

DOI: 10.7672/sgjs2025100012

BIM 数字化施工技术在交通枢纽工程中的应用研究*

王 钧

(山西省安装集团股份有限公司,山西 太原 030000)

[摘要] BIM 技术作为一种先进的数字化工具,以其三维可视化、信息集成、协同作业等特点,在交通枢纽工程的全生命周期管理中发挥着日益重要的作用。以沁水东连接线交通枢纽工程为研究对象,对 BIM 数字化技术在工程中的应用进行分析。结果表明:通过优化 BIM 建模过程,批量添加模型构件参数,确保数据信息的一致性,提高了 BIM 模型建模速度和管理质量;通过 BIM 技术模拟施工过程,实现了施工过程的动态调整,优化了施工场地布置、施工工艺和工序,提高了施工质量和施工速度;BIM 技术与无人机摄影技术相结合,能选取特定区进行工程量计算并生成表格,动态跟踪项目实施情况,对工程资源进行精准计算与调配;通过 MES 生产管理平台、C-Smart 智慧工地平台,实现工程项目数据采集“移动化”、生产预警“智能化”、决策调度“线上化”,并对工程进行环境监测、实时监控、安全管理、质量管理等,促进了交通枢纽工程数字化建设发展。

[关键词] 建筑信息模型;数字化;交通枢纽;施工质量

[中图分类号] TU17

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)10-0012-05

Research on Application of BIM Digital Construction Technology in Transportation Hub Project

WANG Jun

(Shanxi Installation Group Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi 030000, China)

Abstract: As an advanced digital tool, BIM technology plays an increasingly important role in the whole life cycle management of transportation hub projects with its characteristics of three-dimensional visualization, information integration and collaborative operation. Taking the traffic hub project of Qinshui East Connection Line as the research object, the application of BIM digital technology in the project is analyzed. The results show that by optimizing the BIM modeling process and adding model component parameters in batches, the consistency of data information is ensured, and the modeling speed and management quality of BIM model are improved. Through BIM technology to simulate the construction process, the dynamic adjustment of the construction process is realized, the construction site layout, construction technology and process are optimized, and the construction quality and construction speed are improved. The combination of BIM technology and UAV photography technology can select specific areas for engineering quantity calculation and generate tables, dynamically track the implementation of the project, and accurately calculate and allocate engineering resources. Through the MES production management platform and C-Smart intelligent site platform, the project data acquisition mobile, production early warning intelligent, decision-making scheduling online are realized, and the project is carried out. Environmental monitoring, real-time monitoring, safety management, quality management, etc., have promoted the development of digital construction of transportation hub projects.

Keywords: building information modeling(BIM); digitalization; transportation hub; construction quality

* 山西省绿色环境催化关键技术研发科技创新人才团队资助项目(202204051012018)

[作者简介] 王 钧,高级工程师,E-mail:1340788060@qq.com

[收稿日期] 2025-02-04

0 引言

随着我国城市化进程的加快和交通基础设施建设的发展,交通枢纽工程的复杂性和规模逐渐增大^[1]。同时作为我国基础设施建设的重要组成部分,公路交通网络的优化与扩建已成为提升区域经济发展水平、增进城乡联通、保障交通安全畅通的关键环节^[2-3]。近年来,建筑信息模型 (building information modeling, BIM) 技术在全球范围内得到了广泛应用,尤其是在大型、复杂工程项目的建设过程中,展现出显著的优越性^[4-5]。BIM 技术通过创建、集成和管理工程项目的多维信息模型,实现设计、施工、运维各阶段的信息共享与协同作业,有效解决了传统施工模式中存在的信息割裂、资源浪费、施工效率低下等问题^[6-7]。焦文欣等^[8]结合 BIM 技术与 GCM 软件,对黑山南北高速公路设计方案进行优化,促进了 BIM 技术在公路建设中的发展。伍刚等^[9]对公路工程施工中存在的问题进行了分析,基于 BIM 技术建立了公路施工进度管理系统,提高了公路施工管理效率和工程质量,验证了系统的适用性和可行性。刘曹宇^[10]通过开发辅助软件,提出 BIM 设计标准,分析了 BIM 正向设计在实际交通工程中的应用效果,缩短了设计周期,降低了工程成本。张科超等^[11]对 BIM 技术在公路改扩建工程中的应用进行了分析,优化了改扩建施工组织方案,实现了工程进度、质量、成本的协同管理。

