

# 关于水煤浆气化炉 氧气调节阀的探究

赵海权 汪晓娥

国家能源集团宁夏煤业甲醇分公司

**摘要：**宁夏煤业甲醇分公司甲醇装置设计产能达 85 万 t/a，其气化单元采用华东理工大学自主研发的四喷嘴水煤浆加压气化技术。该技术体系中，每台气化炉烧嘴均配置独立的氧气支管，通过氧气支管调节阀实现氧气流量的精准调控。自装置原始开车以来，氧气调节阀长期处于手动操作模式，成为制约装置自动化水平提升的关键瓶颈。本文通过现场分析和总结氧气调节阀无法自动运行的问题，采取针对性的措施解决制约生产的瓶颈问题，以提升关键设备的运行稳定性和装置的自控水平，降低人员劳动强度。

**关键词：**气化装置；氧气调节阀；自动控制；故障诊断；技术改造

## 1 概述

宁夏煤业甲醇分公司 85 万 t/a 甲醇装置是区域煤化工产业的核心生产单元，其气化装置采用的华东理工四喷嘴水煤浆加压气化技术，具有气化效率高、碳转化率高、环保性能优良等技术优势，是当前大型煤化工项目的主流气化技术之一。在该气化工艺中，氧气作为核心气化剂，其流量的稳定性直接决定气化炉的反应温度、碳转化率、合成气组分等关键工艺指标，对装置的安全稳定运行、产品质量控制及能耗水平具有决定性影响。

每台气化炉烧嘴对应的氧气支管调节阀，是氧气流量控制的核心执行机构，承担着根据气化炉工况需求实时调节氧气供给量的重要功能。该阀门的控制精度与运行稳定性，直接关系到气化炉内反应的均衡性，若控制不当易引发气化炉温度波动、结渣等安全运行风险，同时还会导致合成气产量与质量下降，造成能源浪费与生产成本增加<sup>[1]</sup>。

本次研究涉及的氧气系统调节阀，选用某品牌 MK1 系列专业工业调节阀，

配套 LOGIX3200 系列智能阀门定位器，采用阀杆与阀芯一体式结构设计。该结构设计具有刚性强、响应速度快、密封性能优良等特点，适用于高压、危险介质的精准控制场景。根据装置正常运行参数统计，氧气调节阀日常运行开度稳定在 65% 左右，对应氧气流量约为 12 200 Nm<sup>3</sup>/h，在此工况下阀门需长期保持稳定运行状态，以满足气化炉的连续生产需求。

自装置原始开车以来，受多种因素影响，氧气调节阀控制回路始终采用手动方式进行操作。随着煤化工行业自动化水平的不断提升，以及装置长周期稳定运行对生产控制精度要求的日益提高，手动控制模式的弊端愈发凸显：一方面，操作人员需根据 DCS 系统显示的工艺参数实时手动调节阀门开度，劳动强度大且调节响应滞后，难以实现氧气流量的精准实时控制；另一方面，手动操作易受人为主观因素影响，操作一致性差，导致氧气流量波动较大，影响气化炉工况的稳定性。

为解决上述问题，结合装置生产

控制的实际需求，亟须对氧气调节阀控制回路进行技术改造，实现自动控制功能的稳定投用。

## 2 现状和原因分析

针对氧气调节阀自动控制投用的需求，考虑到氧气属于化工装置中的甲类危险介质，具有易燃易爆的特性，其控制回路的稳定性直接关系到装置的安全生产，现场技术人员与操作人员对自动控制投用均存在一定的畏惧心态。为确保改造工作的科学性与可行性，项目组首先组织开展了同行业对标学习，重点调研了国内采用水煤浆加压气化技术的化工装置中氧气调节阀的运行情况。

调研结果显示，目前国内同类型装置中，氧气调节阀自动控制回路投用率较低，多数装置仍采用手动控制模式。部分已实现自动控制的装置，主要通过两种技术路径实现：一是借助先进的控制回路整定技术，结合 APC（先进过程控制）系统的复杂模型对阀门进行精准控制；二是依托成熟的传统 PID 控制

模型,通过对阀门及控制回路的全面优化实现自动运行。

结合宁夏煤业甲醇分公司的装置运行现状、现有技术储备及成本控制需求,项目组经充分论证后确定,本次改造采用传统 PID 控制模型实现自动控制回路的投用。

出于对原始开车投自动运行时氧气流量的波动情况和工况平稳控制的要求以及操作人员的操作习惯考虑,控制回路未投自动运行,针对投自动运行期间的波动情况,组织对信号回路和现场控制阀进行检查和分析,使用排除法逐个进行验证,分析认为存在以下几种可能性。

## 2.1 执行机构的检查

现场氧气调节阀配置 Valtek 系列活塞式双作用执行机构,其工作原理为通过控制活塞盘上下腔压力达到平衡,从而实现阀门对应开度的精准控制。依据执行机构的内部结构及动作逻辑,若存在气路泄漏问题,将破坏活塞盘压力平衡状态,进而导致阀门运行波动。

