

DOI: 10.3969/j.issn.1674-0696.2021.12.13

基于 BIM 技术的桥梁模型设计及信息处理研究

蒋浩鹏 姜谔男

(大连海事大学 道路与桥梁工程研究所 辽宁 大连 116026)

摘要: 随着我国桥梁设计手段不断更新,以 BIM 技术为主导的设计方式也在逐渐增多,但设计模式各不相同。为使 BIM 桥梁模型设计更加简便、准确及信息处理更加有效,首先立足于 IFC 标准为理论基础,结合我国桥梁设计及施工管理的技术路线,改进了基于 IFC 标准的 BIM 桥梁设计及施工管理技术模型;其次根据建筑信息模型分类标准构建了桥梁 BIM 模型信息数据编码规则,最后通过 Revit 软件对该项目成功进行了建模及深化设计等过程实践。研究成果可为 BIM 技术在我国桥梁建设中的发展提供理论支持和技术经验。

关键词: 桥梁工程; IFC 标准; BIM 技术; 桥梁模型; 信息处理

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2021)12-082-08

Bridge Model Design and Information Processing Based on BIM Technology

JIANG Haopeng, JIANG An'an

(Institute of Road and Bridge Engineering, Dalian Maritime University, Dalian 116026, Liaoning, China)

Abstract: With the continuous updating of bridge design methods in China, the design methods dominated by BIM technology are also increasing, but the design modes are different. In order to make BIM bridge model design more simple, accurate and information processing more effective, the technical model of BIM bridge design and construction management based on IFC standards was improved firstly, which was based on the IFC standard as the theoretical basis and combined with the technical route of bridge design and construction management in China. Secondly, the bridge BIM model data coding rules were constructed according to the building information model classification standards. Finally, the modeling and deepening design of the project were successfully carried out through Revit software. The research results can provide theoretical support and technical experience for the development of BIM technology in bridge construction in China.

Key words: bridge engineering; IFC standard; BIM technology; bridge model; information processing

0 引言

随着我国在桥梁工程建设中不断应用 BIM 技术,学界对 BIM 模型、BIM 标准问题的探索也在不断深入^[1]。BIM 技术为项目各个参与方提供了互相交流、信息互换平台,不仅是一款信息传递工具,更是一项将工程项目与信息技术结合的技术^[2-4]。

目前学界对 BIM 研究方兴未艾。例如:周游^[5]基于 BIM 对立交工程开展分析;李成涛等^[6]完成了对桥梁病害模型的三维可视化展示。由此发现,我

国桥梁建设仅仅在基础建模阶段应用到了 BIM 技术^[7-8],且并没有合适的技术模型去规范 BIM 桥梁设计、施工流程。

基于此,笔者以 BIM 技术中的 IFC 传输标准为基础,优化了基于 BIM 的桥梁设计及施工管理技术模型,为建模提供理论依据;利用 Revit 软件规范了桥梁 BIM 模型的设计模式及步骤,从而提高了模型的设计效率;根据建筑信息模型分类标准构建了桥梁 BIM 模型信息数据编码规则,填补了我国 BIM 桥梁编码理论的空白;为我国在桥梁建设应用 BIM 技

收稿日期: 2020-05-05; 修订日期: 2020-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(51678101); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(3132014326)

第一作者: 蒋浩鹏(1995—),男,河北邢台人,博士研究生,主要从事岩土工程及 BIM 技术方面的研究。E-mail: hoperjiang_2017@126.com

通信作者: 姜谔男(1971—),男,山东烟台人,教授,博士,主要从事岩土工程方面的研究。E-mail: jiangannan@163.com

术提供理论支持和技术经验。

1 IFC 传输标准及编码方式

1.1 IFC 传输标准概述

IFC(industry foundation class) 标准即工业基础类标准^[9]。IFC 提供了建筑工程实施过程所处理的各种信息描述及定义规范,其可以是一个构件实体也可用于抽象概念。IFC 标准总共由 4 个层次构建,分为资源层、核心层、共享层和领域层^[3,10-12]。因道路桥梁等建设涉及的项目较多,同时运行多个软件或程序可能会存在数据无法完全兼容,导致数据不能交换等问题,而 IFC 标准极大程度上解决了数据交换和共享问题,节约了时间和经济成本。桥梁工程涉及项目类型种类繁多,如墩台数据、上部梁板尺寸数据、护栏、标线等都需要信息处理,而 IFC

