

化工装备的维护保养及自动化技术应用

曾 飞

宁波中金石化有限公司 浙江 宁波 315200

摘 要：化工装备长期运行于高温高压与强腐蚀环境，传统人工维保模式在时效性、精度与覆盖范围上均存在明显不足。本文围绕化工装备维护保养体系展开分析，梳理了反应釜、换热器、塔器等主要装备的运行特征与常见故障诱因，阐述了在线监测、智能诊断、自动化调控及信息化管理四类自动化技术的应用逻辑。在此基础上探讨了自动化技术与传统维保体系的融合路径，并针对分类型装备提出了差异化的自动化维保适配方案，为化工装备运维管理从经验驱动向数据驱动转型提供了参考。

关键词：化工装备；自动化运维；智能诊断；在线监测；维护保养

引言：化工生产中装备种类繁多、工况复杂，连续运转与强腐蚀环境对日常维护保养提出了极高要求。传统人工维保模式在时效性、预判能力与全域覆盖方面已显现出明显不足，难以适配现代化工生产对安全与效率的双重诉求。自动化技术的引入为装备运维带来了新的解决路径，在线监测、智能诊断、自动调控等技术手段正逐步渗透到维保工作的各个环节。梳理自动化技术在化工装备维保中的应用逻辑与优化方向，对推动运维模式转型具有现实意义。

1 化工装备常规维护保养体系分析

1.1 化工装备主要类型与运行特征

化工生产流程中涉及的装备种类繁多，涵盖反应釜、换热器、塔器、储罐、压缩机、泵组及各类管道阀门，每类设备在工艺流程中承担着截然不同的功能角色。反应釜需在高温高压条件下完成化学反应，工作温度常达200℃—350℃、工作压力可至3MPa—10MPa，内壁长期承受介质的冲刷与腐蚀。换热器在冷热流体交替作用下运行，单台换热器的温差应力波动幅度可达50℃以上，对管板与管束的连接部位形成持续考验^[1]。塔器内部气液两相逆流接触，塔内填料层高度通常在10m—30m之间，填料或塔板在长期振动中易出现松动与堵塞。储罐虽静态储存介质，但罐壁与罐底仍面临腐蚀减薄与基础沉降的双重威胁。压缩机与泵组作为动力设备，旋转部件的磨损与密封件的老化直接决定运行周期。这些装备共同呈现出连续运转、介质腐蚀性强、工况参数波动大的运行特征，对日常维护保养提出了远高于普通机械设备的要求。

1.2 化工装备传统维护保养内容

传统维保工作围绕日常养护、定期检修、部件检修、设备润滑与密封防护五个维度展开。日常养护侧重

于运行参数的巡检记录与外观状态的目视检查，操作人员通过温度、压力、振动等指标的变化判断设备是否处于正常工作区间。定期检修按固定周期对设备进行拆解检查，对磨损超限的零部件实施更换或修复。部件检修针对轴承、密封件、阀门等易损件进行专项处理，确保单个部件的功能完整性。设备润滑按照油脂型号与加注周期对运动副进行保养，减少摩擦损耗。密封防护则对法兰连接、填料密封、机械密封等部位进行泄漏排查与处理，防止介质外泄引发安全事故。实际操作中还需结合季节性变化调整维保重点，夏季侧重冷却系统与防爆检查，冬季则关注防冻保温与仪表校准，使维保节奏与生产负荷周期保持同步。

1.3 装备运行常见隐患与故障诱因

化工装备在长期服役过程中，机械磨损、密封失效、部件老化与运行失衡是最为常见的四类隐患。机械磨损多发生在旋转设备的轴承与密封面，由润滑不足或介质中固体颗粒的侵入所引发。密封失效常因垫片老化、螺栓预紧力衰减或密封面腐蚀而导致，泄漏问题由此产生。部件老化在高温环境下尤为突出，金属材料的蠕变与疲劳裂纹在反复热循环中逐步扩展，最终可能引发突发性断裂。运行失衡则多由转子动平衡破坏、基础沉降不均或管路应力重新分布所引起，振动加剧是运行失衡最直观的外在表现。上述故障诱因往往在设备表面无明显征兆的情况下持续累积，待外在表征显现时，损伤通常已发展到较严重的程度。

1.4 传统维保模式的固有短板

传统人工维保模式在实际运行中暴露出多方面的局限性。运维时效性受制于人工巡检的频率与覆盖面，巡检间隔通常为2~8小时，两次巡检之间的时间间隔内设备状态处于监控盲区，突发故障难以在第一时间被发

