

白沙长江大桥 BIM 正向设计应用

陈家勇 赖亚平 吴后伟 肖奎 李瑞超

(林同棧国际工程咨询中国有限公司,重庆 401121)

【摘要】白沙长江大桥采用跨径布置为 590m+180m 的两跨半漂浮地锚式悬索桥。该项目具有涉及专业广、结构构造复杂、施工工序繁多等特点,需借助 BIM 正向协同设计手段以确保设计产品质量。为避免 BIM 模型在不同软件传递过程中的信息丢失,首次提出“R+GH+ARQ”——基于同一软件平台下开展协同正向设计。本文阐述了设计阶段全过程 BIM 设计分析与应用,以及通过定制化二次开发实现地质快速剖切成图及计算模型交互、云计算引入、施工仿真、移动端应用等技术,以提升 BIM 模型的附加值,拓展 BIM 技术的产品服务链,为 BIM 技术在同类型桥梁正向设计的应用提供参考。

【关键词】悬索桥;参数化;云计算;正向设计;移动端应用

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木建筑工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库(CPCD)收录上网,未经授权严禁登载。

1 工程概况

1.1 工程简介

白沙长江大桥位于重庆市江津区白沙古镇东北,是连通津北和津西片区的重要过江通道。项目全长 3160m,功能定位为城市主干路。本桥设计时速 60km/小时,标准路幅宽度 36m,双向 6 车道布置,横断面采用机动车道、人行道分离式布置。全线含跨长江特大桥 1 座,桥梁全长 1300m,主桥 770m,西引桥长 120m,东引桥长 400m。大桥采用双主缆地锚式悬索桥,桥跨布置为 590m+180m,主缆矢跨比为 1/9^[1]。本桥总体布置见图 1,总体透视效果见图 2。



图 2 总体透视效果

1.2 工程特点

跨江主桥采用主跨 590m、边跨 180m 的两跨悬

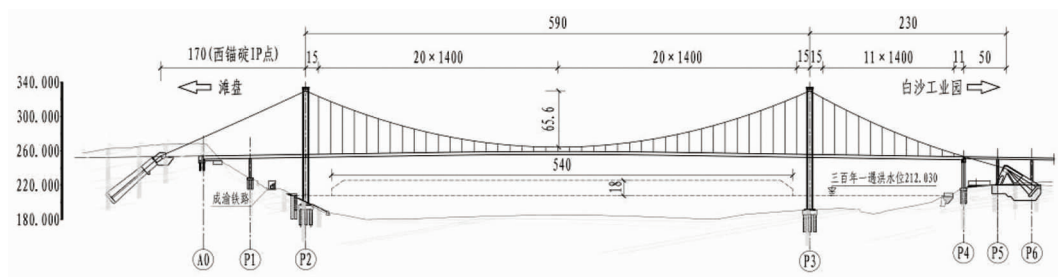


图 1 总体布置图(单位:m)

【基金项目】重庆市院士牵头科技创新引导专项项目(项目编号:cstc2017zdey-yszX003)

【作者简介】陈家勇(1989-),男,硕士,工程师,主要研究方向:桥梁工程设计、参数化设计、BIM 技术应用。

吊半漂浮钢箱梁悬索桥,与周边的地理环境契合较好。主梁采用流线型扁平钢箱梁,缆索系统采用双主缆竖直吊索布置。东岸采用重力式锚碇;为减少开挖,西岸采用隧道式锚碇,桥塔采用门型框架式结构。结合地域文化,桥塔与锚碇外立面均采用新中式风格,该桥各重要组成结构的设计特点详见表 1。

白沙长江大桥涉及专业较广,涵盖道路、桥梁、结构、排水、交通、景观、电照等专业,并具有结构构造复杂、施工工序繁多的特点,设计过程中的协调和相互配合任务量大,需要借助 BIM 正向协同设计手段以确保设计产品质量。因此,项目从方案设计初期开始使用 BIM 技术进行三维正向协同设计,并积极引入虚拟现实技术、3D 打印技术、虚拟建造及移动交互体验等新技术,以直观高效地表达设计意

