

# 机械维修保养技术在化工设备管理中的运用及经济性分析

张 凯 (山东中海精细化工有限公司, 山东 滨州 256800)

**摘要:** 随着化工行业的快速发展, 化工设备的复杂性和精密性不断提高, 其运行稳定性直接关系到企业的生产效率、产品质量及安全生产。机械维修保养技术作为化工设备管理的重要组成部分, 其科学性和有效性对延长设备使用寿命、降低故障率、减少停机时间具有重要意义。然而, 传统维修模式存在响应速度慢、维修成本高、技术更新滞后等问题, 难以满足现代化化工生产对设备管理的高要求。本文旨在分析机械维修保养技术在化工设备管理中的具体应用, 结合经济性评估, 为企业优化设备管理策略提供参考。

**关键词:** 机械维修保养技术; 化工设备管理; 运用; 经济性

中图分类号: TQ050.7 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 022-0058-03

## Application and economic analysis of mechanical maintenance technology in chemical equipment management

Zhang Kai(Shandong Zhonghai Fine Chemical Co., LTD., Binzhou Shandong 256800, China)

**Abstract:** With the rapid development of the chemical industry, the complexity and precision of chemical equipment continue to improve, and its operational stability is directly related to the production efficiency, product quality and safety of enterprises. Mechanical maintenance technology as an important part of chemical equipment management, its scientific and effective to extend the service life of equipment, reduce failure rate, reduce downtime is of great significance. However, the traditional maintenance mode has some problems, such as slow response speed, high maintenance cost and lagging technical update, so it is difficult to meet the high requirements of equipment management in modern chemical production. This paper aims to analyze the specific application of mechanical maintenance technology in chemical equipment management, combined with economic evaluation, and provide reference for enterprises to optimize equipment management strategy.

**Key words:** mechanical maintenance technology; Chemical equipment management; Use; economy

化工设备在高温、高压、腐蚀性介质等极端工况下运行, 易发生磨损、腐蚀、疲劳等故障, 导致生产中断甚至安全事故。有效的机械维修保养技术不仅能保障设备正常运行, 还能通过预防性维护、状态监测等手段, 实现设备全生命周期管理, 降低综合运维成本。

## 1 机械维修保养技术在化工设备管理中的重要意义

### 1.1 保障设备稳定运行与延长使用寿命

机械维修保养技术作为化工设备管理的基石, 其核心价值在于构建设备运行的“防护网”与“修复链”。化工生产中, 设备需长期承受高温高压、介质腐蚀等极端工况, 机械部件极易因疲劳、磨损或材质劣化而失效。常规维护通过系统化润滑、紧固、清洁等基础操作, 可有效降低机械摩擦系数, 缓解应力集中现象, 防止突发故障对生产流程的冲击; 而精密维修技术则能精准修复设备几何精度, 阻断局部损伤向整体失效的蔓延路径。这种“预防性防御+靶向性修复”的双重策略, 既可规避非计划停机导致的产能损失, 又能延缓设备因过度损耗引发的性能衰退, 最终实现资产全生命周期价值最大化。

### 1.2 优化生产安全与降低系统性风险

化工设备的失效风险具有“蝴蝶效应”特征, 机械维修保养技术通过“主动干预-动态监测-闭环管理”机制, 将安全隐患扼杀于萌芽阶段。在高温高压环境下, 机械密封失效、传动机构变形等隐蔽性缺陷可能引发介质泄漏或机械失控, 进而诱发火灾、爆炸等灾难性事故。系统性保养通过振动分析、油液监测等非破坏性检测手段, 可提前识别微观裂纹、轴承游隙异常等早期故障征兆, 并依据风险等级制定分级维修策略。这种技术驱动的安全管理模式, 不仅提升了设备本质安全水平, 更通过减少意外停机保障了生产连续性, 从根本上降低了全流程风险敞口。

## 2 机械维修保养技术在化工设备管理中的应用

### 2.1 预防性维护降低非计划停机风险

预防性维护是化工设备管理的核心策略, 通过周期性检查与标准化保养程序, 显著减少突发性故障概率。化工生产具有连续性特征, 非计划停机可能导致整条产线停滞, 造成巨大经济损失。预防性维护技术包括振动监测、红外热成像、润滑油分析等手段, 能够提前识别设备潜在异常。例如, 定期更换轴承润滑脂可避免因润滑失效导致的卡死现象, 而法兰密封面

的周期性紧固则能预防介质泄漏。此类技术通过建立设备健康档案，结合历史数据预测关键部件寿命，从而在性能衰退前主动干预。这种模式将传统“故障后维修”转变为“预测性维护”，不仅提升设备可靠性，还优化了维修资源配置，避免因抢修导致的额外成本。

