

# 控制阀手册

第六版



**EMERSON**<sup>TM</sup>

---

**FISHER**<sup>TM</sup>

## **艾默生**

流量控制

美国爱荷华州马歇尔敦 50158

巴西索罗卡巴 18087

法国塞尔奈 68700

阿联酋迪拜

新加坡新加坡市 128461

艾默生及其任何相关实体均不承担产品的选型、使用或维修责任。产品的选型、使用和维修责任由购买者和最终用户承担。

本出版物的内容仅供参考使用。尽管已尽力确保内容的准确性，但其介绍的产品与服务或其使用或适用性，不得视为明示或暗示的证明或担保。所有销售活动均受本公司的条款和条件（如有需要，予以提供）制约。本公司保留随时修改或完善该产品的设计与规格的权利，如有更改，恕不另行通知。

Fisher、ValveLink 和 FIELDVUE 是艾默生电气公司的分公司属下其中一家公司拥有的标记。艾默生和艾默生标识均为艾默生电气公司的商标和服务标记。所有其它标记均为其各自所有者的财产。

© Fisher 控制设备国际有限公司, 2005 年, 2019 年, 2023 年, 保留所有权利。

D101881X0CN / 2023 年 8 月

# 前言

控制阀是世界上现代制造业里越来越重要的组件。选型正确且维护良好的控制阀有助于提高效率、安全性、盈利能力和生态保护能力。

这本《控制阀手册》自从 1965 年首次出版以来就作为行业的主要参考书。第五版包括有关控制阀性能和最新技术的重要信息。

**第一章** 提供关于控制阀的介绍, 包括控制阀和仪表的通用术语的定义。

**第二章** 提出有关控制阀性能的重要主题。

**第三章** 讨论阀门和执行机构的类型。

**第四章** 介绍数字式阀门控制器、模拟式定位器、流量放大器和其他控制阀附件。

**第五章** 是为某一应用场合而选择一个最佳控制阀的完整指南。

**第六章** 讨论特殊严苛工况下控制阀的选型和应用。

**第七章** 讨论减温器、蒸汽调节阀和透平旁路系统。

**第八章** 说明典型的控制阀的安装和维护过程。

**第九章** 包含世界上有关控制阀标准和认证机构的信息。

**第十章** 介绍隔离阀和执行机构。

**第十一章** 介绍持续性。

**第十二章** 讨论各种过程安全仪表系统。

**第十三章** 提供有用的工程参考数据表。

**第十四章** 包括管道连接参考数据。

**第十五章** 是有关常用单位转换的参考依据。

这本《控制阀手册》是关于控制回路里的最重要的环节—控制阀及其附件的一本教材和参考书。这本书包含过程控制领域里一些著名专家的广泛且经过时间考验的知识, 包括来自 ISA 的专家们的贡献。

# 目录



<b>第一章:控制阀介绍 .....</b>	<b>16</b>
1.1 什么是控制阀?.....	17
1.2 直行控制阀术语 .....	17
1.3 旋转式控制阀术语 .....	23
1.4 控制阀的功能和特性术语 .....	25
1.5 过程控制术语 .....	27
<b>第二章:控制阀的性能 .....</b>	<b>34</b>
2.1 过程偏差度 .....	35
2.1.1 死区 .....	37
2.1.1.1 死区的成因 .....	37
2.1.1.2 死区造成的影响 .....	38
2.1.1.3 性能测试 .....	38
2.1.1.4 摩擦力 .....	38
2.1.2 执行机构和定位器的设计 .....	39
2.1.3 阀门响应时间 .....	39
2.1.3.1 时滞时间 .....	39
2.1.3.2 动态时间 .....	40
2.1.3.3 解决方案 .....	40
2.1.3.4 供气压力 .....	41
2.1.3.5 最小化时滞时间 .....	42
2.1.3.6 阀门响应时间 .....	42
2.1.4 阀门类型与特性化 .....	42
2.1.4.1 安装增益 .....	43
2.1.4.2 回路增益 .....	43
2.1.4.3 过程优化 .....	45
2.1.5 阀门选型 .....	46
2.2 经济效果 .....	46
2.3 Signature 系列性能测试 .....	48
2.3.1 Signature 系列 1 .....	48
2.3.2 Signature 系列 2 .....	49
2.3.3 Signature 系列 3 .....	49
2.4 概括 .....	49
<b>第三章:阀门和执行机构类型 .....</b>	<b>52</b>
3.1 控制阀类型 .....	53
3.1.1 直通阀 .....	53
3.1.1.1 单阀座阀体 .....	53
3.1.1.2 后导向和阀口导向阀体 .....	54
3.1.1.3 阀笼式阀体 .....	54
3.1.1.4 双阀座阀体 .....	55
3.1.1.5 三通阀体 .....	56

3.1.2 卫生级阀门.....	56
3.1.3 旋转阀.....	56
3.1.3.1 蝶阀阀体.....	56
3.1.3.2 截球体球阀体.....	58
3.1.3.3 高性能蝶阀体.....	58
3.1.3.4 偏心旋塞阀体.....	59
3.1.3.5 全通径球阀体.....	60
3.1.3.6 多口流量选择阀.....	60
3.2 控制阀连接端.....	61
3.2.1 旋入式管螺纹.....	61
3.2.2 螺栓紧固带垫片法兰.....	61
3.2.3 焊接连接端.....	62
3.2.4 其他阀门连接端.....	62
3.3 阀体阀盖.....	62
3.3.1 伸长型阀盖.....	63
3.3.2 波纹管密封型阀盖.....	64
3.4 控制阀填料.....	65
3.4.1 PTFE V形环.....	65
3.4.2 层状石墨和丝状石墨.....	65
3.4.3 美国关于泄漏排放的法规要求.....	66
3.4.4 国际关于泄漏排放的标准.....	66
3.4.5 单层 PTFE V形环填料.....	68
3.4.6 ENVIRO-SEAL PTFE 填料.....	68
3.4.7 ENVIRO-SEAL 双层填料.....	68
3.4.8 ISO-Seal PTFE 填料.....	68
3.4.9 ENVIRO-SEAL 石墨 ULF.....	68
3.4.10 HIGH-SEAL 石墨 ULF.....	70
3.4.11 ISO-Seal 石墨填料.....	70
3.4.12 适用于旋转阀的 ENVIRO-SEAL 石墨填料.....	70
3.4.13 适用于旋转阀的石墨盘根填料.....	70
3.4.14 直行程阀门的环保填料的选择.....	70
3.4.15 旋转式阀门的环保填料的选择.....	70
3.5 阀笼导向阀体的特性化.....	70
3.5.1 特性化的阀芯.....	72
3.6 阀芯导向.....	72
3.7 限制流通能力的控制阀阀内件.....	73
3.8 执行机构.....	74
3.8.1 膜片式执行机构.....	74
3.8.2 活塞式执行机构.....	75
3.8.3 手动执行机构.....	75
3.8.4 齿条和齿轮执行机构.....	76

3.8.5 电动执行机构 .....	76
<b>第四章:控制阀附件.....</b>	<b>78</b>
4.1 环境和应用因素.....	79
4.2 定位器 .....	79
4.2.1 气动式定位器 .....	80
4.2.2 模拟 I/P 定位器.....	80
4.2.3 数字式阀门控制器 .....	81
4.2.3.1 诊断.....	81
4.2.3.2 双向数字通信 .....	81
4.3 I/P 转换器 .....	82
4.4 流量放大器 .....	83
4.5 安全仪表系统 (SIS).....	84
4.5.1 部分行程动作测试 .....	84
4.5.2 安全功能和产品认证.....	84
4.6 优化数字阀 .....	85
4.7 控制器 .....	85
4.7.1 差压控制器 .....	86
4.7.2 压力表指示控制器 .....	86
4.7.3 温度指示控制器 .....	86
4.8 阀位变送器 .....	86
4.9 限位开关.....	87
4.10 电磁阀 .....	87
4.11 保位系统.....	90
4.12 开关阀 .....	90
4.13 手轮.....	91
<b>第五章:控制阀选型.....</b>	<b>92</b>
5.1 控制阀尺寸 .....	94
5.1.1 法兰连接直通式控制阀的端面至端面尺寸 .....	94
5.1.2 对焊连接直通式控制阀的端面至端面尺寸 .....	96
5.1.3 插焊连接直通式控制阀的端面至端面尺寸 .....	97
5.1.4 螺纹连接直通式控制阀的端面至端面尺寸 .....	98
5.1.5 凸面法兰连接直通式角形阀的端面至中心线尺寸 .....	98
5.1.6 可拆卸法兰直通阀的端面至端面尺寸 .....	99
5.1.7 法兰连接和无法兰旋转阀 (不含蝶阀) 的端面至端面尺寸 .....	99
5.1.8 单法兰 (凸缘) 和无法兰 (对夹式) 蝶阀的端面至端面尺寸 .....	100
5.1.9 具有偏心设计的高压蝶阀的端面至端面尺寸 .....	100
5.2 控制阀座泄漏等级 .....	101
5.3 VI 级最大允许阀座泄漏量 .....	102

5.4 控制阀的流量特性 .....	102
5.4.1 流量特性 .....	102
5.4.2 流量特性的选择 .....	103
5.5 阀门口径计算 .....	103
5.6 缩写和术语 .....	104
5.7 公式常数 .....	105
5.8 液体控制阀选型 .....	106
5.8.1 确定管道几何系数 ( $F_p$ ) 和根据管件调整的液体压力恢复系数 ( $F_{LP}$ ) .....	106
5.8.2 确定用于口径计算的压降 ( $\Delta P_{sizing}$ ) .....	107
5.8.3 计算所需的流量系数 ( $C_v$ ) .....	107
5.8.4 液体工况选型计算例题 .....	107
5.9 可压缩流体阀门选型计算 .....	109
5.9.1 确定管道几何系数 ( $F_p$ ) 和带附件室流时的压降比系数 ( $x_{TP}$ ) .....	110
5.9.2 确定用于选型的压降比 ( $x_{sizing}$ ) 和膨胀系数 ( $Y$ ) .....	110
5.9.3 计算流量系数 ( $C_v$ ) .....	110
5.9.4 可压缩流体选型计算例题 1 .....	111
5.9.5 可压缩流体选型计算例题 2 .....	112
5.10 选型计算系数示例 .....	114
5.10.1 单阀座直通阀阀体的选型计算系数示例 .....	114
5.10.2 旋转阀的选型计算系数示例 .....	115
5.11 执行机构选型计算 .....	116
5.11.1 直通阀 .....	116
5.11.1.1 不平衡力 (A) .....	116
5.11.1.2 提供阀座关闭需要的力 (B) .....	117
5.11.1.3 填料摩擦力 (C) .....	117
5.11.1.4 附加力 (D) .....	117
5.11.2 执行机构出力计算 .....	119
5.12 旋转阀的执行机构选型 .....	119
5.12.1 力矩公式 .....	119
5.12.2 开启力矩 .....	119
5.12.3 动态力矩 .....	119
5.13 典型的旋转阀的力矩系数 .....	120
5.13.1 带复合密封的 V 形切口球阀的力矩系数 .....	120
5.13.2 带复合密封的高性能蝶阀的力矩系数 .....	120
5.13.2.1 最大转角 .....	120
5.14 气蚀和闪蒸 .....	120
5.14.1 阻塞流引起闪蒸和气蚀 .....	120
5.14.2 闪蒸工况阀门选型 .....	122
5.14.3 气蚀工况阀门选型 .....	122
5.15 噪音预测 .....	123
5.15.1 空气动力学噪声 .....	123



5.15.2 液体动力学噪声.....	124
5.16 噪声控制.....	125
5.17 噪声概述.....	127
5.18 填料的选择.....	128
5.18.1 直行程阀门的填料选择指南.....	129
5.18.2 旋转阀的填料选择指南.....	130
5.19 阀体材质.....	131
5.19.1 常用阀体材料代号.....	133
5.20 压力—温度额定值.....	134
5.20.1 标准等级的 ASTM A216 等级 WCC 铸造阀门的压力—温度额定值.....	134
5.20.2 标准等级的 ASTM A217 等级 WC9 铸造阀门的压力—温度额定值.....	135
5.20.3 标准等级的 ASTM A351 等级 CF3 铸造阀门的压力—温度额定值.....	136
5.20.4 标准等级的 ASTM A351 CF8M 和 CG8M <sup>(1)</sup> 阀门的压力—温度额定值.....	137
5.21 非金属材料缩写.....	139
5.22 无损检测步骤.....	139
5.22.1 磁性(表面)检验.....	139
5.22.2 液体渗透(表面)检验.....	139
5.22.3 射线照相(立体)检验.....	140
5.22.4 超声(立体)检验.....	140
<b>第六章:特殊严酷工况控制阀.....</b>	<b>142</b>
6.1 大流通能力控制阀.....	143
6.2 小流量 C <sub>v</sub> 控制阀.....	144
6.3 高温控制阀.....	145
6.4 低温工况用阀门.....	145
6.5 受气蚀和夹带颗粒流体影响的阀门.....	146
6.6 自定义流量特性、减噪音内件与消减气蚀内件.....	147
6.7 在北美用于核工况的控制阀.....	147
6.8 受硫化应力裂纹影响的阀门.....	149
6.8.1 MR0175 2003 年前的修正本.....	149
6.8.2 NACE MR0175/ISO 15156.....	150
6.8.3 NACE MR0103.....	150
<b>第七章:蒸汽调节阀.....</b>	<b>152</b>
7.1 理解过热减温.....	153
7.1.1 过热减温的技术特点.....	153
7.2 典型的减温器型式.....	156
7.2.1 固定几何形状喷嘴型.....	156
7.2.2 可变几何形状喷嘴型.....	156
7.2.3 自包含型.....	156

7.2.4 蒸汽辅助雾化型 .....	157
7.2.5 几何形状辅助对夹型 .....	158
7.3 理解蒸汽调节阀门 .....	158
7.4 蒸汽调节阀 .....	158
7.4.1 蒸汽减温器 .....	159
7.4.2 蒸汽喷淋器 .....	160
7.5 理解汽轮机旁路系统 .....	160
7.6 汽轮机旁路系统的部件 .....	160
7.6.1 汽轮机旁路阀 .....	160
7.6.2 汽轮机旁路水控制阀 .....	161
7.6.3 驱动系统 .....	161

**第八章:安装和维护 .....** 162

8.1 正确的存储和保护 .....	163
8.2 正确的安装技术 .....	163
8.2.1 阅读指导手册 .....	163
8.2.2 确认管道清洁 .....	163
8.2.3 检查控制阀 .....	163
8.2.4 采用良好的管接实践 .....	164
8.2.5 冲洗/水压试验/启动阀内件 .....	164
8.3 控制阀维护 .....	165
8.3.1 被动性维护 .....	165
8.3.2 预防性维护 .....	165
8.3.3 预测性维护 .....	165
8.3.4 使用控制阀诊断 .....	166
8.3.4.1 仪表空气泄漏 .....	166
8.3.4.2 供气压力 .....	166
8.3.4.3 行程偏差和放大器调整 .....	167
8.3.4.4 仪表空气质量 .....	167
8.3.4.5 服役中的摩擦力和摩擦力趋势 .....	167
8.3.4.6 其它示例 .....	167
8.3.5 诊断技术的持续发展 .....	167
8.4 服务和维修零件 .....	167
8.4.1 使用原始设备制造商 (OEM) 零件 .....	167
8.4.2 建议备件 .....	168
8.4.3 成套零件的便利性 .....	169
8.4.4 考虑升级阀内件 .....	169
8.5 执行机构维护 .....	169
8.5.1 弹簧-薄膜执行机构 .....	169
8.5.2 活塞式执行机构 .....	170
8.5.3 阀杆填料 .....	170

8.5.4 阀座环 .....	170
8.5.4.1 更换阀座环 .....	170
8.5.4.2 连接: 阀芯到阀杆、球到阀轴和蝶板到阀轴 .....	170
8.5.5 弹簧设定范围 .....	171
8.5.6 阀门行程 .....	171
8.6 停机、周转、停运计划流程 .....	171
8.6.1 引进控制阀供应商 .....	171
8.6.2 运营规划 .....	172
8.6.3 协调阶段 .....	172
8.6.4 工作范围定义阶段 .....	172
8.6.5 详细计划阶段 .....	172
8.6.6 STO 前规划阶段 .....	173
8.6.7 STO 执行阶段 .....	173
8.6.8 STO 后评估阶段 .....	173
8.6.9 结论 .....	175

## 第九章:标准和认证..... 176

9.1 控制阀标准 .....	177
9.1.1 美国石油组织 (API) .....	177
9.1.2 美国机械工程师学会 (ASME) .....	177
9.1.3 欧洲标准化委员会 (CEN) .....	177
9.1.3.1 欧洲工业阀门标准 .....	177
9.1.3.2 欧洲材料标准 .....	177
9.1.3.3 欧洲法兰标准 .....	178
9.1.4 流体控制组织 (FCI) .....	178
9.1.5 美国仪表学会 (ISA) .....	178
9.1.6 国际电工委员会 (IEC) .....	178
9.1.7 制造商标准化学会 (MSS) .....	179
9.1.8 国际 NACE .....	179
9.2 危险(分类)场所产品认证 .....	179
9.2.1 危险场所认证和定义 .....	179
9.3 分类系统 .....	180
9.3.1 级别/分区系统 .....	180
9.3.2 区域系统 .....	181
9.3.3 设备组 .....	181
9.3.4 设备子组 .....	181
9.3.4.1 组 II (通常称为“气体组”) .....	181
9.3.4.2 组 III (通常称为“粉尘组”) .....	181
9.3.5 保护类型 .....	182
9.3.5.1 电气设备 .....	182
9.3.5.2 非电气设备 .....	183
9.3.6 保护级别 .....	183

9.3.7 设备保护级别 (EPL).....	184
9.4 温度代号.....	184
9.5 命名方法.....	185
9.5.1 级别/分区系统.....	185
9.5.2 区域系统.....	185
9.5.3 布线方法.....	185
9.5.4 欧盟 (EU) – ATEX 指令 2014/34/EU.....	185
9.5.5 标记示例.....	186
9.6 保护技术和方法.....	187
9.6.1 防爆或防火技术.....	187
9.6.2 本质安全技术.....	187
9.6.3 非易燃或 n 型技术.....	188
9.6.4 增安.....	188
9.6.5 防止粉尘点燃或外壳防尘.....	188
9.7 外壳等级.....	188
<b>第十章:隔离阀.....</b>	<b>192</b>
10.1 基本阀门类型.....	193
10.1.1 闸阀.....	193
10.1.2 截止阀.....	195
10.1.3 止回阀.....	199
10.1.4 预热器保护阀.....	200
10.1.5 再热器隔离阀.....	201
10.1.6 汽轮抽气阀.....	201
10.1.7 旁路阀.....	202
10.1.8 隔膜阀.....	202
10.1.9 夹管阀.....	203
10.1.10 球阀.....	203
10.1.11 蝶阀.....	204
10.1.12 旋塞阀.....	205
<b>第十一章:可持续性.....</b>	<b>220</b>
11.1 可持续性.....	221
11.2 降低能源消耗和提高能源效率.....	221
11.3 去碳化.....	221
11.4 Greening OF.....	222
11.5 Greening By.....	222
11.6 Greening With.....	222
11.7 零净排放目标.....	223
11.8 ESG.....	224

11.9 ESG——公司采取的方法 .....	224
11.10 通过合作实现 ESG 最大化.....	226
11.11 结论.....	226
11.12 可持续性方面的常用术语.....	226
<b>第十二章:安全仪表系统.....</b>	<b>228</b>
12.1 安全和多层保护.....	229
12.2 安全仪表系统 (SIS).....	230
12.3 安全标准.....	230
12.4 安全完整性等级 (SIL).....	231
12.5 需求时失效的概率.....	231
12.6 终端元件、证明试验和部分行程动作测试技巧.....	232
12.7 部分行程动作测试.....	232
12.8 终端元件的在线测试方法.....	233
12.9 用于部分行程动作测试的数字式阀门控制器.....	233
12.10 高完整性压力保护系统 (HIPPS).....	234
12.11 HIPPS 的功能.....	234
12.12 测试要求.....	234
<b>第十三章:工程数据.....</b>	<b>236</b>
13.1 承压阀门材料的标准规格.....	237
13.2 阀门承压部件的材料性能.....	245
13.3 碳氢化合物的物理常数.....	247
13.4 比热容比 (k).....	250
13.5 各种流体的物理常数.....	251
13.6 制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性.....	253
13.7 水的特性.....	260
13.8 饱和蒸汽的特性.....	261
13.9 过热蒸汽的特性.....	270
<b>第十四章:管道数据.....</b>	<b>280</b>
14.1 管道螺纹接合.....	281
14.2 碳钢和合金钢—不锈钢.....	281
14.3 美制管道法兰尺寸.....	289
14.3.1 螺孔中心圆直径.....	289
14.3.2 双头螺栓数量和直径.....	290
14.3.3 法兰直径.....	291
14.3.4 带法兰管件的法兰厚度.....	292
14.4 铸钢法兰标准.....	294

14.4.1 PN 10 公称压力的铸钢法兰标准 .....	294
14.4.2 PN 16 公称压力的铸钢法兰标准 .....	295
14.4.3 PN 25 公称压力的铸钢法兰标准 .....	296
14.4.4 PN 40 公称压力的铸钢法兰标准 .....	297
14.4.5 PN 63 公称压力的铸钢法兰标准 .....	298
14.4.6 PN 100 公称压力的铸钢法兰标准 .....	298
14.4.7 PN 160 公称压力的铸钢法兰标准 .....	299
14.4.8 PN 250 公称压力的铸钢法兰标准 .....	299
14.4.9 PN 320 公称压力的铸钢法兰标准 .....	300
14.4.10 PN 400 公称压力的铸钢法兰标准 .....	300

**第十五章:单位转换与换算 ..... 302**

15.1 长度换算.....	303
15.2 整数英寸—毫米换算 .....	303
15.3 分数英寸—毫米换算 .....	304
15.4 其它分数/小数英寸—毫米换算 .....	305
15.5 面积换算.....	307
15.6 体积换算.....	307
15.7 体积流量换算 .....	307
15.8 质量转换—磅至公斤 .....	308
15.9 压力换算.....	308
15.10 压力换算—磅/平方英寸至巴 .....	309
15.11 温度换算公式 .....	310
15.12 温度换算.....	310
15.13 API 和 Baumé 比重表和重量因子 .....	313
15.14 其它有用的换算.....	315
15.15 公制前缀与后缀.....	316

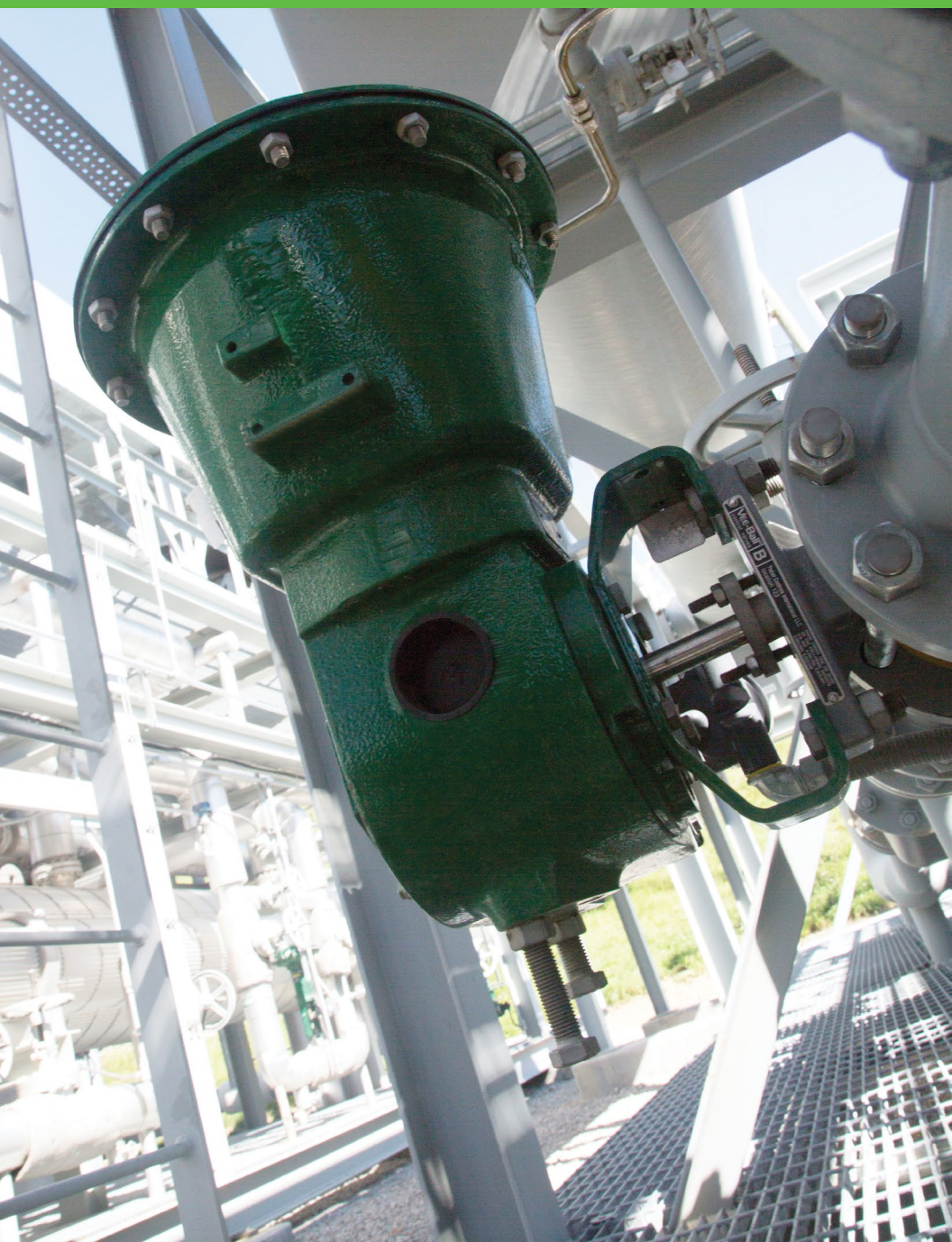
**标题索引..... 318**

**其他资源..... 330**



# 第一章

## 控制阀介绍





## 1.1 什么是控制阀?

现代加工厂利用庞大的控制回路网络,生产出最终产品投放市场。每一个控制回路都经过设计以保证重要的过程变量如压力、流量、液位、温度等不超出要求的工作范围,这样可以确保最终产品的质量。每个回路都会接收并在内部产生扰动,从而对过程变量(PV)造成不利影响。网络中其他回路的相互作用也会产生扰动,影响过程变量。见图 1.1。

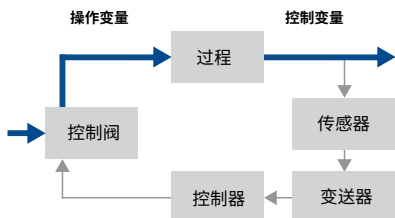


图 1.1 反馈控制回路

为了减少这些负载扰动的影响,传感器和变送器会收集关于过程变量及其与要求的设定点之间的关系的信息。控制器会处理这些信息,并决定在发生负载干扰后,必须采取哪些措施来使过程变量恢复到应有的状态。所有的测量、比较和计算工作完成后,某种类型的终端控制元件必须执行由控制器选择的控制策略。

过程控制工业里最常用的终端控制元件就是控制阀。控制阀调节流动的流体,如气体、蒸汽、水或化学混合物,以补偿负载扰动并使得被控制的过程变量尽可能地接近需要的设定点。

控制阀是控制回路的核心元件。许多人讨论控制阀或阀门,其实他们指的是控制阀组件。控制阀组件通常由阀体、阀内件零件、提供阀门操作驱动力的执行机构、以及各种各样的阀门附件所组成。阀门附件包括定位器、转换器、供气压力调

节器、手动操纵器、阻尼器或限位开关。

目前有两种主流的控制阀类型,其主要区别在于截流元件的操作方式,即直行程控制阀或旋转式控制阀。如图 1.2 和 1.3 所示,直行程控制阀通过线性运动将截流元件移入或移出座合表面。如图 1.13 和 1.17 所示,旋转式控制阀通过旋转运动将截流元件移入或移出座合表面。■

## 1.2 直行程控制阀术语

以下术语适用于配备薄膜或活塞式执行机构的标准直行程控制阀的物理和工作特性。有些术语,尤其是那些与执行机构有关的术语,也适用于旋转式控制阀。尽管也包括其它通用术语,但是本手册提出的许多定义符合 ANSI/ISA-75.05.01,控制阀术语。对于一些较复杂的术语,本手册也提供附加的解释。本章的其余部分定义旋转式控制阀的术语、一般过程控制、控制阀的功能和特性术语。



图 1.2 直行程控制阀

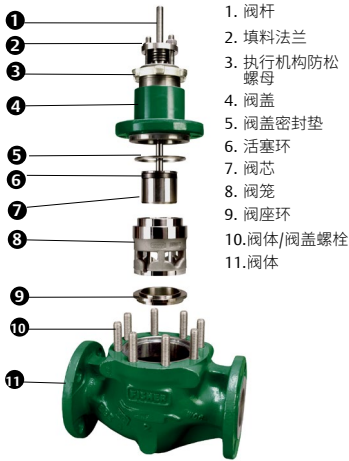


图 1.3 直行程控制阀

**执行机构弹簧:**包含在支架或执行机构膜盖或活塞气缸腔室里的一根或一组弹簧。它(们)向与负载压力相反的方向移动执行机构推杆。

**执行机构推杆:**把执行机构连接到阀杆上并将运动(力)从执行机构传递给阀门的零件。

**执行机构推杆加长轴:**活塞式执行机构推杆的加长部分,提供一种把活塞运动传递给阀门定位器的方法。

**执行机构推力:**执行机构提供的净力,用来对阀芯进行实际定位,也称为阀门行程。

**角形阀:**一种阀门结构,它的一个入口和出口相互垂直。(也可见直通阀。)

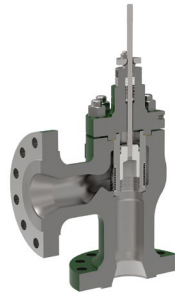


图 1.4 角形阀

**波纹管密封型阀盖:**使用波纹管来防止截流元件连接杆周围泄漏的一种阀盖。见图 1.5。

**阀盖:**阀门的包含填料函和阀杆密封并能对阀杆进行导向的部分。它为阀腔提供主要的开孔以安装内部零件,也可以是阀体的一个不可分割的部分。它把执行机构连接到阀体上。典型的阀盖有螺栓连接的、螺纹连接的、焊接的、压力密封的或与阀体一体式的。这个术语通常指的是阀盖及其包含的填料零件。更加准确地说,这一组零部件应该称为阀盖组件。

**阀盖组件** (通常称为阀盖,更加准确地称为阀盖组件):一个组件,包括阀杆可以在其中运动的零件以及防止阀杆周围泄漏的密封形式。它通常提供安装执行机构和装入填料组件的方法,并使得阀芯与控制阀组件的其余部分保持正确定位。见图 1.6。

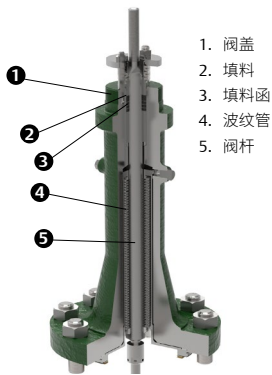


图 1.5 波纹管密封型阀盖

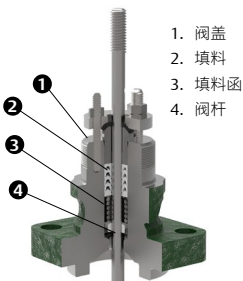


图 1.6 阀盖组件

**底法兰:**一个封闭与阀盖开孔相对的阀体开孔的零件。它包括一个导向轴套或用来调换阀门的作用方式。

**轴套:**支持或导向移动零件如阀杆和阀芯的装置。

**阀笼:**阀内件的一个零件,它包容截流元件并能规定流量特性或提供座合表面。它也提供了稳定性、导向、平衡和对中性,而且有助于其它阀内件零件的组装。

阀笼壁包含通常决定控制阀流量特性的开孔。见图 1.7。

**截流元件:**阀门的可运动部件,它置于流体通道中,用来调节通过阀门的流量。

**截流元件导向面:**截流元件的一部分,它使得截流元件在阀笼、阀座环(阀口导向)、阀盖、底法兰、阀杆或以上任意两个零件里运动。

**气缸:**活塞式执行机构的气室,活塞在其中运动。

**气缸端盖密封:**活塞式执行机构气缸与支架的连接处的密封元件。

**膜片:**一个活动的把力传递给膜片支撑板和执行机构推杆的压力响应元件。

**薄膜执行机构:**一个流体驱动装置,在其中流体(通常是压缩空气,见负载压力)作用在一个活动的部件,即膜片上以产生力,从而推向截流元件。

**膜盖:**包含上下两个部分的壳体,用来支撑膜片并建立一个或两个气压室。



图 1.7 阀笼(从左到右):线性、等百分比、快开

**膜片板:**与膜片同心的用来把力传递给执行机构推杆的板。

**正作用执行机构:**一种执行机构,它的推杆会随着负载压力的增加而伸出来。见图 1.9。

**伸长型阀盖:**一种阀盖,填料函与阀盖法兰之间的距离较长,用于高温或低温工况。

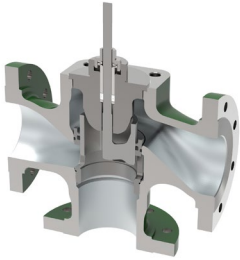


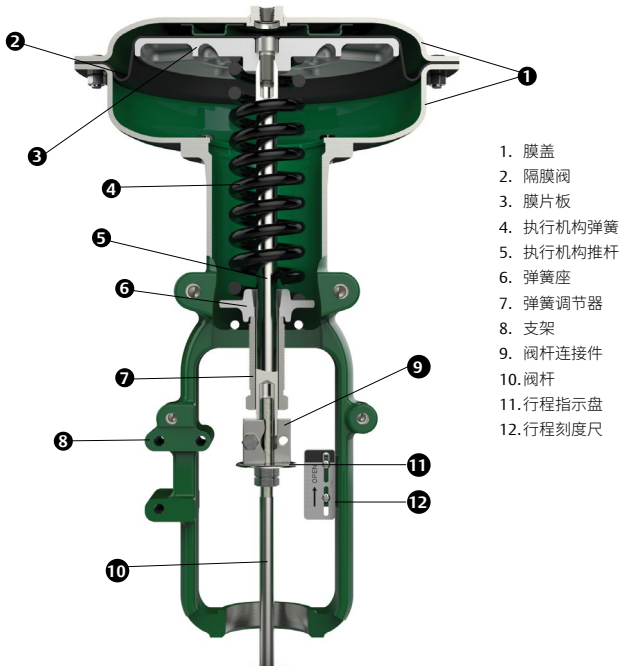
图 1.8 三通直通阀

**直通阀:**一种阀门,带线性运动的截流元件,有单阀口或多阀口,它的阀体因为阀口区域有一个球形的内腔而与众不同。直通阀可以进一步分为:二通单阀口(图 1.3)、二通双阀口、角形、三通(图 1.8)。

**负载压力:**流体,通常是压缩空气,施加在气动执行机构中的膜片或活塞上。

**补偿式阀门:**一种阀门结构,在不同的但互成 180 度的对立面有入口和出口管线连接。

**填料函(组件):**阀盖组件的一部分,用来防止截流元件连接杆周围的泄漏。包括在完整的填料函组件里的是下列零部件的部分或全部的组合:填料、填料压盖、填料螺母、套环、填料弹簧、填料法兰、填料法兰双头螺栓或单头螺栓、填料法兰螺母、填料环、填料隔离圈环、毛毡隔离圈、Belleville 弹簧和抗挤压环。见图 1.11。



1. 膜盖
2. 隔膜阀
3. 膜片板
4. 执行机构弹簧
5. 执行机构推杆
6. 弹簧座
7. 弹簧调节器
8. 支架
9. 阀杆连接件
10. 阀杆
11. 行程指示盘
12. 行程刻度尺

图 1.9 正作用执行机构

**活塞:**一个可移动的把力传递给活塞式执行机构推杆的压力响应元件。

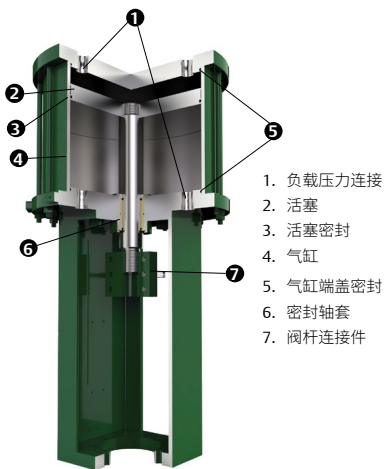


图 1.10 活塞式执行机构

**活塞式执行机构:**一个流体驱动的装置,在其中流体(通常是压缩空气)作用在一个可移动的活塞上使执行机构推杆产生运动,并在收到压力时提供座合力。活塞式执行机构可以分为:双作用式,可在任一方向上产生最大的驱动力;或者弹簧复位式,因此在失去气源时,执行机构会使阀门沿着要求的行程方向移动。见图 1.10。

**阀口:**控制阀的流量控制口。

**保持环:**一个用来把可拆卸法兰保持在阀体上的分体环。

**反作用执行机构:**一种执行机构,它的推杆会随着负载压力的增加而退回来。反作用执行机构有一个密封轴套安装在支架的上端,以防止负载压力沿着执行机构推杆泄露。见图 1.12。

**橡胶套:**一个防止破坏性异物进入活塞式执行机构的密封轴套的保护性装置。

**密封轴套:**用来提供一种防止活塞式执行机构气缸泄漏方式的上、下轴套。合成橡胶 O 型圈被用在轴套里,以密封气缸、执行机构推杆和执行机构推杆加长轴。

**阀座:**截流元件与它的配合表面相接触的区域,它实现阀门的关闭。

**阀座负载:**在规定的静态条件下,截流元件与阀座之间的净接触力。在实际操作中,为给定的控制阀选择执行机构时,应考虑需要多大的力来克服静态、阀杆和动态不平衡力,并预留足够的阀座负载。

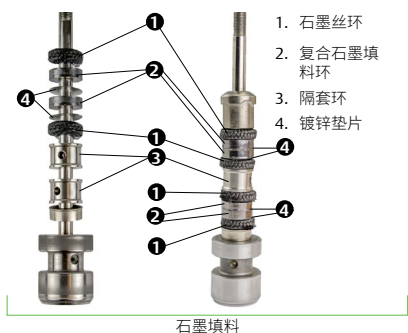
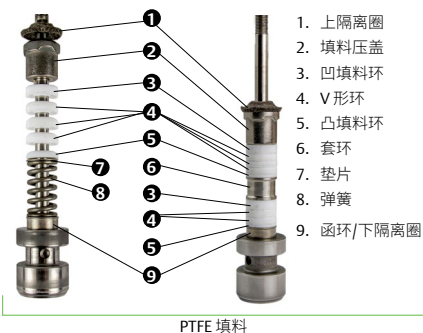


图 1.11 填料

**阀座环:** 阀体组件的一个零件, 它为截流元件提供座合表面, 并成为流体控制口的一部分。

**可拆卸法兰:** 一个安装在阀体流通口上的法兰。它通常被一个保持环保持在其位置上。

**弹簧调节器:** 一个管件, 通常旋拧在执行机构推杆上或旋入支架里面, 以调整弹簧压缩量 (见控制阀的功能和特性术语中的弹簧设定范围)。

**弹簧座:** 一块板, 保持弹簧到位并提供一个让弹簧调整件接触的平面。

**静态不平衡力:** 在流体静止和规定压力条件下由于流体压力作用在截流元件和阀杆上而产生的净力。

**阀杆连接件:** 把执行机构推杆连接到阀杆上的装置。

**阀内件:** 调节受控流体流量的阀门内部组件。在直通阀体里, 阀内件通常包括截流元件、阀座环、阀笼、阀杆和阀杆销钉。

**阀内件, 软阀座:** 使用弹性、塑料或其他易变形材料的阀门内件, 用于关闭组件或阀座环, 以最小的执行机构力提供紧密关闭。

**阀体:** 阀门的主要的压力承受腔。它也提供管道连接端和流体流通通道, 并支撑阀座表面和阀门截流元件。最常见的阀体结构有: 带一个阀口和阀芯的单阀口阀体; 带两个阀口和一个阀芯的双阀口阀体; ; 二通阀体, 有两个流量接口, 一个入口和一个出口; 三通阀体, 有三个流量接口, 其中两个可以是入口, 一个出口 (用于汇流或混流), 或者一个入口和两个出口 (用于分流或改流)。术语阀体通常指的是带有阀盖组件和包含阀内件零部件的阀体。更加准确地说, 这一组部件应该称为阀体组件。

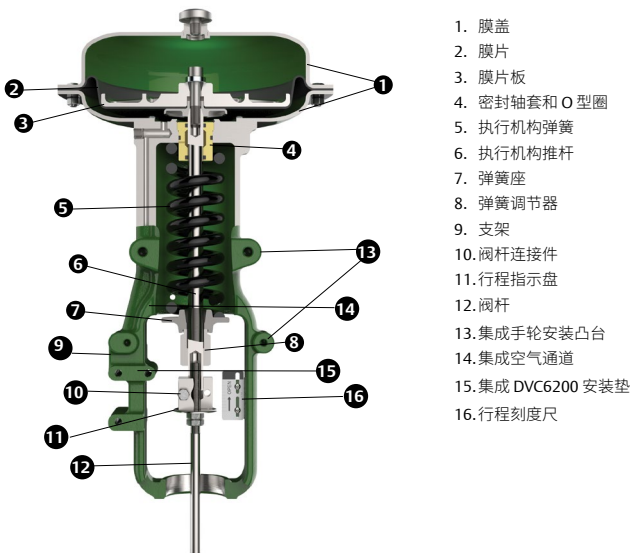


图 1.12 反作用执行机构

**阀体组件** (通常称为阀体或阀门, 更加准确地称为阀体组件): 一个阀体、阀盖组件、底法兰 (如使用) 和阀内件元件的组件。阀内件包括截流元件, 它打开、关闭或部分地阻挡一个或多个阀口。

**阀芯:** 在直行程阀门中, 一个经常指代截流元件的术语。

**阀杆:** 直行程阀门里, 连接执行机构推杆和截流元件的零件。

**支架:** 把执行机构的动力单元刚性地连接到阀门上的结构。■

### 1.3 旋转式控制阀术语

下面的术语仅适用于配备薄膜或活塞式执行机构的旋转式控制阀的物理和工作特性。旋转阀设计中的截流元件 (即球体、阀板、偏心球塞等) 具有与直行程控制阀中的阀芯类似的功能。也就是说, 随着它们的旋转, 它们会通过流体打开或关小的密封面积来改变流束的大小和形状。尽管本文中也提到了一些其它通用术语, 但是大部分符合控制阀术语 ISA S75.05。与执行机构有关的一些术语, 也适用于旋转式控制阀。对于一些较复杂的术语, 本手册提供了附加的解释。在本章接下来的部分中, 将对一般过程控制、控制阀的功能和特性术语进行定义。



图 1.13 旋转式控制阀

**执行机构杠杆:** 连接到旋转阀阀轴上的臂。它把执行机构推杆的线性运动转换成旋转力 (扭矩), 以定位旋转阀的阀板或球。这根杠杆正常是通过间隙很小的花键或其它减小空隙和运动损失的方法连接到旋转式阀轴上的。

**全球:** 旋转式控制阀的流体控制元件。它使用一个完整的球并带有一个通过它的流体通道。流体通道与管道直径相等或相一致。

**部分球:** 旋转式控制阀的流体控制元件。它使用一个部分球并带有一个通过它的流体通道。



图 1.14 部分球

**V 型切口球:**最常见的部分球控制阀类型。V 形切口球包括一个抛光的或涂层的部分球表面,它紧靠阀座环在全行程范围内作旋转运动。在球上的 V 形切口可以实现很高的可调比,并提供一个等百分比的流量特性。

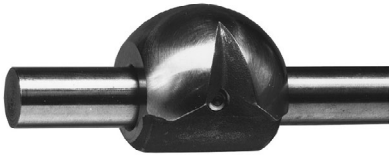


图 1.15 V 型切口球

**传统阀板:**用于最常见的各种各样的蝶阀里的对称的流体控制元件。在调节工况里,非常高的动态力矩往往会把传统阀板限制在 60 度的最大转角里。

**动态设计的阀板:**蝶阀阀板经过流线型轮廓处理,可减小大旋转角度增量时的动态力矩,因此使得它适用于需要最大 90 度的阀板旋转角的调节工况。

**偏心阀板:**阀门结构常用名词,在这种阀门结构里,阀轴与阀板连接的位置会使得阀板在打开时沿着一条很小的偏心(凸轮)路径运动。这使得阀板在被打开时能够尽可能快地偏离与密封的接触,这样可以减少摩擦和磨损。



图 1.16 偏心球阀

**无法兰阀门:**常见的旋转式控制阀类型。无法兰阀门用长螺栓夹在 ANSI/ASME 等级的法兰之间(有时候也称为对夹式阀体)。

**偏心球塞:**带偏心旋转球塞的旋转式控制阀类型。偏心球塞会塞进或偏离阀座,可以减少摩擦和磨损。此类阀门非常适合于侵蚀性的应用场合。

**反向流动:**流体从阀板、球或球塞背面的阀轴一侧流出。有些旋转式控制阀能够在任意一个方向上均衡地处理流体。其它类型的旋转阀可能需要修改执行机构的连接件以处理反向流。

**万向轴承:**通常用于执行机构推杆与执行机构杠杆之间的连接。其目的是促进执行机构线性推力向旋转力转换,并尽可能减少运动损失。旋转式阀体上配备一个标准的可互换作用方向的执行机构,通常需要使用两个万向轴承的连接件。然而,选择为旋转阀工况而特别设计的执行机构时只需要一个这样的轴承,因而减少了运动损失。

**旋转式控制阀:**一种阀门类型,它的流体截流元件(全球、部分球、阀板或阀球)在流体通道里旋转,以控制阀门流量。见图 1.17。



**密封环:**旋转式控制阀的对应于直通阀阀座环的零件。阀板或球的相对于密封环的位置决定了在某个旋转行程增量时的流通面积和流通能力。

**阀轴:**旋转式控制阀的对应于直通阀阀杆的零件。阀轴的旋转对流体通道里的阀板或球进行定位,因此可以控制阀门的流通能力。

**滑动密封:**气动活塞式执行机构气缸下面的密封,为旋转阀工况而设计。这个密封允许执行机构推杆垂直移动和周向旋转,而不会使得下气缸负载压力泄放,因此仅需一个方向轴承。

**标准流向:**带有独立的密封环或流体环的那些旋转式控制阀的流动方向:流体通过与密封环相邻的管道进入阀体并从与密封环相对的另一端流出。有时候称为前向流或流向截流元件的正面。也可见“反向流”。

**枢轴式安装:**一种安装方式,用两个在直径方向相对的轴承把阀板或球安装在阀轴或短轴上。■

## 1.4 控制阀的功能和特性术语

**弹簧设定范围:**在执行机构弹簧的校准程序中,使控制阀达到额定行程的压力范围(见固有膜片压力范围)。

**流通能力:**在规定条件下通过阀门的流量( $C_v$ 或 $K_v$ )。

**间隙流:**当截流元件没有完全座合时低于最小可控流量的那个流量。

**膜片压力范围:**膜片负载压力范围高低值之差。

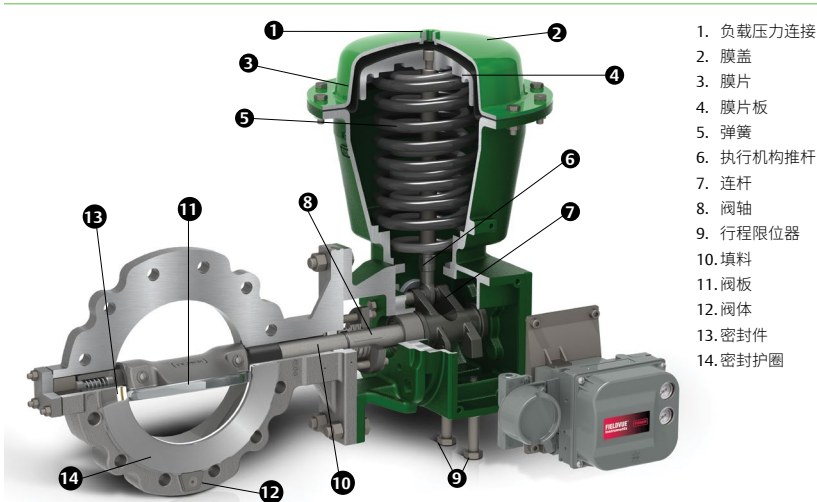


图 1.17 旋转式控制阀

**双作用执行机构:**在任意一个方向上都可以提供气动、液压或电力动力的执行机构。

**动态不平衡力:**由于过程流体压力的作用,在任何规定的开度下,在阀芯上产生的净力。

**有效面积:**在执行机构里,有效面积是有效地产生输出力的那部分膜片或活塞面积。膜片的有效面积可能会随着它的运动而改变,通常在行程的开始时为最大,而在行程的末尾时为最小。模压膜片比平板膜片有较小的有效面积改变,因此推荐使用模压膜片。

**失气 - 关闭:**这样一种状态:当失去驱动能源时,阀门截流元件移至关闭位置。

**失气 - 打开:**这样一种状态:当失去驱动能源时,阀门截流元件移至打开位置。

**失气 - 安全:**阀门及其执行机构的一种特性,在驱动能源供应中断时,它将使阀门截流元件完全关闭、完全打开或保持在最后一个位置,以保护过程和设备所需的位置为准。

**流量特性:**当百分比额定行程从 0 变化到 100% 时,流经阀门的流量与百分比额定行程之间的关系。这个术语应该总是表述为固有流量特性或安装流量特性(见过程控制术语一节的定义)。

**流量系数 ( $C_v$ ):**一个与阀门的几何结构有关的、对于一个给定行程的常数,可用来衡量流通能力。它是在每平方英寸 1 磅的压降下,每分钟流过阀门的 16°C (60°F) 水的美国加仑数。

**高压恢复阀门:**一种阀门结构,由于流线型的内部轮廓和最小的流体紊流,它会分散相对少的流体能量。因此,在阀门缩流断面下游的压力会恢复到入口压力的一个很高的百分比。直流通式阀门,如旋转式球阀是典型的高压恢复阀门。

**固有膜片压力范围:**阀体内压力为大气压时,作用于膜片以产生额定阀芯行程的压力高和低值。这个范围通常指的是弹簧设定值范围,因为当阀门被设定在该工作范围上时,这个范围将是阀门的动作范围。

**固有流量特性:**在经过阀门的压降恒定时,随着阀门从关闭位置运动到额定行程,流速与截流元件行程之间的关系。

**安装膜片压力范围:**在阀体承受规定的工况下,作用于膜片以产生额定阀芯行程的压力高和低值。由于作用在截流元件上的力,固有膜片压力范围可能会不同于安装膜片压力范围。

**安装流量特性:**当阀门两端的压降受到变化的过程工况影响时,随着阀门从关闭位置运动到额定行程,流量与截流元件位置之间的关系。

**低压力恢复阀门:**一种阀门结构,由于流体通道轮廓产生的紊流,它会分散很大一部分的流体能量。其结果是,在阀门缩流断面下游的压力会恢复到比带有更多流线型通道的阀门更小的一个入口压力百分比。尽管每个阀门结构不尽相同,但是普通的直通阀通常有低的压力恢复能力。

**修正的抛物线流量特性:**一种流量特性,它在截流元件的低位行程处提供等百分比的特性,而在截流元件的高位行程处提供线性特性。

**常关阀:**见“失气 - 关闭”。

**常开阀:**见“失气 - 打开”。

**下推关闭 (PDTC) 结构:**一种直通式阀门结构,它的截流元件位于执行机构和阀座环之间,这样执行机构推杆的推出会将截流元件移向阀座环,最后关闭阀门。该术语也可用于旋转阀结构。在旋转式阀门结构里,执行机构推杆的线性伸出会将球或阀板移向关闭位置。(也称为正

作用。)

**下推打开 (PDTO) 结构:**一种直通式阀门结构。它的阀座环位于执行机构和截流元件之间,这样执行机构推杆的推出会将截流元件从阀座上移开,因此打开阀门。该术语也可用于旋转阀结构。在旋转式阀门结构里,执行机构推杆的线性伸出会将球或阀板移向打开位置。(也称为反作用)。

**可调比:**与指定的流量特性的偏差不超过规定的限制时,最大的流量系数( $C_v$  或  $K_v$ )与最小的流量系数( $C_v$  或  $K_v$ )间的比例。当流量增加到 100 倍最小可控制流量时,一个仍然能够很好地控制的阀门就有一个 100:1 的可调比。可调比也可表示为最大与最小可控制流量之间的比例。

**额定流量系数( $C_v$ ):**额定行程下阀门的流量系数( $C_v$ )。

**额定行程:**阀门截流元件从关闭位置运动至额定全开位置的距离。额定全开位置是由制造商推荐的最大开度。

**相对流量系数( $C_v$ ):**指定行程时的流量系数( $C_v$ )与额定行程时的流量系数( $C_v$ )之间的比例。

**阀座泄漏量:**当阀门在规定的压差和温度下处于全闭位置并施加了最大可用阀座负载时,流经阀门的流量。

**弹簧刚度( $K_s$ ):**弹簧长度每单位改变时弹簧力的改变。在薄膜执行机构控制阀里,弹簧系数通常用磅力/英寸压缩量来表示。

**缩流断面:**流量最大、流体静压和截面积最小处的那部分流束。在一个控制阀里,缩流断面通常位于实际的物理限制的下游。■

## 1.5 过程控制术语

与控制阀、仪表和附件有联系的人经常会碰到下面一些以前没有定义过的术语和名词。有些术语(用 \* 表示)摘录自 ISA 标准:过程仪表术语,ISA51.1。其它包括的术语也被广泛运用于整个控制阀工业。

**附件:**一种安装在控制阀组件上的装置,用于补充各种功能或产生所需的动作,尤其是致动。(即定位器、供气压力调节器、电磁阀、限位开关等)。

**执行机构\*:**一种气动、液压或电动装置,提供力和运动以打开或关闭阀门。

**执行机构组件:**一个包括所有相关附件使其成为完整操作单元的执行机构。

**ANSI:**美国国家标准组织的缩写。

**API:**美国石油组织的缩写。

**ASME:**美国机械工程师学会的缩写。

**ASTM:**表示美国测试和材料学会。随着该组织成为国际化组织,该名称改为 ASTM 国际组织。因此,ASTM 不再是缩写。

**自动控制系统\*:**一种不需要人工干预就能工作的控制系统。

**空程:**一种死区形式,由装置输入改变方向时,装置输入和输出之间的暂时不连续性引起。(即机械连接的松弛或脱落)。

**Bode 图\*:**一幅转换函数的在对数基线上的对数幅度比例和相位角度值图。这是图形化表示频率响应数据的最常见形式。

**校验曲线\*:**校验结果的图形化表示。一个装置的稳态输出表示为它的稳态输入的函数。该曲线通常以百分比的输出量程对百分比的输入量程的形式来表示。

**校验循环\*:**在仪表的量程范围内,在上升然后下降的方向上,使用被测量变量

的已知值,并记录相应的输出读数。校验循环曲线可以通过先增加然后减小装置的输入而获得。它通常以百分比的输出量程对百分比的输入量程的形式来表示。它提供回差的一种测量。

**流通能力\* (阀门):**在额定工况下通过阀门的流量( $C_v$ )。

**闭环回路:**过程控制组件的互连使得关于过程变量的信息被连续地反馈到控制器设定点,以对过程变量提供连续的自动校正。

**截流元件:**阀门内部元件(也称为球塞、阀板,部分球或全通径球),用于调节控制阀内的流量。

**控制器:**使用固定算法,自动操作以调节被控变量的装置。控制器输入接收有关过程变量状态的信息,然后向终端控制元件提供适当的输出信号。

**控制回路:**见闭环回路或开环回路。

**控制范围:**控制阀可以将阀门增益维持在 0.5 和 2.0 的标准值之间的阀门行程范围。

**控制阀组件:**一种用于通过改变流通通道尺寸来调节流体流通的装置,其接收来自控制器的信号以进行工作。

**死区:**一种可在任何装置上发生的普遍现象,在此范围内,当输入信号在方向反转时发生变化,不会引起输出信号产生可观察到的变化。对于控制阀,控制器输出(CO)是阀组件的输入,过程变量(PV)是输出,如图 1.18 所示。使用术语“死区”时,必须确定输入和输出变量,并且确保测量死区的任何测试在全部负载条件下进行。死区通常表示为输入量程的百分比。

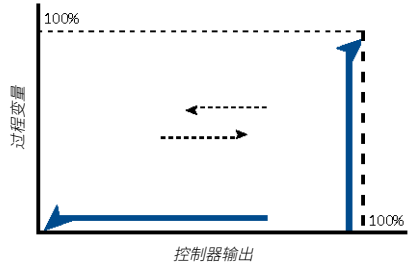


图 1.18 死区

**时滞时间:**在较小(通常为 0.25% - 5%)阶跃输入后,未检测到系统响应的时间间隔( $T_d$ )。此时间即从阶跃输入启动到检测出系统的第一个响应。时滞时间可适用于阀门组件或整个过程。见 T63。

**焓:**一个热动态量,它是阀体的内部能量和其体积与压力之积的和: $H = U + pV$ 。(也称为热容量)。

**熵:**在一个热动态系统里,不能转化为机械功的能量的理论量度。

**等百分比流量特性\*:**固有流量特性,额定行程的等量增加会在理想情况下产生相对于现有  $C_v$  的流量系数( $C_v$ )的等百分比变化。

**反馈信号\*:**测量直接的控制变量而得到的返回信号。对于一个带定位器的控制阀,反馈信号通常是反馈给定位器的截流元件连接杆位置的机械指示。

**FCI:**流体控制组织的缩写。提供标准和培训材料,帮助购买者和用户掌握相关知识并使用流体控制和调节设备。

**终端控制元件:**实现由控制器输出确定的控制策略的装置。虽然该终端控制元件有多种形式(阻尼器、开/关装置等),但当今工业中最常见的终端控制元件是控制阀组件。控制阀调节流动的流体(即气体、蒸汽、水、化合物等)以补偿负载扰动并使调节的过程变量保持尽可能接近所需的设定点。

**一阶:**指设备输入与输出之间的动态关系的术语。一阶系统或装置仅具有一个能量存储设备,并且输入和输出之间的动态瞬态关系由指数行为表征。

**频率响应特性\*:**以幅度和相位表示的稳态正弦输入及其引起的基本正弦输出之间的频率依赖关系。输出的幅度和相位移动可以被看作输入测试频率的函数,并用来描述控制装置的动态行为。

**摩擦:**倾向于抵抗彼此接触的两个表面之间的相对运动的力。摩擦力是将这两个表面压在一起的法向力和两个表面的特性的函数。摩擦力有两种:静摩擦和动摩擦。静摩擦(也称为黏附摩擦或静态摩擦)是在两个表面之间产生相对运动之前必须克服的力。静摩擦也是造成阀组件中死区的主要原因之一。一旦相对运动开始,动摩擦(也称为运动摩擦或滑动摩擦)是维持相对运动必须克服的力。

**增益:**用于描述给定系统或装置的输出改变量相对于引起该输出改变量的输入改变量比例的术语。增益有两种:静态增益和动态增益。静态增益(也称为灵敏度)是输入和输出之间的增益关系是系统或装置处于稳态状态时,输入能够引起输出改变的程度的指标。动态增益是系统处于运动或流动状态时输入和输出之间的增益关系。动态增益是输入频率或变化率的函数。

**硬度:**金属抵抗塑性变形(通常以凹陷形式)的能力。塑料和橡胶的抵抗尖头刺入其表面的能力。

**振荡\*:**外部激励消失之后,仍然存在的一种具有明显幅度的振动。振荡有时候被称为循环或极限循环。振荡是在或接近稳定极限处工作的证据。在控制阀里,控制系统或阀门定位器的不稳定会引起执行机构负载压力的波动,振荡会随之而出现。

**回差\*:**校准周期内任何单个输入值的最大输出值差异,不包括死区引起的误差。当作用在阀体上的力发生变化时(如粘度或内部摩擦力)作用的延迟。

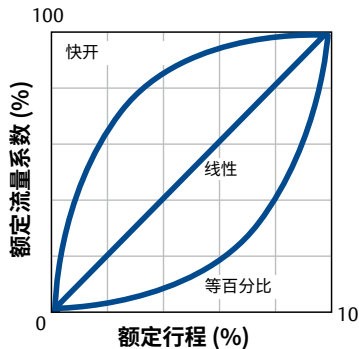


图 1.19 固有阀门特性

**固有特性\*:**在经过阀门的压降恒定时,随着阀门从关闭位置运动到额定行程,流量系数与截流元件行程之间的关系。通常,这些特性绘制在曲线上,其中水平轴以百分比行程表示,垂直轴标记为百分比流量(或 $C_V$ )。由于阀门流量是阀门行程和阀门压降的函数,因此在恒定压降下进行的流量特性测试提供了一种将一种阀门特性设计与另一种阀门特性设计进行比较的系统方法。以这种方式进行的典型阀门特性被称为线性、等百分比和快开。

**固有阀门增益:**在恒定压降条件下,通过阀门的流量变化与阀门行程变化的幅度比。固有阀门增益是阀门设计的固有函数。它等于任何行程点处固有特性曲线的斜率,并且是阀门行程的函数。

**安装特性\*:**当通过阀门的压降受到变化的过程工况影响时,随着阀门从关闭位置运动到额定行程,流量与截流元件(阀板)行程之间的关系。

**安装阀门增益:**在实际工况下,通过阀门的流量改变量与阀门行程改变量的比率。安装阀门增益是当阀门安装在特定

系统中时发生的阀门增益关系,并且允许降压根据整个系统的指示自然地改变时产生的阀门增益关系。安装阀门增益等于安装特性曲线的斜率,并且是阀门行程的函数。

**仪表压力:**一个自动控制器提供的用来使控制阀工作的输出压力。

**I/P:**电流转压力(I-to-P)的简写。通常应用于输入转换器模块。

**ISA:**国际自动化学会的缩写。

**线性度\*:**与两个变量相关的曲线与近似直线的接近程度。线性度还意味着,无论是向上还是向下都适用。因此,上述的死区通常被认为是非线性的。

**线性特性\*:**固有流量特性,可以用一条直线在流量系数( $C_v$ )相对于额定行程的矩形图上表示出来。因此,行程的等量增加提供流量系数 $C_v$ 的等量增加。

**负载压力:**用来对气动执行机构进行定位的压力。这是实际作用在执行机构膜片或活塞上的压力。如果没有使用阀门定位器,负载压力可以是仪表压力。

**回路:**见闭路或开路。

**回路增益:**所有回路元件串联在回路中的组合增益。有时也称为开路增益。必须明确指明在某个频率下是静态回路增益还是动态回路增益。

**手动控制:**见开环回路。

**NACE:**曾代表美国腐蚀工程师协会。随着该组织成为国际化组织,该名称改为NACE国际组织。因此,NACE不再是缩写。

**开环回路:**指过程控制组件的互连被中断的状态,此时过程变量的信息不再反馈给控制器设定点,因此不再进行对过程变量的修正。这通常通过将控制器设置为手动操作模式来实现。

**工作介质:**这是指流体,通常为空气或气

体,用来为阀门定位器和自动控制器的

工作提供动力。  
**工作极限\*:**一个装置能够承受而不会导致工作特性永久性损害的工作条件范围。

**OSHA:**职业安全和健康法令(美国)的缩写。

**填料:**阀门组件的一部分,用来防止阀轴或阀杆周围的泄漏。

**定位器:**位置控制器(伺服机构),其与终端控制元件或其执行机构的运动部件进行机械连接,并自动调节其到执行机构的输出,以保持在与输入信号成比例的所需位置。

**过程:**除控制器外,控制回路中的所有组合元件。有时指的是通过回路的流体。

**过程增益:**受控过程变量的变化与控制器输出的相应变化之比。

**过程偏差度:**一个精确的统计量度,衡量过程对设定点的受控程度。过程偏差度通常以百分比定义( $2s/m$ ),其中 $m$ 是测量过程变量的设定点或平均值, $s$ 是过程变量的标准偏差。

**快开(QO)特性\*:**固有流量特性,在截流元件最小行程下可以获得最大的流量系数。

**范围:**两个极限之间的区域,其间距可以被测量、接受、或传递,并用上下范围值来表示。例如:3至15 Psi;-40至100°C(-40至212°F)。

**放大器:**一种作用类似于功率放大器的装置。它接受电气、气动或机械输入信号,并向执行机构输出大流量的空气或液压流体。放大器可以是定位器的内部元件,也可以是单独的阀门附件。

**可重复性\*:**在全行程范围内,沿着相同的方向,在相同的工作条件下,对于相同的输入值,一系列连续的输出测量值

的接近程度。它通常是作为不可重复性来测量的,但以百分比量程来表示。它不包括回差。

**分辨率:**当输入不改变方向时用来产生一个能检测到的输出变化所需要的最小可能的输入变化。分辨率通常表示为输入量程的百分比。

**响应时间:**通常通过包括时滞时间和时间常数的参数来测量。(见 T63、时滞时间和时间常数。)应用于阀门时,应包括整个阀门组件。

**二阶:**一个术语,指的是一个装置的输入和输出之间的动态关系。一个二阶系统或装置有两个能量存储装置,它们可以在它们之间来回传递动能和势能,这样可能会引发振荡行为或超调。

**敏感性\*:**在达到稳定状态后,输出幅度的改变与引起该改变的输入改变之间的比例。

**传感器:**一种用于检测过程变量值并向变送器提供相应输出信号的装置。传感器可以是变送器的集成部分,也可以是单独的元件。

**设定点:**一个参考值,代表被控过程变量的期望值。

**阀轴扭转:**阀轴一端扭转而另一端不扭转的现象。这种现象通常发生在旋转式阀门中,其中执行机构通过一根相对长的阀轴连接到阀门截流元件上。当阀门的密封摩擦力将阀轴的一端保持在某一个位置时,执行机构端的阀轴的旋转被阀轴的扭转所吸收,直到执行机构的输入传递足够的力来克服这个摩擦力。

**信号\*:**一个物理变量,它的一个或多个参数携带关于该信号所代表的另外一个变量的信息。

**信号幅度排序(分程)\*:**一种动作方式,其中有两个或更多个信号产生,或者有

两个或更多个终端控制元件被一个输入信号驱动,每一个终端控制元件连续地、带或不带重叠对该输入信号的幅值作出响应。

**选型(阀门):**一种系统流程,旨在确保在一系列特定过程工况的每种条件下都拥有正确的阀门流通能力。

**量程\*:**上下范围值的算术差。例如:范围=0至66°C(150°F),量程=66°C(150°F);范围=3至15 psig,量程=12 psig。

**静摩擦:**使两个接触的物体开始相对运动需要的力。另见摩擦。

**气源压力\*:**一个装置供气口处的压力。常用的控制阀气源压力值对于3至15 psig的弹簧设定范围为20 psig,对于6至30 psig的弹簧设定范围为35 psig。

**T63:**一个测量装置响应的指标。测量方法是对系统施加一个很小的(通常为1-5%)阶跃输入。从启动阶跃输入的时间到系统输出达到最终稳态值的63%的时间即是T63。它是系统时滞时间(Td)和系统时间常数(t)的总和。(见时滞时间和时间常数。)

**时间常数:**通常应用于一阶元件的时间参数。它是从系统产生第一个的能检测到的相对于小阶跃输入(通常为0.25%-5%)响应时起一直到系统输出达到其最终稳态值的63%时的时间间隔。当应用于开路过程时,时间常数通常被指定为“ $\tau$ ”(Tau)。当应用于闭路系统时,时间常数通常被指定为 $\lambda$ (Lambda)。

**变送器:**一种装置,用于检测过程变量值并将相应的输出信号发送到控制器以与设定值进行比较。

**行程\*:**截流元件从关闭位置到一个中间或额定全开位置的运动。

**行程指示器:**一个指针和标尺,用于从外部显示截流元件的位置,通常以行程百

分比或旋转度等为单位。

**阀内件\***:调节受控流体流量的阀门内部组件。

**阀门**:见控制阀组件。

**流量放大器**:一种独立放大器,通常被称为流量放大器或简称放大器,因为它增加或放大了供给执行机构的压缩空气量。见放大器。

**零误差\***:当输入为低范围值时,一个装置在规定的使用条件下的误差。它通常表示为百分比的理想量程。■





# 第二章

## 控制阀的性能



在当今动态变化的商业环境中,制造商们承受着极大的经济压力。市场全球化也给减少制造成本带来巨大压力,以与低工资和低材料成本的发展中国家竞争。为了满足客户不断变化的需求,跨国公司通过提供最高质量的产品,并以更少的资源来最大化产出来提高竞争力。他们尽管完全遵守公众和法规政策,但是还必须面对这些市场挑战。

## 2.1 过程偏差度

为了向股东提供可以接受的回报,国际行业领导者们意识到他们现在必须降低原材料和废弃成本,同时增加生产力。通过应用过程控制技术减少制造过程中的过程偏差度已经被认为是一种改善投资回报和克服全球竞争压力的有效方法。

一个公司的基本目标就是通过生产高质量的产品来赚取利润。高质量的产品满足一系列的技术规格。任何对于已经建立的技术规格的偏离就意味着由于原料的过量使用、重新加工成本或废弃产品而损失利润。因此,通过改善过程控制就可以取得很大的经济效益。通过较好的过程控制来减少过程偏差度可以实现过程的优化和第一批产品的正确生产。

原材料和生产过程的固有不一致性是产生偏差的常见起因。它们会使得过程变量产生一个高于或低于设定点的偏差。一个处于控制状态且只有常见的偏差起因存在时的过程通常会遵循钟形正态分布。

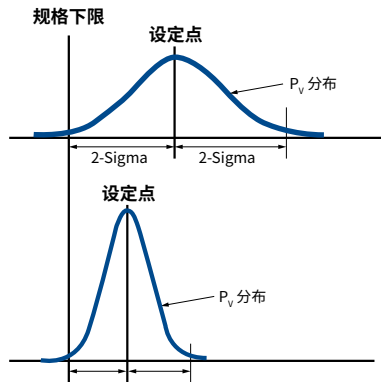


图 2.1 过程偏差度

在这个分布上,由统计学得到的一个数值区域称为  $\pm 2\sigma$  区。它描述了过程变量偏离设定点的程度。这个区域就是过程偏差度。它是一个反映过程控制紧密程度的测量。过程偏差度是过程紧密程度的一种精确测量,它表示为设定点的一个百分比。

例如,如果一个产品必须满足某个技术规格的下限,那么设定点需要建立在这个下限之上的  $2\sigma$  值处。这样做将确保在这个下限右面生产的所有产品会满足质量规范。

然而,问题是在一个比技术规格要求大很多的水准上生产很大百分比的产品会浪费很多金钱和资源(见图 2.1 上面的分布图)。

最理想的解决方案是通过选用一个能产生较小的  $\sigma$  的控制阀来减小偏差的分布程度(见图 2.1 下面的分布图)。



图 2.2 性能测试回路

减小过程偏差度是实现业务目标关键。大多数公司已经认识到这一点。对他们来说,把成千上万美元花费在仪表上面,以解决过程偏差度减小的问题是一件寻常的事情。

遗憾的是,由于其对动态性能的影响未被认识到,控制阀在这个方面常常被忽略了。对控制回路的广泛研究表明多达 80% 的回路在减小过程偏差度方面做得不好。不仅如此,人们发现控制阀由于各种各样的原因是造成这个问题的主要元凶。

为了检验阀门的性能,制造商们必须在动态的过程条件下测试它们的产品。这些测试通常是在流量试验室里的实际闭环回路控制下进行的(图 2.2)。在闭环回路条件下评估控制阀组件提供了对偏差度情况的唯一真实的测量。闭环回路性能数据证明为应用工况选择一个合适的控制阀可以显著减小过程偏差度。

控制阀减小过程偏差度的能力取决于许多因素。必须考虑多个独立参数。控制阀工业里的研究已经发现终端控制元件包括阀门、执行机构和定位器的特殊的结构特点对于在动态条件下取得好的过程控制是非常重要的。更加重要的是,控制阀组件必须作为一个元件而进行优化或制造。不是作为一个完整的组件而设计的阀门部件通常不会产生最好的动态性能。设计时需要考虑的一些最重要的因素包括:

- 死区
- 执行机构/定位器的设计
- 阀门响应时间
- 阀门类型和特点
- 阀门选型

每一个设计因素都会在本章里讨论,从而阐明一个优异的阀门设计由哪些要素

构成。

### 2.1.1 死区

死区是造成超大过程偏差度的主要原因。由于各种各样的原因,如摩擦力、空程、阀轴扭转、放大器或滑阀的死区等,控制阀组件是一个仪表回路里死区的主要来源。

死区是一种常见现象,指的是当输入信号改变方向时,控制器输出(CO)值在一定范围或宽度下变动时,被测过程变量(PV)不发生变化。当一个负载扰动发生时,过程变量(PV)会偏离设定点。这个偏差会通过控制器产生一个纠正性动作,并回复到过程中。然而,控制器输出的一个初始变化可能不会产生一个相应的过程变量的纠正性的改变。只有当控制器的输出变化量大得足以克服死区时,一个相应的过程变量的改变才会发生。

只要控制器输出改变方向,控制器的信号必须克服死区,才能产生过程变量的纠正性改变。过程过程里死区的存在使控制器的输出必须增加到大于死区,只有这时一个纠正性的动作才会发生。

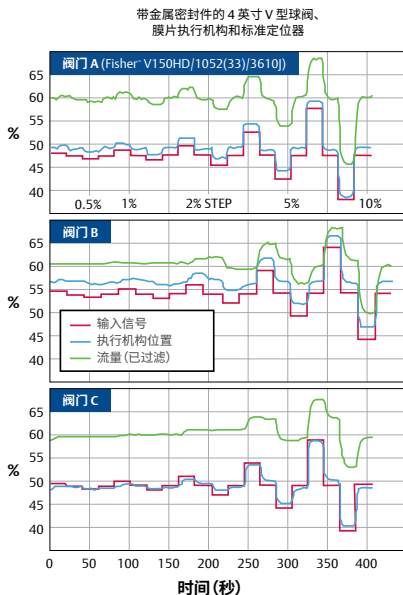


图 2.3 死区对于阀门性能的影响

#### 2.1.1.1 死区的成因

死区有很多原因,但是控制阀的摩擦力和空程、旋转阀阀轴的扭转以及放大器的死区是几种常见的形式。由于大部分的调节式控制的动作是由小信号改变(1%或更小)组成的,一个有超大死区的控制阀可能甚至根本不会对这么多的小信号改变作出响应。一个制造精良的阀门应该能够对1%或更小的信号作出响应以有效地减小过程偏差度。然而,目前经常有些阀门出现5%或更大的死区。在最近的一次工厂审计里,发现30%的阀门有超过4%的死区。超过65%的被审计回路有大于2%的死区。

### 2.1.1.2 死区造成的影响

图 2.3 表明了死区的组合效果是多么大。这个图代表正常过程条件下三个不同的控制阀的开环回路测试。这些阀门接受一系列的阶跃输入,范围从 0.5% 到 10%。流体工况下的阶跃测试很有必要,因为这些工况可以评估整个控制阀组件的性能,而不像大部分的标准测试一样仅仅评估阀门执行机构的性能。

### 2.1.1.3 性能测试

有些对控制阀性能的测试,仅局限于比较输入信号和执行机构推杆的行程。这是一种误导,因为它忽略了阀门本身的性能。这是一种误导,因为它忽略了阀门本身的性能。

关键的是测量流动工况下阀门的动态性能,这样过程变量的改变才能与阀门组件的输入信号改变相比较。如果只有阀杆对于阀门输入的改变作出响应,那么这种测试的意义不大,因为如果没有相应的控制变量的改变,也就没有对于过程变量的纠正。

在所有三个阀门测试里(图 2.3),执行机构推杆的运动都能对输入信号的改变作出很好的响应。然而,这些阀门在对应于输入信号的改变而改变流量的能力方面却有很大的不同。

对于阀门 A,过程变量(流量)能对小到 0.5 的输入信号作出很好的响应。阀门 B 要求输入信号的改变达到 5%,才开始对每一个输入信号阶跃作出很好的响应。阀门 C 明显更差,要求信号改变达到 10%,才开始对每一个输入信号阶跃作出很好的响应。总的来说,阀门 B 或 C 的改善过程偏差度的能力是非常差的。

### 2.1.1.4 摩擦力

摩擦力是造成控制阀死区的一个主要原因。旋转阀对于由高的阀座负载引起的

摩擦力非常敏感。对于有些密封型式,高的阀座负载是为了获得关闭等级所必需的。由于高的摩擦力和低的驱动应变刚度,阀轴会扭转,无法把运动传递给控制元件。结果是,一个设计很差的旋转阀可能会展示出很大的死区,这个死区明显对过程偏差度有决定性的影响。

制造商们通常会在制造过程中润滑旋转阀的密封,但是经过只有几百次的循环动作之后,润滑层就会磨损掉。另外,压力引起的负载也会导致密封磨损。结果是,对于某些阀门型式,阀门的摩擦力可能会增加 400% 或更多。这就说明在力矩稳定之前,通过使用标准类型的数据来评估阀门可能产生误导性的性能结论。阀门 B 和 C(图 2.3)表明这些较高的摩擦力矩因素会对一个控制阀的性能产生毁灭性的影响。

填料摩擦力是直行程控制阀的摩擦力的主要来源。在这些类型的阀门里,测量得到的摩擦力可能会随着阀门形式和填料结构的不同而有很大的差别。

执行机构的类型也对控制阀组件的摩擦力有重要影响。总的来说,对于控制阀组件,弹簧膜片式执行机构比活塞式执行机构产生的摩擦力要小。弹簧膜片执行机构的另外一个优点是它的摩擦力比较恒定,不会随时间的变化而变化。活塞式执行机构的摩擦力会随着导向面和 O 型圈的磨损、润滑层的损失以及弹性件的性能等级下降而显著增加。因此,为了确保连续的最佳性能,活塞式执行机构比膜片弹簧执行机构需要更加频繁的维护。如果不进行维护,过程偏差度就会显著增加,而操作人员对此一无所知。

当装置改变方向时,空程会引起运动的不连续性。空程通常发生在具有各种各样配置的齿轮驱动的装置里。齿条齿轮执行机构由于空程特别容易产生死区。有些阀轴的连接也会产生死区。总的来

说,花键连接比键槽或双 D 型结构连接有更小的死区。

尽管摩擦力可以通过优良的阀门设计而大幅减小,但是要完全消除它却是一个难题。一个设计精良的控制阀应该能够消除由于空程和阀轴扭转而引起的死区。

为了在减小过程偏差度方面取得最佳效果,整个阀门组件的总死区应该等于或小于 1%,最理想的结果是低到 0.25%。

### 2.1.2 执行机构和定位器的设计

执行机构和定位器的设计必须一起考虑。这两个设备的组合会在很大程度上影响控制阀组件的静态性能(死区)和动态响应,以及阀门仪表的总空气消耗量。

如今,定位器用于大部分指定的控制阀应用场合。与传统的数字式控制系统一起使用时,定位器可以提供很高的定位精度以及联机诊断。随着人们越来越把重点放在过程控制的经济效果上,在重视过程优化的每一个阀门应用场合都应该考虑使用定位器。

定位器可以被认为是一个高比例增益装置。当与执行机构和阀门结合使用时,根据用途和预期性能,该组件在理想情况下会表现得像一阶或欠阻尼二阶系统。数字式阀门控制器具有额外的整定参数,例如微分增益,其主要用于消除不合需求的特性并进一步将组件调整到所需的性能。许多定位器还集成了一个功能,可以消除阀门设定点和位置之间的任何偏移。在大多数过程控制情况下,可以关闭此功能以避免形成缓慢过程振荡,因为阀门位置和设定点之间的偏移通常由过程控制器处理。

一旦定位器检测到设定点的变化,定位器必须能够向执行机构提供大量空气,使组件能够及时且受控地移动。这种能力来自高增益定位器,并且是定位器内

集成气动增强器的功能。该气动增强器通常包括放大器或滑阀。

典型的高性能两级定位器使用气动放大器。放大器受到用户的偏爱是因为它们能提供高动力增益。这种高动力增益用最小的稳态空气消耗量产生最好的动态性能。另外,它们不易受到流体污染。此外,一些大型或高摩擦执行机构可能使用额外的外部放大器来满足规范要求,例如行程速度。

定位器设计通过减少空气消耗和提高用户可访问的诊断功能而不断改进。此外,还增加了一些功能,以支持提高行业安全要求,如安全仪表系统(SIS)和优化的数字阀门。

### 2.1.3 阀门响应时间

对于许多过程的优化控制,重要的是阀门快速地到达一个指定的位置。对于小信号改变(1%或更小)作出快速的响应是在提供优化过程控制方面的其中一个最重要的因素。在自动的、调节式控制场合,从控制器接受的大量信号改变都是为了取得小的阀门改变。如果一个控制阀组件能够快速地对这些小信号改变作出响应,过程偏差度将会得到改善。

阀门响应时间是通过一个称为 T63 的参数来测量的。T63 是从输入信号改变开始起到输出达到 63% 的相应改变时测量所得到的时间。它包括阀门组件的时滞时间(一个静态时间)和阀门组件的动态时间。这个动态时间是对于执行机构从一旦开始移动至达到 63% 的点所需的时间的一种度量。

#### 2.1.3.1 时滞时间

死区,不管是源自阀体和执行机构里的摩擦力,还是来自定位器的,都能在很大程度上影响阀门组件的时滞时间。重要的是使得时滞时间尽可能地小,因为这会成为过程稳定性的限制因素。总的来

说,时滞时间应该不超过阀门总体响应时间的三分之一。然而,时滞时间与过程时间常数之间的相对关系是关键。如果阀门组件置于一个过程时间常数接近时滞时间的快速回路里,时滞时间会严重地影响回路的性能。在这些快速回路里,关键是要选择时滞时间尽可能小的控制设备。

从回路整定的角度看,时滞时间在阀门的两个行程动作方向保持相对恒定也是很重要的。有些阀门组件结构在一个行程动作方向比在另一个有3至5倍长的时滞时间。这种特性通常是由定位器设计的不对称特性引起的。它会严重地限制把回路整定到最佳总体性能的能力。

### 2.1.3.2 动态时间

一旦时滞时间已经过去,且阀门开始响应,阀门响应时间的剩余部分来自阀门组件的动态时间。这个动态时间主要是由定位器和执行机构组合的动态特性决定的。这两个部件必须很好地匹配以减少阀门的总响应时间。例如,在一个气动阀门组件里,定位器必须有一个高动态增益以减小阀门组件的动态时间。这个动态增益主要由定位器里的动力放大器提供。换言之,定位器放大器或滑阀能够越快地提供大量的压缩空气给执行机构,阀门的响应时间也将越快。然而,这种高动态增益动力放大器对时滞时间有很小的影响,除非在其中特意设计一些死区以减少静态耗气量。当然,执行机构的设计对动态时间有很大的影响。例如,需要充填的执行机构气室的容积越大,阀门的响应时间就越慢。

### 2.1.3.3 解决方案

首先,似乎解决方案应该是把执行机构容积减至最小,并把定位器的动态动力增益提高至最大,但是事实并非如此简

单。从稳定性角度看,这可能是多个因素的危险组合。要知道定位器/执行机构组合组成了它自己的反馈回路。对于正在使用的执行机构型式,定位器/执行机构回路的增益太高,可能会导致阀门组件进入一个不稳定的振荡状态。另外,减小执行机构容积对于推力/摩擦力比例有负面影响。这会增加阀门组件的死区,从而导致时滞时间的增加。

对于一个给定的应用场合,如果没有足够的总体推力/摩擦力比例,就要选择下一个较大尺寸的执行机构或者增加气源压力来增加推力。这个较高的推力/摩擦力比例会减小死区,有助于减少阀门组件的时滞时间。然而,这两个选择都意味着需要较大的压缩空气量供应给执行机构。作为交换的是通过增加动态时间而对阀门响应时间产生一个可能的破坏性影响。

减少执行机构气室容积的一个方法是使用活塞式执行机构而非弹簧膜片执行机构,但这不是灵丹妙药。活塞式执行机构通常比弹簧膜片执行机构有更大的推力,但是它们也有更高的摩擦力,这可能会引起与阀门响应时间有关的问题。为了获得需要的活塞式执行机构的推力,通常有必要使用比膜片执行机构更高的气源压力,因为活塞通常有更小的受压面积。这意味着需要供应更大量的空气,随之而产生的是对动态时间的负面影响。另外,活塞式执行机构有更多的导向表面。它们由于配合方面的内在困难以及与O型圈的摩擦,趋向于有更高的摩擦力。这些摩擦力的问题也趋向于随着时间而增加。不管最初这些O型圈是多么好,由于磨损或其它环境条件,这些弹性材料会随时间而降低性能。类似地,导向表面的磨损会增加摩擦力,润滑程度也会降低。这些摩擦力问题会产生更大的活塞式执行机构死区。这会通过增加时滞时间而增加阀门的响应时间。



阀门响应时间			
	阶跃大小	T(d) 秒	T63 秒
ENTECH 指标4 英寸阀门口径	%	s0.2	s0.6
阀门 A (Fisher™ V150HD/1052(33)/3610J)			
阀门动作:打开	2	0.25	0.34
阀门动作:关闭	-2	0.50	0.74
阀门动作:打开	5	0.16	0.26
阀门动作:关闭	-5	0.22	0.42
阀门动作:打开	10	0.19	0.33
阀门动作:关闭	-10	0.23	0.46
阀门 B			
阀门动作:打开	2	5.61	7.74
阀门动作:关闭	-2	0.46	1.67
阀门动作:打开	5	1.14	2.31
阀门动作:关闭	-5	1.04	2
阀门动作:打开	10	0.42	1.14
阀门动作:关闭	-10	0.41	1.14
阀门 C			
阀门动作:打开	2	4.4	5.49
阀门动作:关闭	-2	没有响应	没有响应
阀门动作:打开	5	5.58	7.06
阀门动作:关闭	-5	2.16	3.9
阀门动作:打开	10	0.69	1.63
阀门动作:关闭	-10	0.53	1.25
NR = 没有响应			

图 2.4 阀门响应时间摘录

### 2.1.3.4 供气压力

仪表供气压力也可能对阀门组件的动态性能产生很大的影响。例如,它能显著地影响定位器的增益和总耗气量。

固定增益定位器通常已经在某一特殊供气压力下进行了优化。然而,这个增益可能会在供气压力的很小变化范围内成两倍或更多倍地变化。例如,一个在 20 psig 的供气压力下进行优化的定位器,当供

气压力增加到 35 psig 时,它的增益可能会减少一半。

供气压力也会影响供应给执行机构的空气量,空气量则决定动作速度。它也与耗气量直接相关。高增益滑阀定位器需要消耗高达 5 倍于在动力放大阶段使用放大器的更加高效的高性能两级定位器所需的的气量。

### 2.1.3.5 最小化时滞时间

为了最小化阀门组件的时滞时间,需要最小化阀门组件的死区。不管这个死区是由于阀门密封结构的摩擦力引起的,还是由于填料的摩擦力、阀轴的扭转、执行机构或者定位器的结构引起的。正如先前指出的,摩擦力是造成控制阀死区的主要原因。对于旋转阀,阀轴扭转也是造成死区的重要起因。执行机构的类型也对控制阀组件的摩擦力有重要影响。总的来说,在很长一段时间内,活塞式执行机构比弹簧膜片执行机构对控制阀的摩擦力大。如前面所提及的,这是由于活塞 O 型圈、对中不佳的问题、以及润滑失效引起的不断增加的摩擦力导致的。

采用高增益的定位器设计可以显著降低死区。它也会对阀门组件的分辨率作出显著的改善。死区和分辨率为 1% 或更小的阀门组件已经不能满足许多过程偏差度降低的需要。许多过程要求阀门组件有低至 0.25% 的死区和分辨率,尤其是阀门组件安装于一个快速过程回路的场合。

### 2.1.3.6 阀门响应时间

在对控制阀响应时间的许多研究里有一件令人称奇的事情。那就是关于弹簧膜片执行机构对活塞式执行机构的观念上的变化。过程工业里长期以来的一个误解是活塞式执行机构动作起来比弹簧膜片执行机构快。研究已经表明对于小信号改变,这是不正确的。

这个误解来自于测试阀门的动作时间的多年经验。动作时间测试通常是这样进行的:让阀门组件接受一个 100% 阶跃改变的输入信号,然后测量阀门组件在某一方向上完成一次全行程动作所需要的时间。

尽管活塞驱动的阀门通常比大部分弹簧膜片驱动的阀门有更快的动作时间,但

是这种测试并不能反映出阀门在实际的过程控制情况。在正常的过程控制应用场合里,阀门很少需要全行程的动作。通常,阀门只要求在一个 0.25% 至 2% 的阀位变化范围内作出响应。大量的阀门测试表明弹簧膜片阀门组件在小信号改变方面的性能总是超过活塞驱动的阀门,而小信号改变更能代表调节式过程控制应用工况。活塞式执行机构的高摩擦,导致它比弹簧膜片执行机构对于小信号的响应更慢。

选择正确的阀门、执行机构和定位器组合不是容易的。这并不是一件简单地找到一个在物理上匹配的组合的事情。良好的工程判断必须融入阀门组件的计算和选型实践,以取得回路的最佳动态性能。

图 2.4 表示阀门组件不同,时滞时间和总体 T63 响应时间会产生巨大差异。

### 2.1.4 阀门类型与特性化

阀门类型和阀门选型会对系统中控制阀组件的性能产生很大的影响。一个阀门必须有足够大的口径以通过所有可能的变化条件下需要的流量。但对于应用而言,口径过大的阀门不利于流程优化。

阀门的流通能力跟拥有固有特性的阀门类型有关。固有特性是当经过阀门的压差恒定时,阀门的流通能力与阀门行程之间的关系。

通常,这些特性绘制在曲线上,其中水平轴以百分比行程标记,垂直轴标记为百分比流量(或  $C_v$ )。由于阀门流量是阀门行程和通过阀门的压差的一个函数,所以传统的办法就是在一个恒定的压降下进行阀门的固有特性测试。这不是实际应用中的正常情况,但是它提供了一种比较阀门特性形式的系统方法。

在恒定压降的特定条件下,阀门流量就成为阀门行程和阀门内件固有结构的一

个函数。这些特性称为阀门的固有流量特性。由此方法得出的典型的阀门特性命名为线性、等百分比和快开。

阀门流量(输出)的增量变化对于引起这个流量变化的相应的阀门行程(输入)的增量的比例被定义为阀门增益。

$$\text{固有阀门增益} = (\text{流量变化} / \text{行程变化}) = \text{固有特性曲线的斜率}$$

线性特性在阀门的全行程范围内有一个恒定的固有阀门增益,而快开特性在行程范围的较低一端有一个最大的固有阀门增益。等百分比阀门的最大固有阀门增益位于阀门的最大开度处。

固有阀门特性是阀门流体通道几何尺寸的固有函数。只要压降恒定,它是不会变化的。许多阀门类型,尤其是旋转球阀、蝶阀和偏心球塞阀,它们的固有流量特性不会轻易被改变。然而,大部分的直通阀有多种阀笼或阀芯可供选择。可以通过变更阀笼或阀芯的类型改变固有流量特性。

了解固有阀门特性是有用的,但是要进行流程优化更需要了解整个流程包括回路里的阀门和所有其它设备的安装流量特性。安装流量特性定义为:当阀门安装在一个特定的系统里且通过阀门的压降允许自然地改变而不是设为恒定时,流经阀门的流量与阀门组件输入之间的关系。这种安装流量特性的一个示例表示在图 2.5 上方的曲线里。这个图把流量与人们熟知的阀门行程关联起来,而不是阀门组件输入。

### 2.1.4.1 安装增益

图 2.5 中下方的曲线表示的是安装增益,它是通过上方曲线在每一点的斜率值绘制出来的。在实验室里,让整个回路在某些额定设定点下工作且不受负载扰动影

响,就可以获得像这样的安装流量特性曲线。回路置于手动操作状态,随着控制阀组件被手动输入驱动通过它的全行程范围,测量并记录流量。测量结果画成曲线就是示于图 2.5 上面部分的安装流量特性曲线。然后,在该曲线的每一个点上估算流量曲线的斜率,并把它们画成如图 2.5 下面部分所示的安装增益曲线。

安装过程增益的现场测量也可以通过利用开环阶跃测试在一个单独的操作点上进行(图 2.3)。在任何操作条件下的安装过程增益仅仅是输出(流量)的百分比改变与阀门组件输入信号的百分比改变的比值。

通过各种各样的阀门内件型式来特性化固有阀门增益是为了给控制回路里其它增益的改变提供补偿。最终目标是维持一个在整个工作范围内合理统一的回路增益,为过程控制保持一个相对线性的安装流量特性。由于其如上所定义的测量方法,图 2.5 所示安装流量特性和安装增益实际上是整个流程的安装流量特性和安装增益。

通常,控制装置的增益会随着流量的变化而变化。例如,一个压力容器的增益趋向于随着输出增加而减小。因此,过程控制工程师会倾向于使用一个等百分比的阀门,这种阀门的增益会随着流量的增加而增加。理想情况下,这两种反向的关系应该能够取得平衡以为整个过程提供一个比较线性的安装流量特性。

### 2.1.4.2 回路增益

从理论上讲,回路在某个设定点流量条件下可达到最佳性能。随着流量在该设定点附近变化,理想的情况是保持回路增益尽可能地恒定,以维持最佳性能状态。如果由于固有阀门特性而产生的回路增益变化不能精确地补偿被控制装置的变化增益,那么,由于安装过程增益

的偏差,回路增益也将产生一个偏差,结果是过程优化变得越来越困难。还有一种风险是,回路增益变化的太大导致过程不稳定,循环受限或者其它动态问题。

回路增益变化不应该超过 4:1 的比例,否则,回路的动态性能将会令人无法接受。这个特定的比例没有什么神奇之处。只不过许多过程控制的实践者们都认同这是一个能在大多数的过程控制回路里产生可被接受的增益范围的比例。

这一指导原则成为下面的 EnTech 增益限制指标的基础 (选自“控制阀动态指标”, 3.0 版, 1998 年 11 月, EnTech 控制公司, 加拿大安大略省多伦多):

回路过程增益 = 1.0 (变送器量程的百分比) ÷ (控制器输出的百分比)

标称范围: 0.5-2.0  
(注: 4:1 的比例)

应注意这个回路过程的定义包括除了控制器之外的回路配置里的所有装置。换言之, 诸如控制阀组件、热交换器、压力

容器、或其它被控制的系统、泵、变送器之类的装置的增益总和就是过程增益。由于阀门是这里所定义的回路过程的一部分, 因此重要的是选择一种阀门类型和口径, 它会产生一种线性的安装流量特性, 足以在系统的工作范围内保持在指定的增益限制范围内。如果控制阀本身产生太大的增益变化, 就会给控制器的调整提供较小的灵活性。把尽可能多的回路增益留给控制器是一种良好的工程实践。

尽管 4:1 的回路增益改变比例被广泛接受, 但并非每一个人都同意这个 0.5-2.0 的增益。一些行业专家已经提出使用 0.2-0.8 的回路过程增益限制的事例, 这仍然是 4:1 的比例。使用这种较小的增益范围的固有潜在危险是这个增益范围的下限可能会在正常工作期间使阀门产生很大的摆动。良好的工作实践是把阀门摆动控制在 5% 以下。但是让增益太大也有危险。如果在行程的某一点处, 回路增益变得太高, 回路可能会产生振荡或甚至变得不稳定。为了确保在一个宽广的

