

轨道交通数字化建造技术体系与发展路径探究

叶 洋

(广州地铁设计研究院股份有限公司, 广东 广州 510000)

摘 要 随着“交通强国”“新基建”等一系列国家战略的深入推进,我国轨道交通步入了高质量、高效率的发展阶段。在此背景下,传统的建设模式已不能适应现阶段的发展要求,实现数字化转型升级迫在眉睫。本文将从轨道交通数字化建设的内涵与价值出发,阐明其理论研究思路,针对规划设计、施工建设、移交运维三个环节,提出以BIM、GIS、大数据、云计算、数字孪生为技术路径的轨道交通数字化建设相关理论,进行一体化整合,并客观分析了目前工作中存在的技术难点、管理难点及标准难点等问题,提出了完善路径与展望方向,以期对推动我国轨道交通行业的智能升级有所裨益。

关键词 轨道交通; 数字化建造; 建筑信息模型(BIM); 数字孪生; 全生命周期管理

中图分类号: TU17; U215

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.30.020

0 引言

轨道交通作为城市发展的主动脉和国家综合立体交通网的骨干,其建设规模与复杂程度日益提升。以二维图纸为核心、依靠人工经验管理的传统施工模式难以应对,隧道、高架桥、地下车站等密集交错的工程结构物,复杂的地质条件,繁多的专业接口,往往出现信息传递失真、施工返工、造价超支、安全隐患大等问题。

数字经济正在扑面而来,带给工程建设行业全新的工具和方法。所谓数字建造就是采用现代信息技术,将工程项目全生命的数据进行数字化表达、集成、管理和交换,以此来指导工程项目建设、运行全过程的智能化决策和自动执行的过程。数字建造应用到轨道交通中,并不只是简单的技术叠加,而是对业务流程以及管理模式的一次大变革。本文从数字化建造这一角度出发,分析并展望了数字建造关于轨道交通的应用及前景。

1 轨道交通数字化建造的核心理论框架

轨道交通数字化建造不是单一的技术,它是多个技术融合、全要素覆盖、全过程贯穿、各参与方共融的庞大复杂的系统工程,它的主要构成是“一个核心、两大维度、三个阶段”。

1.1 一个核心

以数据为驱动,数据就是数字建造的“血液”,所有的工作都要围绕着数据的产生、流动、融合和价值发掘而展开。构建数据底座作为数字化转型的核心支撑,对于建筑行业的数字化转型具有至关重要的意义。数据底座通过整合设计、制造、施工、运维等环节的数据,依据统一的数据标准,运用数字化平台和

工具等方法,创建结构化数据,从而打破信息孤岛,实现数据共享。结构化数据的分析能够为决策提供科学依据,优化业务流程。此外,它还能促进创新应用的发展,从而提高行业的竞争力,推动建筑行业向智能化、绿色化、可持续发展的方向迈进,更好地满足市场需求和应对行业挑战。

1.2 两大维度

1. 技术维度:智慧建造数字化平台通过融合数字化设计、数字化制造、数字化施工的过程,实现更加融合、更加智慧、更加高效的建设过程管理。以工程建设过程为主线,以BIM模型为载体、数据为底座、价值为引导,构建时间、空间与逻辑相互关联的智慧建造数字化平台,实现了数据融合,管理协同^[1]。

2. 管理维度:数字化建造的软性灵魂涉及组织架构的调整、业务流程的重构、协同标准的确定、人的能力重塑,同时技术需要与新的模式(IPD集成项目交付等)相结合,发挥出更大的效用。

1.3 三个阶段

数字建造涵盖整个生命周期,贯穿项目的规划设计、施工建造以及移交运维的各个环节,以解决规划设计与施工建造之间的问题。在施工建造与运维移交的过程中存在“数据壁垒”,这导致信息难以互联互通,并影响了“数据壁垒”的有效利用。

2 关键技术体系及其在全生命周期中的应用

2.1 关键技术构成

1. 建筑信息模型(BIM)技术: BIM技术已经成为数字建造的基础,不再是单纯的三维可视化的软件,是包含几何信息以及属性信息的一种参数化数据库,

BIM 技术是所有项目的统一、可计算信息模型。

2. 地理信息系统 (GIS) 技术: 提供宏观的地理空间环境信息, 如地形地貌、已有建筑物、地下管线等。将 BIM 技术和 GIS 技术相结合, 将微观工程实体与宏观地理环境有机结合, 可为线路规划、征地拆迁、环境影响评价等提供支撑。

3. 云计算与大数据技术: 提供一个存储、计算和分析的云平台, 用于海量异构工程数据^[2]; 云计算能够灵活地调配和共享软硬件资源, 大数据能够挖掘出规律性的东西, 能够从海量的数据中预测未来的发展趋势, 发现其中的隐患。

