

# Automation of Remote Maintenance System for Power Equipment Based on Internet of Things

Yongliang Zhao

Anhui Xiangyuan Technology Co., Ltd., Bengbu, Anhui, 233000, China

## Abstract

Under the background of the comprehensive promotion of smart grid construction, the deep integration of Internet of Things technology provides key support for the innovation of remote operation and maintenance mode for power equipment. This paper addresses the problems of low maintenance efficiency, unreasonable resource allocation, and delayed fault response in traditional power equipment maintenance, and proposes a hierarchical decoupling and edge-cloud collaboration remote operation system solution. It constructs a four-level system architecture consisting of the perception layer, transmission layer, platform layer, and application layer, achieving digital management of the equipment throughout its life cycle. At the same time, it explains the entire process of automation from equipment monitoring, abnormal warning to work order generation and maintenance guidance, forming a closed-loop operation management mode. Research shows that this system can significantly improve the accuracy of equipment health assessment and fault prediction, promote the transformation of maintenance from passive repair to proactive predictive maintenance, and lay a technical foundation for the safe and stable operation of the smart grid.

## Keywords

Internet of Things; Power equipment; Remote operation and maintenance; Predictive maintenance; Edge-cloud collaboration

## 基于物联网的电力设备远程运维系统自动化

赵永亮

安徽祥源科技股份有限公司, 中国·安徽 蚌埠 233000

## 摘要

在智能电网建设全面推进的背景下, 物联网技术的深度融合为电力设备远程运维模式创新提供了关键支撑。本文针对传统电力设备维护效率低、资源配置不合理、故障响应滞后等问题, 提出层级解耦、边云协同的远程运维系统解决方案, 构建由感知层、传输层、平台层与应用层组成的四级系统架构, 实现设备全生命周期数字化管理。[2]阐释从设备监测、异常预警到工单生成、维修指导的全流程自动化路径, 形成闭环运维管理模式。研究表明, 该系统能显著提升设备健康评估与故障预测精度, 推动运维从被动维修向主动预测性维护转变, 为智能电网安全稳定运行奠定技术基础。

## 关键词

物联网; 电力设备; 远程运维; 预测性维护; 边云协同

## 1 引言

电力设备是智能电网的核心载体, 其运行状态直接关系到电力系统安全高效运行。随着电网建设规模扩大, 特高压输电、分布式能源并网等项目快速推进, 电力设备接入量、分布范围大幅提升, 高温、强电磁干扰、野外复杂环境等因素也让设备运行面临更多挑战。

当前电力设备维护仍以阈值告警和人工巡检为主, 局限性日益凸显。人工巡检受人力、地理、周期限制, 易形成运维盲区, 且人工记录数据存在误差大、传递不及时等问题; 固定阈值告警属于事后响应, 无法预判故障演化, 易引发突

发停电事故, 加之维修资源分配依赖人工经验, 常出现资源浪费或短缺, 故障响应效率低下。

物联网技术融合传感器、边缘计算、云计算、人工智能等技术, 具备多维感知、实时传输、智能分析的优势, 可有效破解传统运维困境。基于物联网构建的远程运维系统, 通过现场传感器实现设备参数全天候采集, 依托边云协同完成数据处理与深度诊断, 形成主动预测性维护体系。本文从系统架构、智能诊断技术、运维流程自动化三方面展开研究, 为电力运维模式升级提供参考。

## 2 电力设备远程运维系统架构设计与分析

本系统采用层级解耦架构, 打破传统系统耦合度高、扩展性差的问题, 构建数据采集、传输处理、平台支撑、应用呈现的完整技术链路, 实现物理与信息空间的有机融合。

【作者简介】赵永亮(1978—), 男, 中国安徽濉溪人, 本科, 高级工程师, 从事自动化研究。

系统分为感知层、传输层、平台层、应用层四层，各层级互联互通且可独立扩展，适配变电站、输电线路等全场景运维需求。

## 2.1 感知层

感知层作为系统“神经末梢”，部署于设备现场，是连接物理与数字世界的核心接口，负责高精度、多维度采集设备温度、振动、局部放电、油色谱等关键运行指标，实现全景监测。针对不同设备特性配置定制化传感器阵列，核心设计为传感器冗余部署与信号预处理：通过多传感器冗余布置避免数据缺失，优化空间分布提升数据准确性；传感器终端集成信号处理模块，对原始信号进行滤波、模数转换等处理，消除电磁干扰导致的基线漂移，提升数据质量。

## 2.2 传输层

传输层是感知层与平台层的通信纽带，负责实现监测数据安全实时传输与控制指令反向下达。针对电力现场强电磁干扰、带宽有限、网络覆盖不均等问题，采用工业总线与无线通信混合组网：变电站等集中场景依托工业以太网、Modbus 等工业总线实现有线连接，保障稳定性；输电线路、野外变电站等分散场景采用 5G、LoRa、NB-IoT 等无线通信，解决布线难题。边缘网关为核心设备，兼具数据转发与本地预处理功能，通过噪声滤除、特征提取、数据压缩等操作减少上行流量，缓解带宽压力。

