

文章编号: 1674—8247(2024)02—0071—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.02.013

铁路路基 BIM 设计系统研究

谢先当¹ 张 权² 付 洋²

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 成都工业学院, 成都 611730)

摘 要:当前 BIM 技术在铁路路基工程设计阶段的应用主要是通过商业软件实现三维模型的创建。市场上的 BIM 软件仅提供基础的设计平台,无法满足专业设计要求。因此,需要明确铁路路基 BIM 设计的应用需求和价值点,选择合适的软件平台开展铁路路基 BIM 设计系统研发。本文结合 BIM 技术与铁路路基工程结构特点,以数据为基础,研发了铁路路基 BIM 设计系统,主要取得以下研究成果:(1)根据线路、桥梁、隧道等相关专业数据与路基设计数据,实现了路基构件库的创建、BIM 模型参数化创建以及二维图纸和工程数量等成果输出;(2)解决了相关专业的设计变更导致路基模型重复创建的问题,有效提高了设计效率和精度;(3)初步实现了铁路路基工程 BIM 正向设计,为 BIM 技术后续更深层次的应用打下良好基础。

关键词: BIM; 铁路路基; 构件库; 三维模型; 设计系统

中图分类号: U213.1

文献标志码: A

Study on BIM Design System for Railway Subgrade

XIE Xiandang¹ ZHANG Quan² FU Yang²

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

(2. Chengdu Technological University, Chengdu 611730, China)

Abstract: In today's application of BIM in the engineering design stage of railway subgrade, 3D models are generally created using commercial software. BIM software on the market only provides a basic design platform, which cannot meet the specific requirements for subgrade design. Therefore, it is necessary to clarify the application requirements and value points of BIM-based railway subgrade design, and select an appropriate software platform for research and development of a BIM-based railway subgrade design system. This paper developed a BIM-based railway subgrade design system based on data according to the characteristics of BIM and railway subgrade engineering structures. The main results are as follows:

(1) The creation of the subgrade element library and parametric BIM models and output of 2D drawings and quantities of works are realized according to the data of relevant disciplines such as lines, bridges and tunnels and subgrade design data. (2) The problem of repeated creation of subgrade models caused by design changes of relevant disciplines is solved, effectively improving the design efficiency and accuracy. (3) BIM-based top-down design of railway subgrade works is preliminarily realized, laying a solid foundation for the subsequent further application of BIM.

Key words: BIM; railway subgrade; element library; 3D model; design system

BIM 技术自诞生以来,率先在建筑行业推广使用,取得了显著的成果。铁路行业自 2013 年开始有

组织地研究 BIM 技术,原中国铁路总公司自 2016 年开始,在 17 个项目中开展 BIM 技术应用试点,探索

收稿日期:2023-02-23

作者简介:谢先当(1993-),男,工程师。

基金项目:中国中铁股份有限公司科技研究开发计划(2021-重点-27)

引文格式:谢先当,张权,付洋. 铁路路基 BIM 设计系统研究[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(2): 71-75.

XIE Xiandang, ZHANG Quan, FU Yang. Study on BIM Design System for Railway Subgrade [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(2): 71-75.

BIM 技术在铁路行业的应用。经过近 10 年的研究,铁路工程设计正由传统二维设计向 BIM 三维设计逐步提升^[1]。作为铁路工程核心专业之一,探索 BIM 技术在路基专业的应用具有重要意义。

1 概况

随着 BIM 技术在铁路工程领域应用的不断深入,各设计院从初期“翻模+展示”的应用模式,逐步转向更深层次的应用。目前,主要是在市场主流商业软件的基础上,定制开发满足行业需求的专业 BIM 设计软件和 GIS 软件,以提高设计效率和应用水平,逐步将前期的投入转换为生产力,用以提高市场竞争力。国内外常用的 BIM 设计软件有:Bentley 平台的 OpenRail Designer 软件(以下简称“ORD”)、Autodesk 平台的 Revit 软件和 Dassult 平台的 Catia 软件。这 3 款软件均能通过手动建模的方式实现路基 BIM 模型的创建。但在实际使用过程中存在诸多限制,如人工手动翻模耗时长、对于部分复杂模型创建难度较大,模型精度无法满足要求。另外,由于模型参数化程度低,导致模型无法被有效的重复使用。上述问题

