

有限场地内盖挖法前期施工组织与技术优化研究

冀大亨¹, 刘佳杰^{1,2}, 刘雪峰¹

(1. 北京城乡建设集团有限责任公司, 北京 100067; 2. 北京市政路桥股份有限公司, 北京 100045)

摘要:在有限场地内进行盖挖法前期施工面临技术与管理等方面诸多挑战,因此研究有效的应对策略具有重要意义。文章以新建轨道交通工程为例,结合精细化组织管理和关键技术优化,确定了场地条件对施工资源调配的影响,建立了基于时空效应分析的施工管理组织方法,通过将施工流程和工序单元细化拆分,合并同类管理环节,采用技术手段优化关键工序,从而缩短施工周期,提高施工效率。结果表明:在实施优化措施后,盖挖段前期施工工期缩短4.9 d,机械利用率提高16.7%,综合成本降低11.1%。该研究在实践中保障了工程质量与公共安全,提升了施工效率,可为类似有限场地条件下的盖挖法前期施工提供参考。

关键词:有限场地; 盖挖施工; 管理优化; 技术优化; 高效施工

中图分类号:U231⁺.3; U455.4

文献标识码:A

文章编号:1673-8993(2024)10-0067-05

doi:10.13402/j.gcjs.2024.10.135

Research on construction organization and technical optimization at the early stage of the cover-cut method within limited sites

Ji Daheng¹, Liu Jiajie^{2,1}, Liu Xuefeng¹

(1. Beijing Urban Construction Group Co., Ltd., Beijing 100067, China;

2. Beijing Municipal Road and Bridge Group Co., Ltd., Beijing 100045, China)

Abstract: The cover-cut method within limited sites faces numerous technical and managerial challenges, so it is of great practical significance to study effective countermeasures. This article takes a new metro project as an example, and integrates refined organizational management with key technological optimizations to assess the impact of site conditions on the allocation of construction resources. A construction management organizational approach based on spatiotemporal effect analysis is established. By detailing and subdividing the construction process and work units, merging similar management stages, and optimizing critical processes through technical means, the construction period is shortened, and efficiency is increased. The effectiveness of the proposed approach is validated through a actual engineering case; after implementing the optimization measures, the early construction period of the cover-cut method was saved by 4.9 days, the mechanical utilization rate was increased by 16.7%, and the comprehensive cost was reduced by 11.1%. The results show that this study ensures project quality and public safety in practice, enhances construction efficiency, and provides a reference for the early stage of the cover-cut method under similarly limited sites conditions.

Key words: limited sites; cover-cut method; management optimization; technical optimization; efficient construction

随着城市现代化进程加快,地下空间被进一步开发利用,在目前城市市区明挖法地铁结构施

工中,为降低施工造成的社会影响,减短占路工期,保证地面交通通行,采用地铁永久结构与临

收稿日期:2024-02-10

作者简介:冀大亨(1993—),男,工程师,从事施工技术 & 科技创新等工作。

通信作者:刘佳杰(1988—),男,高级工程师,从事施工技术、项目管理及科技创新等工作。

时导行路结合方法施工^[1],该方法临时交通导行周期短,占路影响范围小,能够有效避免对周边配套商业造成较大影响。刘军等^[2]在盖挖法施工中,运用 BIM 技术优化了盖挖法后期实施阶段的部署,从土方开挖部署和临时立柱定位器提高施工效率。孙立柱^[3]在对地下车站常用的施工方法对比和分析的基础上,结合某具体站的条件,提出了盖挖法施工方案并进行了设计总结,对施工过程进行了模拟。王英森^[4]将盖挖法与道改桥进行混合应用,按照施工顺序将盖挖法各阶段主要内容和实施要点进行阐述,达到预期目标。

