

催化烟机快切阀控制系统改造

马继栋

玉门油田分公司

摘要: 本文针对催化裂化装置中烟机快切阀控制部分存在的稳定性与可靠性问题, 深入探讨其在实际应用中面临的典型故障, 并结合控制策略对本厂意大利进口蝶阀进行技术改造, 通过控制并入 ESD 系统实现液压实时监控和安全联锁功能, 提高了快切阀的响应速度和运行可靠性, 有效保障了催化裂化装置的长周期安全稳定运行, 同时产生了显著的节能经济效益。

关键词: 烟机快切阀; 控制改造; 快速切断; 安全联锁; 催化裂化

催化裂化装置是石油炼制过程中的核心环节, 而烟气轮机 (简称“烟机”) 作为能量回收三机组的关键设备, 能够有效利用催化裂化再生烟气中的压力和热能, 显著降低装置能耗。在烟机系统中, 催化烟机快切阀作为催化裂化装置能量回收系统中的关键设备, 对保障机组安全运行、防止非计划停车起着至关重要的作用。因此企业部门提出烟气轮机入口蝶阀必须具备速关功能, 全行程关闭时间应小于 1 s, 90% 关闭时间应小于 0.5 s。调节阀和切断阀的执行机构各自单独配置, 禁止共用^[1]。某催化装置烟机快切阀主要采用进口蝶阀、国产部分采用某机械厂蝶阀, 在实际运行中, 烟机快切阀工作环境极为恶劣, 需要面对超 680℃ 高温烟气、催化剂粉尘磨损及烟气腐蚀等多重挑战。据统计约 30% 的催化装置非计划停工快切阀故障相关。

因此, 深入研究快切阀的技术特点及故障机理, 对提升装置运行可靠性、降低维护成本具有重要意义。本文从技术原理、结构设计、故障分析、智能控制及应用案例等多维度分析阀门控制技术, 并对意大利进口阀门控制系统改造, 实现烟机蝶阀的实时监控。

1 阀门技术原理与技术特点

1.1 快切阀工作原理

催化烟机快切阀属于管道安装快速切断阀门的一种, 其主要功能是在系统检测到危险信号时, 能够在极短时间内 (通常 $\leq 1\text{s}$) 完全切断烟气介质流动。根据驱动方式的不同, 快切阀可分为气动、液动和电液联动三种类型。其中, 液控快切阀因具有推力大、响应快、可靠性高等优点, 在大型催化装置中应用最为广泛。

快切阀的基本工作原理是利用执行机构储存的机械能 (如弹簧力或蓄能器压力) 在接收到控制信号后迅速释放, 驱动阀板从全开位置旋转至全关位置。以 BIFFI 液控快切阀为例, 其工作过程可分为两个阶段: 正常起闭阶段和紧急切断阶段。在正常操作条件下, 阀门通过液压系统控制, 按预设速度起闭; 当系统检测到危险工况 (如烟机超速、轴承振动超标、入口催化剂浓度过高等) 时, 机组控制系统会立即触发快切程序, 快速释放执行机构油缸压力, 在双弹簧力作用下实现阀门的急速关闭^[2]。

1.2 关键结构设计

1) 执行机构: 执行机构是快切阀的核心部件, 直接决定阀门的切断性

能。多弹簧活塞式气动执行器是较为先进的设计, 通过压缩油压驱动活塞杆实现直线运动。这种执行器具备双作用 (K 型) 和单作用 (B 型) 两种模式, 其中单作用式内置弹簧复位机构, 可故障时自动快速关闭阀门, 确保安全联锁功能。该 BIFFI 阀门采用单作用双弹簧执行机构响应时间应 $\leq 1\text{s}$, 推力设计比较大。

2) 阀体与阀板结构: 针对高温工况, 快切阀通常采用三偏心金属密封结构, 这种设计能有效解决因热膨胀导致的卡涩和变形问题。阀体流道按等截面低流阻设计, 额定流量系数 C_v 值较传统阀门提升 30%, 有效降低系统压损。阀板与阀座形成 “弹性 + 刚性” 双重密封, 阀板密封面堆焊硬质合金和采用可更换的硬密封压圈, 阀座采用金属硬密封, 不变形时泄漏等级达到 ANSI VI 级 (零泄漏)。