4. 数字孪生技术 (DigitalTwin) 是一种基于各种数据源建立数字化环境, 并能在虚拟空间建立与物理世界实体完全映射、实时交互、虚实同步的模型, 并能应用于施工模拟、安全预警、方案优化、智能运维等方面的数字化建造方式。

2.2 全生命周期应用实践

2.2.1 规划设计阶段

1. 方案模拟与优化: 借助 BIM 技术与 GIS 技术, 在虚拟环境中对线路布局、车站设计及施工方法进行多种方案的比较与可视化模拟, 并分析各方案对周边环境的影响, 挑选最佳方案。

2. 协同设计: 借助统一的 BIM 协同平台, 各专业设计师, 如建筑、结构、机电、轨道和信号等, 可以进行并行设计, 系统会自动进行碰撞检测^[3], 大幅降低设计中的“错误、遗漏、碰撞、缺失”等缺陷。

3. 工程量自动统计: BIM 模型能够自动生成准确的工程量清单, 为概算和预算提供可信的依据, 从而避免人工计算中的误差。

2.2.2 施工建造阶段

1. 数字化施工交底: BIM 技术模型深化实现虚拟

漫游进行可视化交底, 预先发现问题, 预先处理。利用已建立各专业模型, 通过虚拟与仿真等技术实现可视化交底, 提前感受周围环境要素和内部空间净空、施工难点等部位, 对不合理部位在施工前解决, 最大限度地降低项目实施风险。

2. 智慧工地管理: 利用物联网技术整合人员定位系统、设备运行状态实时监控、环境监测 (扬尘、噪声) 和重点危险源 (深基坑等) 预警功能的监控设施来提高项目的安全管理水平^[4]。

3. 预制装配式建筑: 利用高精度的 BIM 模型数据进行构件的详细设计和工厂化预制 (见图 1)。通过二维码、RFID 等技术对构件的生产、运输和吊装全过程进行跟踪, 从而控制装配的精度和质量, 减少现场的湿作业和建筑垃圾的产生^[5]。

4. 进度与成本动态管控: 把 BIM 模型与施工进度计划、成本信息相关联, 可以使得管理人员能够直接对比计划和实际情况, 做到成本消耗动态化管控并及时纠偏。

2.2.3 移交运维阶段

1. 数字化交付: 数字化交付是工程建设中的关键环节, 涵盖项目从设计、施工阶段收集的数据信息 (见图 2)。通过统一的数据标准, 将项目各阶段的数据、文档、模型等信息进行整合、管理和交付, 以便于运维管理, 实现数字孪生和数据分析。同时, 在运维阶段将持续采集运维数据, 实现物理实体与数字实体的比对, 进而通过算法进行仿真分析、决策输出, 反馈至物理实体以优化决策、预测成果, 达到健康、稳定、成本优化的运维目标。

2. 数字孪生运维平台: 运用数字孪生技术建立与真实地铁系统相平行的虚拟镜像, 在平台上进行设备远程诊断、故障模拟推演、应急演练、预防性维护规划等工作, 从“被动检修”转变为“主动预警”。

