



基于Revit的铁路构件三维建模方法研究与应用

黄莹^{1,2,3}, 李雷¹, 蒋明轩⁴, 余波^{1,2,3}

- (1. 广西大学 土木建筑工程学院, 广西 南宁 530004;
2. 工程防灾与结构安全教育部重点实验室, 广西 南宁 530004;
3. 广西防灾减灾与工程安全重点实验室, 广西 南宁 530004;
4. 广西宁铁工程有限责任公司, 广西 南宁 530004)

摘要: 随着信息化和大数据时代的到来, BIM在土木工程领域的发展已经成为必然趋势。但铁路工程具有专业多、体量大、结构复杂、线路长等特点, 铁路模型构建难度大、重复性工作多且各组件拼接复杂, 建模效率低, 直接影响了BIM在铁路工程的应用和推广。为解决上述问题, 基于Autodesk Revit平台探索铁路三维参数化建模的思路与方法。通过建立构件族库, 利用族样板和族嵌套技巧, 实现铁路BIM模型的快速搭建。结合柳州市航二路延长线工程实际, 验证了铁路参数化建模的实效性。

关键词: 铁路工程; 参数化模型; 轨枕建模; 扣件系统建模

中图分类号: U215.7

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID)

文章编号: 1672-7029 (2021) 07-1732-08



Research and application of 3D modeling method of railway components based on Revit

HUANG Ying^{1,2,3}, LI Lei¹, JIANG Mingxuan⁴, YU Bo^{1,2,3}

- (1. School of Civil Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China;
2. Key Laboratory of Engineering Disaster Prevention and Structural Safety, Ministry of Education, Nanning 530004, China;
3. Guangxi Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation and Engineering Safety, Nanning 530004, China;
4. Guangxi Ningtie Engineering Co., Ltd., Nanning 530004, China)

Abstract: With the advent of information technology and big data era, the development of BIM in the field of civil engineering has become an inevitable trend. However, railway engineering has the characteristics of many different specialties, large volume, complex structure, long line, etc. So it is difficult to create model of railway engineering. Due to much duplication of efforts and complex interface of various components, modeling efficiency is too low, which directly affects the application and popularization of BIM in railway engineering. In order to solve the above-mentioned problems, the ideas and methods of railway 3D parametric modeling based on Autodesk Revit platform is studied in this article. The rapid construction of railway BIM models can be realized

收稿日期: 2020-08-29

基金项目: 广西高等教育本科教学改革工程资助项目(2017JGA118); 教育部产学合作协同育人项目(201901223001)

通信作者: 余波(1982-), 男, 四川泸州人, 教授, 博士, 从事混凝土耐久性、结构可靠度与结构抗震研究; E-mail: gxuyubo@gxu.edu.cn

by establishing a component family library, using family templates and family nesting techniques. And the effectiveness of the railway parametric modeling is verified by the practice on the actual project of Hang'er Road Extension in Liuzhou City.

Key words: railway engineering; parametric model; sleeper modeling; fastener system modeling

现今, BIM(Building information modeling) 以其在建筑行业独特的优势正在高速发展, 推动着建筑业新的改革浪潮, 成为了建筑行业发展的新趋势^[1]。BIM 技术在民用建筑、安装工程等方面已经比较成熟, 而由于铁道工程相比建筑工程体量更大、工艺更为复杂、专业更多, 发展得较为缓慢, 但也正因为如此, 铁道工程对 BIM 的需求也才更为迫切^[2-4]。BIM 要在铁路行业得到推广和普及, 其核心在于精确的三维铁路模型的建立。但铁路模型结构复杂, 组成构件众多, 铁路里程更是相当之长, 铁路模型各组成构件几何数据复杂, 构件之间可能因为个别尺寸单独变化就需要重复建模, 使得工作量极大, 模型的建立需耗费大量的时间, 这也影响了 BIM 在铁路行业里的推行。对于以上问题, 康峰^[5]在铁路线路结构 BIM 化建模方法上进行了研究, 基于 Civil3D 和二次开发实现了部分铁路线路的三维建模。但二次开发需要运用复杂的程序语言且 Civil3D 并不是应用最广的建模软件。Autodesk Revit 作为 BIM 平台下应用最具代表性的软件^[6], 目前基于 Autodesk Revit 平台的三维参数化铁路模型创建的研究却微乎其微。本文结合铁路项目的工程特点, 基于 Autodesk Revit 平台对铁路各构件三维精细化模型的关键参数进行选取并对可变参数的参数化方法等进行研究探索, 以期通过修改关键参数即可快速建立相关铁路构件的 BIM 模型, 提高建模效率。

