

10kV以下配电网线路的规划及运行维护策略

杨治恩

固原农村电力服务有限公司 宁夏 固原 756000

摘要：随着社会经济的快速发展，电力需求持续增长，10kV以下配电网作为直接面向终端用户的电力网络，其规划与运行维护的重要性日益凸显。本文阐述了10kV以下配电网线路的规划基本原则。介绍了规划关键技术，包括路径优化算法、网架结构优化及分布式电源接入规划。探讨了线路运行状态监测与故障诊断技术，如在线监测和故障定位技术。提出了运行维护策略，涵盖构建系统化运维管理体系、推进智能化监测与故障诊断、实施差异化设备检修、强化外力破坏与自然灾害防控以及推动运维技术与管理创新，旨在为配电网的高效稳定运行提供全面指导。

关键词：10kV以下配电网；线路规划技术；运行维护策略

引言：合理的规划能够确保电网安全、可靠、经济地运行，满足不断增长的用电需求；而有效的运行维护策略则可及时发现并处理故障，降低停电风险，提高供电质量。分布式电源接入、智能化技术发展等对配电网提出了新的挑战与机遇。深入研究10kV以下配电网线路的规划及运行维护策略，对于保障电力供应、推动电力行业可持续发展具有重要意义。

1 10kV 以下配电网线路规划的基本原则

10kV以下配电网线路直接面向终端用户，以下规划基本原则需兼顾技术、经济与社会效益。（1）安全性原则。规划需严格遵循《配电网规划设计技术导则》等国家标准，确保线路绝缘水平、接地系统、设备间距等参数符合安全规范。在人口密集区域，线路需采用绝缘导线并设置防护设施，避免外力破坏引发触电风险；通过合理的防雷、过电压保护设计，降低雷击、操作过电压等故障概率，保障电网与用户安全。（2）可靠性原则。规划时需采用灵活的网架结构，如环网接线、手拉手接线模式，实现故障时快速隔离与负荷转供，减少停电时间。通过负荷预测精准匹配设备容量，预留适度裕度以应对未来负荷增长，避免因过载导致线路故障，确保供电连续性与稳定性。（3）经济性原则。规划需在满足供电需求的前提下，平衡建设成本与长期收益。通过优化线路路径、合理选择导线截面，降低材料与施工成本；引入全寿命周期成本（LCC）分析，综合评估设备购置、运维、更换等费用，避免过度投资或设备过早老化，实现资源高效利用。（4）适应性原则。随着分布式电源（光伏、风电）与储能设备的普及，配电网需具备双向潮流接纳能力。规划时需预留新能源接入接口，采用柔性互联技术优化潮流分布，并结合智能监测系统实现源-网-荷协同控制，确保电网与新能源的兼容性与协

同发展。（5）标准化与灵活性结合原则^[1]。采用标准化设备与设计方案，便于后期维护与升级；预留一定灵活性，如模块化网架设计、预留备用间隔，以适应城市规划调整、负荷分布变化等动态需求，降低后期改造难度与成本。

2 配电网线路规划关键技术

2.1 路径优化算法

GIS（地理信息系统）空间分析技术为配电网线路路径规划提供了直观且精准的地理数据基础。该技术通过整合地形地貌、交通道路、建筑分布等多源空间数据，构建高精度的地理信息模型。在路径规划时，GIS能够快速识别出地形障碍、生态保护区、人口密集区等限制因素，并通过空间分析功能，计算出不同路径的长度、施工难度系数、土地占用成本等指标，为规划人员提供可视化的路径备选方案。GIS还能结合电力负荷分布数据，直观呈现各区域的用电需求，辅助确定线路的走向和节点位置，使路径规划更贴合实际需求。

遗传算法作为一种智能优化算法，模拟生物进化中的遗传、变异和自然选择机制，在复杂的路径优化问题中展现出强大优势。在配电网线路路径规划中，遗传算法以路径方案作为个体，通过编码形成基因序列，利用选择、交叉、变异等操作对种群进行迭代优化。算法在搜索过程中，将路径长度、施工成本、安全距离等约束条件转化为适应度函数，通过不断筛选出适应度更高的个体，逐步逼近全局最优路径方案。遗传算法不受初始解影响，能够在庞大的解空间中高效搜索，尤其适用于地形复杂、约束条件多的路径规划场景，有效解决传统方法易陷入局部最优的问题。GIS遗传算法的结合，实现了地理数据与智能优化的优势互补，大幅提升路径规划的科学性与效率。

