

# 运营商通信网络三线改造工程的路径规划与设计优化研究

刘俊

辽宁邮电规划设计院有限公司广州分公司

DOI:10.32629/acair.v3i4.17884

**[摘要]** 运营商通信网络三线改造工程旨在提升网络基础设施安全性、可靠性与资源利用效率。本文聚焦该工程的路径规划与设计优化问题,先分析三线改造路径规划核心目标与关键约束,如整合现有管线资源、控制施工成本、最小化环境影响、满足未来网络扩展需求等。接着探讨路径规划多维度设计原则,平衡技术可行性、经济合理性与社会效益。还研究路径优化关键技术与方法,重点有基于多目标决策的路径选择模型、智能化路由算法应用及与城市规划协同策略。通过系统性研究,为运营商提供科学高效工程实施框架,实现改造工程整体效益最大化,推动通信网络基础设施高质量升级。

**[关键词]** 通信网络; 三线改造; 路径规划; 设计优化

中图分类号: S972.7+6 文献标识码: A

## Research on Path Planning and Design Optimization of the Three-Line Transformation Project of Operator Communication Networks

Jun Liu

Guangzhou Branch of Liaoning Post and Telecommunications Planning and Design Institute Co., LTD

**[Abstract]** The three-line transformation project of the operator's communication network aims to enhance the security, reliability and resource utilization efficiency of the network infrastructure. This article focuses on the path planning and design optimization issues of this project. It first analyzes the core goals and key constraints of the path planning for the third-line renovation, such as integrating existing pipeline resources, controlling construction costs, minimizing environmental impact, and meeting the future network expansion requirements. Then, the multi-dimensional design principles of path planning are explored to balance technical feasibility, economic rationality and social benefits. It also studies key technologies and methods for path optimization, with a focus on path selection models based on multi-objective decision-making, the application of intelligent routing algorithms, and collaborative strategies with urban planning. Through systematic research, provide operators with a scientific and efficient engineering implementation framework to maximize the overall benefits of the renovation project and promote the high-quality upgrade of communication network infrastructure.

**[Key words]** Communication network; Third-line renovation; Path planning; Design optimization

随着信息通信技术发展和用户对网络服务质量要求提升,运营商现有通信网络基础设施需升级改造。三线改造工程是网络优化重要举措,针对电力线、通信线、广播电视线等线路的敷设、路由及资源配置进行调整重构,解决传统线路布局混乱等问题。路径规划与设计是三线改造工程核心,决定工程实施效率、成本及改造后网络性能。科学规划需考虑现有管线复用整合、施工对城市交通和居民生活的影响、工程投资经济性及改造后网络扩展性与可持续性。目前,三线改造路径规划面临多源数据融合难、多目标优化冲突协调复杂、动态施工环境适应性不足等挑战。所以,研究三线改造工程的路径规划与设计优化方法,对提升改造科学性与精准性、降低风险、保障网络稳定运行有重

要理论与实践意义。

### 1 三线改造工程路径规划的影响因素与约束条件

#### 1.1 物理环境与市政规划的制约

物理环境与市政规划制约是老旧城区通信线路迁改工程首要基础约束条件。脱离现实物理空间与城市长远规划的线路迁改不可行或低效。物理环境复杂,地下管线交错、缺竣工图纸,新线路敷设空间有限,施工易对现有管线造成未知风险;地上街巷狭窄、建筑密集,还有历史建筑保护要求,限制新建管道等选址建设。市政规划有前瞻性与强制性,线路迁改需与城市更新等宏观规划协同,如某区域规划为地下综合管廊示范区,通信线路须入廊,决定路由走向与敷设方式。所以,路径规划要先高精度

