

基于物联网的输电设备状态监测与智能维护技术研究

赵峰印, 张效伟, 高滨

(国网山东省电力公司枣庄供电公司)

【摘要】文章针对我国电力系统输电设备管理需求,提出了一种基于物联网技术的输电设备状态监测与智能维护方法。研究围绕传感器技术、通信技术、数据处理技术等方面展开,构建了包括传感器模块、数据采集与传输模块、数据处理与分析模块以及智能维护决策模块的完整系统架构。通过实际应用案例,验证了该系统在提升电网运行安全性与可靠性、降低设备故障率、优化运维资源分配等方面的显著效果。研究成果为电力行业输电设备管理提供了新思路,推动了电力系统向智能化、安全化方向发展。

【关键词】物联网;输电设备;状态监测;智能维护;技术

中图分类号: TM73

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.020

Research on the Condition Monitoring and Intelligent Maintenance Technology of Transmission Equipment Based on the Internet of Things

ZHAO Feng-yin, ZHANG Xiao-wei, GAO Bin

(State Grid Shandong Electric Power Company, Zaozhuang Power Supply Company)

【Abstract】Aiming at the management needs of power transmission equipment in China's power system, this paper proposes a method for state monitoring and intelligent maintenance of transmission equipment based on Internet of Things technology. The research focuses on sensor technology, communication technology, data processing technology, etc., and builds a complete system architecture including sensor module, data acquisition and transmission module, data processing and analysis module, and intelligent maintenance decision-making module. Through practical application cases, the significant effect of the system in improving the operation safety and reliability of the power grid, reducing the failure rate of equipment, and optimizing the allocation of operation and maintenance resources have been verified. The research results provide new ideas for the management of transmission equipment in the power industry and promote the development of the power system in the direction of intelligence and safety.

【Keywords】internet of things; transmission equipment; condition monitoring; intelligent maintenance; technology

1 引言

随着我国经济的快速发展,电力需求不断攀升,电网规模日益扩大,输电设备在长期运行过程中,受多种因素影响,易出现故障,导致电力供应中断。为保障电网安全,提高输电设备运维水平,开展输电设备状态监测与智能维护技术研究具有重要意义。本文立足于物联网技术,探讨输电设备状态监测与智能维护的方法,深入剖析物联网技术在输电设备状态监测与智能维护领域的应用潜力,探究其在实现设备故障预测、智能决策支持及运维效率提升等方面的关键作用。

2 系统架构

2.1 传感器模块

传感器模块在输电设备监测系统中扮演前端感

知角色,选用PT100监测温度,压电式传感器捕捉振动,霍尔传感器监测电流。传感器分布式安装在关键部件,通过数字滤波和小波变换预处理信号,确保数据质量。物联网技术支撑下,构建星型与总线型网络,采用Zigbee、LoRa通信,保障数据实时稳定传输。传感器节点集成功能,为系统提供实时监测基础。通过精确的温度监测,PT100传感器能够捕捉到设备热应力的细微变化,为评估设备热老化程度提供关键数据^[1]。

2.2 数据采集与传输模块

数据采集与传输模块是输电设备监测系统的关键,采用时钟同步技术确保数据一致性。多参数协同采集策略捕捉全面信息。数据传输利用高效编码和自适应调制技术,保障传输效率和质量。数据安全通过加密和访问控制机制得到强化,PKI认证体

系确保节点和数据合法性。采用自适应调制技术,可根据信道质量动态调整传输参数,显著提高了系统在复杂电磁环境下的通信鲁棒性,进一步降低了因信号衰减或干扰导致的监测数据丢失风险。

2.3 数据处理与分析模块

数据处理与分析模块是监测系统的智慧核心,通过滤波算法清洗数据,多传感器融合技术整合信息,归一化处理确保分析公正。特征提取结合时频分析与高阶统计,关键特征筛选后,运用机器学习算法构建故障诊断与预测模型。模型通过交叉验证和网络搜索优化,保障其在实际应用中的泛化能力和准确度。通过时频分析与高阶统计相结合的特征提取方法,有效揭示了输电设备状态变化的深层次规律,为故障诊断与预测模型提供了更为丰富和敏感的特征向量,从而提升了模型的识别能力和预测精度^[2]。

