

# 基于建筑信息模型的数字化交付在城市轨道交通工程中的应用

张兴军

(上海城建信息科技有限公司, 200092, 上海//工程师)

**摘 要** 目的:城市轨道交通作为新型基础设施的重要组成部分,建设规模大、专业种类多、资料归档困难,数字化交付作为建筑工程信息化的重要环节,也是数字孪生与元宇宙领域重要的底层基础数据载体,可以有效解决传统以纸质资料为媒介的竣工归档交付中资料缺失、信息不准确、运营期检索资料困难等问题。通过基于 BIM(建筑信息模型)技术的数字化交付可以提高项目和企业信息化管理效率,推动建筑业现代化进程。**方法:**在现有数字化交付研究基础上,聚焦城市轨道交通行业,系统研究了基于 BIM 技术的数字化交付实施规划、交付流程、关键技术解决方案及数字化交付平台应用,对影响数字化交付的实施范围、建模要求、属性信息维护、构件编码、轻量化引擎等关键技术节点逐一实践。**结果及结论:**通过实际工程项目应用,验证了城市轨道交通类项目数字化交付的可行性,总结了基于 BIM 的数字化交付实施过程中的特点和难点,并提出了相应技术解决路径的优化方向。

**关键词** 城市轨道交通; BIM 技术; 数字化交付

**中图分类号** U231+.92

**DOI:**10.16037/j.1007-869x.2023.07.045

## Application of Digital Delivery Based on BIM in Urban Rail Transit Engineering

ZHANG Xingjun

**Abstract** **Objective:** As an essential component of new infrastructure, urban rail transit projects are characterized by their large construction scale, diverse disciplines, and data archiving difficulties in. Digital delivery, as a crucial part of construction project informatization, serves as a fundamental data carrier for digital twins and metaverse field, effectively addressing issues such as missing data, inaccurate information, and difficulties in retrieving operation period documents in conventional paper-based completion and delivery process. Through digital delivery based on BIM (building information modeling) technology, the project efficiency and enterprise information-oriented management can be improved, driving the modernization process of the construction industry. **Method:** Based on existing research

on digital delivery, focusing on the urban rail transit industry, a systematic study is conducted on the implementation plan, delivery process, key technology solution schemes, and platform application of digital delivery application based on BIM technology. Key technical aspects that impact digital delivery including the implementation scope, modeling requirements, attribute information maintenance, component coding, and lightweight engine are examined through elaborative practices. **Result & Conclusion:** Through practical engineering project application, the feasibility of digital delivery in urban rail transit projects is verified. The characteristics and challenges of implementing BIM-based digital delivery are summarized, and corresponding optimization direction for technical solutions is proposed.

**Key words** urban rail transit; BIM technology; digital delivery

**Author's address** Shanghai Urban Construction Information Technology Co., Ltd., 200092, Shanghai, China

工程建设项目在建设阶段有大量纸质和电子资料产生,在向运营方交付过程中,由于周期长、参与方多、管理水平低、监管不到位等原因,容易出现资料缺失的情况。随着互联网平台技术的发展,传统竣工交付方式已经无法满足工程建设信息化的发展要求。

针对工程建设交付环节的信息化,住房和城乡建设部发布的 GB/T 51301—2018《建筑信息模型设计交付标准》规定了建筑信息模型应包含交付准备、交付物和交付协同等内容<sup>[1]</sup>。

## 1 数字化交付的相关研究

目前,国内外许多学者已对数字化交付的各阶段展开了不同程度的研究与实践。文献[2]指出数字化交付是支撑未来基础设施建设领域重要的环节。文献[3]分析了工程竣工交付的现状,并对在

交付过程中存在的重难点问题给出了解决方案。文献[4]运用 IFC(工业基础类)标准格式开发了可行性研究阶段的数字交付平台,加快推进项目评审速度。文献[5]解决了数据格式不同而导致的无法互通的问题。文献[6]在房建领域开拓了基于数字化交付的竣工管理和项目竣工备案等应用。欧特克公司依托自身产品,开发了支持数字化交付的 Tandem(欧特克最新推出的数字孪生平台)系统,其汇集各阶段的数据,将数字孪生引入工程建设行业<sup>[5]</sup>。文献[7]阐述了数字化交付下对文档管理的要求。以上研究表明,数字化交付的应用范围将逐步扩展至全生命周期,并取代纸质档案交付。

