

文章编号: 1674—8247(2022)06—0046—06

DOI: 10.12098/j.issn.1674-8247.2022.06.009

轨道 BIM 正向设计软件研发与应用

刘大园 庞玲 姚力 刘呈斌

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:本文针对适用于中国标准的轨道 BIM 设计工具缺乏的现状,提出了研发轨道 BIM 正向设计软件方案,研究了轨道 BIM 正向设计软件的框架设计及其主要组成模块,介绍了软件的功能组成以及主要的功能内容,分析了轨道 BIM 正向设计软件在实际项目中的应用情况。研究结果表明,轨道 BIM 正向设计的流程和场景正确,轨道 BIM 正向设计软件功能满足当前铁路轨道工程 BIM 设计需求,该软件的应用提高了轨道设计效率、可视化和数字化水平。研究成果可为铁路行业 BIM 技术的发展提供参考。

关键词:轨道; BIM; 软件; 数字化

中图分类号: U213.2

文献标识码: A

Development and Application of Track BIM Design Software

LIU Dayuan PANG ling YAO li LIU Chengbin

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: In view of the lack of track BIM design tools suitable for China's standards, this paper puts forward a plan for developing track BIM forward design software, studies the framework design and main components of track BIM forward design software, introduces the functional composition and main functional contents of the software, and analyzes its application in practical projects. The research results show that the process and scenario of track BIM forward design are correct, and its functions meet the current requirements of railway track engineering BIM design. The application of this software improves the efficiency, visualization, and digitalization level of track design. The research results can provide a reference for the development of BIM technology in the railway industry.

Key words: track; BIM; software; digitalization

BIM 技术是一个系统性技术体系,不仅包含项目模型本身和建模过程,还包含各参与方协同作业、信息交换和信息共享的服务项目全生命周期的管理技术和一切与之相关联的信息。BIM 技术可运用到各行各业中,为项目的全生命周期服务。

近年来,铁路行业依托铁路个别工点和典型项目相继开展了一系列从设计到施工的 BIM 技术应用,主要包括:沪昆高速铁路全线最大跨度的桥梁北盘江特大桥在设计建设过程中利用 BIM 技术

构建了全桥施工图阶段精细模型,结合地形、地质模型进行了接口检查、工程数量计算、制造数据协同、施工组织可视化设计等^[1-3];京张高速铁路成立了 BIM 项目组,开展了三站三隧 BIM 参数化设计应用和 BIM 与 GIS 融合三维可视化管控应用,实现了基于 BIM 技术的大数据综合分析和展示等^[4-5];宝兰客运专线石鼓山隧道、西成客运专线江油北站、海西铁路东方站、京沈客运专线、阳大铁路、连镇铁路等铁路 BIM 技术也由工点到成段落的逐步深

收稿日期:2021-08-13

作者简介:刘大园(1981-),男,高级工程师。

引文格式:刘大园,庞玲,姚力,等. 轨道 BIM 正向设计软件研发与应用[J]. 高速铁路技术,2022,13(6):46-51.

LIU Dayuan, PANG ling, YAO li, et al. Development and Application of Track BIM Design Software[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(6):46-51.

入应用,取得了丰富的应用成果^[6-7]。

针对轨道工程专业的BIM设计,目前Bentley平台的OpenRail Designer、Autodesk平台的Civil3D以及Dassault平台的3DEXperience均提供部分功能支撑,比如铁路平纵断面设计、轨道超高计算、铁路轨枕布置和钢轨放置等。然而,以上平台都缺少对中国铁路轨道设计的基本类型、标准和场景的支持,特别是缺少对当前主流的无砟轨道设计标准的支持。因此,上述平台无法满足我国铁路轨道方案设计和详细设计需求,无法用于实际项目设计。

针对铁路轨道专业的BIM应用现状和设计需求,本文依托实际试点进行了铁路轨道BIM正向设计软件研发和应用,研发了基于中国标准的构件设计器、超高计算、无砟轨道布板计算、轨道铺设地段自动划分、三维模型自动生成和工程数量统计等算法,将轨道设计中的主要工作业务难点和低附加值的重复劳动等解决方案集成到软件中进行计算。该软件系统力图解决适用于我国铁路标准的轨道BIM设计软件缺乏的问题,并通过软件的应用提高设计人员的工作效率。