1 铁路参数化建模流程分析

铁路工程 BIM 应用以铁路工程 BIM 模型为基础。铁路整体结构组成复杂, 无法一次性整体建模, 因此, 需对铁路结构进行实体拆分, 通过对实体构件构建三维模型, 再将其组合形成最终的 BIM 模型。为此, 铁路 BIM 模型应具备相应的构件族库, 才能实现快速建模的目的。然而 Revit 软件没有针对铁路工程的设定族, 亦没有与铁路相

对应的族样板, 因此需针对铁路工程组成构件及构件特点自行建立族库。

基于快速建模以及族通用性的要求, 构件族库一是需要包括组成铁路工程的所有构件, 二是能够结合项目特点灵活调用。为此, 在对铁路工程组成进行分析的基础上, 分解出组成铁路工程的所有构件, 形成相应的构件族库, 对于族库的构件实施三维建模。按族参数的可调整性, 将构件族分为参数化族和半参数化族: 将结构形式较固定的构件族划分为参数化族, 直接通过调整参数数值生成不同类型的构件, 这类族的可调整性较强; 将形状结构较为复杂但类型单一的构件划分为半参数化族, 只设置少量必要的参数, 可调整性较弱。参数化族和半参数化族最终组成铁路工程族库, 可供铁路 BIM 模型建立时调用。

基于此, 铁路工程参数化建模流程如图 1 所示, 其中, 4 个关键性的工作分别是: 自建族族库的分类、关键参数的确定、族样板的合理选择及族嵌套技巧的使用。

2 铁路参数化建模过程

2.1 铁路模型的实体拆分

铁路整体结构组成复杂, 为简化建模且结合后期实现铁路工程实体的分类、检索、信息传递等工作^[7], 实体拆分的工作必不可少。但拆分过细会导致构件数量众多, 后期模型拼接工作繁杂并会产生大量价值较低的信息, 拆分过粗又会导致建模工作复杂且会导致必要信息的缺失, 因而基于施工应用进行构件拆分。首先根据功能组成, 将铁路工程实体拆分为钢轨、轨枕、道岔、扣件系统、防爬设备 5 个部分, 以利于分工合作、高效建模工作的展开, 然后按照各部分组成结构的特点和独立性进行细分, 每个部分细分到最低一级应与模型建立的“族”相对应^[8]。基于铁道工程特有而普遍使用的构件考虑, 本文以轨枕和弹条 II 型扣件为对象进行建模说明, 拆分结果见表 1。

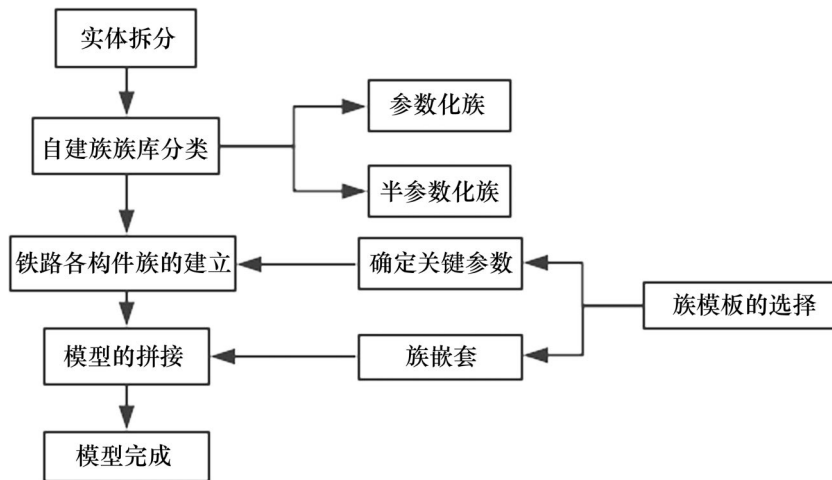


图1 铁路参数化建模流程

Fig. 1 Railway parametric modeling process

表1 部分铁路构件实体拆分

Table 1 Entity split of some railway components

类别	功能	主体结构	构件名称	构件族名称及属性
轨道专业	支承钢轨	混凝土轨枕	混凝土轨枕	轨枕族(参数化族)
			螺旋道钉	
			螺母	
			平垫圈	
轨道专业	固定钢轨	弹条 II 型扣件系统	弹条	扣件族库(其中弹条族为非参数化族)
			轨距挡板	
			挡板座	
			橡胶垫板	

