

BIM技术在复杂钢结构桥梁施工中的数字化应用

沈捷

(中铁一局集团桥梁工程有限公司, 重庆市 401121)

摘要: 针对复杂曲面拱壳钢桁梁桥梁施工中空间协同不足、信息传递分散、精度控制难等问题, 探索BIM技术的系统性解决方案。以九梓大桥为背景, 综合运用BIM可视化、参数化设计、施工仿真及协同管理平台, 开展图纸复核与可视化交底、深基坑钢板桩围堰参数化设计、钢桁梁液压同步滑移方案比选、鱼腹型曲面箱梁支架体系创新、钢结构深化设计与数字化加工等研究。实现15 m深基坑钢板桩围堰创新设计, 突破常规10 m应用极限; 确定钢桁梁液压同步累积滑移最优方案; 创新设计曲线分配梁支架体系, 解决双曲面箱梁线形控制难题; 建立钢结构数字化加工体系, 提高曲面构件加工精度。BIM技术的集成应用有效解决了复杂桥梁结构施工关键技术难题, 为类似工程提供借鉴。

关键词: 可视化交底; 三维仿真; BIM设计; 施工方案; 数字化

中图分类号: U445; TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)06-0405-04

Digital Application of BIM Technology in Construction of Complex Steel Structure Bridges

SHEN Jie

(China Railway First Group Bridge Engineering Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

Abstract: Aiming at the problems in the construction of complex curved surface arch-shell steel truss bridges, such as insufficient spatial coordination, fragmented information transfer, and difficulties in precision control, a systematic solution of BIM technology is explored. Taking the Jiuzhi Bridge as the background, the BIM visualization, parametric design, construction simulation and collaborative management platforms are comprehensively utilized to conduct the research on the review and visual handover of drawings, parametric design of steel sheet pile cofferdams for deep foundation pit, comparative selection of hydraulic synchronous sliding schemes of steel truss girders, innovation of fish-bellied curved surface box-beam support system, and detailed design and digital processing of steel structures. The innovative design of a 15-m deep foundation pit steel plate cofferdam is realized, which breaks through the conventional 10-m application limit. The optimal scheme of hydraulic synchronous cumulative sliding for steel truss girders is determined. The curved distribution beam support system is innovatively designed to solve the alignment control challenges for hyperboloid box girders. A digital processing system of steel structure is established to enhance the processing accuracy of curved surface components. The integrated application of BIM technology effectively solves the key technical difficulties in the construction of complex bridge structures, providing a reference for similar projects.

Keywords: visual handover; 3D simulation; BIM design; construction scheme; digital

0 引言

传统桥梁施工依赖二维CAD设计, 在复杂曲面结构(如曲面钢拱壳、双曲面鱼腹式箱梁)施工中存在三大痛点: 一是空间精度控制难, 二维图纸难以表达双曲面空间关系; 二是多专业协同效率低, 设计、施工、加工环节信息传递滞后; 三是施工方案优化不足, 传统经验决策模式难以应对深基坑、大跨度滑移

等复杂工况的安全风险^[1]。

BIM技术通过三维可视化、参数化设计与协同管理的系统性解决方案, 有效破解上述难题。三维模型可直观展示复杂曲面空间关系, 进一步提升设计意图传达准确性; 参数化建模实现设计参数与施工数据的动态关联, 提高了深基坑钢板桩围堰等复杂结构设计效率; 协同管理平台打破信息壁垒, 缩短专业协作响应时间。侯朝等^[2]基于BIM技术对大跨度空间钢结构进行预制化施工管理, 通过高精度三维建模对构件尺寸进行精确提取, 并与钢结构工厂进行无缝衔接。刘振兴等^[3]通过对装配式建筑BIM技

收稿日期: 2026-02-04

作者简介: 沈捷(1992—), 男, 本科, 工程师, 从事桥梁工程施工工作。

术应用研究,将BIM技术应用于装配式建筑中,进一步提高装配式建筑的设计、制造、装配等环节的效率和质 量^[4]。陈宏芸^[5]通过对建筑工程管理中BIM技术应用研究,展示了BIM技术以其可视化、模拟性、协同性等特点,提高了各参建方协同工作效率。

