

BIM 技术在桥梁施工中的运用研究

——以芦沟河特大桥 192 m 超高墩为例

周成龙, 向 晖, 张文东, 田 戡, 吴加涛

(中建铁路投资建设集团有限公司, 北京 102601)

摘要:为保证 192 m 超高墩芦沟河特大桥的顺利施工,将 BIM 技术及整体式高效施工平台运用于芦沟河特大桥左幅 7 号高墩的施工阶段。先通过 Revit 软件进行精细化建模,再导入 Navisworks 软件中进行施工方案设计与动画模拟。研究表明,经碰撞检测及内部三维分析后发现问题 2 处,对其改进后运用于实际施工中,提前 85 d 完成 192 m 超高墩封顶。另外,Revit 软件可实现快速建模,但在实际工程中运用 BIM 技术时应结合详细的地勘资料,才能保证设计、施工方案的准确性。经原有造塔机局部优化后的整体式高效施工平台可运用于超高墩大跨径连续刚构桥施工阶段,在一定程度上能加快施工进度。研究成果可为超高墩大跨径连续刚构桥的施工过程提供实际经验,保障施工的顺利进行。

关键词:BIM 技术;Revit;超高墩;整体式高效施工平台;施工进度

中图分类号:U445 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2023)06-0270-07

为全面加强基础设施建设,国内已将建设范围转向中西部地区。虽然国内桥梁建设在施工技术及方法上不断取得进步,但由于西部地区多峡谷、深沟的地域特点,该地区的桥梁建设多以大跨径连续刚构桥为主。连续刚构桥是一种连续梁的多跨刚构桥,具有 T 形钢构桥及连续桥梁的优点,因其具有较强的抗弯及抗扭刚度,被广泛运用于多山区的桥梁建设中^[1-2]。

国内外已有诸多学者^[3-7]针对连续刚构桥的设计、受力、建造、抗震等方面进行研究。邹兰林等^[8]针对连续刚构桥的悬浇施工阶段展开研究,提出了通过调整节段标高进行顺接来消除合龙误差。另有部分学者将 BIM 技术运用到桥梁建设中。Vieira 等^[9]基于 BIM 技术对挪威兰塞尔瓦大桥进行设计和建造;祝兵等^[10]基于 BIM 技术提出了一种桥梁参数化智能建模方法;Motamedi 等^[11]通过 RFID 技术自动收集建筑信息数据并将信息存储到 BIM 模型中进行运维管理,节约了成本、提高了管理效率。诸多学者的研究,在一定程度上为连续刚构桥的建造提供了一定的理论依据,在保证桥梁质量的同时降低了桥梁建设的管理难度^[12-15]。

尽管针对连续刚构桥及 BIM 技术的开发运用已有较为稳定的技术,但因西部地区地域的特殊性,连续刚构桥的建设将偏向于更大跨径的超高墩桥梁。现以重庆市芦沟河特大桥为例,研究 BIM 技术于超高墩大跨径连续刚构桥中的运用,从而保证芦沟河特大桥的顺利建造。

1 项目简介

正处于建设阶段的芦沟河特大桥,位于重庆市巴南区东温泉镇朝阳村,因该地区多峡谷、沟渠的地域特点,芦沟河特大桥将以超高墩大跨径连续刚构桥梁建成(最大桥高 209.57 m)。该桥横跨芦沟河,左、右线桥面宽度均为 16.25 m,引桥上部采用后张法预应力混凝土 T 梁,先简支后连续,下部结构根据不同墩高采用柱式墩、实心墩、空心薄壁墩。主桥上部结构采用预应力混凝土连续刚构,下部结构采用双肢实体墩与空心薄壁墩两种。

主桥 5~9 号墩柱结构及高度数据见表 1,其中左幅 7 号墩高 192 m,墩身内部设置底板、顶板和 5 道横隔板(隔板厚度为 50 cm,竖向间距为 30 m)。截面尺寸自下至上为 16.4 m×14.9 m~10.0 m×8.5 m

收稿日期:2022-11-09

作者简介:周成龙(1988—),男(满族),辽宁鞍山人,中建铁路投资建设集团有限公司,工程师,研究方向为公路;向晖(1981—),男,湖北钟祥人,中建铁路投资建设集团有限公司,高级工程师,研究方向为土木工程;张文东(1987—),男,内蒙古赤峰人,中建铁路投资建设集团有限公司,工程师,研究方向为公路;通信作者田戡(1995—),男,四川广元人,中建铁路投资建设集团有限公司,硕士,研究方向为道路与桥梁;吴加涛(1974—),男,辽宁沈阳人,中建铁路投资建设集团有限公司,高级工程师,研究方向为道路与桥梁。

