

doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2025.01.021

# 既有轨道交通项目 BIM 数据化方法研究

黄一格<sup>1</sup>, 王波<sup>2</sup>, 李广<sup>1</sup>, 赖华辉<sup>2</sup>, 钟宇祺<sup>3</sup>, 黄鸿达<sup>2</sup>

(1. 深圳市地铁集团有限公司, 广东深圳 518026; 2. 深圳市市政设计研究院有限公司, 广东深圳 518029;  
3. 深圳地铁运营集团有限公司, 广东深圳 518040)

**摘要:** 针对既有建筑数字化工作的资料采集难、建模规范性不足、数据核验难等问题, 结合轨道交通项目特点, 研究并提出既有轨道交通项目建筑信息模型(building information modeling, BIM)数据化方法。首先, 结合运营运维数据需求, 提出既有轨道交通项目 BIM 数据化与场景应用总体框架。其次, 研究制定 BIM 建模交付技术指引, 并开发 BIM 构件标准库, 以规范既有轨道交通项目 BIM 模型创建。然后, 结合现场数据采集情况, 采取不同方法创建既有轨道交通项目 BIM 模型。当图纸齐全时, 以图纸为基准进行建模; 当图纸缺失时, 研究以现场图片、点云数据等为基础, 通过构件特征识别和匹配 BIM 构件标准库的构件单元, 辅助 BIM 模型创建。最后, 为保障 BIM 模型质量, 研发合标性检查工具, 通过内嵌 BIM 标准规范自动检查 BIM 模型, 并开展现场检查复核各专业 BIM 模型。目前已在深圳地铁既有运营线路项目开展 BIM 数据化应用, 积累了 BIM 数字资产, 可为其他城市既有运营线路 BIM 建设提供参考。

**关键词:** 既有建筑; 轨道交通; 运营运维; 建筑信息模型; 模型检查

中图分类号: U231; TU201.4; TU17 文献标志码: A 文章编号: 1672-6073(2025)01-0157-07

## Research on BIM-based Digitalization Method for Existing Rail Transit Projects

HUANG Yige<sup>1</sup>, WANG Bo<sup>2</sup>, LI Guang<sup>1</sup>, LAI Huahui<sup>2</sup>, ZHONG Yuqi<sup>3</sup>, HUANG Hongda<sup>2</sup>

(1. Shenzhen Metro Group Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518026; 2. Shenzhen Municipal Design & Research Institute Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518029; 3. Shenzhen Metro Operation Group Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518040)

**Abstract:** Considering the problems of the difficult data collection, non-standard models, and inaccurate data in the digitalization of existing buildings, the BIM-based digitalization method for existing rail transit projects was studied and proposed, according to the characteristics of rail transit projects. First, based on data requirements of the operation and maintenance management, an overall framework for BIM digitalization and scenario applications in existing rail transit projects was developed. Second, the technical guideline for BIM modeling and delivery was studied and established, and a BIM component standard library was developed to standardize the creation of BIM models of existing rail transit projects. Third, according to the on-site data collection situation, different methods were adopted to create BIM models of existing rail transit projects. When the drawings were complete, models could be created based on the drawings. When some drawings were missing, the BIM model creation

收稿日期: 2024-03-27 修回日期: 2024-06-20

第一作者: 黄一格, 男, 硕士, 高级会计师, 主要从事轨道交通数字化转型工作, huangyige@shenzhenmc.com

基金项目: 住房和城乡建设部 2020 年科学技术计划项目(2020-K-136); 中国城市轨道交通协会科研专项(CAMET-KY-2022010); 深圳市创新创业计划科技重大专项项目(KJZD20230923115206014)

引用格式: 黄一格, 王波, 李广, 等. 既有轨道交通项目 BIM 数据化方法研究[J]. 都市轨道交通, 2025, 38(1): 157-163.

HUANG Yige, WANG Bo, LI Guang, et al. Research on BIM-based digitalization method for existing rail transit projects[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(1): 157-163.

method based on the on-site images and point cloud data was studied through component feature recognition and matching component units in the BIM component standard library. Finally, to ensure the quality of BIM models, a compliance checking tool with embedded BIM standard specifications was developed for automatic model verification. Additionally, on-site inspection was conducted for various professional BIM models. The BIM construction of existing operating lines in Shenzhen Metro is being carried out, accumulating BIM-based digital assets, which provides reference for the BIM construction of existing operating lines in other cities.

