

基于 BIM 技术的桥涵工程参数化建模应用研究

——涵洞标准族的创建

蔡岳荣¹, 何祎²

(1. 广东翔飞公路工程监理有限公司, 广东 广州 510420; 2. 长沙理工大学 交通运输工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要: 交通运输领域标准化、信息化、智能化建设要求推动 BIM(建筑信息模型)技术在公路工程的应用, 公路工程项目桥涵设计与施工主要采用交通运输部及各地发布的桥涵通用图(标准图), 创建常规桥型和通用结构的标准化、参数化实体模型是公路工程 BIM 技术应用和推广的重要环节, 有利于提高桥涵工程全生命周期的建设管理质量和效率。文中依据桥涵通用图, 基于 BIM 技术, 提出标准化桥涵通用图 BIM 模型及族库的建设思路和流程, 在 Revit 软件平台上研究涵洞主要构件的参数化模型, 创建涵洞洞口组成构件和洞身组成构件等构件族库, 在统一的模型组织架构中实现涵洞的实体造型。

关键词: 涵洞; 桥梁; BIM(建筑信息模型); 标准族; 参数化模型; Revit

中图分类号: U449.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)03-0141-05

公路工程标准化、信息化、智能化、装配化建设迫切需要大力推广和应用 BIM(建筑信息模型)技术。在交通运输行业 BIM 技术应用标准体系方面, 张峰结合公路工程项目特点, 提出了公路工程信息模型设计交付标准体系^[1], 韩广晖等介绍了高铁工程项目协同设计基础环境的搭建、数据级协同设计方法的应用、参数化设计到智能设计的实现、模型仿真分析及应用^[2], 李俊松等研究了城市轨道交通工程 BIM 标准体系^[3], 石鲁宁等探讨了基于 BIM 技术的涵洞一体化设计^[4]。在依托建设项目和特殊结构与异形结构开展 BIM 技术研究和应用方面, 闫振海等针对上承式钢管混凝土变截面桁架拱桥, 创建了大小井特大桥 BIM 数字化协同管理平台, 解决复杂钢结构工程技术及管理瓶颈^[5]; 赵月悦等运用 Revit 软件对福州至厦门高速铁路上桥梁的 BIM 建模和基于 BIM 模型的方案设计优化、结构分析、景观设计、辅助出图、可视化交底等进行了研究^[6]; 刘均利等针对刚性加劲悬索连续钢桁架桥, 应用 Bentley 和 Autodesk 平台软件进行了 BIM 技术协同设计^[7]; 杨耀等利用 Revit 软件平台研究了钢管混凝土拱桥设计与施工阶段的 BIM 应用^[8]; 张宜洛等运用 Civil 3D 和 Revit 平台, 提出了基于 BIM 技术的道路和桥梁的设计流程, 研究了基于 BIM 技术的地质实体模型创建及地形曲面分析、道路模型正向设计及桥梁模型正向设计等关键技术方法^[9]; 杜

德润等基于 Revit 进行了桥梁工程实体及钢筋建模模块二次开发^[10]。

BIM 技术的应用与推广依赖于 BIM 平台软件的开发、BIM 数字化资源的建立、BIM 应用环境的改善, 制作符合相关标准的数字化建筑构件资源是其中基础性工作^[11]。目前公路工程项目建设应用软件及交通运输部发布的公路桥涵通用图的图形支撑系统主要采用 AutoCAD, 在参数化程度、数据动态更新、信息集成度、三维可视化等方面均存在局限, 难以满足 BIM 技术平台建设的数字化、智能化、三维可视化等需要, 研究开发符合公路工程 BIM 标准的数字化构件资源成为交通运输行业推广应用 BIM 技术的关键。实现 BIM 技术的主要软件平台包括 Autodesk 公司的 Revit 及 Civil 3D 等软件、Bentley 公司的基于 MicroStation 系列软件、Dassault Systems 公司的 Catia 软件、Graphisoft 公司的 ArchiCAD 软件、Tekla 公司的 Tekla Structures 软件等, 这些软件缺乏符合中国标准和规范的针对公路工程的专业模块和构件, 这是制约 BIM 技术在公路工程建设领域推广应用的一个重要因素。目前桥涵工程 BIM 技术应用侧重于个体项目大型结构、特殊结构和异形结构的研发与应用, 针对标准构件、通用构件的应用研究较少, 尤其是针对交通行业标准和规范中桥涵工程通用图(标准图)的 BIM 技术应用研究不多, 而一般公路项目的桥涵工程主要采用桥涵工

