

10kV 以下配电线路的运维及技术检修探析

张强 杨斌 聂雍庚

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: 10kV及以下配电线路作为电力系统与终端用户之间的“最后一公里”，其安全、稳定、可靠运行直接关系到社会经济发展和人民生活的正常秩序。随着新型电力系统建设的推进和用电需求的日益增长，传统运维模式面临巨大挑战。本文旨在深入探析当前10kV以下配电线路运维及技术检修工作的核心内容、关键技术和未来发展方向。文章首先阐述了配电线路运维的重要性及面临的复杂现状；其次，系统梳理了以状态检修为核心的现代运维管理体系，包括巡视、检测、缺陷管理等环节；再次，重点剖析了针对常见故障（如单相接地、短路、断线等）的技术检修策略与先进手段；最后，探讨了人工智能、物联网、大数据等新兴技术在智能运维中的应用前景，并针对性地提出了提升运维效能的对策建议。本文的研究对于保障配电网安全、提升供电可靠性、推动配电自动化发展具有重要的理论与实践意义。

关键词: 配电线路；运维管理；技术检修；状态检修；智能运维；供电可靠性

引言

电力是现代社会的基石，而配电网则是电力能源输送至千家万户的最终载体。在我国，10kV及以下电压等级的配电网覆盖范围最广、结构最为复杂、连接用户最多，是整个电力系统的“毛细血管”。其运行状态的好坏，直接决定了用户的用电体验和区域经济发展的能源保障水平。近年来，随着城市化进程加速、分布式能源（如光伏、风电）大量接入、电动汽车充电桩激增以及极端天气事件频发，10kV以下配电线路的负荷特性、故障模式和运维环境发生了深刻变化。传统的“被动式”、“周期性”运维模式已难以满足新时代对高供电可靠性和优质服务的要求。在此背景下，如何构建一套科学、高效、智能的运维及技术检修体系，实现从“事后抢修”向“事前预防”、从“经验驱动”向“数据驱动”的根本性转变，成为电力企业亟待解决的核心课题。本文将立足于当前配电线路运维的实际痛点，结合国内外先进技术与管理理念，对10kV以下配电线路的运维策略与技术检修方法进行系统性探析，以为相关领域的研究与实践提供有益参考。

1 10kV以下配电线路运维现状与挑战

1.1 运维现状

目前，我国大部分地区的配电线路运维仍以人工巡视为主要手段，辅以部分在线监测装置。运维工作大致可分为两大类：一是日常巡视与维护，包括定期巡视、特殊巡视（如大风、暴雨后）、夜间巡视等，主要依靠运维人员的经验判断设备是否存在异常；二是计划性检修，依据设备投运年限、历史缺陷记录等制定检修周期，进行

预防性试验和设备更换。这种模式在过去发挥了重要作用，但其局限性也日益凸显。

1.2 面临的主要挑战

一是故障定位困难：10kV配电网多为辐射状或手拉手结构，分支众多，一旦发生故障（尤其是单相接地故障），故障点查找极为耗时耗力，严重影响供电恢复速度。二是运维效率低下：人工巡视受制于人力、交通、天气等因素，覆盖面有限，且存在漏检、误判风险。面对庞大的线路资产，运维资源捉襟见肘。三是状态感知不足：传统运维缺乏对线路及设备实时运行状态的全面感知能力，无法精准掌握设备健康状况，导致检修工作带有盲目性，要么过度检修造成资源浪费，要么检修不足埋下安全隐患^[1]。四是外部环境威胁加剧：树障、违章建筑、施工外力破坏、小动物侵扰等外部因素是导致配电线路故障的主要原因，动态监控难度大。五是新能源接入带来的新问题：分布式电源的接入改变了配电网的潮流方向和故障电流特征，给继电保护定值整定、故障隔离与定位带来了新的技术难题。

2 构建以状态检修为核心的现代运维管理体系

为应对上述挑战，必须摒弃传统的“到期必修”模式，转向以设备实际健康状态为依据的状态检修（CBM）模式。该体系强调“应修必修，修必修好”，旨在通过精准的状态评估，实现检修工作的科学化、精细化和经济化。

2.1 多维立体化巡视

一是地面人工巡视：依然是基础，重点检查杆塔基础、金具锈蚀、绝缘子破损、导线断股等肉眼可见的缺陷。二是无人机（UAV）巡检：利用搭载高清相机、红

外热像仪的无人机,可高效完成对山区、河流、复杂地形等人工难以到达区域的线路巡检,尤其擅长发现导线接头过热、绝缘子污秽放电等隐患。三是可视化监拍装置:在重要交叉跨越点、外破高发区安装在线视频监控装置,实现对线路通道的24小时实时监控,有效防范外力破坏。