**Keywords:** existing building; rail transit; operation and maintenance; building information modeling (BIM); model checking

我国陆续公布了重庆、广州、深圳等城市作为新型城市基础设施建设(简称“新城建”)试点。新城建的重要数据基础之一是各工程建设项目的数字化。随着我国城镇化的快速发展,积累了海量的建筑“存量”<sup>[1]</sup>,即“既有建筑”。近年来,在国家、省市等政策的大力推进下,建筑信息模型(building information modeling, BIM)技术已广泛应用在建设工程领域,为新建工程项目的数据积累提供了技术支撑。然而,既有建筑 BIM 数据化还相对滞后。深圳市作为智慧城市的试点城市,正在大力推进智慧城市和数字政府的高质量建设,在《关于加快推进建筑信息模型(BIM)技术应用的实施意见(试行)》(深府办函〔2021〕103号)中,不仅规定了积极推进新建工程项目全生命周期 BIM 应用,还要求逐步完成既有重要建筑 BIM 模型创建。在此背景下,深圳地铁积极推进既有运营线路 BIM 建设。前期,深圳地铁根据国家、省市的相关要求,从深圳地铁四期工程的新建项目开始,全面推进 BIM 技术应用<sup>[2]</sup>。对于既有项目,截至 2023 年 12 月底,深圳地铁已运营线路达 567.1 km(含有轨电车),车站共 393 座。如何解决如此大规模的项目 BIM 数据化,是轨道交通基础设施项目智慧运营运维(运营侧重运行服务方面的应用,运维是设备设施维护方面的应用)必须解决的问题之一<sup>[3]</sup>。

近年来,针对我国既有建筑项目数字化运维的需求,我国在既有建筑<sup>[4]</sup>、既有小区<sup>[5]</sup>、历史建筑<sup>[6]</sup>等领域积极推进 BIM 数据的创建和应用。唐琛捷等<sup>[7]</sup>探讨了 3D 激光扫描和 BIM 逆向建模在既有建筑改造项目中的应用情况,形成精准的几何与结构特征。针对历史建筑图纸资料缺漏的情况,宋天任等<sup>[8]</sup>采用 Revit 翻模、物理渲染、三维激光扫描等技术实现 BIM 建模,并融合至运维平台管理。何文景等<sup>[9]</sup>提出基于深度学习的三维点云自动生成 BIM 模型技术路线,采用深度学习反向传播机制优化并统一一点云数据预处理、构件识别、分割、定位与建模过程。姚晶珊等<sup>[10]</sup>通过激光扫描仪、摄影测量设备等方法反向测绘获取建筑物测量数据,通过数据处理、算法优化、数据校验和核对等方法建立 BIM 模型,并搭建基于 BIM 的

智慧管理平台。目前既有项目 BIM 建设主要聚焦在建筑工程领域,对于范围广、体量大的轨道交通等基础设施 BIM 数字化的研究和应用还相对较少。深圳地铁在相关 BIM 标准规范的基础上,研究既有轨道交通项目 BIM 数据化方法,积累数字资产,以期为轨道交通智慧运维提供技术支撑。

## 1 BIM 数据化总体框架

轨道交通项目具有范围广、类型多、体量大等特点,与一般建筑工程相比,轨道交通项目是分期建设,不同线路的资料保存情况各不相同。为保证既有项目 BIM 模型数据的统一性、规范性,从数据采集、模型创建、数据融合、场景应用、业务用户等方面建立既有轨道交通项目 BIM 数据化与场景应用的总体框架,如图 1 所示。本文将围绕数据采集、模型创建等方面重点分析既有轨道交通项目 BIM 数据化方法研究和应用情况。

## 2 BIM 模型标准化研究

既有轨道交通项目 BIM 模型的最终目的是赋能运维业务。需以运维业务需求为导向,明确轨道交通项目 BIM 模型创建深度要求。为保证 BIM 模型的标准性、统一性,研究并编制既有轨道交通 BIM 标准,并配套建立 BIM 构件标准库。

### 2.1 需求分析

为挖掘 BIM 模型数据价值,将运维场景应用需求前置。与新建工程不同,既有轨道交通项目是相对稳定的,包含大量的运维设备,涉及持续变化的、不同格式的数据,如监控视频、设备运行参数、客流数据等。结合 BIM 模型的三维化、信息化、协同化等特点,既有轨道交通项目 BIM 模型需满足以下需求。

1) 空间定位精准化需求。轨道交通项目涉及多种设施设备,且分散在不同区域或房间,如站台层、站厅层、冷水机房、控制室等,通过 BIM 模型应准确定位各类设施设备的空间位置并三维表达空间关系,以满足设备运维、空间管理、巡检管理等场景关于空间定位的应用需求。