2.4 智能维护决策模块

智能维护决策模块采用分层模型,包括实时监控、预警分析和维护决策,形成基于监测数据的闭环流程。通过故障风险评估和优先级排序,生成维护策略。辅助工具如专家系统、数据可视化和多目标分析工具,增强决策过程的人性化、直观性和科学性。利用多目标分析工具,综合考虑维护成本、设备可靠性、停机时间等多维因素,实现了维护决策的最优化,进一步提升了输电设备维护活动的经济效益和系统运行效率。

3 物联网技术在输电设备状态监测中的应用

3.1 传感器技术应用

在输电设备状态监测的领域中,传感器技术扮演着至关重要的角色。通过精心部署各类传感器,我们能够实时捕捉到输电设备的温度、湿度、振动、电流、电压等关键参数的微妙变化,从而为状态监测提供精准的数据支持。温度测量公式如式(1)。

$$[R = R_0(1 + \alpha(T - T_0))] \quad (1)$$

式(1)中: R 是在温度 T 下的热电阻值(R_0)是在参考温度 T_0 下的热电阻值, α 是热电阻的温度系数, T 是当前测量到的温度, T_0 是参考温度。这些传感器被分布式地安装在输电线路、塔架、

绝缘子等核心位置,确保了监测的无死角覆盖^[3]。同时,它们具备出色的抗干扰能力,即使在极端恶劣的环境下,也能保持稳定可靠的运行,为输电设备的安全运行保驾护航。

3.2 通信技术应用

在输电设备状态监测的旅程中,通信技术如同桥梁,确保了数据的实时传递与无障碍交流。利用 Zigbee、LoRa 等先进的无线通信技术,我们轻松实现了传感器与监控中心之间的数据传输,让信息流动自如。结合网络编码和自适应调制技术,进一步优化了无线通信链路的传输效率和抗干扰能力,为输电设备状态监测提供了稳定可靠的数据传输保障^[4]。

$$C = B \log_2(M) \quad (2)$$

式(2)中: C 是信号传输速率(比特每秒, bps), B 是信道的带宽(赫兹, Hz), M 是信号的状态数或者说是调制等级。 $\log_2$ 是以2为底的对数。同时,通过精心构建的星型与总线型网络,我们用网络覆盖范围计算公式保证了通信网络的广泛覆盖与稳定运行,不留任何死角。

$$L = \left(\frac{4\pi df}{c} \right)^2 \quad (3)$$

式(3)中: L 是路径损失, d 是传输距离, f 是信号频率, c 是光速在真空中的速度,除此之外,通信模块的低功耗设计,不仅呵护了环境,也延长了传感器的工作寿命,让监测更加持久可靠。

3.3 数据处理技术应用

在输电设备状态监测的世界里,采用数据处理技术对采集而来的数据进行滤波、降噪等精心预处理,如同洗去杂质,让数据质量更加纯净。

$$Y[n] = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} X[n-i] \quad (4)$$

式(4)中: $Y[n]$ 是第 n 个滤波后的数据点, $X[n]$ 是原始数据序列, N 是移动平均窗口的大小, i 是窗口内的索引。然后,通过多传感器数据融合技术,我们缝合了数据的碎片,使之更加完整。运用时频分析、高阶统计等高级工具,我们细致地提取出输电设备运行状态的关键特征,为理解其健康状态提供了深刻的洞察。公式如下:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (5)$$

式(5)中: $X(f)$ 是信号 $x(t)$ 的傅里叶变换,表示

信号的频谱, f 是频率, t 是时间, j 是虚数单位。

4 实际应用案例

4.1 案例背景

为了深入验证基于物联网的输电设备状态监测与智能维护技术的实用性和有效性,选取了某地区220kV 高压输电线路作为研究对象,实施了一套综合性的状态监测与智能维护系统。所选220kV 输电线路位于地形复杂、气候多变的区域,线路全长约为150km,沿途设有多个塔架。由于线路所处环境恶劣,易受自然灾害和人为因素影响,因此对输电线路的实时状态监测和智能维护提出了更高要求。

