

输电线路智能运维平台的构建与关键技术研究

丁木涵 沈燕东 王冰 安燕 刁燕芳

内蒙古电力集团薛家湾供电公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17087

[摘要] 输电线路是电力系统的核心,其运维质量关乎电力供应的稳定与安全。传统人工巡检模式效率低、成本高、风险大,难以适应复杂电网需求。本文聚焦输电线路智能运维平台构建与关键技术,分析运维现状及智能平台价值,明确构建要素。设计“数据采集-处理分析-应用服务”三级架构并实现功能模块,可提升运维智能化水平、降低故障率,还探讨了平台与物联网等融合及自动化发展方向。

[关键词] 输电线路; 智能运维; 物联网; 关键技术

中图分类号: TM755 **文献标识码:** A

Research on the Construction of an Intelligent Operation and Maintenance Platform for Transmission Lines and Key Technologies

Muhan Ding Yandong Shen Bing Wang Yan An Yanfang Diao

Inner Mongolia Power Group Xuejiawan Power Supply Company

[Abstract] Transmission lines are the core of the power system, and their operation and maintenance quality directly affects the stability and safety of power supply. Traditional manual inspection methods suffer from low efficiency, high costs, and significant risks, making it difficult to meet the demands of complex power grids. This paper focuses on the construction of an intelligent operation and maintenance platform for transmission lines and its key technologies, analyzing the current state of operation and maintenance and the value of an intelligent platform, while clarifying the essential elements for its construction. A three-tier architecture of "data collection - processing and analysis - application services" is designed, and functional modules are implemented to enhance the intelligence level of operation and maintenance and reduce failure rates. The integration of the platform with technologies such as the Internet of Things and its future automation development directions are also discussed.

[Key words] Transmission Lines; Intelligent Operation and Maintenance; Internet of Things; Key Technologies

引言

随着我国电力系统向特高压等大规模方向发展,输电线路覆盖更广、所处环境更复杂,山地等特殊区域运维难度大增。传统“人工巡检+定期维护”模式短板明显,人工巡检耗时费力,受天气地形影响大,隐患排查不全、故障响应滞后。电力事故统计显示,约35%电网故障因运维疏漏,损失巨大。在此背景下,构建智能运维平台成必然,其能实时监控、精准定位、主动预判,保障电网运行,助力电力行业数字化转型。

1 输电线路智能运维平台概述

1.1 输电线路运维现状

我国输电线路运维以传统模式为主,问题众多。人员配置上,运维人员数量与线路增长不匹配,人均负责里程增加,巡检质量下降。巡检方式上,人工徒步巡检在复杂地形日均不足10公里,对细微缺陷识别率低;直升机巡检成本高,难常态化。数据管理

分散,形成“数据孤岛”,查询、分析、共享难,无法支撑决策。故障处理多“事后抢修”,缺乏实时监控,排查故障耗时长,影响电力供应可靠性。

1.2 智能运维平台的概念

输电线路智能运维平台是融合多学科技术的综合系统,旨在实现全生命周期智能化管理,构建“感知-传输-决策-执行”闭环运维体系。它打破人工局限,借智能设备全面感知线路状态,实时传输数据,用算法深度分析,生成决策并反馈。其核心特征为智能化、实时化、一体化,能自动诊断故障、生成策略,动态监测参数,整合功能模块,为运维提供高效精准支撑。

1.3 智能运维平台构建的关键要素

构建输电线路智能运维平台需多方面要素保障。数据资源是核心基础,要整合多源数据,确保完整、准确、及时,为决策提供依据。技术支撑体系是动力,涵盖传感器等关键技术,协同实

现数据全流程流转^[1]。硬件设备是载体,包括监测传感器等,需适应不同气候地形。标准规范体系是保障,要统一数据采集等标准,确保互联互通。另外,人才队伍建设也关键,需培养复合型人才,为平台运营维护提供人力支持。

2 智能运维平台关键技术解析

2.1 传感器技术

传感器技术是智能运维平台实现线路状态感知的核心技术,通过在输电线路关键部位部署各类传感器,实时采集线路运行参数及环境信息。根据监测需求不同,传感器类型呈现多样化,覆冰传感器采用称重法与图像识别相结合的方式,精准监测导线覆冰厚度及重量,避免覆冰导致的线路过载断裂;微风振动传感器利用加速度传感原理,捕捉线路的振动频率和幅值,预防长期振动引发的疲劳损伤;温度传感器实时监测导线接头、金具等部位的温度变化,及时发现接触不良等过热隐患;气象传感器则采集线路周边的风速、风向、温度、湿度等环境数据,为线路运行状态评估提供环境参考。这些传感器具备低功耗、抗干扰、耐恶劣环境的特点,可实现数据的连续采集与自动上传,为平台提供丰富的原始数据,是实现线路状态实时监测的前提。