图,实现对 BIM 模型的赋能增值。

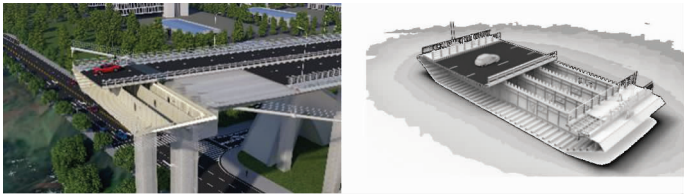
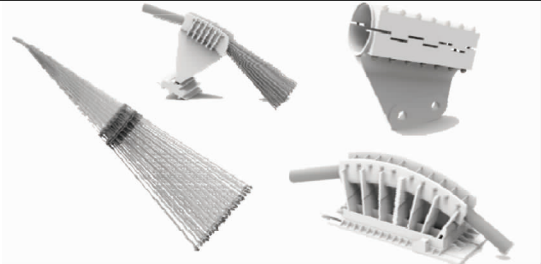
2 BIM 应用环境

2.1 BIM 应用目标

在总结结合川渠江景观大桥 BIM 技术应用^[2]的基础上,本项目进一步细化了 BIM 技术应用点,确定了 BIM 应用总体目标通过采用 BIM 技术实现项目设计全阶段的正向设计——既直接在三维软件环境中设计,以三维模型为出发点和数据源,完成从方案设计到施工图设计的全过程任务,利用三维模型及其参数信息,自动生成所需要的图纸及文档,完成各专业的协同设计。

为进一步拓展设计服务的产业链,引入云计算、沉浸式全景漫游、施工仿真技术及移动端交互

表 1 白沙长江大桥设计特点

主要构件	特点	图示
桥塔	桥塔由塔柱、下横梁、上横梁、鞍室组成的门式框架结构。塔柱在横梁处设置人孔及检修爬梯,以利于检修人员由主梁位置通过塔柱顺利进入至塔顶上横梁及鞍室范围。同时,结合地域文化,桥塔外立面采用新中式风格。	
主梁	钢箱梁沿桥纵向分成 56 个节段,主梁采用全焊正交异性板流线型扁平钢箱梁,主梁中心位置处高 3.5m;设双向 1.5% 横坡。主梁全宽为 34.8m(含风嘴),斜底板宽为 5.5m,水平底板宽 25m。	
缆索系统	本桥采用双主缆竖直吊索布置,主缆跨度为 590m,矢跨比为 1/9;每根主缆中含 61 股平行钢丝索股,每股含 127 丝直径为 5.35mm 的锌铝合金镀层高强度钢丝。	
锚碇	东锚为重力式锚碇,上部结构采用框架式结构,下部结构采用扩大基础。西岸采用隧道式锚碇,分为锚塞体、后锚室、前锚室、鞍座基础及明洞,主缆通过锚固系统将拉力传递给锚塞体。	

