

【土木工程 / Architecture and Civil Engineering】

公路工程信息模型标识编码结构研究

梁才, 王长海

广西交通设计集团有限公司, 广西南宁 530029

摘要: 模型标识编码是公路工程信息模型从设计前期到项目建设、运营管理各阶段进行数据集成和有效传递, 从而形成结构化的数据用于集成管理和分析的关键。研究现有信息模型分类编码体系, 分析工程系统分解结构编码、空间和分类编码及工程项目分解结构等多种信息模型标识编码分解结构的适用情况及存在的问题, 综合考虑建设管理、计量支付、档案管理和大数据利用等不同需求, 提出了一种以ISO 12006-2框架为基础, 涵盖项目、工点、构件、位置和版本的“五段位”公路工程信息模型分类编码架构, 并在实际工程建设管理信息化系统中进行了应用。通过模型标识编码有效实现了建设管理信息与模型的关联及数据传递, 为实现信息系统之间数据共享和交换提供了依据。

关键词: 公路工程; 信息模型; 标识编码; 建筑信息模型; 编码结构; 工程项目分解结构; 工程系统分解结构

中图分类号: U495

文献标志码: A

doi: 10.3724/SP.J.1249.2022.04424

Coding structure of highway engineering information model

LIANG Cai and WANG Changhai

Guangxi Communications Design Group Co. Ltd., Nanning 530029, Guangxi Zhuang Autonomous Region, P. R. China

Abstract: Model identification code is the key to the data integration and effective transmission of highway engineering information model from the early stage of design to project construction and operation management, so as to form structured data for integrated management and analysis. By studying the existing information model classification and coding system, this paper analyzes the application and existing problems of various information model identification and code breakdown structures such as engineering system breakdown structure coding, space and classification coding, and work breakdown structure coding, comprehensively considers the different needs of construction management, measurement and payment, file management and big data utilization, and puts forward a "five-grade" highway engineering information model with location and version based on ISO 12006-2 framework, covering projects, construction sites, components, classification and coding framework. This model has been applied in the actual engineering construction management information system. The association and data transmission between construction management information and models are effectively realized through the application of model identification coding, which provides a basis for data sharing and exchange between information systems.

Received: 2021-05-25; **Revised:** 2021-12-18; **Accepted:** 2022-03-28; **Online (CNKI):** 2022-06-27

Foundation: Science and Technology Plan Project of Guangxi Zhuang Autonomous Region (AB19245048); Key Science and Technology Projects of the Ministry of Transport (2019-TG-006)

Corresponding author: Professor level senior engineer WANG Changhai. E-mail: 81991222@qq.com

Citation: LIANG Cai, WANG Changhai. Coding structure of highway engineering information model [J]. Journal of Shenzhen University Science and Engineering, 2022, 39(4): 424-431. (in Chinese)



Key words: highway engineering; information model; identification code; building information model (BIM); coding structure; work breakdown structure; engineering-system breakdown structure

国际字典框架(international framework for dictionaries, IFD)是工程信息模型的3大基石之一,通过引入全局唯一标识符(globally unique identifier, GUID)给每个工程概念定义一个全球唯一的标识码,不同国家、地区和语言的名称和描述与GUID进行对应,为不同环境、语言下统一信息语义,进行国际化信息交换提供了基础^[1-2]。

“十四五”期间是中国推动智慧交通和新型基础设施建设的重要时期。2020年交通运输部在关于推动交通运输领域新型基础设施建设的指导意见中指出,先进信息技术深度赋能交通基础设施,通过精确分析、精细管理等为建设交通强国提供有力支撑。要实现公路设施建管养全生命周期精细化管理,从公路设计前期开始对项目建设、运营各阶段的数据集成和有效传递是关键。而信息模型编码作为人们进行信息统一交换的基础,能最大限度地提高信息识别的准确性以及信息处理和传递的自动化水平^[3]。因此,有必要建立公路信息模型编码体系,在现有模型分类编码的基础上解决模型标识编码问题,以便工程模型和属性信息被计算机快速识别,从而形成结构化的数据用于集成管理。

