

矩形隧道顶管在过街行人通道建设中的应用研究

戴兵

(隧道股份上海隧道工程有限公司,上海市200032)

摘要: 在城市繁忙交通区域建设过街行人通道 SB-01 时,矩形隧道顶管(RTBM)方法被深入探讨以应对复杂的施工挑战。集中于施工方法的选择,详细分析了 RTBM 技术的实施细节,包括施工过程的管理和监控。此外,还特别关注了环境保护措施和安全管理策略,以确保施工活动对周围环境和人员的影响最小。通过具体案例研究,详细展示了 RTBM 方法在繁忙城市交通建设中的应用情况,旨在为其他类似的城市基础设施项目提供实际的操作指导和参考,以更有效地规划和实施类似的过街行人通道建设。

关键词: 矩形隧道顶管;RTBM;过街行人通道建设;城市隧道施工;施工管理;环境保护;安全管理

中图分类号: TU990.3

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)09-0174-06

0 引言

随着城市化进程的加速,城市基础设施建设需求日益增长。过街行人通道作为城市公共交通的重要组成部分,在缓解交通压力、提高市民出行效率方面发挥着关键作用^[1]。然而,过街行人通道建设通常位于城市中心区域,施工环境复杂,对周边建筑物和交通的影响要求最小化。因此,采用高效的施工方法以减少对城市生活的干扰变得尤为重要。矩形隧道顶管(RTBM)作为一种先进的非开挖隧道施工技术,因其高效、安全、环境友好等特点,在城市过街行人通道建设中得到了广泛应用^[2]。

本研究旨在深入探讨 RTBM 方法在过街行人通道 SB-01 建设中的应用,如图 1 所示,分析其施工技术、管理策略以及环境保护和安全管理措施。通过详细描述 RTBM 方法的施工流程和技术要点,为类似城市基础设施项目的规划、设计和施工提供参考和指导。SB-01 建设为前北停机坪启德发展计划 5B 基础设施建设工程,其永久结构将采用预制混凝土段,发挥 RTBM 技术施工安全、进度高、对附近设施影响最小的优点^[3]。此外,本文还将讨论 RTBM 方法在环境保护和安全管理方面的实践,以推动城市过街行人通道建设的可持续发展。

近年来,关于 RTBM 方法的研究逐渐增多,学者

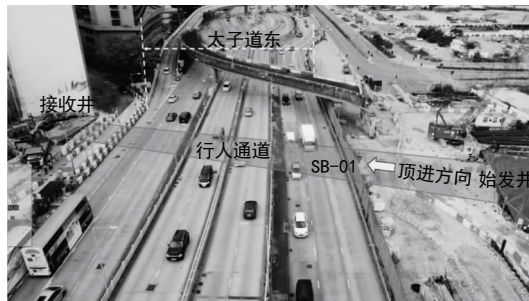


图1 SB-01 行人通道

们从不同角度对该技术进行了探讨。在施工技术方面,研究主要集中在工作面压力控制、顶管推进效率、土壤开挖与运输、隧道内部设施布置等方面^[3]。在环境与安全管理方面,研究关注于如何减少施工过程中的噪音、空气污染、水污染等问题,以及如何制定有效的安全风险评估和应急预案^[4]。尽管已有研究为本研究提供了宝贵的理论基础,但在具体的工程实践中仍存在诸多挑战和问题亟待解决。本文将结合过街行人通道 SB-01 的建设案例,对 RTBM 方法进行更为全面和深入的分析。

在施工方法与技术章节中,本文详细讨论了 RTBM 方法的选择依据、施工前的准备工作、施工过程中的关键技术、施工过程中的监测与调整以及施工方法的创新与优化。这一章节的扩展旨在为读者提供更深入的技术分析和实际应用案例,以便更好地理解 RTBM 方法在城市过街行人通道建设中的应用。同时,通过案例分析章节,本文将提供具体的工程实例和经验总结,以展示 RTBM 方法的实际效果和优势。