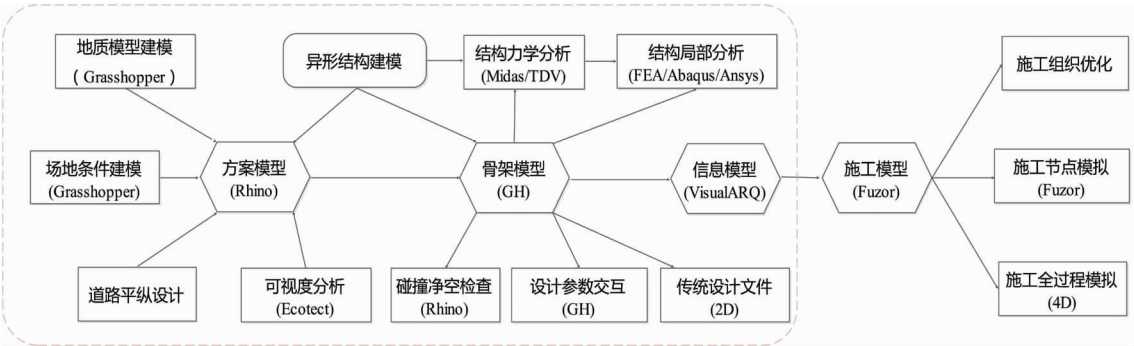


图3 “R + GH + ARQ”协同作业平台

表2 硬件环境

序号	硬件名称	硬件配置关键参数	应用环境
1	企业服务器	DELL 高性能 8 路金牌服务器。	项目存储,用于多专业协同数据的存储与分享
2	云计算平台	炫云	云计算与云渲染
3	高配置台式机	英特尔 i7 7700K、金士顿骇客 16G 单条×2、华硕 GTX 1080 8G	各专业模型创建及整合, 720 全景制作,效果图及动画渲染;
4	移动终端设备	ISO/Android	BIM 技术的培训与推广,辅助项目技术沟通
5	3D 打印机	Allcct 印客	桥梁构件(塔型、复杂空间等)的推敲及优化
6	虚拟现实	HTC Vive Pre	项目虚拟环境的沉浸式体验分
7	高清投影仪	坚果(JmGO)L6_H(1080P 全高清 3500 流明)	三维协同设计、高效沟通交流

式体验等技术,以提升设计质量,保障设计进度,发挥 BIM 模型的附加值。

2.2 R + GH + ARQ 协同设计平台

为顺利地完成任务的应用目标,在进行协同设计平台选择时,需综合考虑轻量化、易开发、协同能力强、几何控制精确等要求。同时,协同设计软件间应具备优势互补、数据共享、高效协同等特点,从而便于打造智慧设计、实现精细化设计^[3]。为避免 BIM 模型在不同软件交互过程中信息传递过程中的丢失,本项目首次采用基于同一协同软件平台“R + GH + ARQ”进行全阶段的 BIM 协同设计平台。该平台集成了具有强大建模功能的三维造型软件 Rhinoceros(以下简称 Rhino)、参数化设计创新领域的设计插件 Grasshopper(以下简称 GH)、族库存储及信息化集成插件 VisualARQ(以下简称 ARQ)的综合优势。该协同平台充分发挥了 Rhino 的造型优势,并在此基础上借助 GH 插件进行可视化编程,打通了传统软件间数据难以互通的技术壁垒;同时可高效地进行定制化二次开发,确保数据信息的高效流通;最后,借助 ARQ 参数化族库存储编辑功能及信息化集成能力,以 IFC 格式进行 BIM 数据交付。故该平台具备造型能力强、易于定制化二次开发、参数

化程度高、模型轻量化且协作效率高等综合性优势。

2.3 硬件环境

在软件供应商、企业 IT 部门及平台管理技术人员等多方支持下,配备公用服务器、云计算平台、高配台式机、3D 打印机、VR 设备等搭建硬件环境。本项目中的硬件环境如表 2 所示。

3 BIM 正向设计应用

3.1 BIM 正向设计流程

结合行业^[4]、地方^[5]和企业市政工程正向设计标准,综合考虑本项目的设计特点及业主需求,确定本项目 BIM 设计应用目标和建模原则。为便于各专业间的高效协同,本项目设计初期制定了正向设计流程,以规范各专业 BIM 设计行为,保证 BIM 模型的信息实时交互与共享。此外,将色彩、图层、命名、编码、材质、交互等制模标准嵌入至各专业各设计阶段制定的三维正向设计模板中,并进行统一的构件族库及构件信息管理。另外,将正向设计模板文件加入到正向设计流程管理中,有效地保证了专业间的设计高效协同。本项目的正向设计流程如图 4 所示。

