

基于物联网技术的电气设备远程监控与故障诊断系统设计

曹俊杰

421127196807090812

摘要: 随着工业智能化加速, 电气设备作为核心基础设施, 其运行稳定性关乎生产安全与效益。传统监控与故障诊断方式有响应滞后、精度低、成本高等弊端, 难以满足运维需求。物联网技术为解决问题提供路径, 通过协同架构实现电气设备状态实时采集、传输与诊断。本文梳理了基于物联网的电气设备远程监控与故障诊断系统核心技术体系, 包括感知层、网络层、应用层相关技术; 分析了系统应用现状与案例; 探讨了技术瓶颈与挑战; 展望了未来趋势, 为相关研究与实践提供参考。

关键词: 物联网; 电气设备; 远程监控

DOI: 10. 69979/3060-8767. 26. 02. 012

引言

在工业 4.0、智能电网等战略推动下, 电气设备应用场景更复杂、运行负荷提升, 对运维管理智能化、精细化要求更高。电气设备长期运行受环境、机械、电气等因素影响, 易出现绝缘损坏、线路短路等故障, 若不及时处理会有严重后果。统计显示, 工业领域因电气设备故障致停产损失占比超 35%, 传统定期检修模式难预判潜在故障, 还存在过度或不足维修问题, 造成资源浪费与安全隐患。物联网技术以万物互联为核心, 通过感知设备、网络传输与智能分析平台, 实现物理实体与虚拟网络融合, 为电气设备远程监控与故障诊断提供新技术范式。基于物联网的监控与诊断系统能实时采集设备运行参数, 传输至远程监控中心, 用智能算法分析数据, 实现故障早期预警、定位与诊断, 提升运维效率、降低成本。近年来, 该领域成研究热点, 相关技术与方案不断涌现。本文将从核心技术、系统设计、应用现状、现存问题及未来趋势等方面全面综述基于物联网技术的电气设备远程监控与故障诊断系统。

1 基于物联网的电气设备远程监控与故障诊断系统核心技术体系

基于物联网的电气设备远程监控与故障诊断系统通常采用感知层-网络层-应用层的三层架构, 各层通过核心技术的协同配合, 实现从设备状态感知到故障诊断决策的全流程闭环管理。各层核心技术的选型与优化直接决定系统的运行性能、可靠性与适用性。

1.1 感知层技术: 设备状态信息采集基础

感知层是系统神经末梢, 核心功能是实时准确采集电气设备运行与环境参数, 为故障诊断提供数据支撑。

其技术包括传感器技术、数据采集模块设计及数据预处理技术。

传感器是核心器件, 要依电气设备类型与监控需求选择。常用传感器有: 电流传感器(如霍尔、罗氏线圈传感器)、电压传感器(如电压互感器、电容分压式传感器), 采集电气运行参数; 温度传感器(如热电偶、红外、光纤温度传感器), 监测关键部位温度; 振动传感器(如压电式、磁电式), 检测旋转设备振动信号; 绝缘传感器(如局部放电、介损传感器), 评估绝缘性能。近年来, 微型化、高精度、低功耗传感器成主流, 如 MEMS 振动传感器, 适用于嵌入式感知节点部署。

数据采集模块负责采集、转换与初步处理传感器信号。为保证实时性与准确性, 采用高性能微处理器(如 STM32、ESP32)与高精度 ADC, 支持多通道同步采集, 采样频率可灵活调整。同时, 模块需进行 EMC 设计, 降低电磁干扰影响。

数据预处理技术是重要环节, 通过去噪、滤波、校准、压缩等操作, 去除原始数据噪声与冗余信息, 提升数据质量, 减轻后续压力。常用去噪算法有卡尔曼滤波、小波变换、中值滤波等, 数据压缩以无损压缩为主, 如霍夫曼编码、LZW 编码等, 确保关键信息不丢失。

1.2 网络层技术: 数据传输的关键支撑

网络层是系统传输通道, 负责将感知层采集的设备状态数据传至应用层, 再将应用层控制指令反馈至感知层。其核心需求是实现数据可靠、高效、实时传输, 需根据应用场景的网络环境、传输距离等选合适通信协议与传输方式。

物联网通信协议分有线与无线两类。有线通信传输稳定、带宽大、抗干扰强, 适用于固定设备等场景。常

用协议有以太网、RS-485、Modbus RTU/TCP 等。其中，以太网高带宽、高速率，用于监控中心与本地网关通信；RS-485 结构简单、成本低、传输远，用于工业感知节点与网关连接；Modbus 兼容性强，用于设备数据交互。