收稿日期: 2023-12-26

作者简介: 戴兵(1983—),男,学士,高级工程师,从事地下工程设计与管理工作。

1 工程概况

1.1 项目背景与目标

过街行人通道 SB-01 作为城市交通网络的关键部分,建设目的在于提高香港启德发展区域的交通便利性和区域连接性。该项目的目标是在不影响现有交通和周边环境的前提下,建设一条安全、可靠且高效的地下行人通道。过街行人通道 SB-01 的建设不仅需要考虑到技术和经济的可行性,还要充分考虑对城市景观和居民生活质量的影响。

1.2 工程地理位置与特点

过街行人通道 SB-01 位于香港启德前北机坪区域,紧邻繁忙的太子道东(见图 2)。该地区作为城市的重要交通枢纽,具有高密度的交通流量和复杂的地下管线网络。

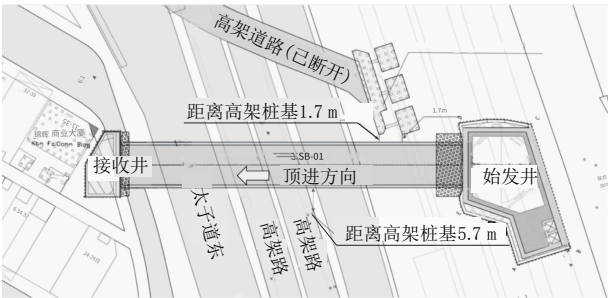


图 2 太子道东沿线非开挖技术隧道施工

工程的施工区域下方主要是冲积层土壤(见图 3),这为无开挖隧道施工提供了条件。然而,该地区的地下空间开发程度高,周边建筑物密集,对施工精度和环境保护均提出了更高要求。

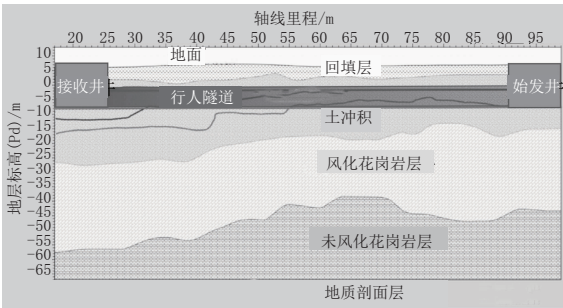


图 3 施工地质纵剖面图

1.3 工程规模与关键参数

过街行人通道 SB-01 的建设包括一条长约 86.7 m 的地下行人通道,以及相关的出入口和辅助结构。行人通道的内部尺寸宽为 9.0 m,高为 3.4 m,埋深约为 6.0~6.4 m,如图 4 所示,过街地道断面图。工程采用 RTBM 方法,利用矩形隧道掘进机进行施工。预制混凝土段作为永久结构,每个段的外部尺寸

为 10 800 mm(宽)×7 500 mm(高),厚度为 700 mm。工程的关键参数还包括工作面的压力控制、推进速度、土壤改良和注浆技术的应用等。

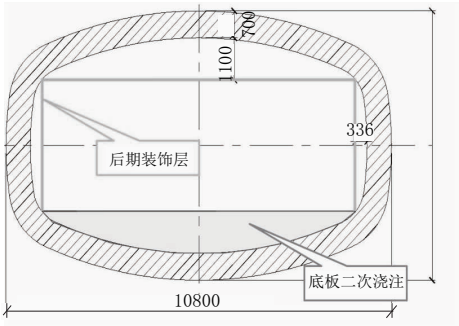


图 4 过街地道断面图(单位:mm)

1.4 施工范围与要求

施工范围包括行人通道的主体结构、出入口结构、以及必要的地面设施。施工要求包括确保施工安全、控制地面沉降、保护周边建筑物和地下管线、以及减少对交通和居民生活的影响。此外,工程还需遵守相关的环境保护法规和安全标准,确保施工过程中的环境保护和人员安全。

