

基于三维实景模型公路桥梁 BIM 正向设计研究

王晓芳,杨洪图,李长洙

(北京交科公路勘察设计研究院有限公司,北京市 100191)

摘要:采用 Midas CIM 桥梁三维正向设计软件,依托濮阳至聊城高速公路卫城枢纽主线跨线桥工程,基于三维实景模型开展节点桥梁 BIM 正向设计。将三维模型输出的钢箱梁关键指标与传统二维设计模式输出的结果进行对比分析,结果表明三维正向设计结果可靠,可实现设计阶段 BIM 模型向施工阶段数字化交付。

关键词: BIM 技术;倾斜摄影测量;三维实景模型;正向设计;公路桥梁

中图分类号: U495;U442

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)08-0075-05

0 引言

三维数字化正向设计^[1]是实现公路工程基础设施向全生命成本、设计、施工、运维一体化管理的基础,是实现信息化、数字化、物联网、互联网等现代信息技术在公路工程中运用的基础条件,同时三维数字化正向设计技术可以极大地提升公路勘察设计质量,提高工程品质,与交通强国战略相吻合。

目前公路行业内各省级公路勘察设计院均具备了一定的公路数字信息化三维设计生产力,有技术储备的大型设计单位开始在部分工程项目中探索实现正向设计,有更多的辅助工具帮助设计人员实现基于三维模型生成二维的设计图纸。各单位的 BIM 中心逐步由科研单位向管理单位转型,开始制定企业级标准,管控三维设计的工作流程和质量。公路数字信息模型的数字化交付平台已经逐渐成熟,大型公路工程项目的建设单位在设计招标阶段,会明确要求设计单位实现实物工程和数字工程的双产品交付。公路数字信息模型基本实现了从设计阶段向施工阶段交付,有效避免了施工阶段重新翻模的现象,减少了大量重复劳动和社会资源的浪费。

三维数字化正向设计逐渐发展为公路勘察产业增长的新引擎,本次研究依托濮阳至聊城高速公路项目,开展重要复杂节点工程的三维数字化正向设计。本文以卫城枢纽主线跨线桥为研究对象,开展三维数字化正向设计研究。卫城枢纽主线跨线桥 2022 年初开始施工图设计,原设计采用常规二维设

计软件,为响应交通部基础设施数字化的号召,本次正向设计采用 Midas CIM 软件对其进行了三维数字化正向设计,并与原设计成果进行对比、复核,以期探索公路三维数字化正向设计的技术路线,形成一整套正向设计解决方案,提升设计效率和设计质量,进一步推进设计企业的数字化转型发展。

1 工程概况

BIM 正向设计应用研究的工点桥梁为卫城枢纽主线跨线桥,本桥依次跨越 A 匝道、C 匝道、台辉高速主线和 G 匝道。跨越台辉高速处采用 30 m+50 m+35 m 钢箱梁,其余桥跨采用 30 m、25 m 预制小箱梁/现浇箱梁。钢箱梁联左幅桥宽 16.81 m,采用单箱 3 室;右幅桥宽 12.81 m,采用单箱双室。为减小施工对既有高速的通行干扰,钢箱梁施工采用顶推施工方案。考虑钢箱梁节点板件构造复杂,采用 Midas CIM 软件对卫城枢纽主线跨线桥进行三维数字化正向设计,利用 BIM 技术的三维可视化^[2]特点,直观展示构件的空间关系,同时模拟施工方案,优化桥梁总体设计。

2 基于 BIM 技术建立三维实景模型

现阶段的公路三维正向设计一般以数字高程模型(DEM)+正射影像(DOM)的 2.5D 数据为基础进行设计,只能反映俯视视角的数据。当路线下穿既有高架桥等类似情况时,无法准确反映桥下信息,不利于复杂工点的设计。

