

浅谈仪表控制阀的分类及在化工行业中的选型

蔡鑫鑫

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司仪表管理中心 宁夏 银川 750409

摘要:在化工行业中,仪表控制阀分类多样,按结构、执行机构、动作模式和流量特性等划分各有特点。化工行业对控制阀有介质适应性、操作条件、安全与环境等特殊要求。选型需依据工艺参数、阀门特性、执行机构及特殊工况,历经数据收集、初步选型、详细分析、最终确定等流程。本文深入探讨仪表控制阀分类及化工行业选型,为合理选型提供全面指导,保障化工生产稳定安全运行。

关键词:仪表控制阀;化工行业;阀门分类;选型依据;选型流程

引言:化工生产流程复杂,对介质流量、压力等参数控制要求严格。仪表控制阀作为关键控制设备,其性能直接影响生产稳定性与产品质量。不同类型控制阀具有不同特性,适用于不同工况。化工行业特殊环境又对控制阀提出诸多特殊要求。因此,深入了解仪表控制阀分类,掌握化工行业选型依据与方法,对于确保化工生产安全、高效运行具有重要意义。

1 仪表控制阀的基本分类

1.1 按结构形式分类

直通单座控制阀结构简单,密封性好,流阻较大,适用于小口径、低压差的工况。直通双座控制阀拥有两个阀座,受力平衡设计让阀体承受压力更高,流量系数大于单座阀,适合大流量、中高压差场景^[1]。角形控制阀流道呈直角,流体阻力小,不易产生沉淀堵塞,常用于介质含颗粒、高粘度的场合。三通控制阀可实现介质的合流或分流功能,流量调节范围广,在换热系统、混合工艺中应用较多。蝶阀依靠圆盘式阀瓣旋转控制流量,结构紧凑轻便,流通能力强,适合大口径、低压工况的流量控制。球阀通过球体绕轴线旋转实现启闭与调节,密封性能优异,流通阻力极小,适配多种介质类型。隔膜阀采用弹性隔膜隔离介质与内部结构,防腐性能突出,能有效避免介质污染,多用于腐蚀性介质或洁净工况。旋塞阀借助锥形或圆柱形塞子旋转控制通道通断,启闭迅速,结构简单,适用于低压、小口径的截断场景。

1.2 按执行机构分类

气动执行机构以压缩空气为动力源,动作可靠、成本低,适应易燃易爆等危险环境。薄膜式执行机构基于气压作用于薄膜产生推力,结构简单维护方便,是工业应用最广的气动类型。活塞式执行机构输出推力大,动作速度快,适合高压差、大口径阀门驱动。拨叉式执行机构通过拨叉结构将直线运动转化为旋转运动,适配角

行程阀门,运行稳定且占用空间小。电动执行机构以电能为动力,调节精度高,控制信号传输便捷,无需额外气源或液压系统。直行程电动执行机构输出直线位移,对应直行程阀门调节动作,控制精准。角行程电动执行机构输出旋转位移,适配蝶阀、球阀等角行程阀门,响应速度快。多回转电动需多圈旋转启闭,适合闸阀等,扭矩大。液动执行机构以液压油为动力,输出推力和扭矩极大,动作平稳,适用于大口径、高压工况。电液联动结合电能控制与液压驱动优势,适配复杂工况。

1.3 按动作模式分类

直行程控制阀阀杆做直线往复运动,通过改变阀座与阀瓣的间隙调节流量,适配直通单座、双座等结构类型,最大行程为100mm。角行程控制阀阀杆绕轴线做旋转运动,旋转角度通常在90度范围内,对应蝶阀、球阀等结构,调节精度可达1度。多回转控制阀阀杆需多圈旋转实现启闭与调节,适配结构复杂、行程较长的阀门,能满足高精度流量控制需求,旋转圈数为3圈至10圈。不同动作模式的控制阀各有特点,在化工生产中应根据具体工艺流程和控制要求进行合理选择,以实现最佳的流量控制效果。

1.4 按流量特性分类

等百分比流量特性的流量随阀杆行程变化呈等百分比规律,小开度时流量调节精细,大开度时流量变化平缓,适合负荷波动大的工况,其流量调节范围能覆盖20-800立方米/小时。线性流量特性的流量与阀杆行程呈线性比例关系,调节性能稳定,适配负荷变化均匀、调节精度要求一般的场景,流量调节范围在30-600立方米/小时。快开流量特性在阀杆行程较小时流量快速达到最大值,启闭动作迅速,多用于需要快速截断或接通介质的场合,阀杆行程在5-20毫米时流量可达最大。抛物线流量特性的流量变化规律介于线性与等百分比之间,调节性能均衡,能

适配多种复杂工况的流量控制需求,流量调节范围在25~700立方米/小时。了解这些流量特性,有助于化工企业根据生产工况选择合适的控制阀,确保生产过程的稳定性和产品质量。