对 BIM 技术的推广应用带来较大的阻碍^[2]。其中就铁路路基 BIM 技术的应用而言,目前市场上暂无针对铁路路基 BIM 设计的专业软件,亟需开展铁路路基专业 BIM 设计系统研发。

通过分析比选以上 3 款软件,发现 Bentley 平台软件有较多优势:(1)软件自带线路与地形等铁路设计必需的功能;(2)在铁路大场景设计中运行效率较高;(3)软件操作简单、容易上手,运行效率高、精度高^[3-4]。本文依托 Bentley 平台下的专业基础设计软件 ORD,结合铁路路基工程的特点,开展基于 BIM 的铁路路基设计系统的研究。

2 总体架构

2.1 总体设计

铁路路基 BIM 设计系统以 ORD 软件为基础设计平台,以路基信息数据库为内核,结合路基构件库,形成以数据为核心的路基 BIM 设计系统。铁路路基 BIM 设计系统主要包含路基设计数据与构件库两部分,并结合铁路 BIM 标准以及铁路路基标准规范开展路基 BIM 设计。系统架构如图 1 所示。

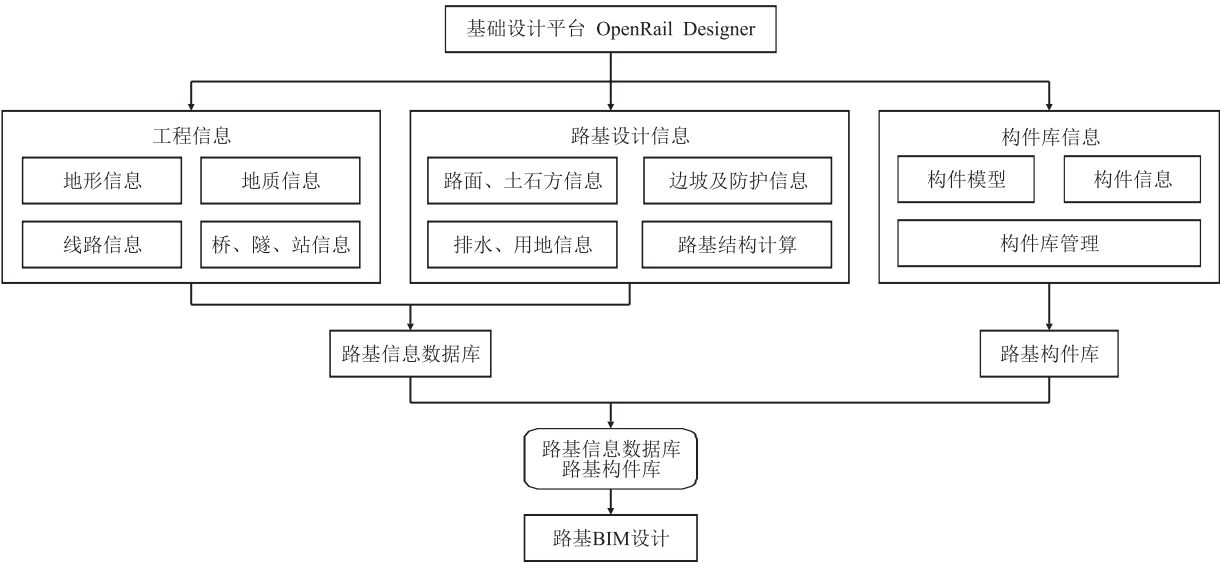


图 1 路基 BIM 设计系统架构图

2.2 功能设计

系统实现的具体功能主要包括以下几个方面：

(1)路基专业开展设计工作前,首先要接收上游专业提供的基础资料,主要包括:线路数据、地质数据以及地形数据。通过设计系统读取线路平面与纵断面等数据,生成三维线路模型;通过设计系统中的地形数据接口读取高程信息数据快速生成地面模型;系统读取地质参数和地层信息,并保存在设计文件中,

将地质数据作为后续路基设计的基本参数。在开展路基设计前需设定基本原则参数以及路基与桥梁、站场、隧道、涵洞等站前专业的接口数据,并预留与站后专业(如接触网立柱基础等)的接口^[5];实现在设计过程中相关工程的数据发生变更,路基的设计方案与设计数据的实时更新。