无人机倾斜摄影技术^[3-4]通过从 1 个垂直镜头、4 个倾斜镜头等 5 个(或更多个)角度同步采集影像,获取地物顶面及侧面的高分辨率纹理,经过计算,获取实景的真三维点云及纹理贴面,实现真三维实景^[5]再

收稿日期:2022-09-16

作者简介:王晓芳(1987—),女,硕士,高级工程师,主要从事桥梁设计工作。

现。它不仅能够真实地反映地物情况,高精度地获取地物纹理信息,还可通过先进的定位、融合、建模等技术,生成真实的三维模型。倾斜摄影测量技术以大范围、高精度、高清晰的方式全面感知复杂场景,通过高效的数据采集设备及专业的数据处理软件生成三维实景模型,可直观反映地物的外观、位置、高度等属性,为工程设计提供了可靠、直观、丰富的基础资料。

2.1 布设航摄像控点

为使三维模型与项目坐标系保持统一,并提高模型精度,在模型范围内每隔 300 m 布设一“L”形红油漆标志作为像控点(见图 1),利用 GPS-RTK 采集三维坐标,共布设像控点 27 点(见图 2)。



图 1 像控点标志

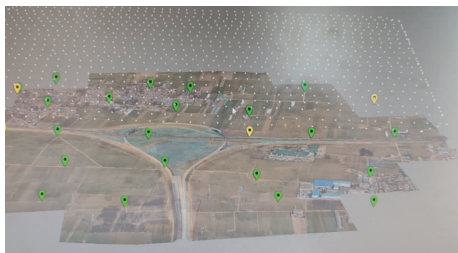


图 2 像控点分布图

2.2 航飞

航飞前进行无人机和相机检查,航飞区地势平坦,视野开阔,除部分地区需要注意高压线外,所有地区均可作为无人机起降场。航飞采用大疆 M300 四旋翼无人机搭载 RIY-D2 PSDK 5 镜头相机,航向重叠度 80%,旁向重叠度 70%,地面分辨率 5 cm,航飞面积 2 km²,飞行高度 300 m;飞行 2 个架次,共获取相片 1 157 组(共 5 785 张),影像清晰,满足建模要求。

2.3 建立三维实景模型

通过在同一无人机平台搭载多个影像传感器(一般为 5 镜头),同时从垂直、倾斜角度采集影像。根据不同传感器采集的影像分为 5 组,一般把垂直

采集的影像称为正片(1 组),倾斜镜头采集的影像称为斜片(4 组)。设计一定的航线,对地面进行多角度、高重叠度摄影,配合像控点和影像 POS 信息,使用建模软件,计算每张相片上同名像素,建立连接点,自动生成三维实景模型(见图 3)。具体操作步骤如下:

(1)无人机完成数据采集后,将数据导入相应软件中,把像控点导入并设置好坐标系统和高程基准,在不同的航线中选取像控点清晰的像片刺点,每个像控点刺点不应少于 5 张,刺点应准确,保留少数控制点作为检查点。

(2)空中三角测量是利用像控点和 POS 数据确定所有影像的高精度外方位元素。测量完成后,可得到影像姿态和位置的模型,检查无误后,可重新提交空中三角测量进行优化。

(3)根据电脑的性能和硬件配置,选择合适的分块大小对项目进行分块,在电脑性能允许的情况下,分块尽可能大,以减少分块间的拼接,提高运行效率。

(4)空中三角测量优化完成后,根据公路设计软件需要,输入相应的数据格式,建立索引文件,进行浏览。



图 3 三维实景模型

2.4 成果质量评估

利用野外实测检查点的坐标高程,对比实景模型相应同名点的平面和高程数据,通过计算中误差来评价倾斜摄影测量成果的整体精度。平面中误差为 ± 0.08 m,高程中误差为 ± 0.13 m,基本满足设计需要。

3 公路桥梁 BIM 正向设计

3.1 建模流程

本次设计采用 Midas CIM 软件建立桥梁三维模型,软件基于族库(点族、线族、装配族)的拼装,以装配族自适应路线数据(平曲线、竖曲线、超高等)为技术核心的三维建模流程见图 4。