2 化工行业对仪表控制阀的特殊要求

2.1 介质适应性要求

腐蚀性介质需阀门选用耐腐材料,避免长期接触引发结构破损或性能衰减,保障运行稳定性,耐受pH值1至14的介质环境^[2]。高粘度介质易导致流动阻力增加,阀门需优化流道设计,减少介质滞留堆积,确保调节动作顺畅,适配粘度 $\leq 5000\text{mPa}\cdot\text{s}$ 的介质。含颗粒介质可能造成阀座磨损、通道堵塞,阀门需强化耐磨性能,采用不易卡涩的结构设计,耐受颗粒粒径 $\leq 5\text{mm}$ 的介质。高温介质会影响阀门材质强度与密封性能,需选用耐高温材质,搭配适配密封方案,耐受温度 $\leq 600^\circ\text{C}$ 的介质。低温介质易导致阀体部件收缩变形,需考虑材质低温韧性,防止密封失效,耐受温度 $\geq -196^\circ\text{C}$ 的介质。有毒有害介质对密封性能要求严苛,阀门需阻断介质泄漏,避免造成环境危害与安全隐患,泄漏量控制在 $\leq 0.1\text{ml/h}$ 。

2.2 操作条件要求

高压差工况下阀门前后压力差值大,易产生气蚀与噪音,需优化阀内件结构,提升抗气蚀能力,耐受压差 $\leq 10\text{MPa}$ 的工况。高温高压工况叠加会加剧阀体损耗,阀门需具备足够结构强度,材质需耐受极端工况下的应力与腐蚀,适配温度 $\leq 550^\circ\text{C}$ 、压力 $\leq 35\text{MPa}$ 的场景。闪蒸与空化工况易造成阀内件冲刷磨损,阀门需采用抗冲刷材质,优化流道形态抑制闪蒸空化产生,耐受流速 $\leq 30\text{m/s}$ 的介质。高频振荡工况会影响阀门连接稳定性与调节精度,需强化阀体固定结构,提升部件抗振性能,避免长期振荡导致松动损坏,耐受振动频率 $\leq 50\text{Hz}$ 的环境。

2.3 安全与环境要求

防火安全设计需满足行业防火标准,阀门在火灾场景下需保持基本密封性能,减少介质泄漏扩散风险,耐火时间 ≥ 30 分钟。防爆要求针对易燃易爆环境,阀门需采用防爆结构设计,避免运行中产生电火花引发危险,防爆等级达ExdIIBT4及以上。密封等级要求根据介质特性与工况确定,需匹配对应密封标准,防止介质渗漏影响生产安全,密封等级达ANSIClassV1及以上^[3]。泄漏控制要求贯穿阀门全生命周期,需从设计、制造、安装各环节强化管控,最大限度降低泄漏量,兼顾安全运行与环境保护,对外泄漏量 $\leq 0.01\text{ml/min}$ 。

3 化工行业仪表控制阀的选型依据

3.1 工艺参数分析

介质性质与状态参数是选型核心前提,需明确介质腐蚀程度、粘度等级、颗粒含量及毒性等关键属性,同时确认介质处于气态、液态或气液混合状态,颗粒含量 $\leq 100\text{mg/L}$ 。流量参数与调节范围需精准测算正常工况流量、最大最小流量值,确保阀门调节能力覆盖全工况需求,避免流量超出适配范围导致调节失效,正常流量范围为 $5\text{m}^3/\text{h}$ 至 $500\text{m}^3/\text{h}$ 。压力参数与压差条件需统计阀门前后工作压力、设计压力及工况压差变化,为阀门结构强度设计和抗气蚀性能选型提供依据,工作压力 $\leq 25\text{MPa}$ 。温度参数与变化范围要考量介质工作温度、极限温度及温度波动幅度,保障所选材质和密封结构能适应温度变化,工作温度范围为 -40°C 至 450°C 。工艺参数分析是选型的基础,只有准确掌握这些参数,才能选出合适的控制阀。

3.2 阀门特性匹配

阀门流量特性选择需结合工艺负荷变化规律,适配不同调节需求以提升控制精度,流量比控制在30:1至100:1之间。阀门口径计算与确定需依据流量、压力、温度等参数,通过专业公式核算得出,既要满足流通能力要求,又要避免口径过大或过小影响调节效果,口径范围为 15mm 至 300mm 。阀门材料选择原则需贴合介质特性与工况条件,优先保障材料耐腐、耐高温、耐磨等性能,同时兼顾经济性,耐高温材质可耐受 600°C 高温。阀门结构形式选择需结合介质状态、流量需求及安装空间,挑选流通阻力小、维护便捷且适配工况的结构类型,流阻系数 ≤ 10 。阀门特性匹配是选型的关键环节,直接影响到控制阀在化工生产中的性能表现。

3.3 执行机构选型

驱动力与力矩计算需根据阀门口径、工作压力及介质阻力,核算执行机构所需输出力与力矩,确保动力充足以驱动阀门正常启闭,输出力矩范围为 $100\text{N}\cdot\text{m}$ 至 $5000\text{N}\cdot\text{m}$ 。执行机构类型选择需结合现场动力条件、工况要求及控制精度,合理选用气动、电动、液动或电液联动类型,气动执行机构工作气压为 0.4MPa 至 0.6MPa 。执行机构作用形式选择需依据工艺安全需求,确定为常开、常闭或双向作用形式,响应时间 ≤ 3 秒。附件配置要求需结合控制逻辑与工况需求,搭配定位器、电磁阀、过滤器等附件,提升执行机构运行稳定性与控制可靠性,定位器精度 $\leq 0.5\%$ 。执行机构选型合理与否,直接关系到控制阀的操作性能和控制精度。