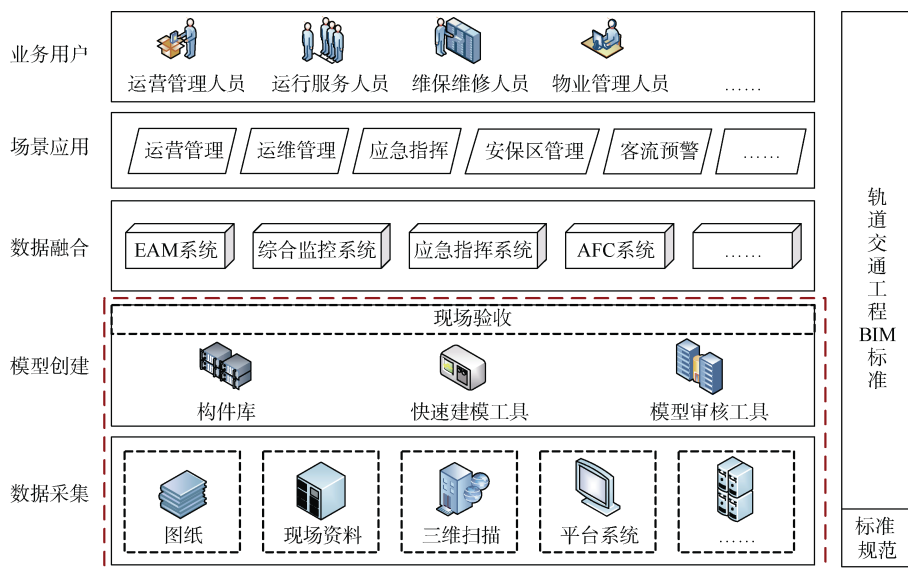


图1 既有轨道交通项目 BIM 数据化与场景应用总体框架

Figure 1 Overall framework for BIM digitalization and scenario applications in existing rail transit projects

2) 运维全过程信息管理需求。既有运营线路项目的设施设备信息一般存储在图纸、报告、系统等不同媒介,存在信息孤岛、自动化处理难等问题。应以 BIM 模型为数据底座,集成运维全过程信息,以满足设备管理、资产管理、物资管理等场景关于运维全过程信息应用的需求。

3) 动态数据关联需求。既有轨道交通项目一直处于运营状态,持续不断产生数据,为保障地铁运营安全、高效,及时发现并预警潜在问题或风险,可借助 BIM 模型的三维可视化优势,将动态数据关联至对应设施设备,以满足运营管控、设备监控、客流预警等关于动态数据管理的应用需求。

## 2.2 标准规范研究

为保障既有轨道交通项目 BIM 模型数据的标准化,推进运营运维场景应用,以 2.1 节的分析需求为导向,研究制定《既有重要建筑建模交付技术指引(轨道交通分册)》。该指引在遵循深圳市地方标准《SJG 101 城市轨道交通工程信息模型表达及交付标准》原则的基础上,针对轨道交通项目特点,规定了既有轨道交通项目的模型创建方式、构件建模类型、构件建模深度、属性信息等内容,并要求分类编码应符合深圳市地方标准《SJG 102 城市轨道交通工程信息模型分类和编码标准》。新建工程在设计、施工阶段的 BIM 模型深度随着工程项目开展而不断深化,且该模型包含临时设施、机械工具等其他工程对象。而针对既有

轨道交通项目,其模型精细度是固定的,考虑运维需求,将土建类设施设备的建模深度设为 G3/N3,其中 G 表示几何表达精度, N 表示信息深度等级,遵循国家标准 GB/T 51301—2018《建筑信息模型设计交付标准》关于构件建模深度的定义。机电类设施设备设为 G4/N4。其中,考虑既有轨道交通项目的各专业设施设备属性信息需满足运维需求,制定了运维属性信息模板。表 1 为指引中部分运维属性信息要求。

该指引已成为深圳市既有重要建筑在轨道交通领域 BIM 建模和交付的技术指引,规范

深圳市全市域既有运营地铁线路 BIM 数字化。

表 1 既有轨道交通项目 BIM 模型属性信息(示例)  
Table 1 Attribute information of BIM model for existing rail transit projects (Example)

		属性名称			属性值			
属性分类	分类代号	属性组	属性组代号	宜包含的属性信息	类型	计量单位	数据来源	输入方式
资产信息	AM	资产登记	AM-100	资产编码	文本	—	运维	填写
		资产管理	AM-200	资产权属单位	文本	—	运维	对接系统
				模型权属单位	文本	—	运维	填写
维护信息	FM	维修信息	FM-200	维修方式	文本	—	运维	填写
				维修手册	文本或超链接	—	运维	绑定
		备件备品	FM-400	备件备品状态	文本	—	运维	对接系统
				备件备品库存	数值	个	运维	对接系统