程通用图。为促进公路工程标准化、信息化、智能化建设,推动 BIM 技术在交通运输行业的广泛应用和发展,需研发设计标准化的桥涵工程通用图 BIM 模型及族库。考虑到涵洞结构类型类似于桥梁结构,而各类涵洞的几何特征及构造特征标准化、参数化程度较高,造型多样,本文依据交通行业标准和规范中涵洞工程通用图,基于 BIM 技术研究桥涵工程参数化建模。考虑到桥涵工程通用图和交通行业已有设计成果与应用软件主要采用 Autodesk 公司的 AutoCAD 软件及二次开发软件,技术平台选择 Autodesk 公司的 Revit 软件。

1 桥涵工程参数化建模组织架构

桥涵工程通用图参数化建模是利用 Revit 软件创建桥涵通用图族库,包括桥涵通用图族库的类型和参数处理。Revit 中所有图元都是基于族,族是一个包含通用属性(称作参数)集和相关图形表示的图元组,属于一个族的不同图元的部分或全部参数可能有不同的值,但参数(其名称与含义)的集合是相同的,族中的这些变体称作族类型或类型。在项目中使用特定族和族类型创建图元时,需创建该图元的一个实例。每个图元实例都有一组属性,从中可以修改某些与族类型参数无关的图元参数。这些修改仅应用于该图元实例,即项目中的单一图元。如果对族类型参数进行修改,这些修改将仅应用于使用该类型创建的所有图元实例^[12]。

桥涵工程族库可以根据桥涵工程的结构特性和 GB/T 51212—2016《建筑信息模型应用统一标准》^[13]、JTG/T 2420—2021《公路工程信息模型应用统一标准》^[14]、JTG/T 2421—2021《公路工程设计信息模型应用标准》^[15]、JTG B01—2014《公路工程技术标准》^[16]及桥涵工程通用图等标准和规范的组成情况进行划分,包括设施、子设施和构件等。桥梁工程包括桥梁上部结构、下部结构、桥面系和附属工程等,涵洞工程包括洞口和洞身。桥梁设施包括

预应力构件、基础构件、桥台及桥台构件、桥墩及桥墩构件、梁式桥构件、拱式桥构件、斜拉桥构件、悬索桥构件、桥面系和附属工程构件等。涵洞有圆管涵、盖板涵、箱涵、拱涵、倒虹吸及通道等设施,涵洞洞口包括翼墙、端墙、倒虹吸竖井、基础、截水墙、帽石、铺砌、锥坡等构件,洞身包括混凝土管节、管座、箱节(箱涵)、拱圈、涵台(拱涵、盖板涵)、盖板、波形钢管节、基础、垫层、搭板、牛腿、铺砌等构件,各构件也可以根据其几何特征、结构特征和材料属性等进行分类,洞口端墙、路缘石、护坡、铺砌、垫层、基础、洞身及防水层等构件根据主要结构参数的不同构成相应的族类型和族实例,构件族嵌套构成洞口与洞身子设施族,洞口与洞身子设施族嵌套构成完整涵洞族。修改相应的族参数,得到设计所需涵洞族类型,再将涵洞族载入建设项目中。涵洞模型组织架构见图 1。

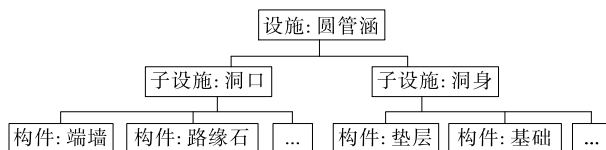


图1 涵洞模型的组织架构

2 参数化建模

2.1 建模流程和基准

利用 Revit 软件创建涵洞标准图族库时,首先应选择合适的族样板进行涵洞构件参数化建模。Revit 软件提供的族样板主要针对建筑工程,没有开发专门应用于公路工程的族样板,Revit 2021 版在族类别中虽然增加了桥面、桥台、桥墩、桥架等类别,但不能满足中国标准、规范和公路工程建设需求,需进一步补充和完善。涵洞洞口和洞身结构构件的连接约束和参数处理基于相同的族样板创建,各构件选择公制常规模型族样板为基础模板创建涵洞构件族,主要建模流程见图 2。