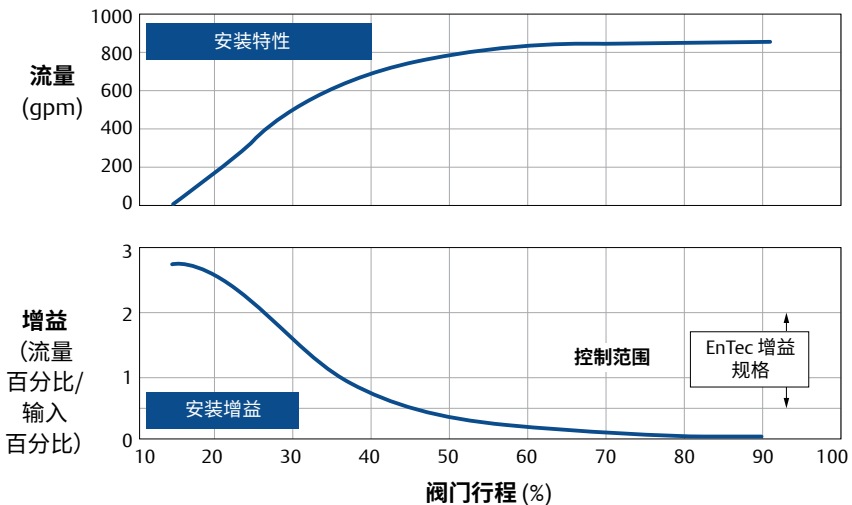


图 2.5 安装流量特性和增益

工作条件范围内有良好的动态性能和回路稳定性,行业专家们推荐回路设备应该精心设计制造,以保证过程增益仍然处于 0.5-2.0 的范围内。

### 2.1.4.3 过程优化

过程优化要求所选择的阀门类型和口径在最大可能的工作条件范围内能把过程增益控制在选定的增益限制范围内。由于减小过程偏差度是如此地依赖于维持一个统一的安装增益,因此,在能够接受的增益指标限制范围内,一个阀门可以工作的范围被称为阀门的控制范围。

一个阀门的控制范围会随着阀门类型变化而产生很大的变化。图 2.6 表示与管线等口径的蝶阀和直通阀的比较状况。直通阀比蝶阀有更加宽的控制范围。其它阀门类型,如:V形切口球阀和偏心球阀通常位于这两个范围之间的某处。

因为蝶阀通常有最窄的控制范围,所以它们通常最适合于负载固定的应用场合。另外,它们必须经过仔细计算,以便

在固定负载处取得最优性能。

如果一个阀门的固有特性能够选择得可以精确地补偿随流量产生的系统增益的变化,人们就会希望安装过程增益(下面的曲线)最后是一条数值为 1.0 的直线。

不幸的是,由于不能提供无限种固有阀门内件的特征类型,这样一种精确的增益吻合几乎不可能实现。另外,有些阀门类型,如蝶阀和球阀,不提供可以轻易改变阀门固有特性的多种内件选项。

这种情况可以通过在阀门设定点和位置之间采用非线性缩放得到改善。这种技术通过以下方式重新校准阀门输入信号:接受线性控制器信号,并使用预编程的数值表来产生实现所需阀门特性所需的阀门输入。这种技术有时候称为前向通道或设定点的特性化。

由于这种特性化在定位器反馈回路之外进行,它避免了定位器回路增益变化的问题。然而,这个方法也有它的动态局限性。例如,在阀门工作范围内,可能有这

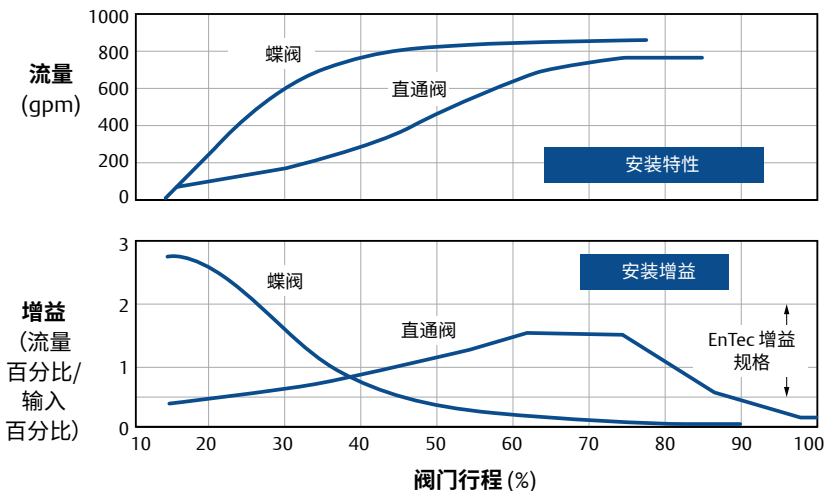


图 2.6 阀门类型对于控制范围的影响

样的区域:1.0%的过程信号改变也许会通过这种特性化过程被减小到对阀门的只有0.1%的信号改变(那就是位于特性化曲线的平坦区域)。许多控制阀不能对这样小的信号改变作出响应。

当要求的流量特性是通过改变阀门内件,而不是使用非线性特性化取得的时候,过程性能表现最佳。正确地选择一个控制阀以在系统的操作范围内产生比较线性的安装流量特性是确保最优过程性能的一个关键步骤。

### 2.1.5 阀门选型

在试图通过减小过程偏差度来优化过程性能的时候,有时会出现阀门口径选得太大的情况。这是由于使用与管线等径的阀门,尤其是使用大流通能力的旋转阀、以及在过程设计的不同阶段保守地加入多个安全系数造成的。

阀门口径选得太大会从两个方面影响过程偏差度。第一,口径太大的阀门把太多的增益放在阀门上,而给控制器的调整留下较小的灵活性。最佳性能仅会在大部分的回路增益由控制器产生时出现。

请注意在图2.5的增益曲线里面,过程增益在低于约25%的阀门行程区域里变得非常高。如果阀门口径太大,会使得阀门更有可能在或接近这个区域工作。这个很高的增益可能意味着控制器的增益需要减小以避免回路的不稳定问题。当然,这就意味着以过程偏差度增加为代价。

口径太大的阀门影响过程偏差度的第二个方面是一个口径太大的阀门有可能频繁地在阀门的较小开度下工作。在阀门的较小开度处,密封摩擦力比较大,尤其是在旋转阀里。由于一个口径太大的阀门对于一个给定的阀门行程增量会产生一个不成比例地大的流量改变,这个现象会大幅增加由于摩擦力引起的与死区有关的过程偏差度。

不考虑它的实际固有阀门特性,一个超大口径的阀门趋向于像快开阀门一样地动作,这会在较小的开度区域(图2.5)引起很高的安装过程增益。另外,阀门口径选得太大会,阀门趋向于在相对低的行程处就达到系统的流通能力,使得流量曲线在较高的阀门行程处变得更加平坦(图2.5)。对于超过50%开度的阀门行程,这个阀门对于过程控制而言已经变得无效了,因为过程增益接近零,并且阀门行程的很大变化只会引起流量的微小变化。结果是在这些区域根本没有希望取得可以接受的过程偏差度。

图2.5所示的阀门被错误地用在该应用场合,因为它有这样窄的控制范围(约25%至45%)。这个情况是因为选择了一个与管线等径的蝶阀而引起的,选择此阀门的主要原因是它的低成本,而且没有考虑到控制阀糟糕的动态性能会牺牲过程偏差度从而引起利润损失。

不幸的是,这种情况经常重复发生。过程控制研究表明,对于某些工业,目前在过程控制回路里的大多数阀门相对于它们的应用工况都选得太大会。虽然这似乎违反直觉,但根据当前条件选择控制阀门,然后在条件发生变化时更换阀门,通常具有经济意义。

选择一个阀门的时候,重要的是考虑阀门的类型、固有特性以及可以为该应用场合提供控制范围尽可能宽的阀门口径。

请参见第五章以了解有关阀门选型的更多信息。■

## 2.2 经济效果

考虑本章讨论的因素会对一个过程工厂的经济效果产生很大的影响。越来越多的控制阀用户把注意力集中在动态性能参数上,如死区、响应时间和安装增益

(在实际过程负载条件下),作为一种改善过程回路性能的方法。尽管在开环回路情况下测量大部分的这些动态性能参数是可能的,但是只有当测量闭环回路的性能时,这些参数产生的影响才会变得清楚。图 2.7 所示的闭环回路测试结果表明在不同的整定条件下,三个不同的阀门的减小过程偏差度的能力。

这个图以百分比设定点变量对闭环回路时间常数—回路整定的一种测量绘制出过程偏差度。

标有“手动”的水平线表示不试图控制它(开环回路)时,回路里存在多大的偏差度。向左边倾斜标有“最小偏差度”的线代表计算得出的一个理想阀门组件(没有非线性度)的动态性能,所有实际阀门组件通常应该处于这两种情况之间。

不是所有的阀门都能提供相同的动态性能,尽管它们理论上满足静态性能购买指标,并且被认为是差不多的阀门(图 2.7)。图 2.7 中的阀门 A 在一个很宽的控

制器整定范围内很好地跟随最小偏差度线。这个阀门表现出非常好的动态性能,有最小的偏差度。形成对比的是,阀门 B 和 C 表现较差,而且随着系统整定得更快以减小闭环回路时间常数,其偏差度会增加。

所有三种阀门类型都能够控制过程并减小偏差度,但是其中的两种表现较差。如果表现较差的阀门 B 被表现最好的阀门 A 替换,切系统的闭环回路时间常数被调整到 2.0 秒,想想会发生什么。

测试数据表明这会引入 1.4% 的过程偏差的改善。虽然这可能看起来不是很大,但是长时间的结果是令人印象深刻的。一个每一天每一秒都能提供这样的改善的阀门在仅仅一年之内就能节约大量的金钱。

这个例子中良好阀门的优良性能强有力地证明了一个超乎寻常的控制阀组件能够产生非常显著的经济效果。这个例子仅仅是阀门通过更加严格的控制能够增

在 4 英寸测试回路中,流量为 600 gpm 时,对 4 英寸阀门进行的测试

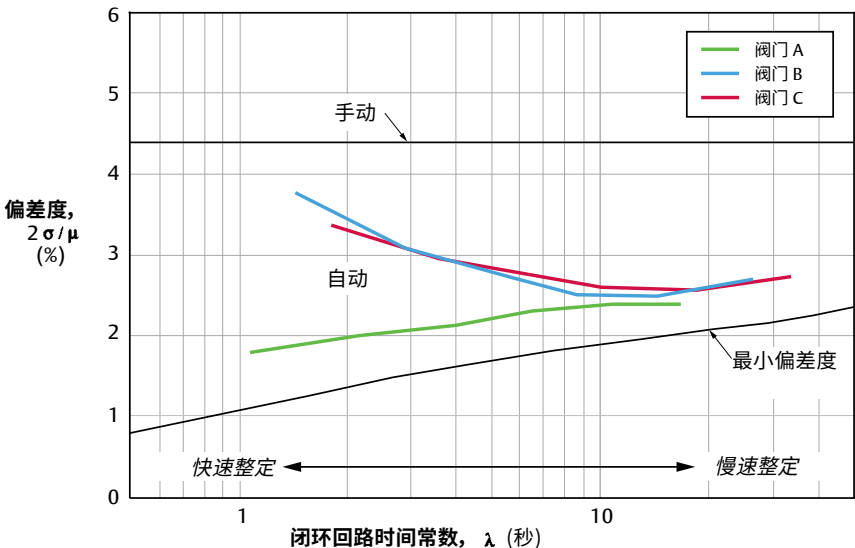


图 2.7 闭环回路随机负载扰动概括

加利润的一个方面。减少能源成本、增加产出、减少超标产品的重新加工成本等则是一个好的控制阀通过更加严格的控制能够增加经济效果的全部方式。对于最好的控制阀,最初的成本也许比较高,但是花费在制造精良的控制阀上的少量的额外成本能够大幅增加投资回报。通常,阀门的最初的额外成本可以在几天的时间内得到补偿。

结果是,过程工业已经越来越意识到控制阀组件在回路/装置/工厂的性能扮演着重要的角色。它们也已经认识到传统的指定一个阀门组件的方法,不足以确保为工艺流程提供足够的优化效果。像流通能力、泄漏量、材料适应性和标准性能数据这样的静态性能指标,尽管重要,但是不足以处理过程控制回路的动态特性。■

## 2.3 Signature 系列性能测试

ValveLink™ 软件 Signature 系列工厂执行的性能测试适用于任何包含 FIELDVUE™ 数字阀门控制器的 Fisher 控制阀组件,并可作为控制阀维护计划的起点。

Signature 系列性能测试可在装运前为组装机性能设定基准。该基准为今后的数据比较提供了一个起点,使用户能够跟踪控制阀的运行状况并最大限度地提高阀门性能。



图 2.8 阀门类型对于控制范围的影响

当订购配有 FIELDVUE 的控制阀时,工厂会使用 ValveLink 软件的诊断功能对每个阀门组件进行彻底测试,作为其最终装配的一部分。

### 2.3.1 Signature 系列 1

在 Signature 系列 1 测试级别中,用户可获得以下信息:

- 仪表配置显示
- 状态监视器 (50% 行程)
- 阀门规格表
- 从 -5 到 105% 输入所记录的阀门 Signature (该测试的扫描时间取决于执行机构的尺寸)
- 从 -5 到 105% 输入所记录的动态误差带状曲线 (该测试的扫描时间取决于执行机构的尺寸)
- 从 -5 到 105% 输入所记录的行程信号 (该测试的扫描时间取决于执行机构的尺寸)
- 艾默生销售办事处的 Signature 系列电子测试结果



### 2.3.2 Signature 系列 2

除 Signature 系列 1 信息外,用户还将收到

- 性能阶跃测试
- 状态监控器 (0, 25, 50, 75, 100%)
- 艾默生销售办事处的 Signature 系列电子测试结果

### 2.3.3 Signature 系列 3

Signature 系列 3 测试提供用户指定的系列 1 和系列 2 测试,并允许更改终点或扫描时间。这一功能使用户能够根据具体要求或流程需要调整测试。

**数据比较:**如果控制阀配备了包含诊断功能的 FIELDVUE 仪器,则在阀门投入使用后,可使用 ValveLink 软件运行与出厂时相同的测试。然后,通过将 Signature 系列数据导入 ValveLink 软件,用户可将出厂时的性能与阀门当前的运行状况进行比较。如图 2.9 所示,可将当前数据与基线数据进行比较,以快速找出问题所在。

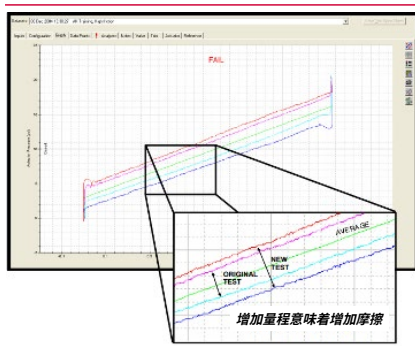


图 2.9 数据对比

**Signature 系列可用性:**Signature 系列测试适用于所有的 Fisher 控制阀。要订购 Signature 系列测试,请在 Fisher 控制阀订单上注明 Signature 系列测试要求。

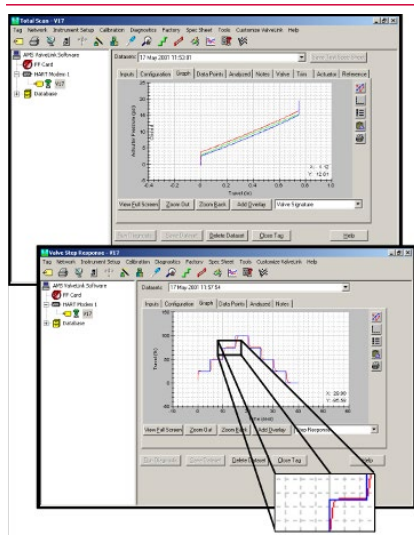


图 2.10 ValveLink 软件

**利用 Signature 系列:**如图 2.10 所示,使用 ValveLink 软件执行诊断测试可对控制阀的运行参数进行分析。用户可联系艾默生销售办事处,充分利用 Signature 系列。下订单时指定 Signature 系列测试要求。艾默生可以提供所需的诊断数据,使阀门保持最佳运行状态。 ■

## 2.4 概括

控制阀组件在取得控制回路的可能最佳性能方面扮演着极其重要的角色。过程优化意味着优化整个过程,而不仅仅是用于控制室里的设备的控制算法。阀门被称为终端控制元件,因为控制阀组件是过程控制被执行的地方。如果建立一个复杂的过程控制策略,并安装能够取得 0.5% 或更好的过程控制的硬件仪表系统,却用一个 5% 或更差的控制阀来执行那个控制策略,那么将毫无意义。对几千个过程回路进行的审计已经强有力地证明了终端控制元件在取得真正的过程优化方面扮演者非常重要的角色。当一个控制阀是为其应用场合而精心设计制

造时,工厂的盈利能力会增加。

控制阀是复杂的高科技产品,不应该被当作一般商品处理。尽管传统的阀门技术规格起着重要的作用,但是如果要想取得真正的过程优化,阀门技术规格也必须能够解决真正的动态性能特性问题。重要的是这些技术规格应该包括死区、时滞时间、响应时间等之类的参数。

最后,过程优化随着整个回路的优化而开始和结束。回路里的元件不能被单独地处理以取得协调回路性能的目的。类似地,回路里的任何单个元件的性能也不能被孤立地评估。在没有负载的标准条件下进行的孤立测试不会提供在实际过程条件下测试硬件所得到的性能信息。■



# 第三章

## 阀门和执行机构类型



## 3.1 控制阀类型

阀门截流元件的位置随着执行机构提供的力的改变而改变,从而调节控制阀流体的流量。为了实现这样的功能,阀门必须:

- 承载流体而没有外部泄漏,
- 针对应用工况有足够的流通能力,
- 能够承受过程里的冲蚀性、腐蚀性和温度的影响,
- 具有相应的连接端型式以与相邻的管道相配合,并建立执行机构连接方式以使得执行机构推力传递给阀芯连接杆或旋转阀轴。

多年来已经推出了很多类型的控制阀体。有些用途广泛,其它一些则满足特殊的工况条件,所以不经常使用。下面的概括介绍了一些今天仍然在使用的常见的控制阀体类型。■

### 3.1.1 直通阀

#### 3.1.1.1 单阀座阀体

- 单阀座阀体是最常见的阀体类型,而且结构简单。
- 单阀座阀门有各种各样的形式,如直通式、角形、棒形、铸造和分体式结构。
- 很多单座阀体采用阀笼或保持架式的结构以固定阀座环,提供阀芯导向,并提供一种建立阀门流量特性的方法。
- 通过更换阀内件零部件,阀笼或保持架式的单座阀体也可以很容易地被调整,以实现减小流通能力、降低噪声、减少或消除气蚀的目的。
- 角形阀几乎总是单阀座的(图 3.1)。它们常常用于锅炉给水、加热器疏水

工况、以及空间有限且阀门也可以被用作弯管的管道连接处。图示的阀门采用阀笼式结构。其它阀门可能采用扩口的连接端,限流内件或出口内衬以及带内衬的出口端、限流内件、以减少冲刷性、闪蒸或气蚀破坏的出口内衬。

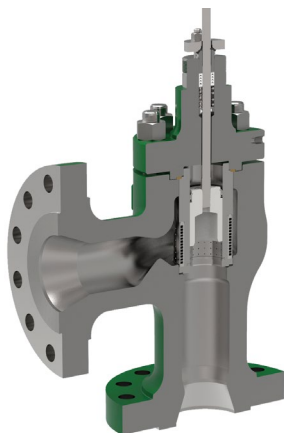
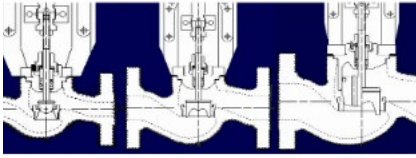


图 3.1 法兰连接角形控制阀体

- 合金阀体通常被指定用于化学工业里的腐蚀性应用场合(图 3-2)。它们可由任何金属棒形材料、铸件或锻件加工而成。当抵抗腐蚀需要稀有金属合金时,一个棒材加工的阀体通常比一个铸造阀体更加便宜。也可以使用具有聚合物衬里的阀门。
- 高压阀通常用于碳氢化合物和电力行业,提供 CL4500 或 API 10000 规格。这些阀门可以是直通阀或角形阀,通常具有可选的专用阀内件,适用于严苛工况应用。
- 高压单阀座直通式阀通常用于气体和石油的加工生产。可提供的选项包括阀体与阀盖间的螺栓式连接、以及自排放角形阀体。压力额定值高达 ANSI 2500 的法兰形式也可提供。

### 3.1.1.2 后导向和阀口导向阀体

GX 阀门使用后导向方法或阀口导向方法取决于阀门尺寸表中说明了不同尺寸的不同导向方法。



阀杆导向	阀口导向	阀盖导向
尺寸 1/2 英寸到 1 英寸	尺寸 1 1/2 英寸到 4 英寸	尺寸 3 英寸到 6 英寸
阀芯由阀杆导向	阀芯由阀口导向	阀芯由阀盖导向
不平衡阀芯	不平衡阀芯	不平衡和平衡阀芯

- 通常, 此类阀门被指定用于要求严密关闭的场合。它们使用金属对金属阀座表面、或者由 PTFE 或其它复合材料组成的软阀座。此类阀门能够处理大部分的工况要求。
- 由于高压流体通常会对整个端口区域产生负载, 因此在为后置式和端口导向式控制阀体选择执行机构时必须考虑所产生的不平衡力。
- 尽管较小口径最常用, 但是它们也经常有 NPS 4 英寸至 8 英寸 (DN 100-200) 的口径, 配备大推力的执行机构。
- 它们易受高压降振动的影响, 因此设计时需要注意以避免这种情况。

图 3.3 展示了其中一些常用的后导向直通式控制阀体类型。它们广泛用于过程控制场合, 尤其是口径为 NPS 1 英寸至 4 英寸 (DN 20-100) 的单座阀。正常流向通常是向上通过阀座环。

### 3.1.1.3 阀笼式阀体

阀笼式阀内件 (图 3.4) 提供阀芯导向, 固定阀座环, 并规定流量特性。



图 3.2 棒形阀体

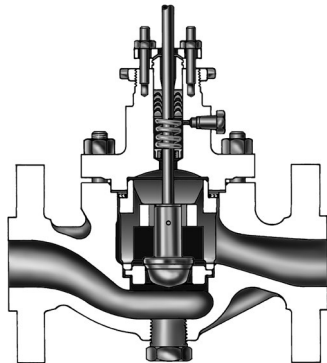


图 3.3. 单阀座直通阀体

另外, 位于阀芯外径上部和阀笼缸体之间的各种材料和样式的密封实际上消除了上游高压流体进入低压下游系统的泄漏。在这种平衡式设计中, 下游压力同时作用在阀芯的顶和底部, 因此消除了大部分的静态不平衡力。减少不平衡力可以使阀门配备比传统的单阀座阀体更加小的执行机构。阀内件的互换性允许选择多种流量特性、降噪、抵抗气蚀或其他严酷工况的部件。对于大部分可以提供的阀内件形式, 标准的流向是通过阀笼的开口并向下通过阀座环。然而, 降噪阀内件通常向上流动。这些阀体有各种各样的材料组合, 口径大至 36 英寸 (DN 900), 压力额定值高达 4500 磅级或 API 10000。

### 3.1.1.4 双阀座阀体

- 目前, 控制阀行业显著地摒弃了双阀座阀门设计。
- 流体趋向于打开一个阀座并同时关闭另一个阀座, 因此阀芯上的动态力总体趋于平衡。

- 相对于具有类似流通能力的单阀座非平衡阀体减小作用在阀芯上的动态力可能允许选择一个更小的执行机构。
- 阀体通常只有 NPS 4 英寸 (DN 100) 或更大。
- 阀体通常比同等口径的单阀座阀体有更大的流通能力。
- 很多双阀座阀体都可以反向, 因此阀芯可以安装成下推打开或下推关闭的作用方式 (图 3.5)。
- 尽管 III 级关断能力也是可能实现的, 但金属对金属阀座通常只提供 II 级关断能力。
- 阀座导向的阀芯通常用于开/关或低压调节工况。顶底导向式阀芯为恶劣工况条件提供非常稳定的操作。

图 3.5 所示的控制阀体是为向下推打开阀芯的作用方式而组装的。

双阀座阀体结构常用于炼油厂里以控制高粘度流体, 或者担心有颗粒、污染物、或阀内件上有流体积垢的场合。

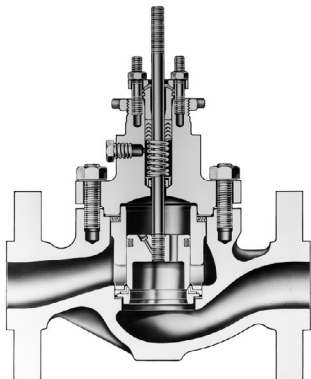


图 3.4 配备阀笼式阀内件, 平衡式阀芯和软阀座的阀体

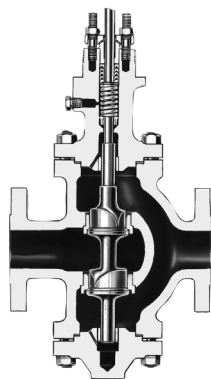


图 3.5 反作用双口直通阀体

### 3.1.1.5 三通阀体

- 三个管道接口具有通常的合流(流体混合)或分流(流体分散)作用。
- 可选项包括针对高温工况的阀笼导向、阀座导向和阀杆导向结构。为了与大部分的管道连接相配合,可以指定标准的连接端(法兰、螺纹、对焊等)。
- 执行机构的选择需要仔细的考虑,尤其是对于配备不平衡阀芯的结构。

图 3.6 所示是配备圆柱形的平衡阀芯的三通阀体在中间行程位置的示意图。这个位置打开从底下的共同口至右边的口,并关闭左边的口。这种结构可以用于合流或分流的中间行程位置的调节式控制。

### 3.1.2 卫生级阀门

这些阀体样式专为满足制药和生物技术行业的严格要求而设计。这些行业的标准与适用于传统控制阀设计的标准不同,因为在许多应用场合中,过程流体最终将供人类使用。因此,最重要的是防止过程流体中生长细菌或出现异物。

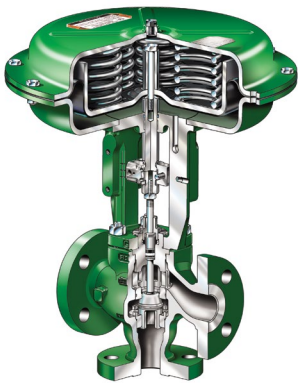


图 3.6 三通直通阀

- 在这些阀门中已经整合了 ASME-BPE

直行程和非直行程密封件,以满足广泛的无菌应用场合。此类阀门已取得相关证书。

- 这些阀门中使用的金属材料符合 3A 卫生标准。此类阀门已取得相关证书。
- 这些阀门设计中使用的弹性元件已通过 FDA 和 USP CL VI 认证。
- 此类阀门标配 <35 Ra 微英寸 (0.89 微米) 电抛光内表面。另提供更多表面粗糙度更低的阀门型号。
- 自排放设计使这些阀门非常适用于就地清洗 (CIP) 和就地灭菌 (SIP) 应用场合。
- 阀门采用机加工的 316L 不锈钢材料制成,带卡箍式或可选的对接焊端。另可提供其他材料制成的阀门。
- 可以承受最高温度达到 177°C (350°F) 的连续无菌蒸汽应用场合。

### 3.1.3 旋转阀

#### 3.1.3.1 蝶阀阀体

- 阀体需要最小的安装空间(图 3.9)。
- 流经阀门时压力损失小。
- 蝶阀在大口径和高流通能力领域,具有很高的性价比。
- 阀体可配合 ASME 和 DN 标准凸面法兰。
- 如果阀门很大或压降很高,蝶阀阀体可能需要高输出或大型的执行机构,这是因为操作力矩可能会很大。
- 阀碟可用于对泄露有及其严格要求的核电厂应用工况。
- 标准蝶阀有最大至 NPS 72 英寸 (DN 1800) 的口径,可用于其它控制阀应用场合。较小口径的蝶阀可以使用传统的气动薄膜或活塞式执行机构,包



括现代的旋转式执行机构。较大口径的蝶阀可能需要高输出的电动、长行程气缸式执行机构或电动液压执行机构。蝶阀展示出近似等百分比的流量特性。它们可以用于调节或开关式控制。

- 蝶阀阀体有单偏心和双偏心两种阀体类型。
- 阀板在旋转 15 度后脱离密封圈。这有助于延长密封件的使用寿命, 并可实现比传统型号更低的扭矩/更紧的关闭。

表中列出了不同尺寸阀门可提供的偏心类型。

阀门类型	尺寸	补偿
蝶阀	小于等于 12 英寸	单偏心, 双偏心
蝶阀	大于 12 到 36	单偏心

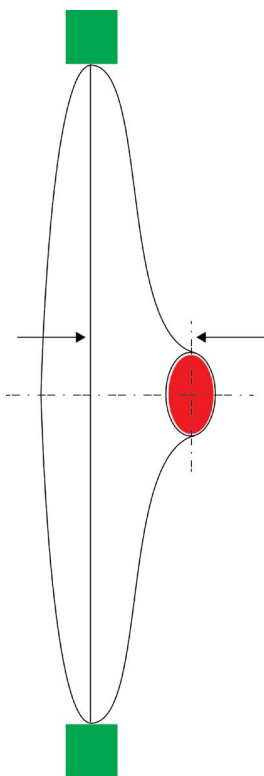


图 3.7 阀轴中心线偏离于碟版中心线



图 3.8 部分 V 形切口球



图 3.9 截球体球阀

### 3.1.3.2 截球体球阀体

这个结构类似于一个传统的球阀,但是在球上带有拥有专利轮廓设计的 V 形切口(图 3.9)。V 形切口球提供等百分比的流量特性。

这种控制阀有良好的可调比、控制和关断能力。造纸工业、化工厂、污水处理工厂、电力工业和石化炼油工厂使用这类阀体。

艾默生还提供其他可选的球阀,以用于适度的噪音和气蚀保护。

请参见图 3.10,了解用于气蚀和降噪的球阀选择。

- 直流通式结构产生很小的压降。
- V 形切口球控制阀体适合于冲蚀性或粘滞性流体、纸浆或其它包含混合固体或纤维的浆料流体。
- 它们使用标准的弹簧薄膜、活塞、电动或电动液压旋转式执行机构。
- 球在旋转过程中,始终与密封圈保持接触,使阀球在关闭时产生剪切效应,最大限度地减少阻塞。
- 阀体可配备重负荷或充填 PTFE 复合材料的球密封环,以提供优良的超过 300:1 的可调比。
- V 形切口球控制阀体有无法兰或带法

兰连接端。

- 带法兰或无法兰阀门可以与 ASME 150、300 或 600 磅级的法兰配对。另提供适于 DN 法兰、PN10、16、25 或 40 的结构。也提供 JIS 10K 和 20K 法兰设计。

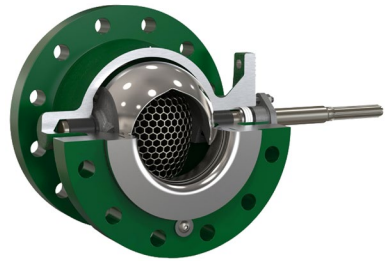
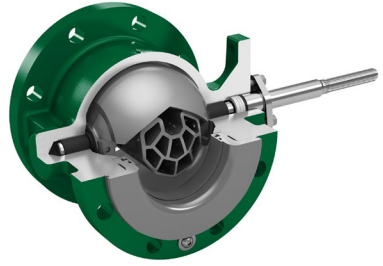


图 3.10 球阀选项

### 3.1.3.3 高性能蝶阀体

- 阀体提供有效的调节式控制。
- 高性能蝶形控制阀体在 90 度的碟版旋转角度内提供线性的流量特性(图 3.11)。

- 双偏心设计的碟版在打开之后立即脱离密封圈, 从而最大限度的减小密封件的磨损。
- 高性能蝶形控制阀体有最高至 NPS 48 英寸 (DN 1200) 的口径, 可配合标准的 ASME 法兰。

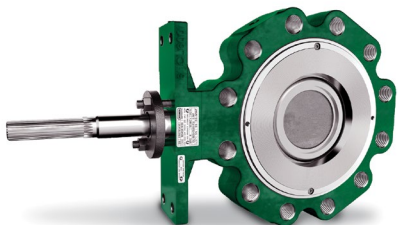


图 3.11 高性能蝶形控制阀

- 它们使用标准的弹簧薄膜、活塞、电动或电动液压旋转式执行机构。
- 标准流向取决于密封结构。反向流会产生较小的流通能力。

高性能蝶阀控制阀适用于不需要精确节流控制的普通工况。由于比其它类型的控制阀相对低的成本, 它们经常用在要求大口径和高温度的场合。这类阀门的控制范围大约是球阀或直通阀的三分之一。因此, 在选型以及使用这类阀门来解决与过程工况变化有关的控制问题的时候需要格外小心。这些阀门在恒定的过程工况下可以工作得很好, 使用特性轮廓的设计能够将控制范围扩展到 V 型球阀或截球体球阀的控制范围。

### 3.1.3.4 偏心旋塞阀体

- 该阀门组件具有耐腐蚀性。坚固的阀体和阀内件能够承受高达 427°C (800°F) 的温度和高达 1500 psi (103 bar) 的关闭压降。
- 偏心球阀的运动轨迹最大限度地减少了开启时与阀座环的接触, 从而减少了阀座的磨损和摩擦, 延长了阀座的使用寿命, 并改善了节流性能 (图

3.13)。

- 自对中阀座环和坚固的球阀可提供前向或反向流, 在任意方向上的严密的关断。在为抗腐蚀选型时, 阀板、阀座环和阀座压环可采用硬化材质, 包括陶瓷。
- 在为提高抗腐蚀选型时, 球阀、阀座环和阀座压环可采用硬化材质, 包括陶瓷和碳化物。
- 提供双向压力辅助密封环选项, 可提供出色的密封关闭性能。
- 为了满足较高流通能力的需要, 也可提供部分 V 形切口球以替换球塞的结构。

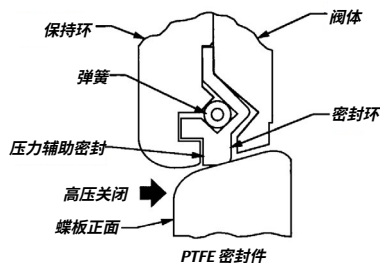


图 3.12 压力辅助密封配置

这类旋转式控制阀适用于冲蚀性、焦化和其它难处理流体, 提供调节式或开关式操作。这些带法兰或不带法兰的阀门具有流线型通道和坚固的金属阀内件的特点, 适用于泥浆应用。这些阀门用于采矿, 石油颈联, 电力, 纸浆和造纸工业。



图 3.13 偏心阀芯控制阀



图 3.14 全通径球形控制阀

### 3.1.3.5 全通径球阀体

全通径球形控制阀专为优化压力、调节、流量和过程控制而设计。

艾默生拥有特殊设计的三片式耳轴安装全口径控制阀,适用于旁路,批处理、监控和紧急关闭应用中的自动控制,并且很少或没有限制流量。这些阀门通过了 API 6和6FA的防火测试和认证。

通常,在全通径阀门中,可以选择降噪器来控制噪声和振动。

理想情况下,作为节流控制装置的球阀是一种减径产品或者带有降噪器可以吸收全开位置的一些微压降的全内径机构。当全流道球阀处于全开位置时,必须旋转 15-20 度才明显承受系统压降,这与额外的过程控制滞后有关。在全开状态下,缩径或降噪器装置在阀门全开时承受的压降很小;当球旋转时,随着阀球的打开,阀门所承受的压降越来越大。全流道求打对流量几乎没有限制,并且允许管内清洁操作在没有降噪器的情况下)。见图 3.14。

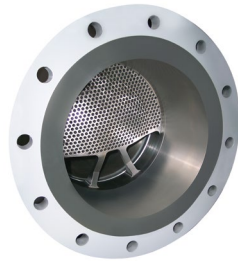
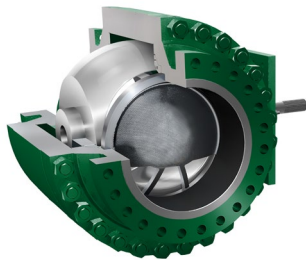


图 3.15 全通径球阀

### 3.1.3.6 多口流量选择阀

多口流量选择阀连接到八条输入管路,允许通过旋转阀芯对来自任何单独管路的流体进行隔离、分流和测试,而其余七条管路继续流向公共组出口。该阀门可以在不影响所有其他管路的生产的条件下,对来自单个管路的流体进行紧凑的选择和分流。

多口流量选择阀由四个主要部件组成:阀体、阀盖、旋转式阀芯和执行机构。阀

体由入口和出口组成,用于连接所有八个入口,一个测试或分流出口,以及公共组出口。阀盖将使阀芯保持垂直,在阀体内平衡旋转,并为阀体提供紧密密封。阀芯用于选择流经测试出口的介质口。■



图 3.16 多口流量选择阀

## 3.2 控制阀连接端

把控制阀安装在管道里的三种常用方法是旋入式管螺纹、螺栓紧固带垫片法兰和焊接连接端。

### 3.2.1 旋入式管螺纹

小型控制阀常用的螺纹端连接,这种连接比法兰端连接更具经济性。通常指定的螺纹是阀体上的锥管阴螺纹 NPT (美国国家管道螺纹)。它们通过与管道端上配对的外螺纹相接合形成金属对金属的密封。

这种连接形式通常限制于不大于 NPS 2 英寸 (DN 50) 的阀门,不推荐用于高温工况。如果需要将阀体从管道中拆下,则螺纹端接可能会使阀门维护变得复杂,因为如果不破坏法兰连接或联合连接,就无法将阀体从管道中拧下。

### 3.2.2 螺栓紧固带垫片法兰

法兰端阀门很容易从管道上拆下,适用于大多数控制阀工况 (图 3.17)。法兰端可以用于从接近绝对零度 (-273°C) 至约 815°C (1500°F) 的温度范围。它们可用于所有口径的控制阀。最常见的法兰连接端包括平面、凸面和环型接合面法兰连接。

平面型允许配对法兰与夹持在法兰之间的垫片全面积地接触。这种结构常用于低压、铸铁和铜体阀门,可以减少由初始螺栓连接力引起的法兰应力。

凸面法兰有一个圆形凸面,其内部直径与阀门开口相等,其外径略小于螺孔中心圆直径。凸面上加工有同心圆槽,以获得良好的密封并防止垫片被吹出。这种法兰配合各种各样的垫片材料和法兰材质,用于最高达 6000 psig (414 bar) 的压力和最高至 815°C (1500°F) 的温度。这种法兰连接通常对于 250 磅级的铸铁阀体以及所有钢和合金钢阀体是标准连接方式。

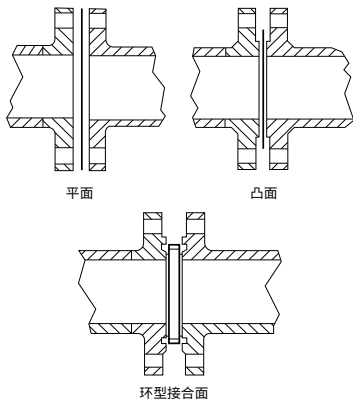


图 3.17 各种常用的螺栓紧固法兰连接形式

环形接合面法兰看上去像凸面法兰,区别在于在凸面上切出一个与阀门开口同心的 U 形槽。垫片由一个带椭圆形或八边形截面的金属环组成。当法兰螺栓

旋紧时, 垫片被压入配对法兰的 U 形槽, 严密的密封就形成了。垫片通常是软铁, 但是几乎可以使用任何金属。这是一种在高压下的优良连接, 可用于高达 15000 psig (1034 bar) 的压力, 但通常不可用于高温工况。只有钢或合金阀体在指定时才提供这种连接端形式。

### 3.2.3 焊接连接端

控制阀的焊接连接端在所有压力和温度下都是严密防泄漏的, 而且初始成本低廉 (图 3.18)。采用焊接端的阀门从管线上拆卸比较困难, 并且明显地局限于可焊接的材质。焊接端有两种形式: 承接焊和对焊。

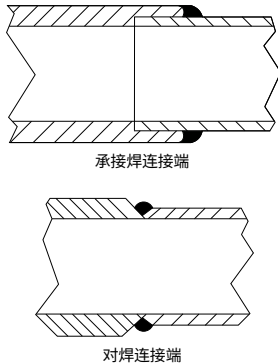


图 3.18 常用的焊接连接端

承接焊连接端的准备工序是在阀门的每一端钻削一个内径比管道外径稍大的插孔。管道滑入该套孔, 在套孔里与轴肩对接, 然后借助角焊缝与阀门接合。由于角焊缝没有完全穿透阀门管道连接, 因此这些阀门不使用某些无损探伤。不管管道壁厚, 一个给定口径的承接焊连接端在外形尺寸上都是一样的。承接焊通常用于最大 2 英寸 (DN 50) 的阀门。

对焊连接端的准备工序是在阀门的每一端削出一个倒角与管道上的一个类似的倒角相匹配。然后阀门的两端与管道对接, 并用全穿透焊接接起来。此类连接可

用于所有阀门类型, 连接端的准备工序一定会因为管道壁厚而不尽相同, 它们通常与 NPS 2-1/2 英寸 (DN 65) 和更大口径的阀门一起提供。把阀门焊入管线时必须小心谨慎, 防止过热传导给阀内件。采用低温复合材料的阀内件在焊接前必须取走。

### 3.2.4 其他阀门连接端

控制阀还有其他类型的连接端。这些类型的连接端通常用于特定目的或反映专有设计。示例包括卫生级连接端或阀轴连接端。■

## 3.3 阀体阀盖

控制阀的阀盖是阀体组件的一个零件, 阀芯连接杆或旋转阀轴通过它而运动。在直通式或角形阀体上, 它是阀体一端承受压力的部件。阀盖通常用于把执行机构安装到阀体上, 并配有填料函。

通常旋转阀没有阀盖。(在有些旋转阀里, 填料包含在阀体本身的延长部分里, 或者填料是用螺栓连接在阀体和阀盖之间的一个独立部件。)

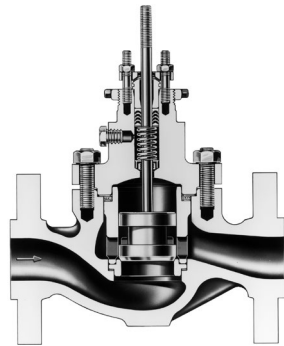


图 3.19 典型的阀盖、法兰和螺栓连接

在一个典型的直通式控制阀上, 阀盖由与阀体相同的材料或者一种等效的锻造材料制成, 因为它是一种承受压力的元

件, 承受与阀体相同的温度和腐蚀性影响。下面介绍几种阀体与阀盖的连接方式。最常用的是示于图 3.19 的螺栓连接法兰式。在旋转式控制阀中, 填料通常包含在阀体里且没有使用阀盖。

在配备阀笼式或压环式阀内件的控制阀上, 阀盖提供负载力以防止阀盖法兰与阀体之间以及阀座环与阀体之间的泄漏。旋紧阀体与阀盖之间的螺栓会压缩扁平垫片以密封阀体与阀盖之间的接合面, 会压缩阀笼顶部的螺旋缠绕垫片, 还会压缩阀座环下面的扁平垫片以提供阀座环与阀体之间的密封。阀盖也为阀笼提供对中配合, 这种对中配合进一步给阀芯提供导向, 确保阀门、阀芯连接杆与填料和阀座之间的正确的对中配合。

正如上面所提到过的, 一个直通式控制阀上的普通阀盖包含填料。填料通常被填料压盖压紧, 填料压盖则由阀盖的支架凸台上的法兰压紧到位(图 3.19)。另外一种填料保持方法是填料压盖被一个螺纹式压盖压紧到位。这种方法体积很小, 所以经常用于小型控制阀。然而, 用户总是对螺纹连接不放心。因此, 当控制阀正在工作时, 在调整填料压缩量时应谨慎小心。

大部分的螺栓连接法兰式阀盖在填料函的一边有一个被钻孔并冲平的区域。这个开孔用一个标准管塞堵上, 除非存在下面的一种情况:

- 有必要清洗带有过程流体的阀体和阀盖。在这种情况下, 这个开孔可以用作清洗连接口。
- 该阀盖开孔通常被用来检测第一套填料或一个有故障的波纹管密封的泄漏。

### 3.3.1 伸长型阀盖

伸长型阀盖用于高温或低温工况以保护阀杆填料免受极端温度的影响。



图 3.20 阀盖组件

标准 PTFE 阀杆填料适用于最高温度 232°C (450°F) 以下的大多数应用。伸长型阀盖把阀盖里的填料函移至离极限过程温度足够远的地方, 这样填料温度仍然保持在推荐范围内。

伸长型阀盖或者是铸造的或者是装配式的(图 3.21)。铸造伸长型提供更好的高温适应性, 因为较大的热发散性具有更好的冷却效果。相反地, 带光滑表面的阀盖如由不锈钢管装配而成的, 则更适合低温工况, 因为在此工况下, 热流动通常是主要的考虑因素。

在任何一种情况下, 伸长部分的壁厚减至最小以减少热传递。不锈钢由于其较低的热传导系数通常优于碳钢。在低温工况场合, 可以在伸长部分周围增加绝缘体以进一步防止热流动。



图 3.21 配备装配式伸长型阀盖的阀体

### 3.3.2 波纹管密封型阀盖

波纹管密封阀盖 (图 3.22) 用于不容许阀杆周围发生泄漏的应用 (氢气的泄漏量不得超过  $1 \times 10^{-6}$  毫升/秒)。当过程流体是有毒的、挥发性的、放射性的或极其昂贵时, 常常采用波纹管密封阀盖。这种特殊的阀盖结构保护阀杆和阀门填料避免与过程流体接触。在波纹管密封元件上面的标准或环保填料函结构会防止万一波纹管破裂或失效时产生的灾难性后果。

正如受到其它的控制阀压力和温度限制一样, 波纹管密封的压力额定值也会随着温度的增加而减小。波纹管密封类型的选择应予以仔细考虑, 在安装之后应特别注意正确的观察和维护。波纹管材料应该仔细地考虑以确保最长的循环动作寿命。



图 3.22 ENVIRO-SEAL 波纹管密封型阀盖

有两种波纹管密封结构可以用于控制阀。它们是焊接片和机械成形波纹管。

焊接片式结构 (图 3.23) 的总体组件高度比较矮, 由于其制造方法和内在结构, 使用寿命可能是有限的。

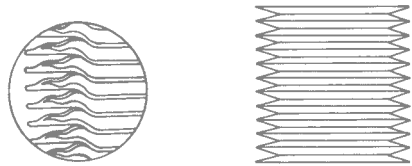


图 3.23 焊接片波纹管

机械成形的波纹管 (图 3.24) 相比起来比较高。它是通过一个可重复的制造过程加工而成的, 因此性能更加可靠。■



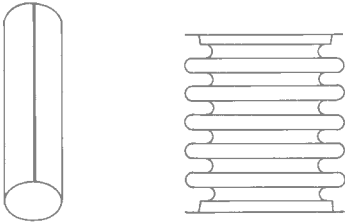


图 3.24 机械成形的波纹管

### 3.4 控制阀填料

大部分的控制阀使用带填料的填料函。填料通过法兰和双头螺栓来定位和调整(图 3.26)。可以使用多种填料材料,具体取决于要求的工况条件以及应用场合是否需要遵守环境法规。在下文,几种常用的材料后面有简单的说明和关于工况条件的指导。典型的填料材料的排列示于图 3.24。

#### 3.4.1 PTFE V 形环

- 本身能够减小摩擦力的塑料材料。
- 模压成 V 形环。V 形环在填料函里是弹簧加载且自我调整的。不需要填料润滑。

- 对于大部分已知的化学品具有良好的耐腐蚀性,除了熔融碱性金属。
- 需要极其光滑(2 至 4 微英寸 RMS)的阀杆粗糙度以严格的地密封。如果阀杆或填料表面被损坏,会产生泄漏。
- 推荐的温度极限: -40 至 232°C (-40 至 450°F)。
- 不适合于核工况,因为 PTFE 很容易被辐射破坏。

#### 3.4.2 层状石墨和丝状石墨

- 适用于所有高温工况和核电工况,或者氯含量低的工况(Grade GTN)。
- 提供无泄漏操作、高的热传导性和长久的使用寿命,但是会产生大的阀杆摩擦力以及由此而引起的滞后现象。
- 可用于大部分的难处理流体,能抵抗高辐射。
- 适合的温度范围: 低温至 -198°C (-325°F)。
- 不需要润滑,但是当填料函温度超过 427°C (800°F) 时,应该使用一个延长型阀盖或钢质支架。

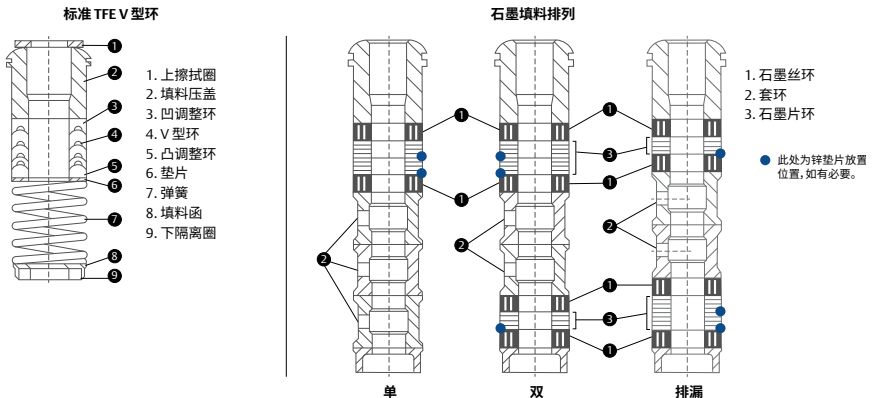


图 3.24 直通阀体的填料材料排列

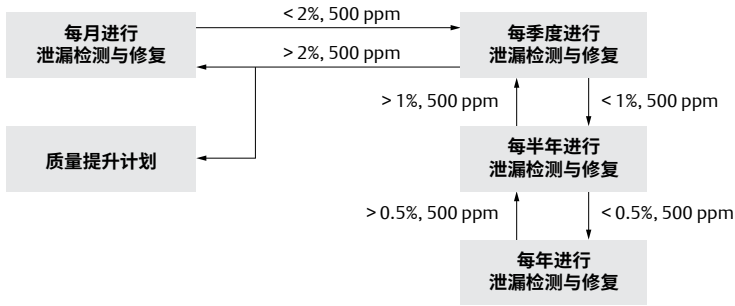


图 3.25 控制挥发性有机化合物 (VOC) 的阀门的检测频率

### 3.4.3 美国关于泄漏排放的法规要求

逸散性排放是由过程设备泄漏引起的非点源挥发性有机排放。在美国, 设备泄漏估计超过每年 4 亿磅。美国建立的严格政府法规规定了泄漏检测和修复程序 (LDAR)。阀门和泵被划分为泄漏排放的主要来源。对于阀门而言, 这是由于填料密封或垫片失效引起的外泄漏。

LDAR 程序要求工业部门在某一时间间隔监视所有的 (控制和非控制) 阀门。这个时间间隔取决于有多少百分比的阀门被发现超过 500 ppmv 的泄漏门限值 (有些城市使用 100 ppmv 的标准)。这种泄漏程度很小, 是无法看见或者听见的。因此需要使用精密的手提监视设备进行检测。通过使用环境保护机构 (EPA) 的协议来检测阀门填料区域的泄漏。这对于工业部门是一个费用高且繁琐的过程。

如果设备能展示出泄露的阀门的比例一直很低 (低于阀门总数的 0.5%), 则法规允许将监测期延长至一年。延长检测频率的机会示于图 3.25。

填料系统可设计为满足很小的泄漏并能够延长填料密封寿命和性能以支持每年一次监视的目标。ENVIRO-SEAL 填料系统为例。增强的密封包含四种关键的设计原理。它采用防挤出元件对柔性密封

材料进行密封, 阀杆或阀轴在阀盖中心的正确配合, 通过 Belleville 弹簧施加恒定的填料应力, 以及把密封环的数量减至最少以减少固结、摩擦和热膨胀。

传统的阀门选择过程就是根据阀门的可适用的压力和温度、流量特性以及材料兼容性来选择阀门设计。阀门中使用何种阀杆填料首先取决于填料函区域的工作温度。低于 93°C (200°F) 选用 PTFE, 高温应用场合选用石墨。

如今, 选择填料系统已经需要考虑更多的因素。

### 3.4.4 国际关于泄漏排放的标准

ISO 15848 是国际标准化组织 (ISO) 标准, 用于工业阀门逸散性排放的测量、测试和鉴定程序。ISO 15848-1 是阀门型式试验的分类系统和鉴定标准, 用于对不同的逸散性排放设计的性能进行分类, 并定义用于评估和鉴定符合逸散性排放标准的阀门的型式试验。

型式试验是指在一个阀门和填料系统设计上进行鉴定试验, 并且鉴定适用于适用此填料设计的所有阀门。型式试验与 ISO 15848-2 生产试验不同, 后者是在组装时进行的鉴定试验, 可以由多个阀门组件决定。

ISO 15848-1 涵盖了控制阀和隔离

(开/关) 阀。两种阀门的机械循环要求不同, 如图 3.26 所示。机械循环在控制阀 50% 行程位置两侧以全行程的 10% 执行, 而在隔离阀则以全行程执行。

与其他泄漏排放标准一样, ISO 15848-1 规定了一项鉴定试验, 其中包括几种泄漏等级、热循环和机械循环的组合。ISO 15848-1 与政府要求和美国原产地标准之间存在若干显著差异, 例如 LDAR 和 ANSI/FCI 91-1 标准 (用于控制阀杆密封的鉴定)。

阀门类型	机械循环等级	需要的机械循环	温度循环
控制阀	CC1	20,000	2
	CC2	60,000	3
	CC3	100,000	4
隔离阀	CO1	205	2
	CO2	1,500	3
	CO3	2,500	4

图 3.26 ISO 15848-1 鉴定要求

ANSI/FCI 91-1 要求按照“EPA 方法 21”的“嗅探方法”获取“ppm”浓度读数, 并引用 100ppm 和 500ppm 的各种循环类别, 如图 3.29 所示。

ISO 15848-1 规定了标准附录 A 中描述了真空或冲洗“总泄漏”测量方法。

泄漏记录为每个测量的阀杆尺寸的泄漏率。这些方法都不能与“EPA 方法 21” (嗅探方法) 相关联, 且 ISO 15848-1 指明当测试流体是氦气时或甲烷时, 密封性等级之间没有相关性。见图 3.27 和图 3.28。

ISO 15848-1 泄漏密封性等级	测得的泄漏率 (附录 A)	
	mg.s-1.m-1 的阀杆周长	atm.cm3.s-1. mm-1 的阀杆直径
AH	$< 10^{-5}$	$< 1.76 \times 10^{-7}$
BH	$< 10^{-4}$	$< 1.76 \times 10^{-6}$
CH	$< 10^{-2}$	$< 1.76 \times 10^{-4}$

注: 泄漏等级 A 通常仅通过波纹管设计实现。  
注: 泄漏等级可以用“BH”或“BM”等表示, 以表示测试流体。“H”表示按照泄漏率法用氦气进行试验。“M”表示使用 EPA 方法 21 用甲烷进行试验。

图 3.27 ISO 15848-1 测量的泄漏率

ISO 15848-1 泄漏密封性等级	测量的泄漏浓度 (附录 B 遵循 EPA 方法 21 的嗅探方法)
AM	$< 50\text{ppm}$
BM	$< 100\text{ppm}$
CM	$< 500\text{ppm}$

注: 泄漏等级 A 通常仅通过波纹管设计实现。  
注: 泄漏等级可以用“BH”或“BM”等表示, 以表示测试流体。“H”表示按照泄漏率法用氦气进行试验。“M”表示使用 EPA 方法 21 用甲烷进行试验。

图 3.28 ISO 15848-1 测量的泄漏浓度

今天, 选择填料系统已经需要考虑更多的因素。例如, 排放控制要求, 如美国的《清洁空气法》和国际 ISO 15848 所规定的, 对密封性能有更严格的限制。对改进过程输出的不断需求表示阀的填料系统不应该成为限制阀性能的障碍。如今, 延长维护计划的趋势要求填料系统在更长的时间内提供所需的密封。

考虑到工业中阀门的应用和工况千差万别, 这些变量 (密封能力、运行摩擦状况、运行期限) 很难量化并进行比较。图 3.31 和 3.32 运用工程的途径对填料的应用和性能作相对的评估。为了正确理解图, 首先应对这些各词有所了解。

等级	机械循环 (全行程)	热循环	最大阀杆密封泄漏 符合 EPA 方法 21
A1	100,000	3	100 ppm
A2	100,000	3	500 ppm
B1	25,000	3	100 ppm
B2	25,000	3	500 ppm

图 3.29 FCI 91-1 泄漏等级摘录

### 3.4.5 单层 PTFE V 形环填料

单层 PTFE V 形环结构是在填料和填料函盖之间使用线圈弹簧。如果压力不超过 300 psi (20.7 bar), 温度在 -18°C 到 93°C (0°F 到 200°F) 之间, 它能满足直行程阀门 100 ppmv 的要求。单层 PTFE V 形环填料不能满足旋转阀的低排放标准。它提供了良好的密封性能并具有最低的运行摩擦力。见图 3.30

### 3.4.6 ENVIRO-SEAL PTFE 填料

ENVIRO-SEAL PTFE 是一种先进的填料系统, 它使用结构紧凑, 有效负载弹簧设计, 适用于最大压力达 750 psi 和最高温度达 232°C (51.7 bar 和 450°F) 的应用。虽然它被认为是最典型的减少泄漏排放的填料系统, 但 ENVIRO-SEAL PTFE 填料同样适用于涉及高温、高压的无环境污染的应用, 无论是直行程阀门和旋转阀, 它都具有使用寿命更长的优点。见图 3.31。

### 3.4.7 ENVIRO-SEAL 双层填料

这种特殊的填料系统具有 PTFE 和石墨组件的双重能力, 对于过程温度最高达 232°C (450°F) 的直行程阀门应用, 可生成低摩擦、低泄漏排放, 满足防火测试的方案 (API 标准 589)。ENVIRO-SEAL 双层填料不适用于旋转阀。见图 3.32。

### 3.4.8 ISO-Seal PTFE 填料

该填料系统设计用于超过 ENVIRO-SEAL PTFE 填料性能的环境压力。它可用于直行程阀门和旋转阀。

### 3.4.9 ENVIRO-SEAL 石墨 ULF

这种填料系统设计主要用于超过 232°C (450°F) 的应用。专利的 ULF 填料系统在填料环的内侧包含了很薄的 PTFE 层以及在填料环的每侧都有 PTFE 垫圈。PTFE 的这种专门布置使控制问题最小、减少摩擦、提高了密封性能、延长了填料组件的使用寿命。见图 3.33。

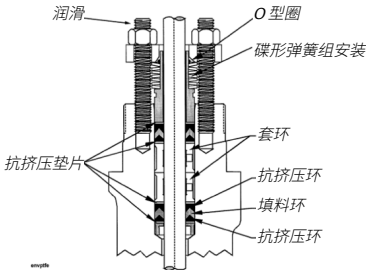


图 3.30 单层 PTFE V 形环填料



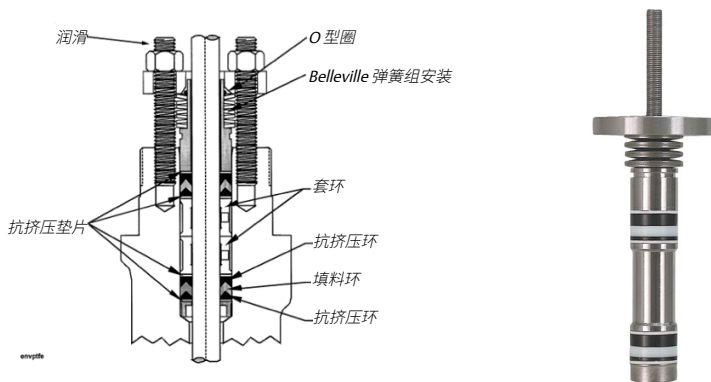


图 3.31 ENVIRO-SEAL PTFE 填料系统

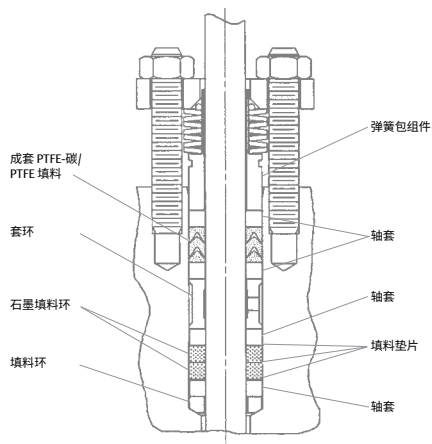


图 3.32 ENVIRO-SEAL 双层 (PTFE 和石墨) 填料系统

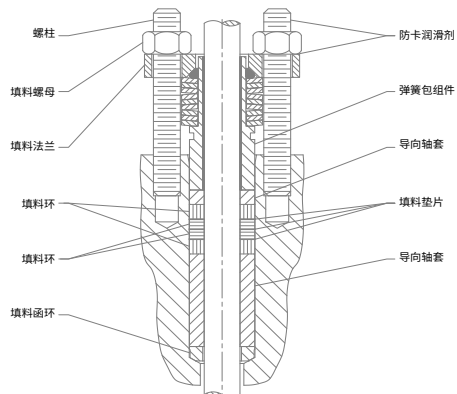


图 3.33 ENVIRO-SEAL 石墨 ULF 填料系统

### 3.4.10 HIGH-SEAL 石墨 ULF

在填料压盖下方使用和 ENVIRO-SEAL 石墨 ULF 相同的填料系统, HIGH-SEAL 系统使用重负载, 大口径的碟形弹簧。这些弹簧提供了额外的压盖行程并可以使用负载刻度进行校正, 以提供填料负载和磨损程度的可视指示。

### 3.4.11 ISO-Seal 石墨填料

该填料系统设计用于超过 ENVIRO-SEAL 石墨 ULF 填料能力的环境温度。它可在  $-46$  至  $400^{\circ}\text{C}$  ( $-50$  至  $752^{\circ}\text{F}$ ) 的温度下使用。它可用于直行程阀门和旋转阀。

### 3.4.12 适用于旋转阀的 ENVIRO-SEAL 石墨填料

ENVIRO-SEAL 石墨填料设计用于温度从  $-6^{\circ}\text{C}$  至  $316^{\circ}\text{C}$  ( $20^{\circ}\text{F}$  至  $600^{\circ}\text{F}$ ) 的应用, 或者那些需要防火安全的应用。它也可以用于压力高达  $1500\text{ ps}$  ( $103\text{ bar}$ ) 的条件, 并仍能满足  $100\text{ ppmv}$  EPA 的泄漏标准。如果在非环保应用中使用, 填料可在高达  $371^{\circ}\text{C}$  ( $700^{\circ}\text{F}$ ) 的温度下使用。见图 3.34。

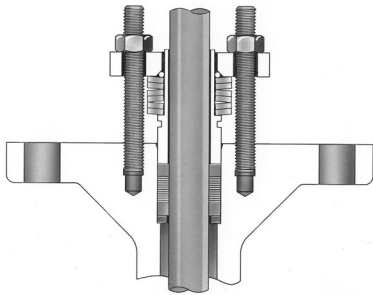


图 3.34 适用于旋转阀的 ENVIRO-SEAL 石墨填料系统

### 3.4.13 适用于旋转阀的石墨盘根填料

石墨盘根填料设计用于无环保要求的应用, 具有广泛的使用温度范围, 从  $-198^{\circ}\text{C}$  至  $538^{\circ}\text{C}$  ( $-325^{\circ}\text{F}$  至  $1000^{\circ}\text{F}$ )。

### 3.4.14 直行程阀门的环保填料的选择

图 3.35 提供了各种直行程填料选项的对比, 以及针对环保场合的密封性能、使用寿命和填料摩擦力的相对排序。编织的石墨丝和双层 PTFE 是不可接受的环保密封解决方案。

### 3.4.15 旋转式阀门的环保填料的选择

图 3.36 适用于旋转阀。对于旋转阀, 单层 PTFE 和石墨带填料的排列不如逸散排放密封解决方案性能好。

通过这些阀杆密封技术, 可以实现对阀门逸散排放的控制, 并降低行业合规成本。

尽管 ENVIRO-SEAL 填料系统是为逸散排放应用而特别设计的, 但这些技术也可用于以密封性能和使用寿命为主要的考虑因素或维护成本已经成为负担的任何场合。■

## 3.5 阀笼导向阀体的特性化

在配备阀笼导向阀内件的阀体里, 阀笼缸壁上的流体开口或窗口的形状决定了流量特性。当阀芯从阀座环上移开时, 阀笼的窗口被打开以允许流体通过阀门。标准阀笼已经经过设计以提供线性、等百分比和快开的固有流量特性。另可提供自定义的特性化。图 3.37 所示的阀笼窗口形状的区别。由使用这些阀笼的阀门提供的流量/行程关系等同于动力学轮廓的阀芯展示的线性、快开和等百分比曲线 (图 3.38)。

填料系统	环保应用场合 <sup>(1)</sup> 的最大压力和温度限制		密封件性能指标	工作寿命指标	填料摩擦力
	美国制	公制			
单层 PTFE V 形环	300 psi 0 至 200°F	20.7 bar -18 至 93°C	较好	长	很低
ENVIRO-SEAL PTFE	750 psi -50 至 450°F	1.7 bar -46 至 232°C	优	很长	低
ISO-Seal PTFE	6000 psig -50 至 -450°F	414 bar -46 至 232°C	优	很长	低
ENVIRO-SEAL 双层填料	750 psi -50 至 -450°F	51.7 bar -46 至 232°C	优	很长	低
ENVIRO-SEAL 石墨 ULF	1500 psi 20 至 600°F	103 bar -7 至 315°C	优	很长	中等
ISO-Seal 石墨	3365 psig -50 至 752°F	232 bar -46 至 400°C	优	很长	中等

1. 所示的数据仅供参考, 可以超过这些指标, 但会缩短填料的寿命或可能引起填料泄漏。额定温度适用于实际填料温度而不是介质温度。

图 3.35 直行阀门的环保填料的选择

填料系统	环保应用场合 <sup>(1)</sup> 的最大压力和温度限制		密封件性能指标	工作寿命指标	填料摩擦力
	美国制	公制			
ENVIRO-SEAL PTFE	750 psi -50 至 450°F	103 bar -46 至 232°C	优	很长	低
ENVIRO-SEAL 石墨	1500 psi 20 至 600°F	103 bar -18 至 315°C	优	很长	中等
ISO-Seal 石墨	1500 psig -50 至 752°F	103 bar -46 至 400°C	优	很长	中等

1. 所示的数据仅供参考, 可以超过这些指标, 但会缩短填料的寿命或可能引起填料泄漏。额定温度适用于实际填料温度而不是介质温度。

图 3.36 旋转式阀门的环保填料的选择



图 3.37 直通式阀体的特性化阀笼

阀门的固有流量特性可以很容易地通过安装一个不同的阀笼而得以改变。互换阀笼以获得不同的固有流量特性不需要改变阀芯或阀座环。标准阀笼可用于平衡或平衡式阀内件结构。软阀座在需要时可以作为阀座环里的一个保留插入件提供, 而且与阀笼或阀芯的选择无关。

阀笼的互换性可以扩展到能够降噪或抗气蚀的特殊阀笼型式。这些阀笼提供修正的线性固有流量特性, 但是要求流体以特定的方向流过阀笼开口。因此, 可能有必要把管线里的阀体反向以获得正确的流向。

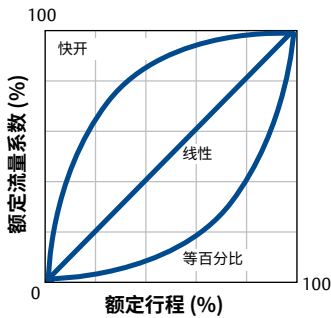


图 3.38 固有流量特性曲线

### 3.5.1 特性化的阀芯

阀芯, 一个直通式控制阀组件的可移动部件, 对流体提供可变化的限制。阀芯类型是单独设计的, 以提供不同的流量特性、获得特定的导向方法与阀座环的对中配合、或者取得特殊的关闭或抵抗破坏的能力。

靠近阀座环的阀芯表面轮廓有助于确定特性化阀芯控制阀的固有流量特性。随着执行机构在其行程范围内移动阀芯, 无阻塞流通面积的大小和形状会发生改变, 具体取决于阀芯的轮廓。

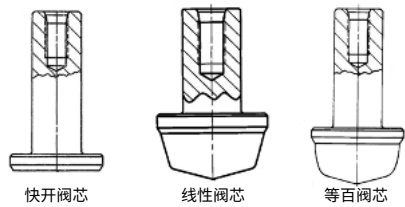


图 3.39 不同流量特性下的各种阀芯轮廓图

当一个恒定的压差维持在阀门两端时, 百分比的最大流通能力与百分比的总行程范围之间的变化关系可以用图来表示 (图 3.38), 且定义为阀门的固有流量特性。

通常指定的固有流量特性包括线性、等百分比和快开。如需了解详情, 请参见第五章。

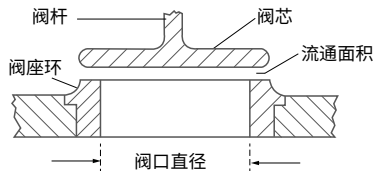


图 3.40 具有快开流量特性的典型结构

### 3.6 阀芯导向

阀芯的精确导向对于阀芯与阀座环的正确对中配合以及过程流体的有效控制是必需的。所用的常见导向方法列出如下。它们的名称通常是自我描述性的。

**阀笼导向:** 阀芯的外径在整个行程范围内与缸式阀笼的内壁表面相接触。由于阀盖、阀笼和阀座环在阀门组件里都是自对中的, 因此阀门关闭时就能确保正确的阀芯/阀座环配合。



**顶底导向:**阀芯是通过阀盖和底法兰里的导向轴套来对中的(图 3.5)。通常用于双口结构。

**阀口导向:**阀芯与阀体端口对齐。■

### 3.7 限制流通能力的控制阀阀内件

大部分的控制阀制造商都能够提供配备减小或限制流通能力的阀内件的阀门。由于以下任何一个原因,减小流量可能是必不可少的:

- 限制流量的阀体可以选择足够大的阀体,以满足未来增加的流量要求,但限制流量的阀盖、阀笼和阀座环在组件上自动对准,确保阀门关闭时阀芯和阀座环正确对准。
- **顶部导向:**阀芯是通过阀盖或阀体里的一个导向轴套、或者填料结构来对中的。
- **阀杆导向:**阀芯通过阀盖里的一个导向轴套与阀座环对中,轴套对阀杆进行导向。
- 配备限制流通能力阀内件的大阀体可以用来降低入口和出口流体速度
- 可以避免购买昂贵的管道缩接。
- 可以通过使用限制流通能力阀内件来纠正口径计算太大的错误。

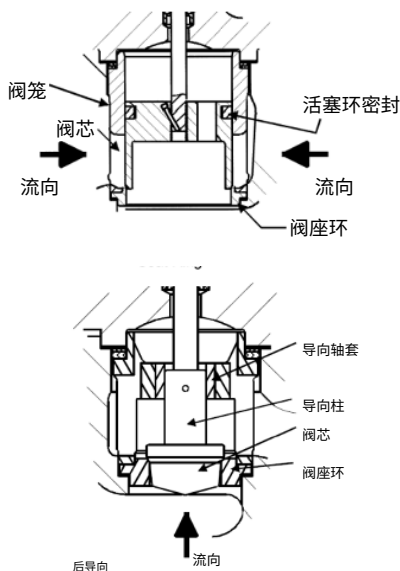


图 3.41 直通阀中的阀笼导向和阀芯导向截面图

传统的直通式控制阀可以与阀座口径(比正常)较小的阀座环配合,阀芯可以通过口径计算与那些较小的阀座配合。通过使用具有类似结构的较小的阀门口径的阀芯、阀笼和阀座环零件、以及阀笼上面和阀座环下面的调整架零件以使阀体与那些较小的零件配合,配备阀笼导向阀内件的阀门通常可以取得减小小流通能力的效果(图 3.42)。由于减小小流通能力的工况很常见,主要的制造商们可以快速地提供成套的内件零件以获得要求的功能。■

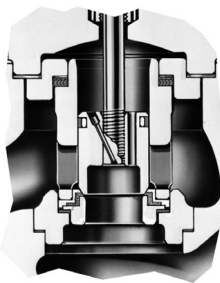


图 3.42 提供减小小流通能力的调整架方法

## 3.8 执行机构

气动操作的控制阀执行机构是使用最普遍的一种执行机构,但是电动、液动和手动执行机构也被广泛应用。弹簧膜片气动执行机构由于其结构的可靠性和简单性而被最普遍地指定使用。气动操作的活塞式执行机构为要求的工况条件提供很高的阀杆输出力。弹簧膜片和气动活塞式执行机构的转接器可以直接安装在旋转式控制阀上。

### 3.8.1 膜片式执行机构

- 气动操作的膜片式执行机构使用由控制器、定位器或其它来源提供的气源。
- 各种类型包括:正作用,在这种情况下,增加的气压将膜片向下推,并使执行机构推杆伸出(图 3.43)。
- 反作用:气压升高推动膜片上升,使执行机构推杆缩回(图 3.43)。
- 可逆式,执行机构可以装配成正作用或反作用(图 3.44)。
- 用于旋转阀的正作用装置,在这种装置中,增大的气压向下推动膜片,根

据执行机构推杆在阀轴上的方向,可以打开或关闭阀门(见图 3.45)。

- 净输出力是膜片力与弹簧反作用力之间的差值。
- 膜压的膜片提供线性的特性和较大的行程。
- 要求的输出力和可提供的供气压力决定了执行机构的尺寸。
- 膜片式执行机构简单、可靠且经济。

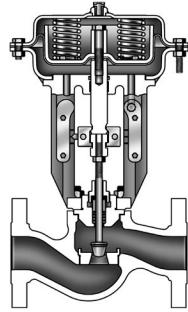


图 3.44 可现场反转的多弹簧执行机构

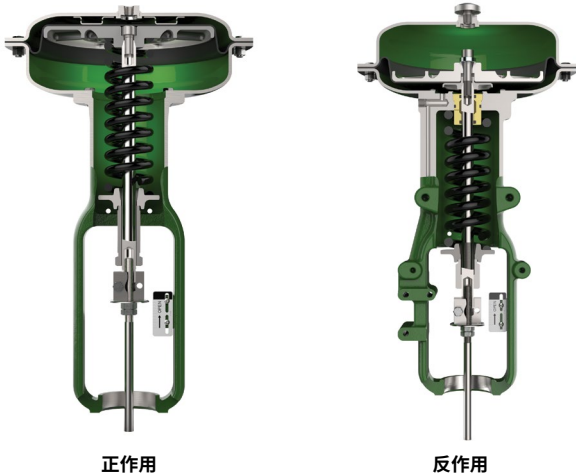


图 3.43 膜片式执行机构



图 3.45 旋转阀的膜片式执行机构

### 3.8.2 活塞式执行机构

- 活塞式执行机构是气动操作的, 使用高达 150 psig (10.3 bar) 的高压气源, 通常不需要供气压力调节器。
- 活塞式执行机构提供最大的输出力和很快的驱动速度。
- 活塞式执行机构可以是双作用的, 以在两个方向上都提供最大的力; 或者是弹簧复位的, 以提供失气—打开或失气—关闭的工作方式(图 3.46)。
- 可以安装各种各样的附件以便在供气压力切断时定位双作用的活塞。这些附件包括气动保位阀和锁定系统。
- 用于旋转式控制阀的其它类型的活塞式执行机构在气缸的下端有一个滑动密封件。这使得执行机构推杆可以周向旋转以及上下移动, 而不会产生气缸压力的泄漏。这个特点使得执行机构推杆可以直接安装到固定在旋转阀轴上的执行机构杠杆上, 因此不需要联接件, 也消除了运动损失的起源。



图 3.46 配备双作用活塞式执行机构的控制阀



图 3.47 配备拨叉结构活塞式执行机构的控制阀

### 3.8.3 手动执行机构

- 手动执行机构在不需要自动控制的场合是有用的, 然而, 简便的操作和良好的手动控制仍然是必需的(图 3.48 和 3.49)。在自动控制系统的维护或停车期间, 它们常常用来驱动控制阀周围的三通阀旁路回路里的旁路阀以进行手动控制程序。
- 手动执行机构有各种各样的尺寸, 既可用于直通式阀, 也可用于旋转阀。
- 刻度指示装置可以提供给某些型号, 以实现阀芯或蝶板的精确重新定位。
- 手动执行机构比自动执行机构要便宜得多。

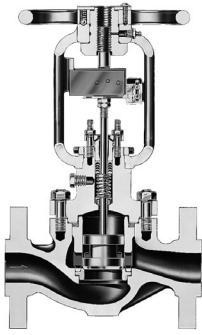


图 3.48 适用于直行程阀门的手动执行机构

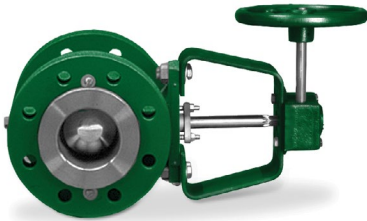


图 3.49 适用于旋转阀的手动执行机构



图 3.50 齿条和齿轮执行机构

### 3.8.4 齿条和齿轮执行机构

齿条和齿轮型执行机构为旋转阀提供了一种小型且经济的解决方案(图 3.44)。由于空程,它们通常用在无需考虑开关场合或过程偏差度的场合。

### 3.8.5 电动执行机构

电动执行机构的设计使用了一个电动马达和某些形式的减速齿轮以移动阀塞(图 3.51 和 3.52)。虽然这些机构通常用于开关操作,但经过改进已经被用于连续控制。在电动执行机构中使用无刷电机可以减少或消除因快速打开和关闭电机引发的电机烧坏。电动执行机构仍然比气动执行机构要昂贵得多。电动执行机构主要用于在仪表空气不易获得或存在不足量的阀门以证明压缩机系统成本合理的区域。■



图 3.51 适用于直行程阀门的电动执行机构



图 3.52 适用于旋转阀的电动执行机构



# 第四章

## 控制阀附件



今天,现代控制系统使用电子信号来命令控制阀打开、关闭或调节。另外,这些系统使用位置反馈信号和诊断信息来验证控制阀的操作。此外,控制阀在响应速度、精度、稳定性、可靠性和安全性方面的性能期望因过程控制需求而异。由于控制阀安装在许多不同且独特的应用场合中,因此必需要用到控制阀附件。附件是与控制阀组件直接连接各类仪表。

将仪表和附件添加到控制阀有五个基本原因:

- 改善过程控制
- 提高过程控制或人员的安全性
- 提高阀门性能或响应速度
- 监测或验证阀门响应性
- 诊断潜在的阀门问题

## 4.1 环境和应用因素

工业厂房、工厂、矿山和制造厂由于其地理位置和制造产品所涉及的过程而普遍存在严峻的环境条件。因此,这些设施中

的阀门和仪表必须坚固可靠。

仪表的环境温度范围为  $-60$  至  $125^{\circ}\text{C}$  ( $-76$  至  $257^{\circ}\text{F}$ )。腐蚀性环境,如盐雾和化学品暴露,可能需要不锈钢或工程树脂结构材料。强烈振动可能需要牢靠的仪表安装,坚固的内部机械装置或远程安装功能。高湿度会导致腐蚀,因此需要保护电子元件。含有气态或多尘环境的危险场所需要使用保护型设计的仪表,如防火、防爆、本质安全或非易燃。要选择合适的控制阀附件,应考虑这些环境和应用条件。■

## 4.2 定位器

常见的控制阀附件是阀位控制器,也称为定位器。定位器的基本功能是将加压空气输送到阀门执行机构,使得阀杆或轴的位置对应于来自控制系统的设定点。定位器通常在阀门需要调节动作时使用。定位器需要来自阀杆或轴的位置反馈,并向执行机构提供气动压力以打开和关闭阀门。定位器必须安装在控制

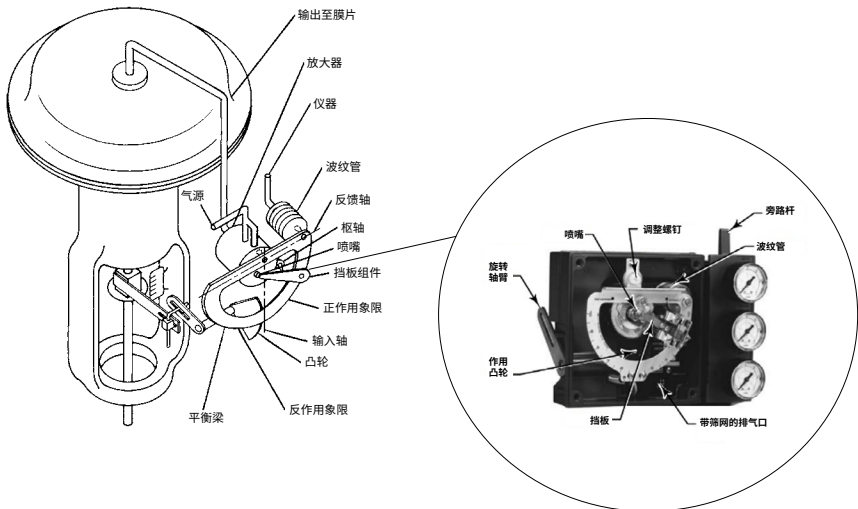


图 4.1 典型的气动、单作用定位器设计

阀组件上或附近。根据控制信号的类型、诊断能力和通信协议,定位器分为三大类别。

### 4.2.1 气动式定位器

第一类定位器是气动定位器。传统过程设备可以使用气动压力信号作为控制阀的控制设定点。压力通常在 20.7 至 103 kPa (3 至 15 psig) 之间调节,以将阀门从 0 移至 100% 位置。

在常见的气动定位器设计(图 4.1)中,将阀杆或轴的位置与接收气动控制信号的波纹管的位置进行比较。当输入信号增加时,波纹管膨胀并移动平衡梁。平衡梁围绕输入轴枢转,使挡板移动到更靠近喷嘴的位置。喷嘴压力增加,这通过气动放大器增加了对执行机构的输出压力。施加给执行机构的输出压力增大会使阀杆移动。推杆移动会通过凸轮反馈至平衡梁。随着凸轮旋转,平衡梁会绕着反馈轴旋转,从而使挡板渐渐远离喷嘴。喷嘴压力下降,使施加给执行机构的输出压力减小。推杆继续移动,使挡板后移远离喷嘴,直至达到平衡状态。

输入信号减弱时,波纹管会收缩(借助内部量程弹簧的作用),平衡梁会绕着输入轴旋转,从而使挡板远离喷嘴。喷嘴压力降低,放大器允许膜盖压力释放到大气中,这使得执行机构推杆向上移动。推杆移动会通过凸轮反馈至平衡梁,使得挡板再次靠近喷嘴。达到平衡状态后,推杆停止移动,挡板亦会处于适当位置,以防止执行机构许用压力进一步减小。见图 4.1。

为核电设计的定位器,需根据 10CFR50 附录 B 质量保证大纲,进行商品及物项升级,包括在高温和辐射水平下性能卓越的材料。O 型圈由 EPDM 制成,膜片材料为 EPDM/芳香族聚酰胺。与丁腈相比,EPDM 的温度极限更高,保存期限更长。芳香族聚酰胺膜片纤维在高温和高

辐射条件下具有较高的强度保持性能。

### 4.2.2 模拟 I/P 定位器

第二种定位器是模拟 I/P 定位器。大多数现代过程设备使用 4-20 mA 的直流信号来调节控制阀。这将电子设备引入定位器设计中,并要求定位器将电流信号转换为气动压力信号(即电流-气动或 I/P)。气动转换器与电-气转换器组合成为模拟定位器。这款一体式电气转换器可在出厂时或在现场安装到现有定位器上。通过现场安装电-气转换器,改变现有定位器的安装方式和输入信号范围,对现有气动定位器进行升级。

在典型的模拟 I/P 定位器中(见图 4.2 和 4.3),这款转换器接收直流电输入信号,并通过喷嘴/挡板组合提供相称的气动输出信号。气动输出信号向气动定位器提供输入信号。在其他方面,模拟 I/P 的设计与气动定位器完全相同。

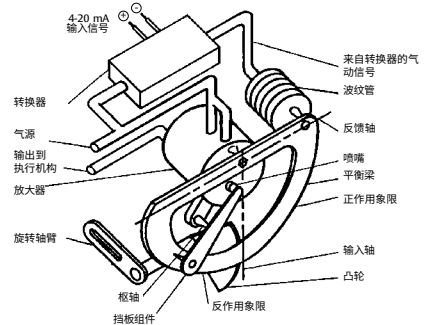


图 4.2 典型的单作用模拟 I/P 定位器设计





图 4.3 I/P 定位器

### 4.2.3 数字式阀门控制器

虽然气动定位器和模拟 I/P 定位器提供基本的阀门位置控制,但数字式阀门控制器为定位器功能增加了另一个维度。这种类型的定位器是基于微处理器的仪表。微处理器可实现诊断和双向通信,从而简化设置和故障排除。

在典型的数字式阀门控制器中,控制信号由微处理器读取,由数字算法处理,并转换成驱动电流信号以传输到 I/P 转换器。微处理器执行位置控制算法,而不是使用梁、凸轮和挡板组件等机械装置。当控制信号增大时,进入 I/P 转换器的驱动信号会增大,I/P 转换器的输出压力也会增大。该压力传送到气动放大器,并为执行机构提供两个输出压力。随着控制信号的增大,一个输出压力总是增加而另一个输出压力减小。

双作用执行机构使用两个输出,而单作用执行机构仅使用一个输出。输出压力的变化会导致执行机构推杆或轴移动。之后,阀门位置反馈给微处理器。阀杆会继续动作,直至到达正确位置为止。此时,微处理器稳定给 I/P 的驱动信号,直到达到平衡状态。

高性能、无连杆反馈系统消除了阀杆与数字式阀门控制器之间的直接接触。这样零件就不会发生磨损,从而最大程度地延长了零件的使用寿命。定位器的设计可对较大的阶跃变化做出快速反应,

并对较小的设定点变化进行精确控制。

除了控制阀门位置的功能外,数字式阀门控制器还具有两项附加功能:诊断和双向数字通信。



图 4.4 安装在控制阀的数字式阀门控制器

#### 4.2.3.1 诊断

数字式阀门控制器内的微处理器允许定位器运行、分析和存储诊断测试。

在确定整个控制阀组件的运行状况时可以参考这些诊断信息。通过使用压力传感器、温度传感器、行程传感器和内部读数,可以创建控制阀性能和运行状况的图形表示,并给出建议的操作。然后这些信息可用于识别需要维护的控制阀组件的元件。阀门通过这些诊断功能,动态地控制工艺过程,对整个阀门组件的状况和性能进行监测。数字阀门控制器使用统计算法,根据传感器的实时读数确定状态和性能相关问题。它还能对阀门组件进行全行程动态测试,包括阀门特征、动态误差带、阶跃响应和行程时间。

#### 4.2.3.2 双向数字通信

数字式阀门控制器内的微处理器还允许定位器通过数字信号与控制系统通信。这使得数字式阀门控制器能够向控制系统提供额外的反馈,例如实际的阀门行

程和诊断警报。

目前有一种广泛使用的协议——HART®通信。HART通信使用叠加在传统4至20 mA直流控制信号上的数字信号。该通信协议允许主机系统用于配置、校准和监控定位器的运行状况。HART通信具有数字通信的优点,并结合了行业主流的4至20 mA控制系统。通过HART通信,用户可以使用各种工具快速调试回路,既可以在阀门组件上进行本地调试,也可以进行远程调试。

FOUNDATION™现场总线是另一种行业标准协议。该协议是完全数字式的,这意味着控制信号(设定点)是数字的,而不使用4到20 mA的直流电流。与HART通信类似,主机系统也可用于配置、校准和监控定位器。

除上述两种协议外,PROFIBUS也是一种提供全数字通信的通用行业协议。PROFIBUS和FOUNDATION现场总线的物理层是相同的,但两者但通信协议不同,并且各具优势。

除了有线技术,无线技术提供了另一种在控制系统和数字式阀门控制器之间传递信息的方法。对于配备无线功能的定位器,可以独立于控制系统布线传输数字信息。■

### 4.3 I/P 转换器

在某些应用中,不需要定位器提供的高定位精度。在这些应用中,可以使用电气(I/P)转换器。这些I/P转换器(图4.6)使用转换器模块将4至20 mA电流输入转换为成比例的压力输出。而内部气动放大器提供向控制阀执行机构输出压力所需的流通能力。由于没有阀门位置反馈,因此响应速度非常快。

这款转换器设有导流板/喷嘴(图4.5),两个喷嘴排列在一条直线上,使供气喷

嘴喷出的恒定气流直接流向接收喷嘴的入口处。输入电流信号使导流棒位于喷嘴的流体路径上。随着输入信号发生变化,导流棒逐渐改变流向接收喷嘴的流体的路径,由此对接收喷嘴施加一定的导向压力,继而控制流量放大器级和转换器输出。

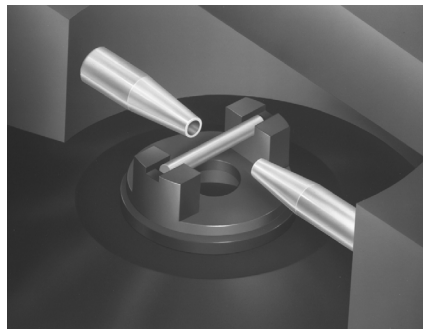


图4.5 导流板/喷嘴先导详图

可通过电子反馈控制网络持续比较气动输出信号与输入电流信号的数值。固态压力传感器是用于监控气动输出的电子套件的一部分。控制网络中的比较电路用于检测输入-输出差值,并通过将导流板内的导流板移到正确的位置来调整输出。利用该反馈网络,这款转换器能够降低引起误差的影响,例如供气压力和下游泄漏量方面的变化。

根据10CFR50附录B质量保证大纲,用于核服务的商品级物项升级的专用传感器采用EPDM O型圈和EPDM/Nomex膜片,性能优越,在高温和辐射条件下强度保持性更好。EPDM接触到石油基润滑剂会老化。因此,建议在使用含有EPDM部件的仪器时,使用清洁、干燥和无油的气源。■

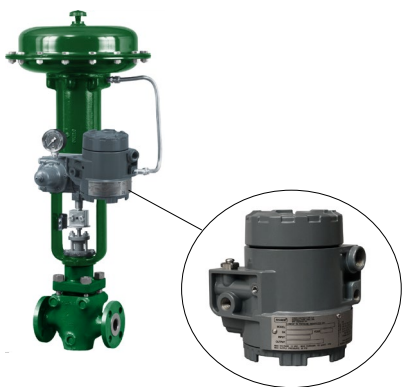


图 4.6 安装在控制阀的转换器

## 4.4 流量放大器

定位器和 I/P 转换器设计用于提供足够的气动输出能力,以驱动典型的调节控制阀。但是,某些应用需要更快的行程速度。如果执行机构容量大,则响应的定位速度会变得更加重要。

流量放大器通过放大阀门定位器的输出来提高执行机构的行程速度,从而解决

了这一问题。流量放大器用于为阀门组件提供额外的气动输出能力(图 4.6)。如果输入信号突然大变(来自定位器的输出压力),会导致输入信号和放大器之间存在压差。发生这种情况时,膜片会移动以打开供气口或排气口,以及能够减少压差的动作。供气口或排气口会一直打开,直到流量放大器的输入压力和输出压力之间的压差恢复到流量放大器的死区范围内。

放大器具有固定死区、软阀座结构和整体旁通接头。在调整了旁路限流器后,变化缓慢且微小的信号会通过旁路限流器到达执行机构,但不会启动流量放大器。供气口和排气口会保持关闭,以防止不必要的耗气以及定位器放大器出现饱和现象。软阀座排气阀和供气阀提供气泡严密关闭功能,以减少不必要的耗气量,并确保在工厂失去空气时进入失效模式。标准的消音排气装置可快速、安静地将空气从推杆中排出。

单作用执行机构通常使用一个流量放大器。双作用执行机构需要至少两个流量放大器,在执行机构活塞的每一侧各放

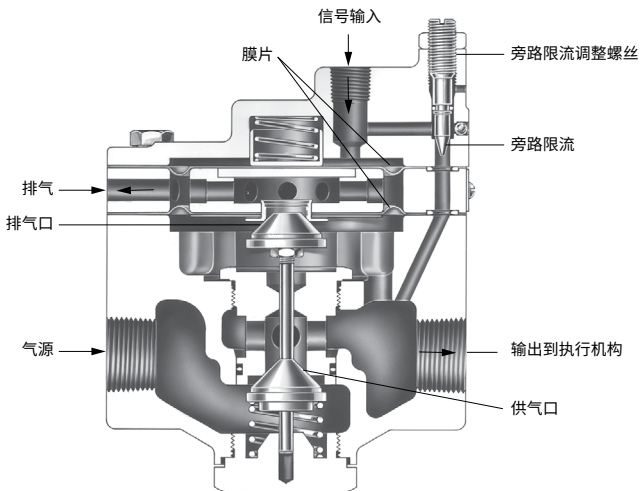


图 4.7 流量放大器截面图

置一个。(图 4.8) 一些应用,例如压缩机防喘振或汽轮机旁路,可能需要额外的流量放大器来提供所需的气动流量以实现快速的阀门响应。多个附件可直接连接到放大器上,省去了较长的管道,简化了整体连接示意图,便于现场维护。■

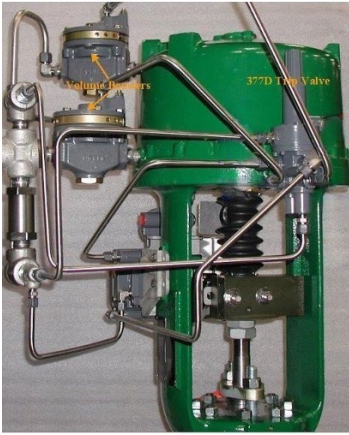


图 4.8 配备双作用执行机构的典型放大器安装

仪表的一个重要功能是定期操作阀门。这是通过阀门部分行程动作测试 (PST) 进行的。具体来说, PST 缓慢地将阀门移动到阀门总行程的一部分,然后返回到正常状态。这样可以对安全阀的机械部件进行操作,同时最大限度地减少对过程回路的干扰。此外,如果未通过测试,则数字式阀门控制器能够诊断潜在问题并及时发出警报。



图 4.9 安全阀上的 SIS 数字阀门控制器

## 4.5 安全仪表系统 (SIS)

控制阀的主要目的是调节过程控制回路内管道中的液体或气体的流动。在这些相同的过程回路中,还有紧急排气阀、截流阀或隔离阀。这些阀门通常是开/关阀,用于在过程控制发生紧急情况时将其恢复回安全状态(图 4.9)。通常,会使用由逻辑解算器控制的单独安全系统控制这些阀门。

### 4.5.1 部分行程动作测试

因为安全阀是静态的并且在正常条件下不调节,所以它们易于粘附。因此当发生紧急需求时,存在阀门在接收到命令时不会移动的风险。为了减轻这种风险,数字式阀门控制器可以用作部分行程动作测试装置。

### 4.5.2 安全功能和产品认证

弹簧复位单作用执行机构为阀门组件提供固有的故障模式。在紧急需求期间,将阀门移动到安全状态的主流方法是去除供给执行机构的气压并允许弹簧定位阀门。电磁阀和/或数字式阀门控制器可用于执行此功能。安全阀上可能还有其他仪表,例如放大器、位置变送器和保位系统。因此必须评估所有这些元件对安全系统的影响。

这些元件可能会因意外跳闸或未将安全阀置于安全状态而发生故障。故障模式、效果和诊断分析 (FMEA) 为每个组件提供了度量标准。这允许安全工程师将安全仪表系统设计为期望的风险降低水平。如需了解安全仪表系统的详情,请参见第十二章。■