标准强大的数据交换和兼容能力能极大程度上解决桥梁构件信息数据的交换和共享问题。

1.2 模型数据编码规则

对 BIM 桥梁建设项目而言,构件模型数量种类较多,如墩台数据、梁板尺寸等,在实现信息交互等问题上依旧还不能进行有效沟通^[13],更无法在运营阶段发挥效用,建设工程各方仍是独立建立自己所需的信息模型。故针对该问题,笔者建立了基于 BIM 的模型数据编码规则。

为保持 BIM 设计总体流程与各阶段 BIM 设计详细流程信息交换内容的统一性和一致性,在各阶段设计过程中,桥梁、道路等专业信息交换需求用模型和信息表示,因此需要通过一定命名规则对流程中涉及的交换信息进行编码。编码 ID 用“*x.n.m*”表示,以桥梁工程为例,如表 1。

表 1 桥梁工程信息交换 ID 编码规则
Table 1 ID coding rules for bridge engineering information exchange

ID	工可阶段	ID	初步设计阶段	ID	施工图阶段
1.2	桥梁总体工可设计模型	2.2	桥梁总体初设设计模型	3.2	桥梁总体施工图设计模型
1.2-01	工可项目设计模型信息	2.2-01	初设项目设计模型信息	3.2-01	施工图项目设计模型信息
1.2-02	工可现状设计模型信息	2.2-02	初设现状设计模型信息	3.2-02	施工图现状设计模型信息
1.2-03	工可规划设计模型信息	2.2-03	初设规划设计模型信息	3.2-03	施工图规划设计模型信息
1.2.1	梁式桥工可模型	2.2.1	梁式桥初设模型	3.2.1	梁式桥施工图模型
1.2.2	拱式桥工可模型	2.2.2	拱式桥初设模型	3.2.2	拱式桥施工图模型
1.2.3	斜拉桥工可模型	2.2.3	斜拉桥初设模型	3.2.3	斜拉桥施工图模型
1.2.4	悬索桥工可模型	2.2.4	悬索桥初设模型	3.2.4	悬索桥施工图模型

其信息交换 ID 编码规则可设置如下:①“*x*”表示阶段,“1”表示工可阶段,“2”表示初步设计阶段,“3”表示施工图阶段;②“*n*”表示专业,“1”表示道路专业,“2”表示桥梁专业,“3”表示给水排水专业,“4”表示电气专业。由表 1 可知:*n* 还有如下定义:“01”表示项目设计模型信息,“02”表示现状设计模型信息,“03”表示规划设计模型信息。即两位数代表设计模型信息,一位数代表专业;③“*m*”表示专业子内容,在设计过程中确定编码。针对桥梁专业而言,“1”表示梁式桥,“2”表示拱式桥,“3”表示斜拉桥,“4”表示悬索桥,“5”表示其他形式桥梁。

根据 BIM 桥梁模型信息交换编码规则,具体到构件级的编码问题,将编码结构分为表代码(*i*)、大类代码(*j*)、中类代码(*k*)和细类代码(*l*)这 4 部分,表达形式为 *i-j.k.l*。通过考虑工程实际,笔者首先考

虑二位数编码,如表 2~4。其中:①表代码代表道路部分及桥梁部分,“01”为道路部分,“02”为桥梁部分;②桥梁部分,大类代码“01”代表主梁,“02”为纵横向联系,“03”为桥墩,“04”为桥台,“05”为基础,“06”为桥梁附属结构。中类代码则是大类代码的细分也称子系统,以主梁为例,则分混凝土梁、钢梁、钢混组合梁,对应的中类代码分别为 01~03,其余中类代码见表 3;③细类代码更加细化了构件种类,也代表了各模型单元,并可按照其组成部分进行扩展,具有可扩延性、兼容性和综合适用性原则。以中类代码的混凝土梁为例,分为 T 梁、小箱梁、空心板梁、实心板梁和箱梁,对应的细类代码分别为 01~05,其余细类代码见表 4。

