。

在调查、分析事故中，对确定事故主要责任单位发生争议时，由锅炉压力容器安全监察

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-106 按事故原因分类

分 类	原 因
设计制造	结构不合理、材质不符合要求、焊接质量差、受压元件强度不够以及其他因于设计制造不良造成的事故
运行管理	违反劳动纪律、违章作业，超过检验期限及没有进行定期检验，操作人员不懂技术、无水质处理设施或水质处理不好，以及其他由于运行管理不善造成的事故
安全附件	由于安全附件不全或失灵所造成的事故
安装、改造、检修质量	由于安装、改造、检修质量不好，以及其他方面引起的事故

机构作出裁决。

如果事故主要责任单位不是使用单位，经济损失的赔偿，应根据情况协商解决或按国家有关法律程序解决。

4.4.6.4 事故调查与上报

压力容器发生了事故应该立即进行调查；速赴现场，周密调查、视察和作必要的技术测量，掌握第一手材料，在情况未弄清前应保持事故现场。事故调查与分析的主要内容和要求，参见表4-107。

表 4-107 事故调查与分析的主要内容和要求

过程	范 围	项 目	要 求
①现场调查	容器本身破坏情况	破裂断面的观察、检查	要及时、仔细、防止断口生锈和污损
		破坏形式	应测量裂口的长、宽、裂口处的周长和壁厚，和原来尺寸作比较，计算裂口处的圆周伸长率和壁厚减薄率，估算出容积变形率
		碎 片	飞出距离、数量、重量和飞出方位也应测量记录
		容器内外壁情况	仔细检查：光泽、颜色、残留物等
	安全附件情况	压力表	有否严重超压现象、有否长期失灵不准
		安全阀	有否开启过的痕迹、有无严重失灵现象，杠杆式安全阀的重锤是否被无故移动
	造成的破坏及人员伤亡情况	近处建筑物破坏情况	被破坏的建筑物的规格、结构、墙厚与爆炸点最近距离，破坏程度等
		远处门窗的破坏情况	最远距离及损坏程度
		伤亡人员	事故发生时所处的位置，受伤程度
	事故现场	周 围	异常现象如着火燃烧的痕迹，不正常反应残留物等
②事故发生过程的调查	事故发生前容器运行情况	工艺条件、运行参数	有无异常（如漏气、味道、异样响声、压力和温度波动）
		操作情况	是否违章；发现异常时如何处理等
	事故发生经过	事故发生前有关人员	所在位置
		爆炸过程及现象	有无闪光、着火、响声（一次还是二次……）等
		不正常情况	开始时间，应急措施，安全附件动作情况

续表

过程	范围	项目	要求
③情况容器的以调往查	历史情况	操作人员情况	政治思想，技术操作水平
		容器历史情况	制造、安装的单位和时间，运行以来开停车次数和情况，是否发生过故障、事故以及检修、改造、开孔、挖补等情况及以往检验记录
		安全附件的配备	数量、规格、最近一次检验日期，动作可能性
④事故分析	判断	破坏形式	根据调查和结合必要的检验（如金相分析、材料化学成分测定、测硬度等）
		爆炸性质	是物理爆炸，还是化学爆炸或者既是化学性又是物理性爆炸
	查清	事故、责任发生的直接原因	坚持事故发生后“三不放过”原则，采取各种形式、进行安全教育，吸取教训
	制定	防范措施	防止同类事故重复发生

锅炉或压力容器发生爆炸事故，或因设备损坏造成人员伤亡事故的单位，应立即将事故概况用电报、电话或者其他快速方法报告企业主管部门和当地劳动部门；

发生锅炉、压力容器爆炸事故的单位，应立即组织调查，当地劳动部门应派人员参加调查。事故发生后，除防止事故扩大或抢救人员而采取必要的施措外，一定要保护好现场，以备调查分析。调查时，应认真查清事故发生的原因，提出改进措施和对事故责任者的处理意见。根据调查结果填写《锅炉压力容器事故报告书》，并附上事故照片，报送当地劳动部门和主管部门；

发生锅炉、压力容器重大事故的单位，应尽快将事故情况、原因及改进措施书面报告当地劳动部门及上级主管单位。

4.5 蒸汽锅炉

锅炉是以水、蒸汽为介质的直接火压力容器。

锅炉的设计、制造、安装、使用、检验、修理和改造，必须贯彻执行国务院、劳动部、机械部、能源部等颁发的规程、规范、规定、条例和标准。

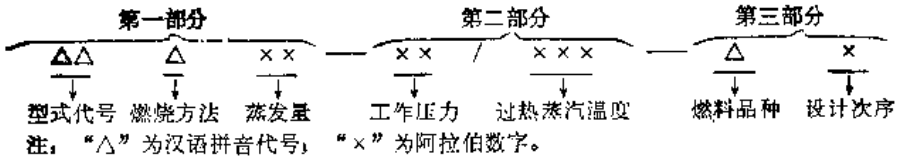
本节以介绍工作压力≥0.0981MPa（1kgf/cm²）的固定式蒸汽锅炉为主。

4.5.1 分类与参数系列

4.5.1.1 分类

1. 锅炉型号

（1）型号的组成



注：“△”为汉语拼音代号；“×”为阿拉伯数字。

（2）代号的规定 锅炉本体型式、燃烧方式和燃料品种的代号，分别见表4-108，表4-109和表4-110。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-108 锅炉型式代号

锅炉种类	型式		
	整体型式	汉语拼音代号	旧型号
锅壳锅炉	立式水管	LS(立、水)	
	立式火管	LH(立、火)	考克兰
	卧式外燃	WW(卧、外)	H·R·T
	卧式内燃	WN(卧、内)	船舶式
	卧式双火管	WS(卧、双)	兰开夏
水管锅炉	单锅筒立式	DL(单、立)	
	单锅筒纵置式	DZ(单、纵)	
	单锅筒横置式	DH(单、横)	
	双锅筒纵置式	SZ(双、纵)	Д·К·В型
	双锅筒横置式	SH(双、横)	Д 型
	纵横锅筒式	ZH(纵、横)	
	分联箱横锅筒式	FH(分、横)	横锅筒拔柏葛
	双横锅筒式	HH(横、横)	К 型
	强制循环式	QX(强、循)	

表 4-109 燃烧方式代号

燃烧方式	代号	燃烧方式	代号	燃烧方式	代号	燃烧方式	代号
固定炉排	G(固)	抛煤机	P(抛)	下饲炉排	A(下)	半沸腾炉	B(半)
活动手摇炉排	H(活)	倒转炉排加抛煤机	D(倒)	往复推饲炉排	W(往)	室燃炉	S(室)
链条炉排	L(链)	振动炉排	Z(振)	沸腾炉	F(沸)	旋风炉	X(旋)

表 4-110 燃料品种代号

燃料品种	代号	燃料品种	代号	燃料品种	代号
无烟煤	W(无)	褐煤	H(褐)	稻糠	D(稻)
贫煤	P(贫)	油	Y(油)	甘蔗渣	G(甘)
烟煤	A(烟)	气	Q(气)	煤矸石	S(矸)
劣质烟煤	L(劣)	木柴	M(木)	特种燃料和余热	

此外，按出厂型式尚可划分为快装、组装和散装。为了区别快装锅炉与其它两种型式，在型号第一部分的第一段（锅炉本体型式代号）中，表示锅筒数量的代号（D、S）用K（快装）代替。组成KZ、KH、KL三个型式代号。对纵横锅筒也用KZ型式代号，强制循环式用KQ型式代号。

（3）举例 代号KZL2-8表示快装纵锅筒锅炉、链条炉排、蒸发量为2t/h、工作压力为8kgf/cm²。

代号SHL10-13/350-W-1表示双锅筒横置式链条炉排、蒸发量为10t/h、出口蒸汽压力为13kgf/cm²、出口过热蒸汽温度为350℃、适用于无烟煤、经过第一次修改设计制造的锅炉。

2. 锅炉分类

锅炉分类按用途分为电站锅炉、工业锅炉、机车锅炉、船舶锅炉和生活锅炉；按压力分为低压锅炉、中压锅炉、高压锅炉、超高压锅炉、亚临界压力锅炉和超临界压力锅炉；按装置方式分为固定式锅炉和移动式锅炉；按锅炉结构分为火管锅炉（锅壳锅炉）、水管锅炉和

水火管组合锅炉。

4.5.1.2 锅炉参数系列

1. 工业蒸汽锅炉参数系列

固定式，生活用、工业用蒸汽锅炉参数系列，参见表4-111。

2. 电站蒸汽锅炉参数系列

电站锅炉参数系列，参见表4-112。

表 4-111 工业蒸汽锅炉参数系列

额定出力	额定出口蒸汽压力MPa (kgf/cm²)								
	0.39(4)	0.69(7)	0.98(10)	1.28(13)		1.57(16)		2.45(25)	
	额定出口蒸汽温度℃								
t/h	饱和	饱和	饱和	饱和	350	饱和	350	饱和	400
0.1	△								
0.2	△								
0.5	△	△							
1	△	△	△						
2	△	△	△	△		△			
4		△	△	△		△		△	
6		△	△	△	△	△	△	△	△
10		△	△	△	△	△	△	△	△
15			△	△		△	△	△	△
20			△	△	△	△	△	△	△
35				△		△	△	△	△
65				△		△			

表 4-112 电站蒸汽锅炉参数系列

额定出力	额定出口蒸汽压力MPa(kgf/cm²)			
	3.83(39)	9.81(100)	13.73(141)	16.68(170)
	额定出口蒸汽温度℃			
(t/h)	450	540	540	555
35	△			
65(75)	△			
220		△		
410		△		
400			△	
670			△	
1000				△
2050				△

4.5.2 锅炉运行

使用锅炉的单位，应建立以岗位责任制为主的各项规章制度。锅炉进水、点火、升压，运行和停炉要根据有关操作规程严格执行。

4.5.2.1 点火、升压

锅炉点火前必须进行汽水系统、燃烧系统、风烟系统、锅炉本体和辅机的全面检查，确认完好。每个阀门处在点火前正确位置，风机和水泵的冷却水畅流、润滑正常，安全附件灵敏、可靠、才可进行点火准备工作。

1. 点火

参见表4-113。

2. 升压

为使锅炉各部件冷热均匀，胀缩一致，进水、点火升压和停炉都要求缓慢进行。例如，夏季进水时间应不小于1小时，冬季不小于2小时；从点火到并炉投入运行的时间，火管式锅炉应在5～6小时，水管式为3～4小时，快装锅炉不得少于半小时。夏季可取较小值，冬季或长期停用及修理改造后的锅炉则应适当延长；正常停炉一般要求在停炉后12小时以上才准打开炉门、灰门等以冷却炉膛。

新装或检修后的锅炉，点火升压后汽压在0.1～0.2MPa（1～2kgf/cm²）下允许对拆动过的螺栓紧一次。紧螺栓时应保持汽压稳定、逐只对称上紧；用力均匀，不准用加长手柄的方法拧螺栓；站位得当，防止万一蒸汽外泄而烫伤。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-113 燃用不同燃料锅炉的点火安全要求

燃料种类	点火安全要求
燃油锅炉	1. 点火前，必须对烟道和炉膛系统，采用强制通风的方式进行置换，炉膛负压保持5～10mmH_2O，时间不少于5分钟，务必使可能积存的油气或可燃气彻底排净 2. 点火时应维持炉膛负压3～5mmH_2O和所需数值 3. 点火时人不应正对点火孔，要从侧面引燃 4. 严禁先喷油，后插入火把。用蒸汽雾化燃烧器，还应先排除冷凝水 5. 若一次点火不着或在运行中突然灭火，则必须首先关闭油阀，并按上要求充分通风换气后，再重新点火
燃气锅炉	1. 点火前也必须强制通风置换，炉膛保持负压5～10mmH_2O，不少于5分钟 2. 通风置换前，严禁明火带入炉膛和烟道中，点火时炉膛负压维持3～5mmH_2O 3. 若一次点火不着必须立即关闭燃气阀，停止进气，待再次通风换气后重新点火 严禁利用炉膛余火进行二次点火
燃煤锅炉	1. 一般采用自燃通风，彻底通风10～15分钟 2. 点火时如自然通风不足，可启动引风机 3. 点火有困难时（炉内或烟道空气潮湿或温度太低），可在靠近烟囱底部堆烧木柴，保持通风
燃煤粉锅炉	1. 点火前，应对一次风管逐根吹扫，每根吹扫时间约为2～3分钟，以清除管内可能积存的煤粉 2. 点火前，必须强制通风置换，炉膛负压保持5～10mmH_2O，时间不少于5分钟 3. 若一次点火不着或发生熄火，应立即停止送粉，并对炉进行充分的通风换气后，再行点火

注：由于冷炉点火时容易发生熄火，故一般宜同时使用两只点火器。

送汽前应校验一次安全阀、水位警报器，然后可采用将蒸汽管系统暖管，以防水击和产生过大温度应力造成管道损坏。冷态蒸汽管道的暖管时间一般不少于两小时，高压蒸汽管道的暖管尤应缓慢，温升宜控制在2～3℃/分。

3. 并炉

并炉时锅炉应具备燃烧稳定、运行正常、蒸汽品质合格以及压力低于蒸汽母管汽压0.05～0.1MPa（0.5～1kgf/cm²）。

4.5.2.2 正常运行

1. 控制指标

主要是控制锅炉水位、压力两个指标，同时要掌握好蒸汽流量、风压、风量和水质指标，燃煤量等。

（1）水位 锅炉水位波动应在正常水位范围内。水位过高，蒸汽带水，蒸汽品质恶化，易造成过热器结垢烧坏并影响汽机的安全；水位过低，下降管易产生汽柱或汽塞，恶化自然循环，易造成水冷壁管过热变形或爆破。此外，过高或过低还可能发生满水或缺水事故。水位计应每班冲洗一次；运行中必须经常核对两只独立水位计或低地位水位和锅筒水位计的液位指示。

（2）压力 供汽机用汽锅炉的汽压允许波动范围为±0.5kgf/cm²，对其他设备供汽锅炉则为±1kgf/cm²。汽压低了对发电机组轻者造成发电周波降低，重者影响发电量；对蒸汽加热设备，大多用饱和蒸汽，汽压低汽温也低，影响传热效果，从而影响到产量、热效率。汽压过高，轻者使安全阀动作，浪费能源，又带来噪声；重者则超压爆炸。此外，压力变化力求平缓，压力陡升、陡降都要恶化自然循环，造成水冷壁管过热损坏。

2. 燃烧调节

燃烧室内力求火焰分布均匀，充满整个炉膛，以利水的自然循环，保证炉膛传热效果。火焰不能直接冲刷水冷壁管。煤粉炉、油炉、燃气炉当负荷增加时，应先加大引风，后加大送风，最后增加燃料；反之，先减少燃料，后送风，最后减少引风，以防发生燃烧不完全，使受热面上积留可燃物而发生尾部燃烧事故。炉膛负压不宜过大，过大会引起脱火或不完全燃烧；也不宜过小，过小出现正压，导致喷火伤人，一般控制在－1～－5mmH_2O左右。

3. 排污操作

锅炉上锅筒连续排污根据炉水碱度和含盐量，通过调节连续排污阀开度大小进行调节。定期排污一班一次，排污量以下降水位25～50mm为宜；排污一般应在锅炉负荷较低时进行，一则以免影响汽压，二则排污效果较好；排污时应一人操作，一人监视水位；串联两只排污阀（一只快开阀，一只慢开阀，近锅炉一只为慢开排污阀），必须遵循先开的（快开阀）后关，后开的（慢开阀）先关的原则；排污开始时，应先暖管以防水击；如果两台或数台锅炉同用一根排污总管（应该每台锅炉有独立排污管）时，禁止两台锅炉同时排污。未开排污阀时，手摸排污管发烫时，说明排污阀有泄漏。

4. 吹灰、清焦

吹灰、清焦、清炉工作宜放在锅炉负荷较低时进行，并调节好炉膛负压，防止喷火伤人。蒸汽吹灰前必须做好暖管疏水工作，然后再吹汽，以防受热面腐蚀，一般是每班吹灰一次；炉膛结焦应及时清焦，以免结成大块在清焦时坠落砸坏管子；清炉时水位可维持稍高一点，以免汽压下降太大。

4.5.2.3 停炉保养

1. 正常停炉

手烧炉、链条炉排、燃油炉、煤粉炉当正常停炉操作方法有异，但均应停加燃料，先停鼓风、后停引风，出渣，关闭风门。

2. 紧急停炉

锅炉运行中发生严重缺水、严重满水，水位计、压力表和安全阀三大安全附件中之一全部失效，给水装置全部失效以及受热面爆裂、严重变形、泄漏而无法维持正常运行等情况时，应紧急停炉。

紧急停炉主要步骤是：首先停止供给燃料和送风，减弱引风。接着熄灭和清除炉膛内的燃料（指火床燃烧的锅炉），注意不能用往炉膛浇水的方法来灭火，应用黄沙或湿煤灰将红火压灭，为防链条炉排烧坏，炉墙未变黑前应保持其运转；然后打开炉门，灰门，烟风道闸门等以冷却炉子；最后切断锅炉同蒸汽总管的联系，打开锅筒上放空排放或安全阀以及过热器出口集箱的疏水阀。为了加速锅炉的冷却，除严重缺水事故外，（严重缺水事故严禁向锅炉进水！），可向锅炉进水、放水。

3. 停炉保养

停用锅炉为防腐蚀必须保养。常用的保养方法有干法、湿法和热法三种。

（1）干法保养　干法保养用于长期停用的锅炉。正常停炉后，水放净，清除锅炉受热面、锅筒内外部的水垢、铁锈和烟灰，用微火将锅炉烘干，然后放入干燥剂。用生石灰作干燥剂时，每m^3容积放2～3kg，用无水氯化钙为1～2kg。干燥剂放在木盆内，放入锅筒、集箱等内部，然后关闭所有的门、孔，保持严密。一月之后打开人孔、手孔检查，若干燥剂已成粉状，失去吸湿能力，则换入新干燥剂。根据检查情况以缩短或延长下次检查时间。若停用时间超过三个月，则在内外部清扫后，受热面内部涂以防锈漆，锅炉附件也应检修校对．涂

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

油保护，再按上述方法保养。

（2）湿法保养　湿法保养也用于长期停用的锅炉。停可后清扫内外表面，然后进水（最好用软水），将适量氢氧化钠或磷酸三钠化为溶液后加入锅炉，生小火加热使锅炉外壁面干燥，内部由于对流使各部位碱浓度均匀，锅内水温达80～100℃即可熄火。湿法保养时水应保持充满，防止空气漏入。每隔5天对锅内水作一次化验，其碱度应在5～12mg/L范围，碱度低了应补充药剂。寒冷地区不宜采用湿法保养，以免锅炉冻裂。

（3）热法保养　停用时间在10天左右的锅炉宜用热法保养。停炉后关闭所有风、烟道闸门，使炉温下降缓慢，保持锅炉汽压在大气压以上（即炉水温度＞100℃）即可，若汽压保不住，或生小火或用运行中锅炉的蒸汽加热，以满足上述要求。热法保养时应有司炉工值班。

4.5.3 锅炉给水

江、河、湖、井之水含有氧气、二氧化碳等气体，泥沙之类悬浮物，动、植物腐烂分解的有机质，溶解于水中的各种矿物质以及微生物。未经软化处理的水称为生水，不能直接作为锅炉给水。为了防止锅炉腐蚀、结垢，确保锅炉安全、经济运行，锅炉给水和炉水应严格控制指标。

4.5.3.1 水中杂质及其危害

1. 杂质与危害

（1）氧　存在于水中的氧对金属具有腐蚀作用，特别水温在60～80℃之间，这个温度不足以使水中的氧析出，而氧腐蚀速度却大大增加。水的pH值对氧腐蚀有影响，pH＜7，促进溶解氧的腐蚀，pH＞10氧腐蚀基本上停止。水中溶解氧是锅炉腐蚀的主要原因。

（2）二氧化碳　大多数天然水中都有游离二氧化碳，水中二氧化碳含量较高时则呈酸性反应，对金属有强烈的腐蚀。水中的二氧化碳还是使氧腐蚀加剧的催化剂。

（3）硫化氢　少数流经石膏地层的天然水偶尔含有硫化氢，也有的是由水中有机质而来，因为水中腐烂植物能使硫酸盐产生硫化氢。水中若含0.5mg/L硫化氢就能察觉，若达1mg/L即有显著臭蛋味。水中硫化氢会引起锅炉的严重腐蚀。

（4）钙、镁　水中的钙镁均以不同化合物（如：$Ca(HCO_3)_2$、$CaCl_2$，$MgCl_2$，$MgSO_4$等）的形式存在，是造成锅炉受热面结垢的原因。

（5）氯离子　一般天然水中的平均氯含量为15～55mg/L。而氯根超过150～250mg/L的天然水不宜做锅炉用水。因为给水氯根高，炉水氯根也高，而炉水中氯根超过800～1200mg/L时，可造成锅炉腐蚀。

（6）二氧化硅　二氧化硅能和钙、镁离子形成非常坚硬、不易清除的水垢。此外，当锅炉工作压力＞80kgf/cm²时，二氧化硅在蒸汽中的溶解度较大，而压力＜80kgf/cm²时，其溶解度很小。高压蒸汽中的二氧化硅随着在汽机中作功使蒸汽压力下降，溶解度减小而析出，沉积在汽机叶片和通道上，严重影响汽机的安全。

（7）硫酸根　天然水中硫酸盐平均含量在30～75mg/s，给水中的硫酸根进入锅炉后与钙、镁结合，在受热面上生成石膏质水垢。

（8）其它杂质　碳酸钠、重碳酸钠进入锅炉，受热分解，产生氢氧化钠使炉水碱度增高，分解产物中的二氧化碳又是一种腐蚀气体。炉水碱度过高会引起汽水共腾，也可能在高应力部位发生苛性脆化；有机质进入锅炉也会造成汽水共腾，并产生腐蚀。

2. 水垢危害

锅炉水垢按其主要组分可分为碳酸盐水垢、硫酸盐水垢、硅酸盐水垢和混合水垢。水垢中碳酸钙含量＞50%和少量碳酸镁时，称为碳酸盐水垢，它主要沉积在温度和蒸发率不高的部位及省煤器、给水加热器、给水管道中，其比重约为2.37；硫酸钙含量＞50%的称硫酸盐水垢（又称石膏质水垢），它主要积结在温度和蒸发率最高的受热面上（如炉膛水冷壁），其比重约为2.6；含二氧化硅在20～25%的水垢，称为硅酸盐水垢，主要沉积在受热强度较大的受热面上。这种水垢很坚硬，难清除，导热系数很小，对锅炉危害最大；由硫酸钙、碳酸钙、硅酸钙和碳酸镁、硅酸镁、铁的氧化物等组成的水垢，称混合水垢，根据其组分不同，水垢性质差异较大。

水垢不仅浪费能源，而且严重危及锅炉的安全。由于水垢的导热系数（参见表4-114）与钢材相比小得多，一般是钢的1/40～1/550，所以它使传热效率明显下降，排烟温度上升，锅炉热效率降低。大致估算一下，结1mm的水垢，浪费燃料2～3%。由于结垢，需要定期拷铲或化学除垢，人工拷铲花费工时，并且除垢带来的机械损伤或化学腐蚀将缩短锅炉寿命。结垢又是锅炉受热面过热变形或爆裂的主要原因，也是威胁汽机安全运行的一个因素。

表 4-114 钢与几种水垢的导热系数，kcal/m·s·℃

水垢类型	特征	导热系数
钢		40～50
硅酸盐水垢（含SiO_2 20～25%以上）	硬，微透明	0.05～0.2
硫酸盐水垢（含$CaSO_4$≥50%）	坚硬，质密	0.5～2.5
碳酸盐水垢（不产生结晶）	松软	0.2～1.0
碳酸盐水垢（坚实、结晶）	坚硬或粉状	0.5～5.0
含油水垢	硬	0.5～2.0

经过计算，工作压力为13at，炉膛水冷壁管尺寸等于$\phi 76\times 4$，最大热负荷取200×10^3 kcal/m²·h·℃，钢种20g，无垢时水冷壁管的壁温等于227℃，相应壁温下材料许用应力为13.5kgf/mm²。若结有2mm水垢，取水垢的导热系数为1kcal/m·s·℃，则壁温达689℃，对应的许用应力只有2.5kgf/mm²，可见水垢的危害之大。

4.5.3.2 水质标准

1. 水质指标与单位

常用的水质指标有总硬度、总碱度、全固形物、pH值和含盐量等。

（1）总硬度 水的硬度是水质指标重要标志之一。总硬度是暂时硬度和永久硬度之和。暂时硬度是指水中溶解的钙（Ca）和镁（Mg）的重碳酸盐含量。这些盐类在水加热到沸腾时，能以泥渣样沉淀析出。暂时硬度又称碳酸盐硬度。永久硬度是指水中钙（Ca）和（Mg）的氯化物、硫酸盐、硅酸盐的含量。它们加热到沸点不能沉淀，故称为永久硬度，亦称非碳酸盐含量。

硬度单位有mg当量/L、德国度和百万分含量（p.p.m）。1mg当量/L是指每升水中含有50mg碳酸钙（$CaCO_3$）；1德国度是指每升水中含有10mg氧化钙（CaO）；1 p.p.m是指每升水中含有1mg碳酸钙（$CaCO_3$）。

（2）总碱度 单位容积里水中氢氧根（OH^-）、碳酸根（CO_3^{--}）、重碳酸根（HCO_3^-）的总含量。碱度单位与硬度一样。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）全固形物　指水中的悬浮物和溶解固形物在蒸发后遗留下的固体残渣总含量。单位是mg/L。

（4）含盐量　水中含阳离子和阴离子程度。pH＝7，水呈中性；pH＞7，水呈碱性；pH＜7，水呈酸性。

2. 水质标准

火管、水管和水火管锅炉的给水和炉水水质标准，应按GB1576—85《低压锅炉水质标准》，分别参见表4-115、表4-116。

表 4-115　燃用固体燃料的锅壳锅炉水质标准

项　　目	给　水		锅　水	
	锅内加药处理	锅外化学处理	锅内加药处理	锅外化学处理
悬浮物 mg/l	≤20	≤ 5		
总硬度 mg-eq/l	≤3.5	≤0.03		
总碱度 mg-ep/l			10～22	22
pH（25℃）	＞ 7	＞ 7	10～12	10～12
溶解固形物[注] mg/l			<5000	<5000
相对碱度 $\left(\frac{\text{游离NaOH}}{\text{溶解固形物}}\right)$			<0.2	<0.2

注：如测定溶解固形物有困难，可采用测定氯化物（Cl^-）的方法来间接控制，但溶解固形物与氯化物的比例关系须由试验确定，并应定期复试和修正比例关系。对兰开夏锅炉的溶解固形物可小于10,000 mg/l。

表 4-116　水管和水火管组合锅炉的水质标准①⑤

项　　目		给　水			炉　水		
工作压力MPa（kgf/cm²）		≤0.98(10)	＞0.98(＞10) ≤1.57(≤16)	＞1.57(＞16) ≤2.54(≤25)	≤0.98(10)	＞0.98(＞10) ≤1.57(≤16)	＞1.57(＞16) ≤2.54(≤25)
悬浮物 mg/l		≤ 5	≤ 5	≤ 5			
总硬度 mg-eq/l		≤0.03	≤0.03	≤0.03			
总碱度 mg-eq/l	无过热器				≤22	≤20	≤14
	有过热器					≤14	≤12
pH（25℃）		＞ 7	＞ 7	＞ 7	10～12	10～12	10～12
含油量 mg/l		≤ 2	≤ 2	≤ 2			
溶解氧② mg/l		0.1	≤0.1	≤0.05			
溶解固形物④ mg/l	无过热器				<4000	<3500	<3000
	有过热器					<3000	<2500
SO_3^{2-} mg/l					10～40	10～40	10～40
PO_4^{3-} mg/l						10～30③	10～30
相对碱度 $\left(\frac{\text{游离NaOH}}{\text{溶解固形物}}\right)$ ④					<0.2	<0.2	<0.2

①当锅炉蒸发量≤2t/h、采用锅内加药处理时，其给水和炉水应符合表6-110的规定，但炉水的溶解固形物应<4000mg/l。

②锅炉额定蒸发量≥5t/h均要除氧，锅炉蒸发量<2t/h的锅炉应尽可能除氧和防腐，对于供汽轮机用汽的锅炉其给水含氧量均应≤0.05mg/l。若采用化学除氧，则监测锅水中的亚硫酸根含量。

③对炉水的 PO_4^{3-} 控制在10～30mg/l，仅适用于供汽轮机用汽的锅炉。

④对表4-116中溶解固形物和相对碱度的说明与表4-115相同。

⑤燃油锅炉、燃气锅炉的水质标准亦应符合此表。

锅炉水中磷酸根和钙离子的反应，只有在pH 9～11的条件下，才能生成容易排除的水渣，炉水中的pH值高一些对于抑制磷酸盐的水解，减少硅酸在蒸汽中的溶解携带都是有利的，pH过大容易引起碱性腐蚀，所以一般要求不大于11。

4.5.4 常见事故

4.5.4.1 水位异常

水位事故主要是缺水和满水。缺水事故是锅炉事故中最常见的事故。处理不当、不及时，则烧坏锅炉甚至发生爆炸。

原因：①由于运行人员监视不严，工作疏忽，判断错误或误操作；②水位警报器失灵；③水位表不准确；④自动给水控制设备或给水门失灵；⑤排污不当或排污阀泄漏；⑥受热面损坏；⑦负荷骤变；⑧炉水含盐量过大。

预防措施：①严密监视水位，定期校对水位计和水位警报器，发现缺陷应及时消除，应经常保持水位计动作灵敏，指示正确，加强和用汽部门的联系；②缺水时水位表玻璃管(板)上呈白色，满水时则颜色发暗；③应采用“叫水法”，若严重缺水时，严禁向锅炉内给水！④应注意监视给水压力和给水流量，使给水流量与蒸汽流量相适应；⑤排污应按规程规定，每次开一组排污阀，时间不超过30秒，排污后将门关严，并检查排污是否泄漏；⑥出现假水位时，应正确操作，注意不使之严重缺水或满水；⑦监督汽水品质，控制炉水含量不超过规定数值。

4.5.4.2 汽水共腾与水击

汽水共腾是锅炉内水位波动的幅度异常，水面翻腾的程度非常激烈的现象。其后果是蒸汽大量带水发生水冲击，使过热器内积盐，甚至烧坏管子。

处理办法：降低负荷；开启表面连续排污阀，降低锅水含盐量；适当增加下部排污量，增加给水，不断调换锅水。

4.5.4.3 燃烧异常

1. 烟道尾部二次燃烧和烟气爆炸

燃烧异常主要表现在烟道尾部发生二次燃烧和烟气爆炸。多发生在燃油锅炉及煤粉锅炉内。

现象：①烟道排烟温度剧升，严重时发生轰鸣；②负压变正压；③烟囱冒浓黑烟；④烟气爆炸时，有巨大响声，防爆门被打开，并冲出大量烟尘。

原因：①燃油设备雾化不良，燃油、燃煤粉与配风不当；②炉膛温度不足，燃料在炉膛内未完全燃烧，进入尾部烟道后，条件适合时发生烟气爆炸或尾部燃烧。

处理办法：①停止供应燃料，停止鼓、引风，紧关烟道门。有条件时向烟道内通入蒸汽或CO_2灭火。②待火灭后，检查确认可继续运行时，先开引风10～15分钟，再重新点火；③若炉墙倒坍或其它损坏时，应紧急停炉。

预防措施：①正确调整燃烧，保持炉膛温度；②保持火焰中心位置，不让中心后移；③定期清除烟道内积灰或油垢；④保持防爆门良好。

2. 结焦

原因：①灰的熔融特性不好；②锅炉设计不正确，安装、检修质量不好；③燃烧调整不正确；④锅炉漏风或正压运行；⑤高负压运行。

结焦的预防措施：①合理调配燃料；②合理调整燃烧；③加强运行监视，及时吹灰打渣；④提高检修质量，做好各项试验。

4.5.4.4 承压部件损坏

（1）水冷壁管及对流管爆破事故，是较常见事故之一，性质严重，需停炉检修，甚至

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

造成伤亡。

现象：①爆破时有显著的响声，爆破后有喷汽声；②水位迅速下降，汽压和给水压力下降，排烟温度下降；③火焰发暗，燃烧不稳定或被熄灭。

处理办法：①如能维持正常水位，在紧急通知有关部门后再行停炉；②如水位、汽压均无法保持正常时，必须按程序紧急停炉。

原因：①水质不符合标准，管壁积垢或管壁受腐蚀或受飞灰磨损减薄，导致爆管；②升火过猛，停炉太快，使管子受热不匀，造成焊口破裂；③下集箱积泥垢未排除，堵塞管子水循环，管子得不到冷却而过热爆破。

预防措施：①加强水质监督；②定期检验管子；③按规定升火、停炉和防止超负荷运行。

（2）过热器管爆破

现象：①过热器附近有蒸汽喷出的响声；②蒸汽流量不正常，给水量明显增加；③燃烧室负压变正压；④排烟温度显著下降。

处理办法：①如损坏不严重，又生产需要，待备用炉启用后再停炉，但必须密切注意，勿使损坏恶化；②损坏严重则立即停炉。

原因：①水质不好，或水位经常较高，或汽水共腾，以致过热器结垢；②引风量过大，使炉膛出口烟温升高，过热器长期超温使用。也有因烟气偏流而过热器局部超温；③检修不良，使焊口损坏或水压试验后，管内积水等。

预防措施：①控制水、汽品质；②防止热偏差；③注意疏水；④注意安装检修质量。

（3）省煤器管损坏

沸腾式省煤器管出现裂纹和非沸腾式省煤器弯头法兰处泄漏是常见的损坏事故，最易造成锅炉缺水事故。

现象：①水位不正常下降；②省煤器的泄漏声；③省煤器下部灰斗有湿灰，严重时有水流出；④省煤器出口处烟温下降。

处理办法：①沸腾式省煤器——加大给水，降低负荷，待备用炉启用后再停炉；若不能维持正常水位则紧急停炉。并尽力维持水位，如利用旁路给水系统。但不允许打开省煤器再循环系统的阀门。②非沸腾式省煤器——开启省煤器旁路风门，关闭出入口的风门，使省煤器与高温烟气隔绝；开启省煤器旁路给水阀门。

原因：①给水质量差，水中有溶解氧和CO_2发生内腐蚀；②经常积灰，潮湿而发生外腐蚀；③给水温度变化大，引起管子裂缝；④材质不好。

预防措施：①给水控制质量，必要时装设除氧器；②经常吹铲积灰；③定期检查，做好维护保养工作。

4.6 气瓶、槽车

4.6.1 总的规定

气瓶、槽车也是压力容器。而它们是移动式容器，有其特殊要求。除遵守《条例》及其实施细则、《容规》的同时，还应分别遵循《气瓶安全监察规程》、《溶解乙炔气瓶安全监察规程》、《液化石油气汽车槽车安全管理规定》、《液化气体铁路槽车安全管理规定》。

4.6.1.1 适用范围

原国家劳动总局79年颁发的《气瓶安全监察规程》适用于设计压力为0.098～29.43MPa（1～300kgf/cm²）、容积不大于1m³、盛装压缩气体和液化气体的钢质气瓶。不适用乙炔钢瓶、灭火用气瓶和民用液化石油气钢瓶。设计压力≥12.26MPa（125kgf/cm²）的钢瓶，称为高压气瓶，应采用无缝结构。《溶解乙炔气瓶安全监察规程》适用于瓶内浇注有多孔形填料的钢质溶解乙炔气瓶。原国家劳动总局81年颁发的《液化石油气汽车槽车安全管理规定》适用于罐体容积＞1m³、运输液化石油气汽车槽车，化学工业部82年颁发的《液化气体铁路槽车安全管理规定》得到原国家劳动总局确认，各有关部门均应执行。它适用于设计压力为0.78～2.16MPa（8～22kgf/cm²）、容积大于30m³、介质温度为－40～50℃的液化气体铁路槽车。

4.6.1.2 设计、制造、充装、检验的资格

制造、充装、检验各种气瓶、槽车均勻经过劳动部门审批同意、具备资格。

4.6.1.3 类别划分

我国与国际上大多数国家一样，是以气液相变这个主要规律来划分气瓶类别的，其原因是：在等容过程中发生相变的同时，压力会发生突变，直接关系着气瓶的安全。而温度又是相变的先决条件，即瓶内气体在任何情况下的温度以及在该温度下的气体所处的状态，气体状态又与临界条件有关。因此，首先以气体临界温度$t_c=-10℃$作为压缩气体与液化气体气

表 4-117 常用气瓶的设计压力和充装气体

气体类别		设计压力（P）MPa（kgf/cm²）	充装气体
压缩气体$t_c<-10℃$		29.4(300) 19.6(200)	空气、氧、氢、氮、氩、氖、氪、甲烷、煤气等
		14.7(150)	空气、氧、氢、氮、氩、氦、氖、甲烷、煤气、三氟化硼、四氟甲烷（F-14）等
液化气体$t_c\geq-10℃$	高压液化气体$-10℃\leq t_c\leq 70℃$	19.6(200) 14.7(150)	二氧化碳、氧化亚氮、乙烷、乙烯等
		12.3(125)	氙、氧化亚氮、六氟化硫、氯化氢、乙烷、乙烯、三氟氯甲烷（F-13）、三氟甲烷（F-23）、六氟乙烷（F-116）、偏二氟乙烯、氟乙烯、三氟溴甲烷（F-13B1）等
		7.8（80）	六氟化硫、三氟氯甲烷（F-13）、六氟乙烷（F-116）、偏二氟乙烯、氟乙烯、三氟溴甲烷（F-13B1）等
	低压液化气体$t_c>70℃$且在60℃时的$P_v>1kgf/cm^2$	4.9(50)	溴化氢、硫化氢、酰二氯（光气）等
		2.9(30)	氨、丙烷、丙烯、二氟氯甲烷（F-22）、三氟乙烷(F-143)等
		2（20）	氯、二氧化硫、环丙烷、六氟丙烯、二氯二氟甲烷（F-12）、偏二氟乙烷（F-152a）、三氟氯乙烯、氯甲烷、甲醚、四氧化二氮、氯化氢、溴甲烷等
		1（10）	正丁烷、异丁烷、异丁烯、1-丁烯、1，3-丁二烯、二氯氟甲烷（F-21）、二氯四氟乙烷（F-114）、二氟氯乙烷（F-142）、二氟溴氯甲烷（F-12B1）、氯乙烷、氯乙烯、溴乙烯、甲胺、二甲胺、三甲胺、乙胺、乙烯基甲醚、环氧乙烷等

注：1.t_c—临界温度，℃；P_v—饱和蒸气压，kgf/cm²；

2.设计压力为10kgf/cm²的气瓶，除考虑强度设计外，必要时还应对刚度进行校核。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

瓶的分界线。将t_c＜－10℃的气体列为压缩气体（又谓永久气体）。在液化气体中，t_c≥－10℃～≤70℃的列为高压液化气体，t_c＞70℃、且在60℃时的饱和蒸汽压力P_v＞1kgf/cm²列为低压液化气体。

界限“70℃”比气瓶允许最高工作温度“60℃”稍高些，这是考虑到t_c的计算误差等因素且从安全考虑，气瓶所盛装气体的t_c必须稍高于气瓶最高工作温度，才能确保低压液化气体在瓶内不发生液相至气相的相变。

4.6.1.4 设计压力

气瓶的设计压力在瓶子颈部打有钢印，槽车则在铭牌上写明。气瓶的设计压力应符合表4-117的规定。液化石油气汽车槽车、液化气铁路槽车的设计压力应符合表4-118的规定。

液化气气瓶的设计压力是按气体在60℃时的饱和蒸汽压圆整成一个十位数而得。液化石油气槽车则按气体在50℃时的饱和蒸气压乘1.1倍圆整成一个整数。

表 4-118 槽车的设计压力

介质种类		设计压力 (kgf/cm²)
液氨		22
液氯		16
液态二氧化硫		10
丙烯		22
丙烷		18
混合液化石油气①	50℃时，饱和蒸气压大于16.5kgf/cm²（表压）	22
	其余情况	18
正丁烷、异丁烷、丁烯、异丁烯、丁二烯		8

注：1.表中液氨、液氯、液态二氧化硫、丙烯、丙烷，均指工业原料气。

2.对于带遮阳罩的槽车，其设计压力允许降低2kgf/cm²。

①系指丙烯与丙烷或丙烯、丙烷与碳四的混合物。

4.6.1.5 气瓶漆色

各种气瓶必须按表4-119的规定进行漆色。

4.6.2 气体充装量

气瓶、槽车的充装量应保证在使用过程中可能达到的最高压力不超过它的设计压力。即：气瓶所装气体在60℃、槽车在50℃时的压力不高于设计压力。

4.6.2.1 气体状态方程

在气瓶、槽车充装的工程计算上，广泛地应用物理学中的气体定律，以确定任何气体物理状态的三个参变数（压力p、容积v和温度T）之间的关系。

1. 理论气体状态方程

$$pv = RT \tag{4-34}$$

该式称为克莱庇隆方程式。式中p为压力，MPa(kgf/cm²)；v为克分子比容，l/g·mol；T为绝对温度，K；R为气体通用常数，若以kgf/cm²为压力单位，则R = 0.0848kgf/cm²·l/g·mol·K，R值与气体种类无关。

2. 真实气体状态方程

真实气体（即实际气体）在密度比较小时，近似地遵守理想气体状态方程，真实气体偏离标准状态愈远，则与理想气体方程偏离愈大。

真实气体状态方程很多，工程上以应用图表计算的对比状态方程，即

$$pv = ZRT$$

它比克莱庇隆方程多一个因子Z。Z称为气体的压缩系数，无因次量。它表征每一种真实气体与理想气体的偏差程度。

4.6.2.2 压缩气体充装量（充装压力）

压缩气体充装量是以充装结束时的温度和压力来计量的。

表 4-119 气 瓶 漆 色

序号	气瓶名称	化学式	外表面颜色	字样	字样颜色	色环
1	氢	H_2	深绿	氢	红	P150不加色环，P200黄色环一道，P300黄色环二道
2	氧	O_2	天蓝	氧	黑	P150不加色环，P200白色环一道，P300白色环二道
3	氨	NH_3	黄	液氨	黑	
4	氯	Cl_2	草绿	液氯	白	
5	空气		黑	空气	白	P150不加色环，P200白色环一道，P300白色环二道
6	氮	N_2	黑	氮	黄	
7	硫化氢	H_2S	白	液化硫化氢	红	
8	碳酰二氯	$COCl_2$	白	液化光气	黑	
9	二氧化碳	CO_2	铝白	液化二氧化碳	黑	P150不加色环，P200黑色环一道
10	二氯二氟甲烷	CF_2Cl_2	铝白	液化氟氯烷-12	黑	
11	三氟氯甲烷	CF_3Cl	铝白	液化氟氯烷-13	黑	P80不加色环，P125草绿色环一道
12	四氟甲烷	CF_4	铝白	氟氯烷-14	黑	
13	二氯氟甲烷	$CHFCl_2$	铝白	液化氟氯烷-21	黑	
14	二氟氯甲烷	CHF_2Cl	铝白	液化氟氯烷-22	黑	
15	三氟甲烷	CHF_3	铝白	液化氟氯烷-23	黑	
16	二氯四氟乙烷	$CF_2Cl\text{-}CF_2Cl$	铝白	液化氟氯烷-114	黑	
17	六氟乙烷	CF_3CF_3	铝白	液化氟氯烷-116	黑	P80不加色环，P125草绿色环一道
18	三氟乙烷	CH_3CF_3	铝白	液化氟氯烷-143	黑	
19	偏二氟乙烷	CH_3CHF_2	铝白	液化氟氯烷-152a	黑	
20	二氟溴氯甲烷	CF_2ClBr	铝白	液化氟氯烷-12B1	黑	
21	三氟溴甲烷	CF_3Br	铝白	液化氟氯烷-13B1	黑	P80不加色环，P125草绿色环一道
22	二氟氯乙烷	CH_3CF_2Cl	铝白	液化氟氯烷-142	红	
23	甲烷	CH_4	褐	甲烷	白	P150不加色环，P200黄色环一道，P300黄色环二道
24	乙烷	C_2H_6	褐	液化乙烷	白	P125不加色环，P150黄色环一道，P200黄色环二道
25	丙烷	C_3H_8	褐	液化丙烷	白	
26	环丙烷	$\begin{matrix}CH_2\text{—}CH_2\\ \diagdown CH_2\diagup\end{matrix}$	褐	液化环丙烷	白	
27	正丁烷	正—C_4H_{10}	褐	液化正丁烷	白	
28	异丁烷	异—C_4H_{10}	褐	液化异丁烷	白	
29	乙烯	C_2H_4	褐	液化乙烯	黄	P125不加色环，P150白色环一道，P200白色环二道
30	丙烯	C_3H_6	褐	液化丙烯	黄	
31	1-丁烯	(1)-C_4H_8	褐	液化丁烯	黄	
32	异丁烯	异-C_4H_8	褐	液化异丁烯	黄	
33	1，3-丁二烯	(1，3)-C_4H_6	褐	液化丁二烯	黄	
34	氩	Ar	灰	氩	绿	P150不加色环
35	氦	He	灰	氦	绿	P200白色环一道
36	氖	Ne	灰	氖	绿	P300白色环二道
37	氪	Kr	灰	氪	绿	
38	氙	Xe	灰	液氙	绿	
39	三氟化硼	BF_3	灰	三氟化硼	黑	
40	溴化氢	HBr	灰	液化溴化氢	黑	
41	氟化氢	HF	灰	液化氟化氢	黑	
42	氯化氢	HCl	灰	液化氯化氢	黑	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

序号	气瓶名称	化学式	外表面颜色	字样	字样颜色	色环
43	氧化亚氮	N_2O	灰	液化氧化亚氮	黑	P125不加色环，P150草绿色环一道
44	四氧化二氮	N_2O_4	灰	液化四氧化二氮	黑	
45	二氧化硫	SO_2	灰	液化二氧化硫	黑	
46	六氟化硫	SF_6	灰	液化六氟化硫	黑	P80不加色环，P125草绿色环一道
47	六氟丙烯	C_3F_6	灰	液化六氟丙烯	黑	
48	煤气		灰	煤气	红	P150不加色环，P200黄色环一道，P300黄色环二道
49	乙烯基甲醚	$CH_2=CHOCH_3$	灰	液化乙烯基甲醚	红	
50	氯甲烷	CH_3Cl	灰	液化氯甲烷	红	
51	氯乙烷	C_2H_5Cl	灰	液化氯乙烷	红	
52	氯乙烯	$CH_2=CHCl$	灰	液化氯乙烯	红	
53	三氟氯乙烯	$CF_2=CFCl$	灰	液化三氟氯乙烯	红	
54	溴甲烷	CH_3Br	灰	液化溴甲烷	红	
55	溴乙烯	$CH_2=CHBr$	灰	液化溴乙烯	红	P80不加色环
56	氟乙烯	$CH_2=CHF$	灰	液化氟乙烯	红	P125黄色环一道
57	偏二氟乙烯	$CH_2=CF_2$	灰	液化偏二氟乙烯	红	
58	甲胺	CH_3NH_2	灰	液化甲胺	红	
59	二甲胺	$(CH_3)_2NH$	灰	液化二甲胺	红	
60	三甲胺	$(CH_3)_3N$	灰	液化三甲胺	红	
61	乙胺	$C_2H_5NH_2$	灰	液化乙胺	红	
62	甲醚	$(CH_3)_2O$	灰	液化甲醚	红	
63	环氧乙烷	CH_2-CH_2 $\diagdown\ O\ \diagup$	灰	液化环氧乙烷	红	
64	乙炔	C_2H_2	白	乙炔	红	正面写"不可近火"

注：表中P系气瓶设计压力，单位为kgf/cm²。

由真实气体状态方程式得：

$$\frac{p_0 v_0}{Z_0 T_0} = \frac{pv}{ZT} \tag{4-35}$$

又：一般$v_0 \approx v$，　∴得：$p_0 = \dfrac{pT_0 Z_0}{TZ}$　　(4-36)

式中：p_0、p分别为气瓶充装压力和设计压力（绝对压力），MPa(kgf/cm²)；T_0、T分别为气瓶充装（结束时）的温度和最高使用温度（$273+60=333K$），K；Z_0、Z分别为在p_0、T_0或p、T下气体的压缩系数。请按图4-15、4-16查阅。

4.6.2.3 液化气体充装量（充装系数）

1. 高压气体充装量

高压液化气体的充装量与压缩气体一样，必须保证所装入液化气体全部气化后在60℃下的压力不超过气瓶设计压力。液化气体充装系数（单位容积内所充装的重量）不应大于它在温度为60℃、压力为气瓶设计压力下的密度。

由于液体的状态方程可以写出与真实气体相同的状态方程式，对于单位重量的液体，需引入分子量时，则状态方程为

$$pv = \frac{ZRT}{M}，\text{或}\quad v = \frac{ZRT}{pM} \tag{4-37}$$

因此，高压液化气体的充装系数（F_d）为：

$$F_d \leqslant \frac{1}{v} = \frac{pM}{ZRT} = \frac{pM}{84.8 \times 333Z} = \frac{3.54pM}{Z} \times 10^{-3} \qquad (4\text{-}38)$$

式中 F_d——高压液化气体充装系数，g/ml或kg/l；

v——气体比容，ml/g或l/kg；

p——气瓶设计压力，kgf/cm²（绝对压力）；

T——气瓶最高使用温度，333；K

M——气体分子量；

R——气体常数，84.8（kgf/cm²）/·K；

Z——气体在绝对压力为p、绝对温度为T时的压缩系数；

高压液化气体在各种温度和压力下的压缩系数Z可以根据它的对比压力p（$p_r = \frac{p}{p_c}$，p_c为气体的临界压力）和对比温度T_r（$T_r = \frac{T}{T_c}$，T_c为气体的临界温度）从图4-15和图4-16中分别查出Z^0和Z'，然后按下式计算：

$$Z = Z^0 + Z'\theta \qquad (4\text{-}39)$$

$$\theta = \frac{3}{7}\left\{\frac{\lg p_c}{(T_c/T_b)-1}\right\} - 1.0$$

式中 Z——气体的压缩系数；

Z^0——简单气体的压缩系数；

Z'——非简单气体（$\theta \neq 0$）压缩系数校正值；

θ——压缩系数校正因数；

p_c——气体的临界压力，kgf/cm²（绝对压力）；

T_c——气体的临界温度，K；

T_b——气体的沸点（常压下），K。

对于混合气体（例如：不同组份的液化石油气），则应以假临界压力p'_c和假临界温度T'_c来代替p_c和T_c，算出对比压力p_r和对比温度T_r，然后再按上述方法进行计算。混合气体的假临界压力p'_c和假临界温度T'_c按下式计算：

$$p'_c = \sum X_i p_i \text{或} \sum W_i p_i \qquad (4\text{-}40)$$

$$T'_c = \sum X_i T_i \text{或} \sum W_i T_i \qquad (4\text{-}41)$$

式中 X_i——i组分的分子分数；

W_i——i组分的重量分数；

p_i——i组分的临界压力，kgf/cm²（绝对压力）；

T_i——i组分的临界温度，K。

例题 确定设计压力为125kgf/cm²（表压力）的气瓶充装乙烯的充装系数。

解：查表得乙烯的分子量、沸点（常压下）、临界压力和临界温度分别为

$M = 28.05$；$T_b = 169.45$K；$p_c = 52.17$kgf/cm²（绝对压力）；$T_c = 283.05$K；

由此得它的对比压力和对比温度分别为：

$$p_r = \frac{p}{p_c} = \frac{126}{52.17} = 2.41 \quad T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{333}{283.05} = 1.176$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

查图4-15和图4-16分别得：

$$Z^0=0.52;\quad Z'=0.1,$$

校正因数为

$$\theta=\frac{3}{7}\left[\frac{\lg p_c}{(T_c/T_b)-1}\right]-1.0=\frac{3}{7}\left[\frac{\lg 52.17}{(283.05/169.45)-1}\right]-1.0=0.103$$

故气体的压缩系数由公式（6-38）得：

$$Z=Z^0+Z'\theta=0.52+0.1\times0.103=0.53$$

由公式（4-37）得气体的充装系数为

$$F_d\leqslant\frac{3.54pM}{Z}\times10^{-5}=\frac{3.54\times126\times28.05}{0.53}\times10^{-5}$$

$$\leqslant0.24\quad kg/l$$

得知 F_d，按气瓶容积即可算出充装量。

2．低压液化气体充装量（充装系数）

气瓶内的低压液化气体在正常状态下是以气液两态并存的。温度升高，除了瓶内气体的饱和蒸气压增大以外，瓶内的液体还要膨胀，当温度到一定的程度以后，瓶内的容积有可能全被液体所充满，此时如温度继续增加，则由于液体的膨胀就会使瓶内的压力急剧增高，甚至发生爆炸事故。因此，就必须使瓶内的液化气体在气瓶可能达到的最高温度下不会全部为液体所充满，也即是液化气体充装系数不应大于所装液化气体在60℃时液相的密度。为了保证安全，并考虑到量具等的误差，还需要有适当的裕量。一般是充装系数为所装液化气体在60℃时液相密度的95～98%。这样，还有2～5%的气相空间（实际上液体不会占95～98%；因为气相部分还占有一定的重量）。

因此，低压液化气体的充装系数即为

$$F_d\leqslant(0.95\sim0.98)\ \rho \tag{4-42}$$

式中ρ为液化气体在温度为60℃下的液相密度。

各种液化气体在上述条件下的密度ρ可以根据它在任一已知温度T_0下的密度ρ_0按下式计算：

$$\rho=\frac{\omega\rho_0}{\omega_0} \tag{4-43}$$

式中ω和ω_0分别为液化气体在温度为60℃（333°K）和T_0时的液体膨胀因数。ω和ω_0分别可以根据液化气体在温度为333°K时的对比压力 $p_r\left(p_r=\frac{p}{p_c}\right.$，$p$为333°K时的饱和蒸气压，$p_c$为临界压力$\left.\right)$、对比温度 $T_r\left(T_r=\frac{T}{T_c}=\frac{333}{T_c}\right.$，$T_c$为临界温度$\left.\right)$和在温度为$T_0$时的对比压力 $p_{r0}\left(p_{r0}=\frac{p_0}{p_c}\right.$，$p_0$是温度为$T_0$时的饱和蒸气压$\left.\right)$、对比温度 $T_{r0}\left(T_{r0}=\frac{T_0}{T_c}\right)$由图4-20查出。

多组分的饱和液体的密度，则应以假临界压力p'_c和假临界温度T'_c来代替p_c和T_c算出T_r和p_r，然后再按上述方法计算。有关假临界压力p'_c和假临界温度T'_c的计算方法与高压液化气体相同。

例题 已知氨在50℃时的液相密度为0.5629kg/L，在此温度下的饱和蒸气压力为 20.73

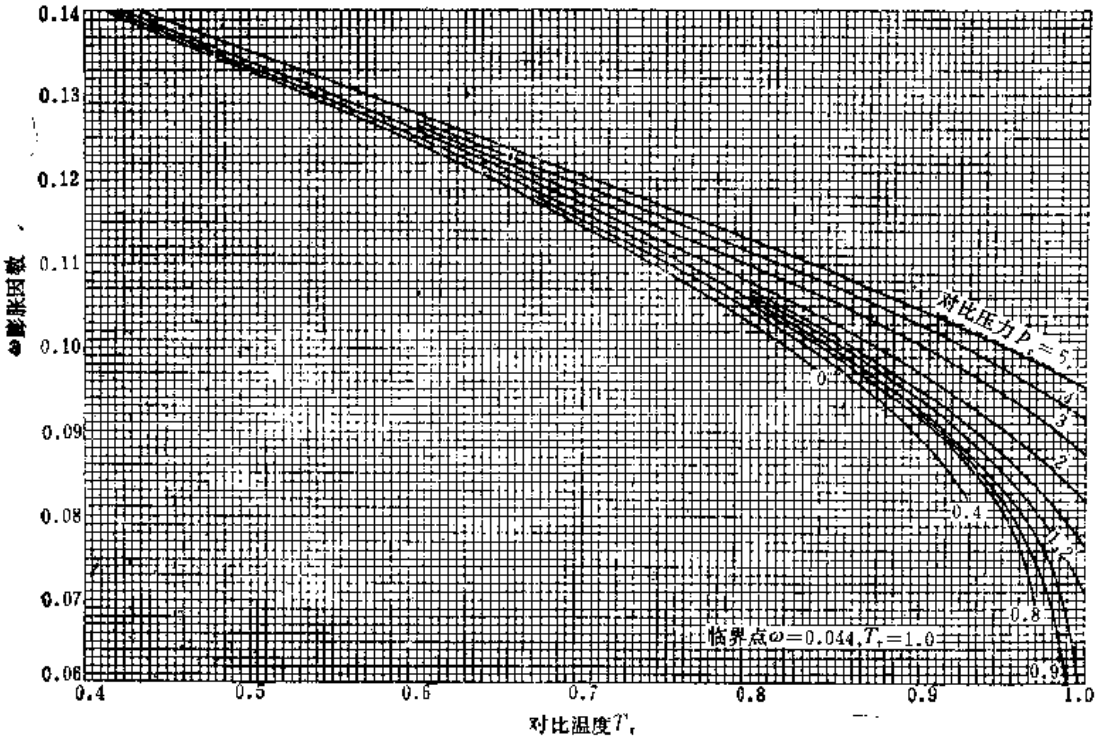


图 4-20 饱和液体膨胀因数

kgf/cm²（绝对压力），试确定其充装系数。

解：查表得氨的临界压力 $p_c=116$kgf/cm²（绝压）；临界温度 $T_c=406$K。氨在60℃时的饱和蒸气压为 $p=26.5$kgf/cm²（绝压）。

又 $T_0=273+50=323$K；$p_0=20.73$kgf/cm²（绝对压力）；$\rho_0=0.5629$kg/l；$T=273+60=333$K

则 $$p_r=\frac{p}{p_c}=\frac{26.5}{116}=0.228;\qquad T_r=\frac{T}{T_c}=\frac{333}{406}=0.82$$

由图4-20得 $\omega=0.1015$；

$$p_{r0}=\frac{p_0}{p_c}=\frac{20.73}{116}=0.179;\ T_{r0}=\frac{T_0}{T_c}=\frac{323}{406}=0.796$$

由图4-20得 $\omega_0=0.1045$。

则氨在60℃时的液相密度为

$$\rho=\frac{\omega\rho_0}{\omega_0}=\frac{0.1015\times0.5629}{0.1045}=0.5467$$

故氨的充装系数应为

$$F_d\leqslant0.98\rho=0.98\times0.5467=0.535\text{kg/l}。$$

常见高压液化气体、低压液化气体气瓶的充装系数分别见表4-120，表4-121。

4.6.2.4 溶解乙炔钢瓶的充装

溶解乙炔钢瓶内充装溶剂丙酮和溶解乙炔。

新瓶第一次充装丙酮量为

$$W=0.38\delta V \tag{4-44}$$

式中：W为丙酮充装量，kg；δ为填料孔隙率，%；V为钢瓶实际容积，L。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-120 低压液化气体的充装系数

序号	气体名称	充装系数(kg/l)不大于	序号	气体名称	充装系数(kg/l)不大于
1	氨	0.53	20	二氟氯甲烷（F-22）	1.02
2	氯	1.25	21	二氯四氟乙烷(F-114)	1.31
3	溴化氢	1.19	22	二氟氯乙烷（F-142）	0.99
4	硫化氢	0.66	23	三氟乙烷（F-143）	0.66
5	二氧化硫	1.23	24	偏二氟乙烷(F-152a)	0.79
6	四氧化二氮	1.30	25	二氟溴氯甲烷（F12B1）	1.62
7	碳酰二氯（光气）	1.25	26	三氟氯乙烯	1.10
8	氯化氢	0.83	27	氯甲烷（甲基氯）	0.81
9	丙烷	0.41	28	氯乙烷（乙基氯）	0.80
10	环丙烷	0.53	29	氯乙烯（乙烯基氯）	0.82
11	正丁烷	0.51	30	溴甲烷（甲基溴）	1.57
12	异丁烷(2-甲基丙烷)	0.49	31	溴乙烯（乙烯基溴）	1.37
13	丙烯	0.42	32	甲胺	0.60
14	异丁烯（2-甲基丙烯）	0.53	33	二甲胺	0.59
15	丁烯-1	0.53	34	三甲胺	0.56
16	丁二烯-1,3	0.55	35	乙胺	0.62
17	六氟丙烯（全氟丙烯）	1.06	36	甲醚（二甲醚）	0.58
18	二氯二氟甲烷（F-12）	1.14	37	乙烯基甲醚（甲基乙烯基醚）	0.67
19	二氯氟甲烷（F-21）	1.25	38	环氧乙烷（氧化乙烯）	0.79

表 4-121 高压液化气体的充装系数

序号	气体名称	化学式	气瓶在不同设计压力（kgf/cm²）下的充装系数kg/l不大于			
			200	150	125	80
1	氙	Xe			1.23	
2	二氧化碳	CO_2	0.74	0.60		
3	氧化亚氮（笑气）	N_2O		0.62	0.52	
4	六氟化硫	SF_6			1.33	1.17
5	氯化氢	HCl			0.57	
6	乙烷	C_2H_6〔CH_3CH_3〕	0.37	0.34	0.31	
7	乙烯	C_2H_4〔$CH_2=CH_2$〕	0.34	0.28	0.24	
8	三氟氯甲烷〔F-13〕	CF_3Cl			0.94	0.73
9	三氟甲烷〔F-23〕	CHF_3			0.76	
10	六氟乙烷〔F-116〕	C_2F_6〔CF_3CF_3〕			1.06	0.83
11	偏二氟乙烯	$C_2H_2F_2$〔$CH_2=CF_2$〕			0.66	0.46
12	氟乙烯〔乙烯基氟〕	C_2H_3F〔$CH_2=CHF$〕			0.54	0.47
13	三氟溴甲烷〔F-13B1〕	CF_3Br			1.45	1.33

乙炔瓶充装前必须逐个测定实际重量和瓶内剩余压力，并求出剩余乙炔量（G_s）：

$$G_s=0.48\delta Va\gamma_s(p_s+1)\times10^{-3} \quad (4-45)$$

式中：G_s为剩余乙炔量，kg；a为乙炔在丙酮中的溶解度；p_s为乙炔瓶内剩余压力，kgf/cm²；γ_s为乙炔重度，kg/m³。

乙炔瓶在充装前，必须根据乙炔瓶净重、实重和剩余乙炔量，确定丙酮补加量：

$$\text{丙酮补加量}=\text{乙炔瓶净重}+\text{剩余乙炔量}-\text{实重} \quad (4-46)$$

补加丙酮后，必须对丙酮充装量进行复核，允差0.5kg。超差的乙炔瓶应进行处理。

乙炔瓶充装乙炔在15℃时，限定充装压力为 15.5kgf/cm² 以下。在不同的环境温度下充装时，其静置后的限定压力，应以此为准进行换算。

乙炔瓶充气后，应逐个测定瓶内乙炔重量。其限定充装量为：

$$G = 0.198\delta V \tag{4-47}$$

式中δ、V同式4-46。

瓶内乙炔重量超过式（4-47）计算值时，严禁出厂。而瓶内单位容积乙炔充装量低于0.12kg/l时，必须妥善处理。

4.6.2.5 液化气槽车充装

（1）槽车充装前，应有专人对槽车进行检查，凡有表4-122列情况之一者，应事先进行妥善处理，否则严禁充装！

（2）槽车充装量必须严格控制，严禁超装！

槽车的最大充装量，不得超过式4-48计算所得的数值。

$$W = \phi V \tag{4-48}$$

式中 W——槽车的最大充装量，T；

ϕ——重量充装系数，T/m³，见表4-123；

V——罐体的实测容积，m³。

表 4-122 槽车的充装前检查

序号	严禁充装的条件
1	槽车定期检验的期限，已经超过者
2	槽车的涂色、字样、标记，和充装物料不符者；或脱落而不易识别其种类者
3	外表腐蚀或有明显损坏、变形者
4	附件不全、损坏、失灵或不符合安全规定者
5	槽内无余压，且未判明槽内残留物料品名者
6	液化石油气槽车内气体含氧量超过3%者
7	槽内残留物料重量不明者
8	罐体密封性能不良或各密封面及附件有泄漏者
9	钢路槽车的走行或制动部分超期未检修者
10	汽车槽车罐体的固定装置，有明显损坏者
11	自备槽车、不具备产品合格证、质量证明书者
12	不符合当地劳动部门或铁路局规定者

表 4-123 常见介质的重量充装系数

充装介质种类	重量充装系数T/m³
液氢	0.52
液氮	1.20
液态二氧化硫	1.20
丙烯	0.43
丙烷	0.42
混合液化石油气	0.42
正丁烷	0.51
异丁烷	0.49
丁烯、异丁烯	0.50①
丁二烯	0.55

①汽车槽车充装丁烯的重量充装系数，为0.53T/m³。

（3）槽车充装完毕后，应认真填写充装记录，复检充装量。对铁路槽车还应进行下列检查：

① 气、液阀门加盲板；

② 关闭压力表座阀门和紧急切断阀；

③ 各密封面进行泄漏检查；

④ 检查封车压力。

4.6.3 温度升高时满液瓶压的变化

过量充装是液化气瓶发生爆炸的主要原因。这是因为液体的可压缩性很小，而其膨胀性很大的缘故，两者相比差一个数量级。满液钢瓶温度升高1℃，瓶内压力将增加10～20atm。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

低压液化气瓶若满液充装，只要温升5～10℃，就会因瓶内压力骤增而瓶子屈服变形甚至爆炸。

4.6.3.1 过量充装钢瓶温度升高时压力值

满液钢瓶温度上升时压力的变化，对高压液化气瓶当温度$>t_c$时，可利用式（4-36），将密度ρ（v的倒数）、温度T代入，经逐步接近法（先假定p，查到Z计算出p'，若p与p相差大，重新假定逐步接近）求出压力p。对低压液化气瓶或温度低于临界温度的高压液化气瓶，则可利用下面公式进行计算。

$$p_2=\frac{\beta-3\beta_0}{\alpha+\Omega}\Delta t+p_1 \tag{4-49}$$

式中 p_2——t_1时满液钢瓶温度升至t_2时瓶内压力，atm；

p_1——对应t_1的饱和气压，参见表6-13，atm；

β——液体的平均膨胀系数$\beta=\frac{\beta_1+\beta_2}{2}$，1/℃；$\beta_1$、$\beta_2$分别为温度$t_1$、$t_2$下的膨胀系数。

β_0——瓶材线膨胀系数，对钢材可取12×10^{-6}；

α——液体的平均压缩系数，$\alpha=\frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}$，1/atm；$\alpha_1$、$\alpha_2$分别为温度$t_1$、$t_2$下的压缩系数。

Ω——压力升高时气瓶容积增大系数，在压力不超过瓶材屈服压力时，可根据气瓶内外径之比$\beta\left(=\frac{d_w}{d_n}\right)$，从表4-124选用；

Δt——温度升高值，$\Delta t=t_2-t_1$，℃。

表 4-124 气瓶容积增大系数，Ω

β	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07
$\Omega\times10^6$	48	32	24	19.4	16.3	14
β	1.08	1.09	1.10	1.15	1.20	1.50
$\Omega\times10^6$	12.3	11	10	7.3	5.6	2.85

若已知超装量欲求温度t_2时的瓶内压力，则先由超装量和瓶容积计算饱和液体密度，由饱和液体密度查阅有关资料可知满液时的温度t_1，再根据t_2与临界温度t_c的大小利用式（4-49）进行计算。

4.6.3.2 防止气瓶超装的措施

为防止气瓶超装应做好以下几个方面工作。

① 专人负责 充装工作应由专人负责，充装人员应定期进行安全教育和考核，认真操作，不得擅自离岗。

② 抽空余液 核实瓶重。

③ 称量器具，定期校验 用于液化气体罐装的称量器具至少每三个月校验一次，所用

称量器具的最大称量值为常用量值的1.5～3倍。

④ 按瓶立卡，认真记录。

⑤ 重复过磅　灌装钢瓶应有专人负责重复过磅。

⑥ 自动计量，超量报警　装置自动计量设备，超量能自动报警并切断阀门。

4.6.4 使用管理

4.6.4.1 使用

气瓶在使用中，应遵守下列规定：

（1）禁止敲击，正确操作　充装可燃气体的气瓶，注意防止产生静电，开、关瓶阀时不得用铁扳手等敲击。高压气瓶开阀时应缓慢开启。氧气瓶严禁沾染油脂；

（2）远离明火，防止受热　气瓶与明火的距离一般应保持在10m以上。气瓶要防止太阳曝晒，远离热源。冬天瓶阀冻结，不得用火烘烤或蒸汽直接加热，可采用温水等办法解冻；

（3）专瓶专用，留有余压　气瓶应专瓶专用，不要擅自改装他类气体。气瓶内气体不得用尽，必须留有余压；

（4）维护保养，定期检验　做好气瓶的维护保养工作，防止腐蚀，保持漆色、字样清晰、完整。按照表4-125的规定，到期送经劳动部门批准的验瓶单位检验；

（5）盛装易起聚合反应的气体气瓶，严格控制气体的成份，并不得置于有放射性线的场所。

表 4-125　气瓶的定期检验年限

名　　称	年　　限	备　　注
盛装腐蚀性介质的气瓶	每 二 年	气瓶使用中，发现有严重腐蚀或严重损伤时，应提前进行检验
盛装一般气体的气瓶	每 三 年	
盛装惰性气体的气瓶	每 五 年	

4.6.4.2 运输

运输气瓶时，应严格遵守公安和交通部门颁发的危险品运输规则、条例及有关规定，并应符合表4-126的要求。

4.6.4.3 储存

储存气瓶，应符合下列规定：

（1）旋紧瓶帽，放置整齐，留有通道，妥善固定。气瓶卧放应防止滚动，头部朝向一方，高压气瓶堆放不应超过五层；

（2）盛装有毒气体的气瓶，或所装介质互相接触后能引起燃烧、爆炸的气瓶，必须分室储存，并在附近设有防毒用具或灭火器材；

（3）盛装乙炔、四氟乙烯等化学性质活泼气体的钢瓶，必须规定储存期限，到期及时处理；

（4）空瓶、满瓶要分开堆放，防止混淆。储存气瓶应定期检查，防止泄漏，防止腐蚀；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 4-126 气瓶的安全运输

名　称	安　全　要　求
装车固定	横向放置，头朝一方，旋紧瓶帽。备齐防震圈，瓶下用三角形木块等卡牢，装车不超高
分类装运	氧气、强氧化剂气瓶不得与易燃品、油脂和带油污的物品同车混装；所装介质相互接触，能引起燃烧，爆炸的气瓶不得混装
轻装轻卸	不抛、不滑、不碰、不撞，不得用电磁起重机搬运
禁止烟火	禁止吸烟，不得接触明火
遮阳防晒	夏季要有遮阳和防雨设施，防止日光曝晒，防止雨淋
灭火防毒	车上应备有灭火器材或防毒用具
安全标志	车前应悬挂黄底黑字“危险品”字样的三角旗

（5）储存气瓶的仓库建筑，应符合TJ16-74《建筑设计防火规范》的规定。

4.6.4.4 **定期检验**

1．定期检验年限

各种气瓶必须定期进行技术检验。气瓶的定期检验年限见表4-125。

2．定期检验项目

气瓶定期技术检验的项目，见表4-127。

表 4-127 气瓶定期检验项目

项　目①	检　验　重　点	方　法
外表面检查	外伤、划痕、裂纹、变形	采用宏观、锤击、量具检验
内表面检查	内伤痕、腐蚀	采用宏观、锤击、量具检验
水压试验	严密性、强度	水压试验压力为气瓶设计压力的1.5倍。水压试验方法，详见本节4.6.4.4中（3），水压试验规则
壁厚测定②	腐蚀、强度	超声波等测厚

① 盛装剧毒或高毒的气瓶，除按本表进行定期检验外，还应进行气密性试验。

② 有以下情况之一的，应测定气瓶最小壁厚：

a．高压气瓶的容积残余变形率＞6％；

b．＞12L的高压气瓶，瓶重损失超过5％；

c．气瓶有严重腐蚀或有其他影响强度的缺陷时。

3．水压试验规则

① 气瓶进行水压试验前，内部必须彻底清理，同时进行内、外部检查；新制造的气瓶要逐个测定重量。

② 气瓶进行水压试验时，应遵守以下各点：

（Ⅰ）气瓶罐满水后，在试压以前，应停留一定的时间，以排除瓶内残留气体。

（Ⅱ）试验环境气温和试验用水温度不低于5℃。

（Ⅲ）气瓶与操作人员之间应设置可靠的防护设施。

（Ⅳ）试压系统不得渗漏和存留气体。

（Ⅴ）试验时，应先升压至设计压力，然后卸压，反复进行数次，以排除水中气体；然后再缓慢升压，如无渗漏现象，继续升压至试验压力；试验压力下的持续时间，对新制造的

高压气瓶，不得少于1分钟，定期检验的高压气瓶1～2分钟；新制造的低压气瓶不得少于3分钟，定期检验的低压气瓶不得少于5分钟。

（Ⅵ）容积大于12 L的高压气瓶，如使用单缸试压泵进行水压试验，活塞的起始和终止位置，均应在同一死点上。

（Ⅶ）不应连续对同一气瓶重复做超压试验。

（Ⅷ）试压泵上应装有2只级别不低于1.5级的压力表。压力表的校验期限，不得超过3个月。

（Ⅸ）气瓶称重衡器的最大刻度值，应为常用称重量的1.5～3.0倍。气瓶称重衡器的校验期限不得超过3个月。

③ 容积大于12 L的高压气瓶，在做水压试验的同时，应进行容积残余变形测定。

容积残余变形率（η）用下式计算：

$$\eta = \frac{\Delta V'}{\Delta V} \times 100\% \tag{4-50}$$

式中 $\Delta V'$——容积残余变形值，ml；

ΔV——容积全变形值，ml。

用内测法测定容积残余变形时，容积全变形值用下式计算：

$$\Delta V = \frac{1}{1 + p_g \cdot \beta_t}(A - B - V \cdot p_T \cdot \beta_t) \tag{4-51}$$

式中 A——试验时总压入水量，ml（实际测定）；

B——试验管路在试验水温和试验压力下的压入水量，ml（实际测定，不包括管路容积。在5～40℃范围内任意水温下的实测值均可；不同试验压力使用同一管路时，应按不同试验压力分别测定；管路的几何尺寸改变时应重新测定）；

V——气瓶实际容积，ml；

p_T——试验压力，kgf/cm^2；

β_t——试验压力及试验水温下的水的等温压缩系数。

④ 降压使用或报废的标准。气瓶经技术检验，按表4-128的要求，降压使用或报废。

表 4-128 判别标准

判别	气瓶缺陷
报废	瓶壁有裂纹、渗漏或明显变形、被火烧过的
降压使用或报废	经测量最小壁厚，进行强度校核①，不能按原设计压力使用 高压气瓶的容积残余变形率＞10%

① 不包括腐蚀裕度。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第5章 电气安全

5.1 电气安全基础

5.1.1 触电事故种类

5.1.1.1 电击和电伤

触电事故是电流的能量直接或间接作用于人体造成的伤害。按照能量施加方式的不同，可分为电击和电伤。

1. 电击

电击是电流通过人体内部，人体吸收局外能量受到的伤害。主要伤害部位是心脏、中枢神经系统和肺部。人体遭受数十毫安工频电流电击时，时间稍长即会致命。电击是全身伤害，但一般不在人身表面留下大面积明显的伤痕。

2. 电伤

电伤是电流转变成其它形式的能量对人体造成的伤害。包括：（1）电能转化成热能造成的电弧烧伤和灼伤；（2）电能转化成化学能或机械能造成的电印记、皮肤金属化和机械损伤等。电弧温度高达6000℃，除烧伤人体表面外，还会伤及体内，造成死亡或残废。电伤多是局部性伤害，在人体表面留有明显的伤痕。

5.1.1.2 电击种类

低压系统的触电事故大多数是电击造成的。按其形成方式可分为以下三种电击。

1. 单线电击

是人体站立地面，手部或其它部位触及带电导体造成的电击（图5-1a）。接地电网中单线电击的危险性一般都大于相同电压的不接地电网中单线电击的危险性。

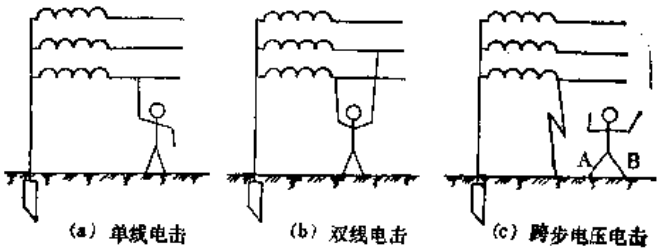


图 5-1 电击形成方式

2. 双线电击

是人体不同部位同时触及对地电压不同的两相带电导体造成的电击（图5-1b）。双线电击的危险性大于单线电击的危险性。

3. 跨步电压电击

是人的两脚处在对地电压不同的两点造成的电击。图5-1c表示带电导线接地、接地点

周围地面带电，A、B两点电位不同，人体承受跨步电压遭到电击的情况。

5.1.1.3 直接接触电击和间接接触电击

1．直接接触电击

是设备和线路正常运行时人体触及带电体造成的电击。

2．间接接触电击

是设备或线路发生故障时，人体触及正常时不带电而故障时意外带电的导体造成的电击。

5.1.2 电流对人体的作用

电击的危险性，亦即电流对人体的作用受电流大小、通电时间、电流种类、电流途径、人体状况等因素的影响。

5.1.2.1 电流界限

人体在电流的作用下，会有麻、针刺、打击、疼痛、痉挛、呼吸困难、血压升高、心跳不规则、心室颤动等感觉或症状。引起各种感觉或症状的电流并非某一确定值，而是一个确定的范围。

1．感知阈值

感知阈值是引起人体感觉的最小电流值。男性平均感知阈值（概率50%）约为1.1mA（指工频有效值，下同）、女性约为0.7mA。

2．摆脱阈值

摆脱阈值是人能自主摆脱带电导体的最大电流值。男性平均摆脱阈值（概率50%）约为16mA、女性约为10.5mA；男性最小摆脱阈值（概率99.5%）约为9 mA、女性约为6 mA。

3．室颤阈值

室颤阈值是引起心室颤动的最小电流值。由于心室颤动最易使人致命，可以认为室颤阈值是最小致命电流值。心室颤动是心室每秒400～600次以上的纤维性颤动。心室颤动时，血液中止循环。如通电时间超过心脏搏动周期，数十毫安的电流通过人体即可能引起心室颤动。

工频电流对人体作用的区段划分可参考图5-2和表5-1。图5-2中，a以下的①区通常是没有生理效应的区域；a和b之间的②区通常是有感觉但没有有害生理效应的区域；b和c_1之间的③区通常是有病理伤害但不引起心室颤动的区域；c_1线以上的④区是有心室颤动危险的区域；c_2线相应于心室颤动概率为5%；c_3线相应于心室颤动概率为50%。表5-1中，O是没有感觉的范围；A_1、A_2、A_3是不引起心室颤动，不致造成严重后果的范围；B_1、B_2是容易造成严重后果的范围。

5.1.2.2 电流持续时间

1．影响机理

随着通电时间延长，人体吸收局外能量增加、电流将重合心脏易激期、而且人体电阻也将下降。因此，通电时间越长，电击的危险性越大。

2．考虑方法

心室颤动电流随通电时间增加而减小。对此有两种常用的定量考虑方法。第一种考虑方法的表达式为

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

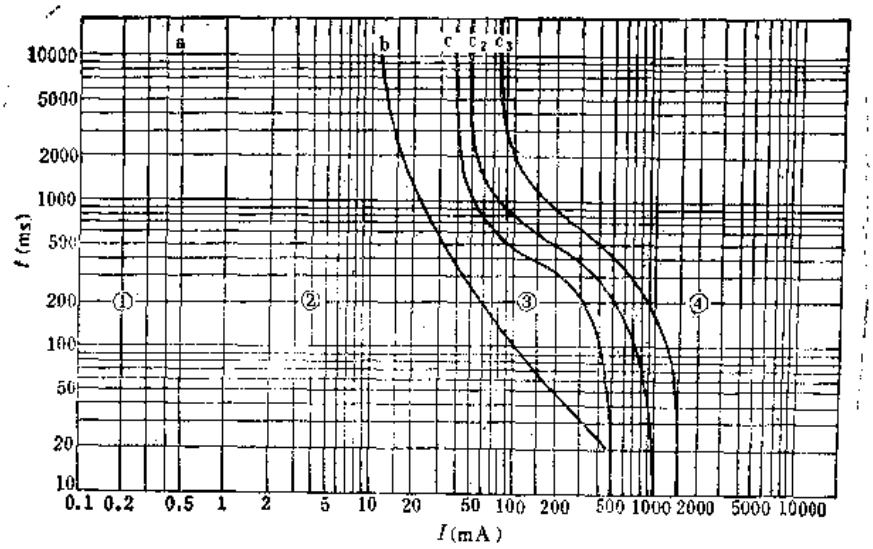


图 5-2 直流电流对人体作用区段划分

表 5-1 电流对人体作用区段表

电流范围	电流，mA	通电时间	人体生理反应
O	0～0.5	连续通电	没有感觉
A_1	0.5～5	连续通电	开始有感觉，手指手腕等处有痛感，没有痉挛，可以摆脱带电体
A_2	5～30	数分钟以内	痉挛，不能摆脱带电体，呼吸困难，血压升高，是可以忍受的极限
A_3	30～50	数秒到数分	心脏跳动不规则，昏迷，血压升高，强烈痉挛，时间过长即引起心室颤动
B_1	50～数百	小于心脏搏动周期 超过心脏搏动周期	受强烈冲击，但未发生心室颤动 昏迷，心室颤动，接触部位留有电流通过的痕迹
B_2	数百以上	小于心脏搏动周期 超过心脏搏动周期	在心脏搏动周期中的特定时刻触电时，发生心室颤动，昏迷，接触部位留有电流通过的痕迹 心脏停止跳动，昏迷，可能致命的电灼伤

$$I = \frac{K}{\sqrt{t}}$$

式中 I——室颤阈值，mA；

t = 0.01～5 s——通电时间；

K——计算系数，体重50kg取116、体重70kg取165。

第二种考虑方法的表达式为

$$I = \begin{cases} 50 & t \geqslant 1\text{ s} \\ 50\,t & 0.01\text{ s} \leqslant t \leqslant 1\text{ s} \end{cases}$$

式中 I——室颤阈值；mA；

t——通电时间，s。

5.1.2.3 电流种类

就电击而言，工频电流对人体的伤害大于直流电流和高频电流对人体的伤害。工频电流、直流、10^4Hz提高频率电流对人体作用的比较列入表5-2。

表 5-2 电流对人体作用的比较

种类		工频电流	直流	10^4Hz电流
平均感知阈值，mA	男	1.1	5.2	12
	女	0.7	3.5	8
平均摆脱阈值，mA	男	16	76	75
	女	10.5	51	50
室颤阈值（通电时间1s），mA		50	200	—

对于沿双脚到左手的途径，直流电流对人体作用的区段划分见图5-3。图中，a线以下的①区通常是没有生理效应的区域；a线与b线之间的②区通常是没有有害生理效应的区域；b线与c线之间的③区通常是有病理伤害但不引起心室颤动的区域；c线以上的④区是除表现有③区的病理效应外，还可能有室颤危险及严重烧伤等病理效应的区域。不同频率的摆脱阈值见图5-4。

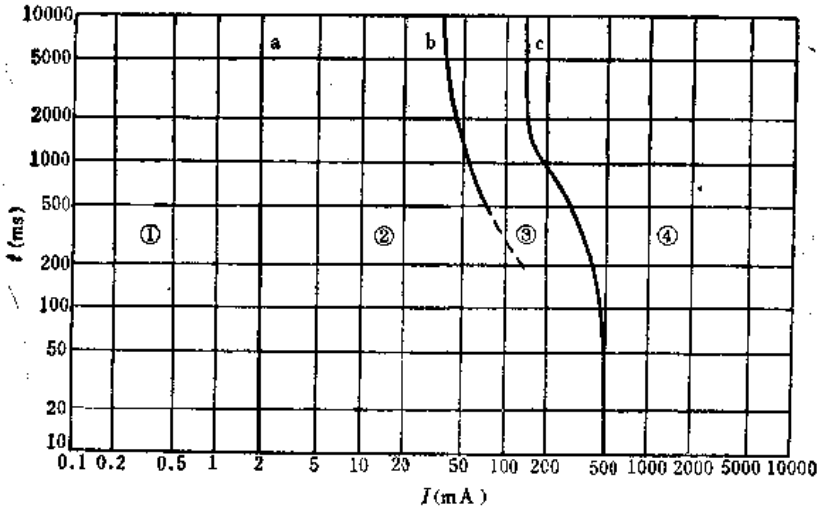


图 5-3 直流电流对人体作用区段划分

5.1.2.4 电流途径

电流途径经过心脏者，电击危险性大。左手-前胸、左手-右手、手-脚都是很危险的途径。脚-脚及局部肢体的途径的危险性较小，但遭电击后，由于失去自我控制能力，可能出现新的电流途径。

心脏电流周数是沿给定途径流过电流时心脏内电场强度与经左手-双脚流过同样电流时心脏内电场强度的比值。心脏电流周数可用于定量评定不同电流途径的危险程度。心脏电流周期见表5-3。流过提定途径的等效作用的电流可按下式计算：

$$I_e = \frac{I_n}{F}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-3 心脏电流因数

电流途径	心脏电流周数
左手—双脚	1.0
双手—双脚	1.0
左手—右手	0.4
右手—右脚、左脚或双脚	0.8
后背—右手	0.3
后背—左手	1.7
前胸—右手	1.3
前胸—左手	1.5
臀部—左手、右手或双手	0.7

式中 I_n——图5-3确定的相当于途径左手-双脚的电流；

F——心脏电流周数。

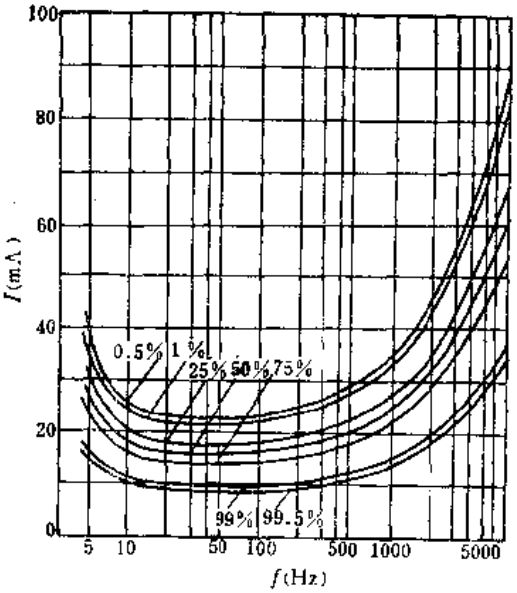


图 5-4 摆脱电流与频率的关系

5.1.2.5 人体状况

电流作用于人体时，女性的危险较男性的大，儿童的危险较成人的大，体弱有病的危险较健壮者的大，体重小的危险一般较体重大的大。

5.1.3 电磁场对人体的作用

电磁场是电场和磁场的总体。电场的变化会产生磁场，磁场的变化又会产生电场。电场和磁场在空间的传播即电磁波。电磁场具有能量，但没有不可入性。

5.1.3.1 波段和场源

1. 频段和波段划分

电磁波的频率即交流电的频率。50～60赫的频率为工频；50Hz以上、1000Hz以下为提高频率；1000Hz以上、10000Hz以下为中频；10000Hz以上为高频。高频电磁场有较强的辐射特征，常称为射频电磁场。射频电磁场频段和波段的划分见表5-4。较微波波长更小的是红外线、可见光、紫外线、X射线等。

表 5-4 射频电磁场的频段和波段

频段	高频			超高频		特高频（微波）		
频率 (MHz)	0.1以下	0.1～1.5	1.5～6	6～30	30～300	300～3000	3000～30000	30000以上
波长 (m)	3000以上	3000～200	200～50	50～10	10～1	1～0.1	0.1～0.01	0.01以下
波段	长波	中波	中短波	短波	超短波	分米波	厘米波	毫米波

2. 射频电磁场场源

高频设备的振荡回路、高频变压器、耦合电容器、高频馈电线、磁控管、天线及其它工作部件均可能成为射频电磁场的场源。

感应加热设备用于金属淬火、熔炼、焊接等。其频率多为数百kHz。

介质加热设备用于塑料、木材、纸张、食品等非金属物料的干燥或加热处理。其频率多在数MHz至数十MHz范围内；但其谐波频率有的高达数百MHz。

无线电设备用于广播、电视、通讯等方面。频率多在数百kHz至数百MHz之间。

高频医疗设备是利用高频电磁场产生的热量来进行治疗的设备，主要治疗坏疽病、关节炎等疾病。其频率可在数MHz至数千MHz范围内。

雷达、导航、射电天文学设备属于特高频范围，其频率在数百MHz以上。

5.1.3.2 电磁场对人体的作用

电磁场具有能量。人体在电磁场照射下，吸收电磁场能量，并转化为热量，对人体造成不同程度的伤害。

1．电磁场能量

电磁场能量存在于电磁场中。如已知能量密度的分布，电磁场能量可积分运算，即

$$W=\int_v (w_e+w_m)dv$$

式中，w_e和w_m分别是电场能量密度和磁场能量密度，按下列公式计算：

$$w_e=\frac{1}{2}D\cdot E \text{和} \quad w_m=\frac{1}{2}B\cdot H$$

式中 D和E——电位移矢量和电场强度矢量；

B和H——磁感应强度矢量和磁场强度矢量。

单位时间穿过与能流方向垂直的单位面积的电磁能量用坡印亭矢量表达，即

$$S=E\times H$$

式中 S——坡印亭矢量，W/m^2。

2．电磁场作用下人体的反应

中、短波电磁场对人体的作用主要是引起中枢神经系统功能失调和以交感神经抑制为主的植物神经功能失调，主要表现为神经衰弱综合征，多见头晕、睡眠不好、乏力、记忆力减退、心悸及头痛、四肢酸痛、食欲不振、脱发、多汗等症状。

超短波和微波电磁场除引起较严重的神经衰弱症状外，最明显的是引起植物神经功能紊乱，并以副交感神经兴奋为主的心血管系统症状较多，如心悸、血压升高或降低、心动过缓或心动过速、心区疼痛等症状。

3．影响伤害人体的因素

（1）电磁场强度 电磁场强度愈高，人体吸收能量愈多、伤害愈重。发射源功率愈大、离发射源愈近则电磁场强度愈高。此外，由于二次发射，可能在空间某些点造成较高的电磁场强度。

（2）照射时间 每次连续照射时间愈长以及累积照射时间愈长，伤害愈重。

（3）频率和波形 频率愈高，体内偶极子激励愈剧烈，伤害愈重。在其它参数相同的情况下，脉冲波比连续波伤害重。

（4）照射面积和部位 照射面积愈大，伤害愈重。被照射部位血管愈少，由于传热能力差，伤害也愈严重。

（5）人体状况 健康不佳者、女性、儿童受到的伤害较重。

（6）环境 环境温度愈高，伤害愈重。

4．电磁场安全标准

近几年来，我国陆续制订了几个关于电磁辐射的安全卫生标准。其中，GB8702针对电磁环境，以比吸收功率（人体单位质量的吸收功率）作为基本限值作了如下规定：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（1）对于职业工作者，在每天 8 小时工作时间内，任意连续6min 照射，全身平均比吸收功率应低于0.1W/kg；

（2）对于公众，在一天24小时内，任意连续6min照射，全身平均比吸收功率应低于0.02W/kg。

在上述照射条件下，电场强度、磁场强度和功率密度的导出限值见表5-5。表中，频率f均以MHz为单位；括号内数值均为参考值，且功率密度按平面波等效考虑。

表 5-5 电磁辐射导出限值

频率范围（MHz）	电场强度（V/m）		磁场强度（A/m）		功率密度（W/m²）	
	职业者	公众	职业者	公众	职业者	公众
0.1～3	87	40	0.25	0.1	(20)	(4)
3～30	$150/\sqrt{f}$	$67/\sqrt{f}$	$0.40/\sqrt{f}$	$0.17/\sqrt{f}$	$(60/f)$	$(12/f)$
30～3000	(28)	(12)	(0.075)	(0.032)	2	0.4
3000～15000	$(0.5\sqrt{f})$	$(0.22\sqrt{f})$	$(0.0015\sqrt{f})$	$(0.001\sqrt{f})$	$f/1500$	$f/7500$
15000～300000	(61)	(27)	(0.16)	(0.073)	10	?

对于多个发射源或多种发射频率，允许的辐射量应符合下式要求：

$$\sum_{m}\sum_{n}\frac{A_{mn}}{L_{mn}}\leqslant 1$$

式中 A_{mn}——第m个发射源，n频段的辐射水平；

L_{mn}——对应n频段的辐射限值。

对于脉冲电磁波，除满足上述要求外，其峰值还不得超过表5-5所列数值的1000倍。

GB10437和GB10436针对作业场所，以功率密度作为基本限值，对 30～300MHz 超高频辐射和300～300000MHz微波辐射分别作了规定。其限值见表5-6和表5-7。表5-7中，脉冲波指固定辐射的脉冲波。对于非固定辐射，即对于照射时间与周期之比小于0.1 的脉冲波，其辐射限值与连续波相同。表5-7中，t 是辐射时间，以小时为单位。

表 5-6 30～300MHz超高频辐射限值

类别	连续波		脉冲波	
	功率密度（mW/cm²）	电场强度（V/m）	功率密度（mW/cm²）	电场强度（V/m）
一天内 8 小时照射	0.05	14	0.025	10
一天内 4 小时照射	0.1	19	0.05	14

表 5-7 300～300000MHz微波辐射限值

类别	平均功率密度（μW/cm²）		
	连续波	脉冲波	肢体局部照射
一天 8 小时照射	50	25	500
一天超过或不足 8 小时照射	$\frac{400}{t}$	$\frac{200}{t}$	$\frac{4000}{t}$

对于短时间的照射，当需要在1mW/cm²以上的环境中工作时，除日剂量不得超过上述限值外，还须配用个人防护用品；并应保证操作部位最大辐射功率密度不得超过 5mW/cm²。

5.1.3.3 电磁场防护概要

1．屏蔽

屏蔽包括电场屏蔽和磁场屏蔽。屏蔽的基本原理是屏蔽体在场源作用下，产生感应电荷或电流，限制电磁场传播，亦即限制电磁能流的传播。

屏蔽多用铜、铝制成，微波屏蔽可用铁（钢）制成。可以制成板状，亦可制成细、密的网状。电磁波进入导体衰减很快，一般厚度1mm即可满足屏蔽要求。屏蔽边角要圆滑；要尽量减少不必要的开孔。

为了提高屏蔽效果，屏蔽宜靠近辐射源；但又不可太近，以致消耗太多的辐射能，影响高频设备的工作。

在现场，根据实际情况可采用工作人员自身屏蔽（包括屏蔽服、头盔、护目镜）、辐射源局部屏蔽和整体屏蔽（屏蔽室）。

2．吸收

吸收装置是用特殊材料制成的屏蔽装置。有谐振型和匹配型等两种型式。谐振是利用加入铁粉、石墨粉等填料的塑料、橡胶、陶瓷等吸收材料的谐振特性，吸收辐射能量。吸收材料可以单独使用，亦可与普通屏蔽配合使用。匹配型是利用自由空间波阻抗的特征，实现匹配，吸收辐射能量。

3．高频接地

高频接地包括高频设备接地和屏蔽接地。屏蔽接地能提高屏蔽效能。

高频接地线应用多股铜线或多层铜皮制成，以减小自感和涡流损耗。高频接地线不宜太长，最好能限制在波长的1/4以内；如不能满足这一要求，亦应避开波长1/4的奇数倍。屏蔽装置不宜多点接地，以避免可能的不平衡电流。

4．抑制辐射

即合理选择或调整高频馈线、工作线圈等辐射源的布置和方位及采用其它类似方法抑制高频设备对外辐射。

5.1.4 触电事故管理

5.1.4.1 触电事故调查

1．原则

事故调查应有科学性，务必做到情况真实、全面而详尽，提法清楚而准确。

2．内容

触电事故调查应包括以下基本内容。

（1）事故过程　除现场事故发生的过程外，还包括事故发生前和事故发生后与该事故有关的事件。事故过程包括事故发生的时间（月、日、时）和地点。

（2）人员情况　指当事人情况，包括姓名、性别、年龄、工种、工龄、健康情况、精神状况、衣着等情况。

（3）电气参数　包括电流种类、电压、频率等参数。

（4）设备情况　包括设备种类、名称、编号、生产厂家、使用和维修等情况。

（5）环境条件　指温度、湿度、地面、墙壁等环境条件。

（6）受害人伤势及主要救护过程　救护过程包括现场和医院救护过程，还包括药物使用情况。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（7）事故损失　包括人员、设备、生产等方面的损失。

5.1.4.2　触电事故分析

1．分析和统计

广义地说，电气事故是电能失控造成的事故。触电事故则是电能作用于人体造成的事故。从系统化角度考虑，电能失控可能是局部原因造成的，也可能是系统性原因造成的。对任何事故，都应该仔细分析有哪些不安全状态方面的原因以及有哪些不安全行为方面的原因。不安全状态是指环境和设备的因素；不安全行为是指操作者心理和生理状态，即指与操作者本身有关的因素。

进行触电事故统计时，应对事故事件进行分类和统计；同时，应就发生时间（年、月、日、时）、受害人员（年龄、工龄等）、设备状况、行为因素等特征予以分类。

2．事故规律

根据事故统计可找到事故规律。我国触电事故的发生主要有以下规律。

（1）季节　六～七月天气炎热，人体衣单而多汗；加之多雨、潮湿、电气设备绝缘性能降低，以致这段时间触电事故较多。

（2）电压　低压设备远远多于高压设备，与之接触的机会也远远多于高压设备，以致在普通工人中，低压触电事故较多。但就专业电工而言，高压触电事故较多。

（3）人员　青、中年普通工人多是主要操作者，有的还缺乏电气安全知识，以至这些人触电事故较多。

（4）设备　携带式设备和移动式设备经常在人紧握之下工作，由于移动频繁、工作环境变化大、工作条件较差，以至这类设备上的触电事故较多。

（5）行业　冶金、矿业、建筑、机械等行业往往由于高温、潮湿、现场混乱、移动式设备多、金属设备多而导致触电事故较多。

（6）部位　插销、开关、熔断器、接头等连接部位容易发热，电气绝缘强度和机械强度都比较低，以至这些部位触电事故较多。末端支线由于不便管理，触电事故也比较多。

（7）操作　由于电气安全教育不够，以及电气安全措施不完备，乃至由受害者本人或他人错误操作造成的触电事故较多。

以上系一般规律，在某些局部情况下可能有所偏移。

5.1.5　触 电 急 救

触电急救的要点是动作迅速、方法正确。人触电以后，会出现神经麻痹、呼吸中断、心脏停止跳动等征象，外表上呈现昏迷不醒的状态。但不应该认为是死亡，而应该看作是“假死”，并且迅速而持久地进行抢救。抢救不可轻易中断。

5.1.5.1　脱离电源

1．基本原则

当触电人失去控制，不能自行摆脱带电体时，应尽快帮助他脱离电源。使触电人脱离电源应防止事故扩大，防止救护人自己触电，还应注意防止触电人可能的摔伤。

2．低压脱离电源

低压触电事故，可采用下列方法使之脱离电源：

（1）拉开开关或拔出插销；

（2）用绝缘工具切断电线或挑开电线；

（3）经绝缘物拉开触电人。

3. 高压脱离电源

高压触电事故，可采用下列方法使之脱离电源：

（1）尽速通知前级停电；

（2）配戴安全用具，按要求拉开开关；

（3）强迫短路，造成掉闸停电。

5.1.5.2 急救方法

现场急救方法主要指口对口（鼻）人工呼吸法和胸外心脏挤压法。

1. 口对口(鼻)人工呼吸法

此法是触电人呼吸停止后施行的急救方法。操作方法见本书9.2.7.3。

2. 胸外心脏挤压法

该法是触电人心脏停止跳动后施行的急救方法。操作方法见本书9.2.7.3。

3. 急救用药基本要求

触电急救用药应注意以下两点：

（1）任何药物都不能代替人工呼吸和胸外心脏挤压。人工呼吸和胸外心脏挤压是基本急救方法。

（2）要慎重使用肾上腺素 肾上腺素有使停止跳动的心脏恢复跳动的作用；即使出现心室颤动，也可以使细的颤动变成粗的颤动而有利于除颤。另一方面，肾上腺素给心脏以强烈的刺激，可以使跳动不好的心脏转变为心室颤动而导致死亡。因此，对于有心脏跳动的触电人不能使用肾上腺素；只有经过心电图仪鉴定心脏确已停止跳动时，先施行人工呼吸和胸外心脏挤压，待缺氧状态改善后，且在备有心脏除颤装置的前提下才允许使用肾上腺素。

此外，对于与触电同时发生的外伤，应分别情况酌情处理。对于不危及生命的轻度外伤，可放在触电急救之后处理；对于严重的外伤，应与人工呼吸和胸外心脏挤压同时处理。如伤口出血，应予止血。为了防止伤口感染，最好予以包扎。

5.2 触电防护技术

5.2.1 安全电压

安全电压也称安全特低电压或安全超低电压。其工频有效值不超过50V、直流不超过120V。其电源装置及回路配置均应符合安全要求。安全电压值决定于人体允许电流和人体电阻的乘积。

5.2.1.1 人体允许电流

该电流是指在遭受电击后可能延续的时间内不危及生命的电流。一般情况下，人体允许电流可按摆脱阈值考虑；在线路装有防触电速断保护装置时，可按室颤阈值考虑；在容易发生严重二次事故的场合，应按不引起强烈反应的电流考虑。

5.2.1.2 人体电阻

人体电阻受接触电压、皮肤潮湿程度等多种因素的影响。人体电阻可按表5-8和图5-5考虑，亦可参考表5-9所列数值。

5.2.1.3 安全电压值及其应用

我们规定工频有效值42、36、24、12、6V为安全电压。特别危险环境的手持电动工具

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

可采用42V安全电压；无特殊防护的局部照明灯应采用36V或24V安全电压；金属容器内等特别危险环境的携带式照明灯应根据危险程度采用12V安全电压。电压25V以下者，一般不考虑直接接触电击的防护。

5.2.1.4 电源及回路配置

应用安全电压应在电源及回路配置方面符合以下要求。

（1）安全电源　一般采用安全隔离变压器作电源。其接线如图5-6所示。这种变压器原、副边之间有良好的绝缘，其间还可以用接地的屏蔽隔离开来。其带电部分与金属壳体之间的绝缘电阻不应低于7MΩ、原边与副边之间的绝缘电阻不应低于5MΩ。除隔离变压器外，具有同等隔离能力的发电机、蓄电池、电子装置均可做成安全电源。

表 5-8　人体电阻参考值（Ω）

接触电压	人体电阻			
（V）	皮肤干燥①	皮肤潮湿②	皮肤湿润③	皮肤浸入水中④
10	7000	3500	1200	600
25	5000	2500	1000	500
50	4000	2000	875	440
100	3000	1500	770	375
250	1500	1000	650	325

①干燥场所的皮肤，电流途经为单手至双足。
②潮湿场所的皮肤，电流途经为单手至双足。
③有水蒸汽等特别潮湿场所的皮肤，电流途经为双手至双足。
④游泳池或浴池中的情况，基本上为体内电阻。

表 5-9　人体电阻

接触电压	人体电阻值（Ω）		
（V）	5%	50%	95%
25	1750	3250	6100
50	1450	2625	4375
75	1250	2200	3500
100	1200	1875	3200
125	1125	1625	2875
220	1000	1350	2125
700	750	1100	1550
1000	700	1050	1500
	650	750	850

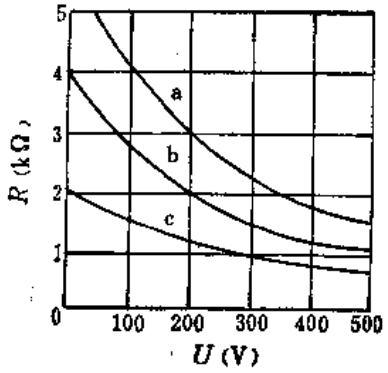


图 5-5　人体电阻与接触电压的关系
a—干燥；b—正常；c—潮湿

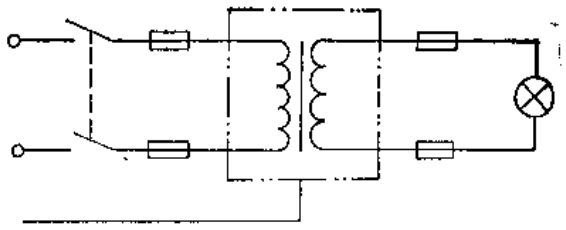


图 5-6　安全隔离变压器接线图

（2）回路配置　安全电压回路的带电部分必须与较高电压的回路保持电气隔离，并不得与大地、保护零（地）线或其它电气回路连接。

（3）插销座　安全电压插销座不应带有接零（地）插头或插孔，不得与其它电压的插销座插错。

（4）短路保护　为了防止短路事故，原、副边均应装设熔断器。

5.2.1.5 功能特低电压

如果电压值与安全电压值相符，而由于功能上的原因，电源或回路配置不完全符合安全

电压的要求，则称之为功能特低电压。其补充要求如下。

（1）直接接触电击防护　装设必要的屏护装置或加强设备的绝缘。

（2）间接电击防护　当该电路同原边保护零（地）线连接时，原边应装设防止触电的自动断电装置；如该回路仅一点接地，则无需采取补充安全措施。

5.2.2 绝　　缘

绝缘是用绝缘物把带电体封闭起来。该绝缘物只有在遭到破坏时才能被除去。电工绝缘材料的体积电阻率一般在$10^7\Omega\cdot m$以上。

5.2.2.1 绝缘损坏

1．击穿

绝缘物在强电场等因素作用下完全失去绝缘性能的现象叫做击穿。气体击穿后能自己恢复绝缘性能；液体击穿后能基本上恢复或一定程度地恢复绝缘性能；固体击穿后不能恢复绝缘性能。

2．损伤

绝缘物在腐蚀性气体、蒸气、潮气、粉尘及机械等因素作用下会受到损伤而降低甚至失去绝缘性能。

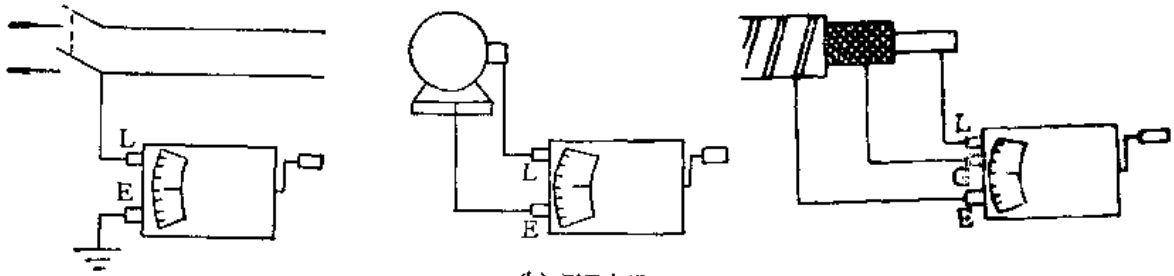
3．老化

绝缘物在热、电等因素作用下电气性能和机械性能将逐渐劣化。这一现象即绝缘老化。

5.2.2.2 绝缘指标

1．绝缘电阻

足够的绝缘电阻能把电气设备的泄漏电流限制在安全范围以内。绝缘电阻用兆欧表（摇表）测定。测量必须停电进行。测量接线如图5-7所示。测量绝缘电阻须注意以下几点：



(a) 测量线路　　(b) 测量电机　　(c) 测量电缆

图 5-7　绝缘电阻测定

（1）额定电压500V以下者选用500V或1000V兆欧表（运行中的设备和安全电压的设备选用500V兆欧表）；额定电压500V以上者选用1000～2500V兆欧表。

（2）测量前检查兆欧表：开路摇动，指针应指向“∞”位；短路轻摇，指针应迅速指向“0”位。

（3）被测设备或路线停电、放电。

（4）正确接线，转动摇把，转速逐渐增加，至每分钟120转指针稳定后读数；若指针指向零位，则说明绝缘已经损坏，应停止测量。常见线路和设备的绝缘电阻要求如下。

（1）低压线路和低压设备　新装和大修后的低压线路和设备，绝缘电阻不应低于

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

0.5MΩ；运行中的不应低于每伏工作电压1000Ω；在潮湿环境运行的不应低于每伏工作电压500Ω。控制线路一般不应低于1MΩ；潮湿环境的可降低为0.5MΩ。

（2）高压线路和高压设备　35kV高压线路和设备的绝缘电阻不应低于1000～2500MΩ。其中：架空线路每个绝缘子的绝缘电阻不应低于300MΩ。运行中电缆的绝缘电阻可参考表5-10的要求。电力变压器投入运行前，其绝缘电阻不应低于出厂时的70%，或不低于表5-11的要求；如测得变压器绝缘电阻低于出厂或大修后试验值的70%，应根据有关规定对绝缘油作耐压强度及其它试验。高压交流电动机的定子绝缘电阻不应低于每千伏工作电压1MΩ；转子绝缘电阻不应低于每千伏工作电压0.5MΩ。FS型避雷器的绝缘电阻不应低于2500MΩ。

表 5-10　电缆线路的绝缘电阻

额定电压（kV）	3	6～10	20～35
绝缘电阻（MΩ）	300～750	400～700	600～1500

注：表内绝缘电阻值，在干燥季节取较大值，潮湿季节取较小值。

表 5-11　变压器线圈绝缘电阻(MΩ)

温　度　（℃）			10	20	30	40	50	60	70	80
额定电压（kV）	3～10	良好值	900	450	225	120	64	36	19	12
		最低值	600	300	150	80	43	24	13	8
	20～35	良好值	1200	600	300	155	83	50	27	15
		最低值	800	400	200	105	55	33	18	10
	60～220	良好值	2400	1200	600	315	165	100	50	30
		最低值	1600	800	400	210	110	65	35	21

2．吸收比

吸收比是从开始测量起第60s的绝缘电阻与第15s的绝缘电阻的比值。吸收比也用兆欧表测量。绝缘受潮后，充电过程变快，吸收比趋近于1。

10～30℃时，35kV及以下的变压器的吸收比不应低于1.2。1000V以上的电动机的吸收比不应低于1.2。

3．耐压强度

耐压试验是检验电气设备承受过电压能力的试验。主要包括工频耐压试验、直流耐压试验和冲击电压试验。

电力变压器、电动机、断路器、电容器等在投入运行前应作工频耐压试验；油浸电力电缆应作直流耐压试验；电工安全用具应根据规定定期作工频耐压试验；阀型避雷器必要时应作工频放电电压试验；电气设备的绝缘油应在油杯中用标准电极作耐压强度试验等。

各种电气设备的工频耐压试验电压标准列入表5-12。

绝缘油的耐压强度不得低于表5-13的要求。

作工频耐压试验时，先以任意速度加压至试验电压的40%左右，再以每秒3%的试验电压的速度升高到试验电压，并持续到规定时间，然后在5秒钟内把电压降低到试验电压的5%以下，再切断电源。

表 5-12 耐压试验电压标准(kV)

额定电压 (kV)	电力变压器		断路器、电流互感器		隔离开关、干式电抗器		电压互感器		支持绝缘子、套管 瓷或充油绝缘		支持绝缘子、套管 固体有机绝缘		干式变压器		电动机子线圈		电力电容器	
	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接	出厂	交接
≤0.4	5	4											3	2			2.5	2.1
1																	5	4.2
3	18	15	24	22	24	24	24	22	25	25	25	22	10	8.5		5	18	15
6	25	21	32	28	32	32	32	28	32	32	32	28	16	13		10	25	21
10	35	30	42	38	42	42	42	38	42	42	42	38	20	14		16	35	30
15	45	38	55	50	55	55	55	50	57	57	57	50	37	21			44	33
20	55	47	65	59	65	65	65	59	68	68	68	59					55	47
35	85	72	95	85	95	95	95	85	100	100	100	90					85	72
60	140	120	155	140	155	155	140	125	165	165	155	150						
110	200	170 (195)	250	225 (260)	250	250 (290)	200	180 (210)	265	265 (305)	265	240 (290)						
220	400	340	470	425	470	470	400	360	490	490	490	440						

注：1.括号中数值适用于小接地短路电流系统。

2.悬式绝缘子试验电压为45～70kW。

3.绕线式电动机转子绕组试验电压不可逆者为$0.75(2U_K+1000)$V，可逆者为$0.75(4U_K+1000)$V。U_K为堵转时转子线圈（额定）开路电压。同步电动机转子绕组试验电压为额定磁电压的7.5倍，但不得低于1200V，并不高于试验电压的75%。

4.二次回路试验电压为1000V（额定电压48V及以下者可以不作），绝缘电阻10MΩ以上的回路可用2500V摇表代替。

表 5-13 绝缘油的耐压强度(kV)

使用电压	15及以下	20～35	44～220
新油及再生油	25	35	40
运行中的油	20	30	35

耐压试验的加压时间一般为1分钟（瓷质和液体绝缘为主者）或5分钟（有机固体绝缘为主者），但电压互感器为3分钟、油浸电力电缆为10分钟等。

进行耐压试验时，必须遵循相应的安全操作规程。

4. 泄漏电流

泄漏电流是设备在外加高电压作用下经绝缘部分泄漏的电流。因为外加电压较高，而且电压稳定，所以，泄漏电流试验比较容易发现绝缘硬伤、脆裂等内部缺陷。

泄漏电流试验一般只对某些安全要求较高的设备，如某些电工安全用具（绝缘手套、绝缘靴、绝缘垫等）、某些日用电器和电动工具、某些高压设备（阀型避雷器、电力电缆、断路器、电力变压器等）才有必要按规定进行。

5. 介质损耗

介质损耗试验是测量绝缘介质损耗角的正切值$\operatorname{tg}\delta$。当绝缘老化、轻微受潮或有局部缺陷时，虽然总的泄漏电流增加很少，但产生介质损耗的有功电流明显增加，遂使介质损耗角δ及其正切值$\operatorname{tg}\delta$明显增加。因此，测量$\operatorname{tg}\delta$能较好地检查绝缘的质量。

电力变压器、断路器、高压套管（纯瓷套管除外）、电压互感器、电力电容器、绝缘油均应作介质损耗试验。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

tg δ与温度和电压有关：温度升高，tg δ值也随着升高。电压越高，则要求绝缘材料的tg δ值越低。

5.2.3 屏　　护

屏护是借用屏障物防止触及带电体。屏护装置包括遮拦和障碍。遮拦可防止无意或有意触及带电体，障碍只能防止无意触及带电体。屏护装置还可防止电弧烧伤和弧光短路事故，还有利于安全操作等。

5.2.3.1 屏护装置材料和安装

1．材料

屏护装置所用材料应有足够的机械强度和良好的耐火性能。可根据现场需要制成板状、网状或栅状屏护装置。

2．尺寸和安装

遮拦高度不应低于1.7m，下部边缘离地面不应超过0.1m。网眼遮拦与带电体的距离不宜小于表5-14所列数值，网眼不应大于20×20～40×40mm。户内栅栏高度不应低于1.2m，户外不应低于1.5m。对于低压设备，栅栏与裸导体的距离不应小于0.8m，围栏高度不应低于1.2m，栏条间距离不应超过0.2m。户外变配电装置围墙高度一般不应低于2.5m。金属屏护装置应采取接零（地）保护措施。

表 5-14　网眼遮拦与带电体的距离

电　压　(kV)	1 以下	10	20～35
距　离　(m)	0.15	0.35	0.6

5.2.3.2 屏护装置安全要求

（1）遮拦应具有永久性特征，必须使用钥匙或工具才能移开；障碍也必须稳固，并不得被无意移开。

（2）遮拦、栅栏等屏护装置上应根据被屏护对象挂上“止步，高压危险！”、“切勿攀登，高压危险！”等警告牌。

（3）配合采用必要的信号装置和联锁装置。前者一般用灯光或仪表指示有电；后者是采用专门装置，当人体可能越过屏护装置时，被屏护装置自动断电。被屏护带电部分停电以后，只有屏护装置恢复原状时才能恢复送电。

5.2.4 间　　距

间距是将带电体置于所及范围之外的安全措施。带电体与地面之间、带电体与其它设备和设施之间、带电体与带电体之间均应保持必要的安全距离。间距可以用来防止人体触及或过分接近带电体和防止车辆或其它物体碰撞或过分接近带电体；间距还有利于检修安全和防止电气火灾及各种短路事故。间距的大小决定于电压高低、设备类型、环境条件以及安装方式等因素。

5.2.4.1 线路间距

1．架空线路

架空线路导线在弛度最大时与地面和水面的距离不应小于表5-15所列数值。架空线路应

避免跨越建筑物，架空线路不应跨越可燃材料屋顶的建筑物。架空线路导线与建筑物的距离不应小于表5-16所列数值。架空线路与街道树木或厂区树木的距离不应小于表5-17所列数值。

表 5-15 导线与地面和水面的最小距离(m)

线路经过地区	线路电压(kV)		
	1以下	1～10	35
居民区	6	6.5	7
非居民区	5	5.5	6
不能通航或浮运的河、湖(冬季水面)	5	5	—
不能通航或浮运的河、湖(50年一遇的洪水水面)	3	3	—
交通困难地区	4	4.5	5
步行可以达到的山坡	3	4.5	5.0
步行不能达到的山坡、峭壁和岩石	1.0	1.5	3.0

表 5-16 导线与建筑物的最小距离(m)

线路电压(kV)	1 以下	10	35
垂直距离	2.5	3.0	4.0
水平距离	1.0	1.5	3.0

表 5-17 导线与树木的最小距离(m)

线路电压(kV)	1以下	10	35
垂直距离	1.0	1.5	3.0
水平距离	1.0	2.0	—

但与绿化区或公园树木的距离不应小于3m。架空线路应与有爆炸危险和有火灾危险的厂房保持一定的防火间距。架空线路与管道、通航河流、管道、索道及其它架空线路交叉或接近的距离不应小于表5-18所列数值。表中各项水平距离如系开阔地区，一般不应小于电杆高度。表中特殊管道系指输送易燃、易爆介质的管道。以上各项距离，均应考虑到气象条件（温度、覆冰、风力)。线路档距一般可采用表5-19所列数值。几种线路同杆架设时，电力线路必须位于弱电线路的上方，高压线路必须位于低压线路的上方。线路之间的距离应满足表5-20的要求。线路导线间的距离应满足表5-21的要求。

2. 接户线和进户线

接户线是从配电网到用户进线处第一个支持物的一段导线；进户线是指从接户线引入室内的一段导线。

10kV接户线对地距离不应小于4.0m；低压接户线对地距离不应小于2.5m。低压接户线跨越通车街道时，对地距离不应小于6m；跨越通车困难的街道或人行道时，不得小于3.5m。进户点对地距离不应小于2.5m。

低压接户线与建筑物有关部位的距离不应小于下列数值：

与接户线下方窗户的垂直距离	30cm
与接户线上方阳台或窗户的垂直距离	80cm

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-18 架空线路与工业设施的最小距离(m)

项目					线路电压(kV)		
					1以下	10	35
铁路	标准轨距	垂直距离	至轨顶面		7.5	7.5	7.5
			至承力索或接触线		3.0	3.0	3.0
		水平距离	电杆外缘至轨道中心	交叉	5.0		
				平行	杆高加3.0		
	窄轨	垂直距离	至轨顶面		6.0	6.0	7.5
			至承力索或接触线		3.0	3.0	3.0
		水平距离	电杆外缘至轨道中心	交叉	5.0		
				水平	杆高加3.0		
道路	垂直距离				6.0	7.0	7.0
	水平距离（电杆至道路边缘）				0.5	0.5	0.5
通航河流	垂直距离	至50年一遇洪水水位			6.0	6.0	6.0
		至最高航行水位的最高桅顶			1.0	1.5	2.0
	水平距离	边线至河岸上沿			最高杆(塔)高		
电力线路	垂直距离				1.0	2.0	3.0
	水平距离（两线路边导线间）				1.0	2.0	4.0
	1kV以下	垂直距离			1	2	3
		水平距离(两线路边导线间)			2.5	2.5	5.0
	10kV	垂直距离			2	2	3
		水平距离(两线路边导线间)			2.5	2.5	5.0
	35kV	垂直距离			3	3	3
		水平距离（两线路边导线间）			5.0	5.0	5.0
特殊管道	垂直距离	电力线在上方			1.5	3.0	3.0
		电力线在下方			1.5	—	—
	水平距离(边导线至管道)				1.5	2.0	4.0
索道	垂直距离	电力线在上方			1.5	2.0	3.0
		电力线在下方			1.5	2.0	3.0
	水平距离(边导线至索道)				1.5	2.0	4.0

表 5-19 线路档距(m)

线路电压(kV)	低压	10
城区	40～50	40～50
郊区	40～60	60～100

与窗户或阳台的水平距离 75cm

与墙壁、构架的距离 5cm

进户线的进户管口与接户线端头之间的垂直距离一般不应超过0.5m。

表 5-20 同杆线路的最小距离(m)

项目	直线杆	分枝(或转角)杆
10kV与10kV	0.8	0.45/0.60①
10kV与低压	1.2	1.0
低压与低压	0.6	0.3
低压与弱电	1.2	—

①分支线横担或转角横担距上面的横担采用0.45m，距下面的横担采用0.6m。

表 5-21 线路导线间的最小距离(m)

线路电压(kV)	档距(m)								
	40及以下	50	60	70	80	90	100	110	120
低压	0.3	0.4	0.45	0.5	—	—	—	—	—
10	0.6	0.65	0.7	0.75	0.85	0.9	1.0	1.05	1.15

表 5-22 户内线路与工业管理和工艺设备的最小距离(mm)

布线方式		导线穿金属管	电缆	明设绝缘导线	裸母线	天车滑触线	配电设备
煤气管	平行	100	500	1000	1000	1500	1500
	交叉	100	300	300	500	500	—
乙炔管	平行	100	1000	1000	2000	3000	3000
	交叉	100	500	500	500	500	—
氧气管	平行	100	500	500	1000	1500	1500
	交叉	100	300	300	500	500	—
蒸汽管	平行	1000(500)	1000 (500)	1000 (500)	1000	1000	500
	交叉	300	300	300	500	500	—
暖热水管	平行	300(200)	500	300 (200)	1000	1000	100
	交叉	100	100	100	500	500	—
上水、下水、压缩、空气、通风管	平行	100	200	200	1000	1000	100
	交叉	50	100	100	500	500	—
工艺设备	平行	—	—	—	—	1500	—
	交叉	—	—	—	—	1500	—

3. 户内低压线路

户内低压线路的间距要求随敷设方式不同而不同。户内低压线路与工业管道和工艺设备之间的最小距离见表5-22。应用表5-20时应注意以下几点。

（1）表内无括号的数字为电线管路在管道上方时的数据，有括号的数字为电线管路在管道下方时的数据（电线管道应尽可能敷设在热力管道下方）。

（2）在不能满足表中所列距离的情况下，应采取以下措施：① 电线管路与蒸汽管不能保持表中距离时，应在蒸汽管或电线管外包以隔热层，则平行净距可减为200mm，交叉处仅须考虑施工操作和便于维修的距离；② 电线管路与暖水管不能保持表中距离时，可在暖水管外包隔热层；③ 裸母线与其它管道交叉不能保持表中距离时，应在交叉处的裸母线外加装保护网或罩。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）当上水管与电线管平行敷设且在同一垂直面时，应将电线管路敷设于小管上方。

（4）裸母线应敷设在经常维修的管道上方。

户内低压裸导线与地面、生产设备和建筑物之间的最小距离不应小于下列数值：

距地面	3.5m	固定点间距2m以内时距建筑物	0.05m
距汽车通道的地面	6m	固定点间距2～4m时距建筑物	0.10m
距起重机铺板	2.2m	固定点间距4～6m时距建筑物	0.15m
距需要经常维修的管道	1m	固定点间距6m以上时距建筑物	0.20m
距需要经常维修的生产设备	1.5m		

裸导体采用网状遮栏保护时，离地面最小高度可减低为2.5m。

低压绝缘导线至地面最小距离不应小于表5-23所列数值。

表 5-23 低压绝缘导线对地面最小距离（m）

敷设方式	最小距离	
	室内	室外
水平	2.5	2.7
垂直	1.8	2.7

4. 电缆线路

电缆有多种敷设方式。直埋电缆埋设深度不应小于0.7m，并应埋入冻土层以下。直埋电缆相互之间、直埋电缆与管道、道路、建筑物等工程设施之间的距离不应小于表5-24所列数值。应用表5-23时应注意以下两点。

（1）电缆与热力管道接近时，电缆周围土壤温升不应超过10℃；否则，应采取隔热措施。

（2）当穿管保护时，最小距离应从保护管（或其它保护物）外壁算起。

表 5-24 直埋电缆与工程设施的最小距离（m）

敷设条件		最小距离 平行	最小距离 交叉	备注
电力电缆之间、电力电缆与控制电缆之间	10kV以上	0.25	0.5	①交叉时，高压电缆应在低压电缆下方 ②电缆穿管或用隔板隔开时，平行净距可降低为0.1m ③交叉点前后1m范围内，如电缆穿入管中或用隔板隔开，交叉净距可降低为0.25m
	10kV以下	0.1	0.5	
不同部门的电缆之间		0.5	0.5	
控制电缆之间		—	0.5	
与热力管道（管沟）及热力设备之间		2.0	0.5	①检修管道可能伤及电缆时，交叉点前后1m范围内，应采取保护措施 ②交叉距离不能满足要求时，应将电缆穿入管中，则其间距离可减为0.25m
与可燃气体、易燃及可燃液管道（管沟）之间		1.0	0.5	
与水管、压缩空气管道之间		0.5	0.5	
铁路路轨		3.0	1.0	穿管保护时，保护管应伸出路轨2m以外
电气化铁路路轨	交流	3.0	1.0	不能满足要求时，应采取防蚀措施
	直流	10.0	1.0	
公路		1.5	1.0	穿管保护时，保护管应伸出路边2m以外
道路		1.0	0.7	
电杆基础（边线）		1.0		
建筑物基础（边线）		0.6		电缆应在建筑物散水坡以外，穿管保护时，保护管应伸出散水坡以外
排水沟		1.0	0.5	

沿电缆沟和隧道敷设的低压电缆应满足表5-25的间距要求。

穿电缆保护管埋入深度不应小于100mm，伸出建筑物散水坡的长度不应小于250mm。

表 5-25 电缆沟和隧道电缆与工程设施的最小距离（mm）

敷设条件	隧道高度	电缆沟深度	
	1000mm	600mm以下	600mm以上
两边有支架，支架间水平距离	1000	300	500
一边有支架，支架与墙壁之间	900	300	450
支架层间（电力电缆）	200	150	150
支架层间（控制电缆）	120	100	100
电力电缆间水平间距	35	35	35

户内明设的电缆与其它线路之间的最小距离不应小于下列数值：

低压电缆之间	35mm	低压电缆与照明设备之间	100mm
低压电缆与高压电缆之间	150mm	高压电缆与照明线路之间	150mm

5.2.4.2 变配电设备间距

1. 带电体间距

室内配电装置带电体与其它带电体或接地体等设施之间的最小距离不应小于表5-26所列数值。当海拔高度超过1000m时，每升高100m A 值应增加1%；B、C、D、E值应增加 A 值的增加值。A、B、C、D、E部位见图5-8。

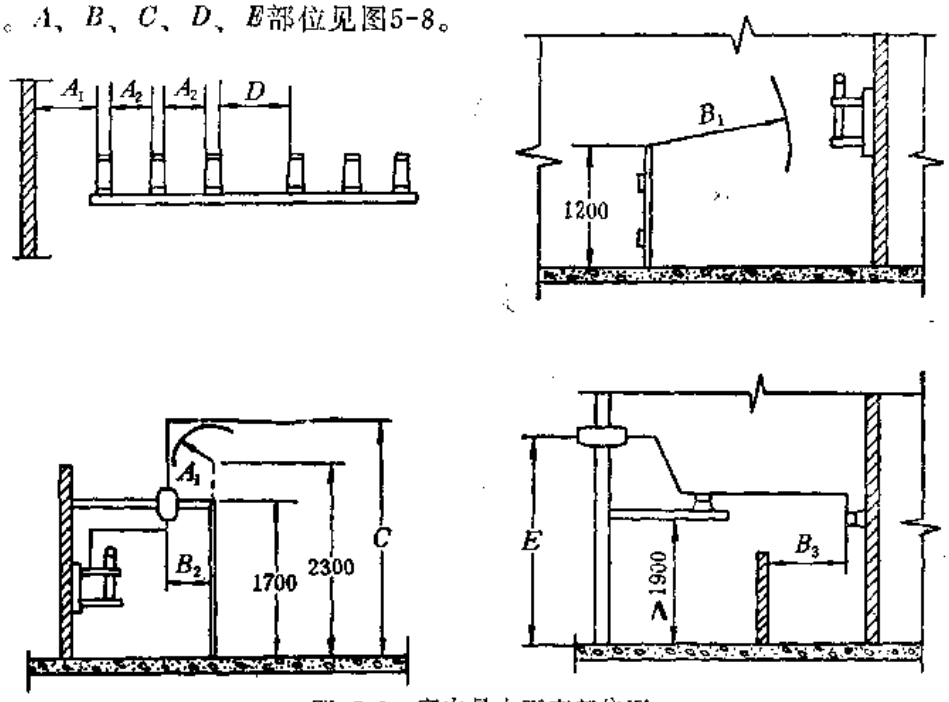


图 5-8 室内最小距离部位图

表 5-26 室内变配电装置的最小距离（mm）

敷设条件	额定电压（kV）						
	0.4	1～3	6	10	15	20	35
带电体至接地部分（A_1）	20	75	100	125	150	180	300
不同相带电体之间（A_2）	20	75	100	125	150	180	300
带电体至栅栏（B_1）	800	825	850	875	900	930	1050
带电体至网状遮栏（B_2）	100	175	200	225	250	280	400
带电体至板状遮栏（B_3）	50	105	130	155	180	210	330
无遮栏裸导体至地（楼）面（C）	2350	2375	2400	2425	2450	2480	2600
不同时停电检修的无遮栏裸导体之间的水平距离（D）	1875	1875	1900	1925	1950	1980	2100
出线套管至室外通道路面（E）	3650	4000	4000	4000	4000	4000	4000

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

室外配电装置带电体与其它带电体或接地体等设施之间的最小距离不应小于表5-27所列数值。当海拔高度超过1000m时，每升高100m A 值应增加1%，B、C、D 值应增加A_1值的增加值。A、B、C、D 部位见图5-9。

表 5-27　室外变配电装置的最小距离（mm）

数　设　条　件	额定电压（kV）						
	0.4	1～10	15～20	35	110J	110	220J
带电体至接地部分（A_1）	75	200	300	400	900	1000	1800
不同相带电体之间（A_2）	75	200	300	400	1000	1100	2000
带电体至栅栏（B_1）	825	950	1050	1150	1650	1750	2550
带电体至网状遮栏（B_2）	175	300	400	500	1000	1100	1900
无遮栏裸导体至地面（C）	2500	2700	2800	2900	3400	3500	4300
不同时停电检修的无遮栏裸导体之间的水平距离（D）	2000	2200	2300	2400	2900	3000	3800

注：110J、220J为中性点直接接地系统。

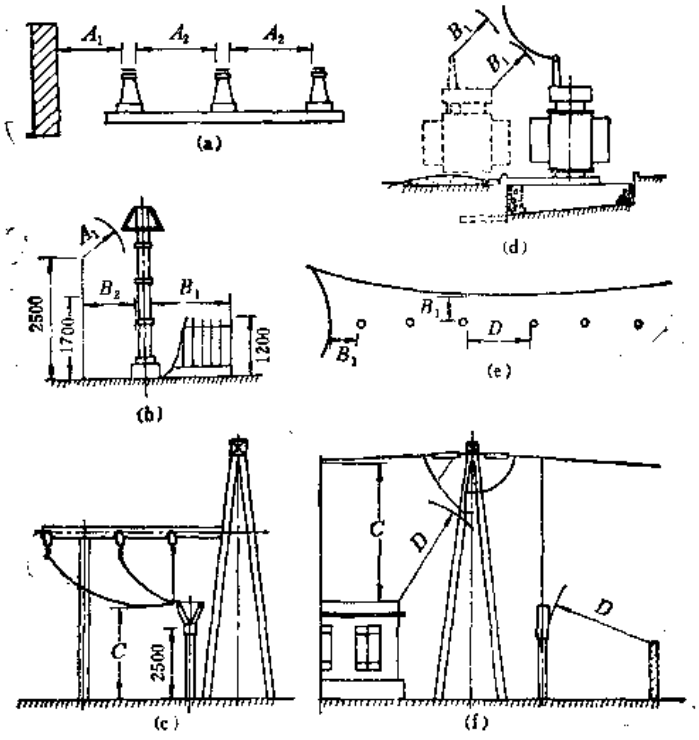


图 5-9　室外最小距离部位图

2. 变压器间距

室内安装的变压器，其外壳与变压器室四壁之间的最小距离不应小于表5-28所列数值。

室外安装的变压器，其外廓之间的距离一般不应小于1.5m，外廓与围栏或建筑物之间不应小于0.8m。室外配电箱底部离地面高度一般为1.3m。

3. 配电装置通道

低压配电装置正面通道宽度一般不应小于下列数值：

配电装置单列布置时	1.5m
配电装置双列布置时	2m

表 5-28 变压器外廓与变压器室四壁的最小距离 (m)

变压器容量 (kVA)	1000及以下	1250及以上
变压器外廓与变压器室后侧壁	0.6	0.8
变压器外廓与变压器室门	0.8	1.0

低压配电装置背面通道应符合以下要求：①宽度一般不应小于1m，有困难时可减为0.8m；②通道内高度低于2.3m无遮栏裸导电部分与对面墙或设备的距离不应小于1m，而与对面其它裸导电部分的距离不应小于1.5m；③通道上方裸导电部分的高度低于2.3m时应加遮栏，加遮栏后通道高度不应小于1.5m。

高压配电装置宜与低压配电装置分室装设；在同一室内单列布置时，高压开关柜与低压配电盘之间的距离不应小于2m。配电装置排列长度超过6m时，盘后应有两个通向本室或其它房间的出口，且其间距离不应超过15m。

5.2.4.3 用电设备间距

用电设备的安装应符合安全要求，包括间距的要求。

车间低压配电盘底口距地面高度，暗装的可取1.4m，明装的可取1.2m。明装电度表板底口距地面高度可取1.8m。

常用开关设备的安装高度为1.3～1.5m；为了便于操作，开关手柄与建筑物之间应保持150mm的距离。墙用平开关离地面高度可取1.4m。明装插座离地面高度为1.3～1.5m；暗装的可取0.2～0.3m。

室内吊灯灯具高度应大于2.5m；受条件限制时可减为2.2m；如果还要降低，应采取适当安全措施；当灯具在桌面上方或人碰不到的地方时，高度可减为1.5m。户外照明灯具高度不应小于3m，墙上灯具高度允许减小为2.5m。

5.2.4.4 检修间距

为了防止人体接近带电体，必须保持足够的检修间距。

在低压操作中，人体或其所携带工具等与带电体的距离不应小于0.1m。

在高压无遮栏操作中，人体或其所携带工具与带电体之间的最小距离不应小于下列数值：

10kV及以下 0.7m
20～35kV 1.0m

当不足上述距离时，应装设临时遮栏，并应符合表5-11的要求。

用绝缘杆操作时，上述距离可减为

10kV及以下 0.4m
35kV 0.6m

在线路上工作时，人体或其携带工具等与临近带电线路的最小距离不应小于下列数值：

10kV及以下 1.0m
35kV 2.5m

不足上述距离时，临近的线路应当停电。

用水冲洗时，小型喷嘴与带电体之间的最小距离不应小于下列数值：

10kV及以下 0.4m
20～44kV 0.5m

工作中使用喷灯或气焊时，火焰不得喷向带电体。火焰与带电体的最小距离不得小于下

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

列数值：

10kV及以下	1.5m
35kV	3m

在架空线路附近进行起重工作时，起重机具（包括被吊物）与线路导线之间的最小距离可参考表5-29所列数值。

表 5-29 起重机具与线路导线的最小距离

电压（kV）	1 以下	10	35
距离（m）	1.5	2	4

5.2.5 保护接地

5.2.5.1 基本名词术语

（1）接地电流 经接地点或接地体向大地流散的全部电流。

（2）流散电阻 电流自接地点或接地体向大地流散所遇到的全部电阻。

（3）接地电阻 流散电阻与接地线电阻之和。

（4）对地电压 带电体与零电位的大地之间的电位差。对于接地装置，其对地电压为

$$U_d = I_d R_d$$

式中 I_d——接地电流；

R_d——接地电阻。

（5）接触电压 加于人体某两点之间的电压。

（6）跨步电压 人站立在流过电流的大地上，加于两足之间的电压。

5.2.5.2 保护接地原理

保护接地是防止间接接触电击的安全措施。其做法是将设备外壳通过接地体与大地紧密连接起来，构成所谓IT系统。如图5-10所示，在不接地电网中，设备漏电时故障电流将沿接地装置和线路对地绝缘阻抗Z构成回路。当各线对地绝缘阻抗相等时，接地电流为

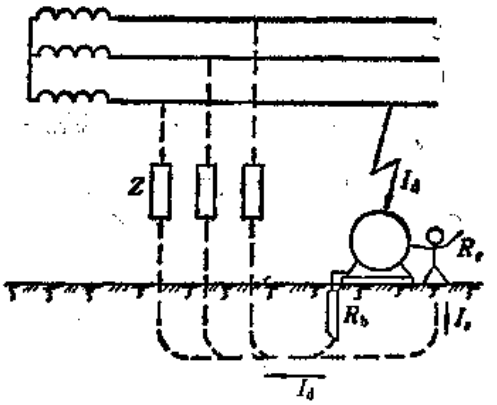


图 5-10 保护接地原理图

$$I_d = \frac{3U}{|3R_b + Z|}$$

式中 U——电网相电压；

R_b——保护接地电阻；

Z——各线对地绝缘复数阻抗。

漏电设备对地电压为

$$U_d = I_d R_d = \frac{3UR_b}{|3R_b + Z|}$$

阻抗Z由导线对地绝缘电阻和对地分布电容并联组成。因为$R_b \ll |Z|$，所以，只要适当

表 5-30 接地电阻最大允许值

种类		接地电阻（Ω）	备注
低压	电气设备	4 10	电源容量≥100kVA 电源容量＜100kVA
高压电气设备	小接地短路电流系统 (I_d≤500A)	$120/I_d$ $250/I_d$	与低压共用接地装置 独立接地装置
	大接地短路电流系统 (I_d>500A)	$2000/I_d$ 0.5	I_d≤4000A I_d>4000A

表 5-31 土壤和水的电阻率（Ω·m）

类别	名称	近似值	变动范围		
			较湿时（多雨区）	较干时（少雨区）	地下水含盐碱时
泥土	陶粘土	10	5～20	10～100	3～10
	泥炭、沼泽地	20	10～30	50～300	3～10
	捣碎的木炭	40	—	—	—
	黑土、园田土、陶土、白垩土	50	30～100	50～300	10～30
	粘土	60	30～100	50～300	10～30
	砂质粘土	100	30～300	80～1000	10～30
	黄土	200	100～200	250	30
	含砂粘土、砂土	300	100～1000	1000以上	30～100
	河滩中的砂	—	300	—	—
	煤	—	350	—	—
	多石土壤	400	—	—	—
	上层红色风化粘土、下层红色页岩	500（湿度30%）	—	—	—
	表层土夹石、下层石子	600（湿度15%）	—	—	—
砂	砂子、砂砾	1000	250～1000	1000～2500	—
	砂层深度大于10m、地下水较深的草原或地面粘土深度不大于1.5m、低层多岩石地区	1000	—	—	—
岩石	砾石、碎石	500	—	—	—
	多岩石地	500	—	—	—
	花岗石	200000	—	—	—
矿石	金属矿石	0.01～1	—	—	—
混凝土	在水中	40～55	—	—	—
	在湿土中	100～200	—	—	—
	在干土中	500～1300	—	—	—
	在干燥的大气中	12000～18000	—	—	—
水	海水	1～5	—	—	—
	湖水、池水	30	—	—	—
	泥水	15～20	—	—	—
	泉水	40～50	—	—	—
	地下水	20～70	—	—	—
	溪水	50～100	—	—	—
	河水	30～280	—	—	—
	污秽的水	300	—	—	—
	蒸馏水	1000000	—	—	—

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

控制 R_n 的大小，即可把漏电设备对地电压限制在安全范围之内。

5.2.5.3 保护接地应用范围

1. 适用范围

保护接地适用于各种不接地电网。在这些电网中，凡由于绝缘损坏或其它原因而可能呈现危险电压的正常不带电金属部分，如变压器、电机、电器、照明器具的外壳和底座，配电装置的金属构架，配线的钢管和电缆的金属外皮等，除另有规定外，均应接地。

2. 免除范围

在干燥场所，交流额定电压127 V及以下、直流额定电压110 V及以下的电气设备外壳；在干燥且有木质、沥青等不良导电地面的场所，交流额定电压380 V及以下、直流额定电压440 V及以下的电气设备外壳，除另有规定外，可不接地。

5.2.5.4 接地电阻值

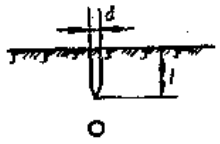
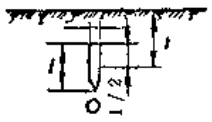
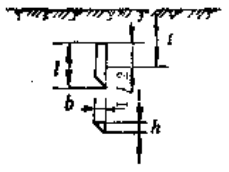
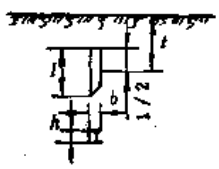
保护接地的最大接地电阻值不应超过表5-30所列数值。

在高土壤电阻率地区，接地电阻允许值可以适当提高。例如：低压设备和小接地短路电流系统中高压设备的接地电阻都允许提高到30 Ω以下等。

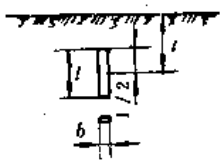
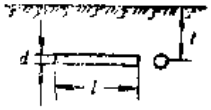
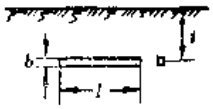
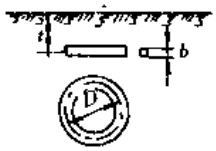
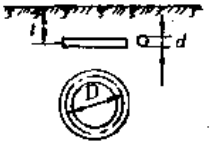
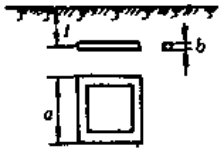
在高土壤电阻率地区，可采用外引接地、土壤化学处理、换土、深埋、延长接地体、网络接地等提高接地安全效能的措施。

各种土壤和水的电阻率见表5-31。常见接地体流散电阻的理论计算式和简化计算式见表5-32和表5-33。

表 5-32 人工接地体流散电阻理论的计算式

接地体类型	埋设简图	计算公式	备注
直立管形接地体		$R=0.366\frac{\rho}{l}\lg\frac{4l}{d}$	$l\gg d$
直立管形接地体		$R=0.366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{d}+\frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$	$l\gg d$
直立角钢接地体		$R=0.366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{0.708\sqrt{bh(b^2+h^2)}}+\frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$	$l\gg b$ 和 h
直立槽钢接地体		$R=0.366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{0.92\sqrt{b^2h^3(b^2+h^2)^3}}+\frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$	$l\gg b$ 和 h

续表

接地体类形	埋设简图	计算公式	备注
直立扁钢接地体		$R=0.366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{4l}{b}+\frac{1}{2}\lg\frac{4t+l}{4t-l}\right)$	$l\gg d$
平放圆钢接地体		$R=0.366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{2l}{d}+\lg\frac{\sqrt{16t^2+l^2}+l}{4t}\right)$	l和$t\gg d$
平放扁钢接地体		$R=0.366\frac{\rho}{l}\left(\lg\frac{4l}{b}+\lg\frac{\sqrt{16t^2+l^2}+l}{4t}\right)$	l和$t\gg b$
平放扁钢圆环接地体		$R=0.366\frac{\rho}{\pi D}\lg\frac{2.54(\pi D)^2}{bt}$	$D\gg t\gg b$
平放圆钢圆环接地体		$R=0.366\frac{\rho}{\pi D}\lg\frac{1.27(\pi D)^2}{dt}$	$D\gg t\gg b$
平放扁钢方形接地体		$R=0.366\frac{b}{4a}\lg\frac{176a^2}{tb}$	$a\gg t\gg b$
平放圆钢方形接体地		$R=0.366\frac{b}{4a}\lg\frac{88a^2}{td}$	$a\gg t\gg d$

5.2.5.5 接地电阻测量

应当定期测量接地装置的接地电阻，以检查其可靠性。工业企业各种接地装置，至少每年测量一次接地电阻。一般应当在雨季前或其它土壤最干燥的季节测量。

1. 测量方法

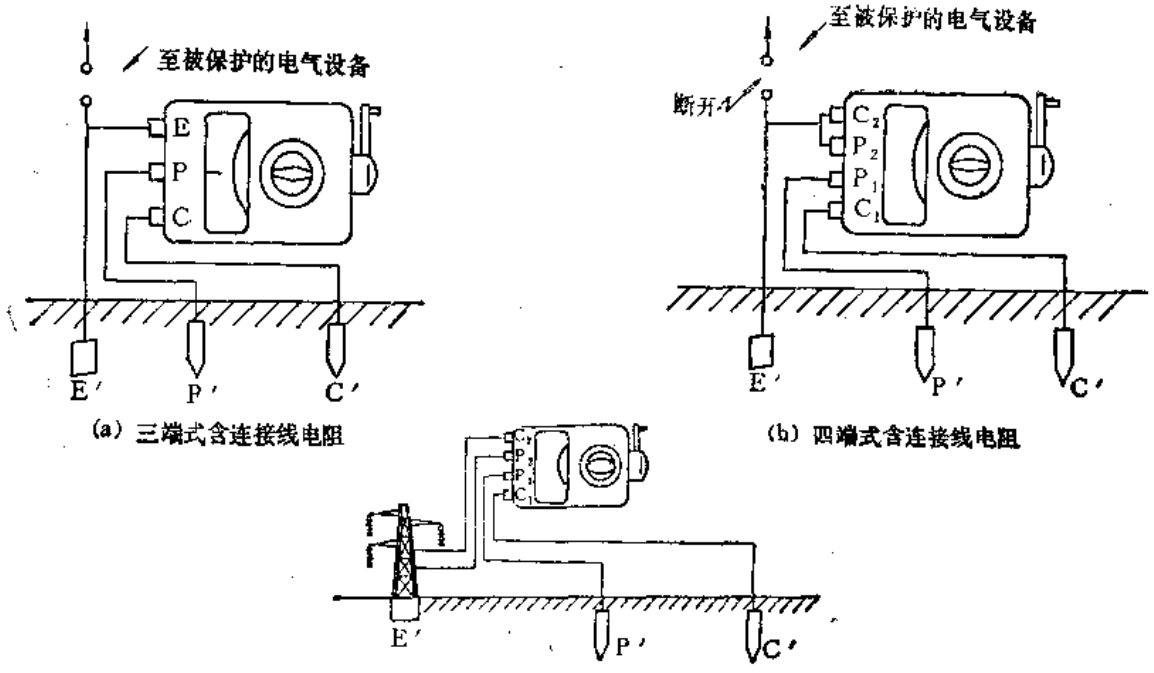
接地电阻可用接地电阻测量仪测量，也可用电流表-电压表法测量。其测量接线如图5-11和图5-12所示。用接地电阻测量仪可直接得出被测接地电阻值。用电流表-电压表法测量将测得的电压除以测量电流即可得到被测接地电阻值。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-33 接地体流散电阻简化计算式

接地体类形		简化计算式	备注
名称	特征		
单根垂直接地体	长度3m左右	$R\approx 0.03\rho$	ρ—土壤电阻率（下同），Ω·m
单根水平接地体	长度60m左右	$R\approx 0.03\rho$	
n根水平接地体	$n\leqslant 12$；每根长60m左右	$R\approx\frac{0.062\rho}{n+1.2}$	
复合接地体	以水平接地体为主的接地网	$R\approx 0.5\frac{\rho}{\sqrt{A}}=0.28\frac{\rho}{r}$ 或 $R\approx\frac{\sqrt{\pi\rho}}{4\sqrt{A}}+\frac{\rho}{L}=\frac{\rho}{4r}+\frac{\rho}{L}$	A—接地体面积（公式适用于$A\geqslant 102m^2$的接地网），m^2；r—面积等于A的等效圆半径，m；L—接地体总长度（包括垂直接地体在内），m
架空避雷线（或低压接地零线）综合接地体①	接地杆塔数（或零线上接地处数）大于20	$R\approx\sqrt{rr_x}$	r—每基杆塔（或零线每个接地点）的流散电阻；r_x—每档避雷线（或每档零线）的电阻
板形接地体	平放在地面	$R\approx 0.44\frac{\rho}{\sqrt{A}}$	A—平板面积，m^2
	竖埋在地下	$R\approx 0.22\frac{\rho}{\sqrt{A}}$	
	竖埋在地下	$R\approx 0.253\frac{\rho}{\sqrt{A}}$	

①应用该公式时，按工频电流从一端引入时考虑。



(a) 三端式含连接线电阻

(b) 四端式含连接线电阻

(c) 四端式不含连接线电阻

图 5-11 接地电阻测量仪测量接线图

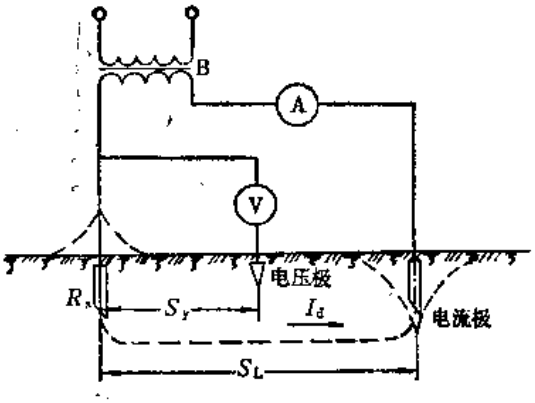


图 5-12 电流表-电压表法测量接地电阻

2. 电极位置

如图5-13所示，电流极、电压极与被测接地体可直线排列，也可三角排列。为了减小测量误差，电流极与被测接地体的距离S_1和电压极与被测接地体的距离S_y宜大于80m；对于网络接地体，S_1和S_y宜大于网络最大对角线长度的4～5倍（有困难时可减为2～3倍）；对于垂直埋设的单管接地体，S_1可减为40m，S_y可减为20m；电流极和电压极之间宜取20米；如果电流极由多管组成，宜取40m。当电流极、电压极与被测接地体直线排列时，宜取S_y为S_1的50～60%，并按S_1的5%左右移动电压极两次，如果三次测得的电阻值相近，则取平均值即可。三角排列时，可取$S_y=S_1$，其间夹角以29°左右为宜。

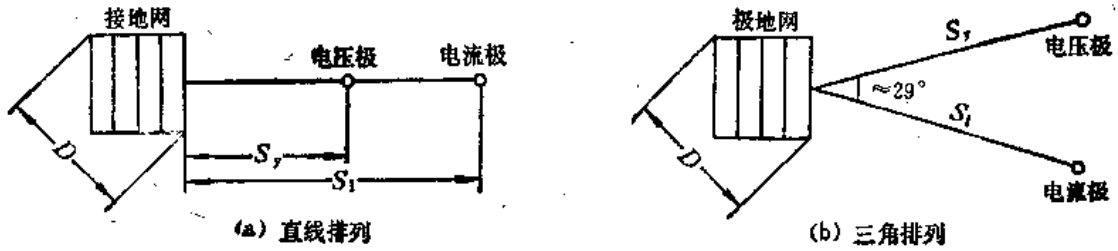


图 5-13 测量电极位置图

5.2.6 保护接零

5.2.6.1 基本名词术语

（1）三相四线制系统 指变压器低压绕组星形连接，引出三条相线和一条中性线，三相设备和单相设备由同一台变压器供电的系统。其中性点一般都是直接接地的。

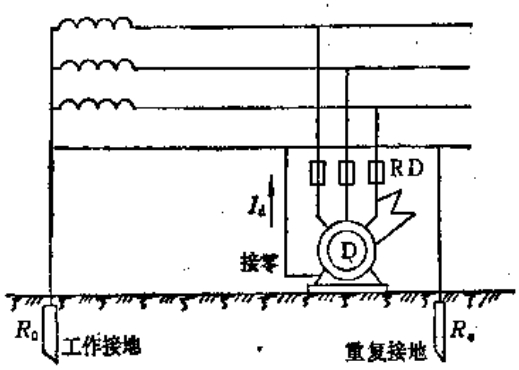


图 5-14 保护接零原理图

（2）工作零线 指与大地有直接连接的中性线（N线）。

（3）保护零线 指与用电设备金属外壳（外露导电部分）连接，是与大地直接连接的保护线（PE线）。

（4）单相短路 在三相四线制系统中，指相、零线短接造成的短路。

（5）过电流速断保护装置 在三相四线制系统中，主要指熔断器和自动空气开关的瞬时动作（或短延时动作）过电流脱扣器。

5.2.6.2 保护接零原理

保护接零也是防止间接电击的安全措施。其做法是将设备外壳与电网的保护零线紧密连

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

接起来。如图5-14所示，当设备带电部分碰连外壳时即形成相线对零线的单相短路；短路电流能促使线路上的过电流速断保护装置迅速动作，将故障部分断开电源，消除触电危险。这种系统即所谓TN系统。其中，工作零线与保护零线完全分开的表示为TN-S 系统；工作零线与保护零线前段共用、后段分开的表示为TN-C-S系统；工作零线与保护零线完全共用的表示为TN-C系统（见图5-15）。

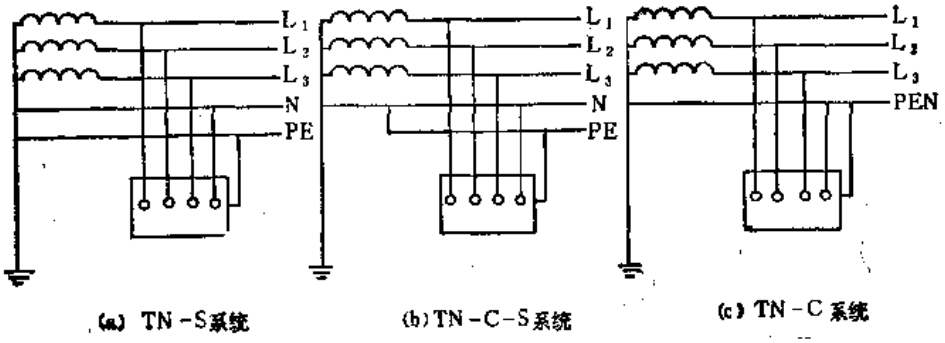


图 5-15 TN系统

保护接零也有降低漏电设备对地电压的作用。如相线和保护零线的复数阻抗分别为Z_L和Z_{PE}，则漏电设备对地电压为

$$U_d = \left| \frac{Z_{PE}}{Z_L + Z_{PE}} \right| U$$

式中，U为相电压。显然，保护零线阻抗越小，降低电压的效果越显著。

5.2.6.3 保护方式选择

图5-16所示为接地电网中，电气设备单纯采取接地的保护方式，即所谓T T系统。在这种情况下，当接地的设备漏电时，电流经R_d和R_0构成回路，该设备和零线对地电压分别为

$$U_d = \frac{R_d}{R_0 + R_d} U$$

$$U_0 = \frac{R_0}{R_0 + R_d} U$$

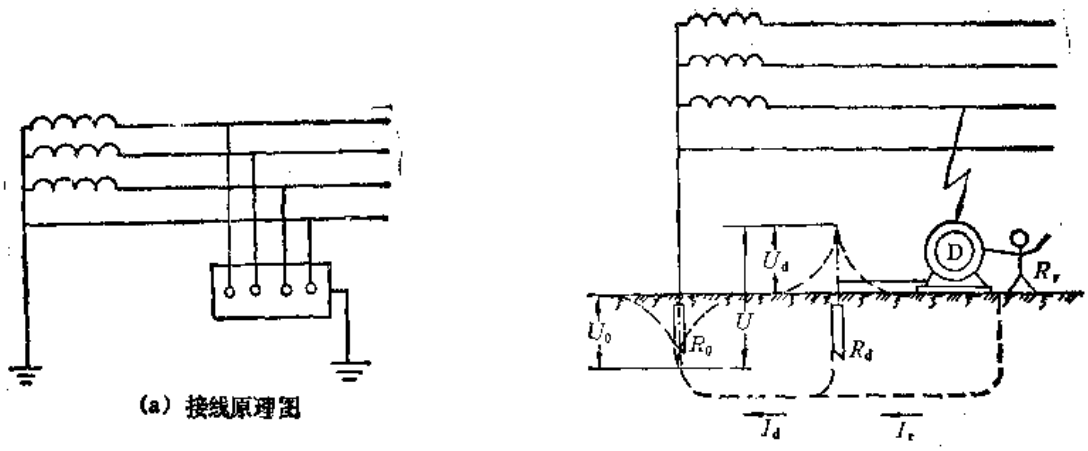
式中 U——电网相电压。

U_d和U_0都可能是危险电压。如果条件所限，在三相四线制接地电网中采用了接地的保护方式，则必须配备防止触电事故的快速断电自动保护装置。

由同一台变压器供电的线路中，一般不能象图5-17那样，一些设备采取接零保护，而另一些设备或个别设备离开保护零线采取接地保护。否则，采取接地保护的设备漏电将导致该设备及所有接零设备都带电。因此，如确有困难，不得不采用了这种混合系统，则采取接地保护的设备必须装设防止触电的快速自动断电保护装置。

5.2.6.4 保护接零应用范围

保护接零适用于低压中性点直接接地、电压 380/220 伏的三相四线制电网。要求实施的设备或部位与保护接地的相同。



(a) 接线原理图　　(b) 安全分析图

图 5-16　T T系统

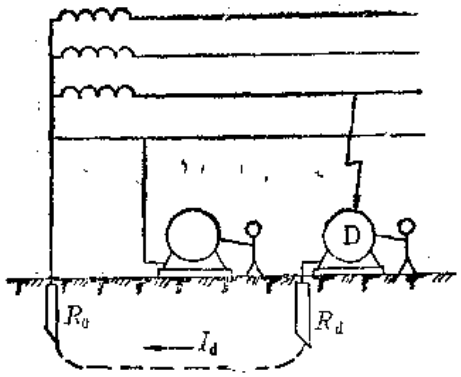


图 5-17　混合系统

5.2.6.5　工作接地

电网低压中性点的接地（如图 5-14 中的 R_0）称为工作接地。其作用是稳定低压电网的电位，减轻电网一相故障接地和高压窜入低压等过电压故障的危险。工作接地电阻一般不应超过 4 Ω。在接地电阻符合要求的前提下，变压器外壳的高压保护接地、避雷器的接地可以与工作接地共用接地装置。

5.2.6.6　重复接地

三相四线制电网中，除工作接地外，零线上其它点的接地（如图 5-14 中的 R_c）称为重复接地。重复接地的主要作用是减轻零线断线的危险和降低电气设备上可能出现的对地电压，以提高保护接零的可靠性。重复接地还有利于改善架空线路的防雷性能和缩短碰壳短路持续的时间。重复接地电阻一般不应超过10 Ω。低压配电线路进户处、低压线路末端、架空线路每隔1km处、分支线长度超过200m的分支处应当装设重复接地。

有了重复接地之后，漏电设备对地电压降低为

$$U_d = \left| \frac{Z_{PE}}{Z_L + Z_{PE}} \right| \left| \frac{R_c}{R_c + R_0} \right| U$$

式中，R_c和R_0分别为重复接地电压和工作接地电阻。

5.2.6.7　保护装置整定

为了保证接零的可靠性，线路上过电流速断保护装置的动作电流不可选择或整定过大。一般要求单相短路电流应大于熔断器熔体额定电流的 4 倍或自动空气开关瞬时（或短延时）动作过电流脱扣器整定电流的1.5倍。在此前提下，自动空气开关的动作时间不超过 0.1～0.4 s；熔断器的动作时间绝大多数不超过5～10 s。

鉴于电流通过人体的持续时间越长，致命的危险性越大，引起心室颤动所需要的电流越小，确定保护装置的动作时间应与可能的接触电压同时考虑。国际电工委员会建议允许故障电压持续的时间不应超过表5-34所列数值。该表所列最大断开时间是按预期接触电压给定的。由于预期接触电压的随机性很大，不是一个确定的数值，应用起来往往不太方便。为

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

此，国际电工委员会又建议按系统额定对地电压规定允许故障持续的时间，即对于配电线路末端的63A以下的插座、普通绝缘的手持电动工具和移动式设备，故障持续时间不应超过表5-35所列数值；配电线路和固定安装的设备，故障持续时间不应超过5 s。

表 5-34 最大接触电压延续时间

最大断开时间	接触电压（V）	
(s)	工频交流	直　流
∞	≤ 50	≤120
5	50	120
1	75	140
0.5	90	160
0.2	110	175
0.1	150	200
0.05	220	250
0.03	280	310

表 5-35 TN系统最大断开时间

最大断开时间(s)	额定对地电压(V)
120	0.8
230	0.4
277	0.4
400	0.2
580	0.1

除TN系统外，TT系统、乃至IT 系统在需要迅速切断电源的类似情况下，也应符合上述要求。

在三相四线制线路中，单相短路电流按下式计算：

$$I_{dd}=\frac{U}{|Z_b+Z_{xl}|}$$

式中　U——电网相电压；

Z_b——变压器复数阻抗；

Z_{xl}——相零线复数阻抗。

5.2.6.8 接零装置

1．组成

接零装置由保护零线和接地装置组成。接地装置由接地线和接地体组成。金属管道（流经可燃性物料的管道除外）、建筑物的金属结构、生产用的金属结构、电缆的专用芯线和金属外护物等均可用作自然接地线。其中，大部分都可用作自然接地体。多设备车间可敷设接零干线（图5-18）。接零干线与上述自然导体之间应作等电位联结。各设备单独与接零干线相连。接零干线经保护零线与变压器中性点、经接地体连接线与接地体相连。

2．安全要求

接零装置应符合下列安全要求。

（1）连续性　有保护作用的零线上不得装设熔断器和单极开关；连接不可靠的地方应加跨接线；焊接良好；可拆卸处连接紧密。

（2）机械强度　所用材料截面应符合表5-36和表5-37的要求；接地线或接零线宜采用钢质材料，有困难时可采用铜、铝接地线或接零线（地下不得采用裸铝导体作接地体或连接线）；携带式设备因经常移动，其接地线或接零线应采用0.75～1.5mm² 以上的多股铜线。

（3）导电能力　保护零线的导电能力一般不应低于相线导电能力的二分之一，并应符合热稳定要求。如保护零线与相线为同一种材料，保护零线截面可参考表5-38选择。如二者为不同材料，则应按阻抗折算。

（4）防护　接零装置应能防护化学、机械等因素的损伤。

（5）间距　接地体与建筑物的距离不应小于1.5m，与独立避雷针接地体之间的距离不应小于3 m，埋设深度一般不应小于0.6m。

（6）连接　各电气设备应单独与接地体或接零干线连接，接地支线或接零支线不应经过设备串联连接。

（7）零线共用　支线部分的工作零线与保护零线不能共用。共用段铜芯线不得小于10 mm²、铝芯线不得小于16mm²；如系电缆芯线，则不得小于4mm²。

（8）接地电阻　工作接地和重复接地电阻符合要求。

（9）速断条件　线路及其上过电流速断保护装置符合前面列举的速断条件。

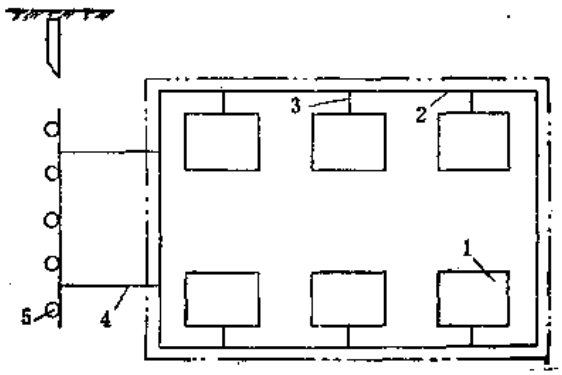


图 5-18　接零装置简图

1—设备；2—接零干线；3—接零支线；4—接地体连接线；5—接地体

表 5-36　钢接零线、接地线或接地体最小尺寸

材料种类	地上		地下
	屋内	屋外	
圆钢直径（mm）	5	6	8
扁钢截面（mm²）	24	48	48
厚度（mm）	3	4	4
角钢厚度（mm）	3	2.5	4
钢管壁厚（mm）	2.5	2.5	3.5

表 5-37　铜铝接零线或接地线最小尺寸

材料种类	铜(mm²)	铝(mm)²
明设的裸导体	4	6
绝缘导线	1.5	2.5
电缆接地芯或与相线包在同一保护外套内的多芯导线的接地芯	1	1.5

表 5-38　保护零线截面选择

相线截面s(mm²)	保护零线最小截面s_p(mm²)
$s \leqslant 16$	s
$16 < s \leqslant 35$	16
$s > 35$	$s/2$

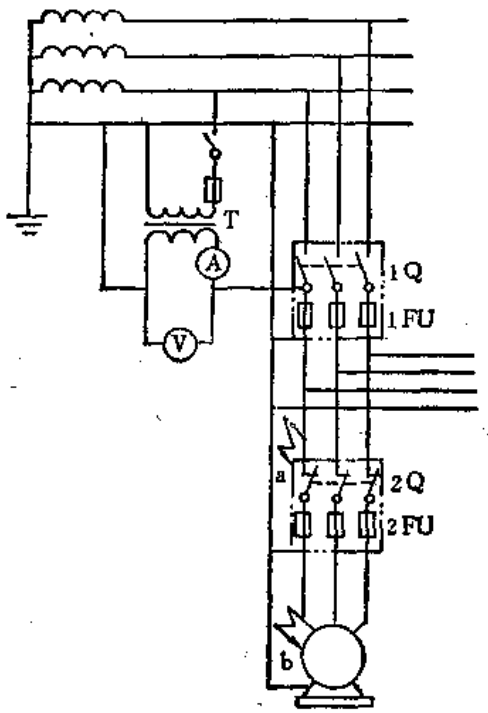


图 5-19　停电测量相零线阻抗

5.2.6.9　相零回路阻抗测量

1. 停电测量

如图5-19所示，在停电的情况下，可用伏安法测量得到测量起点与单相短路点之间相零线阻抗的模值为

$$Z_{xl} = \frac{U_v}{I_A}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中 U_V——电压表读数

I_A——电流表读数

2. 不停电测量

不停电测量包括R、X比较法和电压调整法，其接线分别如图5-20和图5-21所示。R、X比较法可测得相零线回路阻抗为

$$|Z_b+Z_{x1}|=\sqrt{\left(\frac{U-U_R}{I_R}\right)^2+\left(\frac{U-U_X}{I_X}\right)^2}$$

式中 U——R、X不接通时相线与外壳之间的电压；

U_R和I_R——接通R时的电压和电流；

U_X和I_X——接通X时的电压和电流。

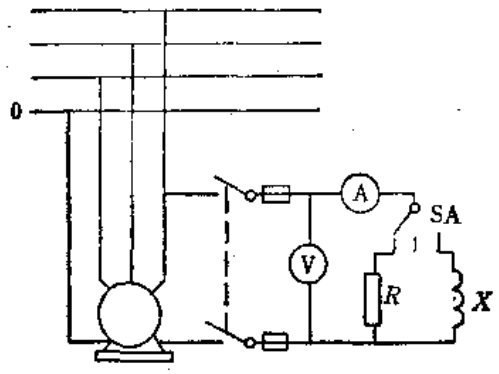


图 5-20 R、X比较法测量相零线回路阻抗

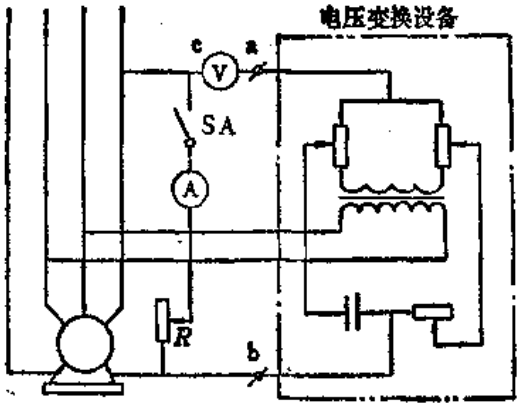


图 5-21 调整电压法测量相零线回路阻抗

电压调整法是接通SA前将电压表读数调节至零，再接通SA，即可测得相零线回路阻抗为：

$$|Z_b+Z_{x1}|=\frac{U_V}{I_A}$$

5.2.7 漏电保护

漏电保护装置又叫触电保安装置或残余电流保护装置。漏电保护除用于防止直接接触电击和间接电击以外，还可用于防止漏电火灾、监测一相接地或绝缘损坏事故。按照动作原理和安装位置，漏电保护装置可分为电压型、零序电流型、中性点型和泄漏电流型等几大类。为了提高灵敏度，各种漏电保护装置均可装设电子放大环节。

5.2.7.1 动作参数

漏电保护装置的主要动作参数是动作电压、动作电流和动作时间。

1. 动作电压

电压型漏电保护装置的动作电压不宜超过安全电压。在实际电压超过动作电压时，动作时间应当缩短，并可参考表5-37所列数值。

2. 动作电流

电流型漏电保护装置的动作电流可分为0.005、0.01、0.015、0.03、0.05、0.1、0.3、0.5、1、3、5、10、20A等十多个等级。其中，30mA及以下的为高灵敏度，30mA以上、

1000mA及以下的为中灵敏度，1000mA以上的为低灵敏度。以防止触电为目的的漏电保护装置应有较高的灵敏度，动作电流最好不超过30mA；如受到系统保护和安装等条件的限制，须提高动作电流，则在动作时间小于0.1 s 的情况下，动作电流可以提高到数百mA。

3．不动作电流

为了避免误动作，保护装置的不动作电流不应低于动作电流的二分之一。

4．动作时间

接触电压越高，则要求动作时间越短，并应符合5.2.6.6节的要求。对于不同的皮肤状态亦可参考表5-39所列数值。根据动作时间的长短，可分为快速型、定时限型和反时限型保护装置。其动作时间应符合表5-40所列数值。

表 5-39　漏电保护装置的动作特性

最大持续时间 (s)	流经人体的电流 (mA)	可能的接触电压（V） 皮肤状况			
		BB1	BB2	BB3	BB4
∞	25	80	50	25	12
5	25	80	50	25	12
1	43	115	75	40	20
0.5	56	130	90	50	27
0.2	77	170	110	65	37
0.1	120	230	150	90	55
0.05	210	320	220	145	82
0.03	300	400	280	190	110

表 5-40　漏电保护装置的动作时间

类别		动作时间t
快速型		$t\leqslant 0.1s$
定时限型		$0.2s<t\leqslant 2s$
反时限型	动作电流	$t\leqslant 0.2s$
	2倍动作电流	$t\leqslant 0.1s$
	5倍动作电流	$t\leqslant 0.04s$*

*工作电流40A以上、漏电动作电流以上者，可取$t\leqslant 0.15s$。

5.2.7.2　电压型漏电保护装置

1．原理

电压型漏电保护装置以设备外壳对地电压作为动作讯号，其基本接线如图5-22所示。作为检测机构的电压继电器KA一端接地，另一端在使用时直接与设备外壳连接。当发生漏电，设备对地电压达到动作数值时，继电器迅速动作，切断接触器KM的控制回路，从而断开设备的电源。图中，R_x是限流电阻；双投开关SB_s是检查用的，也可用复式按钮代替。为了灵敏可靠，继电器应有很高的阻抗。由于继电器有很高的阻抗，可以降低对其接地的要求。其接地体必须与设备重复接地或保护接地的接地线和接地体分开。否则，保护装置失效。

2．特点

电压型漏电保护装置结构简单，适用于设备的漏电保护。这种保护装置只能防止间接接触电击，不能防止直接接触电击。

5.2.7.3　零序电流型漏电保护装置

1．原理

如图5-23所示，这种漏电保护装置以零序电流互感器TA作为检测器。正常时，三线电流（单相者为二线电流）在其铁芯中产生的磁场互相抵消，互感器副边不产生感应电势，继电器J不动作，开关K保持在闭合位置。设备漏电时，出现零序电流，互感器副边产生感应

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

电势、继电器动作，并通过脱扣机构Y促使开关OF断开电源。图中，SB、R_x是检查支路，SB是检查按钮，R_x是限流电阻。为了提高保护装置的灵敏度，宜采用带有极化式电磁机构的高灵敏度继电器。

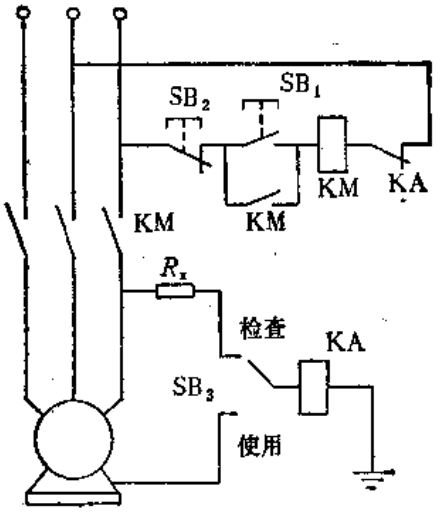


图 5-22 电压型漏电保护装置

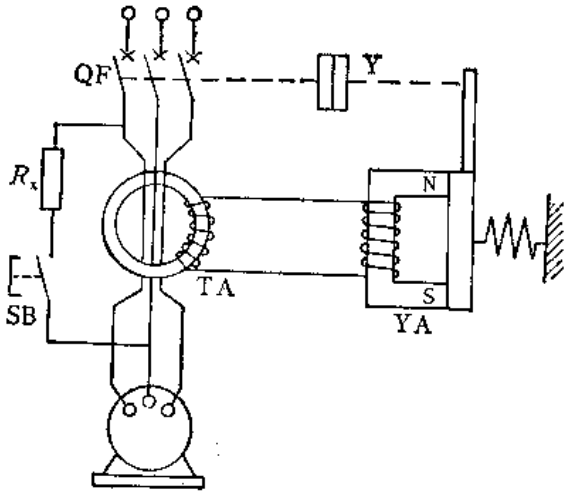


图 5-23 零序电流型漏电保护装置

2. 特点

零序电流型漏电保护装置可用于设备，也可用于线路；这种保护装置能防止间接接触电击和直接接触电击。在三相四线制系统中，如果设备同时采用了保护接零，零线不应作为互感器的原边，以便互感器能反映漏电引起的零序电流。但是，如果用于小容量线路，由于线路上经常有不平衡单相负荷，零线应该与三条相线一起作为互感器的原边。否则，只要负荷不平衡，漏电保护装置就可能误动作。

5.2.7.4 中性点型漏电保护装置

1. 原理

这种漏电保护装置的原理如图5-24所示。灵敏电流继电器LJ的线圈并联在击穿保险器J_{CB}的两端，正常时，零序电流很小，继电器不动作；当设备漏电、或有人单相触电、或一相及两相接地、或一相及两相对地绝缘降低到一定程度时，继电器迅速动作，通过接触器KM断开电源。图中，R_x、SB_3是检查支路。

2. 特点

这种保护装置结构简单，但只宜用作低压线路的总体保护，而不宜用于设备。为了提高供电可靠性，保护装置宜具有一次自动重合功能。对于中性点直接接地的电网，保护装置的接入将增加接地阻抗，往往将直接接地电网变成高阻抗接地电网；对于不接地电网，保护装置的接入会降低电网与大地之间的绝缘阻抗。因此，应用这种保护装置必须正确估价和控制可能给予电网的影响。

5.2.7.5 泄漏电流型漏电保护装置

1. 原理

这种保护装置的原理如图5-25所示。图中，继电器J由整流器Z_1和Z_2供给直流电源，直流电流经零序电压互感器TV、变压器T和线路对地绝缘电阻R_1构成回路。当设备漏电或有人单相

触电时，由于各相对地平衡遭到破坏，互感器TV输出零序电压，整流器 A_2 输出直流电压，从而使继电器动作，通过接触器断开电源。如果没有漏电，也没有人单相触电，各相对地绝缘也没有显著的不平衡，但各相对地绝缘电阻显著降低，由于泄漏电流显著增加，也可以引起继电器动作，通过接触器断开电源。

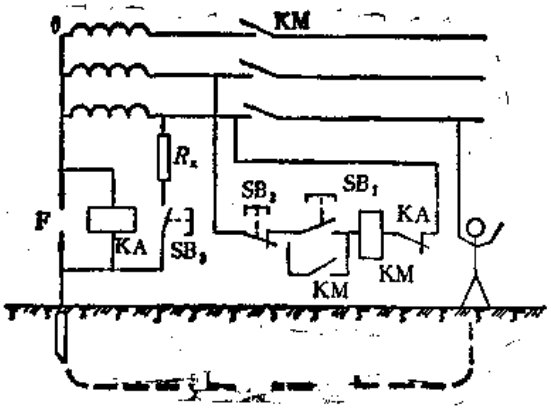


图 5-24 中性点型漏电保护装置

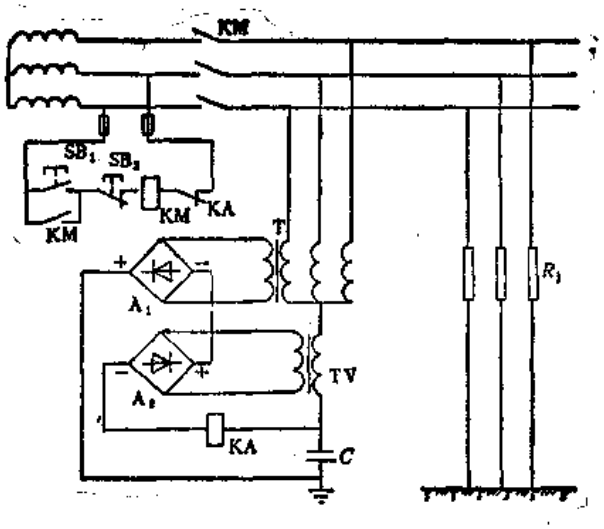


图 5-25 泄漏电流型漏电保护装置

2. 特点

这种保护装置需要增设辅助电源环节，只宜用作不接地电网的总体保护。为了不降低电网的绝缘水平，变压器B和互感器YH的原边应有较高的阻抗。

5.2.8 电工安全用具

5.2.8.1 种类和用途

1. 绝缘杆和绝缘夹钳

二者均属基本安全用具。由工作部分（钩或钳口）绝缘部分和握手部分组成。握手部分与绝缘部分之间有护环分开。绝缘杆和绝缘夹钳的尺寸、绝缘强度和机械强度均应符合要求。绝缘杆主要用来操作高压隔离开关、操作跌落式保险器、安装和拆卸临时接地线等。绝缘夹钳主要用来拆卸和安装熔断器等。

2. 绝缘手套和绝缘靴

绝缘手套和绝缘靴一般都作为辅助安全用具；但绝缘手套可作为低压工作的基本安全用具、绝缘靴可作为防止跨步电压的基本安全用具。技术要求详见11.7.1。

3. 绝缘垫和绝缘站台

绝缘垫用橡胶制成。绝缘站台用木材制成。其尺寸和绝缘强度应符合要求，应方便工作人员站立和行走。二者都只用作辅助安全用具。

4. 携带式电压指示器和电流指示器

前者通称验电器或试电笔，用来验明导体有电无电；后者通称钳形电流表，用来不断开导线测量线路电流。二者都有高压、低压之分。

5. 登高安全用具

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

包括脚扣、安全带、梯子、高凳等安全用具，用于登高作业，均应有足够的机械强度。安全带技术要求详见11·10·1。

6．临时接地线、遮栏和标示牌

均系现场检修安全用具。临时接地线用以防止线路突然来电的危险，遮栏用以防止检修人员触及或过分接近带电部位，标示牌用以给有关人员明显指出工作中应注意的关键问题。标示牌的应用可参考表5-41。

表 5-41 标示牌应用

名 称	悬挂位置	参考式样		
		尺寸（mm）	底色	字色
禁止合闸 有人工作	一经合闸即可送电到施工设备的开关和刀闸操作手柄上	200×100 和80×50	白底	红字
禁止合闸 线路有人工作	一经合闸即可送电到施工线路开关和刀闸操作手柄上	200×100 和80×50	红底	白字
在此工作	室外和室内工作地点或施工设备上	250×250	绿底、中有直径210mm的白圆圈	黑字、写于白圆圈中
止步 高压危险	工作地点临近带电设备的遮栏上； 室外工作地点临近带电设备的构架横梁上； 禁止通行的过道上； 高压试验地点	250×200	白底红边	黑字、有红箭头
从此上下	工作人员上下的铁架、梯子上	250×250	绿底、中有直径210mm的白圆圈	黑字、写于白圆圈中
禁止攀登 高压危险	工作临近可能上下的铁架上	250×200	白底红边	黑字
已接地	看不到接地线的工作设备上	200×100	绿底	黑字

5.2.8.2 使用安全要求

1．规格

应使用电压等级等规格相符合的安全用具。

2．检查

使用工具前检查其有无损坏，确认完好时方可使用。

3．专用

不得用其它用具（如医用手套、防雨胶靴等）代替安全用具。操作时，应按规定正确使用安全用具。

4．保管

应妥善保管，防止受潮、脏污或损坏；安全用具不得随意他用。

5.2.8.3 安全用具试验

安全用具试验标准参见表5-42。登高安全用具试验要求参见表5-43。

5.2.9 检修安全

检修工作分全部停电检修、部分停电检修和不停电检修。检修工作应遵照《电业安全工作规程》做好相应的组织措施和安全技术措施。

表 5-42 安全用具试验标准

名称		电压 (kV)	试验标准			试验周期 (Y)
			耐压试验 (kV)	耐压持续时间 (min)	泄漏电流 (mA)	
绝缘杆、绝缘夹钳		35及以下	3倍线电压但不得低于40	5		1
绝缘档板、绝缘罩		35	80	5		1
绝缘手套		高压 低压	8 2.5	1	≤9 ≤2.5	0.5
绝缘靴		高压	15	1	≤7.5	0.5
绝缘鞋		1及以下	3.5	1	≤2	0.5
绝缘垫		1以上 1及以下	15 5	以2~3m/s的速度拉过	≤15	2
绝缘站台		各种电压	40	2	≤5	3
绝缘柄工具		低压	3	1		0.5
高压验电器		10及以下 35以下	40 105	5		0.5
钳形电表	绝缘部分	10及以下	40	1		1
	铁芯部分	0及以下	20	1		1

表 5-43 登高安全用具试验标准

名称	安全腰带		安全腰绳	登高板	脚扣	梯子
	大带	小带				
试验静拉力 (kgf)	225	150	225	225	150	荷重180

5.2.9.1 主要安全制度

1. 工作票制度

凡在高压设备上或在高压室内二次线路、照明回路及其它设备上进行工作，需要全部停电或部分停电，或需采取安全措施的，须填用第一种工作票。第一种工作票的格式如表5-44。

凡带电作业，以及在带电设备外壳上，或者在无需高压停电的配电装置或二次线路上进行工作，须填用第二种工作票。第二种工作票格式如表5-45。

工作票上应填明工作内容、工作地点、工作时间、安全措施等项目。

工作票签发人、工作负责人、工作许可人各有其责。工作负责人、工作许可人均不得兼任工作票签发人。工作票签发人由熟悉人员技术水平、熟悉设备情况、熟悉安全规程的生产领导人或技术负责人担任。工作负责人亦即监护人应由主管生产的领导批准。工作负责人应当组织工作人员安全地工作。工作许可人即值班负责人亦应当由领导批准。工作许可人应审查工作票所填写的项目、实施安全措施、检查并移交现场。

2. 工作监护制度

检修工作应有人监护。如仅由工作负责人作监护人，在部分停电检修时，只有在安全措

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-44　第一种工作票　　编号：

1. 工作负责人（监护人）：＿＿＿＿＿＿班　组：＿＿＿＿＿＿
2. 工作班人员：＿＿＿＿＿＿共＿＿＿＿＿＿人
3. 工作内容和工作地点：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
4. 计划工作时间：自　　年　月　日　时　分至　　年　月　日　时　分
5. 安全措施：

下列由工作票签发人填写	下列由工作许可人（值班员）填写
应拉开关和刀闸，包括填写前已拉开关和刀闸（注明编号）	已拉开关和刀闸（注明编号）
应装接地线：（注明确实地点）	已装接地线（注明接地线编号和装设地点）
应设遮栏、应挂标示牌：	已设遮栏、已挂标示牌（注明地点）
	工作地点保留带电部分和补充安全措施
工作票签发人签名： 收到工作票时间：　年　月　日　时　分 值班负责人签名：	工作许可人签名： 值班负责人签名：

值长签名：

6. 许可开始工作时间：＿＿＿年＿月＿日＿时＿分
   工作负责人签名：＿＿＿＿＿＿工作许可人签名：＿＿＿＿＿＿
7. 工作负责人变动：
   原工作负责人：＿＿＿＿离去；变更＿＿＿＿为工作负责人。
   变动时间：＿＿＿＿年＿月＿日＿时＿分
   工作票签发人签名：＿＿＿＿＿＿
8. 工作人延期，有效期延长到：＿＿＿＿年＿月＿日＿时＿分
   工作负责人签名：＿＿＿＿＿＿值长或值班负责人签名：＿＿＿＿＿＿
9. 工　作　结　束：工作班人员已全部撤离，现场已清理完毕。
   全部工作于＿＿＿＿年＿月＿日＿时＿分结束。工作负责人签名：＿＿＿＿　工作许可人签名：＿＿＿＿
   接地线共＿＿＿＿组已撤除。值班负责人签名：＿＿＿＿＿＿
10. 备　　注：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

表 5-45　第二种工作票　　编号：

1. 工作负责人（监护人）：＿＿＿＿＿＿班　组：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
   工作人员：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
2. 工作任务：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
3. 计划工作时间：自＿＿＿＿年＿月＿日＿时＿分至＿＿＿＿年＿月＿日＿时＿分
4. 工作条件（停电或不停电）：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
5. 注意事项（安全措施）：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
   工作票签发人签名：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
6. 许可开始工作时间：＿＿＿＿年＿月＿日＿时＿分
   工作许可人（值班员）签名：＿＿＿＿＿＿工作负责人签名：＿＿＿＿＿＿＿＿
7. 工作结束时间：＿＿＿＿年＿月＿日＿时＿分
   工作许可人（值班员）签名：＿＿＿＿＿＿工作负责人签名：＿＿＿＿＿＿＿＿
8. 备　　注：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

施可靠、人员集中在一个工作地点、不致误触带电部位的情况下，工作负责人才能参加工作。

根据工作需要，可以设专职监护人。专职监护人不得兼任其它工作。

只要不是单人值班的场合，倒闸操作应有人监护。监护人应当由值班负责人或其它较为熟悉情况的人担任。倒闸操作应按操作票进行。

5.2.9.2 停电安全技术措施

1. 停电

对于要停电检修的设备，必须把各方面的电源全部断开，并断开可能反送电的电压互感器。除断开断路器外，还必须断开隔离开关，其断开处应有明显可见的断开点。

对于检修设备近处的带电体，10kV相距0.7m以下、35kV相距1 m以下，且无安全遮栏时也应停电。

2. 验电

验电须选用相应电压等级的验电器，并应先在有电部位试验，以确认验电器是否良好。

高压验电必须戴绝缘手套进行。

3. 装设临时接地线

验明设备确已无电后，应当用临时接地线将检修设备接地并三相短路，以防止突然来电造成危害。装设临时接地线还可以消除残留电荷，消除感应电压的危险。

装设临时接地线必须先接好接地端，后接导体端，拆除时顺序相反。

4. 悬挂标示牌和装设遮栏

在一经合闸即可送电到工作地点的开关上、在室外高压设备的围栏上、在禁止超越的遮栏上、以及在允许工作的地点均应悬挂相应的标示牌（详见本章5.2.8）。

部分停电检修时，如安全间距不够应装设临时遮栏。工作人员不得移动或拆卸遮栏，也不得移动或拆除临时接地线和标示牌。

5.2.9.3 低压带电检修

1. 操作

低压带电检修应设人监护。检修前应分清火线、零线。断开时，先断开火线，后断开零线；搭接时顺序相反。如无绝缘措施，检修人员不得穿越带电导线。检修时应注意防止由操作失误造成短路事故。应注意人体不得同时触及两根导线。

2. 工具和用具

低压带电检修应当使用绝缘柄的工具，应防止由工具造成短路。检查人员应穿绝缘鞋、站在干燥的地方、戴手套、戴安全帽，并穿长袖工作服，必要时应戴护目眼镜等。

5.2.10 其它防护技术

5.2.10.1 加强绝缘

符合加强绝缘的设备包括以下两种基本类型。

1. 具有双重绝缘或加强绝缘的设备

这类设备即Ⅱ级设备。双重绝缘指工作绝缘和保护绝缘（图5-26a、b、c、d）。工作绝缘是设备正常工作和防止触电的基本绝缘，保护绝缘是工作绝缘损坏后用于防止触电的绝缘。工作绝缘电阻不得低于2MΩ，保护绝缘电阻不得低于5MΩ。单一的加强绝缘（图5-26e、f）应具有同上述双重绝缘同等的绝缘水平。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

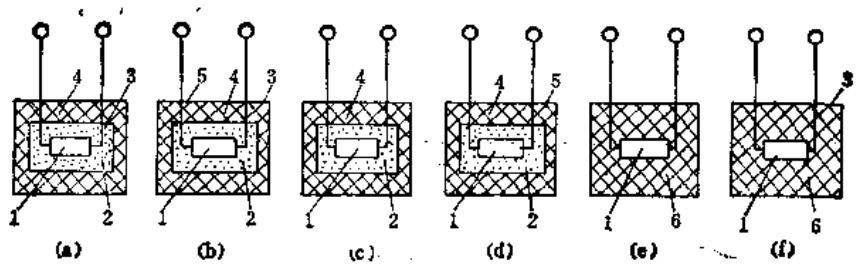


图 5-26 双重绝缘和加强绝缘

1—带电体；2—工作绝缘；3—不可触及的金属；4—保护绝缘；5—可触及的金属；6—加强绝缘

2. 具有总体绝缘的成套电气设备

其各设备上的工作绝缘损坏时，总体绝缘可起防止触电的作用。

如果用绝缘外护物实现加强绝缘，则外护物必须用钥匙或工具才能开启，其上不得有金属件穿过，并有足够的机械强度，防护等级不得低于IP2X。

凡属加强绝缘的设备，不必再行接地或接零。

5.2.10.2 不导电场所

这种场所是指地板和墙都用不导电材料制成的场所。这种场所必须符合以下安全要求。

（1）电压500V及以下者，地板和墙每一点的电阻不应小于50kΩ；电压500V以上者不应小于100kΩ。

（2）保持间距或设置屏障，防止人体在工作绝缘损坏后同时触及不同电位的导体。

（3）具有永久性特征。为此，场所不会因受潮而失去不导电性能，不会因引进其它设备而降低安全水平。

（4）为了保持不导电特征，场所内不得有保护零线或保护地线。

（5）有防止场所内可能的高电位引出场所范围的措施。

5.2.10.3 等电位保护

指敷设互相联结的金属导体，等化场所内各点电位的防护措施。敷设网络接地体或在某些情况下敷设联结各设备金属外壳的不接地导体都属于这类措施。

与等电位保护关联的等电位联结包括主等电位联结和辅助等电位联结。前者指总配电装置或电源进线处保护干线、接地干线、建筑金属结构以及可用作保护导体的生产用金属装备之间的联结；后者指局部范围内，分配电盘或电气设备上保护线与上述自然导体之间的联结。

采用等电位保护的场所必须注意以下两点：

（1）防止进入等电位场所时遭到电击的危险。

（2）防止场所内高电位引出和场所外低电位引入的危险。

5.2.10.4 电气隔离

电气隔离指工作回路与其它回路实现电气上的隔离。其防护原理是阻断电击电流的通路。电气隔离的回路必须符合以下条件。

（1）电源变压器原、副边不得有电气连接，并具有加强绝缘的结构（图5-27）。

（2）隔离回路电压不超过500V；电压与长度的乘积不超过100000Vm。

（3）隔离回路不得与其它回路和大地有任何连接，并应有防止故障接地和窜连其它回路的措施。

（4）隔离回路如带有多台用电设备（或器具），则各台设备（或器具）的金属外壳应采取独立的等电位联结措施。

5.2.10.5 绝缘监视

不接地电网发生一相接地故障时，电网运行方式将遭到破坏；同时，其它两相对地电压可能升高到接近线电压，会增加对地绝缘的负担，并增大触电的危险性。不接地电网一相接地的接地电流不大，接地后线路和设备还能继续工作。因此，如没有绝缘监视装置，一相接地故障可能长时间存在。

良好的绝缘监视装置应能在电网发生故障时发出声、光双重信号。

1. 低压电网的绝缘监视

如图5-28所示，绝缘监视借三只相同的电压表实现。当电网对地绝缘正常时，三相平衡，三只电压表读数均为相电压；当一相接地时，该相电压表读数急剧降低，另两相则显著升高。即使系统没有接地，而是一相或两相对地绝缘显著恶化时，三只电压表也会显示不同的读数，引起工作人员注意。为了不降低系统中保护接地的可靠性，应当采用高内阻电压表。

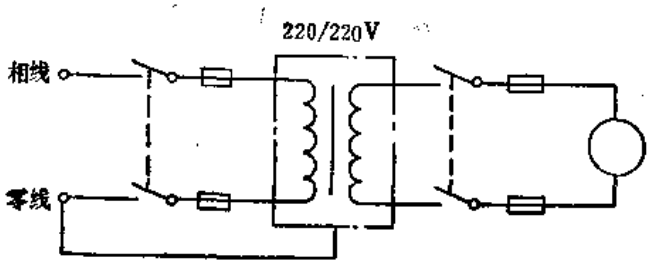


图 5-27 电气隔离变压器接线图

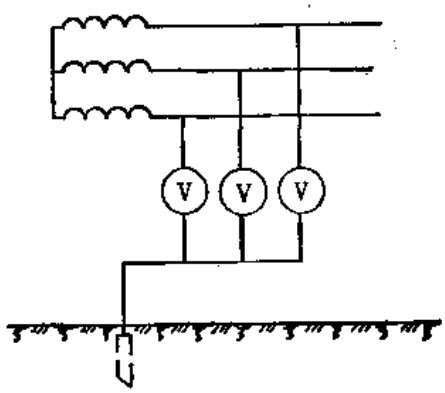


图 5-28 低压电网的绝缘监视

2. 高压电网的绝缘监视

如图5-29所示，监视仪表（器）通过电压互感器同高压连接。互感器有两组低压线圈：一组接成星形，供绝缘监视的电压表用；一组接成开口三角形，开口处接信号继电器。正常时，三只电压表读数相同；三角形开口处电压为零，信号继电器不动作。当一相接地或一、两相对地绝缘明显恶化时，三只电压表出现不同读数；同时，三角形开口处出现电压，信号继电器动作，发出信号。

5.2.10.6 过电压防护

在不接地电网中，当高、低压意外短接时，低压系统的对地电压上升为高压系统的对地电压，可导致严重的人身事故和设备事故。为了减轻这种危险，应在低压电网的一点与大地之间装设击穿保险器作过电压保护（图5-30）。正常时，击穿保险器保持绝缘，系统不接地；当击穿保险器上电压升至数百伏时，保险器间隙击穿，故障电流经接地装置流入大地。为了限制电压升高不超过120V，其接地电阻应符合下式要求：

$$R_0 \leqslant \frac{120}{I_{gd}}$$

式中 I_{gd}——高压系统单相接地短路电流。

为监视击穿保险器的间隙是否保持绝缘良好，可利用两只电压表如图接线进行监视。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

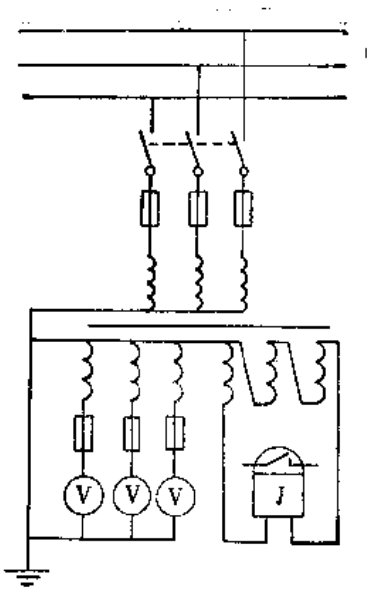


图 5-29　高压电网的绝缘监视

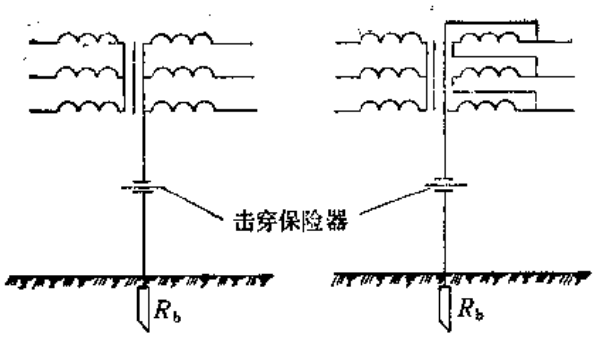


图 5-30　击穿保险器的连接

5.3　电气防火防爆

火灾和爆炸是电气灾害的主要形式之一。电气火灾和爆炸在火灾和爆炸中占有很大的比例。引起火灾的电气原因是仅次于明火的第二位原因。电气火灾和爆炸除可能造成人身伤亡和设备、设施损坏外，还可能造成大规模停电，造成重大经济损失。

5.3.1　爆炸性物质和危险场所

5.3.1.1　爆炸性物质

1．爆炸性物质分类

爆炸性物质是指与空气形成混合物在一定条件下能发生燃爆的物质。爆炸性物质分为以下三类：

Ⅰ类　矿井甲烷；

Ⅱ类　爆炸性气体、蒸气；

Ⅲ类　爆炸性粉尘、纤维。

爆炸性混合物是指在大气条件下，气体、蒸气、薄雾、粉尘或纤维以一定的比例与空气混合，一经点燃，燃爆能在整个范围内传播的混合物。

2．爆炸性物质的性能参数和分级分组

（1）按引燃温度分组　爆炸性物质的引燃温度见本手册第2章。

爆炸性气体、蒸气、薄雾按引燃温度分为六组。其相应的引燃温度范围见表5-46。老标准分为五组。其温度范围与新标准的前五组相同。

爆炸性粉尘、纤维按引燃温度分为三组。其相应的温度范围见表5-47。

（2）按最小点燃电流比（MICR）分级　最小点燃电流比是在规定试验条件下，气体、蒸气、薄雾爆炸性混合物的最小点燃电流与甲烷爆炸性混合物的最小点燃电流之比。气体、蒸气、薄雾爆炸性混合物按最小点燃电流比分级见表5-48。

老标准是按最小引爆电流，即按能引起混合物发生爆炸的最小试验电流分级。具体划分

表 5-46 气体、蒸气、薄雾按引燃温度分组

组别	新标准	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	老标准	a	b	c	d	e	—
引燃温度（℃）		>450	≤450 >300	≤300 >200	≤200 >135	≤135 >100	≤100 >85

表 5-47 粉尘、纤维按引燃温度分组

组别	T1-1	T1-2	T1-3
引燃温度（℃）	>270	≤270 >200	≤200 >140

表 5-48 气体、蒸气、薄雾爆炸性混合物按MICR分级

级别	I	IA	IB	IC
MICR	1.0	≤1.0 >0.8	≤0.8 >0.45	≤0.45

表 5-49 爆炸性混合物按最小引爆电流分级

级别	I	II	III
最小引爆电流（mA）	>120	≤120 >70	≤70

见表5-49。

（3）按最大试验安全间隙（MESG）分级 最大试验安全间隙是衡量爆炸性物品传爆能力的性能参数，是指在规定试验条件下，两个经长25mm的间隙连通的容器，一个容器内燃爆能引起另一个容器内发生燃爆的最小连通间隙。气体、蒸气、薄雾爆炸性混和物按最大试验安全间隙分级见表5-50。

表 5-50 气体、蒸气、薄雾爆炸性混合物按MESG分级

级别	I	IA	IB	IC
MESG mm	1.14	≤1.14 >0.9	≤0.9 >0.5	≤0.5

老标准称试验间隙为最大不传爆间隙。其分级见表5-51。

表 5-51 爆炸性混合物按最大不传爆间隙分级

级别	1	2	3	4
最大不传爆间隙 mm	>1.0	≤1.0 >0.6	≤0.6 >0.4	≤0.4

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

一些爆炸性气体混合物的分级、分组见表5-52（新标准）和表5-53、表5-54(老标准)。表中未列入的爆炸性气体参见本手册第2章。表5-52中，按最大试验安全间隙与按最小点燃电流比的分级近似相等。

表 5-52 爆炸性气体分级和分组

类和级	最大试验安全间隙 MESG (mm)	最小点燃电流比 MICR	引燃温度(℃)与组别					
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
			T＞450	450≥T＞300	300≥T＞200	200≥T＞135	135≥T＞100	100≥T＞85
Ⅰ	MESG＝1.14	MICR＝1.0	甲烷					
ⅡA	0.9＜MESG＜1.14	0.8＜MICR＜1.0	乙烷、丙烷、丙酮、苯乙烯、氯乙烯、氯苯、甲苯、苯、氨、甲醇、一氧化碳、乙酸乙酯、乙酸、丙烯腈	丁烷、乙醇丙烯、丁醇、乙酸丁酯、乙酸戊酯、乙酸酐	戊烷、已烷、庚烷、癸烷、辛烷、汽油、硫化氢、环已烷	乙醚、乙醛		亚硝酸乙酯
ⅡB	0.5＜MESG≤0.9	0.45＜MICR≤0.8	二甲醚、民用煤气、环丙烷	环氧乙烷、环氧丙烷、丁二烯、乙烯	异戊二烯			
ⅡC	MESG≤0.5	MICR≤0.45	水煤气、氢、焦炉煤气	乙炔			二硫化碳	硝酸乙酯

表 5-53 按传爆能力、自燃点分级和分组

传爆能力级别	自燃点组别				
	a	b	c	d	e
1	甲烷、氨、醋酸	丁醇、醋酸酐	环已烷		
2	乙烷、丙烷、丙酮、苯乙烯、氯乙烯、苯、氯苯、甲醇、甲苯、一氧化碳、醋酸乙酯	丁烷、乙醇、丙烯、醋酸丁酯、醋酸戊酯	戊烷、已烷、庚烷、辛烷、癸烷、硫化氢、汽油	乙醛、乙醚	
3	市用煤气	环氧乙烷、环氧丙烷、丁二烯、乙烯	异戊二烯		
4	水煤气、氢	乙炔			二硫化碳

粉尘、纤维按其导电性和爆炸性分为ⅢA级和ⅢB级。其分级、分组见表5-55。表中未列入的爆炸性粉尘参见本手册第2章。

5.3.1.2 危险场所

危险场所分为气体爆炸危险场所、粉尘爆炸危险场所和火灾危险场所。

场所爆炸和火灾的危险程度决定于危险性物质的类别和状态、爆炸性混合物出现的频度和持续时间（发生爆炸和火灾的可能性）、爆炸性混合物中可燃物质的浓度、危险物质的贮量以及燃爆后果的严重程度。为了正确选用防爆措施，必须正确划分场所的危险等级。

表 5-54 按最小引燃电流、自燃点分级和分组

自燃点组别		a	b	c	d	e
最小引燃电流级别	Ⅰ	甲烷、氨、乙烷、丙酮、丙烷、苯、甲醇、一氧化碳、醋酸、丙烯酸甲酯、苯乙烯、氯苯、甲苯、醋酸乙酯、醋酸甲酯	乙醇、丁醇、乙烷、醋酸丁酯、醋酸戊酯、酯酐	环已烷、戊烷、已烷、庚烷、辛烷、癸烷、汽油	乙醚	
	Ⅱ	丙烯腈、二甲醚、环丙烷、市用煤气	乙烯、环氧乙烷		乙醚	
	Ⅲ	氢、水煤气	乙炔			二硫化碳

表 5-55 爆炸性粉尘分级和分组

类和级 \ 组别		T1-1	T1-2	T1-3
引燃温度(℃) / 粉尘物质		$T>270$	$270\geqslant T>200$	$200\geqslant T>140$
ⅢA	非导电性可燃纤维	木棉纤维、烟草纤维、纸纤维、亚硫酸盐纤维素、人造毛短纤维、亚麻	木质纤维	
	非导电性爆炸性粉尘	小麦、玉米、砂糖、橡胶、染料、聚乙烯、苯酚树酯	可可、米糖	
ⅢB	导电性爆炸性粉尘	镁、铝、铝青铜、锌、钛、焦炭、炭黑	铝（含油）、铁、煤	
	火炸药粉尘		黑火药T.N.T	硝化棉、吸收药、黑索金、特屈儿、泰安

1. 危险场所分区(级)