2.2 通信技术

通信技术承担着智能运维平台数据传输的关键任务,需构建稳定、高效的通信网络,确保传感器采集的海量数据及时传输至数据处理中心。考虑到输电线路分布广泛且部分区域地处偏远,单一通信方式难以满足需求,因此采用“多网融合”的通信架构。在城市及周边网络覆盖良好区域,利用4G/5G通信技术,实现数据的高速、实时传输,满足视频监控等大容量数据传输需求;在山区、荒漠等公网信号薄弱区域,部署无线专网,如LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术,该技术具有覆盖范围广、功耗低、成本低的优势,适合小数据量的长期传输;对于线路巡检机器人等移动设备,采用无线局域网技术实现设备与后台的实时通信;同时,利用电力光纤通信网络作为骨干通信通道,保障核心数据传输的安全性和稳定性。多通信技术的融合应用,构建起全方位、无死角的通信网络,确保数据传输的可靠性^[2]。

2.3 数据分析与处理技术

数据分析与处理技术是智能运维平台实现智能化决策的核心,通过对海量原始数据的深度挖掘,提取有价值的信息,为运维工作提供决策支持。平台采用“边缘计算+云计算”的混合计算架构,边缘计算部署于数据采集终端附近,对采集的实时数据进行预处理,如数据清洗、去噪、格式转换等,过滤无效数据,减少数据传输量,提高处理效率;云计算则依托云端大数据平台,对预处理后的海量数据进行深度分析。利用机器学习算法构建线路状态评估模型,通过分析线路运行参数与故障历史数据,实现对线路健康状态的精准评估;采用大数据统计分析方法,挖掘线路运行状态与环境因素的关联规律,为运维策略制定提供依据。此外,通过数据可视化技术,将分析结果以图表、曲线等直观形式呈现,便于运维人员快速掌握线路运行状态,提升决策效率。

2.4 故障定位与诊断技术

故障定位与诊断技术是智能运维平台的核心功能之一,其目标是实现故障的快速识别、精准定位及原因诊断,为故障抢修提供指导,缩短停电时间。该技术通过多源数据融合分析实现故障处理的全流程智能化,在故障识别环节,利用线路电流、电压等电气量数据与视频监控数据的联动分析,结合故障特征库,自动识别故障类型,如短路、接地、断线等;在故障定位环节,采用行波定位技术与GPS定位技术相结合的方式,行波定位技术通过检测故障产生的行波传播时间差计算故障位置,GPS定位技术实现对故障点的地理坐标精准定位,定位误差可控制在100米以内;在故障诊断环节,基于故障类型、故障位置及历史故障数据,利用专家系统和神经网络算法,分析故障产生的原因,如雷击、覆冰、树障等,并自动生成故障处理建议,包括抢修方案、所需物资及人员配置等,为抢修工作提供精准指导,大幅提升故障处理效率。

3 输电线路智能运维平台架构设计与实现

3.1 平台总体架构设计

输电线路智能运维平台采用分层架构设计,分为数据采集层、数据处理与分析层、应用层三个核心层级,各层级职责明确、协同工作,构建起结构清晰、功能完善的平台体系。数据采集层作为平台的“感知器官”,负责各类数据的采集工作,通过部署传感器、巡检机器人、视频监控等设备,实现对输电线路运行状态、设备参数及周边环境数据的全面采集;数据处理与分析层是平台的“大脑中枢”,承担数据传输、存储、处理及分析的任务,通过通信网络接收采集层数据,经边缘计算预处理后传输至云端,利用大数据和人工智能技术进行深度分析,生成线路状态评估报告及运维决策;应用层作为平台的“输出终端”,面向不同用户群体提供多样化的应用服务,包括线路监测、故障处理、运维管理等功能模块,通过Web端、移动端等多种终端形式呈现,满足运维人员的工作需求。该分层架构具有良好的扩展性和兼容性,便于后续功能升级和技术融合。

3.2 数据采集层设计与实现

数据采集层的设计以“全面感知、稳定可靠”为原则,结合输电线路的监测需求,构建多维度的数据采集体系。在设备部署方面,根据线路不同部位的监测重点,针对性部署各类传感器,在导线部署覆冰、温度、微风振动传感器,在绝缘子部署泄漏电流传感器,在线塔部署倾斜传感器,同时在关键路段安装高清视频监控设备和无人机巡检起降点,实现对线路全景及细节的全面监测。数据采集策略采用“定时采集+触发采集”相结合的方式,正常运行时按设定周期采集数据,当监测数据超过阈值或出现异常时,自动触发高频采集,确保异常数据的完整捕捉。采集设备具备本地数据存储功能,在通信中断时可暂存数据,待通信恢复后自动上传,避免数据丢失。通过标准化的数据接口,实现各类采集设备的数据格式统一,为后续数据传输和处理奠定基础^[3]。

