

BIM 技术在轨道交通施工中的应用

王保国

中电建南方建设投资有限公司 广东 深圳 518000

【摘要】：城市化进程中，轨道交通施工呈现多专业交叉、环境复杂、工期紧张等特征，传统模式面临信息割裂、协同低效等痛点。BIM 技术以三维建模、全周期信息集成优势，可在施工全阶段落地应用：施工准备阶段实现全专业协同建模与碰撞检测，施工实施阶段开展 4D 进度管控、质量追溯与安全预警，竣工验收阶段完成数字化交付。实践表明，该技术能减少返工、保障工期、提升管控精度，能够为轨道交通施工数字化转型提供关键支撑。

【关键词】：BIM 技术；轨道交通施工；全周期应用；4D 进度管控

DOI:10.12417/2705-0998.25.16.055

引言

当前我国轨道交通建设进入网络化阶段，深基坑开挖、盾构穿越核心区等复杂工况增多，传统“二维图纸+经验决策”模式易出现信息滞后、协同脱节问题，制约施工效率与安全。BIM 技术作为数字化核心工具，其可视化、协同化特性与轨道交通施工需求高度契合。本文聚焦 BIM 技术与轨道交通施工的适配性，梳理全阶段应用路径，为施工企业提供可落地方案，助力行业突破管理瓶颈。

1 BIM 与轨道交通施工的适配性分析

BIM 技术是以三维模型为载体、整合工程全周期信息的数字化技术体系，其核心优势与轨道交通施工痛点高度契合。针对轨道交通工程“多专业交叉”特征，BIM 可视化协同功能可打破设计、施工、监理的信息壁垒，通过全专业模型整合提前发现并解决机电管线与结构梁、设备与管线间的冲突，避免施工阶段返工；针对“线性分布”特征，BIM 与 GIS 技术结合可整合线路地理信息与模型数据，实现跨站点、长线路的施工进度与质量统一管控，解决传统分段管理导致的信息断层；针对“环境敏感”特征，BIM 施工模拟功能可提前预判基坑开挖对周边建筑沉降的影响、盾构推进对地下管线的扰动，通过调整施工参数优化方案，降低环境影响；针对“工期紧张”特征，4DBIM（三维模型+时间维度）可将进度计划与模型构件关联，动态监控施工进度偏差，发现问题后立即预警并辅助调整资源配置，保障工期节点刚性要求。

2 BIM 在轨道交通施工全阶段的应用

2.1 施工准备阶段

2.1.1 全专业协同建模

施工准备阶段核心是搭建“土建+机电+轨道”全专业 BIM 模型。施工单位联合设计单位，依据《城市轨道交通工程 BIM 应用指南》明确建模标准：构件编码采用“车站-楼层-专业-构件-编号”格式，模型精度达 LOD300（含构件尺寸、材质、施工工艺参数，满足图纸深度）。分专业建模：用 Revit 完成土建结构建模（含基坑支护、楼板、梁柱等，保证尺寸与图纸一

致，关联混凝土强度、钢筋配筋信息）；用 Bentley 完成机电管线建模（含给排水、强弱电系统，标注管径、材质、坡度）。最后通过 Navisworks 整合模型，采用 IFC 标准确保数据兼容，核查完整性以避免构件缺失或参数丢失，形成可用于碰撞检测的协同模型。

2.1.2 碰撞检测与方案优化

基于全专业模型开展碰撞检测，重点关注“机电管线间”“管线与土建结构间”“管线与设备间”三类冲突。以深圳地铁 14 号线黄木岗站站厅层为例，施工单位用 Navisworks 设中等检测精度，遍历构件后识别 127 处碰撞点（含 32 处严重冲突）。针对结果，联合设计单位优化方案：管线碰撞采用“调整走向+抬高/降低标高”解决；深圳地铁 12 号线机场东站-福永站盾构区间通过 BIM 模拟不同机型（如中铁装备 $\Phi 6.28\text{m}$ 盾构机）适应性，输入花岗岩地层硬度、孔隙率等地质参数模拟推进路径与刀盘磨损，优化刀具数量（选用 36 把中心滚刀+48 把边缘刮刀）与注浆压力（同步注浆压力 0.3-0.5MPa），降低盾构机卡壳、管片破损风险。

2.2 施工实施阶段

2.2.1 4D 进度动态管控

4D 进度动态管控的核心是将施工进度计划与 BIM 模型关联，实现进度的实时监控与偏差调整。施工单位首先采用 Project 软件编制详细进度计划，明确各分项工程的起止时间、施工班组与资源配置，例如，将深圳地铁 9 号线西延段红树湾南站-深圳湾公园站盾构区间施工划分为“盾构机组装-始发-区间推进-接收”四个阶段。其次，将进度计划导入 Fuzor 软件，与模型构件建立关联，实现“构件-任务-时间”一一对应，例如将“站厅层楼板浇筑”任务关联至模型中的楼板构件，设定具体施工时段，构建 4D 进度管理模型。施工过程中，现场管理人员通过 iPad 等移动终端设备每日采集实际进度数据，如盾构区间当日推进里程、楼板浇筑完成面积，数据通过 5G 网络实时上传至 BIM 协同平台。平台自动对比计划进度与实际进度，若出现偏差立即触发预警，标注偏差构件与偏差时长。施工单