具体步骤如下:

(1)创建下部结构墩柱、盖梁及上部结构钢箱梁横隔板等点族(见图 5),点族的关键在于约束点的控制。

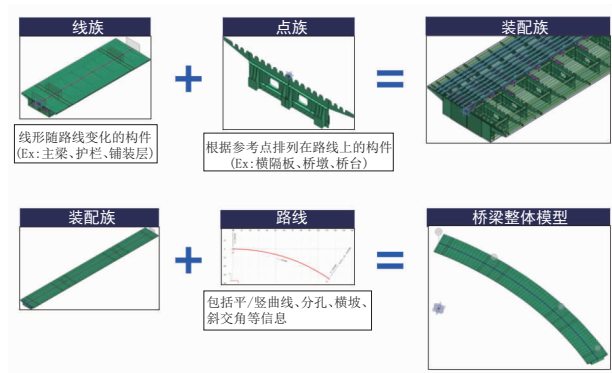


图 4 建模流程

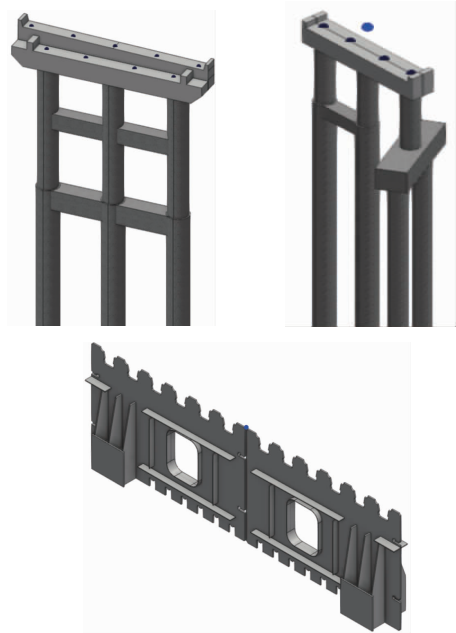


图 5 点族

(2)建立上部结构现浇箱梁、钢箱梁三维信息化模型,需要创建线族(见图 6),线族可以跟随路线实时更新。线族默认有前后两个约束面,默认的结束约束面位置随着线族的长度改变;中间可以定义其他约束面如箱梁腹板变厚处等。线族中的约束路径有主约束路径和子约束路径。