## 2.3 构件标准库搭建

为保障 BIM 标准落地,依据既有轨道交通运维设施设备的参数,搭建 BIM 构件标准库,并嵌入自主研发的 BIM 平台,以提高既有轨道交通项目 BIM 模型的创建效率和标准化应用水平。

1) 在设施设备分类方面,BIM 构件标准库按照轨道交通工程专业类型,划分为建筑、结构、轨道、给水与排水、通信、信号、站台门、综合监控系统等。图 2 展示了自主研发的轨道交通工程 BIM 构件库及相

关构件情况。目前构件库已积累 2 万多个各专业 BIM 构件模型，主要是可载入构件单元。

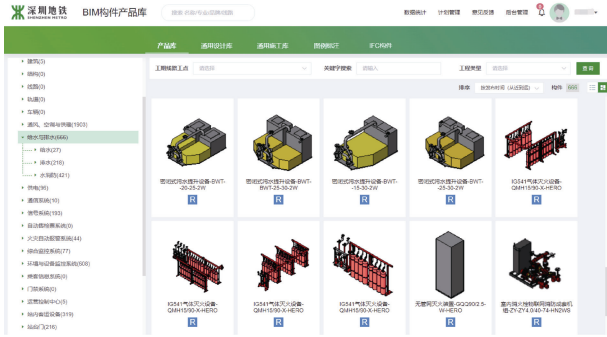


图 2 轨道交通工程 BIM 构件库

Figure 2 BIM component library for rail transit projects

2) 在构件模型深度方面，结合轨道交通运维管理需要，以供应商出厂设备的深度为基准，BIM 构件模型精细化至最小运维管理单元，以保障后期运维管理需要。

3) 在构件模型属性方面，按照第 2.2 节的建模交付技术指引要求，针对各专业特点，在构件单元中设置属性信息模板。既有轨道交通项目各专业设施设备已在相关系统上运行与管理，目前深圳地铁已建设大数据中心，集成各运维系统数据。为提高数据复用率，设置统一的设施设备编码，并附加至 BIM 模型各构件中。BIM 平台基于统一的编码可从大数据中心获取相应设施设备的运维现场数据。目前，BIM 平台已对接资产管理系统(enterprise asset management, EAM)设备数据、智慧维检修系统、巡查系统等，推进了基于 BIM 的动态管理。

### 3 BIM 数据化技术方案

近年来，BIM 技术已广泛应用在新建的轨道交通工程项目中<sup>[11]</sup>，但仍有大量的既有轨道交通项目运维管理依赖于二维图纸或相关图表，亟需将这些项目 BIM 化，积累 BIM 模型数据，为轨道交通项目智慧运维提供数据支撑。

#### 3.1 数据采集与模型创建

一个城市的轨道交通项目是分期分批建设的，各线路的建设时间不同、运营开通时间不同，导致既有轨道交通项目相关资料的完整性、时效性、准确性等方面差异较大，对既有建筑 BIM 数据化带来极大挑战。为提高 BIM 建模效率，现阶段既有建筑项目一般先以图纸资料为基础进行 BIM 建模，再与现场进行复核。在无图纸的情况下，采取现场扫描、拍摄等方式形成基础资料。本文主要分为有图纸和无图纸的情况，采集既有轨道交通项目现场数据，并以此为依据

创建 BIM 模型。

#### 3.1.1 针对有图纸的情况

在传统二维设计中，轨道交通项目按照各专业规范绘制相关专业图册。依据《既有重要建筑建模交付技术指引(轨道交通分册)》要求，主要按照土建、机电、装修 3 个类型进行 BIM 模型创建。因此，需将现有的各专业图纸按照上述 3 个类型进行梳理和分类。本文主要通过地铁档案室和城市管理档案室等收集既有轨道交通项目相关图纸，并分析和筛选出建模所需的各专业图纸。

同时，结合既有轨道交通项目运维的应用需求，细分各类型专业设施设备，将建模单元细化至最小运维管理单元，如图 3 所示。根据轨道交通车站、区间、车辆基地、主变电所等不同工程类型特点，适配相应的专业及其设施设备。各专业设施设备的建模深度如第 2.2 节所述。

