

脱硫 EPC 项目控制系统回路调试常见问题及处理

黄磊

国家电投集团远达环保工程有限公司 重庆 401122

【摘要】：脱硫 EPC 项目控制系统覆盖仪表、执行机构、DCS 逻辑、联锁保护及通信网络等多个环节，回路调试是系统投运前的关键工序。现场常出现信号偏差、接线错误、逻辑不匹配、阀门反馈异常、联锁动作失准、通信中断等问题，直接制约设备联动效率与调试推进节奏。通过建立回路清单核查、信号逐点校验、逻辑分级测试、联锁模拟验证、通信状态排查及问题闭环记录等方法，可实现问题定位清晰、处理流程规范、调试结果可追溯。调试质量提升后，控制系统响应更加准确，脱硫装置联动运行稳定性增强，EPC 项目投运效率得到保障。

【关键词】：脱硫 EPC 项目；控制系统；回路调试；故障处理；联锁保护；强磁环境

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.004

引言

脱硫 EPC 项目工期紧、接口多，回路调试常与安装、接线、组态及试运交叉进行。信号异常可能导致阀门拒动、泵组无法启停或保护误动，影响整套投运节奏。调试需将仪表、控制柜、执行机构、逻辑程序与运行工况串联为完整链条，开展系统性验证。暴露的问题既反映施工质量，也反映设计与设备接口的匹配程度。针对常见故障形成清晰的问题识别与处理路径，可减少重复排查，提高联动可靠性，为项目顺利移交创造条件。

1 脱硫 EPC 项目控制系统回路调试技术特征

1.1 控制系统回路构成特点

脱硫 EPC 项目控制系统回路涵盖现场仪表、执行机构、DCS 及上位机等，具备点位多、信号杂、链条长的特征。模拟量信号需完成采集、转换、显示，设备涉及启停、反馈与联锁保护。回路调试不能停留于单点通断，须核对安装位置、接线、I/O 地址、量程、报警限值及逻辑的一致性。绿色低碳要求控制系统同时满足稳定调节、节能运行与污染物达标排放的多重要求。

1.2 调试流程中的专业接口关系

脱硫 EPC 项目回路调试贯穿设计、采购、安装、组态及试运各环节，专业接口密集。设计方提供仪表清单、逻辑条件与电缆表；施工方负责安装、敷设、接线与接地；自动化方完成 DCS 组态与画面；设备方配合执行机构调整。任一接口信息不一致将导致信号错位、动作反向或联锁失效。数字化交付要求调试资料、点表状态、缺陷及整改记录同步更新，建立从设计数据到现场实物再到画面的完整对应关系，以提高问题定位效率与调试可追溯性^[1]。

1.3 回路调试质量对投运进度的影响

回路调试质量决定脱硫 EPC 项目单体试运、分系统试运及整套启动的衔接效率。信号失准致运行参数失真，反馈异常干扰设备状态确认，联锁错误可能使关键系统无法按程序投入。若问题在联动阶段集中暴露，排查将涉及电缆、DCS 组态、设

备本体及逻辑等多层面，易造成重复停机与工期延误。高质量调试应提前完成点位核查、信号模拟、动作试验、报警确认及联锁验证，实现缺陷带负荷前清零。精细化调试可减少返工，提高联动成功率，保障脱硫装置按计划稳定运行。

2 控制系统回路调试常见故障表现

2.1 信号采集偏差及接线错误

信号采集偏差多因仪表量程、信号制式、DCS 参数与现场工况不统一，表现为画面跳变、零点漂移、量程不对应及报警异常。接线错误包括正负极接反、屏蔽处理不当、端子号及 I/O 地址混用，导致信号中断或数值反向。强磁工况下，线缆选型不当、敷设与磁力线平行及接地工艺不良会放大干扰，造成参数漂移失真。数字化调试应核验点表、端子图、DCS 数据库与实测值的一致性，避免仅凭画面显示判断信号状态。