1 软件框架

1.1 研发模式选择

目前研发BIM三维模型设计软件的模式主要有3种,分别为完全独立研发三维设计软件、基于成熟商业图形核心的独立三维设计软件和基于成熟商业平台的二次开发软件。第一种模式需研发全新的图形核心以及三维设计软件,无需购买任何基础图形模块,但所需研发周期太长;第二种模式需购买成熟的商业图形核心,在此基础上进行所有三维设计 and 专业功能模块的研发,同样需要较长的研发周期;第三种模式需要购买成熟的具有部分专业基础模块的商业软件平台,仅在此基础上进行专业需求的特殊功能研发即可,开发周期最短。根据当前的设计实际需求以及既有商业软件的使用情况,本文采取了第三种模式,即快速开发基于成熟商业平台的轨道BIM设计软件,并在适当的时候研发独立的图形核心进行替换,最终实现完全自主知识产权的专业BIM软件的开发。

1.2 软件框架设计

对比Autodesk、Dassault和Bentley三大主要商业平台的应用能力,发现Bentley平台对铁路工程的支持较为系统和完善。功能方面,Bentley平台从测绘、地质、路线、土建结构以及设备等方面均有不同程度的基础图形平台,较符合铁路工程设计工作内容需

求;性能方面,Bentley平台具有较好的大数据处理和图形显示能力,能较好满足铁路工程大体量模型承载需求。因此,轨道BIM正向设计软件以Bentley Open Rail Designer(简称“ORD”)平台技术为基础,采用C#.NET技术,搭建专业功能模块框架,实现轨道BIM的全流程设计,如图1所示。

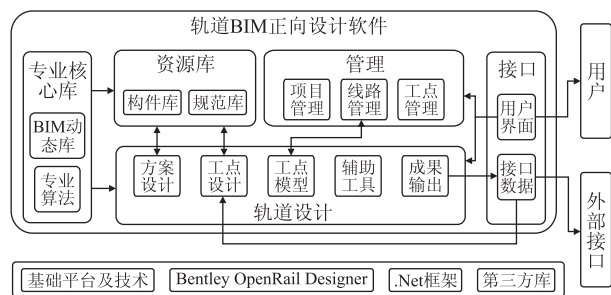


图1 轨道BIM正向设计软件框架图

1.2.1 主要模块

轨道BIM正向设计软件框架包含资源库、管理、接口、轨道设计以及专业核心库等主要模块。

(1)资源库模块用于提供可共享和复用的轨道构件库和规范库,为轨道BIM设计提供基础支持。构件库可对BIM标准中所覆盖的所有类型的轨道构件进行管理,规范库则对轨道设计所需要的规范进行管理。

(2)管理模块包括项目管理、线路管理、工点管理等功能,主要提供轨道实际设计过程中的项目信息和线路技术标准等进行管理。

(3)接口模块包括用户界面与接口数据协同。用户界面以ORD平台界面为基础进行扩展以满足交互设计要求,接口数据协同提供各种接口数据的协同能力。

(4)轨道设计模块包括轨道方案设计、工点自动设计、工点模型生成、成果输出以及相关的辅助设计功能,实现轨道BIM设计的参数化和自动化。

(5)专业核心库模块包含BIM动态库和专业算法库,提供线路BIM模型操作、软件通讯、三维通用变换、模型信息附加、ORD软件流程控制和轨道设计专业算法等基础功能。软件框架中包含的主要算法有曲线轨道超高分析算法、无砟轨道布板算法、工程数量统计算法等。

曲线轨道超高分析算法中内置了线路参数自动读取、超高值自动计算和判别模块,软件将超高判别的欠超高、过超高和顺坡率的标准数据化并集成到软件中,设计人员直接根据线路标准选择相应的判别标

准即可进行超高值计算。软件根据设计人员选择的判断条件优先顺序直接分析得出最优的超高设计值并输出设计报告,解决了人为判断和人工操作可能出现的误差,同时较传统设计方式显著提高了效率。

无砟轨道布板算法中,软件采用了基于非线性整数规划的优化算法。目前已有市场布板软件一般采用了暴力算法和贪婪算法来进行无砟轨道布板。暴力算法是遍历所有的可行布板方案然后确定合适的方案,时间复杂度高,若当配板长度较大时消耗的时间和内存较多;贪婪算法是分阶段进行最优化选择,先通过每一步贪婪选择得到某个子问题最优解,最终得到问题的整体最优解,其时间复杂度优于暴力算法;然而,贪婪策略的选择需要适合待解问题,否则可能在某些条件下无法得到最优解。本文建立了不同轨道板配置的数学模型并采用分支定界法计算非线性整数规划问题最优解,取得了良好的效果。