表 2 桥梁部分上部结构构件模型信息编码

Table 2 Model information encoding of some superstructure

components of bridge			
系 统	模型单元	编 码	
主梁部分	T 梁	02-01.01.01	
	小箱梁	02-01.01.02	
	混凝土梁	空心板梁	02-01.01.03
		实心板梁	02-01.01.04
		箱梁	02-01.01.05
	钢梁	钢板梁	02-01.02.01
		钢箱梁	02-01.02.02
		钢桁梁	02-01.02.03
	钢-混凝土组合梁	钢板组合梁	02-01.03.01
		钢箱组合梁	02-01.03.02
钢桁组合梁		02-01.03.03	
波形钢腹板组合梁		02-01.03.04	
纵、横向联系	横梁	混凝土横梁	02-02.01.01
		钢横梁	02-02.01.02
	横隔板	混凝土横隔板	02-02.02.01
		钢横隔板	02-02.02.02

表 3 桥梁部分下部结构构件模型信息编码

Table 3 Model information encoding of substructure components of

bridge		
系 统	模型单元	编 码
桥墩	盖梁	混凝土盖梁 02-03.01.01
		钢结构盖梁 02-03.01.02
	墩柱	混凝土柱 02-03.02.01
		钢-混凝土组合柱 02-03.02.02
	系梁	混凝土系梁 02-03.03.01
桥台	台帽	02-04.01.01
	U 型台身	02-04.02.01
	实体式台身	02-04.02.02
	肋板式台身	02-04.02.03
基础部分	承台	02-05.00.01
	桩基	02-05.00.02

2 BIM 桥梁设计及施工模型

目前,我国在公路桥梁设计、施工领域已逐渐应用了 BIM 技术。但仍存在诸多问题,例如:①目前并没有一款适合我国桥梁建设领域的 BIM 技术模型;② BIM 注重工程信息传递,但我国在桥梁设计、施工管理等阶段大多只关注于模型是否符合工程要求,往往忽略了构件模型信息的综合运用;③目前

表 4 桥梁部分附属结构构件模型信息编码

Table 4 Encoding of model information of bridge parts

系 统	模型单元	编 码
桥梁部分附属结构	防撞护栏	02-06.00.01
	桥头搭板	02-06.00.02
	桥面铺装	02-06.00.03
	桥梁伸缩缝	02-06.00.04
	栏杆	02-06.00.05
	桥面人行道	02-06.00.06
	护坡	02-06.00.07
	抗震挡块	02-06.00.08

桥梁建设技术路线虽然较为齐全,但与 BIM 结合时,也需与其 IFC 信息传递标准相结合,否则在各软件中模型信息无法传递。基于上述 3 类问题,笔者基于 IFC 标准的 BIM 信息传递规则,同时改进了文献[9]中基于 BIM 的桥梁设计标准化技术模型,得到了较为适合我国桥梁设计基于 IFC 标准的 BIM 桥梁设计技术模型,如图 1。