现。隐患预判能力不足,人工判断高度依赖操作人员的经验积累,对于渐进式劣化缺乏量化分析手段。运维精度受人为因素干扰较大,不同人员对同一指标的判断标准存在偏差,检修质量难以保持一致^[2]。全域覆盖在大规模化工装置中几乎无法实现,管廊高处、密闭空间等区域的巡检存在安全风险与可达性限制。传统模式在面对现代化工装置日益增长的安全与效率需求时,已显现出明显的不适配。

2 适配化工装备的自动化运维技术体系

2.1 设备状态在线监测技术

在线监测技术建立在传感器感知与数据传输的双重架构之上。布置于装备关键部位各类传感器将温度、振动、压力、流量等物理信号转化为电信号,经采集模块汇总后传送至上层分析平台进行处理,采样频率可达1~10kHz。该技术在化工装备运维中的应用逻辑包含三个层次。运行参数采集层面,传感器网络覆盖装备全部关键节点,数据获取频率达到秒级,连续流式记录取代了人工巡检的离散采样方式。设备状态捕捉层面,多维信号的关联分析能够还原装备在任意时刻的真实工况,状态表征从经验推断走向数据映射。异常信息识别层面,预设阈值与趋势分析相结合的判断逻辑使系统在参数偏离正常区间或呈现持续漂移态势时自动标记并推送告警。在线监测技术在覆盖范围、响应速度与数据连续性三个维度上均展现出对化工装备运维的显著适配优势。

2.2 智能故障诊断与预警技术

智能诊断技术以机器学习算法与信号处理方法为内核,针对化工装备运行中产生的海量监测数据进行深度挖掘与特征提取。对于轴承内圈剥落、齿轮点蚀、密封面微裂等隐性故障,单一参数往往无法给出明确判断,但多维信号的耦合分析能够捕捉到故障早期的微弱特征变化。渐进性故障的识别依赖于对历史数据的纵向比对,当振动幅值、温度梯度或油液成分在较长时间窗口内呈现规律性恶化趋势时,算法自动判定故障所处阶段并给出预警等级。故障预判的技术运行流程从数据接入开始,经特征提取、模型匹配、趋势外推三个环节逐步推进,最终输出包含故障类型、发展程度与建议处置措施的诊断结论。隐患提示在功能失效发生之前即向运维人员推送,将被动抢修转变为主动干预。

2.3 自动化设备调控与养护技术

自动化调控与智能养护技术构成了装备运维的执行层,二者在功能定位上各有侧重又相互联动。调控技术通过DCS与PLC系统对工艺参数进行实时微调,当监测数据显示某一参数逼近报警边界时,控制系统自动调整

阀门开度或泵组转速,将运行状态拉回安全区间,无需人工介入即可完成响应。智能养护技术则针对润滑、密封、清洁等重复性作业开发了自动执行方案,定时定量的注脂装置按预设程序对轴承座进行润滑补给,密封面的泄漏检测与紧固补偿由专用执行机构自动完成。设备状态的自适应优化建立在调控与养护的闭环联动之上,系统根据装备实时运行数据动态调整养护周期与调控策略,使装备始终处于最佳工况区间内运行,整体运维效率由此得到实质性提升^[3]。

2.4 运维数据信息化管理技术

信息化数据管理技术将分散于各套监测系统内的运维记录进行统一归集与结构化存储,形成完整的设备状态台账。每台装备从投运到退役的全生命周期数据均被完整存档,涵盖检修记录、故障历史、备件更换、参数趋势等多维度信息。运维规律的梳理依托数据分析手段,从海量历史记录中提取装备失效的时间分布特征与工况关联特征,为维护周期的科学制定提供量化支撑。数据归集分析模块对来自不同监测通道的信息进行交叉验证与综合研判,消除单一数据源可能存在的偏差与盲区。从数据采集、存储、分析到应用形成完整闭环,数字化运维体系的底层架构由此搭建完毕,装备管理从经验驱动向数据驱动转型的路径也随之清晰。

3 自动化技术在化工装备维保中的应用优化策略

3.1 自动化技术与传统维保体系的融合路径

传统维保体系经过长期实践已形成成熟的工作流程,自动化技术的引入不应是对既有体系的推倒重建,而应寻求深度衔接与互补适配的融合路径。具体而言,在日常巡检环节,在线监测系统承担连续数据采集任务,人工巡检则聚焦于传感器无法覆盖的区域与非量化指标的判断,二者形成信息互补。定期检修的周期制定可由自动化系统提供数据支撑,检修执行仍由专业人员完成,智能预判与人工处置在此实现衔接。部件更换与润滑作业中,自动化系统负责周期提醒与物料准备,操作人员执行具体作业,工作流程由此从串行转为并联。融合路径的构建需要在制度层面明确智能系统与人工岗位的职责边界,在技术层面打通数据接口与信息流转通道,最终形成人工维保与智能运维协同运转的复合工作模式。

