 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v7i9.11751

Research on Remote Monitoring and Intelligent O&M Systems for Electrical Equipment Based on the Industrial Internet of Things

Xinze Mao

Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan, 454003, China

Abstract

Industrial electrical equipment serves as the primary carrier for continuous production in both the manufacturing and energy sectors; prolonged high-load operation of such equipment can easily lead to latent failures such as insulation aging, mechanical wear, and drift in electrical parameters. Traditional manual inspection and periodic maintenance approaches can no longer meet the demands of modern industrial production. Conventional O&M practices face practical challenges—including delayed data acquisition, lack of fault prediction capabilities, overly simplistic O&M strategies, and inadequate safety control measures—which can readily result in unplanned downtime and potential safety hazards. This paper leverages Industrial Internet of Things (IIoT) technology to construct a remote monitoring and intelligent O&M system for electrical equipment based on edge computing and deep learning algorithms, featuring end-edge-cloud collaboration. The system performs real-time collection of multi-dimensional operational data from key industrial electrical components—such as motors, transformers, and distribution cabinets—along with online analysis, intelligent fault diagnosis, and automatic optimization of O&M strategies. Validation through field trials at industrial sites has demonstrated that this system can effectively identify latent faults in equipment, reduce the failure rate and O&M costs, enhance the operational stability of electrical equipment, and improve the level of precision in equipment management, thereby providing a reliable engineering reference for the intelligent transformation of industrial electrical equipment O&M systems.

Keywords

Industrial Internet of Things; electrical equipment; remote monitoring; intelligent O&M; fault diagnosis

基于工业物联网的电气设备远程监控与智能运维系统研究

毛鑫泽

河南理工大学，中国 · 河南 焦作 454003

摘　要

工业电气设备是制造业、能源行业连续化生产的主要载体，设备长期高负荷运行容易产生绝缘老化、机械磨损、电气参数漂移等隐性故障，传统的手工巡检、定期检修方式已经不能满足现代工业生产的需求。传统运维存在数据采集滞后、故障预判缺失、运维策略粗放、安全管控薄弱等实操问题，很容易造成非计划停机和安全生产隐患。本文以工业物联网技术为依托，用边缘计算和深度学习算法构建端边云协同的电气设备远程监控和智能运维系统。系统对电机、变压器、配电柜等主要工业电气设备进行多方面运行数据的实时采集、在线分析、故障智能诊断和运维策略的自动优化。经过工业现场实测应用验证，该系统可以有效地识别出设备的隐性故障，降低设备的故障率和运维成本，提高电气设备运行的稳定性以及管理的精细化水平，可以为工业电气设备智能运维改造提供可靠的工程实践参考。

关键词

工业物联网；电气设备；远程监控；智能运维；故障诊断

1 引言

智能制造和工业数字化转型背景之下，工业生产具有高连续、高负荷、高精度运行的特点，电气设备集成度和自动化程度不断提高，设备运行工况越来越复杂多变。电气设备是生产线的动力供给和控制中心，电气设备的运行状况直接影响到生产效率和厂区安全。目前大量工矿企业仍然沿用传统的手工巡检、周期检修、故障后抢修的运维模式，人工巡检存在漏检、误检、时效性差等问题，固定周期检修不能适应设备差异化运行状态，普遍存在过修和欠修现象。随着工业物联网感知、传输和智能分析技术的发展，设备运维也由原来的依靠经验运维转变为依靠数据驱动运维。为了解决传统运维模式智能化程度低、故障管控滞后、资源浪费严重的工程痛点，本文设计出一套适合工业复杂工况的电气设备远程监控与智能运维系统，通过架构优化和算法落地，实现

【作者简介】毛鑫泽（2005–），女，中国山东莱州人，本科，从事边缘计算与嵌入式智能感知研究。

设备全生命周期智能化管控，推动工业电气运维体系升级。

2 传统电气设备运维模式及工程痛点

2.1 主流运维模式工作机制

目前工业电气设备运维体系主要分为故障后抢修、周期性预防性检修两种模式，两种模式都高度依赖人工经验，数字化、智能化程度低。故障抢修属于被动式运维，只在设备出现停机、烧毁、短路等显性故障后才进行现场排查维修，只适用于低负荷、非连续运行的辅助电气设备，不能应用于主线生产关键设备。周期性检修是目前工业主流的运维方式，企业根据设备出厂规范和行业标准制定月度、季度、年度检修计划，对电气设备进行拆机检测、紧固接线、更换耗材、参数校准等作业。该模式是提前排查隐患，但是完全依靠固定周期，没有结合设备实时运行工况，在实际生产中适配性较差，不能满足现代化工业精准运维的需求。

2.2 工业现场核心痛点

第一，状态监测不全面，隐性故障无法识别。传统运维依靠人工手持仪器定点、定时采集数据，只记录电流、电压等基础电气参数，不能持续监测设备温度、振动、局部放电、绝缘电阻等故障敏感参数。电气设备大部分早期故障都是以参数微弱漂移、温度渐变、振动异常等隐性形式存在，人工巡检无法发现，造成微小隐患逐渐发展成重大故障。

