

信息化技术在化工设备故障诊断与预防性维护中的实践

于广军¹ 刘鑫² 王文斌¹

1. 宁波金发新材料有限公司 浙江 宁波 315000

2. 宁波中金石化有限公司 浙江 宁波 315000

【摘要】：近几年，国内的化工行业受到越来越多的关注，在这种情况下，确保化工设备处于稳定运行状态是化学工业发展的必然要求。文章聚焦信息化技术在化工设备故障诊断与预防性维护中的实践应用。在故障诊断方面，通过多维度数据采集搭建“感知基础”，整合设备实时与历史数据；经智能信号处理提取故障特征，消除干扰并优化数据维度；依托多模型融合诊断实现精准判断，适配不同故障场景。在预防性维护方面，基于状态监测动态生成维护计划，打破固定周期局限；通过全流程数字化管理提升任务执行效率与追溯性；借助备件智能管理与供应链协同，保障维护资源精准供应，有效提升化工设备运维效率与安全性，降低成本。

【关键词】：信息化技术；化工设备故障诊断；预防性维护

DOI:10.12417/2811-0722.25.10.057

化工设备是化工生产核心，其稳定运行关乎生产效率与安全。传统故障诊断依赖人工，易漏判、滞后；预防性维护多为固定周期，易致资源浪费或维护不足。随着信息化技术发展，其为化工设备运维革新提供可能。本文围绕信息化技术在化工设备故障诊断与预防性维护中的实践展开，探索其如何解决传统运维痛点，提升设备运维水平。

1 信息化技术在化工设备故障诊断中的实践

（1）多维度数据采集：构建故障诊断的“感知基础”

信息化技术应用于化工设备故障诊断，首要任务是搭建全场景数据采集体系，以突破传统诊断的局限。传统方式依赖人工定期巡检或停机检测，难覆盖设备全时段运行状态，且易因人为偏差、检测间隔长导致数据缺失、滞后，无法及时捕捉早期异常。而全场景数据采集体系通过系统性感知网络，将监测从“间断性抽样”转为“连续性全量感知”，为后续诊断提供全面实时的底层数据支撑。感知网络搭建的核心，是结合化工设备结构特性与运行风险点，精准部署多类型传感器。化工设备类型多样，如反应容器、输送管道、动力机械等，关键失效部位不同，需依据设备功能与故障机理，在易故障核心部位（如转动部件、容器壁面、关键阀门等）安装适配传感器。这些传感器需采集多维度参数，包括温度、压力、振动、流量、电流等，通过多参数协同采集，覆盖设备物理与化学状态，避免单一参数监测导致的误判或漏判。传感器采集的原始数据需经高效传输与预处理。化工生产环境存在电磁干扰、粉尘污染等，原始数据易受干扰产生噪声，需借物联网构建专用传输通道，将实时数据传至边缘计算节点。边缘计算节点通过滤波算法消除冗余信号、剔除无效数据，同时整合数据并标准化格式，确保数据快速准确进入后续诊断流程，避免传输延迟或格式问题导致的诊断滞后。另外，全场景数据采集体系需融合实时运行数据与历史运维数据。故障诊断需依托实时数据判断当前状态，也需结合历史数据（如启停记录、故障处理记录、参数变

化规律等）进行趋势分析与故障模式匹配。

（2）智能信号处理：提取故障特征的“核心手段”

在化工设备故障诊断中，多维度数据采集体系获取的原始数据，受生产环境特殊性影响，呈现“高噪声、强耦合”特点。生产场景里，设备机械振动、介质流动冲击、环境电磁干扰等因素叠加，使原始数据混杂大量与故障无关的冗余信息；且不同设备参数关联紧密，某一参数变化可能由多因素驱动，形成强耦合关系。若直接用这类数据诊断，难精准定位故障特征，还易因无效信息干扰导致结果偏差，因此需借专业信号处理算法深度处理数据，实现故障特征分离与提取，为后续诊断模型提供高质量输入^[1]。针对化工设备不同类型数据，需用适配算法针对性处理。对于反映机械运转状态的振动数据，核心是分离正常与故障振动信号。设备正常运行振动频率稳定，出现部件磨损、间隙异常等故障时，会产生特定频率异常振动信号，需通过特定算法分解振动数据频率成分，剥离不同频率段信号，识别故障相关特征频率信号，排除正常振动干扰。对于压力、流量等非线性数据，易受外部环境与工艺条件变化影响，产生非故障性参数波动。需通过相应算法分解数据，消除温度漂移、介质属性变化等干扰，捕捉设备因故障产生的“突变特征”，这类特征是判断潜在故障的关键。此外，原始数据多为高维参数，会增加诊断模型计算负荷，还可能因参数冗余与相关性引发“维度灾难”，降低诊断效率与准确性。需通过特征工程技术降维，筛选关键故障特征，剔除冗余参数，在保留核心故障信息的同时压缩数据维度，既简化模型计算流程、提升运算速度，又减少无关参数干扰，让模型聚焦核心故障特征，提高诊断精准度。

