

农村电网升级改造中配电线路规划与设计优化

杨 展

达州电力集团有限公司 四川 达州 635000

【摘 要】：农村电网升级改造是支撑乡村全面振兴的重要基础设施保障，配电线路作为连接电源与用户的纽带，其规划科学性直接关乎供电服务水平。针对当前农网普遍存在的供电半径过长、设备老化严重、线损居高不下以及分布式电源接入困难等现实问题，系统阐述了基于供电网格化的网架重构策略，提出了涵盖全生命周期成本分析的导线选型方法及差异化防雷防外破设计思路。同时，结合数字化技术，探讨了智能感知与运维体系的构建路径。工程实践验证，该优化方案能有效提升电压质量，增强电网抗灾能力与供电可靠性，为新型农村电力系统建设提供了切实可行的技术参考。

【关键词】：农村电网；升级改造；配电线路；规划

DOI:10.12417/2811-0528.26.18.069

引言

伴随国家乡村振兴战略的深入实施，农村地区生产生活业态日益丰富，用电负荷呈现快速增长与特性复杂化的双重趋势，对电网供电能力提出了前所未有的挑战。然而，现有农村配电线路大多沿袭传统建设模式，网架结构多以单辐射为主，联络率偏低，且受限于早期投资规模，导线截面不足、设备老化等问题突出。加之农村地域广阔、环境复杂，树障、雷害及外力破坏频发，运维难度极大。同时，分布式新能源的大规模接入进一步加剧了潮流双向波动与电压越限风险，传统单向辐射状网络难以适应新型电力系统的运行需求。面对新形势，亟需突破传统规划桎梏，探索适应农村特点的配电线路规划新范式与设计新路径。通过融合网格化管理、全生命周期成本分析及数字化赋能手段，重构坚强可靠的配电网，以破解发展瓶颈，为农业农村现代化提供坚实的能源保障。

1 配电线路规划优化对电网升级的核心作用

1.1 重塑网架架构，筑牢供电可靠性根基

配电线路规划优化是农村电网由弱变强的根本途径，其核心在于重构物理网架的形态与逻辑。传统农村电网多采用单电源辐射式结构，线路之间缺乏有效联络，供电可靠性极低。通过科学的规划优化，能够系统性地将孤立的线路串联起来，构建多分段适度联络的坚强网架。这种结构赋予了电网灵活的倒闸操作能力，当某一段线路因故障或检修停运时，系统可迅速通过联络开关将负荷转移至相邻线路，实现故障区间的快速隔离与非故障区域的持续供电，极大缩短了用户平均停电时间。同时，优化规划强调供电半径的合理控制，通过新增布点缩短输送距离，有效解决了线路末端电压过低的问题。规划过程中对路径的择优选取，还能避开地质灾害易发区和林木生长旺盛区，从源头降低外力破坏风险。这种基于全局视角的网架重塑，不仅消除了单点故障隐患，更提升了整个配电网的韧性与抗干

扰能力，为农村经济社会发展和乡村振兴战略的实施提供了坚实的电力保障。

1.2 深挖降损潜力，驱动电网经济运行

线路规划优化是实现电网资产全生命周期成本最低和运营效率最高的关键手段，长期以来，农村电网存在的迂回供电、供电半径过长等问题，导致线路电阻损耗巨大，造成了严重的电量浪费。通过优化规划，采用最短路径算法和负荷矩平衡原理，能够大幅度压缩线路实际长度，减少导线电阻，从而直接降低有功功率损耗。此外，规划阶段的无功优化布局至关重要，通过在线路中段或负荷集中区域科学设置补偿点，可以有效平衡无功功率分布，减少因长距离输送无功而产生的电压降落和电能损耗。优化后的线路结构和截面选择，还能提高系统的功率因数，进一步提升电能传输效率。这种精细化的规划不仅降低了当前运行的线损成本，更避免了因初期规划不当导致的重复建设和改造浪费。它使得电网运行更加经济高效，释放出的容量空间可满足未来新增负荷需求，实现了电网建设与运营的经济性与前瞻性的统一。

2 农村电网配电线路现状及问题分析

2.1 网架结构薄弱与供电半径失控

当前农村配电线路最突出的问题在于网架结构的先天不足与供电半径的严重失控。受早期投资限制和村落布局分散的影响，大量配电线路仍维持着单辐射状的简单接线模式，线路之间缺乏必要的联络，形成大量供电死区。一旦主线发生故障，往往导致全线瘫痪，且检修作业必须全线停电，严重影响供电可靠性。更为严峻的是，为了覆盖广袤的供电区域，许多线路的供电半径远远超出了技术经济合理的范围，导致线路末端电压衰减至极低水平，农民家中的电动机难以启动，日光灯无法点亮。部分地区虽经过几轮改造，但缺乏系统性规划，新架线