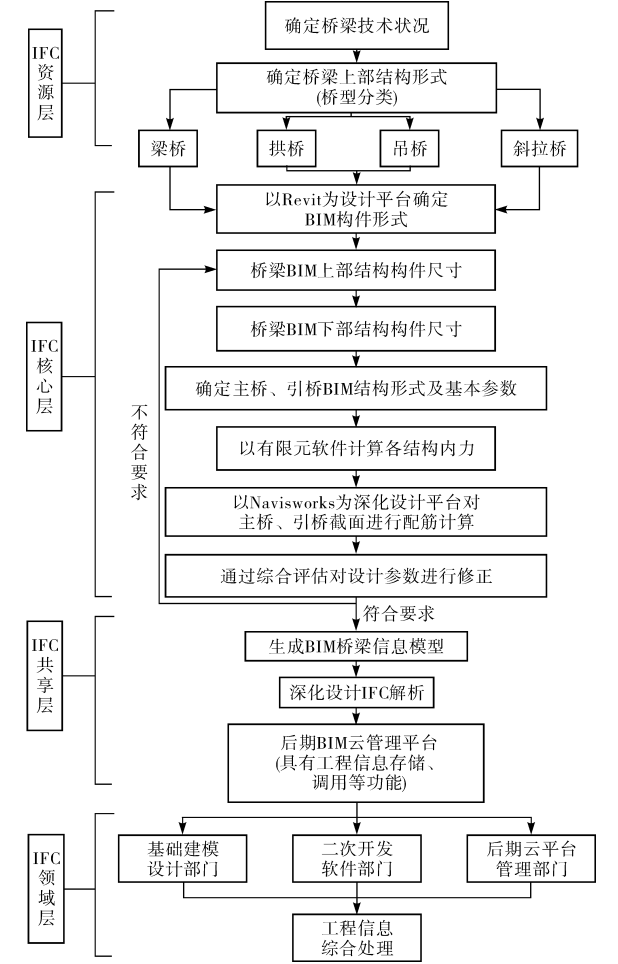


图 1 BIM 桥梁设计技术模型

Fig. 1 BIM bridge design technology model

不仅 BIM 桥梁设计会出现上述问题 ,BIM 桥梁施工管理也会出现信息传输不规则、信息传输丢失等一系列问题。BIM 桥梁施工管理内容不同于公路施工内容 ,其后期综合工程构件信息处理能力更需要一个合适的模型去规范施工管理流程。基于此 ,笔者同样依据 IFC 标准构建模式 ,改进了 BIM 桥梁施工管理技术模型 ,如图 2。

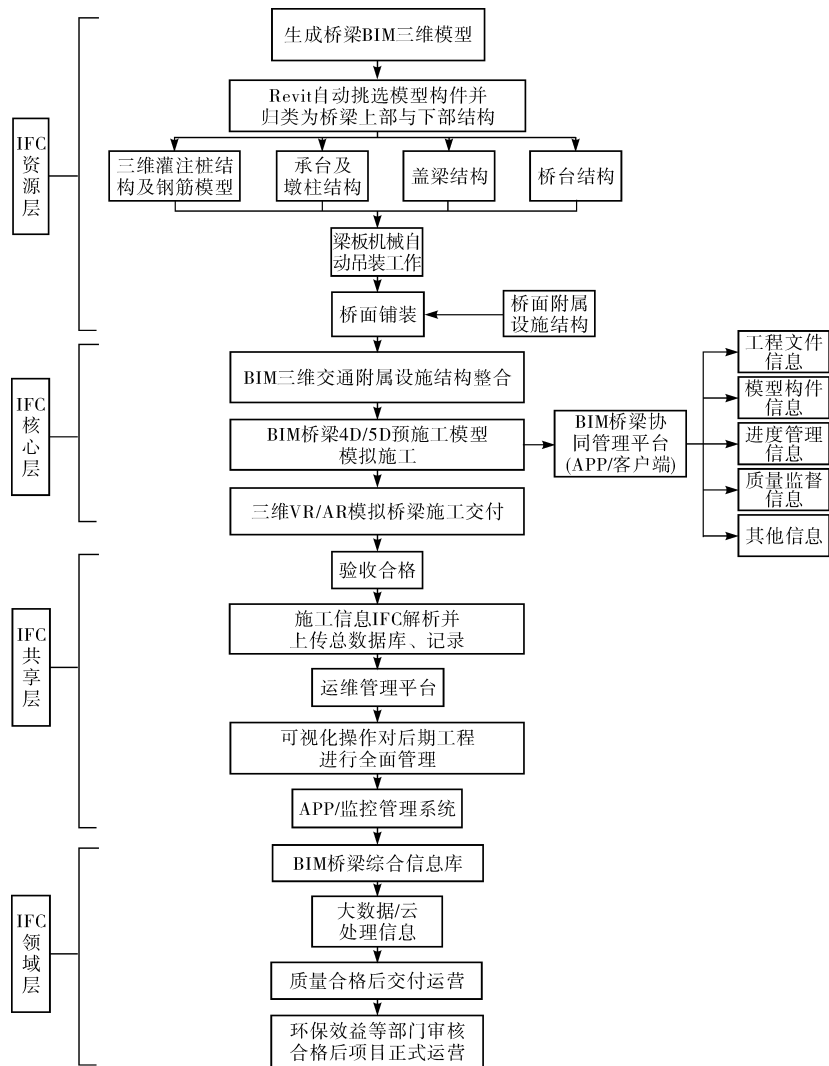


图 2 BIM 桥梁施工管理技术模型

Fig. 2 BIM bridge construction management technology model

3 基于 BIM 的桥梁模型设计实践

桥梁设计、施工及运维阶段应用 BIM 技术需要各自对应的技术路线进行支撑以更准确建立三维模型和后期工程信息管理;且在基础设施建设领域中,桥梁设计需要考虑更多的可能性。桥梁设计不仅应考虑设计的具体影响因素,更应尝试用不同软件来建立桥梁模型。目前,传统桥梁设计中有很多软件,例如:桥梁博士、迈达斯、DICAD、纬地(Hint CAD)等。

