

BIM 技术在网状吊杆拱桥设计阶段的应用

李慧欣

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 在大半径平曲线网状吊杆拱桥设计阶段,利用 BIM 技术建立全阶段模型进行三维展示,用以辅助确定吊杆定位、吊杆间距等重要数据,并对多专业模型进行碰撞检查,实现了项目可视化、项目质量提升及数字化交付。BIM 技术在桥梁设计阶段所发挥的作用及价值,可为同类型桥梁的 BIM 与设计深度融合提供借鉴。

关键词: 网状吊杆拱桥;BIM 应用;辅助设计;深度融合

中图分类号: U442.5;TP319

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)06-0271-04

0 引言

随着桥梁技术的不断发展,如今拱桥的形式日新月异^[1],大跨径、高难度的桥梁越来越多地出现在人们视野。拱桥往往存在空间关系复杂、传统二维设计难以准确定位的情况。BIM 技术具有三维可视化、参数化、模拟性等特点^[2],在设计阶段采用 BIM 技术辅助拱桥设计可以使方案更优化、设计更准确。

1 工程概况

1.1 项目简介

本项目位于深圳市罗湖区大望梧桐片区,为桥梁拆除重建工程。

原址老桥建于 1985 年,结构趋于老化,路面破损严重,栏杆多处缺失,整桥做过加固处理;旧路断面总宽 8 m,车行道宽 6 m,两侧人行道各宽 1 m(见图 1)。老桥承载力不满足现行承载力要求,技术状况属于不合格级桥或 D 级桥。老桥安全隐患较大。



图 1 项目范围

本项目建设内容为原址拆除重建大望桥,改造后桥梁总长 229 m,主桥为 215 m 网状吊杆拱桥,宽 20~23 m,设计车速为 30 km/h,设双向 4 车道+地面慢行系统+二层绿道系统。

收稿日期: 2022-09-03

作者简介: 李慧欣(1988—),女,硕士,工程师,主要从事桥梁设计及 BIM 技术研究、应用工作。

桥梁总体布置图见图 2。

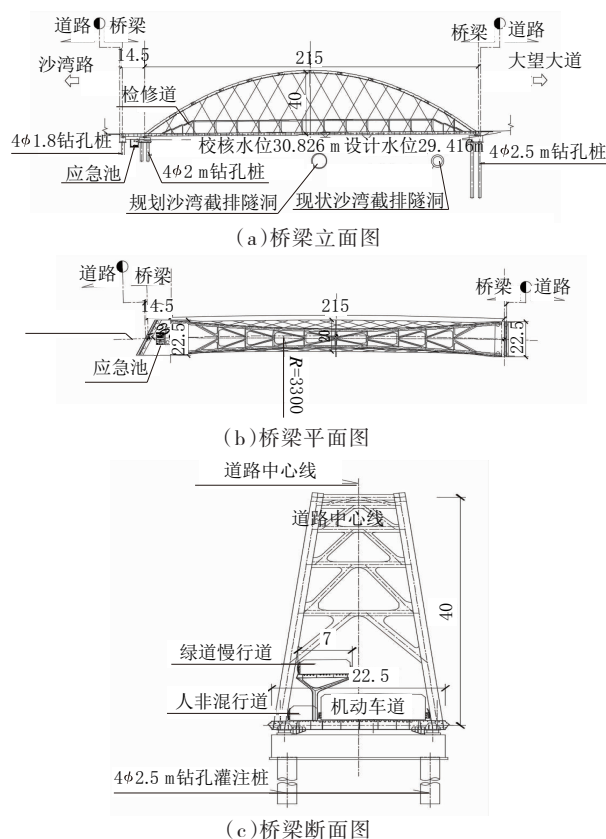


图 2 桥梁总体布置图(单位:m)

桥梁上跨深圳水库,受一级水源保护线、粤港供水用地线、沙湾截排隧洞和桥头路口斜交等限制,同时兼顾桥梁景观,最终选用“大半径平曲线网状吊杆拱桥”设计方案。桥梁平面位于 $R=3\,300\text{ m}$ 的圆曲线上,为国内首座位于曲线上的网状吊杆拱桥,同时大桥兼顾环水库二层绿道间接需求,在有限的红线宽度内采用双层非对称断面布置。