渐变,截面角部圆角半径 10 cm,墩柱高度变化对应墩壁厚度尺寸见表 2,墩柱外立面坡度为60:1。

另外,桥梁采用分离式设计,左右线桥面纵坡均分别为 1.95%、2.85%。其中,左幅桥梁桥长度为 2 148.0 m,孔跨布置为 3×40+(96+5×180+96)+23×40 m;右线桥梁桥长 2 184.0 m,孔跨布置为 4×40+(96+5×180+96)+23×40 m,芦沟河特大桥模拟效果图如图 1 所示。

表 1 主桥部分桥墩数据

桥墩	左幅墩高/ m	左幅墩柱 结构	右幅墩高/ m	右幅墩柱 结构
5 号墩	126	空心薄壁墩	103	双肢实体墩
6 号墩	126	空心薄壁墩	148	空心薄壁墩
7 号墩	192	空心薄壁墩	138	空心薄壁墩
8 号墩	126	空心薄壁墩	182	空心薄壁墩
9 号墩	112	双肢实体墩	155	空心薄壁墩

表 2 7 号墩墩高变化相对应的壁厚尺寸 单位:m

墩度	壁厚
0~42	1.4
42~47	1.2
47~92	1.2
92~97	1.0
97~142	1.0
142~147	0.8
147~192	0.8



图 1 芦沟河特大桥模拟效果图

2 BIM 技术

2.1 BIM 技术特点

在美国 BIM 标准中,原本将 BIM 单一定义为建筑信息模型(building information modeling),但随着 BIM 在实际工程中的运用不断增加,BIM 的内容已变得不再单一,更多的专家与学者认为 BIM 与 CAD 一样,只用作代称^[16-18]。目前 BIM 已成为工程建设、计算机科学、管理相互交叉的独特领域,其在工程行业所具备的主要技术特点如下:

1)模拟功能。BIM 技术除了模拟建筑外形、结构以外,还能模拟实际建设过程中不便操作的事件,如钢筋的碰撞检测、成本模拟等。

2)参数化功能。该功能可通过参数化建模轻易修改模型,可避免参数错误时重新建模这一步骤。当参数化创建的模型足够丰富时,针对新项目建模展开建模时,可大大节约建模时间及成本。

3)可视化功能。区别于二维图纸指导施工,该功能除了以效果图的形式直接展示三维立体模型外,还能将设计意图、周围环境予以展示,从而更加明确项目施工的目的性。

4)项目优化功能。针对复杂项目中,单以个别人员难以准确处理各类工程信息,BIM 技术的运用可将各类工程信息整理分类,进而对整个工程项目进行有序布置。

5)可出图功能。该功能除可以绘制传统图纸外,还能根据绘图人员的不同需求绘制不同维度、专业、深度的相关图纸。

6)协调功能。工程项目的建设过程一般涉及多系统、多人员,而 BIM 技术将相关人员汇集到 BIM 这一共同平台,当不同工程系统出现相互抵触或错误情况时,相关人员可直接进行修改,节省了大量时间。

2.2 BIM 相关软件

近几年随着 BIM 技术在工程项目中使用增加,相关 BIM 软件可根据项目开展的不同阶段分为设计、施工、运行维护三大类^[19-21]。现总结国内外部分热门 BIM 软件的相关特性,见表 3。

表 3 BIM 类软件的特性及使用范围

阶段	软件	特性	使用范围
设计	CAD	绘制建筑类相关的二维图纸	*****
	Revit	用于三维建模设计,操作简单	*****
	Madis	用于土木结构类分析,如桥梁各部分结构分析	**
	Ansys,Etabs	用于模拟结构受力分析	**
	Rhino	用于工业设计简单快速,建模能力强	*****
	天正、理正建筑类	用于建筑设计、三维定义	*****
	Caitia	主用于航天、复杂建筑类建模与设计	*
	广厦、探索者、PKPM 等	主要用于建筑结构设计	*
施工	鲁班、广联达、TSCC 等	用于工程造价类的预算	**
	Navisworks	用于碰撞检测及施工方案设计、模拟	*****
运行维护	Wimstone	可通过 Navisworks 文件直接形成数据库,使用便捷	*****
	Ecodomus、ArchiBUS	用于建筑物及相关设施管理	*****

