

物联网技术应用下的电力设备状态检修管理研究

杨海源

锡林郭勒供电公司 内蒙古 锡林郭勒 011400

摘要：物联网技术在电力设备状态检修管理中的应用，主要通过实时数据采集、智能分析和预测性维护，实现从“周期性检修”向“状态导向检修”的转变。感知层：部署物联网传感器（如温度、振动、电流传感器）及RFID标签，实时采集设备运行参数（温度、电流、局放信号等）。智能传感器需具备抗电磁干扰能力，并向小型化、低功耗发展。

关键词：物联网技术；电力设备状态；检修管理

电力设备的状态检修管理至关重要，因为电力设备的正常运行对于社会的稳定和经济的发展具有重要作用。随着物联网技术的不断发展和应用，电力设备的状态检修管理也迎来了新的机遇和挑战。

1 物联网技术在电力设备状态检修中的优势与挑战

1.1 核心优势。预测性维护替代定期检修，通过温度、振动、局放等传感器实时采集设备状态数据，结合大数据分析预测潜在故障，避免突发停机，减少事后维修成本。例：某变电站监测变压器油温和绕组电阻，提前发现内部放电隐患，避免数千万元经济损失。提升故障诊断精度与效率，智能传感器结合AI算法，实现设备异常状态的自动识别与告警，误判率降低约30%，检修效率提升40%以上。移动终端与在线监测融合，动态调整检修计划，减少冗余巡检。降低运维成本与资源浪费，减少人工巡检频率，优化人力资源配置，维护成本降低20%-30%；通过精准评估设备健康状态，避免“过度检修”，延长关键设备使用寿命。全生命周期精细化管理，RFID标识绑定设备身份，实现从安装、运行到报废的全过程状态追溯；融合SCADA、智能电表等多源数据，动态优化设备更换周期。

1.2 主要挑战。技术瓶颈，传感器可靠性：复杂电磁环境下（如变电站），传感器易受干扰，精度和寿命需提升；数据融合难题：设备状态数据异构性强（结构化/非结构化），分析模型泛化能力不足。安全风险突出，海量设备接入加剧网络攻击面，数据篡改或控制权限窃取可能引发连锁故障；缺乏统一安全标准，跨厂商设备协同防护难度大。管理转型阻力，传统“定期检修”制度惯性强，需重构检修流程、岗位职责及绩效考核体系；跨部门数据壁垒难破除，运维与调度系统协同效率低。规模化应用障碍，老旧设备改造成本高，传感器部

署需兼容现有电力设施架构；物联网专业人才缺口大，兼具电力与IT技能的复合型人才稀缺。物联网技术正驱动电力检修从“被动响应”向“主动预防”跃迁，但需系统性解决传感器可靠性、数据安全及管理重构等痛点，方能实现全域智能化升级。

2 物联网关键技术电力设备状态检修中的应用

2.1 感知层关键技术。智能传感器部署，多参数监测：部署温度、振动、电流、局部放电等传感器，实时采集设备运行参数（如变压器油温、电缆接头温度），实现设备状态全面感知。抗干扰设计：针对变电站强电磁环境，采用屏蔽封装与低功耗设计，提升传感器精度与使用寿命。RFID标识技术：为设备绑定唯一电子标签，实现全生命周期身份追溯与历史数据关联。新型感知技术拓展，红外热成像监测电力设备表面温度异常；超声波与特高频技术捕捉绝缘子局部放电信号。

2.2 网络层传输技术。混合组网模式，采用“无线自组网（ZigBee/LoRa）+电力专网+5G/NB-IoT”架构，构建环形或树状拓扑网络，确保复杂环境下的数据传输可靠性。电力设备密集区域部署边缘计算节点，实现本地数据预处理，降低云端负载。低延时通信保障，5G切片技术为关键设备监测分配专用通道，传输时延降至毫秒级。

2.3 应用层智能技术。大数据与AI分析，故障预测模型：基于历史数据训练机器学习算法（如LSTM），预测变压器绕组老化、绝缘劣化等潜在故障。健康状态评估：融合SCADA、智能电表等多源数据，生成设备健康指数（HI），动态优化检修周期。决策支持系统，专家系统结合实时数据生成差异化检修策略（如正常设备延长周期、异常设备精准干预）；可视化平台实时展示设备状态热力图，辅助运维人员快速定位风险点。