图 1 电解铝现场磁场影响照片

2.2 执行机构动作异常及反馈失准

执行机构动作异常表现为阀门不到位、转向相反、气动阀滞后及泵组远程指令无反馈等^[2]。硬接线回路故障多由电源相序错误、电缆破损、限位开关故障、力矩与定位器参数偏差及就地远方档位误切换引发；总线型执行器则易受强磁场干扰，导致通讯中断、指令丢包。项目普遍采用关键联锁设备硬接线、普通辅机总线通讯的方案以保障可靠性。浆液管路阀门启闭频繁，机械卡涩、行程偏差易生成虚假反馈，干扰调节与联锁判定。调试阶段应留存动作时长、反馈曲线及报警记录，为后期故障诊断提供依据。

2.3 联锁逻辑误动及通信状态不稳

联锁逻辑误动常因组态逻辑、信号取反、延时参数及保护定值与实际工况匹配失准，易引发设备误启停。当前智慧电厂建设对脱硫自动化要求高，但智能化设计与现场落地存在偏差，尤以全自动供浆最为典型：机组深度调峰时变频泵低频稳定性差，实际多依靠启停调节，工艺优化方案受磨损、阻力等因素制约效果有限。通信异常表现为站点离线、数据刷新滞后等，受网络架构及电磁干扰影响。调试阶段需针对性排查逻辑与通讯短板，缩小设计目标与现场实际的偏差。

2.4 高压柜异地敷设带来的信号传输故障

为压缩成本，脱硫岛高压柜常集中布置于主机配电室，控制及状态信号需远距离传输至脱硫 DCS，现有两类方案各存短板。方案一增设远程 I/O 柜，通过光缆通讯，但光缆受损将导致信号大面积失联，极端工况下易触发机组保护，造成非停风险。方案二采用全硬接线，但工程量大、成本高，长距离电缆易受磁场及强弱电同沟干扰，导致信号漂移与误报，且无法完全规避线缆破损隐患。两类方案的选型矛盾是高压测点调试的常见痛点，也是智能化脱硫项目设计落地的重难点。

3 信号类问题处理方法

3.1 建立仪表点表逐项核查机制

仪表点表核查需以设计为基础，逐项对应 KKS 编码、设备名称、量程、报警限值、DCS 通道及电缆编号，建立实物、资料与数据库的统一映射。脱硫项目点位密集，KKS 变更或施工调整若未同步更新，易致信号错位。核查应按系统分区推进，先关键工艺参数，后辅助信号，避免遗漏保护条件。引入电子点表、二维码及移动端核验，使点位具备可查询、可追踪、可复核属性，减少纸质资料滞后造成的判断偏差。

3.2 开展端子接线及量程参数复核

端子接线复核需从仪表端、接线箱、控制柜至 DCS 通道逐级展开，重点检查线芯编号、极性、电压等级、屏蔽接地及绝缘状态，防止单端接错导致信号异常^[3]。模拟量回路应核对 4-20mA 对应关系、变送器输出、DCS 量程换算及小信号切除参数；开关量回路须确认触点类型，避免逻辑取反误发报警。高湿与交变磁场环境易放大采集误差，复核需重点排查受潮及接地隐患。采用标准化记录表同步登记状态、异常及整改结果，形成可追溯的质量控制链条。

3.3 实施现场信号模拟及 DCS 画面比对

现场信号模拟应按照“仪表输出—中间端子—DCS 输入—画面显示—报警响应”的路径进行闭环验证，确保信号传输链条完整可靠。模拟量调试可选取零点、中间值、满量程等关键点进行测试，核对 DCS 画面显示、趋势曲线、报警阈值和工程单位是否正确；开关量调试需要模拟设备运行、停止、故障、