## 2.2 精细化维修恢复设备设计性能

化工设备在长期运行中会出现磨损、腐蚀或变形，精细化维修技术通过针对性措施恢复其原始设计参数。以离心泵为例，叶轮气蚀或轴套磨损会降低扬程效率，采用激光熔覆或精密机加工可修复受损部位，避免整体更换的高成本。对于反应釜搅拌系统，动态平衡校正能消除振动超标问题，而密封面的研磨修复则可保障压力容器的密闭性。此类技术强调“修旧如旧”原则，依托无损检测、三维扫描等工具量化损伤程度，再通过特种焊接、金属喷涂等工艺实现性能复原。其价值在于延长核心设备服役周期，同时减少备件库存压力，尤其适用于进口设备或定制化装置的维保需求。

## 2.3 标准化流程提升维修作业安全

化工设备维修常涉及高危环境，标准化技术流程通过规范操作降低人为风险。动火作业前需进行可燃气体检测，受限空间维修必须落实能量隔离（Lockout/Tagout），这些程序性要求能有效避免火灾、中毒等事故。针对高温管道检修，采用阶梯式降温方案可防止材料热应力裂纹；而带压密封技术（如夹具注胶）能在不停工条件下处理泄漏点。标准化还体现在工具管理上，例如防爆扳手的强制使用、扭矩值的数字化记录等，确保每个环节符合防爆区域安全标准。这种技术体系不仅保护维修人员安全，更通过可追溯的作业记录规避操作失误，为高风险作业提供系统性保障。

## 2.4 智能化技术赋能全生命周期管理

随着工业4.0发展，智能传感器与物联网技术正深度融入化工设备维保体系。在线监测系统实时采集轴承温度、电机电流等参数，通过算法模型预警早期故障；AR辅助维修系统可叠加设备三维图纸，指导人员快速定位故障点。此外，基于大数据的可靠性分析（RCM）能优化维护周期，例如根据压缩机运行小时数动态调整气阀检查频率。智能化还体现在数字化工单管理上，通过移动终端同步维修记录、备件消耗与工时数据，形成闭环反馈机制。这种技术转型不仅提升维保效率，更通过数据沉淀构建设备知识库，为后续技改或采购决策提供量化依据，实现从“经验驱动”到“数据驱动”的跨越。

## 2.5 状态监测技术实现精准维保决策

基于传感器的设备状态监测技术正在重构传统定

期维护模式。通过振动频谱分析可识别离心泵轴承的早期点蚀缺陷，超声波检测能发现高压法兰螺栓的预紧力衰减，而油液铁谱分析则能判断齿轮箱的异常磨损模式。

这些技术通过量化设备健康指标，建立阈值预警机制，使维保行动精准匹配实际需求。例如，当电机电流谐波含量超过基准值15%时触发绕组检查，而非机械执行年度大修计划。状态监测数据还可与设备历史档案联动，通过机器学习预测剩余使用寿命（RUL），为备件采购与停机窗口规划提供科学依据。这种数据驱动的维保策略既能避免过度维护造成的资源浪费，又可防止维护不足导致的故障升级，实现资源投入与设备可靠性的最优平衡。

## 2.6 全流程质量管理控制维修风险

化工设备维修质量直接关联后续运行安全，需建立覆盖人员、工艺、验收的全流程管控体系。维修人员需通过ASME或GB/T资质认证，关键工序如焊接实施工艺评定（WPS/PQR）；备件入库执行材质光谱复验，杜绝以次充好现象。在维修过程中，采用扭矩-转角法控制法兰螺栓预紧力，比传统锤击法精度提高5倍；动平衡校正需达到ISO1940 G2.5级标准。验收阶段则运用氦质谱检漏、射线探伤等无损检测技术验证质量，并实施72h试运行考核。这种严苛的质量链能确保每次维修后设备性能不低于原设计标准，从根源上避免因维修不当引发的二次故障。同时，通过电子化质量追溯系统，任何环节的异常都可快速定位责任主体，形成持续改进的良性循环。

## 3 经济性分析

### 3.1 成本结构的优化与控制

机械维修保养技术的经济性首先体现在成本结构的优化上。传统维修模式往往依赖“事后补救”，导致维修成本波动大且不可控。而现代维修技术通过预防性维护、状态监测等手段，将成本从被动支出转向主动管理。例如，通过润滑系统优化和定期状态检查，可减少因磨损或腐蚀导致的突发故障，降低紧急维修的高昂费用。

此外，智能化技术（如传感器、数据分析）的应用使维修计划更加精准，避免过度维修或备件浪费，从而在长期内实现维修成本的平滑化与可控化。这种成本结构的优化不仅降低了直接支出，还通过减少设备停机时间间接提升了生产效率，形成“降本增效”的良性循环。