2.2 网架结构优化

辐射网是配电网中较为基础的网架结构,具有结构简单、投资成本低的特点,由电源点通过单条线路向负荷点辐射式供电。但该结构可靠性较低,一旦线路发生故障,下游区域将全部停电。为提升供电可靠性,环网结构应运而生,其通过将线路连接成闭环,正常运行时开环运行,故障时可通过开关操作实现负荷转供,缩小停电范围。但环网结构在运行中需合理控制潮流分布,避免出现环流,增加线损。

多分段联络设计则是在环网和辐射网基础上的进一步优化。通过在线路上设置分段开关和联络开关,将线路划分为多个区段,当某一区段故障时,可快速隔离故障点,并通过联络开关将非故障区段负荷转移至其他线路供电。该设计显著提升了供电可靠性,同时增强了电网运行的灵活性,能够适应不同负荷变化场景。在实际规划中,需根据区域负荷密度、重要程度等因素,合理确定分段数量和联络方式,如在负荷密集的城区采用多分段多联络模式,在负荷分散的农村地区采用适度分段联络模式,实现可靠性与经济性的平衡。

2.3 分布式电源接入规划

分布式光伏电源接入规划需综合考虑光照资源、负荷特性和电网承载能力。在规划阶段,首先要通过气象数据和地理信息分析区域内的光照资源分布,确定光伏电站的选址和容量。结合配电网的负荷曲线,评估光伏电源的出力特性与负荷需求的匹配程度,避免出现功率倒送、电压越限等问题。在接入方式上,需根据光伏容量大小,选择低压侧并网或高压侧并网,并配置相应的保护装置和功率调节设备,实现光伏电源与配电网的稳定连接。储能系统在分布式电源接入中起到“削峰填谷”和稳定电网的关键作用。其布局规划需结合光伏出力波动、负荷变化规律以及电网调节需求。在技术层面,通过建立储能系统的数学模型,分析不同充放电策略下的储能容量配置方案,以实现平抑功率波动、提升电能质量的目标^[2]。光伏与储能系统的协同布局,能够有效解决分布式电源间歇性、波动性问题,通过储能系统在光伏出力过剩时充电,在负荷高峰或光伏低谷时放电,优化配电网的功率平衡,提升电网对新能源的消纳能力,增强配电网运行的稳定性与灵活性。

3 线路运行状态监测与故障诊断

3.1 在线监测技术

红外测温技术基于物体的热辐射原理,通过红外热像仪对设备表面温度进行非接触式测量,能够直观呈现设备的温度分布。在配电网线路中,变压器绕组接头、

断路器触头、电缆终端等部位,因接触不良、过载运行会导致局部温度异常升高,形成明显的热斑。红外测温技术可快速检测到这些异常,精度可达 $\pm 2^{\circ}\text{C}$,甚至能发现肉眼难以察觉的微小过热隐患。

局部放电检测技术用于监测电气设备绝缘介质中局部电场集中导致的放电现象。在10kV以下配电网中,开关柜、电缆、变压器等设备长期运行后,绝缘材料老化、受潮或存在制造缺陷,易引发局部放电。常用的检测方法包括高频电流法、超声波法和特高频法。高频电流法通过耦合器采集放电产生的脉冲电流信号,灵敏度高;超声波法利用传感器捕捉放电产生的机械振动波,适用于开放式设备检测;特高频法则通过检测放电产生的特高频电磁波,可有效排除外界干扰。

3.2 故障定位技术

行波法其原理基于故障发生时产生的行波在输电线路上的传播特性。当线路发生短路或接地故障时,故障点会产生向两端传播的暂态行波,通过在变电站安装行波记录仪,记录行波到达的时间,根据行波传播速度和时间差,可精确计算故障点位置。双端行波法利用线路两端记录的行波时间差定位,精度可达50米以内;单端行波法则通过分析反射波与初始波的时间间隔实现定位,适用于难以实现双端同步测量的场景。行波法定位速度快、精度高,尤其适合长距离线路故障排查。

阻抗法是一种基于电路原理的故障定位技术,通过测量故障线路的阻抗值来计算故障点位置。根据欧姆定律,线路阻抗与长度成正比,当线路发生故障时,通过向故障线路注入测试电流,测量故障回路的电压和电流,计算出故障线路的阻抗,进而推算故障点距离^[3]。

4 10kV 以下配电网运行维护策略

4.1 构建系统化运维管理体系

建立全流程运维管理框架是保障配电网稳定运行的基础,应采取以下策略(1)明确运维部门职责分工,将巡检、检修、应急响应等工作责任到人,形成“发现问题-上报处理-跟踪反馈”的闭环管理机制。(2)制定标准化运维流程,细化设备巡检周期、维护标准及操作规范,例如对变压器、断路器等关键设备实行月度巡检,对绝缘子、避雷器等易损部件进行季度专项检查。(3)引入绩效考核制度,通过故障修复及时率、设备完好率等指标量化考核运维人员工作成效,提升管理效率。(4)建立运维档案管理系统,记录设备安装调试、维护检修、故障处理等全生命周期数据,为后续运维决策提供数据支撑。

