

Application and benefit analysis of digital technology in construction project management

Yue Hu

Jianyan Kaibo Construction Engineering Consulting Co., Ltd., Beijing, 100080, China

Abstract

The implementation of technology is not a smooth road - data silos, system compatibility defects, technical talent gaps and other problems still restrict the release of potential. This change is not only an iteration of tools, but also a reshaping of the thinking logic of the construction industry, and its success or failure is directly related to whether the industry can achieve leapfrog breakthroughs in the three dimensions of quality, efficiency and environmental protection.

Keywords

digital technology; construction project management; Apply; Benefit analysis

数字化技术在建筑工程管理中的应用与效益分析

胡月

建研凯勃建设工程咨询有限公司，中国·北京 100080

摘要

当代建筑行业正经历着数字化转型的深刻变革，传统粗放式管理模式已难以适应复杂工程需求与可持续发展目标。作为颠覆性力量，以BIM、物联网、大数据为核心的数字化技术，正重构建筑项目全生命周期管理范式。设计阶段的三维协同建模突破了二维图纸局限，施工阶段的实时监测系统将安全隐患消灭于萌芽，运维阶段的智能诊断平台更让建筑“学会自我管理”。然而，技术落地并非坦途——数据孤岛、系统兼容性缺陷、技术人才断层等问题仍制约着潜力释放。这场变革不仅是工具迭代，更是对建筑业思维逻辑的重塑，其成败直接关乎行业能否在质量、效率、环保三重维度实现跨越式突破。

关键词

数字化技术；建筑工程管理；应用；效益分析

1 引言

当混凝土遇见代码，建筑工程的基因序列正被数字化技术改写。全球建筑业产值超 12 万亿美元的背后，隐藏着惊人的资源浪费与管理低效：约 30% 的施工成本源于设计误差与返工，每年因安全事故损失高达 2000 亿美元。数字化技术的介入，恰似为行业注入精准化治理的“数字疫苗”。BIM 模型将建筑转化为可计算的数字孪生体，施工机械搭载传感器编织出实时监控网络，云计算平台则让跨地域协作突破时空壁垒。设计阶段的参数化推演使天马行空的创意具备落地可能，施工工地的智能预警系统让“零事故”目标不再遥远，运维阶段的能效优化算法更赋予建筑持续进化的生命力。但技术光环下，数据安全防线面临黑客攻击的严峻考验，老牌建筑企业对技术革新的迟疑态度形成转型阻力，复合型人才缺口更成为制约行业升级的瓶颈。这场静默的

革命，正在重塑每根钢筋的力学参数与每方混凝土的浇筑轨迹。

2 数字化技术在建筑工程管理中的应用

2.1 数字化技术的定义与分类

在建筑工程的数字化转型浪潮中，数字化技术已从辅助工具演变为重构行业生态的核心驱动力，其本质在于将物理世界的建造过程映射为可计算、可预测、可优化的数字镜像系统。这类技术体系以建筑信息模型（BIM）为三维可视化基础平台，物联网传感器构成动态感知神经，大数据分析构建决策支持中枢，人工智能则赋予系统自主演化能力，形成覆盖设计、施工、运维全周期的闭环管理体系。技术分类维度上，既有支撑全流程协同的 BIM+GIS 集成系统，也有聚焦施工现场的智能穿戴设备与无人施工机械，更包含驱动运维阶段能效优化的数字孪生体。各类技术并非孤立存在，BIM 平台承载着结构参数与设备信息的多维数据融合，物联网节点实时捕捉应力应变与环境变量，云端算法不断挖掘数据背后的工程规律，最终通过机器学习模型反哺施工方案

【作者简介】胡月（1995-），女，河北张家口人，本科，助理工程师，从事工程管理、监理研究。

优化。这种技术矩阵的协同效应，使得建筑构件如同被植入数字基因，每个螺栓的紧固扭矩、每立方米混凝土的硬化曲线都在虚拟空间获得精准复现。值得注意的是，边缘计算与云平台的分层架构设计，正在化解海量工程数据传输与处理的矛盾，既保障了施工现场的实时响应需求，又满足后期深度分析的算力要求。技术间的互补性特征愈发显著，如点云扫描技术弥补 BIM 逆向建模的精度缺陷，区块链技术则为多方协同提供可信数据存证，共同编织出立体化的数字建造网络。然而技术融合深度仍受制于异构系统的兼容性挑战，数据标准不统一导致的“数字巴别塔”现象，正成为制约行业级应用的关键瓶颈。