桥梁宽度与一级水源保护线同宽,桥梁施工及永久结构均不得侵入一级水源保护线(见图 3)。既要充

分利用既有红线宽度,将通行能力最大化,又要最大限度地缩短断交时间,因此桥梁采用“立体化协同改造”的施工方案,通过二层施工平台完成主桥拼装,最后落梁至设计标高。



图 3 一级水源保护区范围

1.2 项目难点分析

本工程具有以下难点:

(1)桥梁结构选型及设计方案需考虑水源保护线、景观等多重因素。

(2)主桥为位于平曲线上的网状吊杆拱桥,吊杆空间关系复杂,较难定位,仅用二维图纸很难计算吊杆间距,判断吊杆是否有碰撞、如何调整。

(3)主拱、吊杆均为空间结构,与一层及二层结构关系复杂,通过二维图纸难以判断净空是否满足要求,结构是否有碰撞等情况。

(4)桥梁施工方案新颖,如何在施工前充分考虑到施工中可能存在的问题及应对策略较为重要。

为了保障本项目的顺利实施,本项目建设初期就决定采用 BIM 与设计深度融合的设计方法,以数字化交付作为主要目标,并进行了针对性的 BIM 技术策划。

2 BIM 模型建立

2.1 建模软件

本项目涉及专业较多,建模时应根据设计阶段、交付要求、软件成熟度、专业特点、建模习惯等综合考虑,选用不同的建模软件,以完成整个工程的建模任务。项目采用的建模软件见表 1。

表 1 项目采用的建模软件

序号	建模类型	建模软件
1	地形	路易
2	道路	路易
3	桥梁	CATIA
4	结构	3dsmax
5	给排水	管立得
6	电气	路易、3dsmax
7	周边环境	Civil3d、路易、3dsmax 等

各专业模型利用 FBX 及 STP 格式为中间格式,采用 Navisworks2020 对模型进行初步整合及碰撞检查等应用。利用 Infravorks 及公司自研软件 VDBIM 对项目进行可视化展示等应用。

2.2 模型建立

2.2.1 方案阶段模型建立

方案阶段,项目采用 LOD100 的精度进行建模,建模内容包括:周边现状地物、规划构筑物、项目道路、桥梁模型。项目模型主要表达项目区位、桥梁跨径、主拱及风撑外观方案。

