

铁道标准设计
Railway Standard Design
ISSN 1004-2954, CN 11-2987/U

《铁道标准设计》网络首发论文

题目：铁路四电工程建设 BIM 技术应用研究
作者：靳辰琨，郭志光
DOI：10.13238/j.issn.1004-2954.202101020001
收稿日期：2021-01-02
网络首发日期：2021-02-26
引用格式：靳辰琨，郭志光. 铁路四电工程建设 BIM 技术应用研究. 铁道标准设计.
<https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202101020001>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

铁路四电工程建设 BIM 技术应用研究

靳辰琨^{1,2}, 郭志光³

(1. 中国铁道科学研究院研究生部, 北京 100081; 2. 中国铁道科学研究院集团有限公司 电子计算技术研究所, 北京 100081; 3. 中国铁建电气化局集团有限公司, 北京 100043)

摘要: 针对铁路四电工程施工阶段存在的施工周期缩短, 设计图纸深度不够, 专业交叉复杂, 施工质量问题频发等难题, 引入 BIM 辅助施工生产管理, 可以提前发现并决问题, 避免返工与材料浪费, 整体提升工程质量与经济效益。本文通过研究 BIM 及其相关技术特点, 分析当前 BIM 应用现状, 提出在铁路四电施工阶段系统性应用 BIM 技术的解决方案, 包括 BIM 应用组织建立、软硬件集成部署、BIM 应用标准建设。实现了基于 BIM 的接触网参数化建模、腕臂预配计算、错漏碰缺检查优化、工程物料统计、四电专业线缆排布优化等专业应用, 以及基于 BIM 的一杆一档信息管理、进度管理、物资管理等综合管理应用。通过采用 BIM 技术, 直观地反映施工过程, 增强了数据共享, 及时发现专业间的错漏碰缺, 减少了返工, 提高了施工管理的效率和质量, 缩短了项目周期, 为铁路四电工程施工管理 BIM 应用提供了宝贵经验。

关键词: 铁路工程; 四电; CATIA; BIM; 施工管理

中图分类号: TP311.5;U22;U28 文献标识码: A DOI: 10.13238/j.issn.1004-2954.202101020001

Research on BIM Technology for Railway Electric/Electronic Systems Engineering Building

JIN Chenkun^{1,2}, GUO Zhiguang³

(1 Postgraduate Department, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China; 2 Institute of Computing Technology, China Academy of Railway Sciences Corporation Limited, Beijing 100081, China; 3 China Railway Construction Electrification Bureau Group Corporation Limited, Beijing 100043, China)

Abstract: In view of the problems of short construction period, insufficient design depth, multi-disciplinary cross and frequent construction quality problem in the railway electric/electronic systems engineering construction, introducing BIM to support construction management is able to detect and solve problems in advance, avoid reprocessing and material waste, enhance the quality and economic performance. This paper discusses technology feature of BIM, analyses status of BIM adoption, proposes BIM systematic application solution in railway electric/electronic systems engineering construction period, including building BIM application organization, integration and deployment of software/hardware, BIM application standards. This paper studies BIM-based professional applications including parametric modeling approach of overhead contact line, pre-calculation of catenary wrist arm, mistake/omission /conflict/missing optimization, engineering material statistics, cables layout optimization. Also studies BIM-based integrated management applications including information management of catenary pole, progress management and inventory management. By adopting BIM technology, the application can intuitively reflect the construction process, enhance data sharing and timely detect the errors and omissions among various majors, leading to reduce re-work, improve building efficiency and quality. This study provides valuable experience for BIM application in railway electric/electronic systems engineering construction.