针对城市轨道交通行业,文献[8]为城市轨道交通行业在设计数字化交付标准、构建数字化交付平台提出了解决对策。文献[9]分析了城市轨道交通数字化交付的关键功能,强调了工程资料交付的重要性。文献[10]对国有企业的城市轨道交通工程资产交付问题给出了解决方案。

以上对数字化交付的研究,表明了城市轨道交通行业对数字化交付的迫切需求,但目前行业内将数字化交付应用于实际工程的实践研究还相对较少。本文以某城市轨道交通工程单条线路为例,以城市轨道交通数字孪生运营为核心目标就数字化交付展开深入研究。

## 2 数字化交付实施规划

### 2.1 数字化交付定义

数字化交付是以建设工程项目为核心,基于 BIM(建筑信息模型)技术,将建设阶段产生的静态信息进行数字化创建直至移交的工作过程,是实体建设工程所对应的数字孪生工程<sup>[11]</sup>。工程数字化交付涉及项目全过程,以工程信息为核心,三维模型为依托,工程资料为扩展,涵盖工程各阶段。

### 2.2 数字化交付特点

数字化交付是从建设期开始就进行工程建设相关文件的数字化管理,通过数字化管理的优势,数字文件的不同版本变更将完整保留在数据库中,明确参建方责任,实现从纸质化管理到数字化管理的转变。

### 2.3 数字化交付实施范围

该项目立足城市轨道交通运营数字孪生数据底座打造,设计并实施数字化交付,包含土建、机电、装修中的设计、施工和运营管理,涵盖车站、区

间、车辆基地、控制中心等在内的建筑和周边设施,以施工至运营阶段的竣工交付为重点。

### 2.4 数字化交付目标

通过开发和部署基于 BIM 的数字化交付平台,有效搜集、管理、共享、传递工程信息,实现满足运营需求的准确、完备、集成的数字化交付流程,并通过 BIM 模型辅助城市轨道交通运营期间智能化、自动化、高效安全的运行管理,为后续项目全生命周期的数字化管理提供经验。

### 2.5 数字化交付价值

数字化交付的内容中包括了设计文件和各阶段 BIM 模型,还包括了相关工程项目资料信息,由此生成的信息库可完整传递至运营阶段,避免了因纸质文档管理的问题,为后期的运营管理平台化奠定了基础,从源头上避免了运营管理阶段的数据获取问题。

## 3 基于 BIM 的数字化交付流程

某城市轨道交通工程单线路的 BIM 技术应用实施,主要根据 BIM 总体咨询单位制定的总体技术路线,完成竣工交付模型建模、审查、交付,以及属性信息维护、竣工资料关联等工作,完成准确、完备、集成的数字化竣工交付和平台的开发与部署,利用 BIM 模型辅助城市轨道交通智能化、自动化、高效安全的运行管理。其总体实施路线如图 1 所示。

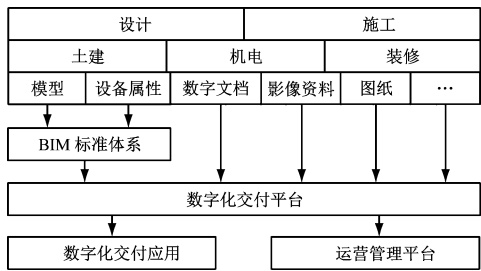


图 1 数字化交付实施路线

Fig. 1 Roadmap of digital delivery implementation

为了满足运维的后期需求,实现数字化资产的充分应用,在交付过程需要保证对各设施设备的数字信息进行收集与管理,形成后期可维护的数字资产。

### 3.1 BIM 模型创建

土建构件由 BIM 咨询单位组织土建施工单位共同建模,并将完成审查的土建模型交付后续机电及站后系统施工单位,由施工单位完成其所施工内

容的模型并开展后续应用。

借助三维可视化优势,建模人员在模型创建过程中记录了图纸设计中存在的冲突问题并形成图模核对报告,作为文档资料的一部分归档至数字化交付平台。

### 3.2 BIM 模型审查

模型审查是保证 BIM 数字化交付数据质量的重要环节,为推动模型审查程序化和标准化,项目 在实施过程中应按照有关标准执行。模型审查人员根据图纸和标准检查模型的完整性、合规性和一致性。BIM 模型审查流程如图 2 所示。

