

基于 BIM 的铁路桥梁三维快速建模方法研究

刘新华¹, 吕希奎^{1,2}, 张栢瑞¹

(1. 石家庄铁道大学 交通运输学院, 河北 石家庄 050043;

2. 石家庄铁道大学 河北省交通安全与控制重点实验室, 河北 石家庄 050043)

摘要:针对铁路桥梁结构复杂、反复修改和多样化的 BIM 建模要求,单纯利用建模软件手工建模方法已不能很好满足这些要求。通过对桥梁结构分解、参数分析和各部件的数据结构设计,采用数据库实现了桥梁和细分部件参数的管理和编辑。利用 BIM API 二次技术和 .Net 编程语言,研发了基于 BIM 的铁路桥梁三维建模系统,实现了自动化、参数化和批量化的铁路桥梁 BIM 模型快速创建,解决了桥梁模型快速拼装和精准定位问题,有效提高了建模效率,研究方法具有较好的适应性。

关键词:铁路桥梁;三维快速建模;参数化设计;BIM 技术

中图分类号: U444; TP315 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0373(2021)04-0008-07

0 引言

目前,BIM 技术在铁路桥梁建模主要以手工建模方式为主,但对于桥梁结构复杂和需要反复修改设计时,手工建模存在的建模效率和建模精度低的弊端越来越明显。因此,寻找一种能够实现建模速度快、建模精度高,适应复杂结构和反复修改完善的桥梁建模方法就显得尤为重要,其中参数化建模方法成为众多研究人员的主要研究方向之一。李沅璋等^[1]研究了铁路桥梁 BIM 的参数化设计思路和设计流程,并采用 CATIA 平台,建立了桥梁结构 BIM 模型;刘彦明^[2]基于 Bentley Power Civil 平台实现了桥梁参数化建模;王华等^[3]采用 VC 2008 语言开发 3ds Max 插件,提出了一种面向组件的桥梁半自动建模方法;张建军等^[4]总结了 Revit 软件进行桥梁 BIM 参数化设计操作中一些要点和注意事项;胡方健^[5]、赵伟兰^[6]、邱波^[7]、陈秋竹^[8]采用 Revit 平台研究了桥梁构建 BIM 参数化信息模型架构和建模方法;Lee et al^[9]提出了基于行业基础类(IFC)的铁路桥梁信息建模和管理方法,用于既有铁路运维管理;Qi Chenglong^[10]针对传统桥梁 BIM 建模方法效率低的问题,以 Excel 为数据传递媒介,使用 CATIA 二次开发方法实现了桥梁自动建模;Wang Ziru et al^[11]根据斜拉桥的构件类型,采用 Revit 二次开发技术,在 Revit 视图中构造参数化模型,生成斜拉桥各部分的结构构件模型;Hu Hanjin et al^[12]提出了一种基于可扩展标记语言的桥梁参数几何数据交换方法,以方便桥梁 BIM 建模。上述研究主要考虑单个桥梁的参数化建模方法,缺少对桥梁在整条线路上的装配、模型的批量化生成、参数修改和精准定位等研究,也不满足铁路线路多座桥梁自动建模和反复修改、完善和设计的需要。目前针对桥梁整条线路的参数化建模研究中,沙名钦^[13]、王欣^[14]、王鹏波^[15]围绕桥梁 BIM 信息模型的构建方法,结合桥梁工程特点,选用 Revit 作为核心建模软件,创建出自动定位构件位置,从而实现数据驱动桥梁自动建模的方法,并通过桥梁工程实例验证了建模方法的可行性,然而却缺少对地形信息的考虑以及桥梁模型多样化以及实时编辑功能,在 BIM 模型的精度及地形信息集成的广度随着工程的应用需求仍有待深化。因此,综合实际地形信息和整条线路多样化桥梁设计的要求,建立一种自动化、参数化和批量化的铁路桥梁 BIM 模型建模方法,开发铁路桥梁建模系统,实现创建快速、拼装方便、参数可修改、样式可调整和定位精确的桥梁建模方法显得尤为重要。

收稿日期:2021-06-28 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.20210145

基金项目:国家自然科学基金(51278316);河北省自然科学基金(E2021210027)

作者简介:刘新华(1997—),女,硕士研究生,研究方向为线路工程 BIM 技术。E-mail:18534916963@163.com

刘新华,吕希奎,张栢瑞.基于 BIM 的铁路桥梁三维快速建模方法研究[J].石家庄铁道大学学报(自然科学版),2021,34(4):8-14.