（1）气体爆炸危险场所分区 气体、蒸气、薄雾与空气形成爆炸性混合物的场所，按其危险程度分为0区（0级区域）、1区(1级区域)和2区(2级区域)。

a. 0区。指正常运行情况下连续出现或长时间出现或短时频繁出现气体爆炸性混合物的区域。

b. 1区。指正常运行情况下周期性出现或偶然出现气体爆炸性混合物的区域。

c. 2区。指正常运行情况下不出现，即使出现也只能是不频繁且短时出现气体爆炸性混合物的区域。

符合下列条件之一者，可列为非爆炸危险场所：

a. 没有释放源且不可能有爆炸危险物质侵入的场所。

b. 可能出现爆炸危险物质，但其体积浓度不超过爆炸下限10%的场所；或超过10%，但出现时间受图5-31限制的场所。

可以按照爆炸性混合物出现的概率粗略划分0区、1区、2区。出现概率为

$$P=\frac{Nt}{8760}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中 N——年出现频度；

t——每次出现的平均持续小时数。

$P>0.05$者划为0区、$0.0004<P<0.05$者划为1区、$P<0.0004$者划为2区。

老标准将可燃气体、易燃或可燃液体的蒸气与空气形成的爆炸性混合物的危险场所分为以下三级：

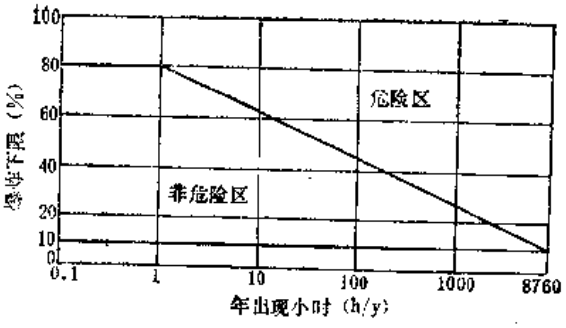


图 5-31 爆炸危险场所判断图

a. Q-1级。正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。

b. Q-2级。仅在不正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。

c. Q-3级。仅在不正常情况下能形成爆炸性混合物，但形成的可能性较小的场所。该场所内或者混合物数量少，或因密度小而难以积聚，或爆炸下限较高并有强烈气味等。

（2）粉尘爆炸危险场所分区 按危险程度，将粉尘爆炸危险场所分为10区（10级区域）和11区（11级区域）。

a. 10区。指正常运行情况下连续出现或长时间出现或短时间频繁出现粉尘爆炸性混合物的区域。

b. 11区。指正常运行情况下不出现，而只能偶然短时间出现爆炸性混合物的区域。

老标准将悬浮状可燃粉尘、纤维与空气形成的爆炸性混合物的场所分为以下二级：

a. G-1级。正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。

b. G-2级。仅在不正常情况下能形成爆炸性混合物的场所。

（3）火灾危险场所 火灾危险场所是危险物质不致形成爆炸性混合物，但可能引起火灾的场所。按危险物质种类，分为H-1级、H-2级和H-3级。分别相应于新标准的21区、22区和23区。

a. H-1级。有闪点高于环境温度的可燃液体，并且在数量和配置上能引起火灾的场所。

b. H-2级。有悬浮状或堆积状粉尘或纤维，并且在数量和配置上能引起火灾的场所。

c. H-3级。有可燃固体，并且在数量和配置上能引起火灾的场所。

2. 危险场所判断

判断场所危险程度需考虑危险物料性质、释放源特征、通风状况等因素。

（1）危险物料 除应考虑危险物料种类外，还必须考虑物料的闪点、爆炸极限、密度、引燃温度等理化性能，还必须考虑其工作温度和压力以及其数量和配置。例如，闪点低、爆炸下限低都会导致危险范围扩大，密度大会导致水平范围扩大等。

（2）释放源 应考虑释放源的布置和工作状态，注意其泄漏或放出危险物品的速率、泄放量和混合物的浓度以及扩散情况和形成爆炸性混合物的范围。

释放源主要分为三级：连续释放或预计长期释放或短时连续释放的为连续级释放源；正常运行时周期性和偶然释放的为一级释放源；正常运行时不释放或只是偶然短暂释放的为二级释放源。

（3）通风 室内原则上应视为阻碍通风，即爆炸性混合物可以积聚的场所；但加安装了能使全室充分通风的强制通风设备，则不视为阻碍通风场所。室外危险源周围有障碍处亦应视为阻碍通风场所。在自然通风场所，应注意上部空间积聚密度小的危险气体的可能性。

（4）综合判断 对危险场所，首先应考虑释放源及其布置，再分析释放源的性质，划

分级别，并考虑通风条件。

对于自然通风和一般机械通风的场所，连续级释放源可能导致0区，一级释放源可能导致1区，二级释放源可能导致2区；但是，良好的通风可能使爆炸危险场所的范围缩小或使危险等级降低，甚至降低为非爆炸危险场所；相反，若通风不良或风向不当，也可能使爆炸危险场所范围扩大或危险等级提高。

局部机械通风稀释爆炸性混合物比自然通风和一般机械通风更为有效，对缩小爆炸危险场所的范围，降低危险等级更为有利。

在无通风场所，连续级和一级释放源都可能导致0区，二级释放源可能导致1区。

在凹坑、死角及有障碍物处，局部地区危险等级应予提高，危险范围也可能扩大。

按照传统方法，对于正常开车、运转或停车时能形成爆炸极限范围内的爆炸性混合物者，划为Q-1级或G-1级场所。如果正常时不能形成，而在设备损坏、拆卸检修、错误操作等故障情况下能形成爆炸极限范围内的爆炸性混合物，则划为Q-2级或G-2级场所。如能形成爆炸性混合物的可能性很小，则划为Q-3级场所。

3. 危险场所范围

（1）气体和蒸气爆炸危险场所的范围　对于非开敞式厂房，爆炸危险区域的范围以厂房为单位划定。其门、窗外露天区域参照图5-32划定。图中，长度以m为单位；括号内为相应于2区厂房的数字；斜线上方为通风良好时的范围值，斜线下方为通风障碍时的范围值。开敞式注送站的爆炸危险区域的范围参照图5-33划定。局部开敞式注送站的爆炸危险区域范围参照图5-34划定。露天注送站的爆炸危险区域范围参照图5-35划定。露天注送站的爆炸危险区域范围参照图5-36划定。图中，r为注送口半径。露天油罐的爆炸危险区域范围参照图5-36划定。

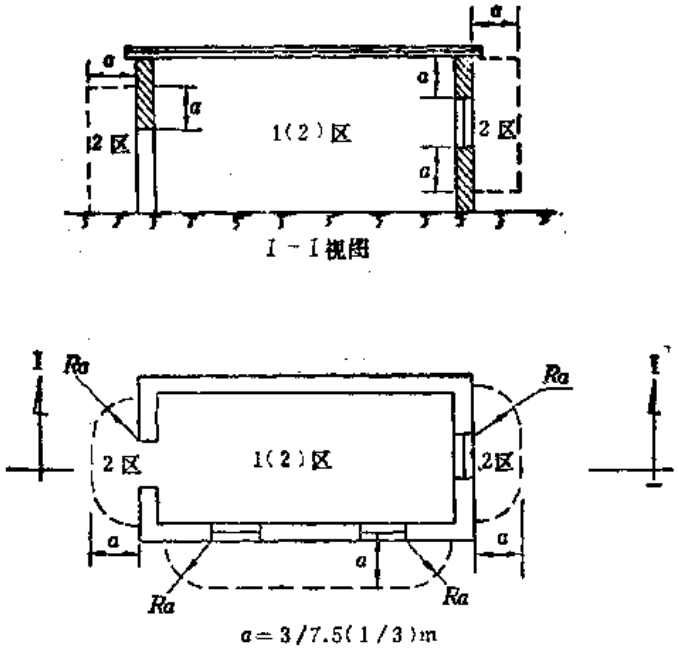


图 5-32　非开敞式厂房爆炸危险区域范围

当爆炸性气体释放量大、密度大于空气时，还应考虑附加危险区域。其考虑方法见图5-37。但对于密度小于空气密度者，不必考虑附加危险区域（图5-38）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

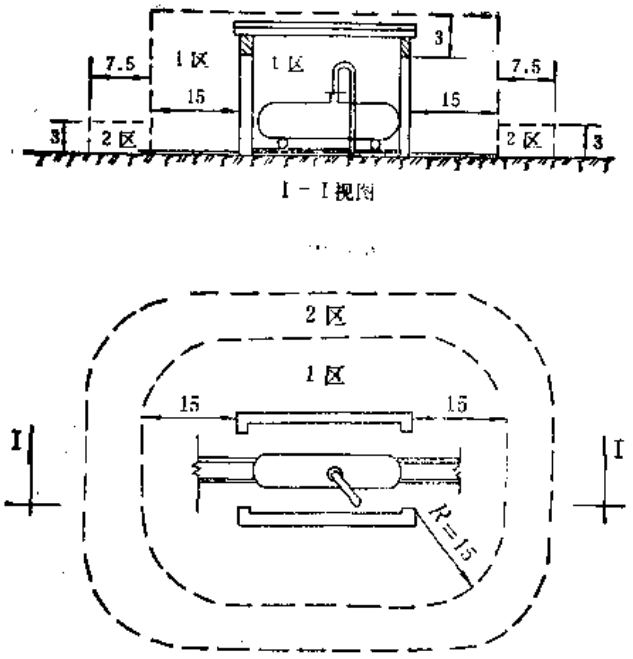


图 5-33 开敞式注送站爆炸危险区域范围

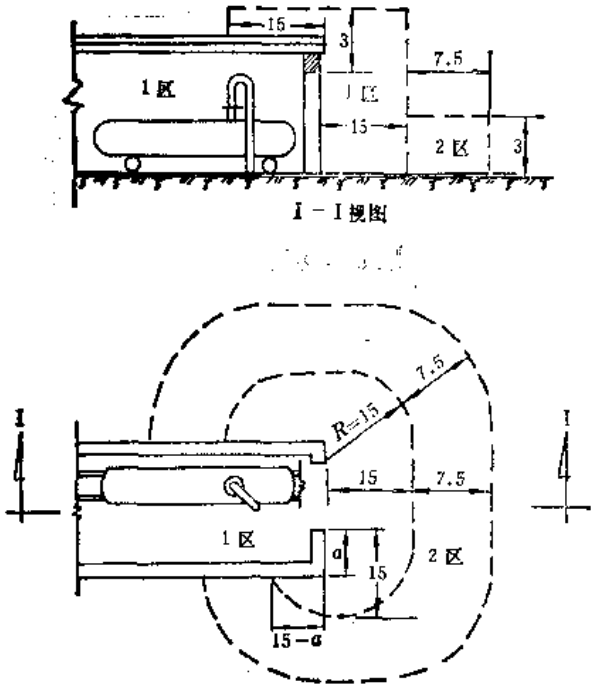


图 5-34 局部开敞式注送站爆炸危险区域范围

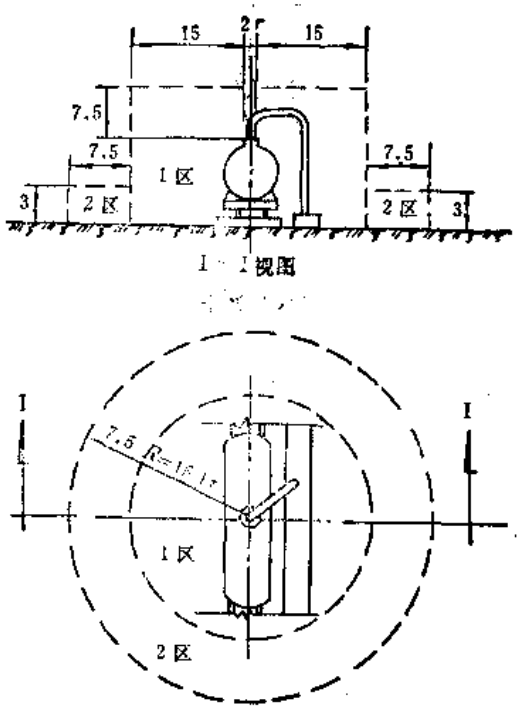


图 5-35 露天注送站爆炸危险区域范围

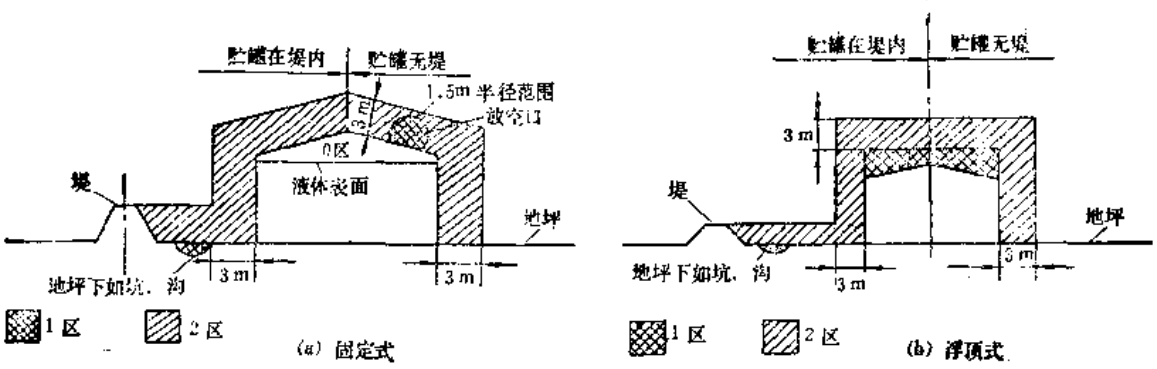
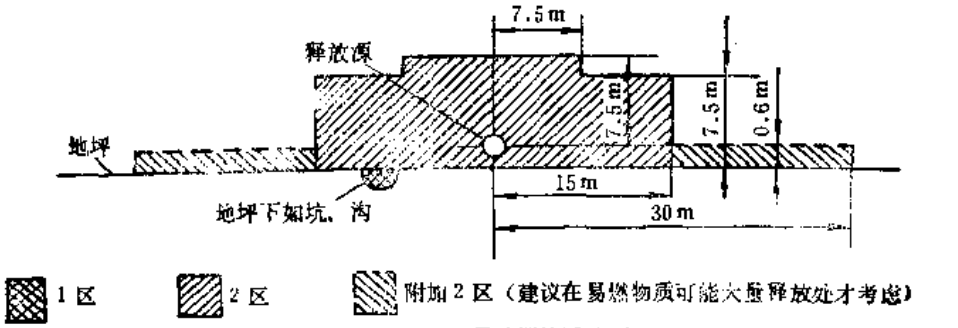
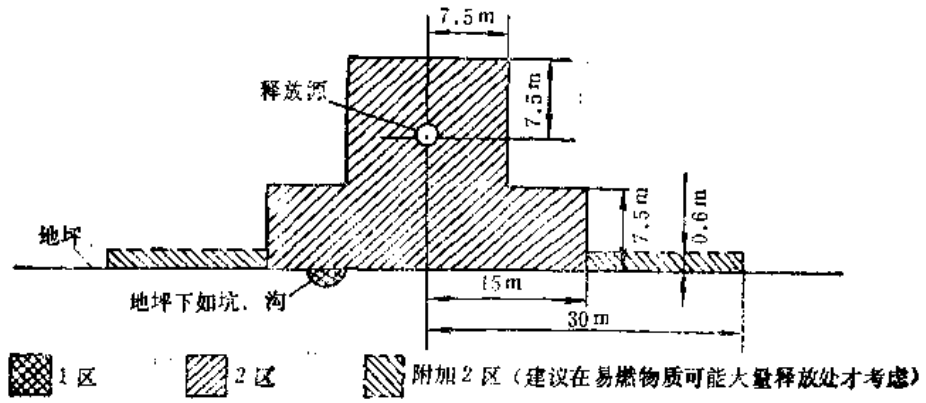


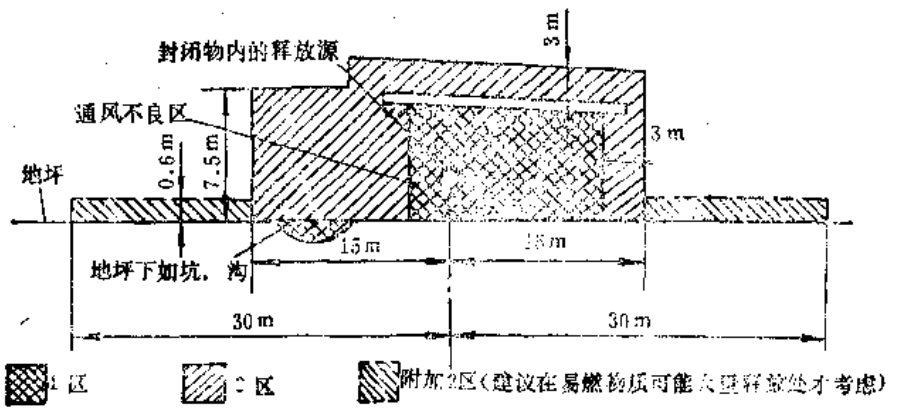
图 5-36 露天油罐爆炸危险区域范围



(a) 通风良好、释放源接近地面



(b) 通风良好，释放源离开地面



(c) 通风不良

图 5-37 附加危险区域

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

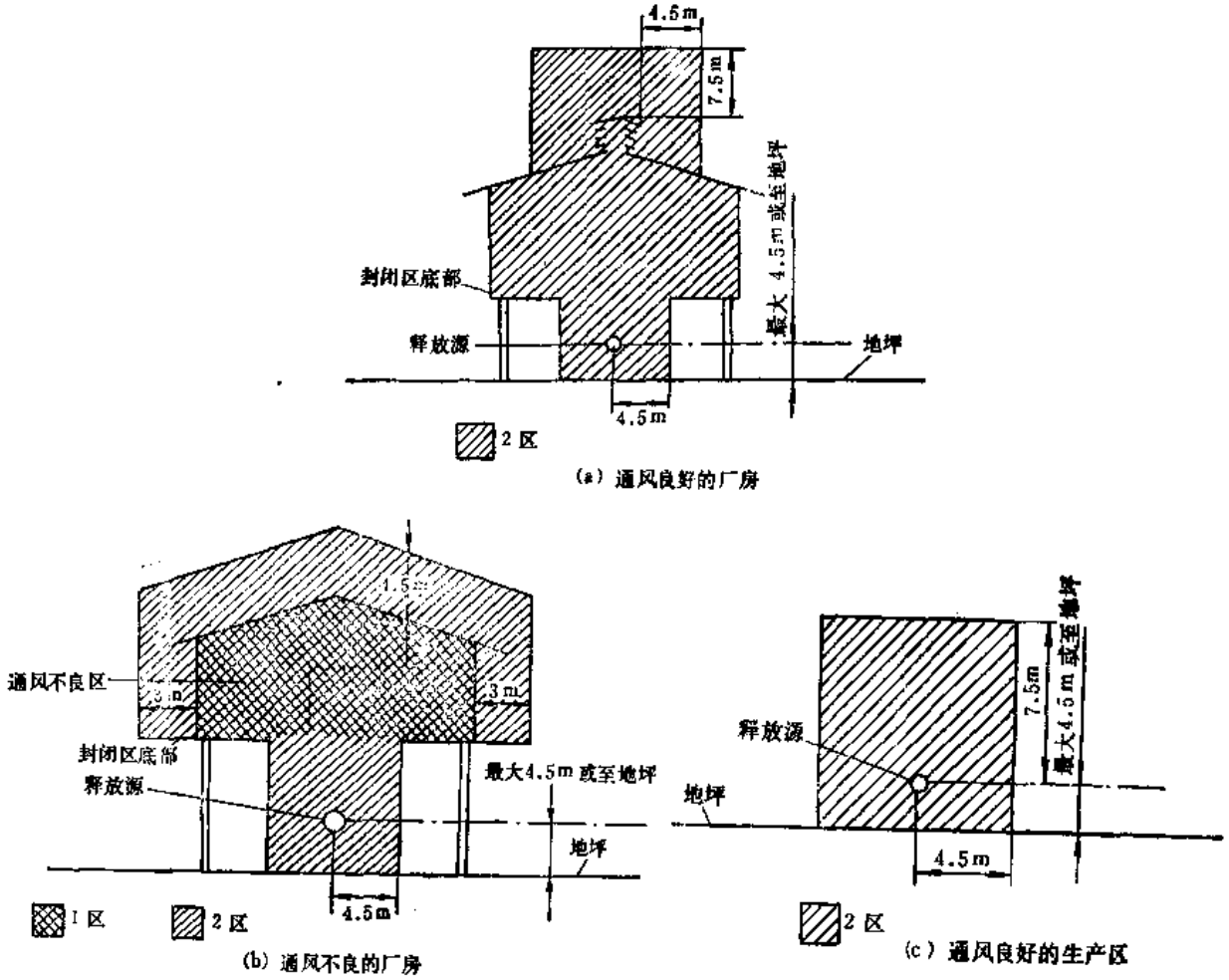


图 5-38 气体密度小于空气的爆炸危险区域范围

（2）粉尘和纤维爆炸危险场所的范围 对于非开敞式厂房，也以厂房为单位划分爆炸危险区域范围。厂房外露天区域参照图5-39划定。图中，长度单位为m、括号内为厂房划为11时的数字。对于开敞式或半开敞式厂房，10区开敞面以外水平距离7.5m（通风不良时15m）、地面或屋面以上3m以内的范围划为11区；11区以外水平距离3m、地面以上3m或屋面以上1m以内的范围也应划为11区。对于露天装置，11区的轮廓线按装置轮廓以外3m考虑，轮廓线以外水平距离15m、垂直距离3m以内的范围也应划为11区。

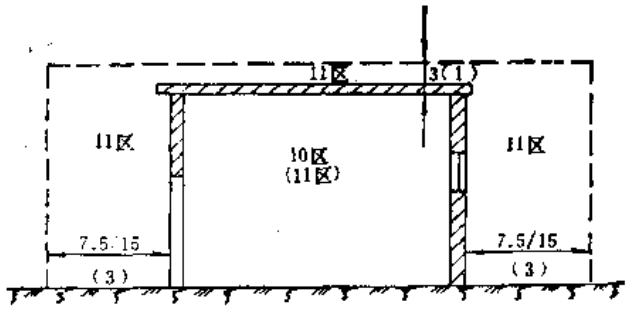


图 5-39 10区、11区的范围

（3）相邻场所的划分 相邻场所如有坚固的非燃烧材料的实体隔墙、有坚固的非燃烧材料制成的门，而且门上有密闭措施和自动关闭装置，则可按表5-56考虑相邻场所的等级。对于相邻的地下场所，如送风系统能保证该场所对危险场所保持正压，亦可参照表5-54划分危险区域。

表 5-56 相邻场所的危险等级

危险区域等级		用有门的墙隔开的相邻场所等级		备注
		一道有门的隔墙	两道有门的隔墙（通过走廊或套间）	
气体或蒸气	0区		1 区	两道隔墙门框之间的净距不应小于2米
	1区	2 区	非危险场所	
	2区	非危险场所		
粉尘或纤维	10区		11 区	
	11区	非危险场所	非危险场所	

几种相邻场所危险等级的划分见图5-40。

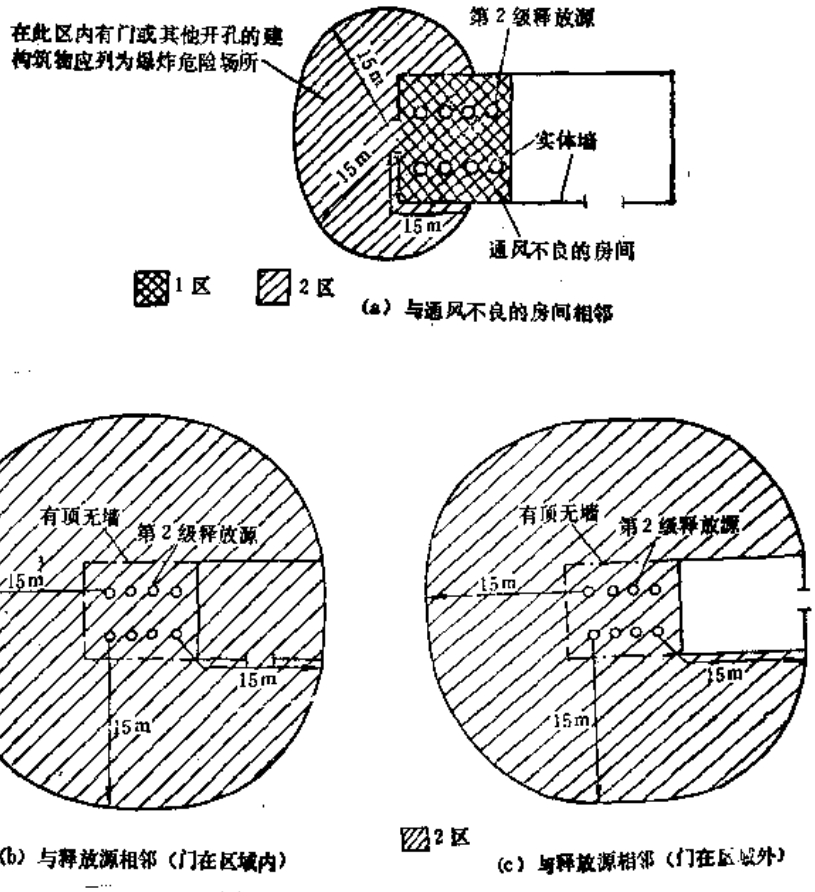


图 5-40 相邻场所的危险区域范围

老标准对相邻场所爆炸危险等级的划分方法见表5-57。

5.3.2 电气火灾和爆炸原因

电气线路、电动机、电力变压器、开关设备、插销座、电灯、电炉、电焊机等电气设备如设计、安装、运行、维修不当．均可能成为电气火灾和爆炸的原因。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-57 相邻场所爆炸危险等级的老标准

爆炸危险场所等级	用有门的墙隔开的相邻场所的等级	
	相隔一道有门的墙	通过走廊或套间隔开的两道有门的墙
Q-1级	划作Q-2级	无爆炸和火灾危险
Q-2级	划作Q-3级	
Q-3级	无爆炸和火灾危险	
G-1级	划作G-2级	无爆炸危险
G-2级	无爆炸危险	

5.3.2.1 危险温度

电气线路或电气设备过热将可能导致产生危险温度，成为引燃源。常见过热原因如下。

1. 短路

短路电流高达正常电流的数十倍，将产生大量的热，破坏绝缘并引燃易燃物品。电气设备或电气线路由于过电压击穿，酸、碱等的腐蚀，外物破坏，受潮、受热，以及由于老化均可能失去绝缘性能，并发展为短路；由于操作不慎，小动物侵入也可能造成短路。

2. 过载

线路或设备长时间过载也会导致不允许的过热。由于设计不周或使用不当均可能造成过载。短时工作制的设备过于频繁的运行，异步电动机频繁启动，堵转或缺相运行也会导致过热。

3. 接触不良

焊接质量低劣，连接不紧密，触头不平、接触压力不够均可能导致接触处过热。铜、铝接头是电接触的薄弱环节，容易过热。

4. 铁芯发热

电气设备铁芯短路或长时间过电压均可能造成铁芯过热。

5. 散热不良

电动机、电灯等电气设备散热不良或通风道堵塞将导致发热。

5.3.2.2 电火花

电火花温度很高，能量集中释放，是很危险的引燃源。常见电火花如下。

1. 工作火花

包括操作开关、插销、测量装置时产生的火花；还包括继电器、接触器正常动作时产生的火花，以及电刷末端产生的火花等。

2. 电气设备事故火花

包括熔断器动作、接头松动、短路、接地、闪络以及机械碰撞产生的火花。

3. 雷电火花

包括直击雷、感应雷、球雷放电以及二次放电的电弧或电火花。

4. 静电火花

系指由工艺过程中积累的静电发生放电产生的火花。

5. 电磁感应火花

由空间强电磁场，特别是高频电磁场感应的放电火花。

5.3.3 防爆电气设备

5.3.3.1 通用要求

1. 类型和标志

防爆电气设备的类型、级别、组别在外壳上应有明显的标志。各类防爆电气设备的标志列入表5-58。旧类型的标志前加“K”表示煤矿用防爆电气设备。新类型的标志有“Ⅱ”者

表 5-58 防爆电气设备类型和标志

类型		标志	
旧类型	新类型	旧标志	新标志
防爆安全型	增安型	A	e
隔爆型	隔爆型	B	d
防爆充油型	充油型	C	o
—	充砂型	—	q
防爆通风、充气型	通风充气型(正压型)	F	p
安全火花型	本质安全型	Ex	i
—	无火花型	—	n
防爆特殊型	特殊型	T	s

为工厂用防爆电气设备；有“Ⅰ”者为煤矿用防爆电气设备。

防爆型电气设备完整的标志除表明其防爆结构类型外，还能表示其适用范围。例如，dⅡBT3表示隔爆型设备，用于有ⅡB级、T1～T3组的爆炸性混合物的场所；epⅡT4表示立体增安型、有正压型部件，用于有Ⅱ级、T1～T4组爆炸性混合物的场所；dⅡ(NH_3)表示隔爆型，用于有氨气的场所；cⅡ(125℃)表示增安型，最高表面温度125℃的设备等。

旧型号的标志方法是类似的。如BH3Ⅱb表示立体隔爆型、有安全火花型部件，用于有传爆能力1～3级、最小引燃电流Ⅰ、Ⅱ级、自燃点a、b组的爆炸性混合物的场所等；若标有“0”，则表示无隔爆型和安全火花型部件。

2. 最高表面温度

隔爆型设备最高表面温度指外壳表面温度；其它各型设备指与爆炸性混合物接触表面的温度。

Ⅰ类设备表面可能堆积粉尘时，最高表面温度为+150℃；采取措施能防止堆积粉尘时为+450℃。

Ⅱ类设备最高表面温度不得超过表5-59的规定。

表 5-59 Ⅱ类设备最高表面温度

组别	T1	T2	T3	T4	T5	T6
最高表面温度(℃)	450	300	200	135	100	85

对于总表面积不超过10cm^2的部件，其最高表面温度允许提高，但T1、T2、T3组不得超过相应组别引燃温度的+50℃；T4、T5、T6组不得超过相应组别引燃温度的+25℃。

Ⅲ类设备最高表面温度不得超过表5-60的规定。表中，极限温升是对环境温度+40℃而言的。有过负荷可能的设备指电动机和电力变压器。

表 5-60 Ⅲ类设备表面最高温度

组别	电气设备表面或零部件温度极限值			
	无过负荷可能的设备		有过负荷可能的设备	
	极限温度(℃)	极限温升(℃)	极限温度(℃)	极限温升(℃)
T11	215	175	190	150
T12	160	120	140	100
T13	110	70	100	60

在有粉尘或纤维爆炸性混合物的场所内，电气设备外壳温度一般不应超过125℃。如不能保证这一要求，亦必须比混合物自燃点低75℃或低于自燃点的2/3。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3. 环境温度

电气设备运行环境温度一般为－20～＋40℃。若环境温度范围不同，须在铭牌上标明，并以最高环境温度为基础计算电气设备的最高表面温度。

4. 闭锁

电气设备上凡能从外部拆卸的紧固件，如开关箱盖、观察窗、机座、测量孔盖、放油阀或排油螺丝等，均必须有闭锁结构。其目的是防止非专职人员拆开这些保持防爆性能所必须的螺栓等紧固件。闭锁结构必须是使用改锥、扳手、钳子等一般工具不能松开或难以松开的紧固装置。

5. 外部连接

进线装置必须有防松和防止拉脱的措施，并有弹性密封垫或其它密封措施。

接线盒的电气间隙、漏电距离均应符合要求。

接地端子应有接地标志，保持连接可靠，并有防松、防锈措施。

5.3.3.2 各类设备防爆要求

1. 增安型

指在正常运行条件下不会产生电弧、火花或可能点燃爆炸性混合物的高温的设备结构上，采取措施提高安全程度，以避免在正常和认可的过载条件下出现上述现象的电气设备。其绝缘带电部件的外壳防护应符合IP44，其裸露带电部件的外壳防护应符合IP54。引入电缆或导线的连接件应保证与电缆或导线连接牢固、接线方便，同时还须防止电缆或导线松动、自行脱落、扭转，并能保持良好的接点压力。

2. 隔爆型

指把可能引燃爆炸性混合物的部件封闭在坚固的外壳内，该外壳能承受内部发生爆炸的爆炸压力并能阻止通过其上孔缝向外部传爆的电气设备。隔爆型设备的外壳用钢板、铸钢、铝合金、灰铸铁等材料制成。其外壳应能承受1.5倍参考压力● 的静压或动压试验。试验压力不得小于3.5bar。进行静压试验时，加压100ms内压力不得超过最大试验压力的50%，在最大试验压力下应保持1分钟。如试验压力上升时间小于5ms，则试验压力应为参考压力的3倍。

隔爆型电气设备可经隔爆型接线盒（或插销座）接线，亦可直接接线。连接处应有防止拉力损坏接线端子的设施。连接装置的结合面应有足够的长度。如果电缆封入主外壳内，则外壳外的长度不得小于3m。

隔爆型设备的紧固螺栓和螺母须有防松装置、不透螺孔须留有1.5倍防松垫圈厚度的余量；紧固螺栓不得穿透外壳，周围和底部余厚不得小于3mm。螺纹啮合不得少于6扣；啮合长度容积0.1L及以下者不得小于5mm、0.1L以上者不得小于8mm。

正常运行时产生火花或电弧的电气设备须设有联锁装置。保证电源接通时不能打开壳、盖；而壳、盖打开时不能接通电源。

3. 充油型

指全部或某些带电部件浸没在绝缘油里，使之不能引燃油面以上或外壳周围爆炸性混合物的电气设备。充油型设备外壳上应有排气孔，孔内不得有杂物；油量必须足够，最低油面

● 参考压力是引燃外壳内指定的爆炸性混合物时测得的爆炸压力。指定的爆炸性混合物如下：

Ⅰ类外壳：9.8%的甲烷；

ⅡA类外壳：3.6%的丁烷或2.1%的戊烷或4.6%的丙烷；

ⅡB类外壳：8%的乙烯或24%的氢-甲烷(85/15)或3～4.2%的乙醚；

以下深度不得小于25mm，油面指示必须清晰；油质必须良好；油面温度T1～T4组不得超过100℃，T5组不得超过80℃，T6组不得超过70℃。充油型设备应水平安装，其倾斜度不得超过5°；运行中不得移动；机械连接不得松动。直流开关设备不得制成充油型设备。

4. 正压型

指具有保护外壳、壳内充有保护气体，其压力保持高于外部爆炸性混合物气体的压力，以防止外部爆炸性混合物进入壳内的电气设备。按其充气结构，分为通风、充气、气密等三种型式。保护气体可以是空气、氮气或其它非可燃性气体。外壳防护等级不得低于IP44。

其外壳内不得有影响安全的通风死角。正常时，其出风口处风压或充气气压均不得低于20mm水柱；当压力低于10mm水柱或压力最小处的压力低于5mm水柱时，必须发出报警信号或切断电源。

这种设备应有联锁装置，保证运行前先通风、充气。运行前通风、充气的总量最少不得小于设备气体容积的5倍。运行前通风时间可按下式计算：

$$t = \frac{K(V+\alpha)}{Q}, \ \mathrm{s}$$

式中 K——容积倍数，$K \geqslant 5$；

V——设备气体容积，m^3；

α——管道气体容积，m^3；

Q——气体流量，m^3/s。

这种设备运行中，火花、电弧不得从缝隙或出风口吹出。

进入电气设备及其通风、充气系统的气体不应含有爆炸危险物质或其它有害物质。排出的废气一般不应进入爆炸危险场所。

5. 本质安全型

在规定试验条件下，正常工作或规定的故障状态下产生的电火花和热效应均不能点燃规定的爆炸性混合物的电路，称为本质安全电路。全部电路均为本质安全电路的电气设备称为本质安全型防爆电气设备。按其安全程度分成i_a级和i_b级。前者是在正常工作、一个故障和两个故障时不能点燃爆炸性气体混合物的电气设备，后者是在正常工作和一个故障时不能点燃爆炸性气体混合物的电气设备。

本质安全型设备导线许用电流可参考表5-61所列数值；除特殊电路外，该型设备及其关联设备外壳防护等级不得低于IP20、煤矿井下采掘工作面的不得低于IP54。其外部连接可以采用接线端子与接线盒，或插接件；接线端子之间、接线端子与外壳之间均应有足够的距离；插接件应有防止误插和防止拉脱的措施。

表 5-61 本质安全型设备导线许用电流（T1～T4）

导线截面，mm^2	0.017	0.03	0.09	0.19	0.28	0.44
最大许用电流，A	1.0	1.65	3.3	5.0	6.6	8.3

本质安全电路与设备金属机架之间的绝缘应能承受两倍电路电压，并不低于500V的耐压试验。本质安全电路与非本质安全电路之间的绝缘应能承受ZU＋1000V（U为二电路电压之和），并不低于1500V的耐压试验。本质安全电路与非本质安全电路的绝缘导线应分开

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

布置。

在正常工作状态时，本质安全型设备各元件（除变压器外）的电流、电压、功率均不得大于其额定值的2/3。

本质安全电路应有安全栅。安全栅是由限流元件（金属膜电阻、非线性阻件等）、限压元件（二极管、齐纳二极管等）和特殊保护元件（快速熔断器等）组成的可靠性组件。电路中晶体管均需双重化。

本质安全电路端子与非本质安全电路端子之间的距离不得小于50mm。

本质安全电路的电源变压器的次级电路必须与初级电路之间保持良好的电气隔离。如初级绕组与次级绕组相邻，其间应隔以绝缘板或采取其它防止混触的措施。电源变压器的工频耐压试验标准见表5-62。

表 5-62 本质安全电路电源变压器试验标准 (V)

部位	额定电压U	试验电压
原绕组、向非本安电路供电的副绕组与接地屏蔽、铁芯之间及其相互之间	U≤36 36<U<220 220≤U	1000 1500 4U最低为1500
向本安电路供电的副绕组与接地屏蔽、铁芯之间及其相互之间	U≤36 36<U	1000 2U+1000最低为1500

6. 充砂型

指外壳内充填细粒材料，使得在规定条件下，外壳内产生的电弧、火焰、壳壁及颗粒材料的危险温度不能点燃外部爆炸性混合物的电气设备。其外壳应有足够的机械强度，防护等级不低于IP44。细粒填充材料应填满外壳内所有空隙；颗粒直径为0.25～1.6mm。填充时，细粒材料含水量不得超过0.1%。

7. 无火花型

指正常运行条件下不产生电弧、火花，也不产生能引燃周围爆炸性混合物表面温度或灼热点的防爆型电气设备。

8. 特殊型

指不属于以上防爆类型的防爆型电气设备。

5.3.4 电气防火防爆安全技术

电气防火防爆安全技术是综合技术，包括电气设备和电气线路选型、电气设备安全运行、接地和接零等内容。

5.3.4.1 电气设备选型

1. 一般要求

在爆炸危险场所，应尽量少用携带式设备，少用插销座；为了经济，首先应考虑把有危险的电气设备和电气线路安装在危险场所以外；爆炸危险场所电气设备和电气线路的配置应有利于防潮、防腐、防风砂、防雨雪和防机械损伤，并应位于爆炸危险性较小的部位；所选用防爆型电气设备的组别和级别应与场所内爆炸性混合物的组别和级别相适应。

在火灾危险场所，不应使用电热器；应使正常运行时有火花和温度较高的电气设备远离可燃物质。

采用非防爆型设备隔墙机械传动时，隔墙必须是非燃烧材料的实体墙；穿轴孔洞必须密封；安装电气设备的房间出口只能通向非爆炸危险场所，否则，必须保持正压。

在粉尘和纤维爆炸危险场所，电气设备表面温度不得超过125℃、或比混合物的引燃温度低75℃或低于混合物引燃温度的2/3。

2。爆炸危险场所电气设备选型

在气体、蒸气爆炸危险场所、旋转电机、变压器和开关电器、照明灯具等电气设备防爆结构选型分别见表5-63、表5-64、表5-65、表5-66和表5-67。

表 5-63 旋转电机防爆结构的选型

序号	电气设备 \ 爆炸危险场所 / 防爆结构		1区 隔爆	1区 正压	1区 增安	2区 隔爆	2区 正压	2区 增安	2区 无火花⑥
1	三相鼠笼型感应电动机①	(低压)	○	○	△	○	○	○	○
		(高压)	△	△	×	○	○	○	×
2	三相绕线型感应电动机②	(低压)	△	△	-	○	○	○⑤	×
		(高压)	×	×	-	○	○	○⑤	×
3	单相鼠笼型感应电动机(无接点)	(低压)	○		×	○		○	○
4	单相鼠笼型感应电动机(有接点)	(低压)	○		-	○		○	-
5	带制动器的鼠笼型感应电动机	(低压)	△③		×	○		△	×
6	屏蔽电动机	(低压)	○	○	×	○	○	○	○
7	三相同步电动机④(带电刷)	(高压)	×	×	-	△	△	△⑤	-
8	三相同步电动机(无电刷)	(高压)	△	△	×	○	○	○	○
9	三相同步电动机	(低压)	○		×	○		○	○
10	直流电动机	(低压)	△	△	-	○	○	-	-
11	电磁滑差离合器(带电刷)	(低压)		△	-		○	△⑤	-
12	电磁滑差离合器(无电刷)	(低压)	△	△	×	○	○	○	△

○表示适用，△表示尽量避免，×表示不适用，-表示结构上不现实，无符号表示一般不用。

① 三相鼠笼型感应电动机原则上是具有连续使用的连续额定和短时间使用的短时间额定特性的电动机。对断续使用、反复使用等效额定的情况下，按序号5选型。

② 三相绕线型感应电动机应将其起动电流限制在必要的最小限度。额定值按序号1选择。

③ 带制动器的鼠笼型感应电动机一般多为断续使用和反复使用。因此，特别有必要对其负荷条件、运行特性进行充分研究后再选型。1区隔爆栏的③符号，是指包括控制危险温度的制动器的隔爆型结构。

④ 所以将三相同步电动机（带电刷）在2区场所选用，标以△符号，意指在此情况下尽可能选用"无电刷"者。

⑤ 是指发生电火花的部分是隔爆或通风充压型防爆结构，而其主体是增安型防爆结构。

⑥ 表中无火花电动机选型只适用于具有比空气轻的介质的场所内。

表 5-64 变压器防爆结构的选型

序号	电气设备 \ 爆炸危险场所 / 防爆结构		1区 隔爆	1区 正压	1区 增安	2区 隔爆	2区 正压	2区 增安
1	油浸变压器(包括起动用)	低压	-	-	×	-	-	○
		高压	-	-	×	-	-	△
2	油浸电感线圈(包括起动用)	低压	-	-	×	-	-	○
		高压	-	-	×	-	-	△
3	干式变压器(包括起动用)	低压	△	△	×	○	○	○
		高压	×	×	×	△	△	△
4	干式电抗线圈(包括起动用)	低压	△	△	×	○	○	○
		高压	×	×	×	△	△	△
5	仪表用互感器	低压	△		×	○		○
		高压	△		×	△		△

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-65 开关和控制器类防爆结构的选型

序号	电气设备 \ 爆炸危险场所 / 防爆结构		0级	1区					2区				
			本质安全	本质安全	隔爆	正压	充油	增安	本质安全	隔爆	正压	充油	增安
1	空气开关①	(低压)	–	–	○		–	–	–	○		–	–
	(无自动断路)	(高压)	–	–	×		–	–	–	△		–	–
2	空气开关②	(低压)	–	–	△		–	–	–	○		–	–
	(自动断路)	(高压)	–	–	×	×	–	–	–	△		–	–
3	空气断路器	(低压)	–	–	△		–	–	–	○		–	–
		(高压)	–	–	×	×	–	–	–	△		–	–
4	气体熔断器	(低压)	–	–	△		–	–	–	○		–	–
		(高压)	–	–	×	×	–	–	–	△		–	–
5	操作用小开关	(低压)	○	○	○		○③	–	○	○		○③	–
6	二次起动用空气控制器	(低压)	–	–	△		–	–	–	○		–	–
7	电抗起动器和起动补偿器	(低压)	–	–	△		–	–	○				○④
		(高压)	–	–	×	×	–	–	○				△④
8	起动用金属电阻器	(低压)	–	–	△	△	–	×	–	○	○	–	○
		(高压)	–	–	×	×	–	×	–	△	△	–	△
9	起动用液体电阻器	(低压)	–	–	–	–	–	×	–	–	–	–	○
		(高压)	–	–	–	–	–	×	–	–	–	–	△
10	电磁阀用电磁铁	(低压)	–	–	○	–	–	×	–	○	–	–	○
11	电磁摩擦制动器	(低压)	–	–	△⑤		–	×	–	○		–	△
12	操作盒	(低压)	–	–	○	○	–	–	–	○	○	–	–
13	控制盘	(低压)	–	–	△	△	–	–	–	○	○	–	–
		(高压)	–	–	×	×	–	–	–	△	△	–	–
14	配电盘	(低压)	–	–	△		–	–	–	○		–	–
		(高压)	–	–	×	–	–	–	–	○		–	–

① 空气开关（无自动断路）是指刀形开关等主电路断路用开关。原则上不用作负荷电流的开关，并最好能从外部判断开关的状态。

② 空气开关（自动断路）是指电磁开关、带跳闸的手动开关等。此类开关最好避免在1区使用，当不得不使用时，应尽可能安装在1区中危险程度最小的地方。

③ 操作用小型开关是指按钮开关、操作开关等。此外，与控制用小型开关相类似的压力开关、浮动开关、限位开关，也同样适用。

充油型最好是外壳为隔爆结构的充油型防爆开关。

④ 是指将隔爆结构的起动运转开关操作部件和增安型防爆结构的电抗线圈或单绕组变压器，组成一体的结构。

⑤ 是指将制动片、滚筒等机械部分也装入隔爆壳体内者。

表 5-66 照明灯具类防爆结构的选型

序号	电气设备 \ 爆炸危险场所 / 防爆结构	1区		2区	
		隔爆	增安	隔爆	增安
1	固定式白炽灯	○	×	○	○
2	移动式白炽灯	△	–	○	–
3	固定式荧光灯	○	×	○	○
4	固定式高压水银灯	○	×	○	○
5	携带式电池灯	○	–	○	–
6	指示灯类	○	×	○	○

在粉尘、纤维爆炸危险场所，电气设备选型见表5-68。

对于旧型号的设备，可参考表5-69选型。表中，非防爆型电气设备标志的字母H及其后面的两个数字表示其外壳防护等级；第一个数字表示防止固体及防止人体触及的级别、第二个数字表示防水的级别；数字愈大，防护级别愈高。

表 5-67 辅助电气设备防爆结构的选型

序号	电气设备 \ 爆炸危险场所 \ 防爆结构	0区	1区				2区			
		本质安全	本质安全	隔爆	正压	增安	本质安全	隔爆	正压	增安
1	信号、报警装置	○	○	○	○	×	○	○	○	○
2	半导体整流器	-	-	△	△	×	-	○	○	△
3	插座式连接器	-	-	○	-	-	-	○	-	-
4	接线盒	-	-	○		×	-	○		○

表 5-68 10区和11区电气设备防爆结构的选型

序号	电气设备		爆炸危险场所 \ 防爆结构	10区			11区			
				隔爆(粉尘)	正压	充油	正压	防尘	IP 65	IP 54
1	变压器			○	○	○		○		
2	配电装置			○	○					
3	电动机	鼠笼式		○	○					○
		带电刷					○			○
4	电器和仪表	固定安装		○	○	○			○	
5		移动式		○	○				○	
6		携带式		○					○	
7	照明灯具			○				○		

注：1. 符号○表示适用。
2. IP54、IP65表示电气设备的防护级别，详见本章第5.4节。

3. 火灾危险场所电气设备选型

在火灾危险场所，应按表5-70选用电气设备。

对于旧型号的设备，可参考表5-71选型。

5.3.4.2 防爆电气线路

1. 爆炸危险场所

爆炸危险场所电气线路选型见表5-72。1区、2区配线技术要求见表5-73和表5-74。11区、12区配线技术要求见表5-75和表5-76。

爆炸危险场所使用的电缆和导线的额定电压不得低于500 V。1000 V及1000 V以下者，电缆和导线的长期允许载流量不应小于电动机额定电流的125%；1000 V以上者须按短路电流校验。工作零线应与相线同样绝缘，并装在同一护套或管子内。除照明回路外，爆炸危险场所内的线路不得有中间接头；并应采用相应防爆类型的接线盒；接头应采用钎焊、熔焊或压接。

在爆炸危险场所，应采用三相五线制和单相三线制线路，即采用保护零线与工作零线分开的TN-S系统；相线和工作零线上均应有短路保护。

在爆炸危险场所，禁止使用绝缘导线明敷设。引入防爆充油型设备的线路应采用耐油型导线。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-69 爆炸危险场所旧型号电气设备选型

场所等级		Q-1	Q-2	Q-3	G-1	G-2
电机		隔爆型、防爆通风、充气型	任意防爆类型	H43型①	任意一级隔爆型、防爆通风、充气型	H44型②
电器和仪表	固定安装	隔爆型、防爆充油型、防爆通风、充气型、安全火花型	H45型③	H45型①	任意一级隔爆型、防爆通风、充气型、防爆充油型	H45型
	移动式	隔爆型、防爆充气型、安全火花型	隔爆型、防爆充气型、安全火花型	除防爆充油型以外任意一种防爆类型乃至H57型	任意一级隔爆型、防爆充气型	
	携带式	隔爆型、安全火花型	隔爆型、安全火花型	隔爆型、防爆安全型、H57型	任意一级隔爆型	
照明灯具	固定及移动	隔爆型、防爆充气型	防爆安全型	H45型	任意一级隔爆型	H45型
	携带式⑤	隔爆型	隔爆型	隔爆型、防爆安全型乃至H57型	任意一级隔爆型	任意一级隔爆型
变压器		隔爆型、防爆通风型	防爆安全型、防爆充油型	H45型⑥	任意一级隔爆型、防爆充油型、防爆通风、充气型	H45型
通讯电器		隔爆型、防爆充油型、防爆通风、充气型、安全火花型	防爆安全型	H57型		
配电装置		隔爆型、防爆通风、充气型	任意一种防爆类型	H57型	任意一级隔爆型、防爆通风、充气型	H45型

① 电动机正常发生火花的部件(例如滑环)应在H44型的罩子内；事故排风机用电动机应选用任意一种防爆类型。
② 电动机正常发生火花的部件（例如滑环）应在下列类型之一的罩子内：任意一种隔爆型、防爆通风、充气型乃至H57型。
③ 具有正常发生火花的部件或按工作条件发热超过80℃的电器和仪表，应选用任意一种防爆类型。
④ 事故排风机用电动机的控制设备（例如按钮）应选用任意一种防爆类型。
⑤ 应有金属网保护。
⑥ 指干式或充以非燃性液体的变压器。

在1区应采用铠装电缆；其它各级爆炸危险场所，在有防护的情况下，可采用非铠装电缆。爆炸危险场所的绝缘导线须穿水管或煤气管敷设；钢管连接处应当密封。对于移动式设备，在1区、2区和10区应采用重型橡套电缆；在11区应采用中型橡套电缆。

爆炸危险场所的3～10kV线路须装设零序电流保护装置。

严禁电气线路跨越爆炸危险场所；其间水平距离不得小于杆塔高度的1.5倍、Q-1级场所还不得小于30m。

2. 火灾危险场所

火灾危险场所也应采用额定电压500V以上的电缆或绝缘线。铝线截面不得小于2.5mm²。采用铝线时，应有可靠的连接和封端。

表 5-70 电气设备防护结构的选型

序号	防护结构 / 火灾危险场所 / 电气设备		21 区	22 区	23 区
1	电机	固定安装	IP44 IP54	IP54	IP21 IP54
		移动式和携带式			
2	电器和仪表	固定安装	充油IP56,IP65X,IP44X IP56,IP65	IP65	IP22 IP44
		移动式和携带式			
3	照明灯具	固定安装	保护 防尘	防尘	开启 保护
		移动式和携带式			
4	配电装置		防尘		保护
5	接线盒				

注：1. 在21区内固定安装的IP44型电机正常运行时有火花的部分（如滑环），应装在全封闭的罩子内。
2. 在23区内固定安装的正常运行时有火花（如滑环电机）的电机，不应采用IP21型，而应采用IP44型。
3. 在21区内固定安装的电器和仪表，在正常运行有火花时，不宜采用IP44型。
4. 移动式和携带式照明灯具的玻璃罩，应有金属网保护。

表 5-71 火灾危险场所旧型号电气设备选型

场所等级		H-1	H-2	H-3
电机	固定安装	H43型 H44型	H44型	H22型① H44型
	移动式和携带式			
电器和仪表	固定安装②	H30型 H45型	H56型	H30型
	移动式和携带式			
照明灯具	固定安装	H30型 H45型	H45型	H00型 H30型
	移动式和携带式③			
配电装置④ 接线盒		H45型 H45型		H30型

① 具有正常发生火花的部件（如滑环）的电动机最低应选H43型。
② 正常发生火花的部件必须浸在油内。
③ 照明灯具的玻璃罩，应用金属网保护。
④ 配电装置包括、配电柜、配电盘、配电箱等。

表 5-72 爆炸危险场所电气线路选型

配线方式		爆炸危险区域				
		0	1	2	10	11
本质安全型电气设备的配线工程		○	○	○	○	○
低压镀锌钢管配线工程		×	○	○	×	○
电缆工程	低压电缆	×	○	○	×	○
	高压电缆	×	△	○	×	○

注：○表示适用，△表示尽量避免，×表示不适用。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-73　气体爆炸危险场所电缆配线技术要求

项目 / 技术要求 / 爆炸危险场所	电缆明设或在沟内敷设时的最小截面			接线盒	移动电缆
	电力	照明	控制		
1　区	铠装、铜芯2.5mm²及以上	同左	同左	隔爆型	重型
2　区	铠装、铜芯1.5mm²及以上，或铠装、铝芯4mm²及以上	非铠装、铜芯1.5mm²及以上，铝芯2.5mm²及以上	非铠装、铜芯1.5mm²及以上	隔爆、增安、防尘型	中型

注：1．2区的明设塑料护套电缆，当其敷设方式采用能防止机械损伤的电缆槽板、托盘或桥架方式时，可采用非铠装电缆。

2．可燃气体或蒸气比空气轻且不会受鼠、虫等损害时，在2区电缆沟内敷设的电缆可采用非铠装电缆。

3．铝芯绝缘导线或电缆的连接与封端应采用压接、熔焊或钎焊，当与电气设备（照明灯具除外）连接时，应采用适当的过渡接头。

4．电缆线路不应有中间接头。

表 5-74　气体爆炸危险场所钢管配线技术要求

项目 / 技术要求 / 爆炸危险场所	钢管明配线路用绝缘导线的最小截面			接线盒 分支盒	管子连接要求
	电力	照明	控制		
1　区	铜芯2.5mm²及以上	同左	同左	隔爆型	对Dg25mm以下的钢管螺纹啮合，不少于5扣，并有锁紧螺母，对Dg32mm及以上的，不少于6扣
2　区	铜芯1.5mm²及以上或铝芯4mm²及以上	铜芯1.5mm²及以上或铝芯2.5mm²及以上	铜芯1.5mm²及以上	隔爆、增安、防尘型	对Dg25mm以下的螺纹啮合不少于5扣，对Dg32mm及以上的，不少于5扣

注：1．钢管应采用GB3901—82规定的“低压流体输送用镀锌焊接钢管”。

2．为了防腐蚀，钢管连接的螺纹部分应涂以铅油或磷化膏。

3．在可能凝结冷凝水的场所，管线上应装设排除冷凝水的密封接头。

4．防尘型盒类宜用于2区中危险性较小处。

表 5-75　粉尘爆炸危险场所电缆配线技术要求

类别	电缆最小截面	进线装置	移动电源
10　区	铠装，铜芯2.5mm²及以上	隔爆型	重型
11　区	铠装，铜芯1.5mm²及以上或铝芯2.5mm²及以上	隔爆型，也可采用防尘型	中型

注：1．在11区内电缆明设时可采用非铠装电缆，敷设方式应能防止机械损伤。

2．在封闭电缆沟内，可采用非铠装电缆。

3．铝芯绝缘导线或电缆的连接与封端应采用压接。

表 5-76 粉尘爆炸危险场所钢管配线技术要求

类　别	绝缘导线最小截面	接线盒和分支盒	管子连接要求
10区	铜芯，2.5mm²及以上	隔爆型	螺纹啮合不少于6扣
11区	铜芯，1.5mm²及以上 或铝芯，2.5mm²及以上	任意一种防爆类型，也可采用防尘型	螺纹啮合不少于6扣

注：1.钢管应采用GB3901-82规定的“低压流体输送用镀锌焊接钢管。
2.为了防腐蚀，钢管连接的螺纹部分应涂以铅油或磷化膏。
3.在可能凝结冷凝水的场所，管线上应装设排除冷凝水的密封接头。

火灾危险场所可采用非铠装电缆或绝缘线穿钢管敷设；在21区和22区，500V以下者可采用硬塑料管配线；远离可燃物质时，可采用绝缘线在瓷瓶上敷设；移动式和携带式设备应采用中型橡套电缆供电；在23区，起重机可采用滑触线供电，但滑触线下方不应有可燃物质。

露天裸线应有防雨、雪措施。架空线路不得跨越火灾危险场所；其间水平距离不应低于杆塔高度的1.5倍。

5.3.4.3 变电所和配电所

1. 间距

总变、配电所与爆炸危险场所建筑物、堆物的距离应大于事故情况下混合物爆炸危险浓度可能达到的距离。室外变、配电所与建筑物、堆场的防火间距见表5-77。

变配电装置不得设在易沉积可燃粉尘和纤维等爆炸危险物质的地方。

2. 毗连条件

变配电所与危险场所毗连时，应遵循下列原则。

10kV及以下变电所与各级爆炸危险场所、配电所与Q-1级和G-1级场所毗连时，最多只能有三面相邻的墙与危险场所共用。如保持正压，允许变、配电所通过走廊或套间与Q-1、Q-2或G-1级场所相通。允许配电所通过走廊或套间与Q-3级、G-2级和火灾危险场所相通，但走廊或套间的门应由非燃材料制成，并有自动关闭装置，1000V及以下的配电所可通过难燃烧体的、有自动关闭装置的门与Q-3级场所或火灾危险场所相通。

变、配电所与爆炸危险场所或火灾危险场所毗连时，隔墙应由非燃烧材料制成。与Q-1和G-1级场所毗连时，隔墙上不得有任何管子、沟道穿过；与Q-2、Q-3或G-2级场所毗连时，隔墙上只允许穿过与变、配电所有关的管子、沟道，其孔洞应用非燃烧材料严密堵塞。

毗连变、配电所的门、窗应向外开启，并通向无爆炸、无火灾危险场所。

如变、配电所为正压室，则可布置在爆炸危险场所。

5.3.4.4 接地和接零

在爆炸危险场所，亦应根据低压配电网运行方式，采取接地或接零措施。

爆炸危险场所的电气装置，凡正常时不带电的金属部分均应可靠接地或接零；并与金属管道、建筑物的金属结构连成整体，以消除在金属导体间产生不同电位引起放电的可能性。

在爆炸危险场所，工作零线不得用作专用接地线或接零线。1区、10区的各种电气设备和2区照明设备以外的电气设备应当专设接地线或接零线；穿线的金属管和电缆的金属包皮以及其它金属管道和建筑物的金属构架只能作为辅助接地线和接零线；与相线敷设在同一钢管内的接地线和接零线的额定电压应与相线相同。2区的照明设备和11区的各种电气设备可

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-77 变、配电所防火间距(m)

类别			变压器总油量(T)		
			<10	10～50	>50
民用建筑	耐火等级	一、二级	15	20	25
		三级	20	25	30
		四级	25	30	35
丙、丁、戊类生产厂房 丙、丁、戊类物品库房	耐火等级	一、二级	12	15	20
		三级	15	20	25
		四级	20	25	30
甲、乙类生产厂房			25		
库房	贮量不超过10T的甲类1、5、6项物品和乙类物品		25		
	贮量不超过5T的甲类1、2、3项物品和贮量超过10T的甲类4、5、6项物品		30		
	贮量超过5T的甲类1、2、3项物品		40		
易燃液体贮罐	总贮量 m^3	1～50	25		
		51～200	30		
		201～1000	40		
		1001～5000	50		
可燃液体贮罐		5～250	25		
		251～1000	30		
		1001～5000	40		
		5001～25000	50		
液化石油气贮罐		1～30	40		
		31～200	50		
		201～500	60		
		501～1000	70		
		>1000	90		
水槽式可燃气体贮罐		≤500	25		
		501～10000	30		
		>10000	40		

注：1.防火间距应从距建筑物、堆场最近的变压器外壁算起，但屋外变、配电构架距堆场、贮罐和甲、乙类的厂房、库房不宜小于25m，距其他建筑物不宜小于10m。

2.干式可燃气体贮罐的防火间距应按本表增加25%。

3.发电厂内的主变压器，其油量可按单台考虑。

4.本表屋外变、配电站是指电力系统电压33kV及以上、单台变压器容量5000kVA以上的屋内、外变、配电站和工业企业的屋外总降压变电站。

采用配线钢管作接地线或接零线；电缆专用芯线可作接地线或接零线，但连接处应当是螺栓连接。

接地或接零螺栓应有防松装置，规格须符合表5-78的规定。

表 5-78 接地(或接零)螺栓最小规格

类别	按钮、灯具、小型开关	5kW以下	5～10kW	10kW以上
规格	M6	M8	M10	M12

爆炸危险场所如采用不接地系统配电，必须装设单相接地时能发出声光双重信号的自动监测装置。

在爆炸危险场所如采用变压器低压中性点直接接地的保护接零系统，单相短路电流应大于熔断器熔体额定电流的5倍，或大于自动开关瞬时或短延时过电流脱扣器整定电流的1.5倍；并应装设单相接地故障的自动切断装置。

5.4 化工常用电气设备安全运行

化工生产的原料准备、反应操作、反应产物加工等基本生产过程中，必须应用多种电气设备。压缩机、鼓风机、送风机、真空泵、离心泵、往复泵、轴流泵、齿轮泵、搅拌器、沉降器、带式输送机、斗式提升机、螺旋输送机、气流输送装置、破碎机、轧碎机、球磨机、筛分机械、搅拌反应器、过滤器、混合器等化工生产的基本设备都要用到电动机及其它电气装置。化工生产的辅助生产过程中，与其它生产部门一样，也要用到电焊机、电动起重机、电动工具等电气装置或电力机械。由于化工生产多具有易燃易爆、腐蚀性、高温、多尘的特点，对电气设备往往提出更高的要求。

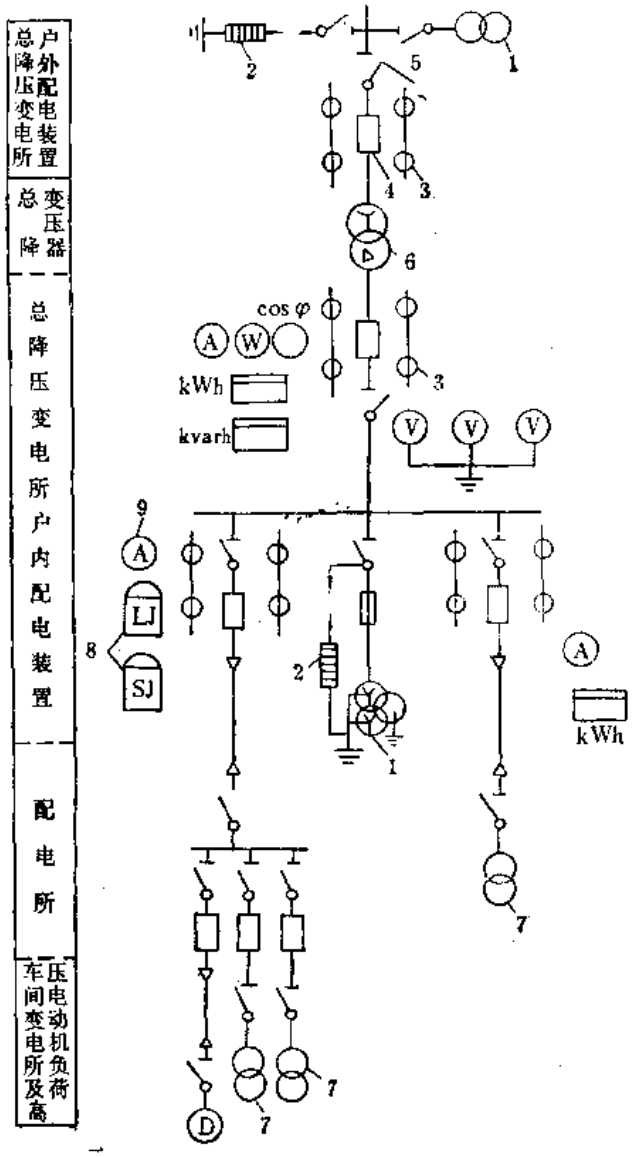


图 5-41 变配电所接线图

1—电压互感器；2—避雷器；3—电流互感器；4—断路器；5—隔离开关；6—主变压器；7—车间变压器；8—保护继电器；9—测试仪表

5.4.1 变配电设备

变配电设备包括多种高压设备和一些低压设备。变、配电所是接收、变换、分配电能的环节，是工业企业的动力枢纽，其安全运行具有十分重要的意义。

5.4.1.1 变配电所通则

1. 接线图

变配电所接线图采用单线图。即用一条线代替三条相线绘制的线路图。图5-41是典型的变配电所接线图。

2. 变配电所位置

变配电所位置应符合供电、建筑、安全的基本原则。从供电角度，应考虑接近负荷中心、进出线方便等；从建筑角度，应考虑厂房布置、厂区运输等；从安全角度，应考虑防火、防蚀、防污、防水、防振等。

3. 一般安全要求

（1）变配电所应备有各种电工安全用具：绝缘杆、绝缘夹钳、绝缘靴、绝缘手套、绝缘垫、绝缘站台、各种标示牌、临时接地线、验电器、登高安全用具、手电筒等。

（2）变配电所应备有消防器材。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）低压L1、L2、L3三相母线分别涂黄、绿、红色；零母线一般涂黑色。

（4）室外变配电装置与建筑物的防火间距不小于12～40m，与易燃及可燃液体贮罐的防火间距不小于25～50m、与可燃气体贮罐的防火间距不小于25～90m。变压器油量愈大，或贮罐容量愈大，或建筑物耐火等级愈低，则要求间距愈大。

（5）变配电所应根据有关规程建立相应的管理制度。包括值班制度、巡视、检查制度、倒闸操作制度、工作票制度、检修制度等。

（6）室内油量60kg以下的开关可安装在开敞式间隔内，油量60～600kg的开关应安装在防爆间隔内，油量600kg以上的开关或变压器应安装在互相隔离的防爆室内。

（7）室内油量600kg以上的充油设备必须有事故蓄油设施；室外600kg以上者，地面应铺有碎石或卵石层。

（8）变配电装置的其它安全间距应符合本手册5.2.4及其它规范的要求。

5.4.1.2 变压器

变压器是变配电所的核心设备。其作用是变换电压。变压器既有低压部分，又有高压部分，属于高压设备。SJ系列为铜线变压器，SJL系列为铝线变压器。电力变压器内部充有大量绝缘油，可能成为火灾或爆炸的根源。变压器安全运行应符合下列条件。

1. 整体及附件

外壳及散热器无破损、无渗漏，并保持清洁；铭牌、绝缘套管、油枕（储油柜）、气体继电器、防爆管、呼吸器、分接开关、温度计、油位计、接地螺丝、放油阀等附件保持良好。

2. 绝缘

变压器油及线圈、分接开关、绝缘套管的各项绝缘指标合格。绝缘要求见本章5.2.2。

3. 运行参数

电压、电流、温升等运行参数符合规定。包括：高压侧电压偏差不得超过额定值的±5%，低压最大不平衡电流不得超过额定值的25%，油顶层温升不得超过55℃等。变压器运行时只应当有均匀的、不大的嗡嗡声。

4. 保护

变压器高、低压侧均应有过电流保护。高压侧过电流保护由断路器及其脱扣机构或熔断器完成；低压侧由自动开关及其脱扣机构或熔断器完成。低压侧过电流保护按工作电流考虑，并应躲过峰值电流不动作。高压侧主要是对高压部分（包括变压器内部）实现短路保护；保护装置的动作电流应大于低压保护装置归算后的动作电流。

5. 接地

在高压10kV及以下、低压0.4kV的配电系统中，配电变压器一般采用Y/Y_0-12的接法。这样的变压器有两种接地。一种是变压器外壳的接地，属于高压电网中电气设备的保护接地；另一种是低压绕组中性点的接地，属于低压三相四线制电网的工作接地。如果低压侧为不接地电网，则低压侧应有击穿保险器的过电压保护接地。

6. 变压器室

变压器室应当用不可燃材料建成，保持通风良好，有合格的蓄油设施，四周留有足够的检修间距，门应向外开、门上应上锁，并挂警告牌，还应当防止雨、雪或小动物侵入室内。

7. 维修

10kV变压器每十年左右大修一次，每年小修一次。如安装在污秽地点，维修期限要酌

情缩短。

8. 技术资料

变压器履历卡、运行记录、检修和试验记录等技术资料应当齐全。

9. 故障分析

变压器常见故障分析参见表5-79。

5.4.1.3 高压开关

1. 种类和功用

（1）断路器 是有很强的灭弧能力，既能够切断负荷电流，也能够切断短路电流的高压开关。其中，以油作为灭弧介质的有多油断路器（DW、DN系列）和少油断路器（SW、SN系列）；以气体作为灭弧介质的有压缩空气磁吹断路器（CN系列）和六氟化硫断路器（LN系列）；还有真空灭弧的真空断路器（ZN系列）等。

（2）负荷开关 是在电弧作用下，自产气体灭弧的高压开关（FW、FN系列）。负荷开关可切断和接通负荷电流或过负荷电流，但不能切断短路电流。负荷开关须与高压熔断器配合使用。

（3）隔离开关 是不带专门灭弧装置，不能切断负荷电流的高压开关（GW、GN系列）。隔离开关也叫刀闸，主要用来隔断电压。

（4）跌落式保险器 是高压熔断器与高压开关的组合体（RW系列）。由自产气体纵吹和机械拉长灭弧，可用于小容量高压线路的操作和保护。

2. 安全运行条件

（1）操作顺序 为了防止电弧不能熄灭，发展成为弧光短路，拉闸时须先拉开断路器后拉开隔离开关；合闸时则先合上隔离开关后合上断路器。为了保证正确的操作顺序，可采用机械的或电气的联锁装置。

（2）运行参数 开关设备的电压、电流、断流容量须与电路参数相符合；接点温度不得超过70℃；绝缘及间距合格；附件齐全、主体清洁，且无渗漏痕迹；油断路器油位在允许范围内；少油断路器外壳带电，须漆成红色；运行、检修、试验资料齐全。

（3）传动机构 传动机构（包括操作机构）灵活、可靠；联锁装置完好。

（4）接地 正常时不带电的金属部分应良好接地。

5.4.1.4 互感器

按照结构，互感器可分为电压互感器（如JD2J-10型）、电流互感器（如LFZ$_1$型）和电压电流组合互感器（如JLSJW-10型）。

1. 电压互感器

电压互感器用以将高电压变成标准等级（一般是100伏）的低电压，以便测量仪表和继电保护装置离开高压。运行安全要求如下：

（1）各项绝缘指标符合要求；

（2）停电检修时注意防止通过电压互感器反送电造成电击；

（3）通电时副边不得短路，原、副边均应有短路保护；

（4）外壳、副边、以及原边中性点均应接地。

2. 电流互感器

电流互感器用以将大电流变成标准等级（一般是5A）的小电流，并使测量仪表和继电保护装置离开高压。安全运行要求如下：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-79 变压器故障分析

故障类别	故障现象	可能原因	检查方法
铁芯片间绝缘损坏	空载损耗增大，油质变坏(闪点降低、酸价增高、击穿电压降低)	铁芯片间绝缘老化，有局部损坏	吊出器身进行外观检查、可用直流电压电流法测片间绝缘电阻
铁芯片局部短路或局部熔毁	气体继电器内有气体，信号回路动作、油闪点降低、油色变黑，并有特殊气味	铁芯或铁轭的螺杆绝缘损坏，故障处有金属件将铁芯片短路、中间绝缘严重损坏	吊出器身进行外观检查、可用直流电压电流表法测片间绝缘电阻
铁芯接地片断裂	电压升高时内部发生轻微放电声		吊出器身检查接地片
不正常响声和噪音		铁芯迭片缺片或多片；铁芯紧固零件或夹件松动；电源电压偏高	补片或抽片并予夹紧；将自由端用纸板塞紧压住；检查紧固件并予紧固；检查一次电压
匝间短路	气体继电器内气体呈灰白色或蓝色，跳闸回路动作；油温增高，油有时发出咕唧声；一次电流偏大；各相直流电阻不平衡；差动保护动作；一次侧过电流保护动作	老化、散热不良或长期过负荷使匝间绝缘损坏；短路或其它故障引起线圈振动和变形而损伤匝间绝缘；线圈绕制、线匝排列和换位或线圈压装时，其绝缘受到损坏	吊出器身进行外观检查；测量直流电阻；检查油箱冷却管是否堵塞；在有防火措施的条件下，将器身置于空气中加10～20%额定电压做空载试验、短路处将会冒烟
线圈断线	断线处发生电弧，使油分解，促使气体继电器动作	连接不良或短路应力使引线断裂；内部焊接不良或匝间短路使线匝烧断	吊出器身检查；测量直流电阻或相电流，或用摇表检查
线圈对地击穿	气体继电器动作	绝缘老化而损坏；绝缘油受潮；杂质落入；过电压击穿；短路时线圈变形	用摇表测绝缘电阻；绝缘油耐压试验；吊出器身检查
线圈相间短路	气体继电器、差动保护、过电流保护均动作；安全气道爆破	同对地击穿原因；引线或套管间短路	吊出器身检查；用摇表测量绝缘电阻
分接开关表面熔化或灼伤	气体继电器动作、有时差动保护和过电流保护也动作	结构、装配缺陷；接触不良、弹簧压力不够、短路时触头过热	用摇表摇测有无断裂处；吊出器身检查；测量各分接头直流电阻
分接开关相间触头或各分接头放电	气体继电器动作；安全气道爆破	过电压击穿；变压器内有灰尘或受潮	用摇表摇测；吊出器身检查
气体继电器信号回路动作		继电器中积累气体，油面下降；变压器引线短路，油面振动	分析气体数量、颜色、气味、可燃性等
气体继电器跳闸回路动作		油面急剧下降，变压器内部严重故障，产生大量可燃气体	分析气体性质，绝缘油简化试验；分析油面急剧下降的原因
油质变坏		油中有气体溶解	分析油质
套管对地击穿	外部保护装置动作	套件表面脏污或有裂纹	用摇表检查
套管间放电	外部保护装置动作	套管间有杂物	外部检查

（1）各项绝缘指标符合要求；

（2）通电时副边不得开路，以避免铁芯发热烧坏互感器，并避免副边产生危险电压带来电击的危险；

（3）外壳、副边均应接地。

5.4.1.5 电力电容器

1. 作用和种类

大部分用电设备是感性负荷，功率因数很低。维持这种负荷的正常工作须提供相当大的落后的无功电流。这将导致不得不增大配电设备容量和配电线路；还会增大功率损耗和电压损失。因此，常采用电力电容器（静电电容器或移相电容器）补偿落后的无功电流，提高线路功率因数。

YY系列电力电容器有高、低压之分。额定电压0.23、0.4、0.525kV的是低压电容器；额定电压3.15、6.3、10.5kV的是高压电容器。低压电容器有单相、三相之分。高压仅单相电容器。高压YYW系列为户外用电容器。

2. 安全运行条件

（1）放电　停电检修前应予放电，以防止残留电荷造成电击；停电后再合闸前也应放电，以防止合闸冲击。

（2）短路保护　除三条电源线上应有短路保护外，高压电容器三角形连接的三个边上亦应有短路保护。如用熔断器保护，在躲过合闸冲击电流的前提下，熔件电流选得越小越好，一般为电容器额定电流的1.5～2.5倍。

（3）运行参数　电压、电流、温升等符合规定；电压不超过额定电压的1.1倍，电流不超过额定电流的1.3倍，外壳温度不应超过65℃，环境温度不应超过40℃，绝缘良好等。

（4）接地　不与地绝缘的外壳及金属支架应接地。低压者应根据电网情况接地或接零。

（5）通风　电容器应避免阳光直射，并保持通风良好。

5.4.2 电气线路

电气线路包括强电线路和控制及弱电线路。前者主要用来输送和分配电能；后者主要用于控制、测量、通讯和广播。

5.4.2.1 线路种类和特点

按照结构特征，大体可分为架空线路、电缆线路和室内配电线路。

1. 架空线路

架空线路是以杆塔为支架，借绝缘子等支撑件架设于空中的电气线路。

架空线路造价低、便于检修。架空线路妨碍交通和建设，易受空气中杂物的污染；而且，架空线路可能碰撞或过分接近树木及其它高大设施或物件，导致电击及其它事故。

架空线路导线多采用裸铝绞线（LJ型）和钢芯裸铝绞线（LGJ型）。因铝线易受碱性和酸性物质的侵蚀，所以，在腐蚀性严重的场合须采用铜线。

2. 电缆

电缆主要由导电线芯、绝缘层和保护层组成。线芯分铝芯（代号L）和铜芯（代号T或省略）。绝缘层由浸渍绝缘纸组成，分芯线绝缘和统包绝缘。保护层有内护层和外护层。内护层分为铅包（代号Q）、铝包（代号L）、橡套（代号H）、聚氯乙烯护套（代号V）等多种。外护层包括黄麻衬垫、钢铠、防腐层等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

电缆可敷设在电缆沟和电缆隧道中，也可按规定的要求直接埋于地下。

电缆造价高，不便检修；但不妨碍交通和市容，受外界影响小，安全性能较高。

3. 室内配线

室内配线种类繁多。干线有明母线、暗母线、地下管配线三种类型。支线有管配线、木槽板配线、瓷夹板配线、瓷珠配线等多种配线方式。室内配线方式应根据环境条件、负荷特征、建筑要求等因素确定。

5.4.2.2 线路安全运行条件

1. 导电能力

线路导线应有足够的导电能力，应符合以下要求。

（1）发热 橡皮绝缘线温度不应超过65℃、裸线和塑料绝缘线不超过70℃。绝缘导线安全载流量见表5-80、表5-81和表5-82。铝母线安全载流量见表5-83。铝芯纸绝缘电缆安全载流量见表5-84。

表 5-80 橡皮和塑料绝缘导线明敷设时安全载流量 (A)

导线截面	BBL型铝芯橡皮绝缘导线				BBX型铜芯橡皮绝缘导线				BLV型铝芯塑料绝缘导线				BV型铜芯塑料绝缘导线			
(mm^2)	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
1	—	—	—	—	20	19	17	15	—	—	—	—	18	17	15	14
1.5	—	—	—	—	25	23	21	19	—	—	—	—	22	20	19	17
2.5	25	23	21	19	33	31	28	25	23	21	20	17	30	28	25	23
4	33	31	28	25	43	40	37	33	30	28	25	28	40	37	34	30
6	42	39	36	32	55	51	47	42	39	36	33	30	50	47	43	38
10	60	56	61	46	80	74	68	61	55	51	47	42	75	70	64	57
16	80	74	68	61	105	98	89	80	75	70	64	57	100	93	85	76
25	105	98	89	80	140	130	119	106	100	93	85	76	130	121	110	99
35	130	121	110	99	170	158	144	129	125	116	106	95	160	149	136	122
50	165	153	140	125	215	200	183	163	155	144	132	118	200	186	170	152
70	205	191	174	156	265	246	225	201	200	186	170	152	255	237	216	194
95	250	233	213	160	325	302	276	247	240	223	204	182	310	288	263	236
120	295	274	251	224	385	358	326	292	—	—	—	—	—	—	—	—

（2）电压损失 动力线路电压损失不得超过5%、照明线路不得超过8～10%。

（3）单相短路电流 相零线回路应符合保护接零的要求，即单相短路电流应大于熔断器额定电流的4倍（在爆炸危险场所应大于5倍）和自动开关瞬时过电流脱扣器整定电流的1.5倍。

2. 绝缘

线路绝缘指标合格（详见本章5.2.2）。

3. 机械强度

导线机械强度应足以承受自重、温度变化及风雪产生的应力。低压配线最小截面见表5-85。低压架空线路导线最小截面见表5-86。

4. 间距

间距符合要求（详见本章5.2.4）。

5. 防护

各种线路对酸、碱、盐等外界因素应有足够的防护能力。不同环境导线或电缆及其敷设

表 5-81 橡皮和塑料绝缘导线装入钢管内时的安全载流量 (A)

导线截面 (mm²)	BBLX, BLV 型铝芯导线											
	装入管内2支				装入管内3支				装入管内4支			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	20	19	17	15	19	18	16	14	17	16	14	13
4	29	27	25	22	25	23	21	19	23	21	20	18
6	43	32	29	26	31	29	26	24	28	26	24	21
10	51	47	43	39	32	39	36	32	37	34	31	28
16	61	57	52	46	56	51	47	42	49	46	42	37
25	82	76	70	62	75	30	64	57	65	60	55	49
35	96	89	82	73	84	78	71	64	82	76	70	62
50	125	116	106	96	109	101	93	83	89	83	76	68
70	156	145	133	119	141	131	120	107	125	116	106	95
95	187	174	159	142	175	163	149	133	152	141	129	116
120	219	204	186	167	188	175	160	143	178	166	151	136

导线截面 (mm²)	BBX, BV 型铜芯导线											
	装入管内2支				装入管内3支				装入管内4支			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
1	15	14	13	11	14	13	12	11	13	12	11	10
1.5	18	17	15	14	16	15	14	12	15	14	13	11
2.5	26	24	22	20	25	23	21	19	23	21	20	17
4	38	35	32	29	33	31	28	25	30	28	26	23
6	44	41	37	33	41	38	35	31	37	34	31	28
10	68	63	58	52	56	52	48	43	49	46	42	37
16	80	74	68	61	72	67	61	55	64	60	54	49
25	109	101	93	83	100	93	85	76	85	79	72	65
35	125	116	106	95	110	102	54	84	107	100	91	81
50	163	152	139	124	142	132	121	108	116	108	99	88
70	202	188	172	154	182	169	155	138	161	151	137	122
95	243	226	206	185	227	211	153	173	197	183	167	150
120	285	265	242	216	246	229	209	187	232	216	197	176

方式的选用可按表5-87进行。

6. 线路管理

电气线路应有必要的资料和文件，如施工图、试验记录等；还应建立巡视、检查、清扫、维修等制度。

5.4.3 用电设备

用电设备包括各种电动机、其它用电器具及其控制和保护电器。用电设备及其防护设施应适应环境特征。湿度、温度、导电性粉尘、金属占有系数（金属物品所占面积与建筑面积的比值）、地面性质、腐蚀性气体或蒸气等是确定所在环境触电危险性大小的主要因素。化工厂的大部分车间属于触电危险性大或特别危险的车间。

选用电气设备，除应考虑触电危险外，还应考虑防爆、防火、防尘等要求。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-82 橡皮和塑料绝缘导线装入硬塑料管内时的安全载流量 (A)

导线截面 (mm²)	BBLX, BLV 型 铝 芯 导 线											
	装入管内 2 支				装入管内 3 支				装入管内 4 支			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2.5	16	14	13	12	15	13	12	11	14	13	11	10
4	24	22	20	18	21	19	17	15	19	17	16	14
6	29	27	24	22	26	24	22	19	24	22	20	18
10	43	40	36	32	36	33	30	27	31	28	26	23
16	53	49	45	40	47	43	40	35	42	39	35	21
25	72	67	61	54	66	61	56	50	57	53	48	43
35	87	81	74	66	76	70	64	57	74	68	62	56
50	113	105	96	86	98	91	83	74	80	74	68	60
70	140	130	119	106	127	118	108	96	113	105	96	85
95	168	156	142	127	156	145	132	118	137	127	116	104
120	207	192	176	157	178	165	151	135	169	157	143	128

导线截面 (mm²)	BBX, BV 型 铜 芯 导 线											
	装入管内 2 支				装入管内 3 支				装入管内 4 支			
	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃	25℃	30℃	35℃	40℃
1	12	11	10	9	11	10	9	8	10	9	8	7
1.5	14	13	11	10	13	12	11	9	12	11	10	9
2.5	21	19	17	16	20	18	1	15	18	16	15	13
4	31	28	28	23	27	25	23	20	25	23	21	19
6	37	34	31	28	35	32	29	26	31	28	26	23
10	58	54	49	44	48	44	40	36	42	39	35	31
16	69	64	58	52	62	57	52	47	55	51	46	41
25	96	89	81	73	88	82	74	67	75	69	63	57
35	113	105	96	86	99	92	64	75	97	90	82	73
50	147	136	125	112	126	119	106	97	104	96	88	79
70	182	169	154	138	164	152	139	124	145	135	123	110
95	219	204	186	166	205	191	174	167	177	164	150	134
120	271	252	230	206	234	218	198	178	220	204	187	167

表 5-83 铝母线安全载流量

宽×厚 (mm)	截 面 (mm²)	载 流 量			集肤效应系数
		25℃	35℃	40℃	
15×3	45	165	145	134	1.0
20×3	60	215	190	175	1.0
25×3	75	265	230	215	1.0
30×4	120	365	325	300	1.0
40×4	160	480	425	395	1.0
40×5	200	540	475	440	1.0
50×5	250	665	585	545	1.0
50×6	300	740	650	600	1.0
60×6	360	870	770	715	1.0
80×6	480	1150	1010	935	1.0

续表

宽×厚 (mm)	截面 (mm²)	载流量 25℃	35℃	40℃	集肤效应系数
100×6	600	1425	1260	1160	1.0
60×8	480	1025	900	830	1.0
80×8	640	1320	1155	1070	1.0
100×8	800	1625	1425	1315	1.0
120×8	960	1900	1675	1550	1.0
60×10	600	1155	1010	935	1.0
80×10	800	1480	1295	1200	1.0
100×10	1000	1820	1595	1475	1.1
120×10	1200	2070	1830	1760	1.1
2(80×8)	1280	2040	1795	1650	1.12
2(80×10)	1600	2410	2120	1965	1.14
2(100×8)	1600	2390	2100	1950	1.14
2(100×10)	2000	2860	2500	2315	1.20
2(120×10)	2400	3200	2840	2620	1.24
3(80×8)	1920	2620	2300	2140	1.22
3(100×8)	2400	3050	2680	2490	1.28
3(100×10)	3000	3640	3190	2950	1.40
3(120×10)	3600	4100	3610	3360	1.47
4(100×10)	4000	4150	3650	3400	1.62
4(120×10)	4800	4650	4090	3810	1.70

注：表中所列数值为母线竖放时的载流量。当母线平放时，宽度60mm以上者载流量应减少5%；60mm以上者应减少8%。

表 5-84 铝芯纸绝缘电缆安全载流量

截面 (mm²)	载流量 单芯		双芯		三芯						四芯	
	额定电压 V											
	1000		1000		3000及以下		6000		10000		1000	
	最高允许温度 ℃											
	80		80		80		65		60		80	
	空气中	土中	空气中	土中	空气中	土中	空气中	土中	空气中	土中	空气中	土中
2.5	37		23	35	24	31						
4	48	60	31	46	32	42					27	38
6	60	80	42	60	40	55					35	46
10	80	110	55	80	55	75	48	60			45	65
16	105	135	75	110	70	90	65	80	60	75	60	90
25	140	180	100	140	95	125	85	105	80	90	75	115
35	175	220	115	175	115	145	100	125	95	115	95	135
50	215	275	140	210	145	180	125	155	120	140	110	165
70	270	340	175	250	180	220	155	190	145	165	140	200
95	325	400	210	290	220	260	190	225	180	205	165	240
120	375	460	245	335	265	300	220	260	205	240	200	270
150	430	520	290	385	300	335	255	300	235	275	230	305
185	495	580			345	380	295	340	270	310	260	345
240	585	675			410	440	345	390	325	355		

注：环境温度空气中按25℃考虑；土中按15℃考虑。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-85 导线最小截面 (mm²)

用途		最小允许截面		
		铜芯软线	铜线	铝线
灯头引线	民用建筑、户内	0.4	0.5	1.5
	工业建筑、户内	0.5	0.8	2.5
	户外	1.0	1.0	2.5
移动设备电源线	生活用	0.2	—	—
	生产用	1.0	—	—
敷设在间距为S的绝缘支持件上的绝缘导线	S<1m、户内	—	1.0	1.5
	S<1m、户外	—	1.5	2.5
	S≤2m、户内	—	1.0	2.5
	S≤2m、户外	—	1.5	2.5
	S≤6m、户内	—	2.5	4
	S≤6m、户外	—	2.5	6
接户线	长10m以下	—	2.5	6
	长25m及以下	—	4.0	10
穿管线		1.0	1.0	2.5
木槽板配线		—	1.0	2.5
户内裸线		—	2.5~4	4
户外裸线		—	2.5~4	4~16
敷设在绝缘支持件上的裸导线		—	2.5	4
塑料护套线		—	1.0	1.5

表 5-86 低压架空线路导线最小截面(mm²)

类别	铜	铝及铝合金	铁
单股	6	10	直径2.75mm
多股	6	16	10

5.4.3.1 电机和低压电器外壳防护等级

电机、低压电器外壳防护等级的标志由英文字母“*IP*”及其后面的两个阿拉伯数字组成。第一位数字表示防止固体异物进入内部及防止人体触及内部带电部件或运动部件的防护等级，共分为7级（0～6级）。其含义和性能见表5-88。第二位数字表示防止水进入内部的防护等级，共分为9级（0～8级）。其含义和性能见表5-89。如只需考虑对一种有害因素的防护，则在另一数字的位置写上英文字母“*X*”。

5.4.3.2 电动机

电动机种类很多，按电源不同分为直流电动机和交流电动机。交流电动机分为同步电动机和异步电动机（感应电动机）。异步电动机又分为绕线式电动机和鼠笼式电动机。

1. 防护型式

应根据环境条件选用相应防护型式的电动机。

表 5-87 线路及敷设方式选择

环境特征	线路敷设方式	常用电线、电缆型号
正常干燥环境	1.绝缘线瓷珠、瓷夹板或铝皮卡子明配线 2.绝缘线、裸线瓷瓶明配线 3.绝缘线穿管明敷或暗敷 4.电缆明敷或放在沟中	BBLX、BLV、BLVV BBLX、BLV、LJ、LMY BBLX、BLV ZLL、ZLL$_{11}$、VLV、YJV、XLV、ZLQ
潮湿和特别潮湿的环境	1.绝缘线瓷瓶明配线（敷设高>3.5m） 2.绝缘线穿塑料管、钢管明敷或暗敷 3.电缆明敷	BBLX、BLV BBLX、BLV ZLL$_{11}$、VLV、YJV、XLV
多尘环境（不包括火灾及爆炸危险尘埃）	1.绝缘线瓷珠、瓷瓶明配线 2.绝缘线穿钢管明敷或暗敷 3.电缆明敷或放在沟中	BBLX、BLV、BLVV BBLX、BLV ZLL、ZLL$_{11}$、VLV、YJV、XLV、ZLQ
有腐蚀性的环境	1.塑料线瓷珠、瓷瓶明配线 2.绝缘线穿塑料管明敷或暗敷 3.电缆明敷	BLV、BLVV BBLX、BLV、BV VLV、YJV、ZLL$_{11}$、XLV
火灾危险环境	1.绝缘线瓷瓶明敷设 2.绝缘线穿钢管明敷或暗敷 3.电缆明敷或放在沟中	BBLX、BLV BBLX、BLV ZLL、ZLQ、VLV、YJV、XLV、XLHF
爆炸危险环境	1.绝缘线穿钢管明敷或暗敷 2.电缆明敷	BBX、BV ZL$_{120}$、ZQ$_{20}$、VV$_{20}$
户外配线	1.绝缘线、裸线瓷瓶明配线 2.绝缘线钢管沿外墙明敷 3.电缆埋地	BLXF、BLV$_{-1}$、LJ BLXF、BBLX、BLV ZLL$_{11}$、ZLQ$_2$、VLV、VLV$_2$、YJV、YJV$_2$

表 5-88 防止固体进入内部的防护等级

防护等级	简称	定义
0	无防护	没有专门的防护
1	防护大于50mm的固体	能防止直径大于50mm的固体异物进入壳内；能防止人体的某一大面积部分（如手）偶然或意外地触及壳内带电或运动部分，但不能防止有意识地接触这些部分
2	防护大于12mm的固体	能防止直径大于12mm的固体异物进入壳内；能防止手指触及壳内带电或运动部分①
3	防护大于2.5mm的固体	能防止直径大于2.5mm的固体异物进入壳内，能防止厚度（或直径）大于2.5mm的工具、金属线等触及壳内带电运动部分①②
4	防护大于1mm的固体	能防止直径大于1mm的固体异物进入壳内，能防止厚度（或直径）大于1mm的工具、金属线等触及壳内带电或运动部分①②
5	防尘	能防止灰尘进入达到影响正常运行的程度；完全防止触及壳内带电或运动部分①；完全防止灰尘进入壳内
6	尘密	完全防止触及壳内带电或运动部分①

① 对用同轴外风扇冷却的电机，风扇的防护应能防止其风叶式轮幅被试指触及。在出风口，试指插入时，其直径为50mm的护板应不能通过。

② 不包括泄水孔，泄水孔应不低于第2级的规定。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-89 防止水进入内部的防护等级

防护等级	简　　称	定　　义
0	无防护	没有专门的防护
1	防　滴	垂直的滴水不能进入产品内部
2	15°防滴	与铅垂线成15°角范围内的滴水不能进入产品内部
3	防淋水	与铅垂线成60°角范围内的滴水不能进入产品内部
4	防　溅	任何方向的溅水对产品无有害影响
5	防喷水	任何方向的喷水对产品无有害影响
6	防海浪或强力喷水	猛烈的海浪或强力喷水对产品无有害影响
7	浸　水	产品在规定的压力和时间下浸入水中，进水量无有害影响
8	潜　水	产品在规定的压力下长时间浸入水中，进水量无有害影响

（1）开启式　转动部分和导电部分无专用防护装置。用于干燥、无尘、无腐蚀性气体或蒸气、无爆炸性混合物的环境。

（2）防护式　对滴水、溅水、杂物进入有不同程度的防护能力。不宜用于多尘、水土飞溅等恶劣环境。其代表性产品是J系列异步电动机。

（3）封闭式　有封闭的外壳。可用于多尘、水土飞溅和有火灾危险的场所。其代表性的产品是JO系列和Y系列异步电动机。

（4）防爆式　有专门的防爆结构。可用于有爆炸危险的环境。如JB系列防爆式异步电动机。

2. 安全运行条件

（1）运行参数　电压、电流、频率、温升等运行参数符合要求。电压波动不超过－5～＋10%、不平衡不超过5%；电流不平衡不超过10%；当环境温度为35℃时，电动机的温升可参考表5-90所列数值；环境温度低于35℃时，电动机功率可增加(35－t)%，但最多不得超过8～10%；环境温度高于35℃时，电动机功率应降低(35－t)%；电动机振动双幅值可参考表5-91所列许可值；声音轻而均匀；滑动接触处火花微弱，不连成线等。

表 5-90 电动机允许温升(℃)

部　　位	绝　缘　等　级					测量方法
	A	E	B	F	H	
绕　组	70	85	95	105	130	电阻法
铁　芯	70	85	95	105	130	温度计法
滑　环			70			温度计法
滚动轴承			60			温度计法
滑动轴承			45			温度计法

表 5-91 电动机振动许可值

同步转速 (r/min)	3000	1500	1000	750及以下
双振幅值 (mm)	0.05	0.085	0.10	0.12

（2）绝缘　各项绝缘指标符合要求（详见本章5.2.2）。

（3）保护　保护齐全。用熔断器保护时，熔件额定电流应取为异步电动机额定电流的

1.5倍（降压启动）或2.5倍（全压启动）；用热继电器保护时，热元件电流不应大于电动机额定电流的1.1～1.25倍；应有失压保护装置；重要的电动机应装设缺相保护单元。电动机外壳保护接地（或接零）良好。

（4）外观　主体完整，零、附件齐全、无损、并保持清洁。

（5）资料　除原始技术资料外，还应建立运行记录、试验记录、检修记录等资料。

（6）大修和小修　交流电动机大修后试验项目包括测量各部绝缘电阻、500kW以上者测量吸收比、定子绕组和绕线式转子绕组交流耐压试验（40kW以下只摇测绝缘电阻）、定子绕组极性测定、空载试验以及高压500kW以上者直流耐压试验。电动机小修项目包括清除外部灰尘和油垢，检查轴承并换补润滑油，检查滑环和整流子并更换电刷，检查接地（零）线，紧固各螺丝，检查引出线连接和绝缘，摇测绝缘电阻。启动设备应与电动机同时检修。

（7）故障处理　电动机或启动器内冒烟起火，或剧烈振动，或温度超过额定值并继续上升，或转速明显下降，或断一相运行，或内部发生撞击声时，应立即停止运行。异步电动机的常见故障及处理方法参见表5-92。

5.4.3.3　**低压电器**

低压电器用于操作和保护用电设备。其种类极多，大体上可分为开关电器和保护电器。

1．一般安全要求

（1）电压、电流、断流容量、操作频率、温升等运行参数符合要求。用刀开关操作异步电动机时，开关额定电流应大于电动机额定电流的3倍。

（2）灭弧装置（包括灭弧罩、灭弧触头、灭弧用绝缘板）完好。

（3）触头接触表面光洁、接触紧密，并有足够的接触压力；各极触头应当同时动作。

（4）防护完善，门（或盖）上的联锁装置可靠，外壳、手柄、漆层无变形和损伤。

（5）安装合理、牢固；操作方便，且能防止自行合闸；一般情况下，电源线应接在固定触头上；500V及以下者不同相间最小净距为10mm，500V以上至1200伏及以下者为14mm。

（6）正常时不带电的金属部分接地（或接零）良好。

（7）绝缘电阻符合要求（详见本章5.2.2）。

2．开关电器

（1）刀开关　系手动开关。包括胶盖闸刀开关、石板闸刀开关、铁壳开关、转换开关、组合开关等。刀开关应垂直安装；应与熔断器配合使用。

（2）自动开关　系半自动开关。分万能式自动开关（DW系列）和装置式自动开关（DZ系列）。自动开关一般应垂直安装；脱扣器应整定适宜；瞬时和短延时动作过电流脱扣器的整定值应躲过线路上的峰值电流，并应小于线路单相短路电流的1/1.25。

（3）减压启动器　用于鼠笼式电动机的启动。分电阻减压启动器、Y-Δ起启器和自耦减压启动器。油浸式启动器安装时垂直倾斜度不得超过5°；油面不得低于标定的下限；启动器不可频繁操作。

（4）控制器　用于绕线式电动机的启动、调速等控制。常用的有凸轮控制器和主令控制器。控制器操作应当灵活、档位应当准确、手柄或手轮动作方向应与机械装置动作方向一致。

（5）磁力启动器　系自动化电器。由接触器、热继电器、按钮等元件组成。其接触器吸合电压不应大于额定电压的85%、释放电压不应小于额定电压的5%。启动器常见故障及处理方法参见表5-93。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 5-92　异步电动机故障分析和处理

故障现象	原　因　分　析	处　理　方　法
不能启动或转速低	1.电源电压过低	1.检查电源
	2.熔断器烧断一相或其它连接处断开一相	2.用摇表和万用表检查有无断路或接触不良
	3.定子绕组断路	3.用摇表和万用表检查有无断路或接触不良
	4.绕线式转子内部或外部断路或接触不良	4.用摇表和万用表检查有无断路或接触不良
	5.鼠笼式转子断条或脱焊	5.将电动机接到15～30%额定电压的三相电源上，测量三相电流，如电流随转子位置变化，说明有断条或脱焊
	6.定子△接线的误接成Y接线	6.检查接线并改正
	7.负载过大或机械卡住	7.检查负载及机械部分
启动电流大，且很不平衡，启动声响大	定子绕组一相首、末两端反接	用低压单相交流电源、指示灯或电压表等器材，确定绕组首、末端，重新接线
三相电流不平衡	1.电源不平衡	1.检查电源
	2.定子绕组有线圈短路	2.检查有无局部过热
	3.定子绕组匝数错误	3.测量绕组电阻
	4.定子绕组部分线圈接线错误	4.检查接线，并改正
过　热	1.过　载	1.减载或更换电动机
	2.电源电压太高	2.检查并设法限制电压波动
	3.定子铁芯短路	3.检查铁芯
	4.定、转子相碰（扫膛）	4.检查铁芯、轴、轴承、端盖等
	5.通风散热障碍	5.检查风扇、通风道等
	6.环境温度过高	6.加强冷却或更换电动机
	7.定子绕组短路或接地	7.检查绕组直流电阻、绝缘电阻等
	8.接触不良	8.检查各接点
	9.断一相运行	9.检查电源及定子绕组的连续性
	10.线圈接线错误	10.照图纸检查，并改正
	11.受　潮	11.烘　干
	12.启动过于频繁	12.按规定频率启动
电刷冒火、滑环过热或烧坏	1.电刷牌号不符	1.换电刷
	2.电刷压力过小或过大	2.调整电刷压力(一般电动机150～250gf/cm²、牵引和起重电动机250～400gf/cm²)
	3.电刷与滑环接触不严密	3.研磨电刷
	4.滑环不平、不圆或不清洁	4.修理滑环
内部冒烟起火	1.电刷下火花太大	1.调整、修理电刷和滑环
	2.内部过热	2.消除过热原因
振动和声响大	1.地基不平、安装不好	1.检查地基及安装
	2.轴承缺陷或装配不良	2.检查轴承
	3.转动部分不平衡	3.必要时做静平衡及动平衡试验
	4.轴弯曲或转子变形	4.检查转子，并找正
	5.定子或转子绕组局部短路	5.拆开电动机，用仪表检测
	6.定子铁芯压装不紧	6.检查铁芯并重新压紧
	7.设计时定、转子槽数配合不妥	7.允许运行

（6）电阻器和变阻器　系主要用于电动机启动和调速控制的电阻元件。除铸铁电阻、康铜电阻、铁铬铝合金电阻外，还有利用材料的频敏特性制成的所谓频敏变阻器。电阻器和变阻器应保持连续和接触良好，不得断路或短路；仅供启动用的不得长时间或频繁工作。

表 5-93 启动器故障分析和处理

故障种类	故障原因	处理方法
触头过热	1.触头压力不足	1.更换或修复触头，保持触头初压力和终压力合格
	2.触头表面氧化或有杂质	2.经常检查、清扫，有氧化膜时，用细锉打光，注意不破坏镀层
	3.触头容量不够	3.更换大容量的触头
	4.各部螺丝松动	4.全部检查螺丝并予拧紧
触头烧成突出的小点	1.触头在分断时，电弧在触头之间燃烧（消弧系统不好）	1.全面检查消弧系统，防止电弧燃烧时间过长
	2.合闸时触头有跳跃现象	2.检查触头初压力是否合格
	3.电动机启动电流过大	3.按电动机容量合理选用启动设备
	4.操作线圈电压不足	4.检查操作电源和线圈电压
触头磨损	1.合闸电流大，电弧温度过高，触头金属逐渐气化	1.完善消弧系统，防止触头气化；检查触头初压力
	2.触头电流过大，长期发热烧损	2.使触头保持在正常负荷和允许温度下运行
	3.操作电压不足，合闸产生跳跃	3.保证操作电压为额定值
	4.触头容量太小和频繁启动	4.更换触头，适应启动电流
衔铁噪声大	1.衔铁和铁芯端面接触不良	1.检查接触端面是否有污垢、杂质、并清扫干净
	2.短路环断裂	2.更换短路环
	3.操作电压不足	3.使符合操作线圈的额定电压
	4.衔铁螺丝松动	4.检查有无松动，并予拧紧
线圈过热	1.电压过高	1.检查操作电压
	2.线圈绝缘损坏或匝间短路	2.检查发热部位，修复或更换线圈
	3.衔铁吸不上	3.检查线圈连接部位有无断线、按钮有无卡阻
	4.衔铁吸合不好、操作过于频繁	4.检查有无机械卡阻或杂物阻塞、降低操作频率
	5.控制回路接点脱焊	5.更换接点
铁芯过热	1.电压过高	1.检查操作电压
	2.铁芯片间短路	2.更换铁芯
灭弧罩受潮	雨淋或其他原因造成	烘干
灭弧罩炭化	分断时电流过大或频繁操作	刮去炭质、保持表面光洁，并吹刷干净
灭弧罩损坏	1.机械损伤	1.更换
	2.灭弧室温度过高	2.更换
磁吹线圈匝间短路	冲击力或碰撞造成	检查有无短接，如有，将其分开并加以调整

（7）插销座 如有接地(或接零)的必要，须采用有保护插头和插孔的插销座，并应防止插错的可能。

2. 保护电器

（1）熔断器 系过电流保护电器。一般用于短路保护；在无冲击负载的线路上也用于过载保护。有纤维管式（RM系列）、充石英砂管式（RTO系列）、螺塞式（RL系列）、插式（RC系列）等多种型式的熔断器。在爆炸和火灾危险场所不能采用非封闭式熔断器；熔

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

件额定电流不得超过熔断器的额定电流；应保持接触良好；在躲过线路峰值电流的前提下，熔件选得越小越好，并不得大于线路单相短路电流的1/4；更换熔件应停电进行。

（2）热继电器　系过电流保护电器，用于过载保护。其热元件额定电流不得超过继电器的许用电流。

（3）电磁式继电器　比较常见的是过电流继电器和电压继电器。前者是以线路电流的增加作为讯号，推动电磁机构，带动触头工作的继电器。其中，瞬时动作和短延时动作的用于短路保护；反时限动作的用于过载保护。后者是以线路电压变化推动电磁机构，带动触头工作的继电器，多作欠电压保护和零压保护之用。电磁式继电器的触点工作必须可靠，整定必须合理。

5.4.4　专用电气设备

5.4.4.1　单相电气设备

单相电气设备包括照明设备、小型电动工具、办公室和住宅电气用具。单相设备接触面广、移动性大，经常在操作者紧握之下工作，加之单相设备要求有工作零线，工作零线与保护零线的关系可能弄不清楚，并由此导致接零错误，因此，单相设备触电事故多。

1．单相设备配电

（1）不接地电网　如图5-42所示，在不接地电网中，用电设备只可能采取保护接地方式，其中性线只起工作作用，因此，相线和中性线都装有开关和熔断器。但在中性线干线上，为了防止其断路中断三相用电，不能装设熔断器。

（2）接地电网　在接地电网中，用电设备有可能必须采取保护接零，因此，有的零线可能兼有工作和保护双重作用。其要求如图5-43所示：①凡有保护作用的零线上不得装设单极开关和熔断器，以保持保护零线的连续性（A、B处）；②在工作零线上也有熔断器的支线部分，工作零线与保护零线不能共用（C处）；③在爆炸危险环境，由于工作零线上都装有熔断器，应当单独敷设保护零线（D区）。

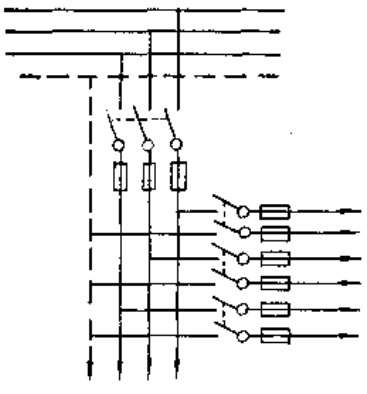


图 5-42　不接地电网单相设备配电

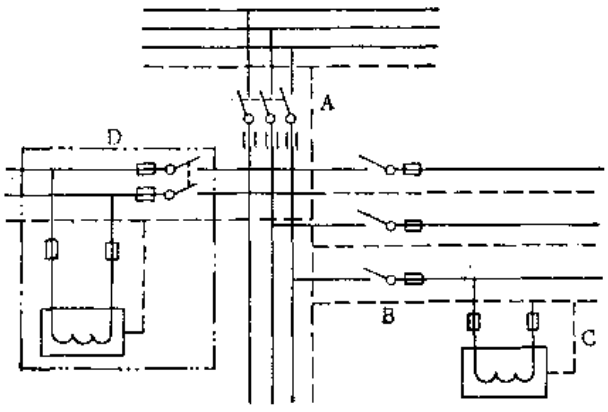


图 5-43　接地电网单相设备配电

2．单相设备安全措施

单相设备应保持完好，电源线截面、绝缘电阻、安装方式等均应符合安全要求。为了防止触电，单相设备可采取以下安全措施。

（1）安全电压　详见本章5.2.1。

（2）电气隔离　详见本章5.2.10。

（3）加强绝缘　即采用有加强绝缘或双重绝缘的单相设备。详见本章5.2.10。

（4）接地（或接零）Ⅰ类设备外壳应当接地（或接零）；对于携带式和移动式设备，电源线应采用有专门保护线芯的橡套软线；接地或接零须与配电要求相符合。Ⅱ类和Ⅲ类设备不应接地（或接零）。

（5）漏电保护　详见本章5.2.7。

（6）防护用具　即操作时采用绝缘垫、绝缘鞋等防护用具。

5.4.4.2　电焊设备

电焊设备中的弧焊机是利用电弧的热量熔化金属的设备，而且经常是移动式设备，有较大的危险性。

1. 电焊防火

电弧温度高达6000℃，可直接引燃可燃物；其熔化的金属和炽热的焊渣也能引燃可燃物。因此，焊接工作必须遵循用火审批制度，并做好相应的防火措施。

电焊具有大电流的特点。二次（焊接）回路应保持绝缘良好，并有足够的导电能力，以免打火或过热；二次回路的接地应避免焊接时形成有害的环流。

电焊机绝缘电阻等电气性能应符合要求，并应有过电流保护装置，以防止过热。

2. 防止触电

为防止可能的触电事故，电焊机可采取以下措施。

（1）外壳接地（或接零）　如系移动式电焊机，接地（或接零）线应与一次线取同样的防护方式。

（2）二次接地　为防止高压（一次）窜入低压（二次）的危险，二次应接地。

（3）防护用具　电焊工应配备绝缘鞋等防护用具。

（4）熄弧自停装置　如条件许可，可采用电焊机熄弧自停装置，既有利于安全，又可以节约电能。

5.4.4.3　电动起重机

起重设备工作繁重，工作位置经常变动，工作环境较差，电气设备容易损坏，其安全可靠性要求较高。

1. 起重机配电

起重机可用滑接线配电或软电缆配电。滑接线配电简单，但工作时会产生火花，不能用于有爆炸危险的场所。起重机配电和配线应满足下列安全要求。

（1）滑接线间距　滑接线应符合表5-94间距的要求。

表 5-94　起重机滑接线最小间距（m）

类　别	地　面	汽车通道	一般管道	设备、氧气管
间　距	3.5	6	1	1.5
类　别	易燃气、液体管道	相互间及与接地导体之间	末端至滑接器	
间　距	3	0.03	0.2	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（2）滑接线屏护　滑接线如在司机室一侧，为防止可能的触及，须装屏护设施。

（3）滑接线安装　支架牢固；绝缘良好；滑接线应平直、无锈蚀；滑接线经建筑物伸缩缝时，应装有膨胀补偿环节；钢滑接线除接触面外，应涂以红色或相色；滑接器与滑接线应保持接触良好。

（4）软电缆安装　软电缆两端应可靠固定；软电缆应长出起重机移动距离15～20%；放缆与收缆速度应与起重机移动速度一致。

（5）配线　起重机应使用额定电压500V、截面积不小于1.5mm²的铜芯绝缘线；户外采用管配线，户内也宜采用保护式配线；照明线应接在动力总闸前面；检修照明应采用安全电压供电。

2. 起重机电气安全运行条件

（1）电气设备完好　除电动机、制动电磁铁、起重电磁铁外，闸刀开关、接触器、控制器、电阻器等控制电器也应保持完好。电磁铁应动作迅速、准确、无阻滞现象，吸合时不得有异常响声。

（2）保护齐全、良好　过电流保护、零压保护、限位保护、零位保护应准确可靠；安全开关、紧急开关、音响设备等保护电器应保持完好；平移机构离行程末端200mm²、起升机构离极限位置100mm²、两台起重机相距400mm时，应自行停车。

（3）接地（或接零）轨道两端应接地（或接零），分段处应跨接；各电气设备应与车身保持可靠接触。

3. 起重机电气故障分析

起重机电气设备故障分析和处理参见表5-95。

表 5-95　起重机电气设备故障和处理

故障现象	故障检查方法	故障产生的可能原因	故障排除办法
一、电　动　机			
1.线圈发热	1.用手摸 2.用温度计测量 3.是否有焦味	1.电动机超载 2.线圈绝缘太低 3.定子绝缘破损，有短路之处 4.电压不平衡 5.通风不良	1.避免超载 2.电动机进行干燥 3.检查定子绝缘 4.测量电路电压 5.改善通风条件
2.不转动有嗡嗡的声音	听声音	电动机断了一根电源线	找出断线并妥善固接好
3.转向不对	观看	电动机接线错误	倒换电动机接线
4.全负荷时达不到全速	用转速表测量	1.转子线圈有断线之处 2.转子电路中接触不良	拆卸电动机，检查断线处，并予以焊接
5.启动时电动机不稳，急动，在控制最后位置上，有时速度降低		1.电动机转子被切断 2.控制器转动部分有毛病 3.控制器和电阻间的配线错误，电阻器坏了	1.检查转子回路 2.检查控制器，调整触头 3.根据系统图和接线端子应重新连接或检查电阻片
6.限位开关已动作而电动机不断电		1.限位开关短路 2.限位开关到控制器的接线错了	检修布线

续表

故障现象	故障检查方法	故障产生的可能原因	故障排除办法
7.电动机停不住		控制器触头焊接住	检查控制器的触头间隙，清洗或更换触头
8.电动机输出功率太小	转动沉重	1.制动器没有完全松开 2.机械卡住了 3.转子电路里的电阻没有完全切除 4.线路电压降低 5.转子或定子回路中接触不良，一相切断	1.检查制动器 2.消除卡住现象 3.用电压表检查线路电压 4.检查接触器和连接处，用电流表测每相电流值
二、控制器			
1.推动手轮后触头合不上，电机不运转，或达不到全速		控制器触头松驰或脱落	修理或更换触头
2.触头合上后电动机不转或不加速	推动控制器	1.触头接触不良 2.电阻或导线断线	1.更换触头 2.找出断线处，进行修理
3.只能单方向转动		1.反向控制器触头接触不良 2.控制器中机械机构有毛病	修理触头，修整机械机构
4.控制器接电时过电流继电器发生动作		1.继电器的整定值不够 2.定子回路接地或短路 3.机械部分卡住	1.调整继电器的动作电流 2.寻找故障 3.消除卡住现象
5.主接触器不吸合		1.紧急安全开关没有接通 2.控制器的操纵手柄和操纵手轮没有转至零位 3.线路无电压 4.过电流继电器的动作触头断开 5.控制回路保险器烧掉 6.接触器的机械部分有毛病 7.接触器的线圈烧坏了	1.转到零位 2.检查毛病 3.更换保险器 4.消除机械故障 5.更换线圈
三、线路			
1.起重机械一个也不动作	用仪表试验	1.线路没有电压 2.引入线断线 3.保险丝烧断	1.检修布线 2.理修或更换
2.保护盘上的刀开关接通时操作回路中的保险丝烧断	用摇表试验	保护电器回路的线路接地	检查绝缘电阻和消除接地

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

故障现象	故障检查方法	故障产生的可能原因	故障排除办法
3.线路接触器合不上	用仪表、试验灯检查	1.闸刀开关没有接通 2.控制器在工作位置 3.线路无电压； 4.接触器的机械部分有毛病 5.接触器线圈烧坏了	1.接通闸刀开关 2.恢复零位 3.用仪器，试验灯检查 4.检查和调整各个环节 5.更换线圈
4.主接触器接通时保险器熔体烧坏		通该保险器的一根短路	寻找短路处
5.过电流继电器发生动作，接触器跳开	用摇表试验	控制器回路接地	将保护盒引到控接器的控制导线切断；然后合上线路接触器根据过电流继电器的动作，确定接地地点
6.控制器接电时电动机不转动		1.转子、定子回路断线 2.电动机两相供电 3.定子绕组短路 4.电刷接触不良 5.控制器的触头没有接触 6.制动器不能松开，电机被卡住	1.修接 2.恢复三相供电 3.检查和消除短路 4.调整压力 5.检查控制器 6.手动试验制动装置，使制动器发生动作，消除卡住
7.启动时电动机开动不平稳	用钳形电流表检查	1.转子回路被切断 2.控制器转动部分有毛病 3.控制器和电阻器间的配线接错	1.检查电阻器，更换元件，检查转子回路配线 2.修理和调整控制器 3.根据系统图和标号进行检查，重新连接
8.限位开关正向作用于杠杆上时电动机不断电，反向作用则断电		限位开关到控制器的接线错了	1.检修布线 2.恢复正确的接线
9.起重机运行时接触器经常断电		辅助触头的压力不足或接触不良	检查和调节触头
10.照明供电集电环接触不好	用摇表检查	1.电刷弹簧压力不足 2.电刷与集电环接触面不够	1.旋紧弹簧螺钉 2.研磨电刷接触面

第6章　起重与搬运

6.1　起重搬运机械的分类

6.1.1　起重机械的分类

起重机械是以间歇，重复工作方式，通过吊钩或其它取物装置把重物提升或运移的机械设备。

起重机械可分为轻小型起重设备和起重机。

轻小型起重设备是指构造紧凑，动作简单，作业范围投影以点、线为主的起重设备。

表6-1是轻小型起重设备的分类表。

表6-2是起重机按构造分类表。

表 6-1　轻小型起重设备分类表

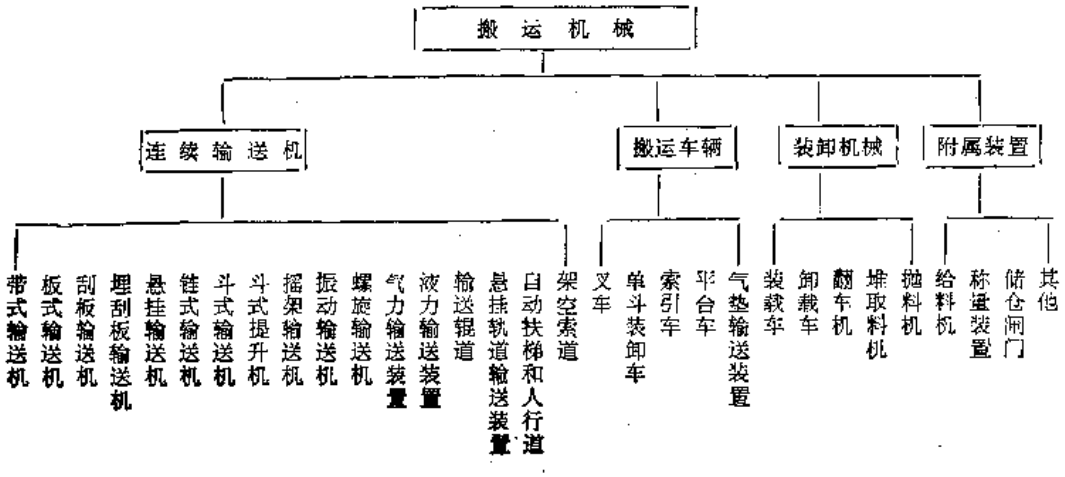
编　号	名　　称	定　　义
1	千　斤　顶	用刚性顶举件作为工作装置，通过顶部托座和底部托爪在不大行程内顶升重物的轻小型起重设备
1.1	螺旋千斤顶	采用螺杆或由螺杆推动的升降套筒作为刚性顶举件的千斤顶
1.2	齿条千斤顶	采用齿条作为刚性顶举件的千斤顶
1.3	液压千斤顶	采用柱塞或液压缸作为刚性顶举件的千斤顶
2	滑车	由动滑轮组和定滑轮组及依次绕过这些滑轮组的起重绳组成的轻小型起重设备
3	起 重 葫 芦	由汇装在公共吊架上的驱动装置，传动装置、制动装置及挠性件构成的轻小型起重设备
3.1	手 拉 葫 芦	由人力通过曳引链，驱动链轮而使起重链卷放，从而带动吊钩上下运动的葫芦
3.2	手 板 葫 芦	由人力通过扳柄驱动钢丝绳或链条，以带动取物装置运动的起重葫芦
3.3	电 动 葫 芦	由电动机、制动器、减速齿轮卷筒以及钢丝绳或链条构成一体起重装置
3.4	气 动 葫 芦	以压缩空气推动起升马达的起重葫芦
4	绞车（卷扬机）	由装在底架上的驱动装置、传动装置、制动装置、卷筒、挠性件等组成的支承式起重设备 其中又可分为卷绕式绞车、摩擦式绞车和绞盘
5	悬挂单轨系统	是由若干台简易的起重小车沿一条悬挂于空中的轨道行走，进行吊运物品的系统，又称葫芦叉道系统

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-2 起重机按构造分类表

编号	名称	定义
1	桥架型起重机	取物装置悬挂在可沿桥架运行的起重小车、运行式葫芦上的起重机
1.1	桥式起重机	桥架两端通过运行装置直接支承在高台架轨道上的桥架型起重机
1.2	龙门起重机	桥架通过其两侧支腿支承在地面轨道或地基上的桥型起重机
1.3	半龙门起重机	桥架一侧直接支承在高台架或高建筑物轨道上，另一侧通过支腿支承在地面轨道或地基上的桥架型起重机
2	缆索式起重机	挂有取物装置的起重小车沿架空承载索运行的起重机
2.1	缆索起重机	承载索两端分别固定在两支承塔架顶部的缆索式起重机
2.2	龙门缆索起重机	作为小车运行轨道的承载索末端分别固定在桥架两端，桥架通过两侧支腿支承在地面轨道上的龙门缆索起重机
3	臂架式起重机	取物装置悬挂在外伸臂架顶端，或挂在可沿臂架运行的起重小车上的起重机
3.1	门座起重机	有个沿地面轨道运行、下方可通过铁路车辆或其它车辆的门形座架的臂架型回转起重机
3.2	半门座起重机	具有半门形座架的臂架型回转起重机。半门座一侧通过运行台车支承在高架轨道上，另一侧通过支腿和运行台车支承在地面轨道上
3.3	塔式起重机	外伸臂架在直立塔架顶部，依靠自重保持稳定的自立式臂架型回转起重机
3.4	铁路起重机	能在铁路线上运行，并列沿线从事装卸作用和进行机车、车辆颠覆等事故救援的臂架型回转起重机
3.5	流动起重机	备有立柱或臂架能在带载或空载情况下靠自身动力沿无轨道道路行驶，并依靠重力保持稳定的臂架回转起重机
3.6	浮游起重机	以专用浮船作为支承、运行装置，浮在水上作业，可沿水道自航或拖航的水上臂架型起重机
3.7	甲板起重机	装在船舶甲板上，用来装卸船货的臂架型回转起重机
3.8	桅杆起重机	臂架下端与桅杆下部铰接，上端通过钢丝绳与桅顶相联，桅杆本身依靠顶部和底部支承保持直立状态的臂架型回转起重机
3.9	悬臂起重机	悬臂不能俯仰的臂架型起重机。可分为柱式悬臂起重机和臂上起重机

6.1.2 搬运机械分类



6.2 起重机械基本参数及工作级别

6.2.1 起重机械的基本参数

表 6-3 基本参数表

编 号	名 称	定 义
1	起重量	被起升重物的质量
1.1	有效起重量，Q_n	起重机能吊起的重物或物料的净质量。对于幅度可变的起重机，根据幅度规定有效起重量
1.2	额定起重量，Q_n	起重机能吊起的重物或物料连同可分吊具（或属具）质量的总和，对于幅度可变的起重机，根据幅度规定起重机的额定起重量
1.3	总起重量，Q_t	起重机能吊起的重物或物料连同可分吊具和长期固定在起重机上的吊具或属具（包括吊钩滑轮组、起重钢丝绳，以及在臂架或起重小车以下的其它起吊物）的质量总和。对于幅度可变的起重机，根据幅度规定总起重机
1.4	最大起重量	起重机正常工作条件下允许提升的最大额定起重量

6.2.2 起重机工作类型

起重机工作类型是指起重机工作忙闲程度和载荷变化程度的参数。

工作忙闲程度，对整个起重机来说，就是指在一年总时间约8700小时内、起重机的实际运转时数与总时数的比；对机构来说，则是指某一个机构在一年时间内运转时数与总时数的比。

在起重机的一个工作循环中，机构运转时间所占的百分比，称为该机构的负载持续率，用$JC\%$表示。

$$JC\% = \frac{t}{T} \times 100\%$$

式中 t——起重机一个工作循环的总时间；

T——起重机一个工作循环的总时间。

载荷变化程度，按额定起重量设计的起重机在实际作业中，起重机所起吊的载荷往往小于额定起重量。这种载荷的变化程度用平均起重量与额定起重量的比值，即起重量利用系数表示。

根据起重机的工作忙闲程度和载荷变化程度把起重机的工作类型划分为：轻级、中级、重级和特重级四种级别。

表6-4是起重机工作类型主要指标的平均值。

起重机工作类型与安全有着十分密切的关系。起重量、跨度、起升高度相同的起重机，如果工作类型不同，在设计制造时，所采用的安全系数就不相同。也就是零部件型号、尺寸、规格各不相同。钢丝绳、制动器的安全系数不同，轻级的比重级小。再如同是10吨的桥式起重机，对于中级工作类型（$JC\% = 25\%$）的起升电动机功率为：$N25\% = 16kW$，而对重级工作类型（$JC\% = 40\%$）的起升电动机功率则为$N40\% = 23.5kW$。如果把轻级工作类型的起重机用在重级工作类型的场所，起重机就会经常出故障，影响安全生产。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-4 起重机工作类型表

工作类型	工作忙闲程度		载荷变化程度		工作类型	工作忙闲程度		载荷变化程度	
	起重机年工作小时数	机构运转时间率（$JC\%$）	机构载荷变化范围	每小时工作循环数n		起重机年工作小时数	机构运转时间率（$JC\%$）	机构载荷变化范围	每小时工作循环数n
轻级	1000	15	经常起吊1/3额定载荷	5	重级	4000	40	经常起吊额定载荷	20
中级	2000	25	经常起吊（1/3～1/2）额定载荷	10	特重级	7000	60	起吊额定载荷机会较多	40

6.2.3 起重机的工作级别和机构工作级别

6.2.3.1 起重机工作级别

起重机工作级别是根据起重机利用等级和载荷状态划分的。

1. 起重机利用等级

利用等级是表征起重机在其有效寿命期间的使用频繁程度，用总的工作循环次数N表示。根据总的工作循环次数N，把起重机利用等级分为U_0～U_9十级（表6-5）。

表 6-5 起重机的利用等级

利用等级	总的工作循环次数 N	附注	利用等级	总的工作循环次数 N	附注
U_0	1.6×10^4	不经常使用	U_5	5×10^5	经常中等地使用
U_1	3.2×10^4		U_6	1×10^6	不经常繁忙地使用
U_2	6.3×10^4		U_7	2×10^6	繁忙地使用
U_3	1.25×10^5		U_8	4×10^6	
U_4	2.5×10^5	经常轻闲地使用	U_9	$>4\times10^6$	

2. 起重机的载荷状态

起重机的载荷状态与两个因素有关。一个是实际起升载荷与最大载荷的比$\left(\frac{P_i}{P_{max}}\right)$，另一个是起升载荷作用次数与总的工作循环次数比$\left(\frac{n_i}{N}\right)$。

表示$\left(\frac{P_i}{P_{max}}\right)$和$\left(\frac{n_i}{N}\right)$关系的值称载荷谱系数$K_p$。其表达式如下：

$$K_p=\sum\left\{\frac{n_i}{N}\left(\frac{P_i}{P_{max}}\right)^m\right\}$$

式中 P_i——第i个起升载荷$P_i=P_1$，P_2，P_3……P_n；

n_i——载荷P_i的作用次数；

N——总的工作循环次数；

P_{max}——最大起升载荷；

m——指数，$m=3$。

表6-6是起重机的载荷状态及其名义载荷谱系数表。

表 6-6 起重机的载荷状态及其名义载荷谱系数K_p

载荷状态	名义载荷系数 K_p	说明	载荷状态	名义载荷系数 K_p	说明
Q_1-轻	0.125	很少起升额定载荷，一般起升轻微载荷	Q_3-重	0.5	经常起升额定载荷，一般起升较重的载荷
Q_2-中	0.25	有时起升额定载荷，一般起升中等载荷	Q_4-特重	1.0	频繁地起升额定载荷

3. 起重机工作级别

是根据利用等级和载荷状态把起重机分为八种工作级别$A1$～$A8$。

表6-7是起重机工作级别的划分表。

表 6-7 起重机工作级别的划分

载荷状态	名义载荷谱系数 K_p	利用等级									
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
Q_1-轻	0.125			A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
Q_2-中	0.25		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	
Q_3-重	0.5	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8		
Q_4-特重	1.0	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8			

从上述分类中可知，起重机工作级别是依金属结构受力状态为根据的。它与起重机工作类型的分类根据是不同的。但两者有一定的关系。即

$A1$～$A4$相当轻型；$A5$～$A6$相当中型；$A7$相当重型；$A8$相当特重型。

6.2.3.2 机构工作级别

起重机机构工作级别是根据机构利用等级和状态划分的。

1. 机构利用等级

机构利用等级按机构总使用寿命分为十级，见表6-8。总的使用寿命规定为机构在设计的使用年数内处于运转的总小时数，它仅作为机构零件的设计基础，而不能视为保用期。

表 6-8 机构利用等级

机构利用等级	总使用寿命 h	附注	机构利用等级	总使用寿命 h	附注
T_0	200	不经常使用	T_5	6300	经常中等地使用
T_1	400		T_6	12500	不经常繁忙地使用
T_2	800		T_7	25000	繁忙地使用
T_3	1600		T_8	50000	
T_4	3200	经常轻闲地使用	T_9	100000	

2. 机构载荷状态

机构的载荷状态表明机构受载的轻重程度，它可用载荷谱系数K_m表征。K_m用下式计算：

$$K_m = \sum\left[\frac{t_i}{t_T}\left(\frac{P_i}{P_{max}}\right)^m\right]$$

式中 P_i——该机构在工作时间内所承受的各个不同的载荷。($P_i = P_1, P_2, P_3 \cdots\cdots P_n$)；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

P_{max}——P_i中的最大值；

t_i——该机构在承受P_i载荷的持续时间，（$t_i = t_1, t_2, t_3 \cdots\cdots t_n$）；

t_T——所有不同载荷作用时的持续时间总和，$t_T = \Sigma t_i$；

m——指数，$m = 3$。

表6-9是机构载荷状态及其名义载荷谱系数K_m表。

表 6-9 机构载荷状态及其名义载荷谱系数K_m

载荷状态	名义载荷谱系数K_m	附　　注
L_1-轻	0.125	机构经常承受轻的载荷，偶尔承受最大的载荷
L_2-中	0.25	机构经常承受中等的载荷，较小承受最大的载荷
L_3-重	0.50	机构经常承受较重的载荷，也常受最大的载荷
L_4-特重	1.00	机构经常承受最大的载荷

3. 机构工作级别

机构工作级别按机构的利用等级和载荷状态分为八级，即$M1$～$M8$级，详见表6-10。

表 6-10 机构工作级别

载荷状态	名义载荷谱系数K_m	机构利用等级									
		T_0	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_7	T_8	T_9
L_1-轻	0.125			$M1$	$M2$	$M3$	$M4$	$M5$	$M6$	$M7$	$M8$
L_2-中	0.25		$M1$	$M2$	$M3$	$M4$	$M5$	$M6$	$M7$	$M8$	
L_3-重	0.50	$M1$	$M2$	$M3$	$M4$	$M5$	$M6$	$M7$	$M8$		
L_4-特重	1.00	$M2$	$M3$	$M4$	$M5$	$M6$	$M7$	$M8$			

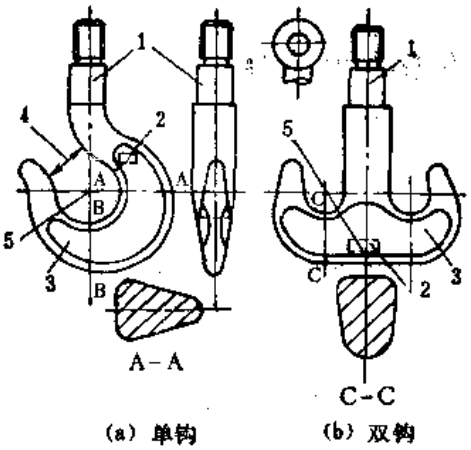
用户选用起重机及其机构，必须选择与生产条件相适应的工作类型和工作级别，以保证所选用起重机的安全运行和使用寿命。

6.3 起重机械的易损零部件

6.3.1 吊　　钩

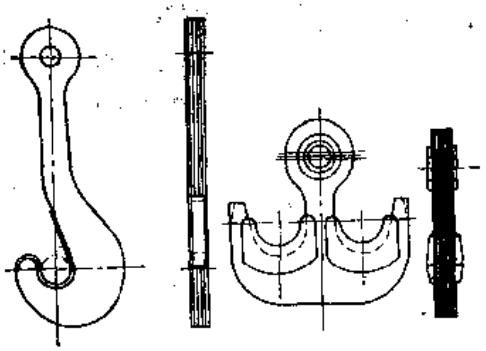
6.3.1.1 吊钩种类和特点

吊钩根据用途不同，制成工字形断面。J字形断面和梯形断面。起重机以用梯形断面的吊钩为主。根据制造方法又可分为锻造钩和板钩。锻造钩（图6-1）一般采用20号钢，经过锻造和冲压、退火处理；再进行机械加工。热处理后要求表面硬度为HB95-135。锻钩可以制成单钩和双钩。单钩主要用在75T以下的起重机上；双钩用在50～100T的起重机上。板钩（图6-2）由每片厚度为30mm成型板片铆合制成。板钩在钩口上装有护板，板钩通常用A3钢或16Mn钢轧制钢板制成。板钩由于其板片不可能同时断裂，所以板钩的可靠性高，但是板钩的断面形状只能制成矩形断面，因此钩体的材料不能被充分利用。板钩也分为单钩和双钩。单钩用在起重量为37.5～175T的起重机上，双钩用在起重量为100T以上的起重机上。



(a) 单钩　(b) 双钩

图 6-1　锻钩



(a) 单钩　(b) 双钩

图 6-2　板钩

1—钩柱；2—起重量标记；3—钩身；4—钩口开度；5—钩孔

6.3.1.2　吊钩的危险断面

对吊钩的检修，必须要知道吊钩的危险断面所在。而危险断面是根据受力分析找出来的。

对于图6-3所示吊钩，Ⅰ-Ⅰ断面受剪切力和偏心拉力的作用。其应力为剪切应力、拉应力、合成应力，按下式计算：

$$\tau = \frac{Q}{2F_1}$$

$$\sigma_{拉} = \frac{Qe_1'}{F_1 K D}$$

$$\sigma_{合} = \sqrt{\sigma_{拉}^2 + 3\tau^2}$$

式中　Q——货物重量；

F_1——吊钩Ⅰ-Ⅰ截面面积；

K——截面形状系数，按下式计算：

$$K = \frac{2R_0}{(b_1+b_2)h}\left\{\left[b_2 + \frac{b_1-b_2}{h}\left(\frac{D}{2}+h\right)\right]\ln\left(1+\frac{2h}{D}\right) - (b_1-b_2)\right\} - 1$$

式中　b_1——梯形截面底边；

b_2——梯形截面顶边；

h——梯形截面高度；

R_0——截面形心曲率半径，$R_0 = \frac{D}{2} + e_1'$；

D——钩孔直径；

e_1'——截面形心至吊钩内边缘的距离。

Ⅱ-Ⅱ断面一方面受Q力的拉伸，另一方面还受弯距M的作用，弯距 $M = \left(\frac{1}{2}D + e_1\right)Q$。

由于弯距的作用，断面Ⅱ-Ⅱ的内侧受拉应力，外侧受压应力。内侧应力迭加，外侧应力抵消一部分。

吊钩Ⅱ-Ⅱ截面的最大应力按下式计算：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$\sigma_{拉}=\frac{2Qe_1}{F_{II}KD}$$

式中 e_1——截面形心距截面内边的距离；

F_{II}——Ⅱ-Ⅱ截面面积。

对于Ⅲ-Ⅲ断面，Q力有把吊钩拉断的趋势，所以Ⅲ-Ⅲ断面受拉应力，其值为

$$\sigma=\frac{Q}{F_{III}},\quad F_{III}=\frac{1}{4}\pi d_0^2$$

式中d_0为吊钩尾部螺纹内径。

通常称受力最大的两个断面(Ⅰ-Ⅰ、Ⅱ-Ⅱ)为危险断面。其上最大应力不得超过$\frac{\sigma_s}{1.3}$。

6.3.1.3 吊钩的安全检查

吊钩不得有裂纹；

危险断面磨损达原高度的10%应报废；

扭转变形不得超过10°；

危险断面或吊钩颈部不得产生塑性变形；

板钩应检查衬套、销子（心轴）、小孔、耳环以及其它紧固体的磨损情况；表面不得有裂纹和变形。衬套磨损超过原厚50%应更新。销子磨损量超过名义直径的3～5%时应更新；销子磨损量超过名义直径的3～5%时应更新；

吊钩不得补焊；

吊钩上应装有防止脱钩的安全装置（图6-4）。

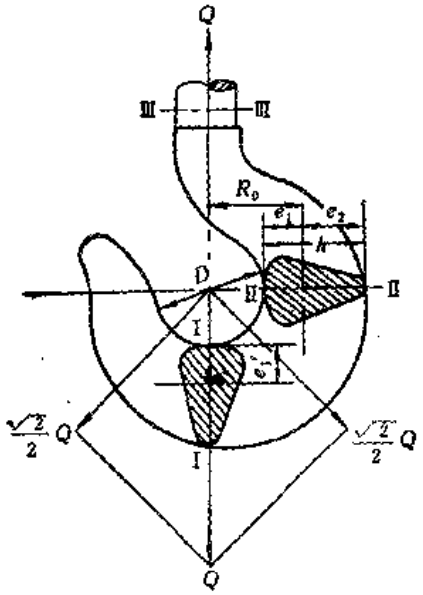


图 6-3 吊钩计算图

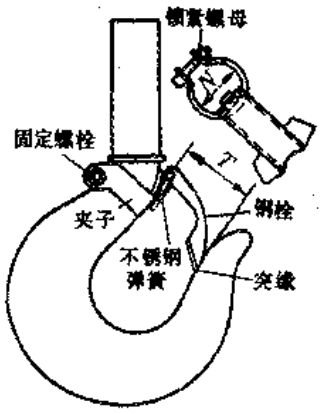


图 6-4 吊钩防止脱钩的安全装置

6.3.2 钢 丝 绳

6.3.2.1 钢丝绳种类

钢丝绳是采用优质碳素钢（50、60、65号钢）经过冷拔和热处理等工艺制成钢丝捻成绳股，再用数条绳股围绕一个芯子捻成绳。钢丝绳的强度极限达140～200kg/mm²。钢丝直径

一般为0.22～3.2mm，但起重机用的钢丝绳的钢丝直径多大于0.4mm，因为直径小的钢丝易磨损。

钢丝绳的芯子可分为有机芯（麻、棉芯），石棉芯和钢丝芯。

通用起重机上用的钢丝绳多是麻芯，它具有较高的挠性，并且能蓄存一定的润滑油脂，因此钢丝受力时，润滑油被挤到钢丝之间起润滑作用。

钢丝绳按捻绕方法可分为顺绕、交绕等。图6-5中a为交绕绳，b是顺绕绳。

顺绕钢丝绳就是绳股的捻绕方向和由股捻成绳的方向是一致的。这种钢丝绳的优点是钢丝间为线接触，耐磨性能好，缺点是当单根钢丝绳悬吊货物时，货物会随钢丝绳松散的方向扭转。所以在起重机上很少使用顺绕的钢丝绳。

交绕钢丝绳绳股的捻绕方向与由股绕成绳的方向相反。所以在起吊货物时不会扭转和松散，由于这一优点交绕钢丝绳广泛的使用在起重机上。缺点是钢丝间为点接触，所以易磨损，使用寿命短些。

根据钢丝绳断面结构又可分为普通型结构绳和复合型结构绳。

普通型：普通型结构的钢丝绳如图6-6(a)所示，是由直径相同的钢丝捻成的，由于钢丝直径相同，相邻各层钢丝的捻距就不同，所以钢丝间形成点接触。虽然点接触使用寿命短些，但由于工艺简单，制造方便，目前在起重机上使用为最广泛。

复合型：为了克服普通型易磨损的缺点而出现复合型。复合型钢丝绳如图6-6(b)、(c)所示，其钢丝直径粗细不同，丝与丝之间形成线接触，这样就克服了普通型钢丝绳点接触的缺点，复合型钢丝绳比普通型钢丝绳的使用寿命可提高1.5～2倍。

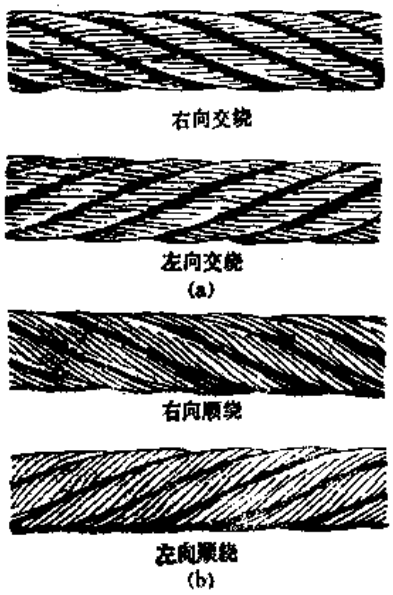


图 6-5 钢丝绳捻绕图

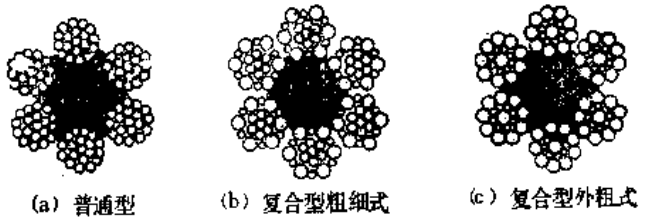


图 6-6 钢丝绳断面结构图

普通型结构的钢丝绳表示方法：绳6×19，股（1+6+12），麻纤维芯。复合型结构钢丝绳表示方法：绳6x(19)或6w(19)。x表示线接触外粗式结构，w则表示线接触粗细结构。

目前在起重机上所采用的钢丝绳主要是绳6×19和绳6×37普通型钢丝绳。

钢丝绳标记示例：

绳6×19-15.5-170-1-甲-镀-右交

6×19——6股、每股19丝，排列为1+6+12；

15.5——钢丝绳直径，单位为mm；

170——钢丝绳的公称拉强度，单位为kgf/cm²；

Ⅰ——Ⅰ号钢丝；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

甲——用于严重腐蚀条件；

镀——用镀锌钢丝制成；

右——右向捻；

交——交互捻；

钢丝绳分类规定符号：

按机械性能分为	规定符号
特号	特
Ⅰ号	Ⅰ
Ⅱ号	Ⅱ
按钢丝绳表面情况分为	规定符号
用光面钢丝制成的	光
用镀锌钢丝制成的	镀
用于严重腐蚀条件	甲
用于一般腐蚀条件	乙
用于较轻腐蚀条件	丙
按捻制的特性分为	规定符号
普通的	—
不松散的，一般用不松散的	b
按绳股的捻向分为	规定符号
右向捻	右(Z)
左向捻	左(S)
按捻制外形分为	
交互捻（交绕）	交
同向捻（顺绕）	同

6.3.2.2 钢丝绳破断原因

钢丝绳破断的主要原因是超载和磨损。钢丝绳破断同在滑轮、卷筒上的穿绕次数有关，穿绕次数越多，则愈易磨损、破断。钢丝绳的破断还和钢丝绳绕过滑轮或卷筒的直径有关，滑轮和卷筒的直径愈小，则钢丝绳的弯曲愈重，也就愈容易损坏。为使钢丝绳有一定的使用寿命，一般要求滑轮直径与钢丝绳直径之比大于20～30。此外钢丝绳的破断还与工作类型，使用环境（温度，腐蚀性气体），保管使用状况有关。

6.3.2.3 钢丝绳选用计算

1. 单根钢丝绳的静力计算

$$S_{破} \geqslant K \cdot S_{静}$$

式中 $S_{静}$——钢丝绳上的静拉力，kgf；

K——安全系数（见表6-11）；

$S_{破}$——要求钢丝绳的破断拉力，kgf。

在一般钢丝绳表中只有钢丝破断拉力总和，而没有钢丝绳破断拉力，所以还要计算出钢丝绳的破断拉力。钢丝绳破断拉力可由下式计算：

$$S_{破} = \alpha \cdot \sum S_{丝}$$

式中 α——折减系数，对于绳6×19，$\alpha = 0.85$；对于绳6×37，$\alpha = 0.82$；

$\sum S_{丝}$——钢丝破断拉力总和，kgf。

表 6-11 最小安全系数 K 和 e 值表

钢丝绳用途			K	e	
				Ⅰ类	Ⅱ类
起升和变幅用	手动		4.0	16	18
	机动	轻级	5.0	16	20
		中级	5.5	18	25
		重级、特重级	6.0	20～25	30～35
抓斗用	双绳抓斗（双电动机分别驱动）		6.0	20～25	30～40
	双绳抓斗（单电动机集中驱动）		5.0	20～25	30～40
	抓斗滑轮			18	25
拉紧用	经常用		3.5	18	25
	临时用		3.0	16	20
小车	曳引用（轨道水平）		4.0	16	20

注：1. 表中的Ⅰ类：流动性起重机及要求尺寸紧凑的起重机如汽车、轮胎起重机等；Ⅱ类：除Ⅰ类外的起重机如桥式、龙门、门座起重机等。

2. 在特殊情况下（如很少使用的起重机或受机构布置所限的起重机）可选取比表列数值为小的数值。

由上述两个公式可得：

$$\sum S_{丝}=\frac{K\cdot S_{静}}{\alpha}$$

由该式计算出所要求的$\sum S_{丝}$，表6-11即可按表选择一条满足上式要求的钢丝绳。

〔例〕 钢丝绳承受静拉力$S_{静}=2600$kgf，安全系数$K=5.5$，试选择一条钢丝绳。

〔解〕

$$\sum S_{丝}\geqslant\frac{K\cdot S_{静}}{\alpha}$$

如果选择绳6×19 则$\alpha=0.85$，

$$\sum S_{丝}=\frac{5.5\times2600}{0.85}=16824\text{kg}$$

绳6×19-18.5-140的

$$\sum S_{丝}=18000\text{kgf}$$

因为这条钢丝绳钢丝破断拉力总和稍大于计算值，所以选择这条绳是安全的。

新的设计规范（GB3811—83）中规定：钢丝绳绳径根据下式计算：

$$d=c\sqrt{s}\quad(\text{mm})$$

式中 d——钢丝绳最小绳径，mm；

c——选择系数，$\text{mm}\sqrt{\text{kg}\cdot\text{f}}$；

s——钢丝绳最大工作静拉力，kgf。

其中选择系数按下式计算：

$$C=\sqrt{\frac{n}{K\cdot\omega\frac{\pi}{4}\sigma_{l}}}$$

式中 n——安全系数，根据机构工作级别选择，一般$n=4\sim9$；捆绑绳取$n=6\sim10$；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

K——钢丝绳捻制折减系数；

ω——钢丝绳充满系数，对绳6×19和绳6×37规格的钢丝绳$\omega=0.54\sim0.48$；

σ_t——钢丝绳公称抗拉强度，kgf/mm²。

2．多根钢丝绳的静力计算

当用几根绳或链条起吊一个重物时，每根绳（或链）与铅垂线的夹角不同，起吊的能力也不同。

如果用四条绳（两个绳套）起吊一个重物时（图6-7），绳子与铅垂线夹角均为α。则被起吊重物的重量与绳子拉力之间的关系如下：

$$Q=4S\cdot\cos\alpha \quad 或 S=\frac{Q}{4\cos\alpha}$$

式中 Q——被起吊重物的重量；

S——钢丝绳的拉力；

α——钢丝绳与铅垂线的夹角。

由于某些物件重心不在形心上，起重绳不会一样长，受力也不会相同。只有重心在吊钩的正下方才是稳定的。这样钢丝绳就会长短不齐。通常短绳称为载重绳，长绳为辅助绳（图6-8）。

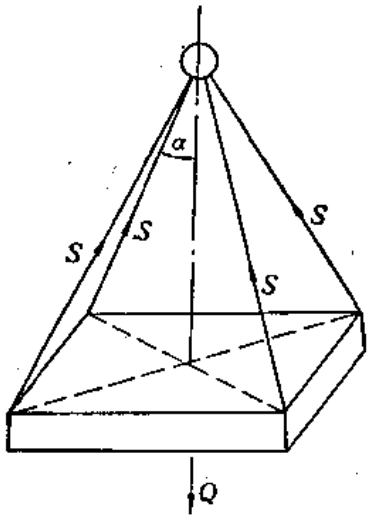


图 6-7 钢丝受力分析图

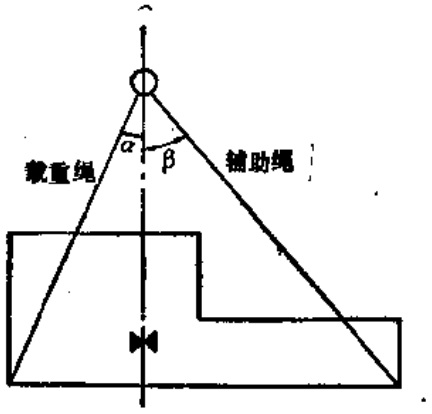


图 6-8 载重绳和辅助绳

根据角度α、β则可以估算出两条绳的长度比和受力大小的比值（表6-12）。

表 6-12 辅助绳长度与载重绳长度的比值

载重绳夹角α \ 辅助绳夹角β	15°	30°	45°	60°
15°	1	1.1	1.4	1.9
30°	—	1	1.2	1.7
45°	—	—	1	1.4

表6-13是假定被起吊的货物为2 t时载重绳拉力。

例：$\alpha=45°$，$\beta=60°$时，被吊物品重量为2t，求载重绳的拉力S_1和辅助绳的拉力S_2（参

表 6-13 **载重绳拉力**（被起吊货重为2t）

载重绳夹角α \ 辅助绳夹角β	15°	30°	45°	60°
15°	1	1.4	1.6	1.8
30°	—	1.2	1.5	1.7
45°	—	—	1.4	1.8

见图6-8）。

根据平衡条件：

$$\sum Y_i = 0;\quad S_1 \cdot \cos 45^\circ + S_2 \cdot \cos 60^\circ = 2 \qquad (1)$$

$$\sum X_i = 0;\quad S_1 \cdot \sin 45^\circ = S_2 \cdot \sin 60^\circ \qquad (2)$$

由（2）式得：

$$S_1 = S_2 \frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} \qquad (3)$$

将（3）式代入（1）式得：

$$S_2 = \frac{2}{\frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ}\cos 45^\circ + \cos 60^\circ} = 1.46\ (\mathrm{t})$$

将S_2代入（3）式得：

$$S_1 = 1.46\frac{\sin 60^\circ}{\sin 45^\circ} = 1.79 \approx 1.8\ (\mathrm{t})$$

当很难确定角度时，可以根据吊点高度和绳长的比例，估算绳子的安全起吊载荷。

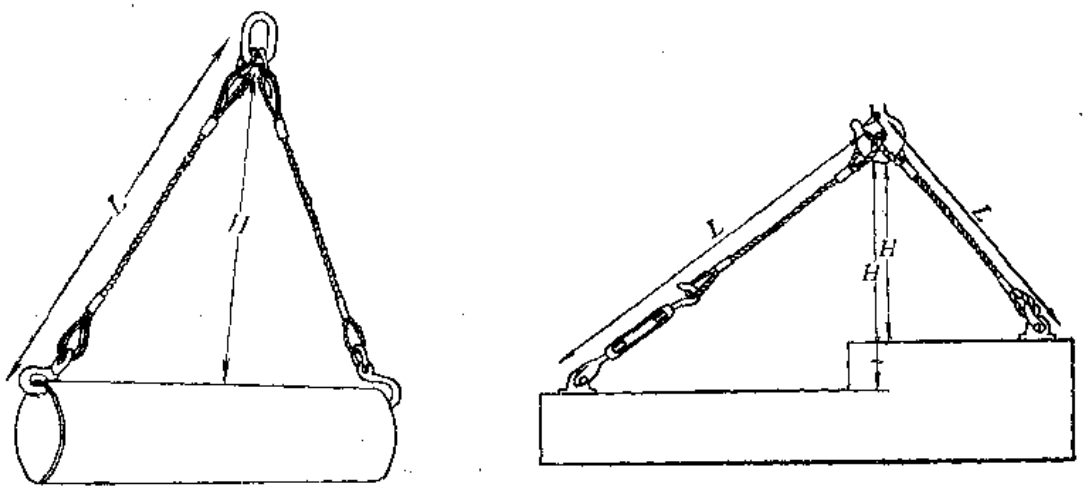


图 6-9

图6-9中两条绳允许安全起吊的载荷为

$$Q = 2 \cdot S_0 = \frac{H}{L}$$

式中 S_0——单根钢丝绳垂直状态允许起吊的载荷；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

H——吊点的高度；

L——钢丝绳长度。

当起吊绳采取套扣方法时，还要考虑绳扣的影响（图6-10），此时安全起吊载荷为

起吊管子

$$Q = 2 \cdot S_0 \frac{H}{L} \cdot \frac{3}{4}$$

起吊板材

$$Q = 2 \cdot S_0 \frac{H}{L} \cdot \frac{A}{B}$$

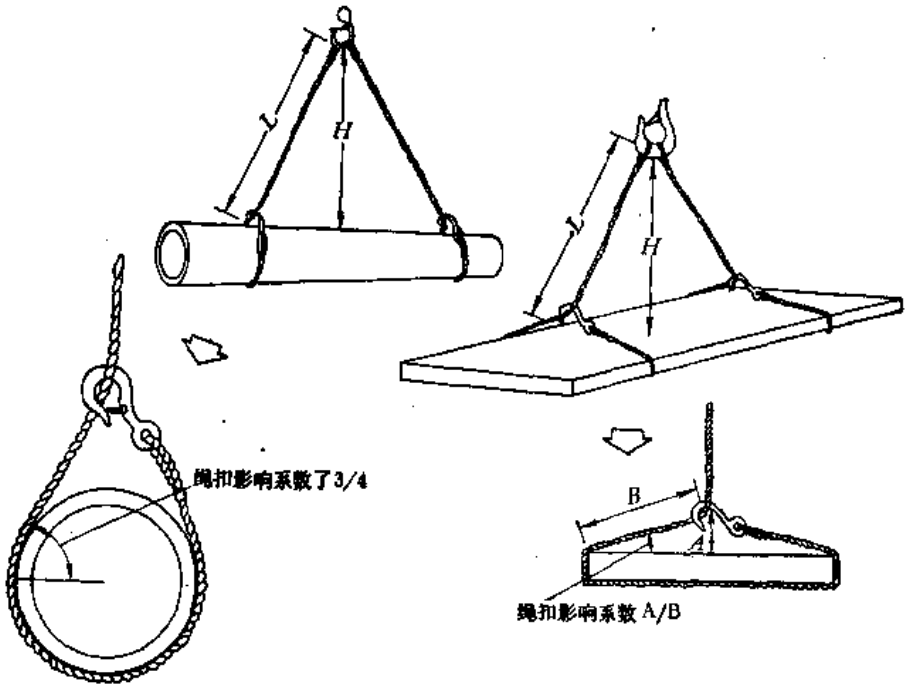


图 6-10

3. 钢丝绳拉力计算的经验公式

对于绳6×19，绳6×37公称抗拉强度为140～155kgf/cm²的钢丝绳可用下式计算：

钢丝绳的破断拉力：$S_{破} = 50d^2$ (kgf)

钢丝绳的许用拉力：$S_{许} = 10d^2$ (kgf)

式中 d——钢丝绳直径，mm。

在查表不方便的情况下可以用近似计算法求钢丝绳的拉力。

在一些地区，常用“吩”表示钢丝绳的直径，如果用“吩”（1吩＝3.175mm）表示钢丝绳的直径时，钢丝绳的许用拉力可用下式估计：

$$S_{许} = 0.1d^2 \quad (t)$$

式中绳径 d 以吩代入；

当用数根绳成角度的起吊重物时，可用下式计算：

$$Q = 4 \times 10 \times d_{绳}^2 \cdot C_{角}$$

式中 $d_{绳}$——钢丝绳的直径，mm；

Q——允许起吊重量，kg；

C_α——角度影响系数。可从表6-14中查得。

表 6-14 C_α系数表

角 度 α	0°	30°	45°	60°
C_α	1	0.866	0.707	0.5000

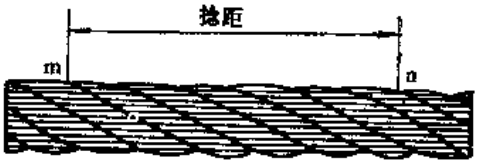


图 6-11 捻节距图

6.3.2.4 钢丝绳的安全检验及报废

（1）钢丝绳在一个捻节距内断丝数达到表6-15规定的数值，则应报废。

图6-11是捻节距图，如果是6股钢丝绳则在钢丝绳上任意一条母线上数6节（m～n）的距离。其它类型钢丝绳以此类推。

（2）钢丝径向磨损或腐蚀量超过原直径的40%报废，当不到40%时，可按表6-16折减断丝数报废。

表 6-15 钢丝绳报废时的断丝数

钢丝绳 / 断丝数量 / 安全系数	钢丝绳结构（GB1102—74）			
	绳6W（19） 绳6X（19）		绳 6×（37）	
	一个节距中的断丝数			
	交互捻	同向捻	交互捻	同向捻
小于6	12	6	22	11
6～7	14	7	26	13
大于7	16	8	30	15

表 6-16 折减系数表

钢丝表面磨损或锈蚀量%	10	15	20	25	30～40	大于40
折减系数%	85	75	70	60	50	0

如有磨损同时有断丝的情况下，断丝的报废标准应按折减后的标准执行。

（3）吊运赤热金属或危险品的钢丝绳的报废断丝数，取一般起重机用钢丝绳报废断丝数的一半，其中包括钢丝表面磨蚀进行的折减。

（4）钢丝绳断股则应报废。

（5）钢丝绳直径相对于名义直径减小7%或更多时，即使不发现断也应报废。

（6）严重变形应报废（图6-12）

（a）波浪形 波浪形的变形是指钢丝绳的轴线呈螺旋线形状。当波浪形的程度达以下关系时，应予报废。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$d_1 \geqslant \frac{4d}{3}$$

式中 d——钢丝绳名义直径；

d_1——钢丝绳变形后包络面的直径，计算d_1时，钢丝绳长度不超过25d。

（b）笼状畸变 这种变形多出现在钢芯绳上，当外层绳股比内层绳股变长时，则会出现笼形。其原因是由于松弛状态的钢丝绳突然吊起重物而引起的。

（c）绳股挤出 这种变形常与笼形同时产生。是由于受力不平衡所至。

（d）钢丝挤出 这种变形多发生在钢丝绳背着滑轮槽的一侧或受冲击载荷的情况，一部分钢丝或钢丝束拱起形成环形。

（e）绳径局部增大 绳径增大通常与绳芯畸变有关，导致钢丝绳外层绳股定位不正。可能产生受力不平衡、磨损等。

（f）钢丝绳被压偏 这种变形多由于机械事故造成。

（g）扭结 是指成环状的钢丝绳在不允许绕其轴线转动的情况下，被拉紧而造成的一种变形。其结果是钢丝绳的捻节距不均，引起严重磨损。严重时，芯子外露，钢丝绳强度极低。

（h）弯折 是指在外力的作用下，产生不可恢复的角变形。

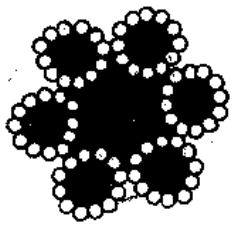
（i）由于锈蚀和磨损而使钢丝松弛的钢丝绳。

（j）由于受热或电弧的作用，外观呈现异常颜色。

出现以上变形的钢丝绳应报废。

表6-17～表6-26是各种钢丝绳的基本技术参数。

表 6-17 绳 6×12 钢 丝 绳 表



绳 6×12

股 (0+12)　　用于：捆绑

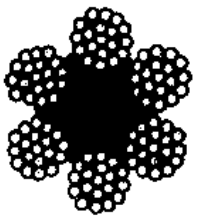
绳和股纤维芯

直径 (mm)		钢丝总断面积 (mm²)	参考重量 (kg/100m)	钢丝绳公称抗拉强度 (kgf/mm²)				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
				kgf (不小于)				
6.2	0.4	9.04	9.58	1260	1400	1530	1670	1800
7.7	0.5	14.13	14.98	1970	2190	2400	2610	2820
9.3	0.6	20.35	21.57	2840	3150	3450	3760	4070
11.0	0.7	27.69	29.35	3870	4290	4700	5120	5530
12.5	0.8	36.17	38.34	5060	5600	6140	6690	7230
14.0	0.9	45.78	48.53	6400	7090	7780	8460	9150
15.5	1.0	56.52	59.91	7910	8760	9600	10450	11300
17.0	1.1	68.39	72.49	9570	10600	11600	12650	13650

续表

直径（mm）		钢丝总断面积（mm²）	参考重量（kg/100m）	钢丝绳公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
				kgf（不小于）				
18.5	1.2	81.39	86.27	11350	12600	13800	15050	16250
20.0	1.3	95.52	101.3	13350	14800	16200	17650	19100
21.5	1.4	110.78	117.4	15500	17150	18800	20450	22150
23.0	1.5	127.17	134.8	17800	19700	21600	23500	25400
24.5	1.6	144.69	153.4	20250	22400	24550	26750	28900
26.0	1.7	163.34	173.1	22850	25300	27750	30200	32650
28.0	1.8	183.12	194.1	25600	28350	31100	33850	36600
31.0	2.0	226.08	239.6	31650	35000	38400	41800	45200
34.0	2.2	273.56	290.0	38250	42400	46500	50600	
37.0	2.4	325.56	345.1	45550	50450	55300	60200	
40.0	2.6	382.08	405.0	53450	59200	64950	70650	
43.0	2.8	443.12	469.7	62000	68650	75300	81950	
46.0	3.0	508.68	539.2	71200	78800	86450	94100	

表 6-18 绳 6×19 钢丝绳表



绳 6×19　　名称：钢丝绳（GB1102—74）

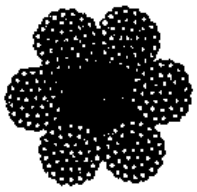
股（1+6+12）　　$S_{绳}=\alpha\Sigma S_{丝}$

绳纤维芯　　$\alpha=0.85$

直径（mm）		钢丝总断面积（mm²）	参考重量（kg/100m）	钢丝绳公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
				钢丝破断拉力总和（$\Sigma S_{丝}$）（kgf，不小于）				
6.2	0.4	14.32	13.53	2000	2210	2430	2640	2860
7.7	0.5	22.37	21.14	3130	3460	3800	4130	4470
9.3	0.6	32.22	30.45	4510	4990	5470	5960	6440
11.0	0.7	43.85	41.44	6130	6790	7450	8110	8770
12.5	0.8	57.27	54.12	8010	8870	9730	10550	11450
14.0	0.9	72.49	68.50	10100	11200	12300	13400	14450
15.5	1.0	89.49	84.57	12500	13850	15200	16550	17850
17.0	1.1	108.28	102.3	15150	16750	18400	20000	21650
18.5	1.2	128.87	121.8	18000	19950	21900	23800	25750
20.0	1.3	151.24	142.9	21150	23400	25700	27950	30200
21.5	1.4	175.40	165.8	24550	27150	29800	32400	35050
23.0	1.5	201.35	190.3	28150	31200	34200	37200	40250
24.5	1.6	229.09	216.5	32050	35500	38900	42350	45800
26.0	1.7	258.63	244.4	36200	40050	43950	47800	51700
28.0	1.8	289.95	274.0	40550	44900	49250	53600	57950
31.0	2.0	357.96	338.3	50100	55450	60850	66200	71550
34.0	2.2	433.13	409.3	60600	67100	73600	80100	
37.0	2.4	515.46	487.1	72150	79850	87600	95350	
40.0	2.6	604.95	571.7	84650	93750	102500	111500	
43.0	2.8	701.60	663.0	98200	108500	119000	129500	
46.0	3.0	805.41	761.1	112500	124500	136500	14900	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-19 绳 6×37 钢丝绳表



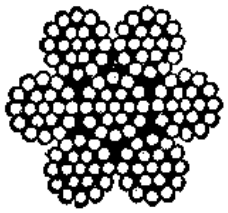
绳 6×37　　名称：钢丝绳（GB1102—74）

股（1+6+12+18）　　$S_{绳}=\alpha\Sigma S_{丝}$

绳纤维芯　　$\alpha=0.82$

直径（mm）		钢丝总断面积	参考重量	钢丝绳公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
		(mm²)	(kg/100m)	钢丝破断拉力总和$\Sigma S_{丝}$（kgf，不小于）				
8.7	0.4	27.88	26.21	3900	4320	4730	5150	5570
11.0	0.5	43.57	40.96	6090	6750	7400	8060	8710
13.0	0.6	62.74	58.98	8780	9720	10650	11600	12500
15.0	0.7	85.39	80.27	11950	13200	14500	15750	17050
17.5	0.8	111.53	104.8	16600	17250	18950	20600	22300
19.5	0.9	141.16	132.7	19750	21850	23950	26100	28200
21.5	1.0	174.27	163.8	24350	27000	29600	32200	34850
24.0	1.1	210.87	198.2	29500	32650	35800	39000	42150
26.0	1.2	250.95	235.9	35100	38850	42650	46400	50150
28.0	1.3	294.52	276.8	41200	45650	50050	54450	58900
30.0	1.4	341.57	321.1	47800	52900	58050	63150	68300
32.5	1.5	392.11	368.6	54850	60750	66650	72500	78400
34.5	1.6	446.13	419.4	62450	69150	75800	82500	89200
36.5	1.7	503.64	473.4	70500	78050	85600	93150	100500
39.0	1.8	564.63	530.8	79000	87500	95950	104000	112500
43.0	2.0	697.08	655.3	97550	108000	118500	128500	139000
47.5	2.2	843.47	792.9	118000	130500	143000	156000	
52.0	2.4	1003.80	943.6	140500	155500	170500	185500	
56.0	2.6	1178.07	1107.4	164500	182500	200000	217500	
60.5	2.8	1366.28	1284.3	191000	211500	232000	252500	
65.0	3.0	1568.43	1474.3	219500	243000	266500	290000	

表 6-20 绳 7×19 钢丝绳表



绳 7×19

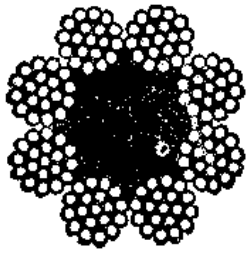
股（1+6+12） 用于起重机械

绳纤维芯

直径（mm）		钢丝总断面积（mm²）	参考重量（kg/100m）	钢丝绳公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
				钢丝破断拉力总和（$\Sigma S_{丝}$）（kgf，不小于）				
6.0	0.4	16.70	14.70	2330	2580	2830	3080	3340
7.5	0.5	26.10	22.97	3650	4040	4430	4820	5220
9.0	0.6	37.59	33.08	5260	5820	6390	6950	7510
10.5	0.7	51.16	45.02	7160	7920	8690	9460	10200
12.0	0.8	66.82	58.80	9350	10350	11350	12350	13350
13.5	0.9	84.57	74.42	11800	13100	14350	15600	16900
15.0	1.0	104.41	91.88	14600	16150	17700	19300	20850
16.5	1.1	126.33	111.20	17650	19550	21450	23350	25250
18.0	1.2	150.34	132.30	21000	23300	25550	27800	30050
19.5	1.3	176.44	155.30	24700	27300	29950	32600	35250
21.0	1.4	204.63	180.1	28600	31700	34750	37850	40900
22.5	1.5	234.91	206.7	32850	36400	39900	43450	46950
24.0	1.6	267.28	235.2	37400	41400	45400	49400	53450
25.5	1.7	301.73	265.5	42200	46750	51250	55800	60300
27.0	1.8	338.27	297.7	47350	52400	57500	62550	67650
30.0	2.0	417.62	367.5	58450	64700	70950	77250	83500
33.0	2.2	505.32	444.7	70700	78300	85900	93450	
36.0	2.4	601.37	529.2	84150	93200	10200	111000	
39.0	2.6	705.78	621.1	98800	109000	119500	130500	
42.0	2.8	818.54	720.3	114500	126500	139000	151000	
45.0	3.0	939.65	826.9	131500	145500	159500	173500	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-21 绳 8×19 钢 丝 绳 表



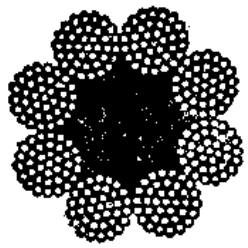
绳 8×19

股（1+6+12） 用于：起重机械

绳纤维芯

直 径（mm）		钢 丝	参考重量	钢丝绳公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢 丝	总断面积 (mm²)	(kg/100m)	140	155	170	185	200
				钢丝破断拉力总和（kgf）				
7.6	0.4	19.09	18.80	2670	2950	3240	2530	3810
9.5	0.5	29.83	29.38	4170	4620	5070	5510	5960
11.5	0.6	42.96	42.32	6010	6650	7300	7940	8590
13.0	0.7	58.47	57.59	8180	9060	9930	10800	11650
15.0	0.8	76.36	75.21	10650	11800	12950	14100	15250
17.0	0.9	96.65	95.20	13500	14950	16400	17850	19300
19.0	1.0	119.32	117.5	16700	18450	20250	22050	23850
20.5	1.1	144.38	142.2	20200	22350	24500	26700	28850
22.5	1.2	171.82	169.2	24050	26600	29203	31750	34350
24.5	1.3	201.65	198.6	28200	31250	34297	37300	40300
26.0	1.4	233.87	230.4	32700	36200	39750	43250	46750
28.0	1.5	268.47	264.4	37550	41600	45600	49650	53650
30.0	1.6	305.46	300.9	42750	47300	51900	56500	61050
32.0	1.7	344.83	339.7	48250	53400	58600	63750	68590
33.5	1.8	386.60	380.8	54100	59900	65700	71500	77300
37.5	2.0	477.28	470.1	66800	73950	81100	88250	95450
41.0	2.2	577.51	568.8	80850	89500	98150	106500	
45.0	2.4	687.28	677.0	96200	106500	116500	127000	
48.5	2.6	806.60	794.5	112500	125000	137000	149000	
52.5	2.8	935.47	921.4	130500	144500	159000	173000	
56.0	3.0	1073.88	1057.8	150000	166000	182500	198500	

表 6-22 绳 8×37 钢丝绳表



绳 8×37

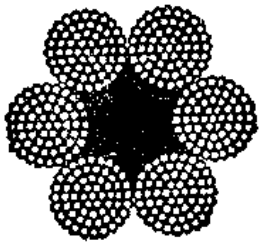
股（1+6+12+18） 用于：起重机械

绳纤维芯

直径（mm）		钢丝总断面积 (mm²)	参考重量 (kg/100m)	钢丝公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
				kgf（不小于）				
10.5	0.4	37.18	36.44	5200	5760	6320	6870	7430
13.0	0.5	58.09	56.93	8130	9000	9870	10700	11600
16.0	0.6	83.65	81.98	11700	12950	14200	15450	16700
18.5	0.7	113.86	111.6	15900	17600	19350	21050	22750
21.0	0.8	148.71	145.7	20800	23050	25250	27500	29700
23.5	0.9	188.21	184.4	26300	29150	31950	34800	37600
26.0	1.0	232.36	227.7	32500	36000	39500	42950	46450
29.0	1.1	281.16	275.5	39350	43550	47750	52000	56200
31.5	1.2	334.60	327.9	46800	51850	56850	61900	66900
34.0	1.3	392.69	384.8	54950	60850	66750	72600	78500
36.5	1.4	455.43	446.3	63750	70550	77400	84250	91050
39.0	1.5	522.81	512.4	73150	81000	88850	96700	104500
42.0	1.6	594.84	582.9	83250	92200	101000	110000	118500
44.5	1.7	671.52	658.1	94000	104000	114000	124000	134000
47.0	1.8	752.85	737.8	105000	116500	127500	139000	150500
52.5	2.0	929.44	910.9	130000	144000	158000	172000	185500
57.5	2.2	1124.62	1102.1	157000	174000	191000	208000	
63.0	2.4	1338.39	1311.6	187000	207000	227500	247500	
68.0	2.6	1570.75	1539.3	219500	243000	267000	290500	
73.0	2.8	1821.70	1785.3	255000	282000	309500	337000	
78.0	3.0	2091.24	2049.4	292500	324000	355500	386500	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-25 绳 6×61 钢丝绳表



绳 6×61

股（1+6+12+18+24） 用于：重型起重机械

绳纤维芯

直径（mm）		钢丝总断面积	参考重量	钢丝公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
		(mm²)	(kg/100m)	kgf（不小于）				
11.0	0.4	45.97	42.21	6430	7120	7810	8500	9190
14.0	0.5	71.83	67.52	10050	11100	12200	13250	14350
16.5	0.6	103.43	97.22	14450	16000	17550	19100	20650
19.5	0.7	140.78	132.3	19700	21800	23900	26000	28150
22.0	0.8	183.88	172.8	25700	28500	31250	34000	36750
25.0	0.9	232.72	218.8	32550	36050	39550	43050	46500
27.5	1.0	287.31	270.1	40200	44500	48800	53150	57450
30.5	1.1	347.65	326.8	48650	53850	59100	64300	69500
33.0	1.2	413.73	388.9	57900	64100	70300	76500	82700
36.0	1.3	485.55	456.4	67950	75250	82500	89800	97100
38.5	1.4	563.13	529.3	78800	87250	95700	104000	112500
41.5	1.5	646.45	607.7	90500	100000	109500	119500	129000
44.0	1.6	735.51	691.4	102500	114000	125000	136000	147000
47.0	1.7	830.33	780.5	116000	128500	141000	153500	166000
50.0	1.8	930.88	875.0	130000	144000	158000	172000	186000
55.5	2.0	1149.24	1080.3	160500	178000	195000	212500	229500
61.0	2.2	1390.58	1307.1	194500	215500	236000	257000	
66.5	2.4	1654.91	1555.6	231500	256500	281000	306000	
72.0	2.6	1942.22	1825.7	271500	301000	330000	359000	
77.5	2.8	2252.51	2117.4	315000	349000	382500	416500	
83.0	3.0	2585.79	2430.6	362000	400500	439500	478000	

表 6-24 绳 18×19 钢丝绳表



绳 18×19　　多层股（不旋转）钢丝绳

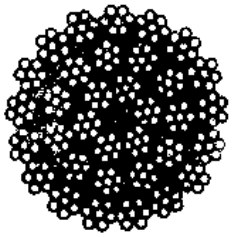
股（1+6+12）　用于：港口装卸起重机，建筑塔式起重机。

绳纤维芯

直径（mm）		钢丝总断面积 (mm²)	参考重量 (kg/100m)	钢丝绳公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
10.5	0.4	42.96	39.74	6010	6650	7300	7940	8590
13.0	0.5	67.12	62.08	9390	10400	11400	12400	13400
15.5	0.6	96.65	89.40	13500	14950	16400	17850	19300
18.0	0.7	131.53	121.7	18400	20350	22350	24300	26300
20.5	0.8	171.82	158.9	24050	26600	29200	31750	34350
23.0	0.9	217.46	201.2	30400	33700	36950	40200	43450
26.5	1.0	268.47	248.3	37550	41600	45600	49650	53650
28.0	1.1	324.85	300.5	45450	50350	55200	60050	64950
30.5	1.2	386.60	357.6	54100	59900	65700	71500	77300
33.0	1.3	453.71	419.7	63500	70300	77100	83900	90700
36.0	1.4	526.20	486.7	73650	81550	89450	97300	10500
38.5	1.5	604.06	558.8	84550	93600	102500	111500	120500
41.0	1.6	687.28	635.7	96200	106500	116500	127000	137000
43.5	1.7	775.88	717.7	108500	120000	131500	143500	155000
46.0	1.8	869.84	804.6	121500	134500	147500	160500	173500
51.0	2.0	1073.88	993.3	150000	166000	182500	198500	214500

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-25 绳 34×7 钢 丝 绳 表



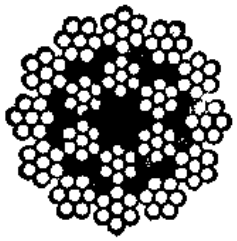
绳 34×7

股（1+6）　　用于：港口装卸起重机　建筑塔式起重机

绳纤维芯

直径（mm）		钢丝总断面积	参考重量	钢丝公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
		(mm²)	(kg/100m)	kgf/（不小于）				
8.4	0.4	29.89	27.65	4180	4630	5090	5520	5970
10.5	0.5	46.71	43.21	6530	7240	7940	8640	9340
12.5	0.6	67.26	62.22	9410	10400	11400	12400	13450
15.0	0.7	91.55	84.68	12800	14150	15550	16900	18360
17.0	0.8	119.57	110.6	16700	18500	20300	22100	23900
19.0	0.9	151.33	140.0	21150	23450	25700	27950	30250
21.0	1.0	186.83	172.8	26160	28950	31750	34550	37350
23.0	1.1	226.06	209.1	31600	35000	38400	41800	45200
25.5	1.2	269.04	248.9	37650	41700	45700	49750	53800
27.5	1.3	315.74	292.1	44200	48900	53650	58400	63100
29.5	1.4	366.19	338.7	51250	56750	62250	67700	73200
31.5	1.5	420.37	388.8	58850	65150	71450	77750	84050
33.5	1.6	478.28	442.4	66950	74100	81300	88450	95650
35.5	1.7	539.94	499.4	75550	83650	91750	99850	107500
38.0	1.8	605.33	560.0	84700	93800	102500	111500	121000
42.0	2.0	747.32	691.3	104500	115500	127000	138000	149000
46.0	2.2	904.26	836.4	126500	140000	153500	167000	
50.5	2.4	1076.14	995.4	150500	166500	182500	199000	
54.5	2.6	1262.97	1168.2	176500	195500	214500	233500	

表 6-26 绳 18×7 钢丝绳表



绳 18×7

股（1+6）　　用于：立井提升，索道承重绳

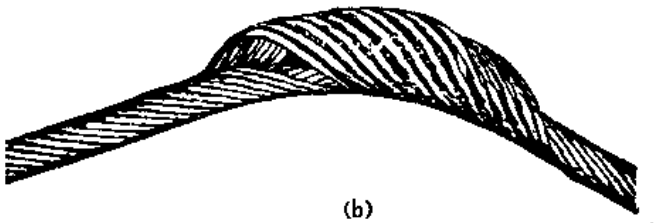
绳纤维芯

直径（mm）		钢丝总断面积	参考重量	钢丝绳公称抗拉强度（kgf/mm²）				
钢丝绳	钢丝			140	155	170	185	200
		(mm²)	(kg/100m)	钢丝破断拉力总和（kg）				
6.2	0.4	15.83	14.80	2210	2450	2690	2920	3160
7.7	0.5	24.73	23.12	3460	3830	4200	4570	4940
9.3	0.6	35.61	33.30	4980	5510	6050	6580	7120
11.0	0.7	48.47	45.32	6780	7510	8230	8960	9690
12.5	0.8	63.30	59.19	8860	9810	10750	11700	12650
14.0	0.9	80.12	74.91	11200	12400	13600	14800	16000
15.5	1.0	98.91	92.48	13800	15300	16800	18250	19750
17.0	1.1	119.68	111.9	16750	18550	20300	22100	23900
18.5	1.2	142.46	133.2	19900	22050	24200	26300	28450
20.	1.3	167.16	156.3	23400	25900	28400	30900	33400
21.5	1.4	193.86	181.3	27100	30000	32950	35850	38750
23.0	1.5	222.55	208.1	31150	34450	37800	41150	44500
24.5	1.6	253.21	236.8	35400	39200	43000	46800	50600
26.0	1.7	285.85	267.3	40000	44300	48550	52850	57150
28.0	1.8	320.47	299.6	44850	49650	54450	59250	64050
31.0	2.0	395.64	369.9	55350	61300	67250	73150	79100
34.0	2.2	478.72	447.6	67000	74200	82350	88550	
37.0	2.4	569.72	532.7	79750	88300	96850	105000	
40.0	2.6	668.63	625.2	93600	103500	113500	123500	
43.0	2.8	775.45	725.0	108500	120000	131500	143000	
46.0	3.0	890.19	832.3	124500	137500	151000	164500	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



(a)



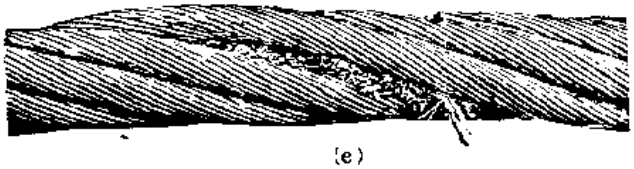
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

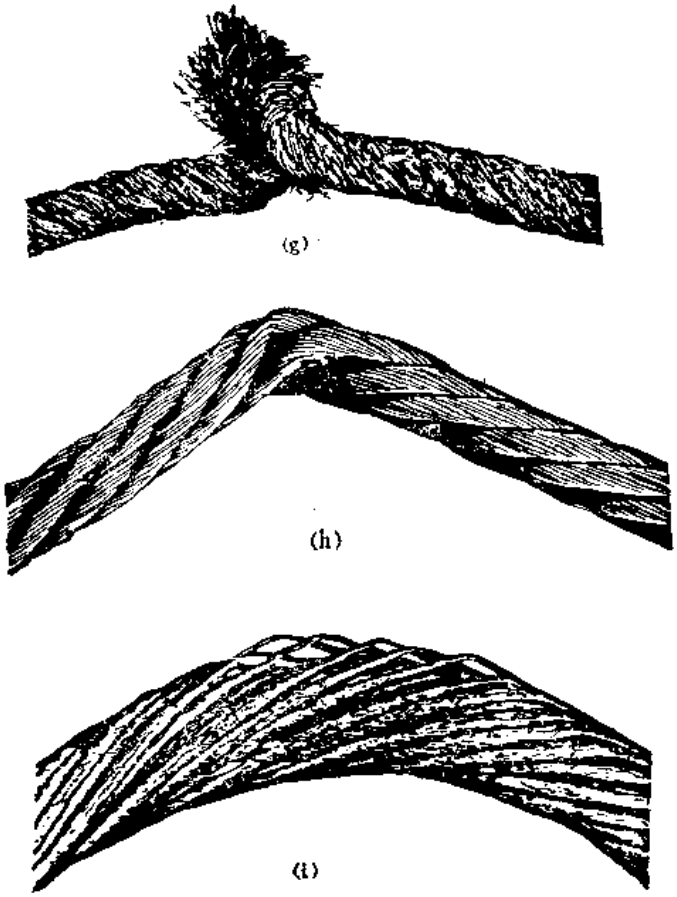


图 6-12 钢丝绳变形图

6.3.3 起重链条及化纤绳

6.3.3.1 起重链条绳

1. 链条分级和用途

表 6-27 链条分级和用途

级 别	最小破断力时平均应力 (N/mm^2)	极限工作载荷时平均应力 (N/mm^2)	特性及用途
L 级	300		由低碳钢制造，是一种延伸性很好的软链。易发生应变老化和低温脆裂，一般不应在低温条件（低于 1 ℃）下使用
M 级	400	100	由中碳钢制造，可用于一般的起重和悬吊
S 级	630	160	此类链条由合金钢制造，适用于恶劣的工作环境及易发生磨损的工作条件
T 级	800	200	此类链由合金钢制造，适用于最恶劣的工作场合，硬度高，耐磨性好

2. 温度影响

当链条接触高温起吊物或非常靠近高温地方起吊物品时，应按表6-28、6-29降低极限工作载荷。

S级和T级链条不得用于温度超过400℃的场合。如果偶尔用于环境温度超过400℃时，则应将链条送回制造厂重新处理。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-28 S级、T级温度影响表

链条温度℃	极限工作载荷降低%
<200	0
200～300	15
300～400	25

表 6-29 M级温度影响表

链条温度℃	极限工作载荷降低%
<300	0
至350	16
至400	27
至450	41
至470	51

M级链条，不得用于超过475℃的场合。

L级链条，不得用于高温作业。

M、S、T级链条，在温度为－40℃的场合不会出现低温脆裂。

3. 链条的选用

链条在使用过程中，通常是两条或四条一起起吊重物。链肢和铅垂夹角不得超过60°。图6-13是吊链倾斜肢的起重能力与角度的变化曲线图。

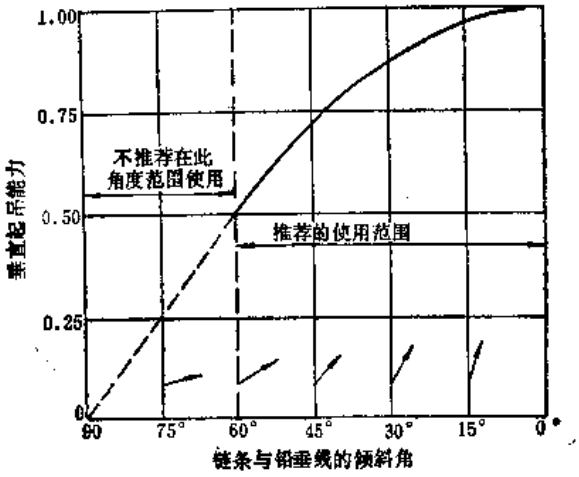


图 6-13 吊链倾斜肢的起重能力与角度变化曲线

根据最大工作载荷及安全系数计算链条的破断载荷S_p，以S_p来选择链条。

$$S_p \geqslant S_{max} \cdot n \ (kg)$$

式中 S_p——破断载荷，kg；

S_{max}——链条最大工作载荷，kg；

n——安全系数（查表6-30）。

表 6-30 焊接环形链的安全系数

使用情况	光卷筒或滑轮		用于链轮		捆绑物品	吊挂用（带小钩小环等）
	手动	机动	手动	机动		
安全系数	3	6	4	8	6	6

6.3.3.2 化 纤 绳

常用化纤绳的技术数据列入表6-31～表6-33。

表 6-31 尼龙绳安全载荷量

绳径 mm(in)	最大安全载荷（安全系数 5）					
	单根垂直吊载	单根绳套吊载	单根兜吊（垂直）	双根斜吊或单根倾斜兜吊		
				60°	45°	30°
4.8(3/16)	91	68	182	157	128	91
6.4(1/4)	136	102	272	236	192	136
8.0(5/16)	227	170	454	393	321	227
9.5(3/8)	318	238	636	550	449	318
12.7(1/2)	567	425	1134	982	802	567
14.3(9/16)	680	510	1360	1178	962	680
15.9(5/8)	907	680	1814	1571	1283	907
19.1(3/4)	1270	953	2540	2200	1796	1270
20.6(13/16)	1451	1089	2902	2514	2052	1451
22.2(7/8)	1724	1293	3448	2985	2437	1724
25.4(1)	2177	1633	4354	3771	3079	2177
27.0(1 1/16)	2495	1871	4990	4321	3528	2495
28.6(1 1/8)	2858	2143	5716	4949	4041	2858
31.8(1 1/4)	3266	2449	6532	5656	4618	3266
33.3(1 5/16)	3719	2790	7438	6442	5259	3719
38.1(1 1/2)	4627	3470	9254	8013	6542	4627
41.3(1 5/8)	5625	4218	11250	9742	7953	5623
44.5(1 3/4)	6804	5103	13608	11784	9621	6804
50.8(2)	8119	6089	16238	14063	11481	8119
540(2 1/8)	9163	6872	18326	15870	12956	9163
57.2(2 1/4)	10795	8097	21590	18698	15245	10795
63.5(2 1/2)	12066	9049	24132	20898	17061	12066
66.7(2 5/8)	13925	10444	27850	24119	19690	13925

表 6-32 聚丙烯绳安全载荷量

绳径 mm(in)	最大安全载荷（安全系数 5）					
	单根垂直吊载	单根绳套吊载	单根兜吊（垂直）	双根斜吊或单根倾斜兜吊		
				60°	45°	30°
4.8(3/16)	68	51	136	118	96	68
6.4(1/4)	113	85	226	196	160	113
8.0(5/16)	181	136	362	314	257	181
9.5(3/8)	227	170	454	393	321	227
12.7(1/2)	376	282	752	652	532	376
14.3(9/16)	435	327	870	754	616	435
15.9(5/8)	590	442	1180	1021	834	590
19.1(3/4)	771	578	1542	1336	1090	771
20.6(13/16)	862	646	1724	1493	1219	862
22.2(7/8)	998	748	1996	1728	1411	998
25.4(1)	1315	987	2630	2278	1860	1315
27.0(1 1/16)	1361	1021	2722	2357	1924	1361
28.6(1 1/8)	1701	1276	3402	2946	2405	1701
31.8(1 1/4)	1905	1429	3810	3300	2694	1905
33.3(1 5/16)	1996	1497	3992	3457	2822	1996

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

绳径 mm(in)	最大安全载荷（安全系数 5）					
	单根垂直吊载	单根绳套吊载	单根兜吊（垂直）	双根斜吊或单根倾斜兜吊		
				60°	45°	30°
38.1(1½)	2722	2041	5444	4714	3848	2722
41.3(1⅝)	3311	2483	6622	5735	4682	3311
44.5(1¾)	3946	2960	7892	6835	5580	3946
50.8(2)	4717	3538	9434	8170	6670	4717
54.0(2⅛)	5216	3912	10432	9035	7375	5216
57.2(2¼)	5987	4491	11974	10370	8466	5987
63.5(2½)	6849	5137	13698	11863	9685	6849
66.7(2⅝)	7711	5783	15422	13356	10903	7711

表 6-33 聚酯纤维绳安全载荷量

绳径 mm(in)	最大安全载荷（安全系数 5）					
	单根垂直吊载	单根绳套吊载	单根兜吊（垂直）	双根斜吊或单根倾斜兜吊		
				60°	45°	30°
4.8(3/16)	91	68	182	157	128	91
6.4(1/4)	136	102	272	236	192	136
8.0(5/16)	227	170	454	393	321	227
9.5(3/8)	318	238	635	550	449	318
12.7(1/2)	544	408	1088	943	770	544
14.3(9/16)	680	510	1360	1178	962	680
15.9(5/8)	862	646	1724	1493	1219	862
19.1(3/4)	1089	816	2178	1885	1539	1089
20.6(13/16)	1338	1004	2676	2318	1892	1338
22.2(7/8)	1542	1157	3084	2671	2181	1542
25.4(1)	1902	1429	3810	3300	2694	1902
27.0(1 1/16)	2223	1667	4446	3850	3143	2223
28.6(1 1/8)	2540	1905	5080	4399	3592	2540
31.8(1¼)	2858	2143	5716	4949	4041	2858
33.3(1 5/16)	3221	2415	6442	5578	4554	3221
38.1(1½)	4037	3028	8074	6992	5708	4037
41.3(1⅝)	4899	3674	9798	8485	6927	4899
44.5(1¾)	5851	4389	11702	10135	8274	5851
50.8(2)	6895	5171	13790	11941	9749	6895
54.0(2⅛)	7893	5919	15786	13670	11160	7893
57.2(2¼)	9253	6940	18506	16027	13084	9253
63.5(2½)	10523	7893	21046	18226	14880	10523
66.7(2⅝)	11793	8845	23586	20426	16676	11793

6.3.4 制 动 器

动力驱动的起重机，其起升、变幅、运行旋转机构都必须装设制动器。

6.3.4.1 种类和性能

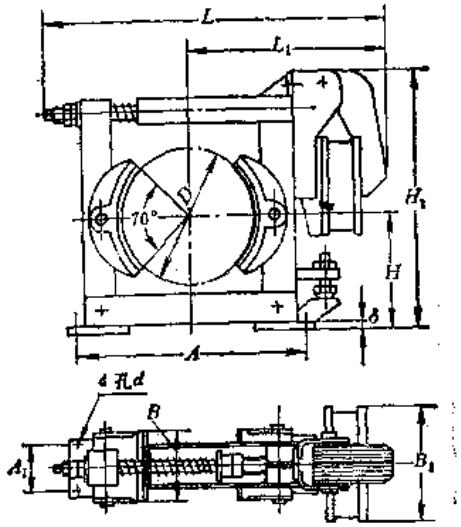
表6-34是常用制动器的特性表。

两种常用制动器的主要性能及尺寸列入表6-35和表6-36。

表 6-34 常用制动器特性

型　　号	特　　性
JWZ型短行程电磁瓦块制动器	结构简单，重量轻，制动快。但冲击大，噪声大，制动力矩小（$D=300$，$M=500$），可靠性差，无防爆型
JCZ型长行程电磁瓦块制动器	行程大，制动快，较可靠。但冲击较大，噪声大，结构复杂，寿命不够长，效率低。制动力矩较大（$D=600$，$M=500$kg·m）
YDWZ型液压电磁瓦块制动器	制动平稳，无噪声，寿命长。为直流电磁铁，用于交流电源时，需增加整流器。成本较高
带式制动器	结构简单、制动力矩大，多用于臂式起重机上 某些带式制动器，在两个运动方向产生的制动力矩不等。制动带磨损不均匀
盘式制动器	由于摩擦面积大，从而使摩擦面间的正压力可以减小，磨损小，维护简单，寿命长。用途广泛
蹄式制动器	结构紧凑、散热性好，密封性好。多用于臂架式自行式起重机上

表 6-35 JWZ100～300 制动器的主要性能及尺寸

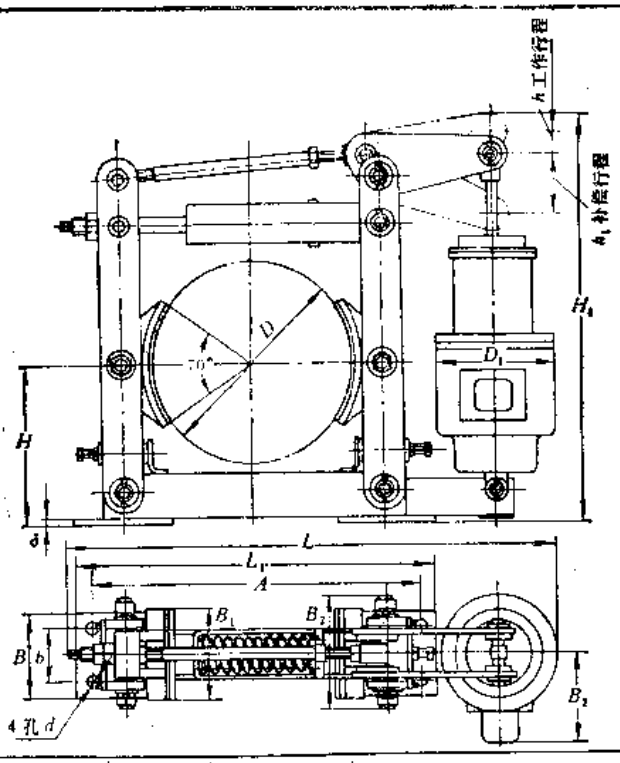


制动器型号	制动轮直径 D (mm)	制动力矩 (kg·cm) JC%=25～40	制动力矩 (kg·cm) JC%=100	电磁铁力矩 (kg·cm) JC%=25～40	电磁铁力矩 (kg·cm) JC%=100	制动瓦块退距 e正常/最大 (mm)	电磁铁型号
JWZ-100	100	200	100	55	30	0.4/0.6	MZD_1-100
JWZ-200/100	200	400	200	55	30		MZD_1-100
JWZ-200	200	1600	800	400	200	0.5/0.8	MZD_1-200
JWZ-300/200	300	2400	1200	400	200		MZD_1-200
JWZ-300	300	5000	2000	1000	400	0.7/1	MZD_1-300

尺寸 (mm) A	A_1	B	B_1	L	L_1	H	H_1	d	δ	重量 (kg)
220	40	70	130	369	223	100	240	13	6	12
350	60	90	130	504	285.5	170	380	17	6	25
350	60	90	177	582	362.5	170	407	17	6	37
500	80	140	177	717	428	240	547	21	10	68
500	80	140	243	782	453	240	566	21	10	92

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-36　YDWZ200～800制动器的主要性能及尺寸



制动器型号	制动轮直径D (mm)	制动力矩	制动瓦块退距 (mm)	液压电磁铁型号	尺寸 A	b	d	δ	B	B1
YDWZ-200/25	200	2000	0.7	MY1-25	350	60	17	8	100	90
YDWZ-300/25	300	3200		MY1-25	500	80	22	10	130	140
YDWZ-300/50		6300		MY1-50						
YDWZ-400/50	400	10000	0.8	MY1-50	650	130		12	180	180
YDWZ-400/100		16000		MY1-100						
YDWZ-500/100	500	25000		MY1-100	760	150		16	200	200
YDWZ-600/100	600	32000		MY1-100	950	170	26	18	220	240
YDWZ-600/200		50000		MY1-200						
YDWZ-700/200	700	80000		MY1-200	1080	200	34	25	270	280
YDWZ-800/200	800	125000		MY1-200	1240	240			310	320

制动器型号	尺寸 (mm) B_2	B_3	D_1	L	L_1	h	h_1	H	H_1	重量 (kg)
YDWZ-200/25	126	127	152	545	390	20	50	170	435	43
YDWZ-300/25	165	136	182	725	550	22	90	240	590	73
YDWZ-300/50				740					592	88
YDWZ-400/50	210			920	700			320	742	140
YDWZ-400/100				935					745	155
YDWZ-500/100	250	151	212	1080	810	25	110	400	885	208
YDWZ-600/100	305			1330	1000			475	1095	356
YDWZ-600/200				1370					1110	419
YDWZ-700/200	400	187	284	1540	1150	30	120	550	1255	568
YDWZ-800/200	435			1750	1310			600	1370	730

6.3.4.2 制动器的选用

安装在电动机轴上的制动器，其制动力矩按下式计算：

$$M_{制} = K\frac{(Q+G)D_0}{2\cdot m\cdot i}\cdot\eta$$

式中 K——制动安全系数（见表6-37）；

Q——额定起重量；

G——吊具重量；

D_0——卷筒直径；

m——起升机构倍率；

i——起升机构传动比；

η——起升机构效率，一般取$\eta=0.85\sim0.9$。

表 6-37 制动器的制动安全系数

机构	使用情况	安全系数 K
起升机构	一般的	1.5
	重要的	1.75
吊运赤热金属或危险品的起升机构	装有2套支持制动器时，对每一套制动器	1.25
	对于2套彼此有刚性联系的驱动装置，每套装置装有2套支持制动器时，对每一套制动器	1.1
非平衡变幅机构		1.75
平衡变幅机构	在工作状态时	1.25
	在非工作状态时	1.15

6.3.4.3 制动器的检查

（1）制动器与制动带需紧密贴合，固定用铆钉头应埋头制动带厚度的一半以上。

（2）制动器用的弹簧经过三次全压缩试验后不得有永久变形。

（3）装配后的制动瓦与制动轮的贴合面积应不小于总面积的70%。

（4）制动器各铰点应能灵活转动。

（5）制动轮应热处理，其表面硬度应为HRC45～55，深2mm处的硬度不低于HRC40。制动轮上不得有裂纹，不得补焊。起升、变幅机构的制动轮，轮缘厚度磨损量达原厚的40%报废，其它机构制动轮磨损量达原厚的50%报废。

（6）制动带摩擦垫片摩损达原厚的50%报废。

6.4 桥式类型起重机

桥式类型起重机包括通用桥式起重机，龙门式起重机、装卸桥等。

6.4.1 桥式起重机

桥式起重机由机械传动部分、金属结构部分、电器部分构成。一般也把桥式起重机看成由大车、小车构成。

按主梁结构型式，可分为箱形结构桥式起重机和桥架结构桥式起重机。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

6.4.1.1 基本性能

表6-38是通用桥式起重机分类和用途表。

表 6-38 通用桥式起重机分类和用途表

分　　类	特　　点	用　　途
吊钩桥式起重机	取物装置是吊钩或吊环。起升机构（以及有时副起升机构及运行机构）的工作速度根据需要可用机械或电气方法调速	适用于机械加工、修理、装配车间或仓库料场作一般装卸吊运工作。可调速的起重机用于机修、装配车间的精密安装或铸造车间的慢速合箱等场合
抓斗桥式起重机	取物装置是双绳抓斗（常为四绳抓斗）。小车上有两套卷筒装置，可同时或分别动作以实现抓斗的升降和开闭，以及在起升高度范围内任意高度上开斗卸料	适用于仓库、料场、车间等地，对矿石、石灰石、砂、焦炭等散粒物料的装卸吊运工作
电磁桥式起重机	取物装置是电磁盘。装卸时间短，辅助人员少，但电磁盘的自重消耗功率，吊运的能力随物品性质、形状、块度大小等而变化	适用于机械冶金工厂及料场吊运具有导磁性的金属及其制品，一般只用于吸取500℃以下的黑色金属
抓斗-电磁桥式起重机及抓斗-吊钩桥式起重机	取物装置是双绳抓斗或电磁盘（或少数情况是双绳抓斗或吊钩）。抓斗与电磁盘（或吊钩）不能同时工作	适用于抓取及吊运散粒物料，（用抓斗时）或吸取导磁物料（用电磁盘时）或作大件吊运（用吊钩时）工作
三用桥式起重机	在桥式吊钩起重机上，备有一个可卸下的马达抓斗和一个可卸下的电磁盘。根据工作对象可更换取物装置	适用于吊运种类经常变化的物料，且生产率要求不很高的场合
水电站双小车桥式起重机	有两台完全相同的小车，可同时或单独使用。起升机构能变速：吊运安装机组转子时，速度低，电机持续运转时间长；吊运一般物品时速度较高。经常吊运的重量与额定起重量相差很大，一年甚至几年才有1～2次满载起吊机会	适用在水电站安装、检修发电机组和吊运一般物件

表6-39是通用桥式起重机起重量和常用速度表。

6.4.1.2 桥架、运行机构安装技术要求

（1）主梁跨中上拱度 $F=\left(\frac{0.9}{1000}\sim\frac{1.4}{1000}\right)L$，且最大拱度应控制在跨中部的 $\frac{1}{10}L$ 范围内（见图6-14）。

可采用拉钢丝法测量，测量时应考虑到不受日光照射的条件下进行。通常采用直径 $\phi=0.49\sim0.52$mm的钢丝，弹簧秤拉力为15kgf，测量时还要考虑钢丝自重的影响。表6-40是钢丝自重影响上拱度的修正值。

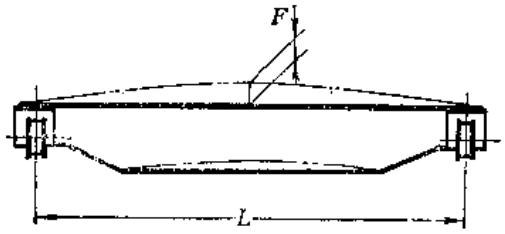
（2）桥架对角线差 $|D_1-D_2|\leqslant5$mm（图6-14）。此值允许运行机构组装前测量。

（3）主梁水平弯曲

轨道居中的对称箱形梁的水平弯曲值 $f\leqslant\frac{1}{2000}L_s$，当起重量 $Q\leqslant50$t时只能向走台侧凸曲（图6-14）。测量时应选择在离上盖板约100mm的腹板处测量，两端始于第一块筋板，L_s为实测距离。

表 6-39 通用桥式起重机起重量和常用速度

起重机			机构工作速度(m/min)		
类别	起重量(主钩/副钩)(t)	工作类型	起升(主钩/副钩)	小车运行	大车运行
吊钩桥式起重机	5～10	中级	8～12	40～45	80～90
		重级	15～20		110～120
	16/3～63/12.5	中级	6～8/20～25		75～90
		重级	8～15/20～25		100～110
	80/20	轻级	1.6/8	10.4	33
		中级	6/7	35～40	70～80
		重级	6/7		
	100/20；125/20	中级	3.5～6/7～10	40～45	40～65
	160/32～250/50	中级	2～4/6～9	28	
水电站桥式起重机	50+50；75+75；100+100；125+125；150+150；200+200；250+250；300+300	轻级	1/6	13	80
抓斗桥式起重机	5；10；15；20	特重级	40～50	40～45	100～120
电磁桥式起重机	5；10；15；20	重级	15～25		
抓斗-电磁桥式起重机	5/5；10/10	重级	40/20～50～25		
三用桥式起重机	5；10	重级	20～25		



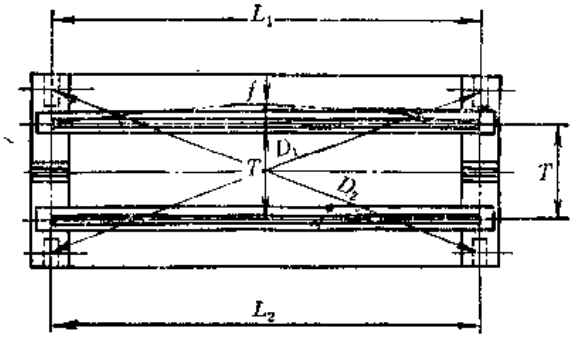


图 6-14

表 6-40 钢丝自重影响上拱度的修正值

起重机跨度（m）	10.0	13.0	16.0	19.0	22.0	25.0	28.0	31.0
	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5 34.0
修正值（垂度）（mm）	1.5	2.5	3.5	4.5	6	8	10	12

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

偏轨箱形梁、单腹板梁及桥架梁的水平弯曲值，当$L\leqslant 19.5$m时，$f\leqslant 5$mm；当$L>19.5$m时，$f\leqslant 8$mm。

（4）主梁腹板波浪度

以1m平尺检查，在离上盖板$\frac{1}{3}H$以内的区域不大于0.7δ）其余区域不大于1.2δ为腹板厚度（图6-15）。

（5）箱形梁及单腹板梁上盖板的水平偏斜值$b\leqslant\frac{1}{200}B$（图6-16）。B为上盖板宽度。该值可在未上轨道前于筋板处测量。

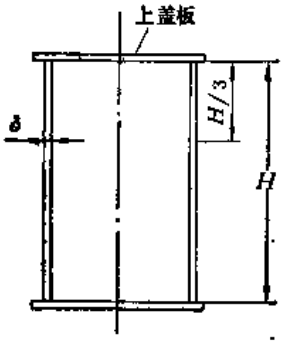


图 6-15

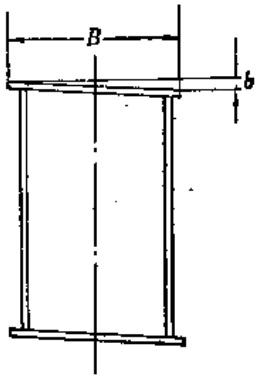


图 6-16

（6）箱形梁腹板的垂直偏斜值$h=\frac{1}{200}H$；单腹板梁及桥架梁的垂直偏斜值$h\leqslant\frac{1}{300}H$（图6-17）。此值在长筋板或节点处测量。

（7）小车轨距公差值

起重量$Q\leqslant 50$T的轨道居中的对称箱形梁，在跨端处不应超过± 2mm；在跨中，当$L\leqslant 19.5$m时不应超过$\pm$[illegible]mm，当$L>19.5$m时不应超过$\pm$[illegible]mm。其它梁不超过± 3mm。

（8）小车轨道

同一截面上小车轨道的高低差，当轨道$T\leqslant 2.5$m时，$C\leqslant 3$mm；当$T>2.5$m时，$C\leqslant 5$mm（图6-18）。