1 公路工程信息模型编码概况

1.1 信息模型分类编码现状

建筑信息分类体系种类较多。国际建筑信息分类主要包括OmniClass(美国)、Uniclass 2015(英国)、CCS(丹麦)和CoClass(瑞典)等体系,在实际使用时需要根据本地法规和技术要求,结合计算机开发相应的分类工具,用于在全生命周期中已标准化格式传达及呈现建筑信息^[4]。而使用信息分类体系对项目进行全生命周期信息管理还存在不少问题,如缺乏从早期开始使用的信息交换平台、缺乏共同语言造成沟通问题、难以进行资产全生命周期数据偏差的跟踪和信息更新困难等^[5]。文献[6]分析了国内外信息分类标准在建筑业数字管理和资产管理等方面缺乏的概念框架和理论基础,提出了便于生命周期信息交换的可扩展的概念框架,用于定义、管理和集成项目和资产信息。

目前国际上采用的建筑信息分类,以线分类法为主,主要适用于建筑工程,对于土木工程其他专

业支持不完全,只用于传统的文档、造价、档案和规范等管理。现代分类体系包括目前美国采用的OmniClass和英国采用的Uniclass等分类标准,都是基于ISO 12006-2框架,为适应信息技术发展要求而提出的,在工程建设行业的材料供应商和工程经济等行业有较广泛的应用。

中国现有的公路工程信息模型分类编码大都基于《信息分类和编码的基本原则与方法》(GB/T 7027—2002)以及ISO 12006-2分类体系建立,在《公路工程信息模型应用统一标准》(JTG/T 2420—2021)中对信息模型的成果、过程、资源和属性等分类对象进行了编码^[7-8],但没有对具体模型标识进行编码,无法与工程构件对象及相应的属性进行关联,没有被推广应用^[9]。现有的模型标识编码大都参考铁路工程系统分解结构(engineering breakdown structure, EBS)编码,以《铁路工程实体结构分解指南(1.0版)》^[10]为基础,采用人工手动编码或者计算机辅助批量编码的方式与模型构件关联,但也存在编码与现行的IFD标准相对独立、编码扩展及组合应用不够灵活、不利于大数据提取和利用等问题,有必要针对公路工程特点结合IFD标准建立一套公路工程信息模型标识编码。

1.2 模型标识编码结构分析

当前建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术在公路工程行业逐渐得到应用和推广,对公路建设项目全过程数字化、信息化管理要求也越来越高。为了结合BIM模型对项目建设过程进行管理,在BIM模型构件中建立唯一的标识编码,可便于不同格式的BIM数据在不同系统之间进行传递。目前应用的模型标识编码结构主要有以下几种。

1.2.1 工程系统分解结构(engineering-system breakdown structure, EBS)编码

工程系统分解结构是按照“功能面”和“专业要素”进行分解的,采用多级别的层次码进行编码,较高层级上的每一个类别都包含并且只能包含交底层级的全部类别。目前应用较广泛的是中国铁路BIM联盟发布的《铁路工程实体结构分解指南(1.0版)》^[10](简称铁路EBS标准),主要为适应信息化发展及工程全生命周期信息集成和管理需求建立,公路行业各相关专业参照使用。

实体结构编码主要包括工点编码和EBS编码规则。其中,工点编码结构为项目编码(6位)+工点类型码(2位)+工点序号(4位),工点类型按专业划分,按管理跨度确定最小管理单元,主要用于定位实体构件所在的空间位置。EBS编码主要用于描述实体构件的层级和专业属性,主要以工程量清单编码为依据,如表1。

表1 EBS编码(部分)

Table 1 EBS code (part)

EBS编码	层级	名称	单位
03	1	桥涵专业	延长米
0301	2	特大桥	延长米
030101	3	复杂特大桥	延长米
03010101	4	建筑工程费	延长米
0301010101	5	下部	圬工方
030101010101	6	0号墩(台)	圬工方
03010101010101	7	地基及基础	圬工方
0301010101010101	8	基坑开挖	圬工方