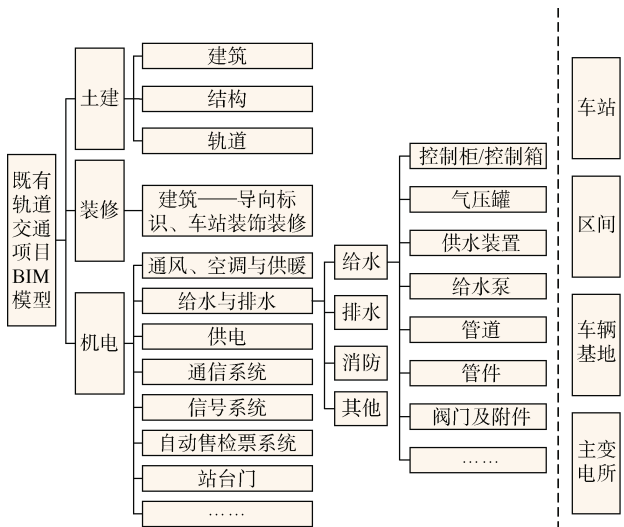


图 3 既有轨道交通项目 BIM 构件分类

Figure 3 Classification of BIM components for existing rail transit projects

既有运营线路管理包含大量的监测监控设施设备。例如，车站的监控摄像头分布在站台、站厅、出入口等不同区域。传统管理模式需要在设备列表中寻找指定位置的摄像头，存在定位难、查找难等问题。鉴于此，根据建立的设施设备统一编码，通过开发 BIM 平台与大数据中心之间的数据接口，可自动、实时地获取大数据中心的现场监测监控设施设备数据，并精准关联至 BIM 模型具有相应编码的构件单元中。管理人员可基于 BIM 平台开展三维化、数据化、动态化的运维管理。图 4 展示了在 BIM 平台中，基于 BIM 模

型生成了摄像头的设备清单目录，基于设备编码实现 BIM 模型与现场摄像头及其监控视频的关联绑定，进而可精准定位至任意摄像头位置，辅助管理人员全局掌控轨道交通项目内各摄像头的位置分布和运行状态，并可快速调取摄像头的实时现场画面，提升现场管理人员的管控效能。



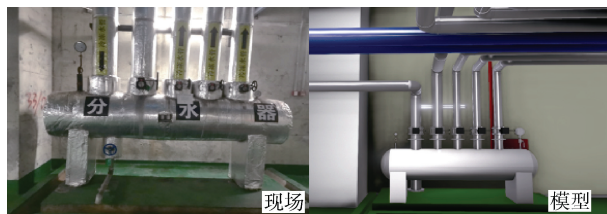
图 4 既有轨道交通项目 BIM 构件与现场匹配关系  
Figure 4 Correlation between BIM components and site conditions in existing rail transit projects

考虑部分轨道交通项目运营时间较长，部分图纸可能存在与现场不一致的情况，后期需通过现场验收进行 BIM 模型的调整更新，以保证 BIM 模型各专业设施设备在空间上的准确位置。

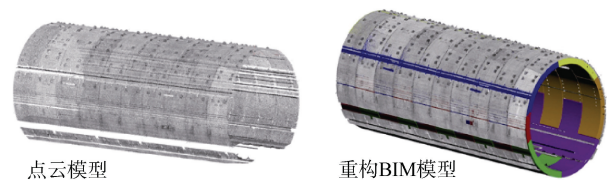
### 3.1.2 针对无图纸的情况

由于轨道交通各线路开通运营时间各异，对于年代久远的地铁线路，容易出现图纸缺失的情况。针对无图纸的轨道交通项目，通过与既有轨道交通项目运营单位沟通协调，在不影响地铁运营的前提下，组织工程师在指定时间至现场通过拍照、点云扫描等方式采集现场实际数据，作为建模的基础资料。获取的照片、点云数据将根据地铁区域、专业等类别归类，辅助 BIM 建模。

图 5(a)以分水器为例，展示了现场拍照所采集的设备图片资料。可选取 BIM 构件标准库的构件模型进行建模，提高构件模型的标准性和建模效率。对于构件库没有的单元构件，采用自建方式搭建模型。图 5(b)以区间隧道为例，展示了点云扫描所采集的点云数据情况。在获取既有轨道交通项目点云数据后，使用语义分割网格对三维点云数据进行语义分割，基于语义分割结果定义实例对象全局描述符，然后以 BIM 构件标准库中相关构件为依据，基于描述符的相似性，通过构件几何特征对比，在库中检索最相似的三维网格模型，使用迭代最近点方法将检索的三维网格模型放置在实际场景，进而重构形成三维 BIM 模型。为提高 BIM 模型准确性，需人工进行复核确认和调整优化。



(a) 基于现场图片的模型创建



(b) 基于点云数据的模型重构

图 5 无二维图纸下既有轨道交通项目 BIM 模型创建  
Figure 5 Creating BIM models for existing rail transit projects without 2D drawings