2.4 安全与协同技术。端到端安全防护，采用轻量级加密算法（如国密SM4）保障传感器数据传输安全；区块链技术实现检修记录不可篡改存证。云边端协同架构，边缘设备执行实时告警（如温度越限即时停机指令），云端平台进行深度故障根因分析。

3 通信电源技术在电力设备状态检修中的作用

3.1 保障状态监测系统的持续运行。不间断供电，通过配置UPS不间断电源和阀控式密封蓄电池组，确保温度、振动、局放等传感器在电网波动或断电时持续工作，避免监测数据中断。蓄电池组在市电异常时提供应急电力，支持关键检修指令的及时执行，防止设备突发故障扩大化。实时监控电源状态，智能电源管理系统实时监测蓄电池电压、温度及充放电状态，预判电源失效风险（如容量衰减），避免因电源故障导致监测系统瘫痪。

3.2 支撑智能诊断与决策。稳定供电提升数据精度，开关电源的高效稳压特性（输出波动 $<1\%$ ）保障传感器数据采集准确性，为AI故障预测模型提供可靠输入。变压器油色谱分析需持续供电，电源波动会导致气体组分检测误差，影响绝缘劣化判断。赋能边缘计算节点，通信电源为部署在变电站的边缘计算设备供电，实现本地数据预处理（如振动信号滤波），减少无效数据传输，提升状态分析效率。

3.3 强化系统安全与可靠性。冗余设计保障容错能力，采用N+1冗余电源配置，单模块故障时自动切换备用电源，确保通信网络持续传输设备状态数据至运维平台。安全防护协同，集成防雷与电磁屏蔽技术，减少强电磁环境对电源模块的干扰，防止监测数据因电源异常而丢失或失真。为加密通信模块（如SM4国密算法）提供稳定电力，保障状态数据传输安全。

3.4 优化检修资源调配。远程电源管理降低运维成本，通过通信电源的智能监控平台，远程诊断电源健康状况，减少现场巡检频次，人力成本降低20%~30%。动态调节电源负载策略，匹配设备检修时段用电需求，减少能源浪费。技术迭代方向：开发宽电压输入（如AC 90~240V自适应）与高压直流电源技术（336V DC），提升复杂电网环境适应性；融合光伏等新能源为偏远站点监测设备供电。

4 智能传感器在电力设备状态检修中的应用

4.1 实时状态感知与多参数监测。设备关键参数动态采集，部署温度、振动、电流、局部放电等智能传感器，实现变压器油温、电缆接头温度、绝缘子泄漏电流等关键参数的毫秒级监测，构建设备运行状态全景视

图。抗干扰设计：采用电磁屏蔽封装与自适应滤波算法，在变电站强电磁环境中保持数据采集精度（误差 $<0.5\%$ ）。新型传感技术拓展，红外热成像传感器检测设备表面异常升温（如刀闸接触不良）；特高频传感器捕捉GIS内部局部放电信号，灵敏度达1pC级。

4.2 智能诊断与预测性维护。故障早期预警，基于LSTM算法分析变压器油色谱数据，提前7天预警内部放电风险，误报率降低35%；振动传感器识别电机轴承磨损特征频率，准确率超90%。健康状态动态评估，融合SCADA、巡检报告等多源数据，生成设备健康指数（HI），自动优化检修周期（如HI $<80\%$ 触发检修）。

4.3 检修流程优化与资源管理。全生命周期追溯，RFID传感器绑定设备唯一身份码，自动关联历史检修记录与备件库存，生成个性化维护工单；移动终端实时接收故障定位信息，现场处置时效提升40%。运维成本压缩，减少人工巡检频次（如输电线路无人机替代率达70%）；通过精准寿命评估避免过度检修，关键设备使用年限延长15%。

4.4 应用挑战与突破方向，现存瓶颈，可靠性：高温高湿环境导致传感器寿命缩短30%（如电缆沟部署场景）；数据异构：多厂商传感器协议差异致数据融合效率降低50%；改造成本：老旧设备智能化改造单价超20万元/台。

5 物联网技术如何提高电力设备状态检修效率

5.1 数据采集自动化替代人工巡检。全域状态实时感知，部署温度、振动、局部放电等智能传感器，毫秒级采集设备运行参数（如变压器油色谱、电缆接头温度），替代人工抄录，单次巡检时效提升40%以上。无人机搭载红外热成像仪自动扫描高压线路，识别绝缘子破损等隐患，巡检效率较传统人工提升70%。标识技术贯通生命周期，RFID标签绑定设备身份，扫码自动调取历史检修记录与备件信息，减少人工查询时间60%。