(2)路基工程构件库的创建与管理。路基工程包括土石方、支挡结构、边坡防护、排水、地基处理、以及

专业接口等工程构件,类型众多,并且随着设计的变更,需要对模型及其属性信息进行更新,由于手动建立的非参数化模型不支持参数修改,只能重复建模,模型重复使用率极低。将模型参数化,建立参数化的路基构件库,可极大提高模型创建的效率。设计系统使用数据库对路基构件数据进行统一管理,系统的构件生成模块和信息附加模块可对数据进行分类和计算,创建模型的同时完成信息的附加,提高模型的重复使用率^[6]。

(3)路基各类工程设计。设计系统中路基工程 BIM 设计的基本原则为:根据路基工程构件设计的先后顺序组织设计,即前一项工程设计结束的位置就是后一项工程设计开始的位置。设计中引入“基线”的概念,起到连接两个工程构件的作用,将其设置于本工程构件的结束边界并与后面的工程构件相互连接的位置。采用此种设计方式,系统对路基工程结构进行详细分解,并理清构件之间的逻辑关系,将每一个细节的设计做成一个功能模块,从局部到整体,层层

装配,最后设计出一套符合设计理念、精度高、易于修改的路基模型。

(4)路基工程数据模型管理。一个路基工程项目中,包含众多构件,且沿线路布置距离较长。为方便对某一具体工程构件进行定位和修改,需要对工程项目中路基 BIM 构件进行统一管理,以便修改时能够快速定位到对应的构件,给构件附加定位信息。本系统采用“构件分类编码+里程信息”的方式来识别项目中每一个构件。定位信息是构件的唯一识别码,作为属性附加在构件上,程序遍历所有构件属性信息中的定位信息。通过读取预先定义好的构件层级关系,最终按照层级关系生成路基工程项目结构树,通过结构树对项目所有构件模型及数据信息进行统一管理,确保模型与数据的唯一性。