上述内容着重于盖挖结构完成后技术实施策略,在项目所处客观环境下,对盖挖法前期施工流程组织和工序单元优化进行综合研究较少。为此,本文依托北京地铁 13 号线新建地铁车站,结合施工场区所处位置和场地施工条件,利用时空效应分析方法,从克服空间限制,确保盖挖段前期施工安全、高效角度出发,阐述各项限制条件下的施工组织、技术创新和工序单元优化,从而形成有限场地盖挖法前期施工组织理论实践和关键工序技术优化方法,解决盖挖法前期施工中的技术管理耦合难题,保证工程质量及安全高效施工。

1 研究背景

1.1 工程概况

北京市轨道交通 13 号线扩能提升工程新建回龙观东大街站为地下三层换乘车站,车站位于市区两条主干路交叉路口,跨越十字路口沿回龙观

东大街南侧主路东西向布置。车站主要采用明挖法施工,下穿既有 8 号线回龙观东大街站采用暗挖法施工。

为保证主干路交通与既有市政管线运行,位于十字路口区域采用盖挖法施工。盖挖施工区内包含 51 根围护桩与 6 根钢管柱作为基础,支撑永久结构顶板。车站邻近高层住宅小区和商业,地下管线条件复杂、地上管线交错,局部位于高压线正下方。车站及盖挖区位置如图 1 所示。车站盖板结构下方围护桩直径为 1 m,桩长为 47 m,钻孔深度为 50 m;钢管柱基础桩深度为 54.55 m,孔径为 2.3 m,基础桩钢筋笼主笼长度为 29 m,副笼长度为 26 m;钢管柱直径为 0.9 m,壁厚为 24 mm,总长度为 24 m。

1.2 盖挖法施工方式的选择

受市政管线回迁及地铁施工工期影响,本案例采用临时结构与新建地下永久结构结合方式^[5],先行施工新建车站顶板并作为导行路基础,从而满足交通通行与项目施工。该方法相比于在拟新建结构上方架设贝雷梁临时铺盖,能够提供更稳定承载能力,最大化场地条件,最大程度地减少因工程施工对周边交通环境的影响^[6],两种实施方法特点如表 1 所示。

2 有限场地内盖挖法前期施工难点

结合本案例背景可知,项目实施期间存在时间限制、空间限制、作业条件限制的不同阻碍。时间限制表现为作业时间限制和工序时长限制,

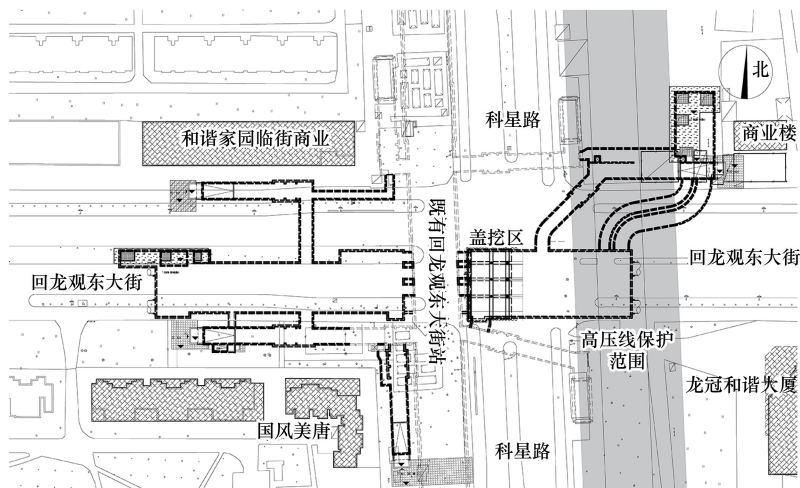


图 1 车站及盖挖区位置图

表 1 贝雷梁临时铺盖与先行施工永久顶板特点对比

主要方面	贝雷梁临时铺盖	先行施工永久顶板
技术经济性	1)前期投资小,需额外费用;2)分步实施,技术要求低	1)前期投资大,无造价外其他费用;2)整体实施,技术要求较高
安全稳定性	1)结构简单灵活,但承载力、耐久性一般;2)需定期维护和监测	1)方案变更影响较大,但安全稳定性好;2)利于控制地层变形,保障交通、管线及下方施工安全
其他	1)增加总体工期;2)持续噪声和视觉影响不符合绿色施工要求	1)利于缩短总体工期;2)可降低施工期间噪音、粉尘等持续影响,符合绿色施工要求