无线通信部署灵活、无需布线、适应性强，适用于移动设备等场景。常用技术有：低功耗广域网（LPWAN）技术，如 LoRa、NB-IoT 等，传输远、功耗低、接入量大，用于大规模分布式电气设备远程数据传输；短距离无线通信技术，如 Wi-Fi、蓝牙、ZigBee 等，Wi-Fi 带宽大、速率高，用于近距离大数据量实时传输；ZigBee 低功耗、低速率、自组网强，用于工业多节点协同感知与传输；5G 低延迟、高带宽、海量连接，适用于实时性要求高的场景。

为实现互联互通，网络层需部署网关设备，负责协议转换、数据汇聚与转发。网关是感知层与应用层桥梁，能对数据标准化处理，统一传至应用层平台，还支持远程管理维护，提升系统兼容性与可扩展性。

1.3 应用层技术：故障诊断与智能决策核心

应用层是系统大脑中枢，负责分析网络层传输数据、诊断故障，提供可视化监控界面与决策支持。应用层技术包括数据存储与管理、故障诊断算法、监控平台设计。

数据存储与管理是应用层基础，处理海量设备运行数据，含实时、历史、故障数据等。因数据多样海量，采用分布式存储架构，结合关系型（如 MySQL、Oracle）与非关系型（如 MongoDB、Redis）数据库优势：前者存结构化数据，后者存非结构化数据，有存储量大、读写快、扩展性强等优势。此外，数据管理要实现备份、恢复、安全等功能，确保数据完整安全。

故障诊断算法是核心技术，决定诊断精度与效率，分传统与智能两类。传统算法基于信号处理与故障机理分析，通过分析设备参数信号提取故障特征，与预设阈值或模式对比诊断故障，常用算法有傅里叶变换等，适用于简单故障，对复杂故障精度低且对人员专业要求高。智能算法基于人工智能，能自动学习设备模式，实现复杂故障自动诊断与预警，是研究热点，常用算法有机器学习（如 SVM 等）、深度学习（如 CNN 等）。例如，CNN 可精准识别电机故障，LSTM 可实现早期预警。融合多源数据的算法能提升诊断精度、降低误判率。

监控平台设计是重要载体，为用户提供可视化界面、预警通知、诊断报告、运维管理等功能。平台采用 B/S 或 C/S 架构：B/S 无需安装客户端，部署灵活、维护方便，适用于多用户远程访问；C/S 界面交互好、响应快，适用于本地实时监控。平台界面应简洁直观，展示设备

运行参数等信息，支持数据曲线分析等功能。同时，可集成移动终端提醒，实时推送故障信息，实现快速响应。

2 基于物联网的电气设备远程监控与故障诊断系统设计与应用现状

基于物联网技术的电气设备远程监控与故障诊断系统的设计需结合具体应用场景的需求，优化三层架构的技术选型与功能配置，实现针对性的监控与诊断。目前，该系统已广泛应用于工业生产、智能电网、轨道交通、新能源等多个领域，形成了一系列典型的应用案例。

2.1 系统设计原则与典型架构

系统设计需遵循可靠性、实时性、可扩展性、经济性原则。可靠性是核心要求，可选用高可靠性设备、优化拓扑结构、采用冗余设计确保系统稳定运行；实时性要求快速采集、传输与处理数据，需优化采集频率、选低延迟协议、用高效算法；可扩展性要求支持设备增加、功能升级与技术迭代，采用模块化设计、标准化接口降低扩展成本；经济性要求合理选技术方案与设备，降低建设与运维成本。典型系统架构由感知节点、本地网关、通信网络、云平台（应用层）与用户终端组成。感知节点采集设备运行参数，本地网关汇聚处理数据后传至云平台，云平台实现数据存储等功能，用户终端远程监控与运维。如工业电机监控系统，感知节点采集电流等参数，经 ZigBee 传输至网关，网关通过以太网传至云平台，云平台用 LSTM 算法分析实现预警诊断，运维人员通过手机 APP 查看状态。

2.2 不同领域的应用现状

在智能电网领域，基于物联网的电气设备监控与故障诊断系统用于变压器等设备运维。如针对变压器，部署传感器采集数据，用 NB-IoT 传输，云平台结合方法与算法精准诊断，提升运维效率、降低损失、保障电网安全。在工业生产领域，系统用于电机等关键设备监控。如某汽车零部件加工厂采用电机监控系统，采集数据，用 Wi-Fi 传输，用 CNN 算法分析，减少故障停机时间、降低运维成本、提升生产效率。在轨道交通领域，系统用于列车电气设备监控与诊断。因运行环境复杂、安全要求高，采用 5G 传输，结合智能诊断算法确保精度与实时性。如某城市地铁采用监控系统，采集数据，用 5G 传输，用 SVM 算法分析实现预警定位，保障安全运行。在新能源领域，系统用于光伏逆变器等设备监控。如光伏电站，采集数据，用 LoRa 传输，云平台分析实现故障诊断与状态评估，提升运维效率与发电效益。