3) 控制技术: 该阀门电气部分采用了防过流和电压保护、油压低主备泵切换、控制部分采用输入继电器隔离、开度调节和点动开关功能、偏差锁位功能、油温和油压报警功能、零位调整功能、紧急联锁功能和手动切换操作功能, 确保运行的可靠性。

2 烟机快切阀控制部分存在的问题分析

从中油多家炼化企业催化裂化装置中实际运行发现,烟机快切阀控制部分普遍存在以下几类典型问题:催化裂化装置烟机入口切断蝶阀在运行过程中曾出现阀位控制不稳定、锁位不可靠、电动机频繁起停和蓄能器破裂等故障现象,甚至引起装置停车。

2.1 控制不稳定与锁位不可靠

原控制机构在执行过程中出现控制不稳定现象,主要表现为阀位波动大、定位精度差。这种不稳定主要源于控制元件老化和伺服放大器性能衰退。运行中快切阀的锁位不可靠尤为突出,主要阀在设定位置偏差大于3%则无法可靠锁定,主要没有调试好两个锁位电磁阀,导致阀门逐步关小造成工艺参数波动,严重时阀门关闭影响装置的稳定运行。

2.2 液压系统故障

该阀门在催化装置曾发生因蓄能器突然失压导致烟机入口切断蝶阀异常关闭,引发装置连锁动作,催化装置切进料转入连锁停车状态。事后分析发现,故障直接原因是蓄能器顶部紧急泄压阀内的爆破片老化破裂,导致皮囊内氮气泄漏,同时皮囊与充氮阀连接件脱落,造成液压油泄压。还有泄压阀故障不能够保压,出现系统油压保不住,油泵持续增压工作,造成油温高阀门和慢慢关闭。油缸活塞密封泄漏出现高压串低压,造成阀门一直慢慢关闭状态,都是因为油压推动力较大,维护不及时造成液压系统故障。

2.3 故障诊断与保护功能远程监控不足

该快切阀控制系统独立于ESD机组控制系统,部分信号未接入系统无法实时监测阀门运行状态并及时预警。当阀门出现卡涩、偏离设定位置或响应异常时,操作人员难以及时察觉,极易导致故障扩大。在紧急工况下无法确保阀门的快速、可靠动作,存在安全隐患。

2.4 电动机频繁起停与油温过高

控制不稳定还直接导致了驱动电机频繁起停,这不仅增加了设备磨损和油温增高,也造成了能源浪费。电动机频繁启动时的冲击电流使得系统能耗居高不下,同时缩短了电动机使用寿命。频繁加压造成油温高对油路系统密封造成老化,蓄能器频繁冲压,对蓄能器皮囊影响较大,容易造成皮囊破裂而油压缓冲时间不足。

3 烟机快切阀控制部分改造方案

由于弹簧势能存在,控制不稳和故障处理不及时往往造成阀门关闭影响生产是其最大的弊病,现有的烟机快切阀系统为继电器逻辑单元,油压监控不足,逻辑控制功能测试不完善,进口备件不便采购,严重影响催化长周期平稳运行。针对上述问题,主要从硬件融合、控制算法优化和安全连锁完善三个维度提出综合改造方案,利用该阀门现场手动切换和单作用优势,实现原有功能可靠替换,保持原油液压机机械部分不变,提出烟机快切阀控制部分的改造方案,全面提升快切阀的控制性能和系统融入监护。

3.1 控制系统与ESD融合

控制系统硬件是快切阀实现精准控制的基础,本次改造重点对核心硬件接入机组ESD系统,主要完成的信号点接入如下。

3.1.1 液压油控制信号

1) 位置反馈:高精度位移传感器

实时监测阀板位置,利用原有反馈接入ESD;2) 信号输出:控制阀门位置,ESD输出AO操作伺服驱动模块;3) 压力监测:增加压力变送器实时监测液压系统压力、蓄能器压力关键参数接入ESD;4) 温度监测:利用原有温度开关连入ESD系统监控液压油温;5) 液位监测:利用原有液位开关连入ESD系统监控油箱液位。