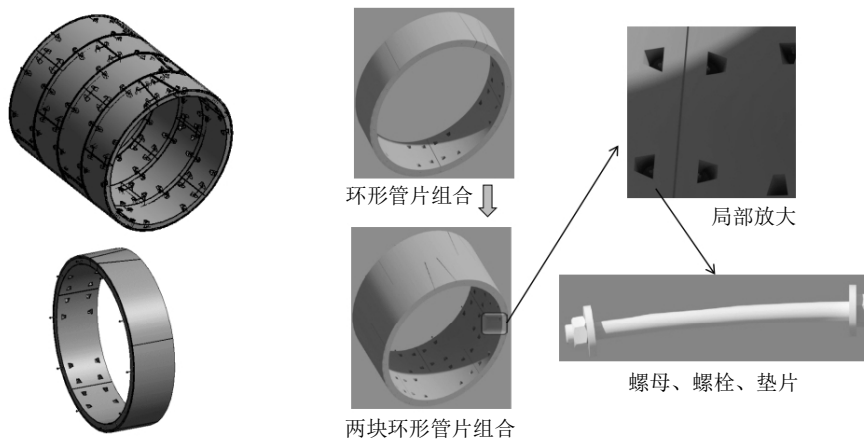


图 1 管片数字化加工示意图

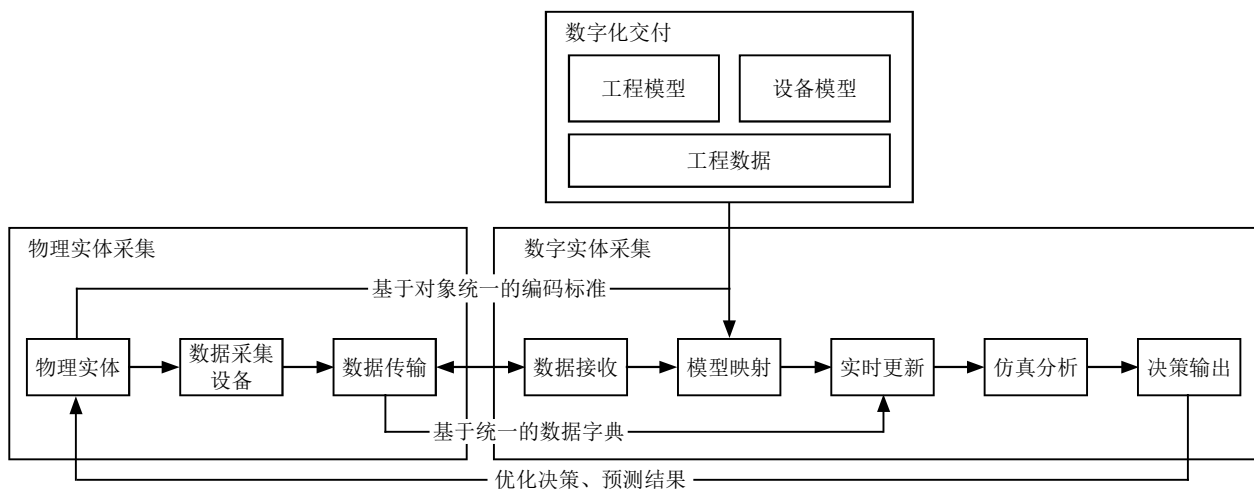


图 2 数字化交付流程示意图

3. 智慧客运服务: 借助大数据对客流量进行分析, 可以根据不同的情况调整行车组织、制定客流疏导方案, 并为乘客提供个性化的出行信息服务。

3 轨道交通数字化建造面临的挑战与对策建议

全面落地轨道交通数字化建设，尽管前景广阔，但面临的挑战仍然很多。

3.1 主要挑战

1. 技术标准与数据互通难题：不同软硬件环境、不同平台、不同参与方所涉及的数据格式、交付的标准各异，容易出现各种“数据孤岛”问题，造成信息无法自由流通的情况。

2. 初始投入成本高昂：软硬件采购、平台搭建、技术培训以及流程改造需要大量的前期投资，这就使得一些中小参建方不愿意去投入这种成本。

3. 复合型人才匮乏：有大量既熟悉土木工程又通晓信息和数据的技术型人才较为稀缺，是目前发展的最大短板。

4. 组织与流程变革阻力：数字化转型会对既有的工作方式和利益格局产生摧毁式的冲击，在工作中存在抵触情绪。

3.2 对策与发展路径建议

1. 强化顶层设计与标准建设：政府、协会和企业要合力制定国家或者行业级 BIM、数据交换等方面的标准，推行数据统一交付标准，使得所有厂商都按照标准来执行。

2. 推行分步实施与效益驱动：激发企业从痛点需求入手，选择见效快的应用点（如碰撞检测、智慧工地等），先尝为快，先试先走，快步快跑，找到效益点，再向全生命周期方向迈进，加速企业转型。

3. 构建产学研用一体化生态：提高复合型人才培养；针对轨道交通应用场景，企业应加强与科技公司合作，研究开发专有方案。

4. 变革项目管理模式：积极探索运用 IPD（集成项目交付）、EPC（工程总承包）等更适宜数字化协同的新的承发包模式，在合同上推进各方协同共享数据，协同开展工作。

4 结束语

轨道交通数字化建造技术体系是通过充分结合BIM、大数据、数字孪生等新一代信息技术和工程建设全过程，在大数据基础上实现数据驱动的模式转变，打造协同工作新模式，推动行业转型升级、实现高质量发展的重要载体和动力源。未来，在人工智能技术更加成熟的过程中，其会更好地运用到方案自动生成、风险智能判别和机器人自动化施工等方面。利用区块链构建可信数据互通的生态环境，使规划设计、建设施工、运营管理等轨道交通与城市发展进一步融合，成为城市智慧有机体，可感知、可分析、可控制。

参考文献:

- [1] 张轩,黄新文.基于铁路工程的数字化协同设计平台应用研究[J].铁路标准设计,2023(10):47-54.
- [2] 王恰时,青舟,杨喆.BIM协同设计管理平台研发与应用[J].高速铁路技术,2022(02):47-52.
- [3] 李瑞华.基于BIM技术的地铁机电工程数字化建造方法研究[J].工程机械与维修,2024(02):80-82.
- [4] 黄建城,徐昆,董湛波.智慧工地管理平台系统架构研究与实现[J].建筑经济,2021(11):25-30.
- [5] 蓝建勋,曾金亮.城市轨道交通站数字化装配式装修技术[J].施工技术,2021(04):30-32.