

输电线路的智能化运行维护技术探究

李三成¹ 张建生²

1. 国网新疆电力有限公司吐鲁番供电公司；2. 国网新疆电力有限公司喀什供电公司

DOI:10.32629/jpm.v7i8.9027

[摘要] 随着我国电网覆盖范围持续扩大，输电线路逐步向复杂地形、极端气候区域延伸，传统依赖人工徒步巡检的运维模式已难以适配当前大规模、高可靠性的电网运行要求。传统运维方式不仅人力投入成本高、巡检覆盖盲区多，且故障隐患排查滞后，难以实现对线路运行状态的全时段精准感知，直接影响电力供应的稳定性。将智能化技术深度嵌入输电线路运维全流程，可有效补齐传统运维的能力短板。本文围绕线路复杂运行场景下的安全保障需求，系统梳理卫星通信、在线状态监测、无人机巡检、机器人作业等典型智能化运维技术的应用逻辑，明确不同技术的适配场景，为输电线路运维体系的智能化升级提供可落地的参考路径。

[关键词] 输电线路；智能化技术；维护技术

Exploration of Intelligent Operation and Maintenance Technologies for Transmission Lines

Li Sancheng¹ Zhang Jiansheng²

1. Turpan Power Supply Company, State Grid Xinjiang Electric Power Company;

2. Kashgar Power Supply Company, State Grid Xinjiang Electric Power Company.

[Abstract] As China's power grid coverage continues to expand, transmission lines are increasingly extending into areas with complex topography and extreme climatic conditions; the traditional operation and maintenance model, which relies primarily on manual foot inspections, is no longer adequate to meet the current requirements for large-scale, high-reliability power grid operations. Traditional maintenance approaches not only incur high labor costs and leave numerous blind spots in inspection coverage but also suffer from delayed identification of potential fault risks, making it difficult to achieve precise, round-the-clock monitoring of line operating conditions—thereby directly impacting the stability of power supply. Deeply integrating intelligent technologies into the entire lifecycle of transmission line operation and maintenance can effectively address the limitations of traditional maintenance practices. This paper focuses on the safety assurance requirements arising from complex line operating scenarios, systematically outlines the application logic of typical intelligent operation and maintenance technologies—such as satellite communications, online condition monitoring, UAV inspections, and robotic operations—and identifies the appropriate application scenarios for each technology, providing a practical reference pathway for the intelligent upgrade of transmission line operation and maintenance systems.

[Key words] transmission lines; intelligent technologies; maintenance technologies

1 智能化运行维护技术概述

1.1 智能化运行维护技术的定义和内涵

智能化运行维护技术在输电线路管理中的核心内涵，是依托物联网感知、大数据分析与人工智能算法搭建全链条运维体系，实现线路运行状态的动态采集、智能研判与精准处置，为电力可靠输送提供技术支撑。不同于传统依赖人工经验的定期

巡检与故障后被动抢修模式，该技术体系可通过多维度运行数据的实时流转，提前捕捉设备性能的细微异变，推动运维逻辑从“事后抢修”向“事前防控”、从“人工经验判断”向“数据驱动决策”深度转型。结合新疆电网输电线路跨度大、穿越戈壁风区与无人区的运行特征，智能化运维技术可依托北斗定位、空地协同巡检等本地化适配方案，大幅降低极端环境下人

工登高作业的安全风险，在广袤的疆内输电通道上实现运维效率与安全水平的双重提升，为跨区域能源大动脉的长期稳定运行提供坚实保障。

1.2 智能化运行维护技术的特征

输电线路智能化运行维护技术的核心特征，首先体现为前置预警与自主方案生成能力。该体系依托多源传感终端实时采集线路运行异动数据，捕捉到覆冰、风偏、外力入侵等异常信号时即刻触发分级预警，自动生成适配现场工况的处置策略，从源头遏制隐患升级，适配新疆长距离输电通道的大跨度运维需求。

相较于传统人工运维模式，其具备全域信息采集与精准故障定位特征，可通过卫星通信、在线状态监测等技术组合，对穿越戈壁、无人区的偏远线路实现无盲区数据回传，经融合分析快速锁定故障点位与诱因，大幅降低极端环境下的人工巡检作业风险。同时该技术还具备自主状态评估与柔性调控特征，可动态生成线路健康度画像，局部故障无法就地处置时快速切换备用供电通道，最大限度降低停电影响。这也对适配新疆强风沙、大温差环境的线路材料与配套设备提出了高兼容性要求，为本地化电网稳定运行筑牢基础。