现有研究多聚焦BIM技术在单一环节的应用,缺乏对“曲面钢拱壳+双层钢桁梁桥+双曲面鱼腹式箱梁”复合结构的系统性BIM解决方案。本文通过整合模型基础应用、施工方案优化、钢结构深化设计及全周期管理的BIM技术体系,实现钢桁梁液压同步滑移方案优化、鱼腹型曲面箱梁支架创新设计等突破,为复杂桥梁工程提供全流程BIM应用示范。

1 工程概况

九梓大桥位于滁州市中新苏滁高新技术产业开发区内,主桥全长260 m,跨径布置为50 m+80 m+80 m+50 m双层四跨连续钢桁架主桥,主桥钢拱壳采用蝶型拱空间异形曲面结构;主线引桥全长490 m,跨径布置为50 m简支组合钢箱梁+4×30 m预应力混凝土箱梁+3×30 m预应力混凝土箱梁,预应力混凝土箱梁采用鱼腹型曲面设计。

2 BIM技术应用

2.1 模型基础应用

2.1.1 设计图纸复核

人工复核设计图纸准确度不高,容易疏漏图纸中表达不明确和局部错误的地方,且对曲面拱壳等空间结构理解易产生偏差。应用BIM模型辅助复核设计图纸^[6],直观高效地发现图纸问题,有效提升设计图纸的准确性,减少因设计原因导致的返工,避免影响整体施工工期。同时基于BIM模型可快速分类导出工程量明细表,进一步提升项目精细化管理。

2.1.2 可视化交底

现场施工作业人员对二维图纸上复杂节点处的理解易产生与设计意图不符,从而发生类似钢结构制作安装不匹配的问题,增加人、材、机等不必要的投入。运用BIM模型多方位展示模型信息,生成适用于移动端的轻量化模型和可视化交底视频。相较于传统技术交底方式,BIM交底更加直观形象地帮助现场施工人员理解设计意图,避免现场实施方案与设计图纸不一致,减少返工和整改^[7]。钢桁梁数字分段交底如图1所示。

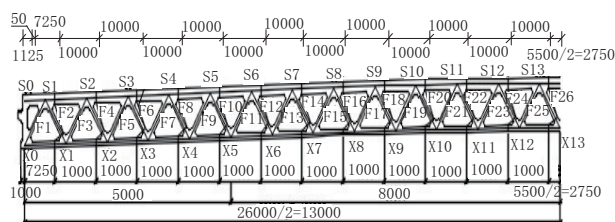


图1 钢桁梁分段交底模型(单位:mm)

2.1.3 三维仿真模拟

九梓大桥作为人文景观特色公园建设重要元素之一,对桥梁下层步道装饰工程质量和效果的要求较高。利用BIM模型进行高精度仿真漫游,展现色彩与照明艺术,对施工过程中材料选择及装饰风格进行反复模拟对比,筛选出与城市特色及河流周边环境和谐相融的方案^[8],BIM三维模型仿真漫游如图2所示。

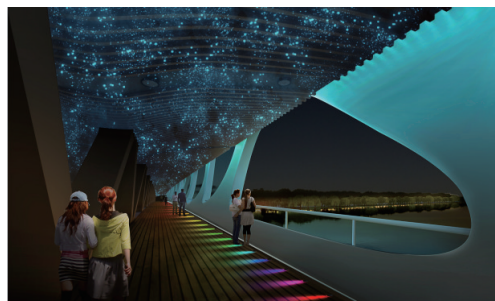


图2 下层步道漫游展示

2.2 施工方案设计

2.2.1 深基坑支撑体系设计检算

主桥P11基础围堰平面尺寸为12.0 m×15.6 m,基坑深度为15 m,属于涉水的超大、超深围堰,如何保证基坑开挖的安全性是本工程的重难点。运用BIM可视化、参数化^[9]便捷编辑和模型数据互通特点,并与结构设计软件相结合,对主桥P11深基坑钢板桩围堰进行设计检算,最终确定采用24 m拉森IVw型单层钢板桩,围堰采用钢围堰,设置四道内支撑的基坑支撑体系(检算模型见图3),小于常规钢板桩围堰使用极限(10 m),通过现有技术改造和多手段调节实现15 m深钢板桩围堰设计,为后续安全施工提供有力保障^[10]。

