

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.06.024

# BIM 技术在波形钢腹板 PC 箱梁桥施工新工艺发展中的应用\*

李华健<sup>1</sup>, 王旭东<sup>1</sup>, 覃鑫林<sup>2</sup>, 许红胜<sup>2</sup>

(1. 中铁建大桥工程局集团 第三工程有限公司, 天津 300300; 2. 长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

**摘要:** BIM(建筑信息模型)具有的三维构形与虚拟模拟和规划能力对施工组织设计优化具有良好促进作用。为保证波形钢腹板 PC 箱梁桥施工新工艺发展和实施的顺利进行,文中通过对 BIM 应用价值和应用体系的分析,通过细致规划 BIM 模型的细度需求提升建模效率和降低实施费用,结合接口数据文件实现 BIM 模型与 FEA 模型的可靠传递,采用虚拟测量提升波形钢腹板与混凝土底板间胎架安装准确性,利用静态和动态工序模拟规划完成施工冲突检查与作业组织优化,面向新工艺工序和作业流水节拍合理规划施工组织工期安排。

**关键词:** 桥梁; BIM(建筑信息模型); 波形钢腹板 PC 箱梁桥; 施工工艺; 虚拟施工

中图分类号: U445.4

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)06-0118-05

BIM(建筑信息模型)是交通运输行业转型升级的核心基础性工具之一,交通运输部要求大力推进其应用和发展<sup>[1-2]</sup>。近年来,交通领域 BIM 技术应用的深度和广度有了较大进展, BIM 正向设计在设计环节上的推广有了明显进步和深化<sup>[3-6]</sup>, 基于 BIM 的施工信息化技术得到推广和更深入的研究<sup>[7-10]</sup>, 面向运营管养的 BIM 技术应用实现了具体工程和系统研发上的突破<sup>[11-14]</sup>, 在智慧建造方面 BIM 技术的综合应用也有了长足发展<sup>[15-17]</sup>。但对利用 BIM 技术进行交通领域施工新工艺发展的研究还十分有限<sup>[18]</sup>, 如何在有效控制 BIM 技术费用投入的情况下充分发挥 BIM 技术对新工艺发展的价值还有待进行系统研究。本文针对预制装配化的波形钢腹板 PC 连续箱梁桥节段悬臂异步施工新工艺<sup>[19]</sup>, 在对 BIM 技术应用效益分析的基础上, 利用 BIM 正向设计和虚拟施工技术优化、提升新工艺的施工组织设计和工序操作细节, 保证新工艺的顺利实施。

## 1 新工艺说明

### 1.1 原施工工艺

江西某大桥设计为三跨波形钢腹板连续箱梁桥, 跨径布置为 60 m + 100 m + 60 m = 220 m。箱梁设计为变截面, 根部梁高 6.2 m, 跨中梁高 3.1 m,

梁底线形按 1.8 次抛物线设计。

原施工工艺为: 除墩顶 0# 块和边跨合龙段采用支架现浇施工外, 其余主梁采用挂篮节段悬臂浇筑施工, 箱梁施工中单个对称 T 构各分为左右 9 个悬臂浇筑段, 悬臂浇筑段分段长度为 4.8 m (见图 1)。节段悬浇标准工序为: 1) 挂篮前移, 不移动顶模板系统; 2) 吊装待浇筑节段的波形钢腹板与已浇筑节段的波形钢腹板, 并采用高强螺栓临时连接; 3) 调整挂篮吊带长度和底模斜率, 以适应浇筑节段高度和底板线形; 4) 节段波形钢腹板与已浇筑节段波形钢腹板焊接连接; 5) 浇筑底板混凝土, 前移挂篮顶模板系统, 浇筑顶板混凝土; 6) 顶、底板混凝土养生, 达到强度要求后, 前移挂篮。