注:使用范围是按照软件所涉及建筑专业多少进行划分,并非按实际使用次数划分,*越多则范围越广。

由表 3 可知,不同软件所涉及的工程阶段及专业范围各不相同,在实际工程项目运行中,应根据所需类型及精度要求进行选择。现根据芦沟河特大桥特点,选择投入成本低、建模速度快的 Revit 软件进行建模设计,再采用 Navisworks 进行施工方案设计、模拟。

3 BIM 在施工中的运用

3.1 Revit 建模及运用

通过设计单位提供的芦沟河特大桥二维施工图纸,获取左右幅桥墩、桥梁、钢筋等三维坐标及实际数据,再利用 Revit 软件建立桥梁所需的各类族后,结合软件特性参数建立芦沟河特大桥模型[图 2(a)]。针对正处于施工阶段的左幅 192 m 高墩进行精细化建模,用于施工阶段的分析与控制,Revit 建立的两种模型如图 2 所示。

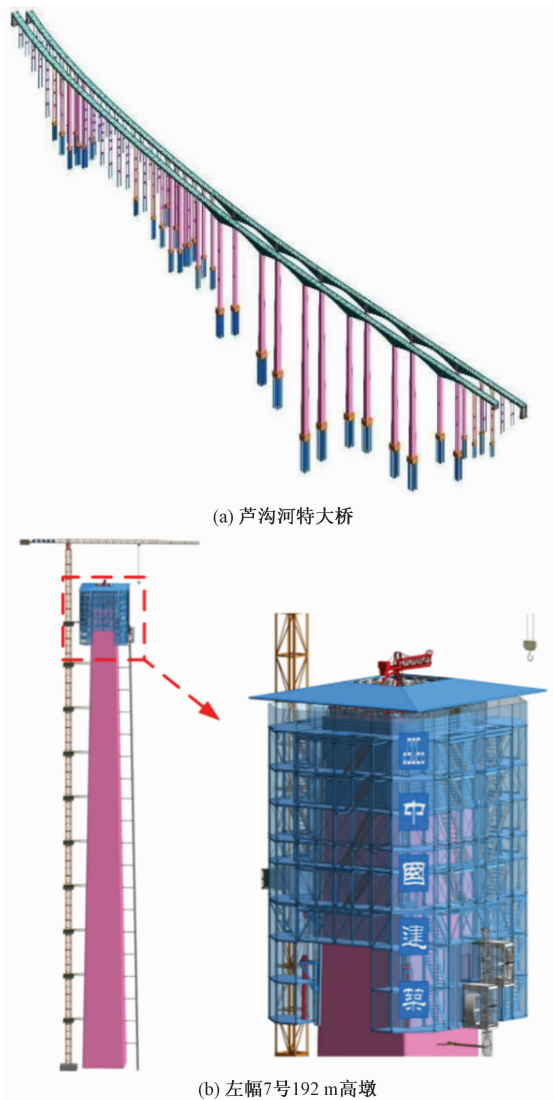


图 2 Revit 模型

如图 2(b)所示,高墩左侧约 12 m 位置布置塔吊作为墩身施工起重设备,右侧布置 1 台单笼施工电梯为施工人员通道,局部放大图为整体式高效施工平台。该平台由支承顶升系统、框架系统、模板系统、智能监控系统、塔柱内平台、布料设施 6 个部分所组成,是在原有造塔机结构上局部优化所得,解决了其整体性不足、适应性较弱两方面问题。该平台整体形成全封闭框架,并设置了挡雨遮阳设施,电梯可直达模架内部。该施工平台一方面解决了雨天施工及协同难度大问题,另一方面以双模版工艺大幅提高了施工的速度。

由于该操作平台改进后首次应用于 192 m 高墩中,且该操作平台结构分为多层整体同时顶升。为了避免在顶升过程中出现各结构层与墩身发生碰撞及其他安全问题,利用 Revit 软件对所建立的左幅 7 号高墩模型进行碰撞检测及平台内部环境、剖面图观察,得到整个施工过程主要存在两方面问题,各问题及解决方法如下:

1)碰撞检测发现,模板吊臂与钢筋间距太近,墩柱钢筋网片的下放及安装无法进行;通过在合模吊装时将导轨临时加长,其余情况下拆除进行解决,其具体加长形状及现场运用如图 3 所示。