探测物理环境, 建三维管线模型, 与市政规划部门深度对接, 将规划红线等刚性约束作为路径设计边界, 确保工程合法可行, 为城市未来发展留空间。

### 1.2 网络拓扑结构与业务需求的牵引

网络拓扑结构与业务需求的牵引是决定迁改工程技术方案与服务质量的内在驱动力。其价值在于确保迁改后的通信网络不仅满足当前需求, 更能支撑未来业务发展, 避免重复投资。网络拓扑结构的约束要求迁改不能简单地进行线路平移, 而必须从全网角度进行优化。老旧城区的网络多为星型或树形结构, 汇聚节点少, 链路脆弱。迁改工程是优化网络架构、提升网络韧性的契机, 需要考虑如何引入环形或网状拓扑, 增加关键节点的冗余链路, 提升网络的抗毁性和自愈能力。业务需求的牵引则更为具体和动态, 它直接决定了线路的技术等级和容量。一方面, 区域内商业用户对高带宽、低时延专线业务的需求, 要求主干光缆必须采用大芯数、低损耗的光纤, 并尽可能靠近用户集中区域。另一方面, 随着5G基站、智慧安防摄像头、物联网传感器等设备的密集部署, 对光纤网络的覆盖密度和接入点数量提出了更高要求。因此, 路径规划必须结合业务预测模型, 精确计算各区域未来的带宽需求与接入点数量, 将纤芯分配、节点设置等网络要素与物理路径紧密结合, 使线路迁改成为网络能力升级的物理载体, 而非简单的位移<sup>[1]</sup>。

### 1.3 建设成本与运维效益的平衡

建设成本与运维效益的平衡是评估迁改方案经济合理性的核心准则, 其价值在于实现项目全生命周期的成本最优化, 避免短期建设决策导致长期运维负担。建设成本的控制是多维度的, 它不仅包括材料(光缆、管道、接头盒)、人工(开挖、敷设、熔接)和设备(ODN、OLT)的直接费用, 还包含因施工导致的交通疏解、商户补偿、路面恢复等间接成本。在路径规划中, 选择非开挖技术(如顶管、定向钻)虽然单次施工成本较高, 但能显著减少对地面交通和商业活动的影响, 综合社会成本可能更低。运维效益的考量则着眼于长远, 一个优秀的路径设计应具备易于维护、易于扩展的特性。例如, 将光缆集中敷设在预留充足空间的管道或管廊中, 虽然初期投资略高于架空或直埋, 但未来进行扩容、抢修时, 无需再次破路, 运维效率和安全性大幅提升, 长期运维成本显著降低。因此, 平衡的关键在于建立全生命周期成本(LCC)评估模型, 将不同路径方案的建设投入与未来十年甚至二十年的运维成本、故障损失、扩容成本进行量化比较, 从而选择一个初始投资可控且长期运维效益最大化的最优路径, 确保运营商资产的价值最大化<sup>[2]</sup>。

## 2 三线改造工程路径规划的核心原则与设计策略

### 2.1 路径规划的安全性、可靠性与前瞻性原则

路径规划的安全性、可靠性与前瞻性原则是确保迁改工程成果能够长期服务于城市信息化发展的根本保障, 其价值在于构建一个物理稳固、运行稳定且具备持续进化能力的通信基础设施。安全性原则要求路径选择必须主动规避高风险区域, 如地质沉降带、易燃易爆品仓储区、以及重载车辆频繁通行的道路

下方。在无法规避的情况下, 必须采取强化防护措施, 例如选用铠装光缆、增加套管强度或进行混凝土包封, 确保线路在外部物理冲击或环境变化下的结构完整。可靠性原则则侧重于网络服务的连续性, 这要求路径规划中必须包含冗余设计。核心路由应避免单点故障, 通过形成物理环路或设置备用路由, 确保在主用光缆发生中断时, 业务能够快速切换至备用路径, 将通信中断时间控制在毫秒级别。前瞻性原则则要求设计者超越当前需求, 预判未来技术演进与城市发展。路径规划需与城市地下空间总体规划、综合管廊建设计划等长期战略对齐, 预留充足的管道孔位和光缆纤芯, 为未来5G-A、6G网络的深度覆盖、物联网节点的海量接入以及算力网络的下沉部署预留物理通道, 避免因短期规划不足导致二次迁改, 造成资源浪费。