2.2 自建族族库的分类

2.2.1 参数化族

参数化族是以参数作为核心变量，按统一族类型构建。其族的设定面向由于外形尺寸、施工要求等因素发生变化而改变的构件，该类族的建立核心是确定关键参数，然后套用设计好的族类型，即可快速完成与项目匹配的构件模型。

依据国家铁路局发布的铁道行业标准《TB10082—2017铁路轨道设计规范》，将常用的混凝土轨枕分为新 II 型、IIIa 型、IIIb 型、IIIc 型混凝土轨枕及新 III 型、IIIqc 型混凝土桥枕等共 8 种混凝土轨枕类型。通过对相关规范的解读和工程实际的调查，发现要形成不同类型的轨枕，主要需要修改轨枕涉及的相关几何尺寸，因此采用参数化的思路构建轨枕族。

2.2.2 半参数化族

半参数化族是以模型形体创建(不具备参数调整属性)和非几何参数的设置为核心进行构建。其族的设定主要面向几何形体复杂的构件，其关键首先是族几何形体的构造，而后是根据后期相关应用所需要的信息确定非几何参数的设定，即可完成可直接调用的构件模型。

弹条扣件系统分为 I，II，III，IV 4 种类型，扣件系统由弹条、螺母、螺母道钉、平垫圈等构件组成，其中弹条属于较为复杂的不规则空间曲线结构，不同型号的弹条实体形状虽然差别大，但最常用的就是 II 型弹条扣件系统中的弹条。弹条形状不规则，难以通过设置简单的几何参数来建模，因此采用半参数化思路构建弹条扣件族。

2.3 参数化族的建立

2.3.1 关键参数的选择

1) 关键几何参数的确定

以轨枕为例, 轨枕形状变化多, 则对应的几何参数也相对较多, 如表 2 所示, 单是轨枕构件, 涉及的几何参数有 20 个之多。若把所有的几何参数都设置为变量参数, 一是可能造成建模的冲突; 二是输入参数过多, 造成建模效率降低。因此, 在对铁路工程组成部位拆分基础上, 以一定的构

件类型为对象, 从数据的变动性、关联性和实用性 3 个方面确定决定其构件模型形状的关键几何参数。对表 2 所列不同类型的混凝土轨枕的几何参数和其各截面数据进行比较, 发现各轨枕的承轨槽坡度、承轨槽长度、边距₁、边距₂、倒角长的值都相同, 因此将轨枕的承轨槽坡度、承轨槽长度、边距₁、边距₂、倒角长设置为固定值, 不另外设参数。

表 2 常用轨枕几何参数

Table 2 Common sleeper geometric parameters

序号	项目	新 II 型枕		IIIa 型枕		IIIb 型枕	
1	轨枕长度/mm	2 500		2 600		2 600	
2	轨枕最大宽度/mm	310		320		320	
3	承轨槽坡度	1:40		1:40		1:40	
4	横截面尺寸	枕下	枕中	枕下	枕中	枕下	枕中
	顶面宽度/mm	169	190	170	220	170	220
	底面宽度/mm	280	250	304	280	304	280
	纵截面长度尺寸						
	L1:倒角长/mm	50		50			
	L2:端部长/mm	275		327			
5	L3:边距 ₁ /mm	14		14			
	L4:承轨槽长/mm	305		305			
	L5:边距 ₂ /mm	15		15			
	L6:边距 ₃ /mm	91		94			
	L7:渐变区长/mm	200		295			
	L8:轨中一半长度/mm	300		200			
	高度尺寸						
	H1:端部高/mm	200		220			
	H2:倒角高/mm	30		40			
6	H3:承轨槽高端/mm	205		233			
	H4:承轨槽低端/mm	197.375		225.375			
	H5:渐变最高点/mm	220		248.5			
	H6:中部高/mm	165		185			