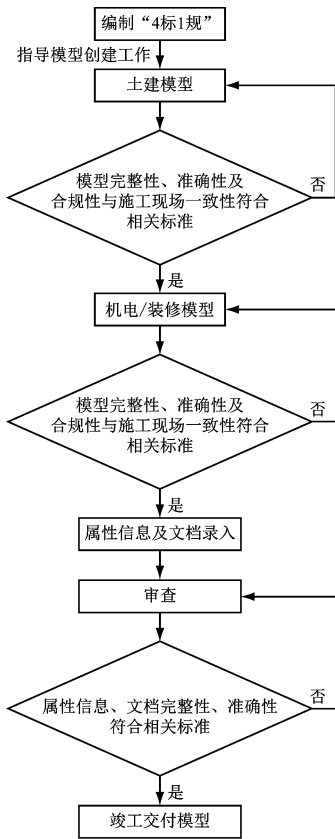


图 2 BIM 模型审查流程  
Fig.2 Model BIM review process

### 3.3 BIM 模型交付

在区域、系统分解的基础上,结合工程实际工作量和任务合同分解,将每个工作段分为 3 个大组: 土建、机电、装修。完成各专业 BIM 模型建模和审查后,按对应的平台上创建好的场景分别进行上传。数字化交付平台创建的部分场景目录截图如图 3 所示。

### 3.4 视点、视图创建

机电各专业 BIM 模型上传数字化交付管理平

台后,需要对该专业的模型视点和视图进行设置, 便于业主及各参建单位审核该专业 BIM 模型相关信息。其中在数字化交付管理平台上的各个关键位置的视点经现场一致性核对位置后创建,并关联相应的照片以及备注说明;视图用于快速查看各专业和整体模型。数字化交付平台的视点创建目录截图如图 4 所示。



图 3 部分场景目录截图  
Fig.3 Screenshot of partial scene catalog



图 4 数字化交付平台的视点创建目录截图  
Fig.4 Screenshot of view point creation catalog on digital delivery platform

## 4 BIM 关键技术解决方案

### 4.1 标准化命名

该项目采用规定的 BIM 模型构件命名规则,并根据命名规则创建 Revit 族文件、族类型和项目样板,实现交付模型筛选匹配。

### 4.2 模型扣减关系

为解决模型扣减工作量巨大、城市轨道交通车站结构复杂、隐蔽图元较多等问题,该项目使用自研的批量扣减插件。插件使用沿坐标轴的包围盒加速碰撞检测,对比手工扣减作业,节约超过 90% 的时间和人力,且扣减结果稳定无疏漏。

### 4.3 设施设备编码

设施设备编码的目的是配合运营阶段对设施设备的成本核算、检修维护、进出库、报废等管理。本项目对 BIM 模型中的设施设备进行编码,由 6 位

设施设备代码、5 位位置代码和 5 位序号代码组成。

项目实施人员研发了一套基于 Dynamo(可视化编程)开发平台的设施设备编码工具包,不仅覆盖了编码标准的要求,还具备良好的扩展性。基于 BIM 的设施设备编码流程如图 5 所示。