EBS编码在实际分解操作时,需要施工单位人员根据实际情况选择EBS模板进行补充完善,并与合同清单条目相对应。EBS模板与清单存在差异时,要进行拆分或合并,将其纳入EBS模板对应条目。EBS分解是随着工程各阶段的进行而呈动态变化的。EBS编码应用于公路工程桥梁隧道等构筑物时有较好的适用性,但由于公路的工程工点和项目划分存在差异,现有的铁路EBS编码将位置码、设施码和构件码混编,难以适应多层次划分,EBS单元和计量元素之间无法建立更深层级的对应关系。如针对道路工程各分项的具体分段方式根据实际情况划分各不相同,无法按EBS工点划分形成统一的分段,与项目建设管理过程中各分项的工程量及费用元素无法形成对应。

1.2.2 空间+分类+顺序多级编码组合

该编码体系采用空间代码对模型所在空间总体位置进行描述,结合JTG/T 2420-2021^[7]中对构件的信息分类原则建立构件分类编码,从而实现对模型构件定位和分类的综合描述,并通过设置顺序码对统一空间代码下多个构件实例进行唯一标识。其中,空间编码分为4个层级,分别为项目代码、标段代码、整体空间代码和局部空间代码。模型标识码典型结构如图1。

此类编码体系可以实现对模型空间位置和分类编码的综合描述,不仅实现了模型构件唯一标识码

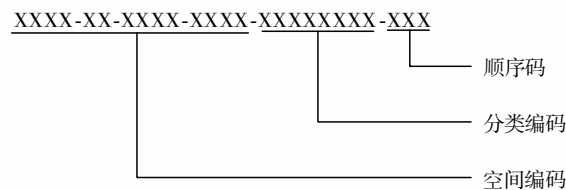


图1 模型标识码典型结构

Fig. 1 Typical structure of model identification code.

划分,而且与现行的ISO 12006-2分类编码体系融合,有效利用了模型信息分类编码。但是,空间代码由数据生产方自行拟定,主要从施工图设计角度出发,用于与工程量等3级清单实现对应,与建设管理中的计量、质检和管理台账等单元拆分方式有所区别。空间编码只能实现部分层次的分解,且模型空间划分与分类编码存在部分程度重叠及信息冗余。顺序码对模型空间位置的描述也不够全面,对于建设全过程信息化结合及大数据利用的程度有限。

1.2.3 工程项目分解结构(work breakdown structure, WBS)编码

WBS分解方式侧重于项目实施阶段,对信息模型参照公路工程行业中关于单位、分部及分项工程的标准进行拆分,可以实现较高的拆分精度,并自动创建模型结构树,与项目建设进度、成本计划等进行关联,实现对项目建设过程的信息管理。公路工程结构划分编码包含单位工程、分部工程、分项工程及其子项等多个层级,每个层级内部对名称及序号单独编号。WBS拆分编码结构如图2。表2列出了部分路基工程及桥梁工程结构划分编码样例。

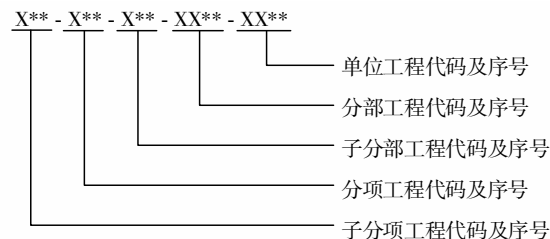


图2 WBS拆分编码结构

Fig. 2 Coding structure of WBS splitting.