2 输电线路智能化运行维护的需求

2.1 运行维护的安全性需求

输电线路运维体系中，安全始终是保障供电可靠性的核心前提，只有同时筑牢作业人员人身安全与线路设备运行安全两道防线，才能为区域经济社会提供持续稳定的电力支撑。新疆境内输电线路大量穿越戈壁、强风区与高海拔无人区域，复杂多变的地理环境与极端温差工况，大幅提升了传统人工徒步巡检的作业风险，同时线路长期受风沙磨蚀、冷热交变影响，金具、绝缘部件的隐性老化隐患隐蔽性极强，仅靠定期人工排查极易出现漏判迟判。智能化运维技术的落地应用，可通过远程在线监测、无人化巡检替代大量高风险户外人工作业，从源头减少一线人员的高危作业时长，同时对线路部件的老化趋势实现动态预判，在隐患尚未升级为故障前推送消缺提醒，全方位适配新疆特殊电网场景下的运维安全刚需，为疆内长距离能源输送通道的平稳运行提供安全保障。

2.2 提升运维效率与降低成本的需求

输电线路运维场景下的安全需求，核心覆盖作业人员人身安全与电网设备运行安全两大维度。传统人工巡检模式下，运维人员需攀爬杆塔、深入复杂作业区域，不仅劳动强度高，在极端天气与特殊地形下还面临较高的坠落、迷路等安全风险，传统定期巡检的模式也难以实现对线路隐性隐患的全覆盖排查。依托无人机、巡检机器人等智能化巡检载体，可搭载高清成像、红外测温等感知设备完成全线路快速排查，替代大量高风险人工作业，从源头压缩一线人员的高危作业时长。同时智

能化运维平台可通过长期多源数据挖掘，精准掌握线路故障演化规律，动态预判不同时段隐患风险等级，据此制定差异化运维计划，减少无效巡检作业的同时，提前处置潜在缺陷，全方位保障运维作业与电网运行的双重安全。

2.3 电力行业的信息化建设需求

智能电网建设持续推进的背景下，输电线路作为能源传输的核心载体，其信息化建设水平直接决定了全电网的协同调度能力。传统运维模式下线路运行数据分散采集、独立存储，难以与电网调度、负荷调控等环节实现数据互通，已无法适配新型电力系统的一体化运行要求。输电线路智能化运维体系的搭建，可构建覆盖全链路的统一信息管理平台，将线路实时负荷、设备状态、通道环境等多维度数据同步回传至调度中枢，支撑电网运行方式的动态优化调整，大幅提升全网资源配置效率。针对新疆跨区域输电通道跨度大、站点分散的运行特征，统一的信息化平台还可打破不同区域运维单元的数据壁垒，实现疆内长距离输电线路的全域状态可视，既减轻一线运维人员的信息统计负担，也为区域电网的安全稳定运行提供统一的数据支撑。

3 输电线路智能化运行维护技术的应用

3.1 卫星网络通信技术

卫星网络通信技术是输电线路智能化运维体系的核心底层通信支撑，直接决定大跨度长距离线路运行数据的传输效率与运维指令的下达时效。对于新疆这类地域辽阔、输电线路大量穿越戈壁荒漠与无人区的场景而言，传统地面公网覆盖盲区多，风沙、极端低温等工况易引发通信链路中断，导致线路状态与巡检数据回传滞后、形成信息孤岛，严重制约智能化运维技术的效能释放。将卫星网络通信技术与智能化运维体系深度融合，可实现全线路运行数据的稳定实时回传，打通运维管理端与偏远现场端的信息链路，消除跨区域运维的信息差。同时可依托卫星链路搭建远程运维管控系统，优化信息采集与故障处置流程，大幅提升无人区线路的故障响应速度，为疆内跨区域能源输送大通道的可靠运维提供坚实通信保障。

3.2 智能化运行维护的精准定位与诊断技术

精准定位与诊断技术是输电线路智能化运维体系的核心功能模块，也是破解传统人工排查效率偏低问题的关键抓手。传统运维模式下，故障定位主要依赖运维人员沿线路逐段排查，不仅劳动强度大、定位周期长，且受经验水平限制易出现漏判误判，直接延长故障抢修时长。该技术通过将长距离线路划分为多个监测分区，在各分区布设分布式传感终端与监测控制器，构建全域状态感知网络，可实时采集并回传线路运行的多维度数据，经算法模型交叉分析后快速锁定故障区段与诱因，为运维人员提供精准的故障坐标与处置参考。对于新疆这类输电线路跨度大、大量穿越戈壁无人区的运行场景，精准定

位与诊断技术可大幅压缩故障排查的路途耗时，避免人员在极端环境下盲目巡检，显著提升故障抢修效率与供电可靠性，为疆内能源输送大通道的稳定运行提供技术支撑。

3.3 自动化故障处理功能

自动化故障处理是输电线路智能化运维体系的核心价值功能之一，区别于传统仅依靠人工研判的故障处置模式，其可在线路出现异常时快速完成故障隔离与运行方式调整，最大限度压缩故障影响范围。随着电网网架结构日趋复杂，传统人工操作的故障切断方式响应时效滞后，在线路过载、区段跳闸等场景下，易引发连锁式线路停运，扩大停电影响范围。智能化运维系统依托自动化保护装置与实时数据研判能力，可在毫秒级完成故障区段精准切除，同步调整相邻通道运行方式，避免故障向全网蔓延，为后续抢修恢复争取时间。对于新疆跨区域长距离输电通道而言，由于运维站点间距大、故障现场抵达耗时久，自动化故障处理功能可大幅降低故障引发的连锁停运风险，在减少人员路途抢修压力的同时，保障疆内能源输送通道的整体供电可靠性，为区域电网稳定运行筑牢防线。