2 施工过程中的关键技术

2.1 RTBM 方法的选择依据

在众多隧道施工方法中,矩形隧道顶管(RTBM)方法因其高效性和对环境影响小而被选用于过街行人通道 SB-01 的建设。这种方法已在世界上广泛使用(包括同样由上海隧道公司建造的启德开发项目 3B 阶段的 SW4 号隧道)。RTBM 方法能够在复杂的地下环境中实现高精度的隧道推进,同时减少对地面建筑物和交通的影响^[5]。选择 RTBM 方法还考虑了工程的特定条件,如土壤特性、地下水位、周边环境敏感性以及施工期间的交通维护需求,如图 4 所示。

2.2 施工前的准备工作

施工前的准备工作是确保工程顺利进行的关键。这包括了对施工区域的详细地质勘察、地下管线的精确定位(见图 5)、施工设备的选型和调试、施工人员的培训 and 安全教育、以及施工现场的布置和安全防护措施的设置。此外,还需要制定详细的施工计划和应急预案,以应对可能出现的突发情况。

同时,参考地质情况,采用地下加固工程,在拟建地下隧道沿线,特别是在拟建隧道沿线将遇到软黏土或冲积层的地方,如果下层土质松软且不稳定,则将指定区域进行地面加固,以避免在隧道施工阶段出现过大的地面和道路沉降。拟建的注浆块共有

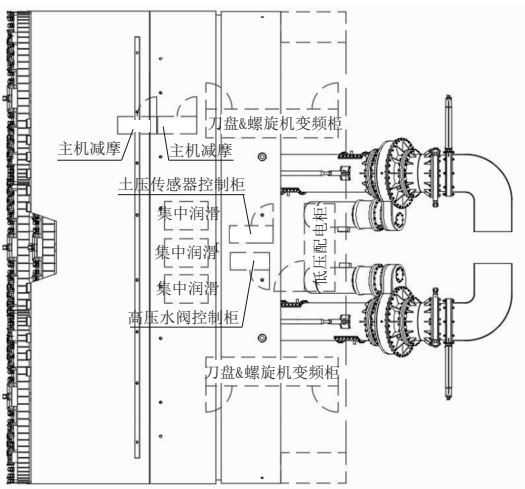


图 5 始发状态下的 RTBM 俯视图

两块,分别位于发射井和接收井的 RTBM 开口附近。

对于施工现场附近的现有结构,将通过现场核实确认,调整施工坑的位置,以尽可能避免与邻近的现有结构直接冲突。将格外小心,避免暴露现有的公用设施。严格按照公用事业承办商的建议,对暴露的公用设施进行原位支撑和保护。

2.3 施工过程中的关键技术

2.3.1 工作面压力控制

工作面压力控制是 RTBM 施工中的关键技术之一。通过精确控制工作面的压力,可以有效防止地面沉降和隧道变形^[6]。本项目中使用的 RTBM 属于土压平衡型。它利用工作面压力来支撑前方土质工作面并控制地表沉降。工作面压力控制是隧道开采的关键(见图 6)。

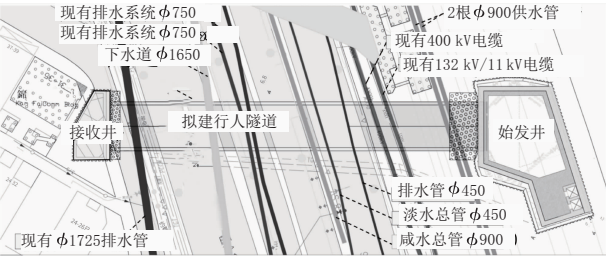


图 6 现存周边设施

施工中采用了先进的压力监测系统和自动化控制技术,确保工作面压力始终保持在设计范围内。工作面土压力监测值如图 7 所示。最小和最大设计工作面压力以及目标工作面压力应由 RTBM 操作员和隧道工程项目经理控制并按照批准的图纸执行。

2.3.2 顶管推进效率

顶管推进效率将直接影响工程的施工进度和成本^[7]。通过优化推进参数、改进刀盘设计和采用高效的土壤输送系统,提高了顶管的推进速度和效率。同时,通过对施工数据的实时监控和分析(见图 7),及

时调整施工参数,确保了施工的连续性和稳定性。该次项目采用的顶进效率如下:

- (1)初始驱动:顶进速度约为 0.5 m/d。
- (2)主驱动:顶进速度约为 1.5 m/d。
- (3)接收驱动:顶升速度约为 0.5 m/d。

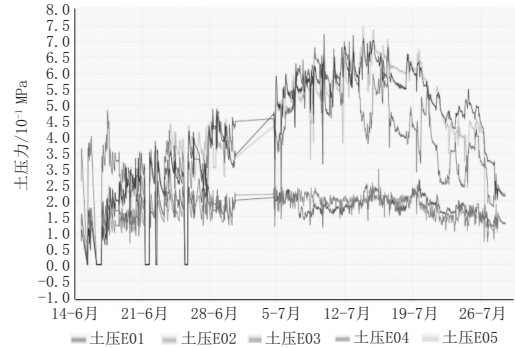


图 7 工作面土压力

RTBM 顶力值如图 8 所示。

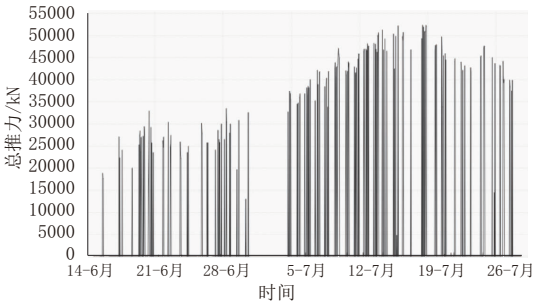


图 8 RTBM 顶力

2.3.3 土壤开挖与运输

土壤开挖与运输是 RTBM 施工中的重要环节。施工中采用了高效的螺旋输送机和土壤运输车辆,实现了土壤的快速移除和运输。同时,通过采用土壤改良技术,降低了土壤的黏性和湿度,提高了土壤的流动性,从而提高了开挖和运输的效率。每段铺设泥土运输轨道,采用一台 40 t 电力遥控机车和一个 11 m³ 的泥斗进行开挖运输。机车装有淤泥箕斗,开到发射井的提升位置,然后用龙门吊吊起土箱,将泥土倒入储土罐中临时储存。

2.3.4 隧道内部设施布置

隧道内部设施的布置(见图 9)对确保施工安全和效率至关重要。包括了电力供应系统、照明系统、通风系统、排水系统和通信系统等。这些设施的合理布置和有效运行,为施工人员提供了良好的工作环境,同时也为施工过程中的监控和应急响应提供了支持。

2.3.5 土壤改良与注浆技术

土壤改良与注浆技术是控制地面沉降和提高隧道稳定性的重要手段。通过向土壤中注入适当的添

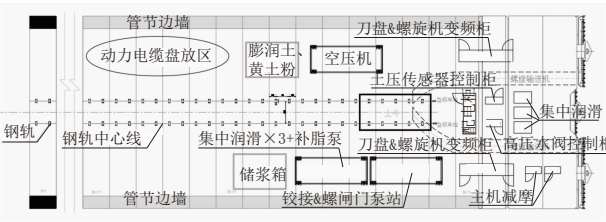


图9 隧道内布局

加剂,如膨润土、聚合物和黏土冲击物,改善了土壤的物理性质,减少了施工过程中的地面沉降。同时,通过精确控制注浆量和压力,确保了隧道周围土壤的均匀性和稳定性。

2.4 施工过程中的检测与调整

施工过程中的监测与调整是确保工程质量的关键。通过安装各种传感器和监控设备,实时监测隧道的推进速度、工作面压力、地面沉降、隧道内环境等关键参数。根据监测数据,及时调整施工参数和方法,确保了工程的顺利进行和施工质量(见图10)的符合要求。