涵洞洞口和洞身各结构构件选择洞身中心线为

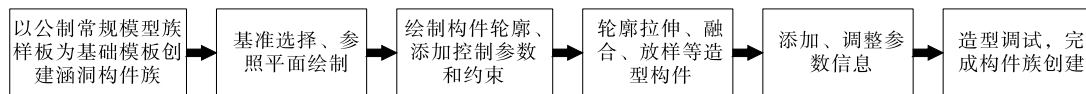


图2 涵洞构件族建模流程

平面基准,设置参数涵洞斜交角 θ ;以进口高程为立面基准,设置参数涵洞纵坡 i ;以进口端面为侧面基准,涵洞各构件依据相关参数控制和连接约束创建嵌套族。

控制涵洞构件造型的参数有涵洞孔径 d 、纵坡 i 、路基边坡坡比 m 、基础深度 h 、涵洞斜交角 θ 、顺翼墙张角 β_1 、逆翼墙张角 β_2 等。涵洞构件族按孔径、路基边坡及斜交角等进行分类,各构件按孔径、路基边坡

坡比分为 $d1\ 500\ \text{mm} \times m1.50$ 、 $d1\ 500\ \text{mm} \times m1.75$ 、 $d1\ 800\ \text{mm} \times m1.50$ 、 $d1\ 800\ \text{mm} \times m1.75$ 4 种构件族类型。构件的结构尺寸如长度、宽度、厚度等参数按族类型划分设为实例参数或类型参数,这样既可按标准图取值得到常规涵洞构件造型,也可根据实际情况创建特殊结构涵洞构件。

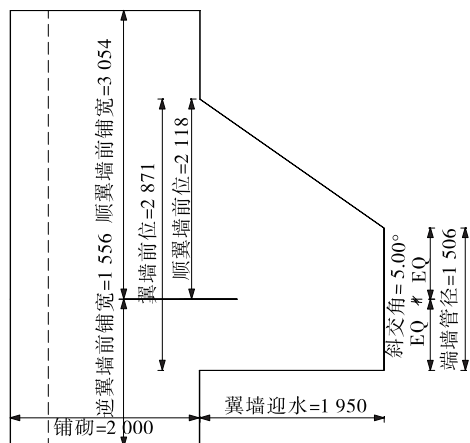
2.2 洞口铺砌族

涵洞洞口铺砌族的创建应考虑涵洞的斜交角及涵洞纵坡设计要求,洞口铺砌纵坡与涵洞纵坡一致,宜采用融合造型处理,以工作平面为参照标高,洞口轮廓线与中心(左/右)参照平面对齐,以平面基准为中心(前/后)参照平面控制涵洞的斜交角,铺砌轮廓所属正垂面控制涵洞纵坡。进口铺砌融合轮廓及参数见图 3。

由于涵洞进出口铺砌纵坡方位差异,进出口铺砌造型不能由同一个构件通过设置翻转控件来实现,应分开建族。进出口铺砌族的创建方法相同。隔水墙可与铺砌在同一族样板中创建,也可单独建族。进口铺砌族造型见图 4。

2.3 洞口翼墙护坡族

洞口翼墙护坡包括基础和翼墙身,护坡族的创建应考虑涵洞斜交角,宜采用融合造型处理。以进口翼墙洞口端轮廓线工作平面为中心(左/右)参照平面,进口翼墙迎水端面轮廓线工作平面以侧平面



EQ 为 Revit 的尺寸约束,表示对称相等,即圆管涵洞身尺寸沿涵洞中心线宽度方向相同

图 3 铺砌融合轮廓示意图(单位:mm)

