文章编号:1005-0523(2023)05-0089-06

# 基于质量控制的铁路桥梁智能建造模拟

肖改琴[1],刘林芽[1,2],张 燕[3],秦佳良[1]

(1. 华东交通大学交通运输工程学院,江西 南昌 330013; 2. 萍乡学院,江西 萍乡 337055;
3. 华东交通大学土木建筑学院,江西 南昌 330013)

**摘要**:铁路桥梁是铁路建设中的重要环节,其施工质量对整体工程质量有重大影响。随着智能技术的发展,将BIM、AI、VR和GIS等技术应用于铁路桥梁施工,能够提高施工水平和效率。通过建立参数化BIM模型,可以实现动态化模拟施工过程,深化BIM在质量方面的应用,实现智能化和信息化施工。这些新理念、新技术的融合为铁路桥梁施工带来更多可能性。

**关键词**:桥梁施工;BIM;质量控制;智能化

**中图分类号**:[U24] **文献标志码**:A

**本文引用格式**:肖改琴,刘林芽,张燕,等. 基于质量控制的铁路桥梁智能建造模拟[J]. 华东交通大学学报,2023,40(5):89-94.

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2023.05.010

# Simulation of Intelligent Construction of Railway Bridges Based on Quality Control

Xiao Gaiqin[1], Liu Linya[1,2], Zhang Yan[3], Qin Jialiang[1]

(1. School of Transportation Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2. Pingxiang University, Pingxiang 337055, China; 3. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

**Abstract**: Railway bridges are a major project in railway construction, and the construction quality has a significant impact on the overall engineering quality. With the development of intelligent technology, applying technologies such as BIM, AI, VR, and GIS to railway bridge construction can improve construction level and efficiency. By establishing a parameterized BIM model, dynamic simulation of the construction process can be achieved, deepening the application of BIM in quality, and achieving intelligent and information based construction. The integration of these new concepts and technologies will bring more possibilities for railway bridge construction.

**Key words**: bridge construction; BIM; quality control; intelligence

**Citation format**: XIAO G Q, LIU L Y, ZHANG Y, et al. Simulation of intelligent construction of railway bridges based on quality control[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2023, 40(5): 89-94.

铁路桥梁的质量和受力性能要求较高,施工难度也较大。铁路基础设施智能建造质量控制技术可以实现工业化生产,提高生产效率和工程质量,推动智能化铁路交通的发展,并具有重大的社会、经济和生态效益。通过升级铁路基础设施绿色、智能化施工工艺,可以提升铁路基础设施安全建设能力和水平,降低建设与保障综合成本,从而提升铁路基础设施安全建设能力和水平。

**收稿日期**:2023-09-13

**基金项目**:国家重点研发计划(2022YFB2602200,2022YFB2602204)

邹阳[1]提出一个BIM实施框架,其能保证在桥梁工程建设整个生命周期中的使用。王熊珏[2]基于BIM的桥梁结构加固，贯通了BIM技术在桥梁加固整个流程中的使用。史军胜[3]采用Bentley系列软件建立拱桥BIM模型，将其导出至多种有限元软件中进行模型的精细化并进行了有限元力学分析。伍伟娟[4]在桥梁的设计阶段和施工阶段进行了BIM技术的应用，且将构建的BIM模型导入有限元软件进行分析。沙高岑[5]基于现在BIM技术未在桥梁全过程进行应用的情况，针对BIM技术桥梁全生命周期交互中信息载体的不统一，建立了桥梁模型的构件库。梁浩[6]基于Revit+Dynamo完成桥梁的BIM模型快速创建,并且将BIM模型进行施工工艺的模仿和碰撞检测等功能模拟。王欣[7]建立了桥梁常规族构件模型库，并对连续桥梁模型的创建方法进行了深入研究。荆灵玲[8]详细地阐述了3S技术和BIM技术在铁路施工中的应用。杨华伟[9]利用PythonOCC平台结合Python脚本创建墩身模板参数化三维模型，实现了墩身模型的智能化创建。袁洋[10]通过建立BIM施工组织模型,对施工组织进行智能化、数字化管理,调整桥梁施工顺序,探寻最优施工组织。