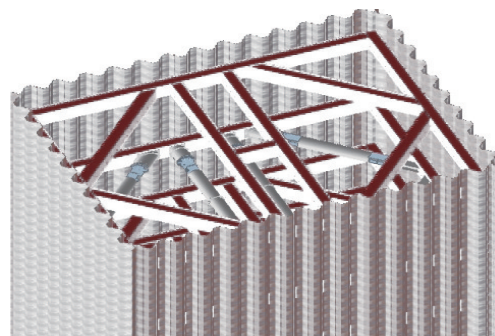


图3 单层钢板桩围堰检算模型

2.2.2 钢桁梁施工方案比选

主桥采用双层桥面桁架结构,最大跨度为 80 m,吊装节段拼装时的最大起重量为 60 t,总安装重量达到 5 000 t,属于大跨径、大吨位、跨河架设施工,主桁梁的安装质量及线形控制要求高。结合 BIM 模型可视化的特点,对液压同步累积滑移、顶推、浮吊原位吊装比选方案进行动画演示,协同多方在方案研讨过程中可视化地直观了解关键工序的施工过程,最终确定采用液压同步累积滑移施工方案,进一步提高了施工效率和方案的安全保障。

2.2.3 鱼腹形曲面预应力混凝土箱梁支架设计

主线引桥预应力混凝土箱梁采用双鱼腹型曲面设计,箱梁梁底的变曲率弧形曲线结构的线形控制是本工程的重难点。为了满足双曲线鱼腹式线形控制、消除弧形结构的水平力、满足支架受力及安全要求,建立双曲线鱼腹式弧形结构现浇梁支架 BIM 模型(见图 4),分配梁细部效果图如图 5 所示,采用与现浇箱梁底板线形一致的曲线形分配梁、增设斜向支撑杆,并在支架上托与曲线形分配梁之间设置与二者密贴的木楔,形成完整的支架体系,对施工方案进行可视化模拟,优化支架结构设计。

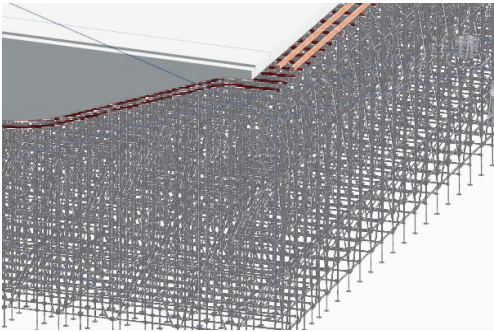


图 4 预应力混凝土箱梁支架设计整体效果图

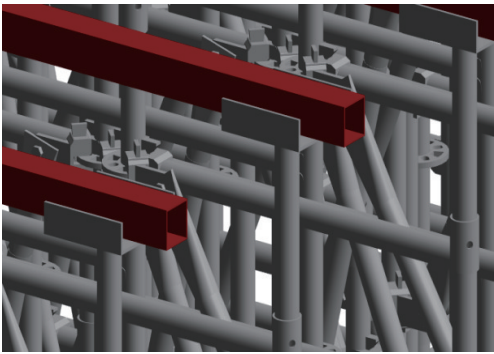


图 5 曲线分配梁细部效果图

2.3 钢结构深化设计

2.3.1 钢结构复杂节点设计深化

本项目钢材损耗大,加工难度高,钢桁梁的制作与安装是本工程的重难点。对主桥钢结构 BIM 模型

进行逐步分解,细化到每个构件,通过构建模型直观、明确地展示设计意图,依据碰撞检测报告完成设计的深化工作,达到指导现场施工的要求,如腹杆连接板与底板有碰撞,则优化连接板外形尺寸,使其底板平顺连接,完成构件加工制造前的深化设计^[11]。