## 4.6 优化数字阀

优化数字阀 (ODV) 套件用于满足严格的动态性能和行程时间要求。速度更快、精度更高的阀门通常可以提高效率,从而为最终用户节省更多成本。经过全面测试和设计,可通过使用空气制动器和缓冲气缸来减少振动。ODV 通过使用超前/滞后输入滤波器、超前-滞后增强控制和终点压力控制来提高动态性能。■

## 4.7 控制器

在一些应用中,过程的控制在本地产地执行,而不需要大规模分布式控制系统 (DCS) 或可编程逻辑控制器 (PLC)。本地控制器用于测量过程参数,例如压力、温度或液位,并将直接将气动输出压力驱动到控制阀(图 4.10)。

本地控制器的输入通常是压力、差压,温度或液位。过程测量转换为梁-挡板组件运动,并且该运动与输入元件相关。输入元件可以是波登管、波纹管组件、液体位位移杆组件或温度感温泡。

输入元件通过连接杆连接到过程指针(设定点调整)和挡板。随着过程输入的增加(在直接作用控制器中),挡板向喷嘴移动,这限制了通过喷嘴的流量并增加了喷嘴压力。发生这种情况时,放大器动作会增加执行机构的输出压力,从而调节控制阀。接着输出压力反馈到比例波纹管。比例波纹管的作用抵消了由过程输入变化引起的挡板运动。然后它将挡板移离喷嘴,直到控制器达到平衡点。设定点调整改变了喷嘴和挡板的接近度,过程输入的变化也是如此。然而,当设定点改变时,喷嘴相对于挡板移动。



图 4.10 安装在控制阀的气动控制器

比例带调节旋钮将喷嘴定位在挡板上。增加或加宽比例带将喷嘴移动到挡板上的挡板运动较少的位置,从而降低控制器的增益。减小或缩窄比例带将喷嘴移向发生更多挡板运动的位置,从而增加增益。通过转动比例带调节旋钮将控制器动作从正向变为反向,将喷嘴定位到挡板上的一个点,在这点上,挡板运动的方向与输入运动的方向相反。当控制器处于反作用模式时,过程输入的增加导致执行机构的输出压力降低。供气压力通过放大器中的固定孔,并通过喷嘴排出。喷嘴压力记录在大型继电器膜片上,并调节小型继电器膜片上的负载压力。这也调节了执行机构的控制器输出压力(图 4.11)。

具有比例加复位操作的控制器类似于仅比例控制器,两者的区别在于前者的输出压力反馈到复位和比例波纹管。在操作中,比例加复位控制器最小化过程温度和设定点之间的偏移。

具有比例加复位加速率的控制器具有速率阀和可调节限制,后者可短暂维持控制器增益,以加速慢速系统的校正动作(图 4.12)。速率操作将增益减少延迟足够长的时间以使得系统响应变化,但又不会使系统变得不稳定。然后,由比例动作提供的低增益使系统保持稳定。最后,复位动作缓慢增加增益并使过程返回到设定点。

防复位饱和可减少由于设定点的大偏差或长时间偏差造成的过程输入的过冲。可以调整此选项以在增加或减少输出压力的情况下运行。当比例波纹管压力和复位波纹管压力之间的差值达到预定值时,差动安全阀开始工作。

### 4.7.1 差压控制器

差压指示控制器在易于读取的过程刻度上显示过程压差和设定点。控制器可感应两个不同的压力,并将这两个压力之间的差值与操作员调整的设定点进行比较。然后将气动信号传送到控制元件,使过程压差向设定点变化。

### 4.7.2 压力表指示控制器

压力表指示控制器在易于读取的过程刻

度上显示过程压力和设定点。控制器将过程压力与操作员调整的设定点进行比较,并向控制元件发送气动信号,使过程压力向设定点变化。

### 4.7.3 温度指示控制器

温度指示控制器在易于读取的过程刻度上显示过程温度和设定点。这些控制器用于需要精确过程监控和温度控制的行业。温度球可测量过程温度。然后,温度控制器将过程温度与操作员调整的设定点进行比较。控制器将气动信号传递给控制元件。控制元件将过程温度变为设定点的温度。■

## 4.8 阀位变送器

阀位变送器的目的是为控制系统提供独立的阀位反馈。阀位反馈通常用于过程监控、故障排除或启动/关闭验证。阀位变送器直接安装在阀门上,测量阀杆或轴的位置。在有线安装中,阀位变送器提供 4 至 20 mA 信号,该信号与控制阀的节流范围相对应。在无线安装中,阀位变送器提供 0 到 100% 的数字信号(图 4.13)。■

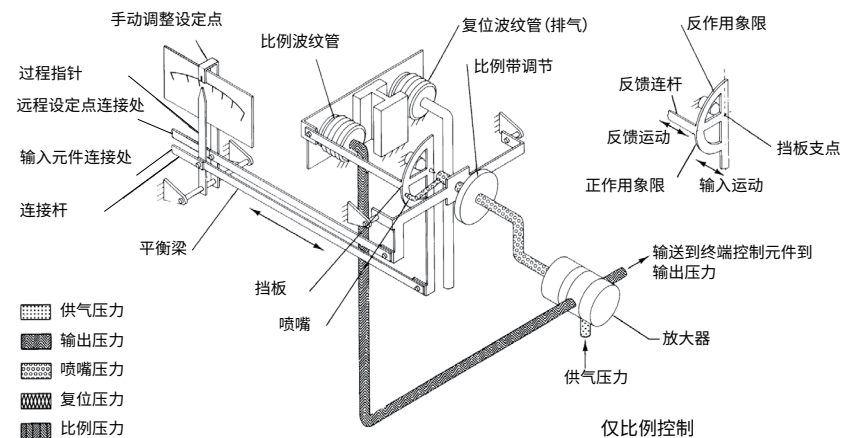


图 4.11 气动控制器原理图

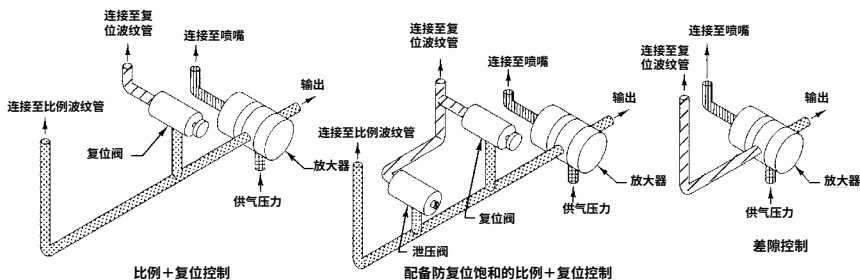


图 4.12 气动控制器原理图



图 4.13 安装在执行机构的无线阀位监控器

## 4.9 限位开关

限位开关的目的是当阀门到达其行程范围内的特定位置时，向控制系统提供离散的打开或关闭信号。限位开关还用于过程监控、故障排除或启动/关闭验证。限位开关接收来自阀杆或轴的阀位反馈，并将有线或无线信号发送到控制系统。有许多不同的开关技术可供选择，例如接近、固态、磁性和触点闭合。■

## 4.10 电磁阀

电磁阀安装在通向执行机构的气动管路中。在一些应用中，电磁阀将空气从执行机构排出以使得阀门进入无空气、失效状态。在其他应用中，电磁阀将锁定执行

机构中的空气以将阀门锁定在其当前位置。三通电磁阀通常用于操作弹簧复位执行机构，四通电磁阀通常用于双作用执行机构。通过制造或断开来自控制系统的离散电信号即可激活电磁阀。

电磁操作阀 (SOV) 是一种开/关电磁阀，由来自控制系统的离散电信号控制。在过程控制应用中，SOV 通常用于对开/关执行机构进行加压或减压。三通 SOV 用于弹簧复位执行机构应用，四通 SOV 用于双作用执行机构应用 (见图 14.14 和 14.15)。

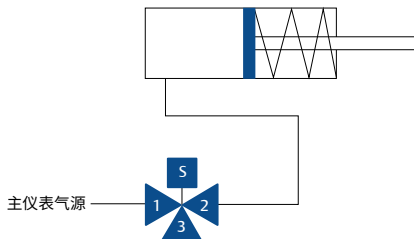


图 14.14 弹簧复位式执行机构

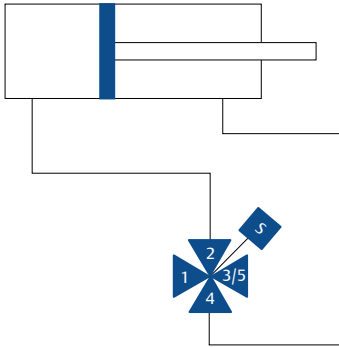


图 14.15 双作用执行机构

控制阀应用通常在数字式阀门控制器和控制阀之间使用电磁阀(图 14.16)。当控制阀由数字式阀门控制器控制时,SOV 将保持通电状态。在正常操作期间,数字式阀门控制器气动信号将通过 SOV。如果安装了 SOV,则可以独立于数字式阀门控制器,快速关闭控制阀。控制阀可通过电磁阀或数字式阀门控制器以进入关闭或安全状态。这种类型的结构称为二选一(1oo2)结构。这意味着两个设备中的任何一个设备都可以将控制阀置于其安全状态。这些设备是数字式阀门控制器和 SOV。

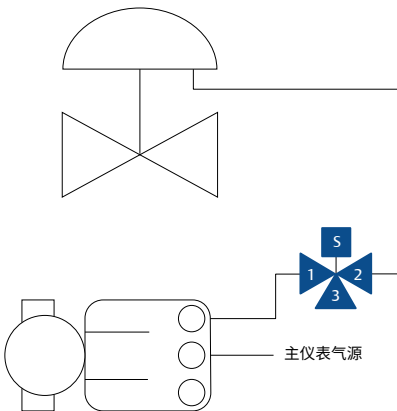


图 14.16 1oo2 配置中的电磁阀和数字式阀门控制器

在选择用于控制阀应用的 SOV 时,必须确保 SOV 能够在控制阀执行机构和数字式阀门控制器的整个压力范围内运行。这些应用的压力范围为 0-150 psi,具体取决于执行机构类型。为了在此压力范围内有效工作,必须使用正作用 SOV(图 14.17)或外部控制的 SOV(图 14.18)。正作用 SOV 仅通过电磁阀的电磁力操作。外部控制的 SOV 使用外部气压来改变 SOV 的状态。外部气压通过属于 SOV 一部分的正作用电磁阀控制器打开和关闭。外部气压允许这种类型的 SOV 在 SOV 的主要部分中没有任何气压的情况下改变状态。



图 14.17 正作用电磁阀组件

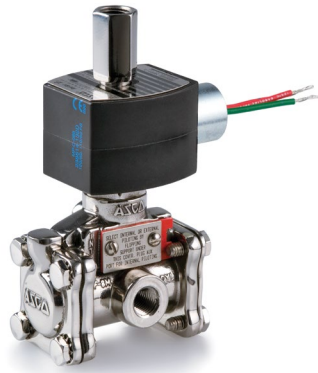


图 14.18 外部控制电磁阀



根据用户的偏好和需要,可以使用多种 SOV 架构。如需了解典型的 1oo2 架构,请参见图 14.19,该架构用于需要任何一个 SOV 将终端控制元件置于其安全状态的系统中。如需了解 2oo2 SOV 架构,请参见图 14.20,该架构要求两个 SOV 以将终端控制元件置于安全状态。SOV 架构可用于更复杂的配置。关于 SOV 架构,请记住 XooY 是具有特定含义的命名法。总 Y SOV 的任何 X SOV 必须在需要时改变状态,以便将终端控制元件置于其安全状态。单独使用的电磁阀即是 1oo1。

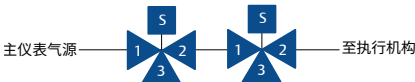


图 14.19 1oo2 电磁阀架构

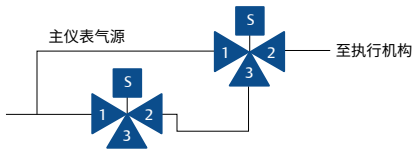


图 14.20 2oo2 电磁阀架构

SOV 有许多不同的设计,包括从简单的三通正作用阀到更复杂的手动复位阀和冗余电磁阀系统等。在将 SOV (见图 14.22) 投入使用之前,需要操作员验证时,请通过手动方式复位 SOV。通常,SOV 是电动通电,但在操作员拉动开关之前不会运行。冗余 SOV (见图 14.21) 系统用于关键应用中以避免误跳闸,和/或确保在终端控制元件需要时立即关闭阀门。■

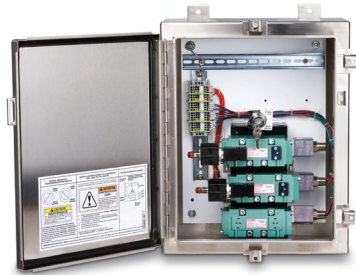


图 14.21 冗余 SOV



图 14.22 三通手动复位 SOV



图 14.23 SOV 集合管组件

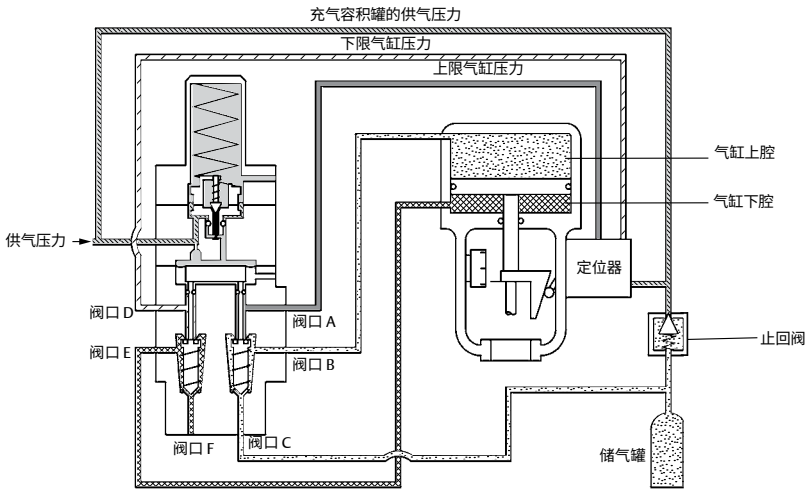


图 4.24 保位状态下的保位阀

## 4.11 保位系统

保位系统用于控制应用,即在失去供气压力的情况下需要进行特定的执行机构动作的场合(图 4.24)。它们与双作用执行机构一起使用,此类执行机构没有固有的无空气、失效状态;或与单作用或双作用执行机构一起使用以提供气动锁定。

如果供气压力低于触发点,保位阀会使执行机构执行失效往上、锁定至上一位置或失效往下操作。对于双作用应用,储气罐提供备用气动空气以操作阀门,直到供气压力恢复。如果供气压力高于触发点,保位阀会自动重置,使系统恢复正常操作。■

## 4.12 开关阀

开关阀通常用于向先导式控制器和其他气动仪器提供恒定的减压气态流体。有多种弹簧可供选择,以获得最佳分辨率,开关点可通过弹簧壳体顶部的调节螺钉设置为特定要求。主要用于弹簧和膜片式执行机构,以实现“锁定在上一个”位置的失效动作。(图 4.25) ■

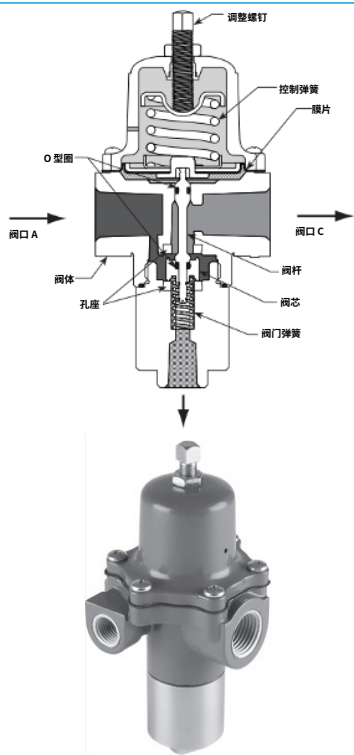


图 4.25 典型三通开关阀

## 4.13 手轮

膜片式执行机构的手轮常用作可调行程限位器。在紧急情况下,手轮还可方便地用于手动操作控制阀。

所有侧装式手轮均可用于在执行机构推杆行程中的任意位置向上或向下关闭阀门(图 4.26)。通过定位侧装式手轮可限制上行或下行方向的行程,但不能同时限制这两个方向的行程。将手轮调至中间位置,便可能在整个阀门行程中实现自动操作。而不论手轮位于哪个位置,阀门行程都会受到限制。

顶装式手轮不常用于手动操作阀门(图 4.27)。



图 4.26 配备侧装式手轮的执行机构



图 4.27 配备顶装式手轮的执行机构

# 第五章

## 控制阀选型



控制阀能够处理低温至超过 538°C (1000°F) 的温度范围内的所有种类的流体。要为指定的工况选用可以得到的阀体类型、材质和内件结构形式的最佳组合,需要仔细地考虑控制阀阀体组件的选型。此外,在控制阀选用时还必须考虑流量要求和系统操作压力范围以确保在不超出预算的情况下满足操作要求。

著名的控制阀制造商和他们的代理商们专注于帮助用户选择最适合于现有工况条件的控制阀。因为对于一个应用场合经常有几个可能的正确选择,所以对关键工况提供所有以下信息是非常重要的:

- 需要控制的流体种类
- 流体温度
- 流体粘度
- 所有成分的浓度,包括微量杂质
- 启动、正常运行和停机期间的过程条件
- 可能会定期进行的化学清洁
- 流体的比重或密度
- 流体流速
- 阀门的进口压力
- 出口压力或压降
- 关闭时的压降
- 最大允许噪声水平,以及测量参考点
- 如果知道,过热程度或是否存在闪蒸
- 入口和出口管道口径和壁厚
- 特殊位号信息要求
- 铸造阀体材质 (ASTM A216 等级 WCC、ASTM A217 等级 WC9、ASTM A351 CF8M 等)
- 连接端形式和阀门压力等级 (螺纹式、ANSI 600 凸面法兰、ANSI 1500 环

形接合法兰等)

- 失气时要求的作用方式 (阀门打开、关闭、或者维持最后的控制位置)
- 可提供的仪表气源
- 仪表信号 (3-15 psig、4-20 mA、HART 等)

另外,下面的信息要求用户与制造商之间取得一致意见,具体取决于需要遵守的购买协议和工程实践。

- 阀门型号
- 阀门口径
- 阀体结构 (角形、双阀座、蝶阀等)
- 阀芯导向方式 (笼式、阀座导向等)
- 阀芯动作方式 (下推关闭或下推打开)
- 阀口通径 (全通径或缩径)
- 要求的阀门内件材质
- 流体作用方式 (流体趋向于打开阀门或流体趋向于关闭阀门)
- 要求的执行机构尺寸
- 阀盖形式 (普通型、伸长型、波纹管密封等)
- 填料材料 (PTFE V 形环、石墨片、环保密封系统等)
- 要求的附件 (定位器、手轮等)

这些选项里有一些已经在本书的前面章节里讨论过,其它选项将在这一章和下面的章节里探讨。

## 阀门管选型过程

<b>1.确定工况条件</b>
P1, ΔP, Q, T1 流体特性, 允许噪音等。 选择阀体和阀内件要求的合适的 ANSI 压力等级。
<b>2.计算需要的初始 C<sub>v</sub></b>
检查噪音和气蚀水平。
<b>3.选择阀内件类型</b>
如果没有噪音或气蚀的提示, 就选择标准的阀内件。 如果气体动力学噪音很高, 就选择降噪阀内件。 如果气体动力学噪音很高或提示有气蚀, 就选择减少气蚀阀内件。
<b>4.选择阀体和阀内件类型</b>
根据需要的 C <sub>v</sub> 选择阀体和阀内件尺寸 注意行程、阀内件组别和关闭等级。
<b>5.选择阀内件材料</b>
为应用工况而选择阀内件材料。 确保所选阀内件可以在用于所选阀门口径的阀内件组别里找到。
<b>6.可选项</b>
考虑有关关断等级、阀杆填料等可选项。

## 5.1 控制阀尺寸

### 5.1.1 法兰连接直通式控制阀的端面至端面尺寸

125、150、250、300 和 600 磅级 (符合 ANSI/ISA-75.08.01 标准)

阀门尺寸		压力等级和连接端形式					
		磅级 125 FF (CI) 磅级 150 RF (STL)		磅级 150 RTJ (STL)		磅级 250 RF (CI) 磅级 300 RF (STL)	
DN	NPS	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸
15	1/2	184	7.25	197	7.75	190	7.50
20	3/4	184	7.25	197	7.75	194	7.62
25	1	184	7.25	197	7.75	197	7.75
40	1-1/2	222	8.75	235	9.25	235	9.25
50	2	254	10.00	267	10.50	267	10.50
65	2-1/2	276	10.88	289	11.38	292	11.50
80	3	298	11.75	311	12.25	318	12.50
100	4	352	13.88	365	14.38	368	14.50
150	6	451	17.75	464	18.25	473	18.62
200	8	543	21.38	556	21.88	568	22.38
250	10	673	26.50	686	27.00	708	27.88
300	12	737	29.00	749	29.50	775	30.50
350	14	889	35.00	902	35.50	927	36.50
400	16	1016	40.00	1029	40.50	1057	41.62

缩写词意义: FF - 平面; RF - 凸面; RTJ - 环形连接; CI - 铸铁

法兰连接直通式控制阀的端面至端面尺寸(续)

阀门尺寸		压力等级和连接端形式					
		磅级 300 RTJ (STL)		磅级 600 RF (STL)		磅级 600 RTJ (STL)	
DN	NPS	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸
15	1/2	202	7.94	203	8.00	203	8.00
20	3/4	206	8.12	206	8.12	206	8.12
25	1	210	8.25	210	8.25	210	8.25
40	1-1/2	248	9.75	251	9.88	251	9.88
50	2	282	11.12	286	11.25	284	11.37
65	2-1/2	308	12.12	311	12.25	314	12.37
80	3	333	13.12	337	13.25	340	13.37
100	4	384	15.12	394	15.50	397	15.62
150	6	489	19.24	508	20.00	511	20.12
200	8	584	23.00	610	24.00	613	24.12
250	10	724	28.50	752	29.62	755	29.74
300	12	790	31.12	819	32.25	822	32.37
350	14	943	37.12	972	38.25	475	38.37
400	16	1073	42.24	1108	43.62	1111	43.74

缩写词意义: STL - 钢

900、1500 和 2500 磅级 ((符合 ANSI/ISA-75.08.06 标准))

阀门尺寸		磅级 900				磅级 1500	
		毫米		英寸		毫米	
DN	NPS	短	长	短	长	短	长
15	1/2	273	292	10.75	11.50	273	292
20	3/4	273	292	10.75	11.50	273	292
25	1	273	292	10.75	11.50	273	292
40	1-1/2	311	333	12.25	13.12	311	333
50	2	340	375	13.38	14.75	340	375
65	2-1/2	---	410	---	16.12	---	410
80	3	387	441	15.25	17.38	406	460
100	4	464	511	18.25	20.12	483	530
150	6	600	714	21.87	28.12	692	768
200	8	781	914	30.75	36.00	838	972
250	10	864	991	34.00	39.00	991	1067
300	12	1016	1130	40.00	44.50	1130	1219
350	14	---	1257	---	49.50	---	1257
400	16	---	1422	---	56.00	---	1422
450	18	---	1727	---	68.00	---	1727

法兰连接直通式控制阀的端面至端面尺寸(续)

阀门尺寸		磅级 1500		磅级 2500			
		英寸		毫米		英寸	
DN	NPS	短	长	短	长	短	长
15	1/2	10.75	11.50	308	318	12.12	12.50
20	3/4	10.75	11.50	308	318	12.12	12.50
25	1	10.75	11.50	308	318	12.12	12.50
40	1-1/2	12.25	13.12	359	381	14.12	15.00
50	2	13.38	14.75	---	400	---	16.25
65	2-1/2	---	16.12	---	441	---	17.38
80	3	16.00	18.12	498	660	19.62	26.00
100	4	19.00	20.87	575	737	22.62	29.00
150	6	24.00	30.25	819	864	32.25	34.00
200	8	33.00	38.25	---	1022	---	40.25
250	10	39.00	42.00	1270	1372	50.00	54.00
300	12	44.50	48.00	1321	1575	52.00	62.00
350	14	---	49.50	---	---	---	---
400	16	---	56.00	---	---	---	---
450	18	---	68.00	---	---	---	---

5.1.2 对焊连接直通式控制阀的端面至端面尺寸

150、300、600、900、1500 和 2500 磅级(符合 ANSI/ISA-75.08.05 标准)

阀门尺寸		磅级 150、300和 600				磅级 900 和 1500	
		毫米		英寸		毫米	
DN	NPS	短	长	短	长	短	长
15	1/2	187	203	7.38	8.00	194	279
20	3/4	187	206	7.38	8.25	194	279
25	1	187	210	7.38	8.25	197	279
40	1-1/2	222	251	8.75	9.88	235	330
50	2	254	286	10.00	11.25	292	375
65	2-1/2	292	311	11.50	12.25	292	375
80	3	318	337	12.50	13.25	318	460
100	4	368	394	14.50	15.50	368	530
150	6	451	508	17.75	20.00	508	768
200	8	543	610	21.38	24.00	610	832
250	10	673	752	26.50	29.62	762	991
300	12	737	819	29.00	32.35	914	1130
350	14	851	1029	33.50	40.50	---	1257
400	16	1016	1108	40.00	43.62	---	1422
450	18	1143	---	45.00	---	---	1727



## 对焊连接直通式控制阀的端面至端面尺寸(续)

阀门尺寸		磅级 900 和 1500		磅级 2500			
		英寸		毫米		英寸	
DN	NPS	短	长	短	长	短	长
15	1/2	7.62	11.00	216	318	8.50	12.50
20	3/4	7.62	11.00	216	318	8.50	12.50
25	1	7.75	11.00	216	318	8.50	12.50
40	1-1/2	9.25	13.00	260	359	10.25	14.12
50	2	11.50	14.75	318	400	12.50	15.75
65	2-1/2	11.50	14.75	318	400	12.50	15.75
80	3	12.50	18.12	381	498	15.00	19.62
100	4	14.50	20.88	406	575	16.00	22.62
150	6	24.00	30.25	610	819	24.00	32.25
200	8	24.00	32.75	762	1029	30.00	40.25
250	10	30.00	39.00	1016	1270	40.00	50.00
300	12	36.00	44.50	1118	1422	44.00	56.00
350	14	---	49.50	---	1803	---	71.00
400	16	---	56.00	---	---	---	---
450	18	---	68.00	---	---	---	---

## 5.1.3 插焊连接直通式控制阀的端面至端面尺寸

150、300、600、900、1500 和 2500 磅级(符合 ANSI/ISA-75.08.03 标准)

阀门尺寸		磅级 150、300 和 600				磅级 900 和 1500	
		毫米		英寸		毫米	
DN	NPS	短	长	短	长	短	长
15	1/2	170	206	6.69	8.12	178	279
20	3/4	170	210	6.69	8.25	178	279
25	1	197	210	7.75	8.25	178	279
40	1-1/2	235	251	9.25	9.88	235	330
50	2	267	286	10.50	11.25	292	375
65	2-1/2	292	311	11.50	12.25	292	---
80	3	318	337	12.50	13.25	318	533
100	4	368	394	14.50	15.50	368	530

插焊连接直通式控制阀的端面至端面尺寸(续)

阀门尺寸		磅级 900 和 1500		磅级 2500			
		英寸		毫米		英寸	
DN	NPS	短	长	短	长	短	长
15	1/2	7.00	11.00	216	318	8.50	12.50
20	3/4	7.00	11.00	216	318	8.50	12.50
25	1	7.00	11.00	216	318	8.50	12.50
40	1-1/2	9.25	13.00	260	381	10.25	15.00
50	2	11.50	14.75	324	400	12.75	15.75
65	2-1/2	11.50	---	324	---	12.75	---
80	3	12.50	21.00	381	660	15.00	26.00
100	4	14.50	20.88	406	737	16.00	29.00

5.1.4 螺纹连接直通式控制阀的端面至端面尺寸

150、300 和 600 磅级(符合 ANSI/ISA-75.08.03 标准)

阀门尺寸		磅级 150、300 和 600			
		毫米		英寸	
DN	NPS	短	长	短	长
15	1/2	165	206	6.50	8.12
20	3/4	165	210	6.50	8.25
25	1	197	210	7.75	8.25
40	1-1/2	235	251	9.25	9.88
50	2	267	286	10.50	11.25
65	2-1/2	292	311	11.50	12.26

5.1.5 凸面法兰连接直通式角形阀的端面至中心线尺寸

150、300 和 600 磅级(符合 ANSI/ISA-75.08.08 标准)

阀门尺寸		磅级 150		磅级 300		磅级 600	
DN	公称管道口径	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸
25	1	92	3.62	99	3.88	105	4.12
40	1-1/2	111	4.37	117	4.62	125	4.94
50	2	127	5.00	133	5.25	143	5.62
80	3	149	5.88	159	6.25	168	6.62
100	4	176	6.94	184	7.25	197	7.75
150	6	226	8.88	236	9.31	254	10.00
200	8	272	10.69	284	11.19	305	12.00

### 5.1.6 可拆卸法兰直通阀的端面至端面尺寸

150、300 和 600 磅级 ((符合 ANSI/ISA-75.08.07 标准)

阀门尺寸		磅级 150、300 和 600	
DN	NPS	毫米	英寸
25	1	216	8.50
40	1-1/2	241	9.50
50	2	292	11.50
80	3	356	14.00
100	4	432	17.00

### 5.1.7 法兰连接和无法兰旋转阀 (不含蝶阀) 的端面至端面尺寸

150、300 和 600 磅级 (符合 ANSI/ISA-75.08.02 标准)

阀门尺寸		磅级 150、300 和 600	
DN	NPS	毫米	英寸
20	3/4	76	3.00
25	1	102	4.00
40	1-1/2	114	4.50
50	2	124	4.88
80	3	165	6.50
100	4	194	7.62
150	6	229	9.00
200	8	243	9.56
250	10	297	11.69
300	12	338	13.31
350	14	400	15.75
400	16	400	15.75
450	18	457	18.00
500	20	508	20.00
600	24	610	24.00

### 5.1.8 单法兰(凸缘)和无法兰(对夹式)蝶阀的端面至端面尺寸

(符合 MSS-SP-67 标准)

阀门尺寸		适于已安装窄阀体的尺寸 <sup>(1)(2)</sup>	
DN	NPS	英寸	毫米
40	1-1/2	1.31	33.3
50	2	1.69	42.9
65	2-1/2	1.81	46.0
80	3	1.81	46.0
100	4	2.06	52.3
150	6	2.19	55.6
200	8	2.38	60.5
250	10	2.69	68.3
300	12	3.06	77.7
350	14	3.06	77.7
400	16	3.12	79.2
450	18	4.00	101.6
500	20	4.38	111.2

1. 与磅级 125 铸铁法兰或磅级 150 钢法兰兼容的阀体。  
 2. 这是阀门安装在管道中后端面至端面的尺寸。如果使用单独的垫圈,则不包括垫圈的厚度。由于垫圈或密封件是阀门的组成部分,因此确实包含了两者的厚度,然而,这个尺寸是通过压缩的垫圈或密封件厚度算出的。

### 5.1.9 具有偏心设计的高压蝶阀的端面至端面尺寸

150、300 和 600 磅级(符合 MSS SP-68 标准)

阀门尺寸		磅级 150		磅级 300		磅级 600	
DN	NPS	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
80	3	1.88	48	1.88	48	2.12	54
100	4	2.12	54	2.12	54	2.50	64
150	6	2.25	57	2.31	59	3.06	78
200	8	2.50	63	2.88	73	4.00	102
250	10	2.81	71	3.25	83	4.62	117
300	12	3.19	81	3.62	92	5.50	140
350	14	3.62	92	4.62	117	6.12	155
400	16	4.00	101	5.25	133	7.00	178
450	18	4.50	114	5.88	149	7.88	200
500	20	5.00	127	6.25	159	8.50	216
600	24	6.06	154	7.12	181	9.13	232

## 5.2 控制阀座泄漏等级

(符合 ANSI/FCI 70-2 和 IEC 60534-4 标准)

泄漏等级 代号	最大允许泄漏量	试验介质	试验压力	确定泄漏等级 要求的测试步骤
I	---	---	---	不要求测试,前提是取得用户 与供应商同意
II	0.5% 的额定流 通能力	10-52°C (50- 125°F) 时的空气 或水	3-4 bar (45-60 psig) 或最大工作压差两者 中的较低者	把压力作用在阀门入口,让出 口向大气开放或把它连接到 低压头损失的测量装置上,全 部正常推力由执行机构提供。
III	0.1% 的额定流 通能力	同上	同上	同上
IV	0.01% 的额定流 通能力	同上	同上	同上
V	每 psi 压差下在 每英寸阀门直 径上每分钟通 过 0.0005 毫升 的水  ( $5 \times 10^{-12} \text{m}^3$ 每 秒,每毫米孔径, 每巴比差)。	10-52°C (50- 125°F) 时的水	阀芯两端的最大工作 压降,不超过 ANSI 阀 体等级,或小于要求 的压力。	把整个阀腔和连接管道充满 水后,将压力作用在阀门入 口,然后把阀芯推至关闭位 置。使用规定的执行机构最大 净推力,但不要超过该值,即 使测试期间可以获得超过该 值的推力也是如此。留出一定 的时间让泄漏流量稳定下来。
VI	不超过在下面的 基于阀门直径 的表格里列出 的量。	10-52°C (50- 125°F) 时的空气 或氮气。	3.5 bar (50 psig) 或阀 芯两端的最大额定压 差,两者中的较低者。	把压力作用在阀门入口。执行 机构应调整到规定的操作条 件下,让全部正常关闭力作用 在阀芯上。留出一定的时间让 泄漏流量稳定下来,并使用合 适的测量装置。

## 5.3 VI 级最大允许阀座泄漏量

(符合 ANSI/FCI 70-2)

标称阀口直径		每分钟产生的气泡数 <sup>(1)</sup>	
英寸	毫米	mL/min	每分钟产生的气泡数
1	25	0.15	1
1-1/2	38	0.30	2
2	51	0.45	3
2-1/2	64	0.60	4
3	76	0.90	6
4	102	1.70	11
6	152	4.00	27
8	203	6.75	45

1. 表中的每分钟气泡数是以调整好的测量装置为基础的一个建议性的选择。在这个例子里,把一根 1/4 英寸 (6.3 毫米) 外径  $\times$  0.032 英寸 (0.8 毫米) 壁厚管子浸入水中至 1/8 或 1/4 英寸 (3 至 6 毫米) 的深度。管子的端面应切割得平整和光滑,没有棱角或毛刺。管子中心线应与水面垂直。还可以制作其它装置,只要它们正确地表示毫升/分钟的流量,每分钟的气泡数量可以不同于表中列出的数字。

## 5.4 控制阀的流量特性

控制阀的流量特性是随着行程从 0 到 100% 变化时,通过阀门的流量与阀门行程之间的关系。固有流量特性指经过阀门的压降恒定时观察到的流量特性。安装流量特性是指在压降随着流量和系统中其它变化而变化的工况下获得的流量特性。

控制阀的流量特性化是为了在系统运行条件的预期范围内提供相对均匀一致的控制回路稳定性。要建立与系统相匹配的流量特性,需要对控制回路作动态分析。基于对常见过程过程的分析,可以建立一些选择合适流量特性的有用的指导原则。这些指导方法将在总体介绍完流量特性之后被论及。

### 5.4.1 流量特性

图 5.1 说明了典型的流量特性曲线。快开流量特性在较小的阀门行程处,提供近似线性关系的最大流量改变。继续增加阀门行程,则流量的变化锐减;当阀芯接近全开位置时,流量的变化趋近于零。在控制阀中,快开功能主要用于开/关工况;但它亦适用于许多通常指定使用线性阀芯的场合。

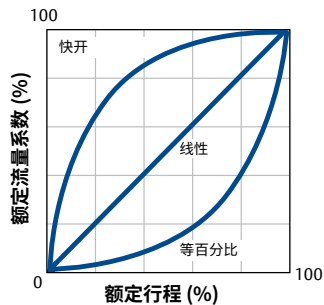


图 5.1 反馈控制回路

线性流量特性曲线表明流量与阀门行程成正比关系。这种比例关系提供一种具有恒定斜率的特性,所以在恒定的压降,阀门增益在所有流量处都是相同的。(阀门增益是阀芯位置增量的比例。增益是阀门口径和配置、系统运行条件以及阀芯特性的函数。)线性阀芯通常指定用于液位控制和一些需要恒定增益的流量控制场合。

对于等百分比的流量特性,阀门行程的等量增加产生相同百分比的流量变化。流量的变化始终与阀芯、阀板或球的位置变化前的流量成比例。具有等百分比流量特性的阀门一般用于压力控制场合、以及大部分压降通常被系统本身所吸收而只有小部分为控制阀所吸收的其它场合。在预期有变化很大的压降的情况下也可考虑使用具有等百分比特性的阀门。

#### 5.4.2 流量特性的选择

理想的流量特性应该是可实现线性安装特性和均匀安装增益的特性。为了获得最佳性能,可以执行完整的动态分析,因为除流量特性之外还有许多其他因素会影响性能。这种分析最适合于精确控制至关重要的应用。对于其他应用,可以在控制设备中对不太理想的流量特性进行一定程度的调节。如需了解控制阀性能的详情,请参见第二章。■

### 5.5 阀门口径计算

控制阀口径计算的标准化工作可追溯到20世纪60年代的早期,当时一个贸易协会—流体控制组织提出了同时用于可压缩和不可压缩流体的口径计算公式。这些公式所能精确涵盖的工况条件的范围非常有限,该标准未被广泛地接受。在1967年,ISA成立了一个委员会来研究和发表标准公式。该委员会的努力最

终建立了一个阀门口径计算的步骤,获得了美国国家标准资格。后来,国际电工委员会(IEC)的一个委员会以ISA的工作为基础,制定了控制阀口径计算的国际标准。(在这本介绍材料里的某些内容摘自ANSI/ISA 575.01.01标准,得到出版者ISA的许可)。ANSI/ISA-75.01.01和IEC 60534-2-1是一致的,因此可使用任一标准。

虽然标准阀门口径计算方法适用于大多数控制阀的口径计算,但重要的是要注意标准规定了它们的使用限制。如使用超出了其预定范围,则必须小心谨慎。标准对合理准确性的要求是:

- 单组分单相流体
- 牛顿流体
- 理想的气体和蒸汽
- 对于气体和蒸汽,比热的理想比率为  $1.08 < \gamma < 1.65$
- 阀门  $x_T \leq 0.84$
- 阀门  $C_v/d^2 < 30$

以下章节解释了术语和过程,并通过示例问题的解决展示其应用。对于下面的讨论,假设所有流动都是完全湍流的。对于高粘度流体或非常低流速的情况,需要额外考虑。■

## 5.6 缩写和术语

符号		符号	
$C_v$	阀门选型流量系数	$\Delta P$	流经阀门前后的压降 (P1-P2)
$d$	标称阀门口径	$\Delta P_{\text{choked}}$	通过阻塞限制流量的液体压降
$D_1, D_2$	分别为上游和下游管道的内径	$\Delta P_{\text{sizing}}$	用于液体口径计算的压降值
$F_d$	阀门型式修正系数, 无量纲	$q$	标准体积流量 <sup>(1)</sup>
$F_f$	液体临界压力比系数, 无量纲	$T_1$	上游绝对温度
$F_v$	比热容比系数, 无量纲	$w$	质量流量
$F_L$	额定液体压力恢复系数, 无量纲	$x$	压降与上游绝对静压之比 ( $\Delta P/P_1$ ), 无量纲
$F_{LP}$	配备管件的阀门的液体压力恢复系数和管道几何系数之和 (若未配备管件, 则 $F_{LP}$ 等于 $F_L$ ) (无量纲)	$x_{\text{choked}}$	可压缩流量的阻塞流压降比
$F_p$	管道几何形状系数, 无量纲	$x_{\text{sizing}}$	用于可压缩口径计算的压降比值
$K$	设备的水力损失系数, 无量纲 (在口径计算标准中以 $\zeta$ 表示)	$x_T$	阻塞流时的压降比系数, 无量纲
$M$	分子量	$x_{TP}$	带有连接管件的阻塞流时的压降比系数, 无量纲
$N$	数值常数, 用于说明不同的单位组	$Y$	膨胀系数, 无量纲
$P_1$	上游绝对静态压力	$Z_1$	入口条件下的压缩系数, 无量纲
$P_2$	下游绝对静态压力	$\gamma$	理想的比热容比, 无量纲
$P_c$	绝对热力学临界压力	$\nu$	动力粘度
$P_v$	入口温度对应的液体绝对蒸汽压力	$\rho_1$	在入口条件时的密度
		$\rho_1/\rho_o$	入口处的液体比重 (流动温度下的液体密度与 15.5°C (60°F) 时的水密度之比), 无量纲
1. 标准状态定义为 15.5°C (60°F) 和 14.7 psia (101.3 kPa)。			



## 5.7 公式常数

		N	w	q	P <sup>(2)</sup>	ρ	T	d, D
N <sub>1</sub>		0.0865	---	m <sup>3</sup> /h	kPa	---	---	---
		0.865	---	m <sup>3</sup> /h	bar	---	---	---
		1.00	---	gpm	psia	---	---	---
N <sub>2</sub>		0.00214	---	---	---	---	---	mm
		890	---	---	---	---	---	Inch
N <sub>5</sub>		0.00241	---	---	---	---	---	mm
		1000	---	---	---	---	---	Inch
N <sub>6</sub>		2.73	kg/h	---	kPa	kg/m <sup>3</sup>	---	---
		27.3	kg/h	---	bar	kg/m <sup>3</sup>	---	---
		63.3	lb/h	---	psia	lbm/ft <sup>3</sup>	---	---
N <sub>8</sub>		0.948	kg/h	---	kPa	---	K	---
		94.8	kg/h	---	bar	---	K	---
		19.3	lb/h	---	psia	---	deg R	---
N <sub>9</sub> <sup>(3)</sup>	正常状态	21.2	---	m <sup>3</sup> /h	kPa	---	K	---
	T <sub>N</sub> = 0°C	2120	---	m <sup>3</sup> /h	bar	---	K	---
	标准状态	22.5	---	m <sup>3</sup> /h	kPa	---	K	---
	T <sub>s</sub> = 15°C	2250	---	m <sup>3</sup> /h	bar	---	K	---
	标准状态 T <sub>s</sub> = 60°F	7320	---	scfh	psia	---	deg R	---

1. 在这些口径计算步骤中,许多公式包含一个带有数字下标的数字常数 N。这些数字常数为在公式中使用不同的单位提供一种换算方法。在上表中可查到不同常数的值及相应的单位。例如,如果流量用美制单位 *gpm* 表示且压力单位为 *psia*, N<sub>1</sub> 的值则为 1.00。如果流量单位为 m<sup>3</sup>/hr 且压力单位为 kPa, N<sub>1</sub> 常数则为 0.0865。

2. 所有压力均指绝对压力。

3. 压力基准为 101.3 kPa (1.013 bar) (14.7 psia)。

## 5.8 液体控制阀选型

以下是按照 ISA 和 IEC 规程对于处理液体流体的控制阀进行的分步选型过程。严格来说,这种口径计算方法仅适用于单组分流体,但如果小心谨慎,也可以使用多组分混合物。

这些步骤中的每一步都是重要的,在阀门口径计算的任何步骤中都必须考虑。必须注意的是,  $C_v$  值和  $F_L$  值是相匹配的。如果使用不同的  $C_v$ , 则必须从产品资料中获取该阀门和阀门行程的相应 FL。

1. 指明阀门选型所需的下列变量:

- 特定型号,
- 过程流体(水、油等), 和
- 对应的工况条件
- $Q$  或  $w$ ,  $P_1$ ,  $P_2$  或  $\Delta P$ ,  $T_1$ ,  $\rho_1/\rho_0$ ,  $P_v$ ,  $P_c$ , 和  $v$

只有通过不同的阀门口径计算问题的实际体验,才能获得辨别以上哪些项目适用于某一特定的计算步骤的能力。如果觉得对以上任何一项很生疏或不熟悉,可参照缩写和术语表以了解其详细的定义。

2. 确定公式常数,  $N_1$  和  $N_2$ 。

$N_1$  和  $N_2$  是流量公式中包含的数值常数,用于使用不同的单位制。上述各个常数的值及其相应的单位如公式常数表所示。

3. 确定  $F_p$  (管道几何系数) 和  $F_{LP}$  (根据附属配件调整后的液体压力恢复系数)。

计算时使用估计的  $C_v$  值和相应的  $F_L$ 。

$F_p$  即表示因管件(例如,异径管、弯管或三通管等)直接连接到所选控制阀的入口和出口端接头造成的压力损失的修正系数。如果将这种管件连接到阀门上,则必须考虑这些管件。标准口径计算程

序提供了一种计算同心变径和同径的  $F_p$  系数的方法。如果阀门未连接任何管件,  $F_p$  的值为 1.0 且不适用于选型公式。同样,  $F_{LP} = F_L$ 。

4. 确定压降用于口径计算使用,  $\Delta P_{sizing}$ 。

当上游和下游压力之间的差异足够高时,液体可能开始蒸发,从而导致阻塞流。如果阀门上的实际压降  $\Delta P$  高于导致窒流的压降,则必须使用窒流压降  $\Delta P_{choked}$  代替实际压降。

5. 计算  $C_v$ 。如果该  $C_v$  值与步骤 3 中使用的估计值不接近,则使用新的  $C_v$  值和产品信息中相应的  $F_L$  值进行重复。

### 5.8.1 确定管道几何系数 ( $F_p$ ) 和根据管件调整的液体压力恢复系数 ( $F_{LP}$ )

如有任何管件(例如,异径管、弯管或三通管等)直接连接到所选控制阀的入口和出口端接头,则需确定  $F_p$  系数。如有可能,建议按照实际测试所得的特定值用试验方法确定  $F_p$  和  $F_{LP}$  系数。

$$F_p = \left[ 1 + \frac{\Sigma K}{N_2} \left( \frac{C_v}{d^2} \right)^2 \right]^{-1/2}$$

然而,使用以下方法,可以计算出附接的同心变径的合理近似值。

在上述公式中,  $\Sigma K$  项为与控制阀相连接的所有管件的速度水力损失系数的代数和。

$$\Sigma K = K_1 + K_2 + K_{B1} - K_{B2}$$

其中,

$K_1$  = 上游管件的阻力系数

$K_2$  = 下游管件的阻力系数

$K_{B1}$  = 入口伯努利系数

$K_{B2}$  = 出口伯努利系数

并且,

$$K_{B1} = 1 - \left(\frac{d}{D_1}\right)^4$$

$$K_{B2} = 1 - \left(\frac{d}{D_2}\right)^4$$

如果上游管道和下游管道尺寸相等,那么伯努利系数也相等(即  $K_{B1} = K_{B2}$ ),因此,二者可以在  $\Sigma K$  公式中移除。

控制阀装置中最常用的管件为短型同心变径。适用于该管件的公式如下:

- 对于入口变径:

$$K_1 = 0.5 \left(1 - \frac{d^2}{D_1^2}\right)^2$$

- 对于出口变径:

$$K_2 = 1.0 \left(1 - \frac{d^2}{D_2^2}\right)^2$$

- 对于安装在相同变径之间的阀门:

$$K_1 + K_2 = 1.5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

使用与所选阀的  $C_v$  值相对应的  $F_L$  值,

$$F_{LP} = \left[ \frac{K_1 + K_{B1}}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2 + \frac{1}{F_L^2} \right]^{-1/2}$$

### 5.8.2 确定用于口径计算的压降 ( $\Delta P_{sizing}$ )

计算液体临界压力比系数:

$$F_F = 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}}$$

然后,确定由于液体阻塞导致的极限压降:

$$\Delta P_{choked} = \left(\frac{F_{LP}}{F_P}\right)^2 (P_1 - F_F P_v)$$

计算所需流量系数  $\Delta P_{sizing}$  时使用的压降是实际系统压降  $\Delta P$  和有淤塞压降

$\Delta P_{choked}$  两者中较小者。

注:如果  $\Delta P_{choked} < \Delta P$ , 则说明气蚀或闪蒸。如果出口压力大于流体的蒸汽压力,则气蚀导致阻塞流。如果出口压力小于流体的蒸汽压力,则流量会出现闪蒸。如需了解详情,请参阅本章后面有关气蚀和闪蒸的部分。

### 5.8.3 计算所需的流量系数 ( $C_v$ )

通过给定流量所需的阀门流量系数计算如下:

$$C_v = \frac{q}{N_1 F_P \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1 / \rho_o}}}$$

### 5.8.4 液体工况选型计算例题

假定有一个装置,它在工厂的初始开车阶段不会以最大的设计能力运行。管道口径根据最大的系统能力而计算,但希望安装一台仅为目前的预期要求而计算的控制阀。管径为 8 英寸,并需用一台磅级 300 带有等百分比阀笼的直通阀。

安装阀门时可用标准的同心变径,请确定合适的阀门尺寸。

1. 确定阀门口径计算所必需的系数:

- 所需的阀门设计 - 带等百分比保持架的磅级 300 级截止阀,假定阀门尺寸为 3 英寸,该阀门的 100% 开度  $C_v$  为 121,  $F_L$  为 0.89。
- 过程流体为液态丙烷
- 工况条件

$$q = 800 \text{ gpm}$$

$$P_1 = 300 \text{ psig} = 314.7 \text{ psia}$$

$$P_2 = 275 \text{ psig} = 289.7 \text{ psia}$$

$$\Delta P = 25 \text{ psi}$$

$$T_1 = 21^\circ\text{C} (70^\circ\text{F})$$

$$\rho_1/\rho_o = 0.50$$

$$P_v = 124.3 \text{ psia}$$

$$P_c = 616.3 \text{ psia}$$

## 2. 确定公式常数, $N_1$ 和 $N_2$ 。

从公式常数表中,  $N_1 = 1.0$ ,  $N_2 = 890$ 。

## 3. 确定 $F_p$ (管道几何系数) 和 $F_{LP}$ (根据附属配件调整后的液体压力恢复系数)。

- 首先, 找到上游和下游管道尺寸相同时所需的阻力系数:

$$\begin{aligned} K_1 &= 0.5 \left( 1 - \frac{d^2}{D_1^2} \right)^2 \\ &= 0.5 \left( 1 - \frac{3^2}{7.98^2} \right)^2 \\ &= 0.37 \end{aligned}$$

和

$$\begin{aligned} K_{B1} &= 1 - \left( \frac{d}{D_1} \right)^4 \\ &= 1 - \left( \frac{3}{7.98} \right)^4 \\ &= 0.98 \end{aligned}$$

和

$$\begin{aligned} \Sigma K &= 1.5 \left( 1 - \frac{d^2}{D^2} \right)^2 \\ &= 1.5 \left( 1 - \frac{3^2}{7.98^2} \right)^2 \\ &= 1.11 \end{aligned}$$

- 现在, 计算  $F_p$ :

$$\begin{aligned} F_p &= \left[ 1 + \frac{\Sigma K}{N_2} \left( \frac{C_v}{d^2} \right)^2 \right]^{-1/2} \\ &= \left[ 1 + \frac{1.11}{890} \left( \frac{121}{3^2} \right)^2 \right]^{-1/2} \\ &= 0.90 \end{aligned}$$

- 然后, 计算  $F_{LP}$ :

$$\begin{aligned} F_{LP} &= \left[ \frac{K_1 + K_{B1}}{N_1} \left( \frac{C_v}{d^2} \right)^2 + \frac{1}{F^2} \right]^{-1/2} \\ &= \left[ \frac{0.37 + 0.98}{890} \left( \frac{121}{3^2} \right)^2 + \frac{1}{0.89^2} \right]^{-1/2} \\ &= 0.81 \end{aligned}$$

## 4. 确定用于选型计算的压降, $\Delta P_{sizing}$ 。

- 首先, 计算液体临界压力比系数:

$$\begin{aligned} F_F &= 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{P_v}{P_c}} \\ &= 0.96 - 0.28 \sqrt{\frac{124.3}{616.3}} \\ &= 0.83 \end{aligned}$$

- 阻塞流压降  $\Delta P_{choked}$  的计算公式如下:

$$\begin{aligned} \Delta P_{choked} &= \left( \frac{F_{LP}}{F_F} \right)^2 (P_1 - F_F P_v) \\ &= \left( \frac{0.81}{0.90} \right)^2 (314.7 - 0.83 \cdot 124.3) \\ &= 171 \text{ psi} \end{aligned}$$

- 由于实际压降小于阻塞流压降:

$$\begin{aligned} \Delta P_{sizing} &= \Delta P \\ &= 25 \text{ psi} \end{aligned}$$

## 5. 计算所需的 $C_v$ 值。

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{q}{N_1 F_p \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1/\rho_o}}} \\ &= \frac{800}{1.0 \cdot 0.9 \sqrt{0.5}} \\ &= 125.7 \end{aligned}$$

所需的  $C_v$  值 (125.7) 大于设定阀门的  $C_v$

值(121)。以此为例,尽管很显然下一个大口径(NPS 4(DN 100))可能就是正确的阀门口径,但情况并不总是如此,而应重复执行上述过程。

现在,假设 NPS 4(DN 100)值,  $C_v = 203$  和  $F_L = 0.91$ 。这些值是根据配有等百分比阀笼的磅级 300, NPS 4(DN 100) Fisher ES 直通阀的流量系数表确定的。

在  $F_p$  计算过程中,利用设定的  $C_v$  值 203 重新计算所需的  $C_v$

$$\begin{aligned}\Sigma K &= 1.5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2 \\ &= 1.5 \left(1 - \frac{4^2}{7.98^2}\right)^2 \\ &= 0.84\end{aligned}$$

和

$$\begin{aligned}F_p &= \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right]^{-1/2} \\ &= \left[1 + \frac{0.84}{890} \left(\frac{203}{4^2}\right)^2\right]^{-1/2} \\ &= 0.93\end{aligned}$$

和

$$\begin{aligned}C_v &= \frac{q}{N_1 F_p \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1/\rho_o}}} \\ &= \frac{800}{1.0 \cdot 0.93 \sqrt{\frac{25}{0.5}}} \\ &= 121.7\end{aligned}$$

该结果仅表明 NPS 4(DN 100) 阀门的口径大小足以满足特定工况条件。但是,也可能存在要求更精确地预测  $C_v$  值的情况。在这些情况下,所需的  $C_v$  还应根据由上所得的  $C_v$  值计算得出的新的  $F_p$  值来

再次确定。

在此例中,  $C_v = 121.7$ , 由此可得出以下结果:

$$\begin{aligned}F_p &= \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right]^{-1/2} \\ &= \left[1 + \frac{0.84}{890} \left(\frac{121.7}{4^2}\right)^2\right]^{-1/2} \\ &= 0.97\end{aligned}$$

和

$$\begin{aligned}C_v &= \frac{q}{N_1 F_p \sqrt{\frac{\Delta P_{sizing}}{\rho_1/\rho_o}}} \\ &= \frac{800}{1.0 \cdot 0.97 \sqrt{\frac{25}{0.5}}} \\ &= 116.6\end{aligned}$$

由于该新确定的  $C_v$  十分接近最初用于此重新计算过程的  $C_v$  (116.6 与 121.7), 因此阀门选型过程已结束且可得出如下结论:开度约为总行程的 75% 的 NPS 4(DN 100) 阀门完全符合相应的规范。请注意在本例中,无需更新  $F_L$  和  $F_p$  值。如果  $F_L$  值在迭代之间发生变化,则需要更新这些值,并重新计算  $C_v$ 。■

## 5.9 可压缩流体阀门选型计算

以下是用 ISA 标准化的方法对用于可压缩流体的控制阀进行口径计算的六个步骤。这些步骤中的每一步都是重要的,在阀门口径计算的任何步骤中都必须考虑。

1. 确定如下阀门口径计算必需的变量:

- 要求的阀门型式(例如带线性阀笼的平衡式直通阀);
- 过程流体(空气、天然气、蒸汽等)和

- 相应的工况条件—— $q$  或  $w$ 、 $P_1$ 、 $P_2$  或  $\Delta P$ 、 $T_1$ 、 $M$ 、 $\gamma$  和  $Z_1$  或  $\rho_1$

只有通过不同的阀门口径计算问题的实际体验,才能获得辨别以上哪些项目适用于某一特定的计算步骤的能力。如果觉得对以上任何一项很生疏或不熟悉,可参照缩写和术语表以了解其详细的定义。

## 2. 根据现有过程数据和所用单位,确定公式常数 $N_2$ 、 $N_5$ 和 $N_6$ 、 $N_8$ 或 $N_9$ 。

$N$  是每个流量公式中都含有的数值常数,用于提供一种使用不同单位制的方法。上述各个常数的值及其相应的单位如公式常数表所示。当流量以质量流量单位表示且密度  $\rho_1$  已知时,使用  $N_6$ 。如果不知道密度,而知道可压缩性,则  $N_8$  用于质量流量单位,  $N_9$  用于标准体积流量单位。

## 3. 确定 $F_p$ (管道几何系数) 和 $x_{TP}$ (根据附属配件调整后的压降比系数)。

计算时使用估计的  $C_v$  值和相应的  $x_{TP}$ 。

$F_p$  即表示因管件 (例如,异径管、弯管或三通管等) 直接连接到所选控制阀的入口和出口端接头造成的压力损失的修正系数。如果将这种管件连接到阀门上,则必须考虑这些管件。标准口径计算程序提供了一种计算同心变径和同径的  $F_p$  系数的方法。但是,如果阀门上没有连接任何管件,则  $F_p$  值为 1.0,并直接从尺寸公式中删除,  $x_{TP} = x_1$ 。计算  $F_p$  的公式请参见“液体阀门的选型”一节。

## 4. 确定用于确定尺寸、 $x_{sizing}$ 和膨胀系数 $Y$ 的压降比。

当上游和下游压力之间的差异足够高时,液体可能开始蒸发,从而导致阻塞流。如果阀门上的实际压降比  $x$  高于导致窒流的压降比,则必须使用窒流压降比  $x_{choked}$  代替实际压降。如果发生了阻塞流,则膨胀系数将等于 2/3。

## 5. 计算 $C_v$ 。

如果该  $C_v$  值与步骤 3 中使用的估计值不相近,则使用新的  $C_v$  值和产品信息中相应的  $x_T$  值进行迭代。

### 5.9.1 确定管道几何系数 ( $F_p$ ) 和带附件窒流时的压降比系数 ( $x_{TP}$ )

计算可压缩流尺寸的  $F_p$  值的方法与计算液体口径的方法相同。有关  $F_p$  和相关阻力系数的计算公式,请参阅“液体口径”部分。

$x_{TP}$  通过下式计算,使用与所选阀  $C_v$  相对应的  $x_T$  值:

$$x_{TP} = \frac{x_T}{F_p^2} \frac{1}{1 + \frac{x_T(K_1 + K_{B1})}{N_5} \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2}$$

### 5.9.2 确定用于选型的压降比 ( $x_{sizing}$ ) 和膨胀系数 ( $Y$ )

首先,确定比热容比系数  $F_\gamma$ :

$$F_\gamma = \frac{\gamma}{1.4}$$

然后,确定阻塞流压降比:

$$x_{choked} = F_\gamma \cdot x_{TP}$$

因此,计算所需流量系数  $x_{sizing}$  时使用的压降比是实际系统压降  $x$  与淤塞压降  $x_{choked}$  的较小值。

膨胀系数是通过  $x_{sizing}$  和  $x_{choked}$  计算得出的:

$$Y = 1 - \frac{x_{sizing}}{3 \cdot x_{choked}}$$

### 5.9.3 计算流量系数 ( $C_v$ )

根据过程数据的形式,可以使用以下三个公式中的一个来计算  $C_v$ 。

- 对于质量流量和密度:

$$C_v = \frac{w}{N_6 F_p Y \sqrt{x_{sizing} P_1 \rho_1}}$$

- 对于质量流量和可压缩性:

$$C_v = \frac{w}{N_8 F_p P_1 Y} \sqrt{\frac{T_1 Z_1}{x_{sizing} M}}$$

- 对于标准体积流量和可压缩性:

$$C_v = \frac{q}{N_9 F_p P_1 Y} \sqrt{\frac{M T_1 Z_1}{x_{sizing}}}$$

### 5.9.4 可压缩流体选型计算例题 1

确定在下列工况条件下工作的 Fisher V250 型球阀的口径和开度。假定阀门与管道的口径相同。

1. 指明阀门口径计算的必需的变量:

- 要求的阀门型式: Fisher V250 阀门
- 过程流体: 天然气
- 工况条件:

$$P_1 = 200 \text{ psig} = 214.7 \text{ psia}$$

$$P_2 = 50 \text{ psig} = 64.7 \text{ psia}$$

$$\Delta P = 150 \text{ psi}$$

$$x = \Delta P / P_1 = 150 / 214.7 = 0.70$$

$$T_1 = 60^\circ\text{F} = 520^\circ\text{R}$$

$$M = 17.38$$

$$Z_1 = 1$$

$$Y = 1.31$$

$$q = 6.0 \times 10^6 \text{ scfh}$$

2. 确定公式常数,  $N_2$ 、 $N_5$  和  $N_6$ 、 $N_8$  或  $N_9$ 。

对于这些单位, 根据公式常数表,  $N_2 = 890$ ,  $N_5 = 1000$ 。对于以 scfh 为单位的标准容积流量和可压缩性条件, 使用  $N_9 = 7320$

3. 确定  $F_p$  (管道几何系数) 和  $x_{TP}$  (根据附

属配件调整后的压降比系数)。

由于阀门属于管线等径且没有连接管件, 因此  $F_p = 1$  且  $x_{TP} = x_{T0}$ 。对于处于 100% 行程的 NPS 8 (DN 200) V250 阀门,  $x_T = 0.14$ 。

4. 确定用于确定尺寸、 $x_{sizing}$  和膨胀系数  $Y$  的压降比。

首先, 计算比热容比系数  $F_Y$ :

$$\begin{aligned} F_Y &= \frac{\gamma}{1.4} \\ &= \frac{1.31}{1.4} \\ &= 0.94 \end{aligned}$$

然后, 使用此值确定阻塞流压降比:

$$\begin{aligned} x_{choked} &= F_Y x_{TP} \\ &= 0.94 \cdot 0.14 \\ &= 0.131 \end{aligned}$$

由于阻塞流压降比小于实际压降比, 因此:

$$x_{sizing} = x_{choked} = 0.131$$

膨胀系数  $Y$  等于:

$$Y = 1 - \frac{x_{sizing}}{3x_{choked}} = 0.667$$

5. 计算  $C_v$ 。

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{q}{N_9 F_p P_1 Y} \sqrt{\frac{M T_1 Z_1}{x_{sizing}}} \\ &= \frac{6.0 \times 10^6}{7320 \cdot 1.0 \cdot 214.7 \cdot 0.667} \sqrt{\frac{17.38 \cdot 520 \cdot 1.0}{0.131}} \\ &= 1504 \end{aligned}$$

该结果表明阀门的口径可满足通过流量 (额定  $C_v = 2190$ )。要确定阀门开度百分比, 请注意所选阀门的所需  $C_v$  约为 83 度。还要注意的, 在开度为 83 度时,  $x_T$

值为 0.219, 与问题中最初使用的额定值 0.137 有很大不同。下一步是使用 83 度行程的  $x_T$  值重新计算问题。

重新计算  $x_{choked}$ :

$$\begin{aligned} x_{choked} &= F_Y x_{TP} \\ &= 0.94 \cdot 0.219 \\ &= 0.205 \end{aligned}$$

由于仍然处于阻塞流, 因此现在所需的  $C_v$  为:

$$\begin{aligned} C_v &= \frac{q}{N_9 F_p P_1 Y} \sqrt{\frac{M T_1 Z_1}{x_{sizing}}} \\ &= \frac{6.0 \times 10^6}{7320 \cdot 1.0 \cdot 214.7 \cdot 0.667} \sqrt{\frac{17.38 \cdot 520 \cdot 1.0}{0.219}} \\ &= 1203 \end{aligned}$$

所需  $C_v$  如此显著下降的原因完全在于额定行程和 83 度行程的  $x_T$  值不同。

继续这个过程, 直到获得最终所需的  $C_v$ , 结果是在大约 74 度行程时  $C_v = 923$ ,  $x_T = 0.372$ 。

### 5.9.5 可压缩流体选型计算例题 2

假定蒸汽被供应给在 250 psig (17.2 bar) 压力下操作的过程流程。蒸汽源保持在 500 psig (34.5 bar) 和 260°C (500°F)。计划从主蒸汽连接一根 NPS 6 (DN 150) 的标准壁厚管道到过程流程。同时, 假定所需阀门的口径小于 NPS 6 (DN 150), 它将使用同心变径来安装。确定相应的带线性阀笼的 Fisher ED 阀门的口径。

1. 指明阀门口径计算的必需的变量:

- 要求的阀门型式: 带线性阀笼的磅级 300 Fisher ED 阀门。假定阀门口径为 NPS 4 (DN 100)。
- 过程流体: 过热蒸汽
- 6 英寸标准壁厚管道的

$D = 6.1$  英寸

■ 工况条件:

$w = 125,000$  lb/h

$P_1 = 500$  psig = 514.7 psia

$P_2 = 250$  psig = 264.7 psia

$\Delta P = 250$  psi

$x = \Delta P / P_1 = 250 / 514.7 = 0.49$

$T_1 = 260^\circ\text{C}$  (500°F)

$\rho_1 = 1.042$  lbm/ft<sup>3</sup>

$Y = 1.33$

■ 首先尝试计算处于 100% 行程的、带线性阀内件的 NPS 4 (DN 100) ED 型阀门:

$C_v = 236$

$x_T = 0.690$

2. 确定公式常数,  $N_2$ 、 $N_5$  和  $N_6$ 、 $N_8$  或  $N_9$ 。

对于这些单位, 根据公式常数表,  $N_2 = 890$ ,  $N_5 = 1000$ 。对于以质量流量 (lb/hr) 和密度 (lbm/ft<sup>3</sup>) 表示的条件, 使用  $N_6 = 63.3$ 。

3. 确定  $F_p$  (管道几何系数) 和  $x_{TP}$  (根据附属配件调整后的压降比系数)。

由于上游管道和下游管道的尺寸相同, 因此所需的阻力系数是:

$$\begin{aligned} K_1 &= 0.5 \left( 1 - \frac{d^2}{D_1^2} \right)^2 \\ &= 0.5 \left( 1 - \frac{4^2}{6.1^2} \right)^2 \\ &= 0.16 \end{aligned}$$

$$K_{B1} = 1 - \left( \frac{d}{D_1} \right)^4$$



$$= 1 - \left(\frac{4}{6.1}\right)^4$$

$$= 0.82$$

和

$$\Sigma K = 1.5 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right)^2$$

$$= 1.5 \left(1 - \frac{4^2}{6.1^2}\right)^2$$

$$= 0.49$$

现在, 计算  $F_p$ :

$$F_p = \left[1 + \frac{\Sigma K}{N_2} \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$

$$= \left[1 + \frac{0.49}{890} \left(\frac{236}{4^2}\right)^2\right]^{-1/2}$$

$$= 0.945$$

最后, 计算  $x_{TP}$ :

$$x_{TP} = \frac{\frac{x_T}{F_p^2}}{1 + \frac{x_T(K_1 + K_{B1})}{N_5} \left(\frac{C_v}{d^2}\right)^2}$$

$$= \frac{\frac{0.69}{0.945^2}}{1 + \frac{0.69(0.16 + 0.82)}{1000} \left(\frac{236}{4^2}\right)^2}$$

$$= 0.67$$

#### 4. 确定用于确定尺寸、 $x_{sizing}$ 和膨胀系数 $Y$ 的压降比。

首先, 计算比热容比系数  $F$ :

$$F_\gamma = \frac{\gamma}{1.4}$$

$$= \frac{1.33}{1.4}$$

$$= 0.95$$

然后, 使用此值确定阻塞流压降比:

$$x_{choked} = F_\gamma x_{TP}$$

$$= 0.95 \cdot 0.67$$

$$= 0.64$$

由于阻塞流压降比大于实际压降比, 因此:

$$x_{sizing} = x = 0.49$$

膨胀系数  $Y$  等于:

$$Y = 1 - \frac{x_{sizing}}{3x_{choked}} = 0.75$$

#### 5. 计算 $C_v$

$$C_v = \frac{w}{N_6 F_p Y \sqrt{x_{sizing} P_1 \rho_1}}$$

$$= \frac{125,000}{63.3 \cdot 0.945 \cdot 0.75 \sqrt{0.49 \cdot 514.7 \cdot 1.042}}$$

$$= 173$$

使用产品目录中的  $x_T$  值进行迭代, 得出所需的  $C_v = 169$  和  $x_T = 0.754$ 。这会导致阀门处于 66% 开度, 因此带有线性阀内件的 NPS 4 (DN 100) ED 型阀门在流通能力方面可满足需求。下一个口径较小的带线性阀芯的 ED 阀门的额定  $C_v$  值仅为 148, 因此不适合这种情况。■

## 5.10 选型计算系数示例

### 5.10.1 单阀座直通阀阀体的选型计算系数示例

阀门口径 (NPS)	阀芯型式	流量特性	阀口直径 (英寸)	额定行程 (英寸)	$C_v$	$F_L$	$X_T$	$F_D$
1/2	后导向	等百分比	0.38	0.50	2.41	0.90	0.54	0.61
3/4	后导向	等百分比	0.56	0.50	5.92	0.84	0.61	0.61
1	Micro-Form	等百分比	3/8	3/4	3.07	0.89	0.66	0.72
	---	---	1/2	3/4	4.91	0.93	0.80	0.67
	---	---	3/4	3/4	8.84	0.97	0.92	0.62
	阀笼导向	线性	1-5/16	3/4	20.6	0.84	0.64	0.34
1-1/2	Micro-Form	等百分比	3/8	3/4	3.20	0.84	0.65	0.72
	---	---	1/2	3/4	5.18	0.91	0.71	0.67
	---	---	3/4	3/4	10.2	0.92	0.80	0.62
	阀笼导向	线性	1-7/8	3/4	39.2	0.82	0.66	0.34
2	阀笼导向	线性	2-5/16	1-1/8	72.9	0.77	0.64	0.33
		等百分比	2-5/16	1-1/8	59.7	0.85	0.69	0.31
3	阀笼导向	线性 等百分比	3-7/16	1-1/2	148 136	0.82 0.82	0.62 0.68	0.30 0.32
4	阀笼导向	线性	4-3/8	2	236	0.82	0.69	0.28
		等百分比			224	0.82	0.72	0.28
6	阀笼导向	线性	7	2	433	0.84	0.74	0.28
		等百分比			394	0.85	0.78	0.26
8	阀笼导向	线性	8	3	846	0.87	0.81	0.31
		等百分比			818	0.86	0.81	0.26

## 5.10.2 旋转阀的选型计算系数示例

阀门口径 (NPS)	阀门型式	阀门开度 (角度)	$C_v$	$F_L$	$X_T$	$F_D$
1	V形切口球阀	60	15.6	0.86	0.53	---
		90	34.0	0.86	0.42	---
1-1/2	V形切口球阀	60	28.5	0.85	0.50	---
		90	77.3	0.74	0.27	---
2	V形切口球阀	60	59.2	0.81	0.53	---
		90	132	0.77	0.41	---
	高性能蝶阀	60	58.9	0.76	0.50	0.49
		90	80.2	0.71	0.44	0.70
3	V形切口球阀	60	120	0.80	0.50	0.92
		90	321	0.74	0.30	0.99
	高性能蝶阀	60	115	0.81	0.46	0.49
		90	237	0.64	0.28	0.70
4	V形切口球阀	60	195	0.80	0.52	0.92
		90	596	0.62	0.22	0.99
	高性能蝶阀	60	270	0.69	0.32	0.49
		90	499	0.53	0.19	0.70
6	V形切口球阀	60	340	0.80	0.52	0.91
		90	1100	0.58	0.20	0.99
	高性能蝶阀	60	664	0.66	0.33	0.49
		90	1260	0.55	0.20	0.70
8	V形切口球阀	60	518	0.82	0.54	0.91
		90	1820	0.54	0.18	0.99
	高性能蝶阀	60	1160	0.66	0.31	0.49
		90	2180	0.48	0.19	0.70
10	V形切口球阀	60	1000	0.80	0.47	0.91
		90	3000	0.56	0.19	0.99
	高性能蝶阀	60	1670	0.66	0.38	0.49
		90	3600	0.48	0.17	0.70
12	V形切口球阀	60	1530	0.78	0.49	0.92
		90	3980	0.63	0.25	0.99
	高性能蝶阀	60	2500	---	---	0.49
		90	5400	---	---	0.70
16	V形切口球阀	60	2380	0.80	0.45	0.92
		90	8270	0.37	0.13	1.00
	高性能蝶阀	60	3870	0.69	0.40	---
		90	8600	0.52	0.23	---

## 5.11 执行机构选型计算

执行机构的选型是通过保证驱动阀门所需的力与能够提供这样一个力的执行机构相匹配来进行的。对于旋转阀,一个类似的过程就是保证驱动阀门所需的力矩与提供这样一个力矩的执行机构相匹配。相同的基本过程可用于气动、电动或电动液压执行机构的选型。

### 5.11.1 直通阀

操作直通阀所需的力包括:

- 克服阀芯的静态不平衡需要的力
- 提供阀座负载的力
- 克服填料摩擦需要的力
- 某些应用或结构所需的附加力

需要的全部力 = A + B + C + D

#### 5.11.1.1 不平衡力(A)

不平衡力是阀门关闭时由流体压力引起的力,在通常情况下可表示为:

不平衡力 = 净压差 × 净态不平衡面积

通常的做法是把最大上游表压作为净压差,除非过程流程设计永远确保在最大进口压力时有一个背压。净态不平衡面积是流向向上的单座阀的阀口面积。取决于阀杆的形式,不平衡面积可能不得不考虑阀杆的面积。对于平衡式阀门,仍然存在一个小的不平衡面积。这个数据可以从制造商那里获得。不平衡式阀门向上流动和平衡式阀门向下流动配置的典型阀口面积列出如下。

阀口直径	单座不平衡式阀门的不平衡面积	平衡式阀门的不平衡面积
1/4	0.028	---
3/8	0.110	---
1/2	0.196	---
3/4	0.441	---
1	0.785	---
1-5/16	1.35	0.04
1-7/8	2.76	0.062
2-5/16	4.20	0.27
3-7/16	9.28	0.118
4-3/8	15.03	0.154
7	38.48	0.81
8	50.24	0.86

图 5.2 控制阀的典型的的不平衡面积

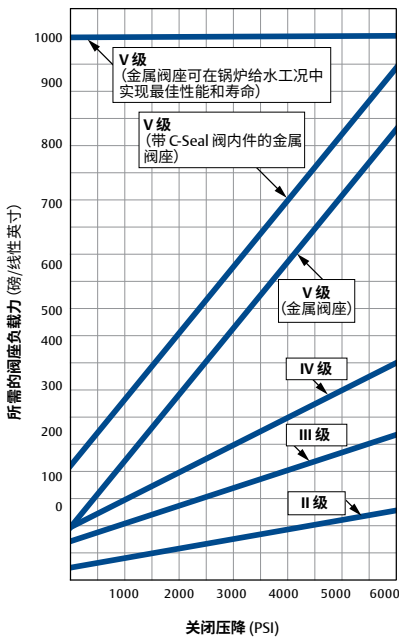


图 5.3 在 II-V 级金属阀座阀门上提高阀座寿命所需的最小阀座负载

70-2 和 IEC 60534-4 泄漏等级 II 至 VI 的工厂质检试验所需的阀座负载。建议的阀座负载见图 5.3 和 5.4。

因为工况条件的恶劣程度有差别，所以不要把这些泄漏等级及相应的泄漏量作为现场性能的指标。为了延长阀座的寿命和关闭能力，可以使用一个比推荐值大的阀座关闭力。关于建议的阀座关闭力可参考图 5-3。如果紧密关闭不是主要的考虑因素，可使用较低的泄漏等级。

### 5.11.1.3 填料摩擦力 (C)

填料摩擦力的大小是由阀杆尺寸、填料形式以及由介质或螺栓作用在填料上的压缩载荷决定的。

在摩擦特性上，填料摩擦力不是 100% 可重复的。活动加载填料型式有很大的摩擦力，尤其是使用石墨填料时。典型的填料摩擦阀门见图 5.5。

### 5.11.1.4 附加力 (D)

在驱动阀门时也许需要附加的力，如：波纹管刚度、密封导致的异常摩擦力、或软金属密封需要的特殊密封力。制造商应该提供这方面的信息或在计算执行机构口径时考虑这些因素。

泄漏等级	建议阀座负载
I 级	根据用户规范要求，无需工厂泄漏测试
II 级	每线性英寸的阀口长度受重 20 磅
III 级	每线性英寸的阀口长度受重 40 磅
IV 级	仅标准 (下) 阀座——每线性英寸的阀口长度受重 40 磅 (阀口直径小于 4-3/8 英寸) 仅标准 (下) 阀座——每线性英寸的阀口长度受重 80 磅 (阀口直径大于 4-3/8 英寸)
V 级	金属阀座——根据图 5.2 确定每线性英寸受重多少磅
VI 级	金属阀座——每线性英寸的阀口长度受重 300 磅

图 5.4 建议阀座负载

### 5.11.1.2 提供阀座关闭需要的力 (B)

阀座关闭力，通常表示为每线性英寸阀口周长的磅力，由关闭等级要求确定。使用下面的指导来确定满足针对 ANSI/FCI

阀杆尺寸(英寸)	等级	PTFE 填料		石墨带/石墨丝
		单填料	双层	
5/16	全部	20	30	---
3/8	125	38	56	---
	150			125
	250			---
	300			190
	600			250
	900			320
	1500			380
1/2	125	50	75	---
	150			180
	250			---
	300			230
	600			320
	900			410
	1500			500
	2500			590
5/8	125	63	95	---
	150			218
	250			---
	300			290
	600			400
3/4	125	75	112.5	---
	150			350
	250			---
	300			440
	600			660
	900			880
	1500			1100
	2500			1320
	1			300
600		850		
900		1060		
1500		1300		
2500		1540		
1-1/4	300	120	180	800
	600			1100
	900			1400
	1500			1700
	2500			2040
2	300	200	300	1225
	600			1725
	900			2250
	1500			2750
	2500			3245

注:所示值为采用标准填料法兰螺栓旋紧步骤时通常会遇到的摩擦力。

图 5.5 典型填料摩擦力的值

### 5.11.2 执行机构出力计算

在气关阀里,气动薄膜执行机构在压缩弹簧后会利用附加空气压力提供一个净力;而在气开阀里,气动薄膜执行机构会利用弹簧的预紧力来提供一个净力。压差计量单位为磅/平方英寸。

例如:假定需要 275 磅力以关闭根据前面介绍的过程计算得出的阀门。一个可以得到的选择是用一个膜片面积为 100 平方英寸、以及弹簧设定范围为 6-15 psig 的气开式执行机构。预期的操作范围为 3-15 psig。用弹簧设定范围低限 (6 psig) 与操作范围的起始值 (3 psig) 之间的差值可计算预紧力。这个 3 psig 就是用来克服预紧力的,所以净压缩力应为:

$$3 \text{ psig} \times 100 \text{ sq. in.} = 300 \text{ lbf}$$

这个力超过所需的力,是一个已足够大的选择。

带弹簧的活塞式执行机构可用同样的方式计算。不带弹簧的气缸式执行机构的推力可简单计算如下:

(活塞面积) × (最小供气气压) = 可获得的推力

(注意保持单位的一致性)

在某些情况下,执行机构可能会提供太大的力而使阀杆失稳、弯曲以致造成泄漏、或损坏阀门内部零件。由于执行机构太大或最大的气压输入超过可获得的最小气压时,会出现上述情况。

制造商通常会负责进行执行机构的尺寸计算,并应有已经记录下来方法以核对最大阀杆载荷。

制造商也发表有关执行机构推力、膜片有效面积和弹簧的数据。■

## 5.12 旋转阀的执行机构选型

在为旋转阀选择一个最经济的执行机构时,其决定因素是打开和关闭阀门需要的力矩与执行机构的输出力矩。

这个方法假设阀门已经针对应用工况进行了正确计算,且应用工况不超过阀门的压力极限。

### 5.12.1 力矩公式

旋转阀的力矩等于一系列的力矩分量之和。为了避免混淆,一部分分量已被合并起来,一部分计算已经事先进行。这样,每种阀门需要的力矩可用两个简单而实用的公式来表示:

### 5.12.2 开启力矩

$$T_B = A(\Delta P_{\text{shutoff}}) + B$$

### 5.12.3 动态力矩

$$T_D = C(\Delta P_{\text{eff}})$$

针对每种阀门型式的特定的系数 A、B 和 C 包括下面的表格里。■

## 5.13 典型的旋转阀的力矩系数

### 5.13.1 带复合密封的V形切口球阀的力矩系数

阀门口径 (NPS)	阀轴直径 (英寸)	A	B	C		最大 $T_D$ , LBF·IN。
		复合轴承		60°	70°	
2	1/2	0.15	80	0.11	0.60	515
3	3/4	0.10	280	0.15	3.80	2120
4	3/4	0.10	380	1.10	18.0	2120
6	1	1.80	500	1.10	36.0	4140
8	1-1/4	1.80	750	3.80	60.0	9820
10	1-1/4	1.80	1250	3.80	125	9820
12	1-1/2	4.00	3000	11.0	143	12,000
14	1-3/4	42	2400	75	413	23,525
16	2	60	2800	105	578	23,525
18	2-1/8	60	2800	105	578	55,762
20	2-1/2	97	5200	190	1044	55,762

### 5.13.2 带复合密封的高性能蝶阀的力矩系数

阀门口径 (NPS)	阀轴直径 (英寸)	A	B	C			最大力矩, (英寸-磅)	
				60°	75°	90°	开启力矩 $T_B$	动态力矩 $T_D$
3	1/2	0.50	136	0.8	1.8	8	280	515
4	5/8	0.91	217	3.1	4.7	25	476	1225
6	3/4	1.97	403	30	24	70	965	2120
8	1	4.2	665	65	47	165	1860	4140
10	1-1/4	7.3	1012	125	90	310	3095	9820
12	1-1/2	11.4	1422	216	140	580	4670	12,000

#### 5.13.2.1 最大转角

最大转角定义为阀门在全开位置时阀板或球的角度。

通常情况下,最大转角为 90°。球或阀板从全关到全开位置转动 90°。

某些气动弹簧复位气缸执行机构或气动弹簧膜片式执行机构限制于 60° 或 75° 的转角。

对于气动弹簧薄膜执行机构,限定最大转角将允许较高的初始弹簧压缩量,从

而引起更大的执行机构开启力矩。另外,每个执行机构杠杆的有效长度会随着阀门的转动而改变。公布的力矩,尤其是对于气动活塞式执行机构,反映了这一变化的杠杆长度。■

## 5.14 气蚀和闪蒸

### 5.14.1 阻塞流引起闪蒸和气蚀

IEC 液体工况口径计算的是阻塞流压降  $\Delta P_{\text{choked}}$ 。如果根据系统条件  $P_1$  和  $P_2$  确定



的流经阀门后的实际压降大于  $\Delta P_{\text{choked}}$ ，则可能发生闪蒸或气蚀。也会引起对于阀门或相邻管道的结构上的损坏。对阀门内部实际发生的现象的了解会有助于选择一个能够消除或减少气蚀和闪蒸的阀门。

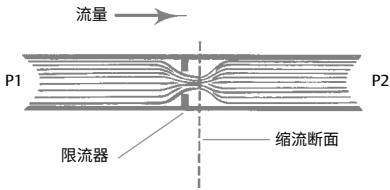


图 5.6 缩流断面示意图

用物理现象名词来描述闪蒸和气蚀，因为这些情况代表流体介质在形式上的实际变化。这种变化是从液态变为气态，是由于在通常是阀座口的最大流道半径处或其下游的流体速度的增加而引起的。随着液体通过缩径，流束会变细或收缩。流束的最小横断面出现在实际缩径的下游称为缩流断面的点处，如图 5.6 所示。为维持流体稳定地流过阀门，在截面最小的缩流断面处，流速必须是最大的。流速（或动能）的增加伴随着缩流断面处压力（或势能）的大幅降低。再往下游，随着流束扩展进入更大的区域，速度下降，压力增加；但下游压力不会完全恢复到与阀门上游相等的压力，阀门上存在的压差（ $\Delta P$ ）是阀门耗散能量的量度。图 5.7 提供了一幅压力情形图，解释了由于较大的内部紊流和能量消耗，一个流线型高压力恢复阀（如球阀）与一个低压力恢复阀门的不同性能。

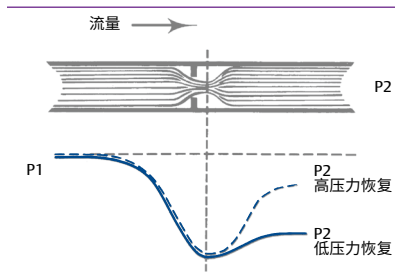


图 5.7 高和低恢复阀门的压力情况比较

不管阀门的恢复特性如何，引人注意的与闪蒸和气蚀有关的压差就是阀门进口与缩流断面之间的压差。如果缩流断面处的压力降到液体的蒸汽压力以下（由于该点处速度增加），气泡就会在流束中形成。随着缩流断面处的压力进一步降到液体的蒸汽压力以下，气泡会大量地形成。在此阶段，闪蒸和气蚀之间没有差别，但是对阀门结构损坏的可能性肯定存在。

如果阀门出口的压力仍低于液体的蒸汽压力，气泡将保持在阀门的下游，我们就说过程发生了“闪蒸”。闪蒸对阀门的阀芯会产生严重的冲刷破坏，其特点是受冲刷表面有平滑抛光的外形，如图 5.8 所示。闪蒸最严重的地方一般是在流速最高处，通常位于阀芯和阀座环的接触线上或附近。



图 5.8 闪蒸破坏的典型外形

另一方面,如果下游压力恢复足以使得阀门出口压力提高到高于液体的蒸汽压力,气泡会破裂或向内爆炸,从而产生气蚀。蒸汽气泡破裂释放出能量,并产生一种类似于我们可以想象的砂石流过阀门的噪音。如果气泡在接近阀门内固体表面处破裂,释放的能量会慢慢地撕裂材料,留下一个如图 5.9 所示的类似于煤渣的粗糙表面。气蚀造成的损坏可延伸至邻近的下游管道,前提是在该处仍存在压力恢复和气泡破裂现象。很明显,高恢复阀门比较容易发生气蚀,因为它的缩流断面压力更有可能升至液体蒸汽压力之上。

### 5.14.2 闪蒸工况阀门选型

如图 5.8 所示,闪蒸破坏的特点是受冲刷表面有平滑抛光的外形。回顾一下,发生闪蒸的原因是  $P_2$  小于  $P_v$ 。 $P_2$  是阀门下游的压力,是下游过程和管道的函数。 $P_v$  是流体和工作温度的函数。

因此,定义闪蒸的变量不是由阀门直接控制的。这进一步意味着,对任何阀门来说都无法防止闪蒸。闪蒸不能靠阀门来避免,最好的办法是选择采用合适的几何形状和材料的阀门来避免或尽量减小破坏。

总之,冲刷可以通过下述方法减到最小:

- 防止或减少颗粒(此处指液滴)冲击阀门表面
- 将这些表面尽可能硬化
- 降低冲刷性流体的速度

选择流体方向改变尽可能少的阀门可以使颗粒冲击数量减到最小。直行程角形阀是提供这种流道的传统解决方案。一些旋转阀,如偏心旋转球塞阀和部分球阀也提供直通式流道。在调节点的下游带有扩展式流通区域的阀门也是有帮助的,因为冲刷速度会减小。对于那些流体肯定会冲击阀内表面的区域,如阀座表面,选择尽可能硬的材料。通常来说,材料越硬,它能抵抗冲刷越久。

既有闪蒸又有腐蚀性的液体是特别麻烦的事。钢质阀门中的闪蒸水是一个同时有腐蚀和冲刷共同作用的例子。水会引起钢材的腐蚀,而闪蒸会引起由腐蚀产生的软性氧化层的冲刷;这种综合作用比两种机理单独产生的破坏还大。在这种情况下,解决方案是至少选择一种低合金钢以防止腐蚀。

### 5.14.3 气蚀工况阀门选型

气蚀破坏的特点是受冲刷表面有粗糙的煤渣状的外形,如图 5.9 所示。它明显不同于由闪蒸冲刷引起的平滑抛光外形。

上一节介绍了当缩流断面处的压力小于  $P_v$  且  $P_2$  大于  $P_v$  时如何发生气蚀现象。气蚀可以通过几种方法来处理。



图 5.9 气蚀破坏的典型外形

第一种方法是通过控制压降来消除气蚀从而防止破坏。如果通过阀门的压降经过控制而使得局部压力不会低于蒸汽压力,那么蒸汽气泡就不会形成,没有蒸汽气泡的破裂,也就不会产生气蚀。为了消除气蚀,可使用多级降压内件,把通过阀门的压降分成数个较小的压降,每一个较小压降都确保其缩流断面处的压力大于蒸汽压力,因此没有蒸汽气泡会形成。

第二种方法不是消除气蚀,而是像闪蒸的解决方法一样尽可能减小或隔离其破坏。这种方法的目标是把气蚀与阀内表面隔离开来,并硬化那些会受到气蚀冲击的表面。

第三种方法是以某种方式改变过程系统以防止气蚀产生的原因。如果  $P_2$  升高到足以使缩流断面压力不低于蒸汽压力,即阀门不再阻塞,就可以避免气蚀。可以通过将阀门移至下游侧静止头更多的位置来提高  $P_2$ 。使用限流孔板或类似的背压装置也可以提高阀门处的  $P_2$ ;缺点是气蚀有可能从阀门转移到孔板上。■

## 5.15 噪音预测

### 5.15.1 空气动力学噪声

工业领导者们都使用国际电工委员会标准:IEC 60534-8-3:工业工艺控制阀——第 8 部分:关于噪音的考虑——第 3 节:控制阀空气动力学噪音预

测方法。这种方法由热动力学与空气动力学的综合理论以及一些先验信息组成。只要根据阀门的可测量的几何形状和作用于阀门的工况条件,这种方法就可以对阀门进行噪音预测。该标准还允许阀门供应商在框架内使用实验室测量的经验数据来提供更准确的预测。因为这是一种对阀门噪音预测的纯粹的分析方式,IEC 方法允许客观地评价其它噪音预测方法。

该方法描述了两种不同的噪音源,这些噪音源可能导致阀门产生的整体噪音:阀内件噪音和阀门出口噪音。阀内件噪音取决于阀内件类型及其几何特征。阀门出口噪音取决于阀门出口面积,阀门出口马赫数和阀门下游的任何扩展器。

该方法中,噪音预测分为五个基本步骤:在适用的情况下,需要对阀内件和阀门出口噪音源完成这些步骤,并将其组合成总阀门噪音水平。

#### 1. 计算缩流断面处过程里的总流束功率。

我们所考虑的噪音是由阀门在缩流断面处及其下游产生的。如果由于缩流断面节流而损耗的总功率能够计算出来,那么余下的小部分,也就是噪音功率就能够确定。由于功率是能量对时间的比率,因此就可以使用一个类似于计算动能的公式。动能公式为  $1/2 mv^2$ ,其中  $m$  是质量,  $v$  是速度。如果将质量用质量流量来替代,那么公式计算的就是功率。速度就是缩流断面处的速度,且可以用热力学第一定律的能量公式来计算。

#### 2. 确定总功率中的声音功率。

该方法考虑作用于阀门的过程条件以确定阀门里特定的噪音产生机理。根据缩流断面处压力和下游压力的关系,定义了五种情况。对每种情况,都定义和计算了声效。该标准还允许实验室测量的声

学效率取代分析估计。这种声效决定了在第1步中计算出的总流束功率中的一小部分,即噪音功率。在设计一个静音阀门时,较低的声效是其中的目标之一。

### 3. 将声音功率转换成声压。

IEC 预测噪音方法的最终目的是确定阀门以外,人们听觉会触及的某一参考点处的声压等级。第2步提供的声音功率是不可以直接测量的。而声压是可以测量的,因此在大多数情况下成为默认的噪音表示方法。从声音功率到声压的转化使用了基本的声学理论。

为了提高噪音预测的准确度,该标准采用频谱计算。声压谱定义了可听范围内每个频率存在多少噪音。该频谱的形状可以根据阀门几何形状、流体工况和标准中给出的理想特征频谱来确定。该标准还允许使用实验室测量的特征频谱。

### 4. 考虑管道壁的传递损失并重新计算管道周围的声压谱。

第1至3步涉及到管道内噪音产生的过程。有时候这是我们需要考虑的点,但是管道外面的噪音等级是我们的主要考虑因素。

这一方法必须考虑到随着参考位置从管道内部移到管道的外部时噪音的变化。管道壁由于其材料、尺寸和形状而有不同的物理特性,它们决定了声音通过管道传输的程度。管道内流体产生的噪音会与内管壁互相作用,引起管壁振动。这种振动会通过管壁传输到管道外壁,管道外壁然后与空气相互作用而产生声波。噪音传输的这三个步骤取决于声效。该方法也确定作为频率的一个函数的管道传输损失。该方法然后比较管道内部噪音频谱和传输损失频谱,以确定管壁会减少多少外部声压谱。

### 5. 考虑距离,并计算在观察者处的声压。

第4步提供管道外表处的外部声压等

级。基本声学原理可再次用来计算观察者处的声压等级。在任何给定的情况下,声音功率是恒定的,但相关的声压等级会随着声音功率扩散的面积而变化。当观察者离管壁越远,声音功率传输的总面积也会增加。这将导致声压等级的降低。

## 5.15.2 液体动力学噪声

值得注意的流体动力噪音通常与气蚀有关。对这种声音的传统描述是石子在管道内流动。把液体动力噪音与气蚀联系起来可以在今天的各种各样的噪音预测方法里找到。这些方法考虑流体在非阻塞流情况下噪音的特点以及在阻塞气流情况下噪音的特点。

有很多流体是两相混合物的情况。

这些情况包括阀门入口处的气液两相流体、闪蒸流体以及由于节流作用而展示出气化的流体。对于这些情况的噪音预测方法还没有完整地建立。试验结果和对已安装的多相系统的现场调查表明,这些噪音等级对整个工厂的噪音等级并无贡献,或者没有超过工人所处环境的噪音限制。■



图 5.10 降低流体动力噪音的阀内件设计



图 5.11 阀门和在线扩散器组合

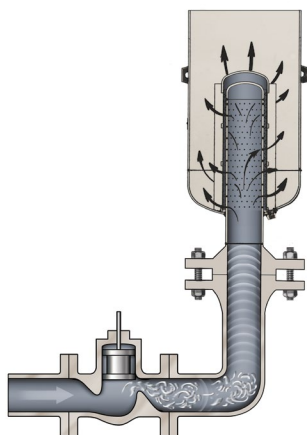


图 5.12 阀门和排空扩散器组合

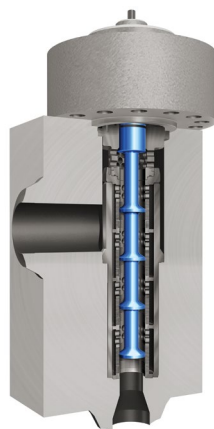


图 5.13 消除气蚀的特殊阀门型式

## 5.16 噪声控制

在闭环系统(不向大气排空)中,任何在过程中产生的噪音只有通过阀门以及包含流体的连接管道传入大气中才能成为环境噪音。流束中的声场强迫这些固体界面振动。这些振动在周围大气里产生扰动,扰动以声波的形态传播。