利用项目勘察地形数据(等高线、高程点)及正射影像点云,建立项目数字地形模型(见图 4)。在数字地形模型基础上,进行现状及设计模型的建立。

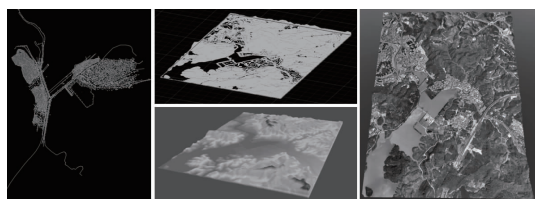


图 4 地形分析

2.2.2 初设阶段模型建立

初步设计阶段在方案阶段基础上,以 LOD200 的精度优化主桥的设计模型,建立给排水、电气专业模型。

项目采用 BIM 与设计深度融合的方式推进,在初步设计阶段,对照桥梁的梁、拱、吊杆等重要构件定位原则进行桥梁模型优化,以达到相互校核的目的。

初设阶段主桥模型见图 5。

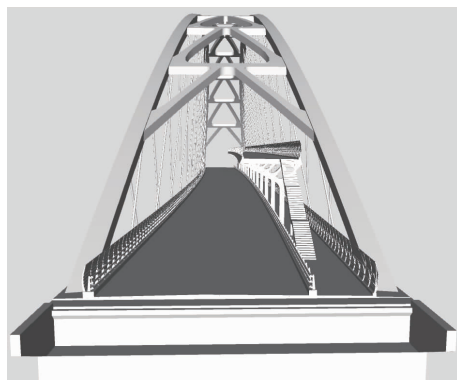


图 5 初设阶段主桥模型

2.2.3 施工图阶段模型建立

施工图阶段以 L300 的精度完善各专业模型,并根据模型编码标准对模型进行编码,以便形成数字化交付成果并传递到施工阶段。

施工图阶段桥梁建模与设计图纸同步进行(见图 6),各部位完成后进行整合,提前预演施工和安装

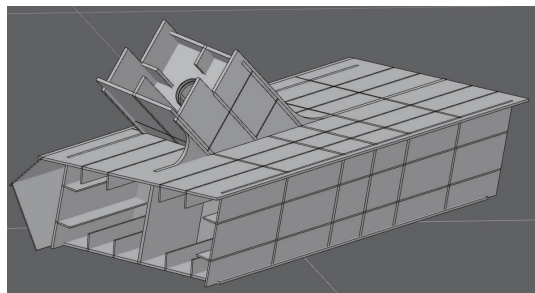


图6 施工图阶段桥梁拱梁结合段模型

流程,复核设计参数,保障设计质量。

3 BIM 应用

3.1 方案阶段模型应用

在方案阶段开展了场地分析、方案比选和优化方案漫游、BIM+GIS 方案的可视化展示等应用。对地形进行分析,辅助选线及优化线位;对水源保护区进行分析,辅助水源保护设计;对主桥样式进行比选,对主拱方案进行比选;对项目方案进行漫游模拟,开展方案汇报等工作;将 BIM 模型与 GIS 基础数据进行集成,并在三维场景中进行展示。

3.1.1 场地分析

场地分析是在设计初期根据勘察、实景测量结果,对建设范围内的地形地貌、周边环境进行数字化三维建模,从而获取详细的数据信息;对工程改迁、环境影响、建设难点、建成后的效果进行评估,有效协调工程建设与现有条件的关系,减少对环境的影响,节约建设成本,从而为后续的设计工程打下基础。

利用建成的数字地形模型,辅助进行地形高程分析、选址唯一性论证、一级水源保护区分析等,并结合 GIS 数据,对线位与周边环境的影响进行分析。

3.1.2 方案比选与优化

本项目投资高、社会影响大,设计方案的优劣对工程建设的成功有重大影响。因此,在方案阶段,往往要求从可行性、经济性、安全环保要求、运营要求、与周边环境的协调度等多方面对多方案设计进行比选,以确定关键节点技术方案,争取达到“技术先进、经济合理、安全环保”的综合要求。本项目在方案阶段开展了拱脚位置比选、拱布置比选及风撑方案比选,方案模型见图7、图8。

3.1.3 方案漫游

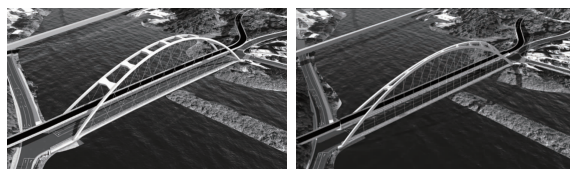
对项目方案进行漫游模拟(见图9),对项目场景、景观进行全方位展示,开展方案汇报等工作。

3.1.4 BIM+GIS 方案展示

通过 BIM 软件构建主体专业模型,以 GIS 为底



图7 推荐方案(拱脚正位、K型风撑)



(a)拱脚正位、X型风撑 (b)拱脚斜位、X型风撑

图8 比选方案



图9 方案漫游视频

座,以 BIM+GIS 的方式展示设计方案(见图10),辅助设计汇报,方便各方快速理解方案,提高汇报效率和质量。



图10 BIM+GIS 展示

3.2 初设阶段模型应用

在初设阶段开展了碰撞检查、方案优化、吊杆定位优化、吊杆间距确定、三维可视化方案展示、施工方案模拟等应用。各专业间初步设计成果碰撞检查发现多处管线与桥梁结构发生碰撞,基于三维模型对设计成果进行检查优化,发现吊杆间距较小、管线实际埋深不足等问题。根据 BIM 模型为设计提供吊杆位置优化方案。

3.2.1 BIM 与设计方案的动态深化

在初设阶段,对部分关键位置和构造进行深化建模。由于桥梁结构复杂,拱脚、拱轴、局部坐标系定位的准确关乎整个项目,BIM 与设计紧密连接,采用相同的定位标准进行模型深化,动态调整,严格保证图模一致性。

3.2.2 吊杆设计优化

(1)吊杆定位及核实:本项目为网状吊杆拱桥,桥型新颖,结构复杂。采用 BIM 模型针对拱上每根吊杆坐标进行复核,得到模型与设计计算差值,复核吊杆定位准确性。复核结果见表 2。

表 2 吊杆定位及核实

单位:mm

位置	X1	Y1	Z1
拱上误差	0.024	0.481	3.568
	-0.023	-0.481	-3.567
梁上误差	0.037	0.054	0.056
	0.000	0.000	-0.037