WBS分解方式将项目工作内容按目标导向进行层次分明的划分,便于每个工作单元单位更小、内容更精确。但由于项目建设和管理过程中不同参与方对项目工作的分解方式不同,对项目的关注重点和关注维度也不同。按照施工管理需求拆分可能会存在过于细致或容易漏项等问题,且与现行的分类

表2 桥梁工程结构划分编码(部分)

Table 3 Structure division and coding of bridge engineering (part)

编码	层级	层级名称	编码名称
Q01	1	单位工程	桥梁工程(每座或每合同段)
Q01J01	2	分部工程	基础及下部构造(1~3墩台)
Q01J01D01	3	子分部工程	墩(台)
Q01J01D01GJ01	4	分项工程	钢筋
Q01J01D01YJ01	4	分项工程	预应力筋
Q01J01D01GD01	4	分项工程	预应力管道
Q01J01D01WK01	4	分项工程	桩基(挖孔桩)

编码体系相互独立, 难以满足项目各阶段不同维度的管理需求。

2 模型标识编码需求及组成分析

模型编码除了便于计算机快速识别模型构件和方便信息表达等传统需求外, 还应以模型和编码为载体, 在高速公路全生命周期中实现数据的集成和共享, 使得模型和信息得到有效传递和合理利用, 满足不同应用场景的需求。

2.1 项目投资、进度、质量和安全管理的需求

项目投资建设方一方面需要进行准确的成本估算和成本控制, 另一方面需要将建设过程与投资管理进行数字化关联, 通过信息及管理过程的拆分, 实现投资的精确管控。文献[7]基于现有的标准分类系统(如 MasterFormat、UniFormat 和 UniClass), 制定了标准单价信息的详细估算过程和方法, 在满足施工信息可重用性需求的同时, 提高施工项目成本管理效率。通过结合 BIM 建立数据库, 使项目管理中成本与分解结构相结合, 可最大限度地减少项目变更和预算遗漏, 并提高项目成本估算和风险应对的准确性^[11-12]。

在项目建设全过程信息模型管理中需要构建统一的编码体系, 通过模型标识编码使 BIM 模型成为结构化数据, 实现集进度、质量和安全于一体的施工全过程信息模型管理^[13-14]。将项目进度、质量和投资等信息与信息模型进行关联, 在三维空间尺度上实施展示、统计和分析。建设管理方需要通过空间编码对模型构件进行定位, 如具体某个单项工程或者工点的建设情况。工点的划分需要适当的宏观管理维度, 并应尽量减少与分类编码的信息冗余, 便于快速提取管理方需要的项目信息^[15]。

2.2 计量支付的需求

计量支付是建设信息化管理中的重要环节, 是控制高速公路投入支出的关键, 也是确保信息化管理系统有效实施、确保公路工程项目质量安全的有效控制和管理手段。要将计量支付与 BIM 模型关联实现信息化管理, 需要施工实施单位预先根据施工图设计文件建立 0# 台账, 为计量提供数据支撑^[16]。台账编制将具体分部分项、桩号部位的工程数量、单价和金额等进行拆分(表3), 并与工程量清单细目相对应, 编制相应的条目编码, 再根据具体条目的完成情况进行计量申请及审批。

2.3 资产及档案管理的需求

基于信息模型的资产信息管理流程已在全球范围内达成共识, 但对于项目建设全生命周期来说, 设施和资产集成仍然存在问题, 主要是由于 BIM 标准的缺失及不准确的信息交换^[17]。建筑信息模型的应用可有效改善传统资产管理基于文档的、分散的、不可访问的和非结构化的信息管理方式, 通过将项目设计和施工信息形成结构化数据并转移到资产信息模型中, 能实现资产的持续管理, 尤其是历史信息的回溯^[18]。

将公路工程庞大的工程档案进行信息化管理后, 可以将传统的纸质文档转换为计算机可识别的结构化数据, 并利用云存储、计算机检索等技术实现档案的高效利用。传统的档案管理采用专用档案编码, 在项目勘察设计、建设和运营过程中分阶段使用, 各阶段与同一阶段管理中的各环节数据缺乏有效关联。而通过建立公路工程信息模型唯一标识编码并与档案关联, 可在项目模型、建设数据和档案之间有效打通。因此对公路工程信息模型进行编码还需满足项目不同阶段、不同专业、不同类型档案的分类管理需求, 并记录每一次关键过程的历史资料以便用于回溯。