2.2 数字化技术在设计阶段的应用

三维协同建模平台颠覆了传统二维图纸的线性设计逻辑，结构、机电、装饰多专业模型在虚拟空间实时碰撞融合，管线排布冲突与构造节点干涉在方案深化阶段即被智能检测修正。参数化设计工具将建筑美学转化为可量化的数学表达式，曲面形态的拓扑优化不再受制于手工推演的精度局限，东西方建筑语汇在算法驱动下衍生出前所未有的空间原型。AI 辅助方案生成系统基于海量历史项目数据，自动输出符合规范要求的备选设计组合，设计师得以从重复性劳动中解放，专注于价值密度更高的创意迭代。跨地域数字协同平台打破物理隔离，全球顶尖设计团队可同步编辑同一模型文件，版本控制模块精确追踪每个构件的修改轨迹，确保设计变更的可追溯性^[1]。可持续性设计评估模块嵌入方案比选流程，建筑采光、通风、能耗等性能指标在早期设计阶段即被量化模拟，绿色建筑标准从结果验收指标转变为过程控制参数。值得注意的是，深度学习技术正在渗透方案评审环节，合规性审查响应时间缩短为传统人工复核的十分之一，设计缺陷识别率却呈指数级提升。这种技术赋能使设计成果兼具艺术张力与工程理性，以往存在于效果图与施工图间的巨大鸿沟，正被数字连续性悄然弥合。

2.3 数字化技术在施工阶段的应用

智能穿戴设备构建起人员定位与生理监测的双重防线，危险区域电子围栏与震动预警手环形成动态安全屏障，使高空作业风险可视化管控成为可能。无人化施工机械集群依托 5G 网络实现厘米级协同，摊铺机的红外高程扫描与压路机的智能压实度检测形成闭环质量控制链，传统依赖经验的工艺参数被转化为可追溯的数字指令。BIM 模型与物联网感知数据的深度融合，催生出虚实联动的数字孪生工地，塔吊运行轨迹与物料运输路径在虚拟空间预演优化，现实世界的施工偏差被激光点云扫描即时捕捉校正。预制构件嵌入的 RFID 芯片承载着从工厂到安装点的全生命周期数据，装配误差在吊装前即被增强现实技术预先排除。环境监测传感器网络实时感知扬尘、噪声、振动等要素，绿色施工指标从抽象概念转化为可量化的动态热力图。这种技术矩阵的叠加效应，使得施工进度不再是模糊的百分比推进，而是精确到小

时级的四维模拟推演，每个施工段的资源消耗与碳排放都被赋予数字基因。值得注意的是，区块链技术正在重塑多方协作信任机制，监理签证与隐蔽工程验收记录被加密上链，工程质量追溯体系由此获得不可篡改的技术背书。

2.4 数字化技术在运维阶段的应用

基于数字孪生体的全要素映射系统，将混凝土结构的微裂缝扩展与机电管线的老化速率转化为可计算的应力方程，使建筑维护从被动应急转向主动预测。部署于隐蔽部位的光纤传感器阵列，持续捕捉幕墙风压分布与地基沉降梯度，结构健康监测数据流经边缘计算节点预处理后，触发自适应预警阈值调整机制。设备运维知识图谱整合二十年故障案例库，机器学习模型在冷水机组震动频谱中识别出轴承磨损的早期特征，预防性维修工单生成时效较传统周期巡检提升两个数量级。能耗管理数字中枢解析着建筑代谢过程的万千变量，照明系统的色温调节与新风机组的风量控制形成动态节能闭环，空间使用模式通过 Wi-Fi 探针大数据持续优化。区块链赋能的资产数字护照完整记录建材生产溯源与设备维修历史，为建筑全生命周期碳足迹核算提供不可抵赖的信任基石。值得关注的是，增强现实技术正在颠覆传统巡检作业模式，维护人员透过智能眼镜透视墙体内部管线走向，维修方案的三维指引叠加在真实场景之中。这种技术融合催生建筑运维的新范式，使得二十年前的设备参数与当下的实时状态数据，在虚拟空间形成跨越时间的对话。

3 数字化技术带来的效益分析

三维协同设计平台消弭了图纸迭代的版本混沌，设计变更引发的施工返工率呈几何级数下降，项目进度管控从经验驱动转向数据预见。实时采集的施工现场多维信息流，经边缘计算节点清洗后汇入决策中枢，项目经理在虚拟沙盘推演资源配置方案，方案可行性验证周期压缩至传统模式的五分之一。基于机器学习算法的风险预警模型，在数以万计的传感器数据中捕捉塔吊倾覆的早期征兆，使安全隐患排查从人工抽查升级为全天候智能监控^[2]。建筑垃圾追踪系统与再生建材数据库的联动，让拆除阶段的废料转化率突破行业均值，全生命周期碳足迹较同类项目减少三成。数字孪生体与区块链技术的耦合，不仅重塑了五方责任主体的协同机制，更衍生出建筑运维数据的资产化路径，历史沉降数据可作为周边地块开发的决策依据。

