

基于精细化 BIM 模型的钢结构桥梁工程量自动统计技术研究

周应华 瞿 浩 景 磊

(中铁二局集团勘测设计院有限责任公司,成都 610031)

【摘 要】提出了一个基于 BIM 模型的钢结构桥梁工程量统计新方法,构建了一套钢结构桥梁的标准化建模流程,使用 VB 语言对 CATIA 进行二次开发,实现了工程量统计表格的自动批量化填写,显著提升复杂钢结构桥梁工程量统计的效率和精度。

【关键词】钢结构桥梁; BIM; 工程量; 自动统计

【中图分类号】TU17 **【文献标识码】**A

【版权声明】本文被《土木工程建筑信息技术》、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。

引言

近年来,随着我国基础设施建设的高速发展和钢结构桥梁疲劳、焊接、震动及桥梁上下结构设计、制造、施工等方面技术的日益成熟与发展,钢结构桥梁已广泛应用于铁路、公路、公铁两用桥及人行天桥。但是传统的基于平面图形的表达方式和基于计算表的工程量统计方法都不太满足复杂钢结构拱桥的应用^[1],本文试图通过郑万铁路巫山大宁河双线大桥工程,基于 CATIA 软件,提出一套适合钢结构桥梁的精细化建模的流程和方法,实现钢结构桥梁工程量自动统计,显著提升复杂钢结构桥梁工程量统计的效率和精度。

1 项目特点简介

郑万铁路巫山大宁河双线大桥为设计时速 350km/h 无砟轨道客运专线双线铁路桥梁,该桥位于重庆市巫山县境内,桥梁全长 372m,主桥为中承式拱桥,该桥主桥主拱圈跨度 282m,矢高 70.5m,矢跨比 1:4,为超大跨度铁路拱桥,设计新颖,技术含

量高。主桥主拱圈采用钢管混凝土劲性骨架钢筋混凝土结构,主拱圈主要由两片平行布置的主拱肋箱体通过横梁连接组成,主拱肋箱体横向宽度为 2.9m,主拱肋箱体高度从拱脚处 6.9m 过渡到拱顶截面处的 3.9m,按 1.5 次抛物线变化。桥型布置图如图 1 所示。

主桥主拱圈采用劲性骨架钢结构形式,构件种类繁多、形状各异、数量庞大、非标件多,而在桥梁施工过程中在对设计量的复核、钢结构招标、运输吊装方案设计和竣工验收等方面都需要进行多次不同维度的钢结构工程量统计。现阶段施工人员进行钢结构桥梁的工程量统计时,多根据设计图纸的规格尺寸按照型材、板材和管材等不同类型采用计算表进行手算^[2],计算效率低下,针对劲性骨架这种复杂形式的桥梁,计算工作量太大,给施工人员造成巨大压力;并且同种构件通常是通过标准断面图计算出工程量然后推算出类似断面的工程量,节点构件无法按照焊接或栓接后的实际工程量进行计算,计算精度不高,很多形状复杂、参数变化的构件无法得到精确工程量^[3]。

【基金项目】 中国中铁股份有限公司 A 类课题“BIM 环境下企业级施工项目管理数据采集共享及平台系统开发”(编号:引导课题-75); 中铁二局工程有限公司 2018 年科技开发项目“企业级 BIM 工程管理平台研发及应用”(编号:2018-重大专项-1)