为了促进工程建设的数字化发展,并进一步提高 BIM 技术在交通枢纽工程中的应用效果,以沁水东连接线交通枢纽工程为研究对象,对 BIM 数字化技术在工程中的应用进行分析,以为类似工程提供指导和借鉴。

1 工程概况及难点

1.1 工程概况

沁水县大县城品质提升工程(沁水东连接线交通枢纽工程)是山西省晋城市沁水县的门户段,向西连接县主城区,向东支撑东部开发区。沁水东立交工程采用 3 层式互通立交,相交主线道路为滨河南路、高速连接线、沁樊一级路、大医院东路,主线位于地面层,立交匝道分别位于第 2 层和地下 1 层。

1.2 项目特点分析

1) 地质条件差

沁水县地处山区,地质条件复杂多变,存在岩溶发育、滑坡等地质灾害隐患,对工程的地基处理、边坡稳定、隧道挖掘等施工环节提出了较高要求。

2) 交通组织与疏导

作为重要的交通枢纽,施工过程中须维持既有交通线路的正常运行,避免对周边交通产生严重影响,因此如何在施工期间合理组织交通,确保施工与通行两不误,是工程的一大难点。

3) 空间布局与规划

枢纽工程需合理布局立交桥、匝道、公交站点、人行设施等,既要满足当前的交通需求,又要考虑未来交通流量的增长,做到长远规划,合理利用有限的土地资源。

4) 工期紧、任务重

交通枢纽工程通常投资大、周期长,需在限定时间内高效完成建设任务,确保项目按时投入使用,这对项目管理和施工进度控制提出了较高要求。同时在施工过程中,须严格遵守环保法规,采取有效措施减少噪声、扬尘等对周围环境的影响,同时保护好沿线的生态环境,尽量减少对自然资源的占用和破坏。涉及多种交通方式的交汇,工程需采用先进的交通工程设计和施工技术,如桥梁结构设计、地下管线迁改、交通信号控制系统等,技术难度大。

2 优化 BIM 建模过程

2.1 无损信息传递

在施工准备阶段,由于路桥工程中异形构件较多,为优化建模流程、速度和质量,在实际操作过程中,选择对异形多面体模拟较好的犀牛软件建模,并配合 grasshopper 梳理设计信息,生成犀牛模型,再利用 conveyor v3 与 Revit 联动,发挥 Revit 优势,及时发现设计错误并修正,最后将调整完成的模型上传至平台。在此过程中,各构件数据均得到保留,以小箱梁为例,设计阶段参数如长度、表面积等均可同步至平台,施工参数如浇筑日期等也可同步更新至平台,实现信息的无损传递。

2.2 参数化建模

为便于管理各类构件,对构件进行统一编码,且每个构件自始至终只能使用 1 个编码。同样可通过 Rhino+inside+Revit 的工作流程,利用 Revit 参数化驱动功能,建立满足项目需求的可参变小箱梁族文件,利用 Grasshopper 可视化编程技术批量布置小箱梁族文件,并读取满足现场管理方式的构件代码参数表格数据,批量添加给模型构件,保证表格、模型、图纸同根同源,提高 BIM 管理质量。通过参数化手段快速建立模型,一方面极大地提高了建模效率,同一类型的模型可采用同一组程序建模;另一方面简化了修正工程量,对于因图纸变化引起的模型变化,可通过参数调整的手段快速完成更改。