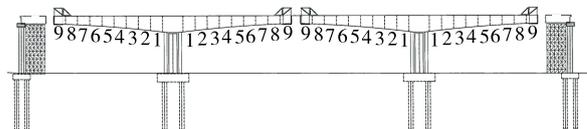


图 1 桥梁悬浇施工设计分段示意图

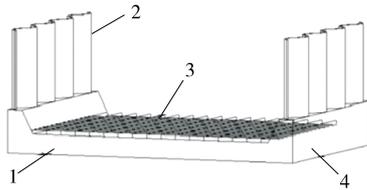
### 1.2 新施工工艺

考虑到波形钢腹板箱梁桥的特点, 原设计施工方案中箱梁节段底板浇筑、波形钢腹板安装和节段顶板浇筑须分别进行, 工序转换复杂, 施工周期长; 同时由于波形钢腹板施工的特殊性, 须针对传统混

\* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51878073)

凝土箱梁浇筑挂篮模板系统进行改造,且波形钢腹板吊装作业及与底板连接作业操作空间狭小,显著影响作业效率和安装质量。

为了解决上述问题,根据项目现场条件和工期进度安排,在与设计单位和建设单位沟通后,基于绿色建造的预制装配化发展理念,提出采用图2~4所示预制装配化的节段悬臂施工新工艺。



1 波形钢腹板箱梁节段部分预制高度混凝土底板段; 2 波形钢腹板; 3 混凝土底板后浇高度的预绑扎钢筋网; 4 腹板底部混凝土段

图2 波形钢腹板与底板形成预制U形结构

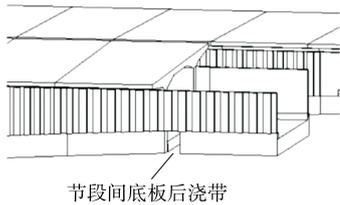


图3 预制U形结构与已安装梁段间波形钢腹板拼接

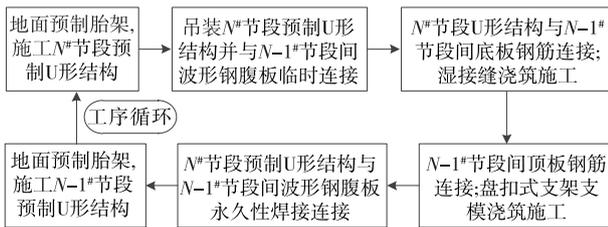


图4 波形钢腹板PC箱梁桥预制装配化异步悬浇施工新工艺的标准工序

从图4可以看出:新施工工艺改进的核心是在地面进行悬浇节段底板与波形钢腹板预制施工,利用波形钢腹板进行预制U形结构装配化安装,通过安装节段底板和前一节段顶板的异序同步浇筑施工解决施工周期问题。该工艺无须挂篮设备,预制装配化效率高,对环境影响小,是符合绿色建造发展要求的新工艺。

## 2 BIM技术的应用

### 2.1 新工艺发展中的关键问题

促进施工新工艺发展的关键是解决新工艺的结构安全控制、风险控制和工艺比较经济性问题,其重点是确保施工对结构安全影响可控和施工质量有

保障(见图5)。BIM技术应用中须围绕这些关键问题进行分析探索,保证在较合理的投入下产生良好的应用效果。

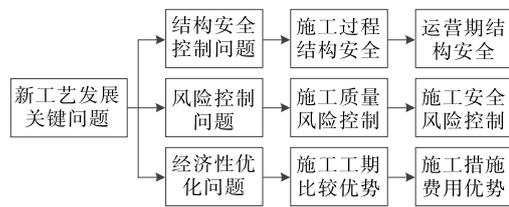


图5 桥梁施工新工艺发展须解决的关键问题

### 2.2 BIM技术的应用价值分析

BIM技术基于三维可视化,其在设计上的专业协同、在施工组织上的交底便利性和冲突检查、在工期合理规划上的优化能力等方面的应用价值已被广泛接受与认可(见表1)。从表1来看,BIM技术中的正向设计、虚拟施工和工期规划功能是解决新工艺发展关键问题的高价值技术,信息平台与工程量统计的应用价值较低且其应用成本较高。针对桥梁施工新工艺发展中的关键问题,如何充分挖掘BIM技术的应用价值和探索BIM技术应用的体系框架,须结合项目特点认真进行规划。