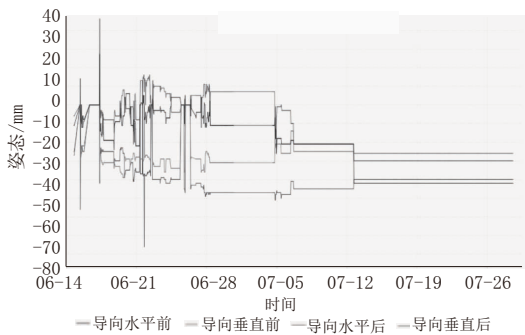


图10 RTBM 姿态偏差图

2.5 施工方法的创新与优化

在施工过程中,不断探索和实践新的施工技术和方法。例如,通过引入自动化和智能化技术,提高了施工的精确性和效率;通过采用环保材料和节能设备,减少了工程对环境的影响;通过优化施工组织和管理,提高了施工的协调性和响应速度。这些创新和优化不仅提高了工程的质量和效率,也为未来类似工程的施工提供了宝贵的经验和参考。

3 施工管理与监控

3.1 施工进度规划与管理

施工进度的有效管理是确保项目按时完成的关键。项目团队采用先进的项目管理软件,结合工程实际情况,制定了详细的施工进度计划。该计划包括了每个施工阶段的开始和结束日期、关键里程碑、资源分配以及潜在的风险和应对措施。通过定期的进度审查和调整,项目团队能够及时发现偏差并采取纠

正措施,确保工程按计划推进。

3.2 施工质量控制

质量是工程项目成功的基石。为此,项目团队建立了一套全面的质量管理系统,包括质量保证(QA)和质量控制(QC)两个方面。QA 侧重于预防措施,如施工方案的审查、材料的选择和检验、施工人员的培训等。QC 则侧重于检查和测试,包括对施工过程的监督、成品的检验、以及不合格品的处理。通过 QA 和 QC 的结合,项目团队确保了施工质量满足甚至超过设计和规范要求。

3.3 施工安全监控系统

施工安全是项目管理中的重中之重。项目团队采用了一套集成的安全监控系统,包括视频监控、实时通讯、人员定位和紧急响应等功能。该系统能够实时监控施工现场的安全状况,及时发现和处理安全隐患。此外,项目团队还定期进行安全培训和演练,提高施工人员的安全意识和应急能力。

3.4 施工环境影响评估与控制

为了减少施工对环境的影响,项目团队在施工前进行了详细的环境影响评估(Environmental Impact Assessment,简称 EIA)^[8]。EIA 的结果指导了施工期间环境保护措施的制定,如噪声控制、粉尘管理、废水处理和固体废物回收等。项目团队还设立了环境监控小组,负责监测施工活动对空气质量、水质、土壤和生态的影响,并根据监测结果调整环保措施。

3.5 信息管理和沟通

信息的准确传递和有效沟通对施工管理至关重要。项目团队建立了一个集中的信息管理系统,确保所有相关方能够及时获取最新的工程信息。此外,定期的项目会议、进度报告和沟通平台的建立,也保证了信息的畅通和问题的快速解决。

3.6 风险管理与应急预案

风险管理是施工管理的重要组成部分。项目团队对所有潜在的风险进行了识别、评估和分类,并制定了相应的缓解措施。同时,为了应对可能发生的紧急情况,项目团队制定了详细的应急预案,并定期进行演练,确保在紧急情况下能够迅速有效地响应。

4 环境保护与安全措施

4.1 噪声与空气污染控制

为了减少施工活动对周边社区的影响,项目团队采取了一系列噪声和空气污染控制措施。这包括

使用低噪声施工设备、在施工现场设置隔音屏障、合理安排施工时间以避免夜间施工造成噪音扰民。一般工程将在正常工作时间(即 07:00—23:00)内进行。充分维护所有厂房和设备,以防止发出过量噪声。并为所有使用的动力机械设备配备有效的 EPD 噪音标签。对于空气污染,施工现场配备了粉尘控制系统,如喷水降尘装置和覆盖物料,以减少扬尘。此外,所有的燃油设备均符合环保标准,并定期进行排放检测。

4.2 水资源保护与废水处理

水资源的保护是环境保护的重要组成部分。施工期间,项目团队采取了严格的水资源管理措施,包括雨水和废水的收集与处理系统。所有施工废水在排放前都经过预处理系统(如沉淀池、过滤装置等)进行净化,确保排放水质符合当地法规要求。同时,通过优化施工方案和水资源的循环利用,减少了对周边水体的影响。

