

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.08.018

下承式钢箱系杆拱桥 BIM 正向设计

胡智敏,李 萌,宁鑫森
(广东省建筑设计研究院有限公司,广东 广州 510010)

摘 要:以广州某下承式大内倾角钢箱系杆拱桥项目为例,研究了 BIM 正向设计与参数化建模在桥梁设计中的应用。研究表明,BIM 技术可以提高施工图质量、设计效率、优化施工方案、规避潜在风险、节约成本并缩短工期。这为 BIM 在桥梁工程中的应用和发展提供了参考。
关键词:BIM;正向设计;参数化;建模;精细化;下承式钢箱系杆拱桥
中图分类号:U448.22*5 **文献标志码:**B **文章编号:**1009-7716(2023)08-0071-04

0 引 言

下承式钢箱系杆拱桥属外部静定体系,具有桥面系主梁建筑高度低、造型美观大方、跨越能力强、结构安全合理、工厂化预制等特点。自 21 世纪以来,该桥型技术在我国得到了飞速的发展^[1]。对于该类型结构而言,以二维图纸为信息载体的传统交付方式难以满足设计意图的精准表达及工厂数字化预制、现场智能拼装的要求,BIM 技术以三维模型为核心,具有可视化、协调性、模拟性、优化性、可出图性、可预测性和可控制性等优点^[2],可以满足钢结构桥梁设计和施工巨大变革的需求。

正向参数化设计(Parametric Design)是把设计的限制条件,通过相关数字化软件,与设计的形式输出之间建立参数关系,生成可以灵活调控的数字模型^[3]。现有的桥梁 BIM 研究多集中于 BIM 模型的后续应用,对参数化建模的研究较少并且大多是基于 Revit 软件。且 Revit 软件主要用于房屋建筑工程,对于异型结构的建模能力弱,参数化功能有限,制约了 BIM 技术在大型复杂桥梁工程中的应用^[4]。

鉴于此,本次建模主要使用 Midas 公司新研发的 Midas CIM 软件,Midas CIM 提供桥梁专用设计功能、可参数化族库,结合有限元分析平台 midas Civil 与二维 CAD 平台 Midas Drafter,真正实现三维模型辅助设计,提升工作效率。

本文以广州市某下承式大内倾角钢箱系杆拱桥—沉香大桥为背景,基于 BIM 正向技术介绍该桥

的桥型结构优化、参数化构造设计及对桥梁的施工和运营全过程的结构计算分析,为同类桥型的设计提供参考。

1 工程概况

沉香大桥属广佛两市交通连接项目,采用城市主干路标准,设计速度 60 km/h,跨江桥梁双向 8 车道。主桥采用下承式大内倾角钢箱系杆拱桥,立面位于半径约 8 768 m 的竖曲线上变坡点位于主跨跨中位置,采用对称纵坡,坡度为 2.2%,桥下通航净空不小于 10 m,桥面布置:3.3 m(拱肋宽)+5.95 m(人行+非机动车道)+0.5 m(防撞栏)+15.5 m(车行道宽)+2.5 m(中央分隔栏)+15.5 m(车行道宽)+0.5 m(防撞栏)+5.95 m(人行+非机动车道)+3.3 m(拱肋宽)。

2 正向设计技术路线

沉香大桥位于广州市西部,跨越珠江水道及沉香沙岛。考虑景观和交通需求,桥梁方案设计阶段中确定采用下承式大内倾角钢箱系杆拱桥的结构简支体系,主桥总体布置见图 1。

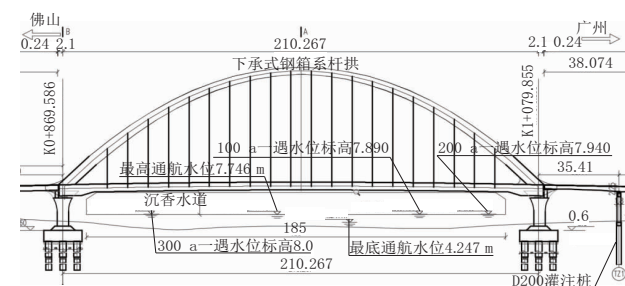


图 1 主桥总体布置图(单位:m)