Key words: railway engineering; electric & electronic systems; CATIA; BIM; construction management

近年来, 随着计算机软硬件的快速发展, BIM

目 (K2018G055)

作者简介: 靳辰琨 (1988—), 男, 工程师, 2013 年毕业于哥伦比亚大学电子工程专业, 工学硕士, 主要从事铁路 BIM 研究工作, E-mail:jinchenkun@rails.cn。

收稿日期: 2021-01-02; 修回日期: 2021-01-11

基金项目: 中国国家铁路集团有限公司科技研究开发计划项

从科研机构实验室走向了工程应用,越来越多的工程项目开始探索实际工程应用,取得了一定的实际效果,得到业界普遍关注与认可,将 BIM 作为未来工程建设管理的引领方向^[1]。总体来看 BIM 应用呈现出三方面特点:从应用工程类型上看, BIM 在房屋建筑工程中占比最大^[2-4],铁路行业以站前工程研究为主^[5-8],站后四电工程应用处于摸索发展阶段^[9-12];从项目全生命周期应用来看,目前的 BIM 应用大多数集中在三维设计阶段,绝大多数工程师将三维信息模型用作方案展示和比较的辅助手段^[13-17];从应用实际效果来看,由于 BIM 应用相关的配套标准不完善,软件系统不落地,管理方式没有跟进,呈现散点式的非系统性应用特点, BIM 支出与取得的价值之间存在差距^[18-20]。

为了实现 BIM 的系统性应用,发挥 BIM 更大价值,需要从 BIM 队伍组织建设, BIM 应用标准建立,软件功能及相关技术研究开发,专业工程技术人员培训全面推进。从 BIM 实施阶段开始规划好项目生命周期的应用需求,各专业之间的信息数据转换与传递标准,避免形成新的数据孤岛。采用一个管理平台,一套 BIM 模型,一套数据架构,统一 BIM 应用软件,统一 BIM 应用标准,打通各个环节、各个专业间的数据流,满足全方位、全流程的系统性应用需求,切实为工程施工过程提供技术指导和创造价值^[21-23]。

1 BIM 应用技术方案

1.1 硬件系统集成部署架构

根据 BIM 建模软件特点及运行要求,铁路四电 BIM 技术应用硬件系统集成部署架构如图 1 所示,采用 B/S 硬件拓扑架构,包括三台服务器及多个客户端,其中一台用作部署 BIM 建模软件服务,一台用作部署管理平台,一台用作独立的数据库运行与备份,服务器可自行部署或租用可靠的公有云服务。

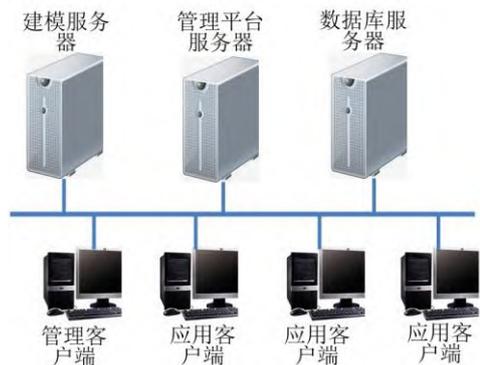


图 1 硬件系统集成部署架构

1.2 软件系统工作原理

工程建设技术人员与管理人员应用 BIM,除了基于 BIM 可视化特点直观识别设计意图外,还需要基于 BIM 获得各专业对应的数据信息及业务流程管理信息,仅依靠三维建模软件难以满足需求,须结合 BIM 软件功能特点、应用要求、硬件功能综合制定其相应的数据交互工作机制,铁路四电 BIM 应用软件系统包括三维建模软件(CATIA 软件)和项目综合管理平台,二者协同工作,共同完成综合业务需求。

其中 CATIA 软件为模型生产工具,基于 BIM 模型直接进行错漏碰缺检查与优化,消除三维模型中错误以后,实现物料统计、接触网腕臂预配计算、房屋内外线缆排布、专项施工方案制定等功能。

项目综合管理平台按约定协议接收 CATIA 模型数据,基于构件编码实现模型与后台定制的业务流程、业务数据无缝对接,同时开展技术与管理类应用。按铁路 BIM 联盟制定的编码体系进行编码,导入项目管理系统,进行项目质量管理、进度管理、物料管理、施工模拟等综合应用。软件系统的工作原理如图 2 所示。