根据夜间施工相关管理规定，不得在夜间进行成孔作业或施工作业噪音值不得超过限值。而在钢管柱成孔、吊装、倒运、安装等过程中噪音值远超过相关规定，产生噪音大的工序严格限制在白天进行，施工连续性受限。在施工工序时长限制方面，在当前成熟的施工工艺下，围护桩和钢管柱施工工序作业单元时长基本稳定，无法从工序作业时长缩减施工作业时间。

空间限制体现在钢管柱施工所在的车站盖挖区位于主路交叉口中部，如图 1 所示，场地四周环路，受主路交通导行及既有地铁出入口影响，场地平面尺寸受限。同时为保证行车行人及高压线安全，相关部门要求施工作业不得超出盖挖区围挡空间边界。

作业条件限制体现在场地范围内存在多条地下重要管线，包括 5 条南北向并行跨越盖板作业区上方 10 kV 电缆，1 条南北向邻近盖板结构的 DN2000 市政雨水主管线，1 条 DN400 中水管线和 1 条通信管线由南向北呈“几”字型绕行盖板结构。施工地质条件复杂，存在 2.5~3.5 m 厚杂填土；周边地下空间障碍不明，存在多处不明管线和井室；周边人文环境复杂，客观条件上形成了限制因素。

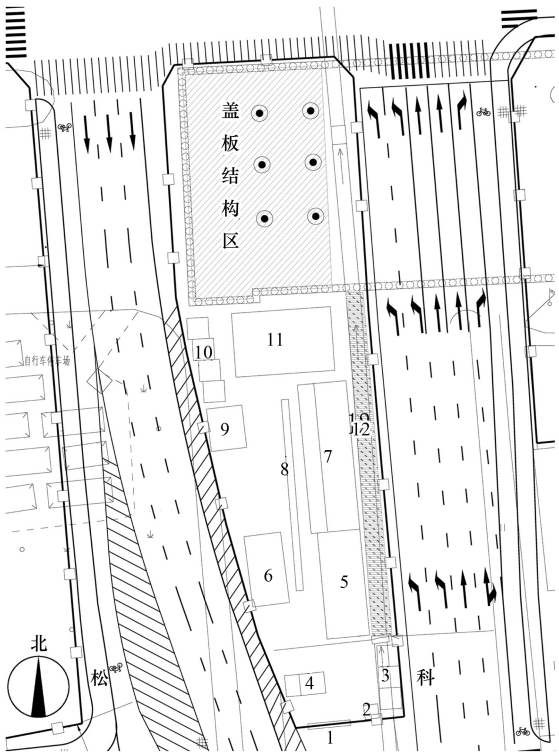
3 关键流程精细化组织与技术优化

有限场地精细化组织以前期策划为引领，采用信息化手段辅助，将有限场地条件、工序组织、技术工艺选择和管理组织方案相协调；通过空间规划，优化场地空间布局和机械选型，提升机械利用效率；深化工序组织，从施工工序逻辑关联出发，综合技术工艺层面的可实施性和低影响性，统筹交叉工作；前移管理和验收节点，减少实施期间场地内工作内容；深化技术工艺，以关键工

作关键工序为单元，通过技术优化降低作业时间，高效完成盖挖法前期施工。基于项目特点和施工组织、技术优化内容，本文所述的有限空间盖挖法前期阶段自盖挖区围挡设立后至盖挖区围护桩、钢管柱混凝土浇筑完成。