轨枕的轨枕长度、轨枕最大宽度、高度、顶面宽度、底面宽度、端部长、渐变区、边距₃、渐变区长、轨中一半长度、高度尺寸等几何参数因轨枕的类型不同, 数值均有改变。依据设计规范和轨枕截面结构(如图 2), 轨枕的几何参数存在相关关系:

承轨槽高端高度=承轨槽低端高度+承轨槽坡度*承轨槽长度;

轨中一半长度=1/2*轨枕长-50-端部长-14-305-15-边距₃-渐变区长。

通过对上述关系进行分析, 发现承轨槽高端高度、轨中一半长度随其他参数发生联动, 因此在确定了相关参数的情况下, 仅需要设置相关关系, 即可自动计算承轨槽高端高度和轨中一半长度, 则这 2 个参数不属于关键参数。

基于上述分析, 轨枕族的关键几何参数确定为: 轨枕长度、轨枕最大宽度、轨枕截面尺寸、倒角长、端部长、边距₃、渐变区长以及除承轨槽高端高度外的高度尺寸参数。

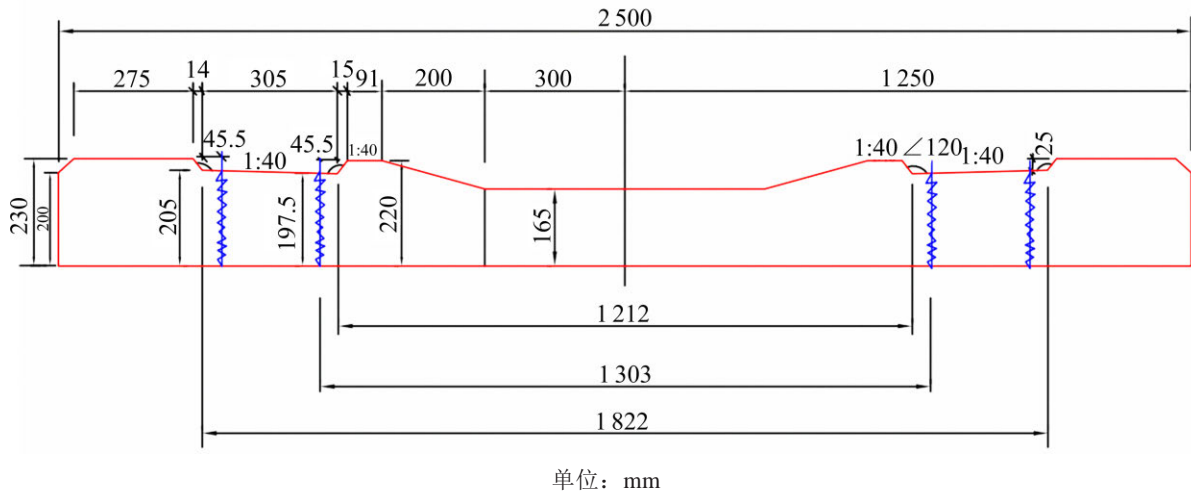


图2 轨枕纵截面

Fig. 2 Longitudinal section view of sleeper

2) 非几何参数的确定

BIM模型的价值不在于建模，而在于应用。几何参数只能确定模型的形状，远不能满足BIM应用的需要^[9]。因此基于后期模型应用的需要，构建的参数族除了设置几何参数外，还需要设置非几何参数，即除几何信息外的所有信息。若将所有的非几何信息都进行参数设置，则会造成大量低价值信息冗沉和建模效率降低。因此，基于模型后期应用阶段所需的信息进行参数设定，并充分利用参数与参数间的关联性，以达到减少可变参数的个数并增强模型参数驱动灵活性的效果。