表1 新工艺中BIM技术的应用价值和成本分析

应用项目	结构安全控制	施工风险控制	比较经济性	BIM技术成本
正向设计	高	中	低	低
虚拟施工	低	高	中	中
工期规划	低	低	高	低
信息平台	低	中	中	高
工程量统计	低	低	低	高

针对新工艺发展中的关键问题,结合目前BIM技术的应用流程和价值创造点,对该项目BIM技术应用体系框架进行规划,应用重点为正向设计中模型传递互用和BIM虚拟施工对施工工艺控制的前置性规划(见图6)。

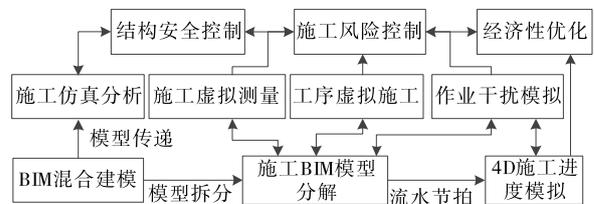


图6 新工艺中BIM技术应用体系规划

### 2.3 BIM技术应用情况

(1) 建模软件选择。选择在土木工程领域应用最广泛且教学培训较系统全面的 A 平台 Revit 软件作为 BIM 建模软件。首先利用 Civil 3D 建立箱梁中心三维曲线多段线并导入 Revit 2021 中,利用桥梁族块快速完成桥墩和盖梁等下部结构建模。基于精细化箱梁截面利用体量建模完成上部结构初步模型建立,针对波形钢腹板和顶、底板钢筋进行细化建模,从而建立各部分不同精度的混合 BIM 模型。

(2) 模型细度规划。根据图 5 对 BIM 应用体系的规划,BIM 模型主要服务于施工仿真分析、虚拟施工模拟和虚拟进度规划。BIM 模型各部分的细度需求有较大不同,为提高建模效率、降低建模费用,对 BIM 模型细度按表 2 进行规划。通过对 BIM 模型细度的合理规划,相比施工期 BIM 模型 LOD3.0 的一般几何细度要求,建模工作量减少 65%,建模人工工时投入减少 55%,为合理控制 BIM 费用投入奠定了基础。

表 2 BIM 模型的细度规划

桥梁构件	分块细度	主要需求	
下部结构	LOD1.0	无	
大临结构	LOD1.0	工序模拟	
0# 块	LOD2.0	冲突检查	
顶板	LOD2.0	虚拟进度规划	
悬浇块段	钢腹板	LOD4.0	细化工序虚拟
	底板	LOD3.0	施工模拟

(3) 模型传递处理。BIM 正向设计中,实现 BIM 模型向仿真分析模型的高效传递是重要步骤。桥梁施工新工艺的发展需要利用 ABAQUS 非线性分析软件对施工过程进行力学仿真模拟(见图 7)。采用文献[20]中 BIM 正向设计模型传递方法,利用图 8 所示 BIM 正向设计几何模型传递流程,实现主梁 LOD2.0 BIM 模型向 ABAQUS 软件的模型传递。通过在 BIM 正向设计中实现 Revit 建模软件模型向 ABAQUS 分析软件的几何模型的可靠传递,减少 6 个 ABAQUS 建模人工工日投入,提高了分析工作效率。

(4) 施工虚拟测量。为提升悬浇节段预制 U 形结构地面胎架的施工质量,将预制 U 形结构的底板简化为直线段,波形钢腹板的预制定位直接决定节段间安装线形的精度。利用 BIM 混合细度模型,依