【作者简介】 周应华(1976-),男,博士,主要研究方向:BIM 技术、路基工程、工程项目管理。

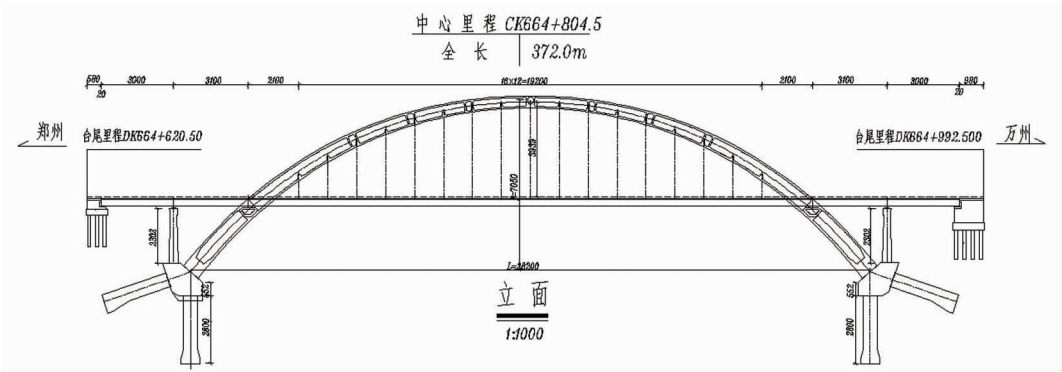


图 1 全桥布置



图 2 全桥效果

2 钢结构桥梁的 BIM 精细化建模

郑万铁路巫山大宁河双线大桥有空间结构复杂、复杂钢结构组装、零部件数量多尺寸变化大等特点。为了解决该桥梁基于 BIM 模型的钢结构工程量统计问题,决定采用 CATIA 的“骨架+模板”的三维建模方法^[4],并且应用知识工程的参数化设计,其中骨架参数主要用于桥梁空间尺寸的控制和定位,模板参数中包含每个零部件的属性信息,方便后期更精确快速地统计出钢结构桥梁的工程量。

通过本项目应用,总结出一个标准化建模流程:通过建立通用性好的材质特征库和构件模板库,能够方便类似的钢结构桥梁工程进行重复使用,提高利用率和类似工程的计算效率,同时针对每个构件都进行独立定位和独立建模,真实反映每个构件的实际结构形状、拼接关系和空间位置,建立更加定位精确、结构准确的三维模型,以便对待建钢结构桥梁的工程量进行精确计算,指导构件的实际加工和安装,有效解决很多形状复杂、参数多变的构件的计算,提高桁架、钢拱和钢箱梁等分段长度的准确性,便于统计钢结构桥梁分段、分节的

工程量,有利于提高施工组织设计的编制质量和大型钢结构桥梁的施工效率和施工质量。建模流程如图 3 所示。

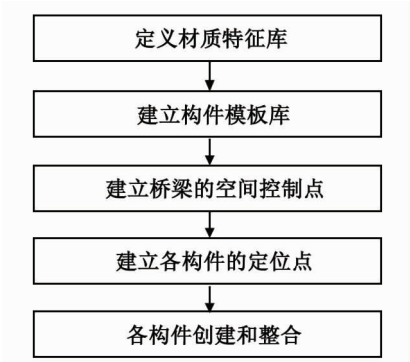


图 3 建模流程

2.1 定义材质特征库

按照钢结构桥梁材质特点和统计需要,先将材质特征库分为 3 类材质:钢材材质、涂层材质和焊缝材质。然后根据图纸中的材质描述,在材质特征库中进行材质名称和相关属性定义,形成适合该工程的材质特征库。

- 钢材材质库:Q370qE、Q420qE、Q345D 等;
- 涂料材质库:特制环氧富锌底漆、环氧云铁中间漆、氟碳面漆、环氧富锌底漆、环氧厚浆漆等;
- 焊材材质库:H08MnA、H10Mn2、H60Q、ER50-G、实芯 E501T-1L 等。

2.2 建立构件模板库

根据图纸整理钢结构构件类型,分别搭建各个构件的模板库,按照构件特点分析输入条件和参数信息,模板库输入条件主要包括控制模板位置和偏移方向的点线面等参考对象,模板库的信息包含待建钢结构桥梁的各个构件的几何尺寸规格参数、参

考位置偏移量和材质等。

(1)按照输入条件对构件模板进行分类

为了方便建立模板过程中的资料互用和模板间的统一,提升建模效率,根据钢结构桥梁节点和杆件的特点,总体主要分为点模板、线模板和面模板。其中点模板主要为节点板、隔板、拼接板和填板等,线模板主要为钢管、平联直杆、平联斜杆、正腹杆、斜腹杆和斜撑等,面模板为顶板、底板和侧板等^[5]。

