

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2023.05.024

基于BIM+GIS技术的常规桥梁设计信息 数字化交付方法研究

但晨,朱明*,肖春红

(四川省交通勘察设计研究院有限公司,四川 成都 610017)

摘要:常规桥梁设计及施工方法已比较成熟,但设计成果主要以纸质文件的形式交付,设计信息在桥梁建设及后期运营维护阶段的数字化应用难度较大。该文基于现有标准体系,分别对常规桥梁结构实体分解、BIM模型信息和分类编码及分部分项规则进行系统性研究,制定常规桥梁设计信息数字化交付标准,并运用Revit软件研发常规桥梁快速建模软件,结合文中所述数字化交付标准,研究几何信息、属性信息、工程数量、清单细目号等关键设计信息与分部分项的关联关系,在满足工程建设需求的前提下实现设计信息的数字化、结构化存储。同时利用GIS平台实现各类型设计数据融合,并基于B/S构架以网络服务的形式打通建设管理平台的数据流转渠道。研究表明:依托该文所述数字化交付方法移交设计成果,不仅可满足现有技术规范,有效保证移交设计信息的准确性和完整性,实现设计成果的数字化交付,同时也能够适应公路工程建设中多用户并联工作的需求,显著提高建设管理的效率。

关键词:常规桥梁;BIM+GIS;分部分项;信息挂接;数字化移交

中图分类号:U495,U445.1

文献标志码:A

0 引言

在国家的大力倡导下,建筑信息模型(BIM)技术的应用项目和应用范围都在逐年扩大^[1-6]。BIM技术以三维的方式整合项目几何要素,建立相对应的信息模型,减少在建设各阶段传递过程中的信息流失^[7-10]。在GIS平台对模型进行轻量化处理^[11-12],并实现建设管理中各种数据的标准化呈现,最终打造成建设管理阶段全数据的集成平台^[13-15]。以BIM+GIS技术服务建设管理的理念已应用于多条高速公路项目,利用信息技术重构工作模式,提升审批流程执行效率,规范资料编写、审查和使用,有效为公路工程提速增效提供了技术支撑^[16]。

根据现有中国BIM技术应用水平和设计环境现状,设计企业数据向业主及施工企业进行设计成果交付,必须提供具有法律效力的图纸成果。为实现

建设及运营阶段的工程数字化应用,BIM企业在设计完成后提供图纸数字化服务。但现有的数据交付大多是针对单一管理平台的专项开发,数据交付并未形成中间成果,未来在省级交通运输管理平台内,不同项目数据融合的容错性和稳健性还需验证。随着城市信息化模型(CIM)在北京、重庆、深圳等多个城市进行了项目试点^[17],而向不同城市的管理平台提供整体数字化信息服务是可预见的业态形式,故研究设计信息的交付方式和交付标准具有十分重要的意义。

1 设计信息交付分析

本文研究对象为常规桥梁,涵盖了四川高速公路建设中主要采用的简支T梁桥型。简支T梁桥型可以满足《四川省高速公路标准化设计导则》对于标准化设计、标准化施工的要求,也是能够提供规范化设计信息的前提。

收稿日期:2023-05-19(修改稿)

基金项目:四川省交通运输厅科技项目(编号:2019-B-02)

作者简介:但晨,男,硕士,工程师.E-mail:kvab2003@163.com

*通信作者:朱明,男,大学本科,高级工程师.E-mail:ming@bimscodi.cn

1.1 设计信息内容

勘察设计单位和建设管理单位向施工单位提供的设计文件主要包含:设计图纸、工程量清单、工程量计量规则等,主要包含了桥梁方案、结构配筋、坐标高程、工程数量、工程计量等相关信息。施工单位需根据国家法规、行业规范、主管单位指导意见和工程实际情况编写分部分项,并以分部分项为基础,进行资料绑定、质量评定、计量支付业务,并提供工程进度管理。以数字化方式进行建设管理可以实现设计文件中碎片信息的结构化梳理,达到分部分项规范化,业务流转信息化、过程管控精细化、建设进度可视化的目标。针对这些目标,设计信息交付应该包含以下内容:

(1) 三维模型,包括桥梁三维模型、测绘地形数据和航测影像。可以提供清晰的桥梁方案预览,可视化的进度管理,并辅助复杂地形环境的施工方案组织。

(2) 工程实体分解(Engineering Breakdown Structure, EBS)^[18],二维设计图纸中的设计信息均以扁平化、碎片化的方式提供,而在生成三维模型的同时,以树状结构表达桥梁工程中各构件的层次关系。