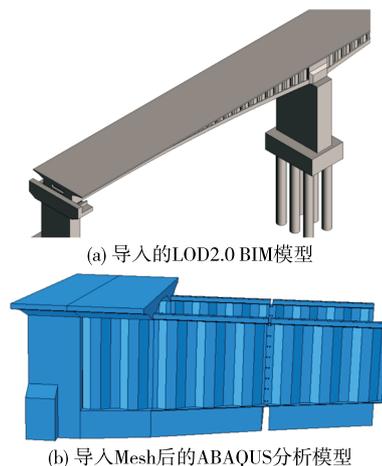


图 7 BIM 模型及导入 ABAQUS 后的模型对比

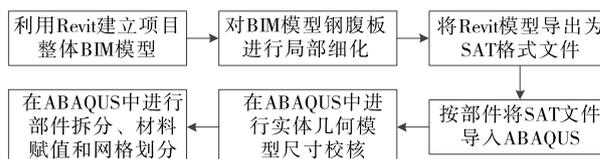


图 8 BIM 正向设计中几何模型传递处理流程

据设计悬浇分段,在各分段中将底板按控制抛物线分割点建立多段折线拟合抛物线,每悬浇段中波形钢腹板与混凝土底板的安装夹角和两端下料高度各不相同。通过对整体模型中各预制 U 形结构底板的精确切割,在模型中进行各预制 U 形结构底板与波形钢腹板安装夹角和定位斜边距测量,作为各预制 U 形结构施工的定位控制数据(见图 9)。通过虚拟测量,预先提取预制胎架上波形钢腹板安装的定位数据,结合仿真分析提供的预拱度数据,实现预制 U 形结构波纹钢腹板的精确定位,项目实施完成后主梁线形控制效果良好。

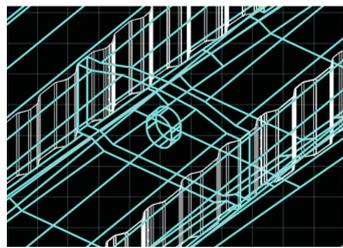


图 9 利用 BIM 模型进行预制 U 形结构的定位测量

(5) 工序施工模拟。为发现新工艺施工工序中可能存在的动态冲撞和作业面冲突,基于 BIM 模型,利用 3DMax 制作新工艺的虚拟施工工序动画,针对发现的冲突问题不断优化工序动画组织脚本,逐步完善新工艺的工序细节(见图 10)。通过工序动态施工模拟检测和定位出 21 个施工中作业碰撞



图 10 新工艺的虚拟施工工序动画

冲突和 9 个作业安全风险,优化了胎架施工中定位支撑和顶板现浇施工中悬臂托架细节设计,将工序作业细化为 6 个工作阶段、55 个工序操作步,编制的作业指导书有效提高了工班作业标准化水平。

(6) 施工进度规划。利用 Navisworks 软件设定施工任务,对施工任务中的任务名称、任务类型、

施工计划时间等进行补充和完善,结合流水节拍编制波形钢腹板 PC 箱梁桥施工进度横道图(见图 11)。在编制施工进度规划和实际施工时,利用 Navisworks 软件的工作面冲突检测功能实现多工作面同步流水作业,真正实现节段异步施工同步作业,有效控制工期。