桥梁正向设计路线见图 2。

收稿日期:2023-01-11
作者简介:胡智敏(1980—),男,硕士,教授级高级工程师,从事桥梁设计工作。

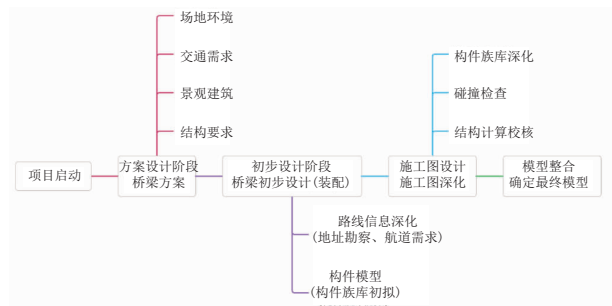


图 2 桥梁正向设计路线图

3 BIM 设计建模

3.1 拱桥正向设计建模过程

根据桥梁结构逻辑及建模思路对拱桥进行拆解,梁模型重要组成部分有拱肋、拱脚结合段、主梁、桥面系,吊杆吊耳及桥墩部分,见图 3。

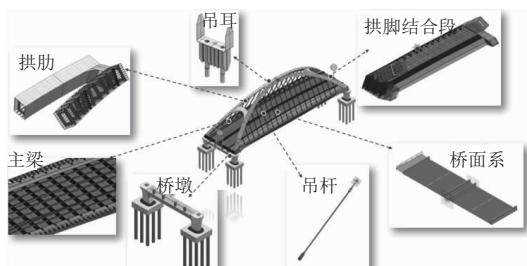


图 3 模型主要组成图

拱桥正向设计建模步骤见图 4。

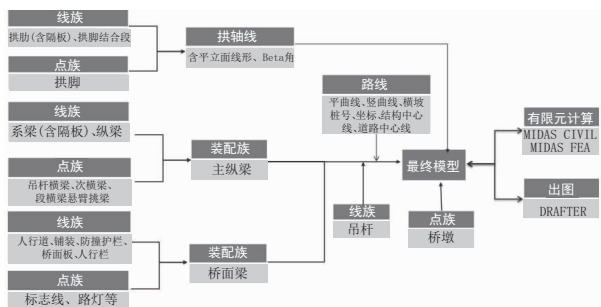


图 4 拱桥正向设计流程

3.1.1 路线建模

本桥路线信息平面位于半径 $R=1\,200\text{ m}$ 平曲线上,竖曲线($R=8\,768\text{ m}$)对称布置,纵坡 2.2%;系梁设计采用以直代曲,横坡为 0%;车行道设计采用平曲线设计,设有 2%横坡;人行道设置变宽度挑臂作为观光平台,横坡为 0%。基于本项目的自身特点,整体建模采用道路中心线、结构中心线双路线进行建模,根据不同结构的特性建立不同装配族分别赋予不同路线;局部建模(隔板、拱脚、锚点等)细化利用软件自身强大的三维建模能力,完成精细化设计。

3.1.2 上部结构建模

正向设计软件 Midas CIM 的底层逻辑即族库一点族与线族,对于桥墩和梁上锚板这类构件的建模

主要采用以点为基准排布在路线上的点族;对于主梁、护栏等构件则是采用分配在路线上,随着路线弯曲变化的线族。类似于 CATIA 软件,Midas CIM 也有一个很重要的概念叫做装配,点族与线族拼装成为装配族。装配族的特点是不考虑道路曲线及斜交状况,更加直观地体现了构件之间的相对位置关系,因此建模时能以结构为中心设计,大幅减少不必要的困扰。

在拱轴线设计中,以主拱的空间曲线方程为基础,在基本模型中输入 1/2 条拱轴线控制点链接为多段线、拟合为平滑曲线,然后根据需要设计曲线分段,最后镜像得到完整曲线。主拱设计采用变截面钢箱型提篮拱,其主要承力构件拱肋设计向内倾斜,通过计算最后确定内倾角度 24.684° 为受力最优解。拱肋为矩形单箱单室断面,宽度 3.0 m,高度从拱顶节段二次抛物线渐变至拱脚。风撑采用(沿投影至铅垂面的拱轴线)法向布置,左右两道拱肋中心线在拱顶处间距 5.0 m,拱脚处拱肋形心间距离为 52.8 m,在空间上旋转倾斜,姿态复杂。因此通过三维建模,精确建立关键构件,还原实际结构的相对空间关系,最后通过直接展示三维立体图用于直观展现构件关系,以及利用剖切得到二维图纸来确定板件的精确大样尺寸,用于指导钢结构厂放样加工。