上述研究表明,在桥梁建造方面,国内已经开始应用一些技术,但大部分只是针对性地完成桥梁建造局部的分析。有关桥梁施工全过程智能化的文献较少。BIM在铁路桥梁建造方面仍处于初级阶段,施工阶段的应用缺乏规划,建模自主化不足,标准化构件库未能建立,与新技术和大数据的融合相关研究也较少。本文提出嵌套式族库的开发理念,并在施工阶段结合应用GIS、无人机摄影和AI等技术,以推动铁路桥梁建造的信息化、智能化发展。

## 1 BIM在桥梁施工中的应用

### 1.1 桥梁模型建立

参数化建模是一种通过改变建模对象的大小、材质和图形外观等,但保持其属性始终不变的智能化建模方法。这是BIM软件自带的一项核心技术优势,当某个构件的某个参数发生变化时,其余参数会自动适应并进行相应的改变。所有构件都是通过参数进行连接的，以确保构件信息的整体协调性。这一特性是Revit可以在桥梁全生命周期使用的基础,随着工程的推进,模型的形状和精度可以随时进行更改。

Revit软件中包含项目、样板文件、族文件和族样板文件。项目是整个构建过程中进行拼装的部分,而族是同一类构件的集合。族分为系统族、内建族和可载入族3种类型,可以加载到项目文件中进行拼装。族文件可以随时从项目文件中载入载出,而在桥梁建设过程中,可以通过更改构件在桥梁中的参数信息来调整构件的属性。

族文件可以实现共享参数的功能，如图1所示，这可以极大地加强模型构建的逻辑化和标准化。通过共享参数,可以在多个文件和多个构件之间实现参数的传递和共享，使得同一族可以被应用到不同的项目文件中,降低了建模成本和时间。此外,对族文件进行参数修改后,这些参数将自动更新到所有应用该族的文件中，从而大大减少了重复性工作和错误的发生，同时也大大提高了模型的灵活性和可维护性。

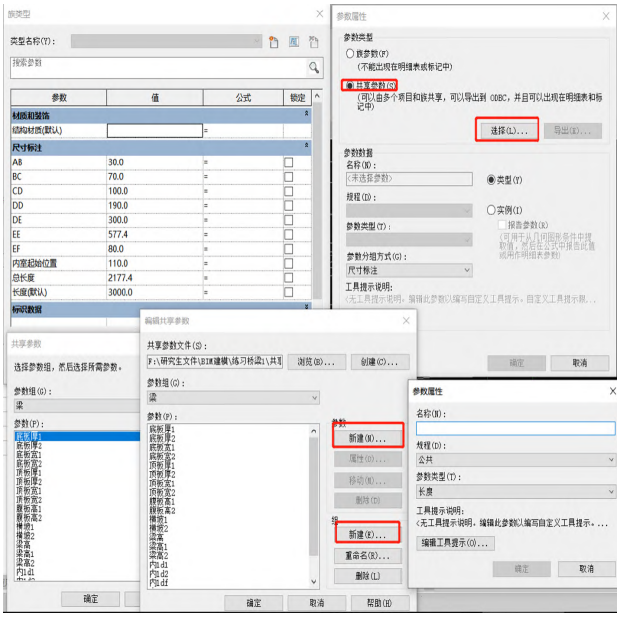


图1 建立共享参数

Fig.1 Shared parameters establishing

对于同类型的大型构件,可以通过创建族参数表格的方式来实现高效构建。以等截面箱梁截面为例,具体数据如表1所示。每个参数类型都有对应的代码,可在Revit中快速建立相同类型的构件,节省了工程建模时间。