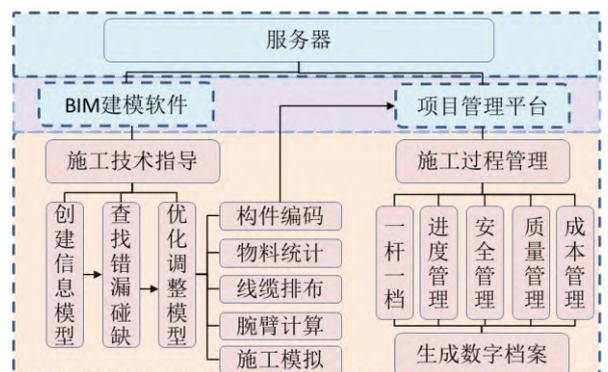


图 2 软件系统工作原理

2 项目级铁路四电施工 BIM 应用标准

BIM 标准是 BIM 实施过程中工作协同与信息协作的交流准则,是参与 BIM 应用的各方人员必须遵守的管理规定和技术依据,是保障 BIM 应用能够顺利推进实施的规则体系。现阶段,国家和行业在铁路四电施工 BIM 应用领域没有发布统一的 BIM 标准可以参照执行,建立项目级的 BIM 应用标准体系具有重要意义。

项目级铁路四电施工 BIM 应用标准的建立和编写需要遵从以下原则。

(1) BIM 标准的建设要领会国家的发布的 BIM 应用政策性文件精神,符合国家及行业政策要求。

(2) BIM 标准的建设要贴合项目实体生产的管理流程、实体生产的工序工艺,不能改变项目管理组织框架。

(3) BIM 标准的建设具有实际的指导意义和可用性,标准建设不能为了标准而脱离业务定立标准,需要深入了解项目实际施工生产的工作任务,并将业务需求通过转换,实现相应的软件功能

(4) BIM 标准的建设应分级分步骤实施,建议先建立总框架,根据具体需求,逐步完善。

铁路四电施工 BIM 应用项目级标准内容建议分三个部分。

(1) 第一部分为管理规定,规定铁路四电施工 BIM 应用中阶段划分,明确每个阶段的工作内容,具体的执行部门、执行人员、执行时间、执行标准、工作成果,各部门相互协作的内容、流程。

(2) 第二部分为技术规定,规定 BIM 模型创建工作流程,各专业 BIM 模型如何协同管理与工作,规定 BIM 模型创建的内容与深度,规定好 BIM 模型如何参照引用施工规范及质量验收规范。

(3) 第三部分为管理考核,规定考核管理时间、依据、奖惩规定,推动 BIM 应用。

3 基于 BIM 的技术类应用

3.1 接触网参数化建模

接触网专业 BIM 模型创建是 BIM 应用的重点与难点,相比其他专业,接触网专业构件分散,参数多,模型精准度要求更高,每个里程点模型不能复用^[24-26]。通过输入现场实际测量参数,包括实际

里程、轨道超高、腕臂底座安装高度、侧面限界,设计拉出值,经过软件插件二次开发,读取接触网建模参数(表 1),实现自动布置接触网支柱、腕臂、补偿装置、承力索、接触线、吊弦、附加导线及各类设备参数化模型(图 3)。

表 1 接触网建模参数

序号	上下行	杆号	里程 /m	间距 /m	型号	高度 /m	斜度 / (°)	杆编码
1	上	1#	0	50	BGZ	9.5	0.17	JCW05010001
2	上	3#	50	50	BGZ	9.5	0.17	JCW05010003
3	上	5#	100	50	BGZ	9.5	0.17	JCW05010005
4	上	7#	150	50	BGZ	9.5	0.17	JCW05010007
5	上	9#	200	50	BGZ	9.5	0.17	JCW05010009
6	上	11#	250	50	BGZ	9.5	0.17	JCW05010011
7	上	Q7#	300	50	GH280B	11	0.17	JCW050100Q7
8	上	31#	350	50	GH280B	11	0.17	JCW05010031



图 3 接触网参数化模型

3.2 腕臂预配计算

根据几何原理,创建空间骨架图,读取 excel 表中实际里程、轨道超高、腕臂底座安装高度、侧面限界,设计拉出值等参数,计算出平腕臂管、斜腕臂管、腕臂支撑、定位管、定位支撑长度,以及每个零件的准确安装位置(如图 4)。相比传统的计算方法,基于 BIM 的腕臂预配参数计算考虑了空间相关构件的安装位置,其计算结果精度高,可以直接无缝对接智能预配平台。