远方、就地等状态，确认画面颜色、文字提示和历史记录同步变化。比对过程中发现显示滞后、数值跳变或状态不一致时，应按信号源、线路、模块、数据库和画面组态顺序排查，避免盲目修改程序参数。智能化调试可利用电子记录、趋势截屏和数据归档功能保存测试过程，使信号校验从单次确认转向全过程留痕，为后续联锁试验和系统投运提供可靠依据。

4 执行机构及联锁问题处理方法

4.1 总线设备通讯与强磁环境下回路校验

总线型执行机构调试优先核查 GSD 文件版本、站点地址、协议兼容性及总线挂载节点数量，避免因组态版本不匹配、总线段点位超限出现通讯闪断、指令下发失效。正式逻辑联调前，临时退出联锁投自动条件，逐项核对总线变量地址、DCS 操作指令与设备反馈的映射关系。针对交变强磁工况，仪表电缆敷设法尽量与磁力线走向垂直布置，优化控制柜、现场仪表的屏蔽接地工艺，削弱空间磁场对模拟量信号的扰动。调试全程记录通讯刷新周期、参数波动幅度与异常报错信息，出现数据跳变、通讯失联时，从总线组态、屏蔽施工、线缆敷设法逐项排查整改。

4.2 反馈信号状态逐点校验

反馈信号校验应以设备真实状态为基准，逐点核对 DCS 画面（见图 2）、控制逻辑和现场指示之间的一致性。阀门开到位、关到位、故障、远方、就地、运行、停止等状态信号需分别触发验证，避免多个触点共用、接点粘连或逻辑取反造成虚假反馈^[4]。脱硫 EPC 项目中，反馈信号不仅用于画面显示，还参与自动启停、联锁保护和顺控判断，任何状态偏差都会影响后续控制动作。校验过程中应检查限位开关动作位置、接点类型、端子接线、DCS 通道地址和组态变量名称，确保状态变化具备唯一对应关系。数字化调试可通过状态变化记录、趋势追踪和缺陷编码管理，形成反馈信号从现场触发到系统响应的完整验证链^[5]。

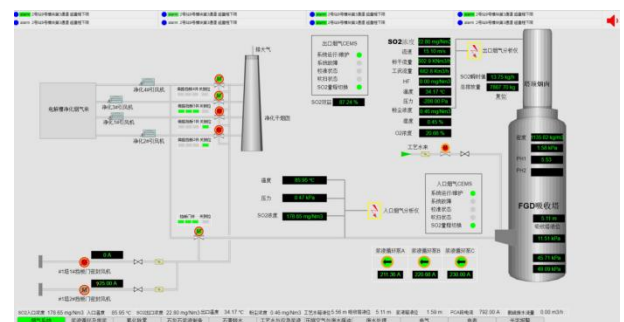


图 2 脱硫 DCS 上位机监控界面

4.3 联锁条件分级模拟验证

联锁条件验证应按照单点条件、设备级条件、系统级条件和工艺保护条件分级开展，先确认每个输入信号状态准确，再检查逻辑组合、延时设置、复位条件和动作对象。脱硫控制系

统联锁涉及浆液循环泵、氧化风机、箱罐液位和烟气参数，任一条件设定错误都可能引发误停、拒启或保护失效。模拟验证时需采用非带负荷状态下的受控测试方式，逐项触发低液位、压力低、故障反馈、急停和设备未到位等条件，核对DCS报警、联锁输出和设备响应顺序^[6]。处理过程中应区分设计逻辑错误、现场信号异常和组态参数偏差，整改后重新验证触发、保持、解除全过程，保证联锁动作准确可控。

