

化工仪表自动控制系统的故障和维护

云海峰

联邦制药(内蒙古)有限公司 内蒙古 巴彦淖尔 015000

摘要: 化工仪表自动控制系统故障涵盖硬件老化、软件缺陷、通信中断及环境干扰等类型,其中传感器断线、执行器卡滞、控制器模块故障及总线信号丢失尤为常见。维护需建立预防性策略,通过定期校准传感器、更换易损件、清洁部件降低故障率;采用在线监测与预警系统实时追踪数据,结合专家系统快速定位故障;优化硬件冗余配置与软件算法,利用机器学习预测剩余寿命,可显著提升系统稳定性与生产效率。

关键词: 化工仪表;自动控制系统;故障;维护

引言:在化工生产高度自动化与智能化的背景下,化工仪表自动控制系统作为生产过程的核心“神经中枢”,承担着实时监测、精准调控与安全保障的关键职能。然而,受高温高压、强腐蚀性介质及复杂电磁环境等因素影响,系统硬件易出现传感器老化、执行器卡滞等故障,软件层面则可能因控制逻辑缺陷或通信干扰导致运行异常。这些故障不仅会降低产品质量、增加能耗,甚至可能引发安全事故。因此,深入研究系统故障机理,构建科学维护体系,对保障化工生产连续性、提升经济效益及推动行业智能化转型具有重要意义。

1 化工仪表自动控制系统概述

1.1 系统组成与工作原理

(1) 系统核心部件包含四类:传感器负责采集温度、压力等生产参数,将物理信号转化为电信号;执行器(如调节阀、变频器)接收控制指令,调节阀门开度、设备转速等,改变生产状态;控制器(如PLC、DCS)作为“大脑”,对比设定值与实际值,计算并输出控制信号;通信网络(如工业以太网、PROFINET)实现各部件数据传输,保障系统协同运作。(2) 系统以闭环控制与反馈机制为核心:传感器实时反馈生产参数至控制器,控制器判断偏差后向执行器发送调节指令,执行器动作后再次通过传感器反馈结果,形成循环,直至参数稳定在设定范围,确保生产过程精准可控。

1.2 常见仪表类型及功能

化工生产中常用仪表按监测参数分类:温度仪表(如热电偶、热电阻)用于测量反应釜、管道内介质温度,防止超温引发安全事故;压力仪表(如压力表、压力变送器)监测设备、管道内压力,避免压力过高导致泄漏或爆裂;流量仪表(如电磁流量计、涡街流量计)计量介质输送流量,保障原料配比精准;液位仪表(如浮球液位计、雷达液位计)监控储罐、反应釜内介质液

位,防止满溢或空罐。

1.3 系统在化工生产中的应用场景

在反应釜控制中,系统实时调节温度、压力与搅拌速度,确保化学反应按工艺要求进行,提升产物收率;在蒸馏塔调节中,通过控制回流量、塔底温度等参数,实现混合物高效分离,保障产品纯度;在管道输送监控中,系统监测介质流量、压力与泄漏情况,及时预警并切断故障管路,避免物料浪费与安全事故。

2 化工仪表自动控制系统常见故障分析

2.1 硬件故障

(1) 传感器老化或损坏:如热电偶长期处于高温环境导致内部断线,无法正常转化温度信号;压力变送器接触腐蚀性介质引发膜片破裂,造成压力数据失真或无输出。此类故障会使控制器接收错误参数,导致调节指令偏离实际需求,引发生产波动。(2) 执行器卡滞或失灵:核心问题集中在阀门定位器故障,如定位器内部电路损坏、反馈杆卡顿,导致阀门无法按控制器指令精准调节开度,出现“指令与动作不符”现象,例如需关小阀门时却保持全开,造成物料输送过量。(3) 控制器模块故障:以PLC/DCS通信中断较为典型,可能因控制器电源模块损坏、通信接口松动,导致其无法接收传感器数据或向执行器发送指令,使系统陷入“瘫痪”状态,无法实现闭环控制^[1]。

2.2 软件故障

(1) 控制程序错误:常见于PID参数设置不当,如比例系数过大导致系统调节过度,出现参数剧烈震荡;积分时间过长则无法消除静态偏差,使生产参数长期偏离设定值。此外,程序逻辑漏洞(如条件判断错误)也会导致控制器输出错误指令,影响系统稳定性。(2) 人机界面(HMI)显示异常或数据丢失:可能因HMI软件兼容性问题、数据库文件损坏,导致界面无法正常显示实时