### 1.2 4D施工模拟(施工时间规划)

BIM的可视化能够实现施工过程全方位无死角展示。Autodesk公司的Navisworks软件能够直观

表 1　示例
Tab.1　Example

| Block | 1 Beam height | 1 Top plate thick-ness | 1 Bottom plate thick-ness | 1 Web plate thick-ness | 1 Base plate width | 1 Roof width | 2 Beam height-ness | 2 Top plate thick-ness | 2 Bottom plate thick-ness | 2 Web plate thick-ness | 2 Base plate width | 2 Roof width |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 078 | 250 | 381 | 800 | 6 500 | 12 000 | 2 776 | 250 | 341 | 720 | 6 500 | 12 000 |
| 2 | 3 078 | 250 | 381 | 800 | 6 500 | 12 000 | 2 776 | 250 | 341 | 720 | 6 500 | 12 000 |
| 3 | 3 078 | 250 | 381 | 800 | 6 500 | 12 000 | 2 776 | 250 | 341 | 720 | 6 500 | 12 000 |
| 4 | 3 078 | 250 | 381 | 800 | 6 500 | 12 000 | 2 776 | 250 | 341 | 720 | 6 500 | 12 000 |
| 5 | 3 078 | 250 | 381 | 800 | 6 500 | 12 000 | 2 776 | 250 | 341 | 720 | 6 500 | 12 000 |
| 6 | 3 078 | 250 | 381 | 800 | 6 500 | 12 000 | 2 776 | 250 | 341 | 720 | 6 500 | 12 000 |
| 7 | 3 078 | 250 | 381 | 800 | 6 500 | 12 000 | 2 776 | 250 | 341 | 720 | 6 500 | 12 000 |

地展示施工过程,分析施工方案的合理性, 更加符合人体对于视觉的要求,直观地表现施工进度,避免施工过程中因为施工方案不合理造成的施工问题或者返工,节省时间成本和造价。

通过 Navisworks 的时间轴, 根据施工工艺和施工内容进行多次推演,包括施工现场的地形、气候、地貌、土壤、旁边建筑等结构信息均须考虑,寻找到最合适的施工方案, 着重对比模拟施工和实际施工的差异,尽量减少差异,以保证桥梁工程的施工质量。

### 1.3　碰撞检测

利用 BIM 平台的碰撞检测,能够规避因为图纸带来的施工错误, 检测到不同专业图纸之间的碰撞,提前解决此类图纸问题,及时反馈到模型中,进行修改,避免后期因为图纸问题带来的返工甚至停工,提高了项目管理的效率,也为施工质量带来了保障,大大减少了工程成本和时间。同时 Navisworks 具有漫游功能,可以对模型内外进行检查。

专业之间的碰撞检测可以使用 Navisworks, Navisworks 软件能够在工程中应用的碰撞检测分为 3 种:① 硬碰撞,如果希望检测到的碰撞是实际发生的碰撞,选择硬碰撞,处于同一个三维空间,两者相交并且重叠即视为碰撞;② 硬碰撞(保守),比硬碰撞检测的精准度高,数据量大,空间内的模型只要存在相交或交互即视为发生碰撞;③ 间隙碰撞,只要模型间距小于自定义的距离就被视为碰撞。

将各专业模型(格式均为 nwc.)都导入 Navisworks,根据结构项目的样板的基点和轴网标高整合模型之后, 可以使用其碰撞检测功能进行检测,生成碰撞报告, 使用其报告中的 ID 号方便相关人员找到碰撞位置,Navisworks 为半智能检测,而后需要返回 Revit 中修正。

### 1.4　施工场地规划管理

施工场地的管理与施工质量有较大的关系,秩序混乱的施工场地可能会间接导致安全事故的发生。工程质量管控的落脚点也是基于施工现场,施工现场的好坏关乎到工程的质量,且现在桥梁工程露天、高空作业较多,工作人员自身情况均有差别,现场施工人员多,故加强施工现场管理能有效降低事故发生率。