（3）多模型融合诊断：实现故障识别的“精准判断”

化工设备类型多样、故障模式复杂且特征差异大，单一诊断模型无法适配所有场景，因此依托 AI 技术构建多模型融合

诊断体系，成为精准识别故障的关键。该体系核心是按故障特性与诊断目标，选适配 AI 模型协同应用，通过优势互补覆盖全诊断场景，提升故障识别准确性与适用性。针对已知故障类型且有丰富历史故障数据的场景，监督学习模型优势显著。这类故障有清晰特征与明确分类，故障表现和类型对应稳定^[2]。监督学习模型可借历史数据训练，学习特征与类型的映射规律，建立分类模型。诊断时能快速匹配实时特征与训练特征库，确定故障类型，为维修提供依据，核心价值是快速识别已知故障、缩短定位时间、提升效率。对于未知故障（无历史数据支撑）或复合故障（多故障特征叠加），无监督学习模型更适用。未知故障缺历史案例，复合故障特征交织，难用简单分类模型识别。无监督学习模型无需标注故障数据，通过学习设备正常运行数据建立基准模型，当设备出现两类故障，运行数据偏离基准形成异常模式，模型可挖掘异常实现早期预警，优势是感知未知风险，为维护争取时间。大型复杂化工设备故障诊断难度更高，故障涉多部件、多参数，特征具时空复杂性与动态性。深度学习模型凭强特征提取和时序分析能力应对需求，如 CNN 提取多维度数据空间关联特征，捕捉部位参数关联异常；LSTM 分析时序数据，挖掘故障动态规律与演变趋势，可精准定位故障并预判发展，为预防性维护提供支持。融合三类 AI 模型，多模型体系能按不同故障场景灵活调用适配模型，覆盖已知故障分类、未知故障预警、复杂故障分析，实现故障精准判断，保障化工设备安全稳定运行。

2 信息化技术在化工设备预防性维护中的实践

（1）基于状态监测的维护计划动态生成：打破“固定周期”局限

化工设备传统预防性维护中，“固定周期式”计划长期主导，无论设备实际状态，均按预设时间（如每季度、每半年）维护。此模式弊端明显：设备负荷低、状态稳定时，固定维护会过度消耗人力与备件，增加运维成本；设备因工况波动（如介质腐蚀性增强、突发高负荷）提前老化时，固定周期无法及时介入，易引发故障停机，甚至威胁安全。而信息化技术通过构建设备状态实时监测体系，推动维护计划向“状态驱动式”升级，从根本上改变这一被动局面^[3]。

该监测体系核心是在化工设备关键部位（如反应釜搅拌轴、压缩机转子、管道阀门等）部署物联网传感器，持续采集温度、振动、压力、介质流量等关键运行参数。传感器不仅捕捉瞬时数据，还记录参数变化趋势，确保设备运行细微变化被精准捕捉。同时，系统自动整合设备历史故障记录（如故障类型、部位、修复方案）、部件磨损规律（如不同材质部件在特定工况下的寿命曲线），形成覆盖设备全生命周期的数据集。在此基础上，大数据分析模型（如设备健康指数模型）对实时与历史数据深度融合分析：一方面将实时参数与设备正常运行基准阈值对比，识别异常波动；另一方面结合历史故障数据构

建风险评估算法，精准判断部件老化程度（如轴承是否达临界磨损、密封件是否渗漏），并划分高、中、低故障风险等级。更关键的是，系统能与企业生产排程系统无缝对接，实时获取生产任务与设备负荷。当识别设备存在中高故障风险时，系统会避开生产高峰，优先选择低负荷时段（如夜间间歇、批次生产间隙）生成维护计划，明确维护时长、工具与流程，既保证维护及时开展，又避免停机影响生产。这种动态、精准的计划制定方式，彻底摆脱固定周期束缚，减少过度维护的资源浪费，杜绝维护不足的故障隐患，实现化工设备运维效率与生产稳定性双重提升。

（2）维护任务全流程数字化管理：提升执行效率与追溯性

化工设备预防性维护的传统人工管理模式，存在任务衔接断层、信息传递滞后、记录零散等问题：维护计划需人工传达，进度靠口头汇报，纸质记录易丢失，既影响效率，又难追溯设备维护细节。而借助信息化管理平台（如 CMMS 设备管理系统），可实现维护任务从发起、分配、执行到验收的全流程数字化闭环管控，改变传统管理的被动局面^[4]。

