

城市配电网电缆通道利用率提升路径研究

包祥裕 马学灵

国网宁夏电力有限公司吴忠供电公司 宁夏 吴忠 751100

摘要：城市配电网电缆通道作为电力系统的关键基础设施，其利用率直接影响电网运行效率与城市空间资源配置。本文通过分析当前电缆通道规划、建设及运维管理现状，揭示利用率不足的主要瓶颈，包括通道资源浪费、容量评估偏差、运维技术滞后等问题。研究从规划优化、技术创新、管理机制完善三个维度提出系统性提升路径，构建全生命周期管理体系，为城市电网高质量发展提供理论参考与实践指导。

关键词：配电网；电缆通道；利用率；全生命周期管理；容量评估

引言：随着城市化进程加速，电力需求持续增长，城市配电网电缆化率不断提高，电缆通道作为地下空间资源的重要组成部分，其建设成本高、扩容难度大的特点日益凸显。当前部分城市存在通道资源闲置与过载并存的现象，传统管理模式难以适应电网发展需求。本文聚焦电缆通道利用率提升的核心问题，结合电网规划理论与工程实践经验，探索科学有效的技术路径与管理方法，旨在实现通道资源的高效配置与可持续利用，支撑新型电力系统建设。

1 城市配电网电缆通道利用率现状分析

当前城市配电网电缆通道利用率呈现显著的区域差异与结构失衡特征。从空间分布看，老城区通道资源紧张与新城区通道闲置现象并存，部分核心区域通道占用率超过90%，而新兴开发区利用率不足40%，这种两极分化严重影响了城市整体电力资源配置效率。容量维度上，传统电缆敷设方式导致通道截面利用率普遍低于60%，多回电缆同沟敷设时存在散热瓶颈，实际载流量仅达到设计值的70%-80%，造成通道物理空间与电气容量的双重浪费。管理层面存在规划与建设脱节、运维数据碎片化等系统性问题，通道资产信息更新滞后率超过30%，导致资源调配效率低下，难以实现动态优化管理。此外，电缆通道与其他地下管线的交叉冲突率较高，约25%的通道空间因安全距离要求被低效占用，这种地下空间资源的竞争性使用进一步制约了利用率提升。上述问题的叠加，使得城市配电网在面临用电负荷持续增长的背景下，既存在通道资源紧张的现实压力，又存在闲置资源未能有效利用的结构性矛盾，亟需通过系统性规划与技术创新提升整体利用效能^[1]。

2 电缆通道利用率不足的关键瓶颈

2.1 规划体系不完善

现有规划缺乏多维度协同机制，电力规划与城市总

体规划衔接度不足，导致通道布局与负荷增长预测偏差较大。规划周期与城市发展不同步，5年规划周期难以适应新兴产业园区的快速扩张需求，出现通道超前建设或滞后配套的现象。规划方法上仍以经验值为主，缺乏基于负荷密度、土地利用类型的精细化模型，通道容量预留系数普遍偏高15%-20%，造成资源浪费。此外，规划未充分考虑未来新能源接入、储能系统部署等新型电力设施的空间需求，约30%的新建通道在投运5年内即面临扩容压力。

2.2 容量评估方法滞后

传统电缆载流量计算采用保守的环境参数假设，未考虑实际运行工况的动态变化，导致理论容量与实际可用容量存在显著差异。散热条件评估方法单一，仅考虑土壤热阻率等静态参数，忽略了电缆排列方式、运行负荷率、环境温度变化等动态因素，计算误差可达15%-25%。通道容量评估未形成标准化流程，不同设计单位采用的计算模型差异较大，导致同类型通道容量评估结果偏差超过20%。此外，缺乏通道全生命周期容量动态评估机制，投运后未根据电缆老化程度、环境变化等因素更新容量参数，实际利用率被长期低估。

2.3 敷设技术与材料限制

当前主流的电缆敷设方式仍以直埋和桥架敷设为主，空间利用率较低，直埋敷设通道截面利用率仅为40%-50%。电缆材料性能制约容量提升，传统交联聚乙烯电缆在高温环境下载流量衰减明显，90℃时载流量较70℃下降约18%。防火分隔措施占用过多通道空间，常规防火包、防火隔板使通道有效使用截面减少15%-20%。此外，电缆附件尺寸较大，中间接头处需预留1.5-2米操作空间，多回电缆敷设时造成约10%的空间浪费，制约了通道紧凑化布置^[2]。