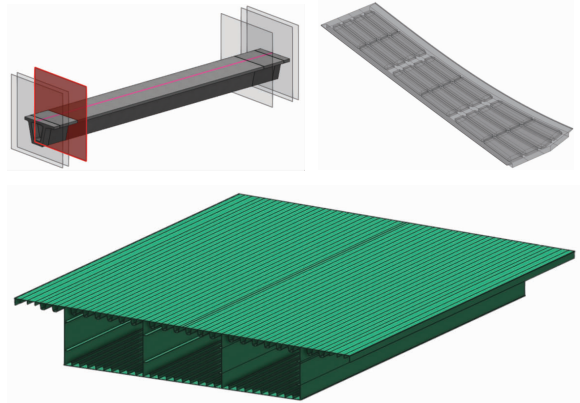


图 6 线族

(3)装配族(见图 7)即点族和线族的组合,组合完毕后可在实际路线上放置装配族,完成全桥建模。

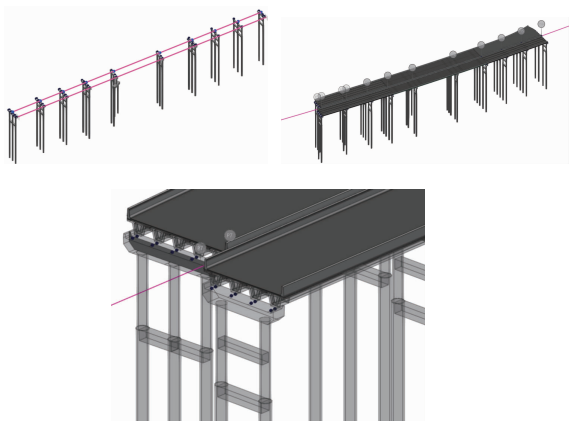


图 7 装配族

(4)结合项目实际路线数据和构建的三维实景模型,可直观展示主线跨线桥与范辉高速和阳新高速(卫城枢纽一期)的空间位置关系(见图 8)。

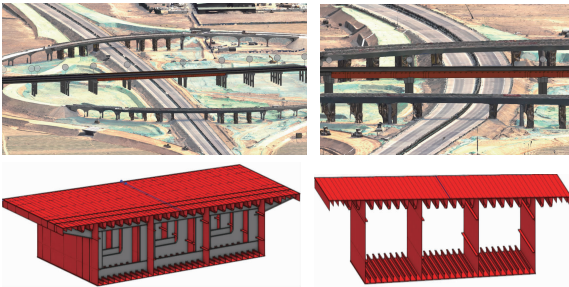


图 8 成桥模型 + 实景模型

3.2 正向设计成果对比分析

3.2.1 钢梁成桥整体计算分析

Midas CIM 软件可与 Civil 计算分析软件实现高效联动,计算分析需要的边界条件、施工阶段及施工荷载均可在 CIM 中定义,然后导入 Civil 中定义使用阶段荷载及荷载组合进行计算分析。本项目钢箱梁计算分析模型见图 9,钢梁顶板最不利组合应力示意图见图 10,钢梁底板最不利组合应力示意图见图 11。

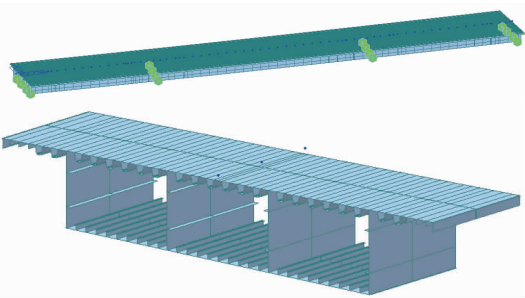


图 9 整体分析有限元模型

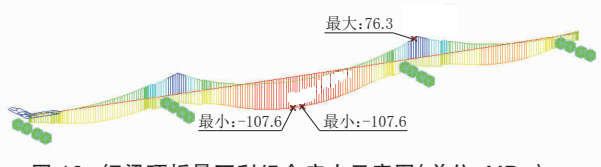


图 10 钢梁顶板最不利组合应力示意图(单位:MPa)

经整体计算分析,钢箱梁上翼缘最大压应力为 -107.6 MPa ,位于中跨跨中;最大拉应力为 76.3 MPa ,

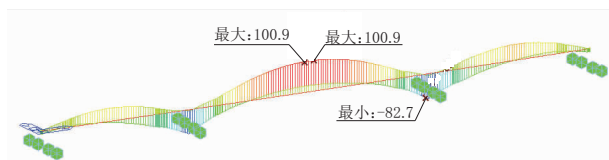


图 11 钢梁底板最不利组合应力示意图(单位:MPa)

位于中支点处。钢箱梁下翼缘最大拉应力为 100.9 MPa,位于中跨跨中;最大压应力为 -82.7 MPa,位于中支点处。

3.2.2 钢梁顶推施工过程计算分析

根据实际的施工过程建立顶推施工模型,采用刚性连接模拟落地支架,利用一般支撑的激活钝化实现顶推过程边界条件的变化。本桥最不利顶推段为边跨顶推施工,考虑钢导梁长 18 m,钢梁最大悬臂长 12 m 的条件进行顶推施工过程计算分析。