## 2.3 平台层

平台层是系统“大脑”，部署于云端服务器集群，实现海量数据存储、设备健康评估与运维决策支撑。基于云计算构建，具备弹性扩展、高速运算能力，可集中汇聚多站点、多类型设备数据。在数据管理上，构建结构化与非结构化结合的数据库，实现设备信息、监测数据、故障记录等分类存储与高效检索；智能分析方面，集成诊断模型与健康评估算法，精准判断设备状态、预判故障趋势；资源调度遵循就近处理原则，常规监测任务留存在边缘侧，仅异常时触发云端深度计算，实现负载均衡。

## 2.4 应用层

应用层是面向调度、运维、管理等多角色的人机交互界面，将平台层分析结果以直观形式呈现，提供运维全流程操作入口。基于 B/S、C/S 混合架构开发，支持电脑、移动、大屏等多终端访问。核心设计为多角色权限管理与业务流程自动化：按岗位分配操作与数据查看权限，保障数据安全与工作规范；提供设备监控、故障告警、工单管理、健康档案等功能，通过数据可视化直观展示运维状态；集成工作流引擎，根据故障预警自动触发工单生成、分配、验收全流程，实现业务自动化流转。

## 2.5 系统核心特性与安全防护

系统核心特性为资源动态调配与全场景适配，边缘侧低功耗硬件实现实时信号分析，云平台汇聚全网数据构建设备行为模型，挖掘故障规律，可根据需求动态调整边云资源，

适配各类电力设备运维场景。安全防护采用多层次隔离设计，终端层面实现设备身份唯一认证，传输层面采用加密协议防止数据窃取篡改，平台层部署防火墙、入侵检测等功能，实现全天候防护，确保远程操作安全可控。

## 3 基于边云协同的电力设备智能诊断关键技术

传统单一的本地或云端诊断模式存在明显局限，本地诊断受硬件限制无法分析复杂故障，云端诊断存在传输延迟、带宽消耗大等问题。本文构建边云协同的智能诊断体系，形成边缘感知、云端决策、协同联动的框架，兼顾故障诊断的实时性与精准性，有效识别突发与渐变故障。

### 3.1 边缘端实时感知与快速诊断

边缘端部署于现场边缘网关，负责数据实时处理、特征提取与快速诊断，满足突发故障秒级响应需求。搭载轻量级信号处理模块与诊断算法，针对不同数据采用定制化处理：温度数据经小波变换去噪，提取升温速率等特征；振动数据通过希尔伯特变换获取包络谱特征；声学信号提取频谱密度、特征频率等指标。采用自适应阈值算法，根据设备负载、环境温度、运行年限等动态调整告警边界，减少工况变化导致的误报、漏报。对短路、部件断裂等突发故障实现秒级告警；对绝缘老化、部件磨损等渐变故障，提取特征向量时序流并推送至云端，实现全程跟踪。

### 3.2 云端深度分析与智能决策

云端智能诊断平台依托强大运算能力与海量历史数据，实现复杂故障深度分析与运维决策支撑，集成知识图谱引擎与深度学习模型核心模块。知识图谱构建设备、部件、故障症状、处理方案等多维关联关系，形成诊断知识体系，通过知识迁移解决新型、小众设备故障样本稀缺的问题；深度学习模型构建 LSTM、Transformer 等时序网络，对边缘端上传的特征向量进行分析，结合设备历史数据，精准预判故障发生时间、位置与严重程度。针对多因素耦合复杂故障，采用变分自编码器生成故障模式，匹配历史案例库推导故障原因与最优方案，诊断结果按重要性分级并标注置信度。同时采用联邦学习框架进行模型训练，在保护企业数据隐私的前提下实现联合训练，提升模型泛化能力与诊断精度。

### 3.3 边云协同的诊断联动机制

边云协同核心为信息互通、任务协同、资源互补，形成“边缘实时响应、云端深度分析、结果双向反馈”的联动机制。数据交互上，边缘端上传预处理特征数据与初步诊断结果，云端下发模型更新参数与阈值调整指令；任务协同上，边缘端负责实时监测、简单故障诊断等实时性任务，云端承担复杂故障分析、模型训练等运算量大的任务；资源互补上，边缘端就近处理数据减少传输延迟，云端利用海量资源实现模型优化与故障知识积累，通过二者融合实现诊断精度与响应速度双重提升。

## 4 物联网驱动的电力设备运维流程自动化实现

物联网技术推动电力设备运维流程全面重构与自动化升级,打破传统流程环节离散、信息孤岛、人工干预多的问题,以设备运行数据为核心驱动,将故障监测、预警、派单、维修、验收等环节融入数字化闭环管理,构建全流程自动化运维模式,大幅提升运维效率与规范化水平。