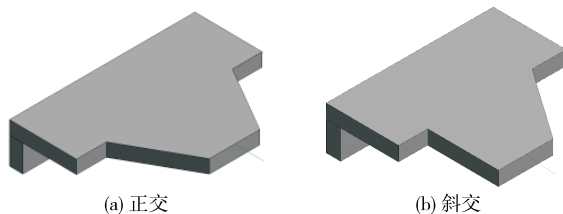


图 4 进口铺砌族造型

为参照平面,迎水尺寸参数控制参照平面位置,以平面基准为中心(前/后)参照平面控制涵洞斜交角。洞口顺翼墙和逆翼墙护坡融合轮廓及参数见图 5。

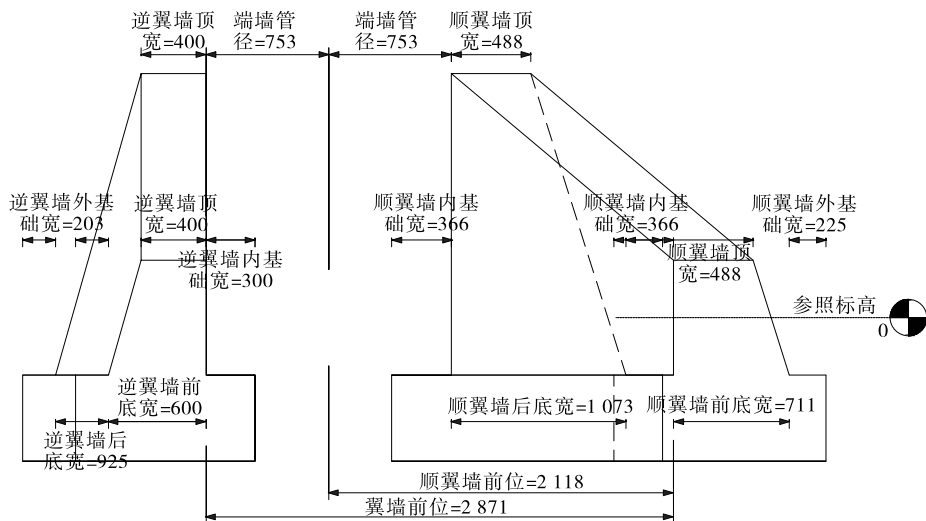


图 5 翼墙护坡融合轮廓示意图(单位:mm)

顺翼墙与逆翼墙宜在同一族样板中创建,进出口翼墙护坡采用同一个族,通过设置翻转控件可以得到不同位置的进出口翼墙护坡造型。洞口翼墙护坡族造型见图 6。

2.4 洞口端墙族

洞口端墙包括基础、端墙身及路缘石,端墙族的创建应考虑涵洞斜交角和涵洞纵坡要求,基础、端墙身宜采用融合造型处理,路缘石宜采用融合或拉伸

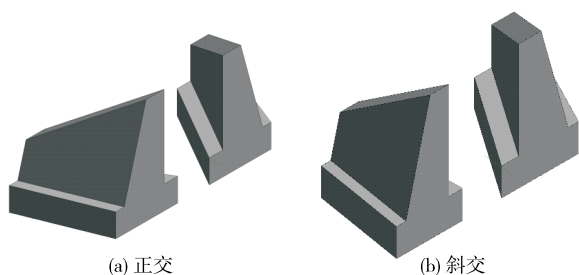


图6 进口翼墙护坡造型

加融合造型处理。以进口端墙洞口部分轮廓线工作平面为中心(左/右)参照平面,进口端墙墙背部分轮廓线工作平面以侧平面为参照平面,端墙厚度参数控制参照平面位置,以平面基准为中心(前/后)参照平面控制涵洞斜交角。为了将正交和斜交涵洞统一在同一个模型中,端墙洞身空心轮廓采用椭圆。洞口端墙融合轮廓及参数见图7。

出口端墙族的创建方法与进口端墙族相同。由于涵洞进出口端墙纵坡及路缘石倒角处理的方位差异,进出口端墙造型不能由同一个构件通过设置翻转控件来实现,应分开建族。涵洞进口端墙族造型见图8。

2.5 洞身族及涵洞族类型

涵洞洞身结构包括垫层、基础、洞身及防水层等,洞身族的创建应考虑涵洞斜交角和涵洞纵坡要求,各构件宜采用融合造型处理。以进口洞身轮廓线工作平面为中心(左/右)参照平面,出口洞身轮廓线工作平面以侧平面为参照平面,洞身长度参数控制参照平面位置,洞身坡度控制出口端高程位置,以平面基准为中心(前/后)参照平面控制涵洞斜交角。为了将正交和斜交涵洞统一在同一个模型中,洞身