(5)成果输出。成果输出内容主要包括:数据、模型、二维图纸、工程数量。其中二维图纸和工程数量均由数据通过计算后生成。

路基 BIM 设计系统模块组成如图 2 所示。

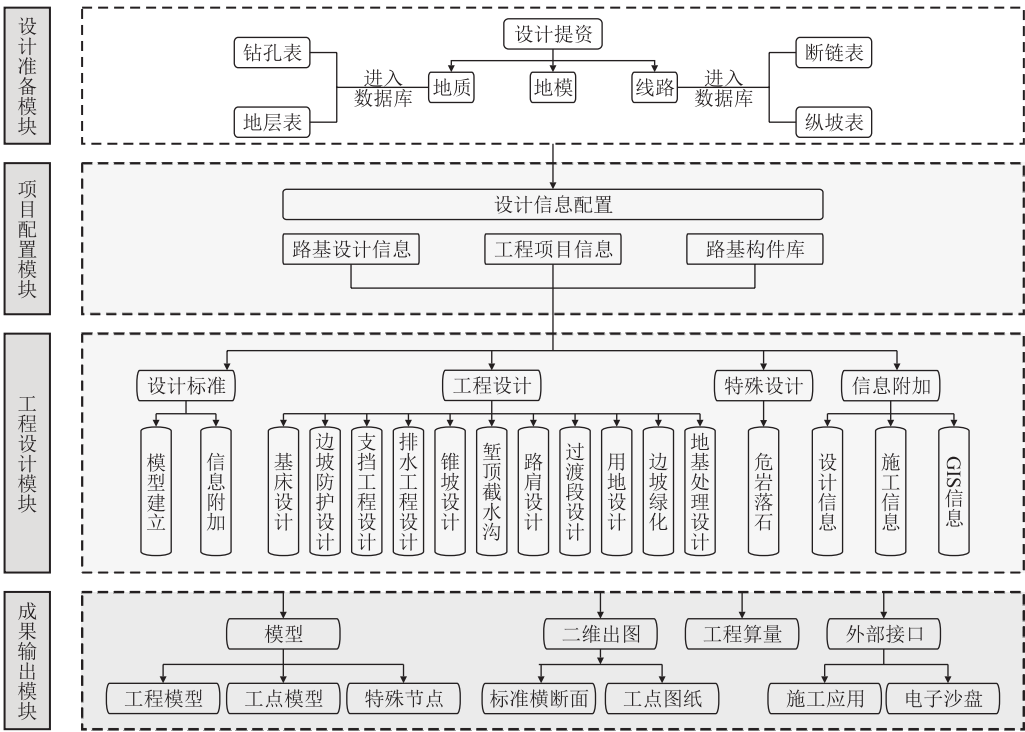


图 2 路基 BIM 设计系统模块组成图

3 系统实现

3.1 构件库创建

路基构件的分类与编码参照中国铁路 BIM 联盟发布的《铁路工程实体结构分解指南》^[7]《铁路工程

信息模型分类和编码标准》^[8]。将路基划分为土石方、支挡结构、边坡防护、排水设施、地基处理、以及接口结构、监测设备等,并进行编码,路基构件划分如图 3 所示。

通过采用标准化参数、数字化几何与非几何参

数,实现构件的几何信息描述,然后梳理构件装配参数,扩展构件系统功能属性,路基构件库的创建流程如下:

(1)参数准备:将构件的几何参数、非几何参数及功能性参数录入到数据库中。

(2)构件装配:系统在制作构件时,统一采用右手笛卡尔坐标系,完成单个构件的创建,这一原则确保了系统操作的简便性与高效性,同时,便于统一管理。构件的装配具体过程为:首先,在 OpenRail Designer 软件上编写建模工具,通过调用数据库中的几何参数构建三维实体模型;然后,编写装配命令工具,给定装配参数、装配原则和装配方法;最后根据装配方法逐一完成构件的装配工作。

(3)信息附加:基于 OpenRail Designer 编写信息附加工具,在创建模型的同时将模型属性信息与模型绑定,并且信息与模型是一种联动的关联关系,确保在属性信息更新的同时,模型及时响应变更。

(4)构件修改:构件修改分为两部分,一是构件属性信息的修改,在修改属性信息时构件三维模型发生相应的改变,如构件尺寸的变化以及构件在不同设计阶段几何精度和信息深度不同;二是构件装配方式的修改,如构件装配的位置及装配顺序的变更,应该反映到构件在三维空间的相对位置关系。

3.2 数据准备

3.2.1 线路设计

从线路数据库中读取线路的平面数据、纵断面数据和断链数据等线路信息要素,经过处理并导入 OpenRail Designer 软件中,生成线路模型;该线路模型包含路线三维几何信息、断链信息、里程桩号信息等。