2.3.2 钢结构数字化加工

钢拱壳为珊瑚贝空间多肢拱形结构造型,采用的高精度空间双曲面结构对施工放样、构件加工和安装控制提出了严苛要求。利用 BIM 深化设计软件,可实现曲面的自动展开功能,精确地定位加强筋、隔板、基准线等定位线(见图 6),并自动进行零件编号标注,从而避免了人工展开过程中可能出现的错误,有效提升了生产效率和加工精度^[12]。

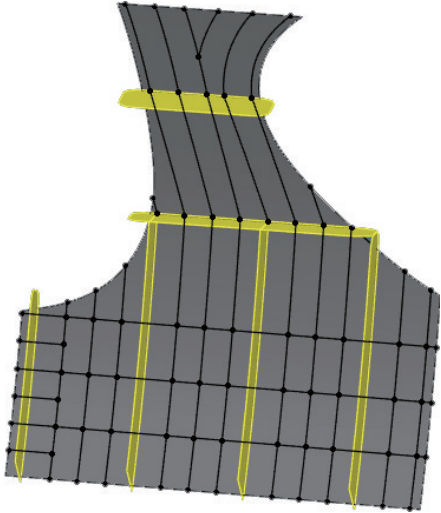


图 6 曲面翻模

2.3.3 钢结构数字化拆分

钢拱壳按结构划分为边纵梁端部、边纵梁中跨、拱梁结合段、拱肋、拱肢及合拢段,各部位连接复杂,传统施工组织安排方式有明显不足。在 BIM 模型的基础上,结合现场施工的具体条件与需求,对模型进行数字化的细致拆解(见图 7)。同时,将相应的构件按照项目施工的具体要求进行编码^[13]。

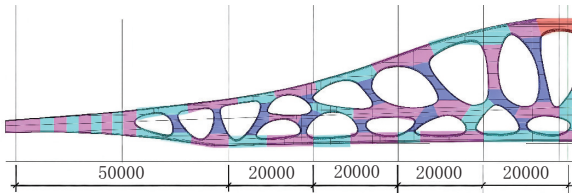


图 7 钢拱壳数字化拆分(单位:mm)

3 BIM 管理应用

传统的施工管理过程中,由于未全面实现信息化管理,信息传达与沟通受阻,使项目参建各方增加人、材、机的投入。基于 BIM 平台开展数字化管理应

用^[14],通过安全质量管理、形象进度管理、二维码应用管理打破了多方沟通壁垒^[15],加强协同工作,提高项目整体运作效率。

3.1 安全质量管理

安全质量管理^[16]涵盖安全隐患类型分析、安全会议记录以及VR安全教育3个主要方面。通过对现场潜在危险源进行记录和分析,并将班前安全教育信息存储于BIM模型内,以便管理人员进行核查。此外,模拟可能发生的安全事故类型,为现场安全管理人员提供了重要的警示教育资料。所有质量检查整改记录资料均依据构件部位存储于BIM模型内,以便现场施工人员实时查阅,从而形成有效的管理措施^[17]。

3.2 进度管理

将各分部分项工程按计划目标录入模型,实现计划节点与BIM模型关联,方便及时预警和调整施工进度计划^[18],按施工周期记录实际完成情况,通过模型色彩对比分析项目进度状态,为项目进度管控提供数据支撑,实现施工资源优化调配^[19]。

3.3 二维码应用管理

针对本项目焊缝数量多、焊缝间隙控制要求高的问题,通过研究合理的焊接顺序、焊接调整措施等,将焊接方法以可视化模型进行展示,制作出钢梁各部位焊接方法二维码^[20],同时挂接相应焊缝工艺指导书,使工作人员在施工现场扫描即可快速掌握钢梁焊接工艺要求。

4 应用成效分析

深基坑钢板桩围堰设计采用常规方法适用深度一般不超过10 m,应用BIM技术进行深基坑支撑体系设计计算后,采用了24 m拉森IVw型钢板桩+4道内支撑体系,成功实现了15 m深基坑围堰设计,突破常规应用极限。