3 基于 BIM 的施工动态调整优化

3.1 优化施工场地布置

在施工阶段,利用 BIM 软件建立三维路桥工程模型,包括桥梁结构、道路线形、周边地形地貌、建筑物、临时设施(如预制场、堆料场、办公区、生活区等)及关键施工机械设备等。根据 BIM 模型模拟施工场地布置,进行空间优化,调整临时设施的位置、大小、朝向等参数,考虑物料运输路径、人员流动、施工工序安排等因素,模拟施工过程中的物料流动和设备运转情况,找出场地布置的最优解。利用 BIM 技术的冲突检测功能,提前发现场地布置中可能出现的空间冲突和不合理布局,例如塔式起重机覆盖范围与周边建筑的关系,临时设施与既有设施的间距问题等。BIM 模型可提供直观的三维可视化效果,让各方参与者(设计师、施工人员、管理人员等)能清楚地了解场地布置方案,有助于多方协同决策,找到最佳布局方案。基于 BIM 模型提供的大量数据支持,对场地布置方案进行定量和定性分析,评估不同方案的施工成本、工期、安全风险等关键指标,从而选出最优场地布置方案。

3.2 工序模拟

对 BIM 三维实体模型中构件的属性信息进行赋值,如材质、尺寸、质量、颜色等,将整个施工过程细分为一系列具体的施工工序。同时 BIM 软件将施工工序与时间进度相结合,进行施工进度模拟,可通过将每个施工活动关联到特定时间段,在虚拟环境中逐步展示施工过程,从而清晰地看到各工序之间的逻辑关系、先后顺序和交叉作业的情况。在模拟过程中,可模拟各类施工机械、人力和材料的进场、离场、使用和移动情况,检查是否出现资源冲突、场地拥挤、工期延误等问题,提前预警并优化资源配置,部分工序模拟如图 1 所示。同时,通过对施工模拟进行审查,可识别潜在的安全隐患,如塔式起重机作业范围与其他作业区域重叠、临时支撑拆除时机不当等,从而采取预防措施。根据模拟结果,不断调整和完善施工组织设计,优化施工工艺和工序,减少无效工作时间,缩短工期,降低成本,提高施工质量和安全性。除此之外,模拟过程可作为沟通工具,方便项目团队成员、业主、监理和其他相关方理解施工计划和预期成果,促进各方协同工作,共同参与决策。

3.3 工程量计算及动态调整

在施工项目中,利用无人机摄影技术,对快速路全线 2 000m 范围内区域进行实景建模,整合多源 BIM 数据,并对其进行标准化处理,转换为统一的数

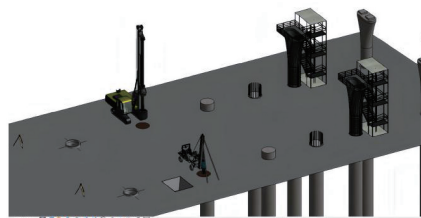


图 1 部分工序模拟

Fig. 1 Partial process simulation

据交换格式,进而构建出对应的 BIM 模型。同时借助专业的 BIM 软件及相应的导出插件,导入并转化数据,构建精准的 BIM 模型。再将倾斜摄影三维模型与生成的 BIM 模型进行精准配准,确保两者在空间坐标系上的一致性,通过对模型细节的对比和调整,进行模型优化,消除潜在的冲突与误差,同时能获得围挡长度、密目网面积、土方体积等指标。无人机摄影建模步骤如图 2 所示。