5 回路调试质量提升路径

5.1 形成问题闭环记录机制

问题闭环记录机制应贯穿回路调试全过程，按照问题发现、原因定位、责任划分、整改措施、复验确认和资料归档的顺序建立管理链条。脱硫EPC项目控制系统点位多、接口复杂，若问题仅依靠口头交接，容易出现重复排查、整改遗漏和责任边界不清。记录内容应包括系统名称、设备KKS编码、回路编号、故障表现、测试数据、处理过程、整改时间和复验结论，并与仪表点表、DCS组态清单、施工图纸保持对应^[7]。针对信号异常、反馈失准、联锁误动、通信中断等问题，需要设置分类编码，便于后续统计高发环节。依托数字化闭环平台可实现缺陷状态实时更新，推动调试问题由分散处理转向全流程受控管理。

5.2 完善调试数据复查流程

调试数据复查流程应突出数据真实性、完整性和一致性，避免回路完成后仅以单次测试结果作为验收依据。复查内容应

覆盖模拟量零点、中间值、满量程数据，开关量动作状态，执行机构全行程时间，联锁触发条件，报警记录和DCS趋势曲线^[8]。脱硫系统运行参数直接关系环保排放、设备保护和能耗控制，数据偏差会干扰浆液循环、石灰石供浆、氧化风量和吸收塔液位的精准控制。复查时应采用原始记录、画面截图、历史趋势和现场状态同步比对的方式，确认测试过程可还原、结果可追溯。绿色低碳管理要求调试数据服务于后续运行优化，复查流程需兼顾投运验收和长期运维诊断需求^[9]。

5.3 提升脱硫系统联动运行稳定性

脱硫系统联动运行稳定性提升需要以回路调试质量为基础，将单点信号、设备动作、联锁保护和顺控流程统一纳入系统验证。调试阶段应重点检查浆液循环泵启停条件、吸收塔液位保护、氧化风机联锁、石膏排出和废水排放等关键环节，确保控制指令、反馈状态和工艺响应保持一致。对于频繁启停设备，应关注动作延时、保护保持时间和复位条件，降低误动概率。控制系统可依托调试数据搭建趋势分析和状态预警能力，为后续联动优化提供数据支撑。稳定的联动运行能够减少非计划停机，保障脱硫效率、设备安全和环保指标连续达标。

6 结语

脱硫EPC项目控制系统回路调试应以信号准确、动作可靠、联锁稳定为核心，强化点表核查、接线复核、模拟验证和闭环管理。调试质量提升后，故障定位更加清晰，整改流程更加规范，系统联动更加顺畅，可为脱硫装置安全投运、环保达标和稳定运行提供可靠支撑。

参考文献：

- [1] 孔令斌.高炉煤气精脱硫系统调试运行探讨[J].冶金与材料,2025,45(4):124-126.
- [2] 何佳玮,康英伟.基于LSSA优化的火电机组脱硫系统PID-GPC复合控制研究[J].动力工程学报,2025,45(9):1492-1501.
- [3] 黄刚华,苗超,鲁大勇,李林峰,吴文炎,江晶晶.天然气净化厂脱硫系统腐蚀控制技术研究与应用[J].石油与天然气化工,2025,54(1):63-68.
- [4] 程宇,王哲,陶嘉伟,李志强,张鑫.脱硫系统氧化风量的精准控制方法[J].电力系统装备,2025(12):38-40.
- [5] 吴铮.脱硝自动控制在烟气脱硫脱硝系统中的设计与应用[J].冶金与材料,2025,45(3):70-72.
- [6] 李丹,王海欢.电解铝行业脱硫工艺选择与企业适配性研究[J].世界有色金属,2025,(14):14-16.
- [7] 李凤果,熊仁艳,张敏,等.烟气脱硫技术应用于电解铝的研究进展[J].现代化工,2023,43(S2):72-75.
- [8] Trojan M,Wielgus S,Taler J,et al.Optimization of the operation of circulation pumps in the wet flue gas desulfurization system[J].Energy,2025,325136209-136209.
- [9] Gao W,Liu M,Xin H,et al.Control strategy optimization for wet flue gas desulfurization system during load cycling dynamic processes:Energy saving and environmental impact[J].Energy,2024,303131909.