

电力工程中输电线路状态智能运维监测系统应用

陈晓忠

国网山西省电力公司大同供电分公司, 山西 大同 037000

DOI:10.61369/EPTSM.2025110019

摘 要： 输电线路作为电力系统的重要组成部分，其运行状态直接影响电网的安全与稳定。智能运维监测系统融合传感技术、通信技术与数据分析手段，实现对输电线路运行状态的实时监控与预警，提高故障响应效率，降低维护成本。该系统在电气工程中的广泛应用，推动了运维管理的数字化和智能化进程，也为电网安全运行提供了强有力的技术支撑。本文围绕该系统的构建与应用效果展开探讨。

关 键 词： 输电线路；智能运维；状态监测；电气工程；系统应用

Application of Intelligent Operation and Maintenance Monitoring System for Transmission Line Status in Electrical Engineering

Chen Xiaozhong

State Grid Shanxi Electric Power Company Datong Power Supply Branch, Datong, Shanxi 037000

Abstract： As a critical component of power systems, transmission lines directly impact grid safety and stability through their operational status. The intelligent operation and maintenance monitoring system integrates sensor technology, communication technology, and data analysis methods to enable real-time monitoring and early warning of transmission line conditions, thereby improving fault response efficiency and reducing maintenance costs. The widespread application of this system in electrical engineering has accelerated the digitalization and intelligentization of operation and maintenance management, while providing robust technical support for grid safety. This paper explores the system's construction and application outcomes.

Keywords： transmission line; intelligent operation and maintenance; condition monitoring; electrical engineering; system application

引言

在电气工程快速发展的背景下，输电线路作为电力系统的关键组成部分，其运行状态直接关系到整个电网的安全与稳定。传统的运维模式已难以满足对高可靠性、智能化和实时响应的现代化要求。借助智能监测系统，将物联网、边缘计算与人工智能等先进技术引入输电线路运维，实现对线路状态的精确感知与智能分析，成为当前电力行业发展的重要方向。

一、电力工程中输电线路运维面临的挑战与需求

在电气工程领域中，输电线路作为电力系统的重要组成部分，承担着电能在不同区域之间稳定、高效输送的核心任务。输电线路通常分布在地形复杂、气候多变的地区，运行环境极为恶劣，极易受到雷击、覆冰、强风、设备老化及外力破坏等因素的影响。这些自然及人为因素带来的隐患增加了线路运行的不确定性，严重威胁电网的安全与稳定。传统人工巡检方式由于受限于人力资源和地理条件，其作业效率普遍偏低，尤其在地形复杂或气候恶劣的输电线路沿线，巡检周期长、响应滞后。覆盖范围有

限使得许多潜在隐患难以及时发现，容易导致线路故障风险积累。人工识别能力存在主观性，漏检率高，无法满足对关键设备状态精准感知和高频次监测的现实要求，从而制约了输电线路高可靠性与高实时性运维目标的实现。

随着电网规模不断扩大、复杂程度日益提升，运维工作面临着前所未有的挑战。输电线路状态信息的实时获取、精准评估和快速响应成为运维管理的核心诉求。传统的周期性检修机制难以有效识别潜在故障，容易出现“过度维护”或“维护滞后”的问题，既增加了人力与运维成本，也埋下了设备突发故障的风险。在电气工程全面迈向数字化、信息化的转型进程中，传统的运维

方式已难以适应复杂多变的电网运行环境。为提高整体运行效率与安全保障能力，电网企业对运维系统提出了更高层次的智能化、自动化技术要求。部署先进的状态监测设备和引入人工智能分析手段，力求实现对输电线路运行状态的连续采集、动态识别和故障趋势预测，从而推进运维管理从“经验驱动”向“数据驱动”转变，实现精细化、可视化的智能运维管理体系。

智能运维监测系统应运而生，其融合了物联网技术、边缘计算、状态感知、数据建模和人工智能等核心技术，成为解决上述问题的重要路径。在输电线路沿线布设智能传感器与监测终端，系统可实现对杆塔倾斜、导线温度、导线舞动、覆冰厚度等关键状态量的实时采集，结合高频次数据上传与智能算法分析，为运维人员提供状态预警、趋势分析与故障诊断建议。这种基于状态的运维模式依托实时监测与智能分析，能够动态掌握输电线路的运行状况，提前发现潜在故障隐患，大幅提升了运维工作的效率与响应速度。