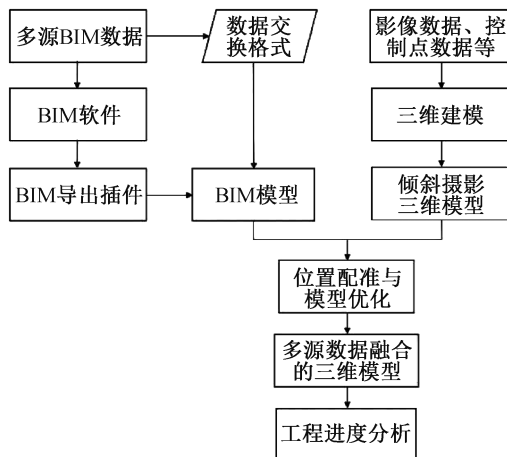


图 2 无人机摄影建模步骤

Fig. 2 UAV photography modeling steps

在进行土方算量时,通过模型选取特定区进行工程量计算并生成表格,动态跟踪项目实施情况,进行模型变更与出图,也可导出 CAD 图纸,项目预算员通过 CAD 图纸计算边坡面积、边坡长度等,能更清晰地了解各桩号段的土方开挖情况,土方三维模型如图 3 所示。与传统土方量计算方式相比,通过飞行成果生成满足项目日常管理及 BIM 模型整合 GIS 数据所需要的数据文,通过多源异构数据的整合,获得项目实施过程中各类基础数据,能最大限度地利用数字化技术为项目提速增效。除此之外,通过在 BIM 模型中增设参数,能精确提取出工程项目中钢筋、水泥等材料的实际使用量,有助于实现资源的精准计算与调配。

3.4 碰撞检查与节点深化

将设计阶段的桥梁、道路、隧道、地下管线、机

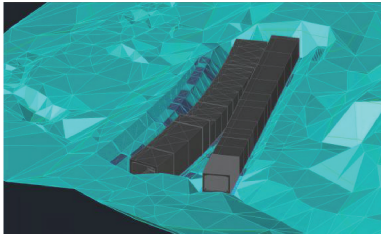


图3 土方三维模型

Fig. 3 Three-dimensional model of earthwork

电设备等各种专业模型进行集成,形成统一的 BIM 模型。使用 BIM 软件的碰撞检测功能,对整合后的模型进行三维空间分析,查找各专业之间的潜在冲突,如结构与结构之间的碰撞、结构与管线之间的碰撞、管线与管线之间的碰撞等。碰撞检测结果将显示哪些部分存在冲突,包括硬碰撞(实体之间的实际干涉)和软碰撞(虽无实际接触,但不符合规范要求或不利于施工的空间布局),并根据碰撞检测结果,生成详细的碰撞报告,明确碰撞类型、位置、严重程度及可能导致的问题,为设计修改和施工优化提供依据,本工程中路基、地道与西气东输保护涵间位置关系的碰撞检查如图 4 所示。对于复杂结构节点、关键施工环节或碰撞检测中发现的问题区域,利用 BIM 技术进行精细化设计,通过三维建模工具对节点进行细致刻画,考虑施工工艺、材料选用、施工顺序等因素,创建精细的节点模型,确保设计的可实施性。

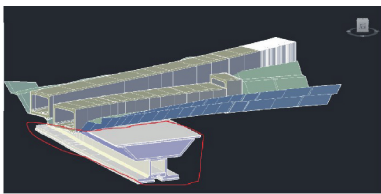


图4 路基、地道与西气东输保护涵间位置关系的碰撞检查

Fig. 4 Collision inspection of the position relationship between roadbed, tunnel and west east gas pipeline protection culvert

4 数字化施工管理平台

4.1 数字化平台-MES 生产管理平台

数字化平台-MES 生产管理平台是一种面向制造业车间层面的生产信息化管理系统,旨在实时收集、监控和管理生产过程中从订单发布、原料准备、生产执行、质量控制到成品入库的全部生产活动,实现对整个生产过程的精细化、透明化和智能化管理。通过 MES 生产管理平台可精确跟踪和管理路桥工程所需的各种预制构件,如箱梁、T 梁、盖梁、防

撞墙等的生产过程,从原材料采购、库存管理、生产计划、工艺流程控制到成品质量检测,实现全过程信息化管理。同时 MES 系统积累的大量生产数据可用于统计分析,支持项目管理者基于实时、准确的数据做出决策,持续改进生产流程,降低成本,提高工程项目的整体经济效益。

4.2 数字化平台-C-Smart 智慧工地平台

数字化平台-C-Smart 智慧工地平台充分利用物联网、云计算、大数据、AI 人工智能等先进技术,实现工地现场的数字化、智能化和精细化管理。如平台通过人脸识别、RFID 等技术实现工人实名制考勤、技能培训、安全教育等,确保工人权益得到保障,同时提升施工队伍的专业素质。

