

基于BIM技术的地下矩形顶管施工优化方法研究

赵素华

中隧方盾（天津）市政工程有限公司 天津 300457

摘要：本文聚焦于地下矩形顶管施工，探讨基于BIM技术的施工优化方法。通过分析传统施工方法的不足，阐述BIM技术在施工模拟、碰撞检测、进度管理等方面的应用优势，结合实际工程案例，提出一套基于BIM技术的地下矩形顶管施工优化策略，旨在提高施工效率、降低成本、保障施工安全，为类似工程提供参考。

关键词：BIM技术；地下矩形顶管；施工优化；施工模拟

引言

随着城市化进程的加速，地下空间开发需求日益增长，地下矩形顶管施工技术因其对地面交通和环境影响小等优势，在城市地下管廊、地铁出入口等工程中得到广泛应用。然而，地下矩形顶管施工涉及地质条件复杂、施工工序繁多、各专业协同要求高等问题，传统施工方法在施工效率、成本控制和安全保障等方面面临诸多挑战。BIM（Building Information Modeling）技术作为一种基于三维数字技术的工程数据模型，能够实现工程信息的集成与共享，为工程全生命周期管理提供有力支持。将BIM技术应用于地下矩形顶管施工，有助于优化施工方案、提高施工管理水平，具有重要的研究意义和实践价值。

1 传统地下矩形顶管施工方法存在的问题

1.1 施工方案制定缺乏科学依据

在传统地下矩形顶管施工方案的制定过程中，施工人员主要凭借自身积累的经验以及二维图纸来开展工作。然而，地下环境复杂多变，地质条件往往呈现出极大的不均匀性，可能存在软弱土层、岩石层、含水层等多种不同地质情况，且周边环境因素也错综复杂，如邻近建筑物的基础类型、地下管线分布等。但传统方法对这些复杂因素考虑不够全面深入，缺乏科学系统的分析和评估手段。由于难以准确预测施工过程中可能出现的问题，所制定的施工方案在科学性和合理性上存在明显不足。在实际施工过程中，常常会因为遇到未预见的地质变化或周边环境干扰，而需要对施工方案进行频繁调整。例如，当顶进过程中遇到地下孤石时，原定的顶进方式和设备可能无法正常作业，不得不临时改变施工方法，这不仅会打乱原有的施工节奏，影响施工进度，还可能因调整方案而引入新的质量隐患，导致工程质量难以得到有效保障^[1]。

1.2 各专业协同困难

地下矩形顶管施工是一个涉及多专业协同作业的复杂系统工程，涵盖了土建、机电、管道等多个专业领域。每个专业都有其独特的设计要求和施工流程，且各专业之间存在着紧密的关联和相互影响。在传统施工模式下，各专业往往独立进行设计和施工，缺乏有效的信息沟通与共享机制。这导致在设计阶段就容易出现各专业之间的设计冲突，如管道与结构碰撞、机电设备安装空间不足等问题。这些问题在施工阶段才会逐渐暴露出来，此时再进行设计变更和施工调整，不仅会增加施工成本，还会导致工期延误。例如，在机电设备安装过程中，发现预留的安装空间因土建结构尺寸偏差而无法满足设备安装要求，就需要对土建结构进行局部改造，这不仅会耗费额外的人力和物力，还会影响整个工程的进度安排。

1.3 施工进度管理粗放

传统施工进度管理主要依赖人工编制进度计划，这种方式在面对复杂多变的地下矩形顶管施工环境时，显得力不从心。人工编制的进度计划往往基于理想化的施工条件，对施工过程中可能出现的各种干扰因素考虑不足。在施工过程中，地质条件变化、设备故障、材料供应不及时等因素频繁影响施工进度。由于缺乏有效的动态监控手段，实际施工进度与计划进度之间的偏差难以及时发现。当偏差积累到一定程度时，才意识到进度已经失控，但此时调整进度计划的难度和成本都大大增加。例如，由于地下水位突然上升，导致顶进作业受阻，而进度计划中未考虑到这种突发情况，使得施工进度延误数天，后续工序也不得不相应推迟，整个工程的工期受到严重影响。