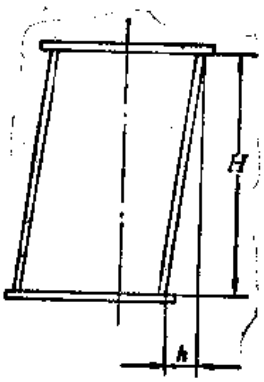


图 6-17

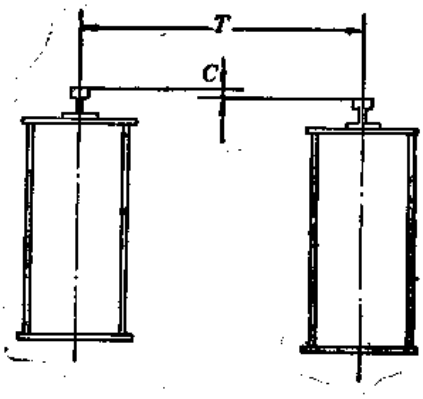


图 6-18

小车轨道中心线与轨道梁腹板中心线的位置偏差：对偏轨箱形梁$\delta<12$mm时 $d\leqslant 6$mm，$\delta\geqslant 12$mm 时$d\leqslant\frac{1}{2}\delta$。对单腹板及 桥架 梁 $d\leqslant\frac{1}{2}\delta$。符号见图6-19。

轨道居中的对称箱形梁，起重量$Q\leqslant 50$t时，小车轨道中心线只允许 向 走台侧 凸曲，当$L\leqslant 19.5$m时不大于3mm；当$L>19.5$m时不大于4mm（系指一根轨道）。

小车轨道一般宜采用把轨道接头焊为一体的整根轨道。否则接头处高低 差$e\leqslant 1$mm（图6-20）。侧向错位$g\leqslant 1$mm（图6-20）。

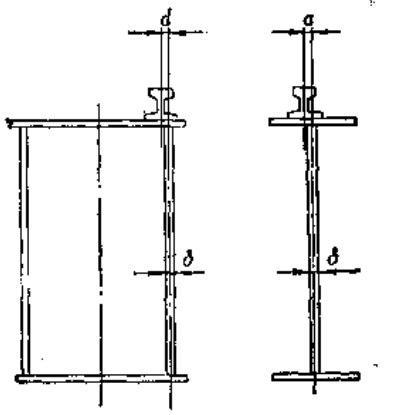


图 6-19

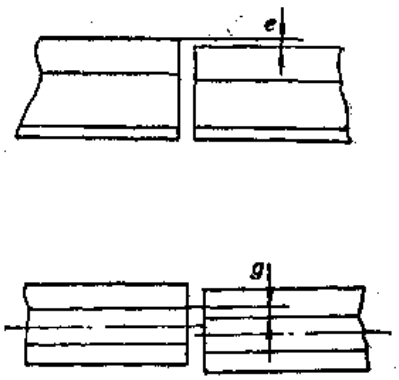


图 6-20

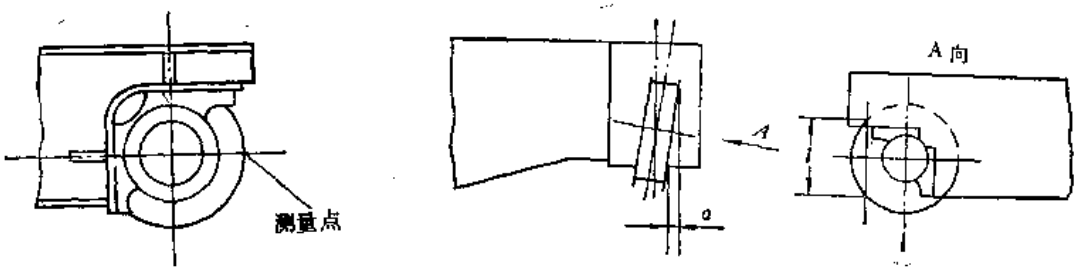
小车轨道接头处头部的间隙不大于2mm。

小车轨道在侧向的局部弯曲，在任意2m范围内不大于1mm。

（9）对起重机运行机构组装要求

起重机跨度差不大于±5mm，且两侧跨度L_1和L_2的相对差不 大于 5mm（图6-14），跨度的测量点按图6-21(*a*)选择。

车轮的垂直 偏差$a\leqslant\frac{1}{400}l$，l为测量长度，且上边应向外（图6-21(*b*)），车轮架空的情况下测量。



(*a*)　　(*b*)

图 6-21

车轮的水平偏斜$P\leqslant\frac{1}{1000}l$，$l$为测量长度，且同一轴线一对车轮的偏斜方向应相反(图6-22)。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

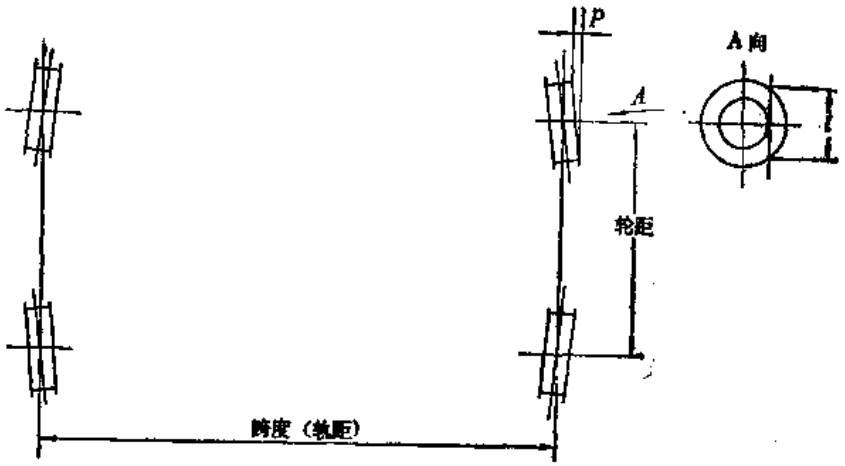


图 6-22

同一端梁下车轮的同位差：两个车轮时不得大于2mm；三个或三个以上车轮时不得大于3mm；同一平衡梁上不得大于1mm（图6-23），测点选择参阅图6-21(*a*)。

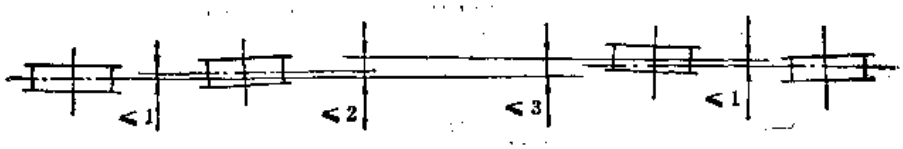


图 6-23

(10) 对小车运行机构组装的要求

从小车运行机构的车轮处量出的跨距公差和相对差：当 $T \leqslant 2.5$m 时分别不得超过 ±2mm；当 $T > 2.5$m时分别不得超过 ±3mm。

小车车轮放在标准轨道上，主动轮应和轨面接触，被动轮和轨面的间隙不得大于0.3mm。

车轮的垂直偏斜和水平偏斜同大车运行机构相同。

同一平衡梁下车轮的同位差同大车运行机构相同。

6.4.2 龙门式起重机

龙门式起重机属于桥式类型的起重机。龙门式起重机的传动机构与桥式起重机基本相同。大的区别是金属结构有两条支腿，构成一个门架。

轮胎式集装箱龙门式起重机由于采取用轮胎作为行走轮，没有轨道，可以自由运行，也可以根据自动导向系统定向运动。

装卸桥也是桥式类型起重机的一种，外观上与龙门式起重机相似。

龙门式起重机是起重量大，跨度一般在35m以内。装卸桥起重量小，跨度一般大于35m。

6.4.2.1 龙门起重机的稳定性

龙门起重机必须有足够的稳定性，否则就可能发生起重机的倾倒事故。

龙门式起重机的稳定性分为载重稳定性和自重稳定性。载重稳定性反映起重机在工作状态的稳定程度，自重稳定性是反映起重机在非工作状态的稳定程度。起重机稳定性是用稳定

性系数来表示的，稳定系数是标志起重机稳定程度的参数，即

$$K=\frac{M_{稳}}{M_{倾}}$$

式中 $M_{稳}$——起重机的稳定力矩；

$M_{倾}$——起重机的倾覆力矩。

对于龙门式起重机，需要验算沿大车轨道方向和垂直轨道方向的载重稳定性、沿大车轨道方向的自重稳定性。

1．沿大车轨道方向的载重稳定系数

稳定系数应满足下式（见图6-24）：

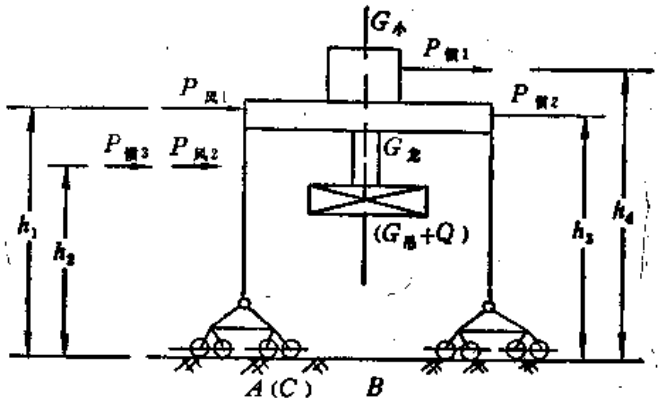


图 6-24 沿轨道方向稳定性计算图

$$K_1=\frac{0.5(G_{小}+G_{龙}+G_{吊}+Q)\cdot B}{P_{风}\cdot h_1+(P_{风2}+P_{惯3})\cdot h_2+P_{惯1}\cdot h_4+P_{惯2}\cdot h_3}\geqslant 1.15$$

式中 $G_{小}$——小车重量；

$G_{龙}$——龙门架重量；

$G_{吊}+Q$——吊具和集装箱重量（或其它货物重量）；

$P_{风1}$——作用在龙门架和小车上的工作状态最大风力；

$P_{风2}$——作用在吊具和集装箱上的工作状态最大风力；

$P_{惯1}$——由于起重机起动、制动引起小车的水平惯性力；

$P_{惯2}$——由于起重机起动、制动引起龙门架的水平惯性力；

$P_{惯3}$——由于起重机起动、制动引起吊具集装箱的水平惯性力；

h_1——龙门架和小车挡风面积形心的高度；

h_2——吊具和集装箱挡风面积形心（重心）的高度；

h_3——龙门架重心高度；

h_4——小车重心高度；

B——轮距。

2．垂直大车轨道方向的载重稳定系数

稳定系数应满足下式（图6-25）：

$$K_1=\frac{G_{龙}\frac{L_k}{2}-G_{小}\cdot L_1-P_{风1}\cdot h_1-P_{风2}\cdot h_3-(P_{惯2}+P_{惯3})h_2}{(G_{吊}+Q)L_1}\geqslant 1.4$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中 $P_{风1}$——作用在龙门架上的工作状态最大风力；

$P_{风2}$——作用在小车、吊具、集装箱上的工作状态最大风力；

$P_{惯2}+P_{惯3}$——由于小车起动、制动引起小车、吊具、集装箱的水平惯性力；

L_k——起重机跨度；

L_1——小车在右悬臂极限位置时，距右支腿间的距离；

h_1——龙门架挡风面积形心高度；

h_2——小车、吊具、集装箱重心高度；

h_3——小车、吊具、集装箱挡风面积形心高度。其它符号同前。

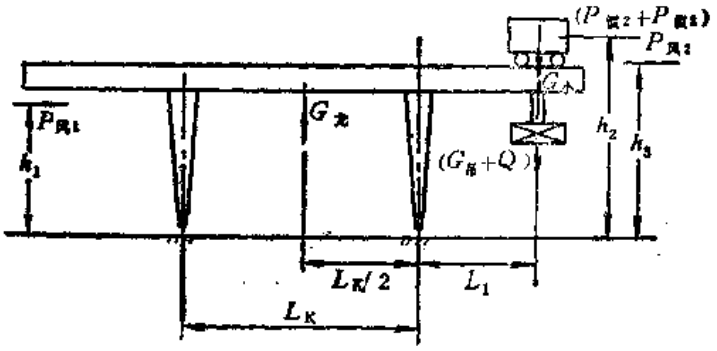


图 6-25 垂直轨道方向稳定性计算图

3. 起重机空载时，沿着轨道方向运行制动的稳定性

作用在起重机上的载荷包括：起重机自重风力、惯性力，图6-26是计算简图。

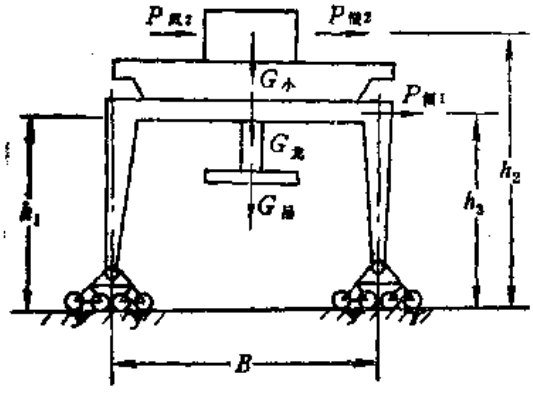


图 6-26

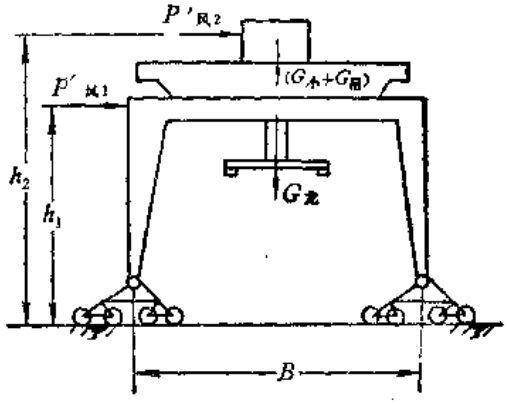


图 6-27

$$K=\frac{0.5(G_小+G_龙+G_吊)\cdot B}{P_{风1}\cdot h_1+(P_{风2}+P_{惯2})h_2+P_{惯}\cdot h_3}\geqslant 1.15$$

式中 $P_{风2}$——作用在小车和吊具上的风力；

$P_{惯2}$——由于大车制动引起小车和吊具的水平惯性力；

$P_{惯1}$——由于大车制动引起龙门架的水平惯性力；

h_2——小车和吊具的挡风面积形心和重心的高度；

h_3——龙门架的重心高度。

其它符号同前。

4. 自重稳定性

自重稳定性是指起重机处于非工作状态，起重机在自重和非工作状态最大风力作用下的稳定性。图6-27是自重稳定性的计算图。

$$K=\frac{0.5(G_{小}+G_{吊}+G_{龙})\cdot B}{P'_{风1}\cdot h_1+P'_{风2}\cdot h_2}\geqslant 1.4$$

$P'_{风1}$——沿轨道方向作用于小车和吊具上的非工作状态的最大风力，风压可取100kg/m²；

$P'_{风2}$——沿轨道方向作用起重机上的非工作状态的最大风力；

h_1——龙门架挡风面积形心的高度；

h_2——小车和吊具挡风面积形心的高度。

6.4.2.2 龙门起重机安装技术要求

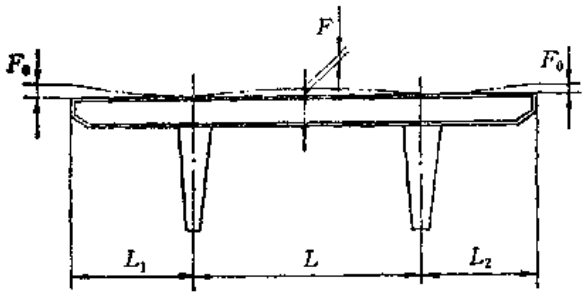


图 6-28

龙门起重机主梁跨中上拱度 $F=\left(\frac{0.9}{1000}\sim\frac{1.4}{1000}\right)L$，悬臂端上翘值 $F_0=\left(\frac{0.9}{350}\sim\frac{1.4}{350}\right)L_1$。其中$L$为跨度，$L_1$为悬臂长度。图6-28是龙门起重机拱度圆。

主梁的水平弯曲 $f=\frac{L_x}{2000}$，但最大不得超过20mm（图6-29）。

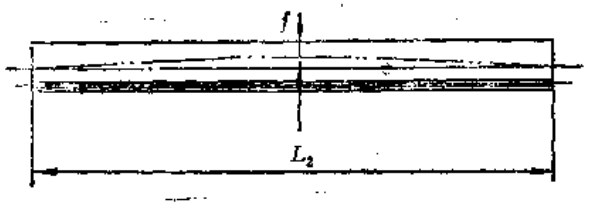


图 6-29

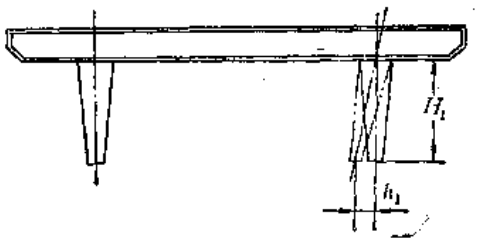


图 6-30

主梁上盖板的水平偏斜 $b\leqslant\frac{B}{200}$（参见图6-16）。此值允许未上轨道前于筋板处测量。

主梁腹板的垂直偏斜 $h\leqslant\frac{1}{200}H$（参见图6-17）。此值在长筋板处测量。

主梁与支腿在跨度方向的垂直度 $h_1\leqslant\frac{1}{2000}H_1$（图6-30）。

单主梁龙门起重机，主梁同一截面上，主反轮轨道面间距离的公差为$^{+5}_{-2}$mm，小车轨距差$\Delta L_x\leqslant$5mm（图6-31）。小车轨道中心线与轨道梁腹板中心线的位置偏差$d\leqslant$6mm（图6-32）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

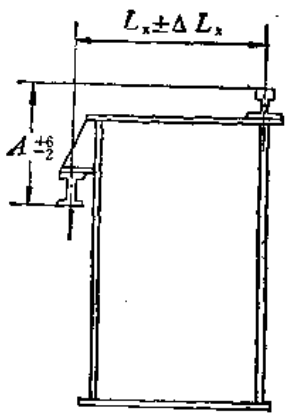


图 6-31

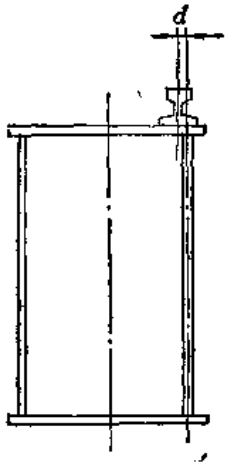


图 6-32

6.4.3 桥式类型起重机安全装置

表 6-41 桥式类型起重机安全装置表

序号	安全防护装置名称	桥式起重机		龙门式起重机		装卸桥	
		要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围
1	超载限制器	应装	额定起重超过20t	应装	额定起重量超过10t	应装	集装箱装卸桥除外
2	上升极限位置限制器	应装	动力驱动	应装	动力驱动	应装	
3	运行极限位置限制器	应装	动力驱动的并且在大车和小车运行的极限位置（单梁吊小车可除外）	应装	动力驱动的并且在大车和小车运行的极限位置	应装	动力驱动的并且在大车和小车运行的极限位置
4	联锁保护装置	应装	舱门开关；栏杆开关；司机室门开关	应装		应装	
5	缓冲器	应装	在大车、小车运行机构或轨道端部	应装	同桥式起重机	应装	同桥式起重机
6	夹轨钳和锚定装置或铁鞋	应装	露天工作	应装	露天工作	应装	露天工作
7	登机信号扭钮	宜装		宜装		应装	司机室设于运动部分的
8	防倾翻安全钩	应装	单主梁起重机在主梁一侧落钩	应装	单主梁起重机		
9	扫轨板和支承架	应装	动力驱动	应装	在大车运行机构	应装	在大车运行机构
10	轨道端部止挡	应装		应装		应装	

续表

序号	安全防护装置名称	桥式起重机		龙门式起重机		装卸桥	
		要求程度	要求范围	要求程度	要求范围	要求程度	要求范围
11	导电滑线防护板	应装					
12	暴露活动零件防护罩	宜装		应装		应装	
13	电气设备防雨罩	应装	露天工作	应装		应装	

6.4.4 桥式起重机零部件常见损坏原因及消除方法（见表6-42）。

表 6-42 桥式起重机零部件常见损坏原因及消除方法

零件名称	损坏情况	原因与后果	消除方法
锻制吊钩	尾部出现疲劳裂纹，尾部螺纹退刀槽、吊钩表面有疲劳裂纹 开口处的危险断面磨损高度超过断面高度的10%	超期使用；超载；材质缺陷 可能导致吊钩折断	每年检查1～2次，出现疲劳裂纹，及时更换 危险断面磨损超过标准时，可以渐加静载荷作负荷试验，确定新的使用载荷
片式吊钩板片	表面有疲劳裂纹	折钩	更换板片或整体更换
销轴	磨损量超过公称直径的3～5%	吊钩脱落	更新
耳环	裂纹和毛缝；	耳环断裂	更新
耳环衬套	磨损量达原厚的50%	受力情况不良	更新
钢丝绳	磨损断丝、断股	断绳	按标准更新
滑轮	轮槽磨损不均	材质不均；安装不合要求，绳、轮接触不均匀	轮槽臂磨损达原厚10%，径向磨损达绳径的25%应更新
滑轮	滑轮倾斜，松动	轴上定位件松动，或钢丝绳跳槽	调整，紧固滑轮轴上的定位件
	滑轮裂纹	滑轮破坏	更新
	滑轮轴磨损达公称直径的3～5%时	可能折断	更新
卷筒	疲劳裂纹	卷筒破坏	更新
	磨损达原筒壁厚的15～20%；	卷筒破坏	更新
	卷筒键的磨损	脱落、剪断、重物、坠落	更换
制动器零件	拉杆有疲劳裂纹	制动器失灵	更新
	弹簧有疲劳裂纹	制动器失灵	更换
	小轴、心轴磨损量达公称直径3～5%	抱不住闸	更换
	制动轮磨损达1～2mm	“溜车”	重新车制、热处理、车制后应大于原厚的50%以上
	闸瓦衬垫磨损达 2 mm	制动器失灵	更换

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

零件名称	损坏情况	原因与后果	消除方法
齿轮	齿轮磨损达原齿厚的15～25%	超期使用，安装不正确	更新
	对起升机构齿轮偏小值		更新
	对运行机构齿轮偏大值		
	因疲劳剥落而损坏的齿轮工作面积大于全部工作面的30%以及剥落深度超过齿厚10%	超期使用，热处理不合格	圆周速度＞8m/s的减速的机高速级齿轮磨损时，应成对地更换
	渗碳齿轮渗碳层磨损超过80%厚度时		
轴	裂缝	损坏轴	更新
	轴的弯曲每米超过0.5mm	由于疲劳而损坏轴颈	更新或加热矫正
联轴节	半联轴节体中有裂纹	半联轴节体损坏	更新
	用于联接的螺钉和销轴的孔扩大	机构起动时发生冲击	补焊
	销轴橡皮圈磨损	发生冲击	更换橡皮圈；
	键槽扩大	键脱落	起升机构只能更换，运行机构可以补焊在转过90°处开新槽
车轮	轮辐、踏面如有疲劳裂纹	车轮损坏	更新
	主动轮踏面磨损不均	小车，大车偏斜	可以车制后热处理，但直径误差不应超过0.0005D；
	踏面磨损达轮圈原厚的15～20%	车轮损坏	更新
	车轮轮缘磨损达原厚的50～60%	车轮损坏或脱轨	更换新轮
滑动轴承	过度发热	轴承偏斜或拧得过紧	消除偏斜，清洗轴颈；轴瓦并采用合格之润滑剂
	轴瓦容许温度为60～65℃	润滑剂不足	加注滑剂
	外壳容许温度50～55℃	润滑剂质量不合格	换合格的润滑剂
滚动轴承	过度发热；	有损坏件或油不合格	更换轴承或润滑油
	音哑（断续）	轴承脏污	清除脏污
	金属研磨声	缺油	加油
	锉齿声和经常的急剧冲击声	隔离环、滚动体损坏	更新

部件名称	故障	可能的原因	消除方法
减速器	象有周期性的齿颤振的音响，从动轮特别显著	节距误差过大；齿侧间隙超过标准	修理、重新安装
	剧烈的金属锉擦声，引起的减速器体振动的叮当声	传动齿轮间的侧隙过小	修整，重新安装或更新
		轮对中心不正	
		齿顶上具有尖薄的边缘	
		轮齿工作面磨损后不平坦（小沟和凸痕）	
	齿轮啮合时有不均匀，但连续的敲击声，减速器箱体各处都能听到；感觉到减速器机壳振动	齿侧面有缺陷（层状组织）	更新

续表

部件名称	故障	可能的原因	消除方法
减速器	蜗轮减速器有敲击声	蜗杆轴向游隙过大或蜗轮齿磨损严重	更新
	周期性忽高忽低的音响；与齿轮转数吻合的周期性音响，减速器发热	齿轮节圆与轴偏心 组合齿轮的周节有积累误差 润滑油过多	修理，重新安装或更新 圆柱齿轮及伞齿轮减速器内油温<60℃，蜗轮减速器内油温<75℃（周围温度为25℃）油面应保持在油针两刻度之间
制动器	制动器在上闸位置中不能支持住货物	制动器的坠重下面存在物件，以使弹簧松弛	清理制动器，调整弹簧
		电磁铁的铁芯没有足够的行程	调整制动器
		制动轮上有油	揩洗制动轮
		制动轮磨损	调整弹簧
		主弹簧损坏或松动	更新弹簧
		拉杆松动	调整拉杆
		电磁铁芯有剩磁	退磁；
	制动轮发热，闸瓦发出焦味，制动垫片很快磨损	闸块或闸带在松弛状态没有均匀的从制动轮上离开	调整闸块（带）与制动轮的间隙
		短行程的制动器辅助弹簧损坏或弯曲	更换或修理辅助弹簧
	制动器不能打开	线圈中有断线或烧毁；短行程制动器的主弹簧能力过大	更换线圈
		长行程制动器重锤过分拉紧	调整弹簧或重锤
小车运行机构	打滑	轨道上有油或水	去掉油或水
		轮压不均匀	调整轮压
		直接起动电动机过猛	改善电动机起动方法
	小车“三条腿”	车轮直径不等	调整车轮
		轮压不均	
		车轮安装不合要求，误差过大	
		车体焊接过程中产生变形	火焰矫正
		小车走偏	
大车运行机构	“啃道”	车轮安装偏差	调整车轮水平、垂直度或对角线偏差
		轨道铺设偏差	调整轨道标高
		有油或水	清理轨道
		传动系统偏差过大	使电动机、制动器合理匹配，检修轴键、齿轮
		车架偏斜变形	火焰矫正

故障	可能的原因	消除方法
整个电动机均匀发热	由于接合延续时间（$JC\%$）增大而引起的过载； 在低电压下工作	降低起重机工作的繁忙程度或更换JC相应的电动机； 测量电压，电压低于额定电压的10%应停止工作

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

故　　障	可 能 的 原 因	消 除 方 法
定子局部过热	个别硅钢片之间局部短路	除去引起短路的毛刺或其它原因并在事后用绝缘漆涂刷修理过的地方
定子绕组局部过热	三角形、星形接线错误，各相之中有某一相绕组的两个地点与外壳短路	检查每一相的电流和消除错接的相，用指示灯或高阻计来确定损伤的地方和除掉这种损伤
转子发热过高	接头中接触不良	查接头并接好
电动机工作时发出不正常的噪音	定子中有错接的相，定子的配合不紧密，轴承磨损	查接线系统并改正 查定子并修理 更换轴承
电动机电刷冒火花或滑环被烧焦	电刷研磨不好 电刷在刷握中太紧 电刷及滑环脏污 滑环不平，造成电刷跳动 电刷压力不够 电刷牌号不对 电刷间电流分布不均匀	将电刷磨合 调整电刷或研磨合适 用沾酒精的揩布将滑环擦干净 车削或磨光滑环 调整电刷压力（180～200gf/cm²） 接上合适的电刷 检查刷架铜线及电刷，并矫正
交流电磁铁线圈过热	电磁铁吸力过载 磁流通路的固定部分与活动部分之间存在间隙	调整弹簧拉力 消除间隙
交流电磁铁线圈过热	线圈电压与电网电压不相符合	更换线圈或改变接法
发出嗡嗡声	电磁铁过载； 磁流通路的工作表面上有污垢；磁力系统偏斜	调整弹簧 清除污垢 调整制动器机械部分消除偏斜
电磁铁不能克服弹簧的作用力	电磁铁过载 电网中电压低	调整制动器机械部分 暂停工作
接触器线圈发热增高	线圈过载 磁流通路的活动部分接触不到固定部分	减小活动触头对固定触头压力；消除偏斜、卡塞、污垢或更换线圈
嗡嗡声增高	线圈过载 磁流通路工作表面上脏污 磁力通路自动调整系统中卡塞现象	减小触头压力 消除污垢 消除卡塞
触头过热或烧损	触头压力不足 触头脏污	调整压力 清除或更换
主接触器不能接通	闸刀开关未合上 紧急开关未合上 仓口开关未合上 控制器手柄未放回零位 控制电路的熔断器烧断 线路无电	合上开关 放回零位 检查熔断器 用电笔检查线路有无电压
起重机运行中接触器经常掉闸	触头压力不足	调整触头压力

续表

故　　障	可 能 的 原 因	消 除 方 法
起重机运行中接触器经常掉闸	触头烧坏	先用锉刀锉平然后用0号砂纸磨光触头或更新
	触头脏污	清洗
	超负荷造成电流过大	减负荷
	轨道不平，影响滑线接触	修整轨道
控制器合上后电动机不转动	一相断电，电动机发出响声	找出损坏处，接好线
	转子电路断线	
	线路无电压	用电笔检查有无电压
	控制器触头未接触	检修控制器
	集电刷发生故障	检修集电刷
当控制器合上后电动机仅能往单方向转动	控制器反向触头接触不良或控制器转动机构有毛病；	检修控制器并调整触头
	配电线路发生故障	用短接线法找出故障并消除
	限位开关发生故障	检视限位器并恢复接触
控制器工作时，发生卡塞和冲击	定位机构发生故障	消除故障
	触头撑住于弧形分支中	调整触头位置
运行中控制器搬不动	定位机构有毛病或凸轮卡住	拉闸停车修理控制器
	触头烧灼连结	触头
触头烧损	触头压力不足	调整压力
	触头污染	清洗触头
液压电磁铁通电后推杆不动作；	推杆卡住	消除卡塞
	网路电压低于额定电压的85%	提高电压
	延时断电器延时过短或常开触头不动作	调整修理继电器，延时应为0.5s左右
	整流装置损坏	修复或更新
	严重漏油	补充油修理密封
行程小	油量不足或活塞与轴承间有气体	补充油液，排除气体

6.5 臂架类型起重机

臂架类型起重机种类繁多，但在化工工程中多用汽车式起重机、轮胎式起重机、履带式起重机、塔式起重机和桅杆式起重机。

6.5.1 汽车式起重机

汽车式起重机可分为机械式和液压式两种类型。小型和大型的起重机多用机械式，而一般情况下现在多用液压式汽车式起重机。

表6-43是汽车起重机基本参数表。

6.5.2 轮胎式起重机

轮胎式起重机是安装在专用轮胎底盘上的起重机械。一般只有一个发动机、一个驾驶室。轮胎式起重机可以吊重行驶。

轮胎起重机的基本参数列入表6-44；主要性能列入表6-45。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-43 汽车起重机基本参数表（JB1375—83）

最大额定总起重量 (t)	最小额定幅度不小于 (m)	起重力矩不小于 基本臂 (t·m)	起重力矩不小于 最长主臂 (t·m)	起升高度不低于 基本臂 (m)	起升高度不低于 最小臂 (m)	作业状态整机自重不大于 (t)
3	2.8	8.4	6.0	5.5	10	4.5
5	3.0	15.0	10.5	6.7	11	8.0
8	3.0	24.0	15.0	7.5	12	13.5
10	3.0	30.0	22.0	8.0	13	15.0
12	3.0	36.0	24.0	8.5	14	17.0
16	3.0	48.0	28.0	9.0	22	23.0
20	3.0	60.0	38.0	9.5	23	25.0
25	3.0	75.0	48.0	9.5	24	30.0
32	3.0	96.0	60.0	10.0	25	35.0
40	3.0	120.0	75.0	11.0	29	40.0
50	3.0	150.0	85.0	11.0	32	48.0
63	3.0	189.0	95.0	11.5	35	60.0
80	3.0	240.0	105.0	12.0	38	72.0
100	3.0	300.0	115.0	12.5	40	85.0
125	3.0	375.0	125.0	13.0	42	100.0

表 6-44 轮胎起重机基本参数(JB1375-85)

最大额定总起重量 用支腿 (t)	最大额定总起重量 不用支腿① (t)	最小额定幅度不小于 (m)	起重力矩不小于 (t·m)	起升高度不低于 基本臂 (m)	起升高度不低于 最长主臂 (m)	作业状态整机自重不大于 (t)
8	3.0	3	24	5.0	9	15
10	4.0	3	30	6.0	10	17
12	4.5	3	36	6.5	11	20
16	5.0	3	48	7.0	17	23
20	5.5	3	60	7.5	18	25
25	7.0	3	75	8.0	20	28
32	8.0	3	96	9.0	24	35
40	10.0	3	120	9.0	24	40
50	12.0	3	150	9.5	26	48
63	15.0	3	189	10.0	28	55
80	20.0	3	240	11.0	32	70

①不用支腿时，最大额定总起重量，指在不用支腿起重作业状态下起重机在各作业方位区的起重量及前方吊重行驶的起重量。

表 6-45 QL3-16型轮胎式起重机起重性能表

幅度(m) \ 臂长(m) 工作方式	10 用支腿 (t)	10 不用支腿 (t)	15 用支腿 (t)	15 不用支腿 (t)	20 用支腿 (t)	20 不用支腿 (t)
3.4		10				
4	16	7.5				
4.4				6.5		
4.7	11.5	6	11	6		
5.5	8.7	4.7	8.5	4.5	8	
6.5	6.8	3.7	6.4	3.5	6	
8	4.7	2.5	4.5	2.5	4.3	
9.5	3.5	1.8	3.4	2	3.2	
11	2.8		2.7	1.5	2.4	
12.5			2.2	1.3	1.9	
14			1.8		1.5	
15.5			1.6		1.2	
17					1	
18.5					0.9	
20					0.8	

注：1.提升钢绳最大许用拉力为2.3t（起重量16t倍率a=7）

2.当臂长10m不用支腿时，允许在平坦路面上按不用支腿的额定起重75%吊重行驶，其行驶速度不得超过5km/h。

6.5.3 塔式起重机

6.5.3.1 塔式起重机分类

1. 按旋转方式分类

（1）上旋式 这类起重机塔身不旋转，而是通过支承装置安装在塔顶上的转塔（包括

起重臂、平衡臂、塔帽等组成）旋转。上旋式塔式起重机的特点是：

a．塔身与龙门架的连接结构简单，安装方便。

b．可以更接近建筑物，从而增加服务范围，可以在360°内自由旋转。

（2）下旋式　下旋式塔式起重机是塔身以上整体地随支承装置旋转。塔式起重机运转过程中，塔身受一定向弯矩作用，因此下旋式塔式起重机金属结构受力比上旋式要好。

下旋式塔式起重机有如下特点：

a．由于塔身受力情况较好，所以承载能力较大。

b．由于平衡重放在塔身下方平台上，所以起重机的重心比较低，有利于稳定。

（3）由于大部分机构安装在塔身下方平台上，这样就使维修工作较方便，减少高空作业。

2．按变幅方式分

（1）压杆式起重臂　这类起重机变幅是依靠改变起重臂角度来实现的，这种变幅方式简单，一般空载变幅。由于倾角的限制有效幅度为最大幅度的70%左右。

表 6-46　QT60/80型塔式起重机技术参数

项　目		数　据											
回转角度		360°											
速　度	行走速度(m/min)	17.5											
	回转速度（转/min）	0.6											
	变幅速度(m/min)	8.58（卷筒线速度）											
	提升速度(m/min)	双钢丝绳 $V_1=21.5$ $V_2=16.4$				三钢丝绳 $V_1=14.3$ $V_2=11$							
钢　轨	钢轨型号	重型钢轨43kg/m											
	轨距(m)	4.2											
重量(t)		高　塔				中　塔				低　塔			
	臂长(m)	30	25	20	15	30	25	20	15	30	25	20	15
	机械自重	40.98	40.56	40.14	39.71	37.78	37.36	36.94	36.51	35.26	34.84	34.42	33.99
	压　重	压仓30 侧仓16 配重斗4				压仓30 配重斗4				压仓30 配重斗4			
	总　重	90.98	90.56	90.14	89.71	71.78	71.36	70.94	70.51	69.26	68.84	68.42	67.99
起重力矩		高塔80tm				中塔70tm (30m臂除外)				低塔80tm (30m臂除外)			
电动机	行走电机	JZR31-8 JC=25% n=702转/min 7.5kW×2台单直轴伸				变幅电机				JZR31-8 JC=25% n=702转/min 7.5kW×1台单直轴伸			
	回转电机	JZR12-6 JC=25% n=910转/min 3.5kW×1台双直轴伸				卷扬电机				JZR51-8 JC=25% n=723转/min 22kW×1台单锥轴伸			
	总功率	48kW											

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（2）水平小车起重臂　这类起重机的起重臂是固定在水平位置上，变幅是通过起重臂上的运行小车来实现。优点是充分利用幅度，起重小车可以开到靠近塔身的位置。如QT4-10型塔式起重机的最小幅度可达3m。但是由于起重臂受力复杂，所以起重臂比较笨重。

6.5.3.2　塔式起重机主要技术参数

目前国内使用较多的塔式起重机是QT60/80型塔式起重机和QT4-10型自升式塔式起重臂。

表6-46是QT60/80型塔式起重机技术参数表。

表6-47是QT4-10型自升式塔式起重机技术参数表。

表 6-47　QT4-10型自升式塔式起重机附塔式主要技术参数

项　目	单　位	30 m 起 重 臂			35 m 起 重 臂		
幅度	m	3～16	20	30	3～16	25	35
最大起重量	t	10	8	5	8	5	3
滑轮组倍率		4		2，4	4	2，4	
最大（吊钩）高度	m						
倍率为4时		80					
倍率为2时		160					
起升速度	m/min						
倍率为4时		22.5					
倍率为2时		45.0					
回转速度	转/min	0.5					
小车牵引速度	m/min	18.0					
平衡重移动速度	m/min	18.0					
液压顶升速度	m/min	0.54					
电动机总功率	kW	74.0					
起升	kW	JZR2-63-10	48	JC40%			
回转	kW	JZR2-12-6	2×3.5	JC25%			
小车	kW	JZR2-21-6	5	JC25%			
平衡重	kW	JO_2-42-6	4				
液压顶升	kW	JO_2-52-4-T_2	10				
结构、机构总重	t	135			136.6		
平衡重	t	8					
压重	t	20					
基础尺寸	m	6.5×6.5					

注：1. 按塔身40节标准节计算，不包括锚固装置及其它附属设备的重量。

2. 30m起重臂作固定式，轨道式使用时压重为30t；

6.5.3.3　安全要求

（1）起重机运动部分与建筑及建筑物外围施工设施之间的最小安全距离不小于0.5m。

（2）工作风力不大于6级；整体架设、爬升或顶升操作时的风力不大于4级。如有特殊要求，则应由用户与制造厂协商解决。臂架根部铰点高度超过30m时，在与该点相应高度处10分钟的平均风速不得大于13m/s。

（3）轨道误差不得超过其名义值的1/1000。在纵、横方向上，钢轨顶面的倾斜度不大于1/1000。轨道接头间隙为3～6mm，并与另一侧钢轨接头错过距离不小于1.5m。

轮胎式塔式起重机工作场地必须平整、坚实，保证在工作时不沉陷；回转支承面与水平面的倾斜度不大于1/1000。

（4）通过司机室及需要安装、检修、保养的地方，应设置永久性扶梯、栏杆、把手、脚踏板和操作平台，并应符合相应国家标准的要求。

扶梯的宽度不得小于300mm，扶梯的连续长度超过10m时，必须设置中间休息平台，垂直或斜度大于75°的扶梯，长度大于3m时，一般应设后背围栏。各种工作或检修平台，周围应设置不低于1m的防护栏杆。

（5）司机室的位置应便于观察、操纵。司机室的窗玻璃都应能够擦拭，且保持明净。司机室内部宽度不小于800mm，高度不小于2000mm，司机室要求具有密封保温、通风散热，防雨等性能，地板应防滑和绝缘，座椅要舒适。司机室设计应附合人机工程学要求。

（6）可升降的司机室或乘人电梯，必须装有可靠的安全装置和警报信号及使用规则的标志，并应有合适的通道和安全门。

（7）齿轮、皮带、链传动等的外露旋转零件应设有防护罩。

6.5.4 臂架类型起重机的稳定性

1. 稳定性计算

臂架类型起重机必须有足够的稳定性。

国内对起重机稳定性通常用稳定性安全系数给出。

在无风、地面水平的条件下，计算静稳定性安全系数k_1，在各种幅度和臂长时，均需满足下述条件（图6-33）：

$$k_1=\frac{M_{稳}}{M_{倾}}\geqslant 1.4$$

$$k_1=\frac{Q\left(\frac{a}{2}+c\right)+G_{臂根}\left(\frac{a}{2}+b\right)-G_{臂头}\left(R-\frac{a}{2}\right)}{Q\left(R-\frac{a}{2}\right)}\geqslant 1.4$$

当有风、动载、起重机倾斜的情况下，计算动稳定性安全系数k_2（图6-34）：

$$k_2=\frac{M_{稳}}{M_{倾}}\geqslant 1.15$$

$$M_{稳}=G\left(\frac{a}{2}+c\right)+G_{臂根}\left(\frac{a}{2}+b\right)-P_{风\text{II}}h_4-G_{臂根}\sin\beta\cdot h_3-G\sin\beta\cdot h_2-$$

$$-G_{臂头}\left[\left(R-\frac{a}{2}\right)+h_1\sin\beta+\frac{v_2^2h_1}{gR}\right]-Q\,\mathrm{tg}(\alpha_{\text{II}}+\beta)\cdot h-\frac{Qv_1}{gt}$$

$$\left[\left(R-\frac{a}{2}\right)+\sin\beta\cdot h_1\right]$$

$$M_{倾}=Q\left(R-\frac{a}{2}\right)$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

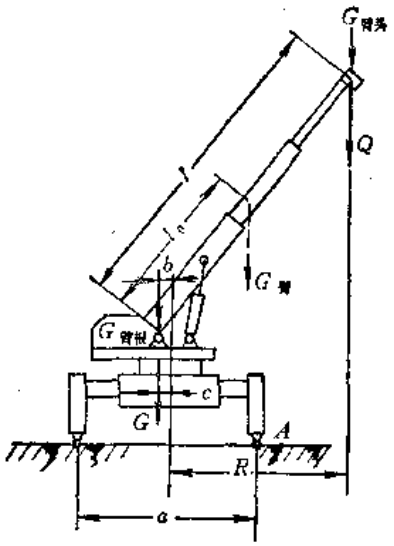


图 6-33 静稳定性系数k_1的计算图

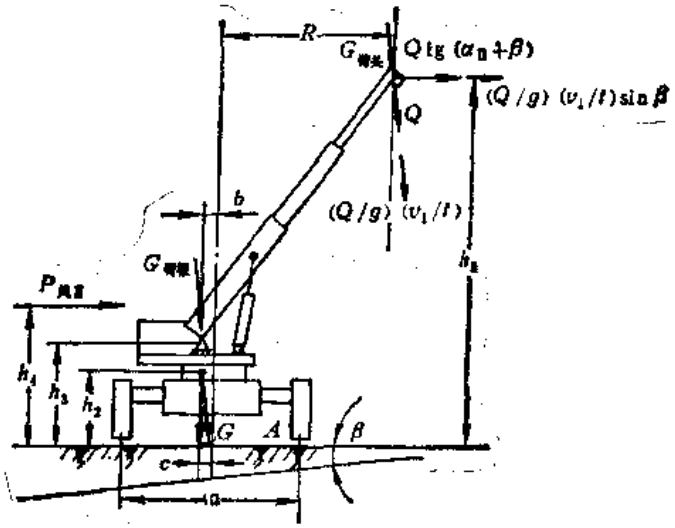


图 6-34 动稳定性安全系数k_2计算图

式中 β——起重机倾斜度，使用支腿作业而且又能调平时$\beta=1°\sim1.5°$，不用支腿时取$\beta=3°$；

$p_{风II}$——作用在起重机上的第Ⅱ类风载荷；

v_1——起升速度；

v_2——臂头的切线速度；

t——起动、制动时间；

$G_{臂根}$——起重臂自重换算到根部的重量；

$G_{臂头}$——起重臂自重换算到臂头部的重量；

G——起重机自重；

R——幅度。

其它符号见图6-34。

后翻稳定性按最短起重臂、最小幅度，并将吊钩、吊具放在地上的工况进行校核。此时应满足下述条件：

（a）起重臂纵向轴线与底盘纵向轴线成90°时，在轻载的底盘一侧的所有轮子或支腿上的总载荷不得小于起重机总重的15%。

（b）当起重臂纵向轴线与底盘纵向轴线相一致时，轻载底盘一侧所有轮子或支腿的总载荷不得小于起重机总重量的15%。

对于履带式起重机，在最不稳定的方向上，起重机的重心至回转轴线之间的水平距离不得超过从回转轴线至后翻倾覆线之间的径向距离的70%。

在稳定性计算中，倾覆力矩不大于稳定力矩，则认为起重机是稳定的。

2. 起重特性曲线

从稳定性安全系数的计算中可知，臂架式起重机的起重量与起重机的工作幅度有关。

反映起重量与幅度关系的曲线称为起重特性曲线（图6-35）。

起重机起吊的载荷在曲线和座标轴包围的部分之内则是安全的，当在曲线之外则不

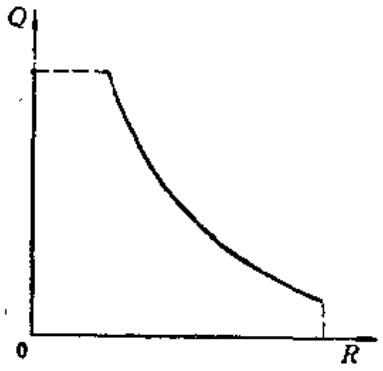


图 6-35 起重特性曲线图

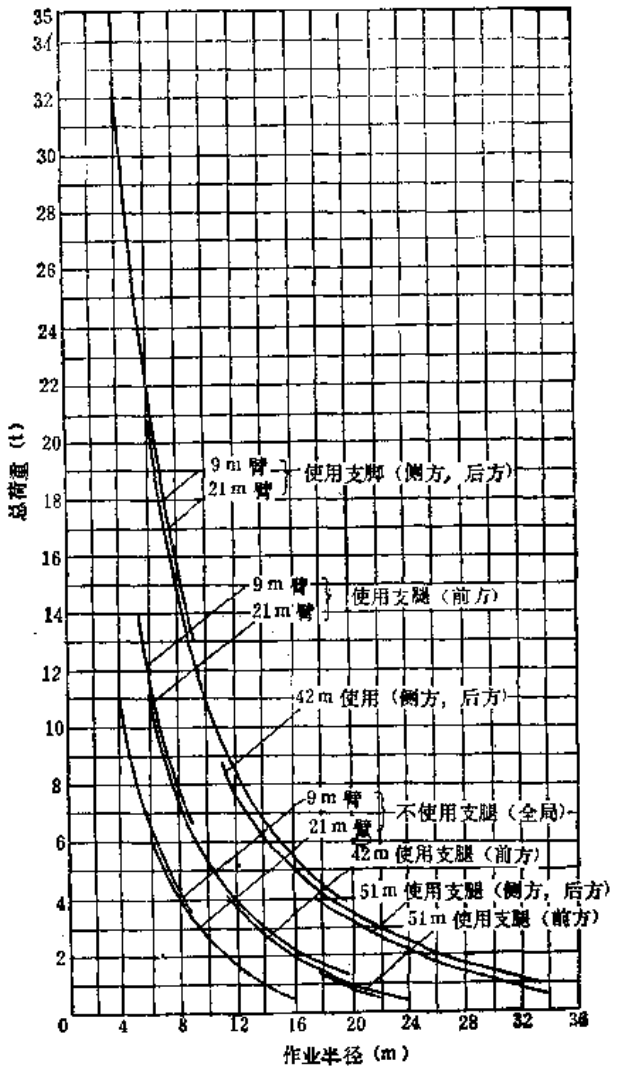


图 6-36

安全。

这条曲线是由三部分组成的，大幅度部分是由稳定性决定的；小幅度区段是由起重臂强度决定的；顶上横线部分是由机构或钢丝绳强度决定的。

据统计，由于丧失稳定性造成的事故占40%，由吊臂强度不足造成的事故占30%，由于机构或钢丝绳强度不足造成的事故占20%，其它原因造成的事故占10%。

对于伸缩臂起重机，起重特性曲线由多条曲线构成。图6-36是伸缩臂起重特性曲线图。

从曲线中可以看出，使用支腿和不用支腿起重机的起重能力是不同的；同一工况．同一臂长，侧方和后方的起重能力比前方的起重能力大。

对于桥架臂的汽车起重机，前方的额定起重量是侧后方起重能力的30～54%，对箱形伸缩臂起重机是21～54%。

6.5.5 臂架类型起重机的安全装置

臂架类型起重机的安全装置包括：过卷扬限制器、幅度限制器、起重力矩限制器、超起重量装置、自动找平装置、防止起重臂触电装置等。

除此之外，液压起重机中的平衡阀，溢流阀、液压锁等都是起安全作用的液压件。

1. 过卷扬限制器

过卷扬限制器的职能是防止吊钩滑轮组超卷扬。过卷扬可能挤碎滑轮、拉断钢丝绳。甚至会把起重臂向后拉，造成“翻车”事故。

过卷扬限制器多是由一个重锤拉住一个限位开关构成。当吊钩滑轮组上升到规定的极限

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

位置时，吊钩滑轮组托起重锤，限位开关动作，切断电路，起升马达停止工作，制动器上闸，这样就防止了过卷扬。

重锤与起重臂端滑轮的距离，一般可取起升速度（单位是m/s）的1.5倍。这段距离过大会损失起升高度；如果过小，由于吊钩的惯性乃会造成吊钩滑轮组与起重臂端相撞，甚至过卷扬的事故。

对于动臂变幅的塔式起重机，当起重钩装置顶部升至距臂架顶端800mm处时，起重钩高度限位器必须能立即停止起升机构工作。对于小车变幅的塔式起重机，当吊钩装置顶部升至距离小车架下端500mm处时，必须能立即停止起升运动。

对于液压起重机防止过卷扬，还可以通过电磁阀控制油路，来防止过卷扬事故。

为了保证安全，也可以同时安装过卷扬报警装置。

2. 幅度限制器

为防止起重臂折损，自行式起重机都应安装幅度限制器。

幅度限制器就是在起重臂根部安装一个限位开关。当起重臂抬起到极限位置时，撞开限位开关，使变幅机构停止工作，限止起重臂向后折臂。

起重臂的仰角，最大仰角一般在75°～80°之间，最小角度可达－3°。

调整限位开关时，可在与限位开关对应的起重臂根部安放一定厚度的木板片，缓缓开动发动机抬起起重臂，可抬起50°～56°之间来检验限位开关的可靠性。这个仰角是使用较多的位置，这是一个理想的作业角度。

幅度限制器的工作原理和过卷扬限制器的工作原理相似。可以是电器限位开关与发动机的控制电路串联，也可以控制油路，停止对变幅油缸供油。

对于动臂变幅的塔式起重机，应装设最小幅度限位器和防止臂架反弹后倾装置。对小车变幅的塔式起重机，必须装设小车行程开关和终端缓冲装置。

3. 起重力矩限制器与超起重量装置

（1）起重力矩限制器　动臂式起重机在各个作业半径下的额定起重量，是根据起重机的稳定性、起重臂强度以及钢丝绳的破断拉力所决定的。当起重量超过额定值时，就可能造成“翻车”、“折臂”等事故。

为了防止这些事故的发生，可在起重机上安装起重力矩限制器。

起重力矩限制器可分为机械式和电子式。机械式是采用杠杆或凸轮、弹簧等元件。电子式可分为数字式和模拟式两种。

图6-37是力矩限制器的方框原理图，它由负荷检测器、臂长检测器、臂角检测器、主机（存储、运算、控制等）、警报显示器、动力切断机构以及电源等部分构成。

从臂长检测器测得起重臂瞬时长度L，从臂角检测器测得起重臂瞬时仰角Q，将检测得的L和Q值送入运算器，计算出起重机的瞬时幅度尺，函数发生器根据瞬时幅度给出在该幅度下的额定起重量Q，这就是瞬时理论负荷值。与此同时，负荷检测器通过滑轮组倍率变换得出实际负荷值W，将额定起重量（瞬时）和实际负荷值W同时送入比较器进行比较，当实际负荷值达额定负荷值的90%时，发出预警报；当$W/Q\geqslant 100\%$时，发出警报并切断动力源、停止危险作业。为了便于操纵人员掌握某一瞬时作业状态量W/Q或者W、Q、R等状态量可以在显示器上显示出来。

负荷检测器的工作原理见图6-38。

负荷检测器

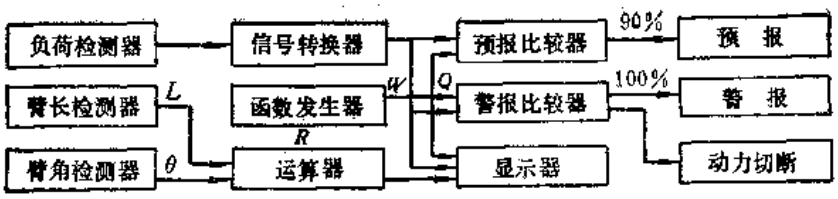


图 6-37 SLL-1型力矩限制器方框原理图

图6-39是三滑轮式负荷检测器。起升钢丝绳通过三个滑轮a、b、c。而其中b轮轴是悬臂安装的，通过杠杆压迫油缸的活塞。起吊负荷不同时，油缸内油液的压力也不同。这种不同的压力油可以通过传感器变成电的信号，同时可以通过压力表显示出来。

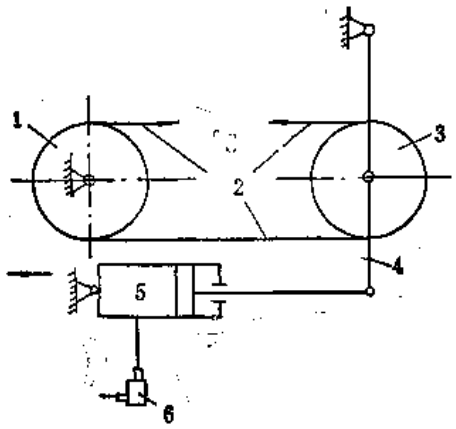


图 6-38 SLL-1型负荷检测器原理图

1—定滑轮；2—起升钢丝绳；3—可动滑轮；4—杠杆；5—液压缸筒；6—液压传感器

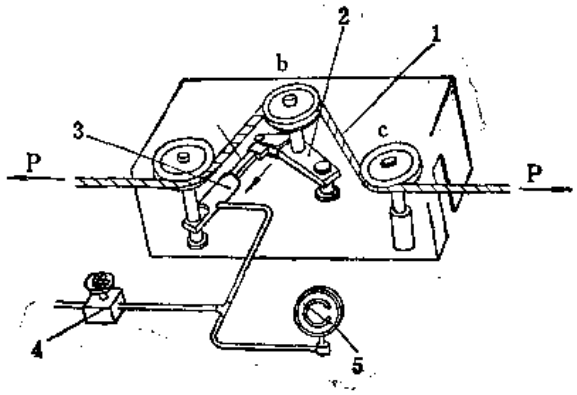


图 6-39 三滑轮式负荷检测器

1—钢丝绳；2—杠杆板；3—油缸；4—补偿阀；5—压力表

液压油路检测负荷，还可以从卷扬油马达或从变幅油缸取压力，检测出负荷的大小。

臂长检测器

臂长检测器是由卷筒、细钢丝绳、减速装置、电位计等构成。钢丝绳的一端固定在起重臂的前端部，另一端固定并缠绕在检测器的卷线盒上，而检测器卷线盒安装在基本臂的下部。当起重臂伸缩时，钢丝绳从检测器的卷线盒并通过滑轮口放出或收绕起来，同时通过减速装置带动电位计，产生电的信号，用以检测出起重臂的长度。

臂角检测器

为确定起重机某一状态的幅度，必须求出臂长和臂角两个量。臂角检测是采用重力摆永远指向地心，而起重臂变幅时，相对重力摆有相对运动的原理设计出来的。

在检测器上装有电位器并且随起重臂运动。当起重臂变幅时，电刷相对电位器运动，这样输出端子之间电阻值随起重臂的仰角而变化，起重臂的仰角不同，电位器输出的电压信号也不同，用这些不同的电压信号就可以检测出起重臂的仰角。

《起重机设计规范》中规定起重力矩限制器的报警精度不应大于±8%。

塔式起重机的力矩限制器的系统综合精度不得劣于±5%。

先进的力矩限制器本身带有“失效安全”装置。即力矩限制器本身出了故障，应能排除

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

或者报警的装置，防止操作者依赖安全装置，而安全装置本身出故障，操作者事先不知道而造成事故。

（2）超起重量装置　超起重量装置（参见图6-40）就是在主起重臂的对方再安装一个较短的起重臂，用来吊挂附加配重。主起重臂与较短的辅助起重臂之间用钢丝绳滑轮连接起来。当起重机起吊物超过额定起重量时，使用这种超起重量装置可以增加起重机的稳定性力矩，防止翻车事故。

4．行走限位装置和夹轨器

对于轨道式起重机，必须装设限位器和夹轨器。在工作时，应保证夹轨器不妨碍起重机行走。

5．支腿自动调平装置

汽车式起重机作业时，通过支腿把底架支起来，如果没有自动调平装置的起重机，当遇到地面不平时，底架则呈倾斜状态，由于倾斜使起重机的作业半径增大，有时会由此造成“翻车”事故。

为了保证底架在作业中呈水平状态，可装设自动调平装置。这种装置由触地检测器、水平检出器、垂直油缸等组成。

其油路如图6-41所示。

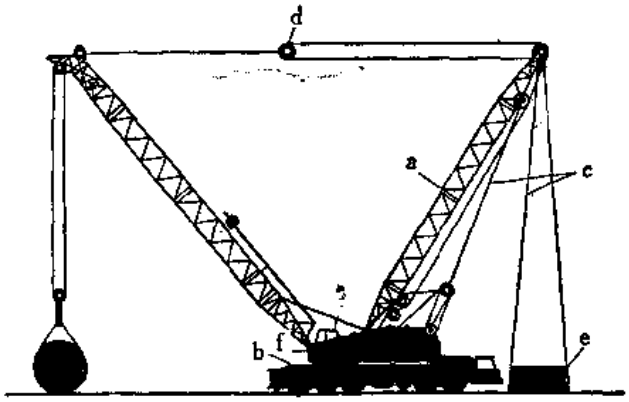


图 6-40　超起重量装置图

a—辅助起重臂；b—支腿；c—钢丝绳；d—滑轮；e—附加配重；f—控制装置

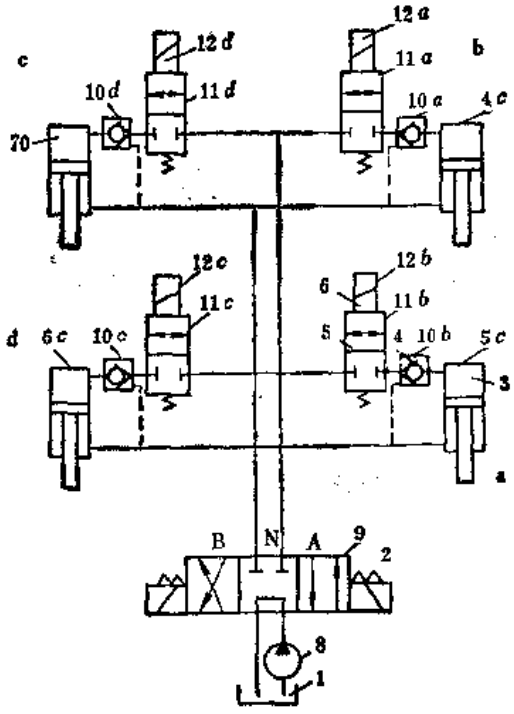


图 6-41　支腿垂直油缸的油路图

1—油泵；2—操纵阀；3—垂直油缸；4—单向液压锁；5—电磁阀；6—激磁线圈

图6-42是触地检测器示意图。当支腿伸出时（图中a），开关3是断开的，通过常闭式触地控制电路，使电磁处于开启状态，垂直油缸得到供油，支腿向下运动。当支腿触地时，触地开关3闭合，通过继电器，使电磁阀激磁线圈断电，油路被切断，支腿停止运动。

图6-43是水平检出器的示意图。它是由四个固定在车底架上的触点和一个浮动板形触点构成。四个固定触点安装在支腿对角线方向上，浮动触点布置在对角线的交点上。当车底架呈水平状态时，浮动板形触点与四个固定触点处于断开状态。当车底架倾斜时，四个固定在车底架上的触点随之倾斜，而浮动板形触点漂浮在液体（硅液）中，始终处于铅垂状态。这样就会有一个固定触点与浮动触点闭合，于是相对应的电磁阀激磁线圈通电，油路开启，继续

为对应的支腿垂直油缸供油，一直到调平为止。电路20的继电器接点20a～20d也闭合，于是水平触地指示器21动作，指示出底架已经水平的支承在地面上。

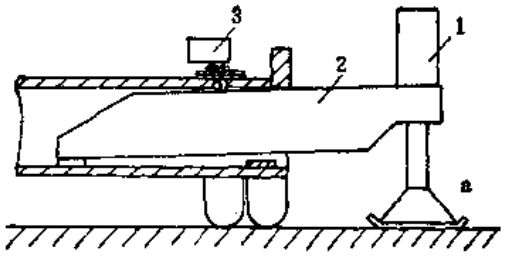


图 6-42　触地检测器示意图

1—垂直油缸；2—支腿横梁；3—触地开关

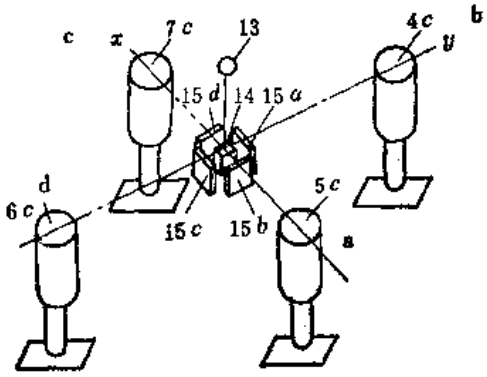


图 6-43　水平检出器示意图

6. 起重臂转动的警告装置

汽车式起重机的稳定性，是指起重臂在起重机底架的后方或侧方时的稳定性能。而当起重臂转到底架前方时（汽车驾驶室的方向），起重机的稳定性则要低的多，所以起重机的起重臂当转到前方领域，则应发出警报。提醒操作者注意安全，也同时警告其它现场人员注意安全。

图6-44是起重臂转动方位示意图。

当起重臂转到前方时，发出警报的同时，力矩限制器应能自动地调整，以防止起重机在前方倾翻。

7. 风速仪

对于臂架根部铰点高度超过50m的起重机，必须在起重机顶部装设风速仪。

8. 防止起重臂触电的装置

起重臂触高压电线的事故是不少的，为了防止这类事故的发生，应安装防止起重臂触电的装置。这种装置是利用电磁感应原理制成的。当起重臂接近高压电线时，警报装置发出信号。

也有采用高强度非金属材料（高强度玻璃纤维）作起重臂的最前节臂，或者副（辅助）起重臂制成非金属材料，作为防止起重臂触电的安全措施。

9. 防止大型起重机吊钩带异常电压的装置

当大型臂架式起重机（特别是高度50m以上的起重机）在无线电台附近作业时，起重机本身相当一个大的天线，这时在吊钩上常会出现较高的高频电压，当人手接触到这样的吊钩时，会灼伤手掌，如果司索工在高处作业，由于没有精神准备可能造成坠落事故。这种现象只有当起重机的高度、尺寸达到某一限界时，才会产生。

为了解决这个问题，可把起重机视为一个谐振回路。在起重机上再安装一个灵敏度比较高的谐振回路，使电能够向灵敏度高的回路，起重机吊钩的电压被衰减。这种装置就是外部天线型衰减装置。其原理如图6-45所示。

高度50m以上的起重机应当考虑防雷措施。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

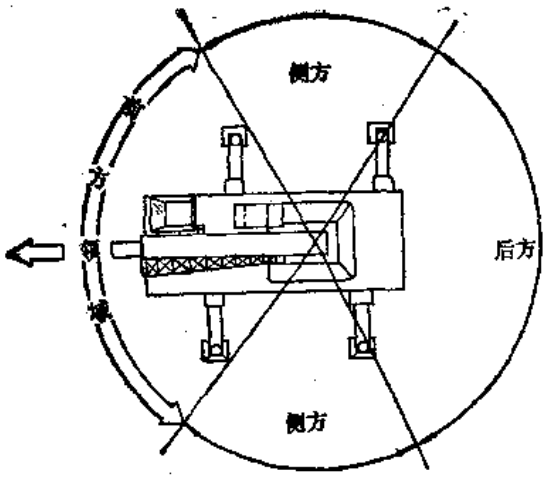


图 6-44 起重臂转动示意图

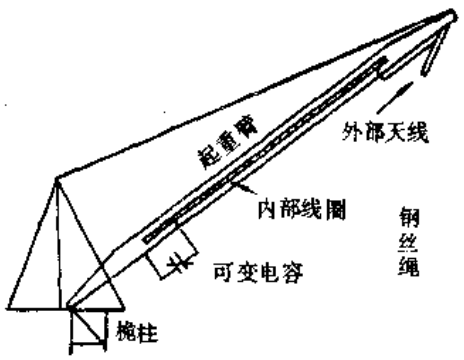


图 6-45 外部天线型衰减装置示意图

10. 防止脱钩的安全装置

使用钢丝绳起吊货物时，因为钢丝绳拉紧通常不会脱钩。但在降落货物时，如遇有障碍物，钢丝绳松弛，并从吊钩口脱出，造成工伤事故。

为了避免这类事故发生，需要在吊钩口装有防止脱钩的安全装置（参照图6-4）。

6.6 起重机的验收

6.6.1 桥式起重机的试验方法

6.6.1.1 电气设备的试验要求

接电试验前应认真检查全部接线并符合图纸规定，整个线路的绝缘电阻必须大于0.5MΩ才可开始试验。试验中各电动机和电气元件的温升不能超过各自的允许值。起重机的试验应采用该机自身的电气设备。试验中若有触头等元件严重烧灼者应予更换。

6.6.1.2 负荷试验

用手转动各机构的制动轮，使最后一根轴（如车轮轴或卷筒轴）旋转一周时不得有卡住现象。然后分别开动各机构的电动机，各机构应正常运转，各限位开关应能可靠工作；小车运行时，主动轮应在轨道全长上接触。

6.6.1.3 静负荷试验

静负荷试验的目的是检验起重机各部件和金属结构的承载能力。

起升额定负荷（可逐渐增至额定负荷），在桥架全长上往返运行，检查起重机性能应近到设计要求。卸去负荷，使小车停在桥架中间，定出测量基准点。起重量$Q \leqslant 50$ T的轻、中、重级工作类型和起重量$Q > 50$ T的各种工作类型起重机应逐渐起升1.25倍额定负荷；起重量$Q \leqslant 50$ T的超重级工作类型起重机亦应逐渐起升1.4倍额定负荷，离地面100～200mm，停悬不少于10分钟，然后卸去负荷，检查桥架有无永久变形。如此重复最多三次桥架不应再产生永久变形。将小车开至跨端检查，实际上拱值应不小于$0.9/1000\,L$。最后使小车仍停在桥架中间，起升额定负荷检查主梁挠度值（由实际上拱值算起），对于轻、中、重级不大于$1/800\,L$，对于超重级不大于$1/1000\,L$。

在上述静负荷试验结束后，起重机各部分不得有裂纹、连接松动或损坏等影响性能和安全的质量问题出现。

6.6.1.4 动负荷试验

动负荷试验的目的主要是检查起重机各机构及制动器的工作性能。

起重量$Q \leqslant 50$T的轻、中、重级工作类型和$Q > 50$T的各种工作类型起重机应起升1.1倍额定负荷；起重量$Q \leqslant 50$T超重级工作类型起重机应起升1.2倍额定负荷作动负荷试验。试验时间应同时开动两个机构，按工作类型规定的循环时间作重复的起动、运转、停车、正转、反转等动作延续至少应达一小时。各机构应动作灵敏，工作平稳可靠，各限位开关、安全保护联锁装置应动作准确可靠。各零部件无裂纹等损坏现象，各连接处不得松动。

6.6.2 塔式起重机的试验方法

6.6.2.1 安全装置的检测

检查各电气系统绝缘情况，其电阻值应大于0.5MΩ。各种限位器、起重机的高度、幅度和行走限位器的报警或停止其机构的动作应可靠，检查起重力矩限制器和最大起重量限制器的灵敏度和精度，当起重力矩达到其额定值的90%时，起重力矩限制器应能发出音响或黄色灯光，以示报警。当起重力矩超过其额定值并达到额定值的108%时，应停止提升方向及向外方向变幅动作。检查起重力矩限制器应不少于三个幅度（最大、中等、最小幅度）。

检查液压系统安全溢流阀的开启压力。检查各种制动器的安装调整的正确性，制动应灵敏可靠。

6.6.2.2 空载试验

在起重机空载状态下，检查起升、回转、变幅、行走及架设、顶升等机构运动情况，依次检查各传动机构作业时动作的准确性、平稳性。不许有爬行、振动、冲击、过热及驱动功率增大等异常现象。各传动机构的液压部件，不允许超过有关标准的渗漏规定。架设、顶升就位应准确。各控制开关、接触器、继电器等动作应准确、灵敏，并不得有漏电现象。

6.6.2.3 额定负荷试验

按标定的各种塔高和各种臂长进行组合，每一种组合状态，都应于相应幅度起吊最大额定起重量和最大幅度起吊额定起重量。

起升机构：以最低稳定工作速度和最大工作速度在起升高度全程内进行不少于3次的起升下降额定起重量。要求在起升、下降过程中启动、制动平稳，在一定的起升高度处停稳后吊重不下滑。

回转机构：以最低平稳速度在作业区范围内进行不少于3次起吊额定起重量的左右回转。要求在回转过程中启动、制动平稳。

行走机构：轨道式起重机，起吊额定起重量离地500mm，行走40m距离，往返3次。要求每次停稳后再启动。启动、制动应平稳。

6.6.2.4 超载25%静载试验

按标定的各种塔高和各种臂长进行组合，试验每一种组合状态下，臂架位于平行于轨道和垂直于轨道的二个方向，起重钩分别在最大幅度和与最大额定起重量相应的最大幅度，逐渐增加起重量直至1.25倍该工况相应的额定起重量，离地300mm，持续时间5～10分钟。

检查钢结构不得有永久变形，焊缝不得开裂，制动器必须可靠。

允许对制动器进行调整，试验后应重新调整到原规定数值。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

6.6.2.5 超载10%动载试验

试验方法与额定载荷试验相同，但起重量为最大额定起重量的1.1倍。

6.6.2.6 连续作业试验

连续循环作业不少于30次。对于基本臂长的工况，吊重为额定起重量的70%时，要求起升到一定高度，向左(右)回转180°后再回转到原位，下降到地面。这样的动作作为一次循环。

6.7 简易起重工具与人力搬运

6.7.1 简易起重工具

6.7.1.1 千斤顶

千斤顶的工作原理如图6-46所示。

千斤顶使用前应进行检查，并定期维护保养，以保证性能良好。

螺旋千斤顶及齿条千斤顶的螺杆、螺母的螺纹及齿条磨损超过20%时，不得继续使用。

气温在－5℃以上，液压千斤顶应采用10号机油。气温在－5℃以下时，应采用锭子油或变压器油，且必须清洁、充足。

千斤顶底部应有足够的支承面积，并使作用力通过承压中心，以防受力后千斤顶发生倾斜。顶部应有足够的工作面积，以防工件受损。

使用千斤顶时，应随着工件的升降，随时调整保险垫块的高度。

用多台千斤顶同时工作时，宜采用规格型号一致的千斤顶，且载荷应合理分布。每台千斤顶承受载荷不应超过额定载荷的80%。千斤顶的动作应相互协调，以保证升降平稳、无倾斜及局部过载现象。

表6-48是常用的普通千斤顶主要技术参数。

6.7.1.2 手拉葫芦

手拉葫芦的工作原理如图6-47所示。

手拉葫芦起吊前必须认真检查，各机件必须完好无损，传动部分及起重链条润滑良好、空运转正常。

表 6-48 常用的普通千斤顶主要技术参数

参　数	液压千斤顶	螺旋千斤顶
起重量(t)	1.5～500最大750	5～100
起升高度(mm)	90～200	130～400
手柄操作力(kg)	27～44	13～126
自重(kg)	2.5～80	7.5～109

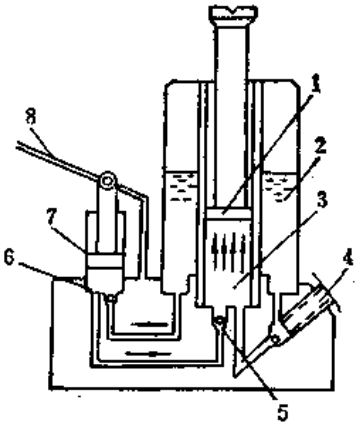


图 6-46 液压千斤顶工作原理图

1—活塞；2—储油腔；3—油室；4—回油阀；5—油室进油门（单向阀）；6—油泵进油门（单向阀）；7—油泵；8—摇把

在起吊中，不得使用手动以外的任何驱动方式起吊重物。发现拉不动时，不得猛拉，更不得增多人员强拉，要立即停止使用，进行检查。

不得过分提升或下降起重链条，以防顶坏机体或拉断插销。

表6-49是HS系列手拉葫芦技术参数表。

表 6-49 HS系列手拉葫芦技术参数表

型　　号	HS$\frac{1}{2}$	HS1	HS1$\frac{1}{2}$	HS2	HS2$\frac{1}{2}$	HS3	HS5	HS10	HS20
起重量(T)	0.5	1	1.5	2	2.5	3	5	10	20
标准起重高度(m)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	3	3	3	3
试验载荷(T)	0.625	1.25	1.88	2.5	3.13	3.75	6.25	12.5	25
两钩间最小距离(mm)	280	300	360	380	420	470	600	730	1000
满载时手链拉力(kgf)	16	32	36	32	39	36	39	49	40
起重链条行数（行）	1	1	1	2	1	2	2	4	8
起重链条圆钢直径(mm)	6	6	8	6	10	8	10	10	10
净重(kg)	9.5	10	15	14	28	24	36	68	150
装箱毛重(kg)	13.5	14	20	18	36	30	45	81	185
装箱尺寸(长×宽×高)（cm）	35×25×19	35×25×19	30×28×27	35×25×19	46×35×24	42×29×22	46×31×24	56×43×26	70×46×72
起重高度增加1米重量(kg)	1.7	1.7	2.3	2.5	3.1	3.7	5.3	9.7	19.4

6.7.1.3 卷扬机

卷扬机应经常维护，定期检修，以保证正常运转。

为保证钢丝绳在卷筒上固定，必须留有不得小于 3 圈的安全圈。

拉力10 t 及10 t 以上的卷扬机宜装排绳装置。

卷扬机工作时，由卷筒到最近一个导向滑轮的距离，不得小于卷筒长度的20倍，且导向滑轮应位于卷筒的垂直平分线上。

卷筒多层卷绕时，应保证钢丝绳按顺序逐圈逐层缠在卷筒上，钢丝绳的最外一层应低于卷筒两端凸缘高度一个绳径。

卷扬机应使用双绳地锚，并从两侧加以固定。同时保证卷扬机不发生偏扭现象。

卷扬机根据用途、使用频繁程度及载荷情况分成Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ种工作类型（见表6-50）。

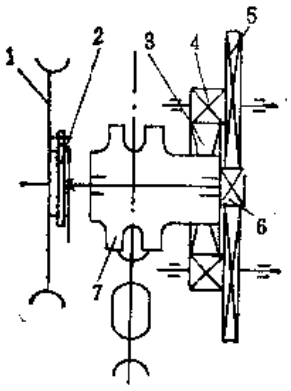


图 6-47 手拉葫芦工作原理图

1—手链轮；2—棘轮制动器；3—花键孔齿轮；4—10齿短轴；5—片齿轮；6—五齿长轴；7—起重链轮

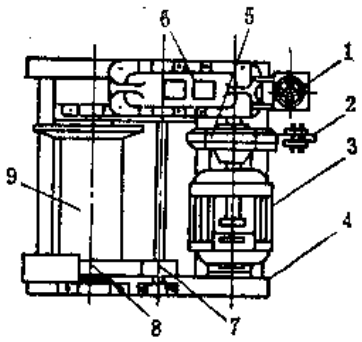


图 6-48 电动卷扬机原理图

1—控制器；2—电磁制动器；3—电动机；4—底盘；5—联轴节；6—减速器；7—小齿轮；8—大齿轮；9—卷筒

卷扬机应安装可靠的制动装置，制动安全系数，制动时间，制动路程（距离）如表6-51规定值。

图6-48是电动卷扬机工作原理图。由电动机3，制动器2，减速器6和卷筒9构成。

表6-52是常用卷扬机技术参数表。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-50 卷扬机工作类型划分表

机器型式	工作类型	载荷利用系数	理论使用寿命，h	相对于满载额定负荷当量寿命，h	电动机 型式	电动机 JC%	用途
0.5～3t 快速离合器	Ⅰ	0.75	50000	13000	JZ JO	25%	垂直、水平、斜坡运输及打桩、冲抓等联合作业
0.5～3t 快速不带离合器	Ⅰ	0.75	50000	13000	JZ JZR	40%	
					JO	25%	
5～8t快速	Ⅱ	0.50	25600	4000	JR	25%	建筑工程安装冷拉钢筋及斜坡运输
5～8t慢速	Ⅱ	0.50	25600	4000	JZ JZR	25%	建筑、工程安装、冷拉钢筋及斜坡运输
12～20t慢速	Ⅲ	0.75	6300	2000	JR	25%	
32～50t慢速	Ⅲ	0.75	2500	1000	JR	25%	

表 6-51 制动安全系数、时间、路程表

机器工作类型	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
制动安全系数	≥2.00	≥1.75	1.50
制动时间t_x	≤1.50	≤1.20	≤1.00
制动路程S_x	≤V_x/80	≤V_x/100	≤V_x/120

注：1. V_x—制动开始时钢丝绳速度，m/min。
2. t_x—制动开始时至钢丝绳速度为零的时间，min。
3. S_x—在制动时间内钢丝绳移动的距离，m。

表 6-52 常用卷扬机技术参数表

型号	JJK-0.5	JJK-1	JJK-2	JJKS-2	JJKS-3	JJM-3	JJM-5
钢丝绳额定静拉力(t)	0.5	1	2	2	3	3	5
容绳量(m)	100	100	150	150	300	110	190
平均绳速(m/min)	14	32	32	32	32	7.95	8.7
钢丝绳直径(mm)	8	11	13	13	17	17	19
电动机型号、功率	JQO$_2$32-6 2.2	JQO$_2$52-6 7.5	JQO$_2$-62-6 13	JQO$_2$-62-6 13	JQO$_2$81-8 22	JZR$_2$31-8 7.5	JZR$_2$41-8 11
自重(t)	0.25	0.56	0.8	0.85	1.8	1.1	1.7

6.7.1.4 桅杆

桅杆在化工设备的安装作业中，起着重要的作用。起重能力可高几百吨。

桅杆有独立桅杆、人字桅杆、摇臂桅杆、悬臂桅杆等。

独立桅杆又有圆木独立桅杆、钢管独立桅杆和结构式独立桅杆等。

表6-53是圆木独立桅杆规格表。

表6-54是钢管独立桅杆规格表。

表 6-53 圆木独立桅杆的规格表

桅杆起重量 (t)	桅杆高度 (m)	桅杆梢径 (cm)	缆风钢丝绳直径 (mm)	滑车组 起重钢丝绳直径 (mm)	滑车组 滑车门数 定滑车轮	滑车组 滑车门数 动滑车轮	卷扬机牵引力 (t)
3	8.5	20	15.5	12.5	2	1	1
3	10.5	22	15.5	12.5	2	1	1
3	13.5	22	15.5	12.5	2	1	1
3	15.5	24	15.5	12.5	2	1	1
5	8.5	24	15.5	15.5	2	1	3
5	10.5	26	20.0	15.5	2	1	3
5	13.5	26	20.0	15.5	2	1	3
5	15.5	27	20.0	15.5	2	1	3
10	8.5	30	21.5	17.0	3	2	3
10	10.5	30	21.5	17.0	3	2	3
10	13.5	31	21.5	17.0	3	2	3

表 6-54 钢管独立桅杆规格表

桅杆起重量 (t)	桅杆高度 (m)	钢管尺寸 直径 (mm)	钢管尺寸 管壁厚 (mm)	缆风钢丝绳直径 (mm)	滑车组 起重钢丝绳直径 (mm)	滑车组 滑车门数 定滑轮轮	滑车组 滑车门数 动滑轮轮	卷扬机牵引力 (t)
10	10	250	8	21.5	17.5	3	2	3
10	15	250	8	21.5	17.5	3	2	3
10	20	300	8	21.5	17.5	3	2	3
20	10	250	8	24.5	21.5	4	3	5
20	15	300	8	24.5	21.5	4	3	5
20	20	300	8	24.5	21.5	4	3	5
30	10	300	8	28.0	24.5	5	4	5
30	15	300	8	28.0	24.5	5	4	5
30	20	300	8	28.0	24.5	5	4	5

表6-55是结构式独立桅杆规格表。

桅杆的竖立一定要注意安全。并应按施工规范作业。

桅杆竖立位置的土要坚定，周围不应有地下管道、沟穴，电缆等。基础要坚实平整，回填土要分层夯实，并作好排水设施。桅杆地基上所垫枕木不应少于两层，垫枕木面积，应能保证桅杆地基面的压强不超过该处土壤的地耐力。根据桅杆移动方向，在桅杆底座（排子）下面宜安放滚杠，滚杠可选用圆钢或厚壁无缝钢管，其长度应较排子的宽度长500～700mm。如采用钢排直接在地面上拖动时，垫木上应铺一层钢板。受力较大的桅杆，滚杠应排列得密一些，一般滚杠的中心距为其直径的 2 倍，并在滚杠间打入楔木，桅杆移动时先将楔木打出，并将滚杠间距逐渐加大。

桅杆移动时，走道铺设的上层枕木，应沿移动方向平整排列，并把接头错开。不用滚杠直接拖拽时，应根据地耐力确定钢排的大小。如需加铺钢轨时，轨面上应涂润滑脂。

桅杆移动的前倾幅度，当采用间歇法时，不应超过桅杆高度的1/5；当采用连续法时，为桅杆高度的1/20～1/15。移动时侧向倾斜幅度不得超过桅杆高度的1/30。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 6-55 结构式独立桅杆规格表

起重量 (t)	桅杆高度 (m)	角钢截面尺寸 (mm)	连缀角度 (mm)	桅杆截面尺寸（mm）		自重 (t)
				中部	两端	
50	45	4L 150×12	L 65×6	1200×1200	800×800	15
55	40					13
40	45	4L 130×12	L 65×6	1200×1200	800×800	15.5
45	40					13.5
50	35					12.9
55	30					11.3
60	25					10.5
65	20					8.8
25	40	4L 100×12	L 50×5	1000×1000	700×700	9.7
30	35					8.7
35	30					7.7
40	25					7.1
45	20					6.1
30	30	4L 100×2	L 50×5	750×750	450×450	5.4
36	22.5					4.4
38	15					3.3

桅杆强度验算。

图6-49是独立桅杆计算简图。

1. 桅杆所受轴向力

（1）由重物产生的压力N_1按下式计算：

$$N_1=\frac{(KQ+G)(a+b)\cdot L}{aH}$$

式中 Q——重物重量；

G——吊具重量；

K——动载系数，取$K=1.1$；

L——桅杆长度；

a、b、H见图。

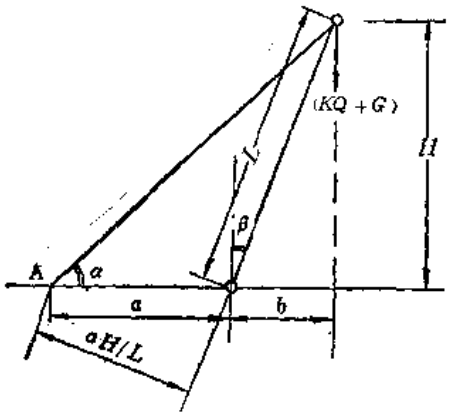


图 6-49 独立桅杆计算简图

（2）起升绳产生的压力N_2按下式计算：

$$N_2=\frac{(KQ+G)(E-1)E^n}{E^Z-1}$$

式中 E——滑轮阻力系数；

n——滑轮组的滑轮数；

Z——滑轮组支承分支数。

（3）缆风绳初张力产生的压力N_3按下式计算：

$$N_3=nT\sin\alpha$$

式中 n——缆风绳数目；

T——缆风绳初张力，一般取$T=0.3\sim1$ t；

α——缆风绳与地面夹角。

（4）桅杆自重产生的压力N_4

$$N_4 \approx 0.5P$$

式中 P——桅杆自重。

桅杆顶部压力：$N_0 = N_1 + N_2 + N_3$

桅杆中部压力：$N_0' = N_1 + N_2 + N_3 + N_4$

2. 桅杆受弯矩

顶部：$M_0 = (KQ + G + N_2)e$

中部：$M_0' = 0.5M_0$。

式中 e——起重滑车组定滑轮对桅杆中心线的偏心距。

3. 桅杆强度验算

因为顶部弯矩最大，所以应验算该处强度：

$$\sigma = \frac{N_0}{A} + \frac{M_0}{W} \leqslant [\sigma_{压}]$$

式中 A——顶部净截面积；

W——顶部抗弯截面系数；

$[\sigma_{压}]$——许用压应力。

4. 桅杆压力和弯矩共同作用下的稳定验算

当$\varepsilon \leqslant 30$

$$\sigma = \frac{W}{\varphi A} \leqslant [\sigma]$$

当$\varepsilon > 30$

$$\sigma = \frac{M}{W} \leqslant [\sigma]$$

式中 φ——实腹W式偏心受压构件在弯矩作用平面的稳定系数；

ε——偏心率，$\varepsilon = \frac{M}{W} \cdot \frac{A}{W_0}$，其中$W_0$是弯矩作用平面毛截面抗弯系数。

6.7.2 人力搬运安全管理

1. 个人负重

在起重作业中，个人负重最多不超过80kg（特殊情况不得超过100kg）。两人以上协力作业时，平均每人负重不得超过70kg。单人负重50kg以上平均搬运距离不得超过70米，否则应有人接替。

一件物品重量不超过140kg，可以两人伙扛，超过140kg，可以多人伴抬。

重物质量超过500kg应采用机械搬运。

图6-50是各种不同搬运姿势氧气消耗量比较图。



相对氧气消费量	(a) 扛	(b) 头顶	(c) 手持	(d) 背	(e) 肩持	(f) 挑	(g) 提
	100	103	109	114	123	129	144

图 6-50

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

同样重量图*a*消耗氧气量为100；图*b*为103；图*c*为109；图*d*为114；图*e*为123；图*f*为129；图*g*为144。

图6-51是二十四种搬运姿态最大出力图。

No.	1	2	3	4
姿势				
最大出力，kg	72	48	55	48
最适H，cm	90	80	85	80
No.	5	6	7	8
姿式				
最大出力，kg	40（25）	79	$W_1=45$ $W_2=34$	60
最适H，cm				
No.	9	10	11	12
姿势				
最大出力，kg	120	68	23	53
最适H，cm	20			
No.	13	14	15	16
姿势				
最大出力，kg	$W_1=36$ $W_2=41$	70	70	115
最适H，cm				115

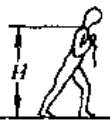
No.	17	18	19	20
姿势				
最大出力，kg	56	50	50	50
最适H，cm	80	80	110	100
No.	20	22	23	24
姿势				
最大出力，kg	54	54	50	50
最适H，cm	90	90	70	100

图 6-51　人工搬运最大出力

表6-56是人力起重搬运作业常用工具表。

表6-57是装卸放射性物品允许作业时间表。

表 6-56 常用起重搬运工具表

名称 \ 规格	长 (m)	宽 (m)	厚 (m)	搭放高度 (m)	用途	备注
木制跳板	4.00	0.60	0.07	不大于1.20	扛货走行	端、中部包铁箍，两端安铁环。木板合成钉横带。深入车内不少于0.15m
木制跳板	6.00	0.60	0.07	不大于1.80	扛货走行	
木制跳板	8.00	0.60	0.08	不大于2.40	扛货走行	
木制跳板		0.30	0.05		空人走行	
铁制跳板	1.50	1.20	0.05		手推车走行	板面应有网纹
撬棍	1.50				撬动物件用	
车门卡	0.30		0.03		卡车门用	
安全绳	4.00				开关车门用	白棕绳直径20～26mm
砖夹子					装卸砖用	
扳钩					移动木材用	
老虎车					装卸搬运用	

表 6-57 装卸放射性物品允许作业时间表

运输包装等级	包装表面γ射线剂量率 mlun/h	徒手装卸（直接接触包装表面）	简单工具装卸（人与包装距离0.5m以上）	机械化装卸（人与包装距离1m以上）
一级	1	16h30min	24h以上	24h以上
二级	15	1h	6h	23h
三级	200	不允许徒手作业	25min	1h50min
四级	大于200	同上	5min	19min

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第7章 焊接安全

7.1 概 述

7.1.1 名词术语

（1）焊接 利用热能和压力，或同时并用二者，并且用或不用填充材料将工件进行连接的方法。

（2）电弧焊 利用电弧热来局部熔化被焊工件（及填充金属），然后凝固成坚实接头的一种焊接方法。

手弧焊 用手工操作方法进行的电弧焊工艺。

（3）埋弧焊 把电弧埋在熔剂层下所进行的一种电弧焊工艺。

埋弧自动焊 在埋弧焊时，送给及焊接电弧的移动均是自动的一种电弧焊工艺。

（4）气体保护焊 利用气体流保护电弧及熔池的一种电弧焊工艺。

惰性气体保护焊 利用惰性气体保护电弧及熔池的一种气体保护焊。

氩弧焊 利用氩气作为保护气体的一种惰性气体保护焊。

二氧化碳气体保护焊 利用CO_2气体作为保护气体的一种气体保护焊。

（5）原子氢焊 在两钨极间产生电弧，喷出氢气，使$H_2 \rightarrow ZH_1$同时吸收电弧的热，待氢原子与工件表面接触时，原子氢重新结合为分子氢，同时放出热量，以此为主要热源来熔化金属进行焊接。

（6）等离子焊 在钨极与喷嘴（或工件）间产生电弧，通入气体介质（氩、氢或氮气），使电弧受压缩而形成等离子焰区，温度可达10000～15000℃以上，利用此高温可进行焊接的一种方法。焊接电源的一极接于喷嘴的，称间接等离子焰；接于工件的，称直接等离子焰。

等离子切割 利用等离子焰流的高温热源来局部熔化工件而进行切割的工艺。

（7）电子束焊 将工件置于高真空中，以高速度运动着的电子束（用电或磁的方法集束为0.25～0.9mm的直径），猛烈轰击工件所产生的热能，来熔化金属的焊接方法。

（8）气刨 对金属表面进行的氧气切割加工，如表面切槽，切除表面缺陷等。

（9）气焊 利用可燃气体与氧混合燃烧所产生的热进行焊接的一种工艺。

（10）氧割 利用乙炔与氧气混合燃烧的预热火焰，把金属加热到燃烧点，然后在氧气射流中剧烈燃烧，将金属切开的加工方法。

7.1.2 焊接工伤事故和职业危害

1. 焊接过程的有害因素

各种焊接方法都会产生某些有害因素，不同的焊接工艺，其有害因素亦有所不同，大体可分为（1）烟尘；（2）有毒气体；（3）弧光辐射；（4）射线；（5）噪声等几类。

（1）烟尘 药皮焊条手工电弧焊，碳弧气刨和CO_2气体保护焊等在焊接过程中产生的

烟尘——电焊烟尘，是主要的有害因素。特别是手弧焊和碳弧气刨，若长期在作业空间狭小的环境里（锅炉、船舱、密闭容器和管道等）操作，且卫生防护不好，会对呼吸系统等造成危害，严重时患电焊尘肺。还会发生锰中毒和焊工金属热等职工危害。

（2）有毒气体　是气电焊和等离子弧焊作业的一种主要有害因素，其中主要是臭氧和氮氧化物的危害，是由电弧高温和弧光辐射作用于空气中的氧和氮而产生的，浓度比较高时可引起中毒。

（3）弧光辐射　是所有明弧焊作业共有的有害因素，由此引起的电光性眼病是明弧焊作业的一种特殊职业病。弧光辐射还会伤害皮肤，使焊工患皮炎、红斑和小水泡等皮肤疾病。此外，还会损坏棉织纤维。

（4）高频电磁场与射线　非熔化极氩弧焊和等离子弧焊的焊机设置有高频振荡器帮助引弧，形成高频电磁场。高频电磁场会使焊工患神经衰弱症和血液症病。

由于使用钍钨棒电极，钍是放射性物质，所以存在射线有害因素（α、β和γ射线），在钍钨棒贮存和磨尖的砂轮机周围，有可能造成放射性危害。

（5）噪声　等离子弧焊接，喷涂和切割时，产生强烈噪声，在防护不好的情况下，会损伤焊工的听觉神经。

各种焊接工艺方法在施焊过程中，单一有害因素存在的可能性很小，除了其主要有害因素外，还会有上述若干其它有害因素同时存在。必须指出，同时有几种有害因素存在，比起单一有害因素时，其对人体的毒性作用倍增。这是对某些看来并不超过卫生标准规定的有害因素，亦应当采取必要的卫生防护措施的缘故。

焊接劳动保护的主要研究对象是熔化焊，而其中明弧焊的劳动保护问题最大，埋弧焊、电渣焊的问题最少。

2。焊接的安全特点

（1）爆炸和火灾　是焊接过程中容易发生的工伤事故，据日本东京消防厅的报道，1980年全国因焊接与切割发生的火灾爆炸事故有1690起，我国某市化工局1977年和1978年压力容器爆炸事故统计，焊接引起的爆炸事故占38.4%，伤亡人数占68%。

焊接的火灾爆炸事故主要发生于气焊，焊接过程中之所以容易发生爆炸火灾事故，是由于在焊接操作中焊工一方面需要经常与可燃易爆物品接触，如C_2H_2，C_3H_8，CaC_2，O_2以及检修焊补燃料容器管道时油的蒸气、煤气、氢和氢……；另一方面需要经常接触压力容器和燃料容器，如乙炔发生器，氧气瓶、液化石油气瓶、乙炔瓶，以及检修焊补时的罐、塔、柜、槽、箱、桶和管道等；而且在大多数情况下使用明火，因此容易构成火灾和爆炸事故的条件。

（2）触电　利用电能转化为热能的各种焊接方法也有触电危险。手工电弧焊操作接触电的机会较多，尤其在容器、管道、锅炉内和钢架上的操作，四周都是金属导体，其触电危险性更大。

（3）灼烫事故　是焊接过程中的常见事故。气焊与气割火焰、焊接电弧、飞溅的金属溶滴、红热的焊条头、炽热的焊件和药皮熔渣等是造成焊接灼烫事故的热源。

（4）急性中毒　焊接操作中可能发生急性中毒事故。此外，焊接过程中还可能发生高空坠落、物体打击和水下焊接时溺水事故等。

焊接过程中存在的主要不安全因素与有害因素，可能发生的工伤事故和职业危害见表7-1。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 7-1 焊接发生的主要工伤事故和职业危害

不安全因素	主要工伤事故	有害因素	主要职业危害
1. 可燃易爆气体和蒸气	1. 爆炸	1. 电焊烟尘	1. 电焊尘肺
2. 压力容器和燃料容器、管道	2. 火灾	2. 有毒气体	2. 皮肤症病
3. 电机电器	3. 灼烫	3. 弧光辐射	3. 电光性眼病
4. 使用明火	4. 触电	4. 射线	4. 焊工金属热
5. 在狭小空间里，登高或水下作业	5. 急性中毒	5. 高频电磁场	5. 慢性中毒
	6. 高处坠落	6. 噪声	6. 血液疾病
	7. 物体打击	7. 热辐射	

7.2 气焊与气割安全

7.2.1 常见事故

1. 爆炸和火灾

是气焊与气割的主要危险。它应用的能源乙炔、电石、液化石油气和氧气等，都是属于容易发生爆炸和着火的危险物品；其设备乙炔发生器、氧气瓶、乙炔瓶和液化石油气瓶等，是具有爆炸和着火危险的压力容器或燃料容器；而且操作过程中的回火、四处飞溅的火星是危险的着火源，上述不安全因素的同时存在，容易构成爆炸和火灾事故的条件。

2. 焊接有色金属引起的中毒

在焊接镁、铅和铜等有色金属及其合金时，除了蒸发出有毒的金属氧化物蒸气外，焊粉还会散发出氯盐和氟盐的燃烧产物等有害物质，在作业空间狭小（锅炉、密闭容器和管道等）和通风不良时，容易造成焊工中毒。

此外，气焊与气割还会发生灼烫、高处坠落和物体打击等工伤事故。

7.2.2 常用危险物品

7.2.2.1 乙炔

乙炔又名电石气，分子式C_2H_2，纯乙炔是无色无臭的气体，工业用乙炔因含有硫化氢（H_2S）和磷化氢（PH_3）等杂质，故具有特殊的刺激性臭味和一定的毒性。

在标准状态下，乙炔的密度为1.17kg/m³，易与空气均匀混合形成爆炸性混合物。

乙炔的液化温度为－82.4℃至－83.6℃。液态和固态乙炔，受摩擦或冲击会发生爆炸。

乙炔微溶于水，能溶于苯、汽油、易溶于丙酮。

1. 乙炔的燃烧特性

（1）乙炔完全燃烧的反应式为

$$2C_2H_2 + 5O_2 = 4CO_2 + 2H_2O + Q$$

乙炔的高热值（在0℃和0.1MPa下）为$Q = 14000kcal/m^3$；低热值(换算到20℃和0.1MPa)为$Q_1 = 12600kcal/m^3$。

（2）乙炔的自燃点为335℃，易受热自燃。

（3）火焰传播速度快，在空气中传播的最高速度为2.87m/s，在氧气中为13.5m/s。

（4）点火能量小，仅0.019mJ，容易发火。

2. 乙炔的爆炸特性

乙炔是不饱和的碳氢化合物，可发生加成反应和聚合反应，具有爆炸的危险性。温度200～300℃时，乙炔分子开始进行聚合反应，生成复杂的化合物，如苯（C_6H_6）、苯乙烯（C_8H_8）等。聚合反应放热，热量进一步加速聚合，使温度升高，当温度高于500℃时，未聚合的乙炔分子就会发生爆炸性分解，生成炭及氢气。如果这种分解是在乙炔发生器或乙炔瓶等密闭容器内进行时，由于温度和压力的急剧增高就会引起爆炸。

增加压力也能促使和加速乙炔的聚合和分解反应。

乙炔与空气混合能形成爆炸性混合物，爆炸极限为2.55～80%，自燃点为305℃；与氧气混合有更宽的爆炸浓度范围，其爆炸极限为2.8～93%，自燃点为300℃；与氯气混合在日光照射下或加热即发生爆炸；乙炔还能同氟、溴等化合，发生燃烧爆炸。

乙炔与铜、银接触会生成乙炔铜（Cu_2C_2）和乙炔银（Ag_2C_2）等爆炸化合物，当受到摩擦或冲击时就会发生爆炸。

乙业用乙炔含有磷化氢和硫化氢，磷化氢的自燃点较低，温度为100～149℃时就会发生自燃，容易引起发生器里乙炔与空气混合气的着火爆炸事故。磷化氢来自电石内杂质磷化钙与水的作用。

某些物质如氧化铁、氧化铜和氧化铝的存在，能吸附乙炔于自己多孔的表面，而促进乙炔分子的聚合和爆炸分解。盛装过乙炔的铁桶则具有这种吸附作用，有形成爆炸性混合物的危险性。曾发生某厂电焊工站在已停用十几天的乙炔发生器顶上焊补房梁钢架。由于罐壁铁锈吸附的乙炔不断析出，在罐内形成了乙炔与空气爆炸性混合气，当电焊火星溅落入罐内时，发生器爆炸。

将乙炔与氮、水蒸汽和一氧化碳等不起反应的气体混合，或者将乙炔溶于液体，可降低其分解爆炸的危险性。

3．乙炔的安全使用

（1）中压乙炔发生器的工作压力不得超过1.5kgf/cm²。

（2）不得超过安全规则规定的温度，如发生器发气室的乙炔温度不得超过90℃，水温不得超过70℃。

（3）装盛乙炔的容器和管道需保持良好的冷却条件。在给发生器灌水时，必须达到规定的水位，以便保证有足够的冷却用水；发生器不得在夏季烈日下曝晒等。

（4）盛装过乙炔的容器与管道，特别是乙炔发生器，即使是停用多时的空桶，也不得随便进行焊补或加热。而且要谨防火星掉进这类空桶内。

（5）在气焊与气割操作中，一旦形成了乙炔与空气（或氧气的爆炸性混合气如加入电石后在发生器的发气室里、发生回火的胶管里、或者在焊补的燃料容器里等），必须采取安全措施彻底排除后，才能给焊割炬点火或者进行焊补动火。

（6）乙炔着火时，严禁使用四氯化碳灭火器扑救。否则除了有爆炸危险外，还会产生有毒气体光气（$COCl_2$）。

（7）乙炔发生器的管接头、阀门、衬垫等附件损坏时，不得用银和铜制零件替换。必须用铜制零件时，其含铜量应低于70%。

（8）乙炔发生器上禁止使用水银温度计。

（9）乙炔中的磷化氢含量应低于0.08%。在启用新的一批电石或者对电石质量情况不明、或发现乙炔质量有问题时，应及时化验分析乙炔的杂质含量。洒落在地面上的电石粉末，不得用水冲洗，以免磷化氢自燃着火。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

(10) 电石与水接触前，可先用氮气吹扫发气室，将空气排出。

(11) 在浮桶式发生器的浮桶放入定桶里的操作中，人的头部不得处于浮桶上方。尽量两人操作。

(12) 限制乙炔管道的直径也是防爆的一种技术措施，例如安全规则规定，工作压力0.07～1.5kgf/cm²的中压乙炔管道，应采用内径80mm以下的无缝钢管；工作压力>1.5～2.5kgf/cm²的高压乙炔管道，应采用20mm以下的无缝钢管。使用中，不得随意更换大管径管道。

7.2.2.2 电石

电石俗称碳化钙，分子式CaC_2。其外观是坚硬的块状物体，断面呈现深灰色或棕色。

工业用电石的纯度约70%，而杂质氧化钙约占24%，碳、硅铁等占6%，还含有微量的磷化钙（Ca_3P_2）和硫化钙（CaS）。

1. 电石的燃烧爆炸特性

（1）电石遇水燃烧。电石本身不具燃烧性质，但遇水燃烧，属一级危险品。电石与水接触生成乙炔同时放出大量热量，可引起乙炔着火爆炸。电石中的杂质CaO与水作用也能分解和放热生成$Ca(OH)_2$。

纯度为70%的工业用电石，与水作用时的热效应是397kcal/kg电石。

（2）电石在发生器中的过热现象，电石对水有很大的化学亲和力，它甚至能吸收空气中的水蒸汽或夺取盐类中的结晶水而发生化合作用。如果乙炔发生器的水量不足，或未按规定及时换水，致使水质混浊，结果电石分解产生的热量，使反应区的温度迅速上升。超过200℃时，发生下列反应：

$$CaC_2 + Ca(OH)_2 = C_2H_2 + 2CaO$$

这种情况下，电石因夺去$Ca(OH)_2$所含的水分而分解，熟石灰形成密实的外皮包覆着电石块，造成电石剧烈过热，当温度超过580℃时，即使在正常工作压力（0.15MPa）下，也会引起乙炔的燃烧和分解爆炸。电石过热是乙炔发生器着火爆炸的主要原因之一。

电石过热时，其表面温度可达800～1000℃。电石的过热现象可在熟石灰（电石泥）或电石篮壁上见到褐色斑点。1kg电石的用水量，包括分解和冷却用水应为5～15kg。

（3）电石的着火爆炸危险性与其分解速度有关。电石与水作用的分解速度是以每kg电石在分解时间内所产生的乙炔体积来表示的，其单位是L/kgmin。它与电石的粒度、纯度及水的洁净程度、温度等有关。其中粒度是最主要的影响因素，电石粒度与水解速度的关系，如表7-2所示。

表 7-2 电石粒度与水解速度的关系

电石粒度（mm）	1kg电石完全水解的时间（min）
50～80	16.57
25～50	13.60
15～25	4.23
8～15	1.82
5～8	1.65
2～4	1.17

从表中可以看出，电石粒度越小，分解速度越快，因此，应当按规定的粒度给发生器加料。

（4）杂质的危险性。电石一般含有杂质硅铁，硅铁与硅铁或其它金属相互摩擦碰撞时，容易产生火花，往往成为乙炔燃烧爆炸的火源，发生意外事故。

电石含有CaS_2和P_2Ca_3等有害杂质，其含量亦必须加以限制，见表7-3。

2. 电石使用安全

表 1-3 电石的等级与发气量

电石的等级	一级品	二级品	三级品	四级品
发气量（L/kg）	300	285	265	235
乙炔中磷化氢含量（%）体积	0.08	0.08	0.08	0.08
乙炔中硫化氢含量（%）体积	0.15	0.15	0.15	0.15

（1）电石桶搬运应使用小车，轻装轻卸、不得从滑板滑下或在地面滚动，防止撞击摩擦产生火花而引起爆炸着火。

（2）电石桶在搬运过程中，应采取防潮措施，如发现桶盖密封不严或鼓包等现象，应打开桶盖放气后，再将桶盖盖严。严禁在雨天搬运电石。

（3）给发生器装电石的操作应平稳，不得将电石掷入电石篮内。加料时如发现电石搭桥，可用木棒或含铜量<70%的钢棒捅电石，禁止使用铁棍。

（4）发生器自动加料的输送带或其它加料机构，应采取铺设橡胶片等措施，以防硅铁产生火花。

（5）应当按发生器使用说明书规定的粒度，给发生器加料。移动式发生器的电石反应区如果有排热装置时，规定允许添加不超过5%的粒度为2～25mm的电石；大型电石入水式乙炔发生器，粒度为2～8mm的电石不应超过30%。不得使用粒度大于80mm的电石。

（6）一般结构的发生器，严禁使用粒度小于2mm的电石粉（俗称芝麻电石），这种电石遇水后立即快速分解，冒黄烟，发生高热并结块，能促使乙炔自燃。当发生器的发气室含有空气时，将引起爆炸和着火。

（7）应当按发生器使用说明书的要求按时换水，并根据水位计（或水位龙头）的标志，供给足够数量的洁净水。

（8）在发生器周围的地面上，或乙炔站，电石库房和破碎间等场所的电石粉末，应及时清扫，并分批倒入电石渣坑进行处理，避免电石吸潮分解，在室内形成乙炔与空气爆炸性混合气。同样，在乙炔站、焊接车间和气焊与气割的临时工作间，不得存放堆积超过发生器两天用量的电石，并要采取防潮措施。

7.2.2.3 液化石油气

1. 成分和应用

液化石油气是炼油工业的副产品，其成分不稳定，主要由丙烷（C_3H_8，约占50～80%），丙烯（C_3H_6）、丁烷（C_4H_{10}）和丁烯（C_4H_8）等气体混合组成。在常温常压下，组成液化石油气的这些碳氢化合物以气体状态存在，只要外加不大的压力即变成液体，因此便于装入瓶中贮存和运输。

随着我国石油化学工业的发展，用液化石油气代替乙炔用于气割，具有较好的安全性。液化石油气也可用于焊接有色金属。国外还用乙炔和液化石油气混合，作为气焊的燃烧气源。

2. 液化石油气的燃烧爆炸特性

液化石油气燃烧的化学反应，以丙烷代表石油气为例：

$$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O + 560.6kcal/mol$$

火焰温度为2000～2800℃。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

液化石油气的组分都能和空气形成爆炸性混合气，但它们的爆炸极限范围都比较窄，例如丙烷、丁烷和丁烯的爆炸极限分别为2.17～9.5%、1.15～8.4%和1.7～9.6%，比乙炔要安全得多。但液化石油气与氧气混合气有较宽的爆炸极限范围（见表7-4）。

表 7-4 液化气-氧气混合气的燃爆范围

序号	液化气在混合气中占的体积百分数	燃爆情况
1	3.2	爆声微弱
2	6.0	有爆声
3	6.7	有爆声
4	12.9	有爆声
5	19.1	爆声较响
6	33.1	爆声响
7	36.2	爆声响
8	43	爆声响
9	51.5	爆声、强烈发光
10	64	爆声、强烈发光

液化石油气易挥发，闪点低，如组分丙烷的挥发点为－42℃，闪点－20℃。液态石油气如果从气瓶中滴漏出来，会很快扩散成350倍体积的气体。

气化石油气，比空气重（约1.5倍），从容器泄漏逸出后，易向低处流动而滞留积聚。液化石油气比汽油轻，能漂浮在水面上，随水流动并在死角聚集。

（6）液化石油气对普通橡胶导管和衬垫有膨润和腐蚀作用，能造成胶管和衬垫的穿孔或破裂。

3. 液化石油气使用安全

（1）使用和贮存液化石油气的车间和库房，应在下水道的排出口设置水封，电缆沟的进出口应填装砂土，暖气沟进出口应砌砖抹灰，防止液化石油气窜入其中而发生事故。室内通风孔除设在高处外，低处（地面上）亦应设有通风孔，以利空气对流。

（2）防止泄漏。如胶管与气瓶和焊割炬的连接处，以及气瓶阀等应保证连接严密。

（3）在使用或贮存过程中，如发现漏气而又无法制止时，应立即把瓶体移至室外安全地带，让其逸出，直到瓶内气体排尽为止。有缺陷的气瓶和瓶阀应标明，并送专门修理部门，经修理和试验合格后，才能重新使用。

（4）胶管和衬垫损坏时，不得用普通橡胶衬垫和胶管替换，必须采用耐油橡胶衬垫和胶管，以防因腐蚀造成穿孔漏气。

7.2.2.4 氧气

1. 压缩纯氧及其危险性

焊接用氧气是由制氧工厂或使用单位利用制氧机制取的。

一般瓶装的氧压力为150kgf/cm²。对氧气使用量较大的工厂，通常采用管道输送氧化，其管道内压力为5～15kgf/cm²。工业用氧的纯度分二级，一级为99.2%、二级为98.5%。

氧气本身不能燃烧，但它是一种活泼的助燃气体，是强氧化剂。有机物与氧气反应，具有放热的性质，而在反应进行时放出大量的热量。增高氧的压力和温度，会使反应显著加快。当压缩的气体氧与矿物油、油脂或细微分散的可燃物质接触时，能够发生自燃。

在压缩纯氧的作用下，甚至金属的着火温度也会随着氧压力的增高而降低（见表7-5）。而且这种着火的火势很猛，蔓延很快。

氧气几乎能与所有可燃气体或蒸气混合而形成爆炸性混合物，这种混合物具有较宽的爆炸极限范围。

多孔性有机物（炭、炭黑、泥炭和羊毛纤维等）如浸透了液态氧（所谓液态炸药），在一定的冲击力下，就会产生剧烈的爆炸。

2. 氧气使用安全

表 7-5 金属的着火温度

金属名称	氧气压力 kgf/cm²				
	1	10	35	70	126
铜	1085	1050	905	835	780
低合金钢	950	920	825	740	630
软钢		1277	1104	1018	944

（1）压缩纯氧不得与油脂、有机物及其它可燃物质接触。

（2）禁止将压缩纯氧用作改善空气条件或通风换气等。

（3）不得用压缩纯氧代替压缩空气作为气动工具的动力源，或吹扫工作服上的尘屑，或吹除乙炔管道的堵塞物等。

7.2.3 乙炔发生器

乙炔发生器是利用电石与水相互作用以制取乙炔的设备。电石和乙炔都属于危险物品，在加料或发生回火时，空气、氧气或火焰还会进入发生器内，所以乙炔发生器是有着火爆炸危险的设备。

7.2.3.1 乙炔发生器的火灾爆炸事故

1. 发生着火爆炸的原因

（1）设备缺陷

a．结构不合理，冷却用水不足。大多存在于利用现有材料自制的发生器。

b．缺少必要的安全装置或安全装置失灵。如水封回火防止器缺水爆炸等。

c．发生器罐体或胶管连接处漏气。

d．发生器的加料机构或调节机构等运动部分的机件，互相摩擦碰撞，产生火花。

（2）操作失误

a．在装换电石时遇着明火。

b．未按时换水或灌水量不足，造成电石过热。

c．在发生器罐内或胶管中，形成了乙炔与空气（或氧气）的混合气。这类错误操作较为常见。例如在加料后，未将发气室内的乙炔与空气混合气排净，即给焊割炬点火；用氧气胶管吹除乙炔胶管的堵塞物，致使氧气进入罐内；在更换电石和工作结束后，有些焊工盖上盖子后就将发生器里的水放掉，使空气进入罐内，形成乙炔与空气混合气，等等。

d．操作过程中发生回火。

（3）乙炔发生器主罐的压力和温度过高。

（4）电石质量差，如电石含磷过多，颗粒太细或含有硅铁等。

（5）安全管理不善，安全操作规章制度不健全、工作现场管理混乱，非气焊与气割工操作使用乙炔发生器等。

2. 乙炔发生器事故类型

（1）加料时的爆炸事故

a．加料时发生的事故一般是乙炔——空气混合气的燃烧爆炸。这类事故通常都发生于发气室内。但有些发生器的发气室与贮气室相互连通，或虽然设有逆止阀但已失灵，就会使

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

发气室的爆炸波传到贮气室，引起贮气室的爆炸。

b．加料时爆炸事故往往是由于电石含磷过多或含有硅铁，当电石篮同器壁摩擦碰撞产生火星，或有其它明火而引起发气室内乙炔与空气混合气的燃烧爆炸。

（2）换料时的爆炸事故　换料时往往由于电石过热，或遇到其它明火，引起发气室内乙炔—空气混合气的燃烧爆炸。

（3）回火的爆炸事故　在焊接操作过程中发生的这类事故有两种情况：一种是加料后工作刚开始时，乙炔—空气混合气的爆炸；另一种是工作过程中发生的乙炔—氧气混合气的爆炸。回火的爆炸事故可能将回火防止器炸坏，当回火防止器与贮气室之间，以及贮气室与发气室之间的逆止装置失灵时，还可能将贮气室和发气室炸坏。

7.2.3.2　乙炔发生器设计制造的安全要求

1．设计安全要求

每台乙炔发生器，不论其工作原理和结构形式如何，都应符合下列安全基本要求：

（1）发生器的构造应当保证能使器内的所有空气在重装电石之前完全排放出来。

（2）应设置必要的安全装置。例如回火防止器、安全阀、爆破片、压力表。水位计和温度计等。而且安全装置的设置部位应符合安全要求。

（3）保证良好的冷却条件。发生器必须有足够冷却水量，根据条件许可，应尽可能让电石在大量水中分解。

在电石分解区，水的温度不得超过60～80℃。滴水式、排水式和浸离式发生器发气室的温度均不得高于70～90℃；从发气室输出的乙炔温度不得高于40℃；当工作地周围环境的温度超过40℃时，允许输出的乙炔温度比工作环境的气温高10℃。

（4）发生器的结构应保证其运动部件不得在工作时因碰撞、摩擦而引起火花的现象。

2．乙炔发生器的安全设计

中压乙炔发生器属于压力容器，它的设计计算和制造应参照国家劳动总局颁布的《压力容器安全监察规程》的有关规定。这里着重根据乙炔发生器的工作特点论其设计的安全性。

（1）主罐体壁厚　发生器的安全运行是依靠各种安全装置来保证的。

主罐体钢板厚度主要由发生器的刚性、使用强度和寿命等因素来确定。发生器的最高工作压力取1.5kgf/cm²，设计压力通常为最高工作压力的2.5倍，按下列公式计算罐体钢板厚度。

$$S=\frac{pD_1}{2[J]\phi-p}+C$$

式中　S——主罐体钢板厚度，mm；

p——设计压力（kgf/cm²），取2.5倍工作压力；

D_1——罐体内径，mm；

$[J]$——许用应力，取1270kgf/cm²；

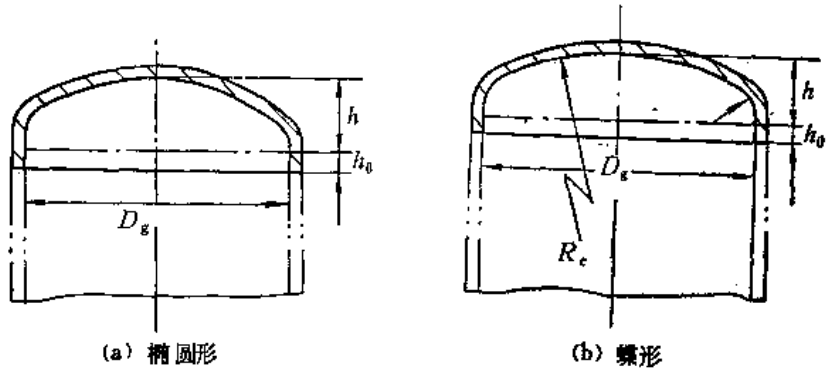
ϕ——焊缝系数，取0.6；

C——壁厚附加量，$C=C_1+C_2$，C_1为钢板的负偏差，按表7-6选取；C_2为根据介质的腐蚀性和容器使用寿命而定的腐蚀裕量，取≥1mm。

（2）罐体封头壁厚　乙炔发生器罐体封头采用椭圆形封头或碟形封头，如图7-1所示。椭圆形封头壁厚按下式计算：

表 7-6 钢板负偏差C_1值

钢板厚度	负偏差 C_1	钢板厚度	负偏差 C_1	钢板厚度	负偏差 C_1
2.0	0.18	3.8～4.0	0.3	32～34	1.0
2.2	0.19	4.5～5.5	0.5	36～40	1.1
2.5	0.2	6～7	0.6	42～50	1.2
2.8～3.0	0.22	8～25	0.8	52～60	1.3
3.2～3.5	0.25	26～30	0.9		



(a) 椭圆形　　(b) 蝶形

图 7-1 罐体封头

D_g—封头内径；h—封头内壁曲面高度；R_c—碟形封头曲面半径；r—过渡圆弧半径

$$S=\frac{pD_gK}{2[\sigma]^t\Phi-0.5p}+C$$

式中 S——封头壁厚，mm；

p——设计压力，取2.5kgf/cm²；

D_g——封头内径，mm；

$[\sigma]^t$——设计温度下材料的许用应力，取1270kgf/cm²；

Φ——焊缝系数，取0.6；

K——椭圆形封头形状系数；

$K=\frac{1}{6}\left[2+\left(\frac{D_g}{2h}\right)^2\right]$，其值列于表7-7；

h——封头内壁曲面高度，mm。

对于标准椭圆形封头$K=1$，其壁厚按下式计算：

$$S=\frac{pD_g}{2[\sigma]^t\Phi-0.5p}+C$$

碟形封头壁厚按下式计算：

$$S=\frac{MpR_c}{2[\sigma]^t\Phi-0.5p}+C$$

式中 M——碟形封头形状系数（见表7-8）；

R_c——碟形封头球面半径，mm；

$$M=\frac{1}{4}\left(3+\sqrt{\frac{R_c}{r}}\right),$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 7-7 椭圆形封头形状系数K值

$\frac{D_g}{2h}$	K	$\frac{D_g}{2h}$	K	$\frac{D_g}{2h}$	K
2.6	1.46	2.0	1.00	1.4	0.66
2.5	1.37	1.9	0.93	1.3	0.61
2.4	1.29	1.8	0.87	1.2	0.57
2.3	1.21	1.7	0.81	1.1	0.5
2.2	1.14	1.6	0.76	1.0	0.5
2.1	1.07	1.5	0.71		

表 7-8 碟形封头形状系数M值

$\frac{R_o}{r}$	M	$\frac{R_o}{r}$	M	$\frac{R_o}{r}$	M
1.0	1.00	3.00	1.18	6.5	1.39
1.25	1.03	3.25	1.20	7.0	1.41
1.50	1.06	3.50	1.22	7.5	1.44
1.75	1.08	4.0	1.25	8.0	1.46
2.0	1.10	4.5	1.28	8.5	1.48
2.25	1.13	5.0	1.31	9.0	1.50
2.50	1.15	5.5	1.34	9.5	1.52
2.75	1.17	6.0	1.36	10.0	1.54

r ——过渡圆弧曲率半径，mm。

7.2.3.3 安全装置

乙炔发生器的安全装置包括有：

（1）阻火装置——其作用是发生回火时防止火焰窜入贮气罐和主罐，或阻止火焰在乙炔管道内的扩展。例如水封或干式回火防止器。

（2）防爆泄压装置——其作用是发生器的压力升高超过一定限值时，或是发生爆炸而产生压力时，能及时地自动泄出气体，降低压力，从而防止发生器罐体的破裂。如安全阀、爆破片等。

（3）指示装置——其作用是显示乙炔的压力，水和乙炔的温度及水量，例如压力表、温度计和水位指示器等。

1. 回火防止器

（1）基本要求　回火防止器是发生器必不可少的安全装置。对回火防止器的基本要求是：

a．能够可靠地阻止火焰和爆炸波的传播，并且把爆炸混合气排泄到大气里去；

b．能满足焊接工艺的要求，不影响火焰温度、气体流量等；

c．具有泄压装置；

d．在发生回火时能自动地切断气源。

（2）结构形式　目前用于发生器的回火防止器结构形式很多，它们的安全性能和效果也有所不同。

a．低压水封回火防止器。图7-2所示为一种安全性能较好的低压水封式回火防止器的结构。当发生回火，器内压力增大时，器内的水即封住进气管 6，阻止火焰进入乙炔发生器

内。同时，爆炸混合气体和火焰从注水管3上部的孔板2排出。为避免工作时乙炔气泄出，要求进水管的高度与发生器的工作压力相适应。

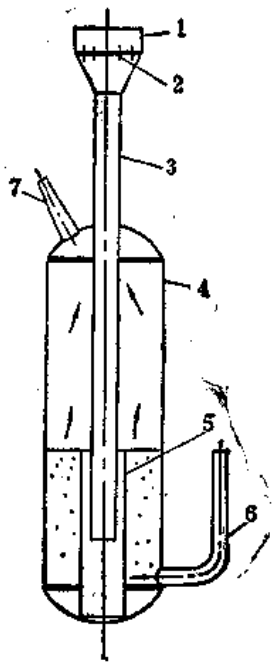


图 7-2 低压水封式回火防止器

1—加水漏斗；2—孔板；3—注水管；4—器体；5—挡气管；6—进气器；7—出气器

b．中压水封回火防止器。图7-3所示为一种安全性能较好的中压水封式回火防止器。它主要是通过器体底部的球体逆止阀8和水封阻止火焰进入发生器内。顶部有足够面积的泄压孔2，当发生回火爆炸时能及时泄出爆炸压力，并能自动切断气源。

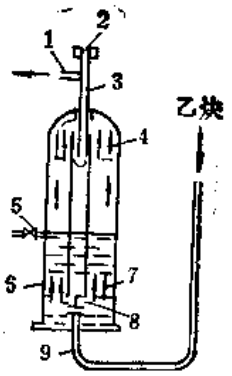


图 7-3 中压水封式回火防止器

1—出气管；2—爆破片；3—分水管；4—分水板；5—水位阀；6—筒体；7—分气板；8—逆止阀；9—进气管

图7-4所示为几种不安全的回火防止器。图中a、b、c、d四种的进气管插入水中深度很浅，回火时不能起水封阻火作用，特别是在水量不足条件下使用时，根本不能隔爆和阻止火焰的蔓延，因此是不安全的。

c．干式回火防止器。目前正在推广的以粉末冶金片和陶瓷微孔管为阻火元件的干式回火防止器，其安全性能较好，能有效阻止回火，并能同时切断气源，适合于易燃爆环境的室内使用。它还具有不受气候条件限度，不会冻结，体积小、重量轻和操作方便等优点。但也有结构复杂、阻火元件易堵塞等缺点，有待进一步改进。如发现堵塞时，可将阻火元件浸于丙酮中清洗，并用压缩空气吹干。

（3）设计计算 水封回火防止器的设计计算主要是确定结构的基本尺寸，以便在保证安全的同时能满足焊接工艺的要求（例如乙炔的流量、带水量等）。回水防止器设计制造的安全可靠性需经过回火爆炸试验鉴定。它的主要计算如下。

a．罐体内径（参见图7-5）。

$$D=\sqrt{\frac{Q\times10^6}{0.785\times3600\,V}}=18.8\sqrt{\frac{Q}{V}}$$

式中 D——罐体内径，mm；

Q——气体消耗量，m^3/h；

V——罐体中气体平均速度，m/s；

开口型 $V=0.04\sim0.1$m/s

密闭型 $V=0.07\sim0.2$m/s

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

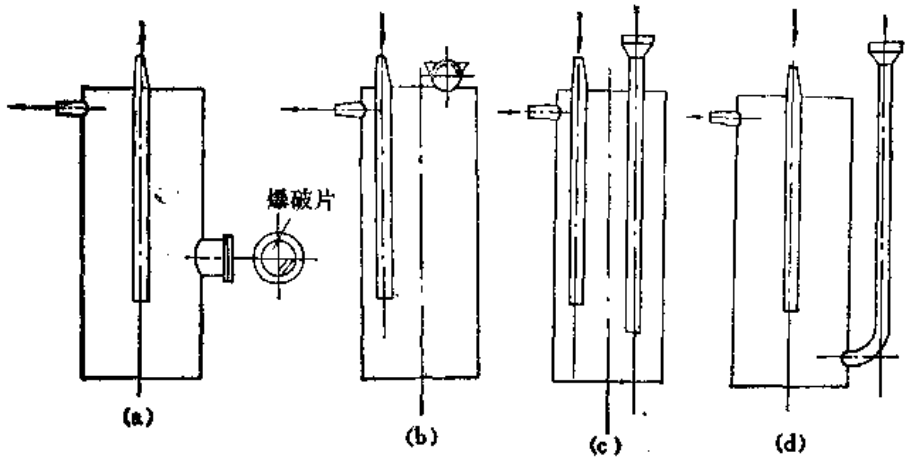


图 7-4 几种不安全的回火防止器

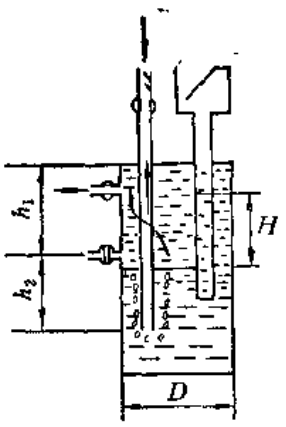


图 7-5 水封回火防止器基本尺寸

b．导气管内径

$$d_1 = 18.8\sqrt{\frac{Q}{V_1}}$$

式中 d_1——导气管内径，mm；

V_1——导气管中气体的平均速度，m/s；

开口型$V_1 = 0.02 \sim 0.2$m/s

密闭型$V_1 = 2 \sim 10$m/s

c．罐体壁厚。罐体壁厚的设计压力是根据乙炔爆炸时的压力来考虑的。即乙炔爆炸的压力将提高10～13倍；$p = (1 + 1.5) \times 13 = 31.5\text{kgf/cm}^2$。

闭合型：

$$b = \frac{pD}{2[T]\phi - p} + C$$

式中 b——罐体壁厚，mm；

p——设计压力，取31.5kgf/cm²；

$[T]$——许用应力，取1270kgf/cm²；

ϕ——焊缝系数，取0.6；

C——壁厚附加量，取0.5mm

开口型：

$$b = \left(\frac{1}{180} \sim \frac{1}{71}\right)D$$

d．罐中水室高度h_1(mm)

开口型：$h_1 = (0.45 \sim 1.3)D$

密闭型：$h_1 = (1.85 \sim 3)D$

在选择开口型的h_1值时，应保证当罐体中一部分水排到安全管中，其高度达到与罐里气体最高压力对应的H值时（见图7-6），罐体中的水平面仍然要高于安全管的下端面。

e．罐中气室高度h_2。

为保证把乙炔所带走的小水珠充分地分离出来，气室高度选择如下：

开口型 $h_2=(1\sim3.5)D$

密闭型 $h_2=(1.1\sim3.8)D$

式中较小的数值适用于具有分气或分水装置的罐体。

f．气体分配板的孔径

$$d_0=18.8\sqrt{\frac{Q}{V_0z}}$$

式中 d_0——气体分配板的孔径，mm；

V_0——孔中气体的许用平均速度，取2.5～7m/s；

z——分配板的孔数。

g．安全管内径。当安全管与导气管同心安置时：$d_3=(1.4\sim1.5)d_2$。

式中 d_3——安全管内径，mm。

d_2——导气管外径，mm。

当安全管与导气管并排安置时：$d_3=(0.8\sim1.2)d_2$

（4）使用安全 水封式回火防止器的使用应注意下列安全要求：

a．器内水量不得少于标定水位。水位也不适宜过高，以免乙炔带水过多，影响火焰温度。每次发生回火后应随时检查水位并补足水量。回火防止器使用时应垂直挂放。

b．乙炔气容易产生带粘性油质的杂质，因此应经常检查逆止阀的密封性。

c．岗位回火防止器只能供一把焊炬（或割炬）使用。

d．使用前应先排净器内乙炔与空气的混合气。

e．冬季使用时，工作结束后应把水全部排出、洗净、以免冻结。如发现冻结现象，只能用热水或蒸汽解冻，严禁用明火或红铁烘烤。

2．乙炔发生器的爆破片

（1）泄压原理 在发生器的发气室，贮气室和回火防止器等罐体的适当部位设置一定面积的脆性材料（如铝箔片等），构成薄弱环节。当爆炸发生时，这些最薄弱处在起爆后较小的爆炸压力作用下，将首先遭受破坏，将大量气体和热量泄入大气，爆炸压力也就很难再度继续升高，从而保住容器的主体，避免设备遭受更大损失和在场人员遭受伤亡。

（2）爆破片面积计算 爆破片的面积可由下式计算：

$$S=fV$$

式中 S——爆破片面积，cm^2；

f——泄压系数，cm^2/L；

V——设备的气空间，L。

泄压系数同发生器各气室的空间体积，以及这一空间内混合气的成分有关。根据对产气量为$1m^3/h$发生器的试验，并分别在3、5、$10m^3/h$等发生器的验证结果，其泄压系数分别如下：

用乙炔——氧气混合气作爆炸试验时，贮气室、岗位回火防止器为6。

发气室应用乙炔——空气混合气作爆炸试验，其泄压系数为2～4。

对于产气量为5～$10m^3/h$的乙炔发生器，随着罐体壁厚的增加及其强度和刚性的增大，其泄压系数可适当缩小。

为保证在不利条件下能把爆炸气体安全泄出，气空间应按最大容积（即包括容器的气空间和液体所占空间）来计算。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

对于容积大于300L的罐体，其爆破片面积的选用，应当通过爆破试验来确定。

（3）爆破试验　回火防止器及贮气罐爆破片面积的大小是否合理和安全可靠，应以乙炔与氧气按1:1混合，压力为1kgf/cm²进行爆炸试验时，能把容器里的过压释放掉，而且罐体不会产生破裂飞溅物为准。主罐的爆破片应以混合比为7～13%的乙炔与空气混合气发生爆炸时，能把过压释放掉而不会使罐体破裂及产生飞溅物为准。

（4）爆破片材料　发生器工作时，爆破片需在长期承受工作压力、温度的作用和气体的腐蚀下保证设备的气密性，而且遇到爆炸增压时必须立即破裂。这就要求爆破片材料要有足够的强度，以承受工作压力（一般在1.5kgf/cm²以下）；良好的耐热、耐腐蚀性；同时应具有脆性，当受到爆炸波冲击时，易于破裂；厚度要尽可能地薄，但密封性要好。

目前用于发生器的爆破片材料有铝箔片和橡胶片等。比较起来，用铝箔片作爆破片比较理想。它的特点是延伸性和弹性都小，脆性大；并有足够的强度，厚度0.1mm的铝箔片破裂压力为1.8～2.5kgf/cm²，使用寿命长；气密性好。

（5）爆破片厚度　泄压孔直径小于100mm时，可采用厚度为0.1mm的铝箔片；孔径为100～300mm时，应采用0.2mm厚的铝箔片，以便消除爆破片发生鼓包变形现象。同时可以在铝箔片上刻划刀痕或滚花，以减弱爆破片的破裂强度，保证在发生爆炸时及时破裂。

3. 乙炔发生器的安全阀

（1）作用　安全阀亦称泄压阀，它的作用是保证中压乙炔发生器的压力升至1.5kgf/cm²时能自动开启，把罐内乙炔放出一部分，以保证不超压运行。从而实现自动控制乙炔压力在安全规定范围内。

（2）结构　一般采用弹簧式安全阀，其结构如图7-6所示。它是利用乙炔压力与弹簧压力之间的压差变化来达到自动开启或关闭的要求。调节螺栓5用来调节弹簧1的压力。

（3）维护　为使安全阀经常保持灵敏有效，应定期作排气试验，防止排气管、阀体及弹簧等被乙炔气流中的灰渣、粘性杂质及其它脏物粘结堵塞。应经常检查是否漏气或不停地排气等现象，并及时检修。禁止采取拧紧调节螺栓、甚至用铁丝捆死阀门、或其它使安全阀失效的错误作法来消除泄漏。

（4）泄漏原因　安全阀泄漏的原因一般是密封面被腐蚀或磨损而产生凹坑沟痕；阀芯与阀座的同心度由于安装不正确或其它原因而被破坏，以及安全阀装配质量不好等。

4. 乙炔压力表

（1）作用　纯乙炔的分解爆炸与压力有关。中压乙炔发生器必须装设压力表，以便直接指示罐体内部的乙炔压力值。

（2）维护　压力表应保持洁净，表盘上的玻璃应明亮清晰，指针所指示的压力值能清楚易见。如果表盘玻璃破碎或刻度模糊，则应停止使用；压力表的连接管要定期吹洗，以防堵塞；经常检查指针转动后能否正常退回零位；压力表必须定期检验，超过应校期限的压力表应停止使用。

此外，乙炔发生器的温度计应使用酒精温度计，禁止使用水银温度计。

7.2.3.4　安全试验

凡是生产、自制及经过事故大修的乙炔发生器，在出厂或使用前必须经过安全性能检验合格。主要试验内容如下。

1. 静压试验

静压试验包括水压试验和气密试验。其目的是检验发生器在最大工作压力下的耐压强度

和气密性。

（1）水压试验　发生器主罐和贮气罐应分别进行水压试验。试验压力为3kgf/cm²，水温不低于5℃。进水时要将罐体内空气完全排除，使水充满被试容器整个空间。试验用的压力表量程为5kgf/cm²，试验时压力应缓慢上升，达到规定的压力后，需保持10分钟，并检验所有焊缝和连接部位。如有渗漏破裂，应修补后重新试验。

（2）气密性试验　必须在发生器桶体水压试验合格后，整体组装成套进行。试验压力为1.05kgf/cm²，达到此压力后保持10分钟，在焊缝和连接部位涂抹肥皂水进行泄漏试验。1m³/h以下的发生器可浸入水中检验。如发现有泄漏，修补后重新进行试验。

2．爆破试验

（1）试验目的

a．静压试验合格后进行爆炸试验的目的，是模拟回火发生的条件，检验回火防止器的阻火性能是否可靠；

b．一旦回火防止器失灵时，泄压膜等安全装置能否及时泄出爆炸压力；

c．在泄压过程中发生器能否经受爆炸压力波的冲击，即能否保证发生器本体不受损坏和没有零件断裂飞出。

（2）试验项目

a．单项试验：分别对回火防止器、贮气罐和发生器主罐进行回火爆炸试验。试验结果如罐体完好，无明显变形、破裂，没有附件断裂、零件飞出等现象，即为合格。

b．组合整套试验：单项试验合格后对整套发生器作回火爆炸试验，如试验后整套发生器完好，回火防火器能起阻止火焰传播的作用，即认为合格。

（3）试验方法　人工回火爆炸试验是检验发生器安全性能的有效方法。试验现场的布置如图7-7所示。其试验步骤为

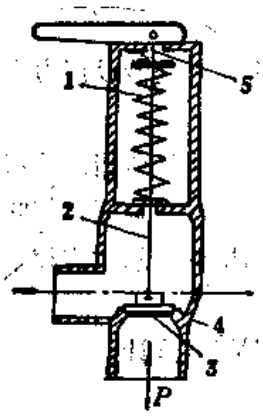


图 7-6　弹簧式安全阀

1—弹簧；2—阀杆；3—阀芯；4—阀座；5—调节螺栓

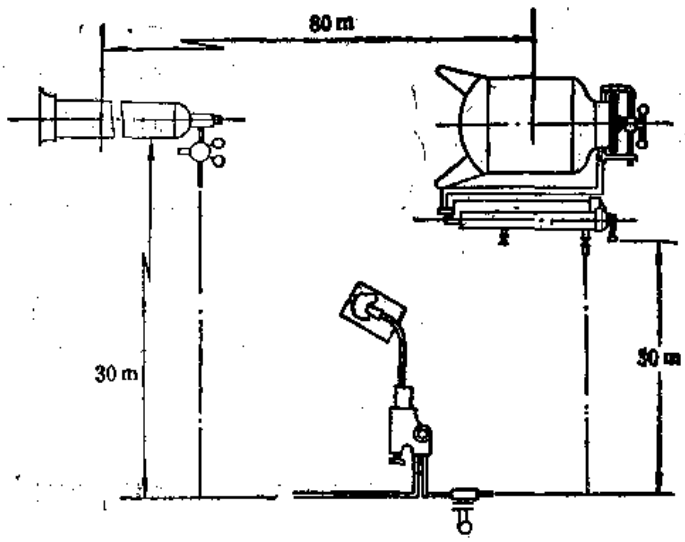


图 7-7　乙炔发生器爆炸试验现场布置示意图

a．分别把发生器的压力调节到400mmH₂O（低压发生器）或1.0kgf/cm²（中压发生器），氧气压力调节到3～5kgf/cm²。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

b．把氧气通过焊嘴充入乙炔胶管，使乙炔压力从400mmH_2O增到1000mmH_2O，或从1.0kgf/cm²增到1～1.2kgf/cm²。

c．充入氧气后稍停几分钟，使罐内气体均匀混合。

d．点火引爆。引爆有两种方法，一是点燃焊炬，强迫火焰烧入焊炬回火引爆，这种方法与实际操作中的回火条件相似。另一种方法是采用电源引爆，把点火源（电炉丝）预设在容器的适当部位，由外界电源加热电炉丝引爆，操作较方便安全。

e．发气室一般采用乙炔——空气混合气作爆炸试验，因为发气室在装换电石时易滞留乙炔——空气混合气，并常因电石过热、回火或其它明火而发生着火爆炸。

f．中压乙炔发生器试爆后，还应检查罐体内桶的焊缝有无开裂泄漏或变形等现象。

g．一般参观人员不得在爆炸试验刚结束时立即进入现场，以防在放水后的二次爆炸。

7.2.3.5 乙炔发生器使用安全

发生器的操作人员必须是受过专门训练，熟悉发生器的结构、作用及维护规则，并经安全技术考试合格者。发生器的使用需注意下列安全要求。

1．布置原则

（1）移动式发生器可以安置在室外，也可以安置在通风良好的室内。但禁止安置在锻工、铸工和热处理等热加工车工和正在运行的锅炉房等。固定式发生器应布置在单独的房间或专用棚子内。

（2）乙炔发生器不应布置在高压线下和吊车滑线下等处。

（3）不准靠近空气压缩机、通风机的吸口处、避雷针接地导体附近以及停放在可能成为电气回路的轨道、金属构件上。

（4）应注意防止可能由高处（例如烟囱、高空作业点等）飞出的烟火及坠落物件的打击。

（5）乙炔发生器与明火、散发火花地点、高压电源线、吊车滑线及其它热源应保持水平距离10m以上。

（6）不准安放在剧烈震动的工作台和设备上。

（7）夏季使用移动式发生器时严禁在烈日下曝晒。

2．使用前的准备工作

（1）首先应检查发生器的安全装置、管路阀门和操纵机构等，在确认正常后才能灌水和加电石。

（2）灌水必须按规定装足水量，并且灌入的水位是没有任何油污或其它杂质的洁净水。

（3）装电石时应根据各类发生器要求的定量来装，不能装的过满，因为电石分解后变成熟石灰，体积会增大一倍多。尤其对滴水式或滴水与排水联合式发生器更需注意，如果装得过多，分解时熟石灰体积膨胀，会堵塞进水管和夹层等处，将导致发气室的乙炔压力激增，或电石因过热燃烧，而使发气室炸裂，或电石篮拔不出来等事故。

（4）电石的粒度必须符合发生器说明书上的规定，前面已有评述。

（5）冬季使用发生器时如发生冻结，只能用热水或蒸汽解冻，严禁用明火或烧红的铁烘烤，更不准用铁器等易产生火花的物体敲击。

3．乙炔发生器的起动

（1）发生器起动前要检查回火防止器的水位等，待一切正常后，才能打开进水阀给电

石送水，或通过操纵杆让电石篮下降，与水接触产生乙炔。

（2）应注意检查（观察）压力表、各处接头及安全阀等是否正常。

（3）起动后压力表的读数可能过快上升，甚至有气体从安全阀逸出，或者在起动后压力表的指针仍静止留在零位。这些都说明发生器的运行不正常，必须立即停气，待检查并排除故障后，方可重新起动。

（4）冬季使用时，中压移动式发生器有时在起动数分钟后，压力表的指针仍静止不动，这是由于电石在温度很低的冷水中分解慢的缘故，而不一定是故障。

4. 运行中的管理与维护

（1）在供气使用前应排放发生器内留存的乙炔与空气混合气。

（2）在运行期间应随时检查发生器各部位，一旦发现漏气、水位不符合要求或安全装置失灵等，应及时采取措施解决，否则不允许使用。

（3）发生器应由受过培训的人员管理。

（4）运行过程中的清除电石渣工作，必须在电石完全分解后进行。滴水式发生器如发现有水从发气室排水门溢出，而压力表静止不动，则表示电石已完全分解，此时可以清渣。

（5）发生器内水温超过70℃时，应该灌注冷水，或暂时停止工作，采取冷却措施使温度下降。不可随便打开发生器和放水等，防止因电石过热引起着火和爆炸。

5. 停用时的清理工作

（1）发生器停用时应先将电石篮提高脱离水面，或关闭进水阀使电石停止发气。然后再关闭出气管阀门，停止乙炔输出。开盖取出电石篮后应排渣和清洗干净。

（2）工作结束（包括换电石时）打开发生器盖子时，若发生着火，应立即盖上盖子，使隔绝空气，并立即提升电石篮离开水面，待冷却降温后，才能再开盖和放水。禁止在盖上盖子后，随即放水。以免乙炔与空气的爆炸性混合气，构成化学性爆炸的条件。

（3）冬季在露天作业完毕后，必须将发生器各罐体的水和电石渣全部排出，冲洗干净，以免冻结。

7.2.4 气焊常用气瓶

用于气焊与气割的氧气瓶属于压缩气瓶，乙炔瓶属于溶解气瓶，液化石油气瓶属于液化气瓶。

7.2.4.1 氧气瓶

氧气瓶是用于贮存和运输氧气的高压容器。瓶内要灌入压力为150kgf/cm²的氧气。

目前我国生产的氧气瓶规格见表7-9。

表 7-9 氧气瓶规格

瓶体表面漆色	工作压力 (kgf/cm²)	容积 (L)	瓶体外径 (mm)	瓶体高度 (mm)	重量 (kg)	水压试验压力 (kgf/cm²)	采用瓶阀
天蓝	150	33 40 44	φ219	1150±20 1137±20 1490±20	45±2 55±2 57±2	225	QF-2 铜阀

1. 发生爆炸事故的原因

氧气瓶的爆炸事故大多属于物理性爆炸，其主要原因有：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（1）氧气瓶的材质、结构和制造质量不符合安全要求，例如材料脆性、瓶壁厚薄不匀，有夹层等。

（2）在搬运装卸时，气瓶从高处坠落、倾倒或滚动，发生剧烈碰撞冲击。

（3）由于保管不善，瓶体受严重腐蚀，或使用时受日光曝晒、明火、热辐射等作用，致使瓶温过高，压力剧增。

（4）开气速度太快，氧气含有的水分、锈皮等微粒高速流动时产生的静电火花。

（5）气瓶的瓶阀由于没有瓶帽保护，受振动或使用方法不当等，造成密封不严、泄漏，甚至瓶阀损坏，高压气流冲出。

（6）氧气瓶混入其它可燃气体。

（7）瓶阀、阀门杆或减压器等粘附油脂。

2. 安全措施

（1）氧气瓶在出厂前必须按照《气瓶安全监察规程》的规定，严格进行技术检验。检验合格后，应在气瓶肩部的球面部分作明显的标志，标明瓶号，工作压力和试验压力，下次试压日期、检验员的钢印、工厂技术检验部门的钢印，瓶的容量和重量、制造工厂和制造年月等。使用过程中须定期对气瓶作技术检验。

（2）充灌氧气瓶时，必须先进行外部检查，并要化验瓶内气体成分，不得随意充灌。充灌时，气体流速不要过快，以免造成气瓶过热、超压。

（3）在运输、贮存和使用过程中，应避免气瓶受剧烈振动和冲击。严寒季节，金属材料在低温下易发生脆裂而引起爆炸事故。

搬运气瓶时，必须使用专门的抬架或小推车，不得直接用肩扛或手抬。要轻装轻卸，严禁从高处滑下或在地面上滚动。禁止用起重电磁吸盘直接吊运钢瓶。禁止对充气实瓶进行喷漆等。

气瓶在运输和贮存过程中必须戴有瓶帽和瓶护圈，防止摔断瓶阀，造成事故。

（4）预防氧气瓶直接受热。夏季用车辆运输或在室外使用气瓶时，应加以遮盖，避免阳光曝晒。气瓶库房和气瓶使用时，应远离高温、明火、熔融金属飞溅物和可燃易爆物质等，一般规定相距10m以上。

（5）氧气瓶使用时，首先要作外部检查，检查的重点是瓶阀、接管螺纹和减压器等是否有缺陷。如发现有漏气、滑扣、表针动作不灵或爬高等，应及时报请维修，切忌随便处理。禁止带压拧紧瓶阀的阀杆、调整垫圈等。检查是否漏气时应用肥皂水，不得使用明火。

（6）与电焊作业在同一工作地段使用的气瓶瓶底应垫绝缘物，以防气瓶带电。

（7）冬季使用气瓶时，瓶阀或减压器可能出现结霜现象，这是由于高压气体从钢瓶排出时，吸收瓶体周围空气中的热量，而使温度降低的缘故。可用热水或蒸汽解冻，或红外线加热，严禁使用火焰烘烤或用铁器敲击瓶阀，也不能猛拧减压器的调节螺丝，以防气体大量冲出，造成事故。

（8）气瓶不得沾附油脂。焊工不得用沾有油脂的工具、手套或油污工作服去接触氧气瓶阀，减压器等。

3. 氧气减压器的安全使用规则

减压器（俗称氧气表）是调节气瓶压力和保证稳定供气不可缺少的重要附件。用于氧气和各种可燃易爆气体气瓶的减压器，容易发生着火、爆燃和器体熔孔烧损等事故，因此，必须正确操作和维护。

各种减压器的外表都漆有与气瓶相同的颜色标志。对于各类气瓶还用不同的螺纹连接(如左旋或右旋螺纹）方式加以区别。常用减压器的型号和技术性能见表7-10。

表 7-10 减压器型号及性能

型号	名称	最高工作压力 (kgf/cm²)	调节范围 (kgf/cm²)	公称流量 (m³/h)	出口孔径 (mm)	配套压力表规格 (kgf/cm²)	连接螺纹	重量 (公斤)	用途
QD-1	单级氧气减压器	150/25	1～25	80	6	0～250/0～40	G5/8″	4	瓶用
QD-2A	单级氧气减压器	150/10	1～10	40	5	0～250/0～16	G5/8″	2	
QD-3A	单级氧气减压器	150/2	0.1～2	10	3	0～250/0～4	G5/8″	2	
QD-50	双级氧气减压器	150/25	5～25	220	9	0～250/0～60	G1″	9	管道用
QY9-25/10	单级氧气减压器	25/10	1～10	40	5	—/0～16	G5/8″	1.5	
QY11-150/15	双级氧气减压器	150/15	1～15	100	6	0～250/0～25	G5/8″	5.8	
QD-20	单级乙炔减压器	16/1.5	0.1～1.5	9	4	0～25/0～2.5	乳篮	2	瓶用
QW5-25/0.6	单级丙烷减压器	25/0.6	0.1～0.6	6	5	—/0～1	G5/8″左	2	

氧气减压器的安全要求：

（1）氧气表出厂前，要用高压氧气作严格的安全性能检验。

（2）安装氧气表之前要稍打开氧气瓶阀，吹除瓶嘴污物，以防灰尘和水分带入氧气表。人体应避开气瓶阀嘴的开启方向。

（3）装卸氧气表时必须注意防止管接头丝扣滑牙，以免旋装不牢而射出。

（4）拧开氧气瓶阀和氧气表时，动作必须缓慢，开启太快，由于高压气流的冲击将使表体局部空间的气体受到绝热压缩而造成温度剧增，导致表体烧穿。

根据计算氧气瓶在常温15℃，压力为100kgf/cm²时，氧气表内的氧气受绝热压缩后的温度可达821℃。

（5）氧气表在使用过程中应经常检查其性能是否正常，如发现有故障时应立即报请维修，切忌随便处理。氧气表常见故障及其防止措施见表7-11。

（6）修理氧气表时，应将表体充分洗净，最好采用高效洗净机械（如超声波洗净器)。用溶剂清洗时，应使残留溶剂彻底干燥。常用的有机溶剂有四氯化碳、氟里昂-113等。酒精不宜用作脱脂溶剂，因为它不能确保必须的净化程度。氧气表阀盘中所用的橡胶或其它衬垫材料，一定要用氧气表制造工厂规定的材料（耐高温、抗氧化性能好）。修理时不能随便换用一般材料。

（7）氧气表出厂检验、定期校验和修理时的校验，多采用甘油、液体石蜡作为试压介质，而甘油加热到160～180℃时，液体石蜡加热到390℃时即会发生燃烧。所以试压后必须将表体彻底洗净。当用水作为试压介质时，试压后应彻底烘干，否则残留的水迹会使表的内部生锈。此外，有些氧气表壳内壁还留有型砂或加工后残余的小毛刺、细屑等。这些微粒在随同氧气高速流动时，往往会因摩擦和撞击而成为火灾的诱因。

4. 液态氧贮罐使用安全

在气焊和气割工艺中一般直接采用瓶装气态氧。由于液态氧具有贮存和运输方便等优点，亦有用固定式罐贮存液态氧的。液态氧在进入焊割工具之前，需预先使其蒸发变为气体，才能使用。液态氧贮罐应采取下列安全措施：

（1）贮罐应放置在不可燃材料建造的地面上，在0.9m范围内不准铺设柏油及沥青路

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 7-11 减压器常见故障及防止措施

常见故障	故障原因及部位	防止措施及修理
减压器漏气	减压器连接部分漏气，螺纹配合松动或垫圈损坏	① 拧紧螺丝； ② 更换新的钢纸垫圈或加石棉绳
	安全阀漏气； 活门垫料损坏或弹簧变形	① 调整弹簧； ② 更换活门垫料（青钢纸和石棉绳）
	减压器上盖薄膜损坏或未拧紧，造成漏气	① 更换橡皮薄膜； ② 拧紧丝扣
减压器表针爬高(自流)	调节螺杆松开后，气体继续流出，低压表针继续上升，原因是： ① 活门或门座上有污物； ② 活门密封垫或活门座不平（有裂纹）； ③ 回动弹簧损坏，压紧力不够	将活门螺丝松开，取出活门进行检查，按损坏情况处理： ① 将活门污物去净； ② 将活门不平处用细砂布磨平，如果有裂纹要换新的； ③ 调整弹簧长度
打开氧气瓶时，高压表表针已表示有氧，但低压表不动作或动作不灵敏	调节螺杆已拧到底，但工作压力不升或升得很少，其原因是调压弹簧损坏或传动杆弯曲	拆开减压器盖，更换调压弹簧和传动杆
	工作时氧气压力下降，或表针有剧烈的跳动，说明减压器内部冻结	用热水加热解冻后，把水分吹干
	低压表已升到工作压力，但使用时突然下降，说明氧气瓶阀门没全打开	继续打开氧气阀门

面，放置贮罐的地面如有坡度，应有防止漏出的液氧流散的措施。否则流散的液氧遇油脂即会发生爆炸。

（2）在贮罐周围30m内不得有任何明火和可燃物。

（3）贮罐的保温材料不得随便用有机物替换。

（4）必须定期分析液氧中乙炔的浓度，控制在0.5ppm以下。否则，由于液氧的不断耗用，贮罐内的乙炔浓度就会提高，有引起火灾和爆炸的危险。

（5）经常检查并保持压力计和安全阀的可靠性。

（6）工作过程中应注意避免液氧粘附在工作服和皮肤上。

7.2.4.2 乙炔瓶

1. 乙炔瓶

乙炔瓶是一种贮存和运输乙炔用的压力容器，在15℃时的充装压力为15.5kgf/cm²，水压试验压力为60kgf/cm²。瓶体外表面漆白色，并标注红色的“乙炔”和“火不近”字样。与乙炔发生器比较，乙炔瓶安全性较好。在国内乙炔瓶有逐步取代移动式乙炔发生器的趋势。乙炔瓶的公称容积和直径，按表7-12选取。对乙炔瓶的使用还应注意有关的安全要求。

表 7-12 乙炔瓶公称容积和直径

公称容积（L）	≤25	40	50	60
公称直径（mm）	200	250	250	300

2. 发生着火爆炸的原因

（1）与氧气瓶的（1）～（4）条相同。

（2）乙炔瓶内填充的多孔物下沉，产生净空间。

（3）乙炔瓶处于卧放状态，或大量使用乙炔时丙酮随流出。

（4）乙炔瓶阀漏气等引起的爆炸着火事故。

3. 安全措施

（1）同氧气瓶的（1）～（5）条安全要求（其中有关气瓶的出厂检验，应按照《溶解乙炔瓶安全监察规格》的规定。

（2）使用乙炔瓶时，必须配用合格的乙炔专用减压器和回火防火器。

（3）瓶体表面温度不得超过40℃。瓶温过高会降低丙酮对乙炔的溶解度，导致瓶内乙炔压力急剧增高。在使用过程中要经常用手触摸瓶壁，如局部温度升高超过40℃（会有些烫手），应立即停止使用，在采取水浇降温并妥善处理后，送充气单位检查。

（4）乙炔瓶存放和使用时只能直立，不能横躺卧放，以防丙酮流出引起燃烧爆炸。乙炔瓶直立牢靠后，应静候15min左右，才能装上减压器使用。开启乙炔瓶的瓶阀时，不要超过一圈半，一般情况只开启四分之三圈。

（5）存放乙炔瓶的室内应注意通风换气，防止泄漏的乙炔气滞留。

（6）乙炔瓶不得受到剧烈振动或撞击，以免填料下沉，形成净空间。

（7）乙炔瓶的充灌应分二次进行。第一次充气后的静置时间不少于8小时，然后再进行第二次充灌。不论分几次充气，充气静置后的极限压力都不得大于表7-13的规定。乙炔瓶充气过程中，瓶温不得超过40℃。

表 7-13 乙炔瓶内允许极限压力与环境温度的关系

温度（℃）	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+30	+40
压力（kgf/cm²，表压）	7	8	9	10.5	12	14	16	20	25

（8）瓶内气体严禁用光，必须留有不低于表7-14的剩余压力。

表 7-14 乙炔瓶内剩余压力与环境温度的关系

环境温度（℃）	＜0	0～15	15～25	25～40
剩余压力（kgf/cm²）	0.5	1	2	3

7.2.4.3 液化石油气瓶

用于贮存和运输液化石油气的气瓶最大工作压力为16kgf/cm²，水压试验压力为30kgf/cm²。气瓶外表涂灰色，并用红色写上“液化石油气”字样。常用石油气瓶规格见表7-15。液化石油气瓶可并联使用。

1. 着火爆炸事故原因

（1）与氧气瓶的（1）～（4）条相同。

（2）气瓶充灌过满，受热时瓶内压力剧增。

（3）气瓶角阀，O形圈漏气等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 7-15 常用液化石油气瓶规格

类别	容积 (kg)	外径 (mm)	壁厚 (mm)	全高 (mm)	自重 (kg)	材质	耐压试验水压为 (kgf/cm²)
10kg用	23.6	325	4	530	13	20#或A₃	32
12～12.5kg用	29	325	2.5	—	11.5	16锰	32
15kg用	34	335	2.5	645	12.8	16锰	32
20kg用	47	380	3 2.5	650	20 25	A₃ 16Mn	32

2. 安全措施

（1）同氧气瓶的（1）～（5）条安全要求。

（2）液化石油气瓶充灌时，必须按规定留出15%的气化空间，不得充灌过满。

（3）冬季使用石油气瓶时，可在用气过程中以低于40℃的温水加热，但严禁用火烤或沸水加热，不得靠近加热炉或暖气片等热源，也不得为增加气化面积而将气瓶横躺卧放。因为液化石油气瓶的压力在零下40℃时为1kgf/cm²，在20℃时则为7kgf/cm²，在40℃时压力上升可达20kgf/cm²。

（4）应经常检查减压器的工作性能是否正常。减压器的作用不仅是把瓶内的液化石油气压力降低至350mmH_2O，而且在气割时，一旦氧气倒流入液化石油气系统，减压器的高压端能自动封闭，具有逆止作用。

（5）液化石油气瓶内剩余残液应退回充气站处理，不得自行倒出液化石油气残液，以防遇火成灾。

（6）点火时应先点燃引火物，而后开启焊、割炬的石油气调节手轮，不能颠倒次序。

7.2.4.4 气瓶的定期检验和涂色

气瓶在使用过程中必须根据国家《气瓶安全监察规程》和《溶解乙炔瓶安全监察规程》的要求，进行定期技术检验。有关检验和涂色规定见第4章“压力容器安全”。

7.2.5 焊 割 炬

7.2.5.1 设计制造安全要求

在焊割操作过程中，氧气与乙炔混合气的流动速度小于火焰的燃烧速度，是导致焊接火焰自焊割炬向乙炔胶管（或氧气胶管）倒燃，而造成回火爆炸事故。因此，焊割炬的设计制造应满足下列要求。

（1）气体流量的调节应方便、可靠。尤其是在发生回火时，应能迅速切断气源，并制止火焰的蔓延。

（2）乙炔和氧气应能按比例均匀混合，而且在焊接过程中保持混合比不变。

（3）结构简单，操作灵便轻巧。

（4）焊割炬的材料应具有良好的导热性，耐磨、耐高温和耐腐蚀性，含铜量不得大于70%。

（5）应保证焊割炬各部位的连接和调节阀门严密不漏气。

（6）混合气体喷出的流动速度应与燃烧速度相适应。

7.2.5.2 焊割炬使用安全

1. 焊炬使用安全

目前国内广泛应用射吸式焊炬。使用时应注意下列安全要求。

（1）点火前必须先检查其射吸性能是否正常，以及焊炬各连接部位，调节手轮的针阀等处是否漏气。检查方法是将氧气胶管紧固在氧气接头上，接通氧气后先开启乙炔调节手轮，然后开启氧气调节手轮，并用手指按在乙炔接头上，若感到有吸力，则表明其射吸性能是正常的。如果没有吸力，甚至氧气从乙炔接头中倒流出来，则说明射吸性能不正常，必须进行修理，否则严禁使用。射吸性能检查正常后，把乙炔胶管也连接在乙炔接头上，检查焊炬是否漏气。检查方法可以将焊炬浸入干净的水中，或在各连接部位，气阀、焊嘴及射吸管等处涂沫肥皂水，然后开启调节手轮送入氧气和乙炔气，如有不严密处将会发现有气泡冒出。

（2）经检查射吸性能和气密性合格后，才能点火。从防止回火爆炸的角度考虑，点火时应先开启乙炔调节手轮，点燃乙炔并立即开启氧气调节手轮，调整火焰。对于作业空间狭小、通风不良而又有几把焊炬同时施焊的情况下，为改善环境卫生条件，也可先微微开启氧气调节手轮，随即开启乙炔调节手轮并点火，然后再开启氧气调节手轮调整火焰。

（3）焊工在操作中如发觉乙炔和氧气压力或流量发生变化，不能满足焊接要求，应待处理后再重新点火。禁止带火焰进行调整处理，防止因发生器的压力和流量发生波动，引起回火。

（4）停止使用时，先关乙炔调节手轮，后关氧气调节手轮，以防止火焰倒袭和产生黑烟。当使用大号焊嘴的焊炬关火时，可先把氧气调节手轮开大一点，然后关乙炔调节手轮，最后关闭氧气调节手轮，以保持气体有较高流速，有利于避免回火。

（5）焊炬停止使用后，应挂在适当的地方，或拆下胶管，将焊炬存在工具箱内。禁止为使用方便而不拆下胶管，将焊炬、胶管和气源作永久性连接，随便放在容器、管道里或锁在工具箱内。焊接操作现场的事故教训表明，这种作法使得点火时经常发生回火，或在容器、工具箱内发生爆炸，其原因是：焊炬阀门关闭不严或焊炬漏气、切不断气源、氧气和乙炔气相互窜通，导致氧气和乙炔混合气外溢滞留在周围局部空间；乙炔进入氧气胶管或氧气进入乙炔胶管，加上点火时未排放胶管内滞留的混合气而发生事故。

（6）在焊接操作过程中，焊工应当正确使用焊炬，避免发生回火。引起回火的主要原因有：① 过分接近熔融金属，焊嘴喷孔附近的压力增大，混合气流出不畅；② 焊嘴过热，混合气受热膨胀，压力增高，流动阻力增大；③ 焊嘴温度超过400℃时，部分混合气能在焊嘴内自燃；④ 焊嘴或焊炬的气体通道被炭质微粒、乙炔的杂质或熔化金属飞溅物填塞；⑤ 胶管受压、阻塞或打折等，使焊嘴出口处的气体流速降低；⑥ 焊嘴选用不当。如果操作中发生回火，应急速关闭乙炔调节手轮，再关闭氧气调节手轮。待回火熄灭后，将焊嘴放入水中冷却，然后打开氧气调节手轮吹除焊炬内的烟灰，再重新点火。此外，在紧急情况下可拔去乙炔胶管，为此，一般要求氧气胶管必须与焊炬接头连接牢固，而乙炔胶管与接头的连接不宜太紧，以不漏气并容易插上又容易拔下为准。

（7）焊炬各连接部位、气体通道及气阀等处均不得沾染油脂。

2. 割炬使用安全

目前我国普遍采用射吸式割炬，以上介绍的焊炬使用安全要求，基本上也适用于割炬。此外还需注意：

（1）在开始切割前，工件或钢材表面的漆皮、锈屑、防锈剂或油水污物等应加以清理。在水泥地面上切割时应垫高工件，防止锈皮和水泥等爆溅伤人。

（2）在停止切割时，应先关闭切割氧调节手轮，再关闭乙炔和预热氧调节手轮。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

3. 焊割炬的常见故障和维修

（1）焊割炬故障主要是由于堵塞、漏气和磨损（包括烧损）三个基本原因造成的。

（2）乙炔含有的杂质、炭微粒等使焊割炬通道堵塞而发生故障；焊割炬各部位连接不严密（因使用过程中热胀冷缩、检修不当或密封件不严引起的），以及各调节阀密封性能失效等造成漏气，出现氧气与乙炔相互窜通、发生灭火，回火等故障。

（3）由于焊割炬各部位的磨损，也会造成焊割炬的气体通道变形，割炬的喷嘴与外火圈间隙增大，使焊割炬失去正常工作性能的故障。

（4）焊割炬常见故障的原因及其排除方法见表7-16。

表 7-16 焊割炬常见故障及其排除方法

故障	原因	排除方法
开关处漏气或焊嘴漏气	1）压紧螺帽松动或垫圈损坏 2）焊嘴未拧紧	1）更换 2）拧紧
焊嘴孔径扩大成椭圆形	1）使用过久 2）焊嘴磨损 3）使用通针不当	用手锤轻敲焊嘴尖部，使孔径缩小后，再用钻头钻孔
焊枪发热	1）焊接时间过长 2）焊嘴离工件太近	浸入冷水中冷却后，打开氧气吹净杂物
火焰调节不大，乙炔压力过低	1）胶管被压和堵塞 2）焊枪被堵塞 3）手轮打滑	吹洗胶管及焊枪，修理乙炔开关

7.2.6 氧气与乙炔胶管

7.2.6.1 胶管爆炸着火事故的原因

用于输送氧气与乙炔的胶管由内、外胶层和中间的棉织纤维层组成，它是气焊与气割的重要工具。胶管发生爆炸着火事故的原因主要有以下几方面：

（1）胶管里形成了乙炔与氧气、或乙炔与空气的混合气；

（2）回火的火焰烧进胶管里；

（3）由于磨损、挤压、腐蚀或保管维护不善，使胶管老化变质、强度降低或漏气；

（4）胶管的制造质量不符安全要求。

7.2.6.2 安全措施

（1）胶管的制造应分别按照GB2550—81氧气胶管国家标准和GB-2551—81乙炔胶管国家标准的规定，保证质量。胶管应具有足够的抗压强度和阻燃特性。

（2）保存和使用胶管时必须注意维护，保持胶管的清洁和不受损坏。例如避免阳光照射、雨雪浸淋，防止与酸、碱、油类及其它有机溶剂等能使胶管损坏的物质接触。存放温度为－15～40℃，距离热源应不少于1m。

（3）新胶管在使用时，必须先把胶管内壁的滑石粉吹除干净，防止焊割炬的通道被堵塞。在使用中应避免受外界挤压和机械损伤，不得将管身折叠。

（4）氧气与乙炔胶管不得相互混用和代用，不得用氧气胶管吹除乙炔胶管的堵塞物。同时应随时检查和消除焊割炬的漏气堵塞等缺陷，防止在胶管内形成氧气与乙炔混合气。

根据国家现行标准规定氧气胶管为红色，乙炔胶管为黑色，胶管的允许工作压力分别为15kgf/cm²和3kgf/cm²。应该指出，国家标准规定的胶管颜色与国际标准（ISO）的规定（氧气胶管为黑色，乙炔胶管为红色）正好相反。同时与我国原部颁标准（HG4-605—66）氧气胶管为红色，乙炔胶管为绿色的规定也不同，而且1966年以前国产氧气胶管为黑色或绿色，乙炔胶管为红色。由此引起供应部门和使用人员的认识和习惯不一致，有关的安全教材也说法不一，容易发生胶管的混用和代用而造成事故。目前应强调按照国家标准的规定统一认识和使用，在使用进口设备的胶管时，应注意加以区别。

（5）如果发生回火倒燃进入氧气胶管时，则该胶管不可继续使用，必须换新。因为回火常常将胶管的内胶层烧坏，压缩纯氧又是强烈氧化剂，若再继续使用，必将失去原来正常的安全性。

（6）气割操作需要较大的氧气输出量，因此，与氧气表高压端连接的气瓶（或氧气管道）阀门应全打开，以便保证提供足够的流量和稳定的压力。防止低压表虽然已达到工作压力，但使用时压力突然下降而发生回火，并可能倒燃进入氧气胶管，引起爆炸。

7.2.7 氧气与乙炔管道

在集中供应焊接或切割用气体的情况下，乙炔和氧气是采用管路输送的，是属于可燃易爆介质和助燃介质的管道，应该采取管道工程的防爆设施。

7.2.7.1 管道发生着火爆炸的原因

（1）管道里的锈皮及其它固体微粒随气体高速流动时的摩擦热和碰撞热（尤其在管道拐弯处），是管道发生着火爆炸的一个因素。

（2）由于漏气，在管道外围形成爆炸性气体滞留的空间，遇明火而发生着火和爆炸。

（3）外部明火导入管道内部。这里包括管道附近明火的导入，以及与管路相连接的焊接工具，由于回火而导入管道内。

（4）管道过分靠近热源，管内气体过热引起的着火爆炸。

（5）氧气管道阀门沾有油脂。

（6）带有水分或其它杂质的气体在管道内流动时，当超过一定的流速就会因摩擦产生静电积聚而放电。此外，由于雷击产生巨大的电磁、热、机械效应和静电作用等，也会使管道及构筑物遭到破坏或引起火灾爆炸事故。

7.2.7.2 安全措施

（1）限定气体流速　乙炔在管道中的最大流速，不应超过下列规定：厂区和车间的乙炔管道工作压力为0.07kgf/cm²以上至1.5kgf/cm²时，其最大流速为8m/s；乙炔站内的乙炔管道，工作压力为25kgf/cm²及其以下者，其最大流速为4m/s。

氧气在碳素钢管中的最大流速，不应超过表7-17的规定。

（2）管径的限定及管道连接的安全要求乙炔管道的工作压力在0.07kgf/cm²以上至1.5

表 7-17　碳素钢管中氧气的最大流速

氧气工作压力（kgf/cm²）	≤1	6～<16	16～30	≥100
氧气流速（m/s）	20	10	8	4

注：在表列压力范围以外者，其流速可按比例推算。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

kgf/cm²的中压乙炔管道，内径不应超过80mm；工作压力在1.5～25kgf/cm² 的高压乙炔管道，管内径不应超过20mm。乙炔管道的连接应采用焊接，但与设备、阀门和附件的连接处，可采用法兰或螺纹连接。乙炔管道在厂区的布设，应考虑到由于压力和温度的变化而产生局部应力时，管道应有伸缩余地。

氧气管道应尽量减少拐弯。拐弯时宜采用弯曲半径较大，或内壁光滑的弯头，不应采用折皱或焊接弯头。

（3）防止静电放电的接地措施　乙炔和氧气管道在室内外架空或埋地敷设时，都必须可靠接地。

室外管道埋地敷设时，在管线每隔200～300m设一接地极。室内管道不论架空或地沟敷设（不宜采用埋地敷设），每隔30～50m设一接地极。但不管线的长短如何，在管道的起端和终端及管道进入建筑物的入口处，都必须设接地极。接地装置的接地电阻应不小于20Ω。

对离地面5m以上架空敷设的氧气和乙炔管道，为防止雷击放电产生的静电或电磁感应对管道的作用，要求缩短管道两接地极的距离，一般不超过50m。

（4）防止外部明火导入管道内部。可采用水封法（如前面已介绍过的水封回火防止器）或采用火焰消除器，防止火焰导入管道内部和阻止火焰在管道里的蔓延。

火焰消除器亦称阻火器，可用粉末冶金片，或是用多层细孔铜网（也可用不锈钢或铝网）重叠起来制成。

（5）防止在管道外围形成爆炸性气体滞留的空间　乙炔管道通过厂房车间时，应保证室内通风良好，并应定期监测乙炔气体浓度，以便及时采取措施排除爆炸性混合气。还应检查管道是否漏气，防止着火爆炸事故。

地沟敷设乙炔管道时，在沟里应填满不含杂质的砂子；埋地敷设时，应在管道下部先铺一层厚度约100mm的砂子。如沟底有坚硬石块，以及考虑到局部有不均匀下沉的可能性时，砂层的厚度还应大些，然后再在管子两侧和上部填以厚度不少于200mm的砂子。填充砂子的目的是保证管道周围回填密实，没有大的缝隙；当管道一旦发生不均匀下沉时，由于砂子有一定的流动性，也随之下沉，不致于在管道附近范围内形成过大的缝隙，造成爆炸性气体聚集停留的较大空间。

（6）管道的脱脂　氧气和乙炔管道在安装使用前都应进行脱脂。常用脱脂剂二氧乙烷和酒精为易燃液体；四氯化碳和三氯乙烯虽是不燃液体，但在明火和灼热物体存在的条件下，易分解成剧毒气体——光气。故脱脂现场必须严禁烟火。

（7）气密性和泄漏性试验　氧气和乙炔管道除与一般受压管道同样要求作强度试验外，还应作气密性试验和泄漏量试验。

在强度试验合格并用热风吹干后，才可进行气密性试验。试验压力一般为工作压力的1.05倍，对于工作压力小于或等于0.07kgf/cm²的乙炔管道，其试验压力为工作压力加0.1kgf/cm²。试验介质为空气或惰性气体，用涂肥皂水等方法进行检查。达到试验压力后停压1小时，如压力不降，则气密性试验合格。

泄漏量的试验压力为工作压力的1.5倍，但不得小于1kgf/cm²，试验介质为空气或氮气。其泄漏标准为：试验12小时后，泄漏量以不超过原气体容积的0.5%为合格。泄漏量可按下式计算：

$$V = 100\left[1 - \frac{p_2(273 + t_1)}{p_1(273 + t_2)}\right]\%$$

式中　V——泄漏量，%；

p_1，p_2——试验开始和终结时管道内介质的绝对压力，kgf/cm²；

t_1，t_2——试验开始和结束时管道内介质的温度，℃。

（8）埋地乙炔管道不应敷设在下列地点：烟道、通风地沟和直接靠近高于50℃热表面的地方、建筑物、构筑物和露天堆场的下面。

（9）架空乙炔管道靠近热源敷设时，宜采用隔热措施，管壁温度严禁超过70℃。

（10）乙炔管道可与供同一使用目的氧气管道共同敷设在非燃烧体盖板的不通行地沟内，地沟内必须全部填满砂子，并严禁与其它沟道相通。

（11）乙炔管道严禁穿过生活间、办公室。厂区和车间的乙炔管道，不应穿过不使用乙炔的建筑物和房间。

（12）氧气管道严禁与燃油管道共沟敷设。架空敷设的氧气管道不宜与燃油管道共架敷设，如确需共架敷设时，氧气管道宜布置在燃油管道的上面，且净距不宜小于0.5m。

（13）乙炔管路使用前，应当用氮气吹洗全部管道。取样化验合格后方准使用。

7.3 手工电弧焊安全

7.3.1 常见事故

1. 触电事故

触电是手工电弧焊的主要危险之一。触电事故原因如下：

（1）在更换焊条、电极和焊接操作中，手或身体某部接触到电焊条、焊钳或焊枪的带电部分，而脚或身体其它部位对地和金属结构之间无绝缘防护。在金属容器、管道、锅炉、船舱内或金属结构上，或当身上大量出汗，在阴雨天、潮湿地点焊接，尤其容易发生这种触电事故。

（2）在接线、调节焊接电流和移动焊接设备时，手或身体某部碰触到接线柱，极板等带电体而触电。

（3）电焊设备的罩壳漏电，人体碰触罩壳而触电。

（4）由于电焊设备接地错误引起的事故。例如焊机的火线与零线错接，使外壳带电，人体碰触壳体而触电。

（5）电焊操作过程中，人体触及绝缘破损的电缆、破裂的胶木闸盒等。

（6）由于利用厂房的金属结构、管道、轨道、天车吊钩或其它金属物体搭接作为焊接回路而发生的触电事故。

2. 电气火灾、爆炸和灼烫等工伤事故

焊机和线路的短路、超负荷等能引起电气火灾，在操作地点附近或高空作业点下方存放有可燃易爆物品时，可能引起火灾和爆炸；由于压缩钢瓶及保护气体（如氢原子焊使用的氢气作为保护气体）的爆炸和着火；特别需要强调指出，燃料容器和管道的检修焊补大多采用电弧焊，当防爆措施不当时，容易发生火灾爆炸和灼烫等严重事故；操作过程中的火花飞溅也会造成灼烫伤亡事故。

3. 二次事故

登高电焊作业，除可能发生直接从高空坠落伤亡事故外，还可能发生因触电失控，从空中坠落的二次事故。

4. 电焊烟尘和弧光辐射

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

见7.4节。

7.3.2 电 焊 机

7.3.2.1 焊机保护性接地与接零安全要求

（1）所有旋转式直流焊机、交流焊机、硅整流式直流焊机及其它电焊设备的机壳，在电网为三相三线制或单相制不接地系统中，应安设保护接地线；在电网为三相四线制中性点接地系统中，应安设保护性接零线。

（2）必须指出，氧气和乙炔管道以及其它可燃易爆物的容器和管道，严禁作为自然接地极，否则除可能发生触电危险外，还可能引起火灾事故。

（3）二次线圈一端接地或接零时，焊件则不应接地或接零，否则一旦二次回路接触不良，大的焊接电流可能将接地线或接零线熔断，不但使人身安全受到威胁，而且易引起火灾。为此规定：凡是对有接地或接零装置的焊件（如机床部件）进行电焊时，应将焊件的接地线或接零线暂时解开，焊完后再恢复。在焊接与大地紧密相联的焊件（如自来水管路、房屋的金属立柱等）时，如果焊件的接地电阻小于4 Ω，则应将焊机二次线圈一端的接地线或接零线暂时解除，焊完后再恢复。总之，变压器二次端与焊件不应同时存在接地或接零装置，焊机与焊件正确与错误的保护性接地与接零关系见图7-8。

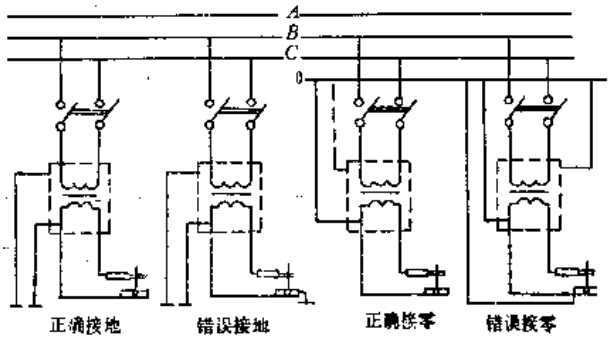


图 7-8 焊机与焊件的正误接地与接零

（4）用于焊机接地或接零的导线及其连接应当符合电气设备接地接零的一般安全要求。

（5）连接接地线或接零线时，应首先将导线接到接地体上或零线干线上，然后将另一端接到电焊设备外壳上；拆除接地线或接零线的顺序则恰好与此相反，应先将接地线或接零线从设备外壳上拆下，然后再解除与接地体或零线干线的连接，不得颠倒顺序。

7.3.2.2 焊机空载自动断电保护装置

焊机安装空载自动断电保护装置的目的是使焊机空载电压降至安全电压范围内，既能防止电击事故，又能降低焊机空载损耗，具有安全和节电的双重意义。

（1）凡是在船舱、锅炉、金属容器或管道内，金属结构上和登高焊割作业等，均应装设焊机空载自动断电保护装置。

（2）焊机空载自动断电保护装置应满足以下基本要求：保证焊机的空载电压在安全电压范围内；对引弧操作无明显影响；保护装置的最短断电延时为1 s；空载损耗降至10%以下。

7.3.2.3 焊机的维护与检修

（1）焊机的使用条件应与环境条件相适应，一般情况下，电焊机的工作条件为温度－25～40℃，相对湿度不大于90%（在25℃的环境温度时）。在特殊环境下，如在气温过低或过高，湿度过大，气压过低以及有腐蚀性或爆炸性的环境中，应使用符合环境要求的特殊性能的焊机。

（2）焊机应安放在通风良好、干燥的地方，其安装地点应防止剧烈震动和碰撞，安放于室外时，必须有防雨雪的棚罩等设施。焊机应保持干净清洁，经常扫尘土，避免损坏绝缘。

（3）采用将焊机安置在专用铁箱（或塑料箱）内，具有整件性，移动方便、防日晒雨淋，不受外界碰撞打击等优点，有利安全。但需注意铁制箱体必须接地（零），箱内不得放入手套，工作服，焊条和工具等杂物。

（4）交、直流焊机和手弧焊整流器的常见故障及排除方法分别见表7-18、表7-19以及表7-20。

表 7-18 交流焊机常见故障及排除方法

故障现象	可能原因	消除方法
焊机变压器过热	1．变压器过载 2．变压器绕组短路	1．减小电流使用 2．消除短路处
导线接线处过热	接线处接触电阻过大或接线处螺钉太松	将接线松开，用砂纸或小刀将接触导电处清理出金属光泽，然后旋紧螺钉
可动铁心在焊接时发生嗡嗡的响声	可动铁心的制动螺钉或弹簧太松	旋紧制动螺钉，调整弹簧，旋紧螺钉
焊接电流不稳定（忽大忽小）	动铁心在焊接时位置不稳定	将动铁心调节手柄固定或将动铁心固定
焊接电流过小	1．焊接导线过长，电阻大 2．焊接导线盘成盘形，电感大 3．电缆线有接头或与工件接触不良	1．减小导线长度或加大线径 2．将导线放开，不使成盘形 3．使接头处接触良好
焊机输出电流反常（过小或过大）	1．电路中起感抗作用的线圈绝缘损坏时，引起电流过大 2.铁心磁回路中由于绝缘损坏产生涡流，引起电流变小	检查电路或磁路中的绝缘情况，排除故障

表 7-19 直流焊机常见故障及排除方法

故障现象	可能原因	排除方法
电动机反转	三相电动机与电流网路接线错误	三相线中任意两线调换
电动机不起动并发出嗡嗡响声	1．三相保险丝中某一相烧断 2．电动机定子线圈断路	1．更换新保险丝 2．消除断路处
焊接过程中电流忽大忽小	1．电缆线与焊件接触不良 2．网路电压不稳 3．电流调节器可动部分松动 4．电刷与铜头接触不好	1．使电缆线与焊件接触良好 2．固定好电流调节器的松动部分 3．使电刷与铜头接触良好
焊机过热	1．焊机过载 2．电枢线圈短路 3．换向器短路 4．换向器脏污	1．减小焊接电流 2．消除短路处 3．清理换向器，去除污垢
导线接触处过热	接线处接触电阻过大或接线处螺钉过松	将接线松开，用砂纸或小刀将接触导电处清理出金属光泽，然后旋紧螺钉

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

故障现象	可能原因	排除方法
电刷有火花，随后全部换向片发热	1. 电刷没磨好 2. 电刷盒的弹簧压力弱 3. 电刷在刷盒中跳动或摆动 4. 电刷架歪曲，超过容差范围或未旋紧 5. 电刷边直线不与换向片边对齐	1. 维护研磨电刷；在更换新电刷时，不可同时换去大于换向器电刷总数的1/3电刷数 2. 调整好压力，必要时可调换架框 3. 检查电刷在刷盒中的行动，电刷与刷盒夹中间隙不超过0.3毫米 4. 检修电刷架 5. 校正每组电刷，使换向片排成一直线
换向器片组大部分发黑	换向器振动	用千分表检查换向器，其振动不应超过0.03毫米
电刷下有火花且个别换向片有碳迹	换向器分离，即个别换向片突出或凹下	如故障不显著，可用细浮石研磨，如研磨后无效则应上车床车削
一组电刷中个别电刷跳火	1. 接触不良 2. 在无火花电刷的刷握线间接触不良，因此引起相邻电刷过载并跳火	1. 仔细观察接触表面并松开接线，仔细清除污物 2. 更换不正常的电刷排除故障

表 7-20 手弧焊整流器常见故障及排除方法

故障	原因和现象	修理方法
机壳漏电	1. 电源接线误碰机壳 2. 变压器、电抗器、风扇及控制线路元件等碰机壳 3. 未安装接地线或接触不良	1. 消除碰处 2. 同上 3. 接妥接地线
空载电压过低	1. 电源电压过低 2. 变压器绕组短路	1. 调高电源电压 2. 消除短路
电流调节失灵	1. 控制绕组短路 2. 控制回路接触不良 3. 控制整流回路元件击穿	1. 消除短路 2. 使接触良好 3. 更换元件
焊接电流不稳定	1. 主回路接触器抖动 2. 风压开关抖动 3. 控制回路接触不良，工作失常	1. 消除抖动 2. 同上 3. 检修控制回路
工作中焊接电压突然降低	1 主回路部分或全部短路 2. 整流元件击穿短路 3. 控制回路断路或电位器未整定好	1. 修复线路 2. 更换元件，检查保护线路 3. 检修调整控制回路
风扇电机不转	1. 熔断器熔断 2. 电动机引线或绕组断线 3. 开关接触不良	1. 更换熔断器 2. 接妥或修复 3. 使接触良好
电表无指示	1. 电表或相应接线短路 2. 主回路出故障 3. 饱和电抗器和交流绕组断线	1. 修复电表 2. 排除故障 3. 同上

7.3.3 常用工具

7.3.3.1 电焊钳安全要求

（1）焊钳应具有良好的绝缘性能和隔热能力，由焊钳的夹焊条处至握柄联接处止，间距宜为100mm。

（2）结构应轻便、易于操作。手弧焊钳的重量不应超过0.6kg，应保证与水平45°、90°等方向都能方便地夹紧焊条，而且更换焊条时，不易使焊工误触及带电部位。

（3）焊钳与焊枪和电缆的连接必须可靠，接触良好。连接处不得外露，应有屏护装置，或将电缆的裸露部分深入到握柄内部，以防触电事故。

7.3.3.2 焊接电缆安全要求

（1）焊机与配电盘连接的电源线的长度一般不得超过2～3m；如确需加长时，必须采取安全措施。

（2）焊接电缆的截面积应根据焊接电流和所需电缆的长度，按表7-21的规定选用，以保证电缆不致过热而损坏绝缘层。

表 7-21 焊接电缆截面与最大焊接电流和电缆长度的关系

最大焊接电流（A）	导线截面面积（mm²）		
	电缆长度（m）		
	15	20	45
200	30	50	60
300	50	60	90
400	50	80	100
600	60	100	—

（3）严禁利用厂房金属结构、管道、链条或其它金属构件搭接起来作为导体使用。

（4）焊接电缆不得放置于电弧附近，不得接触炽热焊件，以防高温烫坏绝缘层。应避免与油脂等可燃物品接触。横穿道路时应加遮盖，避免碾压磨损。

（5）焊接电缆应有良好的绝缘外层，绝缘电阻不得小于1MΩ。

（6）分工必须明确，电焊设备的安装和检修须由电工进行。焊机应有专门的电源，临时施工点应由电工接通电源，焊工不得擅自处理。

7.3.4 电焊烟尘和弧光辐射防护

手工电弧焊烟尘、弧光辐射及其防护参见7.4节。

7.4 气电焊与等离子弧焊安全

7.4.1 安全特点

（1）触电是气电焊与等离子弧焊的主要危险之一。等离子弧切割和氢原子焊焊机电压高达300V，触电事故危险性较大。

（2）气电焊使用的压缩钢瓶，在运输、贮存和使用中，存在着引起气瓶爆炸的危险

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

性。氢原子焊使用易燃易爆氢气作为保持气体，可能发生氢气和氢气瓶的着火燃烧和爆炸事故。

（3）气电焊产生电流大、高温强弧光，并生成较高浓度的有毒气体和金属烟尘。如氩弧焊有臭氧和氮氧化物产生，其浓度分别是手工电弧焊的4.4倍和7倍。CO_2焊在电弧高温作用下，有CO_2分解产生CO有害气体。

（4）气电焊的弧光辐射强度高于手工电弧焊，例如波长为2330～2900埃的紫外线相对强度：手工电弧焊为0.06，而氩弧焊为1.0。强烈的紫外线辐射对焊工的皮肤，眼睛和棉织工作服有严重的损害。

（5）氩弧焊采用高频振荡器引弧，高频振荡器工作期间有电磁场辐射产生；钨极氩弧焊使用钍钨棒，在棒端磨尖后弛放烟尘中含有放射性物质会对操作者带来危害。

（6）等离子弧焰流的速度很高，当它以10000m/min的流速从喷嘴高速喷射出来时，则产生噪声。

（7）等离子弧焊在操作过程中，还有高频电磁场、热辐射、放射性及电击等有害因素。

7.4.2 弧光辐射防护

7.4.2.1 弧光组成及危害

焊接电弧是一种很强的光源，电弧燃烧时产生强烈的弧光辐射。电焊弧光辐射包括红外线、可见光线和紫外线。手工电弧焊、氩弧焊和等离子弧焊的紫外线强度比较见表7-22。

表 7-22 手工电弧焊、氩弧焊、等离子的紫外线相对强度

波长 λ（埃）	相对强度		
	手工电弧焊	氩弧焊	离子弧焊
2000～2330	0.02	1.0	1.9
2330～2600	0.06	1.0	1.3
2600～2900	0.61	1.0	2.2
2900～3200	3.90	1.0	4.4
3200～3500	5.60	1.0	7.0
3500～4000	9.30	1.0	4.8

紫外线主要是伤害皮肤和眼睛，另外还会破坏纤维制品。

紫外线过度照射引起眼睛急性角膜炎，称为电光性眼炎。其发生原因主要有：几部焊机联合作业或距离太近时，在操作过程中容易受临近弧光的照射；由于护目镜片破损漏光，工作地点照明不足，为借用弧光照明，以致先引弧后戴面罩；由于技术不熟练在点燃电弧前未戴好面罩，或熄弧前过早揭开面罩；辅助工与焊工配合不协调，在点燃电弧时受到弧光照射等。电光性眼炎的主要症状为：羞明、流泪、异物感、刺痛、眼睑红肿等。

皮肤受强烈紫外线作用时，可引起皮炎、弥漫性红斑和小水泡。

焊接电弧的紫外线辐射对纤维的破坏能力很强，其中以棉织品为最甚。由于光化学作用的结果，可致棉布工作服氧化变质而破碎。

红外线对人体的危害主要是引起组织的热作用。在焊接过程中，眼睛受到强烈的红外线辐射时，会灼伤而感到疼痛，长期接触能引起视力减退，严重时可能造成红外线白内障。

7.4.2.2 防护措施

（1）为保护眼睛和脸部皮肤不受弧光辐射的伤害，焊接时必须使用镶有特制护目镜片的面罩（或头盔）。

（2）为保护焊接工作地其它生产人员免受弧光辐射伤害，可采用防护屏。防护屏宜采用布料涂上灰色或黑色漆，临近施焊处应用耐火材料（如石棉板、玻璃纤维布、铁板）做屏面。

（3）为防止弧光灼伤皮肤，焊工必须穿好工作服，戴好手套和鞋盖等。氩弧焊和等离子弧焊工宜穿戴毛料工作服。

7.4.3 电焊烟尘与有毒气体防护

7.4.3.1 电焊烟尘的来源

表 7-23 电焊烟尘主要化学成分百分含量

焊条		结 422	结 507
主要化学成分(%)	Fe_2O_3	44	24.6
	FeO	1.49	/
	SiO_2	17.7	5.89
	MnO_2	7.26	6.35
	K_2O	6.15	/
	Na_2O	5.15	17.5
	CaO	1	4.6
	KF	9.5	6.19
	NaF	/	13.15
	CaF_2	/	16.05

（1）电焊烟尘是由于焊条（焊芯和药皮）及焊件金属在电弧高温作用下熔融时蒸发、凝结和氧化而产生。它是明弧焊的一种有害因素，尤其是黑色金属涂料焊条手工电弧焊、CO_2 气体保护焊以及自保护焊丝电弧焊比较突出，是防护的重点。

（2）电焊烟尘的成分比较复杂。烟尘中的主要毒物是锰。对于低氢型普低钢焊条，主要毒物尚有氟、特别是可溶性氟。

电焊烟尘主要化学成分如表7-23所示。

（3）各类焊条发尘量可采用静电柜集尘和抽气滤膜或静电滤膜集尘法测定，前者设备费用较大，测定方法比较费时；后者设备较简单，使用也较方便，是目前通常采用的测定焊条烟尘方法。

7.4.3.2 电焊烟尘的危害

前面已述焊接过程中产生的烟尘是造成职业危害的主要因素之一。长时间接触会对焊工的健康造成危害。

（1）焊工尘肺 焊工尘肺是由于长期吸入超过允许浓度的以氧化铁为主、并有无定型二氧化硅、锰、铁、钙的化合物以及臭氧、氮氧化物等混合烟尘和有毒气体，并在肺组织中长期作用所致的混合性尘肺。

焊工尘肺的发病一般比较缓慢，大多是在上述卫生条件（即电焊烟尘浓度较高，且缺少相应的通风除尘措施）下工作10—15年，有的长达20年以上。主要表现为呼吸系统症状：气短、咳嗽、咯痰、胸闷和胸痛。部分焊工尘肺患者可呈无力、食欲减退、体重减轻以及神经衰弱症候群（如头痛、头晕、失眠、嗜睡、多梦、记忆力减退等），同时对肺功能也有影响。

（2）锰中毒 电焊烟尘含有锰的氧化物，主要是呈灰色的一氧化锰（MnO）及棕红色的四氧化三锰（Mn_3O_4）。焊工若长期吸入超过允许浓度的锰蒸气，则可能造成锰中毒。

焊工锰中毒发病很慢，大多在接触3～5年以后，甚至可长达20年才逐渐发病。慢性锰中

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

毒早期表现为疲劳乏力，时常头痛头晕、失眠及植物神经功能紊乱，如舌、眼睑和手指的细微振颤等。中毒进一步发展时，神经精神症状则更明显。

（3）焊工金属热　焊接烟尘中直径小于0.05～0.5μm的氧化铜、氧化锌、氧化铝、氧化锰及氧化铁微粒和氟化物等，容易通过上呼吸道进入末梢细支气管和肺泡，再进入血液，引起焊工金属热反应。主要症状是下班后感觉嘴里有金属味，食欲不振、恶心、寒战，大多伴有低烧等。翌晨经休息发汗后则症状减轻，但易复发。焊工金属热在经常进行铜及铜合金焊接的工人中较为常见，经常在船舱、密闭容器内使用碱性焊条施焊者，亦容易出现此症。

7.4.3.3　有毒气体来源

在焊接电弧的高温和强烈紫外线作用下，在弧区周围会形成多种有毒气体。

（1）臭氧　空气中的氧在电弧辐射的紫外线激发下，大量地被破坏，生成臭氧（O_3）。臭氧是一种刺激性有毒气体，呈淡蓝色。浓度较高时，发出腥臭味；高浓度臭氧还略带酸味。

臭氧对人体的危害主要是对呼吸道及肺组织有强烈刺激作用。往往引起咳嗽、胸闷、食欲不振、疲劳无力、头晕、全身疼痛等。严重时尚可引起支气管炎和肺水肿等。由臭氧引起的呼吸系统症状，一般情况下在脱离接触后均可得到恢复，恢复期的长短取决于臭氧影响程度，以及人体体质的好坏。

（2）氮氧化物　是由于焊接电弧的高温作用，引起空气中氮、氧分子离解，并重新结合而形成。

氮氧化物是刺激性有毒气体。二氧化氮呈红褐色，具有特殊臭味。

氮氧化物对人体的危害主要是对肺组织的刺激作用。氮氧化物被吸入呼吸道后，在肺泡内逐渐与水作用形成硝酸与亚硝酸，对肺组织产生强烈刺激作用。慢性中毒的主要症状是头痛，食欲不振，尚能引起上呼吸道粘膜发炎、刺激皮肤和牙齿酸蚀症等。急性中毒时，能引起急性支气管炎；严重时咳嗽激烈，可发生肺水肿，虚脱等症状。

影响氮氧化物生成浓度的因素，与臭氧相同。氮氧化物对人体的作用也是可逆的。

（3）一氧化碳　各种明弧焊都产生一氧化碳有毒气体，但其中以二氧化碳气体保护焊产生的CO浓度最高，是CO_2焊的主要有毒气体之一。

一氧化碳有一种窒息性有毒气体，无色、无味。它对人体的毒性作用是使氧在体内的运输、或组织利用氧的功能发生障碍，表现出缺氧的一系列症状和体征，使人体组织缺氧坏死。

表 7-24　焊接粉尘和有毒气体卫生标准

（以极限浓度表示）

		国内标准① (mg/m³)	国际标准② (mg/m³)
烟雾（粉尘）	锰	0.2(MnO_2)③	5
	铬	0.05(Cr_2O_3)	0.5
	铅	0.03	0.15
	氟化物	1(HF)	2.5
	氧化锌④	5	5
	氧化镉④	0.1	0.1
	氧化铝	4	15
	氧化铁	—	10
	镍	—	10
	丙烯醛④	0.3	0.25
	甲醛④	3	6
	其它粉尘⑦	10	10
有毒气体	二氧化氮	5	5ppm⑥
	臭氧	0.3	0.1ppm
	一氧化碳⑤	30	50ppm

注：①国内标准取自TJ 36-79工业企业设计卫生标准。

②国际标准取自国际焊接学会(IIW)标准。

③表中括号内化合物表示换算成该化合物计算。

④焊接涂层钢板产生的烟雾成分。

⑤一氧化碳的最高允许浓度在作业时间短暂时可予放宽：作业时间1小时以内，允许达到50mg/m³；半小时以内——100mg/m³；15～20分钟——200mg/m³。在上述条件下反复作业时，两次作业之间需间隔2小时以上。

⑥ppm与mg/m³的换算：$ppm = \frac{分子量}{24.45}\ mg/m^3$（25℃）

⑦其它粉尘系指游离二氧化矽含量在10%以下，不含有毒物质的矿物性和动植物粉尘。

（4）氟化氢　主要产生于使用低氢型焊条的手工电弧焊。

氟化氢是一种刺激性有毒气体，毒性剧烈，能引起眼、鼻及呼吸道粘膜的充血，溃疡等刺激症状。根据焊接现场测定，焊接气溶胶中氟化氢的浓度较低。

7.4.3.4　电焊烟尘和有毒气体的卫生标准

电焊烟尘有毒气体卫生标准见表7-24。

7.4.3　防 护 措 施

1. 通风技术措施

（1）焊接通风技术措施设计的要求

a. 车间内施焊时，必须保证焊接过程中产生的有害物质能及时排出，保证车间作业地带的气象条件良好，卫生。

b. 有害物质抽排到室外大气之前，原则上应该净化处理，否则将对大气有所污染。

c. 采取通风措施后必须保证冬季室温在规定范围内，满足采暖的需要。

d. 应根据作业现场及工艺等具体条件设计，不得影响施焊和破坏焊接过程的保护性。

e. 应便于拆卸和安装，适合定期清理和修配的需要。

（2）焊接工作地局部通风

可分为送风和排风两种。局部送风是把新鲜空气或经过净化的空气，送入焊接工作地带，它用于送风面罩、口罩等有良好的效果。

根据焊接生产条件的特点不同，目前常用局部排风装置的结构型式，有以下几种类型。

a. 固定式排烟罩。如图 7-9 所示，有上抽、侧抽和下抽三种。这类排风装置适合于焊接操作地点固定，焊件较小的情况下采用，如图 7-9 所示。其中下抽的排风方法焊接操作方便，排风效果也较好。

b. 可移式排烟罩。这类通风装置可以根据焊接地点和操作位置的需要随意移动。焊接时将排烟罩置于电弧附近，开动风机即能有效地把烟尘和有毒气体吸走。在作业面积较大的厂房非定点施焊时，可采用如图7-10所示的净化器固定、排烟罩移动型。在船舱、容器和管道内施焊，以及某些室内外的作业点，可采用图7-11所示可移式小型排烟机组。

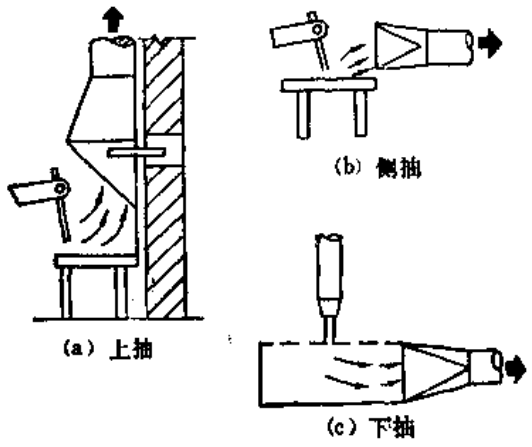


图 7-9　固定式排烟罩

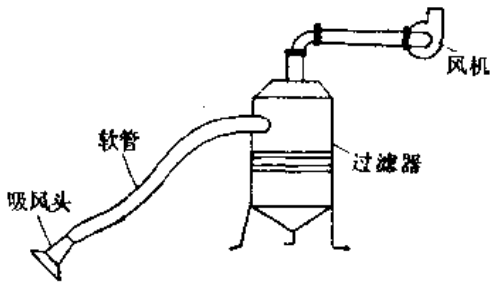


图 7-10　净化器固定排烟罩可移式排风装置

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

c. 多吸头排烟罩。这类排烟罩适用于焊接大而长的焊件时排除电焊烟尘和有毒气体(图7-12)。

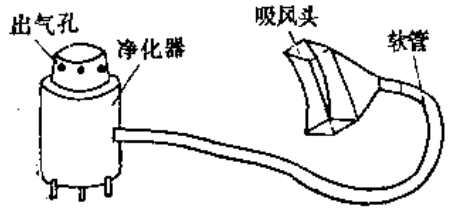


图 7-11 可移式排风机组

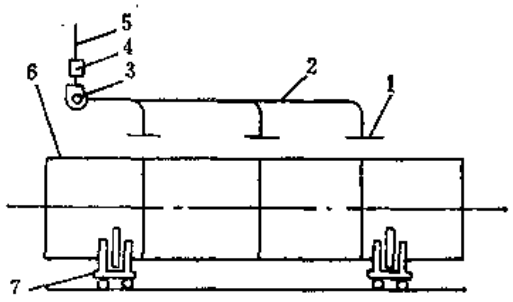


图 7-12 多吸头排烟罩

1—排烟罩；2—排烟管路；3—风机；4—过滤器；5—排出口；6—容器；7—转动轮

d. 隐弧排烟罩。这类排烟罩对焊弧区实行密闭，能最大限度地减少臭氧等有毒气体的逸散。同时，把光辐射、金属氧化物烟尘和有毒气体控制在一定的空间内。图7-13所示为等离子弧焊密闭罩及净化系统。

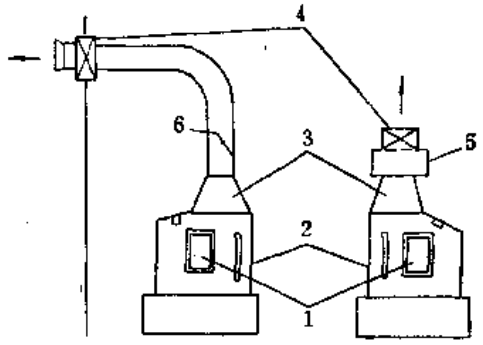


图 7-13 等离子弧焊密闭罩及净化系统

1—观察窗；2—罩体；3—导风管；4—风机；5—净化器；6—排烟调节板

e. 气力引射器。其排烟原理是利用压缩空气从主管中高速喷射，造成负压区，从而将电焊烟尘和有毒气体吸出（见图 7-14 ）。它可以应用于容器，锅炉等的焊接。

f. 排烟焊枪。其特点是将排烟罩直接附加在焊枪头部的喷嘴上面（比喷嘴约高18mm），如图7-15所示，焊接时由软管抽出电焊烟尘和有毒气体，再经过滤系统排放。抽气泵风量可小到1.1～1.7m³/min，但枪体稍重，它适用于CO_2气体保护焊等半自动和自动焊。

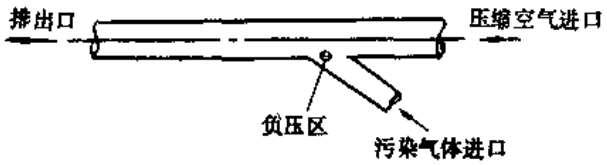


图 7-14 气力引射器

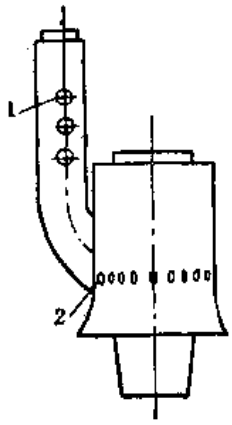


图 7-15 排烟焊枪

1—阀孔；2—辅助孔

（3）焊接车间全面通风　参见本手册第10章。

2. 个人防护措施

加强个人防护措施，对防止电焊烟尘和有毒气体的危害具有重要意义。详见本手册第11章。

3. 改革焊接工艺和改进焊接材料

（1）在保证产品技术要求的前提下，合理地设计容器结构，减少以至完全不在容器内部焊接；尽可能采用单面焊双面成型的新工艺。

（2）工业机械手是实现焊接过程全自动化的重要途径，它在焊接操作中的广泛应用，将可以从根本上消除尘毒对焊工的直接危害。

（3）采用无毒或毒性小的焊接材料（如低尘低毒焊条等）代替毒性大的焊接材料。

7.4.4 射线防护

7.4.4.1 来源与危害

（1）非熔化极氩弧焊和等离子弧焊使用的钍钨棒电极，含有天然放射性物质钍，能放射出α、β、γ三种射线，其中α射线占90%，β射线占9%，γ射线占1%。

（2）人体超期受到超容许剂量的外照射，或者放射性物质经常少量进入并积蓄在体内，则可能引起病变，造成中枢神经系统、造血器官和消化系统的疾病，严重者发生放射病。

（3）在容器内施焊时，放射性气溶胶及氡射气有可能较多量的存在；二是钍钨棒磨尖及贮存地点，钍的粉尘及氡射气可以达到甚至超过卫生标准。

7.4.4.2 防护措施

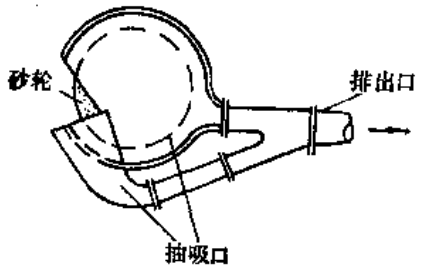


图 7-16　砂轮机抽排装置

（1）磨尖钍钨棒应备有专用砂轮，砂轮机应安装除尘设备，图7-16所示为砂轮机的抽排装置。砂轮机地面上的磨屑要经常作湿式扫除，并集中深埋处理。地面、墙壁宜铺设瓷砖或水磨石，以利清扫污物。

（2）焊接地点应设单室。钍钨棒贮存地点应固定在地下室，并存放在封闭箱内。大量存放应藏于铁箱里，并安装通风装置。

（3）选用合理的工艺规范，可避免钍钨棒的过量烧损。

（4）手工焊接操作时，必须戴送风防护头盔，或采取其它有效的通风措施。磨尖钍钨棒时应戴除尘口罩。

（5）根据生产条件尽可能采取稳弧排烟罩，并且在操作中不应随便打开罩体。

（6）焊接结束或接触钍钨棒后，应用流动水和肥皂洗手，并经常清洗工作服及手套等。

7.5 特殊焊接作业安全

在国民经济的某些部门中，如化工、石油、建筑、造船、铁路、沿海大陆架的开发和海上打捞工程等，对焊接与切割作业安全有不同的要求。本章着重介绍燃料容器与管道的焊补和水下焊接作业等的安全措施。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