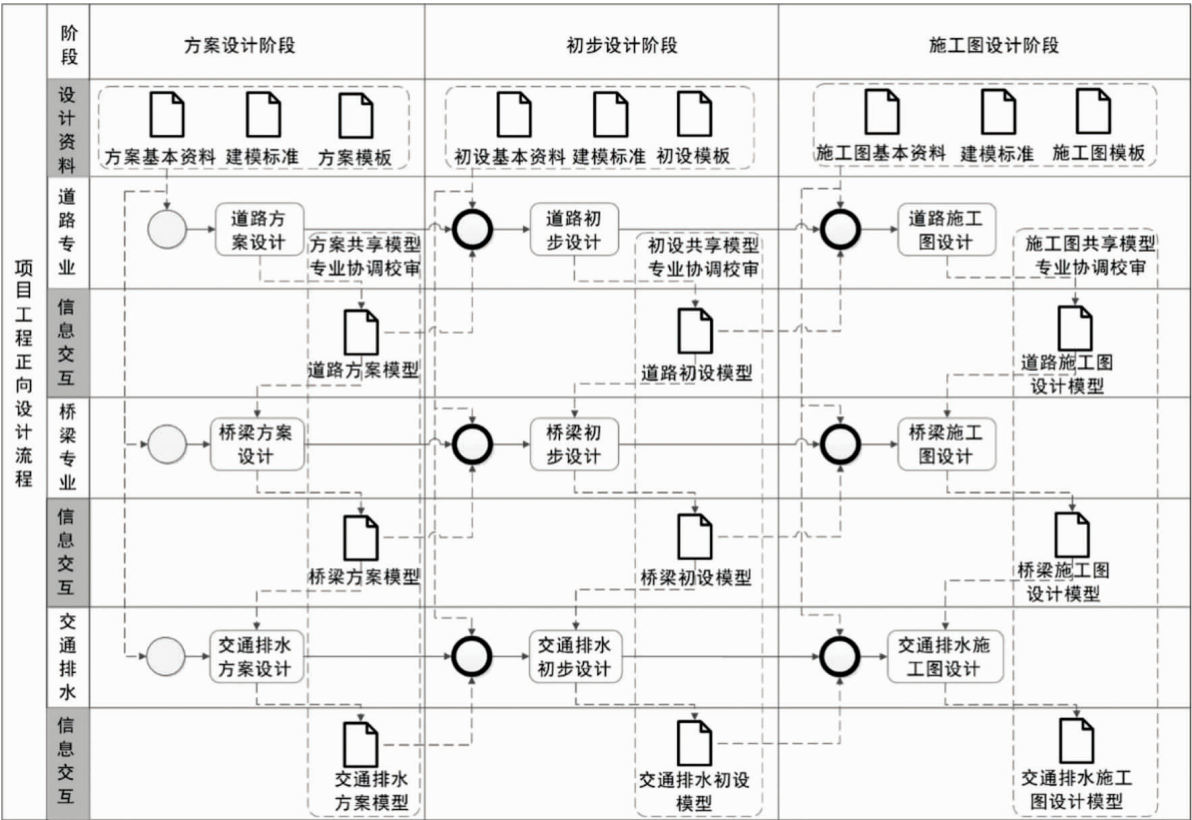


图 4 正向设计流程

3.2 BIM 模型构建

在正向设计初期,结合《重庆市市政工程信息模型设计标准》,对 BIM 模型按照“项目系统、专业系统、单系统、构件、零件”层级进行模型拆分,如图 5 所示。通过设定项目的建模原则、构件编码体系及文件命名规则,应用专门制定的三维正向设计模板进行各设计阶段的正向设计,规范各专业的协同设计机制。

正向设计具体操作流程如下:

- 1) 基于参数化设计理念,针对不同设计阶段,逐步深化骨架模型,并借助定制化的二次开发批量驱动族构件,实现快速定位。
- 2) 借助自主研发的三维地形地质模型生成模块,基于地质钻孔数据,快速生成场地范围内的地形地质模型。
- 3) 对于常规族构件,建立丰富可调的常规构件族库。本项目新增入库零件 1686 个,其中参数化族库新增 186 个。
- 4) 对于复杂构件,借助企业日益完善的参数化构件族库及参数化设计手段,高效、精准地完成复

杂构件的三维正向设计。

- 5) 利用骨架模型获取构件及组件系统的定位信息,按照下部、上部、附属的顺序进行构件及组件系统的组拼。
- 6) 在 IFC 标准的基础上拓展构件属性,信息深度达到施工图设计要求。拓展的几何信息可通过 IFC 格式进行全生命周期各阶段的传递与共享^[6]。
- 7) 将各专业模型链接至中心地质地形模型文件,实现模型信息的分类权限管理和实时共享,以满足 BIM 正向设计协同要求。

3.3 BIM 设计应用

在方案设计阶段,可快速地进行方案优化迭代与结构力学性能比选。在详细设计阶段,可快速地交互有限元分析软件,借助云计算快速完成精细化设计。最后,借助定制化二次开发,高效地完成设计信息的交互,大幅地提升了设计的效率。设计过程中实时地进行构件的碰撞检查及三维可视化剖切分析,避免了传统二维设计过程中的错、漏、碰、缺,保证了设计质量。