(3) 分部分项,是工程建设管理的主体骨架,是公路工程中工作分解结构(Work Breakdown Structure, WBS)^[19]的实现方式,以树状结构分解桥梁建设工作后,对工程业务进行管理。

(4) 工程数量和清单细目号,结合计量规则,数量和细目号用于指导项目概算、材料采购和计量支付。

(5) 工程图纸,在现有技术条件下,将设计图纸中的所有信息反馈在三维模型中代价过大,并且现行国家标准中需以图纸作为法律依据。工程图纸以设计单位电子成果挂接在工程实体分解拆分后的分项上。

1.2 设计信息标准

根据现行规范体系,结合2021年6月正式实施的《公路工程信息模型应用统一标准》《公路工程设计信息模型应用标准》和《公路工程施工信息模型应用标准》,本文对设计信息交付构建了一套完整的交付标准体系,用以保证数据在流转过程中的规范性和完整性。

(1) 《公路工程信息模型实体结构分解指南》(后简称《实体分解指南》),是指采用系统分析方法将公路工程对象按照专业系统分解成相互独立、相互联系的工程项目单元,作为工程项目管理的对象,满足

管理的需求,用于指导模型单元分解原则,实体分解实例见图1。

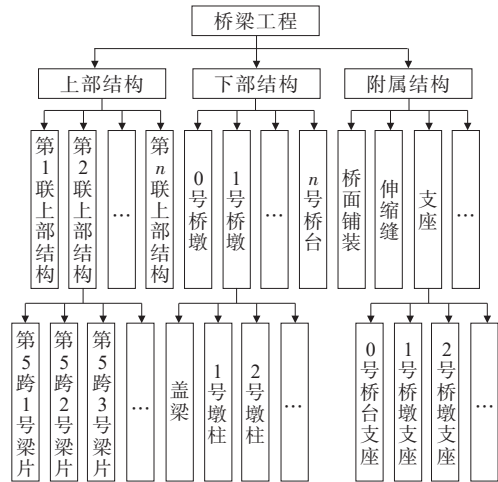


图1 实体结构分解

(2) 《公路工程信息模型分类与编码指南》(后简称《分类编码指南》),采用面分类法,基于ISO 012006-2框架对信息模型进行分类和编码,是信息在流通过程中的关键标识。对公路工程的单体、构件、空间、产品等要素进行编码,实现公路工程全生命周期信息的交换、共享。

(3) 《公路工程设计信息模型应用指南》(后简称《模型应用指南》),对信息模型的交付成果、模型精度、信息深度、存储格式进行了详细规定。

(4) 《公路工程信息模型分部分项划分应用手册》(后简称《分部分项划分手册》),根据《公路工程质量检验评定标准》及《公路工程施工监理规范》的规定,单位工程、分部工程和分项工程应在施工准备阶段按照标准要求进行划分,划分成果如图2所示。总监办应负责复核划分结果,并报予建设管理单位完成终审。单位、分部及分项工程划分是工程项目管理的一条主线,如工程质量检验评定(验收)、计量支付等均以分项工程为基础。

2 数字化交付服务

设计信息的数字化交付服务应该以工程业务为导向,对设计图纸、工程数量表、工程量规则等原始设计数据进行结构化,提供包括模型数据,工程数据,业务信息和设计方案等在内完整数据体系,完善基础功能应用,在GIS平台进行模型和数据融合。

