

面向设备可靠性与维护性提升的化工设备管理系统研究与应用

常喜斌 马毅 谢永海 刘杰 郝文鹏*
青海汇信资产管理有限责任公司
DOI:10.32629/pe.v4i1.19059

[摘要] 随着化工产业向大型化、连续化、自动化方向飞速发展,生产装置的安全、稳定、长周期运行已成为企业核心竞争力之所在。设备作为生产的物质基础,其管理水平直接关系到企业的安全生产、产品质量、运营成本与经济效益。传统以事后维修、定期检修为主的设备管理模式已难以适应现代化工生产的需求。本文旨在深入探讨一种集成了系统管理、基础信息、标准管理、点检管理、润滑管理、状态监测、报警管理、维修管理、外协管理、配件管理等核心功能的现代化工设备管理系统。

[关键词] 化工设备; 设备管理系统; 可靠性

中图分类号: TQ02 **文献标识码:** A

Research and Application of Chemical Equipment Management System for Enhancing Equipment Reliability and Maintainability

XibinChang Yi Ma Yonghai Xie Jie Liu Wenpeng Hao*
Qinghai Huixin Asset Management Co., Ltd.

[Abstract] With the rapid development of the chemical industry towards large-scale, continuous, and automated production, the safety, stability, and long-term operation of production facilities have become the core competitiveness of enterprises. Equipment, as the material foundation of production, its management level directly affects the safety production, product quality, operating costs, and economic benefits of the enterprise. The traditional equipment management model based on post-event maintenance and regular inspections has been unable to meet the needs of modern chemical production. This paper aims to deeply explore a modern chemical equipment management system that integrates core functions such as system management, basic information management, standard management, inspection management, lubrication management, condition monitoring, alarm management, maintenance management, outsourcing management, and spare parts management.

[Key words] Chemical equipment; Equipment management system; Reliability

引言

化工行业是国民经济的支柱产业,其生产过程通常涉及高温、高压、易燃、易爆、有毒及腐蚀性介质,对生产设备的依赖性极高。任何关键设备的意外停机都可能导致巨大的经济损失,甚至引发严重的安全环保事故。因此,保障设备的高效、稳定、安全运行是化工企业管理的重中之重。

1 化工设备管理系统的核心模块构成与功能分析

一个完整的化工设备管理系统通常包含以下核心功能模块,它们共同构成了设备管理的骨架和神经网络。

1.1 系统管理模块是整个EMS的“大脑”和“守门人”,负责系统的底层配置和权限控制

用户与权限管理:建立用户账户,并基于角色(如设备管理员、点检员、维修工、外协人员、管理者)分配不同的数据查看、

操作和审批权限。确保数据安全与流程规范。

系统配置与初始化:定义系统的基础参数,如工厂结构(公司-分厂-车间-装置)、工作流引擎、通知提醒规则等。

日志与审计:记录所有用户的关键操作日志,满足审计要求和事故追溯需求。

数据备份与恢复:保障系统数据的安全,防止意外丢失。

1.2 基础信息管理模块是EMS的“数据基石”,是所有业务活动的对象载体

设备台账管理:建立全厂设备的“电子身份证”,记录设备编码、名称、型号、规格、技术参数、制造商、供应商、购置日期、原值、安装位置等静态信息。

设备层级结构(BOM):以树状结构清晰定义设备-部件-零件之间的装配关系,为后续的维修、点检、配件管理提供结构基础。

技术资料管理: 关联存储设备图纸、说明书、合格证、操作规程等技术文档, 实现电子化集中管理和快速检索。

1.3 标准管理模块是EMS的“法规库”, 是所有维护工作的技术依据和标准来源

维护标准库: 建立各类维护作业的标准, 包括点检标准(点检部位、方法、周期、标准值)、润滑标准(“五定”: 定点、定量、定时、定人)、保养标准、检修规程等。

故障代码体系(F-Code): 建立标准化的故障现象、原因、措施代码库, 为后续的故障统计分析和知识积累奠定基础。

维修工艺库: 针对常见的维修任务, 制定标准化的作业指导书(SOP), 规范维修流程, 保证维修质量。

1.4 点检管理模块是设备状态数据的“前沿哨所”, 负责日常的健康巡检

点检计划生成: 系统根据设备重要性和预设的点检标准, 自动生成每日、每周、每月的点检任务工单。

移动化点检执行: 点检人员通过手持终端(PDA/手机)接收任务, 扫码识别设备, 按标准流程录入点检数据(如温度、压力、振动、泄漏情况等), 支持拍照、录像上传异常。