3.1.3 桥面系建模

如图 5 所示桥面系建模中,对于栏杆基座、防撞护栏、人行道板和桥面铺装等,都采用线族建模;对于立柱和钢管则采用点族建模,并且在线族中与阵列点关联,将以上线族组合拼装到命名为桥面系的装配族中,分配到路线后便随弯曲路线自动变化,装配族里的线族会自动拉长,点族数量会按固定间距自动增加。桥面系创建高效,精细化程度效果拔群。

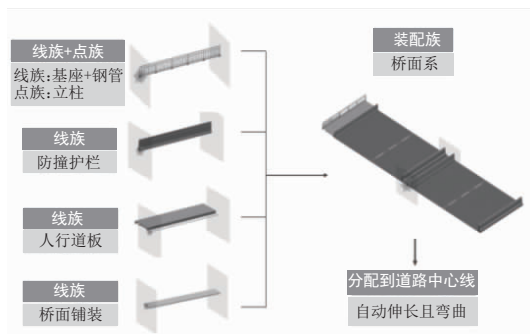


图 5 桥面建模图

3.1.4 下部结构建模

如图 6 所示采用多点约束,实现立柱和桩基长度的参数化。

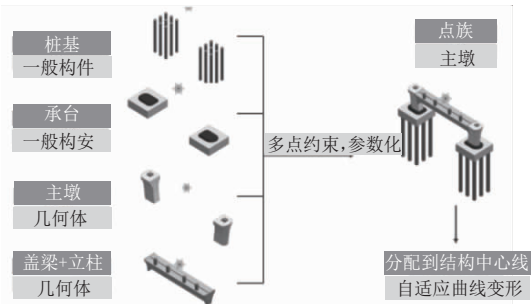


图 6 下部结构建模图

3.2 BIM 参数化建模

创建线族时，需要通过创建截面将二维平面转化为三维立体构件，简单截面可在 CIM 直接绘制轮廓，较为复杂的截面则通过 DWG 文件导入截面轮廓，生成 CIM 截面。本桥中拱肋截面为变高度、且不同节段采用不同板厚；系梁全桥变高度、变板厚、且内倾。在 CIM 界面下，如图 7 所示通过定义多种几何约束及尺寸标注约束使得截面参数化，可以直接通过截面参数驱动族库构件的尺寸变化，辅以 Excel 表达到批量、灵活、便捷修改设计截面尺寸的目的。

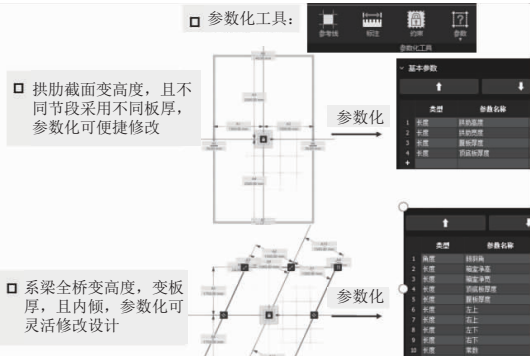


图 7 下部结构建模图

加劲肋设计原理同样是从平面开始，在平面上设计横向及纵向加劲肋，再阵列为整体加劲肋模型。在横向加劲肋与纵向加劲肋交错处，按照定义的过焊孔尺寸，自动实现横肋的开槽，且加劲肋位置、数量修改时，开槽位置也会实时更新，使开槽不再是建模难点。

3.3 BIM 精细化建模

吊杆建模设计时(见图 8)，由于内外侧吊杆长度不一致，双杆模型虽然便捷但是无法精准定位，经过对比后，为了更精确地连接拱上锚点和梁上锚点，建立单杆模型；随后将单杆线族分配至定位线，得到更加确切的吊杆参数。