(2)建立各构件模板

点模板的创建,以钢结构桥梁中的节点板为例:根据节点板特点,制作其模板时,将节点板内空心圆的圆心点作为输入条件,以便确定节点板的精确位置和与空间相对关系;由于节点板尺寸参数比较多,按照参数约束关系和规格因素,选择了半径参数、各边长度参数、厚度参数等多个参数作为规格尺寸控制变量^[6];某些节点板由于焊接位置的不同,需要添加方向输入或者距离参数来控制角度方向;最后需要加上钢材、涂料和焊缝等材质信息。

线模板的创建,比如钢管模板,与点模板的区别在于钢管主要参考轴向中心线和两个端点作为输入条件,如果轴向中心线为直线,则只需要两个端点的输入。而像顶板之类的面模板的创建,输入条件主要为平面和点,根据板的轮廓和孔洞等需要,一般会有多个点的输入来帮助定位;根据顶板轮廓的规则程度和变化规律,除了边长参数和厚度参数外,还会有一些特定的变量参数。

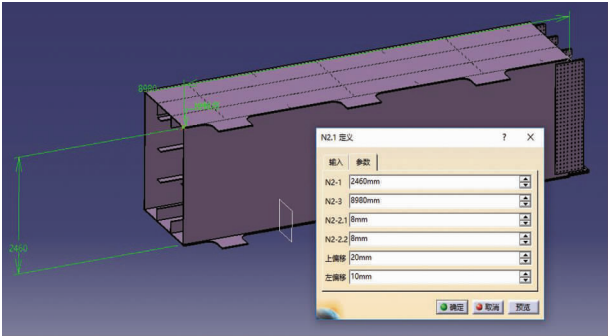


图 4 模型尺寸参数

2.3 建立桥梁的空间控制点

巫山大宁河大桥是劲性骨架钢筋混凝土拱桥,在搭建桥梁主体模型的第一步就是确定桥梁的空间控制点,其中主要是创建线路中心线和拱轴线^[7]。

(1)线路中心线

参考图纸中的平曲线和竖曲线等信息计算桥梁空间定位,找到线路中心线的控制点坐标,可以通过绝对坐标和相对坐标两种方式创建点特征,进而得到线路中心线。

(2)拱轴线

得到线路中心线后,通过线路中心线和桥梁布置图上的相对关系创建桥梁模型的 XYZ 相对坐标系,然后在这个坐标系上通过图纸空间坐标创建若干个空间控制点,将空间控制点进行样条线拟合,进而得到拱轴线和相应的断面。

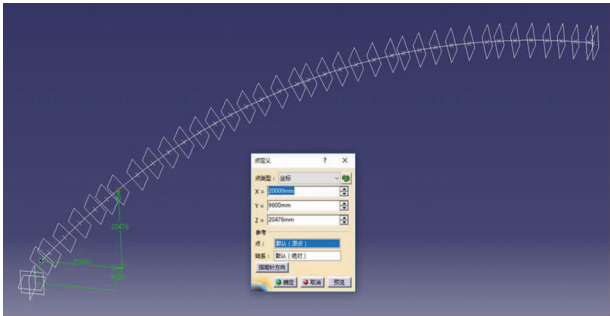


图 5 控制点坐标

2.4 建立各构件的定位点

巫山大宁河大桥造型复杂,主桥为中承式钢筋混凝土平行拱桥,主拱圈为纵向变高的外包混凝土劲性骨架箱形结构,全桥共有 35 个劲性结构控制截面,各个节点板和杆件的尺寸与搭接角度都不相同,所以在建模过程中,需要结合已得到的拱轴线上断面和图纸中各个截面的相对位置关系,得到各个搭接节点定位点。



图 6 节点板定位

2.5 各构件创建和整合

根据各构件的结构详图和数量表,建立待建钢

结构桥梁模型。首先按照构件位置和名称,搭建模型结构树,便于模型的分类和查找;然后调用各构件模板,按照设计图纸中的位置关系和模板输入要求,将各个构件的结构定位点和参考线面等作为输入条件,并根据图纸数量表数据修改每个模板的规格和材质等参数,实例化后就得到该构件的模型^[5];所有构件创建完成后,基于模型结构树进行位置参考和整合,就得到了大桥钢结构的完整模型。

