

化工设备的管理与维修

李进龙

国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油化工安装检修分公司 宁夏 银川 750411

摘要：化工设备是化工生产的核心物质基础，其管理与维修水平直接关系到企业的生产效率、产品质量、安全环保及经济效益。本文系统阐述了化工设备管理的内涵与重要性，分析了当前管理中存在的突出问题，并从全生命周期管理、智能化技术应用、维修模式创新等维度提出了优化策略。研究指出，构建预防性维护体系、推进设备管理数字化转型、培养复合型技术人才是提升化工设备管理效能的关键路径。

关键词：化工设备；全生命周期管理；预防性维护；智能化技术；数字化转型

1 引言

化工行业作为国民经济的重要支柱产业，具有技术密集、资金密集、风险密集的典型特征。化工设备作为生产过程的直接载体，其运行状态直接影响产品的产量、质量及成本。据统计，我国化工企业因设备故障导致的非计划停机平均每年造成经济损失超百亿元，而因设备管理不善引发的安全环保事故占比高达60%以上。在工业4.0与智能制造背景下，传统“事后维修”“计划维修”模式已难以满足现代化工生产对设备可靠性、安全性、经济性的综合要求。因此，构建系统化、智能化、可持续的化工设备管理体系成为行业转型升级的迫切需求。

2 化工设备管理的核心内涵与重要性

2.1 设备管理的核心内涵

化工设备管理涵盖设备全生命周期的各个环节，从设计选型、采购安装，到运行维护、更新改造，直至报废处置，形成了一个完整的管理闭环。其本质是通过技术、经济、管理等手段的综合运用，实现设备寿命周期内费用最经济、综合效率最高的目标。在技术维度上，需确保设备性能精准匹配生产工艺要求，借助状态监测、故障诊断等先进技术手段，实时掌握设备运行状态，保障其安全稳定运行。经济维度则聚焦于优化设备采购、运行、维修等各环节成本，通过全生命周期成本（LCC）分析方法，对设备在不同阶段的费用进行全面评估，实现资源的高效配置。管理维度强调建立标准化、规范化的管理制度，明确各部门在设备管理中的职责与流程，提升管理效率与协同性，确保设备管理工作有序开展。

2.2 设备管理的重要性

化工设备管理的成效直接关乎企业的生存与发展。从生产连续性来看，化工生产具有高度的连续化和自动

化特点，设备故障往往会导致整个生产线停运，造成巨大的经济损失。例如，某大型炼化企业因压缩机突发故障，导致非计划停机，单日损失超过千万元，不仅影响了产品交付，还损害了企业的市场声誉。在产品质量方面，设备的精度与稳定性是关键影响因素。反应釜温度的微小波动都可能导致产品收率下降5%以上，进而影响企业的经济效益和市场竞争能力^[1]。安全环保是化工生产的底线，设备泄漏可能引发火灾、爆炸、中毒等严重事故，同时造成环境污染。据应急管理部数据，2022年化工行业事故中，设备因素占比达42%，凸显了设备管理在保障安全环保方面的重要性。此外，有效的设备管理还能显著降低运营成本。通过实施预防性维护，减少突发故障的发生，可降低维修成本30%以上，同时延长设备使用寿命20%-50%，为企业创造可观的经济效益。

3 化工设备管理现存问题与挑战

3.1 管理理念滞后

部分化工企业仍秉持“重生产、轻维护”的传统思维模式，将设备管理视为辅助性工作，缺乏战略层面的规划与重视。在这种观念的影响下，企业往往更关注短期生产效益，而忽视了设备的长期健康运行。例如，某企业为追求产量最大化，长期让设备超负荷运行，导致关键部件磨损加剧，寿命缩短60%。当设备频繁出现故障时，企业不得不投入大量资金进行维修，不仅维修成本激增，还影响了生产的正常进行。这种短视行为严重制约了企业的可持续发展。

3.2 技术手段不足

当前，许多化工企业在设备管理技术方面存在明显短板。一方面，监测技术落后，仍依赖人工巡检与定期检修的传统方式。人工巡检存在主观性强、效率低、难以发现早期故障等问题，而定期检修则可能导致过度维修或维修不足。调研显示，仅35%的化工企业应用了振动