1 桥梁结构及参数分析

1.1 桥梁结构分解

根据桥梁结构特点,将桥梁分解为上部结构和下部结构,并对上、下部结构细分为多个可参数化的独立部件,采用数据库存储和管理各部件的参数信息和属性信息,实现模型的快速创建和参数的批量修改,方便模型调整、修改和装配。为使研究具有代表性,以我国铁路最常用的简支箱梁为例进行研究。桥梁上、下部结构细分组成如图 1 和图 2 所示。

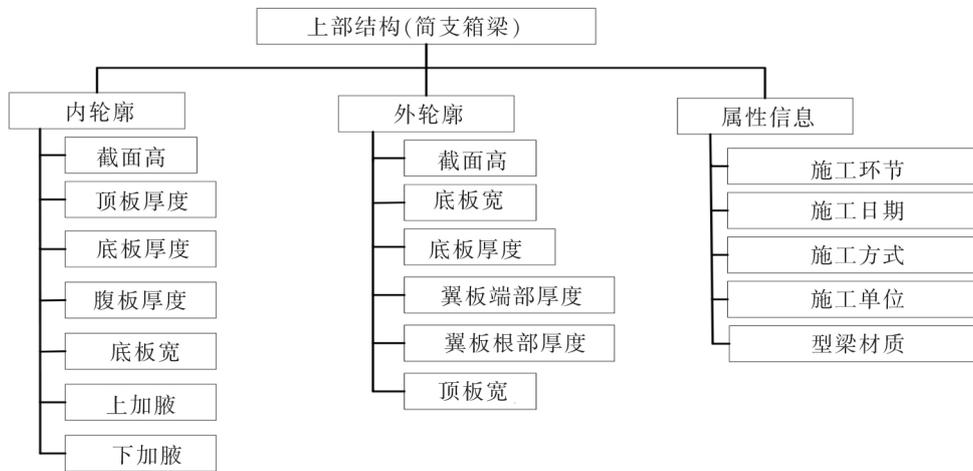


图 1 桥梁上部结构细分组成

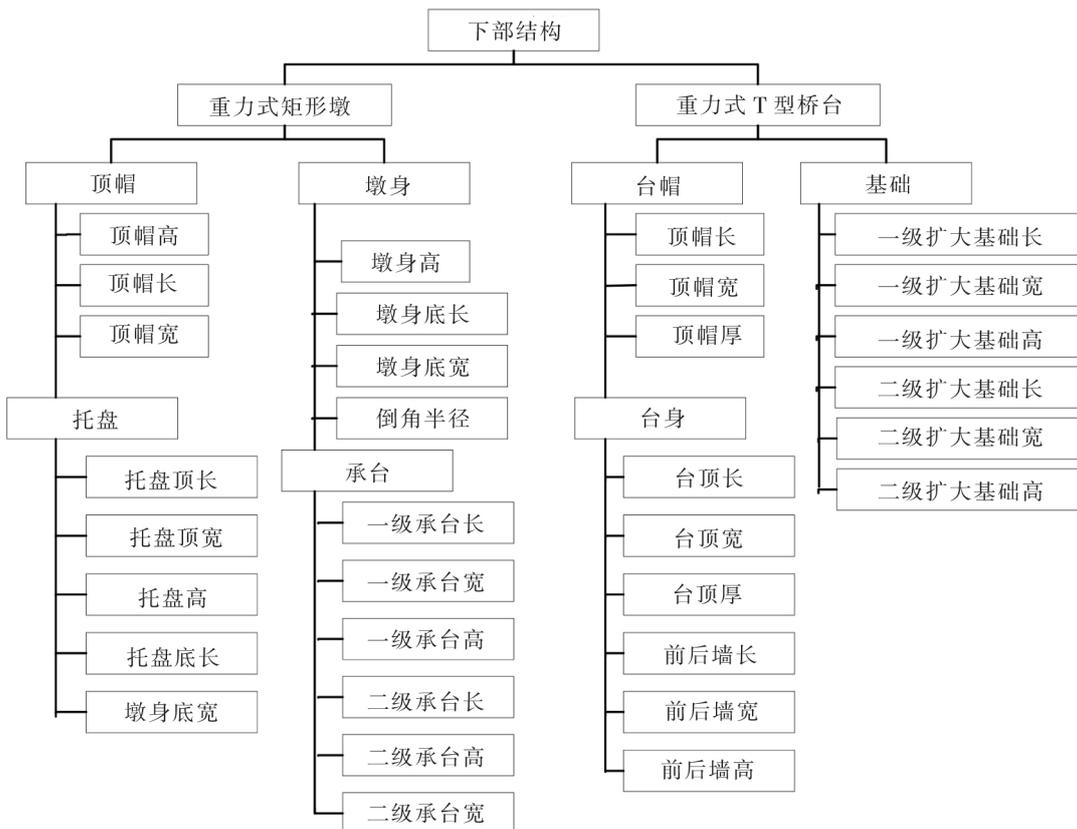


图 2 桥梁下部结构细分组成

1.2 桥梁数据库管理实现

根据桥梁部件分解,采用 C# 和 Access 数据库开发了桥梁数据库部件管理系统,如图 3 所示。根据上部和下部各细分结构的参数生成的重力式桥墩和重力式桥台如图 4 所示。



图 3 桥梁部件数据库管理系统



