

城市地下电缆网络的优化布局与可靠性提升研究

雷小宇

内蒙古电力(集团)有限责任公司鄂尔多斯供电分公司 内蒙古鄂尔多斯市 017000

DOI: 10.12238/ems.v7i5.13220

[摘要] 随着城市化进程的加速,城市地下电缆网络作为电力输送的关键基础设施,其优化布局与可靠性提升成为保障城市电力供应稳定的核心任务。本文深入探讨城市地下电缆网络的现状与挑战,运用数学模型与算法对其布局进行优化规划,并从多维度提出可靠性提升策略,旨在为城市电力系统的可持续发展提供理论支持与实践指导。通过对相关技术手段和管理措施的研究,有望显著提高城市地下电缆网络的运行效率和供电可靠性,满足城市日益增长的用电需求。

[关键词] 城市地下电缆网络; 优化布局; 可靠性提升; 数学模型; 技术措施

引言

随着城市化进程的不断加快,人民生活水平的不断提高,用电量正不断增长,供电线路的建设势在必行。由于城市资源环境的约束,架空输电线路越来越不适合城市的发展需求,大量架空输电线路开始转入地下,这种方式已经在全世界很多城市采用,并且获得了很好的经济效益,发展速度也越来越快。

然而,随着城市建设的不断推进,地下电缆网络面临着一系列严峻挑战。一方面,早期电缆网络规划缺乏前瞻性,布局不合理问题逐渐凸显,如部分区域电缆线路过于密集,导致散热困难、故障风险增加;而部分新兴区域则存在电缆容量不足,难以满足快速增长的用电需求。另一方面,城市地下空间资源日益紧张,各类市政管线错综复杂,电缆网络建设与其他基础设施建设之间的矛盾愈发突出,进一步加大了电缆网络优化布局的难度。同时,电缆网络的可靠性直接关系到城市生产生活的正常运转,任何故障都可能引发大面积停电,给社会经济带来巨大损失。因此,深入研究城市地下电缆网络的优化布局与可靠性提升具有极其重要的现实意义,不仅能够保障城市电力供应的安全稳定,还能为城市的可持续发展提供坚实的电力支撑。

一、城市地下电缆网络现状及挑战

(一) 现有布局特点与问题

当前城市地下电缆网络布局呈现出复杂多样的特点。在早期建设阶段,电缆网络主要围绕城市中心区域和重要负荷中心进行铺设,以满足当时的基本用电需求。随着城市的发展,新的区域不断开发,电缆网络逐渐向外扩展,形成了以中心区域为核心,向周边辐射的布局模式^[1]。然而,这种布局存在诸多不合理之处。部分老城区由于建设年代久远,电缆线路规划缺乏系统性,线路走向随意,出现了大量迂回、交叉的情况,不仅增加了电缆的长度和损耗,还加大了故障排查和维修的难度。在一些商业繁华区域和新建住宅小区,由于用电负荷增长迅速,早期规划的电缆容量已无法满足需求,出现了过载运行的现象,严重影响了供电的稳定性和可靠性。

(二) 影响可靠性的因素分析

影响城市地下电缆网络可靠性的因素众多,主要包括以下几个方面。电缆本体质量是关键因素之一,部分电缆在生产过程中由于工艺不过关、材料质量差等原因,存在绝缘性能下降、导体电阻偏大等问题,容易在运行过程中引发故障。电缆接头作为电缆线路中的薄弱环节,其制作工艺和安装质量对可靠性影响极大。如果接头密封不严、接触不良,会导致局部过热、放电等现象,进而引发电缆故障。外部环境因素也不容忽视,城市地下环境复杂,电缆可能受到地下水腐

蚀、外力破坏、高温等影响^[2]。例如,在城市道路施工、地下管道铺设等过程中,电缆可能因施工不当而被挖断或损坏;在一些高温区域,如锅炉房附近,电缆长期处于高温环境下,绝缘材料会加速老化,降低电缆的使用寿命。此外,运行维护管理水平也直接关系到电缆网络的可靠性。缺乏科学的巡检计划、先进的监测手段和专业的维护人员,都可能导致电缆故障不能及时发现和处理,从而影响供电可靠性。

二、城市地下电缆网络优化布局方法

(一) 基于数学模型的布局规划

为实现城市地下电缆网络的优化布局,引入数学模型进行科学规划。常用的数学模型包括最小费用流模型、整数规划模型等。以最小费用流模型为例,该模型以电缆建设成本、运行成本和维护成本之和最小为目标函数,同时考虑电力需求约束、电缆容量约束、路径连通性约束等条件^[3]。通过构建数学模型,将城市地下电缆网络的布局问题转化为数学优化问题,运用专业的优化算法求解,能够得到在满足各项约束条件下的最优电缆布局方案。例如,在某城市新区的电缆网络规划中,运用最小费用流模型,综合考虑了该区域的电力负荷分布、地理环境和建设成本等因素,通过优化算法计算,确定了电缆的最优路径和容量配置,有效降低了建设成本和运行损耗^[4]。