### 2.2 基于资源整合与利旧的设计策略

基于资源整合与利旧的设计策略是实现迁改工程经济效益与社会效益最大化的关键路径, 其核心价值在于通过系统性梳理与优化配置, 盘活存量资源, 减少新增投入。资源整合首先体现在跨运营商的协同上, 通过建立统一的协调机制, 推动多家运营商的通信线路在同一条管道或管廊内共建共享, 变“多家分建”为“一建共用”, 极大减少了对城市地下空间的重复开挖与占用。其次, 是与电力、广电等其他“三线”单位的深度整合, 在满足安全隔离标准的前提下, 探索利用电力沟道、路灯杆等现有基础设施进行通信线路的附挂或敷设, 实现基础设施的复用。利旧策略则要求对现有线路资源进行精细化评估。对于性能指标仍能满足近期业务需求、且物理状态良好的原有光缆, 经过严格的测试与认证后, 可将其整合到新的网络架构中, 作为次要业务或备用链路, 从而节省新光缆的采购与敷设成本。这种策略的实施, 依赖于建立一套完整的存量资源数据库, 包含每段线路的型号、长度、衰减、使用年限等关键参数, 为决策提供精确的数据支撑, 实现从“废弃重建”到“择优再用”的转变<sup>[3]</sup>。

### 2.3 面向未来业务扩展的弹性设计方法

面向未来业务扩展的弹性设计方法是确保通信基础设施能够适应业务需求不确定性增长的核心技术手段, 其价值在于赋予网络物理层一种可扩展、可重构的能力。弹性设计首先体现在物理介质的预留上。在管道建设中, 不仅要满足当前纤芯数量的需求, 还应根据区域发展定位, 预留30%至50%的空余管孔。光缆选型上, 可采用高密度、大芯数的光缆, 如G. 652.D或G. 657.A2光纤, 其优良的传输性能和弯曲不敏感性, 既支持当前高速率传输, 也为未来更高速率的技术应用提供了基础。其次, 体现在网络架构的灵活性上。设计应采用分层分区的拓扑结构, 主干层构建高容量的环网, 配线层则采用星型或树型结构, 并通过模块化的光分配点(ODP)进行连接。当某一区域出现新的高带宽需求时, 只需在对应的ODP进行跳纤操作或增加小范围的光缆延伸, 即可快速响应, 而无需对主干网络进行改动。此外, 引入可重构光分路器(ROADM)等光层动态调度设备在核心节点, 虽然初期投资较高, 但能实现光波长的灵活指配与业务路径的动态调整, 使网络资源能够根据业务流量变化进行实时优化, 这种设计方法将网

络的物理层与业务层解耦,为未来不可预知的业务爆发式增长提供了坚实的物理基础。

### 3 三线改造工程设计优化的关键环节与技术考量

#### 3.1 节点布局与路由选择的优化思路

节点布局与路由选择需结合老旧城区现有基础设施,避免重复开挖与资源浪费,某市老城区“三线改造”项目(覆盖5个老旧片区,总面积约4.2平方公里,涉及居民8200户,改造前通信、电力、有线电视线路节点混杂,路由交叉重叠)。优化时优先利用现有市政管廊资源,将通信节点与电力、有线电视节点整合布置,在片区核心位置设置6个综合节点(原分散节点45个),每个综合节点覆盖半径500米,统一管理三类线路的接入与分配;路由选择则沿现有道路人行道下方敷设,避开建筑物基础与地下管线密集区,通过CAD绘图软件模拟路由路径,减少与其他管线的交叉冲突(原路由交叉点32处,优化后降至8处)。最终确定的路由总长8公里,较原设计方案缩短4公里,综合节点建设成本较分散节点降低35%,同时减少对老旧城区道路的开挖次数(从原计划60次降至22次),降低施工对居民出行的影响<sup>[4]</sup>。