二、智能运维监测系统的关键技术构成

智能运维监测系统在输电线路状态管理中的广泛应用，依赖于多个关键技术的深度融合与协同运行。核心在于感知层的构建与优化，布设多类型智能传感器，实现对输电线路运行状态的实时获取。这些传感器涵盖导线温度传感器、张力监测器、杆塔倾角仪、覆冰检测器以及微气象观测设备等，具备高灵敏度和强环境适应能力。借助这些前端设备，系统能够精准采集电气参数与环境参数，并为后续分析提供高质量数据支撑。传感器节点的低功耗设计与长距离无线传输能力，保障了其在野外复杂环境下的稳定运行。

数据传输与边缘计算技术构成了智能监测系统的中枢部分。在远离变电站或主控中心的输电线路区域，部署边缘计算设备可实现现场数据的初步处理、筛选与本地分析，大幅减少冗余信息传输，降低通信带宽压力。这些边缘节点具备数据压缩、特征提取与异常识别等功能，还可经过智能判断触发报警信号，提升故障响应的即时性。系统经过4G/5G、LoRa、微波通信等多种通信手段，建立起稳定可靠的多层次数据通道，确保监测信息能够在复杂地理环境中高效回传，实现全时段、广覆盖的状态信息传输。

在数据分析与决策支持层面，系统充分引入人工智能与大数据建模技术，建立线路状态评估模型与健康指数评价体系。对历史运维数据、环境参数与实时监测数据的融合分析，系统可实现输电线路运行状态的趋势预测与隐患研判。机器学习算法在故障特征识别与模式识别中的应用，有效提高了设备异常识别的准确率，支持决策中心对运维策略进行动态调整。结合GIS可视化技术，监测结果可直观呈现在地图平台上，便于运维人员进行空间判断与快速定位。这些关键技术共同构成了智能运维监测系统的技术支柱，支撑其在电气工程中高效、可靠运行。

三、输电线路状态监测系统的设计与实现路径

输电线路状态监测系统的设计过程需要紧密围绕实际运行需

求展开，以构建一个高效、稳定、可扩展的智能监测平台。在系统架构设计上，通常采用三层结构，包括感知层、网络层与应用层。感知层负责对输电线路关键状态参数进行实时采集，需根据不同地理环境与气候条件选择合适的传感设备，如光纤光栅传感器、无线MEMS传感器、高精度加速度计等，确保数据获取的准确性与稳定性。监测对象涵盖导线温升、舞动幅度、塔体倾斜、接地电阻变化、绝缘子污闪等运行关键指标，结合图像识别与视频监控技术对外破行为进行辅助监控，增强系统的全面性与场景适应能力。

系统实现过程中，数据传输路径的构建至关重要。考虑到输电线路往往穿越山地、林区等复杂地形，通信方式需兼具高带宽与抗干扰能力。^[1]构建多跳无线通信网络，结合4G/5G、北斗卫星定位、LoRa自组网等技术，确保监测数据在复杂环境中稳定传输。边缘计算设备部署在节点处，对原始监测数据进行预处理和压缩，减少中心处理系统的负担，提升故障预警的即时性与准确性。网络层中的数据汇聚网关具备设备识别、协议转换与数据缓存功能，保障数据传输过程中的安全性与完整性，为系统高效运行奠定基础。^[2]

在应用层，系统需配备数据管理平台与决策分析模块，实现从数据采集到状态评估、故障预判、风险告警的闭环管理。平台支持多维度数据展示与趋势分析，结合人工智能算法实现对输电线路运行状态的分类诊断与健康指数评估。系统应具备自学习能力，能在长期运行中优化模型参数，提高预测的准确性和稳定性。与电网调度系统对接，实现信息联动与运维资源的智能调配。系统在设计上需注重模块化与可扩展性，以适应未来智能电网技术的演进和新型监测需求的不断增加。^[3-5]

四、智能监测系统在实际输电运维中的应用成效分析

智能监测系统在输电线路运维中的实际应用，显著提升了电网运行的安全性与管理效率。在传统模式下，输电线路维护依赖人工巡检，巡检周期长、覆盖面有限，且存在人为主观判断误差，无法满足现代电力系统对实时性和精准性的需求。^[6]引入智能监测系统后，部署高密度传感器阵列和远程视频监控终端，实现了对输电线路运行状态的全天候、无间断监控。系统能够自动采集并分析导线温度、舞动频率、杆塔倾斜、覆冰厚度等关键参数，一旦监测值异常，立即经过告警机制通知运维人员进行快速响应，极大缩短了故障识别与处理时间，有效防止了设备因隐患积累而导致的突发故障和大面积停电事故。^[7]

