

电力输电线路智能运维技术应用

于博文

河南送变电建设有限公司 河南 郑州 450000

摘要：电力输电线路作为电力系统的关键环节，其运维水平直接关系供电稳定性。本文梳理了运维技术从人工巡检、故障录波、自动化监测到智能运维的发展历程。剖析了在线监测、无人机巡检、大数据分析及人工智能四大关键技术体系，阐述各技术的架构与核心功能。结合实际应用场景，说明了智能监测、数据传输处理、诊断预警及智能巡检技术的具体应用。研究表明，智能运维技术实现了从被动响应到主动预防的转变，显著提升了输电线路运行可靠性与运维效率。

关键词：电力输电线路；智能运维技术；具体应用

引言：传统运维模式存在效率低、隐患发现滞后等问题，难以满足现代电力需求。随着信息技术发展，智能运维成为提升线路运维质量的必然趋势。本文基于电力输电线路运维技术的演进历程，深入分析智能运维关键技术的构成与特点，结合具体应用场景探讨技术实践路径，旨在明晰智能运维技术的应用价值，为推动输电线路运维模式革新与技术升级提供理论参考。

1 电力输电线路运维技术发展历程

在电力系统发展进程中，输电线路运维技术持续革新，从传统模式逐步迈向智能化，为电力可靠供应提供了坚实保障。早期运维完全依赖人工巡检模式，运维人员依靠肉眼观察与简单工具定期沿线路排查隐患。上世纪中期，故障录波技术被引入运维体系。该技术可记录故障瞬间的电压、电流波形，为故障分析提供关键数据支撑，帮助运维人员判断故障类型与原因，较单纯人工巡检有明显进步，但仍无法实现实时监测。上世纪末，计算机与通信技术的兴起推动运维进入自动化监测萌芽阶段。传感器、数据采集设备与远程通信技术实现融合，可实时采集线路运行数据并传输至监控中心，初步具备故障检测功能。步入21世纪后，智能运维技术迎来蓬勃发展。在线监测技术通过各类传感器实时感知线路温度、应力、弧垂等参数，借助数据分析发现潜在隐患；无人机巡检搭载专业设备实现高效全方位巡检，覆盖人工难以抵达区域；大数据与人工智能技术深度应用，通过挖掘海量数据实现故障预测与智能决策，将被动的运维转变为主动预防，大幅提升了输电线路运行的可靠性与稳定性^[1]。

2 电力输电线路智能运维关键技术

2.1 在线监测技术体系

在线监测技术通过全域感知网络实现线路状态实时

掌握，以多类型传感器为感知终端。温度传感模块采用光纤光栅或红外原理，捕捉导线接头、绝缘子等关键部位温度变化；力学传感设备通过应变片或激光测距，监测导线应力、弧垂及杆塔倾斜角度；环境监测单元集成风速、湿度、覆冰厚度等气象参数采集。

数据传输层以4G/5G专网为核心，结合LoRa等低功耗广域网实现分层传输，重要监测点用光纤通信保障稳定。边缘计算节点对原始数据进行降噪、滤波和压缩预处理，减少资源占用。监测终端采用太阳能与蓄电池组合供电，配合最大功率点跟踪技术提升效率，设备防护达IP65及以上等级，具备抗电磁干扰、耐高低温特性。

2.2 无人机巡检技术架构

无人机巡检技术架构由飞行载体、任务载荷和控制系统构成。飞行载体分多旋翼与固定翼，多旋翼适用于精细化巡检，固定翼适合大范围巡检，搭载高精度GPS/北斗定位与惯导系统，实现厘米级定位和稳定飞行控制。

任务载荷集成多种检测设备，高清光学相机配高分辨率CMOS传感器与电动变焦镜头；红外热像仪通过红外辐射检测实现温度分布成像；激光雷达构建线路三维点云模型。载荷稳定平台采用三轴机械防抖技术，确保复杂气流下数据稳定。地面控制系统含飞行规划、实时监控和数据处理功能，支持自动路径生成与断点续飞。

2.3 大数据分析技术平台

大数据分析平台基于分布式计算架构，数据存储层采用分布式文件系统与关系型数据库混合模式。时序数据库优化时间序列数据存储，支持高并发写入与快速查询；分布式数据库通过数据分片实现海量历史数据高效存储。

数据处理层依托分布式框架实现大规模数据并行处理，ETL工具负责数据抽取、清洗与转换；流处理引擎实

时检测异常；批处理系统开展历史数据离线分析。数据融合技术消除数据孤岛，实现监测、气象、地理数据综合利用。数据管理模块含安全、质量控制和生命周期管理功能，保障平台稳定运行与数据共享。