分析、油液检测等先进监测技术,无法实时捕捉设备早期故障征兆,增加了设备突发故障的风险。另一方面,数据分析能力薄弱。设备运行数据分散于DCS、SCADA等系统中,缺乏有效的整合与分析手段,难以实现数据的深度挖掘与价值转化。某企业虽积累了10年的设备数据,但仅用于历史查询,未能利用这些数据建立故障预测模型,无法提前采取预防措施,导致设备故障频发。

3.3 人才结构失衡

随着智能化设备在化工行业的广泛应用,对设备管理人才的要求也越来越高,既懂化工工艺又掌握设备管理技术的复合型人才成为企业发展的关键。然而,目前这类人才严重短缺。某企业调查显示,维修人员中能熟练操作状态监测系统的不足20%,且平均年龄超过45岁。这些维修人员虽然经验丰富,但对新技术的接受和应用能力有限,难以适应智能化设备管理的需求^[2]。同时,年轻技术人员缺乏实践经验和化工工艺知识,在处理复杂设备故障时往往力不从心。技术传承面临断层风险,严重影响了企业设备管理水平的提升。

3.4 管理体系碎片化

化工企业的设备管理、生产管理、安全管理等部门之间往往存在信息壁垒,导致管理流程不顺畅、协同效率低下。设备管理部门制定的维修计划可能与生产计划冲突,影响生产的正常安排;安全管理部门难以及时获取设备运行状态信息,无法提前识别安全风险,导致安全隐患不能及时消除。例如,某企业因未及时共享设备腐蚀数据,检修窗口期错过,最终引发泄漏事故,给企业带来了巨大的损失。这种碎片化的管理体系严重制约了企业设备管理效能的发挥。

4 化工设备管理优化策略

4.1 构建全生命周期管理体系

全生命周期管理(TLM)强调对设备从规划、设计、采购、安装、运行到报废的全过程进行优化,实现技术、经济、管理的协同发展。在设计阶段,采用可靠性工程方法,充分考虑设备的使用环境、工艺要求等因素,优化设备结构与材料选型。例如,针对强腐蚀环境,选用哈氏合金替代普通不锈钢,可显著提高设备的耐腐蚀性能,将设备寿命延长3倍。在采购阶段,建立科学的供应商评价体系,将设备的可靠性、可维护性等指标纳入招标要求,引导供应商提供高质量的设备。某企业通过引入LCC(全生命周期成本)模型,综合考虑设备的采购成本、运行成本、维护成本和报废成本等因素,使设备采购成本降低15%,而维护成本下降25%,实现了经济效益的最大化。在运行阶段,实施风险分级管

控与隐患排查治理双重预防机制(双重预防体系),对高风险设备增加监测频次,加强防护措施,及时发现并消除安全隐患。在报废阶段,推行绿色拆解与资源化回收,采用激光熔覆等先进技术修复磨损轴类零件,修复成本仅为更换的30%,同时减少了资源浪费和环境污染。

4.2 推进智能化技术应用

智能化技术为化工设备管理带来了新的机遇和变革,其应用场景广泛且效果显著。在状态监测与故障诊断方面,振动分析技术可通过频谱分析准确识别轴承、齿轮等旋转部件的故障模式,提前发现设备潜在问题;油液检测技术利用铁谱分析、光谱分析等方法监测润滑油中金属颗粒含量,预测设备磨损趋势,为维修决策提供科学依据;红外热成像技术能够检测电气接点、密封部位的温度异常,及时发现过热隐患,避免设备故障的发生^[3]。数字孪生技术通过构建设备虚拟模型,将实时数据映射到虚拟模型中,并进行仿真分析,帮助企业优化设备运行参数和维护策略。某企业为反应釜建立数字孪生体,通过对虚拟模型的模拟和优化,使调试周期缩短40%,故障复现效率提升3倍,显著提高了设备管理的效率和精准度。增材制造技术,如激光选区熔化(SLM)技术,可用于修复腐蚀、磨损部件,实现“修复即制造”。该技术能够在不破坏原有结构的基础上,精确地修复受损部位,修复层与基体结合强度达98%以上,为设备维修提供了新的解决方案。