噪音的控制可以利用声源处理法、或途径处理法,或两者并用。声源处理法在于防止或减低噪音,如果经济和技术上可行,是最好的方法。

推荐的阀笼式声源处理法表示在图 5.10 中。较上面的视图表示一个开有许多平行窄槽的阀笼,用以减少紊流并在扩展

的面积上提供一个满意的速度分布。这种经济的获得静音阀门设计的方法可减少 15-20 dBA 的噪音,而阀门的流通能力稍有或没有减小。

图 5.10 的较下面的视图表示一个两级笼式阀内件,为在高压降比( $\Delta P/P_1$ )场合最大限度地降噪而设计。

为了获得预期的效果,节流孔必须进行尺寸计算并分布在主阀笼壁上,使得由射流交互作用产生的噪音不会大于由单个射流产生的噪音之和。

这种内件型式可以减小阀门噪音 30 dBA。最终设计采用了多种降噪策略的组合,将阀门噪音降低了多达 40 dBA。这些策略是:

- 独特的流道外形减少了由阀门产生的总流束功率向噪音功率的转换。
- 多级减压分散了级与级之间的流束功率,从而进一步降低声音转换的效率。
- 通过加强管道传输损失,声音频谱转移减小了听觉范围内的声音能量。
- 保持喷出射流的独立性,以避免由于射流合并而再次产生噪音。
- 流速控制是通过采用扩展的流通面积以容纳膨胀的气体来实现的。
- 作为补充的阀体设计防止流体在阀体内壁上冲撞,从而消除了两次噪音源。

对于在高压比( $\Delta P/P_1 > 0.8$ )下工作的控制阀应用,串环节流方法(将控制阀和阀门下游的固定节流阀(扩散器)之间的总压降分开)可以有效地将噪音降至最低。为了最好地发挥扩散器的效果,必须针对每一种给定的工况对扩散器进行设计(特定的尺寸和形状),使得阀门和扩散器产生的噪音值相等。图 5.11 表示一个典型的安装情况。

向大气排空的控制系统,由于高的压比和出口速度,通常会产生非常高的噪音。利用一个排空扩散器把总压降分配给实际排空和上游的控制阀,可以使阀门与排空口的噪音都降低。一个正确计算的排空扩散器和阀门的组合,如图 5.12 所示,可以降低总体系统噪音等级高达 40dBA。

针对与处理液体的控制阀有关的噪音问题的声源处理法主要在于消除或减少气蚀现象。由于产生气蚀的流体工况可以精确地预测,因此使用分级节流孔板、串联阀门等对控制阀的工况条件进行相应的限制,可以消除由于气蚀引起的噪音。另外一种声源处理方法是使用特殊的阀芯。这种特殊的阀芯利用串联限流的概念来消除气蚀,如图 5.13 所示。

控制噪音的第二种方法是对声波传播途径的处理。流束是一个良好的声音传播通道。传播途径处理法包括增加传播途径的阻抗以减少传输给接受者的声能。

使用吸声材料以消耗声能是传播途径处理的一种最有效的方法。在任何可能的情况下,吸声材料应该放置在正好是噪音源或噪音源下游处的流束里。在气体传输系统中,在线消音器能有效地吸收流束中的声音,从而减小传送到界面上的噪音水平。在有大量和(或)高压降比的场合,在线消音器,如图 5.14 所示,是最实用和经济的噪音控制方法。使用吸收型在线消音器可以使噪音控制到几乎任何需要的水平。但是由于经济方面的考虑,通常把消音器的降噪能力限制在约 25dBA。

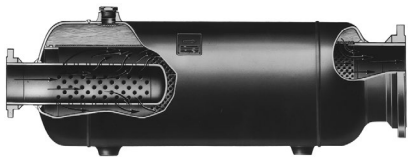


图 5.14 典型的在线消音器

在流束界面内不能消除的噪音, 必须用外部的处理方法加以消除。这种降低控制阀噪音的方法建议采用厚壁管道, 对流束的外露固体界面进行声学隔离, 使用隔音箱、建筑物等把噪音源隔开。

诸如厚壁管道或外部声学隔离之类的传播途径处理法是经济而有效的局部降低噪音技术。但是, 噪音在流束中传播的距离很长, 而且厚壁管或外部隔离的效果也随着处理措施的终止而结束。■

## 5.17 噪声概述

一个控制阀产生的噪音量可以用工业标准方法快速而合理地加以预测。这些方法已被做成计算机软件以方便使用。这种选型和噪音预测工具有助于正确选择如图 5.15 和图 5.16 所示的降噪设备。工厂设备对于降低环境影响的要求将继续促进对低噪音控制阀的需求。噪音预测技术以及满足这种需求的阀门型式一直在改进。如需了解有关设备或预测技术方面的最新信息, 可联系阀门制造厂的代理商。■



图 5.15 配备针对气体动力流体的降噪阀笼的直通阀

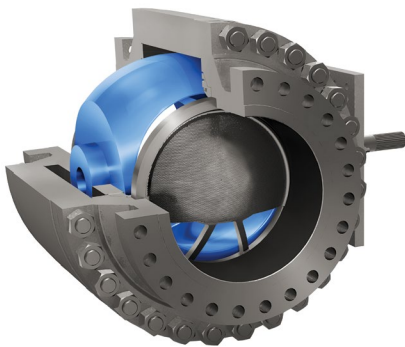


图 5.16 配备降低液体动力噪声的阻尼器的球阀

## 5.18 填料的选择

下面的表格以及图 5.17 和 5.18 提供针对直行阀门和旋转阀的填料选择指南。

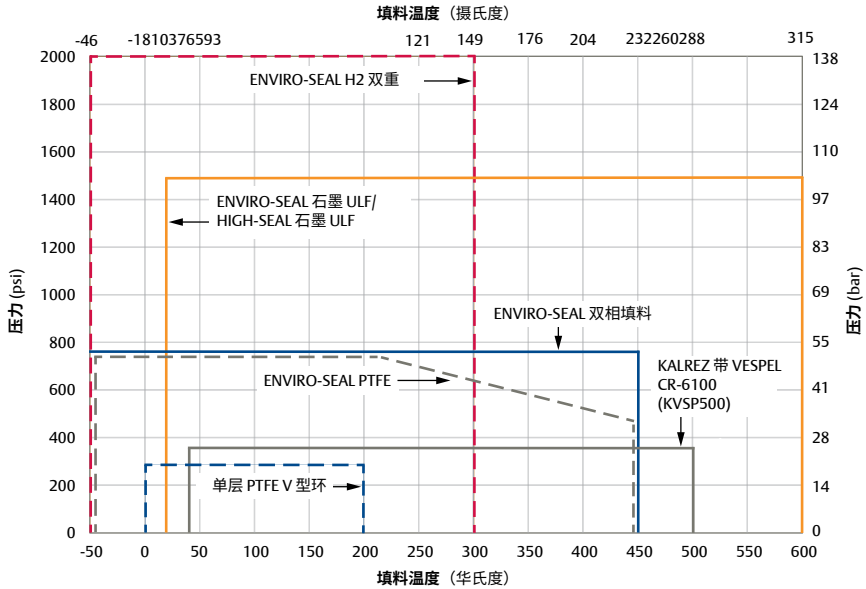


图 5.17 针对 100 PPM 工况的应用指南图

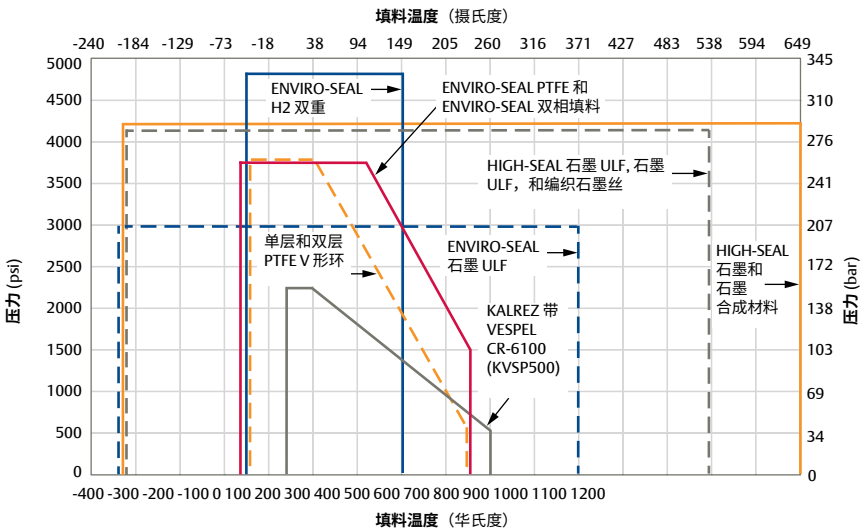


图 5.18 针对非环保工况的应用指南图



## 5.18.1 直行程阀门的填料选择指南

填料系统	100 PPM 工况 <sup>(1)</sup> 下的最大压力和温度极限		非环保工况 <sup>(1)</sup> 下的应用指南	
	公制	英制	公制	英制
单层 PTFE V 形环	20.7 bar -18 至 93°C	300 psi 0 至 200°F	见图 5.15 -46 至 232°C	见图 5.15 -50 至 450°F
双层 PTFE V 形环	---	---	见图 5.15 -46 至 232°C	见图 5.15 -50 至 450°F
ENVIRO-SEAL PTFE	见图 5.14 -46 至 232°C	见图 5.14 -50 至 450°F	见图 5.15 -46 至 232°C	见图 5.15 -50 至 450°F
ENVIRO-SEAL 双相填料	51.7 bar -46 至 232°C	750 psi -50 至 450°F	见图 5.15 -46 至 232°C	见图 5.15 -50 至 450°F
ENVIRO-SEAL H2 双重	138 bar -46 至 149°C	2000 psi -50 至 300°F	330 bar -46 至 149°C	4800 psi -50 至 300°F
KALREZ <sup>®</sup> 带 Vespel <sup>®</sup> CR-6100 (K-VSP 500) <sup>(3)</sup>	24.1 bar 4 至 260°C	350 psig 40 至 500°F	见图 5.15 -40 至 260°C	见图 5.15 -40 至 500°F
ENVIRO-SEAL 石墨 ULF	103 bar -7 至 315°C	1500 psi 20 至 600°F	207 bar -198 至 371°C	3000 psi -325 至 700°F
HIGH-SEAL 石墨 ULF	103 bar -7 至 315°C	1500 psi 20 至 600°F	290 bar <sup>(4)</sup> -198 至 538°C	4200 psi <sup>(4)</sup> -325 至 1000°F
HIGH-SEAL 石墨/石墨 合成	---	---	290 bar <sup>(4)</sup> -198 至 649°C	4200 psi <sup>(4)</sup> -325 至 1200°F
编织石墨丝	---	---	290 bar -198 至 538°C <sup>(5)</sup>	4200 psi -325 至 1000°F <sup>(5)</sup>
石墨 ULF	---	---	290 bar -198 至 538°C	4200 psi -325 至 1000°F

1. 所示的数据仅供参考, 可以超过这些指标, 但会缩短填料的寿命或可能引起填料泄漏。额定温度适用于实际填料温度而不是介质温度。

2. 可参阅 Fisher 产品目录 14 以获得正确的摩擦力数据。

3. 本手册中关于 KALREZ 的温度/压力极限仅适用于 Fisher 公司的阀门的应用场合, DuPont 公司也许声明有更高的极限。

4. 9.5 毫米 (3/8 英寸) 阀杆, 110 bar (1600 psi) 除外。

5. 氧化工况, -198 至 371°C (-325 至 700°F) 除外。

直行程阀门的填料选择指南 (续)

填料系统	密封性能指标	工作寿命指标	填料摩擦力 <sup>(2)</sup>
单层 PTFE V 形环	较好	长	很低
双层 PTFE V 形环	较好	长	低
ENVIRO-SEAL PTFE	优	很长	低
ENVIRO-SEAL 双相填料	优	很长	低
ENVIRO-SEAL H2 双重	优	很长	中等
KALREZ 带 Vespel CR 6100 (K-VSP 500) <sup>(3)</sup>	优	长	低
ENVIRO-SEAL 石墨 ULF	优	很长	中等
HIGH-SEAL 石墨 ULF	优	很长	中等
HIGH-SEAL 石墨/ 石墨合成	较好	很长	很高
编织石墨丝	好	中等	高
石墨 ULF	较好	很长	中等

1. 所示的数据仅供参考, 可以超过这些指标, 但会缩短填料的寿命或可能引起填料泄漏。额定温度适用于实际填料温度而不是介质温度。  
 2. 可参阅 Fisher 产品目录 14 以获得正确的摩擦力数据。  
 3. 本手册中关于 KALREZ 的温度/压力极限仅适用于 Fisher 公司的阀门的应用场合, DuPont 公司也许声明有更高的极限。  
 4. 9.5 毫米 (3/8 英寸) 阀杆, 110 bar (1600 psi) 除外。  
 5. 氧化工况, -198 至 371°C (-325 至 700°F) 除外。

5.18.2 旋转阀的填料选择指南

填料系统	100 PPM 工况 <sup>(1)</sup> 下的最大压力和温度极限		非环保工况 <sup>(1)</sup> 下的应用指南	
	公制	美国制	公制	美国制
单层 PTFE V 形环	---	---	103 bar -46 至 232°C	1500 psig -50 至 450°F
ENVIRO-SEAL PTFE	103 bar -46 至 232°C	1500 psig -50 至 450°F	207 bar -46 至 232°C	3000 psig -50 至 450°F
动态加载 PTFE (适于 V250 阀门)	69 bar -29 至 93°C	1000 psig -20 至 200°F	155 bar -46 至 232°C	2250 psig -50 至 450°F
KALREZ 带 Vespel CR 6100 (KVSP 500) <sup>(3)</sup>	24.1 bar 4 至 260°C	350 psig 40 至 500°F	51 bar -40 至 260°C	750 psig -40 至 500°F
ENVIRO-SEAL 石墨	103 bar -7 至 315°C	1500 psig 20 至 600°F	207 bar -198 至 371°C	3000 psig -325 至 700°F
石墨带	---	---	103 bar -198 至 538°C <sup>(2)</sup>	1500 psig -325 至 1000°F <sup>(2)</sup>

1. 所示的数据仅供参考, 可以超过这些指标, 但会缩短填料的寿命或可能引起填料泄漏。额定温度适用于实际填料温度而不是介质温度。  
 2. 氧化工况, -198 至 371°C (-325 至 700°F) 除外。  
 3. 本手册中关于 KALREZ 的温度/压力极限仅适用于 Fisher 公司的阀门的应用场合, DuPont 公司也许声明有更高的极限。

## 旋转阀的填料选择指南(续)

填料系统	密封性能指标	工作寿命指标	填料摩擦力
单层 PTFE V 形环	较好	长	很低
ENVIRO-SEAL PTFE	卓越	很长	低
动态加载 PTFE (适于 V250 阀门)	卓越	很长	低
KALREZ 带 Vespel CR-6100 (KVSP 500) <sup>(3)</sup>	卓越	长	很低
ENVIRO-SEAL 石墨	卓越	很长	中等
石墨带	可接受	可接受	高

1. 所示的数据仅供参考, 可以超过这些指标, 但会缩短填料的寿命或可能引起填料泄漏。额定温度适用于实际填料温度而不是介质温度。  
2. 氧化工况, -198 至 371°C (-325 至 700°F) 除外。  
3. 本手册中关于 KALREZ 的温度/压力极限仅适用于 Fisher 公司的阀门的应用场合; DuPont 公司也许声明有更高的极限。

## 5.19 阀体材质

阀体材质的选择通常是流体的压力、温度、腐蚀性和冲刷性为依据的。有时候在选择材料时必须作出某种妥协。例如针对特定的流体, 一种抗冲刷性好的材料可能并不能令人满意, 因为它的抗腐蚀能力很差。

有些工况条件需要使用特殊的合金和金属以抗抵流动流体的腐蚀性。这些材料比常用的材料昂贵得多, 所以经济性也是材料选择时的一个考虑因素。幸运的是, 大多数的控制阀应用在合理的压力和温度, 以及相对而言腐蚀性不太强的流体。因此, 铸造碳钢是最经常使用的阀体材料, 能够以比特殊合金材料更加低的成本提供令人满意的服务。

为订购强烈抗腐蚀的高镍合金铸造阀体的技术规格已经建立。这些技术规格代表针对这些合金所遇到的问题的解决方案。这些问题包括与锻造材料相比不可接受的抗腐蚀性能、很差的可焊性、低劣的铸造集成性以及不可接受的交货时间。这些合金也难以铸造。这些技术规格包括铸造车间的资格、专门结构的设备、

结构合金的合格性、热处理合格性、以及对原材料、肉眼检查、焊接修复、热处理和非破性试验的详细控制。这些特殊等级和普通等级的名称见 5.19.1 常见阀体材料名称表。

下面的说明和表格提供关于各种各样的用于控制阀阀体的常用铸造材料的基本信息。ASTM 材料代号也包括在内。正确地使用 ASTM 代号被认为是良好的实践, 并且在指定材料时应优先参考, 尤其是在为包含压力的零件选择材料时。如需了解这些和其它材料的其它工程数据, 请参见第十三章。

**铸造碳钢 (ASTM A216 WCC)**—WCC 是在诸如空气、饱和或过热蒸汽、非腐蚀性液体和气体之类的中等工况下最经常用于阀体的的铸造钢质材料。WCC 不可以用于温度超过 425°C (800°F) 的场合, 因为富碳相可能会转换成石墨。它的焊接不需要热处理, 除非公称厚度超过焊后 1-1/4 英寸 (32mm)。大的焊接维修需要焊后热处理。

**铸造铬—钼钢 (ASTM A217 WC9)**—这是标准的铸造 Cr-Mo 等级。WC9 由于其优良的铸造和焊接性能已经作为标准材料取代 C5。WC9 已经在大多数应用场合成功取代 C5, 特别是在蒸汽及锅炉给水的应用中。铬和钼具有抵抗冲刷—腐蚀和蠕变的能力, 使得它可以用于 595°C (1100°F) 的高温。WC9 通常在焊后需要热处理。大的焊接维修也许要焊后热处理。

**铸造 304L 型不锈钢 (ASTM A351 CF3)**—这是一种提供给化工工况阀门的常用材料。304L 是用于氮酸和某些其它化学工业应用场合的最佳材料。使用合适的焊接过程, 即使在焊接的情况下仍能保持最佳的抗腐蚀性能。CF3 用作承压件材料时温度不能高于 425°C (800°F)。

**铸造 316 型不锈钢 (ASTM A351 CF8M)**—这是工业标准不锈钢阀体材料。钼含量的增加使得 316 比 304 或 304L 具有更好的抗腐蚀、点蚀、蠕变和氧化流

体性能。它有标准材料中最宽的温度范围: -254°C (-425°F) 至 816°C (1500°F)。铸件经过热处理可以提供最好的抗腐蚀性能。在高于 538°C (1000°F) 的温度下, 碳含量最少应达到 0.04%。

**铸造 317 型不锈钢 (ASTM A351 CG8M)**—S31700 实际上是铬和钼含量各增加 1% 的 S31600。这使它比 S31600 具有更好的抵抗点蚀的能力。

像 S31600 一样, S31700 是完全奥氏体和无磁性的。由于它的强度类似于 S31600, 因此它有相同的压力—温度等级。CG8M 是 S31700 的铸造版本。它包含大量的铁素体 (15 至 35%), 因此部分具有强磁性。总之, 由于其较高的钼含量, S31700 比 S31600 在某些环境下有更好的抗腐蚀性能。它对于蒸液、干二氧化氯和很多其它纸浆与造纸环境有好的抗腐蚀性能。对于 CG8M, 承压件的最高温度为 538°C (1000°F)。

## 5.19.1 常用阀体材料代号

铸造代号	基本代号	铸造等效合金的 UNS 号码
CD3MN	标准双向钢	S31803, S32205
CD3MWCuN	超级双向钢	S32760
CF3	304L	S30403
CF8	304	S30400
CF3M	316L	S31603
CF8M	316	S31600
CG3M	317L	S31703
CG8M	317	S31700
CK3MCuN	254 SMO 合金	S31254
CN7M	20Cb3 合金	N08020
CU5MCuC	825 合金	N08825
CW12MW	废弃合金 C	N10002
CW2M	合金 C	N10276, N06455
CX2MW	C22 合金	N06022
CW6MC	625 合金	N06625
CX2M	59 合金	N06059
CY40	600 合金	N06600
CZ100	镍合金 200	N02200
LCB	LCB	J03003
LCC	LCC	J02505
M35-1	400 合金	N04400
N12MV	B 合金	N10001
N7M	B2 合金	N10665
WCB	WCB	J03002
WCC	WCC	J02503
钛 C3	C3	R50550
锆 702C	702C	R60702
锆 705C	705C	R60705

## 5.20 压力-温度额定值

### 5.20.1 标准等级的 ASTM A216 等级 WCC 铸造阀门的压力-温度额定值

(符合 ASME B16.34-2013)

温度	工作压力(按等级划分)				
	150	300	600	900	1500
°C	bar				
-29 至 38	19.8	51.7	103.4	155.1	258.6
50	19.5	51.7	103.4	155.1	258.6
100	17.7	51.5	103.0	154.6	257.6
150	15.8	50.2	100.3	150.5	250.8
200	13.8	48.6	97.2	145.8	243.2
250	12.1	46.3	92.7	139.0	231.8
325	9.3	41.4	82.6	124.0	206.6
350	8.4	40.0	80.0	120.1	200.1
375	7.4	37.8	75.7	113.5	189.2
400	6.5	34.7	69.4	104.2	173.6
425	5.5	28.8	57.5	86.3	143.8
°F	psig				
-20 至 100	290	750	1,500	2,250	3,750
200	260	750	1,500	2,250	3,750
300	230	730	1,455	2,185	3,640
400	200	705	1,405	2,110	3,520
500	170	665	1,330	1,995	3,325
600	140	605	1,210	1,815	3,025
650	125	590	1,175	1,765	2,940
700	110	555	1,110	1,665	2,775
750	95	505	1,015	1,520	2,535
800	80	410	825	1,235	2,055

## 5.20.2 标准等级的 ASTM A217 等级 WC9 铸造阀门的压力-温度额定值

(符合 ASME B16.34-2013)

温度	工作压力(按等级划分)				
	150	300	600	900	1500
°C	bar				
-29 至 38	19.8	51.7	103.4	155.1	258.6
50	19.5	51.7	103.4	155.1	258.6
100	17.7	51.5	103.0	154.6	257.6
150	15.8	50.3	100.3	150.6	250.8
200	13.8	48.6	97.2	145.8	243.4
250	12.1	46.3	92.7	139.0	321.8
300	10.2	42.9	85.7	128.6	214.4
325	9.3	41.4	82.6	124.0	206.6
350	8.4	40.3	80.4	120.7	201.1
375	7.4	38.9	77.6	116.5	194.1
400	6.5	36.5	73.3	109.8	183.1
425	5.5	35.2	70.0	105.1	175.1
450	4.6	33.7	67.7	101.4	169.0
475	3.7	31.7	63.4	95.1	158.2
500	2.8	28.2	56.5	84.7	140.9
538	1.4	18.4	36.9	55.3	92.2
°F	psig				
-20 至 100	290	750	1,500	2,250	3,750
200	260	750	1,500	2,250	3,750
300	230	730	1,455	2,185	3,640
400	200	705	1,410	2,115	3,530
500	170	665	1,330	1,995	3,325
600	140	605	1,210	1,815	3,025
650	125	590	1,175	1,765	2,940
700	110	570	1,135	1,705	2,840
750	95	530	1,065	1,595	2,660
800	80	510	1,015	1,525	2,540
850	65	485	975	1,460	2,435
900	50	450	900	1,350	2,245
950	35	385	755	1,160	1,930
1000	20	265	535	800	1,335
1050	20 <sup>(1)</sup>	175	350	525	875
1100	20 <sup>(1)</sup>	110	220	330	550

1. 法兰连接端等级终止于 538°C(1000°F)

### 5.20.3 标准等级的 ASTM A351 等级 CF3 铸造阀门的压力-温度额定值

(符合 ASME B16.34-2013)

温度	工作压力(按等级划分)				
	150	300	600	900	1500
°C	bar				
-29 至 38	19.0	49.6	99.3	148.9	248.2
50	18.3	47.8	95.6	143.5	239.1
100	15.7	40.9	81.7	122.6	204.3
150	14.2	37.0	74.0	111.0	185.0
200	13.2	34.5	69.0	103.4	172.4
250	12.1	32.5	65.0	97.5	162.4
325	9.3	30.2	60.4	90.7	151.1
350	8.4	29.6	59.3	88.9	148.1
375	7.4	29.0	58.1	87.1	145.2
400	6.5	28.4	56.9	85.3	142.2
425	5.5	28.0	56.0	84.0	140.0
°F	psig				
-20 至 100	275	720	1,440	2,160	3,600
200	230	600	1,200	1,800	3,000
300	205	540	1,075	1,615	2,690
400	190	495	995	1,490	2,485
500	170	465	930	1,395	2,330
600	140	440	885	1,325	2,210
650	125	430	865	1,295	2,160
700	110	420	845	1,265	2,110
750	95	415	825	1,240	2,065
800	80	405	810	1,215	2,030



## 5.20.4 标准等级的 ASTM A351 CF8M 和 CG8M<sup>(1)</sup> 阀门的压力-温度额定值

(符合 ASME B16.34-2013)

温度	工作压力(按等级划分)				
	150	300	600	900	1500
°C	bar				
-29 至 38	19.0	49.6	99.3	148.9	248.2
50	18.4	48.1	96.2	144.3	240.6
100	16.2	42.2	84.4	126.6	211.0
150	14.8	38.5	77.0	115.5	192.5
200	13.7	35.7	71.3	107.0	178.3
250	12.1	33.4	66.8	100.1	166.9
300	10.2	31.6	63.2	94.9	158.1
325	9.3	30.9	61.8	92.7	154.4
350	8.4	30.3	60.7	91.0	151.6
375	7.4	29.9	59.8	89.6	149.4
400	6.5	29.4	58.9	88.3	147.2
425	5.5	29.1	58.3	87.4	145.7
450	4.6	28.8	57.7	86.5	144.2
475	3.7	28.7	57.3	86.0	143.4
500	2.8	28.2	56.5	84.7	140.9
538	1.4	25.2	50.0	75.2	125.5
550	1.4 <sup>(2)</sup>	25.0	49.8	74.8	124.9
575	1.4 <sup>(2)</sup>	24.0	47.9	71.8	119.7
600	1.4 <sup>(2)</sup>	19.9	39.8	59.7	99.5
625	1.4 <sup>(2)</sup>	15.8	31.6	47.4	79.1
650	1.4 <sup>(2)</sup>	12.7	25.3	38.0	63.3
675	1.4 <sup>(2)</sup>	10.3	20.6	31.0	51.6
700	1.4 <sup>(2)</sup>	8.4	16.8	25.1	41.9
725	1.4 <sup>(2)</sup>	7.0	14.0	21.0	34.9
750	1.4 <sup>(2)</sup>	5.9	11.7	17.6	29.3
775	1.4 <sup>(2)</sup>	4.6	9.0	13.7	22.8
800	1.2 <sup>(2)</sup>	3.5	7.0	10.5	17.4
816	1.0 <sup>(2)</sup>	2.8	5.9	8.6	14.1

标准等级的 ASTM A351 等级 CF8M 和 CG8M 的压力-温度额定值<sup>(1)</sup> 阀门续.....

温度	工作压力(按等级划分)				
	150	300	600	900	1500
°F	psig				
-20 至 100	275	720	1,440	2,160	3,600
200	235	620	1,240	1,860	3,095
300	215	560	1,120	1,680	2,795
400	195	515	1,025	1,540	2,570
500	170	480	955	1,435	2,390
600	140	450	900	1,355	2,255
650	125	440	885	1,325	2,210
700	110	435	870	1,305	2,170
750	95	425	855	1,280	2,135
800	80	420	845	1,265	2,110
850	65	420	835	1,255	2,090
900	50	415	830	1,245	2,075
950	35	385	775	1,160	1,930
1000	20	365	725	1,090	1,820
1050	20	360	720	1,080	1,800
1100	20 <sup>(2)</sup>	305	610	915	1,525
1150	20 <sup>(2)</sup>	235	475	710	1,185
1200	20 <sup>(2)</sup>	185	370	555	925
1250	20 <sup>(2)</sup>	145	295	440	735
1300	20 <sup>(2)</sup>	115	235	350	585
1350	20 <sup>(2)</sup>	95	190	290	480
1400	20 <sup>(2)</sup>	75	150	225	380
1450	20 <sup>(2)</sup>	60	115	175	290
1500	15 <sup>(2)</sup>	40	85	125	205

1. CG8M 限制在 538°C (1000°F) 内。  
 2. 对于 CF8M, 法兰连接端等级终止于 538°C (1000°F)。

## 5.21 非金属材料的缩写

ASTM 代号和商品名称	基本描述
CR	氯丁橡胶
EPDM	乙烯丙烯三(元共)聚物
FFKM、Kalrez <sup>(1)</sup> 、Chemraz <sup>(2)</sup>	全氟橡胶
FKM、Viton <sup>(1)</sup>	氟橡胶
FVMQ	氟硅酮
NBR	腈
NR	天然橡胶
PUR	聚氨酯
VMQ	硅树脂
PEEK	聚乙醚甲酮
PTFE	聚四氟乙烯
PTFE, 填充碳	聚四氟乙烯, 填充碳
PTFE, 填充玻璃	聚四氟乙烯, 填充玻璃
TCM Plus <sup>(3)</sup>	矿物质和 MoS <sub>2</sub> , 填充 PTFE
TCM Ultra <sup>(3)</sup>	PEEK 和 MoS <sub>2</sub> , 填充 PTFE
复合垫片	复合垫片
柔性石墨, Grafoil <sup>(4)</sup>	柔性石墨

1. DuPont Performance Elastomers 商标。  
 2. Greene, Tweed & Co. 商标。  
 3. Fisher 控制设备公司的商标。  
 4. GrafTech Intl. 的商标。

## 5.22 无损检测步骤

用于核工况的阀门需要顺利通过特定的非破坏性检验, 非核工业, 尤其是电力工业里的规范或用户也许会有同样的要求。

另外, 顺利通过这样的非破坏性检验, 可以使得 ASME 标准等级的对焊连接的阀门升级到特殊等级的额定值。特殊等级的额定值允许对焊连接的阀门用于高于标准等级阀门允许的压力场合。升级至特殊等级的步骤在 ASME 标准 B16.34 中有详细说明。

由于不可能介绍有关非破坏性检验规范要求的完整细节。本书只简要介绍四种主要的非破坏性检验的原理和要求, 它们都在 ANSI、ASME 和 ASTM 标准中有规定。

### 5.22.1 磁性(表面)检验

磁性颗粒检验只能用于可以被磁化的材料。原理是把直流电作用在一个零件的两端以引导材料里的电磁场。表面或浅表缺陷会使磁场扭曲到在缺陷周围形成一个次磁场这样一种程度。如果一种干的或者悬浮于液体里的磁粉散布在磁化的零件上, 就可以观察到磁场扭曲的区域, 表明在零件里的磁场扭曲区域存在一个缺陷。通过把电流反向使零件失磁后, 就有可能焊补缺陷, 或者也许必须更换零件。在修补或替换后, 应重复磁性颗粒试验。

### 5.22.2 液体渗透(表面)检验

这种检验方法可以查出肉眼看不到的表面缺陷。需要检验的物体表面应彻底处理干净并干燥, 将可溶于水或溶剂的液体渗透染色剂通过滴、刷或洒的方法涂

于检验表面,并允许一定的时间使其渗入缺陷。多余的渗透剂可以洗去或揩掉(取决于所用的渗透剂)。等表面彻底干燥后,涂上显影剂(液体或粉末),然后,在适宜的光源下观察。(有些显影剂需要使用紫外光或黑光以暴露缺陷)。如果发现缺陷且通过焊接修补后,必须重新检验。

### 5.22.3 射线照相(立体)检验

射线照相检查控制阀零件的原理是X射线或 $\gamma$ 射线可以穿透一般光线不能透过的物体,却可以像一般光线一样使胶片感光或数字X射线传感器成像。透过金属物体的射线数和强度取决于物体的密度。浅层表面下的缺陷代表材料密度的改变,因此可以被射线感光成像。需要检验的零件置于X或 $\gamma$ 射线源与感光胶片或数字X射线传感器之间。清晰度及对比灵敏度可以用一块或多块特定厚度的小平板与试验物体同时曝光的方法来确定。小平板或者称为透射尺上钻有多个规定直径的小孔。它与阀体或其它试验物体一起在感光胶片上的成像,可以确定照像的清晰度和对比灵敏度。

射线照相术可以探测铸造缺陷,如气孔、沙粒、内缩孔、裂纹、热裂口和熔渣。在用于核工况的铸件里,有些缺陷如裂纹和热裂是绝不允许的且不可能修补的。射线照相人员的判别能力和经验是很重要的,因为他们必须将照片与可接受的标准(ASTM参考射线照像)进行对比,以确定铸件的品质。当需要焊补时,铸件在修补之后必须再次进行射线照相。

### 5.22.4 超声(立体)检验

这一方法监测从被检零件反射回来的声波,以判断任何缺陷的深度和大小。超声检验能检测精细结晶金属中的异物和断层,因此能够对诸如板材、棒材和锻件之类的结构进行立体检查。试验一般借助

于一种特殊的称为成色剂的油或在水下进行,以保证有效的声波传递。声波由晶体探头产生,并从被测试零件的每一个交界面,即被测试零件本身的每个外表面以及受到损伤或变形的内部各表面反射回来。反射波被晶体探头接收并显示在屏幕上,以确定缺陷的位置和严重程度。■



# 第六章

## 特殊严酷工况控制阀



如前面几章所述,标准控制阀能够处理很宽的控制应用范围。标准应用范围包括:大气压力和 414 巴 (6000 psig)、 $-101^{\circ}\text{C}$  ( $-150^{\circ}\text{F}$ ) 和  $232^{\circ}\text{C}$  ( $450^{\circ}\text{F}$ )、流量系数  $C_v$  值为 1.0 和 25000, 以及普通工业标准规定的限制。当然,流体的腐蚀性和粘度、泄漏率以及其它许多因素,即使对于标准的应用场合也需要认真的考虑。对于上面提到的标准限制范围之外的应用场合,需要仔细地考虑阀门选型也许变得更加关键。

本章讨论一些特殊的应用工况和处理这些工况所需的对控制阀的改进、恶劣工况下阀门的设计和材料选用、以及对于用于核电厂工况的控制阀有用的测试要求。

## 6.1 大流通能力控制阀

一般来说,大于 NPS 12 英寸的直通阀,大于 NPS 24 英寸的球阀和大于 NPS 48 英寸的蝶阀均属于特殊阀门的范畴。当阀门口径以算术级数增加时,阀门在关闭时所承受的静压力负荷会以几何级数增加。因此,轴的强度、轴承负载、不平衡力和可提供的执行机构推力都会随阀门口径的增加而变得更加重要。通常采用降低大型阀门的最高允许压降的办法,使得对设计和执行机构的要求保持在合理的限制范围内。即使在较低的工作压力等级下,有些大流量阀门的流通能力也是大得惊人的。



图 6.1 高性能蝶阀

高性能蝶阀可在极端压力和温度条件下提供出色的性能。该阀门可保持紧密关闭,并可指定用于各种压力和温度条件。花键驱动轴与各种弹簧、膜片或气动活塞式执行机构相结合,使阀门成为可靠的高性能蝶阀,适用于各种加工工业中的各种节流和开关应用。压力辅助密封是几种动态密封中的一种,可用于各种要求苛刻的应用场合,通过选择适当的密封件和结构材料,压力辅助密封可提供出色的关闭性能。

组件使安装和维护程序复杂化。将阀体组件安装到管道中以及拆卸和更换主要阀内件部件需要重型起重机。

在所有大流量阀门安装场合,都必须仔细地考虑噪音水平,因为声压水平与流量幅度正比例地增加。为了使阀门产生的噪音保持在允许范围内,已经推出了几种大型的铸造或装配式阀体型式(图 6.2)。这些阀体通常为笼式结构,采用特别长的阀芯行程、大量穿过阀笼墙体的细小开孔、以及扩展式出口管道连接口,以减小流体速度并把噪音输出降至最低。



图 6.2 降噪用大流量阀体

在大流量应用场合,对于执行机构的要求是严格的,通常,可选用长行程、双作用的气缸式执行机构。阀门和执行机构部件的实际尺寸和重量使得安装和维护过程变得很复杂。将阀体组件安装到管道中以及拆卸和更换主要阀内件部件需要重型起重机。维修人员必须严格按照制造商的操作手册以把受伤的可能性减至最低。

块状锻造阀体可满足一些中间等级和高流通能力的要求。直通形和角形设计均可。它们的设计符合 ASME B16.34, 带有整体法兰。■

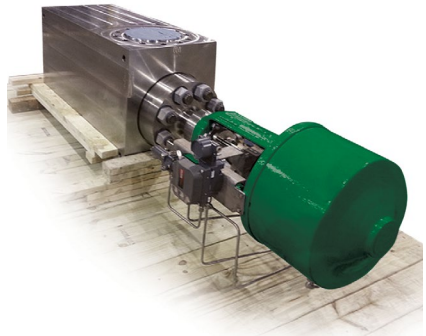


图 6.3 高流通能力黑色锻造阀体

## 6.2 小流量 $C_v$ 控制阀



图 6.4 针对极小流量而设计的特殊控制阀

除了一般过程工业,在实验室和试验工厂里存在许多需要控制极小流量的应用场合。通常有两种方法来处理。首先,在标准控制阀的阀体中可经常使用特殊的阀内件。这些特殊的阀内件由经过特殊设计且高精度加工的阀座和阀芯组成,以精确地控制非常小的流量。这种类型的结构可以处理低至 0.03 的流体。在标准阀体中使用特殊阀内件具有很好的经



济型,因为它减少了对特殊阀体和执行机构的备品备件的需要。由于仅需要更换阀内件,这种方法又为以后流量的扩大提供了方便。

低流量设计具有低死区和滞后、大流量、出色的控制特性、紧密关闭和先进的填料系统,可满足苛刻的服务条件。

这些阀门通常可以处理小到 0.000001 的流量系数。除了流量很低以外,这些特殊的控制阀结构紧凑且重量轻,因为它们通常在使用壁厚很薄的管道/管道连接件的实验室环境里。这些类型的控制阀是为流量非常小的流体或气体的精确控制而专门设计的。■

### 6.3 高温控制阀

用于工作温度高于 232°C (450°F) 的控制阀,在设计和选用时必须考虑温度条件。在诸如锅炉给水系统和过热旁路系统中遇到的高温条件下,控制阀结构的标准材料可能是不适用的。例如塑料、弹性材料和标准垫片通常证明是不合适的,必须代之以更加耐用的材料。应始终使用金属对金属的阀座材料,半金属或弹性层压石墨填料材料是常用的,而缠绕不锈钢和弹性石墨的垫片是必需的。

对温度高于 538°C (1000°F) 的场合,阀体通常用铬-钼钢铸造。ASTM A217 等级 WC9 材料可用最高温度为 593°C (1100°F)。对温度高达 816°C (1500°F) 的场合,通常选用的材料是 ASTM A351 等级 CF8M, 316 型不锈钢。对温度在 538°C (1000°F) 和 816°C (1500°F) 之间的场合,含碳量必须被控制在 0.04 到 0.08% 这个范围的上限。9%Cr-1%Mo-V 材料,诸如 ASTM A217 等级 C12a 锻件和 ASTM A182 等级 F91 锻件温度高达 650°C (1200°F)。

伸长型阀盖有助于防止填料函部件受到极高温度的影响。典型的内件材料包括钴基 6 号合金、带 6 号合金硬质表面的 316 和渗氮的 422 SST。■

### 6.4 低温工况用阀门

低温学是关于 -101°C (-150°F) 以下温度的材料和过程的科学。对于用于低温工况的控制阀,像高温控制阀一样,需要考虑许多相同的因素。在 -18°C (0°F) 以下的温度,塑料和弹性材料的部件通常不能正常工作。在这些温度范围内,如填料和阀芯密封之类的元件需要特殊对待。对于阀芯密封,标准的软密封会变成硬且减少柔性,从而不能提供一个软阀座通常所能提供的关闭能力。在这些温度下,要使用特殊的弹性材料并且需要提供特殊的载荷以取得严密的密封。

由于在低温场合,可能会在阀门上形成冰霜,所以填料成为了低温场合的一个考虑因素。大气中的水份会在较冷的表面上以及表面温度低于冰点的地方凝结,且形成一层霜冻。随着这层霜或冰在控制阀的阀盖和阀杆表面上形成,且阀杆被执行机构驱动,在阀杆上的这层霜冻会被拉入填料造成撕裂,从而破坏密封。解决的方法是使用伸长型阀盖(图 6.5),以使得控制阀的填料函区域被周围环境温度加热,从而防止霜冻在阀杆和填函区域形成。伸长型阀盖的长度取决于应用场合的温度和隔热要求。应用场合的温度越低,需要的伸长型阀盖越长。

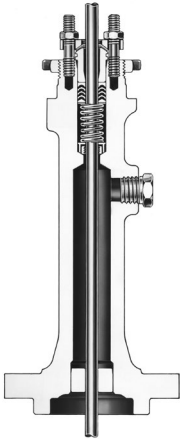


图 6.5 典型的伸长型阀盖

针对低温场合的阀门材料选择通常是阀体和上阀盖用 CF8M，阀内件用 300 系列不锈钢。在闪蒸场合，也许需要表面硬化以抵抗冲刷。■

## 6.5 受气蚀和夹带颗粒流体影响的阀门

当今的过程和采油设施的的压力和温度持续攀升。随着这些压力和相关压降的增加，发生气蚀的几率也会增加。

由此会在流体中产生额外的颗粒。随着流体变得更脏，使用于消减气蚀的小孔堵塞的可能性增加。

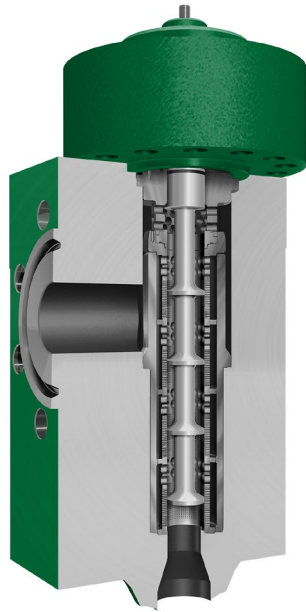


图 6.6 用于处理气蚀的阀内件

为此我们提供特制阀内件，可处理超过 6000 psig 的压降，同时仍允许颗粒通过，最大尺寸为 1.27 厘米 (1/2 英寸)。

多级防气蚀控制阀内件适用于流体中可能夹带颗粒，从而堵塞通道或对传统防气蚀内件造成侵蚀损坏的场合。DST 常用于化工、炼油、油气生产和电力行业中压降高达 4200 psid 的应用场合。

偏心旋塞旋转控制阀可控制冲蚀性、焦化和其他难以处理的流体，提供节流或开/关操作。这种法兰阀具有流线型流道、坚固的金属阀内件部件和自动定心阀座环。■



图 6.7 用于处理颗粒的内件

## 6.6 自定义流量特性、减噪音内件与消减气蚀内件

虽然标准控制阀(图 6.8)的流量特性满足大部分的应用工况的要求,但是对于某一给定工况通常需要自定义的流量特性。在这些情况下,可以制造特殊型式的内件以满足这些要求。对于流线型轮廓的阀芯,阀芯头部的形状可以进行修改,这样,当阀芯在其行程范围内移动时,无阻塞的流通面积在大小上发生变化,就产生特定的流量特性。同样地,阀笼也可以重新设计以满足特殊的流量特性要求。这尤其在降噪音内件中经常用到。在这些场合,要求在流量低的条件下有很高的降噪效果,而在流量大的条件下要求小得多的降噪效果。

每天循环多次、水流中含有颗粒物的设备会对阀座造成冲蚀。当锅炉给水系统发生腐蚀而夹带颗粒时,就会造成损坏。当阀芯尖的位置长时间位于孔的前面时,从保持架孔中喷出的水流会带动这些微粒,从而造成严重损坏。当流量控制在建议的最小 Cv 值以下时,间隙流量会

侵蚀阀芯尖,从而造成损坏。受保护的内部阀座设计可延长阀座和阀芯尖的使用寿命。■

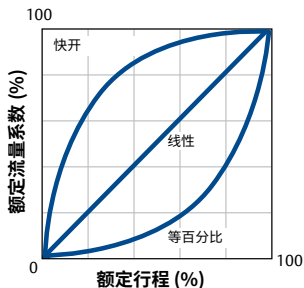


图 6.8 固有阀门流量特性

## 6.7 在北美用于核工况的控制阀

自 1970 年以来,美国核电厂部件制造商和供应商一直遵守《联邦法规汇编》第 50 部分第 10 篇附录 B 中题为“核电厂和燃料后处理厂质量保证标准”的要求。法规的执行监督机构是美国原子能法规委员会。证明符合附录 B 要求的最终任务由核电厂的所有者承担,但他又必须依靠各部件的制造商提供的各种文件,证明这些部件是根据有记录的步骤、借助于业已证明的技术、由合格的人员来制造、检验和测试的。

根据《联邦法规法典》的要求,大多数核电厂组件都是按照 ASME 锅炉和压力容器规范第 3 节“核设施组件建造规则”中的规定。制造过程的所有工序,必须记录在质量控制手册里,且在实际制造这些部件前必须经过 ASME 审查和认证。所有随后的制造材料和操作均需由指定的检验人员检查。根据第 3 节要求制造的所有阀门会收到一个 ASME 代号铭牌和一个“N”印记,表明用于核电厂应用工况的可接受程度。ASME 第 3 节每三年修订

一次,新版本可在发布日期后使用,并在发布日期后六个月成为正式法令。

ASME 第 3 节定义了阀门的三个规范等级——1 级、2 级和 3 级。1 级阀门是主系统压力边界的一部分,位于反应堆压力容器和最外层安全壳隔离阀之间。2 级阀门是紧急堆芯冷却系统的一部分,是保护公众健康和系统不可分割的一部分。3 级阀门安装在执行紧急设备冷却功能的核系统以及可能含有放射性流体或材料的系统中。

第 3 节适用的是用于承压件的材料、设计标准、装配步骤、承压零件的非破坏性试验步骤、静态压力测试、标记和压印步骤。承压件暴露在管道内的过程压力下或受其负载。在控制阀中,这些部件通常是阀体、阀盖、阀体-阀盖螺栓和螺母以及阀芯或阀板。

第 3 节不适用于与压力承受功能无关的零件,也不适用于执行机构和附件,除非它们是承受压力的,不适用于辐射、腐蚀、侵蚀、地震或环境质量引起性能恶化的阀门部件;不适用于清洁、涂装或包装要求,客户规格通常涵盖这些领域。虽然这些部件不适用于 ASME 第 3 节,但它们可被定义为与安全相关的部件,并接受 10CFR50 附录 B 和 10CFR 第 21 部分报告要求的约束。安全相关部件是防止或减轻场外暴露;和/或使工厂进入并保持安全停机状态的部件。在控制阀中,安全相关部件可能因组件的特定安全功能和装配体应用而异,但通常包括执行机构支架、阀杆、阀杆连接器组件和执行机构弹簧以及压力边界阀部件。填料和垫片一般不被视为与安全有关的部件。

在美国,压水堆(PWR)和沸水堆(BWR)是两种主要的反应堆设计。在压水堆中,一次冷却水在高压下被泵送到反应堆堆芯,在那里被加热并流入蒸汽发生器,在那里二次水系统产生的蒸汽驱动蒸汽涡轮机。

在沸水堆中,反应堆堆芯将一级冷却水加热到沸点,然后转化为蒸汽,直接用于驱动主涡轮机。压水堆设计中的一个关键控制阀应用是增压器喷淋阀。该阀门为控制反应堆内的冷却剂压力的增压器提供主冷却剂。这两种设计中的其他关键控制阀应用包括主给水阀和启动给水控制阀、主蒸汽旁路控制阀和主蒸汽倾倒阀。

在加拿大,主反应堆设计被称为 CANDU (加拿大铀)。CANDU 是一种加压重水反应堆(PHWR),使用铀作为燃料来源。该电厂设计中的许多关键控制阀应用最初都需要使用波纹管密封阀盖,以减少通过阀杆填料的有害排放。随着公用事业公司对 CANDU 核电厂系统进行翻新,正在采用 Enviro-Seal 等填料系统,以降低阀门组件的整体高度并改善抗震性能。

不过,客户规格通常涵盖这些方面第 3 节适用的是制造承受压力零件的材料、设计标准、装配步骤、承压零件的非破坏性试验步骤、静态水压试验以及标记和压印步骤。ASME 第 3 节每半年以附录的形式修订一次,从公布之日起即可使用,自公布日起六个月后成为正式法令。■



图 6.9 增压喷雾阀

## 6.8 受硫化应力裂纹影响的阀门

国际 NACE 是一个考虑腐蚀和与腐蚀有关问题的技术学会。NACE 负责大量的标准,其中影响最大、名气最大的是 MR0175,其全称为“用于油田设备的抗硫化应力裂纹金属材料”。MR0175 由 NACE 于 1975 年颁布,其目的是为了选择在油气生产环境中抗氢硫失效的金属材料提供指南。MR0175 在过程工业中如此广泛使用,以致于“NACE”等同于“MR0175”。但在 2003 年,这种情况发生了变化。

2003 年,MR0175 作了大幅度的改变,在硫化应力裂纹的基础上增加了氯化应力腐蚀裂纹。然后,在 2003 年的后期,文件再次被修改,并作为 NACE/ISO 联合文件颁布,并称为 NACE MR0175/ISO 15156,“石油和天然气工业—用于油气生产中含 H<sub>2</sub>S 环境的材料”。

在 2003 年 4 月,NACE 也发布了一个新的标准 MR0103,其名称为“在腐蚀性石油炼化环境中金属抵抗硫化应力裂纹能力。”这是炼化工业的“NACE MR0175”。MR0103 只提及硫化应力裂纹,在很多方面和 2003 年以前的 MR0175 修正本相类似。MR0103 在炼化工业中的应用不断加快。

2013 年,该文件经过修订,重新格式化,并作为 ISO 文件 ISO 17945 颁布,其名称为“石油、石化和天然气工业 - 在腐蚀性石油精炼环境中抵抗硫化应力裂纹的金属材料”。2015 年,NACE 采用了 MR0103/ISO 17945。

请注意,NACE MR0175 或 NACE MR0175/ISO 15156 的某些版本完全一致,因此在美国的一些洲和地区该标准被当作法令来执行。同时,NACE MR0103/ISO 17945 没有被任何的政府

机构当作法令来实施。

### 6.8.1 MR0175 2003 年前的修正本

以下说明尽管是以 MR0175 2003 年以前的修正本中的信息和要求为基础的,但不可能以标准本身提供的细节来叙述,而且不保证任何给定材料在含硫化氢的酸性环境中的适用性。因此,强烈建议读者在为酸性气体工况选择阀门前,应参考实际的标准。

- 大多数黑色金属由于热处理产生的和(或)冷加工产生的硬化,会变得对硫化应力裂纹(SSC)十分敏感。相反,也有许多黑色金属可以用热处理来改善其抵抗 SSC 的能力。
- 碳钢和低合金钢必须通过适当的热处理才能提供抵抗 SSC 的能力。最高的 HRC 22 硬度限制适用于碳钢和低合金钢。
- 奥氏体不锈钢在退火条件下最能抵抗 SSC。其它一些特定等级和条件的不锈钢在高达 35HRC 时也是可以接受的。
- 铜基合金具有天然的抗 SSC 性,但考虑到一般的腐蚀性,除非得到购买者的同意,一般不作为阀门的关键部件。
- 总的来说,镍合金具有最佳的抗 SSC 性能。一些可沉淀的镍合金可用于需要高强度和/或硬度高达 40HRC 的应用。
- 铬、镍以及其他形式的镀层不提供抗 SSC 性。它们可以使用在酸性工况中抗腐蚀,但不能用于保护没有抗 SSC 性的金属。
- 在碳钢和低合金钢上的焊补或装配焊接均需要正确的处理,以确保它们满足基本金属的热影响区(HAZ)和焊接堆积物 22 HRC 最大硬度的要

求。合金钢焊接后需要热处理,碳钢同样也需要。

- 在低应力区域,允许打上常规的识别印记,如在管道法兰的外径处。低应力识别印记也可用于其它区域。
- 该标准不允许在暴露的应用场合使用 ASTM A193 等级 B7 螺栓。使用抗 SSC 螺栓材料(如 ASTM A193 等级 B7M),有时必须降低原始设计应用 B7 螺栓的阀门等级。例如,在等级 600 的直通阀中,使用 17-4PH H1150 DBL 螺栓可以避免阀门降低使用等级。

### 6.8.2 NACE MR0175/ISO 15156

NACE MR0175/ISO 15156 对标准作了重大改变,但很多最终用户仍继续指定 NACE MR0175-2002,因为他们觉得在提供良好的使用寿命方面,该标准已经足够满足他们的需求。NACE MR0175/ISO 15156 的最重大改变包括:

- 17-4PH H1150 DBL 螺栓在原先标准中作为暴露的螺栓可以使用到全额定 600 等级的直通阀,现在将不再允许。
- 修正本内容涉及硫化应力裂纹和氯化应力腐蚀裂纹两个方面。先前版本只是简单地列出大部分材料可以接受或不可以接受。因为它的范围延伸到氯化应力腐蚀裂纹,新的标准列出了所有的抗腐蚀性合金在它的限制范围内是可以接受的,称为“环境限制或环境约束。”它们通常表示为 H<sub>2</sub>S 的分压力、最高温度、ppm 的氯含量和自由硫的存在。
- 316 不锈钢仍允许使用,但具有严格的限制环境条件。如果严格根据标准,这种材料的使用将有限。
- 该标准只适用于石油生产、钻井、采

集和流动管道设备以及用于涉及到 H<sub>2</sub>S 的碳氢服务的现场过程设备。它不适用于炼化工业。

- 该标准对购买者指定正确的材料给出了明确的责任。制造商的责任是满足 MR0175/ISO 15156 冶金学的要求。

### 6.8.3 NACE MR0103

前面也提及,NACE MR0103 在很多方面和 NACE MR0175 2003 年的修正本相似。以下是一些主要的不同处:

- 为适合酸性环境,MR0103 使用不同的、以炼化工业为基础的定义。当 MR0103 适用时,用户对 MR0103 强加的要求负责。
- 2002 年和更老的 MR0175 修正本包括了对少些材料的环境约束,这在以后的版本中继续。MR0103 只针对硫化应力裂纹。它没有对任何材料强加环境限制。材料要么合适,要么不合适。
- 在 ASME 锅炉和压力容器代码中,碳钢基材料被分为 P-No.1、群组 1 或 2,这些材料在 MR0103 中是可以接受的而没有基础材料的硬度要求。P-No.1、群组 1 或 2 包括铸造的 WCC 和 LCC、锻造的 A105、镀层的 A516 等级 70 和其它常用的碳钢压力容器材料。
- MR0103 对碳钢的焊接控制要求比 MR0175-2002 的要求更加严格。MR0103 要求 P-No.1 碳钢的焊接应根据另外一个 NACE 文件,该文件称为 RP0472,“在腐蚀性石油炼化环境中防止碳钢焊接在服务环境中裂化的方法和控制”。RP0472 要求进行控制以确保焊接堆积物和热影响区(HAZ)必须充分软化以抵抗硫化应力裂化。虽然使用特定的焊接过程/填

充材料的组合可以放弃硬度测试,但 RP0472 要求在生产过程中的焊接堆积物进行实际的硬度测试。可以通过焊接后热处理 (PWHT) 或对基材的化学成分进行约束如强制要求最大的碳当量 (CE) 以控制 HAZ 的硬度。

- 和 2003 年以及以后版本的 MR0175 相似, MR0103 不允许使用 S17400 双 H1150 材料作为螺栓。这表示 17-4PH H1150 DBL 螺栓在原先标准中作为暴露的螺栓可以使用到全额定 600 等级的阀门,现在将不再允许。

### **什么是通用 NACE?**

通用 NACE 是一种符合所有四种标准 (MR0175-2002、MR0175-2003、MR0175/ISO 15156 和 MR0103) 的 WCC NACE 铸件。■

# 第七章

## 蒸汽调节阀





## 7.1 理解过热减温

过热蒸汽为机械能量的产生提供一个极佳的能源。然而,在许多情况下,蒸汽经过大量减温接近饱和状态时,被证明是更适合使用的。这符合大多数热转换应用的实际情况。精确的温度控制对于改善热效率、消除调节过程中的意料之外的过热、以及保护下游产品或设备免受过热温度的损坏是必需的。降低温度的一种办法是安装一个减温器。

减温器把经过控制的、预定数量的水喷射到蒸汽流体中以降低蒸汽的温度。为了取得最佳效果,减温器必须为应用工况而进行正确设计和选择。虽然有时在设计中看似很简单,但减温器必须集成各种各样的复杂的热力学和流体动力学变量,以取得减温效果。

控制喷水量,从而控制蒸汽温度,需要使用一个温度控制回路。这个回路包括一个下游的温度感测装置、一个控制器和一个传送装置。控制器的作用是计算并消除被测温度相对于设定点的偏差纠正信号;传送装置的作用是将一个比例信号传送给控制水的阀门、执行机构组件从而控制要求的水量。

一个特定的减温器装置的成功与否取决于一系列的物理、热力和几何因素,其中有些因素是很明确的,而有些是模糊的,但所有这些因素都对所安装的系统的设备的性能有不同的影响。

首要的、同时也许是对减温器的有效工作最重要的影响因素是针对每一个工况选择正确的减温器型式。在系统环境的限制范围内,减温器可以有不同的形状和尺寸,可以使用不同的能量转换和机械技术以取得要求的性能,7.2这一节详细说明现有的各种类型的减温器的区别及其预期的性能。

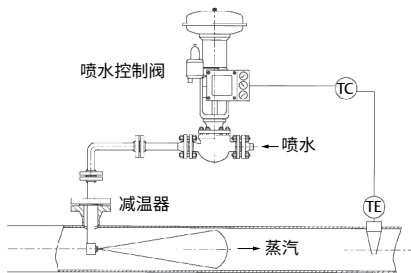


图 7.1 典型插入式减温器安装和温度控制回路

### 7.1.1 过热减温的技术特点

一些影响减温系统的性能的物理参数包括:

- 安装方位
- 下游直管长度
- 喷水温度和压力
- 喷水量
- 管道或衬里尺寸
- 蒸汽密度
- 雾化方法
- 蒸汽速度
- 设备对系统的调节性

安装方位是一个经常被忽视、但在系统性能中又是极关键的因素。对减温器的工作而言,减温器的放置可能比装置本身有更大的影响。对大多数减温器来说,最好的安装方位是置于流向向上的垂直管道里,这与目前所见到的大多数的安装方式不同。其它安装方位因素包括管道连接件、弯头、和其它类型的存在于喷水点下游的管道阻挡物。

图 7.2 展示了减温器的各种安装情况。需要注意的是,如果系统中的所有参数都设计正确,则减温器几乎在任何方位都可以工作。

喷水温度会对减温器性能有很大的影

响。与通常的逻辑相背离的是,高温水更适合于减温。随着喷水温度的增加,流体和热力学特性得到改善,而且影响以下方面:

- 表面张力
- 水滴大小分布度
- 雾化需要的潜在热量
- 雾化率

由于喷水温度的增加,所有这些方面的改进会提高系统的总体性能。

同样重要的是喷水系统(喷水阀和喷嘴)的压降。增加该系统的压降可大大缩短减温装置下游所需的直管长度。

喷水量对雾化时间有直接的成正比的影响。热交换过程是与时间有关的,因此喷水量将影响完全雾化的时间和热力学的稳定性。

为了确定所需的喷水量(Qw)与进口蒸汽流量(Q1)的函数关系,用以下公式进行简单的热量平衡计算:

$$Q_w(\text{质量}) = Q_1 * \left( \frac{H_1 - H_2}{H_2 - H_w} \right)$$

式中Q是以PPH为单位的的质量流量,H分别为进口、出口、和喷射水的焓值。

当以出口蒸汽流量Q2,即进口蒸汽和减温喷射水的组合流量作为函数进行计算时,使用以下公式:

$$Q_w(\text{质量}) = Q_2 * \left( \frac{H_1 - H_2}{H_w - H_1} \right)$$

要对最初的减温器选型进行基本的Cv计算,就需要将结果Qw(质量)转换为Qw(体积)。当用英制单位时,转换计算如下:

$$Q_w(\text{体积}) = \frac{Q_w(\text{质量}) * 0.1247}{p_w}$$

Qw(体积)以GPM为单位,pw是喷射水的密度,单位是lbm/Ft³。根据这一换算,可通过以下公式来计算各个工况下的Cv值以完成减温器的选型:

$$C_v = Q_w(\text{体积}) * \sqrt{\frac{SG}{\Delta P dsh}}$$

其中,SG是喷淋水的比重,ΔPdsh是建议的减温器两端的压差。

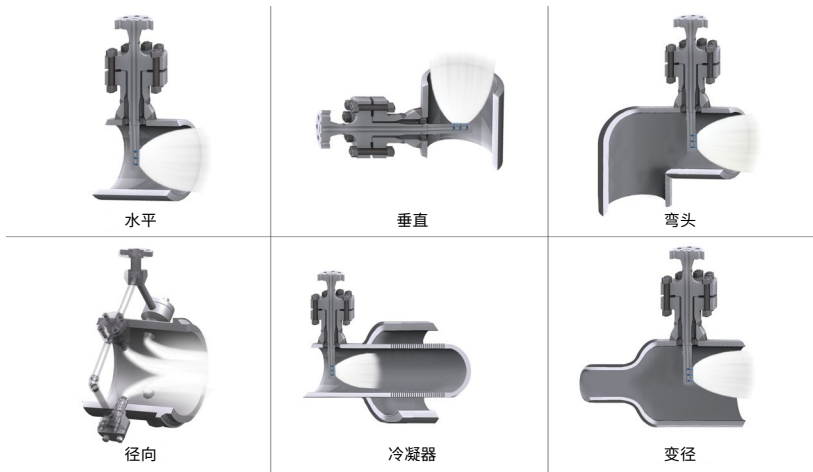


图 7.2 减温器的安装

当设计一个新的减温器时,要获得合适的系统性能需要考虑的另外一个因素是管道尺寸。随着管道尺寸的增大,更加需要注意喷水的穿透速度以及流束的覆盖程度(图 7.3)。

某些单点的喷射型减温器不能产生足够的喷嘴能量,无法把水吹散到管道的整个流动截面上,其结果就是喷射模式的失效和热力分层的形成,这就形成了被过热蒸汽笼罩着的次冷却中心核。这种现象通常在喷水流束在管道内改变几次方向以后会消失,但由于控制系统或过程的局限性,这并不总是发生的。把高能量、多喷嘴减温器正确地安装在较大口径的管道中,通常可以避免热力分层的形成。

蒸汽的最大和最小速度和冷却水与其中的成功混合有直接的关系。该速度直接影响水与蒸汽混合所需的驻留时间。如果最大速度太高,那么有可能在遇到诸如弯头或 T 型接头等障碍物之前,水没有足够的时间与蒸汽混合。理想的管道内蒸汽最大速度通常在 150-250 英尺/秒之间(46-76 米/秒)。注意,在喷射点处较高的局部速度可能是有益的。如果最小速度太低,湍流减少,那么水滴趋向于从蒸汽中的悬浮状态滴落下来。作为一个准则,对于弹簧加载喷嘴,水能保持悬浮状态的最小蒸汽速度近似为 15-30 英尺/秒(4.5-9 米/秒)。对于较低蒸汽速度的应用场合,使用具备文丘里管或能够提供雾化蒸汽的减温器可以达到较好的混合效果。

在减温领域中,一个被最多滥用和误解的概念是调节性。当这个概念被用于终端控制元件,例如阀门时,调节性是最大与最小可控制流量的简单的比例。调节性有时与可调比交互使用,然而,当它用于实际的性能比较时,其确切的含义有很大的差别。

减温器不是终端控制元件,因此,它的性能与其系统环境直接相关。减温器系统的每个部件都具有自身的可调比(蒸汽 PRV、水 TCV、管道蒸汽速度,喷嘴 dP)。实际的系统调节性更像是一个系统参数的函数,而不是基于设备的经验化的流量变化。一旦对此有所了解,那么这就显而易见:一个好的减温器不能防止一个差的系统的失败。我们必须基于它们不同的优点做出适当的选择。

即使喷嘴设计技术有所改进,管道衬里的需求也经常被明确提出,特别是在需要级间或未级减温器的 HRSG 领域。在汽轮机旁路应用中,很少会用到衬里。

由于喷水系统和管道中经常存在颗粒,管道内过滤器也许是需要的。作为设计中明确指定的一部分,网格尺寸取决于应用所选择的特定喷嘴尺寸。忽略这些网格尺寸可能导致降温不当或管道损坏。

前面的计算和建议为选择正确的减温器型式和尺寸提供了必要的信息。这种选择应当基于不同的应用情况,例如:

- 最小到最大的载荷要求可调比



图 7.3 减温器喷水穿透度

- 最小和最大蒸汽速度
- 减温器下游的直管段长度和温度传感器的距离
- 蒸汽管道尺寸和壁厚
- 水和蒸汽之间的压差 ■

## 7.2 典型的减温器型式

### 7.2.1 固定几何形状喷嘴型

固定几何形状喷嘴型减温器(图 7.4)是一个简单的机械雾化装置,带有单个或多个固定几何形状的喷嘴。它可用于负载变化几乎恒定的场合(可调比高达 5:1),且在最佳状态下,能够在低至 25-30 英尺/秒的蒸汽流速下取得良好的雾化。



图 7.4 固定几何形状喷嘴型

此类装置的标准安装方式是在一个 NPS6 (DN 150) 或更大的蒸汽管道上使用一个带法兰的分支 T 形接管。这种型式的减温器通常不能满足大  $C_v$  需求。这种装置需要一个外部水流控制阀,根据下游蒸汽管线里温度传感器的信号来调节水的流量。

### 7.2.2 可变几何形状喷嘴型

可变几何形状喷嘴型减温器(图 7.5)也是一种简单的机械雾化装置,但利用了一个或多个可变几何形状的、背压开启

式的喷嘴。由于其可变的几何形状,该装置能处理需要控制中等负荷变化(可调比高达 20:1)的应用工况,且在最佳状态下,能够在低至 25-30 英尺/秒的蒸汽流速下取得良好的雾化。此类装置的标准安装方式是在一个 NPS 8 (DN 200) 或更大的蒸汽管道上使用一个带法兰的分支 T 形接管。这些装置可以满足中等  $C_v$  需求。这种型式的减温器需要一个外部水流控制阀,根据下游蒸汽管线里温度传感器的信号来调节水的流量。



图 7.5 可变几何形状喷嘴型

### 7.2.3 自包含型

自包含型减温器(图 7.6)也是一种机械雾化装置,带有一个或多个可变几何形状的、背压开启式喷嘴。其特殊之处在于,该装置包含一个封装在减温设备中的水流控制元件。这种组合就像一个单独的喷水阀和减温器一样,但是包装在一起,以最大限度地减少现有装置所需的空间和避免管道改造。由于内部控制元件与可变几何喷嘴之间的密切配合,该装置能处理需要控制中等到较高负荷变化的应用工况(可调比高达 25:1)。且在最佳状态下,能够在低至 25-30 英尺/秒的蒸汽流速下取得良好的雾化。此类装置的标准安装方式是在一个 NPS 8 (DN 200) 或更大的蒸汽管道上使用一个带法兰的分支 T 形接管。这些装置能

满足中等  $C_v$  需求。

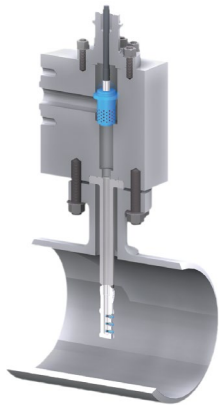


图 7.6 自包含型

### 7.2.4 蒸汽辅助雾化型

蒸汽辅助雾化型减温器(图 7.7)利用高压蒸汽来实现喷射水快速和彻底的雾化。这种型式的减温器在蒸汽管线的流速较低时尤其有用。雾化的蒸汽,通常两倍于主蒸汽管线压力或更高,在喷嘴腔体内与水相遇,在那里膨胀的雾化蒸汽的能量被用来将水雾化成极微小的水滴。这些更小的水滴可更快地转化成蒸汽并可在很低的蒸汽流速下仍然呈悬浮状态,从而获得彻底的汽化。因此,在最佳状态下,当蒸汽速度低至 10 英尺/秒时,这种蒸汽雾化型减温器能够将水很好地混合到蒸汽中。这种型式的减温器能处理需要很高负荷变化的应用工况(可调比高达 50:1)。

此类装置的标准安装方式是在一个 NPS8 (DN 200) 或更大的蒸汽管道上使用一



图 7.7 蒸汽雾化型



图 7.9 几何形状辅助对夹型

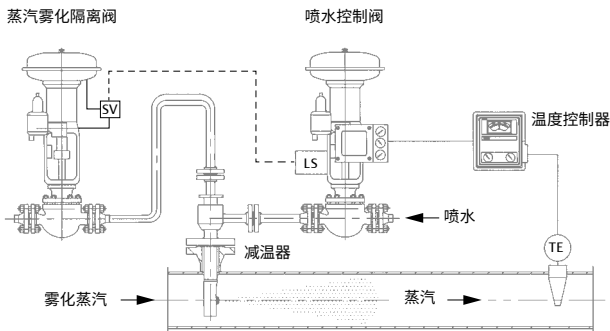


图 7.8 配有蒸汽辅助减温器的控制回路

个带法兰的分支 T 形接管。这种型式的减温器能满足中等  $C_v$  需求。它需要一个外部的水流控制阀门,根据下游蒸汽管线里的温度传感器的信号来调节水的流量。这种系统也需要一个开关阀来供应雾化用蒸汽。

### 7.2.5 几何形状辅助对夹型

几何形状辅助对夹型减温器(图 7.9)最早是为无法安装插入式减温器的小于 NPS 6 (DN 150) 的较小蒸汽管道而开发的。这种装置设计成对夹式,安装于蒸汽管道的两个法兰之间。一个缩径的节流文丘里管可以让水在对夹法兰处完全地喷射,并能够通过小钻孔或小喷嘴实现多点喷射。另外,文丘里管增加了在喷射点处蒸汽的流速,这会在最佳状态下改善蒸汽流速低至 15 英尺/秒时的水的雾化以及和蒸汽的混合程度。这种型式的减温器能处理需要控制中等负荷变化的应用工况(可调比最高达 20:1)。它可以安装在 NPS 1 至 NPS 24 (DN 25 至 DN 600) 的蒸汽管道里,且能满足中等  $C_v$  需求。这种型式的减温器需要一个外部水流控制阀,根据下游蒸汽管线里温度传感器的信号来调节水的流量。■

## 7.3 理解蒸汽调节阀门

蒸汽调节阀门用来同时将蒸汽压力和温度减小到给定工况要求的水准。这些应用工况经常涉及到很高的进口温度和压力,且需要将两者大大降低。因此这些阀体最好用锻造加组合的方法来制造,它们能够较好地承受在高压和高温下的蒸汽载荷。相对于铸造阀体,锻造材料允许更高的设计应力,具有更加优化的晶体结构和内在的材料一致性。锻造结构允许制造商更加容易地提供最高至磅级 4500 以及中间等级。但是,当压力和温度较低或需要直通阀时,铸造阀体仍然是一种好的选择。

由于温度和压力的减小而导致的蒸汽特性的频繁极端变化,锻造组装的阀体式允许增加一个扩展式输出口以控制较低压力下的出口蒸汽速度。类似地,随着出口压力的减小,锻造组装型的蒸汽调节阀允许制造商提供不同压力等级的进口和出口连接端以更好地与相邻管线配合。

与两个独立的装置相比较,将减温和减压功能组合在同一个阀门里的其它优点包括:

- 由于优化减压元件下游的紊流膨胀区域,而改善了喷水的混合程度。
- 改善了可调比
- 由于是一台设备,故安装和维修相对简单。

为满足不同的应用工况,我们可提供不同型号的蒸汽调节阀。以下是一些典型的例子。■

## 7.4 蒸汽调节阀

蒸汽调节阀是将蒸汽的压力和温度控制集合在一个控制单元内,代表了最先进的蒸汽温度、压力控制技术。这些阀门满足了在能源费用上升和更加严格的设备运行条件下对蒸汽实现更好控制的需求。与同等的减温减压站相比,蒸汽调节阀还能提供更好的控温和降噪效果,以及更少的管道和安装限制。图 7.10 中所示的蒸汽调节阀在一个阀门内包含了压力和温度控制。有限元分析 (FEA) 和计算流体力学 (CFD) 用于设计、开发及改善阀门的结构完整性并优化其运行性能和整体可靠性。蒸汽调节阀坚固的设计证明它具有处理主蒸汽全压降的能力,同时使用控制阀降噪技术的流道设计可以防止过度的噪音和振动。

蒸汽调节阀所用的简化阀内件结构(图 7.10)能够适应汽轮机起动时产生的快

速温度变化。阀笼经过表面硬化处理,延长了使用寿命,并允许在由热冲击产生偏移时膨胀。阀芯配备连续导向,钴基金层的使用,不仅提供了导向材料,也实现了与阀座严密的金属密封。



图 7.10 蒸汽调节阀的剖面图

蒸汽调节阀在减压后的下游配备了一个喷水的集成管。该集成管具有可变几何形状和背压启动喷嘴的特征,它使水的混合和蒸发效果最佳。

这种喷嘴(图 7.11)原先设计用于集中冷凝系统,在该系统中下游蒸汽压力能下降到饱和条件以下。这种型式的喷嘴可通过减少最小流量来改善设备调节性。这是通过较低  $dP$  的喷嘴背压实现的。同样有益的是,在较小开度时增加的喷嘴  $dP$  使闪蒸出现在喷嘴出口处,而不是穿过喷水阀阀内件。

在闪蒸发生时,喷嘴内阀塞的弹簧负载通过驱使阀塞关闭来阻止任何此类的变化。闪蒸时,流体的可压缩性发生变化,喷嘴弹簧强制闭合并重新压缩流体。这些动作完成后,流体重新获得它的液体特性并能流入冷却器内。

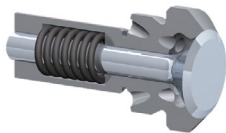


图 7.11 可变几何形状和背压启动的喷嘴

蒸汽调节阀将水喷向管道的中心并远离管壁。喷水点的多少随应用不同而变化。当蒸汽压差较大时,阀门的出口尺寸会急剧增大,以适应更大的比容。相应地,出口圆周上的喷嘴数量也会增加,从而使喷水分布更均匀、更全面。

在蒸汽调节阀内,简化的阀内件布置可以允许它使用至更高的压力等级(至 ANSI 磅级 2500 或更高)和操作温度。蒸汽调节阀的平衡阀塞结构可以提供 V 级密封和线性流动特性。

蒸汽调节阀通常使用高性能的气动活塞式执行机构和数字式阀门控制器以在 2 秒以内完成全行程动作,同时维持高精度的阶跃响应。

当管道布置需要时,蒸汽调节阀可以作为分散的部件供应,允许压力控制在阀体内完成而减温在下游的蒸汽冷却器内完成。此外,还可以提供铸造直通阀体,并与插入式减温器结合使用,以提高经济效益。

#### 7.4.1 蒸汽减温器

蒸汽减温器(图 7.12)通常用于需要将减压和减温功能分开的场合。蒸汽冷却器或减温器配有供水集合管。这种集合管(可以使用多个集合管)将冷却水供应给布置在出口处管壁的多个单独的喷嘴。这样使很细的冷却水径向喷入轴向流动的高紊流蒸汽中。冷却水和高紊流蒸汽间大的接触表面积使混合和蒸发很高效。



图 7.12 配有衬里的环型减温器

## 7.4.2 蒸汽喷淋器

蒸汽喷淋器(图 7.13)是一种减压装置,用来将蒸汽安全地喷入冷凝器和汽轮机废气管道中。另外,蒸汽喷淋器为汽轮机旁路阀提供背压,限制蒸汽流速和减小旁路阀和喷淋器之间的管道口径。当考虑整个系统的噪音时,蒸汽喷淋器的设计和安装是两个关键因素。喷淋器的设计对保证汽轮机旁路系统的功能是至关重要的。为了减少流体流动引起的噪音,蒸汽喷淋器可以使用各种降噪技术。■



图 7.13 带钻孔噪音控制技术的蒸汽喷淋器

## 7.5 理解汽轮机旁路系统

随着电厂操作模式的改变,汽轮机旁路系统在过去的几十年里发生了变化。它通常用于民用电厂。在那里,工厂的运行需要对电力需求的宽幅变化作出快速的响应。电厂运行的典型一天也许是从最小负荷开始的,然后增加到满负荷以满足全天大部分时间的需要,之后快速减小至最小输出,然后再增加到满负荷,所有这些发生在 24 小时内。如果没有某种形式的汽轮机旁路系统,锅炉、汽轮机、冷凝器和其它关联设备将不能对如此快速的变化作出正确的反应。

汽轮机旁路系统允许锅炉的运行独立于汽轮机。在启动模式或发电需求快速减小的情况下,汽轮机旁路不仅给蒸汽提供一个另外的通道,而且将蒸汽调节到

与通常由汽轮机膨胀过程产生的蒸汽相同的压力和温度。通过为蒸汽提供一个另外的通道,汽轮机旁路系统保护了汽轮机、锅炉和冷凝器免受可能由于热力和压力的波动而引起的损坏。由于这个因素,为了最大限度地保护设备,许多汽轮机旁路系统需要极快的开/关响应时间。这可以通过使用一套为这种操作既提供力又提供控制的驱动系统来实现。

另外,在调试一个新的工厂时,汽轮机旁路系统允许独立于汽轮机而启动和测试锅炉。

这意味着工厂能快速地开工,大幅提升效益。同时也意味着该闭环回路系统能够防止处理过的锅炉给水的大气损失和环境噪音的扩散。■

## 7.6 汽轮机旁路系统的部件

一个汽轮机旁路系统的主要元件有汽轮机旁路阀门、汽轮机旁路水控制阀和驱动系统。

### 7.6.1 汽轮机旁路阀

不管是用于低压、中压还是高压场合,汽轮机旁路阀通常需要严密关闭等级(V级)。由于特殊的安装要求,这些多喷嘴阀门偶尔也被分成两个部分:阀门的减压部分和位于冷凝器附近的出口/多喷嘴冷却部分。

为如此复杂的工艺过程选择一个合适的汽轮机旁路控制阀,首先应了解需要完成的性能目标,存在或计划的实际管道几何形状以及确定需要哪些过程控制。一旦理解了这一点,就可以结合其他因素,例如控制阀的型式和口径、压力和流量控制需求、噪音规范要求、材料要求和过程操作实践。从相互独立的直通阀体和下游减温器,到将减温减压功能结合在一个单元中的设备,我们有多种可能的选择。



汽轮机旁路阀可以采用差异显著的设计,正如其适用的应用一样。每个汽轮机旁路阀均具有独特的特点或选件,能够在各种工况和客户特定要求下实现高效运行。汽轮机旁路阀通常根据特定安装进行定制。很少有两个汽轮机旁路阀具有相同的安装。

可以选择具有下游减温装置的单独直通阀体或角形阀体,以方便地装入已有的管道布局。直行程控制阀设计用于提供精确的流量控制。它们还可以结合降噪阀内件,通常用于存在大压降的蒸汽排放和汽轮机旁路应用中。该方法可适用于温和至严酷的应用范围。

### 7.6.2 汽轮机旁路水控制阀

这些阀门用来控制通往汽轮机旁路阀的水流。由于设备保护的需要,这些阀门必须提供严密关闭等级(V级)。阀内件要求包括标准阀内件和抗气蚀阀内件等。

### 7.6.3 驱动系统

在典型的旁路系统中,通常的做法是在工厂事件期间将旁路阀跳闸到对应于预定流量需求的预设开口。但是,阀门必须保持手动运行一段特定的时间,直到系统稳定下来才能切换到自动操作。这需要专门的算法和控制逻辑,因此增加了操作的复杂性,直到几年前,这种情况都是不可避免的。

然而,在当今的电力市场中,汽轮机旁路系统的极限正在被打破。安装使用高性能驱动系统来响应快速和精确的控制,以满足各种工厂的需求,而不必担心在工厂事件中将旁路阀置于手动状态。

汽轮机旁路阀必须具有一定的响应能力,以保护价值不菲的关键汽轮机免受瞬变损坏。它们也必须精确,以便以最高效率运行。

了解了行程速度和控制要求后,就能设

计用于满足过程要求的复杂驱动系统。通常情况下,阀门位置行程速度从打开到关闭需要2-4秒。精密驱动技术不仅需要快速动作,而且即使是非常大的控制阀,定位精度也要好于1%。

设置和调整应在几分钟内完成,此外还需要支持具备高要求的远程操控。在软件方面,这是通过软件包完成的,这些软件包提供专门为这类型的阀门设置的调整参数。参数应被设置为使其超过驱动设定点来改善对小幅度阶跃的响应,非对称地调整响应应在打开和关闭时间中独立设置,并集成实时图示以便远程进行调整。

在硬件方面,可以使用气动或液压解决方案来完成这项艰巨的任务。两者都是市场上公认的解决方案,可以实现相同的目标,并且只需要最小限度的维护。■



图 7.14 适于汽轮机旁路应用的典型驱动系统

# 第八章

## 安装和维护



控制阀的效率直接影响到过程工厂的效益。控制阀在优化过程中所起的作用经常被忽视。许多过程工厂的经理把大部分资源集中在集散式控制系统及其潜在的提高生产效率的能力上。然而,实际造成过程参数改变的是终端控制元件(通常是一个控制阀)。如果阀门工作不正常,在前端的复杂电子部件没有一个会纠正阀门一端的问题。就像许多研究已经表明的那样,阀门经常被忽略,以至于它们已经成为过程控制方案中的薄弱环节。

不管自动控制多么复杂,也不管仪表多么精确,控制阀必须要正常工作。阀门工作不正常,不可能获得高的产量、合格的产品、最大的效益和能源的节约。

优化控制阀的效率取决于:

1. 针对应用正确地选择控制阀
2. 正确的存储和保护
3. 正确的安装技术
4. 有效的预测性维护计划

第五章讲述了控制阀的选择。本章的内容是正确的存放和保护、安装技术和预测性维护。■

## 8.1 正确的存储和保护

在阀门被运输出去之前,早在阀门选型过程中就应该考虑选择正确的存储和保护。通常,制造商们会采用基于运输目的地的和计划安装前存储时间长短的包装标准。由于大多数阀门在安装前的某个时间就被运到现场,确保在阀门选型时就让制造商了解并与其讨论安装计划细节,可避免许多问题。另外,当阀门到达目的地后,要特别小心保护。例如,阀门必须存放在一个干净、干燥的地方,并远离可能损坏阀门的任何车辆或其它操作。■

## 8.2 正确的安装技术

应始终遵守控制阀制造商的安装指导和注意点。这里对典型的安装指导作简单归纳。

### 8.2.1 阅读指导手册

在安装阀门之前,先阅读指导手册。指导手册介绍该产品以及安装前和安装时应注意的安全事项及预防措施。按照手册中的指南去做有助于保证安装的简易和成功。

### 8.2.2 确认管道清洁

管道中的异物可能会损坏阀门的密封表面或甚至阻碍阀芯、球或蝶板的运动而造成阀门不能正确地关闭。为了减小危险情况发生的可能性,需在安装阀门前清洗所有的管道。确认已清除管道污垢、金属碎屑、焊渣和其它异物。另外,要检查管道法兰以确保有一个光滑的垫片表面。如果阀门有螺纹连接端,要在管道外螺纹上涂上高等级的管道密封剂。不要在内螺纹上涂密封剂,因为在内螺纹上多余的密封剂会被挤进阀体内。

多余的密封剂会造成阀芯的卡塞或脏物的积聚,进而导致阀门不能正常关闭。

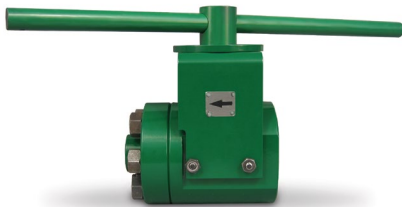


图 8.1 金属阀座球阀的流向箭头指示

### 8.2.3 检查控制阀

虽然阀门制造商们会采取某些步骤防止运输损坏,但这种损坏还是有可能发生的,且可以在安装之前发现和通报。

不要安装已知在运输和存放时已损坏的阀门。

安装之前, 检查并除去所有运输挡块、防护用堵头或垫片表面的盖子, 检查阀体内部以确保不存在异物。

### 8.2.4 采用良好的管接实践

绝大部分的控制阀可以安装在任何位置, 但是, 最常用的方法是将执行机构垂直安装于阀体上方。如果执行机构水平安装是必须的, 则考虑对执行机构增加一个额外的垂直支撑。应确保这样安装阀体: 流体流向与流向箭头或指导手册所指示的方向一致(图 8.1)。

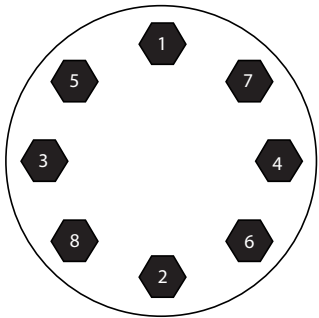


图 8.2 以交错形式旋紧螺栓

确保在阀门的上面和下面留有足够的空间以便在检查和维护时可轻松地拆卸执行机构或阀芯。空间距离通常可以从阀门制造商认定的外形尺寸图上找到。对于法兰连接的阀体, 确保法兰面准确地对准以使垫片表面均匀地接触。在法兰对中后, 轻轻地旋紧螺栓, 最后以交错形式旋紧这些螺栓(图 8.2)。正确地旋紧能避免产生不均匀的垫片负载, 并有助于防止泄漏, 也有助于避免法兰损坏或甚至裂开的可能性。当连接法兰和阀门法兰材质不一样时, 这种预防措施就显得尤为重要。

安装于控制阀上游和下游的引压管有助于检查流量或压降。将引压管接到远离

弯头、缩径或扩径的直管段处。这种位置可将由于流体紊流而导致的不精确性减到最小。

用 1/4 或 3/8 英寸 (6-10 毫米) 的管子把执行机构上的压力接口连接到控制器上。保持较短的连接距离, 并尽量减少管件和弯头的数量以减少系统时间滞后。如果该距离必须很长, 那么可以在控制阀上使用一个定位器或流量放大器。

### 8.2.5 冲洗/水压试验/启动阀内件

当要把插焊连接端或对焊连接端焊接到管道时, 需要移除控制阀内件以防止损坏阀内件部件。在进行系统水压试验和冲洗系统时, 还需要用临时一次性阀内件套件替换阀内件。

**注:** 强烈建议在将阀门焊接到管道中, 冲洗管道并进行水压试验之前, 不要安装终端应用阀内件。

在将一个或多个阀门焊接到管线上之后, 通常需要对系统进行水压试验和冲洗。系统水压试验与规范一致的情况很常见, 该规范指出水压试验将以系统工作压力或设计压力的 1-1/2 倍进行。通常, 可能受到该水压水平不利影响的唯一阀门部件(假设在水压试验过程中阀门处于打开位置)将是阀杆填料。PTFE 填料可能会因高水压力而产生一些挤压, 因此建议在水压试验后至少要更换 PTFE 填料。

如果阀门要在短时间内投入使用, 则不需要更换石墨填料。长时间将湿石墨填料留在未工作的阀中可能导致阀杆产生电偶腐蚀。

但是, 由于系统通常会同时被冲洗, 因此应安装一套一次性阀内件来处理水压试验和冲洗。

对于一些控制阀和蒸汽调节阀, 冲洗操作不会以从阀门入口到出口的方向流经阀

门。由于阀门的型式或应用,冲洗操作可以进入阀门入口或出口(取决于配置),并从阀盖开口流出。这种类型的冲洗阀内件通常被称为“排空”阀内件。

冲洗系统会出现一些可能损坏控制阀阀内件的情况。其中包括流过阀门的焊渣、铁锈、腐蚀物等。这些材料可能会损坏阀座表面,并且通常会堵塞钻孔或堆叠的蝶板内件。因此,始终建议拆除阀内件并安装某种形式的一次性冲洗阀内件。在将阀门焊接到一条管线之后,除了由于焊接高温而从阀门管道内部脱落的水垢之外,管线内通常还存在焊渣。如果这种物质流过阀门,可能会堵塞阀门内件,并可能损坏阀门阀座的完整性。■

## 8.3 控制阀维护

应始终遵循控制阀制造商的维护指导。这里对一些典型的维护方法作简单归纳。

控制阀设备的优化基于一个有效的维护原理和程序。以下是三种最基本的方法:

**被动性维护**——事情发生后采取行动。等待阀门发生问题,然后进行维修或更换。

**预防性维护**——根据历史记录,按时间表采取行动;也就是说,尽量避免坏事发生。

**预测性维护**——使用最先进的非侵入式诊断测试和评估设备或智能仪表,根据现场输入采取行动。

尽管被动性和预防性维护程序是有用的,但是它们不能最大限度地利用阀门的潜能。下面是这些方法的一些不利之处。

### 8.3.1 被动性维护

被动性维护会导致细微的缺陷被忽视并未被处理,这是因为问题的发生没有明

显的迹象。甚至一些关键阀门也可能被忽略,直到产生严重的泄漏或无法动作。在某些情况下,生产反馈会有助于维护人员在产生严重问题前作出响应,但是阀门也许因为怀疑有故障而被不必要地拆卸下来。对大型阀门或那些焊接在管道上的阀门,拆除、解体、检查和重新安装也许需要一天或更长的时间。如果异常情况实际上是由系统中其它元件所造成的,就会浪费时间和资源,而问题却没有解决。

### 8.3.2 预防性维护

预防性维护总体而言是一个巨大的进步。然而,由于维护计划几乎无法获得有关正在运行的阀门的信息,因此许多工厂只是按轮流计划对所有控制阀进行检修。这种方法造成的结果是维修了某些不需要修理和调整的阀门,而将其它已经不能有效地工作的阀门长时间地留在系统里面。

### 8.3.3 预测性维护

如今,工厂运营商为了最大限度地延长工厂的正常运行时间,往往会将两次翻修之间的间隔时间延长至三四年,甚至更长。这种运行时间的延长使传统的控制阀离线检修的机会更少。

传统的维护过程包括4个区别明显的模式:

**故障探测**——阀门维护的大部分工作是:在阀门工作时监测其表现以探测故障的发生。当故障确定后,维护过程进入故障辨别。

**故障辨别**——在本模式中,评估阀门组件以确定故障的原因并建立纠正措施。

**过程恢复**——采取纠正措施,修复故障源。

**确认**——在最终模式中,相关的阀门组件被评估以确定是否恢复如初或与上次

建立的基线一致。一旦确认后, 维护过程再次回到故障探测状态。

### 8.3.4 使用控制阀诊断

随着基于微处理器带在线诊断功能的阀门仪表的到来, 各公司可以重新设计他们的控制阀维护规程。

这些数字化设备大幅改进了传统维护流程中的故障探测和故障辨别。

例如, 在线诊断程序(图 8.3)可以探测各种问题, 诸如仪表的压缩空气质量、泄漏和供气压力的不足, 以及能确定诸如由于额外的摩擦力、死区和校准失效等引起的阀门问题。问题一旦确认, 将会报告问题的严重性, 列出可能的原因和应该采取的措施。这些诊断结果通常为以下的三种之一:

- 未检测到故障(绿色状态)。阀门继续运行, 监测也将继续。
- 警告信号, 已经检测到故障, 但控制功能没受影响(黄色状态)。这是预测性指示, 表示探测到的问题可能会影响控制功能, 应该计划在未来进行维护。

- 错误报告, 表示一个影响控制的故障已经被探测到(红色状态)。这些故障通常需要立即引起注意。

更具体地说, 在线诊断可以监测仪表空气泄漏、供气压力、行程偏差和放大器调整、仪表空气质量、摩擦力等。

#### 8.3.4.1 仪表空气泄漏

空气流量诊断测量通过执行机构组件的空气流量。因为有多个传感器, 这种诊断能检测来自数字式阀门控制器的正(供给)和负(排气)空气质量流量。这种诊断不仅能检测执行机构和相关管道的泄漏, 而且能检测更困难的问题。例如, 在活塞式执行机构中, 空气流量诊断能探测活塞密封泄漏或 O 型圈的损坏。

#### 8.3.4.2 供气压力

供气压力诊断可检测和供气压力有关的控制阀问题。这种在线诊断能检测低的和高的供气压力读数。另外, 除了检测是否有足够的供气压力外, 这种诊断还能用来检测并量化在大的控制阀行程过程中供气压力的下降。这特别有助于识别供气管线的限制。

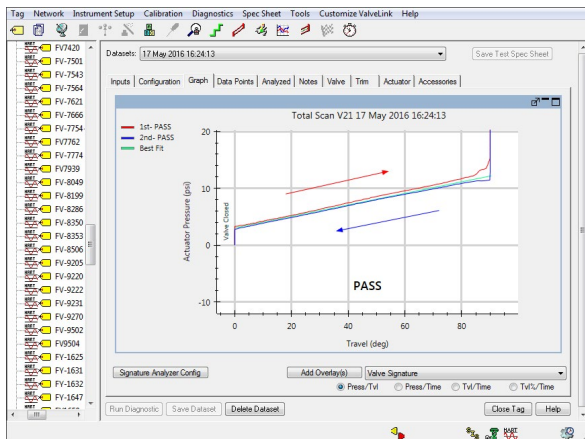


图 8.3 用于预测性维护的非侵入式诊断程序

### 8.3.4.3 行程偏差和放大器调整

行程偏差诊断用来监测执行机构压力和行程与设定点的偏差。这种诊断有助于发现控制阀卡死、互锁、低供气压力或行程校正的漂移。

放大器调整诊断用来监测双作用执行机构的交叉压力。如果交叉压力过低,执行机构失去刚度,使得控制阀芯容易受流体力的影响而振动。如果交叉压力设置过高,两腔室的压力接近供气压力,气动力将基本相同,弹簧力将起主导作用,执行机构将移向弹簧失效位置。

### 8.3.4.4 仪表空气质量

I/P 转换器和放大器监测诊断可以确定诸如 I/P 转换器根源或 I/P 转换器喷嘴的堵塞、仪器膜片的失效、I/P 转换器 O 型圈失效和 I/P 转换器校正漂移等问题。这种诊断对于发现由于供给空气的污染和温度过高引起的问题特别有用。

### 8.3.4.5 服役中的摩擦力和摩擦力趋势

服役中的摩擦力和死区诊断可以确定在控制阀组件中的摩擦力,这些摩擦力受到控制系统的影响。摩擦力诊断数据被收集并被趋势化,以检测影响过程控制的控制阀变化。

### 8.3.4.6 其它示例

在线定制诊断可以被配置成收集并图形化任何有关智能控制阀的可测量变量。定制的诊断可以查找并确定其它手段所不能检测到的故障。通常,这些故障比较复杂并需要外部专家的帮助。在这种情况下,本地的维护人员可以收集数据,然后将数据发送给外部专家做深入的分析,这样可以避免产生和现场访问有关的费用和延误。

### 8.3.5 诊断技术的持续发展

总的来说,过程工业将不断要求在质量、产量和可靠性方面提高效率。单独地说,

个别生产商将不断延长两个检修之间的时间。这种需求导致可以供给仪表修理的人工时间越来越短。解决这一不足的必然答案是未来的诊断技术的发展将集中于在线的、非侵入式的测试和评估性能,例如阀门状况监控。

因为收集的信息可以精确指出有必要维护的阀门以及正常的阀门,通过在线诊断对阀门性能进行评估的能力可以大幅改进检修计划。



图 8.4 典型的弹簧薄膜执行机构

一个解决方案是使用基于微处理器的阀门仪表,当阀门在服务中时就能评估控制阀组件是否正常工作。不需要对正常的过程运行有任何的干扰就能采集数据。仪表实时分析信息,然后对每个检测到的阀门运行问题提供维护建议。■

## 8.4 服务和维修零件

### 8.4.1 使用原始设备制造商(OEM)零件

为了维护工厂的安全性和完整性,并确保阀门的预期性能,必须使用原始设备制造商提供的维修零件。原始设备制造商或其授权代理商是拥有所需规格维修零件的唯一来源。

使用原始设备制造商 Fisher 零件的好处包括:

- 提高工厂和员工的安全性
- 提高控制阀的可靠性
- 降低法律和环境风险
- 降低备件加急费用
- 降低维护成本
- 增加设备正常运行时间
- 最大限度地提高阀门性能

控制阀的仿制零件有多种来源。虽然这些部件看起来一模一样,但它们并不是按照原始设计的规格制造的,也没有经过全面测试以验证其性能。不建议使用这些部件。仿制零件的采购成本可能较低,但也可能因意外停机而导致企业总体成本上升,影响安全性和盈利能力。

阀门行业的原始设备制造商参与行业标准的制定和持续维护,因为他们拥有专业的应用和材料知识,可用于提高标准并使最终用户受益。仿制商通常缺乏参与标准监督和开发测试所需的专业知识。这种专业知识的缺乏可能会影响阀门的长期可靠性、威胁工人的安全、损坏设备并导致工厂停工。

此外,使用未经授权的替换零件通常会导导致原始设备制造商的产品保修失效。

### 8.4.2 建议备件

许多公司会制定一份可作为建议备件的零件清单,用于特定的阀门或执行机构。该清单称为“建议备件清单”(RSPL)。制定这份清单的目的是替换某些日用会磨损的组件。没有这些组件,设备将无法正常运行。在阀门中,它可以是控制元件(即阀芯/阀杆、阀笼、蝶板、球、阀轴、轴承等),或密封部件(即阀座、密封环、平衡密封、填料等)。在执行机构中,它可以是膜片、O型圈、轴套等。



图 8.5 控制蝶板

用户应考虑储备推荐的零部件,以便在需要时快速维修阀门。保持内部维护所需的备件库存可能是一项巨大的投资,并可能导致相当数量的备件库存。



图 8.6 螺柱、垫片和螺母

在决定储备哪些零件时,应考虑以下几个因素。首先要考虑的是阀门或设备的关键性。在公司内部储备合适的备件可以增强用户对维修能力、维修质量和安全性的信心。其次,考虑在设备发生故障时,是否存在无设备可用的风险。当控制阀发生故障时,备有零件库存可立即提供解决方案,从而最大限度地缩短维修时间。这样可以减少潜在的环境、安全和安装问题。第三,考虑所需零部件的供应情况,制造商或制造商授权的代理商是



否能快速提供这些零部件?虽然在发生意外停机时,为维护而库存零件可以降低加急成本,但在内部没有库存零件的情况下,原始设备制造商的仓库网络有可能支持当天或隔夜交付加急零件。原始设备制造商通常会全球销售办事处库存、地区制造工厂、备件仓库和能够在紧急情况下制造备件的服务设施结合起来,以满足客户的备件需求。

制造商可能会提供一份综合备件清单,其中列出了可用于贵单位多个阀门的部件。

### 8.4.3 成套零件的便利性

成套零件的设计通常是针对特定问题或维修类型提供维修阀门组件所需的备件。例如,修理阀座泄漏或填料泄漏,甚至支持阀门的基本打开和检查。这些套件中包含的部件可以是硬部件和软部件的组合。用户通常可以选择更换所选部件或更换套件中的所有部件,以将磨损的组件修复到最佳状态。



图 8.7 垫圈套件

在内部库存套件时,套件的可用性可改善库存控制。套件库存减少了占用空间和需要管理的零件编号数量。



图 8.8 填料套件

这使用户无需订购单个部件即可检索套件,并确保维修所需的所有部件都能安全到达。

### 8.4.4 考虑升级阀内件

在维护周期中,检查零件并考虑是否需要升级是非常重要的工作。例如检查操作时是否会出现阀门噪音、阀内件是否损坏过度,或者系统运行参数与原始设计是否有所不同。很多时候,更换阀内件就可以解决这些问题。■

## 8.5 执行机构维护

### 8.5.1 弹簧-薄膜执行机构

绝大部分的气动弹簧-薄膜执行机构(图 8.4)使用一个模压成型的膜片。模压膜片容易安装,能够提供在阀门全行程范围内相对比较均匀一致的有效面积,并可以取得比平板式膜片更大的行程。吹向膜片的空气在一个方向上提供执行机构力,而弹簧在另一个方向上提供力。由于空气仅在一个方向上提供力,因此这些执行机构通常被称为单作用执行机构。

## 8.5.2 活塞式执行机构

活塞式执行机构采用,在气缸内具有 O 型圈或四环密封的活塞。可以向活塞的两侧供应空气以在任一方向上提供执行机构力,因此这些执行机构被称为双作用执行机构。此外,活塞式执行机构还可以利用弹簧来代替活塞一侧的空气或者用空气提供额外的力。

## 8.5.3 阀杆填料

填料(图 8.9)在直通阀、角形阀体的阀杆和旋转阀的轴周围提供压力密封,如果阀杆周围出现泄漏,或阀门因其他维护或检查而完全拆卸,则应更换填料。在松开填料螺母之前,应确保阀体内部没有压力。



图 8.9 典型的阀杆填料组件

不拆下执行机构就想拆下填料是困难的,也不建议这样去做。同样地,也不要试图通过向阀盖的润滑孔加压去吹出旧的填料环,这将是很危险的。而且,通常这种方式也不能获得好的效果,因为填料通常被安排在润滑孔以下的位置。

一个比较好的方法是拆下执行机构和阀盖,将阀杆拔出来,然后将旧填料从阀盖的顶端推或顶出来。不要用阀杆去顶,因为其螺纹可能会受到损坏。

清洁填料函。检查阀杆上是否存在可能

会损坏新填料的划痕或缺陷。适当地检查阀内件及其它零部件。重新组装后,按照类似图 8.2 中法兰的顺序拧紧阀体和阀盖螺栓。

按正确的顺序将新的填料零部件从阀杆上滑下去,要注意不要使填料环被阀杆螺纹损伤。按照制造商的指导去调整填料。

## 8.5.4 阀座环

严酷工况可能会损坏阀座环的座合表面,导致阀门不能完全关闭。如果损坏情况不是很严重,对座合表面进行打磨或研磨会改善关闭性能。若出现严重损坏,则需更换阀座环。

### 8.5.4.1 更换阀座环

按照制造商的指导去做。阀座环可以旋入阀体,夹紧(由阀笼或其他部件固定),用螺栓固定或悬挂(连接到阀笼)。对于螺纹式阀座环,使用阀座环拆卸器。在试图拆卸阀座环之前,先检查阀座环是否被点焊在阀体上。如果是,那么先去掉焊点。

对于双座阀阀体,一个阀座环比另外一个阀座环小。对于正作用阀门(向下推关闭的动作方式),在安装大的阀座环前,先安装离阀盖较远的小阀座环。对于反作用阀门(向下推打开的动作方式),在安装大的阀座环前,先安装离阀盖较近的小阀座环。

在旋紧螺纹式阀座环后,清除多余的管道杂物。将阀座环点焊定位以确保它不会松动。

### 8.5.4.2 连接:阀芯到阀杆、球到阀轴和蝶板到阀轴

控制元件(阀芯、球或蝶板)与阀杆或阀轴之间的连接对于阀门的安全和预期操作是至关重要的。因此在装配过程中有特殊的连接要求。为此,遵循所提供的所

有原始设备制造商装配说明进行操作非常重要。始终考虑购买阀芯和阀杆,作为阀芯/阀杆组件,以确保阀门安全并按预期工作。连接不当可能导致阀门控制性能不稳定和填料泄漏过多。

### 8.5.5 弹簧设定范围

弹簧设定范围是通过一个弹簧调整件让执行机构弹簧产生的一个初始压缩量。对于气开阀,弹簧设定范围的下限决定了可得到的阀座负载力以及使阀门开始打开所需的气压值。对于气关阀,弹簧设定范围的下限决定了阀门开始关闭所需的气压值。阀座合力是由施加的气压减去了弹簧设定值,再减去由行程所产生的弹簧压缩力所得到的(图 8.10)。由于弹簧的公差,在弹簧角度上也许有偏差。当阀门关闭时,弹簧设定范围需要最高的精确度。如需了解调整弹簧的详情,请参考阀门制造商的指导手册。

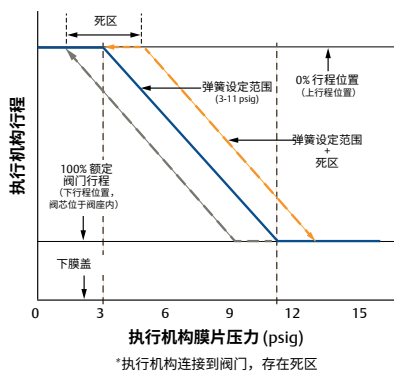


图 8.10 弹簧设定范围与阀座负载

### 8.5.6 阀门行程

正确的阀门行程对于发挥适当的控制阀性能至关重要。行程不足会导致阀门无法达到设计的流量。超行程会减少执行机构的阀座负载,从而影响关闭并导致阀内件损坏。另一个超行程会导致的问题是阀芯会接触阀盖的底部,导致阀杆

从阀芯中拔出。相比旋转阀行程,直行程阀门行程更重要。因此,在设置直行程阀门行程时,必须关注每一个细节。如需了解正确设置阀门行程的步骤,请参阅制造商的指导手册。■

## 8.6 停机、周转、停运计划流程

大多数工业流程装置都会执行维护性停机、周转或停运 (STO)。它们可以是计划内的,也可以是计划外的。如果是计划内的,则取决于行业类型和过程装置,平均每三到五年会有一次计划内的维护活动,以维护和升级工厂资产和设备。如何规划时间表、定义和执行范围因行业而异,因此,最大限度地减少所需的时间和专业知识始终是 STO 能否成功满足预算和期限要求的关键。过程装置因 STO 而停机的每一天,都意味着特定工厂本身无法生产产品,进而意味着无法盈利。

由于预算限制、缺乏必要的技能和资源以及资产健康数据和解释不足,您可能很难成功执行 STO。您需要一个合作伙伴,帮助您确定必要的工作范围,同时规划和执行一个符合预算要求的计划,在最短的时间内让生产系统恢复正常运行。

各行业需要在 STO 之前与供应商合作,根据行业的不同,您可以在执行前 12 到 60 个月进行适当的计划并制定范围,然后再执行。记住五个 P: 适当的规划可防止绩效不佳。

### 8.6.1 引进控制阀供应商

大多数主要的控制阀供应商和服务提供商都有在不同的最终用户和行业中开展 STO 项目的经验。让这些经验丰富的团队参与进来,有助于提高控制阀维修范围和时间表的清晰度,发现降低成本的机会,并通过使用经认证的部件,由训练有素的工厂技术人员按照工厂程序进行安装,使控制阀恢复到原始设备制造商

的状态。

最早可在计划 STO 前 24 至 60 个月开始讨论,以确定计划维护的范围和设备。如果您与艾默生合作,他们将采用经过验证的 7 步 STO 流程,从而实现一致的结果。

### 8.6.2 运营规划

运营规划阶段大约在执行前 24 至 60 个月进行。与主要利益相关者一起对未来项目进行高水平规划,以确保未来 STO 的成功、准时和安全。销售渠道和服务负责人在执行前 24 至 60 个月开始与客户及其团队接触。确定初步范围和关键性排序、生产/调度优化、CAPEX 整合计划和关键绩效指标。

主要利益相关者应包括艾默生销售渠道客户经理、STO 项目经理、维修负责人,客户工厂经理、运营经理、维护经理、检修经理以及工程、可靠性和 HSE 团队。

### 8.6.3 协调阶段

协调阶段大约发生在 STO 之前的 12 至 24 个月。与利益相关者对关键举措、项目目标进行协调,制定优先工作清单、产品拉通战略,并确定范围冻结日期。生成初步范围定义,确定初步进度里程碑和预算。定义项目目标和目的,确定工作清单的优先次序,并确定范围冻结日期。最终,团队应根据维修、更换或升级的目标资产确定初步范围。如果已经签订了阀门状态监控合同,那么这就是审查趋势分析以确定需要或不需要关注的阀门的最佳时机。最后,作为计划的一部分,应讨论将供应商工程师作为工厂重启流程的一部分。

主要利益相关者应包括艾默生销售渠道客户经理、STO 项目经理、服务负责人以及客户周转经理、工程经理、设备主管和安全经理。

### 8.6.4 工作范围定义阶段

工作范围定义阶段大约发生在 STO 之前的 12 到 18 个月。与销售和服务人员一起召开客户启动会议,进一步确定范围所需的资产清单。数字和诊断工具用于验证最终的 STO 范围建议。数字巡检可识别资产,以捕捉所有相关数据和物理健康检查,然后在巡检摘要中提供给客户。诊断工具 (AMS、ValveLink、FlowScanner) 用于验证资产是否可以在 STO 之前通过校准或调整进行修复,或者资产是否需要进一步检查,是否需要纳入整体范围。诊断评估报告需要以数字格式完成,以便将收集的数据上传到客户的 CMMS 软件中。如果在每次维护活动中需要修理或更换某个阀门,则可能需要对行业应用进行审查。因此,STO 的范围是在所有项目都已走完,对所有或目标关键阀门进行诊断,并在范围或冻结日期之前与客户就计划达成完全一致后确定的。只有这样,才能提出建议,确保所有需要维修的阀门、需要更换的部件或升级项目都能在执行前准备就绪。

主要利益相关者应包括艾默生销售渠道客户经理、STO 项目经理、服务负责人以及客户周转经理、工程经理、预算负责人/采购、单位主管和可靠性经理。

### 8.6.5 详细计划阶段

详细规划阶段大约在 STO 之前 4 到 6 个月进行。客户已同意提案,范围也已确定。现在,时间安排已经确定,产能规划也已开始。艾默生 STO 项目经理与销售和服务团队一起制定计划,采购推荐的备件,并查看哪些设备已成为维修、升级或更换的目标。需要订购交货期较长的关键阀门备件和库存物品。应计划和安排劳动力需求,以及确认是否在客户现场或维修设施(仓库)执行 STO。如果工作在客户现场进行,则需要预订移动服

务中心,并获得客户的其他最终批准。如果要在客户现场开展工作,则 ES&H 经理应确保计划开展安全培训,并根据流程获取 MSDS 表。还应该制定一份项目清单,如安全、零件、人工,并确保为现场工人购置胸牌。最后,应生成工作包,其中包括序列卡、MSDS 文件以及按标签号划分的阀门工作范围。

主要利益相关者应包括艾默生销售渠道客户经理、STO 项目经理、服务负责人以及客户周转经理和计划员、仪表工程师、设备主管和可靠性经理。

### 8.6.6 STO 前规划阶段

STO 前规划阶段发生在 STO 之前约 2 至 6 个月。至此,所有资源都应执行工作做好准备。这一步是为执行和降低风险以及所有沟通计划、安全检查和培训、程序和签字做好准备,以便开始 STO。通过项目经理甚至销售渠道与客户保持同步是很有价值的。很多时候,甚至在活动开始之前,就已经出现了范围扩大的情况。他们可能会在范围内增加阀门或资产。有时,根据进度和预算,他们可能还会减少内容。根据与各方举行的最后一次 STO 前会议,做好增加或减少容量的准备。好的供应商会确保所有部件、升级和产品都按阀门 ID 编号装袋、装箱或贴标签。例如,TV144, 4 英寸 Fisher ET/667/DVC6200, S/N 987654321。

主要利益相关者应包括艾默生销售渠道客户经理、STO 项目经理、服务负责人,以及客户周转经理和计划员、预算负责人/采购、各专业工程师、维护经理和可靠性经理。

### 8.6.7 STO 执行阶段

一旦设备安全停机、清洁并可安全接近,工作就可以在现场开始,或者此时开始将阀门从服务中拆除,准备取回进行维修。在这一阶段,安全也是关键,因为断

电的工厂可能很危险。由于整体沟通是成功的关键,因此每天都会举行面对面或通过 Teams、WebEx 等方式进行的沟通会议。就进度报告的状态、进展情况和发现的问题提供更新。此外,还将提供不在维修范围内的项目的更新,这些项目会被查看并添加到任务清单中,以便向客户提供非维修范围内的项目的更新,这些项目可能现在就需要关注,也可能要等到下一次维护活动时才需要关注。

优秀的供应商,如艾默生,会通过数字维修报告记录所维修的资产。该文件可以上传到 CMMS 软件中,这样客户的维护管理系统中就会有标签号的最新更新。同样,如果认为额外的资产若现在不妥善处理可能会导致意外停机,那么可能会出现一些范围扩大的情况。变更单将包含额外费用,并通过客户审核。可能会有一个客户联络员,负责在维修过的产品或新产品上签字,这样他们就有了安全、质量和成本方面的书面记录。在维修完成、验收并记录已返回工厂现场后,维修和返回的项目将重新归入生产线。现场人员的新技术培训将作为工厂启动和运行时必须完成的工作记录在案。最后,供应商调试团队应为工厂重启/重新调试做好准备。

主要利益相关者应包括艾默生销售渠道客户经理、STO 项目经理、服务负责人,以及客户周转计划人员、工程师、维护经理、质量控制人员、HSE 经理和工厂调试团队。

### 8.6.8 STO 后评估阶段

STO 后评估阶段在工厂重新启动后 2 到 4 个月内进行,此时过程装置已重新上线,工厂也已开始生产产品。掌握停机执行的绩效、衡量策略的有效性、进行维护和可靠性比较的基准以及更新文档,对于未来事件的成功以及工厂运营至关重要。如果发生超支,需要确定和了解这些

超支的来源。这将被纳入经验总结文件。最后, 还将编写一份关于整个停机过程(从计划安排到停机结束)的报告。报告应包含停机的方方面面, 并作为开始计划下一次停机的输入。这些审查应该是双向的。一个是从承包商到现场, 一个是从现场到承包商。从承包商的角度来看, 他们必须首先召开内部会议, 客户和承包商之间应在计划阶段确定正式的 KPI 流程, 以了解各自的表现。

已完成工作的报告和文件对客户来说是有益的。这是为工厂的持续运营提出建议, 也是为下一次停产提出行动和计划建议的时间。此时的目标是记录成功案例, 并按照客户的目标维持运营。停机后审查文件应从承包商到客户进行全方位的审查。承包商向客户提供的停机后审查交付成果应包括但不限于以下内容:

- 产品和服务质量
- 商业项目
- 事前、事中和事后的沟通
- 安全审查--客户现场的任何危险或问题
- STO 打卡清单--在下次活动中应处理看到的或不属于初始范围的项目
- 范围内资产的现场检查报告

- 阀门诊断报告(之前和之后), 显示最初的问题以及维修或升级后的运行情况(质量检查)
- 已维修或升级资产的维修报告
- 对质量、进度和预算进行 KPI 检查
- 成本超出最初的计划范围和报价。在客户授权的情况下进行备份, 使每个人都能保持谨慎
- 新产品清单和工厂人员培训计划(例如午餐学习)
- 关键资产的最新建议备件清单
- 为反映维修或升级情况而更新的序列号清单
- 吸取的经验教训: 看到了哪些范围; 在计划、人员、范围蔓延问题上有哪些可以改进的地方; 以及在下次停机时需要哪些改进措施以及如何改进。这应该是承包商和客户之间的双向讨论

主要利益相关者应包括艾默生销售渠道客户经理、STO 项目经理、服务负责人以及客户周转经理和规划师、预算负责人/采购人、维护经理、可靠性工程师和 HSE 经理。

### 8.6.9 结论

STO 是成本非常高昂的事件,但如果按照“五个 P”进行规划,是可以适当控制的:适当的规划可防止绩效不佳。为帮助客户了解哪些阀门和资产需要维修,可使用智能定位器、阀门状态监测合同和诊断。确定控制阀是否真的需要在 STO 期间拆除,可大大减少 STO 时间和成本。识别健康的控制阀可以减少需要维修的阀门数量。控制阀供应商(如艾默生)可协助满足这些及其他 STO 需求,包括确定控制阀范围、审查和测试控制阀以及现场阀门维修。这些技术和服务不仅缩短了 STO 的时间,降低了成本,还大大降低了出现计划外问题的可能性。■

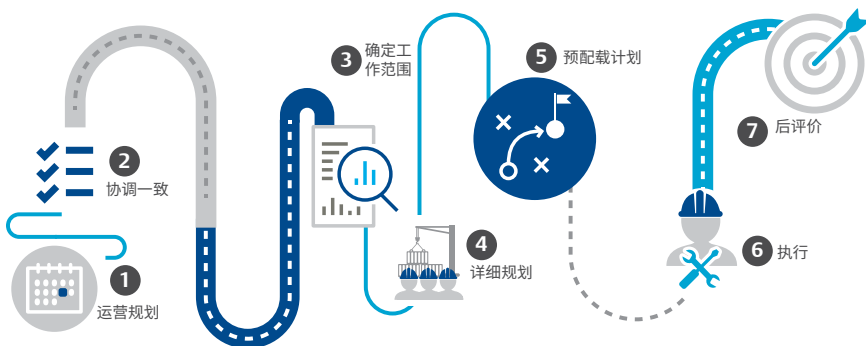


图 8.11 STO 规划流程

# 第九章

## 标准和认证





## 9.1 控制阀标准

许多标准适用于控制阀。国际性的和全球性的标准对于参与全球市场的公司越来越重要。下面是一系列在控制阀的设计和应用领域里迄今为止和将来十分重要的代号和标准。

### 9.1.1 美国石油组织 (API)

- 规格 6D, 管道阀的规格 (闸板、柱塞、球和止回阀)
- 598, 阀门检验和测试
- 607, 软阀座纵向旋转阀的防火测试
- 609, 凸耳式和对夹式蝶阀

### 9.1.2 美国机械工程师学会 (ASME)

- B16.1, 铸铁管道法兰和带法兰管件
- B16.4, 灰口铁螺纹管件
- B16.5, 管道法兰和带法兰管件 (对于钢、镍基合金和其它合金)
- B16.10, 阀门的端面至端面和尾端至尾端间距 (见关于大部分控制阀的外形尺寸的 ISA 标准)
- B16.24, 铸铜合金管道法兰和带法兰管件
- B16.25, 对焊连接端
- B16.34, 阀门 - 法兰、螺纹和焊接连接端
- B16.42, 球墨铸铁管道法兰和带法兰管件
- B16.47, 较大直径的钢法兰 (NPS 26 至 NPS 60)

### 9.1.3 欧洲标准化委员会 (CEN)

#### 9.1.3.1 欧洲工业阀门标准

- EN 19, 标记
- EN 558-1, 用在带法兰的管道系统里

的金属阀门的端面至端面和中心线至端面间距 第 1 部分: PN- 代号阀门

- EN 558-2, 用在带法兰的管道系统里的金属阀门的端面至端面和中心线至端面间距 第 2 部分: Class 代号阀门
- EN 593, 蝶阀
- EN 736-1, 术语 - 第 1 部分: 阀门类型定义
- EN 736-2, 术语 - 第 2 部分: 阀门部件定义
- EN 736-3, 术语 - 第 3 部分: 术语定义
- EN 1349, 工业过程控制阀
- EN 12266-1, 阀门测试-第 1 部分: 测试、测试过程和可接受的标准
- EN 12516-1, 壳体设计强度 - 第 1 部分: 钢质阀门的图表法
- EN 12516-2, 壳体设计强度 - 第 2 部分: 钢质阀门的计算法
- EN 12516-3, 壳体设计强度 - 第 3 部分: 实验法
- EN 12627, 对焊端设计
- EN 12760, 插焊端设计
- EN 12982, 对焊端阀门的尾端至尾端间距

#### 9.1.3.2 欧洲材料标准

- EN 10213-1, 用于压力场合的钢铸件的交货技术条件- 第 1 部分: 总则
- EN 10213-2, 用于压力场合的钢铸件的交货技术条件- 第 2 部分: 用于室温和高温下的钢等级
- EN 10213-3, 用于压力场合的钢铸件的交货技术条件- 第 3 部分: 用于低温下的钢等级

- EN 10213-4, 用于压力场合的钢铸件的交货技术条件- 第 4 部分:奥氏体和奥氏 - 铁素体钢等级
- EN 10222-2, 用于压力场合的钢锻件的交货技术条件- 第 2 部分:用于高温下的铁素体和马氏体钢
- EN 10222-3, 用于压力场合的钢锻件的交货技术条件- 第 3 部分:用于低温下的镍钢
- EN 10222-4, 用于压力场合的钢锻件的交货技术条件- 第 4 部分:精细颗粒钢
- EN 10222-5, 用于压力场合的钢锻件的交货技术条件- 第 5 部分:奥氏体、马氏体和奥氏 - 铁素体不锈钢

### 9.1.3.3 欧洲法兰标准

- EN 1092-1, 第 1 部分:钢法兰 PN 代号
- EN 1092-2, 第 2 部分:铸铁法兰 PN 代号
- EN 1759-1, 第 1 部分:钢法兰等级代号

### 9.1.4 流体控制组织 (FCI)

- 70-2, 控制阀阀座泄漏量

### 9.1.5 美国仪表学会 (ISA)

- S51.1, 过程仪表术语
- 75.01.01, 控制阀口径计算流量公式
- 75.02.01, 控制阀流通能力测试步骤
- 75.05.01, 术语
- 75.07, 控制阀产生的气体动力学噪音的实验室测量
- 75.08.01, 法兰连接端直通式控制阀体的端面至端面间距 (ANSI class 125、150、250、300 和 600)
- 75.08.02, 无法兰控制阀的端面至端

面间距 (ANSI classes 150、300 和 600)

- 75.08.03, 插焊连接端和螺纹连接端直通式控制阀的端面至端间距 (classes 150、300、600、900、1500 和 2500)
- 75.08.04, 对焊连接端直通式控制阀的端面至端面间距 (class 4500)
- 75.08.05, 对焊连接端直通式控制阀的端面至端面间距 (ANSI classes 150、300、600、900、1500 和 2500)
- 75.08.06, 法兰连接端直通式控制阀体的端面至端面间距 (ANSI classes 900、1500 和 2500)
- 75.08.07, 可拆卸法兰连接端直通式控制阀的端面至端面间距 (classes 150、300 和 600)
- 75.08.08, 法兰连接端角形控制阀体的端面至中心线间距 (classes 150、300 和 600)
- 75.08.09, 无法兰直行程控制阀的端面至端面间距 (classes 150、300 和 600)
- 75.11.01, 控制阀的固有流量特性和可调比
- 75.13.01, 用模拟输入信号来评估定位器性能的方法
- 75.17, 控制阀气体动力学噪音的预估
- 75.19.01, 控制阀的液体静态测试
- 75.26.01, 控制阀诊断数据采集和报告
- RP75.23, 关于评估控制阀气蚀的考虑

### 9.1.6 国际电工委员会 (IEC)

主要的针对控制阀的国际电工委员会

(IEC) 标准, 其中的几个是以 ISA 标准为基础的。这些标准以 EN 标准重新颁布, 并冠以 EN 前缀。IEC 鼓励国家级委员会采用这些标准并放弃任何相应的国家标准。越来越多的制造商和采购商都在使用 IEC 标准。下面是一系列 IEC 工业过程控制阀标准 (60534 系列)。

- 60534-1, 第 1 部分: 控制阀术语和一般性的考虑
- 60534-2-1, 第 2 部分: 流通能力 - 第一节: 在安装条件下不可压缩流体的阀门口径计算公式
- 60534-2-3, 第 2-3 部分: 流通能力 - 第三节: 测试步骤
- 60534-2-4, 第 2-4 部分: 流通能力 - 第四节: 固有流量特性和可调比
- 60534-4, 第 4 部分: 检验和例行测试
- 60534-5, 第 5 部分: 标记
- 60534-6-1, 第 6 部分: 把定位器连接到控制阀执行机构上的安装细节 - 第 1 节: 把定位器安装在线性执行机构上
- 60534-6-2, 第 6-2 部分: 把定位器连接到控制阀执行机构上的安装细节 - 第 2 节: 把定位器安装在旋转式执行机构上
- 60534-7, 第 7 部分: 控制阀数据表
- 60534-8-1, 第 8-1 部分: 关于噪音的考虑 - 第一节: 由通过控制阀的气相流量产生的噪音的实验室测量
- 60534-8-2, 第 8-2 部分: 关于噪音的考虑 - 第二节: 由通过控制阀的流体动力流量产生的噪音的实验室测量
- 60534-8-3, 第 8-3 部分: 关于噪音的考虑 - 第三节: 控制阀的气体动力学噪音预测方法
- 60534-8-4, 第 8-4 部分: 关于噪音的

考虑 - 第四节: 由液体动力学流量产生的噪音的预估

### 9.1.7 制造商标准化学会 (MSS)

- SP-6, 管道法兰以及阀门和管件连接端法兰的接触面的标准粗糙度
- SP-25, 阀门、管件、法兰和连接件的标准标记系统
- SP-44, 钢管道法兰
- SP-67, 蝶阀
- SP-68, 带补偿结构的高压蝶阀
- SP-147, 标准级钢阀门用钢铸件的质量标准

### 9.1.8 国际 NACE

- NACE MR0175/ISO 15156, 石油和天然气工业 - 用于油气生产中含 H<sub>2</sub>S 环境的金属材料。
- NACE MR0175-2002, 用于油田设备的抗硫化应力腐蚀裂纹金属材料。
- NACE MR0103/ISO 17945, 石油、石化和天然气工业 - 在腐蚀性石油精炼环境中抵抗硫化应力裂纹的金属材料
- NACE MR0103, 在腐蚀性石油精炼环境中的材料抗硫化应力裂纹能力。
- NACE RP0472, 在腐蚀性石油炼化环境中防止碳钢焊接在服务环境中裂化的方法和控制 ■

## 9.2 危险 (分类) 场所产品认证

**免责声明:** 以下部分中包含的信息旨在提供危险区域分类, 所涉及的保护技术类型和防护等级的广泛概述。此信息仅用于教育目的, 不应用于替代任何其他来源或管理文档。

### 9.2.1 危险场所认证和定义

每当机械和电气控制阀设备用于爆炸性

气体环境或爆炸性粉尘环境时,必须进行点火危险评估。这些评估可确定设备在其预期寿命期间将存在或活动的潜在点火源。了解这些点火源对于尽可能减少爆炸或火灾的风险至关重要。

**爆炸性气体环境:**在大气条件下,空气与气体或蒸汽形式的易燃物质的混合物,在点燃后会形成自持传播。

**爆炸性粉尘环境:**在大气条件下,空气与灰尘、纤维或悬浮物形式的易燃物质的混合物,在点燃后会形成自持传播。

**危险场所(或地区):**预计存在爆炸性气体环境或爆炸性粉尘环境(或两者)的区域,其数量足以需要对设备的构造、安装和使用采取特殊预防措施。

**认证机构:**有权授予、授权或对某些事实进行认证的组织、公司或机构,通常以证书的形式颁发。

**认证计划:**同意在统一的规则和法规体系下运作的一组达成一致的认证机构。例子包括欧盟、欧亚经济联盟、IECEX 计划、海湾国家组织等。■

## 9.3 分类系统

有两种分类系统用于对危险区域进行分类,即级别/分区系统和区域系统。级别/分区系统通常在美国和加拿大使用,但是新安装可以使用区域系统。世界其他地方通常使用区域系统。

### 9.3.1 级别/分区系统

按照级别/分区系统,危险场所(区域)是通过级别、分区、和组别来分类的。

**级别:**级别定义在周围大气环境里的危险物质的总体性质。

- **I级:**空气里存在或可能存在的在数量上足以产生爆炸性或可燃性混合物的易燃气体或蒸汽的场所。

- **II级:**由于易燃粉尘的存在而变得危险的场所。

- **III级:**可能存在易燃纤维或飞散物,但悬浮在空气中的数量不足以产生易燃混合物的场所。

**分区:**分区定义在周围大气环境里存在达到可燃浓度的危险物质的可能性。

- **1区:**由于可燃物质持续地、间歇地或定期地存在,或经常因维修、维护操作或泄漏而存在可燃浓度的有害物质的场所。危险概率很高。

- **2区:**只有在非正常情况下,假设为危险的场所。危险概率很低。

**组别:**组别定义了所涉及的特定材料的气体、蒸汽或粉尘的空气混合物的爆炸特性。A、B、C和D组适用于I级的场所, E、F和G组适用于II级的场所。

- **A组:**包含乙炔的大气环境。

- **B组:**最大试验安全间隙(MESG)值小于或等于0.45毫米或最小点火电流比(MIC比)小于或等于0.40的大气环境。示例包括:氢、丁二烯、环氧乙烷、丙烯醛和甲醛气体。

- **C组:**最大试验安全间隙(MESG)值大于0.45毫米但小于或等于0.75毫米或最小点火电流比(MIC比)大于0.40但小于或等于0.80的大气环境。示例包括:乙烯、乙醚、甲醚、丙醚、硝基甲烷和肼。

- **D组:**最大试验安全间隙(MESG)值大于0.75毫米或最小点火电流比(MIC比)大于0.80的大气环境。示例包括:丙烷、天然气、甲烷、氨、苯、丙酮和丁烷。

- **E组:**包含易燃金属粉尘的大气环境。这些金属粉尘包括铝、镁、以及它的工业合金。

- **F组:**含有8%或更多挥发物的可燃碳

质粉尘的大气环境,如炭黑、煤或焦炭粉。

- **G组**:包含除E或F组之外的易燃粉尘的大气环境。这些粉尘包括面粉、淀粉、谷物、木材、塑料和化学品。

所有电气设备必须经过测试、标记和认证,以用于特定的危险场所,例如级别/分区系统中的级别、分区和组别。对于该规则未涵盖的情况,可以在国家电气规范(NEC)或加拿大电气规范(CEC)的接线实践中找到。

### 9.3.2 区域系统

使用区域系统的危险场所根据发生的频率和爆炸性环境的持续时间进行分类。区域0、1和2属于爆炸性气体环境,而区域20、21和22属于爆炸性粉尘环境。

- **区域0**:持续存在,或长期存在,或经常存在的爆炸性气体环境。
- **区域1**:在正常运行中可能定期或偶尔出现的爆炸性气体环境。
- **区域2**:在正常运行中不可能出现的爆炸性气体环境,但即使出现,也只会存在很短的时间。
- **区域20**:持续存在,或长期存在,或经常存在的爆炸性粉尘环境。
- **区域21**:在正常运行中可能定期或偶尔出现的爆炸性粉尘环境。
- **区域22**:在正常运行中不可能出现的爆炸性粉尘环境,但即使出现,也只会存在很短的时间。

必须注意的是,区域分类编号的分配只针对爆炸环境的可能性。它没有规定所涉及的特定气体、蒸汽或粉尘的爆炸性质或材料特性。理想情况下,所有设备都应放置在这些区域之外,但这是不现实的。因此,对于这些区域的设备进行测试、标记和认证,以充分考虑其爆炸性质

和材料特性。这是通过将设备分为组、子组、所使用的保护类型、所使用的保护级别、设备保护级别(EPL)的分配和温度代号来完成的,具体见下文。

### 9.3.3 设备组

根据以下定义将设备分为以下组。

- **组I**:适用于易受甲烷影响的矿井的设备。
- **组II**:用于除矿井以外的爆炸性气体环境中的设备。
- **组III**:用于爆炸性粉尘环境的设备。

### 9.3.4 设备子组

设备组I没有子组。只有设备组II和组III根据其分别适用的气体环境和粉尘环境的爆炸性质作进一步细分。根据以下定义,组号后会加上字母A、B或C。

#### 9.3.4.1 组II(通常称为“气体组”)

- **IIA**:最大试验安全间隙(MESG)值大于或等于0.9毫米或最小点火电流比(MIC比)大于0.80的大气环境。示例包括:丙烷
- **IIB**:最大试验安全间隙(MESG)值大于0.5毫米但小于或等于0.9毫米或最小点火电流比(MIC比)大于0.45但小于或等于0.80的大气环境。示例包括:乙烯
- **IIC**:最大试验安全间隙(MESG)值小于或等于0.5毫米或最小点火电流比(MIC比)大于0.45的大气环境。示例包括:氢

#### 9.3.4.2 组III(通常称为“粉尘组”)

- **IIIA**:含有可燃悬浮物或纤维的大气环境,包括标称尺寸通常大于500 $\mu$ m的固体颗粒。示例包括:人造丝、棉花、剑麻、黄麻、大麻、可可纤维。
- **IIIB**:含有不导电粉尘的大气环境,其

电阻率大于 103Ωm。示例包括:尼龙、小麦粉、木炭(活化的)、煤、焦炭、硬沥青

- **IIIC:**含有导电粉尘的大气环境,其电阻率小于或等于 103Ωm。示例包括:铝、镁

标记为 IIB 的设备适用于需要 IIA 组设备的应用。类似的,标记为 IIC 的设备适用于需要 IIB 组或 IIA 组设备的应用。类似的,标记为 IIIB 的设备适用于需要 IIIA 组设备的应用。类似的,标记为 IIIC 的设备适用于需要 IIIB 组或 IIIA 组设备的应用。见图 9.1。

	设备分组	适合的应用
气体	IIC	IIC, IIB, IIA
	IIB	IIB, IIA
	IIA	IIA
粉尘	IIC	IIC, IIB, IIA
	IIB	IIB, IIA
	IIA	IIA

图 9.1 设备组

### 9.3.5 保护类型

#### 9.3.5.1 电气设备

有许多技术和方法可以应用于电气设备,以避免点燃周围的爆炸性环境。几乎所有这些技术和方法都有一个特定的名称以及一个小写字母,表示其标记牌中注明的保护类型。重要的是要注意,并非所有类型的保护都适用于气体和粉尘环境。保护技术和方法的类型,按名称及其指定的字母,以及它们适用的爆炸性大气环境(括号中表示)如下所示:

- **本安型 - Ex i (气体和粉尘):**一种通过限制设备内电能和暴露于爆炸性环境(气体或粉尘)的互连线路的保护措施,使其降低到不会因火花或加

热效应引起点火的水平。这些设备的构造使得非本质安全电路不会对本质安全电路产生不利影响。

- **防火外壳 - Ex d (气体):**一种保护措施,其中能够点燃爆炸性气体环境的部件设有外壳,该外壳能够承受爆炸性混合物内部爆炸时产生的压力,并防止爆炸传播到外壳周围的爆炸性气体环境中。
- **封装 - Ex m (气体和粉尘):**一种保护措施,其中能够通过火花或加热点燃爆炸性环境(气体或粉尘)的部件被封闭在化合物或其他非金属外壳中,其附着力使得爆炸性环境在运行或安装时不会被点燃。
- **增安 - Ex e (气体):**一种应用于电气设备的保护措施,其中采用了额外的措施以提高安全性,防止在正常运行或在特定的异常条件下使设备温度过高或产生电弧和火花。
- **n 型 - Ex n (气体):**一种应用于电气设备的保护措施,使得在正常运行和某些特定的异常条件下,它不能点燃周围的爆炸性气体环境。
- **加压 - Ex p (气体和粉尘):**一种防止外部爆炸性气体进入外壳的保护措施,其中保护气体的压力高于外部大气压力。
- **油浸 - Ex o (气体):**一种保护措施,其中电气设备或电气设备的部件浸没在保护液体中,使得液体上方或外壳外部的爆炸性气体环境不能被点燃。
- **粉末填充 - Ex q (气体):**一种保护措施,其中能够点燃爆炸性气体环境的部件固定在适当位置并完全被填充材料包围,以防止外部爆炸性气体环境的点燃。
- **外壳 - Ex t (粉尘):**一种保护措施,其中所有电气设备都由外壳保护,以避

免点燃粉尘层或雾,并限制表面温度。

- **特殊保护 - Ex s(气体和粉尘)**:一种保护措施,适于无法完全满足其他公认的保护类型的产品,或者认可的保护类型的标准未涵盖的运行条件。

### 9.3.5.2 非电气设备

大多数电气设备通常包含有效的点火源,必须通过上述保护方法之一来处理。然而,这却不适用于大多数机械设备。事实上,大多数机械设备在其设计参数范围内的正常运行不会导致爆炸性环境的点燃。对于会发生故障的工况,可以将大多数机械设备设计为通过适当选择经过良好实践的结构措施,使这些潜在的故障不会成为点火源。

目前,已经确认了以下类型的非电气设备防点燃保护措施、名称及其指定的字母。

- **流量限制外壳 - Ex fr**:一种防点燃保护措施,其中有效密封和紧密匹配的连接可以减少进入外壳内部的爆炸性气体。需要考虑压差和温度变化。
- **防火外壳 - Ex d**:一种防点燃保护措施,其中能够点燃爆炸性气体环境的部件设有外壳,该外壳能够承受爆炸性混合物内部爆炸时产生的压力,并防止爆炸传播到外壳周围的爆炸性气体环境中。
- **结构安全 - Ex c**:一种防点燃保护措施,其中采用了结构措施,以防止由于运动部件产生的热表面、火花和绝热压缩,包括故障引起点燃。
- **控制点火源 - Ex b**:一种防点燃保护措施,其中一体式传感器检测可能引起点燃的设备即将发生的操作,并在潜在点火源成为有效点火源之前启动控制措施。
- **加压 - Ex p**:一种防止外部爆炸性气

体进入外壳的防点燃保护措施,其中保护气体的压力高于外部大气压力。

- **浸液 - Ex k**:一种防点燃保护措施,其中点火源被浸没在液体中或因使用液膜而保持润湿而变为无效点火源。

### 9.3.6 保护级别

根据设备使用的保护类型,将分配 a、b、c 或无字母作为保护级别字母(或子字母)。如果分配了保护字母的级别,则紧跟保护字母的类型,并被称为设备对所使用的特定保护类型的保护级别。保护级别字母表示设备成为点火源的可能性。同样,应强调所分配的保护级别(a、b、c 或无)与应用于设备的保护类型完全匹配。其原因在于,并非所有类型的保护都可以给设备提供非常高或高水平的保护,以保证这些设备在发生罕见或预期的故障时不会成为点火源。此外,分配的保护级别与设备的总体 EPL 评级密切相关(见下文)。

虽然没有明确定义,但保护级别字母可以概括如下:

- **a**: 非常高的保护级别。
- **b**: 高的保护级别。
- **c 或无**: 增强的保护级别。

为电气设备提供特定保护类型的保护级别如下:

- **Ex i - 本质安全**: Ex ia、Ex ib、Ex ic
- **Ex d - 防火**: Ex da、Ex db、Ex dc
- **Ex m - 封装**: Ex ma、Ex mb、Ex mc
- **Ex e - 增安**: Ex eb、Ex ec
- **Ex n - n 型**: 没有为此类保护分配保护级别字母。此类保护仅适用于区域 2 位置。
- **Ex p - 加压**: Ex pxb、Ex pyb、Ex pzc
- **Ex o - 油浸**: Ex ob、Ex oc

- **Ex q – 粉末填充:**没有为此类保护分配保护级别字母。此类保护仅适用于区域 1 和区域 2 位置。
- **Ex t – 防尘罩:**Ex ta、Ex tb、Ex tc
- **Ex s – 特殊保护:**Ex sa、Ex sb、Ex sc

### 9.3.7 设备保护级别 (EPL)

EPL 等级是基于其在爆炸性气体环境或爆炸性粉尘环境 (包括矿井) 中成为点火源的可能性的设备分配。

- **EPL Ma:**用于安装在易受沼气影响的矿井中的设备, 具有非常高的保护级别, 在正常运行期间, 在预期的故障期间或在罕见的故障期间都不太可能成为点火源。
- **EPL Mb:**用于安装在易受沼气影响的矿井中的设备, 具有高的保护级别, 在正常运行期间或预期的故障期间都不太可能成为点火源。
- **EPL Ga:**用于安装在爆炸性气体环境中的设备, 具有非常高的保护级别, 在正常运行期间, 在预期的故障期间或在罕见的故障期间都不会成为点火源。
- **EPL Gb:**用于安装在爆炸性气体环境中的设备, 具有高的保护级别, 在正常运行期间或预期的故障期间都不会成为点火源。
- **EPL Gc:**用于安装在爆炸性气体环境中的设备, 具有增强的保护级别, 在正常运行期间不会成为点火源, 并且可能设有一些额外的保护以确保其不会变为点火源。
- **EPL Da:**用于安装在爆炸性粉尘环境中的设备, 具有非常高的保护级别, 在正常运行期间, 在预期的故障期间或在罕见的故障期间都不会成为点火源。

- **EPL Db:**用于安装在爆炸性粉尘环境中的设备, 具有高的保护级别, 在正常运行期间或预期的故障期间都不会成为点火源。
- **EPL Dc:**用于安装在爆炸性粉尘环境中的设备, 具有增强的保护级别, 在正常运行期间不会成为点火源, 并且可能设有一些额外的保护以确保其不会变为点火源。

区域和设备保护级别 (EPL) 之间的默认关系见图 9.2 和 9.3。

区域	设备保护级别 (EPL)
0	Ga
1	Ga 或 Gb
2	Ga 或 Gb 或 Gc
20	Da
21	Da 或 Db
22	Da 或 Db 或 Dc

图 9.2 区域与设备保护级别

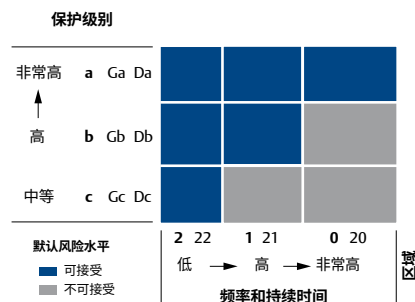


图 9.3 区域与设备保护级别

### 9.4 温度代号

如果爆炸性气体环境与过热表面接触, 则在没有火花或火焰存在的情况下也可能发生点燃。热表面点燃爆炸性气体环境的条件取决于其表面积、温度和所涉及的特定气体组。为便于分类和标记, 温



度代号如图 9.4 所示。

温度代号	最高表面温度
T1	450°C (842°F)
T2	300°C (572°F)
T3	200°C (392°F)
T4	135°C (275°F)
T5	100°C (212°F)
T6	85°C (185°F)

图 9.4 温度代号

已经过测试的设备会收到一个温度代号,表示设备可以接触的最高表面温度。无论使用哪种分类系统,最高表面温度都可以代表在设备的内部或外部的最高温度,具体取决于所采用的保护类型。

爆炸性粉尘环境与气体环境在特性上截然不同,但它们依然会被热表面点燃。点燃爆炸性粉尘环境的附加限制包括但不限于大气粉尘浓度、粉尘扩散、粉尘层厚度等。用于爆炸性粉尘环境的设备的标记板上注明了最高表面温度,但没有温度代号。

对于过程控制设备(例如阀门),最高表面温度很大程度上取决于流体、环境空气温度,其选用的材料结构以及其自身的物理几何形状。在大多数情况下,只有最终用户才会知道设备将要经受的真实运行条件。因此,这种设备被标记为“TX”,这表示最终用户设备的最高表面温度取决于运行条件。如果需要为可能进入爆炸性环境的过程管道增加热量,请必须仔细考虑和评估。■

## 9.5 命名方法

### 9.5.1 级别/分区系统

在级别/分区系统中,没有用于描述给定级别或分区评级的正式名称或术语。但是,该行业广泛使用以下术语将它们与

给定的级别/分区评级相关联;

- 防爆 - I 级 1 区
- 非易燃 - I 级 2 区
- 防粉尘引燃 - II 级 1 区
- IS 设备 (本质安全设备) - I 级 1 区或 I 级、II 级、III 级 1 区

本质安全设备的独特之处在于能量有限,并且可以仅适用于气体环境或气体和粉尘环境。本质安全设备始终被评估为位于 1 区的位置。

### 9.5.2 区域系统

在区域系统中,小写字母表示已应用于设备的保护类型。已明确定义与给定保护类型相关联的名称。如需了解相关说明,请参阅保护类型。

### 9.5.3 布线方法

请谨记,在安装过程中设备及其相关的布线方法关系到防止其在危险场所的爆炸。以下布线方法被广泛使用。

- 国家电气规范 (NEC) - 美国
  - 第 500 至 504 条涉及使用级别/分区系统的安装
  - 第 505 至 506 条涉及使用区域系统的安装
- 加拿大电气规范 (CEC) - 加拿大
  - 第 18 节涉及使用区域的安装
  - J 节涉及使用级别/分区系统的安装
- IEC 60079-14 (电气安装设计、选择和建造) - 全球范围
  - 涉及使用区域系统的电气安装

### 9.5.4 欧盟 (EU) - ATEX 指令 2014/34/EU

根据 ATEX 指令,目前只存在两个设备

组,三个设备类别和两种爆炸性大气环境。

### 组别

- **组 I:**用于易受沼气影响的地下矿井的设备
- **组 II:**在矿井以外的地方使用的设备。

### 类别

- **类别 1:**旨在确保非常高保护级别的设备
- **类别 2:**旨在确保高保护级别的设备
- **类别 3:**旨在确保正常(适中或增强)保护级别的设备

### 环境

- **G:**用于爆炸性气体环境的设备。
- **D:**用于爆炸性粉尘环境的设备。

对于通过 ATEX 认证的设备,除了一般标记要求外,设备上还应有以下附加的 ATEX 标记。


- 防爆标志 
- 设备组 - I 或 II
- 设备类别 - 1 或 2 或 3
- 环境 - G 或 D

图 9.5 说明了 IEC 设备组额定值与 ATEX 指令对设备组额定值的定义之间的关系。

### 9.5.5 标记示例

#### 级别/分区

- **CL I DIV 1 GP BCD:**防爆认证,适于组 B、C、D 的 I 级 1 区
- **CL 1 DIV 2 GP ABCD:**非易燃认证,适于组 A、B、C、D 的 I 级 2 区

	IEC 设备等级		ATEX 设备等级	
	根据 IEC 60079 系列		指令 2014/34/EU	
	EPL	组别	设备组	设备类别和环境
矿井	Ma	I	I	M1
	Mb			M2
气体	Ga	II	II	1G
	Gb			2G
	Gc			3G
粉尘	Da	III	II	1D
	Db			2D
	Dc			3D

图 9.5 IEC 等级与 ATEX 等级

- **I.S.CL I DIV 1 GP ABCD:**本质安全认证(美国),适于组 A、B、C、D 的爆炸性气体环境
- **I.S.CL I,II,III DIV 1 GP ABCDEFG:**本质安全认证(美国),适用于所有组别的气体和粉尘环境
- **Ex ia INTRINSICALLY SAFE CL I DIV 1 GP CD:**本质安全认证(加拿大),适于组 C、D 的爆炸性气体环境
- **CL I,II,III DIV 2 GP ABCDEFG:**仅适用于爆炸性气体环境和爆炸性粉尘环境的 2 区位置的认证

### 区域

- **Class I Zone 0 AEx ia IIB T4 Ga:**采用本质安全的美国区域认证,具有非常高的保护级别,适用于气体组 IIB,其温度代号为 T4, EPL 等级为 Ga。
- **Ex db IIC T5 Gb with II 2 G:**采用防火技术的 ATEX 认证,具有高的保护级别,适用于气体组 IIC,其温度代号为 T5, EPL 等级为 Gb。
- **Ex ia IIC T6 Ga:**本质安全认证,具有非常高的保护级别,适用于气体组

IIC, 其温度代号为 T6, EPL 等级为 Ga。

- **Ex emb IIB T4 Gb:** 利用提高安全性和封装的设备认证, 具有高的保护级别, 适用于气体组 IIB, 其温度代号为 T4, EPL 等级为 Gb。■

## 9.6 保护技术和方法

关于设备中使用的各种保护技术和方法, 请谨记以下两点:

- 每种保护技术和方法对于气体环境、粉尘环境或两者都是独一无二的。
- 每种保护技术和方法在其可提供的保护级别上有所不同, 包括非常高、高或增强。

### 9.6.1 防爆或防火技术

适用于气体环境 - 1 级 1 或 2 区, 区域 1 或 2。

这种类型的保护利用能够承受其中的爆炸性气体或蒸汽的壳体, 并防止可燃热气体在被爆炸性气体包围的外壳外部传播。简单来说, 这些壳体强度足以包容可能会在装置内部产生的任何爆炸或火焰, 并防止点燃外部爆炸性气体。

#### 优点

- 用户熟悉这种技术并理解它的原理和应用。
- 坚实的壳体结构为装置的内部部件提供保护, 允许它们用在危险的环境里。
- 防爆壳体通常不受天气影响。

#### 缺点

- 在拆卸壳体盖子前必须断开电路电源或使应用场所成为非危险场所。
- 打开危险区域的壳体会使得所有保护变成无效。

- 这种技术通常需要使用重负载螺栓或螺丝连接的外壳。
- 对于更大的环境温度范围, 通常需要额外的安全措施, 而设计可能无法满足此要求。
- 为了保持防爆等级并减少压力堆积, 需要使用导管密封或防爆电缆。

### 9.6.2 本质安全技术

适用于气体环境或粉尘环境 - 1 级 1 区 (或 II、III 级 1 区), 区域 0、1 或 2, 区域 20、21 或 22。

这种类型的保护的原理是将电路和设备中可用的电能或热能的释放限制到不能点燃特定爆炸性环境的水平。此类设备设计用于特定的气体和粉尘组, 具有不同的保护级别以应对正常和异常条件 (除了总是被评为 1 区的级别/分区设备外)。

#### 优点

- 这种技术成本较低。仪表的现场接线不需要硬质金属导向管或保护电缆。
- 具有较大的灵活性, 因为这种技术允许使用简单部件, 如开关、接触终端、热电偶、RTD 和其它不需要认证的非储能仪表。
- 现场维护和维修的简单性是其优点。在对现场仪表进行调整或校验前, 不需要断开电源。由于能量水平太低而不会使得最易燃的混合物点燃, 因此即使仪表损坏, 系统仍然是安全的。诊断和校验仪表必须有相应的针对危险区域的认证。

#### 缺点

- 这种技术要求使用本安栅以限制危险区域与安全区域之间的电流和电压, 以避免在故障情况下火花或热点在仪表电路里形成。

- 用户需要熟悉这种技术以及与之相关的接线实践。
- 这种技术不适用于高能量消耗场所,因为能量在源头(或安全栅)处受到限制。这种技术局限于低能量场所,如直流电路、电气定位器、电气转换器、转换器等。

### 9.6.3 非易燃或 n 型技术

适用于气体环境 - 1 级 2 区, 区域 2。

一种保护类型,在正常工作条件下,设备无法因其内部产生的电弧、火花或热效应引起点燃。这种类型的保护也适用于含有电弧或火花的设备,前提是它们受到标准规定的其中一种方法的保护。

#### 优点

- 设备的设计使其不会产生电弧或火花,也不会形成高温。
- 设备的成本通常低于其他类型的保护,因为不需要防爆外壳或限能安全栅。
- 对于 1 级 2 区应用,如果连接到非易燃电路,则允许用户使用任何普通的布线方式。

#### 缺点

- 此技术仅适于 2 区或区域 2 应用。
- 对于 1 级 2 区应用,必须妥善保护现场接线。
- 最终用户必须购置额外的非易燃电路,因为它必须保证现场接线发生开路、短路或接地时将能量限制在安全水平。

### 9.6.4 增安

适于气体环境 - 区域 1 或 2。

这种类型的保护适用于电气设备或防爆组件,其中采用了额外的措施,以提高安全性,防止设备内部温度过高或产生电

弧和火花。此保护仅适用于在正常运行期间不包含任何易燃装置(电弧或火花)的设备。示例包括:接线盒、分线盒等。这通常与通过防火认证的设备一起使用。

#### 优点

- 提高安全性壳体至少提供 IP54 防护等级。
- 相比防火外壳,此类设备的安装和维护更容易。
- 与防火外壳相比,这种技术可显著降低接线成本。

#### 缺点

- 该技术仅适于可以使用它的设备。它通常用于诸如接线盒和隔间之类的设备。

### 9.6.5 防止粉尘点燃或外壳防尘

适用于粉尘环境 - II 级 1 或 2 区, 区域 20、21 或 22。

这种技术形成一个外壳,这个外壳会排除易燃的粉尘,且不会允许有电弧、火花或热量在壳体里产生,以引起壳体上或周围的规定粉尘的外部积聚物或大气悬浮物点燃。

#### 优点

- 安装不需要安全栅,而适于粉尘环境的本质安全设备却需要。
- 可用于高能量应用。

#### 缺点

- 某些装置可能仅可以选用本质安全技术。■

## 9.7 外壳等级

外壳可以通过测试以决定其防止液体和粉尘进入的能力。最广泛使用的防护等级标准是 NEMA 250 和 UL 50 (美国), CSA C22.2 No. 94 (加拿大) 和 IEC 60529 电

(全球)。标准 UL 50 和 CSA C22.2 No. 94 在等级方面与标准 NEMA 250 紧密相关。

NEMA 250 中针对未分类位置(一般位置)定义的一些常见外壳等级如下:

- **3 型(尘封、雨封或阻止结冰, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或室外, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止雨水、积雪、飞扬粉尘、以及由于外部结冰引起的破坏。
- **3X 型(尘封、雨封或阻止结冰和腐蚀, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或室外, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止雨水、积雪、飞扬粉尘、以及由于外部结冰和腐蚀引起的破坏。
- **3R 型(防雨、阻止结冰, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或室外, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止雨水、积雪以及由于外部结冰引起的破坏。
- **3RX 型(防雨、阻止结冰和腐蚀, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或室外, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止雨水、积雪以及由于外部结冰和腐蚀引起的破坏。
- **3S 型(尘封、雨封、防冰, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或室外, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止雨水、积雪和飞扬粉尘, 且在大量结冰时提供外部机构的操作。
- **3SX 型(尘封、雨封、防冰和阻止腐蚀, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或室外, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止雨水、积雪和飞扬粉尘, 且在大量结冰和腐蚀时提供外部机构的操作。
- **4 型(雨封、水封、尘封、阻止结冰, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或

室外, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止飞扬粉尘和雨水、溅水、软管引出水、以及由于外部结冰引起的破坏。

- **4X 型(雨封、水封、尘封、阻止结冰和腐蚀, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或室外, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止飞扬粉尘和雨水、溅水、软管引出水、以及由于外部结冰和腐蚀引起的破坏。

此外, NEMA 250 中还针对分类场所的外壳等级进行了描述:

- **7 型(I 级, 1 区认证, 室内用外壳)**: 适用于室内防爆应用。
- **8 型(I 级, 1 区认证、雨封或阻止结冰, 室内或室外用外壳)**: 计划用于室内或室外防爆应用, 主要是为了提供一定程度的保护, 以防止雨水、积雪以及由于外部结冰引起的破坏。
- **9 型(II 级, 1 区认证, 室内用外壳)**: 适用于室内防粉尘点燃应用。

上面适于分类场所的 NEMA 等级经常被误解。显而易见的是, NEMA 7 或 NEMA 8 等级与 I 级 1 区的等级基本相同。NEMA 9 等级与 II 级 1 区等级基本相同。根据 NEC 和 CEC, 所有设备必须根据其获得的级别、分区和组别进行适当标记。因此, 仅标记为 NEMA 7, NEMA 8 或 NEMA 9, 却没有任何标识其级别、分区和组别的额外标记的产品是不可接受的, 也是不允许的。由于这个原因, 大多数认证机构不鼓励, 并且不允许使用 NEMA 7, NEMA 8 或 NEMA 9。

根据 IEC 60529 测试的外壳允许标记指定其等级的入口保护 (IP) 代号。IP 代号由字母“IP”后跟两个特性数字组成, 数字指明符合等级的程度。第一个数字表示防止人体接触或接近带电部件, 人体接触外壳内的活动部件以及固体异物进入

的程度。第二个数字表示外壳防止进水的保护程度。如需了解更多信息,请参见图 9.7。■

针对以下工况的保护程度		测试条款	外壳类型							
			3	3X	3R	3RX	3S	3SX	4	4X
一般	接触危险部件	5.2	X	X	X	X	X	X	X	X
固体异物进入	灰尘	5.5.2	X	X	X	X	X	X	X	X
	水滴轻溅, 棉绒纤维	5.5.1	X	X			X	X	X	X
进水	滴溅水	5.3	X	X	X	X	X	X	X	X
	雨雪冰*	5.4	X	X	X	X	X	X	X	X
	雨雪冰**	5.6					X	X		
	软管引出水和溅水	5.7							X	X
额外保护	侵蚀	5.9 & 5.10		X		X		X		X

\* 外壳结冰时不需要提供外部机构的操作。  
\*\* 外壳结冰时需要提供外部机构的操作。

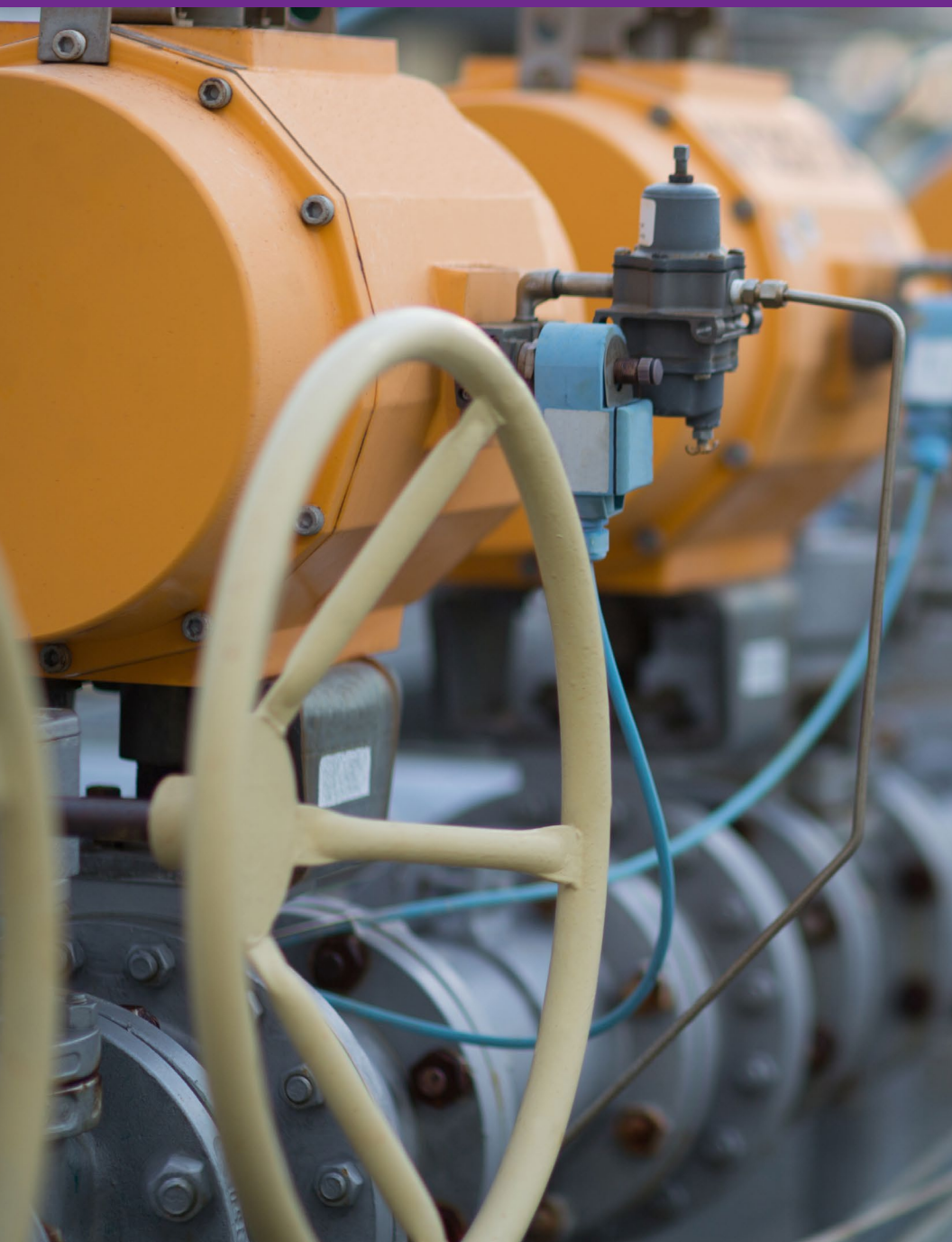
图 9.6 外壳等级说明

第一个数字代表防止固体进入	第二个数字代表防止进水
0 - 无保护	0 - 无保护
1 - 大于 50 毫米的物体	1 - 垂直滴水
2 - 大于 12.5 毫米的物体	2 - 斜向滴水 (75 到 90 度)
3 - 大于 2.5 毫米的物体	3 - 淋水
4 - 大于 1.0 毫米的物体	4 - 溅水
5 - 防尘	5 - 喷水
6 - 尘封	6 - 强力喷水
	7 - 短时浸没
	8 - 持久浸没
	9 - 高压喷水和高温喷水

图 9.7 入口保护数字说明

# 第十章

## 隔离阀





本章摘自 Robert A. Lee 的 IPT 管道交易手册, 经作者许可援引。

## 10.1 基本阀门类型

目前, 市面上有许多阀门类型、样式、尺寸和形状可供工业使用。尽管有几十种阀门可供选择, 但阀门的主要用途仍然相同, 即关闭或开启流量, 或调节流量。

流量调节包括: 节流、防止倒流, 以及减轻或调节系统内的压力。

应基于阀门的预期工况和设计功能为系统选择阀门。有八种基本阀门设计可供选择:

- 闸阀
- 直通阀
- 止回阀
- 隔膜阀
- 球阀
- 蝶阀
- 旋塞阀
- 减压阀

### 10.1.1 闸阀

闸阀用于开/关作业, 设计为完全打开或完全关闭。

由于在部分关闭的闸门中会产生过度的振动和磨损, 因此此类阀门不用于节流或流量调节。闸阀有实心楔式、柔性楔式、分体楔式、柔性分体楔式、双板式、平行滑动式和带孔眼的平行滑动式。典型的闸阀及其主要部件如图 10.2 所示。

如需了解此类阀门的口径和尺寸, 请参见本章的表 10.1 和 10.3 至 10.7。



图 10.1 闸阀压力密封件

楔形闸阀有一个锥形楔块, 当阀门关闭时, 它会楔入两个锥形阀座之间。实心楔形设计(图 10.2)是使用最广泛的闸阀型式, 适用于空气、天然气、石油、蒸汽和水作业。弹性楔形闸阀用于由于温度过度变化而倾向于结合实心楔形设计的作业。

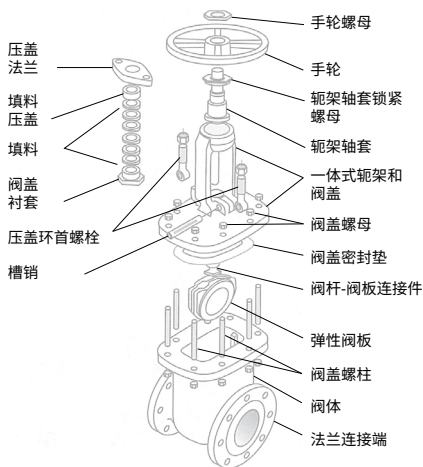


图 10.2 螺栓阀盖式闸阀

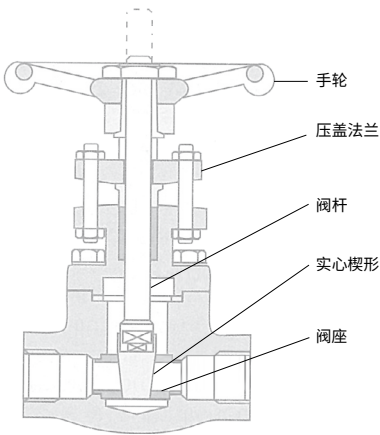


图 10.3 实心楔形闸阀

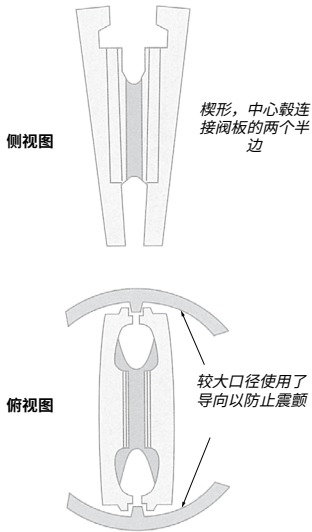


图 10.4 弹性楔形闸阀

弹性楔形的设计(如图 10.4 所示)可在各种温度范围内提供良好的阀座特性(打开和关闭),同时提供正向关闭。

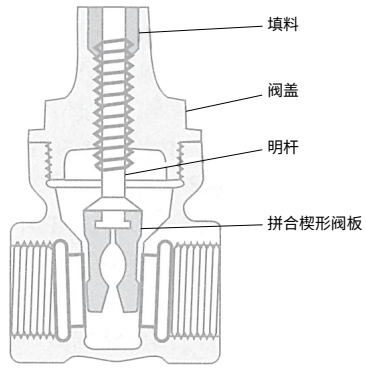


图 10.5 拼合楔形闸阀

拼合楔形和双阀板闸阀具有两件式的阀板或楔形件。在拼合楔形设计(图 10.5)中,手轮的最后一转迫使两个阀板抵靠锥形阀座。双阀板闸阀则具有平行的阀板和阀座。双阀板的闭合是通过撑杆或楔形件实现的,该撑杆或楔子迫使阀板与阀座平行。双阀板闸阀如图 10.6 所示。

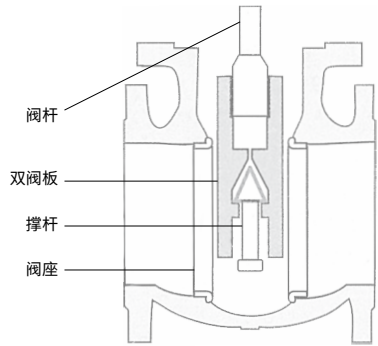


图 10.6 双阀板闸阀

在拼合楔形和双阀板闸阀中,会将摩擦导致的阀座和阀板磨损控制在最小程度,这是因为阀座和阀板仅在关闭阀门时才会接触。

安装拼合楔形或双阀板闸阀时,阀门的阀杆必须垂直(阀门直立),以确保阀门在关闭前不会卡在一起。

柔性分体式楔形闸阀的设计融合了平行滑块和柔性楔的优点。特殊的柔性内部结构由两块平行滑块组成,可使阀门按位置关闭。因此,所需的扭矩受到限制,就像执行机构的尺寸一样。介质压力越高,阀门的密封性就越高,不会出现卡死现象。

楔形结构最大限度地缩短了阀座和楔形组件之间的配合时间,因此磨损小,密封性持久。按位置关闭时,在低压下也能确保密封性,在 6 bar 的气体压力下实现零泄露。

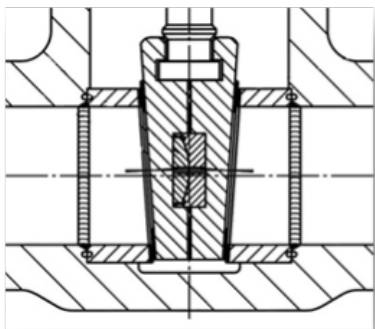


图 10.7 柔性分体式楔形闸阀

带孔眼的平行滑轨设计与标准平行滑轨的操作方式完全相同,但在打开位置时,它有一个内置孔眼随动装置,可关闭阀座之间的间隙。

孔眼具有以下功能:

- 保护阀座免受水流影响。
- 保护阀板不受气流影响。
- 减少集成空间内的湍流,从而降低压力损失和噪音。

阀门被视为“位置密封”。这种应用方式更适用于压力较高、尺寸较大和流速较高的应用场合。

所有隔离阀的阀体与阀盖的连接方式可

以是:

- 带螺栓和螺母的螺栓阀盖,适用于 150 至 1500 的所有等级。
- 压力密封仅适用于 900 至 4500 的高压等级。

压力密封的工作原理可以描述为:

- 在密封垫片上施加随着内部压力增加而增加的轴向力。
- 这种力会压缩垫片使其发生径向和轴向变形。
- 在径向,密封垫片被压在阀体和盖板的壁上,从而获得所需的表面压力和相应的密封力。
- 垫片上方的环吸收轴向力并将其传递给分段环。
- 分段环安装在阀体的凹槽中,从而将轴向力传递到阀体上。
- 阀盖通过螺栓预紧,这样即使内部压力较低,垫片也会变形,从而达到密封效果。

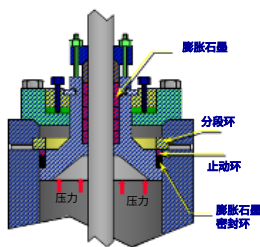


图 10.8 压力密封

### 10.1.2 截止阀

与闸阀不同,截止阀用于需要频繁操作和/或节流的应用中。截止阀的设计(如图 10.9 所示)可将阀座冲刷降至最低,同时使阀门易于维修。当截止阀开始工作时,阀板完全离开阀座,从而最大限度

地减少冲刷和拉丝。有关尺寸和规格,请参见本章末。

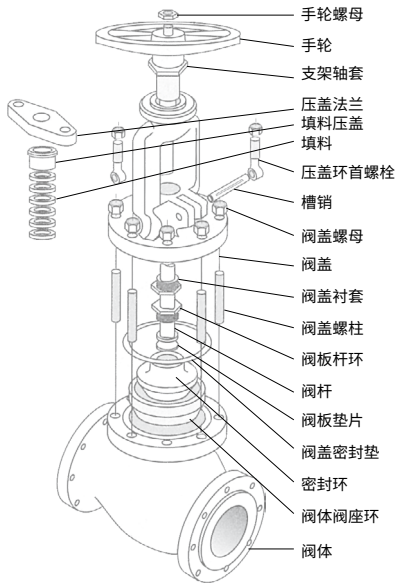


图 10.9 截止阀

截止阀有三种阀体类型:角形、Y型和T型,或直通型(最常见)。通常可得到止回功能,可称之为截至止回阀或单向阀。在这种情况下,阀头并不固定在阀杆上,因此当处于打开位置时,如果流量发生逆转,阀头将关闭并执行止回阀功能。

全部三种阀体型式都适合节流,但每种都有独特的流量特性和适用工况。

角形阀体提供 90 度流向变化(见图 10.10),在某些安装中可节省空间、材料和缩短安装时间。

角形阀体的内部设计导致的流量限制比传统 T 型阀少,但比 Y 型直通阀多。

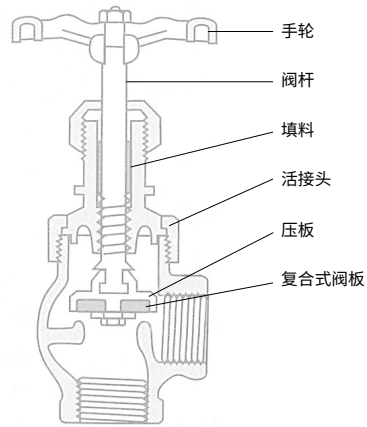


图 10.10 角型直通阀

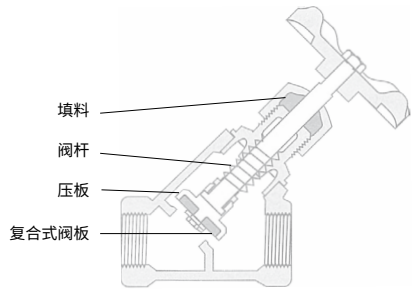


图 10.11 Y型截止阀

由于阀杆与管道成 45 度倾角,Y 型截止阀的流量限制很小。图 10.11 展示了典型的 Y 型截止阀。Y 型截止阀非常适合用于需要阀门进行几乎全流量运行,但同时又具有直通阀的特性的应用。

Y 型直通阀的应用包括锅炉排放和可能遇到泥浆、砂砾和/或粘性流体的作业。根据阀座结构划分的主要类型的截止阀包括:

- 传统阀板
- 阀芯式阀板

传统阀板截止阀使用一个短的锥形阀

板,可安装在一个匹配的锥形阀座上,用于关闭和节流(如图 10.12 所示)。当流体在阀座上呈现出沉积或者焦化的趋势时,通常优选传统阀板设计。传统阀板阀中使用的窄阀板通常会穿过沉积物,形成正位,而不是使沉淀物填充。

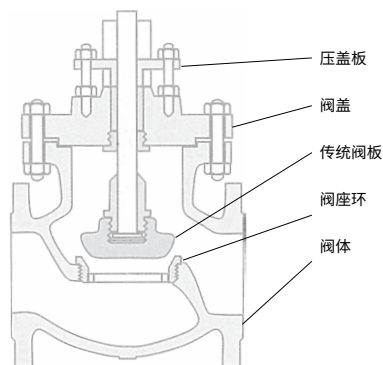


图 10.12 传统阀板直通阀

阀芯式阀板与传统阀板的不同之处在于阀芯阀板和阀座结构更长且更具锥形。阀芯和阀座的较长区域使旋塞阀最大程度地抵抗流动引起的冲刷。阀芯式阀板直通阀如图 10.13 所示。

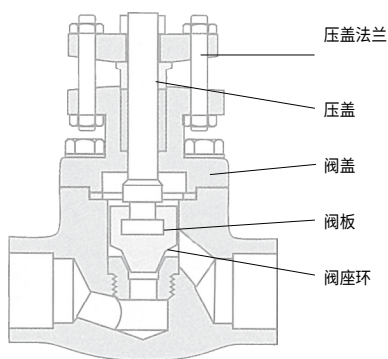


图 10.13 阀芯式阀板截止阀

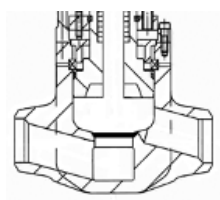


图 10.14 T型直通阀

“T”型或“Tee”型截止阀是最常见的结构之一。其名称源于阀门的倒 T 结构。它们适用于低压、高压、小孔径和大孔径应用。这种阀门被视为“扭矩密封”。一般来说,压力来自阀头下方,施加在阀门上的扭矩与压力相抵消。T 型截止阀如图 10.14 所示。

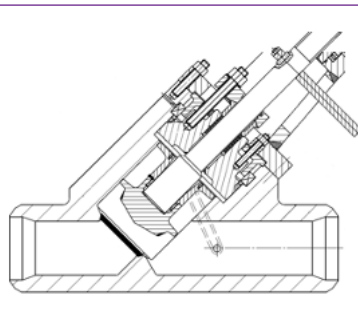


图 10.15 Y型截止阀

“Y”型或“Wye”型截止阀是一种常见的结构。其名称源于阀门倾斜的“Y”型结构。与提供较低压力损失的 T 型相比, Y 型的流道更平滑,因此最常用于高压应用。这种阀门被视为“扭矩密封”。一般来说,压力来自阀头下方,施加在阀门上的扭矩与压力相抵消。Y 型截止阀如图 10.15 所示。

角型截止阀是一种不太常见的用于隔离的截止阀配置,通常与控制功能有关。这种阀门被视为“扭矩密封”。一般来说,压力来自阀头下方,施加在阀门上扭矩与

压力相抵消。角型直通阀如图 10.16 所示。

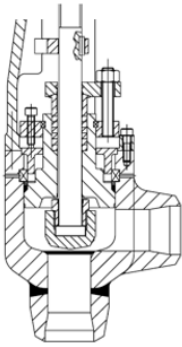


图 10.16 角型阀板直通阀

阀门停止功能的主要特点如下:

**停止功能:**

- 阀头和阀杆连接
- 阀门只能通过操作手轮/执行机构关闭

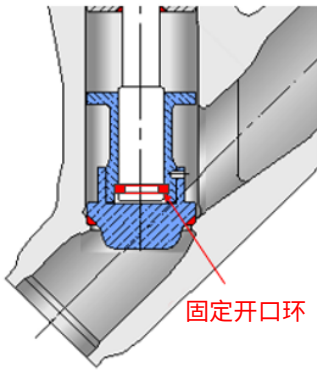


图 10.17 停止功能

**停止-止回功能:**

- 阀头和阀杆未连接
- 可通过操作手轮/执行机构关闭阀门
- 阻止逆向流

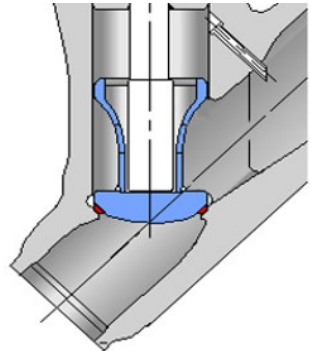


图 10.18 停止止回功能

**阀门导向件类型**

可靠性能的关键在于确保闭合元件保持正确的方向。

这主要有两种基本方法: 阀体导向和阀杆阀盖导向。

阀体导向通常用于较大的截止阀和止回阀。这通常是通过阀体上的阀头导向来实现的。

优点:

- 接触面积大, 可确保阀头的稳定性。

缺点:

- 高磨损应用可能需要硬质面。
- 如果系统条件 (如水垢) 没有得到处理, 可能会出现堵塞和粘结。
- 通常需要较大的阀头。

在 NRV 应用中, 如果阀头与阀体卡死, 那么截止阀的功能也会丧失。

**阀杆阀盖导向**

阀杆阀盖导向通常用于较小直径的阀门, 通过在阀盖内导向阀杆来实现。

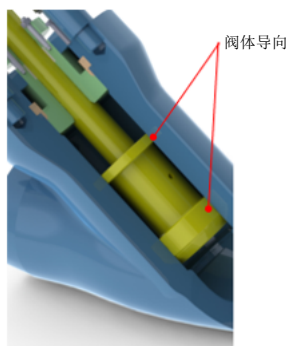


图 10.19 阀体导向

通过外部防旋转装置确定关闭元件的方向。

优点:

- 它使导向装置不受系统介质的直接影响。
- 可减小阀头的尺寸/重量。
- 通常无需在部件上进行硬面处理。
- 在 NRV 设计中, 允许在发生卡死时将阀门用作截止阀。

缺点:

- 大尺寸阀门可能需要更大的阀杆直径。

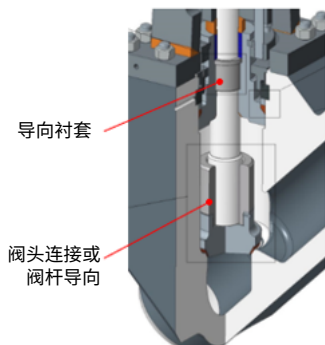


图 10.20 阀杆阀盖导向

### 10.1.3 止回阀

止回阀用于防止管道系统和连接设备的倒流。三种最常见的止回阀设计是:

- 旋启式止回阀
- 斜板式止回阀
- 升降式止回阀

旋启式止回阀(如图 10.21 所示)包含一个铰接阀板, 当开始向所需方向流动时, 该阀板旋转打开, 在反向流动时该阀板旋转关闭。由于阀板的这种旋转动作, 请垂直安装所有旋启式止回阀, 以便阀板因重力正向关闭。当阀板完全打开时, 旋启式止回阀提供的流动阻力小于升降式止回阀设计。

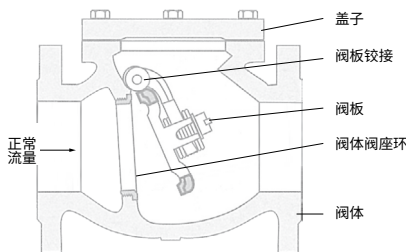


图 10.21 旋启式止回阀

在遇到冲击闭和/或阀板颤动的流动情况下, 可以使用其他种类的旋启式止回阀来最大限度地控制问题。有关尺寸和规格, 请参见本章末的表格。

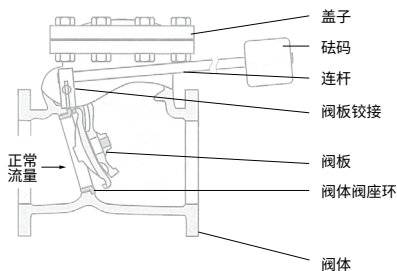


图 10.22 连杆和砵码旋启式止回阀

具有外部连杆和砵码(如图 10.22 所示)或弹簧加载式阀板的旋启式止回阀可在发生倒流时加速关闭阀门。这种即时关闭可以最大限度地减少系统中震动和阀板颤动可能造成的损坏。倾斜阀板旋启式止回阀是另一种旋启式止回阀,用于帮助防止撞击现象(见图 10.23)。

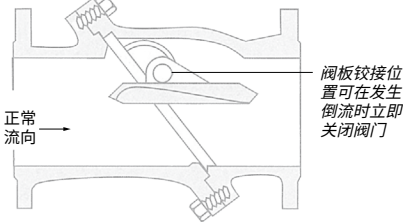


图 10.23 倾斜阀板旋启式止回阀

在许多与旋启式止回阀相同的应用中,它可以作为一种替代设计。

阀门由流向打开,水流从阀板下方和上方流过,由重力和水流反向共同作用关闭。流过阀板可提高阀板在使用中的稳定性。

一般来说,这种设计的优势在 6 英寸以上以及压力较高、流量低的应用中最为明显,因为在这些应用中,阀板的稳定性存在风险。

升降式止回阀设计(如图 10.24 所示)用于压降不严重的情况。通过阀门的流动模式对应于截止阀的流动模式。升降式止回阀有水平和垂直设计。

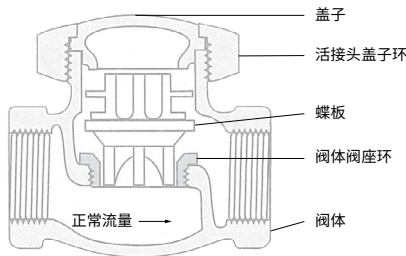


图 10.24 水平升降式止回阀

### 10.1.4 预热器保护阀

预热器系统的设计目的是在给水管进入锅炉之前对其进行预热,以提高效率。具体做法是从系统中抽取蒸汽,用来加热进入的给水。这一过程在热交换器中进行,热交换器通常被称为“预热器”或“给水加热器”。如果管子破裂,高压水将会压过低压蒸汽,水有可能被迫返回蒸汽系统。为了避免这种情况,预热器中安装了水位指示系统,当水位指示系统被触发时,需要有一个系统将高压水与预热器有效隔离。有许多方法可以做到这一点,但其中一种方法是使用三通进水阀和三通出水阀。这些阀门可以由电机操作,也可以由介质操作,即利用给水压力来操作阀门。

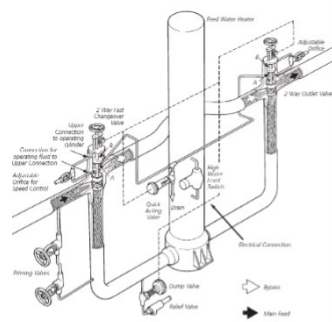


图 10.25 典型给水系统

### 基本阀门应用

**正常操作:** 水进入进水阀,然后流向加热器。加热后的水从加热器进入出水阀,然后进入出水阀,最后进入锅炉。

**旁通操作:** 阀门关闭。此时,水流越过入口阀座顶部,通过旁通出口管道进入出口阀,从而将加热器与压力隔离。



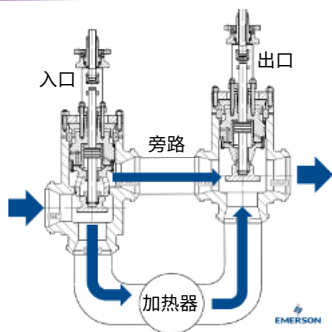


图 10.26 正常和旁路操作

### 10.1.5 再热器隔离阀

燃煤和燃气系统的设计都是为了将燃烧过程中的热量转化为蒸汽用于发电过程。在锅炉寿命的某个阶段,可能需要进行水压试验以确认锅炉的完整性。这可能是为了进行认证,也可能是为了检查维护工作,如更换锅炉管。

锅炉通常有两部分用于产生蒸汽,因此需要进行水压试验。

通常情况下,要对以下部分进行测试

- 主蒸汽部分
- 再热器部分

主蒸汽部分通常比较容易隔离,因为在主蒸汽和给水管道部分通常都有阀门,在需要进行水压试验时,可以在主蒸汽部分进行隔离。但是,由于再热段的位置靠近汽轮机,隔离起来可能会更加困难。

再热管路用于回收额外的能量以提高效率,因此通常使用较低的压力和较大的管道,以尽量减少通过管道的压力损失。这也是通常不愿意在这些管路中安装阀门的原因之一,除非有特殊要求,因为压力损失会降低效率。

当需要进行水压试验时,通常很少有隔离点可以将水压试验控制在锅炉的再热部分内。这通常不是原始设备制造商所关心的问题,而是最终用户所关心的问

题,因为他们需要在未来几年内完成这项工作。

常见的解决方案是切割管道并安装法兰和“堵板”,以隔离再热部分。这种解决方案可能成本较高。

#### 典型解决方案

再热隔离解决方案包括一个全口径的空阀体,以尽量减少压力损失。

阀门配有一个大型压力密封检修盖,以便在需要时安装“堵板”。堵板通常采用 O 型密封圈,但也可根据需要安装石墨垫圈,用于蒸汽测试应用。

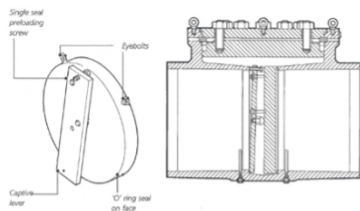


图 10.27 再热器隔离阀

安装完成后,阀板将被预装到密封件上。然后重新装上压力密封关闭装置,再将阀门加压至所需的测试压力。该压力作用在“堵板”上,随着压力的增加,“堵板”上的密封负荷也会增加。

测试结束后,可取下阀板,将阀门恢复到空的全口径管路,以便正常运行。

### 10.1.6 汽轮抽气阀

汽轮抽气阀是一种旋启式止回阀/斜板式止回阀,带有一个侧面/顶部安装的单作用气动执行机构。

**应用:**在使用 IP / LP 汽轮机启动的发电厂中提供抽汽服务和 HP 排气服务。其功能是防止再热蒸汽在跳闸时返回汽轮机。

主要特点:

- “双重保护”, 包括主动关闭和动力辅助关闭。
- 快速关闭
- 主动阀座密封

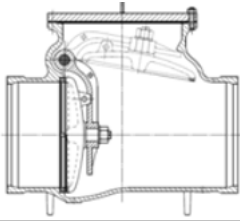


图 10.28 轮抽阀

### 10.1.7 旁路阀

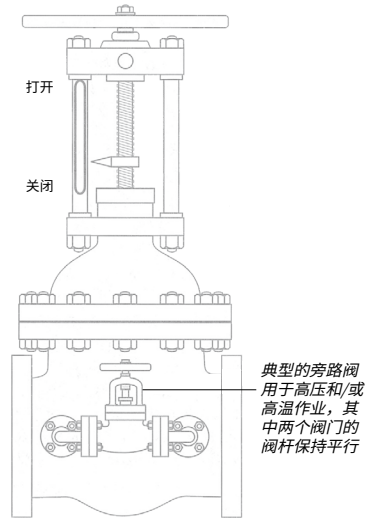
对于会遇到高压和/或高温的大型阀门工况, 通常安装较小的旁路阀以使压力均衡和/或允许下游管道在大型阀门打开之前预热。图 10.29 显示了典型的旁路。图 10.30 给出了旁路和辅助连接的标准位置和尺寸。

### 10.1.8 隔膜阀

隔膜阀 (有时称为桑德斯阀) 设计用于控制腐蚀性作业中的流量, 在这些作业中的管线流体可能对阀门产生不利影响。

其他会采用隔膜阀的应用包括不能容忍来自外部污染源的作业, 例如, 制药和食品工业。

隔膜阀与其他阀的不同之处在于阀的主体和管线流体通过柔性隔膜与阀的所有活动部件隔离。这种柔性隔膜密封可防止管线流体的阀杆填料泄漏和包装润滑剂造成的流动污染。



典型的旁路阀用于高压和/或高温作业, 其中两个阀门的阀杆保持平行

图 10.29 旁路阀

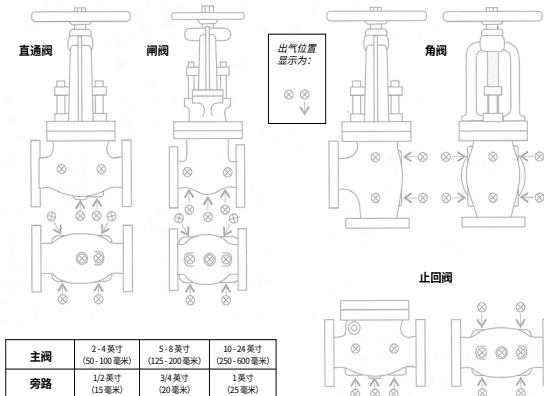


图 10.30 旁路和辅助连接

尽管隔膜阀设计有许多变化，但大多数可分为堰式或直通式。

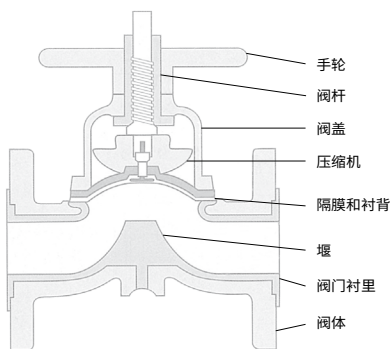


图 10.31 堰式隔膜阀

堰式隔膜阀是最常用的隔膜阀类型。图 10.31 显示了典型的堰式阀门以及主要部件。

堰式隔膜阀在阀门中间包含一个凸起部分(堰)，作为柔性隔膜的闭合点。由于堰在阀体内形成的方式，使得隔膜运动缩短，从而延长隔膜寿命并减少整体维护。

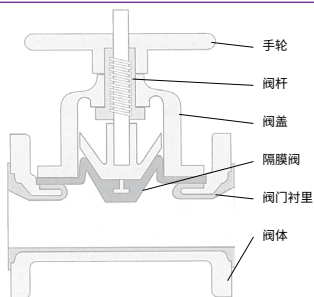


图 10.32 直通式隔膜阀

直通式隔膜阀在阀门设计中没有堰。图 10.32 显示了一个典型的直通式隔膜阀。这种设计使阀门具有不间断的通道，适用于粘性或含固体的流量。

根据作业和温度条件，有多种类型的隔膜材料可供选择。

由于与堰式隔膜阀相比，直通式隔膜阀需要更长的隔膜运动，因此对于直通式

隔膜阀，其材料选择会受到限制。

### 10.1.9 夹管阀

与隔膜阀一样，夹管阀在阀门关闭和打开时使用柔性隔膜。夹管阀采用柔性空心套管，通过手动或动力方式夹紧，以防止流动。图 10.33 显示了一个简单的气动式夹管阀。

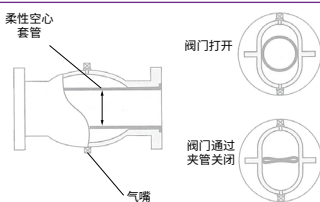


图 10.33 气动式夹管阀

夹管阀非常适合用于承载悬浮物、浆液和固体粉末流的作业。

### 10.1.10 球阀

顾名思义，球阀的阀体内包含一个球形阀芯，可调节流量。球有一个圆形孔或穿过其中心的流道，当转动四分之一时，流动停止。球阀有三种常见的模式：

- 扩径端口
- 等径端口
- 缩径端口(有时称为常规端口)

端口模式指球流道的内径模式。

球阀也可以按其阀体型式分类。阀体型式包括单件式和多件式阀体。

图 10.34 显示了一个典型的带有多件式阀体的缩径端口(或常规端口)球阀。

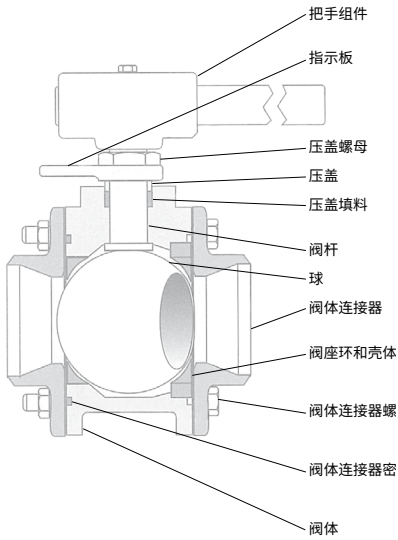


图 10.34 缩径球阀

### 10.1.11 蝶阀

蝶阀设计简单,重量轻、结构紧凑、价格低廉,特别是在阀门口径较大的情况下。它由一个铰接在其中心的扁平圆形阀板组成,可以旋转四分之一圈来实现关闭或完全打开。阀板的阀座由金属或弹性和塑料等弹性类型的材料制作。由于阀座材料的进步,蝶阀在石油、天然气、化工、水和加工领域得到普遍应用。该阀通常用于代替闸阀,同时还具有流量调节特性。

蝶阀有两种基本型号:

