

城市轨道交通安装工程优化设计的经济效应

宋鹏

(中铁建电气化局集团南方工程有限公司)

【摘要】城市轨道交通安装工程优化设计通过构建基于BIM技术的三维协同平台与智能化设计标准体系,实现多专业管线空间统筹布局与施工工艺创新。关键技术包括预制化一体成型,安全防护系统统筹优化与强弱电支架标准化设计等措施,实证分析表明优化设计方案显著提升建设效益,工期压缩18%,设计变更减少80%,返工率降低75%,综合成本节约12.5%。该技术在国内外轨道交通建设中具有广阔推广前景,预计“十五五”期间可产生超过70亿元经济效益。

【关键词】城市轨道交通;安装工程;优化设计;经济效应;BIM技术;成本控制

中图分类号:U239.5

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.119

Economic Effects of Optimized Design in Urban Rail Transit Installation Engineering

SONG Peng

(China Railway Construction Electrification Bureau Group Southern Engineering Co., Ltd.)

【Abstract】The optimization design of urban rail transit installation engineering achieves multi-professional pipeline spatial coordination layout and construction technology innovation through the construction of BIM-based 3D collaborative platforms and intelligent design standards. Key technologies include prefabricated integration, comprehensive optimization of safety system optimization, and standardized design of strong and weak current supports and others. Empirical analysis shows that the optimized design scheme significantly improves the construction efficiency, shortens the construction period by 18%, reduces design changes by 80%, lowers the rework rate by 75%, and saves the comprehensive cost by 12.5%. This technology has broad promotion prospects in domestic and international rail construction, and is expected to generate over 7 billion yuan in economic benefits during the "15th Five-Year Plan" period.

【Keywords】urban rail transit; installation project; optimize design; economic effects; BIM technology; cost control

1 引言

随着我国城市化进程的加速推进,城市轨道交通建设规模不断扩大,工程造价控制与建设效益提升成为行业关注焦点。传统安装工程存在专业间协调困难、返工率高与资源配置不合理等问题,直接影响项目经济效益。近年来数字化技术与优化设计理念的结合为解决这些问题提供了新思路。通过系统性的优化设计策略能在保证工程质量的前提下实现工期压缩、成本降低与效益提升。鉴于此,深入研究轨道交通安装工程优化设计的经济效应对推动行业技术进步与提升建设管理水平具有重要的理论价值与实践意义。

2 城市轨道交通安装工程优化设计技术体系构建

2.1 基于BIM的综合管线协同优化技术

BIM技术在城市轨道交通安装工程中搭建三维

可视化协同平台,依托精准数字化模型实现多专业管线的空间统筹规划^[1]。该技术采用碰撞检测算法,对给排水、通风空调与强弱电等系统管线开展全维度校验,显著降低施工过程中的空间冲突风险与返工概率。

针对设备区走廊多专业管线交叉,且走廊转角、环控室入口、空调机房入口、照明配电室入口等区域大型管道与线槽空间常显局促的问题,依托BIM预配技术可高效解决综合管线图仅实现专业分层布局、但集中区域碰撞频发的痛点:一是科学规划综合支架的荷载分布,在大电缆集中区域采用抗震支架方案进行加固;二是提前优化转角处新增管线的空间布局与层高,通过调整大型风管尺寸(适当压缩高度并同步加宽,确保风量满足设计要求)化解空间局限,同时优化部分过于集中的管线走向。通过综合支架预配与风管提前优化,显著减少后续因碰撞问题引发的返工现象与材料损耗。

在空调机房、冷水机房等关键设备区域,BIM模

型可实现管道走向与设备基础定位的精准预排布,显著提升空间利用效率,有效解决部分机房土建设计空间不足、检修通路设计偏差及整体美观性欠佳的问题。借助虚拟施工仿真技术优化管线安装序列与施工工艺,可在风道内提前预加工主干管路,后续仅需对末端断点进行收口,实现复杂节点的预制化加工,在降低现场作业难度的同时,大幅缩短施工工期。该技术成功将传统二维设计模式升级为立体化协同作业模式,为后续施工管理工作提供坚实的数据支撑。