### 3.2 设备全生命周期价值的提升

经济性分析的另一核心是设备全生命周期价值的提升。化工设备通常投资巨大，其经济性不仅取决于

采购成本，更取决于运行期间的综合效益。先进的维修保养技术通过延长设备使用寿命、提高运行稳定性，直接增加了设备的“有效使用时间”。例如，基于状态的维修策略可提前识别潜在故障，避免因小问题演变为大故障导致的设备报废。同时，精准的维护计划减少了因设备老化引发的性能下降，保障了产品质量和生产效率。这种对设备价值的深度挖掘，使企业在设备生命周期内获得更高的投资回报率，体现了经济性的长期价值。

### 3.3 风险管理与安全成本的降低

化工设备的高风险性决定了维修保养的经济性必须与安全性紧密结合。传统维修模式因反应滞后，常导致设备带病运行，增加事故风险。而现代维修技术通过实时监测和预测性维护，能够提前识别安全隐患，将风险扼杀在萌芽阶段。例如，振动分析和油液检测技术可提前发现轴承磨损或润滑失效，避免因设备故障引发的爆炸、泄漏等严重事故。

安全成本的降低不仅包括直接的事故损失减少，还涉及保险费用降低、合规成本优化等间接效益。这种风险管理的强化，使企业在保障生产安全的同时，实现了经济性与安全性的双赢，为企业的可持续发展奠定了基础。

## 4 未来展望

### 4.1 技术融合驱动的智能化跃迁

未来，机械维修保养技术将深度融入人工智能、物联网与大数据分析体系，形成“感知-分析-决策”的闭环生态。传感器网络的全面覆盖将实现设备状态的实时监测，而边缘计算与云端协同的智能算法则能对海量数据进行深度挖掘，提前预判故障趋势。这种技术融合不仅提升了维修决策的精准度，更通过数字孪生技术构建虚拟设备模型，使维修人员能够在虚拟环境中模拟故障场景，优化维修方案。此外，增强现实（AR）与虚拟现实（VR）技术的引入，将进一步缩短维修响应时间，通过远程协作实现专家资源的跨地域共享，推动维修模式从“经验驱动”向“数据驱动”的智能化跃迁。

### 4.2 绿色可持续理念下的技术革新

随着全球对环境保护的重视，化工设备维修保养技术将全面向绿色化转型。一方面，再制造技术的突破将使废旧设备零部件通过纳米修复、3D打印等手段实现性能再生，减少资源浪费；另一方面，节能型维修工艺的研发将聚焦于降低维修过程中的能源消耗，例如采用低能耗的激光清洗替代传统化学清洗，或通过热能回收技术将维修余热转化为生产能源。

此外，维修材料的创新也将推动绿色循环，例如

开发可降解的润滑剂或耐腐蚀的生物基涂层，减少有害物质排放。这种绿色可持续的技术革新，不仅符合企业社会责任要求，更将通过成本节约与政策红利形成新的经济优势。

### 4.3 人机协同与技能生态的重构

未来，机械维修保养技术的演进将重塑人机协作模式，形成“智能系统辅助+人类专家决策”的协同体系。自动化工具（如协作机器人）将承担重复性、高风险任务，而人类维修人员则专注于复杂故障的判断与创造性解决方案的制定。

这一转变要求企业构建全新的技能生态：一方面，通过虚拟仿真培训平台提升员工对智能系统的操作能力，使其成为数据解读与策略制定的“中枢”；另一方面，建立跨学科的知识共享机制，融合机械工程、材料科学、信息技术等多领域知识，培养具备系统思维的复合型人才。

此外，开放式的技能生态系统将吸引外部创新力量参与，例如与高校合作开发定制化维修工具，或通过众包平台获取全球专家的实时支持，从而在技术快速迭代的背景下保持竞争力。

## 5 结语

机械维修保养技术在化工设备管理中的科学运用，不仅保障了生产安全与设备长周期稳定运行，更通过预防性维护、智能化监测等手段显著降低全生命周期成本。其经济性体现在减少非计划停机损失、延长设备使用寿命及优化备件库存管理等方面。未来，随着数字化与绿色维修技术的发展，化工设备维修保养将进一步提升效率与可持续性，为企业创造更大的经济效益与安全价值。

### 参考文献：

- [1] 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.
- [2] 蔡先波. 基于化工设备管理的化工机械维修保养技术[J]. 当代化工研究, 2024, (14): 142-144.
- [3] 李伟. 化工设备管理中的化工机械维修保养技术[J]. 现代盐化工, 2023, 50(06): 64-66.
- [4] 王耀文. 化工机械设备维修保养管理与技术研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2023, 43(14): 83-85.
- [5] 李建科. 基于化工设备管理的化工机械维修保养技术探索[J]. 世界有色金属, 2023(14): 32-34.
- [6] 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.
- [7] 李东升. 分析基于化工设备管理的化工机械维修保养技术[J]. 中国设备工程, 2022(16): 55-57.