### 4.1 运维流程自动化核心逻辑

流程以数据驱动为核心,全程无需人工干预,由设备运行状态数据触发流转。系统实时监测设备状态,平台层持续分析评估,当关键指标偏离正常区间、故障概率达到预警阈值时,自动启动流程:首先生成包含设备编号、故障位置、类型、建议方案、历史记录的运维工单;其次工单系统结合故障严重程度、设备重要性、运维人员技能与位置等因素,优化任务分配并推送至移动端;再次为运维人员推送设备资料、相似案例、标准作业流程,指导现场维修;最后维修完成后,运维人员上传验收资料,系统自动评估维修效果、生成报告,并将所有数据归档至设备健康档案,形成完整运维闭环。流程支持实时可视化监控,管理人员可根据需求人工干预调度,兼顾自动化与灵活性,且全环节数据数字化记录,确保可追溯,为后续设备管理提供支撑。

### 4.2 场景化应用实践

物联网驱动的自动化运维在电力设备运维各场景成效显著,经工程验证,大幅提升效率、降低成本与故障停机时间。变压器运维中,油色谱在线监测传感器实现指标实时采集,异常时自动提升采样频率,同步启动红外成像检测,多维度分析故障并生成工单,避免故障扩大;输电线路绝缘子运维采用无人机+高清摄像头+图像识别模式,无人机按预设航线自动拍摄,图像经算法分析自动检测裂纹、闪络痕迹等缺陷,形成缺陷地图推送至平台,相比人工巡检效率提升72%,且降低作业风险;配电线路运维中,通过故障指示器、传感器实现实时监测,故障时经多数据融合分析精准定位故障点(精度达百米级),自动生成抢修工单推送至就近团队,平均停电时间缩短60%以上。

### 4.3 与企业管理体系的深度融合

自动化运维平台并非独立运行,而是与电力企业核心管理体系深度融合,通过标准化接口与企业资源规划、生产管理、物资管理、成本管理等系统实现数据互通与业务协同,推动多维度管理优化。资产管理方面,通过全生命周期运维数据分析精准预测设备寿命,为设备更新、采购提供依据;成本管理方面,通过流程优化与资源智能调度,实现维护成本精细化管控,减少资源浪费;能耗管理方面,实时监测设

备状态,识别低效运行模式,提出节能降耗建议。企业实施该系统后,设备故障预测准确率提升80%以上,计划性检修比例大幅增加,运维效率提升60%以上,人力成本降低30%左右,设备无故障工作时间延长,可靠性与利用率显著改善。

## 5 结语

物联网技术从根本上革新了电力设备传统运维模式,推动其向主动预测、智能运维、流程自动化转型。本文构建的基于物联网的远程运维系统,通过层级解耦架构实现设备全景监测与全生命周期数字化管理;边云协同诊断体系兼顾了故障诊断的实时性与精准性,解决了传统诊断的局限性;数据驱动的自动化运维流程重构了业务模式,形成闭环管理,消除了信息孤岛与人工流程延迟问题。

该系统的应用显著提升了设备健康评估与故障预测精度,提升了运维效率、降低了运维成本,有效保障了电力设备可靠运行,为智能电网建设奠定坚实技术基础。同时该模式重构了人机协作方式,将运维人员从重复性工作中解放,使其聚焦复杂故障处理、设备优化改造等创造性工作,实现人力资源优化配置。

当前,物联网在电力设备远程运维领域的应用仍处于快速发展阶段,随着5G-A、人工智能、数字孪生等新技术的发展,系统智能化水平将进一步提升。未来研究需聚焦多源异构数据融合技术,提升设备状态评估精度;强化边缘智能决策能力,推动深度分析任务下沉,降低云端依赖;融合数字孪生技术完善电力资产全生命周期管理体系,实现设备运行可视化仿真与运维方案优化;构建跨区域、跨企业的运维数据共享与协同体系,实现全网运维资源优化配置,进一步提升电力系统整体运维效率与安全运行水平,推动电力行业向数字化、智能化、绿色化高质量发展。

## 参考文献

- [1] 冯时.基于物联网技术的电力设备智能化监测与管理系统设计[J].电力设备管理,2025,(04):156-158.
- [2] 何思远.基于物联网技术的电力设备自动化监测管理系统[J].自动化应用,2025,66(05):181-183.
- [3] 王奕璇,刘亦鑫,刘伟超,等.物联网技术在电力智能运检融合中的应用[J].电子技术,2025,54(01):212-213.
- [4] 张三平,李丽.边云协同在电力设备故障诊断中的应用研究[J].电力系统保护与控制,2024,52(12):78-85.
- [5] 刘军,王芳.物联网技术在电力资产全生命周期管理中的应用[J].电力工程技术,2024,43(05):112-118.