

化工仪器仪表故障维修关键技术及经济性分析

刘泽斌 (中国石化海南炼油化工有限公司, 海南 洋浦 578001)

摘要: 化工仪器仪表是化工生产自动化管控、安全运行的核心支撑。在化工生产工况复杂、介质腐蚀性强、参数波动大的背景下, 仪器仪表故障频发成为制约企业生产效率与经济效益的重要因素。本文围绕化工仪器仪表故障维修关键技术展开研究, 剖析故障产生的核心诱因, 梳理高效的故障诊断与维修技术体系, 并从成本投入与效益产出维度开展系统性经济性分析, 旨在为化工企业构建科学的仪表运维体系、实现运维成本与生产效益的最优平衡提供技术参考与决策依据。

关键词: 化工仪器仪表; 故障维修; 关键技术; 经济性分析

中图分类号: TQ056.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 011-0047-03

Key Technologies and Economic Analysis for Chemical Instrument and Meter Fault Maintenance

Liu Zebin (China Petrochemical Hainan Refining & Chemical Co., Ltd., Yangpu Hainan 578001, China)

Abstract: Chemical instrumentation serves as the cornerstone for automated control and safe operation in chemical production. Given the complex operating conditions, corrosive media, and significant parameter fluctuations in chemical plants, frequent instrument failures have become a major constraint on production efficiency and economic performance. This study investigates key technologies for chemical instrument maintenance, analyzes root causes of failures, and establishes an efficient fault diagnosis and repair framework. Through systematic cost-benefit analysis, it provides technical references and decision-making support for chemical enterprises to develop scientific operation and maintenance systems, achieving optimal balance between maintenance costs and production benefits.

Key words: chemical instrumentation; fault repair; key technology; economic analysis

随着化工行业自动化、智能化水平的不断提升, 仪器仪表的集成化程度更高、功能更复杂, 其故障类型也呈现出多样化、隐蔽化的特征, 传统的事后维修模式已难以满足现代化工生产的需求。因此, 研究化工仪器仪表故障维修的关键技术, 结合企业实际开展经济性分析, 制定兼具技术性与经济性的运维策略, 对化工企业降本增效、保障生产安全具有重要的现实意义。

1 化工仪器仪表故障形成的核心诱因

1.1 现场工况的恶劣性影响

化工生产现场普遍存在高温、高压、强振动、高湿度的工况特点, 同时伴有腐蚀性、易燃易爆、粘稠性介质, 这是仪器仪表故障产生的主要外部诱因。高温高压环境会加速仪表元器件的老化、变形, 降低电气元件的绝缘性能, 持续的机械振动会造成仪表连接部件松动、机械传动结构磨损, 导致测量精度漂移, 腐蚀性介质会冲刷、腐蚀仪表的检测探头、膜片、管路等关键部位, 造成传感器灵敏度下降甚至失效, 高湿度环境易引发电气回路受潮、短路, 电磁干扰则会造成仪表信号失真、传输异常, 这些工况因素均会大幅增加仪表的故障概率。

1.2 设备自身的性能与老化问题

仪器仪表自身的材质选型、制造工艺、零部件质

量直接决定其抗干扰能力和使用寿命。部分企业为控制采购成本, 选用材质不符合化工工况要求、精度等级偏低的仪表, 其关键部件易在使用初期出现故障, 而合格仪表在长期连续运行后, 会不可避免地出现零部件疲劳、元器件老化、性能衰退等问题, 若未及时处理, 将逐步发展为显性故障, 导致仪表丧失检测或控制功能。

1.3 安装与操作的不规范性

仪器仪表在安装时工艺是否达标将直接影响到仪表运行是否稳定及测量精确度, 在进行安装时如果发生传感器插入深度不够以及其他相关问题都会给仪表带来测量失误、信息外泄和装置卡顿等各种问题, 再加上工作人员的一些非标准操作可能会使仪表承受损害, 让仪表发生故障, 加速仪表的老化进程从而减少寿命和实用性^[1]。

1.4 运维管理的滞后性

运维体系不够健全且维护不准时是引起故障从隐性转显性的主要原因之一, 部分化工企业在仪表运维计划上缺乏科学性, 没有根据仪表种类及工况特点建立周期校准, 清洗及润滑等保养标准, 使仪表出现细小故障不能及时得到检测与处置的制度。运维人员专业能力欠缺, 对于复杂仪表故障辨识能力以及维修技术水平都受到限制, 不但不能有效解决问题而且由于