3.1 前期策划优化

有限场地内盖挖法前期施工前，对工程实施阶段进行优化，如图 2 所示，结合盖挖区场地平面尺寸限制、旋挖钻工作半径和旋挖成孔时所需要的泥渣暂存区，以及辅助配合所用的推土机、



- 1—大门；2—门岗；3—配电箱；4—洗车池；
- 5—型材存放区；6—固定机械作业区；
- 7—钢筋加工区；8—临时存放区；9—线材存放区；
- 10—预制式泥浆池；11—可移动机械作业区。

图 2 施工场地平面布置

浇筑混凝土所需要的吊车和混凝土罐车,盖挖场地尺寸不满足北侧、西侧及南侧围护桩同时进行机械作业所需的机械数量和站位需要。结合作业机械条件和场地条件,将围护桩和钢管柱的施工顺序合理匹配,总体顺序按照北侧围护桩施工、西侧围护桩施工、钢管柱施工、南侧围护桩施工的先后顺序,确保结构稳定并最大限度利用空间,避免全部围护桩完成后造成场地条件破坏,影响钢管柱安装所需地面承载力。

根据限制因素制定细化的进度计划,匹配场地条件和施工工艺进行实施方案优化,通过采用围护桩钢筋笼及钢管柱基础钢筋笼的分节制作、分节预拼、分段吊装、快速连接等方法实现围护桩和钢管柱的施工过程的优化。

采用 BIM 技术进行施工空间三维仿真与优化布局设计^[7],精确规划施工现场布置、机械设备选型、材料类型和进出路线,以减少交叉作业和提高施工效率,比选不同施工阶段的空间利用最优布置方案;模拟施工过程,预判潜在问题,优化施工步骤,形成工程筹划并进行施工推演^[8];根据有限场地与交通导行关系,优化出入口位置和进出场交通,做好场内与场外交通渠化协同。

3.2 空间规划优化

如图 2 所示,根据阶段施工特点和施工组织方式,将场区划分为临时作业区、半永久作业区和机械作业区。成品钢筋笼存放区、钢管柱存放区和拼装区、钢筋笼吊装转体区合并为临时作业区,原材存放场地、成孔作业区作为半永久作业区。临时作业区能够有效利用场地内狭小空间完成成品及半成品的存放和过渡,避免了长期占用场地,待后续工序完成后该区域兼做场地运输通道,完成场地的高效利用。

划分出固定机械作业区和可移动机械作业区,固定机械作业区内采用汽车吊,在其工作半径范围内进行作业,完成材料倒运、配合吊装等内容。可移动机械作业区内设置一台履带吊,通过小范围内行走完成有限场区内工作半径覆盖,节省机械数量和机械站位场地需要。

3.3 工序组织优化

3.3.1 材料及构配件验收

通过改变材料常规进场验收方式,将验收节点

前移,完成加工厂内过程验收与成品验收,将钢筋、钢管柱加工、首件验收、条件核查与验收、试拼装验收等验收过程分散至材料加工各个阶段,减少施工场地内验收时间与场地范围需要。首根钢管柱加工完成后,进行吊装前需在现场进行试拼装验收,将钢管柱试拼装放于工厂进行,试拼装时每个螺栓孔位进行标记,确保现场安装位置与试拼装一致,验收合格后,拆除整体钢管柱分节运输至施工现场。后续每根钢管柱在运至现场后,针对每一节钢管柱的长度、壁厚、弯曲矢高等主控项目再次进行验收,验收完成后进行分节组拼。

在材料进场与外加工及验收阶段,利用智能监控与物联网技术实时监控^[9],掌握加工进度与加工质量,保证加工进度与现场施工阶段匹配,确保工序衔接紧密顺畅,项目按期、保质完成。在钢管柱安装及定位监测阶段,利用数字化手段,将数据统一至平台,形成一个高效的信息驱动施工系统,实现设计、施工、监测、管理等各个环节的紧密耦合,提升工程项目的整体质量和效率。