例如需将轨枕模型应用于构件的生产加工，则需对轨枕的材质、混凝土强度、预应力钢筋型号、用钢量、预留孔或预埋件这几个非几何信息中的物理信息进行参数设置。若需将轨枕模型应用于后期运维管理，则需将施工单位、通过旅客列车设计速度、通过列车轴重、轨枕重量、用钢量、设计承载弯矩、静载抗裂弯矩、疲劳试验最大荷载、扣件类型等其他所需要的非几何参数(安装信息、厂家信息、技术参数等)进行参数设置。在此基础上，利用参数与参数间的关系并结合Revit中的函数语言，亦可通过非几何参数驱动几何形体，例如在轨枕族中设置一个“通过旅客列车设计速度”的非几何参数，根据《TB 10082—2017铁路轨道设计规范》规定：当在客货共线的I级铁路下旅客列车设计速度 ≤ 120 km/h时采用新

II型、III型混凝土轨枕都满足要求，当设计速度 > 120 km/h时应采用III型混凝土轨枕，此时可在轨枕长参数后设置“IF(旅客列车设计速度 > 120 km/h，轨枕长=2 600 mm，轨枕长=2 500 mm)”函数(如果旅客列车设计速度大于120 km/h，则轨枕长取2 600 mm，否则取2 500 mm)，以及其他关键几何变量参数后设置IF函数，此后只需输入非几何参数“旅客列车设计速度”的值，便可直接驱动参数使其成为II型轨枕或III型轨枕。

2.3.2 轨枕族与扣件系统的三维参数化建模

单个轨枕族无特殊性质要求，选择在公制常规模型族样板中进行族创建。先绘制好截面轮廓，而后在族编辑器内布局参照平面^[10]，将绘制好的截面轮廓放置在合适位置，再给布置好的参照平面和截面轮廓添加约束及标签，轮廓定位到布局好的参照平面的过程中需对轨枕进行参数化处理，结合上文确定的关键几何参数进行参数设定，把所绘制轮廓与参照平面进行锁定。基于Revit平台，使用拉伸、空心融合、剪切等命令形成轨枕端部的楔形、过渡阶段的梯形以及中间部分的矩形，从而生成轨枕族，如图3。再根据各类型混凝土枕的尺寸，只需修改参数新建几个“族类型”，各个型号的混凝土轨枕也就完成了。

2.4 半参数化族的建立

对于形状结构较为复杂但类型单一的构件采用半参数化方式建族，以II型弹条为例。II型弹

条属于不规则的空间曲线结构, 不同类型弹条的几何形体变化较大, 参数驱动不能直接得到不同类型的弹条, 如图 4, 因此基于 Revit 平台的“自适应公制常规模型”族样板并采用半参数化方式建族。首先对弹条的几何形体进行分析, 确定决定 II 型弹条尺寸的控制点: 最高点、最低点、次高点等, 如图 5; 基于 Revit 平台绘制其平面轨迹并按该路径放样即可得到 II 型弹条族, 如图 4。此时, 形成的 II 型弹条族为固定形态, 不具备可调性几何参数, 若有新形式的弹条, 需要按此思路重新建族。