表 3 高速公路 0# 台账示例
Table 3 Example of Expressway 0# account

标段	单位工程	分部工程	分项工程	桩号	部位	细目编号	名称	单位	数量
一分部	路基工程	排水工程	边沟	K210 + 603 ~ K210 + 640	左侧加深边沟	207-1-c	现浇 C15、C20 混凝土	m ³	78.07
一分部	路面工程	路面排水	中央分隔带	K190 + 720 ~ K192 + 730	中央分隔带	314-4-b	φ110mmHDPE 双壁波纹管横向排水管	m	439.9
一分部	XX 大桥	下部构造	墩柱	K105 + 576	左幅 4# 外侧墩柱	410-2-b	C40 混凝土	m ³	40.28
一分部	XX 隧道	洞口及明洞工程	明洞衬砌	ZK128 + 387 ~ ZK128 + 392	左线进口明洞衬砌	502-5-b-1	光圆钢筋 (HPB300)	kg	3 040

2.4 大数据利用的需求

对公路工程设计、建设和管养等全过程数据进行集成分析、加工和利用,是数据管理价值的重要体现^[19]。有必要将项目全过程产生的大数据按自定义条件进行多维度动态统计分析,并与信息模型结合进行可视化输出和有效管理。因此,对公路工程信息模型进行编码需满足不同数据的分类统计需求,按模型构件设置多层级的分类编码,便于计算机对数据进行快速提取及统计。

2.5 快速生产的需求

标识码作为以计算机使用为主的一种中间数据,应便于计算机软件快速生产,避免因人工编码录入而导致工作量加大、容易产生错误等问题。同时作为与信息模型关联的数据,应结合模型的生产方式,尽量在建模过程中进行融入。其中,针对构件识别的编码应在标准件及构件库中内置;针对项目空间位置的编码应尽可能便于计算机识别和自动生成,以提高标识码生成和利用的效率。

3 编码结构方案

公路工程模型标识不能仅考虑 IFD 编码或者工程实体结构编码准则,而应该将二者结合起来进行应用,综合考虑建设管理、计量支付、档案管理和大数据利用等不同需求,结合现有的分类编码体系形成适用于公路工程设计、建设及管理的一种独特的标识编码。

3.1 公路工程信息模型标识编码特征

目前,中国针对公路工程信息划分的基础是公路建设项目及其划分,如单项工程、单位工程、分部工程和分项工程等,主要参照《公路工程质量检

验评定标准》^[20]中关于单位、分部及分项工程的划分原则进行。在建设项目管理中,将模型构件标识码与具体分部分项工程进行匹配,实现信息模型与管理数据的关联。

公路工程信息模型编码的标准化是一个系统,除了标准框架、分类编码和基本原则外,还应包括具体编码方法和方案的标准化。中国现有公路工程信息模型分类和编码标准只解决了分类问题的标准化,但没有解决唯一标识问题。《公路工程质量检验评定标准》^[12]中对单位、分部及分项工程也只给定了基本框架,不同的施工、质检单位和标段在实际划分时千差万别,无法形成标准化,编码和数据更新处理花费大量人工,也给模型信息和管理数据的关联造成了障碍。

与此同时,公路工程作为量大面广的线性工程,包含大量的高填深挖路段和分离式路基等,设计和建设时需要因地制宜分段实施,以桩号为基础进行多层次的拆分,并在实际施工过程中根据地形地质情况进行动态调整^[21]。因此,公路工程信息模型标识码应能适应公路工程不同分项及子项的分段要求,并与项目 WBS 及计量管理需求相匹配,才能实现模型信息与管理数据的映射。

3.2 “五段位”编码架构

本课题组提出一种“项目码+工点码+构件码+位置码+版本码”的公路工程信息模型构件唯一标识编码,在 ISO 12006-2 分类编码体系中进行扩展(表 4)。通过标识编码将 BIM 构件与项目建设、运营管理数据关联,能与设计单元、工程量清单和计量单元实现良好的映射关系,实现三维空间模型数据的结构化管理及数据的集成、共享及大数据应用。