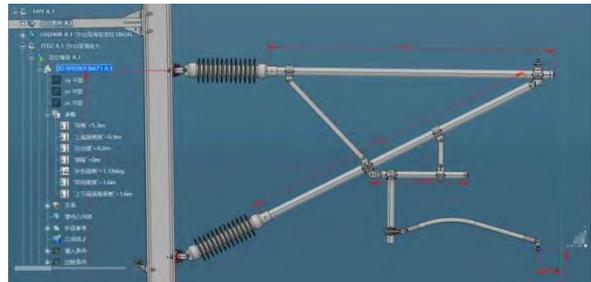


图 4 接触网腕臂预配参数计算

3.3 错漏碰缺检查优化

在传统二维设计图中,由与受时间与技术限制,

在二维图纸设计过程中根本无法避免错漏，只能在边施工边发现边解决，造成材料、人力、工期消耗大幅增加。采用 BIM 技术可以检查优化二维图纸中的错漏碰缺。

(1)开展接触网专业错漏碰缺检查，一是在软件中定制好碰撞规则，按原设计创建好模型直接输出碰撞检查结果表，二是对于一些没有规律漏缺，结合工程师专业经验进行逐一分段排查。接触网专业常见错漏碰缺主要存在于接触网支柱与站前工程之间的碰撞，弹性吊索与腕臂支撑直接碰撞或间距小于 100 mm，关节处承力索、接触线成 S 型麻花交叉。在 CATIA v6 中，通过参数调优可以调整模型完成“错漏碰缺”的检查优化。

(2)从模型特征看，接触网专业属于超长带状物，变配电、通信、信号专业所亭属于点状物，专业间交叉配合多，需要各个专业集成，相互协调才能彻底检查并纠正存在的问题。

3.4 工程物料统计

工程物料统计是工程施工中重要的基础数据，物资采购、资金准备、料库建设等工作都需要提供详细准确的工程物料统计数据。

基于 CATIA V6 软件提取工程物料，采取模型数据定制加二次开发的模式，在数据模型创建过程中嵌入统计时需要的物料分类、物料编码、物料名称、统计类型（统计个数、长度、体积、面积）、计量单位等信息，规定模型创建层级关系，通过二次开发，自动提取构件模型数据，按需求生成多种维度物料清单表格，工程技术部门、物资部门可同时获取相同表单，保证数据的唯一性和实时共享。相比传统算法，应用 BIM 技术开展工程物料统计，极大减轻了工程技术人员的工作量，提高了工作效率，实现了数据共享。

3.5 变配电、通信、信号专业线缆优化排布

线缆排布是所亭施工的难点，尤其是使用线夹固定，线缆排布要求更加精细，一旦出错就会导致返工，材料浪费严重，提前模拟排布线缆，可以保障工程质量、节约工期、避免材料浪费。基于 BIM 技术进行线缆排布分为以下流程，如图 5 所示。