位结合模型分析偏差原因，如地质条件变化导致盾构推进阻力增大，随后调整资源配置，通过 4D 模型模拟调整后的进度验证方案可行性，保障工期。

2.2.2 质量实时追溯

构建“构件追溯码+数据上传+模型关联”闭环体系。施工单位为模型中每个构件分配唯一“质量追溯码”（含编号、施工时间、责任班组，以二维码张贴）；开发 BIM 质量管控模块，集成“采集-上传-查询”功能。质检员扫描追溯码录入检测数据（如混凝土试块强度按 GB/T50081 检测、钢筋间距用激光测距仪测量、管线压力试验记录压力与保压时间），数据自动关联模型构件形成可视化档案。发现问题时，通过模型定位构件，查询班组、供应商、检测时间等信息以制定整改方案。深圳地铁 6 号线支线光明城站-中山大学站轨道铺轨时，质检员用追溯码记录钢轨焊接参数（闪光焊接温度 1050-1100℃、顶锻压力 30-35MPa、保压时间 8-10s），数据实时上传模型，形成数字化档案支撑后续运维。

2.2.3 安全风险可视化管控

安全风险可视化管控需结合 BIM 模型与 IoT 技术，实现风险的实时监测与预警。施工单位首先在 BIM 模型中标注施工安全风险点，包括深圳地铁 8 号线盐田站深基坑边坡（开挖深度 23m）、高支模（搭设高度 8.5m）、盾构洞口等部位，依据风险等级（红、黄、蓝）标注颜色，同时录入管控要求，如深基坑边坡定期监测、高支模验收检查立杆间距与扫地杆设置。其次在风险点安装 IoT 监测设备，深基坑边坡安装位移传感器、高支模安装沉降传感器、盾构洞口安装压力传感器，传感器通过 5G 网络实时采集数据。数据上传至 BIM 协同平台后自动关联至模型对应风险点，平台设定预警阈值，若数据超标，模型自动高亮风险区域，并通过短信、平台消息推送预警信息至管理人员。此外，针对高空作业、临时用电等高频风险场景，施工单位基于 BIM 模型制作可视化安全交底视频，视频中通过模型拆解展示风险点位置、操作规范，组织一线工人观看学习，提升安全意识，避免违规操作。

2.3 竣工验收阶段

轨道交通工程竣工验收阶段，BIM 技术主要用于实现“数字化交付”，解决传统纸质档案“数据分散、查询困难”的问题。施工单位首先整理施工阶段的 BIM 模型，将模型精度更新至 LOD400，补充竣工信息，包括竣工图纸、检测报告、设备参数。其次依据《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300，将模型与验收资料关联，通过“点击模型构件-查看对应资料”方式实现数据联动。随后对数字化竣工档案进行审核，检查模型完整性、数据准确性、资料关联性，审核通过后交付给建设单位与运维单位。运维单位接收后，可直接基于模型开展运维工作，如通过模型定位设备位置、查询设备检修周

期、模拟管线维修路径，避免传统纸质档案丢失、损坏导致的运维困难，提升运维效率。

3 轨道交通施工 BIM 应用的技术对比与关键技术

3.1 传统施工与 BIM 施工的技术对比

为清晰展现 BIM 技术对轨道交通施工的优化作用，表 1 从信息传递、风险管控、进度管控、质量追溯、协同效率五个核心维度，对比传统施工与 BIM 施工的差异。

表 1 传统施工与 BIM 施工技术对比表

对比维度	传统施工模式	BIM 施工模式	技术优势体现
信息传递	依赖纸质图纸与 Excel 表格，信息传递需人工交接，易出现滞后与丢失，易遗漏设计变更	基于 BIM 协同平台，全周期信息以 IFC 格式实时共享，设计变更自动同步至模型，施工班组直接查看更新内容	信息传递效率提升，避免“信息孤岛”，减少返工
碰撞检测	依赖人工核对二维图纸，碰撞问题多在施工过程中或竣工后发现，整改成本高	基于全专业 BIM 模型提前开展碰撞检测，自动识别冲突位置与类型，问题解决于施工前	管线碰撞率显著降低，减少返工成本与工期延误
进度管控	基于甘特图静态管控，进度数据需人工统计后对比，偏差发现滞后	4DBIM 动态监控，实际进度数据实时上传，偏差自动预警，可快速定位偏差构件	进度偏差率控制在合理范围，保障工期节点
质量追溯	质量记录以纸质文件存储，分散在不同部门，需人工翻阅查找，追溯耗时久	构件追溯码与 BIM 模型关联，质量数据实时上传，点击模型即可查询完整记录	质量问题追溯时间缩短，整改效率提升，便于责任界定
多方协同	设计、施工、监理通过线下会议沟通，数据格式不兼容，决策周期长	基于云端协同平台，多方实时访问同一 BIM 模型，可在模型上标注问题、跟踪整改，数据格式统一	协同沟通成本降低，决策效率提升，缩短问题解决周期