在结构设计方面,设计师可实时进行特殊功能

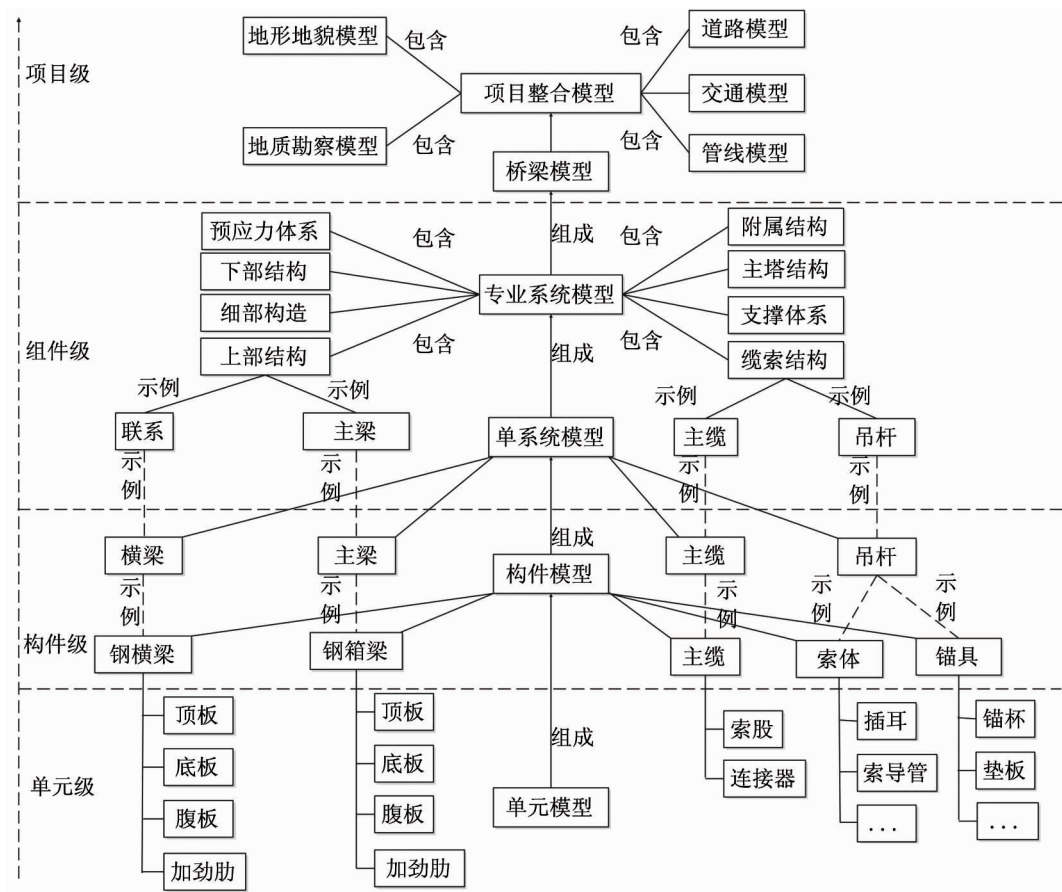


图5 结构拆分原则

空间及复杂节点的可视化分析,保障设计成果与信息传递的一致性。通过应用参数化设计手段,利用参数调整快速地完成悬索桥锚碇锚跨索股空间及其预应力锚固系统等同类型构件的设计工作。

在结构计算方面,借助参数化设计辅助有限元模拟。通过开发与有限元分析软件的无缝接口,可快速地进行杆系结构受力体系分析和多方案的结构力学性能比选,实现结构优化。针对结构受力复杂和薄弱的部位,可快速地将 BIM 三维模型交互至三维有限元实体分析软件,进行实体力学仿真模拟,有效地降低了计算时间成本,保障了结构的精细化设计。

在设计出图方面,由于二维图纸目前仍是行业强制规定的设计交付物,故需将三维模型转化为二维图纸。借助参数化设计手段,可批量将三维正向设计模型转化为二维图纸,深度满足施工图设计要求。由三维模型交互出的二维图纸,一方面可以确保图模一致性,另一方面可以实现便捷的联动批量修改,形成自动化的智能交互过程。借助参数化手