第二，故障处置滞后，生产损失大。传统运维没有实时监测和趋势分析的能力，不能预测设备性能衰减和故障发展趋势，只能在故障发生之后进行处置，很容易造成生产线长时间停机，造成直接经济损失。

第三，运维策略粗放，资源浪费严重。固定周期检修模式没有区分设备的负荷状态和运行寿命，对运行稳定、状态良好的设备进行无效的拆机检修，增加设备的磨损和运维成本；对高负荷、老化严重的设备检修频次不足，隐患长期存在。

第四，设备管理没有数据支撑，不能迭代优化。传统的运维数据大多为纸质记录、零散台账，数据的完整性、连续性较差，不能形成设备全生命周期的数据链，管理人员无法根据数据的规律来优化检修策略，设备管理一直处在经验化、粗放化阶段。

3 系统核心关键技术及工程应用原理

3.1 多源异构数据融合技术

工业电气设备故障不是由单一参数决定的，单一电气参数监测很容易出现误判、漏判。本文使用多源异构数据融合技术，对电气、温度、振动、绝缘等各个维度、各个量纲、各个频率的数据进行标准化处理和时空配准。对数据进行归一化处理，使各个数据的量纲统一，利用时间序列进行多源数据的同步匹配，发现多参数之间的关联。电机轴承磨损故障会伴随振动幅值增大、电流波动异常、机身温度升高等特征，多参数联合分析可以准确区分设备正常波动和真实故障，大大提高状态判别的准确性，解决单一参数监测可信度低的工程问题。

3.2 边缘计算本地预处理技术

工业生产线对设备监控的实时性要求很高，传统的纯云端计算模式存在几百毫秒的延迟，不能满足实时预警的要求。本系统把数据降噪、异常阈值判断、实时状态甄别等轻量化算法下沉到边缘网关，在工业现场完成毫秒级的数据处理。正常稳态数据定时打包上传，异常突变数据实时上传并触发本地预警，不需要云端指令就可以完成初步应急判别。该技术可以减少网络带宽的消耗，提高系统的响应速度，有效地解决了由于网络延迟造成的预警滞后问题，符合工业连续生产实时控制的要求。

3.3 CNN–GRU 混合智能故障诊断技术

为了克服传统人工故障诊断准确率低、不能预知隐患的缺点，系统搭建 CNN-GRU 混合深度学习模型。CNN 卷积神经网络提取数据局部特征，准确捕捉参数突变、波形异常等显性故障特征，GRU 门控循环单元处理时序数据，挖掘设备长期运行的参数渐变、性能衰减等隐性老化规律。模型依靠大量的工业现场真实故障样本进行训练，可以准确识别出短路、过载、接线虚接、轴承磨损、绝缘老化等各种常见的故障，并且可以利用时序数据的趋势预测出设备的剩余使用寿命，从而实现故障的提前预判，支持预防性精准运维。

3.4 可视化远程闭环管控技术

系统采用工业组态技术搭建一体化远程管控平台，把全域电气设备运行信息整合起来，达到设备状态可视化、异常预警智能化、运维流程闭环化的目的。平台支持 PC 端、移动端远程访问，管理人员可以随时查看设备的实时参数、历史曲线、故障记录，接收实时预警推送。对于设备轻微的异常可以远程核查、参数微调，重大故障自动锁定设备状态、推送告警信息、生成运维工单，实现从故障发现、预警、派单、检修、验收、归档的全流程闭环管理，彻底打破人工运维的时空限制。

4 系统核心功能模块落地设计

4.1 实时数据监测模块

该模块为系统基础功能，对全厂电气设备全时段、高精度数据进行采集和动态展示，数据更新频率为 100ms/ 次，可以准确地捕捉到设备瞬时参数的变化。模块可以设置自定义的参数阈值，管理人员可以按照设备型号、负荷工况、行业标准来设定上下限，参数超标立刻发出预警。支持历史数据查询、曲线调取、数据导出功能，可以直观地反映出设备日、周、月运行变化规律，为设备状态分析、故障复盘、运维优化提供完整的数据支持，解决传统数据零散、无法追溯的问题。

4.2 智能故障预警诊断模块

该模块依靠混合深度学习模型，达成故障自动识别、

分类定级、隐患预判一体化的目的。系统可以智能区分设备正常工况波动和真实故障，有效地过滤掉误预警信号，提高系统的稳定性。对轻微隐性隐患推送预警提示，提醒运维人员择机排查；对严重故障风险触发声光告警，同步记录故障点位、故障类型、影响范围，生成故障分析报告，辅助运维人员快速定位问题、高效处置故障，最大限度缩短故障处置时间，降低生产损失。