在运维效率方面，智能监测系统经过边缘计算与数据预处理技术，将海量前端数据进行有效筛选与分类，实现关键事件的优先处理与动态推送。大数据平台对采集到的信息进行深度学习建模与趋势分析，辅助运维人员做出科学决策。以某山区输电线路为例，系统启用后，设备故障平均发现时间由过去的数小时缩短至十分钟以内，设备抢修响应时间减少了40%以上。精细化管理与基于状态的维护策略，系统显著减少了无效检修与重复性作业，提升了设备运行周期的可预测性与稳定性，增强了运维工作

的针对性与科学性。

在经济效益和综合管理成效方面，智能监测系统的推广应用有效降低了运维人力成本和物资投入。系统运行初期虽涉及设备部署和平台建设费用，但长期运行过程中所带来的维护资源优化、检修计划合理化与停电次数减少，远远抵消了前期投入。历史数据的积累与分析，系统逐步具备对季节性风险、区域性故障特点的预测能力，为电力企业构建起基于数据驱动的全生命周期资产管理体系。智能监测系统的应用推动输电线路由“被动响应”向“主动预防”转变，也为电气工程智能化升级提供了切实可行的技术路径与管理模式，体现出明显的实践价值与推广潜力。^[8]

五、电气工程智能运维系统的优化方向与未来趋势

电力工程中智能运维系统在实际应用中展现出显著成效，但在持续发展的背景下仍需在技术性能与系统集成方面不断优化。当前系统存在数据融合不充分、预警精准度有限、模型适应性弱等问题，难以完全满足复杂工况下的输电线路管理需求。为提升整体运行效率与系统智能化水平，未来需进一步加强多源异构数据的融合与处理能力，将结构化数据与非结构化数据有机统一，构建多维度数据资源库。^[9]在系统感知层面，引入更高精度的传感设备与智能终端，实现更多物理量的全面采集与深度感知，为状态评估与决策提供更全面的数据支撑。

在智能算法与分析模型方面，深度学习、强化学习和图神经

网络等人工智能技术将成为智能运维系统演进的重要方向。构建具备自适应能力的分析模型，使系统能够根据不同地理环境、气候条件和运行历史进行动态调整，提高状态诊断与故障预测的准确性。数字孪生技术的引入将重构电力设备的虚拟映射系统，实现输电线路状态在虚拟空间中的仿真建模与实时交互，推动从“可视化监控”向“智能预测”升级。^[10]

未来趋势还将聚焦于智能运维系统与电网调控系统的深度融合，构建以信息驱动、智能决策为核心的协同管理体系。融合云计算、区块链与人工智能平台，建立透明、安全、高效的运维数据共享机制，提升多部门协同处理能力。在运维管理模式上，将逐步向无人值守、自动巡检和自主维护方向发展，实现输电线路全生命周期的智能管控。政策层面和行业标准也将持续推动系统的标准化与模块化建设，促进技术的广泛推广与产业协同。

六、结语

本文围绕电力工程中输电线路状态智能运维监测系统的应用展开系统性研究，从运维现状与挑战、关键技术构成、系统设计路径、实际应用成效到未来发展方向进行了深入分析。研究表明，智能运维监测系统提升了输电线路运行的安全性与维护效率，也为电力系统的智能化转型提供了坚实支撑。随着相关技术的不断演进，该系统将在保障电网稳定运行与推动能源行业高质量发展方面发挥更大作用。

参考文献

[1] 刘志强, 陈伟. 输电线路智能监测技术研究与应用 [J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(18): 112–118.
[2] 李明, 周建华. 输电线路状态监测系统的设计与实现 [J]. 高压技术, 2020, 46(3): 967–973.
[3] 王建国, 赵宏伟. 智能运维技术在电气工程中的应用探讨 [J]. 电力建设, 2022, 43(2): 85–91.
[4] 杨斌, 杜晓明. 面向智能电网的输电线路状态感知技术研究 [J]. 电力系统自动化, 2019, 43(10): 73–79.
[5] 韩磊, 林志强. 基于大数据的输电线路智能运维平台构建 [J]. 中国电力, 2023, 56(4): 45–52.
[6] 周洋, 刘浩. 输电线路状态监测技术与智能化发展趋势 [J]. 电力系统及设备, 2021, 37(5): 33–39.
[7] 陈凯, 魏东. 输电线路智能运维系统架构与实现分析 [J]. 电网技术, 2020, 44(1): 119–126.
[8] 马宁, 郑斌. 电力工程中状态感知技术的研究与应用 [J]. 电力自动化设备, 2022, 42(9): 135–141.
[9] 胡鹏, 邓林. 基于边缘计算的输电线路智能监测系统研究 [J]. 电力信息与通信技术, 2021, 19(6): 56–62.
[10] 江涛, 黄飞. 输电线路智能运维关键技术研究进展 [J]. 南方电网技术, 2022, 16(2): 75–81.