现场所有施工范围内的人、施工材料和施工机器等都须反映到模型当中,并且随时间进度的变化而变化,避免大型器械和施工材料反复调整平面位置,最大限度地利用大型设施的性能,减少施工材料的消耗,对现场人流进行合理的规划,为施工单位节支增收。

## 2　桥梁族库开发

### 2.1　嵌套共享

桥梁建模涉及众多参数,众多构件,在进行模型最终拼装时往往需要大量时间和精力,有些构件存在误差。各个构件之间的位置关系还有尺寸,都

必须保证精度,不然模型就失去精细化建模的意义。

在嵌套族之中先定义好单元族的位置关系以及尺寸,将其组装起来,在共享嵌套族中可以修改各单元族的参数,需要在嵌套族中勾选“共享”。如果“共享”选型没有勾选,该族将会作为嵌套族随着主体族载入到项目中,是属于主体族的部分,不能被单独调用,只能跟随主体族被使用。如果勾选了“共享”则载入到项目中,当前也是主体族的一部分,但是它同时也可以被单独调用,可以脱离主体族。

嵌套族降低了拼装时的工作量,保证项目文件的准确性,也能统计结构基础明细表,不会有其他影响,下部结构建模时只需要到族库中找寻适合当前工程的相应的构件即可,节省大量建模时间,具体流程如图2所示。

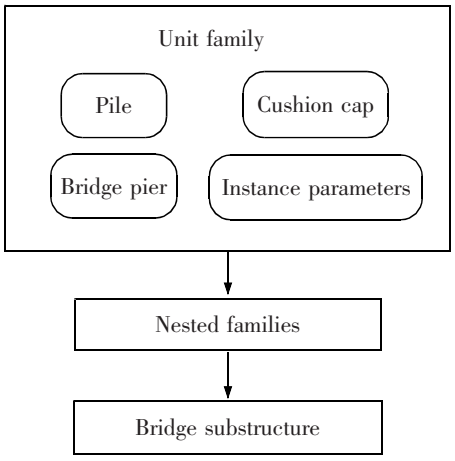



**图2 嵌套族流程示意图**

**Fig.2 Nested family process diagram**

嵌套族可以多次嵌套,构件的材质参数必须跟随其主体族逐步关联起来,最终才能在项目中被控制。

### 2.2 模型精细度选择

BIM模型的构建可以通过精细度来分类,根据施工不同的阶段以及不同的使用对象进行分类,这样不仅能够满足工程要求,减少BIM模型数据的冗余,而且减少模型卡顿,数据利用率能达到最佳。

BIM模型精细度概念是由美国建筑师协会提出的,其表明了BIM模型在全生命周期的完整程度。从工程设计阶段到交付时期的模型精细度被分为5层,即从LOD100到LOD500,类比BIM模型在建设项目实施的各个阶段的应用场景,其具体模型精细程度对应的阶段和建模程度如表2所示。

在施工阶段,应当保证建模进度在LOD400及以上,才可保证模型在施工阶段起到示范作用,减少施工失误的产生,降低现场事故发生率。

### 2.3 桥梁族库

桥梁建模时,可大致分为上部结构建模和下部结构建模,下部结构通常包括桥墩、桥台和基础;上部结构分为梁、桥面和支座等。按照嵌套族开发桥梁族库,构件可以分为上部和下部结构,下部结构族库中包含以往桥梁下部结构的模型以及产品信息。桥墩尤其重要,包含桩、承台和墩3种单元族,3种单元族形成嵌套族,如图3,放置到项目族只需要定义嵌套族一个位置即可。如遇到复杂桥梁可以发挥较大作用,减少建模工作量,避免出现限制性条件特别多的情况,提高绘制模型的效率。获取以往桥梁的建造模型,并把其载入到规范性族库之中是一个巨大的工作量,需要结合大数据才能够完整。