2.4 人工智能应用技术体系

人工智能技术推动运维向预测型转变，机器学习算法广泛应用于设备状态评估。监督学习用标注样本训练缺陷识别模型；无监督学习通过聚类分析发现异常模式；特征工程提升模型识别能力。

深度学习提升复杂场景分析精度，卷积神经网络模型自动提取巡检影像特征；目标检测算法构建多尺度特征融合网络提升缺陷检测准确率；语义分割实现线路部件与背景像素级分割。智能决策基于知识图谱构建运维知识库，规则推理引擎实现常规任务自动决策，案例推理为复杂故障提供参考，强化学习优化资源调度，模型通过在线学习动态更新参数^[2]。

3 智能运维技术在电力输电线路中的具体应用

3.1 智能监测技术的应用

在电力输电线路智能运维体系中，智能监测技术通过多样化的监测手段，对线路运行状态参数进行全方位、实时性采集，具体应用如下：（1）各类传感器在输电线路的不同部位广泛部署。在导线处，温度传感器基于热电阻或热电偶原理，时刻监测导线温度变化，导线温度与输电负荷密切相关，温度异常升高可能预示线路过载等问题。在绝缘子上，湿度传感器利用电容式或电阻式感应元件，对绝缘子表面湿度进行精准测量，湿度异常增加会降低绝缘子绝缘性能，增加闪络风险。杆塔和金具部分安装振动传感器，通过压电效应或磁电效应，捕捉导线微风振动、杆塔摇摆等机械运动参数，振动参数超出正常范围表明杆塔或金具可能存在松动等隐患。电流电压传感器基于电磁感应或霍尔效应原理，采用接触式或非接触式测量方式，对线路载流量、电压幅值等关键电气参数进行实时监测，这些参数的稳定直接反映线路电气运行状况。（2）图像识别技术大量应用于线路缺陷检测。图像采集设备获取线路高清图像后，先进行预处理，去除噪声、增强图像质量并校正畸变。随后通过边缘检测、纹理分析、形态学处理等特征提取算法，从图像中分离出绝缘子、导线、杆塔等关键部件。最后利用卷积神经网络等分类模型对提取的特征进行分析，精准识别绝缘子破损、导线断股、异物悬挂等典型缺陷。（3）局部放电监测技术在保障设备绝缘性能方面发挥重要作用。当输电设备内部存在绝缘缺陷时，缺陷处会发生局部电场集中，导致局部气体电离或绝缘介质

击穿，产生脉冲电流信号等物理现象。局部放电监测系统通过安装在设备外壳或线路上的脉冲电流传感器、超声波传感器等，采集放电信号的幅值、频次、相位等参数。

3.2 数据传输与处理技术的应用

数据传输与处理技术肩负着将监测数据高效传输并转化为有效信息的重任，具体应用如下：（1）在数据传输方面，不同通信网络技术因自身特点适用于不同场景。4G/5G通信技术依托蜂窝网络架构，具有高带宽、低时延特性，在大容量图像、视频数据的实时传输场景中表现出色，如无人机巡检时大量高清图像和视频的及时回传。NB-IoT采用窄带调制技术，深度覆盖和低功耗的优势特别适合海量传感器数据的长周期传输，满足输电线路广泛分布区域中偏远地区传感器长期稳定传输数据的需求，同时降低设备能耗。LoRa基于扩频通信技术，具备远距离、抗干扰能力，在偏远地区小规模传感器网络的数据传输中优势明显，如山区等公网信号难以覆盖区域的传感器数据可靠传输。光纤通信凭借光信号传输原理，拥有带宽大、损耗低、抗电磁干扰强的特点，常作为骨干传输网络用于汇聚各监测点数据，将分散监测点的大量数据稳定传输至数据处理中心，确保大容量数据传输可靠性。（2）在数据处理与分析环节，根据数据类型选择合适的存储架构。结构化的传感器数据具有规则结构和便于查询的特点，多采用关系型数据库存储以实现高效查询。非结构化的图像视频数据量大、格式多样，通常通过分布式文件系统进行大容量存储。同时结合时序数据库优化时间序列数据的存储与检索效率，确保数据存储的合理性与高效性。数据清洗环节至关重要，通过基于统计方法或机器学习算法的异常值检测识别并剔除异常点；采用插值法或模型预测法对缺失值进行填补，保证数据完整性；利用归一化或标准化处理消除数据量纲等差异。分析环节中，数据挖掘技术通过关联规则、聚类分析等方法挖掘数据间潜在关系，如探寻导线温度与负荷电流、环境温度之间的关联模式，为后续分析提供基础。机器学习算法通过构建预测模型实现智能化分析，决策树算法基于特征属性的分层划分实现故障类型分类，神经网络通过多层非线性映射拟合复杂数据关系，实现故障概率预测或状态评估，为线路运行状态评估提供量化分析结果，为运维决策提供有力支持^[3]。