钢桁梁施工方案若采用常规的浮吊原位吊装方法,需大型浮吊设备进场,水上作业时间长,受航道通行影响大,应用BIM模型进行动画模拟,采用液压同步累积滑移方法,较浮吊方案节约工期约45 d,减少水上作业风险。

钢结构应用人工展开下料,误差率为3%~5%,通过BIM模型自动展开下料,加工精度提升至 ± 1 mm,材料损耗率降低约8%。

采用BIM平台应用投入成本20万元,通过施工方案比选优化减少临时措施投入约35万元,钢结构深化设计优化节点,减少现场切割焊接量约12%,节

约成本约45万元。

5 结 语

本研究将BIM技术应用于桥梁施工全过程,涵盖模型基础应用、施工方案设计、钢结构深化设计、安全质量管理及进度管理等环节。通过三维可视化手段,有效解决了施工过程中的重难点问题。同时,BIM协同平台打破了多方信息壁垒,构建了施工要素的信息传递通道。项目实现了全生命周期数据共享,显著提升了施工安全质量管理水平与生产效率。

参考文献:

- [1] 齐冠.BIM技术在桥梁施工中的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2023(6):142-144.
- [2] 侯朝,郝丁默,杨阳,等.基于BIM的大跨度空间钢结构预制化施工管理及应用[J].建筑技术,2025(1):23-26.
- [3] 刘振兴,韩梓煜,魏悦娇.装配式建筑的BIM技术应用研究[J].建设科技,2024(10):92-94.
- [4] 赵欣玲,刘钊.关于BIM装配式结构设计及建设关键技术探究[J].中国住宅设施,2024(9):19-21.
- [5] 陈宏芸.建筑工程管理中BIM技术应用研究[J].工程机械与维修,2025(2):109-111.
- [6] 杜春伟.BIM技术在道路桥梁施工阶段的应用研究[J].砖瓦世界,2024(6):163-165.
- [7] 韩旭.BIM技术在双层钢桁梁与拱壳协作体系桥项目管理中的应用[J].安徽建筑,2024(4):78-80.
- [8] 杨启志.探究公路桥梁施工中BIM与虚拟现实技术的协同应用[J].智能建筑与智慧城市,2025(7):83-85.
- [9] 汪丽萍.BIM技术在桥梁工程设计与施工中的应用分析[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):82-84.
- [10] 刘海龙.BIM技术在桥梁工程设计与施工中的应用[J].工程建设,2025(6):150-152.
- [11] 余建玉,黄佩.BIM技术在装配式桥梁设计与施工中的应用[J].运输经理世界,2024(19):104-106.
- [12] 赵战涛.BIM技术在钢结构桥梁精细设计及施工中的应用[J].建筑与装饰,2024(14):178-180.
- [13] 于洪波.BIM技术在桥梁工程施工阶段的应用与研究[J].中国科技纵横,2025(7):117-119.
- [14] 罗治豪,蔡传奇.基于BIM的公路桥梁施工进度动态管理技术应用[J].建筑与施工,2025(10):14-15.
- [15] 秦定松.BIM技术在不等跨独塔钢箱梁斜拉桥转体施工中的应用[J].工程建设和设计,2021(12):149-151.
- [16] 乌文泽.探讨BIM技术在公路桥梁施工管理中的应用[J].建筑·建材·装饰,2024(19):37-39.
- [17] 吴波.BIM技术在道路桥梁工程施工中的应用[J].智能建筑与智慧城市,2024(12):85-87.
- [18] 张琳.谈BIM技术在桥梁工程施工中的应用[J].高科技与产业化,2024(7):66-67.
- [19] 王燕,金鹏娜.桥梁现浇箱梁施工中BIM技术的应用研究[J].工程建设和设计,2024(5):180-182.
- [20] 徐利.基于BIM技术的桥梁可视化施工应用研究[J].运输经理世界,2023(30):68-69.