3.1.2 电气液压泵控制

增加液压泵启动逻辑功能,实现备用泵自起功能和减少启动延时,如图1所示。液压泵启动信号:在主泵运行时,压力低时启动备泵。液压泵运行信号:运行液压泵判断和油泵运行状态。

3.1.3 更换采取的安全措施

1) 阀门切换为现场手动操作,保持阀门安全开大;2) 油路系统适度根据情况保压运行,采用配电室继电单元。

3.2 具体施工内容

1) 压力表更换为压力变送器,现场显示压力和系统指示和趋势,加工连接接头,接入现有ESD系统AI点,现场布线1根2芯电缆;2) 具体接入ESD系统点数为DI液位低、DI2过滤器差压高、DI3油温高、DI4油压低、DI5油泵1运行状态、DI6油泵2运行状态、DI7油泵1开关、DI8油泵2开关;输出DO1油泵启动输、DO2油泵启动、DO3保位控制DO4运行状态、伺服阀位控制和AO驱动。

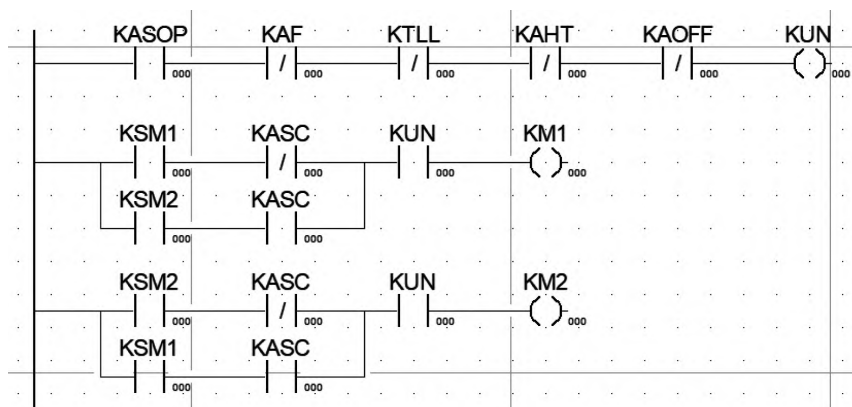


图1 油压低油泵互为备泵控制逻辑

3.3 实现逻辑功能

1) 油压低油泵互为备泵控制; 2) 阀门油泵运行状态监控。

原油泵运行逻辑如图 2 所示, 当运行的油泵电压正常、油压压力低、液位低、DI2 过滤器差压高、DI3 油温高时, 跳转到备用泵运行。在 ESD 中组态油泵控制程序实现备泵低油压启动, 如果启动无回讯信号, 则保持原泵正常运行, 如果启动回讯正常, 则使用备泵停止主泵。电气控制部分实现马保自动切换, 确保双电源供电。

3.4 位置伺服控制和点动控制

原有伺服阀控制卡和控制器及卡件无备件, 防爆箱加热器控制不稳工作温度较高, 采用机组 ESD 系统 SIL 认证控制系统和同厂家 $\pm 15V$ 控制模块 E-BM-AS 或航天 11 所模块较为可靠, 实现 ESD 模拟输出直接控制和点动控制。点动开关测试每按下一次调节输出不超过 1% 和 PID 调节手动测试正常后进一步投用自动, 确保 PID 参数设定合理, 防止大幅度波动。