2.2 专业化带电检测

(1) 红外测温:定期对开关、刀闸、电缆终端头、导线连接点等关键部位进行红外测温,及时发现因接触不良、过负荷等原因引起的发热缺陷。(2) 超声波/地电波局放检测:用于检测环网柜、开关柜、电缆等封闭设备内部的局部放电现象,这是设备绝缘劣化的早期征兆。(3) 绝缘电阻与泄漏电流测试:对避雷器、绝缘子等进行绝缘性能测试,评估其绝缘状态。

2.3 全生命周期缺陷管理

建立从缺陷发现、登记、定级、处理到验收、归档的闭环管理流程。根据缺陷的严重程度(一般、重大、紧急)制定不同的处理时限和策略^[2]。利用信息化平台(如PMS生产管理系统)实现缺陷信息的数字化流转与跟踪,确保每一条缺陷都得到及时有效的处置。

2.4 数据驱动的状态评估

整合巡视、检测、在线监测、历史故障、气象环境等多源异构数据,构建配电设备健康状态评估模型。通过对设备运行参数的长期跟踪与分析,可以预测其剩余寿命,为检修决策提供量化依据。例如,通过对变压器油色谱数据的分析,可以判断其内部是否存在过热或放电故障。

3 关键技术检修策略与方法探析

3.1 常见故障类型与诊断

(1) 单相接地故障:这是10kV配电网中最常见的故障类型,约占总故障的70%以上。由于系统中性点通常采用不接地或经消弧线圈接地方式,单相接地后系统仍可短时运行,但会产生较高的过电压,威胁系统绝缘。诊断难点在于故障电流小、特征不明显。可通过注入信号法、暂态行波法或利用智能终端(如FTU)的零序电流录波功能进行选线和定位。(2) 相间短路故障:多由雷击、外力破坏、设备绝缘击穿等原因引起,故障电流大,保护装置会迅速动作跳闸。检修重点在于快速隔离故障区段,通过分段试送电或利用故障指示器缩小范围,再进行现场排查。(3) 断线故障:导线因外力拉断、腐蚀断裂或接头脱落等造成。可通过线路末端失压、负荷突降等现象初步判断,并结合现场巡视确认。

3.2 先进的故障定位与隔离技术

(1) 配电自动化(DA)系统:通过在馈线上部署大量的FTU(馈线终端单元)、DTU(站所终端单元)和故障指示器,实现对线路的实时监控。当故障发生时,主站系统能根据各终端上传的故障电流信息,利用拓扑分析算法,自动、快速地定位故障区段,并遥控相关开关进行隔离和非故障区段的恢复供电(FA功能),将故障影响范围和停电时间降至最低^[3]。(2) 行波测距技术:利用故障瞬间产生的高频行波信号在输电线路上的传播特性进行测距。该方法不受线路参数和故障类型影响,精度高,特别适用于长距离电缆线路的故障定位。

3.3 标准化与精益化检修作业

(1) 推行标准化作业指导书(SOP):针对不同类型的检修任务(如更换绝缘子、处理接头发热、电缆头制作等),制定详细的、图文并茂的标准化作业流程,规范作业步骤、安全措施和工艺要求,确保检修质量的一致性和可靠性。(2) 强化不停电作业:大力推广带电作业和旁路作业技术,在检修过程中尽可能减少对用户的停电影响。这不仅提升了供电可靠性指标(如SAIDI、SAIFI),也体现了“人民电业为人民”的服务宗旨。(3) 备品备件智能化管理:建立基于物联网的智能仓储系统,对常用备品备件进行动态库存管理,确保检修所需物资能够快速、准确地配送到现场,缩短抢修时间。

4 智能化运维的发展趋势与前景

随着“云大物移智链”等新一代信息技术的深度融合,10kV以下配电线路的运维正迈向全面智能化的新阶段。

4.1 数字孪生技术的应用

数字孪生技术为配电网运维开辟了全新的范式。通过在虚拟空间中构建一个与物理配电线路完全对应的数字化镜像——即数字孪生体,可以将线路的几何结构、设备台账信息、实时运行数据、历史检修记录乃至环境气象数据全部集成于一身。运维人员无需亲临现场,便可在数字孪生体上进行各种模拟推演,例如,可以模拟不同故障场景下的电网响应,预演复杂的检修方案以评估其风险,或对设备的健康状态进行深度透视和趋势预测。这种虚实交互的能力,极大地提升了运维决策的科学性、前瞻性和安全性。