**表2 模型精细度类别**

**Tab.2 Model fineness category**

| Fineness | Optimal usage stage | Accuracy characteristics |
|---|---|---|
| LOD100 | Design stage | Outline of the building with rough dimensions and shapes |
| LOD200 | Design scheme stage | Approximate components with spatial locations |
| LOD300 | Detail design stage | Precise components with dimensions, spatial locations, and physical attributes of building components and mechanical and electrical equipment |
| LOD400 | Construction stage | Detailed solid models with product information, time attributes, and cost attributes of building components and mechanical and electrical equipment |
| LOD500 | Completion and handover stage | Geometric information, technical parameters, construction information, and maintenance information of components and mechanical and electrical equipment |




图 3　嵌套族示意图
Fig.3　Nested family diagram

上部结构有两种建模思路可以使用共享参数方法建模,也可以使用规范性族库。

## 3　“BIM+”在施工过程的应用

当前 BIM 技术与 GIS、AI、大数据、VR 融合开展初步探索,即通过 BIM 与各类技术结合完成不同高难度任务。根据全生命周期的标准,目前在建造期间的应用仍然处于初期，应用深度远远不够,“BIM+”是未来 BIM 的重要发展趋势。

### 3.1　GIS 与无人机摄影

GIS 是一种特殊的空间信息系统,在计算机软硬件的支持下对整个地球表层的空间信息进行储存分析运算,BIM 与 GIS 结合可以实现工程中难点问题的可视化如图 4 所示。在工程建造之前,往往需要工作人员实地勘察施工环境,传统技术使用全站仪逐点记录施工环境关键点高程与角度等信息,仪器精度高但是其工作效率十分低下。施工现场需要多名勘测人员实时探测,工作环境恶劣,不符合智能化施工理念。



图 4　GIS 展示地理信息
Fig.4　Geographic information displayed by GIS

无人机摄影现在多用于各类平台拍摄高难度视频,获取的视频清晰度高,其拍摄手法可以更好满足施工工地需要，包括扫描方式、90°俯拍、贴地飞行和穿梭飞行等，减少人工勘测的工作量,其拍摄画面与 GIS 提供信息结合传递到 Civil 3D 中处理地形数据，将实地场景转化到 BIM 建模当中去。

### 3.2　AI

AI 是一种模拟人类智能思维的技术,它可以实现人类的认知和思维活动。通过这种技术,计算机可以模拟人类的思维方式和智能,从而可以完成许多复杂的任务,如图像识别、语音识别、自然语言处理、决策制定等。AI 正在影响人们的生活,提高人们的生活质量和水平,但是对于施工现场,却与日常生活格格不入，施工现场需要和人工智能结合,提高施工质量。

ChatGPT 是一个基于大型规模预训练的聊天机器人,能够对自然语言进行理解和生成,与 BIM 结合可以为建筑工地的监管提供更加智能化的决策,也可以实现模型的自动化集成和生成,帮助施工人员快速进行施工方案验证并且修改设计方案,完成一些重复性工作。但是现在 ChatGPT 技术尚未成熟,需要人工多次训练,通过使用者多次调整话术才能匹配 ChatGPT 对语义的理解和生成能力。

### 3.3　VR

VR 是一种先进的计算机系统，能够创造出一种模拟环境，让用户感受到更加真实的视觉体验。其逼真程度极高,使得用户可以完全沉浸在该环境中,仿佛身临其境。通过 VR 技术,用户可以体验到各种现场环境,从而带来更加生动、直观的感受和体验。

VR 和 BIM 技术的结合可以弥补现场施工的缺点,如工程效果未知和工程质量控制难。特别是在工程量庞大的情况下，一些可能影响工程质量的细节很容易被忽略或遗忘，最终导致工程质量下降。通过 VR 技术,工程可以得到多方监督,在施工前及时发现和解决潜在的设计问题、碰撞冲突和空间不足等问题，从而有效减少施工过程中的错误和返工。这不仅提高了施工效率和质量,降低了成本，而且为整个项目带来了更大的价值和效益。