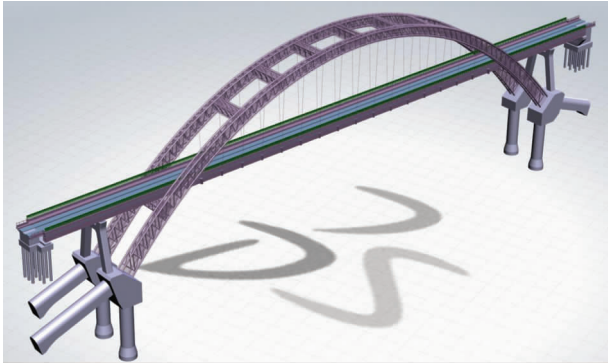


图 7 全桥模型

3 钢结构桥梁的工程量自动统计

完成 BIM 模型后,如果人工手动量取模型参数和体积,无疑费时费力、重复性多、出错率高,严重降低工作效率。为此,考虑采用 VB 对 CATIA 进行二次开发,快速方便地在 CATIA 提供的编辑器环境中进行小程序的开发^[8],可以快速批量化实现钢结构桥梁的工程量数据提取和分类存储。然后通过程序引用 EXCEL 库,将该参数按照工程量统计要求处理后写入生成的 EXCEL 表格^[9],并按照指定表格格式进行调整和保存,就可以实现工程量表的自动生成,减少手动操作的重复劳动和出错的几率,提高了工作效率和质量。

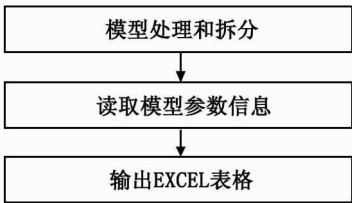


图 8 自动统计流程

3.1 模型处理与拆分

按照工程量统计的要求,需要对统计工程量的部分模型进行必要的处理和拆分,方便后期对工程

量的自动统计和分析。其中主要包括如下两个部分:

(1)统计模型归类

在搭建完整的模型后,所有模型都按照构件类型和位置进行了集合和分类,但是有时候工程量统计并不需要统计整座桥梁所有构件的工程量,所以首先需要将统计的模型再分类放入一个几何图形集里面,通过对模型的分类能够区分出需要统计和不需要统计的模型,减少后期对数据进行分类处理的时间。

(2)模型拆分

在搭建模型过程中,是按照构件为最小模型单位进行的建模,但是工程量统计会根据应用要求将构件进行更小单位的拆分,所以这时候就需要将已建好的构件模型按照要求进行再一次拆分。

3.2 读取模型参数信息

以 CATIA VB 编辑器作为开发环境^[10],调用 CATIA VB 接口实现自动批量化读取模型参数信息的流程如下:

(1)关联当前文件

创建 CATMain() 运行程序,调用 ActiveDocument 和 Part 接口实现程序与模型的关联。

(2)选择几何图形集

通过 Selection 接口实现选择交互,在模型界面中选择需要输出工程量的几何图形集,程序会通过 Item 接口获取所选择几何图形集下的所有模型对象。

(3)读取模型名称与参数

获得模型对象后,根据 CATIA 开发架构,通过 InstanceFactory、HybridShapes 和 Reference 将模型转化为可读取相关信息的实例化对象。

调用 Name、Volume 和 Parameter 接口获取实例化对象的名称、体积和参数信息:

Set hybridShapevolume = hybridBody1. HybridShapes. Item(i)

Set oreference = partDocument1. Part. CreateReferenceFromObject(hybridShapevolume)

Set oMeasurable = oWorkbench. GetMeasurable(oreference)

GVVolume = oMeasurable. Volume

bdname = hybridShapevolume. Name

Dim instance As HybridShapeInstance

```
Set instance = factory. AddInstance ( hybridShape-  
volume )  
  
Dim param1 As Parameter  
Set param1 = instance. GetParameter( "厚度" )
```

3.3 输出 EXCEL 表格

在 CATIA VB 编辑器直接引用 EXCEL 库,可实现对 excel 表格的读取和输入^[11],流程如下:

(1)读取工程量统计表格模板

通过 Excel. Application 调用 Excel 库,按照文件路径找到工程量统计表格模板,调用 worksheet 获得相应表格页。

```
Set ex = CreateObject( " Excel. Application" )  
Set exwbook = Nothing  
Set exsheet = Nothing  
Set exwbook = ex. Workbooks( ). Add  
Set exsheet = exwbook. Worksheets( 1 )
```

(2)数据处理及表格填写

通过读取模型只能得到有模型名称、体积和参数等信息的数组,还无法满足统计表格中要求填入的数据,所以需要根据模板表格要求进行算法编写^[12],自动将得到的数组计算为统计数据并用 Value 接口填入指定表格中:

```
exsheet. cells( i + 1 , 1 ) Value = bdname  
exsheet. cells( i + 1 , 2 ) Value = GVVolume  
exsheet. cells( i + 1 , 3 ) Value = param1. ValueAs-  
sString
```

(3)文档保存

通过 Save 接口将文档进行保存后关闭,并退出 EXCEL 库。工程量统计表格模板就自动更新数据。

针对本项目,通过精细化 BIM 模型的工程量自动统计技术的应用,改变了根据二维图纸按照不同部件类型进行计算表手算的传统模式;并且在设计变更或部分分节分段统计的情况下,不再需要重新计算,对模型参数化修改后就能刷新工程量,提高了工程量统计效率。

同时,本项目桥梁钢结构形状复杂、参数多变,通过标准断面图推算工程量的方式已无法计算满足精度要求,本项目通过精细化 BIM 模型搭建,真实反映每个构件的实际结构形状、拼接关系和空间位置,提高了桁架、钢拱和钢箱梁等分段长度的准确性;并且通过程序编写实现自动统计,减少人工统计失误。

节段	节段位置	上弦钢管		下弦钢管	
		分段长度 mm	数量	分段长度 mm	数量
环境	环境段	8	22	2942.8	22
	A-B	1.402593584	22	513.9447043	1.328203802
	B-1	5.996722204	22	2205.894	5.849808393
	1-2	5.134443458	22	1888.705	5.006402674
	2-3	5.034146587	22	1831.810123	4.906103703
1#吊篮节段	3-4	4.928113949	22	1818.483216	4.810072982
	4-5	1.615404552	18	469.03719	1.173481428
	5-6	3.230809044	18	978.1274379	3.146942851
	6-7	6.77326732	18	2030.606581	6.924963533
	7-8	3.288616514	18	1604.15615	5.186870028
2#吊篮节段	8-9	5.198167813	18	1573.745	5.05732898
	9-10	5.103099119	18	1544.963258	4.963760461
	10-11	1.671183368	18	50.5.952278	1.033294138
	11-12	3.342376732	18	1011.904566	3.250586276
	12-13	4.929215288	18	1492.319928	4.793054643
3#吊篮节段	13-14	4.849730568	18	1468.259299	4.713483378
	14-15	6.849730568	18	1445.68161	4.6426346
	15-16	4.705085381	18	1424.465	4.874831032
	16-17	1.788377751	18	526.2878093	1.09033116
	17-18	3.476713352	18	1032.878619	3.180268632
4#吊篮节段	18-19	5.13726653	18	1533.507294	4.995964573
	19-20	3.385485897	18	1024.953795	3.292194339
	20-21	4.467514122	18	1232.548073	4.344891854
	21-22	4.417983649	18	1237.339918	4.297441433
	22-23	1.457344883	18	441.211	1.07338873
5#吊篮节段	23-24	2.914658559	18	582.452	2.838771145
	24-25	4.58793403	18	1473.773082	4.737202094
	25-26	4.819181962	18	1459.007339	4.690711789
	26-27	3.187846438	18	965.1205153	3.10371023
	27-28	4.222137496	18	1278.258182	4.131640016
6#吊篮节段	28-29	1.397548563	22	514.0882831	1.361269302
	29-30	2.78909786	22	1028.178566	2.722388603
	30-31	4.165935239	22	1532.439278	4.059035008
	31-32	4.658443147	22	1713.608312	4.04016797
	32-33	6.32367996	22	1704.016567	4.51609344
7#吊篮节段	33-34	3.075665452	22	1131.383335	2.999224692
	34-35	1.362302373	22	301.1963722	1.328896803
	35-36	2.72309013	22	1002.392144	2.65779361
	36-37	4.074853936	22	1498.828331	3.97501237
	37-38	4.064138308	22	1493.001	3.955845754
	38-39	3.549593971	22	1305.754927	3.464401743
	39-40	3.545407796	22	1304.178228	3.46077436
	40-41	3.542888076	22	1303.281879	3.458848112
	41-42	1.518011845	22	358.4006373	1.482030453