图 3 轨枕族

Fig. 3 Sleeper family

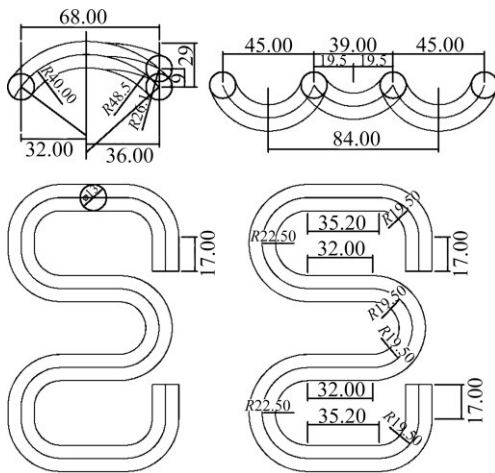


图 4 II 型弹条

Fig. 4 Type II elastic strip

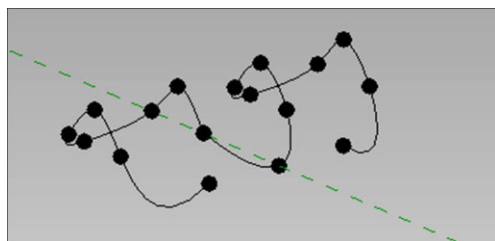


图 5 弹条控制点

Fig. 5 Elastic strip control points

2.5 模型的拼接

构件族创建后, 需要对构件进行拼接以形成铁路整体模型。基于减少工作量的考虑, 通过分析构件自身的特性^[11], 将前期创建好的族在 Revit

平台上用一个族样板中进行整合, 形成一个整体的嵌套族。例如, 单个轨枕族建立后, 考虑到轨枕随钢轨呈线性布置, 将单个轨枕族载入“基于线的公制常规模型”族样板, 再将扣件系统各子族也载入并按图纸放置于轨枕上, 形成一个轨枕族和扣件系统各子族相整合的嵌套族(如图 7), 同时将参数进行关联, 使子构件的参数能够在嵌套族中进行修改。为了让嵌套族的布置更灵活, 将嵌套族的个数参数化并与轨枕间距和参照线长形成参数相关: $\text{个数} = \text{参照线长} / \text{轨枕间距}$ 。由此形成一个具有线性布置特点的嵌套族(如图 8)。载入项目后拾取铁路中心参照线进行放置, 减少了铁路模型拼装过程的工作量。

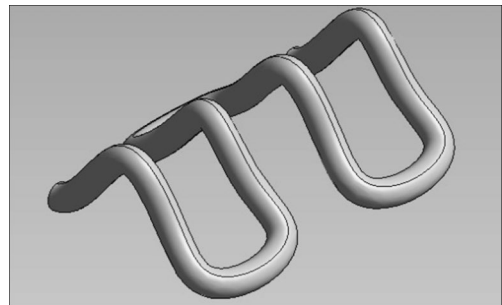


图 6 II 型弹条族

Fig. 6 Type II elastic strip family

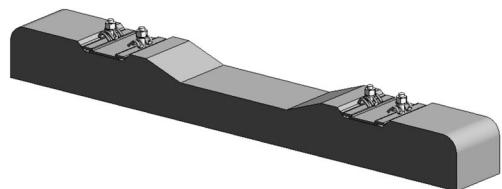


图 7 嵌套族

Fig. 7 Nested Family

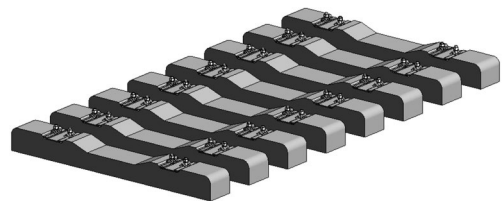


图 8 基于线的嵌套族

Fig. 8 Line-based nested family

3 参数化建模方法的工程应用

3.1 工程概况

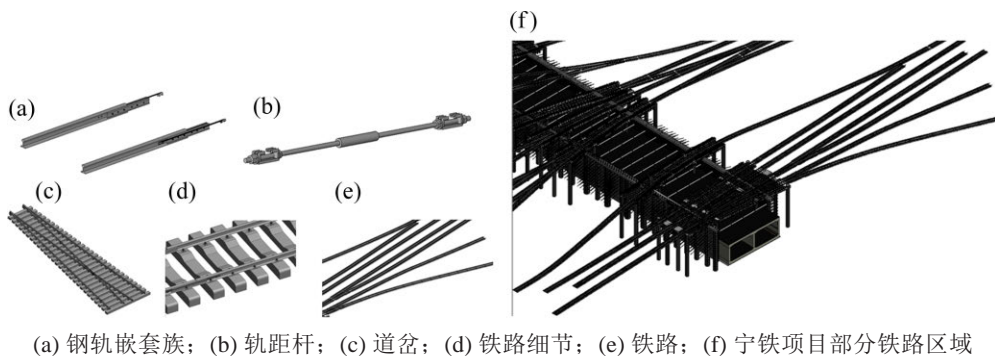
本项目为柳州市航二路延长线工程(以下简称

宁铁项目), 初始里程为K0+814.274, 终点里程为K1+494.98, 共 680.706 m。其中 K1+280~K1+494.98段共 214.98 m为下穿柳南南站四场段隧道, 涉及 17组道岔和 21股道。铁路线路的拆除涉及利益方众多, 拆除工艺及时间需要进行充分论证, 铁路线路的分布位置与影响范围是决定铁路段是采取加固暗挖案还是拆除明挖方案的关键性因素, 在传统手段下却难以直观的呈现。项目方提出了采用 BIM 技术对铁路线路进行模型建立从而明确各铁路线路的影响范围的要求, 因此按上述流程完成三维铁路模型的创建。