钢梁顶推施工模型图见图 12,钢梁顶推过程中顶板最大拉应力示意图见图 13,钢梁顶推过程中底板最大压应力示意图见图 14。

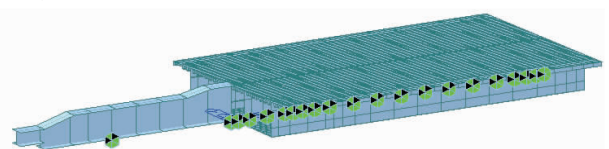


图 12 顶推施工模型图

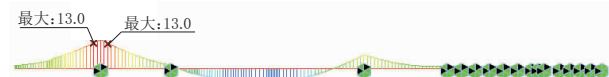


图 13 钢梁顶推过程中顶板最大拉应力示意图(单位:MPa)

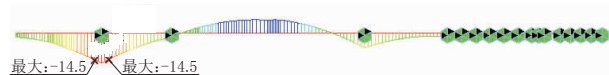


图 14 钢梁顶推过程中底板最大压应力示意图(单位:MPa)

由以上计算结果可知,本项目钢梁在顶推施工过程中最大悬臂阶段的顶板拉应力为 13 MPa,底板压应力为 -14.5 MPa,应力均较小,施工过程不控制钢梁计算。

3.2.3 图纸输出

BIM 正向设计输出图纸与传统二维图纸绘制不同,是基于信息化三维桥梁模型,可任意输出剖切面,支持三维与二维出图。

CIM 软件输出钢箱支点隔板三维视图见图 15, CIM 软件输出钢箱断面图见图 16。

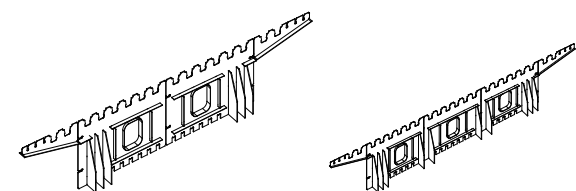


图 15 CIM 软件输出钢箱支点隔板三维视图

3.2.4 工程量对比

本次研究针对右幅钢箱梁支点横隔板工程量进

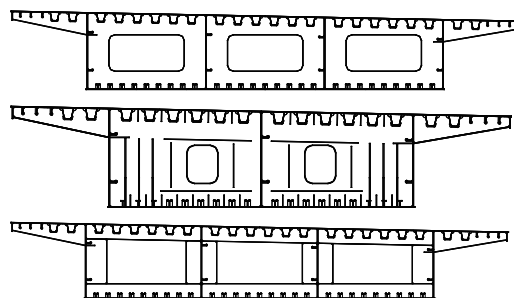


图 16 CIM 软件输出钢箱断面图

行了比较,分别由 BIM 模型统计和传统制图软件统计,统计结果见表 1、表 2。表 2 中, δ 表示钢板厚度。

表 1 BIM 模型统计隔板数量明细表

名称	编号	数量	厚度 / mm	规格	单重 / kg	总重 / kg	内表面防腐面积 / m ²
横隔板	H1	1	25	8.052 5 m ²	1 580.3	1 580.3	15.84
	H1a	1	25	8.405 6 m ²	1 649.6	1 649.6	16.48
横向加劲肋	H2	2	12	2 223 mm × 140 mm	29.3	58.6	1.246
	H2a	2	12	2 223 mm × 140 mm	29.3	58.6	1.246
	H3	2	12	2 320 mm × 140 mm	30.6	61.2	1.3
	H3a	2	12	2 320 mm × 140 mm	30.6	61.2	1.3
竖向加劲肋	H4	4	12	0.130 6 m ²	12.3	49.2	1.04
	H4a	4	12	0.137 2 m ²	12.9	51.7	1.098
支点竖向加劲肋	H5	6	25	0.474 1 m ²	93.1	558.3	5.58
	H6	6	25	0.696 1 m ²	136.6	819.6	8.18
加强板	H7	2	25	0.600 0 m ²	117.8	235.5	2.4
人洞加劲肋	H8	1	10	3 256 mm × 200 mm	51.0	51.0	1.29
	H8a	1	10	3 256 mm × 200 mm	51.0	51.0	1.29