4.2 人工智能(AI)赋能

人工智能技术正在深度融入配电运维的各个环节。在视觉识别领域,基于深度学习的图像识别算法能够自动分析由无人机和可视化装置采集的海量图像,精准识别出绝缘子破损、金具缺失、通道内树障隐患等各类缺陷,将运维人员从繁重、枯燥的图像筛查工作中彻底解放出来。在故障处理方面,AI模型通过对历史故障案例

库和实时监测数据的深度挖掘与学习，不仅能实现对故障类型的自动、快速诊断，更能基于设备的劣化趋势，预测未来可能发生故障的具体设备和位置，从而将运维模式从被动响应推向主动的预测性维护^[4]。更进一步，在应急抢修调度中，AI系统可以综合考量电网拓扑、实时负荷分布、道路交通状况、抢修队伍位置与技能等多种复杂因素，自动生成最优的抢修路径规划和资源调配方案，实现抢修力量的全局最优配置。

4.3 物联网 (IoT) 与边缘计算

物联网技术为配电网末梢的全面感知提供了可能。通过在杆塔、开关、电缆接头等关键位置部署低成本、低功耗的智能传感器网络，可以实时采集温度、局部放电、杆塔倾斜、视频监控等多种维度的状态信息，形成一张泛在的物联感知网络。然而，海量的数据若全部上传至云端处理，将对通信带宽和主站计算能力构成巨大压力。边缘计算技术的引入有效解决了这一矛盾。它将部分数据处理和分析能力下沉至靠近数据源头的网络边缘（如智能终端或区域网关），在本地完成初步的特征提取、异常告警和简单决策，仅将关键的、需要全局协同的信息上传至云端。这种“云-边-端”协同的架构，既保证了本地响应的实时性，又减轻了中心系统的负担，为大规模智能终端的部署和应用铺平了道路。

5 提升运维效能的对策与建议

为加速推进10kV以下配电线路运维的现代化转型，提出以下几点建议：（1）顶层设计，统筹推进：电力企业应制定清晰的智能配电网发展规划，明确运维智能化转型的目标、路径和投资计划，避免各自为战和重复建设。（2）夯实数据基础：数据是智能运维的“血液”。必须加强数据治理，打通各业务系统（PMS、GIS、营销系统等）之间的数据壁垒，建立统一、准确、完整的配

网数据资产。（3）强化人才队伍建设：培养和引进既懂电力系统又精通信息技术的复合型人才。同时，加强对一线运维人员的技能培训，使其能够熟练操作和应用各类智能化工具。（4）完善标准与规范：加快制定和完善关于智能终端接入、数据接口、网络安全、AI模型应用等方面的行业标准和企业规范，为技术的规模化应用提供支撑。（5）探索创新商业模式：鼓励与设备制造商、互联网公司、科研机构开展合作，共同研发适应配电网特点的智能化解决方案，并探索基于数据价值的服务新模式。

6 结语

10kV以下配电线路的运维及技术检修工作，正处于从传统模式向智能化、数字化模式深刻变革的关键时期。面对日益复杂的运行环境和更高的可靠性要求，我们必须以状态检修为核心，充分利用无人机、在线监测、配电自动化等现有技术，并积极拥抱人工智能、数字孪生、物联网等前沿科技。通过构建“全面感知、精准评估、智能决策、高效执行”的现代化运维体系，方能有效提升配电网的本质安全水平和供电服务质量，为构建清洁低碳、安全高效的新型电力系统奠定坚实的基础。未来的配电运维，将不再是简单的体力劳动，而是一场融合了数据科学、人工智能与电力工程的智慧博弈。

参考文献

- [1] 韩鑫, 郜星江. 10kV以下配电线路的运维及技术检修探析[J]. 中国设备工程, 2025, (12): 201-202.
- [2] 李晓东. 10kV及以下配电线路运行维护管理及检修技术分析[J]. 电工材料, 2024, (06): 47-49.
- [3] 侯怡. 10kV配电线路状态检测及运维检修技术研究[J]. 电气技术与经济, 2024, (09): 50-52.
- [4] 喻足龙. 10kV及以下配电线路运行维护及新型检修技术应用[J]. 电气技术与经济, 2023, (09): 360-362.