4.3 固体废物管理与循环利用

固体废物的有效管理对于减少环境影响至关重要。项目团队实施了严格的废物分类、存储和运输制度。所有废物在运输前均进行分类和压缩,以减少运输过程中的环境污染。对于可回收材料,如金属、木材和塑料,项目团队与当地回收机构合作,确保这些材料得到有效的循环利用。此外,对于建筑废料,如混凝土和砖块,也采取了再利用或安全填埋的措施。所有挖掘出的废料都会妥善存放,并覆盖或尽早运走。所有装载的倾倒车在驶离工地前均用不透水的篷布覆盖,并定期冲洗车轮与料斗。

4.4 安全风险评估与应急预案

施工安全是项目管理的首要任务。项目团队在施工前进行了全面的风险评估,识别了所有潜在的安全风险,并制定了相应的预防措施。这些措施包括提供安全培训、使用个人防护装备、设置安全警示标志、以及实施安全操作程序。此外,项目团队还制定了应急预案,以应对可能发生的事故和紧急情况。这些预案包括疏散计划、事故报告流程、以及与当地应急服务机构的协调合作。

4.5 环境保护法规遵守

项目团队严格遵守所有相关的环境保护法规 and 标准。这包括了解和遵守当地的环境法规、获取必要的环境许可证、以及定期向监管机构报告环境表现。项目团队还与环保组织合作,参与环境保护活动,并积极寻求改进环境管理的机会。

4.6 环境与安全文化的建设

为了建立一个环境友好和安全的文化,项目团队鼓励所有员工参与环境保护和安全管理。通过定期的培训、研讨会和宣传活动,提高员工的环境和安全意识。此外,项目团队还设立了奖励机制,表彰在环境保护和安全管理方面做出突出贡献的个人和团队。

5 案例分析

5.1 过街行人通道 SB-01 工程实例

过街行人通道 SB-01 工程是一个典型的城市基础设施建设项目,其成功实施为类似项目提供了宝贵的经验和教训。该项目的目标是在启德发展区建设一条连接重要交通枢纽的行人通道。由于施工地点位于城市中心区域,周围环境复杂,施工过程中需要克服多种挑战,包括保护历史建筑、减少对交通的影响,确保施工安全和环境保护。

5.2 施工过程中的挑战与解决方案

在过街行人通道 SB-01 的施工过程中,项目团队面临了多项挑战。首先,由于施工区域地质条件复杂,团队需要对 RTBM 机进行定制化设计,以适应多变的土壤特性。此外,为了减少施工对周边交通的影响,项目团队采取了夜间施工和临时交通管制措施。在环境保护方面,团队实施了一系列创新措施,如使用低振动设备、设置隔音屏障和采用环保材料。

5.3 工程效果评估与经验总结

过街行人通道 SB-01 工程的成功完成,不仅提高了启德区域的交通便利性,也为城市基础设施建设树立了新的标杆。项目团队通过精心规划和科学管理,有效地控制了工程成本和施工周期。同时,通过采用先进的施工技术和环保措施,项目在环境保护和安全管理方面取得了显著成效。工程的顺利完成成为项目团队赢得了社会各界的广泛赞誉,并为公司积累了宝贵的无形资产。

5.4 技术创新与应用

在过街行人通道 SB-01 工程中,项目团队采用了多项技术创新。例如,通过引入实时监测系统,团队能够对隧道推进过程中的地面沉降进行精确控制。此外,团队还利用 BIM(建筑信息模型)技术进行施工模拟和资源优化,提高了施工效率和质量。这些技术创新不仅提升了工程的整体性能,也为未来类似项目的实施提供了新的思路和方法。

5.5 风险管理与应对策略

在风险管理方面,项目团队采取了全面的风险

评估和应对策略。通过建立风险数据库和实施动态风险管理,团队能够及时识别和响应各种潜在风险。在应对策略上,团队不仅准备了充分的物资和人力资源,还制定了详细的应急预案,确保在面对突发事件时能够迅速有效地采取行动。