段将结构设计的数据流在三维模型与二维图纸之间快速地流通,大大节省了设计制图时间,避免了调整带来的重复工作量,实现自身价值的最大化。本项目正向设计模型的直接出图率达 60%。同时,利用“三维+二维”相结合的出图方式,将三维模型渲染图和二维投影图有机结合,设计意图更加清晰直观。

在设计评审阶段,借助轻型 VR 技术进行项目沉浸式漫游、三维动态浏览和互动性展示,增强了评审专家对项目直观的感受,使评审项目能够达到全视角、高清晰、真实景的效果。另外,三维可视化的在线展示避免了传统沟通方式中信息不对称的情况,保证信息传递的一致性,有效地节省了设计沟通时间,使评审沟通方式更加灵活高效。

通过 BIM 技术的引入,本项目在工作效率、设计质量、技术沉淀、沟通和表现方面均取得了良好的应用效果。基于三维的 BIM 正向设计,有效地提升设计沟通效率,并提升了设计品质,具体应用效果详见表 3。

表 3 BIM 应用效果

序号	特点	项目应用效果
1	提升工作效率	以参数化技术为核心,有效串联三维几何模型、计算交互、工程量统计、设计交互等设计工作,信息数据有序传递,节省设计周期约 1 个月。
2	提高设计质量	基于市政工程三维正向设计标准,并实时进行 4D 施工模拟、专业间碰撞检查,发现软硬空间碰撞约 60 次,有效减少了“错、漏、碰、缺”等缺陷。
3	增强产品体验	通过引入云计算、实时渲染、虚拟现实、3D 打印、轻便移动端展示等高效可视化技术,大大提升设计产品体验。
4	BIM 技术沉淀	基于本项目,新增零件级构件族库 1686 个,新增参数化构件 186 个。通过本项目试点,助力“林同棧市政工程 BIM 正向设计标准”的完善,规范企业 BIM 技术发展。
5	实现高效沟通	借助在线平台进行专业协同正向设计,便于设计团队对结构构造及方案的探讨,有效提升沟通效率,减少沟通障碍。

4 BIM 拓展应用

4.1 定制化二次开发

以设计中的实际需求为导向进行定制化二次开发,逐步积累和深化参数化设计族库,将正向设计标准植入正向设计模板文件中,提升了团队整体设计效率和质量。为便于地形地质模型的高效处理,自主研发了三维地质模型生成模块,可快速地完成桥位范围内的地质模型,并快速实现剖切成图,如图 6 所示。

在结构性能化分析方面,通过开发与杆系有限元分析软件 Midas 和三维实体有限元分析软件 ABAQUS 的无缝接口,快速地进行多方案的结构力学性能分析,以及对关键受力部位及复杂受力节点展开局部有限元分析,节省计算建模时间,提升整

体设计效率,为做好结构的精细化设计保驾护航。

4.2 云计算技术

由于悬索桥结构复杂、构件种类繁多,计算及三维表现工作量大,借助云计算和云渲染技术,革新传统设计流程,节省了计算和渲染时间 70% 以上。复杂多样的密集型数据处理亟需云计算技术,其计算容量大、支持种类多且更新迭代速度快,一方面可以大大提升日常工作效率,另一方面也可为未来的大数据信息处理提供一个安全性高、容纳大的数据处理平台^[7]。云计算渲染平台如图 7 所示。

4.3 施工仿真技术

本项目利用 BIM 施工仿真技术实现了“关键施工节点的工序优化、工期的合理规划安排和最优施工方案的确定”,解决了施工过程中碰撞及施工组织优化等问题。设计阶段通过采用 4D 动态模拟平