数据自动上传与分析: 点检数据实时同步至系统, 自动与标准值比对, 发现异常自动触发报警流程。

趋势分析: 系统对历史点检数据(特别是关键参数)进行趋势分析, 预测潜在故障。

1.5 润滑管理模块是针对设备“血液系统”的专项精细化管理。

润滑计划: 系统根据润滑标准, 自动生成润滑任务, 明确润滑设备、油品型号、加油量、换油周期等。

油品管理: 建立油品台账, 管理油品的库存、领用和更换记录。

油液分析集成: 可与油液监测实验室系统对接, 记录和分析油品的理化指标和磨损颗粒数据, 实现按质换油, 科学润滑。

执行跟踪与提醒: 跟踪润滑任务的执行情况, 对逾期未执行的任务进行预警。

1.6 状态监测管理模块是对关键设备进行“深度体检”的高级手段, 是预测性维修(PdM)的核心。

监测数据集成: 与在线状态监测系统(如振动、温度、声发射、红外热像等)或离线采集器集成, 自动采集设备的实时或周期性状态数据。

专家诊断与预警: 利用内置的专家知识库或AI算法, 对监测数据(如频谱、波形)进行自动分析诊断, 识别早期故障征兆, 并在故障发展初期发出早期预警。

报告生成: 自动生成状态监测报告, 为维修决策提供科学依据。

1.7 报警管理模块是EMS的“中枢神经系统”, 负责接收、处理和跟踪所有异常信息。

多渠道报警接入: 接收来自点检、润滑、状态监测、操作工报修等各个渠道的异常信息。

报警分级与推送: 根据报警的严重程度(如紧急、重要、一般)进行分级, 并通过短信、App推送、邮件等方式自动推送给相

关责任人。

报警闭环处理: 跟踪报警从产生、确认、工单生成、维修处理到最终销项的全过程, 确保每一个报警都得到有效处置。

1.8 维修管理模块是EMS的“执行指挥中心”, 是所有维修活动的核心

工单全生命周期管理: 涵盖工单创建、审批、计划、调度、执行、验收、结算的全过程。支持预防性维修(PM)、纠正性维修(CM)、紧急维修等不同类型的工单。

维修资源调度: 在工单中关联所需的人员、工具、备件和安全措施, 实现高效调度。

维修历史记录: 详细记录每次维修的故障描述、原因分析、采取的措施、耗用的工时和配件, 形成宝贵的设备维修知识库。

维修效果评估: 通过对比维修前后的设备运行数据, 评估维修工作的质量。

1.9 外协管理模块是对第三方维修服务进行规范化管理的工具

外协单位档案: 建立合格供应商名录, 记录其资质、能力和评价信息。

外协合同管理: 管理外协服务合同, 包括工作范围、价格、工期等。

外协工单流程: 将外协维修任务以工单形式下发, 跟踪其执行进度和质量, 并进行完工验收和费用结算。

服务评价: 对外协单位的服务质量进行评价, 为后续合作提供依据。

1.10 配件管理模块是保障维修工作顺利进行的“后勤仓库”

库存管理: 建立配件(备品备件)台账, 实现配件的入库、出库、调拨、盘点等日常库存管理功能。

库存策略与预警: 为关键配件设置安全库存, 当库存低于阈值时, 系统自动预警, 触发采购流程。

需求与采购联动: 维修工单产生的配件需求可直接生成采购申请, 实现业务驱动采购。

配件与设备关联: 记录配件被用于哪台设备的哪次维修, 便于追溯。

2 系统各模块协同提升设备可靠性与维护性的机理分析

单个模块的功能再强大, 也只是“信息孤岛”。化工设备管理系统的真正威力在于各模块之间的数据流与业务流的无缝衔接与协同, 形成一个持续改进的闭环, 从而系统性地提升设备的可靠性与维护性。

2.1 数据驱动的可靠性提升闭环

可靠性的核心是“少出故障”。EMS通过以下闭环实现这一目标:

(1) 状态感知与早期预警(点检、状态监测模块): 系统通过日常点检和专业化状态监测, 持续收集设备的健康数据。这改变了传统依赖人工经验和定期解体的方式, 实现了对设备状态的实时、量化感知。

(2) 异常识别与快速响应(报警管理模块): 当点检或监测数据超出标准(标准管理模块)时, 系统立即生成报警。报警管理模块确保信息不遗漏、不延误, 快速传递给相关人员。

(3) 精准诊断与科学决策: 维修工程师接到报警后, 可调取该设备的完整历史记录、技术图纸, 结合状态监测的深度分析报告, 进行精准的故障诊断, 决定维修策略。

(4) 高效执行与知识沉淀: 若需维修, 则生成工单, 调度资源(配件、人员), 参照标准的维修工艺(标准管理模块)进行高质量维修。维修结束后, 详细的故障原因、处理措施被记录回系统, 丰富故障代码库和知识库。