图 5 线缆排布优化流程

(1)确定室内外设备位置。室内外设备位置需要根据设计要求及设备功能确定，需要明确设备平面位置、安装高度、接线口位置。

(2)核对线缆清册。根据设计图纸，逐一核对一次线缆与二次线缆清册，确定线缆根数、规格直径、内芯材质、作用（电源线、信号缆），为后期规划线缆及支架提供依据。

(3)规划线缆路由。线缆路由规划要综合考虑线缆作用、线缆规格、线缆转弯半径、线缆预留长度，电源线在上，信号线在下，同一直径设置在同层，做到整齐划一，清晰美观。

(4)创建线缆模型。依据线缆清册和设备接线位置，按规划线缆路由，逐一连接生成三维线缆模型。

(5)线缆优化调整。创建完三维模型以后要逐段观察，对产生交叉碰撞的线缆进行位置调整优化，满足技术要求及施工要求，外形整齐美观。

(6)成果输出。根据优化调整后的模型输出施工图，方便施工人员使用。

利用 BIM 进行线缆排布的模型与现场施工情况如图 6 所示。

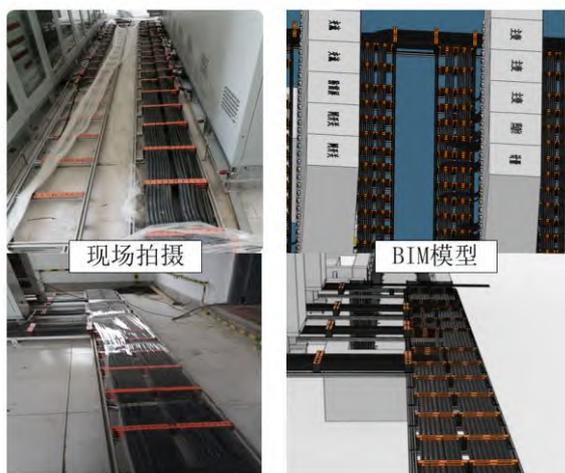


图 6 牵引所室内线缆排布 BIM 与现场对比

4 基于 BIM 的综合管理应用

基于 BIM 的四电施工综合管理是以虚拟的工程实体 BIM 模型为管理对象, 在项目综合管理平台中嵌入业务流程与专业表单, 将人工、材料、机械、工法统一纳入管理, 适应项目施工过程中不同阶段、不同专业间的应用协同工作, 实现项目管理的可视化、数字化、标准化、信息化。项目各级管理人员、技术人员在任何时间、任何地点使用平台, 获取相应的信息数据, 为项目施工生产提供决策依据^[26]。

4.1 一杆一档信息管理

基于 BIM 的一杆一档信息管理是以支柱为基础, 将支柱及其上安装的所有分项、设备作为一个管理单元^[27], 以中国国家铁路集团有限公司下发的一杆一档信息填写要求为模板, 以 BIM 模型为载体, 信息管理设计按集合单元、分项组件、零件三级设计, 共性信息记录在上级, 个性信息记录在下级, 涵盖设计、采购、施工三个阶段, 包括了基础信息、技术信息、材料信息和人员信息 (图 7)。

(1) 集合单元为一杆一档最高级别, 主要记录杆号、里程、左 (右) 线、接触网导高、轨面超高等信息。

(2) 分项工程组件是指按施工验收标准划分的组件, 包括支柱、支柱基础、腕臂装置、补偿装置、肩架、拉线、隔离开关等, 主要记录预配信息、施工队伍、施工时间、施工人员、验收人员、安装图号信息。并链接安装图纸、装配视频, 指导现场施工。

(3) 零件信息是组成组件的具体零配件, 以

腕臂装置为例, 包含腕臂底座、棒瓷绝缘子、腕臂管、承力索底座等零件, 对应每个零配件记录其型号规格、几何尺寸、生产厂家、生产批次、紧固力矩、进货批次等信息。



图 7 基于 BIM 的一杆一档信息

以支柱为对象生成二维码, 为一杆一档集合单元赋予身份标识, 后期使用终端扫描二维码即可进行数据查询与编辑 (图 8)。



图 8 一杆一档二维码管理

随着工程施工推进, 杆一档信息不断填报完善, 实现相关信息的实时检索、统计、查询、追溯, 项目技术人员通过平台进行信息共享, 避免了人员频繁的查找纸质文档导致的信息不全、不准和效率低下的问题。工程竣工时形成一套可视化数字档案, 移交后期运维单位, 为铁路基础设施全生命周期的运营管理提供数据支撑。

4.2 基于 BIM 的进度管理

基于 BIM 的进度管理是以高速铁路施工验收规范为基础, 将构件按分项工程划分, 在项目管理平台后台匹配相应的施工工序, 现场专业工程师登陆管理平台客户端选择具体对象填报完成时间、安装人员、验收结论等信息, 系统提供按专业、单位工程、分部分项、日期、里程等不同维度的组合统计, 数据及时共享给相关管理人员, 实时掌控现场施工进度, 为核算物资消耗与产值统计提供基础数据 (图 9)。同时标识施工作业实际完成情况, 实现 BIM 模型展示与现场施工进度的联动 (图 10)。