施工标段	单位工程	分部工程	分项、子分项工程
施工标段 ZCB1-1	施工标段 ZCB1-6	K298+790 清水河右线大桥	▼ 右幅_1号桥墩_基础及下部构造
施工标段 ZCB1-2	▶ K298+790 清水河右线大桥	▶ 右幅_0号桥台_基础及下部构造	▼ 基础
施工标段 ZCB1-3	▶ K299+500 新房子右线大桥	▶ 右幅_1号桥墩_基础及下部构造	[1-0] 右幅_1-0号_钻孔灌注桩
施工标段 ZCB1-4	▶ ZK298+794.5 清水河左线大桥	▶ 右幅_2号桥墩_基础及下部构造	[1-1] 右幅_1-1号_钻孔灌注桩
施工标段 ZCB1-5	▶ K299+475 新房子左线大桥	▶ 右幅_3号桥墩_基础及下部构造	右幅_1号桥墩_地系梁
施工标段 ZCB1-6	▶ 石梨乡隧道	▶ 右幅_4号桥墩_基础及下部构造	▼ 桥墩
施工标段 ZCB1-7	▶ 石梨互通式立交_AK0+302.500_A 匝道大桥	▶ 右幅_5号桥墩_基础及下部构造	右幅_1号桥墩_0号_圆墩
施工标段 ZCB1-8	▶ 石梨互通式立交_BK0+148.00_B 匝道大桥	▶ 右幅_6号桥墩_基础及下部构造	右幅_1号桥墩_1号_圆墩
施工标段 ZCB1-9	▶ 石梨互通式立交_CK0+112.00_C 匝道大桥	▶ 右幅_7号桥墩_基础及下部构造	右幅_1号桥墩_墩系梁
施工标段 ZCB1-10	▶ 石梨互通式立交_DK0+184.5_D 匝道1号大桥	▶ 右幅_8号桥墩_基础及下部构造	右幅_1号桥墩_支座垫石
施工标段 ZCB1-11	▶ 石梨互通式立交_DK0+447.0_D 匝道2号大桥	▶ 右幅_9号桥墩_基础及下部构造	右幅_1号桥墩_盖梁挡块
施工标段 ZCB1-12	▶ 石梨互通式立交_K296+673.5_碧迹河右线特大桥	▶ 右幅_10号桥台_基础及下部构造	右幅_1号桥墩_钢筋混凝土盖梁
施工标段 ZCB1-13	▶ 石梨互通式立交_ZK296+658.25_碧迹河左线特大桥	▶ 右幅_第1联_上部构造现场浇筑	
施工标段 ZCB1-14	▶ 石梨互通式立交_ZK296+658.25_碧迹河左线特大桥	▶ 右幅_第1联_上部构造预制和安装	
施工标段 ZCB1-15	▶ 碧迹河行洪隧道	▶ 右幅_第2联_上部构造现场浇筑	
施工标段 ZCB1-16	▶ 路基工程	▶ 右幅_第2联_上部构造预制和安装	
施工标段 ZCB1-17	▶ 路面工程	▶ 右幅_第3联_上部构造现场浇筑	
施工标段 ZCB1-18	▶ 桥面系、附属工程及桥梁总体	▶ 右幅_第3联_上部构造预制和安装	
施工标段 ZCB1-19			
施工标段 ZCB2-19	▶ 路基工程		
施工标段 ZCB2-20	▶ 路面工程		
施工标段 ZCB2-21	▶ 桥面系、附属工程及桥梁总体		

图2 分部分项划分

2.1 数字化交付服务架构

移动互联时代的技术冲击为设计信息交付提供了新的思路,以B/S(Browser/Server)架构为主体,将系统功能实现的核心部分集中到服务器上,客户以轻客户端的方式实现与数据的交互。这种模式十分适用于工程建设单位硬件条件差、参建人员多的现实情况。通过网络提供软件服务(SAAS)的形式也具备减少本地部署前期投入,突出信息化软件服务属性的优势。本文数字化交付采用服务器后端+网络服务 SDK 的形式为前端信息化平台提供数据支撑,如图3所示。

数字化交付服务采用三层架构模式进行功能分解,数据层是数据服务的底层基础,包含模型几何网格、工程设计属性、工程数量表格、工程实体分解、分部分项划分、工程清单细目等几个重要数据库,外部数据基于SQL Server 技术进行构建,实现存储和查询过程。从业务流程出发,在应用层以底层数据驱动功能模块,完成技术落地。在BIM+GIS平台完成最终的功能呈现,以图形化方式进行功能交互。