- 对夹式
- 双法兰式

对夹式(如图 10.35 所示)安装在两个法兰之间,并通过法兰螺栓固定。

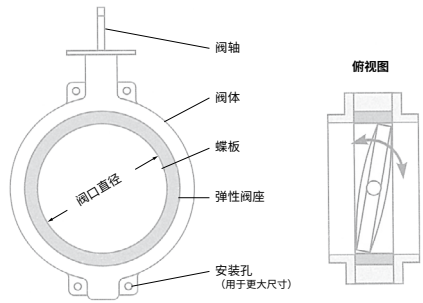


图 10.35 对夹式蝶阀

在拆卸设备或管路可能需要断开其中一个固定法兰的情况下,可以使用凸耳对夹式蝶阀。凸耳对夹式蝶阀(如图 10.36 所示)具有螺纹凸耳,法兰螺栓通过该凸耳拧紧并将阀门固定到位,即使拆下一个法兰也是如此。在大多数对夹式蝶阀中,弹性件密封件也可作为其自身的法兰垫圈。

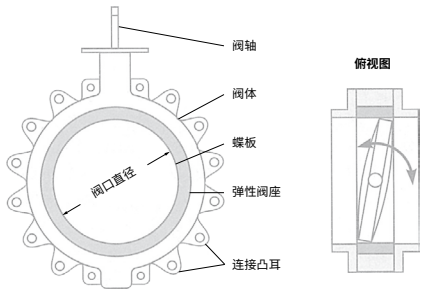


图 10.36 凸耳式蝶阀

双法兰式蝶阀(如图 10.37 所示)包含两个法兰连接端,分别用螺栓固定在管道或设备法兰上。在阀端和连接法兰之间会使用垫圈。

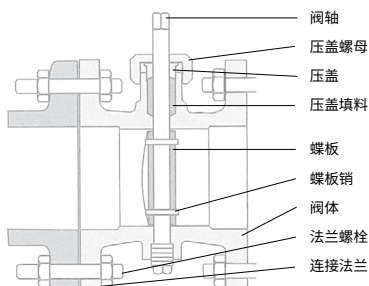


图 10.37 双法兰蝶阀

### 10.1.12 旋塞阀

旋塞阀由锥形或平行侧塞组成,可在阀体内旋转四分之一圈。四分之一转使阀门完全关闭或完全打开。旋塞阀有两种基本类型:

- 油封式旋塞
- 非油封式旋塞

油封式旋塞的一种变体如图 10.38 所示。

油封式旋塞与非油封式旋塞的不同之处在于它可润滑阀门的阀座表面。这种润滑有助于消除阀门卡死,同时仍能提供有效密封。如果可能存在流体污染,则不应使用油封式旋塞。

旋塞阀设计也适用于多端口阀门结构,如图 10.39 所示。

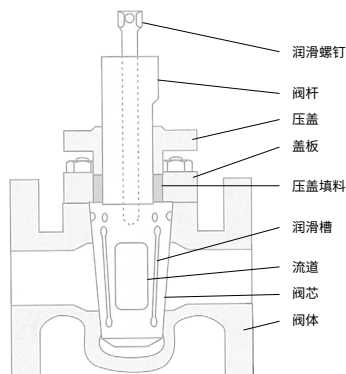


图 10.38 油封式旋塞阀

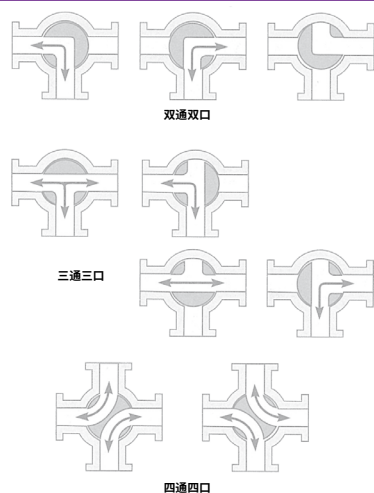


图 10.39 多口旋塞阀

铸铁闸阀/尺寸以英寸和毫米为单位 (取自阀门的端面至端面)													
铸铁闸阀 / ANSI 磅级 125, 250, 800													
公称 管道口径		平面 / 磅级 125				凸面 / 磅级 250				凸面 / 磅级 800			
		实心楔形		双阀板		实心楔形		双阀板		实心楔形		双阀板	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/4	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2	15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1-1/4	32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1-1/2	40	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2	50	7.00	177.8	7.00	177.8	8.50	215.9	8.50	215.9	11.50	292.1	11.50	292.1
2-1/2	65	7.50	190.5	7.50	190.5	9.50	241.3	9.50	241.3	13.00	330.2	13.00	330.2
3	80	8.00	203.2	8.00	203.2	11.12	282.5	11.12	282.5	14.0	355.6	14.00	355.6
4	100	9.00	228.6	9.00	228.6	12.00	304.8	12.00	304.8	17.00	431.8	17.00	431.8
5	125	10.00	254.0	10.00	254.0	15.00	381.0	15.00	381.0	---	---	---	---
6	150	10.50	266.7	10.50	266.7	15.88	403.4	15.88	403.4	22.00	558.8	22.00	558.8
8	200	11.50	292.1	11.50	292.1	16.50	419.1	16.50	419.1	26.00	660.4	26.00	660.4
10	250	13.00	330.2	13.00	330.2	18.00	457.2	18.00	457.2	31.00	787.4	31.00	787.4
12	300	14.00	355.6	14.00	355.6	19.75	501.7	19.75	501.7	33.00	838.2	33.00	838.2
14	350	15.00	381.0	---	---	22.50	571.5	22.50	571.5	---	---	---	---
16	400	16.00	406.4	---	---	24.00	609.6	24.00	609.6	---	---	---	---
18	450	17.00	431.8	---	---	26.00	660.4	26.00	660.4	---	---	---	---
20	500	18.00	457.2	---	---	28.00	711.2	28.00	711.2	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	20.00	508.0	---	---	31.00	787.4	31.00	787.4	---	---	---	---
26	650	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
28	700	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
30	750	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

注

1. (---) 表示阀门口径未在 ASME / ANSI 标准中显示, 但可以在市场上买到。
2. 毫米尺寸四舍五入到第一个小数点。
3. 尺寸基于 ASME/ANSI B16.10 标准。

图 10.40 铸铁闸阀

<b>铸铁直通阀 / 尺寸以英寸和毫米为单位</b> (对于直通阀,取自端面至端面;对于角阀,取自中心线至端面)													
<b>铸铁直通阀 / ANSI 磅级 125 &amp; 250</b>													
公称 管道口径		平面 / 磅级 125						凸面 / 磅级 250					
		直通		门角		控制方式		直通		门角		控制方式	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/4	8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8	10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2	15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7.50	190.5
3/4	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	7.62	193.5
1	25	---	---	---	---	7.25	190.5	---	---	---	---	7.55	196.9
1-1/4	32	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1-1/2	40	---	---	---	---	8.75	222.3	---	---	---	---	9.25	235.0
2	50	8.00	203.2	4.00	101.6	10.00	254.0	10.50	266.7	5.25	133.4	10.50	266.7
2-1/2	65	8.50	215.9	4.25	107.0	10.88	276.4	11.50	292.1	5.75	146.1	11.50	292.1
3	80	9.50	241.3	4.75	120.7	11.75	298.5	12.50	317.5	6.25	158.8	12.50	317.5
4	100	11.50	292.1	5.75	146.1	13.88	352.6	14.00	355.6	7.00	177.8	14.50	368.3
5	125	13.00	330.2	6.50	165.1	---	---	15.75	400.1	7.88	200.2	---	---
6	150	14.00	355.6	7.00	177.8	17.75	450.9	17.50	444.5	8.75	222.3	18.62	473.0
8	200	19.50	495.3	9.75	247.7	21.38	543.1	21.00	533.4	10.50	266.7	22.38	568.5
10	250	24.50	622.3	12.25	311.1	26.50	673.1	24.50	622.3	12.25	311.2	27.88	708.2
12	300	27.50	698.5	13.75	349.3	29.00	736.6	28.00	711.2	14.00	355.6	30.50	774.7
14	350	31.00	787.4	15.50	393.7	35.00	889.0	---	---	---	---	36.50	927.1
16	400	36.00	914.4	18.00	457.2	40.00	1016.0	---	---	---	---	41.62	1057.2
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
20	500	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
26	650	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
28	700	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
30	750	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

注

1. (---) 表示阀门口径未在 ASME / ANSI 标准中显示, 但可以在市场上买到。
2. 毫米尺寸四舍五入到第一个小数点。
3. 尺寸基于 ASME/ANSI B16.10 标准。
4. 标准直通升降式和旋启式止回阀的尺寸可与直通阀尺寸互换 (不包括 16' (400 毫米) 垂直旋启式止回阀)。
5. 标准角形升降式止回阀的尺寸可与角形直通阀尺寸互换。

图 10.41 铸铁直通阀

钢闸阀/尺寸以英寸和毫米为单位 (取自阀门的端面至端面和尾端至尾端)									
钢闸阀 / ANSI 磅级 150									
公称管道口径		凸面 / 磅级 150				密封斜面尾端 / 磅级 150			
		实心楔形		双阀板		实心楔形		双阀板	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/4	8	4.00	101.6	4.00	101.6	4.00	101.6	4.00	101.6
3/8	10	4.00	101.6	4.00	101.6	4.00	101.6	4.00	101.6
1/2	15	4.25	108.0	4.25	108.0	4.25	108.0	4.25	108.0
3/4	20	4.62	117.4	4.62	117.4	4.62	117.4	4.62	117.4
1	25	5.00	127.0	5.00	127.0	5.00	127.0	5.00	127.0
1-1/4	32	5.50	139.7	5.50	139.7	5.50	139.7	5.50	139.7
1-1/2	40	6.50	165.1	6.50	165.1	6.50	165.1	6.50	165.1
2	50	7.00	177.8	7.00	177.8	8.50	215.9	8.50	215.9
2-1/2	65	7.50	190.5	7.50	190.5	9.50	241.3	9.50	241.3
3	80	8.00	203.2	8.00	203.2	11.12	282.5	11.12	282.5
4	100	9.00	228.6	9.00	228.6	12.00	304.8	12.00	304.8
5	125	10.00	254.0	10.00	254.0	15.00	381.0	15.00	381.0
6	150	10.50	266.7	10.50	266.7	15.88	403.4	15.88	403.4
8	200	11.50	292.1	11.50	292.1	16.50	419.1	16.50	419.1
10	250	13.00	330.2	13.00	330.2	18.00	457.2	18.00	457.2
12	300	14.00	355.6	14.00	355.6	19.75	501.7	19.75	501.7
14	350	15.00	381.0	15.00	381.0	22.50	571.5	22.50	571.5
16	400	16.00	406.4	16.00	406.4	24.00	609.6	24.00	609.6
18	450	17.00	431.8	17.00	431.8	26.00	660.4	26.00	660.4
20	500	18.00	457.2	18.00	457.2	28.00	711.2	28.00	711.2
22	550	---	---	---	---	30.00	762.0	30.00	762.0
24	600	20.00	508.0	20.00	508.0	32.00	812.8	32.00	812.8
26	650	22.00	558.8	22.00	558.8	---	---	34.00	863.6
28	700	24.00	609.6	24.00	609.6	---	---	36.00	914.4
30	750	24.00	609.6	24.00	609.6	---	---	36.00	914.4
32	800	---	---	---	---	---	---	38.00	965.2
34	850	---	---	---	---	---	---	40.00	1016
36	900	28.00	711.2	28.00	711.2	---	---	40.00	1016

图 10.42 钢闸阀 (磅级 150)



钢闸阀/尺寸以英寸和毫米为单位 (取自阀门的端面至端面和尾端至尾端)									
钢闸阀 / ANSI 磅级 300									
公称管道口径		凸面 / 磅级 300				密封斜面尾端 / 磅级 300			
		实心楔形		双阀板		实心楔形		双阀板	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/4	8	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8	10	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2	15	5.50	139.7	---	---	5.50	139.7	---	---
3/4	20	6.00	152.4	---	---	6.00	152.4	---	---
1	25	6.50	165.1	---	---	6.50	165.1	---	---
1-1/4	32	7.00	177.8	---	---	7.00	177.8	---	---
1-1/2	40	7.50	190.5	7.50	190.5	7.50	190.5	7.50	190.5
2	50	8.50	215.9	8.50	215.9	8.50	215.9	8.50	215.9
2-1/2	65	9.50	241.3	9.50	241.3	9.50	241.3	9.50	241.3
3	80	11.12	282.5	11.12	282.5	11.12	282.5	11.12	282.5
4	100	12.00	304.8	12.00	304.8	12.00	304.8	12.00	304.8
5	125	15.00	381.0	15.00	381.0	15.00	381.0	15.00	381.0
6	150	15.88	403.4	15.88	403.4	15.88	403.4	15.88	403.4
8	200	16.50	419.1	16.50	419.1	16.50	419.1	16.50	419.1
10	250	18.00	457.2	18.00	457.2	18.00	457.2	18.00	457.2
12	300	19.75	501.7	19.75	501.7	19.75	501.7	19.75	501.7
14	350	30.00	762.0	30.00	762.0	30.00	762.0	30.00	762.0
16	400	33.00	838.2	33.00	838.2	33.00	838.2	33.00	838.2
18	450	36.00	914.4	36.00	914.4	36.00	914.4	36.00	914.4
20	500	39.00	990.6	39.00	990.6	39.00	990.6	39.00	990.6
22	550	43.00	1092.2	43.00	1092.2	43.00	1092.2	43.00	1092.2
24	600	45.00	1143.0	45.00	1143.0	45.00	1143.0	45.00	1143.0
26	650	49.00	1244.6	49.00	1244.6	49.00	1244.6	49.00	1244.6
28	700	53.00	1346.2	53.00	1346.2	53.00	1346.2	53.00	1346.2
30	750	55.00	1397.0	55.00	1397.0	55.00	1397.0	55.00	1397.0
32	800	60.00	1524.0	60.00	1524.0	60.00	1524.0	60.00	1524.0
34	850	64.00	1625.6	64.00	1625.6	64.00	1625.6	64.00	1625.6
36	900	68.00	1727.2	68.00	1727.2	68.00	1727.2	68.00	1727.2

图 10.43 钢闸阀 (磅级 300)

钢闸阀/尺寸以英寸和毫米为单位 (取自阀门的端面至端面和尾端至尾端)															
钢闸阀 / ANSI 磅级 400 & 600															
公称管道 口径		凸面和密封端面尾端 / 磅级 400				凸面 / 磅级 600				密封端面尾端 / 磅级 600					
		实心楔形		双阀板		实心楔形		双阀板		实心楔形		双阀板		短型	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/2	15	6.5	165.1	---	---	6.5	165.1	---	---	6.50	165.1	---	---	---	---
3/4	20	7.5	190.5	---	---	7.5	190.5	---	---	7.5	190.5	---	---	---	---
1	25	8.5	215.9	8.5	215.9	8.5	215.9	8.5	215.9	8.5	215.9	8.5	215.9	5.25	133.4
1-1/4	32	9.0	228.6	9.0	228.6	9.0	228.6	9.0	228.6	9.0	228.6	9.0	228.6	5.75	146.1
1-1/2	40	9.5	241.3	9.5	241.3	9.5	241.3	9.5	241.3	9.5	241.3	9.5	241.3	6.0	152.4
2	50	11.5	292.1	11.5	292.1	11.5	292.1	11.5	292.1	11.5	292.1	11.5	292.1	7.0	177.8
2-1/2	65	13.0	330.2	13.0	330.2	13.0	330.2	13.0	330.2	13.0	330.2	13.0	330.2	8.5	215.9
3	80	14.0	355.6	14.0	355.6	14.0	355.6	14.0	355.6	14.0	355.6	14.0	355.6	10.0	254.0
4	100	16.0	406.4	16.0	406.4	17.0	431.8	17.0	431.8	17.0	431.8	17.0	431.8	12.0	304.8
5	125	18.0	457.2	18.0	457.2	20.0	508.0	20.0	508.0	20.0	508.0	20.0	508.0	15.0	381.0
6	150	19.5	495.3	19.5	495.3	22.0	558.8	22.0	558.8	22.0	558.8	22.0	558.8	18.0	457.2
8	200	23.5	596.9	23.5	596.9	26.0	660.4	26.0	660.4	26.0	660.4	26.0	660.4	23.0	584.2
10	250	26.5	673.1	26.5	673.1	31.0	787.4	31.0	787.4	31.0	787.4	31.0	787.4	28.0	711.2
12	300	30.0	762.0	30.0	762.0	33.0	838.2	33.0	838.2	33.0	838.2	33.0	838.2	32.0	812.8
14	350	32.5	825.5	32.5	825.5	35.0	889.0	35.0	889.0	35.0	889.0	35.0	889.0	35.0	889.0
16	400	35.5	901.7	35.5	901.7	39.0	990.6	39.0	990.6	39.0	990.6	39.0	990.6	39.0	990.6
18	450	38.5	977.9	38.5	977.9	43.0	1092.2	43.0	1092.2	43.0	1092.2	43.0	1092.2	43.0	1092.2
20	500	41.5	1054.1	41.5	1054.1	47.0	1193.8	47.0	1193.8	47.0	1193.8	47.0	1193.8	47.0	1193.8
22	550	45.0	1143.0	45.0	1143.0	51.0	1295.4	51.0	1295.4	51.0	1295.4	51.0	1295.4	---	---
24	600	48.5	1231.9	48.5	1231.9	55.0	1397.0	55.0	1397.0	55.0	1397.0	55.0	1397.0	55.0	1397.0
26	650	---	---	---	1308.1	57.0	1447.8	57.0	1447.8	57.0	1447.8	57.0	1447.8	---	---
28	700	---	---	---	1397.0	61.0	1549.4	61.0	1549.4	61.0	1549.4	61.0	1549.4	---	---
30	750	---	---	---	1524.0	65.0	---	65.0	1651.0	65.0	1651.0	65.0	1651.0	---	---
32	800	---	---	---	1651.0	---	---	70.0	1778.0	---	---	70.0	1778.0	---	---
34	850	---	---	---	1778.0	---	---	76.0	1930.4	---	---	76.0	1930.4	---	---
36	900	---	---	---	1879.6	---	---	82.0	2082.8	---	---	82.0	2082.8	---	---

图 10.44 钢闸阀 (磅级 400 & 600)

钢闸阀/尺寸以英寸和毫米为单位 (取自阀门的端面至端面和尾端至尾端)													
钢闸阀 / ANSI 磅级 900 & 1500													
公称管道口径		凸面和密封斜面尾端 / 磅级 900				密封斜面尾端 / 磅级 900				凸面和密封斜面尾端 / 磅级 1500			
		实心楔形		双阀板		短型				实心楔形		双阀板	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
3/4	20	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1	25	10.00	254.0	---	---	5.50	139.7	10.00	254.0	---	---	5.50	139.7
1-1/4	32	11.00	279.4	---	---	6.50	165.1	11.00	279.4	---	---	6.50	165.1
1-1/2	40	12.00	304.8	---	---	7.00	177.8	12.00	304.8	---	---	7.00	177.8
2	50	14.50	368.3	14.50	368.3	8.50	215.9	14.50	368.3	14.50	368.3	8.50	215.9
2-1/2	65	16.50	419.1	16.50	419.1	10.00	254.0	16.50	419.1	16.50	419.1	10.00	254.0
3	80	15.00	381.0	15.00	381.0	12.00	304.8	18.50	469.9	18.50	469.9	12.00	304.8
4	100	18.00	457.2	18.00	457.2	14.00	355.6	21.50	546.1	21.50	546.1	16.00	406.4
5	125	22.00	558.8	22.00	558.8	17.00	431.8	26.50	673.1	26.50	673.1	19.00	482.6
6	150	24.00	609.6	24.00	609.6	20.00	508.0	27.75	704.9	27.75	704.9	22.00	558.8
8	200	29.00	736.6	29.00	736.6	26.00	660.4	32.75	831.9	32.75	831.9	28.00	711.2
10	250	33.00	838.2	33.00	838.2	31.00	787.4	39.00	990.6	39.00	990.6	34.00	863.6
12	300	38.00	965.2	38.00	965.2	36.00	914.4	44.50	1130.3	44.50	1130.3	39.00	990.6
14	350	40.50	1028.7	40.50	1028.7	39.00	990.6	49.50	1257.3	49.50	1257.3	42.00	1066.8
16	400	44.50	1130.3	44.50	1130.3	43.00	1092.2	54.50	1384.3	54.50	1384.3	47.00	1193.8
18	450	48.00	1219.2	48.00	1219.2	---	---	60.50	1536.7	60.50	1536.7	53.00	1346.2
20	500	52.00	1320.8	52.00	1320.8	---	---	65.50	1663.7	65.50	1663.7	58.00	1473.2
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	61.00	1549.4	61.00	1549.4	---	---	76.50	1943.1	76.50	1943.1	---	---

图 10.45 钢闸阀 (磅级 900 &amp; 1500)

钢闸阀/尺寸以英寸和毫米为单位 (取自阀门的端面至端面和尾端至尾端)											
钢闸阀 / ANSI 磅级 2500											
公称管道口径		凸面 / 磅级 2500				密封斜面尾端 / 磅级 2500					
		实心楔形		双阀板		实心楔形		双阀板		短型	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/2	15	10.38	263.7	---	---	10.38	263.7	---	---	---	---
3/4	20	10.75	273.1	---	---	10.75	273.1	---	---	---	---
1	25	12.12	307.9	---	---	12.12	307.9	---	---	7.31	185.7
1-¼	32	13.75	349.3	---	---	13.75	349.3	---	---	9.12	231.7
1-½	40	15.12	384.1	---	---	15.12	384.1	---	---	9.12	231.7
2	50	17.75	450.9	17.75	450.9	17.75	450.9	17.75	450.9	11.00	279.4
2-½	65	20.00	508.0	20.00	508.0	20.00	508.0	20.00	508.0	13.00	330.2
3	80	22.75	577.9	22.75	577.9	22.75	577.9	22.75	557.9	14.50	368.3
4	100	26.50	673.1	26.50	673.1	26.50	673.1	26.50	673.1	18.00	457.2
5	125	31.25	793.8	31.25	793.8	31.25	793.8	31.25	793.8	21.00	533.4
6	150	36.00	914.4	36.00	914.4	36.00	914.4	36.00	914.4	24.00	609.6
8	200	40.25	1022.4	40.25	1022.4	40.25	1022.4	40.25	1022.4	30.00	762.0
10	250	50.00	1270.0	50.00	1270.0	50.00	1270.0	50.00	1270.0	36.00	914.4
12	300	56.00	1422.4	56.00	1422.4	56.00	1422.4	56.00	1422.4	41.00	1041.4
14	350	---	---	---	---	---	---	---	---	44.00	1117.6
16	400	---	---	---	---	---	---	---	---	49.00	1244.6
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---	55.00	1397.0

注

1. (---) 表示阀门口径未在 ASME / ANSI 标准中显示, 但可以在市场上买到。
2. 毫米尺寸四舍五入到第一个小数点。
3. 尺寸基于 ASME/ANSI B16.10 标准。
4. 短型尺寸适用于压力密封或无法兰阀盖阀 (螺栓连接阀盖上的选项)。

图 10.46 钢闸阀 (磅级 2500)

钢直通阀和止回阀 / 尺寸以英寸和毫米为单位											
(对于直通阀,取自端面至端面和尾端至尾端;对于角阀,取自中心线至端面和中心线至尾端)											
钢直通阀和止回阀 / ANSI 磅级 150											
公称 管道口径		凸面和密封斜面尾端 / 磅级 150									
		直通阀		角阀		Y型		直通控制阀(°)		旋启式止回阀	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/4	8	4.00	101.6	2.00	50.8	---	---	---	---	4.00	101.6
3/8	10	4.00	101.6	2.00	50.8	---	---	---	---	4.00	101.6
1/2	15	4.25	108.0	2.25	57.2	5.50	139.7	---	---	4.25	108.0
3/4	20	4.62	117.4	2.50	63.5	6.00	152.4	---	---	4.62	117.4
1	25	5.00	127.0	2.75	69.9	6.50	165.1	7.25	184.2	5.00	127.0
1-1/4	32	5.50	139.7	3.00	76.2	7.25	184.2	---	---	5.50	139.7
1-1/2	40	6.50	165.1	3.25	82.6	8.00	203.2	8.75	222.3	6.50	165.1
2	50	8.00	203.2	4.00	101.6	9.00	228.6	10.00	254.0	8.00	203.2
2-1/2	65	8.50	215.9	4.25	108.0	11.00	279.4	10.88	276.4	8.50	215.9
3	80	9.50	241.3	4.75	120.7	12.50	317.5	11.75	298.5	9.50	241.3
4	100	11.50	292.1	5.75	146.1	14.50	368.3	13.88	352.6	11.50	292.1
5	125	14.00	355.6	7.00	177.8	---	---	---	---	13.00	355.6
6	150	16.00	406.4	8.00	203.2	18.50	469.9	17.75	450.9	14.00	406.4
8	200	19.50	495.3	9.75	247.7	23.50	596.9	21.38	543.1	19.50	495.3
10	250	24.50	622.3	12.25	311.2	26.50	673.1	26.50	673.1	24.50	622.3
12	300	27.50	698.5	13.75	349.3	30.50	774.7	29.00	736.6	27.50	698.5
14	350	31.00	787.4	15.50	393.7	---	---	35.00	889.0	31.50	787.4
16	400	36.00	914.4	18.00	457.2	---	---	40.00	1016.0	34.00	914.4
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---	38.50	977.9
20	500	---	---	---	---	---	---	---	---	38.50	977.9
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	42.00	1066.8
24	600	---	---	---	---	---	---	---	---	51.00	1295.4
26	650	---	---	---	---	---	---	---	---	51.00	1295.4
28	700	---	---	---	---	---	---	---	---	57.00	1447.8
30	750	---	---	---	---	---	---	---	---	60.00	1524.0
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	---	---	77.00	1955.8

注:控制阀尺寸仅适用于凸面法兰阀。

图 10.47 钢直通阀 / 止回阀 (磅级 150)

<b>钢直通阀和止回阀 / 尺寸以英寸和毫米为单位</b> (对于直通阀,取自端面至端面和尾端至尾端;对于角阀,取自中心线至端面和中心线至尾端)									
<b>钢直通阀和止回阀 / ANSI 磅级 300</b>									
公称 管道口径		凸面和密封斜面尾端 / 磅级 300							
		直通阀		角阀		直通控制阀(*)		旋启式止回阀	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/4	8	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8	10	---	---	---	---	---	---	---	---
1/2	15	6.00	152.4	3.00	76.2	7.50	190.5	---	---
3/4	20	7.00	177.8	3.50	88.9	7.62	193.6	---	---
1	25	8.00	203.2	4.00	101.6	7.75	196.9	8.50	215.9
1-1/4	32	8.50	215.9	4.25	108.0	---	---	9.00	228.6
1-1/2	40	9.00	228.6	4.50	114.3	9.25	235.0	9.50	241.3
2	50	10.50	266.7	5.25	133.4	10.50	266.7	10.50	266.7
2-1/2	65	11.50	292.1	5.75	146.1	11.50	292.1	11.50	292.1
3	80	12.50	317.5	6.25	158.8	12.50	321.3	12.50	317.5
4	100	14.00	355.6	7.00	177.8	14.50	368.3	14.00	355.6
5	125	15.75	400.1	7.88	200.2	---	---	15.75	400.1
6	150	17.50	444.5	8.75	222.3	18.62	473.0	17.50	444.5
8	200	22.00	558.8	11.00	279.4	22.38	568.5	21.00	533.4
10	250	24.50	622.3	12.25	311.2	27.88	708.2	24.50	622.3
12	300	28.00	711.2	14.00	355.6	30.50	774.7	28.00	711.2
14	350	---	---	---	---	36.50	927.1	33.00	838.2
16	400	---	---	---	---	41.62	1057.2	34.00	863.6
18	450	---	---	---	---	---	---	38.50	977.9
20	500	---	---	---	---	---	---	40.00	1016.0
22	550	---	---	---	---	---	---	44.00	1117.6
24	600	---	---	---	---	---	---	53.00	1346.2
26	650	---	---	---	---	---	---	53.00	1346.2
28	700	---	---	---	---	---	---	59.00	1498.6
30	750	---	---	---	---	---	---	62.75	1593.9
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	82.00	2082.8

控制阀尺寸仅适用于凸面法兰阀。

图 10.48 钢直通阀 / 止回阀 (磅级 300)

钢直通阀和止回阀 / 尺寸以英寸和毫米为单位													
(对于直通阀,取自端面至端面和尾端至尾端;对于角阀,取自中心线至端面和中心线至尾端)													
								长型					
公称 管道口径		凸面和密封斜面尾端 / 磅级 400						凸面和密封斜面尾端 / 磅级 600					
		直通阀		角阀		旋启式止回阀		直通阀		角阀		旋启式止回阀	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/2	15	6.50	165.1	3.25	82.6	6.50	165.1	6.50	165.1	3.25	82.6	6.50	165.1
3/4	20	7.50	190.5	3.75	95.3	7.50	190.5	7.50	190.5	3.75	95.3	7.50	190.5
1	25	8.50	215.9	4.25	108.0	8.50	215.9	8.50	215.9	4.25	108.0	8.50	215.9
1-¼	32	9.00	228.6	4.50	114.3	9.00	228.6	9.00	228.6	4.50	114.3	9.00	228.6
1-½	40	9.50	241.3	4.75	120.7	9.50	241.3	9.50	241.3	4.75	120.7	9.50	241.3
2	50	11.50	292.1	5.75	146.1	11.50	292.1	11.50	292.1	5.75	146.1	11.50	292.1
2-½	65	13.00	330.2	6.50	165.1	13.00	330.2	13.00	330.2	6.50	165.1	13.00	330.2
3	80	14.00	355.6	7.00	177.8	14.00	355.6	14.00	355.6	7.00	177.8	14.00	355.6
4	100	16.00	406.4	8.00	203.2	16.00	406.4	17.00	431.8	8.50	215.9	17.00	431.8
5	125	18.00	457.2	9.00	228.6	18.00	457.2	20.00	508.0	10.00	254.0	20.00	508.0
6	150	19.50	495.3	9.75	247.7	19.50	495.3	22.00	558.8	11.00	279.4	22.00	558.8
8	200	23.50	596.9	11.75	298.5	23.50	596.9	26.00	660.4	13.00	330.2	26.00	660.4
10	250	26.50	673.1	13.25	336.6	26.50	673.1	31.00	787.4	15.50	393.7	31.00	787.4
12	300	30.00	762.0	15.00	381.0	30.00	762.0	33.00	838.2	16.50	419.1	33.00	838.2
14	350	---	---	---	---	35.00	889.0	---	---	---	---	35.00	889.0
16	400	---	---	---	---	35.50	901.7	---	---	---	---	39.00	990.6
18	450	---	---	---	---	40.00	1016.0	---	---	---	---	43.00	1092.2
20	500	---	---	---	---	41.50	1054.1	---	---	---	---	47.00	1193.8
22	550	---	---	---	---	45.00	1143.0	---	---	---	---	51.00	1295.4
24	600	---	---	---	---	55.00	1397.0	---	---	---	---	55.00	1397.0
26	650	---	---	---	---	55.00	1397.0	---	---	---	---	57.00	1447.8
28	700	---	---	---	---	63.00	1600.2	---	---	---	---	63.00	1600.2
30	750	---	---	---	---	65.00	1651.0	---	---	---	---	65.00	1651.0
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	82.00	2082.8	---	---	---	---	82.00	2082.8

图 10.49 钢直通阀 / 止回阀 (磅级 400 &amp; 600)

钢直通阀和止回阀 / 尺寸以英寸和毫米为单位									
(对于直通阀, 取自端面至端面和尾端至尾端; 对于角阀, 取自中心线至端面和中心线至尾端)									
公称管道口径		短型							
		密封斜面尾端 / 磅级 600							
		直通阀		角阀		旋启式止回阀		直通控制阀	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/2	15	---	---	---	---	---	---	8.00	203.2
3/4	20	---	---	---	---	---	---	8.12	206.3
1	25	5.25	133.4	---	---	5.25	133.4	8.25	209.6
1-1/4	32	5.75	146.1	---	---	5.75	146.1	---	---
1-1/2	40	6.00	152.4	---	---	6.00	152.4	9.88	251.0
2	50	7.00	177.8	4.25	108.0	7.00	177.8	11.25	285.8
2-1/2	65	8.50	215.9	5.00	127.0	8.50	215.9	12.25	311.2
3	80	10.00	254.0	6.00	152.4	10.00	254.0	13.25	336.6
4	100	12.00	304.8	7.00	177.8	12.00	304.8	15.50	393.7
5	125	15.00	381.0	8.50	215.9	15.00	381.0	---	---
6	150	18.00	457.2	10.00	254.0	18.00	457.2	20.00	508.0
8	200	23.00	584.2	---	---	23.00	584.2	24.00	609.6
10	250	28.00	711.2	---	---	28.00	711.2	29.62	752.4
12	300	32.00	812.8	---	---	32.00	812.2	32.25	819.2
14	350	---	---	---	---	---	---	38.25	971.6
16	400	---	---	---	---	---	---	43.62	1108.0
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---
20	500	---	---	---	---	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	---	---	---	---	---	---	---	---
26	650	---	---	---	---	---	---	---	---
28	700	---	---	---	---	---	---	---	---
30	750	---	---	---	---	---	---	---	---
32	800	---	---	---	---	---	---	---	---
34	850	---	---	---	---	---	---	---	---
36	900	---	---	---	---	---	---	---	---

图 10.50 钢直通阀 / 止回阀 (磅级 600)



钢直通阀和止回阀 / 尺寸以英寸和毫米为单位													
(对于直通阀,取自端面至端面和尾端至尾端;对于角阀,取自中心线至端面和中心线至尾端)													
钢直通阀和止回阀 / ANSI 磅级 900													
公称管道口径		长型						短型					
		凸面和密封斜面尾端 / 磅级 900						密封斜面尾端 / 磅级 900					
		直通阀		角阀		旋启式止回阀		直通阀		角阀		旋启式止回阀	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/2	15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4	20	9.00	228.6	4.50	114.3	9.00	228.6	---	---	---	---	---	---
1	25	10.00	254.0	5.00	127.0	10.00	254.0	---	---	---	---	---	---
1-¼	32	11.00	279.4	5.50	139.7	11.00	279.4	---	---	---	---	---	---
1-½	40	12.00	304.8	6.00	152.4	12.00	304.8	---	---	---	---	---	---
2	50	14.50	368.3	7.25	184.2	14.50	368.3	---	---	---	---	---	---
2-½	65	16.50	419.1	8.25	209.6	16.50	419.1	10.00	254.0	---	---	10.00	254.0
3	80	15.00	381.0	7.50	190.5	15.00	381.0	12.00	304.8	6.00	152.4	12.00	304.8
4	100	18.00	457.2	9.00	228.6	18.00	457.2	14.00	355.6	7.00	177.8	14.00	355.6
5	125	22.00	558.8	11.00	279.4	22.00	558.8	17.00	431.8	8.50	215.9	17.00	431.8
6	150	24.00	609.6	12.00	304.8	24.00	609.6	20.00	508.0	10.00	254.0	20.00	508.0
8	200	29.00	736.6	14.50	368.3	29.00	736.6	26.00	660.4	13.00	330.2	26.00	660.4
10	250	33.00	838.2	16.50	419.1	33.00	838.2	31.00	787.4	15.50	393.7	31.00	787.4
12	300	38.00	965.2	19.00	482.6	38.00	965.2	36.00	914.4	18.00	457.2	36.00	914.4
14	350	40.50	1028.7	20.25	514.4	40.50	1028.7	39.00	990.6	19.50	495.3	39.00	990.6
16	400	---	---	26.00	660.4	44.50	1130.3	43.00	1092.2	---	---	43.00	1092.2
18	450	---	---	29.00	736.6	48.00	1219.2	---	---	---	---	---	---
20	500	---	---	32.50	825.5	52.00	1320.8	---	---	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	---	---	39.00	990.6	61.00	1549.4	---	---	---	---	---	---

图 10.51 钢直通阀 / 止回阀 (磅级 900)

<b>钢制球阀和止回阀 / 尺寸以英寸和毫米表示</b> (对于直通阀,取自端面至端面和尾端至尾端;对于角阀,取自中心线至端面和中心线至尾端)											
<b>钢直通阀和止回阀 / ANSI 磅级 1500</b>											
公称 管道口径		长型						短型			
		凸面和密封斜面尾端 / 磅级 1500						密封斜面尾端 / 磅级 1500			
		直通阀		角阀		旋启式止回阀		直通阀		旋启式止回阀	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/2	15	8.50	215.9	4.25	108.0	---	---	---	---	---	---
3/4	20	9.00	228.6	4.50	114.3	9.00	228.6	---	---	---	---
1	25	10.00	254.0	5.00	127.0	10.00	254.0	---	---	---	---
1-¼	32	11.00	279.4	5.50	139.7	11.00	279.4	---	---	---	---
1-½	40	12.00	304.8	6.00	152.4	12.00	304.8	---	---	---	---
2	50	14.50	368.3	7.25	184.2	14.50	368.3	8.50	215.9	8.50	215.9
2-½	65	16.50	419.1	8.25	209.6	16.50	419.1	10.00	254.0	10.00	254.0
3	80	18.50	469.9	9.25	235.0	18.50	469.9	12.00	304.8	12.00	304.8
4	100	21.50	546.1	10.75	273.1	21.50	546.1	16.00	406.4	16.00	406.4
5	125	26.50	673.1	13.25	336.6	26.50	673.1	19.00	482.6	19.00	482.6
6	150	27.75	704.9	13.88	352.6	27.75	704.9	22.00	558.8	22.00	558.8
8	200	32.75	831.9	16.38	416.1	32.75	831.9	28.00	711.2	28.00	711.2
10	250	39.00	990.6	19.50	495.3	39.00	990.6	34.00	863.6	34.00	863.6
12	300	44.50	1130.3	22.25	565.2	44.50	1130.3	39.00	990.6	39.00	990.6
14	350	49.50	1257.3	24.75	628.7	49.50	1257.3	42.00	1066.8	42.00	1066.8
16	400	---	---	---	---	54.50	1384.3	47.00	1193.8	47.00	1193.8
18	450	---	---	---	---	60.50	1536.7	---	---	---	---
20	500	---	---	---	---	65.50	1663.7	---	---	---	---
22	550	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
24	600	---	---	---	---	76.50	1943.1	---	---	---	---

图 10.52 钢直通阀 / 止回阀 (磅级 1500)

钢直通阀和止回阀 / 尺寸以英寸和毫米为单位 (对于直通阀,取自端面至端面和尾端至尾端;对于角阀,取自中心线至端面和中心线至尾端)											
钢直通阀和止回阀 / ANSI 磅级 2500											
公称 管道口径		长型						短型			
		凸面和密封斜面尾端 / 磅级 2500						密封斜面尾端 / 磅级 2500			
		直通阀		角阀		旋启式止回阀		直通阀		旋启式止回阀	
英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米	英寸	毫米
1/2	15	10.38	263.7	5.19	131.8	10.38	263.7	---	---	---	---
3/4	20	10.75	273.1	5.38	136.7	10.75	273.1	---	---	---	---
1	25	12.12	307.9	6.06	153.9	12.12	307.9	---	---	---	---
1-1/4	32	13.75	349.3	6.88	174.8	13.75	349.3	---	---	---	---
1-1/2	40	15.12	384.0	7.56	192.0	15.12	384.0	---	---	---	---
2	50	17.75	450.9	8.88	225.6	17.75	450.9	11.00	279.4	11.00	279.4
2-1/2	65	20.00	508.0	10.00	254.0	20.00	508.0	13.00	330.2	13.00	330.2
3	80	22.75	577.9	11.38	289.1	22.75	577.9	14.50	368.3	14.50	368.3
4	100	26.50	673.1	13.25	336.6	26.50	673.1	18.00	457.2	18.00	457.2
5	125	31.25	793.8	15.62	396.8	31.25	793.8	21.00	533.4	21.00	533.4
6	150	36.00	914.4	18.00	457.2	36.00	914.4	24.00	609.6	24.00	609.6
8	200	40.25	1022.4	20.12	511.1	40.25	1022.4	30.00	762.0	30.00	762.0
10	250	50.00	1270.0	25.00	635.0	50.00	1270.0	36.00	914.0	36.00	914.0
12	300	56.00	1422.4	28.00	711.2	56.00	1422.4	41.00	1041.4	41.00	1041.4
14	350	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16	400	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	450	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

注

1. (---) 表示阀门口径未在 ASME / ANSI 标准中显示, 但可以在市场上买到。
2. 毫米尺寸四舍五入到第一个小数点。
3. 尺寸基于 ASME/ANSI B16.10 标准。
4. 标准的直通升降式止回阀尺寸可与上面给出的直通阀尺寸互换。
5. 角形升降式止回阀尺寸可与表中给出的角形直通阀尺寸互换。
6. 短型尺寸适用于压力密封或无法兰阀盖阀 (螺栓连接阀盖上的选项)。

图 10.53 钢直通阀 / 止回阀 (磅级 2500)

# 第十一章

## 可持续性



## 11.1 可持续性

可持续性已成为能源从传统化石能源向多样化和更可持续的能源组合过渡的主要支点。关于应设定哪些可持续发展目标以及实现这些目标的方法,仍有一些对话正在讨论之中。对于过程控制领域来说,关键的可持续发展问题包括去碳化、排放管理、电气化以及能源效率和优化。集成架构等技术可为各单位或整个行业的运营提供重要见解,将有助于支持可持续发展和去碳化工作。智能现场设备、控制和优化软件以及过程模拟工具可以帮助企业实现可持续发展目标。企业正在使用天然气和氢气等碳密度较低的燃料替代传统能源,同时利用风能、太阳能、水电、地热和绿色燃料等可再生能源。企业在投资新的清洁能源替代品的同时,还必须寻找短期、中期和长期的减排途径。具体来说,他们正在[研究目前可用的方法](#):首先防止泄漏;通过使用碳密度较低的能源实现低到零排放的目的;运行燃烧效率更高和排放更低的过程工艺。

碳捕集、利用和封存(CCUS)过程提取点源碳排放并将其封存于地下。该技术有可能消除工业设施90%至99%的碳排放。通过将排放转化为替代燃料源,它还有助于扩大低碳氢的生产规模。据国际能源机构称,CCUS是唯一一组既能直接减少关键部门排放,又能从大气中清除二氧化碳以平衡最难防止的排放的技术。这是实现越来越多的政府和公司为自己设定的净零排放目标的关键部分。在排放点捕获碳,并将其用于产品或安全地封存在地下地质构造中,对于实现净零碳世界至关重要。■

## 11.2 降低能源消耗和提高能源效率

能源效率和优化仍然是世界可持续发展的关键战略。当今生产的一次能源中,只有约三分之一能够真正实现所需的功能--为房屋供暖和降温、驱动车辆或烹饪食物。进入能源系统的能源有三分之二是通过窗户散热、车辆刹车、长距离电线损耗、各种能源转换和未优化流程等媒介损失掉的。正如许多为实现未来能源系统而制定的计划所反映的那样,我们面临着继续提高能源效率的重大机遇。

能源密集型产业正面临着变得更加可持续和大幅减少温室气体排放的压力。此外,还有许多潜在的可再生能源过程和技术解决方案,如可再生(绿色)氢气、碳捕获、生物燃料、生物化学品和塑料回收利用等,这些过程和技术解决方案可大幅减少或消除温室气体排放。

实现环境可持续发展的解决方案涵盖四个战略领域:能源去碳化、电气化与系统集成、能效与优化以及排放管理。■

## 11.3 去碳化

近年来,全球气温不断升高,而《巴黎协定》的目标是在2050年前将气温控制在2摄氏度以内,因此,去碳化问题日益突出。去碳已成为一个重要而紧迫的社会问题,渗透到政治、文化、经济、环境和工业等各个社会领域。2015年巴黎气候峰会达成协议,宣布本世纪内将全球平均气温升幅控制在比工业化前水平高出2摄氏度以内的目标,并进一步努力将升温限制在1.5摄氏度以内(IPCC, 2014年)。化工、电力、石油和天然气、混合动力、采矿、水泥、钢铁、造纸和纸浆等多个行业正在探索实现这些重型碳密集型工业过程脱碳的可行途径。因此,这些行业中的大多数已确定并制定了到2050年实现碳净零排放的脱碳途径。为了实现国际商定的目标,即把全球气候变暖与工业化前相比控制在1.5摄氏度以内。工

业界正在考虑两种一般方法。

- 减少碳源:大量使用可再生资源,提高碳密集型工业流程的效率。
- 采用 CCUS 技术,加强碳汇,如植树造林和重新造林。■

## 11.4 Greening OF

Greening OF 的重点是公司或组织制定内部倡议和目标,以减少温室气体排放。Greening OF 还包括让上游合作伙伴参与进来,确保他们所提供的产品在生产过程中在逐渐减少温室气体的排放。例如,公司可以在所有地点开展寻宝活动,寻找减少能源消耗的机会,以此表明对 Greening OF 的坚定承诺和投资。

可以实施各种举措,帮助提高内部可持续发展绩效。如争取让能源供应商、供应链合作伙伴和物流服务商也将其工艺过程环保化作为目标。一些对减少温室气体排放有重大影响的可持续发展措施包括

- LED 照明改造
- 自动关闭照明
- 压缩空气泄漏检测
- 更换冷却水过程控制系统——调整调度和设定点
- 将流量实验室灯具更换为 LED
- 更换冷冻水过程控制系统——调整调度和设定点

在公司内部实现净零排放和实施去碳化计划,可在我们能产生最大影响的地方——供应商和合作伙伴——促进减排。■

## 11.5 Greening By

作为世界低碳转型的技术推动者,采用

新的节能技术和设备(无论是控制系统、软件还是硬件)将对环境和气候做出积极贡献。通过产品和服务支持可持续发展和去碳化目标的机会--无论是升级到环保填料、电动解决方案还是阀门状态监测--技术和产品将成为未来过程领域去碳化的重要组成部分。从电力、能源、化工、金属生产、水泥到冷链、废物管理,以及商业和住宅建筑的供暖和制冷,任何有逸散性泄漏或温室气体排放的行业领域都是过程工艺绿色化的候选者。但是,要使能源网更智能、更低碳、更具弹性,公共和私营部门的更多努力将至关重要。■

## 11.6 Greening With

随着全球继续加速实现碳净零排放,作为一个全球和地方组织,就未来应采用何种技术来满足这一需求,以及为适应这些变化必须做出哪些调整或改进等问题进行交流始终是非常重要的。这种方法包括参与领先的行业论坛,与研究机构合作推动创新,以及与世界各国政府积极开展合作。环境的可持续发展涉及许多不确定因素,但有一点是明确的--低碳转型的规模、范围和复杂性是任何一个利益相关者(政府、企业、社区或学术界)都无法单独应对的。多方利益相关者联盟对于克服挑战至关重要。

### 范围 1、2 和 3 排放

温室气体协议将公司的温室气体足迹分为三个不同的范围。范围 1 排放指的是自有或受控来源的直接排放,例如我们办公室的舒适供暖或生产基地的工业应用所产生的排放。范围 2 排放是指外购电力发电产生的间接排放。这些排放被认为是间接排放,因为尽管排放是我们活动的结果,但排放发生在发电点,通常是以煤或天然气等化石燃料作为来源。

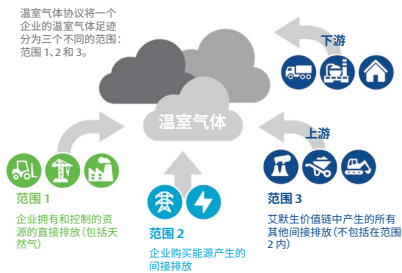


图 11.1 温室气体

有些公司已经报告了范围 1 和范围 2 的排放量,但尚未全面衡量范围 3 的排放量。范围 3 排放指价值链中发生的所有其他间接排放。范围 3 通常是组织总排放量的重要贡献者,因为它“囊括”了范围 1 或范围 2 未包含的任何与能源相关的排放,并包括上游和下游排放等 14 个其他排放类别。下游排放源于分销、客户在家中和设施中使用产品以及产品报废时的处理方式。上游排放源于制造和所购部件中使用的材料,或供应商的直接排放。范围 3 还包括商务旅行和员工通勤等间接活动产生的其他排放。

范围 3 包括 15 个不同的类别:

- 购买的商品和服务
- 资本货物
- 范围 1 或范围 2 未包括的燃料和能源相关活动
- 上游分销
- 运营过程中产生的废物
- 商务旅行
- 员工通勤
- 上游租赁资产
- 下游分销
- 销售产品的加工
- 售出产品的使用

- 售出产品的报废处理
- 下游租赁资产
- 特许经营
- 投资

我们从行业平均值中了解到,上游采购的产品和服务往往占范围 3 排放的很大一部分,平均值显示这一部分占范围 3 排放总量的 20%-30% 左右。此外,销售产品的使用往往约占 60-65%,商务旅行和员工通勤约占 2-3%,物流(境内和境外)也约占 2-3%。

总体而言,随着范围 3 和其他类别的数据记录增多,范围 3 排放的精确度将不断提高。虽然现在还没有要求公司报告范围 3 的情况,但有些公司正在积极主动地测量这方面的信息,希望在不久的将来会被要求报告这方面的目标是信息。■

## 11.7 零净排放目标

在全球努力应对气候变化带来的巨大而紧迫的挑战之际,工业界正在通过讨论和解决有助于减轻对环境的负面影响的活动来满足这些需求。企业通过完成对其总排放量的深入分析,并利用这些信息设定基准年,从而确立在范围 1、范围 2 和范围 3 实现温室气体净零排放的目标。一旦确定了基准年,公司就可以设定减少温室气体排放的目标,并在目标年实现净零排放。为确保我们的目标符合最新的气候科学,最好与国际公认的组织(如 SBTi)净零排放标准保持一致,以设定目标。SBTi 是推动采用科学目标的世界领先组织。稳健的净零设计要求温室气体绝对排放量至少减少 90%,并允许生态系统的其他部分对无法以其他方式减少的任何残余排放进行高质量的碳中和。一旦公司或组织设定了温室气体减排目标,就必须每年监测和衡量进展

情况。在公司内部推动可持续发展和去碳化议程至关重要,这样才能保持对可持续发展这一重要且有益领域的动力和兴趣。

能源转型和去碳化适用于绿地和棕地项目以及 MRO 机会,使客户能够通过减少温室气体排放来绿化其流程工艺过程,从而支持到 2050 年实现总净零碳排放的目标。■

新兴技术:

氢	去碳——碳捕获	替代燃料和生物化学	可再生能源	电气化和储存
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 绿色电解氢气</li> <li>■ 蓝色氢气</li> <li>■ 绿色合成氨</li> <li>■ 混合氢气和天然气</li> <li>■ 液化</li> <li>■ 运输</li> <li>■ 氢气储存</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 逸散泄漏</li> <li>■ 蓝色氢气</li> <li>■ CCUS</li> <li>■ 减少能源消耗和提高能源效率</li> <li>■ 减少温室气体排放</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 生物燃料/生物能源/废物变能源</li> <li>■ 可再生燃料——可持续柴油:SAF</li> <li>■ 生物塑料</li> <li>■ 塑料回收</li> <li>■ 生物降解塑料</li> <li>■ 沼气——可再生天然气</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 太阳能——多晶硅价值链</li> <li>■ 海上风电场</li> <li>■ 地热</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 锂和镍矿开采</li> <li>■ 电池金属加工</li> <li>■ 电池回收</li> <li>■ 执行机构电气化</li> <li>■ 熔盐池</li> </ul>

图 11.2 可持续性和去碳化

## 11.8 ESG

对倡导环境、社会和治理 (ESG) 问题的公司进行投资已经讨论了几十年,但现在正逐渐成为企业举措的前沿。2004 年,联合国秘书长科菲-安南 (Kofi Annan) 要求 50 家主要金融机构的首席执行官加入一项倡议,寻找将 ESG 概念融入全球市场的方法。在 2006 年联合国《负责任投资原则》(PRI) 报告中,“ESG”一词被创造出来,解释了倡导 ESG 因素为什么具有商业合理性并如何帮助创造可持续市场并造福社会。

从那时起,这一运动就得到了越来越多的关注,许多投资者和利益相关者积极要求公司在 ESG 方面有所改进,并公开

展示他们在关键领域取得的进展。

这种呼声如此之高,以至于美国证券交易委员会 (SEC) 正在制定报告指南,以使公司在提交标准财务报告的同时,能够对其环境、社会和公司治理项目做出一致而准确的说明。

“最简单地讲,ESG 提供了一个总括框架,用于考虑公司对环境和社会的影响和依赖,以及公司治理的质量。”■

## 11.9 ESG——公司采取的方法

虽然社会和治理问题几乎适用于所有公司,但石化公司天然的更关注环境问题。公众对该行业施加了很大的压力,要求其实现产品流的去碳化,减少污染物,



尤其是温室气体的排放。为了实现这些目标,大多数公司都采用了多管齐下的方法。

其中一项主要举措是使用回收和可再生原料生产低碳替代燃料。这些原料可能包括大豆油、玉米油、牛脂、白油脂和使用过的烹调油,以及来自藻类、油菜籽和芥菜的油。其他过程则从各种农业和废物中收集沼气,然后将这些潜在的温室气体排放转化为可销售的生物甲烷,注入天然气管道。

环境改善的另一个来源是减少有意和无意识的甲烷排放。偏远的油气生产区和管道通常使用天然气作为仪表和阀门驱动的动力,甲烷会随着每个行程排出或持续排放。此外,大多数用于化工领域的控制阀和/或泵往往会通过填料和密封泄漏排放污染物。所有这些排放源都可以通过适当的设备设计、更换为电动执行机构或改进填料设计来大幅减少甚至消除。

阀门驱动的新设计是大幅减少温室气体

环境
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 减少温室气体排放</li> <li>■ 跟踪环境足迹</li> <li>■ 能源去碳化:支持低碳承诺</li> <li>■ 排放管理</li> <li>■ 与世界各地的大学合作</li> <li>■ 保护食品质量和环境可持续性</li> </ul>
社会
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 促进安全和安保</li> <li>■ 工作场所安全</li> <li>■ 多样性、公平和包容</li> <li>■ 科学、技术、工程和数学教育 (STEM)</li> <li>■ 员工参与</li> <li>■ 培训与发展</li> <li>■ 培训未来的工作场所</li> <li>■ 促进社区的未来发展</li> </ul>
管理
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 董事会多样性和结构</li> <li>■ 公司治理行动</li> <li>■ 风险管理与监督</li> <li>■ 诚信与道德</li> </ul>

图 11.3 不同行业的 ESG 方法

排放的另一个推动因素,它可以用低排放甚至零排放的替代品取代天然气驱动的阀门。这些升级通常以改装套件的形式出售,可显著减少甲烷和温室气体的排放。此外,一些自动化供应商还为天然气供电的仪表提供了各种低排放替代品,以及可利用小型太阳能系统提供的电力运行的超低功耗电气替代品。在多数情况下,减少甲烷排放、降低测试要求和增加天然气产量所节省的费用足以支付仪器升级的费用。这些设备通常符合当地政府严格的甲烷排放规定。■

## 11.10 通过合作实现 ESG 最大化

尽管石油天然气行业和自动化供应商在实现环保目标方面都取得了长足进步,但最佳进展往往来自于这两个群体之间的合作。在某些领域已经出现了这种情况,石油和天然气专家与自动化领导者合作,通过设计创新方法来解决环境、社会和治理问题,从而应对最紧迫的挑战。

另一个合作领域是自动化领导者与大学之间的联合合作。自动化供应商通常会资助可持续发展论坛、发放补助金和提供奖学金,以促进各种环境领域的研究。这些努力通常会产生新一代仪器和化学过程,从而显著改善环境。

对地球最成功的结果来自于行业间的合作。这些类型的合作努力已经在进行中,现在已经实现了效益,不久还会有更多。这些改进不仅能立即造福社会和环境,还能让公司明确自己的角色,选择实现环境、社会和公司治理目标的最佳途径。■

## 11.11 结论

不断增加的公众压力、严格的环境法规以及为实现可持续发展和去碳化所做的

努力,对大多数行业都提出了巨大的要求,要求它们确定并制定去碳化途径,以实现到 2050 年碳排放总量净为零的目标。这些努力将有助于实现国际商定的目标,即与工业化前时期相比,将全球气候变暖控制在 1.5 摄氏度以内。■

## 11.12 可持续性方面的常用术语

- 碳中和是指企业活动释放到大气中的二氧化碳被等量清除。
- 净零碳排放是指某项活动向大气中的净碳排放量为零。
- 总净零 = 净零
- 碳中和与净零是两个相似的术语。在这两种情况下,公司都在努力减少和平衡碳足迹。碳中和是指平衡碳排放量,而净零碳则是指从一开始就不排放碳,因此无需捕获或抵消碳。■



# 第十二章

## 安全仪表系统



## 12.1 安全和多层保护

安全仪表系统通过多层保护提供安全性。这些保护层始于有效的过程控制,扩展到手动和自动安全防护层,并继续使用多个层级来缓解事件影响。

第一层是基本过程控制系统(BPCS)。过程控制系统本身通过适当的过程控制设计提供了显著的安全性。

下一保护层同样由控制系统和控制系统操作员提供。过程控制系统中的自动关闭程序与操作员的干预相结合以关闭过程是下一个安全保护层。

接下来的保护层就是安全仪表系统。它是一个独立于过程控制系统的安全系统。它有独立的传感器、阀门和逻辑解算器。它唯一的作用就是保证安全。在该系统中不执行过程控制。

操作员干预和安全仪表系统层旨在防止发生与安全相关的事件。如果发生与安全相关的事件,则会设置更多保护层以减轻事件的影响。

下一层是主动保护层。该层可以具有阀门或防爆膜,其设计用于防止可能引起爆炸或火灾的不受控释放。

下一层是被动保护层。它可以由障碍物或其他被动屏障组成,用于容纳火焰或将爆炸能量引导到可最小化损害扩散的方向。

最后一层是工厂和紧急响应。如果发生大型安全事件,则该层将发挥作用,以最小化持续损坏、伤害或生命损失。它可能包括疏散计划、消防布置等。

总体安全性取决于这些层如何协同工作。■

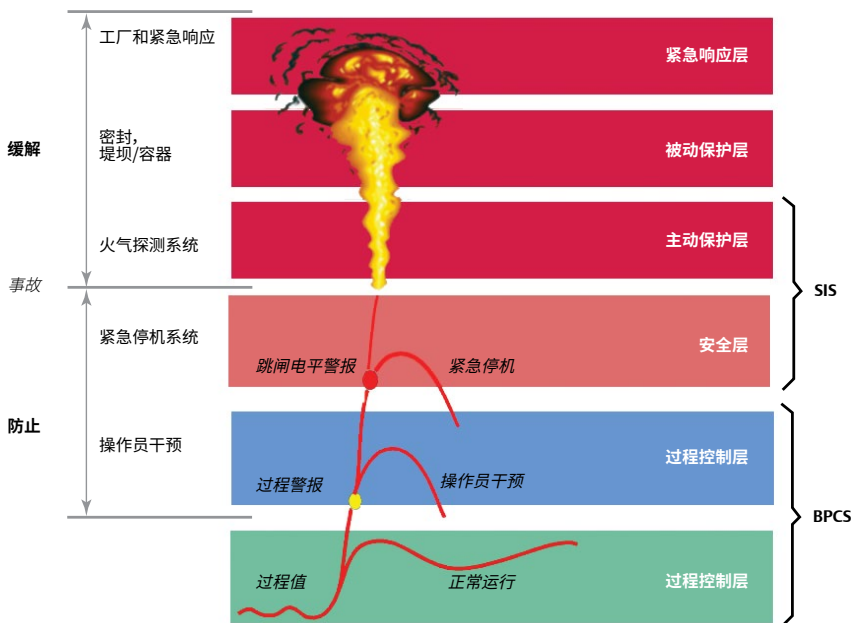


图 12.1 保护层

## 12.2 安全仪表系统 (SIS)

安全仪表系统 (SIS) 被认为是与基本过程控制系统 (BPCS) 分开的, 因为 SIS 致力于在发生危急情况时将过程带入“安全状态”。

SIS 包含若干安全仪表功能 (SIF)。每个安全仪表功能都具有指定的安全完整性等级 (SIL), 这是实现功能安全所必需的。每个 SIF 都是一个独立的或互连的回路, 由传感器、逻辑解算器 (LS) 和终端控制元件 (FE) 组成, 如图 12.2 所示。

**传感器:** 现场传感器用于收集所必需的信息以确定是否存在紧急情况。这些传感器的目的是测量过程参数 (即温度、压力、流量、密度等) 以确定设备或过程是否处于安全状态。传感器类型包括简单的气动或电气开关, 具有在线诊断功能的智能变送器等。这些传感器专用于 SIS 服务, 并具有过程分接头, 这些过程分接头独立于正常过程信息传感器使用的过程分接头。

**逻辑解算器:** SIS 的这一组件的目的是根据收集的信息确定要采取的行动。使用高度可靠的逻辑解算器, 可提供失气安全和容错操作。它通常是一个控制器, 从

传感器读取信号并执行预先编程的动作, 以通过向终端控制元件提供输出来防止发生危险。逻辑解算器通常是可编程或非可编程设备, 但也可以是开关形式的机械设备以使安全功能跳闸。

**终端控制元件:** 终端控制元件实施逻辑解算器确定的动作。该终端控制元件通常是自动开/关阀, 具有阀门失气关闭和失气打开功能。

SIS 的所有三个元件都必须按照设计运行, 以便在发生紧急情况时安全地隔离过程工厂。■

## 12.3 安全标准

在过程工厂中, 不可能存在无风险操作或实现 100% 可靠性。因此, SIS 设计人员的首要任务之一是进行风险承受能力分析, 以确定需要什么级别的安全性。在此, 可用到 IEC 标准 61508 (电气、电子和可编程电子系统的功能安全), 这是涵盖与各种过程和制造计划相关的功能安全的通用标准。另外还需参考 IEC 标准 61511 和 ISA S84.01 (由 ISA 84.00.01-2004 替代), 这是过程工业特有的标准。所有这三个标准都使用基于性能的生命

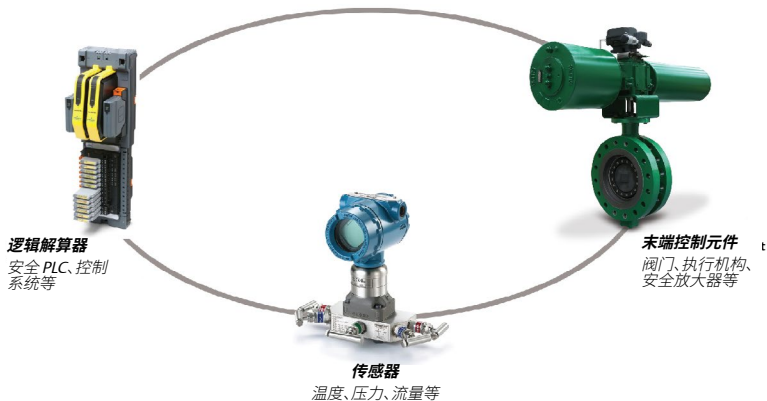


图 12.2 安全仪表系统 (SIS) 的组件

周期模型,并指定精确的安全级别、最佳实践和可量化的合规性证明。■

## 12.4 安全完整性等级 (SIL)

安全完整性等级 (SIL) 是可量化的风险度量。自首次引入以来,安全完整性等级已被用作建立 SIS 系统安全性能目标的可量化方法。IEC 标准规定了四种安全完整性等级 (SIL 1, SIL 2, SIL 3, SIL 4), 如图 12.3 所示,但是,ISA S84.01 最多只认可到 SIL 3。

要确定目标的安全完整性等级,需要:

- 确定所涉及的危险。
- 评估每种已识别危险的风险。
- 对可能存在的其他独立保护层 (IPL) 进行评估。

可以使用许多不同的技术识别危险,其中一种常见技术是 HAZard 和可操作性研究 (HAZOP)。

然后必须确定每个已识别的危険的风险系数,其中风险被定义为每个危险事件的概率(可能性或频率)和后果(严重性)的函数。

HAZOP 研究用于识别人员或环境的风险,由多学科团队 (HAZOP 团队) 执行。

一旦确定风险,HAZOP/过程危害研究 (PHA) 将设定风险降低的要求,从而确定所需的 SIL 水平。

另外需要验证其他标准以确保 SIF 符合要求的 SIL,并且它们通常分为以下几点:

- 系统完整性: SIF 的所有元件都需要能够用于定义的 SIL 级别。
- 结构约束: 硬件容错 (HFT) 和架构冗余需要符合当前的功能安全标准。
- 随机完整性 (PFDavg): 各个设备的失效率将用于计算需求时失效的平均概率。■

## 12.5 需求时失效的概率

通过了解 SIS 系统的组件失效的方式,可以计算需求时失效的概率 (PFD)。SIS 有两种基本的失效类型。第一种类型通常称为扰乱或误跳闸,这通常会导致意外但相对安全的过程关闭。尽管与这种类型的 SIS 失效相关的危险很小,但耗费的运营成本可能是巨大的。第二种失效类型不会导致过程停机或误跳闸。相反,此时仍然未发现失效,导致过程操作以不安全和危险的方式继续进行。如果发生紧急需求, SIS 系统将无法正常响应。这些失效被称为隐蔽或隐藏失效,并且导致系统出现在需求时失效的概率 (PFD)。

SIS 系统的 PFD 是系统中每个元件的 PFD 之和:

$$PFD_{\text{总}} = PFD_{\text{传感器}} + PFD_{\text{逻辑解算器}} + PFD_{\text{终端原件}}$$

RRF (风险降低系数)	$PFD_{\text{avg}}$ (需求时失效的概率 = 1/RRF)	SIL (安全完整性等级)
100000 至 10000	$\geq 10^{-5}$ 至 $< 10^{-4}$	4
10000 至 1000	$\geq 10^{-4}$ 至 $< 10^{-3}$	3
1000 至 100	$\geq 10^{-3}$ 至 $< 10^{-2}$	2
100 至 10	$\geq 10^{-2}$ 至 $< 10^{-1}$	1

图 12.3 安全完整性等级及相关的  $PFD_{\text{avg}}$  和 RRF 图

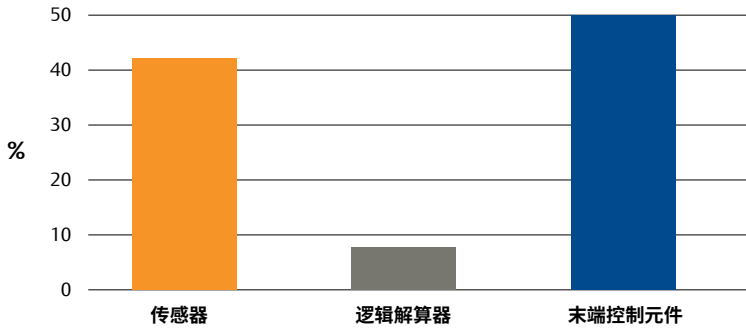


图 12.4 OREDA 数据

为了计算每个元件的 PFD, 分析人员需要记录每个元件的失效率数据。该失效率 (危险) 与测试间隔 (TI) 项结合使用以计算 PFD。这个测试间隔即通过测试发现隐蔽失效之前的时间长度。增加测试间隔会直接以线性方式影响 PFD 值, 也就是说, 如果您将测试间隔加倍, 您应加倍需求时失效的概率, 并且会使其达到目标 SIL 的难度增加一倍。

安全仪表系统的管理标准规定, 工厂操作员必须安全地确定并记录设备的设计、维护、检查、测试和操作。因此, 必须经常对安全仪表系统的这些组件进行足够的测试, 以降低 PFD 并达到目标 SIL。■

## 12.6 终端元件、证明试验和部分行程动作测试技巧

终端元件包括阀门、执行机构和阀门仪表。根据应用, 球阀、蝶阀或控制阀用于紧急关闭 (ESD)、排污阀 (BDV) 或 SIS 中的其他用途, 以使过程进入安全状态。

由于终端元件只是 SIF 的一部分, 因此若不将属于回路的启动器和逻辑解算器考虑在内, 则难以确定所需的 SIL。可从过程工业获得的统计数据用于提供对所需 SIL 的符合性的估算。来自 OREDA (海上和陆上可靠性数据) 的数据表明, SIF 中

多达 50% 的失效可归因于终端元件, 如图 12.4 所示。

由于终端元件占失效的 50%, 因此选择满足产品设计条件, 满足所需 SIL 目标并定期测试以确保功能正常的阀门非常重要。在 SIL 验证分析期间确定必要时, 必须定期对每个设备进行功能测试和证明试验, 以确保在设施的整个生命周期中, 可维持 SIF 所需的 SIL 等级。终端元件的证明试验包括安全功能的目视检查和验证, 其包括完整的阀门行程动作, 还可以包括安全时间和阀门泄漏的验证。■

## 12.7 部分行程动作测试

有时, 证明试验之间的间隔与计划的停机或维护期不完全一致。为了避免关闭过程以进行测试, 可以使用终端元件周围的旁路, 但是, 在出现安全需求的情况下, 使用旁路进行测试可能会使过程无法受到保护。另一种方案是通过利用部分行程动作测试 (PST) 来延长证明试验间隔。部分行程动作测试使阀门进行一部分行程动作, 以验证阀门是否未被卡住, 并发现其他危险的、未检测到的失效模式, 例如阀轴卡涩、阀门填料问题、执行机构输气管路问题或其他可能在出现安全需求的情况下, 阻止阀门移动到安全位置的模式。



使用部分行程动作测试可以延长证明试验间隔的时间量取决于 SIL 目标、测试频率和诊断覆盖量(检测到的失效率与总失效率之间的比率)。■

## 12.8 终端元件的在线测试方法

可以通过在每个安全阀周围安装旁路阀来完成阀门测试。通过将旁路置于使用中,可以在不停车的情况下对安全阀进行全行程测试。

为了消除与旁路测试相关的操作、经济和监管问题,我们还开发了其他方法。

机械限制行程方法涉及使用一些机械装置,例如销、阀轴环,阀手轮装置等,其将行程限制在阀行程的 15% 或更小。

气动测试板方法也是在启动部分行程测试前使用销钉接合。

这些在线测试方法有许多缺点。这些方法的一个主要缺点是在测试期间无法使用安全关闭功能。事实上,在测试过程中,该过程完全处于无保护状态,对于某些地区和行业来说,这种类型的测试是不被接受的。另外值得关注的是,在测试结束后,安全阀可能会无意地留在旁路位置,或者在测试完成后,没有移除机械锁或销。这将使该过程完全不受保护,直到发现错误为止。此外,这些测试方法都明确存在由测试引起的误停机跳闸的风险。另一个缺点是,测试过程必须在现场手动启动,测试本身需要大量人力,而且容易出错。■

## 12.9 用于部分行程动作测试的数字式阀门控制器

数字式阀门控制器是基于通信、微处理器的电流 - 气动仪表,具有内部逻辑功能。除了具有将电流信号转换为压力信号以操作阀门的传统功能外,这些数字

式阀门控制器还使用 HART 通信协议,可以轻松访问对安全测试至关重要的信息。数字式阀门控制器接收阀门行程位置加上供气执行机构气动压力的反馈。这使得数字式阀门控制器不仅可以进行自我诊断,还可以对其所在的阀门和执行机构进行诊断。

部分行程动作测试可证实阀门是否正在正常工作,且不会干扰过程。由于可以将整个测试程序编程到数字式阀门控制器中,因此可以自动执行部分行程动作测试。这使得可尽量缩短测试间隔(每小时、每天、每周等)以满足目标 SIL 值。操作员按下按钮即可手动启动测试,之后控制器会完全自动执行测试序列,从而消除了任何错误和可能的误跳闸,以及传统测试方案才有的人工成本。如果在部分行程动作测试期间存在安全要求,则测试将中止,并且数字式阀门控制器将阀门驱动至其安全状态。

通常,部分行程动作测试将阀门从其原始位置移动 10%,但如果工厂安全准则允许,则可将这一数字提高至达 30%。虽然部分行程测试并不能消除全行程测试的需要(需要全行程测试来检查阀座等),但它确实减少了所需的全行程测试频率,使其最有可能在工厂检修期间进行测试。

将数字式阀门控制器添加到安全仪表系统可以降低基础设备成本、测试时间和人力需求,因为其消除了对昂贵的气动测试板和熟练的测试人员的需求。使用数字式阀门控制器可以完整地记录任何紧急事件以及所有测试并归纳成文档,这些文档可以作为测试证据提供给保险公司。它还允许配置远程测试,这可以通过减少对现场的维护检查行程的需求来节省时间。通过消除工厂人员到现场进行测试的需要,也可以提高工厂人员的安全性。■

## 12.10 高完整性压力保护系统 (HIPPS)

高完整性压力保护系统 (HIPPS) 是安全仪表系统的一部分,旨在防止过压。与传统的减压系统(如使用机械减压阀或安全阀)相比, HIPPS 会关闭源和捕获系统上游侧的压力,从而在生产设施的高压侧和低压侧之间提供屏障。严密关闭将防止下游泄漏并消除逸散性排放。在这方面, HIPPS 可被视为“最后一道防线”。

与传统的减压系统相比, HIPPS 解决方案更加经济和环保。图 12.5 显示了满足 SIL 3 的配置中的典型 HIPPS。■

## 12.11 HIPPS 的功能

与 SIF 一样, HIPPS 通常包含以下设备和功能:

**压力传感器:** HIPPS 上游侧有三个独立压力传感器, 设置为三分之二 (2oo3) 轮转结构, 将为操作员提供系统可用性和可靠性以支持 SIF。

**逻辑解算器:** 如果三个 (2oo3) 传感器中的两个测量出的压力高于规定/允许的压力, 则逻辑解算器将关闭这两个终端元件并向控制室发送警报。

**终端元件:** 两个串联隔离阀 (1oo2 结构), 用以提供冗余和增强的安全完整性。■

## 12.12 测试要求

为确保 HIPPS 在设施的整个安全生命周期内满足所需的 SIL, 需要对不同的元件进行测试:

**压力传感器:** 压力传感器需要停止运行以进行测试, 但由于配置是 2oo3, 因此如果逻辑解算器中的轮转结构从 2oo3 变为 1oo2, 则可以隔离 1 个传感器进行测试并保持相同的冗余。这通常由互锁

系统完成, 其会向逻辑解算器发送传感器需停止以便测试的信号。

**逻辑解算器:** 逻辑解算器通常使用双处理器配置并不断运行自诊断。如果检测到故障, 可以将其设置为关闭终端元件或转移到冗余逻辑解算器。

**终端控制元件:** 安全仪表系统的管理标准规定, 工厂操作员必须安全地确定并记录设备的设计、维护、检查、测试和操作。因此, 必须定期测试安全仪表系统的这些组件, 以减少 PFD 并达到目标。

**SIL:** 需要使用一组间隔进行全行程测试或证明试验, 但由于测试的性质, 这将需要在停机期间完成。为了延长证明试验之间的间隔, 可以使用在线测试 (如部分行程动作测试) 来检测相当数量的失效, 并提供预测性诊断, 从而允许操作员采取对应措施。■

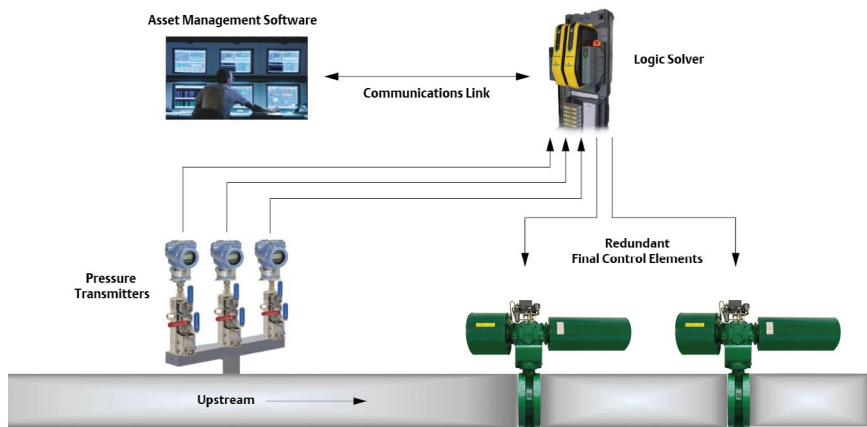


图 12.5 典型的 HIPS 配置

# 第十三章

## 工程数据



## 13.1 承压阀门材料的标准规格

其它规格可见第 13.2 小节, 已对照材料代号数字。

### 1. 铸造碳钢 ASTM A216 等级 WCC:

温度范围:

- -30 至 427°C (-20 至 800°F)

成份(百分比):

- C = 0.25 最大
- Mn = 1.2 最大
- P = 0.035 最大
- S = 0.035 最大
- Si = 0.6 最大

### 2. 铸造碳钢 ASTM A352 等级 LCC:

温度范围:

- -45 至 343°C (-50 至 650°F)

成份(百分比):

- 成份同 ASTM A216 等级 WCC

### 3. 圆棒碳钢 AISI 1018, UNS G10180:

温度范围:

- -29 至 427°C (-20 至 800°F)

成份(百分比):

- C = 0.14 至 0.2
- Mn = 0.6 至 0.9
- P = 0.04 最大
- S = 0.05 最大

### 4. 铅钢圆棒 AISI 12L14, UNS G12144:

温度范围:

- -29 至 427°C (-20 至 800°F)

成份(百分比):

- C = 0.15 最大
- Mn = 0.85 至 1.15
- P = 0.04 至 0.09
- S = 0.26 至 0.35
- Pb = 0.15 至 0.35

### 5. AISI 4140 铬 - 钼钢:

(类似于 ASTM A193 等级 B7 螺栓材料)

温度范围:

- -48 至 538°C (-55 至 1000°F)

成份(百分比):

- C = 0.38 至 0.43
- Mn = 0.75 至 1.0
- P = 0.035 最大
- S = 0.040 最大
- Si = 0.15 至 0.35
- Cr = 0.8 至 1.1
- Mo = 0.15 至 0.25
- Fe = 其余

### 6. 锻造 3-1/2% 镍钢 ASTM A352 等级 LC3:

温度范围:

- -101 至 343°C (-150 至 650°F)

成份(百分比):

- C = 0.15 最大
- Mn = 0.5 至 0.8
- P = 0.04 最大
- S = 0.045 最大
- Si = 0.6 最大
- Ni = 3.0 至 4.0

### 7. 铸造铬 - 钼钢 ASTM A217 等级 WC6:

温度范围:

- -30 至 595°C (-20 至 1100°F)

成份(百分比):

- C = 0.05 至 0.2
- Mn = 0.5 至 0.8
- P = 0.035 最大
- S = 0.035 最大
- Si = 0.60 最大
- Cr = 1.0 至 1.5
- Mo = 0.45 至 0.65

**8. 铸造铬—钼钢 ASTM A217 等级 WC9:**

温度范围:

- -30 至 595°C (-20 至 1100°F)

成份(百分比):

- $C = 0.05$  至  $0.18$
- $Mn = 0.4$  至  $0.7$
- $P = 0.035$  最大
- $S = 0.035$  最大
- $Si = 0.6$  最大
- $Cr = 2.0$  至  $2.75$
- $Mo = 0.9$  至  $1.2$

**9. 锻造铬—钼钢 ASTM A182 等级 F22:**

温度范围:

- -30 至 593°C (-20 至 1100°F)

成份(百分比):

- $C = 0.05$  至  $0.15$
- $Mn = 0.3$  至  $0.6$
- $P = 0.04$  最大
- $S = 0.04$  最大
- $Si = 0.5$  最大
- $Cr = 2.0$  至  $2.5$
- $Mo = 0.87$  至  $1.13$

**10. 铸造铬—钼钢 ASTM A217 等级 C5:**

温度范围:

- -30 至 649°C (-20 至 1200°F)

成份(百分比):

- $C = 0.2$  最大
- $Mn = 0.4$  至  $0.7$
- $P = 0.04$  最大
- $S = 0.045$  最大
- $Si = 0.75$  最大
- $Cr = 4.0$  至  $6.5$
- $Mo = 0.45$  至  $0.65$

**11. 302 型不锈钢 ASTM A479 等级 UNS S30200:**

温度范围:

- -198 至 399°C (-325 至 750°F)

成份(百分比):

- $C = 0.15$  最大
- $Mn = 2.0$  最大
- $P = 0.045$  最大
- $S = 0.03$  最大
- $Si = 1.0$  最大
- $Cr = 17.0$  至  $19.0$
- $Ni = 8.0$  至  $10.0$
- $N = 0.1$  最大
- $Fe =$  其余

**12. 304L 型不锈钢 ASTM A479 等级 UNS S30403:**

温度范围:

- -254 至 425°C (-425 至 800°F)

成份(百分比):

- $C = 0.03$  最大
- $Mn = 2.0$  最大
- $P = 0.045$  最大
- $S = 0.03$  最大
- $Si = 1.0$  最大
- $Cr = 18.0$  至  $20.0$
- $Ni = 8.0$  至  $12.0$
- $Fe =$  其余

**13. 铸造 304L 型不锈钢 ASTM A351 等级 CF3:**

温度范围:

- -254 至 425°C (-425 至 800°F)

成份(百分比):

- $C = 0.03$  最大
- $Mn = 1.5$  最大
- $Si = 2.0$  最大
- $S = 0.040$  最大
- $P = 0.040$  最大
- $Cr = 17.0$  至  $21.0$
- $Ni = 8.0$  至  $11.0$
- $Mo = 0.50$  最大

### 14. 316L 型不锈钢 ASTM A479 等级 UNS S31603:

温度范围:

- -254 至 450°C (-425 至 850°F)

成份(百分比):

- C = 0.03 最大
- Mn = 2.0 最大
- P = 0.045 最大
- S = 0.03 最大
- Si = 1.0 最大
- Cr = 16.0 至 18.0
- Ni = 10.0 至 14.0
- Mo = 2.0 至 3.0
- Fe = 其余

### 15. 316 型不锈钢 ASTM A479 等级 UNS S31600:

温度范围:

- -255 至 816°C (-425 至 1500°F)
- 大于 538°C (1000°F) 时, 最少需要 0.04 的碳

成份(百分比):

- C = 0.08 最大
- Mn = 2.0 最大
- P = 0.045 最大
- S = 0.03 最大
- Si = 1.0 最大
- Cr = 16.0 至 18.0
- Ni = 10.0 至 14.0
- Mo = 2.0 至 3.0
- Fe = 其余

### 16. 铸造 316 型不锈钢 ASTM A351 等级 CF8M:

温度范围:

- -254 至 816°C (-425 至 1500°F)
- 大于 538°C (1000°F) 时, 最少需要 0.04 的碳

成份(百分比):

- C = 0.08 最大

- Mn = 1.5 最大
- Si = 1.5 最大
- P = 0.04 最大
- S = 0.04 最大
- Cr = 18.0 至 21.0
- Ni = 9.0 至 12.0
- Mo = 2.0 至 3.0

### 17. 317 型不锈钢 ASTM A479 等级 UNS S31700:

温度范围:

- -198 至 816°C (-325 至 1500°F)
- 大于 538°C (1000°F) 时, 最少需要 0.04 的碳

成份(百分比):

- C = 0.08 最大
- Mn = 2.0 最大
- P = 0.045 最大
- S = 0.03 最大
- Si = 1.0 最大
- Cr = 18.0 至 20.0
- Ni = 11.0 至 15.0
- Mo = 3.0 至 4.0
- Fe = 其余

### 18. 铸造 317 型不锈钢 ASTM A351 等级 CG8M:

温度范围:

- -198 至 538°C (-325 至 1000°F)

成份(百分比):

- C = 0.08 最大
- Mn = 1.5 最大
- Si = 1.5 最大
- P = 0.04 最大
- S = 0.04 最大
- Cr = 18.0 至 21.0
- Ni = 9.0 至 13.0
- Mo = 3.0 至 4.0

**19. 410 型不锈钢 ASTM A479 等级****S41000:**

温度范围:

- -29 至 538°C (-20 至 1000°F)

成份(百分比):

- $C = 0.08$  至  $0.15$
- $Mn = 1.0$  最大
- $P = 0.04$  最大
- $S = 0.03$  最大
- $Si = 1.0$  最大
- $Cr = 11.5$  至  $13.5$
- $Fe =$  其余

**20. 17-4PH 型不锈钢 ASTM A564 等级****630, UNS S17400:**

温度范围:

- -29 至 343°C (-20 至 650°F)

成份(百分比):

- $C = 0.07$  最大
- $Mn = 1.0$  最大
- $Si = 1.0$  最大
- $P = 0.04$  最大
- $S = 0.03$  最大
- $Cr = 15.0$  至  $17.5$
- $Nb = 0.15$  至  $0.45$
- $Cu = 3.0$  至  $5.0$
- $Ni = 3.0$  至  $5.0$
- $Fe =$  其余

**21. 254 型 SMO 不锈钢 ASTM A479 等级 UNS S31254:**

温度范围:

- -198 至 399°C (-325 至 750°F)

成份(百分比):

- $C = 0.02$  最大
- $Mn = 1.0$  最大
- $P = 0.03$  最大
- $S = 0.01$  最大
- $Si = 0.8$  最大
- $Cr = 18.5$  至  $20.5$

- $Ni = 17.5$  至  $18.5$

- $Mo = 6.0$  至  $6.5$

- $N = 0.18$  至  $0.22$

- $Fe =$  其余

**22. 铸造 254 型 SMO 不锈钢 ASTM A351 等级 CK3MCuN:**

温度范围:

- -198 至 399°C (-325 至 750°F)

成份(百分比):

- $C = 0.025$  最大
- $Mn = 1.2$  最大
- $Si = 1.0$  最大
- $P = 0.045$  最大
- $S = 0.01$  最大
- $Cr = 19.5$  至  $20.5$
- $Ni = 17.5$  至  $19.5$
- $Mo = 6.0$  至  $7.0$
- $N = 0.18$  至  $0.24$

**23. 2205 型, S31803 双相不锈钢 ASTM A479 等级 UNS S31803:**

温度范围:

- -50 至 316°C (-60 至 600°F)

成份(百分比):

- $C = 0.03$  最大
- $Mn = 2.0$  最大
- $P = 0.03$  最大
- $S = 0.02$  最大
- $Si = 1.0$  最大
- $Cr = 21.0$  至  $23.0$
- $Ni = 4.5$  至  $6.5$
- $Mo = 2.5$  至  $3.5$
- $N = 0.08$  至  $0.2$
- $Fe =$  其余

**24. 铸造 2205 型, S31803 不锈钢 ASTM A890 等级 4a, CD3MN:**

温度范围:

- -50 至 316°C (-60 至 600°F)



成份(百分比):

- $C = 0.03$  最大
- $Mn = 1.5$  最大
- $Si = 1.0$  最大
- $P = 0.04$  最大
- $S = 0.02$  最大
- $Cr = 21.0$  至  $23.5$
- $Ni = 4.5$  至  $6.5$
- $Mo = 2.5$  至  $3.5$
- $Cu = 1.0$  最大
- $N = 0.1$  至  $0.3$
- $Fe =$  其余

## 25. 铸铁 ASTM A126 级别 B, UNS F12102:

温度范围:

- $-29$  至  $232^{\circ}\text{C}$  ( $-20$  至  $450^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $P = 0.75$  最大
- $S = 0.15$  最大

## 26. 铸铁 ASTM A126 级别 C, UNS F12802:

温度范围:

- $-29$  至  $232^{\circ}\text{C}$  ( $-20$  至  $450^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $P = 0.75$  最大
- $S = 0.15$  最大

## 27. 球墨铸铁 ASTM A395 型号 60-40-18:

温度范围:

- $-29$  至  $343^{\circ}\text{C}$  ( $-20$  至  $650^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $C = 3.0$  最小
- $Si = 2.5$  最大
- $P = 0.08$  最大

## 28. 球墨抗镍铸铁 ASTM A439 型号 D-2B, UNS F43001:

非承压部件的温度范围:

- $-29$  至  $760^{\circ}\text{C}$  ( $-20$  至  $1400^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $C = 3.0$  最大
- $Si = 1.5$  至  $3.00$
- $Mn = 0.70$  至  $1.25$
- $P = 0.08$  最大
- $Ni = 18.0$  至  $22.0$
- $Cr = 2.75$  至  $4.0$

## 29. 阀青铜 ASTM B61, UNS C92200:

温度范围:

- $-198$  至  $288^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $550^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $Cu = 86.0$  至  $90.0$
- $Sn = 5.5$  至  $6.5$
- $Pb = 1.0$  至  $2.0$
- $Zn = 3.0$  至  $5.0$
- $Ni = 1.0$  最大
- $Fe = 0.25$  最大
- $S = 0.05$  最大
- $P = 0.05$  最大

## 30. 锡青铜 ASTM B584 等级 UNS C90500:

温度范围:

- $-198$  至  $204^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $400^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $Cu = 86.0$  至  $89.0$
- $Sn = 9.0$  至  $11.0$
- $Pb = 0.30$  最大
- $Zn = 1.0$  至  $3.0$
- $Ni = 1.0$  最大
- $Fe = 0.2$  最大
- $S = 0.05$  最大
- $P = 0.05$  最大

## 31. 锰青铜 ASTM B584 等级 UNS C86500:

温度范围:

- $-198$  至  $177^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $350^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $Cu = 55.0$  至  $60.0$

- $S_n = 1.0$  最大
- $P_b = 0.4$  最大
- $N_i = 1.0$  最大
- $Fe = 0.4$  至  $2.0$
- $Al = 0.5$  至  $1.5$
- $Mn = 0.1$  至  $1.5$
- $Zn = 36.0$  至  $42.0$

### 32. 铸造铝青铜 ASTM B148 等级 UNS C95400:

温度范围:

- $-198$  至  $316^{\circ}C$  ( $-325$  至  $600^{\circ}F$ )

成份(百分比):

- $Cu = 83.0$  最小
- $Al = 10.0$  至  $11.5$
- $Fe = 3.0$  至  $5.0$
- $Mn = 0.50$  最大
- $Ni = 1.5$  最大

### 33. 铸造铝青铜 ASTM B148 等级 UNS C95800:

温度范围:

- $-198$  至  $260^{\circ}C$  ( $-325$  至  $500^{\circ}F$ )

成份(百分比):

- $Cu = 79.0$  最小
- $Al = 8.5$  至  $9.5$
- $Fe = 3.5$  至  $4.5$
- $Mn = 0.8$  至  $1.5$
- $Ni = 4.0$  至  $5.0$
- $Si = 0.1$  最大

### 34. B16 黄铜圆棒 ASTM B16 等级 UNS C36000, 1/2 硬度:

非承压部件的温度范围:

- $-198$  至  $204^{\circ}C$  ( $-325$  至  $400^{\circ}F$ )

成份(百分比):

- $Cu = 60.0$  至  $63.0$
- $Pb = 2.5$  至  $3.0$
- $Fe = 0.35$  最大
- $Zn =$  其余

### 35. 海军用黄铜锻件 ASTM B283 合金 UNS C46400:

温度范围:

- $-198$  至  $204^{\circ}C$  ( $-325$  至  $400^{\circ}F$ )

成份(百分比):

- $Cu = 59.0$  至  $62.0$
- $S_n = 0.5$  至  $1.0$
- $P_b = 0.2$  最大
- $Fe = 0.15$  最大
- $Zn =$  其余

### 36. 铝圆棒 ASTM B211 合金 UNS A96061-T6:

温度范围:

- $-269$  至  $204^{\circ}C$  ( $-452$  至  $400^{\circ}F$ )

成份(百分比):

- $Si = 0.4$  至  $0.8$
- $Fe = 0.7$  最大
- $Cu = 0.15$  至  $0.4$
- $Zn = 0.25$  最大
- $Mg = 0.8$  至  $1.2$
- $Mn = 0.15$  最大
- $Cr = 0.04$  至  $0.35$
- $Ti = 0.15$  最大
- 其它元素 =  $0.15$  最大
- $Al =$  其余

### 37. 6 号钴基合金铸造 UNS R30006, 焊条 CoCr-A:

非承压部件的温度范围:

- $-198$  至  $980^{\circ}C$  ( $-325$  至  $1800^{\circ}F$ )

成份(百分比):

- $C = 0.9$  至  $1.4$
- $Mn = 1.0$  最大
- $W = 3.5$  至  $6.0$
- $Ni = 3.0$  最大
- $Cr = 26.0$  至  $31.0$
- $Mo = 1.5$  最大
- $Fe = 3.0$  最大
- $Si = 1.5$  最大

- $Co = \text{其余}$

### 38. 镍—铜合金圆棒 K500 ASTM B865 等级 N05500:

非承压部件的温度范围:

- $-198$  至  $482^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $900^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $Ni = 63.0$  最小
- $Fe = 2.0$  最大
- $Mn = 1.5$  最大
- $Si = 0.5$  最大
- $C = 0.18$  最大
- $S = 0.01$  最大
- $Al = 2.3$  至  $3.15$
- $Ti = 0.35$  至  $0.85$
- $Cu = \text{其余}$

### 39. 铸造镍—铜合金 400 ASTM A494 等级 M35-1:

温度范围:

- $-198$  至  $475^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $900^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $Cu = 27.0$  至  $33.0$
- $C = 0.35$  最大
- $Mn = 1.5$  最大
- $Fe = 3.5$  最大
- $S = 0.02$  最大
- $P = 0.03$  最大
- $Si = 1.25$  最大
- $Nb = 0.5$  最大
- $Ni = \text{其余}$

### 40. 镍—铬—钼合金 C276 圆棒 ASTM B574 等级 N10276:

温度范围:

- $-198$  至  $677^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $1250^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $Cr = 14.5$  至  $16.5$
- $Fe = 4.0$  至  $7.0$
- $W = 3.0$  至  $4.5$
- $C = 0.01$  最大

- $Si = 0.08$  最大

- $Co = 2.5$  最大

- $Mn = 1.0$  最大

- $V = 0.35$  最大

- $Mo = 15.0$  至  $17.0$

- $P = 0.04$

- $S = 0.03$

- $Ni = \text{其余}$

### 41. 镍—铬—钼合金 C ASTM A494 CW2M:

温度范围:

- $-198$  至  $538^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $1000^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $Cr = 15.5$  至  $17.5$
- $Fe = 2.0$  最大
- $W = 1.0$  最大
- $C = 0.02$  最大
- $Si = 0.8$  最大
- $Mn = 1.0$  最大
- $Mo = 15.0$  至  $17.5$
- $P = 0.03$
- $S = 0.02$
- $Ni = \text{其余}$

### 42. 镍—钼合金 B2 圆棒 ASTM B335 等级 B2, UNS N10665:

温度范围:

- $-198$  至  $427^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $800^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $Cr = 1.0$  最大
- $Fe = 2.0$  最大
- $C = 0.02$  最大
- $Si = 0.1$  最大
- $Co = 1.0$  最大
- $Mn = 1.0$  最大
- $Mo = 26.0$  至  $30.0$
- $P = 0.04$  最大
- $S = 0.03$  最大
- $Ni = \text{其余}$

### 43. 铸造镍—钼合金 B2 ASTM A494 N7M:

温度范围:

- $-198$  至  $538^{\circ}\text{C}$  ( $-325$  至  $1000^{\circ}\text{F}$ )

成份(百分比):

- $\text{Cr} = 1.0$  最大
- $\text{Fe} = 3.0$  最大
- $\text{C} = 0.07$  最大
- $\text{Si} = 1.0$  最大
- $\text{Mn} = 1.0$  最大
- $\text{Mo} = 30.0$  至  $33.0$
- $\text{P} = 0.03$  最大
- $\text{S} = 0.02$  最大
- $\text{Ni} =$  其余

