

态拥堵点和季节性运输瓶颈（如特定节假日、农忙季），制定绕行或错峰运输预案，确保这类“短腿”物资能够严格按照施工节点要求精准到场^[2]。通过上述精细化、动态化的预测与调度，本项目成功将主要材料的现场库存周转天数控制在最优区间，既避免了因盲目囤货造成的资金大量占用和仓储管理成本上升，也彻底杜绝了因供应中断导致的施工班组窝工现象，实现了供应链的“准时化”供应，显著提升了项目的整体经济效益与施工流畅度。

3.2 深化标准化现场管理，驱动仓储与周转效率革命

施工现场是物资管理的最终落脚点，也是成本控制与损耗控制的关键战场。为彻底扭转传统工地物资堆放混乱、寻找困难、损耗不明的局面，本项目大力推行以“6S管理”（整理、整顿、清扫、清洁、素养、安全）为核心的标准化、目视化现场管理体系，并对各类物资实施基于其物理化学特性的科学养护。

本项目对施工场地进行科学功能分区，严格划定并标识原材料集中堆放区、半成品加工区、待检区、合格品发放区及废料回收区。所有进场物资均被赋予唯一的二维码数字身份证，粘贴于醒目位置。通过手持终端扫码，管理人员可瞬间获取该批物资的规格、数量、生产厂家、进场日期、质检报告、计划使用部位等全量信息。这一举措将过去因寻找、核对材料所消耗的平均时间从20分钟/次以上缩短至5分钟以内，极大地提升了施工效率，减少了隐性工时浪费。

3.3 完善全链条质量追溯体系，筑牢百年工程生命线

物资质量是工程质量的根基。本项目构建了覆盖物资从“出厂门”到“上工程”全过程的、不可篡改的质量追溯体系，将质量管控从被动验收提升至主动预防和全程可溯的新高度。

在物资入口关，本项目强制执行“三证一报告”准入制度。任何物资进场前，必须提交齐全的生产厂家合格证、出厂质量检验证、生产许可证（如需）以及由具备资质的第三方检测机构出具的近期检验报告^[3]。对于桥梁主体结构用高强钢筋、主体工程水泥等A类关键材料，除核查报告外，监理与试验室人员还必须按照规范规定的频率和方式进行见证取样、平行检验，检验合格后方可卸货。一旦发现不合格品，立即予以封存并清退出场，同时将供应商信息记入不良记录，从源头上杜绝不合格材料流入施工环节。

为实现质量责任的终身可追溯，本项目建立了物资质

量追溯码系统。该追溯码与物资的二维码身份证相关联，但其记录的信息维度更广、链条更长。系统完整记录每一批次（甚至每一捆、每一车）物资的原材料来源、生产批次、生产线号、出厂检验数据、运输车辆与路径、进场验收人员与结果、仓储位置、最终使用的具体工程部位（如：XX大桥3#墩柱第2节段）等全链条信息。这套数字档案如同材料的“人生履历”，被永久保存。

4 数字赋能智慧管控，提升管理效能

依托信息化管理平台，集成采购、库存、物流、成本四大核心模块，实现物资管理全流程数字化。通过平台实时跟踪采购订单执行情况与物资运输状态，动态更新库存数据，消除信息孤岛；利用历史消耗数据建模，预测未来三个月的物资需求趋势，辅助采购决策从被动响应转向主动优化。建立成本“日清月结”机制，每日自动归集采购发票、运输单据、验收记录等数据，生成成本日报表，实时监控钢筋、沥青等主材的单价波动曲线，当价格偏离预算5%时自动推送预警，为成本调整提供数据支撑。数字化管控使项目库存周转率提升40%，物流成本缩减18%，显著提升了管理效率与决策科学性。

5 结语

郑洛3标项目作为高标准现汇高速公路项目，其物资管理实践立足项目跨区域、高标准、大用量的核心特性，通过构建差异化管控框架、优化采购体系、强化现场管理与数字赋能，实现了质量、成本、供应的协同管控。在交通基建行业高质量发展的背景下，此类“精准化选型、标准化管控、数字化赋能”的物资管理模式，不仅为郑洛3标项目顺利推进提供了坚实保障，也为同类六车道高速项目的物资管理提供了可借鉴的实践经验。未来，项目将持续优化管控流程，深化绿色物资应用与供应链协同，助力工程建设提质增效，打造经得起时间检验的优质交通工程。

参考文献

- [1] 闫连芝.公路工程物资采购管理及成本控制措施初探[J].价值工程.2020,39(23):51-52
- [2] 刘弘.基于招投标管理的路桥施工项目物资采购流程优化分析[J].现代工程科技.2025,4(05):177-180
- [3] 吴全志.路桥施工物资设备管理的要点分析[J].西部交通科技.2021(07):203-205