3.3.2 原材料进场组织

在优化空间布局后,根据划分的临时存放区和加工区尺寸逆推原材料进场数量,得出钢管柱施工阶段加工所需要原材数量,分批次进场钢筋原材,避免二次倒运,提升材料转运效率。

在钢管柱进场组织方面,提前 2 d 通知厂家备货就位。待钻机成孔,清除沉渣后,利用基础钢筋笼下放及桩孔二次沉渣检测时段,利用固定机械作业区内的 1 台吊车进行钢管柱卸货及拼装。钢管柱进场安排在钢筋笼吊装完成之后,此时进行吊装作业的汽车吊已经完成配合作业,吊车站位满足钢管柱卸车与试拼装二次质量检查需要,最大化吊车使用效率,减少场地空间占用。但应该强调的是,此阶段试拼装仅作为钢管柱运输阶段成品保护检验与对孔检查,正式的钢管柱试拼装已在工厂完成条件验收。

3.3.3 钢筋笼加工

受场地条件和交通限制,钢管柱钢筋笼无法采用异地加工方式,除第一根钢管柱基础钢筋笼主笼与副笼可利用成孔阶段时间进行加工制作外,其余各根钢筋笼加工时间开始于上一根钢管柱基

础钢筋笼下放孔内完成后。此时钢筋加工厂内无成品钢筋笼, 具备下一根钢管柱钢筋笼加工条件。当基础柱钢筋笼主笼完成后, 将其挪移至成品存放区, 而副笼加工完成后存放于加工区内滚轮设备上。柱芯钢筋笼因其直径较小, 加工时间较快, 应在第一根钢管柱成孔前完成所有柱芯钢筋笼加工, 存放于履带吊工作半径覆盖范围内。需要注意的是, 在基础钢筋笼、钢管柱芯钢筋笼加工成型置于成品存放区后, 加工区存放台上至多存在 1 根已加工完毕的钢筋笼副笼, 以保证本次吊装完成后下一根基础钢筋笼的制作。

3.3.4 吊装优化

采用固定机械与移动机械相结合的配置, 固定机械负责场外材料进场及场内倒运、钢管柱现场校核, 其工作半径应覆盖至有限场地内原材区及临时存放区。移动机械负责场内成品及半成品倒运、钢筋笼和钢管柱吊装、孔口作业设备吊装。固定机械和可移动机械利用主工序吊装完成后的间歇时间进行辅助配合作业, 可以减少吊装准备时间, 实现了有限场地分区吊装管理, 避免交叉作业增多, 同时具备灵活性与经济性, 节约 1 台吊车, 最大化提升机械利用效率, 降低机械成本。

3.3.5 监测条件优化

在钢管柱分节吊装阶段与浇筑过程中钢管柱偏位监测时, 通过单独设置加高监测台, 避免因场地内机械较多, 影响仪器设备架设与监测人员安全, 从而完成钢管柱施工过程一站式监测。

3.4 技术工艺优化

3.4.1 钢筋笼分节连接优化

钢筋笼分节位置采用分体套筒连接工艺, 通过将套筒内筒壁上的内螺纹与被连接钢筋端头的外螺纹相配合以及外锁套固定实现钢筋连接, 平均每节钢筋笼拼装时间减少 0.5 h, 有效提高了有限场地内钢筋笼分节施工效率, 推进了加工区和临时存放区内工序转换。

3.4.2 钢筋笼优化

如图 3 所示, 盖板段围护桩为支撑永久结构顶板而采用截面减半的钢筋笼形式, 半圆形钢筋笼在吊装工序上与圆形钢筋笼一致, 吊点设置位置相较于圆形钢筋笼下移至截面变化位置下 1 m,