7.5.1 燃料容器检修焊补安全

工厂企业的各种燃料容器（桶、箱、槽、柜、罐和塔等）与管道，在工作中因承受内部介质的压力、温度、化学与电化学腐蚀的作用，或由于结构、材料及焊接工艺的缺陷（如夹渣、气孔、咬边、错口、熔化不良和焊缝的延迟裂纹等），在使用过程中可能产生裂缝和穿孔。因此在生产过程的检修和定期检修时，有时会遇到装盛可燃易爆物质的容器与管道需要动火焊补。这类焊接操作往往处于易燃易爆、中毒的情况下进行。

燃料容器与管道的焊补，有置换动火与带压不置换动火两种办法。

7.5.1.1 置换动火的安全措施

置换动火就是在焊补前实行严格的惰性介质置换，将原有的可燃物排出，使容器内的可燃物含量不能形成爆炸性混合物的条件，保证焊补操作的安全。根据现行安全规则的规定，燃料容器的检修补焊，必须采用置换动火的办法。

为了有效防止爆炸着火事故，置换动火必须采取下列安全技术措施。

（1）燃料容器与管道停工后，通常采用盲板将与之连接的出入管路截断，使焊补的容器管道与生产的部分完全隔离。为了有效防止爆炸事故的发生，盲板除必须保证严密不漏气外，还应保证能耐管路的工作压力，避免盲板受压破裂。为此，在盲板与阀门之间应加设放空管或压力表，并派专人看守。否则应将管路拆卸一节。有些短时间的动火检修工作可用水封切断气源，但须有专人在现场看守水封溢流管的溢流情况，防止水封失效。

（2）焊补前，可采用蒸汽蒸煮，接着用置换介质吹净等方法将容器内部的可燃物质和有毒性物质置换出。

在置换过程中要不断取样分析，严格控制容器内的可燃物含量。可燃容器内部的可燃物含量不得超过爆炸下限的五分之一。如果需进入容器内操作，除保证可燃物不得超过上述的含量外，还应保证含氧量为18～21%，毒物含量应符合卫生标准的规定。

（3）常用的置换介质有氮气、二氧化碳、水蒸汽或水等。以气体作为置换介质时，其需用量不能以超过被置换介质容积的几倍来计算，而必须以气体成分化验分析合格为准。以水作为置换介质时，将容器灌满即可。

（4）未经置换处理，或虽已置换但尚未分析化验气体成分为合格的可燃容器，均不得随意动火焊补。

（5）置换作业后，容器的里外都必须仔细清洗，特别应当注意有些可燃易爆物质被吸附在容器内表面的积垢或外表面的保温材料中，由于温差和压力变化的影响，置换后也还能陆续散发出来，导致焊补操作中容器内可燃气浓度发生变化，形成爆炸性混合物而发生爆炸着火事故。

（6）采用火碱清洗时，应先在容器中加入所需数量的清水，然后以定量的碱片分批逐渐加入，同时缓慢搅动，待全部碱片均加入溶解后，方可通入蒸汽煮沸。必须注意通入蒸汽的管道末端应伸至液体的底部，以防通入蒸汽后有碱液泡沫溅出伤人。这项操作不得先将碱片预放在容器内然后加入清水，尤其是暖水和热水，因为碱片溶解时会产生大量的热，使碱液涌出容器外，可能使操作者灼伤。

（7）在无法清洗的特殊情况下，在容器外焊补动火时应尽量多灌装清水，以缩小容器内可能形成爆炸性混合物的空间。容器顶部须留出与大气相通的孔口，以防止容器内压力的上升。并且应当在动火时保证不间断地进行机械通风换气，稀释可燃气体和空气混合物的

积聚。

国外有采用“惰性气体防护维修”法，则将氮的泡沫吹入已置换的容器内，使容器的内侧表面覆盖上厚厚的一层，这样便可在容器未经清洗干净的情况下进行焊接或切割等高温作业，能够保证在设备外部进行操作时的安全，从而大大节约了时间。这种方法已应用于化工设备、贮罐、甚至大型油船的补焊。

（8）检修动火开始前半小时内，还必须从容器内外的不同地点取混合气样品进行化验分析，检查合格后才可开始动火焊补。而且在动火过程中，还要用仪表监视。因为除了上述可能从保温材料中陆续散发出可燃气体外，有时虽经清水或碱水清洗过，焊补时也还会爆炸，这往往是由于焊接的热量把底脚泥或桶底卷缝中的残油赶出来，蒸发成可燃蒸汽而爆炸。

（9）动火焊补时应打开容器的人孔、手孔、清扫孔和放散管等。严禁焊补未开孔洞的密封容器。

(10) 进入容器内采用气焊动火时，点燃和熄灭焊枪的操作均应在容器外部进行，防止过多的乙炔气聚集在容器内。

(11) 在检修动火前必须制订计划，计划中应包括进行检修动火作业的程序、安全措施和施工草图。施工前应与生产人员和救护人员联系，并应通知厂内消防队。

(12) 在工作地点周围10m内应停止其它用火工作，并将易燃物品移到安全场所。电焊机二次回路线及气焊设备、乙炔皮管要远离易燃物，防止操作时因线路发生火花或乙炔皮管漏气而起火。

(13) 检修动火前除应准备必要的材料、工具外，还必须准备好消防器材。在黑暗处所或夜间工作，应有足够的照明，并准备好带有防护罩的手提低压（12V）行灯等。

7.5.1.2 带压不置换动火安全措施

带压不置换动火是指在不需要置换容器原有可燃气体，甚至在不停车的情况下即可进行容器外的焊补作业。以减少工艺处理手续，作业时间短，有利于生产。

带压不置换动火的工作原理，是在燃油和燃气容器与管道的检修焊补之前，严格控制氧含量，使可燃气浓度大大超过爆炸上限，从而不能形成爆炸混合物。并且在正压条件下让可燃气以稳定不变的速度，从容器的裂缝处扩散逸出，与周围空气形成一个燃烧系统，并点燃可燃气体。只要以稳定的条件保持这个扩散燃烧系统，即可保证焊补工作的安全。为确保带压不置换动火的安全性，必须注意下列安全要求。

（1）带压动火焊补之前，必须进行容器内气体成分的分析，以保证其中氧的含量不超过安全值。爆炸性混合气在不同的管径、压力和温度等条件下，有不同的爆炸极限范围，不能将常温常压下测得的数据与理论计算的数据应用于不同情况下，同时尚需考虑仪表和检测的误差等。目前有的部门规定氢气、一氧化碳、乙炔和发生炉煤气等的极限含氧量以不超过1%作安全值，这个数据具有一定的安全系数。

（2）在动火前和整个焊补过程中，都要始终稳定控制系统中含氧量低于安全数值。当发现系统中氧含量增高，应尽快找出原因及时排除。氧含量超过安全值时应立即停止焊接。

（3）动火前和在整个焊补操作过程中，容器必须连续保持稳定的正压。

（4）压力的大小应控制不使猛烈喷火为宜。因为焊补前要引燃从裂缝逸出的可燃气，形成一个稳定的扩散燃烧系统，如果压力太大即气体流速大，喷出的火焰就会很猛，焊条熔滴容易被大气流吹走，给焊接操作造成困难。而且穿孔部位的钢板，在火焰高温作用下易于

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

变形或熔孔扩大，从而喷出更大的火焰，造成事故。如果压力大小，易使空气渗入形成爆炸性混合气。因此，压力一般可控制在150～500mm水柱之间，以保持正压而又不猛烈喷火为原则。

（5）无论在室内或室外进行容器的带压不置换动火焊补时，还必须分析动火点周围滞留空间的可燃物含量，以小于爆炸下限的五分之一为合格。

（6）焊接前引燃从裂缝逸出的可燃气及操作时，焊工不可正对动火点，以免发生烧伤事故。

（7）焊机的电流大小要预先调节好，特别是在压力在1kgf/cm²以上和钢板较薄的容器，焊接电流过大容易熔扩穿孔，在介质的压力下将会产生更大的孔和裂纹，易造成事故。

（8）遇到动火条件有变化，如系统内压力急剧下降到所规定的限度，或氧含量超过安全值等，都要立即停止动火，待查明原因，采取相应对策，方可再进行焊补。

（9）焊补过程中如果发生猛烈喷火时，应立即采取消防措施。在火未熄灭以前不得切断可燃气来源，也不得降低系统压力，以防容器吸入空气形成爆炸性混合气。

(10)焊工要有较高的技术水平，焊补操作要均匀、迅速，焊工还需要预先经过专门培养和训练。不允许技术差、经验少和未经培训的焊工带压焊补。

燃料容器的带压不置换动火是一项新技术，在理论上是可行的，但因爆炸因素比置换动火时变化多，不易掌握，对操作要求高，稍不注意就会给国家财产和人身安全带来严重后果。它要求必需做好严密的组织工作，要有专人进行严管、认真的统一指挥。值班调度、有关车间、工段的生产负责人和技术人员要在现场参加工作。控制系统压力和氧含量的岗位以及化验分析等要有专人负责，消防部门应密切配合等。按照现行的安全规则规定，尚不允许采取带压不置换动火的办法。对企业管理不健全、安全工作基础差、技术力量不足的企业，特别是小型工厂企业，更是不宜采取这种方法。必须明确规定，在企业各有关生产和安全部门未采取有效措施前，焊工不得擅自进行带压焊补操作。

7.5.2 水下焊接与切割安全技术

水下焊接与切割的热源目前主要采用电弧的热量（如水下电弧焊接、电弧熔割、电弧氧气切割等）以及可燃气体与氧气的燃烧热量（如水下氧氢焰气割）。使用可燃易爆气体和电流本来就具有危险性，而水中条件特殊，危险性更大，需特别强调安全问题。

7.5.2.1 水下焊割作业工伤事故

（1）爆炸　由于被焊割构件存在有化学危险品，弹药等，或焊割未经安全处理的燃料容器与管道，或气割过程中形成爆炸性混合气等原因引起的爆炸事故。

（2）灼烫　炽热金属熔滴或回火造成的烧伤烫伤，以及由于烧坏供气管、潜水服等潜水装具造成的潜水病或窒息。

（3）电击　由于绝缘损坏漏电或直接触及电极等带电体引起的触电，或因触电痉挛引起的溺水二次事故。

（4）物体打击　水下结构物件的倒塌坠落发生挤伤、压伤、碰伤和砸伤等机械性伤亡事故。

7.5.2.2 安全措施

1. 准备工作安全要求

（1）焊割炬在使用前应作绝缘、水密性和工艺性能的检查，需先在水面进行试验。割

炬使用时会由于漏气、堵塞和零部件的磨损等引起回火。氧气胶管使用前应当用1.5倍工作压力的蒸汽或水进行清洗，胶管内外不得粘附油脂。供电电缆必须检验绝缘性能。热切割的供气胶管和电缆每0.5m间距应捆扎牢固。

（2）水下焊割前应查明作业区的周围环境，调查了解作业水深、水文、气象和被焊割物件的结构等情况。应当让潜水焊割工有一个合适的工作位置，禁止在悬浮状态下进行操作。潜水焊割工可停留在构件上工作，或事先安装设置操作平台。

（3）潜水焊割工应备有话筒，以便随时同水面上的支持人员取得联系，不允许在没有任何通讯联络的情况下进行水下焊割作业。潜水焊割工入水后，在其作业点的水面上，半径相当于水深的区域内，禁止其它作业同时进行。

（4）在水下焊割开始操作前应仔细检查整理供气胶管、电缆、设备、工具和信号绳等，在任何情况下，都不得使这些装具和焊割工本身处于熔渣溅落和流动的路线上。应当移去操作点周围的障碍物，将自身置于有利的安全位置上，然后向支持人员报告，取得同意后方可开始操作。

（5）水下焊割作业点所处的水流速度超过0.1～0.3m/s，水面风力超过6级时，禁止水下焊割作业。

2. 预防爆炸安全措施

（1）水下焊割工作前，必须清除被焊割结构内部的可燃易爆物质。

（2）水下气割是利用氢或石油气与氧气的燃烧火焰进行的。水下气割往往有未完全燃烧的剩余气体逸出水面，如遇阻碍则会积留在金属结构内，形成达到爆炸极限浓度的气穴。因此，潜水气割工开始工作时应慎重考虑切割部位，以避免未燃气穴的形成。最好先从距离水面最近点着手，然后逐渐加大深度。水面支持人员和水下切割潜水员在任何时候都要注意防止液体和气体燃料的泄漏在水面聚集，引起水面着火。

（3）进行密闭容器、储油罐、油管和储气罐等水下焊割工程时，必须预先按照燃料容器焊补的安全要求采取技术措施（包括置换、取样分析化验等）后，方可焊割，禁止在无安全保障的情况下进行这类作业。切割无油密闭容器时应开防爆洞。在任何情况下都禁止利用油管、船体、缆索或海水等作为电焊机回路的导电体。

3. 预防灼烫安全要求

（1）焊割作业过程中白炽金属熔滴可溅落相当长的距离（约1m）。当落进潜水服的折迭处或供气软管时有可能烧穿损坏。此外，有可能把操作时裸露的手面烧伤。对此类危险，应有所警惕。

（2）与普通割炬相比，水下切割炬火焰明显加大，从而弥补了切割部位消耗于水介质中的大量热量。焊接电极端头也具有很高温度。因此，潜水焊割工必须格外小心，避免由于自身活动的不稳定而使潜水服或头盔遭到火焰或炽热电极的烧坏。在任何情况下都不允许水下焊割工将割炬、割枪或电极对准自身和潜水装具。

（3）焊炬的点火器可在水面点燃带入水下作业点，或者带点火器到水下点火。前一种方法不太安全，下潜中，可能有被火焰烧伤或烧坏潜水装具。因此，除得到特殊许可者外，潜水切割工不得携带点燃的切割炬下水。

（4）潜水焊割工应避免在自己的头顶上进行焊割作业。

（5）水下气割的回火常发生于点燃割炬时，或更换空瓶（氧气瓶和可燃气瓶）和气割工“下跌”时，后两种情况都造成了燃烧混合气压力与切割炬承受的水柱静压力间失去平

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

衡。即更换空瓶时气体压力短时间内的下降，和气割工带着割炬的“下跌”能导致水压超过气压，迫使火焰返入割炬，造成回火。回火往往招致气体胶管着火，将软管夹在腋下或两腿间以控制被水流冲动的软管，从而导致烧穿或烧坏潜水服。

（6）潜水焊割工应当细心谨慎地保护好供气管和潜水服不被烧坏。

（7）为了防止回火可能造成的危害，除了在供气总管处安装回火防止器外，还应在割炬柄与供气管之间安装防爆阀。防爆阀由逆止阀和火焰消除器组成。前者阻止可燃气的回流，以免在气管内形成爆炸性混合气，后者能防止一旦火焰流过逆止阀时引燃管中的可燃气。

（8）潜水气割工作在操作过程中不得将割炬放在泥土上，以防割嘴被泥砂堵塞。每日工作完毕，要用淡水冲洗割炬并凉干。

4. 预防触电安全措施

（1）水下电弧刚一形成，周围的水便蒸发产生空腔或气泡。由于水的冷却和压力，水下引弧所需的电压较陆上高。从操作安全考虑，水下焊接电源必须采用直流电，禁止使用交流电。

（2）水下焊接设备和电源应具有良好的绝缘和防水性能，得绝缘电阻不得小于1MΩ。并且应具有抗盐雾、大气腐蚀和抗海水腐蚀性能。所有壳体应有水密保护，所有触点及接头都应进行抗腐蚀处理。潜水焊割工在水下直接接触的焊接设备和工具，都必须包敷可靠的绝缘护套，并应水密。电焊机必需接地，接地导线头要磨光，以防受腐蚀。

（3）在焊接或切割中，经常需要更换焊条。在水下更换焊条是危险的操作，容易造成触电事故。当电极熔化完需要更新或工作完毕时，必须先发出拉闸信号，确认电路已经切断，始可去掉残余的电极头。

（4）水下湿法焊接与切割的电路中应安装焊接专用的自动开关箱；水下干法或局部干法焊接电路控制系统中应安置事故报警系统和断电系统。

（5）电极应彻底绝缘和防水，以保证电接触仅仅在形成电弧的地方出现。潜水焊割工进行水下焊割作业时必须戴干燥的绝缘手套或穿戴干式潜水服。

（6）在焊割工作时，电流一旦接通，切勿背向工件的接地点，把自身置于工作点与接地点之间，而应面向接地点，把工作点置于自身与接地点之间，这样才可避免潜水盔与金属用具受到电解作用而致损坏。焊割工必须注意，不得把手放在待焊割的工件上，同时又将焊条或电焊把手触及头盔而遭到电击。

5. 预防物体打击安全要求

（1）在进行水下焊割作业时，应了解被焊割构件有无塌落危险。在水下进行装配点焊时，必须查实点焊牢固而无塌落危险后，方可通知水面松开安装吊索。焊接临时吊耳和拉板，应采用与被焊构件相同或焊接性能相似的材料，并运用相应的焊接工艺，确保焊接质量。

（2）在水下切割时，当被割工件或结构要割断时，尤其是水下仰割或反手切割操作时，潜水切割工应给自身留出足够的避让位置，并且通知友邻及在其底下操作的潜水员避让后，才能最后割断构件。潜水焊割工在任何时候都要警惕避免被焊割构件的坠落或倒塌压伤自身及压坏潜水装置、供气管等。

7.6 焊接安全管理

7.6.1 焊接工作场所与消防措施

7.6.1.1 焊接工作场所

（1）焊接与切割工作地点的设备、工具和材料等应排列整齐、不得乱推乱放。并要保持必要的通道，一旦发生事故时便于消防、撤离和医务人员的抢救。安全规定车辆通道的宽度不小于3m，人行通道不小于1.5m。操作现场的所有气焊胶管、焊接电缆线等，不得互相缠绕。用毕的气瓶应及时移出工作场地，不得随便横躺竖放。

（2）焊工作业面积不应小于4m²，地面应基本干燥。工作地点应有良好的天然采光或局部照明，需保证工作面照度达50～100Lx的要求。

（3）焊割操作点周围10m的范围内，应清除诸如木材、油脂、棉丝、保温材料和化工原料等可燃易燃物品。或采取可靠的安全措施。

（4）室内作业时，应通风良好，不使可燃易爆气体滞留（如乙炔发生器的排气、电石粉末的分解等），多点焊接作业或有其它工种混合作业时，各工位间应设防护屏。

（5）室外作业时，操作现场的地面与登高作业，以及起重设备的吊运等，应密切配合，秩序井然。在地沟、坑道、检查井、管段和半封闭地段等处作业时，应先判明其中有无爆炸和中毒的危险。应当用仪器（如测爆仪、有毒气体分析仪等）进行检验分析，禁止用火柴、燃着的纸张及其它不安全的方法进行检查。对附近的敞开孔洞的地沟，应用石棉板等盖严，防止焊接时火花进入其内。

7.6.1.2 灭火措施及灭火物质的选择

（1）电石桶、电石库房等着火时，只能用干砂、干粉灭火器和二氧化碳灭火器扑救，不能用水或含有水分的灭火器（如泡沫灭火器）救火。

（2）乙炔发生器着火时，要先关闭出气管阀门停止供气，并使电石与水脱离接触。可用二氧化碳灭火器或干粉灭火器扑救，不能用水、泡沫灭火器或四氯化碳灭火器救火。

（3）电焊机着火时，首先要拉闸断电，然后再扑救。在未断电之前不能用水或泡沫灭火器救火，只能用干粉灭火器、二氧化碳灭火器或1211灭火器扑救。

（4）氧气瓶着火时，应迅速关闭氧气阀门，停止供氧，使火自行熄灭。如邻近建筑物或可燃物失火，应尽快将氧气瓶搬离现场。

常用灭火器材的安全使用见本书第2章。

7.6.2 焊接安全检查

7.6.2.1 电石库

检查时应注意是否符合下列安全要求：

（1）根据储存物品的火灾危险和爆炸分类，电石库属于甲类物品库房。电石库房应是单层的一、二级耐火建筑，库内应有良好的自然通风系统，库房的照明设备应采用防爆安全型和封闭式开关，或将电灯和开关装在室外，用反射方法把灯光从玻璃窗射入室内。

（2）电石库房的位置应地势高并且要干燥，不应布置在易被水淹的低洼地方，或人员密集区域和主要交通要道处。严禁用地下室作为电石库房。库房内禁止敷设蒸汽、热水和给水、排水等管道。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）电石库与其它建筑、构筑物的防火间距应照表7-25的规定。

表 7-25 电石库的防火间距表

名称			防火间距（m）	
			≤1.0t贮量	>10t贮量
明火、散发火花的地点			30	30
居住、公共建筑			25	30
其它建筑物	耐火等级	一、二级	12	15
		三级	15	20
		四级	20	25
室外变电站、配电站			30	30
其它甲类物品库房			20	20

注：1.距人员密集的居住区和重要的公共建筑不宜小于50m。

2.两座库房（或电石库与厂房）相邻两面的外墙为非燃烧体且无门、窗、洞口和外露的燃烧体屋檐，其防火间距可按本表减少25%。

3.电石库与相邻企业的建筑物的防火间距应按本表规定适当增加。

（4）电石库与铁路、道路的防火间距不应小于下列规定：

厂外铁路线（中心线）	40m
厂内铁路线（中心线）	30m
厂外道路（路边）	20m
厂内主要道路（路边）	10m
厂内次要道路（路边）	5m

（5）电石库应备有干式、二氧化碳灭火器、砂箱等消防设备。

7.6.2.2 乙炔站

乙炔站是在站区范围内根据不同情况组合有制气站房、灌瓶站房、其它有关辅助建筑物和构筑物等的统称。用管道输送气态乙炔的乙炔站称气态乙炔站；用以生产瓶装乙炔的乙炔站称溶解乙炔站。这里着重讨论用管道直接供应本企业各气焊加工场所的气态乙炔站。

乙炔站安全检查要点是它在厂区的位置，以及站区的具有爆炸危险的生产间，如发生器间、贮气罐间、中间电石库、乙炔汇流排间等是否符合下列安全要求和规定。

（1）根据乙炔生产和贮存物品的火灾危险和爆炸性分类，乙炔站属于甲类生产厂房。它在厂区的布置应符合下列安全要求：宜靠近主要用户处；不应布置在人员密集区和主要交通要道处；同一企业有氧气站时，乙炔站应布置在空分设备的吸风口全年最小频率风向的上风侧；应有良好的自然通风；严禁布置在易被水淹没的地方。

（2）乙炔站与建、构筑物的防火间距不应小于表7-26的规定。

（3）乙炔站与铁路、道路的间距应不小于下列规定：

厂外铁路线（中心线）	30m
厂内铁路线（中心线）	20m
厂外道路（路边）	15m
厂内主要道路（路边）	10m
厂内次要道路（路边）	5m

电力牵引机车的厂外铁路线的防火间距可减为20m。

（4）同一企业有氧气站时：乙炔站及电石渣堆与空分设备吸风口的间距不应小于表7-27的规定。当不能满足要求时，则应符合表7-28的规定。

表 7-26 乙炔站与建、构筑物的防火间距表

名称 \ 防火间距(m) \ 乙炔站		耐火等级	
		一、二级	三级(原有)
其它建筑物耐火等级	一、二级	12	14
	三级	14	16
	四级	16	18
明火或散发火花地点		30	30
居住、公共建筑		25	25
室外变电站，配电站		30	30

注：1.防火间距应按相邻厂房外墙的最近距离计算，如外墙有凸出的燃烧体，则应从其凸出部分外缘算起。

2.两座厂房相邻较高一面的外墙为防火墙，其防火间距不限。

3.两座厂房相邻两面的外墙均为非燃烧体且无门窗洞口和外露的燃烧体屋檐，其防火间距可按本表减少25%。

4.距人员密集的居住区或重要的公共建筑不宜小于50m。

表 7-27 乙炔站及电石渣堆与空分设备吸风口之间的最小水平间距表

乙炔发生器型式	乙炔站安装容量(Hm^3/h)	制氧工艺种类	
		空分塔具有乙炔净化措施，且制氧流程内具有硅胶、铝胶吸附干燥装置	制氧流程内具有分子筛吸附净化装置
		最小水平间距(m)	
水入电石式	≤10	100	50
	>10至<30	200	
	≥30	300	
电石入水式	≤30	100	50
	>30至<90	200	
	≥90	300	

注：水平间距应按吸风口与乙炔站或电石渣堆相邻面外壁或边缘的最近距离计算。

（5）乙炔站应设围墙或栅栏，围墙或栅栏至乙炔站有爆炸危险的建筑物、渣坑的边缘和室外乙炔设备的净距，不应小于下列规定：实体围墙（高度不低于2.5m） 3.5m

空花围墙或栅栏 5m

如果乙炔站的制气站与其它生产厂房毗连时，若布置有困难，以上的净距可适当缩小。

（6）乙炔贮气罐应布置在室外，如总容积不超过5m^3的固定容积式贮气罐或总容积不超过20m^3的水槽式贮气罐，可布置在站房内单独的房间里，在寒冷地区、贮气罐的水槽和排水管，应采取防冻措施。容量小于500立方米的水槽式乙炔贮气罐与建、构筑物的防火间距不应小于表7-29的规定。干式乙炔贮气罐与建、构筑物的防火间距应按表7-29的规定增加25%。容积不超过20m^3的乙炔贮气罐与乙炔站之间的防火间距可不按表7-29的规定，但应考虑贮气罐的安装与检修的方便，以及不影响乙炔站通风和采光的要求。

表 7-28 空分设备吸风口处空气内乙炔的允许极限含量表

吸风口处空气内乙炔的允许极限含量(mgc/Hm^3)	
空分塔具有乙炔净化措施，且制氧流程内具有硅胶、铝胶吸附干燥装置	制氧流程内具有分子筛吸附净化装置
0.5	5

表 7-29 水槽式乙炔贮气罐的防火间距表

名称			防火间距(M)
明火或散发火花的地点，居住、公共建筑、易燃、可燃液体贮罐，易燃材料堆场，甲类物品库房			25
建筑物	耐火等级	一、二级	12
		三级	15
		四级	20
室外变电站、配电站			25

（7）乙炔贮气罐与铁路、道路的防火间距的安全规定同乙炔站。乙炔贮气罐之间的防火间距应符合下列要求：水槽式乙炔贮气罐之间的防火间距不应小于相邻较大罐的半径；干式乙炔贮气罐之间的防火间距不应小于相邻较大罐直径的2/3；水槽式乙炔贮气罐与干式乙炔贮气罐之间的防火间距，应按其中较大者确定。

（8）乙炔贮气罐间应装设事故排放管（装在防爆膜上），不同设备的排放管应分别通至室外，排放管口距室外地坪的高度不应小于3.6m。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（9）发生器间应符合下列安全要求：发生器间的每台发生器及其附属设备的乙炔放出管应单独通至室外，并应高出乙炔站屋脊1m以上；乙炔设备的排污管并应接至室外；每台发生器不同部位的事故排放管（装在防爆膜上）应分别通至室外，排放管口距室外地坪高度不应小于3.6m；发生器间的给水总管上，应装设压力表，在每台发生器的给水管上，应装设有止回阀；发生器间严禁明火采暖，其电力装置的安全规定同电石库；每台发生器的安全装置（包括阻火装置、泄压装置和指示装置）均必须齐全，并且工作性能正常；电石入水式发生器必须设有含氧量不超过3%的氮气或二氧化碳的吹扫装置，在加料斗的吹扫管上应装有压力表，应有防真空措施，在加料口应有除尘装置。

（10）乙炔汇流排间可与氧气汇流排间布置在耐火等级不低于二级的同一座建筑物内，但应以无门、窗、洞的防火墙隔开。

（11）乙炔站的设备布置应紧凑合理，方便维修和操作。设备与设备或与墙之间的净距要求如下：设备与设备之间的净距不宜小于1.5m，设备与墙之间的净距不宜小于1m。但小型设备（水泵、水封等）的布置间距可适当缩小；灌瓶乙炔压缩机双排布置时，两排之间的通道净宽，以及和发生器间的主要通道净宽不宜小于2m。

（12）乙炔站的电石渣数量较大，应综合利用，严禁排入江、河、湖、海、农田、工厂区及城市排水管沟等。澄清水应尽量循环使用，澄清水综合处理达到现行的《工业“三废”排放试行标准》的要求时，才能排出厂外。电石渣坑宜为开敞式，并严禁作成渗坑。

7.6.2.3 气瓶库

气瓶库的安全检查要点是它的安全间距、库房结构和仓库设施等是否符合安全规定。

1. 压缩与液化气瓶库

（1）气瓶库应为一层建筑，其耐火等级不低于二级（一般是指承重、墙、柱、屋面均为非燃烧物质的建筑物）。

（2）贮存气体的爆炸下限＜10%时，气瓶库房应设置泄压装置（易掀开的轻质屋顶盖、易于泄压的门、窗和墙等），其泄压面积与库房容积之比一般应达到0.14m²/m³，如配置有困难时可适当缩小，但不应小于0.1m²/m³。泄压装置应靠近爆炸部位，不得面对人员集中的地方和主要交通道路。作为泄压用的窗不应采用双层玻璃。

（3）气瓶库的门窗均应向外开启。库房应有直通室外，或通过带防火门的走道通向室外的出入口。出入口应位于事故发生时能迅速疏散的地方。

（4）气瓶库和相邻的生产厂房、公用和居住建筑以及铁路、公路之间的距离应符合表7-30的规定。

（5）库内温度不超过35℃。可燃易燃气瓶库严禁明火采暖。地板应采用不产生火花的材料（如沥青混凝土），库房高度自地板至垛口不得小于7.5m。

（6）气瓶仓库的最大容量不应超过3000瓶，并用耐火墙分隔成若干小间，每间限贮可燃气体500瓶，氧气及不燃气体1000瓶。两个

表 7-30 装有压缩或液化气体的气瓶仓库与建筑物等的间距表

仓库容量（换为算40升的气瓶数）	距离对象	间距（m）不少于
≤500瓶	装有其它气体的气瓶仓库及生产厂房	20
＞500至1,500瓶	同上	25
＞1,500瓶	同上	30
无论仓库的容量多大	住宅	50
无论仓库的容量多大	公共建筑物	100
无论仓库的容量多大	铁路干线	50
无论仓库的容量多大	厂内铁路	10
无论仓库的容量多大	公用公路	15
无论仓库的容量多大	厂内公路	5

小间的中间可开门洞，每间应有单独的出口。

（7）互相接触后有可能引起燃烧爆炸的气瓶（如氢气、液化石油气）及油质一类物品，不得与氧气瓶一起存放。如需在同一建筑物内存放时，应以无门、窗、洞的防火墙隔开。

（8）存放可燃和易燃气体气瓶的库房，按照电力装置的火灾和爆炸危险场所划分，属0-2级（即在正常情况下不能形成而在不正常情况下能形成爆炸性混合物的场所）。因此，安装于库房内的照明灯具，开关等电器装置，应采用防爆安全型。

2. 乙炔瓶库

（1）乙炔瓶库与建筑物和屋外变配电站的防火间距，不应小于表7-31的规定。

表 7-31 乙炔瓶库与其它建筑物的防火间距表（m）

乙炔实瓶贮量（个）	其它建筑 耐火等级 一、二级	三级	四级	民用建筑，屋外变，配电站
≤1,500	12	15	20	25
>1,500	15	20	25	30

（2）乙炔瓶库的气瓶总贮量（实瓶或实瓶、空瓶贮量）不应超过3000个，其中应以防火墙分隔，每个隔间的气瓶贮量不应超过1000个。

（3）乙炔瓶库严禁明火采暖。集中采暖时，其热管道和散热器表面温度不得超过130℃，库房的采暖温度应≤10℃。

当气瓶与散热器之间的距离小于1m时，应采取隔热措施，设置遮热板以防止气瓶局部受热。遮热板与气瓶之间，和遮热板与散热器之间的距离均不得小于100mm。

（4）乙炔瓶库可与氧气瓶库布置在同一座建筑物内，但应以无门、窗、洞的防火墙隔开。

7.6.2.4 乙炔与氧气管道的布设

乙炔与氧气管道和建筑物、其它管线及铁路、道路的安全净距应符合表7-32、表7-33及表7-34的规定。

表 7-32 厂区架空乙炔、氧气管道与建构筑物的水平净距表

序号	建、构筑物名称	最小水平净距（m） 乙炔管	氧气管
1	一、二级耐火等级丁、戊类车间	允许沿外墙	允许沿外墙
2	一、二级耐火等级车间（有爆炸危险的车间除外）	2	允许沿外墙
3	三、四级耐火等级车间	3	3
4	有爆炸危险的车间	4	4
5	铁路中心线	3.8	3.8
6	道路路面边缘，边沟边缘或路堤坡脚	1.0	1.0
7	架空电线外侧边缘		
	1kV以下	1.5	1.5
	1—20kV	3	3
	35kV	4	4

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 7-33 车间架空氧气乙炔管道与其它管线之间的净距表

序号	其它管道名称	平行放设(m)		交叉放设(m)	
		氧气管	乙炔管	氧气管	乙炔管
1	给排水管	0.25	0.25	0.1	0.25
2	热力管	0.25	0.25	0.1	0.25
3	煤气管	0.25	0.25	0.1	0.25
4	非燃烧气体管道	0.25	0.25	0.1	0.25
5	通风管	0.25	0.25	0.1	0.25
6	滑触线	1.5	3.0	1.0	1.0
7	裸母线	1.0	2.0	1.0	1.0
8	绝缘电线及电缆	0.5	1.0	0.3	0.5
9	电线管	0.5	1.0	0.3	0.5
10	插接式母线，悬挂式干线	1.5	3.0	0.5	1.0
11	开关、插座、配电箱等	1.5	3.0	1.5	3.0
12	焊接钢管配线	0.1	0.25	0.1	0.25

注：当电气设备与乙炔和氧气的引出口不能保持上述距离时，允许二者安装在同一柱子的相对侧面。如柱子为空腹柱时，应在柱子上局部装设隔板。

表 7-34 架空氧气、乙炔管道与铁路、道路电线之间的交叉垂直净距表

序号	铁路、道路和电线名称	最小交叉净距(m)
1	非电气化铁路轨顶	6.0
2	电气化铁路轨顶	6.2
3	道路路面	4.5
4	人行道路面	2.2
5	架空电线	
	1kV以下，电线在上面	
	(1) 管道上有人通过	2.5
	(2) 管道上无人通过	1.0
	1～20kV，电线在上面	3.0
	35kV，电线在上面	4.0

第8章 化工厂腐蚀与防护

8.1 化工厂的腐蚀

8.1.1 腐　　蚀

系指材料在周围介质作用下所产生的破坏。材料包括金属与非金属材料，而引起破坏的原因，可以是物理的、机械的、生物的和化学的各种因素引起的。

此外，有将金属腐蚀定义为“除单纯机械破坏外的一切破坏。”或“金属腐蚀是冶金的逆过程。”

8.1.2 腐蚀与安全

腐蚀普遍存在于石油、化工、冶金以及轻工等部门。在化工生产中，所用原材料及生产过程中的中间产品、产品等大部分具有腐蚀性。对建、构筑物、机械、设备、仪表、电气设施，均会造成腐蚀破坏，严重影响生产安全，具体表现在以下三个方面：

（1）对建、构筑物的影响　在化工企业中，腐蚀性介质对厂房建筑（梁、柱、地面等）、设备基础、各种构架、道路及地沟等均会造成严重腐蚀。致使厂房倒塌，设备基础下陷、构架、管道变形开裂威胁安全生产；

（2）对机械设备、电气、仪表的影响　化工生产中，大量酸、碱等腐蚀介质，严重地腐蚀着机械、设备、管路、阀门和垫片、填料，致使设备壁厚减薄、强度下降，设备、管路、阀门泄漏，内容物外逸会造成中毒、火灾、爆炸等事故的发生。电气、仪表等设备，会因腐蚀而导致绝缘破坏、接触不良，致使电气、仪表失灵发生各种事故；

（3）腐蚀损失巨大　腐蚀所造成的经济损失体现在设备损伤事故中。因腐蚀造成的设备损伤占有很大比重。1964～1973年间，日本金属工业公司研究部处理设备损伤事故1009件，有985件与腐蚀有关，占97.62%。根据美、苏、英、西德等国家在1969～1970年间的调查资料表明，由于腐蚀所造成的直接损失，占国民经济总收入的2～4.2%。美国每年汽车事故损失300亿美元，火灾损失110亿美元，洪水损失4.3亿美元，风灾损失17亿美元，地震损失4亿美元，而腐蚀所造成的损失达700亿美元，远远超出上述的总和。

综上所述，腐蚀与安全有着密切的关系，它严重地影响着生产、人身及环境安全，必须十分注意。

8.1.3 腐蚀的分类

腐蚀的分类方法较多，一般按腐蚀机理可分为化学腐蚀和电化学腐蚀；按环境可分为大气腐蚀、土壤腐蚀、生物腐蚀、海洋腐蚀、液态金属腐蚀及非水溶液腐蚀等；按腐蚀部位可分为，全面腐蚀与局部腐蚀；按腐蚀类型可分为，点腐蚀（孔蚀），缝隙腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀、氢脆、腐蚀疲劳及磨损腐蚀等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

8.1.4 腐蚀机理

8.1.4.1 化学腐蚀

金属与周围介质发生化学作用而引起的破坏，称为化学腐蚀。工业中常见的化学腐蚀有：

（1）金属氧化　金属在干燥或高温气体中同氧作用所产生的腐蚀即是。其氧化过程可用下式表达：

$$2Me + O_2 \rightleftharpoons 2MeO$$

（2）高温硫化　金属在高温下与含硫（硫蒸气、二氧化硫、硫化氢等）介质作用形成硫化物（腐蚀产物）的腐蚀过程称为高温硫化。

（3）渗碳　某些碳化物（如一氧化碳、烃类等）与钢接触在高温下分解生成游离碳，渗入钢内形成碳化物的过程谓之渗碳。

（4）脱碳　高温下，钢中渗碳体与气体介质（水蒸汽、氢、氧等）发生化学反应，引起渗碳体脱碳的过程。结果形成一定厚度的缺碳铁素体，使钢表面硬度和疲劳极限下降。

（5）氢腐蚀见8.2.7.1。

8.1.4.2 电化学腐蚀

金属同电解质溶液接触时，由于金属材料的不同组织及组成之间形成原电池，其阳、阴极之间所产生的氧化和还原反应使金属材料的某一组织或组分发生溶解，最终致材料失效的过程，称为电化学腐蚀。

8.2 腐蚀类型

8.2.1 全面腐蚀

在金属设备整个表面或大面积发生程度相同的腐蚀，称为全面腐蚀或均匀腐蚀。被腐蚀的设备，金属以一定速度被腐蚀介质所溶解。

局限于金属结构特定区域或部位上的腐蚀称为局部腐蚀。

8.2.1.1 腐蚀速度

全面腐蚀的速度，以设备单位面积上，在单位时间内的重量损失表示如：$mg/dm^2 \cdot d$、$g/m^2 \cdot h$；还可以用每年金属腐蚀的深度，即构件变薄的程度来表示如：mm/年。

表 8-1　金属材料耐蚀等级

等级	腐蚀速度（mm/年）	耐蚀性
1	<0.05	优良
2	0.05～0.5	良好
3	0.5～1.5	可用、但腐蚀较重
4	>1.5	不适用，腐蚀严重

8.2.1.2 耐蚀等级

金属材料的耐腐蚀性，依其腐蚀速度大小分为四级。见表8-1。

8.2.2 电偶腐蚀

两种不同金属于溶液中直接接触，因其电极电位不同构成腐蚀电池，致使电极电位较负的金属发生溶解腐蚀，该腐蚀称之为电偶腐蚀，或接触腐蚀、双金属腐蚀。

工程上必须两种金属材料相接触时，可根据实测电偶序选择相距较近的金属材料减少其电位差异，以减轻电偶腐蚀。

8.2.3 缝隙腐蚀

在电解液中，金属与金属，金属与非金属之间构成窄缝空腔内发生的一种腐蚀，称为缝隙腐蚀。

在化工生产中，管道连接处，衬板、垫片处，设备污泥沉积处，海生物附着处以及设备外部尘埃、腐蚀产物的附着处，均易产生缝隙腐蚀。当金属涂层破损时，金属与涂层之间也会发生缝隙腐蚀。

8.2.3.1 腐蚀机理

由于缝隙中积液流动不畅，逐渐使缝内外构成浓差电池，发生了阳极溶解（$Me \rightarrow Me^{+} + e$）和阴极还原反应（$O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^{-}$）。

上述反应使O_2逐渐耗掉，由于积液流动不畅O_2很难补充，且腐蚀产物对缝隙起了进一步阻塞作用。但，缝内阳极溶解借助缝外阴极反应仍可继续进行。生成过多的Me^{+}使缝内外电平衡破坏，促进溶液中Cl^{-}等迁入缝内并形成金属盐。盐水解成游离酸加快了金属溶解速度。Me^{+}增多使上述过程更加活跃，形成一个自催化过程，使腐蚀严重。

8.2.3.2 影响因素

（1）缝隙宽度　缝隙可以使溶液侵入，但亦使其流动受阻。缝宽大约为0.1～0.12mm时最易腐蚀，一般发生缝隙腐蚀宽度约为

$$\frac{1}{40}\ \text{mm} \leqslant \text{缝隙腐蚀} \leqslant 3\frac{1}{8}\ \text{mm}$$

（2）缝内外面积比　当缝内外面积比愈大，腐蚀愈严重。因为提供阴极反应场所增多，加速了缝内阳极反应，致使腐蚀严重。

（3）溶氧量　溶液中溶氧量增加，有利于缝外金属去极化的阴极反应。因此，溶氧量增加会使缝隙腐蚀加剧。

（4）pH值　当腐蚀溶液的pH值处在能使缝外金属钝化状态下，则pH值降低，会使缝内腐蚀加重。

（5）氯离子　溶液中氯离子的增加，往往会使金属电位向负方向移动，致缝隙腐蚀加剧。

（6）流速　在发生缝隙腐蚀条件下，腐蚀溶液的流速有着双向的影响，要视具体情况加以分析。

8.2.3.3 防止缝隙腐蚀方法

（1）采用抗缝隙腐蚀的金属或合金材料。该种材料在低氧酸性介质中不易被活化。常用不锈钢在0.5N NaCl溶液中的缝隙腐蚀顺序为Cr18Ni12Mo3Ti＞Cr18Ni12Mo2Ti＞28Cr＞Cr18Ni12Mo2Nb＞Cr18Ni9Ti＞17Cr＞13Cr。

（2）采用合理的设计方案，解决或降低缝隙腐蚀程度。严重的腐蚀往往由于连接处结构不合理，造成缝隙、死角，使腐蚀溶液易积存造成的。如，法兰配合不严密，或选用不适宜的垫片等等。

（3）采用电化学保护。用负电性强的金属作阳极，与易发生缝隙腐蚀的金属（阴极）部位构成电化学体系，从而使其得到保护。也可以采用外接电源的方法使缝隙得到电化学保护。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（4）采用缓蚀剂保护。某些金属腐蚀体系，还可以采用缓蚀剂的方法减轻缝隙腐蚀程度。

8.2.4 孔　　蚀

集中于金属表面个别小点上深度较大的腐蚀，称为孔蚀或小点腐蚀。

8.2.4.1 腐蚀机理

金属表面由于露头、错位、介质不均匀等缺陷，使其表面膜的完整性遭到破坏，成为点蚀源。该点蚀源在某段时间内是活性状态，电极电位较负，与表面其它部位构成局部腐蚀微电池。在大阴极小阳极的条件下，点蚀源的金属迅速被溶解形成孔洞。同缝隙腐蚀一样也存在着前者的自催化过程，它可使腐蚀不断加深、穿透造成不安全后果。

8.2.4.2 影响因素

（1）介质　介质是孔蚀重要影响因素之一。氯化物、溴化物、次氯酸盐等溶液，及含Cl^-天然水的存在，最易产生孔蚀。而氧化性金属氯化物如，$CuCl_2$、$FeCl_3$或卤素离子与氧化剂同时存在，则能加重孔蚀程度。当介质中OH^-、NO_3^-、SO_4^{--}、ClO_4^-等阴离子与溶液中Cl^-的比值达一定值时，对孔蚀有抑制作用。否则其作用相反。

（2）流速　增加溶液流速，能消除金属表面滞流状态，有降低孔蚀倾向的作用。

（3）其它　奥氏体不锈钢比其它合金有较大的孔蚀敏感性。不锈钢的敏化处理、冷加工会增加孔蚀的倾向。

8.2.4.3 防止孔蚀方法

（1）要设法减少溶液中氯离子浓度，或加入有抑制孔蚀作用的阴离子，其作用有效顺序对奥氏体不锈钢为

$$OH^- > NO_3^- > \text{醋酸根离子} > SO_4^{--} > ClO_4^-$$

对铝及其合金为

$$NO_3^- > CrO_4^- > \text{醋酸根离子} > \text{苯甲酸盐} > SO_4^{--}$$

（2）减少溶液中氧化性离子，如Fe^{+++}、Cu^{++}、Hg^{++}等是一个很重要的方法。也可降低溶液温度、加大流速以减缓孔蚀。

（3）采用阴极保护法使金属得到保护。也可以采用耐点蚀合金，如铁素体不锈钢、高纯钢及双相钢等。

8.2.5 晶　间　腐　蚀

晶间腐蚀是一种沿材料晶粒间界发生的腐蚀破坏。它可以在外观无变化情况下，完全丧失金属的强度。

8.2.5.1 腐蚀机理

金属材料在腐蚀环境中，晶界和晶粒本身物质的物理化学和电化学性能有差异时，会在他们之间构成腐蚀电池。使腐蚀沿晶粒边界向前发展，致材料的晶粒间失去结合力。

8.2.5.2 影响因素及防止方法

晶间腐蚀的影响因素，及其防止方法见表8-2。

8.2.6 应力腐蚀破裂

应力腐蚀破裂是金属及合金在拉应力和特定介质环境的共同作用下，发生的一种腐蚀

表 8-2 晶间腐蚀的影响因素及防止方法

影响因素	影　　响	防　止　方　法
含碳量	奥氏体不锈钢中碳含量愈高析出物碳化物愈多，晶间腐蚀倾向愈高，反之晶间腐蚀倾向小	将碳含量降到极限碳含量以下： 如18-8不锈钢碳降至≤0.03010以下，短时间敏化加热不出现晶间腐蚀 ≤0.02010，长时间敏化加热不出现晶间腐蚀
合金元素	Ti，Nb、Ta是强碳化物形成元素，其与碳的亲和力大于铬与碳的亲和力，形成稳定碳化物TiC、NbC等，敏化温度下阻止了碳化铬的生成从而避免了贫铬	向不锈钢中加入Ti、Nb，加入5倍碳含量的Ti元素，或加入10倍碳含量的Nb元素
加热及热处理	敏化温度下加热，如焊接，使用，或热处理会使晶界析出异相	通过固碳处理、稳定化处理，消除晶间腐蚀敏感性

破坏。

应力腐蚀外观一般见不到任何变化、裂纹发展迅速且预测困难更具危险性。

8.2.6.1 腐蚀机理

应力腐蚀破裂机理较成熟的有下面四种。

（1）机械化学效应　该理论认为，材料在应力作用下其应力集中处迅速变形屈服成为腐蚀电池阳极区，与金属表面腐蚀电池的阴极区构成小阳极大阴极的腐蚀电池。使金属沿特定的狭窄区域迅速溶解开裂。

（2）闭塞电池理论　该理论认为，某些几何因素致金属裂纹引发点处电解液流动不畅形成闭塞电池。该处为阳极，其它处为阴极，闭塞区内的金属溶液。其后的自催化作用使金属迅速溶解，发展成裂纹。

（3）表面膜理论　该理论认为，金属表面膜在应力作用下破坏露出新表面，新表面与有保护膜部分因电位差异构成腐蚀电池阳极，发生溶解形成裂纹源。造成应力集中，导致裂纹发展。

（4）氢脆理论　该理论认为，在应力存在下，金属腐蚀生成的氢在裂纹前缘形成氢应变铁素体，或生成高活化氢化物致金属材料脆化。裂纹沿氢脆部位向前扩展，并导致破裂。

8.2.6.2 腐蚀特征

（1）金属　发生应力腐蚀的金属材料主要是合金，纯金属较少；

（2）应力　引起应力腐蚀破裂的，主要是拉应力。压应力对工程一般构不成威胁，但也有可能引起应力腐蚀；

（3）断裂形状　脆性断裂裂纹可以是穿晶型、晶间型和混合型，视金属材料及所处腐蚀环境而定。应力腐蚀裂纹呈枯枝状、锯齿形，其走向垂直于应力方向。

8.2.6.3 防止应力腐蚀方法

工业常见应力腐蚀破裂的介质条件及其防止方法见表8-3。

8.2.7 氢　损　伤

氢损伤是由氢作用引起材料性能下降的一种现象，它包括氢腐蚀与氢脆。

8.2.7.1 氢腐蚀

在高温高压下，氢引起钢组织的化学变化，使其机械性能劣化，称为氢腐蚀。它不同于

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

氢脆，不能用脱氢方法恢复其机械性能。

1. 腐蚀机理

在高温高压下，H_2于钢表面进行物理吸附并分解为H。H 经化学吸附透过金属表面固溶

表 8-3 应力腐蚀介质条件及防止方法

材料	介质条件及规律	防止方法
碳钢	介质：NaOH，高温浓碱(30%) NaOH含量5%的蒸汽锅炉水 温度：60℃～沸点 应力：发生在有应力的部位，如胀管处，设备不受高负荷蒸汽	(1)合理的设计结构，消除应力 (2)及时修理漏气处，防止此处NaOH浓缩 (3)尽可能降低温度操作 (4)添加缓蚀剂，如Na_3PO_4等
碳钢	介质：硝酸盐，如NH_4NO_3，$NaNO_3$等 浓度：浓度越大，越易破裂，溶液中的氧化剂促进应力腐蚀破裂 应力：应力越大，越易发生破裂	(1)选用含Cr、少量Mo、Ti、Nb的钢 (2)采用含碳量大于0.2%，并进行适当的热处理 (3)向介质中加入某些盐类，如H_3PO_4及其盐，使Fe^{++}变成不溶物质，以抑制应力腐蚀破裂 (4)消除应力
碳钢	介质：液氨 浓度：99.5～99.995%的液氨 温度：13～30℃应力腐蚀破裂最敏感	(1)选用低强度钢，或对高强度钢采用适当的热处理 (2)降低液氨的温度10℃以下 (3)向液氨中加少量水、冷冻机油等
碳钢	介质：H_2S水溶液，含硫高的油田，及石油化工 温度：常温，20～40℃最敏感 pH值：3～4敏感性最大	(1)获得马氏体回火组织 (2)焊接件，焊后进行621℃热处理 (3)采用强度≤63kg/mm²、硬度HRC≤22的钢 (4)控制钢中的硫化物含量 (5)采用抗硫化氢用钢如12AlV；12MoAlV；40MnMoNb
不锈钢	介质：氯化物水溶液 浓度：Cl^-会引起应力腐蚀破裂，浓度越高，敏感性越大 温度：温度、破裂敏感性大，低温时多为穿晶型破裂高温时多为晶间型破裂 pH值：6～8时敏感性最大、氧化剂浓度增高，破裂敏感性增大	(1)降低或消除应力 (2)高温水能除去有害杂质Cl^-、及氧含量 (3)采用抗应力腐蚀钢种：如含高Si高纯合金钢 (OOCr25Ni25Si2V_2Ti、 OOCr18Ni13Si3Cu OCr17Ni14Si4Cu等)
不锈钢	介质：NaOH碱液 浓度：浓度增加，引发应力腐蚀破裂的温度降低 O_2可以有效的抑制其应力腐蚀破裂	(1)加入Na_3PO_4/NaOH≥1/4可完全抑制 (2)采用抗碱溶液应力腐蚀钢种，如 Cr18Ni12Mo2Ti、 OOCr18Ni14Si4、 1Cr21Ni33AlTi等
不锈钢	介质：连多硫酸(H_2SxO_6) 常见于与硫化氢等硫化物接触的石油中 pH值：≤5易发生 温度：易产生在敏化温度范围内	一般加碱溶液处理来防止

其内，并经晶界向钢内部扩散。H在夹杂物与金属交界处形成H_2，或与微隙壁上碳化合生成甲烷 (CH_4)。H_2、CH_4不能重溶和扩散，被封闭聚集形成高压造成应力集中，导致微裂纹生成。

2. 腐蚀特征

化学工业常见钢的氢腐蚀有下列特征：软钢及钢表面可见鼓泡，微观组织可见沿晶界有许多微裂纹。被腐蚀的钢强度、塑性下降，宏观是脆断。

3. 防止方法

（1）选择合适的钢种，如微碳纯铁、10MoWVNb钢等；

（2）可采用不锈钢（如1Cr18Ni9Ti）做构件，防止氢在高温高压下与钢接触；

（3）在无（1）、（2）的条件下，可用低碳钢；或对钢充分球化热处理，钢液不用铝脱氧；或尽量用含少量稳定碳化物元素的钢；

（4）加强工业监测，检查材料性能变化、脱碳程度，以防事故发生。

8.2.7.2 氢脆

由于氢扩散到金属内部，使材料发生脆化的现象称为氢脆。

1. 氢脆机理

一般认为氢溶于钢后残留在位错等处，当氢达饱和状态后，对位错起钉扎作用，使滑移难以进行，于是钢出现脆性。

2. 氢脆的特征

（1）氢脆具有可逆性，在未脆断前适当热处理（100～150℃），保温24小时可消除脆性；

（2）它不同于应力腐蚀，材料在无腐蚀存在下，即可发生氢脆；

（3）合金强度级别越高，其氢脆敏感性越大；

（4）合金碳化物组织状态对脆裂有直接影响，其易开裂顺序为马氏体＞500℃回火马氏体＞粗层状珠光体＞细层状珠光体＞球状珠光体；

（5）易发生氢脆的温度为常温。

3. 防止方法

（1）通常采用Cr、Al、Mo等有效的合金化元素，使金属表面合金化形成致密的膜以阻止氢向钢内部扩散；

（2）采用有碳化物稳定元素Ti、Nb、B、V的钢材，并适当热处理；

（3）加入少量Pt、Pd、Cu等氢超电势小的合金元素以减少氢内渗；

（4）采用烘焙方法去氢，该法在真空条件下进行，效果更好；

（5）在气态氢环境中，加入适量氧可抑制氢脆的产生。

8.2.8 腐蚀疲劳

材料在腐蚀环境中，受交变应力作用产生的破坏，称为腐蚀疲劳。其影响因素如下。

（1）交变速率降低易产生腐蚀疲劳；高交变速率下不易产生腐蚀疲劳；

（2）循环应力值及辐度增加，会加重腐蚀疲劳；

（3）强腐蚀环境会加重腐蚀疲劳。

8.2.9 选择性腐蚀

合金腐蚀时，其某种组分有选择性溶解，称为选择性腐蚀或脱成分腐蚀。常见的有黄铜脱锌及铸铁石墨化等。

8.2.9.1 黄铜脱锌

黄铜中的锌发生选择性溶解，称为黄铜脱锌。它包括由表面均匀发展的层状脱锌，和局

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

部向深处发展的栓状脱锌两种类型。

8.2.9.2 **铸铁石墨化**

石墨在灰口铁中呈网状分布，在盐水、土壤等腐蚀性不大的环境中，铁会发生选择性腐蚀。结果留下石墨，被腐蚀的铸铁外观如石墨，因此，也称为石墨化腐蚀。

8.3 腐蚀监测

化工腐蚀监测对保证生产安全有着重要意义。通过对在用设备的腐蚀监测，可以确定合理的使用、维护、保养、更新制度与方法，防止由腐蚀造成设备事故给生产带来损害。工业上常用的监测技术有以下几种。

8.3.1 电 阻 法

该法根据金属元件横截面因腐蚀而减小引电阻改变的原理，进行腐蚀速度的检测。它不受介质状态（气相或液相）限制，应用最广泛常用于运转设备的腐蚀检测。

8.3.2 极化阻力法

向电解液中正在腐蚀的金属施加一个小的电压（5～20毫伏）会产生一定的电流，该电压与相应电流的比值称极化阻力，它与腐蚀速度成反比。该法即通过极化阻力的测定以测定腐蚀速度。

在多数情况下，可认为极化阻力值为常数，其波动范围在2～3倍，因此所测腐蚀速度与实际值也差2～3倍。这种精度可以满足多数情况需要。该法限于在电解液中进行运转设备均匀腐蚀的测定，测得的为瞬时腐蚀速度。如将电阻法与极化阻力法同时应用，会得到较全面的信息。

8.3.3 电 位 法

腐蚀状态与腐蚀电位存在着一定关系，该法即通过电位测量确定腐蚀快慢及腐蚀类型。它可用于局部腐蚀、均匀腐蚀监测。但，不能提供有关总腐蚀和腐蚀速度的准确数据。

8.3.4 无损检验技术

该技术常用于生产装置定期检查，可提供生产装置有关部件局部状态信息。但，检测腐蚀行为变化的能力较差。

8.3.5 化 学 法

采用化学分析的方法，测定物料中pH值、氧浓度、缓蚀剂浓度等与腐蚀有关的参数，以了解腐蚀过程情况。该方法不能直接给出腐蚀速度，但可提供能发生腐蚀的转化条件。还可用以鉴别发生两种不同状态的腐蚀界线。

8.3.6 挂 片 法

将材料试件挂在腐蚀物料中，保持一定时间，以确定其腐蚀情况。该法是实验室研究工厂腐蚀的基本方法。它简单可靠，具有对比评价一批材料的耐全面腐蚀、孔蚀、应力腐蚀及氢脆等的能力。它也可用于其他腐蚀监测方法的验证。

根据挂片试件失重，可按下式确定腐蚀速度：

$$\text{腐蚀速度(mm/年)} = \frac{\text{失重(mg)} \times 87.6}{\text{面积(mm}^2\text{)} \times \text{时间(h)}} \times \text{金属密度(g/cm}^3\text{)}$$

挂片法适于均匀腐蚀的测定，用时要辅以金相显微镜，检查是否存在孔蚀、晶间腐蚀及应力腐蚀等局部腐蚀。

8.3.7 监 测 孔

该法是在设备外伸部份如，接管、或强腐蚀部位（如异径接管、弯头外侧等）放入有应力的试件，定时取出检查腐蚀状况的一种方法。或将管壁钻薄，一旦腐蚀穿孔就会实现报警监测。

该法具有实用价值，对于监测衬里设备焊缝质量很重要。

8.3.8 氢 监 测

氢气是氢去极化腐蚀的产物，可引起材料氢脆、鼓泡及开裂等，对氢气量的测定，可获得金属的腐蚀速度。氢气量的测定，通常采用探氢计来完成。其原理是将吸收的氢通过1～2 mm厚的钢扩散到狭窄的环状空间，该空间与压力表相连接。通过压力表压力增加速度估计扩散到钢中的氢气量。

8.3.9 涡 流 技 术

该技术取决于放在交流馈电线圈电场内金属物体表面所产生的涡流。在裂纹或蚀坑处涡流受到干扰，使激励线圈反电势改变，或在次级线圈内产生变化。变化经检波、放大可供视觉显示。通常将线圈做成探头，在被测表面上移动进行测定。

该技术测量损坏深度的灵敏度取决于被测金属的电阻和磁导率，以及激励探头线圈交流电的频率。它可用于检查腐蚀表面、设备内壁，以及测定铁磁材料上非金属涂层或非铁覆盖层的厚度。还可作为超声探伤的补充，测定裂纹长度和深度。

8.3.10 超 声 技 术

该技术是将一个压电晶体发出的声脉冲射向待测材料，声脉冲会受到材料前、后面及两面之间大缺陷的反射。反射波由同一压电晶体，或接收用的压电晶体检拾，经放大后在阴极射线示波器上显示。示波器时间坐标给出材料厚度和缺陷位置。缺陷尺寸可根据缺陷波幅得到。

8.4 腐 蚀 防 护

8.4.1 正 确 选 材

防止或减缓腐蚀的根本途径是正确地选择工程材料。除考虑一般经济技术指标外，还需考虑工艺条件及其在生产过程中的变化。要根据介质性质、浓度、杂质、腐蚀产物，以及物料化学反应、温度、压力、流速等工艺条件，和材料的耐腐蚀性能，综合平衡选择材料。材料耐腐蚀性能参见表8-4～表8-32。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-4 金属在腐蚀性介质中的化学稳定性

腐蚀性介质			金属							
名称	浓度	温度(℃)	碳素钢	Cr17	Cr18Ni9Ti	Cr18Ni12Mo3Ti	硅铸铁	铝	铜	锡
河水		90～100	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定
海水		20	比较稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定
汞	纯	20	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	不稳定	不稳定	不稳定
酸：										
硝酸	10以下	20	不稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	不稳定	不稳定
硝酸	10以下	90～100	不稳定	稳稳	稳定	稳定	稳定	不稳定	不稳定	不稳定
硝酸	60	20	不稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	不稳定	不稳定
硝酸	60	80～100	不稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	不稳定	不稳定	不稳定
硫酸	10	20	不稳定	不稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定
硫酸	10	80～100	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定	稳定	不稳定	不稳定	稳定
硫酸	60	20	不稳定	比较稳定	不稳定	不稳定	稳定	比较稳定	不稳定	稳定
硫酸	60	100	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定	稳定	不稳定		稳定
硫酸	95～100	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	比较稳定		稳定
硫酸	95～100	80～100	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定	稳定	比较稳定		稳定
发烟硫酸	5	20	比较稳定*	比较稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	不稳定	稳定
盐酸	10	20	不稳定	不稳定	比较稳定	不稳定	稳定	不稳定	比较稳定	比较稳定
盐酸	10	750	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定	稳定	不稳定	不稳定	比较稳定
盐酸	35	20	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定	稳定	不稳定	不稳定	比较稳定
盐酸	35	750	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定	稳定	不稳定	不稳定	比较稳定
碱：										
苛性钠	20	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	比较稳定	不稳定	比较稳定	
苛性钾	5～30	20	比较稳定*	比较稳定	比较稳定	稳定	比较稳定	不稳定	稳定	
氢氧化钙(石灰乳)	饱和	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	比较稳定	比较稳定	比较稳定	
氨	30	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	比较稳定	比较稳定	比较稳定	
盐类的溶液：										
氯化钙	25	20	比较稳定*	比较稳定	比较稳定	比较稳定	稳定	比较稳定	稳定	
醋酸铜	稀	20	不稳定	稳定	稳定	稳定		不稳定	不稳定	
氯化铜	稀	20	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定		不稳定	不稳定	
碳酸钠	稀	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定		比较稳定	稳定	
氯化钠	10	20	比较稳定	稳定	稳定	稳定		稳定	稳定	
次氯酸钠	稀	20	比较稳定	稳定	稳定	稳定		不稳定	比较稳定	
硫酸锌	10	20	不稳定	稳定	稳定	稳定		比较稳定		
多硫化物	稀	20	比较稳定*	比较稳定	稳定	稳定	稳定	不稳定	不稳定	
气体：										
氯化氢(含水份)		20	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定	比较稳定	不稳定	比较稳定	比较稳定
氯化氢(干)		20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	比较稳定	稳定	稳定
氯化氢		250	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	不稳定	稳定
接触气体（列别提夫过程中）		400～500	比较稳定*	稳定	稳定	稳定		不稳定	比较稳定	
氯（含水分）		20	不稳定	不稳定	不稳定	不稳定	比较稳定	不稳定	不稳定	比较稳定

续表

腐蚀性介质			金属							
名称	浓度	温度(℃)	碳素钢	Cr17	Cr18Ni9Ti	Cr18Ni12Mo3Ti	硅铸铁	铝	铜	锡
有机化合物：										
乙醛	~100	20	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
氯丁二烯	~100	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
甘油	~100	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
二氯乙烷	~100	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
醋酸	10	20	不稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
醋酸	10	80~100	不稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	比较稳定	稳定	
醋酸	90~100	20	不稳定	比较稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
醋酸	90~100	80~100	不稳定	不稳定	稳定	稳定	稳定	比较稳定	稳定	
丙烯腈	100	20	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	比较稳定	
三聚乙醛	100	20	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
二硫化碳	100	20	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定			
丁醇	100	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
乙醇	80~99	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
高级醇		20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
烃类		80以下	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	比较稳定	
苯酚	溶液	20	比较稳定*	比较稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	
福马林	40	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	不稳定	
氯苯	100	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定				
二氯乙醚	100	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定				
二乙醚	100	20	比较稳定*	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	稳定	

* 为常用。

表 8-5 按介质选用无（节）镍铬耐腐蚀材料

介质	浓度(%)	温度(℃)	可用材料	推荐材料	
				受力不大	受力大
硝酸	<50	<60	硬聚氯乙烯、稀土高硅球铁、ZG1Cr13、ZG2Cr13、ZGCr17、ZGCr17Mn4Ti、ZG2Cr19R、ZG2Cr19Mo2R、ZGCr17Mo2TiR、ZG2Cr17Mn2Mo2TiR、ZGCr17Mn13N、ZGCr17Mn13Mo2N、ZG1Cr18Mn13Mo2CuN、ZGCr21Mo2Cu2N、高铬合金铸铁	硬聚氯乙烯、ZGCr17	ZGCr17Mn13Mo2N
硝酸	>98	<55	稀土高硅球铁、纯铝（AB）	稀土高硅球铁	—
硫酸	>93	常	铸铁、稀土高硅球铁	铸铁	—
硫酸	50~93	<60	稀土高硅球铁	稀土高硅球铁	—
硫酸	<50	<60	硬聚氯乙烯、酚醛塑料、稀土高硅球铁、ZGCr17Mn13Mo2Cu2N	硬聚氯乙烯	ZGCr17Mn13Mo2Cu2N
醋酸（工业甲酸<2%）	—	—	ZGCr17Mo2TiR、ZGCr17Mo2Cu2R、ZGCr17Mn2Mo2TiR、ZG2Cr17Mn2Mo2R、ZG2Cr19Mo2R、ZGCr17Mn13Mo2N、ZG1Cr18Mn13Mo2CuN	ZG2Cr17Mn2Mo2R	ZGCr17Mn13Mo2N
醋酸(工业甲酸<2%)	—	<60	酚醛塑料、稀土高硅球铁、ZGCr17、ZGCr17Mn4Ti（余同上）	ZG2Cr17Mn2Mo2R 酚醛塑料	2GCr17Mn13Mo2N

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

介质	浓度(%)	温度(℃)	可用材料	推荐材料	
				受力不大	受力大
磷酸	<40	—	酚醛塑料、ZG2Cr17Mo2TiR、ZG2Cr19Mo2R、Cr17Mo2类、ZGCr17Mn13Mo2N、ZGCr17Mo2Cu2N	ZG2Cr17Mn2Mo2R 酚醛塑料	ZGCr17Mn13Mo2N
磷酸	<1	<60	稀土高硅球铁、Cr13类、ZGCr17（余同上）	ZG2Cr17Mn2Mo2R 酚醛塑料	ZGCr17Mn13Mo2N
盐酸	—	常	酚醛塑料、稀土高硅球铁	酚醛塑料	—
盐酸	<35	<60	硬聚氯乙烯、酚醛塑料稀土高硅球铁	硬聚氯乙烯	—
硫化氢溶液	饱和	<140	铸铝合金、ZGCr17Mn13Mo2N	铸铝合金	ZGCr17Mn13Mo2N
苦味酸	<10	—	Cr17类	ZGCr17	—
焦性五倍子酸	<10	—	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
次氯酸	—	<60	硬聚氯乙烯、稀土高硅球铁	硬聚氯乙烯	
氢氟酸	<1	常	硬聚氯乙烯、酚醛塑料	硬聚氯乙烯	—
石炭酸	—	—	铸铝合金、Cr17类、Cr17Mo2类	铸铝合金	—
硼酸	—	—	Cr17类、Cr17Mo2类	ZGCr17	—
铬酸	<10	<40	Cr13类、Cr17类、稀土高硅球铁	ZG1Cr13	ZG1Cr13
柠檬酸	—	常	酚醛塑料、稀土高硅球铁、ZGCr17Mn13Mo2N	酚醛塑料	ZGCr17Mn13Mo2N
柠檬酸	<10	—	Cr17Mo2类、ZGCr17Mn13Mo2N	ZG2Cr17Mn2Mo2R	ZGCr17Mn13Mo2N
甲酸	<50	常	稀土高硅球铁、Cr17Mo2类	ZG2Cr17Mn2Mo2B	—
醋酸液	饱和	—	Cr17类、Cr17Mo2类	ZGCr17	—
乳酸	<10	常	酚醛塑料、铸铝合金、稀土高硅球铁、Cr17Mo2类	铸铝合金、酚醛塑料	—
苹果酸	50	—	Cr13类、Cr17类、稀土高硅球铁	ZG1Cr13	ZG1Cr13
油酸	—	<150	铸铁、铸钢、铸铝合金Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2类	铸铁	铸钢
丙烯酸	<2	—	Cr13类、ZGCr17	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硬脂酸	—	<100	Cr13类、Cr17类		
水杨酸	<10	—	铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸铝合金	ZG1Cr13
酒石酸	<10	常	稀土高硅球铁、Cr17Mo2类	ZG2Cr17Mn2Mo2R	—
亚硫酸	饱和	常	酚醛塑料、稀土高硅球铁、Cr17Mo2类	酚醛塑料	—
草酸	<10	常	稀土高硅球铁、ZG2Cr19Mo2R、Cr17Mo2类	ZG2Cr17Mn2Mo2R	—
氢氰酸	—	—	Cr13类、Cr17类、铸铝合金	铸铝合金	ZG1Cr13
没食子酸	—	—	铸铝合金	铸铝合金	
氢氧化钠	—	常	酚醛塑料、铸钢、铸铁、Cr13类、Cr17类、稀土高硅球铁、铝铸铁	铸铁	铸钢
氢氧化钠	<15	—	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类、铝铸铁	铸铁	铸钢
氢氧化钾	—	常	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类、稀土高硅球铁	铸铁	铸钢
氢氧化钾	<15	—	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
硝酸铵液	饱和	—	铸铝合金、Cr17类、Cr17Mo2类ZG2Cr19Mo2R	铸铝合金	—
硝酸钾	<60	常	酚醛塑料、Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2类、稀土高硅球铁	酚醛塑料	ZG1Cr13
硝酸钾	<25	<沸	ZG1Cr18Mn13Mo2CuN		ZG1Cr18Mn13Mo2CuN
硝酸钠	<50	常	Cr13类、Cr17类、铸铝合金、稀土高硅	铸铝合金	ZG1Cr13

续表

介质	浓度（%）	温度（℃）	可用材料	推荐材料	
				受力不大	受力大
			球铁		
硝酸铅	—	常	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硝酸银	<10	常	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硝酸铜	<50	—	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硝酸铁	—	常	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硝酸汞	—	—	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硫酸铵（硫酸2%）	饱和	<144	ZG2Cr19Mo2 R、ZGCr 17 Mn13 Mo 2 Cu2 N、ZG 1 Cr18Mn 13 Mo2 CuN、ZGCr21Mo2Cu2 N	ZG2Cr19Mo2R	ZGCr17Mn13 Mo 2 Cu2N
硫酸铜	<50	—	Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2 类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硫酸铁	<10	—	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硫酸镁	<10	常	Cr17类	ZGCr17	—
硫酸钠	<25	—	铸铝合金、Cr13类、Cr17 类	铸铝合金	ZG1Cr13
硫酸钠	<饱和	常	硬聚氯乙烯、铸铝合金Cr13类、Cr17类	硬聚氯乙烯	ZG1Cr13
硫酸钠	<10	<20	铸铁、铸钢（余同）	铸 铁	铸 钢
硫酸锌	<饱和	常	Cr13类、Cr17类、铸铝合金	铸铝合金	ZG1Cr13
醋酸酐	—	常	Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2类、ZG2Cr 19Mo2R	ZG1Cr13	ZG1Cr13
醋酸铜	—	常	Cr13类、Cr17 类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
醋酸铅	<25		Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
醋酸钠	—	—	铸铁、铸钢、铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸 铁	铸 钢
醋酸甲脂	—	—	铸铁、铸钢、铸铝合金、Cr13类	铸 铁	铸 钢
醋酸异丙脂	—	—	Cr17类	铸 铁	铸 钢
磷酸钠	—	—	Cr13、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
氯化锌	—	常	铸铝合金、Cr17Mo2类	铸铝合金	—
氯化钾	<饱和	常	ZG2Cr19Mo2R、铸铁、铸钢	铸 铁	铸 钢
氯化钠	—	<60	酚醛塑料、铸铁、铸钢	铸 铁	铸 钢
氯化铵	<50	常	铝铸铁、Cr17类、铸铁	铝铸铁	—
亚硫酸钠	<25	—	Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
过硫酸铵	<60	常	硬聚氯乙烯	硬聚氯乙烯	
亚硫酸氢铵	—	<50	ZG1Cr18Mn13Mo2CuN	ZG1Cr18Mn13Mo2 CuN	ZG1Cr18Mn13Mo2 CuN
碳酸钠	—	常	铸铁、铸钢、Cr13 类、Cr17 类、Cr 17 Mo2类	铸 铁	铸 钢
碳酸氢铵	—	—	铸铝合金、Cr13类、ZG2Cr19R	铸铝合金	ZG1Cr13
碳酸铵	<饱和	常	铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸铝合金	ZG1Cr13
高锰酸钾	—	常	铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸铝合金	ZG1Cr13
碳化钙	—	—	铸铝合金、铸铁、铸钢	铸 铁	铸 钢
碳酸钙	—	—	铸铝合金、铸铁、铸钢	铸 铁	铸 钢
甲 醇	—	—	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类、铸铝合金	铸 铁	铸 钢
乙 醇	—	—	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类、铸铝合金	铸 铁	铸 钢
辛 醇	—	—	铸铁、铸钢	铸 铁	铸 钢
丙三醇	—	—	铸铝合金	铸铝合金	—
甲 醛	<40	—	铸铁、铸钢、铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸 铁	铸 钢
乙 醛	—	—	铸铁、铸钢	铸 铁	铸 钢
丁 醛	—	—	Cr13类、Cr17 类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
乙二醇	—	—	铸铝合金	铸铝合金	—

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

介质	浓度（%）	温度（℃）	可用材料	推荐材料	
				受力不大	受力大
丙酮	—	—	铸铁、铸钢、铸铝合金	铸铁	铸钢
乙醚	—	—	铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸铝合金	ZG1Cr13
苯	—	常	铸铁、铸钢、酚醛塑料、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
甲苯	—	常	铸铝合金、铸铁、铸钢、ZG2Cr19Mo2R	铸铁	铸钢
氯甲烷	—	—	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
巴豆醛	—	—	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
丙烯腈	—	—	铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸铝合金	ZG1Cr13
乙腈	—	—	铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸铝合金	ZG1Cr13
辛烯醛	—	—	铸铁、铸钢、铸铝合金	铸铁	铸钢
石蜡	—	<100	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
肥皂	—	20	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
二硫化碳	—	常	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
松节油	—	常	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
干四氯化碳	—	—	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
氨基甲酸铵溶液（加氢，有压力）	—	100～180	ZGCr17Mn13Mo2N、ZGCr17Mn13Mo2Cu2N		ZGCr17Mn13Mo2N
尿素母液	—	—	铸铝合金、Cr13类、Cr17类、ZGCr21Mo2Cu2N	铸铝合金	ZG1Cr13
醋	—	—	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
明矾	<10		Cr17Mo2类	ZG2Cr17Mn2Mo2R	—
硫化钠	<50	—	Cr17Mo2类	ZG2Cr17Mn2Mo2R	—
硫代硫酸钠	<25	—	铸铝合金、Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2类	铸铝合金	ZG1Cr13
氨	—	—	铸铝合金、铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
氨水	—	常	铸铝合金、Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2类	铸铝合金	ZG1Cr13
甘油	—	<100	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
矿物油	—	—	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
植物油	—	—	铸铁、铸钢、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
醋酸乙烯	—	—	铸铁、铸钢、铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
橡胶悬浮液	—	—	铸铁、铸钢、铸铝合金、Cr13类、Cr17类	铸铁	铸钢
硝基苯	—	常	ZG2Cr19Mo2R	ZG2Cr19Mo2R	—
乙醇胺	<30	<45	Cr13类、Cr17类	ZG1Cr13	ZG1Cr13
硫	—	—	铸铝合金	铸铝合金	
二氧化硫	—	—	铸铝合金	铸铝合金	
甲酸甲酯	—	—	铸铝合金	铸铝合金	
硝化甘油	—	—	铸铝合金	铸铝合金	
氯仿	—	—	铸铝合金	铸铝合金	
过氯乙烯	—	—	铸铝合金	铸铝合金	
次氯酸钠	—	<60	硬聚氯乙烯、稀土高硅球铁	硬聚氯乙烯	
重铬酸	—	<60	硬聚氯乙烯	硬聚氯乙烯	
漂白粉液	—	<60	硬聚氯乙烯	硬聚氯乙烯	

注：1.表中短划“—”在浓度和温度栏内表示任意浓度和任意温度；在推荐材料栏受力大一项表示调查中尚未遇到。

2.本表可用材料栏中有具体牌号者，多系根据具体试验结果与使用经验而来；仅列出材料类别者如Cr13类、Cr17类、Cr17Mo2类、铸铝合金等多系根据资料手册推荐。

一般低级材料能用时，高级材料亦能用。

表中“可用材料”主要考虑技术上能用，“推荐材料”中考虑了合理性，选用时首先应考虑用“推荐材料”，然后再考虑“可用材料”。

鉴于通用机械产品对机械性能的要求，“推荐材料”中按两种情况考虑，一为要求机械性能不太高者，如泵、低压阀等，一为要求机械性能较高者，如离心机（转鼓）、高压阀等。

表 8-6 重量损失和腐蚀深度之间的关系

腐蚀深度	重量损失率 (g/m²·h)						耐腐性
(mm/g)⁻¹	铁和铁合金	铜和铜合金	镍和镍合金	铅和铅合金	铝和铝合金	镁和镁合金	等级
0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0012	0.0003	0.0002	1
0.001	0.0009	0.001	0.001	0.0012	0.0003	0.002	2
0.005	0.0045	0.0051	0.005	0.0065	0.0015	0.001	
0.005	0.0045	0.0051	0.005	0.0065	0.0015	0.001	3
0.01	0.009	0.01	0.01	0.012	0.003	0.002	
0.01	0.009	0.01	0.01	0.012	0.003	0.002	4
0.05	0.045	0.051	0.05	0.065	0.015	0.01	
0.05	0.045	0.051	0.05	0.065	0.015	0.01	5
0.1	0.09	0.1	0.1	0.12	0.031	0.02	
0.1	0.09	0.1	0.1	0.12	0.031	0.02	6
0.5	0.45	0.51	0.5	0.65	0.154	0.1	
0.5	0.45	0.51	0.5	0.65	0.154	0.1	7
1.0	0.9	1.02	1.0	1.2	0.31	0.2	
1.0	0.9	1.02	1.0	1.2	0.31	0.2	8
5.0	4.5	5.1	5.0	6.5	1.54	1.0	
5.0	4.5	5.1	5.0	6.5	1.54	1.0	9
10	9.1	10.2	10.0	12.0	3.1	2.0	
>10	>9.1	>10.2	>10.0	>12.0	>3.1	>2.0	10

表 8-7 金 属 喷 镀

气喷枪喷镀〔平均喷镀层的最小厚度〕

序号	喷镀金属	喷镀层厚度 (μm)
1	钢	80
2	锌	50
3	铅、镉、锡	75
4	青铜、铜	40

金属喷镀中常用的几种金属的主要性能

序号	金属	分子式	熔点 (℃)	线膨胀系数 (mm/m·℃)	密度 (g/cm³)	熔解热 (kcal/℃)	20℃时热容量 (kcal/kg·℃)	布氏硬度 模数
1	铜	Cu	1083	16.42	8.945	48.8	0.091	50/2.5～3
2	氧化铜	CuO	1148		6.40			50/2.5～3
3	锌	Zn	419	32.5	7.14	24.09	0.086	24/1.2
4	铝	Al	657	24.0	2.70	9.4	0.21	30/2
5	氧化铝	Al_2O_3	2050		3.96			840/9
6	铅	Pb	327	29.5	11.37	6.32	0.03	24/1.5
7	镍	Ni	1455	13.7	8.90	7.38	0.106	60/3
8	镉	Cd	321	29.8	8.65	13.17	0.055	30/2
9	锡	Sn	232	22.4	5.36	14.40	0.53	24/1.8

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-8 花岗石的耐酸性能表

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况
硫酸	98	60	耐	磷酸	—	高温	不耐
盐酸	36	60	耐	氟硅酸	—	—	不耐
硝酸	65	60	耐	氢氟酸	—	—	不耐
亚硫酸酐	—	—	耐	氧化氮	任何浓度	任何温度	耐
硫酸酐	—	—	耐				

表 8-9 陶瓷制品的耐腐蚀性能表

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况
亚硝酸	—	—	耐	亚硫酸	任何浓度	低于沸腾	耐
硝酸	—	低于沸腾	耐	硫化氢	任何浓度	沸腾	耐
硝酸铝	任何浓度	沸腾	耐	盐酸	任何浓度	低于沸腾	耐
硫酸铝	任何浓度	沸腾	耐	醋酸	任何浓度	低于沸腾	耐
氨	任何浓度	沸腾	耐	磷酸	稀溶液	20	较耐
硝酸铵	任何浓度	低于沸腾	耐	磷酸	浓溶液	高温	不耐
硫酸铵	任何浓度	沸腾	耐	氢氟酸	—	—	不耐
硼酸	任何浓度	沸腾	耐	铬酸	任何浓度	沸腾	耐
脂肪酸	任何浓度	沸腾	耐	草酸	任何浓度	低于沸腾	耐
氟硅酸	—	高温	不耐	丙酮	100以下	—	耐
柠檬酸	任何浓度	低于沸腾	耐	苯	100	—	耐（不使用陶釉品）
乳酸	任何浓度	沸腾	耐	碳酸钠	稀溶液	20	较耐
蚁酸	任何浓度	沸腾	耐	氢氧化钠	稀溶液	25	较耐
硫酸钠	任何浓度	沸腾	耐		浓溶液	沸腾	不耐
硫酸	96	沸腾	耐		20	60	较耐

表 8-10 辉绿岩铸板的耐腐蚀性能表

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况
硫酸	96	沸腾	耐	草酸	任何浓度	低于沸腾	耐
亚硫酸钠	任何浓度	—	耐	硼酸	任何浓度	沸腾	耐
盐酸	任何浓度	100	耐	柠檬酸	—	—	耐
硝酸	任何浓度	低于沸腾	耐	氨	浓	—	耐
磷酸	—	沸腾	不耐	碳酸钠	饱和溶液	20	耐
醋酸	—	—	耐	氢氧化钠	—	—	耐
蚁酸	—	—	耐	氟氢酸	—	—	不耐
乳酸	任何浓度	沸腾	耐				

表 8-11 温石类石棉的耐腐蚀性能表

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况
硝酸	—	—	不耐	氟硅酸	—	—	不耐
盐酸	—	—	〃	氢氧化钠	—	—	耐
磷酸	稀溶液	30	较耐				

表 8-12 闪石类石棉的耐腐蚀性能表

介质名称	浓度（%）	温度（℃）	耐蚀情况
硝酸	65	沸腾	耐
硫酸	95	100	耐
盐酸	38	沸腾	较耐
磷酸	稀溶液	30	较耐
氟硅酸	—	—	不耐
氢氧化钠	—	—	耐

注：石棉为纤维状结构的矿物，一般有温石棉（蛇蚊石类石棉）及闪石棉两类。
温石棉耐碱性强，耐酸性弱。闪石类石棉耐酸和碱的稳定性均较高。
石棉纤维的抗拉强度很大，耐火性高，传热导电和传声性均低，使用温度可在800℃以内。

表 8-13 普通水泥砂浆和混凝土的耐腐蚀性能表

介质名称	耐蚀情况	介质名称	耐蚀情况	介质名称	耐蚀情况
亚硝酸	不耐	磷酸钾	耐	氢氧化钠	耐
硝酸	不耐	氟化钾	耐	油酸	耐
硫酸铝	不耐	氯化钾	较耐	苦味酸	不耐
氯化铝	不耐	铬酸钾	耐	丙酸	不耐
氨	耐	草酸钾	耐	二氯化汞	耐，稀溶液
溴化铵	不耐	氢氧化钾	耐	硫酸	不耐
硫酸铵	不耐	硝酸钙	不耐	亚硫酸	不耐
碳酸铵	耐	硫酸氢钙	不耐	硫化氢	不耐
磷酸铵	不耐	硫酸钙	不耐	汽油	耐，渗透、浓度100%
氯化铵	不耐	氯化钙	不耐	苯	耐，渗透，浓度100%
氯化钡	不耐	氢氧化钙	耐	亚硫酸氢钙	不耐
硼酸	不耐	柠檬酸	不耐	二甲苯	耐，渗透
溴	不耐	硫酸镁	不耐	顺丁烯二酸	不耐
沥石酸	较耐	氯化镁	不耐	甲醇	耐、渗透
甘油	较耐	丁酸	不耐	尿素水溶液	耐，任何浓度
鞣酸	较耐	蚁酸	不耐	硫代硫酸钠	耐
硫酸亚铁	不耐	硝酸钠	耐	盐酸	不耐
硫酸铁	不耐	溴化钠	耐	硬脂酸	不耐
氯化亚铁	不耐	硫酸氢钠	不耐	甲苯	耐，渗透，浓度100%温度、沸腾
氯化铁	不耐	硅酸钠	耐		
脂肪酸	不耐	碳酸钠	耐	醋酸	不耐
漂白粉	耐	磷酸钠	耐	醋酐	不耐
硝酸钾	耐	硫酸钠	不耐	磷酸	耐
重铬酸钾	耐	氟化钠	耐	氢氟酸	不耐
碘化钾	耐	氯化钠	耐	草酸	耐
高锰酸钾	耐	次氯酸钠	耐	乙醇	耐，渗透
硫酸钾	不耐	铬酸钠	耐		
碳酸钾	耐	草酸钠	耐		

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-14 耐酸混凝土对各种介质的耐腐蚀性能

序号	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性能	序号	介质名称	浓度(%)	温度（℃）	耐腐蚀性能
1	亚硝酸	—	—	+	12	氢溴酸	任何	—	+
2	硝酸	30	沸点	+	13	脂肪酸	—	—	△
3	亚硫酸	—	—	+	14	二氧化碳	水溶液	—	+
4	硫酸	—	—	+	15	氯化氢	—	—	+
5	发烟硫酸	—	—	+	16	乙醇	—	—	+
6	盐酸	高浓度	—	+	17	碘	—	—	+
	盐酸	极稀溶液	—	△	18	溴水	任何	沸点	+
7	醋酸	—	—	+	19	二氧化氮	5～17	20～50	+
8	磷酸	—	—	+	20	硝酸铝	任何	沸点	+
9	水	—	—	-	21	硫酸铝	任何	150以下	+
10	铬酸	—	—	+	22	氯化铝	任何	—	+
	硫酸与硝酸混合物	—	—	+	23	硫酸铵	—	—	+
11	硼酸	任何	—	+	24	氯化铵	任何	—	+

说明：1.耐酸混凝土对各种无机酸，某些盐类的溶液及大多数腐蚀性气体均有化学耐腐蚀能力，但对氢氟酸，碱类，有碱性反应的盐类溶液及某些脂肪酸均不耐腐。

2.耐酸混凝土可作塔，贮酸槽、浸酸槽、结晶器、沉降槽、中和器及其它设备。

注：+表示耐腐蚀 △表示尚耐腐蚀 -表示不耐腐蚀

表 8-15 浸渍石墨化学稳定性能：酚醛树脂浸渍石墨

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	化学稳定性	介质名称	浓度（%）	温度（℃）	化学稳定性
硫酸	10	80～85	稳定	醋酸	70	80～85	稳定
硫酸	30	80～85	稳定	醋酸	99	80～85	稳定
硫酸	50	80～85	稳定	甲酸	100	沸点	稳定
硫酸	70	80～85	稳定	氢氧化钠	10	80～85	不稳定
硫酸	96	80～85	不稳定	氢氧化钠	20	80～85	不稳定
盐酸	10	80～85	稳定	氢氧化钠	30	80～85	不稳定
盐酸	20	80～85	稳定	氢氧化钠	40	80～85	不稳定
盐酸	36	80～85	稳定	氢氧化钠	50	80～85	不稳定
硝酸	10	80～85	尚稳定	氢氧化铵	28	50	稳定
硝酸	20	80～85	不稳定	硫酸铵	50	80～85	十分稳定
硝酸	30	80～85	不稳定	氯化铵	26	80～85	稳定
硝酸	40	80～85	不稳定	碳酸铵	24	80～85	稳定
硝酸	50	80～85	不稳定	硝酸铵	50	80～85	稳定
磷酸	10	80～85	十分稳定	磷酸铵	30	80～85	稳定
磷酸	30	80～85	稳定	丙酮	化学纯	室温	稳定
磷酸	50	80～85	稳定	苯	分析纯	室温	稳定
磷酸	70	80～85	稳定	甲苯	分析纯	室温	稳定
磷酸	87.5	80～85	尚稳定	二甲苯	分析纯	室温	稳定
氢氟酸	40	80～85	稳定	氯苯	化学纯	室温	稳定
硼酸	饱和	80～85	稳定	四氯化碳	分析纯	室温	稳定
醋酸	30	80～85	十分稳定	酒精	工业	室温	稳定
醋酸	50	80～85	稳定	二氯乙烷	纯	室温	稳定

注：压制石墨的化学稳定性能相同。

表 8-16 木材耐腐蚀性能表

介质名称	浓度（%）	温度(℃)	耐蚀情况	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀情况
硝　酸	浓溶液	—	不耐	氧 硅 酸	<12%	—	较耐
硫　酸	< 5%	常温	耐	氯化铵溶液	—	常温	耐
硫　酸	5～10%	常温	较耐	硫 酸 铵	任何浓度	常温	耐
硫　酸	>10%	20	不耐	硫 酸 钠	—	—	较耐
盐　酸	稀溶液	—	耐	碳 酸 钠	任何浓度	常温	较耐
盐　酸	浓溶液	—	不耐	氢氧化钠	稀 溶 液	常温	耐
磷　酸	浓溶液	<75	耐	氢氧化钙	饱和以下	20～30	耐
醋　酸	90	常温	耐	氯 化 钠	—	—	耐
氢 氟 酸	<10%	常温	耐	氨	中等浓度	常温	耐
氢氟酸蒸气	—	常温	耐	氯	—	—	不耐

表 8-17 耐酸搪瓷对各种介质的耐腐蚀性能

序号	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性能	序号	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性能
1	硝　酸	7	沸点	+	20	苯甲醛	任何	沸点	+
	硝　酸	13	沸点	△	21	丙　酮	100	沸点	+
	硝　酸	32	沸点	△	22	苯	100	150	+
	硝　酸	50	沸点	+	23	溴　水	任何	沸点	+
	硝　酸	64	沸点	△	24	氯　水	—	—	+
2	盐　酸	浓溶液	20	+	25	硫化氢水溶液	任何	沸点	+
	盐　酸	1:1	20	+	26	碘	—	100以下	+
	盐　酸	1:4	20	+	27	氯 化 钠	1～10	20	+
3	硫　酸	任何	150	+	28	碳酸氢铵	任何	—	+
4	发烟硫酸	—	—	+	29	硫 化 铵	任何	—	+
5	亚硫酸	—	150	+	30	汽　油	100	沸点	+
6	磷　酸	40	100	△	31	漂 白 粉	任何	沸点	+
	磷　酸	浓溶液	沸点	-	32	戊　醇	任何	—	+
7	氢氟酸	—	20	-	33	氧 化 氮	—	—	+
8	乳　酸	90	25	+	34	硫代硫酸钠	任何	150以下	△
9	酒石酸	—	20	+	35	皂　液	任何	沸点	+
10	苯甲酸	任何	高温	+	36	盐酸苯胺	任何	沸点	+
11	己二酸	任何	沸点	+	37	硝 酸 铵	任何	<沸点	+
12	邻氨基苯酸	任何	—	+	38	硫 酸 铵	任何	150	+
13	甲　醛	任何	150	+	39	氯 化 铵	浓溶液	20	+
14	氯化氢	—	—	+	40	硫 酸 铝	任何	沸点	+
15	氢氧化钠	5	沸点	-	41	氯 化 铝	任何	150	+
16	氢氧化钾	熔体	—	-	42	乙　炔	—	450以下	+
17	苯　酚	无水的	150以下	+	43	草　酸	8	<沸点	△
18	氨	23～35	20	△	44	草　酸	任何	25	+
19	苯甲醇	任何	沸点	+					

注：耐腐蚀性能符号意义同表8-14。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-18 聚氯乙烯塑料板的耐腐蚀性能表

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况
硫酸	<90	<40	耐	醋酐	—	—	不耐
硫酸	>90	>40	不耐	脂肪酸	任何浓度	38	较耐
亚硫酸	—	—	耐	铬酸	35	60	较耐
硫酸氢钠	任何浓度	—	耐	草酸	任何浓度	38	较耐
硫铵	任何浓度	70	耐	柠檬酸	任何浓度	60	耐
亚硫酸钙	—	70	耐	氟硅酸	<32	60	耐
硫酸和硝酸混合物	稀溶液	65	较耐	氢氟酸	50	38	耐
硝酸	<35	<40	耐	氢氧化钠	<30	<50	耐
硝酸	>35	20	不耐	甲醇	—	—	耐
硝酸钠	任何浓度	60	耐	甲醛	40	60	耐
盐酸	—	70	耐	乙醇	—	—	耐
次氯酸钠	任何浓度	65	较耐	甲苯	—	—	不耐
磷酸	100	60	耐	乙醚	100	20	不耐
醋酸	80～100	40	欠耐				

表 8-19 沥青为胶结剂材料耐腐蚀性能一览表

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况
硫酸	50以下	常温	耐	醋酸	稀溶液	常温	耐
硫铵	任何浓度	常温	耐	硼酸	任何浓度	常温	耐
硝酸	10以下	常温	耐	鞣酸	任何浓度	常温	耐
盐酸	20以下	常温	耐	脂肪酸	—	常温	较耐
次氯酸钠	—	常温	耐	铬酸	—	—	不耐
磷酸	55	常温	耐	硅氟酸	10	20	耐
蚁酸	任何浓度	20	耐	氢氟酸	10	—	耐
乳酸	—	常温	耐				

表 8-20 水玻璃为胶结材料的耐腐蚀性能表

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀情况	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀情况
亚硝酸	浓溶液	—	耐	草酸	浓溶液	—	耐
硝酸	30		耐	硼酸	浓溶液	—	耐
硫酸	96		耐	脂肪酸	—	—	较耐
硫酸	50 以下		不耐	硅氟酸	—	—	不耐
亚硫酸	浓溶液	—	耐	柠檬酸	任何浓度	—	较耐
盐酸	浓溶液		耐	乳酸	任何浓度	—	较耐
	稀溶液		不耐	蚁酸	任何浓度	—	耐
醋酸	—	—	较耐	硫酸钠	任何浓度	—	耐
磷酸	—	—	耐	硫酸铝	—	—	较耐
氢氟酸	—	—	不耐	硫酸铵	浓溶液	—	耐
铬酸	浓溶液	—	耐	苯	100	—	耐

表 8-21 酚醛树脂漆

酚醛树脂漆耐腐蚀性能

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性
盐　酸	任何	沸点	耐	磷酸铵	任　何	<120	耐
硫　酸	5	<120	耐	硫酸钾	任　何	<120	耐
硫　酸	60	100	耐	磷酸钾	任　何	<120	耐
磷　酸	50	100	耐	氯化钾	任　何	20	耐
磷　酸	75	30	耐	氯化钙	任　何		耐
醋　酸	50	100	耐	硫酸锰	任　何		耐
乙　醇	50	25	耐	硫酸铜	任　何	<120	耐
苯	100	60	耐	醋酸铜	任　何	<120	耐
苯　胺	—	60	耐	氯化亚铜	任　何	<120	耐
氨　水	10	60	耐	亚硫酸钠	任　何	<120	耐
湿氯气			耐	硫酸钠	任　何	<120	耐
二氧化硫			耐	醋酸钠	任　何	<120	耐
蚁　酸	25	100	耐	磷酸钠	任　何	<120	耐
氯化铁	10	100	尚　耐	氯化镍			耐
漂白粉	饱和	常温	耐	磷酸酐	20		耐
氯化铵	50	100	耐	氢氟酸	40	20	耐
碳酸钠	饱和	100	尚　耐	氯化苯	含0.5%盐酸	40	耐
氯化铝	任何	<120	耐	硫酸锌			耐

酚醛胶泥施工配合比

牌　号	粉料组成（%）				溶液组成			
	石英粉	硅胶粉	硫酸钡	苯磺酰氯	*1酚醛树脂	*2酚醛树脂	二氯丙醇甘油	苯甲醇
*1	70	20	—	10	90	—	—	10
*2	20	—	70	10	—	75	20	5
*3	—	—	90	10	90	—	—	10

注：苯磺酰氯可用氯磺酸代替、二氯丙醇甘油可用磷三乙酯代替。

表 8-22 呋喃树脂耐腐蚀性能表

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐蚀情况	介质名称	浓度(℃)	温度（℃）	耐蚀情况
硫　酸	10	常　温	耐	醋　酸	30	常　温	耐
硫　酸	30	常　温	耐	醋酸乙酯	—	常　温	耐
硫　酸	70	常　温	耐	磷　酸	60	常　温	耐
硫　酸	>90	常　温	不　耐	氯化铁	—	常　温	耐
盐　酸	10	常　温	耐	氢氟酸	<40	—	耐
盐　酸	20	常　温	耐	硅氟酸	—	常　温	耐
盐　酸	30	常　温	尚　耐	液　氨	—	常　温	耐
硝　酸	5	常　温	不　耐	稀氨水	—	常　温	耐
硝　酸	10	常　温	不　耐	苯	—	常　温	耐
碳酸钠	50	常　温	耐	苯　胺	—	常　温	耐
硫酸钠	15	常　温	耐	甲　醇	—	常　温	耐
氢氧化钠	10	常　温	耐	乙　醇	—	常　温	耐
氢氧化钠	30	常　温	耐	丙　酮	—	常　温	耐
氢氧化钠	50	常　温	耐	汽　油	—	常　温	耐
氢氧化铵	浓	常　温	耐	二甲苯	—	常　温	耐
醋　酸	10	常　温	耐				

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-23 热固型环氧树脂涂料耐腐蚀性能

介质名称	浓度(%)	温度（℃）	耐腐蚀性	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性
硫　酸	10	20～100	耐	三氯化铁	—	60	耐
硫　酸	30～50	20～60	耐	液　氨	相对密度0.88		耐
硫　酸	50	100	不耐	苯甲酸	—	60	耐
硫　酸	75	20	耐	脂肪酸	—	60	耐
硫　酸	浓	20	不耐	乙　醛	100	60	耐
硝　酸	5	20	尚耐	过氧化氢	—	20	不耐
硝　酸	20	20	不耐	氯化氢	50	20	耐
硫酸/硝酸	—	20	不耐	氯化氢	50	100	不耐
盐　酸	20～35	20	耐	氯化氢	100	20	耐
醋　酸	5	20	尚耐	氯化氢	100	60	尚耐
醋　酸	10	20	不耐	干二氧化硫	—	60	耐
磷　酸	30	20	耐	湿二氧化硫	—	20	耐
铬　酸	20	20	尚耐	硫化氢	—	60	耐
氯磺酸	—	20	耐	脂肪油	—	60	耐
氢氟酸	—	60	耐	植物油	—	60	耐
碳　酸	5	20	耐	汽　油	—	80	耐
蚁　酸	—	20	不耐	苯	—	20	耐
甲　酸	100	60	耐	甲　苯	—	20	耐
乳　酸	10	20	耐	丙　酮	10	20	耐
乳　酸	90	20	耐	丙　酮	50	20	尚耐
草　酸	—	20	耐	甲　醇	100	60	耐
酒石酸	饱　和	60	耐	乙　醇	100	60	耐
氢氧化钠	25	60	耐	四氯化碳	—	20	耐
氢氧化钠	40	20	耐	环己醇	—	20	耐
碳酸钠	20	20	耐	醋酸乙酯	—	20	耐
硫酸钠	20	20	耐	醋酸丁酯	—	20	不耐
盐　水	10	20～70	耐	环己酮	—	20	不耐
盐　水	50	20	耐	苯　胺	—	60	耐
氯化铵	—	60	耐	萘	—	60	耐
浓硼酸	—	60	耐	三氯乙烯	—	20	不耐
次氯酸钙	—	20	耐	甲　酚	—	20	不耐

表 8-24 601*冷固型环氧树脂涂料的耐腐蚀性能

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	时 间	耐腐蚀性	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	时 间	耐腐蚀性
硫 酸	5	常 温	1.5年	耐	碳酸氢铵	25	常 温	2 年	尚 耐
硫 酸	10	70	1个月	耐	氯 化 钠	3	常 温	2 年	尚 耐
硫 酸	20～60	常 温	2年	耐	重铬酸钾	100克/立升	常 温	2 年	尚 耐
硫 酸	20	沸 腾	1天	耐	重铬酸钠				
硫 酸	80	常 温	1.5年	耐	钠 汞 齐	Na0.03	常 温	2 年	尚 耐
氢氧化钠	5	常 温	2年	耐	亚硫酸氢钠	40	常 温	2 年	尚 耐
氢氧化钠	10～70	常 温	2年	耐	亚硫酸钠				
氢氧化钠	45	20～80	8个月	耐	过饱和硼酸液		常 温	2 年	尚 耐
氢氧化钾	5	常 温	2年	耐	亚硫酸氢钠	40			
氢氧化钾	40～70	常 温	2年	耐	亚硫酸钠	53.4	常 温	1.5年	耐
氯 化 钾	25	常 温	2年	耐	硫代硫酸钠	6.6			
乙 酸 钠	25	常 温	2年	耐	硝 酸 铵	20	常 温	6个月	耐
酒 石 酸	47.5	常 温	2年	耐	氢氧化钾	5	常 温	连 续	耐（至40%才破坏）
盐 酸	10	常 温	2年	尚耐	氢氧化钾	2～3	常 温	连续20天	耐
草 酸	25	常 温	2年	尚耐	硼酸/氨水混合液	6/3	50	1个月	耐
磷 酸	85	常 温	2年	尚耐					
氨 水	25～28	常 温	2年	尚耐	硼酸母液	pH1～2	20～90	2 年	耐
浓氨水		20～30	9个月	尚耐	硝 酸 铵	25	常 温	9个月	耐

注：冷固型环氧树脂涂料耐腐蚀性能较热固型低，上表可供参考。

表 8-25 生漆的耐腐蚀性能

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性
盐 酸	不限	沸点	耐	硝 铵	饱 和	常温	耐
硫 酸	<70	<100	耐	氯化钙	饱 和	常温	耐
硫 酸	<80	常温	耐	明 矾	饱 和	常温	耐
硝 酸	<20	常温	耐	硫酸钙	饱 和	常温	耐
磷 酸	<40	沸点	耐	乙 醇	—	常温	耐
磷 酸	<70	80	耐	汽 油	—	常温	耐
氢氧化钠	< 1	常温	耐①	苯	—	常温	耐
氨 水	<28	常温	耐	苯 胺	—	常温	耐
碳酸钠	不限	100	耐	甲 酸	80	常温	耐
氯化铵	不限	80	耐	乙 酸	15	80	耐
氯化钠	饱和	常温	耐	乙 酸	80	常温	耐
氯化钠	饱和	<80	耐	湿氯气	浓	常温	耐
硝酸镁	饱和	常温	耐	硫化氢	混合水汽	80	耐②
醋 酸	15～80	常温	耐	漂白粉	饱 和	常温	耐
氟硅酸	< 9	80	耐				

①加入三氧化二铬作填料。
②以瓷粉作填料。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-26 常用非金属材料对主要侵蚀性介质耐腐蚀情况表

介质名称 \ 材料	天然石材①	陶瓷砧板	辉绿岩铸板	聚氯乙烯板	木材	水泥砂浆②混凝土	沥青及以沥青为粘结剂的材料
硫酸	<98	<96	<96	<90	<10	不耐	<50
盐酸	<36	任何浓度	任何浓度	耐	稀溶液	不耐	<20
硝酸	<65	耐	任何浓度	<35	不耐	不耐	<10
磷酸	不耐	稀溶液	不耐	100	耐	耐	<55
铬酸	—	任何浓度	—	<35	不耐	—	不耐
醋酸	耐	任何浓度	耐	<80	<90	不耐	稀溶液
硼酸	耐	任何浓度	任何浓度	饱和溶液	饱和溶液	不耐	任何浓度
草酸	耐	任何浓度	任何浓度	任何浓度	耐	耐	耐
氟硅酸	不耐	不耐	不耐	<32	<12	—	<10
氢氟酸	不耐	不耐	不耐	<60	<10	不耐	<10
氢氧化钠	耐(注1)	<20	耐	<50	稀溶液	耐(注2)	稀溶液
碳酸钠	耐	稀溶液	饱和溶液	任何浓度	任何浓度	耐(注2)	稀溶液

介质名称 \ 材料	以水玻璃为粘结剂的材料	以硫磺为粘结剂的材料	以环氧树脂为主的材料	以酚醛树脂为主的材料	以呋喃树脂为主的材料	一氧化铅甘油
硫酸	>50	50～90	<60	<98	<90	稀溶液
盐酸	浓溶液	任何浓度	<30	任何浓度	<30	较耐
硝酸	>30	30～40	<5	<35	不耐	<60
磷酸	耐	<85	<85	<70	<60	较耐
铬酸	浓溶液	较耐	—	<50	—	—
醋酸	较耐	<50	<30	任何浓度	<30	—
硼酸	浓溶液	任何浓度	过饱和	任何浓度	—	—
草酸	浓溶液	任何浓度	—	任何浓度	—	—
氟硅酸	不耐	耐	不耐	不耐	不耐	—
氢氟酸	不耐	耐	不耐	不耐	<40	—
氢氧化钠	不耐	<30	<50	不耐	<50	耐
碳酸钠	不耐	较耐	<50	<50	<50	—

①系指石灰石类材料。

②系指密实的水泥砂浆混凝土。

表 8-27 软、硬橡皮的化学耐腐蚀性能

序号	介质名称	介质的允许浓度(%) 软橡皮	介质的允许浓度(%) 硬橡皮	介质允许温度(℃)	序号	介质名称	介质的允许浓度(%) 软橡皮	介质的允许浓度(%) 硬橡皮	介质允许温度(℃)
1	硝酸	2	8	25	12	草酸	任何	任何	65
2	硫酸	50	60	65	13	碱(钾、钠)	任何	任何	65
3	盐酸	任何	任何	65	14	硫酸氢钠	任何	任何	65
4	亚硫酸	任何	任何	65	15	石灰乳	任何	任何	50
5	醋酸	80	任何	65	16	氨水	任何	任何	80
6	磷酸	85	任何	50	17	氯化锌	50	任何	35
7	氢溴酸	浓	浓	38	18	氯化铁	50	任何	65
8	氢氟酸	50	浓	65	19	甲醇	任何	任何	65
9	柠檬酸	任何	任何	65	20	乙醇	任何	任何	65
10	乳酸	任何	任何	65	21	丙酮	任何	任何	65
11	甲酸	任何	任何	38				任何	

说明：1.介质的允许浓度为重量百分比。

2.一般衬橡胶的设备最好是钢制的。铸铁设备应首先除掉铸铁表皮层。宜采用焊接结构。

3.不适用于强氧化性的介质如硝酸，铬酸，浓硫酸，过氧化氢等及有机溶剂。

表 8-28 聚四氟乙烯的化学稳定性

介质名称	温度(℃)	腐蚀情况	介质名称	温度(℃)	腐蚀情况
HCl（浓）	25～100	无	HF（浓）	25～100	无
HNO_3（浓）	25～85	无	HF(无水)(液)	25	无
H_2SO_4（浓）	25～300	无	NaOH(50%)	25～100	无
HNO_3(发烟)	60	无	KOH(50%)	25～100	无
H_2SO_4(发烟)	80	无	Na_2O_2	100	无
王　水	30	无	PCl_3	100	无
金属钠	200	渐起作用	BF_3-HF	25	无
Br_2（1大气压）	25～100	无	$ClSO_3H$氯磺酸	25	无
F_2（1大气压）	150	稍有作用	臭　氧	25	无
$KMnO_4$(5%)	25～100	无	有机酸	25～100	无
H_2O_2（30%）	25	无	Cl_2（1大气压）	25～100	无
$HClO_4 \cdot 2H_2O$	25	无	NH_3（液）	25	无

表 8-29 氯 化 聚 醚

氯化聚醚的耐腐蚀性能

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	时间(天)	耐腐蚀性	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	时间(天)	耐腐蚀性
醋　酸	10	70～100	6	耐	氯化钙	30	70～100	45	耐
醋　酸	93	70～100	6	耐	苯　酚	5	70～100	45	耐
冰醋酸		70～100	45	耐	双氧水	10	70～100	6	尚耐
氯醋酸	10	70～100	45	耐	双氧水	30	100	6	不耐
铬　酸	25	70～100	45	尚耐	干氯气		70～100	45	尚耐
硝　酸	10	70	45	耐	湿氯气		70	45	尚耐
硝　酸	10	100	45	尚耐	湿氯气		70～100	45	不耐
硝　酸	40	70	45	尚耐	干二氧化硫		70～100	45	耐
硝　酸	40	100	45	不耐	湿二氧化硫		70～100	45	尚耐
硫　酸	30	70～100	6	耐	硫化氢		70～100	45	耐
硫　酸	50	50～130	4	耐	干氯化氢		70～100	45	尚耐
硫　酸	70	70～100	45	耐	湿氯化氢		70～100	45	尚耐
硫　酸	93	70	45	耐	丙　酮		50		尚耐
硫　酸	93	100	45	尚耐	乙　醇		50		耐
硫　酸	98	65	3	不耐	苯		50		尚耐
盐　酸	工　业	70～100	45	耐	甲　苯		常　温	2000小时	耐
盐　酸	35	85	3	尚耐	乙酸乙酯		50	45	尚耐
甲　酸	浓	70～100	45	耐	汽　油		50	45	耐
磷　酸		70～100	6	耐	松节油		50	45	耐
氢氧化铵	28	70～100	45	耐	甲　醛	30	50	108小时	耐
氢氧化钠	25	70～100	45	耐	苯　胺		50		尚耐
氢氧化钠	40	70～100	45	耐	二氯乙烷	纯	85	3	耐
氢氧化钠	50	70～100	6	耐	氯乙醇	90	65	3	耐
三氯化铁	20	70～100	45	耐	氯乙醇	90	85	3	尚耐
氯化锌	20	70～100	45	耐	甲　醛	37	65	3	耐
碳酸钠	20	70～100	45	耐	苯　酚	纯	65	3	耐
硫化钠	20	70～100	45	耐					

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-30 聚三氟氯乙烯的耐腐蚀性能

介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性	介质名称	浓度(%)	温度(℃)	耐腐蚀性
硫酸	10	常温	耐	烟道气(SO_2)		110	耐
硫酸	25	常温	耐	亚硫酸	19	常温	尚耐
硫酸	50	常温	耐	甲醛	36	常温	耐
硫酸	50	70	尚耐	乙醛	100	常温	尚耐
硫酸	75	常温	耐	丙酮	100	常温	耐
硫酸	75	70	尚耐	丙烯腈		常温	耐
硫酸	92	常温	耐	氯化铵	27	常温	耐
硫酸	92	50	耐	氢氧化铵	30	常温	耐
硫酸	92	100	耐	硫酸铵	27	常温	耐
硫酸	98	常温	耐	苯胺	100	常温	尚耐
硝酸	5	常温	耐	苯	100	常温	尚耐
硝酸	10	常温	耐	醋酸丁酯	100	常温	尚耐
硝酸	10	70	耐	二氧化碳	100	常温	尚耐
硝酸	25	常温	耐	四氯化碳	100	常温	不耐
硝酸	50	常温	耐	三氯甲烷	100	常温	不耐
硝酸	50	70	尚耐	硫酸铜	15	常温	尚耐
硝酸	60	常温	耐	二乙醚	100	常温	尚耐
盐酸	10	常温	耐	醋酸乙酯	100	常温	尚耐
盐酸	20	常温	耐	汽油		常温	耐
盐酸	35～38	常温	耐	过氧化氢	3	常温	尚耐
盐酸	35～38	50	耐	过氧化氢	10	常温	尚耐
盐酸	35～38	100	耐	过氧化氢	30	常温	耐
醋酸	10	常温	耐	王水		常温	耐
醋酸	50	常温	耐	硝基苯	100	常温	尚耐
醋酸	50	70	尚耐	糠醇	100	常温	耐
醋酸	100	常温	耐	铬酸钾	5	常温	尚耐
醋酸	100	70	尚耐	铬酸钾	10	常温	耐
磷酸	50	常温	耐	高锰酸钾	5	常温	尚耐
磷酸	75	常温	耐	食盐溶液	26	常温	尚耐
磷酸	85	常温	耐	氢氧化钠	10	常温	尚耐
磷酸	85	50	耐	氢氧化钠	25	常温	尚耐
磷酸	85	100	耐	氢氧化钠	50	70	尚耐
铬酸	100	常温	耐	次氯酸钠		70	耐
铬酸	50	常温	耐	亚硝酸钠	40	常温	尚耐
铬酸	50	70	尚耐	硫化钠	16	常温	尚耐
铬酸	25	常温	耐	五氧化磷		常温	耐
氢氟酸	10	常温	耐	亚氯酸钠	10～15	100	耐
氢氟酸	20	常温	耐	氢氧化钾	40	100	耐
氢氟酸	40	常温	尚耐	二甲苯	100	100	尚耐
氢氟酸	9	10～30	耐	氯苯		100	尚耐
甲酸	25	常温	耐	煤油		常温	耐
甲酸	50	常温	耐	甲苯	100	常温	尚耐
甲酸	90	常温	耐	三氯乙烯	100	常温	不耐
次氯酸	30	常温	耐	异丙醇气体		40	耐
油酸	100	常温	尚耐	三氯乙烷		10～25	耐
草酸	9	常温	尚耐	三氯乙醛		30～45	耐
发烟硫酸		常温	耐	氟硅酸	34	常温	尚耐
				糠醛	100	常温	耐

表 8-31 氯丁橡胶的耐化学腐蚀性

介质	浓度(重量%)	温度(℃)	耐化学腐蚀性	介质	浓度(重量%)	温度(℃)	耐化学腐蚀性
硝酸	10	29	不耐	氢氧化钠	任意	93	耐
氟硅酸	10	38	耐	硝酸钠	任意	93	耐
砷酸	任何	93	耐	醋酸镍	10	38	耐
盐酸	20	65	耐	氯化锡	10	65	耐
磷酸	85	93	尚耐	氯化锌	10	65	耐
氢氟酸	30	29	尚耐	氨	100	29	耐
铬酸	任意	29	不耐	过氧化氢	任意	29	不耐
柠檬酸		29	耐	氯气	100	29	不耐
丁酸		27	尚耐	丙酮		20	尚耐
乳酸		29	耐	汽油		27	耐
蚁酸	浓的	29	耐	苯		20	不耐
三氯硝酸	10	30	尚耐	甘油		70	耐
冰醋酸	100	27	尚耐	蓖麻油		70	耐
硫酸铅	任何	93	耐	亚麻油		27	耐
氨水	饱和	38	耐	二硫化碳		20	不耐
氯化铁	25	38	尚耐	乙醇		29	耐
次氯酸钙	低浓度	20	不耐	四氢萘		20	不耐
硝酸镁	任意	93	耐	氯化苯		20	不耐
硫酸铜	任意	93	耐	乙醚		30	尚耐

表 8-32 丁苯和丁腈软橡胶的耐化学腐蚀性

介质名称	浓度(重量%)	温度(℃)	丁苯	丁腈	介质名称	浓度(重量%)	温度(℃)	丁苯	丁腈
硝酸	5	24	无数据	耐	亚硫酸氢钠	8	52	耐	耐
硝酸	25	24	无数据	不耐	磷酸钠	51	65	耐	耐
氟硅酸	50	27	耐	耐	三氯化锑	75	24	耐	耐
硫酸	30	43	耐	耐	氯化锌	75	65	耐	耐
盐酸	25	24	无数据	耐	蒸馏水		77	耐	耐
磷酸	75	65	耐	耐	过氧化氢	10	24	耐	耐
氢氟酸	40	24	尚耐	不耐	过氧化氢	35	21	耐	尚耐
高氯酸	100	43	不耐	不耐	甲醛	20	21	尚耐	耐
苯甲酸		38	耐	耐	氨	100	27	不耐	不耐
柠檬酸	40	43	耐	耐	湿氯气	100	71	不耐	尚耐
蚁酸	25	49	不耐	耐	丙酮	25	24	不耐	不耐
环烷酸	100	24	不耐	尚耐	汽油		71	不耐	耐
醋酸	10	21	不耐	不耐	苯		24	不耐	不耐
草酸	10	21	耐	耐	甘油		65	耐	耐
硫酸铅	35	65	耐	耐	松香		65	不耐	耐
氨水溶液	37	71	耐	耐	乙醇	25	30	耐	耐
氯化亚铁	62	65	耐	耐	四氯化碳		48	不耐	尚耐
氯化钙	75	65	耐	耐	乙二醇		43	耐	不耐
氢氧化钠	50	38	耐	耐	乙醚		21	不耐	耐
硝酸钠	50	65	耐	耐					

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

8.4.2 合 理 设 计

8.4.2.1 避免缝隙

缝隙是引起腐蚀的重要因素之一。因此在结构设计、连结形式上，需注意避免出现缝隙，采取合理结构。避免铆接或缝隙中填加不吸潮的填料（垫片等）。采取焊接时，应用双面焊连续焊，避免搭接焊或点焊。

8.4.2.2 消除积液

设备死角的积液处是发生严重腐蚀的部位。因此，在设计时应尽量减少设备死角，消除积液对设备的腐蚀。

8.4.3 电化学保护

8.4.3.1 阳极保护

阳极保护是在化学介质中，将被腐蚀金属通以阳极电流，在其表面形成耐腐蚀性很强的钝化膜，借以保护的方法。它可以与涂料或缓蚀剂联合应用，也可以电偶式阳极保护的形式应用。

8.4.3.2 阴极保护

阴极保护有外加电流法和牺牲阳极法两种。前者，将被保护金属与直流电源负极连接，正极与外加辅助电极连接，电源通入被保护金属阴极电流，使腐蚀过程受到抑制。后者又称为护屏保护，它是将电极电位较负的金属同被保护金属连结构成腐蚀电池。电位较负的金属（阳极）腐蚀过程中流出的电流抑制了原金属的腐蚀，从而得到保护。它可以同涂料或缓蚀剂联合使用。

8.4.4 缓 蚀 剂

加入腐蚀介质中，能阻止金属腐蚀或降低腐蚀速度的物质，称为缓蚀剂。

8.4.4.1 缓蚀原理

（1）吸附理论　该理论认为，缓蚀剂在金属表面吸附，形成一层连续的保护性吸附膜，隔离了介质对金属的腐蚀作用；

（2）成膜理论　该理论认为，缓蚀剂在金属表面生成了一层金属膜（缓蚀剂与介质离子作用产生的难溶化合物），屏蔽了金属，而起到保护作用；

（3）电化学理论　该理论认为，加入缓蚀剂，对金属阳极和阴极腐蚀过程起到了阻滞作用，使腐蚀速度下降，从而达到缓蚀目的。

8.4.4.2 缓蚀剂分类

（1）按缓蚀剂对腐蚀过程的阻滞作用可分为阳极型、阴极型、阴阳极混合型；

（2）按缓蚀剂种类可分为无机缓蚀剂和有机缓蚀剂。

① 无机缓蚀剂　分为氧化性缓蚀剂（如硝酸钠、亚硝酸钠、铬酸盐及重铬酸盐等）和无氧化性缓蚀剂（如硅酸钠、磷酸盐等）；

② 有机缓蚀剂　常用的有胺类、醛类、杂环化合物、咪唑啉类及有机硫化物等。

8.4.4.3 影响因素

（1）浓度　一般缓蚀效率随缓蚀剂浓度增大而增大；当浓度高于定值后，其浓度增加缓蚀效率下降；缓蚀剂浓度不足，腐蚀会加重，如铬酸盐、重铬酸盐和过氧化氢等氧化性缓

蚀剂属这种情况；

（2）温度　较低温度下缓蚀效率高。升高温度吸附作用下降，腐蚀加重。当达某一温度范围内，缓蚀作用是稳定的。有时升高温度缓蚀剂效率提高，这是因为反应产物膜与钝化膜形成的质量好；

（3）流速　一般，加大流速使缓蚀效率降低。但有时，介质的流动会使缓蚀剂分布均匀，从而提高缓蚀效率。

8.4.4.4　常用缓蚀剂

常用缓蚀剂见表8-33、表8-34。

表 8-33　酸洗用缓蚀剂

缓蚀剂名称	缓蚀材料	备注
ПБ-5（乌洛托品与苯胺缩合物）	钢铁	盐酸酸洗
ПБ-5＋乌洛托品	钢铁	盐酸、硫酸酸洗
乌洛托品	钢铁	同上
粗吡啶	钢铁	7％HCl＋6％HF混酸酸洗
四甲基吡啶釜残（1901）	钢铁	同上
负氮	钢铁	同上
负氮＋KI	钢铁	高温盐酸酸洗
粗喹啉＋KI	钢铁	硫酸酸洗
甲醛与苯胺缩合物	钢铁	盐酸酸洗

表 8-34　淡水、盐水、海水中的缓蚀剂

缓蚀剂名称	缓蚀材料	备注
亚硝酸钠	钢铁	加入量随介质温度而定
铬酸盐	钢铁、铝、镁、铜及其合金	量不足，温度升高加重腐蚀，适于微碱性水
重铬酸盐	同上	适于碱性较高的水
硅酸钠（模数2～4）	钢、铜、铅、铝	适于含盐量不大的水（<0.1～0.5g/L）
高模数硅酸钠	黄铜、镀锌	防止脱锌、镀锌热水管的腐蚀
磷酸盐		适于流动介质

8.4.5　金属保护层

系指用耐腐蚀性较强的金属或合金，覆于耐蚀性差的金属表面达到保护的金属层。

8.4.5.1　保护层防护方法分类

（1）衬里　将耐腐蚀性高的金属，如铅、钛、铝等金属衬覆于设备内部以防止腐蚀的方法；

（2）喷镀　将熔融金属、合金或金属陶瓷喷射于被保护金属表面上以防腐蚀的方法；

（3）热浸镀　将钢铁构件基体表面热浸上铝、锌、铅、锡及其合金以防腐蚀的方法；

（4）表面合金化　采用渗、扩散等工艺，使金属表面得到某种合金表面层，以防腐蚀、摩擦的方法；

（5）电镀　采用电化学原理，以工作表面为阴极，获得电沉积表面层借以保护的方法；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（6）化学镀　采用化学反应，在金属表面上镀镍、锡、铜、银等以防止腐蚀的方法；

（7）离子镀　减压下（10^{-2}～10^{-6}mm 汞柱）使金属或合金蒸气部分离子化，在高能作用下对被保护金属表面进行溅射、沉积以获得镀层。

8.4.5.2　表面处理

为获得优质保护层，被保护的基体表面必须预处理。除去氧化皮、锈蚀产物以及油污等不洁物质。同时获得适当的粗糙度，方法如下。

1．机械法

机械法表面处理有：干法喷砂、喷丸除锈；密闭喷砂、喷丸除锈；湿法喷砂除锈；高压水除锈以及手工工具除锈等方法。

2．化学法

化学法表面处理，包括化学和电化学方法。它可单独使用，也可作为机械法的补充。

（1）预处理　主要清除金属表面油污，为酸洗及表面处理作准备，方法有溶剂清洗及碱液清洗法，见表8-35。

表 8-35　除油方法

方　　法	除 油 剂、特 点	清 洗 方 式、效 果
溶剂类冷清洗除油	汽油（工业汽油、溶剂汽油） 氯化烃类（三氯乙烯、四氯化碳）	擦洗、浸洗，有良好的溶解力 在抽风设备中清洗、残余油膜应在碱液中补充处理
碱液清洗	碱液中含有NaOH、Na_2CO_3、Na_3PO_4、水玻璃等 合成洗涤剂加Na_3PO_4、Na_2CO_3	碱液中浸泡后，用热、冷水冲洗 蒸汽加热
电化学去油	将工件作为阴极或阳极，以碱液进行电化学除油	通入电流密度$i=3\sim10A/dm^2$

（2）酸洗　主要通过酸与锈蚀产物反应生成可溶性盐以除锈。酸洗温度为30～80℃，处理时间为10～40分钟。酸洗液为水、硫酸、盐酸及缓蚀剂。视腐蚀情况，其各组份变化范围如下：水750～900L，H_2SO_4（比重1.84）100～150L，缓蚀剂（如乌洛托品）3～20kg。

（3）钝化　钢铁表面酸洗后需经钝化处理，常用钝化剂有：浓硝酸、亚硝酸钠、亚硝酸钠加磷酸氢二钠、重铬酸钾、甘油、碳酸钠等配制或单独使用。

8.4.5.3　化学转化膜

金属表面处理后，进行化学或电化学反应形成具有良好附着力、耐腐蚀的反应产物膜，称为化学转化膜或化学转化层。化学转化膜有以下几类。

（1）氧化膜　对钢铁而言称为发蓝，其转化过程为氧化；

（2）磷酸盐膜　称磷酸处理或磷化；

（3）草酸盐膜　称草酸处理或草酸化；

（4）钝化膜　称钝化处理或铬酸盐处理；

（5）阳极氧化膜　称阳极化。

氧化处理配方、工艺见表8-36。

磷化处理配方、工艺见表8-37。

表 8-36 氧化转化膜配方及工艺

方法	溶液组成	含量 (g/L)	溶液温度 (℃)	耐蚀性
碱性氧化法	NaOH $NaNO_2$ $NaNO_3$ H_2O	600～700 100～200 50～100 1 L	135～140 金属表面需预处理、除油等	耐蚀性较低，双槽可得厚膜，耐蚀性较好
酸性氧化法	$Ca(NO_3)_2$ 过氧化锰 H_3PO_4 H_2O	80～100 10～15 3～10 1 L	100 金属表面需预处理	耐蚀性优于碱性法

表 8-37 磷化转化膜配方及工艺

方法	溶液组成	含量 (g/L)	溶液温度 (℃)	处理方法
热磷酸法	马日夫盐硝酸锌	50 100	60～70℃，3～5分钟，冷水洗后进行重铬酸钾50～80g/L，70～90℃，10～15分钟处理、水洗、干燥	
冷磷化法	H_3PO_4 ZnO $NaNO_2$ NaOH	90 17～18 1.5～2.0 10	20～30 pH＝2～3	磷化后封闭处理介质为重铬酸钾100g/L、室温、10分钟、再水洗、干燥

马日夫盐—磷酸锰铁制剂[$nFe(H_2PO_4)_2 \cdot mMn(H_2PO_4)_2$]

阳极氧化处理配方及工艺，见表8-38。

表 8-38 阳极氧化转化膜配方及工艺

膜类型	电解液	工艺参数	备注
普通阳极氧化膜	3%铬酐(CrO_3)或30～50 g/L	温度40℃ 电压0～40V 电流密度0.5～0.8A/dm² 时间60min	封闭处理、防护性好、不能处理含Cu＞2.5%铝合金
	硫酸180～220g/L 草酸17g/L 甘油12ml/L 硫酸铝 8 g/L	温度16± 2 ℃ i＝3A/dm² 时间70min 需搅拌	抗磨损 抗腐蚀

注：封闭处理—用沸水或重铬酸盐煮沸。

8.4.5.4 金属衬里

金属衬里是化工防腐应用较广泛的一种方法，具有安全可靠的特点。

（1）衬里种类 主要有衬不锈钢和耐酸钢，如OCr13、OCr17Ti、1Cr18Ni9Ti、Cr18Ni12Mo2Ti等；衬钛如，TA1、TA2等；衬铝如各号纯铝，以及衬铅或搪铅等。

（2）衬里方法 见表8-39。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-39 金属衬里方法

方　法	原　理	应　用
塞焊衬里	用填充材料将覆层上的冲制孔熔焊填满，以连接衬里与基层	适于已制成外壳设备的衬里壁温 <300℃、压力≤50kg/cm²
熔透焊衬里	用电弧热将衬里与基层部分基层金属熔化，凝结在一起	适于已制成外壳设备的衬里壁温 <300℃、压力≤50kg/cm²
爆炸衬里	将制成合格的壳体与衬里套在一起，用爆炸力使基层与覆层贴紧	适于长径比<12 D≤1000的高压容器
液压衬里	利用壳体本身的强度、刚度使不锈钢在壳体内液压成型	适于制高压釜、反应器长<2500，D<800

8.4.5.5 复合板材

复合板材有不锈钢—钢复合板及钛—钢复合板。这种复合板材具有耐蚀材料和钢的两种优点，并且经济。不锈钢—钢复合板是由覆层与基层构成。覆层厚2～4mm，复合比为1:10～1:15。而钛—钢复合板也是由覆层与基层构成，覆层厚1～2mm，钢层厚2～50mm。

8.4.6 非金属保护层

采用非金属材料覆盖于金属或非金属设备和设施表面防止腐蚀的保护层，即非金属保护层。它分为衬里和涂层两类。前者在化工设备防腐方面应用广泛，多用于液态介质对设备内部腐蚀的防护；后者多用于腐蚀气体对环境腐蚀的防护。

8.4.6.1 表面处理

（1）金属表面　金属设备的表面处理见（8.4.5.2）。

（2）塑料表面　塑料表面处理在于清除油污和垢物，提高表面粘结力。通常可用溶剂擦洗，或用含表面活性剂的碱液清洗，具体方法见表8-40。

表 8-40 塑料表面处理方法

方　法	原理及处理液	效　果
机械法	用砂纸打磨表面，增加粗糙度	提高抗剪强度1～3倍
氧化法	使用氧化剂有过氧化氢、有机过氧化物、高锰酸钾、发烟硝酸王水、硫酸—重铬酸盐	适于聚烷烯烃类塑料，效果好
火焰燃烧法	用火焰的氧化将接触表面，该法适于原部件，不适于薄而形状复杂的表面	较　好
溶液腐蚀法	将原表面分子链破坏，加入活性基团，获极性表面。如用钠—萘—四氢呋喃处理氟塑料，处理后避光	效果好
放电法（电晕放电）	将塑料放入电极间，通1.5万伏高压电，使极板间空气放电，碰撞被处理的表面	好
等离子体法	用氦、氩、氢等易激发气体的惰性气体，使等离子体碰撞被处理表面	粘结强度可提高1～10倍

（3）硅酸盐材料表面　在防腐施工时，水泥构筑物、衬砌材料本身的表面处理方法见表8-41。

表 8-41 硅酸盐材料表面处理方法

处理方法		处理液及工艺	备注
水泥构筑物表面	脱水处理	①烘干、保养后，在45℃下烘3天 ②用有机硅防水剂处理表面，生成甲基硅酸钠	2cm深处取样分析含水＜6%，或水泥表面发白
	脱碱处理	①新水泥用5%硫酸锌溶液清洗中和表面碱性物质，一天后水清洗干燥后使用 ②用15～20%H_2SO_4或氯化锌溶液涂表面数次 ③其他酸类：稀醋酸、稀盐酸处理水洗、干燥	急待涂漆时用，半年以上的水泥表面可不进行脱碱处理
衬砌块材表面		洗去浮尘及污物、烘干	

8.4.6.2 胶接剂

1. 玻璃钢衬里胶接剂

是使用衬玻璃钢的胶液，具有粘接玻璃布及设备的功能，粘接强度与胶液树脂种类、填料及固化剂等有关。

2. 橡胶衬里胶接剂

俗称胶浆子，是用胶板溶于汽油或其他溶剂中制成。先将胶板切成10～40毫米碎块，根据要求加溶剂配成1:8～1:10的胶浆液。粘接硬质和半硬质胶可用9066、401、81002胶板；粘接软胶板可用7038，其配合料近似衬里用胶板。合成橡胶衬里用相应胶浆液，如粘接氯丁橡

表 8-42 衬里结构种类

衬里名称	材料	特点
玻璃钢衬里： ①环氧玻璃钢 ②酚醛玻璃钢 ③呋喃玻璃钢 ④聚酯玻璃钢	增强材料 玻璃纤维 胶液 相应的树脂	①耐蚀性好 ②有较高强度和整体性 ③树脂与纤维的浸润性影响渗透性、耐蚀性 ④固化处理也具有一定影响
橡胶衬里： ①天然橡胶		
合成橡胶衬里： ①氯丁橡胶 ②丁基橡胶 ③丁腈橡胶 软硬橡胶衬里 半硬质橡胶衬里	橡胶板用胶浆子粘贴在金属、混凝土、玻璃钢等表面上	①有较好的耐蚀性能 ②可自身硫化，得到致密性高，有弹性、韧性，高附着力的衬里设备 ③常期使用温度不高
砖板衬里： ①陶瓷板 ②铸石板 ③高铝砖 ④石墨板	砖、板材胶接剂 硅酸盐类胶泥、树脂类胶泥	①适于各种尺寸、形状的设备衬里 ②受冲击、振动、温度急变，性能较差 ③施工要求比较严格
塑料衬里： ①软聚氯乙烯 ②聚丙烯 ③ABS ④聚全氟氯乙烯	将聚氯乙烯、聚丙烯板材衬在钢及混凝土设备内表面或塑料设备单独结构，或塑料设备外部用玻璃钢增强	①耐蚀性同塑料 ②耐温性受塑料本身限制 ③轻巧、方便 ④不受设备尺寸限制

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 8-43 涂膜分类

序号	代号	成膜物质类别	主要成膜物质	应用
1	Y（油）	油性漆类	天然动植物油、清油、合成油	木材防水、防潮、防大气、户外大型设备的防锈蚀
2	T	天然树脂漆	松香及其衍生物、虫胶，大漆及其衍生物	木质、金属制品的涂装与保护，虫胶、大漆耐酸、碱、水的腐蚀，施工复杂、有毒
3	F	酚醛树脂漆类	酚醛及其改性树脂、二甲苯树脂	耐水、酸、碱腐蚀，绝缘，广泛用于木器、机械、电器、建筑等
4	L	沥青类	天然沥青、石油沥青、煤焦油沥青等	耐水、防潮、耐酸、碱、气体腐蚀，广泛用于化工、船舶、机械，水下、地下设施的涂装
5	C	醇酸树脂漆类	甘油醇酸树脂、季戊四醇酸树脂其他改性醇酸树脂	有优良耐候性、较好的综合性能，广泛用于大气中构筑物的涂装
6	A	胺基树脂漆类	脲醛树脂、三聚氰胺甲醛树脂	耐水、油，抗粉化、耐磨、价廉，多作为装饰用漆，如仪表、玩具等轻工业产品的装饰用漆
7	Q	硝基漆类	硝基纤维、改性硝基纤维素	常温有一定耐水、稀酸能力，耐候性、耐温性差，主要用于金属、木材、皮革的涂装
8	M	纤维素漆	乙基、苄基、羟甲基、醋酸纤维及其他纤维脂及醚类	耐水、耐候、耐磨一般，耐酸、碱略差，对热敏感，有漆膜薄、坚韧、快干等特点
9	G	过氯乙烯漆类	过氯乙烯树脂、改性过氯乙烯树脂	耐水、酸、碱、大气、抗菌、不燃、耐寒、快干施工方便，附着力较差，用于防腐设施、机械、车辆防护
10	X	乙烯漆类	氯乙烯共聚树脂、聚醋酸乙烯及其共聚物、聚乙烯醇缩醛树脂、含氟树脂等	耐水、油、酸、碱，用于机床、器材、建筑、地板、玩具、塑料制品的表面涂装
11	B	丙烯酸漆类	丙烯酸酯、丙酸共聚物及其改性树脂	耐热、氧化、酸、碱，保光、保色、防霉、适于沿海湿热地区各种机器、器械的装饰技术
12	Z	聚酯漆类	饱和、不饱和聚酯树脂	有无溶剂、耐高、耐寒、耐酸碱、保光等性能，用于钢线绝缘漆及木器等
13	H	环氧树脂漆类	环氧树脂、改性环氧树脂	是良好的防腐涂料，广泛用于化工、造船、机械的涂装
14	S	聚氨酯漆类	聚氨基甲酸酯	双固化型、漆膜坚韧、强固、致密，耐磨、耐碱碱，用于海洋或有腐蚀区域建筑物表面防护，及船舶、甲板、油箱等
15	W	元素有机漆类	有机硅、有机钛、有机铝等元素有机聚合物	耐热（300～800℃），用于高温设备、烟囱、排气管及高温零件的涂装
16	J	橡胶漆类	天然、合成橡胶及其衍生物	具有快干、耐蚀、耐候等性能，防锈型种类变化用于室外钢结构设备、管路、构筑物的涂装
17	E	其他漆类	硅酸钠、硅酸钾	含锌粉较多（>70%），膜坚硬、耐磨、耐水、油，耐溶剂性好，抗大气、防老化、防锈蚀，用于船舶、油罐、水塔、烟囱等的防腐

胶用氯丁胶浆，粘接异丁烯胶板用环化橡胶。

3. 砖板衬里胶接剂

（1）硅质胶泥　以水玻璃为粘接剂，加入耐酸填料如：辉绿岩粉、石类粉等，再加入固化剂氟硅酸钠等制成。

（2）树脂胶泥　衬砌用树脂类胶接剂，如环氧树脂、酚醛树脂、呋喃等胶接剂，基本与玻璃钢胶液相同，唯填料含量较高，为树脂含量的100～200%（重量比）。

8.4.6.3　衬里种类

具有实用价值的化工防腐蚀衬里结构种类，见表8-42。

8.4.6.4　涂层种类

涂层是涂料涂刷于物体表面后，形成一种坚韧、耐磨、耐腐蚀的保护层。它以成膜物质（涂料）分类，由两种以上成膜质混合组成时，以起决定作用的一种为基础。见表8-43。

8.4.6.5　设备内壁用涂料

设备内壁防腐工程常用涂料、性能及其适用范围，见表8-44。

8.4.6.6　设备构筑物用涂料

用于室外设备及建、构筑物防腐蚀的涂料、性能及适用范围，见表8-45。

表 8-44　设备内壁防腐涂料

类别	涂料名称	使用温度（℃）	性　能	适用范围	备　注
酚醛及改性酚醛树脂涂料	热固性酚醛树脂涂料	<120	耐酸及酸性气体、有机溶剂	风机、离心机等传动设备及接触含酸、有机介质的设备	需热处理（120～130℃）溶剂可用乙醇
	苯酚-间苯二酚-甲醛涂料	<120	耐蚀性良好	可作合成树脂涂料底漆，及无法热处理设备的涂层	冷固化，需施工前制做
	环氧改性酚醛树脂涂料	120	耐酸、碱和某些有机介质	离心机、蒸发器、热交换器管内防腐	底层选用冷固化涂料，固化后需热处理
	糠醇改性酚醛树脂涂料	120～150	耐酸、碱、有机溶剂	接触酸、碱、有机介质的设备防腐	只作漆面用，漆膜脆，冷固后需热处理
环氧及改性环氧树脂涂料	634环氧树脂涂料	<90	耐碱性良好	氨水贮槽	室温固化
	6101环氧树脂涂料	<90	耐碱、稀酸良好	各种设备的防腐涂层	室温固化，可再热固化以提高使用温度
	酚醛改性环氧树脂涂料	150	耐酸碱附着力良好，使用温度高	转化器花板防腐，及酸碱交替设备的防腐	
	糠酮改性环氧树脂涂料	>100	提高环氧树脂耐溶剂性能	用于含甲苯的酸性介质设备防腐	
	环氧沥青涂料	70～80	耐酸、碱，耐水、防潮	用于水下设备、构筑物防腐	价廉，室温固化
	白环氧磁漆（耐油）涂料	常　温	耐油、水性能好	用于油罐内壁防腐	与红丹环氧防锈漆配合使用
呋喃及改性呋喃树脂涂料	糠醇树脂涂料	常　温	耐酸、碱，漆膜脆性大	用于氨水贮槽防腐	室温固化10天也可加热固化很少使用
	环氧改性糠醇树脂涂料	100	耐酸碱、漆膜软	用于酸碱交替设备、甲醛贮槽、硼砂反应器	已在生产中使用、室温固化、再热处理

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

类别	涂料名称	使用温度(℃)	性能	适用范围	备注
乙烯类涂料	过氯乙烯底漆、磁漆、清漆	<60	耐酸碱、盐溶液性良好	用于饱和盐水贮槽、水洗塔、结晶池等设备防腐	底漆、磁漆、清漆配合使用，室温干燥，涂层不密实需涂10遍
	聚氯乙烯涂料	<60	耐酸碱性良好	用于甲醛、氨水贮罐的防腐	室温下实干
	氯化聚氯乙烯涂料	100	耐酸碱性良好	用罐类设备防腐	室温下实干
聚氨酯涂料	催化型聚氨酯涂料底漆、磁漆、清漆	多用于常温	耐酸、耐碱、耐油性能良好	尿素造粒塔专用涂料，也适于硝铵造粒塔及氨设备	室温下实干，养护一周，80℃处理不需养护
	白聚氨酯磁漆	常温	耐油性良好	用于油罐内壁涂复	室温下实干，与铁红聚氨酯底漆配套使用
	聚氨酯沥青涂料	<60	耐碱、油、盐水性能好	用于碱液槽、高压水管内壁防腐	室温下实干、底漆面漆配套使用
富锌涂料	无机富锌涂料	耐温	耐海水腐蚀良好	用于海水冷却器防腐	室温下实干，再经酸处理
固体涂粉料	聚三氟氯乙烯塑料涂料	150	耐氧化性酸、耐碱性能良好	用于设备、管道内壁防腐	用悬浮液喷涂法，于270℃处理
塑料涂料	聚合氟乙丙烯塑料涂料	300～350	耐氧化性酸、耐碱性能良好	用于设备、管道内壁防腐	用悬浮液或分散液涂复法，于300～350℃下塑化

表 8-45 室内外防腐涂料

涂料名称	使用温度℃	性能	适用范围	备注
各色过氯乙烯防腐漆	<60	耐酸、碱、耐候性能良好	室内、外设备，建、构筑物，防工业大气	室温实干
各色乙烯防腐漆	<70	耐酸碱、防潮、防霉性能良好	用于湿热区，水下工程，干湿交替及化学介质的防腐工程	室温下实干
各色环氧硝基磁漆	常温	耐油性、耐候性良好	适于潮湿海洋性、湿热带下室内外防工业大气腐蚀	室温下实干，80℃下处理更好
冷固化环氧涂料	<90	耐酸碱良好，耐候性差	用于室内构筑物防腐蚀	不用于室外工程室温下实干
沥青耐酸漆	室温	耐酸碱，耐候性差	用于室内构筑物防腐	不用室外，室温实干
沥青耐酸漆加铝粉（改善耐候性）		耐酸碱，耐候性差	可用于室外	
有机硅耐热漆		耐高温、有一定耐酸碱能力	用于高温设备内外壁防氧化腐蚀	常温施工，常温固化、实干
湿固化封闭型聚氨酯涂料	多用于常温	防水、防潮，耐土壤矿物盐腐蚀	适于高温气候地下工程设备防腐蚀	在高温下才能实干

续表

涂料名称	使用温度℃	性能	适用范围	备注
有机富锌漆		耐海水、油、溶剂	适于下水工程设备防腐	室温下实干
无机富锌漆		耐海水、油、酸、溶剂海	适于海水冷却器管外壁防腐	室温下实干，不用酸化处理
铝粉漆（用铝粉、青油配制）	200	耐高温、耐候性良好	适于高温管道、设备外壁防腐蚀	室温下实干

8.4.7 非金属设备

由于非金属材料具有优良的耐蚀性及相当好的物理机械性能，因此可加工制成各种防腐蚀设备和机器代替金属材料。常用聚氯乙烯、聚丙烯、不透性石墨、陶瓷及玻璃等非金属材料制造设备、管道、管件、机器及其部件等。此外，还有利用玻璃钢、天然岩石及铸石等材料制造设备、管道及设施等，均能达到防腐蚀目的。

8.5 防腐蚀工程

8.5.1 一般规定

8.5.1.1 沥青类防腐蚀工程

（1）沥青类防腐蚀工程包括：沥青胶泥（或热沥青）铺贴的油毡隔离层；沥青胶泥铺砌的块材面层；沥青砂浆和沥青混凝土铺筑的整体面层或垫层；碎石灌沥青垫层。

（2）施工环境温度不宜低于5℃，施工时工作面应保持清洁干燥。

（3）沥青应按品种、标号分别堆放，避免曝晒和沾粘杂物。

8.5.1.2 水玻璃类防腐蚀工程

（1）水玻璃类防腐蚀工程包括：水玻璃耐酸胶泥、耐酸砂浆铺砌的块材面层；水玻璃涂抹的整体面层及水玻璃耐酸混凝土灌筑的整体面层、设备基础和构筑物。

（2）施工环境温度以15～30℃为宜，低于10℃应采取加热保温措施。原材料使用温度不低于10℃。

（3）在施工及养护期间严禁水玻璃防腐工程与水或水蒸汽接触，防止早期脱水过快。

8.5.1.3 硫磺类防腐蚀工程

（1）硫磺类防腐蚀工程包括：硫磺胶泥、砂浆浇灌的块材面层；硫磺混凝土灌筑的地面、设备基础和贮槽等。

（2）施工环境温度不宜低于5℃，一般施工完后2小时即可使用，设备基础、贮槽等构筑物必须24小时后方可使用。

（3）硫磺类耐腐蚀材料在冷固前严禁与水接触，所用材料、器具必须干燥。

（4）硫磺类耐腐蚀材料使用温度不应高于30℃，不应用于冷热交替频繁、温度急变、与明火接触或受重物撞击的部位。

8.5.1.4 树脂胶泥和玻璃钢防腐蚀工程

（1）树脂胶泥和玻璃钢工程包括：树脂胶泥铺砌或勾缝的块材面层，各种胶料铺衬的

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

玻璃钢整体面层和隔离层及环氧胶涂复的隔离层。

（2）施工环境温度以15～25℃为宜，相对湿度不宜大于80%。温度低于10℃（用苯磺酰氯作固化剂应低于17℃）应采取加热保温措施，但不得用明火或蒸汽直接加热。原材料使用温度不应低于施工环境温度。

（3）工程在施工及养护期间，严禁明火并应防水、防曝晒。

（4）树脂、固化剂、稀释剂等材料应密封贮存在阴凉干燥处，注意防火。

8.5.1.5 耐腐蚀涂料工程

（1）耐腐蚀涂料工程包括用过氯乙烯漆、沥青漆、生漆、酚醛漆、环氧漆和聚氨基甲酸酯漆等涂料涂复的面层。

（2）腻子、底漆、磁漆、清漆配套使用应符合有关规定和产品说明书进行。不同厂不同品种涂料掺合使用，应经试验确定。过期涂料须经检验合格后，方能使用。

（3）施工环境温度以15～30℃为宜，施工后，漆膜应充分干燥，一般需自然养护7昼夜以上方可交付使用。在施工及漆膜干燥过程中，严禁明火，并应防火、防尘，防曝晒。

（4）耐腐蚀涂料、稀释剂应密封贮存在阴凉干燥的场所，注意防火，使用温度不应低于10℃。

（5）自配漆的填料应干燥，其耐酸率不应小于94%，细度要求4900孔/cm^2筛余不应大于15%。

8.5.1.6 耐酸陶管工程

（1）耐酸陶管工程，系指工业污水排放管道工程。承插式接口陶管用于新敷设管道，套环式接口陶管用于修理的管道。

（2）陶管敷设有受震动、受压、穿墙、穿渠和过路等部位，应设计保护措施。

（3）陶管不得裂纹、破损，表面釉质应均匀。其耐酸率不应小于94%，吸水率不应大于9%，在2kg/cm^2水压下保持5分钟无渗漏。

（4）承插式陶管，应按水流方向使承口向上游，插口向下游。管道就位要对口找正，严格控制轴线、坡度和标高。就位后应防止移动，接口处要防止尘土落入。

（5）施工环境温度不应低于5℃。

8.5.2 工 程 验 收

（1）防腐蚀工程验收，包括中间验收和竣工验收，未经验收的工程不得投入生产使用。质量检查应贯彻自检、互检、交接检查与专业检查相结合的原则。

（2）防腐工程面层以下各层及其他将为后工序覆盖的部位、部件，在覆盖前必须进行中间验收，并填写隐蔽工程验收记录。

（3）工程的竣工验收，必须该工程的全部工序完成，并经规定的养护期后进行。竣工验收需提交下列资料：

① 原材料出厂合格证（或抄件）和其他质量检验文件；

② 各种耐腐蚀胶泥、砂浆、混凝土、玻璃钢胶料和涂料的配合比，及其主要技术指标的试验和质量检验报告；

③ 设计变更通知单、材料代用的技术核定文件，以及施工过程中重大问题处理的记录；

④ 全部隐蔽工程记录；

⑤ 陶管工程应提交管线敷设坡度的实测记录和接口检漏试验报告。

（4）各类防腐蚀面层应完好无损，与下层结合应牢固；面层的平整度、坡度，及块材面层相邻块材的高差均应符合有关规范要求。

（5）凡验收不合格的，应予修理或返工。返修记录应纳入竣工验收文件中。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第 9 章　职业中毒与尘肺

职业中毒是在生产劳动过程中，作业环境的化学毒物侵入人体后引起人体生理功能的改变，甚至引起组织结构、生物化学的病理变化而发生的疾病。尘肺是在粉尘作业中，吸入一定量的生产性粉尘引起的以肺部病变为主的全身性疾病。

9.1　工 业 毒 物

9.1.1　概　　述

9.1.1.1　定义

物质进入机体，蓄积达一定的量后，与机体组织发生生物化学或生物物理学变化，干扰或破坏机体的正常生理功能，引起暂时性或永久的病理状态，甚至危及生命，称该物质为毒物。

工业生产过程中接触到的毒物，主要指化学物质，称为工业毒物或称为生产性毒物。

由毒物引起的疾病，称为中毒。在生产劳动过程中由于接触化学毒物引起的中毒，称为职业中毒。

9.1.1.2　工业毒物的来源

工业毒物的来源是多方面的。在生产中，有的作为原料，如制造硫酸二甲酯时应用的甲醇和硫酸；有的系中间体或副产物，如用苯制造苯胺时要先生产硝基苯；有的则是成品，如农药厂生产的有机磷农药，氯碱厂生产的氯等；有的作为催化剂，如制造聚氯乙烯用作催化剂的汞盐；有的作为溶剂，如制造橄榄绿B染料时应用硝基苯作溶剂；有的为夹杂物，如电石中夹杂砷、磷，生产的乙炔中夹杂有砷化氢、磷化氢；还有，如氯碱厂水银电解法的阴极用汞，氩弧焊作业中产生的臭氧和氮氧化物，染料厂废弃物硫化钠遇到废酸产生硫化氢，在塑料工业、橡胶工业中所用的增塑剂、防老剂、润滑剂、稳定剂、填料等多数是有毒物质。对于毒物来源作全面调查研究，找出主要毒物，有利于解决毒物的污染问题和确定防毒措施，也有利于职业中毒的诊断。

9.1.1.3　工业毒物的物理状态

在生产中的工业毒物各有其特定的理化性质，常呈固体、液体或气体三种状态存在。由于生产工艺的需要和加工过程，例如加热、加压、破碎、粉碎、溶解等操作，使工业毒物在劳动环境中常呈气体、蒸气、雾、烟尘、粉尘等形态存在。毒物存在形态直接关系到接触时中毒的危险性，影响到毒物进入人体的途径和病因。

1．粉尘

直径大于0.1μm的固体微粒多为固体物质在机械粉碎、辗磨、打砂、钻孔时形成。如制造铅丹颜料时的铅尘，制造铬催化剂时的铬酐尘等。

2．烟尘

是悬浮于空气中直径小于0.1μm的固体微粒，是某些金属在高温下熔化时产生的蒸气逸散到空气中，在空气中氧化凝聚而成。如炼铜时所产生的氧化锌烟尘，熔铅时所产生的氧化

铅烟尘等。

3. 雾

为混悬于空气中的液体微滴。如酸雾，或由液体喷散而成，如喷漆作业中的含苯漆雾，喷撒农药时的药液雾等。

4. 蒸气

由于液体蒸发或固体升华而形成。前者如苯蒸气，后者如碘蒸气。

5. 气体

在常温常压下呈气态的物质，在生产过程中散逸于空气中为气体，如氯、光气、一氧化碳、二氧化硫等；低沸点的液体，如新戊烷（又名四甲基甲烷，沸点9.5℃），在劳动环境中也呈气体形态存在。

9.1.1.4 工业毒物的分类

分类方法很多。有的按毒物来源分类，有的按毒物侵入人体的途径分类，有的按毒物作用的靶器官和靶系统分类等。

目前最常用的分类方法是按化学性质和其用途相结合的分类法分为：

（1）金属、类金属及其化合物 是最多的一类，迄今人们已知的元素有109种，在地球上稳定存在的有95种，其中有80种是金属和类金属；

（2）卤族及其无机化合物 如氟、氯、溴、碘等；

（3）强酸和碱性物质 如H_2SO_4、HNO_3、HCl、HF、NaOH、KOH、NH_4OH、Na_2CO_3等；

（4）氧、氮、碳的无机化合物 如O_3、NO_x、NCl_3、CO、$COCl_2$、COF_2、NOCl等；

（5）窒息性惰性气体 如He、Ne、Ar、Kr、Xe、Rn；

（6）有机毒物 按化学结构分为脂肪烃类、芳香烃类、脂肪环烃类、卤代烃类、氨基及硝基烃化合物、醇类、醛类、酚类、醚类、酮类、酰类、酸类、腈类、杂环类、羰基化合物等等；

（7）农药类 包括有机磷、有机氯、有机汞、有机锡、有机氮、有机氟、有机硫等；

（8）染料及中间体、合成树脂、橡胶、纤维等。

还有一种分类方法是按毒物的毒作用的特征分为刺激性、腐蚀性、窒息性、麻醉性、溶血性、致敏性、致癌性、致畸性、致突变性毒物等，这种分类方法的优点是便于了解其毒作用。

9.1.2 工业毒物的毒性

9.1.2.1 毒性

毒性是用来表示毒物的剂量与引起毒作用之间关系的一个概念。在毒性研究中，经常提到剂量—效应关系和剂量—反应关系两个概念。剂量—效应（Dose—effect）关系就是指毒物在一个生物体内所致效应与毒物剂量之间的关系。如职业性接触铅时，观察剂量—效应关系，可测定厂房空气中铅浓度与各个工人尿中δ-氨基乙酰内酸（ALA）不同含量的关系，这种观察有利于找出对敏感个体的危害。剂量—反应（Dose—response）关系是测定一组生物体中的毒物剂量与产生一定标准效应的个体数（即发生效应的百分率）之间的关系。如职业性接触铅时，观察剂量—反应关系，是在厂房空气中铅浓度与一组工人尿中含ALA超过5mg/L的个体数（即个体百分率）之间的关系，是制定毒物的卫生标准的依据。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

9.1.2.2 毒性评价方法

研究一种化学物质的毒性时，最通用的是剂量—反应关系，以实验动物的死亡作为反应终点，测定毒物引起动物死亡的剂量或浓度。经口或经皮肤进行实验时，剂量常以mg/kg表示，即换算成每kg动物体重需要毒物是多少mg。最近国外已有用mg/m^2表示的趋势，即动物体表面积每m^2需要毒物是多少mg。吸入的浓度常以mg/m^3（或ppm）表示，即每m^3空气中含有多少mg毒物。

常用于评价毒物的急性、慢性毒性的指标有以下几种。

（1）半数致死量或浓度（LD_{50}或LC_{50}） 引起染毒动物半数（50%）死亡的剂量或浓度。

（2）绝对致死量或浓度（LD_{100}或LC_{100}） 引起全组染毒动物全部（100%）死亡的最小剂量或浓度。

（3）最小致死量或浓度（MLD或MLC） 在全组染毒动物中引起个别动物死亡的剂量或浓度。

（4）最大耐受量或浓度（LD_0或LC_0） 在全组染毒动物中全部存活，一个不死的最大剂量或浓度。

（5）急性阈剂量或浓度（Lim_{ac}） 一次染毒后，引起实验动物某种有害反应的最小剂量或浓度。

（6）慢性阈剂量或浓度（Lim_{ch}） 在长期多次染毒后，引起实验动物某种有害作用最小剂量或浓度。

（7）慢性“无作用”剂量或浓度 在慢性染毒后，实验动物未出现任何有害作用的最大剂量或浓度。

一种毒物对实验动物产生同一反应所需的剂量，由于所用动物种属或种类、染毒的途径、毒物的剂型等条件不同而不同。吸入中毒所引起的动物死亡（或其它反应）除与毒物的浓度有关外，还与接触时间有关。

9.1.2.3 毒性分级

各国对毒性分级尚无统一意见。毒物的急性毒性常按LD_{50}（吸入2小时的结果）进行分级。通常将毒物分为剧毒、高毒、中等毒、低毒、微毒五级（表9-1）。

表 9-1 化学物质的急性毒性分级

毒性分级	大鼠一次经口 LD_{50}(mg/kg)	6只大鼠吸入4小时死亡2～4只的浓度(ppm)	兔涂皮时 LD_{50}(mg/kg)	对人可能致死量 (g/kg)	对人可能致死量 (g)(70kg体重)
剧毒	<1	<10	<5	<0.05	0.1
高毒	1～	10～	5～	0.05～	3
中等毒	50～	100～	44～	0.5～	30
低毒	500～	1000～	350～	5.0～	250
微毒	5000～	10000～	2180～	>15.0	>1000

上述分级方法对于剧毒物质定为LD_{50}<1mg/kg有时不太合理，例如剧毒的氰化物和氯化汞未能划入剧毒物品之列。因此，应用时应加注意。

世界卫生组织和国际劳工组织对农药的急性毒性分级表规定以<20mg/kg为剧毒物品。

9.1.3 工业毒物的作用条件

毒物作用的强弱，与其化学结构、理化性质、剂量（或浓度）、环境条件以及个体敏感性等一系列因素有关。

9.1.3.1 化学结构、理化性质与毒性的关系

主要表现在以下几方面：

（1）在有机化合物中，饱和脂肪烃类对机体的麻醉作用随碳原子数的增加而加强，如庚烷＞己烷＞戊烷等；在其结构中若以支链取代直链，则麻醉作用减弱，如异庚烷的麻醉作用小于正庚烷；碳原子首尾相连成环，则毒性增加，如环己烷的毒性大于正己烷。

分子的饱和度对毒性影响亦很大，如二碳烃类的麻醉毒性随不饱和的程度增大而增加：乙炔＞乙烯＞乙烷；对结膜的刺激毒性：丙烯醛＞丙醛；环己二烯的毒性＞环己烯＞环己烷。

烃类化合物中的氢原子被卤族原子取代时，其毒性增大。取代的卤原子越多，毒性越大。如氯代甲烷对肝脏的毒性顺序是：甲烷＜氯甲烷＜二氯甲烷＜氯仿＜四氯化碳。

在芳香族烃类化合物中，苯环上的氢原子若被氯原子、甲基、乙基所取代，全身毒性减弱，而对粘膜的刺激性增加；若被氨基或硝基取代时，则其毒作用发生改变，有明显的形成高铁血红蛋白的作用。在苯环上，不同异构体的毒性也有差异，一般认为三种异构体的毒性顺序为：对位＞间位＞邻位，如硝基酚、氯酚、甲苯胺、硝基甲胺、硝基苯胺等的异构体都有此规律。

（2）在有机磷农药中，其毒性也随化学结构而异。例如下列几种化合物的毒性大小为：对氧磷（1600）＞对硫磷（1605）＞甲基对硫磷；内吸磷（1059）＞甲基内吸磷；内吸磷的硫羟异构体＞硫羰异构体。在二硫代磷酸酯中，其毒性为：乙基＞甲基；具有强酸根、氯根的化合物毒性较大。

（3）毒物的物理性质对毒作用的影响：固态毒物被粉碎成分散度较大的粉尘或烟尘，易被吸入，较易中毒。熔点低、沸点低、蒸气压的浓度较高，易中毒。

毒物在体内的溶解度也是影响其毒作用的重要因素。如氧化铅较其它铅化合物易溶解于血清，则易中毒；汞盐类较金属汞在胃肠道易吸收，则前者易中毒；氯较易溶于水，它能迅速引起结膜和上呼吸道粘膜的损害，而光气和氮氧化物水溶性较差，则常要经过一定潜伏期而能引起呼吸道深部的病变。

9.1.3.2 环境因素与毒性的关系

任何毒物都是在一定的环境条件下呈现其毒作用的，并随着环境因素的不同而有所差异。

1. *劳动环境的气象条件对毒作用的影响*

环境温度高，毒物易挥发，在高温车间劳动时呼吸量大，毒物的吸收量亦较多；湿度较高时会增加某些毒物的作用强度，如高湿环境中氯化氢、氟化氢等对人体的刺激性较强。

2. *毒物浓度*

劳动环境的空气中毒物浓度愈高、接触的时间愈长、防护条件差，则愈容易发生中毒。

3. *毒物的联合作用*

两种或两种以上毒物联合作用较单一毒物的作用可以相似，也可能相反，因而所致总效应可以增强或减弱。效应增强者，称为协同作用；效应减弱者，称为拮抗作用。在协同作用

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

中，又可分为相加作用和相乘作用。相加作用是指几种毒物的联合作用的总效应，等于各种毒物单独存在时效应的总和；相乘作用是指总效应大大超过这几种毒物的单独效应的总和。试验表明多数为相加作用，尤其作用机理相同的毒物的联合毒性，往往表现为相加作用。

9.1.3.3 个体因素与毒性的关系

不同种属的动物对毒物的毒性反应常有很大的差异。

毒物对人体的毒作用，差异更大。这不仅是由于接触剂量（浓度）或环境条件不同而异，且与各个人的耐受性、敏感性有很大关系。

9.1.4 毒物的毒理作用

毒物进入机体后，通过各种屏障，转运到一定的系统、器官或细胞中。经过代谢转化，或未经代谢转化在靶器官与一定的受体或细胞成分相结合，产生毒理作用。中毒机理可分为以下几类。

9.1.4.1 对酶系统的干扰

生化过程是构成整个生命的基础，而酶在这一过程中起着极其重要的作用。毒物可作用于酶系统的各个环节，使酶失活，从而干扰了维持生命所必需的正常代谢过程，导致中毒症状。毒物对酶的作用方式大致可归纳为以下几类。

（1）竞争性抑制

毒物与基质是同类物，二者不断竞争同一种酶分子上的同一部位，产生竞争性抑制。如丙二酸与乳酸是同类物，则丙二酸能抑制乳酸脱氢酶的活性。

（2）非竞争性抑制

毒物作为一种抑制剂与酶分子上不为基质作用的一个部位相结合，形成酶-基质-抑制剂（毒物）复合体，使其不再起反应，而使酶失活。如卤代乙酸与酶蛋白质的组氨酸结合，使核糖核酸酶受抑制。

（3）与辅因子或辅基产生反应或竞争的毒物，使其不能为酶所利用。如肼、酰肼对磷酸吡哆醛依赖酶（氨基转移酶、氨基酸脱羧酶）的抑制。

（4）与基质直接作用

如氟乙酸作用于三羧酸循环中的草酰乙酸而产生氟柠檬酸，使三羧酸循环阻断。

（5）与酶蛋白中金属或活性中心起作用

某些酶的蛋白质内的金属离子，如细胞色素氧化酶中的铁离子，可通过$F_e^{++} \rightleftharpoons F_e^{+++}$反应而进行氧化还原反应，某些毒物如氰化氢、硫化氢、一氧化碳能与铁离子结合，抑制了酶的活性而发生细胞窒息。

酶蛋白有许多功能基团，形成活性中心，如巯基、羟基、氨基、羧基等，而有的毒物能与这些活性中心相结合，从而抑制酶的活力。一些重金属毒物如汞能与巯基相结合。

（6）与酶的激活剂作用

有些酶的活性中心需要金属离子作激活剂，如磷酸葡萄糖变位酶是生成和分解肝糖元的酶，其作用需要Mg^{++}作激活剂，氟离子能与Mg^{++}作用生成镁-氟-酶的复合体，使酶失去活性。故氟化物中毒者，磷酸葡萄糖变位酶的活性受到抑制。

毒物对酶的抑制有的是特异性，如有机磷农药对胆碱酯酶的抑制；有的是非特异性的，如巯基是蛋白质的活性基团，多种毒物如砷、汞等能对含巯基的多种酶产生抑制。

9.1.4.2 对氧的吸收、运输的阻断作用

许多单纯性窒息性气体如氢、氮、氩、氪、甲烷等，当它们的含量很大时，使氧分压相对降低，机体呼吸时吸收不到充足的氧气而窒息。刺激性气体造成肺水肿而使肺泡气体交换受阻碍。一氧化碳对血红蛋白有特殊的亲和力，一旦血红蛋白与一氧化碳结合后生成碳氧血红蛋白（HbCO），则使其失去正常携氧能力，造成氧的运输受阻，致组织缺氧。硝基苯、苯胺等毒物与血红蛋白作用生成高铁血红蛋白，硫化氢与血红蛋白作用生成硫化血红蛋白，砷化氢与红细胞作用造成溶血，使血蛋白释放，这些作用都使红细胞失去输氧功能。

9.1.4.3 对脱氧核糖核酸（DNA）和核糖核酸（RNA）合成的干扰

DNA是细胞核最主要的组分。染色体（遗传物质的载体）是由双股螺旋结构的DNA分子构成。长链DNA中贮存了遗传信息。DNA的信息是通过信使RNA被转录，最后被翻译到蛋白质中。毒物作用于DNA和RNA的合成过程，而产生致突变、致畸变、致癌作用。

所谓遗传突变是遗传物质在一定条件下发生突然的、根本的变异，而产生一种表型可见的变化称为突变。当一种化学物质改变细胞的遗传特性时，就是致突变作用。这种作用可能在DNA分子上产生化学变化，改变DNA的特性，从而改变子细胞的遗传特性，造成某些遗传特性的丢失。这个过程称为化学性突变作用，引起这种遗传突变的化学物质叫做致突变物。

染色体畸变就是在DNA结构中许多碱基顺序的改变，产生遗传密码中碱基顺序严重的重排。使DNA上的结构的改变达到相当严重的程度，足以在显微镜下检验出染色体的结构和数量上所致的改变。当毒物作用于胚胎细胞，尤其在胚细胞组织分化期最易造成畸胎，毒物造成畸形的作用称为致畸作用。

化学物质的致癌作用，其机制的学说很多，主要有两种。一种是突变的理论，提出肿瘤是由体细胞的突变，致癌物与基因DNA继发地进行相互作用的结果。另一种是非突变的机制，是原发于基因的畸变，继发于细胞的无限生长。认为致癌物对基因物质造成结构改变。由于造成代谢循环回路，通过基因的异常激活、阻遏或抑制，诱发恶性变，而呈现致癌作用。

9.1.4.4 对局部组织的刺激与腐蚀作用

凡能与机体的组织成分发生化学反应的物质，均可对组织产生直接的刺激作用或腐蚀作用。这是一种非特异性的化学作用，往往在机体接触部位直接引起反应。这种局部性损伤，低浓度时可表现为刺激作用，如对眼、呼吸道等粘膜的刺激；高浓度的强酸或强碱可致腐蚀或坏死作用。

9.1.4.5 组织毒性

组织学检查发现，组织毒性表现为细胞变性，并伴有大量空泡形成，脂肪蓄积和组织坏死。组织毒性往往并不首先引起细胞功能如糖原含量或某些酶浓度的改变，而是直接损伤细胞结构。在肝、肾组织中毒物的浓度总是较高，因此，这些器官易产生组织毒性反应。如溴苯在肝脏内经代谢转化为活性代谢物——溴苯环氧化物，与肝内大分子产生共价结合，导致肝脏组织毒性，并可对肾脏近曲小管造成坏死；汞类化合物可致肾的组织毒性。

9.1.4.6 致敏作用

机体对化学物质的过敏反应是一种涉及免疫机制的变态反应，它有别于上述的化学物质所致的毒性反应。由此可见，过敏反应是一种对化学物质的异常反应。

过敏反应的产生往往是机体初始接触一种化学物质做为抗原，诱发免疫系统生成细胞或

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

体液的新蛋白质，即谓抗体；然后，再接触同种抗原则形成抗原—抗体反应。某些化学物质或其代谢产物可作为一种半抗原，与内生性蛋白质结合成为抗原。

第一次接触有抗原性的物质往往不产生细胞损害，但它产生了“致敏作用”，诱发机体产生抗体，再次接触抗原性物质时则产生变应性过敏反应可产生细胞损害。抗原和抗体的反应中，常释放组织胺和徐缓激肽一类物质，这些物质是真正引起过敏反应的物质。抗原与抗体之间的反应具有高度的特异性，但并非绝对如此。可有对一种化合物过敏，也导致对另一些与其结构相似，却又未曾接触过的化合物过敏，这种现象称为“交叉过敏”。

过敏反应部位在皮肤则引起过敏性皮炎（或荨麻疹），若在呼吸道则引起过敏性哮喘等。当然也可发生其它类型的免疫反应：如溶血性贫血、肾小球肾炎等。

9.2 职业中毒

9.2.1 一般概念

9.2.1.1 定义

1．急性职业中毒

是指在短时间内（一般指在一个工作班或更短的时间内）接触高浓度的毒物所引起的中毒。一般是发病很急，病情比较严重，病情变化也很快。如果急救不及时或治疗不恰当，预后不良，容易造成死亡或留有后遗症。

2．慢性职业中毒

是指在长时期内不断接触某种较低浓度的工业毒物所引起的中毒。慢性中毒发病慢，病程进展也较慢，初期病情也较轻，与一般疾病难区别，容易误诊。如得不到及时、正确的诊断和治疗，将会发展成为严重慢性中毒。

3．亚急性职业中毒

是指介于急性与慢性中毒之间的职业中毒，时间上一般是接触工业毒物一个月至六个月之间，发病比急性中毒要缓慢一些，病程进展比慢性中毒要快得多，病情也较重。

4．亚临床型中毒

是指工业毒物在人体内已蓄积了一定量，对机体也产生了一定损害，但在临床表现上尚无明显的症状和阳性体征者称为亚临床型中毒。它是职业中毒发病的前期，在此期若能及时发现，脱离接触进行适当疗养和治疗，可以不发病而很快恢复正常。

9.2.1.2 职业中毒的特点

（1）接触史　职业中毒都必需有明确的工业毒物的职业接触史。

（2）群发性　同一车间的同工种工人接触某种工业毒物时，若有人发生中毒，则可能有多人都发生中毒。

（3）特异性　许多毒物中毒可有选择性作用于某系统或某器官，出现典型的系统症状。

（4）潜伏期　慢性职业中毒发病慢，从开始接触毒物到发病要有很长一段时间，且症状是逐渐加重。急性职业中毒的过程中，吸入毒物后有一定刺激症状，随即症状消失，经过并无明显症状的潜伏期后，可突然发生严重症状。

（5）预后可以作到良好　多数职业中毒只要能早期诊断，及时得到恰当地治疗，可以作到预后良好。

9.2.2 工业毒物在化工行业中的分布

化学工业的各行业中大多接触毒物，许多化工产品的原料、中间体和产品本身就是毒物。兹将化工生产中接触毒物的主要种类列于表9-2。

表 9-2 化工生产中接触的主要毒物

行业	产品种类	接触主要毒物
化学矿	硫铁矿	NOx、CO、SO_2
	磷矿	NOx、CO、SO_2、放射性物质
	其它矿	砷、SO_2、As_2O_3
无机化工原料	酸类	HNO_3、H_2SO_4、HCl、HF、NH_3、$ClSO_3H$
	碱类	NaOH、KOH、Na_2CO_3、$NaHCO_3$
	无机盐	硫化物和硫酸盐类、硝酸盐类、亚硝酸盐类、铬盐、硼化物、氰化物及氰酸盐、磷化物及磷酸盐、氟化物及硫氰酸盐、锰化合物、其它金属盐类
	单质	黄磷、赤磷、金属钠、金属镁、硫磺、砷、Pb、Hg
	工业气体	氢、氮、氯、氪、氖、氩、氙、氯、CO、NOx、SO_2、SO_3、NH_3、H_2S
有机化工原料	基本有机原料	乙炔、电石、乙烯、丙烯、丁烯、甲烷、乙烷、丙烷、苯、甲苯、二甲苯、萘、蒽、甲醇、乙醇、甲醛、非
	一般有机原料	乙烯基乙炔、丁二烯、异戊二烯、庚烷、己烷、吡啶、呋喃、乙醛、丙醇、丁醇、辛醇、乙二醇、甲酸、乙酸、硫酸二甲酯、丙酮、乙醚、甲基丁基醚、醋酸酐、苯二甲酸酐、氯乙烯、氯苯、三氯乙烯、硝基苯、硝基甲苯、硝基氯苯、苯胺、甲基苯胺、一甲胺、二甲胺、三甲胺、苯酚、甲基苯酚、一萘酚、醋酸铅、苯甲酸、有机铅化物等
化肥	氮肥	一氧化碳、硫化氢、氨、氢氧化物、硝酸铵等
	磷肥	硫酸、氟化氢、四氟化硅、一氧化碳、磷酸
农药	有机氯农药	六六六、苯、氯气、三氯乙醛、氯化氢、氯苯、滴滴涕、硝滴涕、硝基丙醛、四氯化碳、环戊二烯、六氯环戊二烯、氯丹、三氯苯磺酰氯、氯磺酸、三氯苯、三氯杀螨砜、五氯酚、五氯酚钠
	有机磷农药	磷、三氯化磷、甲醇、三氯乙醛、氯甲烷、敌百虫、敌敌畏、苯酚、二乙胺、亚磷酸二甲酯、磷胺、三氯硫磷、对硫磷、内吸磷、甲胺磷、倍硫磷、五硫化二磷、硫化氢、乙硫醇、三硫磷、乐果、马拉硫磷
	有机氮农药	甲萘酚、光气、甲基异氰酸酯、西维因、甲胺、间甲酚、速灭威
	其它农药	三氧化二砷、硫酸铜、氯化苦、溴甲烷、代森锌、退菌特、稻瘟净、除草醚、磷化锌、氯乙酰胺等
高分子聚合物	塑料和树脂	三氟氯乙烯、四氟乙烯、六氟丙烯、氯乙烯、氯化汞、偶氮二异丁腈、苯酚、甲醛、氨、乌洛托品、苯二甲酸酐、丙酮、二酚基丙烷、环氧氯丙烷、氯甲基甲醚、二甲胺甲醇、苯乙烯
	合成橡胶	丁二烯、苯乙烯、丙烯腈、氯丁二烯、异戊二烯、四氟乙烯、六氟丙烯、三氟丙烯
	合成纤维	乙二醇、苯酚、环已醇、已二胺、已内酰胺、苯、丙烯腈
涂料	油漆	苯、二甲苯、丙酮、苯酚、甲醛、沥青、硝酸、丙烯酸甲酯、环氧丙烷、癸二酸
	颜料	氧化铅、镉红、铬酸盐、硝酸、色原、酞青

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

行　业	产品种类	接触主要毒物
染　料	纤维用染料	对硝基氯化苯、苯胺、二硝基氯苯、硝基甲苯、二氨基甲苯、二乙基苯胺、萘、苯二甲酸酐、蒽醌、苯甲酰氯、硫化钠、氯化苦、苦味酸、氯、苯绕蒽酮、各种有机染料及其粉尘
	成色剂（电影胶片用）	
信息用品	胶　片	硝化纤维素、醋酸、二氯甲烷、硝酸银、溴苯
	磁　带	氧化铬、氧化磁铁
	照相用药品	硫代硫酸钠、溴酸
化学试剂	高纯试剂	各种酸、各种碱、各种金属盐、卤素
	官能团分析	各种有机试剂：醛类、醇类、醚类、酮类、羧酸、胺
	仪器用试剂	
橡胶加工	药品加工	防老剂甲、防老剂丁、硫磺等
	配料和混炼	防老剂甲　防老剂丁、炭黑、硫磺、陶土、松香
	胶液制作	苯、二氯乙烷、间苯二酚、列克钠、汽油
	亮油蒸制	氧化铅
催化剂和助剂	催化剂	铬盐、硫酸、铂、铜、二氧化矾、氧化铝
	助　剂	固色剂、五氧化二磷、环氧乙烷、双氯胺、防老剂、苯胺、苯酚、硝基氯化苯、抗氧剂、十二碳硫醇、氯、甲醛
化工机械	防　腐	强酸、铅、氮氧化物、臭氧、氧化铝、铬、氢等

9.2.3　毒物的吸收、分布与排出

毒物通过一定途径进入体内，而且在体内达到一定剂量后，方能产生作用。一般来说，在体内作用点的浓度愈高，毒作用愈大。这与接触的量、吸收率、体内分布、代谢转化及排出速度有关。

9.2.3.1　吸收

毒物吸收过程是通过呼吸道、胃肠道和皮肤粘膜进入血液循环的过程。

1．呼吸道吸收

在生产条件下，毒物多数是经呼吸道进入人体的。

气态毒物进入呼吸道的深度与它的水溶性有关。因为整个呼吸道表面都被体液所湿润，易溶水的毒物易被上呼吸道所吸收，若它有刺激性则马上引起呛嗽。难溶于水的毒物，因上呼吸道气流速度快则难以吸收，而进入深部，到达肺泡，由于此处气流速度极缓慢而能吸收。如氮氧化物具有刺激性，但由于它难溶于水，因而可达肺泡引起肺水肿。

气态毒物在肺泡的吸收量随着组织壁两侧物质的分压而定，气体总是从高分压向低分压渗透。随着不断吸收，毒物在血液中的分压逐渐升高，肺泡气中与血液中该毒物的分压差变小，吸收速度也变慢。当毒物在血液中达到饱和状态时，则一般不易再继续吸收。此时，在血液内的浓度与在肺泡空气内的浓度之比，对一种气体来说是一个常数，称为分配系数K。（在血液内的浓度/在肺泡气内的浓度）。K值越大，表示毒气愈容易进入血液。如二硫化碳的K值为5、乙醚为15、乙醇为1300、甲醇为1700等。

影响呼吸道吸收毒气的因素，还有呼吸深度、频率、循环速度和劳动环境的气温、气湿、气压等。

气溶胶中的雾和可溶性粉尘可在其附着地点很快被吸收；溶解慢的则大部分经呼吸道清除系统的作用而排出体外或至咽部而咽入消化道。

2. 皮肤吸收

有些毒物可以通过皮肤和毛囊与皮脂腺、汗腺而被吸收。由于表皮的屏障作用，分子量大于300的物质不易透过无损的皮肤被吸收。只有高度脂溶性和水溶性的物质如苯胺才易经皮肤吸收；仅溶于脂肪或仅溶于水的物质，经皮肤吸收甚少。

毒物经毛囊、皮脂腺和汗腺吸收时是绕过表皮，故电解质和某些金属，特别是金属汞可经此途径被吸收。

3. 胃肠道吸收

在生产条件下，工业毒物经胃肠道被吸收的机会很少，主要是被毒物污染的手直接拿食物吃或毒物溅入口腔造成的；此外，还可能是进入呼吸道的难溶性气溶胶，在溶解之前即被清除出来至咽部后咽入胃肠道，在胃肠道被吸收。

9.2.3.2 毒物在体内的分布

1. 存在和状态

毒物在血液（或淋巴）中可能以不同的状态存在：（1）在血浆内呈物理溶解状态；（2）脂溶性物质可溶于乳糜粒中或与脂肪酸结合；（3）与血浆蛋白或血清有机酸结合成复合物；（4）吸附于红细胞表面或与红细胞膜某些成份相结合；（5）在红细胞内与血红蛋白相结合。在（1）、（2）两种情况，毒物有较大的灵活性，可随时离开血液进入各种组织。而后三种情况，除吸附部分外，已经是分布于一种组织之中了。

2. 分布规律

按毒物进入各组织的类型，大体有下列五种分布规律；（1）能溶解于体液的物质，则在体内均匀地分布，如钾、锂、铯等阳离子和氯、溴等阴离子；（2）主要贮留于肝或其它网状内皮系统，如镧、铈、钍等阳离子；（3）与骨质具有亲和性的物质，如二价阳离子铅、钙、钡、锶、镭等；（4）对某一种器官有特殊的亲和性，如碘对甲状腺，汞对肾脏等；（5）脂溶性物质易与脂肪组织、乳糜粒亲和。五种分布类型之间，彼此有交叉，较为复杂。

3. 分布量

电解质在血液和组织中的分布量无一定比例，在各种组织内的分布也极不均匀，常在刚吸收时有一种分布类型，几天后又重分配而出现另一种分布类型。

当非电解质经过肺泡进入血流后，便在血液内逐渐积累，最后达到饱和浓度。它从血液分布到各组织的量比较均匀，但仍取决于其溶解度。

4. 代谢

肾脏是排出毒物的器官。许多种毒物及其代谢产物都可经肾脏随尿液排出体外。尿液中毒物浓度与血液中的浓度有密切的相关。因此常以测定尿中毒物（或其代谢产物）间接衡量毒物被吸收量或其体内浓度情况。但若停止接触毒物一段时间后，血液中毒物浓度降低，尿液测定结果亦随着相应下降，而实际上往往由于体内仍存有大量毒物，故此时以尿液中毒物浓度衡量体内含毒物情况就不准确了。

气态毒物及挥发性毒物（如硝基苯）都能由肺脏随呼出气排出；排出的方式是简单扩散。排出的速度与吸收速度成反比，故血/气分配系数小的毒物排出较快。血浆与肺泡气之间的毒物浓度梯度有重要意义，因此，发生有毒气体或挥发性毒物急性中毒后，应立刻将患者移至空气新鲜处，这不仅停止了继续吸收毒物，而且可以促进毒物经肺排出。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

有的毒物及其代谢产物主要以主动运输方式由肝脏排入胆囊，随胆汁入肠道而随粪便排泄。随胆汁能有效地排出的毒物主要是高度极化的物质。与血浆蛋白结合或与葡萄糖醛酸、硫酸等结合的毒物，即使分子量大也能排出，且其浓度可高于血浆中的浓度。铅、锰、镉、砷等均主要从肝脏排至胆汁而随粪便排泄。铅等金属是经肝胆排出的。个别毒物和胺类可由肠道分泌随粪便排出。

毒物可以简单扩散方式经乳腺排入乳汁，因此毒物可以直接由母亲传给乳儿或由牛奶传给人。毒物也可经唾液腺及汗腺排出，但其量甚微。头发和指甲并不是排泄器官，但有些毒物，如砷、汞、铅、锰等可富集于此，因此也成为排出途径。

9.2.4 职业中毒的临床表现

职业中毒的临床表现列于表9-3中。

9.2.5 几种常见化学毒物急性中毒的临床表现

兹将几种常见化学毒物急性中毒的临床表现列于表9-4中。

9.2.6 职业中毒的诊断

9.2.6.1 诊断依据和诊断过程

诊断职业中毒一定要有以下三方面的详细资料为依据。

1. 职业史

职业史是诊断职业中毒的主要依据。职业史应包括工种（现在工种和既往工种）、工龄（各工种的起止年、月和专业工龄）、接触毒物史（毒物种类、接触方式、接触量等）。

2. 劳动卫生调查

生产工艺（原料、中间产品和成品以及工艺过程中出现的毒物）；生产方式（敞开式或密闭式，间断生产或连续生产，直接操作或间接操作，机械化自动化程度等）；劳动环境空气中有毒物质的浓度（平均浓度、最低及最高浓度、符合最高允许浓度标准的合格率）；防毒措施（防毒、排风、净化、通过方式等）；劳动组织（作业时间、倒班制度、脱岗轮休制度等）；同车间、同工种职业中毒的发病情况；个人防护用品种类、使用是否合理、个人卫生习惯状况等。

3. 体格检查

包括症状、体征、实验室检查。症状即患者本人自我感觉的不适感。体征是医生通过望、触、叩、听等物理检查能客观见到的异常改变。实验室检查也是诊断职业中毒不可缺少的手段。如测定尿汞、尿铅含量对汞中毒、铅中毒的诊断，测定全血胆碱酯酶活性对有机磷农药的诊断，测定变性血红蛋白和变性珠蛋白小体对苯的氨基硝基化合物中毒的诊断，X线片的骨骼改变对氟、磷中毒的诊断等。

9.2.6.2 诊断的注意事项

1. 急性中毒

多数情况是在发生事故中引起急性中毒，一般诊断并不困难。但在抢救急性中毒病人的同时，还应积极组织现场调查，了解引起中毒的毒物都有哪几种及其浓度。因为毒物往往不是单一存在，而是混合的，如氮肥厂的原料气中除一氧化碳外还有硫化氢等，电化厂的乙炔气中往往混有砷化氢、磷化氢，这些毒物的性质不同，中毒后的抢救治疗措施也不同。混合

表 9-3 职业中毒的临床表现

	定义	表现	毒物
1. 呼吸系统			
窒息状态	呼吸通道受阻，使呼吸困难，口唇青紫、全身缺氧，直至呼吸停止的过程	全身缺氧、口唇青紫、呼吸暂停	刺激性气体：如氨、氯硫酸二甲酯、甲基异氰酸酯等
中毒性呼吸道炎症	中毒致鼻腔、咽喉、气管、支气管的炎症	流涕、咽干、咽痛、声音嘶哑；咳嗽、咯痰；胸痛、胸闷、气急、呼吸困难；窒息 鼻腔和咽腔充血、糜烂、水肿、喉头水肿 呼吸音粗糙、偶闻干罗音 血中白细胞升高、胸部X线检查肺纹增粗	刺激性气体：氯、氮氧化物、光气、氨、酸雾、二氧化硫、氟化氢、酯类（硫酸二甲酯、丙烯酸甲酯、甲基异氰酸酯等）氯的化合物（四氯化硅、四氯化钛、三氯化锑、三氯氧磷）、有机磷酸酯杀虫剂 汽油 某些金属毒物
中毒性肺炎	毒物进入呼吸道深部引起肺实质的炎症反应	呼吸道刺激症状加剧，咳嗽，痰中血丝、胸闷、胸痛、呼吸困难 体温升高，脉快，肺部湿罗音 肺部X线检查，局部小片状实变阴影	刺激性气体 汽油 金属如汞、锰、镉烟尘
中毒性肺水肿	中毒致呼吸系统严重损害，肺间质和肺泡渗出使肺组织积液、水肿，致呼吸系统的通气和换气功能障碍	分四期： 刺激期：接触毒物后，出现上呼吸道粘膜（眼结膜）刺激症状如流泪、咳嗽、胸痛；潜伏期：2～48小时后，症状减轻或消失；肺水肿期：症状突然加重，出现呼吸困难，咳嗽、咳大量泡沫痰（有时有血痰）胸部刺痛、心率加快、烦燥不安 肺部听诊有湿罗音；X线检查：两肺呈点片状、大小不一、弥漫性的阴影，白血球升高。此期持续1～2周	刺激性气体
2. 神经系统			
神经衰弱综合证	由于毒物作用，引起大脑皮质功能紊乱，兴奋与抑制过程失调	睡眼障碍：入睡困难、易醒、多梦或恶梦；记忆力减退、注意力不集中；头昏、头痛，情绪不稳、烦燥、易怒	金属：铅、汞、锰 有机金属化合物：四乙基铅、有机汞；有机溶剂：汽油、苯、二硫化碳；窒息性气体：一氧化碳
中毒性周围神经病	中毒引起周围神经系统发生结构变化与功能障碍，一般称为中毒性神经炎	肢端发麻，感觉异常，疼痛、过敏；多汗、手足发凉运动障碍，四肢远端肌力差，铅中毒时出现垂腕 检查见：四肢远端感觉减退或消失，呈手套、袜套样改变，也可出现选择性的感觉损害；严重者四肢远端肌肉麻痹、萎缩 轻症患者腱反射无变化。多发性中毒性周围神经病，腱反射减退	金属及类金属：砷、铅、有机汞化合物 溶剂：二硫化碳、三氯乙烯、正己烷、四氯化碳、汽油、乙醇 有机磷农药：对硫磷、敌百虫 窒息性气体：一氧化碳 其它：氯丙烯、丙烯酰胺

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

	定　义	表　现	毒　物
中毒性脑病	急性或慢性中毒引起脑部严重器质性和机能性改变	急性中毒性脑病： 早期可出现恶心、呕吐、球结膜充血，以后可出现精神症状：癔病样表现、意识障碍及丧失，抽搐、角弓反张或去大脑强直 如病情严重可表现为头痛剧烈、频繁呕吐、精神萎靡、反复抽搐、瞳孔缩小、收缩压上升、脉搏、呼吸减慢、视乳头水肿常提示脑水肿。检查可有病理反射阳性 慢性中毒性脑病： 幻视、幻听、迫害妄想、智能减退甚至出现定向力障碍、大小便不能自理 帕金森氏综合症：小脑共济失调、动作性震颤；植物神经障碍：多汗、血压上升。二硫化碳中毒性脑病时可出现脑性瘫痪	金属及其化合物：铅、四乙基铅、有机汞 类金属及化合物：砷及砷化物、硫化氢、磷化氢 溶剂：汽油、苯、甲苯、二硫化碳、三氯乙烯、四氯化碳、二氯乙烷、有机磷农药等 中毒后能引起缺氧的毒物，也可间接因缺氧而致急性中毒性脑病如刺激性气体、窒息性气体等
3．血液系统 中性粒细胞减少症	中毒所致的周围循环血液中的中性粒细胞减少（$<4000/mm^3$）	全身乏力、头昏、睡眠差，个别人出现口腔、咽喉等处感染及出血倾向 白细胞总数多在2000～4000/mm^3	有机溶剂如苯最常见
中毒性再生障碍性贫血	毒物引起的造血功能衰竭而致全血细胞减少（白细胞、红细胞血小板减少）	贫血、出血倾向及感染性发热；全血细胞减少	苯、三硝基甲苯、砷、四氯化碳、有机磷杀虫药、汞、二硝基苯等
中毒性高铁血红蛋白血症	中毒致血红蛋白中二价铁氧化为三价铁	缺氧、紫绀、休克，血中高铁血红蛋白在40％以上	苯胺、硝基苯、硝基甲苯、二硝基甲苯、三硝基甲苯、苯肼、硝酸盐
中毒性心肌损害	由于毒物直接或间接损害心肌或使心肌对肾上腺素应激性增强产生改变	与心肌炎表现相似，心悸、胸闷、乏力、心前区隐痛、心率过速。心电图示ST段或T波轻度改变，常伴有心律失常	直接作用：砷、锑、钡、有机汞、铅、CS_2、有机磷农药、有机氯 间接作用：一氧化碳、砷化氢、硝基苯、苯、汽油、刺激性气体等
4．消化系统 中毒性口腔炎	某些金属中毒引起的口腔炎症	齿龈肿胀、出血、粘膜糜烂、牙齿松动	汞、有机汞化合物、磷
中毒性急性肠胃炎	口服刺激性气体和腐蚀性气体，吸入某些金属引起的肠胃道炎症	口内烧灼感、恶心、呕吐、腹痛、腹泻严重者可休克	口服酸、碱、金属、金属盐吸入三氧化二锑、三氧化二砷磷化氢、铊
中毒性肝炎	毒物引起的肝脏功能障碍及实质细胞损害	急性中毒性黄疸型肝炎：皮肤、乳膜黄染及消化系统症状如肝脏肿大、压痛并伴有神经系统和肾脏功能，化验血胆红素升高，GPT升高，急性无黄疸型肝炎：消化系统症状及肝区痛，无黄疸、病程短、	

续表

	定　义	表　现	毒　物
		GPT升高 急性重症中毒性肝炎：黄疸、食欲不振、恶心、呕吐、乏力明显，皮肤粘膜出血倾向；肝脏缩小、腹水 血中G、P、T明显升高，血清胆红素升高	磷、三硝基甲苯、二硝基氯苯、硝基苯、四氯化碳、氯苯、丙烯醛；苯胺、苯肼、四氯乙烷、二氯乙烯、二氯甲烷、氯仿、砷化氢、砷、汞；二氯苯、二硝基酚、甲苯二胺，氯苯、氯甲烷、六六六、有机磷农药、氯化物、丙烯腈、铅、铬、铍等
5. 泌尿系统中毒性肾病	毒物引起肾脏的功能损害和病理的改变	急性肾功能衰竭：全身水肿、高血压、心力衰竭等临床症状；每小时尿量 15ml，相对密度1.010～1.012，尿钠浓度增高 慢性肾功能衰竭：肾小管综合症；肾小管性蛋白尿、浮肿； 肾动脉硬化：脏肾动脉硬化，心脏、脑血管硬化	汞、镉、砷、四氯化碳、二硫化碳、砷化氢、氯仿、苯的氨基和硝基化合物、乙二醇、肼类；酚、农药杀虫剂（有机汞）、铅、铬

表 9-4　几种常见化学毒物急性中毒的临床表现

	毒物名称	理化特性	中毒机理	急性中毒的临床表现
刺激性气体	氯气（Cl_2）	黄绿色气体，比重为空气的2.45倍。易溶于水、碱溶液、二硫化碳和四氯化碳等。沸点－34.6℃。在高压下液化为深黄色的液体，比重为1.56。化学性质活泼，与一氧化碳作用可生成毒性更大的光气	氯溶于水生成盐酸和次氯酸，产生局部刺激。主要损害上呼吸道及支气管的粘膜，引起支气管痉挛，支气管炎和支气管周围炎、严重时引起肺水肿。吸入高浓度氯后，引起迷走神经反射性心跳停止，呈“电击样”死亡	（1）轻度中毒：接触较低浓度时可产生眼结膜和上呼吸道的刺激症状，如眼、鼻辛辣感，咽喉烧灼感、流泪、流涕、喷嚏、咽痛、干咳等，检查可见眼结膜、鼻和咽粘膜充血，肺部听诊可闻及干罗音或哮鸣音 （2）中度中毒：症状加剧，有频发性呛咳、胸部紧迫感，同时有胸骨后疼痛，呼吸困难。并有头痛、头昏、烦燥不安。常有恶心、呕吐、中上腹痛。肺部听诊有呼吸音粗糙，有散在干性罗音。数小时后出现中毒性肺炎，咳嗽、全身无力、嗜睡，肺部有较多的湿性罗音 （3）重度中毒：可有咳血、胸闷、呼吸困难、发生中毒性肺水肿、咳出大量粉红色泡沫痰。可发生昏迷、休克、或因喉部及支气管痉挛、水肿而造成窒息 氯中毒可遗有慢性支气管炎、支气管哮喘等

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

	毒物名称	理化特性	中毒机理	急性中毒的临床表现
刺激性气体	光气（$COCl_2$）	为无色有霉烂草样气味的气体，比重3.4。沸点为8.3℃。加压成液体，比重1.392。易溶于醋酸、氯仿、苯和甲苯等。遇水可水解成盐酸和二氧化碳	其毒性比氯气大10倍。对上呼吸道仅有轻度刺激，主要是光气被吸入后，其分子中的酰基同肺组织内的蛋白质酶结合。（酰化反应），从而干扰了细胞的正常代谢，损害细胞膜，肺泡上皮和肺毛细血管受损通透性增加，导致化学性肺炎和肺水肿。	吸入光气后，一般有3～24小时的潜伏期 （1）轻度中毒：咽部刺痒感，呛咳、流泪、畏光、气急、胸闷，有时可伴有头晕、头痛、恶心等。阳性体征不明显 （2）中度中毒：上述症状加重，出现紫绀，有明显呼吸困难，肺部出现散在干、湿罗音或哮鸣音。X线胸片呈现肺野模糊、纹理增粗、紊乱及外延 （3）重度中毒：患者症状明显加剧，并有胸塞、发热、呕吐、烦燥不安，不能平卧等。出现明显紫绀以及咳大量粉红色泡沫样痰等肺水肿表现。缺氧加剧，意识模糊；呼吸衰竭导致循环衰竭时，脉细速不规律，血压下降，可陷入休克、昏迷。两肺满布湿罗音，X线胸片见两肺野有片状或絮状阴影。白细胞增高，常有电解质紊乱
	氮氧化物（NO_x）	包括N_2O、NO、NO_2、N_2O_3、N_2O_4、N_2O_5等的混合气体。其中NO_2较稳定，占比例最高。不易溶于水，在低温下呈淡黄色，室温下为棕红色	氮氧化物较难溶于水，因而对眼和上呼吸道粘膜刺激不大。主要进入呼吸道深部的细支气管和肺泡，在肺泡内可阻留80%，与水作用生成硝酸和亚硝酸，对肺组织产生强烈的刺激和腐蚀作用，引起肺水肿。硝酸和亚硝酸被吸收入血后，形成硝酸盐和亚硝酸盐，可扩张血管、引起血压下降，并与血红蛋白作用生成高铁血红蛋白，引起组织缺氧	（1）轻度中毒：轻度刺激症状，如咳嗽、眼部不适、胸闷、乏力、食欲减退等，病程短，数日可痊愈 （2）中度中毒：经过3～12小时的潜伏期，急性中毒症状逐渐加重，或突然发作，患者感到全身疲乏无力、头晕、头痛、胸闷、气急、呛咳。肺部可闻及湿性罗音，体温可升高 （3）重度中毒：胸闷、胸骨下疼痛、紧压感，呼吸明显困难，出现青紫、呛咳、咳粉红色泡沫痰。可有高铁血红蛋白血症表现，如青紫等。听诊两肺满布湿性罗音，出现肺水肿的一系列表现。缺氧可致心肌损害，心电图的ST段压低，T波平坦，双向或倒置。偶见有肺泡破裂，引起纵隔气肿。严重的肺水肿时，可出现中毒性休克、脑水肿等
	二氧化硫（SO_2）	无色气体，比空气重2.3倍。加压可液化，液体比重1.434(0℃)。沸点－10℃。溶于水，也溶于乙醇和乙醚。能氧化成三氧化硫，制硫酸	被吸入呼吸道，在粘膜的湿润表面上生成亚硫酸和硫酸，产生强烈刺激作用。大量吸入可引起喉水肿、肺水肿，声带痉挛而窒息	主要表现为眼、鼻、上呼吸道粘膜的刺激症状，如眼灼痛、流泪、流涕、喷嚏、喉痒、声音嘶哑、胸部紧压感、胸痛、有剧咳等。常伴有头昏、失眠、无力、恶心、呕吐。眼结膜和咽部充血，两肺可闻及干性罗音。严重时可出现肺水肿，呼吸更加困难、紫绀，两肺布满湿罗音。可致肺泡破裂而发生气胸纵膈气肿。重症者可昏迷、休克、呼吸中枢麻痹
	氨（NH_3）	无色气体，有强烈的刺激气味，比重为0.5971。易被液化成液体，沸点－33.5℃。溶于水、乙醇和乙醚。遇水	氨对上呼吸道有刺激和腐蚀作用。高浓度时可引起接触部位的碱性化学灼伤，组织呈溶解性坏死，并可引起	（1）轻度中毒：眼、鼻、咽有辛辣刺激感，可出现流泪、喷嚏、咳嗽、咳痰、咳血，胸闷、胸骨区疼痛、咽喉刺痛。声音嘶哑、嗅觉减退、头昏、头痛、疲劳等症状。检查可见眼结膜、鼻、咽粘膜充血、肺部可闻及干罗音 （2）重度中毒：吸入高浓度氨时可发生喉头水肿

续表

	毒物名称	理化特性	中毒机理	急性中毒的临床表现
刺激性气体	氨（NH_3）	生成氢氧化铵（NH_4OH），呈碱性。与空气混合时，有爆炸性，爆炸极限为15.5～27%（容积）	呼吸道深部及肺泡损伤，发生支气管炎、肺炎和肺水肿。 吸收入血的氨，可引起糖代谢紊乱及三羧酸循环障碍，降低细胞色素氧化酶系统的作用，导致全身组织缺氧。氨在肝脏中解毒形成尿素	喉痉挛而引起窒息。氨引起支气管粘膜严重损伤时可咳出坏死组织、呈管状脱落，易堵塞呼吸道而发生窒息。由于氨的腐蚀性、穿透性强，可发生纵膈水肿、呼吸道出血、感染等表现。重症患者可发生中毒性心肌炎、中毒性肝炎 液氨溅入眼内时，可出现眼结膜水肿、角膜溃疡、虹膜炎、晶体混浊、甚至角膜穿孔而失明
窒息性气体	一氧化碳（CO）	无色、无嗅、无刺激性的气体，比重0.968，不溶于水，可溶于氨水、乙醇、苯和醋酸。燃烧时火焰呈蓝色。与空气混合能爆炸，爆炸为12.5～74.2%	被吸入后，通过肺泡进入血液循环，一氧化碳与血红蛋白形成碳氧血红蛋白。碳氧血红蛋白无携氧能力，又不易解离，造成全身各组织缺氧	（1）轻度中毒：血液中碳氧血红蛋白在30%以下。表现为头痛、头昏、头沉重感，恶心、呕吐、全身疲乏。上述症状在活动时加剧 （2）中度中毒：血液中碳氧血红蛋白在30～50%，上述症状加重，面部呈樱桃红色，呼吸困难，心律加快，共济失调，甚至出现昏迷、大小便失禁 （3）重度中毒：血液中碳氧血红蛋白在50%以上。常有昏迷，并出现肌肉痉挛和抽搐。可继发有脑中毒，心力衰竭、休克，酸中毒等。病死率高，存活者也常有后遗症
	氰化氢（HCN）	无色，具有苦杏仁特殊气味的气体，比重0.94，熔点－13.4℃，沸点26℃。溶于水、酒精、乙醚。溶于水为氢氰酸，易挥发为氰化氢	氰化氢与体内氧化型细胞色素氧化酶的三价铁离子具有强大的亲合力，牢固的结合后，使酶失去活性，阻碍了生物氧化过程，使组织细胞不能利用氧造成内窒息	吸入高浓度氰化氢可引起突然呼吸停止，闪电样死亡。浓度较低，发生中毒其表现可分为四期： （1）前驱期：出现眼和上呼吸道的刺激症状如流泪、流涎、眼结膜充血。胸闷、心悸、头痛、恶心、呕吐。检查可见心率增快、呼吸深而快，生理反射亢进等 （2）呼吸困难期：胸闷加重、呼吸短促、呼吸困难十分明显，并有恐惧感。可有意识障碍、昏迷、瞳孔散大 （3）痉挛期：意识丧失，全身呈阵发性强直性痉挛，皮肤粘膜呈鲜红色，大小便失禁，浅反射消失，引出病理反射 （4）麻痹期：深昏迷、血压下降、心律不齐、呼吸浅而不规则，反射消失，直至呼吸、心跳停止而死亡
	硫化氢（H_2S）	无色具有特殊臭鸡蛋气味的气体，比色1.19。沸点－61.8℃。溶于水、乙醇、甘油、石油溶剂。在空气中容易燃烧。爆炸极限4.3～45.5%。与金属离子作用可生成盐。如与铅离子作用生成不溶性黑色硫化铅沉淀	硫化氢有刺激性又是窒息性的毒气。它与粘膜接触，溶于水并与钠离子形成硫化钠，对粘膜有强烈刺激作用。硫化氢吸收后，与氧化型细胞色素氧化酶作用，抑制酶的活性，使组织细胞发生内窒息	（1）轻度中毒：患者感眼灼热、刺痛、着明、流泪、视物模糊，有流涕、咽痒、呛咳、胸闷、呼吸困难等，还有逐渐加重的头痛、头晕、乏力等。检查可见粘膜充血、呼吸音粗糙 （2）中度中毒：接触较高浓度（200～300mg/M³）硫化氢，眼刺激症更强烈，如流泪、羞明、眼刺痛、视物更模糊。有中枢神经系统症状，如头痛、头晕、心悸、共济失调，可出现昏迷。常有中毒性肺炎和肺水肿发生。检查可见面色灰白或发绀，皮肤湿冷，意识不清，体温升高。脉博快而弱、心音低钝，两肺可闻及干、湿性罗音，生理反射消失 （3）重度中毒：接触高浓度（700mg/M³以上）硫化氢，中毒表现以中枢神经系统症状为突出。立即出现

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

	毒物名称	理化特性	中毒机理	急性中毒的临床表现
窒息性气体	硫化氢(H_2S)			神志模糊，昏迷、紫绀、心悸、谵语。全身肌肉痉挛或强直，大小便失禁。昏迷和痉挛持续较久者可发生中毒性肺炎、肺水肿和脑水肿 接触浓度在1000mg/M³以上时，犹如电击一样，可因呼吸麻痹而死亡
金属及其化合物	汞（Hg）	在常温下为银白色液态金属。比重13.6，熔点-38.87℃，沸点356.9℃。汞蒸气比重为6.9。粘度小，易流动，易流散，有很强的附着力，地板、墙壁、器具都能吸附汞。常温下即能蒸发，温度越高，蒸发越快，并随气流移动，金属汞不溶于水，能溶于类脂质，易溶于硝酸、热浓硫酸。能溶解多种金属，生成"汞齐"	汞离子与体内的巯基、二巯基有很强的亲合力。汞与体内某些酶的活性中心巯基结合后，使酶失去活性，造成细胞损害，导致中毒	短时间吸入高浓度汞蒸气引起急性中毒，起病急骤。 （1）全身症状：头晕、头痛、全身乏力、发热、并有睡眠障碍、失眠、多梦，情绪激动，易兴奋 （2）口腔炎：多在发病早期出现有流涎、口渴、口内金属味、齿龈红肿、疼痛、易出血，口腔不洁者在龈缘可见"汞线"。口腔粘膜肿胀、糜烂、溃疡。牙齿松动、脱落 （3）呼吸道刺激症：胸痛、胸闷、气促、咳嗽、咳痰，呼吸困难、呈支气管炎或肺炎的表现 （4）胃肠炎：恶心、呕吐、食欲不振、腹痛。若由误食汞化合物引起中毒者，则上腹灼痛、腹绞痛、腹泻等 （5）肾病：汞主要对肾小球和近端肾小管损伤，出现腰痛、尿少、甚至尿闭。尿蛋白阳性，镜检可见上皮细胞和管型 （6）皮炎：少数病人可出现红色斑丘疹、以面部和四肢为多，可有水泡疹、重症有脓疱或糜烂 （7）尿汞明显增高、超过正常值十几倍或几十倍
	铅（Pb）	银灰色软金属，展性强，比重11.35，熔点327℃，沸点1620℃。加热至400～500℃时即有大量铅蒸气逸出，在空气迅速氧化成氧化亚铅和氧化铅，并凝集成烟尘。不溶于稀盐酸和硫酸，可溶于硝酸、有机酸和碱液	铅是全身性毒物，主要是影响卟啉代谢。卟啉是合成血红蛋白的主要成份，因此影响血红素的合成，产生贫血。铅还可引起血管痉挛，视网膜小动脉痉挛和高血压等。它可作用于脑、肝等器官，发生中毒性改变	急性中毒后出现流涎、出汗，恶心、呕吐、阵发性腹绞痛，头痛、血压增高，便秘或腹泻，肝脏肿大，出现黄疸，重症者出现中毒性脑病，精神迟钝，易激动、记忆力减退，神志模糊，甚至昏迷，惊厥、进一步出现瘫痪。肾脏损伤，可出现尿少、蛋白尿等
	铬（Cr）	钢灰色、硬而脆的金属，比重7.20，熔点1900℃，沸点2483℃，氧化缓慢，耐腐蚀。不溶于水，溶于盐酸、热硫酸。铬化合物中以六价铬毒性最大，化肥催化剂主要原料三氧化铬，是强氧化剂，易溶于水。常以气溶胶状态存	六价铬化合物具有强刺激性和腐蚀性。铬在体内可影响氧化、还原、水解过程，并可使蛋白质变性，沉淀核酸、核蛋白，干扰酶系统。六价铬抑制尿素酶的活性，三价铬对抗凝血活素有抑制作用。铬还可阻止半胱氨酸	（1）呼吸道吸入后，出现刺激症状，鼻干、喉痒、干咳、胸痛、气喘，头痛、头晕、全身无力、低烧、呕吐、心悸 （2）误服重铬酸盐时，会出现恶心、呕吐、胃痛、腹部绞痛、后有寒战、虚脱，甚至意识丧失而死亡 （3）经皮肤侵入：皮肤接触铬酸盐或重铬酸盐溶液后，常引起急性接触性皮炎，患处发痒、红肿、出现斑丘疹、水泡等。若溅入眼部，可发生结膜和角膜的炎症