3.2 宁铁项目铁路三维模型的创建

通过对原始资料、CAD 图纸和铁路工程图集进行解读, 分析所涉及的铁路线路实体组成。按上述建模方法, 根据实体拆分后的构件和图集信息构建了轨枕族、弹条族、钢轨族、螺母族、螺

纹道钉族、橡胶垫板族、平垫圈族、轨距杆族、挡板座族、道岔嵌套族, 并进行了参数设置。其中基于建立的轨枕族, 通过修改几何参数, 快速建立了 S-2 型、J-2 型、Y II -F 型、TKG- II 型、新 II 型、IIIa 型、IIIb 型、IIIc 型 8 种类型的轨枕, 而后在“基于线的公制常规模型”中进行接头零件与钢轨的嵌套(图 9(a))和扣件系统与轨枕的嵌套, 在“公制常规模型”中进行道岔区域各子构件的嵌套(图 9(c)), 道岔部分结构尤其复杂, 本项目所涉及的道岔全部为 9 号单开道岔, 但从整个铁路工程来看, 道岔种类繁多, 道岔参数化建模的灵敏度还有待研究。最后将 CAD 图纸作为模型的定位线导入 Revit 中, 嵌套族载入项目后拾取各段定位线进行自动放置, 并在道岔部分添加轨距杆(9(b))。最终构建该铁路三维模型(图 9(d), 9(e)), 以及整体的宁铁项目模型(图 9(f))。



(a) 钢轨嵌套族; (b) 轨距杆; (c) 道岔; (d) 铁路细节; (e) 铁路; (f) 宁铁项目部分铁路区域

图9 部分铁路模型

Fig. 9 Part of the railway model

3.3 模型创建效果分析

该项目采用参数化建模的方法, 结合族模板的性质和族嵌套的技巧, 基于创建的参数族和半参数族, 仅需要 2 h 左右即可完成该项目涉及的隧道上方区域 21 股道三维铁路 BIM 模型的建立, 相比其他建模方法, 提高了建模效率, 如表 3 所示。宁铁项目铁路部分涉及参数化族构件 6 种, 半参数化族构件 3 种, 轨枕个数 7 800 个, 扣件个数 15 600 个, 三维视图旋转浏览宁铁项目整体模型时的平均帧率为 12 帧/s, 模型运行顺畅, 视图效果好, 为了测试模型上限, 将铁路模型加长到数十公里, 在单股铁路加长到约为 18 km(轨枕 30 000 个, 扣件个数 60 000 个)时会由于模型体量过大, 运行卡顿(电脑型号: 联想 30BYA0JMCW 操作系统: Microsoft Windows 10 教育版 (64 位)CPU (英特尔)In-

tel(R) Xeon(R)W-2145 CPU@ 3.70 GHz(3 696 MHz) 主板: 联想 1036 内存: 64.00 GB(2 666 MHz)主硬盘: 510 GB (1837CE800184 已使用时间: 2 145 小时)显卡: NVIDIA Quadro P5000(16 384 MB)), 轻量化模型有待进一步完善。

同时在模型中, 设置的几何参数、物理参数、安装参数、技术参数等在后续工程进行成本、进度、运维、预制构件加工等工程应用时, 能够快速形成相关管理分析数据, 为柳州市航二路延长线工程的成功建设发挥了积极的推动作用。此外, 创建了扣件系统、轨枕、钢轨、联结扣件、道岔等构件族, 最终将完善为铁路特有的企业族库, 其他铁路项目可直接调用, 模型创建所耗费的时间将大幅下降, 从而能够把更多的时间放在精细化管理上, 进一步提升工程效益。