维修操作不当而发生二次损害的现象也会使仪表故障后果更加严重。

2 化工仪器仪表故障维修的关键技术

2.1 故障精准诊断关键技术

现在主流诊断核心技术主要可分为四大类：多维度直观检测技术是以故障诊断为基础，从视觉、听觉和触觉三个角度对仪器进行外观、连接状态、工作声音和温度的综合检验，迅速鉴别出在外壳破损、线缆松动、零件卡涩、工作异响等方面存在的缺陷，局部过热及其他明显故障便于下文准确检测制定界限，用于故障特征显著初诊；专业仪器检测技术利用信号发生器、万用表、示波器、校准仪等专业检测设备，对仪表的电气回路、信号传输通道、元器件性能、测量精度进行定量检测，精准判断电气元件是否损坏、电路是否短路/断路、信号是否失真、测量偏差是否超出允许范围，是诊断电气故障和传感器精度故障的核心技术，能实现故障点的准确定位^[2]；数据对比与趋势分析技术依托化工生产的DCS、PLC等控制系统，提取故障仪表的历史运行数据、实时监测数据，并与同类型正常仪表的运行参数、工艺设计的标准参数进行多维度对比，同时分析参数的变化趋势，识别参数漂移、信号波动的规律，从而诊断出隐蔽性强、渐变式的故障，如传感器性能衰退、系统数据传输异常等，适用于集成化、智能化仪表的故障诊断；智能化故障诊断技术结合物联网、大数据、人工智能技术，构建仪表故障诊断模型，通过在仪表关键部位部署监测节点，实时采集仪表的运行状态数据，利用大数据分析算法挖掘数据间的关联关系，借助人工智能模型对故障类型、故障点、故障发展趋势进行预判和诊断，实现故障的早发现、早预警、早处理，大幅提升诊断的效率和准确性，是现代化工企业仪表故障诊断的发展方向。

2.2 分类型故障修复关键技术

根据化工仪器仪表的故障类型、故障部位及仪表的结构特点，制定针对性的修复技术方案。机械故障修复技术是针对机械传动部件磨损、卡滞、松动，结构部件变形、密封不严等故障，采用“修复+更换”相结合的方式，对轻微磨损的部件进行打磨、校准，对严重磨损、变形、失效的部件直接更换同规格合格配件，对松动的连接部件进行紧固并增加防松措施，对密封不严的部位更换密封件，对机械传动结构进行清洁、润滑，恢复其灵活度，消除指示滞后、动作阻塞等问题；电气故障修复技术针对电气元件老化、损坏，电路短路/断路，接线松动，信号失真等故障，首先排查并修复电路故障，重新紧固接线端子、更换

老化线路，对短路/断路的回路进行重新布线，对烧坏、老化、参数漂移的电气元件进行更换，更换后对电气回路进行绝缘测试、通断测试，对受电磁干扰的电路增加屏蔽措施，恢复电气回路的正常信号接收、处理和传输功能^[3]；传感器故障修复技术，传感器作为仪表的核心检测部件，对精度要求极高，且多为集成化设计，针对传感器探头腐蚀、灵敏度下降、信号输出异常等故障，若为探头表面污染则进行专业清洁校准，若为探头腐蚀、内部元器件损坏则直接更换经过精准校准的同型号传感器，更换后结合工艺要求对传感器进行现场校准，确保其测量精度和信号输出稳定性符合生产要求；系统故障修复技术是针对仪表控制系统的传输错误、控制逻辑紊乱、联锁功能失常、软件故障等综合性故障，首先排查硬件兼容性问题，对不兼容的硬件进行更换，修复网络通讯故障，确保设备间的通讯顺畅，针对软件故障，对故障程序进行修复、重新编译，对系统参数进行重新整定，对存在漏洞的软件进行升级优化，修复后进行全系统联调，验证控制逻辑、联锁功能、数据传输的正常性，确保整个仪控系统协同工作。

2.3 故障维修后的验证与校准技术

经过了故障维修之后对于设备的校准与检测是保证该仪表被投入后续使用过程中表现出较好稳定性的一个关键步骤，并且也是整个维护技巧中不可或缺的一环，在此次整修任务完成以后必须严格按照有关国家计量检验的标准以及本公司对生产工艺的要求来执行对该仪表全面评价并准确地进行校标工作，通过利用标准化的校准工具将一系列的规范信号传输给该仪表系统，进一步确保了该仪表输出信息既精准又能重复使用，还具有很高的稳定性来进一步验证该仪器测量的精度以及是否恢复到可接受范围的控制作用，充分考虑到现阶段车间运作的实际状况，并通过实地联机测试，以验证仪表的当前运行状态能否精确地呈现工艺数据，从而保证控制指令能够无误操作，同时也要关注防止这些仪器在经过大修后由于其敏感度、功能不足，所可能导致的进一步故障^[4]。

3 化工仪器仪表故障维修的运维体系构建

3.1 制定精细化预防性维护计划

根据仪表种类、使用频度不同、作业环境恶劣程度高、鉴定周期长短以及生产工艺要求对其进行分类详细预防性维护方案、明确其维护周期、范围、规范、职责人员并制定考核机制。对于处于高温高压条件下的设备以及在剧烈腐蚀环境中运行的设备，需要减少修理和维护间隔，并提高维护和修理频率，当核心技术进入关键阶段时一定要采用一些特殊的维护办