The Integration and Innovation of Digital Twin and BIM in Urban Water Management

Jianliang Tang

Tongxiang Water Conservancy Group Co., Ltd., Tongxiang, Zhejiang, 314500, China

Abstract

With the acceleration of urbanization and the challenges brought by climate change, traditional urban water management methods are facing unprecedented pressure. In this context, the integration and application of digital twin and BIM technologies can optimize and innovate urban water management methods, further improving the accuracy and effectiveness of management. Based on this, this paper first elaborates on the concepts and characteristics of digital twin and BIM technology, then analyzes the integration path of digital twin and BIM in urban water management, and through application scenario analysis, presents the specific applications of the integration of the two, and puts forward relevant optimization suggestions, with the aim of continuously improving the integration application effect of digital twin and BIM in urban water management and enhancing the efficiency of urban water management.

Keywords

Digital Twin; BIM; Urban Water Management; Integration Application

数字孪生与 BIM 在城市水务管理中的融合与创新

唐建良

桐乡市水务集团有限公司, 中国·浙江 桐乡 314500

摘 要

随着城市化进程的加快和气候变化带来的挑战, 传统城市水务管理方式正面临前所未有的压力。在此情况下数字孪生与 BIM 技术的融合运用能够对城市水务管理方式进行优化创新, 进一步提高管理精准性与实效性。基于此, 本文先阐述了数字孪生与 BIM 技术的概念特点, 后对城市水务管理中数字孪生与 BIM 的融合路径进行分析, 以及通过应用场景分析两者融合的具体应用, 并提出相关优化建议, 以期不断提高数字孪生与 BIM 在城市水务管理中的融合应用效果, 提升城市水务管理效能。

关键词

数字孪生; BIM; 城市水务管理; 融合应用

1 引言

城市化快速发展背景下对水资源的需求量增多, 同时也引发了较为严重的污染问题, 而气候变化也进一步增加了洪水、干旱等极端天气事件的发生几率, 这对城市水务管理提出了更高要求^[1]。其中数字孪生与 BIM 技术的融合应用可作为新兴的解决措施, 为城市水务系统的规划、建设和管理提供全新视角。所以现阶段城市水务管理应积极引进数字孪生与 BIM 技术, 掌握技术要点, 采取有效措施, 强化两者融合应用效果, 对传统管理过程进行创新优化, 切实提高城市水务管理水平。

2 数字孪生与 BIM 技术概述

2.1 数字孪生技术

数字孪生是一个涵盖了物理世界实体在数字空间中的全面虚拟映射的概念, 这种虚拟模型可实时更新, 反应其物理对应物的状态, 实现物理空间与数字空间的实时双向同步映射及虚实交互^[2]。

对于数字孪生技术的核心特征来说, 主要包括以下几点。①虚实映射。借助智能传感器及相关数据收集技术, 可实时采集物理实体数据, 包括温度、压力、位置、尺寸等, 同时还可将这些实体数据及时更新反映在虚拟模型中。②实时交互。工作人员可对虚拟模型进行操作、模拟, 而最终结果也可反馈至物理空间。③分析预测。集成 AI 技术等手段可对物理实体状态进行诊断分析、趋势预测, 同时还可模拟相关方案的实施情况。④闭环优化。形成“监测-分析-决策-控制”的闭环管理。

【作者简介】唐建良(1981—), 男, 中国浙江桐乡人, 本科, 从事市政环境工程建设与管理研究。

2.2 BIM 技术

BIM 技术指创建并利用数字化模型对建设工程项目的设计、建造和运营全过程进行管理和优化的过程、方法及技术，可在整个建筑物的生命周期中实时更新和管理建筑信息^[3]。

对于 BIM 技术的核心特点来说，主要包括以下几点。

①三维建模。可根据工程数据构建三维建筑虚拟模型，相比于二维图纸来说，三维建模可提高设计的直观性、可视化，有效避免碰撞等问题的发生，优化调整整体布局。②信息集成管理。建筑设施相关的信息数据，包括材料属性、设备型号、施工日期、成本、供应商等，都可与三维模拟关联，形成全面数据库，不仅实现信息的有效整合，还能提高管理效率。③施工模拟与协同。在实际施工前运用 BIM 技术对复杂管线综合安装等关键施工流程进行模拟施工，验证分析施工方案的可行性。同时，BIM 技术还可提供多学科协作平台，建筑师、工程师、承包商和业主可共同查看和编辑模型，保证信息的精准性和一致性，实现协同优化^[4]。④全生命周期管理。BIM 可用于事前预防、事中控制、事后维护管理中，可为全生命周期管理提供精准可靠的 BIM 信息。