2.2 数字化交付服务的信息支撑

2.2.1 实体分解及参数化建模

Autodesk 平台的 Revit 软件以参数化构件为核心特点,拥有开放的应用程序编程接口(API),对二

次开发相对友好。Revit 族文件即为模型划分的最小单元。本文基于桥梁标准图,以《实体分解指南》作

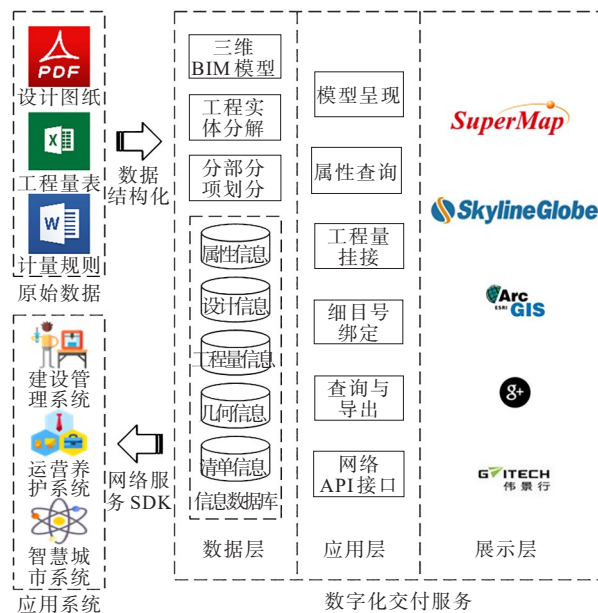


图3 数字化交付服务

为模型划分的基础依据,完成了标准化族库的建立^[20]。利用API接口,在 .Net Framework 4.8 环境下,采用VisualStudio 工具,使用C#开发语言,完成了快速建模程序的开发。工程人员利用程序可以完成工程图纸向三维模型+几何属性的数据结构化,建立BIM模型如图4所示。

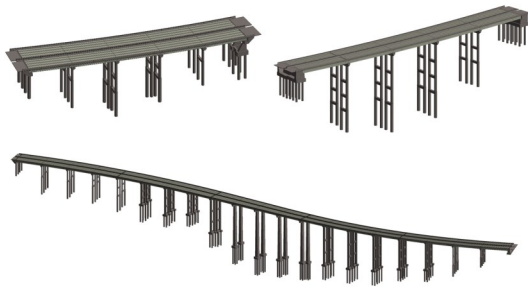


图 4 BIM 模型

2.2.2 模型属性支撑

在三维模型中直接增加属性字段虽然能够提高数据的完整性,但采用三维模型+属性数据库的方式能够提高BIM模型中设计信息的扩展性,以便灵活适应业务发展和规范迭代的需求,是更为合理的技术选择。结合《模型应用指南》和《分类编码手册》,属性数据库中需要包含几个部分的属性信息:

(1) 标识信息,模型元素的工程特性分类和编码信息。

(2) 位置信息,基于公路工程习惯,位置信息以桩号表达总体位置,例如K13+123处的桥墩;以定位编码描述具体位置,例如左幅13号桥墩左起第1列墩柱。

(3) 尺寸信息,用于描述模型几何尺寸。

(4) 设计信息,反映设计意图,并且根据项目目标和需求进行扩展。

信息模型中所容纳信息的丰富程度需要根据不同应用阶段进行调整。① 工程可行性研究阶段应符合L2.0的规定;② 初步设计阶段应符合L3.0或L4.0的规定;③ 施工图设计阶段应符合L4.0的规定。

以桥梁承台为例,所需包含几何属性及属性深度情况如表1所示。

2.2.3 模型属性的挂接

属性数据库与模型的挂接关系通过标识代码实现。标识代码能够唯一确定模型要素,是获取数据查询的反馈的标识。标识代码包含了模型的两个属性:① 模型的类型属性;② 模型的定位属性。类型属性选用工程实体分解结构的分类编码。定位属性采用左右幅+起点墩台号+止点墩台号+行号+列号+层号6个信息组合的定位编码,行约定为顺桥向位置,由小桩号向大桩号从1号开始编号;列约定为横桥向位置,由设计路线向道路两侧从1号开始编

号;层约定为竖向位置,由低标高向高标高从1号开始编号。

以上部结构T梁为例,如图5所示,其标识代码为:R00100200100100172-04.05.01.02,表示为右幅第2跨左起第1根梁片。

表 1 承台信息深度表

信息要求	信息名称	信息类型	单位	L2.0	L3.0	L4.0	取值或备注
	实体ID	文本		△	△	▲	
标识信息	路线ID	文本		○	△	▲	
	编号	文本		○	△	▲	
	分类编码	文本		△	△	▲	
位置信息	定位码	文本		△	△	▲	
	中心桩号	文本		▲	▲	▲	如K5+200
	顶面高程	数值	m	○	○	△	
尺寸信息	长度	数值	cm	○	△	▲	
	宽度	数值	cm	○	△	▲	
	厚度	数值	cm	○	△	▲	
设计信息	混凝土强度	数值	MPa	○	○	▲	
	设计要求	文本		○	○	△	
	设计名称	文本		○	△	▲	