此处设置加强钢筋环。为保证连接的整体性, 圆形钢筋笼与半圆形钢筋笼在半圆段位置钢筋上下连通, 在弦长段钢筋长度满足伸过下侧冠梁进入桩内的锚固长度。半圆形钢筋笼加工制作主要通过半圆形箍筋与圆形定位筋进行固定。圆形定位筋作为支撑钢筋的骨架与半圆段钢筋先行焊接, 而后在圆形定位筋上安装水平定位钢筋, 再进行弦长段钢筋主筋与定位筋连接。半圆形钢筋笼段箍筋无法采用滚笼机绑扎成型, 且弦长段与半圆段箍筋折角困难, 故此位置钢筋笼主筋优化排布, 将主筋或者附加筋设置在折角位置处, 同时箍筋采用人工弯折, 如弯折困难, 可替换使用小一直径的钢筋, 减小箍筋间距, 但需通过设计验算。在半桩钢筋部位通高设置满足钢筋笼保护层要求的垫块与钢筋网片作为基面, 基面上铺贴一层薄镀锌铁皮, 混凝土一次性浇筑完成, 桩体强度满足要求后进行土方开挖, 破除混凝土精度与效率提高 80%。

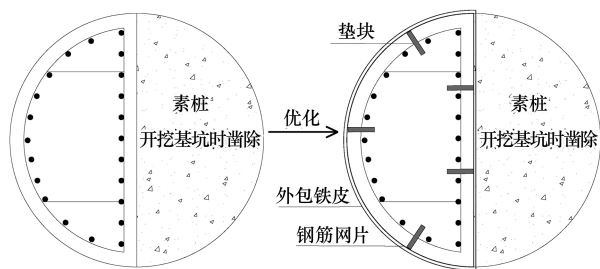


图 3 半桩钢筋笼外包材料示意

4 结 语

本文进行了有限场地盖挖法前期施工的全时空过程研究, 通过对关键流程精细化组织与技术优化, 结合信息化手段, 实现了安全、高效施工, 并在实际案例中验证, 得到以下成果: 围护桩、钢管柱混凝土施工绝对工期由 31.0 d 缩短至 26.1 d, 节约了 4.9 d; 施工吊装机械由原计划 3 台减少至两台, 机械利用率提升了 16.7% (机械利用率 = 每班次(d) 实际开机时数/每班次(d) 应开机时数 $\times 100\%$); 对应的以人员费、机械费及措施费组成的综合成本降低 30.09 万元, 降比 11.1%。综上所述, 本文所提出的关键技术和空间优化策略在实际工程中得到了成功验证, 确认了其实际应用价值, 研究成果不仅为有限场地条件下的盖挖法施工提供了

(下转第 83 页)

Civil 有限元软件依据试验检测推定材料强度建立石拱桥有限元分析模型, 分别对石拱桥在新、旧车辆荷载标准下的承载能力进行分析, 根据技术状况评定及有限元分析结果得出桥梁结构使用状况良好, 满足现行规范荷载标准。目前我国类似在役石拱桥建设年代较为久远, 随着时间的推移结构安全性能降低, 对于同类石拱桥结构有必要进行安全技术状况及结构承载力评定, 评定结果为桥梁安全使用及维修加固提供重要依据。

参考文献:

- [1] 徐勇. 拱桥的起源与石拱桥的发展 [J]. 世界桥梁, 2013, 41 (3): 85 - 92.
- [2] 彭伟, 郑建红. 片石拱桥现状检测评估及加固应用 [J]. 湖北工程学院学报, 2018, 38 (3): 101 - 105.
- [3] 王明. 公路桥涵养护病害的成因及处治措施 [J]. 工程建设, 2017, 49 (4): 66 - 67; 78.
- [4] 林建茂. 表观病害对预应力混凝土 T 梁桥承载力的影响分析 [J]. 工程建设, 2020, 52 (6): 88 - 94.
- [5] 牛东强. 石拱桥检测及承载能力修正 [J]. 水利与建筑工程学报, 2016, 14 (3): 232 - 236.
- [6] 彭伟, 吴成忠, 郑建红. 悬链线石拱桥检测及承载能力分析 [J]. 湖南城市学院学报 (自然科学版),

2017, 26 (6): 11 - 15.