2)通过对模型的内部结构及剖面图观察,发现平台架体部分临边有较大洞口(见图 4 红色圆形区域),施工人员作业存在很大安全隐患。通过在施工前对洞口增加可调节翻板措施,解决了洞口安全问题。

另外,图 4 中红色矩形区域为施工预留平台,每节段工作完成后用于模板提升,实际施工中不存在安全隐患。

3.2 Navisworks 施工进度控制与分析

现以芦沟河特大桥中的左幅 7 号高墩为例,将 Revit 中所建立模型导入 Navisworks 中进行施工方案设计、动画模拟,从而保证左幅 7 号高墩的施工顺利进行。左幅 7 号高墩施工主要分为桩基、承台、墩柱 3 部分,其施工流程如图 5 所示。桩基施工完成后,同时浇筑承台与墩柱底节混凝土;墩柱整体施工采用双模版体系(模板为 4.5 m 钢模板),另将墩柱分为 43 个阶段($42 \times 4.5 \text{ m} + 3.0 \text{ m}$)进行施工,其中第 1~3 节段采用体外支架施工,第 4~43 节段利用图 2(b)所示高效施工平台进行施工。

以墩柱中第 4 节段施工为例,模拟其施工动画过程。如图 6 所示,第 4 节段施工先进行钢筋绑扎[图 6(a)],此时通过上、下支撑架将整个模架的荷载传递至墩柱上,待钢筋绑扎完成及下下层混凝土

