

化工设备管理中常见故障诊断与控制对策

贺建英

陕西榆林化学材料有限公司 陕西 榆林 719300

摘要：随着化工生产规模扩大与工艺升级，设备长期高负荷运行下故障风险骤增。本文聚焦化工设备管理，深入探讨常见故障诊断与控制对策。首先分析化工设备常见故障类型，涵盖机械振动、密封泄漏、腐蚀磨损及仪表控制等方面。接着构建故障诊断方法体系，介绍基于故障树、振动频谱、红外热成像和电化学的多种诊断方法。最后提出故障控制对策体系，包括预防性维护、状态监测与预测维护、材料选择与防腐控制以及人员培训与应急响应。旨在为化工企业提供全面、科学的设备管理思路，提升设备运行稳定性与安全性，降低故障发生率，保障化工生产的顺利进行。

关键词：化工设备管理；故障诊断；控制对策

引言：在化工生产领域，化工设备是保障生产流程稳定运行的核心要素。其运行状态直接关乎产品质量、生产效率以及企业经济效益。然而，由于化工生产环境复杂，涉及高温、高压、强腐蚀等恶劣条件，化工设备在长期运行过程中极易出现各类故障。这些故障不仅会导致设备性能下降、生产中断，还可能引发安全事故，造成严重的人员伤亡和财产损失。因此，对化工设备常见故障进行准确诊断，并采取有效的控制对策，成为化工企业设备管理的关键环节。深入研究这一问题，对提升化工设备管理水平、保障化工生产安全具有重要意义。

1 化工设备管理常见故障类型

1.1 机械振动类故障

机械振动类故障在化工设备中较为常见。化工设备运行中，多种因素会引发振动，像转子不平衡，因制造误差、材质不均或长期使用磨损，导致质量分布改变，运转时产生离心力引发振动；对中不良，联轴器安装偏差，使轴系不同心，造成设备振动加剧；还有轴承故障，滚道或滚动体磨损、有缺陷，运行时会产生异常振动和噪声。这类故障若不及时处理，会加速设备零部件损坏，影响设备精度和使用寿命，甚至引发设备联锁停机，干扰正常生产秩序。

1.2 密封泄漏类故障

密封泄漏类故障严重影响化工设备的安全运行。化工设备常处理易燃、易爆、有毒有害介质，密封失效会导致介质泄漏。动密封处，如泵的轴封，因密封件老化、磨损、安装不当，或介质腐蚀性使密封面损坏，造成泄漏；静密封处，像法兰连接部位，可能因密封垫片选型错误、安装螺栓紧固不均或长期受压变形，引发泄漏。泄漏不仅浪费资源、污染环境，还可能引发火灾、爆炸、中毒等重大安全事故，威胁人员生命和企业财产

安全。

1.3 腐蚀磨损类故障

腐蚀磨损类故障是化工设备面临的严峻挑战。化工介质具有强腐蚀性，如酸、碱、盐溶液等，会与设备材料发生化学反应，导致设备腐蚀。金属设备在腐蚀环境中，表面会逐渐被侵蚀，出现坑洼、穿孔等现象，降低设备强度和密封性。同时，设备在运行中，零部件之间存在相对运动，会产生磨损，如泵的叶轮与介质摩擦、阀门密封面间的摩擦等。腐蚀和磨损相互作用，加速设备损坏，缩短设备使用寿命，增加设备维修和更换成本，影响化工生产的连续性和稳定性。

1.4 仪表控制类故障

仪表控制类故障对化工生产的自动化和精准化影响重大。化工设备依赖各类仪表进行参数监测和控制，如温度仪表、压力仪表、流量仪表等。仪表故障可能因自身质量问题、长期使用老化、受恶劣环境影响（如高温、潮湿、强电磁干扰）等导致。温度仪表显示不准确，会使反应温度失控，影响产品质量；压力仪表失灵，可能导致设备超压运行，引发安全事故；流量仪表故障，会破坏生产过程的物料平衡。控制系统的软件故障或硬件损坏，也会使设备无法按预定程序运行，打乱整个生产流程^[1]。

2 化工设备故障诊断方法体系

2.1 基于故障树的定性诊断法

故障树分析法以系统最不希望发生的故障事件为顶事件，通过逻辑门符号连接导致顶事件发生的中间事件和底事件，构建倒置树状图形。该方法通过布尔代数运算对故障树进行定性分析，识别最小割集（导致顶事件发生的最小故障组合）和最小路集（维持系统正常运行的必要条件组合），从而确定故障传播路径和关键影响