图 4 重力式桥墩和桥台

2 桥梁模型自动创建与拼接

利用 BIM API 的二次开发技术,以线路三维空间曲线为定位中心线,实现桥梁模型自动创建、快速拼装和精准定位。

2.1 梁模型创建

以箱型简支梁为例,将梁截面分为内外 2 个轮廓,根据截面几何信息,采用放样融合方法绘制用于放样的模型线,通过梁的内外轮廓族生成实体模型,创建符合要求的三维模型,创建流程如图 5 所示。梁模型创建效果如图 6 所示。

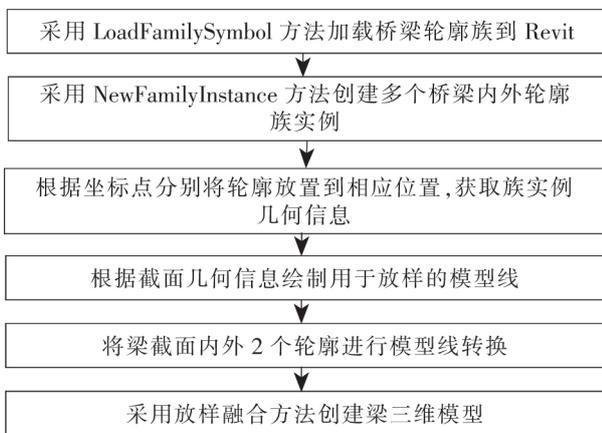


图 5 桥梁模型创建流程



图 6 梁模型创建效果

2.2 桥梁模型放样中心线获取方法

铁路线路中心线(图 7)为桥梁放样的中心线,也是桥梁的空间定位依据。放样中心线可通过程序读取线路中心线三维坐标点数据(表 1 为示例数据)生成 Revit 模型线,也可读取 CAD 文件中的三维曲线转换成 Revit 模型线。