3.2.2 地面模型设计

从测绘资料中读取高程点和等高线数据,采用系统研发的 Mesh 面构件算法,创建地面三角网模型。

3.2.3 地质参数设置

读取地质参数和地层信息表,并将相关信息保存在设计文件中,供后续路基工程设计调用。地质参数设置如图 4 所示。

3.2.4 基本参数设置

(1)设计原则

对路基设计最基本的参数进行设置,包括路基路面设计原则(路基面宽度等)、路堑和路堤设计原则参数(边坡、平台尺寸等)等进行设置。

(2)默认构件配置

在设计之前,根据工程条件对所用构件的尺寸、

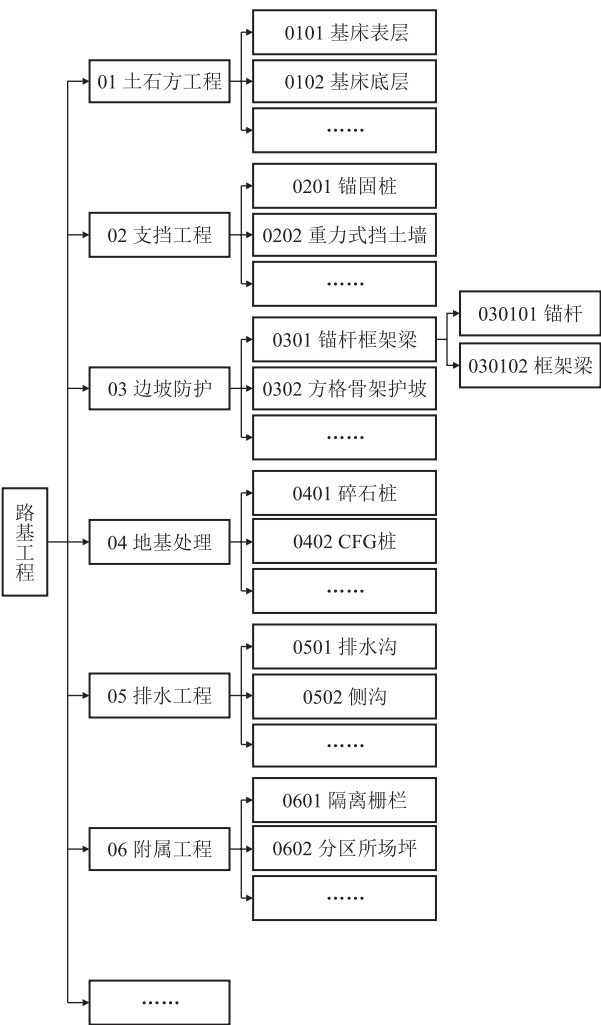


图 3 路基构件模型分类图

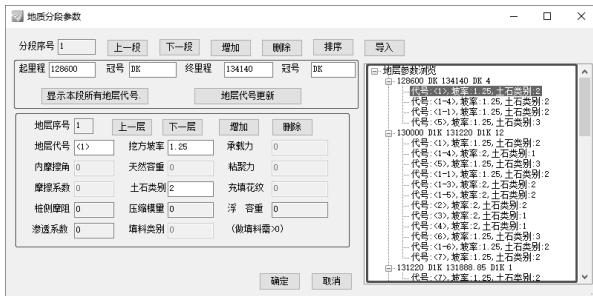


图 4 地质参数设置图

造型、材料等参数进行配置,减少后期修改构件的重复性工作。

(3)接口数据设置

主要包括与路基相接的桥梁、涵洞、隧道、站场等工程的名称、起止里程、排水方式等参数。将桥梁、隧道、涵洞、站场等数据与路线关联,预留路基与其他各专业间接口,实现了各专业接口工程的自动变更,减少了各专业接口设计的冲突。

3.3 工程设计

3.3.1 土石方工程

(1)路基本体

依托前期数据和基本参数,依次完成路面、路肩及路肩线设计,以路肩线为基线生成侧沟和填方边坡,以填方边坡脚线为基线生成排水沟,以侧沟外侧线为基线生成挖方边坡,完成路基本体模型的初始化。

(2)过渡段

根据路基本体模型和挖台阶边界,结合过渡段设计参数,生成过渡段模型,提高了过渡段设计精度,并能结合模型准确提取诸如开挖方量、回填方量、异形结构体积等数据,进一步提高路基过渡段工程数量的准确度。

(3)填挖方

依托路基本体模型、地面模型以及地质信息创建路基填方和挖方模型,实现填挖方工程数量的快速统计,并提高计算精度。路基土石方模型如图 5 所示。

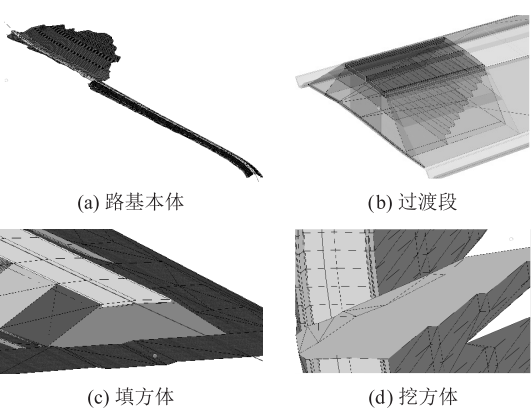


图 5 路基土石方模型图

3.3.2 支挡工程

以路肩线作为基线,确定里程范围并生成支挡结构,生成时读取保存在线路上的地质参数和地层信息,检算支挡结构埋深与范围,支挡结构生成后边坡与支挡结构自动拟合。系统实现的主要支挡工程包括:重力式挡土墙、桩板墙、土钉墙、桩基托梁挡土墙等十多种常用支挡工程。支挡工程模型如图 6 所示。