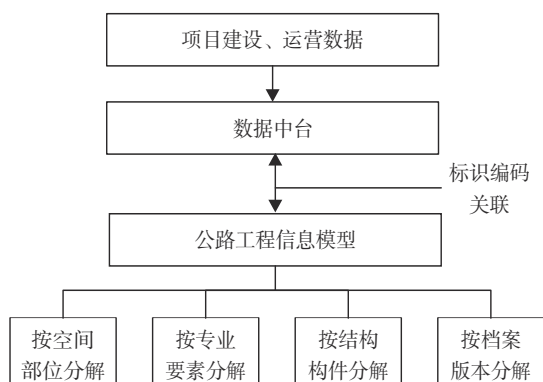


图3 模型标识编码分解思路

Fig. 3 Decomposition of model identification code.

表4 模型构件标识码组成

Table 4 Composition of model identification code

表代码	分类	编码方式
—	项目编号	企业级项目码
60	工点编号	专业+单位工程号
18	构件分类	细分构件
61	位置关系	左右幅+三向维度
62	版本序号	构件变更版本序号

3.3 “五段位”编码方法

3.3.1 项目码

项目码由项目建设单位拟定,应在《公路路线标识规则和国道编号》(GB/T 917)^[22]上进行扩展,编号宜由公路路线编号(G(S/X/Y/Z)XXX)和项目简称组成,采用字母或数字组成,不含特殊字符。

3.3.2 工点码

工点码主要考虑设计、施工、建设和运营管理需求,对公路工程实体进行划分,形成项目信息化管理的组成单元。工点码由表代码及一级类、二级类、三级类、四级类代码组成,相邻层级代码之间采用“.”相连,参照《公路工程质量检验评定标准第一册 土建工程》(JTG F80-1—2017)^[20]中“附录A 单位、分部及分项工程的划分”规定的单位工程划分原则划分。其中,一级类按照公路工程主专业类型划分;二级类为专业内具体工点顺序码,并按照子专业类型划分不同区间;针对互通立交二级类,设置三级类为立交下各子专业;四级类为子专业下具体工点顺序码。

3.3.3 构件码

构件分类码按国家标准《建筑信息模型分类和编码标准》(GB/T 51269—2017)进行分类,并根据公路工程的特点进行扩展应用。编码格式采用表代码

及一级类、二级类、三级类和四级类代码组成,相邻层级代码之间采用“.”相连。

3.3.4 位置码

位置码主要反应同一工点下某类构件不同实例的顺序编号,采用表代码及一级类、二级类、三级类代码组成,按照分部、分项和构件位置进行编码。一级类是分部划分,如道桥梁分为左幅和右幅,隧道分为左洞、右洞和横洞等;二级类为分项位置,按照垂直于构造物轴线的方向划分,对桥梁桩基按照相应的墩柱编号从小到大依次编码;三级类为构件位置,依据设计图中编号顺序或按照沿构造物轴线的方向划分。

3.3.5 版本码

编码结构由表代码及一级类组成,考虑BIM构件在设计、施工及运维养护阶段的变更等因素,添加版本序号信息。初始版本为00,变更版本序号编码为01~99。

3.3.6 编码示例

如某一项目的桥梁墩柱,编码为S3XL+63-03.0003.00.00+18-04.04.02.00+61-01.16.001+62-00,表示项目码为省高速公路网(S3XL),单位工程为第3座桥梁(63-03.0003.00.00),构件分类为墩柱(18-04.04.02.00),位置为左幅第16号(61-01.16.001),版本号为初始版本(62-00)。

3.4 编码结构的扩展

除了常规的针对某种分解方式的编码表进行扩展外,还可以根据实际需求对编码结构进行扩展,对“五段位”编码结构进行拆分及重组。如针对构造物级别或者工点进行信息关联及管理时,可以采用“项目码”+“工点码”+“版本码”进行桥梁、隧道和涵洞等构造物进行管理,实现构造物和构件的多层级信息关联。在管理使用时,还可以和信息分类标准中的建设阶段、组织角色等进行组合应用。