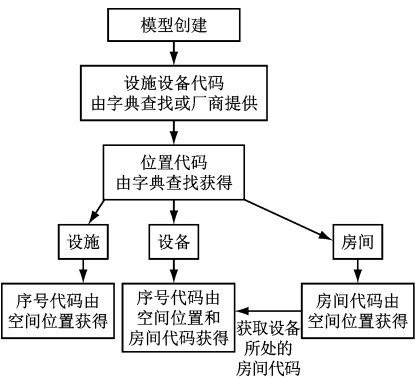


图 5 基于 BIM 的设施设备编码流程

Fig. 5 Coding workflow of BIM-based equipment and facilities

4.4 设施设备属性

设备属性信息以满足运营管理为目标,分为通用属性和特殊属性。其中,通用属性由设备厂商在设备模型中添加并上传交付平台;特殊属性、图纸资料等作为关联资料上传平台。基于 BIM 的设施设备属性绑定流程如图 6 所示。

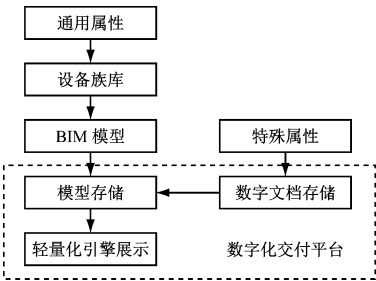


图 6 基于 BIM 的设施设备属性绑定流程

Fig. 6 Attribute binding workflow of BIM-based equipment and facilities

5 基于 BIM 的数字化交付平台

为了实现立足城市轨道交通运营数字孪生数据底座打造的全生命周期管理,项目根据运营阶段的使用场景,围绕 BIM 数字化交付需求,梳理数据内容和服务内容,设计和部署数字化交付平台,形成完整可维护的数字资产库,为数字化交付实施提供支撑。

5.1 平台架构

基础架构体系是数字化交付平台的基础。通过搭建标准统一、结构合理、链路通畅、安全可靠的基础架构平台,实现城市轨道交通信息系统间交换和共享,为应用体系、数据体系、技术架构体系等提供基础的支撑服务。基于 BIM 的数字化交付平台架构如图 7 所示。

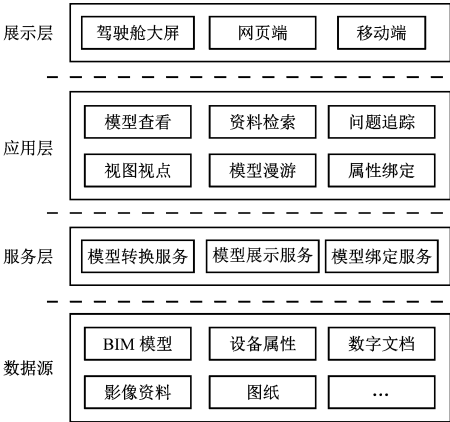


图 7 基于 BIM 的数字化交付平台架构

Fig. 7 Framework of BIM-based digital delivery platform

5.2 平台功能

5.2.1 影像资料

项目建设和竣工交付过程中,相关单位对材料、施工工序、质量检测等环节在施工现场拍摄记录,平台可支持主流数字影像格式,将影像资料分类管理且关联对应位置模型或文档,并添加标注说明。影像资料关联模型位置示例截图如图 8 所示。



图 8 影像资料关联模型位置示例截图

Fig. 8 Example screenshot of image data association model position

5.2.2 文档资料管理

文档管理功能提供文档目录组织、授权,文档挂接上传等功能,实现文档资料的管理与设施设备编码或空间位置绑定,实现文档与编码树的匹配关

联,间接实现文档与模型的自动关联。

### 5.2.3 平台维护属性

数字化交付平台可以将模型相关的全部属性信息存储到平台数据库,但属性数据源完全依赖或者仅依赖于从上传时获取,会存在很大的应用和维护问题。因此,平台端开发属性信息维护功能模块,用于提供必要的属性数据维护以及表格批量导入功能。

### 5.2.4 轻量化图形引擎

本项目平台使用自主研发的高性能图形引擎,同时满足浏览器 Web(万维网)端和移动端的图形引擎开发需求,以高性能的图形引擎技术、灵活的数字化后台、动态数据及视频集成接入技术和广泛的格式支持,实现 BIM 模型便捷应用。