工程数量统计算法中,软件基于轨道信息模型数据进行了算法分析和优化,进一步提高了计算效率。通常情况下,基于创建的轨道工点模型来提取和统计工程数量是最精确的方式,但是由于模型的创建过程需要消耗巨大的计算机资源,特别是线路规模较大时模型的创建过程比较缓慢。如果等到模型创建完成再进行工程数量的统计,其效率优势并不明显。因此,本软件采用通过读取设计参数和信息并进行适当简化的方法计算轨道工程的数量,可在模型生成之前计算得到精度满足工程设计要求的工程数量清单,解决了效率与精度平衡的问题,符合实际生产需求。

1.2.2 基础技术

基础技术主要包含 ORD 基础平台、dotNet 框架和第三方库。ORD 基础平台提供 Dgn 文件操作、三维基础模型建立、信息附加与软件运行框架等;dotNet 框架提供文件读写、Windows 窗体、基础算法、数据结构、基类等软件运行公共基础库。

1.3 软件业务流程

由于轨道工程基本由标准件构成,轨道 BIM 设计软件的基本业务流程设定为:创建轨道构件库和轨道规范库,采用积木法创建轨道结构三维设计方案,然后基于轨道结构方案和线路条件创建线上轨道工点设计方案并自动生成轨道工点模型,最后基于轨道 BIM 模型进行轨道设计应用。软件应用流程如图 2 所示。

2 软件主要功能

根据前述分析,轨道 BIM 正向设计软件的功能可

分成项目管理、专业接口、轨道设计、成果输出、设计辅助和资源库 6 大功能模块。

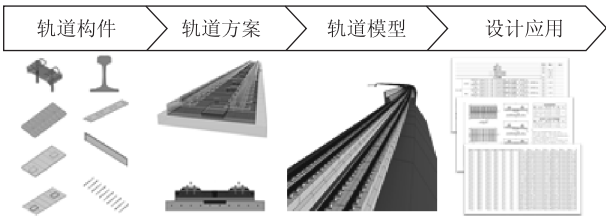


图 2 轨道 BIM 设计软件整体应用流程图

2.1 资源库

资源库包含构件库和规范库。资源库具备可扩展、共享和复用的功能;规范库的作用是:当设计人员在进行轨道方案参数化设计时,选定特定参数后,软件将自动检索规范库中的参数,将与当前设置参数相关的可用标准参数显示出来供设计人员参考或者选用,以达到指导设计的目的;构件库用于轨道构件的管理,可以设置构件库的位置,读取构件库文件并以列表的形式显示构件列表,可对选定的构件进行修改和属性设定等操作。轨道构件库管理器如图 3 所示。



图 3 轨道构件库管理器功能界面截图

2.2 轨道三维方案设计

轨道三维方案完全采用参数化的方式进行设计,如图 4 所示。参数化的方式可供设计人员采用搭积木的方式创建和管理轨道设计方案,设计人员可以通过选取构件库中的钢轨、扣件、轨枕、道床等基本轨道构件,直接创建三维轨道设计方案,同时可以任意调整方案尺寸和材质等参数。