4.3 智能运维调度模块

模块彻底改变传统的固定周期检修模式，用设备真实的运行状态来制定差异化的精准运维。系统根据设备运行稳定性、负荷强度、老化程度动态调整检修周期，对状态良好的设备延长检修周期，减少无效运维；对存在隐患、高负荷运行设备缩短检修周期，开展专项针对性检修。系统可以自动生成、派发运维工单，跟踪检修进度，归档检修结果，实现运维工作标准化、数字化、闭环化管理，大幅提升运维资源利用率。

4.4 全生命周期数据溯源模块

模块使用分布式云存储技术，永久保存设备运行数据、故障台账、运维记录、设备参数台账，数据全程加密、不可篡改、可以随时溯源。管理人员可以利用设备编号、时间节点、故障类型等找到对应的数据，对设备全生命周期运行和运维过程有完整的追溯。该模块可以给设备折旧评估、运维策略优化、安全生产核查、故障责任界定提供权威、完整的数据支撑，完善企业设备数字化管理体系。

5 系统工业应用效果与价值分析

5.1 运维模式智能化升级

系统用数字化、智能化技术代替传统的人工运维，使电气设备运维由“事后抢修、粗放检修”向“事前预判、精准运维”转变。全自动化数据采集可以避免人工巡检的疏漏和主观误差，智能算法代替人工经验判断故障，数字化工单代替纸质运维记录，大大降低人工依赖，实现设备运维标准化、智能化升级，满足现代智能制造的数字化管控需求。

5.2 生产与运维效益量化提升

根据某中小型制造厂区现场实测数据，本系统落地后电气设备突发故障率下降 35% 以上，设备非计划停机时长缩短 40%，杜绝无效检修作业。运维人工成本、配件耗材损耗分别降低 20%、10%-15%。系统根据准确的预判结果来制订检修计划，在保证设备安全稳定运行的基础上，最大限度地节约运维资源，提高生产连续性，给企业带来明显的量化经济效益。

5.3 安全生产与管理体系优化

电气短路、漏电、绝缘老化是工业厂区主要的危险源，容易造成火灾、设备损坏、人员触电。全天候监测设备安全参数，提前发现早期安全隐患并发出预警，从源头上防止电气安全事故的发生，筑牢厂区安全生产防线。同时系统建立的数字化设备台账，解决了传统设备管理碎片化、无标准、无依据的问题，帮助企业建立标准化、精细化的电气设备管理制度，全面提升工业设备管控水平。

6 系统局限性与优化方案

6.1 现有系统工程局限性

结合工业现场实测应用，系统存在三个实操上的不足。一是故障样本库大多为标准新设备数据，对老旧改造设备、非标定制电气设备的故障特征适配度不高，小众设备诊断精度略有下降。二是极端工矿适应性差，在冶金、化工强电磁、高腐蚀环境下，传感器容易出现轻微的数据漂移，影响状态判别的稳定性。三是网络安全防护比较基础，物联网多设备接入模式下存在数据传输和平台访问的安全漏洞风险。

6.2 针对性优化方案

后续研究会针对工程短板做迭代优化。扩大非标、老旧设备故障样本数据，不断训练、优化 CNN-GRU 模型参数，提高系统对全品类设备的适应能力。其次更换高防护等级的传感设备和抗干扰网关，配合优化滤波降噪算法，修正极端工况数据偏差，提高复杂场景的稳定性。最后建立多级网络安全防护体系，增加数据加密传输、分级权限管理、入侵检测等功能，全方位保障设备、数据、平台的安全，进一步提高系统工业落地价值。

7 结论

本文针对工业电气设备传统运维模式粗放、故障预判能力弱、运维成本高、安全管控难的工程问题，以工业物联网端边云协同架构为基础，搭建起具有实时监测、智能诊断、预警预判、闭环运维功能的智能运维系统。利用多源数据融合、边缘计算、深度学习技术，克服传统运维数据滞后、经验依赖严重、资源浪费的难题，实现电气设备运维数字化、精准化、智能化。现场实测结果表明，系统可以有效地降低设备故障率和运维成本，提高生产连续性以及安全生产水平。本文对系统现存的不足进行了明确的阐述，并给出了具体的改进方案，可以给工业电气设备智能运维改造提供真实可靠的参考和依据。

参考文献

[1] 唐磊,许奎. 基于物联网的建筑电气设备远程监控系统平台设计与实现 [J]. 现代建筑电气, 2026, 17 (6): 57-62.

[2] 孙建胥,刘杰. 物联网技术在电气设备智能化管理中的应用研究 [J]. 中国设备工程, 2026, (12): 26-28.

[3] 唐青勇. 基于物联网的电力设备远程监测与维护系统设计 [J]. 电气技术与经济, 2026, (5): 372-375.

[4] 高嵩翔,马吉,肖皓文. 物联网技术支持下变电站电气设备全生命周期运维检修研究 [J]. 电气技术与经济, 2026, (5): 390-392+396.

[5] 乔中亚. 基于物联网的发电厂电气设备在线监测系统设计 [J]. 自动化应用, 2026, 67 (10): 227-231.