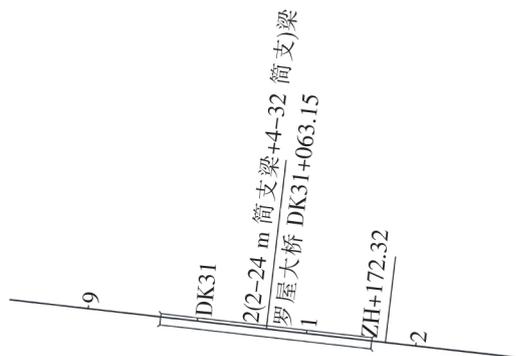


图 7 铁路线路中心线示例

表 1 线路中心线三维坐标示例

| 序号 | X | Y | Z |
|----|-------------|---------------|---------|
| 1 | 531 082.605 | 3 388 832.325 | 247.328 |
| 2 | 531 086.165 | 3 388 832.798 | 247.523 |
| 3 | 531 091.123 | 3 388 833.442 | 247.623 |
| 4 | 531 096.083 | 3 388 834.073 | 247.689 |
| 5 | 531 101.045 | 3 388 834.688 | 247.763 |
| 6 | 531 106.009 | 3 388 835.291 | 248.198 |
| ⋮ | ⋮ | ⋮ | ⋮ |