## 4 结论

1）使用Revit建模软件中的嵌套族方法可以显著提高桥梁模型建立的准确性和高效性。通过使用嵌套族，可以更加精细地控制模型的属性和行为，从而减少建模的时间和错误，使建模更加精确和高效，满足桥梁施工期间对建模精细化的需求。

2）在桥梁施工阶段，通过结合BIM与现有技术，可以形成一个有效的质量管理体系。该体系能够确保施工质量得到显著提升，并结合各种技术的作用，对工程建造起到较为明显的作用。

**参考文献：**

[1] 邹阳. 桥梁信息模型(BrIM)在设计与施工阶段的实施框架研究[D]. 重庆：重庆交通大学，2015.
ZOU Y. Research on implementation framework of bridge Information model(BrIM) in design and construction stage [D]. Chongqing：Chongqing Jiaotong University，2015.

[2] 王熊珏. 基于BIM的桥梁结构加固与改造技术及有限元分析[D]. 武汉：湖北工业大学，2016.
WANG X J. Bridge structure reinforcement and renovation technology and finite element analysis based on BIM [D]. Wuhan：Hubei University of Technology，2016.

[3] 史军胜. BIM技术在郑万铁路128 m钢管混凝土拱桥施工过程中的应用研究[D]. 兰州：兰州交通大学，2017.
SHI J S. Research on the application of BIM technology in the construction process of a 128 m steel pipe concrete arch bridge on the Zheng-Wan railway[D]. Lanzhou：Lanzhou Jiaotong University，2017.

[4] 伍伟娟. BIM技术在下承式系杆拱桥设计及施工中的应用研究[D]. 兰州：兰州交通大学，2019.
WU W J. Research on the application of BIM technology in the design and construction of through tied arch bridges [D]. Lanzhou：Lanzhou Jiaotong University，2019.

[5] 沙高岑. 基于EBS的桥梁结构BIM模型构件库扩展技术研究[D]. 重庆：重庆交通大学，2019.
SHA G C. Research on extension technology of BIM model component library for bridge structures based on EBS[D]. Chongqing：Chongqing Jiaotong University，2019.

[6] 梁浩. BIM技术在道路桥梁施工阶段的应用研究[D]. 大连：大连理工大学，2020.
LIANG H. Research on the application of BIM technology in road and bridge construction[D]. Dalian：Dalian University of Technology，2020.

[7] 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.
WANG X. Research on the application of BIM base bridge modeling and operation and maintenance[D]. Suzhou：Suzhou University of Science and Technology，2020.

[8] 荆灵玲. 基于北斗的3S和BIM技术在铁路施工中的应用[J]. 数字通信世界，2020(2)：7-8.
JING L L. Application of 3S and BIM technology based on beidou in railway construction[J]. Digital Communication World，2020(2)：7-8.

[9] 杨华伟. 铁路转体桥施工BIM技术研究与应用[D]. 石家庄：石家庄铁道大学，2021.
YANG H W. Research and application of BIM technology in railway swivel bridge construction[D]. Shijiazhuang：Shijiazhuang Railway University，2021.

[10] 袁洋. 新建石港城际铁路跨京九铁路特大桥BIM深化应用技术研究[D]. 石家庄：石家庄铁道大学，2022.
YUAN Y. Research on the deepening application technology of BIM for the new shigang intercity railway cross beijing kowloon railway super large bridge[D]. Shijiazhuang：Shijiazhuang Railway University，2022.



**第一作者：**肖改琴(1998—)，女，硕士研究生，研究方向为基于质量的铁路桥梁智能建造。E-mail：1261874032@qq.com。



**通信作者：**刘林芽(1973—)，男，教授，博士，博士生导师，国家重点研发计划首席科学家，国家百千万人才工程人选，研究方向为铁路环境振动与噪声控制。E-mail：lly1949@163.com。

(责任编辑：熊玲玲)