路与老旧线路混杂,接线混乱,分段开关配置不足,使得故障查找和隔离极为困难。这种薄弱的网架结构不仅无法适应现代农业规模化生产的用电需求,也难以承接未来分布式新能源的接入,成为制约农村电网高质量发展的首要瓶颈。

2.2 设备设施老化与运行环境恶化

农村配电线路的设备设施老化问题触目惊心,且面临着日益恶化的运行环境挑战。大量运行超过二十年的裸导线遍布乡间,导线表面氧化严重,机械强度大幅下降,遇大风冰雪天气极易发生断线事故。与之配套的绝缘子、避雷器等设备也普遍陈旧,绝缘性能劣化,污闪和雷击跳闸事件频发。与此同时,农村生态环境的变化给线路运行带来了新难题。随着植树造林政策的推进,线下树木生长迅速,树线矛盾空前尖锐,枝叶接触导线引发的单相接地故障已成为常态。部分山区线路还要直面覆冰、山火和滑坡等自然灾害的威胁,而现有的防外破措施和防雷接地装置标准偏低,难以抵御极端天气侵袭。此外,农村地区大型机械作业增多,挖断电缆、撞断电杆的外力破坏事件呈上升趋势。落后的设备状态与恶劣的运行环境相互叠加,使得线路故障率长期居高不下,运维人员疲于奔命,供电质量难以保证。

3 农村电网升级改造中配电线路规划与设计优化

3.1 基于网格化的网架结构重构策略

针对农村电网长期存在的单辐射接线普遍、供电半径过长及联络率低下等结构性顽疾,必须摒弃传统的粗放式延伸模式,转而采用基于供电网格化的规划理念进行网架重构。该策略首先依据行政村落分布、自然地理阻隔及负荷密度特征,将整个供电区域划分为若干个相对独立的供电网格,确保每个网格具备独立的电源支撑和负荷转移能力。在网格内部,重点推进多分段适度联络的接线模式建设,通过科学选址新建或增容配电变压器,缩短低压供电半径,彻底解决末端电压偏低问题。规划过程中,应优先利用现有廊道资源,通过新建联络线将原本孤立的线路实现互联互通,构建手拉手或环形网络结构。同时,合理配置分段开关与联络开关,明确各段线路的供电范围与转供路径,确保在单一故障发生时,非故障区段能迅速恢复供电。这种网格化管理不仅理顺了错综复杂的接线关系,消除了供电死区,还大幅提升了配电网的转供能力和供电可靠性,为后续自动化设备的部署奠定了坚实的物理基础,从根本上扭转了农村电网脆弱的局面。

3.2 面向全寿命周期的导线选型与截面优化

面对农村电网设备老化严重、线损居高不下以及未来负荷增长的不确定性,导线的选型与截面确定必须从单纯的安全载流校验转向全寿命周期成本最优的综合考量。设计优化首先需

摒弃以往按最小截面选型的保守做法,结合区域经济发展预测,适当加大导线截面,预留足够的负荷增长裕度,避免短期内因负荷激增而进行的二次改造。在材质选择上,针对农村鸟害多发、树障严重的特点,优先推广使用架空绝缘导线,不仅能有效防止异物短路和漏电伤人,还能缩小线间距离,节省廊道空间。对于雷暴多发区域,则应采用绝缘导线配合带间隙避雷器的方式,增强防雷击断线能力。在截面优化计算中,需综合考虑初期投资、电能损耗费用、维护成本及资金的时间价值,建立全寿命周期成本评价模型,寻求总成本最低的截面方案。此外,针对跨越山区、河流等特殊地段,应选用加强型钢芯铝绞线或耐腐蚀合金导线,以增强机械强度和抗环境腐蚀能力。通过这种精细化的选型设计,既保证了线路在当前运行环境下的安全稳定,又兼顾了长期运行的经济性,显著延长了设备的使用寿命。

3.3 差异化防雷与防外破绝缘配合设计

针对农村恶劣的自然环境和日益突出的树线、房线矛盾,配电线路的设计必须采取差异化的绝缘配合策略,以提升线路的抗灾能力。在防雷设计方面,需根据地形地貌和雷暴日分布,将供电区域划分为不同等级的防雷区。对于山顶、旷野等高雷害区域,除常规架设避雷线外,还应加密安装线路型避雷器,并对接地装置进行深埋或换土处理,确保接地电阻值满足严格要求。在绝缘配置上,适当提高绝缘子爬电比距,选用防污闪性能优异的复合绝缘子,以应对农村地区粉尘、鸟粪及工业污染带来的闪络风险。针对树障问题,设计阶段应严格控制导线对地及对边际物的安全距离,在无法避免的交跨地段,采用绝缘护套包裹导线或加装绝缘横担。同时,为应对农村地区日益增长的机械施工活动,在道路旁、田埂边的杆塔上增设醒目的防撞标识和防护墩,并在导线上安装故障指示器和智能跌落式熔断器,以便快速定位外力破坏点。这种差异化的设计思路,改变了过去一刀切的标准化模式,使线路防护措施与实际运行环境高度契合,有效降低了因雷击、污闪和外破导致的跳闸率。