注:表中“▲”表示应包括的信息;“△”表示可包括的信息;“○”表示设计文件中有明确的表达,则应包括的信息。



图 5 标识代码

2.2.4 分部分项划分

依据《分部分项划分手册》,结合建设管理单位、施工单位以及监理单位的工程经验以及项目实践。常规的一座桥梁划分为单位工程,其中包含以一联上部结构、一个桥墩及基础、一个桥台及基础为分解原则的所有分部工程。分项工程大多可以与桥梁构件一一映射,但护栏、挡块等附属构件划分不宜太过零碎,需按照质量评定需求合并分项。

分部分项的划分过程依托于结构化的桥梁设计数据,根据桥梁模型的数据树状结构及相关划分标准,本文制定了自动生成分部分项的标准化流程。基于B/S架构,前端采用React框架,后端采用JAVA进行数据库开发,开发了常规桥梁分部分项的自动化划分程序。生成的WBS树与EBS树具有天然的双向绑定关系。

2.2.5 工程数量结构化和匹配

常规桥梁的工程数量分为通用图和非通用图两种类型,而根据构件材料的组成情况,可以细分为素

混凝土构件表、钢筋混凝土构件表、预应力系统表、支座表和总体数量表5种基础类型,基本可以涵盖常规桥梁涉及的主要构件的工程数量表类型。

设计图纸提供的原始工程量表格需统一为上述5种基础类型表格的标准形式,以便数据读取。本文研究了清单计量规则,针对这5种标准表格进行开发,在对标准表格内信息进行数据核查后,将不同模型元素的工程量数据按照数据类型、定位信息、元素类型、工程材料信息、工程数量、计量数量以及清单细目号进行结构化存储,如表2、3所示。

表2 工程数量明细表

编号	钢筋							C30混凝土/m ³
	规格/ mm	单根长/ cm	根数/ 根	总长/ m	延米重/ (kg·m ⁻¹)	总重/ kg	合计/ kg	
1	20	853.8	148	1 263.62	2.470	3 121.15	3 121.15	
2	12	1 710.0	37	632.70	0.888	561.84		
3	12	1 564.0	5	78.20	0.888	69.44		
4	12	207.1	142	294.08	0.888	261.14	1 127.26	19.8
5	12	67.1	296	198.62	0.888	176.37		
6	12	164.6	40	65.84	0.888	58.47		

表3 工程数量计量表

材料名称	单位	工程数量	计量数量	清单编号	值类型
现浇C30混凝土	m ³	19.80	19.80	410-2-f-2	double
HRB400(20 mm)	kg	3 121.15	3 121.15	403-2-b	double
HRB400(12 mm)	kg	1 127.26	1 127.26	403-2-b	double

工程量表需要以两种模式进行存储:①工程数量明细表;②工程数量计量表。明细表主要用于钢筋加工、工程采购的数据支撑,监理部门对工程量数据的复核也需要明细情况作为依据。计量表由明细表汇总计算而成,工程材料颗粒度需要与工程量清单保持一致,应用于后期工程计量支付体系。

工程量与模型结构的匹配分为通用图和非通用图两种情况。通用图需要通过关键几何信息进行数据匹配,例如160型25 m简支T梁,伸缩缝信息(160型)、跨径信息(25 m)和元素类型(T梁)信息作为匹配条件,获取数据库中的基础数据信息。由于设计图纸的出图规范要求,单一构件图纸可能由多个部位细部图组成,例如T梁钢筋图实际是由翼缘钢筋、腹板钢筋、梁端钢筋等多张钢筋图纸组成。所以工

程数量检索已考虑多表累加计算的功能。

非通用图的检索方案与属性信息绑定方式一致,采用唯一标识进行匹配。匹配方案如图6所示。

2.2.6 GIS平台

目前行业中既有的BIM应用软件、GIS平台种类繁多且相互独立。不同软件生产出的模型,均无法将模型、信息完整地加载到不同的GIS平台中去。而这样点对点的解决处理机制,显然无法胜任日益增长的技术应用需求。

因此,本文在BIM模型到GIS平台设置中间转化层^[13],如图7所示,实现多BIM平台和多GIS平台的互联互通,实现了BIM模型与信息的有效分离,并按照企业级数据交付标准配置成为标准文件,进入GIS平台,实现模型、数据的完整保留。