法来实施对其维护,主要维护项目仪表洁净,加油润滑和固定定位定值等,并对密封性做全面评估确保这些保养项目的标准化和规范化操作流程,以做到提前发现潜在的故障风险。

3.2 搭建仪表全生命周期状态监测平台

搭建一个以物联网与大数据为依托的化学工程仪器及仪表全生命周期状态监控体系,所述体系将此类设备自购买至安装以及运行、保养直至报废的全过程实现信息技术化的综合管理,实时采集设备工作状态信息进行维修、校正数据及存在问题及时获取从而建立设备健康管理详尽档案,通过这一平台可以对该表的工作情况进行连续监测、传感器偏离或者性能衰退等可能出现的问题进行即时报警利于执行有针对性故障预防维护策略的同时又为实际维护提供所需要的数据支撑与借鉴^[5]。

3.3 强化运维人员的专业技术培训

为打造一支专业的仪表运维队伍,应着力于化工仪器在运维方面的技术培训,研究仪器的工作机理,找出导致设备出现故障的原因,并对其加以诊断与排除,并且采用先进的智能化诊治手段以及物联网监控技术等实现训练内容的持续改进,在此基础上提出了有关培训成效的评估体系,并将其与工作效率挂钩以确保运维工程师更加积极地掌握及使用高效率的关键维护技术。

4 化工仪器仪表故障维修经济性研究

4.1 化工仪器仪表故障维修成本构成

化工仪器仪表故障维修的成本并非仅包含直接的维修费用,而是由直接成本和间接成本两部分构成,且间接成本往往对企业经济效益的影响更大,直接成本是指维修过程中直接产生的费用,包括人力成本、材料成本、设备成本三大类,直接成本具有明确的核算对象,是维修成本中最直观的部分。间接成本指因仪表故障及维修过程引发的各类隐性费用,是维修成本中易被忽视但影响显著的部分,仪表故障持续时间越长、故障涉及的生产环节越核心,间接成本越高。此外,若企业采用事后维修模式,未开展预防性维护,会导致仪表故障频发、维修频次增加,不仅会持续推高直接成本,还会因频繁的生产停机和质量问题,使间接成本呈指数级增长,进一步加重企业的成本负担。

4.2 化工仪器仪表故障维修的效益产出

采取科学的故障维修技术、构建完善的运维体系,虽然需要投入一定的维修成本,但能从多个维度为企业带来显著的综合效益,涵盖生产效益、质量效益、成本效益、安全效益四大类,且效益产出具有长期性、持续性的特点,生产效益通过故障的快速精准诊断与

修复,大幅缩短仪表故障处理时间,降低仪表故障的发生频率,保障化工生产流程的连续性和稳定性,提升设备利用率和生产效率。质量效益是指通过对装置进行修理来恢复其测量精确性和控制功能,从而保证工艺参数得到准确调节,从而使产品质量时刻处于稳定合格状态,降低了产品返工率和报废率以及品质损失。

用成本效益的方法进行了预防性的保养与预测性的维护,减缓了仪器老化速度并提高了仪器使用寿命,减少了仪器更换频率及设备的采购费用,同时又能避免由于新装设试验所产生的生产停台损失等,有效的故障维修技术可以缩短检修时间及频次,减少人力、物料和设备等方面直接支出实现公司总体运营成本下降;安全效益化工仪器及仪表既是生产管控核心也是生产安全重要保证,准确地对各参数进行监控并具有可靠联锁功能可及时发现生产工艺中存在隐患,触发紧急应对机制以减少企业安全管理成本,为企业持续生产保驾护航。

5 总结

综上所述,化工仪器仪表的稳定运行是现代化工生产安全、高效、优质进行的核心保障,故障维修关键技术的研究与应用,是解决仪表故障问题、恢复仪表性能的核心手段。在化工行业向自动化、智能化转型的背景下,化工企业需突破传统的事后维修模式,精准剖析仪表故障的核心诱因,综合运用多维度故障诊断技术、分类型故障修复技术和维修后验证校准技术,构建“预防为主、防治结合”的仪表运维体系,实现故障的早发现、早诊断、早修复,为企业的可持续发展提供坚实的技术支撑,最终实现生产安全、效率提升、成本降低、效益增长的多重目标。

参考文献:

- [1] 齐明轩. 浅析化工仪表自动控制系统的故障和维护[J]. 中国设备工程, 2025(05):54-56.
- [2] 刘鹏. 石油化工仪表设备智能维护与故障诊断技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024(08):10-12.
- [3] 黄传玉. 化工仪表自动控制系统的故障和维护[J]. 仪器仪表用户, 2024(01):51-53.
- [4] 马英. 化工仪表维护与故障检修的思路及措施探讨[J]. 化工管理, 2023(28):121-123+130.
- [5] 李云坤, 吕行, 王维栋. 浅析化工仪表故障维护措施[J]. 流程工业, 2025(09):84-87.

作者简介:

刘泽斌(1996-),男,汉族,海南定安人,本科,助理工程师,研究方向:仪表及控制系统。