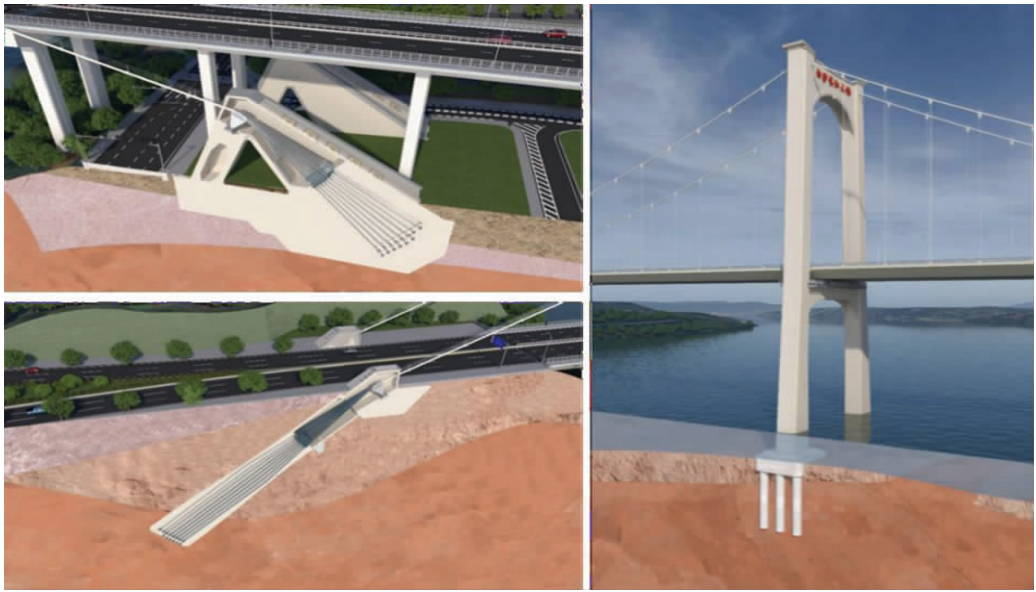


图 6 地质剖切成图

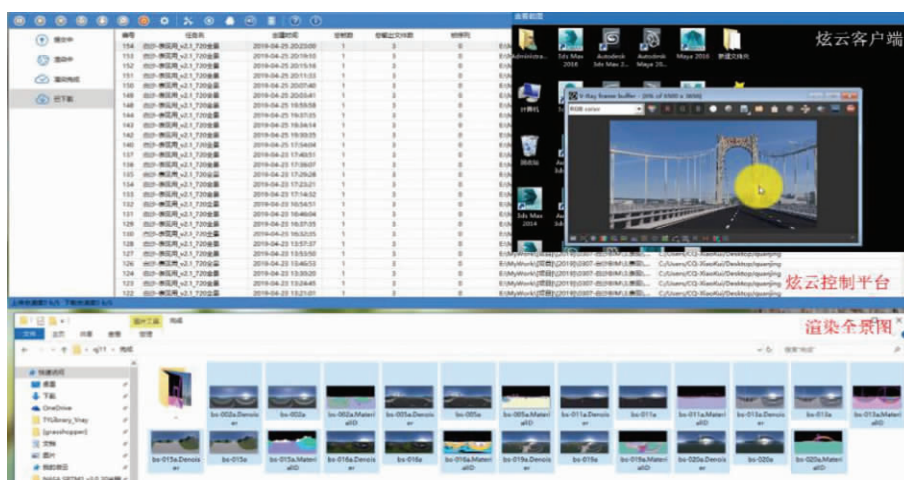


图7 云计算渲染平台

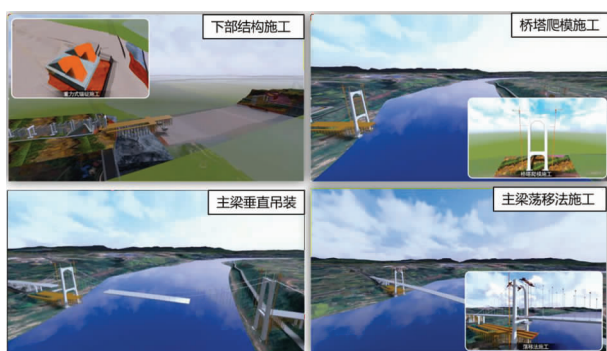


图8 施工仿真模拟

台进行桥梁施工全过程的三维可视化技术交底,参建各方能够直观地了解项目总体施工方案。本项目东岸重力锚采用明挖基础法,西岸隧道锚选择控制爆破法。塔身选用爬模法,主、散索鞍由塔吊进行吊装。主桥钢梁船运就位后,中跨利用缆载吊机由跨中向桥塔侧逐段吊装;东边跨钢梁从岸边向桥塔侧垂直起吊。桥塔处无索区梁段利用荡移法移动至安装位置,主梁架设完成后施工全桥附属设施及检修系统。关键施工过程如图8所示。