因素。其核心优势在于能够系统化梳理复杂系统的故障逻辑关系,适用于多因素耦合导致的故障分析。例如在化工反应釜系统中,通过故障树可明确温度异常、压力失控等顶事件与传感器失效、控制阀卡滞等底事件的关联关系,为故障溯源提供可视化路径。

2.2 基于振动频谱的定量诊断法

振动频谱分析通过傅里叶变换将时域振动信号转换为频域能量谱,定量评估设备振动特征。该方法利用频谱图中特定频率成分的幅值、相位信息,结合设备结构动力学特性,识别不平衡、不对中、轴承故障等典型机械问题。现代频谱分析采用快速傅里叶变换(FFT)算法提升计算效率,结合包络解调技术可提取低频冲击特征,适用于滚动轴承早期故障诊断。定量诊断需建立设备正常状态下的基准频谱,通过对比实时数据与基准值的偏差程度,结合ISO10816等国际标准判定故障严重等级。该方法对传感器安装位置、信号采样频率等参数敏感,需配合波形分析、轴心轨迹分析等辅助手段提高诊断准确性。

2.3 基于红外热成像的无损检测法

红外热成像技术通过检测设备表面温度场分布,非接触式识别内部缺陷或异常热状态。其原理基于热传导理论:当设备内部存在隔热性缺陷(如裂纹、气孔)时,热流受阻导致局部温度升高;导热性缺陷(如腐蚀、磨损)则引发温度降低。红外热像仪可实时捕捉温度差异,生成可视化热图像,结合脉冲红外、锁相红外等激励方式可提升检测深度。该方法适用于电气设备接头过热、管道保温层破损、反应器内衬脱落等场景,检测效率较传统点温计提升10倍以上。但需注意环境温度、风速等外部因素对检测结果的影响,需通过差分处理、图像增强等算法进行数据修正。

2.4 基于电化学的腐蚀监测法

电化学腐蚀监测通过测量金属/电解质界面的电化学信号,定量评估材料腐蚀速率和机理。常用技术包括电化学阻抗谱(EIS)、线性极化电阻(LPR)和扫描电化学显微镜(SECM)。EIS通过分析不同频率下的阻抗响应,可区分电荷转移控制、扩散控制等腐蚀过程;LPR通过测量极化电阻计算瞬时腐蚀速率,适用于在线监测;SECM利用超微电极扫描表面,实现微纳尺度腐蚀形貌重构,空间分辨率达微米级。电化学监测需结合腐蚀电位、pH值等环境参数进行综合分析,其数据准确性受电解质成分、流速等因素影响,需定期校准参比电极并建立腐蚀数据库支持诊断决策^[2]。

3 化工设备管理故障控制对策体系

3.1 预防性维护策略

预防性维护是化工设备管理故障控制的核心环节,通过系统性、前瞻性的维护措施降低故障发生率,延长设备使用寿命。(1)建立科学的维护周期规划。依据设备制造商建议、历史故障数据及实际运行工况,制定分级维护计划。对于关键设备如压缩机、反应釜,采用缩短维护间隔、增加检测项目的方式强化管控;对非关键设备则实施常规周期维护,避免过度维护造成资源浪费。同时,结合设备状态监测数据动态调整维护周期,例如通过振动分析发现轴承早期磨损时,提前安排润滑或更换操作。(2)实施标准化维护作业流程。编制详细的设备维护手册,明确润滑、紧固、清洁等环节的操作规范和质量标准。例如,规定泵类设备每月更换润滑油的型号、加注量及清洁要求,确保维护作业的可重复性和有效性。引入数字化工具如移动维护终端,实现维护记录的实时上传与追溯,为设备全生命周期管理提供数据支撑。(3)强化备件库存管理。基于设备故障模式分析(FMEA)识别高风险备件,建立安全库存模型,平衡库存成本与缺货风险。对长周期采购的进口备件,提前制定国产化替代方案;对易损件如密封圈、滤芯,采用供应商寄售模式缩短供货周期。定期盘点库存,淘汰滞销备件并优化储备清单,确保关键时刻备件可用。