(2)吊杆间距反馈设计:本项目吊杆空间位置复杂,仅用二维图纸很难计算吊杆间距,判断吊杆是否有碰撞以及如何调整。采用 CATIA 软件批量测量吊杆间距并导出,判断出桥梁小桩号侧第 1 对吊杆间距较小,内外进行调换后可增大间距。将结果反馈设计进行复核,对吊杆位置进行更新调整。

3.2.3 模型碰撞检查

基于 BIM 模型的空间碰撞检查可以大大提高冲突检查的效率和质量,完成设计图纸范围内各种平面布置和竖向高程相协调的三维协同设计工作,事前对图纸设计错误进行预警并修正,避免因设计错误传递到施工阶段而导致的投资增加与工期延误所造成的经济损失。本项目共检出碰撞 8 处,有效提高了项目设计质量。

3.2.4 道路界限复核

根据 BIM 模型复核主桥范围内主桥及二层慢行系统是否满足规范净空要求。根据设计要求,净空规定如下:主桥机动车道不小于 4.5 m;主桥慢行系统不小于 2.5 m;二层慢行系统不小于 2.5 m。由于项目空间关系复杂,难以通过选择特定测点进行界限复核,因此,建立净空虚拟模型,通过虚拟模型与桥梁的碰撞检查进行界限复核。

3.2.5 施工方案模拟

为缩短断交时间,本项目提出“立体化协同改造,建造期间少断交”的施工方案。利用 BIM 进行施工方案模拟(见图 11),清晰地表达了各施工阶段的工作内容,便于汇报、沟通与决策。

3.3 施工图阶段模型应用

在施工图阶段开展了图纸复核、专业综合等应用。利用自研软件 VDBIM 进行模型集成,基于三维模型对设计成果进行检查优化,将各专业模型进行

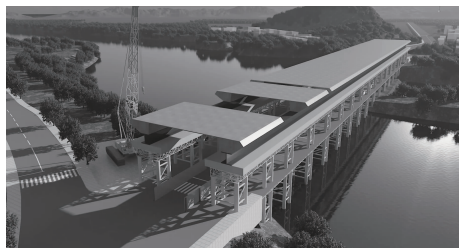


图 11 利用 BIM 模拟施工方案

集成,检查专业间的协调性。将本项目设计阶段的数据文档、建筑信息模型移交给业主单位,传递至施工阶段。

3.3.1 图纸复核

建立各专业 BIM 模型,利用 BIM 的可视化优势检查在传统设计过程中难以发现的各专业设计内容不协调问题,并根据所发现的问题对设计方案进行优化,提升工程设计质量。

本项目共发现图纸问题 7 处,包括图纸表达错误导致的吊点与吊杆位置不吻合、防撞栏与吊杆局部碰撞等问题(见图 12),保障了项目质量及工期。

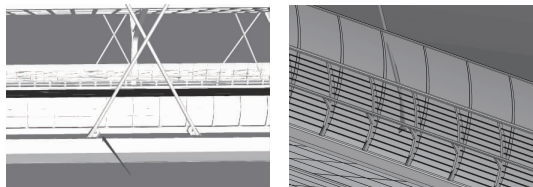


图 12 图纸复核

3.3.2 专业综合

对本项目的各专业施工图模型及现状模型进行综合整合,汇总查看。

3.3.3 虚拟仿真漫游

虚拟仿真漫游主要是利用 BIM 软件来模拟结构与建筑物的三维空间关系和场景,通过漫游、动画的形式提供身临其境的视觉、空间感受(见图 13),及时发现不易察觉的设计缺陷或问题,减少由于事先规划不周全而造成的损失,方便设计与管理人员对设计方案进行辅助设计和设计评审。



图 13 VDBIM 虚拟仿真漫游

3.3.4 数字化交付

本工程交付内容包括信息模型、报告文档、图片及视频格式,保证设计阶段数据完整传递到下一阶段。

(下转第 278 页)