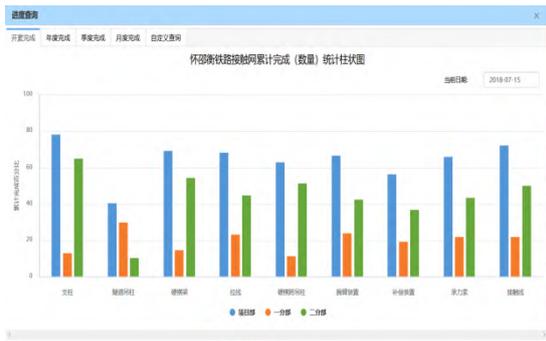


图 9 生产调度柱状统计图



图 10 实际安装进度 BIM 模型

4.3 基于 BIM 的物资管理

基于 BIM 的物资管理包括物资计划表单建立及数据获取, 表单审核, 采购信息填写、出库入库管理、限额领料管理。

(1) 物资计划表单生成, 通过 BIM 模型直接按需求维度(工点、专业、单位工程、起止里程)统计生成表单, 推送给审核人员, 物资部门收到采购需求时, 先在系统内查询库存量, 确认需要采购时直接向厂家发送采购单, 避免重复采购或采购遗漏(图 11)。

(2) 限额领料, 施工队伍领料前提交计划施工任务, 系统自动汇总需要物资清单, 分配合理的损耗比例, 形成最后领料限额, 减少材料浪费。

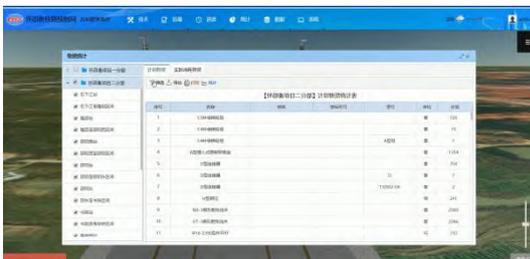


图 11 物资计划表

5 BIM 应用创新成果总结

通过分析 BIM 研究应用情况, 结合铁路四电工程特点, 开展了基于 BIM 技术在铁路四电工程的应

用实践, 取得了以下成果。

(1) 根据铁路 BIM 联盟发布的铁路 BIM 编码分类标准、数据存储标准等相关技术标准和实施标准, 制定了《高速铁路接触网专业 BIM 模型创建标准》、《高速铁路变配电 BIM 模型创建标准》、《高速铁路通信、信号 BIM 模型创建标准》等铁路四电 BIM 应用标准规范, 为四电工程 BIM 技术应用奠定了基础。

(2) 根据铁路四电工程场景应用, 建立了接触网参数化 BIM 模型, 基于铁路四电 BIM 模型, 开展了腕臂预配计算、错漏碰缺检查优化、线缆可视化排布模拟等应用, 优化设计指导施工, 提高了工程实施效率。

(3) 综合应用 BIM 技术开展质量管理、进度管理、物料管理、施工模拟等建设管理应用, 形成基于 BIM 的铁路四电工程数字化可视化建设管理模式。

(4) 搭建了基于 BIM 的铁路四电工程管理平台, 集成四电 BIM 三维建模和综合项目管理功能, 实现了设计施工不同生命周期模型与信息的共享复用。

(5) 基于 BIM 开展施工管理, 实现了施工阶段数据的保存, 形成铁路四电专业大数据库, 为铁路四电基础设施的运维提供数据支撑。

6 BIM 应用发展展望

BIM 技术研究与应用还存在着提升的空间, 一是进一步加快建立 BIM 应用的标准体系, 打通 BIM 应用的数据断层与专业间断层、不同阶段断层。二是加大软件研发投入, 尤其是制约瓶颈的三维图形软件到落地应用间的研发。三是建立铁路四电 BIM 应用生态圈, 将 BIM 应用由单一的某个单位扩展到所有的参与单位, 做到一套模型、一个架构、一个平台服务不同的用户单位, 共同服务项目建设。

参考文献:

[1] 王同军. 基于 BIM 技术的铁路工程建设管理创新与实践[J]. 铁道学报, 2019, 41 (1):7-15.

[2] 王孟钧, 钱应苗, 袁瑞佳, 等. 国际 BIM 研究演进路径, 热点及前沿可视化分析[J]. 铁道学报, 2019, 41 (6):13-19.