3.3 智能诊断与预警技术的应用

智能诊断与预警技术通过对监测数据的深度剖析，达成故障精准识别与风险提前预判的目标，其应用如下：（1）故障诊断模型作为诊断技术的关键支撑，主要分为物理模型与数据驱动模型两类。物理模型以输电线

路的电气、机械特性为基础,建立相应的数学方程。例如分析覆冰厚度与杆塔受力的关系时,可依据导线力学方程进行理论计算;推导短路故障的特征参数时,可借助电路理论。数据驱动模型依靠大量的历史数据构建输入与输出的映射关系。支持向量机通过寻找最优分类超平面实现故障类型的线性或非线性划分,深度学习模型通过多层神经网络自动提取数据深层特征,在处理高维度、非线性的复杂数据方面具有显著优势,适用于复杂场景下的故障诊断。(2) 预警系统的构建。系统首先通过数据接口收集监测数据与诊断结果,并进行融合处理。之后基于历史故障数据与理论分析,设定多维度预警阈值,涵盖电气参数阈值、机械参数阈值、环境参数阈值等。根据阈值的突破程度,将预警级别划分为一般预警、较重预警、严重预警三级,不同级别对应不同的响应优先级。预警信息发布采用多通道技术架构,通过本地声光报警及时引起现场人员注意;远程平台推送使相关管理人员第一时间获取信息;移动端通知方便运维人员随时随地接收预警。

3.4 智能巡检技术的应用

以下智能巡检技术的应用,借助自动化设备替代人工进行线路巡检工作,极大地提升了巡检效率与覆盖范围。(1) 无人机巡检技术凭借飞行器平台与任务载荷实现空中巡检。在飞行控制方面,通过全球定位系统(GPS)、惯性测量单元(IMU)实现精准定位与姿态控制,结合地面站指令,能够完成自主起飞、巡航、降落等一系列操作。任务规划技术基于线路GIS地图,运用路径优化算法生成最优巡检航线,确保巡检过程无死角,同时避开障碍物与禁飞区域。在搭载设备方面,可见光相机通过高分辨率光学镜头清晰捕捉线路外观细节;红外热像仪基于红外辐射原理,将物体温度分布转化为热像图,可检测出设备发热异常等问题;激光雷达通过发

射激光束并接收反射信号,构建线路三维点云模型,实现导线弧垂、杆塔变形等参数的精确测量。(2) 机器人巡检技术专注于地面与线路本体的精细化巡检。地面机器人采用轮式或履带式行走机构,能够适应山区、丘陵等复杂地形。其运动控制系统通过多传感器融合实现自主避障与路径规划,确保在复杂环境中顺利前行。爬线机器人通过磁吸式或轮式夹持机构附着于导线表面,沿线路移动完成巡检任务,其驱动系统需具备足够动力以克服导线坡度与摩擦力的影响。为适应不同环境,机器人采用模块化设计,可通过更换防护组件提升防尘、防水、抗寒性能。在复杂任务执行方面,搭载的高清相机、超声波传感器等设备可实现近距离缺陷检测,机械臂组件可完成简单的异物清除操作,部分机器人还集成了环境传感器,同步采集巡检区域的温湿度、风速等环境参数,为线路运行环境评估提供补充数据,使巡检工作更加全面、深入^[4]。

结束语:电力输电线路智能运维技术的发展突破了传统运维的局限,实现了线路状态感知、数据分析、故障诊断与巡检作业的智能化升级。通过关键技术的融合应用,有效提升了线路运行可靠性与运维效率,降低了人工劳动强度。未来需进一步优化技术体系,强化复杂环境适应性与数据融合深度。

参考文献

- [1]韩惠丞,王笑天,郭靖,等.电力输电线路智能运维技术应用[J].光源与照明,2025(2):85-87.
- [2]张丰言.人工智能技术在电力输电线路安全运行中的应用研究[J].科技资讯,2024,22(24):65-67.
- [3]高蕾.基于无线通信的输电线路智能运维技术研究[J].通信电源技术,2024,41(13):215-217.
- [4]陈明耀,黄锦标,姜校观.输电线路工程中的智能化技术应用[J].集成电路应用,2023,40(10):226-227.