3.2 状态监测与预测维护

状态监测与预测维护是化工设备故障控制的前沿手段,通过实时感知设备运行状态并预判故障趋势,实现从“事后维修”到“事前预防”的转变。(1)构建多维度状态监测体系。整合振动、温度、压力、流量等传统参数监测,引入声发射、油液分析、红外热成像等新技术,形成覆盖设备机械、电气、腐蚀等全领域的监测网络。例如,在大型离心泵上同时部署振动传感器与声发射传感器,既能捕捉转子不平衡等宏观故障,又能识别轴承微裂纹等早期缺陷。通过边缘计算设备实现数据本地预处理,减少无效数据传输,提升监测效率。(2)开发智能预测维护模型。基于历史故障数据与实时监测信号,运用机器学习算法构建故障预测模型。对于周期性故障如齿轮磨损,采用时间序列分析(如ARIMA模型)预测剩余使用寿命;对于突发性故障如电机绝缘老化,利用支持向量机(SVM)或神经网络识别故障前兆特征。(3)建立闭环维护决策机制。将预测结果与维护资源管理系统(CMMS)对接,自动生成维护工单并分配优先级。对于高风险故障,触发紧急停机程序并启动备件快速响应流程;对于中低风险故障,安排计划性维护窗口,避免生产中断。通过维护效果反馈持续优化预测

模型参数,形成“监测-预测-维护-改进”的良性循环,逐步提升设备可靠性水平。

3.3 材料选择与防腐控制

材料选择与防腐控制是化工设备故障控制的关键基础,直接决定设备在恶劣工况下的耐久性与安全性,需从材料适配、防护强化及动态管理三方面系统推进。

(1) 科学选材以适配工况需求。针对化工介质特性(如强酸、强碱、高温、高压等),优先选用耐蚀合金、非金属复合材料等专用材质。对于输送浓硫酸的设备,选用铅衬里或玻璃钢材质,利用其化学惰性实现长效防护。同时,综合考虑材料强度、韧性及加工性能,确保设备在满足耐蚀要求的同时具备足够的机械可靠性,避免因材料性能不足引发疲劳断裂或塑性变形等故障。

(2) 实施多层级防腐防护措施。对金属设备表面进行涂层处理,如环氧树脂涂层、热喷涂铝层等,形成物理隔离屏障;采用电化学保护技术,对埋地管道或储罐实施牺牲阳极阴极保护,通过优先腐蚀阳极材料延缓设备本体腐蚀。(3) 建立防腐动态管理机制。定期检测设备腐蚀速率与剩余壁厚,利用超声波测厚仪、电化学阻抗谱等技术量化腐蚀程度,结合腐蚀速率预测模型评估设备使用寿命。根据检测结果动态调整防腐策略,如对腐蚀加剧区域增加巡检频次或局部补强,确保防腐措施始终与实际工况匹配,最大限度延长设备服役周期。

3.4 人员培训与应急响应

人员培训与应急响应是化工设备故障控制的最后一道防线,通过提升人员专业素养与应急处置能力,可有效降低故障扩大风险,保障生产安全与连续性,需从能力建设、预案演练及协同联动三方面系统强化。(1) 构建分层分类的培训体系。针对设备操作人员,开展基础技能培训,重点掌握设备启停、参数监控及日常点检规范,确保能及时发现异常并初步处置;对维护技术人

员,深化故障诊断、维修工艺及安全防护知识培训,例如通过振动分析实操训练提升机械故障识别能力;对管理人员,强化设备全生命周期管理理念,培训风险评估、维护决策及成本优化方法。(2) 完善应急预案与演练机制。制定覆盖泄漏、火灾、爆炸等典型故障的应急预案,明确响应流程、责任分工及处置措施,定期组织跨部门联合演练,模拟故障从发生到处置的全过程,检验预案可行性并优化响应时间。演练后通过复盘分析,针对沟通不畅、工具不足等问题制定改进措施,确保预案随设备更新与工艺调整同步迭代。(3) 建立应急资源协同保障网络。与周边企业、专业救援队伍建立应急联动机制,共享备件库存、专家资源及救援设备,例如在突发腐蚀泄漏时,可快速调用邻厂的中和剂储备。同时,配置智能化应急管理系统,实时显示设备状态、人员位置及资源分布,为指挥决策提供数据支撑,实现从“被动应对”到“主动防控”的转变^[3]。

结束语

化工设备管理的核心在于精准诊断故障并高效控制风险。本文围绕故障诊断方法与控制对策展开的系统探讨表明,基于故障树、振动频谱等技术的诊断体系可实现故障的早期识别与定位,而预防性维护、状态监测、材料防腐及人员应急等控制策略则构建了多层次防护屏障。未来,随着数字孪生、人工智能等技术的深度融合,化工设备管理将向智能化、预测化方向加速演进。

参考文献

- [1] 黄远,周文涛.基于改进CNN的化工设备故障分布式诊断技术研究[J].化工设备与管道,2023,60(6):8-17.
- [2] 陈伟台.化工机械设备管理及维护保养技术研究[J].造纸装备及材料,2023,52(9):35-37.
- [3] 张永鑫.化工设备管理中现代管理技术的应用策略[J].化工管理,2023,99(31):101-103+127.