3.3.3 边坡防护

路堤地段边坡防护结构创建以路堤边坡的坡顶线为基线、坡脚线为结束边界线,并与坡面紧密贴合;路堑地段以路堑边坡的坡脚线为基线、坡顶线为结束边界线,并与坡面紧密贴合。系统实现的主要边坡防护包括:人字形骨架护坡、锚杆框架梁、漫石基础护坡、空心砖护坡等十多种常用边坡防护。

3.3.4 地基处理

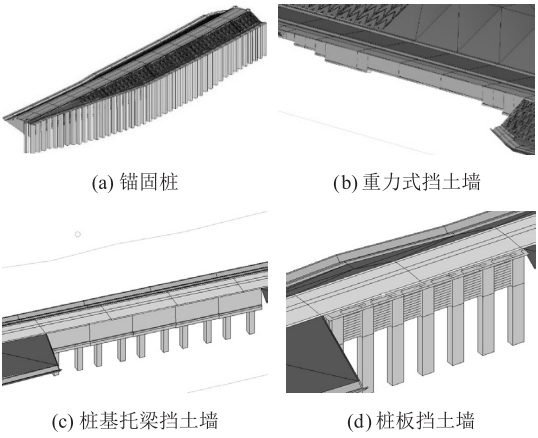


图 6 支挡工程模型图

地基处理设计,在地面模型的基础上,读取地质参数和地层信息,检算地基处理长度与范围。系统实现的主要地基处理包括:CFG 桩、碎石桩、桩板结构、塑料排水板等常用地基处理工程。

3.3.5 排水工程

包括排水沟、侧沟、堑顶截水沟、盲沟等常用工程设计。另外,结合排水沟断面,通过修改对应里程处的沟底高程和排水坡度进行排水设计,开展排水深化设计。

3.3.6 高陡边坡防护

西部山区多高陡边坡,存在围岩落石、滑坡、泥石流等地质灾害,给铁路运行带来巨大的安全隐患。系统结合三维地面模型,辅助分析高陡边坡存在的地质灾害隐患。支持柔性防护网、桩板挡土墙、落石槽、锚杆(锚索)框架梁以及锚索桩等模型创建,直观展现防护效果。高陡边坡防护如图 7 所示。

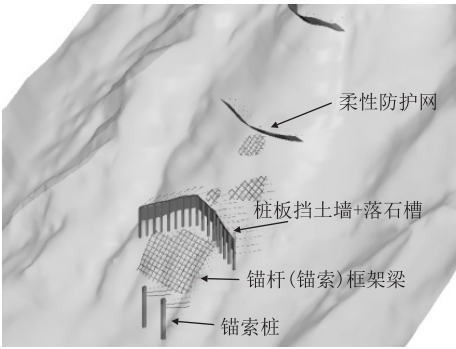


图 7 高陡边坡防护图

3.4 成果输出

3.4.1 二维出图

根据设计模型输出二维图纸,包括支挡工程、地

(下转第 96 页)

5526.

[8] 汪波,李天斌,何川,等. 强震区软岩隧道大变形破坏特征及其成因机制分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2012, 31(5): 928 – 936.

WANG Bo, LI Tianbin, HE Chuan, et al. Analysis of Failure Properties and Formatting Mechanism of Soft Rock Tunnel in Meizoseismic Areas [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2012, 31(5): 928 – 936.

[9] FRALDI M, GUARRACINO F. Analytical Solutions for Collapse Mechanisms in Tunnels with Arbitrary Cross Sections [J]. International Journal of Solids and Structures, 2010, 47(2): 216 – 223.

[10] FRALDI M, GUARRACINO F. Limit Analysis of Collapse Mechanisms in Cavities and Tunnels According to the Hoek-Brown Failure Criterion [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2009, 46(4): 665 – 673.

[11] 杨晓华,谢永利. 公路隧道坍方综合处治技术[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004, 24(1): 61 – 64.

YANG Xiaohua, XIE Yongli. Synthetical Treatment Technique for Highway Tunnel Collapse[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2004, 24(1): 61 – 64.

[12] 李忠. 在建铁路隧道水砂混合物突涌灾害的形成机制、预报及防治[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2009.

