

乡村配电网供电可靠性提升措施及规划优化方法研究

张明强

国网陕西省电力有限公司宝鸡市城区供电分公司 陕西 宝鸡 721000

摘要: 乡村配电网是保障农村能源安全、推进乡村振兴的重要基础设施,其供电可靠性直接影响乡村生产生活质量。本文结合乡村配电网负荷分散、工况复杂的特点,分析了设备、结构、运维、环境等关键影响因素,提出了设备升级、网架优化、运维提升等针对性措施。同时,研究了规划优化原则、构建适配乡村实际的规划优化模型,选用改进型粒子群算法实现优化求解。研究成果可有效提升乡村配电网供电可靠性,为乡村配电网规划建设与运维管理提供理论支撑和实践参考。

关键词: 乡村配电网; 供电可靠性; 提升措施; 规划优化方法

引言: 随着乡村振兴战略深入推进,农村居民生活、农业生产及乡村小微企业用电需求持续增长,对配电网供电可靠性提出更高要求。当前,乡村配电网仍存在设备老化、网架薄弱、运维粗放等问题,导致供电故障频发,制约乡村经济社会发展。基于此,本文聚焦乡村配电网供电可靠性提升及规划优化,系统分析影响因素、提出切实可行的提升措施,研究科学的规划优化方法,助力破解乡村配电网发展瓶颈,保障农村电力安全稳定供应。

1 乡村配电网供电可靠性及规划优化方法概述

1.1 乡村配电网核心概念界定

乡村配电网是电力系统末端重要组成部分,特指为农村居民生活、农业生产及乡村小微企业提供电力供应的配电网络,覆盖行政村、自然村及农田灌溉等区域。与城市配电网相比,乡村配电网具有负荷分散、供电半径长、工况复杂、抗干扰能力弱等特点,其建设规模和技术标准需适配乡村地域分布、负荷特性及经济发展水平。乡村配电网的核心功能是实现电力的安全、稳定、高效输送,满足乡村生产生活日益增长的用电需求,是推进乡村振兴、保障农村能源安全的重要基础设施。

1.2 供电可靠性评价指标体系

乡村配电网供电可靠性评价需结合其自身特点,构建科学合理的指标体系,核心指标包括系统平均停电持续时间(SAIDI)、系统平均停电次数(SAIFI)、用户平均停电持续时间(CAIDI)及停电损失率等。其中,SAIDI和SAIFI是最常用的核心指标,分别反映供电系统整体停电时长和频率,适配乡村负荷分散的特点;CAIDI侧重用户端体验,贴合农村居民对供电稳定性的实际需求。

1.3 配电网规划优化相关技术

乡村配电网规划优化技术以提升供电可靠性、降低

建设运维成本为核心,主要包括三大类。(1)网架拓扑优化技术,通过合理缩短供电半径、优化线路布局、构建环网结构等,减少线路损耗和停电范围;(2)智能配网技术,引入智能电表、环网柜、配电自动化系统等,实现故障快速定位、隔离和恢复,提升运维效率;(3)设备选型与升级技术,选用适配乡村复杂环境的防污、防雷、耐腐蚀配电设备,替换老旧落后设备,结合分布式电源接入优化,实现配电网安全稳定运行,为乡村配电网规划优化提供技术支撑^[1]。

2 乡村配电网供电可靠性的影响因素

乡村配电网供电可靠性受以下设备、结构、运维、环境等多方面因素综合影响。(1)设备质量与老化因素。乡村部分区域仍使用老旧配电变压器、线路等设备,运行年限久、绝缘性能下降,易出现短路、漏电等故障;部分设备选型不合理、适配性差,在乡村复杂工况下易损坏,且检修维护不及时,进一步加剧故障发生率,影响供电连续性。(2)网架结构因素。乡村地域广阔、负荷分散,导致配电网供电半径过长,线路损耗增大、电压质量下降;部分区域为辐射式供电,无备用线路,线路故障易引发大面积停电;线路布局不合理,与农田、道路交叉过多,大幅增加外力破坏风险。(3)运维管理因素。乡村配电网运维人员专业素养参差不齐,故障排查、设备检修效率低;运维管理粗放,缺乏精细化管控和完善的预防性检修机制,多为故障后抢修,延长停电时长;应急抢修设备和物资储备不足,应对突发故障能力薄弱。(4)环境与负荷因素。乡村多雷雨、大风等恶劣天气,易引发线路覆冰、雷击等故障;农田灌溉、农机作业等易造成线路碰线、设备损坏;乡村用电负荷波动大,农业生产、节日期间负荷骤增,超出设备承载能力,易导致设备过载,影响供电可靠性^[2]。