表3 模型创建效果分析

Table 3 Model creation effect analysis

建模方法	工作内容	轨枕个数	扣件个数	钢轨段数	道岔个数/组	工作时间	创建速度	信息传递	重复调用
非参数化族建模	1. 创建轨枕族、钢轨族、扣件系统各构件族、道岔各构件族	7 800	15 600	222	17	15 d	慢	不可	不可
	2. 铁路模型拼接								
参数化族建模	1. 创建参数化轨枕族、钢轨族、扣件系统各构件族、道岔各构件族	7 800	15 600	222	17	15 d	慢	可	可
	2. 铁路模型拼接								
基于参数化族库的建模	1. 调用族库族构件,修改参数 2. 铁路模型拼接	7 800	15 600	222	17	2 d	较快	可	可
基于参数化族库的建模(结合族模板的性质和族嵌套的技巧)	1. 调用族库族构件,修改参数 2. 铁路模型拼接	7 800	15 600	222	17	2 h	快	可	可

4 结论

1) 提出铁路工程的建模流程,并基于该流程,针对构件族形成了参数化建模和半参数化建模的2个模式。

2) 针对参数化族,提出构件关键几何参数的确定方法以及非几何参数确定思路。

3) 通过结合 Revit 平台族模板和族嵌套的技巧,利用构建的构件族,快速建立铁路三维模型。

4) 结合宁铁项目,验证了该参数化建模方法可以提高铁路三维模型的建模效率,并有利于辅助企业族库的建立。

参考文献:

- [1] LU Qiqi, WON J, CHENG J C P. A financial decision making framework for construction projects based on 5D building information modeling (BIM) [J]. International Journal of Project Management, 2016, 34(1): 3-21.
- [2] 段熙宾. 大型铁路工程 BIM 设计的探索及实现[J]. 铁道标准设计, 2016, 60(12): 124-127.
DUAN Xibin. Exploration and realization of BIM design of large-scale railway engineering[J]. Railway Standard Design, 2016, 60(12): 124-127.
- [3] 王浩. BIM 技术在铁路工程设计应用中的现状及前景分析[J]. 工程建设与设计, 2015(12): 94-96,99.
WANG Hao. Present situation and prospect analysis of the application of BIM technology in railway engineering design[J]. Construction & Design for Engineering, 2015(12): 94-96, 99.
- [4] TIANYANG X U, HAO L I. The development of BIM technology and its application in architecture design[J]. Sichuan Building Materials, 2018.
- [5] 康峰. 铁路线路结构 BIM 化建模方法研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2017.
KANG Feng. Research modeling method of BIM on railway structure[D]. Lanzhou: Lanzhou Jiaotong University, 2017.
- [6] 董耀文, 王显臣, 张胜超. 乐清湾大桥基于 Revit 软件的桥梁 BIM 模型参数化设计初探[J]. 公路, 2016, 61(9): 161-164.
DONG Yaowen, WANG Xianchen, ZHANG Shengchao. Primary study on the parametric design of Yueqing bay bridge BIM model based on Revit software[J]. Highway, 2016, 61(9): 161-164.
- [7] 中国铁路 BIM 联盟. 铁路工程实体结构分解指南(1.0 版)[J]. 铁路技术创新, 2014(6): 5-334.
China Railway BIM Alliance. Guide for the decomposition of railway engineering entity structure (version 1.0) [J]. Railway Technology Innovation, 2014(6): 5-334.
- [8] 叶代成. 桥梁工程 BIM 模型的实体构件拆分及编码技术[J]. 公路交通技术, 2019, 35(1): 47-50.
YE Daicheng. Research on solid frame member demerging and encode technique for bridge BIM model [J]. Technology of Highway and Transport, 2019, 35(1): 47-50.
- [9] The National Institute of Building Sciences. Concrete model building subtypes[R]. National Institute of Standards and Technology, 2010.
- [10] 王晓东, 喻钢, 吴惠明. 基于 Revit 的盾构管片参数化建模应用[J]. 隧道建设(中英文), 2018, 38(2): 249-254.
WANG Xiaodong, YU Gang, WU Huiming. Application of parameterized modeling of shield segment based on Revit[J]. Tunnel Construction, 2018, 38(2): 249-254.
- [11] 朱奕蓓, 程耀东, 谢李钊. 钢桁架加劲 PC 连续箱梁桥的 BIM 建模技术[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(4): 88-92, 99.
ZHU Yibei, CHENG Yaodong, XIE Lizhao. BIM Modeling technology of PC continuous box girder bridge stiffened with steel truss[J]. Railway Standard Design, 2017, 61(4): 88-92, 99.

(编辑 涂鹏)