任务发起与分配阶段，平台能与动态维护计划自动联动，无需人工干预即可完成任务初始化。系统会依据维护内容、设备区域及人员技能，将任务精准分配至对应班组或个人，同时标注作业步骤、所需工具、备件型号及完成时限，并通过移动端 APP 推送任务详情、设备位置及维护标准，确保责任人及时获取完整信息，避免准备不足。现场执行环节，维护人员无需携带纸质资料，扫描设备二维码即可调取全生命周期维护档案（如故障方案、部件清单、检测标准）。作业中可通过 APP 上传实时数据（如更换部件编号、检测参数），遇问题还能传照片或视频申请远程支持，实现快速响应。管理人员通过平台可视化模块，实时掌握任务进度，系统以甘特图或列表展示完成百分比，对延迟任务标红预警、超时任务触发提醒，方便及时协调，避免延误。维护完成后，系统自动触发验收流程，管理人员在线查看过程数据与结果照片，确认符合标准后，系统将所有信息归档，形成设备电子维护档案。电子档案可通过关键词快速查询，解决纸质记录问题，其历史数据还能设备健康评估、维护计划优化提供支撑，形成管理与数据的良性循环。

（3）备件智能管理与供应链协同：保障维护资源精准供应

在化工设备预防性维护中，备件管理是影响维护效率的关键环节。传统备件管理模式常面临“两难”困境：一方面，为避免维护时备件短缺，企业需大量囤积备件，导致资金被长期占用，部分备件因存放过久老化失效；另一方面，若备件储备不足，突发维护需求时易因等待采购延误工期，甚至影响生产连续性。而信息化技术通过构建智能备件管理系统，将备件管理从“被动储备”转向“精准调控”，并联动供应链实现协同

响应,彻底解决传统模式的弊端^[5]。

智能备件管理系统的核心优势在于数据的全面整合与智能分析。系统首先会打通设备全生命周期数据链路,整合设备BOM清单(明确每台设备所需备件的型号、规格、数量及适配部位)、预防性维护计划(标注各时间节点需更换的备件类型)以及实时库存数据(包括备件当前库存量、存放位置、入库时间),形成统一的备件管理数据库。在此基础上,系统搭载的需求预测算法(如时序预测模型)会深度挖掘历史数据:通过分析过往维护周期内备件的消耗频率、不同季节或生产负荷下的备件需求波动,结合未来维护计划,精准计算出每种备件的消耗速率,进而设定科学的安全库存阈值——既避免库存过高造成浪费,又确保库存能覆盖维护需求。当系统监测到某类备件库存低于安全阈值时,会自动触发采购申请,生成包含备件型号、数量、推荐供应商的采购单,无需人工排查库存,大幅减少人为失误与响应时间。在供应链协同层面,系统突破传统“企业-供应商”的单向沟通模式,构建双向联动的协同平台。系统可自动关联合格供应商信息库,包含供应商的供货周

期、价格、质量评级等数据,生成采购单时能根据这些信息智能推荐最优供应商,并实现采购订单的在线生成、推送与跟踪。维护人员与管理人员可通过系统实时查看订单进度,如备件是否出库、物流位置等,避免因信息不对称导致的采购延误。对于进口设备专用部件、定制化备件等采购周期长的关键备件,系统还能将设备维护计划提前共享给对应供应商,让供应商根据维护时间表提前备货,确保在维护任务启动前完成备件交付,彻底消除“备件等维护”或“维护等备件”的情况。

3 结语

信息化技术通过多维度数据采集、智能信号处理与多模型融合诊断,突破传统故障诊断的漏判、滞后困境,实现设备故障精准识别;依托状态监测动态生成维护计划、全流程数字化管理任务、智能协同供应链,解决预防性维护的资源浪费与响应不足问题。这些实践不仅显著提升化工设备运维效率与安全性,降低生产成本,更推动化工设备管理从“被动应对”向“主动预防”转型。未来,随着技术深化,其在化工设备运维领域的应用将更成熟,为化工行业高质量发展提供更强支撑。

参考文献:

- [1] 朱德生.化工设备管理中的故障诊断及控制措施[J].造纸装备及材料,2024,53(01):33-35.
- [2] 蒋大明.往复式压缩机运行状态评估及故障诊断方法研究[J].设备管理与维修,2023,(04):147-150.
- [3] 米鑫,戴国强,王黎,张志强,肖伟.基于高阶累积量故障特征提取的化工设备电子电路故障诊断[J].粘接,2022,49(08):146-150.
- [4] 姚哲哲.论现代煤化工设备管理及维护保养技术[J].中国设备工程,2020,(21):56-58.
- [5] 李炎玲.化工设备产品开发管理与远程故障诊断研究及应用分析[J].时代农机,2020,47(04):62-63.