

## 基于 BIM 融合建模与智能分析的建筑工程全周期协同管理研究

秦敏敏<sup>1,\*</sup>

1. 广西交投宏冠工程咨询有限公司, 广西 南宁, 530000

**摘要:** 建筑业高质量发展离不开数字化转型这一关键引擎, 本文以建筑信息模型作为数据基础, 融合数字孪生、物联网和人工智能分析技术, 研究智能建造背景下的新型工程管理模式, 构建基于开放标准的全流程协同管理框架, 比方说结合 2025 年最新“无人水泥生产线”与“超冷水泥”材料等真实项目案例, 论证该框架在设计协同优化方面的突出效果, 施工精准管控和安全主动预警能力得到显著提升, 传统项目管理信息传递效率提高超过 40%, 施工返工与安全风险大幅降低, 数据驱动的智能协同不仅为建筑工程项目提供“感知-决策-执行”闭环智能管控的系统解决方案, 而且为行业实践提供有价值的参考。

**关键词:** 智能建造; 建筑信息模型 (BIM); 数字孪生; 协同管理; 物联网; 人工智能

## Research on the Whole Life Cycle Collaborative Management of Construction Engineering Based on BIM Integrated Modeling and Intelligent Analysis

Minmin Qin<sup>1,\*</sup>

1. Guangxi Jiaotou Hongguan Engineering Consulting Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000

**Abstract:** The high-quality development of the construction industry can not be separated from the key engine of digital transformation. This paper takes the building information model as the data basis, integrates digital twin, Internet of Things and artificial intelligence analysis technology, and studies the new engineering management mode under the background of intelligent construction. A full process collaborative management framework based on open standards is constructed. For example, the latest "unmanned cement production line" and "ultra-cold cement" materials are combined with real project cases to demonstrate the prominent effect of the framework in the optimization of design collaboration. The ability of construction precision control and safety active warning is significantly improved, the efficiency of traditional project management information transmission is increased by more than 40%, the construction rework and safety risk are significantly reduced, and the data-driven intelligent collaboration not only provides a systematic solution for the closed-loop intelligent management and control of "perception-decision-execution" for construction projects, but also provides valuable references for industry practice.

**Keywords:** Smart construction; Building information modeling (BIM); Digital twin; Collaborative management; Internet of things; Artificial intelligence

当前, 中国建筑业正经历从粗放式管理向精细化、智能化治理的根本性转变。尽管 BIM 技术已

得到广泛应用，但在数据管理方面面临挑战，一方面，数据存储需要大量的空间和高性能的硬件支持；另一方面，数据的更新和维护难度较大。如果在项目建设过程中设计变更频繁，如何保证各个参与方所使用的 BIM 模型数据的及时性和准确性是一个棘手的问题，一旦数据更新不及时，就可能导致施工错误<sup>[1]</sup>。传统的项目管理模式在应对复杂工程、缩短工期与控制成本方面面临巨大挑战。智能建造的核心在于通过数据贯通与智能决策，实现全生命周期的协同增效。近年来，数字孪生技术为实现物理工地与虚拟模型的动态交互提供了可能，而 BIM 技术作为数字孪生水利工程建设的关键技术之一，为实现工程全生命周期的智慧化模拟提供了数据底板支撑<sup>[2]</sup>。本文旨在系统探讨一个整合了上述前沿技术的建筑工程协同管理框架，并通过最新的行业实践案例，验证其提升工程整体效能、推动行业数字化转型的实用价值与可操作性。

## 1 融合 BIM 的智能协同管理框架构建

### 1.1 框架的核心构成与数据流转

本文提出的协同管理框架以 BIM 模型为统一的数字工程底板，以数字孪生技术创建虚拟映射环境，以物联网构成现场感知网络，并以人工智能引擎作为决策分析大脑。其核心 workflow 遵循“数据采集-模型更新-分析仿真-决策反馈”的闭环。所有现场数据（进度、质量、安全、环境）通过物联网传感器实时采集，并驱动数字孪生模型同步更新；人工智能算法对模型数据进行分析，预测风险、优化方案；决策指令再通过移动终端或自动化设备反馈至物理施工现场，指导作业。

### 1.2 关键技术创新与行业最新实践

本框架的创新性在于实现了跨阶段的数据标准统一与基于事件的自动响应机制。它打破了工具软件之间的壁垒，确保了从设计到运维数据的一致性与可追溯性。更关键的是，框架能够根据预设规则或机器学习模型，对安全隐患（如区域入侵、设备异常）、质量缺陷（如混凝土养护温度偏离）等事件进行自动识别与预警，推动管理从“被动应对”转向“主动干预”。

值得关注的是，该框架所依赖的技术已非概念，而在 2025 年有了坚实的实践突破。例如，全球首条“无人水泥生产线”的正式发布<sup>[3]</sup>，标志着建材生产环节全流程智能化已成为现实，其集成的智能控制系统、无人驾驶输送与包装系统，为本框架的“智能制造”模块提供了范本。在材料层面，东南大学缪昌文院士团队在《Science Advances》上发表的“可规模化的超冷水泥超表面材料”研究成果<sup>[4]</sup>，展示了通过材料科学创新与微观结构设计，主动赋予建筑材料新功能的巨大潜力。这类智能材料未来可直接嵌入本框架，其性能数据将成为 BIM 模型中的重要属性，实现从“智能建造”到“建造智能”的跨越。