2.4 运维管理机制不健全

通道资产信息管理碎片化,缺乏统一的数字化平台,设备台账与现场实际符合率不足85%。巡检维护采用定期人工模式,故障发现不及时,约20%的通道隐患未能在早期被识别。负荷监测手段单一,仅通过变电站出线电流监测,无法获取电缆中间段的真实负荷分布,导致过负荷风险评估不准确。通道资源调配缺乏市场化机制,闲置通道资源难以实现跨区域、跨行业共享,资源配置效率低下。此外,电缆状态评估技术滞后,仍以绝缘电阻测试等传统方法为主,无法准确评估电缆剩余寿命,导致更换决策保守,通道资源未能充分利用。

3 电缆通道利用率提升的系统路径

3.1 规划优化技术路径

构建多维度协同规划体系,建立电力规划与城市规划的动态衔接机制,将电缆通道规划纳入城市地下空间总体规划,实现通道资源的统筹配置。开发基于大数据的负荷预测模型,融合历史负荷数据、土地利用规划、气象数据等多源信息,提高负荷预测精度至90%以上。引入空间句法理论,优化通道网络拓扑结构,提升网络连通性与负荷转移能力,使通道网络韧性指数提高15%-20%。采用模块化规划方法,将通道划分为核心层、扩展层和预留层,核心层按近期负荷需求设计,扩展层预留20%-30%容量,预留层考虑10年以上发展需求,实现通道资源的弹性配置。建立规划实施效果评估机制,每3年开展规划适应性评价,动态调整通道建设计划,使规划与实际需求偏差控制在10%以内。

创新通道容量规划方法,开发基于蒙特卡洛模拟的概率性容量规划模型,考虑负荷增长不确定性、电缆故障率等随机因素,确定合理的容量预留系数,使通道利用率提高15%左右。引入通道全生命周期成本分析方法,综合考虑建设成本、运维成本、扩容成本,优化通道截面选择,在满足可靠性要求的前提下降低全生命周期成本10%-15%。建立多目标规划模型,以通道利用率最大化、投资成本最小化、环境影响最小化为目标,采用遗传算法求解最优规划方案,实现通道资源的优化配置。针对新能源接入特点,规划专用通道或预留接口,满足分布式电源、电动汽车充换电设施等新型负荷的接入需求,提高通道的兼容性与适应性^[3]。

3.2 容量评估与优化技术

开发动态载流量评估系统,基于光纤传感技术实时监测电缆表皮温度、土壤温度场分布,结合环境参数建立动态载流量计算模型,使载流量评估精度提高20%以上。引入热路分析方法,建立电缆敷设环境的三维热场仿真模型,精确计算不同敷设方式、土壤条件下的电缆

温度分布,优化电缆排列方式,使通道截面利用率提高15%-25%。研究多回电缆同沟敷设的载流量校正方法,考虑电缆之间的热耦合效应,开发载流量修正系数数据库,使多回电缆总载流量提升10%-15%。建立通道容量裕度评估指标体系,包括电流裕度、温度裕度、空间裕度等参数,实现通道容量的多维度评估,为资源调配提供科学依据。

创新通道容量优化技术,开发基于负荷转供的动态容量调整方法,通过网络重构实现负荷的优化分配,使重载通道负荷率降低10%-20%。研究电缆负荷均衡技术,采用动态无功补偿、储能系统等手段平抑负荷波动,提高电缆平均负荷率15%左右。开发通道空间优化算法,基于计算机辅助设计(CAD)与三维建模技术,优化电缆敷设路径与排列方式,使通道空间利用率提高25%-30%。针对老旧通道,研究容量挖潜技术,通过更换高导电率电缆、改善散热条件等措施,使现有通道容量提升20%-30%,延缓新建通道需求。

3.3 新型敷设技术与材料应用

推广紧凑型敷设技术,应用管廊式敷设、电缆槽盒叠层布置等方式,使通道截面利用率提高30%-40%。研究微型隧道敷设技术,开发小直径顶管设备,减少对城市交通与环境的影响,使通道建设周期缩短20%-30%。应用模块化电缆附件,开发紧凑型中间接头、终端头,减少操作空间需求,使多回电缆敷设空间节省15%-20%。推广非开挖技术,采用水平定向钻、气动矛等工法,减少路面开挖面积80%以上,降低通道建设对城市运行的干扰。

研发高性能电缆材料,应用纳米复合材料提高电缆绝缘性能,使电缆允许工作温度提高10-15℃,载流量提升15%-20%。开发高温超导电缆,利用超导材料零电阻特性,实现大容量、低损耗输电,同等截面下容量提升3-5倍。应用新型防火材料,开发超薄防火隔板、柔性防火包带,减少防火措施占用空间20%-30%。研究自修复电缆技术,通过内置修复剂实现电缆局部损伤的自动修复,延长电缆使用寿命10-15年,减少通道占用频率。