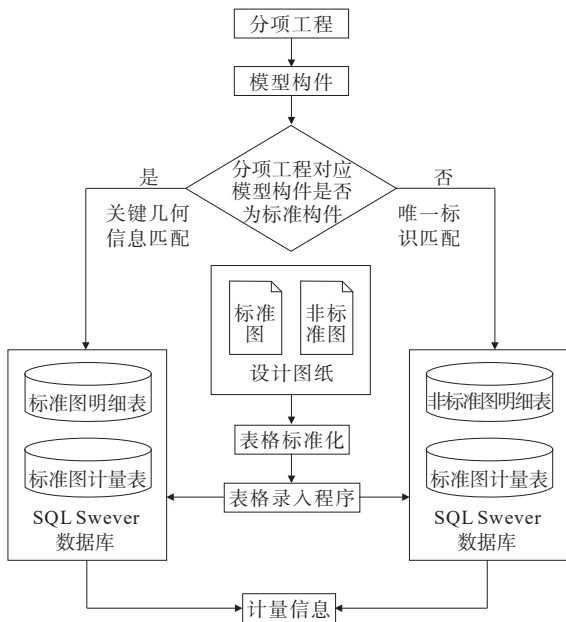


图 6 工程数量匹配方案

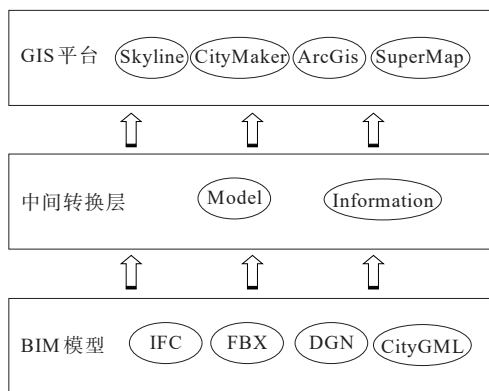


图 7 BIM模型与GIS平台的融合方法

2.3 数字化交付服务的功能

数字化交付服务深入挖掘设计阶段的BIM模型及信息属性,将设计中的工程数量表数据、图纸信息有序绑定在三维几何模型中,并结合施工计量支付所需的清单细目号、质量检验评定所需的分部分项划分以及现场实际施工的工作结构分解,实现BIM数据的结构化、数据化,形成数据底座,可传递至任意GIS平台中。研发了如下功能:

- (1) 模型呈现,不同数据格式的BIM模型均可融入GIS平台,并实现完整的三维呈现。
- (2) 属性查询,通过模型内嵌的分类属性和定位属性,实现从数据库调取完整属性信息。
- (3) 工程量挂接,通过工程实体分解编号和分部分项编号的映射关系,实现工程量数据的调取。

(4) 细目号绑定,分析工程计量规则,对具体构件的工程数量表格,判断是否计量并定位清单细目号,最终形成完整的数量数据。

(5) 查询与导出,实现了基于分部分项和基于清单序号两种呈现形式的工程量清单台账的导出功能,以便施工单位进行复核检查。

3 工程实践

G4216线宁南至攀枝花段高速公路,项目全长166.167 km,桥隧比约68.75%,概算总投资297亿元。是中国高速公路建设史上,单体投资规模最大的项目。项目组历时4个月完成285座常规桥梁模型构建。创建子分项96 353份,绑定工程量信息395 671条。而结构化的桥梁数据以网络服务的方式为《G4216线宁南至攀枝花段高速公路数字竣工档案系统》提供数字化交付,截至2023年9月,已完成线上资料8 130 781份,试验数据报告504 272份,完成一、二期计量均达167.9亿元。本项目具有以下亮点:

(1) 四川省内第一个完成工程设计信息数字化交付。交付系统达成了多成员、多工种在统一平台下的工作愿景,实现了协同工作。实现了地形数据、影像数据、模型数据的多数据源融合。推动了交通部信息模型相关标准落地。

(2) 四川省内第一个把分部分项划分与模型构件进行深度绑定。简化了过去业主方一对多的冗余沟通过程,通过更智能的信息处理,精准地完成分部分项划分,初步达到全线统一标准的要求。而分部分项划分定稿后,对承包人后续的清理工数量等工作仍具有积极意义。