通过现场三维扫描的方式，不仅可有效补充现场数据，也能够基于扫描结果进行既有地铁项目结构的病害分析。目前，正在开展基于三维探地雷达的城市地下浅层空间多态感知与数字孪生管控平台研究，运用 BIM 技术开展既有轨道交通项目的病害识别、分析和管控。

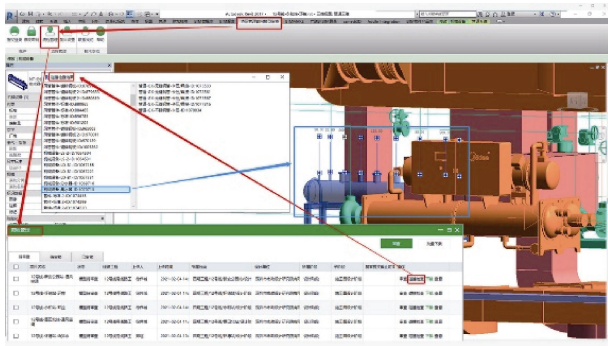
## 3.2 BIM 数据质量审核

BIM 模型价值在于数据挖潜，为保障后期业务场景的可靠、有效应用，需保障 BIM 模型质量。结合既有项目的特点，除检查 BIM 模型的合标性外，还需结合现场实际开展“实模一致性”检查，保障设施设备有效性和空间位置准确性。

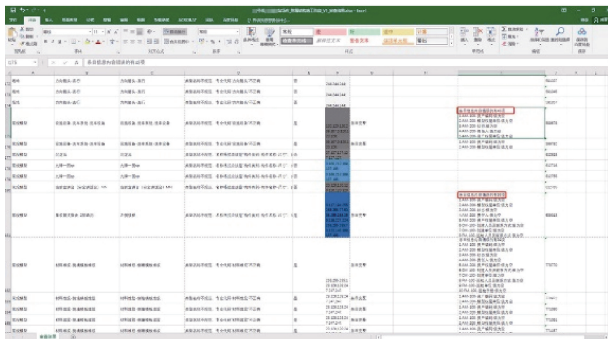
### 3.2.1 合标性检查

对于在建工程项目，可运用 BIM 技术检查方案合规性<sup>[12]</sup>、模型合标性<sup>[13]</sup>。对于既有项目，其合规性在前期建设阶段已论证。因此，主要针对创建的 BIM 模型进行合标性检查。BIM 模型承载了既有轨道交通项目不同专业的设施设备，为提高检查效率，深圳地铁自主研发 BIM 模型合标性检查工具，将《既有重要建筑建模交付技术指引(轨道交通分册)》要求内置在检查工具中。目前检查工具实现了专业类型、构件名称、构件属性、构件颜色等方面的自动化检查，极大地提高了既有轨道交通项目 BIM 模型的质量和检查效率。图 6 展示了轨道交通工程各专业构件属性的检查情况。检查工具内嵌了指引中各构件的标准属性信息表(表 1)作为检查准则，包括属性项、属性名称以及属性值等内容。将 BIM 模型导入检查工具后，将检索模型中的所有构件，并根据构件名称索引至相应的标准属性信息表，提取模型中构件的属性内容与标准属性信息表进行

一一对比, 检查属性项的完整性、属性名称的准确性, 以及属性值的有效性。其中, 属性值的有效性主要根据标准属性信息表给定的范围进行判断。根据检查结果出具检查报告, 并反馈至建模人员以便模型修正。



(a) 检查过程



(b) 检查报告

图 6 基于规则的 BIM 模型合规性自动检查  
Figure 6 Rule-based automatic compliance checking of BIM models

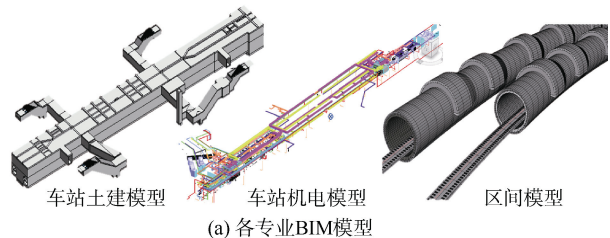
### 3.2.2 现场检查

在现场检查中, 虽然可采用三维扫描等方式快速得到点云数据, 与 BIM 模型进行对比, 但轨道交通项目涉及 20 多个专业, 空间复杂, 涉及大量的隐蔽工程, 很多设施设备都在装修装饰下, 对三维扫描的数据采集造成遮挡影响。因此, 深圳地铁制定既有轨道交通项目现场验收管理办法, 规范管理流程, 组织轨道交通各站点的专业班组, 通过各专业 BIM 模型与现场土建、机电、装修等实际情况对比, 明确设施位置、设备布局、管道管线走向等, 保障“实模一致性”, 并签署模型验收表, 形成管理闭环。