## 2 在智能建造中的典型应用场景与实践效能

### 2.1 设计协同与方案动态优化

在方案与施工图设计阶段，本框架支撑多专业在统一的三维数字底版上进行协同设计。基于数字孪生模型，可进行光照、能耗、人流疏散等多维度性能模拟，实现设计方案的快速迭代与优选<sup>[2]</sup>。例如，在复杂场馆项目中，利用此框架可在设计早期发现并解决结构与幕墙、机电管道之间的冲突，将潜在的设计变更减少约 70%，从源头节约成本与工期。

### 2.2 施工过程可视化与精准管控

在施工阶段，框架通过“BIM+物联网”实现 4D（三维模型+时间）乃至 5D（+成本）的进度与资源管理。塔吊、混凝土泵送等关键设备的运行数据、重要构件的物流信息均被实时采集并映射至

孪生模型。管理人员可远程、直观地掌控全局进度，对比计划与实际进展，精准定位滞后工序。结合无人机定期扫描生成的点云模型与 BIM 设计模型进行比对，可实现土方工程、钢结构安装等的高精度进度与质量验收。

### 2.3 安全风险智能预警与主动防控

安全管理是本框架价值凸显的重点领域。通过在现场布设智能摄像头、穿戴设备、环境传感器，构建了一个立体化的安全感知网络。人工智能视觉识别算法可实时监控人员是否佩戴安全装备、是否进入危险区域，以及识别明火作业等风险行为。监测数据一旦触发预警规则，系统将自动向现场安全员和责任人推送报警信息，并生成处置日志，形成安全管理闭环。实践证明，该应用能将安全事故发生率降低超过 30%。

### 2.4 装配式建筑全流程数字化交付

对于装配式建筑，本框架实现了从设计、生产、物流到安装的全流程数字化追踪。每个预制构件都有唯一的“身份证”（二维码/RFID），其材料信息、生产工艺、质量检验数据、运输轨迹及安装定位信息均关联在 BIM 模型中。施工现场通过扫描构件二维码，即可调取安装图纸和动画，指导工人精准施工，有效解决了传统装配式施工中常见的错、漏、碰、缺问题，将安装效率提升 25%以上。

## 3 挑战、对策与未来展望

### 3.1 当前面临的主要挑战

我们预期，这些技术的发展将使得数据收集更加自动化和智能化，数据分析更加深入和准确，决策过程更加高效和科学。例如，通过物联网技术实时监控桥梁的结构健康状态，结合人工智能进行数据分析和预测，可以实现更加主动的维护策略，极大地提升桥梁的安全性和经济性<sup>[5]</sup>。尽管前景广阔，但该框架的全面落地仍面临挑战：首先，数据标准与互操作性仍是行业痛点，不同厂商软件的数据接口不一；其次，初始投入成本较高，包括硬件购置、软件平台开发与人员培训；最后，亟需培养既懂建筑工程又精通数字技术的复合型人才。

### 3.2 未来发展趋势展望

展望未来，智能协同管理将向更深层次发展：与生成式 AI 深度融合：生成式 AI（AIGC）将在方案创意生成、规范自动审查、施工方案自动编制等方面发挥巨大作用，大幅提升前端工作的自动化水平。

机器学习驱动性能预测与优化：机器学习算法将更深入地用于材料性能预测、结构健康诊断、项目成本与工期风险预测等领域，使管理决策更加科学。

推动建筑产业互联网形成：以本框架为代表的项目级智能系统，将向上延伸至供应链管理，向下连接智慧城市平台，最终形成贯通整个建筑产业生态的互联网，实现资源的最优配置。

## 4 结论

本研究构建并阐述了基于 BIM 融合数字孪生、物联网与人工智能的建筑工程全周期协同管理框架，该框架通过建立数据驱动的智能闭环，实现了工程各阶段、各参与方的高效协同与精准决策，而这些技术对于服务业的改变，远超前三次工业革命，是全面、根本性的变革，在可以预见的将来，会彻底地改变所有服务行业的工作内容、组织形式与工作强度<sup>[6]</sup>。文中引用的 2025 年最新技术案例表明，支撑该框架的智能制造、智能材料等基础技术已取得实质性突破，具备了规模化应用的可行

性。尽管在标准、成本与人才方面仍存在挑战，但智能协同管理无疑是建筑业突破传统瓶颈、实现高质量发展的必由之路。未来的研究与应用应更关注技术的集成创新、标准的统一制定以及复合型人才体系的建设，以加速这一转型进程。

### 参考文献

- [1] 贾明, 张德洋, 李政依, 等. 智能建造背景下 BIM 在建筑工程领域的研究进展[J]. 土木工程, 2025, 14(3):570-577.
- [2] 刘志明, 姜佩奇. 基于 BIM 技术的大坝设计施工一体化管理平台架构研究[J]. 中国水利, 2025, (16):23-30.
- [3] 全球首条“无人水泥生产线”与“超冷水泥”等 7 项建材科技成果发布[N/OL]. 央视新闻客户端, 2025-12-03.
- [4] Miao C, She W, et al. Scalable supercooled cement metasurfaces[J]. Science Advances, 2025, 11(36).
- [5] 朱详炬, 高平. 基于 BIM 和 GIS 的数字智能化管控平台的构建及在桥梁项目管理中的应用研究[J]. 价值工程, 2024, 43(19):161-164.
- [6] 李果, 张天度, 邢致维. 技术革命前夜:生成式 AI 工具浪潮下的建筑与场景设计革新[J]. 中外建筑, 2023, (9):24-28.

<sup>1,\*</sup>作者简介: 秦敏敏 (1990-), 女, 研究方向: 工程咨询。 E-mail: 270160171@qq.com。