图9 钢管分节段统计表

4 结语

论文通过对钢结构桥梁参数化建模技术和工程量自动批量化统计技术的研究,得出以下结论:

(1)提出了一种钢结构桥梁的标准化建模流程,能够精确实现桥梁模型在总体空间控制和构件参照定位。

(2)全桥所有构件通过应用知识工程模板搭建,确保模型与设计图纸的一致性和模型信息的完整性,提升了建模效率和模板复用,方便模型审核和后期工程量应用。

(3)使用 VB 对 CATIA 进行二次开发,实现了钢结构桥梁工程量的自动批量化统计,增强了统计结果的可靠性,提高了工作效率。

以上成果是实际工程应用的结果,希望能对类似项目的应用具有一定的借鉴作用。

参考文献

[1] 韦巍. 复杂钢结构景观桥梁的 BIM 模型精细化放样研究[J]. 中国市政工程, 2018(6): 72-75.
[2] 李彩霞,林广泰,王建军,等. 基于 Digital Project 的 BIM 软件在桥梁施工中的应用[J]. 西部交通科技, 2017 (2): 48-51.
[3] 王晓棠. 纳界河特大桥总体施工方案研究[J]. 建材与装饰, 2015. 1:125-127.

[4] 齐成龙. 基于达索平台 CAA 架构的混凝土连续梁桥主体结构 BIM 建模工具开发[J]. 图学学报, 2018(4): 346-351.

[5] 胡方健. 桥梁 BIM 模型设计阶段建模方法研究[J]. 中国市政工程, 2018(5): 56-59.

[6] 李健刚,杨冰,许志宏. BIM 技术在永定河特大桥项目中的参数化应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018(3): 62-67.

[7] 王迎彬,李国华,王海峰. 郑万铁路奉节梅溪河双线特大桥 BIM 综合应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2018(5): 60-66.

[8] 王天兴,张继勋,任旭华. 一种基于 VB 和 CATIA 的斜心墙土石坝建模方法: 中国, 201710106292.0 [P]. 2017.06.20.

[9] 冯康佳,张亦驰,胡政敏. CATIA 二次开发在船舶型线出图中的应用[J]. 船海工程, 2018(4): 80-83.

[10] 范星光,李屹,贾亮. 基于 CATIA 的参数化设计及优化[J]. 机械工程与自动化, 2015(5): 58-60.

[11] 杨咏漪,徐勇,陈列. 沪昆客专北盘江特大桥 BIM 应用研究[J]. 铁路技术创新, 2014(5): 54-58.

[12] 王继红. 基于 CATIA 的桥梁 BOM 自动生成方法的研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2014(5): 34-37.

Research of Lean BIM Model-based Automatic Quantification Survey Technology of Steel Structure Bridge

Zhou Yinghua, Qu Hao, Jing Lei

(CHINA Railway Erju Group Corporation Survey And Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610031 , China)

Abstract: The application of BIM technology is becoming actively important in the field of AEC industries. In recent years, the application numbers of complex special-shaped steel bridge has been increased in China, but during the construction stage, the quantification survey is still mainly using traditional ways. By implementing BIM technology in Wushan Daning River Bridge of Zhengzhou-Wanzhou Railway as an example, this paper introduced a new method of quantification survey of steel structure bridges based on BIM model, developed a set of standardized modeling process of steel structure bridges, using VB language to redevelop CATIA to achieve automatic batch filling of quantification survey forms, thus significantly improved the quantification survey of complex steel structure bridges’ efficiencies and accuracies.

Key Words: Steel Bridge; BIM; Engineering Quantity; Automatic Statistics