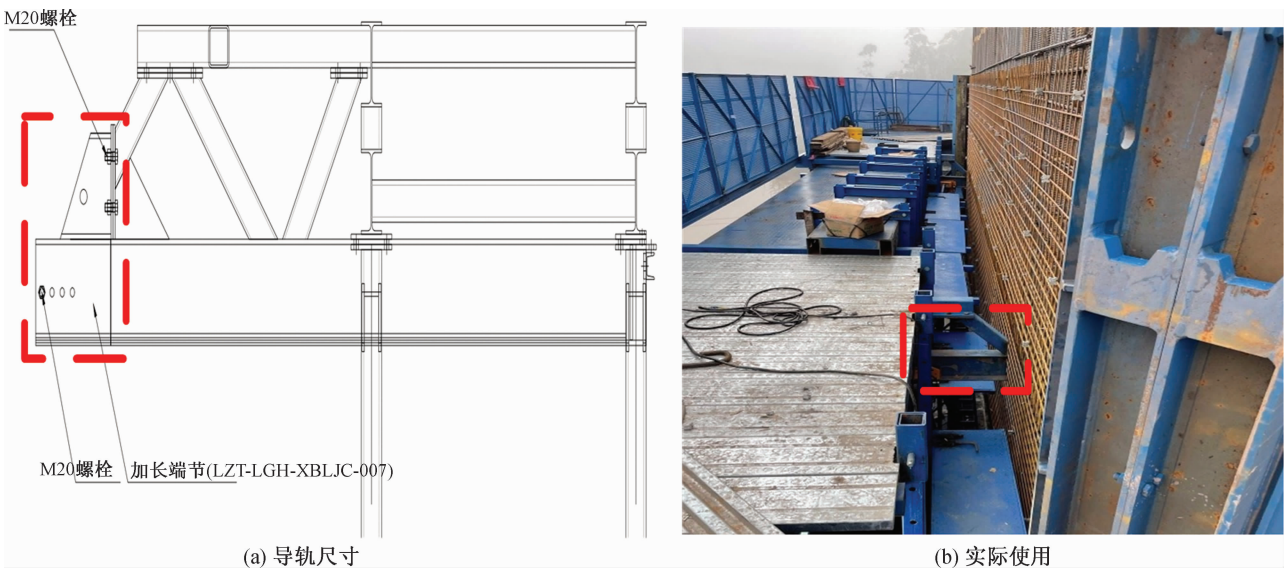


图 3 导轨尺寸及实际使用

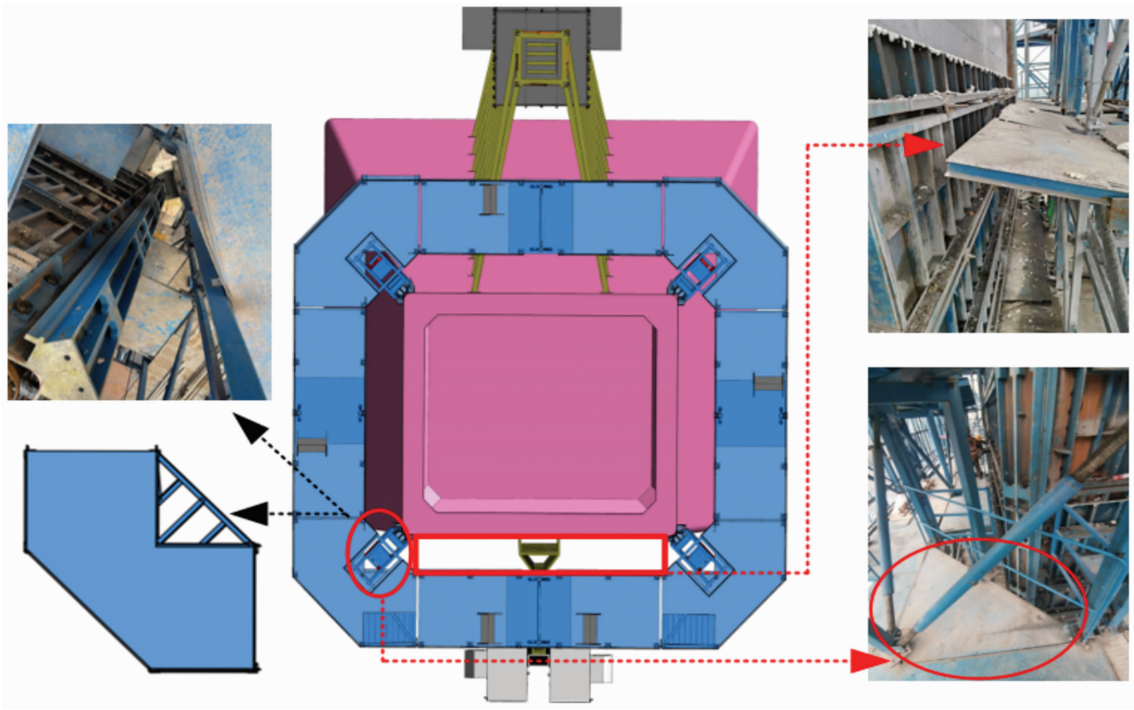


图 4 洞口问题及解决

达到强度后,拆除模板准备顶升;整体施工平台顶升分两次进行(每次 2.25 m),每次顶升仅下支撑架支撑在墩柱上,上支撑架随模架整体一起顶升,顶升到位后通过活塞杆回收提升下支撑架,下支撑架咬合固定至承力件后,即完成顶升过程[两次顶升完成如图 6(b)、图 6(c)所示];双模板经调整后合模,进行混凝土浇筑,待养护后提升模板进入下一节段施工[图 6(d)]。

设计桩基、承台、墩柱 3 部分整体施工计划方案

见表 4,由于实际施工存在多种突发情况,故存在计划工期与实际工期的差异。现对左幅 7 号墩桩基、承台、墩柱 3 部分施工计划进行分析,各部分计划工期与实际工期对比如图 7 所示。

表 4 7 号墩施工计划方案

施工部分	计划开始日期	计划结束日期	实际开始日期	实际结束日期
桩基	2020-12-14	2021-05-23	2020-12-14	2021-07-07
承台	2021-05-24	2021-08-22	2021-07-08	2021-09-30
墩柱	2021-08-23	2022-09-11	2021-09-30	2022-07-27