4.4 移动端应用

本项目在设计过程中整合了多种轻型移动端展示技术,借助720云平台进行全视角、真实景、高清晰的全景漫游。通过将项目BIM模型的关键视点渲染成360度全景,再将各个视点的全景图进行串连,最后构建出一个虚拟的全景空间。用户在浏览漫游场景时,可借助鼠标或移动端远距离左右操作^[8]。基于全景漫游技术将项目进行360度全景展示,项目各参建方能够更为直观地了解项目设计

情况。同时,借助移动端进行互动性展示,通过方便快捷的“交互式体验”实时进行结构参数化优化和迭代,增强客户对项目的优化过程更为直观的体会,以辅助进行更为高效的决策。本项目的全景效果图及参数化迭代平台详见图9。



图9 移动端应用

5 BIM 应用总结

本文介绍了白沙长江大桥的BIM正向设计方法及应用实践,该项目首次采用基于同一软件平台“R+GH+ARQ”,实现了多专业协同正向设计,开创了一种新的数智化设计模式。在正向设计过程中严格执行企业正向设计标准和正向设计流程,通过分层级、轻量化的处理技术,解决了大跨度悬索桥BIM建模、结构分析、设计出图等问题。通过引入云计算技术,低成本、高效率地实现了六维沉浸式漫游及用户交互式体验,为BIM模型赋能增值。针对悬索桥锚碇锚跨索股空间定位、前期地形地质处理、参数化出图等进行了定制化二次开发,为复

杂的大型桥梁工程全阶段正向设计提供解决方案。

参考文献

- [1] 林同棣国际工程咨询(中国)有限公司. 重庆市江津区白沙长江大桥及连接线工程施工图设计[Z], 2019. 5.
- [2] 肖奎, 陈家勇, 赖亚平, 等. 合川渠江景观大桥 BIM 技术应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 8(4): 48-55.
- [3] 周永明, 苏章, 苏前广. 珠海横琴国际金融中心大厦项目智慧工地集成化应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 8(4): 17-26.
- [4] DG/TJ 08-2204-2016. 市政道路桥梁信息模型应用标准[S]. 上海. 2016.
- [5] DBJ50/T-282-2018. 市政工程信息模型设计标准[S]. 重庆. 2018.
- [6] 袁胜强, 顾民杰, 刘辉, 等. 宁波中兴大桥及接线工程 BIM 设计与应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018, 4(2): 17-22.
- [7] 肖国彪. 大数据和云计算平台应用研究[J]. 价值工程, 2018, 37(34): 280-281.
- [8] 王梅, 冉晓娟. 基于全景漫游技术的成都欢乐谷全景漫游展示建设[J]. 科技世界, 2019: 94-95.

The Application of BIM Forward Design Technology in the Baisha Yangtze River Bridge

Chen Jiayong, Lai Yaping, Wu Houwei, Xiao Kui, Li Ruichao

(T. Y. Lin International Engineering Consulting(China) Co., Ltd., Chongqing 401121, China)

Abstract: Baisha Yangtze River Bridge adopts two-span semi-floating ground anchor suspension bridge with span of 590m + 180m. This project has the characteristics of a wide range of disciplines, complex structure and various construction processes, and it is necessary to make use of the forward cooperative design means of BIM model so as to ensure the quality of design products. In order to avoid the loss of information in the BIM model in the process of different software transmission, "R + GH + ARQ" is first proposed, which is based on the same software platform to carry out collaborative forward design. This paper describes the design analysis and application of BIM technology in the whole design process, and realizes the geological rapid cutting mapping and computational model interaction, introduction of cloud computing, construction simulation, mobile application and so on through customized secondary development so as to enhance the added value of BIM model, expand the product service chain of BIM technology, and provide reference for the application of BIM technology in the forward design of the same type of bridge.

Key Words: Suspension Bridge; Parameterization; Cloud Computing; Forward Design; Mobile Application