[3] 刘玉玉. 铁路房屋建筑 BIM 工程量自动统计研究[J]. 铁

- 道标准设计, 2020, 64(12):124-127.
- [4] 赵琳, 张轩, 陈鹏飞, 等.京张高铁八达岭地下车站 BIM 设计应用[J].铁道勘察, 2020, 46(1):111-116, 122.
- [5] 苗永抗.BIM 技术在铁路预应力混凝土简支梁设计中的应用研究[J].铁道标准设计, 2019, 63(3):71-75.
- [6] 张轩.基于 Bentley 平台的铁路隧道 BIM 技术应用研究[J].铁道标准设计, 2019, 63(4):107-112.
- [7] 刘为群.BIM 技术应用于数字铁路建设的实践与思考[J].铁道学报, 2019, 41(3):97-101.
- [8] 马少雄, 李昌宁, 徐宏, 徐飞, 赵钦.基于 BIM 的铁路隧道工程施工协同管理平台研究[J/OL].铁道标准设计 :1-8[2021-01-10].<https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202009080003>.
- [9] 赵文武, 曾绍武, 赵钦, 等.BIM 技术在铁路信号设备数据管理中的应用研究[J].铁道标准设计, 2017, 61(1):127-132, 133.
- [10] 闫立忠.基于青连铁路四电工程 BIM 技术的应用研究[J].铁道标准设计, 2019, 63(4):141-147.
- [11] 杨凯镜, 韩志伟, 刘志刚.基于 BIM 的接触网参数化零部件族库技术研究[J].铁道标准设计, 2018, 62(8):142-147.
- [12] 刘红良, 王万齐, 王辉麟, 等.BIM 技术在高速铁路接触网工程中的应用研究[J].铁路计算机应用, 2019, 28(6):54-58.
- [13] 王鹏.铁路站场 BIM 技术应用研究[J].铁道标准设计, 2019, 63(11):27-29, 34.
- [14] 戴林发宝, 薛光桥, 苑俊杰.基于多源数据的铁路工程 BIM 协同设计平台研究[J/OL].铁道标准设计 :1-8[2021-01-10].<https://doi.org/10.13238/j.issn.1004-2954.202009140002>.
- [15] 段熙宾, 王冰峰, 杜小智, 等.轨道交通 BIM 协同设计平台的设计与实现[J].铁道标准设计, 2020, 64(3):60-64.
- [16] 徐博.基于 BIM 技术的铁路工程正向设计方法研究[J].铁道标准设计, 2018, 62(4):35-40.
- [17] 王欣睿.基于 BIM 的综合交通枢纽管线综合设计研究——以京张高铁清河站设计为例[J].铁道标准设计, 2019, 63(9):97-100, 125.
- [18] 韩元利.论铁路 BIM 的认识误区与实施原则[J].铁道工程学报, 2015, 32(4):118-122.
- [19] 孟晓健.铁路车站 BIM 设计实施标准研究及应用[J].铁道标准设计, 2018, 62(6):120-125.
- [20] 李华良, 杨绪坤, 王长进, 等.中国铁路 BIM 标准体系框架研究[J].铁路技术创新, 2014(2):12-17.
- [21] 薛彩丽.基于 BIM 的铁路建设全寿命周期投资管理研究[J].铁道工程学报, 2019, 36(11):103-107.
- [22] 康学东.我国铁路智能建设与运营管理初探[J].铁道工程学报, 2019, 36(4):84-89.
- [23] 李纯, 张忠良.基于 BIM 标准体系的铁路协同设计体系研究[J].铁道勘察, 2020, 46(1):95-102.
- [24] 郭戈.京张高铁牵引供电 BIM 技术创新应用研究[J].电气化铁道, 2020, 31(3):37-41.
- [25] 孟飞, 史天运, 解亚龙.基于 IFC 标准的高铁接触网信息模型创建的研究[J].铁道工程学报, 2019, 36(7):70-75.
- [26] 孟飞.基于 BIM 的高铁接触网信息模型及全生命周期管理技术研究[D].北京:中国铁道科学研究院, 2019.
- [27] 王同军.基于 BIM 的铁路工程管理平台建设与展望[J].铁路技术创新, 2015(3):7-13.
- [28] 张平.基于 BIM 的接触网一杆一档管理系统及应用[J].铁道建筑技术, 2019(12):28-31.