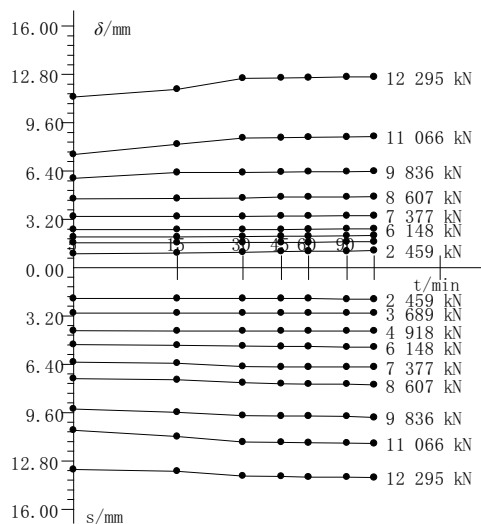


图3 S-lgt 曲线图

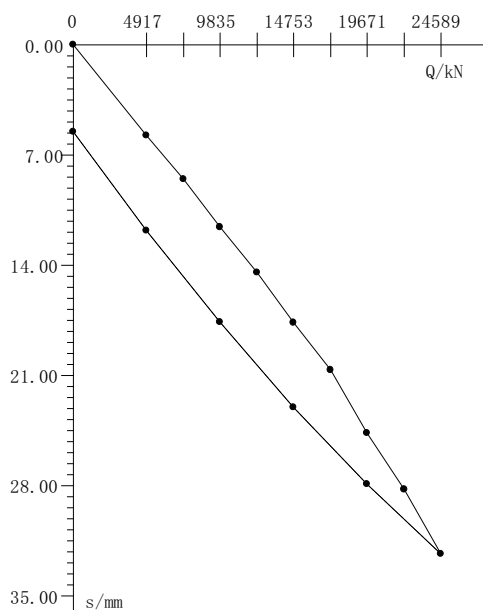


图4 Q-S 等效曲线

力,故本次所测试桩下段桩的单桩竖向抗压极限承载力判定为 12 295 kN。

试桩的单桩竖向抗压极限承载力 Q_u 为:单桩竖向抗压极限承载力 = 上段桩侧土极限摩阻力 + 下段桩极限承载力,按式(1)即为:

$$\frac{12\,295 - \pi \times 0.75^2 \times 58 \times 24.5}{\gamma_1} + 12\,295 \approx 22\,079 \text{ kN}。$$

因此判定该项目试验桩单桩竖向抗压极限承载力为 22 079 kN。

5 结论

本文依托某大桥钻孔灌注桩承载力检测项目,依据项目特点和要求,综合比选出了最优的自平衡法检测方案,再通过估算、平衡点计算、分级加载等设计,给出了较为可靠的承载力判定,较好地满足了项目需求,可以为类似项目提供参考借鉴。

参考文献:

- [1] 高大钊,袁聚云,谢永利.土质学与土力学[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 何平,王雷,卞奕.自平衡法与堆载法的对比分析[J].工业建筑,2011(S1):37-39.
- [3] 韩庆祝,胡胜华,韩朝.桩基静载试验自平衡法测试原理及方法[J].资源环境与工程,2009(6):122-123.
- [4] 龚维明,戴国亮,蒋永生,等.桩承载力自平衡测试理论与实践[J].建筑结构学报,2002,23(1):82-88.
- [5] 马远刚,王邦楣.自平衡测试结果等效转换及超长桩应用[J].桥梁建设,2003(5):9-11.
- [6] 史佩栋,陆怡.Osterberg 静载荷试桩法 10 年的发展[J].工业建筑,1999,29(1):7-18.

(上接第 274 页)

4 结语

(1)本项目在全设计周期构建了环境模型及设计模型,并根据本项目实际特点及需求开展了 BIM+GIS 方案展示、BIM 与设计方案动态优化、吊杆深度优化、专业内及专业间碰撞检查等 BIM 应用相关工作。

(2)在本项目 BIM 技术应用上,通过 BIM 与设计深度融合,实现了设计质量提升;通过设计方案的

三维可视化展示,提高了沟通、汇报及决策的效率,通过标准化流程、信息化手段实现了数字化交付。所采用的 BIM 与设计强耦合的工作模式,可为复杂桥梁的设计全过程 BIM 技术应用提供借鉴。

参考文献:

- [1] 卢吉,高畅,陈飞,等.基于 BIM 的复杂空间异形钢拱桥拱肋施工校核研究[J].土木建筑工程信息技术,2021,13(3):51-54.
- [2] 李杰.横向非对称钢拱桥设计及 BIM 应用[J].城市道桥与防洪,2021(7):78-82,114.