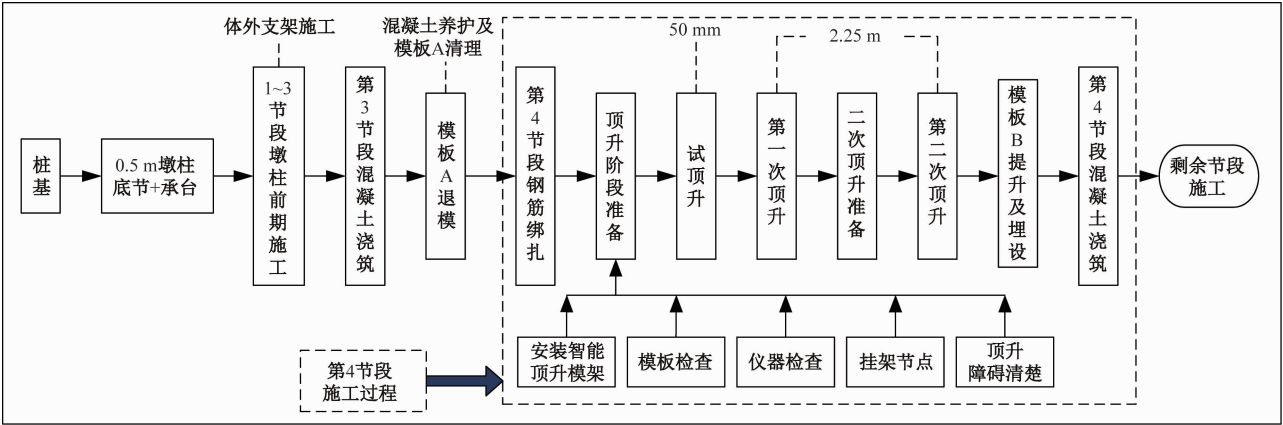


图 5 左幅 7 号 192 m 高墩施工流程

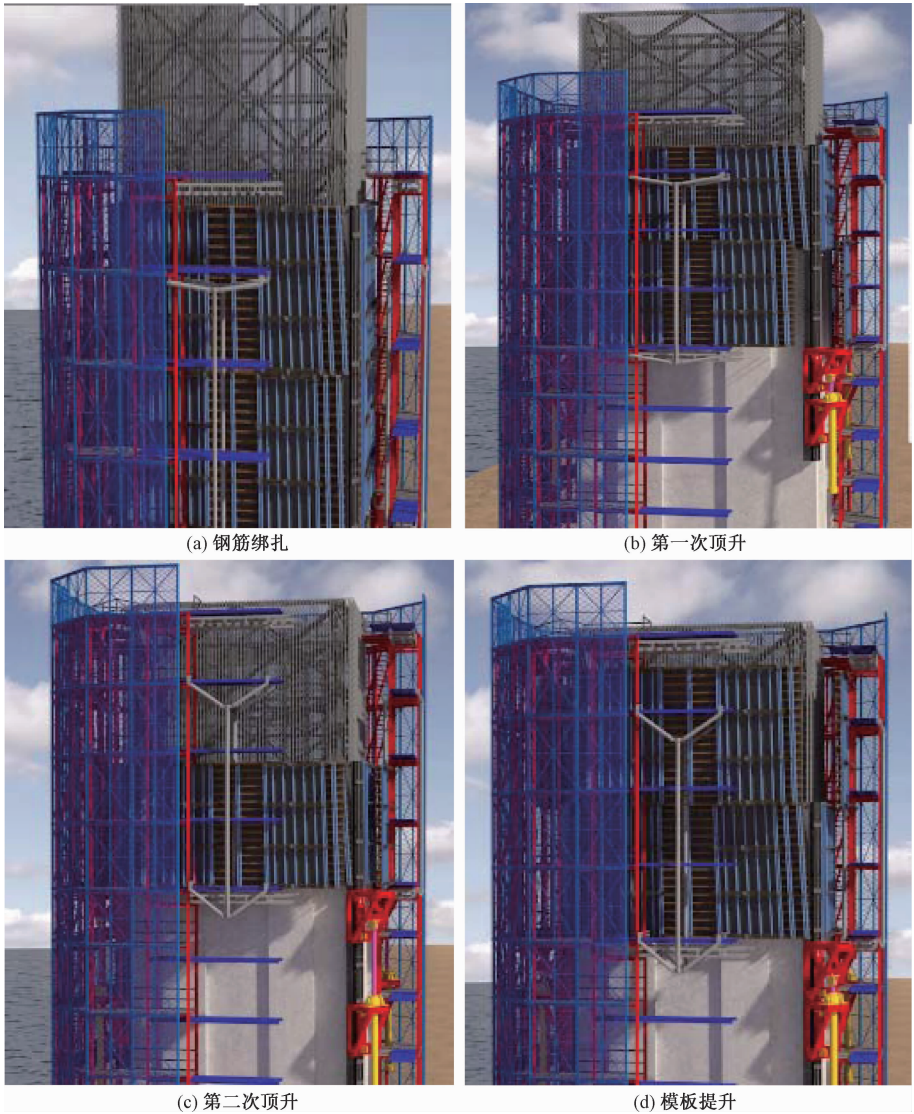


图 6 施工模拟过程

由图 7 可知,桩基、承台、墩柱 3 部分中,桩基施工进度推进缓慢,相比于计划工期晚完工 45 d 时间,承台、墩柱的实际开工日期虽与计划开工日期

不同,但各部分工期均在计划时间内完成。分析桩基总体施工进度缓慢问题发现,项目初期地勘资料由第三方提供,计划工期仅通过该部分资料结合

BIM 技术设置工期计划。但当桩基队伍实际施工时,发现地质条件与当时给出的地勘资料情况不符,其砂岩硬度较初始资料偏差较大,桩基钻进速度缓慢,从而造成该部分施工进度缓慢。