(5) 预防策略优化(标准管理模块): 通过对历史维修数据和故障模式的分析, 可以发现频发故障设备和共性问题^[1]。

这个“感知-预警-决策-执行-优化”的闭环, 使得设备管理从事后被动的“救火队”转变为主动前瞻的“健康管理师”, 显著降低了设备意外故障的概率, 从而直接提升了设备可靠性。

2.2 流程优化的维护性提升闭环

维护性的核心是“出了问题能快速修好”。EMS通过以下闭环实现这一目标:

(1) 信息集成与快速定位(基础信息、报警管理模块): 当设备出现异常, 操作工或系统可直接报修。维修人员可在工单中 instantly 看到设备的所有基本信息、历史故障、相关图纸, 快速了解“修什么”、“怎么修”, 减少了现场排查和信息搜寻时间。

(2) 资源准备与调度优化: 在制定维修计划时, 系统可实时查询所需配件的库存情况。若库存不足, 可提前触发采购, 避免“等米下锅”。系统能自动推荐合适的维修班组和工具, 实现资源的高效调度^[2]。

(3) 过程标准化与质量保障(标准管理、维修管理模块): 维修人员依据系统提供的标准检修规程和SOP进行作业, 避免了因个人经验差异导致的维修质量参差不齐。

(4) 绩效分析与持续改进(所有模块): 系统自动统计关键绩效指标(KPI), 如平均修复时间(MTTR)、工单完成率、计划维修比例等。通过分析MTTR过长的原因, 管理层可以有针对性地进行改进。

这个“报修-准备-执行-评估-改进”的闭环, 极大地规范了维修流程, 压缩了管理延迟和准备时间, 提高了维修作业的效率和质量, 从而显著提升了设备的维护性。

2.3 协同效应的具体体现

点检与状态监测的协同: 日常点检发现轻微异常, 可触发更专业的在线状态监测进行深度诊断。

润滑管理与状态监测的协同: 油液分析数据可作为状态监测的一部分, 共同判断设备的磨损状况。

标准管理与所有执行模块的协同: 标准为所有作业提供依据, 而执行中反馈的问题又反过来优化标准。

维修管理与配件管理的协同: 工单驱动配件的领用, 配件消耗数据为维修成本核算和库存优化提供支持^[3]。

3 实施效益与未来展望

3.1 实施效益

成功实施并有效应用化工设备管理系统, 能为企业带来多维度的价值:

安全效益: 通过早期发现和消除设备隐患, 极大地降低了安全事故发生的风险。

经济效益:

可靠性提升: 非计划停机时间大幅减少, 装置运行率提高, 增加有效生产时间。

维护成本优化: 避免过度维修, 减少备件库存资金占用, 延长设备使用寿命, 降低全生命周期成本。

维修效率提升: MTTR缩短, 维修人力资源得到更充分利用。

管理效益:

管理规范化: 实现“一切业务流程化, 一切流程标准化, 一切标准信息化”。

决策科学化: 管理者基于实时、准确的数据报表进行决策, 而非凭经验“拍脑袋”。

知识资产化: 将员工个人的经验转化为企业共享的知识库, 降低了对个别“老师傅”的依赖。

3.2 未来展望

随着工业4.0、物联网(IoT)、大数据和人工智能(AI)技术的发展, 化工设备管理系统将向更高阶的智能化方向发展:

(1) 深度融合的工业物联网(IIoT): 设备上将安装更多、更廉价的传感器, 实现海量实时数据的无缝采集。

(2) 基于AI的预测性与规范性维护: 利用机器学习算法对历史数据和实时数据进行分析, 不仅能预测故障发生的时间, 还能推荐最优的维护策略和参数调整方案。

(3) 数字孪生(DigitalTwin)的应用: 为物理设备创建一个虚拟的数字模型, 通过实时数据驱动, 在虚拟空间中模拟、监控、诊断和预测物理实体的状态, 实现更深度的洞察和优化。

4 结论

该系统通过实现从被动维修到主动预防、预测性维护的转变, 通过优化维修流程和资源配置, 能够系统性地、持续地提升化工设备的可靠性与维护性。在日益激烈的市场竞争和严格的安全环保要求下, 投资并成功实施这样的系统, 是化工企业实现降本增效、保障本质安全、提升核心竞争力的必然选择和战略举措。

[参考文献]

[1] 孙磊. 化工机械设备管理及维修保养技术要点分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44(19): 19-21.

[2] 刘丹. 化工企业中特种设备管理的问题及应对措施[J]. 造纸装备及材料, 2024, 53(10): 49-51.

[3] 孙亮. 化工企业设备设施变更管理信息化实践[J]. 化工管理, 2024(29): 83-87.

作者简介:

常喜斌(1976--), 男, 土族, 青海省海东市人, 硕士研究生, 高级经济师/高级工程师, 从事盐湖化工、资源综合利用方向。