3.5 安全联锁功能更新

安全联锁是快切阀最核心的功能, 本次改造仍采用阿托斯的电磁阀, 紧急情况时 ESD 联锁电磁阀 EV424A/B 失电联锁打开快速卸油阀实现 1S 关闭功能; 其次对位置测量偏差进行测试, ESD 组态两通道 DO 输出, 控制油路电磁阀 EV399、EV449 实现偏差 $> 4\%$ 时切断保位。运行改造中不能够发出 ESD 紧急切断信号, 防止阀门紧急关断, 现场切换手动控制方可进行保位信号测试了, 阀门给定值和实际位置偏差设定值大约 4% 的实际保位测定, 以达到安全联锁功能的目的。新增了阀门状态实时监测和油压监测, 能够持续追踪阀门动作特性曲线、动作时间等关键参数。通过液压系统改造, 实现对潜在故障的消除和及时预警。当监测到阀门性能偏离正常范围时, 系统提前发出维护提醒, 变 "事后维修" 为 "主动预测性

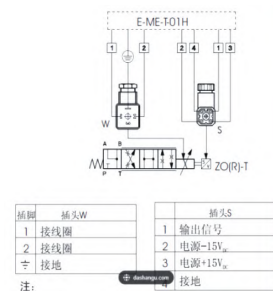


图 2 为私服电磁阀控制接线图

维护", 将大幅提升设备运行可靠性。

4 改造实施与效果评估

通过对改造后系统运行数据的持续监测与分析, 改造效果主要体现在以下几个方面。

4.1 控制性能显著提升

改造后, 快切阀的控制稳定性得到大幅改善, 阀位波动范围由原来的 $\pm 5\%$ 缩小至 $\pm 1\%$ 以内。阀门动作迅速, 两器压差控制效果明显改善, 波动范围大幅减小, 根据工艺调整水平和配合双动滑阀从原来的 $\pm 10\text{ kPa}$ 以上降至 $\pm 3\text{ kPa}$ 以内。系统响应速度显著提升, 从信号发出到阀门开始动作的延迟时间保持了原有新闻时间, 满足了工艺系统快速调节的需求。

4.2 安全可靠性大幅增强

改造后的快切阀在测试中实现了 100% 的可靠动作, 未出现任何拒动或误动现象。阀门关闭到 30% 左右仍能够装置生产需求, 在出现阀位偏差或油压低等因素能够及时判断锁位控制和提醒操作人员及时切入现场手动, 保障了阀门的各项性能测试良好。

完善的故障诊断系统使得维护人员能够及时发现并处理潜在故障, 避免了非计划停车。

4.3 节能降耗效果明显

控制系统并入 ESD 后系统更加稳定, 取消现场仪表供电, 减少了油泵频繁启动切换, 保压效果显著, 两器系统压力控制更平稳, 烟机能效得到极大发挥, 设备运行更加平稳, 不仅降低了电能消耗, 也减少了设备维护成本。

5 结论与展望

本文详细阐述了烟机快切阀控制部分的综合性改造方案及实施效果。通过控制系统硬件并入 ESD 系统、PID 控制算法优化和安全联锁功能完善三位一体的改造策略, 有效解决了原系统存在的控制不稳定、响应滞后及安全可靠性不足等问题。该 ESD 系统采用 TRICON 控制系统, 选用 CPU3009 处理器, 系统扫描时间缩短至 20 ms, 提高了系统采样频率, 确保现场数据能及时反馈运行情况。烟机快切阀控制技术将进一步向智能化、国产化和预测性维护方向发展。加强关键设备状态的实时监控与智能分析; 开发基于人工智能的自学习控制算法, 使控制系统能够自适应工艺条件变化; 建立设备全生命周期管理系统, 实现从 "预防性维护" 到 "预测性维护" 的转变, 将是下一步技术攻关的重点方向^[3]。

参考文献:

[1] 烟机切断蝶阀控制机构故障分析及改造 [J]. 广东化工, 2017(19):102-105.
[2] 催化裂化装置主备风机系统智能控制的成功应用 [EB/OL]. (2021-10) [2024-01-01]. <https://mp.weixin.qq.com/s/R9eXtu65L3jKNDBaDUft7A>.
[3] 中国石油和石油化工设备工业协会. 炼油与化工装置烟机轮机运行管理规范 T/CPI 64003—2023[S]. 北京: 中国石油和石油化工设备工业协会, 2023.