5 结语

本文以沁水东连接线交通枢纽工程为研究对象,利用 BIM 数字化施工技术对工程施工进行指导,主要得出以下结论。

1) 通过无损信息传递和参数化快速建模的方式优化 BIM 建模过程,批量添加模型构件,保证表格、模型、图纸同根同源,提高 BIM 模型建模速度和管理质量。

2) 通过 BIM 技术,对施工场地布置进行优化,模拟施工过程中的物料流动和设备运转情况,找出场地布置的最优解;通过 BIM 软件将施工工序与时间进度相结合,进行施工进度模拟,识别潜在的安全隐患,优化施工工艺和工序,减少无效工作时间,缩短工期,降低成本,提高了施工质量和安全性。

3) 结合无人机摄影技术和 BIM 技术,获得工程现场围挡长度、密目网面积、土方体积等指标,并可通过模型选取特定区进行工程量计算并生成表格,动态跟踪项目实施情况,进行模型变更与出图,有助于实现资源的精准计算与调配。

4) 通过两种数字化管理平台实现工程项目数据采集“移动化”、生产预警“智能化”、决策调度“线上化”,并对工程进行环境监测、实时监控、安全管理、质量管理等。

参考文献:

- [1] 石霖凯. 城市轨道交通工程建设施工的风险防范策略研究[J]. 城市轨道交通研究, 2024, 27(3): 286-287.
SHI L K. Research on risk prevention strategies for urban rail transit engineering construction[J]. Urban mass transit, 2024, 27(3): 286-287.
- [2] 巴怀强. 基于 BIM 技术的大型转体桥梁施工安全管理应用研究[J]. 公路, 2023, 68(11): 86-92.
BA H Q. Application and study of construction safety management of large tonnage swivel bridge based on BIM technology[J]. Highway, 2023, 68(11): 86-92.

- [3] 吴寅恺,王虹. 跨行政区域公路交通的一体化对区域经济发展的影响[J]. 公路, 2024, 69(4): 208-215.
WU Y K, WANG H. Empirical analysis on the Impact of the integration of cross-administrative highway transport on regional economic development[J]. Highway, 2024, 69(4):208-215.
- [4] 李频,周旋,付平,等. 基于 BIM 技术的复杂曲面桥塔三维造型设计[J]. 桥梁建设, 2023, 53(4): 123-130.
LI P, ZHOU X, FU P, et al. BIM-based 3D aesthetic design of bridge pylon with complex curved surfaces [J]. Bridge construction, 2023, 53(4):123-130.
- [5] 闫泽文,惠之瑶,胡明刚,等. 基于 BIM 技术与三维激光扫描技术的不规则隧道建模方法研究[J]. 武汉大学学报(工学版), 2022, 55(S1): 233-238.
YAN Z W, HUI Z Y, HU M G, et al. Research on the irregular tunnel modeling method based on BIM technology and 3D laser scanning technology [J]. Engineering journal of Wuhan University, 2022, 55(S1):233-238.
- [6] 李聪旭,徐晓磊,王雪甜,等. 基于 BIM+GIS 的铁路三维信息实景化技术研究 [J]. 铁道运输与经济, 2024, 46(5): 100-109,117.
LI C X, XU X L, WANG X T, et al. Research on three-dimensional information realistic rendering technology of railway based on BIM+GIS[J]. Railway transport and economy, 2024, 46(5):100-109,117.
- [7] 郭聚富,任有保. BIM 技术在跨海大桥设计与施工中的应用研究[J]. 铁道建筑技术, 2023(5): 85-89.
GUO J F, REN Y B. Study on the application of BIM technology in the design and construction of sea-crossing bridge[J]. Railway construction technology, 2023(5):85-89.
- [8] 焦文欣,梁金国. BIM 技术在黑山南北高速公路设计中的应用 [J]. 公路, 2024, 69(2): 123-125.
JIAO W X, LIANG J G. Application of BIM technology in road design of Bar-Boljare Highway [J]. Highway, 2024, 69(2): 123-125.
- [9] 伍刚,曹志雄,徐观亚,等. 基于 BIM5D 的公路工程施工进度管理系统构建与应用 [J]. 建筑经济, 2023, 44(S2): 305-308.
WU G, CAO Z X, XU G Y, et al. Construction and application of highway engineering construction schedule management system based on BIM5D [J]. Construction economy, 2023, 44(S2): 305-308.
- [10] 刘曹宇. 地铁车站 BIM 正向设计研究 [J]. 建筑结构, 2024, 54(21):44-50.
LIU C Y. Research on BIM forward design in subway station [J]. Building structure, 2024, 54(21):44-50.
- [11] 张科超,王珏,朱秀玲,等. BIM 技术在高速公路改扩建工程建设期的应用研究 [J]. 公路, 2022, 67(4): 287-291.
ZHANG K C, WANG J, ZHU X L, et al. Research on the application of BIM technology in the construction period of expressway reconstruction and expansion projects [J]. Highway, 2022, 67(4):287-291.