3.4 特殊工况考虑

腐蚀环境下的材料选择需优先选用耐腐合金、衬里材料等,阻断介质对阀门的腐蚀侵蚀,耐受pH值1至14

的腐蚀环境。磨损工况下的结构选择需优化阀内件结构,采用耐磨材质或强化表面处理,延长阀门使用寿命,耐磨层厚度 $\geq 3\text{mm}$ 。高温高压下的密封选择需选用耐高温高压密封件,优化密封结构设计,防止介质泄漏,适配温度 $\leq 550^\circ\text{C}$ 、压力 $\leq 35\text{MPa}$ 的工况。低泄漏要求的特殊设计需采用双重密封、迷宫密封等结构,严格控制泄漏量,满足安全与环保标准,泄漏量 $\leq 0.001\text{ml/h}$ 。特殊工况下的选型考虑,是确保控制阀在恶劣环境中稳定运行的重要保障。

4 选型决策流程与方法

4.1 数据收集与整理

工艺数据收集需全面覆盖介质特性、流量范围、压力等级、温度区间等核心参数,确保数据精准完整为后续选型提供支撑,数据误差控制在 $\leq 2\%$ 。操作条件确定要明确正常工况、极限工况及波动范围,把握工况变化规律避免选型偏差,极限压力为工作压力的1.2倍。环境条件确认需考量现场安装空间、动力供应类型、易燃易爆等级及腐蚀环境强度,让选型方案适配现场实际环境,安装空间预留 $\geq 50\text{mm}$ 检修间隙^[4]。数据整理需对收集信息分类梳理,剔除无效数据、修正偏差数值,形成系统完整的选型数据清单,数据合格率 $\geq 98\%$ 。数据收集与整理是选型决策的基础工作,只有做好这一环节,才能为后续选型提供可靠依据。

4.2 初步选型与计算

阀门类型初选基于整理后的工艺与环境数据,结合各类阀门结构特性与适用场景,筛选出2-3种适配性较强的阀门类型,选型适配率 $\geq 90\%$ 。口径计算需采用行业标准公式,结合流量、压力、温度及介质粘度等参数精准核算,确保口径匹配流通需求,同时兼顾调节精度,计算误差 $\leq 3\%$ 。材质初选依据介质腐蚀、温度及磨损特性,优先选用性能达标且经济性合理的材质,初步确定阀体、阀内件及密封件材质类型,材质使用寿命 ≥ 8000 小时。初步选型后需整合结果形成初选方案,为后续详细分析奠定基础,方案数量控制为3套以内。

4.3 详细选型分析

特殊工况验证针对高温高压、腐蚀磨损、低泄漏等

特殊场景,核查初选方案能否满足工况要求,优化不足之处提升适配性,验证项目 ≥ 5 项。控制特性验证需结合工艺调节需求,确认阀门流量特性、调节精度与执行机构响应速度是否匹配,保障控制效果达标,调节精度 $\leq 1\%$ 。安全性能验证对照行业安全标准,检查阀门防爆、防火、密封等级及泄漏控制能力,排除安全隐患,验证合格率 $\geq 100\%$ 。详细分析中需逐一验证各项指标,对不达标项及时调整优化初选方案,优化次数 ≤ 2 次。

4.4 最终确定与确认

技术规格确定需明确阀门型号、口径、材质、压力等级、执行机构类型及配件配置等核心参数,形成精准的技术规格书,参数条目 ≥ 15 项。供货范围确认需明确阀门本体、执行机构、配套附件及易损件清单,界定供需双方责任边界,易损件数量按3套配置。技术文件准备包括规格书、材质证明、检验报告、安装维护手册等,确保后续安装、调试及运维有完整技术支撑,文件份数 ≥ 6 份。最终确认需复核各项内容与工艺需求一致性,签字确认后作为供货与验收的依据,复核人员 ≥ 2 人。

结束语

仪表控制阀在化工行业应用广泛,其分类多样且各有适用场景,化工行业的特殊要求也决定了选型的复杂性。通过严谨的选型决策流程,从数据收集到最终确认,综合考虑工艺参数、阀门特性、执行机构及特殊工况等多方面因素,才能选出合适的控制阀。这不仅保障化工生产的稳定运行,提高产品质量,还能有效降低安全风险与环境影响,为化工行业的持续发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]刘增强.基于人工智能的智能仪器仪表控制阀优化设计[J].模具制造,2025,25(4):210-212.
- [2]纪文强.提高仪表气系统干燥塔运行稳定性的优化研究[J].今日自动化,2025(2):128-130.
- [3]林泽群.基于化工仪表的自动化控制与安全防护[J].广州化工,2025,53(15):140-142.
- [4]陈学强,赵玉林,李帅.PTA装置仪表控制阀硬化层的腐蚀及改进策略[J].合成纤维,2025,54(10):87-89.