续表

	毒物名称	理化特性	中毒机理	急性中毒的临床表现
金属及其化合物		在于厂房空气中。	酶的氧化。	
有机化合物	苯（C_6H_6）	具有芳香气味的无色、易挥发、易燃液体。比重0.879，熔点5.5℃，沸点80.1℃。不溶于水，溶于乙醇、乙醚等有机溶剂。蒸气与空气形成爆炸性混合物，爆炸极限1.5～8%（体积）	苯的中毒机理目前尚不清楚。一般认为，苯中毒是由苯的代谢产物酚引起，酚是原浆毒物，它能直接抑制造血细胞的核分裂，对骨髓中核分裂最活跃的早期活性细胞的毒作用更明显，使造血系统受到损害。另外苯有半抗原的特性通过共价键与蛋白质分子结合，使蛋白质变性而具有抗原性，变生变态反应	吸入苯的浓度越高、时间越长，则中毒程度愈严重 （1）轻度中毒：头痛、头晕、咳嗽、恶心、呕吐、心悸，同时可有耳鸣、眼结膜刺痛、怕光、流泪、视物模糊等 （2）中度中毒：上述症状加重，出现眩晕、酒醉样感觉。步态蹒跚嗜睡、反应迟钝、神志恍惚甚至昏倒。并可出现幻觉、哭笑无常或癔病样表现 （3）重度中毒：神志丧失、深度昏迷。脉搏频弱，血压下降、瞳孔散大，对光反应迟钝或消失，肌肉抽搐，并可转为强直性或阵发性痉挛。亦有躁动、欣快、谵妄、幻觉等精神障碍者。肝肿大，有的出现肺水肿、呼吸衰竭等 化验检查：早期末梢血白细胞偏高，以后降低；尿中酚明显增高，尿硫酸盐测定无机硫酸盐比例降低；尿中葡萄糖醛酸增高；肝功测定SGPT升高
	硝基苯（$C_6H_5NO_2$） 苯胺（$C_6H_5NH_2$）	硝基苯是无色或淡黄色具有苦杏仁气味的油状液体。比重1.2037，熔点5.7℃，沸点210.9℃。蒸气比重4.1。几乎不溶于水，能与乙醇、乙醚或苯混溶 苯胺是无色油状液体，有特殊的臭味。比重1.022，熔点－6.2℃，沸点184.4℃。蒸气比重3.22。微溶于水，可溶于乙醇、乙醚苯等	苯的氨基和硝基化合物进入体内，经氧化变成氨基酚和硝基酚，产生毒作用。致血红蛋白变成高铁血红蛋白。高铁血红蛋白失去携氧能力，引起组织缺氧。本类毒物并能导致红细胞破裂，出现溶血性贫血。也可直接致肝、肾和膀胱等脏器的损害	（1）轻度中毒：高铁血红蛋白在10～30%，粘膜、皮肤出现轻度紫绀，在口唇、指甲、面颊、耳壳等处呈蓝褐色，舌尖呈紫蓝色。有头昏、头痛、无力等全身中毒症状 （2）中度中毒：高铁血红蛋白30～50%，全身青紫、症状加重，出现耳鸣，气短、心跳增快、肝脏肿大有压痛，手指麻木，步态不稳等。变性珠蛋白小体量达20～30% （3）重度中毒：高铁血红蛋白50%以上，除上述症状加重外，可出现心悸、胸闷、气急、恶心、呕吐、甚至惊厥、昏迷、休克等。严重者可发生溶血、血尿、体温升高、肝脏肿大、肝功异常。肾功能受损可出尿闭。个别患者可出现心律不齐、心电图异常。变性珠蛋白小体可达50%以上
	有机氟化合物（二氟一氯甲烷、四氟乙烯、六氟丙烯、八氟异丁烯等）	本类毒物都是无色、无臭气体，比重比空气大，沸点低。制造氟塑料、氟橡胶的原料	中毒机理目前尚不清楚。毒气被吸入后，作用于肺脏引起中毒性肺炎、肺水肿、肺间质纤维化，并能作用于心脏而发生中毒性心肌炎	（1）全身症状：头痛、头晕、畏寒、寒战、发热、肌肉或关节酸痛、恶心，睡眠障碍，多汗等。脑电图可有轻度异常改变 （2）呼吸道损害：咽痛、咽部充血、呛咳，胸闷、胸痛、气急，胸部紧束感等。严重者出现中毒性肺水肿。听诊两肺呼吸音降低、粗糙和出现干、湿性罗音 （3）心血管损害：胸闷、心悸、气急等，可出现血压升高，频发性室性早搏或心动过速，心率达150～160次/分。出现第三心音，心尖区第一心音减弱，并有Ⅰ～Ⅱ收缩期杂音及舒张期奔马律。心电图可有ST段和T波改变，aRS波群畸形，低血压，窦性心动过速等 （4）泌尿系统损害：可有腰酸、尿频、尿急等症

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

	毒物名称	理化特性	中毒机理	急性中毒的临床表现
				状，尿中检出红细胞、白细胞、少量管型、蛋白尿等。 （5）化验检查：白细胞总数增高，核左移。乳酸脱氢酶同动酶增加。尿氯含量和三氯醋酸增高
有机化合物	有机磷农药	是一大类农药，有几十个品种。除敌百虫、乐果、亚胺硫磷少数品种是白色固体外，多数品种是浅黄色至棕色的油状液体。难或不溶于水，溶于有机溶剂，具有大蒜样臭味。剂型有乳剂、油剂、粉剂、喷雾剂、颗粒剂等。一般在酸性溶液中稳定，在碱性溶液中易分解而失去毒力。唯有敌百虫能溶于水，遇碱液变为毒性更大的敌敌畏	吸收后迅速分布于全身，在体内与胆碱酯酶结合成磷酰化胆碱酯酶，从而抑制了酶的活性，致神经介质乙酰胆碱不能被酶分解而积聚，引起神经生理紊乱	（1）轻度中毒：全血胆碱酯酶活性一般在70～50%，出现头晕、头痛、恶心、呕吐、出汗较多，胸闷、视力模糊、无力等症状。瞳孔可能有缩小 （2）中度中毒：全血胆碱酯酶一般在50～30%，除上述症状外，有肌束震颤、瞳孔缩小、轻度呼吸困难，大汗、流涎、腹痛、腹泻、步态蹒跚、神志清楚或模糊，血压可能升高 （3）重度中毒：除上述症状和体征外，并有心率加快，血压升高，瞳孔高度缩小如针尖，呼吸极度困难，发绀、肺水肿，肌束震颤明显，大小便失禁，昏迷，惊厥或呼吸麻痹，循环衰竭等。少数病人可出现脑水肿

毒物中毒，只治疗其中某一种毒物的中毒，是难以治愈的。

潜伏期：许多毒物中毒有一定的潜伏期，在潜伏期内要注意观察。如光气、氮氧化物常在被吸入12～24小时后突然发生中毒性肺水肿，若在潜伏期内注意休息和抗肺水肿治疗，则可能不发生肺水肿，即使发病也很轻；若在潜伏期内没有进行治疗并做激烈的活动，则发生肺水肿可能很严重，甚至难以抢救。

“间歇性”发作：一氧化碳中毒治疗清醒后，经过数小时或数天再度出现昏迷等，应随时注意病情变化。

2．慢性中毒

由于起病缓慢，病程较长，有些毒物中毒又无特异诊断指标，因此在诊断时应注意做鉴别诊断；暂时难于确定诊断者，可进行动态观察或驱毒试验、住院观察治疗后做出诊断；注意剂量-效应关系和剂量-反应关系。

9.2.7 急性职业中毒的抢救与治疗

急性职业中毒的现场抢救及初步处理可挽回一些重危中毒病人的生命，减轻中毒程度，防止合并症发生，为进一步治愈病人奠定了基础。

9.2.7.1 现场急救设施与准备

毒害严重的工厂，存在剧毒物质的车间或作业场所，应设立救护站或医疗卫生抢救站。救护员、医生均应熟悉厂、车间作业环境，能分析事故的原因，掌握急性职业中毒的特点和急救知识，随时做好救护及抢救工作准备。救护站应配备有充足的急救设备、器械和药品。

1. 设备

防毒面具、防护手套、防护服、防护鞋；救护车、抢救担架、急救床；氧气呼吸器、苏生器、氧气瓶或袋；清水及冲洗设备。

2. 急救器械

听诊器、血压计、叩诊锤、压舌板、开口器；外科切开和缝合器具、消毒包；止血带、纱布、棉球；洗胃器、洗眼器、收水器；针灸针、夹板、绷带等。

3. 抢救药品

一般药物如2%硼酸水；5%碳酸氢钠溶液；1:5000高锰酸钾溶液；呼吸中枢兴奋剂如尼可刹米、回苏灵、洛贝林等；强心剂，如西地兰、毒毛旋花子甙K、肾上腺素、异丙基肾上腺素等；镇静剂，如度冷丁、安定、冬眠灵、非那根等；氧气；葡萄糖注射液及维生素C等注射液。

特殊解毒药应根据本企业或剧毒车间内存在的毒物而准备药剂，可参考表9-5所列药剂。

表 9-5 几种常见毒物的解毒剂

毒物名称	解毒剂
苯的氨基硝基化合物	1%美蓝（又名：亚甲蓝）
氰化物	亚硝酸异戊酯、3%亚硝酸钠及25%硫代硫酸钠
有机磷农药	阿托品、氯磷定、解磷定
光气	20%乌洛托品
一氧化碳	0.3%双氧水
汞、砷	5%二巯基丙磺酸钠
氟乙酰胺	解氟灵（乙酰胺）

9.2.7.2 抢救原则

（1）救护人员一定要做好自身防护，如穿防护服，佩戴防毒面具或氧气呼吸器。否则，不但救不了中毒病人，自身也会中毒。

（2）切断有毒物质来源。如关闭泄漏毒气的管道的阀门，将送料的泵或压缩机停车。开启抽风排毒的风机等。

（3）迅速将中毒者撤离毒区，移至空气新鲜通风良好的地方，静卧并注意保温。松解衣领、裤带、仰卧，头后仰以保持呼吸道通畅。

（4）立即脱去被毒物污染的衣服、帽、袜。用大量清水或解毒液（根据毒物性质选择中和解毒的溶液）彻底冲洗被毒物污染的皮肤，特别应注意冲洗头发和皮肤皱褶处如腹股沟等。强酸（如浓硫酸）或粘滞性大的毒物（如油漆）污染皮肤时，应先用棉絮、干布擦掉毒物，然后再用水、中和液或溶剂反复冲洗。若用中和液或溶剂冲洗时，最后还应用清水、生理盐水冲洗。

经口中毒，毒物进入胃时，应迅速用1:5000高锰酸钾溶液或1～2%碳酸氢钠溶液（敌百虫中毒不用后者）洗胃，再用硫酸镁溶液导泻。腐蚀性强的毒物一般不宜洗胃，可用蛋清、牛奶或氢氧化铝凝胶灌服，保护胃粘膜。

（5）吸入氧气。若中毒病人的呼吸停止，心跳骤停时，应立即进行复苏术。

9.2.7.3 现场急救的复苏术

复苏术主要由两部分组成：①心脏复苏术，心前区叩击、胸外心脏挤压术、心脏复苏药物的应用等。目的在于维持血液循环和恢复自由的血液循环。②呼吸复苏术，人工呼吸、呼吸中枢兴奋药的应用等。目的在于维持肺呼吸供应氧气、排出二氧化碳和恢复自主呼吸。

1. 心脏复苏术

让病人仰卧在硬板或地板上，四肢舒展。

（1）心前区叩击术 在心跳停止1分30秒内，心脏应激性增强，叩击心前区往往可使心脏复跳。方法：术者用拳以中等力叩击心前区，一般连续叩击3～5次，立即观察心音和脉

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

搏。若恢复则复苏成功；反之，则立即放弃，改行胸外心脏挤压术。

（2）胸外心脏挤压术　术者以一手掌之根部置于患者胸骨下段，另一手掌交叉重迭于该手背上，肘关节伸直，靠体重和肩、臂部肌肉的力量，以适度用力，有节奏地带有冲击性地向脊柱方向下压（见图9-1），以能压下3～4cm 深度为宜。压后要迅速抬手，使胸骨复位以利心脏舒张。挤压速率每分钟60～90次。挤压同时，另一人做口对口人工呼吸或用苏生器进行呼吸复苏；心脏内注射三联针（去甲基肾上腺素、肾上腺素、异丙基肾上腺素各1mg），或5%碳酸氢钠20～40ml或3%氯化钙5～10ml。

复苏的有效指征是：口唇转为红润、血压复升、能触到股动脉搏动。

胸外心脏挤压术不应用力过猛，防止发生肋骨骨折，引起血气胸。

2．呼吸复苏术

呼吸复苏术应与心脏复苏术同时进行。不进行呼吸复苏术，不纠正缺氧，心脏复苏也无法成功。口对口的人口呼吸是最简便而有效的方法，其潮气量最大（见表9-6），适于现场急救，列为呼吸复苏术中的首选方法。

操作方法：首先清除患者口腔中的异物、粘液、呕吐物等，保持呼吸道畅通。术者一手自下颌处将患者头部托起使之后仰，并使其口张开，另一手将患者鼻孔捏住，以防气体由鼻孔逸出，然后深吸一口气对准患者的口用力吹气，吹毕让患者胸廓及肺自行回缩（见图9-2）。保持每分钟吹16～20次。以胸廓可以扩张，可听到肺泡呼吸音为有效标志。

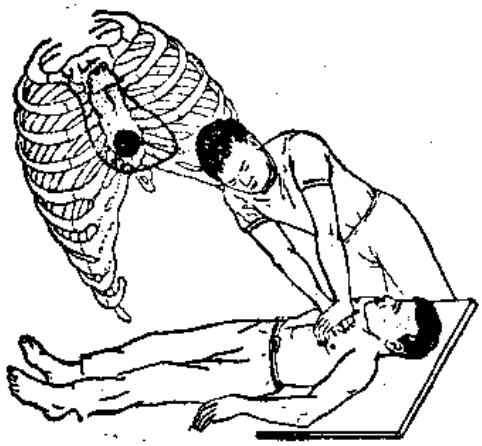


图 9-1　胸外心脏挤压

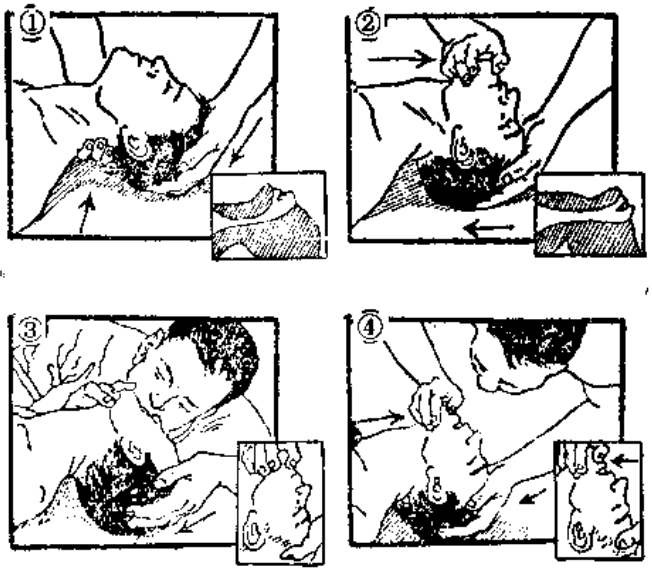


图 9-2．口对口人工呼吸

若有苏生器，则采取苏生器自动进行人工呼吸为更好。它能把氧气自动输入患者肺内，然后又能自动将肺内气体抽除，并连续工作。

在人工呼吸的同时应注射呼吸中枢兴奋剂，如可拉明或洛贝林等。

9.2.7.4　解毒剂的应用

在急救中一定要根据毒物中毒的特点，选用有效的解毒剂。

表 9-6　几种人工呼吸法的潮气量

人工呼吸法	潮气量（ml）
仰卧压胸法	350
举臂压胸法	875
口对口人工呼吸法	1250
胸外心脏挤压法	125～250

注：潮气量是呼吸时，每次吸入或呼出气体的体积量，正常成人约500ml。

1．氰化物中毒

首先吸入亚硝酸异戊酯1支，静脉注射3%亚硝基钠10～15ml，以同一针头再注入25～50%硫代硫酸钠30～50ml。

2．光气中毒

静脉注射20%乌洛托品20～40ml。

3．有机磷农药中毒

注射阿托品和解磷定。

4．苯的氨基硝基化合物中毒

根据高铁血红蛋白的形成量，用1%美蓝4～6ml加入25%葡萄糖溶液40ml中静脉注射。

在急救中，当病人恢复自主心跳和自主呼吸时，由救护人员护送医院住院治疗。

9.3 尘　　肺

由于长期从事粉尘作业，尘肺患者两肺产生进行性、弥漫性的纤维组织增生，逐渐进展影响呼吸机能及其它器官的机能。它是最常见，危害最严重的一类职业。

9.3.1 生产性粉尘及其危害

工厂和矿山的生产过程中产生的粉尘称为生产性粉尘。含有游离二氧化硅的粉尘称硅尘。它是对工人健康危害最严重的一种粉尘。根据粉尘的化学成份不同可分为：金属尘、石棉尘、滑石尘、煤尘、炭黑尘、石墨尘、水泥尘、各种有机尘等几十种。

9.3.1.1 生产性粉尘的来源

生产性粉尘的形成方式有以下几种：

（1）固体物质的机械粉碎，如钙镁磷肥熟料的粉碎，水泥粉的粉碎等。

（2）物质的不完全燃烧或爆破，如矿石开采的爆破，煤粉燃烧不全时产生的煤烟尘等。

（3）物质的研磨、钻孔、碾碎、切削、锯断等过程产生粉尘。

（4）成品本身呈粉状，如炭黑、有机染料、聚氯乙烯等多种树脂。

在化工生产过程中，许多作业都接触粉尘：如化学矿的凿岩、爆破、装渣、运输、选矿；矿石的粉碎、碾磨；化工机械铸造的选型、清砂、混砂、打箱；金属研磨、电焊；染料、树脂的干燥、包装、贮运；硫酸的硫铁矿尘和矿渣尘；磷肥生产中矿石粉碎；氮肥生产中的碳化黄泥煤球加工；橡胶加工中炭黑、滑石粉的使用；还有一些操作如农药粉剂加工等的作业环境都有粉尘飞扬。

9.3.1.2 粉尘的理化特性及卫生学意义

粉尘的理化性质与其对机体的作用、防尘措施等有着密切关系。从卫生学的观点看，粉尘的化学成分、颗粒大小、密度、溶解度、荷电性等都有一定意义。

（1）化学成分　它直接影响粉尘对人体的危害性。特别是粉尘中游离二氧化硅的含量更具有实际的卫生学意义。可吸入性粉尘的游离二氧化硅含量越高，则引起肺部病变程度越严重，病变的进展速度也越快。

（2）分散度　分散度是指物质被粉碎的程度，用来表示粉尘颗粒大小的组成。空气中粉尘颗粒较小微粒占的比例大时，称为分散度高；反之，则分散度低。

粉尘的分散度愈高则尘粒在空气中的沉降速度愈慢，飘浮时间愈长，被吸入的机会也愈多。分散度与粉尘在呼吸道中的阻留有关，大的尘粒（10μm左右）在上呼吸道被阻留可随痰

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

痰、喷嚏而排出体外。小的尘粒（5μm以下）可随吸入气流达呼吸道的深部，其中能够进入肺泡的尘粒多是小于2μm的。分散度高，其比表面积大，容易参与理化反应。尤其5μm以下的尘粒，其危害性最大。

（3）溶解度　其大小及其对人体的危害程度，可因粉尘性质不同而异。有毒粉尘，溶解度大则毒性作用增强，因毒尘大量溶解进入血液可引起急性中毒。无毒粉尘，溶解度大则危害减小，因粉尘快速溶解而促进排出。

（4）密度　当粉尘颗粒大小相同时，密度大者沉降速度则快，在空气中的悬浮性小，容易从空气中清除。

（5）荷电性　尘粒由于在粉碎过程中和在流动中因相互摩擦或吸附了空气中的离子而带电。同种粉尘可带正电或负电。尘粒的荷电性对粉尘在空气中的悬浮性有影响。同性电荷相斥，增加了粉尘在空气中的悬浮性，不易沉降；异性电荷相吸，可使尘粒在撞击时凝集而沉降。一般认为，荷电尘粒易被阻留于体内，危害增加。

9.3.1.3　粉尘的测定

测尘工作必须达到两点基本要求：一是准确性，测尘结果不准确，不能反映真实情况，则工作失去意义；二是代表性，因为生产场所的粉尘浓度，在不同地点、不同作业过程，即使同一地点的不同时间都会有很大变化，因此要求在采样时间和地点上都要有代表性。

粉尘测定的主要项目有三项。

（1）粉尘浓度　粉尘浓度表示方法有两种：一为重量法（mg/m^3），二是数量法（粒子数/cm^3）。目前我国的卫生标准采用重量浓度。粉尘浓度的测定是采用滤膜增量法。

（2）粉尘分散度　测定方法是用格林式沉降器采样，在显微镜下借助目镜测微尺进行测量。此法在低浓度环境下采样较困难，现已用滤膜采样后，将滤膜溶解于醋酸丁酯中制成尘粒混悬液，然后在载物玻片上制成粉尘标本，在显微镜下进行测定。粉尘分散度通常分为＜2μm；2μm－；5μm－；≥10μm四组。

（3）粉尘中游离二氧化硅含量　最常用的方法是焦磷酸重量法，测定结果较为准确。表示方法是用游离二氧化硅重量占粉尘总重量的百分比表示。

9.3.1.4　粉尘的危害

由于生产性粉尘的种类和性质不同，它们对人体的危害也不相同。一般引起的危害和疾病有以下几种。

1．尘肺

长期吸入某些较高浓度的生产性粉尘所引起最常见的职业病是尘肺。

2．中毒

由于吸入铅、砷、锰等毒性粉尘，在呼吸道溶解被吸收入血循环引起中毒。

3．上呼吸道慢性炎症

有些粉尘如棉尘、毛尘、麻尘等，在吸入呼吸道时附着于鼻腔、气管、支气管的粘膜上，长期局部刺激作用和继发感染，而发生慢性炎症。

4．皮肤疾患

粉尘落在皮肤上可堵塞皮脂腺、汗腺而引起皮肤干燥、继发感染，发生粉刺、毛囊炎、脓皮病等。沥青粉尘可引起光感性皮炎。

5．眼疾患

烟草粉尘、金属粉尘等，可引起角膜损伤，沥青粉尘可引起光感性结膜炎。

6．变态反应

某些粉尘，如大麻、棉花，对苯二胺等粉尘能引起变态反应性疾病如支气管哮喘、哮喘性支气管炎、湿疹及偏头痛等。

7．致癌作用

接触放射性矿物粉尘工人易发生肺癌，石棉尘可引起胸膜间皮瘤，铬酸盐、雄黄矿尘等可引起肺癌。

8．其它作用

如铍及其化合物进入呼吸道，除引起急慢性炎症外，还可引起肺的纤维增殖而致肉芽肿及肺硬化。锰矿尘可引起肺炎等。

9.3.2 矽（硅）肺

矽肺是由于长期吸入含有游离二氧化硅的粉尘引起的以肺部纤维化为主的慢性、进行性、全身性疾病。

9.3.2.1 化学工业中可能发生矽肺的行业

1．化学矿山

磷矿、硫铁矿、钒矿、硼矿、砷矿等矿山的围岩及矿石中含游离二氧化硅的量都较高。在矿山工作的凿岩工、爆破工、装渣工、运输工、选矿工等，接触粉尘量大，都有发生矽肺的可能。

2．化工机械

铸造的混砂、造型、清砂、防腐的喷砂工。

3．其它

农药的粉剂加工；矿石粉碎；钙镁磷肥的粉碎、包装；水泥的制造和贮运；电石厂和碱厂的石灰石粉碎和装料等，都有发生矽肺的可能。

9.3.2.2 影响矽肺发病的因素

矽肺的发病比较缓慢，多在接触矽尘5～10年以后才发病，有的长达20年以上。矽肺是一种进行性疾病，一旦发生，即使脱离矽尘作业，仍可继续发展。有些工人接触一段时间较高浓度矽尘后，脱离粉尘作业，此时未发病，但过若干年后，却发生了矽肺，称为晚发性矽肺。

影响矽肺的发生、发展的因素很多，如作业场所的粉尘浓度、粉尘中游离二氧化硅含量、粉尘的分散度，作业工人的专业工龄、工种、个体健康状况（肺结核者易发矽肺并进展快）、劳动强度、个人防护和作业场所的防尘措施等。其中有两个因素最重要：一是粉尘中游离二氧化硅的含量；二是进入工人肺内的粉尘量。

9.3.2.3 矽肺的临床表现

1．症状

由于肺的代偿功能，矽肺患者早期可无明显症状，而X线胸片可呈现矽肺典型改变。随着病程的进展，尤其是合并有并发症时，临床症状则日趋明显。Ⅱ、Ⅲ期矽肺的绝大多数患者都有自觉症状。最常见的症状是气短、胸闷、胸痛，多呈胸部隐痛，压迫感，进一步有针刺样疼痛，往往在气候变化或阴雨天加重。咳嗽、咳痰，早期患者有轻度干咳，合并肺部感染时，则有咳痰。晚期患者咳嗽加剧，少数患者痰中带血。

晚期矽肺常有食欲减退、体重减轻、容易疲劳和盗汗等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 体征

早期患者无明显特殊体征。随病程发展，继发症和合并症增多、体征日渐明显。肺部听诊可闻及干罗音；支气管痉挛时，可听到哮鸣；肺部感染时，可听到湿性罗音。有肺气肿时，可见到桶状胸，呼吸运动减小，语颤减弱，叩诊有鼓音，肝浊音界和心浊音界缩小，呼气延长等。

3. 实验室检查

一般常规检查无特殊意义，所以一般不做检查。晚期矽肺有时血沉稍增快，心电图呈现右心室肥厚的图象等。

4. X线胸片表现

X线胸片是矽肺诊断的主要依据，常以五项指标即肺纹理、网织阴影、肺门、肺野和结节阴影的变化和出现进行综合分析。

9.3.2.4 矽肺的诊断

矽肺诊断的主要依据是靠职业史和X线胸片所见。

1. 职业史

职业史应包括患者过去工作的单位、工种、工龄、劳动强度、个人防护情况以及作业场所粉尘的情况、粉尘浓度、二氧化硅含量。吸入粉尘量和肺内粉尘沉积量不到一定的数量，则不能发生矽肺。

2. X线胸片

质量好的X线胸片才能做为诊断矽肺的根据。

目前，我国矽肺诊断分为三期。这仅为了工作的方便，而不是病变本身具有截然不同的三个阶段。

Ⅰ期矽肺：肺门增大，肺纹理增粗、增多，出现网状纹理。有密集度1级的类圆形小阴影，分布范围至少在两个肺区内各有一处，每处直径不小于2cm；或有密集度1级的不规则形小阴影，其分布范围不少于两个肺区，即可诊断为Ⅰ期。

Ⅱ期矽肺：有密集度2级的类圆形或不规则形小阴影，分布范围超过四个肺区；或有密集度3级的小阴影，分布范围达到四个肺区，即可诊断为Ⅱ期。

Ⅲ期矽肺：有大阴影出现，其长径不小于2cm，宽径不小于1cm，单个大阴影的面积或多个大阴影面积的总和超过右上肺区面积，即诊断为Ⅲ期。

在病变早期，肺纹理肯定增多，网状纹理也已出现，但尚未出现足够的类圆形小阴影时，不能确定为Ⅰ期矽肺的诊断，称为疑似矽肺，列为“观察对象”，半年后再拍片复查。

9.3.2.5 肺功能测验及劳动能力鉴定

肺功能测验对矽肺的诊断并无帮助，对矽肺患者进行呼吸功能测验，是了解其肺功能受损程度，划定患者肺代偿机能等级的一项客观指标，而代偿机能又是矽肺患者劳动能力鉴定的依据。

1. 矽肺患者肺功能测验项目

对矽肺的肺功能测验主要有以下几个方面。

肺容量：肺活量——矽肺患者肺活量逐渐降低，Ⅰ期矽肺的肺活量可能较正常降低10%左右，残气量——随着矽肺的进展和肺气肿的出现，残气量逐渐增加；肺总量——矽肺早期，肺总量一般可减少。

通气功能：每分钟静息通气量——一般影响不大；最大通气量——逐渐降低，在Ⅱ期晚

期，最大通气量降低比肺活量更明显；时间肺活量——第一秒时间肺活量与最大通气量有直线相关关系；负荷通气量——通常采用脚踏疲劳计或标准运动试验，矽肺患者变化明显。

气体分布：矽肺患者由于出现肺气肿，可有严重的气体分布不匀。

换气功能在矽肺晚期有严重障碍。由于肺组织的大量纤维化，肺泡呼吸面积明显减少，导致弥散功能也严重障碍。

衡量肺气肿的程度，目前采用残气的相对值作为指标：残气的相对值在35%以下者为正常；36～45%者为轻度肺气肿；46～55%者为中度肺气肿；56%以上者为重度肺气肿。

2．代偿机能状态分类

矽肺患者的代偿机能状态分为甲、乙、丙三类。

代偿机能甲：无临床症状或有轻度临床症状。无肺气肿，肺功能在正常范围内。

代偿机能乙：有轻度临床症状。有中度肺气肿，肺功能显著减退。

代偿机能丙：有重度临床症状。有中度或重度肺气肿，肺功能显著减退。

3．劳动能力鉴定

矽肺患者的劳动能力分为四类。

正常范围：诊断为Ⅰ期矽肺，代偿机能甲类。

轻度减退：Ⅱ期矽肺，代偿机能甲类。

显著减退：Ⅰ期或Ⅱ期矽肺，代偿机能乙类。

丧失：Ⅰ期或Ⅱ期矽肺，代偿机能丙类，Ⅲ期矽肺均属劳动能力丧失。

各期矽肺合并活动性肺结核者，不论症状多少，一律作为劳动能力丧失处理，应积极给予治疗。一俟结核病变痊愈或稳定，应重作劳动能力鉴定。

4．矽肺患者的安置原则

劳动能力在正常范围或只有轻度减退者，在调离粉尘作业后，可在劳动条件良好的环境下担任轻体力劳动。

劳动能力显著减退者，可在劳动条件良好的环境下担任很轻工作，并适当地缩短工作时间，或在医务人员指导下作康复活动。

劳动能力丧失者，不能担任任何工作，但可以在医务人员指导下作康复活动。

9.3.2.6 矽肺的治疗

1．一般治疗

矽肺患者完全卧床休息是不必要的，而且是有害的。每天应有合理的生活制度；建立起与疾病作斗争的坚强信念和意志，使患者掌握一些提高健康、预防疾病的卫生知识；进行一些与体力相适应的体育活动（如广播操、呼吸操、太极拳、练功十八法等）；合理的营养，都有助于促进健康，增强身体的抵抗力，预防并发症。

2．特殊治疗

我国合成的克矽平，十多年来已广泛试用于临床，副作用不大。其它药品也在试用和试制之中。

3．对症治疗

应针对患者的主要症状，给予对症治疗，以解除和减少病人的痛苦，减少并发症。

9.3.3 其它尘肺

目前化工系统常见的尘肺，还有炭黑肺、滑石肺、铸工尘肺、电焊工尘肺、煤肺等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

9.3.3.1 炭黑肺

炭黑是以天然气、石油，煤焦油等为原料，燃烧裂解而生成的，炭黑是轮胎制造等橡胶加工行业不可缺少的原料。炭黑粉尘质轻，颗粒极细、直径一般在0.01～0.1μm之间，有滑腻感。

临床表现：炭黑肺患者症状多不严重，部分患者有胸闷、气短、喉干、咳嗽、咳痰等症状。约有三分之一的患者肺功能有轻度障碍。炭黑肺的X线胸片改变：网状阴影明显增多，以中下肺野更为显著，有时看去肺野似磨玻璃状。结节阴影广泛分布于各肺野，密度较低，形态和大小不一。小的结节直径仅1mm，大的可达5～6mm，一般为 2～4mm。结节呈 圆形或星芒形。粗大的结节多分布在两肺上野外带，密度低，颇似小片状结核浸润阴影。肺门阴影的密度多增高。约有半数患者可见到不同程度的肺气肿和胸膜增厚改变。

9.3.3.2 滑石肺

滑石为含水硅酸镁〔$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$或$3MgO\cdot4SiO_2\cdot H_2O$〕，不同地区产的滑石的 组成可有较大差别。橡胶加工使用滑石粉做隔离剂，农药加工用它做粉剂的载剂，油漆用作填充剂，轻工部门用它造纸，在陶瓷、纺织、玻璃、化妆品生产中也使用滑石粉。

临床表现：滑石肺患者早期多无明显症状，部分患者有轻度胸闷、咳嗽、咳痰，进一步可有胸痛、气急等。结节型病例当出现融合块时，局部呼吸音减弱，常有支气管炎和肺气肿征象。由于肺通气功能降低，出现缺氧表现，如杵状指、发绀和基底部捻发音。多因发生肺心病而死亡。

滑石肺的X线胸片表现主要是弥漫的粗细网影，在网影背景上有散在的细小结节阴影，结节多为1～2mm大小，呈圆形或椭圆形，亦有少数病例结节可大于3mm，结节密 度较低，轮廓清楚，但不整齐，以中下肺野较多。晚期病例，结节可融合。肺纹理改变不明显。肺门稍大，结构紊乱。胸膜局部增厚，有时可见到钙化，钙化的胸膜斑显示为条状或片状，长约1～3cm，多发生在横膈面或心包膜附近。

滑石肺一般进展缓慢，预后较矽肺为好。

9.3.3.3 铸工尘肺

化工机械厂、橡胶机械厂和大型化工企业的机修车间都有铸造车间（或工段）铸造生产的全过程中都离不开型砂。所以铸造工人都要接触粉尘，只是因为工序不同而接触粉尘的程度有所差异。其中，产生粉尘最严重的是配砂、打箱、清砂工序。铸工主要指铸钢和铸铁各工种的工人。铸工长期吸入较高浓度的生产性粉尘而引起的尘肺称为铸工尘肺。

由于各种铸造使用的型砂不同，各工种的接尘量也不同，所以铸工尘肺的类型和发病率也不一样。铸钢和铸铁所用的型砂，因其承受高温程度不同，型砂的成分有所差别。铸钢型砂含游离二氧化硅达90%以上，质硬，常用石英砂。铸铁型砂含游离二氧化硅为40～70%，常用河砂。

铸钢时由于钢水温度过高（达1800℃左右），浇铸时常将部分石英熔化，而后凝固并包嵌在铸件上，不易清除。清铲时似干式凿岩一样，粉尘浓度高达数千mg/m^3。因此铸钢清铲工和喷砂工发生的尘肺实际上是典型的矽肺。发病工龄短、发病率高、进展快。铸铁生产中发生的铸工尘肺，发病缓慢、发病工龄为20～30年，他们往往是多工种混合作业，故临床表现也不典型。

铸工尘肺的胸部X线特点：铸钢清铲工尘肺类似凿岩工矽肺。肺纹理扭曲、变形，结节粗大、密度高、边缘整齐，病程进展快，而且肺结核的合并率较高。铸铁工尘肺则以网织阴

影为主，呈间质型矽肺，结节出现晚且细小。甚至全肺野遍布网织阴影未见清楚的结节。病变进展缓慢，常伴气管炎和肺气肿改变。故铸工尘肺应称铸工矽肺为宜。

9.3.3.4 电焊工尘肺

电焊作业非常广泛，在化工系统除机械制造外，每个大、中型企业的机修车间和生产车间的维修班都有电焊工。电焊用的焊条品种繁多，按焊药成分分类有百余种。目前国内按焊条的用途分为11类。焊药的材料则包括有：大理石、萤石、金红石、淀粉、面粉、水玻璃、锰铁、硅铁、铬铁等。

电焊作业的主要有害因素有高温、强光、紫外线、高频电磁伤、粉尘和有毒气体等。当焊接时这些有害因素可同时综合作用于人体。焊尘和有害气体可因使用不同焊条而有所差别。当使用T422型焊条焊接时，焊尘的主要成分有氧化铁、氧化锰、二氧化硅等，有毒气体有氟化氢、氮氧化物、一氧化碳、臭氧等。焊尘和有毒气体的浓度取决于焊条牌号、直径大小、药皮厚度、焊接电流和电压大小、焊接时间长短、焊件外形、焊工姿势和通风条件等。在密闭或半密闭场所如锅炉、油罐、反应釜等容器内焊接时，焊尘浓度特别高。

电焊工由于长期吸入较高浓度的焊尘（或称电焊气溶胶）而引起的尘肺称为电焊工尘肺。电焊工尘肺发病工龄一般为10～20年以上。值得注意的是，经常使用高锰焊条，还有发生锰中毒的可能。

临床表现：多数患者症状比较轻微，病人往往有鼻干、喉干、轻度咳嗽，多为干咳，偶有少量痰。还有头痛、头晕、全身无力，稍多活动即感胸闷、气短。合并肺气肿、慢性气管炎的病例，症状和体征较明显。晚期病人肺功能明显下降。

X线胸片可见肺门阴影增大、增密、肺纹理可增多、增粗、延伸和扭曲变形等。网织阴影首先出现在中下肺野，逐渐扩展，多数病例为细网织阴影，少数病例为中粗网织影。两肺可见广泛分布比较细小、密度中等、呈圆形或不规则形，而且边缘不甚清楚的结节阴影。结节大小不一，混合存在，多数直径为1～2mm，小的如针尖，大的可达2～3mm。先出现于中下肺野，逐渐扩展到上肺野，即进入Ⅱ期。一般进展缓慢。我国自1979年开始将电焊工尘肺列为法定职业病。

9.3.3.5 煤肺

煤肺患者的尸体解剖证明，其病理改变与矽肺有所不同，而肺内粉尘分析结果证实95%以上是煤尘。由于煤尘对肺组织具有致纤维化的作用，故认为煤肺是一种单独类型的尘肺。但煤尘的致病作用较矽尘为轻。

临床表现：煤肺患者早期多数无症状，当尘肺病变明显进展，合并支气管或肺部感染时，出现了一系列呼吸道症状和体征。主要症状有气短、胸痛、胸闷、咳嗽、咳痰等。如并发肺部感染时，听诊可闻到支气管呼吸音、干湿罗音等。当并发肺气肿时，可见桶状胸、叩诊呈过清音或鼓音，肺气活动度减少等体征。

X线胸片特征：主要变化在肺野的内、中带可见到纤细的绒毛样网状阴影，有时延伸到肺野的外带。由于细网状阴影的增多，使肺野显得不够清晰，有似蒙上一层细纱之感。在网状阴影中间可见到成簇的、密度较低的、直径在1～1.5mm的小结节阴影。此结节阴影的边缘淡而界限不清。煤肺的网影和泡性肺气肿较矽肺多见，也较显著。矽肺至Ⅱ期时，网影逐渐减少，而煤肺至Ⅱ期时，网影进一步增多。

煤肺早期肺门改变较少，病情进展后，可增密、增大。肺门淋巴结肿大很少见。胸膜改变较少，病变也轻。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

9.3.4 尘肺的并发症

尘肺并发结核的频度较高，还可并发呼吸系统感染、自发性气胸、肺心病等。单纯尘肺的病情进展比较缓慢，一旦发生并发症则往往促使尘肺病恶化、病情加重，甚至死亡。

9.3.4.1 肺结核

矽肺和其它尘肺的并发症中，对病人威胁最大、最重要的是肺结核。因为其并发率高，并发肺结核后，可促使矽肺病情加速恶化，二者相互促进，不易控制，是造成矽肺病人死亡的主要原因之一。

矽肺并发肺结核常见是浸润型和纤维空洞型（见表9-7）。在多年观察的病例中往往可见到从局灶型发展成浸润型，又从浸润型溶解、播散逐步进入慢性纤维空洞型。

表 9-7 某矿矽肺并发各型肺结核的发病频率（1956～1974年）

矽肺期别	总例次数	局灶型		浸润型		慢性纤维空洞型	
		例次	%	例次	%	例次	%
Ⅰ+结核	92	53	57.6	39	42.4	0	
Ⅱ+结核	556	31	5.6	470	84.5	55	9.9
Ⅲ+结核	124	0		94	75.8	30	24.2

矽肺并发肺结核的临床表现，除具有矽肺的临床表现外，还可有结核的症状、体征和X线表现。咳嗽与咳痰两病共有，并发结核使咳嗽加重。痰量增多。痰中带血在单纯矽肺较少见，屡有血痰是结核的表现。大量咳血，多系并发空洞型肺结核的特点。可有结核中毒症状如低烧与盗汗。血沉一般增快。痰结核菌检查有助于诊断。

矽肺并发肺结核的诊断有时是很有困难的，尤其在晚期矽肺，纤维化融合成块，临床资料又不充足时，更有困难。此时可做临床观察，但应即时给予抗痨治疗。

并发结核的抗痨治疗首选药也是异烟肼、链霉素，次之是乙胺丁醇、利福平等。

9.3.4.2 肺部感染

尘肺患者由于呼吸道防御功能和机体的免疫系统受到粉尘的影响和破坏，同时，尘肺病变因肺部弥漫性纤维化，使细支气管扭曲、变形、狭窄、痉挛，引流不畅，易发生细菌和病毒的感染。以秋冬两季和季节变换时更易发生感染。肺部感染加重了尘肺的症状，是导致尘肺病人死亡的原因之一。

临床表现：尘肺合并感染后，咳嗽加重，痰量增多，为白色粘痰或黄痰，有时痰中带血。多数患者于清晨起床时大量咳痰。这是由于夜间睡眠后，迷走神经相对兴奋，支气管分泌物增多，管腔内痰液蓄积，当活动或体位变换时即大量咳出。若支气管排痰不畅，痰液积于小支气管时，出现胸闷、气促等症状，严重者有紫绀，呼吸困难，不能平卧。一般有发烧，听诊两肺有干湿性罗音。一般有白细胞升高。

对晚期尘肺病人应组织起来冬季疗养，辅以中西药预防感染。一旦发生肺部感染，积极控制感染，给予抗菌药物，并保持呼吸道通畅，纠正缺氧，提高通气功能。

9.3.4.3 肺原性心脏病（肺心病）

尘肺直接影响肺脏的功能和结构，在晚期往往发生肺心病。在Ⅰ、Ⅱ期尘肺患者的肺动脉压一般在正常范围。晚期尘肺患者，因肺组织有广泛纤维化和肺气肿、肺部毛细血管床受

到严重破坏，肺循环阻力增加，呈现肺动脉高压；由于肺气肿累及大量肺泡引起慢性缺氧，使心脏（尤其是右心）负担加重；尘肺病人经常反复发生肺部感染，加重低氧血症，使肺动脉高压加重；长期低氧血症致使骨髓增生，红细胞代偿性增多，从而加重了肺循环阻力，上述诸原因的作用，造成慢性肺源性心脏病。往往在肺部感染时，会诱发或加重心力衰竭和呼吸衰竭。

9.3.4.4 自发性气胸

胸膜腔有气体潴留称为气胸。尘肺病变的发展必然要发生肺气肿和个别肺泡扩张呈大泡性肺气肿。当某种原因使肺内压力增高时（如剧咳、体力劳动或情绪激动等），致使肺表层的气肿肺大泡和脏层胸膜破裂，空气通过裂孔进入胸膜腔而造成气胸。由于尘肺经常有胸膜肥厚粘连，自发性气胸多为局限性，无症状，只有X线检查才能发现。自发性气胸可以单侧，有时是双侧，有的病例同时多处发生。当发生大量气胸，尤其是张力性气胸时，患者突然感到呼吸困难，进行性加重，明显紫绀，严重者可引起休克或半昏迷状态，若抢救不及时可导致窒息死亡。此外，尘肺合并肺结核时，由于结核病灶破裂所致的自发性气胸，能导致浓胸。

9.4 防毒措施

9.4.1 防毒技术措施

防毒措施包括技术、教育、管理等三项措施。防毒技术措施是指对工艺、设备、设施、操作等方面，从安全防毒角度考虑设计、计划、检查、保养等措施。防毒技术措施在这里是指尽量减少人与工业毒物直接接触的措施。

9.4.1.1 以无毒低毒的物料代替有毒高毒的物料

在生产过程中使用的原料及辅助材料应该尽量采用无毒、低毒的代替有毒、高毒的。尤其是以无毒代有毒，这是从根本上解决毒物对人体危害的方法，但有相当的难度。

如合成氨生产中，过去一直使用砷碱法进行原料气的脱硫、脱碳。由于砷碱液中的主要成分为毒性较大的三氧化二砷（As_2O_3），严重地影响了职工的健康。现改用本菲尔特（Benfield）法脱碳和采用蒽醌二磺酸钠（A.D.A）法脱硫，都取得良好的脱碳、脱硫效果，并彻底消除了砷的危害。

又如苯及其同系物是油漆的主要稀释剂，也是各种油漆溶剂和稀料中用量较大，且毒性又较显著的溶剂之一。近年来油漆行业用抽余油（为含五个至九个碳的低碳烷烃，是炼油生产过程中的一种副产品，作为硝基漆和过氯乙烯漆的溶剂和稀料。为增加抽余油对这两种漆的溶解能力，可加入适量的酯类和醇类溶剂。

为防止铅对人体的危害，在防锈漆中以铁红（Fe_2O_3）代替铅丹（Pb_3O_4）；在油漆行业中以立德粉（锌钡白）或钛白（TiO_2）代替铅白（碱式碳酸铅，$2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$）。为防止汞对人体的危害，也采取了这种代替，如以无汞仪表代替有汞仪表，以硅整流代替汞整流等。农药行业的产品和原料大多是剧毒和毒性较大的物质，所以这种代替就更有意义。目前使用的农药，都要求有高效、低毒的特性。高效指杀虫灭菌的效力高，低毒则指对人、畜、植物是低毒或无毒，如马拉硫磷、敌百虫、杀螟松等。其它如以透平油做为载热体，代替有毒的联苯—联苯醚载热体。以无毒、低毒的催化剂代替有毒、高毒的催化剂等。

应该注意的是，这种代替大部分仅是以低毒代替高毒，而不是无毒操作，因此仍要注意

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

采取相应的防毒措施。

9.4.1.2 改革工艺

改革工艺是重要的防毒技术措施之一，也是从根本上解决毒物对人体危害的办法。改革工艺即在选择新工艺或改造旧工艺时，应尽量选用那些在生产过程中不产生（或少产生）有毒物质。在选择工艺路线时，把有毒、无毒做为权衡选择的重要条件。

在电镀行业中，镀锌、铜、镉、锡、银、金等镀种时，都要使用氰化物做为络合剂。这种氰化物是剧毒物质，且用量大。通过改革电镀工艺，采用无氰电镀，从而消除了氰化物对人体的危害。目前应用较多的铵盐镀锌法，其配方与操作条件见表9-8。

表 9-8 铵盐镀锌法配方及操作条件

材料名称		工艺类别		
		铵盐-柠檬酸盐型	铵盐-氨三乙酸型	铵盐-氯化镁型
	氯化锌	40～50g/L	40～50g/L	35～40g/L
	氯化铵	220～260g/L	220～270g/L	220～250g/L
	柠檬酸	40～60g/L		
	氨三乙酸		15～30g/L	
	聚乙二醇(M>600)	1.5～2g/L	1.0～1.5g/L	1.5～2g/L
	硫脲	2～3g/L	1～2g/L	2～3g/L
	海鸥洗涤剂	少许	0.2～0.4g/L	0.2～0.3g/L
	乙酸钠		100～150g/L	
	氯化镁			35～40g/L
操作条件	pH	5～6	5.8～6.2	5.4～6.2
	温度	室温	10～40℃	10～40℃
	电流密度	1～2.5A/dm²	1～2A/dm²	1～3A/dm²
	阴阳极面积比	1:1.5	1:2	1:2

又如过去国内采用铁粉为还原剂，把硝基苯($C_6H_5NO_2$)还原成苯胺($C_6H_5NH_2$)。这个生产过程不但是间歇操作，耗能大，而且在铁泥废渣和废水中含有对人体危害极大的硝基苯和苯胺。现在许多厂家采用流态化技术，改用硝基苯氢气催化还原制苯胺新工艺。这种新工艺不但使生产过程连续化，而且大大减少了毒物对人及环境的危害。

又如老式黄丹（PbO）的生产工艺流程中成品氧化部分为带压操作，易泄漏。物料捕集系统阻力大，泄漏点多。并且手工清灰，尾气直接排空，污染严重。改革后的黄丹生产工艺流程改为负压操作，控制了泄漏。除掉了预热氧化设备，缩短了流程。尾气经洗涤后排空，洗涤水循环使用。改革后，生产环境的铅尘浓度大幅度降低。

9.4.1.3 生产设备管道化、密闭化、机械化

控制有毒物质，使其不能从生产过程中散发出来造成危害，关键在于生产设备本身的密闭程度，以及投料出料，物料的输送、粉碎、包装等生产过程中各环节的密闭程度。

生产设备的密闭，通常是与负压操作和通风排毒措施相结合使用的，以提高设备的密闭效果和有毒物质的排出。设备的密闭尚需辅以机械化、管道的投料与出料，才能使设备完全密闭。对于气体、液体，多采用高位槽、管道、泵、风机等做为投料、输送设施。固体物料的投料、出料要做到密闭，往往存在着困难。对那些可溶化的固体料，可使用液体加料法；对固体粉末，可采用软管真空投料法；也可以把机械投料、出料装置密闭起来，如翻板式锁

气器、星形锁气器等。

当机器设备内装有搅拌或液下泵等转动装置时，为防止有毒物质的散逸，必须搞好转动设备的轴密封。有机硅橡胶、含氟橡胶、四氟乙烯塑料等做为密封材料，已逐渐得到广泛的应用。机械密封使用石墨—陶瓷、石墨—45*钢等耐磨材料，再辅之以密封圈在泵、转动轴及其它设备上的应用越来越广泛。

9.4.1.4 隔离操作和自动控制

由于条件限制，不能使有毒物质的浓度降低到国家卫生标准时，可以采用隔离操作措施。隔离操作就是把工人与生产设备隔离开来，使生产工人免受散逸出来的毒物的危害。

目前化工厂内常用的隔离方法有两种：一是将全部或个别毒害严重的生产设备放置隔离室内，采用排风的方法，使室内呈负压状态；另一种是使工人操作地点放在隔离室内，采用送新鲜空气的方法，使室内呈正压状态。

9.4.2 防毒的管理教育措施

9.4.2.1 加强领导

各级领导要有组织、有计划地进行防毒的管理教育，改善劳动条件。并要把所需的经费、设备、器材与生产计划一起解决，予以切实保证。

9.4.2.2 加强防毒的宣传教育，健全有关防毒的管理制度

要宣传毒物的危害及教育职工加强防护，遵守安全操作规程等。要积极采取先进防毒经验和技术。

企业要制定防毒的操作规程、防毒的宣传教育制度、定期检测制度、设备维修制度、毒物的保管和领取制度、毒物的贮藏运输制度、以及制定改善劳动条件措施计划等，这些规章制度对于搞好防毒工作都有着极为现实的意义。

9.4.2.3 加强监测，严格执行工业卫生法规

《工业企业设计卫生标准》是国家卫生标准。其中规定的车间空气中有害物质的最高容许浓度是制定防毒措施及鉴定其工作效果的依据。目前执行的是1979年颁布的《工业企业设计卫生标准》（TJ36—79），其中车间空气中有害物质的最高容许浓度见附表9-1。（TJ36—79）中还规定了居民区大气中有害物质的最高容许浓度，也称为“大气防护标准”，如附表9-2。（TJ36—79）还对工业废水的排放提出了要求。工业废水排入地面水体要符合地面水水质卫生要求和地面水中有害物质的最高容许浓度，分别如附表9-3和附表9-4。

有毒物质排入环境后，尽管经稀释自净作用，但仍会污染环境，所以要控制工业废物的排放量。《工业“三废”排放试行标准》（GBJ4—73）中制订了十三类有害物质的排放标准，如附表9-5～6。另外对工业废水也制订了排放标准，对工业废水最高容许排放浓度又分为两类：第一类指在环境或动植物体内积蓄的毒物，不得用稀释方法处理，这类物质的最高容许排放浓度如附表9-6。第二类是指其长远影响较小的有害物质，其最高容许排放浓度如附表9-7。

9.4.2.4 严格执行“三同时”方针

我国环境保护法（试行）中规定：“一切企业、事业单位……在新建、改建和扩建时……其中防止污染和其它公害的措施，必须与主体工程同时设计，同时施工，同时投产；各项有害物质的排放必须遵守国家规定的标准”。在《工业企业设计卫生标准》总则中也明确地规定了“三同时”的方针。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

9.4.2.5 卫生保健措施

对从事有毒有害作业工种的工人，国家规定发放保健费，以增加他们的营养，增强他们的体质。同时也规定由卫生部门定期为他们进行健康检查，便于对职业中毒早发现，早治疗。

各单位的卫生保健部门应培训医务人员进行有关的中毒急救处理，要随时备齐有关急救的医药器材。也应开展预防职业中毒的各项工作。

要重视个人卫生，如禁止在有毒作业场所吃饭、饮水、吸烟。饭前洗手漱口，班后洗浴，定期清洗工作服等。这对于防止有毒物质从皮肤、口腔、消化道侵入人体，具有重要意义。

9.4.2.6 加强防毒的科学研究

有关防毒的科研工作应着重于改革工艺和生产中选用无毒、低毒物料，这是根本措施。同时对新的化学物质和新的有毒作业，应研究其毒害机理、毒害程度，以及寻找有关的防毒措施。

9.4.2.7 二次尘毒源的消除

二次尘毒源是指有毒物质以粉尘、蒸气等形式从生产设备中或贮运过程中逸出，散落在车间内、厂区内，再次成为有毒气体或烟尘的来源。

对于易挥发的有机溶剂（如苯类），应尽量减少其挥发面积，同时要坚持清扫制度。尤其是汞作业的二次毒源最为突出，从生产过程中散逸出来的汞被称为“流散汞”和“吸附汞”，造成的污染比“一次源”更为严重。可用机械的方法收集汞颗粒直径大于1mm的流散汞，如图9-3。其中汞净化器是吸附汞蒸气的，以防止其进入真空泵，吸附剂可用氯气处理的活性炭或碘化钾处理的活性炭。对粒径小于1mm的汞粒，可用2%稀硝酸喷洒的化学方法消除。对于“吸附汞”，可采用碘熏蒸的办法。汞作业的墙壁，地面、工作台要光滑、无缝隙，并涂以涂料。

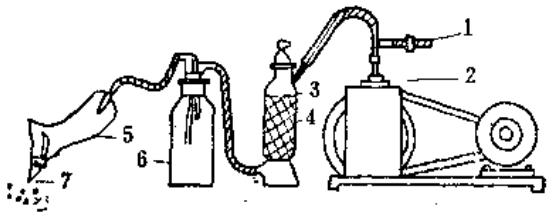


图 9-3 机械法收集散汞

1—螺旋夹；2—真空泵（或吸尘机）；3—铁丝网和棉花；4—汞净化器；5—集汞器；6—缓冲器；7—汞吸头

9.4.3 个人防护措施

个人防护也是防毒的预防措施之一。按对劳动者防护的部位可分两大类。

9.4.3.1 皮肤防护

为防止毒物从皮肤侵入人体，要穿用具有不同性能的工作服、工作鞋、防护镜等。对裸露皮肤，应视其所接触的不同性质物质，采用相应的保护油膏或清洁剂。

9.4.3.2 呼吸防护

为防止毒物从呼吸道侵入人体，应使用呼吸防护器。呼吸防护器有过滤式防毒呼吸器、隔离式防毒呼吸器等。其结构、性能、用途请详见本书第11章。

9.4.4 通风排毒措施

9.4.4.1 局部送风

把新鲜空气直接送入工人的呼吸带。由于新鲜空气很快被周围有毒空气混入，局部送风

主要用于防暑降温，很少用于防毒。

9.4.4.2 局部排风

把有毒气体直接从发生源抽出去，使作业带有害物浓度低于国家卫生标准。应视排出物的浓度考虑是否净化回收。回收后的排放物或不回收直接排放的有害物，均不应超过居住区大气中有害物最高容许浓度。局部排风排毒效果好，最为常用。

局部排风系统包括排风罩、管道、风机、排气烟囱或还有净化设备。这个系统所需的风压就是风机的风压。由排风罩确定的风量，再考虑10～15%的漏风系数，就是风机的风量。

9.4.4.3 全面通风换气

全面通风是用大量新鲜空气将作业场所的有毒气体冲淡到国家卫生标准规定的最高容许浓度。全面通风只适用于低毒有害气体及其散发量不大的情况，不适用于烟、尘、雾。所需风量大，不能回收。常用于除局部排风外，仍有散逸点的车间，是与局部排风结合使用的。

《工业企业设计卫生标准》(TJ36—79)中规定，数种溶剂（苯及其同系物或醇类或醋酸酯类）的蒸气，或数种刺激性气体（三氧化硫或二氧化硫或氟化氢及其盐类等）同时放散于空气中时，全面通风换气量应按各种气体分别稀释至最高容许浓度所需要的空气量的总和计算。除上述有害物质的气体及蒸气外，其它有害物质同时放散于空气中时，通风量应按需要空气量最大的有害物质计算。

全面通风换气用于排毒时，多以排风为主，而不是以送风为主。进风口应接近工作地点，设在有毒气体浓度较低区域，排风口应接近有毒气体发生源，设在有毒气体浓度较高区域。

9.4.5 净化回收措施

有毒气体的净化回收量是建立在局部排风系统上的。由于净化回收物质存在的状态不同，所以净化回收的方法也不同。一类是烟、尘、雾的微小颗粒分散在空气中构成的气溶胶，另一类为气体、蒸气，前者为非均相分散系统，后者为均相分散系统。前者采用的干式过滤、湿式洗涤等方法对于以分子混合的均相分散系统的净化回收，只能基于其不同组分所具有的不同蒸气压、溶解度，选择性吸着作用及某些化学特性进行分散。其方法有燃烧、冷凝、吸收、吸附等。

9.4.5.1 燃烧净化法

用燃烧的方法来焚烧有害气体、蒸气或烟尘，使之变成无害的物质，叫做燃烧净化。燃烧净化法仅能用于可燃的，或在高温下能分解的有害气体和烟尘。因此，燃烧净化法一般不能回收空气中原有的物质。燃烧净化法可以广泛地用于有机溶剂蒸气和碳氢化合物的净化处理。这些物质在燃烧过程中被氧化成二氧化碳和水蒸汽。燃烧净化也可用于消除烟和工业臭味。

目前常用的燃烧净化法有：直接燃烧、热力燃烧及催化燃烧。

1. 直接燃烧

直接燃烧适用于有害废气中含可燃组分浓度较高或燃烧后能放出较高热值的气体。在直接燃烧中可燃的有害废气当作燃料来燃烧。燃烧温度通常在1100℃以上。燃烧完全的产物是二氧化碳、水蒸汽和氮气。

直接燃烧的条件是有害废气的浓度应在燃烧极限浓度范围之内。如果有害废气的浓度高于燃烧上限，则可以混入空气再燃烧；如果有害废气的浓度低于燃烧下限，则需补充一定数

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

量的其它辅助燃料，以维持燃烧。

2. 热力燃烧

热力燃烧一般用于处理含可燃物质浓度较低的废气。如果有害废气是以空气为本底的，即含有足够的氧时，可用废气的一部分来助燃辅助燃料的燃烧；如果废气本身含氧低于16%，则废气不能作为助燃气体，只是被燃烧的对象。有害组分经燃烧氧化成二氧化碳和水蒸汽。

热力燃烧的条件是在供氧充分时，使废气和氧气在反应温度下充分接触一段时间。即热力燃烧要求一定的反应温度、驻留时间和气流的湍流混合。这三个因素是互相关联的。如在一定范围内提高反应温度，可以降低对湍流混合的要求，也可以缩短驻留时间。由于使废气中可燃组分焚烧的温度是在一定范围内的，只不过在此范围内，不同的温度有不同的净化率，所以在热力燃烧中大部分物质的反应温度为760～820℃，这就需要辅助燃料的燃烧来供热，以达到高温燃气与废气混合后反应温度为760℃。热力燃烧总驻留时间包括废气在焚烧温度下焚烧所用时间及废气与高温燃气均匀混合的时间。而且混合的时间比焚烧时间要长得多。热力燃烧炉总驻留时间可按下式估算：

$$\tau = \frac{V}{Q\left(\frac{273+t}{293}\right)} \times 3600$$

式中 τ——燃烧炉总驻留时间，s；

V——燃烧室的体积，m^3；

Q——废气与高温燃气在标准状态下（20℃，1atm）的体积流量，m^3/h；

t——燃烧室的反应温度，℃。

在工程设计上，对大多数碳氢化合物及一氧化碳的氧化净化燃烧炉的反应温度一般取760℃，总驻留时间取0.5 s。表9-9为废气燃烧净化的反应温度和驻留时间的经验数据，可以看出反应温度及驻留时间取760℃和0.5 s是合适的。但焚烧不同的化学组分对温度和时间的要求还是有差异的。

表 9-9 废气燃烧净化所需的温度、时间、条件

废气净化范围	燃烧炉驻留时间(s)	反应温度(℃)
碳氢化合物（HC焚烧90%以上）	0.3～0.5	590～680①
碳氢化合物加一氧化碳（HC+CO净化90%以上）	0.3～0.5	680～820
臭味（净化50%～90%）	0.3～0.5	540～650
（净化90%～99%）	0.3～0.5	590～700
（净化99%以上）	0.3～0.5	650～820
烟和缕烟		
白烟（雾滴）（缕烟消除）	0.3～0.5	430～520②
（HC+CO净化90%以上）	0.3～0.5	680～820
黑烟（炭粒和可燃粒）	0.7～1.0	760～1100

注：①如甲烷、溶纤剂（乙二醇-乙醚$HOCH_2CH_2OC_2H_5$）及置换的甲苯，二甲苯等存在，则需760～820℃。

②缕烟的消除一般是不实用的，因为往往由于氧化不完全而又产生臭味。

由于热力燃烧需辅助燃料燃烧提供热量，则需部分助燃废气助燃；其余部分废气即为旁通废气，使其与高温燃气湍流混合，以达反应温度；在此温度下保持废气的驻留时间，使废气中的可燃组分焚烧。应该注意不能把全部废气与所需辅助燃料混合，而应用部分废气（旁通废气）与高温燃气混合。

热力燃烧所需辅助燃料的消耗量，就是把全部废气升温到反应温度所需的辅助燃料量。从热量平衡计算考虑，废气中可燃组分的热值亦应考虑在内，所以废气中可燃组分含量高或废气初始温度高，都可减少辅助燃料的消耗。有关计算中使用的空气、烟气的物理参数及燃料燃烧计算数据列于表9-10、表9-11、表9-12、表9-13。

热力燃烧流程如图9-4所示。

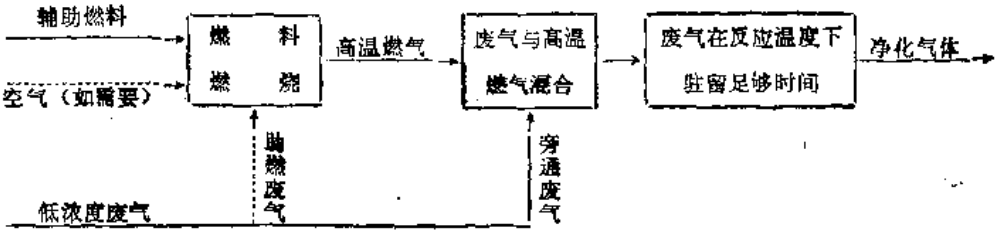


图 9-4 热力燃烧的流程

表 9-10 在大气压力 $B=760mmHg$ 柱时干空气的物理参数

t（℃）	γ (kg/m³)	c_p (kcal/kg·℃)	$\lambda\times10^2$ (kcal/m·h·℃)	$a\times10^2$ (m²/h)	$\mu\times10^6$ (kg·s/m²)	$\nu\times10^6$ (m²/s)	p_r
-50	1.584	0.242	1.75	4.57	1.49	9.23	0.728
-40	1.515	0.242	1.82	4.96	1.55	10.04	0.728
-30	1.453	0.242	1.89	5.37	1.60	10.80	0.723
-20	1.395	0.241	1.96	5.83	1.65	11.79	0.716
-10	1.342	0.241	2.03	6.28	1.70	12.43	0.712
0	1.293	0.240	2.10	6.77	1.75	13.28	0.707
10	1.247	0.240	2.16	7.22	1.80	14.16	0.705
20	1.205	0.240	2.23	7.71	1.85	15.06	0.703
30	1.165	0.240	2.30	8.23	1.90	16.00	0.701
40	1.128	0.240	2.37	8.75	1.95	16.96	0.699
50	1.093	0.240	2.43	9.26	2.00	17.95	0.698
60	1.060	0.240	2.49	9.79	2.05	18.97	0.696
70	1.029	0.241	2.55	10.28	2.10	20.02	0.694
80	1.000	0.241	2.62	10.87	2.15	21.09	0.692
90	0.972	0.241	2.69	11.48	2.19	22.10	0.690
100	0.946	0.241	2.76	12.11	2.23	23.13	0.688
120	0.898	0.241	2.87	13.26	2.33	25.45	0.686
140	0.854	0.242	3.00	14.52	2.42	27.80	0.684
160	0.815	0.243	3.13	15.80	2.50	30.09	0.682
180	0.779	0.244	3.25	17.10	2.58	32.49	0.681
200	0.746	0.245	3.38	18.49	2.65	34.85	0.680
250	0.674	0.248	3.67	21.96	2.79	40.61	0.677
300	0.615	0.250	3.96	25.76	3.03	48.33	0.674
350	0.566	0.253	4.22	29.47	3.20	55.46	0.676
400	0.524	0.255	4.48	33.52	3.37	63.09	0.678
500	0.456	0.261	4.94	41.51	3.69	79.38	0.687
600	0.404	0.266	5.35	49.78	3.99	96.89	0.699
700	0.362	0.271	5.77	58.82	4.26	115.4	0.706
800	0.329	0.276	6.17	67.95	4.52	134.8	0.713
900	0.301	0.280	6.56	77.84	4.76	155.1	0.717
1000	0.277	0.283	6.94	88.53	5.00	177.1	0.719
1100	0.257	0.286	7.31	99.45	5.22	199.3	0.722
1200	0.231	0.289	7.87	113.94	5.45	223.7	0.724

注：t温度；γ重度；c_p定压比热；λ导热系数；

a导温系数$\frac{\lambda}{c_\gamma}$；μ粘度；ν动粘度$\frac{\mu}{\rho}$；$p_r=\frac{\nu}{a}$。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 9-11　在大气压力$B=760mmHg$下烟气的物理参数

t（℃）	γ (kg/m³)	c_p (kcal/kg·℃)	$\lambda\times10^2$ (kcal/m·h·℃)	$a\times10^2$ (m²/h)	$\mu\times10^6$ (kg·s/m²)	$\nu\times10^6$ (m²/s)	p_r
0	1.295	0.249	1.96	6.08	1.609	12.20	0.72
100	0.950	0.255	2.69	11.10	2.079	21.54	0.69
200	0.748	0.262	3.45	17.60	2.497	32.80	0.67
300	0.617	0.268	4.16	25.16	2.878	45.81	0.65
400	0.525	0.275	4.90	33.94	3.230	60.38	0.64
500	0.457	0.283	5.64	43.61	3.553	76.30	0.63
600	0.405	0.290	6.38	54.32	3.860	93.61	0.62
700	0.363	0.296	7.11	66.17	4.148	112.1	0.61
800	0.330	0.302	7.87	79.09	4.422	131.8	0.60
900	0.301	0.308	8.61	92.87	4.680	152.5	0.59
1000	0.275	0.312	9.37	109.21	4.930	174.3	0.58
1100	0.257	0.316	10.10	124.37	5.169	197.1	0.57
1200	0.240	0.320	10.85	141.27	5.402	221.0	0.56

（烟气中组成气体的分压力$p_{CO_2}=0.13$；$p_{H_2O}=0.11$；$p_{N_2}=0.76$）。

t温度；γ重度；c_p定压比热；λ导热系数，a导温系数$\frac{\lambda}{c_\gamma}$；

μ粘度；ν动粘度$\frac{\mu}{\rho}$；$p_r=\frac{\nu}{a}$。

表 9-12　气体燃料的燃烧计算数据

序号	燃料名称	煤气发热量 (kcal/Hm³)	当空气过剩系数 $n=1$ 时的燃料计算数据				
			需用空气量 L_0 (Hm³/Hm³)	产生燃气量 V_0 (Hm³/Hm³)	燃气重度 γ (kg/Hm³)	CO_2%	H_2O%
1	炼铁煤气	800	0.72	1.57	1.42	25	3
2	发生炉煤气	1140	0.95	1.76	1.34	18.5	11
3	发生炉煤气	1360	1.20	2.01	1.29	18	12
4	炼铁炼焦混合煤气	1200	1.05	1.89	1.36	20	19
5		1400	1.26	2.08	1.34	19	11.5
6		1600	1.45	2.27	1.32	17.5	13
7		1800	1.68	2.48	1.30	16	14.5
8		2000	1.88	2.68	1.28	14.5	16
9		2200	2.09	2.88	1.27	14	17.5
10	炼焦煤气	4080	4.06	4.76	1.20	7	24
11	天然气	8433	9.52	10.5	1.24	9	18

注：空气过剩系数 n，为燃烧时所用空气量与理论计算空气量的比值。$n=1$，即所用的是理论计算空气量，没有用过剩的空气。

此处Hm³系指20℃，760mm.Hg条件下的m³体积。

热力燃料炉主要有两个部分，一是燃料器，是燃烧辅助材料产生高温燃气的；二是燃烧室，是高温燃气与冷废气湍流混合达到反应温度，并保持所需驻留时间的。由于燃烧燃料气时，有可燃气与空气预先混合再燃烧，以及可燃气与周围空气边混合边燃烧之分，故可按燃烧器的不同，分离焰炉和配焰炉两种。目前，国内的热力燃烧主要是利用锅炉燃烧室或加热炉进行。锅炉用作燃烧净化炉可起到供汽和废气净化的双重作用；对于净化，则不需辅助燃料，同时也不存在热量回收利用的问题。

表 9-13 固、液体燃料的燃烧计算数据

序号	燃料名称	燃料发热量 $Q_{低}^{用}$ (kcal/kg)	当空气过剩系数 $n=1$ 时的燃烧计算数据				
			需用空气量 L_0 (Hm^3/kg)	产生燃气量 V_0 (Hm^3/kg)	燃气重度 γ (kg/Hm^3)	CO_2%	H_2O%
1	扎赉诺尔褐煤	4741	5.12	5.78	1.32	16	14
2	鹤岗烟煤	6059	6.67	7.02	1.37	17	7.5
3	淮南烟煤	5964	6.66	7.06	1.36	17	8
4	抚顺烟煤	6642	7.21	7.55	1.36	17.5	7.2
5	大同烟煤	7090	7.98	8.32	1.37	17	7
6	西山烟煤	6636	7.32	7.66	1.39	18	6
7	重　油	9479	10.44	11.05	1.31	11	15

注：燃料发热量 $Q_{低}^{用}$：$Q_{用}$是指燃料重量按供用成分（包括燃料中C、H、O、N、S、灰、水的所有重量）计算；$Q_{低}$是指发热量按燃烧产物的温度冷却到参加燃烧物质的初始温度，其中水分冷却到20℃水蒸汽时所放出的热量计算。空气过剩系数n见表9-12。

3. 催化燃烧

催化燃烧是用催化剂使废气中可燃物质在较低温度下氧化分解的净化方法。催化燃烧只适用于含有可燃气体、蒸气的废气的净化，而不适用含有大量尘粒雾滴的废气的净化。也不适用于甲烷的净化，因催化剂对其燃烧的活性较差。催化燃烧也要先将废气预热混合均匀，由于反应温度较低，所以废气预热温度也较低，所需辅助燃料少。催化燃烧与热力燃烧放出同样的热量。对于碳氢化合物及溶剂类，燃烧的结果也是氧化成二氧化碳和水蒸汽。

催化燃烧的流程如图9-5所示。

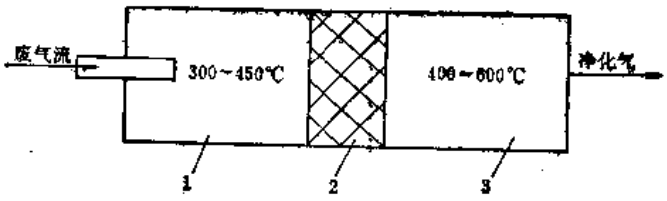


图 9-5 催化燃烧流程

1—预热混合室；2—催化剂床层；3—热量回收

目前，工业上常用于催化燃烧的催化剂仅铂（Pt）、钯（Pd）等少数几种。催化燃烧不仅依赖于操作条件，而且还依赖于催化剂的现有活性。在催化燃烧炉内，并不是全部氧化反应都发生在催化剂床，而是有相当一部分发生在预热混合阶段。其所占份额与废气预热温度、废气中可燃物质的化学性质和热力性质、废气流速、预热燃烧器和预热混合室的设计有关。废气经过燃烧氧化放出的燃烧热将使废气升温，但这不能代表整个催化燃烧炉对可燃有害物的全部转化率，而只能代表经预热混合后剩余可燃有害物在催化剂床层的转化率。因此催化燃烧炉的全部转化率$x_{全}$可用下式表示：

$$x_{全} = x_{预} + f_{催}(1 - x_{预})$$

式中 $x_{全}$——通过催化燃烧炉时氧化的全部转化率；

$x_{预}$——废气通过预热混合时氧化的部分转化率；

$f_{催}$——废气中可燃物质通过催化剂床层的转化率。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

上式中后项是与废气通过催化床的升温成比例的：

$$f_{催}(1-x_{原})=\frac{c_p\Delta T}{Qc_{初}}$$

式中 c_p——通过催化剂床层的废气的平均定压比热，kcal/$kg_{废气}$℃；

ΔT——废气通过催化剂床层的升温，℃；

Q——废气中碳氢化合物的燃烧热，kcal/kgHC；

$c_{初}$——废气中碳氢化合物的初始浓度，kgHC/$kg_{废气}$。

上式中$f_{催}$可用下式求取：

$$f_{催}=1-e^{-K_{效}\tau}$$

式中 τ——废气通过催化剂床层的驻留时间，s，$\tau=(V_{催}/V_{气})\varepsilon$；

$K_{效}$——废气中可燃组分与氧化的一次平均有效速率系数，s^{-1}；

$V_{催}$——催化剂床层的体积，m^3；

$V_{气}$——废气的体积流量，实际m^3/s；

ε——催化剂床的空隙度。

驻留时间除了用τ及催化剂比体积$\frac{V_{催}}{V_{气}}\cdot\varepsilon$表示外，还可用空间速度$U_s$表示。空间速度定义为小时风量/$V_{催}$。所以$U_s$为

$$U_s=\frac{3600V_{气}}{V_{催}}=\frac{3600\varepsilon}{\tau}\ h^{-1}$$

由前式可以看出，实际所需的驻留时间或催化剂的比体积是由催化剂的有效速率系数及设计要求的转化率决定的。整个氧化转化过程可归结为催化剂表面发生的化学反应过程及质量传递过程，化学反应速率系数$K_{化}$和传质速率系数$K_{质}$与有效速率系数$K_{效}$有如下的关系式：

$$\frac{1}{K_{效}}=\frac{1}{K_{化}}+\frac{1}{K_{质}}$$

上式中的$K_{化}$可用下式求取：

$$K_{化}=A\exp(-E/RT)$$

式中 A——有赖于碳氢化合物种类与催化剂类型的常数；

E——活化能；

R——气体常数；

T——催化剂表面绝对温度。

而$K_{质}$则可用准数方程式整理实测数据，如下式：

$$Sh=\frac{K_{质}L}{D}=B\cdot Re^{m}Sc^{n}$$

式中 Sh——舍伍德（Sherusood）准数，也可用Nu表示，即努塞尔（Nusselt）扩散准数；

Re——雷诺（Reynold）准数，$Re=\frac{w_{隙}L}{\nu}$；

L——催化剂床的定性长度，如蜂窝眼的孔径，或球、丸、丝的有效直径；

$w_{隙}$——废气通过催化剂缝隙的实际风速，等于表面风速/催化剂空隙度；

ν——气体的运动粘度；

Sc——施米特（Schmidt）准数；也可用Pr'表示，即普兰德（Prandtl）扩散准数；

D——气体的扩散系数；

B、m、n——实测确定的常数。

表9-14、表9-15将美国一些数据列出。

表 9-14 催化剂的化学速率系数

$$K_{化}' = A\exp\left[\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_{参考}} - \frac{1}{T_{操作}}\right)\right]$$

组　　分	A(即$K_{化}'$在$T_{参考}$时的值)(ft/s)	E (kcal/mol)	$\frac{E}{R}$(°R)
氧化铝本底催化剂			
H_2	8.0	8	7,250
CO	0.45	11	10,000
溶剂HC	0.1～0.2	11	10,000
CH_4	0.005	15	13,600
金属本底催化剂			
甲苯/二甲苯	0.2～0.3	15	13,600
甲乙酮	0.03	15	13,600
正庚烷	0.005	15	13,600

注：1. 前面所给公式的有效速率系数K值，均较此处K'值多一个几何比表面积(S/V)的因子，即$K = K' \cdot \frac{S}{V}$，K的单位为秒$^{-1}$，K'的单位为呎/秒。同样，$K_{化} = K'_{化} \cdot \frac{S}{V}$。

2. 本表中$T_{参考} = 1010°R(550°F)$。$R° = °F + 460°$（兰氏温标）

使用燃烧净化，特别是热力燃烧法，必须要考虑热的回收利用问题。另外要注意防火、防爆及防止回火，要采取相应的安全措施。如控制废气中可燃物蒸气不超过爆炸下限的25%；安装阻火器、防爆膜等。

9.4.5.2 冷凝净化法

冷凝净化法只适用于蒸气状态的有害物质，多用于回收空气中的有机溶剂蒸气。冷凝净化法可以达到很高的净化程度，但只有空气中含蒸气浓度较高时，才实用有效。冷凝净化法还适用于处理含大量水蒸汽的高湿废气，可形成水蒸汽的凝结，也可造成部分有害物溶于凝液中，减少了气体流量。因此冷凝净化往往用作燃烧、吸附等净化设施的前处理。

冷凝净化法就是将蒸气从空气中冷却凝结成液体，将液体收集起来，加以利用。在空气净化方面是用移去热量的方法，即冷却的方法来完成的。以冷却法从空气中将蒸气凝结成液体，其极限就是冷却温度下的饱和蒸气压。从图9-6某些有机溶剂的饱和蒸气压与温度的关系图中可以看出，饱和蒸气压随温度的升高而增高。不同温度下的饱和蒸气压可用下式求取：

$$\lg p^0 = -\frac{A}{T} + B$$

式中　p^0——绝对温度为T时的饱和蒸气压，mmHg；

T——有机液体的温度，K；

A、B——常数，一些常见的有机溶剂的A、B值列于表9-16中。

冷凝净化的关键是冷却温度。只有将其冷却到露点温度以下，才能将部分蒸气冷凝下来。而对应于冷却温度下饱和蒸气压浓度的有害溶剂蒸气仍存留在空气中。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 9-15 催化剂床层的几何特性与传热传质准数方程式

催化剂类型	几何比表面积 $S/V(ft^{-1})$	空隙度 ε	定性长度 $L(ft)$	一层孔眼长度 $X(ft)$	努谢尔特准数Nu，萱威特准数Sh，摩擦阻力系数λ
Torvex2B1/8in六角眼蜂窝陶瓷体	268	0.61	0.0091	0.0833	$Nu=3.66\left(1+0.095Re\cdot Pr\cdot\frac{L}{X}\right)^{0.45}$ $Sh=3.66\left(1+0.095Re\cdot Sc\cdot\frac{L}{X}\right)^{0.45}$ $\lambda=\frac{64}{Re}\cdot\left(1+0.0445Re\cdot\frac{L}{X}\right)^{0.5}$
Thermocomb 8眼/in三角眼蜂窝陶瓷体	695	0.6	0.00345	正常时 0.167～0.333	$Nu=2.35\left(1+0.095Re\cdot Pr\cdot\frac{L}{X}\right)^{0.45}$ $Sh=2.35\left(1+0.095Re\cdot Sc\cdot\frac{L}{X}\right)^{0.45}$ $\lambda=\frac{58.3}{Re}\left(1+0.0445Re\cdot\frac{L}{X}\right)^{0.5}$
Oxycat陶瓷棒嵌砖 (71根)$5\frac{1}{2}''$ 长×$3\frac{3}{16}''$ 宽×3"深	36.5	0.515	0.0133	—	$Nu=0.51Re^{0.56}Pr^{0.333}$ $Sh=0.51Re^{0.56}Sc^{0.333}$ $\lambda=0.5/Re^{0.15}$
金属带(片"D"系列	336	0.93	0.004	—	$Nu=0.55Re^{0.5}Pr^{0.333}$ $Sh=0.55Re^{0.5}Sc^{0.333}$ $\lambda=\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon}\cdot\left[5.2+3600\cdot\frac{(1-\varepsilon)}{Re}\right]$ $-\Delta P=\int_0^z\frac{\rho\omega^2}{2\varepsilon^2}\cdot\frac{\lambda}{L}\,dz+2.1\cdot\frac{\rho\omega^2}{2}$
球形小体	$\frac{6(1-\varepsilon)}{d}$	正常时 0.35～0.4	d	—	$Nu=2.42Re^{1/3}Pr^{1/3}+0.129Re^{0.5}Pr^{0.4}+1.4Re^{0.3}$ $Sh=2.42Re^{1/3}Sc^{1/3}+0.129Re^{0.5}Sc^{0.4}+1.4Re^{0.3}$ $\lambda=\frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon}\cdot\left[3.5+300\cdot\frac{(1-\varepsilon)}{Re}\right]$

注：1. $Nu=\frac{\alpha L}{\lambda_g}$，努谢尔特准数，其中$\alpha$为气-固给热系数，$\lambda_g$为气体热传导系数，$L$为定性长度。

2. $Sh=\frac{K_{面}'L}{D}$，萱威特准数，其中$K_{质}'$比上文$K_{面}$少一个$\frac{S}{V}$因子，即$K_{面}=K_{质}'\cdot\frac{S}{V}$。参照表9-14注(1)。

3. $Re=\frac{\omega_{隙}L}{\nu}$，雷诺准数，其中$\omega_{隙}$为隙缝实际风速，$\omega_{隙}=\frac{\omega}{\varepsilon}$。但在陶瓷棒嵌砖的方程式中，$\omega_{隙}$应是最小流过截面的实际风速，不用平均空隙度$\varepsilon$；对于球形小体则用$\omega$代替$\omega_{隙}$。

如已知混合气体的温度为t℃时，空气中蒸气的分压为$p$mmHg，则空气中蒸气的浓度c可按下式计算：

$$c=\frac{p}{760}\cdot\frac{273}{273+t}\cdot\frac{1000}{22.4}\cdot M=\frac{16Mp}{273+t}\ g/m^3$$

式中 M——有害蒸气的分子量，g。

冷凝液中有可能回收的有机溶剂最大量为

$$G=\frac{16MV}{273+t_1}\left(p_1-\frac{760-p_1}{760-p^0}\cdot p^0\right)$$

式中 G——可能回收的有机溶剂最大量，g/h；

p_1、t_1——冷凝前蒸气的分压和混合气温度；

p^0——冷凝后的饱和蒸气压，mmHg；

V——混合气体的流量，m^3/h。

表 9-16 一些常见有机溶剂的A、B值

物质名称	分子式	A	B
苯	C_6H_6	1731	7.783
二硫化碳	CS_2	1446	7.410
甲醇	CH_3OH	1992	8.780
醋酸甲酯	CH_3COOCH_3	1679	7.961
四氯化碳	CCl_4	1668	7.651
甲苯	$C_6H_5CH_3$	1901	7.837
醋酸乙酯	$CH_3COOC_2H_5$	1827	8.099
乙醚	$C_2H_5OC_2H_5$	1463	7.639
乙醇	C_2H_5OH	2185	9.101

用于冷凝净化的冷却方法，可分为直接法和间接法两种。直接法使用接触冷凝器，在其中，冷却剂与蒸气直接接触，并且使冷却剂、蒸气和凝液混合在一起。接触冷凝器适用于含大量水蒸汽的高湿废气。也多用于不回收有害物或者含污冷却水不需另行处理情况。但其用水量大，也存在废水处理的问题。图 9-7 为冷凝—燃烧净化系统，使用直冷式冷却。间接法使用表面冷凝器。表面冷凝器常用的是列管式冷凝器、螺旋板冷凝器、淋洒式冷凝器等。这类冷凝器处理容量比接触冷凝器小，但耗能量小，回收的凝液也纯净。图9-8为间冷流程。而图9-9是处理高湿废气的流程，采用直接、间接冷却均可。

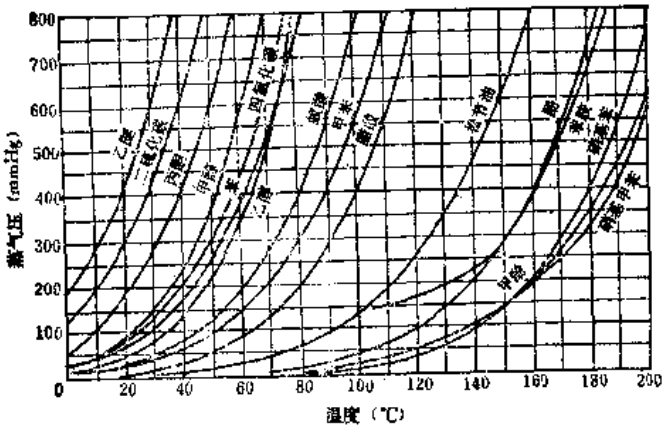


图 9-6 有机溶剂的饱和蒸气压与温度的关系

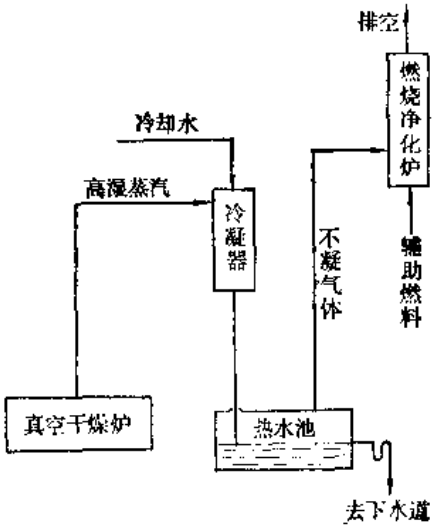


图 9-7 密闭热水池分离不凝气体的废气处理流程示意

9.4.5.3 吸收净化法

气体吸收是一种多种气体溶解于液体的过程，它是化学工业中应用相当普遍的一种单元操作。在防毒技术中应用的目的是除去气流中的某一个或几个有害组分，以防止危害人体及污染环境。

气体吸收过程大致可分为物理吸收和化学吸收两种。在物理吸收中溶解的气体与溶剂或溶剂中某组分不发生任何化学反应；而在化学吸收中，溶解的气体与溶剂或溶剂中某一组成发生化学反应。

1. 气体溶解度

气体在液体中的溶解度表明一定条件下吸收过程可能达到的极限程度。对于多数气体的稀溶液，在相当大的范围内其溶解度曲线为一直线，即气体在液体中的溶解度与气相中溶解

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

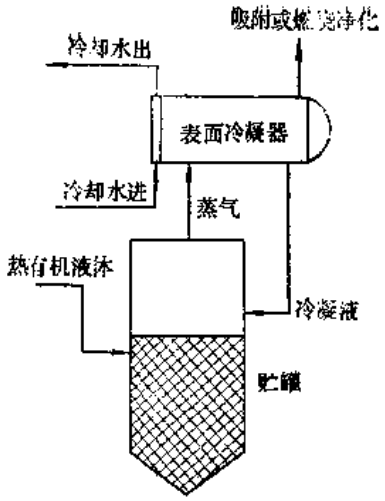


图 9-8 热有机液体贮罐上的冷凝回收流程示意

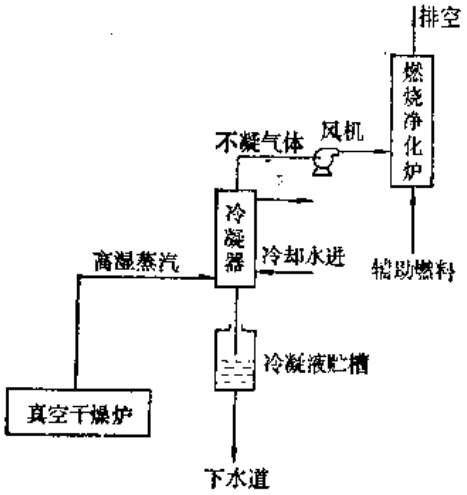


图 9-9 高湿臭味废气处理流程示意

的气体的分压成正比例，这个关系称为亨利（Henry）定律。即

$$p^* = c/H \quad 或 \quad p^* = Ex$$

上式 p^*——平衡时溶质气体在气相中的分压，atm；

c——溶质气体在溶液中的浓度，kmol/m³；

H——溶解度系数，kmol/m³·atm；

E——亨利系数，atm；

x——液相中溶质气体的摩尔分率。

对于压力不高的体系，可写成：

$$y^* = mx \quad 或 \quad Y^* = MX$$

式中 y^*、Y^*——以摩尔分率、比摩尔分率表示的气相平衡浓度；

x、X——以摩尔分率、比摩尔分率表示的溶质气体在液相中的浓度；

m——相平衡常数。

符合道尔顿分压定律时，$p = p_t y$，则 $x = \dfrac{y}{m} = \dfrac{p}{E}$

$$\therefore \ E = m p_t \qquad m = \frac{E}{p_t} = \frac{\gamma_L}{M_c H p_t}$$

式中 γ_L——溶液重度，kg/m³；

M_c——溶剂C的分子量。

各种气体在水中的E值列于表9-17。E值越大，气体的溶解度越小。且E值随温度的升高而增大。

表9-18、表9-19、表9-20，分别为氨、二氧化硫及氯化氢在水中的溶解度。

2. 吸收速率方程式

吸收过程是气体中的有害组分从气相转移到液相吸收剂中传质过程，实际上是个扩散过程。溶质组分由气相中心扩散到相界面的速率为

$$N_A = \frac{D_{AB} p_t}{RT z_G p_{Bm}} (p_A - p_{Ai})$$

表 9-17 若干气体在水中的亨利常数E之值(E atm)

气体	$E\times10^{-4}$															
	0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃	40℃	45℃	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
氮	12.9		12.6		12.5		12.4		12.1		11.5					
氢	5.79	6.05	6.36	6.61	6.83	7.07	7.29	7.42	7.51	7.60	7.65	7.65	7.61	7.55	7.51	7.45
氦	5.20	5.97	6.68	7.38	8.04	8.65	9.24	9.85	10.4	10.9	11.3	12.0	12.5	12.6	12.6	12.6
空气	4.32	4.88	5.49	6.07	6.64	7.20	7.71	8.23	8.70	9.11	9.46	10.1	10.5	10.7	10.8	10.7
一氧化碳	3.52	3.96	4.42	4.89	5.36	5.80	6.20	6.59	6.96	7.29	7.61	8.21	8.45	8.45	8.46	8.46
氧	2.55	2.91	3.27	3.64	4.01	4.38	4.76	5.07	5.38	5.63	5.88	6.29	6.63	6.87	6.99	7.01
甲烷	2.24	2.59	2.97	3.37	3.76	4.13	4.49	4.86	5.20	5.51	5.77	6.26	6.66	6.82	6.92	7.01
一氧化氮	1.09	1.93	2.18	2.42	2.64	2.87	3.10	3.31	3.52	3.72	3.90	4.18	4.38	4.48	4.52	4.54
乙烷	1.26	1.55	1.80	2.26	2.63	3.02	3.42	3.83	4.23	4.63	5.00	5.65	6.23	6.61	6.87	6.92
乙烯	0.552	0.633	0.769	0.895	1.02	1.14	1.27									
丙烯		0.365*	0.440	0.523*	0.599*											
臭氧	0.194	0.218	0.248	0.288	0.376	0.457	0.598	0.818	1.20		2.74					
COS	0.092	0.117	0.148	0.182	0.219	0.259	0.304									
氧化亚氮		0.117	0.141	0.166	0.198	0.225	0.259	0.302								
二氧化碳	0.0728	0.0876	0.104	0.122	0.142	0.164	0.186	0.209	0.233	0.257	0.283	0.341				
乙炔	0.072	0.084	0.096	0.108	0.121	0.135	0.146									
硫化氢	0.0268	0.0315	0.0367	0.0423	0.0483	0.0545	0.0609	0.0676	0.0745	0.0814	0.0884	0.103	0.119	0.135	0.144	0.145
溴	0.00213	0.00275	0.00366	0.00466	0.00593	0.00737	0.00905		0.0133		0.0191	0.0251	0.0321	0.0404		
甲烷	2.24	2.58	2.97	3.37	3.76	4.13	4.49	4.86	5.20	5.51	5.77	6.26	6.66	6.82	6.92	7.01
氡	0.0268	0.033	0.0394	0.0455	0.053	0.0596	0.066	0.073	0.079	0.085	0.089	0.096	0.098	0.096	0.095	
二氧化硫	0.00165	0.002	0.00242	0.0029	0.0035	0.00408	0.00479	0.0056	0.00652	0.00753	0.0086	0.011	0.0137	0.0168	0.00193	

* 内插值

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 9-18 氨在水中的溶解度

每100份重H_2O中NH_3的重量(g)	NH_3 的分压 (mmHg)							
	0℃	10℃	20℃	25℃	30℃	40℃	50℃	60℃
100	947							
90	785							
80	636	987						
70	500	780						
60	380	600	945					
50	275	430	686					
40	190	301	470	—	719			
30	119	190	298	—	454	692		
25	89.5	144	227	—	352	534	825	
20	64	103.5	166	—	260	395	596	834
15	42.7	70.1	114	—	179	273	405	583
10	25.1	41.8	69.6	—	110	167	247	361
7.5	17.7	29.9	50.0	—	79.7	120	179	261
5	11.2	19.1	31.7	—	51.0	76.5	115	165
4	—	16.1	24.9	—	40.1	60.8	91.1	129.2
3	—	11.3	18.2	23.5	29.6	45	67.1	94.3
2.5	—	—	15.0	19.4	24.4	(37.6)*	(55.7)	77.0
2	—	—	12.0	15.3	19.3	(30.0)	(44.5)	61.0
1.6	—	—	—	12.0	15.3	(24.1)	(35.5)	48.7
1.2	—	—	—	9.1	11.5	(18.3)	(26.7)	36.3
1.0	—	—	—	7.4	—	(15.4)	(22.2)	30.0
0.5	—	—	—	3.4				

*有括号者系由插入法算得的数据。

表 9-19 二氧化硫在水中的溶解度数值

g SO_2/100gH_2O	SO_2 的分压 (mmHg)							
	0℃	7℃	10℃	15℃	20℃	30℃	40℃	50℃
20	646	657						
15	474	637	726					
10	308	417	474	567	698			
7.5	228	307	349	419	517	688		
0.5	148		226	270	336	452	665	
2.5	69	92	105	127	161	216	322	458
1.5	38	51	59	71	92	125	186	266
1.0	23.3	51	37	44	59	79	121	172
0.7	15.2	20.6	23.6	28.0	39.0	52	87	1.6
0.5	9.9	13.5	15.6	19.3	26.0	36	57	82
0.3	5.1	6.9	7.9	10.0	14.1	19.7	—	—
0.2	2.8	3.7	4.6	5.7	8.5	11.8	—	31.0
0.15	1.9	2.6	3.1	3.8	5.8	8.1	12.9	20.0
0.10	1.2	1.5	1.75	2.2	3.2	4.7	7.5	12.0
0.05	0.6	0.7	0.75	0.8	1.2	1.7	2.8	4.7
0.02	0.25	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	1.3

表 9-20 氯化氢在水中的溶解度数据

每100份重量H_2O中之HCl重 (g)	HCl 的 分 压 (mmHg)						
	0℃	10℃	20℃	30℃	50℃	80℃	110℃
78.6	510	840					
66.7	130	233	399	627			
56.3	29.0	56.4	105.5	188	535		
47.0	5.7	11.8	23.5	44.5	141	623	
38.9	1.0	2.27	4.90	9.90	35.7	188	760
31.6	0.175	0.43	1.00	2.17	8.9	54.5	253
25.0	0.0316	0.084	0.205	0.48	2.21	15.6	83
19.05	0.0056	0.016	0.0428	0.105	0.55	4.66	28
13.64	0.00099	0.00305	0.0088	0.0234	0.136	1.34	9.3
8.70	0.000118	0.003583	0.00178	0.00515	0.0344	0.39	3.10
4.17	0.000018	0.000069	0.00024	0.00077	0.0064	0.095	0.93
2.04		0.0000117	0.000044	0.000151	0.0014	0.0245	0.28

式中 N_A——溶质A由气相中心扩散到相界面的对流扩散速率，kmol/h·m²；

D_{AB}——气相扩散系数，m²/h；

p_t——系统总压，atm；

R——气体常数，0.08206m³atm/kmol·K；

z_G——气膜厚度，即气相扩散距离，m；

T——温度，K；

p_A——组分A在气相主体中的分压，atm；

p_{Ai}——组分A在相界面处的分压，即组分A的平衡分压，atm；

p_{Bm}——组分B（惰性气体）在气相主体中与相界面处的分压的对数平均值，atm；

$$p_{Bm}=\frac{(p-p_{Ai})-(p-p_A)}{\ln\frac{p-p_{Ai}}{p-p_A}}$$

溶质A由相界面通过液膜进入液相主体的吸收速率为

$$N_A=\frac{D_{AC}(c_A+c_C)}{z_L c_{cm}}(c_{Ai}-c_A)$$

式中 N_A——溶质A由相界面扩散到液相主体的对流扩散速率，kmol/m²·h；

D_{AC}——液相扩散系数，m²/h；

z_L——液膜厚度，即液相扩散距离，m；

c_{Ai}、c_A——相界面处和液相主体中溶质A的摩尔浓度，kmol/m³；

c_c——吸收剂C在液相中的摩尔浓度，kmol/m³；

c_{cm}——吸收剂C在相界面与液相主体中的浓度的对数平均值，kmol/m³。

对于稀溶液 $c_c \gg c_A$，则上式可简化为

$$N_A=\frac{D_{AC}}{z_L}(c_{Ai}-c_A)$$

吸收速率＝推动力/阻力，其中推动力是推浓度差，吸收阻力的倒数称为吸收系数。因此吸收速率关系又可写成：吸收速率＝吸收系数×推动力。相应于上两式中：气、液相推动

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

力分别为p_A-p_{Ai}、$c_{Ai}-c_A$，气、液膜的吸收系数分别为k_G、k_L。即

$$k_G=\frac{D_{AB}P}{RTZ_GP_{Bm}} \quad k_L=\frac{D_{AC}}{Z_L}$$

则上两式可写成：

$$N_A=k_G(p_A-p_{Ai})$$

$$N_A=k_L(c_{Ai}-c_A)=Hk_L(p_{Ai}-p_A^*)$$

可得

$$\frac{1}{K_G}=\frac{1}{k_G}+\frac{1}{Hk_L} \quad 则N_A=K_G(p_A-p_A^*)$$

$$\frac{1}{K_L}=\frac{H}{k_G}+\frac{1}{k_L} \quad 则N_A=K_L(c_A^*-c_A)$$

$$K_G=HK_L$$

式中 K_G——以$(p_A-p_A^*)$表示推动力的气相吸收传质总系数，kmol/m²·h·atm；

K_L——以$(c_A^*-c_A)$表示推动力的液相吸收传质总系数，m/s。

以比摩尔分数X、Y表示吸收推动力，其吸收速率：

$$N_A=K_Y(Y_A-Y_A^*)$$

$$N_A=K_X(X_A^*-X_A)$$

式中 K_Y——以$(Y_A-Y_A^*)$表示的气相推动力的吸收总系数，kmol/m²·h；

K_X——以$(X_A^*-X_A)$表示的液相推动力的吸收系数，kmol/m²·h；

$(Y_A-Y_A^*)$——气相中A组分的浓度与平衡浓度之差，即气相传质推动力，kmol/kmol；

$(X_A^*-X_A)$——液相中A组分浓度与平衡浓度之差，即液相传质推动力，kmol/kmol。

两相浓度很低时：

$$K_Y=K_Gp_t$$

$$K_X=K_L\rho'$$

$$K_Y=\frac{Hp_t}{\rho'}K_X$$

式中 ρ'——溶液中溶质A和吸收剂C的总摩尔浓度，kmol/m³。

3. 吸收塔—填料塔的计算

（1）物料平衡与操作线方程式 全塔物料平衡（见图9-10）：

$$V(Y_1-Y_2)=L(X_1-X_2)$$

对任一截面MN的物料平衡：

$$Y=\frac{L}{V}X+\left(Y_1-\frac{L}{V}X_1\right)$$

上式为逆流吸收塔的操作线方程式，是一直线方程。如图9-11所示。图中操作线AB的斜率L/V为液气比。

（2）液气比 吸收剂用量L一般为

$$L=(1.1-2)L_{min}$$

式中 L_{min}——吸收剂的最小用量，kmol/h。

$$L_{min}=V\frac{Y_1-Y_2}{X_1^*-X_2}=V\frac{Y_1-Y_2}{Y_1/m-X_2}$$

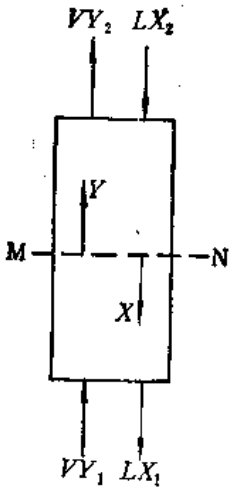


图 9-10 逆流吸收塔物料平衡

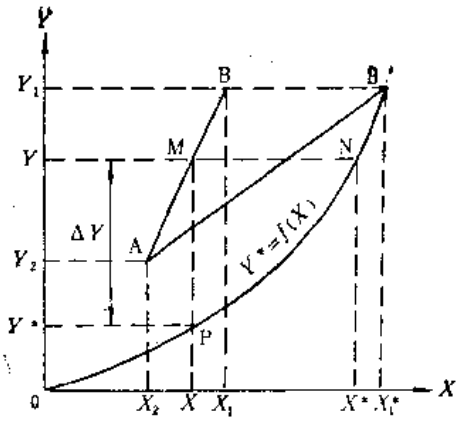


图 9-11 逆流吸收塔的操作线方程

设计吸收塔时，V、Y_1、Y_2、X_2 皆为已知数，吸收剂用量 L 与需要处理的气体量 V 之比，L/V 称为液气比，是操作线的斜率。为保证填料表面被液体充分润湿，如果单位塔截面上，单位时间内流下液体，对 75mm以内的环形填料和板距 50mm 以内的栅板填料不得少于$0.08m^3/m^2\cdot h$，对于较大的填料不得少于$0.12m^3/m^2\cdot h$。

（3）塔径的计算

$$D=\sqrt{\frac{4V}{\pi w_0}} \qquad w_0=(0.5\sim0.7)w_泛$$

式中 D——吸收塔直径，m；

V——操作条件下混合气体的体积流量，m^3/s；

w_0——空塔速度，即按空塔截面计算的混合气体的线速度，m/s；

$w_泛$——泛点的空塔速度，m/s。

填料塔的液泛速度用下面的图9-12通用关联图求取：

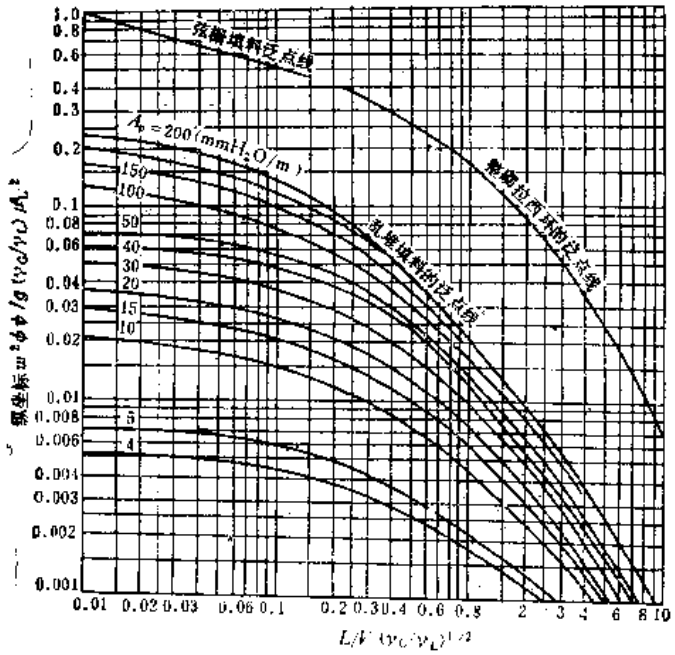


图 9-12 填料塔液泛速度通用关联图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

w——在此为液泛速度，m/s；

ϕ——由实验测定的有效填料因子，1/m；

ψ——水的重度与液相重度之比，$\frac{kg/m^3}{kg/m^3}$；

g——重力加速度，9.81m/s²；

γ_G/γ_L——气体与液体的重度之比，$\frac{kg/m^3}{kg/m^3}$；

μ_L——液体粘度，cP；

L/V——液体和气体重量流速之比，$\frac{kg/h}{kg/h}$。

亦可用经验公式求取：

$$\log\left[\frac{w_f}{g}\cdot\frac{a}{\varepsilon^3}\cdot\frac{\gamma_G}{\gamma_L}\cdot\mu_L^{0.16}\right]=b-1.75\left(\frac{L}{V}\right)^{\frac{1}{4}}\left(\frac{\gamma_G}{\gamma_L}\right)^{\frac{1}{8}}$$

式中 w_f——液泛速度，m/s；

a/ε^3——干填料因子，1/m；

其它符号同前。

常数 b 的值，拉西环为0.22，弧鞍形填料为0.26。

（4）填料层压力降的计算

可用图9-12通用关联图，计算出纵、横坐标，由图中读出压力降。纵坐标中的w，在此为空塔气速w_0。

用阻力系数法求取时：

$$\Delta p=\zeta\cdot z\cdot\frac{w_0^2\gamma_G}{2g}=0.051\zeta Zw_0^2\gamma_G$$

式中 Δp——填料层压降，mmH_2O；

ζ——阻力系数；

Z——填料层高度，m。

其它符号同前。

如用压力降计算公式，则

$$\Delta p=\alpha\cdot10^{\beta\frac{L'}{\gamma_L}}\cdot\left(\frac{V'}{\gamma_G}\right)\cdot Z$$

式中 Δp——压力降，mmH_2O/m填料层；

L'、V'——液体及气体单位塔截面上的重量流量，$kg/m^2\cdot h$；

γ_L、γ_G——液体及气体的重度，kg/m^3；

Z——填料层高度，m；

α、β——实验常数，其值随填料种类而不同。见表9-21。

上式只适用于载点以下，否则压力降值偏低。

（5）填料层高度

等板高度法：

填料层高度（Z）= 等板高度 × 理论塔板数

等板高度HETP可由默奇（Murch）经验公式求取：

表 9-21 上式中的常数$\alpha\beta$

填料	名义尺寸 (in)	$\alpha\times10^{6}$	$\beta\times10^{2}$	填料	名义尺寸 (in)	$\alpha\times10^{6}$	$\beta\times10^{2}$
拉西环（磁制）	$\frac{3}{4}$	3.54	1.48	弧鞍形（磁制）	$\frac{3}{4}$	2.59	0.967
	1	3.46	1.42		1	1.73	0.967
	$1\frac{1}{2}$	1.30	1.35		$1\frac{1}{2}$	0.864	0.740
	2	1.21	0.967	矩鞍形（磁制）	1	1.34	0.910
拉西环（金属制）	$\frac{5}{8}$	5.19	1.59		$1\frac{1}{2}$	0.605	0.740
	1	1.81	1.19	鲍尔环（金属制）	1	0.648	0.853
	$1\frac{1}{2}$	1.25	1.14		$1\frac{1}{2}$	0.0346	0.910
	2	0.994	0.768		2	0.0259	0.683

$$H.E.T.P = C_1 G^{C_2} D^{C_3} Z^{\frac{1}{3}} \frac{\alpha\mu_L}{\rho_L}$$

式中 H.E.T.P——等板高度，m；

G——气相的空塔质量速度，kg/m²·h；

D——塔径，m；

Z——填料层高度，m；

α——相对挥发度；

μ_L——液相粘度，mN·s/m²；

ρ_L——液相密度，kg/m³；

C_1、C_2、C_3——常数，取决于填料类型尺寸，部分数据见表9-22。

表 9-22 默奇公式中的常数值

填料类型	尺寸	C_1	C_2	C_3
陶磁拉西环	9	1.36×10^{4}	−0.37	1.24
	12.5	4.48×10^{4}	−0.24	1.24
	25	2.39×10^{3}	−0.10	1.24
	50	1.5×10^{3}	0	1.24
弧鞍	12.5	2.55×10^{4}	−0.45	1.11
	25	2.11×10^{3}	−0.14	1.11

上式适用条件：为 α 值不大于 3 的碳氧化合物蒸馏系统。全回流或大回流比的常压操作。气速的泛点率为25～80%，气体质量流速为0.18～2.5kg/m²·s。填料层高度为0.9～3m，塔径为50～750mm，填料尺寸不大于塔径的1/8。

传质单元法：

填料层高度 Z = 传质单元高度 × 传质单元数

传质单元高度 H_{OG} (H.T.U)：

$$H_{OG} = \frac{V}{K_Y a \Omega}$$

式中 V——气相的摩尔流量，kmol/h；

K_Y——气相吸收总系数，kmol/m²·s；

a——单位体积填料层所提供的有效接触面积，m²/m³；

Ω——塔截面积，m²。

传质单元数 N_{OG} (N.T.U)：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$N_{OG}=\int_{Y_2}^{Y_1}\frac{dY}{Y-Y^*}$$

如按液相传质总系数计算，则

$$H_{OL}=\frac{L}{K_X a\Omega}$$

$$N_{OL}=\int_{X_2}^{X_1}\frac{dX}{X^*-X}$$

所以，$Z=H_{OG}N_{OG}$ 或 $Z=H_{OL}N_{OL}$

传质单元数可用图解积分法、对数平均推动力法、解析法、梯次图解法等求得。

9.4.5.4 吸附净化法

1. 一般概念

吸附操作是利用多孔性的固体处理流体混合物，使其中的一种或数种组分被吸附在固体表面上，以达到流体中组分彼此分离的目的。吸附分离可用于气体的干燥、溶剂蒸气的回收清除气体中的某些杂质、产品的脱色、水的净化等。

吸附是相界面的扩散过程。是一种固体表面现象。只是具有较大内表面的固体才具有吸附能力。当被吸附物的分子与固体表面分子间的作用力为分子间引力时，为物理吸附；其作用力为化学反应力时，称化学吸附。

气体吸附，可以清除空气中浓度相当低的某些有害物质，是有害物质净化回收的重要方法。

2. 吸附剂

工业使用的吸附剂应具有下列条件：

具有良好的选择性；

具有巨大的内表面。即要求吸附剂具有较大的吸附量；

具有良好的再生能力和耐磨强度；

具有物资丰富、成本低廉的特点。

常用的吸附剂为活性炭、分子筛、硅胶、以及新研制的复合吸附剂等。

3. 吸附理论

朗格缪尔（Langmuir）单分子吸附方程：

$$a=\frac{ABp}{1+Bp}$$

式中 a——单位吸附剂吸附的物质量；

p——吸附质在气相中的分压；

A、B——常数，由吸附剂和吸附质的性质而定。

朗格缪尔方程式还可写成：

$$\frac{p}{V}=\frac{1}{BV_m}+\frac{p}{V_m}\quad 或\quad \frac{1}{V}=\frac{1}{V_m}+\frac{1}{BV_m}\cdot\frac{1}{p}$$

式中 V——单位吸附剂表面吸附气体的体积；

V_m——单位吸附剂表面饱和吸附气体的体积，即单分子层覆盖其表面所需气体体积。

上式是朗格缪尔关系式的线性形式。用$\frac{1}{V}$与$\frac{1}{p}$作图，其截距为吸附体积V_m，直线的

斜率可求出B。

B.E.T (Brunauer Emmett Teller) 多分子层吸附方程：

$$\frac{p}{V(p^\circ - p)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C-1}{V_m \cdot C} \cdot \frac{p}{p^0}$$

式中 p——被吸附气体的平衡分压；

p^0——同温度下该气体的饱和蒸气压；

C——常数，与吸附气化热有关；

V、V_m同前。

如用平衡分压下的吸附量a代替p，用单分子层的饱和吸附量a_m代替V_m，则可得：

$$\frac{p}{a(p^0 - p)} = \frac{1}{a_m \cdot C} + \frac{C-1}{a_m \cdot C} \cdot \frac{p}{p^0}$$

以p/p^0为横坐标，以$\frac{p/p^0}{V(1-p/p^0)}$为纵坐标$\left(或以\frac{p/p^0}{a(1-p/p^0)}为纵坐标\right)$作图，得一直线。截距为$1/CV_m$（或$1/Ca_m$），斜率为$(C-1)/CV_m$（或$(C-1)/Ca_m$）。

用B.E.T公式可求得吸附剂的比表面积S：

$$S = a_m \cdot N_A \cdot \sigma$$

式中 N_A——阿佛加德罗常数，为6.023×10^{23}；

σ——每个吸附物分子的截面积。

4. 吸附速率方程式

$$\frac{dx}{d\tau} = K_V(y - y^*)$$

式中 x——被吸附的组分量，kg/m^3；

τ——吸附时间，s；

y——被吸附组分在气体混合物中的浓度，kg/m^3；

y^*——与单位体积吸附剂吸附的组分量相平衡时，组分在气体混合物中的浓度，kg/m^3；

K_V——体积传质系数，$kg/m^3 \cdot s \cdot kg/m^3$或$1/s$。可由下式计算。

$$K_v = 1.6\frac{Dw^{0.54}}{\nu^{0.54}d^{1.46}}$$

式中 D——扩散系数，m^2/s；

w——气体混合物的流速，m/s；

ν——动粘度，m^2/s；

d——吸附剂颗粒的直径，m。

5. 用吸附法回收有机溶剂

用马扎克（B.T.Magak）公式计算有机溶剂的散发量G：

$$G = (5.38 + 4.1w)p^0 \cdot F \cdot \sqrt{M} \quad g/h$$

式中 w——车间内风速，m/s；

p^0——有机溶剂在室温时的饱和蒸气压，mmHg；

F——有机溶剂散发的面积，m^2；

M——有机溶剂的分子量。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

除上式外，尚可用蒸发速度的倒数作近似计算。亦可按溶剂的消耗量计算。

活性炭层的保护作用时间 τ 的求取：

$$x = a \cdot S \cdot L \cdot \gamma$$

$$x = w \cdot S \cdot c_0 \cdot \tau$$

式中 x——在吸附时间 τ 内的吸附量，kg；

a——平衡静活度值，重量%；

S——吸附层的截面积，m^2；

L——吸附层的厚度，m；

γ——吸附剂的松密度，即堆积比重，kg/m^3；

w——气流速度，m/s；

c_0——气流中吸附质的初浓度，kg/m^3。

$$\tau = KL - \tau_0$$

式中 τ_0——保护作用时间损失，$\tau_0 = Kh$；

K——为吸附层的保护作用系数；$K = \dfrac{a\gamma}{wc_0}$；

h——吸附层中未被利用的厚度，称“死层”。或$\tau = K(L - h)$

由每次间歇吸附所得的物质量 G：

$$G = m \cdot S \cdot (C_0 - C_{出})\tau \text{或} G = G_{剂}(A_{终} - A_{初})$$

式中 w——按吸附剂截面计算的气流速度；

S——吸附层截面积；

C_0——气流的初浓度；

$C_{出}$——出吸附器气流中的残留浓度；

τ——吸附持续时间；

$G_{剂}$——吸附剂重量；

$A_{初}$、$A_{终}$——解吸后，新使用的和吸附终了时，吸附剂中吸附质的百分数。

$$\tau = \frac{G_{剂}(A_{终} - A_{初})}{W \cdot S(C_0 - C_{出})}$$

6. 活性炭的吸附热

$$q = m \cdot A^n$$

式中 q——吸附热，kcal/kg炭；

A——已吸蒸气量，l/kg炭；

m、n——常数，其值见表9-23。

缺乏实验数据时，如用活性炭作吸附剂，则可用特鲁顿（Trouton）法则，求吸附热。

$$q/\sqrt{T_b} = 520$$

式中T_b为常压下吸附质的沸点。

表 9-23 上式中的m、n值

物质名称	分子式	n	m
氯乙烷	C_2H_5Cl	0.915	0.7385
二硫化碳	CS_2	0.9205	0.7525
甲醇	CH_3OH	0.938	0.742
溴乙烷	C_2H_5Br	0.900	0.900
碘乙烷	C_2H_5I	0.956	0.737
氯仿	$CHCl_3$	0.935	0.8285
甲酸乙脂	$HCOOC_2H_5$	0.9075	0.944
苯	C_6H_6	0.959	0.774
乙醇	C_2H_5OH	0.928	0.871
四氯化碳	CCl_4	0.930	0.893
乙醚	$(C_2H_5)_2O$	0.9215	0.917

7. 活性炭层的阻力计算

气流通过静止炭层时，压力降为

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d_{当}} \cdot \frac{w_{标}^2 \gamma}{2g}$$

式中 λ——外摩擦系数；

L——吸附剂层厚度，m；

$d_{当}$——当量直径，m；

$w_{隙}$——气体在吸附剂层的空隙中的速度，m/s；

γ——气体重度，kg/m³；

g——重力加速度，m/s²。

$$d_{当}=\frac{4V_{隙}}{\sigma}$$

式中 $V_{隙}$——吸附剂床层的空隙度，m³/m³；

σ——每单位体积床层中吸附剂颗粒的表面积，m²/m³。

9.5 车间空气中有害物质的测定

9.5.1 空气样品的采集

空气样品的采集直接关系到测定结果的可靠性，倘若采集的样品不合格，则用任何灵敏、准确、精密的分析方法所测定的结果也是不能反映现场真实情况。因此，如何正确地采集有代表性的空气样品是空气监测中的首要问题。

9.5.1.1 采集方案的设计

采集方案的设计是根据测定的有害物质的特点、劳动环境的条件、测定人员及测定手段的可能性来确定采样位置、采样点数、采样时机和采样频率。设计一个切实可行、有实用价值的采样方案依据如下。

1．根据测定目的确定采样类型

空气采样分为两大类。一类是定点采样，即采样仪器放在选定的位置，采样过程中仪器位置不动，测得结果是该点的瞬间浓度或短时间内的平均浓度。它包括直接采样和浓缩采样。另一类是个体采样，即将小型个体采样器佩带在工人呼吸带附近，采集工人整个工作日内接触的累积毒物，测定结果是接触毒物的时间加权平均浓度。

空气监测的目的可分为以下四种：

（1）劳动环境的定期监测，以确定有害物质的污染程度；

（2）评价有害物质治理设备的性能及其效果；

（3）为调查劳动环境中有害物质对操作人员的人体影响所进行的测定；

（4）对有怀疑的地点采取随机的测定，以便及时解决问题。

对于第（1）、（2）、（4）种测定目的通常采用定点采样；为达到第（3）种目的应选用个体采样方法，以测定操作人员在一个工作日内接受有害物质的平均浓度。

2．劳动环境的调查及现存资料的整理

劳动环境调查主要内容及目的：

（1）被测毒物的理化性质、进入人体的途径、在空气中的存在状态。根据有害物质存在的状态选择采样方法。参见表9-24。

（2）调查产生有害物质的生产工艺过程及其伴随产物，以除去采样及分析中的干扰物质。

（3）了解生产方式是连续型还是间歇型，生产过程中是否有跑、冒、滴、漏等现象。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 9-24 各类有害物质采样方法

分类		存在状态	
气态	气体 蒸气	分子状态	直接采样、气泡吸收管、U型玻砂吸收管、个体剂量计、个体毒物采样器
气溶胶	雾	液体小微粒	U型玻砂吸收管、纤维滤料、冲击式采样器
	烟	固体小微粒	纤维滤料、个体粉尘采样器、冲击式采样器
	尘	固体小微粒	纤维滤料、个体粉尘采样器

其目的是选择采样点及采样时机。

（4）了解整个劳动环境中有害物质的分布概况及有问题的局部区域和主要操作岗位有害物质浓度随时间的分布，并查明形成高浓度的原因及频率。

（5）操作人员的作业位置与时间分配关系。

（6）劳动环境的气象条件、通风状况。

（7）生产量及空气中有害物质浓度的关系。

现存资料的整理十分重要。根据累积资料中的生产量、设备性能、气象条件、劳动环境中有害物质的浓度、劳动者健康状况等，可以预测出空气中有害物质浓度的变化趋势，也为设计采样方案提供资料。

3. 采样点的确定

（1）欲评价劳动环境有害物质的污染程度，采样点应设在作业人员经常操作地点和活动场所的呼吸带高度处。采样点要有代表性，其数量要大于车间内的岗位数。

（2）欲评价劳动环境污染物的分布，采样点选择的原则是在平面图上纵横方向以 3 m 间隔等距划线，纵横线的全部交点处规定为测定点，该点采样高度仍在操作者呼吸带高度处。实际上各现场情况不同，可以进行修正，参见图9-13。若劳动现场狭窄也应设法使采样点数目大于 5 个；若劳动现场范围很大按 3 m 原则确定采样点数目大于30个时，可以适当放宽 3 m 的间隔，但各线间距仍需一致；若劳动现场由长方形或曲线构成，采样点的纵横间隔可以不同，但纵向或横向应取相同间隔；若按上述确定的采样点正好与设备重合时，该点除外。

（3）欲评价劳动环境有害物质对操作者人体的影响，个体采样器应佩戴在劳动者的胸前，累积计量一个劳动者在一个工作日内接受的毒物。

（4）欲评价治理设备的性能应在设备上开孔采集管道内气体进行测定。由于气溶胶（雾、烟、尘）微粒的质量较大，受气流影响在管道内分布不均匀，因此在设备上正确地选择采样位置和确定采样点的数目，对于采集有代表性的样品是非常重要的。气体状态的有害物质在管道内分布比较均匀，对采样位置和采样点数目的要求不严格。

① 采样位置。采样位置要尽可能放在管道气流平稳的管段中，距弯头、接头、阀门和其它变径管道下游方向大于 6 倍直径处，或在其上游方向大于 3 倍直径处，最小不应小于管道直径的1.5倍处。该位置气流比较平稳、微粒分布比较均匀，可以采集到有代表性的样品。此外还应注意在水平管段中由于重力沉降作用，较大微粒有偏离流线向下运动的趋势，使得微粒分布不如垂直管段内均匀，故选择采样位置时应优先考虑垂直管段。

② 采样孔和采样点。采样位置选定后，采样孔和采样点根据管道的大小及断面形状而定。将管道断面划分为适当数量的等面积环（或方块），在各等面积环（方块）上定出采样点。圆形和矩形管道采样点确定方法如下：

a．圆形管道。在圆形管道采样位置的断面上彼此垂直的两个孔作为采样孔，将管道的断面分成一定数量的同心等面积圆环，沿着相互垂直的两个采样孔的直径方向，在每个等面积圆环上各取四个点作为采样点。见图9-14。若采样断面流速分布比较均匀时，可设置一个采样孔，采样孔减少一半。不同直径圆形管道等面积环数和各采样点距管道内壁的距离见表9-25。

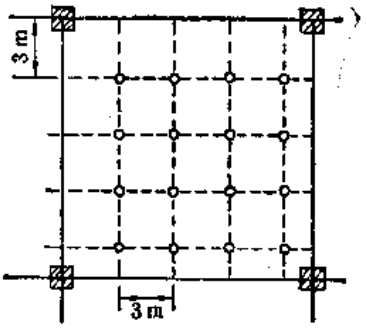


图 9-13 测定点（作业场所、场合）
○表示测定点

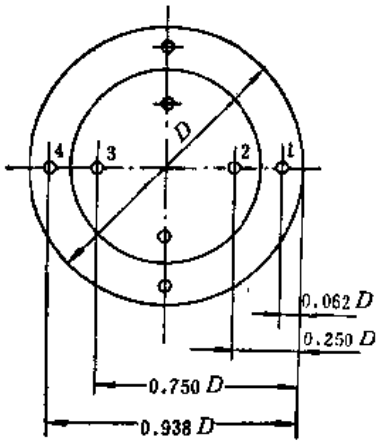


图 9-14 测定点（有设备场合）

表 9-25 圆形管道的分环数及各点距离内壁的距离

管道直径 (m)	分环数 (个)	各采样点距管道内壁的距离（以管道直径为单位）									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<0.5	1	0.146	0.853								
<1	2	0.067	0.250	0.750	0.933						
1~2	3	0.044	0.146	0.294	0.706	0.853	0.956				
2~3	4	0.033	0.105	0.195	0.321	0.679	0.805	0.895	0.967		
3~5	5	0.022	0.082	0.145	0.227	0.344	0.656	0.773	0.855	0.918	0.978

b．矩形管道。管道断面分为等面积矩形小块。各块中心即为采样点。见图9-15。不同面积矩形管道面积小块数见表9-26。

表 9-26 矩形管道的分块和采样点数

烟道断面积(m^2)	等面积小块数	测 点 数
1以下	2×2	4
1~4	3×3	9
4~9	4×3	12

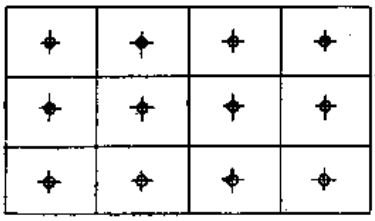


图 9-15 决定测定点的方法
（作业场所为细长条的场合）

4．采样时机及采样频率的确定

目前我国对劳动环境中有害物质监测频率没有统一规定，现将化工部颁发的《化工企业劳动环境有害因素监测工作管理办法》中的第六条测定间隔时间和采样样品数。供参照。

粉尘：含游离二氧化硅大于50%的粉尘和石棉尘每月测定两次；含游离二氧化硅大于10%

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

至50%的粉尘每月测定一次，含游离二氧化硅10%及小于10%的粉尘和其它粉尘每季度测定一次。每次测定都应采取两个平行样品。

化学矿山粉尘中游离二氧化硅含量每半年测定一次，其它粉尘每一年测定一次。

毒物：按毒物对人体的危害程度而确定间隔时间。根据化工部颁发（81）化劳字第644号文《化工严重有毒有害作业工种范围表》中规定的产品中生产所接触的主要毒物每月测定两次；其它毒物每月测定一次。测定时应采两个平行样品。

经5次测定均达到卫生标准的测定点，可适当延长测定间隔时间（但不能超过三个月测一次）。

采样时机的选择取决于劳动环境中有毒物质浓度随时间的分布。对连续型生产一般应在生产正常运转1小时采集样品；对间歇型生产应依采样目的确定采样时机，但各次采样时机应相同。

5．采气量及采样效率的确定

浓缩法采集空气样品时，假定劳动环境空气中有害物质的浓度在国家最高容许浓度水平，根据测定方法的检测下限所需要的采气体积称之为最小采气体积或最小采气量。计算公式如下：

$$V = \frac{s \cdot a}{c \cdot b}$$

式中 V——采气量，L；

s——测定方法的检测下限，μg/ml；

c——车间空气中有害物质最高容许浓度，mg/m³；

a——样品总体积，ml；

b——分析时取样体积，ml。

根据现场实际情况需修正采气体积。现场浓度过高时，应尽量减小采气量，以保证样品中有害物质的含量在标准系列的线性范围内，同时还可以节约采集时间；反之，现场浓度过低，要加大采气量，以保证测定结果准确。

采气体积应换算成标准状况（760mmHg，273K）下的气体体积：

$$V_0 = V_t \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{p}{760}$$

式中 V_0——标准状况下气体体积，L；

V_t——现场采气体积，L；

t——现场温度，℃；

p——现场大气压，mmHg。

采样效率：

$$K = \frac{c_1}{c_1 + c_2} \times 100\%$$

式中 K——采样效率；

c_1、c_2——第一、二收集器中有害物质的含量。

一般采样效率在90%以上的采样方法可以选用。

9.5.1.2 采样方法

空气采样{定点采样{直接采样 / 浓缩采样；个体采样}

1. 直接采样

直接抽取现场空气进行测定，该采样方法称之为直接采样。

采样仪器：常用的仪器有真空采样瓶，一般容积为1000ml；采气管容积为100~1000ml，医用100ml注射器；塑料袋；球胆等。

误差来源：

① 吸附或解吸作用可引入误差。吸附与解吸是可逆过程，由于吸附作用可使被测组分浓度降低而形成负误差；脱附作用可使被测组分浓度增加形成正误差或引入其它组分。为此用注射器采样时需用现场空气抽洗3～4次；用采气管时需用10～15倍采气管容积的现场空气通过采气管；用真空瓶采样时一定要与现场空气平衡3～5分钟后再关闭活塞。

② 渗透作用可引入误差。塑料袋有渗透作用。各种塑料渗透率不同，一般公认聚酯薄膜渗透率低。

③ 有害物质与采样器壁的化学作用也可引入误差。

④ 采样容器是否漏气。如塑料袋上是否有小孔；注射器、真空瓶、采气管的活塞是否漏气。

2. 浓缩采样

浓缩采样是采集一定量的空气样品，使之通过吸附液或吸附剂，将有害物质吸收或阻留，使有害物质得到富集。

（1）采样仪器　根据富集的原理设计的采样仪器基本上包括收集器、流量计和抽气动力三部分。

① 收集器。它是富集空气中有害物质的部件。常用液体吸收器及采样夹两类。

液体吸收器：常用的有气泡吸收管（图9-16）、U形玻砂吸收管（图9-17）及冲击式采样器（图9-18）。其性能见表9-27。

表 9-27　液体吸收器性能表

名　称	吸收液容量 (ml)	空气流量 (L/min)	采样对象	采样效率
大型气泡吸收管	5～10	0.5～2	气体、蒸气	一般
小型气泡吸收管	2～3	0.1～0.5	气体、蒸气	一般
U型玻砂吸收管	5～10	0.1～1	气体、蒸气、雾	通常高于气泡吸收管
冲击式采样器	5～10	3	粉尘、烟、雾的气溶胶	由尖嘴孔径和至管底的距离决定

采样夹（或采样头）：用金属或塑料制成，适用于采集粉尘、烟等。采样滤料的有效直径为30ml，可供单独滤料和两张滤料串联采样，进气端加一个盖后可改变进气口的线速度。抽气速度5～20l/min。采样夹的几种形式如图9-19所示。

采样滤料：滤料品种很多，见表9-28。一种理想的滤料应具备机械强度好，理化性质稳定，采样速度宽，采样效率高，空白值低，易进行处理等性能。在选择滤料时，主要根据采样和分析的需要，采样环境的条件等来选择性能合适的滤料。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

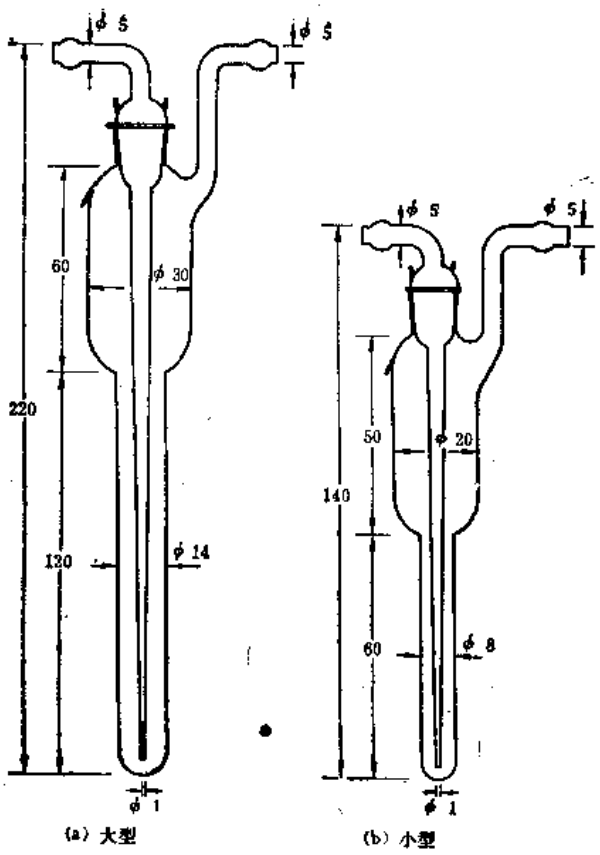


图 9-16 气泡吸收管

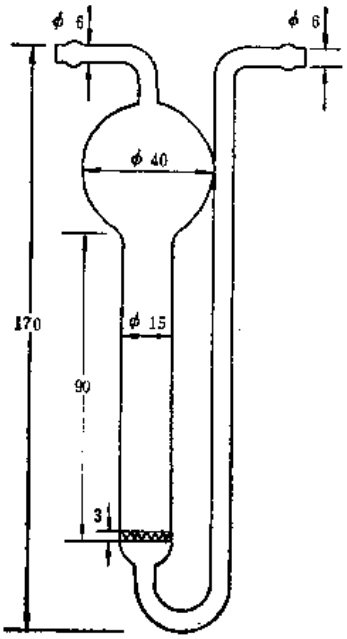


图 9-17 U型玻砂吸收管

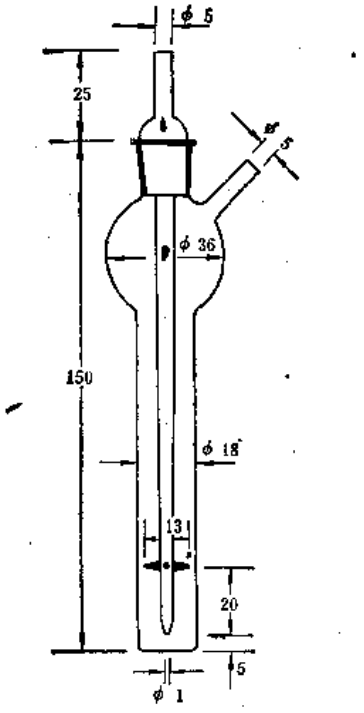


图 9-18 冲击式采样器

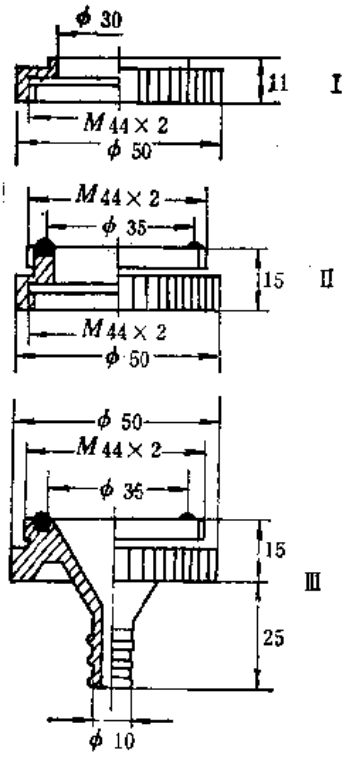


图 9-19 采样夹

表 9-28 滤料性能表

性　能	纤维滤料	玻璃纤维滤料	测尘滤膜	微孔滤膜	核孔滤膜	银　膜
制作与结构	经由纯化的天然纤维素制成，由粗细不均的纤维交织成形状及孔隙大小不规则的网状结构	纯玻璃纤维（加或不加粘合剂）制成。细微的纤维交织成网状，形成的孔隙不规则但较细	由过氯乙烯纤维制成。纤维粗细介于滤纸与玻璃纤维之间，孔隙不规则	是有机薄膜的一种。常用硝酸纤维素和醋酸纤维素制成的滤膜	由聚碳酯薄膜在核反应堆中经核裂变碎片击成孔，再经化学腐蚀形成所需大小的孔径。孔径均匀；孔呈圆柱状且垂直于滤膜表面	由细微的金属银粒烧结而成的，具有有机薄膜的相似结构
厚　度	250μm	大于1000μm	小于100μm	150μm	10μm	50～100μm
通风阻力	高	小	小	低于定量滤纸		
机械强度	好	差（疏松）	好	较差	好	
灰　分	低	高	低	很低		
采样效率	不稳定	高	高	高	低于微孔滤膜	由孔径、流量计算
亲水性	强	差	差	较差	差	差
洗　脱	不易完全	难消解	难消解	易洗脱		
特　点	孔径不均匀	耐高温	静电力强，不耐热，膜的正反面采样效率不同	质轻，表面光滑，金属元素空白值低可蒸煮	质轻，膜薄，孔径均匀，透明，价格贵	可在－129～407℃范围使用抗化学腐蚀，处理后可重复使用，价格贵

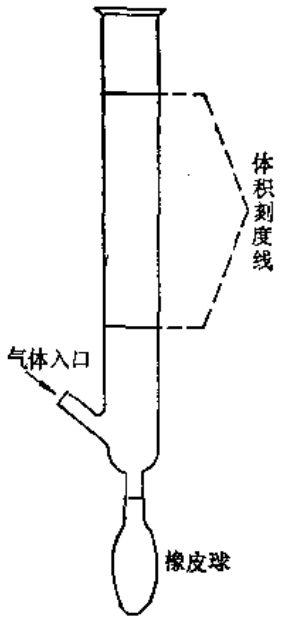


图 9-20　皂膜流量计

② 流量计。通常用转子流量计，其流量用皂膜流量计校正。

③ 采样动力。常用电动抽气机（如刮板泵、薄膜泵等）、手抽气筒、水抽气瓶、负压引射器等。

（2）误差来源

流量的测量。采样体积等于采样时间乘以采样流量。若流量测量不准或不恒定均给采样引入很大误差。为保证转子流量计的准确性，需用皂膜流量计校正。

皂膜流量计（图9-20）是由一根具有体积刻度的玻璃管和下端装有肥皂水的橡皮球组成。使用时先用皂液湿润管壁，捏一下橡皮球使气体进入皂液，形成一个皂膜，气流将此皂膜沿玻璃管上升，用秒表计录皂膜经过一定体积所需要的时间。由该体积和时间的比值计算被测气体的流量，L/mim。

温度、压力对流量有一定影响，严格地讲，使用流量计时应根据温度、压力的不同按下面近似公式进行校正。

$$Q_{760,\ 20^{\circ}C} = Q_{p,\ t}\sqrt{\frac{760-p}{760}}\cdot\sqrt{\frac{273+20}{273+t}}$$

式中 $Q_{760,\ 20^{\circ}C}$——校正后的流量；

$Q_{p,\ t}$——现场实测流量；

p、t——收集器阻力及现场温度。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

根据上式计算，当阻力在60mmHg时压力校正系数为0.96；当温度在40℃时温度校正系数为0.97；0℃时为1.03。由此看出，当收集器阻力小于60mmHg，温度在0～40℃范围内可以不校正。

（2）样品的污染　为防止污染吸收液应在实验室内盛好，两端用乳胶管封好；滤膜应放在滤膜盒内。

（3）防止样品损失

3．个体采样

（1）作用　个体采样是指在劳动者呼吸带连续采集一个工作日(8h)内的空气样品，测其时间加权平均浓度。个体采样能够反映出劳动环境中有害物质剂量与劳动者肌体效应的关系。它能够比较准确地反映劳动者一个工作日接触有害物质的真实剂量。

利用个体采样器可以对劳动者接触毒物的程度进行评价。它能比较同一作业场所劳动者接触有害物质的差异，也能够比较不同工种的劳动者接触有害物质程度以及在特定劳动环境中劳动者接触有害物质的程度。

（2）分类

个体采样器
- 抽气型个体采样器
  - 个体粉尘采样器
  - 个体毒物采样器
- 无泵型个体剂量计
  - 扩散型个体剂量计
  - 渗透型个体剂量计

（3）个体粉尘采样器　抽气型个体采样器由吸气动力、流量计及采样头组成。采样时将采样头固定在劳动者的胸前或衣领上，流量计及泵系在腰部，以0.3～2L/min的采样速度连续采样8h。

个体粉尘采样器：分为有颗粒筛选器（或淘析器）和无颗粒筛选器两种。有颗粒筛选器的个体采样器是采集可吸入粉尘；无颗粒筛选器的是采集总粉尘量。

（4）个体毒物采样器　它由流量计、泵和采样管组成，要求泵的抽气体积准确、重现性好；用于电池供电的携带式泵，流量为50～200ml/min。

采样管内填装颗粒状吸附剂，常用的固体吸附剂有活性炭、硅胶、分子筛、*Chromosorb*、*porapak*等。其中最常用的是活性炭管。

通常活性炭管用长70mm、内径4mm、外径6mm的玻璃管，管内填充20～40目活性炭两段，前段100mg，后段50mg，两段间用少许玻璃棉或聚酯类泡沫塑料隔开，两端用玻璃棉固定后用火熔封或用塑料帽密封。

（5）扩散型个体剂量计　无泵式（或被动式）个体剂量计又叫个体监测器。它不需要泵作动力、重量轻可佩戴在胸前或衣领上采样。

扩散型个体剂量计结构分为三部分：外壳、扩散屏及吸附剂。有害物质从外壳开口到吸附剂表面之间存在着浓度梯度，该浓度梯度是扩散型剂量计的采样动力。根据菲克第一扩散定律，气体分子的扩散速度与浓度梯度成正比，则在采样时间里吸附剂上有害物质的吸附量（N_t）可按下式计算：

$$N_t = \frac{DA}{\lambda} \cdot c \cdot t$$

式中　N_t——接触有害气体t时间内吸附剂中的吸附量，mg；

D——有害物质在室温、大气压下的扩散系数，cm^2/s；

A——外壳前缘开口面积，cm^2；

λ——扩散层厚度，cm；

c——空气中有害物质浓度，mg/m^3；

t——接触有害气体（即采样）时间，s。

因$\frac{DA}{\lambda}$为定值，故测定出有害物质的吸附量及接触时间后可计算空气中有害物质的浓度，即时间加权平均浓度。

（6）渗透型个体剂量计　其基本结构与扩散型类似，但多一层渗透膜。气体或蒸气穿过采样器表面的渗透膜，经过一定时间的渗透扩散，有害物质被吸附剂吸附。用定量溶剂浸取分析，测得浸取液中有害物质的总量为W_L。空气中的有害物质浓度与浸取液中有害物质总量及渗透常数K的乘积成正比，与采样时间成反比。由下式可求出劳动环境空气中有害物质浓度。

$$c=\frac{kW_L}{t}$$

9.5.1.3　采样注意事项

为保证采集的样品能如实反映劳动环境有害物质的浓度，在正确设计采样方案基础上还应注意以下几点。

（1）认真做好采样前的准备工作：例如流量计的校正、确定采气流量、采样时间、采样系统是否漏气、装置连续是否正确，以及为防止现场空气的污染，吸收管的吸收液应在实验室内装好等等。

（2）根据有害物质的毒性，采样者应加强自身防护，必要时戴防毒面具。

（3）每个采样点一般应同时平行采集两个样品。平行样品测定结果偏差不应超过20%，否则应重新采样。

（4）采样后防止样品污染或损失。例如吸收管的中心管内壁附着的有害物质，应设法转移到吸收液中；滤料采集的烟、尘物质要防止脱落损失；若吸收液采样时挥发了一部分应补充至原有体积。

（5）填写采样记录。

① 编号：每一样品都须编号。

② 采样时间：年、月、日、时、分。

③ 采样位置：厂、车间、工段、距污染源的方位、上下风向等。

④ 采气体积、采气流量、采样时间。

⑤ 采样者姓名。

（6）采样后及时分析。用活性炭管采样虽然可以存放一段时间，但要注意低温保存。

9.5.2　常用毒物测定方法

9.5.2.1　测定方法

1．可见和紫外分光光度法

原理：根据被测物质对光有选择性吸收的性质，待一定波长的入射光通过被测溶液后使光强度减弱，由入射光强度减弱的程度确定被测物质的含量。其定量关系遵循朗伯-比尔定律，即当入射光波长一定时，溶液的吸光度与液层厚度和溶液浓度之积成正比，数学表达式

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

如下：

$$A = -\lg T = abc$$

式中 A——溶液的吸光度；

T——溶液的透光率；

a——溶液的吸光系数；

b——溶液层厚度；

c——溶液浓度。

紫外与可见分光光度法（又称比色法）的区别在于物质对光的吸收波段在紫外光区，故被测物质吸光后无颜色变化。借助紫外分光光度计仍可测其吸光度，确定物质含量。

（1）仪器 分光光度计通常由光源、单色器、吸收池（或比色皿）、光电池、检流计五部分组成。各部件的作用及其使用注意事项见表9-29。

表 9-29 各部件的作用及其使用注意事项

名 称	光 源	单色器	吸收池	光电池	检流计
作用	供给一定强度的入射光	供单色光	盛被测溶液	光能转变成电能	测定光电流的大小
构成	钨丝灯 氢弧灯	棱镜或光栅	玻璃槽或石英槽	光电池或光电管	悬镜式检流计
注意事项	电压稳定	经常校正波长	保护透光面；各吸收池的透光率相差小于0.5%	防潮 防止光电池疲劳	防震，防止大电流冲击

（2）测定对象 可测金属、非金属、无机化合物及有机化合物，测定对象十分广泛。紫外分光光度法主要适合测定芳香族化合物，如联苯及联苯醚。

2．红外吸收光谱法

（1）原理 使红外光通过装有样品的吸收池，被测组分以特定的模式吸收光波，利用光谱计形成的吸光度对波长的曲线鉴别组分，而且吸光度正比于被测组分的浓度，由此可进行定量分析。

（2）仪器 与分光光度计类似，但光源为红外光源，测气体的吸收池可以是光径长度10～40m的多级反射样品池。

（3）测定对象 可测气体、液体、固体。目前国内QGS等系列不分光式红外析可测定一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、氨等。国外用红外光谱法可测定工人接触毒物后，呼出气中的一百多种有机化合物。

3．原子吸收分光光度法

（1）原理 将待测元素的溶液，通过高温转为待测元素的基态原子蒸气，基态原子蒸气对特定波长光（共振辐射）的吸收程度与蒸气中基态原子数成正比，则与原子浓度亦成正比。当入射光强度I_0，频率为ν的一束共振辐射通过厚度为L，浓度为C的基态原子蒸气时，透射光强度为I，在频率ν下的吸收系数为k_ν，则可得出以下关系式：

$$I = I_0 \cdot e^{-k_\nu CL}$$

当原子蒸气厚度一定，设$K = k_\nu L$、上式可改写成：

$$A = -\lg\frac{I}{I_0} = Kc$$

在实际工作中，只需测定试样溶液的吸光度（A）与相应的标准溶液的吸光度，便可根据标准曲线计算出被测元素的含量。

（2）仪器　原子吸收分光光度计主要由四大部分组成。

① 光源　发射待测元素的共振辐射（锐线光谱），通常用待测元素的空心阴极灯作光源。

② 原子化器。产生待分析试样的原子蒸气。原子化器分为火焰原子化器及无焰原子化器两类。

③ 分光系统　分出共振线波长。常用光栅分光系统。

④ 检测系统　检测器、放大器和读数装置、测量吸收。

（3）测定对象　主要是金属元素、如测镉、锰、锌、铅、钴、镍、铬等等。一般方法灵敏度较高。

4．荧光分析法

原理：某些物质受到一定波长的光照后，能立即放出比入射光波长稍长的光，当光照停止后该物质发射的光在10^{-8}～10^{-4}秒钟内停止。这种光称之为荧光。当一定波长的紫外光（激发光）照射于试样上，测定由试样发出的荧光光谱及其荧光强度可进行定性定量分析。

物质产生的荧光强度正比于该溶液浓度，其数学表达式如下：

$$F = 2.3\phi I_0 K a b c$$

式中　F——荧光强度；

ϕ——荧光效率；

I_0——激发光强度；

K——仪器效率；

a——吸光系数；

b——液层厚度；

c——试液浓度。

（1）仪器　荧光计包括：光源、第一滤光片或单色器（用衍射光栅）、样品池、第二滤光片或单色器及检测器五部分。光源可用汞灯或氙弧灯；第一滤光片或单色器作用是阻挡任何散射的初级光或样品中其它物质发出的荧光，而使样品发出的荧光到达检测器；检测器与激发光源成90°角。

（2）测定对象　只有在激发光作用下能产生一定荧光强度的物质，才能用此方法测定。例如沥青烟气、多环芳烃、维生素、机油雾等具有共轭不饱和体系的有机化合物；无机物不能直接测定，需与某有机物生成荧光物质后测其荧光强度，或测其荧光熄灭，例如测铍、铅、硼、锆、硒等。

5．气相色谱法

（1）分类　色谱分析中均有两相、即流动相和固定相。固定相可以是固体吸附剂，也可以是固体液涂渍在担体上的固定相；流动相可以是气体，也可以是液体。通常根据两相的状态分类如下：

流动相	固定相	分类名称	
气体	固定吸附剂	气-固色谱	气相色谱
气体	担体上涂固定液	气-液色谱	

流动相	固定相	分类名称	
液体	固体吸附剂	液-固色谱	液相色谱
液体	担体上涂固定液	液-液色谱	

（2）原理　利用各种物质在两相间具有不同的分配系数，当两相作相对运动时，试样

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

中的各组分就在两相中经多次反复的分配，使得原来分配系数只有微小差别的各组分产生很大的分离效果，从而将各组分分离。

（3）仪器　气相色谱仪主要由分析单元和控制记录单元组成。分析单元包括：气路系统、进样系统、色谱柱、检测器、恒温箱。控制记录单元包括：温度控制系统、信号放大系统及信号显示记录及数据处理系统。气相色谱仪的辅助设备主要是气源钢瓶，空气压缩机等。

（4）测定对象　主要分析沸点在400℃以下的有机化合物。在空气中有害物质的测定中可测定气体（如一氧化碳等）、有机蒸气（如烃类、有机溶剂等），某些固态、液态的有机物质（如卤代烃、有机硫磷农药等）以及某些金属有机化合物（如羰基镍、四乙基铅等）。

6．离子选择电极法

（1）原理　离子选择电极是一类具有薄膜的电极，基于薄膜的特性，电极的电位对溶液中某种离子有选择性的响应。用它作为指示电极（电极电位随被测离子活度的变化而变化的电极称为指示电极），再与参比电极（电极电位不受被测离子活度的影响，具有较恒定的数值，该种电极称为参比电极）组成原电池，通过测量原电池的电动势，可确定被指示电极响应的离子活度。

（2）仪器　离子计（要求能测至0.1mV）、离子选择电极参比电极(常用甘汞电极)、搅拌器。

（3）测定对象　主要是一价的金属或非金属离子，也可测二价离子但误差较大。目前国产的离子选择电极有：氟、氯、溴、碘、氰、钠、氨、铅、镉、钙、pH等等。

7．快速测定

使用简便的操作方法或用可携带式简易仪器在现场及时测定有害物质浓度的方法称为快速测定法。如检气管法、试纸法、溶液快速比色法。快速测定具有以下特点：

① 直接抽取现场空气进行现场分析。

② 现场分析后能及时给出测定结果。

③ 分析速度快、准确度稍差。

因此，该类方法对现场急需判明空气中有害物质浓度时是非常有效的。

（1）检气管法　检气管（又称气体测定管、气体检知管等）是一种填充了显色指示粉的细玻璃管。管内的指示粉由吸附了显色剂的载体组成。当被测空气通过检气管时，被测组分与指示粉迅速发生化学反应而显色，颜色的深浅或长短与被测组分的浓度有定量关系。目前国内外生产的检气管见表9-30。

（2）试纸比色法　使被测空气通过用试剂浸泡过的滤纸，有害物质与试剂在纸上发生化学反应生成有色化合物；或者先将被测空气通过未浸泡试剂的滤纸，然后向滤纸上滴加试剂产生颜色反应，根据生成有色物质颜色深浅与标准比色板比较定量。前者多适合于能与试剂迅速反应的气体或蒸气；后者适用于气溶胶的测定。

试纸比色法操作简单、快速，但误差较大，多为半定量方法。氯气、磷化氢、硫化氢、汞、铅、氧化锰、三氧化铬等均可用试纸比色法。

（3）溶液快速比色法　常用的溶液快速比色法有两种。一种是将吸收液本身作为显色剂。当被测空气通过吸收液时立即显色，依颜色深浅比色定量；另一种因有害物质与显色剂反应较慢，不易在采样瞬间内显色，往往先用吸收液采样后，再加入1～2种试剂，放置片刻后显色、定量。

表 9-30(a) 目前国内生产的检气管

测定物质	测量范围 (mg/m³)	灵敏度 (mg/m³)	进气量 (mL)	进气速度 (mL/s)	颜色变化
一氧化碳	10～300	10	100	1	白→棕
一氧化碳		0.001%	100	1	黄→绿→蓝
二氧化碳	400～60000	400	50	50	蓝→白
磷化氢	3～300	3	100	2	白→黑
氯气	2～250	2	200	200	黄→红
臭氧	0.4～	0.4	1000	25	红→紫
二氧化硫	10～200	10	100	1	棕黄→红
氮氧化物	3～200	3	100	1	白→黄绿
氟化氢	0.3～200	0.3	100	1	橙→粉红
丙烯腈	2～450	2	100	1	浅蓝→蓝
氨气	30～1500	30	100	1	桔黄→蓝灰
硫化氢	10～500	10	50	2	白→褐
苯	30～1700	30	100	1	白→茶色
甲苯	80～	80	200	200	白→茶色
二甲苯	20～400	20	200	200	白→茶色
汞	0.01～1.0	0.01	4000	200	白→红橙
汽油		100～300	100	1	白→棕
甲醇		100	200	200	黄→绿
乙醇		1000	200	200	黄→绿
乙炔	0.1～1.0	0.1	50	1	白→棕
乙醚	600～5000	600	100	1	黄→绿
光气	0.3～40	0.3	100	1	白→红

表 9-30(b) 美国 Gastec 检气管

型号	被测物质	主要试剂	反应原理
NO 111	一氧化碳（高浓度）	碘酐	$CO+I_2O_5\longrightarrow I_2+CO_2$ 生成黑绿色着色层
NO 1L	一氧化碳（低浓度）	钯盐	$CO+K_2Pd(SO_3)_2\longrightarrow 2K+Pd+SO_2+CO_2$ 生成暗棕色着色层
NO 5H	二氧化硫（高浓度）	三氧化铬	$SO_2+CrO_3\longrightarrow Cr(SO_4)_2\cdot 18H_2O$ 生成绿色着色层
NO 3L	氨（低浓度）	硫酸、百里酚蓝	$NH_3+H_2SO_4\longrightarrow (NH_4)_2SO_4$ 改变百里酚蓝的颜色
NO 3MA	氨（中浓度）	磷酸、百里酚酞	$NH_3+H_3PO_4\longrightarrow (NH_4)_3PO_4$ 改变百里酚酞的颜色
NO 3H	氨（高浓度）	氯化钴	$aNH_3+bCoCl_2\longrightarrow aCoCl_2\cdot bNH_3$
NO 5H	二氧化硫（低浓度）	氢氧化钠、苯酚红	$SO_2+NaOH\longrightarrow Na_2SO_3+H_2O$ 改变苯酚红颜色
NO 4H	硫化氢	醋酸铅	$H_2S+Pb(CH_3COO)_2\cdot 3H_2O\longrightarrow PbS+CH_3COOH$
NO 7	磷化氢	氯化汞	$PH_3+HgCl_2+H_2O\longrightarrow Hg_3P_2\cdot 3HgCl_2\cdot 3H_2O$ 生成黄色着色层
NO 8L	氯	联甲苯胺	Cl_2+H_2O+联甲苯胺→亚硝基联甲苯胺(橙色)$+HCl$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

型　号	被测物质	主 要 试 剂	反　应　原　理
NO 9L	二氧化氮	联甲苯胺	$NO_2 + H_2O$ + 联甲苯胺 ⟶ 亚硝基联甲苯胺（亮黄色）
NO 12H	氰化氢（高浓度）	亚硫酸钯钾	$HCN + K_2Pd(SO_3)_2 \longrightarrow$ 白色化合物
NO 12L	氰化氢（低浓度）	氯化汞、甲基橙	$HCN + HgCl_2 \longrightarrow HCl + Hg(CN)_2$ 产生粉红色着色层
NO 13	二硫化碳	氧化铬、硫酸、氢氧化钠、苯酚红	$CrO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow [O]$ $[O] + CS_2 \longrightarrow SO_2 + CO_2$ $SO_2 + NaOH \longrightarrow Na_2SO_3 + H_2O$ 改变苯酚红颜色成暗黄色
NO 14L	氯化氢	4-苯偶氮二苯胺（哈米特试剂）	HCl被硅胶吸附改变哈米特试剂的颜色
NO 16	光　气	硝基苯甲基吡啶、苄基苯胺	光气和硝基苯甲基吡啶反应生成尿素衍生物，再和苄基苯胺作用生成红色化合物
NO 100A	丙　烯	重铬酸钾、硫酸	丙烯把重铬酸离子还原成三价铬离子 $C_3H_6 + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 101	汽　油	铬酸、硫酸	$C_nH_m + CrO_3 + H_2SO_4 + H_2O \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 102H	己烷（高浓度）	铬酸、硫酸	$C_6H_{14} + CrO_3 + H_2SO_4 + H_2O \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 102L	己　烷	重铬酸钾、硫酸	$C_6H_{14} + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 103	环己烷	铬酸、硫酸	$C_6H_{12} + CrO_3 + H_2SO_4 + H_2O \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 104	丁　烷	重铬酸钾、硫酸	$C_4H_{10} + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 111	甲　醇	重铬酸钾	$CH_3CH + K_2Cr_2O_7 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 112	乙　醇	重铬酸钾	$C_2H_5OH + K_2Cr_2O_7 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 113	异丙醇	重铬酸钾	$(CH_3)_2CHOH + K_2Cr_2O_7 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 121	苯	五氧化二碘、硫酸	$C_6H_6 + I_2O_5 + H_2SO_4 \longrightarrow I_2 + CO_2$ 产生绿色着色层
NO 122	甲　苯	五氧化二碘、硫酸	$C_6H_5CH_3 + I_2O_5 + H_2SO_4 \longrightarrow I_2 + CO_2$ 产生浅褐色着色层
NO 123	二甲苯	五氧化二碘、硫酸	$C_6H_4(CH_3)_2 + I_2O_5 + H_2SO_4 \longrightarrow I_2 + CO_2$ 产生黑色着色层
NO 124	苯乙烯	硫　酸	$C_6H_5CH{:}CH_2 + H_2SO_4 \longrightarrow C_6H_5CH$ $\quad CH_2{-}CH{:}CHC_6H_5$ 苯乙烯被硫酸脱水生成聚合物
NO 125	乙　苯	五氧化二碘	$C_6H_5C_2H_5 + I_2O_5 + H_2SO_4 \longrightarrow I_2 + CO_2$ 产生黑褐色着色层
NO 131	氯乙烯	铬酸、硫酸	$CH_2{=}CHCl + CrO_3 + H_2SO_4 + H_2O \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 132H	三氯乙烯	二氧化铅、硫酸、苯偶氮二苯胺（哈米特试剂）、硝酸铅	$PbO_2 + Pb(NO_3)_2 + H_2SO_4 \longrightarrow [O]$ $CHCl{:}CCl_2 + [O] \longrightarrow HCl$ HCl将哈米特(Hammett)试剂变成粉红色
NO 133	四氯乙烯	二氧化铅、硝酸铅、硫酸、哈米特试剂	$PbO_2 + Pb(NO_3)_2 + H_2SO_4 \longrightarrow [O]$ $CCl_2{:}CCl_2 + [O] \longrightarrow HCl$ HCl改变哈米特试剂的颜色
NO 138	氯化苦	五氧化二碘、硫酸、吡啶、苄基苯胺	$CCl_3NO_2 + I_2O_5 + H_2SO_4 \longrightarrow COCl_2$（光气） 光气和吡啶生成尿素衍生物，再和苄基苯胺生成红色化合物

续表

型　号	被测物质	主 要 试 剂	反　应　原　理
NO 141	乙酸乙酯	重铬酸钾、硫酸	$CH_3COOC_2H_5 + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 142	乙酸丁酯	重铬酸钾、硫酸	$CH_3COOC_4H_9 + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 161	丙　酮	重铬酸钾、硫酸	$(CH_3)_2CO + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 152	丁　酮	重铬酸钾、硫酸	$CH_3COC_2H_5 + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 161	乙　醚	重铬酸钾、硫酸	$(C_2H_5)O + K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \longrightarrow Cr_2(SO_4)_3$
NO 171	乙　炔	五氧化二碘、硫酸	$C_2H_2 + I_2O_5 + H_2SO_4 \longrightarrow I_2 + CO_2$ 产生绿棕色着色层
NO 172	乙　烯	硫酸钯、钼酸铵	$C_2H_4 + PdSO_4 + (NH_4)_2MoO_4 \longrightarrow Mo_3O_8$
NO 19	丙烯腈	铬酸、硫酸、氯化汞、哈米特试剂	$CH_2=CHCN + CrO_3 + H_2SO_4 \longrightarrow HCN + Cr_2(SO_4)_3$ $HCN + HgCl_2 \longrightarrow HCl + Hg(CN)_2$ HCl使哈米特试剂变色

表 9-30(c)　日本北川式检气管

型　号	被 测 物 质	允 许 浓 度		测 定 范 围		指示粉颜色		采　样		有效期
		八小时 (ppm)	短时间 (ppm)	最　低 (ppm)	最　高 (ppm)	原　色	显　色	体积 (毫升)	时间 (分)	(月)
105A	氨（高浓度）	50	100	1%	25%	桃红	紫蓝	100	3	无限期
105B	氨（低浓度）	50	100	20	700	桃红	苍黄	100	3	12
140	砷化氢	0.05		5	160	白	暗褐	100	3	24
114	溴	0.1	0.4	1	50	白	橙	100	3	12
126A	二氧化碳（高浓度）	5000		0.1%	2.6%	蓝紫	苍桃红	100	5	24
126B	二氧化碳（低浓度）	5000		300 100	7000 1500	蓝紫	苍桃红	100 300	5 15	24
141	二硫化碳	20	100	10	200	蓝紫	白	100	5	12
100	一氧化碳（比长）	50	400	20	1000	黄	暗褐	100	3	12
106A	一氧化碳（比色）			600	6000	苍黄	绿→蓝		5秒	36
147	四氯化碳	10	25	5	300	黄	蓝	100	3	3
	氯	1	3	1	40	白	深红橙色	100	3	12
116	二氧化氯	0.1		1	40	白	橙	100	3	12
167	硒化氢	0.05		10 1	600 100	苍黄	暗褐	100 500	3 15	8
120A	硫化氢（高浓度）	10	20	0.01%	0.17%	白	黑	100	3	36
120B	硫化氢（低浓度）			5	160	白	褐	100	3	18
120C	硫化氢(有SO_2存在)			0.005%	0.16%	苍黄	暗蓝	100	3	36
120H	硫化氢（极高浓度）			0.02%	0.30%	白	黑	100	3	36
142	汞	0.1mg/m³		1.1mg/m³	2.0mg/m³	灰	苍橙	500	5	12
117	二氧化氮	5	25	1	1000	白	橙	100	3	12
121C	磷化氢（高浓度）	0.3		50	700	白	暗黄	100	3	24
121D	磷化氢（低浓度）			10 2	160 30	苍黄	暗紫	100 500	3 5	6

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

型号	被测物质	允许浓度		测定范围		指示粉颜色		采样		有效期
		八小时 (ppm)	短时间 (ppm)	最低 (ppm)	最高 (ppm)	原色	呈色	体积 (毫升)	时间 (分)	(月)
103A	二氧化硫（高浓度）	5	20	0.1%	4.0%	黄	亮蓝	100	3	无限期
103B	二氧化硫（中浓度）	5	20	0.02%	0.30%	白	橙	100	3	36
103C	二氧化硫（低浓度）	5	20	5	300	蓝紫	白	100	3	12
103D	二氧化硫	5	20	1	80	蓝紫	白	100	3	12
133	乙醛	200		0.004%	1.6%	黄	桃红	100	3	3
102A	丙酮	1000	1000	0.05%	5.0%	黄橙	暗褐	100	3	无限期
101	乙炔			50	1000	苍黄	褐蓝	100	3	36
136	丙烯醛	0.1	0.5	0.005%	2.5%	黄	桃红	100	3	3
128A	丙烯腈（高浓度）	20	40	0.10%	3.5%	橙	暗绿	100	3	无限期
128B	丙烯腈（低浓度）			10	500	橙	褐	100	3	无限期
178A	苯	25	75	10	310	白	深红褐	100	3	2
152	氯仿	50	400	75	600	白	深红橙	100	3	3
115	环已烷	300		0.01%	0.6%	暗褐橙	暗绿	100	3	无限期
107	乙醚	400		0.04%	1.4%	橙	暗绿	100	3	无限期
111	乙酸乙酯	400	1000	0.01%	5.0%	橙	暗褐绿	100	3	无限期
104A	乙醇	1000		0.04%	5.0%	深黄橙	蓝绿	100	3	无限期
108B	乙烯			0.5 0.1	100 20	黄	蓝	100 500	3 15	36
122	环氧乙烷	50		0.01%	3.6%	深黄橙	深褐绿	100	3	无限期
171	甲醛	5	5	1	35	白	深褐橙	300	3	36
113	正已烷	500		0.01%	0.6	深褐橙	暗绿	100	3	无限期
153	乙酸异丁酯	150		0.01%	1.4%	橙	深褐绿	100	3	无期限
150	异丙醇	400		0.01%	2.0%	橙	深褐绿	100	3	无限期
119	甲醇	200		0.01%	6.0%	深黄橙	深褐绿	100	3	无限期
157	溴代甲烷	20	20	10	500	白	橙	100	3	8
160	三氯乙烷	350	1500	50	800	白	深红橙	100	3	6
139B	丁酮（低浓度）	200	300	0.01%	1.4%	橙	深褐绿	100	3	无限期
129	四羰基镍	0.001	0.04	20	700	苍黄	暗紫	100	3	6
135	四氯乙烯	100	200	10	400	白	深红褐	100	3	10
146	光气	0.1	1	0.1 0.05	50 10	白	深红褐	100 500	3 15	8
158	苯乙烯	100	100	1	300	白	黄	100	3	36
124	甲苯	200	600		1000	白	褐	100	3	2
134	三氯乙烯	100	200	10	400	白	橙	100	3	12
132	氯乙烯	500	500	0.05%	1.0%	深褐橙	深褐绿	100	3	无限期
143	二甲苯	100	300	50	5000	白	深红褐	100	3	2

表 9-30(d)　西德德莱格(DRÄGER)检气管

型号	被测物质	主要试剂	测定范围
25/a	氨	硝酸汞	25～700ppm
5/a	氨	溴酚蓝、酸	5～70ppm
0.5%/a	氨	溴酚蓝、酸	0.5～10%
0.05/a	砷	金盐	0.05～3ppm
0.01%/a	二氧化碳	肼、结晶紫	0.01～0.3%

续表

型　　号	被 测 物 质	主 要 试 剂	测 定 范 围
0.04	二硫化碳	铜盐、胺	0.04～0.9mg/L
5/c	一氧化碳	五氧化二碘、发烟硫酸	5～150ppm
0.2/a	氯	邻甲联苯胺	0.2～3ppm
1/a	盐　酸	溴酚蓝	2～20ppm
2/a	氰化氢	氯化汞、甲基红	2～30ppm
1.5/b	氟化氢	锆、醌茜素	1.5～15ppm
1/c	硫化氢	铅　盐	1～20ppm
0.2%A	硫化氢	铜　盐	0.2～7%
0.1/b	汞蒸气	铜(Ⅰ)、碘化物	0.1～2mg/m³
0.5/c	二氧化氮	二苯联苯胺	0.5～10ppm
0.5/a	亚硝基烟	二苯联苯胺	0.5～10ppm
0.05/a	臭　氧	靛　蓝	0.05～1.4ppm
0.1/a	磷化氢	金　盐	0.1～4ppm
100/b	丙　酮	二硝基苯肼	100～12000ppm
100/a	乙　醇	铬酸盐、硫酸	100～3000ppm
5/a	苯　胺	糠醛、酸	1～20ppm
5/a	苯	甲醛、硫酸	5～40ppm
5/a	氯丁乙烯	高铬酸盐	5～60ppm
0.25/a	氯化氰	吡啶、丙二酰脲	0.25～5ppm
100/a	环己烷	铬　酸	100～1500ppm
0.05/a	二甲硼烷	金的络合物	0.05～3ppm
100/a	乙　醚	铬酸盐、硫酸	100～4000ppm
0.002	甲　醛	二甲苯、硫酸	2～40ppm
200/a	乙酸乙酯	铬酸盐、硫酸	200～3000ppm
0.25/a	肼	苯酰蓝、酸	0.25～3ppm
0.1%	烃　类	五氧化二碘、发烟硫酸	0.1～1%
2/a	硫　醇	铜盐、硫碘	2～100ppm
5/b	溴代甲烷	同溴检气管	5～50ppm
100/a	二氯甲烷	五氧化二碘、二氧化硒、发烟硫酸	100～2000ppm
10/a	苯乙烯	硫　酸	10～200ppm
0.1/a	羰基镍	碘、二氧化物	0.1～1ppm
0.05%/a	烯　烃	高锰酸盐	
100/a	正戊烷	铬　酸	100～1500ppm
10/a	四氯乙烯	同氯检气管	10～400ppm
0.05/a	光　气	二甲氨基苯甲醛、二乙苯胺	0.05～1.2ppm
5/a	甲　苯	五氧化二碘、硫酸	5～400ppm
5/a	三乙胺	溴酚蓝、酸	5～60ppm
	三氯乙烷	同氯检气管	50～350ppm
10/a	三氯乙烯	同氯检气管	10～400ppm
100/a	氯乙烯	高锰酸盐	100～3000ppm

表 9-30(e)　苏联《Дегеп》和《Аузр》检气管

被 测 物 质	主 要 试 剂	反　应　原　理
一氧化碳	五氧化二碘、硫酸	析出碘、产生绿棕色着色层
二氧化碳	肼的化合物	改变指示剂的还原电势产生青紫色着色层
二氧化硫	碘酸盐、淀粉	碘酸盐还原，析出碘，与淀粉反应产生天蓝色着色层

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

被测物质	主要试剂	反应原理
二氧化碳	铜盐、脂肪胺	在铜盐存在的条件下，与脂肪胺反应，生成氨基甲酸铜，产生橄榄绿色着色层
甲醛	硫酸、芳香族碳氢化合物	在硫酸存在的条件下，与芳香族碳氢化合物产生缩聚反应，呈现微红色着色层
光气	二甲基苯甲醛、二甲苯胺	光气与二甲基苯甲醛、二甲苯胺发生偶合反应出现青绿色着色层
汞	金络盐	汞将金络盐还原成胶体金，呈现发灰紫色的着色层
苯	甲醛、硫酸	苯与甲醛、硫酸反应，生成微红色着色层
氨	氯化金	形成络合物，呈现灰黑色着色层
砷化氢	氯化金或硝酸银	还原出金属，呈现蓝紫色着色层
氧化氮气体	芳香族胺	发生硝化反应，呈现橙色着色层
硫化氢	醋酸铅	呈现棕色着色层
氯化氢	汞盐、酸碱指示剂	呈现红色着色层
氯	邻联甲苯胺	呈现橙色着色层
碳氢化合物	发烟硫酸、二氧化硒	呈现棕色着色层
溴甲烷	硫酸、五氧化二碘	发生氧化反应产生溴，呈现由浅棕色到暗棕色的着色层

苯、氨、苯乙烯、丙酮、硫化氢、二氧化硫、氯化氢、联苯胺等均可用溶液快速比色法进行现场测定。

9.5.2.2 常见毒物的测定方法

常见毒物测定方法见表9-31，表中所列毒物及测定方法主要参照卫生部1979年颁发的《工业企业设计卫生标准》中规定的毒物及卫生部批准的现行《车间空气监测检验方法》

9.5.2.3 实验室标准气的配制

测定空气中有害物质浓度时，为校正分析仪器或作为定量分析的标准物质均需配制一定浓度的标准气。标准气配制的准确度直接关系到检测试验结果的可靠性。实验室配制标准气方法分为静态法及动态法两大类。静态配气是将已知体积或已知重量的有害物质纯品加到一定体积的空气中混合均匀而成；动态配气是连续不断地将有害物质的纯气体或蒸气按一定比例与空气混合而成。

1. 静态配气

（1）装置　实验室内常用20L大玻璃瓶、塑料袋、100ml注射器等容器配气。

（2）计算

$$c_{ppm} = 22.4\times10^{6}\left(\frac{\rho\cdot V_L}{M\cdot V}\right)\cdot\frac{T}{273}\cdot\frac{760}{p}$$

或

$$c_{ppm} = \frac{10^{3}V_g}{V}\cdot\frac{7}{273}\cdot\frac{760}{p}$$

式中　c_{ppm}——配制标准气浓度；

V_g——配气时取有害气体（蒸气）的体积，ml；

V_L——配气时取有害物质液体体积，ml；

V——配气容器的容积，L；

ρ——有害物质液体浓度，g/ml；

M——有害物质分子量；

表 9-31 测定方法一览表

物质名称	比色分析			气相色谱法		其它方法
	检测下限	显色剂	测定波长(nm)	检测下限(μg)	色谱柱	
一氧化碳				5×10^{-3}	分子筛与碳多孔小球串联柱，镍催化剂	检气管法
一甲胺	2μg/10mL	对硝基苯胺重氮盐	510			
乙醚	50μg/2mL	重铬酸钾	目视	6×10^{-4}	PEG-6000:6201=5:100（2米柱）	检气管法
乙腈	1.2μg/2mL	纳氏试剂	目视	1×10^{-3}	PEG-6000:6201=5:100（2米柱）	
二甲胺	3μg/10mL	二硫化碳、铜盐	440			
二甲苯	20μg/5mL	乙醚、乙醇（氢氧化钠）	610	2×10^{-3}	PEG-6000:6201=5:100（2米柱）	检气管法
二甲基甲酰胺	100μg/5mL	羟胺-氯化铁	500			
二甲基二氯硅烷						
二氧化硫	0.5μg/5mL	甲醛、盐酸付玫瑰苯胺	560			检气管法，溶液快速比色法
二氧化硒	2μg/5mL	二氨基联苯胺	420			
二氯丙醇	1μg/2mL	高碘酸钾，变色酸	570			
二硫化碳	10μg/5mL	二乙胺	495			
二异氰酸甲苯酯	2μg/5mL	盐酸萘乙二胺	560			
丁烯				1×10^{-3}	邻苯二甲酸二丁酯:β,β′氧二丙腈:101=20:10:100	
丁二烯				1×10^{-3}	邻苯二甲酸二丁酯:β,β′氧二丙腈:101=20:10:100	
丁醛						
三乙基氯化锡						
三氧化二砷、五氧化二砷	1μg/10mL	二乙基二硫代氨基甲酸银-三乙醇胺	520			
三氧化铬	1μg/10mL	二苯碳酰二肼	550			试纸比色法、原子吸收法
铬酸盐	1μg/10mL	二苯碳酰二肼	550			原子吸收法
重铬酸盐	1μg/10mL	二苯碳酰二肼	550			原子吸收法
三氯氢硅						
己内酰胺	25μg/1.5mL	羟胺-氯化铁	500			
五氧化二磷	2μg/5mL	钼酸铵、氯化亚锡	680			
五氯酚及其钠盐	10μg/5mL	4-氨基安替比林	580			
六六六				2×10^{-6}	OV_{-17}:QF_{-1}:Chromosorb=2:1.5:100	硝酸银比浊法
丙体六六六				2×10^{-8}	OV_{-17}:QF_{-1}:Chromosorb=2:1.5:100	硝酸银比浊法
丙酮	2μg/5mL	糠醛、硫酸	520			溶液快速比色法
丙烯腈	0.2μg/1mL	高锰酸钾、吡啶、苯胺	490	2×10^{-7}	PEG_{-4000}:6201(担)=5:100	检气管法
丙烯醛	2μg/5mL	4-己基间苯二酚	605	5×10^{-8}	PEG_{-20M}:6201(担)=20:100（3米柱）	检气管法

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

物质名称	比色法			气相色谱法		其它方法
	检测下限	显色剂	测定波长(nm)	检测下限(μg)	色谱柱	
丙烯醇	2μg/3mL	对二甲氨基苯甲醛	470			
甲苯	5μg/5mL	乙醚、乙醇(氨水)	530	8×10^{-4}	PEG$_{-6000}$:6201(担体)=5:100	检气管法
甲醛	0.1μg/2.6mL	酚试剂，硫酸铁铵	630			
	0.5μg/5mL	变色酸	565			
光气	0.5μg/色斑	二甲氨基苯甲酸，N,N-二甲基苯胺	目视			检气管，紫外分光光度法
内吸磷（E059）	0.075μg/1mL	胆碱酯酶，氯化乙酰胆碱，三氯化铁	520			
对硫磷（E605）	1μg/5mL	盐酸萘乙二胺	560			
	1μg/1mL	胆碱酯酶、氯化乙酰胆碱、三氯化铁	520			
甲拌磷（3911）	0.02μg/1mL	胆碱酯酶、氯化乙酰胆碱、三氯化铁	520			
马拉硫磷（4049）	0.075μg/1mL	胆碱酯酶、氯化乙酰胆碱、三氯化铁	520			
	5μg/5mL	硫酸钯	450			
甲基内吸磷	0.075μg/1mL	胆碱酯酶、氯化乙酰胆碱、三氯化铁	520			
甲基对硫磷	0.1μg/1mL	胆碱酯酶、碘化硫代乙酰胆碱、二硫-双硝基苯甲酸	420	3×10^{-9}	SE$_{-30}$:QF$_{-1}$:Chromosorb=3:2:100	
	1μg/1mL	胆碱酯酶、氯化乙酰胆碱、三氯化铁	520			
乐果	1μg/4mL	盐酸萘乙二胺	540			
敌百虫	5μg/4mL	硫氰酸汞、硫酸铁铵	470			
敌敌畏	0.02μg/1mL	胆碱酯酶、氯化乙酰胆碱、三氯化铁	520			
	2μg/2.5mL	2,4-二硝基苯肼	580			
杀螟松	0.5μg/5mL	盐酸萘乙二胺	550	2.5×10^{-4}	SE$_{-30}$:QF$_{-1}$:Chromosorb=3:2:100	
稻瘟净	0.2μg/1mL	胆碱酯酶，二硫-双硝基苯甲酸	420	5.6×10^{-6}	己二酸乙二醇聚酯:DC$_{-200}$:Chromosorb W=5:5:100	
吡啶	0.5μg/10mL	氯胺T、巴比妥酸	580			
金属汞	0.5μg/10mL	双硫腙	490			冷原子吸收法，检气管法，试纸比色法
升汞（氯化汞）	0.5μg/10mL	双硫腙	490			冷原子吸收法
有机汞化合物						
松节油	60μg/5mL	香草醛	640			
环氧氯丙烷	2μg/3.4mL	高碘酸钾、变色酸	570	5×10^{-4}	丁二酸乙二醇聚酯:硅油$_{-275}$:201(担体)=10:10:100	

续表

物质名称	比色法			气相色谱法		其它方法
	检测下限	显色剂	测定波长(nm)	检测下限(μg)	色谱柱	
环氧乙烷	2.5μg/3.4mL	高碘酸钾、变色酸	570	1×10^{-3}	角鲨烷:吐温:硅烷化101(担)=10:0.5:100	
环已烷				4×10^{-4}	PEG_{-6000}:6201(担)=5:100	
环已酮	2μg/5mL	糠醛、硫酸	560	4×10^{-3}	PEG_{-6000}:6201(担)=5:100	
环已醇	50μg/2mL	邻苯二酚	450	5×10^{-3}	已二酸乙二醇聚酯:201(担)=15:100	
苯	2μg/5mL	乙醚、丙酮(氢氧化钠)	575	6×10^{-4}	PEG_{-6000}:6201(担)=5:100	检气管;溶液快速比色法
硝基苯	1μg/5mL	盐酸萘乙二胺	560	5×10^{-5}	OV_{-17}:QF_{-1}:Chromosorb=2:1.5:100	
二硝基苯	2μg/3mL	乙醚、丙酮(氢氧化钠)	575	4×10^{-5}	OV_{-17}:QF_{-1}:Chromosorb=2:1.5:100	
三硝基甲苯	1μg/5mL	乙醇-碱	520	3×10^{-6}	OV_{-17}:QF_{-1}:Chromosorb=2:1.5:100	
一硝基氯苯	1μg/5mL	盐酸萘乙二胺	560			
二硝基氯苯	1μg/5mL	盐酸萘乙二胺	560			
苯胺	0.1μg/5mL	盐酸萘乙二胺	560			
甲基苯胺	1μg/5mL	对硝基重氮苯	485			
二甲基苯胺	1μg/5mL	对硝基重氮苯	485			
苯乙烯				5×10^{-3}	PEG_{-6000}:6201(担)=5:100	溶液快速比色法
五氧化二钒	10μg/10mL	N-肉桂酰-邻-甲苯羟胺	530			
	10μg/10mL	苯甲酰苯基羟胺	530			
苛性碱	1μg/5mL	0.1%溴百里酚蓝(乙醇):0.1%酚酞=1:1	目视			酸碱滴定法
氟化氢及氟化物	2μg/2mL	氟试剂、铜盐	610			离子选择电极法
氨	2μg/10mL	纳氏试剂	目视			检气管法;溶液快速比色法
臭氧	0.8μg/5mL	丁子香酚,对氨基苯磺酸付玫瑰苯胺	560			检气管法
氧化氮	0.26μg/5mL	对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺	540			
氧化锌	1μg/10mL	双硫腙	530			原子吸收法
氧化镉	1μg/10mL	双硫腙	520			原子吸收法
砷化氢	1μg/3mL	二乙基二硫代氨基甲酸银,三乙醇胺	520			
铅烟、铅尘	0.5μg/10mL	双硫腙	520			原子吸收法,试纸比色法
四乙基铅	1μg/10mL	双硫腙	520			原子吸收法
硫化铅	1μg/10mL	双硫腙	520			
铍及其化合物						桑色素荧光法
钼	4μg/5mL	硫氰酸钠	470			
黄磷	1μg/5mL	硝酸银	460	2×10^{-4}	SE_{-}:QF_{-1}:Chro-	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

物质名称	比色法			气相色谱法		其它方法
	检测下限	显色剂	测定波长(nm)	检测下限(μg)	色谱柱	
					mosorb=3:2:100	
酚	0.5μg/5mL	4-氨基安替比林	500	1×10^{-1}	PBOB液晶，405硅烷化担体、磷酸处理	
萘烷	2μg/2.5mL	乙醚，乙醇	470	1×10^{-2}	①硅酮弹性体:102(重)=15:100	
四氢化萘				1×10^{-2}	②阿皮松-L:6201(重)=15:100	
氰化氢及氢氰酸盐	0.2μg/0.5mL	异烟酸、吡唑啉酮	640			离子选择电极
	0.1μg/15mL	异烟酸，巴比妥酸钠	600			
联苯-联苯醚	2.5μg/1mL	乙醚、丙酮	540			紫外分光法
硫化氢	2μg/5mL	硝酸银	目视			检气管法；试纸比色法；溶液快速比色法
硫酸及三氧化硫	5μg/2.5mL	硝酸钍、偶氮素	420			氯化钡比浊法
锆及其化合物						桑色素荧光分光法，原子吸收法
锰及其化合物	3μg/10mL	磷酸、高碘酸钾	530			原子吸收法；试纸比色法
氯 高浓度:	3μg/7mL	溴化钾、甲基橙	515			检气管法；试纸比色法
低浓度:	0.5μg/3mL	溴化钾、甲基橙	515			检气管法；试纸比色法
氯化氢及盐酸	5μg/5mL	硫氰酸汞，硫酸铁铵	460			硝酸银比浊法，溶液快速比色法
氯苯	2μg/5mL	吡啶，碱	目视			
三氯萘	100μg/1mL	二甲基替苯胺	目视			
氯萘				1×10^{-4}	OV_{-1}:QF_{-1}:Chromosorb w=2:1.5:100	
氯联苯				4×10^{-4}	OV_{-1}:QF_{-1}:Chromosorb w=2:1.5:100	
氯化苦	0.1μg/5mL	对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺	540			
二氯乙烷	40μg/5mL	吡啶-碱	410		阿皮松-L:6201(重)=5:100	
三氯乙烯	10μg/5mL	吡啶-碱	目视			
四氯化碳	5μg/1mL	吡啶-碱	目视			
氯乙烯				9×10^{-4}	PEG-6000:6201(重)=5:100	
氯丁二烯				1.6×10^{-3}	癸二酸二壬酯:6201(重)=10:100	
溴甲烷	5μg/5mL	1,2-萘醌-4-磺酸钠	580	2.7×10^{-3}	PEG-6000:6201(重)=5:100	
碘甲烷	10μg/5mL	1,2-萘醌-4-磺酸钠	570	2.1×10^{-3}	PEG-6000:6201(重)=5:100	
溶剂汽油				1.5×10^{-3}	玻璃微球，四-(氰乙	检气管法

续表

物质名称	比色法			气相色谱法		其它方法
	检测下限	显色剂	测定波长(nm)	检测下限(μg)	色谱柱	
滴滴涕				3×10^{-5}	氧基甲基）甲烷混合柱 OV-1，QF-1，Chromosorb W=2:1.5:100	
羧基镍	0.05μg/1mL	4-(2-吡啶基偶氮)间苯二酚	494	1.3×10^{-4}	PEG-400:6201=20:100 0.4米柱	
钨及其化合物	100μg/10mL	硫氰酸钾-三氯化铁	470			
醋酸甲酯	10μg/5mL	羟胺-三氯化铁	540	2×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	
醋酸乙酯	10μg/5mL	羟胺-三氯化铁	540	1×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	
醋酸丙酯	20μg/5mL	羟胺-三氯化铁	540	2×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	
醋酸丁酯	20μg/5mL	羟胺-三氯化铁	540	3×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	
醋酸戊酯	20μg/5mL	羟胺-三氯化铁	540	2×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	
甲醇	4μg/2mL	高锰酸钾、变色酸	570	8×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	检气管法
丙醇				1×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	
丁醇				2×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	
戊醇	5μg/5mL	对二甲氨基苯甲醛	目视	6×10^{-8}	PEG-6000:6201(担)=5:100	
糠醛	1μg/5mL	苯胺	530			
磷化氢	1μg/2mL	钼酸铵、氯化亚锡	680			检气管；试纸比色法
粉尘中游离二氧化硅	1μg/5mL	碱熔剂（碳酸钠、氯化钠）、钼酸铵	680			焦磷酸重量法

T——配气时温度，K；

p——配气时压力，mmHg。

（3）误差来源

① 有害物质的纯度及加入量的准确度。

② 配气容积的校正。

③ 稀释气的纯度。若用压缩空气应除去水、油、二氧化碳等。

④ 容器器壁或接头密封剂的吸附、渗透或漏气均使配制的标准气浓度不稳定。

2. 动态配气

（1）装置　见图9-21。

（2）原理　将有害物质的液体（或气体液化）装入渗透管或扩散管内（见图9-22），在一定温度下有害物质的渗透率或扩散率恒定，则单位时间内载气载带有害物质进入稀释系统的量恒定，所以用上述装置可配制一定浓度的标准气。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

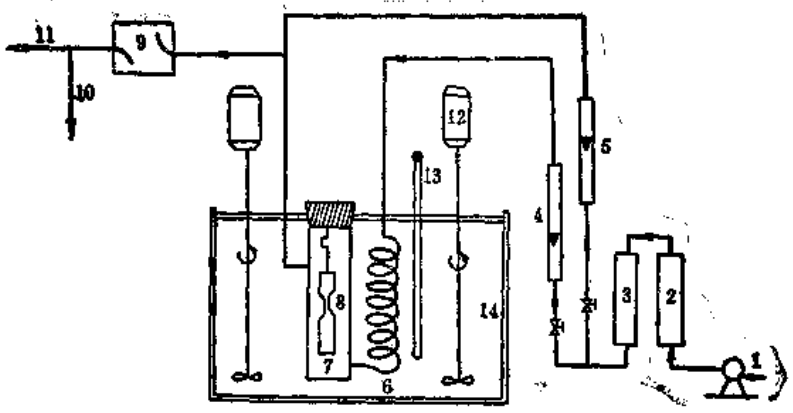
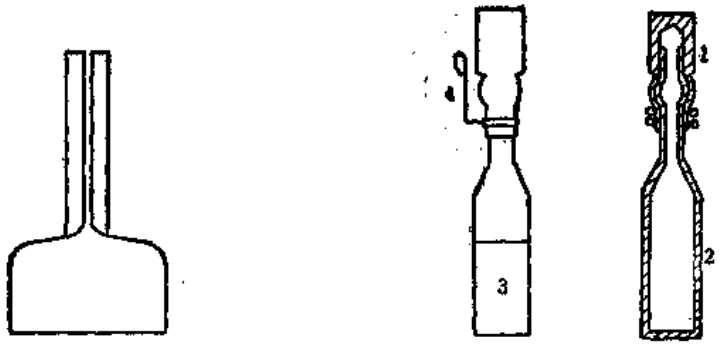


图 9-21　动态配标准气装置

1—泵或钢瓶；2—活性炭净化管；3—硅胶净化器；4，5—流量计；6—蛇形管；7—渗透管 夹持器或 气体发生瓶；8—渗透管；9—混合器；10—取气口；11—排空；12—搅拌机；13—温度计；14—恒温水槽



(a) 扩散管　　(b) 渗透管外形及结构图

图 9-22

1—渗透帽；2—安瓿；3—液态SO_2；4—不锈钢丝篮

（3）计算

① 扩散管配气浓度计算

$$c = \frac{RK}{F}$$

式中　c——配气浓度；

R——扩散率，ng/min；

K——有害物质蒸气密度倒数；

F——稀释气流量。

② 渗透管配气浓度计算

$$c = \frac{q_m}{q_v}$$

式中　c——配气浓度；

q_m——渗透率；

q_v——稀释气流量。

（4）误差来源

① 严格控制温度波动在±0.1℃以内。由扩散管的理论扩散率

$$R = \frac{D \cdot p \cdot M \cdot A}{R \cdot T \cdot L} \ln \frac{p}{p - p}$$

可以看出扩散率 R 与温度 T 有关；渗透管的渗透率对温度很敏感，大约温度增加7℃，渗透率增加1倍。

② 保证扩散率或渗透率的恒定。通常用重量法测扩散率或渗透率，欲使测量准确，需严格按照称量规则，并且在称量扩散管和渗透管失重时应尽量避免更换砝码。在使用渗透管时要防止污染渗透面；使用扩散管时要保护扩散管中毛细管的长度、直径不变。

③ 测定扩散率除温度及称量因素外，还应考虑大气压变化对扩散率的影响。

④ 载气流量不宜过大，而且需恒定。

⑤ 稀释气纯度及流量直接影响配气结果。稀释气可用空气、氮气、氩气等。流量计需用皂膜流量计校正。

⑥ 注意配气的稳定性。用扩散管或渗透管配气一般需几小时后配制气体才稳定，但稳定后可长时间不变化。稳定时间受配气浓度及流量的影响。

9.5.3 有害物质浓度表示方法

9.5.3.1 气体体积换算

气体体积与温度、压力有关，一般状况下的气体体积可换算成标准状况下的体积：

$$V_0 = V_t \cdot \frac{273}{273 + t} \cdot \frac{p}{760}$$

式中 V_0——标准状况下气体体积；

V_t——在温度为 t，压力为 p 时的气体体积；

t——气体温度，℃；

p——大气压，mmHg。

9.5.3.2 浓度表示法

单位体积空气中有害物质的含量称为该物质在空气中的浓度。浓度表示方法有两种。

（1）重量、体积混合表示法——用每m^3空气中有害物质的mg数表示，mg/m^3。这种表示方法适用于各类有害物质。

（2）体积表示法——用每m^3空气中含有害物质的mL数表示。

因$1m^3$等于1百万mL，故常用百万分数表示，符号ppm。该浓度表示方法只限于气态或蒸气状态的有害物质，气溶胶状态的有害物质不能用它表示。

在痕量分析、超痕量分析中常选用更小的体积浓度单位：ppb、ppt，它们与ppm的关系：

$$1ppm = 10^3 ppb = 10^6 ppt$$

（3）两种浓度表示方法的互相换算

$$mg/m^3 = \frac{M \times ppm}{22.4}$$

或

$$ppm = \frac{mg/m^3 \times 22.4}{M}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

式中 M——被测物质的分子量。

9.5.3.3 测定结果的表达方式

因测定结果是以单次测定结果的平均值推断被测对象的真值，因此在报告测定结果时，应明确表示推断结果的可靠性及现场真实结果与平均值之间的误差波动范围。一般把推断的置信水平定在95%，则测定结果应按以下方式表达。

$$c(95\%)=\bar{x}\pm t_{(a,\ f)}\frac{s}{\sqrt{n}}$$

式中 c——被测物质应报告的浓度；

$\bar{x}$——单次测定该物质的算术平均浓度；

n——单次测定的样品数；

s——单次测定结果的标准偏差；

t——置信因子，由 t 分布表中查出；

a——显著性水平，$a=1-p$。（p 为置信水平）；

f——自由度，$f=n-1$。

9.5.4 测定结果的评价

9.5.4.1 测定过程的质量控制

测定过程为保证数据的正确，需控制测定数据的精密度和准确度，实验室最常用的方法是制作控制图。通过控制图可以看出实验室的测定是否在控制之中，有利于观察正负偏差的发展趋势，及时发现异常，从而分析原因，采取措施。初次做控制图至少要15～20次控制样品的测定数据，绘图时以纵坐标表示试验结果，横坐标表示时间或测定顺序，上下控制线表示判断准则，中心线代表平均值或标准值。为保证测定数据的质量，管理样品数占全部测定样品数的15～20%。控制图上要标明实验室名称、测定的指标、测定方法、制作日期、浓度范围、制作人员及审核人员。制作控制图时的条件应与测定样品的条件相同。常用的控制图有均数控制图（$\bar{x}$图）和全距（极差）控制图（R图）或两者结合的$\bar{x}-R$图。

1. 精密度的控制

由R图可控制测定数据的精密度。当小组内样品数 $n\leqslant10$，可以用全距（R）代替标准偏差（S），因R近似有效，且计算容易，平均全距（$\bar{R}$）可从累积结果计算，也可由标准偏差计算（$\bar{R}=d_2s$）。编制R控制图的步骤如下。

（1）将测定数据列表并按下式计算平均全距（$\bar{R}$）、控制上限（UCL）及控制下限（LCL）、警告上限（UWL）。计算控制图中各线所需系数查表9-32。

$$\text{平均全距}\quad \bar{R}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}R_i\quad \text{或}\bar{R}=d_2s$$

$$\text{全距控制上限}\quad \mathrm{UCL_R}=D_4\bar{R}$$

$$\text{全距控制下限}\quad \mathrm{LCL_R}=D_3\bar{R}$$

$$\text{全距警告上限}\quad \mathrm{UWL_R}=\bar{R}\pm\frac{2}{3}\ (D_4R)$$

$$\text{当}n=2\text{时}\quad \mathrm{UWL_R}=2.51\bar{R}$$

（2）在直角坐标系中以横坐标表示测定次序或时间，纵坐标表示测定结果。标出上下控制线及上下警告线。

表 9-32 计算控制图中所用的系数*

小组中观测次数 (n)	系数 A_2	系数 d_2	系数 D_4	系数 D_3
2	1.88	1.13	3.27	0
3	1.02	1.69	2.58	0
4	0.73	2.06	2.28	0
5	0.58	2.33	2.12	0
6	0.48	2.53	2.00	0
7	0.42	2.70	1.92	0.08
8	0.37	2.85	1.86	0.14

* ASTM（美国材料试验学会）材料质量控制手册。

（3）在图内标出各测定数据对应的位置。

例：一组双份测定的精密度数据及控制图。

次序	时间	数据		全距	次序	时间	数据		全距
1	69.9.8	25.1	24.9	0.2	12	4.12	17.2	18.1	0.9
2	9.16	25.0	24.5	0.5	13	4.18	21.9	22.2	0.3
3	9.24	10.9	10.6	0.3	14	70.5.6	34.8	32.6	2.2
4	69.10.7	12.6	12.4	0.2	15	5.12	37.8	37.4	0.4
5	10.16	26.9	26.2	0.7	16	70.6.6	40.8	39.8	1.0
6	10.24	4.7	5.1	0.4	17	6.10	46.0	43.5	2.5
7	70.2.6	9.2	8.9	0.3	18	70.6.17	40.8	41.2	0.4
8	2.12	13.2	13.1	0.1	19	6.24	38.1	36.1	2.0
9	2.16	16.2	16.3	0.1	20	70.7.6	12.2	12.5	0.3
10	2.22	8.8	8.8	0.0	21	7.12	25.4	26.9	1.5
11	70.4.6	14.9	14.9	0.0	22	7.18	20.4	19.8	0.6

$$\bar{R} = 14.9/22 = 0.68$$

$$UCL_R = 3.27 \times 0.68 = 2.2$$

$$LCL_R = 0 \times 0.68 = 0$$

$$UWL_R = 2.51 \times 0.68 = 1.7$$

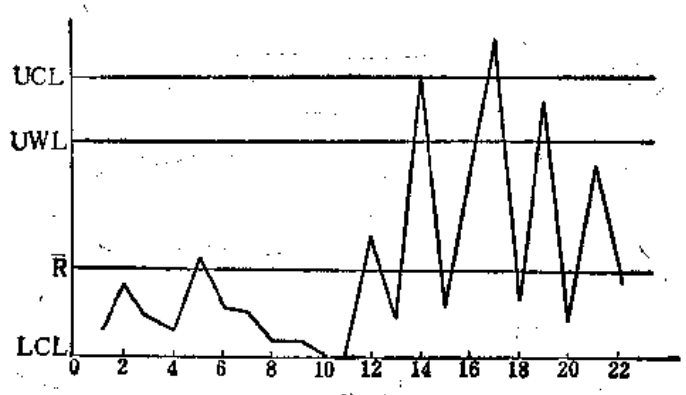


图 9-23 R控制图

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 准确度的控制

用$\bar{x}$图可控制测定的准确度，编制$\bar{x}$控制图的步骤与R图类似。计算公式如下：

平均值 $$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\bar{x}_i$$

平均值的平均值 $$\overline{\bar{x}}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x_i$$

全距 $$\bar{R}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}R_i$$

控制限 $$\mathrm{CL}=\overline{\bar{x}}\pm A_2\bar{R}$$

警告限 $$\mathrm{WL}=\overline{\bar{x}}\pm\frac{2}{3}A_2\bar{R}$$

9.5.4.2 样品的评价

采集气体样品时，要把采样体积换算成标准状况下的体积，再计算测定结果。而且测定过程的准确度和精密度要在控制范围之内，该样品的测定数据才有效。然后用《工业企业设计卫生标准》(TJ36—79) 中规定的“车间空气中有害物质的最高容许浓度”(见附表9-1)评价。国家暂无卫生标准的，可以参考苏联、日本等国的卫生标准进行评价（应注明标准来源）。

9.5.4.3 测定点的评价

测定点的评价是以一定时期内该点测定的样品合格率为依据，合格率达到75%及以上者为合格点，75%以下者为不合格点。计算公式：

$$\text{某测定点的样品合格率（%）}=\frac{\text{此期间内合格的样品数}}{\text{观察期间某测定点的样品总数}}\times 100\%$$

9.5.4.4 劳动环境的评价

测定点合格率是企业或车间劳动条件好坏的评价依据。劳动条件好坏分为优、良、中、差四级。企业或车间测定点合格率在85%以上者为优，70%～80%者为良，50%～70%以上者为中，50%以下者为差（若有的样品结果超过卫生标准50倍以上，则虽然合格率达到要求，也不能评为优良。测定点合格率计算公式：

$$\text{测定点合格率（%）}=\frac{\text{合格点数}}{\text{企业(或车间)测定点总数}}\times 100\%$$

附表 9-1 车间空气中有害物质的最高容许浓度

编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/m³)	编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/m³)
	（一）有毒物质		44	升汞	0.1
1	一氧化碳*	30	45	有机汞化合物（皮）	0.005
2	一甲胺	5	46	松节油	300
3	乙醚	500	47	环氧氯丙烷（皮）	1
4	乙腈	3	48	环氧乙烷	5
5	二甲胺	10	49	环己酮	50
6	二甲苯	100	50	环己醇	50
7	二甲基甲酰胺（皮）	10	51	环己烷	100
8	二甲基二氯硅烷	2	52	苯（皮）	40
9	二氧化硫	15	53	苯及其同系物的一硝基化合物（硝基苯及硝基甲苯等）（皮）	5
10	二氧化硒	0.1			
11	二氯丙醇（皮）	5	54	苯及其同系物的二及三硝基化合物（二硝基苯、三硝基甲苯等）（皮）	1
12	二硫化碳（皮）	10			
13	二异氰酸甲苯酯	0.2	55	苯的硝基及二硝基氯化物（一硝基氯苯、二硝基氯苯等）（皮）	1
14	丁烯	100			
15	丁二烯	100	56	苯胺、甲苯胺、二甲苯胺（皮）	5
16	丁醛	10	57	苯乙烯	40
17	三乙基氯化锡（皮）	0.01		钒及其化合物：	
18	三氧化二砷及五氧化二砷	0.3	58	五氧化二钒烟	0.1
19	三氧化铬、铬酸盐、重铬酸盐(换算成Cr_2O_3)	0.05	59	五氧化二钒粉尘	0.5
20	三氯氢硅	3	60	钒铁合金	1
21	己内酰胺	10	61	苛性碱（换算成NaOH）	0.5
22	五氧化二磷	1	62	氟化氢及氟化物（换算成F）	1
23	五氯酚及其钠盐	0.3	63	氨	30
24	六六六	0.1	64	臭氧	0.3
25	内体六六六	0.05	65	氧化氮（换算成NO_2）	5
26	丙酮	400	66	氧化锌	5
27	丙烯腈（皮）	2	67	氧化镉	0.1
28	丙烯醛	0.3	68	砷化氢	0.3
29	丙烯醇（皮）	2		铅及其化合物：	
30	甲苯	100	69	铅烟	0.03
31	甲醛	3	70	铅尘	0.05
32	光气	0.5	71	四乙基铅（皮）	0.005
	有机磷化合物：		72	硫化铅	0.5
33	内吸磷（E059）（皮）	0.02	73	铍及其化合物	0.001
34	对硫磷（E605）（皮）	0.05	74	钼（可溶性化合物）	4
35	甲拌磷（3911）（皮）	0.01	75	钼（不溶性化合物）	6
36	马拉硫磷(4049)（皮）	2	76	黄磷	0.03
37	甲基内吸磷（甲基E059）（皮）	0.2	77	酚（皮）	5
38	甲基对硫磷（甲基E605）（皮）	0.1	78	萘烷、四氢化萘	100
39	乐戈（乐果）（皮）	1	79	氰化氢及氢氰酸盐（换算成HCN）（皮）	0.3
40	敌百虫（皮）	1	80	联苯——联苯醚	7
41	敌敌畏（皮）	0.3	81	硫化氢	10
42	吡啶	4	82	硫酸及三氧化硫	2
	汞及其化合物：		83	锆及其化合物	5
43	金属汞	0.01	84	锰及其化合物（换算成MnO_2）	0.2

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/m³)	编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/m³)
85	氯	1	104	醋酸丁酯	300
86	氯化氢及盐酸	15	105	醋酸戊酯	100
87	氯苯	50		醇：	
88	氯萘及氯联苯（皮）	1	106	甲醇	50
89	氯化苦	1	107	丙醇	200
	氯代烃		108	丁醇	200
90	二氯乙烷	25	109	戊醇	100
91	三氯乙烯	30	110	糠醛	10
92	四氯化碳（皮）	25	111	磷化氢	0.3
93	氯乙烯	30		（二）生产性粉尘	
94	氯丁二烯（皮）	2	1	含有10%以上游离二氧化硅的粉尘（石英、石英岩等）**	2
95	溴甲烷（皮）	1	2	石棉粉尘及含有10%以上石棉的粉尘	2
96	碘甲烷（皮）	1	3	含有10%以下游离二氧化硅的滑石粉尘	4
97	溶剂汽油	350	4	含有10%以下游离二氧化硅的水泥粉尘	6
98	滴滴涕	0.8	5	含有10%以下游离二氧化硅的煤尘	10
99	羰基镍	0.001	6	铝、氧化铝、铝合金粉尘	4
100	钨及碳化钨	6	7	玻璃棉和矿渣棉粉尘	5
	醋酸酯：		8	烟草及茶叶粉尘	3
101	醋酸甲酯	100	9	其他粉尘***	10
102	醋酸乙酯	300			
103	醋酸丙酯	300			

注：1.表中最高容许浓度是工人工作地点空气中有害物质所不应超过的数值。工作地点系指工人为观察和管理生产过程而经常或定时停留的地点，如生产操作在车间内许多不同地点进行，则整个车间均算为工作地点。