(二) 考虑多因素的优化算法应用

在实际应用中,城市地下电缆网络的优化布局需要考虑诸多复杂因素,如地理信息、交通状况、环境影响等。因此,采用能够综合考虑多因素的优化算法至关重要。遗传算法作为一种经典的智能优化算法,具有全局搜索能力强、对初始值要求不高的优点,在电缆网络布局优化中得到广泛应用。遗传算法通过模拟生物进化过程中的遗传、变异和选择机制,对电缆网络的布局方案进行不断优化。在算法实现过程中,将电缆网络的布局参数进行编码,形成染色体,通过适应度函数评估每个染色体的优劣,经过多代进化,最终得到最优的布局方案^[5]。此外,粒子群算法、蚁群算法等智能优化算法也在电缆网络布局优化中展现出良好的性能。这些算法能够充分考虑地理信息、交通状况等多因素的影响,通过群体智能搜索,快速找到满足实际需求的优化布局方案,为城市地下电缆网络的科学规划提供了有力支持。

三、城市地下电缆网络可靠性提升策略

(一) 电缆本体及附件质量提升

提升电缆本体及附件质量是提高电缆网络可靠性的基础。在电缆选型方面,应根据不同的使用环境和电力需求,综合考量环境参数、负载特性等,选择质量可靠、性能优良的电缆产品。例如,在潮湿环境中,需评估湿度常年均值、波动范围等,选用防水性能好的电缆;在高温环境下,结合

热源距离、温度变化规律,采用耐高温的电缆材料。同时,加强对电缆生产过程的质量控制,从原材料采购源头把关,严格执行相关标准和规范,确保电缆的各项性能指标符合要求。对于电缆附件,如接头、终端头等,要依据电缆的型号、规格,选择与电缆匹配的优质产品,并严格按照工艺要求进行制作和安装^[6]。在接头制作过程中,运用专业工具保证导体连接牢固、精准把控绝缘处理工艺、采用先进密封手段确保密封严密,避免出现接触不良、绝缘缺陷等问题。通过提高电缆本体及附件质量,能够有效降低电缆故障发生的概率,提高电缆网络的可靠性。

(二) 监测与预警技术应用

运用先进的监测与预警技术,对城市地下电缆网络进行实时监测,能够及时发现潜在故障隐患,提前采取措施进行处理,从而提高电缆网络的可靠性。分布式光纤测温技术是一种常用的电缆温度监测技术,通过在电缆内部或表面敷设光纤,利用光纤的光时域反射原理,实时监测电缆沿线的温度分布情况。当电缆温度超过设定阈值时,系统能够及时发出预警信号,提示运维人员进行检查和处理,有效预防因过热引发的电缆故障。局部放电监测技术则通过检测电缆内部的局部放电信号,判断电缆绝缘是否存在缺陷^[7]。局部放电是电缆绝缘老化和故障发展的重要征兆,通过对局部放电信号的分析,能够准确评估电缆的绝缘状态,及时发现潜在故障隐患。此外,基于物联网的电缆在线监测系统能够整合多种监测数据,实现对电缆网络的全方位、实时监测,并通过智能诊断技术对监测数据进行分析处理,为电缆网络的运维管理提供科学依据。

(三) 运维管理体系完善

完善的运维管理体系是保障城市地下电缆网络可靠性的重要保障。建立健全科学的巡检制度,根据电缆的运行环境、重要程度等因素,制定合理的巡检周期和巡检内容。采用多种巡检方式相结合,如人工巡检、智能巡检机器人巡检、在线监测系统巡检等,确保能够全面、及时地发现电缆故障隐患。加强对运维人员的培训,提高其专业技能和业务水平,使其能够熟练掌握电缆的维护技术和故障处理方法^[8]。同时,建立完善的电缆网络故障应急预案,针对可能出现的各类故障情况,制定详细的应急处理流程和措施,并定期组织演练,提高应急响应能力和协同作战能力。此外,运用信息化技术,构建电缆网络运维管理平台,实现对电缆网络的资产信息、运行状态、巡检记录、故障处理等数据的集中管理和分析,为运维决策提供数据支持,提高运维管理的效率和科学性。