随着 BIM 技术在桥梁结构设计、施工上的应用

越来越广泛,传统 2D 设计手段已逐渐乏力。现阶段,桥梁设计不仅要求各专业协同设计其结构形式、利用和控制其资源成本,同时模型数据信息共享和传递更需要标准去规范,并明确其界定。基于此,笔者选用 Revit 软件对桥梁设计阶段进行过程实践,并通过借鉴 IFC 标准数据传输格式,基于实际项目构建了 BIM 桥梁模型信息编码体系,对其进行实践和阶段说明。

3.1 项目概况

以赤城南互通 AK0+984.16A 匝道红河大桥施工图设计实际项目为例。该桥位于赤城南互通内,桥梁中心桩号为 AK0+984.16,该桥平面分别位于直

线(起始桩号: K0+843.16, 终止桩号: K1+028.489)和缓和曲线(起始桩号: K1+028.489, 终止桩号: K1+125.16, 参数 A: 110, 右偏)上, 纵断面位于 $R=1\ 600\text{ m}$ 的竖曲线上; 且墩台径向布置。

3.2 总体设计

该桥依次上跨主线, 全桥共 3 联: $(4\times 25\text{ m}) + (4\times 25\text{ m}) + (3\times 25\text{ m})$; 上部结构第 1、2 联采用预应力砼(后张)小箱梁, 先简支后连续; 第 3 联采用现浇预应力混凝土箱梁; 下部结构桥台采用肋板台, 桥墩采用柱式墩, 墩台采用桩基础。

第 1、2 联装配式预应力混凝土连续小箱梁采用多梁单独预制、简支安装、现浇连续接头的先简支后连续结构体系。桥面由 6 片小箱梁组成, 25 m 跨径梁高 1.4 m, 梁间距 2.7 m。为便于模板制作和外形美观, 主梁沿纵向轮廓尺寸保持不变。第 3 联现浇箱梁, 采用单箱 3 室截面, 箱梁底宽 13.5 m, 悬臂 1.5 m, 箱梁两侧腹板采用相同高度, 桥面横坡由箱梁顶底板平行腹板牵直形成。

该桥平面位于曲线上跨径, 采用折线布孔, 墩顶湿接头及边跨封锚长度为定值, 用预制梁长来调整。故应注意根据不同梁长调整正弯矩钢束长度(在跨中直线部分调整), 保证满足工作段张拉长度; 普通钢筋也应根据梁长进行调整。

3.2.1 桥梁模型创建

该桥梁整体造型设计并不复杂, 但需注意的:



图3 0号桥台“族”右立面和整体模型

Fig. 3 Right elevation and overall model of abutment 0 “family”

在红河大桥上部结构实际建模过程中, 不仅要考虑梁板纵坡问题, 更需注意梁尺寸和形状。通过 Revit 软件放样融合功能, 按照红河大桥平面位置, 绘制出梁板路径和前后轮廓, 得到最终上部梁板整体结构; 同理, 按照放样融合和选择路径可继续实现上部铺装层、两侧护栏的模型建立, 最终得到上部结构整体模型, 如图 4。

箱梁高度会随着高程改变而变化, 且 3 联箱梁的纵坡坡度也各不相同, 故在上部结构建模时需将 3 联箱梁分开建模, 以保证两边桥台位置更加精确。

不同于传统设计思路, 为建模更方便和准确, 本项目采用由下部结构向上建模, 具体如下: 对下部结构先建立桥墩和系梁模型, 进而是盖梁; 同样对桥台也可采用相同方式; 对上部结构可先设计箱梁结构, 由于本项目为 3 联, 且分属不同形式, 故可分开设计, 其后设计上部铺装层、护栏、标线及其他交通附属设施。

建模过程中, 要注意桥梁纵坡和变宽等问题。本项目以 Revit 2014 为主要设计软件, 其分为两个设计文件: 族文件与项目文件。在设计过程中, 具体的桥梁构件会以族文件形式展现, 将下部和上部结构设计完成后载入到项目文件中进行拼装, 载入族文件过程中需要注意单位变换, 族文件和项目文件中的单位默认为 mm。