参数（如温度、压力数值空白），或历史数据丢失，不仅影响操作人员对生产状态的判断，还会阻碍故障溯源与工艺优化。

2.3 通信故障

（1）现场总线信号干扰或中断：如Profibus、Modbus总线受周边大功率设备电磁干扰，导致数据传输出现“丢包”；总线电缆老化、接头松动也会引发通信中断，使传感器与控制器、控制器与执行器之间无法正常交互数据。（2）无线传输模块失效：多因模块供电不足、信号遮挡（如高大设备阻挡），或模块固件版本过低导致兼容性问题，造成无线传输链路断开，尤其在远距离监控场景（如户外储罐液位监测）中，易导致数据延迟或中断。

2.4 环境与人为因素

（1）极端环境导致的仪表损坏：高温、高湿、腐蚀性介质是主要威胁，如在氯碱化工生产中，腐蚀性气体易侵蚀仪表外壳与接线端子，导致部件短路；冬季低温环境可能使仪表管线内介质冻结，压迫传感器或执行器部件，造成物理损坏。（2）操作人员误操作或维护不当：如调试时误修改控制器参数、校准传感器时未按规范操作导致精度偏差；日常维护中未定期清洁仪表表面灰尘、未及时更换老化电缆，也会加速部件损耗，间接引发故障。

3 化工仪表自动控制系统的故障诊断方法与技术

3.1 传统诊断方法

（1）观察法：通过直观观察系统状态判断故障，核心关注仪表读数与报警信号。例如，若温度仪表读数持续超出正常范围且无波动，可能是传感器老化；控制器或HMI上的报警灯亮起（如通信故障灯、电源故障灯），可直接指向对应故障类型。该方法能快速初步定位故障方向，但对隐性故障（如参数缓慢漂移）识别能力较弱，需结合其他方法验证。（2）替换法：针对疑似故障部件，用正常备件逐一替换以确认故障点。如执行器卡滞时，先替换阀门定位器，若故障解除则定位器为问题源；控制器通信中断时，替换通信模块或电缆，排查硬件损坏情况。此方法操作直接，尤其适用于无复杂检测设备的场景，但效率较低，需停机操作，且对多部件协同故障的排查易出现遗漏。

3.2 现代智能诊断技术

（1）基于大数据的故障预测：通过挖掘系统历史运行数据（如传感器参数、故障记录、维护日志），分析故障发生的规律与关联因素。例如，利用数据统计工具分析压力变送器的长期数据，若发现其测量偏差随运行

时间增长呈固定趋势，可提前预测膜片老化故障，避免突发停机。该技术能实现“事前预防”，减少故障发生率。（2）机器学习算法应用：通过算法训练让系统自主识别故障模式，典型如神经网络算法。将大量故障数据（如传感器异常信号、执行器动作偏差）输入神经网络模型，模型通过学习形成故障识别能力，当系统出现类似数据特征时，可快速匹配故障类型（如区分传感器断线与信号干扰）。此外，支持向量机、决策树等算法也常用于故障分类，适用于多变量、复杂关联的故障诊断。（3）专家系统与知识库支持：整合行业专家经验与历史故障案例，构建结构化知识库，模拟专家思维推理故障。系统接收故障现象（如“流量仪表无输出+总线报警”）后，调用知识库中对应的故障树（如总线中断→检查电缆/模块→判断故障点），逐步推导故障原因与解决方案。该技术可标准化诊断流程，减少对操作人员经验的依赖，尤其适用于新手或复杂故障排查^[2]。

3.3 在线监测与预警系统

（1）实时数据采集与趋势分析：通过传感器、通信网络实时采集系统运行数据（如温度、压力、流量、设备电流），并在HMI或后台系统生成趋势曲线。例如，分析反应釜温度曲线，若发现短时间内出现无诱因的小幅波动，可能是控制器PID参数需优化；流量曲线持续下降且伴随压力上升，可能是管道堵塞。通过趋势分析，可提前发现参数异常，避免故障扩大。（2）阈值报警与自动停机机制：预先设定各参数的安全阈值（如温度上限、压力上限），当实时数据超出阈值时，系统立即触发报警（如声光报警、短信通知），提醒操作人员处理；若参数超出危险阈值（如接近设备耐受极限），系统自动启动停机机制（如切断进料阀门、停止反应釜搅拌），防止安全事故。该机制实现“故障-报警-干预”的自动化闭环，大幅缩短故障响应时间，降低人员操作风险。

4 化工仪表自动控制系统的维护策略

4.1 预防性维护

（1）定期校准与标定：针对仪表测量精度衰减问题，按工艺要求与设备特性制定校准周期。例如，温度传感器长期运行易出现零点漂移，每月需用标准恒温槽进行校准，调整信号输出偏差，确保测量误差控制在 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 内；压力变送器每季度通过标准压力源标定，修正膜片弹性形变导致的精度下降，避免因参数失真引发调节失误。校准后需记录数据，形成追溯档案，为后续维护提供依据^[3]。（2）易损件更换周期管理：识别系统中易损耗的部件，设定固定更换周期，减少突发故障风险。如仪表连接部位的密封圈，受介质腐蚀与温度变化

