

物联网技术在机电设备状态监测中的应用研究

李 伟

四川大西洋焊接材料股份有限公司 四川 自贡 643000

摘 要：机电设备运行状态直接影响工业生产连续性与安全性。传统定期检修与事后维修模式响应滞后，难以满足复杂工况管理需求。物联网技术通过感知层、网络层、应用层协同架构，为设备状态监测提供全时段、多维度的智能化方案。本文系统梳理状态监测技术体系，分析设备运行特性与故障机理，构建基于物联网的监测系统架构，从实时监测、智能诊断、远程运维、寿命预测四个维度探讨应用路径。因此，物联网技术可有效提升设备状态感知能力与故障预警准确率，为预测性维护转型提供技术支持。

关键词：物联网技术；机电设备；状态监测；故障预警；智能化监测

引言：机电设备作为工业生产系统的核心资产，其运行状态直接决定生产效能与安全水平。随着工业自动化程度提升，设备结构日益复杂，传统定期维修模式暴露出维护不足与维护过剩并存的弊端，难以精准响应设备实际健康状态。物联网技术通过部署传感器、构建传输网络、运用分析算法，实现对设备运行参数的连续采集与智能处理，推动设备管理从事后处置转向事前预防。本文旨在系统研究物联网技术在设备状态监测中的应用框架与实现路径，为构建智能化设备管理体系提供参考。

1 机电设备状态监测概述

机电设备状态监测是指运用检测、测量、分析等技术手段，对设备运行过程中的各类特征参数进行连续或间断采集，通过数据处理与状态识别，判断设备当前健康状况、发现潜在故障隐患的活动。状态监测的核心目标在于实时掌握设备运行状态，及时发现异常变化，为维修决策提供依据，避免突发性故障导致的生产中断与安全事故。状态监测技术体系涵盖多种手段，如振动监测，通过加速度传感器采集设备振动信号并分析频谱特征，识别不平衡、不对中、轴承磨损等机械故障。温度监测利用红外热成像或接触式传感器检测设备表面温度分布，判断过热、润滑不良等异常。电气参数监测通过电流互感器、电压互感器采集电机电流、电压、功率等参数，分析电气故障与机械故障的关联特征。油液分析通过检测润滑油中的磨粒成分、粘度变化等指标，评估摩擦副磨损状况。各类监测手段各有侧重，相互补充，共同构成完整的设备状态感知体系。状态监测的发展经历了从人工巡检到在线监测、从单参数监测到多参数融合、从事后分析到实时预警的演进过程^[1]。物联网技术的引入将状态监测推向新的发展阶段，实现了监测范围扩

大化、数据传输实时化、分析处理智能化，为设备全生命周期管理奠定了技术基础。

2 机电设备状态监测需求分析与监测指标体系

2.1 机电设备运行特性分析

机电设备种类繁多，运行特性各异。旋转机械如电机、泵机、风机、压缩机等，其核心运动形式为旋转运动，运行状态受转速、负荷、润滑条件等因素影响显著。旋转部件的不平衡、不对中、松动等故障会通过振动信号表现出来，振动特征随转速变化呈现规律性演变。往复机械如活塞式压缩机、内燃机等，其运动形式为往复运动，冲击载荷大，故障特征更为复杂，单一监测手段难以全面反映设备状态。设备运行工况对状态监测提出差异化要求，连续运行设备如发电机组、通风机，需要长期在线监测，及时捕捉缓慢演变的故障特征。间歇运行设备如起重机械、盾构机，需要在运行期间加密监测，重点关注启停过程的冲击响应。变负荷设备如轧机、压缩机，监测系统需具备工况自适应能力，区分负荷变化与故障状态引起的参数波动。环境因素同样影响监测效果，高温、高湿、粉尘、腐蚀等恶劣环境对传感器可靠性和数据传输稳定性提出更高要求。

2.2 设备故障类型与失效机理

机电设备故障类型丰富，失效机理繁杂。旋转机械常见故障有转子不平衡、轴系不对中、轴承磨损等。不平衡会使基频振动幅值增大；不对中时二倍频成分显著；轴承故障产生特定频带冲击脉冲；齿轮故障有边频带调制特征。电机故障包含定子绕组短路、转子断条等，电机电流特征分析技术可非侵入式诊断。设备失效有演化规律，早期故障特征微弱，常规巡检难察觉，需高灵敏度传感器与信号处理技术提取微弱信号；发展期故障特征渐显，参数变化趋势能被监测系统捕捉，是预

警最佳时机；严重故障时设备性能明显下降，振动、温度等参数大幅偏离正常范围，不及时处理会引发设备损坏甚至安全事故。理解此规律，对合理设置预警阈值和确定监测频率意义重大^[2]。