1.4 安全风险管控难度大

地下矩形顶管施工环境恶劣，存在着诸多潜在的安全风险，如土体坍塌、地下水突涌、顶管机故障等。这些风险一旦发生，往往会造成严重的人员伤亡和财产损失。

失。传统安全风险管控主要依靠人工巡查和经验判断,这种方式存在很大的局限性。人工巡查难以覆盖整个施工区域的所有风险点,且巡查频率有限,无法实时掌握施工过程中的安全状况。经验判断则受个人经验和知识水平的限制,难以对安全风险进行全面、准确的识别和评估。因此,传统安全风险管控无法及时发现潜在的安全隐患,也无法及时采取有效的防控措施,导致安全事故时有发生。例如,在顶进过程中,由于对土体应力的监测不足,未能及时发现土体失稳的迹象,最终引发土体坍塌事故,给工程带来巨大损失^[2]。

2 BIM 技术在地下矩形顶管施工中的应用优势

2.1 施工模拟与可视化

BIM技术凭借其强大的三维建模功能,能够为地下矩形顶管施工构建精确的三维模型。这个模型不仅包含了管廊的结构信息,还涵盖了施工机械、周边环境等详细要素。通过对施工过程进行动态模拟,可以直观地展示施工工序的先后顺序、施工机械的运行轨迹以及施工人员的操作过程。在模拟过程中,能够提前发现施工过程中可能出现的问题,如顶管机姿态偏差、出土不畅等。对于顶管机姿态偏差问题,通过模拟可以观察到在不同地质条件下顶管机的偏移趋势,从而及时调整顶进参数,确保顶管机沿着预定路线前进。对于出土不畅问题,可以模拟出土设备的运行情况,优化出土方案,提高施工效率。同时,施工模拟的可视化特点使得施工人员能够更加直观地理解施工方案,减少因理解偏差而导致的施工错误和返工现象,提高施工质量和安全性。

2.2 碰撞检测与协同设计

BIM模型具有集成各专业设计信息的能力,将土建、机电、管道等多个专业的设计数据整合在一个统一的模型中。利用碰撞检测功能,可以自动扫描模型,快速发现各专业之间的设计冲突,如管道与结构碰撞、机电设备与顶管机碰撞等。在施工前及时解决这些碰撞问题,能够避免施工过程中的返工和变更,从而减少施工成本和工期延误。例如,通过碰撞检测发现管道与结构梁发生碰撞,设计人员可以在模型中直接对管道走向进行调整,无需像传统方式那样进行繁琐的图纸修改和沟通协调^[3]。此外,BIM技术为各专业提供了一个协同工作的平台,各专业人员可以在同一模型上进行设计和沟通,实现信息的实时共享和协同工作。这使得设计过程中的问题能够及时得到解决,提高了设计质量和施工协同效率,确保了各专业之间的无缝衔接。

2.3 进度管理与动态监控

将BIM模型与施工进度计划相结合,能够建立4D

施工进度模型。这个模型将三维空间信息与时间维度相结合,实现了施工进度的可视化模拟和动态管理。通过4D模型,施工管理人员可以直观地展示每个施工阶段的工程形象进度和资源需求情况,如同观看一部施工过程的动画电影,清晰地了解工程的进展状况。在施工过程中,利用BIM技术的实时数据采集功能,可以及时获取施工现场的实际进度信息,并将其与4D模型中的计划进度进行对比分析。一旦发现进度偏差,系统能够迅速分析偏差产生的原因,如是否由于设备故障、材料供应延迟或施工工艺问题导致。根据分析结果,施工管理人员可以及时调整进度计划,合理调配资源,确保施工进度按计划进行。例如,当发现某道工序因设备故障导致进度滞后时,可以通过调整后续工序的施工时间、增加设备投入等方式,尽量减少对总工期的影响。

2.4 安全风险管理与预警

基于BIM模型可以建立全面的安全风险数据库,对地下矩形顶管施工过程中的各类安全风险进行系统识别、评估和分析。通过在BIM模型中标注安全风险点和防控措施,为施工人员提供直观、详细的安全指导。施工人员可以在模型中清晰地看到每个区域存在的安全风险以及相应的应对方法,提高安全意识和自我保护能力。同时,利用传感器技术和物联网技术,可以实时采集施工现场的安全数据,如土体压力、地下水位、顶管机运行参数等。这些数据通过无线网络传输至BIM模型中,系统会对数据进行实时分析和处理。当安全数据超出预警值时,系统自动发出警报,提醒施工人员及时采取措施。例如,当监测到地下水位突然上升超过安全阈值时,系统立即发出警报,施工人员可以迅速启动降水设备,采取降水措施,防止土体坍塌事故的发生,有效保障施工安全。