在设计施工计划中,总体计划施工由各部分计划构成,为保证各部分施工的顺利完成,应根据各部分、各结构进行详细的施工计设计,从而确保施工顺利进行。以 192 m 墩柱为例,得到其 43 节段施工工期对比,如图 8 所示。

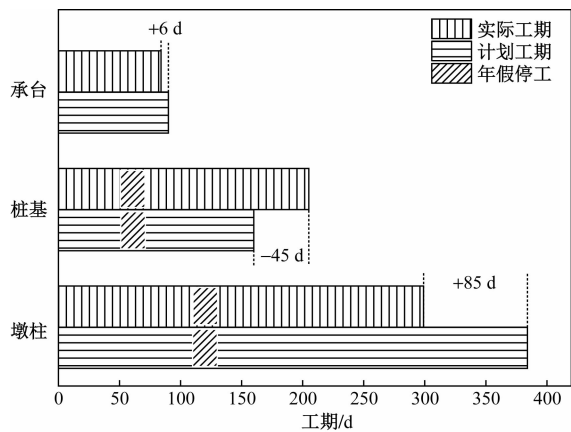


图 7 实际工期与计划工期对比

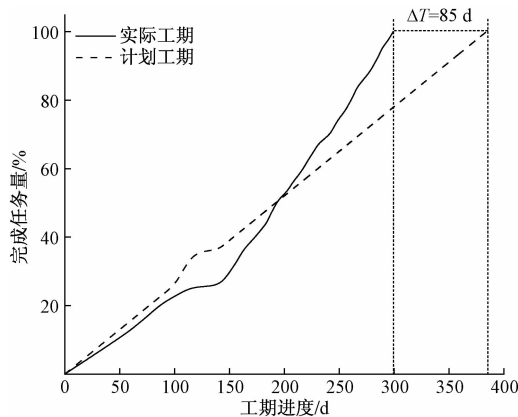


图 8 墩柱施工工期对比

由 8 图可知,墩柱实际所用工期比计划工期提前 85 d,其中在实际施工 116 d 后有年假停工阶段。在墩柱的 43 个节段施工中,前 10 个节段实际工期与计划工期相差较小;在第 10 节段以后的施工中,虽然高度在不断增加,但由于前期 BIM 技术的运用以及整体式高效施工平台的引入,让施工作业难度降低的同时也避免了其他施工问题,从而加快了施工进度。

4 结论

通过研究 BIM 技术相关软件的特点,并于芦沟

河特大桥左幅 7 号墩施工中展开运用,先通过 Revit 软件进行精细化建模及分析,后导入 Navisworks 软件中进行施工方案设计与动画模拟,最后对左幅 7 号高墩的施工进度展开分析,得出如下结论:

- 1) 由于各工程项目概况不一,在选择 BIM 技术进行运用时,应根据各软件特点及实际施工需求进行选择。
- 2) 在实际施工计划中运用 BIM 技术时,需结合详细的地勘资料进行建模与分析,才可保证施工计划的有效设计与顺利实施。
- 3) Revit 软件在快速建模上具有一定优势,用于实际工程的前期设计及施工阶段有较大运用价值。
- 4) 局部优化后的整体式高效施工平台,可运用于超高墩大跨径连续刚构桥施工中,能在降低施工作业难度的同时加快施工进度。

参考文献

[1] 张修海. 基于 BIM 的连续刚构桥施工监控及信息管理研究[D]. 兰州:兰州交通大学,2021.

[2] 邱卓,胡琼清,伍伟斌,等. 基于 ARIMA-BP 神经网络模型的桥梁 SHM 应变预测分析[J]. 科技和产业,2022,22(8):392-397.

[3] 焦驰宇,张湘卓,卢长炯,等. 景观桥梁异形墩柱模板施工安全分析[J]. 科学技术与工程,2021,21(27):11754-11759.

[4] 石岩,李军,秦洪果,等. 大跨高墩连续刚构桥内力状态及其对地震反应的影响[J]. 交通运输工程学报,2022,22(1):70-81.

[5] 任翔,余兴,王璐,等. 非对称高墩连续刚构桥跨中合龙顶推力研究[J]. 公路工程,2022,47(1):1-6,19.

