

配电线路运维检修现存问题及解决策略

邓钰祺 邱家祺 阿勒斯坦别克·米娜提汗

国网新疆电力有限公司乌鲁木齐供电公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 配电线路作为电力系统中连接变电站与终端用户的关键环节,其运行状态直接关系到供电可靠性、电能质量和用户满意度。随着城市化进程加快、新能源接入比例提升以及极端天气事件频发,配电线路面临的运维压力日益加剧。当前,我国配电线路运维检修工作仍存在诸多问题,如设备老化严重、巡检手段落后、故障定位困难、人员技能不足、信息化水平不高等,制约了配电网高质量发展。本文在系统梳理配电线路运维检修现状的基础上,深入剖析其存在的主要问题,并结合智能电网、数字孪生、人工智能等新兴技术发展趋势,提出针对性的解决策略,旨在为提升配电线路运维效率、保障供电安全提供理论支撑与实践路径。

关键词: 配电线路; 运维检修; 智能巡检; 状态监测; 数字化转型; 故障诊断

引言

配电系统是电力系统“最后一公里”的关键组成部分,承担着将电能从高压输电网安全、可靠、高效地输送至千家万户和工商业用户的重任。根据国家能源局数据,截至2025年底,我国10千伏及以下配电网线路总长度已超过600万公里,覆盖全国99%以上的城乡区域。然而,庞大的网络规模、复杂的运行环境以及日益增长的用电需求,使得配电线路的运维检修工作面临前所未有的挑战。传统配电线路运维多依赖人工巡检、定期检修和事后抢修模式,存在响应滞后、效率低下、安全隐患多等问题。近年来,尽管部分发达地区已开始引入无人机、在线监测、智能终端等新技术,但整体上仍处于“点状应用、局部优化”阶段,尚未形成系统化、智能化的运维体系。在此背景下,深入分析配电线路运维检修中的现存问题,并探索科学有效的解决策略,对于构建坚强智能配电网、实现“双碳”目标具有重要意义。

1 配电线路运维检修的现状分析

1.1 运维模式以被动为主

目前,多数地区的配电线路运维仍采用“计划检修+故障抢修”的被动模式。计划检修通常按固定周期(如每年一次)进行,缺乏对设备实际运行状态的动态评估,易造成“过度检修”或“检修不足”。而故障抢修则是在故障发生后启动,往往导致用户长时间停电,影响供电可靠性指标(如SAIDI、SAIFI)。

1.2 巡检手段相对落后

尽管部分地区已试点使用红外测温、超声波检测等辅助手段,但广大农村和偏远地区仍主要依靠人工徒步巡检。巡检人员需攀爬电杆、穿越山林,不仅劳动强度大、安全风险高,且难以发现隐蔽性缺陷(如绝缘子内

部裂纹、导线微小断股等)。此外,人工巡检受天气、地形、经验等因素影响较大,漏检、误判率较高。

1.3 故障定位与隔离效率低

当配电线路发生接地、短路等故障时,传统方法依赖分段试送电或逐级排查,耗时长、效率低。尤其在分支众多、结构复杂的城区配网中,故障点定位可能需要数小时甚至更久,严重影响用户用电体验。同时,缺乏快速隔离故障区段的能力,易导致故障范围扩大。

1.4 设备老化与隐患突出

大量配电线路建设于上世纪八九十年代,设备服役年限已超20年,存在绝缘老化、金具锈蚀、杆塔倾斜等问题。随着时间推移,这些老旧设备的机械强度和电气性能持续下降,极易在负荷高峰或恶劣天气下发生闪络、断裂等事故^[1]。此外,树障、外力破坏(如施工挖断电缆)、小动物侵入等外部因素也构成重大安全隐患。

1.5 信息化与数据融合不足

虽然各地已部署配电自动化系统(DAS)、用电信息采集系统等,但系统间数据孤岛现象严重,缺乏统一的数据平台和分析模型。运维决策仍高度依赖人工经验,未能充分利用海量运行数据进行预测性维护和智能决策。

2 配电线路运维检修现存的主要问题

2.1 运维理念滞后,缺乏全生命周期管理

当前运维工作多聚焦于“保运行、少跳闸”,忽视了设备从投运、运行到退役的全生命周期管理。缺乏对设备健康状态的量化评估和寿命预测,导致资源分配不合理,无法实现精准投资与精益运维。