### 5.2.5 角色管理

设置项目各参建方的角色,配置角色权限。在各参建方在平台赋予的权限范围内,将职责范围内的数字化交付资料及时上传和更新到数字化交付管理平台。

## 6 结语

通过该项目的应用实践,基于 BIM 的数字化交付平台实现了预期效果,以标准化、数字化的工程资料为基础,为面向运营的城市轨道交通数字孪生智能运维管理体系提供了数据保障,为运营维护人员提供完整、高质量的数据资产,支撑了运营管理系统可靠运行。

数字化交付是建筑行业信息化、智能化的重要环节,该项目在立足城市轨道交通运营数字孪生数据底座打造的全生命周期 BIM 应用中,规范 BIM 应用中的相关技术标准,并解决了标准实施中的技术难点,通过搭建以轻量化引擎为核心的数字化交付平台,并匹配专业的城市轨道交通数字资产咨询管理技术服务,实现 BIM 模型和工程信息、工程资料的完整关联和存储,为项目后期数字孪生智能运营应用奠定了基础,为后续其他城市轨道交通线路建设提供了宝贵经验,真正实现了城市轨道交通工程从纸质文档交付至数字化交付的转变。

当下,数字化交付实施过程中仍存在问题,如:标准制定过于理论化,在项目实际实施过程中可行性欠佳;多参建单位参与的情况下,参建单位内部标准与整体标准不兼容,需要大量协调等。今后将基于该项目数字化交付的实施经验,推动基

于 BIM 的数字化交付标准优化和相关政策出台,进而将城市轨道交通数字化交付模式推广至更大范围的建筑工程领域。

基于 BIM 的数字化交付整合的大量数字资产,是未来基于大数据的工程分析和应用的基础,在完善 BIM 属性的基础上,拓展多维度物理建模,形成模型与实体的精准映射,结合 IoT(物联网)、AI(人工智能)等前沿技术,以数字化平台为核心,通过仿真分析模拟服务,生成对物理世界的优化策略,推动数据与实体的紧密融合、双向互动的数字孪生,进而指引和改善城市轨道交通工程全生命周期的规划、建设、运营管理,实现城市轨道交通数字孪生服务于智慧化运营。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部,国家市场监督管理总局. 建筑信息模型设计交付标准: GB/T 51301—2018[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China, State Administration of Market Regulation. Design and delivery standard for building information models: GB/T 51301—2018[S]. Beijing: China Construction Industry Press, 2018.
- [2] 肖勇军. 基于 BIM 的建设工程竣工数字化交付分析[J]. 智能建筑与智慧城市, 2021(12): 95.  
XIAO Yongjun. Digital delivery analysis of construction project completion based on BIM[J]. Intelligent Building & Smart City, 2021(12): 95.
- [3] 汪再军, 周迎. 基于 BIM 的建设工程竣工数字化交付研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(4): 13.  
WANG Zaijun, ZHOU Ying. Research on digital delivery of completed construction projects based on BIM[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2021, 13(4): 13.
- [4] 邹帅. BIM 数字化交付平台在工程可行性研究阶段的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(4): 74.  
ZOU Shuai. The application of BIM digital delivery platform during the project feasibility stage[J]. Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture, 2021, 13(4): 74.
- [5] 出版者不详. 迈出工程建设行业数字化交付第一步: 欧特克 Tandem 将数字孪生引入建筑信息模型[J]. 工程建设标准化, 2020(12): 88.  
S. N. The first step taken in digital delivery in the engineering construction industry—Autodesk Tandem brings digital twin into BIM[J]. Standardization of Engineering Construction, 2020(12): 88.