[6] AKCELYAN S, LIGNOS D G, HIKINO T. Adaptive numerical method algorithms for nonlinear viscous and bilinear oil damper models subjected to dynamic loading[J]. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2018, 113: 488-502.

[7] SOFIA H, ANAS E, FAÏZ O. Mobile mapping, machine learning and digital twin for road infrastructure monitoring and maintenance: case study of Mohammed VI Bridge in Morocco[C]//2020 IEEE International Conference of Moroccan Geomatics. Morgeo:IEEE,2020:1-6.

[8] 邹兰林,管洪正,周兴林. 悬浇时差下不同施工方案对连续刚构桥的影响研究[J]. 机械设计与制造,2022(5):163-166.

[9] VIEIRA T, ØYSTEIN U, CABRAL P, et al. Randselva bridge, Norway: designing and building solely based on BIM models[J]. Structural Concrete, 2022, 23(3): 1301-1303.

[10] 祝兵,张云鹤,赵雨佳,等. 基于 BIM 技术的桥梁工程参数化智能建模技术[J]. 桥梁建设,2022,52(2):18-23.

[11] MOTAMEDI A,HAMMAD A. Lifecycle management of facilities components using radio frequency identification and building information model[J]. Electronic Journal of Information Technology in Construction, 2009, 14: 238-262.

[12] 蔺鹏臻,韩旺和. 基于 BIM 技术的混凝土桥梁耐久性分析软件开发[J]. 铁道工程学报, 2021, 38(3): 80-85.

[13] DUY-CUONG N, THE-QUAN N, RUOYU J, et al. BIM-based mixed-reality application for bridge inspection and maintenance[J]. Construction Innovation, 2022, 22(3): 487-503.

[14] DENG L N, LAI S J, MA J C, et al. Visualization and monitoring information management of bridge structure health and safety early warning based on BIM[J]. Journal of Asian Architecture and Building Engineering, 2022, 21(2): 427-438.

[15] CHAN B, GUAN H, HOU L, et al. Defining a conceptual framework for the integration of modelling and advanced imaging for improving the reliability and efficiency of bridge assessments[J]. Journal of Civil Structural Health Monitoring, 2016, 6(4): 703-714.

[16] 夏子立,高文博,景强. BIM 技术在桥梁运维阶段的应用及展望[J]. 广东公路交通, 2022, 48(1): 32-37.

[17] 张吕伟,蒋力俭. 中国市政工程设计行业 BIM 指南[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2017.

[18] 王美华,高路,侯羽中,等. 国内主流 BIM 软件特性的应用与比较分析[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, 9(1): 69-75.

[19] 张修海. 基于 BIM 的连续刚构桥施工监控及信息管理研究[D]. 兰州:兰州交通大学, 2021.

[20] 黄莹,李雷,蒋明轩,等. 基于 Revit 的铁路构件三维建模方法研究与应用[J]. 铁道科学与工程学报, 2021, 18(7): 1732-1739.

[21] 钱佳鑫,陈东,邓树新. 建筑信息模型技术在城市密集区桥梁施工中的应用[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(5): 2063-2068.

Research on the Application of BIM Technology in Bridge Construction:

Taking 192 m superelevation pier of Lugou River Bridge as an example

ZHOU Chenglong, XIANG Hui, ZHANG Wendong, TIAN Jian, WU Jiatao

(China Railway Investment & Bridge Co. ,Ltd. ,Beijing 102601,China)

Abstract: In order to ensure the smooth construction of Lugou River Super Large Bridge with 192 m super high pier, BIM technology and integrated high-efficiency construction platform are applied to the construction stage of No. 7 high pier on the left side of Lugou River Super Major Bridge. Firstly, fine modeling is carried out through Revit software. Then, Navisworks software is imported for construction scheme design and animation simulation. The research results show that two problems were found after collision detection and internal three-dimensional analysis. After improvement, it was used in actual construction, and the 192 m super high pier was capped 85 days in advance. In addition, Revit software can realize rapid modeling, but when BIM technology is used in actual projects, it should be combined with detailed geological exploration data to ensure the accuracy of design and construction scheme. The integral high-efficiency construction platform after local optimization of the original tower crane can be applied to the construction stage of the super-high pier long-span continuous rigid frame bridge, which can accelerate the construction progress to a certain extent. The research results can provide practical experience for the construction process of super-high pier long-span continuous rigid frame bridge and ensure the smooth construction.

Keywords: BIM technology; Revit; superelevation pier; integrated and efficient construction platform; construction progress