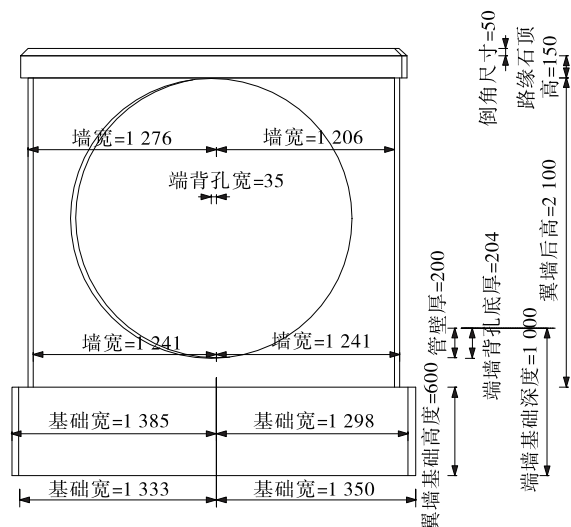


图7 洞口端墙融合轮廓示意图(单位:mm)

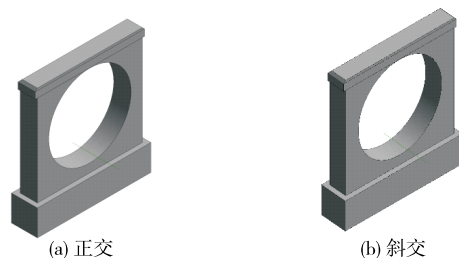


图8 进口端墙造型

各曲面轮廓采用椭圆。垫层和基础的长度应减去进出口端墙厚度,以控制垫层和基础融合参照平面位置。洞身与基础融合轮廓及参数见图9。

控制涵洞洞身构件造型的参数除涵洞孔径、纵坡、路基边坡、基础深度、涵洞斜交角外,还包括涵底设计标高、路基设计标高、路基设计宽度等参数,这些参数控制涵洞长度及位置。洞身族造型见图10。

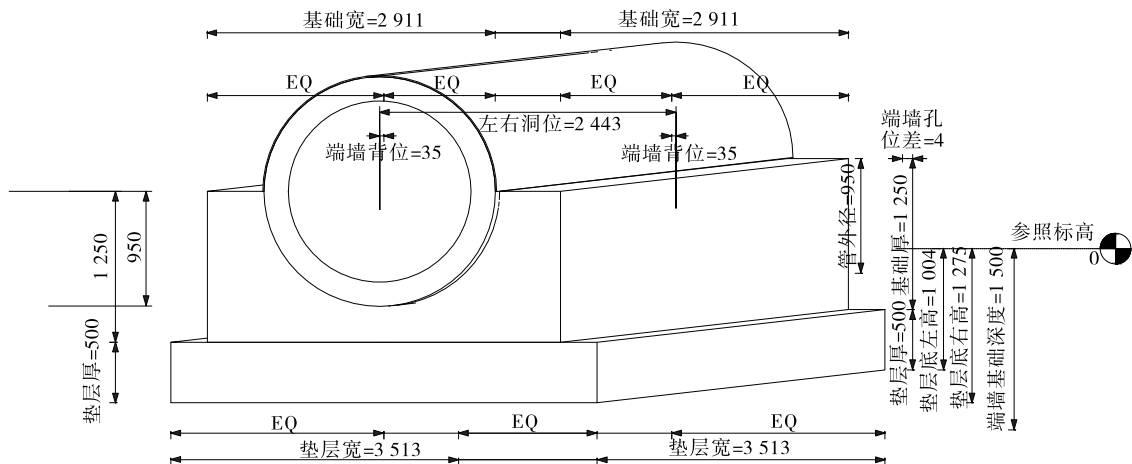


图9 洞身融合轮廓示意图(单位:mm)

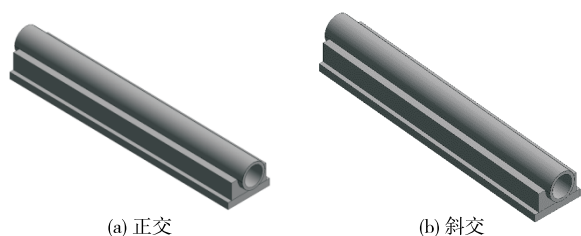


图10 洞身造型

涵洞构件族按照孔径和路基边坡坡比分为4种类型,分别为 $d1\ 500\text{ mm}\times m1.50$ 、 $d1\ 500\text{ mm}\times m1.75$ 、 $d1\ 800\text{ mm}\times m1.50$ 、 $d1\ 800\text{ mm}\times m1.75$,其他类型涵洞可以通过修改和调整参数实现造型或在现有类型的基础上新建。主要构件嵌套后的 $d1\ 500\text{ mm}\times m1.50$ 涵洞族造型见图11。