2.3 轨道工点设计

轨道工点设计根据线路条件、线下基础分布和轨道特殊结构分布自动计算轨道铺设地段表,将轨道铺设地段映射到实际的三维线路空间,自动为每个铺轨

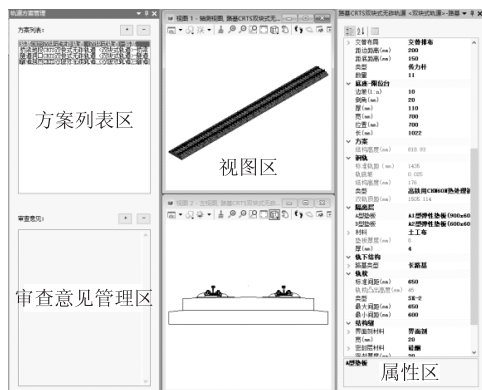


图 4 轨道方案管理器功能界面图

地段关联轨道设计方案。在此基础上,软件进行无砟轨道排布计算并自动创建轨道工点模型,轨道工点及轨道排布计算如图 5 所示,创建的轨道模型如图 6 所示。

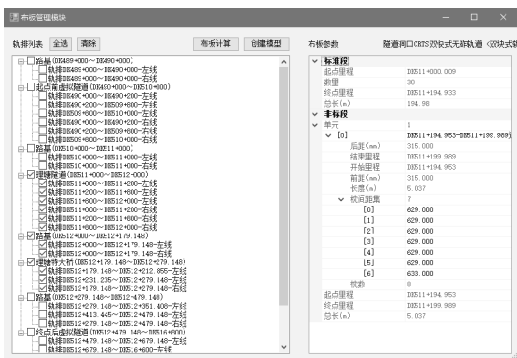


图 5 轨道工点管理器图

若按照传统方法(采用成熟的商业 BIM 设计平台的通用功能)进行轨道专业 BIM 设计,需要按照线路敷设条件和曲线超高方案人工建模,250 km 线路轨道 BIM 模型设计至少需要 50 天/人次。若采用本软件建模,在接口数据齐全的情况下,约一天时间即可完成,但前提是将模型创建任务同时分派到多个电脑终端进行同步建模,因为模型的创建过程将消耗大量的计算机资源,这是目前轨道 BIM 设计过程中存在的客观问题。

2.4 成果输出

成果输出主要包含工程数量统计和二维图纸提取。设计人员可根据项目建设需求设置标段,随后基于创建的轨道模型按标段精确地统计轨道工程数量,如图 7 所示。在轨道方案管理器中,可基于参数化的轨道三维设计方案自动提取轨道二维设计图纸,如图 8 所示。经测算,工程数量计算时间小于 100 s/100 km,出图时间小于 30 s/册,工程数量统计和出图效率较传

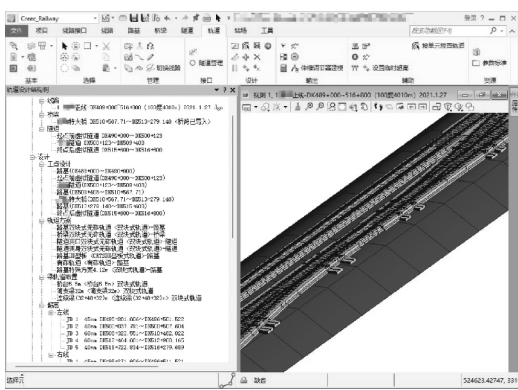


图 6 轨道模型示意图

统方法有显著提高。

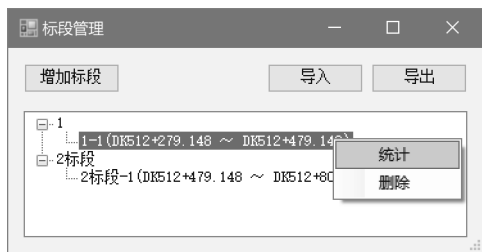


图 7 标段管理器界面图



图 8 轨道二维图纸生成参数设置图

3 软件应用

为验证软件及其流程的正确性,在宁淮城际铁路和鲁南高速铁路进行了 CRTS 双块式无砟轨道和有砟轨道 BIM 设计应用,在成渝中线高速铁路进行了 CRTS III 型板式无砟轨道 BIM 设计应用。

应用效果表明,基于轨道 BIM 专用设计软件快速创建了轨道结构模型,并遵照铁路 BIM 相关规范进行了结构分解、构件编码和信息附加,形成了完整的包含三维几何模型和非几何信息的 BIM 模型。此外,基于 BIM 模型还进行了接口检查、轨道数量统计、图纸输出和施工数据提取等应用,验证了轨道 BIM 正向设计软件正确性和高效性,为铁路轨道 BIM 设计积累了

实战的经验。

3.1 接口检查

将轨道工点模型与线下基础模型进行合模之后可以检查轨道与线下基础之间的接口是否产生冲突或者不匹配的问题。接口检查主要内容包含轨道板布设与桥梁梁缝是否匹配、车站道岔区无砟轨道底座与路基面标高检查、无砟轨道与隧道之间的变形缝和标高检查、钢轨伸缩调节器安装位置合理性检查和车站咽喉区道岔间轨道板配置方案检查等。经过检查发现多处接口冲突,并根据检查结果进行了优化设计,减少了后续施工阶段可能会出现的变更设计,提高了设计质量和精度。