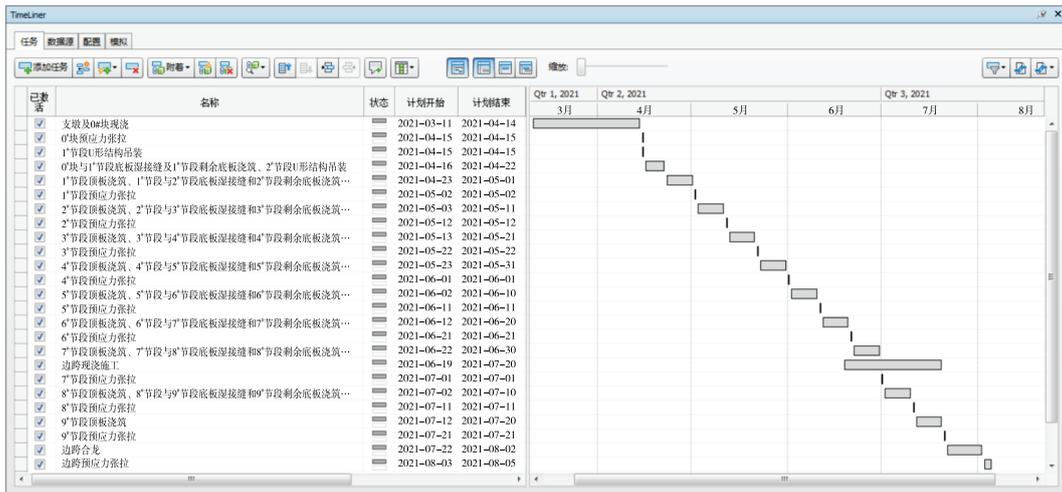


图 11 Navisworks 施工进度横道图

2.4 BIM 应用效果

BIM 技术的应用为新工艺在该工程中的顺利实施提供了有力保障,新工艺在工期、施工措施费和施工质量方面具有良好的比较优势(见表 3)。

表 3 新工艺的实施效果

工艺类型	工期/ (d·节段 <sup>-1</sup> )	施工措施 费/万元	人工工日	线形控制
新工艺	10	154	7 289	简单
传统工艺	15	249	9 044	困难

新工艺实施中,波纹钢腹板预制安装无扩孔、无错边情况,主梁线形和施工质量控制良好,BIM 技术的应用有效推动了新工艺的有效实施。BIM 技术的应用投入费用仅 25 万元,取得了良好的费用一效益比。

3 结论

(1) 对于桥梁施工新工艺的研究,正向设计和

虚拟施工等 BIM 技术的应用能有效提升新工艺发展中关键问题解决的工作效率。

(2) 利用 BIM 模型进行虚拟施工测量,可以在新工艺实施中有效保障安装精度和质量。

(3) 利用虚拟施工工序动画进行动态冲突检查,可有效减少施工中动态碰撞和作业面冲突,完善新工艺的工序细节。

参考文献:

[1] 交通运输部公路局.交通运输部办公厅关于推进公路水运工程 BIM 技术应用的指导意见:交办公路〔2017〕205 号[A].北京:交通运输部公路局,2017.

[2] 交通运输部综合规划司.交通运输部办公厅关于印发推进智慧交通发展行动计划(2017—2020 年)的通知:交办规划〔2017〕11 号[A].北京:交通运输部综合规划司,2017.

[3] 徐博.基于 BIM 技术的铁路工程正向设计方法研究[J].铁道标准设计,2018,62(4):35—40.