2.有（皮）标记者为除呼吸道吸收外，尚易经皮肤吸收的有毒物质。

3.工人在车间内停留的时间短暂，经采取措施仍不能达到上表规定的浓度时，可与省、市、自治区卫生主管部门协商解决。

* 一氧化碳的最高容许浓度在作业时间短暂时可予放宽：作业时间1小时以内，一氧化碳浓度容许达到50mg/m³；半小时以内——100mg/m³；15～20分钟——200mg/m³。在上述条件下反复作业时，两次作业之间需间隔2小时以上。

** 含有80%以上游离二氧化硅的生产性粉尘，宜不超过1mg/m³。

*** 其他粉尘系指游离二氧化硅含量在10%以下，不含有毒物质的矿物性和动植物性粉尘。

4.本表所列各项有毒物质的检验方法，应按卫生部批准的现行《车间空气监测检验方法》执行。

附表 9-2 居住区大气中有害物质最高容许浓度

编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/m³)		编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/m³)	
		一次	日平均			一次	日平均
1	一氧化碳	3.00	1.00	10	甲基对硫磷（甲基E605）	0.01	
2	乙醛	0.01		11	甲醇	3.00	1.00
3	二甲苯	0.30		12	甲醛	0.05	
4	二氧化硫	0.50	0.15	13	汞		0.0003
5	二硫化碳	0.04		14	吡啶	0.08	
6	五氧化二磷	0.15	0.05	15	苯	2.40	0.80
7	丙烯腈		0.05	16	苯乙烯	0.01	
8	丙烯醛	0.10		17	苯胺	0.10	0.03
9	丙酮	0.80		18	环氧氯丙烷	0.20	

续表

编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/m³)		编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/m³)	
		一次	日平均			一次	日平均
19	氟化物（换算成F）	0.20	0.007	28	铅及其他无机化合物（换算成Pb）		0.0007
20	氨	0.20					
21	氧化氮（换算成NO_2）	0.15		29	氯	0.10	0.03
22	砷化物（换算成As）		0.003	30	氯丁二烯	0.10	
23	敌百虫	0.10		31	氯化氢	0.05	0.015
24	酚	0.02		32	铬（六价）	0.0015	
25	硫化氢	0.01		33	锰及其化合物（换算成MnO_2）		0.01
26	硫酸	0.30	0.10	34	飘尘	0.50	0.15
27	硝基苯	0.01					

注：1.一次最高容许浓度，指任何一次测定结果的最大容许值。
2.日平均最高容许浓度，指任何一日的平均浓度的最大容许值。
3.本表所列各项有害物质的检验方法，应按卫生部批准的现行《大气监测检验方法》执行。
4.灰尘自然沉降量，可在当地清洁区实测数值的基础上增加3～5吨/平方公里/月。

附表 9-3 地面水水质卫生要求

指标	卫生要求
悬浮物质 色、臭、味	含有大量悬浮物质的工业废水，不得直接排入地面水体，不得呈现工业废水和生活污水所特有的颜色、异臭或异味
漂浮物质	水面上不得出现较明显的油膜和浮沫
pH 值	6.5～8.5
生化需氧量 （五日20℃）	不超过3～4mg/L
溶解氧	不低于4mg/L（东北地区渔业水体应不低于5mg/L）
有害物质	不超过表9-4规定的最高容许浓度
病原体	含有病原体的工业废水和医院污水，必须经过处理和严格消毒，彻底消灭病原体后方准排入地面水体

附表 9-4 地面水中有害物质的最高容许浓度

编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/L)	编号	物质名称	最高容许浓度 (mg/L)
1	乙腈	5.0	11	己内酰胺	按地面水中生化需氧量计算
2	乙醛	0.05			
3	二硫化碳	2.0	12	六六六	0.02
4	二硝基苯	0.5	13	六氯苯	0.05
5	二硝基氯苯	0.5	14	内吸磷（E059）	0.03
6	二氯苯	0.02	15	水合肼	0.01
7	丁基黄原酸盐	0.005	16	四乙基铅	不得检出
8	三氯苯	0.02	17	四氯苯	0.02
9	三硝基甲苯	0.5	18	石油（包括煤油、汽油）	0.3
10	马拉硫磷(4049)	0.25			

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

编号	物质名称	最高容许浓度(mg/L)	编号	物质名称	最高容许浓度(mg/L)
19	甲基对硫磷(甲基E605)	0.02	36	挥发酚类	0.01
			37	砷	0.04
20	甲醛	0.5	38	钼	0.5
21	丙烯腈	2.0	39	铅	0.1
22	丙烯醛	0.1	40	钴	1.0
23	对硫磷(E605)	0.003	41	铍	0.0002
			42	锑	0.01
24	乐戈(乐果)	0.08	43	铬,二价铬	0.5
25	异丙苯	0.25		六价铬	0.05
26	汞	0.001	44	铜	0.1
27	吡啶	0.2	45	锌	1.0
28	钒	0.1	46	硫化物	不得检出(按地面水溶解氧计算)
29	松节油	0.2			
30	苯	2.5	47	氰化物	0.05
31	苯乙烯	0.3	48	氯苯	0.02
32	苯胺	0.1	49	硝基氯苯	0.05
33	苦味酸	0.5	50	锑	0.05
34	氟化物	1.0	51	滴滴涕	0.2
35	活性氯	不得检出(按地面水需氯量计算)	52	镍	0.5
			53	硒	0.01

附表 9-5 十三类有害物质的排放标准

序号	有害物质名称	排放有害物企业①	排放标准		
			排气筒高度(m)	排放量②(kg/h)	排放浓度(mg/m³)
1	二氧化硫	电站	30	82	
			45	170	
			60	310	
			80	650	
			100	1200	
			120	1700	
			150	2400	
		冶金	30	62	
			45	91	
			60	140	
			80	230	
			100	450	
			120	670	
		化工	30	34	
			45	66	
			60	110	
			80	190	
			100	280	
2	二硫化碳	轻工	20	5.1	
			40	15	
			60	30	
			80	51	

续表

序号	有害物质名称	排放有害物企业①	排放标准		
			排气筒高度（m）	排放量②（kg/h）	排放浓度（mg/m³）
			100	76	
			120	110	
3	硫化氢	化工、轻工	20	1.3	
			40	3.8	
			60	7.6	
			80	13	
			100	19	
			120	27	
4	氟化物（换算成F）	化工	30	1.8	
			50	4.1	
		冶金	120	24	
5	氮氧化物（换算成NO_2）	化工	20	12	
			40	37	
			60	86	
			80	160	
			100	230	
6	氯	化工	20	2.8	
		冶金	30	5.1	
			50	12	
			80	27	
			100	41	
7	氯化氢	化工	20	1.4	
		冶金	30	2.5	
			50	5.9	
			80	14	
			100	20	
8	一氧化碳	化工	30	160	
		冶金	60	620	
			100	1700	
9	硫酸（雾）	化工	30～45		200
			60～80		600
10	铅	冶金	100		34
			120		47
11	汞	轻工	20		0.01
			30		0.02
12	铍化物（换算成Be）		45～80		0.015
13	烟尘及生产性粉尘	电站（煤粉）	30	82	
			45	170	
			60	310	
			80	650	
			100	1200	
			120	1700	
			150	2400	
		工业及采暖锅炉			200
		炼钢电炉			200

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

序号	有害物质名称	排放有害物企业①	排放标准		
			排气筒高度（m）	排放量②（kg/h）	排放浓度（mg/m³）
		炼钢转炉			
		（小于12 t）			300
		（大于12 t）			150
		水泥生产性粉尘③			150
		（第一类）			100
		（第二类）			150

①表中未列入的企业、其有害物质的排放量可参照本表类似企业。

②表中所列数据按平原地区、大气为中性状态，点源连续排放制订。

间断排放者，每天多次排放，其排放量按表中规定；若每天排放一次而又小于一小时，则二氧化硫、烟尘及生产性粉尘、二硫化碳、氟化物、氯、氯化氢、一氧化碳等七类物质的排放量可为表中规定量的三倍。

③系指局部通风除尘后所允许的排放浓度。

第一类指，含10%以上的游离二氧化硅或石棉粉尘，玻璃棉和矿渣棉粉尘、铝化物粉尘等。

第二类指，含10%以下的游离二氧化硅的煤尘及其它粉尘。

附表 9-6 第一类工业废水最高容许排放浓度

序号	有害物质名称	最高容许浓度（mg/L）
1	汞及其无机化合物	0.05（按Hg计）
2	镉及其无机化合物	0.1（按Cd计）
3	六价铬化合物	0.5（按Cr^{+6}计）
4	砷及其无机化合物	0.5（按As计）
5	铅及其无机化合物	1.0（按Pb计）

附表 9-7 第二类工业废水最高容许排放浓度

序号	有害物质或项目名称	最高容许排放浓度
1	pH值	6～9
2	悬浮物（水力排灰、洗煤水、水力冲渣、尾矿水）	500mg/L
3	生化需氧量（5天20℃）	60mg/L
4	化学耗氧量（重铬酸钾法）	100mg/L①
5	硫化物	1mg/L
6	挥发性酚	0.5mg/L
7	氰化物（以游离氰根计）	0.5mg/L
8	有机磷	0.5mg/L
9	石油类	10mg/L
10	铜及其化合物	1mg/L（按Cu计）
11	锌及其化合物	5mg/L（按Zn计）
12	氟的无机化合物	10mg/L（按F计）
13	硝基苯类	5mg/L
14	苯胺类	3mg/L

①造纸、制革、脱脂棉<300mg/L。

第 10 章　通 风 除 尘

10.1　常 用 术 语

1. 全面通风

向整个房间输送符合人体卫生和生产工艺要求的空气，更换原有的空气。

2. 局部吸气

在有害物质发生源附近，把有害物质随同空气吸走，以防其向周围空间散布。

3. 静压

空气作用于管道壁上的压力。

4. 动压

以一定速度流动的空气所具有的压力。

5. 全压

同时作用于管道系统一定点的静压与动压之和。

6. 粉尘

固体物质受外力的分裂作用而形成的，悬浮于空气中或附着在器物上的微小颗粒物。

7. 烟

由固体物质产生的蒸气冷凝而成的，或由产生固态产物的蒸气化学反应（如铅烟）所形成的微小固体颗粒物，以及由于物体燃烧而产生的固体或液体颗粒物。

8. 雾

由于液体的分裂或蒸气在凝结核上凝结而成的悬浮于气体中的液态颗粒物。

9. 飞灰

从燃烧矿物燃料的炉子排出的气体中所含有的颗粒物。

10. 气溶胶

固体或液体微粒悬浮在气体中的多相物系。

11. 除尘率

除尘器处理一定量气体所捕集的颗粒物量与气体中原有的全部颗粒物量之比，用百分率表示。

12. 部分除尘率

对某一粒度或一定粒度范围内颗粒物的除尘率。

13. 通过率

即（1－除尘率）。

14. 粒度

表明颗粒物大小的量。如用一维尺寸表示，称为粒径。

15. 空气动力直径

与一颗粒物在静止空气中低雷诺数下沉降末速度相同的单位密度（即密度为1g/cm³）球体的直径。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

16. 中位径

一定范围颗粒物的一种代表性粒径，小于该粒径的和大于该粒径的颗粒物量相等。

17. 分离界限粒径

除尘器以100%的部分除尘率捕集的颗粒物的最小粒径，或以50%的部分除尘率捕集的颗粒物的粒径。前者为100%分离界限粒径；后者为50%分离界限粒径。

10.2 全面通风

全面通风可分为稀释通风和平行流通风两种。稀释通风是以无害的空气和缓地连续冲淡室内全部空气中的有害物质，使之不超过卫生标准（图10-1）；平行流通风是用无害的空气构成速度和方向均一、厚度及幅度宽广的均匀气流把室内污染空气全部压出。一般工厂为了劳动卫生的目的而应用的通风多为稀释通风。

全面通风可利用自然力或机械力来进行，有表10-1中的几种组合方式。

表 10-1 各种全面通风方式

送风	排风	通风量	室内压力	备注
机械	机械	有限不定	任意	
机械	自然		正压	可避免有害物质从周围房间流入
自然	机械		负压	可避免有害物质流入周围房间
自然	自然补助		负压	可避免有害物质流入周围房间
自然	自然		不定	

10.2.1 稀释通风的必要通风量和换气次数

必要通风量是为了保持室内空气条件不超过一定标准而必需的最小通风量。按作为通风对象的各种有害物质决定必要通风量的方法如下。

10.2.1.1 对有害气体的必要通风量

如果在体积为V（m^3）的室内产生有害气体G（m^3/h），设室内空气及外气中的有害气体浓度各为C_R、C_0（体积比），通风量为Q（m^3/h），则欲将稳定状态下的室内有害气体浓度控制到C_R时的必要通风量，可按（10-1）式中的$t\to\infty$而取得的下式表示：

$$C_R = C_0 + \frac{G}{Q}\left[1 - e^{-(Q/V)t}\right] \qquad (10\text{-}1)$$

$$Q = \frac{G}{C_R - C_0} \qquad (10\text{-}2)$$

把上式用图表示，即为图10-2。

式（10-2）中的C_R值可按国家卫生标准规定的有害气体最高容许浓度确定；G值可用下列方法确定：

（1）通过测量来确定；

（2）有机溶剂等能蒸发的物质，也可以根据物料消费量来决定；

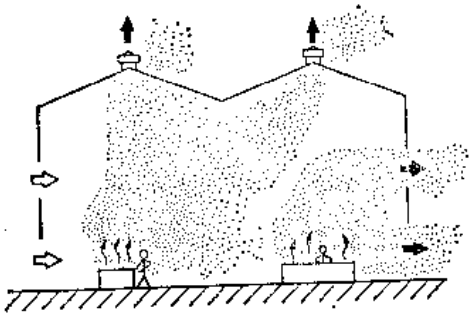


图 10-1 稀释通风

（3）敞开式作业的有害物质散发量可用下列方法推算：

① 一般化学反应的散发量可根据化学反应式计算，如

$$2NaCl + H_2SO_4 \longrightarrow Na_2SO_4 + 2HCl\uparrow$$

每kgNaCl与H_2SO_4作用，生成HCl的数量为

$$\frac{2\times M_{HCl}\times 1000}{2\times M_{NaCl}} = \frac{72.929\times 1000}{116.908} = 623.8g$$

② 有害物质敞露存放时的散发量

$$G = (5.38 + 4.1w)p_{饱和}\cdot F\cdot\sqrt{M}/133.3 \qquad (10\text{-}3)$$

式中 G——散发量，g/h；

w——车间内风速，m/s；

$p_{饱和}$——有害物质在室温下的饱和蒸气压，Pa；

F——有害物质敞露面积，m^2；

M——有害物质的分子量。

③ 燃料燃烧时的CO、SO_2散发量

a．固体燃料和液体燃料为

$$G_{CO} = 0.233CA \qquad (10\text{-}4)$$

$$G_{SO_2} = 20S \qquad (10\text{-}5)$$

b．天然气和人造气体燃料为

$$G_{CO} = 0.125A(E_1 + E_2 + \cdots\cdots + E_n) \qquad (10\text{-}6)$$

式中 G_{CO}——CO散发量，对固体、液体燃料、单位为g/kg；对气体燃料，单位为g/Nm^3；

G_{SO_2}——SO_2散发量，g/kg；

C——燃料中含碳的重量百分比，%；

S——燃料中含硫的重量百分比，%；

A——燃料的不完全燃烧百分比，%，对木柴、泥煤、褐煤可取4%；对烟煤、无烟煤、木炭、焦炭可取3%；对重油和气体燃料可取2%；

E_1、E_2……E_n——气体燃料中CO、CH_4、C_2H_6、C_3H_8、C_4H_{10}、H_2S等的体积百分比，%。

④ 表面涂漆时的有害物质散发量

$$G = \frac{m}{z} \qquad (10\text{-}7)$$

式中 G——每件油漆物件平均每小时散发溶剂量，kg/h；

m——每件油漆物件实际消耗溶剂量，kg；

z——挥发物蒸发的延续时间，h。

⑤ 从设备或管道不严密处漏出的有害物量

$$G = ncV\sqrt{\frac{M}{T}} \qquad (10\text{-}8)$$

式中 G——有害物泄漏量，kg/h；

n——安全系数，视设备磨损程度而定，一般取n=1～2，多取1.5；

c——随设备或管道内部压力而定的系数，见表10-2；

V——设备或管道内部容积，m^3；

M——设备或管道内气体分子量；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

T——设备或管道内气体的温度，K。

表 10-2 c 值

压力（表压）	<1	1	6	16	40	160	400	1050
c	0.121	0.166	0.182	0.189	0.252	0.298	0.310	0.370

确定必要通风量还需注意以下几点：

① 因为式（10-2）是假定所产生的有害气体和通风空气在室内均匀地稀释扩散而导出的，但实际上，即使平均浓度低，在发生源附近的操作者也可能呼吸浓度高于平均值的空气，所以有必要乘以安全系数K，即

$$Q' = KQ \tag{10-9}$$

式中 Q'——实际采用的稀释通风量。

K值一般可在3～10的范围内选用。选择K值时要考虑：a．物质的毒性大小；b．有害物质的散发率（一般是不均匀的）；c．通风的效果（气流状况）。

② 如有几种有害气体或蒸气同时散发到车间空气中，则在计算全面通风量时，应以不同有害物的危害作用相加为根据（除非有可以证明不是相加的资料），先计算出混合物中每一种有害物质稀释到最高容许浓度时所需要的通风量，然后求其和，即为所需要的全面通风量。

③ 如果各有害物质的危害作用不是相加的，而是独立的，则应算出每种有害物质所需要的稀释风量，取其中的最大值作为全面通风量。

10.2.1.2 排热的必要通风量

可用式（10-10）、（10-11）计算。

$$H_S = Q\gamma c_p \Delta t \tag{10-10}$$

$$Q \approx \frac{H_S}{1.2\Delta t} \tag{10-11}$$

式中 Q——必要通风量，m^3/s；

H_S——室内总余热量，kJ/s；

γ——空气密度，kg/m^3；

c_p——空气的比热，kJ/kg·℃；

Δt——排出空气与进入空气的温度差，℃。

如用图表示式（10-11），即为图10-3。

H_S等于室内所得热量与该室耗失热量之差。室内得热量包括该室所有各种设备和装置及人体的散热量和通过该室围挡进入室内的热量。各种散热量及失热量的详细计算方法，可以参考采暖通风设计手册。

10.2.1.3 排出水蒸气的必要通风量

当室内产生大量水蒸气时，为了排出水蒸气而必需的通风量可用下式计算：

$$Q = \frac{W}{1.2\Delta G} \tag{10-12}$$

式中 Q——必要通风量，m^3/h；

W——散入室内的总湿量，kg/h；

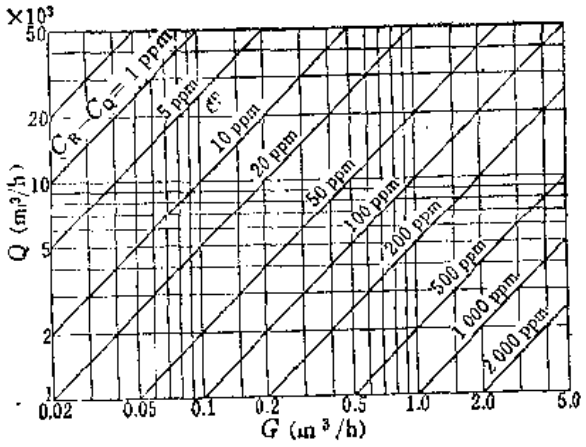


图 10-2 对有害气体的必要通风量

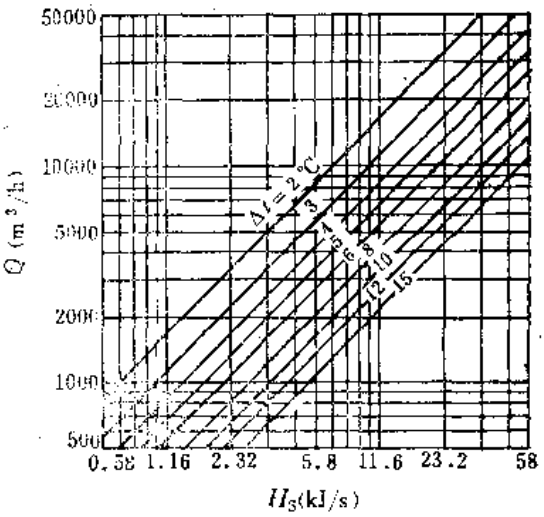


图 10-3 排热的必要通风量

ΔG——室内空气和送风的含湿量之差，kg/kg干空气。

如用图表示上式，即为图10-4。

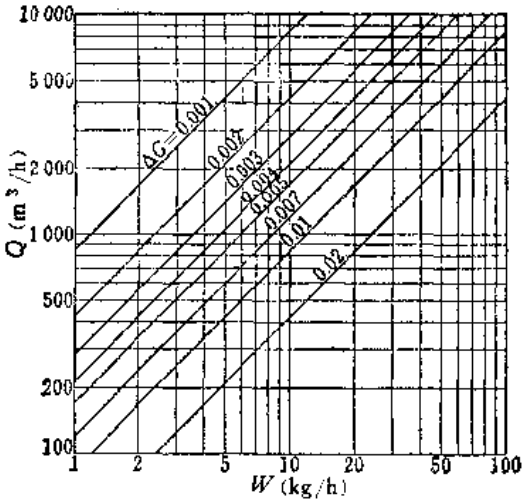


图 10-4 排出水蒸气的必要通风量

对室内空气所要求的含湿量及送风含湿量，可根据空气的温度与相对湿度从温湿图上查出。

表10-3是在大气压力为10^5Pa、蒸发表面空气流速为0.3m/s和不同水温、室温条件下，每m^2水表面的散湿量。

10.2.1.4 换气次数

当缺乏确切资料而无法计算进入室内的有害物量时，可根据同类房间换气次数的经验数字决定所需稀释通风量。

通风房间的换气次数可用下式表示：

$$n = \frac{Q}{V} \qquad (10\text{-}13)$$

式中 n——每小时换气次数；

Q——通风量，m^3/h；

V——通风房间的容积，m^3。

10.2.2 稀释通风的气流组织

原则上应尽可能将新鲜空气直接送到工作地点，然后再与生产过程散发的有害物质混合排出。送排风口的布置可以有表10-4中的几种方式。

设置送、排风口应注意以下原则：

（1）送风口应设在有害物质浓度较小的区域，排风口应设在尽量靠近有害物质发生源或有害物质浓度最高处。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 10-3 敞开水槽表面的散湿量(kg/h·m²)

室温 (℃)	室内相对湿度 (%)	水温 (℃)								
		20	30	40	50	60	70	80	90	100
18	40	0.308	0.700	1.650	3.300	6.050	10.50	17.90	29.20	49.20
	45	0.288	0.676	1.600	3.280	6.020	10.48	17.80	29.10	49.10
	50	0.267	0.657	1.580	3.240	5.960	10.45	17.80	29.10	49.10
	55	0.244	0.632	1.560	3.220	5.940	10.40	17.70	29.10	49.00
	60	0.224	0.612	1.530	3.180	5.900	10.37	17.70	29.00	49.00
	65	0.204	0.592	1.506	3.150	5.890	10.30	17.70	28.90	48.90
	70	0.183	0.572	1.480	3.130	5.850	10.30	17.60	28.90	48.80
20	40	0.286	0.676	1.610	3.270	6.020	10.48	17.80	29.20	49.10
	45	0.262	0.654	1.570	3.240	5.970	10.42	17.80	29.10	49.00
	50	0.238	0.627	1.550	3.200	5.940	10.40	17.70	29.00	49.00
	55	0.214	0.603	1.520	3.170	5.900	10.35	17.70	29.00	48.90
	60	0.190	0.580	1.490	3.140	5.860	10.30	17.70	29.00	48.80
	65	0.167	0.556	1.460	3.100	5.820	10.27	17.60	28.90	48.70
	70	0.142	0.532	1.430	3.060	5.790	10.27	17.60	28.80	48.70
24	40	0.232	0.622	1.540	3.200	5.930	10.40	17.70	29.00	49.00
	45	0.203	0.581	1.500	3.150	5.890	10.32	17.70	29.00	48.90
	50	0.172	0.561	1.460	3.110	5.860	10.30	17.60	28.90	48.80
	55	0.142	0.532	1.430	3.070	5.780	10.22	17.60	28.80	48.70
	60	0.112	0.501	1.390	3.020	5.730	10.22	17.50	28.80	48.60
	65	0.083	0.472	1.360	3.020	5.680	10.12	17.40	28.50	48.50
	70	0.051	0.440	1.320	2.940	5.650	10.00	17.40	28.70	48.50
28	40	0.166	0.557	1.460	3.110	5.840	10.30	17.60	28.90	48.90
	45	0.130	0.518	1.410	3.050	5.770	10.21	17.60	28.80	48.80
	50	0.091	0.480	1.370	2.990	5.710	10.12	17.50	28.75	48.70
	55	0.053	0.442	1.320	2.940	5.650	10.00	17.40	28.70	48.60
	60	0.0145	0.404	1.270	2.890	5.600	10.00	17.30	28.60	48.50
	65	-0.025	0.364	1.230	2.830	5.540	9.95	17.30	28.50	48.40
	70	-0.063	0.326	1.189	2.780	5.470	9.90	17.20	28.40	48.30

表 10-4 送排风口布置方式

布置方式	适用方式
下送上排	散发有害气体、水蒸气或余热的车间
上送下排	无热源存在的车间
上送上排	在车间下部不便布置风口时采用

（2）设置排风口和送风口的位置应能使新鲜空气流过污染区域。

（3）应保持有害物质发生源处在操作人员和排气口之间，使污染空气不流向操作人员。

（4）设置送风口最好能做到在冬季不给工人以吹风感（除非热负荷很高），在夏季又能以合适的风速吹向工人。

（5）为了避免排出的空气重新进入室内，应将室内空气从高于屋顶处排出，或保证没

有窗子及其它任何空气入口靠近排风口。

图10-5表明送、排风口布置优劣的一些例子。

如果稀释通风的房间邻接有人占用的房间，则排风量最好稍稍超过送风量；如果不邻接有人的房间，则应使送风量稍大一些。

10.2.3 自然通风

在建筑物内外有温度差或有风时，建筑物内外产生压力差，使空气从建筑物的缝隙和窗口出入，即为自然通风。这是热车间常用的全面换气排除余热的通风方式。

单跨单排窗进风的厂房自然通风（图10-6）计算方法如下：

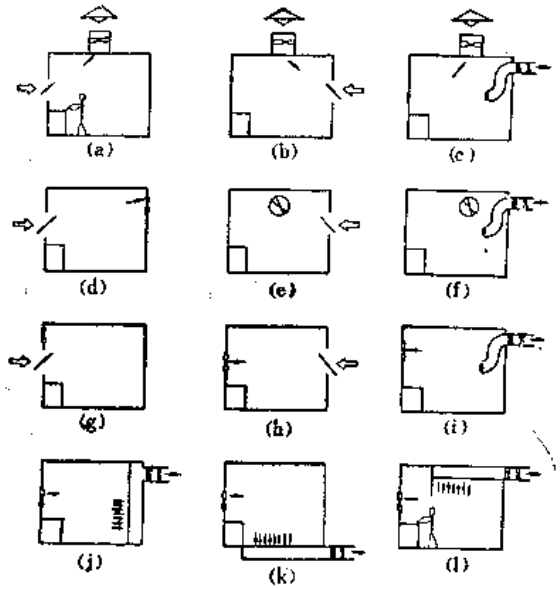


图 10-5 送、排风口的布置

(a)~(f)风机位置不好；(g)~(l)风机位置良好；(c)(f)(l)进气口良好；(j)(k)(l)进气口最好；(b)(e)(h)进气口较好；(a)(d)(g)进气口不好

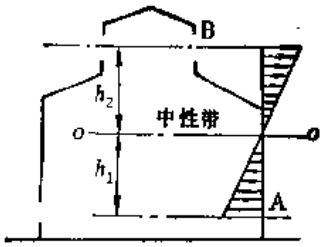


图 10-6 余压沿车间高度的变化

1. 因室内外温度差而产生的压力差

由于室外的风速和风向经常变化，为了保证自然通风的设计效果，在计算时一般不考虑因室外风而产生的压力差，只考虑温度差的作用。

由于室内高温空气的密度比室外空气密度小而形成的窗口内外压力差，也就是窗口内的余压绝对值，可用下式计算。

$$\Delta p = \frac{9.8 p_0 h}{R}\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right) \qquad (10\text{-}14)$$

式中 Δp——窗口内外压力差，Pa；

p_0——大气压力，Pa；

R——空气的气体常数，$= 287 \mathrm{Pa \cdot m^3/kg \cdot K}$；

T_0——窗外空气的温度，K；

T——窗内空气的温度，K；

h——中性带（即室内外压力差为0的位置）与窗口中心线的垂直距离，m。

2. 中性带的位置

中性带与进风窗口中心线的垂直距离 h_1（m）可用下式计算。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$h_1=\frac{H}{\left(\frac{F_A}{F_B}\right)^2+1} \tag{10-15}$$

式中 H——进风窗口与排风窗口中心线的垂直距离，m；

F_A——进风窗口总面积，m^2；

F_B——排风窗口总面积，m^2。

上式中的$\left(\frac{F_A}{F_B}\right)$一般可取1.2～1.4。

3. 车间上部的排风温度

有两种计算方法：

（1）温度梯度法 此法适用于散热较均匀、散热量不太大的车间。计算公式如下：

$$t_B=t_x+\alpha\ (H_B-2) \tag{10-16}$$

式中 t_B——车间上部的排风温度，℃；

t_x——车间工作区空气温度，即地面以上2 m以内的空气温度，℃；

H_B——从排风窗口中心线至地面的距离，m；

α——沿车间高度方向的温度梯度，℃/m，见表10-5。

表 10-5 α 值

车间散热强度	厂房高度（m）										
（W/m³）	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
11.6～23.2	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
23.2～46.4	1.0	1.2	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
46.4～69.6	1.5	1.5	1.2	1.1	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5
69.6～92.8	—	1.5	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	0.9
92.8～116.0	—	—	—	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.3

（2）有效热量法 此法适用于有强大热源的厂房。计算公式如下：

$$t_B=t_0+\frac{t_x-t_0}{m} \tag{10-17}$$

式中 t_0——外界空气温度，℃；

m——有效热量系数，可根据热源的占地面积f与车间地面面积F之比确定，见表10-6。

表 10-6 m 值

f/F	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
m	0.25	0.42	0.55	0.60	0.65	0.70

4. 窗口面积

设计自然通风，一般不考虑空气通过建筑物缝隙的渗透，只计算窗口面积。计算公式如下。

$$F=\frac{Q}{\mu\sqrt{\frac{2g}{\gamma}\Delta p}} \tag{10-18}$$

式中 F——窗口面积，m^2；

Q——排除余热所需通风量，m^3/s，用式（10-11）计算；

γ——空气密度，kg/m^3；计算进风窗时，用室外空气密度；计算排风窗时，用上部排风温度下的空气密度；

g——重力加速度，$=9.81m/s^2$；

μ——窗口流量系数，一般为0.6～0.7。

用式（10-18）算出进、排风窗口面积后，应计算二者比值，以校核是否与原定二者比值相符。

10.3 局部吸气

在大部分情况下，稀释通风对有害物的控制不如局部吸气经济、有效。就工厂通风而言，除非无法设置局部吸气装置，一般都应以采取局部吸气措施为主、必要时辅以稀释通风。

局部吸气系统一般由四部分组成：①把污染空气吸入通风系统的吸气罩；②联系吸气罩、空气净化器和风机的管道；③清除空气中污染物的空气净化设备（在局部吸尘系统中即为除尘器）；④作为整个系统动力的风机和电动机。

设计局部吸气系统的内容包括：①确定吸气罩的形式和吸气量；②选择最有利的吸气系统布置方案；③选择空气净化器；④确定管道尺寸；⑤计算系统阻力和平衡支管阻力；⑥选择风机和电动机。

10.3.1 吸 气 罩

吸气罩可分为包围型罩和外加型罩两类。前者是将污染源包在罩内，仅在罩子的必要部位留出开口；后者是装在污染源的侧面、顶上或底下的罩子。

设置吸气罩应注意：

（1）应尽可能使吸气罩包住有害物质发生源。如果只能使用外加型罩，就应当使吸气罩尽量靠近有害物发生源。

（2）吸气罩不应妨碍工人操作，或造成维护生产设备的不便。

（3）应避免使污染空气经过操作人员的呼吸带流入吸气罩。

（4）捕集较大尘粒的吸气罩，其罩口应当迎着大尘粒的运动方向。

10.3.1.1 吸气量计算

关于吸气罩的吸气量，最好采用同类型生产过程和设备的经验数据。在没有可靠的经验数据时，可用下列方法计算。

1. 控制速度法

（1）无热源的包围型罩

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5-Q_0 \tag{10-19}$$

式中 Q——吸气量，m^3/h；

Q_1——通过罩子敞口和缝隙吸入的风量，m^3/h；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

Q_2——物料从高处降落而带入罩内的风量，m^3/h；

Q_3——由于设备运转而带入罩内的风量，m^3/h；

Q_4——因物料和机械加工散热而使空气膨胀和水分蒸发所增加的风量，m^3/h；

Q_5——物料被压实所排挤出的风量，m^3/h；

Q_6——从罩内排出的物料所带走的风量，m^3/h。

大部分情况下，吸风量的主要组成部分为

$$Q = Q_1 + Q_2 \tag{10-20}$$

Q_1可用下式计算：

$$Q_1 = 3600\ (VA + q) \tag{10-21}$$

式中 V——从敞口吸入罩内的空气平均流速，m/s；对中等危险物质可取0.5m/s；对剧毒物质和放射性物质可取0.75～1m/s；

A——罩子的敞口面积，m^2；

q——从缝隙吸入的空气量，m^3/s；对每m长缝隙一般可取$1/1000 m^3/s$。

准确的Q_2值需要通过现场测定来取得。

（2）无热源的外加型罩　几种基本的外加型罩的吸风量计算公式及其适用范围见表10-7。

表10-7中的“控制速度”，就是在吸气罩前方任一点，能克服干扰吸气的气流，而把污染空气吸入罩内的速度。控制速度最好通过现场实际观测来确定。如果缺乏实测数据，可采用表10-8中的数据。

（3）有热源的伞形罩　对热源顶上的伞形罩的设计原则是，罩子必须把送往罩口的污染热空气全部吸走。其计算内容如下。

① 热气流起始流量。由工艺设备产生的热烟气量，可通过工艺计算确定。由热源表面散热而产生的热气流起始流量可按下式计算：

$$Q_0 = 0.381(HLF^2)^{1/3} \tag{10-22}$$

式中 Q_0——热气流起始流量，m^3/s；

F——热源顶部热气流的横断面积，m^2；对水平热源，可取F等于热源的水平投影面积（例如热圆棒可取F＝圆棒直径×圆棒长度；化铅锅可取F等于铅液表面面积）；对于垂直平面旁边的气流，可按和垂直平面成4°～5°的角度变厚，来推定气流的横断面积；

L——热源定性尺寸，m；对于以水平散热面为主的热源，可取L为与水平散热面等面积的圆形平面直径；就垂直热平面而言，L为其高度；对水平热圆棒，L为其直径；

H——热源表面的对流散热量，kJ/s；

$$H = \alpha(t_b - t_n)\ F' \tag{10-23}$$

式中 F'——热体散热表面的面积，m^2；

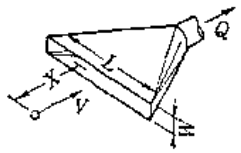
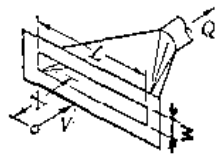
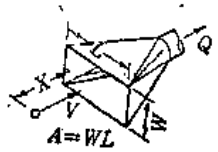
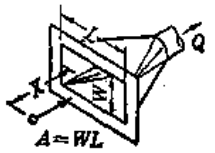
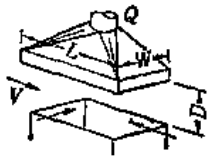
t_b——散热表面的温度，℃；

t_n——室内空气温度，℃；

α——对流散热系数；对于垂直散热面，$\alpha = 0.00113(t_b - t_n)^{1/3}$ kJ/m²·s·℃；对于水平散热面，$\alpha = 0.0017(t_b - t_n)^{1/3}$ kJ/m²·s·℃。

② 到达罩口的热气流量。对低悬罩，即伞形罩口和热源的垂直距离h小于1.13$\sqrt{F}$或1 m（按其中较小的一个数值计）时，到达罩口的热气流量Q_1即按Q_0计算；如果距离超过上

表 10-7 无热源外加型罩计算公式

罩子形式	吸气量 Q (m³/s)			
	罩子设在自由空间	罩口一侧有挡板，前方无障碍物	罩口侧面无挡板，离罩口较近处有较大障碍物	适用范围
 $W/L\leqslant 1/5$	$Q=3.7LVX$	$Q=2.8LVX$		$X<1.0L$并且$X<0.5$m；只在一侧设条缝罩即可；0.5m$\leqslant X<$0.9m；如可能，在两侧设条缝罩；
 $W/L\leqslant 1/5$	$Q=2.8LVX$	$Q=2LVX$		0.9m$\leqslant X<$1.2m；必须在两侧设条缝罩；1.2m$\leqslant X$；条缝罩不适用
 $W/L\geqslant 1/3$或圆罩口	$Q=V(10X^2+A)$	$Q=V(5X^2+A)$		$X<1.5De$这里De：罩口的当量直径$De=4\times\frac{\text{罩口面积}}{\text{罩口周长}}$
 $W/L\geqslant 1/3$或圆罩口	$Q=0.76V(10X^2+A)$	$Q=0.76V(5X^2+A)$		
			$Q=1.4PDV$ $L=$发生源的长边$+0.4D\times 2$ $W=$发生源的短边$+0.4D\times 2$	$D<0.3L$

式中 L—罩口长度，m；
W—罩口宽度，m；
V—控制速度，m/s；
X—在罩子轴心线上从罩口到控制点的距离，m；
A—罩口面积，m²；
P—有害物发生源的周长，m；
D—发生源和罩口的距离，m。

述数值（即高悬罩），则按下式计算：

$$Q_1=V_1A_1 \qquad (10\text{-}24)$$

式中 Q_1——到达罩口的热气流量，m³/s；

A_1——到达罩口的热气流面积，m²；

V_1——到达罩口的热气流流速，m/s。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 10-8 外加型罩对有害物发生源的控制速度

有害物质散发情况	举　　例	控制速度(m/s)
以轻微的速度散发到几乎是静止的空气中	槽子液面的蒸发；气体或烟从敞口容器中外逸	0.25～0.5
以较低的速度散发到尚属平静的空气中	喷漆室；容器断续装入有粉尘的干物料；焊接；电镀；酸洗槽；低速输送机	0.5～1.0
散发较快，或散发到风速较大的区域	小喷漆室内的高压喷漆；粉料快速装袋或装桶；往输送机上给料；破碎机	1.0～2.5
以高速散发出来，或散发到高风速区域	磨轮；抛光；喷砂；重破碎；岩石表面加工	2.5～10

注：选用控制速度下限的条件：1.室内气流最小或有利于控制；2.污染物有害性低；3.间歇生产，产量低；4.吸气量特别高的大吸气罩。

选用控制速度上限的条件：1.室内气流被扰乱；2.污染物有害性高；3.产量高；4.小吸气罩。

$$V_1 = 0.0519 H^{1/3} Z^{-0.29} \tag{10-25}$$

式中 H——热源表面的对流散热量，W；

Z——罩口至假想点源的距离，m，见图10-7。

③ 罩口尺寸。就高悬罩而言，当热源顶部为圆形平面时，到达罩口的圆形热气流直径 D_1（m）为

$$D_1 = 0.434 Z^{0.88} \tag{10-26}$$

如果热源顶部是矩形平面，则到达罩口的矩形热气流宽度可按式（10-26）计算，长度则可按〔热源顶部长度＋（D_1－热源顶部宽度）〕计算。

罩口形式应与热源形式相对应。为避免因热气流摆动而偏移至罩外，圆形热源所用圆口伞形罩的罩口直径 D（m）应为

$$D = D_1 + 0.8h \tag{10-27}$$

矩形热源所用矩形罩口伞形罩的罩口宽度和长度分别为到达罩口热气流的宽度和长度各加0.8h（m）。

就低悬罩而言，到达罩口的热气流面积 A_1 可取热源顶部面积。如果车间内风不大，则圆口伞形罩罩口的直径可比热源直径大0.3m；矩形罩口伞形罩的长和宽各比热源的长和宽大0.3m；如果车间内风较大，或排放的污染物有毒，可将尺寸再增加0.3m或更大。

④ 总吸气量

$$Q = Q_1 + V_2(A - A_1) \tag{10-28}$$

式中 Q——伞形罩的总吸气量，m^3/s；

A——罩口总面积，m^2；

V_2——面积（$A - A_1$）上的吸气速度，一般取0.5～1m/s。

（4）有热源的包围型罩　对这种罩子也应当根据设计有热源伞形罩的原理计算吸气量，然后核算从罩子的所有敞口向内吸气的速度。一般应使吸气速度不小于0.5m/s；如果有害物质以相当大的速度排放出来，则吸气速度应不小于1m/s；如果有害物质以极大的速度排放出来，则经过罩子上所有孔口向内吸气的速度应达到2.5～4m/s。

（5）吹吸罩　用吸气罩控制有害物，如罩口距控制点较远，不能经济、有效地达到控制目的，可使用吹吸式通风（图10-8）。其吸气量 Q 可根据液体温度、干扰气流、搅动作用等因素，在每m^2槽子表面积为1800～2700m^3/h的范围内选用。吹气量可按下式计算：

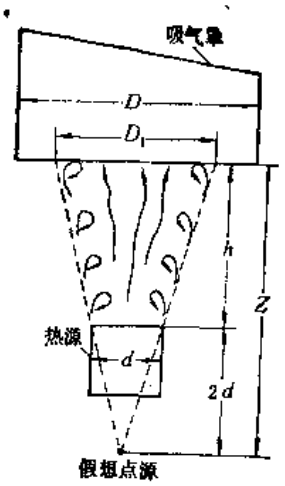


图 10-7 热源上部气流的扩散情况

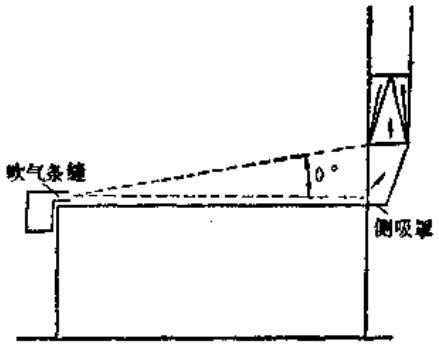


图 10-8 吹吸罩

$$Q' = \frac{Q}{EF} \tag{10-29}$$

式中 Q'——吹气量，m^3/h；

E——吹气罩口与吸气罩口相隔的距离，m；

F——输送系数，按E值大小确定，见表10-9。

表 10-9 F 值

E(m)	0～2.5	2.5～5	5～7.5	>7.5
F	6.6	4.6	3.3	2.3

吹气条缝的宽度应按5～10m/s的吹气速度设计。

2. 流量比法*

（1）一般吸气罩 流量比法的出发点是，吸气罩必须把污染源所产生的污染空气和周围流入的空气一起吸走，即

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \tag{10-30}$$

式中 Q_3——吸气量；

Q_1——污染源所产生的污染空气量；

Q_2——从周围流入吸气罩的空气量。

吸气状态是随Q_2与Q_1之比而变化的，令

$$K = \frac{Q_2}{Q_1} \tag{10-31}$$

式中 K——流量比。

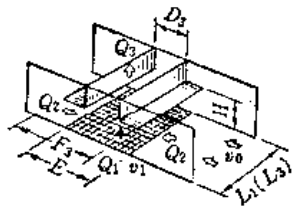
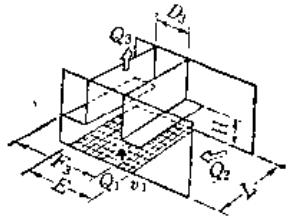
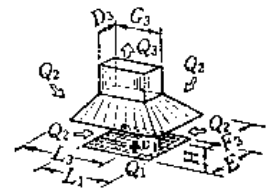
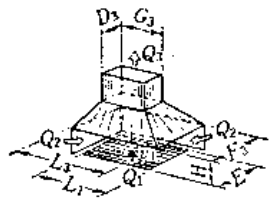
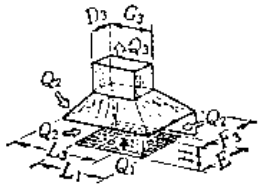
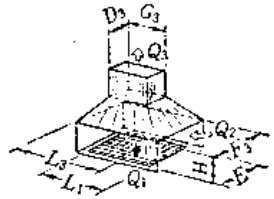
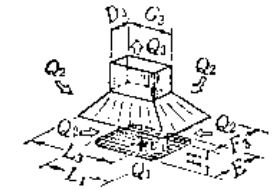
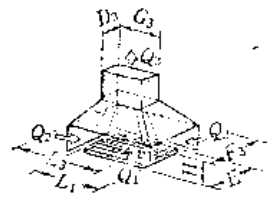
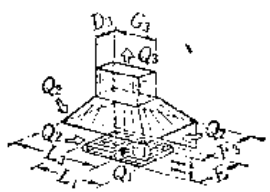
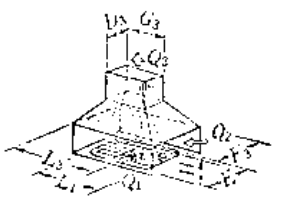
定性地说，流量比大，可将污染空气全部排出；流量比小，就可能有一部分甚至全部污染空气不能被吸走而漏出。设在不漏出的临界状态下流量比为K_L（称为漏出界限流量比）

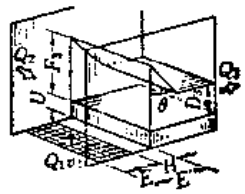
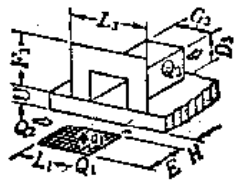
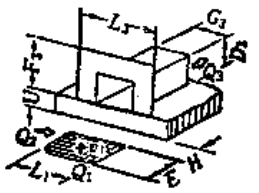
$$K_L = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)_{lim} \tag{10-32}$$

* 流量比法晚于控制速度法，是在60年代由日本林太郎等人提出的。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 10-10 K_L计算公式

單子形式	K_1 计算式	形状比等条件	图	例
污染空气的发生方向与吸入方向相同时 （二维）	$K_L=0.2\left(\frac{H}{E}\right)\left\{0.6\left(\frac{F_3}{E}\right)^{-1.3}+0.4\right\}$	$D_3/E>0.2$ $H/E\leqq0.7$ $1.0\leqq F_3/E\leqq1.5$		
污染空气的发生方向与吸入方向相同时 （三维） （污染源为长方形）	$K_1=\left\{1.4\left(\frac{H}{E}\right)^{1.6}+0.3\right\}\times$ $\times\left\{0.4\left(\frac{F_3}{E}\right)^{-0.4}+0.1\right\}(\gamma+1)$	$D_3/E\geqq0.3$ $H/E\leqq0.7$ $1.0\leqq F_3/E\leqq1.5$ $0.2\leqq\gamma\leqq1.0$	 	 
污染空气的发生方向与吸入方向相同时 （三维） （污染源为圆角）	$K_L=0.2\left(\frac{H}{E}+1.0\right)^{2.0}\left\{\left(\frac{F_3}{E}\right)^{-1.4}+0.4\right\}\times$ $\times(\gamma^{0.28}-0.6)$	$D_3/E\geqq0.3$ $H/E\leqq0.7$ $1.0\leqq F_3/E\leqq1.5$ $0.2\leqq\gamma\leqq1.0$	 	 

罩子形式	K_L 计算式	形状比等条件	图例
污染空气的发生方向与吸入方向成直角时 （二维）	$K_L=0.14\left\{10^{0.14(U/E')}\left(\frac{F_s}{E'}\right)^{-0.25}\left(1-\frac{H}{E'}\right)^{-1}\right\}$ $E'=E+H$	$F_s/D_s\geq 2.0$ $\theta=0°$ $0.2\leq F_s/E'\leq 1.5$ $0\leq U/E'\leq 1.6$ $0.05\leq H/E'\leq 0.5$	
污染空气的发生方向与吸入方向成直角时 （三维） （污染源为长方形）	$K_L=\left\{1.5\left(\frac{F_s}{E}\right)^{-1.4}+2.5\right\}(Y^{1.7}+0.2)\times$ $\times\left\{\left(\frac{H}{E}\right)^{1.5}+0.2\right\}\left\{0.3\left(\frac{U}{E}\right)^{1.4}+1.0\right\}$	$F_s/D_s\geq 2.0$ $0.7\leq F_s/E\leq 2.5$ $0<Y\leq 2.0$ $0\leq H/E\leq 1.0$ $0\leq U/E\leq 2.5$	
污染空气的发生方向与吸入方向成直角时 （三维） （污染源为圆角）	$K_L=\left\{\left(\frac{F_s}{E}\right)^{-1.4}+2.0\right\}(Y^{1.7}+0.2)\times$ $\times\left\{\left(\frac{H}{E}\right)^{1.4}+0.2\right\}\left\{0.5\left(\frac{U}{E}\right)+1.0\right\}$	$F_s/D_s\geq 2.0$ $0.7\leq F_s/E\leq 2.5$ $0<Y\leq 2.0$ $0\leq H/E\leq 1.0$ $0\leq U/E\leq 2.5$	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

则在界限流量比时的吸气量为

$$Q_{3L}=Q_1(1+K_L) \tag{10-33}$$

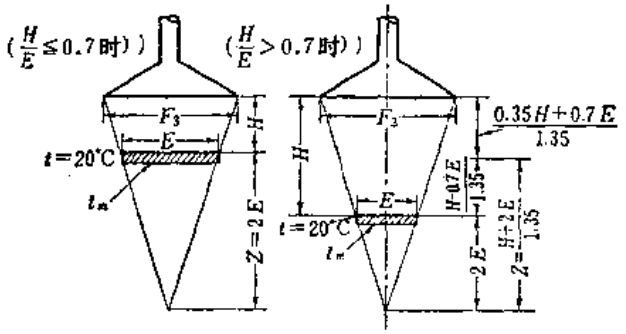
为了保证吸气效果，应考虑安全系数m，而设计吸气量为Q_{3D}，则

$$Q_{3D}=Q_1(1+mK_L)=Q_1(1+K_D) \tag{10-34}$$

式中 K_D——设计流量比。

在设计时应根据罩子的形状和设置位置以及污染源尺寸等条件，选用表10-10中符合这些条件的公式计算K_L，再通过测定，确定干扰气流的大小，然后根据表10-11确定安全系数m。污染空气产生量Q_1则由实测产生速度和产生面积来确定。在不能实测时，则根据表10-12中列出的产生速度计算。

（2）高温污染源的吸气罩（图10-9）设计步骤如下。



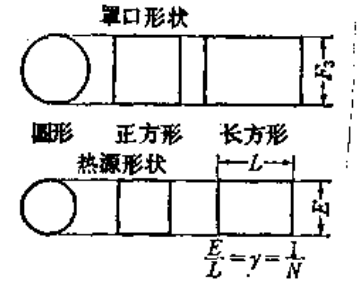


图 10-9 高温污染源吸气罩

表 10-11 m 值

干扰气流的速度(m/s)	m 值
0～0.15	5
0.15～0.30	8
0.30～0.45	10
0.45～0.60	15

表 10-12 污染空气的发生速度

污染物发生状况	举例	发生速度(m/s)
以实际上几乎没有速度的状态散发到平静的大气中	从液面发生的气体、蒸气、烟等	0.3
以低速散发到比较平静的大气中	喷漆室内的喷漆作业、断续性的容器装料、低速输送带、焊接作业、酸洗作业、电镀作业	0.5
较快地飞散到空气流动迅速的作业场所	进深小的小型喷漆室的喷漆作业、装桶作业、输送带落料口、破碎机	1.0
以很高的初速飞散到空气流动非常快的作业场所	研磨作业、喷砂作业、清理滚筒作业	2.0以上

① 罩子的形状和设置位置应尽可能按$H/E\leqslant 0.7$确定。

② 漏出界限流量比K_L用表10-13中列出的公式计算。

③ 根据测定等求出干扰气流的大小。

④ 根据表10-11确定安全系数m。

⑤ 用下式计算上升热气流量

$$Q_1=N\times 0.57\left(\frac{A}{N}\right)^{1/3}\Delta t^{1/3}Z^{5/3} \tag{10-35}$$

表 10-13 热源形状和K_L计算公式

热源形状	$H/E\leqslant 0.7$	$H/E>0.7$
圆形	$K_L=\left\{0.08\left(\frac{H}{E}+1\right)^{2.0}-0.02\right\}\times\left\{\frac{1.05}{\left(\frac{F_3}{E}\right)^{1.4}}+0.4\right\}$	$K_L=0.21\left(\frac{0.5H+E}{F_3}\right)^{1.4}+0.12$
准圆形	$K_L=\left\{0.08\left(\frac{H}{E}+1\right)^{2.0}-0.02\right\}\times\left\{\frac{1.05}{\left(\frac{F_3}{E}\right)^{1.4}}+0.4\right\}\times\{2.5(Y+0.01)^{0.46}-1.5\}$	$K_L=\left\{0.21\left(\frac{0.5H+E}{F_3}\right)^{1.4}+0.12\right\}\times\{2.5(Y+0.01)^{0.88}-1.5\}$
正方形	$K_L=\left\{1.4\left(\frac{H}{E}\right)^{1.43}+0.25\right\}\times\left\{\frac{0.82}{\left(\frac{F_3}{E}\right)^{3.4}}+0.18\right\}$	$K_L=0.32\left(\frac{0.5H+E}{F_3}\right)^{3.4}+0.2$
长方形	$K_L=\left\{1.4\left(\frac{H}{E}\right)^{1.43}+0.25\right\}\times\left\{\frac{0.82}{\left(\frac{F_3}{E}\right)^{3.4}}+0.18\right\}\times(0.53Y+0.47)$	$K_L=\left\{0.32\left(\frac{0.5H+E}{F_3}\right)^{3.4}+0.2\right\}\times(0.53Y+0.47)$

式中 Q_1——热气流量，m^3/h；

N——长宽比，$=\frac{L}{E}$；

L——长方形热源的长边，或椭圆形热源的长径，m；

E——长方形热源的短边，或椭圆形热源的短径，m；

A——热源面积，m^2；

Z——按 H/E 选取：当 $H/E\leqslant 0.7$ 时，$Z=2E$；当 $H/E>0.7$ 时，$Z=(2E+H)/1.35$；单位为m；

Δt——热源所产生的污染空气和从周围流入空气的温度差，℃；当 $H/E\leqslant 0.7$ 时，$\Delta t=t_m-20$；当$H/E>0.7$时，$\Delta t=(t_m-20)\left(\frac{2E+H}{2.7E}\right)^{5/3}$；

t_m——热源温度，℃。

⑥ 用下式计算吸气量Q_3 (m^3/h)

$$Q_3=\left[1+m\left(K_L+\frac{3}{2500}\Delta t\right)\right]Q_1 \qquad (10\text{-}36)$$

从以上所述可知，用流量比法设计吸气罩，需要知道污染空气的产生面积，如果不能测出这一面积，就只能用控制速度法进行设计。

（3）吹吸罩 设计步骤如下：

① 根据罩子的安装条件，确定吹、吸罩口间距H、吹、吸罩口包括边板的全宽F_1、F_3、吸气罩口长度L_3等（参看图10-10）。其中F_1最好等于吹气罩口宽度，即以没有边板为宜；相反，吸气罩口应设边板，而且以$F_3/D_1>5$为好。

② 为了经济，用下式计算可使吸气量Q_3最小的吹气罩开口宽度D_1。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$H/D_1=(H/F_3)\left[3.2+\sqrt{130(H/F_3)^{-1.1}+46}\right]^{0.91} \tag{10-37}$$

用下式计算可使 (Q_1+Q_3) 最小的D_1

$$H/D_1=(H/F_3)\left[3.2+\sqrt{270(H/F_3)^{-1.1}+46}\right]^{0.91} \tag{10-38}$$

③ 根据实测，确定干扰气流的速度v_0。

④ 吹出气流的速度v_1一般在$0<v_0/v_1\leqslant 3$的范围内决定，但可使Q_3最小的最经济设计是用下式计算：

$$v_0/v_1=(H/D_1)^{-1}\times 0.11(H/F_3)^{0.82}\left[3.2+\sqrt{130(H/F_3)^{-1.1}+46}\right]^{1.5} \tag{10-39}$$

⑤ 用表10-14中的公式计算界限流量比K_1^*。

⑥ 用表10-14中的公式求出安全系数m后，计算设计流量比K_D。

⑦ 用表10-14中的公式计算吹气量Q_1。

⑧ 用下式算出必要的吸气量Q_3。

$$Q_3=Q_1(1+K_D) \tag{10-40}$$

如果是进行大概的设计估算，没有必要很严密，可用下述简易设计法。其步骤如下。

① 根据设置条件决定H、L。

② F_3在$F_3/H\geqslant 0.2$的范围内，其值越大越好。

③ D_1在$H/D_1\leqslant 30$的范围内，一般是越大越好。

④ 检查F_3及D_1是否满足$2\leqslant F_3/D_1\leqslant 50$的条件。

⑤ 在满足$0.5\leqslant D_3/D_1\leqslant 10$的范围内决定$D_3$。尽可能大些为好。

⑥ 在满足$1\leqslant F_1/D_1$的范围内决定F_1。最好是$F_1=D_1$，即吹气罩无边板。

⑦ 参考表10-12决定污染空气的发生速度v_G。因为在作业场所一般都具有最低0.3m/s左右的紊乱气流，所以即使在$v_G\approx 0$的场合，也取$v_G\geqslant 0.3$m/s。

⑧ 从图10-11求出$\alpha=v_1/v_G$，然后算出v_1。

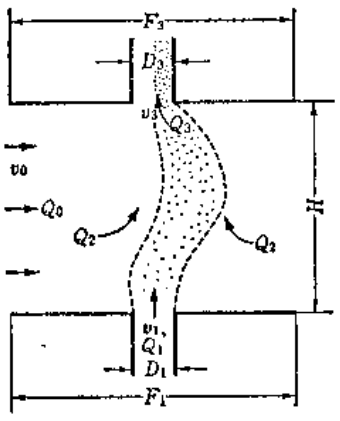


图 10-10 二维吹吸流

v_3—吸入气流的速度；Q_0—干扰气流的风量

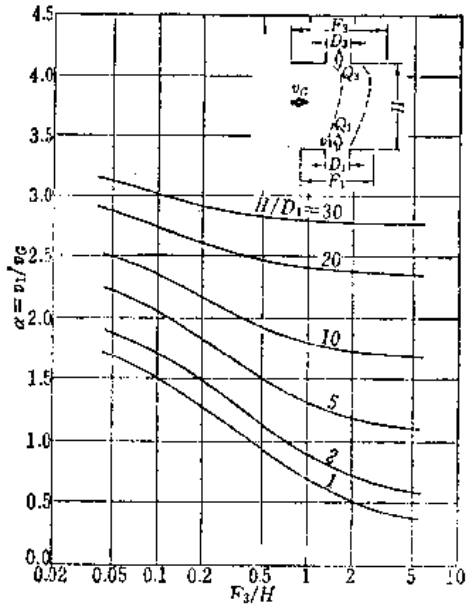
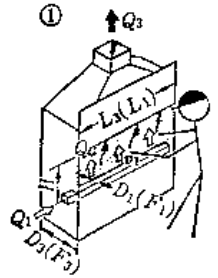
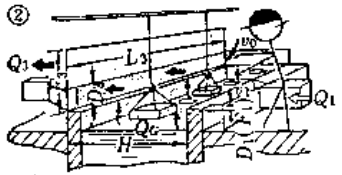
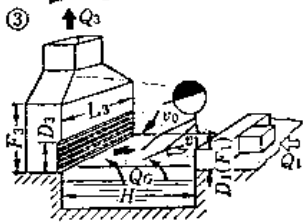
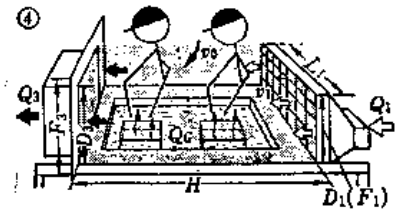
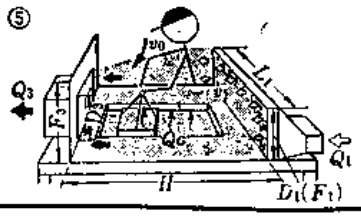


图 10-11 v_1/v_G和F_3/H的关系

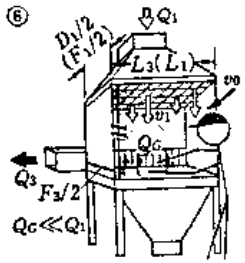
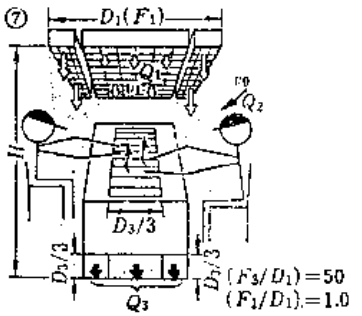
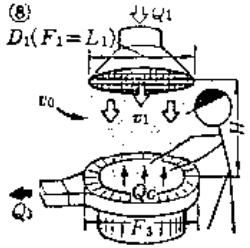
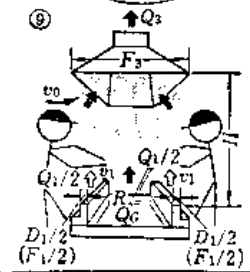
* 这里的$K_1=(Q_2/Q_1)_{lim}$，Q_1是吹气量；Q_2是从周围吸引的空气量（包含干扰气流或是污染源所产生的污染气流的全部或一部分）。

续 10-14 吹吸式通风装置的计算公式

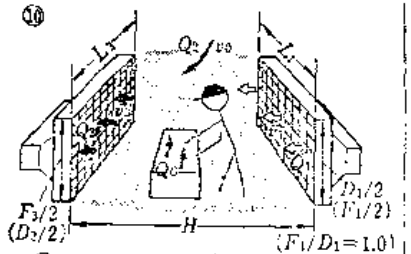
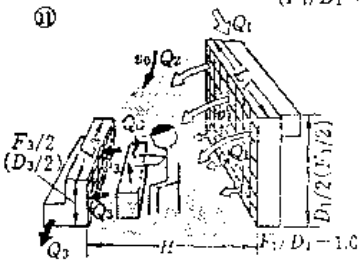
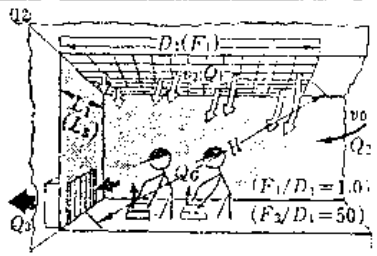
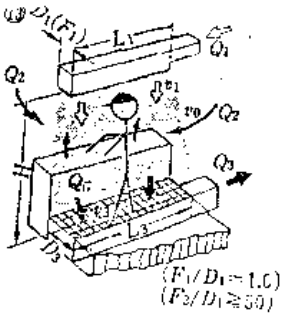
图　　例	吹出风量Q_1	界限流量比 K_L	安全系数 m	设计流量比 K_D	形状比的条件
① 	$Q_1=60D_1L_1v_1$	$K_L=\left(\frac{H}{D_1}\right)^{1.1}\left\{0.46\left(\frac{F_3}{D_1}\right)^{-1.1}+0.13\right\}\times$ $\times\left\{0.04\left(\frac{F_1}{D_1}\right)^{0.8}+0.51\right\}\times$ $\times\left\{5.8\left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{1.4}\left(\frac{H}{D_1}\right)^{0.25}+1.0\right\}$	$m\geqslant\frac{D_1+L_1}{L_1}\times$ $\times1.1$	$K_D=mK_L$	$0.5\leqslant\frac{D_3}{D_1}\leqslant10$ $2\leqslant\frac{F_3}{D_1}\leqslant50$ $1\leqslant\frac{F_1}{D_1}\leqslant80$ $\frac{H}{D_1}\leqslant30$
② 					
③ 					
④ 					
⑤ 					

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

图　　例	吹出风量Q_1	界限流量比 K_L	安全系数 m	设计流量比 K_D	形状比的条件
⑥ 	$Q_1=60D_1L_1v_1$	$K_L=0.5\left(\frac{H}{D_1}\right)^{1.61}\left\{0.46\left(\frac{F_3}{D_1}\right)^{-1.2}+0.13\right\}$ $\times\left\{0.04\left(\frac{F_1}{D_1}\right)^{0.8}+0.51\right\}$ $\times\left\{5.8\left(\frac{v_0}{v_1}\right)^{1.4}\left(\frac{H}{D_1}\right)^{0.45}+1.0\right\}$	$m\geqq1.2$	$K_D=mK_L$	$0.5\leqq\frac{D_3}{D_1}\leqq10$ $2\leqq\frac{F_3}{D_1}\leqq50$ $1\leqq\frac{F_1}{D_1}\leqq80$ $\frac{H}{D_1}\leqq30$
⑦ 	$Q_1=60D_1L_1v_1+Q_0$		$m\geqq\frac{L_1+D_1}{L_1}\times2.2$		
⑧ 			$m\geqq\frac{D_1+R+L_1}{L_1}\times2.2$		
⑨ 					

续表

图　　例	吹出风量 Q_1	界限流量比 K_L	安全系数 m	设计流量比 K_D	形状比的条件
⑩  ⑪ 	$Q_1=60\dfrac{D_1}{2}L_1v_1$	$K_L=0.15\left(\dfrac{H}{D_1}\right)^{1.1}\left\{\left(\dfrac{F_3}{D_1}\right)^{-1.1}+0.3\right\}$ $\times\left\{5.8\left(\dfrac{v_0}{v_1}\right)^{1.4}\left(\dfrac{H}{D_1}\right)^{0.63}+1\right\}$	$m\geqq\dfrac{D_1+L_1}{L_1}\times1.1$	$K_D=mK_L$	$\dfrac{F_1}{D_1}=1$ $0.5\leqq\dfrac{D_3}{D_1}\leqq10$ $2\leqq\dfrac{F_3}{D_1}\leqq50$ $\dfrac{H}{D_1}\leqq30$
⑫ 	$Q_1=60D_1L_1v_1$	$\dfrac{F_3}{D_1}<50$のとき， $K_L=0.15\left(\dfrac{H}{D_1}\right)^{1.1}\left\{\left(\dfrac{F_3}{D_1}\right)^{-1.1}+0.3\right\}$ $\times\left\{5.8\left(\dfrac{v_0}{v_1}\right)^{1.4}\left(\dfrac{H}{D_1}\right)^{0.56}+1\right\}$	$m\geqq\dfrac{L_1+D_1}{L_1}\times1.1$	$K_D=mK_L$	$\dfrac{F_1}{D_1}=1$ $0.5\leqq\dfrac{D_3}{D_1}\leqq10$ $2\leqq\dfrac{F_3}{D_1}\leqq50$ $\dfrac{H}{D_1}\leqq30$
⑬ 		$\dfrac{F_3}{D_1}\geqq50$のとき， $K_L=0.038\left(\dfrac{H}{D_1}\right)^{1.1}$ $\times\left\{5.8\left(\dfrac{v_0}{v_1}\right)^{1.4}\left(\dfrac{H}{D_1}\right)^{0.56}+1\right\}$	$m\geqq\dfrac{L_1+D_1}{L_1}\times2.2$		

Q_G—污染空气量

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

⑨ 从图10-12求$R = Q_3/Q_1 = 1 + K_D$。求法是：

a．定下从图10-11求出的α值①。

b．由此作垂线，求得与上方的H/D_1值的交点②。

c．从②水平向左，求得和F_3/D_1的交点③。

d．从③沿着向左上方的斜线求得和左侧Q_3/Q_1的交点，读出这时的Q_3/Q_1值。

⑩ 然后用下式计算吹气量Q_1：

$$Q_1 = v_1 D_1 L_1 \tag{10-41}$$

⑪ 吸气量Q_3可用下式算出。此时，安全系数m取1.0～1.3即可。

$$Q_3 = RQ_1(1.0\sim1.3) \tag{10-42}$$

10.3.1.2 吸气罩结构

1．包围型罩

（1）罩子应尽可能严密，必要的操作口应尽可能小。

（2）为了便于检修，罩子应拆装方便，坚固耐用。最好做成装配式的，例如图10-13所示之四槽盖板式装配罩*。

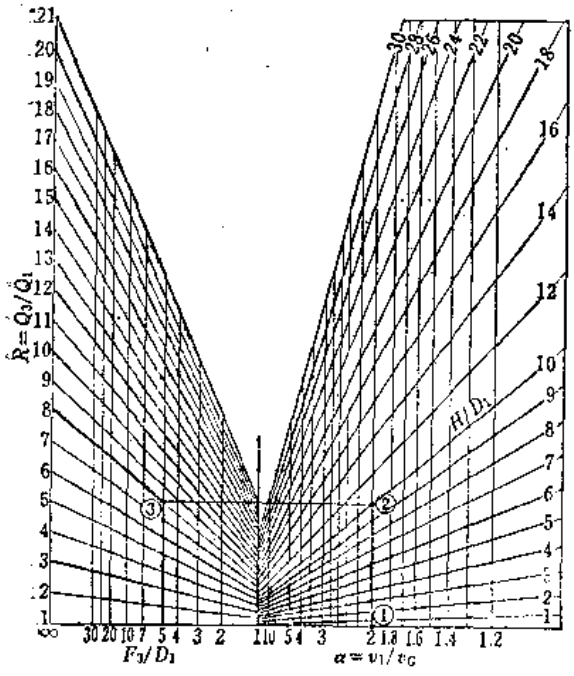


图 10-12 Q_3/Q_1和F_3/D_1及v_1/v_G之关系
（图中举例：在$H/D_1=10$，$F_3/D_1=5$，$v_1/v_G=2$时，求出$Q_3/Q_1=8.07$）

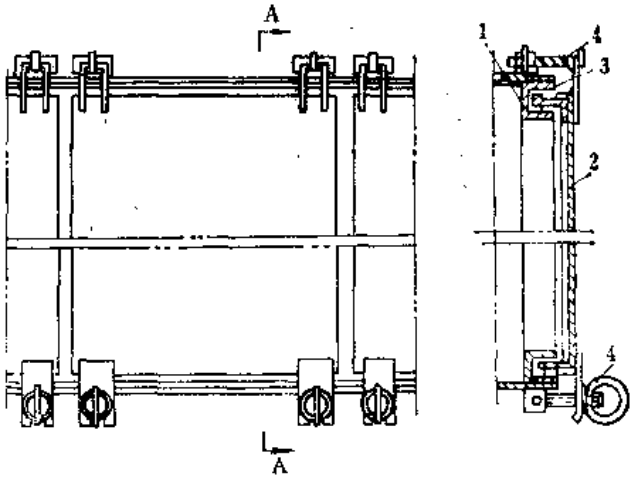


图 10-13 四槽盖板
1—四槽框架；2—密闭盖板；3—密封填料；4—压紧装置

（3）当罩内有颗粒物料从高处落至地面时，会有灰尘飞溅。为了防止粉尘从罩子缝隙中逸出，应将罩子做得宽大一些，或做成双层罩子，从两层罩子之间吸出进入这里的少量含尘空气。

（4）为了避免吸走罩内的大量粉料，罩子吸气口应离开物料处在搅动状态的区域。

（5）罩子有一面敞开的包围型罩，为使敞口气流分布均匀，应注意：

① 连接罩子的吸气管道截面积与罩子的敞口面积之比应不超过1:16。

② 连接罩子与管道的渐缩段的张开角度应不大于60°。

③ 罩子的深度（参看图10-14）以不小于其高度和宽度二者之中的一个较小数值为宜。

* 详见潭天祐、梁凤珍编《工业通风除尘技术》第六章§6-2，中国建筑工业出版社，1984。

④ 从顶部吸气，内无热源的罩子，在罩子下部设置条缝形吸气口，可使罩口气流速度分布均匀（图10-15）。

（6）罩内如有热源，应从罩子顶部吸气，不要在罩子下部设条缝形吸气口（图10-16）；罩子上部不应有不必要的孔隙，以免污染空气漏出去。

（7）罩口和罩子与管道连接处的相对位置不同，对罩口的速度分布有影响。有时可利用这种关系来提高控制效果（图10-17）。

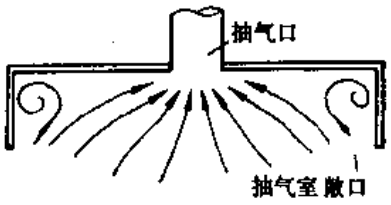


图 10-14 深度不够的罩子，罩口气流速度分布是中间靠近吸气口的部分高，两边低

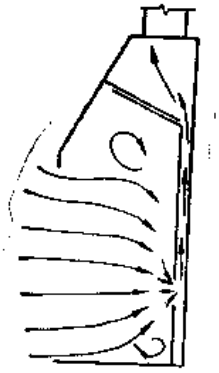


图 10-15 在罩子下部设条缝形吸气口



图 10-16 有热源的罩子在下部吸气，虽然有足够的吸气量，效果也不好

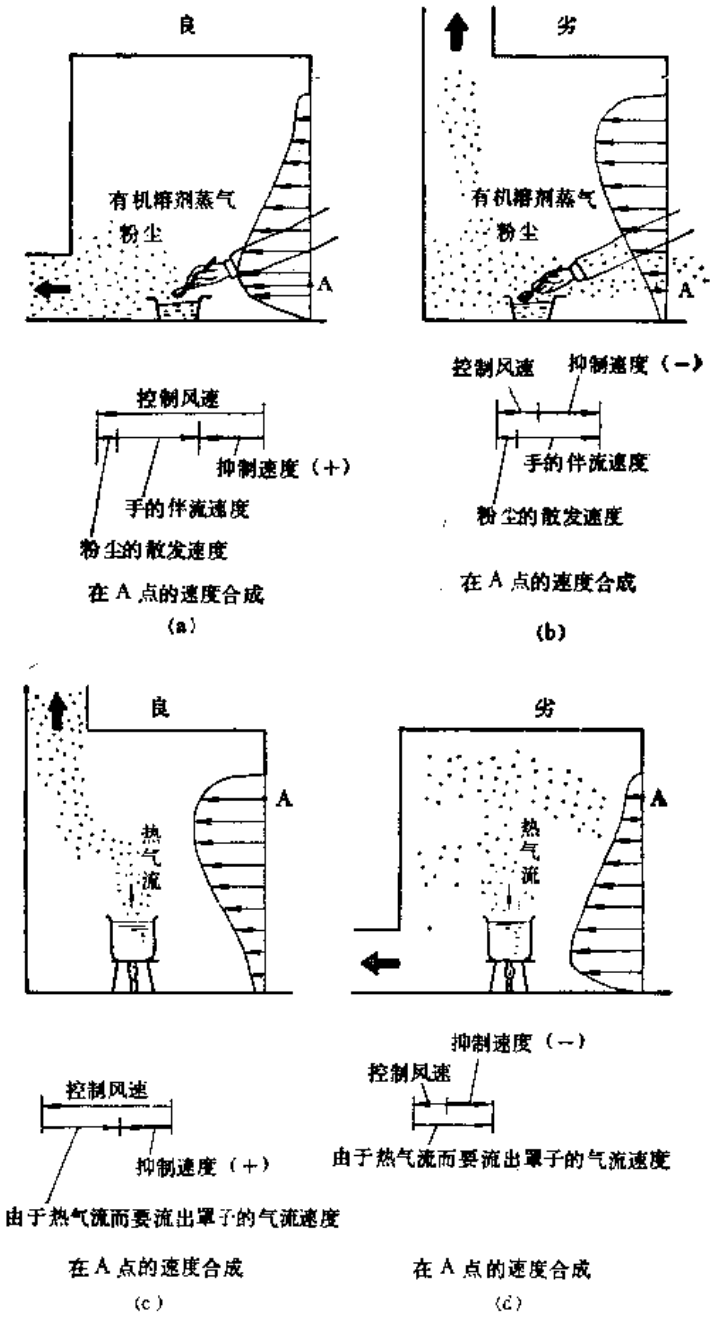


图 10-17 利用罩口速度分布加强控制
(a)、(b)—无热源时的对比；(c)、(d)—有热源时的对比

2. 外加型罩

（1）根据一些学者的研究结果，罩子及污染源的各部分尺寸比（其代表符号见表10-

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

10）应尽可能采用下列数值：

① 污染气流方向和罩子吸气方向相同的场合

$D_3/E \geqslant 0.2$；$H/E \leqslant 0.7$；$1.5 \leqslant F_3/E < 2.0$。

② 污染气流方向和罩子吸气方向成直角的场合

a．吸气口四周应加边板，以提高空气动力性能；边板应与吸气口在同一平面上，即$\theta = 0$；

b．$F_3/D_3 \geqslant 2$；

c．H/E和U/E均应尽可能地小；

d．当$H = 0$时，F_3/E的最佳范围，二维罩是$0.5 \leqslant F_3/E \leqslant 1.0$；三维罩是$1.0 \leqslant F_3/E \leqslant 2.0$；

e．E/L_1应尽可能小，亦即应把罩子设在污染源的长边旁侧。

（2）为使伞形罩的罩口气流速度分布均匀，应使罩口与连接罩子的管道吸气口面积之比不超过16:1，二者之间的渐缩段的张开角度应不大于60°。如做不到，可采取以下措施。

① 将大罩子分隔成几个边靠边互相独立的小罩子（图10-18）。

② 中等大小的吸气罩可设置均流挡板（图10-19）。

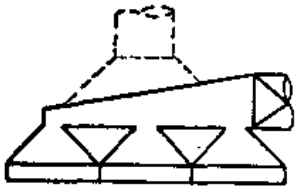


图 10-18 分隔大罩子

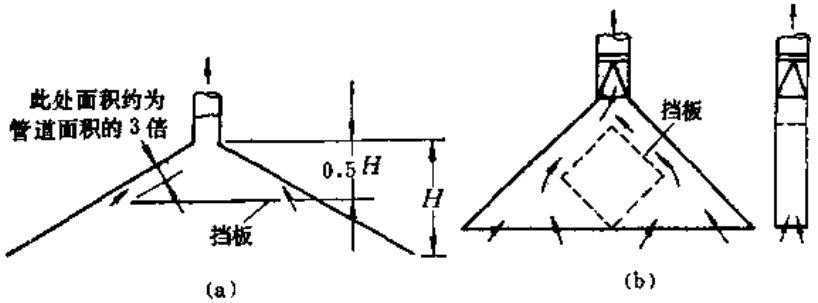


图 10-19 有均流挡板的吸气罩

③ 长吸气罩可在罩顶加一条缝口吸气管，其截面积应尽可能地大，使条缝气流速度均匀（图10-20）。

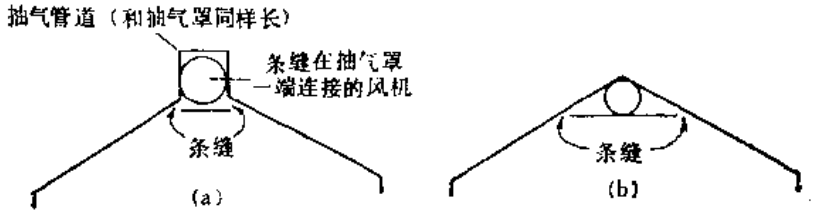


图 10-20 利用条缝吸气的长吸气罩

3．吹吸罩

（1）吹出气流和吸入气流的流动方向应一致（图10-21）。

（2）从吹气口送出的应是均匀连续气流（图10-22 (a)），不宜采用孔洞吹风（图10-22 (b)）。

（3）吹吸式通风除用于排除有害物质外，还可用作遮断装置，把操作者和污染空气隔

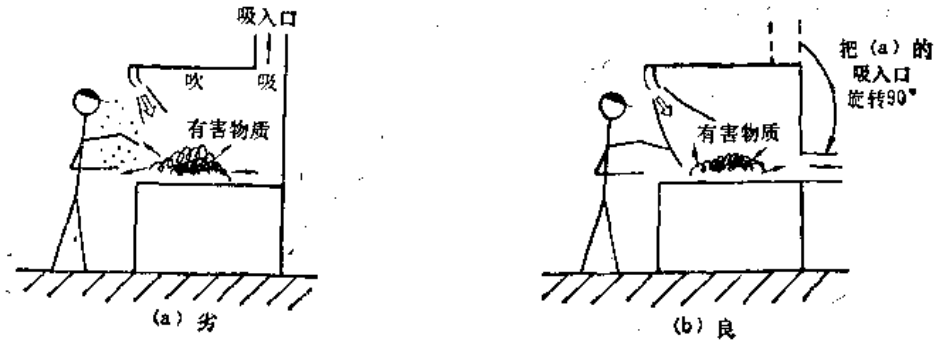


图 10-21 吹吸气流方向

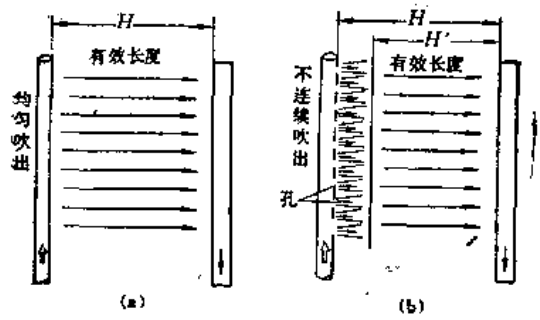


图 10-22 吹吸气流的连续性

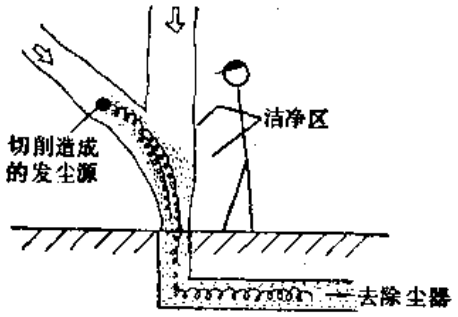


图 10-23 吹吸气流组合一例

开，图10-23为其应用之一例。它由两股吹出气流组合而成，一股起排除粉尘作用，一股起空气遮断作用。

10.3.2 管　　道

10.3.2.1 管道设计步骤

（1）确定最有利的管道系统布置方式。

（2）绘出管道系统示意图，标明管道走向、连接部件位置、各段管道长度及输送的风量。

（3）按照风量不变的原则将整个管道系统分成若干管段；通常从距风机最远的管段开始，顺序编号。

（4）确定管道内的风速。对输送有害气体的管道一般可选用10m/s；对输送烟尘的水平管道，为避免烟尘沉积，可按表10-15选用，垂直管道可适当降低。

（5）根据各管段风量和选定风速计算其截面尺寸，确定管道直径（矩形管道则为边长）。

表 10-15 水平管道最低风速

输送物种类	举　　例	风　速 (m/s)
烟和很轻的粉尘	氧化锌烟、木尘、面粉、棉绒	10
中等密度干粉尘	抛光纤维屑、锯末、橡皮和塑料尘	15
一般工业粉尘	喷砂和研磨粉、木刨花、水泥尘	20
重粉尘	铅尘、铸件落砂粉尘、金属切屑	25

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（6）选择最不利的管线（一般是最长的管线），逐步计算该管线上各串联管段的摩擦阻力和局部阻力，其总和即为整个系统的总阻力。

（7）计算各并联支管的阻力，对各节点并联管道进行阻力平衡。

10.3.2.2 **管道阻力计算**

1. 摩擦阻力

$$R_m = \frac{\lambda}{D} \frac{v^2\rho}{2} \tag{10-43}$$

式中 R_m——单位长度直管道的摩擦阻力，Pa/m；

λ——摩擦阻力系数；

D——圆管道直径，m；如果是边长为a及b的矩形管道，则 $D = \frac{2ab}{a+b}$；

v——管道内气流速度，m/s；

ρ——气体密度，kg/m³。

薄钢板管道的λ可用下式计算：

$$\lambda = 0.0175 D^{-0.31} v^{-0.69} \tag{10-44}$$

图10-24是按上式得出的摩擦阻力线算图。

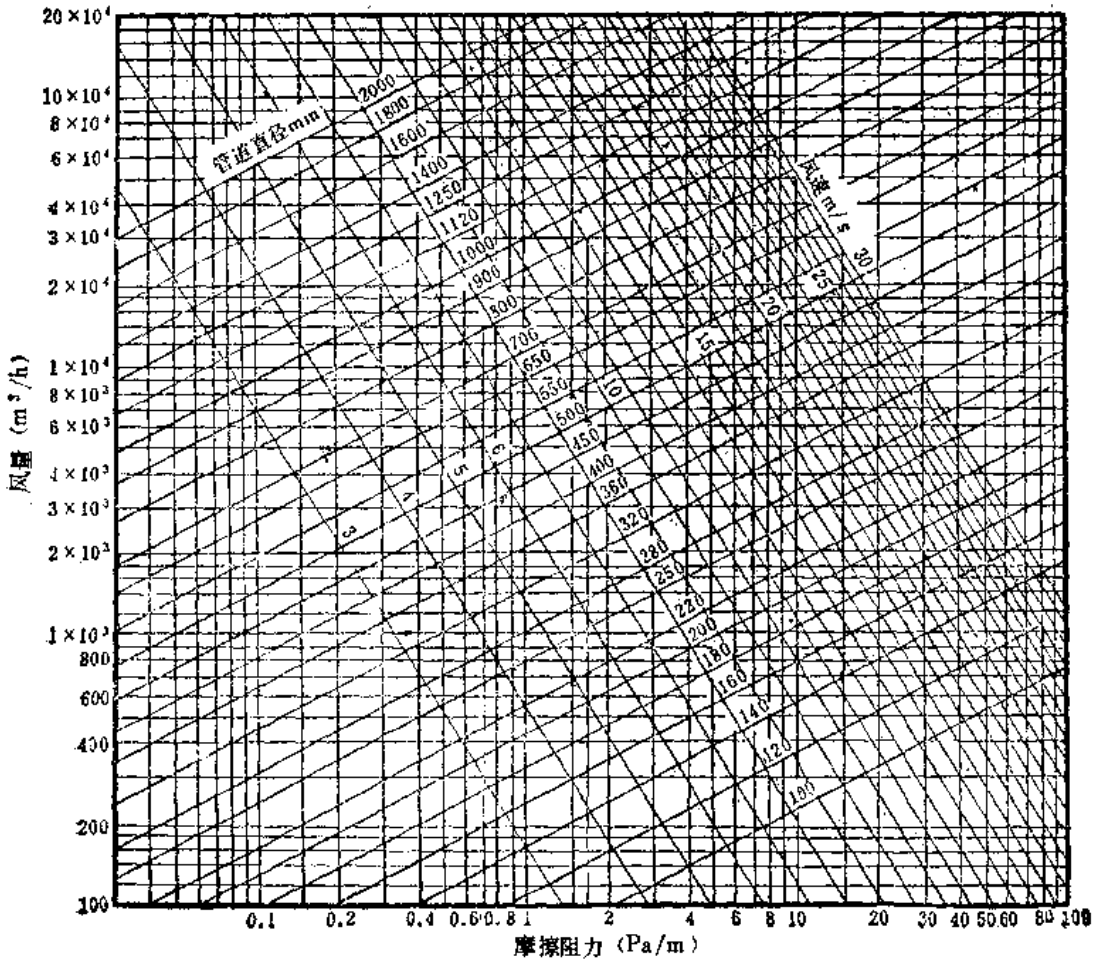


图 10-24 每米长钢板管道摩擦阻力线算图

塑料管道的λ可用下式计算：

$$\lambda = 0.0188 D^{-0.19} v^{-0.187} \tag{10-45}$$

2. 局部阻力

$$Z = \zeta \frac{v^2 \rho}{2} \tag{10-46}$$

式中 Z——局部阻力，Pa；

ζ——局部阻力系数。

各种管道局部构件的ζ值可从《采暖通风设计手册》等书中查得。上式中的风速v应当用所查ζ值表中注明的有关截面的风速计算。

10.3.2.3 管道阻力平衡

平衡管道阻力一般可用下述两种方法。

1. 变更管径法

此法是利用图10-25进行试算，先从经济、防止粉尘沉积等方面考虑，决定放大或缩小某条管道的直径以减小或增加其阻力，达到与并联管道阻力相差不多的程度，然后按变更后的管径计算这条管道的全部阻力。同一节点的并联管道阻力相差如不超过较大阻力的5%，即可认为平衡，否则需重新试算。

2. 阀板调节法

先对一个节点各条并联管道的阻力（不包括阀板）全都进行计算，确定其中阻力最大的一条，然后决定其它各条支管的阀板应插入多深，才能达到这一最大阻力。

决定阀板插入深度可利用图10-26、10-27和10-28来进行。其法是先根据一条支管中的风速，从图10-26或图10-27中的纵坐标上标明这一风速的位置引水平线，与需要增加的阻力（Δp）曲线相交；然后在横坐标上读出为了达到这一Δp值而必需的通流截面积与管道截面积之比（A_f/A_d）；再根据A_f/A_d的比值，从图10-28上查出这条支管的阀板应插入深度（图中X为阀板必须插入的距离，D为管道直径）。

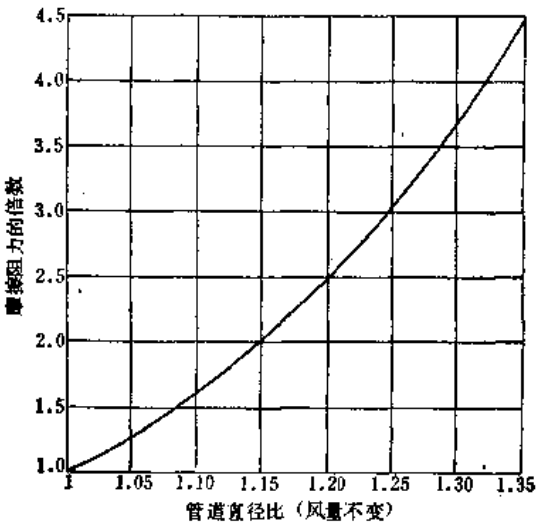


图 10-25 平衡阻力用的五次幂图

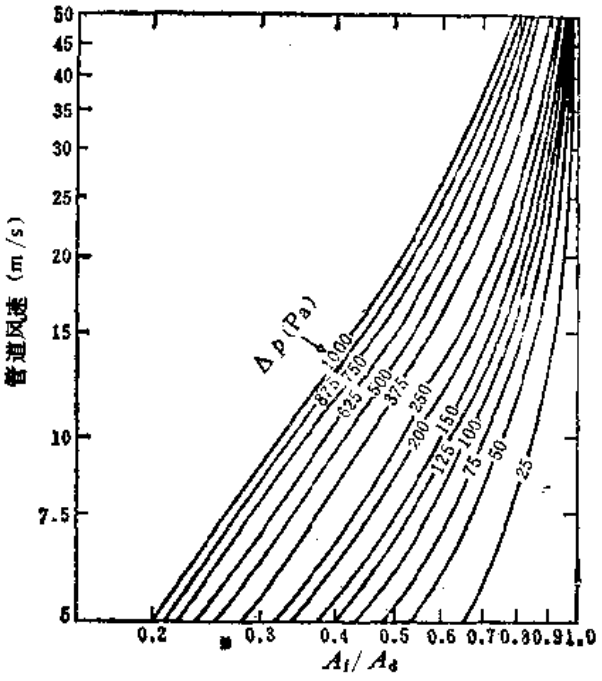


图 10-26 圆管道的A_f/A_d值

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

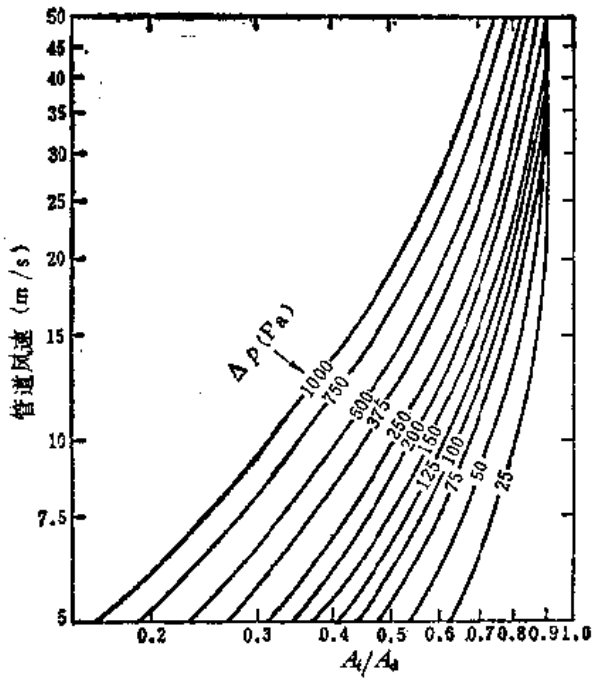


图 10-27 矩形管道的A_t/A_d值

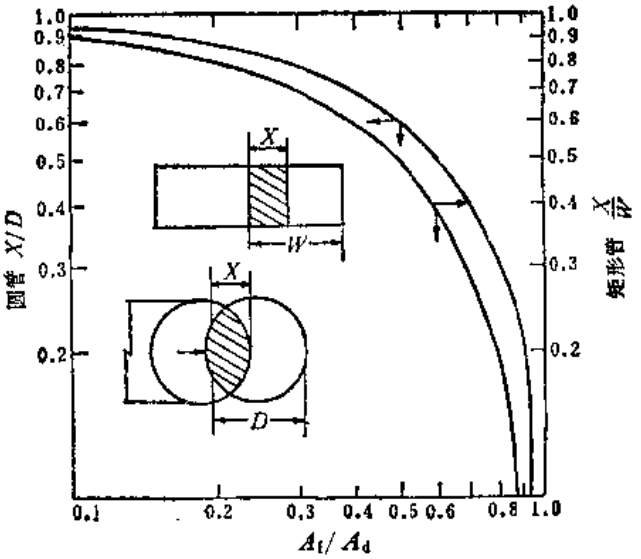


图 10-28 阀板插入深度

上述两种方法的优缺点见表10-16。此外，在阻力差值较小时或在特殊情况下，还可利用增大吸气量的方法来平衡阻力。

表 10-16 两种平衡阻力方法的比较

变更管径法	阀板调节法
1.计算较麻烦	1.计算较容易
2.设备装好后，各吸气点的风量不易改变。如果在设计时有些吸气点的风量选择不当，就得更改管道	2.吸气量较易改变
3.适应吸气点增减等变化的灵活性较小	3.适应未来变化的灵活性较大
4.设计时必须细致地确定管线的布置和长度，安装必须准确地按设计进行	4.对安装时改变管道位置的适应性较大
5.如果对阻力最大的（也就是确定风机压力所依据的）一条管线选择不当，在设计计算时就能发觉	5.如果选择阻力最大管线不正确，可能发现不了。结果这条管线的吸气量就达不到要求
6.吸气量不容易被人随意改变	6.阀板可能被人随意扳动，以致吸气量改变
7.如果风速选择得当，管道不会堵塞	7.如果阀板被人随意扳动了，可能造成管道堵塞
8.没有阀门磨损和积聚粉尘的问题	8.可能使阀板磨损，引起风量变化；阀板还会积聚粉尘

10.3.2.4 管道设计注意事项

1. 划分管道系统

（1）如果几处排气中所含物质混合后能引起燃烧、爆炸或形成新的有害物质，不能联成一个系统。

（2）容易凝结水蒸气的排气管道，不能与输送含尘空气的管道联成一个系统。

（3）物料性质不同，而又需要分别回收利用的，不要联成一个系统。

（4）一个系统的吸气点不宜过多，一般以不超过5、6个为宜；最好把同时操作的各吸

气点联成一个系统。如果一个系统联结的吸气点过多，最好采用集合管，以利阻力平衡。

（5）一个系统中的各支管的吸气量最好比较均衡。如果在一个区域内各台设备需要的吸气量差异相当大，可采取这样一些措施：

① 设法把风量最小的支管和最靠近风机的主管段相连。

② 适当增加最小支管的抽气量。

③ 给最小支管单独设置一套吸气系统。

④ 如有若干小支管密集在一起，可尽量缩短小支管长度，将其合并到一个较大的主支管上。

2. 减少阻力

（1）管道应尽可能顺直，减少弯头。

（2）弯头的曲率半径一般应取管道直径的2～2.5倍。矩形弯头的宽厚比最好大一些。

（3）支管与主管一般应在渐扩管处连接，其夹角最好小于30°；当有几条支管汇合于同一主管时，汇合点不应在同一断面上。

（4）应尽可能避免管道截面尺寸的变化。必须改变时，应设渐扩管或渐缩管，其长度应达管道直径差的5倍。

（5）风机出口如使用弯头，其弯转方向应避免与叶轮旋转方向相反。

3. 防止故障

（1）为避免管道被粉尘堵塞，除使风速达到一定数值外，还可使管道与水平成大于55°夹角的倾斜布置，同时采用较低的风速。对水平管道，应每隔一段距离设清灰孔，或在大直径管道下面设灰斗。水平管道中的闸板要顺气流方向倾斜45°，垂直管道中的闸板应从上到下倾斜45°。

（2）输送含水气、雾滴的空气的横管，应保持不小于0.005的坡度，以便排除积液。排液方向最好与空气流向一致，并在容易积液处（如管道末端、弯头等）设放液装置。不允许管内结露的管道，应采取保温措施。

（3）输送坚硬、锐利尘粒的管道，应以较厚的钢板制作。

（4）输送腐蚀性物质的管道，应选择耐腐蚀材料制作。

10.3.3 离心式风机

10.3.3.1 风机性能参数与性能表示法

1. 风机性能参数

（1）风量——风机每单位时间所输送的空气体积，m^3/h或m^3/s；

（2）全压——风机出口气流全压与进口气流全压之差；

（3）功率——风机每单位时间所消耗的能量，kW；

（4）效率——风机的有效功率与轴功率之比，%。

2. 表示风机性能的方法

（1）无因次特性曲线　这是在风机性能图中分别绘出效率（η）、全压系数（$\bar{H}$）、功率系数（$\bar{N}$）与流量系数（$\bar{Q}$）之关系的三条曲线，它们代表同一系列通风机在各种转速下的性能。

流量系数可用下式表示：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$\overline{Q}=\frac{Q}{\frac{\pi}{4}D^2u} \tag{10-47}$$

式中 Q——风机输送的气体流量，m^3/s；

D——风机叶轮外径，m；

u——叶轮外缘的圆周速度，m/s。

功率系数可用下式表示：

$$\overline{N}=\frac{1000N}{\frac{\pi}{4}D^2\rho u^3} \tag{10-48}$$

式中 N——轴功率，kW；

ρ——空气密度，kg/m^3。

全压系数可用下式表示：

$$\overline{H}=\frac{H}{\rho u^2} \tag{10-49}$$

式中 H——风机全压，Pa。

（2）有因次特性曲线 这是在风机性能图中分别绘出效率、全压、轴功率与风量之关系的三条曲线（转速一定）。这种曲线只表示某类型风机一个机号的性能。

（3）特性数据表 除上述两种特性图外，有的风机制造厂还列出风机性能表。表中按风机的每一种转数，分别列出全压等参数的八个性能点。这些性能点的效率均在风机最高效率的90%范围内。

10.3.3.2 风机的选择与使用

（1）选择风机。

① 根据所输送气体的性质（如是否有腐蚀性、是否易燃易爆、是否含有浓度较高的粉尘等）选择适用的风机。

② 根据通风系统所需要的风量、风压、从风机产品样本所提供的性能曲线或性能表中选择适用的风机型号。选择风机所根据的风量（Q）和全压（H）可按下式确定：

$$Q=Q_0(1+K_1) \tag{10-50}$$

$$H=(1-K_2)\Delta p_1+\Delta p_2 \tag{10-51}$$

式中 Q_0——通风系统各吸气点吸气量以及由于系统中的气体温度、压力变化、冷却水蒸发或加冷风降温而产生的气流量变化的总和；

K_1——考虑系统漏风而附加的系数，一般可取$K_1=0.2\sim0.3$；

K_2——对系统阻力计算值附加的系数，一般可取$K_2=0.15\sim0.2$；

Δp_1——计算出的吸气罩和管道压力损失总和；

Δp_2——空气净化设备的阻力。

③ 风机产品样本中列出的风机性能参数，一般都是在标准状态（即大气压力101.325 kPa、空气温度20℃，相对湿度50%）下的数值，如实际使用的条件距标准状态较远，应按下列公式进行修正：

$$\left.\begin{aligned} &\text{风量} \quad Q_m = Q \\ &\text{全压} \quad H_m = H\frac{\rho_m}{\rho} \\ &\text{功率} \quad N_m = N\frac{\rho_m}{\rho} \\ &\text{效率} \quad \eta_m = \eta \end{aligned}\right\} \tag{10-52}$$

式中 Q、H、N、η、ρ——样本中列出的标准状态下的风量、全压、轴功率、效率、空气密度数据；

Q_m、H_m、N_m、η_m、ρ_m——使用条件下的风量、全压、轴功率、效率、空气密度数据，其单位与样本采用的同。

④ 在满足所需风量、风压的前提下，应尽可能采用效率高的风机，并使风机的风量-风压特性曲线和通风系统的风量-风压特性曲线相交的工作点处在最高效率点的±10%范围内。

⑤ 在确定风机型号的同时，还要确定其转速、电动机型号及传动方式。

（2）当风机的转速（n）、叶轮直径（D）、所输送气体的密度（ρ）改变时，风机的全压（H）、功率（N）及风量（Q）都要发生变化（效率不变）。除密度的变化关系见公式（10-52）外，其它变化关系如下。

① 当转速变化时

$$\left.\begin{aligned} &Q_2 = Q_1\frac{n_2}{n_1} \\ &H_2 = H_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \\ &N_2 = N_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 \end{aligned}\right\} \tag{10-53}$$

② 当叶轮直径变化时

$$\left.\begin{aligned} &Q_2 = Q_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \\ &H_2 = H_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \\ &N_2 = N_1\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 \end{aligned}\right\} \tag{10-54}$$

③ 当转速、叶轮直径、气体密度同时变化时

$$\left.\begin{aligned} &Q_2 = Q_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^3 \\ &H_2 = H_1\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2\frac{\rho_2}{\rho_1}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 \\ &N_2 = N_1\frac{\rho_2}{\rho_1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^5 \end{aligned}\right\} \tag{10-55}$$

上三式中的下角标1、2分别代表变量改变前后。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）并联或串联使用。

① 当二台以上风机联合使用时，每台风机的性能都不如单独使用时的好，所以只有在选择任何一台风机都不能满足设计要求的情况下才联合使用。

② 风机并联使用的目的是增加风量，但只有在阻力较小的系统中使用，才能增加较多的风量。如果系统阻力较大，则风量增加较少，或不增加；在阻力过大时，甚至还低于一台风机单独工作时的风量。

③ 风机串联使用，是为了在风量不变的情况下增加风压，但只有在阻力较大的系统中，串联风机才能显著增加风压。如果系统的阻力较小，则压力的增加就要减少，甚至串联风机的总压力比一台风机单独工作时的压力还要小。

10.4 旋风除尘器

10.4.1 结　构

1. 主要型式

旋风除尘器是利用离心力来除尘的设备。在结构上有其特点的旋风除尘器主要有下列五种型式。

（1）回流式（图10-29） 这是历史最久、结构最简单的典型旋风除尘器，由进气口、圆筒、圆锥和排气管组成（也可以不用圆筒或不用圆锥或做成倒圆锥）。从进气口进入的气体，在圆筒内旋转下降，向着圆锥顶点流动，然后又从圆锥顶点逆转轴向流动方向，旋转上升，最后从排气管排出。在气流旋转下降和旋转上升的过程中，沿着除尘器的全长还有从外螺旋气流到内螺旋气流的二次气流。夹带在气流中的尘粒，因离心力而移向除尘器壁，在气流的带动下，进入灰斗而沉积。

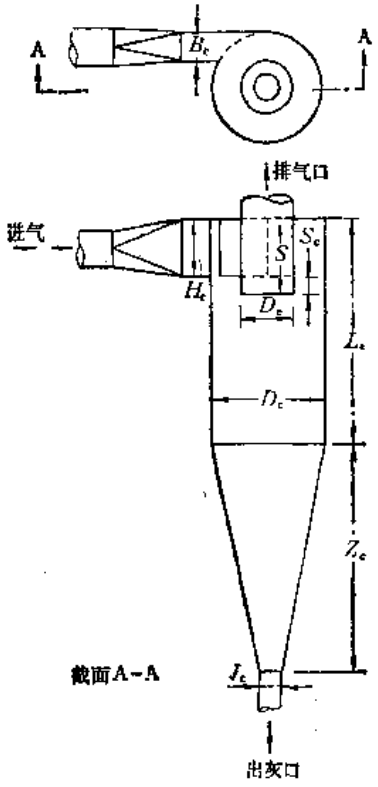


图 10-29　回流式旋风除尘器

（2）旁路式（图10-30） 基本结构与回流式的相同，但其进气口低于顶板，再在外圆筒壁上增加一条旁路，导引在除尘器顶部形成的旋转灰环流入器体下部。据试验，如果旁路的尺寸适当，可比各部分结构和尺寸与之相同，但无旁路的除尘器提高除尘率和降低阻力。缺点是旁路易磨损，并易被粘性大的粉尘堵塞。我国的XLP/A、XLP/B、XP型旋风除尘器等均属此种型式。

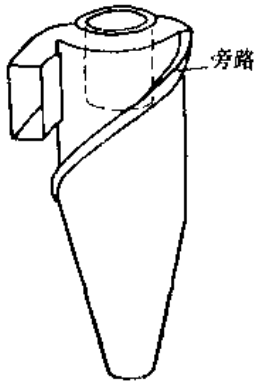


图 10-30　旁路式旋风除尘器

（3）平旋式（图10-31） 其排气管成蜗壳形，沿排气管全长开有切口，切口外侧设有机翼状金属片，与筒体构成收缩的喉口。气体进入除尘器筒体内水平旋转一圈后，一部分进入排气管的切口，另一部分则流过喉口，与新进入除尘器的气体汇合。排气管切口处设有向上倾斜的导流叶片，将气流从旋转运动变为轴向上升运动，以减少阻力。其除尘率不高。我国的PW、XPW型旋风除尘器即属此种型式。

（4）直流式（图10-32） 由圆筒体、导流叶片式入口、出口和排尘装置四部分组成。除尘器内绕轴旋转的气流只是朝着一个方向作轴向移动。其阻力低，除尘率不高。我国的XZL、XZS型旋风除尘器等即属此种型式。

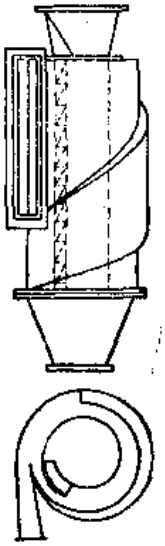


图 10-31 平旋式旋风除尘器

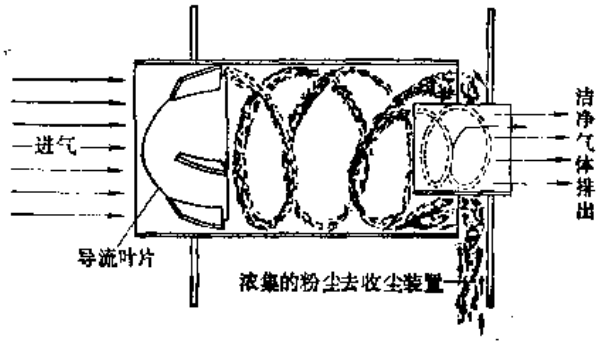


图 10-32 直流式旋风除尘器

（5）旋流式（图10-33） 其特点是有二次气体导入装置。含尘气体从除尘器下部进入筒体后，经导流叶片，产生旋转，向上流动。在筒体上部周围壁上设有若干下斜的喷嘴（或导流叶片），割向喷出二次气体。于是在靠近壁面区域产生逆着主气流，但旋转方向相同的下向旋转气流，增进主气流的旋转，强化分离力量。其捕集细粉尘的能力较其它旋风除尘器好，但动力消耗大。我国的龙卷风除尘器即属此种型式。

2．旋风除尘器的入口形式（图10-34）

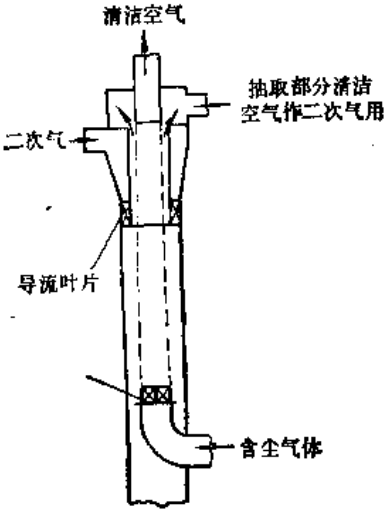


图 10-33 旋流式旋风除尘器

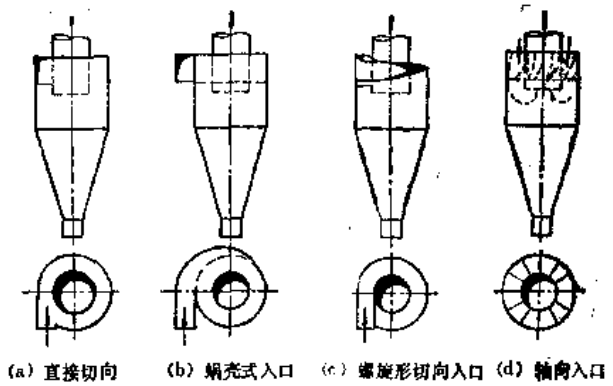


图 10-34 旋风除尘器的入口形式

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（1）直接切向入口　入口导管外壁与除尘器筒体相切。结构简单、经济。

（2）蜗壳式入口　即渐开线入口。渐开线角度有120°、180°、270°、360°的，以采用180°的为多。处理风量大的大入口用蜗壳式有利，因可避免入口与排气管重叠而导致粉尘进入排气管。

（3）螺旋形切向入口　目的是要减少阻力。

（4）轴向入口　利用导流叶片使气流旋转，其阻力低，适用于直流式旋风除尘器和多个并联为多管除尘器，但较易堵塞和磨损。

3. 旋风除尘器的排尘

有中心排尘和周边排尘二种方式。前者用于有圆锥的除尘器，后者多用于无圆锥或倒圆锥的除尘器。从排尘口排出的粉尘可进入灰斗、水封池、水力冲灰器等装置。

10.4.2　性能及其影响因素

10.4.2.1　性能

1. 除尘率

旋风除尘器对不同粒度粉尘的除尘率大致如表10-17；用于不同场合的除尘率大致如表10-18。

表 10-17　旋风除尘器的部分除尘率

粉尘粒度（μm）	除尘率（%）		粉尘粒度（μm）	除尘率（%）	
	一般除尘器	高效除尘器		一般除尘器	高效除尘器
<5	—	50～80	15～50	80～95	90～99
5～20	50～80	80～90	>40	95～99	95～99

表 10-18　用于不同场合的旋风除尘器除尘率

应用场合	<10μm的尘粒所占百分数（%）	除尘率范围（%）	应用场合	<10μm的尘粒所占百分数（%）	除尘率范围（%）
飞灰			石灰（窑）	40～50	75～80
有抛煤机的层燃炉	20	90～95	化肥（生产过程的设备）	40	80～85
煤粉炉	42	75～90	钢（矿石预处理）		
旋风炉	65	55～65	造球（竖窑和回转窑）	10～40	89～95
非金属矿物（除尘器为生产过程中的设备，除尘器捕集物可回用）			铸造（一般）	10～40	80～95
			化学加工（干燥，煅烧）	10～40	80～95
			垃圾焚烧炉	20～40	65～75
水泥（窑和生产过程）	40	70～85	煤加工（热力干燥）	10	90～97
沥青拌合设备	10	80～95	石油（催化裂化过程）	0.6	99
轻集料（窑）	30～40	80～90	一般工业应用	10～60	65～95
耐火土（窑）	40～50	70～80			

2. 阻力

通常应用的旋风除尘器阻力大致是在100～2000Pa 的范围。一般，除尘率高者阻力也高。对各种不同结构的旋风除尘器，一般是由实验求得其阻力系数，再用下式计算其阻力。

$$\Delta p=\zeta\frac{v_i^2\rho_G}{2} \tag{10-56}$$

式中 Δp——旋风除尘器阻力，Pa；

ζ——阻力系数；

v_i——除尘器入口风速，m/s；

ρ_G——空气密度，kg/m³。

表10-19是国内设计的某些旋风除尘器的阻力系数值。

表 10-19 各种旋风除尘器的阻力系数

型号	进口风速 v_i (m/s)	阻力 ΔP (Pa)	阻力系数 ξ	型号	进口风速 v_i (m/s)	阻力 ΔP (Pa)	阻力系数 ξ
XCX	26	1450	3.6	XLP/B	16	880	5.7
XNX	26	1460	3.6	XDF	18	790	4.1
XZD	21	1400	5.3	XSW	32	1530	2.5
XLK	18	2100	10.8	XPW	27.6	1300	2.8
XND	21	1470	5.6	CLT/A	16	1030	6.5
XP	18	1450	7.5	CLT	16	810	5.1
XXD	22	1470	5.1	CZT	15.23	1250	8.9
XLP/A	16	1240	8.0	新CZT	14.3	1130	9.2

10.4.2.2 结构对性能的影响

1. 除尘器各部分尺寸的影响（见表10-20）。

表 10-20 旋风除尘器各部分尺寸对其性能的影响

项目		对性能的影响			常用范围
名称	变化情况	除尘率	阻力	费用	
总长度（H）	增长	总长度在一定范围内，能提高	略有下降	增加	$3\sim4D_e$
圆筒直径(D_e)与排气管直径(D_e)之比，D_e/D_e	增大	比值在一定范围内，能提高	上升	增加	2～2.5
圆锥角	增大	—	—	太大则圆锥易被尘粒磨损	$10°\sim30°$
排尘口直径（J_e）	增大	提高	—	—	$0.5\sim1D_e$
排气管插入深度（S）	增长	在一定范围内，能提高	上升	增加	稍低于进气口底部，但不要接近圆锥部分的上沿
进气口面积	增加	提高	上升	增加	相对断面比K值（筒体断面积与进气口面积之比）为 3～13.5（进气口高宽比：直接切向入口 2～5；蜗壳式入口1～2）
各部分尺寸	几何相似地放大	降低	不变	增加	

注：1. 表中符号见图10-29。2. 表中列出的各个项目，均系该项目单独变化，其它尺寸不变，入口风速亦不变。

2. 其它因素的影响（见表10-21）。

10.4.2.3 工作条件对性能的影响

工作条件对旋风除尘器性能的影响见表10-22。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 10-21 结构方面其它因素的影响

项目	对性能的影响		备注
	除尘率	阻力	
入口加装导流板（图10-35）	降低	下降	
除尘器内加装压力回收叶片（图10-36）	降低	下降	图(a)，在试验条件下，当叶片伸出排气管的长度约为0.3D_e时，阻力和除尘率分别从不装叶片时的772Pa和95%降至387Pa和93.5%
排气管出口加装渐开线形蜗壳（图10-37）	无影响	下降	还可降低需要的空间高度
从排气管周边抽气（图10-38）	提高	无影响	用于排气管直径小于450mm的旋风除尘器较好。抽出的气体可另用高效除尘器处理，或送回旋风除尘器入口
从排尘口排气（图10-39）	提高	无影响	图(a)抽气量约占处理气体总量的10%；(b)约占1%。抽出的气体需用除尘率接近100%的除尘装置处理
壁面粗糙度增加	降低	下降	

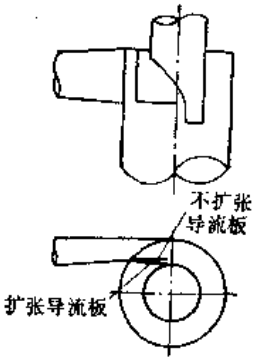


图 10-35 入口加导流板

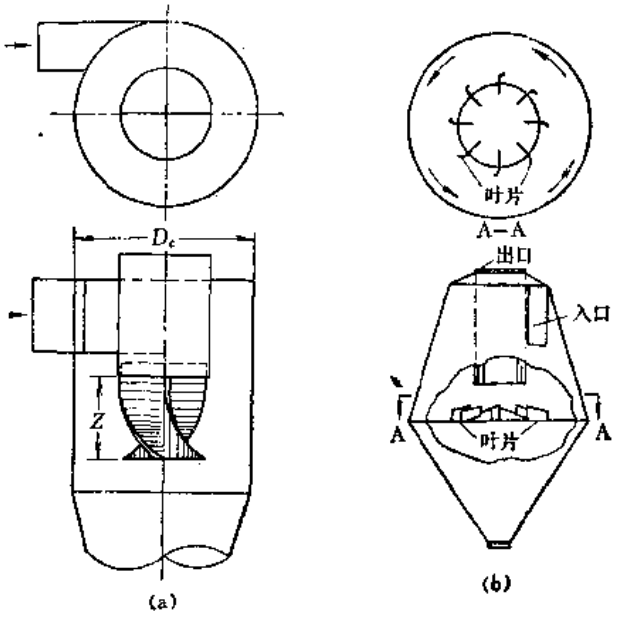


图 10-36 压力回收叶片

10.4.3 性能的推算

10.4.3.1 分离界限粒径

回流式旋风除尘器的50%分离界限粒径可用下式计算：

$$d_{pc}=[9\mu_G B_c/2\pi N_i v_i(\rho_p-\rho_G)]^{1/2} \qquad (10\text{-}57)$$

式中 d_{pc}——50%分离界限粒径，m；

μ_G——气体粘度，kg/m·s；

B_c——除尘器进气口宽度，m；

N_i——除尘器中气流的有效回转数；

v_i——除尘器入口风速，m/s；

ρ_p——尘粒密度，kg/m³；

ρ_G——气体密度，kg/m³。

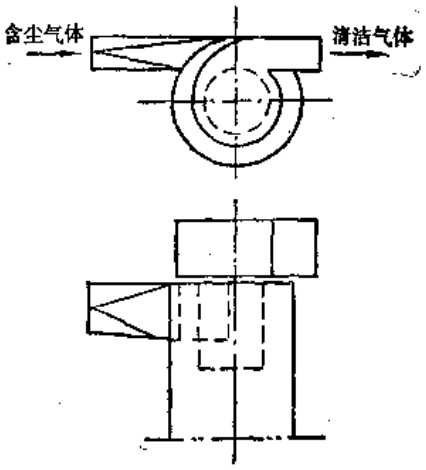


图 10-37 蜗壳出口

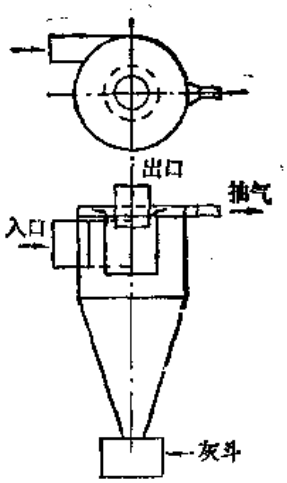
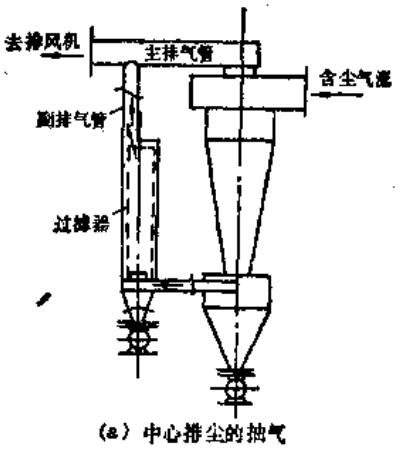
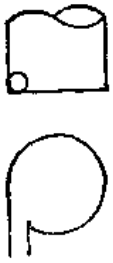


图 10-38 从排气管周边抽气



(a) 中心排尘的抽气



(b) 周边排尘的抽气

图 10-39 从排尘口抽气

表 10-22 工作条件对性能的影响

项目		对性能的影响			常见范围
名称	变化情况	除尘率	阻力	费用	
除尘器入口风速	增大	入口风速在临界值以下，除尘率随风速的增大而提高	上升	初投资降低，运行费增加	切向入口12～22m/s；轴向入口5～10m/s
气体粘度（温度）	增大	降低	可忽略	—	—
粉尘粒度	增大	提高	—	—	—
粉尘密度	增大	提高	—	—	—
含尘浓度	增加	略增	略降	—	—

注：表中列出的各个项目均系单独变化，其它条件不变。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

如图10-29那样的旋风除尘器，在$\mu_G=2\times10^{-5}$Pa·s，$N_t=5$，$B_c=D_c/4$，$v_i=15$m/s的条件下，不同真密度的尘粒和不同直径旋风除尘器的分离界限粒径d_{pc}见图10-40。如果μ_G、v_i、N_t、B_c与上述数值不同，可按图10-41和图10-42修正。N_t可用下式计算：

$$N_t=\frac{t_r v_i}{\pi D_c}=\frac{(V/Q)v_i}{\pi D_c} \tag{10-58}$$

式中 t_r——气流的逗留时间，s；

V——旋风除尘器容积，m^3；

Q——气流量，m^3/s。

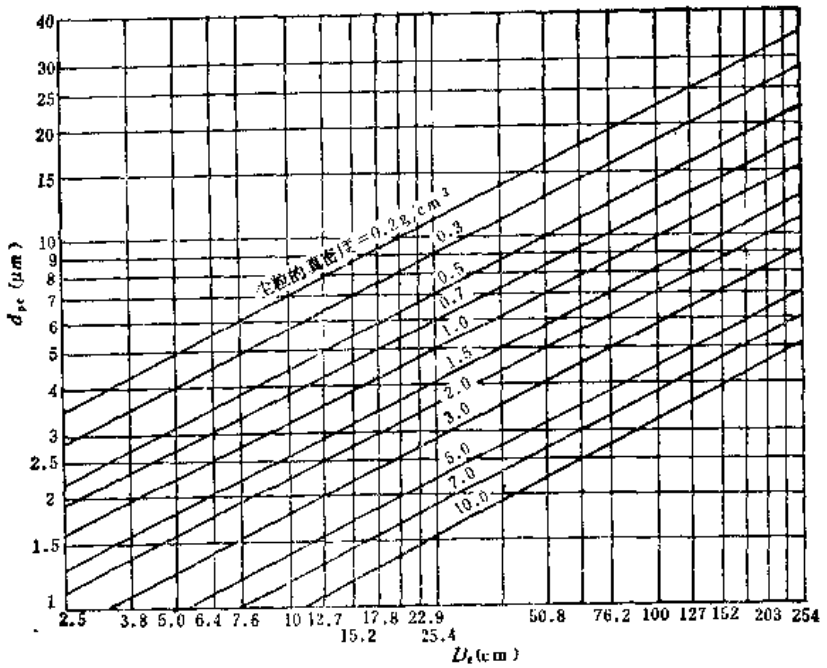


图 10-40 分离界限粒径

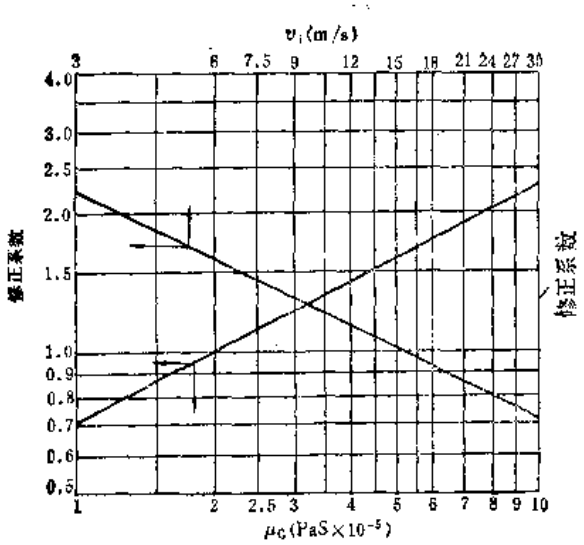


图 10-41 对μ_G和v_i的修正

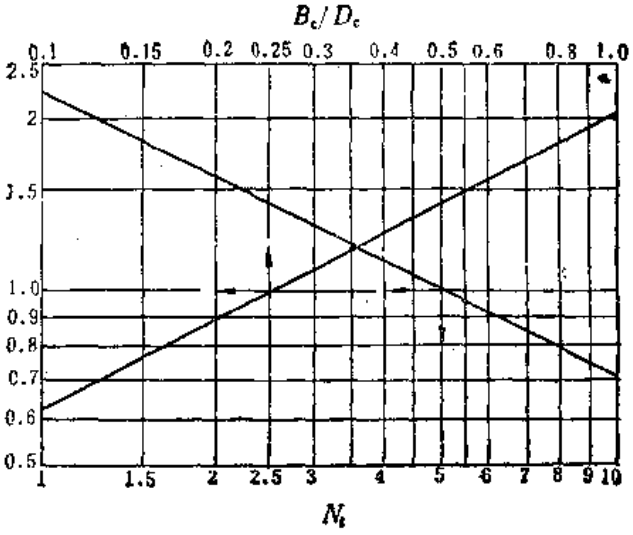


图 10-42 对B_c和N_t的修正

如图10-29的旋风除尘器有效容积为

$$V=\frac{\pi}{4}\left[\left(\frac{Z_c}{D_c-J_c}\right)\left(\frac{D_c^3-J_c^3}{3}\right)+D_c^2L_c-D_c^2(H_c+S_c)\right] \tag{10-59}$$

实际上，就大直径的旋风除尘器而言，有效回转数与入口风速密切相关，可用图10-43估计。

10.4.3.2 除尘率

（1）形式和各部分尺寸比例与图10-29相同的旋风除尘器，在已知其d_{pc}后，可根据图10-44求出对各种粒径粉尘的除尘率。

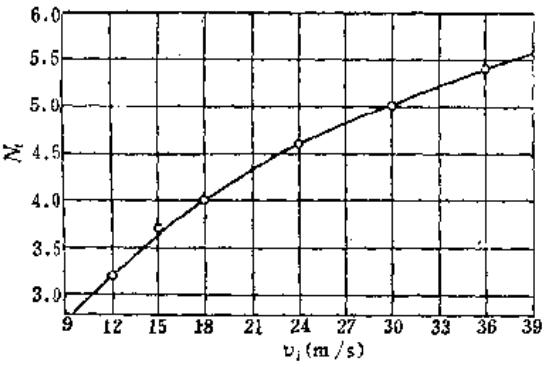


图 10-43 有效回转数与入口风速的关系

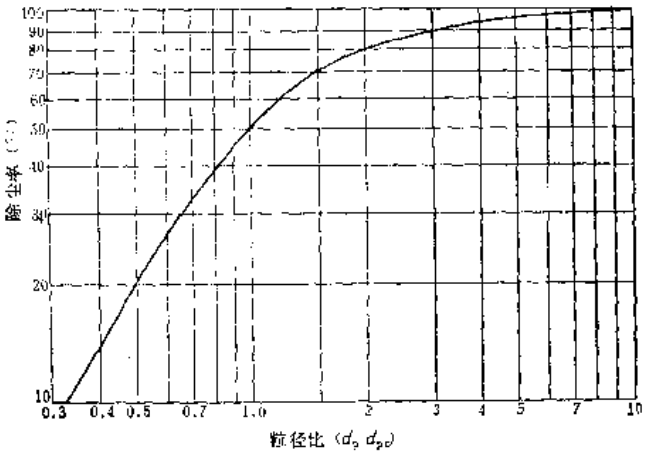


图 10-44 粒径比与除尘率

d_p—粒径（μm）；d_{pc}—50%分离界限粒径（μm）

（2）如已知一种旋风除尘器的部分除尘率曲线，即可按下列步骤对几何相似的旋风除尘器作出部分除尘率曲线。

① 根据已知旋风除尘器部分除尘率曲线确定其50%分离界限粒径d_{pc}；

② 按照除尘率与比值d_p/d_{pc}的关系重画部分除尘率曲线；

③ 用公式（10-57）或图10-40～10-42计算未知除尘器的d_{pc}；

④ 假定除尘率与d_p/d_{pc}的关系曲线适用于未知除尘器，应用未知除尘器的d_{pc}值和除尘率与d_p/d_{pc}的关系曲线，可算出新的d_p与除尘率的关系，并插绘成未知除尘器的部分除尘率曲线。

（3）确定旋风除尘器总除尘率

① 把要捕集的粉尘，按粒径分成若干范围（例如对图10-45给出的粒径分布）；

② 根据由实验得出的，或用上述方法推算出的部分除尘率曲线，确定对除尘器入口粉尘各粒径范围内平均d_p的除尘率。

（4）用上一步骤所确定的除尘率乘各粒径范围的重量百分数。其总和即总除尘率。

确定总除尘率的另一方法是用下式估算：

$$\eta_T=\frac{1}{1+(d_{pc}/d_{pm})}\times 100 \tag{10-60}$$

式中 η_T——旋风除尘器的总除尘率，%；

d_{pc}——50%分离界限粒径，μm；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

粒径（μm）		重　量（%）
范　围	平均d_p	
＜6	3	(100.00－99.97)＝0.03
6～8	7	(99.97－99.91)＝0.06
8～10	9	(99.91－99.80)＝0.11
10～12	11	(99.80－99.65)＝0.15
12～15	13.5	等　　0.35
15～20	17.5	0.90
20～30	25	2.80
30～40	35	3.60
40⁺	40⁺	91.90

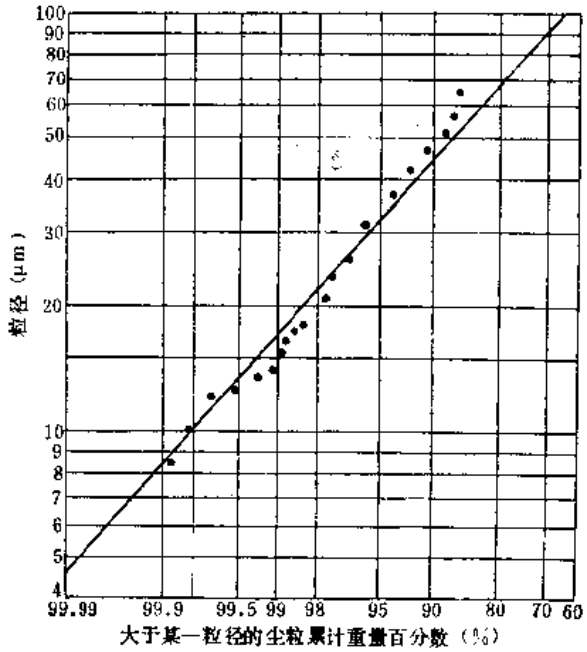


图 10-45　典型的粒径分布

d_{pm}——入口粉尘的中位径，μm。

可将上式标绘成图10-46。

10.4.3.3　阻力

直接切向入口回流式旋风除尘器的阻力可用下式估算。

$$\Delta p = 7.238\frac{Q^2}{KD_c^2B_cH_c(L_c/D_c)^{1/3}(Z_c/D_c)^{1/3}} \qquad (10\text{-}61)$$

式中　Δp——阻力，Pa；

K——系数，入口无导流板者，$K=0.5$；

入口有不扩张导流板者，$K=1$；

入口有扩张导流板者，$K=2$；

Q——气流量，m^3/s。

其它符号所代表者见图10-29。但应注意，这些尺寸都是内部净尺寸，不包括壁厚等。

10.4.4　设　　计

（1）设计旋风除尘器通常是用经验法。即先在经验的基础上决定采用某种型式的除尘器，然后根据需要处理的气体量和选用的入口风速算出入口面积，再以入口面积为准，按照该种除尘器的各部分尺寸比*算出各部分尺寸，并决定是否采取底部抽气、排气管抽气等措施。

在上述选用旋风除尘器的过程中，应核算所选除尘器能否满足除尘率的要求。其方法是：

① 由进气含尘浓度和要求达到的排气含尘浓度计算出需要的除尘率η；

② 根据所选除尘器的部分除尘率和要捕集的粉尘的粒径分布，计算出除尘器能达到的总除尘率η'。若$\eta' \geqslant \eta$，则所选的除尘器能满足要求，否则要重新设计。

实际上，旋风除尘器的选用常受客观条件容许达到的阻力的限制。

* 除图10-29中所示之尺寸比外，对回流式旋风除尘器的各部分尺寸比，还有一些其它的设计，表10-23是另外两个例子。

表 10-23 回流式旋风除尘器
各部分尺寸比举例

尺寸代号	一般	高除尘率的
圆筒直径D_e	D_e	D_e
圆筒长度L_e	$1.75D_e$	$1.4D_e$
圆锥长度Z_e	$2D_e$	$2.6D_e$
总长度H_e	$3.75D_e$	$3.9D_e$
排气管长度S	$0.6D_e$	$0.5D_e$
排气管直径D_e	$0.5D_e$	$0.4D_e$
入口高度H_e	$0.5D_e$	$0.44D_e$
入口宽度B_e	$0.25D_e$	$0.21D_e$
排尘口直径J_e	$0.4D_e$	$0.4D_e$

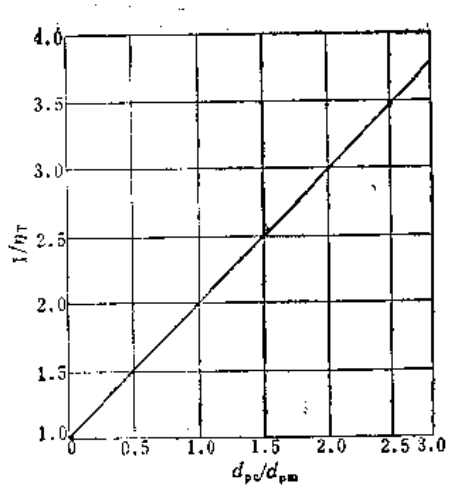


图 10-46 $1/\eta_T$与d_{pc}/d_{pm}的关系

（2）除经验法外，国外已研究出通过计算来确定旋风除尘器最佳尺寸比的设计方法*。

（3）旋风除尘器应用的离心力大约是在重力的5～2500倍范围。离心力与重力的比值称为分离系数，可用下式计算。表10-24是对某些粉尘的典型分离系数值。

$$S_t = v_i^2 / R_c g \qquad (10\text{-}62)$$

式中 S_t——分离系数；

v_i——除尘器入口风速，m/s；

R_c——除尘器筒体半径，m；

g——重力加速度，m/s²。

（4）如地位受限制，可将旋风除尘器设计成倾斜或水平安装（图10-47）。如有管道弯头靠近旋风除尘器入口，应采用图10-48(a)的方式连接。

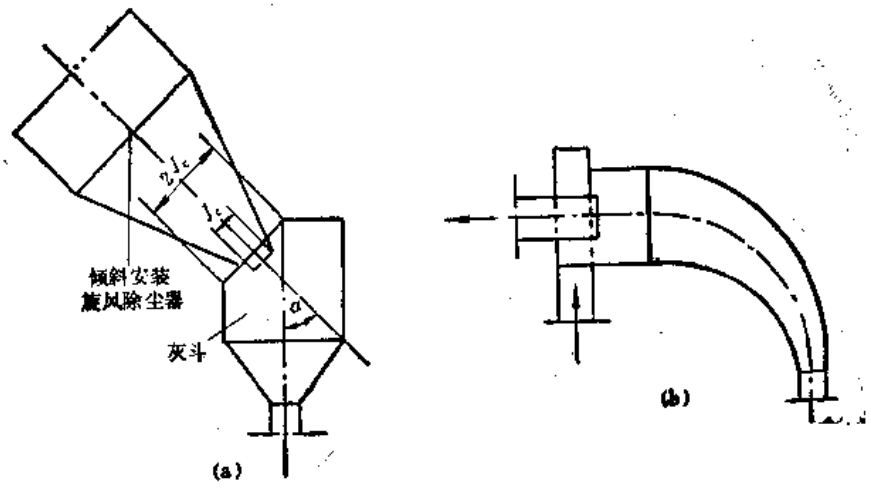


图 10-47 倾斜的和水平的旋风除尘器
(a) 倾斜安装的除尘器与灰斗连接方式，(b) 具有弯曲圆锥的水平旋风除尘器

* 详见：1.稽敬文编《除尘器》第三章§4，中国建筑工业出版社，1981；2.稽敬文译，提高旋风除尘器效率的新设计方法，《建筑技术通讯—暖通空调》1980年第2期。

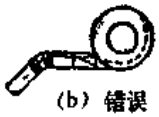
标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 10-24 某些粉尘的典型分离系数

粉　尘	占总重量的百分数	分离系数
飞灰	50%小于50μm	28
石尘	33%小于20μm	50
刚玉粉尘	50%小于50μm	22
水泥窑排出粉尘	73%小于35μm	100
铸造砂	67%小于45μm	75
石灰石尘	66%小于45μm	93
皂尘	87%小于35μm	85



(a) 正确



(b) 错误

图 10-48 管道弯头与除尘器入口的连接

10.4.5 使用与维护

10.4.5.1 并联和串联

1. 旋风除尘器并联使用

（1）为了提高除尘率而将除尘器按相似比例缩小，同时将缩小了的除尘器若干台并联，以满足处理风量的需要。

（2）如果气体负荷变化较大，可将除尘器并联，以便在负荷减小时切断部分除尘器而保持原有除尘率。

（3）当除尘系统需要增加处理气体量时，可增添除尘器并联，以保持除尘率和阻力不变。

（4）为了在进行维修时不影响系统的运行，可将除尘器并联，轮换维修。

（5）当并联除尘器数量不多时（一般不超过8个），可单管并联。即每个除尘器各有其进气管与排气管，分别与进气、排气干管相连，或各自单独向大气排气；每个除尘器可以有单独的灰斗或共用一个灰斗。

如并联除尘器数量多，则需使用共有的进气室和排气室以及共有的灰斗，而形成多管除尘器（图10-49）。其中各个旋风子的直径一般在150～600mm范围，以采用250mm者为多。

（6）并联使用应注意尽量避免气体从一部分除尘器的排尘口经过共用的灰斗倒流入另一部分除尘器的排尘口。可采取以下措施：

① 提高制造、安装的质量。例如保持旋风子轴向入口导流叶片安装的角度一致；导流叶片外沿螺旋线与旋风子内壁应结合严密；各个旋风子的尺寸或形状不能有差异等。

② 将共用的灰斗用隔板分隔成几部分（图10-50）。

③ 灰斗应较大，并及时排灰，以免粉尘堵塞排尘口。

④ 从灰斗内抽取约占处理气体总量5%的气体送回除尘器进气室或另用一台独立的除尘器处理。

2. 旋风除尘器的串联使用

（1）作为另一高效除尘器的预除尘器，或作为起凝聚尘粒作用的另一除尘器的捕集器，而与其它除尘器串联。

（2）在采取从排尘口抽气或从排气管周边抽气的措施时，形成与另一除尘器的部分串联使用。

（3）如遇下列情况，还可将一台以上的旋风除尘器全部串联使用（图10-51）。

① 如果粉尘容易破碎，旋风除尘器中的气流速度要低，以致达不到需要的除尘率，可

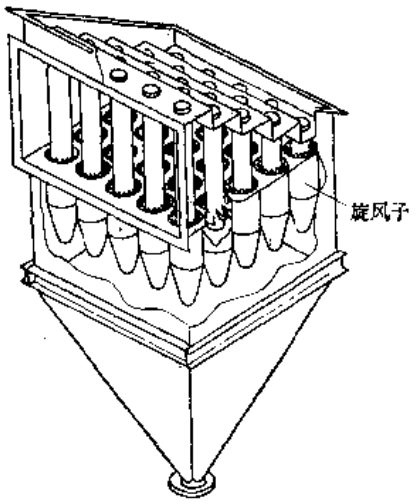


图 10-49 多管除尘器



图 10-50 共用灰斗加隔板

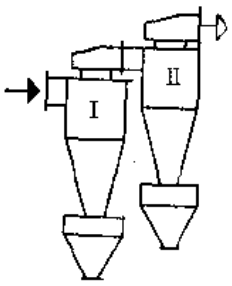


图 10-51 全部串联使用

采取串联的办法。

② 作为分级器，先由串联的第一级除尘器收下生产过程所需要的大粒子，再用第二级除尘器净化其排出的气体。

③ 如果必须连续运行，但工作条件差，也可采用串联的办法：*a*.可以用一个大直径的旋风除尘器作为第一级来保护一组小直径的第二级旋风除尘器，以免后者堵塞。*b*.用第二级甚至第三级除尘器作为后备，当第一级的排尘口堵塞而不能起除尘作用时，第二级的就可以代替第一级除尘器。一般最多使用三级。

10.4.5.2 积灰和堵塞

1. 积灰

由于粉尘的粘附性，由于除尘器内壁因水气冷凝而潮湿或尘粒带有水分等原因，旋风除尘器壁面会积灰。预防措施如下：

（1）使除尘器内壁平整光滑。

（2）对除尘器壁加热或加保温层，以防结露(当气体含有硫氧化物时，此点更重要)。倘若只在初开车时有结露问题，可采取对气流暂时加热，以预热除尘器的办法。

（3）连续加湿，冲去壁面粉尘。

（4）导入粗粒子，以增加擦清壁面的作用。

（5）使除尘器内的气流切向速度保持在15m/s以上。

（6）将大气或压缩空气引入灰斗，使之从灰斗倒流一段时间，把旋风子内壁冲干净。

2. 排尘口堵塞

大块物料或由壁面积灰形成的扁平硬块落入排尘口，以及灰斗内粉尘堆积过多等原因，可能造成排尘口堵塞而降低除尘率、增加磨损和加大阻力，预防措施如下：

（1）在除尘器外面进行锤击或振动，并将锤击部位加固。

（2）在大直径旋风除尘器顶部设置加盖板的孔口，以便用棍棒通排尘口。

（3）流化过程的旋风除尘器如果堵塞，可采用吹气的办法迫使堵塞的物料进入旋风除尘器内。这时必须在料腿或排尘管中设置阀门，以便在堵塞的物料下面加压。

（4）可将多管除尘器中的旋风子设计成无圆锥部分，以扩大排尘口。还可采用机械的方法（例如在排尘口设置摆动的圆锥）来保持排尘口不积灰（图10-52）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（5）及时出灰，保持灰斗内的料位在排尘口下面至少相隔2～3倍排尘口直径的距离；灰斗壁应与水平面成60°以上的角度。停车时要出清灰斗内的粉尘，以防粘结。

3. 多管除尘器堵塞

多管除尘器中旋风子的进气、排气通道，特别是轴向入口，也可能严重堵塞。可在除尘器内设置吹灰喷嘴，定时吹灰，以保持排气管外侧清洁；在排气管内可安装螺旋刮除器，连接在框架上，利用空气锤使之振荡，并按时自动进行（图10-53）。如要捕集粘附性强的粉尘，最好采用切向入口的旋风子。

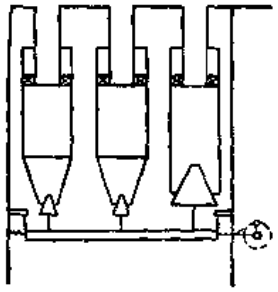


图 10-52 用摆动圆锥清洁排尘口

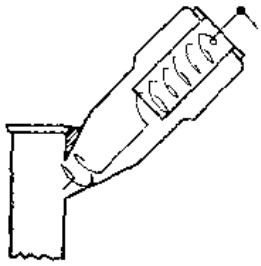


图 10-53 螺旋刮除器

10.4.5.3 磨损与漏风

1. 磨损

旋风除尘器容易被高浓度、高速度的含尘气流磨损，特别是除尘器锥体下部和尘粒刚开始旋转处（可以从除尘器入口向里看到的壁面）。因此，在处理磨损性较强的含尘气流时，要采取以下措施：

（1）防止排尘口堵塞。

（2）防止有过多的气流倒流入排尘口。

（3）尽量避免焊缝和接头；必要的焊缝应磨平，法兰连接处应仔细装配，保证同心。

（4）在受粉尘冲击部位使用可更换的抗磨板（但要和周围壁面相平）。

（5）用耐磨材料制造除尘器或其易磨损部分（例如用较厚的钢板做锥体）。

（6）使用耐磨衬里。例如在除尘器内表面衬以辉绿岩铸石板、陶瓷板，或敷设耐磨涂料*。

2. 漏风

旋风除尘器，特别是在排尘口附近和灰斗部分，不能漏风。当灰斗漏风量超过处理总风量的10%后，除尘率就急剧下降。因此，必须做到：

（1）经常注意检查除尘器有无因磨损而漏风的现象，以便及时采取措施。对装在风机吸入端的除尘器，可利用香烟之类靠近仔细观察。

（2）注意维护排灰阀门，经常检查回转阀的叶片与外壳之间有无漏风问题并及时修理或调节。应把用电动机带动的回转阀回转速度减慢到能有效地排灰即可，以减少带入空气和减轻磨损。闪动阀的阀片和阀座不能有积灰或磨损、腐蚀，以免闭合不严密。必须注意检查阀门的配重，最好是让阀片浮动（出灰时开口不要太宽）。阀的轴应保持转动灵活。要注意轴承的润滑，轴承不能积灰。如果阀内气体温度高，则应采用较长的轴，并在阀的外壳和轴承之间装填料盒，以避免气体和轴承直接接触，使轴承不能很好润滑。

* 详见陈明绍等编著《除尘技术的基本理论与应用》第二十二章，中国建筑工业出版社，1981

（3）对多管除尘器还要注意旋风子的排气管与进、排气室分隔板连接处不能漏气，以免含尘气体短路。

10.5 洗涤除尘器

10.5.1 结　构

洗涤除尘器是用水除尘的设备，常用的有以下几种型式。

（1）喷淋塔（图10-54）　其构造是在圆形或方形截面空心塔体内设置一层或几层喷嘴，依靠喷嘴所产生的，分布在整个截面上的大量液滴，来清洗通过塔体的含尘空气。

（2）水膜旋风除尘器（图10-55）　含尘气体从空心圆筒下部切向进入，螺旋上升，从圆筒上部排出。整个圆筒内壁面有一层水膜从上向下流动，可以粘附因受离心力作用而到达壁面的粉尘，一起从筒体底部排出。筒体可用钢板或花岗石制作，后者能耐腐蚀。供水有喷嘴和溢流水槽两种方式（图10-56）。

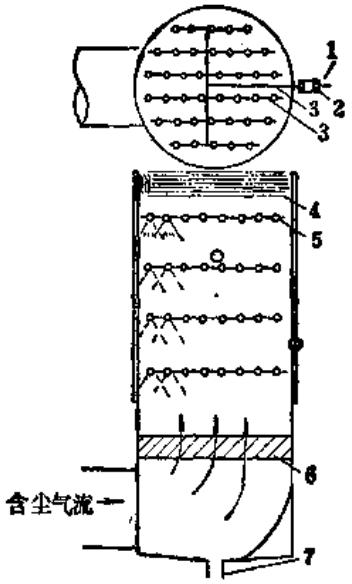


图 10-54　喷淋塔

1—水入口；2—滤水器；3—水管；4—挡水板；5—喷嘴；6—气流分布板；7—污水出口

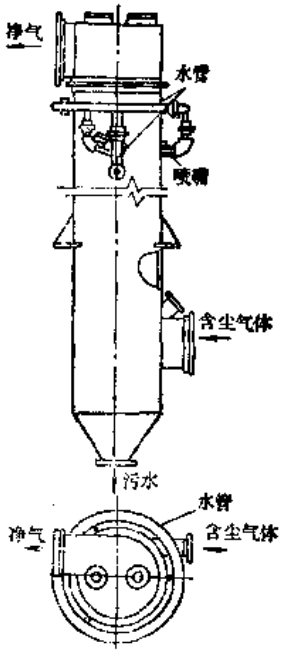


图 10-55　水膜旋风除尘器

（3）卧式旋风水膜除尘器（图10-57）　由外壳、内筒、螺旋形导流叶片、水槽和供排水装置等组成。含尘气流由除尘器一端切向进入，经过螺旋形通道，从另一端排出。由于气流对水面的冲击、水滴和尘粒的碰撞、旋转气流的离心力及外壳内壁上水膜的粘附作用等，将粉尘除去。此种除尘器的供水采取使用前定期加水和使用时连续供、排水相结合的方式。外水槽溢流供水，H_1应大于除尘器出口的全压值；H_2有控制水膜厚度的作用，一般可采用3～7mm。

（4）冲激式除尘器（图10-58）　含尘空气进入除尘器后，大尘粒先沉降下来，然后空气偏转90°，以15m/s以上的速度通过由两个弯曲叶片形成的S形通道，激起大量水滴，使空气得到进一步净化。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

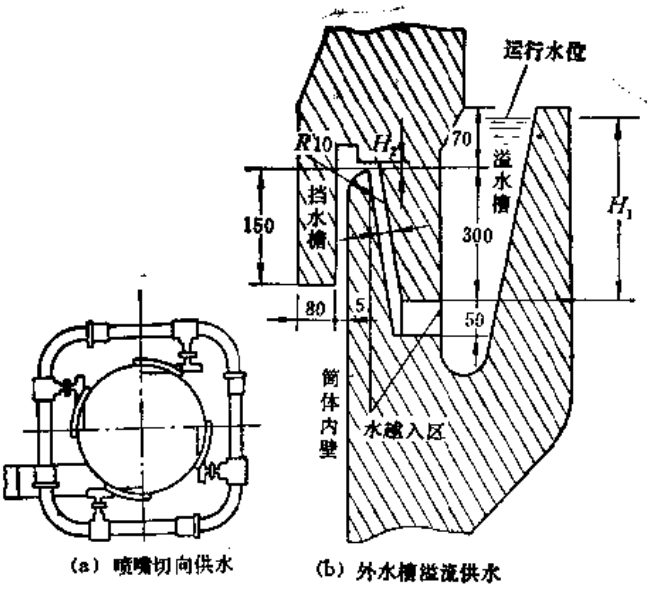


图 10-56 水膜旋风除尘器供水方式

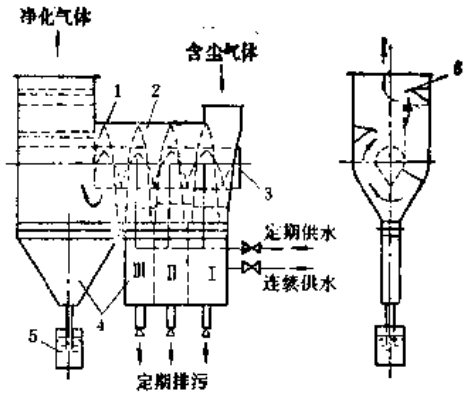


图 10-57 卧式旋风水膜除尘器

1—外壳；2—螺旋导流片；3—内筒；4—灰斗；5—溢流筒；6—檐式挡水板

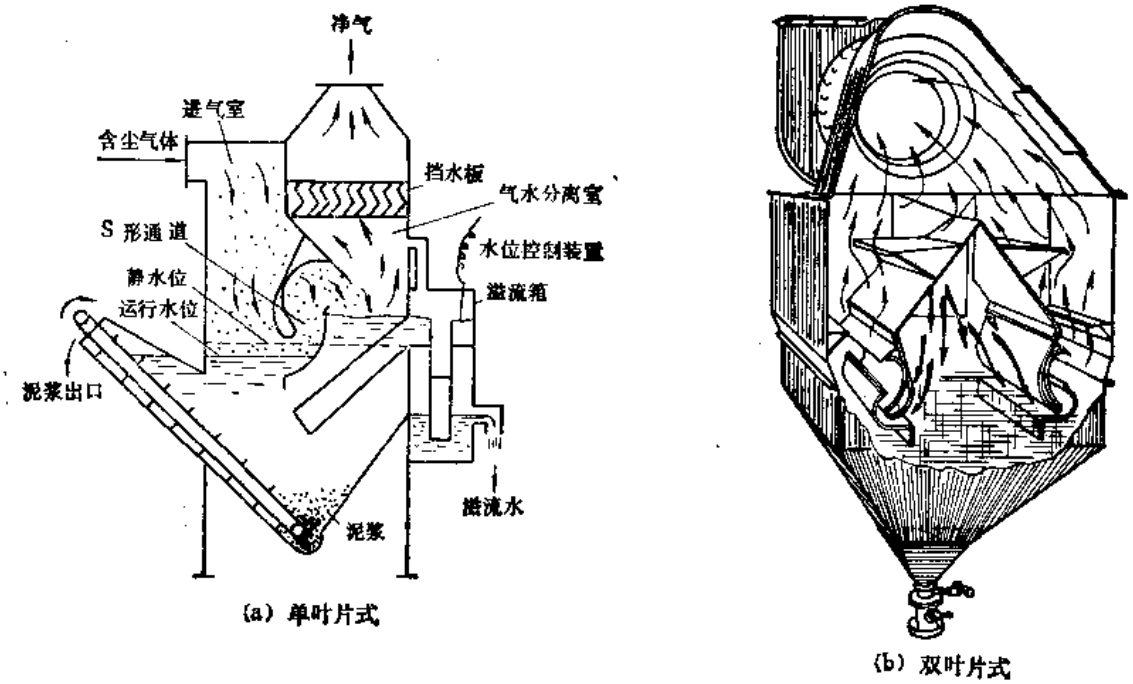


图 10-58 神漩式除尘器

（5）水浴除尘器（图10-59） 在除尘器内有一根向下的导管，插入水中。导管末端设一同心圆锥体，与导管壁之间形成一环状间隙。含尘空气即从这个间隙喷出，然后转180°，利用气体在水中鼓起的气泡和飞溅的液滴来除尘。

（6）泡沫除尘器（图10-60）由内部设有水平多孔筛板的垂直空塔构成。筛板上面布满一层水。空气从下部进入除尘器，然后通过筛孔向上流动。在穿过筛板上面的一层水时，鼓起许多气泡，有许多粉尘就粘附在气泡壁上而被除去。水通过筛孔漏泄至除尘器下部的水

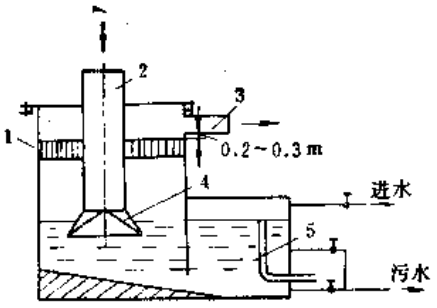


图 10-59 水浴除尘器

1—挡水板；2—进气管；3—排气管；4—喷头；5—溢流管

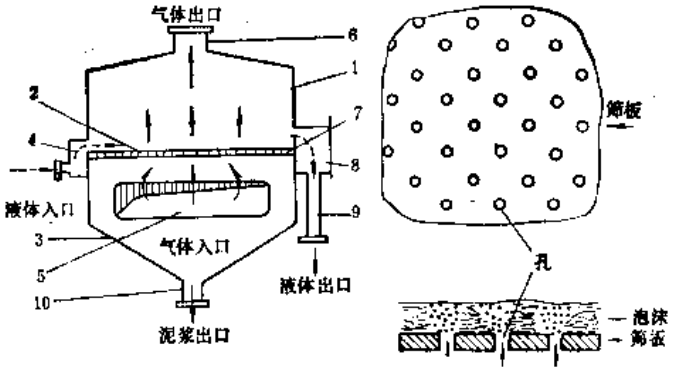


图 10-60 泡沫除尘器

1—塔体；2—筛板；3—锥形斗；4—液体接受室；5—气体分布器；6—排气管；7—挡板；8—溢流室；9—溢流管；10—排泥浆管

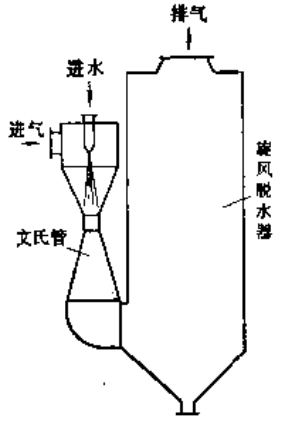


图 10-61 文丘里除尘器

槽中。在筛板上部不断地补充水，利用溢流以保持泡沫层厚度。

（7）文丘里除尘器（图10-61）由文丘里管（或称文化管）和脱水器两部分组成。文丘里管包括渐缩管、喉管和渐扩管三段，向喉管内喷水。含尘空气从渐缩管进入喉管，将水雾化。尘粒以高速与水滴碰撞，而与水滴凝结成大颗粒。然后空气携带粘附了粉尘的水滴进入脱水器，将水滴和粉尘除去。

在洗涤除尘器中用得较多的喷嘴是离心式喷嘴，例如渐开线形喷嘴、碗形喷嘴等。图 10-62 为离心式喷嘴的一种结构，表 10-25为其性能和尺寸。

洗涤除尘器所用的脱水装置多为惯性式和离心式的，有各种不同的结构，例如曲折的挡水板（图10-58）、槽板式脱水装置（图10-57）、弯头脱水器（图10-63）、旋风脱水器（图10-61）等。

表 10-25 图10-62中喷嘴的性能和尺寸

喷嘴型号	喷雾量 kg/h	水压 kg/cm²	喷射角	喷嘴盖尺寸（mm）						旋转室尺寸（mm）						外壳尺寸（mm）				总高 H
				D_0	A	B	C	C_1	D	进水槽数 n	h	t	进水槽面积 $A_f=\pi(h+2)t$	E	A_1	G	G_1	K	M	
0.5	500	1.5	60°～90°	4	13	$M22\times1.5$	$M30\times1.5$	30	38	2	2	4	32	20	13	$G^1/_2''$	15	20	52	60
1.0	1000	1.5	60°～90°	6	13	$M22\times1.5$	$M30\times1.5$	30	38	2	4	5	60	22	13	$G^1/_2''$	15	20	52	60
1.5	1500	1.5	60°～90°	8	19	$M27\times1.5$	$M36\times1.5$	36	45	3	4	5	90	22	19	$G^3/_4''$	20	26	58	66
2.0	2000	1.5	60°～90°	10	19	$M27\times1.5$	$M36\times1.5$	36	45	3	6	5	120	24	19	$G^3/_4''$	20	26	58	66
2.5	2500	1.5	60°～90°	12	19	$M27\times1.5$	$M36\times1.5$	36	45	3	6	5	150	26	19	$G^3/_4''$	20	26	58	66
3.0	3000	1.5	60°～90°	13	30	$M39\times1.5$	$M48\times1.5$	48	58	4	7	5	180	25	30	$G1''$	25	26	58	66
3.5	3500	1.5	60°～90°	14	30	$M39\times1.5$	$M48\times1.5$	48	58	4	9	5	220	27	30	$G1''$	25	32	64	72
4.0	4000	1.5	60°～90°	15	30	$M39\times1.5$	$M48\times1.5$	48	58	4	11	5	260	29	30	$G1''$	25	32	64	72
4.5	4500	1.5	60°～90°	16.5	37.5	$M48\times1.5$	$M56\times1.5$	56	66	5	10	5	300	28	37.5	$G1^1/_4''$	32	32	64	72
5.0	5000	1.5	60°～90°	18	37.5	$M48\times1.5$	$M56\times1.5$	56	66	5	12	5	350	30	37.5	$G1^1/_4''$	32	32	64	72

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

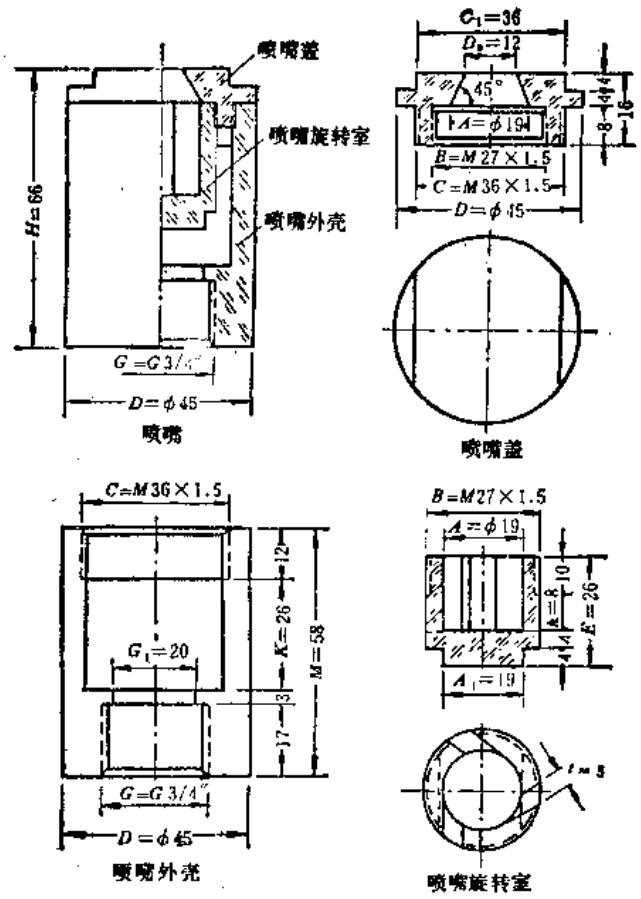


图 10-62 一种离心式喷嘴的结构

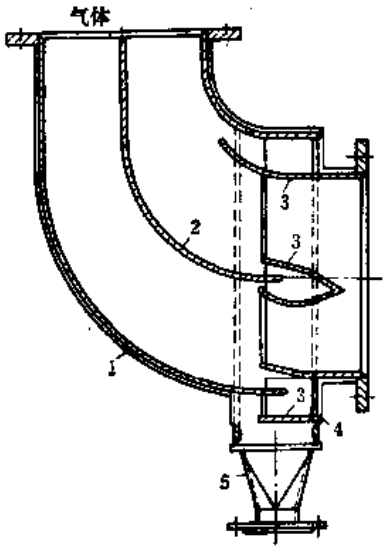


图 10-63 90°弯头脱水器

1—外壳；2—叶片；3—排水槽；4—集水箱；5—排污口

洗涤除尘器可用 6 折或 4 折90°的挡水板脱水。通过挡水板的气流速度可取3m/s。为防止堵塞，各片挡水板之间的距离宜稍宽。其阻力一般在100Pa以下。

弯头脱水器多用于串联二级文丘里除尘器的系统中，作为第一级的脱水装置。它有90°～180°的。其叶片间的气流速度应不高于13m/s。阻力约为100Pa。这种脱水器较易堵塞。

常用的旋风脱水器结构一般与水膜旋风除尘器相似，只是可以不向壁上淋水。脱水器入口风速可取15～22m/s。脱水器筒体横截面的气流上升速度可取 4 m/s；筒体高度（从进气管中心至顶部）与筒体直径之比值可取 3。阻力约在800Pa左右。其脱水率较高。

对洗涤除尘器排出的泥浆，可采用在除尘器下面设置沉淀箱、槽，人工出泥，或用刮泥机定期出泥，或用清洁车抽吸运走等办法就地处理，也可以将各除尘点的泥浆排至集中沉淀池或各种脱水设备内进行集中处理*。

10.5.2 性能、特点和基本设计数据

上述各种常用洗涤除尘器的性能、特点和基本设计数据见表10-26。

* 详见《铸造车间通风除尘技术》第13章§13.5，机械工业出版社，1983。

表 10-26 常用洗涤除尘器的性能、特点和基本设计数据

名 称	除尘性能	阻 力	特 点	基本设计数据
喷淋塔	50%分离界限粒径约在3～5μm范围	包括挡水板和气流分布板的阻力，总共约250～500Pa	1.结构简单 2.阻力低 3.不需要能产生细小液滴的喷嘴，可使用悬浮物浓度相当高的循环水 4.不易堵塞，可处理浓度高的含尘空气 5.除尘率较低 6.设备和用水量较大	1.塔中喷嘴喷出的液滴直径宜在500～1000μm的范围 2.逆流喷淋塔横截面上气流上升速度通常取0.6～1.2m/s（风速再高，即需于塔顶装脱水器）；塔的高度通常为其直径的2～3倍 3.水压一般为（1.4～7.3）×10⁵Pa；喷水量一般为0.7～3L每m³空气
水膜旋风除尘器	除尘率一般可达90%以上	500～750Pa	1.结构简单 2.阻力较低	1.每小时每米筒壁周长的耗水量：喷嘴供水一般采用约0.8m³；分段溢流供水可采用0.5m³ 2.入口风速一般采用16～22m/s 3.筒体截面上的气流上升速度可采用4m/s 4.蜗壳式进、排气口中心线之间的距离可取0.7D 5.蜗壳式进气口的高宽比可取1.3左右
卧式旋风水膜除尘器	除尘率一般可达90%以上	随风速和静水面至内筒底部的距离而变化，一般约800～1200Pa	1.风量在±20%的范围内，对除尘率几乎无影响 2.耗水量低 3.不易堵塞	1.内筒底至水面的高度合适范围是100～150mm 2.螺旋通道内截面平均风速范围是11～17m/s 3.连续供水量为0.06～0.15L/m³ 4.气流旋转圈数一般为3圈，如粉尘浓度高或粉尘较细，可再增加1～2圈
冲激式除尘器	50%分离界限粒径在1μm左右，对5μm的粉尘，除尘率约93%	随单位长度叶片的处理风量而变化，一般在1000～1600Pa的范围	1.不易堵塞，可处理含尘浓度高的大流量气体 2.耗水量小（有水位自控装置的，约为0.04L/m³；无水位自控的，约为0.17L/m³）	1.单位长度叶片的处理风量可取5000～7000m³/h·m（以6000较好），叶片长度以不超过5 m为宜；如处理气体流量很大，可采用双叶片的结构形式 2.溢流堰高出上叶片下沿50mm 3.进气口下沿距水面应大于0.5～1m（叶片愈长，距离应愈大）；进气速度宜小于18m/s；进气室内气体垂直向下的流速一般不大于3～4m/s 4.挡水板下缘距水面应大于0.5m；气水分离室内气流上升速度宜小于2.5m/s
水浴除尘器	用于亲水性、较粗的粉尘，除尘率可达85%～95%；用于疏水性、较细的粉尘，除尘率约50%～65%	一般约1000～1500Pa	1.结构简单 2.不易堵塞 3.耗水量小	1.空气从喷头的环状间隙流出的速度一般取10～14m/s 2.运行时喷头浸水深度一般在0～30mm范围 3.空气离开水面后的上升速度应小于2.5m/s

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

名　称	除尘性能	阻　力	特　点	基本设计数据
泡沫除尘器	一层筛板的除尘器，在阻力为500～1000Pa时，50%分离界限粒径为2μm	一般在500Pa左右，但如筛孔粘附粉尘，阻力就可能增加到1000Pa以上	1.体积较小，金属耗量较少 2.在处理粘性粉尘或含尘量过高的气体时，筛孔容易堵塞	1.筛孔直径一般取5～8mm；筛板开孔率一般为0.15～0.25m^2/m^2 2.除尘器截面气流上升速度一般取1～2.5m/s 3.挡板（溢流堰）高度一般为30～50mm左右 4.耗水量一般取0.4～0.7L/m^3 5.筒体直径不宜超过2.5m
文丘里除尘器	除尘率随喉管风速和喷水量的增大（亦即随阻力的增大）而提高。当阻力约为2500Pa时，可以接近100%地除去2μm尘粒；对0.3～0.4μm的尘粒，则大约需要15000Pa	随喉管风速和喷水量而变化，应用的范围很广，约为600～20000Pa；当喉管风速为90m/s，水气比为1L/Nm^3时，文丘里管和旋风脱水器的阻力共约7000Pa	1.清除微细粉尘的能力较其它洗涤除尘器高得多，但同时阻力也大 2.耗水量大	1.捕集<1μm的尘粒，喉管风速要达到90m/s以上，水气比需要0.7L/Nm^3以上；捕集较粗粉尘，喉管风速一般取60～90m/s，水气比取0.15～0.6L/Nm^3 2.喉管在喷水点后的长度一般取200mm，如要求除尘率很高，可适当加长，但不宜超过350mm 3.文氏管的渐缩角一般取25°，也有大于25°的；扩张角一般取6°～8°，最好不超过6°；文氏管进口直径与前面的连接管道同，出口直径按脱水器的进口风速设计 4.在文氏管出口与脱水器入口之间最好设置1～2m的直管

10.5.3　文丘里除尘器性能的推算

文丘里除尘器对不同粒径尘粒的除尘率可用下式作大致的推算：

$$\eta \approx 1 - e^{-KR\sqrt{\varphi_1}} \tag{10-63}$$ *

式中　η——除尘率，%；

K——相关系数，其值取决于系统的几何尺寸和运行条件，典型的数值是0.75～1实际m^3/L；

R——水气比，L/实际m^3；

φ_1——惯性碰撞参数，用下式计算：

$$\varphi_1 = c\rho_p v_G d_p^2 / 18 d_0 \mu_G \tag{10-64}$$

式中　c——Cunningham修正系数，就20℃、10^5Pa的空气而言，约等于$\left(1 + \frac{0.16}{d_p}\right)$；

ρ_p——尘粒密度，kg/m^3；

v_G——喉管风速，m/s；

d_p——尘粒直径，m；

μ_G——气体粘度，kg/m·s；

d_0——水滴平均直径，可用下式计算：

* 此式是Johnstone等人提出的。另外，Calvert等人还曾提出一套推算各种洗涤除尘器性能的方法，详见杨敬文编《除尘器》第五章§7-1，中国建筑工业出版社，1981。

$$d_0 = \frac{5000}{v_G} + 29R^{1.63} \qquad (10\text{-}65)$$

式中 d_0——水滴平均直径，μm；

v_G——喉管风速，m/s；

R——水气比，L/实际m³。

在喉管前面喷水的文丘里管的阻力可用下式作大致的推算：

$$\Delta p = 0.863\rho_G A_t^{0.133} v_G^2 R^{0.78} \qquad (10\text{-}66)$$

式中 Δp——文丘里管阻力，Pa；

ρ_G——气体密度，kg/m³；

A_t——喉管截面积，m²；

v_G——喉管风速，m/s；

R——水气比，L/实际m³。

10.5.4 洗涤除尘器的使用

1. 应注意的共同事项

（1）在处理含腐蚀性物质的气体时，为防止洗涤除尘器被腐蚀，可采取以下措施：

① 将石灰石、电石渣之类的材料放在除尘器的排液流槽或专门的中和池中中和洗涤液。也可以用废碱液中和。

② 用耐腐蚀材料制造除尘器或加防腐内衬（如玻璃钢、花岗石、瓷砖等）。

③ 改进除尘器的构造，尽量避免器壁与酸性物质直接接触，避免高速气体冲击器壁。

（2）北方使用洗涤除尘器要注意防冻，可采取保温和向洗涤液中通蒸汽或暖汽回水等措施。

（3）非连续供水的洗涤除尘器中泥浆一般可定期排除，如遇粘性粉尘并且粉尘量大，则可连续供水，连续排除泥浆。为防止排除泥浆的管道堵塞，可使用较大的泵，保持较高的流速。

（4）用洗涤除尘器处理高温气体时，应注意气体因冷却而体积缩小的问题，因为这和气体在除尘器中达到的速度有关。最好在气体进入洗涤除尘器之前先加以冷却，例如加一级喷淋塔。

（5）洗涤液可在所含固体颗粒沉淀后循环使用。但循环液需增加一部分新水，以免不易沉淀的细颗粒愈积愈多，容易堵塞喷嘴或使喷嘴磨损，造成喷出的液滴变粗，降低除尘率。喷嘴应当用耐磨损和耐腐蚀的材料制造。

（6）应根据当地控制水污染的规定处理洗涤除尘器排出的废水。

（7）洗涤除尘器不能无水运行；供水必须正常、稳定。泡沫除尘器和水膜旋风除尘器在开车时必须先供水后开风，停车时必须先关风后止水，以免筛孔或喷嘴堵塞，除尘器内壁挂灰。水浴除尘器、冲激或除尘器和卧式旋风水膜除尘器应保持适当的水位；这些除尘器在停车时，应先把除尘器内的污水换以清水，再利用风机压力带动清水洗涤器壁、S 型叶片和螺旋通道。除尘器中的喷嘴应按规定的水压喷水。

（8）应在有可能堵塞的脱水装置前后设置 U形压差计，经常观察读数；如大于规定值，即表明脱水装置已被堵塞。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

2. 水膜旋风除尘器

（1）除尘器内壁必须保持完整的水膜。关于使用喷嘴供水和全周溢流供水两种方式的优缺点见表10-27。

表 10-27 水膜旋风除尘器两种供水方式的比较

供水方式	优　　点	缺　　点
喷嘴式	1.耗水量较少 2.调整灵活 3.结构简单	1.如水中含固体颗粒太多，容易堵塞喷嘴 2.处理腐蚀性气体时，喷嘴要用耐腐蚀材料制作 3.为了使每个喷嘴的水能分布在与相邻喷嘴之间约300～500mm宽的筒壁上，需要有一定的水压，而较高的水压易于产生水滴飞溅
全周溢流式	1.在正常情况下不易产生水滴飞溅 2.不易堵塞 3.无喷嘴防腐问题	1.施工时很难把全长几米甚至十几米的溢流口完全找平。为了使溢流口较高处的筒壁也有水膜，必须加大耗水量，一般为喷嘴式的3～4倍。 2.水槽内易淤积泥沙 3.如因地基不良以致筒体偏斜，就会运行不良

（2）为克服全周溢流式的溢流口难以找平的缺点，并避免因筒体倾斜而影响水膜的完整，可采用分段溢流的办法。如图10-64所示，分段溢流槽由若干段相互隔开的，每段约600mm长的内槽和不分段的外槽及连通管组成。每段内槽与外槽之间均有一根连通管；每根连通管中都有一个节流塞，以其孔径的大小控制每段内水槽的水量(孔径一般在7mm左右)。

（3）溢流供水的溢流缝宽度应尽量小些，以免尘粒倒入槽内。溢流槽应严防漏风；外溢流槽的水封高度应超过风机进口负压，有适当余量。

（4）为防止除尘器排气带水，可采取以下措施：

① 含尘空气通过水平90°蜗壳式入口进入除尘器。

② 除尘器筒体顶部不收缩，经由360°大蜗壳排气。

③ 供水装置加挡水檐，如图10-56(b)和图10-65。图10-65(b)的喷嘴嵌入筒壁中，挡水檐与筒体内壁齐平，不致有水滴从挡水檐下缘滴下而被气流带走。

④ 除尘器筒体内壁面要平整，避免有“凸棱”或“台阶”，特别是在供水装置附近。

⑤ 除尘器排放灰水部分必须严密不漏气。排灰管直径要足够大（一般为400～600mm），以免堵塞。排灰管要有足够的长度，以保证除尘器锥底下端与水封之间的高度超过风机吸风口处的负压。

3. 卧式旋风水膜除尘器

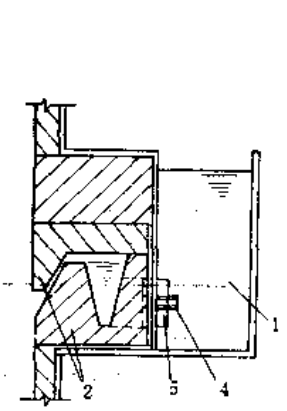
（1）这种除尘器的螺旋通道各圈内均需保持适当的水位，以免不能形成良好的水膜或使阻力过大。为此，可将螺旋通道各圈的集尘水槽隔开，以免在负压下由于沿气流方向螺旋通道内负压的绝对值由小变大，使各圈的水位逐步升高。另一种方法是采取倾斜安装方式，将除尘器尾部抬高1°26′，使各圈内的水位在运行时近似相等。

（2）为防止排气带水，除安装脱水装置外，还可将螺旋通道最末一圈的内筒上移，加大内筒与水面的间距。

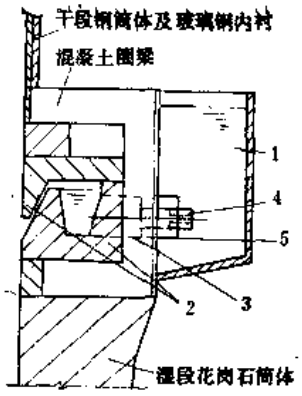
4. 冲激式除尘器

（1）为保证这种除尘器的除尘率稳定，需要保持其水位稳定。因此，最好使用设有水位自动控制装置的冲激式除尘机组，保证水位在±5mm范围内变动。

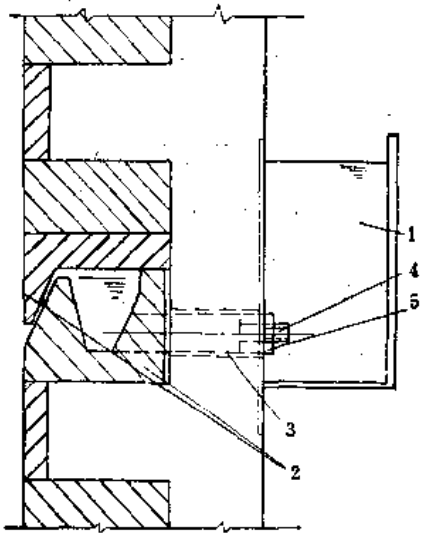
（2）除尘器中隔板连接处应焊接严密，以免含尘空气经缝隙短路。



钢外壳分段溢流槽



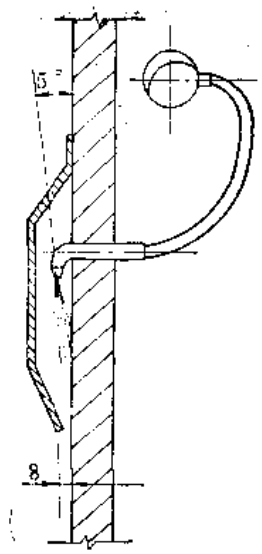
花岗石筒体分段溢流槽



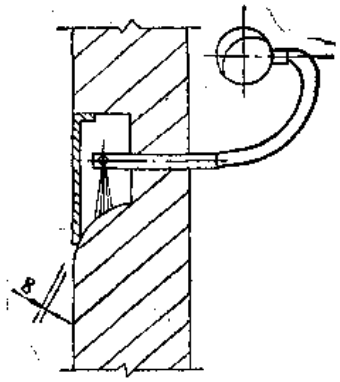
混凝土外壳分段溢流槽

图 10-64 分段溢流槽示意

1—环形水箱；2—分段溢流槽组件；3—连通管，$\phi 108\times 4$；4—节流塞；5—检修塞



(a) 筒体壁薄时



(b) 筒体壁厚时

图 10-65 喷嘴式供水装置加挡水槽

（3）叶片的制作应符合设计要求；叶片的安装应保证沿叶片全长的S形通道宽窄相等，S形通道底平面保持水平。

5. 泡沫除尘器

（1）筛板应平整光滑，不得有毛刺，不得有挠曲或厚薄不均现象。筛孔的加工误差不应大于±5mm。安装时应注意保持筛板水平，不得对筛板进行焊接。筛板与器壁之间以及拼合的单元板之间不得有缝隙。筛板顶面至溢流挡板、给水挡板顶部的高度均应符合设计要求。

（2）整个筛板的气体分布和筛板面上的供水都要均匀。

（3）为避免筛孔堵塞，应有足够的泄漏水量通过筛孔。在处理高温气体时，应控制水的温度和硬度，以免结垢堵塞筛孔。有些粘性粉尘最好不用泡沫除尘器处理。

（4）应经常注意观察泡沫除尘器的阻力变化情况，以便及时发现问题。例如：

① 如风量、水量均未增加，而筛板阻力上升，多半是由于筛孔堵塞，这时可加大水量，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

减少风量，予以冲洗。

② 如风量、水量均未减少，而筛板阻力下降，多半是由于筛孔因腐蚀，磨损而增大，以致泄漏水量增加所致。

③ 如负荷未变，而筛板前面的阻力值增加，原因可能是进风口附近或进风管内发生堵塞，也可能是由于排污管堵塞，污水上涨，淹没进风口所造成，应及时清理或改进设备。

④ 脱水装置是否堵塞，也可通过测定其阻力来发现。

（5）据试验，泡沫除尘器对疏水性粉尘的除尘率显著低于对亲水性粉尘的。但在供给除尘器的水中加入表面活化剂却要降低除尘率，这是因为表面活化剂显著缩小了泡沫密度*的缘故。

6. 文丘里除尘器

（1）布置文丘里管的方向有横向的和竖立的两种，以竖立布置较好，因可节省占地面积，同时在渐扩管内液滴的分散悬浮状态较好，而且不会象横向的那样，可能在渐缩管底部出现积灰现象。

（2）文丘里管的喉管有各种不同的断面形状，常用的为圆形和矩形两种。圆形文丘里管外壳不易变形，内衬受力均匀，不易脱落，对气流的阻力也较小。矩形喉管适用于大风量，因其边长可任意决定，以适应处理的风量，布置喷嘴比圆形截面的容易。但在处理高温烟气时，由于冷热交变，负压波动，矩形喉管外壳和内衬都会变形；内衬受力不均，必然容易受到破坏而造成脱落现象。对此，可采取加强外壳刚性，使用合适的内衬（如砌筑花岗石）等办法加以解决**。

（3）有些除尘系统处理的含尘空气量是变化的，这时最好采用喉管断面大小也能作相应变化的文丘里管，以保证除尘效果。喉管变径的方法有若干种，矩形喉管可用翻板式或滑块式；圆形喉管可用推杆式或重锤式（图10-66）。

（4）文丘里管的供水有下列四种方式。

① 径向内喷。一般是在管壁上开孔作为喷嘴，孔径为3～8mm。气流速度越高，喉管内径越大，则喷嘴孔径和喷射压力也要加大，以保证液滴能达到中心部分。在使用循环水时，喷嘴孔径也要大些，以免堵塞。

关于喷嘴的布置，圆形喉管一般是在周边分布，矩形喉管则在长边的两侧排列，互相错开。至于喷水点的位置，有人认为最好是在喉管内距喉管入口5cm处，有人则主张设在稍离喉部处，把液体喷入渐缩管。

图10-67表明径向内喷的四种方式。其中（b）的目的是让水射流集中在喉管入口断面的中心，并增加与气流的相对速度。它所形成的水滴直径、分散程度与溅板式相近，但对气流的阻力大，还可能使上游粉尘粘附于壁上。利用溅板可使水在喷入气流以前先分散，喷的雾容易在喉部全断面扩散，所形成的水滴直径也比一般直接喷射的小，但其向气流中心部分的透过力较弱（图10-68）。因此，喉部直径较大的文丘里管以及向高速气流中喷射时，采用（d）的方式更适宜。

径向内喷的喷嘴个数及口径和喷水量的关系如下式：

$$Q_L = U_L n \frac{\pi d_0^2}{4} = c(2p_L/\rho_L)^{1/2} n \frac{\pi d_0^2}{4} \qquad (10\text{-}67)$$

---

* 泡沫密度＝液体体积(m^3)/泡沫体积(m^3)。

** 详见彭方：《文丘里管除尘器设计和应用的一些问题》，河北省电力勘测设计院交流资料，1983年12月。

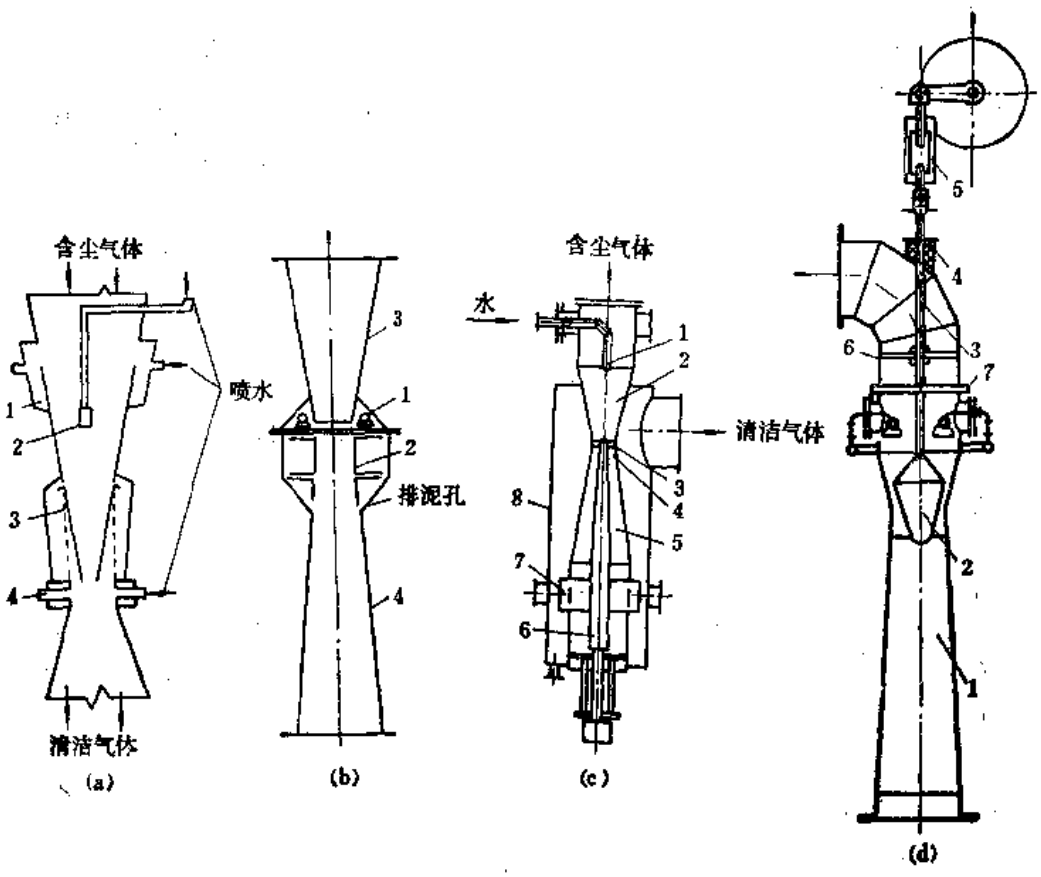


图 10-66 喉管断面可调的文丘里管

(a) 翻板式：1—溢流槽；2—喷嘴；3—调节翻板；4—下层喷嘴
(b) 滑块式：1—喷嘴；2—滑块；3—渐缩管；4—渐扩管
(c) 推杆式：1—喷嘴；2—渐缩管；3—喉管；4—调节锥；5—渐扩管；6—导向杆；7—离心脱水器；8—筒
(d) 重锤式：1—渐扩管；2—重锤；3—拉杆；4—密封圈；5—连接环；6—弯管；7—喷嘴

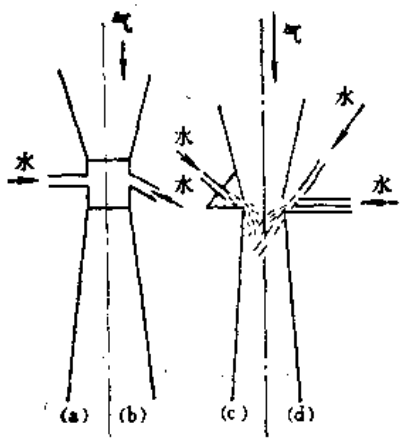


图 10-67 径向内喷的四种方式

(a) 直接喷射，与喉管断面平行；(b) 直接喷射，与喉管断面成15～25°角；(c) 溅板式；(d) 溅板与直接喷射混合式

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

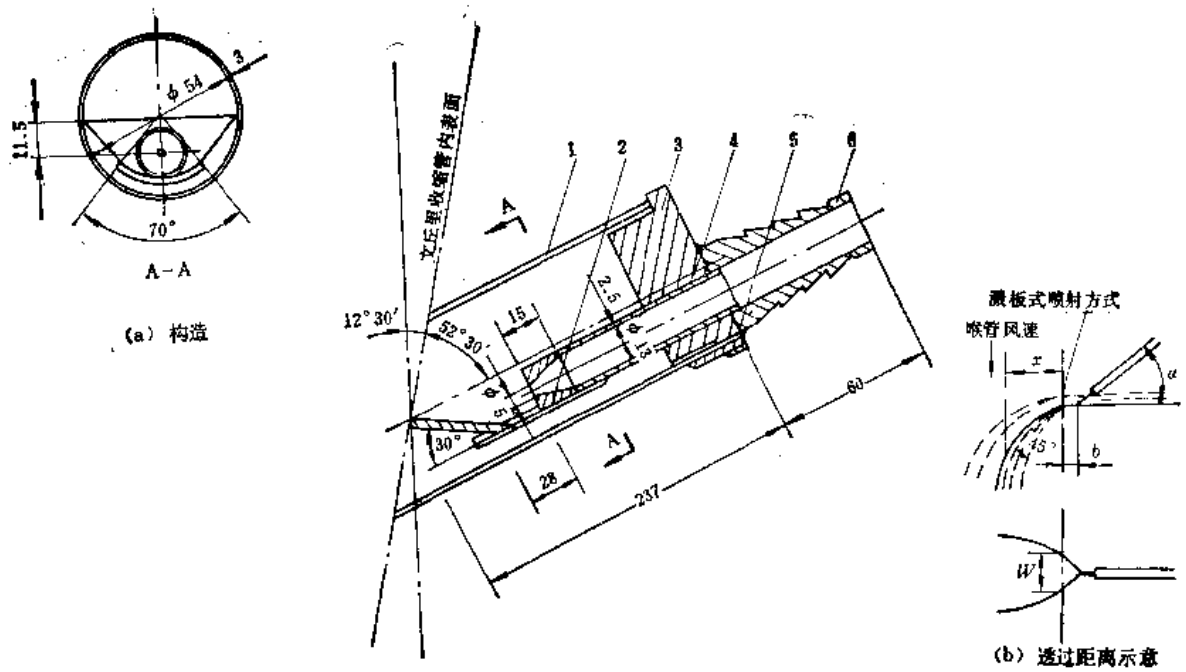


图 10-68 溅板式内喷

1—管壁；2—喷溅板；3—法兰；4—喷嘴；5—定位销；6—管接头

式中 Q_L——喷水量，m^3/s；

U_L——喷嘴水速，m/s；

n——喷嘴个数；

d_0——喷嘴口径，m；

p_L——水压，一般为$(1\sim2)\times10^5$Pa；

ρ_L——水的密度，$=10^3kg/m^3$；

c——喷嘴流量系数，≈0.7。

② 径向外喷。这种供水方式如图10-69所示，是从靠近供水管底端周围的小孔向外喷水。小孔愈多，则文丘里管断面上的水分布得愈均匀。如用未经过滤的循环水，小孔孔径可取8～12mm。供水管断面积应为孔口总面积的4～5倍。孔口的水压一般不超过$(2\sim3)\times10^5$Pa。

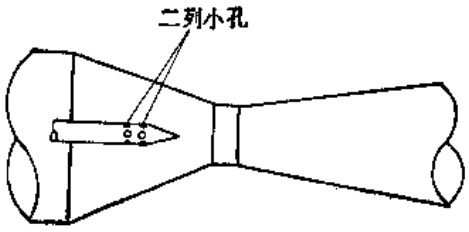


图 10-69 径向外喷喷嘴

③ 轴向喷水。这是在供水管末端安装喷咀，沿文丘里管轴的方向向外喷水。喷嘴多为离心式，也有用溅锥式碰撞喷嘴的（图10-70）。喷嘴位置可大致定为：在文丘里管内无风时，使喷雾面和渐缩管相交在喉管前50mm处；喉管风速高的，这个距离应更大一些。如果喷嘴是设在文丘里管轴心上，则安装喷嘴时应注意和喉管保持同心。

轴向喷水的文丘里管阻力比径向喷水的低，径向外喷的又比径向内喷的低一些，但除尘率则是径向喷水的比轴向喷水的高。

④ 水膜供水。这种供水方式不用喷嘴喷水，而是在渐缩管内形成一层水膜，然后被气流分散成液滴，通过喉管。这样可避免在文丘里管的干湿交接面上粘附粉尘而使管径缩小，增大阻力。但除尘效果不如用喷嘴供水的好。

（5）文丘里除尘器的旋风脱水器筒体所用钢板厚度，可由图10-71确定。

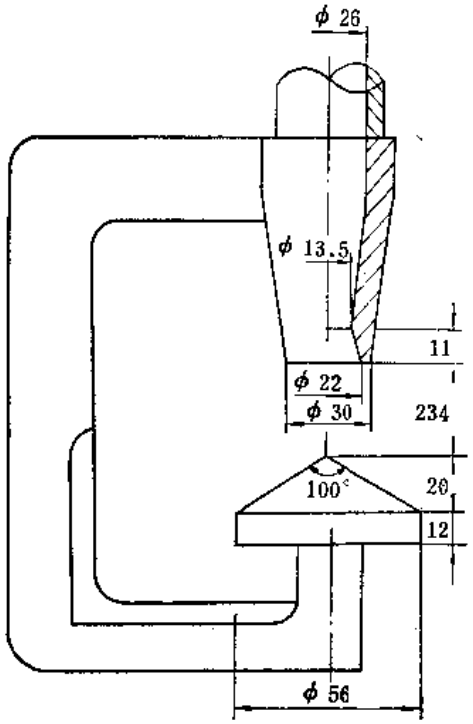


图 10-70 φ13.5mm溅锥式喷嘴

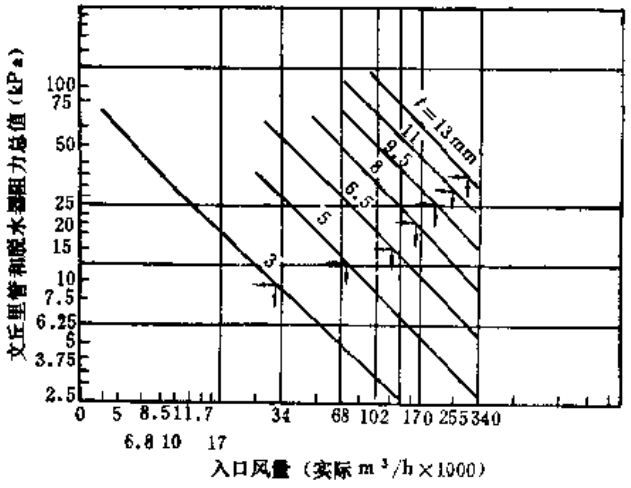


图 10-71 旋风脱水器钢板厚度（δ）

10.6 袋式除尘器

10.6.1 结 构

袋式除尘器是利用织物或毡子制成的袋状元件来捕集粉尘的设备。在新滤袋开始使用时，它依靠织物或毡子的孔隙中伸出的纤维和尘粒之间的惯性碰撞、直接截留、静电吸引、布朗扩散等作用捕集粉尘；当织物或毡子上形成一层粉尘层后，则主要依靠粉尘层的筛分作用捕集粉尘。

除最简单的“土布袋”*外，一般袋式除尘器的基本部件包括外壳、滤袋、灰斗和清灰机构。不同型式的袋式除尘器结构方面的区别主要在于滤袋形状和清灰方法。

10.6.1.1 滤袋

常用的滤袋有下列两种形式。

1. 圆袋

其形状若圆筒，多为一端开口，另一端封闭，也有两端开口的，按照含尘气流进入滤袋的方向，可分为内侧过滤和外侧过滤两种（图10-72）。前者的优点是能在运行期间进入除尘器各分室进行检修；滤袋一般不需要支撑骨架。

*“土布袋”不设清灰机构，粉尘只靠自重和风机开、停时滤袋的变形而自行脱落，或由人工拍打滤袋来清灰。其清灰效果差，只能取很低的过滤速度（一般为0.15～0.25m/min），入口含尘浓度不能太高（通常不超过3～5g/m³）。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

影响圆袋尺寸的因素有：除尘器清灰方法、织物幅宽、安装除尘器的建筑物高度、处理气体的温度、滤袋顶部的张力以及安装、维护和检查滤袋是否方便、对除尘器设备费的影响等。一般，圆袋直径多在120～300mm的范围，长度在2～10m的范围，长度与直径的比值在5～40的范围（较典型的数值是10～25）。长度-直径比与每单位面积地面的除尘器容量、内滤圆袋入口速度、滤袋的摇摆稳定性、机械振动清灰的效率等有关。

为了便于维护、检查和更换滤袋，除尘器内圆袋的排列宜采用直线方式，如图10-73。为了避免碰擦，滤袋之间必须有足够的间距。一般长度的滤袋，间距最好不小于50mm；长度超过3m的，间距还应更大些。应将滤袋分组，在两组滤袋之间留下450～600mm宽的通道。如果只在一侧有通道，滤袋直径150mm的，每组不应多于3或4排滤袋；直径300mm的，每组不应多于2排滤袋。如果两侧有通道，直径150mm的，每组不应多于8排；直径300mm的，每组不应多于4排。滤袋长度大于3m的，应在底板上和接近上部结构处设两层通道。

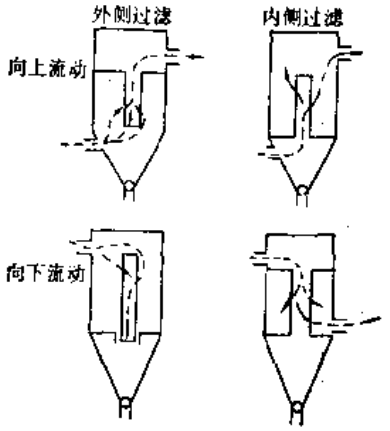


图 10-72 内滤和外滤圆袋

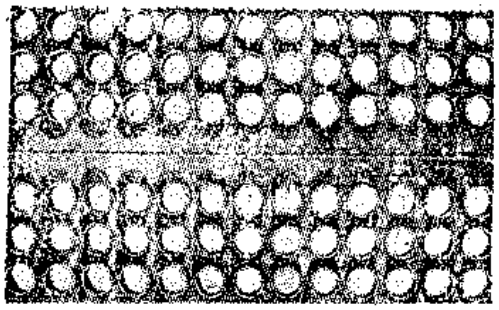


图 10-73 滤袋的直线排列方式

2. 扁袋

为扁平矩形口袋状，扣紧在框架上，外侧过滤（图10-74）。确定扁袋尺寸时要考虑的条件有：织物幅宽、保持适当张力、安装和更换滤袋方便、清灰良好等。一般，宽度与长度约1～2m，厚约25～50mm。从缩小除尘器体积、便于检查和更换滤袋、避免发生堵塞、清灰时相邻滤袋不致互相碰擦等方面考虑，滤袋相互间距一般在25～50mm的范围。

10.6.1.2 清灰机构

清灰有两种作用：①减少滤袋对气流的阻力；②收集滤袋所捕获的粉尘。良好的清灰应达到：①清除滤袋上粉尘的数量恰当；②不损伤滤袋或消耗动力过多；③不使脱离滤袋下落的粉尘过度分散。清灰方法有以下几种。

1. 机械振动清灰

（1）垂直振动 提放滤袋的吊架，使滤袋产生垂直方向的振动。其清灰效果较好，但对滤袋的损伤较大（特别是在滤袋下部）。

（2）水平振动 使滤袋的顶部或中部沿水平方向来回摆动。摆动幅度约10mm，摆动数约7周每秒。这种清灰方式对滤袋损害较小，但在滤袋全长上的振动分布不够均匀。

（3）扭曲振动 将滤袋扭转一定角度，使粉尘层破碎脱落。

也有把垂直振动和水平振动结合起来的清灰机构。例如把滤袋连接在一框架上，框架除作水平运动外，还稍有向上或向下的摆动。

机械振动清灰的滤袋直径一般约在100～200mm的范围，长2.4～3.0m，也有长达4m的。滤袋一般是内侧过滤。其敞开的一端固定在除尘器下部的花板上，封闭的一端挂在顶梁上，或夹在袋帽上。

在振动清灰期间滤袋应停止过滤。因此，需要连续工作的机械振动袋式除尘器应分隔成若干室，在对一个分室中的滤袋进行清灰时，自动用阀门把该室与其它室隔绝。各室的振动清灰周期性地轮流进行，每次振动大约持续0.5～1分钟。振动完毕，应暂停一段时间，让粉尘落入灰斗后再打开阀门，恢复过滤。清灰间隔不能太短。通常，振动清灰和运行时间的比值约为0.1或小于0.1。

除自动顺序进行机械振动清灰者外，对入口含尘浓度不太高（通常不超过 3～5g/m³）、处理风量较小、间歇工作的袋式除尘器，也有用人工拉动手柄，通过杠杆机构振动滤袋以清灰的。

2. 高频振动清灰

这是利用振动器使滤袋产生频率高、振幅小的振动。例如 图 10-75，在悬挂滤袋的振动架上设振动器（于电动机轴上安装偏心块以产生振动），通过起隔振作用的橡胶垫圈与除尘器外壳相连接。振动时间长短因粉尘而异。振动时需停止过滤。

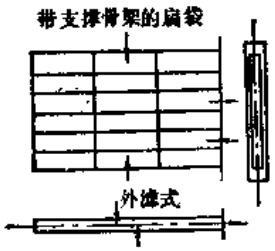


图 10-74 扁袋

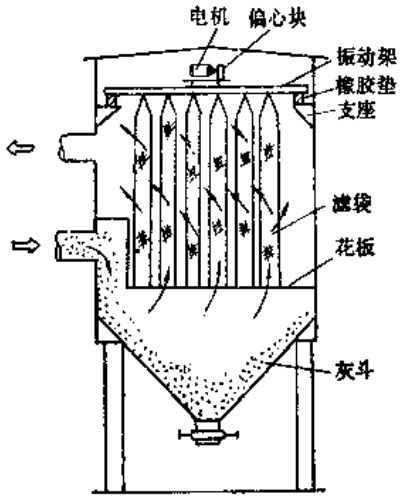


图 10-75 高频振动清灰

3. 逆气流清灰

清灰时使一股与含尘空气流动方向相反的气流流经滤袋，通过滤袋的胀缩使粉尘层破碎脱落。清灰的逆气流在正压下流过滤袋的称为反吹风，在负压下流过滤袋的称为反吸风。用逆气流清灰的滤袋，从经济性考虑，一般直径在250～300mm的范围，长6～10m。

逆气流的产生可以有以下几种方式：

① 用单独的风机供给。可以整个除尘器设一台逆气流风机，或每个分室各设一逆气流风机。

② 当除尘系统主风机前负压大于待清灰滤袋的阻力（一般取2000Pa）时，可不设逆气流风机，而利用系统主风机的负压对滤袋进行逆气流清灰（图10-76）。

③ 逆气流可取自大气，也可取自该除尘系统被净化后的空气。在处理高温气体时，采用后者有利，因可避免结露堵袋。

4. 振动-逆气流联合清灰

为了加强清灰作用，可使振动与逆气流联合进行。清灰时须停止过滤。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

5. 压缩空气脉冲清灰

这是用压缩空气向滤袋作短促的喷射，振动并反吹滤袋，使粉尘层破碎脱落。喷吹一次为一个脉冲。清灰时不停止过滤。

我国现已生产的脉冲清灰袋式除尘器主要有以下几种。

（1）典型脉冲袋式除尘器（例如MC型）其构造如图10-77。在每排滤袋(一般为6条)顶上设一根ϕ3/4in的喷吹管，其一端连接一个脉冲阀和一个控制阀。脉冲阀与稳压气包相连，由压缩空气机向气包供气。在喷吹管上，正对每条滤袋的中心设ϕ1/4in的小孔。滤袋长2～2.6m，直径120mm，内有笼式骨架，顶部连接一个文氏管，作为引射器。文氏管固定在除尘器上部的花板上。进入除尘器的含尘空气从滤袋外面穿过滤料流进滤袋，再从除尘器顶部排出。到一定时间或达到既定的除尘器阻力时，即由脉冲控制仪发出指令，通过控制阀使脉冲阀打开，让气包内的压缩空气由喷吹管上的各个小孔喷出（称为一次空气），在穿过文氏管时，又从周围吸入数倍的二次空气，一起喷入滤袋，进行清灰。当控制仪发出的信号消失时，脉冲阀即关闭，清灰停止。各排滤袋的清灰顺序轮流进行。

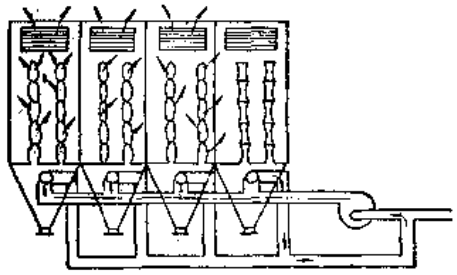


图 10-76 正压过滤利用循环空气反吸清灰

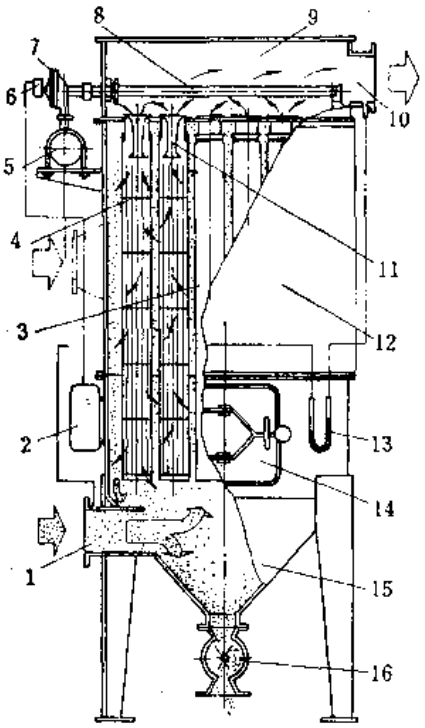


图 10-77 典型脉冲袋式除尘器

1—进气口；2—控制仪；3—滤袋；4—滤袋骨架；5—气包；6—控制阀；7—脉冲阀；8—喷吹管；9—净气箱；10—净气出口；11—文氏管；12—集尘箱；13—U形压力计；14—检修门；15—集尘斗；16—排灰装置

（2）顺喷脉冲袋式除尘器（图10-78）它与上一种除尘器的差异主要在于：

① 含尘空气经滤袋过滤后，由滤袋下口的净气联箱汇集，从出风口排出。这样可以避免气流经过文氏管而降低除尘器的阻力，但在结构上增加了净气联箱。

② 为了弥补由于滤袋下端开口而导致脉冲冲击的减弱，采用3mm钢丝绕成的弹簧作为滤袋支撑骨架，喷吹时弹簧抖动，帮助清灰。

（3）对喷脉冲袋式除尘器（图10-79） 其特点是清灰时在滤袋上下端同时喷吹，因而滤袋长度可比一般脉冲袋式除尘器的长一倍，节约占地面积。

（4）环隙喷吹袋式除尘器（图10-80） 其特点是：喷吹管设在文氏管顶端侧面，与文氏管顶端的环形通道相连。清灰时压缩空气经喷吹管切向进入环形通道，以很高速度从环形