以第一种方式为例,实现算法如图 8 所示。

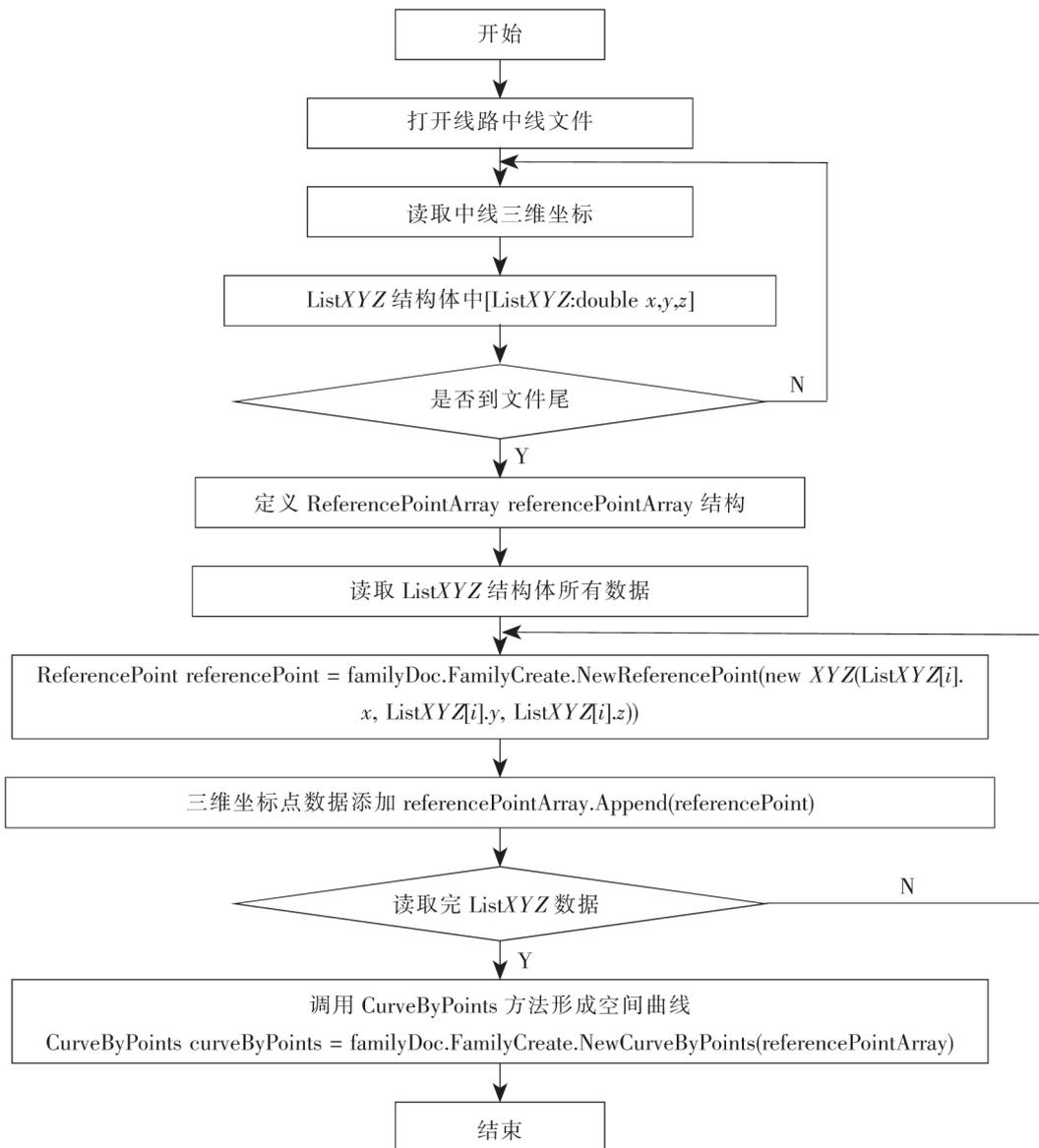


图 8 桥梁模型放样中心线获取算法

2.3 桥墩高度计算

由于每个桥墩的高度不完全相同,因此,放置完成后需要计算每个桥墩的位置点到桥墩正下方地表面的距离 h , h 值即为该处的桥墩高度,然后根据距离 h 调整墩台参数。以重力式桥墩为例,根据桥梁空间几何信息,计算出桥墩二级承台最大和最小 x, y 坐标 ($\min x, \min y, \max x, \max y$)。

设 $W = \max x - \min x, H = \max y - \min y$, 以该矩形面从桥墩位置点向地面作矩形包围盒,包围盒高度可初始取较大值,如图 9 所示。

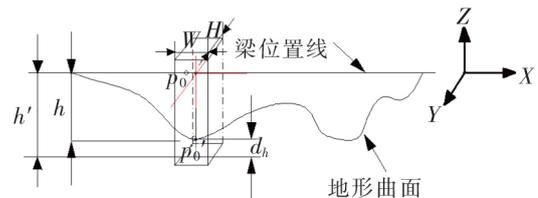


图 9 桥墩高度计算示意图

设桥墩位置点 P_0 坐标为 $P_0(x_0, y_0, z_0)$ 。

(1) 确定位于矩形面内所有地形数据点 $P_i(x_i, y_i, z_i), x_i \in [\min x, \max x], y_i \in [\min y, \max y]$ 。

(2) 在所有 P_i 点中,寻找高程 z 坐标最小数据点 $P_0' = (x_0', y_0', z_0')$ 。

(3) $h = |z_0' - z_0|; h' = h + d_h, d_h$ 为保证桥墩紧接地面的附加值,取值范围 $d_h \in (0, 1), h'$ 即为求得该

处桥墩的实际高度。

3 桥梁三维建模系统实现

铁路中心线为一条三维空间曲线,单纯依靠手工建模方式难以快速和精确实现桥梁模型的创建和拼接。利用 BIM API 二次开发技术,以连续梁为例,开发建模系统,实现桥梁三维模型的快速创建、拼装、修改和精确定位。

3.1 连续梁模型创建

连续梁的创建关键在于基于三维空间曲线轮廓的定位和旋转,流程如下:(1)读取梁的截面数据和截面的所有参数;(2)加载建立的梁内、外轮廓;(3)根据梁截面的坐标点数据将内、外轮廓放置到相应位置;(4)利用 CurveByPoints 函数,将梁截面所有三维坐标点连成一条空间曲线;(5)计算截面位置点的 X 轴与该点切线的夹角,旋转至与线路垂直(对于坐标轴的规定,设定它的 Z 轴方向就是高程方向,而 X、Y 平面内,采用地理化的指北方向作为平面内的 Y 方向);(6)运用 NewLoftForm 方法创建三维模型。连续梁创建界面如图 10 所示,运行结果如图 11 所示。



图 10 连续梁创建界面



图 11 连续箱型梁运行结果

3.2 铁路桥梁结构装配

铁路桥梁结构装配的主要步骤为:

(1)读取桥梁的线路中线,根据数据表中输入的跨径值,从起点开始利用 Curve.Evaluate 方法找到每一个跨的起终点坐标,也就是梁截面和墩台的位置点坐标。

(2)加载数据表中的墩台和梁截面类型,根据计算的位置点,按照数据表中顺序逐一放置墩台和梁截面。

(3)调用族旋转的函数,分别将墩台和梁截面旋转至与线路方向垂直。

(4)调用 NewSweptBlendForm 函数方法,将箱型梁的内外截面分别进行空心 and 实心的创建,最终完成桥梁模型装配。具体的程序界面如图 12 所示,创建完成的模型如图 13 所示。



图 12 桥梁布置界面

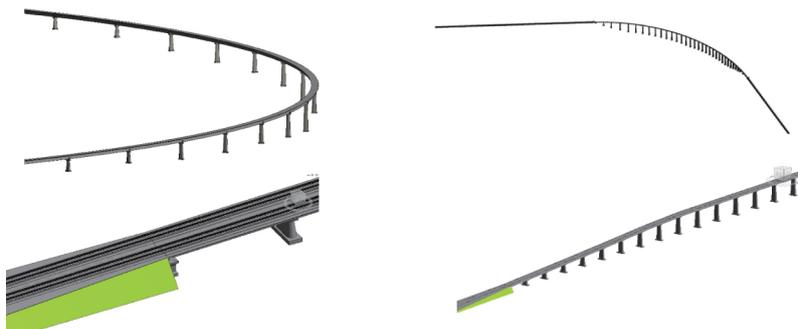


图 13 桥梁布置结果

3.3 模型参数及样式调整

桥梁模型拼装完成后,为适应对模型及方案反复修改,利用 BIM API 开发了批量模式修改的程序模块,实现对桥梁模型样式、构件参数(如桥墩墩身的长宽高参数)和族类型的修改。应用时选择所要修改的构件(梁、桥墩、桥台等),可修改参数和更换族类型,对修改前的构件编号等属性信息进行替换,并重新定位模型。以修改桥墩为例,其程序界面如图 14 所示,批量替换桥墩类型为圆端形如图 15 所示。



图 14 批量修改界面

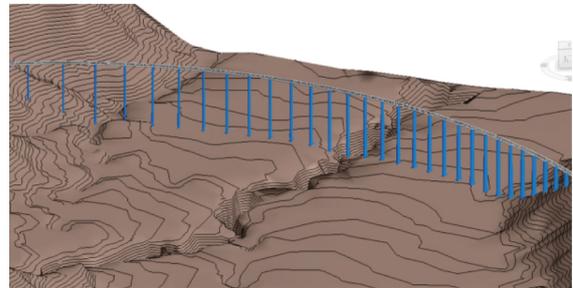


图 15 桥墩类型批量替换结果

4 结论

依托 BIM、数据库技术和 BIM 二次开发技术,研发基于 BIM 的铁路桥梁三维快速建模系统,实现了自动化、参数化和批量化的铁路桥梁 BIM 模型快速创建、拼装、修改、样式调整和精确定位。通过研究,得出以下结论:

(1) 铁路桥梁样式多变,结构复杂,参数多,单纯依靠建模软件手工建模已不能很好满足铁路桥梁结构复杂、反复修改和多样化的要求。合理的桥梁结构分解、参数分析以及数据结构设计是高效建模的基础,采用数据库存储和管理铁路桥梁复杂参数是一种有效的数据管理方法。

(2) 铁路线路的三维空间曲线更适合桥梁模型的定位中心线,但需要转化为 BIM 模型线,为更方便空间定位控制,通过程序直接读取线路中心线数据库或数据文件方式比读取 CAD 线生成模型线更适合程序精确控制的定位需要。

(3) 桥墩与地形相关,每个桥墩高度不尽相同,快速计算每个桥墩高度并方便调整是桥墩建模重点考虑的问题。在各桥墩高度计算和建模上,采用桥墩范围内的数模和矩形包围盒相结合方法,能够快速计算每座桥墩模型高度,通过调整墩台参数实现适应地形的桥梁每座桥墩模型自动建模。