## 4 应用分析

深圳市第一条地铁是 2004 年开通运营的深圳地铁 1 号线, 距今已有 20 年。截至 2023 年 12 月底, 深圳地铁已运营开通 17 条地铁线路, 运营里程达 567.1 km。根据深圳市智慧城市建设的部署要求, 深圳市地铁集

团有限公司从 2021 年开始积极推动所辖全市既有运营线路项目 BIM 建设。2021 年以深圳市南山区所辖既有运营线路 BIM 建设为试点, 探索并逐步形成了“标准规范先行-基础数据采集-多专业模型构建-构件库提效-人工与自动相结合检查”的既有运营线路 BIM 建模的技术路线。根据深圳市轨道交通相关 BIM 标准规范和技术指引的要求, 结合收集的既有运营线路各站点图纸等资料, 创建各专业 BIM 模型。其中, 为提高建模效率和标准化, 运用自主研发的 BIM 构件库中参数化 BIM 构件开展建模。目前, BIM 构件库已积累 2.3 万多个 BIM 构件, 基本满足轨道交通项目各专业模型创建的需求。BIM 模型创建完成后, 按照线路、站点等分批次组织现场运维人员进行实模一致性检查, 保证 BIM 模型质量, 赋能数字孪生地铁建设。部分模型和现场对比如图 7 所示。



(a) 各专业 BIM 模型



(b) 实模一致性对比

图 7 深圳地铁既有运营线路 BIM 模型  
Figure 7 BIM models for existing operational lines in Shenzhen Metro

目前, 深圳市地铁集团有限公司已完成所辖既有运营线路 756 个项目的 BIM 模型, 包括 346 座车站、360 段区间、4 座枢纽、25 座车辆基地和 21 座主变电所。内部验收通过的 BIM 模型已上传至深圳市全市域统一时空信息平台, 夯实深圳市智慧城市的数据底座。同时, 基于 BIM 模型集成既有运营线路的监控视频、闸机客流、设备运行等监测数据, 探索研究既有运营线路项目在应急指挥、运维管理、安保区管理等运维场景智慧化应用, 推进三维化、动态化、协同化的运维智慧管理, 丰富了智慧城市在轨道交通领域的 BIM 智慧化应用场景。

## 5 总结与展望

既有建筑项目的数据化是智慧城市必须解决的问题之一。本文基于 BIM 技术研究既有轨道交通项目 BIM 数据化方法。首先,以轨道交通运营运维需求为导向,研究制定既有轨道交通项目 BIM 建模交付技术指引,并根据指引要求创建标准化 BIM 构件单元。然后,根据既有轨道交通项目资料情况,以图纸、现场图片、点云数据等作为依据,构建各专业三维 BIM 模型。最后,为保障 BIM 模型质量,自研合标性检查工具与现场检查相结合,保障 BIM 模型的“实模一致性”。本文方法已推广应用在深圳地铁既有运营线路 BIM 项目中,为其他运营地铁的城市推进既有轨道交通项目 BIM 建设提供了参考。

深圳地铁既有轨道交通项目 BIM 化夯实了智慧城市数据底座,不但能够为地铁智慧化运营运维应用积累数字资产,辅助智慧运营运维,也能够为地铁周边交通规划、地下空间开发、其他基础设施管理等场景提供可靠的基础数据,赋能城市管理。下一步,深圳地铁将挖掘 BIM 数据要素潜能,深度融合 BIM 技术与既有轨道交通运营运维等业务,通过制定统一的映射规则和算法,拓展运营管理、客流预警、乘客服务、物业管理等智慧化 BIM 应用。