3.2 无砟轨道智能排布设计

采用轨道 BIM 设计软件进行了路基、隧道、桥梁地段无砟轨道轨道排布设计,如图 9 所示。对实践项目中主要桥梁梁型进行轨道排布设计,主要包括 24 m 简支梁、32 m 简支梁、(28 + 48 + 28) m 连续梁、(60 + 112 + 60) m 连续梁、(68 + 128 + 68) m 连续梁、(36 + 64 + 36) m 连续梁和(48 + 80 + 48) m 连续梁等。同时,对任意长度的路基、隧道和特殊桥梁上的无砟轨道排布进行了自动化和智能化设计。无砟轨道的排布设计基于优化的轨道板排布算法进行自动布置,该优化算法遵循标准轨道板优先布置的原则,最大程度减少非标准板和非标准扣件间距的使用。此外,无砟轨道的排布设计完全基于线路三维空间线形进行设计。基于轨道 BIM 设计软件的无砟轨道排布智能设计不仅提高了无砟轨道设计的效率,而且提高了设计的精度和合理性。

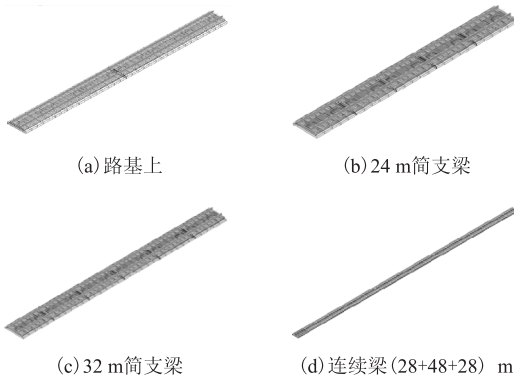


图 9 CRTS III 型板式无砟轨道排布设计方案图

3.3 工程数量统计

基于创建的轨道 BIM 模型,按标段划分统计轨道工程数量。轨道工程数量主要包含轨道铺设长度、轨道道床结构数量以及附属设施等。轨道铺设长度完

全依据模型创建的三维空间线形长度进行统计,提高了轨道铺设长度计算精度。轨道道床结构数量依据实际工点三维模型作为数据源进行统计,由于模型创建考虑了曲线超高和实际三维空间铺设长度,其统计精度大幅提高如图 10 所示。基于轨道模型进行工程数量计算,在计算精度和效率方面均得到提升。

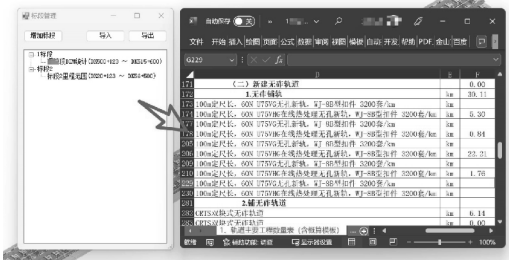


图 10 基于 BIM 模型统计轨道工程数量图

3.4 二维图纸输出

目前,二维施工图纸仍旧是当前铁路建设的重要依据。因此,基于 BIM 模型输出二维施工图纸是 BIM 设计应用的关键要求之一。依据创建的参数化轨道设计方案和模型,通过读取模型设计参数,直接生成标准的无砟轨道二维施工图纸(如图 11 所示)。其次,对道岔、钢轨伸缩调节器等特殊的参数化构件进行了无砟轨道三维配筋设计,依据创建的详细三维参数化构件,直接生成相应的二维施工图纸。此外,根据三维模型创建了特殊轨道结构的三维可视化轴测视图图纸,将其补充到现有二维施工图纸中,丰富了传统二维施工图纸内容,更加利于施工阶段施工人员进行识图和理解。