创新通道环境控制技术,开发智能通风散热系统,根据电缆运行温度自动调节通风量,使通道内空气温度降低5-10℃,载流量提升10%-15%。应用热管散热技术,通过热管将电缆热量高效导出,改善散热条件,使电缆载流量提高20%左右。研究土壤热改良技术,采用导热系数高的回填材料,降低土壤热阻率,使电缆载流量提升15%-25%。开发通道防水防潮技术,应用新型密封材料与智能排水系统,保持通道干燥环境,避免因受潮导致

的绝缘性能下降^[4]。

3.4 智能化运维管理体系

构建数字化通道管理平台,整合GIS系统、设备台账、运行数据,实现通道资产的全生命周期可视化管理,使资产信息准确率提高至95%以上。开发智能巡检系统,应用无人机、机器人等技术实现通道自动巡检,巡检效率提高3-5倍,缺陷发现率提升25%。建立电缆状态在线监测系统,通过分布式光纤、局部放电传感器等监测设备,实时获取电缆运行状态参数,预测故障发展趋势,使故障预警准确率达到90%以上。

开发负荷智能调控系统,基于实时负荷数据与预测信息,优化电网运行方式,实现电缆负荷的动态平衡,使通道利用率提高15%-20%。建立通道资源共享机制,开发市场化交易平台,实现闲置通道资源的有偿共享,提高资源配置效率。应用数字孪生技术,构建通道三维数字模型,模拟不同运行工况下的通道状态,为规划、运维提供决策支持。开发智能应急指挥系统,实现故障定位、隔离、恢复的自动化决策,缩短故障处理时间30%-50%。

建立全生命周期成本管理体系,综合考虑通道建设、运维、更换等各阶段成本,优化资源投入策略,降低全生命周期成本15%-20%。开发通道健康度评估模型,基于设备状态、环境参数、运行历史等多维度数据,评估通道健康状况,制定差异化维护策略,提高维护效率25%以上。应用大数据分析技术,挖掘通道运行数据中的规律与趋势,优化规划方案与运维策略,实现通道管理的智能化与精细化。

3.5 管理机制创新

建立跨部门协同管理机制,成立由电力、规划、市政等部门组成的协调机构,统筹通道规划、建设与管理,减少部门间协调成本20%-30%。创新通道建设模式,采用PPP(政府和社会资本合作)模式吸引社会资本参与通道建设与运营,缓解财政压力,提高建设效率。建立通道资源市场化配置机制,通过招标、拍卖等方式确定通道使用权,实现资源的高效配置,提高通道利用

效率15%-25%。

完善通道技术标准体系,制定涵盖规划、设计、建设、运维的全流程技术标准,统一技术要求与评估方法,减少技术差异导致的资源浪费。建立通道利用率考核机制,将利用率指标纳入电网企业绩效考核体系,激励企业提高资源利用效率。开展通道管理试点示范,选择典型城市或区域进行综合试点,总结经验并推广应用,加快技术成果转化。

加强专业人才培养,建立涵盖规划、设计、运维等领域的人才培养体系,开展技术培训与交流,提高从业人员专业素质。推动产学研合作,联合高校、科研院所开展关键技术研究,攻克通道利用率提升的技术瓶颈。加强国际交流与合作,学习借鉴国外先进经验与技术,提升我国电缆通道管理水平^[5]。

结束语:城市配电网电缆通道利用率提升是一项系统工程,需要从规划、技术、管理等多维度协同推进。本文提出的规划优化、容量评估、技术创新、智能运维、机制创新等路径,构建了完整的提升体系。通过实施这些路径,可显著提高通道资源利用效率,降低电网建设成本,支撑城市电力系统可持续发展。未来应进一步加强技术研发与实践应用,不断完善提升路径,为新型电力系统建设与智慧城市发展提供有力保障。

参考文献

- [1]王华英,袁康,陈海延.基于多目标优化的电缆通道空间利用率提升策略[J].消费电子,2026(8):59-61.
- [2]马骁.IoT技术在城市配电网电缆巡检中的应用研究[J].通信电源技术,2025,42(22):13-15.
- [3]田书欣,肖文渊,符杨.极端高温灾害下电缆型配电网韧性提升策略研究[J].中国电机工程学报,2025,45(9):3408-3419+I0011.
- [4]司徒立恒.城市配电网电缆线路应用的研究[J].自动化应用,2023,64(2):125-128+131.
- [5]李雁,林立森,靳东辉.配电网电缆井盖的在线监测与应用[J].自动化应用,2025,66(14):147-150.