4 标识码的应用

模型标识码用于与BIM技术结合实现公路工程全生命周期的应用和传递。在项目建设和运营各阶段不断更新和完善工程的编码信息,实现计算机的快速识别,并对数据进行集成、共享、检索和分析。编码标识也可与现行的工程造价、物料、资产管理等编码体系结合,满足不同层次的应用需求。

4.1 标识码的产生

产生标识码的传统方式是借助信息化的手段进行批量和快速编码。将构件分类码内置于“族库”或者构件库中,开发编码工具实现工点码和位置码的批量编码。但这种方式仍需要大量的人工介入,且模型更新后需要重构编码。理想的编码方式应从信息模型的设计源头出发,将编码标准融入到设计软件中,依托设计过程中丰富的构件资源库以及原始信息,实现整个项目信息模型的自动化编码,在设计软件中对模型进行自动编码并关联,在施工阶段根据需求进一步拆分并完善相关信息,为后续各阶段的应用提供依据。

4.2 项目应用案例

基于本研究提出的标识码编码结构,结合现有的行业和地方编码标准,已初步在桥梁、隧道等三维设计软件中植入编码规则和标准,并在广西象州至来宾高速公路建设项目中进行了应用,达成的预期包括:

1) 打通了从设计到施工的信息模型数据,为融合提供了基础。针对桥梁和隧道等构造物,完成三维数字化设计后,能输出构件三维模型及关联的属性信息和编码(设计输出的隧道模型及编码请扫描文末右下角二维码见图S1),并针对构造物输出对应的属性信息文件,实现多层次信息的输出。

2) 为基于BIM的项目建设管理应用提供了基础。基于设计传递的信息模型及编码,能实现勘察资料和设计图纸的关联。以拆分后的模型及标识码作为主数据,进一步实现了建设管理的进度、计量、质量和安全等信息的关联和数据集成(基于模型标识编码建设管理的应用请扫描文末右下角二维码见图S2)。通过BIM的可视化及丰富信息,可帮助管理者快速了解施工现场情况。

3) 为后期养护运营提供数据基础。通过以信息模型作为数据底盘,汇集勘察设计、建设管理过程中的各类数据,形成三维数据资产,进一步为后期养护和运营提供基础资料。

结 语

公路工程信息模型应用是公路工程向全生命周期设计、建设、运维一体化发展的要求,是信息化、数字化和互联网等现代信息技术在工程领域应用的结果。信息模型编码是确保模型信息被计算机

快速识别,实现各阶段数据传递和一体化应用的基础。在分析公路工程现状模型编码结构的基础上,提出了一种“五段位”标识编码结构,并应用于实际项目中,实现了信息的有效传递。公路工程信息模型标识编码的建立为公路行业信息系统之间的数据共享和交换提供了依据。

基金项目: 广西科技计划资助项目(AB19245048); 交通部重点科技资助项目(2019-TG-006)

作者简介: 梁才(1987—), 广西交通设计集团有限公司高级工程师。研究方向: 道路桥梁及数字化。

E-mail: 87350461@qq.com

引 文: 梁才, 王长海. 公路工程信息模型标识编码结构研究[J]. 深圳大学学报理工版, 2022, 39(4): 424-431.

参考文献 / References:

- [1] ISO 12006-2. Building construction: organization of information about construction works (part 2) [S].
- [2] ISO 12006-3. Building construction: organization of information about construction works (part 3) [S].
- [3] 清华大学BIM课题组. 中国建筑信息模型标准框架研究[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011: 17-18. BIM Research Group of Tsinghua University. Research on Chinese building information modeling standard framework [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 2011: 17-18. (in Chinese)
- [4] VOLKODAV V A, VOLKODAV I A. Development of the structure and composition of a building information classifier towards the application of BIM technologies [J]. Вестник МГСУ, 2020, 15(6): 867-906.
- [5] SADRI H, TAHERI A, YITMEN I, et al. Requirement management in a life cycle perspective based on ISO 19650-1 and CoClass as the new classification system in Sweden [J]. Engineering Construction & Architectural Management, 2021, 28(9): 2736-2753.
- [6] SUCCAR B, POIRIER E. Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets [J]. Automation in Construction, 2020, 112: 103090.
- [7] JTG/T 2420—2021 公路工程信息模型应用统一标准[S]. JTG/T 2420—2021 Unified standard for application of building information modeling in highway engineering [S]. (in Chinese)
- [8] 张峰, 刘向阳, 戈普塔. 公路工程信息模型分类与编码研究[J]. 公路, 2017, 62(10): 180-184. ZHANG Feng, LIU Xiangyang, GE Puta. Research on