桥梁桩、承台和盖梁等构件都是直接通过 Revit 软件的“族”功能进行设计。首先在族文件中设置好参照标高线和参照平面, 以方便绘制桥台和桥墩平面尺寸, 通过拉伸和融合操作创建出桥台和桥墩的 3D 实体模型, 最终在模型基础之上添加工程参数和材质信息。图 3 分别为 0 号桥台的右立面和整体模型。

Revit 项目文件是统一的整体, 其不仅能将“族”文件中所录入工程信息进行添加和整理, 更可对整体模型进行数据采集和分析^[14]。对模型拼装和制作完成之后, 可通过 Revit 导出到 FBX 三维格式文件和 IFC 格式文件。由于 Autodesk 公司各 BIM 软件可通过其互通, 故将 FBX 文件导入到 Navisworks 中进行下一步深化设计。

初设模型上传到协同共享平台以提供协同参照。

施工图阶段是桥梁工程设计最后阶段,具体包括:①在初步设计阶段的桥梁模型基础上加以具体和加深,深化主要构造和细部设计;②注明施工过程中的注意要点等信息,使得各种技术指标满足规范要求;③完成施工图设计后,将模型提交至桥梁

专业负责人进行校审;④将模型上传到协同共享平台提供协同参照。

按表1红河大桥模型信息编码见表5。根据桥梁结构构件模型信息编码(表2~表4),得到红河大桥中各个构件模型信息代码,如表6。

表5 红河大桥模型信息交换编码

Table 5 Model information exchange encoding of Honghe Bridge

ID	工可阶段	ID	初步设计阶段	ID	施工图阶段
1.2	桥梁总体工可设计模型	2.2	桥梁总体初设设计模型	3.2	桥梁总体施工图设计模型
1.2.1	梁式桥工可模型	2.2.1	梁式桥初设模型	3.2.1	梁式桥施工图模型

表6 红河大桥模型构件信息编码

Table 6 Model component information encoding of Honghe Bridge

系 统	模型单元	编 码
上部结构	主梁	
	小箱梁	02-01.01.02
	箱梁	02-01.01.05
	纵、横向联系	
	混凝土横梁	02-02.01.01
	混凝土横隔板	02-02.02.01
下部结构	桥墩结构	
	混凝土盖梁	02-03.01.01
	钢-混凝土组合柱	02-03.02.02
	混凝土系梁	02-03.03.01
	桥台结构	
	台帽	02-04.01.01
附属结构	基础	
	肋板式台身	02-04.02.03
	承台	02-05.00.01
	桩基	02-05.00.02
	防撞护栏	02-06.00.01
	桥头搭板	02-06.00.02
	桥面铺装	02-06.00.03
	桥梁伸缩缝	02-06.00.04
	栏杆	02-06.00.05
	护坡	02-06.00.07
	抗震挡块	02-06.00.08

将上述工程编码信息按照相对应的桥梁工程设计技术路线依次以资源层、核心层、共享层及领域层顺序向下进行传递。这样可避免信息疏漏,全面、有效及准确的将工程信息交付给建设单位和运营部门。待效益、环保等部门审核合格后项目可正式运营。

4 结 语

随着BIM技术在桥梁设计领域地位的不断提高,应用方式也逐渐成熟;但对我国而言,BIM技术大多仅停留在建模阶段。笔者首先以BIM技术中

的IFC标准为基础,优化了基于BIM的桥梁设计及施工管理技术模型;同时以红河大桥施工图设计实际项目为例,利用Revit软件规范了桥梁BIM模型的设计模式及步骤,提高了模型设计效率;最后根据建筑信息模型分类标准构建了桥梁BIM模型信息数据编码规则,填补了我国BIM桥梁编码理论空白,为BIM技术应用于桥梁建设提供了理论支持和技术经验。

随着桥梁形式逐渐增多,基于BIM的桥梁模型设计方式和BIM桥梁编码理论也应进一步完善,但BIM技术的优势尚未完全体现。故笔者下阶段研究重点是:如何将模型信息代码应用到BIM各软件的数据交换。相对传统设计方式及信息处理而言,BIM技术能显著提高设计效率,缩短项目建设周期。

参考文献(References):