三维建模主要优势是可以精确建立关键构件，还原实际结构的相对空间关系，最后通过直接展示三维立体图用于直观展现构件关系，以及利用剖切

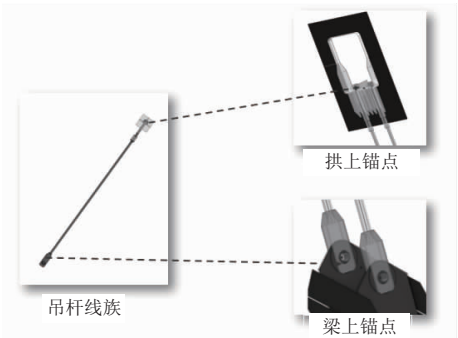


图 8 吊杆模型

得到二维图纸来确定板件的精确大样尺寸，用于指导钢结构厂放样加工。拱肋隔板及拉索锚板精细化建模见图 9。

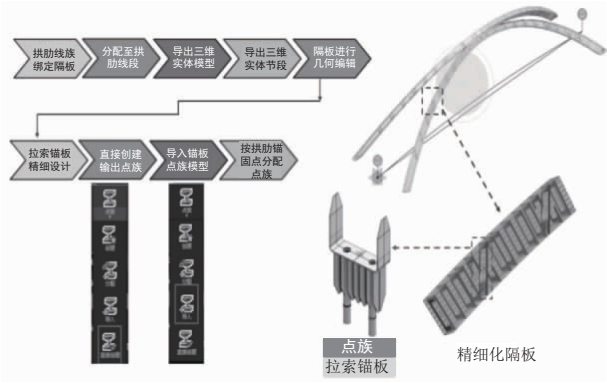


图 9 拱肋隔板及拉索锚板

由于纵、横坡的影响，桥面板为异形钢板，纵梁难以直接分配至路线，因此采用建模完成后导入方法建立；每一个横梁均不一样，因此建模桥面板建模完成后利用布尔运算进行便捷操作。

Midas CIM 具有提取、扫略、放样、扩展、面贴合、布尔运算等完整的几何建模功能，对于异形构件的设计和建模可提供良好的技术支持。提取功能：提取功能可提取面、线、点等几何要素，为后续精细化建模提供便利；面贴合功能：对于复杂拱脚节段(异型且有纵横坡数据)，可先按常规设计，提取实体后，利用面贴合可精确贴合，操作更为便捷，见图 10。放样功能：对于拱间风撑，拱肋建好后，利用线放样功能可形成面，再赋予板厚得到钢板，见图 11。



图 10 拱脚结合段建模

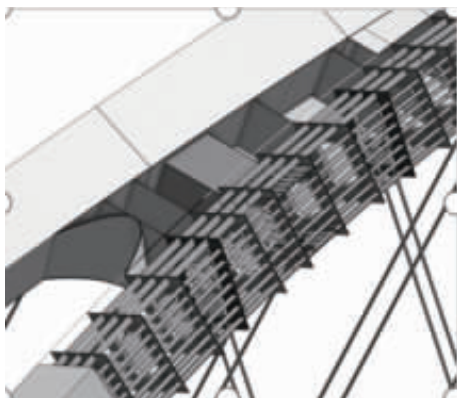


图 11 风撑建模

由于挑臂变宽,若采用逐个建模,不仅效率低工作量大,而且精确度不高,软件特有的超级剪切功能,可以很好地解决这个问题;该功能为构件赋予了一种属性,选取需要被剪切的挑臂点族构件设为“目标”构件,再设置主梁线族的空构件为“工具”构件,无论构件后续如何修改,“工具”构件对“目标”构件都能保持正确的剪切关系。

4 BIM 模型的应用

4.1 三维模型与 Midas Civil 模型的分析联动

建完三维模型导入结构分析软件 Midas Civil 杆系分析模型时,结构分析所需要的截面、材料、边界条件等信息都可以完整传递。Midas CIM 模型有所修改时,刷新一下信息,即可实现 Midas Civil 模型的联动更新,且在 Midas Civil 中添加的荷载、施工阶段等信息会保存下来,不需要重新添加。