4.2 监测系统构成

监测系统由分布式传感器网络、数据采集与传输单元、中央处理与分析单元以及用户交互界面四部分组成。传感器网络涵盖了温度、振动、微气象等多种传感器,全面采集输电线路状态数据。数据采集单元利用高精度ADC 转换和无线通信技术,保障数据实时准确传输。中央处理单元采用云计算架构,提高数据处理效率。用户交互界面则采用响应式设计,提升操作便捷性和信息展示效果。此外,监测系统还集成了机器学习算法,以实现输电线路运行状态的智能分析,从而提高故障诊断的准确性和预见性,如图1所示。

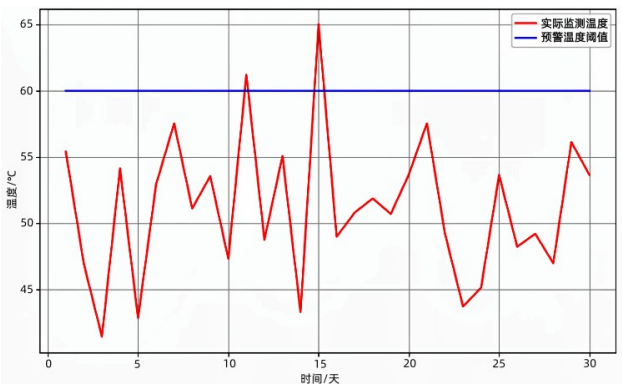


图1 输电线路温度监测数据对比图

4.3 数据分析与处理

在数据预处理阶段,采用了一系列先进的数据处理技术,如自适应滤波算法和卡尔曼滤波,以进一步剔除信号中的随机噪声和系统误差,确保了数据的高信噪比。在此基础上,结合多尺度时间序列分析和小波包分解技术,对输电线路的运行数据进行

精细化的特征提取,从而有效识别出线路的微弱异常波动和早期故障征兆。通过构建基于深度学习框架的异常检测模型,实现了对输电线路潜在故障的智能识别与预警,为维护决策提供了数据支持。

4.4 智能维护

系统通过深度学习算法对设备状态和故障预测数据进行综合分析,实现了维护计划的动态优化与自动编排。在此基础上,运维团队遵循生成的维护方案,采取了一系列前瞻性的维护措施,从而在源头上抑制了故障发生的可能性,显著提升了输电设备的运维管理水平,如表1所示。

表1 智能维护实施效果概览

维护项目	维护内容	预防性维护结果
设备检查	根据状态监测数据定期检查设备	提前发现潜在故障点
故障预测	分析故障趋势,预测潜在故障	成功避免故障发生
计划生成	系统自动生成维护计划	提高维护效率
维护执行	按计划进行预防性维护	降低设备故障率约20%

5 结语

基于物联网的输电设备状态监测与智能维护系统,有效提升了电网运行的安全性与可靠性。系统应用展现了其在设备状态实时监控和故障预测方面的显著效果,为预防性维护提供了科学依据。降低了设备故障率,优化了运维资源分配。物联网技术的融入,为输电设备管理注入了智能化元素,推动了电力行业的技术进步。展望未来,此类技术的深入应用将为电网的智能化发展开辟新的路径,助力电力系统向更高效、更安全的方向发展。

参考文献

[1] 王旭, 王彦旭. 基于大数据分析的输电设备状态监测与维护[J]. 模型世界, 2024 (18): 29-31.
[2] 何燕. 基于物联网的输变电设备状态监测关键技术研究[D]. 湖南: 湖南大学, 2014.
[3] 田艳姿, 马欣蕾. 物联网技术在输变电设备状态监测中的应用[J]. 百科论坛电子杂志, 2019 (2): 409-410.
[4] 李明生, 闭永秀. 基于物联网的智能监控输电作业安全带系统设计与应用研究[J]. 电脑爱好者 (普及版) (电子刊), 2020 (11): 4285-4286.
[5] 程广鹏, 黄梓轩. 输电线路的智能化运行维护策略分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41 (2): 216-217.