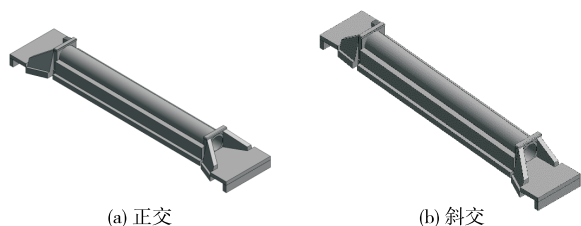


图11 嵌套涵洞族造型

3 结语

BIM技术在公路工程领域的应用得到越来越多的关注,大跨径桥梁和特殊结构的建设、设计及施工中已普遍采用BIM技术,但一般是针对个体建设项目的开发,与其他行业相比,公路工程建设标准化、信息化、智能化水平还有一定差距,应用和推广BIM技术是提高行业信息化水平的重要举措。要提高公路工程信息化、智能化水平,需要实现桥涵工程通用结构及常规结构的标准化、规范化。要实现这一目标,制定相关标准和规范是关键,也需要对现行桥涵工程通用图(标准图)进行规范及调整,并研发相应的参数化模型。桥涵通用结构及常规结构建模时,应规范其几何特征和细部结构,采用统一的规格和尺寸,满足标准和规范对数字构件的要求,以便于各种类型桥涵建模和调用。在此基础上研究开发与桥涵工程通用图(标准图)配套的BIM模型及族库,促进交通运输行业BIM技术的应用和发展。本文研究桥涵工程通用图中涵洞标准图的BIM模型及族库,创建涵洞洞口和洞身各构件族,根据涵洞设计和实际尺寸参数,得到各种正交和斜交涵洞的统一参数化模型。桥涵工程的标准化、参数化建模对

公路工程建设具有一定研究价值和应用前景。

参考文献:

- [1] 张峰.公路工程信息模型设计交付标准研究[J].公路,2019,64(4):197-201.
- [2] 韩广晖,李辉,周清华,等.BIM技术在铁路桥梁工程中的应用及实现方法[J].铁道标准设计,2021,65(11):166-169.
- [3] 李俊松,黄亮亮.城市轨道交通工程BIM标准体系的研究与实践[J].铁道标准设计,2021,65(3):64-70.
- [4] 石鲁宁,张忠良,王勇军,等.基于BIM技术的涵洞一体化设计应用研究[J].铁道勘察,2020(1):129-132.
- [5] 闫振海,张胜林,赵伟.大小井特大桥BIM技术应用研究[J].公路,2019,64(9):152-158.
- [6] 赵月悦,彭灿,张超超,等.福厦高铁桥梁BIM技术应用[J].世界桥梁,2020,48(增刊1):106-112.
- [7] 刘均利,张聪,薛飞宇,等.BIM技术在重庆曾家岩嘉陵江大桥设计中的应用[J].世界桥梁,2020,48(2):71-76.
- [8] 杨耀,方淑君.钢管混凝土拱桥设计与施工阶段BIM应用[J].施工技术,2020,49(11):118-122.
- [9] 张宜洛,邓展伟,郭创.基于BIM技术的公路工程正向设计应用探究[J].公路,2020,65(9):176-182.
- [10] 杜德润,王鲁婷.基于Revit的BIM技术在桥梁工程中的应用[J].施工技术,2019,48(增刊):304-307.
- [11] 清华大学软件学院BIM课题组.中国建筑信息模型标准框架研究[J].土木建筑工程信息技术,2010,2(2):1-5.
- [12] 黄亚斌,徐钦.Autodesk Revit族详解[M].北京:中国水利水电出版社,2013:2.
- [13] 中国建筑科学研究院.建筑信息模型应用统一标准:GB/T 51212-2016[M].北京:中国建筑工业出版社,2016:2.
- [14] 中国交通建设股份有限公司,中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程信息模型应用统一标准:JTG/T 2420-2021[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
- [15] 中国交通建设股份有限公司,中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程设计信息模型应用标准:JTG/T 2421-2021[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2021.
- [16] 交通运输部公路司,中交第一公路勘察设计研究院有限公司.公路工程技术标准:JTG B01-2014[S].北京:人民交通出版社,2014.

收稿日期:2022-04-24