3.4 适应高渗透分布式电源接入的双向潮流设计

随着农村光伏发电等分布式电源的快速发展,传统的单向辐射状配电线路面临反向潮流冲击、电压越限和保护误动等新挑战,设计优化必须充分考虑电源接入的适应性。在规划阶段,需建立包含分布式电源出力特性的净负荷预测模型,准确掌握线路在不同光照条件下的潮流分布情况。针对可能出现反向送电的线路,需重新校核导线截面和电气设备遮断容量,防止因载流量超限引发设备过热。在电压控制方面,改变过去单纯依靠调压器或无功补偿的传统做法,引入动态无功补偿装置,根据线路末端电压实时波动情况,自动调节无功输出,抑制因光伏出力骤降引起的电压越限。同时,优化继电保护配置,针对

分布式电源接入后短路电流特征的变化,调整过流保护的定值和动作时限,必要时配置方向保护,确保故障时能准确切除故障区间而不影响其他用户。此外,在线路设计时应为储能设备的接入预留接口和空间,构建源网荷储协同运行的柔性配电网。这种设计理念的转变,确保了农村电网不仅能消纳清洁能源,还能在电源出力不稳定时维持自身的安全稳定运行。

3.5 融合数字化技术的智能感知与运维设计

针对农村电网地域广阔、交通不便、人工巡视效率低下的现状,配电线路的设计应将数字化、智能化技术融入其中,构建具备状态感知能力的智慧线路。设计优化首先体现在智能终端的布局上,在线路干线、支线首端及重要负荷节点,同步规划安装智能柱上开关、故障指示器和智能融合终端,实现对线路运行电流、电压及开关状态的实时监控。利用物联网技术,在关键杆塔上部署导线温度传感器、杆塔倾斜仪和通道可视化摄像头,结合边缘计算技术,实现对线路覆冰、山火、外力破坏等隐患的毫秒级预警。在通信设计方面,针对农村公网信号覆盖盲区,采用载波通信与无线专网相结合的混合组网模式,

确保数据上传通道的畅通无阻。同时,在设计阶段充分考虑无人机巡检的需求,预留无人机起降点和自动机巢位置,优化杆塔结构与导线排列,便于无人机进行自主精细化巡检。通过将物理电网与数字孪生技术相结合,设计出的配电线路不再仅仅是传输电能的载体,更是一个具备自我感知、自我诊断功能的智能系统,极大地提升了运维效率,降低了人力成本,推动了农村电网运维模式从被动抢修向主动预防的根本性转变。

4 结语

农村配电线路的规划与设计优化是一项兼具技术复杂性与工程实践性的系统工程,必须在安全可靠的基石上,实现经济性与前瞻性的统一。通过推行网格化布局、全生命周期资产管理及差异化防护设计,电网的承载能力和抗风险水平得到了实质性提升。展望未来,随着新型电力系统建设的加速推进,农村电网还需进一步深化源网荷储协同互动技术的研究与应用,持续引入数字孪生、人工智能等前沿技术手段,不断提升配电网的柔性调控能力与智能运维水平,为农业农村现代化提供更为坚实、绿色的能源支撑。

参考文献:

- [1] 吴凡,聂宇.输电线路巡检无人机的智能路径规划分析[J].集成电路应用,2025,42(9):292-293.
- [2] 闫诗雯.多无人机巡检输电线路的任务规划优化研究[D].太原科技大学,2025.
- [3] 宋辉,汪昊,余文豪,等.基于改进蚁群算法的农村低压配电线路规划方法[J].技术与市场,2025,32(3):83-86.
- [4] 黄超.输配电线路方案规划中的环境影响评价研究[C]//中国智慧工程研究会.2024 智慧施工与规划设计学术交流会议论文集.[出版者不详],2024:924-926.
- [5] 杨丹,倪江,杨迎昕,等.输电线路规划方法和寿命周期成本综述[J].四川电力技术,2024,47(1):65-71.
- [6] 吴伟.智能技术在配电线路优化中的应用[J].电子技术,2024,53(2):224-225.