3 基于 BIM 技术的地下矩形顶管施工优化策略

3.1 施工方案优化

在施工方案制定阶段,充分利用BIM技术的施工模拟功能,对不同的施工方案进行全面、深入的对比分析。通过模拟不同地质条件、不同顶进参数下的施工过程,详细评估各施工方案的可行性、经济性和安全性。例如,针对复杂地质条件,模拟在不同土层中采用不同顶进速度、注浆压力等参数下的施工效果。观察顶管机的受力情况、土体变形情况以及出土效率等指标,分析各方案对工程质量、施工进度和成本的影响。如果发现原设计方案中顶管机的顶进速度过快可能导致土体坍塌,通过调整顶进速度和注浆参数,重新进行模拟分析,直到找到最优的施工参数组合,确保施工方案在保证安全

的前提下,具有较高的经济性和可行性。同时,还可以模拟不同施工顺序对工程的影响,选择最优的施工顺序,提高施工效率。

3.2 施工进度优化

基于BIM 4D施工进度模型,对施工进度计划进行精细化优化。深入分析各施工工序之间的逻辑关系和时间参数,合理安排施工顺序,确保各工序之间紧密衔接,避免出现窝工和资源浪费现象。例如,根据顶管施工的特点,合理安排顶进、出土、管节安装等工序的时间节点,使各工序能够协同作业。同时,利用BIM技术的动态监控功能,实时掌握施工现场的实际进度情况。通过在施工现场设置传感器和监控设备,及时采集施工数据,并与4D模型中的计划进度进行对比。当发现某道工序因设备故障导致进度滞后时,迅速分析对后续工序的影响,并及时调整后续工序的施工时间。可以通过增加施工人员、延长工作时间或调整施工顺序等方式,确保总工期不受影响。此外,还可以根据实际进度情况,动态调整资源分配,提高资源利用效率^[5]。

3.3 施工成本优化

将BIM模型与成本数据相结合,建立5D施工成本模型,实现施工成本的可视化管理和动态控制。通过5D模型,可以实时统计每个施工阶段的工程量、材料消耗量和人工用量,准确计算施工成本。例如,在材料管理方面,根据BIM模型中的材料信息,精确计算每个施工阶段所需材料的数量和规格,避免材料的浪费和积压。同时,利用BIM技术的碰撞检测功能,减少施工过程中的返工和变更。在施工前通过碰撞检测发现管道与结构碰撞问题,及时调整设计方案,避免了施工过程中的返工费用。此外,还可以通过优化施工方案和施工进度,降低施工成本。例如,选择合理的施工机械和施工工艺,减少设备租赁费用和能源消耗;合理安排施工顺序,缩短施工周期,降低间接成本。

4 工程案例分析

4.1 工程概况

以某城市地下综合管廊工程为例,该工程采用矩

形顶管法施工,管廊断面尺寸为6m×4m,顶进长度为200m,施工地质条件复杂,存在粉砂层和淤泥质土层。

4.2 BIM技术应用过程

在工程前期,利用BIM技术建立地下矩形顶管施工的三维模型,包括管廊结构模型、顶管机模型、周边环境模型等。通过施工模拟,优化施工方案,确定顶进参数和注浆方案。在施工过程中,利用BIM模型进行碰撞检测,及时发现并解决管道与结构碰撞问题。同时,建立4D施工进度模型,对施工进度进行动态监控和调整。利用传感器技术和物联网技术,实时采集施工现场的安全数据,并通过BIM模型进行安全风险预警。

4.3 应用效果分析

通过应用BIM技术,该工程在施工方案制定、施工进度管理、施工成本控制和安全风险防控等方面取得了显著效果。施工方案更加科学合理,减少了施工过程中的调整和变更;施工进度得到有效控制,总工期比计划提前了10天;施工成本降低了8%,主要得益于减少了返工和变更费用;安全风险得到有效防控,施工过程中未发生安全事故。

结束语

未来,应进一步加强BIM技术的研究和开发,完善BIM标准体系,提高BIM技术的应用水平,推动地下矩形顶管施工向智能化、信息化方向发展。同时,应加强BIM技术与其他新兴技术(如人工智能、大数据、虚拟现实等)的融合应用,为地下矩形顶管施工提供更加强有力的技术支持。

参考文献

- [1]陈杰.四孔并行矩形顶管施工力学效应研究[D].西南交通大学,2015.
- [2]余彬良,陈传灿.顶管施工技术[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [3]梁玮真.土压平衡矩形顶管隧道工作面稳定性研究[D].内蒙古科技大学,2015.
- [4]余彬泉,陈传灿.顶管施工技术[M].北京:人民交通出版社,2019.