3 城市水务管理中数字孪生与 BIM 的融合路径

3.1 数据层融合

BIM 数据转化与轻量化：将设计环节或施工阶段所构建的 BIM 模型进行轻量化处理，根据数字孪生技术应用需求，保证转换后的模型格式能够进行实时交互、Web 渲染^[5]。

IoT 实时数据集成：通过物联网关、边缘计算设备等方式，将智能传感器及相关仪器设备接入模型，主要包括管网压力传感器、流量传感器、智能摄像装备、水质检测仪器等，保证各项数据信息可实时更新。

业务与时空数据融合：为掌握全面数据信息，提高城市水务管理实效性，数字孪生与 BIM 融合时还需对 GIS 数据、SCADA 历史数据、业务工单数据等相关数据信息进行整合，统一管理。

3.2 模型层融合

几何与资产模型：以轻量化 BIM 模型为核心，构成数字孪生体的可视化外观和资产信息查询基础^[6]。

物理与机理模型：开发运用适合的解析工具、中间件等，可将 BIM 模型中涉及的关键参数信息转换为符合仿真模型输入要求的文件，这种情况下当 BIM 模型数据更新，仿真模型内的数据参数也会自动同步更新。同时，还可通过仿真模型模拟水流状态、水质变化等。

数据驱动模型：整合 SCADA 历史数据、气象数据、设备运行数据以及实时监测更新的数据，依托机器学习算法，构建 AI 模型，该模型能够智能开展相关工作，包括设备运行故障预测分析、管网漏损监督定位、短期需水量预测等。

业务规则模型：将调度规程、应急预案等编码为计算机可识别的规则或知识图谱，在此情况下一旦系统运行期间

监测到异常情况可自动响应控制、提供智能决策建议等，不仅保障业务流程顺利开展，还能强化管理效能。

3.3 平台层融合

数据中台：数据中台的运行可实现对 BIM 模型、GIS 系统、IoT 传感器等多源异构数据的抽取、清洗、处理、整合，进一步提高数据信息质量，保证工作人员所查询的数据信息统一、规范、精准，解决信息孤岛问题。

模型中台：模型中台的搭建可对上述模型层涉及的模型进行全过程管理，且可根据实际业务场景需要，对多个模型进行整合串联，形成可复用的模型 workflow。这样不仅可实现模型之间的协同计算，还能根据实际业务需求实现模型的“即插即用”。

三维可视化引擎：承载轻量化 BIM 与 GIS 融合的“一张图”，实现从城市宏观到阀门微观的无级缩放与三维沉浸式浏览^[7]。

仿真与推演引擎：城市水务管理中一些应用场景数据呈现动态变化，而该引擎可快速、精准模拟和推演高计算负载的任务，可为管理人员科学决策提供有力依据。

4 城市水务管理中数字孪生与 BIM 的融合应用场景分析

4.1 河道及供排水管网场景应用

首先，根据 BIM 模型、GIS 系统等数据信息，搭建智慧城市三维模型，实现物理世界到虚拟世界的资产映射，工作人员可随意查看河道模型^[8]。其次，河道运维工作开展过程中可对其相关设备进行定位监测，若设备出现异常，系统中设备的定位处会保持红色高亮。同时，还可提前设定巡检路线、确定所需巡检的项目内容，并提前上报集成至数字孪生平台，更好地实现对巡检工作的动态监督管理。最后，数字孪生与 BIM 的融合运用可用于灾害的实时监测与防控。比如在数字孪生平台上可对城市内涝积水点的深度、位置、趋势变化等进行动态预测分析。数字孪生平台还可提供河道列表清单，工作人员可随时查看水位过程线、实时水情等相关数据。将实时雨量、流量等数据与排水管网 BIM 模型进行结合，驱动水文水动力模型进行实时模拟，精准了解城市排水管网运行情况，进而提前掌握相关数据信息，实现可视化预警。整合供水管网 BIM 模型等相关数据信息，构建 AI 模型，对供水管网夜间最小流量进行监测分析，若存在异常流量，可快速定位疑似漏损的区域，再借助数字孪生平台对该区域进行水力平差计算，根据结果精准定位漏点的具体位置。两者融合应用后可精准、动态、及时了解可能存在的异常情况和灾害风险，以便于管理人员进行安排人员检查维修，同时平台还可辅助决策，提高应急管控措施制定的科学性。

4.2 污水处理厂运行场景应用

为保证污水净化处理规范有效，避免不达标排放对地下水、河道等造成污染，城市水务管理过程中还可针对污水