由表 1、表 2 可知,BIM 模型统计的工程数量除横隔板处与传统二维制图模式有误差,其余板件数量差别微小。BIM 模型统计隔板面积是考虑扣除过焊孔面积,而传统制图软件未扣除,因此 BIM 模型统计的隔板明细更接近实际钢箱净重。由 BIM 模型统计的本桥右幅钢箱净重为 719 135.36 kg,由传统制图软件提供的钢箱净重为 735 780 kg,二者误差为 -2.26%。

4 结 语

(1)BIM 正向设计较传统设计手段缩短设计阶段工期约 15%,节约方案比选、方案汇报等经济投入约 10%。

(2)针对技术复杂桥梁,传统的二维设计方式不能将复杂的或独特的结构准确地表达出来,BIM 正

表 2 传统制图软件统计隔板数量明细表

名称	编号	数量	规格	单重 /kg	总重 /kg	内表面防腐面积 /m ²
横隔板	H1	1	$A=8.626\ 7\ \text{m}^2,\delta=25$	1\ 693	1\ 693	17.253
	H1a	1	$A=8.9281\ \text{m}^2,\delta=25$	1752.1	1752.1	17.856
横向加劲肋	H2	2	2\ 223 mm×12 mm×140 mm	29.3	58.6	1.245
	H2a	2	2\ 223 mm×12 mm×140 mm	29.3	58.6	1.245
	H3	2	2\ 321 mm×12 mm×140 mm	30.6	61.2	1.30
	H3a	2	2\ 321 mm×12 mm×140 mm	30.6	61.2	1.30
竖向加劲肋	H4	4	平均 1\ 084 mm×12 mm×120 mm	12.3	49.2	1.041
	H4a	4	平均 1\ 144 mm×12 mm×120 mm	12.9	51.6	1.098
支点竖向加劲肋	H5	6	平均 $A=0.465\ 1\ \text{m}^2,\delta=25$	91.3	547.8	5.581
	H6	6	平均 $A=0.681\ 4\ \text{m}^2,\delta=25$	133.7	802.2	8.177
加强板	H7	2	平均 $A=0.600\ 0\ \text{m}^2,\delta=25$	117.8	235.6	2.4
人洞加劲肋	H8	1	3\ 257 mm×10 mm×200 mm	51.1	51.1	1.30
	H8a	1	3\ 257 mm×10 mm×200 mm	51.1	51.1	1.30

向设计以三维建模的方式体现其空间位置,可直观、准确、真实地表达结构构建信息、空间位置,便于设计人员优化结构设计方案,提高设计质量。

参考文献:

[1] 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):35-39.
[2] 陈国佳,彭广银.BIM 技术在苏锡南部高速公路工程设计应用[J].城

市道桥与防洪,2022(2):221-224.
[3] 庞浚疑.路桥工程中基于 BIM 的 3D 实景建模与应用研究[D].重庆:重庆交通大学,2018.
[4] 王姜华,吴明辉.无人机倾斜摄影测量技术在道路勘测中的应用[J].交通世界,2020,32(11):52-53,57.
[5] 倪少华,姜志哲,徐庆.秦皇岛市倾斜摄影实景三维建模实施方案及模型后期修复方法探讨[J].城市勘测,2019(3):78-82.

(上接第 74 页)

(3)三维设计模型与有限元分析模型、出图成果、环境渲染模型可实现数据交互,使得整个设计过程更高效。

参考文献:

[1] 吴玉标.下承式简支系杆拱桥结构设计[J].科技资讯,2022,20(0):68-71.

[2] 赵项.浅谈 BIM 技术在主题乐园 EPC 项目中的应用[J].建设监理,2020(5):10-12.
[3] 高岩.参数化设计——更高效的设计技术和技法[J].世界建筑,2008(5):28-33.
[4] 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.