- classification and coding of highway engineering information model [J]. Highway, 2017, 62(10): 180-184. (in Chinese)
- [9] ANDERSSON N, LESSING J. Industrialization of construction: implications on standards, business models and project orientation [J]. Organization, Technology & Management in Construction, 2020, 12(1): 2109-2116.
- [10] 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): 10-15.
China Railway BIM Alliance. Guide for railway engineering breakdown structure (version 1.0) [J]. Railway Technology Innovation, 2014(6): 10-15. (in Chinese)
- [11] IM H, HA M, KIM D, et al. Development of an ontological cost estimating knowledge framework for EPC projects [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2021, 25(5): 1578-1591.
- [12] CEREZO-NARVÁEZ A, PASTOR-FERNÁNDEZ A, OTERO-MATEO M, et al. Integration of cost and work breakdown structures in the management of construction projects [J]. Applied Sciences, 2020, 10(4): 1-32.
- [13] SHEN J. The application of BIM technology in road and bridge construction management [J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020, 587: 012002.
- [14] 谭尧升, 陈文夫, 郭增光, 等. 水电工程边坡施工全过程信息模型研究与应用[J]. 清华大学学报自然科学版, 2020, 60(7): 33-41.
TAN Yaosheng, CHEN Wenfu, GUO Zengguang, et al. Information model for slope construction in hydropower projects [J]. Journal of Tsinghua University Science and Technology, 2020, 60(7): 566-574. (in Chinese)
- [15] Department of Transport and Main Roads. Guideline building information modelling (BIM) for transport and main roads [S/OL]. (2020-10-05). [2021-11-08]. <https://www.tmr.qld.gov.au/business-industry/Technical-standards-publications/Building-Information-Modelling>.
- [16] 刘科民. 公路工程计量0#台账的作用与发展[J]. 交通世界工程技术版, 2015, 17(6): 54-55.
- LIU Kemin. Function and development of highway engineering measurement 0# account [J]. Transportation world Engineering Technology, 2015, 17(6): 56-57. (in Chinese)
- [17] RJ A, WC B. Improving BIM asset and facilities management processes: a mechanical and electrical (M & E) contractor perspective-science direct [J]. Journal of Building Engineering, 2020, 32: 101540.
- [18] HULL J, EWART I J. Conservation data parameters for BIM-enabled heritage asset management [J]. Automation in Construction, 2020, 119: 103333.
- [19] YING H. Research and application of BIM engineering management platform combining big data [C]// 2020 International Conference on Computer Vision, Image and Deep Learning. Chongqing, China: IEEE, 2020: 497-499.
- [20] JTG F80/1—2017 公路工程质量检验评定标准[S].
JTG F80/1—2017 Inspection and evaluation quality standards for highway engineering [S]. (in Chinese)
- [21] 张观树, 梁才. 公路交通BIM应用差异及解决方案[J]. 公路交通科技应用技术版, 2017, 13(2): 294-297.
ZHANG Guanshu, LIANG Cai. Differences and solutions of highway traffic BIM application [J]. Highway Traffic Technology Application Technology, 2017, 13(2): 294-297. (in Chinese)
- [22] GB/T 917—2017 公路路线标识规则和国道编号[S].
GB/T 917—2017 Mark rules of highroute and number of national trunk highway [S]. (in Chinese)

【中文责编: 坪梓; 英文责编: 之聿】



补充材料