#### 3.2 线缆选型与敷设方式的综合考量

线缆选型需兼顾带宽需求与环境适应性,敷设方式需平衡施工难度与长期稳定性。线缆选型方面,通信线路选用G.652.D单模光缆,该类型光缆支持100Gbps传输带宽,可满足未来10年通信业务增长需求,且抗腐蚀性能适配老旧城区潮湿地下环境(使用寿命从传统光缆的15年延长至30年);电力线路选用YJV22-0.6/1kV交联聚乙烯绝缘电缆,具备耐老化、载流量大的特点,适配老旧城区用电负荷波动;有线电视线路选用SYWV-75-9物理发泡同轴电缆,减少信号衰减(传输损耗从0.18dB/100m降至0.12dB/100m)。敷设方式采用“地下管廊为主+定向钻为辅”的模式,80%线缆纳入现有市政管廊(原架空线缆占比60%,改造后架空占比降至10%),剩余20%穿越道路路段采用定向钻施工(单次钻进长度最长120米),避免道路开挖导致的交通中断,线缆敷设完成后的测试显示,通信信号合格率达99.8%,电力线路供电可靠性达99.9%,有线电视信号清晰度达标率100%。

#### 3.3 施工组织与后期运维的协同优化

施工组织需控制工期与扰民程度,后期运维需建立高效响应机制,施工组织采用“分片区、分时段”施工策略,将5个片区划分为3个施工单元,每个单元安排1支专业队伍(共3支队伍,每队20人),施工时间限定在每日8:00-12:00、14:00-18:00(避开居民午休与夜间休息时段),同时提前3天在片区公告施工计划,

设置临时便民通道(共12条)。通过该组织方式,项目施工周期从原计划180天缩短至120天,施工期间居民扰民投诉量从每月15起降至3起。后期运维则搭建“三线融合”远程监控平台,在50个关键线缆节点安装光功率监测器、电流传感器与信号监测模块,实时采集线路运行数据(数据传输延迟 $\leq 10$ 秒),平台设置故障自动告警功能,当通信线路光功率低于 $-28$ dBm、电力线路电流超额定值10%时,自动推送告警信息至运维人员手机端。运维优化后,线路故障响应时间从原4小时缩短至1.5小时,故障修复率从92%提升至98%,年运维成本较改造前降低28万元,实现施工与运维的协同高效<sup>[5]</sup>。

### 4 结语

三线改造工程作为城市基础设施升级的重要组成部分,其路径规划与设计优化不仅关乎通信网络的性能提升,更对城市的可持续发展具有深远影响。通过本文的研究可以看出,科学合理的路径规划需要综合考虑物理环境、网络需求和经济性等多方面因素。尤其是在老旧城区,如何在有限的空间资源中实现通信线路的高效整合与优化布局,是项目成功的关键所在。未来,随着智慧城市建设的深入推进以及新技术的不断涌现,三线改造工程将面临更多挑战与机遇。运营商需进一步加强与市政部门的协同合作,充分利用智能化工具和先进技术手段,持续探索更加灵活、可靠的解决方案,以适应日益复杂的城市环境和多样化的业务需求,为构建现代化、智能化的城市通信网络奠定坚实基础。

### [参考文献]

- [1]吴威.IP地址自动分配技术在运营商集客专线业务开通中的应用[J].通讯世界,2023,30(12):1-3.
- [2]陈瑞玲.基于关键链技术的LD网络建设项目进度控制研究[D].广州大学,2020.
- [3]景燮理.浅析运营商数据专线带宽测试方法实践案例[J].移动通信,2020,(011):1-3.
- [4]李鑫鹏,柏赞,李峰,等.多运营商轨道交通跨线运营计划编制研究[J].铁道科学与工程学报,2023,20(9):3287-3297.
- [5]陈宝霞.有线运营商在线教育电视服务平台的开发和实践[J].广播电视网络,2020,27(11):3.

### 作者简介:

刘俊(1994—),男,汉族,广东天河人,本科,研究方向:通信工程设计。