Midas CIM 中边界条件施加与 Midas Civil 软件中基本一致,此外,通过 CIM 中点到单元的功能,快速批量实现拉索锚点与拱肋和系梁的连接。

针对没有构件骨架线、截面数据的三维实体,可自行指定某一空间曲线作为杆系单元的轴线,程序将会自动沿轴线法向提取截面信息,使复杂的实体模型可转换为杆系分析模型。本项目如图 12 所示桥墩盖梁和主墩由于造型复杂,为了便于建模,采用三维实体建模,并采用分析线功能导出杆系模型。本项目拱肋先采用线族分配后,再输出三维实体模型,利用放样、面贴合等功能创建,最后选择拱轴线作为分析线导出杆系模型。



图 12 Midas CIM 与 Midas civil 相互导入图

4.2 细部复杂构造模型快速导入 Midas FEA NX

Midas CIM 提供 Parasolid 文件的双向数据接口,如图 13 所示对于拱脚、拉索锚固区等局部受力复杂的区域,可先由 Midas CIM 导出 Parasolid 文件,再将 Parasolid 文件导入实体仿真软件 Midas FEA NX,从而避免二次建模的问题。

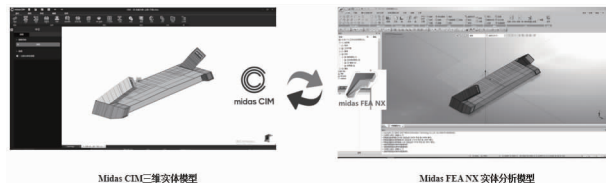


图 13 Midas CIM 导入 Midas FEA NX 图

4.3 二维与三维设计图纸的便捷输出

在 Midas CIM 中,指定剖切平面或展开路径,程序内部将采用自动剖切的方式,获取平、立、剖等二维视图;在 Midas CIM 中指定视角并截图,即可在 Midas Drafter 中速生成 3D 透视图,如图 14 所示相较传统图纸更加直观,适合较复杂的异形结构。

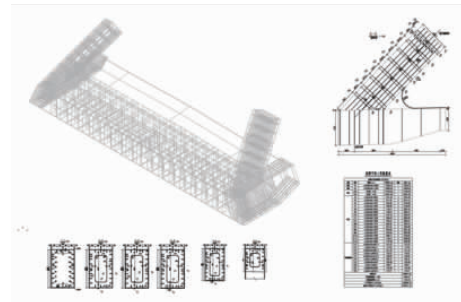


图 14 拱脚结合段

4.4 施工模拟

主桥上部结构采用拱梁整体顶推的施工方法,即拱与钢梁先期组拼一体,配合临时撑杆共同受力,自东岸向西岸进行整体顶推,采用多点顶推。主桥各梁段顶推到位后,逐步拆除临时撑杆,分批张拉吊杆,进行桥面板施工。

5 结 语

本文通过研究桥梁 BIM 正向设计,得出以下结论:

(1)通过应用 BIM 技术,桥梁设计从方案到施工图各阶段均可基于同一模型进行相应设计深化和修改,避免重复作业;后期还可交付业主和施工单位作为施工和后期养护的基础模型。

(2)BIM 参数化建模能够将放样过程以变量公式、零件特征与基础变量的特征关联,尺寸相互约束限制,来自动生成放样信息,避免了手动绘图的操作误差。当设计条件变更时,只需要修改主控变量,模型即可随变量的变化而重新生成,更易于变更修改。

(下转第 79 页)

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\ \text{mm}\times 12\ \text{mm}\times 140\ \text{mm}	29.3	58.6	1.245
	H2a	2	2\ 223\ \text{mm}\times 12\ \text{mm}\times 140\ \text{mm}	29.3	58.6	1.245
	H3	2	2\ 321\ \text{mm}\times 12\ \text{mm}\times 140\ \text{mm}	30.6	61.2	1.30
	H3a	2	2\ 321\ \text{mm}\times 12\ \text{mm}\times 140\ \text{mm}	30.6	61.2	1.30
竖向加劲肋	H4	4	平均 1\ 084\ \text{mm}\times 12\ \text{mm}\times 120\ \text{mm}	12.3	49.2	1.041
	H4a	4	平均 1\ 144\ \text{mm}\times 12\ \text{mm}\times 120\ \text{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\ \text{mm}\times 10\ \text{mm}\times 200\ \text{mm}	51.1	51.1	1.30
	H8a	1	3\ 257\ \text{mm}\times 10\ \text{mm}\times 200\ \text{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.