LI Zhong. Formation Mechanism, Prediction and Prevention of Sudden Surge of Water-sand Mixture in Railway Tunnel under Construction [D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2009.

[13] 苏秀婷. 青岛地铁富水砂层隧道开挖施工风险与变形规律研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.

SU Xiuting. Study on Construction Risk and Deformation Law of Qingdao Subway Tunnel in Water-rich Sand Layer [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.

[14] 王云龙,谭忠盛. 木寨岭板岩隧道塌方的结构失稳分析及预防措施研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(S2): 263 – 268.

WANG Yunlong, TAN Zhongsheng. Structural Instability Analysis and Prevention Measures of Structural Collapse in Muzhailing Slate Tunnel [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(S2): 263 – 268.

(上接第75页)

基处理等工点图以及路基横断面图。二维图纸与三维模型均由相同的数据驱动创建,确保了图纸与设计模型的一致性,实现模型与图纸的互相联动更新。设计完成后,将三维模型与二维图纸同时交付。

3.4.2 数量计算

将所有需要统计的工程按部位进行细分,创建模型的同时根据数据计算数量,并以非几何信息的形式与模型绑定。统计工程量时,系统遍历已有模型,并获取模型中工程结构对应的部位,并统计该部位的具体数量数据、计量单位和材料类型等数据,逐一统计完成后,再进行汇总,得到具体工程数量,将具体工程数量按规定格式保存到 Excel 表格,作为成果交付。

4 结论

通过分析当前铁路路基 BIM 设计的痛难点,选择合适的 BIM 商业软件作为基础设计平台,以现有铁路路基设计标准以及铁路 BIM 联盟发布的 BIM 标准为准则,研发出一套以数据为核心,由参数驱动模型创建的铁路路基 BIM 设计系统,实现了路基土石方、支挡防护、排水、地基处理等常用路基工程设计,并根据设计模型输出二维图纸和工程数量,实现了图模一体化,大大提高了路基 BIM 设计的精细化程度与效率,有效节约了成本。

铁路路基 BIM 设计系统初步实现了铁路路基 BIM 正向设计,但仍需进一步研究与各专业之间高效的协同设计方法,深入研究实现数字化交付的手段。

参考文献:

[1] 段熙宾,王冰峰. 基于区块链的轨道交通 BIM 模型安全管理方法[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(11): 136 – 140, 175.

DUAN Xibin, WANG Bingfeng. Block-chain Based BIM Model Security Management Method for Rail Transit [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(11): 136 – 140, 175.

[2] 马弯. 基于 BIM 的铁路轨道三维数字化设计系统研究[J]. 铁道工程学报, 2021, 38(4): 90 – 96.

MA Wan. Research on the Railway Track 3D Digital Design System on BIM [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2021, 38(4): 90 – 96.

[3] 谢先当,刘厚强,翟连吉. 基于 Bentley 平台的铁路路基 BIM 正向设计研究[J]. 铁路技术创新, 2020(4): 43 – 49.

XIE Xiandang, LIU Houqiang, ZHAI Lianji. Research on Forward Designs of Railway Subgrade Based on Bentley Platform [J]. Railway Technical Innovation, 2020(4): 43 – 49.

[4] 雷晓雨,王建,闫东旭,等. 基于达索平台的路基工程 BIM 设计方法研究[J]. 铁路技术创新, 2019(1): 13 – 16.

LEI Xiaoyu, WANG Jian, YAN Dongxu, et al. Dassault-based Subgrade Engineering BIM Design Methods [J]. Railway Technical Innovation, 2019(1): 13 – 16.

[5] 靳猛. 基于欧特克平台的铁路路基 BIM 设计技术研究[J]. 铁道标准设计, 2020, 64(7): 59 – 63.

JIN Meng. Research on BIM Design Technology of Railway Subgrade Based on Autodesk Platform [J]. Railway Standard Design, 2020, 64(7): 59 – 63.

[6] 谢先当,刘厚强. 基于 Bentley 平台的铁路路基参数化构件库研究[J]. 高速铁路技术, 2021, 12(6): 47 – 51, 83.

XIE Xiandang, LIU Houqiang. A Study on Parametric Component Library of Railway Earthworks Based on Bentley [J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6): 47 – 51, 83.