4.3 创新维修模式

传统的维修模式已难以满足现代化工设备管理的需求,创新维修模式成为提升设备可靠性和降低维修成本的关键。预防性维护(PM)包括基于时间的维护(TBM)和基于状态的维护(CBM)。基于时间的维护按照固定周期对设备进行检修,适用于故障模式明确、磨损规律清晰的设备,能够提前发现并解决潜在问题,但可能存在过度维修的情况。基于状态的维护则通过实时监测设备运行状态,根据监测数据触发维修工单,避免了过度维修和维修不足的问题。某企业应用CBM后,维修成本降低28%,设备可用率提升至97.5%,取得了显著的经济效益。可靠性为中心的维护(RCM)以设备功能故障为分析起点,通过故障模式影响与危害性分析(FMECA),确定最优维护策略。某企业针对压缩机实施RCM,对不同故障模式进行详细分析,根据故障的严重程度和发生频率制定相应的维护措施,将大修周期从5年延长至8年,年节约维护费用500万元。总承包维护(MRO)模式将设备维护外包给专业服务商,利用其技术优势和规模效应降低成本。专业服务商拥有丰富的

维修经验和先进的技术设备，能够提供全方位的维护服务，提高维修效率和质量。某企业通过MRO模式，使维修响应时间缩短至2小时，备件库存周转率提升40%，有效提升了设备管理的水平。

5 化工设备管理数字化转型路径

5.1 建设一体化管理平台

建设一体化管理平台是化工设备管理数字化转型的重要基础。通过整合DCS、SCADA、ERP、EAM等系统数据，构建设备管理“驾驶舱”，实现设备管理的集中化、可视化和智能化。在实时监控方面，平台能够以直观的图表和报表形式展示设备运行状态、故障预警、维修进度等信息，让管理人员随时随地掌握设备动态。智能决策功能则基于机器学习算法对设备数据进行分析 and 挖掘，生成科学合理的维护建议，帮助管理人员优化维修资源分配，提高决策的准确性和及时性。此外，平台还支持移动应用，通过APP实现巡检任务下发、数据采集、工单审批等移动化操作，提高工作效率和管理灵活性。

5.2 应用工业互联网技术

工业互联网技术为化工设备管理提供了强大的支撑。设备联网是实现设备互联互通的关键，通过工业以太网、5G等技术将设备连接起来，打破信息孤岛，实现设备数据的实时传输和共享。边缘计算技术在设备端部署智能网关，能够对设备数据进行本地处理和实时响应，减少数据传输延迟，提高系统的可靠性和实时性^[4]。云平台则利用公有云或私有云存储设备数据，支持多终端访问和协同分析。企业可以通过云平台实现设备数据的集中管理和分析，为设备管理提供更强大的计算能力和存储资源，同时方便不同部门之间的协作和沟通。

5.3 培育数据驱动文化

数据驱动文化是化工设备管理数字化转型的内在动

力。建立数据标准是确保数据质量的基础，统一设备编码、监测参数、故障代码等数据格式，使数据具有可追溯性和可分析性。开展数据分析培训，提升管理人员的数据解读能力，培养他们运用数据分析工具和方法解决实际问题的能力，推动设备管理从“经验决策”向“数据决策”转变。建立激励机制，将数据质量、分析成果纳入绩效考核体系，激发员工参与数据管理的积极性和主动性，形成全员参与、共同推动数据驱动文化建设的良好氛围。

结语

化工设备管理与维修是保障化工生产安全、提升经济效益、推动绿色发展的关键环节。面对传统管理模式效率低下、技术手段滞后、人才短缺等挑战，企业需从全生命周期管理、智能化技术应用、维修模式创新、数字化转型等维度系统推进改革。未来，随着数字孪生、人工智能、区块链等技术的深度融合，化工设备管理将向“自主感知、自主决策、自主执行”的智能化阶段演进。通过实现设备的智能化管理和自主运行，企业将能够进一步提高设备可靠性、降低运营成本、提升生产效率，最终实现设备零故障、生产零中断、安全零事故的终极目标，为化工行业的可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1]裴宇峰,刘国斌.浅谈化工设备管理及维修保养[J].石化技术,2023,30(09):223-225.
- [2]焦艳虎,段成宪,兰小云.化工设备管理的化工机械维修保养技术[J].模具制造,2024,24(10):242-244.
- [3]欧阳哲.基于化工设备管理的化工机械维修保养技术研究[J].化工设计通讯,2025,51(06):61-63.
- [4]周国华.化工设备管理中关于机械维修的保养探讨[J].中国设备工程,2023,(09):79-81.