3 现存问题与挑战

尽管基于物联网技术的电气设备远程监控与故障诊断系统已取得显著进展,但在技术应用与系统设计中仍存在诸多问题,制约其进一步发展及普及。感知层方面,传感器精度与可靠性有待提升,复杂工业环境易使传感器性能下降、数据出现偏差,部分高精度传感器成本高,难大规模部署,且不同厂家传感器接口不统一,数据采集兼容性差。网络层上,通信稳定性与安全性面临挑战,无线通信在复杂环境中易出现数据传输问题,影响实时性;有线通信布线难、维护成本高。同时,物联网设备接入多,数据传输易遭网络攻击,威胁系统安全与数据完整。应用层里,故障诊断算法存在不足,现有智能诊断算法泛化能力差,多源数据融合诊断技术不成熟,算法运算效率有待提升,难以满足海量数据实时分析需求。系统方面,标准化与兼容性不足,物联网技术在该领域未形成统一标准体系,不同厂家系统存在差异,形成信息孤岛,且与传统运维管理系统兼容性差,增加集成成本与难度。此外,系统建设与运维成本高,限制了在中小企业的普及应用。

4 未来发展趋势

针对当前存在的问题与挑战,结合物联网技术的发展趋势,基于物联网的电气设备远程监控与故障诊断系统未来将朝着以下方向发展。

一是感知层的智能化与高精度化。未来将研发更多适用于复杂工业环境的高可靠性、低功耗、低成本传感器,如基于光纤传感、量子传感的新型传感器,提升数据采集的精度与稳定性;同时,感知节点将集成边缘计算功能,实现数据的本地实时处理与分析,减少网络传输压力,提升系统的实时性。

二是网络层的高速化、低延迟化与安全化。随着 5G、6G 技术的普及,将实现数据的高速、低延迟传输,支持高清视频监控、设备远程控制等更复杂的应用场景;同时,将加强网络安全技术的应用,如区块链技术、加密技术、身份认证技术等,保障数据传输与设备运行的安全性;此外,将推动通信协议的标准化,提升系统的兼容性与互联互通能力。

三是应用层的诊断算法优化与智能化升级。将研发具有更强泛化能力的智能诊断算法,如基于迁移学习、联邦学习的算法,实现不同设备、不同故障模式的通用诊断;加强多源数据融合诊断技术的研究,结合大数据、

人工智能、数字孪生等技术,构建设备的数字孪生模型,实现设备运行状态的虚拟仿真与故障的精准预测;同时,提升算法的运算效率,采用 GPU、FPGA 等硬件加速技术,满足海量数据的实时分析需求。

四是系统的标准化与集成化。未来将推动行业标准的制定,统一硬件接口、通信协议、数据格式等,实现不同系统之间的互联互通;加强系统与传统运维管理系统、企业 ERP 系统的集成,构建一体化的智能运维管理平台;同时,通过技术创新降低系统的建设与运维成本,开发适用于中小企业的轻量化系统方案,推动系统的普及应用。

五是绿色化与节能化。在系统设计过程中,将更加注重节能降耗,采用低功耗的传感器、通信设备与硬件模块,优化系统的电源管理方案;同时,通过智能诊断与精准运维,减少设备的过度维修,延长设备的使用寿命,降低能源消耗与环境影响,实现绿色低碳运维。

5 结论

基于物联网技术的电气设备远程监控与故障诊断系统通过感知层、网络层与应用层的协同作用,实现了电气设备运行状态的实时监控、故障的早期预警与精准诊断,显著提升了运维效率,降低了运维成本,为电气设备的智能化运维提供了有效路径。当前,系统已在智能电网、工业生产、轨道交通等多个领域得到广泛应用,但在传感器精度、通信稳定性、诊断算法泛化能力、系统标准化等方面仍存在不足。未来,随着传感器技术、通信技术、人工智能技术的不断发展,系统将朝着感知智能化、网络高速安全化、诊断精准化、系统标准化的方向发展,为工业智能化进程提供更强有力的支撑。相关领域的研究人员与企业应加强技术创新与合作,攻克技术瓶颈,推动系统的标准化与普及应用,实现电气设备运维管理的全面智能化升级。

参考文献

- [1] 尚珂. 基于物联网的电气设备远程监控与故障诊断系统设计[J]. 电脑校园, 2025(22).
- [2] 杜丹跃. 基于物联网的机电系统远程监控与故障诊断[C]//全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会. 汕尾汇能综合能源服务有限公司, 2024.
- [3] 陈西林, 田林, 吴咏蔚, 等. 基于物联网的电气设备智能故障预测与诊断系统: 202510412295[P][2025-12-29].