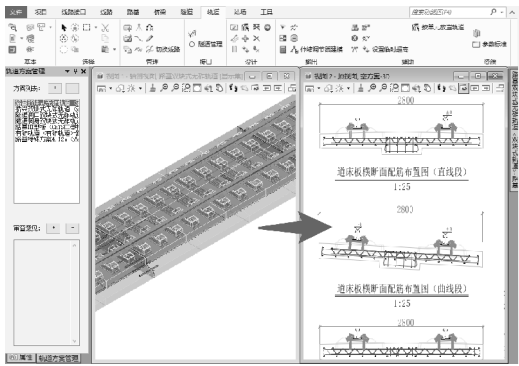


图 11 基于 BIM 模型输出二维图

3.5 施工数据自动提取

基于创建的轨道 BIM 模型,根据中国铁路 BIM 联盟相关标准要求,按照 EBS、IFD 标准对模型进行了分解、编码和信息附加。根据轨道工程无砟轨道施工需求附加相应定位信息并通过软件进行了施工数据自

动提取。在项目应用中通过软件自动提取了无砟轨道道床板定位关键控制角点、底座施工模板安装关键点的三维坐标信息以及相应的里程和编码信息,供下游施工阶段铺轨和铺设无砟轨道道床结构使用,避免施工阶段因人为计算误差或错误造成无砟轨道底座和道床板施工偏差问题。

4 结束语

本文依托研发的轨道BIM正向设计软件,在多个项目轨道设计中进行了全流程的BIM设计应用,解决了传统设计中的数据传递障碍、设计效率和设计可视化等问题,设计计算效率和三维模型绘制效率提高至少50倍。需注意的是,计算效率的提高需要强大的计算机资源的支撑,若采用一般设计电脑恐无法达到上述设计效率。然而,前述应用效果表明轨道BIM正向设计流程和场景是正确的,轨道BIM正向设计软件功能满足当前铁路轨道工程BIM设计的各项需求,其准确性、高效性和合规性等得到了实践的验证。后续研究将加强实践和积累经验进一步优化专业软件,使之与硬件水平和设计习惯更加匹配,提高BIM技术在铁路轨道工程的应用深度和广度,为铁路工程新基建和数字化建设提供服务。

参考文献:

- [1] 张雪才. 铁路行业站前专业BIM应用技术探讨[J]. 铁路技术创新, 2014(2): 18-21.
ZHANG Xuecai. Discussion on BIM Application Technology of Civil Engineering Discipline in the Railway Industry [J]. Railway Technical Innovation, 2014(2): 18-21.
- [2] 杨咏漪,徐勇,陈列. 沪昆客专北盘江特大桥BIM应用研究[J]. 铁路技术创新, 2014(5): 54-58.
YANG Yongyi, XU Yong, CHEN Lie. BIM Application Research on Beipanjiang Super Major Bridge of Shanghai-Kunming Passenger Dedicated Line [J]. Railway Technical Innovation, 2014(5): 54-58.
- [3] 张雪才. BIM技术在铁路设计行业的应用研究[J]. 铁路技术创新, 2014(5): 14-18.
ZHANG Xuecai. Research of Application of BIM Technology in the Design and Construction of High-speed Railway [J]. Railway Technical Innovation, 2014(5): 14-18.
- [4] 李纯,庞思雨. 基于BIM的参数化设计策略研究[J]. 铁道勘察, 2020, 46(1): 117-122.
LI Chun, PANG Siyu. Research of Parametric Design Strategies Based on BIM Technology [J]. Railway Investigation and Surveying, 2020, 46(1): 117-122.
- [5] 解亚龙,王万齐. 京张高铁工程数字化的探索与实践[J]. 中国铁路, 2019(9): 22-28.
XIE Yalong, WANG Wanqi. Exploration and Practices of Digitalization of Beijing-Zhangjiakou HSR Project [J]. China Railway, 2019(9): 22-28.
- [6] 刘厚强,易旭鹏,朱聪. 基于BIM的三维铁路路基建模应用研究[J]. 铁道标准设计, 2015, 59(7): 20-23.
LIU Houqiang, YI Xupeng, ZHU Cong. The Application of Three Dimensional Modeling with BIM Technology in Railway Subgrade [J]. Railway Standard Design, 2015, 59(7): 20-23.
- [7] 李俊松,董凤翔,张毅,等. 基于达索平台的铁路隧道工程全生命周期BIM技术应用探讨[J]. 铁路技术创新, 2014(2): 53-56.
LI Junsong, DONG Fengxiang, ZHANG Yi, et al. Discussion on Application of BIM Technology in Full Life Cycle of Railway Tunnel Engineering Based on Dassault Platform [J]. Railway Technical Innovation, 2014(2): 53-56.