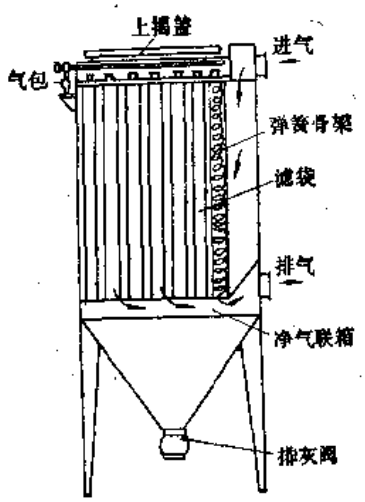


图 10-78 顺喷脉冲袋式除尘器

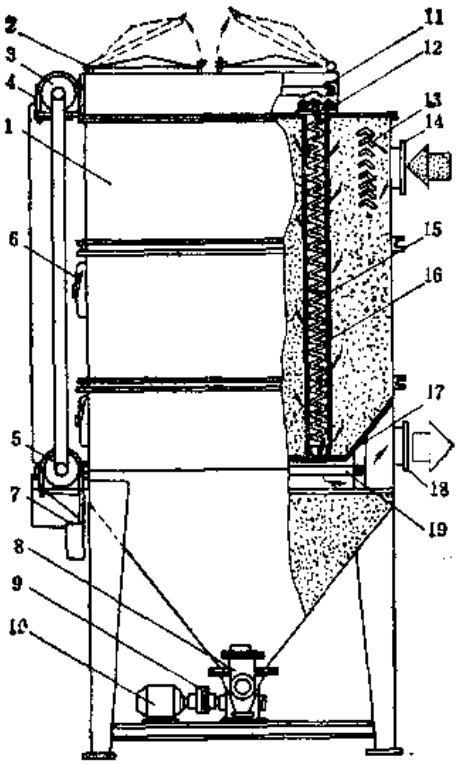


图 10-79 对喷脉冲袋式除尘器

1—箱体；2—上盖；3—上气包；4—直通电磁差动阀；5—下气包；6—检查门；7—数控仪；8—出灰阀；9—减速器；10—小电机；11—上喷管；12—上喷接管；13—挡灰板；14—进风口；15—弹簧骨架；16—滤袋；17—净气联箱；18—出风口；19—下喷管

缝隙喷出，在文氏管内形成旋转气流，产生很强的负压，吸入大量二次空气，一起进入滤袋。因其引射比大，清灰效果好，所以过滤速度可比典型脉冲袋式除尘器提高60%，但清灰时的压缩空气耗气量也比典型脉冲除尘器的高；在同等过滤能力下，约增加25%。此外，因为不是中心喷吹，所以免除了使喷孔对准滤袋中心的麻烦；又因喷吹装置采用插接件，减少了安装维修的工作量，改善了换袋的工作条件。

（5）脉冲喷吹扁袋除尘器（图10-81） 其特点是配合扁袋采用扁长形的引射器诱导二次气流。

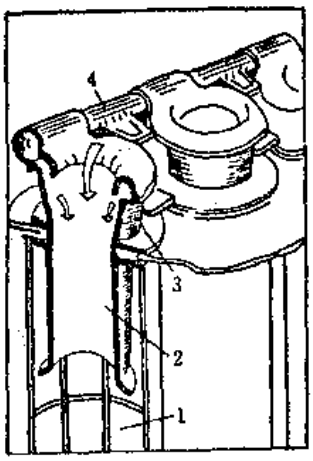


图 10-80 环隙喷吹袋式除尘器

1—滤袋；2—文氏管；3—环缝喷射器；4—喷吹管

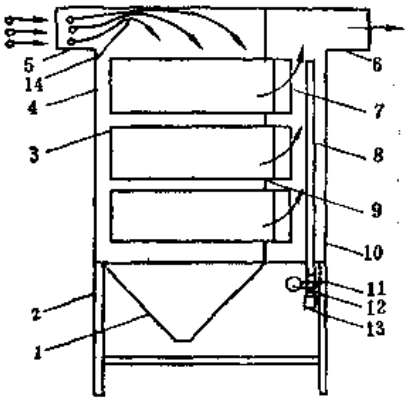


图 10-81 脉冲喷吹扁袋除尘器

1—灰斗；2—支架；3—滤袋；4—尘气室；5—风管；6—出风管；7—文氏管；8—压气喷吹管；9—隔板；10—净气室；11—脉冲阀；12—压缩空气贮气包；13—控制阀；14—导流板

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

上述各种脉冲袋式除尘器都是将滤袋分排依次喷吹清灰。此外，还有分室脉冲喷吹清灰的。这是将滤袋分成若干组；如系内侧过滤，则将滤袋下口套在花板上的挂袋圈外面，顶部悬挂起来，用隔板把花板以上的各组滤袋隔开；如系外侧过滤，则可在滤袋上方净气箱内用隔板隔成分室。滤袋上端均不设文氏管。清灰时通过时间继电器使用磁阀打开，让高压空气瞬时脉冲流经喷吹管进入分室的出气口，中断向外流动的过滤气流，使该分室的滤袋振动而清灰。有些情况下，一次脉冲还不够，则电磁阀必须循环动作，使滤袋连接振动若干次。清灰后的分室立即恢复过滤。

压缩空气脉冲清灰有以下几种供气方式：

（1）外网供气　清灰用气来自生产工艺设备用的压缩空气管网；在进入车间之后应设入口装置（图10-82）。

（2）单独供气　在生产工艺设备用的压缩空气站内设置专为除尘器用的压缩空气机，或设置单独的压缩空气站。

（3）就地供气　在除尘器旁安装小型压缩空气机，供一、二台除尘器用。其缺点是：压力和气量不稳定（必须设贮气罐）；容易因压缩空气机出故障而影响除尘器运行；噪声大；维修量大。因此，应尽可能避免采用。

对清灰气源的要求如下：

（1）接至除尘器的气源压力不应超过一定范围。如气源压力过高，要设减压装置。

（2）压力要稳定；供气不能中断。

（3）压缩空气不能含油、水及污垢，以免堵塞气路或堵塞滤袋。

6. 气环清灰

这是在每条内侧过滤的滤袋外面套一个反吹气环，由传动装置使之缓慢地上下移动；行程接近于整个袋长（用限位开关控制）。环的内侧有一条宽度一般在0.6～6mm范围的环形细缝，由高压（约5000Pa）离心风机或罗茨鼓风机经软管将空气送入气环，从缝隙向滤袋反吹。同时，因为清灰时不停止过滤，鼓起的滤袋和气环接触处稍有凹陷；这种屈曲作用和反吹空气射流相结合，使滤袋内侧附着的粉尘得以清除。气环可以连续移动喷吹，也可以在滤袋阻力达到预定值时才自动开始喷吹。反吹空气量约为处理气体量的8％～10％。气环上下移动的速度应与脱离滤袋的粉尘自然沉降速度相当，一般可取6～15m/min；粉尘密度愈小，速度应愈低。为了减少故障，应尽可能将清灰装置的运动机构放在除尘器外面。

7. 声波清灰

这是在除尘器内设声源发声，引起织物振动而清灰。在用声波清灰时，往往补充以弱的逆气流（流量小于处理气体流量的1％即可），以便排去滤袋周围不易依靠重力沉降的细尘粒，使之不能重返滤袋。

10.6.1.3　外壳、灰斗和排灰机构

1. 外壳

袋式除尘器除了装在风机后面内侧过滤的，都要有密封良好的外壳。当处理的气体温度高于70℃时，一般除封闭外壳外，还要有隔热层，以防水气冷凝。

外壳应有适当的厚度并加固，以耐受压力。

2. 灰斗和排灰机构

灰斗侧壁一般要有60°的坡度，以便粉尘下滑。对于容易搭桥和容易丧失流动性的粉尘，应连续排灰，不让粉尘在灰斗中停留。如果除尘器处理的是容易粘着成饼，不能自由流动的

粉尘，可设置灰斗壁敲打装置，图10-83为其一例。对极易粘附的粉尘，还可用小风机送入少量空气，沿灰斗壁形成一层气垫，以防物料粘附。

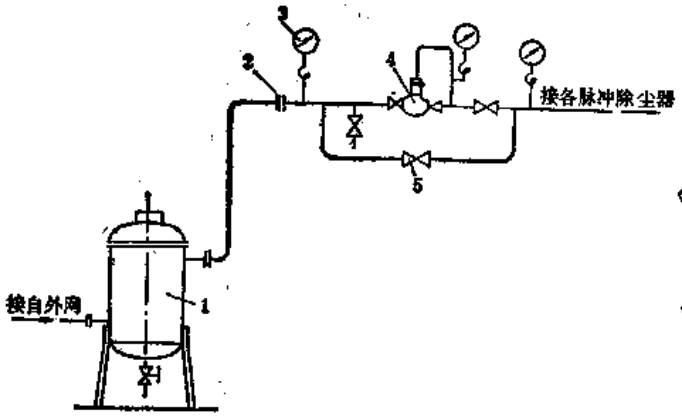


图 10-82 压缩空气入口装置

1—过滤器；2—流量孔板；3—压力表；4—减压阀；5—截止阀

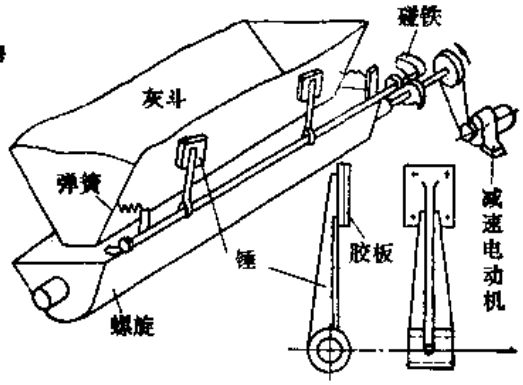


图 10-83 灰斗敲打装置

灰斗底部需设置隔绝外部空气的阀门，常用的有回转阀和灰封阀两种。灰封阀由壳体和活动挡板组成，一端与灰斗的排灰螺旋相接。在相接部分有一段无螺旋叶片，从而形成灰柱，隔断空气。其结构及连接方式如图 10-84 所示。回转阀与灰斗及排灰螺旋的连接可以有图10-85所示的两种方式。

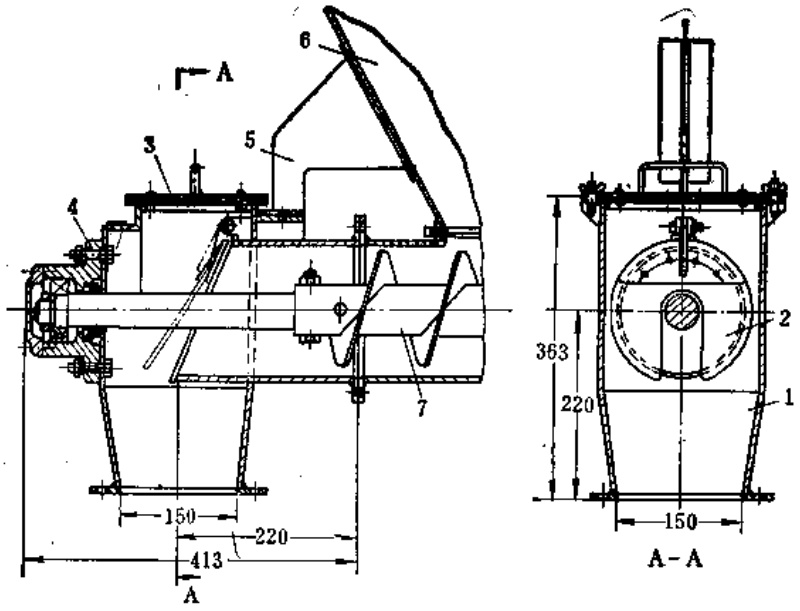


图 10-84 灰封阀结构及连接方式

1—灰封阀外壳；2—活动挡板；3—检查盖；4—轴承座；5—连接件；6—集尘箱；7—螺旋

10.6.2 滤　　料

10.6.2.1 纤维材料

用以制造滤袋的滤料，其基本结构单元是纤维。滤料常用的各种纤维材料见图10-86。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

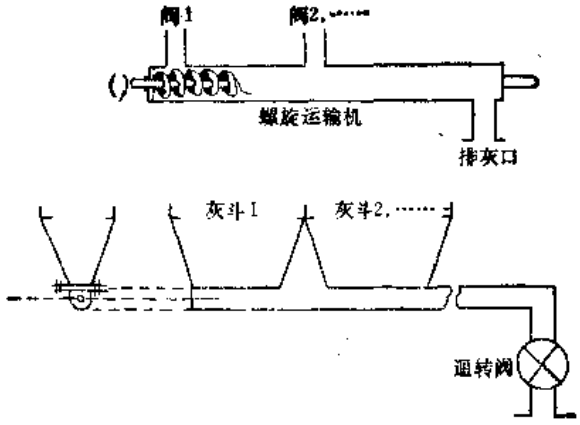


图 10-85 灰斗、运输机和回转阀的连接

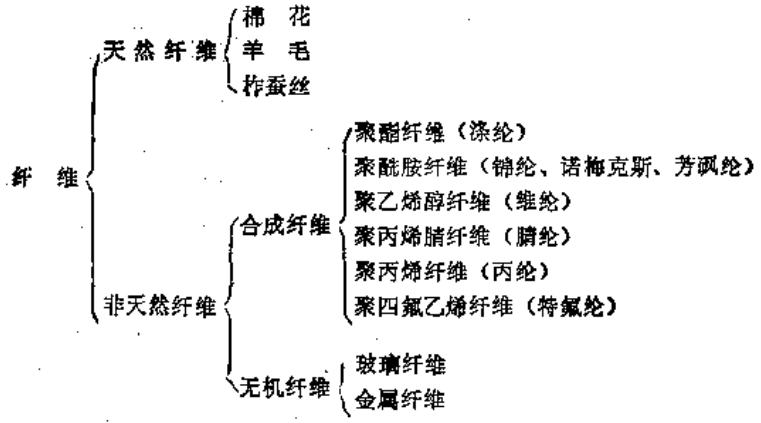


图 10-86 滤袋常用纤维材料

10.6.2.2 制造方法

按制造方法划分的滤料种类见图10-87。

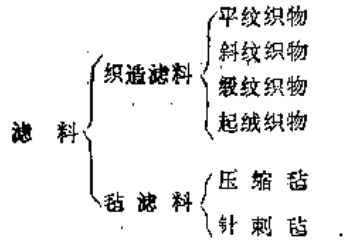


图 10-87 滤料按制造方法分类

滤料的结构特征见表10-28。

为了提高滤料的性能，还根据需要进行各种辅助处理。

10.6.3 性 能

10.6.3.1 除尘率和阻力

袋式除尘器捕集亚微米（<1μm）粉尘的能力优于其它各种除尘器。它的除尘率和滤料种类以及滤料上附着粉尘的状况有关。一般地说，新滤料的除尘率较低；当滤料上附着的粉尘达到大约2～3g/m²时，除尘率就能超过90%；达到 150g/m²时，就能超过99%（按常见

表 10-28 滤料结构特征

滤料种类		单元结构内		交织点	孔隙率	透气度	强度
		纬纱	经纱				
平纹织物		1	2	多	最小	最小	大
斜纹织物		1	3～4	中	小	小	中
缎纹织物		1	≥5	少	中	中	小
起绒斜纹织物		1	3～4	中	较小	较小	中
针刺毡	基布	1	2	多	最大	最大	中
	纤维层	无	无	无			

注：“透气度”是在一定压差下，通过单位面积滤料的气体量。

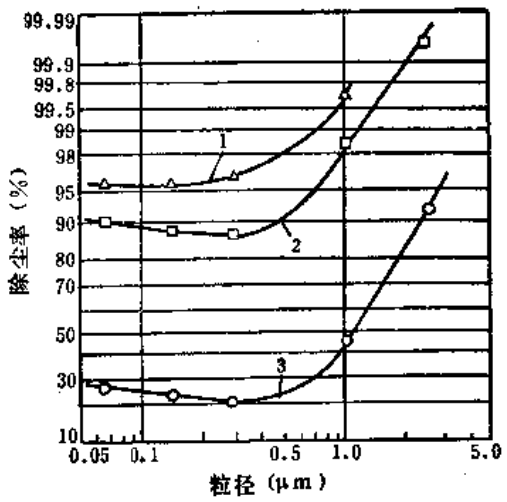


图 10-88 滤料在不同状态下的部分除尘率
1—积尘的滤料；2—振动清灰后的滤料；3—洁净滤料

的2.5g/m³粉尘浓度计，前者约需1分钟，后者约需1小时）。滤料经过清灰后，还残留一些粉尘，经历一段周期性的过滤-清灰时期后，清灰残留粉尘就趋于稳定，这时的除尘率一般将保持大于99%；如使用得当，甚至可超过99.9%。图10-88表明滤料在不同状态下对不同粒度粉尘的除尘率。表10-29表明几种滤料在不同状态下对某种放射性微尘的除尘率。

袋式除尘器的阻力，一般可以通过清灰机构自动保持在使用者所预定的数值。综合考虑除尘器设备费、运行费、滤袋使用寿命和除尘率等因素的结果，实际应用的袋式除尘器大多在500～2000Pa的阻力下运行。

因为滤袋阻力是变化的，所以袋式除尘系统最好选用压力-流量特性曲线陡峭的风机，以减少气体流量的变化。

表 10-29 不同滤料在不同状态下的除尘率

	除尘率（%）		
	新滤料	积尘后	反吹风清灰后
合成纤维织物	2	65	13
合成纤维起绒织物	24	75	66
起绒厚呢料	39	82	69

10.6.3.2 影响性能的因素

和袋式除尘器性能有关的因素包括粉尘性质、滤料性质、运行参数、清灰方法等。当气体流量一定时，某些因素对性能的影响见表10-30。

10.6.3.3 阻力的推算

1. 机械振动和分室逆气流袋式除尘器的阻力

该阻力由下式中的三部分组成：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 10-30 影响袋式除尘器性能的因素

状态 / 影响 / 因素	阻力减少	除尘率提高	滤袋寿命延长	设备费降低
过滤速度	低*	低*	低*	高*
清灰作用力	大*	小*	小*	小
清灰周期	短*	长	长*	—
气体温度	低	低	低*	低
气体湿度	—	—	低	低
气体密度	(影响小)	(影响小)	(无影响)	(无影响)
粉尘粒度	大*	大*	小	大
入口粉尘浓度	小*	大	小	—

* 影响大。

$$\Delta p = \Delta p_c + \Delta p_{fd} + \Delta p_d \tag{10-68}$$

式中 Δp——袋式除尘器阻力，Pa；

Δp_c——除尘器的结构阻力，Pa；

Δp_{fd}——滤料和清灰后残留粉尘的阻力，Pa；

Δp_d——滤料上能被清灰除去的粉尘层所产生的阻力，Pa。

Δp_c一般为 200～500Pa。因为机械振动和逆气流袋式除尘器的过滤速度较低，气流穿过滤袋时接近层流状态，故Δp_{fd}和Δp_d可用下式计算：

$$\Delta p_{fd} + \Delta p_d = (\zeta_{fd} + \zeta_d W_d)\mu_f U_a = (K_{fd} + K_d W_d)U_a \tag{10-69}$$

式中 ζ_{fd}——滤料和残留粉尘的阻力系数，取决于粉尘性质（如粒度、粘附性、静电性等）、滤布织法及材料、清灰方法与能量的影响，m^{-1}；

ζ_d——清灰能除去的粉尘层阻力系数，取决于粉尘性质，m/kg；

W_d——清灰能除去的粉尘负荷，kg/m^2；

μ_f——气体粘度，Pa·s；

U_a——过滤速度，m/s；

K_{fd}——滤料刚清灰后的剩余比阻力（单位速度剩余阻力），Pa·s/m；

K_d——清灰能除去的粉尘层比阻力，Pa·s·m/kg。

实际应用式（10-69）必须积累K_{fd}和K_d值的数据，还需要估计在一定时间内可以捕集的粉尘量。确定 K_{fd}和 K_d 值可以用这样的方法：先测量经过一段适当的过滤时间后的阻力和气体流量，然后关掉风机，进行清灰，再从灰斗内取出清除下来的粉尘称重，接着重新开动风机，测量清灰后滤袋的阻力和相应的气体流量，从而计算 K_{fd}和K_d。

2. 典型脉冲袋式除尘器的阻力

典型脉冲袋式除尘器的针刺毡滤袋阻力可用下列经验公式推算：

$$\Delta p_b = 266.83 \Delta W^{0.46} \left(\frac{p}{10^5}\right)^{-1.68} U_f^{1.44} \tag{10-70}$$

$$\Delta W = C_i U_a t \tag{10-71}$$

式中 Δp_b——滤袋阻力，Pa；

ΔW——最近一次清灰后滤袋上增加的粉尘负荷，mg/cm^2；

p——使用直角阀的脉冲喷吹压力，Pa；

U_s——过滤速度，cm/s；

C_1——除尘器入口粉尘负荷，mg/cm³；

t——每条滤袋两次脉冲之间的过滤时间，s。

10.6.4 设　　计

10.6.4.1 滤袋的运行阻力

应根据恰当的经验数据或通过现场试验来选择最佳运行阻力。如不能这样做，一般可将过滤速度较低的滤袋运行阻力定在750Pa左右。在过滤速度较高或者存在粘性粉尘层或低孔率粉尘层的情况下，有时最佳运行阻力可能要达到2000～2500Pa左右。

10.6.4.2 过滤面积和过滤速度

连续工作的袋式除尘器实际需要的滤袋过滤面积可用下式计算：

$$Ft = (1 + Tn + F)Fa \tag{10-72}$$

$$Fa = Q/U_s \tag{10-73}$$

式中　Ft——需要的总过滤面积，m²；

Tn——清灰与过滤的时间比；

F——预计由于检修或其它原因而要停止过滤的滤料面积百分数；

Fa——在任何时间实际使用的过滤面积，m²；

Q——进入滤袋的气流量，m³/min；

U_s——过滤速度，m/min。

如果是间歇工作的袋式除尘器，可以停车进行清灰和检修，则 $Ft = Fa$。应注意，除通风系统的吸风量外，Q还包括由于温度变化、冷却水蒸发或加冷风降温以及设备漏风等原因而产生的流量变化。国产袋式除尘器的漏风一般可按总风量的10～15%计算。

过滤速度是气体通过滤料的平均速度，不考虑为纤维所占有的面积，故亦称“表观表面速度”；又因$U_s = Q/Fa$，所以也叫“气布比”（m³/min/m²）。在设计时，应根据除尘器结构、滤料种类、粉尘性质和浓度等因素选用最佳的U_s值，以免其值太高而使阻力过大、除尘率降低、滤袋堵塞并易损坏，或其值太低而使设备过大。大体的范围如表10-31。

表 10-31　过滤速度U_s的大致范围

类　　别	U_s (m/min)	类　　别	U_s (m/min)
土布袋	0.2～0.7	回转反吹清灰	1.0～2.5
机械振动清灰	0.5～1.5	脉冲清灰	1.5～4.5
分室逆气流清灰	0.3～1.0	气环清灰	2.5～6.0

10.6.4.3 清灰方法的选择

各种清灰方法的比较见表10-32。在选择清灰方法时应注意以下一些问题：

（1）脉冲清灰袋式除尘器的过滤速度高，清灰时不需停止过滤，可大大减少滤袋数量，缩小除尘器体积。其清灰作用较强，适用于较难清除的粉尘；但需有压缩空气；脉冲控制机构要注意维修，在寒冷地带，压缩空气中的水分会冻结而影响电磁阀的动作，需保温。

（2）气环式也具有脉冲式的优点，而且过滤速度还可比脉冲式的稍高一些。但其传动

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 10-32 清灰方法的比较

清灰方法	清灰均匀性	滤袋磨损	设备耐用性	过滤速度	粉尘负荷	清灰方法	清灰均匀性	滤袋磨损	设备耐用性	过滤速度	粉尘负荷
机械振动	一般	一般	一般	一般	一般	分室脉冲	好	低	好	高	高
高频振动	好	一般	低	一般	一般	分排脉冲	一般	一般	好	高	很高
分室逆气流（不缩瘪）	好	低	好	一般	一般	气环	很好	一般~高	低	很高	高
分室逆气流（缩瘪）	一般	一般	好	一般	一般	声波	一般	低	低	一般	—

机构较易出现故障，滤袋较易磨损，维修工作量较大。

（3）机械振动、高频振动以及分室逆气流清灰适用于较易脱离滤袋的粉尘，但都要在停止过滤后才能清灰，只能用于间歇工作的除尘器，或增加一部分储备滤袋，分室轮流清灰。它们的过滤速度均较低，处理的粉尘负荷不能太高，分室的转换阀门和振动机构需注意维修。此外，机械振动清灰的圆滤袋常易在靠近下端进气处磨坏；逆气流清灰要增加除尘器的总气流量；高频振动的噪声较大，又因给予滤袋的振动能量较小，对难于从滤袋上振松的粉尘清灰效果不好，故适用范围较窄。排列密、拉得紧的扁滤袋较宜于用高频振动清灰。

（4）在处理气量大时往往采用逆气流清灰的除尘器，而不用脉冲清灰的。其原因主要是：脉冲清灰消耗能量较大；脉冲式滤袋长度、直径均大大小于逆气流的，在处理气量大时，需要的滤袋多，占地面积大；脉冲阀、控制脉、控制仪等的维修工作量大。

（5）选用的清灰方法应与选用的滤料相配合。脉冲和气环清灰作用强，宜用毡滤料；玻璃纤维织物滤袋宜于作用柔和的逆气流清灰，起绒织物宜用机械振动清灰。

（6）清灰的开始与结束有手动、半自动和全自动三种方式。手动的是由人操作按钮或阀门进行，最适用于不论何时均可防止过滤进行清灰的场合，也适用于每工作班只需清灰一、二次的情况。半自动的是当关风机时时间继电器动作，在延迟一段时间待风机停止后，开始清灰，并设有联锁装置，以防清灰结束前风机再次开动。全自动的是用定时器控制，每隔一定时间自动开始清灰，或用压力传感器控制，当压力达到预定值时，自动开始清灰。用定时器控制的，应根据计算或测定的滤袋积尘率来确定清灰周期。因积尘率不恒定，故不能完全按实际需要（在达到最大容许阻力时）清灰。最好是采用受单个分室阻力控制的全自动清灰系统。向自动清灰可保证清灰不会被操作者遗忘，但机构较复杂，维护工作量和出故障的可能性较大。凡清灰时不能停止除尘器运行的，都要使用全自动清灰。

10.6.4.4 滤料的选择

袋式除尘器的滤料最好能具有除尘率高、容尘量*大、透气性好、耐磨、耐弯折、耐高温、耐腐蚀、尺寸稳定、易清灰、造价低等特性，但现有滤料尚无能全面满足所有这些要求的，只能根据具体条件选择其中最适用者。其要点如下：

（1）就滤料本身的除尘率、透气性和容尘量而言，其优劣顺序为：毡子、起绒织物、不起绒织物。在不起绒织物中，缎纹织物的交织数最少，透气性最好，斜纹织物次之，平纹织物交织数最多。如果为了避免粉尘漏泄而织得紧密，则其透气性很小；如果为了减少阻力而将织孔放粗，则又会漏泄粉尘。因此，在袋式除尘器中很少使用平纹织物作滤料。再从织物所用纱线来看，长丝织物的除尘率最低，纱线捻得较松的比捻得较紧的除尘性能好；经、纬纱粗细以及纱线密度对织物的透气性也有影响。此外，从纤维形状来看，当滤料上有粉尘层时，除尘率的优劣是：纤维横截面为三角形的优于圆形的；纤维表面粗糙的优于光滑的；

* 容尘量是指达到给定阻力值时每单位面积滤料上积存的粉尘量（kg/m^2）

纤维卷曲的优于不卷曲的。

（2）从过滤速度来看，因为毡滤料的孔率*高，透气性好，其过滤速度可比织物滤料的高一倍左右。

（3）就清灰难易和强度高低而言，缎纹织物表面光滑，较易清灰，但其纱线浮在表面的长度大，捻度又较小，从而增加破损机会。长丝织物清灰容易，强度也较高。如果经纱用长丝，纬纱用短纤维的织成滤料，可兼有强度与除尘率均较好的优点。

（4）滤袋的尺寸稳定性很重要，最好是在任何条件下收缩、拉伸均不大，以免滤袋易破或损坏设备。在这方面，玻璃纤维织物非常好，涤纶也较好。

（5）在耐温、耐腐蚀、耐磨损等方面，不同纤维的滤料性能比较见表10-33。

表 10-33 滤料性能

滤料	可耐最高温度（℃）①		耐酸	耐氧化物	耐碱	耐弯曲磨损
	长期(若干月)	短期(若干分钟)				
棉	80	105	劣	劣	尚好～好	尚好～好
羊毛	90	120	很好	劣～尚好	劣～尚好	尚好
锦纶③	90	120	尚好	劣	很好～极好	很好～极好
丙纶	80	105	极好	劣	极好	很好～极好
腈纶	115	135	好～极好	劣～尚好	尚好	尚好
涤纶②	135	160	好	劣～尚好	尚好～好	很好
诺梅克斯②	215	260	尚好	好	极好	很好～极好
特氟纶	230	260	极好	劣～尚好	极好	尚好
玻璃纤维（经处理）	260	315	尚好～好	劣	尚好	尚好

① 按除尘器入口温度计。

② 当这些纤维暴露在热、湿大气中时，会受不同程度的水解；聚酯纤维水解程度最大；诺梅克斯次之；然后是锦纶。

（6）从清灰方法看，不同的清灰方法所适用的滤料种类见表10-34。

表 10-34 清灰方法与适用的滤料种类

清灰方法	适用的滤料	
	种类	规格
机械振动	天然纤维和合成纤维织物	
分室逆气流	表面较光滑的织物	
回转反吹	织物	
	毡料	300～600g/m²；厚1～2mm；透气度①20～40cm/s
振动-逆气流	织物	
	毡料	280～350g/m²；厚1～1.2mm；透气性好
脉冲喷吹	硬毡料	600～800g/m²；厚1.7mm左右；透气度10～20cm/s
气环	柔软毡料	600～800g/m²；厚2mm左右；透气度10～20cm/s

①清洁滤料阻力达到125Pa时的过渡速度。

10.6.4.5 滤袋形式的选择

圆滤袋和扁滤袋各有优缺点：

* 滤料的孔率即为滤料中孔隙所占体积与滤料体积之比。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（1）体积相同的除尘器，扁袋的比圆袋的可多20%～40%的过滤面积。

（2）除尘器中的扁袋可从侧面水平抽出，不象上揭盖式的圆袋除尘器，顶部需要有较高的空间。

（3）在脉冲喷吹清灰时，扁袋比圆袋变形大，因而喷吹后滤袋缩回时与骨架相撞的作用更强烈，产生的漏尘更多，而且清灰时从扁袋上吹掉的粉尘迁移到相邻滤袋上的情况比圆袋的更严重。

（4）扁袋由于封口不好而漏尘的机会比圆袋的多。

（5）如果圆袋的长度大，则每单位面积地面设置的过滤面积可以多于扁袋的。

（6）使用机械振动清灰时，圆袋比扁袋节省动力，但扁袋清灰较均匀。

（7）扁袋与扁袋的间距较小，如果粉尘量大，或有较粗的纤维状粉尘时，较易堵塞。

一般地说，扁袋除尘器宜用于较低的厂房内，或用作插入式除尘器，装在局部吸尘罩中。

10.6.4.6 进气口位置的选择

袋式除尘器有上进气和下进气两种方式。一般，机械振动式和逆气流式圆袋除尘器是把进气口设在底部，气流自下向上流动。这样，除尘器内只需设一块花板，结构简单，可降低造价，便于调节滤袋张力。但是，下进气的滤袋上大小尘粒的分布不如上进气的均匀，以致通过滤袋某些部分的气流量和过滤速度可能过大，而使粉尘嵌入织物缝隙中，难以清除，还可能增加漏尘。

脉冲式和气环式除尘器则应当采取上进气方式，以减少清灰后脱离滤袋的粉尘随着过滤气流重返滤袋的数量。但应注意，采用上进气时，灰斗中有停滞的空气，容易发生水气冷凝。

10.6.4.7 辅助措施

（1）如有下列情况，应在袋式除尘器前加一级低阻力旋风除尘器或惯性除尘器，作为预除尘器。

① 间歇工作的袋式除尘器，处理含尘浓度高的气体，要预除尘，以保证能运行到可以停车时再清灰。

② 除脉冲式、气环式除尘器外，使用其它清灰方法的除尘器，在处理浓度很高的含尘气体时，需要预除尘以减少清灰频率（气环式因受气环框架移动缓慢的限制，有时也要预除尘）。

③ 防止气流夹带火星烧坏滤袋。

④ 防止纤维、纸或其它轻质材料粘附在滤料上，影响粉尘层的透气性。

⑤ 粉尘中含磨损性强的粗颗粒多时，经预除尘可以保护滤袋。

（2）当气体温度超过滤袋所能耐受的程度时，必须进行预冷却，使温度降至滤袋能耐受的温度以下，但要高于露点至少10℃。通常应用的方法有以下几种*：

① 直接空气冷却　在除尘器入口前设置环境空气吸入口，利用环境空气冷却含尘热气体。吸入口与滤袋之间应有足够长度以利气体混合。除尘器入口应设测温仪表，并用自动调节阀控制吸入空气量。为防止在发生异常情况时烧坏滤袋，应设置可中断高温气体进入除尘器的紧急阀门。

---

* 详见：1.《铸造车间通风除尘技术》编写组编。《铸造车间通风除尘技术》第3章§3-3-4，机械工业出版社，983；2.稽敬文编，《除尘器》第六章§4-5-2，中国建筑工业出版社，1981。

② 间接空气冷却　使高温气体在钢管道内流过，依靠管道周围空气的自然对流及热管道的幅射而散热（图10-89），或用低压大流量轴流风机进行强制通风冷却（图10-90）。冷却管大多用4～8in的钢管制成。管内风速以较高为好。但为了适当减少阻力，一般选用 15m/s 以下。因传热面会粘附粉尘而降低传热效率，故在设计时要比计算值留出较多余量，并在结构上考虑清除粘附粉尘的措施。为了避免自然对流冷却过度，可在冷却器上装设带流量调节阀的旁通管或与其它冷却法联合使用。强制通风冷却则可用调节冷却风量的办法来控制温度。

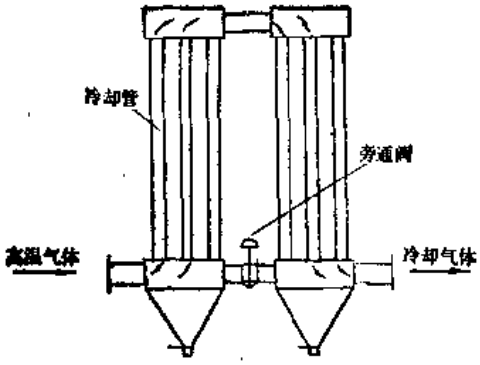


图 10-89　管外自然对流冷却器

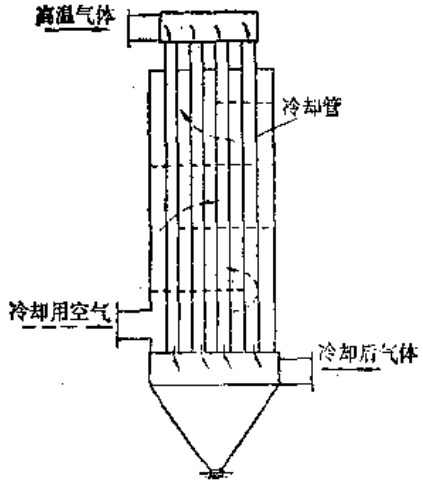


图 10-90　管外强制通风冷却器

③ 直接水冷却　使高温气体通过喷淋塔或文丘里管接受喷水，利用水的蒸发潜热而冷却。因为不能有水滴进入除尘器，故喷出的水应完全气化。为了将水喷成微细雾状，以使用压缩空气引射的两相流喷嘴为好。喷水压力一般为 $(3.5\sim10.5)\times10^5$Pa。可用测定除尘器入口温度，调节喷水量，或与上述掺冷风法并用的方法控制温度。

④ 间接水冷却　向竖直的冷却管外面喷淋冷水，使管内高温气体冷却，或采用水冷套管、壳管式冷却器、同心圆冷却器等使冷却水与高温气体进行热交换。

实际应用时，可将这些方法分别组合，设计成最经济最能满足要求的装置。一般以采用②、④两种方法的为多。

（3）袋式除尘器排出的粉尘后处理原则是防止二次飞扬，并设法综合利用。除插入式除尘器是直接卸料至料仓、设备内或带式运输机上外，其它除尘器的粉尘收集和处理方法有：用集尘车就地收集、用输送机输送、气力输送、水力输送、往粉尘中加水并搅拌成干浆状再输送、用造粒机使粉尘团粒化再利用等等*。

（4）在某些情况下可使用助滤剂以提高袋式除尘器的性能。例如：

① 一开始就需要达到很高除尘率的袋式除尘器（例如捕集剧毒粉尘或放射性粉尘），可在新滤袋上敷设一层助滤剂（可用石棉绒或其它纤维材料）。

② 将数量较少的焦油雾和其它大量粉尘合在一起进行过滤（例如沥青混凝土生产设备的除尘），或在滤袋上敷设一层易于清除的助滤剂，用以捕集粘性粒子，以便清灰（例如在玻璃纤维滤袋上加煅烧白云石覆盖层，以捕集H_2SO_4液滴）。

③ 使有害气体与干粉吸收剂进行反应吸收，然后用袋式除尘器加以捕集（例如可在铝电解槽的废气中添加氧化铝粉末，以吸附氟类气体，再用袋式除尘器过滤）。

* 详见《铸造车间通风除尘技术》第13章§13.5.1，机械工业出版社，1983。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（5）袋式除尘器应设置必要的仪表，把一些影响除尘器性能的主要变量连续记录或直接表现出来。不论系统大小如何，都应当有压力测定装置；在处理高温气体时，应当有测量温度的装置。其它如测量气体流量、湿度、粉尘浓度、灰斗中积存粉尘量等的仪表在必要时均应设置。最好能把测量仪表与自动控制机构或报警装置结合起来。

10.6.5 运行与维护

10.6.5.1 运行

1. 良好运行的先决条件

（1）根据使用条件选择最适当的设备；

（2）充分了解设备的各部分结构和性能，按照设计和制造者的要求进行运转。

2. 试运行

除尘器新安装或改变使用条件后，应有一段试运转时期，此时须检查：

（1）风机的转向、转速和管道、除尘器外壳的漏风情况；

（2）处理风量、各点压力以及气体的温湿度与设计是否相符，并核对除尘器上仪表的读数；

（3）冷却装置的情况；

（4）清灰装置和控制机构的工作能力；

（5）启动几小时后的滤袋张力和粉尘漏泄情况。

在新滤袋启用时，最好先将过滤速度调节到低于正常值，待滤袋表面形成一部分粉尘层后，再将过滤速度逐渐提高到正常值。

3. 日常运行

在袋式除尘系统的日常运行过程中，应经常注意观察或定期测定系统阻力、气体流量以及在处理热、湿气体时的入口气体温、湿度等数值。如发现异常情况，应及时找出原因，加以解决。表10-35列出可能造成阻力、流量不正常的各种原因。

新滤袋安装1～2月后，可能伸长而松弛，应进行检查，调整张力。

表 10-35 阻力、流量不正常的原因

现象	可能的原因
阻力过高	1.气体流量增加 2.滤料堵塞 3.有水气冷凝附着在滤袋上 4.清灰机构失效 5.灰斗存灰太多而堵塞滤袋
阻力过低	1.滤袋破损或松脱 2.风机转速减慢 3.入风侧管道堵塞或阀门关闭 4.箱体或各分室之间有泄漏现象
流量异常	1.风机发生故障 2.有过多的分室停止过滤 3.开、闭吸尘罩或分支管道的阀门 4.入口含尘量增多

表 10-36 袋式除尘器主要维护项目

部件		检修项目	
		运转中	停车时
阀门		1.开关是否灵活、准确? 2.驱动装置的动作情况 3.密封性	1.变形及破损 2.密封性及动作状况
灰斗		1.粉尘堆积量（可用锤子敲打灰斗，听其声音来检查、判断） 2.排尘口密封状况	1.粉尘堆积情况 2.清除附着粉尘
粉尘输送装置	螺旋输送机	1.螺旋的驱动装置动作状况 2.有无异常声音？润滑油是否充足？排出部分有无堵塞？	1.螺旋磨损情况 2.清除罩内附着粉尘 3.清扫和检查螺旋轴与叶片
	回转阀	1.密封性 2.驱动装置情况 3.粉尘排出是否正常？	1.清除叶片和罩壳内附着的粉尘 2.叶片磨损情况 3.驱动装置情况
清灰机构	机械振动和高频振动	1.振动中有无异常声音？ 2.阀门的动作及密封状况 3.电磁阀与振动电机的动作状况	1.动作程序是否正确？ 2.清灰分室的阀门关闭状态（可根据该分室压力计读数是否为0而得知阀门关闭是否严密） 3.振动机构的动作状况 4.滤袋上、下部的安装状况和滤袋的松弛程度（约30mm为适当）
	分室逆气流	1.换向阀门的动作及密封状况 2.逆气流风机工作情况	1.阀门的动作及密封情况 2.逆气流管道的粉尘堆积情况 3.滤袋的张力
	回转反吹	1.回转反吹机构的动作情况 2.反吹风机工作情况	1.回转反吹机构与反吹风机的磨损、润滑、附着粉尘等情况 2.滤袋是否松弛？
	脉冲喷吹	1.控制阀、脉冲阀及控制仪的动作情况	1.固定滤袋的状况 2.滤袋是否松弛 3.骨架磨损滤袋的情况 4.控制阀、脉冲阀及控制仪的动作情况
	气环	1.气环驱动装置的动作状况	1.链条是否伸长？ 2.气环的水平度，气环喷口是否堵塞？ 3.喷射气流主管与气环间的连接软管有无破裂和漏气现象？ 4.滤袋的张力
滤袋		1.记录滤袋阻力 2.用肉眼观察排气口的烟尘情况	1.有无滤袋互相摩擦、碰撞情况 2.滤袋变质、破损、老化情况 3.滤袋是否受潮？ 4.调整滤袋张力 5.了解清灰状况
监测仪表		1.仪表的指示是否正确？ 2.压力计配管有无漏气现象？ 3.安全装置动作情况 4.清扫仪表检测部分 5.记录仪表指示值	1.检查并清扫仪表的检测传感部分 2.确保安全装置动作可靠 3.调整压力计的零点

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

4. 停止运行

袋式除尘器如果长时间停止运行，主要应注意防止除尘器中有水气凝结。预防措施有：

（1）在除尘器冷却前，把含湿气体排出去，用干燥空气代替；

（2）防止雨雪漏入除尘器；

（3）在完全排出系统中的含湿气体后，将除尘器箱体密封。对封闭不够严密的系统可用干燥空气微微加压，以排除湿空气的渗漏；

（4）在停止运行期间，不断地向除尘器内供给温度较高的气流，以防再次开车时发生冷凝。

此外，还应注意清除管道、灰斗以及各个角落中堆积的粉尘；有时还要把全部滤袋取下，放在适当地方；在寒冷地区还要注意放掉冷却系统中存的水。

最好在停止运行期间定期进行短时间的空运转，以保证安全。

10.6.5.2 维护

（1）必须重视袋式除尘器的维护检修工作，以保证其经常有效地运行。主要维修项目见表10-36。

表 10-37 可能助长滤袋破损和堵塞的原因

现象	原因
破损	1.清灰周期过短 2.清灰时间过长 3.滤袋张力不足或过于松弛 4.滤袋安装不良 5.滤袋老化 （1）因异常高温而硬化收缩 （2）因与酸、碱或有机溶剂的蒸气接触 （3）与水分发生反应 6.烧毁 7.漏泄粉尘 8.滤速过高
堵塞	1.滤袋淋湿 2.滤袋张力不足 3.滤袋安装不良 4.滤袋收缩 5.滤速过快 6.粉尘潮湿 7.清灰不良 8.滤袋下口被灰斗积灰堵塞

（2）滤袋破损将大大降低除尘率，必须注意维护。破的滤袋应及时修补或更换，也可以对滤袋进行预防性定期更换、清理和修复。滤袋如发生堵塞，将增大阻力，并可能引起滤袋磨损、穿孔、脱落，也要注意防止。表10-37列出可能助长滤袋破损和堵塞的原因。

（3）滤袋应保持适当的张紧程度，才能有效地清灰。表10-38列出各种清灰方法所要求的滤袋张紧程度。

表 10-38 各种清灰方法要求滤袋张紧程度

清灰方式	滤袋张紧程度
机械振动	适当松弛安装
分室逆气流（缩袋）	施加张力（大约在10～60kg范围，因袋径及尺寸而异）
振动-逆气流	给予较弱的张力
脉冲喷吹	因有支撑骨架，不需张力

10.7 颗粒层除尘器

10.7.1 结 构

颗粒层除尘器是用颗粒物作滤料来捕集粉尘的设备，可分为有清灰和无清灰的两类。

1. 无清灰的颗粒层除尘器

这种除尘器当阻力增加过大时得更换过滤层，只能用以捕集雾滴或低浓度粉尘。其过滤

速度很低，有的只有0.3m/min。

2. 有清灰的颗粒层除尘器

实际应用的有以下几种：

（1）耙式颗粒层除尘器　这种除尘器有的是由预除尘和颗粒层两部分组成一个整体，例如GFE型颗粒层除尘器（图10-91）。其下部是旋风除尘器；含尘气体切向进入，经预分离，除去粗尘粒后，从内管上升到过滤室，再由上而下通过过滤层，除去细尘粒，然后气体进入净气管。清灰时换向阀使除尘器和净气管道隔断而与反吹风管连通。然后用风机或利用负压把反吹空气压进或吸入过滤室内。在反吹空气吹松颗粒层的同时，还有耙子搅动颗粒层，使粘附在颗粒上的粉尘脱落，随反吹空气通过内管进入预分离室，由于速度降低，方向突变，而使粉尘沉降下来；含有剩余粉尘的反吹空气则进入并联使用的除尘器而被净化（图10-92）。因为在清灰时要停止过滤，所以连续工作的颗粒层除尘器必须有二台以上并联运行（通常至少有三台并联）。因为它是用预分离部分作为清灰除尘器，所以较适合于处理容易粘结成集合体的粉尘。还有一个缺点是，在反吹时处理风量波动较大。如用另一单独的高效除尘器作为清灰除尘器，这些问题就不存在。

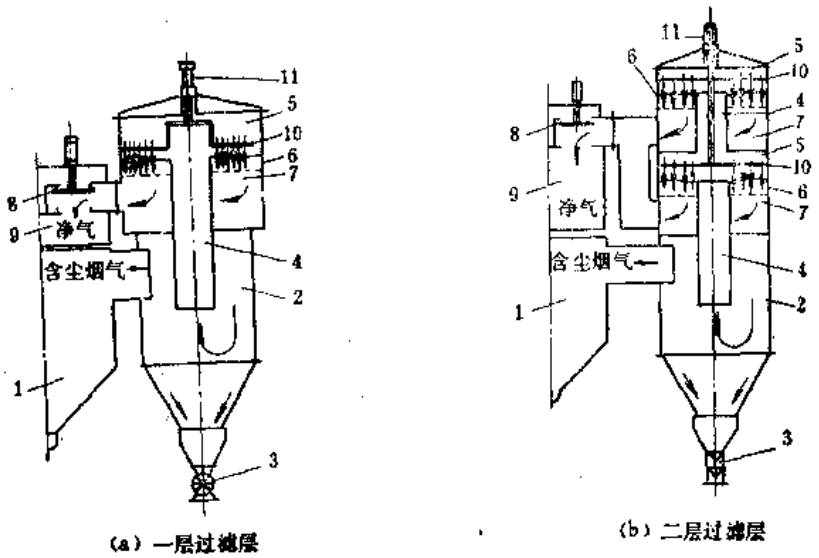


图 10-91　GFE型颗粒层除尘器

1—含尘烟气总管；2—旋风除尘器；3—卸灰装置；4—内管；5—过滤室；6—过滤层；7—净气室；8—风门；9—净气管；10—耙子；11—电动机

（2）沸腾颗粒层除尘器　这种除尘器采用多层组合式，通常有两组（图10-93），每层过滤面积1m²，层间距625mm。每组的层数可根据处理风量选择。各层在筛板上设置颗粒层。含尘气体中的粗颗粒先在沉降室中沉降，细尘粒则被颗粒层捕集。反吹清灰时通过阀门开启反吹风口的侧孔，反吹气流由下而上经筛板进入颗粒层，使之呈流化状态，然后夹带粉尘进入沉降室初步净化后，再进入其它颗粒层净化。筛板开孔率可取5.6～9%，孔径1mm左右。

（3）移动颗粒层除尘器　在一个圆筒内放入颗粒物作为过滤层。圆筒中心有一根进气管，其表面做成百叶窗形。含尘空气在进气管内从上向下流动，经百叶窗，以30～45m每分钟的速度径向进入颗粒层。粉尘被捕集后，干净空气再经颗粒层外侧包的一层百叶窗，流入

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

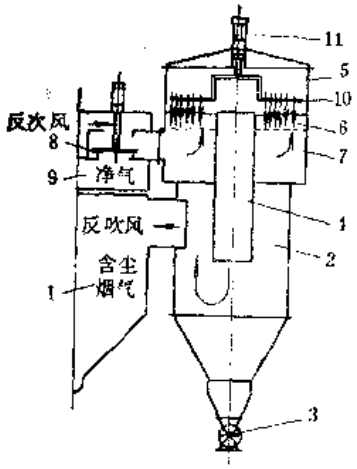


图 10-92 GFE型除尘器的清灰
（图注与图10-91同）

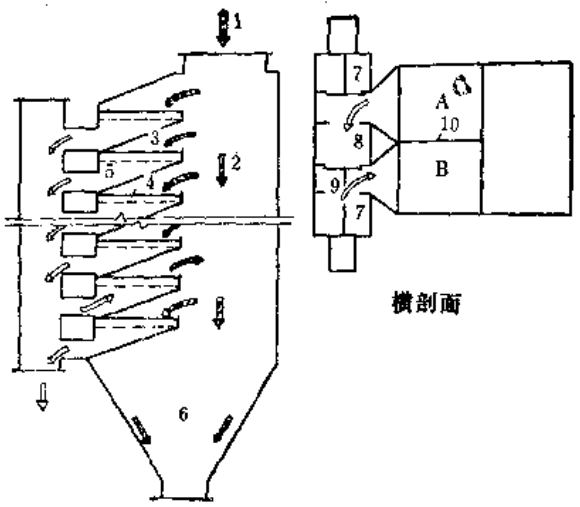


图 10-93 沸腾颗粒层除尘器
1—进气口；2—沉降室；3—过滤空间；4—颗粒层；5—筛板；6—灰斗；7—反吹风口；8—净气口；9—气缸阀门；10—隔板；A、B—过滤断面

这层百叶窗和圆筒壁之间的环形空间，然后经过排气管排入大气。圆筒中的颗粒层连续地慢慢（1.8～3m/h）向下移动，以防颗粒层被粉尘堵塞。脏的颗粒层从圆筒底部流出来，经过管道被风机吹送到系统顶部的一个容器中，使颗粒物和粉尘分离后，干净颗粒物由于重力而回入除尘器圆筒顶部，循环使用，粉尘则被吹到贮仓中。颗粒层的阻力平均约1000Pa。

10.7.2 影响性能的因素

影响颗粒层除尘器性能的因素主要有：

1. 滤料种类

用形状不规则的、表面粗糙的颗粒作成的过滤层，比用球形的、表面光滑的颗粒作成的过滤层，除尘率和阻力都较高。

2. 颗粒大小

一般是随着滤料粒径的减小，除尘率和阻力均提高。

3. 颗粒层厚度

随着厚度的增加，除尘率和阻力均提高。但当厚度增加到一定程度后，除尘率的增加就不显著，而阻力仍急剧上升。

4. 过滤速度

随着过滤速度的增大，除尘率下降，阻力升高。但过滤速度小，尘粒穿进颗粒层的深度也小，颗粒层的容尘量就降低。

5. 粉尘负荷

除尘率随着颗粒层上粉尘负荷的增加而提高，但提高气流速度会显著降低除尘率随粉尘负荷增大而提高的迅速程度。随着粉尘负荷的加大，滤料粒径小的，除尘率提高得愈迅速。当粉尘负荷较大时，颗粒层厚度对除尘率的影响就不大。当粉尘负荷超过某个阈限值后，阻力就急速增加。这个阈限值随颗粒层厚度、颗粒大小及过滤速度而异；颗粒层较厚、颗粒较大，过滤速度较快的，阈限值较高。

6. 清灰方法和程度

包括反吹空气量及压力、反吹周期及时间等。

10.7.3 滤　　料

选择颗粒滤料的条件主要是：①耐磨；②表面积大；③耐高温；④经济。表面粗糙、含SiO_2至少达98%的天然石英砂能满足这几项要求，所以用的多。有些生产过程也可以用该生产过程中的原料、半成品或成品做颗粒层。

10.8 电 除 尘 器

10.8.1 结　　构

电除尘器是利用电力来除尘的设备（图10-94）。其最基本的组成部分是高电位的放电极和接地的收尘极。这一对电极之间有足够的电位差，使放电极周围产生电晕。当含尘气体通过这对电极之间时，在高压直流电场作用下所形成的气体离子迅速向收尘电极运动，其间由于与尘粒碰撞而将电荷转移给尘粒。然后，与尘粒上的电荷互相作用的电场就使尘粒向收尘极移动，并沉积在收尘极上，形成粉尘层，再经清灰而被收集起来。

现在工业除尘所应用的，多为卧式的单区板式电除尘器，其主要组成部分分述如下。

10.8.1.1 电极

对电极的主要要求见表10-39。

表 10-39 对电极的主要要求

电极类别	放　电　极	收　尘　极
要求	1. 放电性能好 2. 直 3. 刚度好 4. 高温下不扭变 5. 易清灰 6. 不摆动，断线少	1. 电气性能好 2. 不易二次扬尘 3. 消耗金属少 4. 机械强度高，平直 5. 在高温下使用的极板要热稳定性好，温度变化时不会发生扭突 6. 便于制造和检修

为了满足上述要求，设计了各种不同型式的电极，主要的见表10-40。

放电极的固定方式，基本上可分为重锤式和框架式两种（图10-96）。前者是依靠每根极线下端挂的一个拉紧极线的重锤和防止极线下端在空气动力和电力影响下产生运动的导轨来保持极距，后者则依靠框架本身保持极距。其优缺点见表10-41。

10.8.1.2 清灰装置

为了把被捕集的粉尘排走，并使电除尘器保持最佳性能，必须及时对电极清灰。清灰方法有干、湿两种，二者的比较见表10-42。

1. 干式清灰

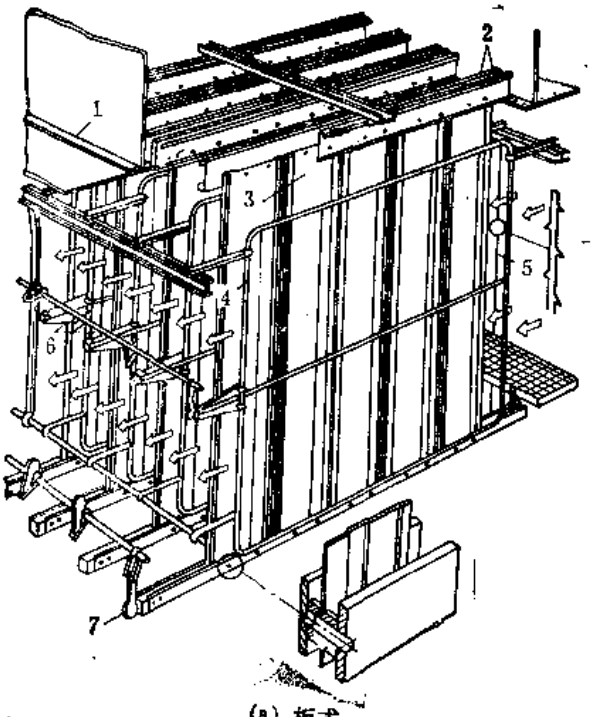
（1）一般采用震打电极的方法，可分为：

① 机械震打。*a*. 由电动机传动凸轮或曲柄，使锤头产生震打作用。*b*. 使极板偏离正常位置，重心升高，然后再落回而产生撞击。后者缺点较多。

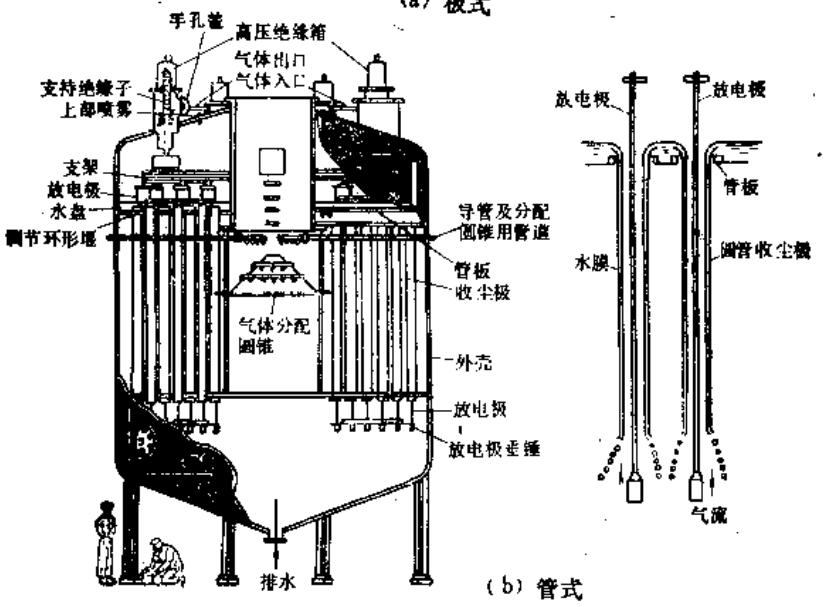
标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 10-40　电极型式（参看图10-95）

类别	型式		结构和特点
放电极	光圆线		1.其直径愈细，起晕电压愈低，放电强度愈高；但考虑到要承受震打时的机械震动力，还有电烧蚀和化学腐蚀等因素，所以在工业电除尘器中一般都用直径约1.5～3.5mm的镍铬合金钢丝制成 2.用框架固定的光圆线一般是作成螺旋弹簧形，安装时将其拉伸（保留一定的弹性）固定到框架上。这样，可使极线始终处于绷紧状态，以保持极距。震打时振动大，不易积灰
	星形线		1.用普通钢材冷拉成断面呈星形的极线；常用者边长为4×4mm。因断面积较大，故机械强度较光圆线的高 2.其四角尖棱能起直径很小的圆线的作用，起晕电压低，放电强度高 3.最好将星形线加捻成麻花形，以便围绕极线更均匀地分布电晕，并增加其刚度
	芒刺线		1.常用者有芒刺角钢、锯齿线、RS型线等形式 2.它是用尖端放电代替沿极线全长放电，起晕电压低，放电强度高，并可通过改变芒刺放电点的间距和选择不同高度的芒刺来取得一定值的电晕电流 3.在粉尘浓度很高，尘粒很小，会产生电晕闭塞的情况下，如果粉尘比电阻不高，使用芒刺线能增加电流密度，提高尘粒驱进速度，改善除尘性能。但当没有电晕闭塞现象时，如使用这种电晕电流大的电极，则尘粒驱进速度不见提高，而功率消耗却要增大 4.不易断线 5.较难通过震打消除积灰
	带形线		1.一般用厚约1.5mm的钢带作成 2.若两侧作成刀状，即为刀形电极，其放电强度比无刀刃边的高 3.带形线与锯齿线、星形线的放电强度高低顺序为：宽刀形线（13mm）＞窄刀形线（7mm）＞宽的无刀刃边带形线（13mm）＞锯齿线＞窄的无刀刃边带形线（7mm）＞星形线 4.不易断线
收尘极	管式		有截面呈圆形和六角形的两种（圆管内径200～300mm，长3～4m）。六角形的比圆形的配置紧凑，消耗金属较少，但其制作和检修较困难，不易进行溢流型式清灰
	板式	平板式	1.平板电极构造最简单，电气性能较好，容易清灰，但易于产生二次扬尘，并需用厚的材料，以免翘曲 2.棒栅式和网式是平板电极的改进型式。前者是用直径 6～8mm 圆钢，按15～30mm 中心距排列组装而成，二次扬尘较严重，应用时电场风速应小于1m/s，但较难弯曲变形，检修、更换较方便，能经受较强的震打，可用于高温或粉尘不易震落之处。在气流速度较高时，网式电极的二次扬尘也较严重
		箱式	1.箱式电极包括鱼鳞板和郁金香型（袋式）电极等，二次扬尘较少，可在较高的气流速度下应用 2.结构较复杂，耗钢量大，易被积尘堵塞
		型板式	1.这也是平板电极的改进型式，系用 1.2～2mm 钢板冷轧加工而成，有Z型、C型、CS型等，均为窄长形。在不同大小的电除尘器中，极板高度在2～14m的范围；宽度有200mm左右的，也有400mm左右的 2.型板式电极都是在极板上每隔一定距离形成沟槽形状，以减少二次扬尘，并利用沟槽背风侧的涡旋气流提高捕尘效果，还可增加极板的结构强度 3.在除尘效果、钢耗、震打清灰性能等方面，型板式的比箱式和平板式的都好，所以采用的多



(a) 板式



(b) 管式

图 10-94 电除尘器

表 10-41 放电极固定方式比较

固定方式	重 · 锤 式	框 架 式
优 点	1.造价较低 2.除整个调节位置外，还可在小范围内调节每根极线的位置，以逐一消除极距偏差	1.断线较少 2.使用框架式的，气流速度可以比使用重锤式的高些
缺 点	1.重锤式细极线容易疲劳断裂，容易被烧蚀和受化学腐蚀 2.重锤有阻抑震打电极之倾向，影响清灰	1.造价较高 2.主要靠制造、安装的精确性来保持极距。如果由于温度、震打等作用而移位，不便进一步调整 3.在高温下可能变形而造成极距不准、震打失灵、石英管破裂

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

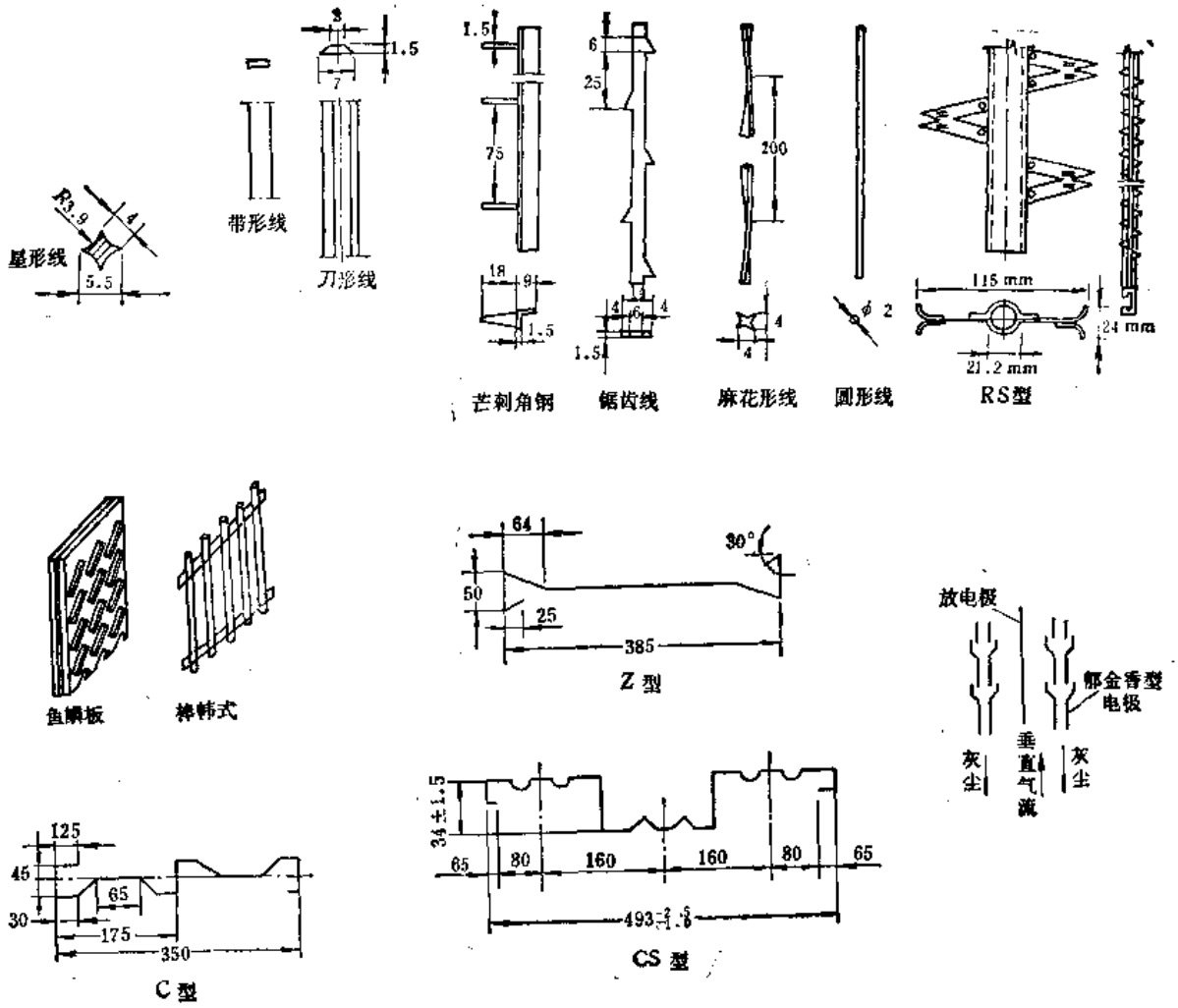


图 10-95 电极型式

表 10-42 干式和湿式清灰的比较

清灰方式	干　　式	湿　　式
优　点	1.不需要供水系统 2.没有污水处理问题 3.收下的粉尘可直接利用 4.只要在露点以上运行，腐蚀问题不大 5.排出的气体不含有冷凝物降落下来	1.没有二次扬尘问题 2.不受粉尘比电阻的影响 3.除捕集粉尘外，还能清除一部分有害气体 4.适宜于处理高温气体
缺　点	1.除尘性能和清灰效果受粉尘比电阻的影响 2.有二次扬尘问题 3.如果在电除尘器前对高温烟气进行喷雾处理，有些粉尘可能会粘结在电极上而不能清除。 4.在电除尘器前进行喷雾冷却，必须使水完全蒸发，有时需要有精细的控制系统，而且用的水必须净化	1.需要有一套供水和泥浆处理系统 2.对排放的污水要净化 3.经电除尘器处理后的气体温度低，排入大气不能很好扩散，冷凝物降落下来可能对周围环境产生不良影响 4.除尘器可能产生严重的腐蚀

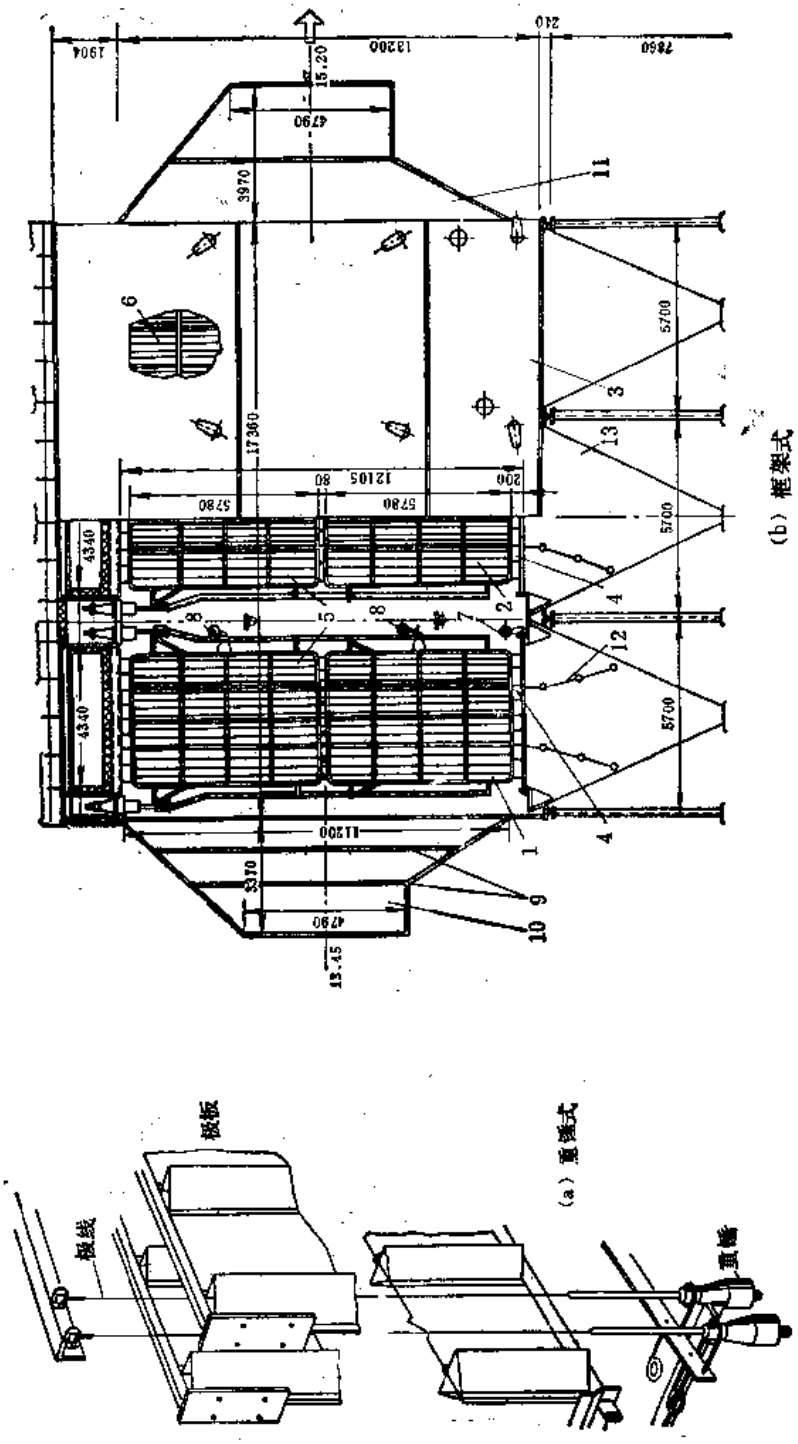


图 10-96 放电极固定方式

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

② 压缩空气震打。利用气动活塞使锤头产生震打作用。

③ 电磁脉冲震打。主要由脉冲发生器和电力冲击器组成。前者包含一组全波整流装置和充电放电用的电容器，并有一个自动调节开关，调节充电放电的周期；后者包含一个插在圆形螺管线圈中的可动铁心锤头。当电容器放电时，脉冲电流通过冲击器的线圈，使线圈产生感应磁力，将铁心吸起。断电后，铁心下降，进行震打。其震打强度比锤击震打的小得多。

④ 电容震打。在放电极和收尘极之间并联高压电容（0.125～0.25μF，60kV），当电极上某一点积尘太多而导致两极之间发生火花时，电容器将其储存的能量迅速放出，形成强大电流流经粉尘层，突然产生较大热量，使气体激烈膨胀，而将粘附在电极上的粉尘清除。其特点是能自动选择积尘最多处，优先将其震落，但对某些烟尘，易于使电晕线结疤。此法可与其它震打方法配合使用。

顶部脱钩震打或切向挠臂锤震打。这两种方式采用较多。以切向挠臂锤震打极线框架中部的效果比较好。此外，也有采用电磁振动器清灰的。

（2）震打收尘极的方式有两种：

① 间歇震打。每隔一段较长的静止时间（例如100分钟）后，震打一段较短的时间（例如5分钟），这时按预定速率重复敲击极板。

② 连续震打。通常大约每块极板每分钟震打1～2下。

一般地说，使用电磁脉冲震打器进行低强度的连续震打所造成的二次扬尘比强烈的间歇震打的轻，但后者清灰较彻底，适宜于处理高比电阻粉尘。串联的电场应分别轮流震打；靠近除尘器出口的电场因粉尘浓度低，震打间隔时间要长些。当粉尘层比电阻高达$10^{12}\Omega\cdot cm$以上时，可能要将各个电场轮流断电进行震打。这时应保持很低的气流速度。

（3）现在对收尘极用得最多的是挠臂锤震打。震打部位一般是在极板下端切向锤击震打杆端头的铁砧。如果极板高于9m，或捕集的粉尘难以清除，则应在底部和顶部两个位置震打。垂直于极板的法向震打比平行于极板的切向震打效果好，但由于结构上的原因，法向震打只在小型电除尘器上应用。

2. 湿式清灰

湿式清灰主要有两种方法。

（1）溢流法　利用溢流水在收尘极表面形成从上到下连续流动的水膜，带走沉积的粉尘。多用于管式电除尘器。

（2）喷雾法　利用喷嘴向除尘器内喷雾，水滴沉降在收尘极表面，带走粉尘。多用于板式电除尘器。

采用溢流法应使收尘极表面均匀润湿。为此，在安装溢流堰时要仔细调平；使用前要除去收尘极上的憎水物质；运行后要防止导入憎水物质；还要注意防止钙盐等杂质积在堰环上，影响水的分布。

采用喷雾法应使含尘气体在进入电除尘器前先为水蒸气所饱和。除尘器内在电场上方安装喷嘴喷雾，使水滴均匀分布在气流中；最后一个电场可不喷雾，让它起清除水滴作用。

10.8.1.3　气流分布装置

电除尘器入口端一般都要设置1～3层气流分布板，以保证在各条通道内流动的气流速度均匀。气流分布板通常是在平面钢板上冲出许多直径约30～50mm的小孔构成（必要时可采用不等直径的小孔）。小孔总面积与分布板总面积之比（即开孔率）一般为25%～50%。多

层分布板的板间距离应为板高的0.15～0.2倍，或不小于小孔中心之间对角距离的10倍。

除设置气流分布板外，有时还需在与电除尘器连接的管道系统中设置导流叶片。

为了防止气流通过电场以外的空间（包括极板上面的空间、极板下面的灰斗、两侧极板与除尘器外壳之间的缝隙），应在这些部位加装阻流隔板。灰斗中的隔板高度可为灰斗高度的1/2～2/3；大的灰斗要装2～3块。

10.8.1.4 外壳及灰斗

管式电除尘器宜用圆筒形外壳；板式电除尘器宜用矩形外壳，只有在承受很高压力的情况下才用圆筒形外壳。

制造外壳的材料有钢板、钢筋混凝土、砖等。大的立式电除尘器多用钢筋混凝土结构；卧式电除尘器则以采用钢结构的为多，因其重量较轻，建造安装时间较短，但要注意保温，以免产生腐蚀。

外壳必须严密，尽量减少漏风，以免增加处理风量和造成腐蚀。

灰斗侧壁应有60°的坡度，以便粉尘下滑。用混凝土制作的灰斗，内表面要保持光滑，或加衬钢板，或铺砌瓷砖。

灰斗保温很重要，常需用蒸气或电加热来保持其温度高于露点，以免堵斗停运。人孔门可设置双层的。

10.8.1.5 供电装置

电除尘器的供电装置基本上包括三部分：

1. 升压变压器

把线路电压提高到除尘器运行电压（40kV以上）。变压器的绝缘应能在除尘器内发生击穿时受得住电动过载。

2. 整流器

把高压交流电变为高压直流电，有机械整流器、电子管整流器、硅整流器等。因为机械整流器在运行时会产生氮氧化物和噪声，电接点要经常维护，不易实现自动控制电压，占地面积较大，而电子管整流器又寿命较短，所以现在普遍采用性能优良、尺寸较小的硅整流器。

3. 控制系统

比较好的是根据电除尘器的最佳火花率自动调压，在任何时间都把除尘器的功率输入保持在可能达到的最大数值。除火花率外，控制系统还应当能监控电流，起限流作用，以免由于电流过大而使变压器和整流器受损。

一台电除尘器最好是由二个以上各有单独供电装置的电场组成。大的电除尘器除了串联电场，还应有并联电场。

10.8.2 性　　能

电除尘器的除尘率可达99.5%以上。其捕集亚微米粉尘的能力虽稍低于袋式除尘器的，但远比其它除尘器强。电除尘器对气流的阻力很低，一般大约只有150Pa。

影响电除尘性能的因素，除上述电极形式、清灰方法、气流分布、供电电压等项外，还有粉尘比电阻、粉尘浓度等。

最适宜于电除尘器工作的比电阻范围是从10^8～$10^4\Omega$-cm 到 10^{10}～$10^{11}\Omega$-cm(图10-97)。对比电阻过低的粉尘（如炭黑），可在电除尘器后面串联旋风除尘器，用以收集在电除尘器中

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

凝聚成的大尘粒。对比电阻过高的粉尘，可采取以下方法处理：

（1）对含尘气体喷雾或对原料加湿。

（2）采用湿式除尘器。

（3）向含尘气体中加化学调理剂，如SO_3、NH_3等。不同的粉尘各有其适用的调理剂。

（4）把进入电除尘器的气体温度调节到适当的范围。

（5）改变生产原料。

如果电除尘器中有浓度很高的大尘粒或浓度中等的微细尘粒悬浮在空气里，就会大大减弱电场强度和电晕电流，使尘粒不能正常荷电，此种现象称为电晕闭塞。解决办法有：

（1）采用几个独立的电场串联，以便使各个电场的电晕电压和电流可以较好地配合除尘器中粉尘浓度愈来愈小的情况。

（2）在串联的第一个电场中采用芒刺电极。

（3）在电除尘器前增加一级预除尘器。

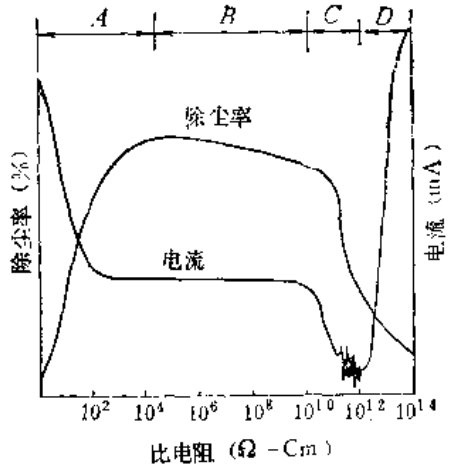


图 10-97 除尘率与比电阻的关系

A区，收尘极的二次扬尘严重影响除尘率；B区，电除尘器运行良好；C区，粉尘层的电压降加大，引起电流减小，然后开始出现反电晕；D区，呈现严重的反电晕

10.8.3 设 计

在设计电除尘器时，主要应根据使用条件来确定合理的除尘器结构和所需收尘极表面积等基本参数。

关于使用条件，应掌握的原始资料（应尽可能掌握其变化范围）主要包括：①烟尘发生源；②气体含烟尘浓度；③烟尘粒径分布和密度；④烟尘成分；⑤现场的烟尘比电阻；⑥处理气体量；⑦气体的压力、温度和成分，尤其是含湿量；⑧气体和粉尘的腐蚀性。

在处理一定量气体时，为达到要求的除尘率所需要的收尘极表面积，一般是用下列公式进行计算：

$$\eta = 1 - e^{-A\omega/Q} \tag{10-74}$$

$$\frac{A}{Q} = \frac{1}{\omega} \ln \frac{1}{1-\eta} \tag{10-75}$$

式中 η——除尘率，%；

e——自然对数的底；

Q——气体流量，m^3/s；

ω——驱进速度（即荷电的悬浮粒子在外电场作用下向收尘极表面运动的速度），m/s；

A——收尘电极总面积（不是全部展开面积，而是对着电晕极线的投影平面面积），m^2。

单从理论上来确定上式中的ω是很困难的，所以通常均以有效驱进速度ω_e来代替ω。ω_e是根据某一电除尘器实际测定的除尘率及其收尘极总面积和气体流量，利用公式（10-74）倒算出来的；它和电极系统的设计、粉尘的粒径和比电阻、气流速度、气体温度、电晕功率

等许多因素有关。必须注意，在不同条件下使用的电除尘器，其ω_e值是不同的。在设计时，有效驱进速度的正确选用有赖于积累丰富的经验。

为求得设计所需的驱进速度，必要时可预先进行小型试验。但应注意，用小型试验设备所取得的ω_e值往往比全尺寸电除尘器的高。因此，要对试验结果用系数修正后方能使用。系数的选择也需要一定的经验。

表10-43列出某些粉尘的有效驱进速度值，可供参考。

表 10-43 有效驱进速度（ω_e）

应用项目	ω_e (cm/s)	应用项目	ω_e (cm/s)
锅炉飞灰	6～13	水泥（湿法）	9～12
造　纸	6.5～10	水泥（干法）	6～7
石　膏	16～20	冲天炉	3～4
硫酸雾	6～7.5	平　炉	5～10
		高　炉	6～14

在设计时需要确定的其它基本参数尚有：

（1）两行极板之间气流通道的长高比一般为0.5～1.5；

（2）通道宽度（或管状电极内径）一般为200～400mm（相应的电压为40～60kV）；

（3）通道内气流速度一般约为0.5～2m/s；对能在收尘极上形成密实粉尘层的，可采用3～4.5m/s；

（4）电流密度（按收尘极面积计）一般约为0.05～0.75mA/m²；

（5）电晕功率（按气流量计）一般约为0.03～0.3kW·h/1000m³；

（6）电晕线间距就200～300mm的极板间距而言，极线最佳间距范围是1/2～1个极板间距。

表 10-44 电除尘器运行不良的原因

总体问题	局部问题
1.除尘器太小	1.除尘器出入口管道中堆积粉尘
2.长高比太小	2.粉尘堵塞导流叶片或气流分布板
3.电场数不足	3.气流分布不良
4.气流速度过高	4.灰斗、外壳或管道漏风
5.气流量过负荷	5.灰斗贮灰太满
6.粉尘浓度过高	6.气流不经电场而旁通
7.粉尘比电阻不适宜	7.收尘极二次扬尘严重
	8.电极安装不良
	9.电极扭曲
	10.电晕极晃动
	11.极线断裂
	12.电极上积尘太多
	13.震打清灰不良
	14.石英套管等绝缘体漏电
	15.整流机组容量不够或工作不稳定
	16.整流机组或控制系统未调整好

10.8.4 运行与维护

（1）电除尘器的良好运行取决于许多因素，表10-44所列是可能导致电除尘器不能有效运行的一些原因。

出现这些问题的根源可能是设计错误、施工安装不良或日常维护管理不当，应进行细致分析，采取措施。例如出现电晕极重复断线可能是由于：①出灰系统有问题，这成短路而烧断极线；②漏风引起冷凝；③温度低于露点；④电极上积灰过多；⑤极距不准；⑥震打过度，使极线疲劳；⑦绝缘子破裂；⑧气流不均匀；⑨控制不良；⑩极线材料不适当；⑪重锤式极线顶部或底部未采取防烧蚀措施。如能找出具体原因，即不难解决。

（2）电除尘器的管理人员应每天作运行维护日记，详细记录运行维护具体情况、电场断电时间、出现的问题等。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）应备有必要的仪器，以便提供下列关于电除尘器的数据：①除尘率；②除尘器出入口及其它重要区域的温度；③湿度；④关键区域的气体速度和流量；⑤压力；⑥供电一次电压和电流；⑦电晕电压和电流；⑧火花率；⑨电气震打装置的电压和电流；⑩气动震打装置的压力。

（4）在电除尘器停车检修时，除应作好清扫电场工作外，还应检查电场内部设备情况，检查并清扫石英套管内壁，检查清灰装置，处理设备存在的问题。在维修工作中特别要注意：①极距必须调整好，偏差不得大于±5mm；电晕线要拉直；电晕线框架的局部变形偏斜要矫正。②尽量减少漏风。对灰斗的下灰口、墙壁的裂缝、顶盖和人孔门的周边、震打机构穿过壳体处以及石英套管的管口等部位都要设法堵漏。③保持电极的震打有力。④保持电场中的气流分布均匀，避免气流不经电场而旁通。⑤消除电气设备的故障。

（5）当限制烟尘排放浓度的标准提高，而原有电除尘器的性能不能满足需要时，可考虑采取下列技术改造措施：①与原有电除尘器串联或并联新的电除尘器；②扩大现有的电除尘器；③改善气流分布；④改进震打；⑤增加电场数；⑥堵塞漏风；⑦采用自动控制电压的装置。

10.9 除尘器的选择

在选择除尘器时，一般要考虑的因素见表10-45。

表 10-45 选择除尘器的考虑因素

因素		考虑要点
除尘率		可根据烟尘排放标准或生产技术上的要求和除尘器入口含尘浓度计算出需要达到的除尘率，再选用可以满足此需要的除尘器
气体性质	温度	1.洗涤除尘器不宜在会使液体冻结、沸腾或蒸发太快的温度下使用。2.袋式除尘器只能在不会损坏滤料的温度下运行。3.电除尘器中的粉尘比电阻和气体介电强度均与温度有关
	压力	1.如果气体压力大大高于或低于大气压力，即应按压力容器设计除尘器。2.如果生产过程本身所产生的压力能克服除尘器的高阻力，则对选用高能量的洗涤除尘器有利
	湿度	1.高湿度可能造成袋式除尘器的清灰困难。2.湿度能大大影响电除尘器中的粉尘比电阻。3.洗涤除尘器适宜于处理高湿度气体
	可爆性	1.电除尘器不适宜处理可能爆炸的气体。2.使用洗涤除尘器处理易燃易爆气体的危险性最小
	成分	1.用除尘器处理含SO_3和水气的气体，要考虑防腐蚀。2.不能用玻璃纤维滤料处理含氟化物的气体。3.不能用洗涤除尘器处理能和水起反应的气体
粉尘性质	可溶性与可湿性	有利于选用洗涤除尘器
	可爆性	1.不宜用电除尘器捕集可能爆炸的粉尘。2.最好使用洗涤除尘器捕集可能爆炸的粉尘
	吸湿性	吸湿性强的粉尘容易造成袋式除尘器清灰困难
	凝聚性	可选用能使粉尘凝聚的除尘器作为凝聚器，然后再串联第二级除尘器来捕集凝聚起来的粉尘
	粒度	根据要捕集的粉尘粒度分布和要达到的除尘率，选用能满足要求的除尘器

续表

因　　素	考　虑　要　点
经　济　性	包括设备费、安装费、运行维护费以及回收粉尘的价值等，参看表10-46
其　它	包括是否容易维护、处理有毒物质是否安全、供水和污水处理有无问题等

表 10-46　各种除尘器的经济性比较

除尘器种类	阻　力 (Pa)	所占空间体积 (m^3/每1000m^3/h)	除尘器价格比值		耗　钢　量 (kg/m^3/h)
			1	2	
旋风除尘器	150～1500	≈1.75	1.0～4.0	中效1.0 高效1.94	0.05～0.1
多管除尘器	500～1500	3.9	2.5～5.0		0.07～0.15
机械振动式袋式除尘器	750～1500	≈7.1	2.5～8.0	≈6.6	0.1～0.25
脉冲袋式除尘器	700～1500	≈4.5	4.25～6.0	≈6.8	0.1～0.2
回转反吹袋式除尘器	700～1500	≈2.50		≈3.8	
喷淋塔	100～500	≈1.5	1.0～2.4	≈2.55	0.1～0.5
冲激式除尘器	1000～1600	0.7～1.2	3.0～6.0	≈2.7	0.15～0.3
卧式旋风水膜除尘器	750～1250	≈1.7	3.0～6.0		0.03～0.1
泡沫除尘器	600～1500				0.1～0.2
低压文氏管洗涤器	500～4000	≈2.0	1.5～16	≈4.7	0.1～0.3
高压文氏管洗涤器	4000～10000	≈2.0	1.5～16		0.1～0.3
干式电除尘器	100～200	≈10.5	6～25	≈9.4	0.7～2.5

注：价格比值的两个分项取自我国不同资料。

在初步预选除尘器时，可参考表10-47。

表 10-47　常用除尘器的适用条件

条　　件	各类除尘器适用情况（"+"表示适用）						
	1	2	3	4	5	6	7
捕集粗粉尘（中位径90μm）	+	+	+	+	+	+	+
捕集较细的粉尘（中位径52μm）		+	+	+	+	+	+
捕集极细的粉尘（中位径2μm）				+	+	+	+
用于含水分很多的气体			+		+	+	
用于高温气体	+	+		+			
要求维护费用低	+	+	+				
要求所占空间较小	+	+					
要求设备费较低	+	+	+			+	
要求运转动力费较少	+			+	+		
用于爆炸性粉尘和气体	+	+	+		+	+	

注：除尘器编号：1—中效旋风除尘器；2—高效旋风除尘器；3—洗涤除尘器（不包括文丘里）；4—干式电除尘器；5—湿式电除尘器；6—文丘里除尘器；7—袋式除尘器

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第 11 章　防护用品及其正确选用

11.1 术　　语

11.1.1 个人防护用品

指劳动者为防止一种或多种有害因素对自身的直接危害所穿用或佩戴的器具的总称。

11.1.2 呼吸器官护具

用于防止有毒气体、蒸气、尘、烟、雾等有害物质经呼吸器官进入体内，或直接供给氧气（或清洁空气），保证人正常呼吸的器具。亦称呼吸器。

11.1.2.1 过滤式呼吸器

指有净化（或过滤）部件能滤除人体吸入空气中有害物质的呼吸器。

11.1.2.2 隔绝式呼吸器

指自身能供给人体氧气（或空气）而使戴用者呼吸系统与劳动环境隔离的呼吸器。

11.1.2.3 面罩

指吸呼器中用于遮盖人体口、鼻或面部的专用部件。分全面罩和半面罩，一般由弹性罩体、呼气阀、吸气阀、眼窗、固定带构成。

11.1.2.4 滤毒罐（盒）

指过滤式防毒呼吸器中用以净化有毒气体、蒸气等的专用部件。一般由罐壳、滤毒剂、弹簧、滤尘材料组装构成。

11.1.2.5 滤尘器

指过滤式防尘呼吸器中用以过滤粉尘、微粒的专用部件。一般由壳体、滤尘材料构成。

11.1.2.6 防毒时间

指在试验条件下，毒剂开始进入滤毒罐（盒）至透过毒剂浓度达到 TJ36-79规定的最高允许浓度或其它规定值时的时间。

11.1.3 眼面防护具

用于防止辐射、烟雾、化学物质、金属火花、飞屑和尘粒等伤害眼、面、颈的可观察外界的防护具。

11.1.4 工业安全帽

用于保护劳动者头部，以减、免撞击等伤害的护具。

11.1.5 工 作 帽

用于防止头部脏污、擦伤、发辫受运转机器绞碾的软质帽。

11.1.6 防护手套

用于防止有害因素（有害物质、能量）伤手的护具。

11.1.7 防护鞋（靴）

用于防止生产过程中有害物质和能量损伤劳动者足部、小腿部的鞋（靴）。

11.1.8 防护服

用于保护劳动者体部免受尘、毒和物理因素伤害的服装。

11.1.8.1 防毒服

用于防止毒物污染或伤害皮肤的防护服。

11.1.8.2 防腐蚀服

用于防止酸、碱、盐、表面活性剂等物质腐蚀伤害人体的防护服。

11.1.8.3 防火服

指消防人员穿用的具有难燃（或阻燃）、隔热、防火等性能的防护服。

11.1.8.4 防静电服

指能及时消除静电积累、防止静电危害的工作服。

11.1.9 护耳器

用于保护人的听觉、使其避免噪音危害的护具。有耳塞、耳罩和帽盔三类。

11.1.9.1 耳塞

是插入外耳道内或置于外耳道口处的护耳器。

11.1.9.2 耳罩

指能遮盖耳道并紧贴围住耳廓的护耳器。

11.1.9.3 防噪音帽盔

由耳罩与安全帽组合使用的护耳器。

11.1.10 安全带

高处作业人员用以防止坠落的护具。

11.1.11 安全绳

指安全带上保护人体不坠落的系绳。

11.1.12 安全网

用于防止人、物坠落，或用于避免、减轻坠落物打击的网具。分平网、立网两类。

11.1.13 护肤用品

护肤剂（膏）和洗消剂的总称。

11.1.13.1 护肤剂

以流质（半流质）为基质、添加特殊物质制成、可以保护皮肤免受有害物质伤害的护肤

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

剂品。

11.1.13.2 **洗消剂**

可以清除或中和皮肤（或工作服）上有害物质的洗涤用品。

11.2 防护用品分类

防护用品可按用途或按保护部位分类。

11.2.1 按用途分类

按用途分类：一类以防止工伤事故为目的，称为安全护具。如防坠落用品（安全带、安全网等）、防冲击用品（安全帽、安全背心、防冲击护目镜等）、防电用品（如均压服、绝缘服、绝缘鞋等）、防机械外伤用品（防刺、割、绞辗、磨损的服装、鞋、手套等）、防酸碱用品、防水用品等。另一类是预防职业病为目的，称为劳动卫生护具。如防用品（防尘口罩、防尘服装）、防毒用品（防毒面具、防毒服等）、防放射性用品、防辐射用品、防噪声用品等。也有一些防护用品兼有双重作用。如防尘安全帽、防护面罩等。

11.2.2 按防护部位分类

按防护部位分类的基础是人体劳动卫生学，可划分为头部、眼部、面部、呼吸器官，手部，躯干、耳、足部使用的防护用品。

11.3 呼吸器官防护用品

在尘毒污染、事故处理、抢救、检修、剧毒操作以及在狭小舱室内作业，都必须选用可靠的呼吸器官保护用具。

呼吸器品种多，分类见表11-1。

表 11-1 呼吸器分类

划分方法	类别
按用途	防尘、防毒、供氧
按作用原理	过滤式（净化式）、隔绝式（供气式）。

11.3.1 过滤式呼吸器

这类呼吸器的特点是轻便、有效、易携带，已在国内外广泛使用。其功能是滤除人体吸入空气中的有害气体、工业粉尘等，使之符合TJ36—79《工业企业卫生标准》。过滤式呼吸器分防尘、防毒两大类（亦称防尘面具和防毒面具），有的品种可同时防尘防毒。

11.3.1.1 **过滤式呼吸器的使用条件**

过滤式呼吸器的使用条件是：作业环境空气中含氧量不低于18%；温度－30～45℃；空气中尘、毒浓度符合表11-2、表11-3规定。一般不能在罐、槽等狭小、密闭容器中使用。

11.3.1.2 **防尘呼吸器**

1. 种类与结构

过滤式防尘呼吸器分自吸式和送风式两种，国产主要品种及结构见表11-4。

表 11-2 国产过滤式防尘口罩及使用条件规定

口罩级别	阻尘率 (%)	使用范围	
		粉尘中含游离硅(Si) (%)	作业场所粉尘浓度 (mg/m³)
1	≥99	>10	<200
		<10	<1000
2	≥95	>10	<40
		<10	<200
3	≥90	<10	<100
4	≥85	<10	<70

表 11-3 国产过滤式防毒面具及使用条件规定

种类	主要构件	作业场所毒气浓度 (%)	用途例
导管式防毒面具	全面罩、大型滤毒罐、导气管	<2.0	正常作业和非常情况下戴用
	全面罩、中型滤毒罐、导气管	<1.0	
直接式防毒面具	全面罩、小型滤毒罐	<0.5	低浓度情况下戴用
	半面罩、滤毒盒	<0.1	

注：1. 表 11-2中指自吸过滤式品种。

2. 表11-3中半面罩系指能遮盖住口、鼻的橡胶(或塑料)主体件；全面罩系指能遮盖住口、鼻、眼、面的橡胶主体件。

表 11-4 国产主要品种及结构

种类		主要构件	产品型号
自吸式防尘口罩	复式	主体、呼气阀、吸气阀、滤盒、固定带	武安301、302、303、804等
	简易式	滤料、支架(少数有阀)，分滤材直接成型、支架型、农具型三种	北劳Ⅰ型、湘劳Ⅰ型、云锡Ⅰ型等
送风式防尘口罩	口罩式	主体、导气管、滤器、风泵	YMK-3
	面罩式	主体、导气管、滤器、风泵	BY-J1、BY-J2、YMK
	头盔式	头盔罩、滤器、风泵	BWS、AFM

2. 技术规格

自吸过滤式防尘口罩的技术规格及药剂型号见表11-5(a)、表11-5(b)。

送风过滤式防尘面具，要求用较高阻尘率的材料制作滤器（或滤袋），同时应保证一定送风量。对于配用非密闭型面罩的送风面具，更应有足够的送风量保持面具内一定正压。自吸式防尘呼吸器品种如图11-1、11-2、11-3。

表 11-5(a) 防尘口罩技术规格指标

项目		口罩级别			
		1	2	3	4
阻尘率（%）		≥99	≥95	≥90	≥85
阻力 (Pa)	呼气		≤49		
	吸气		≤29		
下方视野度			≤10		
质量（g）			≤150		
死腔（cm³）			≤130		
呼气阀气密		当负压值在1960Pa时，恢复至零值的时间应大于10S			
其它		佩戴方便，易清洗，与颜面接触无痛感			

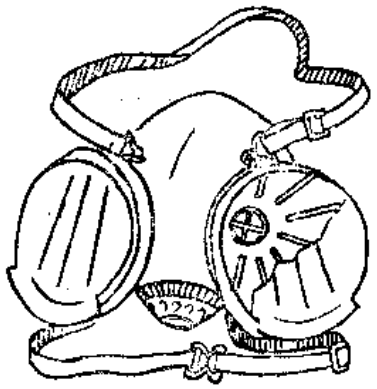


图 11-1 复式（双滤盒）防尘口罩

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 11-5(b) 防毒口罩的药剂型号

药剂型号	防护对象（举例）	试验标准			吸收剂	国家卫生标准浓度(mg/L)
		代表性气体与蒸气	浓度(mg/L)	防护时间(s)		
1	各种酸性气体、氯、二氧化硫、光气、氮氧化氮、硝酸、硫的氧化物、卤化氢等	氯 Cl_2	0.31	156	面具7*药剂	0.001
2	各种有机蒸气、苯、汽油、乙醚、二硫化碳、四乙基铅、丙酮、四氯化碳、醇类、溴甲烷、氯化氢、氯仿、苯胺类卤素	苯 C_6H_6	1.0	155	面具3*药剂	0.04
3	氨、硫化氢	氨 NH_3	0.76	29	面具4*药剂	0.03
4	汞蒸气	汞 Hg	0.013	3160	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$, KI及氯处理的活性炭	0.00001
5	氢氰酸、氯乙烷、光气、路易氏气	氢氰酸气体HCN	0.25	240	7*3*面具之药剂	0.0003
6	一氧化碳				5*面具药剂	0.03
	砷、锑、铅……化合物				1*6*面具药剂	
101	各种毒物					
302	放射性物质					

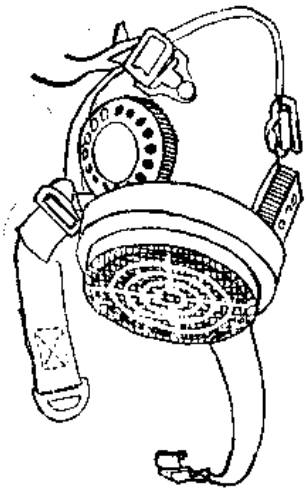


图 11-2 复式（单滤盒）防尘口罩

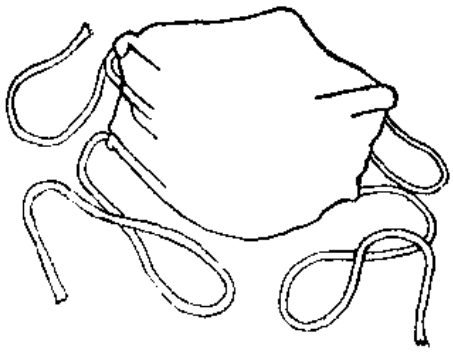


图 11-3 简易式防尘口罩

11.3.1.3 防毒呼吸器

1. 种类与结构

过滤式防毒呼吸器目前主要是自吸式。一般由面罩、滤毒罐（盒），导气管（直接式无导气管）、可调拉带等部件构成。面罩和滤毒罐（盒）是关键部件。

（1）面罩 防毒面具面罩分为全面罩和半面罩。全面罩有头罩式、头带式两种。全面罩由罩体、呼气阀、吸气阀、眼窗及固定拉带构成；半面罩由罩体、呼气阀、吸气阀及可调拉带构成。

由于人们面型存在差异，所以面罩被制成不同规格。使用者须根据自己面型选配，方能保证防护效果。

头罩式全面罩的选配按照表11-6规定尺寸。

头带式全面罩的选配按照表11-7规定尺寸。

表 11-6 头罩式全面罩型号及选配尺寸

头顶颏下弧①+耳屏额弧②(cm)		面罩规格	产品例
五型	93以下	0	59型
	93～95	1	
	95～99	2	
	99～103	3	
	103以上	4	
三型	94以下	1	72型
	94～99	2	
	99以上	3	

① 由头顶点、头后点连线之中点沿两颊至颏下点之围长；
② 由一侧耳屏经眉脊、眉间点至另一侧耳屏点之长。

表 11-7 头带式全面罩规格及选配尺寸

形态面长①面宽(cm)		面罩规格	产品型号
三型	①		64型 MF-12型
	110以下	小	
	110～120	中	
	120以上	大	
二型	①+②		GM-201型
	270以上	1	
	270以下	2	

① 由鼻根点至颏下点之距离；
② 两颧点之距离。

国产半面罩目前尚未分规格。

（2）滤毒罐（盒） 滤毒罐（盒）主要由壳体、滤毒药剂、固定弹簧、滤烟（尘）层等组成，按吸毒容量分为大、中、小型罐和盒。

滤毒罐（盒）主要种类见表11-8、表11-9，罐分为七类，盒分为四类。

表 11-8 滤毒罐种类

编号		标色	防毒类型	防毒对象例
1	1L	草绿+白道	综合防护	氢氰酸、光气、路易氏气砷化氢、溴甲烷、芥子气、氯化氢等
	1	绿		
2	2L	桔红	综合防护（加防一氧化碳）	同上，加防一氧化碳
3	3L	褐+白道	防有机气体	苯、丙酮、氯气、苯胺、醇类、二硫化碳、硝基烷、氯仿、溴甲烷、氯化苦等
	3	褐		
4	4L	灰+白道	防氨和硫化氢	氨气、硫化氢等
	4	灰		
5		白	防一氧化碳	一氧化碳
6		黑	防汞蒸气	汞蒸气等
7	7L	黄+白道	防酸性气体	二氧化硫、氮氧化物、氯气、硫化氢、光气、氯气、含磷和含氯的有机农药等
	7	黄		

注：1. 带“L”的滤毒罐置有滤烟层，还可防毒烟、毒雾；
2. 产品有新华MD型、MQ型、红旗型，TF型，上海型，五一型；
3. 大、中型滤毒罐品中较全，小型滤毒罐一般先滤烟层。

2. 技术规格要求

（1）面罩 防毒面具面罩要求漏气系数小、视野宽阔、呼气吸气阻力低、实际有害空间小，主要技术指标见表11-10、表11-11。

（2）滤毒罐（盒） 防毒面具滤毒罐要求吸毒容量大、阻力低。国产品种的技术指标见表11-12、表11-13、表11-14。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 11-9 滤毒盒种类

编号	标色	防毒类型	防护对象举例
3	褐	防有机气体	苯及其同系物、汽油、丙酮、二硫化碳等
4	灰	防氨、硫化氢	氨气、硫化氢
6	黑	防汞蒸气	汞蒸气等
7	黄	防酸性气体	二氧化硫、氮氧化物、硫化氢、氯气、有机磷农药等

注：产品有劳护101型、上海工防型等。

表 11-10 面罩主要物理指标

项目名称		面罩种类		
		一眼式全面罩	双眼式全面罩	半面罩
漏气系数%小于		0.005	0.005	5
实际有害空间 ml 小于		230	230	170
视野	总视野%大于	75	70	—
	双目视野度大于	60	28	75
	下方视野度大于	40	35	35

注：全面罩内设口鼻罩时，其实际有害空间应小于170ml。

表 11-11 面罩各部件阻力指标 单位：Pa

全面罩			半面罩	
吸气阻力小于		呼气阻力小于	吸气阻力小于	呼气阀阻力小于
带导气管	不带导气管			
29.4	39.2	98.0	19.6	49.0

表 11-12 滤毒盒的防毒、阻力值要求

编号	防毒性能			阻力气 (Pa) 小于
	试验毒剂	毒剂浓度 (mg/l)	防护时间 (min) 不少于	
3	苯	5.00	40	78.4
4	氨	0.76	25	78.4
6	汞	0.01	2000	78.4
7	二氧化硫	2.00	30	78.4

注：试验气条件为温度17～30℃、相对湿度50±3%、流量30±0.3l/min（连续）。

滤毒罐的阻力值见表11-14。

过滤式防毒呼吸器见图11-4、图11-5、图11-6。

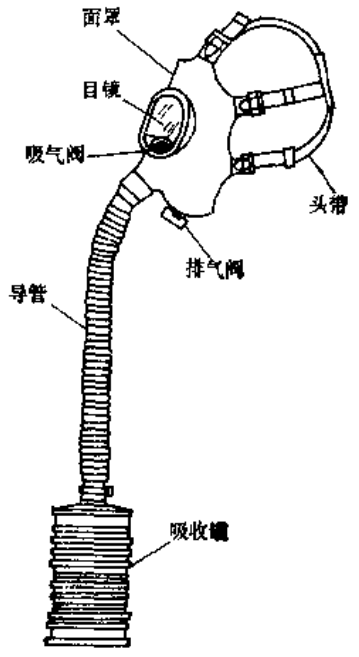


图 11-4 导管式防毒面具

11.3.1.4 选用和保存

1. 选购质量可靠的产品品种

（1）防尘口罩应符合 GB2626—81 要求；防毒面具（口罩）应符合GB2890—82要

表 11-13 滤毒罐防毒性能要求

编号	试验毒剂	大型罐		中型罐		小型罐	
		毒剂浓度 (mg/l)	防毒时间大于(min)	毒剂浓度 (mg/l)	防毒时间大于(min)	毒剂浓度 (mg/l)	防毒时间大于(min)
1L	氢氰酸 (HCN)	11.2	60	5.6	40	3.4	20
1		11.2	100	5.6	70	3.4	30
2L	氢氰酸 (HCN)	5.6	120	3.4	40		
	一氧化碳 (CO)	5.8	150	5.8	80	5.8	20
3L	苯 (C_6H_6)	32.5	120	16.2	100		
	氯 (Cl_2)	29.6	60	14.8	40		
3	苯 (C_6H_6)	32.5	150	16.2	130	9.7	70
	氯 (Cl_2)	29.6	80	14.8	55	8.8	20
4L	氨 (NH_3)	7.1	50	3.6	45		
	硫化氢 (H_2S)	14.1	55	7.1	70		
4	氨 (NH_3)	7.1	60	3.6	60	2.1	25
	硫化氢 (H_2S)	14.1	70	7.1	95	4.2	25
5	一氧化碳 (CO)	5.8	200	5.8	110	5.8	30
6	汞蒸气 (Hg)			0.01	4800	0.01	3000
7L	二氧化硫 (SO_2)	26.6	30	13.3	25		
7		26.6	35	13.3	32	8.0	20

注：1. 试验气条件同表11-12注；

2. 带“L”滤毒罐的油雾透过系数：大、中、型罐应小于0.0%；小型罐应小于1%。

表 11-14 滤毒罐阻力要求 单位，Pa

罐型	滤毒罐阻力应小于		
	大	中	小
带滤烟层	176	196	137
不带滤烟层	176	176	118

求；防气溶胶口罩应符合GB6224—86要求。

（2）非标型的过滤式呼吸器应有国家或主管部门认可的专业技术部门的检测报告和使用说明书。

2. 合理选择呼吸器

（1）防尘呼吸器 应根据作业场所粉尘浓度、粉尘性质、分散度、作业条件及劳动强度等因素，合理选择不同防护级别的防尘或防微粒口罩。

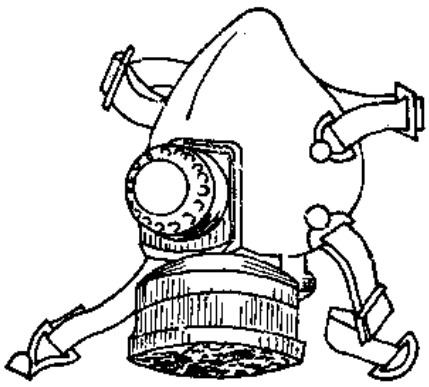


图 11-5 防毒口罩（单盒式）



图 11-6 防毒口罩（双盒式）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（2）防毒呼吸器　应根据作业场所中毒物的浓度、种类、作业条件择用：使用者应选配适宜自己面型的面罩型号；选定好滤毒罐的种类和品种。

3. 正确使用过滤式呼吸器

（1）使用前　认真阅看产品说明书，熟悉其性能；进行必要的佩戴训练，掌握要领，使之能迅速准确戴用；检查装具质量，保持连接部位的密闭性。

（2）戴用　检查呼吸器的佩戴气密性（简易式防尘呼吸器除外），简便方法是使用者佩戴好呼吸器，将滤器入气口封闭，作几次深呼吸，如感憋气，可认为气密良好；佩戴时，必须先打开滤器的进气口，使气流通畅；在使用中要注意以下事项：

防尘呼吸器如感憋气应更换过滤元件；

防毒呼吸器要留意滤毒罐（盒）失效，如嗅到异味，发现增重超过限度，使用时间过长等应警觉，最好设置使用记录卡片或失效指示装置等；

发现失效或破损现象应立即撤离工作场所。

4. 养护存放

呼吸器用后要认真检查和清洗，及时更换损坏部件，凉干保存；产品应存放在干燥、通风、清洁、温度适中的地点，超过存放期，要封样送专业部门检验，合格后方可延期使用。

11.3.2　隔绝式呼吸器

这类呼吸器的功能是使戴用者呼吸系统与劳动环境隔离，由呼吸器自身供气（氧气或空气）或从清洁环境中引入纯净空气维持人体正常呼吸。适用于缺氧、严重污染等有生命危险的工作场所戴用。

隔绝式呼吸器一般由面罩和气体供给系统组成。面罩的技术要求，选配与过滤式呼吸器相同。气源供给有不同形式，分以下几种。

11.3.2.1　自给式呼吸器

自给式呼吸器分为氧气呼吸器、空气呼吸器和化学氧呼吸器三种，均自备气源。

1. 氧气呼吸器

氧气呼吸器一般为密闭循环式，主要部件有面罩、氧气钢瓶、清净罐、减压器、补给器、压力表、气囊、阀、导气管、壳体等。其工作原理是周而复始地将人体呼出气中的二氧化碳脱除，定量补充氧气（一般是1～1.5升/分）供人吸入。使用时间根据呼吸器的贮氧量等因素确定。主要产品规格见表11-15。

表 11-15　国产氧气呼吸器产品规格

项　　目	AHG-2型呼吸器	AHG-4型呼吸器	AHG-1型呼吸器
氧瓶压力 kgf/cm²	200	200	200
贮氧量 L	200	400	110
定量供氧 L/min	1.1～1.3	1.1～1.3	1.0～1.4
使用时间 h	2	4	1
成品净重 kg	7.6	11.5	6.6
外形尺寸 mm³	355×340×190	410×360×120	1

2. 空气呼吸器

空气呼吸器一般为开方式。主要部件有面罩、空气钢瓶、减压器、压力表、导气管等。压缩空气经减压后供人吸入，呼出气经面罩呼吸阀排到空气中。空气呼吸器结构较简单，使用时间短。主要产品规格见表11-16。

3. 化学氧呼吸器

化学氧呼吸器有密闭循环式和密闭往复式之分，主要部件有面罩、生氧罐、气囊、阀、导气管等。

表 11-16 国产空气呼吸器规格

项目	HZK-7型	项目	HZK-7型
气瓶压力 (kgf/cm²)	200	总质量 (kg)	12±0.5
空气量 (L)	1400	最大工作时间(min)	46

表 11-17 国产化学氧呼吸器规格

项目	HSG型生氧面具	SM-1型生氧面具
生氧剂及重量 (g)	超氧化钠 380±20, 600±20	超氧化钠 1200
使用时间 min	30 50	120
结构形式	往复式	循环式
质量 kg	2	4.5
尺寸及容积 mm³	320×115×300	1

生氧罐内装填含氧化学物质，如氯酸盐、超氧化物、过氧化物等，均能在适宜的条件下反应放出氧气，供人呼吸。现在广泛采用金属超氧化物（超氧化钠、超氧化钾等），能同时解决吸收二氧化碳和提供氧气问题。主要产品规格见表11-17。

11.3.2.2 长管呼吸器

长管呼吸器又称长管面具，有送风式和自吸式两类。它是通过机械动力或人的肺力从清洁环境中引入空气供人呼吸，亦可以高压瓶空气作为气源经软管送入面罩供人呼吸。长管呼吸器适用于流动性小或定点作业的岗位，较为有效，并且经济，有的品种可自行设计组装。

1. 种类规格

长管呼吸器的品种较多，根据其特性结构归如表11-18。

表 11-18 长管面具种类规格

种类	配用面罩类型	其它主要部件
自吸式	密合型面罩	连结导管、软管（内径大于18mm，长度小于10m）低阻过滤器
送风机式	密合型面罩 开放型面罩	连结导管、软管、流量调节器、电动或手动风机
定量供气式	密合型面罩 开放型面罩	连结导管、中压软管、过滤器、流量调节器、气源（压缩空气、高压瓶空气）
按需供气式	密合型面罩	连结导管、中压软管、过滤器、供气阀、气源（压缩空气）
复合供气式	密合型面罩	连结导管、中压软管、过滤器、供气阀、气源、小型高压空气瓶及减压供气系统

2. 性能要求

长管面具必须安全可靠，主要部件技术要求见表11-19。

送风机式，定量供气式长管面具配用开放型面具时，应有充足的供气量，一般为正常人体吸气量的2.5倍以上，如MP-1型面具，见表11-20及表11-21数据，否则起不到防护作用，当配用密闭型面罩时，供气量可适当减少，亦应略高于人体吸气量。

自吸式、按需供气式、复合供气式呼吸器只能配用密合型面罩。

11.3.2.3 使用与保存

（1）自给式呼吸器结构复杂、严密，使用者应经过严格训练，掌握操作要领，能做到

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 11-19 长管面具主要部件性能

长管面具种类	密合型面罩漏泄率（%）（GB-2891·6—82法）	开放型面罩漏泄率（%）（GB6221—86之一法）
自吸式	<0.05	1
送风机式	<0.10	<1.0
定量供气式	<1.00	<1.0
按需供气式	<0.05	1
复合供气式	<0.05	1

注：密合型面罩的实际有害空间、视野指标要求同表11-10。

表 11-20 MP-1型送气面罩送气量与防护系数

送气量（L/min）	呼吸条件	防护系数
100	呼吸频率 22 呼吸时间 1:1 呼吸量30±0.6L/min	>95
120	呼吸频率 28 呼吸时间 1:1 呼吸量 38±0.8L/min	>99

表 11-21 不同条件下人体所吸入空气量

条件	吸入空气量（L/min）	条件	吸入空气量（L/min）
静止状态	8～9	中等劳动	27
坐姿状态	10	重度劳动	40～54
站立状态	12	高重度劳动	84
行走状态	17	奔跑状态	64
急行状态	25		

迅速，准确地佩戴使用。

（2）自给式呼吸器应有专人管理，用毕要检查、清洗，定期检验保养，妥善保存，使之处于备用状态。

（3）长管呼吸器使用前要严格检查气密性。用于危险场所时，必须有第二者监护，用毕要清洗检查，保存备用。

（4）自吸式长管呼吸器，要求进气管端悬置于无污染的不缺氧的环境中；软管要力求平直，以免增加吸气阻力。

11.3.3 自救器

11.3.3.1 规格

自救器是矿井坑道人员逃离险境时使用的呼吸保护装置。用于防止一氧化碳中毒和烟雾危害的叫过滤式自救器；用于供氧维持生命呼吸的叫隔绝式自救器。主要品种规格见表11-22，11-23。

表 11-22 国产过滤式自救器规格

项目	MZ-1	MZ-2	MZ-3	MZ-4	项目	MZ-1	MZ-2	MZ-3	MZ-4
试验用一氧化碳浓度（%）	1	1	1	1	呼吸量（L/min）	30	30	30	30
环境温度（℃）	25	25	25	25	在上述条件下的使用时间（min）	40	40	40	40
相对湿度（%）	>90	>90	>90	>90	防烟效率（%）	1	≥60	1	≥60

11.3.3.2 使用与保养

1. 过滤式自救器

（1）只能在不缺氧的环境中使用。

（2）在井下工作，发现有火灾和爆炸征兆时，应立即佩戴，并使用鼻夹，至达安全地段时，才能脱下自救器。

（3）在携带过程中尽量避免碰撞，防止摔落。

（4）随身携带的自救器，每月检查一次气密；固定存放的自救器，每3月检查一次，

表 11-23 国产隔绝式自救规格

项　　目	AZG-40型	HGZ-40	AZH-40
生氧剂质量（g）	超氧化钠 500	超氧化钠 420	超氧化钠
使用时间（min）	40	40	40
结构形式	往复式	循　环	循　环
总质量（kg）	2	1.7	2.3（佩戴）
外形尺寸（L）	170×9×220	150×85×155	167×90×19
	(3.3)	(1.9)	
吸气温度（℃）	<50	<40	<50

气密。

2. 隔绝式自救器

（1）可用于复杂场所的自救，当发生瓦斯爆炸，火灾等灾害时，应立即佩戴，并使用鼻夹至达安全地带。

（2）携带时应避免碰撞，长期存放应避日光直射和受热，不要与易燃、易爆和腐蚀性物质同放一处。

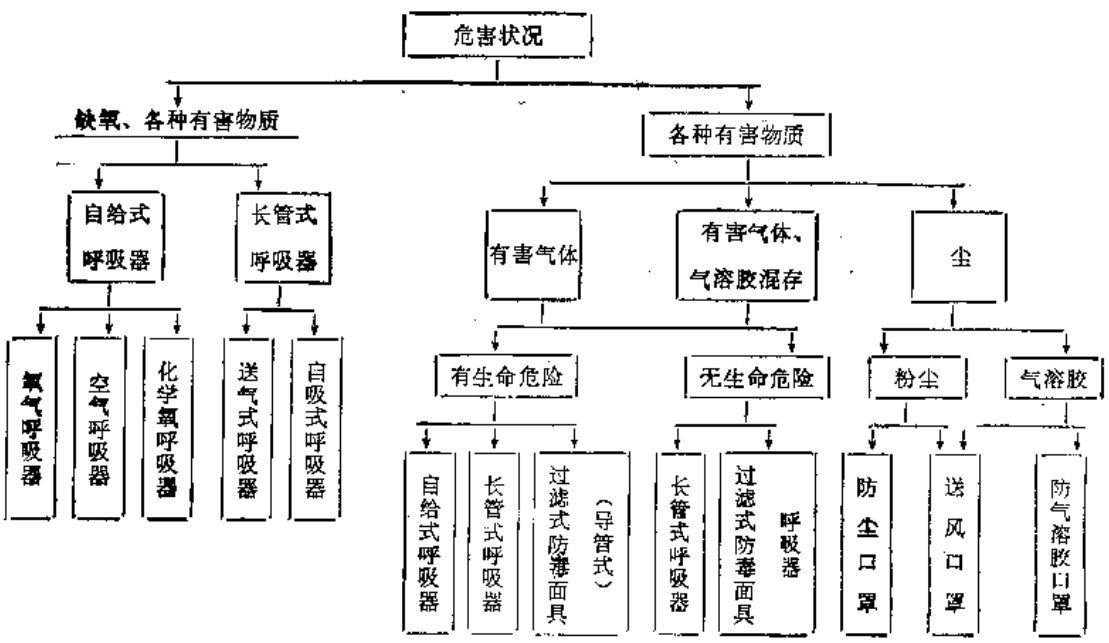
（3）经常注意观察是否有漏气情况，及时维修。

（4）过期和不能使用的自救器，不能乱丢，要统一处理，以免引起火灾。

11.3.4 合理选用呼吸器

选用时应遵循以下原则：一是防护有效；二是戴用舒适；三要经济。工作现场既要考虑可能发生的染毒危害配备特殊的呼吸器，但又要根据实际的污染程度选用呼吸器品种。关于呼吸器的选择可参照下表11-24。

表 11-24



说明：① 有生命危险指由于缺氧或严重污染而劳动者无法工作的场所。

② 无生命危险指不缺氧但污染轻微、较长时间工作会使劳动者慢性中毒的场所

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

11.4 防护服和护肤用品

体部和皮肤防护是指劳动者着穿防护服装，使用护肤剂、洗涤剂等以防止工伤事故和预防职业危害。

11.4.1 防 护 服

防护服分特殊作业防护服和一般作业防护服，结构式样、面料、颜色的选择要以符合安全为前提。防护服应能有效地保护作业人员，并不给工作场所、操作对象产生不良影响。

11.4.1.1 防护服主要品种及性能

1. 防尘服

防尘服分为工业防尘服和无尘服。工业防尘服主要在粉尘污染的劳动场所中穿用，防止各类尘接触危害体肤；无尘服主要在无尘工艺作业中穿用，以保证产品质量。这类服装通常选用织密度高、表面平滑、防静电性能优良的纤维织物缝制，具有透气性、阻尘率高、尘附着率小的特点。国产的防尘服料的基本指标见表11-25、表11-26。防尘服的款式结构，应采用头部有遮盖帽或风帽、有连接至肩部的头巾、紧袖口、紧裤口、紧下摆的形式。

表 11-25 防尘服料的功能指标

项 目	防 尘 效 率%		带电电荷密度 μc/m²		沾 尘 量	透 气 量
	洗 前	洗4h后	洗 前	洗4h后	mg/20×15cm	L/m²·s
指标	>95	≥95	≤4	≤6	<200	≥50

注：试验尘为精制过的滑石粉尘。

表 11-26 无尘服料的功能指标

项 目	透 尘 率 %		带电电荷密度 μc/m²		沾 尘 量	透 气 量
	洗 前	洗4h后	洗 前	洗4h后	mg/20×15cm²	L/m²·s
	<10	≤10	<2.0	<3.0	<100	>50

注：透尘率的试验采用中值径为0.5μ的微粒；沾尘试验采用精制过的滑石粉尘。

2. 防毒服

防毒服用于酸、碱、矿植物油类、化学物质等作业人员的防护，分密闭型和透气型两类。前者用抗浸透性材料如涂刷特殊橡胶、树脂的织物或橡胶、塑料膜等制做，一般在污染危害较严重的场所中穿用；后者用透气性材料如特殊处理的纤维织物等制作，一般在轻、中度污染场所中穿用。

（1）送气型防护服 使用抗浸透、抗腐蚀的材料（如丁基胶布、烃脂涂层布等）制做，整体为密闭结构，在腋下、袖口、裤口处设置排气阀门、清洁空气自头顶部送入，由排气阀排出、服内保持一定正压、造成穿用者自身舒服的小气候。总送气量应在200升/分以上，既保证穿用人员的正常呼吸和散热，又能有效地防御毒、尘对人的危害。目前新研制服装的主要参数如表11-27。

（2）胶布防毒衣 用特制的防毒胶布缝制拼粘而成，用天然橡胶和配料（含胶量80%）涂粘在棉布正反面经硫化而成。有连式防毒衣和带面罩防毒衣等品种。可防强烈刺激性毒气

表 11-27 BL-1型送风式防毒服主要参数

抗介质渗透时间 h				扯断强力 N		涂层剥离强度 N	耐寒性
98% H_2SO_4	68% HNO_3	36% HCl	C_6H_6	经向	纬向		
≥20	≥4	≥20	≥40	500	400	8	-20℃不裂

注：服装采用一侧拉链开身连体式结构，穿脱方便；最大送风量为 350L/min。

和烧伤性、脂溶性液体化学物质对皮肤的伤害。

（3）透气型防毒衣 使用特殊透气材料缝制，如纤维活性碳、碳纤织物、特殊浸渍织物等，防护服的袖、裤口设置钮扣或扎带。能防护一定量毒气、毒烟雾的危害，用毕应及时处理。

（4）防酸碱工作服 主要采用耐酸、碱材料制做，使操作人员体部与酸、碱液及汽雾隔离。防酸碱工作服通常采用有耐酸、碱橡胶布、聚氯乙烯膜、合纤织物、防酸绸、生毛呢、柞丝绸等。防酸服应有防酸渗透、耐酸和较高的拒酸性能，基本性能要求见表11-28，重要品种见表11-29。

表 11-28(a) 透气性防酸服要求

项目		80% H_2SO_4	40% HNO_3	30% HCl	项目	80% H_2SO_4	40% HNO_3	30% HCl
渗透时间 (min)	洗前	≥30	≥30	≥30	浸酸强力下降 (%)	≤50	≤40	≤35
	洗后	≥3	≥3	≥3				
效率指数 (%)		≥90	≥90	≥90	静酸压 (mmH_2SO_4)	≥10	—	—

注：服装接缝强力大于98N。

表 11-28(b) 不透气性防酸服要求

项目	98% H_2SO_4	60% HNO_3	30% HCl
浸酸强力下降 %	≤60	≤60	≤50
渗透时间 min		≥90	

注：面料的扯断强力大245N；服装的接缝强力大于45N。

（5）防油工作服 采用耐油材料以阻隔油浸蚀人体。耐油材料按使用原材料分为橡胶、塑料、涂料三种。防油工作服品种及性能见表11-30。

3. 防放射性服

防放射性服用于放射性接触中的个人保护，可防御外照射对人体的危害。防放射性服用棉布、合成纤维、塑料薄膜或含铅橡胶布制做，应根据不同射线性质、放射剂量及使用规则选用。

（1）白布工作服 用漂白平纹细布制做，是一种进入放射性作业区的基本防护服，具有对放射性尘透过率低、吸着率小、透气又易清洗污染物的特点。结构式样有上下分身装、连衣裤、大衣等，接缝钮扣要少，紧袖口、紧裤口、紧下摆。

（2）丙纶无纺布工作服 是一次性使用服装，可代替白布工作服。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 11-29 防酸、碱服及性能用途

品　　名	用 途 及 特 点	摘要（构造、材料等）
橡胶耐酸、碱服	防酸、碱液腐蚀（40℃以下；50%硫酸、30%盐酸及任何浓度的醋酸及碱类溶液）适用于接触酸碱液喷溅作业	用含胶量>60%在炼胶中加入对酸碱有稳定性的配料的橡胶制做。式样：有连帽工作服、背带裤、反穿衣、围裙等。材料不透气
塑料工作服	防经度酸碱腐蚀，防水，防油，防低浓度毒物，不耐高低温、不耐溶剂	用聚氯乙烯薄膜制做有工作服、反穿衣、围裙。材料不透气
防酸绸工作服	防酸液或酸性气体腐蚀，有较好的抗酸渗透性，有一定防碱、防油能力	用经特殊处理的柞丝、化纤丝拼捻交织物制做。有上下分身式、大衣式。材料透气
合纤工作服	防低浓度酸、碱腐蚀，抗渗透性较差	用合成纤维织物，如涤纶、丙纶、氯纶制做，有上下分身式、反穿衣等。材料透气
纯生毛呢耐酸服	防低浓度酸性液体或气体腐蚀，对酸液有一定吸附和延缓渗透能力，有隔热御寒作用	用纯生毛呢制做，有上下分身装。材料透气
柞丝耐酸服	防低浓度酸腐蚀，不防碱	用纯柞丝制做，有上下分身装，反穿衣。材料透气

表 11-30 防油服及性能用途

品　　种	用 途 及 特 点	摘要（材料、结构等）
橡胶耐油服	防油，防水，不耐溶剂。适用于油液喷溅作业	用丁腈胶粘或刮于纤维织物表面经硫化而成的耐油橡胶布制做；有工作服、背带裤、围裙等 材料不透气
聚氨脂布耐油服	防油、防水、防苯等溶剂	用聚氨脂塑料涂于纤维织物表面的材料制做；有工作服围裙等 材料不透气
透气耐油防水服	防油、防水	用经含氟树脂整理织物制做，有上下分身装 材料透气

（3）塑料防护服　用聚乙烯或聚氯乙烯塑料薄膜粘接而成，是一套在基本工作服外面的附加防护服，其作用是保护体表不受放射性物质污染，但不能有效防射线外照射。能耐一定浓度的酸碱液和油类物质，污染物易清洗。式样有上下分身装和连衣裤或送风服等。后者常用于分装放射性物质，维修严重污染设备、抢救等作业。

（4）含铅橡胶工作服　由含铅橡胶布制成，制品有工作服、围裙、手套等。对X射线、γ射线有良好的屏蔽吸收作用。

4．防微波服

防微波服是应用屏蔽和吸收原理，衰减消除作用于人体的电磁量，在一定程度上保护个人安全。防微波服选用对微波有屏蔽作用、强度较大、吸湿透气的材料制做，如金属丝布、镀金属布、金属膜布等。主要品种性能见表11-31。如图11-7。

5．高温工作服

高温工作服用于高温、高热或幅射热场所作业的个人防护。材料必须具备隔挡幅射热效率高、导热系数小、防熔融物飞溅、沾粘、不易燃和离火自灭以及外表反射率高的性能。结构式样一般为上下分身装。重要品种如下。

表 11-31 防微波服的主要性能

品名	材料	性能		
		表面电阻率Ω	屏蔽衰减值 dB	结构式样
金属丝布微波屏蔽服	铁丝、钢丝拼捻布		10～30cm 波段内 10～20	工作服 面罩 大衣等
镀金属布微波屏蔽服			3～30cm 波段内	工作服
	镀铜布	<0.1	背面>27	大衣
	镀镍布	<0.5	正面>30	帽
	镀镍布	<0.5	背面>25 正面>25	
	镀银布		>26	

（1）石棉布工作服 用石棉纤维与少量（约10%）棉纤维捻织物的布制做，白色，厚约1.5～2.0mm。250℃以下可直接使用操作，250℃以上烫手和发生燃烧；于800℃内烧一小时，失重小于32%，石棉工作服主要起隔热作用，对热幅射遮挡效率大于90%，有良好的防热性能，使用中注意防止石棉尘吸入，见图11-8。

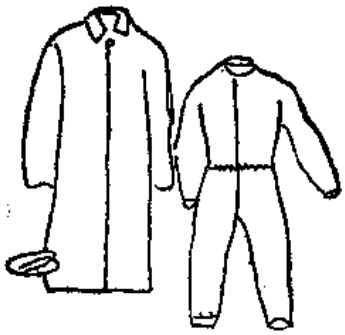


图 11-7 微波防护服

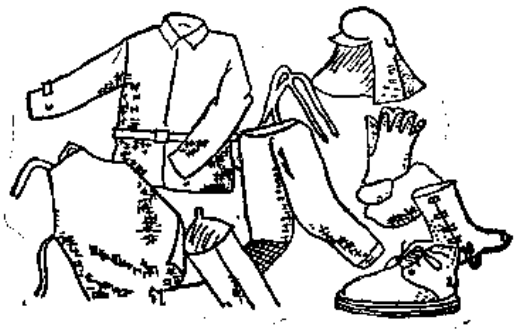


图 11-8 石棉布工作服

（2）白帆布工作服 用天然植物纤维织物如纯棉白帆布、麻白帆布制做，约0.6mm厚。具有隔热，易弹掉飞溅火星及熔融物、耐磨、扯断强度大、透气的特点。对幅射热的遮挡效率见表11-32。



图 11-9 铝膜布工作服

表 11-32 中两种白帆布服的隔热性能（表中 A 为无工作服时的幅射热强度，B 为有工作服遮挡时的幅射热强度）。

（3）铝膜布工作服 铝膜布分两种：一种是在基布上镀铝、常用基布有胶布、丝棉布、涤纶布等；另一类是将极薄的铝膜以氯丁胶粘合在棉、绸或石棉布表面，再用涤纶膜敷涂保护。铝膜布呈银白色，反射率高，隔热性能好、耐老化、防火，适于强幅射热条件使用，但透气性较差。性能见表11-33，如图11-9。

（4）克纶布工作服 用酚醛纤维织物制做，耐高温。其特点是在火焰中很少燃烧，不熔化，仅呈碳化状但仍保持原型，失重35～40%，有较

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 11-32

服料品种	距离热源(m)		幅射程度(cal/cm²·min)	室温(℃)	热源温度(℃)	遮挡效率(%)
白帆布	0.5	A	11.5	26	940	78
		B	25			
	1.0	A	3.0	26	940	80
		B	0.5			
	1.5	A	1.5	27	940	83
		B	0.25			
白帆布衬呢	0.5	A	11.5	26	940	87
		B	1.5			
	1.0	A	3.0	26	940	91.7
		B	0.25			
	1.5	A	1.5	27	940	100
		B	0			

表 11-33 棉绸还贴铝膜布的隔热效能

项目	测试条件	结果
反射率	CD-10分光光度计以硫酸钡白为标准	全反射80%，慢反射58%左右
防幅射热	距热源 20cm，单荷幅射热2cal/cm²·min	95%以上
耐高温	200℃ 30min	无变化
耐老化	70℃ 72h	无变化
耐水压	760 mmHg(密封式)	无水滴

好耐腐蚀性能，缺点是强度低，加工织物困难，可长期耐150℃，短期可耐2000℃以下。

（5）送风服 选用耐温隔热材料制做，为密封形结构。在设计中要优先保证头部，四肢部位的送风量，使穿着人员吸到新鲜空气，清除多余的对流热和幅射热，送风管应耐压，通风阻力小。

（6）致冷服 致冷服种类多，如液体致冷服，干冰致冷服、冷冻背心、液冷头盔、半导体致冷器等，结构较复杂。各类致冷服一般设有冷冻或动力循环装置，降温效果显著。

6. 防火服

防火服用于消防、火灾场所的防护，选用耐高温、不易燃、隔热、遮挡幅射热效率高的材料制做。常用的有*T*、*H*、*P*、*C*防火布，石棉布，铝箔玻璃纤维布、铝箔石棉布、炭素纤维布等。

7. 防水服

防水服采用能阻隔水与人体接触的材料，如橡胶和塑料制做。主要品种特性见表11-34。

表 11-34 防水服种类性能

品名	用途	摘要（材料及结构等）
胶布工作服	防水、防雨、适用于有淋头水、喷溅水和冒雨作业工种	用防水胶布裁片，以氯丁胶粘合，分单胶、双胶、夹胶布。有上衣(带帽)裤
胶布雨衣	防雨，适用于雨天露天作业	材料同上。分单胶，双胶，有活帽连帽大衣式，单胶披肩短衣式品种
下水衣	防地下水，地面积水，以及浅水面。适于下水道、隧道、水产捕捞等涉水用	材料品种如上
水产服	耐海水、耐日晒，适于水产捕捞、养殖加工用	用含胶55%的胶布制做；有连帽上衣、裤、围裙等

8. 水上救生衣

水上救生衣是利用浮力原理救生，因此要求材料应有一定吊重浮力，耐老化腐蚀及一定强度。主要品种、性能见表11-35。救生衣的浮体材料有：聚乙烯、聚氯乙烯软质泡沫塑料、

表 11-35 救生衣种类及性能

品　名	用　途	摘要（结构、材料）
泡沫塑料救生衣	水上救生及落水用。适于沿海、远航、内河船员乘客及水运作业用 聚苯乙烯不适海洋航行船只	用泡沫、海棉为芯、外包布或合纤织物，有一定抗浸性，品种有四浮袋式、背心式、条式充气式等
木棉救生衣	水上救生及防落水用，限于内河船员、乘客及水运作业	用木棉为芯，有六浮袋式、带领背心式等
充气救生衣	水上救生及防落水，除客船以外的船员用	靠充气作为浮力源
空浮式农用救生衣	适用于体重少于65kg的农船作业人员水上救生及防落水用	用聚乙烯板吹塑成形，其吊重浮力为6.8kg

聚氯乙烯、聚苯乙烯硬质泡沫塑料、木棉等。

9. 防寒服

防寒服用于低温作业，保护人体免受冻害。防寒服应具备良好保温性，导热系数小，外表吸热率高等性能。一般用干燥的天然棉植物纤维、动物皮毛及化学纤维作充填层。防寒服分棉长短大衣、套裤等）。在绞辗危险场所，工作服式样要求紧袖口、紧下摆、紧裤口。近期发展使用电热防寒服。

10. 防静电工作服

防静电服分两类：导电纤维交织防护服；抗静电剂浸渍织物防护服。

防静电服用于产生静电聚积，易燃易爆操作场所。可以消除服装本身及人体带电。导电纤维布防静电服，其作用是与带电体接触时，能在导电纤维周围形成较强的电场，发生电晕放电，使静电中和。导电纤维越细，电晕放电电压越低，防静电效果越好。常用的导电纤维有铜丝、铝丝、不锈钢丝、渗碳纤维、有机导电纤维等；用抗静电剂浸渍织物服，主要通过中和、增湿等以及降低纤维的电阻率，消除静电。两者相比较，后者耐久性差，防静电性能不稳定。

防静电服的性能可以用测定带电电荷量（μc/件）表示。防静电服的面料电荷密度应小于7$\mu c/m^2$，此值不易引燃油类蒸气。

11. 带电作业服

（1）等电位均压服　等电位均压服是等电位带电检修必备的安全用品。其作用是屏蔽高压电流和分流电容电流。均压服用金属丝布缝制。国内用直径为0.025mm，0.03mm或0.05细铜丝与超细玻璃纤维，克纶纤维，聚四氟乙烯纤维，柞丝或棉纤维捻织成布料，前四种布料有一定防火能力。国外有采用玻璃纤维与网格炭纤维交织或渗金属布。国产均压服目前仅限220kV电压内带电作业，均压服表面电阻率规定从手印至脚印不大于10Ω。使用中避免表面氧化及金属丝折断。见图11-10。

（2）绝缘工作服　绝缘工作服是采用绝缘胶布织物缝制，只适于一般低电压情况下使用。在国内常用的是绝缘鞋（靴）和手套，服装极少。

12. 阻燃防护服

用阻燃织物缝制。阻燃织物的阻燃性能采取GB5455-85《纺织织物—阻燃性能测定—垂直法》试验，符合表11-36指标要求。

经阻燃整理的织物，洗涤50次后，不低于3级，在试验中发现有熔融收缩现象时为不

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载



图 11-10 等电位均压服

表 11-36 阻燃织物性能要求

测试项目	分级指标		
	1级	2级	3级
续燃时间 s	1	4	8
阻燃时间 s	1	4	8
损毁长度 mm	5	100	150

合格。

阻燃防护服适于工业炉窑、金属热加工、焊接、化工、石油等场所，从事有明火或散发火花式在熔融金属附近处操作，以及易燃物质有发火危险地方工作穿用。

13. 潜水服

潜水服用优质抗浸材料特殊加工制作，与头盔密合连接，用于海下及水下作业。

14. 防机械外伤和脏污工作服

这类工作用量大，宜于预防机械设备运转及使用材料工具时可能发生的机械伤害，或防止脏物污染。服料要求耐磨及具有一定强度。服式有分身式，连体式及背带裤等。服装应采用紧袖口、紧下摆、紧领口结构。

此外还有一些特殊的防护服，如加压服、宇航服等。

11.4.1.2 防护服的选用和维护

防护服各有其特点和应用范围及使用保养方法。

1. 根据现场存在的危害因素选择质量可靠的防护服

（1）使用者应针对作业场所或可能产生的危害选择防护服的种类。如易燃易爆场所，应选用防静电服，带电作业应选用等电位均压服、绝缘服；剧毒物接触作业应选用密闭型防毒服；炉前高温作业应选用高温工作服等。

（2）购置质量可靠的产品 应通过专营劳保商店购置有专业技术部门检验过的或符合现行标准的品种。

2. 使用前准备

（1）质量检查

防护服购进穿用前，应对照产品技术条件检查其质量。

（2）熟悉性能

认真阅看产品说明，熟悉其性能及注意事项；进行必要穿用训练。

3. 正确穿用

（1）按说明书介绍的方法穿着。

（2）要重视防护服的使用条件，不可超限度穿用。

4. 维护

特殊作业防护使用毕，应进行检查、清洗、晾干保存，下次再用。产品应存放在干燥通风清洁的库房。

（1）以橡胶为基料的防护服、可用皂水等洗去污染后冲洗晾干，撒些滑石粉后存放。

（2）以塑料为基料的防护服，一般只在常温下清洗、晾干。

（3）特殊织物为基料的防护服，如等电位均压服、微波防护服、防静电服等应除油污，保持干燥，防止腐蚀性物质腐蚀，避免织物中的金属等导电纤维折断，这类服装应定期检查其电性指标。

11.4.2 护肤用品

在生产作业环境中，常常存在各种化学的、物理的、生物的危害因素，对人体的暴露皮肤产生不断的刺激或影响。进而引起皮肤的病态反应：如皮炎、湿疹、皮肤角化、毛刺炎、化学烧伤等，称为职业性皮肤病。有的工业毒物还可经皮肤吸收，积累到一定程度后引起中毒。对待特殊作业人员的外露皮肤应使用特殊的护肤膏，洗涤剂等护肤用品保护，它们与日用化妆膏霜、洗涤剂在功能、用途上有所区别。

11.4.2.1 护肤膏(剂)

护肤膏用于防止皮肤免受化学、物理等因素的危害。如各种溶剂，漆类、酸碱溶液，紫外线、微生物等的刺激作用。当外界环境有害因素强烈时，应采取专门的防护器具。

护肤膏一般在整个劳动过程中使用，涂用时间长，上岗时涂抹，下班后清洗，可起一定隔离作用，使皮肤得到保护。

护肤膏分水溶性和脂溶性两类，前者防油溶性毒物，后者防水溶性毒物。

1. 护肤膏的基本要求

（1）不损皮肤，不引起皮肤的过敏性。

（2）能充分地防止生产中各种物质对皮肤的危害。

（3）能轻抹在皮肤上，能保持在皮肤上且容易洗掉。

（4）与人体组织和加工的物质原料不起作用在使用时不裂化和变质。

（5）配制原料来源广泛且经济。

2. 几种护肤膏(剂)配方。（单位为g）

（1）防水溶性刺激物（酸碱及其盐类如$CuSO_4$等）

硬脂酸120、氧化锌3.0、植物油85.0；

蜂蜡2.0、安息香树胶5.0、无水羊毛脂5.0；

酒精88.0；

硅油20.0、蜂蜡10.0、凡士林45.0、硼酸1.0、水20.0、羊毛脂4.0、泥泊金乙0.04；

（2）防水及脂溶性刺激物，有机磷等脂溶性农药及苯等有机溶液等。

无水羊毛脂70.0、篦麻油30.0；

干酪素13.8、无水油精38.6、水38.6、碳酸钠2.1、甘油6.9；

（3）防油溶性刺激物（矿物油、生漆类）

肥皂30.0、羊毛脂30.0、磺化篦麻油30.0、硼酸5.0、滑石粉5.0；

白明胶24.0、水15.0、淀粉5.6、甘油72.0、碱性醋酸铝（3%）20.0；

（4）防粉末作用（适用于炸药、玻璃粉、铜粉、666粉等）

氧化锌5.0、氧化铁1.0、滑石粉5.0、安息香树脂2.0、鹿角菜2.0、水10.0、油精15.0、雪花膏60.0；

（5）防沥青油膏

氧化锌14.5、滑石粉11.5、大米淀粉6.4、明矾1.5、单宁2.9、动物胶2.9、水57.3；

马铃薯淀粉14.1、水43.6、白粘土10.1、滑石粉8.1、动物胶2.0、甘油12.6、凡士林

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

7.5、水扬酸0.3、乙酸1.7；

（6）防有机溶剂、清漆、树脂、胶类的膏膜

干酪素（一或二级）100、NH_4OH25%15ml、甘油100ml、乙醇96%283ml、蒸馏水283ml；

（7）防石墨粉、沥青、环氧树脂

硬脂酸甘油20、硬脂酸400、对羟基苯甲酸20、麻黄树0.01～2、三乙醇10、次硫酸铋200～250、对羟基苯甲酸20、水278～330；

11.4.2.2 皮肤保洁剂

保洁剂主要用于洗除皮肤表面的各种污染，特别是毒、尘接触作业人员，需要及时清理除去附着皮肤和工作服上的毒物。

1. 保洁剂的基本要求

保洁剂应易溶于水、能除去污物而不损伤皮肤，不含粗造刺激物质等。不要随便用溶剂（如汽油、苯类等）擦洗去污。

2. 几种专用保洁剂配方

（1）对普通肥皂过敏者或干燥者用

芳香烃基磺酸钠20.0、羊毛脂3.0、胶性粘土77.0；

中性磺化篦麻油93.0、纯篦麻油5.0、合成清洁剂2.0；

（2）除去油污用

磺化篦麻油20.0、羊毛脂4.0、白陶土（或胶粘土）76.0；

（3）清除机油、颜料、煤油用

中性肥皂25.0、白陶土55.0、麦皮20.0；

（4）TNT等硝基苯去除用

烷基苯磺酸钠（纯）10.0、三聚磷酸钠20.0、对甲苯磺酸钠2.0、聚醚PL68 1.0、聚脂PL64 1.0、皂基3.0、羧甲基纤维素2.0、水玻璃6.0、香料0.05、水54.95；

11.5 头部防护用品

11.5.1 安全帽

安全帽的功能是保护作业人员的头部，以消除或减缓坠落物、硬质物件的撞击、挤压伤害，是生产中广泛使用的个人安全用品。

11.5.1.1 安全帽的结构

安全帽主要由帽壳和帽衬组成，帽壳为圆弧形，帽与衬之间有25～50mm间隙，当物件接触帽壳时，载荷传递分布在帽壳的整个面积上，由头和帽顶之间的系统吸收能量，减轻冲击力对头部的作用，从而达到保护效果。安全帽外形如图11-11。



图 11-11

帽衬与帽顶的垂距，塑料帽衬必须大于25mm，棉织（化纤）衬必须大于30mm而小于50mm；衬与帽壳内侧面的水平间距应大于5mm而小于20mm；帽重应小于460g，特殊的（防寒）小于690g。

11.5.1.2 种类规格

有的国家分类细，我国现按照材质、结构用途进行分类。按结构分为大、中、小沿和卷沿或无沿帽，帽顶有加强筋；按材料有玻璃钢、聚碳酸脂、ABS塑料、聚乙烯塑料、金属、聚丙烯塑料、橡胶布、竹柳藤条、胶纸等品种；按用途有一般作业安全帽（如建筑等）、煤矿、高温、防寒、带电作业等用的特殊安全帽。

安全帽的要求按GB2811规定如下：

帽壳内径：长195～250mm；宽170～220mm；高120～150mm。

帽箍尺寸：1*61～66mm；2*57～60mm；3*51～56mm。

可根据头型选用。

11.5.1.3 技术要求

GB2811中规定：冲击吸收、耐穿透性能是各类安全帽的通用必备要求；此外还根据安全帽的使用场所、目的对一些专用性能提出了要求，如耐低温性能，耐高湿性能、耐燃烧性能、电绝缘性能、抗静电性能、侧向钢性等。

1. 冲击吸收性能

是指安全帽在试验条件下所受到的冲击力。将同批生产的样品（三顶）在50±2℃、－10±2℃（防寒帽在－20±2℃、煤矿井下安全帽为－5±2℃）、淋水条件下处理后，用5kg重钢从1M（矿用帽0.7M）自由落下冲击，传导到头膜上的力小于500kgf（4900N）。

2. 耐穿透性能

是指对帽壳强度的试验，使3kg的钢球自1M高处自由落下，以不接触头膜为合格。

3. 耐低温试验

于－10℃条件下的耐冲击吸收和耐穿透性能。

4. 耐燃烧性能

用喷灯火焰烧安全帽10 s后移开，应在5 s内自灭。

5. 电绝缘性能

于20kV电压条件下试验1 min，漏泄电流低于1.2mA。

6. 抗静电性能

在20±5℃、相对湿度45±5%的环境中，用高阻计测试，表面电阻低于$0.5\times10^{11}\Omega$。

7. 耐腐蚀热性能

用红外发生器以适当距离照射安全帽，温度为80℃，帽壳不得变形。

8. 侧向钢性

从安全帽两侧施加430N压力，最大变形低于40mm，卸后变形低于15mm。

11.5.1.4 选用和保养

必须选择符合国家标准要求的安全帽产品，根据不同的防护目的选用适宜的品种，了解各种安全帽的性能，掌握正确的使用、保养方法，以发挥其作用，做到有效、经济。

（1）使用前的检查

每次使用前要检查安全帽的质量，如有裂痕、碰伤和凸凹不平以及存在影响性能的各种缺陷，不能使用；已受过一次冲击的帽要报废；检查帽顶与衬之间的距离是否为25～50mm。

（2）使用时，帽要戴牢，戴正。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（3）不要随意在帽顶上开通气孔，不要随意碰摔安全帽，不要当坐垫使用，以免降低帽壳强度。

（4）安全帽应存放在无腐蚀、干燥的库房。

11.5.2 工 作 帽

工作帽主要是对头部进行保护，防止一般性物理因素伤害或其他事故，起一定程度的安全作用。

常用的工作帽主要是保护头发不受灰尘、油烟等的污染，还可以避免头发卷入运转中的机械造成事故；有的工作帽起遮光作用，带标记的长舌工作帽起安全示警作用。

11.5.3 送风防护头盔

（1）在一般电焊头盔（或面罩）的里面，于呼吸带部位固定一个送风带。送风带由轻金属或有机玻璃薄板制成，其上均匀密布着送风小孔，新鲜的压缩空气经净化处理后，由输气管送进送风带，经小孔喷出。

（2）设计防护头盔的原则是：保证供气量充分，噪声小，送风带拐角处应圆滑。送风小孔大小适宜，小孔直径宜采用直径为1—2mm；为保证送风带喷出之空气均匀密布，要求送风管一侧的小孔直径大于另一侧孔径。送风软管输气压力应为0.5—1kgf/cm²；在头盔的送风软管下端，应设有供气调节阀，可随意进行细调；冬季使用时，应对所供给的空气加温。

11.6 眼部、面部防护用品

眼面部防护用品包括眼镜（镜片和镜架）、眼罩（分密闭型和非密闭型）和面罩（罩壳和镜片）三类（面护目镜则是指用于眼观察的那一部分）。眼面部防护用品主要用以保护作业人员的眼面部，防止各种伤害，如紫外线、X射线、激光及异物等的伤害。

11.6.1 主要品种和性能

目前我国眼面防护用品有焊接用眼防护具、炉窑用眼防护具、防冲击眼护具、微波防护镜、激光防护镜、X射线防护镜、尘毒防护镜等。其中前三类已制订了国家标准。

11.6.1.1 焊接用眼防护具

主要用于防止焊接弧光中紫外线、红外线和强光对眼的伤害。品种有眼镜和面罩两类。

1. 焊接防护眼镜

从结构上分为普通型（可带有侧向防护罩）和前封式（可装在一般眼镜架上、或安全帽前沿上）。

镜片分为吸收式（在玻璃熔制过程中加入吸收紫外线的原料）和吸收—反射式（以普通镜片作为基片，再进行真空镀膜处理）。前者较经济，后者在使用中不易发热。

镜架，过去多采用硝酸纤维素板材，现已改用醋酸纤维，它具有强度大、美观、阻燃的特点。为防护电弧光侧漏进入眼部，有的在眼架两侧装上防护罩（有固定式和脱卸式二种），有的在防护罩上开透气孔。

2. 焊接防护面罩和镜片

焊接面罩分手持式、头戴式、面罩连安全帽式、头盔面罩连肩四种。除用红钢纸板制作

外，有的还用阻燃塑料等其他材料制作。

镜片为长方形，分为吸收式、吸收—反射二种。近期有的单位研制出液晶光敏镜片，可随电弧光强而改变色度，从而起到防护紫红外线和强光的作用。

3. 电焊面罩如图11-12，图11-13

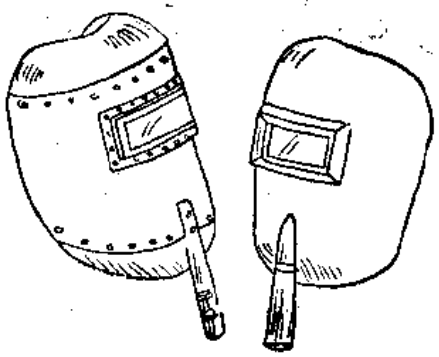


图 11-12 手持式电焊面罩

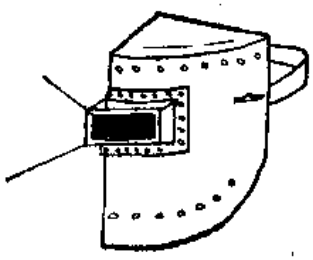


图 11-13 头戴式电焊面罩

焊接护目镜和面罩的性能要求

根据GB3609、1—83《焊接护目镜和面罩》有以下规定：

（1）质量要求

① 滤光片质量外观：平滑、着色均匀，无明显划痕、气泡等，距镜片边缘5mm至中心部位无上述缺陷。

耐热：置于67±2℃水中恒温3分钟放入4±1℃水中无异常。

强度：16克重钢球至0.6m自由下落冲击镜片中心三次无破损，如镜片为二层，冲击高度为1.2M。

光学性能：平行度在1/6棱度以下，屈光度在0.125D以下，颜色为混合色，透过率最大值的波长在500～620nm；遮光号按公式：$S=1+\frac{7}{3}\log\frac{1}{\tau}$（$S$为遮光号，$\tau$为可见光透过率）分号，共16个号。透过率规定了各遮光号片在紫外线（313nm、365nm），可见光（最大、最小）和红外线（780～1300nm近红外线和1300～2000nm中近红外线）的透过率，用%表示（其中210～313nm之间的透过率应小于313nm所允许的值；313～365nm之间透过率应小于365nm所允许的值；365～400nm之间的平均透过率低于可见光平均透过率允许值）；耐紫外线性，距450W高压氙灯200cm外，照射50h，其透过率及强度不变。

② 保护片质量。

透过率：可见光透过率大于89%。

平行度和外观：同滤光片。

③ 镜架。应有防腐蚀（10%氯化钠浸15分钟无蚀）和耐燃性（燃烧速度低于76mm/min）。

④ 面罩。应选用不导电材料生产，具有耐燃性、耐腐蚀性。

（2）规格及结构 对滤光片、保护片、镜架、面罩在规格尺寸、重量、厚度上给出了限值及连接牢度要求。

上述的有关数据参照GB3609、1—83；试验方法参照GB3609、2～3—83(非光学、光学

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

性能试验方法）。

11.6.1.2 **炉窑用眼防护具**

主要用于炼钢炉及其他炉窑作业中红外线和强光对眼的辐射伤害。品种分眼镜和面罩二类。

1. 炉窑防护眼镜

与焊接护目镜型式基本相同，其不同之点在于：炉窑眼镜主要防护是红外类可见光这一波段；镜架还增加耐高温性能。

2. 炉窑防护面罩

主要用反射性强、耐温性良好的材料如铝泊制成。以反射炉窑热体辐射，配以护目镜是用于观察，如炉内火焰温度，因此要求镜片在白炽灯下，能显示红色灯丝。

3. 炉窑护目镜和面罩的性能要求

根据GB4015—83《炉窑护目镜和面罩》规定：

（1）滤光片：颜色为暗混和色；遮光号按规定公式$S=1+\frac{7}{3}\log\frac{1}{\tau}$（式中$S$为遮光号，$\tau$为可见光透过率）划分；透过率、屈光度、平行度、强度、耐热性等符合一定要求。

其中重要指标遮光率规定了各号遮光片在可见光（最大和最小）和在红外线(780～1300nm、1300～2000nm）透光率（%），以及在313nm的最大透过率（小于0.1%），在210～313nm的透过率（小于在313nm时的允许值）。

滤光片的屈光度不大于0.125D、平行度小于1/6棱镜度。其他性能与焊接护目镜片大致相同。

（2）配件、镜架、面罩以及各种材料要符合相应要求。

上述详细数据见GB4015-83、试验方法同GB3609、2～3-82。

11.6.1.3 **防冲击眼护具**

主要用以防止异物对眼部的冲击伤害。

以往常用的一般眼镜（普通镜架配白托镜片）防护性能差，易碎不安全，现已制定了国家标准，并规定镜片必须用高强度镜片，如CR-39光学塑料或强化玻璃片。防冲击眼护具的各项指标应符合GB5890—86《防冲击眼护具》的要求，标准中侧重于对镜片、镜架的抗冲击性能及强度等项目作了规定，使之具有可靠的防护作用。防冲击眼镜如图11-14。

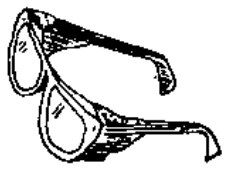


图 11-14 防冲击眼镜

11.6.1.4 **微波防护眼镜**

微波对眼部的危害日益严重，已引起人们注视。该类护品是在镜片上用高温喷涂导电金属膜，起屏蔽作用。

11.6.1.5 **激光防护镜**

用以防激光对眼的伤害。

由于激光器种类多，有连续波和脉冲波，有可见光和非可见光，功率大小不一，因此防护镜也应与之配套，以适应不同情况下的防护。目前我国品种少，价昂贵，推广困难。

11.6.2 眼防护具的选用

11.6.2.1 **种类和型号选择**

应根据伤害因素的性质选择眼防护具种类和型号。如焊接作业应选择焊接用眼护具、手

工电弧焊中要根据作业时接触弧光强度选用相应遮光号的滤光片，同时在作业中保护片一般只使用8小时。又如炉窑作业应选用炉窑用眼护具，并根据热源种类、温度等因素选择的滤光片等。

11.6.2.2 选用高质量眼护具

一定要选用符合标准或有专业技术部门进行质量检测监定认可的眼护具。

11.6.2.3 使用

使用者应了解产品性能，熟悉其使用方法，用后妥善保存。

11.6.2.4 滤光片选用

不宜选用单色滤光片，而应选用混色，如黄绿、褐色、暗绿色或灰色滤光片。

11.7 手部的防护用品

手的防护是指劳动者根据作业环境中的有害因素戴用特制手套，以防止各种手伤事故。

11.7.1 防护手套品种和性能

防护手套主要品种有：耐酸碱手套、电工绝缘手套、电焊工手套、防寒手套、耐油手套、防X射线手套、石棉手套等10余种。主要性能规格如下。

11.7.1.1 耐酸碱手套

常用的有橡胶耐酸碱手套、乳胶耐酸碱手套和塑料耐酸碱手套（包括浸塑手套）。一般应具有耐酸碱腐蚀、防酸碱渗透、耐老化、具有一定强力性能。用于手接触酸碱液的防护。

1. 橡胶耐酸碱手套

用耐酸碱橡胶模压硫化成型，分透明和不透明两种，应符合HG4-397—66《橡胶耐酸碱手套》中耐酸系数、耐碱系数、扯断强度、变形等规定指标。

2. 乳胶耐酸碱手套

用天然胶乳添加酸稳定剂浸模固化成型，带手型。应符合HG4-1455—82《工业手套》和HG4-1454—82《胶乳工业，手套耐酸碱试验方法》两项标准。

3. 塑料耐酸碱手套

用聚乙烯浸模成型，分纯塑料和针织布胎浸塑两种。

11.7.1.2 电工绝缘手套

分橡胶和乳胶两类。质量要求根据化工部HG4-403—66《橡胶绝缘手套》：标称电压10kV手套，在1kV以上的高压作业区，用作辅助安全用品；在1kV以下的作业区，用作基本安全防护用品。目前市场上还有一种试验电压为5kV的绝缘手套，1kV以下作为辅助安全防护用品，250V以下为基本安全防护用品。

11.7.1.3 电焊工手套

多采用猪（牛）绒面革制成，配以防火布长袖，用以防止弧光幅射和飞溅金属溶渣对手的伤害。

11.7.1.4 防寒手套

有棉、皮毛、化纤、电热等几类。外形分为连指、分指、长筒和短筒等几种。

除以上几种手套外，其它手套品种见表11-37。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 11-37

序号	品　　名	用　　途	标 准 级
1	防苯耐油手套	防苯等溶剂，汽油、机油等	企　　标
2	耐油手套	防汽油、柴油、油漆等	正在订国标
3	防静电手套	防爆、燃场所	企　　标
4	白帆布手套	防幅射热、高温、机械伤	企　　标
5	刮塑帆布手套	防严重摩擦	企　　标
6	防震手套	防机械震动	正在订国标
7	乳胶绒里手套	防水、保温	企　　标
8	石棉手套	防烧烫	企　　标
9	铝膜手套	防幅射热	企　　标
10	铅手套	防X、γ射线	企　　标
11	布手套	防机械伤	企　　标
12	皮手套	防机械伤（严重磨、刺等）	企　　标
13	涂塑（或胶）手套	防机械伤	企　　标
14	点塑手套	防机械伤（磨擦）	企　　标
15	乳胶工作手套	防脏物	企　　标
16	钢网手套	防手部刀伤	企　　标

11.7.2 防护手套的选用

对于有标准的，应选择符合标准的防护手套；对于尚未制订标准的，应根据防护要求到专业性的劳保商店，选购合适的防护手套。

11.8 足部的防护用品

足部防护用品指劳动者根据作业环境中的有害因素，为防止可能发生的足部伤害或其它事故。所穿用特制的靴（鞋）。

11.8.1 防护靴（鞋）品种及性能

11.8.1.1 分类

我国防护靴（鞋）主要有防静电鞋和导电鞋、绝缘鞋、防砸鞋、炼钢鞋、防酸碱鞋、防油鞋、防滑鞋、防刺穿鞋、防寒鞋，防水鞋等专用鞋。

11.8.1.2 主要品种及性能

1、防静电鞋和导电鞋

防静电鞋和导电鞋用于防止因人体带静电而可能引起事故的场所。其中，导电鞋只能用于电击危险性不大的场所。

防静电鞋和导电鞋的性能应符合GB4385-84《防静电胶底鞋、导电胶底鞋》的规定（表11-38）。

为保证消除人体静电的效果，鞋的底部不得粘有绝缘性杂质，且不宜穿高绝缘的袜子。

2. 绝缘鞋（靴）

绝缘鞋（靴）用于电气作业人员的保护，防止在一定电压范围内的触电事故。绝缘鞋只能作为辅助安全防护用品。

绝缘鞋（靴）基本性能见表11-39。

表 11-38 防静电鞋、导电鞋安全技术要求

品名	电性指标 (Ω)	机械性能			
		拉扯强度 (kgf/cm²)	伸长率 (%)	邵氏硬度 (度)	磨耗 (cm³/1.61km)
防静电鞋	$0.5\times10^5\sim0.5\times10^8$	119～134	237～304	70～78	0.16～0.24
导电鞋	$<1.5\times10^5$	119～134	237～304	70～78	0.16～0.24

注：电性指标按照GB4385—84《防静电胶底鞋、导电胶底鞋电阻值测量方法》。

机械性能要求良好，外观质量按HG4-402—75检查。

3. 防砸鞋

防砸鞋的主要功能是防坠落物砸伤脚部。鞋的前包头有抗冲击材料。革制防砸鞋应符合GB4014—83《皮安全鞋》规定（表11-40）；胶面防砸鞋符合GB7054—85规定。

表 11-39

品名	防电性能		
	试验电压 (交流kV)	持续时间 (min不击穿)	泄漏电流 (mA)
20kV 绝缘鞋（靴）	20	2	≤12
6kV 绝缘鞋	6	2	≤6
5kV 电工鞋	5	2	≤5

表 11-40 皮安全鞋及性能要求

种类	耐压力值 kgf	耐冲击性	
		重垂质量 (kg)	落下高度 (mm)
重作业用	1400	23	450
普通作业用	1100	23	300
轻作业用	450	23	120

4. 防酸碱鞋（靴）

防酸碱性用于地面有酸碱及其他腐蚀液、或有酸碱液飞溅的作业场所。防酸碱鞋（靴）的底和皮应有良好的耐酸碱性能和抗渗透性能。

ISO6110、6111对耐酸碱橡胶鞋和塑料鞋的性能规定见表11-41。

表 11-41

项目	H_2SO_4浓度 (3.7M)	HCl浓度 (6.0M)	NaOH浓度 (6.1M)	处理条件
抗强力下降(%)小于	15	15	15	23℃×72h
伸长率变化(%)小于	20	20	20	23℃×72h
硬度增加低于	10	10	10	23℃×72h

5. 防刺穿鞋

用于足底保护，防止被各种尖硬物件刺伤。在矿山、消防、建筑和林业等部门使用较多，目前市场供应的有防刺穿强度为400N和784N两种。这类鞋的耐折性、物理机械性能应良好。

6. 炼钢鞋

主要功能是防烧烫、刺割，应能承受一定静压力和耐一定温度、不易燃。国内有白帆布胎底鞋、油浸牛皮鞋等品种，这类鞋适用于冶炼、炉前、铸铁等2种。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

7. 防油鞋（靴）

用于地面积油或溅油的场所。国产主要品种有橡胶耐油靴（鞋）、塑料耐油靴（鞋）和耐油皮鞋。主要产品性能见表11-42。

表 11-42 橡胶耐油鞋性能参数

项目	指标	项目	指标	项目	指标
吸油量（%）	0.5	扯断伸长率（%）	528	蒸馏变形	无
扯断强度 (kgf/cm^2)	74	磨损 ($cm^3/1.61km$)	1.54	比重	1.93
定伸强力 (kgf/cm^2)	25	变形（%）	24	硬度（邵氏）	50

注：吸油量测试条件，于20～25℃，浸入汽油中24h。

8. 防寒鞋（靴）

防寒鞋（靴）用于低温作业人员的足部保护，以免受冻伤。防寒鞋（靴）分无热源式和带热源式两类。前者如棉鞋、皮毛鞋（靴）等，后者如热力鞋（靴），通常以燃料（如油、碳）、电热为热源。BL-85型热力防寒鞋由直热式发热器和皮靴组成，发热量为385 kcal/24h。

9. 防水鞋（靴）

防水鞋（靴）用于地面积水或溅水的作业场所。品种有工矿防水靴、盐滩靴、水产靴、插秧靴等。这类靴要求耐磨、防滑、防刺穿等，水产、盐滩靴的胶料还应耐盐浸蚀。

除上述外还有一些特殊的鞋盖配套使用，如帆布、石棉、铝膜材质的鞋盖。

11.8.2 防护靴（鞋）的选用与维护

根据工作环境的危害性质和危害程度选用质量可靠的防护鞋（靴）。防护鞋（靴）应有产品合格证和产品说明书。使用前应对照使用。条件阅读说明书。使用方法要正确。

特殊防护鞋（靴），用后应检查并保持清洁，存放于无污染干燥的地方。

11.9 防噪音用品

噪音防护主要是对听觉器官、头部和胸部的防护。通用的用品有耳塞、耳罩和头盔三大类。如长期在90ab（A）以上或短期在115ab（A）的环境中工作时，都应使用防护用品，以减轻对人的危害。

11.9.1 防噪音用品及性能

11.9.1.1 耳塞

1. 性能

耳塞是护耳器中结构简单、体积小、重量轻、携带使用方便。使用时直接插入耳道。只要正确使用，可以获得较好的声衰减效果，声衰减值一般为15～25ab(A)。国产PVC伞型耳塞、耳研6-11型、蘑菇耳塞的声衰减平均值在20ab(A)以上。有的还有利于语言传递。表11-43是两种耳塞的声衰减值。

常见的耳塞如图11-15。

表 11-43

频　　率	250	500	1	2	3	4	6	8	平　均
伞型耳塞　(89921) 部队	15	18	24	32	33	28	29	32	26
蘑菇耳塞　(北京82中)	18	19	24	32	31	29	23	26	25

2. 分类

按几何形状分为球形、圆柱形、蘑菇形、伞形、凸缘形五种。

按选用材料分为纤维棉、塑料、橡胶、复合材料四类。

另外还可按耳塞隔声性能分为低中高频全隔声、隔高频声、隔低频声；按制作方式分预模式、控制式。

有的耳塞分几个号。一般说隔高频声的，有利于噪声防护，但隔低频声稍差，有利于语言通讯。

11.9.1.2 耳罩

耳罩结构较为复杂，平均隔声值在20ab以上，有的A级隔声值达30db以上。对于高噪声和A声级在100db的高频噪声，应佩戴耳罩。见图11-16。

工业上用的防噪声耳罩由塑料壳、密封垫圈，内衬吸声材料和弓架四部分组成。只有当这四个部分都设计选材适当，才能获得较好的或理想的效果。

11.9.1.3 防噪声帽盔

防噪声帽盔是保护听觉和头部不受损伤的品种。有软式和硬式之分。外形见图 11-17。

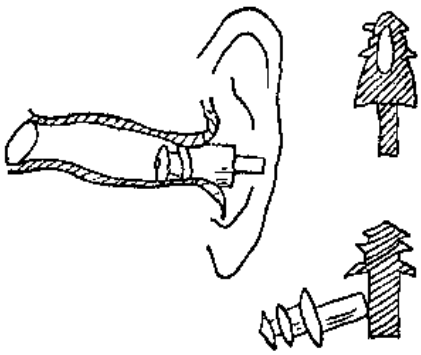


图 11-15　耳塞

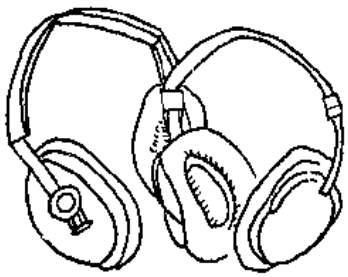


图 11-16　耳罩

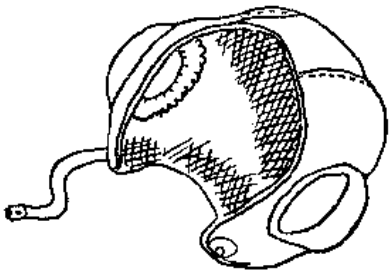


图 11-17　防噪声帽盔

1. 软式防噪声帽

由人造革帽和耳罩组成，耳罩固定在帽的两边，其优点是可以减少噪声通过颅骨传导引起的内耳损伤，对头部有防振和保护作用，隔声性与耳罩相同。

2. 硬式防噪声帽盔

由玻璃钢壳和内衬吸声材料组成，用泡沫橡胶垫使耳边密封。军用时可与通话耳机同时使用，只有在高噪声条件下，才将帽盔和耳塞连用。

11.9.2 护耳器测试及性能要求

护耳器防噪声的性能主要用声衰减（隔声值）表示，参照GB5893.3—86《护耳器主观

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

测量方法》测试。

耳塞的隔声值符合GB5893.1—86《护耳器—耳塞》规定（见表11-44）。

表 11-44 耳塞的声衰减量

种类	1/3 倍频带中心频率（Hz） dB			
	500	1000	2000	4000
低～高频隔声	>10	>15	>20	>25
只隔高频声	<10	<15	>20	>35

耳罩的隔声值符合GB5693.2—86《护耳器—耳罩》规定（见表11-45）。

表 11-45 耳罩的声衰减要求

1/3倍频带中心频率（Hz）	125	250	500	1000	2000	4000	8000
声衰减量（dB）	>8	>10	>18	>25	>25	>30	>30

此外耳罩弓架的夹紧力应大于10N。

11.9.3 防噪声用品的选用

根据噪声声级选用适宜的护耳器。总噪声级低于100dB时，采用耳塞；总噪声级在100～125dB时，还需佩戴耳罩；如超过125dB，则除采用耳塞外，还应佩戴防噪声头盔。

选用护耳器应注意：予模型耳塞分有不同型号，使用人员应根据自己耳道大小配用；防噪声帽也按大小分号，戴用人员应根据自己头型选用。

在使用护耳器时，一定要使之与耳道（耳塞类）耳壳外沿（耳塞类）密合、紧贴，方能起到好的防护效果。

11.10 安全带和安全网

11.10.1 安 全 带

安全带由带、绳、金属配件三部分组成。

人从高处往低处坠落，冲击距离越大，冲击力越大，冲击力为体重的5倍左右时不会危及生命，如在体重的10倍以上，可能使人致死。安全带就是以此为基本依据设计制造，起到防止坠落冲击伤害的。

11.10.1.1 性能与技术要求

安全带的性能必须符合GB6095—85规定的各项要求。

安全带各部件的强度必须能承受人体坠落时的冲击力，而且绳的长度应能在人体坠落到可以致伤的某一限度之前将其拉住。

1. 部件强度

安全带部件的破断强度用拉力机测试。符合表11-46。

2. 整体试验要求

安全带组装后的整体试验有两种：一是电工、电讯工安全带在450kgf静拉力试验条件下

表 11-46 安全带、绳、金属配件破断指标

名　　称	破断负荷 (N)	名　　称	破断负荷 (N)
腰　　带	14709	8 字 环	11767
护 腰 带	9806	攀登钩带	7845
护 胸 带	7845	腿　　带	5884
围 杆 绳		安 全 绳	14709
胸前连接带	5884	钎 子 环	5884
胯　　带	5884	品 字 环	11767
吊绳φ16mm	23534	围 杆 带	14709
圆　　环	11767	背　　带	9806
φ 13mm	14709	吊　　带	5884
φ16mm	23534	调 节 环	9806
安全勾（小）	11767	安全钩(大)	9806
自 锁 勾	9806	转 动 钩	11767
攀 登 勾	5884	腰带卡子	7845
三 角 环	11757	半 圆 环	11767

不破断为合格；另一种是不同绳长情况下的抗冲击试验，方法是将 100kg 的试验重物放在与安全带拴挂处于同一水平位置，让其自由坠落，以各配件不破断为合格。

3. 绳长要求

安全绳不宜过长。冲击负荷与绳长有关，并与绳的延伸性有关，由此而造成冲击力相差4～5倍。如采用棉纶绳，拴挂的冲距在 4 M以下，一般较安全；钢丝绳的伸延性较小，冲击力较大。

11.10.1.2 安全带品种和材料

1. 种类

按其功能和属性分类为围杆作业、悬挂作业、攀登作业三大类。如图11-18、图11-19、图11-20。

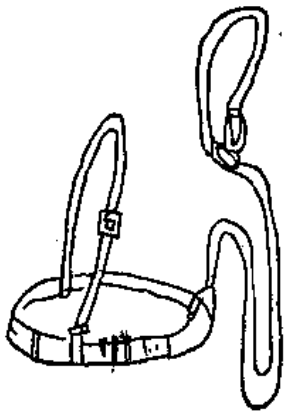


图 11-18 架子安全带

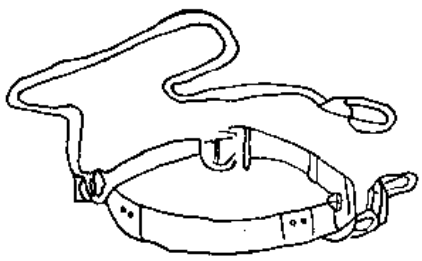


图 11-19 电讯工安全带

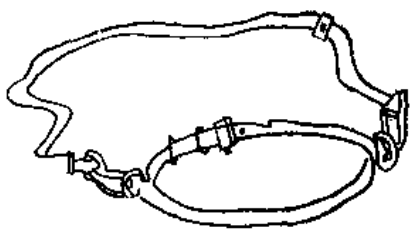


图 11-20 电工安全带

（1）围杆作业安全带　适用于电工、电讯工、等杆上作业。有 DW_1Y 电工围杆带单腰带式、DW_2F 电工围杆带防下脱式，T_1W_2Y 通用Ⅱ型围杆绳单腰带式，T_2W_2Y 通用Ⅱ型围杆绳单腰带式、D_2W_2Y 电讯工围杆绳单腰带式 5 种。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（2）悬挂作业安全带类　适用于建筑、造船、安装等作业，有以下几种：

① 单腰带式。分为J、X、Y架子工Ⅰ型、J_2XY架子工Ⅱ型、LXY铁路调车工用、D_XXY电讯工用、T_1XY通用Ⅰ型、T_2XS通用Ⅱ型6种。

② 双背带式。分为T_1XB通用Ⅰ型、T_2XB通用Ⅱ型、T_3XB通用Ⅲ型、T_4XB通用Ⅳ型4种。

（3）攀登安全带类　适用攀登高塔等高处作业，有T_1PH通用Ⅰ型攀登活动式，T_2PH通用Ⅱ型攀登活动式，TPG通用攀登固定式等几种。

2. 材料

要求一定强度，并应具有重量轻、耐磨、耐候性、耐腐蚀、吸湿率低的特点。

① 带绳材料　我国标准中提出要用锦纶、维纶、蚕丝带作为材料。国外也有用尼龙作为带绳材料。有的尼龙绳在接触锐角的情况下，有时出现破断。

② 金属配件　有钩、环、卡子、扣等，一般采用普通碳素钢和铝合金板冲制。

11.10.1.3　选用和保养

1. 选择

必须根据作业人员的用途选择符合标准的安全带产品。

2. 使用

（1）水平拴挂　系好腰带后，把绳的挂钩挂在和安全带同一水平处，人与挂钩保持差不多等于绳长的距离。如水平距离远，可接绳拴挂，这样当发生坠落时，人体受摆动冲击负荷较垂直情况小，但在摆动过程中要防止与其他物件相撞。

（2）高挂低用　安全绳挂高处，人在下面工作，可减少冲距，这是较安全的挂绳法。

（3）拴、挂安全带要牢固，以防脱落，绳不能打结，挂钩必须挂在金属圆环上，经受过冲击的绳应更换，不能继续使用。

3. 养护

经常检查安全带缝制件是否受潮或开线；检查金属配件是否生锈，要保证处于完好状态；保持安全带的清洁，应存放的干燥无腐蚀的库房中。

11.10.2　安　全　网

安全网由具有足够强度和耐候性良好的纤维织带编结而成，其作用是防止人、物坠落，或用来避免、减轻坠落物击伤的网具，是一种用途较广的防坠落伤害的用品。

11.10.2.1　安全网的结构及材料

安全网一般由网体、边绳、系绳、试验绳等组成，网体的网目为菱形或方形。分平网（P表示）和立网（L表示）两种。

我国安全网的材料，要求有良好的强度和耐老化性，一般采用锦纶和维纶，其他纤维材料未经试验不宜采用。

安全网的编结方法有三种：（1）有结网；②无结网；③拴赛尔网（经编网）。我国通常采用结网，耗材多，同时结节处强度有所下降；无结网性能较优，重量轻。

11.10.2.2　安全网的技术要求

GB5725～5726—85《安全网、安全网力学性能试验方法》标准，提出了如下性能要求。

1. 基本要求

（1）同一张网上应采用同一种材料；绳、线湿干强力比大于75%；网结必须固定。

（2）尺寸：平网宽大于 3m，在网高度大于 1.2m，网质量小于 18kg；网目边长小于 10cm。

（3）边绳和网体连结牢固，平网边绳断裂强力大于7354.5N；立网边绳断裂强力大于2941.8N。

（4）系绳：平网断裂强力大于7354.5N；立网断裂强力大于2941.8N。

（5）筋绳分布合理，相邻两根绳的距离不大于30cm，每根断裂强力大于2941.8N。

（6）安全网的冲击试验：承受质量100kg、底面积为2800cm的模拟人冲击后，网绳、边绳、系绳都不允许断裂（允许筋绳断裂）；冲击高度，平网为10m；立网为 2 m。

注：城建系统使用的网，经常用 80kg 的模拟人作冲击试验，冲击高度为 6 m、8 m（平网）。

2. 其他规定

平网应具有缓冲性能，按 GB5726—85 之 3 规定试验，当吸收 5883.6 J 能量时，网上最大负荷小于8825.4N，延伸小于1.5m。

11.10.2.3 选用

目前国内安全网生产厂多，基本上都是手工编织，在质量上存在差异；此外由于材料的来源及本身的不均匀性，都影响网的性能。因此要注意选用符合标准或具有专业技术部门检测认可的产品。

产品要避免与腐蚀性物质接触，一般应保存在干燥、清洁的库房。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

第 12 章　系统安全分析与评价

近年来国内外企业为了防止重大灾难性事故，普遍推广了现代安全管理方法，变事后处理为事先预防，其中一个重要的手段就是系统安全分析和评价，中心就是辨识和评价危险性问题。所谓危险性系指在各类生产活动中能造成人员伤亡和财物损失的潜在性原因，它会发展成为实际的危险即事故。安全工作的目的就是采取措施，使危险性发展成为事故的可能尽量减少。所以说这种评价也可以叫做危险性评价。可以把这个意义延伸到更广泛的领域如商业、投资、保险等活动。干一件事总会有遭受损失和失败的可能，承担一定的风险，为了评价风险的大小，所以也叫风险评价。

一般从两个方面比较确切地描述危险性的尺度，一个是危险性发展成为事故的频率（随机事件在一定时间发生次数的规律称为频率，稳定的频率值就是事件的发生概率，二者在数值上是相等的），即根据经验和统计，找出一定时间内危险性可能导致事故的次数；另一个是事故发生后造成的后果，即损失严重程度，也就是人员伤亡和财物损失的数值。二者的乘积就是危险率或称风险率，它可用下列公式定义：

$$\text{风险率} = \text{严重度} \times \text{频率}$$

$$= \frac{\text{损失额}}{\text{事故次数}} \times \frac{\text{事故次数}}{\text{单位时间}} = \frac{\text{损失额}}{\text{单位时间}}$$

为了评价的需要，必须引进量的概念，也就是说需要对危险性进行定性和定量，这样危险率或风险率就可以满足这方面的要求。所谓定性评价就是对生产活动中的危险性进行系统的、不遗漏的检查，根据其结果可以作出大致的评价。为便于管理，也可以按其重要程度作概略的分级。所谓定量，就是在定性的基础上，以统计方法得到的概率数据，如各种事故发生概率，设备零部件的故障率等，比较精确地计算出危险率或风险率，然后将这个数值和可接受的风险值（Residual Risk Value）进行比较，确定被评价的对象危险状况是否在允许范畴之内。

什么是可接受的风险值呢？世界上许多事情的发生，经过统计会得到一定的规律，例如人的自然死亡率是不可抗拒的自然规律（见表12-1）。这个规律是由人的机体固有特性以及生活环境、医疗保健等条件决定的。人们也承认各种寿命阶段存在这种规律。

表 12-1　各年龄组自然死亡概率

年龄组（岁）	死亡概率（10^{-4}人/年）
0～4	34.4
5～14	1.9
15～24	3.0
25～34	4.8
35～44	16.2
45～54	55
55～64	147.7
65～74	422.3
75～84	1073.0
85以上	2023.5

1974年美国统计年鉴。

任何生产系统都有一定的风险率，它与工作性质、环境和管理因素有关，也可采用自然死亡率的统计方法，利用长年积累的资料，得出为人们所能接受的事故发生概率。

例如美国人每人每年承担因使用小汽车发生死亡的概率为 2.5×10^{-4}/人·年，也就是说每人每年有0.00025的因车祸死亡的可能性。但美国人为了享受小汽车的便利，承认这样的

风险是可以接受的。

在工业上人们对各种风险率（以死亡/人·年表示）的看法如下：

10^{-3}数量级　操作危险性特别高，相当于人的自然死亡率，是不能接受的，必须立即采取措施予以改进；

10^{-4}数量级　操作系中等程度危险，应该采取改进措施；

10^{-5}数量级　和游泳淹死或煤气中毒的事故风险率属同一数量级，人们对此是关心的，也愿采取措施加以预防；

10^{-6}数量级　相当于地震和天灾的风险率，人们并不担心这类事故发生；

10^{-7}～10^{-8}数量级　相当于陨石坠落伤人，没有人愿为这种事故投资加以预防。

12.1　名词术语

（1）风险（Risk）指一定时间内造成人员伤亡和财物损失的可能性。任何一项活动都要承担一定的风险，但也可以采取措施降低或消除风险。

风险度、风险值、危险度、损失率等词用于风险评价时为同义词。

（2）风险评价（Risk Assessment）根据各种已知条件，对系统中的危险性进行辨识，并评价其发展成为事故的可能性（概率）和损失（财物损失或伤亡人数）得出风险值，再进一步将该值与可接受风险值进行比较，评价系统是否安全。

（3）安全评价（Safety Assessment）　以事故造成伤亡为目标的风险评价。

（4）可接受风险值（Acceptable Risk Value）　任何系统都有一定的风险值，经过定量评价计算出系统的风险率以后，把它和一个长期积累的、得到公众承认的可以接受的风险值数据进行比较，以确定系统的风险值是否合理，这个公认的数据就是可接受风险值。也称安全指标。

（5）剩余风险（Residual Risk）　经过风险评价后，把超过可接受的风险值进行控制消除措施，予以降低后剩余的风险值。

12.2　系统安全分析和评价

12.2.1　分析和评价步骤

分析和评价一般有五个步骤：

（1）辨识及发现新的危险性。

（2）进一步找出危险性导致事故的概率及事故后果的严重程度。

定性评价作到第二步便可结束，如需定量则可继续作下去。

（3）确定可接受的概率指标。一般取已有数据为依据。

（4）将计算出的危险率与可接受的指标比较，以确定系统的危险性水平

（5）对危险性高的系统找出主要危险性并进一步分析，寻求减低危险性的途径，将其控制在可接受的指标之内。

12.2.2　进行评价的方法

虽然评价可分为定性及定量法，但当前受到数据及时间和费用的限制，评价方法仍以定性为主，关键是辨识出危险性，因此评价所用方法也集中在这一点上。常用而有效的方法有

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

如下述：

1. 经验系统化方法

通过以往发生过的各种事故可以总结出系统化的经验，根据这些经验对评价对象进行检查，即可把危险性辨识出来，比如：

（1）安全检查表法　将评价对象分为子系统，如厂区选址、公用工程、工艺流程、设备布置、安全装置、工卫措施、人机工程、消防设施等、利用过去经验，找出危险性所在并附以有关规范的要求，按顺序编制成表，可在设计及生产中系统检查时使用。经过历年修订过的检查表是经验的总结，是非常宝贵的技术资料。

（2）预先危险性分析法（PHA）　也叫初步危险性分析，即在每一项工程活动之前，特别是在设计开始阶段，首先对系统中存在的危险性类别、出现条件、导致事故的后果，概略地进行分析，尽可能把潜在的危险性搞清楚，其目的是避免采用不安全的技术路线，危险性高的原材料、工艺和设备。如果必须使用时，也可以从设计及工艺上考虑安全措施，使这些危险性不致发展成为事故。

（3）道化学公司（Dow's Chemical Co.）　和蒙德法（ICI Mond）是根据工厂所用原料的一般物理化学性质，结合其具有的特殊危险性，再加上工艺处理时的一般和特殊危险性，以及容量重量方面的因素，换算成火灾爆炸指数或评出点数，然后按指数或点数分成危险等级。最后根据不同等级确定在建筑结构、消防设施、电气防爆、检测仪表、控制方法等方面的安全要求。该法也是利用过去数据经验，并将其间的关系与安全评价结合起来。日本劳动省公布的联合化学工厂六步骤安全评价法也属此类评价方法。

2. 系统解剖分析法

当生产系统或设备处于新开发的情况，对其危险性还没有足够的认识、或者在采用新的操作方法、接触新的危险物质、工具和设备时还没有经验，最好采用对系统解剖的方式，研究各个组成部分的作用及其在发生故障时对系统的影响。

故障类型和影响分析（FMEA）法就是采用系统解剖的方法。根据实际需要分析的水平，把系统分割成子系统或进一步分割成元件，然后逐个找出子系统或元件可能发生的故障和故障呈现的状态即故障类型。重点分析故障类型对子系统以至对整个系统产生的影响，最后提出应改进的措施。对其中特别严重的故障类型，可以拿出来进行详细分析，即所谓临界分析（CA）。前后两种分析方法结合起来，叫作故障类型影响临界分析FMECA。这种方法多用于机械制造、维修等行业。

危险性操作研究（HAZOP）是英国ICI公司创造出的方法。其含意就是“对危险性的严格检查”，其理论依据就是工艺流程的状态参数如温度、压力、流量等，一旦与设计规定的条件发生偏离，就会发生问题或出现危险。用这种方法对工艺过程进行全面考察，对其中每一阶段的工艺参数用规定好的关键词提问，提出会出现什么偏离，产生什么样的后果。用这种方法可以充分发挥专业人员的知识特长，包括安全技术人员以及生产、维修、仪表控制等专业人员，大家集思广益，尽可能找出工艺中的危险性。杜邦公司开发的“如果……怎么办”的方法同此法类似

3. 逻辑推导法

采用逻辑推理的过程辨识危险性。事件树（ETA）和事故树（FTA）就属于这类方法。事件树选定一个事件作为初始事件，按照逻辑推理方式推论其发展过程。在各个过程节点都有两个发展方向，即成功和失败。由初始事件不断推论下去，直至找出事件所有发展的可能

结果。这个方法可以把事件发展过程分析得很完善，使人们可以在各个阶段采取预防措施。事故树与事件树分析方法相反，它以一个事故结果作为顶端事件，通过分析找出直接原因作为中间事件。然后再找中间原因的直接原因。这样一步一步地推导下去，直到找到所有的事故致因基本事件。

原因—结果（CC）分析方法弥补了FTA和ETA不足之处，第一步是从初始事件作出事件树图，第二步是把事件树的初始事件和失败的阶段事件作为事故树的顶上事件，分别作出事故树图，第三步根据需要和取得的数据进行定性和定量的分析，最终得到整个系统的安全性评价。

逻辑分析法的特点是能够找到凭经验辨识不出的危险性及其组合。

4．人的失误（HE）分析法

根据统计资料，由于人的失误造成的事故占事故总数的75～90%。三浬岛和切尔诺贝利核电站放射性物质泄漏事故都是因人的失误造成的。

由于人受心理、素质、社会、家庭、环境等因素影响，造成工作中失误的原因很多。近年来对防止人的失误从三个方面来解决：一是硬件方面，即设计确保安全、本质安全、自动防止故障等安全设备，即使操作失误也不会发生事故，其次是从人机工程的原理来设计控制室和操作程序，尽量减少失误行为，第三是提高人的素质，采取科学的安全管理方法，使人自动地防止失误。安全性评价可以根据这几个方面的工作成效来进行。

综上所述，安全性评价的方法很多，各有其特点，不能仅用一种方法解决所有问题，但有一点应该提出，评价的中心是辨识出所有危险性，特别是主要危险性。

各种方法的简要内容和适用范围，列于表12-2。

表 12-2 系统安全分析和评价方法表

名 称	目 的	适用范围	编制和使用方法	资料准备	人力、时间	效 果
安全检查表	检查系统是否符合标准要求	从设计、建设一直到生产各个阶段	有经验和专业知识人员协同编制，经常使用	有关规范标准	最经济	定性，辨识危险性并使系统保持与标准规定一致，如采用检查项目赋值法可用于定量
定期或专业安全检查	辨识能造成重大损失的设备状态和操作方法	各种工厂及其设施	根据领导部门规定，按预定计划进行，可使用专业安全检查表。高危险性装置可1～2年进行一次	法规标准，设备说明书，流程图、操作规程，伤亡事故报告等	熟悉规程及专业的人员2～3人需时约一周	定性，可发现与规程不符合处及新危险性。
预先危险性分析	开发阶段，早期辨识出危险性，避免以后走弯路	开发时分析原料、主要装置，以及能量失控时出现的危险性	分析原料、装置等发生危险的可能性及后果，按规定表格填入	理化特性数据，危险性表，设备说明书	1～2个技术人员，时间需要随熟练程度而定	得出供设计考虑的危险性一览表
如果……怎么办	设想出危险性及其处理措施	研究、设计、建设、维修、操作的开发阶段或更新改造时	提出设想的问题，并可征现场询问操作者	工艺流程操作规程	2～3个专业人员组成小组进行，经济有效	定性、找出减低危险性的方法

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

名　称	目　的	适用范围	编制和使用方法	资料准备	人力、时间	效　果
危险性可操作研究	辨识静态和动态过程中危险性的方法	开发时对新技术尚无经验，此时辨识危险性特别适用	用关键字对工艺过程参数进行检验，分析可能出现的危险性并提出改进方法	工艺流程，仪表控制图及其它有关图纸及规程	分析一段流程或一个设备约需3小时，由专业人员组成小组进行	定性、并能发现新危险性
故障类型和影响分析重要度分析	辨识单个故障类型造成的事故后果	主要用于设备和机器故障的分析，也可用于连续生产工艺	将系统分解，求出零部件发生各种故障类型时，对系统或子系统产生的影响	系统、装置、设备表、说明书	熟悉设备故障类型者2～3人，每人每小时可分析2～4项	定性并可进一步定量，找出故障类型对系统的影响
事故树分析	找出事故发生的基本原因和基本原因组合	分析事故或设想事故	由顶上事件用逻辑推导逐步推出基本原因事件	有关生产工艺及设备性能资料，故障率数据	专业人员组成小组，一个小型单元需时一天	可定性及定量，能发现事先未估计到的原因事件
事件树分析	辨识初始事件发展成为事故的各种过程及后果	设计时找出适用的安全装置操作时发现设备故障及误操作将导致的事故	各事件发展阶段均有成功和失败的两种可能，由初始事件经过各事件、阶段一直分析出事件、发展的最后各种结果	有关初始事件和各种安全措施的知识	2～4人组成小组，分析小型单元几个初始事件需3～6天，大型复杂单元需2～4周	定性和定量，找出初始事件发展的各种结果，分析其严重性 可在各发展阶段采取措施使之朝成功方向发展
原因—结果分析	辨识事故的可能结果及其原因	设计、操作时	为事件树和事故树的综合使用技术	系统装置、设备说明，紧急处理程序及安全措施	2～4人组成小组，几个初始事件的分析可在2～6周内完成	定性及定量
危险度分级法（道氏、蒙德、日本劳动者六步骤法）	对工厂、车间、单元进行危险程度分级	设计时找出薄弱环节，生产时提供危险性信息	按规定方法求出火灾爆炸指数、毒性指标及各种附加系数、补偿系数，最后计算出危险度分级	理化特性数据，工艺流程，操作条件等	熟练的工艺技术人员每周可完成2～3单元/人	定性及定量，可定出工厂、车间、单元、危险度等级
人的因素分析	辨识可能的失误和原因及其影响	设计和操作时	观察操作者的失误行为，分析其可能产生的后果	操作法、控制盘布置及各种安全系统，如警报、标志、信号等	观察操作者的行为，一小时可完成一种工作 如进行多种操作的综合分析则需一周时间	定性，找出正常时或紧急时人的误操作类型以改进设备、控制盘等的人机工程特性

由于一些分析和评价方法在国内已推广多年，有很多的经验，如安全检查表法，定期或专业安全检查法，预先危险性分析法以及事故树的基础部分，为避免重复，本章不再介绍。

12.3 如果……怎么办（What…if）

1. 工作原理

通过提出一系列“如果……怎么办”的问题对某一生产工艺或操作过程进行系统的和彻底的检查，其内容可包括建筑物、动力系统、原材料、中间体和产品，仓库贮存、物料装卸、工厂环境以及操作方法、安全管理措施等。可以说凡是具有危险性的目标都可使用这个方法。

也可集中对一个问题进行检查，根据需要而定。例如需要评估一件事故的个人风险和社会风险。

使用“如果……怎么办”方法时，可以利用已有的检查表，或为进行此项工作事先编好的问题表进行逐项研究。

2. 工作程序

“如果……怎么办”分析包括下述程序及内容：

（1）确定分析目标　首先要考虑取得什么结果作为目标，如个人风险、社会风险、经济损失等。这些目标又可进一步加以限定范围，如结果会是何种事故。目标准定之后，就要确定分析那些系统，如物料系统、生产工艺等。

分析某一系统时应注意与其它系统的关系和相互作用，避免漏掉危险性。

（2）人员组成　进行这项分析应由专业人员2～3人组成小组。其成员要熟悉生产工艺、有评价危险性的经验并了解分析结果的意义，最好有现场班组长和工程技术人员参加。

（3）资料准备　所需资料如下表所示。

表 12-3 “如果……怎么办”所需资料表

Ⅰ. 工艺流程
1. 生产条件
工艺所用原料及其理化特性
物料平衡及热平衡
2. 设备说明书
Ⅱ. 工厂平面布置图
Ⅲ. 工艺流程及仪表控制和管路图
1. 控　制
连续监测装置
报警系统及功能
2. 仪　表
仪表控制图
监测方式
Ⅳ. 操作各项规定
1. 岗位职责
2. 通讯连络方式
3. 操作内容
预防性维修
动火作业规定
容器内作业规定
切断措施
应急措施

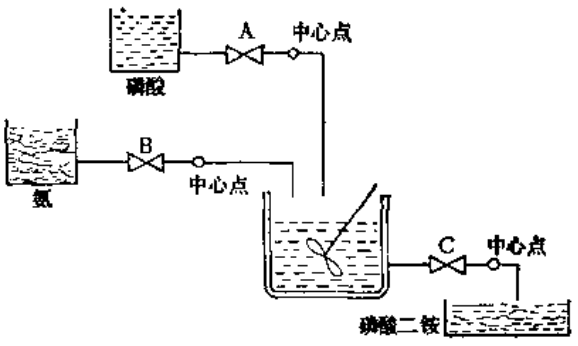


图 12-1　磷酸二铵生产工艺

表 12-4 “如果……怎么办”问题

1.进料不是磷酸而是其它物质怎么办?
2.磷酸的浓度不合格怎么办?
3.磷酸混入杂质怎么办?
4.A阀未打开或堵塞怎么办?
5.送入反应器的氨浓度太高怎么办?
6.容器的搅拌机发生故障停止转动怎么办?
7.C阀未打开怎么办?