2.3 状态监测指标体系构建

状态监测指标体系是设备健康评估的基础，振动参数是反映旋转机械状态的核心指标，包括振动速度、加速度、位移等物理量，以及有效值、峰值、峭度、波峰因子等特征参数。振动有效值反映能量水平，适用于平稳振动监测；峭度指标对冲击信号敏感，适用于轴承、齿轮早期故障检测。温度参数包括轴承温度、绕组温度、冷却介质温度，温度变化率比绝对温度更能反映异常状态。电气参数监测指标涵盖电流、电压、功率、谐波等。定子电流频谱分析可提取转子断条、气隙偏心等故障特征；功率因数变化反映电机负载与效率状态。工艺参数如压力、流量、转速、扭矩等，与设备运行状态密切相关，可作为辅助判断依据。监测指标选择应遵循敏感性原则，选取对故障反应灵敏的参数；时效性原则，确保指标变化与故障发展同步；经济性原则，在满足监测需求前提下控制传感器部署成本。

3 基于物联网的设备状态监测系统架构设计

3.1 系统总体架构

基于物联网的设备状态监测系统采用四层架构，包括感知层、网络层、平台层、应用层。感知层负责设备运行参数的采集与初步处理，部署各类传感器与采集终端。网络层承担数据传输任务，将有线网络与无线网络相结合，保障数据实时可靠回传。平台层负责数据存储、处理与分析，构建统一数据资源池，支撑上层应用。应用层面面向业务场景开发功能模块，满足监测、诊断、预警、维护等实际需求。系统设计遵循实时性、可靠性、可扩展性、安全性原则。实时性要求数据采集与传输满足毫秒级响应，及时反映设备状态变化。可靠性保障系统在工业环境下稳定运行，具备容错与自恢复能力。可扩展性支持不同类型设备接入、不同规模系统扩展。安全性涵盖数据加密、访问控制、防攻击等多重防护，确保系统安全运行。

3.2 感知层设计

感知层是系统的数据源头，由各类传感器和数据采集终端构成。传感器选型需综合考虑被测参数类型、测量范围、精度要求、安装条件、环境适应性等因素。振动传感器选用加速度传感器，灵敏度与频响范围需覆盖设备故障特征频率。温度传感器根据测量位置选择热电偶或热电阻，重要部位可配置红外测温实现非接触监

测。电流传感器采用霍尔效应或电流互感器方式，实现电气参数隔离采集。数据采集终端承担信号调理、模数转换、数据预处理等功能。边缘计算节点在靠近数据源的位置进行特征提取、压缩存储、本地报警，减少数据传输压力。采集终端需具备工业级防护能力，适应现场电磁干扰、温度变化、振动冲击等恶劣环境。供电方式可采用现场取电、电池供电或自供电技术，满足不同部署场景需求。

3.3 网络层设计

工业现场网络根据设备分布、传输距离、实时性要求选择合适方案。有线网络采用工业以太网或现场总线，传输稳定可靠，适用于设备相对集中的场景。无线网络采用Wi-Fi、Zigbee、LoRa、5G等技术，部署灵活，适用于移动设备或布线困难区域。数据传输协议选择直接影响系统兼容性与扩展性。MQTT协议采用发布订阅模式，轻量高效，适用于工业物联网场景。Modbus TCP协议广泛应用于工业设备通信，兼容性好。OPC UA协议支持跨平台数据交换，适用于复杂系统集成。边缘网关承担协议转换、数据汇聚、本地存储功能，实现现场网络与云端平台的衔接，形成云边协同的数据传输架构。

3.4 平台层设计

平台层是系统的数据处理与存储中心。数据存储采用时序数据库与关系型数据库结合的方式。时序数据库如InfluxDB、TimescaleDB，高效存储时间序列数据，支持快速查询与聚合分析。关系型数据库如MySQL、PostgreSQL，管理设备信息、用户信息、配置参数等结构化数据。数据处理模块包括数据清洗、数据融合、特征提取等功能。数据清洗剔除异常值、填补缺失值，保证数据质量。数据融合将多源异构数据进行同步对齐，形成统一的设备状态描述^[3]。分析算法模块封装各类故障诊断算法与健康评估模型，支持模型训练、部署与更新。平台服务层提供设备管理、数据管理、算法管理、用户管理等通用功能，为上层应用提供统一接口。

3.5 应用层设计

应用层面向最终用户提供业务功能。实时监测模块以驾驶舱形式展示设备运行状态，包括关键参数实时数值、趋势曲线、报警信息等，支持多设备、多参数的集中监控。故障诊断模块接收平台层分析结果，呈现故障类型、严重程度、置信度等信息，辅助维修人员快速定位问题。远程运维模块支持设备远程参数配置、程序升级、故障排除，减少现场维护频次。健康评估模块综合多维度监测数据，给出设备健康评分，判断当前所处生命周期阶段。报表统计模块生成设备运行报告、故障分

