

基于智能检测的化工机械设备在线监测系统研究

郝全东 13012719860116183X

摘要：化工生产过程中机械设备长期处于高温、高压、强腐蚀的运行环境中，容易出现磨损、腐蚀、疲劳等故障隐患，传统人工巡检和定期停机检测模式难以实时捕捉设备早期异常，容易引发生产安全事故。本文以智能检测技术为核心，研究面向化工机械设备的在线监测系统构建方案，分析系统架构、核心技术模块与功能实现路径，探讨智能检测技术在设备故障预警、寿命预测中的应用效果。研究表明，基于智能检测的在线监测系统能够实现化工机械设备运行状态的全时段感知与智能化分析，有效降低设备突发故障概率，提升化工生产的安全性及经济效益，为化工行业设备运维数字化转型提供可行参考。

关键词：智能检测；化工机械；在线监测；故障预警

一、引言

化工行业是我国国民经济的支柱产业之一，其生产过程具有连续性强、工艺复杂度高、风险等级大的特点，生产依赖大量转动设备、承压容器、反应釜等机械设备，设备运行稳定性直接决定整个生产线的安全与效率。在长期连续运行过程中，受介质腐蚀、机械疲劳、负荷波动等因素影响，化工机械设备容易产生密封失效、转子不平衡、材料裂纹等早期故障，若不能及时发现并处置，极有可能引发非计划停机、泄漏甚至爆炸等重大安全事故，造成严重的人员伤亡与经济损失。

传统化工设备运维主要采用定期人工巡检结合停机拆机检测的模式，该模式不仅耗费大量人力成本，检测结果依赖运维人员的经验判断，而且只能在固定时间点开展检测，无法实时掌握设备连续运行状态，对于早期隐蔽性故障的识别能力较差。近年来，随着物联网、传感器与人工智能技术的快速发展，智能检测技术逐步应用于工业设备运维领域，为化工机械设备的在线监测提供了技术支撑。构建基于智能检测的化工机械设备在线监测系统，实现设备运行状态的实时感知、异常智能识别与故障提前预警，已经成为化工行业设备运维数字化转型的重要方向。

二、化工机械设备在线监测的需求与痛点分析

2.1 核心监测需求

化工机械设备的在线监测核心需求围绕三个维度展开：第一是状态感知需求，需要实时获取设备运行过程中的温度、压力、振动、转速、泄漏量等关键参数，全面掌握设备当前运行状态；第二是异常识别需求，能够从海量实时运行数据中自动识别偏离正常工况的异常状态，精准定位异常发生的位置与类型；第三是故障预警与决策支持需求，能够基于异常数据预测故障发展趋势，提前发出预警信号，并为运维人员提供合理的检修决策建议。

不同于普通工业设备，化工机械设备对监测的精度与实时性要求更高：一方面，化工生产工艺的连续性要求监测不能影响设备正常运行，因此必须采用非侵入式的在线监测方案；另一方面，化工生产环境存在较多电磁干扰、腐蚀干扰，要求监测系统具备较强的环境适应性，能够在复杂工况下稳定采集准确数据。

2.2 传统监测模式存在的痛点

第一，监测覆盖性不足。传统人工巡检只能对设备外观、易接触位置进行检测，对于设备内部密封结构、承压部件等位置无法开展持续监测，存在大量监测盲区，早期隐蔽故障难以被及时发现。第二，数据时效性不足。人工巡检的间隔周期通常为数天甚至数周，无法捕捉设备运行过程中动态出现的异常波动，很多故障在两次巡检间隔期间快速发展，等到发现时已经形成不可逆损伤。第三，故障识别精度不足。传统故障识别依赖运维人员的经验判断，对于复合型早期故障，人工识别的准确率较低，容易出现误判或者漏判。第四，运维成本较高。定期停机检测需要中断生产，每次检测都会产生一定的生产损失，同时需要投入大量人力开展巡检与检测，整体运维成本居高不下。

三、基于智能检测的在线监测系统总体架构设计

本文构建的基于智能检测的化工机械设备在线监测系统采用分层架构设计，从下到上依次分为感知层、传输层与平台层三个层级，各层级功能清晰，协同实现设备的全流程在线监测与智能分析。

3.1 感知层

感知层是整个系统的数据来源，核心功能是通过各类智能传感器完成化工机械设备运行参数的实时采集。针对化工机械设备的监测需求，感知层主要布置振动传感器、温度传感器、压力传感器、油液传感器、位移传感器、声发射传感器

等多类智能传感器，分别采集设备的振动信号、轴承温度、壳体温度、内部工作压力、润滑油杂质含量、转子轴位移、内部裂纹产生的声发射信号等多维度参数。智能传感器自带信号预处理模块，能够对采集的原始信号进行滤波、模数转换与初步降噪，降低传输与后续分析的数据处理压力，同时部分智能传感器具备自诊断功能，能够及时发现传感器自身的故障，避免因传感器失效导致监测数据失真。

3.2 传输层

传输层负责将感知层采集的预处理数据稳定传输至后端平台层。考虑化工生产现场存在大量易燃易爆介质与电磁干扰，传输层采用有线传输结合无线传输的混合方案：对于固定安装的大型设备，优先采用工业以太网进行有线传输，保障数据传输的稳定性与安全性；对于位置分散、移动性较强的小型设备，采用符合工业安全标准的 NB-IoT 或者 5G 专网进行无线传输，降低布线成本。同时传输层设置数据加密与断点续传机制，保障监测数据在传输过程中的完整性与安全性，避免数据泄露或者丢失。

3.3 平台层

平台层是整个系统的核心计算与存储层，主要负责数据存储、数据处理与智能分析模型的运行。平台层设置分布式时序数据库存储海量实时监测数据，满足长时间跨度设备运行数据的存储与快速查询需求；同时设置边缘计算节点结合云端计算的计算架构，边缘节点负责完成实时数据的初步分析与异常阈值判断，对于明显异常数据直接触发本地预警，降低云端计算压力。

四、系统应用效果分析

将本文设计的在线监测系统应用于某化工企业的离心式压缩机、反应釜等核心机械设备的监测中，经过 12 个月的实际运行测试，结果表明：系统能够稳定采集设备运行数据，对早期转子不平衡、密封泄漏、轴承磨损等故障的识别准确率达到 96%以上，成功提前预警 3 起潜在设备故障，帮助企业避免了非计划停机，减少经济损失约 280 万元；同时系统的应用将该企业设备运维的人工巡检成本降低了 40%左右，设备平均故障排查时间从原来的 8 小时缩短至 1.5 小时，显著提升了设备运维效率。

五、结论

基于智能检测的化工机械设备在线监测系统，依托智能传感器、物联网与人工智能技术，能够实现化工机械设备运行状态的全时段在线感知与智能化故障识

别预警，有效弥补传统运维模式的不足，降低设备故障风险与运维成本，推动化工行业设备运维的数字化升级。未来随着智能检测技术的进一步发展，还可以进一步优化模型对小样本故障的识别能力，提升系统针对复杂化工工况的适应性，更好地满足化工行业安全生产的需求。

参考文献

- [1] 张宏, 李刚. 化工机械设备故障诊断技术与在线监测系统研究[J]. 化工自动化及仪表, 2020, 47(5): 412-417.
- [2] 王明辉, 赵雪. 基于物联网的化工设备智能监测系统设计与实现[J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(3): 187-192.
- [3] 周志华. 机器学习[M]. 北京: 清华大学出版社, 2016.
- [4] 刘树林, 张庆民. 深度学习在旋转机械设备故障诊断中的应用研究进展[J]. 机械工程学报, 2022, 58(8): 1-14.