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

（4）进行检查　可采取下列步骤：

小组首先要了解生产情况和工艺过程，包括原有的安全设备及措施，必要时还要向现场操作人员提问，然后准备好提出的问题。

其次按准备好的问题，从工艺进料开始，提出如果发生那种情况，操作人员应该怎么办？逐一得出正确的答案。一直进行到成品产出为止。小组每天工作4～6小时最为理想。

第三要将提出的问题及正确答案加以整理，汇总后报领导及有关部门采取措施。

（5）举例　图12-1为磷酸和氨生产磷酸二铵的连续生产工艺，如反应完全则得到无危险的磷酸二铵。如磷酸用量不足、反应不完全，过量氨逸出，会损害操作人员的健康。如氨量不足，虽不会产生危险性，但得不到合格的产品。

专业小组研究后，准备了如表12-4的问题。

专业小组对上表所提问题进行研究并与有关人员讨论，整理出如表12-5所示的内容。

表 12-5

如果……怎么办	结果/危险性	建　议　措　施
原料用错	无可能	
磷酸浓度不合格	氨过量排入作业区	操作前检验磷酸浓度
磷酸有杂质混入	无可能	
A阀未打开或堵塞	氨未反应，排入作业区内	设警报装置，从A阀流入反应器的流量小时，关闭B阀
进入反应器的氨过量	氨排入作业区内	设报警装置，当B阀流入反应器的流量大时，关闭B阀

12.4　危险性可操作研究（HAZOP）

HAZOP法是英国帝国化学工业公司（ICI）于1974年开发的，主要是在设计定型审查阶段，用它发现潜在的危险性和操作难点。由于这种方法能对变化动态过程中新出的危险性作出判断，所以在生产运行过程中也得到广泛的应用。

1. 工作原理

HAZOP的基本原理是全面考查分析对象，对每一细节提出问题，例如在工艺过程考查中，要了解每一阶段在生产运转中会出现哪些温度、压力、流量等参数和设计要求不一致，即所谓发生偏差。进一步研究出现偏差的原因，会产生什么后果，以及采取何种措施解决。

为了引导思路并使之处于一定范围，避免漫无边际的提问，因此提问时只用几个关键字，这几个字基本上能覆盖所有出现偏差的情况。

关键字的名称和含义列于表12-6。

表 12-6　关键字及其意义

关　键　字	意　　义	说　　明
NO 否	设计要求未出现	该处未发生设计规定的事件，如输液管线无液体流动
MORE 多	较设计规定要求增加	量的增加
LESS 少	较设计规定的减少了	量的减少
AS WELL AS 以及	质的变化	虽然可达到设计和生产要求，但质的方面有变化，如出现组成或相的变化
PART OF 部分	数量和质量的变化	仅能达到设计的部分要求
REVERSE 反向	出现与设计要求相反的情况	如发生逆流、逆反应等
OTHER THAN 其它	出现了另外不同的事件	发生了不同事件，不能达到设计和生产标准的要求

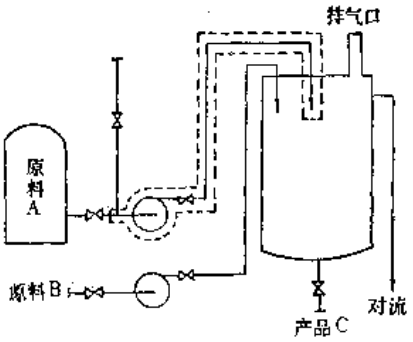


图 12-2 反应器原料供应系统

关键字主要起引导思路的作用，可以根据需要增删，但不能过多，否则就失掉意义。如讨论和时间、频率等有关情况，可使用MORE（多）或LESS（少），也可用SOONER（不久）或LATER（稍晚），如位置情况可用HIGHER（较高）或LOWER（较低）等。

为对表12-6的使用加以说明，特举一简单装置为例，如图12-2所示。

在图12-2的系统中，原料A和B经泵送入反应器，反应生成产品C，假定B的浓度大于A的浓度，就会发生爆炸性反应。在图12-2的流程中，取原料A的泵吸入口到反应器的入口一段进行HAZOP分析。这部分的设计是要按规定的流量输送原料A。

用关键字提问后，得出表12-7。

表 12-7

关键字	偏差	可能原因	对系统造成的影响
否	未按设计要求输送A	1.A贮罐是空的 2.泵故障 3.管断裂 4.阀门关	反应罐内B的浓度大会发生爆炸
多	输送了过量的A	1.泵流量过大 2.阀门开度过大 3.A贮罐的压力过高	1.反应罐内A量过剩，会对工艺造成影响 2.反应罐溢流可能引起事故
少	输送A量过少	1.阀门部分关闭 2.管线部分堵塞 3.泵性能下降	与"否"的情况相同
以及	输送A的同时，发生了一些另外的情况	1.从泵吸入口混入别的物质 2.从泵入口阀将A送到别处 3.管线和泵内发生相的变化	可能生成危险性混合物，发生火灾、静电或腐蚀等
部分	输送A量只达到设备要求的一部分	1.A的成分不足 2.送到其它反应罐去了	A的成分不足和对其它反应罐的影响都要进行评价
反向	A的输送方向变反	反应罐满了，压力上升，向管线和泵逆流	A向外泄漏，应了解其危险性
其它	A被送往别处	1.输送了与A不同的原料 2.A输往别的地方去了 3.管线中A凝固了	1.了解有无反应 2.了解别的地方可能发生的结果

2. 工作程序

进行HAZOP的最佳时机是设计方案完全定型的时候。这时对研究提出的问题可以得到有意义的答案，有可能对设计作出修改，而不会造成损失。当然在生产运转过程中使用HAZOP也会取得有效的结果。

（1）人员组成 HAZOP小组以5～6人组成为宜，应包括设计、工艺、仪表控制等专业技术人员，也可吸收现场操作和设备维修人员参加，安全技术人员一般都作为HAZOP小组的负责人。小组长要善于发动组员，深入思考，并有能力确定分析点，以及收集资料、制定

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

计划，准备记录表格，安排讨论会等工作。

（2）资料准备　由于HAZOP需要研究分析对象的每一细节，所以资料必须详细可靠。包括各种图纸如工艺流程图、工厂布置图、设备结构装配图、仪器仪表控制图、管线系统图等以及有关的手册和设备制造厂家提供的说明书。

（3）分析步骤　HAZOP小组按照制定的计划，一般都从工艺过程的起端开始，逐步从管线或设备等能发生参数偏差的部位分析下去，一直到工艺完成，其步骤如下。

① 选一个反应器；

② 说明反应器和附属管线的一般用途；

③ 选一条管线；

④ 说明管线的用途；

⑤ 使用第一个关键字；

⑥ 导出一个有含意的偏差；

⑦ 研究可能的原因；

⑧ 研究其结果；

⑨ 确定危险性；

⑩ 作出适当的记录；

⑪ 对第一个关键字所导出的偏差都用⑥～⑩的办法作一下；

⑫ 用所有的关键字由⑤～⑪作一下；

⑬ 对已经研究过的管线作出记号；

⑭ 对每一条管线都用③～⑬作一下；

⑮ 选一个附属设备（例如加热系统）；

⑯ 说明附属设备的用途；

⑰ 对附属设备从⑤～⑫作一下；

⑱ 对已经研究过的附属设备作出记号；

⑲ 对所有的附属设备用⑤到⑱作一下；

⑳ 说明反应器的用途；

㉑ 重复⑤～⑫；

㉒ 对已经研究过的反应器作出记号；

㉓ 对流程图上所有的反应器都重复①～⑫的步骤；

㉔ 对已研究过的流程图作出记号；

㉕ 对所有流程图重复①～㉔的步骤。

（4）各种偏差因素　下述造成偏差的因素可供分析时参考。

① 工艺管线

· 流量变化

A．高流量。泵控制不稳，受器反应罐无压力、抽吸，热交换器漏。

B．低流量。泵故障，反应罐入口管结垢、出现异构物或沉积物，抽吸力弱，空穴现象，热交换器漏，阀堵塞。

C．无流动。泵故障，受器反应罐超压，气体堵塞，出现异物、结垢、沉积。

D．反向流动。泵故障，泵装反，受器反应罐超压，冲击，反虹吸。

以上原因可能由于自动控制失灵，人员操作错误或接口、管线、阀门、汽水分离阀，爆

破板，泄放阀等发生故障。

· 物理条件变化

A．高低压或高低温度。沸腾，空穴，结冰，化学分解，闪蒸，凝结，沉淀，结垢，泡沫，气体泄漏，爆炸，爆聚，粘度和密度变化，气象条件。

B．静电。

· 化学条件变化

A．浓度高低。混合物、水或溶剂中比例变化。

B．污染物。从高压系统、热交换器的泄漏进入空气、水、蒸汽、燃料、润滑油、腐蚀性物质，工艺中其它物料，气体夹带、喷射，雾等。

· 开停车条件

A．试验。有害物料的压力或真空试验。

B．开车。反应物、中间体的浓度。

C．维修。吹扫、通风、消毒、干燥、加温，零备件。

· 管线

登记和标志。

② 反应罐。反应罐内部变化。

A．反应。泡沫，副反应，剧烈失控反应，空穴，放热，吸热，浓缩，触媒反应。

B．混合。搅拌器故障，涡流，起层，腐蚀。

C．液位。泛流，压力突增，腐蚀，结垢。

③ 工序。排出废料的相容性，在下水道，排水管，阴沟，集合槽，各种废水洗涤水连接处，汽水分离器，排气管，烟囱火距等处能否发生化学反应。

④ 紧急处理

能源、空气、蒸气、氮气、水、燃料、抽真空和排气故障。

全部或局部发生故障或综合性故障。

装置和仪表盘的照明，报警装置的能源，局部或一般故障时的控制动作。

⑤ 非计划停车。停车手续和通讯系统，与其它装置或工段的联系等。

（5）资料整理　小组分析完毕后要进行讨论，找出发生偏差的原因及可能的危险后果，如职工伤亡及财物损失，个人风险或社会风险，对环境的影响等。讨论时可吸收项目工程师或设备制造工程师参加。每次会议不可过长，最好不超过3小时。凡是经过分析的项目都要标上记号。

资料整理中应及时地把结果填入规定的表格中，提供设计人员修改设计或供领导人参考。

（6）举例　兹举一个二聚烯烃化工流程的例子如图12-3，经分馏得到的烯烃/烷烃馏分，由中间罐用泵经过约0.7kM的管道送往缓冲器/沉降槽。在此槽中将其中所含少量水分分离，然后经过进料/成品热交换器，再经预热器加热到反应温度送入反应器。由于水会造成逆反应，故需不断地从沉降槽把水排掉。进料在反应部分的停留时间必须严格掌握，以保证烷烃能获得适当的转化并避免生成聚合物。对二聚烯烃单元运转危险性分析列于表12-8、表12-9中。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 12-8 二聚烯烃单元运转危险性分析

由中间贮罐到缓冲器沉降槽的管线

关键字	偏差	可能原因	结果	修正措施
否	无物料流动	(1) 中间贮罐无原料	反应缺原料，产量下降 无物料情况下，热交换器中生成聚合物	(a) 和中间贮罐操作人员保持良好联系 (b) 在沉降槽LIC上装低液位报警器
		(2) J1泵失效（电动机故障不转，叶轮腐蚀掉等	同(1)	同(b)
		(3) 管道堵塞，错关切断阀或LCV关上开不开	同(1)	同(b)
			J1泵过热	(c) 在J1泵上装返回线 (d) 查泵J1泵过滤器设计
		(4) 管道破裂	同(1)	同(b)
			烯烃撒漏在邻近公路上	(e) 巡查输送管线
多	物料流量过多	(5) LCV打开关不上或错开LCV旁路	沉降槽溢流	(f) 在LIC上装高液位报警器检查泄放阀尺寸对泄放液体是否足够 (g) LCV旁路不用时，应有锁紧装置
			沉降槽内水分离不完全，给反应部分带来问题	(h) 将J2泵吸入口提高到离槽底30cm处
	压力过高	(6) J1泵在运转时错关了切断阀或LCV	输送管线承受泵的全部压力或冲击	(i) 除返回线堵塞或切断外与(c)同 (j) 校核管线、流量和法兰额定值，如有必要，降低LCV动作速度，在上位装一个压力表，在沉降槽上也单装一个压力表
		(7) 由于火灾或日照，切断阀部分热膨胀	管道破裂或法兰漏	(k) 在阀门部分安装热膨胀泄放装置（泄放线另定）
	温度过高	(8) 中间贮罐温度高	输送管线及沉降槽压力增高	(l) 中间贮罐如无高温报警器应安装一只
少	物料流量不足	(9) 法兰漏或接阀门的短管未封好，因而泄漏	物料泄漏在附近的公路上	与(e)同，校核方法和(j)同
	温度过低	(10) 冬季	集水槽和排水管线冻结	(m) 水槽和排水阀之间保温并用蒸汽伴管
部分		(11) 中间贮罐水位高	集水槽迅速流满，进入反应段的水增多	(n) 从中间贮罐经常放水 (o) 在集水槽上装高液位报警器
	物料中低级烃含量高	(12) 中间贮罐上位蒸馏若受干扰	系统压力较高	(p) 在挥发性更大的烃类出现下，校核沉降槽、管线及泄放阀尺寸是否合适
多余	有机酸	(13) 与(12)同	槽底，水槽及排水管过快腐蚀	(q) 校核结构材料是否适用
其它	维修	(14) 设备失效，法兰漏等	管线不能全部排清或吹净	(r) LCV上位安装低排水管和氮气吹洗点沉降槽上装氮气排出口

表 12-9 二聚烯烃单元运转危险性分析

由缓冲器/沉降槽到反应器进料/成品热交换器的管线

关键字	偏差	可能原因	结果	修正措施
否	无物料流动	(1) 沉降槽中无原料	反应器无进料产量下降，在没有物料流动的情况下，热交换器内生成聚合物	(a) 在沉降槽上安装低液位报警器
		(2) J2泵失效（电动机不转，叶轮腐蚀脱落等	和(1)同，见下述“反向”栏及其结果	(b) 在反应器进料FRC上装低流量报警器
		(3) 主管道堵塞，输送管线上的切断阀错关，LCV开不开	和(1)同	同(b)
			返回线或ROP堵塞或返回线切断则J2泵过热	(c) 校核J2泵过滤器设计是否合适 (d) 保证返回线上的切断阀及邻近反应器主管道上的切断阀及FCV是开着的 (e) 仪表空气失效时，进料FRC留在原位不动（与反应器控制系统的匹配以后要分析）
			管线承受泵的全部压力	(f) 校核管道及法兰额定值是否能承受J2泵的最大压力
		(4) 热交换器堵塞（反应器进料侧）	与(1)和(3)同	(g) 与(b)，(c)，(f)同 重新安排使进料通过热交换器内管，成品通过热交换器外壳，这样会便于清洗（在热表面上进料较成品更易聚合，管子比壳体侧更易清洗） 重新安排的热交换器进料侧要虑是否需装泄放阀（以后再考虑成品侧是否需要） (h) 在热交换器上、下位装压力表，发生堵塞时会发出警报 (i) 考虑在热交换器进料侧和成品侧装旁路（不用时锁住）
		(5) 管道破裂	同(1)	(j) 同(b)和(f)
			烃泄漏在装置区域	(k) 部分与(f)同，但校核装置布置及下水道的火灾危险性
多	反方	(6) 运转中的J2泵失效	热物料由泵返回管道，或经J2泵（如逆止阀也失效了）突然由高压区回流沉降槽	(l) 反应器进料控制阀下位顺序装两个逆止阀（只装一个可靠性不够）。逆止阀应为不同形式，以防意外失效 (m) 保证沉降槽上的泄放阀适应高压部分来的最大回流量。考虑在槽上装两个泄放阀 (n) 所有安全防护部分如泄放阀，逆止阀，产量记录器等都要定期进行测试
	物料流量过多	(7) 反应器进料FCV关不上或容易开错开了FCV副线	反应部分烯烃转化不够(停留时间过短)造成产率低并给以后部分带来难题	(p) 在反应器进料FRC上装物料流量过多报警器 (q) FCV副线不用时要有锁紧装置
	压力过大或温度过高	(8) 管道或热交换器堵塞 切断阀或FCV关闭反应器温度过高或车间局部着火	管道破裂，物料泄漏，产量下降，装置有着火的可能性	(r) 与(f)、(k)同 考虑按(5)中反应器进料侧装泄放阀 考虑装遥控设备按最高温度/压力校核热交换器壳体设计

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

关键字	偏　差	可能原因	结　果	修正措施
少	物料流量不足	(9) 法兰，阀短管封头不严 J2泵密封泄漏	物料泄漏可能着火	(s) 和(f)，(k)相同，但须将高压部分的法兰数减至最少，并在所有的阀短管头加装固定堵头。 (t) 校核J2泵密封设计并考虑加装蒸气或水冷
		(10) 热交换器管子有孔洞	进料污染反应后的成品，使化学成分下降并影响后部	(u) 在热交换器上、下位的成品管线上设取样点
	压力不足	(11) J2泵效率下降	反应器进料速度下降，产量下降	(v) 校核23.4kg/cm²表压时J2泵的设计是否和反应器控制系统匹配
	温度过低	(11) 热交换器堵塞，造成热交换效率下降	反应器内预热器热负荷增大，反应器后冷却器冷却要求增大	(w) 在热交换器进出口装热电偶，以便定期检查其功能
部分	反应器进料中水含量高	(13) 缓冲器沉降槽中水分离不好	反应器转化率及效率下降	在沉降器集水槽上装高液位报警器
	反应器进料中低级烃类含量多	(14) 中间贮罐上位蒸馏塔出故障	系统压力高	(x) 校核热交换器及其管线以及泄放阀的尺寸设计是否能应付异发性更大的烃类突然进入
	热交换器内生成聚合物	(15) 反应部分进料速度低	热交换器堵塞加剧，反应效率及产量下降	(Y) 和(b)同 但应在热交换器下位反应器进料管道上装取样点，以定期检查聚合物生成情况（该取样点也可用于一般分析如悬浮水的检查，见(B)
其它	维修或检查	(16) 缓冲器沉降槽或其他管线泄漏或堵塞，按规定对槽进行检查	进行维修或检查时，必须将所有管线隔离完善(如加盲板)否则不能进槽检查	(z) 缓冲器沉降槽的氮气进出口应加装金属铭牌考虑加动力排空装置，在维修之前将槽内存物排空

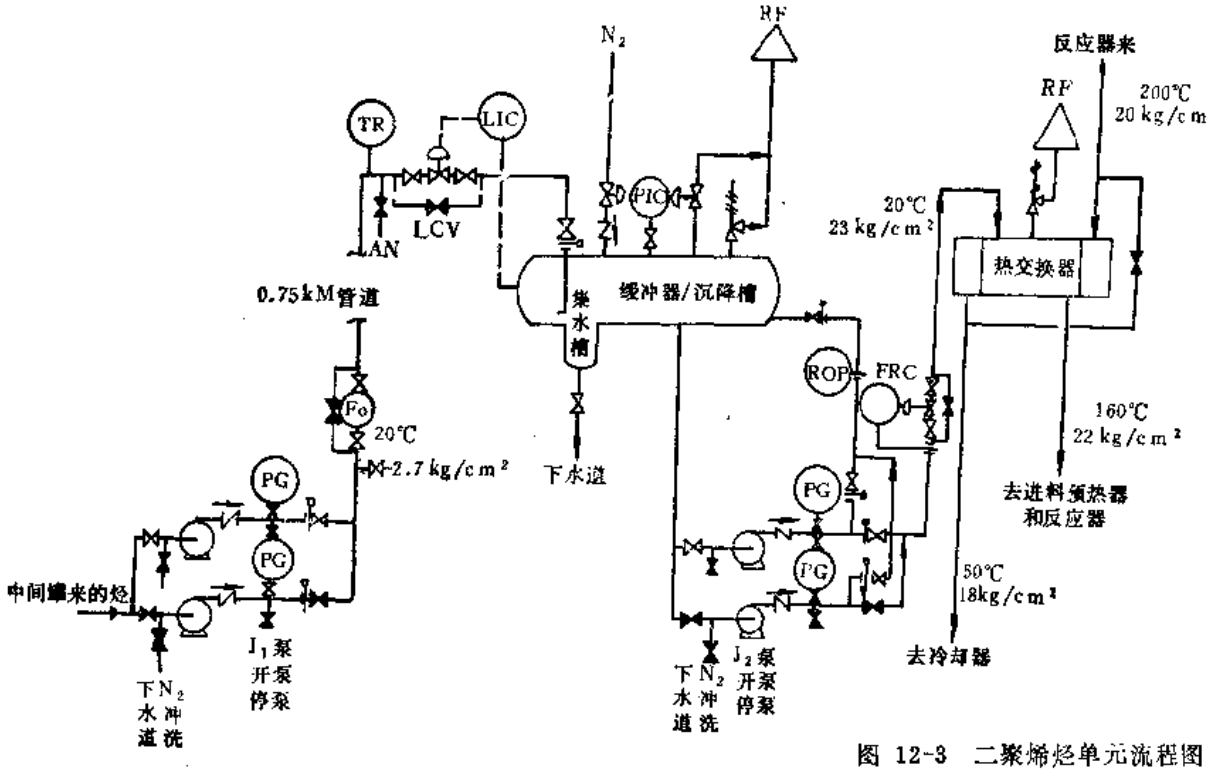


图 12-3　二聚烯烃单元流程图

12.5 故障类型和影响分析、致命度分析

12.5.1 故障类型和影响分析

故障类型和影响分析，简称FMEA。它采取系统分割的概念，根据实际需要分析的水平，把系统分割成子系统或进一步分割成元件。然后逐个分析元件可能发生的故障和故障类型（故障呈现的状态），再分析故障类型对子系统以及整个系统产生的影响，最后采取措施加以解决。

这种方法基本上能够查明元件发生各种故障时带来的危险性，所以是比较周密和完善的方法，可用于定性及定量。

在分析了系统之后，对其中产生影响很大的故障类型，则可挑出来进行详细分析，这种方法叫作重要度分析，和FMEA结合起来使用时，叫作故障类型影响重要度分析，即FMECA。

1. 工作原理

（1）故障和故障类型　故障就是元件、子系统、系统在运行时不能达到设计规定的功能要求，因而完不成规定的任务或完成得不好。并不是所有故障都会造成对系统的影响，而是其中有一些故障会影响系统完不成任务或造成事故损失。

所谓元件，一般包括下列各项。

① 功能件。由几个到成百个零部件组成，具有独立的功能，如齿轮箱、离合器等。

② 组件。由两个以上的零部件组成，在子系统中保持特定的性能，如机架、轴承等。

③ 零件。不能进一步分割的单个部件，具有设计规定的性能。如轴、齿轮、螺栓等。

所谓故障类型，系指元件发生故障时，其呈现的类型可能不止一种，例如一个阀门发生故障，至少可能有内部泄漏、外部泄漏、打不开、关不紧等四种类型，它们都会对子系统甚至系统产生不同程度的影响。

为便于参考，提出常见的故障类型有①构造方面的故障；②物理性咬紧；③振动；④不能定位（停留在固定位置）；⑤不能打开；⑥不能关闭；⑦打开时故障；⑧关闭时故障（堵塞）；⑨内部泄漏；⑩外部泄漏；⑪高于允许偏差；⑫低于允许偏差；⑬反向动作；⑭间歇动作；⑮误操作；⑯误指示；⑰流动偏向一侧；⑱传动不良；⑲停不下来；⑳不能启动；㉑不能切换；㉒过早地启动；㉓动作滞后；㉔输入力量过大；㉕输入力量过小；㉖输出力量过大；㉗输出力量过小；㉘无输入；㉙电路短路；㉚电路开路；㉛漏电；㉜其它。

表 12-10　故障类型分级表

故障等级	影响程度	可能造成的危害或损失
Ⅰ级	致命性	可能造成死亡或系统损失
Ⅱ级	严重	可能造成严重伤害或主系统损坏
Ⅲ级	临界	可能造成轻伤或次要系统损坏
Ⅳ级	安全	不会造成人和系统受损

（2）故障类型分级　由于各种故障类型所引起的子系统或系统障碍有很大的不同，因而在处理措施方面也应分别轻重缓急，区别对待，为此必须对故障类型进行等级划分，以便在采取措施上进行决策。

故障类型的等级一般都分为四级，如表12-10所示。

（3）故障率　所谓故障率就是单位时间（或周期）内故障发生的次数。有了故障率数据就可以计算事件或系统的故障概率。

各种故障率数据如图12-4，表12-11，12-12，12-13所示。

（4）可靠性框图　为了说明子系统间功能的传输情况，可用可靠性框图表示系统状

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 12-11 各类机器设备和装置的故障率

项　目（一次性灾害）	故障率	项　目（一次性灾害）	故障率
一、容器类		2. 2次控制系统故障	10^{-2}
因可燃性气体漏泄造成重大事故		3. 1次停止系统和警报故障	10^{-1}
（引燃导致火灾、爆炸）		4. 2次停止系统和警报故障	10^{-2}
（一）法兰盘、焊接部分		5. 安全阀（规范操作，每年检查一次）	10^{-3}
1. 机器设备振动大	10^{-5}	6. 安全阀（频繁操作）	10^{-1}
2. 机器设备有振动	10^{-6}	7. 防爆膜	10^{-3}
3. 机器设备无振动	10^{-7}	五、装置灾害	
（二）螺纹接口部分		1. 没有明显引燃火源，防爆设备附近漏泄大量液化石油气或类似气体引燃	10^{-1}
1. 机器设备振动大	10^{-2}	2. 在同上范围内，闪点低于45℃的油和超过闪点的过热油引燃	10^{-1}
2. 机器设备有振动	10^{-3}	3. 在同上范围内，闪点为15～95℃的油引燃	10^{-2}
3. 机器设备无振动	10^{-4}	4. 在同上范围内，闪点高于95℃的油引燃	10^{-4}
（三）有可能腐蚀、磨损的部分		5. 在产生静电和明火的范围内分别为上述的10倍	
1. 机器设备振动大	10^{-1}		
2. 机器设备有振动	10^{-2}		
3. 机器设备无振动	10^{-3}		
（四）轴封（泵、搅拌机）		六、装置的输入故障（动力原因为主）	
可燃性气体少许漏泄（存在引燃火源时，引起着火）		（一）电　力	
1. 轴封（泵、搅拌机）	10^{-3}	1. 暂时停电	10^{-3}
2. 其他，重大事故时为1的10倍	10^{-2}	2. 停电8小时以内	10^{-4}
二、机械设备		3. 停电8小时以上	10^{-6}
1. 修理需10天以上的	10^{-5}	（二）工业用水	
2. 修理需要1天的	10^{-2}	1. 短时间	10^{-3}
3. 修理需要4小时的	10^{-1}	2. 长时间	10^{-5}
三、电气设备		（三）气体燃料	
1. 要求停电4h以下的配电电器部件	10^{-2}	1. 短时间	10^{-4}
2. 主配电变压器	10^{-6}	2. 长时间	10^{-5}
3. 19kW以上的电动机（修理要36小时）	10^{-3}	（四）蒸　汽	
4. 4～19kW的电动机（修理要24小时）	10^{-3}	1. 短时间	10^{-3}
5. 4kW以下的电动机（修理要4小时）	10^{-2}	2. 长时间	10^{-4}
6. 0.8kW的电动机（修理要2～4小时）	10^{-1}	七、压缩空气	
四、计量设备有关部分		1. 瞬　间	10^{-3}
1. 1次控制系统故障	10^{-1}	2. 短时间	10^{-4}
		3. 长时间	10^{-5}

表 12-12 零部件故障率举例

部件名称	基本故障率（故障次数/10^6h）			部件名称	基本故障率（故障次数/10^6h）		
	下　限	平均值	上　限		下　限	平均值	上　限
传动装置	0.104	5.1	36.6	滚动轴承（重负荷）	0.072	1.80	3.53
大　型	0.6	3.3	18.5	滚动轴承（轻负荷）	0.035	0.875	1.72
小　型	0.17	1.8	9.6	轴　瓦	0.02	0.046	0.08
传动带	—	3.6	—	凸　轮	0.001	0.002	0.004
离合器	0.04	0.06	1.1	钢丝绳	0.002	0.475	2.20
滑差式	0.07	0.3	0.94	计量仪表	0.135	1.3	15.0
电磁式	0.24	0.6	0.93	压　力	0.135	4.0	7.8
制动器（装配式）	0.91	2.1	8.38	油压压力	—	1.123	—
轴　承	0.02	0.5	5.3	空气压力	—	1.123	—
滚动轴承（普通级）	0.02	0.65	2.32				

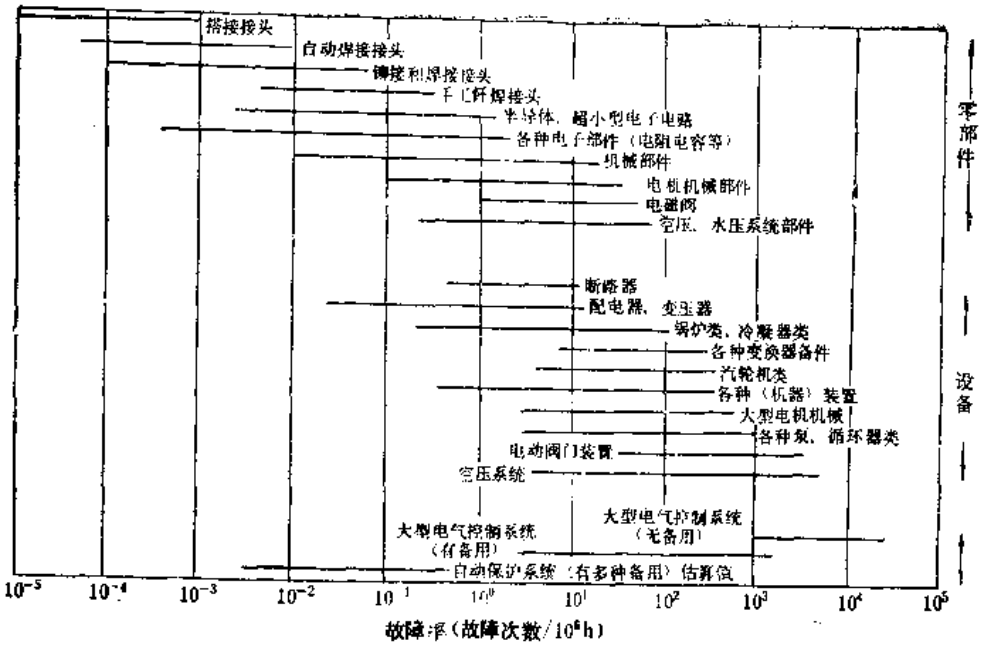


图 12-4 各种故障率的数据

表 12-13 故障率的经验数据

项目	每小时事件数（λ）		项目	每小时事件数（λ）	
	观测值	建议值		观测值	建议值
机械杠杆、链条和托架等	$10^{-6}\sim10^{-9}$	10^{-6}	继电器、开关等	$10^{-4}\sim10^{-7}$	10^{-5}
电容、电阻和线圈等	$10^{-6}\sim10^{-9}$	10^{-7}	断路器（自动故障保护）	$10^{-5}\sim10^{-8}$	10^{-5}
晶体管、半导体	$10^{-6}\sim10^{-9}$	10^{-6}	配电变压器	$10^{-5}\sim10^{-8}$	10^{-6}
电气连接			气动马达控制阀	$10^{-5}\sim10^{-6}$	10^{-4}
焊　接	$10^{-7}\sim10^{-8}$	10^{-8}	安全阀（自动故障保护）		10^{-6}
螺　接	$10^{-4}\sim10^{-8}$	10^{-5}	安全阀（每当过压时）		10^{-4}
电子管	$10^{-4}\sim10^{-8}$	10^{-5}	仪器传感器	$10^{-4}\sim10^{-7}$	10^{-5}
热电偶		10^{-6}	仪器指示器、记录器、控制器等		
三角皮带	$10^{-4}\sim10^{-6}$	10^{-4}	气　动	$10^{-3}\sim10^{-5}$	10^{-4}
摩擦制动器	$10^{-4}\sim10^{-6}$	10^{-4}	电　动	$10^{-4}\sim10^{-6}$	10^{-5}
管　道			人对重复刺激响应的失误	$10^{-2}\sim10^{-3}$	10^{-3}
焊缝断开	—	10^{-9}	离心泵、空压机、循环系统	$10^{-3}\sim10^{-6}$	10^{-4}
法兰连接处裂口	—	10^{-7}	汽轮机	$10^{-3}\sim10^{-6}$	10^{-4}
螺口连接破裂	—	10^{-6}	电动机和发电机	$10^{-3}\sim10^{-6}$	10^{-4}
胀接破裂	—	10^{-5}	往复泵和配量泵	$10^{-3}\sim10^{-5}$	10^{-3}
冷标准容器破裂	—	10^{-9}	内燃机（汽油机）	$10^{-3}\sim10^{-4}$	10^{-3}
电磁阀等	$10^{-4}\sim10^{-7}$	10^{-5}	内燃机（柴油机）	$10^{-3}\sim10^{-5}$	10^{-4}

况，如图12-5所示。从图中可以看出系统、子系统和元件之间的层次关系。

可靠性框图和工艺流程图不同，它只是表示系统与子系统之间的输入输出情况，而且对影响较大的子系统进行深入分析，对问题不大的项目则可忽略。

（5）制表 FMEA的项目很多，必须填入规定表格以便于查阅贮存，兹列出几种表格（表12-14）以供参考。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 12-14 故障类型影响分析表格

（之一）

系 统_____
子系统_____
组 件_____

故障类型影响分析

日 期_____
制 表_____
主 管_____
审 核_____

分析项目				功能	故障类型及造成原因	任务阶段	故障影响			故障检测方法	改正处理所需时间	故障等级	修改
名称	项目号	图纸号	框图号				组件	子系统	系统（任务）				

（之二）

系 统_____
子系统_____

故障类型影响分析

日 期_____
制 表_____
主 管_____

框图号	子系统项目	故障类型	推断原因	对子系统影响	对系统影响	故障等级

（之三）

系 统_____
子系统_____

故障类型影响分析

日 期_____
制 表_____
主 管_____
审 核_____

（1）项目号	（2）分析项目	（3）功 能	（4）故障类型	（5）推断原因	（6）影响		（7）故障检测方法	（8）故障等级	（9）备 注
					子系统	系 统			

（6）分析程序 进行FMEA时，须按照下述步骤。

① 明确系统本身的情况和目的。分析时首先要熟悉有关资料，从设计说明书等资料中了解系统的组成、任务等情况，查出系统含有多少子系统，各个子系统又含有多少单元或元件，了解它们之间如何接合，熟悉它们之间的相互关系，相互干扰以及输入和输出等情况。

② 确定分析程度和水平。分析时一开始便要根据所了解的系统情况，决定分析到什么水平，这是一个很重要的问题。如果分析程度太浅，就会漏掉重要的故障类型，得不到有用的数据；如果分析的程度过深，一切都分析到元件甚至零部件，则会造成手续复杂，搞起措

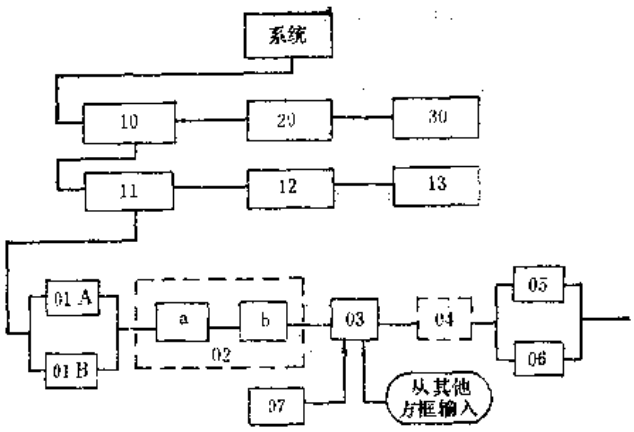


图 12-5 可靠性方框图

注：（1）系统包括子系统10、20、30；（2）子系统10包括组件11、12、13；（3）组件11包括元件01A、01B、02、03、04、05和06；（4）元件01A和01B相同，是冗余设计；（5）元件02由a及b组成，只用一个编码；（6）从功能上看，元件03同时受到07和来自其它系统的影响；（7）元件05，06是备品回路，05发生故障，06即投入运行；（8）正常运行时，元件07不工作

施来也很难。一般来讲，经过对系统的初步了解后，就会知道哪些子系统比较关键，哪些次要。对关键的子系统可以分析得深一些，不重要的分析得浅一些，甚至可以不进行分析。

对于一些功能件象继电器、开关、阀门、贮罐、泵等都可当作元件对待，不必进一步分析。

③ 绘制系统图和可靠性框图。一个系统可以由若干个功能不同的子系统组成，如动力、设备、结构、燃料供应、控制仪表、信息网络系统等，其中还有各种接合面。为了便于分析，对复杂系统可以绘制各功能子系统相结合的系统图（参看后面的实例），以表示各子系统间的关系。对简单系统可以用流程图代替系统图。

从系统图可以继续画出可靠性框图，它表示各元件是串联的或并联的以及输入输出情况。由几个元件共同完成一项功能时用串联连接，元件有备品时则用并联连接可靠性框图内容应和相应的系统图一致。

④ 列出所有故障类型并选出对系统有影响的故障类型。按照可靠性框图，根据过去的经验和有关的故障资料，列举出所有的故障类型，填入FMEA表格内。然后从其中选出对子系统以至系统有影响的故障类型，深入分析其影响后果、故障等级及应采取的措施。

如果经验不足，考虑得不周到，将会对分析带来麻烦。因此，这是一件技术性较强的工作，最好由安技人员，生产人员和工人三结合进行。

⑤ 列出造成故障的原因。对危险性特别大的故障类型，如故障等级为Ⅰ级，则要进行致命度分析。

12.5.2 致命度分析

对于特别危险的故障类型，例如故障等级等于Ⅰ级的故障类型，有可能导致人命伤亡或系统损坏，因此对这类元件要特别注意，可采用称为致命度的分析方法（CA），进一步分析。

美国汽车工程师学会（SAE）把故障致命度分成表12-15中的四个等级。

致命度分析一般都和故障类型影响分析合用。使用下式计算出致命度指数C_r，它表示元

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 12-15 致命度等级与内容

等级	内容	等级	内容
Ⅰ	有可能丧失生命的危险	Ⅲ	涉及运行推迟和损失的危险
Ⅱ	有可能使系统损坏的危险	Ⅳ	造成计划外维修的可能

件运行100万小时（次）发生的故障次数。

$$C_r = \sum_{n=1}^{j} (\alpha \cdot \beta \cdot k_A \cdot k_E \cdot \lambda_G \cdot t \cdot 10^6)_n$$

式中 n——元件的致命故障类型号数，$n=1, 2, 3\cdots\cdots j$；

j——致命故障类型的第 j 个序号；

λ_G——单位时间或周期的故障次数，一般指元件故障率；

t——完成一项任务，元件运行的小时数或周期（次）数；

k_A——元件λ_G的测定值与实际运行时的强度修正系数；

k_E——元件λ_G的测定值与实际运行时的环境条件修正系数；

α——λ_G中该故障类型所占比例；

β——发生故障时会造成致命的影响的发生概率，其值如下：

影响	发生概率 β	影响	发生概率 β
实际损失	$\beta=1.00$	可能损失	$0<\beta<0.10$
可预计损失	$0.10\leqslant\beta<1.00$	无影响	$\beta=0$

致命度分析所用表格如表12-16式样。

表 12-16 致命度分析表

日期_____

系统_____ 致命度分析 制表_____

子系统_____ 主管_____

(1)	致命故障			致命度计算									
项目编号	(2) 故障类型	(3) 运行阶段	(4) 故障影响	(5) 项目数	(6) k_A	(7) k_E	(8) λ_G	(9) 故障率数据来源	(10) 运转时间或周期	(11) 可靠性指数 $nk_Ak_E\lambda_Gt$	(12) α	(13) β	(14) C_r

12.5.3 应用例 柴油机燃料供应系统FMEA分析

图12-6为一柴油机燃料供应示意图。柴油经膜式泵送往壁上的中间贮罐，再经过滤器流入曲轴带动的注塞泵，将燃料向柴油机气缸喷射。

此处共有5个子系统，即燃料供应子系统、燃料压送子系统、燃料喷射子系统、驱动装置、调速装置，其系统图见图12-7。

这里仅就燃料供应子系统作出故障类型影响分析，如表12-17。

从FMEA分析表中，摘出对系统有严重危险的故障类型，汇总如表12-17，从中可以看

出采取措施的重点，在本例中从分析结果可以看到，燃料供应子系统的单向阀、燃料输送装置的柱塞和单向阀、燃料喷射装置的针形阀，都容易被污垢堵住，因此要变更原来设计，即在燃料泵（柱塞泵）前面加一个过滤器。

表 12-17　柴油机燃料供应子系统故障类型影响分析表

系　统＿＿＿＿　　日期＿＿＿＿

子系统＿＿＿＿　　故障类型影响分析　　制表＿＿＿＿

主管＿＿＿＿

审核＿＿＿＿

编号	子系统名称	元件名称	故障类型	发生原因	影响		故障等级	备注
					燃料系统	柴油机		
1	燃料供给子系统	1.1 贮罐	1. 泄漏	（1）裂缝 （2）材料缺陷 （3）焊接不良	功能不全	运转时间变短有发生火灾的可能	Ⅰ	
			2. 混入不纯物	（1）维修缺陷 （2）选用材料错误	同上	运转时会发生问题	Ⅰ	
		1.2 单向阀	1. 泄漏	（1）垫片不良 （2）污垢 （3）加工不良	同上	运转时间变短有发生火灾的可能性	Ⅰ	
			2. 关不严	（1）污垢 （2）阀头接触面划伤 （3）加工不良	功能失效	停车时会出问题	Ⅰ	
			3. 打不开	（1）污垢 （2）阀头接触面锈住 （3）加工不良	功能失效	不能运转	Ⅰ	
		1.3 过滤器	1. 堵塞	（1）维修不良 （2）燃料质量欠佳 （3）过滤器结构不良	功能不全	运转时会出问题	Ⅰ	
			2. 溢流	（1）结构不良 （2）维修不良	同上	同上	Ⅰ	
		1.4 燃料泵	1. 膜有缺陷	（1）有洞 （2）有伤 （3）安装不良	功能失效	不能运转	Ⅰ	
			2. 膜不能动作	（1）结构不良 （2）零件缺陷 （3）安装不良	同上	同上	Ⅰ	
		1.5 管路	1. 泄漏	（1）材料不良 （2）焊接不良	功能不全	运转会发生故障	Ⅰ	
			2. 接头破损	（1）焊接不良 （2）零件不良 （3）安装不良	功能失效	不能运转	Ⅰ	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

编号	子系统名称	元件名称	故障类型	发生原因	影响		故障等级	备注
					燃料系统	柴油机		
2	燃料输送装置	2.1 柱塞泵	1. 泄漏	(1) 间隙过大 (2) 表面粗糙 (3) 装配不良	功能不全	运转会发生故障	Ⅱ	
			2. 间隙过大	(1) 检修缺陷 (2) 加工不良 (3) 材质不良 (4) 装配不良 (5) 维护不良	同上	同上	Ⅱ	
			3. 咬住	(1) 污垢 (2) 装配缺陷 (3) 间隙过小	功能失效	不能运转	Ⅰ	
			4. 燃料回流不良	(1) 柱塞沟加工不良 (2) 污垢 (3) 柱塞孔加工不良	功能不全	运转会发生偏差	Ⅱ	
		2.2 单向阀	1. 关不死	(1) 污垢 (2) 阀杆受伤 (3) 弹簧断	功能不全	运转发生故障	Ⅱ	
			2. 打不开	(1) 阀材质不良 (2) 阀杆咬住	功能丧失	不能运转	Ⅰ	
		2.3 高压管线	1. 焊缝破裂	(1) 焊接不良 (2) 加工不良 (3) 安装不良			Ⅰ	

表 12-18 柴油机燃料系统影响任务项目

（致命度分析）

序号	项目名称	故障类型	影响	故障等级	备考
1.2	单向阀	打不开	系统不能运转	Ⅰ	
1.4	燃料泵	泵膜有缺陷	同上	Ⅰ	
		泵膜不动作	同上	Ⅰ	
1.5	管线	焊缝破损	同上	Ⅰ	
2.1	柱塞	胶住	同上	Ⅰ	
2.2	单向阀	打不开	同上	Ⅰ	
2.3	高压管线	焊缝破损	同上	Ⅰ	
3.1	针形阀	胶住	同上	Ⅰ	
4.1	齿轮	不转动	同上	Ⅰ	
4.2	轴承	胶住	同上	Ⅰ	
4.3	驱动轴	折断	同上	Ⅰ	
5.1	调速机	摆动	同上	Ⅰ	

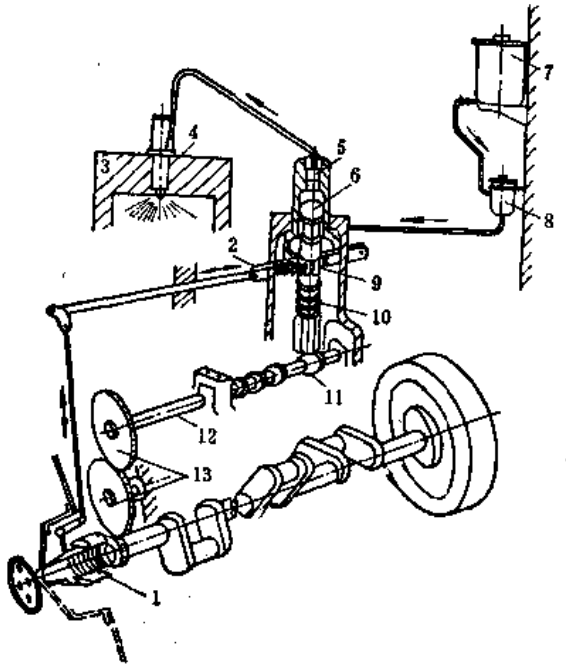


图 12-6 柴油机燃料供应示意图

1—调速器；2—齿条；3—气缸；4—喷嘴；5—逆止阀；6—柱塞；7—燃料贮槽；8—过滤器；9—小齿轮；10—弹簧；11—凸轮；12—曲轴；13—齿轮

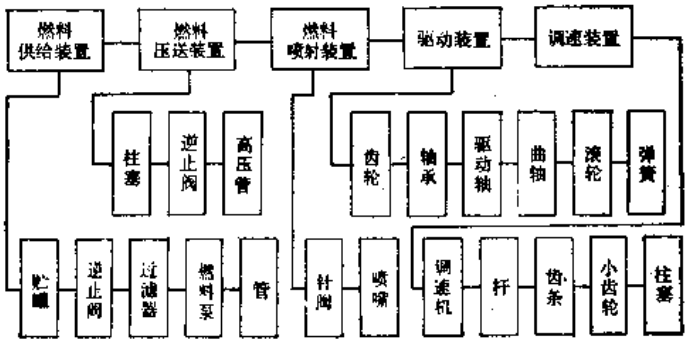


图 12-7 柴油机燃料系统可靠性框图

12.6 事故树分析

事故树分析是60年代初期发展起来的技术，最初用于航空航天技术和核电站的可靠性、安全性分析，70年代以来在民用工业中也得到广泛的应用。

化学工业理应很快地实用事故树分析技术但由于一些原因，进展缓慢。

（1）化学工业虽然复杂，但可用较简单的方法发现故障，还不致于非使用事故树分析方法不可。

（2）化工生产有一定的韧性，即使有一些单元发生故障，但整个工艺还能照常进行。

（3）发生严重故障时可以停车处理，这在航空航天工业是不可想象的。

（4）化学危险物品的反应性很难预测，所以化工生产有很大的不确定性。

（5）化工生产过程难以模式化。

（6）编制高质量的事故树图需要熟练的技术和长时间的人力物力消耗。

近二十年来，化学工业迅速向大型化、复杂化、自动化发展，由于连续化的单链生产普及、工艺过程长而复杂、能量回收和全封闭循环更为完善、中间可供缓冲的贮存装置多半被去消、远距离集中控制、计算机程序控制以及设备结构日益精密、居民区与工厂距离过近等原因，一旦发生事故，将会给社会带来巨大的风险。所以过去对事故树分析方法不能在化工行业中开展的观点已被打破。

1. 工作原理

事故树是表示事故发展过程的图样模型。从已发生或设想的事故结果即顶上事件用逻辑推导方式寻找造成事故的原因或原因组合。第一步找顶上事件的直接原因作为中间事件，其次再找中间事件的直接原因，这样一步一步地按逻辑推理方式推导下去，直到找出最基本的原因事件为止。

从事故树分析可以看出事故的发生和发展的动态过程，找出直接和间接的原因事件和原因事件组合。可以用它对事故定性，即辨明事故原因的主次、未曾考虑到的隐患。如果数据齐全，也可以定量，预测事故的发生概率。人们根据事故树定性定量的结果，可以找出事故规律，并进一步作到消除、控制危险性，达到预防事故的目的。

2. 工作程序

事故树编得正确与否对定性定量分析将会造成重大影响。如果编得不正确，其后的工作如求最小割集和径集以及重要度分析，就变得没有意义了。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

编出正确的事故树是一项难度颇大的工作，所以常组织几个对工艺熟悉并有实践经验的人集体讨论编写。经过反复修订才能得出比较正确的事故树图形，其编制程序如下。

（1）应充分熟悉分析对象的结构、性能和操作状况；

（2）选定已发生的或设想的事故作为顶上事件；

（3）找出顶上事件的各种直接原因，同时也要考虑系统外部的原因；

（4）把第3步得出的直接原因事件（中间事件），用逻辑推理方法，使用逻辑符号“与”（AND）门或“或”（OR）门和顶上事件连接；

（5）反复使用3、4两步骤直到找出最基本的原因事件，如元件、组件的故障和人的失误等；

（6）画出事故树图进行必要的化简和整理；

（7）找出各基本原因事件的发生概率；

（8）根据基本原因事件概率，按照逻辑门符号进行运算，得出顶上事件的发生概率；

（9）对事故进行比较评价，讨论改进措施。

如果数据不足，定量部分（7，8项）可以免做，由第6步直接进行第9步，得出定性的结论。

12.6.1 具体编树方法

① 资料准备

·系统说明

对分析的对象系统来说，至少要熟悉流程图及管线仪表控制图，对其中的设备、介质流动、控制系统和传感器要有充分的理解，下面列出了必需的资料。

A．设备。名称，功能（气液分离、反应等），常规操作条件（温度、压力、相、液位等），特性（最高温度、最高压力、介质组成、容量、寿命、位置（x，y，z）、制造和批号、防爆、传动），输出，输入，介质（名称、浓度），传感器；

B．介质流动。流动开始的设备，流动终点的设备，常规操作条件（方向、相、温度、压力、速率），特性（最高温度、最高压力、物质组成、寿命、长度、直径、位置（x，y，z）、制造和批号、防爆等）。

C．控制器。名称，功能（压力、温度、pH），输入传感器，设备控制，模式（前馈、反馈、比例等），特性（最高温度、最高压力、介质组成、寿命、高设定点、低设定点、位置（x，y，z）、制造和批号、防爆、手动或自动操作），型式（电动、气动等）。

D．传感器。名称，功能（压力、温度、pH），输入开始信号（设备或流体），输出终了信号（控制器、显示板等），特性（最高温度、最高压力、介质组成、寿命、警示装置位置（x，y，z），型式（电动、气动等）。

·理化特性资料

A．物理特性。冰点，沸点，比重，蒸气压，水溶性，相，闪点，蒸气密度。如表12-19所示。

B．化学特性。毒性，燃烧界限（高限低限），腐蚀性，分子量，自燃温度，与其它化学物质的反应性，反应速度，反应热，反应产物，触媒，放射性等。

② 编制过程

图12-8所示的工艺过程是把热硝酸进行冷却，然后送入反应器与苯反应生成硝基苯。如

新建、改建、增设
计划时

表 12-19 原材料、中间体、产品等的理化性质及其对人体的影响

物质名称					
化学分子式					
分子量					
密度（kg/L）					
沸点（℃）					
融点（℃）					
粘度（CP）					
比热（kcal/kg）					
燃烧热（kcal/kg）					
蒸发潜热（kcal/kg）					
闪点（℃）					
燃点（℃）					
爆炸界限（Vol%）					
最高允许浓度 ppm					
腐蚀性					
对人体的影响					
适用法规					
备　考					

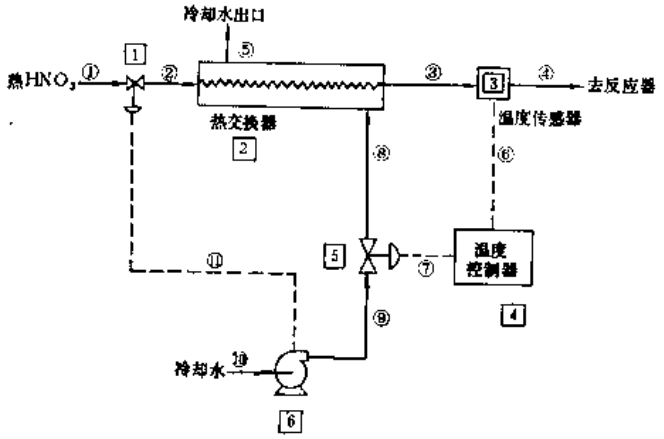


图 12-8 带有温度负反馈及前馈泵停车系统的硝酸冷却器
①～⑩ 流体信号 ⑪ 反馈线路 [1]～[6] 设备符号

硝酸温度过高则会造成剧烈反应。

为了说明工艺变量的偏离，特设 T、p、M 各代表温度、压力和流量；“+”和“-”指偏离方向（正或负）；0、1、10指偏离大小（0，中等，很大）。如表示流体⑧的流量大幅度降低用$M8(-10)$表示。

设硝酸被冷却后的温度$T4$偏高，即$T4(+)$，则会引起反应器内剧烈反应，今将其作为顶上事件，据此编制事故树。

由于$T4$和$T3$是相等的，故得出

$$T4(+1)$$
$$|$$
$$T3(+1)$$

进而讨论什么原因使$T3(+1)$，从图上可以看出可能有四个原因即

酸流量增加　$M2(+1)$

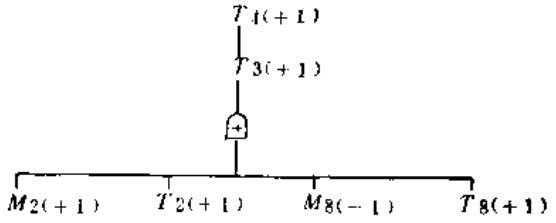
标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

酸入口温度高　$T2(+1)$

冷却水少　　$M8(-1)$

冷却水温度高　$T8(+1)$

这些原因中的任何一个都会造成$T3(+1)$的结果，因此其逻辑连接方法是用或门连接的，如下图。

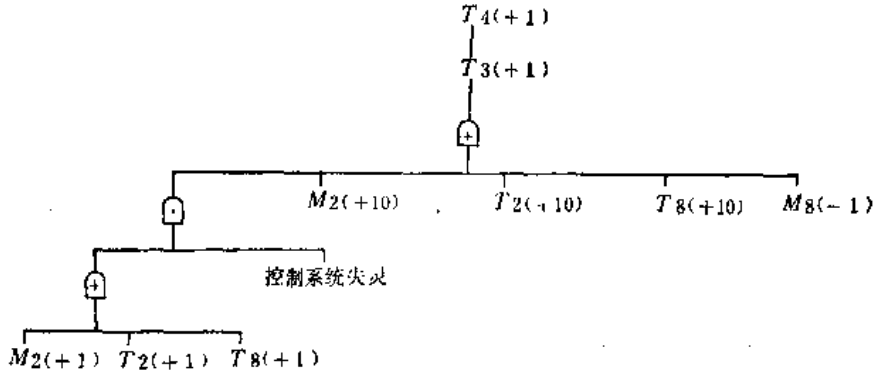


现在可以看一下这个第一层的树是否正确，从树上得知$M2(+)$会使$T4(+1)$，这显然是不可能的，因为负反馈的作用将会调节$M2(+1)$，同样$T2(+1)$和$T8(+1)$都不会造成$T4(+1)$。只有$M8(-1)$才会使顶上事件出现。这是由于$M8$本身是温度控制系统的一部分。在$T4(+1)$的情况下，通过自动调节$M8(+1)$是正常现象，但$M8(-1)$则说明控制失效，因而是造成$T4(+1)$的原因。

其次，如果控制失效，则$M2(+1)$，$T2(+1)$，或$T8(+1)$也可构成$T4(+1)$的原因。

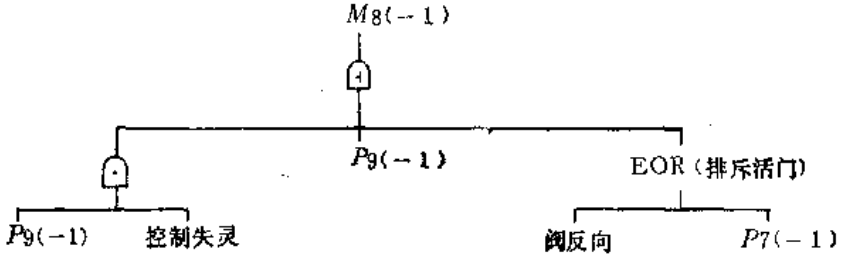
第三，如果$M2$，$T2$，或$T8$的偏离量很大，则不能通过自动控制抵消它们。

经过讨论可以把事故树延伸如下：



现在进一步分析$M8(-1)$：

假定冷却水控制阀是气动的，气压大则开度大，则$P7(-1)$或$P9(-1)$会造成$M8(-1)$。如不是这样则只有把阀装反了，此时$P7(+1)$将是原因。但$P7(+1)$又是$T4(+1)$的正常响应。所以说只有三个原因确实能造成$M8(-1)$。因此得出：

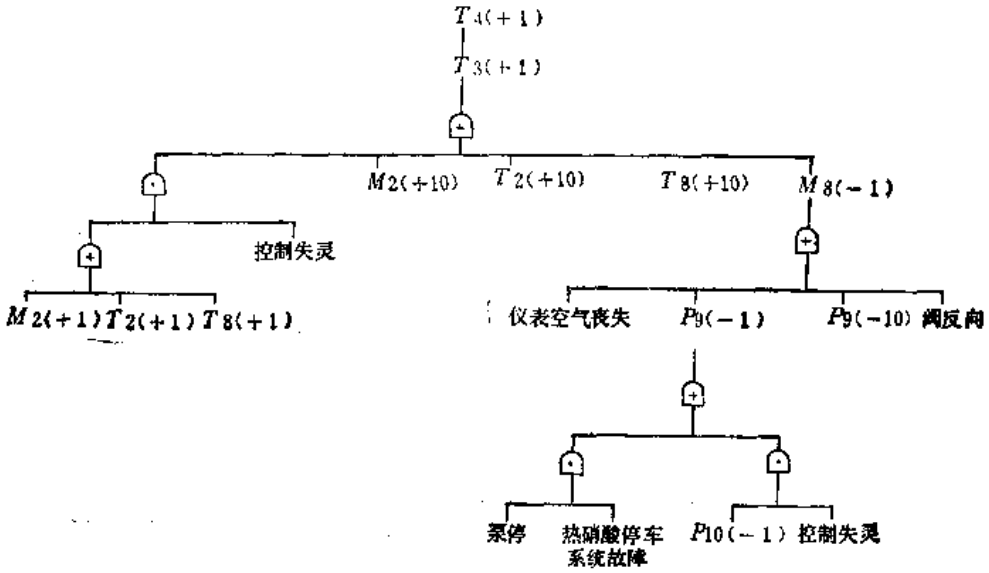


EOR是排斥或门，说明$P7(-1)$与阀反向在导致$M8(-1)$的结果上只能有一个出现。

从$P7(-1)$往下推导，将会发现原因是$P6(-1)$，再往下推为$T4(-1)$，这就与设定的$T4(-1)$矛盾了，因此不能成立。故$P7(-1)$不能成立。

$P9$的降低是由于$P10$的降低或者是泵停车。泵停车能启动热硝酸的停车系统，只有二者都失效的情况下才能达到$T4(+1)$。

另外仪表空气丧失会造成所有自控系统失灵。还有与$M2$，$T2$，$T8$相对应的变量为$M1$ $T1$和$T10$，其值相同，为此得出事故树图如下：



12.6.2 由事故树进行工艺改进

图12-9为一发热反应工艺流程，原料A经流量控制进入反应器。如进料过大，反应温度上升到$X+20℃$，就会造成剧烈反应。

为防止事故，采取连锁措施，如罐内温度达$X+10℃$时，控制阀即行关闭（控制阀FRCV-1为空气压降关闭式）。

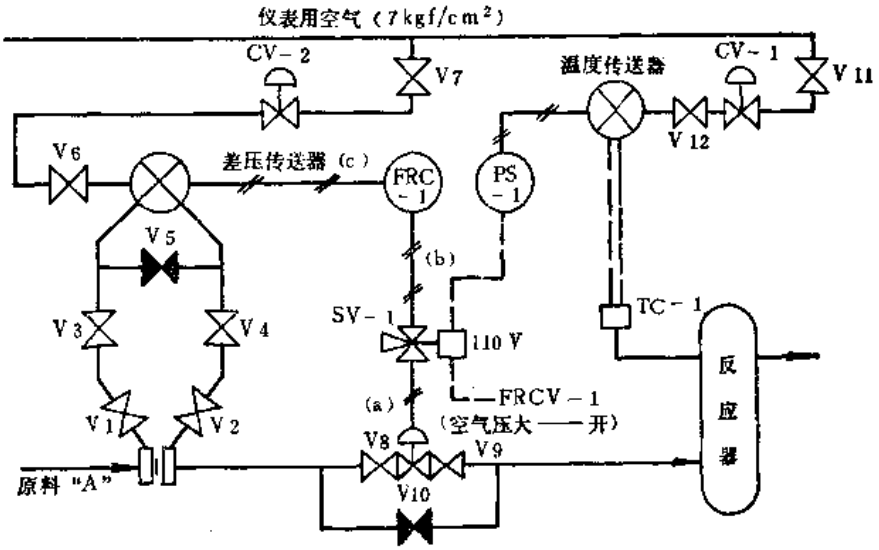


图 12-9 发热反应工艺流程

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

其事故树如图12-10所示。

图中门事件为G_1～G_{23}，基本原因事件为（1）～（30）。

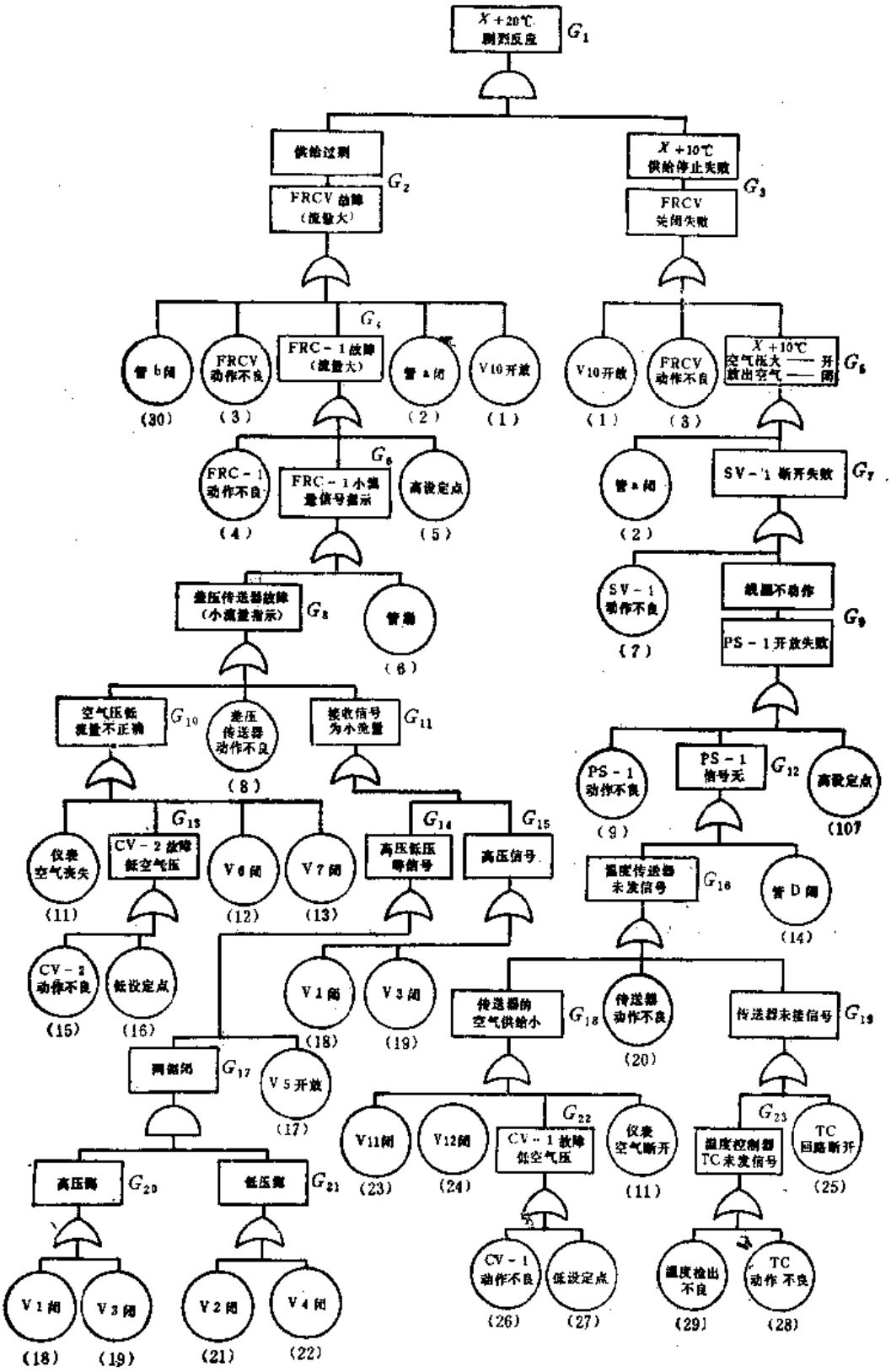


图12－10　发热反应工艺流程事故树

由于顶上事件G_1与中间事件G_2和G_3是AND 门联结的，初看起来似乎比较安全，其实不然。如进行简化整理则如图12-11，图12-12。

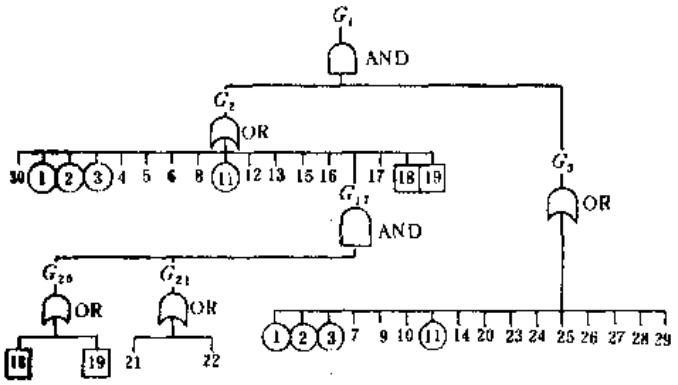


图 12-11 图12-10的简化树

图12-11中右侧分支G_3以下和左侧分支G_{12}～G_{17}都是OR 门连接，简化后如图12-12。其中四个基本原因事件：

① V_{10}（FRCV副线）开；

② 管 a（电磁阀与 FRCV 之间）堵塞；

③ FRCV动作失灵；

④ 仪表空气失效；

在G_2和G_3下都有，因而可用OR门连接，也就是说，这四个事件由任一事件发生就可以使顶上事件G_1发生。

G_{17}以下树分支中的18和19也是G_2以下的基本原因事件，如果18、19发生的话，不论事件21、22发生与否，G_2都会发生，所以G_{17}以下的分支可以略去，树被简化后如图12-12所示。从简化图可以看出，事件1，2，3，11发生了，顶上事件就会发生，因此要对这四个事件着重采取措施。

① 在流量控制方面，增设特别紧急切断阀PV-1，当FRCV的副线V_{10}开后不能关闭和FRCV失灵原料流量过大时而切断失效，二者同时发生，则PV-1会起作用；

② 控制PV-1动作的SV阀设置双重系统，防止PV～SV之间管路堵塞时出问题；

③ 压力开关PS设置双重

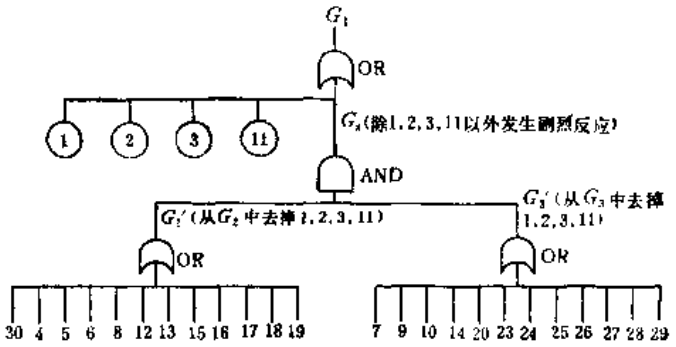


图 12-12 改写的简化树

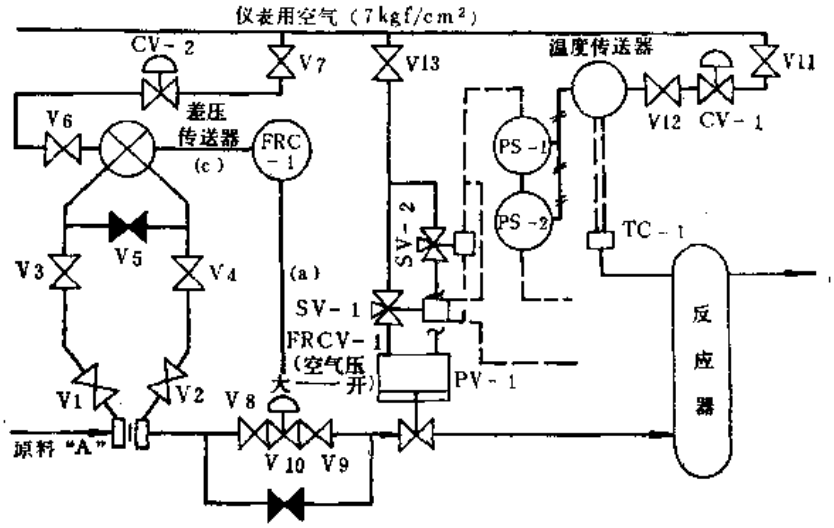


图 12-13 改善后的发热反应工艺流程

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

系统；

④ PV-1用的仪表空气系统，分别由两个来源送入。

改进后的工艺流程如图12-13所示，改进后的事故树如图12-14。

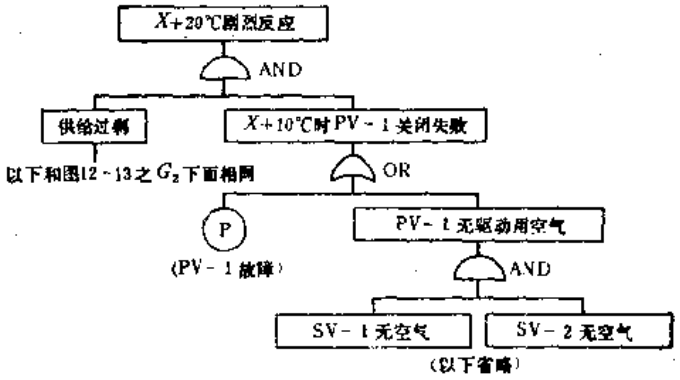


图 12-14 改进后的事故树

12.6.3 事故树的定量计算

为进行事故树的定量计算，首先要了解可接受风险率值（亦称安全指标）。

任何生产系统都有一定的风险率，要判断其是否合乎要求，需将它和一个公认为安全的风险率数值进行比较。这个数值就是经过多年的经验积累，为社会公众所承认的安全指标。

表 12-20 永久性伤害折算的损失工作日数

人体部位	折算损失工作日数	人体部位	折算损失工作日数
臂		眼	
肘部以上任一部位，包括肩关节	4500	一目失明，但另一目视力正常	1800
腕以上在肘部或低于肘部的任一部位	3600	一次事故中双目失明	6000
腿		耳	
膝关节以上任一部位	4500	一耳失聪，但另一耳听觉正常	600
踝骨以上在膝部或低于膝部的任一部位	3000	一次事故中两耳完全丧失听力	3000

现以美国交通事故的安全指标为例来说明。美国每年发生小汽车碰撞事故有1500万次，若每300次造成1人死亡，则每年死亡人数为

$$\frac{\text{死亡人数}}{\text{事故次数}}\times\frac{\text{事故总次数}}{\text{单位时间}}=\frac{1}{300}\times\frac{15000000}{1}=50000\text{人/年}$$

美国人口如按2亿计，则换算成每人每年所承担的风险率为

$$50000/200000000=2.5\times10^{-4}\text{死亡数/人·年}$$

这意味着，一个10万人的集体每年有25人因车祸死亡的风险，或1000人的集体有1人死亡的风险，或者说每人每年有0.00025的因车祸死亡的可能性。

还可以把风险率用FAFR 值来表示，其涵义为每接触工作 1 亿个小时所发生的死亡数。上述小汽车的风险率，如按每天用车时间为4h计算，则一年365d（天）总共接触小汽车的时间为1460h，于是

$$2.5\times10^{-4}\times1/1460=17.1\times10^{-8}$$

即FAFR值为17.1。

降低这个数值当然是可以的，但要花很多钱去改善交通设备和汽车性能。因为没有人愿意再花更多的钱去改变这个数值，也没有人害怕这样的风险而放弃使用小汽车，所以这个风险率便成为使用小汽车的一个社会公认的安全指标。

现将可供参考的各种风险率列出，如表12-21～表12-24所示。

对一个生产系统计算出风险率后，与已知的安全指标比较：如果前者较低，即认为系统是安全的，评价工作便可结束；如果大于安全指标，则认为系统不安全，必须采取调整措施，以降低系统风险率。如此反复进行，直至符合要求为止。计算风险率的步骤如下。

（1）先列出系统的方程式　例如有一个事故树，如图12-15所示，则可由该图列出方程式：

$$T=A\cdot B\cdot C+A\cdot D+C\cdot D$$

（2）查出各元件的故障率λ　所谓故障率就是单位时间（或周期）内故障发生的次数。其确定方法是先通过元件的故障实验和统计分析，求出平均故障间隔期（或称平均无故障时间）MTBF，再用下式求出故障率或故障率曲线：

$$\lambda=\frac{1}{\text{MTBF}}$$

表 12-21　美国的安全指标

（按每年接触2000小时计）

类　型	FAFR值	死亡数/人·年
工业	7.1	1.4×10^{-4}
商业	3.2	0.6×10^{-4}
制造业	4.5	0.9×10^{-4}
服务业	4.3	0.86×10^{-4}
机关	5.7	1.14×10^{-4}
运输及公用事业	16	3.6×10^{-4}
农业	27	5.4×10^{-4}
建筑业	28	5.6×10^{-4}
采矿、采石业	31	6.2×10^{-4}

表 12-22　英国的安全指标

类　型	FAFR值
制衣和制鞋业	0.15
汽车工业	1.3
化工	3.5
钢铁工业	8
农业	10
捕鱼	35
煤矿	40
铁路	45
建筑	67
飞机乘务员	250
职业拳击手	7000
赛车	50000

但是，实际条件和实验室条件不同。因此，在比实验室恶劣的环境条件（包括温度、湿度、振动、冲击等条件）下的实际故障率应当是用上式求出的λ再乘以严重系数k所得的数值。不同场所的k值见表 12-25。通过系统或设备的长期运行经验，也可以估计该系统或设备（或元件）的故障率。

一些机器、设备、零部件及系统等的故障率已列在表12-11～13和图12-4中，

有了故障率就可以计算事件或系统的故障概率，对一般可修复系统，事件或系统的故障概率为

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

表 12-23 美国的负伤风险率

行业类别	风险率（损失日数/接触小时）
全美工业	6.7×10^{-4}
汽车工业	1.6×10^{-4}
化学工业	3.5×10^{-4}
橡胶与塑料工业	3.6×10^{-4}
商业（批发与零售）	4.7×10^{-4}
钢铁工业	6.3×10^{-4}
石油工业	6.9×10^{-4}
造船工业	8.0×10^{-4}
建筑业	1.5×10^{-3}
采矿采煤工业	5.2×10^{-3}

表 12-24 自愿和非自愿承担的风险率

类型	死亡率（死亡数/人·年）
自愿承担风险	
避孕药	2×10^{-6}
足球	4×10^{-6}
爬山	9×10^{-6}
驾车	17×10^{-5}
吸烟（20支/日）	500×10^{-5}
非自愿承担风险	
陨石	6×10^{-14}
石油及化学品运输（英）	0.2×10^{-7}
飞机失事（英）	0.2×10^{-7}
压力容器爆炸（美）	0.5×10^{-7}
闪电雷击（英）	1×10^{-7}
堤坝决口（荷）	1×10^{-7}
核电站泄漏(1km以内)(英)	1×10^{-7}
火灾（英）	150×10^{-7}

$$q=\frac{\lambda}{\lambda+\mu}$$

式中 q——故障概率；

λ——故障率；

μ——可维修度。

μ反映事件或系统好修不好修的程度，是所需平均修复时间τ的倒数。因为$\lambda<\mu$，所以故障概率可近似为

$$q=\frac{\lambda}{\mu}=\lambda\tau$$

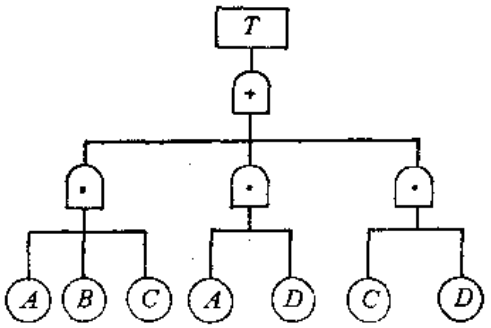


图 12-15 事故树

表 12-25 h值举例

使用场所	h	使用场所	h
实验室	1	火箭试验台	60
普通室内	1.1～10	飞机	80～150
船舶	10～18	火箭	100～1000
铁路车辆	13～30		

对于一般不可修系统，事件或系统的故障概率为

$$q=1-e^{-\lambda t}$$

式中 t——运行时间。

如果把$e^{\lambda t}$按级数展开，略去后面的高阶无穷小，则可近似为

$$q=\lambda t$$

对图12-15中的事故树，设 $\lambda_A=10^{-6}$，$\tau_A=5$ 小时；$\lambda_B=10^{-5}$，$\tau_B=2$ 小时；$\lambda_C=10^{-4}$，

$\tau_C = 3$小时；$\lambda_D = 10^{-6}$，$\tau_D = 7$小时。

（3）计算各基本原因事件概率

$$q_A = \lambda_A \tau_A = 5 \times 10^{-6}$$
$$q_B = \lambda_B \tau_B = 2 \times 10^{-6}$$
$$q_C = \lambda_C \tau_C = 3 \times 10^{-4}$$
$$q_D = \lambda_D \tau_D = 7 \times 10^{-6}$$

（4）计算子系统概率

$$q_{(ABC)} = q_A q_B q_C$$
$$= (5 \times 10^{-6})(2 \times 10^{-6})(3 \times 10^{-4}) = 3 \times 10^{-14}$$
$$q_{(AD)} = q_A q_D$$
$$= (5 \times 10^{-6})(7 \times 10^{-6}) = 3.5 \times 10^{-11}$$
$$q_{(CD)} = q_C q_D$$
$$= (3 \times 10^{-4})(7 \times 10^{-6}) = 2.1 \times 10^{-9}$$

（5）计算系统故障发生概率

$$q_{(S)} = q_{(ABC)} + q_{(AD)} + q_{(CD)}$$
$$= (3 \times 10^{-14}) + (3.5 \times 10^{-11}) + (2.1 \times 10^{-9}) = 2.135 \times 10^{-9}$$

在这里，$q_{(ABC)}$因为阶数过低，在结果中并不起什么作用。

以上只是算出事故（故障）发生概率，最后计算风险率还应乘以严重度。

下面再举一可靠性安全评价实例。

有一压力机系统，如图12-16所示。压力机上有一手动开关S、一控制阀SV。由S操纵SV使压杆上下运动。在压杆提上时，手向压模之间送料。如果元件发生故障或操作失误，就会发生轧手事故。其事故树如图12-17所示。

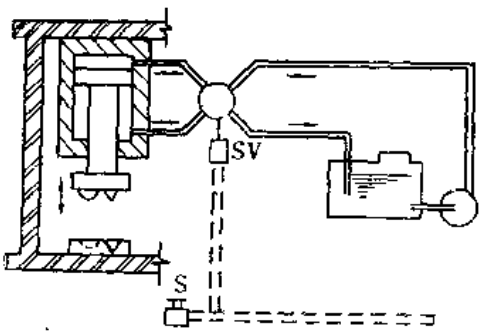


图 12-16 压力机系统

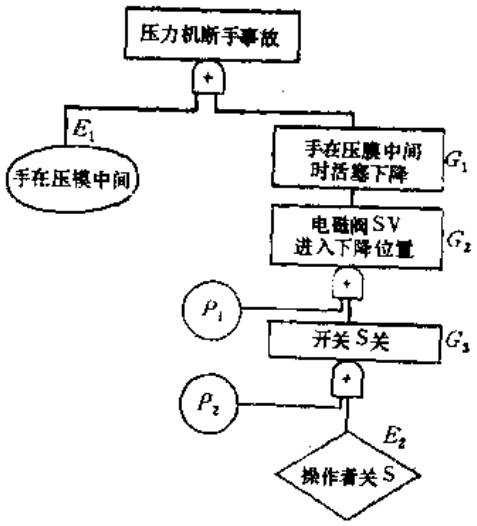


图 12-17 压力机事故树

因为必须手处在压模中间（E_1）和压杆下降（G_1）同时发生才会发生顶上事件，所以用“与门”联结。压杆下降（G_1）时SV也处于下降位置，二者是等同的，故其间不需经过“门”。造成SV下降有两个原因：一是由于S关闭，另一是SV本身发生故障（P_1）。两个事件中任一个发生就会引起SV进入下降位置，故用“或门”联结。最后，造成开关S关闭的原因也有两个，其一是S本身发生故障（P_2），另一是操作者失误（E_2），所以也用“或门”联结。

按照上述计算步骤，首先列出方程式：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$T = E_1 \cdot G_1$$
$$G_1 = G_2$$
$$G_2 = P_1 + G_3$$
$$G_3 = P_2 + E_2$$

逐项代入，得

$$G_2 = P_1 + P_2 + E_2 = G_1$$
$$T = E_1(P_1 + P_2 + E_2) = E_1P_1 + E_1P_2 + E_1E_2$$

利用基本原因事件的概率值：

$q_{E_1} = 0.5$（在手的工作时间中送料时间占一半）

$$\left.\begin{aligned} q_{P_1} &= 10^{-7} \\ q_{P_2} &= 10^{-7} \\ q_{E_2} &= 10^{-2} \end{aligned}\right\}$$ （参看前面的故障率表）

得出

$$q_{E_1P_1} = 0.5 \times 10^{-7} = 5 \times 10^{-8}$$
$$q_{E_1P_2} = 0.5 \times 10^{-7} = 5 \times 10^{-8}$$
$$q_{E_1E_2} = 0.5 \times 10^{-2} = 5 \times 10^{-3}$$

根据负伤换算标准，压断手指相当于损失3000个工作日，故由以上概率可以计算出风险率为

$R_{E_1P_1} = (5 \times 10^{-8}) \times 3000 = 1.5 \times 10^{-4}$损失日数/接触小时

$R_{E_1P_2} = (5 \times 10^{-8}) \times 3000 = 1.5 \times 10^{-4}$损失日数/接触小时

$R_{E_1E_2} = (5 \times 10^{-3}) \times 3000 = 15$损失日数/接触小时

从最后一项$R_{E_1E_2}$可以看出，每接触压力机1h就要承担损失15个工作日的风险，这样的风险率显然是不能接受的。因此，可靠性评价的结论是，这个系统不安全。

为了提高系统的可靠性，可在基本元件上串联一个元件，也就是增加一个冗余件。由于串联的元件是“与门”联结，呈逻辑乘的状态，会使元件故障率变得更小，从而使整个系统发生故障的概率变小。在本例中，就是在原来的开关S_1上串联另一开关S_2，如图12-18所示。

经修改后的事故树见图12-19，方程式如下：

$$T = E_1P_1 + E_1P_2P_3 + E_1P_2K_1 + E_1E_2P_3 + E_1E_2K_1$$

将$q_{E_1} = 0.5$，$q_{P_1} = 10^{-7}$，$q_{P_2} = 10^{-7}$，$q_{P_3} = 10^{-7}$，$q_{E_2} = 10^{-2}$，$q_{K_1} = 10^{-5}$代入，得

$$q_{E_1P_1} = 0.5 \times 10^{-7} = 5 \times 10^{8}$$
$$q_{E_1P_2P_3} = 0.5 \times 10^{-7} \times 10^{-7} = 5 \times 10^{-15}$$
$$q_{E_1P_2K_1} = 0.5 \times 10^{-7} \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-13}$$
$$q_{E_1E_2P_3} = 0.5 \times 10^{-2} \times 10^{-7} = 5 \times 10^{-10}$$
$$q_{E_1E_2K_1} = 0.5 \times 10^{-2} \times 10^{-5} = 5 \times 10^{-8}$$

故 $$q_T = (5 \times 10^{-8}) + (5 \times 10^{-15}) + (5 \times 10^{-13}) + (5 \times 10^{-10}) + (5 \times 10^{-8})$$
$$= 1.05 \times 10^{-8}$$

风险率为

$$R_T = 1.05 \times 10^{-7} \times 3000 = 3.15 \times 10^{-4}$$损失日数/接触小时

这个数值低于负伤安全指标，说明系统经过改进后是安全的，评价到此结束。

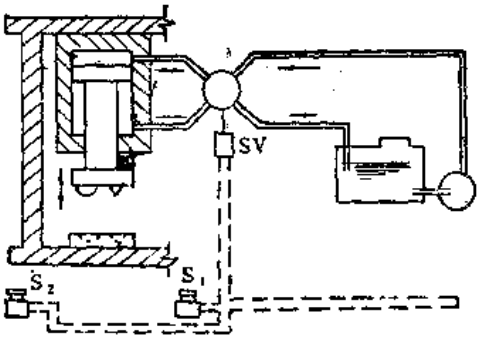


图 12-18 改进后的压力机系统

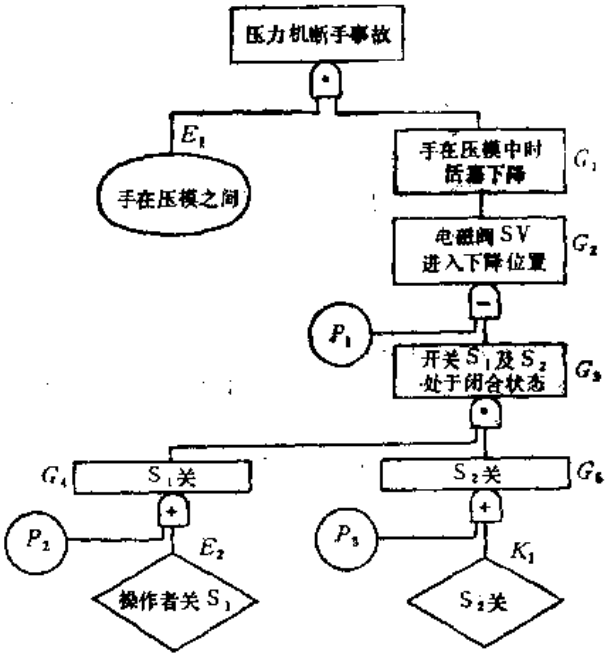


图 12-19 压力机改进后的事故树

12.7 事件树分析ETA

ETA是从一个初始事件开始，经过不断发展，一直到结果的全部分析过程。可以把这种分析方法看作FTA的补充，FTA是从顶上事件用逻辑推导逐步得出基本原因事件，所以说是从顶部分析到底部，而ETA则是从底部事件开始，经过各个阶段，看看它能达到哪些结果。通过这两种分析，就可以把一些严重事故的动态发展过程全部揭示出来。

ETA还可用作FMEA的延伸，FMEA分析了故障类型对子系统以及系统产生的影响，基本上是定性的过程。ETA则可在此基础上，结合故障发生的概率，把影响严重的故障进行定量。

1. 工作原理

对安全防灾来讲，每一个初始事件可能导致灾难性的后果，但不一定是必然的后果。事件向前发展的每一阶段，都会受到安全防护措施、操作人员工作方式和其它条件的制约。因此每一阶段都会有两种阶段结果的可能性：一种是达到既定目标，称之为“成功”；另一种是达不到既定目标，称之谓“失败”。初始事件从开始发展到结束会有若干个阶段。每个阶段都有成功和失败的分叉。这种分叉点叫做岐点。可以看出，n 个阶段就有（$n-1$）个岐点，也就是说有2^{n-1}个结果。

根据事件发展所经路径的不同，如果知道每个岐点处成功或失败的概率，就可能计算出各种不同结果的概率。

2. 工作程序

（1）确定初始事件　初始事件一般是指系统故障、设备失效、人的失误或工艺异常，它们都是经过事先设想或估计的，同时也设定为防止它们继续发展的安全措施、操作人员处理措施和程序等。

通常安全措施包括下列内容：

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

① 能自动对初始事件作出反应的安全系统（如自动停车系统）；

② 初始事件发生时的报警装置；

③ 供操作人员作出正确处理的操作规程；

④ 防止事故进一步蔓延的措施。

以核电站反应堆堆芯熔化事故为例，反应堆芯有许多装有二氧化铀的燃料棒，如果它排出的热量不能由冷却系统充分吸收，则燃料棒将会发生温度上升，最后导致堆芯熔化，反应堆破坏，放射性物质大量排放，这是反应堆能造成的最严重事故。

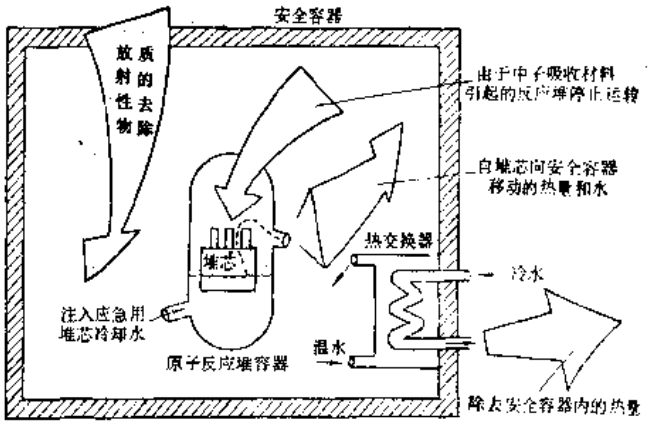


图 12-20 核反应堆示意图

进行ETA分析时，首先把反应堆冷却系统的管路破裂作为初始事件。由于已经给反应堆设定了许多安全措施，如备用电源、应急用堆芯冷却系统、排除放射性物质的设施以及安全壳等，构成多重保护。如初始事件发生后，电源正常，其它安全设施也能正常启动，则事件向成功方向、也就是不出事故的结果发展。再看第3阶段，如果应急冷却系统失效，堆芯得不到冷却，则燃料棒融化，就会造成事故，如果系统正常，即使堆芯没有冷却水，也可防止燃料棒融化。

（2）编制ETA图 把初始事件写在左边，各种设定的安全措施按先后顺序写在顶端横栏。每经过一个措施就是事件发展的一个阶段，因而就有两个分支（成功与失败），如图12-21所示。

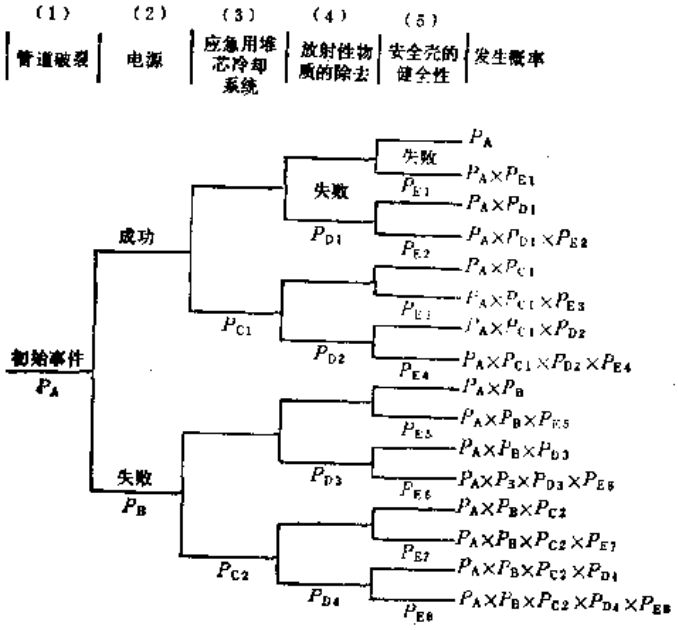


图 12-21 原子反应堆冷却材料事故的基础事件树

这个树有5个阶段，故有4个岐点和$2^4=16$个结果，其中也包括许多无意义的结果。例如电源失效则后面的展开均无意义，故可将事件树图再行简化如图12-22所示。

上图表明，即使管道破裂，如果各种安全设施起作用，也只能造成微量或少量放射性物质泄漏。但如应急用堆芯冷却系统失效，就会造成大量放射性物质泄漏。

（3）说明事故结果 通过ETA可以得出由初始事件导出的各种事故结果。如果知道各个阶段事件的发生概率（各岐点失败的概率设为P_i，则成功的概率为$1-P_i$），则可以进行定量。并据此作出事故结果严重程度的分级。

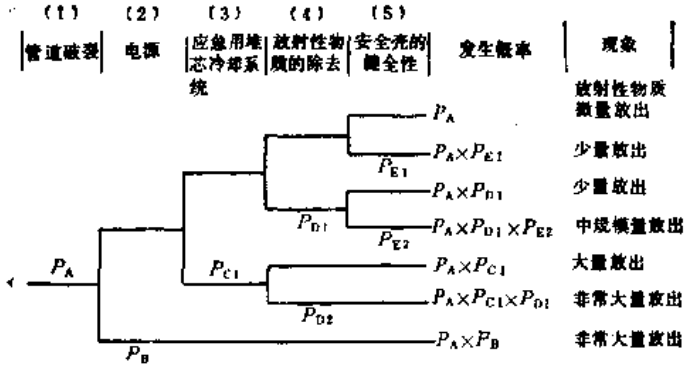


图 12-22 冷却材料事故的简化事件树

（4）举例

A. 1979年10月，日本川崎市某厂的高压聚乙烯装置，其回火防止罐在 2000atm 下运行时突然爆炸，所幸未造成人员伤亡，其ETA如下：

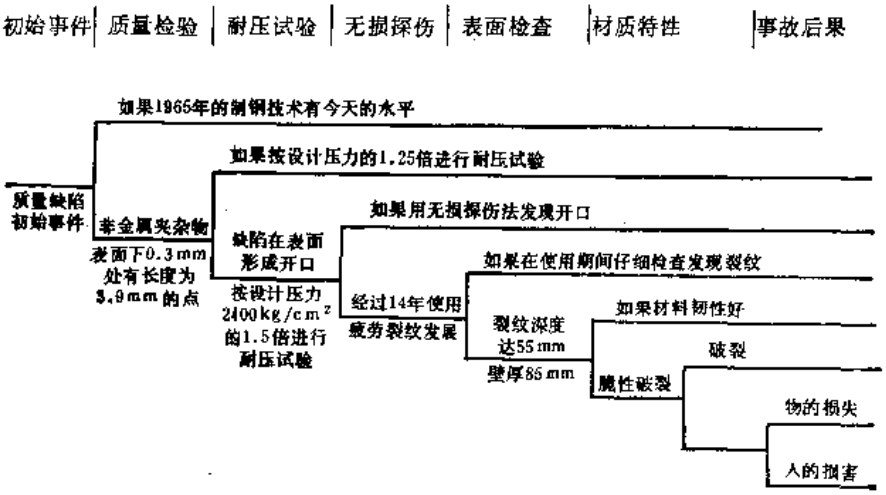


图 12-23 高压聚乙烯装置爆炸事故事件树

B. 粘合剂溶剂回收罐的爆炸事故ETA：

由图 12-24 可以看出，从初始事件到爆炸共经历了七个阶段，只有六次失败才导致发生事故，这六种失败是：

（1）电磁阀粘固，但未能从信号灯发现；

（2）在电磁阀不能打开的情况下，回收罐继续被加热；

（3）温度和压力一直上升；

（4）排气管装有测量用孔板，缩小了出口面积被堵塞；

（5）底阀未能在设定压力下打开；

（6）配电设备为非防爆型。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

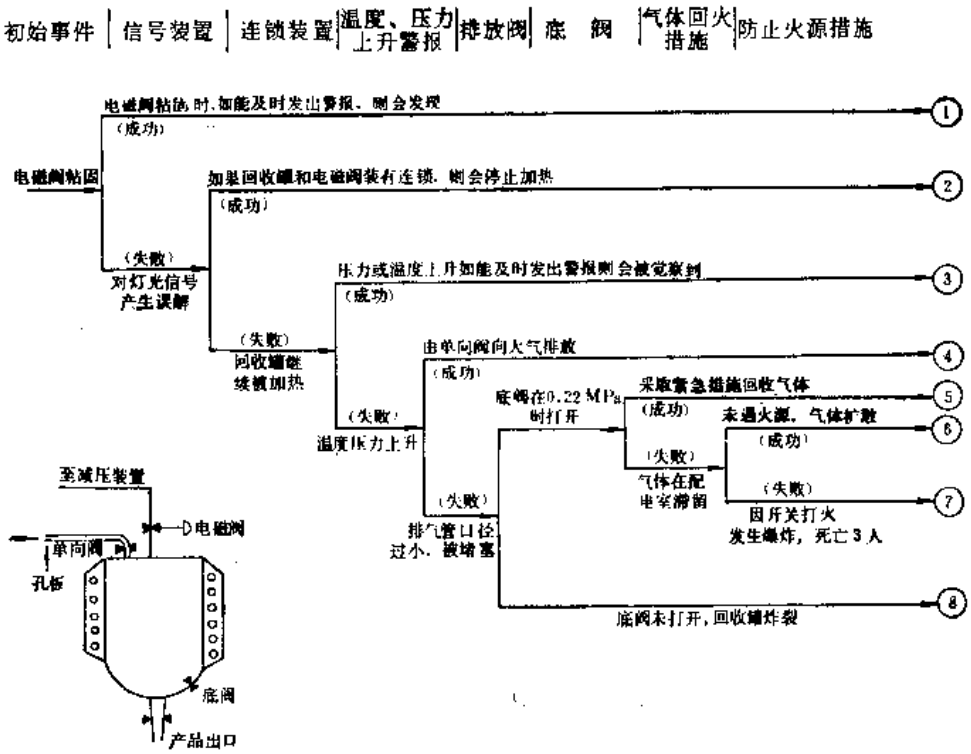


图 12-24 粘合剂溶剂回收罐爆炸事故

12.8 原因结果分析

因果分析的第一步，是从某一初因事件起作出事件树图。第二步，是将事件树的初因事件和失败的环节事件作为事故树的顶上事件，分别作出事故树图。第三步，是根据需要和取得的数据进行定性或定量的分析，进而得到对整个系统的安全性评价。第一、二步所完成的图形称之为因果图，图12-25就是以某工厂电机过热为初因事件的因果图。

电机过热经分析可能引起5种后果（G_1～G_5），这5种后果在图12-25右侧矩形方框内作了说明。关于各种后果的损失，经分析如表12-26所示。

表 12-26 电机过热各种后果的损失（单位：美元）

后 果	直接损失①	停工损失②	总损失S_i	后 果	直接损失①	停工损失②	总损失S_i
G_1	10^3	2×10^3	3×10^3	G_4	10^7	$\sim10^7$	2×10^7
G_2	1.5×10^4	24×10^3	3.9×10^4	G_5	4×10^7	$\sim10^7$	5×10^7
G_3	10^5	744×10^3	1.744×10^6				

① 直接损失是指直接烧坏及损坏造成的财产损失。而对于G_5则包括人员伤亡的抚恤费。

② 停工损失是指每停工1小时估计损失1000美元，G_1停工2小时、G_2停工1天、G_3停工1个月、按31天算，G_4、G_5均无限期停工，其损失约为10^7美元

为计算初因事件和各失败的环节事件的发生概率，给出下列有关参数（见表12-27）。

根据表12-27的数据，可以计算各后果事件的发生概率。

后果事件G_1的发生概率为

表 12-27 各事件的有关参数

事件	有关参数	事件	有关参数
A	A发生概率 $P(A)=0.088/6$ 个月 （电机大修周期＝6个月）	D_2	自动灭火控制系统故障X_7： $\lambda_7=10^{-5}$/小时，$T_7=4380$小时
B_2	起火概率$P(B_2)=0.02$（过热条件下）		自动灭火器故障X_8： $\lambda_8=10^{-5}$/小时，$T_8=4380$小时
C_2	操作人员失误概率$P(X_5)=0.1$ 手动灭火器故障X_6： $\lambda_6=10^{-4}$/小时 $T_6=730$小时（T_6为手动灭火器的试验周期）	E_1	火警器控制系统故障X_9： $\lambda_9=5\times10^{-5}$/小时，$T_9=2190$小时 火警器故障X_{10}： $\lambda_{10}=10^{-5}$/小时，$T_{10}=2190$小时

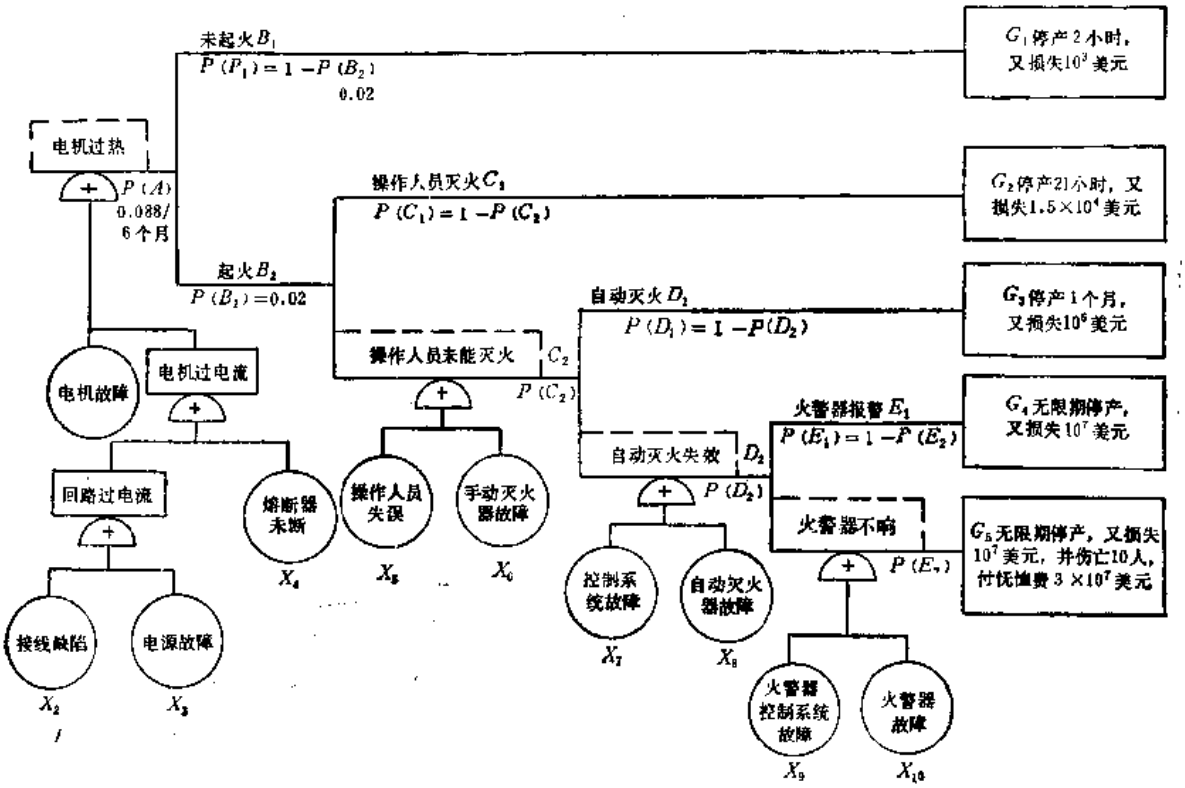


图 12-25 电机过热的因果图

$$P(G_1)=P(A)P(B_1)=P(A)[1-P(B_2)]$$
$$=0.088\times(1-0.02)=0.086/6\text{个月}$$

即，六个月内电机过热但未起火的可能性为0.086。后果事件G_2的发生概率为

$$P(G_2)=P(A)P(B_2)P(C_1)=P(A)P(B_2)[1-P(C_2)]$$

C_2事件的发生概率

$$P(C_2)=P(X_5+X_6)=P(X_5)+P(X_6)-P(X_5)P(X_6)$$

已知，$P(X_5)=0.1$，$P(X_6)$是手动灭火器故障概率。表 8-1 给出了手动灭火器的试验周期为730 小时，故可以设故障发生在试验周期的中点，即 $t_6=730/2=365$ 小时处。处于试验间隔中的手动灭火器相当于不可修部件，其发生概率为

$$P(X_6)=\lambda_6 t_6=10^{-4}\times365=3.65\times10^{-2}$$

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

$$\therefore \quad P(C_2) = P(X_5) + P(X_6) - P(X_5)P(X_6)$$
$$= 0.1 + 3.65\times10^{-2} - 0.1\times3.65\times10^{-2} = 0.13285$$
$$\therefore \quad P(G_2) = P(A)P(B_2)[1 - P(C_2)]$$
$$= 0.088\times0.02\times(1-0.13285) = 0.001526184/\text{6 个月}$$

后果事件G_3的发生概率为

$$P(G_3) = P(A)P(B_2)P(C_2)P(D_1) = P(A)P(B_2)P(C_2)[1 - P(D_2)]$$

D_2事件发生概率$P(D_2)$ 可以仿照上述$P(C_2)$ 的处理方法。

自动灭火控制系统工作时间

$$t_7 = \frac{T_7}{2} = \frac{4380}{2} = 2190\text{小时}$$

自动灭火控制系统故障概率

$$P(X_7) = \lambda_7 t_7 = 10^{-5}\times2190 = 0.0219$$
$$P(X_7) = P(X_8) = 0.0219$$
$$\therefore \quad P(D_2) = P(X_7) + P(X_8) - P(X_7)P(X_8)$$
$$= 0.0219 + 0.0219 - 0.0219\times0.0219 = 0.04332039$$
$$\therefore \quad P(G_3) = P(A)P(B_2)P(C_2)[1 - P(D_2)]$$
$$= 0.088\times0.02\times0.13285\times(1-0.01332039) = 0.000223686/6\text{个月}$$

后果事件G_4的发生概率为

$$P(G_4) = P(A)P(B_2)P(C_2)P(D_2)P(E_1) = P(A)P(B_2)P(C_2)P(D_2)[1 - P(E_2)]$$

同样，$P(E_2) = P(X_9) + P(X_{10}) - P(X_9)P(X_{10})$

$$P(X_9) = \lambda_9 t_9 = \lambda_9(T_9/2) = 5\times10^{-5}\times\frac{2190}{2} = 0.05475$$
$$P(X_{10}) = \lambda_{10}t_{10} = \lambda_{10}(T_{10}/2)$$
$$= 10^{-5}\times\frac{2190}{2} = 0.01095$$
$$\therefore \quad P(E_2) = P(X_9) + P(X_{10}) - P(X_9)P(X_{10})$$
$$= 0.05475 + 0.01095 - 0.05475\times0.01095 = 0.065100488$$
$$\therefore \quad P(G_4) = P(A)P(B_2)P(C_2)P(D_2)[1 - P(E_2)]$$
$$= 0.088\times0.02\times0.13285\times0.04332039\times(1-0.065100488)$$
$$= 0.000009469/6\text{个月}$$

表 12-28 各种后果事件的发生概率、损失大小和风险率

后果事件 G_i	损失大小（美元） S_i	发生概率（1/6 个月） P_i	风险率（美元/6个月） R_i
G_1	3×10^3	0.086	258
G_2	3.9×10^4	0.001526184	59.52
G_3	1.744×10^6	0.000223686	390.11
G_4	2×10^7	0.000009169	189.38
G_5	5×10^7	0.000000659	32.95
累　　计			929.96美元/6个月 =1859.92美元/年

$$P(G_6) = P(A)P(B_2)P(C_2)P(D_2)P(E_2)$$
$$= 0.088 \times 0.02 \times 0.13285 \times 0.04332039 \times 0.065100488$$
$$= 0.000000659/6\text{个月}$$

各种后果事件的发生概率和损失大小均已知道，便可求出各种后果事件的风险率（或称损失率）：

$$R_i = P_i S_i$$

于是，可得到各种后果事件的发生概率、损失大小，（严重度）和风险率表。见表12-28。

12.9 危险度分级法

美国的道化学公司（Dow's Chemical Co.）1964年提出了化学物品危险程度分类，以便采取对应的防火措施。1966年又提出了以火灾爆炸指数的概念，表示化学工厂在火灾爆炸方面的危险程度，并得到美国化学工程学会（AlChE）的赞许。过了六年之后，该公司又于1972年提出了以物质的闪点或沸点为基础、能够代表物质潜在能量的物质系数，另外再加上物质的特定危险值、工艺过程的危险值和特定工艺的危险值，通过计算得出可进行评价的火灾爆炸指数，这就是第三版，物质系数值原用1～20表示，称为旧法，后又改用1～51.6，称为新法。

1979年英国帝国化学公司蒙德部结合道化学公司法第三版，提出了ICI Mond火灾、爆炸、毒性指标，基本上是在道氏第三版的基础上加以扩充。

1976年日本劳动省公布了“化学联合企业安全评价”六步骤法，以及岗山法、四田法，也都是以道氏法第三版为蓝本的。

1976年道化学公司发表了评价法的第四版，改进了确定物质系数的方法，引进了毒性的概念，并提出以火灾爆炸指数估算最大可能损失（MPPD）的方法。

1980年第五版出台，提出以最大可能停工日数（MPDO）计算出经营损失（BI）

1987年道化学公司推出第六版，调整了物质系数，增加了毒性补偿的内容，简化了附加系数和补偿系数的计算方法。

兹将道化学公司提出的火灾爆炸危险指数评价法，简要介绍如下。

1．评价程序（见图12-26）

（1）资料准备

① 工厂设计方案；

② 工艺流程图；

③ 道氏六版火灾爆炸危险指数评价法；

④ 道氏六版火灾爆炸指数计算表（表12-29）；

⑤ 安全设施补偿系数表（表12-30）；

⑥ 工厂危险性评价总表（表12-31）；

⑦ 工艺设备及安装成本；

（2）确定单元划分

（3）求出单元内物质系数

（4）将单元的工艺条件，按表12-29的分类，分别记入“一般工艺危险性”和“特殊工艺危险性”栏目内，并求出相应的附加系数。

（5）用一般工艺危险系数和特殊工艺危险系数求出单元工艺危险系数，再用单元危险

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

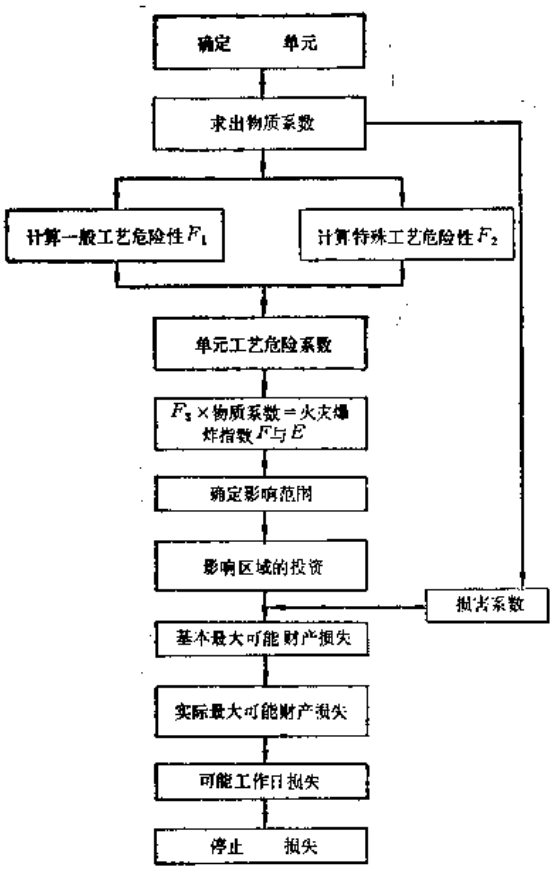


图 12-26 评价程序图

系数与物质系数查出损害系数（图12-32）。

（6）将单元工艺危险系数与物质危险系数相乘，求出火灾爆炸指数$F\&EI$。

（7）用火灾爆炸指数查出单元的影响区域（见图12-33）。

（8）查出单元影响区域内的所有财产价值，并用之求出基本最大可能财产损失MPPD。

（9）应用各种防护措施，或将高价值设施转移至危险单元影响范围之外，以降低最大可能财产损失值。

(10) 求出增设安全防护措施后，实际最大可能财产损失。

(11) 用实际MPPD求最大可能损失工作日（MPDO）。

表 12-29 火灾、爆炸指数计算表

	位置	时间
工厂名称 单元	评价人	审查人
物质与操作		
单元内的物质		
操作状态 □开车□停车□正常作业		

物质系数（见表1及附录A、B）

注意单元温度为 140°F 以上者 →

1.一般危险	修正系数	实际修正系数
基本系数 →	1.00	1.00
A 放热反应(0.3～1.25)		
B 吸热反应(0.2～0.4)		
C 物质的处理和输送(0.25～1.05)		
D 封闭式结构的单元(0.25～0.9)		
E 通道	0.35	
F 排放和泄漏控制(0.25～0.5)		
一般操作危险系数 F_1 →	→	
2.特殊操作危险性		
基本系数 →	1.00	1.00
A 毒性物质(0.2～0.8)		
B 负压(<500mmHg)	0.50	
C 爆炸极限及附近的操作		
□在极限内 □不在极限内		
1 罐装可燃性液体	0.50	
2 事故状态在爆炸极限内	0.30	
3 一直在爆炸极限内	0.80	
D 可燃性粉尘(0.05～20)（见表1）		
E 压力（见图2）		
操作压力 lb/in²		
释放压力 lb/in²		
F 低温 (0.2～0.3)		
G 易燃及化学活泼性物质的重量		
物质重量 lb		
物质燃烧热 英热单位/lb		
1.工艺过程中的可燃性液体、气体及化学活泼性物质		
2.储存过程中的可燃性液体和气体		
3.储存过程中的可燃性固体及工艺过程中的可燃性粉尘		
H 腐蚀与磨损 (0.10～0.75)		
I 泄漏（接头与密封）(0.10～0.75)		
J 使用明火		
K 油热交换系统 (0.15～1.15)		
L 转动设备	0.5	
特殊工艺危险系数 (F_2) →		
单元工艺危险系数 ($F_1 \times F_2 = F_3$) →		
火灾、爆炸指数($F_3 \times MF = F\&E$) →		

表 12-30

安全设施补偿系数	
1.工艺控制（C_1）	
（1）紧急状态动力源	0.98
（2）骤冷装置	0.97～0.99
（3）抑爆装置	0.84～0.98

(4)紧急切断装置	0.96～0.99
(5)计算机控制	0.93～0.99
(6)惰性气体保护系统	0.94～0.96
(7)操作仪表	0.91～0.99
(8)化学活泼性物质的评价	0.91～0.98
C_1 合 计	*
2.危险物质隔离(C_2)	
(1)远距离控制阀	0.96～0.98
(2)切断/排放装置	0.96～0.98
(3)排污系统	0.91～0.97
(4)连锁装置	0.98
C_2 合 计	*
3.防火设施	
(1)泄漏气体检测装置	0.94～0.98
(2)钢质结构	0.95～0.98
(3)地下贮罐	0.84～0.91
(4)供水系统	0.94～0.91
(5)特殊灭火系统	0.91
(6)自动洒水系统	0.74～0.97
(7)防火水幕	0.97～0.98
(8)泡沫灭火装置	0.92～0.97
(9)手提式灭火器/水枪	0.95
(10)电缆屏蔽	0.94～0.98
C_3 合 计	*
安全设施补偿系数：$C_1 \times C_2 \times C_3$	

注：* 指所有系数的乘积。

单元评价汇总

A-1 F&E

A-2 影响区域

A-3 影响区域的价值

B 损害系数

C 基本MPPD (A-3×B)

D 安全设施补偿系数

E 实际MPPD (C×D)

F 损失工作日MPDO

G 停产损失

表 12-31 工 厂 评 价 汇 总

地点：×× 区域/位置：××× 时间：8/26/86

工厂：×× 投资总额：5千万美元 制表人：

单元	物质系数 MF	火灾爆炸系数 F&E ($F_3 \times MF$) (百万美元)	影响区域内的财产价值 (百万美元)	基本 MPPD (A-3×B) (百万美元)	实际 MPPD (C×D) (百万美元)	损失工作日 MPDO	停产损失 (百万美元)
1.反应器	29	174	15.0	13.0	6.4	40/119	10.0
2.加热炉	16	96	12.0	7.0	4.0	28/90	7.0
3.压缩机	24	143	15.0	12.5	5.7	35/110	9.0

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

以上为一座投资额为5千万美元的工厂的评价结果。现以反应釜单元为例，对其中的数字加以说明。反应釜单元的财产价值为1500万美元，最大可能损失额为1300万美元，实际可能损失额为640万美元。可导致工作日损失为40～110天，停产损失1000万美元。

2．单元划分

为便于分析，可将所研究的对象如工厂、装置等可以单独分开的一部分，作为单元进行评价，如用二氯乙烷裂解制造氯乙烯工厂的裂解炉/淬冷区中所划分的单元为二氯乙烷预热器、二氯乙烷吸收塔和焦油槽等。乳液法生产丁苯胶的装置可分为单体混合器、聚合釜、卸料罐、水处理室、苯乙烯洗涤塔等单元，仓库也可作为单元，也可以防火墙为界划分单元。

评价时只选择对工艺有严重影响的单元进行评价，也可把它们叫作评价单元，选择的原则为①物质的潜在化学能；②物质量；③资金密度（单位面积资金数）；④操作压力与温度；⑤以往发生过的事故。

评价时可能遇到不同的操作条件，如开停车、正常作业、装料、卸料、填加触媒等；不同的反应状态，如反应前的物料，反应后的产品，都应按其危险性最大的情况进行评价。

3．确定物质系数MF

按本章附录求出各类物质的MF，如表中未列，则按表12-32的方法求MF。

表 12-32

气体及液体的可燃性包括挥发性固体	NFPA325M及49	$Nr=0$	$Nr=1$	$Nr=2$	$Nr=3$	$Nr=4$
不燃物(暴露在816℃热空气中5分钟不燃烧)	$Nf=0$	1	14	24	29	40
F.P.>93℃	$Nf=1$	4	14	24	29	40
93℃>F.P>38℃	$Nf=2$	10	14	24	29	40
F.P<38℃ B.P>38℃	$Nf=3$	16	16	24	29	40
F.P<23℃ B.P>38℃	$Nf=4$	21	21	24	29	40
可燃性粉尘（Kst是指在16L或稍大的密封容器中，用强点火源作的试验值）						
St-1 (K_{st}<200bar·m/s)		16	16	24	29	40
St-2 (K_{st}=201～300bar·m/s)		21	21	24	29	40
St-3 (K_{st}>300bar·m/s)		24	24	24	29	40
可燃性固体						
厚度>40mm（木板、镁锭、纸卷）		4	14	24	29	40
厚度<40mm（粒状非粉尘物质）		10	14	24	29	40
多孔物、纤维、粉状物		16	16	24	29	40

表中Nr值按下述原则选定：

$Nr=0$　燃烧条件下仍保持稳定

$Nr=1$　加温加压条件下稳定性较差

$Nr=2$　非加温加压条件下不稳定

$Nr=3$　封闭状态下能发生爆炸

$Nr=4$　敞开环境能发生爆炸

表 12-33 一般工艺危险性附加系数表

工艺过程	条件说明	附加系数
放热反应	轻微 a. 加氢 b. 水合 c. 异构化 d. 磺化 e. 中和	0.3
	中等 a. 烷基化 b. 酯化 c. 加成 d. 氧化 e. 聚合 f. 缩合	0.5
	临界 卤化 （失控后会导致火灾爆炸）	1.0
	特别剧烈 硝化	1.25
吸热反应	任何吸热反应	0.2
	使用固、液、气体物质供热时	0.4
	a. 煅烧	0.4
	b. 电解	0.2
	c.热裂及热解	
	使用电加热或载热体加热时	0.2
	明火直接加热时	0.4
物料贮运	一类可燃物及石油液化气装卸过程中，连接或拆卸管线	0.5
	人工加料的离心机、间歇式反应釜、混料器	0.5
	可燃性物质存放（包括库房或露天）	
	a. 罐、桶装 N_f为3或4的可燃性气、液体	0.85
	b. 表12-30中所列 N_f为3的可燃固体	0.4
	c. 闪点为37.8～60℃的可燃液体	0.25
	注：上述物质存于库房中无洒水装置，附加系数增加0.2	
封闭结构（三面墙有顶或四面墙无顶）	1. 室内集尘器、滤尘器	0.5
	2. 处理超过闪点的可燃液体	0.3
	（同上述条件但液体量大于4.5T时）	0.45
	3. 处理液化石油气或温度超过沸点的可燃液体	0.6
	（同上述条件但处理量大于4.5T时）	0.9
	注：如2，3项中安装有合理的机械通风时系数可减少0.5	
通路（危险装置的通路不得少于2条）	1. 操作区域大于925M²，通路符合要求	0.35
	2. 库区大于2312M²，通路不符合要求	0.35
	3. 面积低于1及2，通路不良能影响火情控制	0.2
	4. 封闭结构中的主要单元应适当增加修正系数	
排放和泄漏	易燃液体一旦泄漏不能迅速排走，应加附加系数，泄漏量及消防水排放量应按操作单元物料量75%计算，罐区按最大贮罐量计算，消防水按30分钟使用量计算	
	1. 单元设施周围有防液堤	0.5
	2. 单元周围为开阔地，发生火灾时单元会受影响	0.5
	3. 单元三面有防液堤，且符合下述条件，不加附加系数	
	a. 至排出沟为2%斜度的土质路面或1%的硬质路面	
	b. 从装置外缘到排放沟距离不少于8m，大型贮罐不少于其直径距离	

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

工艺过程	条件说明	附加系数
排放和泄漏	c. 排放沟槽贮量能满足泄漏及消防水量要求 如上述条件只能部分满足，附加系数可取0.25	
	d. 如排放沟槽处设有重要管线或管线距离不符要求者	0.5

表 12-34 特殊工艺过程危险性附加系数表

工艺过程	条件说明	附加系数
A 毒性物质	NFPA中所载N_h分类 $N_h=0$ 无毒且可燃 $N_h=1$ 有轻微危害 $N_h=2$ 有急性危害需医疗监护 $N_h=3$ 可造成急性中毒和慢性影响 $N_h=4$ 短期接触也能造成死亡或严重伤害	$0.2\times N_h$
B 负压操作	低于500mm Hg 工艺中已使用了此项附加系数，则C，E节不再重复使用	0.5
C 爆炸极限范围或附近操作	1. 贮存$N_f=3$或$N_f=4$的可燃液体贮罐，卸空或骤冷时空气可能进入	0.5
	在闪点以上贮存可燃液体，且不封闭	0.5
	注：如有蒸气回收装置且气密良好，则不加系数	
	2. 只有在控制仪表失效情况下才进入本项操作条件	0.3
	用惰性气体保持在爆炸范围外的作业	0.3
	运载可燃液体的船舶和槽车	0.3
	3. 在爆炸极限内或其附近的操作	0.8
D 运输、研磨包装作业中的粉尘	粉尘粒径：微米μ / 目 → 附加系数 175 / 60～80 → 0.25 150～175 / 80～100 → 0.5 100～150 / 100～150 → 0.75 75～100 / 150～200 → 1.25 <75 / >200 → 2.00	
	注：所有粉尘（经试验证明不爆炸者除外）均应给定附加系数 有惰性气体保护，上述附加系数可乘以0.5	
E 压力释放	操作压力与释放量直接有关	
F 低温	碳钢低于转变温度操作时（如未测过转变温度，可采用10℃为转变温度）	0.3
	碳钢以外材质低于转变温度操作时	0.2
G 物质量 G_1 液体及气体	物质主要包括 a. 闪点低于60℃的可燃液体和易燃液体 b. 易燃液体 c. 易燃液化气 d. 闪点高于60℃，且操作温度在闪点以上的可燃液体	

续表

工艺过程	条　　件　　说　　明	附加系数
G　物质量 G_1 液体及气体	c. $N_F>2$ 的化学活泼性物质（不考虑可燃性） 考虑物质的量有三个方面：a.泄漏量；b.引起火灾的量；c.发生化学性反应事故的量。求附加系数时，理论上应是评价单元或相连管线在10分钟内可能泄漏出的物料量。实际上物料量估算法为 a. 评价单元中的物料量； b. 相连单元中贮量最大单元物料量； c. 各种容器、中间贮槽互相连接，应采用所有物料量之和，（如可用遥控截止阀切断连接的容器，则可不计其物料量），从图12-28查出附加系数，对于 $N_F>2$ 的化学活泼性物质，其热值可以取6倍分解热值和燃烧热值之中较大者	
G_2 贮存单元（操作场所以外）	可按贮存物料的总能量，查图12-29求出多个可移动容器，应按容器中物料总量计算同一防液堤内有2个或多个容器，且不能在30分钟内将物料排放到无危险处所，则按容器中物料总量计算 例：有三个贮罐，分别装有340吨苯乙烯单体，340吨二乙基苯和272吨丙烯腈，处于同一防液堤中，且不能泄放到安全地带，贮藏温度为38℃，总能量计算如下 $340\times10^3\times9.7\times10^3$ kcal/kg $=3.3\times10^6$ kcal $340\times10^3\times10\times10^3$ kcal/kg $=3.4\times10^9$ kcal $272\times10^3\times7.6\times10^3$ kcal/kg $=2.1\times10^9$ kcal 总能量 $=8.8\times10^9$ kcal 苯乙烯——一类易燃液体（曲线B） 丙烯腈——一类易燃液体（曲线B） 二乙基苯——二类可燃液体（曲线C） 用总能量查图12-29求附加系数时，要取各物质对应的最高曲线的交点值，本例最高曲线为B，对应的附加系数是1.00	
G_3 贮存的可燃固体和工艺过程中的粉尘	根据物质密度及点火能确定其附加系数，用贮存的固体总量和粉尘总量，按图12-30查出 如物质的堆积密度小于160kg/m³，用曲线A，大于则用曲线B 对于 $N_F>2$ 的不稳定物质，则用6倍的物质总量，由曲线A确定近似的附加系数 例：一座面积为1858m²，高4.57m的库房，不计通道空间，体积为8495m³，若存放密度为35.2kg/m³的泡沫材料和纸板盒，求附加系数 物质总重量　35.2kg/m³ × 8495m³ = 299024kg 平均密度<160kg/m³，故用曲线A，得附加系数1.50 如果本库房存放的是平均密度为 448.5kg/m³的聚乙烯粉和纤维素粉，总重量为3810000kg，由于平均密度>160kg/m³，故用曲线B，查出附加系数为0.92	
H　腐　蚀	1. 点状和局部腐蚀速度小于0.5mm/年	0.10
	2. 腐蚀速度处于0.5～1mm/年	0.20
	3. 腐蚀速度高于1mm/年	0.50
	4. 如有断裂危险的应力腐蚀时（长期接触氯气会产生应力腐蚀）	0.75
	5. 防腐衬里装置（防止产品被染色的衬里除外）	0.20
I　轴封和接头处的泄漏	1. 泵密封和压盖密封有轻微泄漏时	0.10
	2. 机泵、压缩机的法兰连接处出现周期性泄漏	0.30
	3. 操作压力和温度发生周期性变化	0.30
	4. 装置中的介质为渗透剂或浆状研磨剂，能够引起密封周期性泄漏或工艺过程采用转动轴封或填料时	0.40
	5. 具有玻璃视镜、波纹管和膨胀节的化工单元装置	1.50

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

<table>
<tr><th>工艺过程</th><th>条　　件　　说　　明</th><th>附加系数</th></tr>
<tr><td>J　明火设备（本身为评价单元，或评价单元在明火设备附近）</td><td>评价单元泄漏点到明火设备进气孔距离的附加系数可由图12-31查出
1.　下列情况使用A-1曲线
a.　单元中的危险物质在闪点以上操作，且有可能泄漏
b.　单元中的危险物质为易燃粉尘
2.　下列情况使用A-2曲线
单元中的危险物质操作温度在沸点以上，且有可能泄漏
3.　如明火加热器本身即是评价单元，则距离为0，如本加热器加热易燃或可燃物质，即使低于闪点
4.　使用"增压燃烧器"的加热设备，若进气孔在3 m以上，且不存在高温泄漏危险，其附加系数要减半（评价单元本身是加热设备无需作此处理）</td><td>1.00</td></tr>
<tr><td>K　油换热系统</td><td>热交换系统中的载热体为可燃的油类，且在闪点或沸点以上使用时，就应给予附加系数
油量可用管线破裂时15分钟溢出的量或热油系统中的循环油量两者中的较小者，然后根据油量从下表中查出附加系数
<table><tr><th rowspan="2">热油量（m^3）</th><th colspan="2">附加系数</th></tr><tr><th>闪点以上</th><th>沸点或沸点以上</th></tr><tr><td>18.92</td><td>0.15</td><td>0.25</td></tr><tr><td>18.92～37.85</td><td>0.30</td><td>0.45</td></tr><tr><td>37.85～94.63</td><td>0.50</td><td>0.75</td></tr><tr><td>＞94.63</td><td>0.75</td><td>1.15</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td>L　转动设备</td><td>评价单元中使用或本身是转动设备
1.　超过450kW的压缩机
2.　超过56kW的机泵
3.　设备有可能发生搅拌器停止搅拌，循环泵中断循环导致化学反应温度上升的情况
4.　曾经发生过诸如离心机高速运转设备的大型事故</td><td>0.5</td></tr>
</table>

混合物的MF：空气和易燃蒸气、氢和氯等混合物遇火源会发生剧烈反应，其MF应使用初始状态物质（未反应前）的MF值。

液体混合物及溶液的MF可由试验求得，也可使用混合物中MF最高的物质。

可燃性粉尘和可燃气体在空气中形成的爆炸性混合物可通过实验求得其MF。

4．一般工艺危险性系数F_1的求法（见表12-33）

求F_1时应考虑物质在工艺过程中所处的最危险状态，如开停车、正常作业时，并应防止对危险性进行重复计算，一般情况下只评价一种危险。

5．特殊工艺危险性F_2的求法（见表12-34）

在求出压力附加系数后，还需求出初始附加系数和释放压力附加系数的比值，再用此值与压力附加系数相乘，求出实际的压力附加系数。例：有一容器装有高粘度的物料，容器的设计压力为7kg/cm²，爆破板爆破压力为8.8kg/cm²，求实际压力附加系数。

查图12-27得出相应的附加系数各自为0.30和0.34。

高粘度物质附加系数校正值为0.7，则初始附加系数为$0.7\times0.3=0.21$。

操作压力附加系数同释放压力附加系数的比值为　$0.3/0.34=0.88$

故实际的压力附加系数为

$$0.21 \times 0.88 = 0.19$$

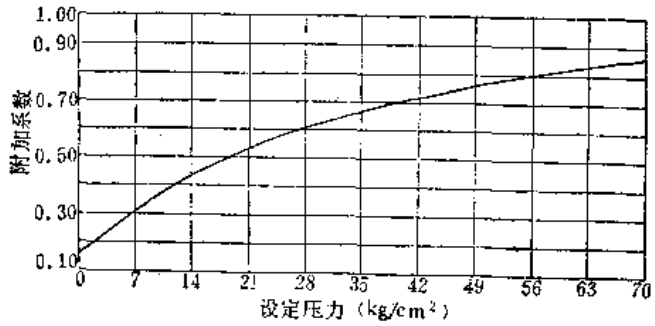
此外，挤压成型作业不加附加系数。压力超过70kg/cm²时，其附加系数如左下表。

压　力 (kg/cm²)	附 加 系 数
105	0.92
140	0.96
175	0.98
210～709	1.00
＞700	1.50

6．单元危险系数F_3的确定

单元危险性系数是一般工艺过程危险系数F_1和特殊工艺过程危险系数F_2的乘积，其正常数值范围是1～8，主要用来确定火灾爆炸系数（$F\&EI$）和计算损坏系数。

F_3的值一般不超过8，如果得出更高的值时，使用最大值8。



压力 (kg/cm²)	附加系数
105	.92
140	.96
175	.98
210to 700	1.00
>700	1.50

附加系数校正
1.高粘度物质×0.7
2.压缩气体　×1.2
3.液化易燃气×1.3

图 12-27　闪点低于60℃的易燃和可燃液体泄放阀设定压力

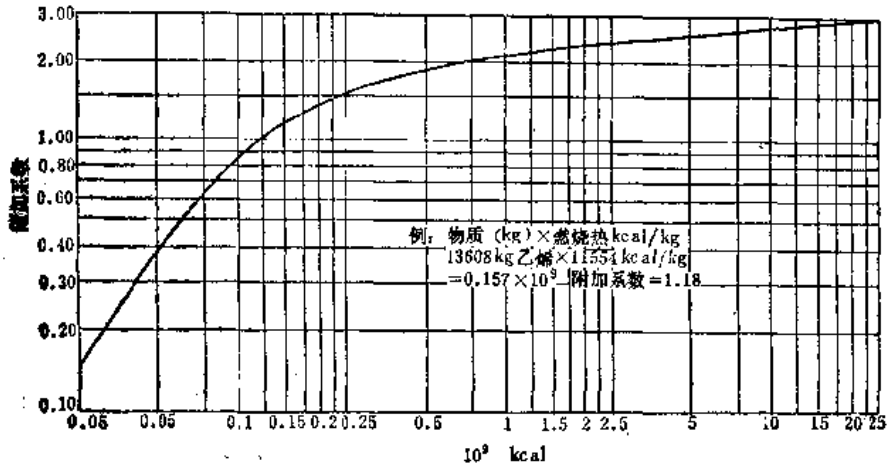


图 12-28　工艺过程中的液体或气体

7．火灾爆炸指数（$F\&EI$）的确定

计算火灾爆炸指数是为了估算生产过程中事故造成的破坏情况，它是单元危险系数F_3和物质系数的乘积。

8．安全措施补偿系数的确定

设计时除了遵照有关设计规范标准中规定的安全要求设计外，还应考虑一些专用的安全设施或冗长设计以增进工艺的安全性。有了这些设施后，工艺危险性可以得到补偿而降低。由此引入了补偿系数的概念。补偿系数与附加系数不同，前者是为了抵消危险性，而后者是对危险性的增加。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

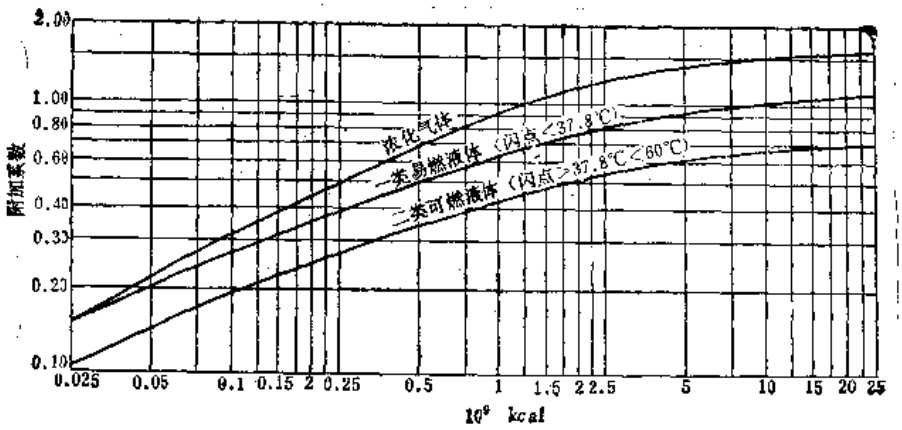


图 12-29 贮存中的液体或气体

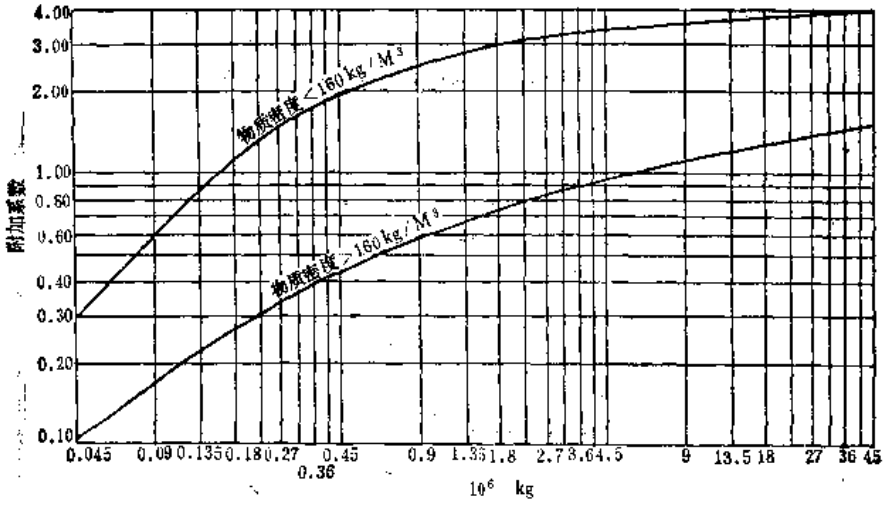


图 12-30 贮存中的可燃固体

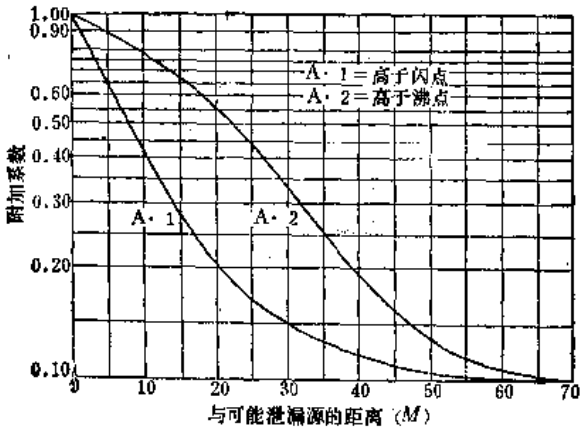


图 12-31 明火设备附加系数（位于装置区域内）

安全设施大致可分为三类，即

C_1 压力控制

C_2 原料隔离

C_3 防火设计

每一类安全措施的补偿系数是该类中全部系数的乘积，如该类缺项则乘以1。

安全设施的总补偿系数C为

$C = C_1 \times C_2 \times C_3$

用此系数对基本MPPD进行修正。安全措施的补偿系数列于表12-35。

表 12-35 安全设施补偿系数表

类 别	措 施 内 容	补偿系数
工艺控制 (C_1)	a. 紧急动力源	0.98
	为避免失控、对仪器仪表、搅拌器、泵等从正常状态到应急状态的自动转换	
	b. 冷却	
	异常时能维持10分钟的冷却能力	0.99
	具有维持10分钟提供15%的冷却要求备用系统	0.97
	c. 爆炸控制	
	装设了抑爆系统	0.84
	防护迅速超压（爆轰）的爆破板，泄压孔（不包正常安装的安全阀或泄放呼吸孔）	0.98
	d. 紧急联锁停车系统	0.98
	e. 计算机控制系统	
	安装了在线计算机帮助操作者	0.99
	使用计算机对操作进行直接控制	0.97
	f. 使用惰性气	
	贮存设备易燃蒸气空间有惰性气体充填	0.96
	需要时惰性气体能置换单元的全部空间	0.94
	g. 操作规程	
	操作规程包括的内容及给定的分值	
	1) 开车 0.5	
	2) 正常停车 0.5	
	3) 正常操作 0.5	
	4) 改变操作条件 0.5	
	5) 备用设备条件 0.5	
	6) 大功率操作条件（高于系统容量）1.0	
	7) 短时间停车之后重新启动 1.0	
	8) 检修后重新开车 1.0	
	9) 维修作业程序 1.5	
	10) 紧急停车 1.5	
	11) 改造或增加设备和管线 2.0	
	12) 预见非正常的故障情况 3.0	
	将各项分值相加，用下式求出补偿系数	
	$1.0 - \frac{x}{150}$ （x为诸项值之和）	
	如上述诸项均能满分，则	
	$1.0 - \frac{13.5}{150} = 0.91$	
	如操作规程十分完善	0.91～0.99
	h. 对易造成剧烈反应的化学物品进行评价	
	连续使用时	0.91
	偶然使用时	0.98

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

类　别	措　施　内　容	补偿系数
隔离(C_3)	a. 远距离控制	
	出现险情时，用远距离控制阀隔断贮罐、容器和管线	0.98
	隔断阀每年至少更新一次	0.96
	b. 泄料槽	
	单元设有泄料槽可容纳工艺过程泄出的物料	0.98
	泄料槽处于作业单元之外	0.96
	c. 排污系统	
	排污时地面至少有2%斜度（硬地面1%）使污物达到排放沟，该沟应能容纳70%的污料	0.91
	如排污沟连接只能容纳物料30%	0.95
	排污系统可处理中等数量泄漏物	0.97
	如能把防护堤中的泄料排到大于贮罐直径长度之外的蓄液池	0.95
	d. 自锁	
	发生剧烈反应或不正确的物料流时可以自锁（包括燃烧器系统）	0.98
防火(C_4)	a. 泄漏检测	
	有气体报警检测器，并有明确的防火带	0.98
	报警时又可启动防爆系统	0.94
	b. 钢结构	
	防火涂料达到（包括钢筋混凝土结构）	
	5m	0.98
	5～10m	0.97
	10m以上	0.95
	如这类结构中安装了喷水系统可将补偿系数再乘以0.98	
	c. 双层贮罐	
	内层出现故障时，外墙能承受全部物料负荷	0.91
	d. 供水系统	
	消防用水能供应4小时的最大用量	0.97
	e. 特殊灭火系统　包括使用哈隆(Halon)，CO_2，烟及火焰传感器等	0.91
	f. 喷水系统	0.97
	室内加工和仓库使用的湿管和干管系统的补偿系数	

作业场所类别	设计喷水量 $l/m^2 \cdot min$	补偿系数 湿管	补偿系数 干管
轻	6～8	0.87	0.87
一般	8.1～13.9	0.81	0.84
特别危险	>13.9	0.71	0.81

如操作面积过大，则应对补偿系数乘以面积系数	
面积>930m^2	1.06
面积>1860m^2	1.09
面积>2800m^2	1.2
g. 水幕　水幕应位于泄放点至少23m处	
单排喷嘴能喷高5m	0.98
双排喷嘴安设不超过第一排2m处	0.97
h. 泡沫	
远距离手控泡沫喷射	0.94
全自动泡沫喷射	0.92
浮顶罐上设手动泡沫灭火系统	0.97
使用火灾检测装置驱动泡沫系统	0.94

续表

类　别	措　施　内　容	补偿系数
	能质贮罐地下泡沫系统和泡沫室	0.95
	可燃液体贮罐外壳和周围使用泡沫系统	
	手动系统	0.97
	自动系统	0.94
	i. 手提式灭火器—水枪	
	火灾危险区配备手提式灭火器（不能有效控制的情况除外）	0.98
	安装了水枪	0.97
	水枪能在远距离安全地点进行操作	0.95
	j. 电缆防护	
	仪表和电缆支架配备了消防洒水系统并使用金属防护罩	0.98
	无洒水系统但金属罩上有防火涂料	0.98
	电缆埋入电缆沟时	0.94

9. 单元损坏系数的确定

单元损坏系数由单元危险系数F_3和物质系数MF确定，它表示了工艺单元中危险物质的能量释放造成火灾或爆炸事故的全部效应。图12-32是物质系数和损坏系数的关系图。对于F_3的系数超过8.00时按最大系数8.00计算。

10. 影响区域的确定

可由图12-33求出影响区域的半径，该值表示评价单元内发生火灾和爆炸时可能影响的区域。但实际损害的程度还要受设备的位置、风向、排污系统布置等因素的影响。

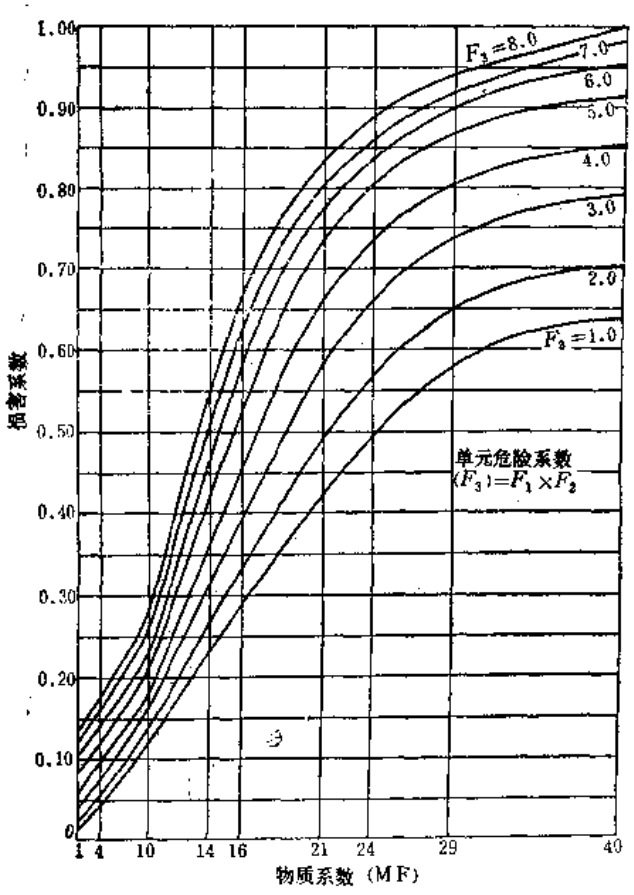


图 12-32　单元损害系数计算图

当评价单元内设备尺寸不大时，影响半径可考虑从设备的中心开始计算。

如影响扩展到建筑外，中间有能够防御火灾或爆炸的建筑物墙，并且建筑物不会发生危险时，可以考虑以建筑物为影响界限。

如果物料存放于仓库或其它建筑物内，潜在的危险仅是火灾（不是爆炸），建筑物的墙和房顶不传播火焰，那只算建筑物本身为影响区，如建筑物为可燃结构，则影响区应超越建筑物本身。

例：

单元A		单元B	
单元危险系数	4.0	单元危险系数	4.0
物质系数	16	物质系数	24
损坏系数	0.45	损坏系数	0.74
F&EI	64	*F&EI*	96
暴露半径	16.4m	暴露半径	24.6m

工艺单元A中的条件表示周围851 m²区域内有45%的设备装置被损坏，而工艺单元B中的条件则表示周围有1914m²的区域内，

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

有74%的设备装置损坏。

11．各种损失结果的计算

（1）基本最大可能财产损失（基本MPPD）确定了影响区域及损坏系数后，就可求出基本MPPD。

基本MPPD＝0.82×影响区域内设备（包括建筑物）值×价格上涨因素

式中0.82系道路、地下管线、基础等扣除价值。

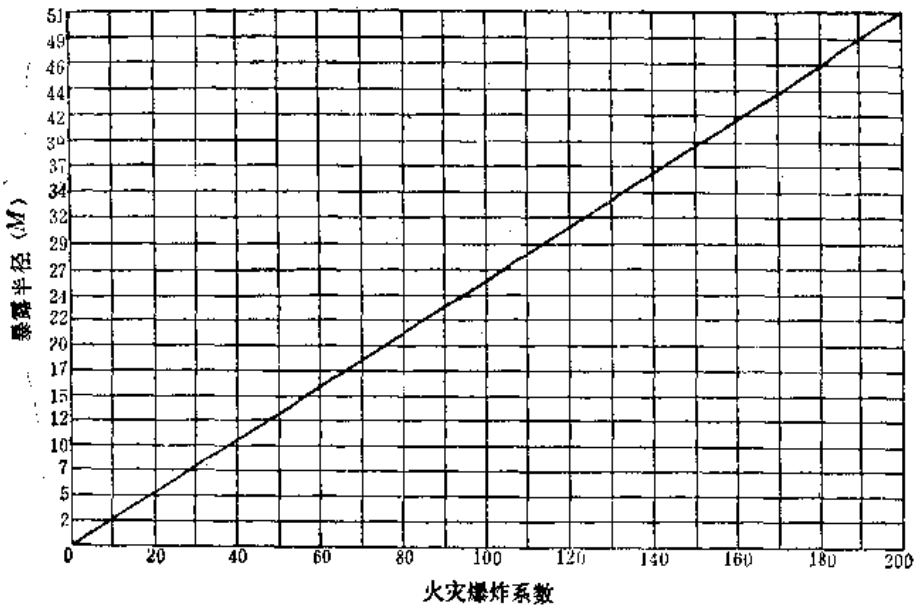


图 12-33 影响区域（半径）计算图

计算时还应注意把贮罐（以80%容量计）、仓库（以70%库存计）以及流程内产品和在制品的价值包括在内。

（2）实际最大可能财产损失（实际MPPD）

实际MPPD＝基本MPPD×安全措施系数C

（3）最大可能损失日数MPDO MPDO是评价事故引起的业务中断损失，以停工日数表示，可由实际MPPD查图12-34求出。

$$\frac{\text{MPDO}}{30}\times \$\text{VPM}\times 0.70 = \$\text{BI}$$

式中 $VPM——日产值。

0.70——不固定成本和利润

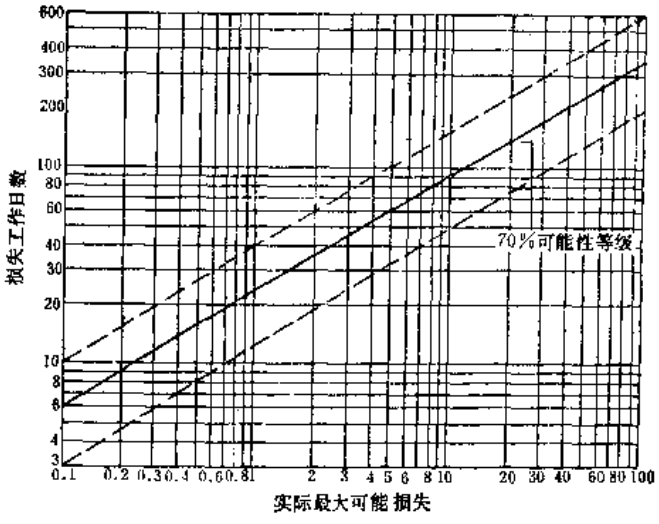


图 12-34 最大可能损失日数计算图

12．最终危险度分级

道化学公司3～5版都是以$F\&EI$进行危险度分级的，由于考虑因素的变化，各版危险度分级数值均不相同，而第6版并无$F\&EI$数值分级。建议以实际MPPD和最大停工日数MPDO结合本行业实际情况进行分级

（参阅表12-29）。

12.10 人的因素分析

通过长期的事故分析，发现人的失误是构成事故的重要原因。由于人的生理有一定极限，过度疲劳、超重负荷、不良环境或不合理的工位设计都会造成人的操作失误。

表 12-36 石化联合企业灾害事故原因的发展

原因分类	1969	1973	1981
误操作	22%	45%	53%
装置缺陷	50%	21%	35%
劣化	22%	21%	10%
其它	6%	13%	2%

表12-36为井上威莱教授统计的石化联合企业事故原因。

为了防止人的失误，首先应从操作岗位的设计做起。国际标准组织曾发表了设计操作系统时的人机工程原则，可供参考。进行人的因素分析评价时，也可以之为依据，编制人机工程安全评价表。

表 12-37 操作系统设计时的人机工程原则

设计操作系统时的人机工程原则（ISO/TC159）

0. 序

在生产过程中，技术、经济、组织和人际关系等因素，都会对劳动者带来影响。因此设计操作系统时，应根据实际经验和人机工程的知识，满足人在生产过程中的需要

1. 目的

本项国际标准，可作为设计操作系统时，制订人机工程原则的基本指针

2. 适用范围

本项国际标准包括的人机工程原则，已经考虑到技术经济效率，职业安全和健康，以及最佳的工作条件，可供设计时采用

注：1.本标准必须与其它的有关标准及各国本国的标准结合使用

2.如对不同年龄，身体残疾，例外的操作情况或对付紧急状态时附加有要求时，则可对本标准进行修订

3. 定义

3.1 操作系统　由人和机器组成，在一定的环境和工作地点，从事生产劳动，完成任务或取得产品

3.2 工作任务　生产劳动的目标和成果

3.3 工作设备　在操作系统中使用的工具、机器和装置等

3.4 工作工程　操作系统中的人、设备、资金、材料、能源、情报等一系列工作空间和时间的关系

3.5 工作地点　操作系统中人所处的领域

3.6 工作环境　工作地点周围的物理、化学、生物学等因素，本标准中不包含社会、文化的因素

3.7 工作压力　（外来负荷）操作系统中干扰正常操作的外来条件

3.8 工作负担　（内部负荷）在心理和生理方面给人施加工作压力，会带来对个性和能力的影响

3.9 疲劳　局部或全身的工作负担造成的非病现象，通过休息能完全消除

4. 一般原则

4.1 工作地点和工作设备的设计

4.1.1 与人体尺寸有关的设计

设计工作地点和工作设备时，要考虑由于人体尺寸与工作工程有关的制约条件，对工作地点应满足下列要求：

a. 工作面的高度要与人体尺寸和工作内容适合

b. 坐位要按照人的解剖学、生理学的特征设计

c. 身体动作特别是头、腕、手、足等动作应有充分的空间

d. 控制器应保证手脚都能达到

e. 手柄等应按人手的功能设计

4.1.2 姿势、用力和动作等有关设计

设计原则应避免使肌肉、关节、韧带、呼吸和循环系统负担过重，需要用力的地方也应该在生理范围之内，动作应符合自然节律，姿势、用力和动作要力求协调

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

4.1.2.1 姿势

a. 对操作者来讲，如果立位或坐位可以任选的话，应选坐位为宜，如工作不允许，立姿也行

b. 如果力气用得很大，要注意适当姿势并有身体支撑物，用力扭转时，不要用过大力矩

c. 产生静疲劳的姿势，如仰面操作，则应经常改变姿势

4.1.2.2 用力的工作

a. 操作者具备的体力应符合需要

b. 不要作超体力的工作，如果必要时采用辅助工具或设备

c. 避免长时间肌肉紧张的劳动

4.1.2.3 动作

a. 动作时应保持良好平衡，平衡的动作能够持较长时间

b. 动作的范围、强度、速度、空间要有调节的可能

c. 要求特别准确的工作，不能用太大的力气

d. 进行定时操作时最好有规定的程序进行检验

4.1.3 传送信息的有关设计

4.1.3.1 信号表示装置

信号装置应适合人的感知特性，应按下述方式选择、设计、配置

a. 信号装置的形状和数量应符合信息传递的特性

b. 显示装置很多的地方，为保证正确传递信息，在布置上应能准确读数并能迅速掌握，可按照流程、仪表的重要程度和观察频度来布置，也就是按流程性能、计量种类，采取集中布置方式

c. 信号仪表的表示性质和形状应易于辨认，特别指示危险的信号仪表，应在加强印象、形状、大小、对比、特异、信号/噪声比等方面作特殊处理

d. 工艺流程反应变化时，仪表变化的方向和幅度应和实际情况一致

e. 以监视观测为主的长时间连续作业，仪表配置要进行特殊配置，以避免人的负担过重或过轻(过重会损伤人的器官，过轻使人疏忽)

4.1.3.2 操作工具

工具的选择、设置、配备要适合人的四肢应用，并考虑技能、准确性、速度和力量等条件

a. 操作人员的岗位、形式、设计和布置应适合工作要求，同时要考虑操作人员对系统的掌握情况和无意识动作等

b. 操作工具的运动方式、操作力量、工作方式等应按照人体测量所得的数据进行设计

c. 控制动作的形式和信号应答的形式应配合适当

d. 各操作工具的功能应易于区别

e. 有很多操作机具的地点，配置方法要能保证安全、准确和迅速地进行操作，信号显示也应和工艺流程一致

f. 操作机具应能对意外的误操作危险起保护作用

4.2 工作环境设计

工作环境不良会对人造成物理、化学、生物的有害影响，应按照人的操作能力及便于操作并能保证健康的方式来设计，并应考虑主观的评价和客观测定的可能

工作系统的设计应注意下述各点：

a. 车间的布置应适当如设备、作业空间，通路

b. 通风次数应根据下述原则调节

1) 室内人数 2) 劳动强度 3) 内部空间 4) 室内逸出的污染物 5) 消耗氧气的设备 6) 温度条件

c. 按照车间和地区的温度气候条件、设定下列参数

1) 气温 2) 湿度 3) 气流速度 4) 热辐射 5) 劳动强度 6) 衣服性质

d. 照明 作业面不应有阴影

1) 亮度 2) 均匀度 3) 色彩 4) 无反射 5) 亮度和色彩控制 6) 年龄需要

e. 室内工作时对色彩的选用、亮度分布，以及对室内视野能见能力的影响都应考虑

f. 使用听力的工作环境，要防止噪声，包括外来噪声的影响

1) 声压水平

2) 周波分布

3) 接触噪声时间

4) 听觉对信号的感受能力

5) 互相讲话的明确程度

g. 防止对人造成振动、冲击、肉体损伤、生理学和病理学的影响，以及感觉运动神经的错乱

h. 防止接触危险物质和有害的放射线

i. 设计时应防止室外气候，如酷暑、严寒、风、雨、雪、冰等对人的不良影响

4.3 工程设计

在操作的工程设计中，由于负荷过大或过小都会对人造成生理上或心理上的影响，应防止这类因素的影响，以保证安全增进舒适感并提高工效

1) 体力或感觉上负荷过大容易产生疲劳

2) 负荷过小或单调作业会使注意力下降

对人心理和生理的压力，不仅如4-1和4-2所说的原因，作业的重复程度也有关系。为改善作业工程的质量，可参考下述方法：

a. 用一个人进行同一目的的连续作业代替多人作业（职务扩大）

b. 用一个人进行不同目的的连续作业，如安装后质量检查，摘除劣品作业等

c. 保持变化操作的方式，例如安装工程、独立小队作业中，采取操作者轮换作业的方法

d. 采取定期休息的方式

使用本办法时，应注意下述各点：

1) 注意白天和夜间操作能力的变化

2) 注意操作者之间能力差异和年龄的变化

3) 注意提高个人能力

12.11 社会风险评价

灾难性事故会对工厂周围居民造成很大威胁，因此近年来社会风险评价得到广泛重视。兹将有代表性的社会风险评价作如下介绍。

12.11.1 美国民用核电站评价(WASH-1400)

1972年美国原子能委员会委托麻省理工学院（Massachussetts Institute of Technology）的诺曼·e·拉氏姆逊教授（Prof. Norman C. Rasmussen）对民用核电站进行安全评价。

这次安全评价研究的目的是找出一种适用的评价方法，并把结果和其它工业已有的数据进行比较，以便作为建设核电站决策时的依据。

研究的对象是美国已在使用的大型压水动力堆和沸水型反应堆。反应堆中心有很多燃料棒，棒体为锆锡合金制成，其中装有二氧化铀颗粒，棒的直径约$\frac{1}{2}$ in，长12ft，约有50～200根棒组成一个燃料元件组，每个反应堆有几百个元件组。反应堆容器中用水充满，以便冷却元件组，维持铀-235的裂变反应。整个反应堆处于钢制高压容器中。其示意图见图12-20。

关于核电站的风险，它决不可能象核弹一样爆炸，这是由于燃料中的铀-235仅占3～5%。其主要的危险性就是裂变过程中形成的放射性，正常作业中放射性受到控制，但在事故中放射性物质被大量释放，这种情况只有在堆芯燃料熔化时才能产生。

为了防止堆芯熔化，设计时考虑了一系列安全措施，如电源保护、应急冷却系统、放射性物质消除系统以及一系列的安全规章制度等，只有在这些措施完全失效时，才能发生堆芯熔化的灾难事故，因而是很难发生的。经过对设想的一千多种发生事故的途径进行评价，得出下述结论。

（1）核电站和其它各种事故风险的F-N图比较（图12-35）（F为频率，N为死亡

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

人数）

如100座核电站发生死亡100人的事故，其年发生频率的数量级为10^{-4}，而氯气泄漏造成同样结果的数量级则为10^{-8}，二者相差100倍，由于火灾造成同样结果的数量级为10^{-1}，相差1000倍。

（2）核电站的风险和各种天灾风险比较，如图12-36所示。

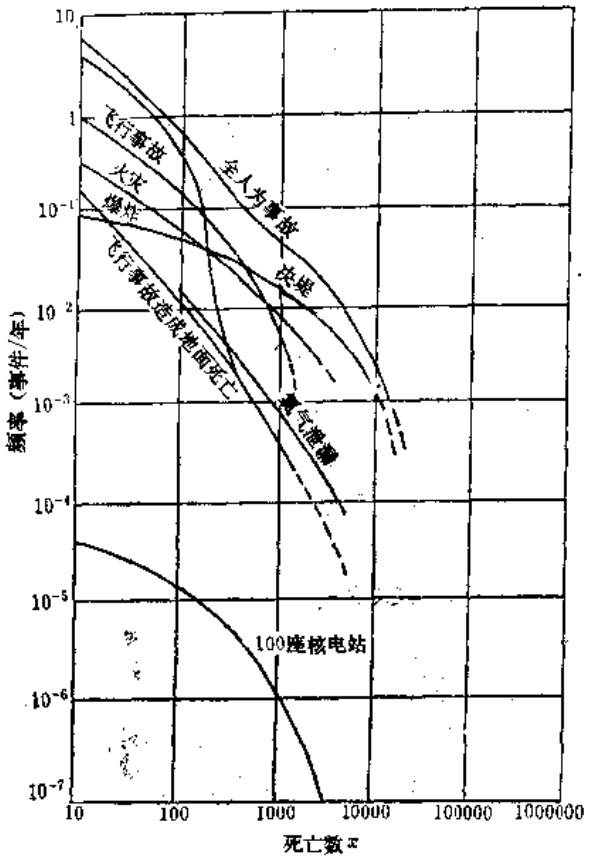


图 12-35 核电站与一般事故风险的比较

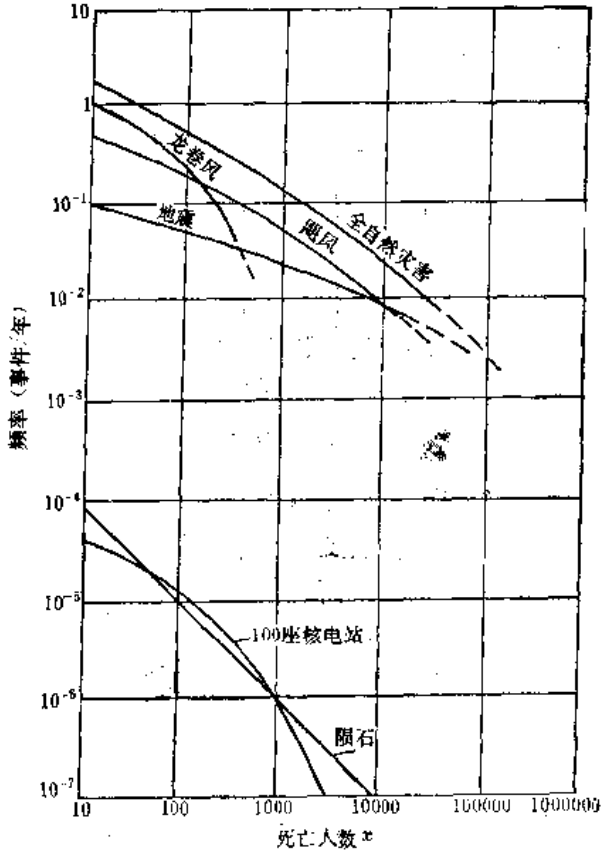


图 12-36 核电站与各种自然灾害风险的比较

由图可见，核电站发生的事故风险和陨石坠落造成的风险大致相同。

（3）核电站事故造成的财物损失与各种工业事故和天灾损失的比较如图12-37所示。

（4）WASH-1400总报告摘要

① 对象 压水动力堆和沸水型反应堆。

② 设备 钢制压力容器中有100根U棒，U棒为$d=\frac{1}{2}''$ $l=12'$。一个反应堆有数百个元件，每个元件有50～200个棒。容器中充满水以维持元件冷却和裂变式反应。U裂变放热使水变为蒸汽，推动透平发电。核电站容量为1000MW。

③ 后果 因为U^{235}仅占3—5%，故不能形成原子弹爆炸。

④ 风险 死亡概率为3×10^{-9}/人年，负伤为6×10^{-9}/人年即1500万居民生活在100个反应堆附近，25年中可能死亡1人，负伤2人。

⑤ 风险原因 U原子裂变后生其裂变产物以气体和固体形式积累在燃料棒内，包括碘[131]气体和氪氙，固体如铯和锶，这些物质仍有放射性，平常是在允许浓度之内，事故时则能大量释放。

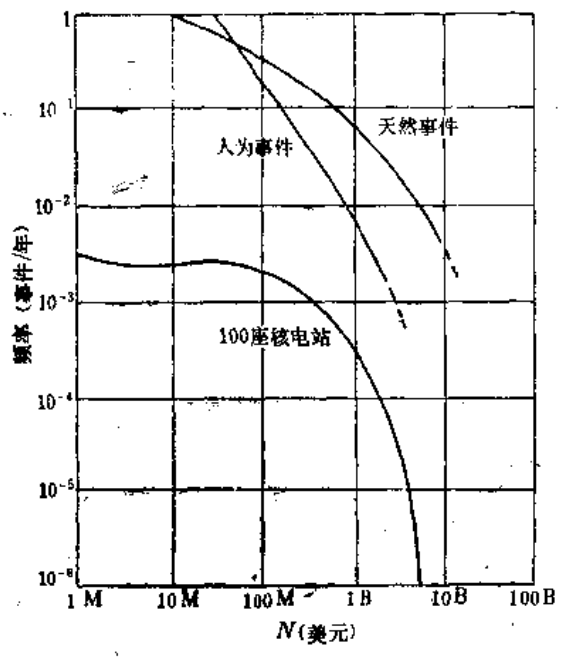


图 12-37 自然和人为事件造成的财产损失

⑥ 事故起因 堆芯熔化，是放射性大量释放的唯一途径。

⑦ 堆芯熔化的可能性 堆芯须达2760℃以上才能熔化。因此须有停堆、剩余衰变热移出系统、紧急堆芯冷却系统ECCS等安全系统加以保护。如果发生ECCS操作失误，冷却剂丧失（LOCA）等故障，堆芯有可能熔化。

⑧ 防止堆芯熔化的安全措施 除了许多防堆芯熔化系统之外，还有消除或容纳熔化后放出的防射性物质，如安全壳就能在几小时内容纳放射性不至外泄。然后由喷淋和水池系统把放射性通过地面吸收。

⑨ LOCA故障如何导致堆芯熔化？ 反应堆冷却水压力很高，如管道、泵、阀门或容器破裂，此时水突然形成蒸汽从裂口喷出，如果不及时补水则会导致堆芯熔化。

如发生LOCA故障由于正常冷却水减少，链式反应即停止，但热量的排除相当慢，而且由于元件的放射性衰变热，堆芯仍能熔化。为此ECCS系统应能起作用，此系统包括泵、管道、阀门和给水器，而且是冗长设计。只有LOCA故障后，ECCS再有多重故障，并有反堆容器破裂，才能造成放射性物质大量向外部泄漏。

⑩ 瞬态事件导致堆芯熔化的可能性如何？引起反应堆瞬态事件有许多因素，为适应非计划瞬态事件，反应堆设计中有自动停堆系统以备正常和非计划停堆之用。停堆时冷却系统将启动以带走燃料中的衰变热。有数个冷却系统可完成此项工作，但如果全部失效，则衰变热足以使冷却水沸腾同时引起堆芯熔化。

除上述几种原因外，也可能由于瞬态事件发生同时反应堆停堆系统失败而导致堆芯熔化。在这种情况下，压力可能增加到足以使正常反应堆冷却系统破裂，因而发生失水事故使堆芯熔化。

⑪ 堆芯熔化的概率 经过事故树和事件树定量，堆芯熔化概率为1/17000堆·年。即175年发生一次（按100堆计算）。但只有$\frac{1}{10}$次事故会对健康产生后果

⑫ 堆芯熔化产生的健康效应 如放射性物质大量释放，能在短时间（几周内）造成一些人死亡。其它人不会有明显效应，经过10～20年后有些疾病可能增加，但与正常发病率比较是很小的。（如癌、遗传和甲状腺疾病等）

⑬ 堆芯熔化所造成的后果 估计如下：

死亡 <1

受伤 <1

潜在死亡 <1

甲状腺小肿瘤 <4

遗传疾病 <1

财物损失额 $100,000（未包括工厂损失）

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

⑭ 与常规事故的比较　设与厂址20英里范围内的1500万居民每年所发生的常规事故进行比较（见左下表）。

⑮ 堆芯熔化的社会影响　与三个因素有关即放射性释放量、气象条件和扩散途径、被放射性照射人数。经过4800次组合后进行概率计算如右下表所示。条件是及时撤离。

事故类型	死亡人数	伤害人数
汽　车	4200	375000
摔　伤	1500	75000
火　灾	560	22000
电　伤	90	—
雷　击	2	—
反应堆（100座）	0.3	6

死亡人数	概　率
10	1/250,000 堆·年
100	1/1,000,000堆·年
1000	$1/10^5$ 堆·年
2300	$1/10^6$ 堆·年

可参看：核电站与一般事故风险的比较图、核电站与各种自然灾害风险的比较图。

⑯ 潜伏或长期的健康效应　发生100人死亡事故下预测20年内健康效应量值。

效　应	堆·年事故次数		正常发病率
	1次/17000堆·年	1次/10^6堆·年	
潜伏癌症	<1	450	64,000
甲状腺疾病	4	12000	20,000
遗传效应	<1	450	100,000

⑰ 堆芯熔化可能产生的物资损坏　不发生物理损害，高度污染时应暂时撤离，主要应对农作物监测，概率为1次/17000堆·年时，无污染。

概率为1次/170,000时，应从20km^2范围内撤出。

（90%以上堆芯熔化事故小于上述后果）

最坏可能时，应从400km^2范围内撤出。此时应对农产品特别是牛奶要监视1～2个月，其它损失除核电厂损失外应计入居民撤离的搬家费、安家费、土地闲置费等。

⑱ 本次报告以何为据？依据20余年辨识和分析反应堆潜在危险性的经验，包括洪水台风在内。并作了下述工作：

① 辨识了核电站内所有的重要放射源。

② 确定了只有堆芯熔化才能出现放射性物质大量释放。

③ 了解了导致燃料熔化的各种因素。

以上是经过数千个潜在事故通路研究的结果，因而是可信的。

⑲ 与WASH-740　（1957年由原子能委员会（AEC）发表），是基于最大可能后果的方法。是为Price-Anderson Act法律提供赔偿计算基础而制定的。

项　　目	WASH-740 最大值（50万kW）	WASH-1400 最大值	（320万kW） 平均值
急性死亡	3400	92	0.05
急性疾病	43000	200	0.01
总金额损失(b)	7*	1.7*	0.51*
堆·年事故概率		10^{-4}	10^{-4}

* 1957年美元值。

注：两种方法在思路上的区别：

WASH-740	WASH-1400
地区人口估计过高	统计的实际人口
设定50%的释放量到地区中	根据实验不可能有此释放量
未考虑撤离	撤离是可能而易行的
未考虑羽状云上升的问题	放射性量羽状云受热上升，减少影响

拉氏报告于1974年发表以后，引起世界的广泛重视。其主要功绩是奠定了概率风险评价的基础，对后来工业上进行安全评价产生了巨大影响。

拉氏研究始于1972年夏季，请了顾问60余人，具体工作人员为25人，两年完成，耗资当时货币300万美元。

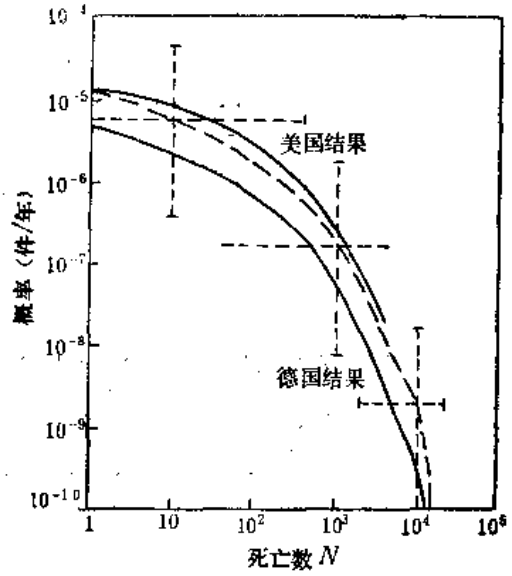


图 12-38　美国与西德核电站风险比较

之后，西德政府有关部门按照WASH-1400的方法，对19个地点25座核反应堆进行了研究，其代表为1300MW的压水型反应堆。研究的目的有二：

a. 在西德的条件下评价核电站的风险；

b. 根据西德核电站在技术上和建厂条件上的差异，与WASH-1400比较风险情况。

西德的报告发表于1978年，得出的结果是炉芯熔化事故的频率为9×10^{-5}/年，社会风险在发生事故后的早期死亡数较美国评价为低，而后期死亡即慢性死亡人数较美国为高。见图12-38，图中重点线为西德求出的风险平均值，轻虚线表示90%的可信性界限。

1978年10月美国又发表了液化天然气装卸基地的风险评价，1975年5月发表了海岸警卫队对波士顿港液化天然气船相撞事故的风险评价，所用的方法和WASH-1400相同，这是在民用工业进行安全评价的开始。

12.11.2　英国坎威（Canvey）岛安全评价

英国进行的影响最大的是坎威安全评价。它是由英国核能管理局（UKAEA）下属的系统可靠性管理部（SRD）受健康安全局（HSE）委托进行的。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

坎威岛位于泰晤士河入海口的索拉克地区（Thurrock Area），该岛是一个石油化工区，有大量的化工厂、炼厂、装卸码头、罐区等，70年代中期，有两家炼厂即西方炼油公司（Occidental Refineries Ltd.）和联合炼油公司（United Refineries Ltd.）要求在该地区建设炼油厂，前者已于1972年开始建设，但在1975年由于一项设计悬而未决，一直处于停工状态。后者已经申请到建设许可证但尚未开工，由于社会公众要求取消该厂的许可证，英国政府遂决定进行此项安全评价。

这项评价的目标如下：

a. 搞清所有危险性物质的存放地点、贮存量、加工情况及数量；

b. 了解有关物质的特性如易燃性和毒性；

c. 弄清工厂发生事故后，对周围居民造成的危险性；

d. 辨识发生事故的可能途径，例如操作失误、装置和设备的疲劳及老化、腐蚀、工艺失控、充填过量、混入不纯物、火灾、爆炸、碎片冲击和洪水等的影响；

e. 对某些事故出现的概率及其后果进行定量分析。

评价的结果得出坎威岛现有装置及发展建议装置改进前后的社会风险比较，如图12-39所示可以看出经评价改进后，风险会大幅度降低。

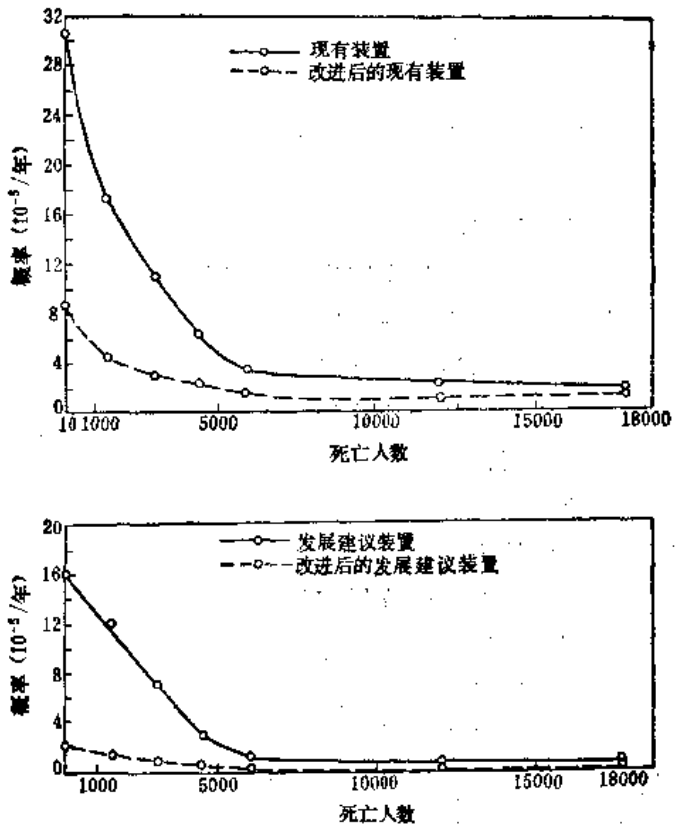


图 12-39 坎威岛现有装置及发展建议装置改进前和改进后（经过评价）的社会风险比较

坎威评价于1975年开始1980年完成，耗资40万磅。

12.11.3 荷兰雷几蒙德（Rijnmond）地区安全评价

雷几蒙德地区是荷兰卢特丹到北海之间的莱茵河三角区，其面积为40×15kM，居民约

有1百万。该地区有世界最大海港，大型石油化工企业，工业区和居民区相距很近，容易发生灾难性事故。

1976年市政当局为了保证地区的安全，由该局牵头，组织了工业界代表、社会部所属的地区劳动检查员和压力容器检查员成立了居民区安全委员会，简称COVO。后来卫生部的地区检查员和南荷兰省也参加了这个委员会。

COVO决定使用概率法对本地区六项工业装置进行安全评价，六项装置是：

1. 有毒物质贮存

a. 丙烯腈　常压

b. 液氨　　带压

c. 液氯　　带压

2. 易燃物贮存

a. 液化天然气　常压

b. 丙烷　　带压

3. 化学分离工艺

加氢脱硫装置二乙醇胺汽提塔

COVO以招标方式，与伦敦的克里默瓦诺公司（Cremer and Warner Ltd.）签订了合同，另外和法兰克福地区的培特莱（Battelc）研究所签订了一个专门对评价提出反建议的合同。

COVO又任命了由工业界和市政当局选调的专家委员会，其任务是监督整个项目的实施。

COVO确定本项研究的目标如下：

（1）通过分析得出的事故结果和概率评价，其可靠性如何；

（2）分析中所用和技术和方法尚有那些缺点；

（3）如何正确表达风险评价的结果？以便用作安全决策的依据；

（4）采用降低风险措施之后，如何计算其对结果和概率的影响；

（5）研究所用的资源和费用。

通过研究得出以下的结论：

经过克里默评价以后，一致认为

（1）肯定了潜在事故结果和概率评价的可靠性，对结果的评价，其不确定性只有一个数量级，即误差约为10倍；其中对氯和氨的评价有些保守。对于概率的评价，有时有一个、有时有两个数量级的不确定性，即误差约为百倍。最后综合算出的结果与概率评价的不确定性，约接近一个数量级。因此可以说结果的评价较之概率评价更确定和可靠一些。

尽管作了最大的努力并使用了可靠的数据和方法，但得到的精确度还是差强人意的。COVO指出，所得结果和世界事故统计比较还有些保守，其差别约为1～2个数量级。

（2）通过研究，了解到某些物理模型、毒性影响模型以及基本故障数据等都有待改进，诸如易燃气体云爆炸模型，带压液化气体泄漏时的气液双相流动模型，地形及微小气候对重质气体扩散影响模型等均有一定的缺陷。

（3）风险评价的结果是事故出现的频率和损失量乘积，克里默公司采用三种形式表达风险结果。

a. 事故及其出现频率表，同时用每年工人和居民平均死亡数表示；

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

b. 综合频率曲线，给出事故死亡人数的数量级N，以及N数量级的出现频率；

c. 工业装置及其周围地形图上的相等危险曲线，叫作等危线，表示装置发生事故时可能处于死亡状态下的个人风险（见图12-40）。

以上所有表格及综合频率曲线都可以和同类或不同类的事故统计进行比较。

雷几蒙德地区的风险评价耗资2.5百万荷兰盾，其中包括合同报酬、咨询费、工人费用和差旅费等。原计划费时一年，实际经过两年半才完成。

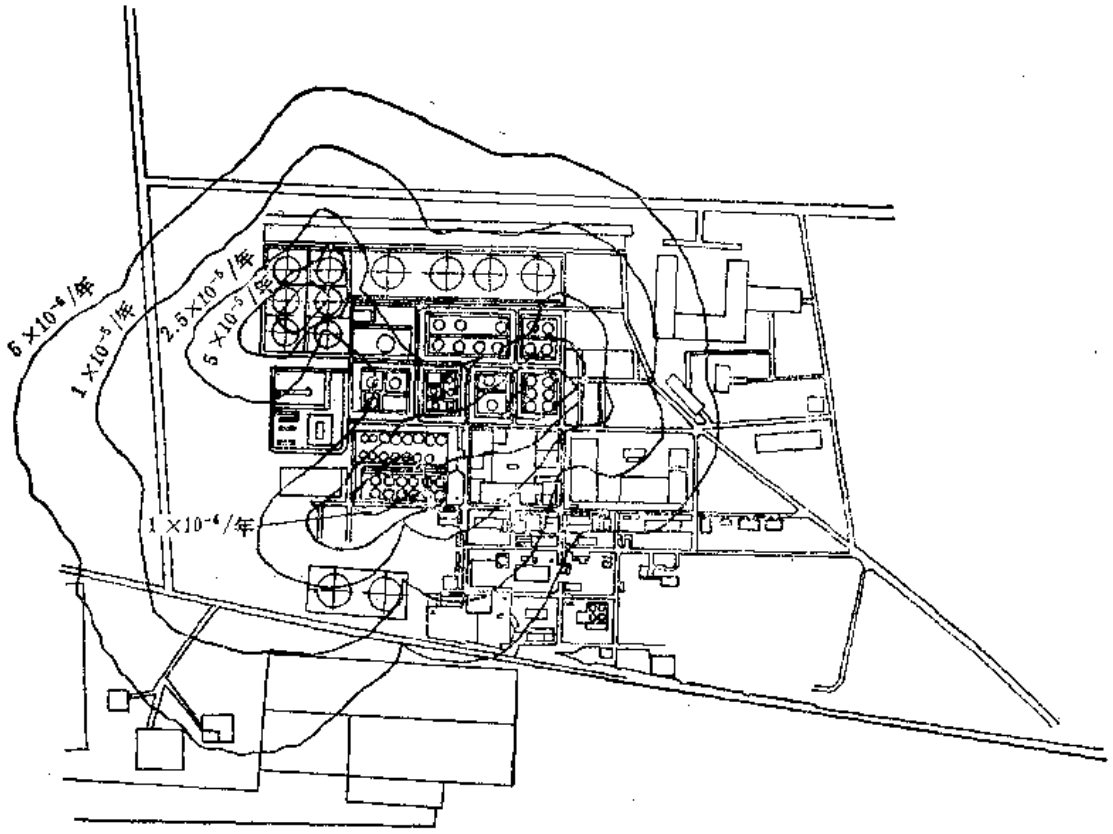


图 12-40 个人风险等危险线

12.12 结 语

系统分析的方法很多，但安全评价的具体应用只有三种情况，其一是在设计前和设计中的评价，此时设计的工厂还只是停留在纸面上，对技术路线、工艺流程、平面布置、过程设备、安全设施等都可进行反复评价，使建成后的工厂达到最佳安全状况，第二是在生产过程中进行评价，此时工厂业已建成，更改困难，只能通过增加安全设备和提高管理措施以加强其安全性。评价时应在可操作性研究方面多作工作，尽量辨识和减少动态过程中的危险性。第三种情况则是在企业寿命即将终结，评价其延续寿命，或进行大规模改造时，应着重在厂区重新调整，对构筑物、重要机械设备的寿命诊断上作工作。使改建的工厂和延续使用的构筑物或重要设备能保证安全性。

无论进行何种评价，下述程序是必不可少的。

1. 收集有关资料

如生产流程、原材料的理化特性，设备结构和材质特性，各种规范，同类生产发生的各

种事故等。

2. 资料的研究

对收集到的资料应花大力气进行集体研究，研究的深入可大大缩短分析和评价的进程。如根据原材料的理化特性进一步讨论其反应性能，与其它物质的相容性，从物料平衡和热平衡探讨工艺过程的合理性；研究设备对环境的适应性；特别是通过可操性研究，了解生产的动态状况等。

3. 确定评价方法

根据实际需要确定评价方法。不管哪种方法都要把危险性辨识出来，如果使用安全检查表法，则要把危险性系统地按其重要程度排列，如使用蒙德法则要讨论各种附加系数和补偿系数，其它方法也要通过这道程序。

4. 确定危险等级及安全设施

企业经过评价之后危险等级便易于确定，随之决定采用哪些安全设备和设施。并经过反复评价，使结果达到最优值。

目前国内外都十分重视系统安全分析和评价技术，但以当前可达到的技术水平来看，仍以定性评价为主。

方法的选择是一个重要课题，应该大力进行研究，使用得当将会有显著的经济效果。因此要认真消化国外引进的一些方法，找出其优缺点和适用性，也要结合国情创造我国现阶段适用的方法，并力求统一和标准化。

由于工厂发生事故势必波及四邻，因此社会风险值得重视，我国新建大型企业日益增多，人口又很密集，不可不注意这方面的问题。

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

附表 物质系数表

Acetaldehyde	乙醛	24	Butyl Nitrate	硝酸丁酯	29
Acetic Acid	醋酸	10	t-Butyl Peroxide	叔丁基过氧化物	29
Acetic Anhydride	醋酐	24	Butylene Oxide	亚丁基氧	24
Acetone	丙酮	16	Benzyl Acetate	乙酸苄酯	4
Acetonitrile	乙腈	24	Benzyl Alcohol	苄醇	4
Acetyl Chloride	乙酰氯	16	Bromotoluene	溴甲苯	14
Acetyl Peroxide	过氧化乙酰	40	Butyl Acrylate	丁基丙烯酸酯	24
Acetyl Salicylic Acid (P)	乙酰水扬酸		t-Butyl Peracetate	叔丁基过醋酸	40
Acetylene	乙炔	46	Barium Chlorate	氯酸钡	29
Acrolein	丙烯醛	24	Bromine	溴	14
Acrylic Acid	丙烯酸	14	t-Butyl Perbenzoate	过苯甲酸丁酯	40
Acrylamide	丙烯酰胺	14	Calcium Carbide	碳化钙	24
Acrylonitrile	丙烯腈	40	Carbon Disulfide	二硫化碳	16
Allyl Alcohol	烯丙醇	16	Carbon Monoxide	一氧化碳	16
Allylamine	烯丙胺	16	Chlorine Dioxide	二氧化氯	40
Allyl Chloride	烯丙基氯	29	1-Chlorobutane	1-氯丁烷	16
Allyl Ether	烯丙醚	24	Chloroform	氯仿	1
Ammonia	氨	4	Chloro Methyl Ethyl Ether	氯甲乙醚	14
t-Amylacetat	乙酸叔戊酯	16	Chloro Phenol	氯酚	14
Aniline	苯胺	14	Chloropicrin	三氯硝基甲烷	29
Aluminum Chloride	氯化铝	24	Chloropropane	氯丙烷	21
Allyl Bromide	烯丙基溴	16	Chlorostyrene	氯苯乙烯	24
Acetyl Tributyl Citrate	乙酰柠檬酸三丁酯	4	Coumarin	香豆素	24
Acetyl Ethanolamine	乙酰乙醇胺	14	Cumene	异丙基苯	10
Acetone Cyanohydrin	丙酮合氰化氢	24	Cumene Hydroperoxide	氢过氧化枯烯	29
Amyl Acetate	乙酸戊酯	16	Cyclohexane	环己烷	16
Amyl Nitrate	硝酸戊酯	24	Cyclohexanol	环己醇	4
Ammonium Nitrate	硝酸铵	29	Cyclopropane	环丙烷	21
Barium Stearate	硬脂酸钡	4	Cyclobutane	环丁烷	21
Benzaldehyde	苯甲醛	24	Chloroacetyl Chloride	氯乙酰氯	14
Benzene	苯	16	Chlorine	氯	14
Benzoic Acid	苯甲酸	4	1-Chloro 1-Nitroethane	1-氯-1-硝基乙烷	40
Benzyl Chloride	苄基氯	14	Chlorobenzene	氯苯	24
Benzyl Peroxide	苄基过氧化物	40	Cyanamide	氰氨基钙肥料	29
Bisphenol A	双酚A	14	Diesel Fuel	柴油燃料	10
Bromobenzene	溴苯	14	Dichlorobenzene	二氯苯	29
Butane	丁烷	21	1,2-Dichloroethylene	1,2-二氯乙烯	49
1,3-Butadiene	1,3-丁二烯	29	1,3-Dichloropropene	1,3-二氯丙烯	24
Butanol (t-butyl Alcohol)	丁醇	16	3,5-Dichloro Salicylic Acid	3,5二氯水扬酸	24
1-Bulene	1-丁烯	21	Dicumyl Peroxide	过氧化二枯烯	29
n-Butyl Acetate	正丁基乙酯	16	Dicyclopentadiene	二聚环戊二烯	24
n-Butylamine	正丁胺	16	Diethyl Amine	二乙基胺	16
Butyl Bromide	丁基溴	16	Diethyl Benzene	二乙苯	10
Butyl Ether	丁基醚	16	Diethyl Carbonate	碳酸二乙酯	16
t-Butyl Hydroperoxide	叔丁基过氧化氢	24	Diethyl Peroxide	过氧化二乙基	40

续表

Diethanolamine	二乙醇胺	14	E. G. Monoacetate	乙二醇-乙酸酯	4
Diethylene Glycol	二甘醇	4	Ethyl Propyl Ether	乙基丙基醚	16
Diethyl Ether	二乙基醚	21	Formaldehyde	甲醛	24
Diisobutylene	二异丁烯	16	Formic Acid	甲酸	4
Diisopropylbenzene	二异丙苯	4	Fluorobenzene	氟苯	24
Dimethyl Amine	无水二甲胺	21	Fuel Oil 特1 to特6	燃油1#～6#	10
2,2-Dimethyl Propanol	2,2-二甲基丙醇	16	Furan	呋喃	21
Dinitrobenzene	二硝基苯	40	Fluorine	氟	29
2,4-Dinitro Phenol	2,4-二硝基酚	40	Glycerine	甘油	4
P-Dioxane	二噁烷	16	Glycolonitrile	乙醇腈	14
Dioxolane	二氧戊环	24	Gasoline	汽油	16
Diphenyl Oxide	二苯醚	14	Heptane	庚烷	16
Dipropylene Glycol	二丙基-1,2-亚乙基二醇	4	Hexane	已烷	16
Di-tert-Butyl Peroxide	二叔丁基过氧化物	29	Hexanal	已醇	16
Divinyl Benzene	二乙烯基苯	24	Hydrazine	联氨	40
Divinyl Ether	二乙烯基醚	24	Hydrogen	氢	21
Dowtherm A	道氏载热体A	14	Hydrogen Sulfide	硫化氢	21
Dowtherm G	道氏载热体G	14	Hydrogen Peroxide	(35%) 过氧化氢	24
Dowtherm J	道氏载热体J	4	Hydrazine	联氨	24
Dowtherm 30 LF	道氏载热体30LF	14	Hydrogen Cyanide	氰化氢	29
Dichlorostyrene	二氯苯乙烯	24	Hydraxyamine	羟基胺	29
Divinyl Acetylene	二乙烯基乙炔	29	Hexachloro Diphenyl Oxide	六氯二苯醚	29
1,1-Dichloroethane	1,1-二氯乙烷	16	Hexachlorobutadiene	六氯丁二烯	14
Epichlorohydrin	氯甲代氧丙烷	24	Isobutane	异丁烷	21
Ethane	乙烷	21	Isobutyl Alcohol	异丁醇	16
Ethanolamine	乙醇胺	4	Isopentane	异戊烷	21
Ethyl Acetate	乙酸乙酯	16	Isopropanol	异丙醇	16
Ethyl Acrylate	丙烯酸乙酯	16	Isopropyl Acetate	乙酸异丙酯	16
Ethyl Alcohol	乙醇	16	Isopropyl Chloride	二氯丙烷	21
Ethyl Benzene	乙苯	16	Isopropyl Ether	异丙醚	16
Ethyl Bromide	乙基溴	21	Isobutylamine	异丁胺	16
Ethyl Chloride	乙基氯	21	Isobutylchloride	异丁基氯	16
Ethylene	乙烯	24	Isoprene	异戊二烯	21
Ethylene Carbonate	碳酸亚乙烯	14	Isopropenyl Acetylene	异丙烯基乙炔	24
Ethylene Diamine	乙二胺	10	Isopropyl Amine	异丙胺	21
Ethylene Dichloride	二氯乙烷	16	Jet Fuel A & JP-5,6	喷气燃料A& JP-5-6	10
Ethylene Glycol	1,2-亚乙基二醇	4	Jet Fuel B & JP-4	喷气燃料B& JP-4	16
Ethylene Oxide	环氧乙烷	29	Lauryl Peroxide	过氧化月桂酰	40
Ethyleneimine	氮丙啶	29	Lauryl Bromide	月桂溴	4
Ethyl Nitrate	亚硝酸乙酯	40	Lauryl Mercaptan	月桂基硫醇	4
Ethylamine	乙胺	21	Lube Oil	润滑油	4
Ethyl Benzoate	苯甲酸乙酯	4	Maleic Anhydride	马来酐	14
Ethyl Butyl Carbonate	乙基丁基碳酸盐	14	Magnesium	镁	14
Ethyl Formate	甲酸乙酯	16	Methane	甲烷	21
2-Ethyl Hexanal	2-乙基已醇	14	Methanol	甲醇	16
Ethyl Mercaptan	乙硫醇	21	Methyl Acetate	乙酸甲酯	16
Ethyl Ether	乙醚	21	Methyl Acetylene	甲基乙炔	40
Ethylbutylamine	乙基丁基胺	16	Methyl Amine	甲胺	21
Ethyl Butyrate	丁酸乙酯	16	Methylcellulose(bag storage)	甲基溶纤剂	10
Ethyl Chloroformate	氯甲酸乙酯	16	Methyl Chloride	氯甲烷	21
Ethylene G. Dimethyl Ether	乙二醇二甲醚	10	Methyl Chloroacetate	甲基氯醋酸	14

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

续表

Methyl Cyclohexane	甲基环己烷	16	Propyl Alcohol	丙醇	16
Methylene Chloride (see footnote)		14	Propylamine	丙胺	16
Methyl Ether	甲基醚	21	Propylbenzene	丙苯	16
M.E.K.	甲基乙基酮	16	Propylchloride	丙基氯	16
Methyl Hydrazine	甲肼	24	Propyl Ether	丙醚	16
Methyl Isobutyl Keytone	甲基异丁基酮	16	Propyl Nitrate	硝酸丙酯	29
Methyl Mercaptan	甲硫醇	21	Perchloric Acid	过氯酸	29
Methyl Styrene	甲基苯乙烯	14	Potassium Chlorate	氯酸钾	29
Mineral Oil	矿物油	4	Potassium Nitrate	硝酸钾	29
Monochlorobenzene	氯化苯	16	Potassium Perchlorate	过氯酸钾	24
Monethanolamine	一乙醇胺	2	Potassium Peroxide	过氧化钾	24
Methacrylic Acid	甲基丙烯酸	24	Potassium	钾	24
Methyl Acrylate	丙烯酸甲酯	24	Sodium	钠	24
Methyl Borate	硼酸甲酯	16	Sodium Chlorate	氯酸钠	24
Methyl Carbonate	碳酸二甲酯	16	Sodium Perchlorate	过氯酸钠	24
Methyl Cyclopentadiene	甲基环戊二烯	14	Sodium Peroxide	过氧化钠	24
Methyl Formate	甲酸甲酯	21	Sodium Dichromate	重铬酸钠	14
Methyl Methacrylate	甲基丙烯酸甲酯	24	Sodium Hydride	氢化钠	24
2-Methylpropenal	2-甲基丙烯醛	24	Sodium Hydrosulfite	保险粉	24
Methyl Vinyl Ketone	甲基、乙烯基酮	24	Stearic Acid	硬脂酸	4
Naphtha	石脑油	16	Styrene	苯乙烯	24
Napthalene	萘	14	Sulfur	硫	4
Nitroethane	硝基乙烷	24	Sulfur Dioxide	二氧化硫	1
Nitroglycerine	硝化甘油	40	Sulfur Chloride	氯化硫	14
Nitromethane	硝基甲烷	40	Tetrachlorbenzene	四氯苯	4
Nitropropane	硝基丙烷	29	Toluene	甲苯	16
2-Nitrotoluene	2-硝基甲苯	29	Tributylamine	三丁胺	4
Nitrobenzene	硝基苯	24	Trichlorobenzene	三氯苯	29
Nitrobiphenyl	硝基双酚	14	Trichloroethylene	三氯乙烯	14
Nitrochlorobenzene	硝基氯化苯	29	1,1,1-Trichloroethane	三氯乙烷	24
Octane	辛烷	16	Triethylamine	三乙基胺	16
Octyl Mercaptan	辛硫醇	10	Triethanolimine	三乙醇胺	14
Oleic Acid	油酸	4	Trimethyl Amine	三甲基胺	21
Pentane	戊烷	21	Tripropyl Amine	三丙基胺	10
Pentamethylene Oxide	氧己环	16	Triethylene Glycol	三甘醇	4
Peracetic Acid	过乙酸	40	Triethylaluminum	三乙基铝	29
Phenol	酚	4	Triisobutylaluminum	三异丁基铝	29
Potassium Perchlorate	过氯酸钾	24	Trimethylaluminum	三甲基铝	29
Propane	丙烷	21	Triisopropyl Benzene	三异丙基苯	16
Propargyl Alcohol	炔丙醇	24	Vinyl Acetate	乙烯基乙酸酯	16
Propargyl Bromice	炔丙基溴	40	Vinyl Acetylene	乙烯基乙炔	40
Propylene	丙烯	21	Vinyl Allyl Ether	乙烯基丙基醚	24
Propylene Dichloride	二氯丙烯	16	Vinyl Butyl Ether	乙烯基丁基醚	24
Propylene Glycol	丙二醇	4	Vinyl Chloride	氯乙烯	21
Propylene Oxide	氧化丙烯	21	Vinyl Cyclohexene	乙烯基环己烷	16
Pyridine	吡啶	24	Vinyl Ethyl Ether	乙烯基乙基醚	21
2-Picoline	2-甲基吡啶	14	Vinylidene Chloride	二氯乙烯	24
Petroleum—Crude	粗石油	16	Vinyltoluene	甲苯乙烯	14
Propanal	丙醛	16	Xylene	乙苯	16
1,3-Propanediemine	1,3-丙二酰胺	16	Zinc Stearate	硬脂酸锌	4
Propyl Acetate	乙酸丙酯	16	Zinc Chlorate	氯酸锌	24

本章参考文献

〔1〕Lowvey H. G., Operability Studies and Hazard Analysis, Loss Prevention, 1974
〔2〕Frank P. Lees Loss Prevention in the Process Industeries, Butterworth & Co. Ltd. 1980
〔3〕Guidelines for Hazard Evaluation Precedures, AlChE, 1985
〔4〕Dow' s Chemical Co., Fire & Explosion Index Classification Guide, 1987
〔5〕労働省安全衛生部安全課編，セーフテイアセスメントの解説，日本中央労働災害防止協会編，1978
〔6〕鈴木順二郎，FMEA·FTA実施法，日科技連，1982
〔7〕井上威恭，新レソ安全の科学，日本中央労働災害防止协会，1983
〔8〕冯肇瑞，崔国璋编，安全系统工程，冶金出版社，1987

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

附　录

Ⅰ．有关防火防爆及安全设计的国家标准

序号	名　　称	国家标准号	序号	名　　称	国家标准号
1	建筑设计防火规范	GBJ16—87	17	地上消火栓	GB4452.1—84
2	城市煤气设计规范	TJ28—78	18	地下消火栓	GB4452.2—84
3	乙炔站设计规范	TJ31—78	19	地上地下消火栓通用技术条件	GB4452.3—84
4	氧气站设计规范	TJ30—78	20	火灾报警设备专业名词术语	GB4718—84
5	炼油化工企业设计防火规定	YHS01—78	21	火灾分类	GB4968—85
6	高层民用建筑设计防火规范	GB145—82	22	生产设备安全卫生设计总则	GB5083—85
7	人民防空工程设计防火规范	GBJ98—87	23	爆破安全规程	GB6722—86
8	汽车库设计防火规范	GB167—84	24	工业企业煤气安全规程	GB6222—86
9	自动喷水灭火系统设计规范	GBJ67—84	25	化学危险物品安全管理条例	1987.2.17
10	卤代烷1211灭火系统设计规范	GBJ110—87	26	危险货物命名原则	GB7694—87
11	石油库设计规范	GBJ74—84	27	危险货物分类和品名编号	GB6944—86
12	洁净厂房设计规范	GBJ73—84	28	危险货物包装标志	GB190—85
13	消防站建筑设计标准	GNJ1—81	29	关于加强爆炸物品管理的通知	国发〔1974〕71号
14	爆炸品保险箱	GB2702—81	30	物资技术保管规程（化工部分）	
15	室内消火栓	GB3445—82	31	危险货物运输规则	铁运〔1987〕802号
16	消防设施图形符号	GB4327—84	32	汽车危险货物运输规则	JT3130—88

Ⅱ．有关电气安全的国家标准

序号	名　　称	标　准　号	序号	名　　称	标　准　号
1	电气仪表安全操作规程	HGTA0030～0033—85	14	电气设备安全设计导则	GB4064—83
			15	电热设备的安全	GB5959—86
2	橡胶工业静电安全规程	GB4655—84	16	电测量指示和记录仪表及其附件的安全要求	GB6738—86
3	电业安全工作规程	〔77〕水电生字第113号			
4	化工厂电气设备技术管理规程	HGJ1076—79	17	漏电电流动作保护器	GB6829—86
5	中华人民共和国爆炸危险场所电气安全规程（试行）	劳动人事部等	18	轻质油品安全静止电导率	GB6950—86
			19	轻质油品装油安全油面电位值	GB6951—86
6	电工名词术语一爆炸环境用防爆电气设备	GB2900.35—83	20	电光源的安全要求	GB7248—87
			21	防爆电气设备检验规程	GB1336—77
7	安全电压	GB3805—83	22	外壳防护等级的分类	GB4208—84
8	手持式电动工具的管理、使用、检查和维修安全技术规程	GB3787—83	23	防静电胶底鞋、导电胶底鞋安全技术条件	GB4385—84
9	爆炸性环境用防爆电气设备通用要求	GB3686.1—83	24	防静电胶底鞋、导电胶底鞋电阻值测量方法	GB4386—84
10	爆炸性环境用防爆电气设备隔爆型电气设备"d"	GB3686.2—83	25	电气安全名词术语	GB4776—84
			26	电力机车司机室特殊安全规则	GB6770—86
11	爆炸性环境用防爆电气设备增安型电气设备"e"	GB3686.3—83	27	电子测量仪器安全要求	GB4983—84
			28	电机外壳防护分级	GB4942.1—85
12	爆炸性环境用防爆电气设备本质安全型电路和电气设备"i"	GB3686.4—83	29	低压电器外壳防护分级	GB4942.2—85
			30	灯具外壳防护等级分类	GB7001—86
13	手持电动工具安全	GB3883.1～3883.12—85	31	带电作业屏蔽服	GB6568.1—86

续表

序号	名　　称	国家标准号	序号	名　　称	国家标准号
32	带电作业屏蔽服试验方法	GB6568.2—86	36	电磁辐射防护规定	GB8702—88
33	带电铁丝网和电围栏的安装和安全使用	GB7946—87	37	环境电磁波卫生标准	GB9175—88
			38	作业场所超高频辐射卫生标准	GB10437—89
34	建筑防雷设计规范	GBJ57—83	39	作业场所微波辐射卫生标准	GB10436—89
35	爆炸和火灾危险场所电力装置设计规范	GBJ58—83	40	防止静电事故通用导则	GB12158—90

Ⅱ. 有关压力容器、工业锅炉安全的国家标准

序号	名　　称	文件或代号	序号	名　　称	文件或代号
1	《锅炉压力容器安全监察暂行条例》	国发（1982）22号	23	《化工厂MKI型超高压反应器维护检修规程》	HGJ1007—79
2	《锅炉压力容器安全监察暂行条例》实施细则	劳锅（1982）6号	24	《化工厂塔类维护检修规程》	HGJ1011—79
			25	《化工厂超高压管道阀门维护检修规程》	HGJ1073—79
3	《压力容器安全监察规程》	(81)劳总锅字7号			
4	《钢制石油化工压力容器设计规定》	石油工业部、化工部、机械工业部	26	《蒸汽锅炉安全监察规程》	(80) 劳总锅字23号
			27	《工业蒸汽锅炉参数系列》	GB1921—80
5	《钢制焊接压力容器技术条件》	JB741—80	28	《水管锅炉受压元件强度计算》	JB2194—77
			29	《锅壳式锅炉受压元件强度计算》	JB3622—84
6	《热套压力容器技术条件》	JB2532—80			
7	《钢制焊接球形贮罐技术条件》	JB1127—82	30	《工业锅炉安装》	TJ231(六)—78
			31	《锅炉受压元件焊接接头机械性能检验方法》	JB1614—81
8	《多层压力容器技术条件》	JB754—80			
9	《钢制列管壳式换热器技术条件》	JB1147—80	32	《工业锅炉产品技术条件》	JB2816—80
			33	《锅炉压力容器焊工考试规则》	(80)劳总锅字29号
10	《扁平钢带压力容器技术条件》	JB1149—80	34	《低压锅炉水质标准》	GB1576—85
11	《铝制焊接容器技术条件》	JB1580—75	35	《中、小型锅炉运行规程》	(79)电生字第53号
12	《压力容器用碳素钢及普通低合金钢热轧厚钢板技术条件》	YB536—69	36	《火力发电厂水、汽监督规程》	(75)水电生字第14号
13	《压力容器法兰分类与技术条件》	JB1157—82	37	《工业锅炉房设计规范》	GBJ41—79
			38	《锅炉压力容器事故报告办法》	(81)劳总锅字3号
14	《压力容器用钢板超声波探伤》	JB1150—73	39	《弹簧式安全阀技术条件》	JB452—77
15	《压力容器锻件技术条件》	JB755—73	40	《气瓶安全监察规程》	(79)劳总锅字18号
16	《钢制压力容器焊接规程》	JB/Z105—75	41	《溶解乙炔气瓶安全监察规程》（试行）	(81)劳总锅字10号
17	《钢制压力容器对接焊缝超声波探伤》	JB1152—81			
			42	《液化石油气汽车槽车安全管理规定》	(81)劳总锅字1号
18	关于执行修改后的国家标准GB3323—82的通知	劳人锅局(1985)9号			
			43	《液化气体铁路槽车安全管理规定》	1982.3化学工业部
19	《钢焊缝射线照相及底片等级分类法》	GB3323—82			
			44	《锅炉压力容器无损检测人员资格鉴定考核规则》	劳动人事部劳人锅(87)9号
20	《焊缝射线探伤标准》	JB928—67			
21	《化工企业压力容器安全管理规程》	化工部（84）化生字第0383号	45	《不锈耐酸钢晶间腐蚀倾向试验方法》	GB1223—75
22	《化工高压工艺管道维护检修规程》		46	《压力容器缺陷评定规范》	CVDA—1984

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

Ⅳ. 有关起重机械安全的国家标准

序号	名　　称	国家标准号	序号	名　　称	国家标准号
1	压力机的安全装置技术条件	GB5091—85	12	起重机司机安全技术考核标准	GB6720—86
2	压力机用感应式安全装置技术条件	GB5091—85	13	剪切机械安全规程	GB6077—85
			14	工业企业厂内运输安全规程	GB4387—84
3	护指键式和护罩式木工平刨安全技术条件	GB7033—86	15	磨具安全规程	GB2494—84
			16	压力机用光线式安全装置技术条件	GB4584—84
4	冲压车间安全生产通则	GB8176—87			
5	运输方式代码	GB6512—86	17	磨削机械安全规程	GB4674—84
6	铸锻、机加工安全操作规程	HGTA0001～0013—85	18	压力机用手持电磁吸盘技术条件	GB5093—85
7	机械维修安全操作规程	HGTA0014～0029—85			
8	贮运安全操作规程	HGTA0044～0055—85	19	建筑塔式起重机安全规程	GB5144—85
9	起重吊运指挥信号	GB5082—85	20	金属切削机床及机床附件安全防护技术条件	JB4139—85
10	起重机械安全规程	GB6067—85			
11	起重机械用钢丝绳检验和报废实施规范	GB5972—86	21	冲压车间安全通则	GB8176—87
			22	焊接与切割安全	GB9448—88

Ⅴ. 有关工业卫生的国家标准

序号	名　　称	国家标准号	序号	名　　称	国家标准号
1	高温作业分级	GB4200—84	15	劳动卫生标准（包括车间空气中：溶剂汽油、敌百虫、环氧乙烷、铜及其化合物、1,2二氯乙烷、50～80%游离SiO_2粉尘、80%以上游离SiO_2粉尘、铝、氧化铝、铝合金粉卫生标准）	GB11719—11726—89
2	立窑水泥厂防尘技术规程	GB5984—86			
3	袋式除尘器分类及规格性能表示方法	GB6179—86			
4	作业场所空气中粉尘测定方法	GB5748—85			
5	生产性粉尘作业危害程度分级	GB5817—86			
			16	（包括车间空气中，三氯化磷、乙二胺、液化石油气，间苯二酚、甲基丙烯酸环氧丙酯、蛭石粉尘、二氧化钛粉尘、氯乙醇、丙烯酰胺、百菌清、碳化硅粉尘、砂轮磨尘、钴及其氧化物，三甲苯磷酸酯，铜尘（烟）柏余油（50～22℃卫生标准）	GB11516～11532—89
6	玻璃生产配料车间防尘技术规程	GB6528—86			
7	锅炉烟尘测试方法	GB5468—85			
8	橡胶加工配炼车间防尘规程	GB5833—86			
9	涂装作业安全规程、涂漆工艺安全	GB6515—86			
10	涂装作业安全规程、涂漆工艺通风净化	GB6516—86			
11	耐火材料企业防尘规程	GB12434—90	17	氯气安全规程	GB11984—89
12	职业病诊断标准及处理原则	GB8781～8792—88	18	作业环境气体检测报警仪通用技术要求	GB12358—90
13	缺氧危险作业安全规程	GB8959—88			
14	作业场所局部振动卫生标准	GB10434—89			

Ⅵ. 防护用品及试验方法国家标准

序号	名称	国家标准号	序号	名称	国家标准号
1	自吸过滤式防尘口罩	GB2626—81	24	焊接护目镜和面罩非光学测试方法	GB3609.2—83
2	安全帽	GB2811—81	25	焊接护目镜光学性能测试方法	GB3609.3—83
3	安全帽试验方法	GB2812—81	26	皮安全鞋	GB4014—83
4	过滤式防毒面具	GB2890—82	27	炉窑护目镜和面罩	GB4015—83
5	过滤式防毒面具呼气阀气密性的试验方法	GB2891.1—82	28	救生圈	GB4302—84
6	过滤式防毒面具罩呼气阀对空气流阻力的试验方法	GB2891.2—82	29	航用救生衣	GB4305—84
7	过滤式防毒面具罩吸气阻力的试验方法	GB2891.3—82	30	防静电胶底鞋、导电胶底鞋安全技术条件	GB4385—84
8	过滤式防毒面具视野的试验方法	GB2891.4—82	31	防静电胶底鞋、导电胶底鞋电阻值的测量方法	GB4386—84
9	过滤式防毒面具罩实际有害空气的试验方法	GB2891.5—82	32	安全网	GB5725—85
10	过滤式防毒面具罩佩戴漏气系数的试验方法（油雾法）	GB2891.6—82	33	安全网力学性能试验方法	GB5726—85
11	过滤式防毒面具滤毒罐防毒时间试验的总方法	GB2892.1—82	34	防冲击眼护具	GB5890—86
12	过滤式防毒面具滤毒罐对苯蒸气防毒时间的试验方法	GB2892.2—82	35	防冲击眼护具试验方法	GB5891—86
13	过滤式防毒面具滤毒罐对氢氰酸蒸气防毒时间的试验方法	GB2892.3—82	36	护耳器—耳塞	GB5893.1—86
14	过滤式防毒面具滤毒罐对氯气防毒时间的试验方法	GB2892.4—82	37	护耳器—耳罩	GB5893.1—86
15	过滤式防毒面具滤毒罐对氨气防毒时间的试验方法	GB2892.5—82	38	护耳器主观测量方法	GB5893.3—86
16	过滤式防毒面具滤毒罐对硫化氢防毒时间的试验方法	GB2892.6—82	39	耳塞插入损失测量方法	GB5893.4—86
17	过滤式防毒面具滤毒罐对二氧化硫防毒时间的试验方法	GB2892.7—82	40	安全带	GB6095—85
18	过滤式防毒面具滤毒罐对一氧化碳防毒时间的试验方法	GB2892.8—82	41	安全带检验方法	GB6096—85
19	过滤式防毒面具滤毒罐对汞蒸气防毒时间的试验方法	GB2892.9—82	42	长管面具	GB6220—86
20	过滤式防毒面具滤毒罐对油雾透过系数的试验方法	GB2892.10—82	43	长管面具性能试验方法	GB6221—86
21	过滤式防毒面具滤毒罐对空气流阻力的试验方法	GB2892.11—82	44	过滤式防微粒口罩	GB6223—86
22	过滤式防毒面具滤毒罐口径排尘的试验方法	GB2892.12—82	45	过滤式防微粒口罩总透漏率的试验方法	GB6224.1—86
23	焊接护目镜和面罩	GB360.1—83	46	过滤式防微粒口罩过滤效率的试验方法	GB6224.2—86
			47	过滤式防微粒口罩死腔的试验方法	GB6224.3—86
			48	过滤式防微粒口罩对空气流呼吸阻力的试验方法	GB6224.4—86
			49	胶面防砸安全鞋	GB7054—86
			50	胶面防砸安全鞋试验方法	GB7055—86
			51	纺织物阻燃性能测定——垂直法	GB5455—85
			52	矿用CO过滤式自救器	GB8159—87
			53	矿用CO过滤式自救器试验方法	GB8160—87
			54	阻燃防护服	GB7584—87
			55	声学护耳器声衰减的主观测量法	GB8965—88

标准分享网 www.bzfxw.com 免费下载

Ⅶ. 其他有关安全的国家标准

序号	名称	国家标准号	序号	名称	国家标准号
1	安全色	GB2893—82	19	企业职工伤亡事故经济损失统计标准	GB6721—86
2	安全标志	GB2894—82			
3	高处作业分级	GB3608—83	20	工业管路的基本识别色和标示符号	GB7231—87
4	工业用化学产品采样安全通则	GB3723—83			
5	农药包装通则	GB3796—83	21	故障树分析程序	GB7829—87
6	公共信息图形符号	GB3818—83	22	氢气使用安全技术规程	GB4962—85
7	体力劳动强度分级	GB3869—83	23	固定式防护栏杆	GB4053.3—83
8	标准化基本术语第一部分	GB3935.1—83	24	固定式工业钢平台	GB4053.4—83
9	高温作业分级	GB4200—84	25	固定式钢直梯	GB4053.1—83
10	故障树名词术语和符号	GB4888—85	26	固定式钢斜梯	GB4053.2—83
11	特种作业人员安全技术考核管理规则	GB5306—85	27	安全网	GB5725—85
			28	安全网力学性能试验方法	GB5726—85
12	通用控制图	GB6381—86	29	移动式木直梯安全标准	GB7059.1—86
13	工业企业铁路道口安全标准	GB6389—86	30	移动式木折梯安全标准	GB7059.2—86
14	企业职工伤亡事故分类	GB6441—86	31	移动式轻金属折梯安全标准	GB7059.3—86
15	企业职工伤亡事故调查分析规则	GB6442—86	32	火灾分类	GB4968—85
16	安全色卡	GB6527.1—86	33	危险货物分类及品名编号	GB6944—86
17	安全色卡使用导则	GB6527.2—86	34	生产设备安全卫生设计总则	GB5083—85
18	管路系统的图形符号	GB6567.1~6567.5—86	35	颜色术语	GB5698—85