(上接第 11 页)

- [3] 王俊铭,陈林鸿. 关于装配式钢筋混凝土结构吊装施工质量控制的分析[J]. 中国建筑金属结构, 2023(2): 147-149.
WANG J M, CHEN L H. Analysis of quality control in hoisting construction of prefabricated reinforced concrete structure [J]. China construction metal structure, 2023(2): 147-149.
- [4] 李宏伟. 装配式建筑水平构件吊装关键问题及措施研究 [J]. 铁道建筑技术, 2021(7): 154-158.
LI H W. Research on key problems and measures of horizontal component hoisting in prefabricated building [J]. Railway construction technology, 2021(7): 154-158.
- [5] 陈澄波,魏文洲,潘智勇,等. 装配式建筑预制构件吊装施工工艺优化研究 [J]. 中国建筑装饰装修, 2023(23): 158-160.
CHEN C B, WEI W Z, PAN Z Y, et al. Study on optimization of construction technology of hoisting prefabricated components in prefabricated buildings [J]. Interior architecture of China, 2023(23): 158-160.
- [6] 胡彦民,张梦林,张超,等. BIM 辅助装配式技术在南京恒嘉路项目中的应用 [J]. 施工技术, 2020, 49(24): 8-10.
HU Y M, ZHANG M L, ZHANG C, et al. Application of BIM-assisted prefabricated technology in nanjing hengjiaroad project [J]. Construction technology, 2020, 49(24): 8-10.
- [7] 周永松. 装配整体式混凝土结构高层住宅 PC 构件吊装技术研究 [J]. 住宅产业, 2021(11): 73-76.
ZHOU Y S. Research on the hoisting technology of PC components in assembled monolithic concrete structure high-rise residential buildings [J]. Housing industry, 2021(11): 73-76.
- [8] 孙继文,叶盛,王彦芳. 装配整体式混凝土结构高层住宅 PC 构件吊装技术 [J]. 安徽建筑, 2017, 24(5): 193-196.
SUN J W, YE S, WANG Y F. The hoisting technology of PC components in assembled monolithic concrete structure high-rise residential buildings [J]. Anhui architecture, 2017, 24(5): 193-196.
- [9] 马辉,张文静,董美红. 装配式建筑吊装施工空间冲突分析与多目标优化 [J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(2): 28-34.
MA H, ZHANG W J, DONG M H. Spatial conflict analysis and multi-objective optimization of prefabricated building hoisting construction [J]. China safety science journal, 2020, 30(2): 28-34.
- [10] 刘明华,朱玉明,胡嵩,等. 一种用于高架桥梁施工的行走挂篮: CN205205689U [P]. 2016-05-04.
LIU M H, ZHU Y M, HU S, et al. The utility model relates to a walking hanging basket for overhead bridge construction: CN205205689U [P]. 2016-05-04.