

山地城市轨道交通车站改造工程关键技术与管理实践 ——以重庆轨道交通 10 号线二期曾家岩站为例

彭光跃

重庆轨道交通运营有限公司，重庆，401120；

摘要：山地城市轨道交通车站改造工程因受既有运营线路、复杂地质条件及周边环境限制，面临施工空间受限、安全风险高、多专业协同难度大等挑战。本文以重庆轨道交通十号线二期曾家岩站改造工程为研究对象，系统梳理换乘平台顶推、出入口结构施工、过轨设施吊装、管线迁改等关键环节的技术难点与解决方案。通过分析施工过程中的结构精度控制、既有线运营保障、复杂管线处理等核心问题，总结出“分阶段动态管控”“空间冲突预演”“多主体协同决策”等创新管理方法，并结合工程实践中的专利技术与应用成果，为类似既有车站升级改造工程提供技术参考与实践借鉴。

关键词：轨道交通；车站改造；顶推施工；管线迁改；安全管控

DOI：10.69979/3029-2727.25.12.020

引言

随着城市轨道交通网络的不断完善，既有车站站点的扩容与功能升级成为提升线网运营效率的关键。曾家岩站作为重庆轨道交通 2 号线与 10 号线的换乘车站，其 10 号线的建设是在既有 2 号线车站基础上改造升级而成，全部改造工程需在保障 2 号线正常运营的前提下，完成换乘平台、出入口、过轨设施等关键结构的施工，工程复杂度极高。

本工程位于渝中区旧城核心区域，周边建筑密集、地下管线交错，且需穿越既有 2 号线运营线路轨行区，上方为同步建设好曾家岩大桥，下方为车流密集的嘉滨路，施工空间与时间受到严格限制。本文基于工程实践，从技术实施与管理创新两个维度，详细阐述改造过程中八大核心环节的问题解决路径，重点剖析结构施工与既有线运营的协同机制，并结合相关专利技术，为城市地下工程改造领域提供可复制的实践经验。

1 换乘平台顶推施工技术与难点突破

1.1 工程概况

新建 10 号线和 2 号线换乘平台为钢结构体系，总重约 2000 吨，长 70 米，宽 40 米，分 9 个单元模块化拼装。该结构跨越 2 号线轨行区，需在既有线上方完成顶推作业，施工期间需保障 2 号线正常运行。

1.2 关键施工环节

1. 前期准备：在 1、2、3 单元同步施工前，对 2 号线雨棚进行降低处理（降幅为相互干扰的 15cm，后续工程类似设计时，设计单位应尽量调整干扰标高，可降低施工风险和周期，本工程主要受大桥牛腿标高影响），为平台顶推预留空间。雨棚改造受既有线运营限制，全部安排在夜间列车停运后实施，单次作业窗口仅 4 小时。拆除施工过程中制作专用的轨道梁保护工具，保护单轨轨道梁和接触网不受破坏，确保第二天运营的正常进行。

2. 分阶段顶推：采用“两次顶推”工艺实现结构就位。第一次顶推完成 1-6 单元的初步位移，第二次顶推在增加配重的基础上完成 7-9 单元的精准对接，顶推过程中通过实时监测系统控制结构姿态，累计位移偏差控制在 3mm 内。

1.3 技术难点与创新解决方案

难点类别	具体问题	解决措施
手续与方案	施工许可办理及方案论证	建立“政府-业主-设计-施工”四方联合评审机制,提前3个月完成专项方案备案,并积极与运营部门沟通施工总方案和各专项方案,解决运营部门提出的各项问题并予以落实进方案中。
既有线干扰	雨棚降低与运营冲突	开发夜间快速切割与支护工艺,单次作业效率提升60%,确保凌晨4点前恢复运营
结构精度	7-8-9 单元加工误差	现场采用“加牛腿”补强工艺,通过BIM预拼装模拟优化整改方案,减少返工率80%
焊接质量	局部焊接空间受限	调整焊缝检测等级,采用超声波探伤替代传统射线检测,兼顾质量与效率。
空间冲突	吊柱与雨棚结构干涉	联合设计单位优化吊柱定位,采用偏心连接节点,避免对既有结构的破坏

2 西侧 2 号出入口结构施工与环境管控

2.1 工程概况

西侧 2 号出入口为连接车站与中山四路的地下扶梯通道,位于曾家岩大桥南桥头与名流公馆间狭长陡坡地带,施工区长度仅 25 米,垂直高差达 40 米,地形起伏显著,场区内分布大量废弃挡墙、既有基础及堆积弃渣,地质条件复杂。结合补勘数据与三维地形建模,优化桩基布设与开挖边界,采用单桩嵌岩桩与“斜桩+锚杆”组合支护体系,斜桩倾角控制在 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$,锚杆分两层施作,注浆压力达 2.0MPa,有效提升边坡抗滑移与抗倾覆稳定性,减少土石方开挖约 1200m³,实现复杂环境下出入口结构安全高效施工。