3 乡村配电网供电可靠性提升关键措施

3.1 设备升级与改造措施

结合乡村配电网设备老化、选型不合理等实际问题,聚焦设备全生命周期管理,采取针对性升级改造措施,具体如下:(1)老旧设备全面替换。对运行年限超过15年的配电变压器、高压线路、低压电缆等老旧设备进行全面排查梳理,优先替换S13及以上节能型配电变压器,替换截面积不足的导线,选用铜芯导线替代铝芯导线,提升线路载流量和绝缘性能;对老化严重、存在安全隐患的开关、熔断器等设备,统一更换为防误操作、耐腐蚀的新型设备,从源头减少设备故障。(2)设备选型精准适配。结合乡村雷雨、风沙、潮湿等复杂环境,选用防污、防雷、抗老化的配电设备,户外设备加装防雨、防尘、防晒外壳;针对农业灌溉负荷集中特点,选用过载能力强的配电变压器,避免设备因负荷骤增出现过载故障;在偏远山区,选用免维护或少维护设备,降低运维难度。(3)设备防护升级改造。对户外配电设备、线路进行防护优化,线路加装防雷装置、绝缘子防污闪涂层,降低雷击、污闪故障发生率;配电变压器加装防盗装置,防范设备被盗风险;对埋地电缆进行标识标注,加装防护套管,避免农耕作业、道路施工对电缆造成损坏;定期对设备进行绝缘测试、红外测温,及时发现并处理设备隐患。

3.2 网架结构优化措施

针对乡村配电网网架薄弱、供电半径过长等问题,结合乡村负荷分布特点,优化网架结构,提升供电冗余和稳定性,具体措施如下:(1)优化供电半径与线路布局。严格按照配电网设计规范,将10kV线路供电半径控制在5km以内,低压线路控制在500m以内,对超出标准的线路进行分段改造,增设配电变压器,缩短供电半径;结合乡村村落分布、道路规划,优化线路走向,避免线路与农田、河道、道路过度交叉,减少外力破坏和线路损耗。(2)完善网架冗余结构。逐步将辐射式供电改为环网供电结构,在负荷集中区域增设备用线路,实现故障时线路快速切换,缩小停电范围;对重要负荷区域(如乡村卫生院、村委会、灌溉泵站),采用双电源供电模式,确保关键负荷持续供电;合理划分供电分区,避免单条线路负荷过重,实现负荷均衡分配。(3)推进网架智能化升级。在重点线路、关键节点加装配电自动化终端,实现线路故障快速定位、隔离和自动恢复,缩短故障处理时间;引入智能分段开关,对线路进行分段管控,故障时仅隔离故障段,保障非故障区域正常供电;结合分布式光伏、风电等新能源接入,优化网架接入

方式,避免新能源波动对配电网稳定性造成影响。

3.3 运维管理提升措施

立足乡村配电网运维实际,完善管理体系、提升运维能力,通过精细化管理减少停电时长,具体措施如下:(1)健全运维管理制度。建立“分区负责、专人管护”的运维机制,将配电网设备、线路责任落实到个人;制定完善的设备检修规程,明确检修周期、检修内容,推行预防性检修,定期开展设备巡检、绝缘测试、隐患排查,提前消除设备故障隐患;建立故障台账,对故障类型、发生地点、处理时长进行统计分析,针对性优化运维策略。(2)提升运维队伍素养。定期组织运维人员开展专业技能培训,重点培训故障排查、设备检修、应急处置等技能,邀请专业技术人员现场指导,提升运维人员专业水平;鼓励运维人员考取专业资格证书,优化队伍结构,补充专业运维人才,解决乡村运维人员不足、技能薄弱的问题。(3)强化应急保障能力。在乡村重点区域设立运维站点,储备充足的抢修设备、物资和备品备件,确保突发故障时能够快速调配;制定完善的应急抢修预案,针对雷雨、大风等恶劣天气,提前做好应急准备,开展应急演练,提升运维人员应急处置能力;建立故障快速响应机制,开通24小时抢修热线,确保故障发生后能够及时出动、快速处置,缩短停电时长^[3]。

4 乡村配电网规划优化方法研究

4.1 规划优化的原则

乡村配电网规划优化需立足农村实际,综合考虑区域地形、负荷特性与经济条件,在科学可行的前提下明确以下优化原则,保障方案可落地、能见效。(1)坚持可靠性优先,重点解决网架薄弱、故障多发等问题,保障农村生产生活用电连续稳定;(2)遵循经济性原则,严控建设与运维投入,选用适配乡村场景的高性价比设备与技术;(3)突出适应性原则,匹配负荷增长趋势与村落布局,为后续发展预留扩容空间;(4)落实可操作性原则,采用简洁实用的技术路线与建设方案,便于现场施工与后期运维管理。