5.6 社会影响与公众参与

过街行人通道 SB-01 工程在施工过程中,积极与当地社区进行沟通和协作。项目团队通过举办公众开放日、发布定期施工更新和建立社区联络小组等方式,增强了公众对项目的理解和支持。此外,团队还积极吸纳社区居民的意见和建议,使工程更加符合社区的现实需求和期望。

5.7 可持续发展与未来展望

过街行人通道 SB-01 工程的实施,体现了可持续发展的理念。项目团队在设计和施工过程中,充分考虑了节能、环保和社会效益等因素。通过采用绿色建筑材料、实施资源循环利用和优化施工方案,项目在保证经济效益的同时,也为社会的可持续发展做出了贡献。展望未来,过街行人通道 SB-01 工程的成功经验将为城市基础设施建设提供重要的参考,推动更多绿色、智能和人文的基础设施项目的发展。

6 结论与建议

6.1 研究总结

本研究对过街行人通道 SB-01 建设项目采用的 RTBM 方法进行了全面的分析。通过深入探讨施工方法、管理策略、环境保护和安全管理措施,本研究揭示了 RTBM 技术在城市过街行人通道建设中的有效性和可行性。研究表明,通过精心的规划和科学的管理,RTBM 方法能够在保证施工安全和环境保护的同时,提高施工效率和质量。此外,项目团队的创新实践和对风险的有效管理,为类似城市基础设施项目提供了宝贵的经验和启示。

6.2 对未来工程的建议

基于过街行人通道 SB-01 项目的成功经验和存在的不足,本研究提出以下建议,以供未来类似工程参考。

(1)技术创新:鼓励采用更多的创新技术和智能系统,如物联网(IoT)、大数据分析和机器学习,以进

一步提升施工的自动化和智能化水平。

(2)环境友好:推广使用更多环保材料和节能设备,实施更为严格的废水处理和废物回收措施,以减少施工对环境的影响。

(3)安全管理:加强施工人员的安全培训和健康监测,完善应急预案和应急响应机制,确保施工现场的安全。

(4)社区参与:加强与当地社区的沟通协作,积极吸纳公众意见,提高工程的社会接受度和满意度。

(5)持续改进:建立持续改进机制,定期评估施工过程和成果,及时调整优化施工方案和管理体系。

6.3 研究的局限性与未来方向

尽管本研究提供了有关 RTBM 方法在城市过街行人通道建设中应用的深入分析,但仍存在一些局限性。例如,研究主要基于过街行人通道 SB-01 项目的案例,可能无法完全涵盖所有可能的施工情况和挑战。此外,随着新技术的不断发展,未来可能还会有更多创新的施工方法和管理策略出现。因此,未来的研究可以在更广泛的项目和地区范围内进行,以验证和扩展本研究的结论。同时,未来的研究也可以探索更多关于新技术应用、跨学科合作和全球环境变化对城市过街行人通道建设的影响。

参考文献:

- [1] 祁宇飞.城市地下通道施工中的节能环保技术应用研究[J].工程建设与设计,2024(8):112-114.
- [2] 刘祥.试论矩形顶管工法在地下通道工程中的应用[J].价值工程,2024,43(16):114-117.
- [3] 接余.城市综合管廊项目中矩形顶管机施工的探讨[J].居业,2024(5):38-40.
- [4] 池玉宇,杨益平,许自立,等.过街地道矩形顶管施工变形监测分析及预防措施探究[J].工程质量,2020,38(8):40-45.
- [5] 文中坤.砂砾石地层条件下的土压平衡矩形顶管土体改良试验研究[D].包头:内蒙古科技大学,2015.
- [6] 马鹏,岛田英树,马保松,等.矩形顶管关键技术研究现状及发展趋势探讨[J].隧道建设(中英文),2022,42(10):1677-1692.
- [7] 杨庆辉.长距离岩石地层顶管施工效率分析与研究[J].铁道建筑技术,2023(8):36-38,48.
- [8] 白柱.开挖荷载作用下深基坑施工环境影响及控制研究[J].江西建材,2023(8):185-186,189.