3.2 分类型装备自动化维保方案适配

化工装备种类繁多,不同设备的功能属性与运行工况差异显著,自动化维保方案须针对设备特性进行差异化匹配。反应釜作为核心反应设备,运行参数波动大、安全要求高,适配方案应以多参数在线监测与联锁保护

为重心,重点部署温度、压力与搅拌电流的联合监控。换热器关注传热效率衰减与结垢趋势,自动化方案侧重于进出口温差的持续追踪与清洗周期的智能判定,温差偏离正常运行区间时即触发预警。旋转机械的维保核心在于振动分析与轴承状态评估,频谱监测与油液在线分析构成方案的技术主体。储罐与管道系统的自动化维保则以泄漏检测与腐蚀监测为主要抓手,声发射与超声波探伤技术在此类设备上具有较高的适配度。差异化方案的制定使每类装备均能获得与自身工况相匹配的智能维保支撑。实际部署中还需考虑装备的服役年限与历史维修记录,老旧设备宜增设冗余监测通道,新建装置则可直接嵌入一体化智能运维模块^[4]。

3.3 自动化运维系统的优化升级方向

自动化运维系统的迭代优化须从技术适配性、系统兼容性与运行稳定性三个维度统筹推进。技术适配性方面,传感器选型须与化工现场的高温、高压、强腐蚀环境相匹配,传感器工作温度范围应覆盖-40~350℃,防护等级不低于IP67。信号采集模块应具备抗电磁干扰能力,算法模型需针对特定装备的故障特征进行训练与调优。系统兼容性方面,不同厂商的监测设备与控制平台之间存在协议差异,数据互通依赖于统一通信标准的建立与中间件的开发,跨系统集成是提升运维效率的关键环节。运行稳定性方面,系统须具备冗余设计与故障自恢复能力,单点失效不应导致整体监控功能瘫痪,边缘计算节点的部署可有效降低对中心服务器的依赖。

3.4 自动化维保运维管理模式优化

智能维保的落地不仅是技术问题,更是管理模式的系统重构。工作流程优化要求将自动化系统的告警信息纳入标准处置流程,明确不同等级告警对应的响应时限与处置权限,避免信息过载导致关键信号被忽略。运维分工调整需要重新定义岗位职责,传统巡检岗位向数据分析与系统维护方向转型,检修岗位则聚焦于自动化系统无法替代的精密作业。日常管控模式应建立以数据驱动的绩效考核机制,将设备可用率、故障响应时间、维保计划执行率等量化指标纳入管理评价体系。标准化智能运维管理体系的搭建使技术能力与管理能力形成合

力,为化工装备的长周期稳定运行提供制度保障。

3.5 技术应用中的常见问题与优化思路

自动化技术在化工装备维保中的落地应用并非一帆风顺,适配难题与体系衔接问题在工程实践中较为普遍。传感器在高温腐蚀环境下的漂移与失效是最为突出的适配难题,定期标定与冗余布置可在一定程度上缓解该问题。自动化系统与既有DCS、PLC平台之间的数据壁垒导致信息孤岛现象,统一数据架构与开放接口协议是打通壁垒的有效手段。体系衔接中,智能系统输出的诊断结论与人工经验判断之间常存在分歧,建立人机协同的决策机制有助于化解此类矛盾^[5]。技术调试阶段应预留充分的模型训练与参数整定时间,避免系统上线后频繁误报。体系完善与模式优化是一个持续迭代的过程,需要在技术升级与管理调整之间保持动态平衡。

结束语

化工装备的维护保养正经历从人工经验向智能协同的深刻转变。在线监测与智能诊断技术弥补了传统维保在时效与精度上的不足,自动化调控与养护手段则将运维执行从被动响应推向主动干预。体系融合与分类适配策略使技术能力与设备特性实现了精准对接,管理模式的同步重构为智能维保的持续运转提供了制度支撑。传感器环境适配、数据壁垒打通与人机决策协同等现实问题仍待在实践中不断磨合,自动化维保体系的成熟是一个技术与管理双向驱动的渐进过程。

参考文献

- [1]康乐.浅谈化工机械设备的润滑管理和维护保养[J].中国设备工程,2023(21):48-50.
- [2]端木令男.现代煤化工设备管理及维护保养技术探讨[J].石化技术,2023,30(5):184-186.
- [3]马东.化工设备管理的化工机械维修保养技术[J].清洗世界,2023,39(10):187-189.
- [4]何权恒.计算机网络自动化技术在化工加工装备上的应用研究[J].化纤与纺织技术,2024,53(3):50-52.
- [5]张静.化工机械自动化工艺发展及应用研究[J].盐科学与化工,2024,53(4):41-43,49.