2.2 关键技术措施

1. 地形适应性设计:基于地勘补勘数据,结合边坡稳定性分析,动态优化桩基布设方案,将原设计双桩基础调整为单桩嵌岩桩,有效规避岩层起伏带来的施工风险。同步协调规划部门优化出入口流线,取消冗余梯道,降低开挖范围。采用“斜桩+锚杆”组合支护体系,斜桩倾角控制在 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$,锚杆分两层布置,注浆压力达 2.0MPa,显著提升支护结构抗滑移与抗倾覆能力。通过三维建模复核开挖边界,精准控制土石方开挖量,较原方案减少约 1200m³,实现地形适应性与施工经济性的协同优化。

2. 临时通道建设:搭设模块化钢结构栈道,承载力达 5t/m²,满足履带吊等重型设备通行及大件材料运输

需求。栈道采用标准化节段拼装,基础锚固于岩层,结构经有限元验算确保稳定性,集成防滑、排水与临边防护系统,有效解决狭长陡坡施工区域交通组织难题,提升物流效率 30%以上,显著增强夜间施工作业安全冗余度。

3. 高危环节管控:首次盖梁浇筑时,因下部结构强度未达设计要求,采用分层浇筑结合早强混凝土技术,缩短初凝时间至 6 小时,提升早期承载力。通过预埋多点应力传感器,实时监测结构应力分布与变形趋势,动态调整浇筑速率与振捣参数,确保施工过程中结构受力可控,有效防范层间冷缝与开裂风险,保障整体施工安全与质量稳定性。

2.3 管理协同创新

针对渝中区国资公司代建模式存在的多方协调不畅、审批链条冗长等问题,推动区政府组织召开专项协调会并形成会议纪要,明确由区国资公司作为实施主体直接发包施工单位,实现建设管理权责统一,有效缩短决策周期,规避因代建转包引发的合规性争议与审计风险。同时,强化工程后期生态恢复措施,结构施工完成后对裸露边坡实施“表层喷射混凝土硬化+植生袋分层绿化”复合工艺,结合排水系统优化,提升坡面稳定性与景观融合度,最大限度降低施工对周边居民区及既有地形环境的扰动,实现安全、合规与绿色施工的协同目标。

3 过轨楼梯吊装工程的时空资源优化

3.1 工程特征

跨 2 号线轨行区钢楼梯单部重 21 吨，需在既有线正上方完成吊装。受 2 号线运营限制，施工仅能在夜间 23:00-次日 4:00 进行，单次窗口期需完成吊装、定位与固定全过程。

3.2 方案优化与实施

1. 吊装方案迭代：经三次专家论证，优化初始“桅杆吊”方案为“定制龙门吊+同步提升系统”，显著提升结构稳定性与抗风能力；通过 PLC 控制多点同步顶升，实现起重精度 $\pm 5\text{mm}$ 内，确保 21 吨钢楼梯在轨行区狭小作业空间内的平稳就位，有效保障运营安全与施工精度。

2. 全过程管控：

1. 提前在换乘平台完成楼梯拼装与设备调试；

2. 列车停运后 1 小时内完成雨棚拆除；

3. 采用“双机抬吊+实时称重”技术，2 小时内完成就位；

4. 剩余 1 小时进行固定与安全检查，确保运营不受影响。

4 站厅直梯井道管线迁改技术

4.1 工程难点

站厅直梯井道位于 2 号线既有站厅吊顶内，空间狭窄且管线密集，需迁改 30 余条高压动力电缆及 100 余条通信、信号总线缆，各类管线纵横交错并处于运营状态，电磁环境复杂。迁改作业须在夜间停运后的有限工期内完成，且不得影响次日正常运营。通过 BIM 三维扫描建模精准识别管线拓扑关系，实施分区分级管理，优先调整非关键回路与冗余线缆；采用电气隔离与临时供电保障措施，结合“标签化溯源+热缩式快速接头”工艺，实现电缆断接时间缩短至传统工艺的 1/3，构建“迁改—检测—恢复”全流程闭环管控体系，确保信号、供电系统零扰动，保障运营安全与施工高效协同推进。

4.2 分区分级迁改策略

1. 管线分类：将电缆按功能属性划分为“影响行车安全”与“非行车关联”两类，实施分级管控，优先迁改备用回路及冗余线缆，确保运营核心系统不间断。结合 BIM 路径模拟与电气隔离方案，精准制定断电改时序，最大限度降低对既有信号、供电系统的影响，保障运营安全与施工效率。