4.2 推进智能化监测与故障诊断

以下智能监测技术的应用能够实现配电网运行状态的实时感知与故障预判。(1) 配电自动化(DA)系统。通过在配电网中安装智能开关、FTU(馈线终端单元)等设备,实时采集线路电压、电流、功率等运行数据,并上传至SCADA系统。利用故障定位算法,可在故障发生后分钟级定位故障点,并通过自动分合闸操作实现故障隔离与负荷转供,大幅缩短停电时间。(2) 物联网(IoT)传感器的部署。在变压器、开关柜、电缆接头等关键部位安装温度、振动、局部放电等传感器,实现设备运行参数的实时在线监测。通过大数据分析技术,建立设备健康状态评估模型,采用神经网络、支持向量机等算法对监测数据进行深度挖掘,提前识别设备潜在缺陷。(3) 无人机巡检技术。搭载红外热成像仪、激光雷达等设备的无人机,可对人工难以到达的山区、跨河线路进行周期性巡查。红外热成像技术能够快速检测导线接头过热、绝缘子零值等缺陷,激光雷达则可实现线路走廊三维建模,分析树木与导线的安全距离。

4.3 实施差异化设备检修策略

根据设备重要程度与运行状态,实施差异化检修策略,平衡运维成本与供电可靠性,具体如下:(1) 对于关键节点设备(如联络开关、主变压器),采用状态检修模式,通过在线监测数据与历史运行记录,利用模糊综合评价、灰色预测等算法评估设备剩余寿命,动态调整检修周期。(2) 对于普通配电设备,结合设备使用年限与负荷情况,制定预防性检修计划,定期开展绝缘测试、紧固接线端子、清理设备积污等维护工作。(3) 推广带电作业技术,在不影响用户供电的前提下,完成线路检修、设备更换等工作,最大限度减少停电时间,提升用户满意度。

4.4 强化外力破坏与自然灾害防控

针对外力破坏与自然灾害风险,需建立主动防御机制。(1) 在防止外力破坏方面,加强电力设施保护区管理,通过设置警示标识、安装电子围栏等措施,禁止在保护区内违规施工、种植高杆植物;与市政、交通等部门建立信息共享机制,提前掌握施工计划,对可能影响线路安全的施工项目进行现场监护。(2) 在自然灾害防御上,完善防雷接地系统,优化避雷器选型与安装布

局,对易遭雷击区域的线路加装防雷绝缘子;加强防汛措施,对易受大风影响的杆塔进行加固,对低洼地区线路增设防水设施;制定自然灾害应急预案,储备充足的抢修物资与应急装备,定期开展应急演练,确保灾害发生时能够快速响应、高效处置。

4.5 推动运维技术与管理创新

持续引入以下新技术、新理念,提升运维工作的科学性与前瞻性。(1) 在技术创新方面,探索应用人工智能(AI)与机器学习算法,对海量监测数据进行深度挖掘,实现故障预测与运维决策的智能化;(2) 研究应用新型复合材料(如高强度绝缘导线、耐腐蚀杆塔),提高设备的环境适应性与使用寿命。(3) 在管理创新方面,推行“互联网+运维”模式,开发移动运维APP,实现巡检数据实时上传、故障信息即时推送;建立跨区域运维协作机制,整合资源应对重大故障与灾害事件;加强运维人员技能培训,定期组织新技术、新设备操作培训,提升运维队伍的专业素养与应急处理能力^[4]。

结束语:10kV以下配电网线路的规划及运行维护是一项系统工程,涉及多个环节与领域。通过遵循科学的规划原则,运用先进的规划技术,可构建高效、可靠的配电网架构;借助在线监测、故障定位等技术,实现对电网运行状态的实时掌握与故障的快速处理;实施差异化检修、强化外力破坏与自然灾害防控等策略,能提升电网的稳定性和安全性。推动运维技术与管理创新,不断适应新的发展需求。

参考文献

- [1] 吴文权,张慧兵,王成,吴定翠,杨文海.10 kV以下配电网线路的规划及运行维护研究[J].科技资讯,2024,22(22):116-118.
- [2] 蒋国俊,郭兵兵.10kV以下配电网线路的规划及运行维护[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2023(5):25-28.
- [3] 李晓东.10 kV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(6):47-49.
- [4] 苏文德.浅谈10kV及以下配电网规划与运行[J].华东科技(综合),2021(5):304-304.