## 13.2 阀门承压部件的材料性能

本表格材料代号对应于第 13.1 小节列出的阀门材料的标准规格。

材料代号	最小机械性能				21°C (70°F) 时的弹性模量 psi (兆帕斯卡)	典型的布式硬度
	拉伸强度 ksi (兆帕斯卡)	屈服强度 ksi (兆帕斯卡)	2 英寸的伸长率 (50 毫米)	面积收缩率 (%)		
1	70-95 (485-655)	40 (275)	22	35	27.9E6 (19.2E4)	137-187
2	70-95 (485-655)	40 (275)	22	35	27.9E6 (19.2E4)	137-187
3	57 (390) 典型的	42 (290) 典型的	37 典型的	67 典型的	30.0E6 (20.7E4)	111
4	79 (545) 典型的	71 (490) 典型的	16 典型的	52 典型的	30.0E6 (20.7E4)	163
5 <sup>(1)</sup>	125 (860)	105 (725) 典型的	16	50	29.9E6 (20.6E4)	258
6	70-95 (485-655)	40 (275)	24	35	27.9E6 (19.2E4)	140-190
7	70-95 (485-655)	40 (275)	20	35	29.9E6 (20.6E4)	147-200
8	70-95 (485-655)	40 (275)	20	35	29.9E6 (20.6E4)	147-200
9	75-100 (515-690)	45(310)	19	40	29.9E6 (20.6E4)	156-207 要求的
10	90-115 (620-795)	60 (415)	18	35	27.4E6 (19.0E4)	176-255
11	75 (515)	30 (205)	30	40	28.3E6 (19.3E4)	150
12	70 (485)	25 (170)	30	40	29.0E6 (20.0E4)	150
13	70 (485)	30 (205)	35	---	29.0E6 (20.0E4)	150
14	70 (485)	25 (170)	40	50	28.3E6 (19.3E4)	150-170
15 <sup>(2)</sup>	75 (515)	30 (205)	30	40	28.3E6 (19.5E4)	150
16	70 (485)	30 (205)	30	---	28.3E6 (19.5E4)	163
17	75 (515)	30 (205)	30	40	28.3E6 (19.5E4)	170
18	75 (515)	35 (240)	25	---	28.3E6 (19.5E4)	170
19 <sup>(3)</sup>	70 (480)	40 (275)	20	45	29.2E6 (20.1E4)	241
20 <sup>(4)</sup>	145 (1000)	125 (860)	13	45	29E6 (20.0E4)	311 最小
21	95 (665)	45 (310)	35	50	29.0E6 (20.0E4)	90 HRB
22	80 (550)	38 (260)	35	---	29.0E6 (20.0E4)	82 HRB
23	90 (620)	65 (450)	25	---	30.5E6 (21.0E4)	290 最大
24	90 (620)	65 (450)	25	---	30.5E6 (21.0E4)	98 HRB

承压部件的阀门材料属性 (续)

材料代号	最小机械性能				21°C (70°F) 时的弹性模量 psi (兆帕斯卡)	典型的布式硬度
	拉伸强度 ksi (兆帕斯卡)	屈服强度 ksi (兆帕斯卡)	2 英寸的伸长率 (50 毫米)	面积收缩率 (%)		
25 <sup>(5)</sup>	31 (214)	---	---	---	13.4E6 (9.2E4)	160-220
26 <sup>(6)</sup>	41 (282)	---	---	---	13.4E6 (9.2E4)	230
27	60 (415)	40 (276)	18	---	23E6 (16E4)	143-187
28	58 (400)	30 (205)	8	---	---	139-202
29	34 (234)	16 (110)	24	---	14.0E6 (9.7E4)	65
30	40 (275)	18 (124)	20	---	14.0 (9.7E4)	75
31	65 (448)	25 (172)	20	---	15.3E6 (10.5E4)	97
32	75 (515)	30 (205)	12	---	16E6 (11.0E4)	150 最小
33	85 (585)	35 (240)	15	---	16E6 (11.0E4)	159
34	55 (380)	25 (170)	10	---	14E6 (9.6E4)	55-75 HRB 要求的
35	60 (415)	27 (185)	25	---	15.0E6 (10.3E4)	131-142
36	42 (290)	35 (241)	10	---	9.9E6 (6.8E4)	95
37 <sup>(7)</sup>	154 (1060) 典型的	93 (638) 典型的	17 典型的	---	30E6 (21E4)	37 HRC
38	140 (965)	100 (690)	20	---	26E6 (17.9E4)	265-325
39	65 (450)	25 (170)	25	---	23E6 (15.8E4)	110-150
40	100 (689)	41 (283)	40	---	29.8E6 (20.5E4)	210
41	72 (496)	40 (275)	20	---	30.8E6 (21.2E4)	150-185
42	110 (760)	51 (350)	40	---	31.4E6 (21.7E4)	238
43	76 (525)	40 (275)	20	---	28.5E6 (19.7E4)	180

1. 回火 650°C (1200°F)。  
 2. 退火。  
 3. ASTM A479 退火状态。  
 4. ASTM A564 等级 630 状态 H1075。  
 5. A126 Cl.B 1.125 in. (95 毫米) 直径圆棒。  
 6. A126 Cl.C 1.125 in. (95 毫米) 直径圆棒。  
 7. 锻造。

### 13.3 碳氢化合物的物理常数

序号	化合物	分子式	分子量	在 14.696 psia 时的沸点 (°F)	100°F 时的蒸汽压力 (psia)	在 14.696 psia 时的凝固点 (°F)
1	甲烷	CH <sub>4</sub>	16.043	-258.69	(5000) <sup>(2)</sup>	-296.46 <sup>(5)</sup>
2	乙烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	-127.48	(800) <sup>(2)</sup>	-297.89 <sup>(5)</sup>
3	丙烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	-43.67	190	-305.84 <sup>(5)</sup>
4	n-丁烷	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.124	31.10	51.6	-217.05
5	异丁烷	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.124	10.90	72.2	-255.29
6	n-戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.151	96.92	15.570	-201.51
7	异戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.151	82.12	20.44	-255.83
8	新戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.151	49.10	35.90	2.17
9	n-己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.178	155.72	4.956	-139.58
10	2-甲基戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.178	140.47	6.767	-244.63
11	3-甲基戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.178	145.89	6.098	---
12	新己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.178	121.52	9.856	-147.72
13	2,3-二甲基丁烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.178	136.36	7.404	-199.38

序号	化合物	分子式	临界常数		在 14.696 psia 时的比重	
			临界温度(°F)	临界压力 (psia)	Liquid <sup>(3),(4)</sup> 60°F/60°F	在 60°F 时的 气体 (空气 = 1) <sup>(1)</sup>
1	甲烷	CH <sub>4</sub>	-116.63	667.8	0.3 <sup>(8)</sup>	0.5539
2	乙烷	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	90.09	707.8	0.3564 <sup>(7)</sup>	1.0382
3	丙烷	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	206.01	616.3	0.5077 <sup>(7)</sup>	1.5225
4	n-丁烷	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	305.65	550.7	0.5844 <sup>(7)</sup>	2.0068
5	异丁烷	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	274.98	529.1	0.5631 <sup>(7)</sup>	2.0068
6	n-戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	385.7	488.6	0.6310	2.4911
7	异戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	369.10	490.4	0.6247	2.4911
8	新戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	321.13	464.0	0.5967 <sup>(7)</sup>	2.4911
9	n-己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	453.7	436.9	0.6640	2.9753
10	2-甲基戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	435.83	436.6	0.6579	2.9753
11	3-甲基戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	448.3	453.1	0.6689	2.9753
12	新己烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	420.13	446.8	0.6540	2.9753
13	2,3-二甲基丁烷	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	440.29	453.5	0.6664	2.9753

## 碳氢化合物的物理常数(续)

序号	化合物	分子式	分子量	在 14.696 psia 时的沸点 (°F)	在 100°F 时的蒸汽压力 (psia)	在 14.696 psia 时的凝固点 (°F)
14	n-庚烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.205	209.17	1.620	-131.05
15	2-甲基己烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.205	194.09	2.271	-180.89
16	3-甲基己烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.205	197.32	2.130	---
17	3-乙基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.205	200.25	2.012	-181.48
18	2,2-二甲基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.205	174.54	3.492	-190.86
19	2,4-二甲基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.205	176.89	3.292	-182.63
20	3,3-二甲基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.205	186.91	2.773	-210.01
21	三甲基丁烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.205	177.58	3.374	-12.82
22	n-辛烷	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.232	258.22	0.537	-70.18
23	二异丁基	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.232	228.39	1.101	-132.07
24	异辛烷	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.232	210.63	1.708	-161.27
25	n-壬烷	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	128.259	303.47	0.179	-64.28
26	n-癸烷	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.286	345.48	0.0597	-21.36
27	环戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.135	120.65	9.914	-136.91
28	甲基环戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.162	161.25	4.503	-224.44

序号	化合物	分子式	临界常数		在 14.696 psia 时的比重	
			临界温度 (°F)	临界压力 (psia)	Liquid <sup>(3)</sup> / <sub>60°F/60°F</sub>	在 60°F 时的气体 (空气 = 1) <sup>(1)</sup>
14	n-庚烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	512.8	396.8	0.6882	3.4596
15	2-甲基己烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	495.00	396.5	0.6830	3.4596
16	3-甲基己烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	503.78	408.1	0.6917	3.4596
17	3-乙基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	513.48	419.3	0.7028	3.4596
18	2,2-二甲基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	477.23	402.2	0.6782	3.4596
19	2,4-二甲基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	475.95	396.9	0.6773	3.4596
20	3,3-二甲基戊烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	505.85	427.2	0.6976	3.4596
21	三甲基丁烷	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	496.44	428.4	0.6946	3.4596
22	n-辛烷	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	564.22	360.6	0.7068	3.9439
23	二异丁基	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	530.44	360.6	0.6979	3.9439
24	异辛烷	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	519.46	372.4	0.6962	3.9439
25	n-壬烷	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	610.68	332.	0.7217	4.4282
26	n-癸烷	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	652.1	304.	0.7342	4.9125
27	环戊烷	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	461.5	653.8	0.7504	2.4215
28	甲基环戊烷	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	499.35	548.9	0.7536	2.9057



碳氢化合物的物理常数(续)

序号	化合物	分子式	分子量	在 14.696 psia 时的沸点 (°F)	在 100°F 时的蒸汽压力 (psia)	在 14.696 psia 时的凝固点 (°F)
29	环己胺	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.162	177.29	3.264	43.77
30	甲基环己胺	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	98.189	213.68	1.609	-195.87
31	乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	-154.62	---	-272.45 <sup>(5)</sup>
32	丙烯	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.081	-53.90	226.4	-301.45 <sup>(5)</sup>
33	1-丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.108	20.75	63.05	-301.63 <sup>(5)</sup>
34	顺-2-丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.108	38.69	45.54	-218.06
35	转-2-丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.108	33.58	49.80	-157.96
36	异丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	56.108	19.59	63.40	-220.61
37	1-戊烯	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.135	85.93	19.115	-265.39
38	1,2-丁二烯	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54.092	51.53	(20.) <sup>(2)</sup>	-213.16
39	1,3-丁二烯	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	54.092	24.06	(60.) <sup>(2)</sup>	-164.02
40	橡胶基质	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	68.119	93.30	16.672	-230.74
41	乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26.038	-119. <sup>(6)</sup>	---	-114 <sup>(5)</sup>
42	苯	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.114	176.17	3.224	41.96
43	甲苯	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.141	231.13	1.032	-138.94

序号	化合物	分子式	临界常数		在 14.696 psia 时的比重	
			临界温度 (°F)	临界压力 (psia)	Liquid <sup>(3),(4)</sup> 60°F/60°F	在 60°F 时的 气体(空气 = 1) <sup>(1)</sup>
29	环己胺	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	536.7	591.	0.7834	2.9057
30	甲基环己胺	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	570.27	503.5	0.7740	3.3900
31	乙烯	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	48.58	729.8	---	0.9686
32	丙烯	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	196.9	669.	0.5220 <sup>(7)</sup>	1.4529
33	1-丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	295.6	583.	0.6013 <sup>(7)</sup>	1.9372
34	顺-2-丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	324.37	610.	0.6271 <sup>(7)</sup>	1.9372
35	转-2-丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	311.86	595.	0.6100 <sup>(7)</sup>	1.9372
36	异丁烯	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	292.55	580.	0.6004 <sup>(7)</sup>	1.9372
37	1-戊烯	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	376.93	590.	0.6457	2.4215
38	1,2-丁二烯	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	(339.) <sup>(2)</sup>	(653.) <sup>(2)</sup>	0.6587	1.8676
39	1,3-丁二烯	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	306.	628.	0.6272 <sup>(7)</sup>	1.8676
40	橡胶基质	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub>	(412.) <sup>(2)</sup>	(558.4) <sup>(2)</sup>	0.6861	2.3519
41	乙炔	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	95.31	890.4	0.615 <sup>(9)</sup>	0.8990
42	苯	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	552.22	710.4	0.8844	2.6969
43	甲苯	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	605.55	595.9	0.8718	3.1812

碳氢化合物的物理常数 (续)

序号	化合物	分子式	分子量	在 14.696 psia 时的沸点 (°F)	在 100°F 时的蒸汽压力 (psia)	在 14.696 psia 时的凝固点 (°F)
44	乙烷苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.168	277.16	0.371	-138.91
45	o-二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.168	291.97	0.264	-13.30
46	m-二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.168	282.41	0.326	-54.12
47	p-二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	106.168	281.05	0.342	55.86
48	苯乙烯	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	104.152	293.29	(0.24) <sup>(2)</sup>	-23.10
49	乙丙苯	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	120.195	306.34	0.188	-140.82

序号	化合物	分子式	临界常数		在 14.696 psia 时的比重	
			临界温度 (°F)	临界压力 (psia)	Liquid <sup>(3)(4)</sup> 60°F/60°F	在 60°F 时的气体 (空气 = 1) <sup>(1)</sup>
44	乙烷苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	651.24	523.5	0.8718	3.6655
45	o-二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	675.0	541.4	0.8848	3.6655
46	m-二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	651.02	513.6	0.8687	3.6655
47	p-二甲苯	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	649.6	509.2	0.8657	3.6655
48	苯乙烯	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	706.0	580.	0.9110	3.5959
49	乙丙苯	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	676.4	465.4	0.8663	4.1498

1. 计算值。
2. ( )—估计值。
3. 含有饱和空气的碳氢化合物。
4. 真空中的重量绝对值。
5. 在饱和压力时 (三点)。
6. 升华点。
7. 饱和压力和 15.5°C (60°F)。
8. 15.5°C (60°F) 下甲烷的表现值。
9. 比重, 119°F/60°F (升华点)。

### 13.4 比热容比 (k)

气体	比热容比 (k)	气体	比热容比 (k)	气体	比热容比 (k)	气体	比热容比 (k)
乙炔	1.38	二氧化碳	1.29	0.6 天然气	1.32	蒸汽 <sup>(1)</sup>	1.33
空气	1.40	乙烷	1.25	氮气	1.40		
氩	1.67	氦	1.66	氧气	1.40		
丁烷	1.17	氢	1.40	丙烷	1.21		
一氧化碳	1.40	甲烷	1.26	丙烯	1.15		

1. 如有可能, 请使用特性表以获得更高的精确度。

## 13.5 各种流体的物理常数

流体	分子式	分子量	沸点 (°F) (在 14.696 psia 时)	蒸汽压力 (在 70°F 时) (psig)	临界温度 (°F)	临界压力 (psia)	比重	
							液体 (60/60 °F)	气体
醋酸	HC <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub>	60.05	245	---	---	---	1.05	---
丙酮	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58.08	133	---	455	691	0.79	2.01
空气	N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	28.97	-317	---	-221	547	0.86 <sup>(3)</sup>	1.0
乙醇, 乙荃	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46.07	173	2.3 <sup>(2)</sup>	470	925	0.794	1.59
乙醇, 木精	CH <sub>4</sub> O	32.04	148	4.63 <sup>(2)</sup>	463	1174	0.796	1.11
氨	NH <sub>3</sub>	17.03	-28	114	270	1636	0.62	0.59
氯化氨 <sup>(1)</sup>	NH <sub>4</sub> Cl	---	---	---	---	---	1.07	---
氢氧化氨 <sup>(1)</sup>	NH <sub>4</sub> OH	---	---	---	---	---	0.91	---
硫酸氨 <sup>(1)</sup>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	1.15	---
苯胺	C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> N	93.12	365	---	798	770	1.02	---
氙	A	39.94	-302	---	-188	705	1.65	1.38
啤酒	---	---	---	---	---	---	1.01	---
溴	Br <sub>2</sub>	159.84	138	---	575	---	2.93	5.52
氯化钙 <sup>(1)</sup>	CaCl <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	1.23	---
二氧化碳	CO <sub>2</sub>	44.01	-109	839	88	1072	0.801 <sup>(3)</sup>	1.52
二硫化碳	CS <sub>2</sub>	76.1	115	---	---	---	1.29	2.63
一氧化碳	CO	28.01	-314	---	-220	507	0.80	0.97
四氧化碳	CCl <sub>4</sub>	153.84	170	---	542	661	1.59	5.31
氯气	Cl <sub>2</sub>	70.91	-30	85	291	1119	1.42	2.45
铬酸	H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub>	118.03	---	---	---	---	1.21	---
柠檬酸	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>	192.12	---	---	---	---	1.54	---
硫酸铜 <sup>(1)</sup>	CuSO <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	1.17	---
乙醚	(C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> O	74.12	34	---	---	---	0.74	2.55
Ferric Chloride <sup>(1)</sup>	FeCl <sub>3</sub>	---	---	---	---	---	1.23	---
氟	F <sub>2</sub>	38.00	-305	300	1200	809	1.11	1.31
甲醛	H <sub>2</sub> CO	30.03	-6	---	---	---	0.82	1.08
甲酸	HCO <sub>2</sub> H	46.03	214	---	---	---	1.23	---
糠醛	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	96.08	324	---	---	---	1.16	---
丙三醇	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	92.09	554	---	---	---	1.26	---
乙二醇	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>	62.07	387	---	---	---	1.11	---

各种流体的物理常数(续)

流体	分子式	分子量	沸点(°F)(在 14.696 psia 时)	蒸汽压力 (在 70°F 时)(psig)	临界温度 (°F)	临界压力 (psia)	比重	
							液体 (60/60 °F)	气体
氦	He	4.003	-454	---	-450	33	0.18	0.14
盐酸	HCl	36.47	-115	---	---	---	1.64	---
氢氟酸	HF	20.01	66	0.9	446	---	0.92	---
氢	H <sub>2</sub>	2.016	-422	---	-400	188	0.07 <sup>(3)</sup>	0.07
氯化氢	HCl	36.47	-115	613	125	1198	0.86	1.26
硫化氢	H <sub>2</sub> S	34.07	-76	252	213	1307	0.79	1.17
异丙醇	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O	60.09	180	---	---	---	0.78	2.08
亚麻籽油	---	---	538	---	---	---	0.93	---
氯化镁 <sup>(1)</sup>	MgCl <sub>2</sub>	---	---	---	---	---	1.22	---
汞	Hg	200.61	670	---	---	---	13.6	6.93
甲基溴	CH <sub>3</sub> Br	94.95	38	13	376	---	1.73	3.27
甲基氯	CH <sub>3</sub> Cl	50.49	-11	59	290	969	0.99	1.74
萘	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	128.16	424	---	---	---	1.14	4.43
硝酸	HNO <sub>3</sub>	63.02	187	---	---	---	1.5	---
氮气	N <sub>2</sub>	28.02	-320	---	-233	493	0.81 <sup>(3)</sup>	0.97
菜油	---	---	---	---	---	---	0.91- 0.94	---
氧气	O <sub>2</sub>	32	-297	---	-181	737	1.14 <sup>(3)</sup>	1.105
碳酰氯	COCl <sub>2</sub>	98.92	47	10.7	360	823	1.39	3.42
磷酸	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	98.00	415	---	---	---	1.83	---
碳酸钾 <sup>(1)</sup>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	---	---	---	---	---	1.24	---
氯化钾 <sup>(1)</sup>	KCl	---	---	---	---	---	1.16	---
氢氧化钾 <sup>(1)</sup>	KOH	---	---	---	---	---	1.24	---
氯化钠 <sup>(1)</sup>	NaCl	---	---	---	---	---	1.19	---
氢氧化钠 <sup>(1)</sup>	NaOH	---	---	---	---	---	1.27	---
硫酸钠 <sup>(1)</sup>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	---	---	---	---	---	1.24	---
硫化硫酸钠 <sup>(1)</sup>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	---	---	---	---	---	1.23	---

## 各种流体的物理常数 (续)

流体	分子式	分子量	沸点 (°F) (在 14.696 psia 时)	蒸汽压力 (在 70°F 时) (psig)	临界温度 (°F)	临界压力 (psia)	比重	
							液体 (60/60°F)	气体
淀粉	$(C_6H_{10}O_5)_x$	---	---	---	---	---	1.50	---
糖溶液 <sup>(1)</sup>	$C_{12}H_{22}O_{11}$	---	---	---	---	---	1.10	---
硫酸	$H_2SO_4$	98.08	626	---	---	---	1.83	---
二氧化硫	$SO_2$	64.6	14	34.4	316	1145	1.39	2.21
松节油	---	---	320	---	---	---	0.87	---
水	$H_2O$	18.016	212	0.9492 <sup>(2)</sup>	706	3208	1.00	0.62
氯化锌 <sup>(1)</sup>	$ZnCl_2$	---	---	---	---	---	1.24	---
硫酸锌 <sup>(1)</sup>	$ZnSO_4$	---	---	---	---	---	1.31	---

1. 水溶液—化合物重量占 25%。  
2. 39°C (100°F) 时的蒸汽压力, 单位为 psia。  
3. 蒸汽压力单位 psia。

## 13.6 制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性

温度 (°F)	压力		容积 (cu. ft./lb.)	密度 (lb./cu. ft.)	焓 <sup>(1)</sup> (BTU/lb.)		熵 <sup>(1)</sup> BTU/(lb.)(°R)	
	psia	psig	蒸汽 (Vg)	液体 (l/vf)	液体 (hf)	蒸汽 (hg)	液体 (Sf)	蒸汽 (Sg)
-105	0.996	27.9 <sup>(2)</sup>	223.2	45.71	-68.5	570.3	-0.1774	1.6243
-104	1.041	27.8 <sup>(2)</sup>	214.2	45.67	-67.5	570.7	-0.1774	1.6205
-103	1.087	27.7 <sup>(2)</sup>	205.7	45.63	-66.4	571.2	-0.1714	1.6167
-102	1.135	27.6 <sup>(2)</sup>	197.6	45.59	-65.4	571.6	-0.1685	1.6129
-101	1.184	27.5 <sup>(2)</sup>	189.8	45.55	-64.3	572.1	-0.1655	1.6092
-100	1.24	27.4 <sup>(2)</sup>	182.4	45.52	-63.3	572.5	-0.1626	1.6055
-99	1.29	27.3 <sup>(2)</sup>	175.3	45.47	-62.2	572.9	-0.1597	1.6018
-98	1.34	27.2 <sup>(2)</sup>	168.5	45.43	-61.2	573.4	-0.1568	1.5982
-97	1.40	27.1 <sup>(2)</sup>	162.1	45.40	-60.1	573.8	-0.1539	1.5945
-96	1.46	26.9 <sup>(2)</sup>	155.9	45.36	-59.1	574.3	-0.1510	1.5910
-95	1.52	26.8 <sup>(2)</sup>	150.0	45.32	-58.0	574.7	-0.1481	1.5874
-94	1.59	26.7 <sup>(2)</sup>	144.3	45.28	-57.0	575.1	-0.1452	1.5838
-93	1.65	26.6 <sup>(2)</sup>	138.9	45.24	-55.9	575.6	-0.1423	1.5803
-92	1.72	26.4 <sup>(2)</sup>	133.8	45.20	-54.9	576.0	-0.1395	1.5768
-91	1.79	26.3 <sup>(2)</sup>	128.9	45.16	-53.8	576.5	-0.1366	1.5734

制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性 (续)

温度 (°F)	压力		容积 (cu. ft./lb.)	密度 (lb./cu. ft.)	焓 <sup>(1)</sup> (BTU/lb.)		熵 <sup>(1)</sup> BTU/(lb.)(°R)	
	psia	psig	蒸汽 (Vg)	液体 (l/vf)	液体 (hf)	蒸汽 (hg)	液体 (Sf)	蒸汽 (Sg)
-90	1.86	26.1 <sup>(2)</sup>	124.1	45.12	-52.8	576.9	-0.1338	1.5699
-89	1.94	26.0 <sup>(2)</sup>	119.6	45.08	-51.7	577.3	-0.1309	1.5665
-88	2.02	25.8 <sup>(2)</sup>	115.3	45.04	-50.7	577.8	-0.1281	1.5631
-87	2.10	25.6 <sup>(2)</sup>	111.1	45.00	-49.6	578.2	-0.1253	1.5597
-86	2.18	25.5 <sup>(2)</sup>	107.1	44.96	-48.6	578.6	-0.1225	1.5564
-85	2.27	25.3 <sup>(2)</sup>	103.3	44.92	-47.5	579.1	-0.1197	1.5531
-84	2.35	25.1 <sup>(2)</sup>	99.68	44.88	-46.5	579.5	-0.1169	1.5498
-83	2.45	24.9 <sup>(2)</sup>	96.17	44.84	-45.4	579.9	-0.1141	1.5465
-82	2.54	24.7 <sup>(2)</sup>	92.81	44.80	-44.4	580.4	-0.1113	1.5432
-81	2.64	24.5 <sup>(2)</sup>	89.59	44.76	-43.3	580.8	-0.1085	1.5400
-80	2.74	24.3 <sup>(2)</sup>	86.50	44.73	-42.2	581.2	0.1057	1.5368
-79	2.84	24.1 <sup>(2)</sup>	83.54	44.68	-41.2	581.6	-0.1030	1.5336
-78	2.95	23.9 <sup>(2)</sup>	80.69	44.64	-40.1	582.1	-0.1002	1.5304
-77	3.06	23.7 <sup>(2)</sup>	77.96	44.60	-39.1	582.5	-0.0975	1.5273
-76	3.18	23.5 <sup>(2)</sup>	75.33	44.56	-38.0	582.9	-0.0947	1.5242
-75	3.29	23.2 <sup>(2)</sup>	72.81	44.52	-37.0	583.3	-0.0920	1.5211
-74	3.42	23.0 <sup>(2)</sup>	70.39	44.48	-35.9	583.8	-0.0892	1.5180
-73	3.54	22.7 <sup>(2)</sup>	68.06	44.44	-34.9	584.2	-0.0865	1.5149
-72	3.67	22.4 <sup>(2)</sup>	65.82	44.40	-33.8	584.6	-0.0838	1.5119
-71	3.80	22.2 <sup>(2)</sup>	63.67	44.36	-32.8	585.0	-0.0811	1.5089
-70	3.94	21.9 <sup>(2)</sup>	61.60	44.32	-31.7	585.5	-0.0784	1.5059
-69	4.08	21.6 <sup>(2)</sup>	59.61	44.28	-30.7	585.9	-0.0757	1.5029
-68	4.23	21.3 <sup>(2)</sup>	57.69	44.24	-29.6	586.3	-0.0730	1.4999
-67	4.38	21.0 <sup>(2)</sup>	55.85	44.19	-28.6	586.7	-0.0703	1.4970
-66	4.53	20.7 <sup>(2)</sup>	54.08	44.15	-27.5	587.1	-0.0676	1.4940
-65	4.69	20.4 <sup>(2)</sup>	52.37	44.11	-26.5	587.5	-0.0650	1.4911
-64	4.85	20.0 <sup>(2)</sup>	50.73	44.07	-25.4	588.0	-0.0623	1.4883
-63	5.02	19.7 <sup>(2)</sup>	49.14	44.03	-24.4	588.4	-0.0596	1.4854
-62	5.19	19.4 <sup>(2)</sup>	47.62	43.99	-23.3	588.8	-0.0570	1.4826
-61	5.37	19.0 <sup>(2)</sup>	46.15	43.95	-22.2	589.2	-0.0543	1.4797
-60	5.55	18.6 <sup>(2)</sup>	44.73	43.91	-21.2	589.6	-0.0517	1.4769
-59	5.74	18.2 <sup>(2)</sup>	43.37	43.87	-20.1	590.0	-0.0490	1.4741
-58	5.93	17.8 <sup>(2)</sup>	42.05	43.83	-19.1	590.4	-0.0464	1.4713
-57	6.13	17.4 <sup>(2)</sup>	40.79	43.78	-18.0	590.8	-0.0438	1.4686

## 制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性 (续)

温度 (°F)	压力		容积 (cu. ft./lb.)	密度 (lb./cu. ft.)	焓 <sup>(1)</sup> (BTU/lb.)		熵 <sup>(1)</sup> BTU/(lb.)(°R)	
	psia	psig	蒸汽 (Vg)	液体 (l/Vf)	液体 (hf)	蒸汽 (hg)	液体 (Sf)	蒸汽 (Sg)
-56	6.33	17.0 <sup>(2)</sup>	39.56	43.74	-17.0	591.2	-0.0412	1.4658
-55	6.54	16.6 <sup>(2)</sup>	38.38	43.70	-15.9	591.6	-0.0386	1.4631
-54	6.75	16.2 <sup>(2)</sup>	37.24	43.66	-14.8	592.1	-0.0360	1.4604
-53	6.97	15.7 <sup>(2)</sup>	36.15	43.62	-13.8	592.4	-0.0334	1.4577
-52	7.20	15.3 <sup>(2)</sup>	35.09	43.58	-12.7	592.9	-0.0307	1.4551
-51	7.43	14.8 <sup>(2)</sup>	34.06	43.54	-11.7	593.2	-0.0281	1.4524
-50	7.67	14.3 <sup>(2)</sup>	33.08	43.49	-10.6	593.7	-0.0256	1.4497
-49	7.91	13.8 <sup>(2)</sup>	32.12	43.45	-9.6	594.0	-0.0230	1.4471
-48	8.16	13.3 <sup>(2)</sup>	31.20	43.41	-8.5	594.4	-0.0204	1.4445
-47	8.42	12.8 <sup>(2)</sup>	30.31	43.37	-7.4	594.9	-0.0179	1.4419
-46	8.68	12.2 <sup>(2)</sup>	29.45	43.33	-6.4	595.2	-0.0153	1.4393
-45	8.95	11.7 <sup>(2)</sup>	28.62	43.28	-5.3	595.6	-0.0127	1.4368
-44	9.23	11.1 <sup>(2)</sup>	27.82	43.24	-4.3	596.0	-0.0102	1.4342
-43	9.51	10.6 <sup>(2)</sup>	27.04	43.20	-3.2	596.4	-0.0076	1.4317
-42	9.81	10.0 <sup>(2)</sup>	26.29	43.16	-2.1	596.8	-0.0051	1.4292
-41	10.10	9.3 <sup>(2)</sup>	25.56	43.12	-1.1	597.2	-0.0025	1.4267
-40	10.41	8.7 <sup>(2)</sup>	24.86	43.08	0.0	597.6	0.0000	1.4242
-39	10.72	8.1 <sup>(2)</sup>	24.18	43.04	1.1	598.0	0.0025	1.4217
-38	11.04	7.4 <sup>(2)</sup>	23.53	42.99	2.1	598.3	0.0051	1.4193
-37	11.37	6.8 <sup>(2)</sup>	22.89	42.95	3.2	598.7	0.0076	1.4169
-36	11.71	6.1 <sup>(2)</sup>	22.27	42.90	4.3	599.1	0.0101	1.4144
-35	12.05	5.4 <sup>(2)</sup>	21.68	42.86	5.3	599.5	0.0126	1.4120
-34	12.41	4.7 <sup>(2)</sup>	21.10	42.82	6.4	599.9	0.0151	1.4096
-33	12.77	3.9 <sup>(2)</sup>	20.54	42.78	7.4	600.2	0.0176	1.4072
-32	13.14	3.2 <sup>(2)</sup>	20.00	42.73	8.5	600.6	0.0201	1.4048
-31	13.52	2.4 <sup>(2)</sup>	19.48	42.69	9.6	601.0	0.0226	1.4025
-30	13.90	1.6 <sup>(2)</sup>	18.97	42.65	10.7	601.4	0.0250	1.4001
-29	14.30	0.8 <sup>(2)</sup>	18.48	42.61	11.7	601.7	0.0275	1.3978
-28	14.71	0.0	18.00	42.57	12.8	602.1	0.0300	1.3955
-27	15.12	0.4	17.54	42.54	13.9	602.5	0.0325	1.3932
-26	15.55	0.8	17.09	42.48	14.9	602.8	0.0350	1.3909
-25	15.98	1.3	16.66	42.44	16.0	603.2	0.0374	1.3886
-24	16.24	1.7	16.24	42.40	17.1	603.6	0.0399	1.3863
-23	16.88	2.2	15.83	42.35	18.1	603.9	0.0423	1.3840

制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性 (续)

温度 (°F)	压力		容积 (cu. ft./lb.)	密度 (lb./cu. ft.)	焓 <sup>(1)</sup> (BTU/lb.)		熵 <sup>(1)</sup> BTU/(lb.)(°R)	
	psia	psig	蒸汽 (Vg)	液体 (l/Vf)	液体 (hf)	蒸汽 (hg)	液体 (Sf)	蒸汽 (Sg)
-22	17.34	2.6	15.43	42.31	19.2	604.3	0.0448	1.3818
-21	17.81	3.1	15.05	42.26	20.3	604.6	0.0472	1.3796
-20	18.30	3.6	14.68	42.22	21.4	605.0	0.0497	1.3774
-19	18.79	4.1	14.32	42.18	22.4	605.3	0.0521	1.3752
-18	19.30	4.6	13.97	42.13	23.5	605.7	0.0545	1.3729
-17	19.81	5.1	13.62	42.09	24.6	606.1	0.0570	1.3708
-16	20.34	5.6	13.29	42.04	25.6	606.4	0.0594	1.3686
-15	20.88	6.2	12.97	42.00	26.7	606.7	0.0618	1.3664
-14	21.43	6.7	12.66	41.96	27.8	607.1	0.0642	1.3642
-13	21.99	7.3	12.36	41.91	28.9	607.5	0.0666	1.3624
-12	22.56	7.9	12.06	41.87	30.0	607.8	0.0690	1.3600
-11	23.15	8.5	11.78	41.82	31.0	608.1	0.0714	1.3579
-10	23.74	9.0	11.50	41.78	32.1	608.5	0.0738	1.3558
-9	24.35	9.7	11.23	41.74	33.2	608.8	0.0762	1.3537
-8	24.97	10.3	10.97	41.69	34.3	609.2	0.0786	1.3516
-7	25.61	10.9	10.71	41.65	35.4	609.5	0.0809	1.3493
-6	26.26	11.6	10.47	41.60	36.4	609.8	0.0833	1.3474
-5	26.92	12.2	10.23	41.56	37.5	610.1	0.0857	1.3454
-4	27.59	12.9	9.991	41.52	38.6	610.5	0.0880	1.3433
-3	28.28	13.6	9.763	41.47	39.7	610.8	0.0909	1.3413
-2	28.98	14.3	9.541	41.43	40.7	611.1	0.0928	1.3393
-1	29.69	15.0	9.326	41.38	41.8	611.4	0.0951	1.3372
0	30.42	15.7	9.116	41.34	42.9	611.8	0.0975	1.3352
1	31.16	16.5	8.912	41.29	44.0	612.1	0.0998	1.3332
2	31.92	17.2	8.714	41.25	45.1	612.4	0.1022	1.3312
3	32.69	18.0	8.521	41.20	46.2	612.7	0.1045	1.3292
4	33.47	18.8	8.333	41.16	47.2	613.0	0.1069	1.3273
5 <sup>(3)</sup>	34.27	19.6	8.150	41.11	48.3	613.3	0.1092	1.3253
6	35.09	20.4	7.971	41.07	49.4	613.6	0.1115	1.3234
7	35.92	21.2	7.798	41.01	50.5	613.9	0.1138	1.3214
8	36.77	22.1	7.629	40.98	51.6	614.3	0.1162	1.3195
9	37.63	22.9	7.464	40.93	52.7	614.6	0.1185	1.3176
10	38.51	23.8	7.304	40.89	53.8	614.9	0.1208	1.3157
11	39.40	24.7	7.148	40.84	54.9	615.2	0.1231	1.3137



制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性 (续)

温度 (°F)	压力		容积 (cu. ft./lb.)	密度 (lb./cu. ft.)	焓 <sup>(1)</sup> (BTU/lb.)		熵 <sup>(1)</sup> BTU/(lb.)(°R)	
	psia	psig	蒸汽 (Vg)	液体 (l/Vf)	液体 (hf)	蒸汽 (hg)	液体 (Sf)	蒸汽 (Sg)
12	40.31	25.6	6.996	40.80	56.0	615.5	0.1254	1.3118
13	41.24	26.5	6.847	40.75	57.1	615.8	0.1277	1.3099
14	42.18	27.5	6.703	40.71	58.2	616.1	0.1300	1.3081
15	43.14	28.4	6.562	40.66	59.2	616.3	0.1323	1.3062
16	44.12	29.4	6.425	40.61	60.3	616.6	0.1346	1.3043
17	45.12	30.4	6.291	40.57	61.4	616.9	0.1369	1.3025
18	46.13	31.4	6.161	40.52	62.5	617.2	0.1392	1.3006
19	47.16	32.5	6.034	40.48	63.6	617.5	0.1415	1.2988
20	48.21	33.5	5.910	40.43	64.7	617.8	0.1437	1.2969
21	49.28	34.6	5.789	40.38	65.8	618.0	0.1460	1.2951
22	50.36	35.7	5.671	40.34	66.9	618.3	0.1483	1.2933
23	51.47	36.8	5.556	40.29	68.0	618.6	0.1505	1.2915
24	52.59	37.9	5.443	40.25	69.1	618.9	0.1528	1.2897
25	53.73	39.0	5.334	40.20	70.2	619.1	0.1551	1.2879
26	54.90	40.2	5.227	40.15	71.3	619.4	0.1573	1.2861
27	56.08	41.4	5.123	40.10	72.4	619.7	0.1596	1.2843
28	57.28	42.6	5.021	40.06	73.5	619.9	0.1618	1.2823
29	58.50	43.8	4.922	40.01	74.6	620.2	0.1641	1.2809
30	59.74	45.0	4.825	39.96	75.7	620.5	0.1663	1.2790
31	61.00	46.3	4.730	39.91	76.8	620.7	0.1686	1.2773
32	62.29	47.6	4.637	39.86	77.9	621.0	0.1708	1.2755
33	63.59	48.9	4.547	39.82	79.0	621.2	0.1730	1.2738
34	64.91	50.2	4.459	39.77	80.1	621.5	0.1753	1.2721
35	66.26	51.6	4.373	39.72	81.2	621.7	0.1775	1.2704
36	67.63	52.9	4.289	39.67	82.3	622.0	0.1797	1.2686
37	69.02	54.3	4.207	39.63	83.4	622.2	0.1819	1.2669
38	70.43	55.7	4.126	39.58	84.6	622.5	0.1841	1.2652
39	71.87	57.2	4.048	39.54	85.7	622.7	0.1863	1.2635
40	73.32	58.6	3.971	39.49	86.8	623.0	0.1885	1.2618
41	74.80	60.1	3.897	39.44	87.9	623.2	0.1908	1.2602
42	76.31	61.6	3.823	39.39	89.0	623.4	0.1930	1.2585
43	77.83	63.1	3.752	39.34	90.1	623.7	0.1952	1.2568
44	79.38	64.7	3.682	39.29	91.2	623.9	0.1974	1.2552
45	80.96	66.3	3.614	39.24	92.3	624.1	0.1996	1.2535

制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性 (续)

温度 (°F)	压力		容积 (cu. ft./lb.)	密度 (lb./cu. ft.)	焓 <sup>(1)</sup> (BTU/lb.)		熵 <sup>(1)</sup> BTU/(lb.)(°R)	
	psia	psig	蒸汽 (Vg)	液体 (l/vf)	液体 (hf)	蒸汽 (hg)	液体 (Sf)	蒸汽 (Sg)
46	82.55	67.9	3.547	39.19	93.5	624.4	0.2018	1.2518
47	84.18	69.5	3.481	39.14	94.6	624.6	0.2040	1.2492
48	85.82	71.1	3.418	39.10	95.7	624.8	0.2062	1.2484
49	87.49	72.8	3.355	39.05	96.8	625.0	0.2083	1.2469
50	89.19	74.5	3.294	39.00	97.9	625.2	0.2105	1.2453
51	90.91	76.2	3.234	38.95	99.1	625.5	0.2127	1.2437
52	92.66	78.0	3.176	38.90	100.2	625.7	0.2149	1.2421
53	94.43	79.7	3.119	38.85	101.3	625.9	0.2171	1.2405
54	96.23	81.5	3.063	38.80	102.4	626.1	0.2192	1.2382
55	98.06	83.4	3.008	38.75	103.5	626.3	0.2214	1.2372
56	99.91	85.2	2.954	38.70	104.7	626.5	0.2236	1.2357
57	101.8	87.1	2.902	38.65	105.8	626.7	0.2257	1.2341
58	103.7	89.0	2.851	38.60	106.9	626.9	0.2279	1.2325
59	105.6	90.9	2.800	38.55	108.1	627.1	0.2301	1.2310
60	107.6	92.9	2.751	38.50	109.2	627.3	0.2322	1.2294
61	109.6	94.9	2.703	38.45	110.3	627.5	0.2344	1.2273
62	111.6	96.9	2.656	38.40	111.5	627.7	0.2365	1.2263
63	113.6	98.9	2.610	38.35	112.6	627.9	0.2387	1.2247
64	115.7	101.0	2.565	38.30	113.7	628.0	0.2408	1.2231
65	117.8	103.1	2.520	38.25	114.8	628.2	0.2430	1.2213
66	120.0	105.3	2.477	38.20	116.0	628.4	0.2451	1.2201
67	122.1	107.4	2.435	38.15	117.1	628.6	0.2473	1.2183
68	124.3	109.6	2.393	38.10	118.3	628.8	0.2494	1.2179
69	126.5	111.8	2.352	38.05	119.4	628.9	0.2515	1.2155
70	128.8	114.1	2.312	38.00	120.5	629.1	0.2537	1.2140
71	131.1	116.4	2.273	37.95	121.7	629.3	0.2558	1.2125
72	133.4	118.7	2.235	37.90	122.8	629.4	0.2579	1.2110
73	135.7	121.0	2.197	37.84	124.0	629.6	0.2601	1.2095
74	138.1	123.4	2.161	37.79	125.1	629.8	0.2622	1.2080
75	140.5	125.8	2.125	37.74	126.2	629.9	0.2643	1.2065
76	143.0	128.3	2.089	37.69	127.4	630.1	0.2664	1.2050
77	145.4	130.7	2.055	37.64	128.5	630.2	0.2685	1.2035
78	147.9	133.2	2.021	37.58	129.7	630.4	0.2706	1.2020
79	150.5	135.8	1.988	37.53	130.8	630.5	0.2728	1.2006

制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性 (续)

温度 (°F)	压力		容积 (cu. ft./lb.)	密度 (lb./cu. ft.)	焓 <sup>(1)</sup> (BTU/lb.)		熵 <sup>(1)</sup> BTU/(lb.) (°R)	
	psia	psig	蒸汽 (Vg)	液体 (l/Vf)	液体 (hf)	蒸汽 (hg)	液体 (Sf)	蒸汽 (Sg)
80	153.0	138.3	1.955	37.48	132.0	630.7	0.2749	1.1991
81	155.6	140.9	1.923	37.43	133.1	630.8	0.2769	1.1976
82	158.3	143.6	1.892	37.37	134.3	631.0	0.2791	1.1962
83	161.0	146.3	1.861	37.32	135.4	631.1	0.2812	1.1947
84	163.7	149.0	1.831	37.26	136.6	631.3	0.2833	1.1933
85	166.4	151.7	1.801	37.21	137.8	631.4	0.2854	1.1918
86 <sup>(3)</sup>	169.2	154.5	1.772	37.16	138.9	631.5	0.2875	1.1904
87	172.0	157.3	1.744	37.11	140.1	631.7	0.2895	1.1889
88	174.8	160.1	1.716	37.05	141.2	631.8	0.2917	1.1875
89	177.7	163.0	1.688	37.00	142.4	631.9	0.2937	1.1860
90	180.6	165.9	1.661	36.95	143.5	632.0	0.2958	1.1846
91	183.6	168.9	1.635	36.89	144.7	632.1	0.2979	1.1832
92	186.6	171.9	1.609	36.84	145.8	632.2	0.3000	1.1818
93	189.6	174.9	1.584	36.78	147.0	632.3	0.3021	1.1804
94	192.7	178.0	1.559	36.73	148.2	632.5	0.3041	1.1789
95	195.8	181.1	1.534	36.67	149.4	632.6	0.3062	1.1775
96	198.9	184.2	1.510	36.62	150.5	632.6	0.3083	1.1761
97	202.1	187.4	1.487	36.56	151.7	632.8	0.3104	1.1747
98	205.3	190.6	1.464	36.51	152.9	632.9	0.3125	1.1733
99	208.6	193.9	1.441	36.45	154.0	632.9	0.3145	1.1719
100	211.9	197.2	1.419	36.40	155.2	633.0	0.3166	1.1705
101	215.2	200.5	1.397	36.34	156.4	633.1	0.3187	1.1691
102	218.6	203.9	1.375	36.29	157.6	633.2	0.3207	1.1677
103	222.0	207.3	1.354	36.23	158.7	633.3	0.3228	1.1663
104	225.4	210.7	1.334	36.18	159.9	633.4	0.3248	1.1649
105	228.9	214.2	1.313	36.12	161.1	633.4	0.3269	1.1635
106	232.5	217.8	1.293	36.06	162.3	633.5	0.3289	1.1621
107	236.0	221.3	1.274	36.01	163.5	633.6	0.3310	1.1607
108	239.7	225.0	1.254	35.95	164.6	633.6	0.3330	1.1593
109	243.3	228.6	1.235	35.90	165.8	633.7	0.3351	1.1580
110	247.0	232.3	1.217	35.84	167.0	633.7	0.3372	1.1566
111	250.8	236.1	1.198	35.78	168.2	633.8	0.3392	1.1552
112	254.5	239.8	1.180	35.72	169.4	633.8	0.3413	1.1538
113	258.4	243.7	1.163	35.67	170.6	633.9	0.3433	1.1524

制冷剂 717 (氨) 液体和饱和蒸汽的特性 (续)

温度 (°F)	压力		容积 (cu. ft./lb.)	密度 (lb./cu. ft.)	焓 <sup>(1)</sup> (BTU/lb.)		熵 <sup>(1)</sup> BTU/(lb.)(°R)	
	psia	psig	蒸汽 (Vg)	液体 (l/Vf)	液体 (hf)	蒸汽 (hg)	液体 (Sf)	蒸汽 (Sg)
114	262.2	247.5	1.145	35.61	171.8	633.9	0.3453	1.1510
115	266.2	251.5	1.128	35.55	173.0	633.9	0.3474	1.1497
116	270.1	255.4	1.112	35.49	174.2	634.0	0.3495	1.1483
117	274.1	259.4	1.095	35.43	175.4	634.0	0.3515	1.1469
118	278.2	263.5	1.079	35.38	176.6	634.0	0.3535	1.1455
119	282.3	267.6	1.063	35.32	177.8	634.0	0.3556	1.1441
120	286.4	271.7	1.047	35.26	179.0	634.0	0.3576	1.1427
121	290.6	275.9	1.032	35.20	180.2	634.0	0.3597	1.1414
122	294.8	280.1	1.017	35.14	181.4	634.0	0.3618	1.1400
123	299.1	284.4	1.002	35.08	182.6	634.0	0.3638	1.1386
124	303.4	288.7	0.987	35.02	183.9	634.0	0.3659	1.1372
125	307.8	293.1	0.973	34.96	185.1	634.0	0.3679	1.1358

1. -40°C (-40°F) 时的饱和液体基准值为零。  
 2. 低于一个标准大气压的汞柱英寸数。  
 3. 标准循环温度。

### 13.7 水的特性

温度 (°F)	饱和压力 (lb. per sq. in., 绝对值)	重量 (lb. per gallon)	比重 60/60 °F	转换系数 <sup>(1)</sup> lbs./hr. 至 GPM
32	0.0885	8.345	1.0013	0.00199
40	0.1217	8.345	1.0013	0.00199
50	0.1781	8.340	1.0007	0.00199
60	0.2653	8.334	1.0000	0.00199
70	0.3631	8.325	0.9989	0.00200
80	0.5069	8.314	0.9976	0.00200
90	0.6982	8.303	0.9963	0.00200
100	0.9492	8.289	0.9946	0.00201
110	1.2748	8.267	0.9919	0.00201
120	1.6924	8.253	0.9901	0.00201
130	2.2225	8.227	0.9872	0.00202
140	2.8886	8.207	0.9848	0.00203
150	3.718	8.182	0.9818	0.00203
160	4.741	8.156	0.9786	0.00204
170	5.992	8.127	0.9752	0.00205

## 水的特性 (续)

温度 (°F)	饱和压力 (lb. per sq. in., 绝对值)	重量 (lb. per gallon)	比重 60/60 °F	系数 <sup>(1)</sup> lbs./hr. 至 GPM
180	7.510	8.098	0.9717	0.00205
190	9.339	8.068	0.9681	0.00206
200	11.526	8.039	0.9646	0.00207
210	14.123	8.005	0.9605	0.00208
212	14.696	7.996	0.9594	0.00208
220	17.186	7.972	0.9566	0.00209
240	24.969	7.901	0.9480	0.00210
260	35.429	7.822	0.9386	0.00211
280	49.203	7.746	0.9294	0.00215
300	67.013	7.662	0.9194	0.00217
350	134.63	7.432	0.8918	0.00224
400	247.31	7.172	0.8606	0.00232
450	422.6	6.892	0.8270	0.00241
500	680.8	6.553	0.7863	0.00254
550	1045.2	6.132	0.7358	0.00271
600	1542.9	5.664	0.6796	0.00294
700	3093.7	3.623	0.4347	0.00460

1. 用转换系数乘以用每小时磅的流量值得到相当于每分钟加仑数的流量值。每加仑的重量基于 7.48 加仑/立方英尺。

## 13.8 饱和蒸汽的特性

绝对压力		真空度 (英寸汞柱)	温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比重 (Cu. ft./lb.)
磅每平方英寸 P'	英寸汞柱						
0.20	0.41	29.51	53.14	21.21	1063.8	1085.0	1526.0
0.25	0.51	29.41	59.30	27.36	1060.3	1087.7	1235.3
0.30	0.61	29.31	64.47	32.52	1057.4	1090.0	1039.5
0.35	0.71	29.21	68.93	36.97	1054.9	1091.9	898.5
0.40	0.81	29.11	72.86	40.89	1052.7	1093.6	791.9
0.45	0.92	29.00	76.38	44.41	1050.7	1095.1	708.5
0.50	1.02	28.90	79.58	47.60	1048.8	1096.4	641.4
0.60	1.22	28.70	85.21	53.21	1045.7	1098.9	540.0
0.70	1.43	28.49	90.08	58.07	1042.9	1101.0	466.9
0.80	1.63	28.29	94.38	62.36	1040.4	1102.8	411.7

## 饱和蒸汽的特性 (续)

绝对压力		真空度 (英寸汞柱)	温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比容 (Cu. ft./lb.)
磅每平方英寸 P'	英寸汞柱						
0.90	1.83	28.09	98.24	66.21	1038.3	1104.5	368.4
1.0	2.04	27.88	101.74	69.70	1036.3	1106.0	333.6
1.2	2.44	27.48	107.92	75.87	1032.7	1108.6	280.9
1.4	2.85	27.07	113.26	81.20	1029.6	1110.8	243.0
1.6	3.26	26.66	117.99	85.91	1026.9	1112.8	214.3
1.8	3.66	26.26	122.23	90.14	1024.5	1114.6	191.8
2.0	4.07	25.85	126.08	93.99	1022.2	1116.2	173.73
2.2	4.48	25.44	129.62	97.52	1020.2	1117.7	158.85
2.4	4.89	25.03	132.89	100.79	1018.3	1119.1	146.38
2.6	5.29	24.63	135.94	103.83	1016.5	1120.3	135.78
2.8	5.70	24.22	138.79	106.68	1014.8	1121.5	126.65
3.0	6.11	23.81	141.48	109.37	1013.2	1122.6	118.71
3.5	7.13	22.79	147.57	115.46	1009.6	1125.1	102.72
4.0	8.14	21.78	152.97	120.86	1006.4	1127.3	90.63
4.5	9.16	20.76	157.83	125.71	1003.6	1129.3	81.16
5.0	10.18	19.74	162.24	130.13	1001.0	1131.1	73.52
5.5	11.20	18.72	166.30	134.19	998.5	1132.7	67.24
6.0	12.22	17.70	170.06	137.96	996.2	1134.2	61.98
6.5	13.23	16.69	173.56	141.47	994.1	1135.6	57.50
7.0	14.25	15.67	176.85	144.76	992.1	1136.9	53.64
7.5	15.27	14.65	179.94	147.86	990.2	1138.1	50.29
8.0	16.29	13.63	182.86	150.79	988.5	1139.3	47.34
8.5	17.31	12.61	185.64	153.57	986.8	1140.4	44.73
9.0	18.32	11.60	188.28	156.22	985.2	1141.4	42.40
9.5	19.34	10.58	190.80	158.75	983.6	1142.3	40.31
10.0	20.36	9.56	193.21	161.17	982.1	1143.3	38.42
11.0	22.40	7.52	197.75	165.73	979.3	1145.0	35.14
12.0	24.43	5.49	201.96	169.96	976.6	1146.6	32.40
13.0	26.47	3.45	205.88	173.91	974.2	1148.1	30.06
14.0	28.50	1.42	209.56	177.61	971.9	1149.5	28.04

饱和蒸汽的特性 (续)

压力 (Lbs. per sq. in.)		温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比重 (Cu. ft./lb.)
绝对压力 P'	表压 P					
14.696	0.0	212.00	180.07	970.3	1150.4	26.80
15.0	0.3	213.03	181.11	969.7	1150.8	26.29
16.0	1.3	216.32	184.42	967.6	1152.0	24.75
17.0	2.3	219.44	187.56	965.5	1153.1	23.39
18.0	3.3	222.41	190.56	963.6	1154.2	22.17
19.0	4.3	225.24	193.42	961.9	1155.3	21.08
20.0	5.3	227.96	196.16	960.1	1156.3	20.089
21.0	6.3	230.57	198.79	958.4	1157.2	19.192
22.0	7.3	233.07	201.33	956.8	1158.1	18.375
23.0	8.3	235.49	203.78	955.2	1159.0	17.627
24.0	9.3	237.82	206.14	953.7	1159.8	16.938
25.0	10.3	240.07	208.42	952.1	1160.6	16.303
26.0	11.3	242.25	210.62	950.7	1161.3	15.715
27.0	12.3	244.36	212.75	949.3	1162.0	15.170
28.0	13.3	246.41	214.83	947.9	1162.7	14.663
29.0	14.3	248.40	216.86	946.5	1163.4	14.189
30.0	15.3	250.33	218.82	945.3	1164.1	13.746
31.0	16.3	252.22	220.73	944.0	1164.7	13.330
32.0	17.3	254.05	222.59	942.8	1165.4	12.940
33.0	18.3	255.84	224.41	941.6	1166.0	12.572
34.0	19.3	257.58	226.18	940.3	1166.5	12.226
35.0	20.3	259.28	227.91	939.2	1167.1	11.898
36.0	21.3	260.95	229.60	938.0	1167.6	11.588
37.0	22.3	262.57	231.26	936.9	1168.2	11.294
38.0	23.3	264.16	232.89	935.8	1168.7	11.015
39.0	24.3	265.72	234.48	934.7	1169.2	10.750
40.0	25.3	267.25	236.03	933.7	1169.7	10.498
41.0	26.3	268.74	237.55	932.6	1170.2	10.258
42.0	27.3	270.21	239.04	931.6	1170.7	10.029
43.0	28.3	271.64	240.51	930.6	1171.1	9.810
44.0	29.3	273.05	241.95	929.6	1171.6	9.601
45.0	30.3	274.44	243.36	928.6	1172.0	9.401
46.0	31.3	275.80	244.75	927.7	1172.4	9.209
47.0	32.3	277.13	246.12	926.7	1172.9	9.025

饱和蒸汽的特性 (续)

压力 (Lbs. per sq. in.)		温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比重 (Cu. ft./lb.)
绝对压力 P'	表压 P					
48.0	33.3	278.45	247.47	925.8	1173.3	8.848
49.0	34.3	279.74	248.79	924.9	1173.7	8.678
50.0	35.3	281.01	250.09	924.0	1174.1	8.515
51.0	36.3	282.26	251.37	923.0	1174.4	8.359
52.0	37.3	283.49	252.63	922.2	1174.8	8.208
53.0	38.3	284.70	253.87	921.3	1175.2	8.062
54.0	39.3	285.90	255.09	920.5	1175.6	7.922
55.0	40.3	287.07	256.30	919.6	1175.9	7.787
56.0	41.3	288.23	257.50	918.8	1176.3	7.656
57.0	42.3	289.37	258.67	917.9	1176.6	7.529
58.0	43.3	290.50	259.82	917.1	1176.9	7.407
59.0	44.3	291.61	260.96	916.3	1177.3	7.289
60.0	45.3	292.71	262.09	915.5	1177.6	7.175
61.0	46.3	293.79	263.20	914.7	1177.9	7.064
62.0	47.3	294.85	264.30	913.9	1178.2	6.957
63.0	48.3	295.90	265.38	913.1	1178.5	6.853
64.0	49.3	296.94	266.45	912.3	1178.8	6.752
65.0	50.3	297.97	267.50	911.6	1179.1	6.655
66.0	51.3	298.99	268.55	910.8	1179.4	6.560
67.0	52.3	299.99	269.58	910.1	1179.7	6.468
68.0	53.3	300.98	270.60	909.4	1180.0	6.378
69.0	54.3	301.96	291.61	908.7	1180.3	6.291
70.0	55.3	302.92	272.61	907.9	1180.6	6.206
71.0	56.3	303.88	273.60	907.2	1180.8	6.124
72.0	57.3	304.83	274.57	906.5	1181.1	6.044
73.0	58.3	305.76	275.54	905.8	1181.3	5.966
74.0	59.3	306.68	276.49	905.1	1181.6	5.890
75.0	60.3	307.60	277.43	904.5	1181.9	5.816
76.0	61.3	308.50	278.37	903.7	1182.1	5.743
77.0	62.3	309.40	279.30	903.1	1182.4	5.673
78.0	63.3	310.29	280.21	902.4	1182.6	5.604
79.0	64.3	311.16	281.12	901.7	1182.8	5.537
80.0	65.3	312.03	282.02	901.1	1183.1	5.472
81.0	66.3	312.89	282.91	900.4	1183.3	5.408



饱和蒸汽的特性 (续)

压力 (Lbs. per sq. in.)		温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比容 (Cu. ft./lb.)
绝对压力 P'	表压 P					
82.0	67.3	313.74	283.79	899.7	1183.5	5.346
83.0	68.3	314.59	284.66	899.1	1183.8	5.285
84.0	69.3	315.42	285.53	898.5	1184.0	5.226
85.0	70.3	316.25	286.39	897.8	1184.2	5.168
86.0	71.3	317.07	287.24	897.2	1184.4	5.111
87.0	72.3	317.88	288.08	896.5	1184.6	5.055
88.0	73.3	318.68	288.91	895.9	1184.8	5.001
89.0	74.3	319.48	289.74	895.3	1185.1	4.948
90.0	75.3	320.27	290.56	894.7	1185.3	4.896
91.0	76.3	321.06	291.38	894.1	1185.5	4.845
92.0	77.3	321.83	292.18	893.5	1185.7	4.796
93.0	78.3	322.60	292.98	892.9	1185.9	4.747
94.0	79.3	323.36	293.78	892.3	1186.1	4.699
95.0	80.3	324.12	294.56	891.7	1186.2	4.652
96.0	81.3	324.87	295.34	891.1	1186.4	4.606
97.0	82.3	325.61	296.12	890.5	1186.6	4.561
98.0	83.3	326.35	296.89	889.9	1186.8	4.517
99.0	84.3	327.08	297.65	889.4	1187.0	4.474
100.0	85.3	327.81	298.40	888.8	1187.2	4.432
101.0	86.3	328.53	299.15	888.2	1187.4	4.391
102.0	87.3	329.25	299.90	887.6	1187.5	4.350
103.0	88.3	329.96	300.64	887.1	1187.7	4.310
104.0	89.3	330.66	301.37	886.5	1187.9	4.271
105.0	90.3	331.36	302.10	886.0	1188.1	4.232
106.0	91.3	332.05	302.82	885.4	1188.2	4.194
107.0	92.3	332.74	303.54	884.9	1188.4	4.157
108.0	93.3	333.42	304.26	884.3	1188.6	4.120
109.0	94.3	334.10	304.97	883.7	1188.7	4.084
110.0	95.3	334.77	305.66	883.2	1188.9	4.049
111.0	96.3	335.44	306.37	882.6	1189.0	4.015
112.0	97.3	336.11	307.06	882.1	1189.2	3.981
113.0	98.3	336.77	307.75	881.6	1189.4	3.947
114.0	99.3	337.42	308.43	881.1	1189.5	3.914
115.0	100.3	338.07	309.11	880.6	1189.7	3.882

饱和蒸汽的特性 (续)

压力 (Lbs. per sq. in.)		温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比容 (Cu. ft./lb.)
绝对压力 P'	表压 P					
116.0	101.3	338.72	309.79	880.0	1189.8	3.850
117.0	102.3	339.36	310.46	879.5	1190.0	3.819
118.0	103.3	339.99	311.12	879.0	1190.1	3.788
119.0	104.3	340.62	311.78	878.4	1190.2	3.758
120.0	105.3	341.25	312.44	877.9	1190.4	3.728
121.0	106.3	341.88	313.10	877.4	1190.5	3.699
122.0	107.3	342.50	313.75	876.9	1190.7	3.670
123.0	108.3	343.11	314.40	876.4	1190.8	3.642
124.0	109.3	343.72	315.04	875.9	1190.9	3.614
125.0	110.3	344.33	315.68	875.4	1191.1	3.587
126.0	111.3	344.94	316.31	874.9	1191.2	3.560
127.0	112.3	345.54	316.94	874.4	1191.3	3.533
128.0	113.3	346.13	317.57	873.9	1191.5	3.507
129.0	114.3	346.73	318.19	873.4	1191.6	3.481
130.0	115.3	347.32	318.81	872.9	1191.7	3.455
131.0	116.3	347.90	319.43	872.5	1191.9	3.430
132.0	117.3	348.48	320.04	872.0	1192.0	3.405
133.0	118.3	349.06	320.65	871.5	1192.1	3.381
134.0	119.3	349.64	321.25	871.0	1192.2	3.357
135.0	120.3	350.21	321.85	870.6	1192.4	3.333
136.0	121.3	350.78	322.45	870.1	1192.5	3.310
137.0	122.3	351.35	323.05	869.6	1192.6	3.287
138.0	123.3	351.91	323.64	869.1	1192.7	3.264
139.0	124.3	352.47	324.23	868.7	1192.9	3.242
140.0	125.3	353.02	324.82	868.2	1193.0	3.220
141.0	126.3	353.57	325.40	867.7	1193.1	3.198
142.0	127.3	354.12	325.98	867.2	1193.2	3.177
143.0	128.3	354.67	326.56	866.7	1193.3	3.155
144.0	129.3	355.21	327.13	866.3	1193.4	3.134
145.0	130.3	355.76	327.70	865.8	1193.5	3.114
146.0	131.3	356.29	328.27	865.3	1193.6	3.094
147.0	132.3	356.83	328.83	864.9	1193.8	3.074
148.0	133.3	357.36	329.39	864.5	1193.9	3.054
149.0	134.3	357.89	329.95	864.0	1194.0	3.034

## 饱和蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比容 (Cu. ft./lb.)
绝对压力 P'	表压 P					
150.0	135.3	358.42	330.51	863.6	1194.1	3.015
152.0	137.3	359.46	331.61	862.7	1194.3	2.977
154.0	139.3	360.49	332.70	861.8	1194.5	2.940
156.0	141.3	361.52	333.79	860.9	1194.7	2.904
158.0	143.3	362.53	334.86	860.0	1194.9	2.869
160.0	145.3	363.53	335.93	859.2	1195.1	2.834
162.0	147.3	364.53	336.98	858.3	1195.3	2.801
164.0	149.3	365.51	338.02	857.5	1195.5	2.768
166.0	151.3	366.48	339.05	856.6	1195.7	2.736
168.0	153.3	367.45	340.07	855.7	1195.8	2.705
170.0	155.3	368.41	341.09	854.9	1196.0	2.675
172.0	157.3	369.35	342.10	854.1	1196.2	2.645
174.0	159.3	370.29	343.10	853.3	1196.4	2.616
176.0	161.3	371.22	344.09	852.4	1196.5	2.587
178.0	163.3	372.14	345.06	851.6	1196.7	2.559
180.0	165.3	373.06	346.03	850.8	1196.9	2.532
182.0	167.3	373.96	347.00	850.0	1197.0	2.505
184.0	169.3	374.86	347.96	849.2	1197.2	2.479
186.0	171.3	375.75	348.92	848.4	1197.3	2.454
188.0	173.3	376.64	349.86	847.6	1197.5	2.429
190.0	175.3	377.51	350.79	846.8	1197.6	2.404
192.0	177.3	378.38	351.72	846.1	1197.8	2.380
194.0	179.3	379.24	352.64	845.3	1197.9	2.356
196.0	181.3	380.10	353.55	844.5	1198.1	2.333
198.0	183.3	380.95	354.46	843.7	1198.2	2.310
200.0	185.3	381.79	355.36	843.0	1198.4	2.288
205.0	190.3	383.86	357.58	841.1	1198.7	2.234
210.0	195.3	385.90	359.77	839.2	1199.0	2.183
215.0	200.3	387.89	361.91	837.4	1199.3	2.134
220.0	205.3	389.86	364.02	835.6	1199.6	2.087
225.0	210.3	391.79	366.09	833.8	1199.9	2.0422
230.0	215.3	393.68	368.13	832.0	1200.1	1.9992
235.0	220.3	395.54	370.14	830.3	1200.4	1.9579
240.0	225.3	397.37	372.12	828.5	1200.6	1.9183

饱和蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比容 (Cu. ft./lb.)
绝对压力 P'	表压 P					
245.0	230.3	399.18	374.08	826.8	1200.9	1.8803
250.0	235.3	400.95	376.00	825.1	1201.1	1.8438
255.0	240.3	402.70	377.89	823.4	1201.3	1.8086
260.0	245.3	404.42	379.76	821.8	1201.5	1.7748
265.0	250.3	406.11	381.60	820.1	1201.7	1.7422
270.0	255.3	407.78	383.42	818.5	1201.9	1.7107
275.0	260.3	409.43	385.21	816.9	1202.1	1.6804
280.0	265.3	411.05	386.98	815.3	1202.3	1.6511
285.0	270.3	412.65	388.73	813.7	1202.4	1.6228
290.0	275.3	414.23	390.46	812.1	1202.6	1.5954
295.0	280.3	415.79	392.16	810.5	1202.7	1.5689
300.0	285.3	417.33	393.84	809.0	1202.8	1.5433
320.0	305.3	423.29	400.39	803.0	1203.4	1.4485
340.0	325.3	428.97	406.66	797.1	1203.7	1.3645
360.0	345.3	434.40	412.67	791.4	1204.1	1.2895
380.0	365.3	439.60	418.45	785.8	1204.3	1.2222
400.0	385.3	444.59	424.0	780.5	1204.5	1.1613
420.0	405.3	449.39	429.4	775.2	1204.6	1.1061
440.0	425.3	454.02	434.6	770.0	1204.6	1.0556
460.0	445.3	458.50	439.7	764.9	1204.6	1.0094
480.0	465.3	462.82	444.6	759.9	1204.5	0.9670
500.0	485.3	467.01	449.4	755.0	1204.4	0.9278
520.0	505.3	471.07	454.1	750.1	1204.2	0.8915
540.0	525.3	475.01	458.6	745.4	1204.0	0.8578
560.0	545.3	478.85	463.0	740.8	1203.8	0.8265
580.0	565.3	482.58	467.4	736.1	1203.5	0.7973
600.0	585.3	486.21	471.6	731.6	1203.2	0.7698
620.0	605.3	489.75	475.7	727.2	1202.9	0.7440
640.0	625.3	493.21	479.8	722.7	1202.5	0.7198
660.0	645.3	496.58	483.8	718.3	1202.1	0.6971
680.0	665.3	499.88	487.7	714.0	1201.7	0.6757
700.0	685.3	503.10	491.5	709.7	1201.2	0.6554
720.0	705.3	506.25	495.3	705.4	1200.7	0.6362
740.0	725.3	509.34	499.0	701.2	1200.2	0.6180

## 饱和蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比容 (Cu. ft./lb.)
绝对压力 P'	表压 P					
760.0	745.3	512.36	502.6	697.1	1199.7	0.6007
780.0	765.3	515.33	506.2	692.9	1199.1	0.5843
800.0	785.3	518.23	509.7	688.9	1198.6	0.5687
820.0	805.3	521.08	513.2	684.8	1198.0	0.5538
840.0	825.3	523.88	516.6	680.8	1197.4	0.5396
860.0	845.3	526.63	520.0	676.8	1196.8	0.5260
880.0	865.3	529.33	523.3	672.8	1196.1	0.5130
900.0	885.3	531.98	526.6	668.8	1195.4	0.5006
920.0	905.3	534.59	529.8	664.9	1194.7	0.4886
940.0	925.3	537.16	533.0	661.0	1194.0	0.4772
960.0	945.3	539.68	536.2	657.1	1193.3	0.4663
980.0	965.3	542.17	539.3	653.3	1192.6	0.4557
1000.0	985.3	544.61	542.4	649.4	1191.8	0.4456
1050.0	1035.3	550.57	550.0	639.9	1189.9	0.4218
1100.0	1085.3	556.31	557.4	630.4	1187.8	0.4001
1150.0	1135.3	561.86	564.6	621.0	1185.6	0.3802
1200.0	1185.3	567.22	571.7	611.7	1183.4	0.3619
1250.0	1235.3	572.42	578.6	602.4	1181.0	0.3450
1300.0	1285.3	577.46	585.4	593.2	1178.6	0.3293
1350.0	1335.3	582.35	592.1	584.0	1176.1	0.3148
1400.0	1385.3	587.10	598.7	574.7	1173.4	0.3012
1450.0	1435.3	591.73	605.2	565.5	1170.7	0.2884
1500.0	1485.3	596.23	611.6	556.3	1167.9	0.2765
1600.0	1585.3	604.90	624.1	538.0	1162.1	0.2548
1700.0	1685.3	613.15	636.3	519.6	1155.9	0.2354
1800.0	1785.3	621.03	648.3	501.1	1149.4	0.2179
1900.0	1885.3	628.58	660.1	482.4	1142.4	0.2021
2000.0	1985.3	635.82	671.7	463.4	1135.1	0.1878
2100.0	2085.3	642.77	683.3	444.1	1127.4	0.1746
2200.0	2185.3	649.46	694.8	424.4	1119.2	0.1625
2300.0	2285.3	655.91	706.5	403.9	1110.4	0.1513
2400.0	2385.3	662.12	718.4	382.7	1101.1	0.1407
2500.0	2485.3	668.13	730.6	360.5	1091.1	0.1307
2600.0	2585.3	673.94	743.0	337.2	1080.2	0.1213

饱和蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		温度 (t) (°F)	液体热量 (BTU/lb.)	蒸发潜热 (BTU/lb.)	总蒸汽热 Hg (BTU/lb.)	比容 (Cu. ft./lb.)
绝对压力 P'	表压 P					
2700.0	2685.3	679.55	756.2	312.1	1068.3	0.1123
2800.0	2785.3	684.99	770.1	284.7	1054.8	0.1035
2900.0	2885.3	690.26	785.4	253.6	1039.0	0.0947
3000.0	2985.3	695.36	802.5	217.8	1020.3	0.0858
3100.0	3085.3	700.31	825.0	168.1	993.1	0.0753
3200.0	3185.3	705.11	872.4	62.0	934.4	0.0580
3206.2	3191.5	705.40	902.7	0.0	902.7	0.0503

### 13.9 过热蒸汽的特性

v = 比容, 立方英尺/磅; hg = 蒸汽总热量, 英制热量单位/磅

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			360°	400°	440°	480°	500°	600°
14.696	0.0	212.00	v hg	33.03 1221.1	34.68 1239.9	36.32 1258.8	37.96 1277.6	38.78 1287.1	42.86 1334.8
20.0	5.3	227.96	v hg	24.21 1220.3	25.43 1239.2	26.65 1258.2	27.86 1277.1	28.46 1286.6	31.47 1334.4
30.0	15.3	250.33	v hg	16.072 1218.6	16.897 1237.9	17.714 1257.0	18.528 1276.2	18.933 1285.7	20.95 1333.8
40.0	25.3	267.25	v hg	12.001 1216.9	12.628 1236.5	13.247 1255.9	13.862 1275.2	14.168 1284.8	15.688 1333.1
50.0	35.3	281.01	v hg	9.557 1215.2	10.065 1235.1	10.567 1254.7	11.062 1274.2	11.309 1283.9	12.532 1332.5

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			700°	800°	900°	1000°	1200°
14.696	0.0	212.00	v hg	46.94 1383.2	51.00 1432.3	55.07 1482.3	59.13 1533.1	67.25 1637.5
20.0	5.3	227.96	v hg	34.47 1382.9	37.46 1432.1	40.45 1482.1	43.44 1533.0	49.41 1637.4
30.0	15.3	250.33	v hg	22.96 1382.4	24.96 1431.7	26.95 1481.8	28.95 1532.7	32.93 1637.2
40.0	25.3	267.25	v hg	17.198 1381.9	18.702 1431.3	20.20 1481.4	21.70 1532.4	24.69 1637.0
50.0	35.3	281.01	v hg	13.744 1381.4	14.950 1430.9	16.152 1481.1	17.352 1532.1	19.747 1636.8

## 过热蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			360°	400°	440°	480°	500°	600°
60.0	45.3	292.71	v hg	7.927 1213.4	8.357 1233.	8.779 1253.5	9.196 1273.2	9.403 1283.0	10.427 1331.8
70.0	55.3	302.92	v hg	6.762 1211.5	7.136 1232.1	7.502 1252.3	7.863 1272.2	8.041 1282.0	8.924 1331.1
80.0	65.3	312.03	v hg	5.888 1209.7	6.220 1230.7	6.544 1251.1	6.862 1271.1	7.020 1281.1	7.797 1330.5
90.0	75.3	320.27	v hg	5.208 1207.7	5.508 1229.1	5.799 1249.8	6.084 1270.1	6.225 1280.1	6.920 1329.8
100.0	85.3	327.81	v hg	4.663 1205.7	4.937 1227.6	5.202 1248.6	5.462 1269.0	5.589 1279.1	6.218 1329.1
120.0	105.3	341.25	v hg	3.844 1201.6	4.081 1224.4	4.307 1246.0	4.527 1266.90	4.636 1277.2	5.165 1327.7
140.0	125.3	353.02	v hg	3.258 1197.3	3.468 1221.1	3.667 1243.3	3.860 1264.7	3.954 1275.2	4.413 1326.4
160.0	145.3	363.53	v hg	--- ---	3.008 1217.6	3.187 1240.6	3.359 1262.4	3.443 1273.1	3.849 1325.0
180.0	165.3	373.06	v hg	--- ---	2.649 1214.0	2.813 1237.8	2.969 1260.2	3.044 1271.0	3.411 1323.5

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			700°	800°	900°	1000°	1200°
60.0	45.3	292.71	v hg	11.441 1380.9	12.449 1430.5	13.452 1480.8	14.454 1531.9	16.451 1636.6
70.0	55.3	302.92	v hg	9.796 1380.4	10.662 1430.1	11.524 1480.5	12.383 1531.6	14.097 1636.3
80.0	65.3	312.03	v hg	8.562 1379.9	9.322 1429.7	10.077 1480.1	10.830 1531.3	12.332 1636.2
90.0	75.3	320.27	v hg	7.603 1379.4	8.279 1429.3	8.952 1479.8	9.623 1531.0	10.959 1635.9
100.0	85.3	327.81	v hg	6.835 1378.9	7.446 1428.9	8.052 1479.5	8.656 1530.8	9.860 1635.7
120.0	105.3	341.25	v hg	5.683 1377.8	6.195 1428.1	6.702 1478.8	7.207 1530.2	8.212 1635.3
140.0	125.3	353.02	v hg	4.861 1376.8	5.301 1427.3	5.738 1478.2	6.172 1529.7	7.035 1634.9
160.0	145.3	363.53	v hg	4.244 1375.7	4.631 1426.4	5.015 1477.5	5.396 1529.1	6.152 1634.5
180.0	165.3	373.06	v hg	3.764 1374.7	4.110 1425.6	4.452 1476.8	4.792 1528.6	5.466 1634.1

过热蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			360°	400°	440°	480°	500°	600°
200.0	185.3	381.79	v hg	--- ---	2.361 1210.3	2.513 1234.9	2.656 1257.8	2.726 1268.9	3.060 1322.1
220.0	205.3	389.86	v hg	--- ---	2.125 1206.5	2.267 1231.9	2.400 1255.4	2.465 1266.7	2.772 1320.7
240.0	225.3	397.37	v hg	--- ---	1.9276 1202.5	2.062 1228.8	2.187 1253.0	2.247 1264.5	2.533 1319.2
260.0	245.3	404.42	v hg	--- ---	---	1.8882 1225.7	2.006 1250.5	2.063 1262.3	2.330 1317.7
280.0	265.3	411.05	v hg	--- ---	---	1.7388 1222.4	1.8512 1247.9	1.9047 1260.0	2.156 1316.2
300.0	285.3	417.33	v hg	--- ---	---	1.6090 1219.1	1.7165 1245.3	1.7675 1257.6	2.005 1314.7
320.0	305.3	423.29	v hg	--- ---	---	1.4950 1215.6	1.5985 1242.6	1.6472 1255.2	1.8734 1313.2
340.0	325.3	428.97	v hg	--- ---	---	1.3941 1212.1	1.4941 1239.9	1.5410 1252.8	1.7569 1311.6
360.0	345.3	434.40	v hg	--- ---	---	1.3041 1208.4	1.4012 1237.1	1.4464 1250.3	1.6533 1310.1

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			700°	800°	900°	1000°	1200°
200.0	185.3	381.79	v hg	3.380 1373.6	3.693 1424.8	4.002 1476.2	4.309 1528.0	4.917 1633.7
220.0	205.3	389.86	v hg	3.066 1372.6	3.352 1424.0	3.634 1475.5	3.913 1527.5	4.467 1633.3
240.0	225.3	397.37	v hg	2.804 1371.5	3.068 1423.2	3.327 1474.8	3.584 1526.9	4.093 1632.9
260.0	245.3	404.42	v hg	2.582 1370.4	2.827 1422.3	3.067 1474.2	3.305 1526.3	3.776 1632.5
280.0	265.3	411.05	v hg	2.392 1369.4	2.621 1421.5	2.845 1473.5	3.066 1525.8	3.504 1632.1
300.0	285.3	417.33	v hg	2.227 1368.3	2.442 1420.6	2.652 1472.8	2.859 1525.2	3.269 1631.7
320.0	305.3	423.29	v hg	2.083 1367.2	2.285 1419.8	2.483 1472.1	2.678 1524.7	3.063 1631.3
340.0	325.3	428.97	v hg	1.9562 1366.1	2.147 1419.0	2.334 1471.5	2.518 1524.1	2.881 1630.9
360.0	345.3	434.40	v hg	1.8431 1365.0	2.025 1418.1	2.202 1470.8	2.376 1523.5	2.719 1630.5



## 过热蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			500°	540°	600°	640°	660°	700°
380.0	365.3	439.60	v hg	1.3616 1247.7	1.444 1273.1	1.5605 1308.5	1.6345 1331.0	1.6707 1342.0	1.7419 1363.8
400.0	385.3	444.59	v hg	1.2851 1245.1	1.3652 1271.0	1.4770 1306.9	1.5480 1329.6	1.5827 1340.8	1.6508 1362.7
420.0	405.3	449.39	v hg	1.2158 1242.5	1.2935 1268.9	1.4014 1305.3	1.4697 1328.3	1.5030 1339.5	1.5684 1361.6
440.0	425.3	454.02	v hg	1.1526 1239.8	1.2282 1266.7	1.3327 1303.6	1.3984 1326.9	1.4306 1338.2	1.4934 1360.4
460.0	445.3	458.50	v hg	1.0948 1237.0	1.1685 1264.5	1.2698 1302.0	1.3334 1325.4	1.3644 1336.9	1.4250 1359.3
480.0	465.3	462.82	v hg	1.0417 1234.2	1.1138 1262.3	1.2122 1300.3	1.2737 1324.0	1.3038 1335.6	1.3622 1358.2
500.0	485.3	467.01	v hg	0.9927 1231.3	1.0633 1260.0	1.1591 1298.6	1.2188 1322.6	1.2478 1334.2	1.3044 1357.0
520.0	505.3	471.07	v hg	0.9473 1228.3	1.0166 1257.7	1.1101 1296.9	1.1681 1321.1	1.1962 1332.9	1.2511 1355.8
540.0	525.3	475.01	v hg	0.9052 1225.3	0.9733 1255.4	1.0646 1295.2	1.1211 1319.7	1.1485 1331.5	1.2017 1354.6

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			740°	800°	900°	1000°	1200°
380.0	365.3	439.60	v hg	1.8118 1385.3	1.9149 1417.3	2.083 1470.1	2.249 1523.0	2.575 1630.0
400.0	385.3	444.59	v hg	1.7177 1384.3	1.8161 1416.4	1.9767 1469.4	2.134 1522.4	2.445 1629.6
420.0	405.3	449.39	v hg	1.6324 1383.3	1.7267 1415.5	1.8802 1468.7	2.031 1521.9	2.327 1629.2
440.0	425.3	454.02	v hg	1.5549 1382.3	1.6454 1414.7	1.7925 1468.1	1.9368 1521.3	2.220 1628.8
460.0	445.3	458.50	v hg	1.4842 1381.3	1.5711 1413.8	1.7124 1467.4	1.8508 1520.7	2.122 1628.4
480.0	465.3	462.82	v hg	1.4193 1380.3	1.5031 1412.9	1.6390 1466.7	1.7720 1520.2	2.033 1628.0
500.0	485.3	467.01	v hg	1.3596 1379.3	1.4405 1412.1	1.5715 1466.0	1.6996 1519.6	1.9504 1627.6
520.0	505.3	471.07	v hg	1.3045 1378.2	1.3826 1411.2	1.5091 1465.3	1.6326 1519.0	1.8743 1627.2
540.0	525.3	475.01	v hg	1.2535 1377.2	1.3291 1410.3	1.4514 1464.6	1.5707 1518.5	1.8039 1626.8

过热蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			500°	540°	600°	640°	660°	700°
560.0	545.3	478.85	v hg	0.8659 1222.2	0.9330 1253.0	1.0224 1293.4	1.0775 1318.2	1.1041 1330.2	1.1558 1353.5
580.0	565.3	482.58	v hg	0.8291 1219.0	0.8954 1250.5	0.9830 1291.7	1.0368 1316.7	1.0627 1328.8	1.1331 1352.3
600.0	585.3	486.21	v hg	0.7947 1215.7	0.8602 1248.1	0.9463 1289.9	0.9988 1315.2	1.0241 1327.4	1.0732 1351.1
620.0	605.3	489.75	v hg	0.7624 1212.4	0.8272 1245.5	0.9118 1288.1	0.9633 1313.7	0.9880 1326.0	1.0358 1349.9
640.0	625.3	493.21	v hg	0.7319 1209.0	0.7963 1243.0	0.8795 1286.2	0.9299 1312.2	0.9541 1324.6	1.0008 1348.6
660.0	645.3	496.58	v hg	0.7032 1205.4	0.7670 1240.4	0.8491 1284.4	0.8985 1310.6	0.9222 1323.2	0.9679 1347.4
680.0	665.3	499.88	v hg	0.6759 1201.8	0.7395 1237.7	0.8205 1282.5	0.8690 1309.1	0.8922 1321.7	0.9369 1346.2
700.0	685.3	503.10	v hg	--- ---	0.7134 1235.0	0.7934 1280.6	0.8411 1307.5	0.8639 1320.3	0.9077 1345.0
750.0	735.3	510.86	v hg	--- ---	0.6540 1227.9	0.7319 1275.7	0.7778 1303.5	0.7996 1316.6	0.8414 1341.8

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			740°	800°	900°	1000°	1200°
560.0	545.3	478.85	v hg	1.2060 1376.1	1.2794 1409.4	1.3978 1463.9	1.5132 1517.9	1.7385 1626.4
580.0	565.3	482.58	v hg	1.1619 1375.1	1.2331 1408.6	1.3479 1463.2	1.4596 1517.3	1.6776 1626.0
600.0	585.3	486.21	v hg	1.1207 1374.0	1.1899 1407.7	1.3013 1462.5	1.4096 1516.7	1.6208 1625.5
620.0	605.3	489.75	v hg	1.0821 1373.0	1.1494 1406.8	1.2577 1461.8	1.3628 1516.2	1.5676 1625.1
640.0	625.3	493.21	v hg	1.0459 1371.9	1.1115 1405.9	1.2168 1461.1	1.3190 1515.6	1.5178 1624.7
660.0	645.3	496.58	v hg	1.0119 1370.8	1.0759 1405.0	1.1784 1460.4	1.2778 1515.0	1.4709 1624.3
680.0	665.3	499.88	v hg	0.9800 1369.8	1.0424 1404.1	1.1423 1459.7	1.2390 1514.5	1.4269 1623.9
700.0	685.3	503.10	v hg	0.9498 1368.7	1.0108 1403.2	1.1082 1459.0	1.2024 1513.9	1.3853 1623.5
750.0	735.3	510.86	v hg	0.8813 1366.0	0.9391 1400.9	1.0310 1457.2	1.1196 1512.4	1.2912 1622.4

## 过热蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			500°	540°	600°	640°	660°	700°
800.0	785.3	518.23	v hg	--- ---	0.6015 1220.5	0.6779 1270.7	0.7223 1299.4	0.7433 1312.9	0.7833 1338.6
850.0	835.3	525.26	v hg	--- ---	0.5546 1212.7	0.6301 1265.5	0.6732 1295.2	0.6934 1309.0	0.7320 1335.4
900.0	885.3	531.98	v hg	--- ---	0.5124 1204.4	0.5873 1260.1	0.6294 1290.9	0.6491 1305.1	0.6863 1332.1
950.0	935.3	538.42	v hg	--- ---	0.4740 1195.5	0.5489 1254.6	0.5901 1286.4	0.6092 1301.1	0.6453 1328.7
1000.0	985.3	544.61	v hg	--- ---	--- ---	0.5140 1248.8	0.5546 1281.9	0.5733 1297.0	0.6084 1325.3

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			740°	800°	900°	1000°	1200°
800.0	785.3	518.23	v hg	0.8215 1363.2	0.8763 1398.6	0.9633 1455.4	1.0470 1511.0	1.2088 1621.4
850.0	835.3	525.26	v hg	0.7685 1360.4	0.8209 1396.3	0.9037 1453.6	0.9830 1509.5	1.1360 1620.4
900.0	885.3	531.98	v hg	0.7215 1357.5	0.7716 1393.9	0.8506 1451.8	0.9262 1508.1	1.0714 1619.3
950.0	935.3	538.42	v hg	0.6793 1354.7	0.7275 1391.6	0.8031 1450.0	0.8753 1506.6	1.0136 1618.3
1000.0	985.3	544.61	v hg	0.6413 1351.7	0.6878 1389.2	0.7604 1448.2	0.8294 1505.1	0.9615 1617.3

过热蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			660°	700°	740°	760°	780°	800°
1100.0	1085.3	556.31	v hg	0.5110 1288.5	0.5445 1318.3	0.5755 1345.8	0.5904 1358.9	0.6049 1371.7	0.6191 1384.3
1200.0	1185.3	567.22	v hg	0.4586 1279.6	0.4909 1311.0	0.5206 1339.6	0.5347 1353.2	0.5484 1366.4	0.5617 1379.3
1300.0	1285.3	577.46	v hg	0.4139 1270.2	0.4454 1303.4	0.4739 1333.3	0.4874 1347.3	0.5004 1361.0	0.5131 1374.3
1400.0	1385.3	587.10	v hg	0.3753 1260.3	0.4062 1295.5	0.4338 1326.7	0.4468 1341.3	0.4593 1355.4	0.4714 1369.1
1500.0	1485.3	596.23	v hg	0.3413 1249.8	0.3719 1287.2	0.3989 1320.0	0.4114 1335.2	0.4235 1349.7	0.4352 1363.8
1600.0	1585.3	604.90	v hg	0.3112 1238.7	0.3417 1278.7	0.3682 1313.0	0.3804 1328.8	0.3921 1343.9	0.4034 1358.4
1700.0	1685.3	613.15	v hg	0.2842 1226.8	0.3148 1269.7	0.3410 1305.8	0.3529 1322.3	0.3643 1337.9	0.3753 1352.9
1800.0	1785.3	621.03	v hg	0.2597 1214.0	0.2907 1260.3	0.3166 1298.4	0.3284 1315.5	0.3395 1331.8	0.3502 1347.2
1900.0	1885.3	628.58	v hg	0.2371 1200.2	0.2688 1250.4	0.2947 1290.6	0.3063 1308.6	0.3173 1325.4	0.3277 1341.5

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			860°	900°	1000°	1100°	1200°
1100.0	1085.3	556.31	v hg	0.6601 1420.8	0.6866 1444.5	0.7503 1502.2	0.8177 1558.8	0.8716 1615.2
1200.0	1185.3	567.22	v hg	0.6003 1416.7	0.6250 1440.7	0.6843 1499.2	0.7412 1556.4	0.7967 1613.1
1300.0	1285.3	577.46	v hg	0.5496 1412.5	0.5728 1437.0	0.6284 1496.2	0.6816 1553.9	0.7333 1611.0
1400.0	1385.3	587.10	v hg	0.5061 1408.2	0.5281 1433.1	0.5805 1493.2	0.6305 1551.4	0.6789 1608.9
1500.0	1485.3	596.23	v hg	0.4684 1403.9	0.4893 1429.3	0.5390 1490.1	0.5862 1548.9	0.6318 1606.8
1600.0	1585.3	604.90	v hg	0.4353 1399.5	0.4553 1425.3	0.5027 1487.0	0.5474 1546.4	0.5906 1604.6
1700.0	1685.3	613.15	v hg	0.4061 1395.0	0.4253 1421.4	0.4706 1484.0	0.5132 1543.8	0.5542 1602.5
1800.0	1785.3	621.03	v hg	0.3801 1390.4	0.3986 1417.4	0.4421 1480.8	0.4828 1541.3	0.5218 1600.4
1900.0	1885.3	628.58	v hg	0.3568 1385.8	0.3747 1413.3	0.4165 1477.7	0.4556 1538.8	0.4929 1598.2

## 过热蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			660°	700°	740°	760°	780°	800°
2000.0	1985.3	635.82	v hg	0.2161 1184.9	0.2489 1240.0	0.2748 1282.6	0.2863 1301.4	0.2972 1319.0	0.3074 1335.5
2100.0	2085.3	642.77	v hg	0.1962 1167.7	0.2306 1229.0	0.2567 1274.3	0.2682 1294.0	0.2789 1312.3	0.2890 1329.5
2200.0	2185.3	649.46	v hg	0.1768 1147.8	0.2135 1217.4	0.2400 1265.7	0.2514 1286.3	0.2621 1305.4	0.2721 1323.3
2300.0	2285.3	655.91	v hg	0.1575 1123.8	0.1978 1204.9	0.2247 1256.7	0.2362 1278.4	0.2468 1298.4	0.2567 1316.9
2400.0	2385.3	662.12	v hg	--- ---	0.1828 1191.5	0.2105 1247.3	0.2221 1270.2	0.2327 1291.1	0.2425 1310.3
2500.0	2485.3	668.13	v hg	--- ---	0.1686 1176.8	0.1973 1237.6	0.2090 1261.8	0.2196 1283.6	0.2294 1303.6
2600.0	2585.3	673.94	v hg	--- ---	0.1549 1160.6	0.1849 1227.3	0.1967 1252.9	0.2074 1275.8	0.2172 1296.8
2700.0	2685.3	679.55	v hg	--- ---	0.1415 1142.5	0.1732 1216.5	0.1853 1243.8	0.1960 1267.9	0.2059 1289.7
2800.0	2785.3	684.99	v hg	--- ---	0.1281 1121.4	0.1622 1205.1	0.1745 1234.2	0.1854 1259.6	0.1953 1282.4

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			860°	900°	1000°	1100°	1200°
2000.0	1985.3	635.82	v hg	0.3358 1381.2	0.3532 1409.2	0.3935 1474.5	0.4311 1536.2	0.4668 1596.1
2100.0	2085.3	642.77	v hg	0.3167 1376.4	0.3337 1405.0	0.3727 1471.4	0.4089 1533.6	0.4433 1593.9
2200.0	2185.3	649.46	v hg	0.2994 1371.5	0.3159 1400.8	0.3538 1468.2	0.3837 1531.1	0.4218 1591.8
2300.0	2285.3	655.91	v hg	0.2835 1366.6	0.2997 1396.5	0.3365 1464.9	0.3703 1528.5	0.4023 1589.6
2400.0	2385.3	662.12	v hg	0.2689 1361.6	0.2848 1392.2	0.3207 1461.7	0.3534 1525.9	0.3843 1587.4
2500.0	2485.3	668.13	v hg	0.2555 1356.5	0.2710 1387.8	0.3061 1458.4	0.3379 1523.2	0.3678 1585.3
2600.0	2585.3	673.94	v hg	0.2431 1351.4	0.2584 1383.4	0.2926 1455.1	0.3236 1520.6	0.3526 1583.1
2700.0	2685.3	679.55	v hg	0.2315 1346.1	0.2466 1378.9	0.2801 1451.8	0.3103 1518.0	0.3385 1580.9
2800.0	2785.3	684.99	v hg	0.2208 1340.8	0.2356 1374.3	0.2685 1448.5	0.2979 1515.4	0.3254 1578.7

过热蒸汽的特性 (续)

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)					
绝对压力 P'	表压 P			660°	700°	740°	760°	780°	800°
2900.0	2885.3	690.26	v hg	--- ---	0.1143 1095.9	0.1517 1193.0	0.1644 1224.3	0.1754 1251.1	0.1853 1274.9
3000.0	2985.3	695.36	v hg	--- ---	0.0984 1060.7	0.1416 1180.1	0.1548 1213.8	0.1660 1242.2	0.1760 1267.2
3100.0	3085.3	700.31	v hg	--- ---	---	0.1320 1166.2	0.1456 1202.9	0.1571 1233.0	0.1672 1259.3
3200.0	3185.3	705.11	v hg	--- ---	---	0.1226 1151.1	0.1369 1191.4	0.1486 1223.5	0.1589 1251.1
3206.2	3191.5	705.40	v hg	--- ---	---	0.1220 1150.2	0.1363 1190.6	0.1480 1222.9	0.1583 1250.5

压力 (lbs. per sq. in.)		饱和温度 t	v hg	总体温度 (t) (°F)				
绝对压力 P'	表压 P			860°	900°	1000°	1100°	1200°
2900.0	2885.3	690.26	v hg	0.2108 1335.3	0.2254 1369.7	0.2577 1445.1	0.2864 1512.7	0.3132 1576.5
3000.0	2985.3	695.36	v hg	0.2014 1329.7	0.2159 1365.0	0.2476 1441.8	0.2757 1510.0	0.3018 1574.3
3100.0	3085.3	700.31	v hg	0.1926 1324.1	0.2070 1360.3	0.2382 1438.4	0.2657 1507.4	0.2911 1572.1
3200.0	3185.3	705.11	v hg	0.1843 1318.3	0.1986 1355.5	0.2293 1434.9	0.2563 1504.7	0.2811 1569.9
3206.2	3191.5	705.40	v hg	0.1838 1317.9	0.1981 1355.2	0.2288 1434.7	0.2557 1504.5	0.2806 1569.8



# 第十四章

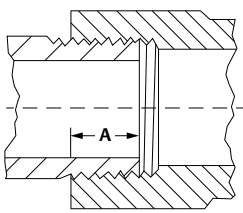
## 管道数据





## 14.1 管道螺纹接合

使连接紧密的管道螺纹长度:

	公称管道口径 (英寸)	尺寸 A, (英寸)	公称管道口径 (英寸)	尺寸 A, (英寸)
	1/8	0.27	1-1/2	0.68
1/4	0.39	2	0.70	
3/8	0.41	2-1/2	0.93	
1/2	0.53	3	1.02	
3/4	0.55	4	1.09	
1	0.66	5	1.19	
1-1/4	0.68	6	1.21	

根据 ASME B1.20.1-1992 标准, 尺寸 A 为 L1 (手动旋紧的连接长度) 和 L3 (扳手旋紧的内部螺纹长度) 之和。

## 14.2 碳钢和合金钢—不锈钢

区分代号、壁厚和重量摘自 ASME B36.10M 和 B36.19M 标准。STD、XS 和 XXS 分别表示标准强度、超强度和双倍超强度的管道。

“sq. ft.” 栏里的内部截面积值也代表每英尺管道长度的以立方英尺为单位的体积。

公称管道口径 (NPS) (in.)	公称直径 (DN)	外径 (in.)	标识			壁厚 (t) (in.)	内径 (d) (in.)	金属面积 (sq. in.)	内部截面积		管重 (lb./ft. 管道)	水重 (lb./ft. 管道)
			钢		不锈钢壁厚等级				(a) (Sq. in.)	(A) (Sq. ft.)		
			铁管口径	壁厚等级								
1/8	6	0.405	--	---	10S	0.049	0.307	0.0548	0.0740	0.00051	0.19	0.032
			--	30	--	0.057	0.291	0.0623	0.0665	0.00046	0.21	0.029
			STD	40	40S	0.068	0.269	0.0720	0.0568	0.00039	0.24	0.025
			XS	80	80S	0.095	0.215	0.0925	0.0363	0.00025	0.31	0.016
1/4	8	0.540	--	---	10S	0.065	0.410	0.0970	0.1320	0.00092	0.33	0.057
			--	30	--	0.073	0.394	0.1071	0.1219	0.00085	0.36	0.053
			STD	40	40S	0.088	0.364	0.1250	0.1041	0.00072	0.42	0.045
			XS	80	80S	0.119	0.302	0.1574	0.0716	0.00050	0.54	0.031
3/8	10	0.675	---	---	10S	0.065	0.545	0.1246	0.2333	0.00162	0.42	0.101
			---	30	--	0.073	0.529	0.1381	0.2198	0.00153	0.47	0.095
			STD	40	40S	0.091	0.493	0.1670	0.1909	0.00133	0.57	0.083
			XS	80	80S	0.126	0.423	0.2173	0.1405	0.00098	0.74	0.061

碳钢和合金钢—不锈钢(续)

公称管道口径 (NPS) (in.)	公称直径 (DN)	外径 (in.)	标识			壁厚 (t) (in.)	内径 (d) (in.)	金属面积 (sq. in.)	内部截面积		管重 (lb./ft.)	水重 (lb./ft. 管道)
			钢		不锈钢壁厚等级				(a) (Sq. in.)	(A) (Sq. ft.)		
			铁管口径	壁厚等级								
1/2	15	0.840	---	---	5S	0.065	0.710	0.1583	0.3959	0.00275	0.54	0.172
			---	---	10S	0.083	0.674	0.1974	0.3568	0.00248	0.67	0.155
			---	30	---	0.095	0.650	0.2223	0.3318	0.00230	0.76	0.144
			STD	40	40S	0.109	0.622	0.2503	0.3039	0.00211	0.85	0.132
			XS	80	80S	0.147	0.546	0.3200	0.2341	0.00163	1.09	0.101
			---	160	---	0.188	0.464	0.3851	0.1691	0.00117	1.31	0.073
			XXS	---	---	0.294	0.252	0.5043	0.0499	0.00035	1.71	0.022
3/4	20	1.050	---	---	5S	0.065	0.920	0.2011	0.6648	0.00462	0.69	0.288
			---	---	10S	0.083	0.884	0.2521	0.6138	0.00426	0.86	0.266
			---	30	---	0.095	0.860	0.2850	0.5809	0.00403	0.97	0.252
			STD	40	40S	0.113	0.824	0.3326	0.5333	0.00370	1.13	0.231
			XS	80	80S	0.154	0.742	0.4335	0.4324	0.00300	1.47	0.187
			---	160	---	0.219	0.612	0.5717	0.2942	0.00204	1.94	0.127
			XXS	---	---	0.308	0.434	0.7180	0.1479	0.00103	2.44	0.064
1	25	1.315	---	---	5S	0.065	1.185	0.2553	1.103	0.00766	0.87	0.478
			---	---	10S	0.109	1.097	0.4130	0.9452	0.00656	1.40	0.410
			---	30	---	0.114	1.087	0.4301	0.9280	0.00644	1.46	0.402
			STD	40	40S	0.133	1.049	0.4939	0.8643	0.00600	1.68	0.375
			XS	80	80S	0.179	0.957	0.6388	0.7193	0.00500	2.17	0.312
			---	160	---	0.250	0.815	0.8365	0.5217	0.00362	2.84	0.226
			XXS	---	---	0.358	0.599	1.0763	0.2818	0.00196	3.66	0.122
1-1/4	32	1.660	---	---	5S	0.065	1.530	0.3257	1.839	0.01277	1.11	0.797
			---	---	10S	0.109	1.442	0.5311	1.633	0.01134	1.81	0.708
			---	30	---	0.117	1.426	0.5672	1.597	0.01109	1.93	0.692
			STD	40	40S	0.140	1.380	0.6685	1.496	0.01039	2.27	0.648
			XS	80	80S	0.191	1.278	0.8815	1.283	0.00891	3.00	0.556
			---	160	---	0.250	1.160	1.1070	1.057	0.00734	3.76	0.458
			XXS	---	---	0.382	0.896	1.5340	0.6305	0.00438	5.21	0.273

## 碳钢和合金钢—不锈钢(续)

公称管道口径 (NPS) (in.)	公称直径 (DN)	外径 (in.)	标识			壁厚 (t) (in.)	内径 (d) (in.)	金属面积 (sq. in.)	内部截面积		管重 (lb./ft.)	水重 (lb./ft. 管道)
			钢		不锈钢壁厚等级				(a) (Sq. in.)	(A) (Sq. ft.)		
			铁管口径	壁厚等级								
1-1/2	40	1.900	---	---	5S	0.065	1.770	0.3747	2.461	0.01709	1.28	1.066
			---	---	10S	0.109	1.682	0.6133	2.222	0.01543	2.09	0.963
			---	30	---	0.125	1.650	0.6970	2.138	0.01485	2.37	0.927
			STD	40	40S	0.145	1.610	0.7995	2.036	0.01414	2.72	0.882
			X5	80	80S	0.200	1.500	1.068	1.767	0.01227	3.63	0.766
			---	160	---	0.281	1.338	1.429	1.406	0.00976	4.86	0.609
			XXS	---	---	0.400	1.100	1.885	0.9503	0.00660	6.41	0.412
2	50	2.375	---	---	5S	0.065	2.245	0.4717	3.958	0.02749	1.61	1.715
			---	---	10S	0.109	2.157	0.7760	3.654	0.02538	2.64	1.583
			---	30	---	0.125	2.125	0.8836	3.547	0.02463	3.00	1.537
			STD	40	40S	0.154	2.067	1.075	3.356	0.02330	3.65	1.454
			X5	80	80S	0.218	1.939	1.477	2.953	0.02051	5.02	1.280
			---	160	---	0.344	1.687	2.195	2.235	0.01552	7.46	0.969
			XXS	---	---	0.436	1.503	2.656	1.774	0.01232	9.03	0.769
2-1/2	65	2.875	---	---	5S	0.083	2.709	0.7280	5.764	0.04003	2.48	2.498
			---	---	10S	0.120	2.635	1.039	5.453	0.03787	3.53	2.363
			---	30	---	0.188	2.499	1.587	4.905	0.03406	5.40	2.125
			STD	40	40S	0.203	2.469	1.704	4.788	0.03325	5.79	2.075
			X5	80	80S	0.276	2.323	2.254	4.238	0.02943	7.66	1.837
			---	160	---	0.375	2.125	2.945	3.547	0.02463	10.01	1.537
			XXS	---	---	0.552	1.771	4.028	2.463	0.01711	13.69	1.067
3	80	3.500	---	---	5S	0.083	3.334	0.8910	8.730	0.06063	3.03	3.783
			---	---	10S	0.120	3.260	1.274	8.347	0.05796	4.33	3.617
			30	---	---	0.188	3.124	1.956	7.665	0.05323	6.65	3.322
			STD	40	40S	0.216	3.068	2.228	7.393	0.05134	7.58	3.203
			X5	80	80S	0.300	2.900	3.016	6.605	0.04587	10.25	2.862
			---	160	---	0.438	2.624	4.213	5.408	0.03755	14.32	2.343
			XXS	---	---	0.600	2.300	5.466	4.155	0.02885	18.58	1.800
3-1/2	90	4.000	---	---	5S	0.083	3.834	1.021	11.55	0.08017	3.48	5.003
			---	---	10S	0.120	3.760	1.463	11.10	0.07711	4.97	4.812
			30	---	---	0.188	3.624	2.251	10.31	0.07163	7.65	4.470
			STD	40	40S	0.226	3.548	2.680	9.887	0.06866	9.11	4.284
			X5	80	80S	0.318	3.364	3.678	8.888	0.06172	12.50	3.851

碳钢和合金钢—不锈钢(续)

公称管道口径 (NPS) (in.)	公称直径 (DN)	外径 (in.)	标识			壁厚 (t) (in.)	内径 (d) (in.)	金属面积 (sq. in.)	内部截面积		管重 (lb./ft.)	水重 (lb./ft. 管道)
			钢		不锈钢壁厚等级				(a) (Sq. in.)	(A) (Sq. ft.)		
			铁管口径	壁厚等级								
4	100	4.500	---	---	5S	0.083	4.334	1.152	14.75	0.10245	3.92	6.393
			---	---	10S	0.120	4.260	1.651	14.25	0.09898	5.61	6.176
			---	30	---	0.188	4.124	2.547	13.36	0.09276	8.66	5.788
			STD	40	40S	0.237	4.026	3.174	12.73	0.08840	10.79	5.516
			XS	80	80S	0.337	3.826	4.407	11.50	0.07984	14.98	4.982
			---	120	---	0.438	3.624	5.589	10.31	0.07163	19.00	4.470
			---	160	---	0.531	3.438	6.621	9.283	0.06447	22.51	4.023
---	XXS	---	0.674	3.152	8.101	7.803	0.05419	27.54	3.381			
5	125	5.563	---	---	5S	0.109	5.345	1.868	22.44	0.15582	6.36	9.723
			---	---	10S	0.134	5.295	2.285	22.02	0.15292	7.77	9.542
			STD	40	40S	0.258	5.047	4.300	20.01	0.13893	14.62	8.669
			XS	80	80S	0.375	4.813	6.112	18.19	0.12635	20.78	7.884
			---	120	---	0.500	4.563	7.953	16.35	0.11356	27.04	7.086
			---	160	---	0.625	4.313	9.696	14.61	0.10146	32.96	6.331
			---	XXS	---	0.750	4.063	11.34	12.97	0.09004	38.55	5.618
6	150	6.625	---	---	5S	0.109	6.407	2.231	32.24	0.22389	7.60	13.97
			---	---	10S	0.134	6.357	2.733	31.74	0.22041	9.29	13.75
			STD	40	40S	0.28	6.065	5.581	28.89	0.20063	18.97	12.52
			XS	80	80S	0.432	5.761	8.405	26.07	0.18102	28.57	11.30
			---	120	---	0.562	5.501	10.70	23.77	0.16505	36.39	10.30
			---	160	---	0.719	5.187	13.34	21.13	0.14674	45.35	9.157
			---	XXS	---	0.864	4.897	15.64	18.83	0.13079	53.16	8.162
8	200	8.625	---	---	5S	0.109	8.407	2.916	55.51	0.38549	9.93	24.05
			---	---	10S	0.148	8.329	3.941	54.48	0.37837	13.40	23.61
			---	20	---	0.25	8.125	6.578	51.85	0.36006	22.36	22.47
			---	30	---	0.277	8.071	7.265	51.16	0.35529	24.70	22.17
			STD	40	40S	0.322	7.981	8.399	50.03	0.34741	28.55	21.68
			---	60	---	0.406	7.813	10.48	47.94	0.33294	35.64	20.78
			XS	80	80S	0.5	7.625	12.76	45.66	0.31711	43.39	19.79
			---	100	---	0.594	7.437	14.99	43.44	0.30166	50.95	18.82
			---	120	---	0.719	7.187	17.86	40.57	0.28172	60.71	17.58
			---	140	---	0.812	7.001	19.93	38.50	0.26733	67.76	16.68
			---	XXS	---	0.875	6.875	21.30	37.12	0.25779	72.42	16.09
			---	160	---	0.906	6.813	21.97	36.46	0.25317	74.69	15.80

## 碳钢和合金钢—不锈钢(续)

公称管道口径 (NPS) (in.)	公称直径 (DN)	外径 (in.)	标识			壁厚 (t) (in.)	内径 (d) (in.)	金属面积 (sq. in.)	内部截面积		管重 (lb./ft.)	水重 (lb./ft. 管道)
			铁管口径	壁厚等级	不锈钢壁厚等级				(a) (Sq. in.)	(A) (Sq. ft.)		
10	250	10.750	---	---	5S	0.134	10.482	4.469	86.29	0.59926	15.19	37.39
			---	---	10S	0.165	10.420	5.487	85.28	0.59219	18.65	36.95
			---	20	---	0.250	10.250	8.247	82.52	0.57303	28.04	35.76
			---	30	---	0.307	10.136	10.07	80.69	0.56035	34.24	34.97
			STD	40	40S	0.365	10.020	11.91	78.85	0.54760	40.48	34.17
			XS	60	80S	0.500	9.750	16.10	74.66	0.51849	54.74	32.35
			---	80	---	0.594	9.562	18.95	71.81	0.49868	64.43	31.12
			---	100	---	0.719	9.312	22.66	68.10	0.47295	77.03	29.51
			---	120	---	0.844	9.062	26.27	64.50	0.44790	89.29	27.95
			XXS	140	---	1.000	8.750	30.63	60.13	0.41758	104.13	26.06
			---	160	---	1.125	8.500	34.02	56.75	0.39406	115.64	24.59
12	300	12.750	---	---	5S	0.156	12.438	6.172	121.5	0.84378	20.98	52.65
			---	---	10S	0.180	12.390	7.108	120.6	0.83728	24.17	52.25
			---	20	---	0.250	12.250	9.818	117.9	0.81847	33.38	51.07
			---	30	---	0.330	12.090	12.88	114.8	0.79723	43.77	49.75
			STD	---	40S	0.375	12.000	14.58	113.1	0.78540	49.56	49.01
			---	40	---	0.406	11.938	15.74	111.9	0.77731	53.52	48.50
			XS	---	80S	0.500	11.750	19.24	108.4	0.75302	65.42	46.99
			---	60	---	0.562	11.626	21.52	106.2	0.73721	73.15	46.00
			---	80	---	0.688	11.374	26.07	101.6	0.70559	88.63	44.03
			---	100	---	0.844	11.062	31.57	96.11	0.66741	107.32	41.65
			XXS	120	---	1.000	10.750	36.91	90.76	0.63030	125.49	39.33
			---	140	---	1.125	10.500	41.09	86.59	0.60132	139.67	37.52
			---	160	---	1.312	10.126	47.14	80.53	0.55925	160.27	34.90

碳钢和合金钢—不锈钢(续)

公称管道口径 (NPS) (in.)	公称直径 (DN)	外径 (in.)	标识			壁厚 (t) (in.)	内径 (d) (in.)	金属面积 (sq. in.)	内部截面积		管重 (lb./ft.)	水重 (lb./ft. 管道)
			铁管口径	壁厚等级	不锈钢壁厚等级				(a) (Sq. in.)	(A) (Sq. ft.)		
14	350	14.000	---	---	5S	0.156	13.688	6.785	147.2	1.02190	23.07	63.77
			---	---	10S	0.188	13.624	8.158	145.8	1.01237	27.73	63.17
			---	10	---	0.250	13.500	10.80	143.1	0.99402	36.71	62.03
			---	20	---	0.312	13.376	13.42	140.5	0.97585	45.61	60.89
			STD	30	---	0.375	13.250	16.05	137.9	0.95755	54.57	59.75
			---	40	---	0.438	13.124	18.66	135.3	0.93942	63.44	58.62
			XS	---	---	0.500	13.000	21.21	132.7	0.92175	72.09	57.52
			---	60	---	0.594	12.812	25.02	128.9	0.89529	85.05	55.87
			---	80	---	0.750	12.500	31.22	122.7	0.85221	106.13	53.18
			---	100	---	0.938	12.124	38.49	115.4	0.80172	130.85	50.03
			---	120	---	1.094	11.812	44.36	109.6	0.76098	150.79	47.49
			---	140	---	1.250	11.500	50.07	103.9	0.72131	170.21	45.01
---	160	---	1.406	11.188	55.63	98.31	0.68271	189.11	42.60			
16	400	1600	---	---	5S	0.165	15.670	8.208	192.9	1.33926	27.90	83.57
			---	---	10S	0.188	15.624	9.339	191.7	1.33141	31.75	83.08
			---	10	---	0.250	15.500	12.37	188.7	1.31036	42.05	81.77
			---	20	---	0.312	15.376	15.38	185.7	1.28948	52.27	80.46
			STD	30	---	0.375	15.250	18.41	182.7	1.26843	62.58	79.15
			XS	40	---	0.500	15.000	24.35	176.7	1.22719	82.77	76.58
			---	60	---	0.656	14.688	31.62	169.4	1.17667	107.50	73.42
			---	80	---	0.844	14.312	40.19	160.9	1.11720	136.61	69.71
			---	100	---	1.031	13.938	48.48	152.6	1.05957	164.82	66.12
			---	120	---	1.219	13.562	56.61	144.5	1.00317	192.43	62.60
			---	140	---	1.438	13.124	65.79	135.3	0.93942	223.64	58.62
			---	160	---	1.594	12.812	72.14	128.9	0.89529	245.25	55.87

## 碳钢和合金钢—不锈钢(续)

公称管道口径 (NPS) (in.)	公称直径 (DN)	外径 (in.)	标识			壁厚 (t) (in.)	内径 (d) (in.)	金属面积 (sq. in.)	内部截面积		管重 (lb./ft.)	水重 (lb./ft.管道)
			铁管口径	壁厚等级	不锈钢壁厚等级				(a) (Sq. in.)	(A) (Sq. ft.)		
18	450	18.000	---	---	5S	0.165	17.670	9.245	245.2	1.70295	31.43	106.3
			---	---	10S	0.188	17.624	10.52	243.9	1.69409	35.76	105.7
			---	10	---	0.250	17.500	13.94	240.5	1.67034	47.39	104.2
			---	20	---	0.312	17.376	17.34	237.1	1.64675	58.94	102.8
			STD	---	---	0.375	17.250	20.76	233.7	1.62296	70.59	101.3
			---	30	---	0.438	17.124	24.17	230.3	1.59933	82.15	99.80
			XS	---	---	0.500	17.000	27.49	227.0	1.57625	93.45	98.36
			---	40	---	0.562	16.876	30.79	223.7	1.55334	104.67	96.93
			---	60	---	0.750	16.500	40.64	213.8	1.48490	138.17	92.66
			---	80	---	0.938	16.124	50.28	204.2	1.41799	170.92	88.48
			---	100	---	1.156	15.688	61.17	193.3	1.34234	207.96	83.76
			---	120	---	1.375	15.250	71.82	182.7	1.26843	244.14	79.15
			---	140	---	1.562	14.876	80.66	173.8	1.20698	274.22	75.32
---	160	---	1.781	14.438	90.75	163.7	1.13695	308.50	70.95			
20	500	20.000	---	---	5S	0.188	19.624	11.70	302.5	2.10041	39.78	131.1
			---	---	10S	0.218	19.564	13.55	300.6	2.08758	46.06	130.3
			---	10	---	0.250	19.500	15.51	298.6	2.07395	52.73	129.4
			STD	20	---	0.375	19.250	23.12	291.0	2.02111	78.60	126.1
			XS	30	---	0.500	19.000	30.63	283.5	1.96895	104.13	122.9
			---	40	---	0.594	18.812	36.21	277.9	1.93018	123.11	120.4
			---	60	---	0.812	18.376	48.95	265.2	1.84175	166.40	114.9
			---	80	---	1.031	17.938	61.44	252.7	1.75500	208.87	109.5
			---	100	---	1.281	17.438	75.33	238.8	1.65852	256.10	103.5
			---	120	---	1.500	17.000	87.18	227.0	1.57625	296.37	98.36
			---	140	---	1.750	16.500	100.3	213.8	1.48490	341.09	92.66
			---	160	---	1.969	16.062	111.5	202.6	1.40711	379.17	87.80

碳钢和合金钢—不锈钢(续)

公称管道口径(NPS) (in.)	公称直径(DN)	外径(in.)	标识			壁厚(t)(in.)	内径(d)(in.)	金属面积(sq. in.)	内部截面积		管重(Lb./ft.)	水重(Lb./ft.管道)
			铁管口径	壁厚等级	不锈钢壁厚等级				(a)(Sq. in.)	(A)(Sq. ft.)		
22	550	22.000	---	---	5S	0.188	21.624	12.88	367.3	2.55035	43.80	159.1
			---	---	10S	0.218	21.564	14.92	365.2	2.53622	50.71	158.3
			---	10	---	0.250	21.500	17.08	363.1	2.52119	58.07	157.3
			STD	20	---	0.375	21.250	25.48	354.7	2.46290	86.61	153.7
			XS	30	---	0.500	21.000	33.77	346.4	2.40529	114.81	150.1
			---	60	---	0.875	20.250	58.07	322.1	2.23655	197.41	139.6
			---	80	---	1.125	19.750	73.78	306.4	2.12747	250.81	132.8
			---	100	---	1.375	19.250	89.09	291.0	2.02111	302.88	126.1
			---	120	---	1.625	18.750	104.0	276.1	1.91748	353.61	119.7
			---	140	---	1.875	18.250	118.5	261.6	1.81658	403.00	113.4
			---	160	---	2.125	17.750	132.7	247.5	1.71840	451.06	107.2
24	600	24.000	---	---	5S	0.218	23.564	16.29	436.1	3.02849	55.37	189.0
			10	---	10S	0.250	23.500	18.65	433.7	3.01206	63.41	188.0
			STD	20	---	0.375	23.250	27.83	424.6	2.94832	94.62	184.0
			XS	---	---	0.500	23.000	36.91	415.5	2.88525	125.49	180.0
			---	30	---	0.562	22.876	41.38	411.0	2.85423	140.68	178.1
			---	40	---	0.688	22.624	50.39	402.0	2.79169	171.29	174.2
			---	60	---	0.969	22.062	70.11	382.3	2.65472	238.35	165.7
			---	80	---	1.219	21.562	87.24	365.1	2.53575	296.58	158.2
			---	100	---	1.531	20.938	108.1	344.3	2.39111	367.39	149.2
			---	120	---	1.812	20.376	126.3	326.1	2.26447	429.39	141.3
			---	140	---	2.062	19.876	142.1	310.3	2.15470	483.12	134.5
---	160	---	2.344	19.312	159.5	292.9	2.03415	542.13	126.9			
26	650	26.000	---	10	---	0.312	25.376	25.18	505.8	3.51216	85.60	219.2
			STD	---	---	0.375	25.250	30.19	500.7	3.47737	102.63	217.0
			XS	20	---	0.500	25.000	40.06	490.9	3.40885	136.17	212.7
28	700	28.000	---	10	---	0.312	27.376	27.14	588.6	4.08760	92.26	255.1
			STD	---	---	0.375	27.250	32.55	583.2	4.05006	110.64	252.7
			XS	20	---	0.500	27.000	43.20	572.6	3.97609	146.85	248.1
			---	30	---	0.625	26.750	53.75	562.0	3.90280	182.73	243.5



## 碳钢和合金钢—不锈钢(续)

公称管道口径(NPS) (in.)	公称直径(DN)	外径(in.)	标识			壁厚(t)(in.)	内径(d)(in.)	金属面积(sq. in.)	内部截面积		管重(Lb./ft.)	水重(Lb./ft.管道)
			钢		不锈钢壁厚等级				(a)(Sq. in.)	(A)(Sq. ft.)		
			铁管口径	壁厚等级								
30	750	30.000	---	---	5S	0.250	29.500	23.37	683.5	4.74649	79.43	296.2
			10	---	10S	0.312	29.376	29.10	677.8	4.70667	98.93	293.7
			STD	---	---	0.375	29.250	34.90	672.0	4.66638	118.65	291.2
			XS	20	---	0.500	29.000	46.34	660.5	4.58695	157.53	286.2
			---	30	---	0.625	28.750	57.68	649.2	4.50821	196.08	281.3
32	800	32.000	---	10	---	0.312	31.376	31.06	773.2	5.36937	105.59	335.0
			STD	---	---	0.375	31.250	37.26	767.0	5.32633	126.66	332.4
			XS	20	---	0.500	31.000	49.48	754.8	5.24145	168.21	327.1
			---	30	---	0.625	30.750	61.60	742.6	5.15726	209.43	321.8
			---	40	---	0.688	30.624	67.68	736.6	5.11508	230.08	319.2
34	850	34.000	---	10	---	0.312	33.376	33.02	874.9	6.07571	112.25	379.1
			STD	---	---	0.375	33.250	39.61	868.3	6.02992	134.67	376.3
			XS	20	---	0.500	33.000	52.62	855.3	5.93959	178.89	370.6
			---	30	---	0.625	32.750	65.53	842.4	5.84993	222.78	365.0
			---	40	---	0.688	32.624	72.00	835.9	5.80501	244.77	362.2
36	900	36.000	---	10	---	0.312	35.376	34.98	982.9	6.82568	118.92	425.9
			STD	---	---	0.375	35.250	41.97	975.9	6.77714	142.68	422.9
			XS	20	---	0.500	35.000	55.76	962.1	6.68135	189.57	416.9
			---	30	---	0.625	34.750	69.46	948.4	6.58625	236.13	411.0
			---	40	---	0.750	34.500	83.06	934.8	6.49182	282.35	405.1

## 14.3 美制管道法兰尺寸

## 14.3.1 螺孔中心圆直径

根据 ASME B16.1, B16.5 和 B16.24 标准, 单位为英寸

公称管道口径	磅级 <sup>(1)</sup> 125 (铸铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 150 (钢)	磅级 <sup>(1)</sup> 250 (铸铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 300 (钢)	磅级 600	磅级 900	磅级 1500	磅级 2500
1	3.12	3.50	3.50	4.00	4.00	4.25
1-1/4	3.50	3.88	3.88	4.38	4.38	5.12
1-1/2	3.88	4.50	4.50	4.88	4.88	5.75
2	4.75	5.00	5.00	6.50	6.50	6.75
2-1/2	5.50	5.88	5.88	7.50	7.50	7.75

螺孔中心圆直径 (续)

公称管道 口径	磅级 <sup>(1)</sup> 125 (铸 铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 150 (钢)		磅级 <sup>(3)</sup> 250 (铸 铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 300 (钢)		磅级 600	磅级 900	磅级 1500	磅级 2500
	等级	直径	等级	直径				
3		6.00		6.62	6.62	7.50	8.00	9.00
4		7.50		7.88	8.50	9.25	9.50	10.75
5		8.50		9.25	10.50	11.00	11.50	12.75
6		9.50		10.62	11.50	12.50	12.50	14.50
8		11.75		13.00	13.75	15.50	15.50	17.25
10		14.25		15.25	17.00	18.50	19.00	21.75
12		17.00		17.75	19.25	21.00	22.50	24.38
14		18.75		20.25	20.75	22.00	25.00	---
16		21.25		22.50	23.75	24.25	27.75	---
18		22.75		24.75	25.75	27.00	30.50	---
20		25.00		27.00	28.50	29.50	32.75	---
24		29.50		32.00	33.00	35.50	39.00	---
30		36.00		39.25	---	---	---	---
36		42.75		46.00	---	---	---	---
42		49.50		52.75	---	---	---	---
48		56.00		60.75	---	---	---	---

1. 公称管道口径 1 至 12 英寸也适用于磅级 150 铸铜合金法兰。  
 2. 这些直径适用于 1 至 24 英寸的公称管道口径的钢质阀门。  
 3. 公称管道口径 1 至 8 英寸也适用于磅级 300 铸铜合金法兰。

### 14.3.2 双头螺栓数量和直径

根据 ASME B16.1, B16.5 和 B16.24 标准, 单位为英寸

公称管道 口径	磅级 <sup>(1)</sup> 125 (铸 铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 150 (钢)		磅级 <sup>(3)</sup> 250 (铸 铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 300 (钢)		磅级 600		磅级 900		磅级 1500		磅级 2500	
	等级	直径	等级	直径	等级	直径	等级	直径	等级	直径	等级	直径
1	4	0.50	4	0.62	4	0.62	4	0.88	4	0.88	4	0.88
1-1/4	4	0.50	4	0.62	4	0.62	4	0.88	4	0.88	4	1.00
1-1/2	4	0.50	4	0.75	4	0.75	4	1.00	4	1.00	4	1.12
2	4	0.62	8	0.62	8	0.62	8	0.88	8	0.88	8	1.00
2-1/2	4	0.62	8	0.75	8	0.75	8	1.00	8	1.00	8	1.12
3	4	0.62	8	0.75	8	0.75	8	0.88	8	1.12	8	1.25
4	8	0.62	8	0.75	8	0.88	8	1.12	8	1.25	8	1.50
5	8	0.75	8	0.75	8	1.00	8	1.25	8	1.50	8	1.75
6	8	0.75	12	0.75	12	1.00	12	1.12	12	1.38	8	2.00
8	8	0.75	12	0.88	12	1.12	12	1.38	12	1.62	12	2.00

## 双头螺栓数量和直径(续)

公称管道 口径	磅级 <sup>(1)</sup> 125 (铸 铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 150 (钢)		磅级 <sup>(1)</sup> 250 (铸 铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 300 (钢)		磅级 600		磅级 900		磅级 1500		磅级 2500	
	等级	直径	等级	直径	等级	直径	等级	直径	等级	直径	等级	直径
10	12	0.88	16	1.00	16	1.25	16	1.38	12	1.88	12	2.50
12	12	0.88	16	1.12	20	1.25	20	1.38	16	2.00	12	2.75
14	12	1.00	20	1.12	20	1.38	20	1.50	16	2.25	---	---
16	16	1.00	20	1.25	20	1.50	20	1.62	16	2.50	---	---
18	16	1.12	24	1.25	20	1.62	20	1.88	16	2.75	---	---
20	20	1.12	24	1.25	24	1.62	20	2.00	16	3.00	---	---
24	20	1.25	24	1.50	24	1.88	20	2.50	16	3.50	---	---
30	28	1.25	28	1.75	---	---	---	---	---	---	---	---
36	32	1.50	32	2.00	---	---	---	---	---	---	---	---
42	36	1.50	36	2.00	---	---	---	---	---	---	---	---
48	44	1.50	40	2.00	---	---	---	---	---	---	---	---

1. 公称管道口径 1 至 12 英寸也适用于磅级 150 铸铜合金法兰。  
2. 这些直径适用于 1 至 24 英寸的公称管道口径的钢质阀门。  
3. 公称管道口径 1 至 8 英寸也适用于磅级 300 铸铜合金法兰。

## 14.3.3 法兰直径

根据 ASME B16.1, B16.5 和 B16.24 标准, 单位为英寸

公称管道 口径	磅级 <sup>(1)</sup> 125 (铸 铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 150 (钢)	磅级 <sup>(1)</sup> 250 (铸 铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 300 (钢)	磅级 600	磅级 900	磅级 1500	磅级 2500
1	4.25	4.88	4.88	5.88	5.88	6.25
1-1/4	4.62	5.25	5.25	6.25	6.25	7.25
1-1/2	5.00	6.12	6.12	7.00	7.00	8.00
2	6.00	6.50	6.50	8.50	8.50	9.25
2-1/2	7.00	7.50	7.50	9.62	9.62	10.50
3	7.50	8.25	8.25	9.50	10.50	12.00
4	9.00	10.00	10.75	11.50	12.25	14.00
5	10.00	11.00	13.00	13.75	14.75	16.50
6	11.00	12.50	14.00	15.00	15.50	19.00
8	13.50	15.00	16.50	18.50	19.00	21.75
10	16.00	17.50	20.00	21.50	23.00	26.50
12	19.00	20.50	22.00	24.00	26.50	30.00
14	21.00	23.00	23.75	25.25	29.50	---
16	23.50	25.50	27.00	27.75	32.50	---
18	25.00	28.00	29.25	31.00	36.00	---

法兰直径 (续)

公称管道口径	磅级 <sup>(1)</sup> 125 (铸铁) <sup>(2)</sup> 或磅级 150 (钢)	磅级 <sup>(2)</sup> 250 (铸铁) 或磅级 300 (钢)	磅级 600	磅级 900	磅级 1500	磅级 2500
20	27.50	30.50	32.00	33.75	38.75	---
24	32.00	36.00	37.00	41.00	46.00	---
30	38.75	43.00	---	---	---	---
36	46.00	50.00	---	---	---	---
42	53.00	57.00	---	---	---	---
48	59.50	65.00	---	---	---	---

1. 公称管道口径 1 至 12 英寸也适用于磅级 150 铸铜合金法兰。  
 2. 公称管道口径 1 至 8 英寸也适用于磅级 300 铸铜合金法兰。

### 14.3.4 带法兰管件的法兰厚度

根据 ASME B16.1, B16.5 和 B16.24 标准, 单位为英寸

公称管道口径	磅级 150 (CI) FF 和 STL	磅级 150 STL	磅级 150	磅级 250 (CI) 和磅级 300 STL <sup>(1)</sup>	磅级 300 STL	CL 300
	RF <sup>(2)</sup>	RTJ	铸铜合金	RF	RTJ	铸铜合金
1	0.50	0.75	0.38	0.62	0.87	0.59
1-1/4	0.56	0.81	0.41	0.69	0.94	0.62
1-1/2	0.62	0.87	0.44	0.75	1.00	0.69
2	0.69	0.94	0.50	0.81	1.12	0.75
2-1/2	0.81	1.06	0.56	0.94	1.25	0.81
3	0.88	1.13	0.62	1.06	1.37	0.91
4	0.88	1.13	0.69	1.19	1.50	1.06
5	0.88	1.13	0.75	1.31	1.62	1.12

公称管道口径	磅级 600		磅级 900		磅级 1500		磅级 2500	
	RF	RTJ	RF	RTJ	RF	RTJ	RF	RTJ
1	0.69	0.94	1.12	1.37	1.12	1.37	1.38	1.63
1-1/4	0.81	1.06	1.12	1.37	1.12	1.37	1.50	1.81
1-1/2	0.88	1.13	1.25	1.50	1.25	1.50	1.75	2.06
2	1.00	1.31	1.50	1.81	1.50	1.81	2.00	2.31
2-1/2	1.12	1.43	1.62	1.93	1.62	1.93	2.25	2.62
3	1.25	1.56	1.50	1.81	1.88	2.43	2.62	3.00
4	1.50	1.81	1.75	2.06	2.12	2.43	3.00	3.44
5	1.75	2.06	2.00	2.31	2.88	3.19	3.62	4.12

## 带法兰管件的法兰厚度 (续)

公称管道 口径	磅级 150 (Cl) FF 和 STL	磅级 150 STL	磅级 150	磅级 250 (Cl) 和磅级 300 STL <sup>(1)</sup>	磅级 300 STL	CL 300
	RF <sup>(2)</sup>	RTJ	铸铜合金	RF	RTJ	铸铜合金
6	0.94	1.19	0.81	1.38	1.69	1.19
8	1.06	1.31	0.94	1.56	1.87	1.38
10	1.12	1.37	1.00	1.81	2.12	---
12	1.19	1.44	1.06	1.94	2.25	---
14	1.31	1.56	---	2.06	2.37	---
16	1.38	1.63	---	2.19	2.50	---
18	1.50	1.75	---	2.31	2.62	---
20	1.62	1.87	---	2.44	2.82	---
24	1.81	2.06	---	2.69	3.13	---

公称管道 口径	磅级 600		磅级 900		磅级 1500		磅级 2500	
	RF	RTJ	RF	RTJ	RF	RTJ	RF	RTJ
6	1.88	2.19	2.19	2.50	3.25	3.62	4.25	4.75
8	2.19	2.50	2.50	2.81	3.62	4.06	5.00	5.56
10	2.50	2.81	2.75	3.06	4.25	4.69	6.50	7.19
12	2.62	2.93	3.12	3.43	4.88	5.44	7.25	7.94
14	2.75	3.06	3.38	3.82	5.25	5.88	---	---
16	3.00	3.31	3.50	3.94	5.75	6.44	---	---
18	3.25	3.56	4.00	4.50	6.38	7.07	---	---
20	3.50	3.88	4.25	4.75	7.00	7.69	---	---
24	4.00	4.44	5.50	6.12	8.00	8.81	---	---

1. 这些尺寸适用于 1 至 24 英寸的公称管道口径的钢质阀门。

2. 图示的法兰尺寸适用于常规配制的 0.06 英寸凸面。

## 14.4 铸钢法兰标准

### 14.4.1 PN 10 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	90	16	60	4	M12	14
15	95	16	65	4	M12	14
20	105	18	75	4	M12	14
25	115	18	85	4	M12	14
32	140	18	100	4	M16	18
40	150	18	110	4	M16	18
50	165	18	125	4	M16	18
65	185	18	145	8	M16	18
80	200	20	160	8	M16	18
100	220	20	180	8	M16	18
125	250	22	210	8	M16	18
150	285	22	240	8	M20	22
200	340	24	295	8	M20	22
250	395	26	350	12	M20	22
300	445	26	400	12	M20	22
350	505	26	460	16	M20	22
400	565	26	515	16	M24	26
450	615	28	565	20	M24	26
500	670	28	620	20	M24	26
600	780	30	725	20	M27	30
700	895	35	840	24	M27	30
800	1015	38	950	24	M30	33
900	1115	38	1050	28	M30	33
1000	1230	44	1160	28	M33	36
1200	1455	55	1380	32	M36	39
1400	1675	65	1590	36	M39	42
1600	1915	75	1820	40	M45	48
1800	2115	85	2020	44	M45	48
2000	2325	90	2230	48	M45	48
2200	2550	100	2440	52	M52	56
2400	2760	110	2650	56	M52	56
2600	2960	110	2850	60	M52	56
2800	3180	124	3070	64	M52	56
3000	3405	132	3290	68	M56	62

单位:毫米。

## 14.4.2 PN 16 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	90	16	60	4	M12	14
15	95	16	65	4	M12	14
20	105	18	75	4	M12	14
25	115	18	85	4	M12	14
32	140	18	100	4	M16	18
40	150	18	110	4	M16	18
50	165	18	125	4	M16	18
65	185	18	145	4	M16	18
80	200	20	160	8	M16	18
100	220	20	180	8	M16	18
125	250	22	210	8	M16	18
150	285	22	240	8	M20	22
200	340	24	295	12	M20	22
250	405	26	355	12	M24	26
300	460	28	410	12	M24	26
350	520	30	470	16	M24	26
400	580	32	525	16	M27	30
500	715	36	650	20	M30	33
600	840	40	770	20	M33	36
700	910	40	840	24	M33	36
800	1025	41	950	24	M36	39
900	1125	48	1050	28	M36	39
1000	1255	59	1170	28	M39	42
1200	1485	78	1390	32	M45	48
1400	1685	84	1590	36	M45	48
1600	1930	102	1820	40	M52	56
1800	2130	110	2020	44	M52	56
2000	2345	124	2230	48	M56	62

单位:毫米。

## 14.4.3 PN 25 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	90	16	60	4	M12	14
15	95	16	65	4	M12	14
20	105	18	75	4	M12	14
25	115	18	85	4	M12	14
32	140	18	100	4	M16	18
40	150	18	110	4	M16	18
50	165	20	125	4	M16	18
65	185	22	145	8	M16	18
80	200	24	160	8	M16	18
100	235	24	190	8	M20	22
125	270	26	220	8	M24	26
150	300	28	250	8	M24	26
200	360	30	310	12	M24	26
250	425	32	370	12	M27	30
300	485	34	430	16	M27	30
350	555	38	490	16	M30	33
400	620	40	550	16	M33	36
500	730	48	660	20	M33	36
600	845	48	770	20	M36	39
700	960	50	875	24	M39	42
800	1085	53	990	24	M45	48
900	1185	57	1090	28	M45	48
1000	1320	63	1210	28	M52	56

单位:毫米。



## 14.4.4 PN 40 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	90	16	60	4	M12	14
15	95	16	65	4	M12	14
20	105	18	75	4	M12	14
25	115	18	85	4	M12	14
32	140	18	100	4	M16	18
40	150	18	110	4	M16	18
50	165	20	125	4	M16	18
65	185	22	145	8	M16	18
80	200	24	160	8	M16	18
100	235	24	190	8	M20	22
125	270	26	220	8	M24	26
150	300	28	250	8	M24	26
200	375	34	320	12	M27	30
250	450	38	385	12	M30	33
300	515	42	450	16	M30	33
350	580	46	510	16	M33	36
400	660	50	585	16	M36	39
450	685	57	610	20	M36	39
500	755	57	670	20	M39	42
600	890	72	795	20	M45	48

单位:毫米。

### 14.4.5 PN 63 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	100	20	70	4	M12	14
15	105	20	75	4	M12	14
25	140	24	100	4	M16	18
32	155	24	110	4	M20	22
40	170	28	125	4	M20	22
50	180	26	135	4	M20	22
65	205	26	160	8	M20	22
80	215	28	170	8	M20	22
100	250	30	200	8	M24	26
125	295	34	240	8	M27	30
150	345	36	280	8	M30	33
200	415	42	345	12	M33	36
250	470	46	400	12	M33	36
300	530	52	460	16	M33	36
350	600	56	525	16	M36	39
400	670	60	585	16	M39	42

单位:毫米。

### 14.4.6 PN 100 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	100	20	70	4	M12	14
15	105	20	75	4	M12	14
25	140	24	100	4	M16	18
32	155	24	110	4	M20	22
40	170	28	125	4	M20	22
50	195	30	145	4	M24	26
65	220	34	170	8	M24	26
80	230	36	180	8	M24	26
100	265	40	210	8	M27	30
125	315	40	250	8	M30	33
150	355	44	290	12	M30	33
200	430	52	360	12	M33	36
250	505	60	430	12	M36	39
300	585	68	500	16	M39	42
350	655	74	560	16	M45	48

单位:毫米。

### 14.4.7 PN 160 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	100	20	70	4	M12	14
15	105	20	75	4	M12	14
25	140	24	100	4	M16	18
40	170	28	125	4	M20	22
50	195	30	145	4	M24	26
65	220	34	170	8	M24	26
80	230	36	180	8	M24	26
100	265	40	210	8	M27	30
125	315	44	250	8	M30	33
150	355	50	290	12	M30	33
200	430	60	360	12	M33	36
250	515	68	430	12	M39	42
300	585	78	500	16	M39	42

单位:毫米。

### 14.4.8 PN 250 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	125	24	85	4	M16	18
15	130	26	90	4	M16	18
25	150	28	105	4	M20	22
40	185	34	135	4	M24	26
50	200	38	150	8	M24	26
65	230	42	180	8	M24	26
80	255	46	200	8	M27	30
100	300	54	235	8	M30	33
125	340	60	275	12	M30	33
150	390	68	320	12	M33	36
200	485	82	400	12	M39	42
250	585	100	490	16	M45	48
300	690	120	590	16	M48	52

单位:毫米。

### 14.4.9 PN 320 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	125	24	85	4	M16	18
15	130	26	90	4	M16	18
25	160	34	115	4	M20	22
40	195	38	145	4	M24	26
50	210	42	160	8	M24	26
65	255	51	200	8	M27	30
80	275	55	220	8	M27	30
100	335	65	265	8	M33	36
125	380	75	310	12	M33	36
150	425	84	350	12	M36	39
200	525	103	440	16	M39	42
250	640	125	540	16	M48	52

单位:毫米。

### 14.4.10 PN 400 公称压力的铸钢法兰标准

DN	法兰			螺栓		
	外径	壁厚	螺孔中心圆直径	螺栓数量	螺纹	螺栓孔直径
10	125	28	85	4	M16	18
15	145	30	100	4	M20	22
25	180	38	130	4	M24	26
40	220	48	165	4	M27	30
50	235	52	180	8	M27	30
65	290	64	225	8	M30	33
80	305	68	240	8	M30	33
100	370	80	295	8	M36	39
125	415	92	340	12	M36	39
150	475	105	390	12	M39	42
200	585	130	490	16	M45	48

单位:毫米。



# 第十五章

## 单位转换与换算



## 15.1 长度换算

注:使用行和列交界处的乘数	米	英寸	英尺	毫米	英里	公里
米	1	39.37	3.2808	1000	0.0006214	0.001
英寸	0.0254	1	0.0833	25.4	0.00001578	0.0000254
英尺	0.3048	12	1	304.8	0.0001894	0.0003048
毫米	0.001	0.03937	0.0032808	1	0.0000006214	0.000001
英里	1609.35	63,360	5,280	1,609,350	1	1.60935
公里	1,000	39,370	3280.83	1,000,000	0.62137	1

1 米 = 100 厘米 = 1000 毫米 = 0.001 公里 = 1000000 微米  
要转换米制单位, 仅需调整小数点: 1 毫米 = 1000 微米 = 0.03937 英寸 = 39.37 微英寸。

## 15.2 整数英寸—毫米换算

英寸	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	毫米									
0	0.0	25.4	50.8	76.2	101.6	127.0	152.4	177.8	203.2	228.6
10	254.0	279.4	304.8	330.2	355.6	381.0	406.4	431.8	457.2	482.6
20	508.0	533.4	558.8	584.2	609.6	635.0	660.4	685.8	711.2	736.6
30	762.0	787.4	812.8	838.2	863.6	889.0	914.4	939.8	965.2	990.6
40	1016.0	1041.4	1066.8	1092.2	1117.6	1143.0	1168.4	1193.8	1219.2	1244.6
50	1270.0	1295.4	1320.8	1346.2	1371.6	1397.0	1422.4	1447.8	1473.2	1498.6
60	1524.0	1549.4	1574.8	1600.2	1625.6	1651.0	1676.4	1701.8	1727.2	1752.6
70	1778.0	1803.4	1828.8	1854.2	1879.6	1905.0	1930.4	1955.8	1981.2	2006.6
80	2032.0	2057.4	2082.8	2108.2	2133.6	2159.0	2184.4	2209.8	2235.2	2260.6
90	2286.0	2311.4	2336.8	2362.2	2387.6	2413.0	2438.4	2463.8	2489.2	2514.6
100	2540.0	2565.4	2590.8	2616.2	2641.6	2667.0	2692.4	2717.8	2743.2	2768.6

注:表中所有值者都是以关系式 1 英寸 = 25.4 毫米为基础的精确值。通过控制小数点, 任何 1 英寸的小数值或倍数可以转化为它的精确的毫米等效值。

### 15.3 分数英寸—毫米换算

英寸	0	1/16	1/8	3/16	1/4	5/16	3/8	7/16
	毫米							
0	0.0	1.6	3.2	4.8	6.4	7.9	9.5	11.1
1	25.4	27.0	28.6	30.2	31.8	33.3	34.9	36.5
2	50.8	52.4	54.0	55.6	57.2	58.7	60.3	61.9
3	76.2	77.8	79.4	81.0	82.6	84.1	85.7	87.3
4	101.6	103.2	104.8	106.4	108.0	109.5	111.1	112.7
5	127.0	128.6	130.2	131.8	133.4	134.9	136.5	138.1
6	152.4	154.0	155.6	157.2	158.8	160.3	161.9	163.5
7	177.8	179.4	181.0	182.6	184.2	185.7	187.3	188.9
8	203.2	204.8	206.4	208.0	209.6	211.1	212.7	214.3
9	228.6	230.2	231.8	233.4	235.0	236.5	238.1	239.7
10	254.0	255.6	257.2	258.8	260.4	261.9	263.5	265.1

1 英寸 = 25.4 毫米。

分数英寸—毫米换算(续)

英寸	1/2	9/16	5/8	11/16	3/4	13/16	7/8	15/16
	毫米							
0	12.7	14.3	15.9	17.5	19.1	20.6	22.2	23.8
1	38.1	39.7	41.3	42.9	44.5	46.0	47.6	49.2
2	63.5	65.1	66.7	68.3	69.9	71.4	73.0	74.6
3	88.9	90.5	92.1	93.7	95.3	96.8	98.4	100.0
4	114.3	115.9	117.5	119.1	120.7	122.2	123.8	125.4
5	139.7	141.3	142.9	144.5	146.1	147.6	149.2	150.8
6	165.1	166.7	168.3	169.9	171.5	173.0	174.6	176.2
7	190.5	192.1	193.7	195.3	196.9	198.4	200.0	201.6
8	215.9	217.5	219.1	220.7	222.3	223.8	225.4	227.0
9	241.3	242.9	244.5	246.1	247.7	249.2	250.8	252.4
10	266.7	268.3	269.9	271.5	273.1	274.6	276.2	277.8

1 英寸 = 25.4 毫米。



## 15.4 其它分数 / 小数英寸—毫米换算

英寸		毫米	英寸		毫米	英寸		毫米
分数	小数		分数	小数		分数	小数	
	.00394	.1		.2	5.08		.44	11.176
	.00787	.2	13/64	.203125	5.1594		.45	11.430
	.01	.254		.21	5.334	29/64	.453125	11.5094
	.01181	.3	7/32	.21875	5.5562		.46	11.684
1/64	.015625	.3969		.22	5.588	15/32	.46875	11.9062
	.01575	.4		.23	5.842		.47	11.938
	.01969	.5	15/64	.234375	5.9531		.47244	12.0
	.02	.508		.23622	6.0		.48	12.192
	.02362	.6		.24	6.096	31/64	.484375	12.3031
	.02756	.7	1/4	.25	6.35		.49	12.446
	.03	.762		.26	6.604	1/2	.50	12.7
1/32	.03125	.7938	17/64	.265625	6.7469		.51	12.954
	.0315	.8		.27	6.858		.51181	13.0
	.03543	.9		.27559	7.0	33/64	.515625	13.0969
	.03937	1.0		.28	7.112		.52	13.208
	.04	1.016	9/32	.28125	7.1438		.53	13.462
3/64	.046875	1.1906		.29	7.366	17/32	.53125	13.4938
	.05	1.27	19/64	.296875	7.5406		.54	13.716
	.06	1.524		.30	7.62	35/64	.546875	13.8906
1/16	.0625	1.5875		.31	7.874		.55	13.970
	.07	1.778	5/16	.3125	7.9375		.55118	14.0
5/64	.078125	1.9844		.31496	8.0		.56	14.224
	.07874	2.0		.32	8.128	9/16	.5625	14.2875
	.08	2.032	21/64	.328125	8.3344		.57	14.478
	.09	2.286		.33	8.382	37/64	.578125	14.6844
3/32	.09375	2.3812		.34	8.636		.58	14.732
	.1	2.54	11/32	.34375	8.7312		.59	14.986
7/64	.109375	2.7781		.35	8.89		.59055	15.0
	.11	2.794		.35433	9.0	19/32	.59375	15.0812
	.11811	3.0	23/64	.359375	9.1281		.60	15.24
	.12	3.048		.36	9.144	39/64	.609375	15.4781
1/8	.125	3.175		.37	9.398		.61	15.494
	.13	3.302	3/8	.375	9.525		.62	15.748
	.14	3.556		.38	9.652	5/8	.625	15.875
9/64	.140625	3.5719		.39	9.906		.62992	16.0

其它分数/小数英寸—毫米换算(续)

英寸		毫米	英寸		毫米	英寸		毫米
分数	小数		分数	小数		分数	小数	
	.15	3.810	25/64	.390625	9.9219		.63	16.002
5/32	.15625	3.9688		.39370	10.0		.64	16.256
	.15748	4.0		.40	10.16	41/64	.640625	16.2719
	.16	4.064	13/32	.40625	10.3188		.65	16.510
	.17	4.318		.41	10.414	21/32	.65625	16.6688
11/64	.171875	4.3656		.42	10.668		.66	16.764
	.18	4.572	27/64	.421875	10.7156		.66929	17.0
3/16	.1875	4.7625		.43	10.922		.67	17.018
	.19	4.826		.43307	11.0	43/64	.671875	17.0656
	.19685	5.0	7/16	.4375	11.1125		.68	17.272
11/16	.6875	17.4625	51/64	.796875	20.2406		.90551	23.0
	.69	17.526		.80	20.320	29/32	.90625	23.0188
	.70	17.78		.81	20.574		.91	23.114
45/64	.703125	17.8594	13/16	.8125	20.6375		.92	23.368
	.70866	18.0		.82	20.828	59/64	.921875	23.4156
	.71	18.034		.82677	21.0		.93	23.622
23/32	.71875	18.2562	53/64	.828125	21.0344	15/16	.9375	23.8125
	.72	18.288		.83	21.082		.94	23.876
	.73	18.542		.84	21.336		.94488	24.0
47/64	.734375	18.6531	27/32	.84375	21.4312		.95	24.130
	.74	18.796		.85	21.590	61/64	.953125	24.2094
	.74803	19.0	55/64	.859375	21.8281		.96	24.384
3/4	.75	19.050		.86	21.844	31/32	.96875	24.6062
	.76	19.304		.86614	22.0		.97	24.638
49/64	.765625	19.4469		.87	22.098		.98	24.892
	.77	19.558	7/8	.875	22.225		.98425	25.0
	.78	19.812		.88	22.352	63/64	.984375	25.0031
25/32	.78125	19.8438		.89	22.606		.99	25.146
	.78740	20.0	57/64	.890625	22.6219		1	25.4000
	.79	20.066		.90	22.860			

小数点已被圆整以提供不超过要求的精确程度。

## 15.5 面积换算

注:使用行和列交界处的乘数	平方米	平方英寸	平方英尺	平方英里	平方公里
平方米	1	1549.99	10.7639	$3.861 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$
平方英寸	0.0006452	1	$6.944 \times 10^{-3}$	$2.491 \times 10^{-10}$	$6.452 \times 10^{-10}$
平方英尺	0.0929	144	1	$3.587 \times 10^{-8}$	$9.29 \times 10^{-8}$
平方英里	2,589,999	---	27,878,400	1	2.59
平方公里	1,000,000	---	10,763,867	0.3861	1

1 平方米 = 10000 平方厘米。  
1 平方毫米 = 0.01 平方厘米 = 0.00155 英寸。

## 15.6 体积换算

注:使用行和列交界处的乘数	立方分米 (升)	立方英寸	立方英尺	美制夸脱	美制加仑	英制加仑	美桶 (石油)
立方分米 (升)	1	61.0234	0.03531	1.05668	0.264178	0.220083	0.00629
立方英寸	0.01639	1	$5.787 \times 10^{-4}$	0.01732	0.004329	0.003606	0.000103
立方英尺	28.317	1728	1	29.9221	7.48055	6.22888	0.1781
美制夸脱	0.94636	57.75	0.03342	1	0.25	0.2082	0.00595
美制加仑	3.78543	231	0.13368	4	1	0.833	0.02381
英制加仑	4.54374	277.274	0.16054	4.80128	1.20032	1	0.02877
美桶 (石油)	158.98	9702	5.6146	168	42	34.973	1

1 立方米 = 1000000 立方厘米。  
1 升 = 1000 毫升 = 1000 立方厘米。

## 15.7 体积流量换算

注:使用行和列交界处的乘数	升/每分钟	立方米/每小时	立方英尺/每小时	升/每小时	美制加仑/每分钟	美桶/每天
升/每分钟	1	0.06	2.1189	60	0.264178	9.057
立方米/每小时	16.667	1	35.314	1000	4.403	151
立方英尺/每小时	0.4719	0.028317	1	28.317	0.1247	4.2746
升/每小时	0.016667	0.001	0.035314	1	0.004403	0.151
美制加仑/每分钟	3.785	0.2273	8.0208	227.3	1	34.28
美桶/每天	0.1104	0.006624	0.23394	6.624	0.02917	1

## 15.8 质量转换—磅至公斤

磅	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	公斤									
0	0.00	0.45	0.91	1.36	1.81	2.27	2.72	3.18	3.63	4.08
10	4.54	4.99	5.44	5.90	6.35	6.80	7.26	7.71	8.16	8.62
20	9.07	9.53	9.98	10.43	10.89	11.34	11.79	12.25	12.70	13.15
30	13.61	14.06	14.52	14.97	15.42	15.88	16.33	16.78	17.24	17.69
40	18.14	18.60	19.05	19.50	19.96	20.41	20.87	21.32	21.77	22.23
50	22.68	23.13	23.59	24.04	24.49	24.95	25.40	25.86	26.31	26.76
60	27.22	27.67	28.12	28.58	29.03	29.48	29.94	30.39	30.84	31.30
70	31.75	32.21	32.66	33.11	33.57	34.02	34.47	34.93	35.38	35.83
80	36.29	36.74	37.20	37.65	38.10	38.56	39.01	39.46	39.92	40.37
90	40.82	41.28	41.73	42.18	42.64	43.09	43.55	44.00	44.45	44.91

## 15.9 压力换算

注:使用行和列交界处的乘数	公斤/平方厘米	磅/平方英寸	大气压	巴	英寸汞柱	千帕斯卡	英寸水柱	英尺水柱
公斤/平方厘米	1	14.22	0.9678	0.98067	28.96	98.067	394.05	32.84
磅/平方英寸	0.07031	1	0.06804	0.06895	2.036	6.895	27.7	2.309
大气压	1.0332	14.696	1	1.01325	29.92	101.325	407.14	33.93
巴	1.01972	14.5038	0.98692	1	29.53	100	402.156	33.513
英寸汞柱	0.03453	0.4912	0.03342	0.033864	1	3.3864	13.61	11.134
千帕斯卡	0.0101972	0.145038	0.0098696	0.01	0.2953	1	4.02156	0.33513
英寸水柱	0.002538	0.0361	0.002456	0.00249	0.07349	0.249	1	0.0833
英尺水柱	0.03045	0.4332	0.02947	0.029839	0.8819	2.9839	12	1

1 盎司/平方英寸 = 0.0625 磅/平方英寸。

## 15.10 压力换算—磅 / 平方英寸至巴

磅/平方英寸	0	1	2	3	4
	巴				
0	0.000000	0.068948	0.137895	0.206843	0.275790
10	0.689476	0.758423	0.827371	0.896318	0.965266
20	1.378951	1.447899	1.516847	1.585794	1.654742
30	2.068427	2.137375	2.206322	2.275270	2.344217
40	2.757903	2.826850	2.895798	2.964746	3.033693
50	3.447379	3.516326	3.585274	3.654221	3.723169
60	4.136854	4.205802	4.274750	4.343697	4.412645
70	4.826330	4.895278	4.964225	5.033173	5.102120
80	5.515806	5.584753	5.653701	5.722649	5.791596
90	6.205282	6.274229	6.343177	6.412124	6.481072
100	6.894757	6.963705	7.032652	7.101600	7.170548

注:为转换成千帕斯卡,向右移动二位小数点。为转换成兆帕斯卡,向左移动一位小数点,例如,30 磅/平方英寸 = 2.068427 巴 = 206.8427 千帕斯卡 = 0.2068427 兆帕斯卡。  
注:小数点已被圆整以提供不超过要求的精确程度。

## 压力换算—磅/平方英寸至巴(续)

磅/平方英寸	5	6	7	8	9
	巴				
0	0.344738	0.413685	0.482633	0.551581	0.620528
10	1.034214	1.103161	1.172109	1.241056	1.310004
20	1.723689	1.792637	1.861584	1.930532	1.999480
30	2.413165	2.482113	2.551060	2.620008	2.688955
40	3.102641	3.171588	3.240536	3.309484	3.378431
50	3.792117	3.861064	3.930012	3.998959	4.067907
60	4.481592	4.550540	4.619487	4.688435	4.757383
70	5.171068	5.240016	5.308963	5.377911	5.446858
80	5.860544	5.929491	5.998439	6.067386	6.136334
90	6.550019	6.618967	6.687915	6.756862	6.825810
100	7.239495	7.308443	7.377390	7.446338	7.515285

注:为转换成千帕斯卡,向右移动二位小数点。为转换成兆帕斯卡,向左移动一位小数点,例如,30 磅/平方英寸 = 2.068427 巴 = 206.8427 千帕斯卡 = 0.2068427 兆帕斯卡。  
注:小数点已被圆整以提供不超过要求的精确程度。

## 15.11 温度换算公式

换算自	至	换算公式
摄氏度	华氏度	$(^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32$
摄氏度	开氏度	$(^{\circ}\text{C} + 273.16)$
华氏度	摄氏度	$(^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$
华氏度	雷氏度	$(^{\circ}\text{F} + 459.69)$

## 15.12 温度换算

$^{\circ}\text{C}$	需要换算温度的 $^{\circ}\text{C}$ 或 $^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	需要换算温度的 $^{\circ}\text{C}$ 或 $^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{C}$	需要换算温度的 $^{\circ}\text{C}$ 或 $^{\circ}\text{F}$	$^{\circ}\text{F}$
-273.16	-459.69		-90.00	-130	-202.0	-17.8	0	32.0
-267.78	-450		-84.44	-120	-184.0	-16.7	2	35.6
-262.22	-440		-78.89	-110	-166.0	-15.6	4	39.2
-256.67	-430		-73.33	-100	-148.0	-14.4	6	42.8
-251.11	-420		-70.56	-95	-139.0	-13.3	8	46.4
-245.56	-410		-67.78	-90	-130.0	-12.2	10	50.0
-240.00	-400		-65.00	-85	-121.0	-11.1	12	53.6
-234.44	-390		-62.22	-80	-112.0	-10.0	14	57.2
-228.89	-380		-59.45	-75	-103.0	-8.89	16	60.8
-223.33	-370		-56.67	-70	-94.0	-7.78	18	64.4
-217.78	-360		-53.89	-65	-85.0	-6.67	20	68.0
-212.22	-350		-51.11	-60	-76.0	-5.56	22	71.6
-206.67	-340		-48.34	-55	-67.0	-4.44	24	75.2
-201.11	-330		-45.56	-50	-58.0	-3.33	26	78.8
-195.56	-320		-42.78	-45	-49.0	-2.22	28	82.4
-190.00	-310		-40.00	-40	-40.0	-1.11	30	86.0
-184.44	-300		-38.89	-38	-36.4	0	32	89.6
-178.89	-290		-37.78	-36	-32.8	1.11	34	93.2
-173.33	-280		-36.67	-34	-29.2	2.22	36	96.8
-169.53	-273.16	-459.69	-35.56	-32	-25.6	3.33	38	100.4
-168.89	-272	-457.6	-34.44	-30	-22.0	4.44	40	104.0
-167.78	-270	-454.0	-33.33	-28	-18.4	5.56	42	107.6
-162.22	-260	-436.0	-32.22	-26	-14.8	6.67	44	111.2
-156.67	-250	-418.0	-31.11	-24	-11.2	7.78	46	114.8
-151.11	-240	-400.0	-30.00	-22	-7.6	8.89	48	118.4

## 温度换算(续)

°C	需要换算温度的°C或°F	°F	°C	需要换算温度的°C或°F	°F	°C	需要换算温度的°C或°F	°F
-145.56	-230	-382.0	-28.89	-20	-4.0	10.0	50	122.0
-140.00	-220	-364.0	-27.78	-18	-0.4	11.1	52	125.6
-134.44	-210	-346.0	-26.67	-16	3.2	12.2	54	129.2
-128.89	-200	-328.0	-25.56	-14	6.8	13.3	56	132.8
-123.33	-190	-310.0	-24.44	-12	10.4	14.4	58	136.4
-117.78	-180	-292.0	-23.33	-10	14.0	15.6	60	140.0
-112.22	-170	-274.0	-22.22	-8	17.6	16.7	62	143.6
-106.67	-160	-256.0	-21.11	-6	21.2	17.8	64	147.2
-101.11	-150	-238.0	-20.00	-4	24.8	18.9	66	150.8
-95.56	-140	-220.0	-18.89	-2	28.4	20.0	68	154.4
21.1	70	158.0	204.4	400	752.0	454.4	850	1562.0
22.2	72	161.6	210.0	410	770.0	460.0	860	1580.0
23.3	74	165.2	215.6	420	788.0	465.6	870	1598.0
24.4	76	168.8	221.1	430	806.0	471.1	880	1616.0
25.6	78	172.4	226.7	440	824.0	476.7	890	1634.0
26.7	80	176.0	232.2	450	842.0	482.2	900	1652.0
27.8	82	179.6	237.8	460	860.0	487.8	910	1670.0
28.9	84	183.2	243.3	470	878.0	493.3	920	1688.0
30.0	86	186.8	248.9	480	896.0	498.9	930	1706.0
31.1	88	190.4	254.4	490	914.0	504.4	940	1724.0
32.2	90	194.0	260.0	500	932.0	510.0	950	1742.0
33.3	92	197.6	265.6	510	950.0	515.6	960	1760.0
34.4	94	201.2	271.1	520	968.0	521.1	970	1778.0
35.6	96	204.8	276.7	530	986.0	526.7	980	1796.0
36.7	98	208.4	282.2	540	1004.0	532.2	990	1814.0
37.8	100	212.0	287.8	550	1022.0	537.8	1000	1832.0
43.3	110	230.0	293.3	560	1040.0	543.3	1010	1850.0
48.9	120	248.0	298.9	570	1058.0	548.9	1020	1868.0
54.4	130	266.0	304.4	580	1076.0	554.4	1030	1886.0
60.0	140	284.0	310.0	590	1094.0	560.0	1040	1904.0
65.6	150	302.0	315.6	600	1112.0	565.6	1050	1922.0
71.1	160	320.0	321.1	610	1130.0	571.1	1060	1940.0
76.7	170	338.0	326.7	620	1148.0	576.7	1070	1958.0
82.2	180	356.0	332.2	630	1166.0	582.2	1080	1976.0
87.8	190	374.0	337.8	640	1184.0	587.8	1090	1994.0

温度换算(续)

°C	需要换算温度的°C或°F	°F	°C	需要换算温度的°C或°F	°F	°C	需要换算温度的°C或°F	°F
93.3	200	392.0	343.3	650	1202.0	593.3	1100	2012.0
98.9	210	410.0	348.9	660	1220.0	598.9	1110	2030.0
104.4	220	428.0	354.4	670	1238.0	604.4	1120	2048.0
110.0	230	446.0	360.0	680	1256.0	610.0	1130	2066.0
115.6	240	464.0	365.6	690	1274.0	615.6	1140	2084.0
121.1	250	482.0	371.1	700	1292.0	621.1	1150	2102.0
126.7	260	500.0	376.7	710	1310.0	626.7	1160	2120.0
132.2	270	518.0	382.2	720	1328.0	632.2	1170	2138.0
137.8	280	536.0	387.8	730	1346.0	637.8	1180	2156.0
143.3	290	554.0	393.3	740	1364.0	643.3	1190	2174.0
148.9	300	572.0	398.9	750	1382.0	648.9	1200	2192.0
154.4	310	590.0	404.4	760	1400.0	654.4	1210	2210.0
160.0	320	608.0	410.0	770	1418.0	660.0	1220	2228.0
165.6	330	626.0	415.6	780	1436.0	665.6	1230	2246.0
171.1	340	644.0	421.1	790	1454.0	671.1	1240	2264.0
176.7	350	662.0	426.7	800	1472.0	676.7	1250	2282.0
182.2	360	680.0	432.2	810	1490.0	682.2	1260	2300.0
187.8	370	698.0	437.8	820	1508.0	687.8	1270	2318.0
193.3	380	716.0	443.3	830	1526.0	693.3	1280	2336.0
198.9	390	734.0	448.9	840	1544.0	698.9	1290	2354.0
704.4	1300	2372.0	760.0	1400	2552.0	815.6	1500	2732.0
710.0	1310	2390.0	765.6	1410	2570.0			
715.6	1320	2408.0	771.1	1420	2588.0			
721.1	1330	2426.0	776.7	1430	2606.0			
726.7	1340	2444.0	782.2	1440	2624.0			
732.2	1350	2462.0	787.0	1450	2642.0			
737.8	1360	2480.0	793.3	1460	2660.0			
743.3	1370	2498.0	798.9	1470	2678.0			
748.9	1380	2516.0	804.4	1480	2696.0			
754.4	1390	2534.0	810.0	1490	2714.0			



## 15.13 API 和 Baumé 比重表和重量因子

API 比重	Baumé 比重	比重	磅/美制比重	美制加仑/磅	API 比重	Baumé 比重	比重	磅/美制比重	美制加仑/磅
0	10.247	1.0760	8.962	0.1116	31	30.78	0.8708	7.251	0.1379
1	9.223	1.0679	8.895	0.1124					
2	8.198	1.0599	8.828	0.1133	32	31.77	0.8654	7.206	0.1388
3	7.173	1.0520	8.762	0.1141	33	32.76	0.8602	7.163	0.1396
4	6.148	1.0443	8.698	0.1150	34	33.75	0.8550	7.119	0.1405
5	5.124	1.0366	8.634	0.1158	35	34.73	0.8498	7.076	0.1413
6	4.099	1.0291	8.571	0.1167	36	35.72	0.8448	7.034	0.1422
7	3.074	1.0217	8.509	0.1175	37	36.71	0.8398	6.993	0.1430
8	2.049	1.0143	8.448	0.1184	38	37.70	0.8348	6.951	0.1439
9	1.025	1.0071	8.388	0.1192	39	38.69	0.8299	6.910	0.1447
10	10.00	1.0000	8.328	0.1201	40	39.68	0.8251	6.870	0.1456
11	10.99	0.9930	8.270	0.1209	41	40.67	0.8203	6.830	0.1464
12	11.98	0.9861	8.212	0.1218	42	41.66	0.8155	6.790	0.1473
13	12.97	0.9792	8.155	0.1226	43	42.65	0.8109	6.752	0.1481
14	13.96	0.9725	8.099	0.1235	44	43.64	0.8063	6.713	0.1490
15	14.95	0.9659	8.044	0.1243	45	44.63	0.8017	6.675	0.1498
16	15.94	0.9593	7.989	0.1252	46	45.62	0.7972	6.637	0.1507
17	16.93	0.9529	7.935	0.1260	47	50.61	0.7927	6.600	0.1515
18	17.92	0.9465	7.882	0.1269	48	50.60	0.7883	6.563	0.1524
19	18.90	0.9402	7.830	0.1277	49	50.59	0.7839	6.526	0.1532
20	19.89	0.9340	7.778	0.1286	50	50.58	0.7796	6.490	0.1541
21	20.88	0.9279	7.727	0.1294	51	50.57	0.7753	6.455	0.1549
22	21.87	0.9218	7.676	0.1303	52	51.55	0.7711	6.420	0.1558
23	22.86	0.9159	7.627	0.1311	53	52.54	0.7669	6.385	0.1566
24	23.85	0.9100	7.578	0.1320	54	53.53	0.7628	6.350	0.1575
25	24.84	0.9042	7.529	0.1328	55	54.52	0.7587	6.316	0.1583
26	25.83	0.8984	7.481	0.1337	56	55.51	0.7547	6.283	0.1592
27	26.82	0.8927	7.434	0.1345	57	56.50	0.7507	6.249	0.1600
28	27.81	0.8871	7.387	0.1354	58	57.49	0.7467	6.216	0.1609
29	28.80	0.8816	7.341	0.1362	59	58.48	0.7428	6.184	0.1617
30	29.79	0.8762	7.296	0.1371	60	59.47	0.7389	6.151	0.1626

API 和 Baumé 比重表和重量因子(续)

API 比重	Baumé 比重	比重	磅/美制比重	美制加仑/磅	API 比重	Baumé 比重	比重	磅/美制比重	美制加仑/磅
61	60.46	0.7351	6.119	0.1634	81	80.25	0.6659	5.542	0.1804
62	61.45	0.7313	6.087	0.1643	82	81.24	0.6628	5.516	0.1813
63	62.44	0.7275	6.056	0.1651	83	82.23	0.6597	5.491	0.1821
64	63.43	0.7238	6.025	0.1660	84	83.22	0.6566	5.465	0.1830
65	64.42	0.7201	5.994	0.1668	85	84.20	0.6536	5.440	0.1838
66	65.41	0.7165	5.964	0.1677	86	85.19	0.6506	5.415	0.1847
67	66.40	0.7128	5.934	0.1685	87	86.18	0.6476	5.390	0.1855
68	67.39	0.7093	5.904	0.1694	88	87.17	0.6446	5.365	0.1864
69	68.37	0.7057	5.874	0.1702	89	88.16	0.6417	5.341	0.1872
70	69.36	0.7022	5.845	0.1711	90	89.15	0.6388	5.316	0.1881
71	70.35	0.6988	5.817	0.1719	91	90.14	0.6360	5.293	0.1889
72	71.34	0.6953	5.788	0.1728	92	91.13	0.6331	5.269	0.1898
73	72.33	0.6919	5.759	0.1736	93	92.12	0.6303	5.246	0.1906
74	73.32	0.6886	5.731	0.1745	94	93.11	0.6275	5.222	0.1915
75	74.31	0.6852	5.703	0.1753	95	94.10	0.6247	5.199	0.1924
76	75.30	0.6819	5.676	0.1762	96	95.09	0.6220	5.176	0.1932
77	76.29	0.6787	5.649	0.1770	97	96.08	0.6193	5.154	0.1940
78	77.28	0.6754	5.622	0.1779	98	97.07	0.6166	5.131	0.1949
79	78.27	0.6722	5.595	0.1787	99	98.06	0.6139	5.109	0.1957
80	79.26	0.6690	5.568	0.1796	100	99.05	0.6112	5.086	0.1966

Baumé 度和 A.P.I. 度对于比重之间的关系可用如下公式表示:

- 对于比水轻的液体:

$$\text{Baumé 度} = \frac{140}{G} - 130, \quad G = \frac{140}{130 + \text{Baumé 度}}$$

$$\text{A.P.I. 度} = \frac{141.5}{G} - 131.5, \quad G = \frac{141.5}{131.5 + \text{A.P.I. 度}}$$

- 对于比水重的液体:

$$\text{Baumé 度} = 145 - \frac{145}{G}, \quad G = \frac{145}{145 - \text{Baumé 度}}$$

G = 比重 = 15.5°C (60°F) 时给定体积的油的重量对于 15.5°C (60°F) 时同样体积的水的权重的比例。

上面的表是以在 760 毫米压力和 50% 的湿度的空气里 15.5°C (60°F) 时体积为 231 立方英寸的 1 加仑 (美国) 油的重量为基础的。假定在 15.5°C (60°F) 空气里 1 加仑水的重量为 8.32828 磅。

通过混合不同比重的油类来确定所得比重:

$$\blacksquare D = \frac{md_1 + nd_2}{m + n}$$

- D = 混合物的密度或比重
- m = 密度为  $d_1$  的油的比例
- n = 密度为  $d_2$  的油的比例
- $d_1$  = m 油的比重
- $d_2$  = n 油的比重

## 15.14 其它有用的换算

换算自	至	换算公式
立方英尺 (甲烷)	B.T.U.	1000 (近似)
立方英尺水	磅水	62.4
度	弧度	0.01745
加仑	磅水	8.336
克	盎司	0.0352
马力 (机)	英尺磅/分钟	33,000
马力 (电)	瓦特	746
千克	磅	2.205
千克/立方米	磅/立方英尺	0.06243
千瓦	马力	1.341
磅	千克	0.4536
磅空气 (14.7 psia 和 60°F)	立方英尺空气	13.1
磅/立方英尺	千克/立方米	16.0184
磅/小时 (气体)	标准立方英尺/小时	13.1/比重
磅/小时 (水)	加仑/分钟	0.002
磅/秒 (气体)	标准立方英尺/小时	.41793/比重
弧度	度	57.3
标准状态空气	标准状态丙烷	0.81
标准状态空气	标准状态丁烷	0.71
标准状态空气	标准状态 0.6 天然气	1.29
Scfh	立方米/小时	0.028317

## 15.15 公制前缀与后缀

乘法系数	前缀	符号
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{18}$	exa	E
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{15}$	peta	P
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	tera	T
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	giga	G
$1\ 000\ 000 = 10^6$	mega	M
$1\ 000 = 10^3$	kilo	k
$100 = 10^2$	hecto	h
$10 = 10^1$	deka	da
$0.1 = 10^{-1}$	deci	d
$0.01 = 10^{-2}$	centi	c
$0.001 = 10^{-3}$	milli	m
$0.000\ 001 = 10^{-6}$	micro	$\mu$
$0.000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	nano	n
$0.000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	pico	p
$0.000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	femto	f
$0.000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	atto	a



# 标题索引



\*黑体页码表示表格。斜体页码表示图。

## A

**安全完整性等级 (SIL)** 231, 234

**安全仪表系统 (SIS)** 84, 228, 230

安全功能和产品认证 84

标准 230

部分行程动作测试 84

传感器 230

逻辑解算器 230

终端控制元件 230

### 安装

阀门增益 29, 43

技术 163

膜片压力范围 26

特性 26, 44

**ANSI** 请参见美国国家标准组织

**ASME** 请参见美国机械工程师学会

**ASTM** 请参见美国测试和材料学会

**ATEX 等级** 186

## B

**棒形阀体** 54

**保持环** 21

**饱和蒸气特性** 261, 262, 263, 264, 265,  
266, 267, 268, 269, 270

**保护** 163, 182

等级 183

电动设备 182

非电气设备 183

技术和方法 187

设备保护级别 (EPL) 184

### 保位

阀门 90

系统 90

**Baume 和 API 比重和重量因子** 请参见美  
国石油组织

**被动性维护** 165

**备件** 168

**本质安全** 182

技术 187

**比热容比** 250

**闭环回路** 请参见回路

**标准** 176

安全 230

控制阀 177

欧洲材料 177

欧洲法兰 178

欧洲工业阀门 177

逸散性排放 66

铸钢法兰 294

**标准流向** 25

**波纹管密封阀盖** 请参见阀盖

**Bode 图** 27

**补偿式阀门** 请参见阀门

**部分球阀** 请参见阀门

**部分行程动作测试** 84, 232, 233

**不平衡力** 116

动态 26

静态 22

力 116

**布线方法** 185

## C

### 材料

代号 133

阀体 131, 245, 246

非金属材料的缩写 139

填料 65

硬度 29

## 测试

部分行程动作 84, 232, 233

技术 232

非破坏性 139

SIS 测试要求 234

性能回路 36

在线方法 233

**侧装式手轮** 请参见手轮

**CEN** 请参见欧洲标准化委员会

**插入式** 请参见减温器

**长度换算** 请参见换算

**常关阀** 请参见失气 - 关闭

**常开阀** 请参见失气 - 打开

**尺寸** 请参见端面至端面

**冲洗** 164

**传感器** 31, 230, 234

**传统阀板** 请参见阀板

**齿条齿轮执行机构** 76

## D

**大流量阀** 请参见阀门

**单阀座阀门** 请参见阀门

**单作用定位器** 79, 80

**等百分比** 请参见流量特性

**低温工况阀** 请参见阀门

**低压力恢复阀** 请参见阀门

**底法兰** 19

**电磁阀** 87, 88, 89, 220, 221

**电动设备** 请参见保护

**电动液压执行机构** 请参见执行机构

**电动执行机构** 请参见执行机构

**蝶阀** 请参见阀门

**顶装式手轮** 请参见手轮

**定位器** 30, 79

模拟 I/P 80

气动 80

数字式阀门控制器 81

型号 79

**定制特性** 147

## 动态

不平衡力 26

力矩 请参见力矩

时间 40

## 端面至端面尺寸

插焊连接, 直通阀 97, 98

带补偿结构的高压蝶阀 100

单法兰和无法兰蝶阀 100

对焊连接, 直通阀 96, 97

法兰连接和无法兰旋转阀 99

法兰连接, 直通阀 94, 95, 96

可拆卸法兰, 直通阀 99

螺纹连接端, 直通阀 98

## 端面至中心线尺寸

凸面法兰连接直通式角形阀 98

**对夹型** 100, 204

几何形状辅助 157, 158

## E

### 额定

流量系数 27

行程 27

**二阶** 31

## F

**阀板** 请参见阀门

**阀盖** 18, 62

波纹管密封 18, 19, 64

加长型 20, 63, 64, 146

组件 18, 19



**阀口 21****阀口导向型阀门** 请参见直通阀**阀笼 19, 72**

- 等百分比 19
- 降噪 127
- 快开 19
- 特性化的 71, 72
- 线性 19

**阀笼样式**

- 阀内件 55
- 阀体 54

**阀门 32**

- 安装技术 163
- 棒形阀 54
- 保护 163, 182, 183
- 保位 90
- 标准 请参见标准
- 补偿 20
- 不平衡面积 116
- 材料 请参见材料
- 常关 26
- 常开 26
- 储存 163
- 传统阀板 24, 197
- 大流通能力 143
- 单阀座 53 请参见直通阀
- 低温 145
- 低压力恢复 26
- 电磁 87, 88, 89, 221
- 蝶阀 56, 100, 204, 205
  - 高性能 58, 59, 120
- 多口 60, 61, 205
- 阀盖 请参见阀盖
- 阀笼样式 54
- 阀体 22, 23
  - 容量 28
- 阀芯 23

特性化的 72

附件 78

高温 145

高压力恢复 26

功能和特性术语 25

核能 147

后导向和阀口导向 54

夹管 203

角阀 18

口径计算 31

类型 42, 193

连接端 请参见连接端

流量低 144

膜片

堰式 203

直通式 203

膜片 202

旁路 160, 161, 200, 202

偏心阀板 24

偏心旋塞 24, 59, 60

汽轮机旁路 160

球 58, 60, 163, 203, 204

全通径球 60

三通 56

双阀座 55

特殊 125, 142, 144

填料 请参见填料

推杆 23, 170

V形切口球 24, 57, 120

维护 162, 165

卫生级 56

无法兰 24

响应时间 39, 41

行程 31, 171

性能 34, 38, 330

旋启式止回阀 请参见阀门: 止回

旋转式 24

- 选择 122
- 样式 45, 53
- 增益 29, 43
  - 安装 29
  - 固有 29
- 闸 193, 194
- 蒸汽调节 158
- 直通 请参见直通阀
- 直行程 17, 18, 76, 129
- 止回 199, 200, 202, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219
  - 组件 28
- 阀门选型** 103
  - 适于可压缩流体 109
  - 适于液体 106
- 阀内件** 22, 32, 55, 124
  - 降噪 147
  - 软阀座 22
  - 升级考虑 169
  - 适于冲洗、水压试验或启动 164
  - 限制流通能力 73
  - 消减气蚀 147
- 阀体** 请参见阀门
- 阀位变送器** 86
- 阀芯导向** 72
  - 顶底导向 73
  - 阀口导向 73
  - 阀笼导向 72
- 阀芯导向件** 请参见阀芯导向
- 阀轴** 25
  - 扭转 31
- 阀座** 21
  - 负载 21, 117
    - 建议 117
    - 力 117, 171
  - 环 22
    - 更换 170
  - 维护 170
  - 弹簧 22
  - 泄漏
    - 等级 101
    - 允许 102
  - 泄漏 27
- 法兰** 289, 291, 292
  - 底部 19
  - 可拆卸 22
  - 螺栓紧固带垫片 61
- 反馈**
  - 控制回路 17, 102
  - 信号 28
- 反向流动** 24
- 反作用执行机构** 21, 22, 74
- 范围** 26, 28, 30, 45
- 防爆** 187
- 防火** 182, 183, 187
- 放大器** 30
  - 调整 167
- FCI** 请参见流体控制组织
- 非电气设备** 请参见保护
- 非金属材料的缩写** 139
- 非破坏性试验步骤**
  - 超声(立体)检验 140
  - 磁性(表面)检验 139
  - 射线照相(立体)检验 140
  - 液体渗透(表面)检验 139
- 非侵入式诊断程序** 166
- 非易燃或 n 型技术** 188
- 分辨率** 31
- 分程** 31
- 附件** 27
- 负载压力** 请参见压力

## G

盖子, 膜片 请参见膜片

高温阀 请参见阀门

高压阀 请参见阀门

高压恢复阀 请参见阀门

工程数据 236

供气压力 31, 41, 166

公式常数 105

工艺

恢复 165

控制 27

增益 30

公制前缀与后缀 316

工作极限 30

工作介质 30

固定几何形状喷嘴 请参见减温器

固定增益 请参见定位器

固有

阀门增益 29

流量特性 26

膜片压力范围 26

特性 29, 147

故障

辨别 165

探测 165

关闭阀(SOV) 请参见阀门

管道几何形状系数 106, 110

管道螺纹接合 281

管道数据 280

管螺纹, 旋入式 请参见连接端

国际电工委员会(IEC) 178, 186

外壳等级 188

过程

偏差度 30, 35

优化 45

过热蒸汽特性 270, 271, 272, 273, 274,  
275, 276, 277, 278

## H

焓 28, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259,  
260

焊接连接端 62

核工况 请参见阀门

HIPPS(高完整性压力保护系统) 234,  
235

后导向型阀门 请参见阀门

滑动密封件 25

环型减温器 159

换算

长度 303

分数英寸—毫米 304, 305, 306

面积 307

其他 315

体积 307

体积流量 307

温度 310, 311

压力 308, 309

整数英寸—毫米 303

质量 308

回差 29

回路 28, 30, 102, 153, 157

闭环 28, 47

开环 30

增益 30

活塞式 21

气缸 19

气缸端盖密封 19

双作用 75

维护 170

执行机构 21, 75

## I

**IEC** 请参见国际电工委员会

**I/P(电流 - 气动)** 30, 80

转换器 82, 83

**ISA** 请参见美国仪表学会

## J

**基于微处理器的定位器** 请参见定位器

**计算 Cv** 107, 110

**加长型阀盖** 请参见阀盖

**夹管阀** 请参见阀门

**减温** 153, 154

**减温器** 159

安装 153

插入式 153

固定几何形状喷嘴 156

可变几何形状喷嘴 156, 159

喷水穿透度 155

型号 156

蒸汽辅助 157

蒸汽雾化 157

自包含型 156, 157

**间隙流** 25

**角形阀** 请参见阀门

**校验**

曲线 27

循环 27

**截流元件** 19, 28

导向 19

**截止阀** 195, 196, 197

**静摩擦** 31

**静态**

不平衡力 22

摩擦 31

增益 29

## K

**开环回路** 30

**可拆卸法兰** 22, 99

**可重复性** 30

**可调比** 27

**空程** 27

**空气泄漏, 仪表** 请参见仪表

**空气质量, 仪表** 请参见仪表

**控制**

范围 28, 45

回路 17, 28, 102, 153, 157

系统 27

**控制阀** 请参见阀门

**快开** 请参见流量特性

**扩散器**

内联 125

排气口 125

## L

**力矩**

动态 119

公式 119

启动 119

适于旋转阀的系数 120

**连接端** 61

焊接式 62

螺栓紧固带垫片法兰 61

其他 62

旋入式管螺纹 61

**两级定位器** 请参见定位器

**量程** 31

**零件** 167

推荐备件 168

维修 167

**零误差** 32

**硫化应力裂纹** 149

**流量放大器** 32, 83

**流量特性** 26

安装 26, 29

等百分比 28

定制 147

固有 26, 29

快开 30

频率响应 29

线性 30

修正的抛物线 26

选型 103

**流量系数 (Cv)** 26

额定 27

计算 107, 110

相对 27

**流体控制组织 (FCI)** 28, 68, 178

**螺栓, 紧固** 164

## M

**美国测试和材料学会 (ASTM)** 27

**美国电气制造商协会 (NEMA)**

外壳等级 188

**美国腐蚀工程师协会 (国际 NACE)** 30, 179

MR0175 2003 年前的修正本 149

NACE MR0103 150

NACE MR0175 150

**美国管道法兰尺寸**

带法兰管件的法兰厚度 292, 293

法兰直径 291, 292

螺孔中心圆直径 289

双头螺栓数量和直径 290, 291

**美国国家标准组织 (ANSI)** 27

**美国机械工程师学会 (ASME)** 27, 177

**美国石油组织 (API)** 27, 177

比重和重量因子 313, 314

**美国仪表学会 (ISA)** 30, 178

**美制管道法兰尺寸** 289

**密封件**

滑动 25

环 25

气缸端盖 19

轴套 21

**敏感性** 31

**摩擦** 29, 38, 117, 118, 130, 131, 167

**模拟 I/P 定位器设计** 请参见定位器

**膜片** 19

安装压力范围 26

阀门 请参见阀门

盖子 19

固有压力范围 26

压力范围 25

支撑板 20

执行机构 19, 74, 75, 167

## N

**内联扩散器** 125

## O

**OREDA 数据** 232

**欧盟 (EU) – ATEX 指令 2014/34/EU** 185

**欧洲标准化委员会 (CEN)** 177

**欧洲材料标准** 177

**欧洲法兰标准** 178

**欧洲工业阀门标准** 177

## P

**排空扩散器** 125

**旁路阀** 请参见阀门

**喷水穿透度** 155

**喷嘴** 请参见减温器

**偏心阀芯** 请参见阀门

**偏心阀板** 请参见阀门

**频率响应** 请参见流量特性

## Q

**启动阀内件** 请参见阀内件

**气动定位器** 请参见定位器

**气缸** 请参见活塞式

**汽轮机旁路**

部件 160

阀门 160, 161

驱动 161

系统 160

**气蚀** 120, 123, 125, 146

阀门选型 122

阻塞流 120

**球**

部分 23, 24, 57

阀门 60, 127, 203, 204

截球体 58

全 23

V形凹口 24, 57, 120

**区域系统** 181, 184, 185

**确认** 165

## R

**认证** 请参见标准

**容量** 25, 28

**入口保护 (IP) 代码** 191

## S

**三通阀** 请参见阀门

**闪蒸** 120, 122

阀门选型 122

阻塞流原因 120

**熵** 28, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260

**上阀体** 请参见阀门

**设备保护级别 (EPL)** 184

**设定点** 31

**失气 - 安全** 26

**失气 - 打开** 26

**失气 - 关闭** 26

**时间常数** 31

**石墨填料** 请参见填料

**时滞时间** 28, 39, 42

**手动**

操纵器 请参见手轮

执行机构 请参见执行机构

**手轮** 91

侧装式 91

顶装式 91

**枢轴式安装** 25

**数字式阀门控制器** 81, 84, 88, 233

双向数字通信 81

诊断 81

**双阀座阀门** 请参见阀门

**双向数字通信** 请参见定位器

**双作用** 请参见执行机构

**死区** 28, 37, 38

**缩流断面** 27, 121

## T

**T63** 31

**弹簧**

- 阀座 22
- 速率 27
- 调节器 22

**弹簧薄膜** 请参见执行机构

**弹簧设定范围** 25, 171

- 阀座座合力 171

**特性** 请参见流量特性

- 饱和蒸气 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270
- 过热蒸气 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278
- 水 260, 261
- 液体和饱和蒸气 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260

**特性化** 70

**特性化的阀笼** 请参见阀笼

**特性化的阀芯** 72

**体积换算** 307

**体积流量换算** 307

**填料** 21, 30, 65

- 层状石墨和丝状石墨 65
- ENVIRO-SEAL PTFE 68, 69
- ENVIRO-SEAL 石墨 68, 69, 70
- ENVIRO-SEAL 双相填料 68, 69
- HIGH-SEAL 石墨 ULF 70
- ISO-Seal PTFE 68
- ISO-Seal 石墨 70
- 控制阀 65
- 摩擦 117, 118
- PTFE V 形环 65, 68
- 石墨盘根 70
- 推杆 170
- 选择 128
  - 对于旋转阀 70, 71, 130, 131
  - 对于直行程阀门 70, 71, 129, 130

**填料**

- 函(组件) 20

**烃, 物理常数** 247, 248, 249, 250

**推杆**

- 连接件 22
- 填料
  - 维护 170

**V**

**V 形切口球** 请参见阀门

**W**

**外壳等级** 188, 191

**万向轴承** 24

**危险场所分类** 179

- 级别/分区系统 180
- 区域系统 181
- 认证和定义 179
- 设备子组 181
- 设备组 181

**维护**

- 被动性 165
- 控制阀 165
- 预测性 165, 166
- 预防性 165
- 执行机构 169

**温度**

- 代码 184, 185
- 换算 310, 311
- 换算公式 310

**无法兰阀门** 请参见阀门

**无损检测步骤** 139

**无线阀位监控器** 87

**X**

**系数, 口径计算** 请参见选型计算

**限位开关** 87

**线性**

阀笼 19, 71

特性 30

**线性度** 30

**限制流通能力阀内件** 73

**相对流量系数** 27

**响应**

时间 39

**响应时间** 31, 41, 42

**橡胶套** 21

**向下推打开 (PDTO) 结构** 27

**向下推关闭 (PDTC) 结构** 26

**消声器** 127

**小流量阀** 请参见阀门

**信号** 31

反馈 28

幅度排序 (分程) 31

**行程** 31, 171

额定 27

偏差 167

指示器 31

**性能测试回路** 36

**修正的抛物线** 请参见流量特性

**旋启式止回阀** 请参见阀门

**旋转阀** 请参见阀门

**旋转式执行机构选型** 119

**选型计算** 31, 46, 92, 103

阀门

适于可压缩流体 109

适于液体 106

适于旋转阀的系数 115

适于直通阀的系数 114

缩写和术语 104

执行机构

对于旋转阀 119

对于直通阀 116

**选择**

控制阀 94

流量特性 103

气蚀工况阀门选型 122

闪蒸工况阀门选型 122

填料 请参见填料

**Y**

**压降**

比系数 110

允许选型 107

**压力**

范围 26

负载 20, 30

换算 308, 309

量程 25

气源 31, 166

仪表 30

**压力-温度额定值** 134, 135, 136, 137, 138, 139

**液体动力学阀内件** 请参见阀内件

**液体动力学噪音预测** 请参见噪音

**一阶** 29

**仪表**

空气泄漏 166

空气质量 167

压力 30

**逸散性排放** 66

**硬度** 29

**有效面积** 26

**预测性维护** 165, 166

**预防性维护** 165

**原始设备制造商零件** 请参见零件

**允许选型压降** 请参见压降



## Z

**噪声**

控制 125

总结 127

**噪音**

减少 147

衰减 144

预测 123

空气动力学 123, 124

液体动力学 124, 127

**增强器** 请参见流量放大器**增益** 29, 44

安装阀门 29, 43

固有阀门 29

过程 30

回路 30, 43

**闸阀** 请参见阀门**针型阀** 请参见阀门**诊断** 请参见定位器**振荡** 29**蒸汽减温器** 159**蒸汽喷淋器** 160**蒸汽调节阀** 158, 159**正作用执行机构** 请参见执行机构**支架** 23, 75**职业安全和健康法令 (OSHA)** 30**直通阀** 20, 53, 116, 196, 197, 198, 207, 219

单阀座 53

阀笼样式 54, 55

后导向和阀口导向 54

三通 20, 56

双阀座 55

**直行程**

阀门 请参见阀门

填料 请参见填料

**执行机构** 27, 74, 87, 91

出计算 119

齿条和齿轮 76

电液 76

反作用 21, 22

杠杆 23

活塞 21, 75, 170

口径计算

旋转阀 119

膜片 74, 75

手动 75, 76

双作用 26

弹簧 18

弹簧薄膜 167, 169

推杆 18

加长型 18

力 18

维护 169

选型计算 116

直通阀 116

正作用 20, 74

组件 27

**执行机构和定位器的设计** 39**止回阀** 请参见阀门**制冷剂 717 (氨)** 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260**制造商标准化学会 (MSS)** 179**终端控制元件** 28, 230, 234**轴套** 19, 21**转换器, I/P** 请参见 I/P**自动控制系统** 27**最大流量** 请参见流量**最大转角** 120

# 附件

其他资源



## 资料集

控制阀组件的行业概述和最佳实践

## 技术文档

阀门、执行机构和仪表的详细规范

## 白皮书

过程控制行业和应用专业知识

## 其他