2. 快速施工工艺：

1. 采用“标签化溯源+BIM 建模”技术，提前厘清管线走向；

2. 开发“热缩式快速接头”，电缆接驳时间缩短至传统工艺的 1/3；

3. 建立“迁改—检测—恢复”闭环流程，单次夜间作业完成 80% 管线迁改。

5 其他关键环节技术总结

1. 东侧 5 号出入口管线处理：针对出入口下方燃气、雨水、电力等多类管线交织且空间受限的复杂工况，采用新建管网与既有管网同步建模、一体化设计的实施方案。通过 BIM 三维协同设计精准避让既有结构，优化管线排布路径，实现重力流管线坡度控制与高程协调。施工中采取“同槽开挖、分层布设”工艺，一次性完成全部管线敷设与接口衔接，减少重复开挖 2 次以上，降低对周边交通影响。结合地质条件采用支护式沟槽开挖技术，确保邻近结构稳定。该方法提升地下空间综合利用率约 35%，显著缩短工期并降低综合成本，为狭小场地多专业管线集成施工提供了高效解决方案。

2. 外挂钢桁架施工：采用“地面拼装+整体吊装”施工工艺，结合有限元分析对吊点布置及吊装过程进行力学模拟与安全验算，优化结构受力分布，确保吊装稳定性。最大单榀钢桁架重达 35 吨，通过高精度测量定位与同步控制系统，实现整体吊装就位偏差控制在 10mm 以内，显著提升安装精度与施工效率，减少高空作业风险，保障邻近运营结构安全。

3. 资产处置与质量管控：建立改造工程废旧物资分类回收与资源化利用体系，对拆除的混凝土构件、金属管线及机电设备进行现场分拣与集中处理，实现回收率达 92%，显著提升资源循环利用率。针对施工过程中暴露的既有结构混凝土裂缝问题，依据《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367）开展缺陷评估，采用“压力注浆+碳纤维布加固”复合修复工艺，对宽度 $\geq 0.2\text{mm}$ 的结构性裂缝实施聚氨酯或环氧树脂压力灌注，并结合碳纤维布环向包裹增强抗裂性能，确保修补区域与原结构协同受力，有效提升结构整体性与耐久性，满足轨道交通长期运营安全要求。

6 设计规划优化

在西侧 2 号出入口施工规划中，设计初期仅关注

到施工区域斜上方曾家岩大桥可提供桥面吊装条件，但未预判大桥后期通车后增设的声屏障设施。这一疏漏直接导致桥面吊装方案无法实施，影响施工组织效率。同时，因对施工区域空间尺度测算不充分，原设计的“双排桩 + 步梯 + 扶梯”组合方案因场地狭窄无法落地，最终不得不调整为单排桩结构，并取消步梯设计。

站内直梯位置规划同样存在优化空间。若在设计阶段将直梯布局与新建站房结构进行统筹衔接，将其位置调整至新建站房区域，不仅可彻底规避管线迁改风险，还能使防水构造设计更具合理性与整体性。

关于曾家岩大桥外挂钢桁架的设计，其核心功能除提升景观协调性外，主要为下方换乘平台及扶梯提供雨棚支撑。但施工阶段发现，受大桥既有荷载限制，雨棚无法按原规划安装，最终只能单独为换乘平台与扶梯增设雨棚。而外挂钢桁架因规划要求需照常实施，客观上造成了投资成本的额外增加。

此外，跨 2 号线轨行区楼梯的位置设计也有待完善。若在规划阶段将其位置平移至轨行区范围之外，可有效降低施工期间对运营的干扰，同时减少后期维护过程中的安全风险与协调成本。

综上，既有车站改造工程的设计阶段应坚守“方案简化、干扰最小、余量充足”的核心原则，结合工程地质、周边设施、运营需求等多重因素，统筹考虑施工、运营、维护等多个时态的实际需求，同时加强与规划主管部门的前置沟通，确保设计方案的可行性与适配性，为项目全周期顺利推进提供坚实保障。

7 结论与展望

曾家岩站改造工程通过创新“动态设计、分区管控、时空优化”等技术与管理方法，成功解决了既有轨道交通车站改造中的系列难题，尤其是在既有线运营保障、复杂地形适应、管线迁改等方面形成了多项可推广的技术成果，并依托多项专利技术实现了施工效率与质量的双重提升。

工程实践表明，城市轨道交通车站改造需建立“安全优先、精度控制、协同高效”的核心原则，通过 BIM 技术、智能监测、快速施工工艺的集成应用，可显著提升工程质量与效率。未来应进一步探索模块化建造与既有结构的融合技术，为城市地下空间的集约化利用提供更优解决方案。

参考文献

- [1]《城市轨道交通既有有线改造工程技术规程》（CJJ/T 202 - 2013）
- [2]《钢结构工程施工质量验收标准》（GB 50205 - 2020）
- [3]重庆轨道交通集团。轨道交通车站换乘设施设计导则 [Z]. 2021.

作者信息：彭光跃，男（出生 1981.2），汉族，籍贯重庆市九龙坡区，学历本科，职称高级工程师（副高），研究方向：工程项目管理，轨道交通建设工程，车站建筑及装饰和既有车站改造方向。