结合上述分析,项目组利用气化炉计划检修契机,对执行机构开展全面拆检,重点检查活塞盘密封及活塞盘推杆密封等核心运行部件的密封状态。拆检结果显示,活塞盘 O 形密封圈及推杆密封圈均存在明显磨损痕迹,这是导致气路潜在泄漏的主要原因。

针对该问题,项目组采取针对性整改措施:选用 HNBR (氢化丁腈橡胶) 材质密封件对磨损的活塞盘及推杆 O 形密封圈进行国产化替代,以适配现场工况需求;对执行机构缸体内部进行彻底清理,去除杂质并更换专用润滑油脂,提升部件运行灵活性;完成整改后对气路进行气密性专项检测,确保无泄漏隐患。装置投料运行后,将阀门切换至自动控制模式测试,结果显示氧气流量最大波动幅度为  $500\text{ Nm}^3/\text{h}$ ,虽较整改前有一定改善,但仍未满足工艺控制精度要求<sup>[2]</sup>。

## 2.2 定位器的检查

现场阀门配套 5200MD 系列智能阀门定位器,其工作原理为:DCS 系统输出的  $4\sim 20\text{ mADC}$  标准控制信号经电气转换器转换为气压信号,再通过放大器对气路信号进行放大后驱动执行机构动作,同时行程传感器将阀门实际开度信号作为闭环负反馈,实现对阀门位置的精准调控。

项目组结合定位器工作原理,分析认为可能导致阀门波动的潜在原因包括:定位器内部气路泄漏导致输出信号不稳定;定位器长期在小开度区间频繁调节,造成该区间反馈控制精度下降。

为排查上述问题,技术人员对定位器开展全面拆检:经检查,定位器内部气路连接紧固,无泄漏现象;其反馈系统采用霍尔感应式非接触设计,不存在机械接触磨损问题,保障了反馈信号的稳定性;拆检核心调节部件滑阀时发现,滑阀阀杆存在轻微磨损痕迹,而滑阀需在运行中频繁调整位置以调节气压输出,轻微磨损可能影响调节精度。

针对滑阀阀杆磨损问题,技术人员对阀杆进行彻底清理并涂抹专用润滑油脂,随后按技术规范完成定位器回装。利用定位器自带的自诊断功能(通过红、黄、绿三色指示灯不同闪烁规律反馈设备状态)进行全面检测,并对阀门开展静态校验,确认定位器各项功能正常。装置运行后,现场观察定位器指示灯呈绿色闪烁状态,表明设备工作正常;定位器双作用输出压力表指针运行稳定,无明显波动。再次将阀门切换至自动控制模式测试,氧气流量最大波动幅度降至  $450\text{ Nm}^3/\text{h}$ ,仍未达到工艺要求。

## 2.3 信号回路的检查

氧气调节阀控制信号回路采用“DCS 控制系统→MTL5046 安全栅→现场定位器”的传输路径,DCS 输出的模拟信号经安全栅隔离后,以两线制  $4\sim 20\text{ mA}$  信号形式传输至现场定位器。项目组分析认为,可能导致信号波

动的因素主要包括:DCS 输出通道信号不稳定、安全栅长周期运行性能衰减、信号回路电缆接地不规范引入干扰、电缆绝缘破损导致信号异常。

为全面排查问题,项目组在装置停车期间开展专项检测:使用标准电流表分别在 DCS 输出通道后及安全栅输出后进行电流测量,结果显示电流信号稳定,排除 DCS 通道及安全栅性能问题;检查信号回路接地情况,其采用机柜间单点接地方式,实测接地电阻为  $1.3\Omega$ ,满足规范要求 ( $< 4\Omega$ ),避免了电磁干扰;对现场信号线敷设情况进行检查,重点排查拐弯及穿套管部位的绝缘状态,并用摇表检测电缆绝缘电阻,实测值为  $2\text{ M}\Omega$ ,符合规范要求,排除电缆绝缘破损问题。

结合现场 12 台氧气调节阀均存在类似自动控制波动问题,且信号回路各项检测指标均达标,项目组综合判断,信号回路并非导致阀门波动的核心原因。

## 2.4 阀体的检查

现场氧气调节阀阀体采用整体 Inconel 625 镍基合金材质制造,阀芯与阀杆采用一体式结构设计,流量特性为等百分比,填料结构选用氧用石墨 V 型填料与蒙乃尔防火组合式结构,且填料自带导向密封装置,以适配氧气介质的特殊要求。

由于氧气阀门对脱脂处理有严格的技术标准,且自装置开车以来从未进行过拆检,检修人员因担心工序把控不严引发安全事故,普遍存在畏难情绪。为彻底排查问题,项目组通过对照设备图纸分析阀体内部结构、查阅氧气介质阀门脱脂技术标准、开展检修方案论证等前期准备工作,组织自有技术人员对阀体实施全面拆检。