四、新技术在城市地下电缆网络中的应用前景

(一) 智能电网技术融合

随着智能电网技术的不断发展,其与城市地下电缆网络的融合将为电缆网络的优化布局与可靠性提升带来新的机遇。智能电网技术具备强大的信息采集、传输与处理能力,能够实时获取电缆网络的运行状态、电力需求等信息。通过与优化布局算法相结合,智能电网技术可以根据实时数据动态调整电缆网络的运行方式,实现电力的高效分配和网络损耗的降低^[9]。例如,利用智能电网的分布式能源接入技术,可以将分布式电源合理接入地下电缆网络,优化网络的电源分布,提高供电的稳定性和可靠性。同时,智能电网的自愈控制技术能够在电缆网络发生故障时,迅速定位故障点并自动采取隔离和恢复措施,减少停电范围和时间,显著提升电缆网络的可靠性。

(二) 新型材料研发与应用

新型电缆材料的研发与应用对城市地下电缆网络的发展

具有重要推动作用。在电缆本体材料方面,研发具有更高导电性能、更强绝缘性能和更好耐热性能的材料,可以有效降低电缆的电阻损耗,提高电缆的载流能力和绝缘寿命。例如,高温超导材料的应用有望大幅提高电缆的输电容量,减少输电损耗,同时其良好的热稳定性能够适应复杂的地下环境^[10]。在电缆附件材料方面,开发高性能的密封材料、绝缘材料和连接材料,能够提高电缆接头和终端的可靠性,减少因附件故障引发的电缆事故。此外,新型材料的应用还可以降低电缆的重量和尺寸,便于电缆的敷设和安装,提高施工效率,降低建设成本。

五、结束语

本文深入研究了城市地下电缆网络的优化布局与可靠性提升问题,通过对现有电缆网络现状及挑战的分析,明确了优化布局和提升可靠性的关键需求。运用基于数学模型的布局规划方法和考虑多因素的优化算法,为电缆网络的科学布局提供了有效的手段。从电缆本体及附件质量提升、监测与预警技术应用、运维管理体系完善等方面提出了全面的可靠性提升策略。通过案例分析,验证了所提出的优化布局方法和可靠性提升策略的有效性和可行性。研究成果对于提高城市地下电缆网络的运行效率和供电可靠性,保障城市电力供应的安全稳定具有重要的理论意义和实践价值。

随着城市的不断发展和科技的持续进步,城市地下电缆网络将面临更多新的挑战 and 机遇。未来的研究方向可主要集中在以下几个方面。进一步深化智能电网技术在地下电缆网络中的应用,实现电缆网络的智能化运行和管理,提高其自适应能力和自愈能力。加强对新型电缆材料和技术的研究,提高电缆的性能和可靠性,降低建设和运维成本。深入研究电缆网络与其他城市基础设施的协同发展模式,优化城市地下空间资源的利用。同时,结合大数据、人工智能、区块链等新兴技术,构建更加高效、智能、安全的城市地下电缆网络监测与管理体系,为城市的可持续发展提供更加坚实的电力保障。

参考文献

- [1] 褚晓杰, 杨太华. 城市地下电缆设施安全风险的综合分析[J]. 能源与环境, 2013 (6): 21-24
- [2] 雷振江, 苏坤, 王鹏宇, 张文国, 刘坤, 赵小峰. 城市地下电缆的可视化全面管理[J]. 电气应用, 2015, 34 (S1): 439-442
- [3] 姚周飞, 李红雷, 傅晨钊, 胡嘉磊. 城市地下电缆群载流量预测仿真研究[J]. 计算机仿真, 2017, 34 (10): 439-444
- [4] 李映桥, 王学冬, 徐青龙, 汪飞. 城市地下电缆路径检测系统的研究与设计[J]. 电气技术, 2020, 21 (8): 73-79
- [5] 王牧, 高有伦, 陈春银, 王亮, 韦龙州. 分布式光纤传感系统在城市地下电缆监测中的应用[J]. 电气技术与经济, 2023 (7): 71-74
- [6] 于茜. 数字化技术在城市地下管线测量中的应用[J]. 移动信息, 2024, 46 (8): 346-348
- [7] 周超. 地下电缆的智能运维关键技术分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41 (6): 306-307
- [8] 赵翠妹, 李坤. 地下电缆运维管理中的智能技术应用[J]. 集成电路应用, 2024, 41 (7): 344-345
- [9] 任雨, 李军阔, 王丽欢, 刘建, 郇帆. 地下电缆管网精细三维模型的自动化重建方法[J]. 河北电力技术, 2024, 43 (6): 65-69
- [10] 黄秋野, 李丽华, 王琦. 地下电缆状态监测仪的设计[J]. 科技广场, 2009 (3): 174-176