4.2 配电网规划优化模型构建

结合乡村配电网负荷分散、工况复杂的特点,构建以供电可靠性为核心、兼顾经济性的规划优化模型,具体内容如下:(1)模型假设与约束条件设定。结合乡村实际设定假设:乡村负荷增长呈线性趋势,可通过历史数据预测;设备运行状态稳定,忽略极端突发故障;规划区域土地利用规划不变,线路布局可灵活调整。约束条件包括三类:一是负荷约束,确保各节点电压、电

流符合规范,避免设备过载,适配乡村负荷波动特点;二是资金约束,结合乡村财政投入,设定建设运维总预算,合理分配设备采购、线路改造等资金;三是地理约束,线路布局避开农田保护区、河道等区域,减少征地和外力破坏,供电半径符合设计规范。(2)目标函数构建。构建供电可靠性最大化、建设运维成本最小化的双目标规划模型。可靠性目标函数以SAIDI、SAIFI指标最小化为核心,补充用户停电损失最小化指标,量化故障发生率、停电时长等参数,将可靠性要求转化为可计算函数;成本目标函数涵盖设备采购、线路建设、运维检修、故障损失等全生命周期成本,结合乡村运维实际考虑人工、物资储备等成本,通过权重系数调整双目标优先级,优先保障可靠性、兼顾经济性。(3)模型参数确定。参数选取立足乡村实际,通过现场调研、历史数据统计确定:负荷参数采用近3-5年居民生活、农业生产负荷数据,预测未来5-10年增长情况;设备参数选用乡村常用配电设备的型号、寿命、故障率、维护成本等实际数据;线路参数结合乡村地形、供电半径,确定电阻、电抗、损耗等参数^[4]。

4.3 规划优化算法选择与实现

结合规划优化模型特点,选取适配性强、运算高效、贴合工程应用的优化算法,避免复杂难落地的算法,具体选择与实现如下:(1)算法选择。综合对比遗传算法、粒子群算法、模拟退火算法,结合乡村配电网规划需求,优先选用改进型粒子群算法。该算法运算速度快、收敛性好,无需复杂数学推导,便于工程人员操作,能有效处理多目标、多约束问题,适配乡村负荷分散、约束复杂的特点。相较于遗传算法,其可减少运算冗余、提升效率;相较于模拟退火算法,收敛稳定性更强,更易找到全局最优解,符合乡村实际应用需求。

(2)算法改进与参数设置。针对基础粒子群算法易陷入局部最优的问题,结合乡村规划特点改进:引入惯性权重动态调整机制,前期增大权重扩大搜索范围,后期减小权重聚焦最优解,提升收敛精度;引入交叉变异算子,借鉴遗传算法优势,避免算法早熟收敛。参数设置贴合工程应用,种群规模设为50-80,迭代次数100-150,

学习因子1.5-2.0,惯性权重0.4-0.9,兼顾运算效率、优化效果与操作难度。(3)算法实现步骤。第一步,数据采集与预处理,收集乡村配电网负荷、设备、地理、资金等实际数据,剔除异常数据并标准化,为算法实现奠定基础;第二步,初始化参数,设定种群规模、迭代次数等,初始化粒子位置和速度,对应线路布局、设备选型等规划变量;第三步,适应度计算,将每个粒子对应的规划方案代入目标函数,计算适应度值,评价方案可靠性与经济性;第四步,迭代优化,更新粒子位置和速度,重复适应度计算,直至达到迭代次数或收敛条件,得到最优规划方案;第五步,方案验证,将最优方案代入乡村实际场景,验证可行性、可靠性和经济性,微调后确保落地实施^[5]。

结束语:本文围绕乡村配电网供电可靠性提升与规划优化展开系统研究,明确了核心影响因素,提出了针对性提升措施,构建了适配乡村实际的规划优化模型与实现方法,有效解决了乡村配电网可靠性不足、规划不合理等实际问题。结合乡村配电网发展趋势,后续可进一步探索智能配网技术与规划优化的深度融合,完善多场景适配的优化方案。本文研究可为乡村配电网高质量发展提供支撑,助力夯实乡村能源基础设施,服务乡村振兴战略落地。

参考文献

- [1]李菱.考虑供电可靠性的主动配电网储能系统优化规划[J].广西电力,2022,45(5):12-20+25.
- [2]李兆奎.多能融合背景下配电网供电可靠性提升机制[J].通信电源技术,2025,42(20):70-73.
- [3]荆柯.提升农村配电网供电可靠性的技术措施与管理实践[J].农电管理,2025(12):44-45.
- [4]贺春光,王林峰,曹媛,安佳坤,雷子健,宋关羽,冀浩然.考虑综合收益的多电压等级配电网柔性互联装置协同规划方法[J].中国电力,2025,58(1):78-84.
- [5]黄子硕,刘莹芳,张新鹤,何桂雄,熊俊杰.乡村配电网供能范围与负荷调控技术协同优化方法[J].中国电力,2022,55(9):46-55.