(下转第 245 页)

由图 10 可知,将原始图像图 10 a) 经过二值化处理得到图 10 b),再经过图像形态学处理(见图 10 c))后,进行基于像素数量统计的边缘检测优化(见图 10 d)),可很好地将模糊图像进行边界检测。因此利用本文提出的算法,能够有效地检测到缺口边缘位置,算法具有有效性。

缺口检测系统的优化,能够减少因系统检测不准确原因而出现的缺口数据报警概率,有利于实现对转辙机缺口数值的精准检测,有利于列车的安全运营。

### 4.2 性能验证

为了进一步验证算法的性能,本文对青岛地铁 13 号线某站所检测的 600 张缺口图片进行了识别。通过人工校验,本文算法识别性能验证试验结果见表 1。

表 1 算法识别性能验证试验结果

Tab.1 Verification experiment results of algorithm recognition performance

算法类别	准确识别数/张	错误识别数/张	准确率/%
原有算法	563	37	93.83
本文算法	592	8	98.66

通过原有算法、本文算法与人工校验的比较结果,在原有算法下能够识别 563 张,准确率为 93.83%;在本文算法下能够识别 592 张,准确率为 98.66%。

综上所述,本文算法对缺口图像具有较好的识别性能,满足地铁现场实际运用的需要。

### 5 结语

为了减轻目前道岔转辙机缺口检测误差对工

作人员的工作负担,本文针对转辙机结构和缺口原理,基于 ZDJ9 转辙机的缺口检测系统,进行了算法优化。本文结合 Canny 算子和动态阈值的优势,提出基于像素数量统计的边缘检测算法,对缺口的识别更加准确,可对对现场真实缺口图像进行直接分析,得到缺口的实时数据,且对环境噪声具有良好的鲁棒性。

### 参考文献

[1] 杜森. 基于 B/S 架构的交互式增强现实教学辅助系统的研究与设计[D]. 青岛: 山东科技大学, 2019.  
DU Sen. Research and design of interactive augmented reality teaching assistant system based on B/S architecture[D]. Qingdao: Shandong University of Science and Technology, 2019.

[2] 中华人民共和国铁道部. 转辙机通用技术条件:TB/T 2614—2005[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.  
Ministry of Railways of the People's Republic of China. General technology conditions for point machines:TB/T 2614—2005[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2005.

[3] 中国铁道百科全书总编辑委员会. 中国铁道百科全书: 通信与信号[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2003:535.  
Editorial Committee of China Railway Encyclopedia. China railway encyclopedia: communication and signal[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2003: 535.

[4] 徐红阳. 基于电力载波通信的铁路道岔缺口监测系统研究[J]. 铁路通信信号工程技术, 2018, 15(3):1.  
XU Hongyang. Research on railway switch gap monitoring system based on power line carrier communication[J]. Railway Signalling & Communication Engineering, 2018, 15(3):1.

(收稿日期:2021-02-18)

(上接第 240 页)

[6] 高寒. 超大体量项目 BIM 竣工数字化交付应用[J]. 建筑经济, 2021, 42(增2):83.  
GAO Han. BIM completion and digital delivery application for large scale projects[J]. Building Economy, 2021, 42(S2):83.

[7] 李珍. 基于工程项目数字化交付的文档管理[J]. 现代企业, 2019(3): 22.  
LI Zhen. Document management based on digital delivery of engineering projects[J]. Modern Enterprise, 2019(3): 22.

[8] 何志平, 冯国冠, 刘森. 城市轨道交通工程交付问题现状及对策研究[J]. 现代城市轨道交通, 2021(5): 111.  
HE Zhiping, FENG Guoguan, LIU Miao. Research on present situation and countermeasures of urban rail transit project commissioning[J]. Modern Urban Rail Transit, 2021(5): 111.

[9] 米皓. 轨道交通设计成果数字化交付方式研究[J]. 网络安

全技术与应用, 2022(3): 103.  
MI Hao. Research on digital delivery mode of rail transit design achievements[J]. Network Security Technology & Application, 2022(3): 103.

[10] 华叶飞. 国有企业资产交付管理问题研究: 以轨道交通资产为例[J]. 中国商论, 2020(11):80.  
HUA Yefei. Research on asset delivery management of state-owned enterprises—taking rail transit assets as an example[J]. China Business & Trade, 2020(11):80.

[11] 金字亮. 基于 BIM 的数字化交付管理体系在工程中的应用[J]. 建筑施工, 2021, 43(8):1633.  
JIN Yuliang. Application of digital delivery management system based on BIM in engineering[J]. Building Construction, 2021, 43(8):1633.

(收稿日期:2023-03-30)