拆检结果显示,阀杆在填料密封部位及导向部位的内部四氟衬套表面存在明显结垢现象。经分析,该结垢问题导致阀门动作过程中摩擦阻力显著增大,

进而引发阀门调节超调现象,最终造成氧气流量波动,这与自动控制投用过程中出现的波动现象完全吻合,确认该问题为导致阀门波动的核心原因。

### 3 解决策略

针对阀体拆检发现的阀杆结垢与摩擦力增大问题,项目组制定了针对性地解决策略,并严格按方案组织实施,具体措施如下。

#### 3.1 结垢清理与部件修复

组织专业检修人员对阀杆结垢部位进行彻底清理,采用专用工具去除阀杆表面及四氟衬套内部的结垢物质,确保阀杆表面光滑无杂质;对四氟衬套内部进行精细打磨处理,恢复衬套的导向精度与表面光滑度,减少阀杆运行过程中的摩擦阻力;清理打磨完成后,对阀杆及衬套表面进行全面检查,确保无残留结垢与机械损伤。

#### 3.2 严格执行脱脂工艺

回装前,严格按照氧气阀门脱脂处理的技术标准,对所有拆检零部件(包括阀杆、阀芯、填料、衬套及阀体等)进行彻底脱脂处理。脱脂过程采用符合要求的脱脂剂,通过浸泡、擦拭等方式去除零部件表面的油脂,脱脂完成后进行严格的检验,确保零部件表面无任何油脂残留,避免因脱脂不彻底引发安全事故。

#### 3.3 填料安装与润滑优化

在填料安装过程中,安排专人对填料各部件的安装顺序进行严格检查与确认,确保填料按技术规范要求正确装配;回装阀杆时,使用氧气专用润滑脂对阀

杆表面进行均匀涂抹,该润滑脂具有良好的润滑性能与兼容性,不会与氧气发生反应,可有效降低阀杆运行过程中的摩擦力;对填料压盖的预紧力进行精准控制,按照设备说明书的要求使用力矩扳手进行紧固,确保预紧力均匀且符合技术标准,既保证良好的密封性能,又避免因预紧力过大增加阀杆运行阻力。

#### 3.4 回装后精度校验

阀门回装完成后,为确保阀门动作精度满足自动控制要求,项目组架设千分表对阀门动作精度进行专项校验。通过模拟 DCS 控制信号,对阀门开度进行微调,观察千分表指针变化,验证阀门在开度变化 0.2% 的微小调节量下能否实现可靠动作,确保阀门动作的灵敏度与准确性,为自动控制投用奠定基础。

### 4 效果验证

通过阀杆和导向衬套的打磨和阀杆的润滑,在装置投料运行后,阀门自动运行情况下运行较为平稳,运行过程中流量波动在  $30 \text{ Nm}^3/\text{h}$  左右,满足控制精度的要求,通过对剩余 11 台同工况阀门的同类检修方法,运行期间均能够自动运行,精度满足工况控制要求,彻底地解决了以往氧气调节阀因为自动波动大回路无法投自动的问题。

### 5 结语

通过对本次氧气调节阀自动控制投用及波动问题的全流程分析与整改过程进行系统性复盘,可得出以下关键结论与经验总结。

1) 当原有设计的仪表设备无法满足装置实际运行要求时,必须首先对原设计理念、技术方案及规范符合性进行全面梳理与深度分析。切忌在现场检查不够深入、对设计核心逻辑把握不充分的情况下轻易下结论,主观判定现场设备无法达到运行精度要求,从而错失问题根源排查与优化改进的机会。

2) 同时,在阀门计划检修工作中,不能仅停留在表面的校验与查漏层面。对阀门实施全面拆检,尤其针对内部动静摩擦部位开展针对性检查,不仅对保障阀门可靠稳定运行至关重要,更对精准定位各类故障根源、提升问题分析的有效性具有决定性作用。

3) 结合煤化工装置阀门的实际运行特点,对于高频开关的执行机构、阀门气动附件中的滑阀部件及阀门内部核心结构,需开展全面且深度的检查,并实施针对性检修。唯有精准排查出问题根源并采取适配的解决措施,才能彻底解决故障,有效避免同类问题重复发生。

实践证明,秉持严谨负责的工作态度,可将复杂问题条理化、简单化;通过持续积累检修经验、优化故障诊断思路,能够显著提升技术人员对各类问题的精准判断能力与专业技术水平,最终为装置的长期安全稳定运行提供坚实保障。

#### 参考文献:

- [1] 王芳. 化工自动化及仪表 [J]. 石油化工自动化, 2012, 39(7):30-34.
- [2] 乐嘉谦. 仪表工手册 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2003.