影响,每6个月需统一更换,防止物料泄漏;控制器与传感器的备用电池,为避免断电后数据丢失,每年需更换一次;阀门的填料函因长期摩擦易磨损,每季度检查并补充或更换填料,确保阀门密封性能与动作灵活性。

4.2 预测性维护

(1) 状态监测技术:通过实时采集设备运行状态数据,判断部件健康状况。例如,对泵、风机等转动设备采用振动分析技术,通过振动传感器监测振幅、频率变化,若发现异常振动峰值,可判断轴承磨损或转子失衡;对配电柜、电缆接头等电气部件,采用红外热成像技术,检测表面温度分布,及时发现接触不良导致的局部过热,避免电路烧毁。此外,还可通过油液分析监测液压系统污染程度,提前排查元件磨损问题。(2) 剩余寿命评估(RUL预测):结合设备运行数据与历史故障记录,通过算法模型预测部件剩余使用寿命。例如,利用机器学习分析压力变送器的测量偏差、工作温度等数据,建立寿命预测模型,若模型显示某变送器剩余寿命不足3个月,可提前安排更换,避免在生产高峰期突发故障;对反应釜搅拌电机,通过电流、温度等参数变化趋势,评估绝缘层老化程度,精准规划维护时间,减少停机损失。

4.3 应急维护与故障修复流程

(1) 快速响应机制:建立故障应急小组,配备备用仪表与工具,确保故障发生后15分钟内到场处理。例如,当温度传感器突发故障时,立即切换至备用传感器,通过控制器快速更新参数,恢复系统监测功能;若执行器阀门卡滞,先手动操作阀门保持生产稳定,同时更换故障定位器,减少停机时间。此外,需制定应急操作手册,明确不同故障的处理步骤,确保操作人员快速上手。(2) 故障根因分析(RCA)与改进措施:故障修复后,通过RCA分析法(如鱼骨图、5Why分析法)追溯根本原因,避免同类故障重复发生。例如,某批次压力变送器频繁出现膜片破裂,经分析发现是介质中杂质颗粒磨损导致,后续需在变送器前端加装过滤装置,并优化介质预处理工艺;若因操作人员误操作导致控制器参数紊乱,需加强培训并设置操作权限,防止类似问题再次出现^[4]。

4.4 维护管理优化

(1) 维护计划制定(基于风险与成本分析):结合设备重要性与故障风险,制定差异化维护计划。例如,对反应釜温度控制系统等关键设备,采用“高频率、高精度”维护策略,每2周检查一次;对辅助管道的流量仪表,因故障影响较小,可延长至每2个月维护一次。同时,通过成本分析评估维护投入与故障损失,避免过度维护(如频繁更换仍可正常使用的部件),确保维护性价比最优。(2) 备件库存管理(ABC分类法):按备件重要性与使用频率分类管理,优化库存结构。A类备件(如控制器模块、核心传感器)为关键部件,需保持较高库存(满足3个月使用量),且与供应商签订紧急供货协议;B类备件(如阀门定位器、密封圈)使用频率中等,库存保持1个月用量;C类备件(如普通电缆、接头)用量少、价值低,可按需采购,减少库存积压。同时,利用库存管理系统实时监控备件数量,当库存低于阈值时自动预警,确保备件及时补充。

结束语

化工仪表自动控制系统作为化工生产高效稳定运行的基石,其可靠性与维护水平直接关乎企业安全生产与经济效益。本文通过系统分析硬件老化、软件缺陷、通信干扰等典型故障模式,提出预防性维护、智能诊断与在线监测相结合的综合策略,有效降低了突发故障风险。未来,随着物联网、人工智能等技术的深度融合,系统将向自主感知、预测性维护方向演进。持续优化维护管理流程、强化人员技能培训,仍是保障系统长效运行的关键,对推动化工行业智能化转型具有深远意义。

参考文献

- [1]周晓静.化工仪表自动控制系统故障及其维护技术分析[J].电子测试,2020,(12):117-118.
- [2]詹雨.石油化工仪表中的自动化控制技术探析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(17):218-219.
- [3]管孝永,韦本成,孟宪霞.化工仪表自动控制系统故障与维护技术[J].聚氯乙烯,2019,47(12):19-21.
- [4]孙慧博.化工仪表自动控制系统的故障和维护[J].化学工程与装备,2022,(14):165-166.