### 参考文献

- [1] 王之龙, 刘伊生, 邵高峰. 基于普查数据的我国城市建筑物质存量动态演化研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(增刊 2): 339-344.  
WANG Zhilong, LIU Yisheng, SHAO Gaofeng. Research on the dynamic evolution of building stock in China[J]. Building science, 2020, 36(S2): 339-344.
- [2] 张中安, 宋天田, 黄际政, 等. 深圳地铁 BIM 应用总体规划研究和实践[J]. 现代城市轨道交通, 2020, (12): 124-131.  
ZHANG Zhongan, SONG Tiantian, HUANG Jizheng, et al. Research and practice of BIM application general planning of Shenzhen metro[J]. Modern urban transit, 2020, (12): 124-131.
- [3] 韩德志, 李博, 华福才, 等. 面向城市轨道交通运营阶段的 BIM 模型建设[J]. 都市快轨交通, 2022, 35(4): 182-187.  
HAN Dezhi, LI Bo, HUA Fucui, et al. Construction of BIM model for urban rail transit at operation and maintenance stages[J]. Urban rapid rail transit, 2022, 35(4): 182-187.
- [4] 余浩, 党星海, 李文洲, 等. 点云数据与 BIM 技术对既有建筑改造的应用[J]. 地理空间信息, 2021, 19(9): 83-86.  
YU Hao, DANG Xinghai, LI Wenzhou, et al. Research on application of point cloud data and BIM technology in existing building reconstruction[J]. Geospatial information, 2021, 19(9): 83-86.
- [5] 符想, 潘诚, 沈杰, 等. 基于 BIM 技术的老旧小区智慧化改造[J]. 四川建材, 2023, 49(11): 42-44.  
FU Xiang, PAN Cheng, SHEN Jie, et al. Intelligent transformation of old community based on BIM technology[J]. Sichuan building materials, 2023, 49(11): 42-44.
- [6] 孙竹青, 许鹏程, 张大宝. 基于密集三维点云的历史建筑 BIM 自动建模算法研究[J]. 建筑技术, 2023, 54(13): 1630-1634.  
SUN Zhuqing, XU Pengcheng, ZHANG Dabao. Research on BIM automatic modeling algorithm for historical building based on dense 3d point cloud[J]. Architecture technology, 2023, 54(13): 1630-1634.
- [7] 唐琛捷, 曾志文, 丁志坤, 等. 3D 激光扫描和 BIM 逆向建模技术在既有建筑改造项目中的应用[J]. 建设科技, 2023(24): 36-39.  
TANG Chenjie, ZENG Zhiwen, DING Zhikun, et al. Application of 3D laser scanning and BIM reverse modeling technology in existing building renovation projects[J]. Construction science and technology, 2023(24): 36-39.
- [8] 宋天任, 张铭, 孙沈鹏, 等. 基于 BIM 的公共历史建筑运维关键数据集成方法[J]. 建筑施工, 2021, 43(10): 1985-1988.  
SONG Tianren, ZHANG Ming, SUN Shenpeng, et al. BIM-based key data integration method for operation and maintenance of public historical buildings[J]. Building construction, 2021, 43(10): 1985-1988.
- [9] 何文景, 杨健, 熊吴越. 基于深度学习的三维点云自动生成 BIM 模型方法[J]. 土木工程与管理学报, 2021, 38(3): 133-139.  
HE Wenjing, YANG Jian, XIONG Wuyue. BIM model method for automatic generation of 3D point clouds based on deep learning[J]. Journal of civil engineering and management, 2021, 38(3): 133-139.
- [10] 姚晶珊, 侯占伟. 既有医院建筑运维中 BIM 及 AR 应用实践: 复旦大学附属华山医院老院区既有建筑信息化改造实践和探索[J]. 中国医院建筑与装备, 2023, 24(7): 59-63.  
YAO Jingshan, HOU Zhanwei. BIM and AR application practice in the operation and maintenance of existing hospital building: practice and exploration of informatization transformation of existing buildings in the old campus of Huashan Hospital affiliated to Fudan University[J]. Chinese hospital architecture & equipment, 2023, 24(7): 59-63.
- [11] 李姝君, 匡思羽, 邓雪原. 城市轨道交通 BIM 应用现状分析与展望[J]. 都市快轨交通, 2018, 31(4): 98-104.  
LI Shujun, KUANG Siyu, DENG Xueyuan. Analysis and prospect of the BIM-based applications in urban rail transit[J]. Urban rapid rail transit, 2018, 31(4): 98-104.
- [12] 邢雪娇, 钟波涛, 骆汉宾, 等. 基于 BIM 的建筑专业设计合规性自动审查系统及其关键技术[J]. 土木工程与管理学报, 2019, 36(5): 129-136.  
XING Xuejiao, ZHONG Botao, LUO Hanbin, et al. Automatic code compliance checking for design drawings of architecture major and its key technologies based on BIM[J]. Journal of civil engineering and management, 2019, 36(5): 129-136.
- [13] 宋岩, 李智, 高歌, 等. 基于 BIM 的设计成果自动审查的实现方法研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2023, 15(4): 84-88.  
SONG Yan, LI Zhi, GAO Ge, et al. Development and practice of design results automatic check system for based on BIM[J]. Journal of information technology in civil engineering and architecture, 2023, 15(4): 84-88.

(编辑: 王艳菊)