2.2 技术装备水平参差不齐

一线城市与三四线城市、城市与农村之间在运维技

术装备上存在显著差距。高端设备（如智能断路器、故障指示器、在线监测终端）覆盖率低，且部分已安装设备因通信中断、电源缺失等原因无法正常运行，形成“僵尸终端”。

2.3 人员结构老化，专业技能不足

基层运维队伍普遍存在年龄偏大、知识结构陈旧的问题。面对智能化、数字化的新要求，部分员工对新技术（如无人机操作、数据分析软件）掌握不足，培训机制也不够健全，制约了新技术的推广应用。

2.4 标准规范体系不完善

现行配电线路运维标准多基于传统模式制定，对智能巡检、状态检修、数字孪生等新场景缺乏明确指导。不同地区执行标准不一，导致运维质量参差不齐，难以形成统一高效的管理体系。

2.5 应急响应机制薄弱

面对台风、暴雨、冰雪等极端天气，现有应急抢修预案往往缺乏针对性和可操作性。物资调配、人员调度、信息通报等环节衔接不畅，导致抢修效率低下，恢复供电时间长。

3 配电线路运维检修的解决策略

3.1 推动运维模式向“状态检修+预测性维护”转型

应逐步摒弃僵化的定期检修模式，转向以设备实际健康状态为核心的差异化运维策略。通过在关键节点部署在线监测装置，如局部放电传感器、导线温度传感器、电流电压互感器等，可实时获取线路运行的多维数据。这些数据经由边缘计算单元初步处理后上传至主站系统，结合历史运行记录、环境参数和负荷特性，利用大数据分析与机器学习算法（如支持向量机、随机森林或长短期记忆网络LSTM）构建设备健康状态评估模型。该模型不仅能识别当前异常，还能基于趋势外推预测未来劣化路径，从而提前发出预警^[2]。例如，通过对绝缘子表面泄漏电流和污秽度的长期监测，可预测其在潮湿天气下的闪络风险，进而安排在晴好天气进行清扫或更换，避免故障发生。这种“预测—预警—干预”的闭环管理，可显著提升运维的前瞻性与精准性，实现从“被动抢修”到“主动防御”的根本转变。

3.2 构建“空-地-站”一体化智能巡检体系

应打破单一巡检方式的局限，整合空中、地面与站端资源，形成协同互补的智能巡检网络。在空中层面，广泛推广搭载高清可见光与红外热成像相机的无人机，通过预设航线自动完成线路巡检任务，所采集的图像由后台AI算法自动分析，识别诸如绝缘子破损、金具松动、导线断股、接头过热等典型缺陷，大幅减少人工判

读的工作量与主观误差。在地面层面，可为巡检人员配备增强现实（AR）眼镜或手持智能终端，实时叠加设备台账、历史缺陷、三维模型等信息，辅助现场判断与决策。在站端层面，对环网柜、开关站等关键站点部署视频监控、温湿度传感器及局放监测装置，实现无人值守下的远程状态感知。三者通过统一平台调度与数据融合，不仅提升了巡检覆盖率与效率，还实现了从“静态快照”到“动态追踪”的能力跃升，为精细化运维奠定基础。

3.3 强化配电自动化与自愈能力

配电自动化是提升故障处理效率的核心手段。应加快推进FA（馈线自动化）功能的全覆盖，尤其在城市核心区和重要负荷区域优先部署智能断路器、分段开关及具备通信功能的故障指示器。当线路发生故障时，主站系统或就地智能终端可根据电流突变、电压跌落等特征快速定位故障区段，并自动下发指令隔离故障点，同时通过联络开关将非故障区段负荷转移至备用电源，实现“分钟级”复电。为进一步提升响应速度，可探索基于5G低时延特性的分布式智能控制架构，使各终端在无需主站干预的情况下自主协调动作，达成毫秒级故障隔离。这种自愈能力不仅缩短了用户停电时间，也增强了配电网对高比例分布式光伏、储能等波动性电源的适应能力，为构建柔性、弹性配电网提供技术支撑。

3.4 实施老旧设备改造与隐患治理专项行动

针对设备老化问题，应制定系统性的更新改造计划，优先替换运行年限超过20年的架空导线、老旧柱上变压器及机械式开关设备。在材料选择上，推广使用复合绝缘子（耐污闪、重量轻）、铝合金芯铝绞线（强度高、弧垂小）等新型材料，提升线路本体的可靠性。同步开展“清障护线”专项治理，联合园林、市政等部门建立树障动态管控机制，对危及线路安全的超高树木及时修剪；在施工密集区域加装电缆路径标识桩和防外破警示装置；在鸟类活动频繁区段安装驱鸟器或绝缘护套^[3]。对于地下电缆通道，应利用探地雷达或三维激光扫描技术进行全路径测绘，建立电子档案，防范第三方施工破坏。通过“硬件更新+环境整治”双轮驱动，从源头上消除安全隐患。