3.3 数据处理与分析层实现

数据处理与分析层的实现依托“边缘节点+云端平台”的架构,边缘节点采用嵌入式系统,部署数据预处理算法,对采集到的原始数据进行清洗,剔除因传感器故障导致的异常数据,对缺失数据进行合理补全,将不同格式的数据转换为统一标准格式,完成数据的初步处理。数据传输采用加密传输协议,保障数据在传输过程中的安全性。云端平台基于分布式存储技术,构建大容量数据存储系统,实现对历史数据和实时数据的分类存储,支持数据的快速查询和调用。在数据分析方面,搭建机器学习模型库,包含线路状态评估模型、故障预测模型等,通过离线训练和在线更新相结合的方式优化模型性能。利用大数据分析引擎,对线路运行数据进行多维度分析,如趋势分析、关联分析等,生成线路健康指数和运维建议,为应用层提供数据支撑。

3.4 应用层功能实现

应用层的功能实现以“满足用户需求、提升运维效率”为核心,设计多个功能模块,覆盖输电线路运维全流程。线路实时监测模块通过数据可视化界面,实时展示线路各部位的运行参数、环境数据及视频画面,当数据超过阈值时自动发出声光报警,提醒运维人员关注;故障处理模块集成故障识别、定位、诊断功能,故障发生后自动推送故障信息、位置坐标及处理建议至运维人员移动端,同时跟踪抢修进度,实现故障处理的全流程管控;运维管理模块具备巡检计划制定、任务分配、结果归档等功能,自动生成巡检报告,实现运维工作的标准化管理;设备管理模块记录各类监测设备的型号、安装位置、运行状态等信息,实现设备全生命周期管理,提醒设备检修和更换。应用层支持多终端访问,运维人员可通过电脑Web端进行数据分析和处理,通过移动端实时接收报警信息和处理任务,提升工作灵活性。

4 智能运维平台发展趋势

4.1 与物联网、区块链等技术融合

未来输电线路智能运维平台将加速与物联网、区块链等新兴技术的深度融合,拓展平台功能边界。物联网技术的进一步应用将实现更全面的设备互联,除传统监测设备外,运维工具、抢修车辆等都将接入平台,通过物联网终端实现设备状态的实时感知和远程控制,构建“万物互联”的运维生态。区块链技术的融入将为运维数据提供不可篡改的安全保障,运维数据从采集到应用的全流程信息将记录于区块链,确保数据的真实性和可

追溯性,为故障责任认定、运维成果评估提供可靠依据^[4]。同时,区块链的智能合约功能可实现运维任务的自动触发和执行,如当设备达到检修周期时,自动生成检修任务并分配给相关人员,提升运维流程的自动化水平。多技术融合将推动平台向更安全、高效、智能的方向发展。

4.2 智能化和自动化程度提升

智能化和自动化程度的持续提升是智能运维平台的核心发展方向。在智能化方面,人工智能算法将实现更深度的应用,基于深度学习的图像识别技术可精准识别线路绝缘子破损、金具锈蚀等细微缺陷,识别准确率将提升至95%以上;强化学习算法将用于运维策略的自主优化,平台可根据线路运行状态、环境变化及历史运维数据,自主调整巡检计划和维护策略,实现“按需运维”。在自动化方面,巡检机器人和无人机将实现全自主巡检,机器人具备自主避障、跨档行走能力,无人机可按预设航线自动完成巡检任务并上传数据,无需人工干预;故障抢修环节将引入自动化设备,如自动紧线装置、智能除冰机器人等,实现故障的自动处理,大幅减少人工参与,降低运维风险。智能化与自动化的结合将推动运维模式从“智能辅助”向“自主运维”转变。

5 结束语

输电线路智能运维平台构建是电力行业数字化转型重要举措,破解了传统运维诸多难题,有力支撑电网安全稳定运行。本文系统研究平台构建与关键技术,明确核心架构、功能模块,解析传感器等技术应用机制,实现全流程智能化。研究表明,其能提升运维效率、降低成本。但平台发展存在技术融合不足、自主决策能力待提升等问题,未来要加强多学科融合研究,推动平台向全自主运维发展。

[参考文献]

- [1]刘洪伟.计算机监控系统在超高压输电线路运维中的应用[J].信息与电脑(理论版),2024,36(22):40-42.
- [2]魏楠,安春香,田莉.超高压输电线路优化设计与施工技术[J].电子元器件与信息技术,2024,8(11):184-186.
- [3]牟长斌.电力工程输电线路施工技术管理策略分析[J].中国设备工程,2021(22):223-225.
- [4]覃宏坚.输电线路智能带电检修关键技术分析[J].大科技,2023(34):64-66.