(4) 采用 BIM API 的二次开发技术,以线路三维空间曲线为定位中心线,开发了铁路桥梁模型快速建模系统。通过将桥梁基本特征参数信息输入到程序模块,快速准确地完成了桥梁自动化三维建模工作,实现了自动化和批量化的桥梁模型创建、拼装、模型参数修改、桥梁样式调整和精准定位,有效地提高了建模效率。研究方法具有较好的适应性,为 BIM 在铁路桥梁快速建模提供了新思路。

(5) 在既有桥梁模型基础上,后续需要进一步研究钢筋分布以及预应力钢筋在桥梁模型中的布置,通过钢筋与钢筋之间以及钢筋与混凝土之间的碰撞检查,实现桥梁结构的优化设计。

参 考 文 献

- [1]李沅璋,赵月悦. 福厦铁路泉州湾特大桥工程 BIM 技术应用研究[J]. 铁路技术创新, 2019(4): 126-128.
- [2]刘彦明. 基于 Bentley 平台的铁路桥梁构件参数化建模研究[J]. 铁路技术创新, 2016(3): 36-40.
- [3]王华,韩祖杰,王志敏. 高速铁路桥梁三维参数化建模方法研究[J]. 计算机应用与软件, 2013, 30(9): 71-73,76.
- [4]张建军,杨晓,马宏深,等. 基于 Autodesk Revit 软件进行桥梁 BIM 设计的方法研究[J]. 中国市政工程, 2016(4): 94-97,108.

- [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): 56-59,108.
- [6]赵伟兰, 李远富. 某大桥基于 Revit 软件的桥梁 BIM 模型参数化设计探析[J]. 公路工程, 2018, 43(1): 36-41.
- [7]邱波, 魏良甲, 张爽. 基于 BIM 技术的桥梁全自动建模[J]. 铁路技术创新, 2017(1): 20-22.
- [8]陈秋竹. 桥梁设计阶段的 BIM 模型建立研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2016.
- [9]Lee S H, Park S I, Park J Seo, et al. Open BIM-based information modeling of railway bridges and its application concept[C]//Computing in Civil and Building Engineering. [S. l. : s. n.],2014: 504-511.
- [10]Qi Chenglong. BIM modeling tool development for foundation of bridge based on dassault caa architecture[C]//Proceedings of the 2018 International Conference on Engineering Simulation and Intelligent Control. [S. l. : s. n.],2018: 173-176.
- [11]Wang Ziru, He Yuanjun, Ma Baiyu. Research on parametric modeling of cable-stayed bridge based on BIM[C]//Proceedings of the 18th International Conference on Geometry and Graphics. Berlin:Springer International Publishing, 2018:1434-1442.
- [12]Hu Hanjin, Chen Stuart, Srikonda Rohit, et al. Development of alignment-based parametric data exchange schema for bridge geometry[J]. Transportation Research Record, 2014, 2460(1): 22-30.
- [13]沙名钦. 基于 BIM 技术的桥梁工程参数化建模及二次开发应用研究[D]. 南昌:华东交通大学, 2019.
- [14]王欣. 基于 BIM 的桥梁建模及运维的应用研究[D]. 苏州:苏州科技大学, 2020.
- [15]王鹏波. 复杂桥梁 BIM 建模与工程应用研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学, 2020.

Research on Rapid 3D Parametric Modeling Method of Railway Bridge Based on BIM Technology

Liu Xinhua¹, Lv Xikui^{1,2}, Zhang Bairui¹

(1. School of Traffic and Transportation, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Key Laboratory of Traffic Safety and Control of Hebei Province,

Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: The characteristics of railway bridges are complex and diverse, so the bridge BIM modeling requires repeated modification and diversification, the manual modeling methods which using modeling software alone cannot meet these requirements well. On the basis of bridge structure decomposition, parameter analysis and data structure design of each component, the paper used database to manage and edit parameters of bridge and subdivision components. By using BIM API secondary technology and .Net programming language, a three-dimensional modeling system of railway bridge based on BIM was developed, which realized the rapid creation of automatic, parametric and batch BIM model of railway bridge. It solves the problems of rapid assembly and precise positioning of bridge model, effectively improves the modeling efficiency, and the research method has good adaptability.

Key words: railway bridge; 3D rapid modeling; parameterization design; BIM technology