3.5 构建统一数字平台，推动数据融合与智能决策

应建设覆盖全域的“配电线路数字孪生平台”，作为运维数据的中枢神经。该平台需集成来自GIS、SCADA、用电信息采集、气象服务、巡检系统等多元异构数据，构建线路设备的三维可视化数字镜像。在此基础上，平台可实现设备全生命周期档案管理、健康状

态实时评估、故障模拟推演、检修方案优化等功能。例如,当某条线路负荷持续偏高时,系统可自动调取其历史温度数据、周边环境信息及同类设备故障案例,综合判断是否存在过热风险,并生成包含建议措施、所需物资、预计工时的智能工单。同时,平台还可嵌入专家知识库,为基层人员提供故障诊断辅助,降低对个人经验的依赖。通过数据驱动的智能决策,运维工作将从“经验主导”迈向“模型主导”,大幅提升科学性与一致性。

3.6 加强人才队伍建设与标准化建设

人才是技术落地的根本保障。应建立“理论+实操+新技术”三位一体的培训体系,定期组织无人机飞行操控、数据分析工具使用、智能终端调试等专项实训,并引入虚拟仿真平台进行故障处置演练,提升员工实战能力。同时,设立创新激励机制,鼓励青年员工参与智能运维项目研发,培养复合型技术骨干。在标准建设方面,建议由国家电网、南方电网牵头,联合科研院所与设备厂商,加快制定《智能配电线路运维技术导则》《状态检修评估规范》等系列标准,明确各类新技术的应用条件、性能要求与验收方法。此外,应将故障率、平均修复时间(MTTR)、用户满意度等关键指标纳入运维班组绩效考核体系,形成“以效促优”的良性循环,推动运维质量持续提升。

3.7 完善极端天气下的应急响应机制

应构建“气象-电网”联动的灾害预警体系,接入气象部门的短临预报(0-72小时)数据,结合线路地理高程、历史受灾记录等信息,建立配电网气象风险热力图。当预测到强对流、台风或冻雨等极端天气时,系统可自动发布分级预警,并推送至相关运维单位。在此基础上,制定模块化、场景化的应急预案,明确不同灾害等级下的指挥架构、人员分工、物资清单和处置流程^[4]。推行“网格化”运维管理模式,将辖区划分为若干责任

网格,每个网格配置专属运维团队和应急装备,确保“就近响应、快速处置”。同时,储备移动变电站、应急照明车、卫星电话等关键物资,建立跨区域支援机制,提升整体抗灾韧性。通过“预警—准备—响应—复盘”的全周期管理,最大限度减少灾害对供电服务的影响。

4 结语

配电线路运维检修正处在从传统模式向智能化、数字化转型的关键阶段。当前存在的设备老化、技术落后、人员不足、数据割裂等问题,亟需通过理念革新、技术赋能、机制优化等多维度协同解决。未来,随着人工智能、物联网、数字孪生等技术的深度融合,配电线路运维将朝着“全面感知、智能诊断、自主决策、快速恢复”的方向发展。建议下一步重点推进以下工作:一是加快配电自动化与智能终端的全域覆盖,夯实感知基础;二是建立国家级配电运维大数据中心,促进数据共享与模型复用;三是探索基于区块链的运维数据可信共享机制,保障数据安全与权属清晰;四是推动“源网荷储”协同下的配网弹性运维新模式,适应高比例可再生能源接入的新常态。唯有持续创新、系统施策,方能构建安全、可靠、绿色、高效的现代配电系统,为新型电力系统建设和经济社会高质量发展提供坚实支撑。

参考文献

- [1]左景森.配电线路运维检修现存问题及解决策略[J].光源与照明,2025,(09):147-149.
- [2]贾利康.配电线路运维检修技术现存问题与解决对策[J].光源与照明,2025,(02):88-90.
- [3]高广强.配电线路运维检修技术要点与强化措施[J].光源与照明,2025,(10):100-102.
- [4]骆文兵,秦晔明.配电线路运维检修技术与强化措施研究[J].光源与照明,2024,(09):80-82.