3.2 BIM 应用的关键技术突破

3.2.1 模型标准化技术

模型标准化是保障 BIM 技术落地的基础，需统一“构件编码、模型精度、数据格式”三项核心标准。构件编码采用“线路编号-车站名称-专业类别-构件类型-唯一 ID”规则，确保全线路构件可唯一识别，避免混淆；模型精度明确各阶段要求，施工准备阶段为 LOD300（包含构件尺寸、材质、施工工艺），

施工实施阶段维持 LOD300 并补充实时数据,竣工验收阶段提升至 LOD400 (增加设备参数、检修记录), 确保不同阶段模型满足使用需求;数据格式采用 IFC4.0 标准作为模型数据交换格式, 兼容主流 BIM 软件, 解决软件间数据不兼容问题, 确保全专业模型整合时构件参数不丢失, 实现模型无缝传递与共享。

3.2.2 BIM+IoT 协同管控技术

BIM+IoT 协同管控技术通过“数据采集-传输-预警-处置”的闭环流程, 实现施工过程的智能化管控。数据采集环节, 在关键施工部位安装 IoT 传感器, 深圳地铁 10 号线平湖站-华南城站盾构机安装推进力 (量程 0-5000kN)、转速 (0-6r/min) 传感器, 深基坑边坡安装位移、沉降传感器, 高支模安装应力传感器, 传感器实时采集施工数据;数据传输环节, 通过 5G 网络将传感器数据上传至 BIM 协同平台, 网络延迟控制在 100ms 以内, 确保数据实时性;数据关联与预警环节, 平台将采集的数据自动关联至 BIM 模型对应构件, 设定数据阈值, 若数据超标, 平台通过模型高亮风险区域, 生成预警报告并推送至管理人员;处置环节, 管理人员依据预警报告结合 BIM 模型分析问题原因, 制定处置方案, 方案实施后通过传感器监测效果, 直至数据回归正常范围, 实现“被动管控”向“主动预警”转变。

参考文献:

- [1] 曹峰,郑业勇,刘飞.BIM 技术在城市轨道交通工程施工阶段深化应用探索与实践[J].城市轨道交通,2024,(12):48-50.
- [2] 逢松涛.BIM 技术在城市轨道交通建设项目进度管理中的应用研究[J].绿色建造与智能建筑,2024,(12):82-86.
- [3] 谢承乐.BIM 技术在城市轨道交通疏解工程中的应用探索[J].工程建设与设计,2024,(22):91-93.
- [4] 倪英杰.基于 BIM 的轨道交通施工工筹研究[J].中国建设信息化,2024,(21):49-53.
- [5] 王铁,王银坤,张保庆.BIM 技术在城市轨道交通施工阶段的应用研究[J].智能建筑与智慧城市,2024,(09):98-100.
- [6] 施陈诚.BIM 技术在轨道交通施工中的应用[J].居业,2024,(08):82-84.

3.2.3 云端协同平台搭建

针对轨道交通“多参与方、多站点、长线路”特点, 需搭建基于云技术的 BIM 协同平台, 实现多方高效协同。平台选择成熟的云服务架构, 确保稳定性与数据安全性, 支持万人级用户同时在线访问;平台功能覆盖“模型管理、协同沟通、数据统计”三大核心模块, 模型管理模块支持全专业模型上传、版本控制、在线查看, 用户通过浏览器访问模型无需安装专业软件, 同时记录模型修改痕迹避免版本混乱;协同沟通模块内置在线会议、模型批注功能, 设计、施工、监理方可在模型上直接标注问题并指定整改责任人与完成时间, 系统自动跟踪整改进度;数据统计模块自动采集施工进度、质量合格率、安全隐患数量等关键指标, 生成可视化报表, 为管理人员决策提供数据支持。

4 结语

综上, BIM 技术有效破解了轨道交通施工的信息割裂、风险预控难等痛点, 通过全专业协同、动态管控与数字化交付, 实现施工提质增效。当前其应用仍需完善协同平台功能、强化人员技能培训, 未来融合数字孪生、装配式技术后, 将推动轨道交通施工向“预测性管控”升级, 为行业高质量发展注入更强动力。