3.4 智能化在线监测技术

智能化在线监测技术是输电线路状态感知的核心技术支撑，其依托前端传感器、采集终端、通信网络与监测主站搭建的完整体系，可实现线路运行状态的全时段、多维度采集。该技术结合卫星通信链路保障数据稳定回传，对采集到的导线温度、覆冰厚度、风偏角度等多类状态数据进行分类归纳，通过构建专属算法模型精准研判当前运行状态并预判发展趋势，一旦捕捉到数据异常即刻触发分级预警并推送处置建议。对于新疆境内大量穿越戈壁风区、无地面公网覆盖的长距离输电线路而言，该技术可实现偏远区段的无人化持续监测，有效弥补人工巡检覆盖不足的短板。

3.5 无人机巡视技术

无人机巡视技术是输电线路智能化运维体系中构建空地协同巡检模式的核心支撑手段，可有效突破地形与环境限制，大幅提升偏远区域线路的运维效率与作业安全性。对于新疆地域辽阔、输电线路长距离穿越戈壁荒漠与无人风区的运行特征而言，传统人工徒步巡检存在覆盖半径有限、作业周期长、野外风险高等突出短板，无人机巡视技术的应用可有效填补这一运维空白。当前无人机巡视主要包含两类应用模式：一是自主航线飞行模式，运维人员预先规划巡航路径与线路安全间距，无人机沿固定廊道自动飞行，搭载可见光相机、红外热成像仪等载荷同步采集线路本体缺陷与通道异物隐患，全程避免对线路正常运行造成干扰；二是通信中继拓展模式，通过多级信号中继链路延伸单机巡视半径，同时增强戈壁强电磁环境下的飞行控制信号稳定性，弥补常规飞行模式的航程局限与抗干扰短板，实现长距离偏远线路段的连续无盲区巡视。该技术的落地

应用可显著降低运维人员野外高危作业强度，大幅压缩线路隐患排查周期，助力疆内电网运维从“人工单点巡检”向“空地协同立体巡检”转型，为跨区域能源输送通道的可靠运行提供高效技术保障。

3.6 智能化线路运行维护机制

智能化线路运行维护机制是保障各类技术手段充分发挥效能的制度基础，电力企业需结合自身发展战略与管理实际搭建适配的制度框架，确保智能感知、远程诊断、无人巡检等技术形成协同合力。对于新疆电网而言，由于输电线路跨度大、运维站点分散，建立层次清晰、权责明确的智能化运维机制尤为关键。在人才队伍建设层面，需针对性引进智能装备运维与数据分析复合型人才，打造适配空地协同巡检模式的专业化团队，填补一线运维单元的智能化技术能力缺口。在巡检体系优化层面，需在无人机巡检基础上配套建立分级复核与数据闭环管理流程，保障巡检数据的真实性与传输时效性，切实提升长距离线路的缺陷发现率与处置效率。在组织架构层面，需按线路片区设置专业化智能运维班组，明确各岗位权责边界，配套建立差异化绩效考核激励机制，引导一线运维人员主动学习掌握智能化技术，推动传统运维管理模式向数据驱动的精细化管理方向转型升级。

4 结语

输电线路智能化运行维护技术是支撑新型电力系统安全稳定运行的核心技术路径，对提升线路运行可靠性、压降运维成本、保障区域供电安全具有重要现实意义。本文系统梳理了智能化运维技术的核心特征与典型应用形态，分析了卫星通信、在线监测、精准诊断、无人机巡检等关键技术的落地价值，明确了配套运维机制建设的核心要点。随着传感技术、人工智能与通信技术的持续迭代，加之行业标准体系的不断完善，输电线路智能化运维技术将朝着更高智能化水平、更强环境适配性、更可靠运行表现的方向演进，为现代电网的长期安全稳定运行提供坚实技术支撑。

[参考文献]

- [1]邹家兴,逯也.500kV 及以上超特高压输电线路智能化运维检修技术研究[J].电力设备管理,2026,(12):7-9.
- [2]魏玉丹.输电线路智能化运行维护技术的探究[J].电力设备管理,2026,(3):50-52.
- [3]胡溪落.电力输电线路智能化运行维护技术的运用研究[J].科技资讯,2025,23(21):106-108.
- [4]韩瑞.110kV 及以上电压等级输变电工程的智能化设计研究[J].科技资讯,2025,23(20):130-132+207.
- [5]韩磊,居秋男,周纯智,等.输电线路的智能化规划策略分析[J].电子技术,2024,53(12):104-105.