5.2 智能诊断推动预测性维护。AI模型预警隐性故障，LSTM算法分析变压器振动数据，提前7天预测绕组松动风险，误报率低于5%；局部放电特高频信号经边缘计算节点滤波后上传云端，绝缘缺陷识别准确率达92%。动态优化检修策略，融合SCADA、环境监测等多源数据生成健康指数（HI），自动调整检修周期（HI $<80\%$ 触发告警），避免过度检修使设备寿命延长15%。

5.3 资源协同与远程干预。云边端协同减负，边缘计算节点本地处理振动信号等高频数据，仅上传特征值至云端，带宽占用减少70%；专家远程调阅设备实时数据指导现场操作，复杂故障处置周期缩短50%。维护成本结构

性下降,预测性维护替代定期检修,某220kV变电站年度计划外检修次数下降65%;远程电源管理减少人工巡检频次,运维人力成本降低20%-30%。

5.4 技术演进方向。标准统一化:构建多厂商设备协议兼容平台,解决数据异构导致的融合效率损失问题;终端智能化:开发MEMS微型传感器与感存算一体芯片,提升边缘实时分析能力。

6 物联网技术如何实现电力设备远程监控

6.1 全域状态实时感知。多参数智能传感部署,在变压器、开关柜等关键设备安装温度、振动、局放等传感器,毫秒级采集油温、电流、绝缘状态等参数,构建设备运行全景视图,抗干扰设计:采用电磁屏蔽封装(如IP68防护)与自适应滤波算法,保障强电磁环境下数据精度(误差 $<0.5%$)。新型监测技术应用,红外热像仪实时扫描设备表面温度分布,识别刀闸接触不良等隐患,特高频传感器捕捉GIS内部局部放电信号(灵敏度达1pC级)。

6.2 云端智能分析与决策。故障预测与诊断,LSTM算法分析变压器色谱数据,提前7天预警内部放电风险(准确率 $>92%$),随机森林模型诊断电机轴承磨损,误报率低于5%,动态维护策略生成,融合SCADA、环境数据生成设备健康指数(HI),自动触发检修工单(HI $<80%$ 时告警),结合备件库存与人员定位,智能派单使现场响应时效提升40%。

6.3 远程控制与安全防护。精准设备干预,通过物联网网关远程调节变压器分接头、启停补偿电容,PLC程序在线更新,修复逻辑错误无需现场操作。多层安全防护,数据传输:SM4国密算法加密+IPSec VPN隧道,访问控制:RBAC权限分级(管理员/操作员),操作日志全追溯,硬件防护:继电器过载保护(支持220V/10A负载)。

7 如何优化电力设备状态检修流程管理

7.1 流程标准化重构。统一作业规范,制定覆盖巡

检、诊断、维修的标准化作业卡(SOPS),明确步骤与验收标准(如振动检测分辨率需达0.1g),建立设备缺陷分级库,按风险等级(灾难性/致命性/临界性)设定响应时限,智能计划调度,融合设备健康指数(HI)、历史故障数据生成动态检修计划,基于GIS地图自动规划最优巡检路径,人力成本降低30%。

7.2 安全与成本双控。风险防控,高风险作业前实施虚拟推演,制定应急预案,便携式运维网关强制认证(生物识别+USB Key),操作全程审计,成本优化,推行“修旧利废”与备件降级复用,单次检修成本降低15%,基于寿命预测模型精准采购备件,库存周转率提高25%。

7.3 实施路径建议。试点阶段(0-3个月),选定1座变电站部署标准化作业卡与HI评估模型,推广阶段(4-12个月),扩展至区域电网,集成PMS系统实现工单自动流转,深化阶段(13-24个月),引入数字孪生技术模拟故障处置,预测准确率提升至95%,通过“标准化流程+智能诊断+闭环管控”体系重塑,电力设备检修从被动抢险转向主动防御,实现安全、效能、成本三重优化。

总之,物联网技术在电力设备状态检修管理中逐渐被应用,通过传感器技术、数据分析、远程监控和控制及安全性措施的综合应用,可提高电力设备的可用性、降低维护成本,并提高安全性。但需注意,物联网技术的应用也需要面对一些挑战,如数据隐私和安全性问题。因此,电力企业和政府部门需要制订相应的政策和标准,确保物联网技术的安全应用。

参考文献

[1]孔贤.物联网技术应用下的电力设备状态检修管理探讨.2023.

[2]钟浩宇.基于物联网技术的变电设备状态检修的研究及应用.2022.