- [1] AKINCI B, FISHCHER M, KUNZ J. Automated generation of work spaces required by construction activities[J]. *Journal of Construction Engineering & Management*, 2002, 128(4): 306-315.
- [2] 沈力. 基于BIM的建筑业大数据研究初探[D]. 成都: 西南交通大学, 2016.
SHEN Li. *BIM-Based Primary Research on the Big Data of the AEC Industry*[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2016.
- [3] 孙建诚, 蒋浩鹏, 朱双晗. 基于BIM技术的三维公路模型设计探讨[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019, 38(1): 30-34.
SUN Jiancheng, JIANG Haopeng, ZHU Shuanghan. Discussion on the design of 3D highway model based on BIM technology[J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science)*, 2019, 38(1): 30-34.
- [4] CHEN Lijuan, LUO Hanbin. A BIM-based construction quality management model and its applications[J]. *Automation in Construction*, 2014, 46(10): 64-73.
- [5] 周游, 陈建丰, 范宇丰, 等. BIM技术在市政立交设计阶段的应用研究[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2019, 38(7): 60-65.
ZHOU You, CHEN Jianfeng, FAN Yufeng, et al. Application of BIM technology in the design phase of municipal interchange project

- [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science)* , 2019 , 38(7) : 60-65.
- [6] 李成涛,章世祥.基于 BIM 技术的桥梁病害信息三维可视化研究[J].公路,2017(1) : 76-80.
- LI Chengtao , ZHANG Shixiang. Research on 3D visualization of bridge disease information based on BIM technology [J]. *Highway* , 2017(1) : 76-80.
- [7] 胡振中,张建平,张新.基于四维时空模型的施工现场物理碰撞检测[J].清华大学学报(自然科学版) 2010 , 50(6) : 820-825.
- HU Zhenzhong , ZHANG Jianping , ZHANG Xin. Construction collision detection for site entities based on 4-D space-time model [J]. *Journal of Tsinghua University(Science and Technology)* , 2010 , 50(6) : 820-825.
- [8] 吴双月.基于 BIM 的建筑部品信息分类及编码体系研究[D].北京: 北京交通大学,2015.
- WU Shuangyue. *Study on Information Classification and Coding Systems of Building Components Based on BIM*[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University , 2015.
- [9] 孙建诚,蒋浩鹏,杨文伟,等.基于 BIM 的三维参数化桥梁标准建模方法研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版) ,2019 , 38(10) : 19-24.
- SUN Jiancheng , JIANG Haopeng , YANG Wenwei , et al. Method of three-dimensional parametric bridge standard modeling based on BIM technology [J]. *Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science)* , 2019 , 38(10) : 19-24.
- [10] KANG T W. Object composite query method using IFC and landXML based on BIM linkage model [J]. *Automation in Construction* , 2017 , 76: 14-23.
- [11] 张忻.BIM 在高架桥管养项目中的应用[D].成都: 西南交通大学,2010.
- ZHANG Xin. *The Application of the BIM on the Viaduct Maintenance Project*[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University , 2010.
- [12] 满庆鹏,孙成双.基于 IFC 标准的建筑施工信息模型[J].土木工程学报,2011 , 44(增刊) : 239-243.
- MAN Qingpeng , SUN Chengshuang. Construction information model based on IFC [J]. *China Civil Engineering Journal* , 2011 , 44(Sup) : 239-243.
- [13] 李坤.BIM 技术在地铁站结构设计中的应用研究[J].铁道工程学报,2015 , 32(2) : 103-108.
- LI Kun. The application study of BIM technology in the structure design of subway station [J]. *Journal of Railway Engineering Society* , 2015 , 32(2) : 103-108.
- [14] 刘志强,吕学,张利.基于多分类 GA-SVM 的高速公路 AID 模型[J].系统工程理论与实践,2013 , 33(8) : 2110-2115.
- LIU Zhiqiang , LYU Xue , ZHANG Li. Highway automatic incident detection based on multi-class classification and GA-SVM [J]. *System Engineering—Theory and Practice* , 2013 , 33(8) : 2110-2115.
- [15] 武雪玲,沈少青,牛瑞卿.GIS 支持下应用 PSO-SVM 模型预测滑坡易发性[J].武汉大学学报(信息科学版) ,2016 , 41(5) : 665-671.
- WU Xueling , SHEN Shaoqing , NIU Ruiqing. Landslide susceptibility prediction using GIS and PSO-SVM [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University* , 2016 , 41(5) : 665-671.

(责任编辑: 刘 韬)