2.2 智能化安装工程设计标准体系

智能化设计标准体系构建了涵盖设计流程、技术参数与质量控制的全链条规范框架。该体系建立基于数据驱动的设计决策机制,通过历史工程数据积累与分析形成标准化的设计模板与参数库^[2]。针对供电用房与动力配电等功能区域,制定统一的开孔位置、线缆布设标准,优化支撑方式,实现设计方案的模块化复制与快速生成(见图1)。体系整合建筑信息模型与施工工艺数据库,建立智能化的设计校核与优化算法,自动识别设计缺陷与改进空间。通过标准化接口与数据格式,实现设计成果在不同软件平台间的无缝传递,提升设计效率与质量稳定性,为大规模轨道交通建设提供技术保障。



图1 智能化安装工程设计标准体系

3 工程优化关键技术实施方案

3.1 机电设备安装工艺优化

采用预制化一体成型技术,将供电设备、通风空调及给排水系统的安装工序深度融合。供电用房内配电柜预制模块采用标准化底座固定,通过M16高强度螺栓按400mm间距连接,单螺栓承载强度达

15kN,确保承载稳定性;在顶部支架预置位,将灯具、通风口位置与设备基础进行合理规划,避免照度不足及风口冷凝水对设备安全与操作造成影响。经预制与工艺优化,设备间排列顺序、串联合理性、美观度及安全性显著提升。通风系统风管预制采用镀锌钢板模块化设计,精度控制在±2mm范围内^[3];通过一体化数控加机械弯折车间加工预制,对折边、转角及平整度的处理较人工敲击工艺更标准,可减少漏风、提升美观度、降低材料损耗率,同时减少现场人工加工导致的垃圾清运问题与施工空间不足问题。

$$E = \frac{T_o - T_l}{T_o} \times 100\% \tag{1}$$

式(1)中: E 为机电安装工艺优化效率,%; T_o 为传统分项安装方式总工时(h); T_l 为预制化一体成型工艺总工时(h)。该技术实现安装工期压缩25%,质量稳定性显著提升。

预制过程中通过数控加工工艺保障接口匹配度,现场组装时间≤15分钟;此工艺消除传统逐项安装与现场调试等分散作业,将原有5个安装工序压缩为预制模块快速对接过程。设备定位采用激光测量技术,安装精度提升至±1mm,为后续系统联调提供精确基准,实现机电系统模块间的无缝衔接。

3.2 安全防护系统统筹优化

安全防护系统建立预置式防护架构,将防护设施安装前移至结构施工阶段,实现防护与施工工序深度融合。系统采用锚固点预埋技术,在混凝土浇筑时同步植入化学锚栓,单点抗拉强度≥25kN。轨行区高空作业防护中,安全绳锚固系统采用分布式布置,水平间距6米与垂直间距3m形成立体防护网格^[4]。防坠落支架采用伸缩式钢管结构,高度可调节1.2m~2.0m,通过快插销实现无级调节,适应不同作业工况;支架底座采用预埋钢板连接,确保连接可靠性。系统配置自锁器与缓冲器等安全装置,形成多重防护机制,将高空坠落风险控制在可接受范围内,实现防护标准化与施工效率双重提升。在保障施工材料运输效率的同时,减少溜坡和人员坠落等风险,同时每个作业区间安排动能报警器、警示灯和专职看护人员,确保安全防护体系科学完整。