- [7] 罗声, 康小兵. 石拱桥承载能力分析 & 试验检测评定 [J]. 公路工程, 2015, 40 (3): 210 - 212; 222.
- [8] 张煜, 熊治华, 罗靖雨等. 陕西老旧石拱桥快速评价体系构建 [J]. 水利与建筑工程学报, 2021, 19 (04): 168 - 174.
- [9] 李鹏程. 石拱桥健康检测评估方法研究: 以百节桥为例 [J]. 公路交通技术, 2017, 33 (1): 74 - 77.
- [10] 蒋田勇, 龙伟. 基于 DER&U 的石拱桥技术状况评定新方法 [J]. 公路交通科技, 2016, 33 (7): 68 - 75.
- [11] 蒋田勇, 龙伟. 基于层次分析的石拱桥技术状况评定方法 [J]. 公路交通科技, 2015, 32 (9): 49 - 56.
- [12] 张彦君. 某实腹式石拱桥结构承载能力分析 [J]. 水利与建筑工程学报, 2015, 13 (6): 221 - 225.
- [13] 孙潮, 陈宝春, 黄文金. 圯工拱桥承载力计算方法比较 [J]. 中外公路, 2014, 34 (6): 149 - 154.
- [14] 潘聪, 廖碧海. 基于外观调查的实腹式拱桥检算系数计算方法 [J]. 重庆交通大学学报 (自然科学版), 2013, 32 (增刊 1): 779 - 783.
- [15] 张彬彬, 谭小林, 喻红月, 等. 砌体结构承载力检验与评定 [J]. 建筑科学, 2011, 27 (增刊 1): 160 - 162.
- [16] 魏召兰, 蒲黔辉, 施洲. 基于有限元分析的实腹式石拱桥合理计算模式研究 [J]. 铁道建筑, 2010, (9): 9 - 12.

(上接第 71 页)

理论基础和实践指导, 也为类似工程项目的高效管理和优化提供了宝贵参考。这些创新方法的应用, 不仅推动了施工技术的进步, 也为城市基础设施建设的发展贡献了重要力量。

参考文献:

- [1] 江浩, 徐佳胤. 盖挖法灵活铺盖技术研究与应用 [J]. 施工技术, 2019, 48 (19): 87 - 89; 94.
- [2] 刘军, 刘礼扬, 王余良, 等. 地铁车站装配式半盖挖法施工技术研究 [J]. 市政技术, 2021, 39 (12): 73 - 75; 93.
- [3] 孙立柱. 北京地铁 6 号线呼家楼站盖挖法设计总结 [J]. 市政技术, 2017, 35 (1): 82 - 86; 91.
- [4] 王英森. 城市复杂环境下道改隐形桥梁式新型盖挖施工技术 [J]. 施工技术, 2020, 49 (23): 41 - 45.

- [5] 王健, 马红涛, 王水海. 明挖车站跨路口局部盖挖逆作法施工技术研究 [J]. 现代隧道技术, 2022, 59 (增刊 2): 125 - 130.
- [6] 郝丽娟, 王松海, 代云, 等. 全型钢钢便桥设计及施工关键技术研究 [J]. 建筑技术开发, 2023, 50 (10): 139 - 141.
- [7] 王勇涛, 郭强, 姚俊, 等. BIM 技术在盖挖法地铁停车场施工中的应用 [J]. 中国住宅设施, 2022 (6): 115 - 117.
- [8] 刘文涛, 贾立民, 杨云强. BIM 技术在山地城市轨道交通工程袖珍型场地布置中的应用 [J]. 工程建设与设计, 2023 (16): 88 - 90.
- [9] 宇文虎. 物联网技术在材料管理中的应用 [J]. 智慧城市, 2022, 8 (11): 4 - 6.