(3) 中国第一个实现无纸化数字竣工档案管理。根据国家电子签名法,委托有资质的第三方对参建单位和人员的身份进行数字认证,构建适用于高速公路建设的数字认证体系。各类施工管理和技术资料,系统提供自动计算、智能评定、验收数据自动生成等功能,保证资料实时在线填报,其对应的检验表、评定表、监理抽检表等均在后台自动引用计算、并完成相关工作。审核电子化,均在系统平台中审核,全序列通过后生成经过数字认证带

有相关人员数字签名的电子文档。最终自动形成项目竣工所需材料。过程资料环环相扣,审核流程严格溯源。

4 结论

基于BIM+GIS的数字化交付方式的技术验证落地,率先在四川省内完成了工程设计信息数字化移交,这将在很大程度上推动四川省内公路工程信息化应用的发展水平。主要结论如下:

(1) 基于C#语言开发,在标准化族库的基础上完成了常规桥梁建模程序、模型属性生成程序、工程数量结构化程序,基于JAVA语言开发完成了分部分项自动化分程序和工程量匹配程序。

(2) 推动了交付标准的落地。项目组编写了《公路工程信息模型实体结构分解指南》《公路工程设计信息模型应用指南》《公路工程信息模型分类与编码指南》《公路工程信息模型分部分项划分应用手册》,实现了建模标准、工程实体划分、分部分项划分等多种数据标准的应用,用以保证数据流转过流畅和规范。

(3) 以项目分部分项为主线,实现了几何信息、属性信息、工程量信息、施工过程信息的底层数据源的统一,实现模型的数据驱动。

参考文献:

- [1] 汪彬.建筑信息模型(BIM)在桥梁工程上的应用研究[D].南京:东南大学,2015.
- [2] 孙建诚,朱双晗,蒋浩鹏.BIM技术在公路工程中的应用研究[J].中外公路,2019,39(4):294-297.
- [3] 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.
- [4] 张鹏飞,杨福瑞,雷晓燕,等.基于Revit平台的高速铁路

大跨斜拉桥工程算量系统研发[J].铁道标准设计,2021,65(8):72-76.

- [5] 仇朝珍,贺波,葛胜锦.Dynamo在桥梁BIM建模中的应用[J].中外公路,2019,39(5):179-182.
- [6] 田琼,周基,芮勇勤,等.基于BIM+GIS的槐树坪隧道信息化施工研究[J].中外公路,2019,39(6):158-161.
- [7] 程焰兵.BIM技术在互通立交设计中的应用[J].中外公路,2021,41(3):376-379.
- [8] 孙建诚,任浩.基于BIM技术的公路协同管理平台研究[J].中外公路,2021,41(4):384-387.
- [9] 仇朝珍,贺波,葛胜锦.Dynamo在桥梁BIM建模中的应用[J].中外公路,2019,39(5):179-182.
- [10] 夏子立,景强,高文博,等.基于BIM的桥梁技术状况评定系统研究[J].中外公路,2023,43(1):83-87.
- [11] 秦川,朱明,赵见,等.高速公路建设管理系统中的BIM模型轻量化研究[J].测绘与空间地理信息,2021,44(6):34-37.
- [12] 常诚.BIM技术在桥梁设计阶段的应用研究[J].中外公路,2021,41(4):131-134.
- [13] 赵见,朱明,王维高,等.基于BIM与设计信息的集成、协同设计和交付方法及系统:CN110222445B[P].2020-02-21.
- [14] 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.
- [15] 方留杨,陈华斌,吴晓南,等.基于无人机三维建模技术的桥梁检测方法研究[J].中外公路,2019,39(1):109-113.
- [16] 赵见,朱明,聂上森,等.基于BIM和GIS的公路工程建设管理技术研究[R].成都:四川省交通勘察设计研究院有限公司,2020.
- [17] 耿丹.基于城市信息模型(CIM)的智慧园区综合管理平台研究与设计[D].北京:北京建筑大学,2017.
- [18] 景凤,郭婧娟.基于BIM的高铁工程量清单EBS\WBS研究[J].铁道标准设计,2020,64(2):68-74.
- [19] 江萍,成虎.施工项目结构分解(WBS)方法及准则研究[J].东南大学学报(自然科学版),2000,30(4):105-108.
- [20] 朱明.桥梁工程BIM技术标准化应用指南[M].北京:机械工业出版社,2020.