析报告、维护记录等,为管理决策提供数据支撑。可视化展示采用三维模型、动态图表等形式,直观呈现设备状态与监测结果,支持移动端应用,便于管理人员随时掌握设备状况。

4 物联网技术在机电设备状态监测中的具体应用

4.1 关键运行参数实时监测

物联网技术实现了设备关键运行参数的连续在线监测。振动监测方面,在轴承座、机壳等关键部位部署加速度传感器,采集振动信号,实时计算有效值、峰值、峭度等特征指标,绘制振动趋势曲线,当指标超过设定阈值时自动报警。在电机绕组、轴承、冷却系统等位置布置测温点,监测温度分布与变化速率,及时发现过热异常。通过智能电表或专用采集装置,实时获取电机电流、电压、功率因数、谐波含量等数据,分析电流频谱识别转子故障。结合压力传感器、流量计、转速传感器等,获取设备运行工况信息,为状态评估提供完整数据支撑。实时监测数据以毫秒级刷新率上传平台,通过可视化界面呈现,支持历史数据回放与对比分析。

4.2 设备故障智能诊断与预警

基于物联网采集的多源数据,结合人工智能算法,实现设备故障的智能诊断与早期预警。特征提取环节,从振动信号中提取时域特征、频域特征、时频域特征,形成故障特征向量。时域特征包括均值、方差、峭度等,频域特征通过傅里叶变换获取频谱能量分布,时频域特征利用小波变换提取局部信息。诊断模型采用机器学习或深度学习算法,支持向量机适用于小样本分类问题,可有效区分正常状态与故障状态。随机森林通过多决策树集成,处理多特征融合的分类任务。卷积神经网络自动提取信号深层特征,适用于复杂故障模式识别。预警机制根据诊断结果与趋势变化,设定分级预警阈值,在故障发展初期发出警报,为维修决策预留充足响应时间^[4]。

4.3 设备远程监控与运维

物联网技术打破了时空限制,实现设备的远程监控与运维管理。远程监控功能使管理人员通过电脑或移动终端,随时随地查看设备运行状态,接收报警信息,掌握设备健康动态。远程运维功能支持对现场设备的参数调整、程序更新、故障复位等操作,减少现场作业频次,降低维护成本。专家远程支持系统将现场采集的数

据传输至专家平台,由专业技术人员进行深入分析,提供诊断意见与维修建议。知识库系统积累历史故障案例与处理经验,形成故障知识图谱,为运维人员提供智能检索与决策支持。远程运维不仅提升了响应效率,也优化了技术资源配置,使有限的专业人才能够服务更广泛的设备群体。

4.4 设备寿命预测与预防性维护

基于历史监测数据与故障记录,构建设备健康退化模型,预测剩余使用寿命。数据驱动方法利用机器学习算法,从监测数据中学习退化规律,建立输入特征与剩余寿命之间的映射关系。融合预测方法将物理模型与数据模型相结合,提高预测准确性与泛化能力。预防性维护计划依据寿命预测结果与健康评估结论,制定针对性的维护策略。替代传统的固定周期维修,采用状态驱动的维护模式,在设备即将达到临界状态前安排维修,既避免过度维护造成的资源浪费,又防止突发故障带来的生产损失。维护策略优化通过权衡维护成本与故障风险,确定最佳维护时机与维护方式,实现设备全生命周期成本最小化。

结束语

物联网技术为机电设备状态监测提供了全新的技术路径与解决方案。本文系统研究了物联网技术在设备状态监测中的应用框架,从监测需求分析、指标体系构建、系统架构设计到具体应用实践,形成较为完整的研究体系。随着边缘计算、数字孪生、工业大模型等新技术的持续发展,物联网在设备状态监测领域的应用将不断深化,推动设备管理向更加精准、高效、智能的方向演进。

参考文献

- [1]张阳,李超,符立梅,等.基于物联网技术的煤矿机电设备运行状态智能监测系统研究与应用[J].中国煤炭,2025,51(7):164-169.
- [2]王平.基于物联网技术应用的矿井机电设备状态监测方案设计研究[J].中国金属通报,2024(6):80-82.
- [3]吕巍巍.物联网技术在煤矿机电设备状态监测系统中的应用研究[J].科技资讯,2025,23(16):19-21.
- [4]牛文科,马琨.基于物联网技术的矿建机电设备智能监测与预测研究[J].装备制造技术,2024(8):139-141.