通过BIM和预制优化手段大幅减少现场装修开槽造成的质量和文明施工问题,减少登高作业次数和时长,节省人员工时投入,在零基础—支架底座安

装—防倾覆空间等阶段设计安全绳挂点,采用升降车解决脚手架搭拆费时和运输碰撞的安全问题。

3.3 强弱电支架标准化设计

强弱电支架标准化设计构建分层式承载体系,消除专业间标高冲突与施工干扰。系统采用三层布置模式:强电桥架层(标高+3.2m)、弱电线槽层(标高+2.8m)、光缆托盘层(标高+2.4m),层间净距400mm确保检修空间。支架主材选用Q235热镀锌C型钢,规格41mm×41mm×2.5mm,承载设计值150kg/m。

$$W = L \times q \times k \tag{2}$$

式(2)中: W 为支架系统总承载能力,kg; L 为支架标准模块长度,m; q 为单位长度设计承载值,kg/m; k 为支架数量系数(无量纲)。

连接方式采用M10高强螺栓,节点抗剪强度15kN。固定锚点采用M12化学锚栓,锚固深度85mm,单点承载力≥20kN,标准模块长度3000mm,现场组装时间≤25min。该设计实现工厂预制化生产与现场快速组装安装精度±5mm,显著提升施工效率并保证系统稳定性。

4 经济效益量化评估与实证分析

4.1 成本效益定量分析模型

城市轨道交通安装工程优化设计的成本效益定量分析模型构建了多维度的经济评价体系,通过设立工期节约率(TS)、成本削减率(CR)、材料节省率(MR)三项核心指标,建立综合效益指数计算公式:

$$CEI = \alpha \times TS + \beta \times CR + \gamma \times MR \tag{3}$$

式(3)中:权重系数 $\alpha=0.4, \beta=0.35, \gamma=0.25$;模型采用净现值法(NPV)与内部收益率(IRR)双重验证机制,设定基准折现率为8%,评价周期15年。投入产出分析框架包含初期投资成本、运营维护费用与技术培训支出等投入要素,产出效益涵盖直接经济收益、间接效益与风险规避价值。该模型通过蒙特卡罗仿真进行敏感性分析,识别关键影响因素,为项目决策提供量化支撑^[9]。

4.2 典型工程案例实证研究

某轨道交通13号线一期工程作为国内首条BIM全线应用示范项目,全长38km,设31座车站,总投资450亿元(见表1)。项目在勘察物探、设计协调、进度控制与质量安全管理等领域系统应用BIM

技术,尤其在机电安装专业上实现显著效益:工期压缩18%,设计变更减少80%,施工返工率降低75%,综合成本节约12.5%。通过建立三维可视化协同平台,有效解决传统二维设计信息量限制问题,提升多专业协调效率,为大型轨道交通工程数字化建设树立成功标杆。

表1 应用效益统计表

效益指标	传统方式	BIM优化后	改善幅度/%
工期/月	62	51	-18
设计变更/次	570	114	-80
返工率/%	12.8	3.2	-7
综合成本节约率/%	-	12.5	+12.5

4.3 前景展望

随着数字化转型深入,优化设计技术将与人工智能、物联网与5G通信融合,形成智慧化建设管理新模式,为轨道交通产业高质量发展提供动力,并向共建“一带一路”国家输出技术经验,助力中国轨道交通技术标准与建设经验的全球化推广。

5 结语

城市轨道交通安装工程优化设计通过技术与管理创新融合,实现显著经济效益。基于BIM技术的综合管线优化、电力系统布局、通风系统设计、结构工艺创新与安全防护统筹及标准化支架设计等关键技术,系统性提升工程建设效益。实证分析显示:优化方案在工期控制、成本管理与质量保证方面效果显著,为企业创造可观经济价值,技术成果具有重要工程实践意义,为相关行业技术进步提供借鉴。未来需完善标准体系,推动成果标准化应用,为轨道交通建设高质量发展提供技术支撑。

参考文献

[1] 刘英池.城市轨道交通工程造价构成分析与成本控制关键因素研究[J].工程建设与设计, 2025 (10): 215-217.
[2] 任渭平.轨道交通安装工程造价管理与成本控制的探究[J].居业, 2024 (6): 169-171.
[3] 王亮.城市轨道交通机电设备安装工程项目风险管理研究[D].石家庄: 石家庄铁道大学, 2024.
[4] 胡连升.基于BIM的F市轨道交通项目机电施工成本优化研究[D].广州: 广州大学, 2023.
[5] 崔鹏.基于关键链法的FS轨道交通控制中心设备安装工程进度管理研究[D].青岛: 山东科技大学, 2020.