[4] 李锐,李正,王飞.BIM 正向设计在内河航道疏浚工程

- 中的应用[J].水运工程,2019(12):123-126.
- [5] 郑志彬.BIM技术在水运工程项目设计中的应用[J].福建交通科技,2020(1):120-123.
- [6] 郭衡,傅战工,谭国宏,等.常泰长江大桥主塔沉井结构BIM正向设计应用[J].铁道标准设计,2021,65(11):170-174.
- [7] 朱德庆,李涛,姚剑,等.基于BIM的山岭隧道施工信息化管理系统研发与应用[J].隧道建设(中英文),2020,40(增刊2):216-224.
- [8] 王建会,张隆,娄树华,等.基于BIM协同应用平台的施工信息化管理[J].建筑技术开发,2021,48(6):98-100.
- [9] 林瑞慧.BIM技术在厦门海沧隧道施工中的应用[J].福建交通科技,2021(7):86-90.
- [10] 张庆广.基于BIM技术的地铁轨行区施工信息化管理系统研究与应用[J].工程建设与设计,2022(4):63-65+86.
- [11] 薛飞宇,赵赛辉,夏诗画.基于BIM技术的公路运维管理系统设计研究[J].公路交通技术,2018,34(2):132-138.
- [12] 陈安京,岳立强,张宇峰,等.BIM在城市桥梁管养中的应用研究[J].建筑技术开发,2019,46(8):110-111.
- [13] 曾俊铖,夏江泉,林志平,等.高墩大跨连续刚构桥基于BIM的管养信息可视化方法研究[J].福建交通科技,2020(1):109-112.
- [14] 李苏生,朱学军,王媛青,等.BIM建模与健康监测预警相融合的桥梁运营管养一体化研究[J].交通与运输,2022,38(4):52-57.
- [15] 南锦顺.智能建造背景下BIM设计及应用现状与发展趋势分析[J].智能建筑与智慧城市,2022(7):82-84.
- [16] 彭文.基于BIM港口智慧监控平台的研究[J].福建交通科技,2021(1):114-116.
- [17] 张杰,马弯.基于BIM的黄黄高铁无砟轨道智能建造创新应用[J].中国铁路,2022(8):68-75.
- [18] 祁润田,堵一凡,吴佳东,等.BIM虚拟施工技术在北盘江大桥纵移悬拼新工艺中的应用[J].湖南交通科技,2021,47(3):132-137.
- [19] 邢立鑫,梁全,王旭东,等.一种波形钢板连续箱梁桥节段悬浇异步施工方法:CN114150586A[P].2021-12-14.
- [20] 许红胜,郭佩云,颜东煌,等.BIM与ABAQUS模型一体化分析应用研究[J].公路与汽运,2022(1):128-132.

收稿日期:2022-10-17

\*\*\*\*\*  
(上接第117页)

- [6] 刘孟瀚,范秋雁,李天雨,等.桩前溶洞对抗滑桩嵌固端稳定性影响物理模型试验研究[J].中国岩溶,2022,41(1):59-66.
- [7] 曹晓强.岩溶区桩侧空洞对桩基特性的影响分析[D].石家庄:石家庄铁道大学,2016.
- [8] 黄伟.桩前溶洞对桩嵌固段水平承载特性影响研究[D].南宁:广西大学,2019.
- [9] 杨鹏帅,范秋雁,韩进仕,等.下部溶洞对抗滑桩的稳定性影响试验研究[J].广西大学学报(自然科学版),2020,45(3):583-590.
- [10] LIANG J H, FAN Q Y, QIN K. Influence of karst caves on the pile's bearing characteristics: A numerical study[J].Frontiers in Earth Science, 2022, 9: 754330-754340.
- [11] 黄文畅,邓飞秀,王学义,等.岩溶地区嵌岩桩的 $p-y$ 曲线模型试验研究[J].江苏科技信息,2016(8):45-49.
- [12] 周德泉,张杨龙,曹勇,等.溶洞高度影响嵌岩桩轴力传递及桩侧超载响应试验[J].湖南大学学报(自然科学版),2022,49(7):83-93.
- [13] 贺国京,杨汶东,易锦.多层岩溶区大直径桩在水平荷载下的数值分析[J].中南林业科技大学学报,2012,32(8):154-158.
- [14] 周德泉,海军,高祁,等.串珠状溶洞数量影响灌注桩顶部水平受拉特性试验研究[J/OL].湖南大学学报(自然科学版):1-12[2023-04-28].http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1061.N.20230428.1311.001.html.
- [15] 刘逸飞,王琛.岩溶区桥梁基桩水平承载特性及影响因素分析[J].公路与汽运,2022(6):104-108.
- [16] 中国建筑科学研究院.建筑基桩检测技术规范:JGJ 106-2014[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [17] 高祁,张红尘.贯穿多层溶洞灌注桩荷载传递规律试验研究[J].中外公路,2021,41(6):40-43.
- [18] 黄明,张冰淇,陈福全,等.串珠状溶洞地层中桩基荷载传递特征的数值计算[J].工程地质学报,2017,25(6):1574-1582.
- [19] 陈慧芸,冯忠居,蔡杰,等.串珠状溶洞影响下桩基竖向承载特性离心试验[J].哈尔滨工业大学学报,2023,55(6):83-92.

收稿日期:2023-05-20