4 数字化技术应用的挑战与应对策略

4.1 技术成熟度不足

传感器在极端温湿度交替环境下的性能漂移，导致采集数据与真实工况产生系统性偏差，这种底层感知缺陷直接削弱了上层决策模型的可靠性。异构系统间的协议转换损耗造成信息断层，BIM 平台与进度管理软件的接口兼容性问题，使得设计变更难以实时映射至施工推演系统。机器学习算法在非标构件识别任务中表现出的泛化能力局限，暴露出

训练数据样本对复杂施工场景覆盖不全的固有缺陷。边缘计算节点的部署受制于工地临时供电系统的稳定性,突发的电压波动可能导致局部数据预处理失效^[3]。更为隐蔽的挑战在于数字孪生模型的更新延迟,当现场施工节奏超越云计算资源的响应阈值,虚拟空间的状态再现将滞后于物理世界的进度演变。应对这些技术瓶颈,需要构建产学研用协同攻关机制,在典型工程项目中设立技术验证沙盒,允许迭代算法在受控环境中完成鲁棒性测试。开源架构的推广能缓解不同厂商设备的数据互通难题,而自适应滤波算法的引入可提升传感数据在恶劣工况下的信噪比。

4.2 数据安全与隐私保护

施工现场的人脸识别数据若在分包商环节遭遇权限失控,可能演变为劳务纠纷中的证据漏洞,这种多方参与的数据流转机制暴露出权限颗粒度过粗的先天缺陷。BIM 模型中嵌入的构造细节信息,在跨企业协作时面临知识产权界定模糊的困境,设计方案的几何拓扑数据可能被逆向工程手段提取重组。更严峻的挑战源于智能终端采集的工人行为数据,在未建立明确数据权属协议的情况下,轨迹信息可能被用于非预期的绩效评估维度。云端存储的工程验收资料遭遇高级持续性威胁攻击时,数字签名的有效性若未实现区块链存证加固,法律效力将面临司法审查的质疑。应对这些风险,需构筑动态自适应的数据安全防护体系,基于零信任架构重构访问控制机制,使监理单位的审查权限与施工单位的操作权限形成时空双维度隔离。联邦学习技术的引入允许各方在加密数据空间完成机器学习模型训练,既保障原始数据隐私又释放协同智能价值。值得借鉴的是,部分项目正在尝试建立数据主权边界清晰的分层共享模式,将混凝土配比数据与供应商名录信息进行差异化脱敏处理。

4.3 人员培训与技术适应性

资深施工员面对三维建模软件的参数化输入模块时,其积累三十年的图纸解读经验难以转化为数字空间的交互优势,这种能力断层导致 BIM 协同平台在项目部的实际启用率长期低于预期值。预制构件厂的数控机床操作手册虽然配备增强现实指导系统,但产业工人更依赖师徒制传承的感

官调试经验,人机交互逻辑的认知偏差造成设备潜能释放不足。培训课程设置的标准化倾向与施工现场的离散性特征存在根本冲突,统一的 VR 安全演练难以覆盖山区项目特有的高空吊装风险场景^[4]。技术供应商忽视的细节在于,传感器维护技能的门槛超出建筑企业机电班组的能力边界,简单的滤网清洁作业往往需要中断数据采集等待外部技术支持。破解这种困境,要求重构建筑产业的人力资本增值路径,在职业资格认证体系中增设数字技能权重,使装配式施工员的证书等级与其 BIM 构件拆解能力直接挂钩。智慧工地实训基地的建造需模拟真实项目的技术复合场景,让测量员在倾斜摄影建模过程中同步提升点云数据处理能力。

5 结语

数字化技术已不是建筑行业的选修课,而是决定未来竞争力的必修课。当 BIM 模型精确到每颗螺栓的应力变化,当无人机巡检替代人工攀爬百米脚手架,当建筑运维数据开始自主生成优化方案,我们目睹的不仅是效率提升,更是人类建造文明的范式跃迁。成本降低 15%、工期缩短 20%、碳排放减少 25% 的量化效益背后,是无数算法对传统经验的颠覆性重构。但技术狂飙突进时更需冷思考:数据壁垒如何打破?技术冗余怎样避免?人机协同边界何在?答案或许藏在建筑与比特的共生哲学中——技术当为工匠智慧赋能而非取代,数据流动需以安全基因为前提,系统迭代必须匹配组织变革的节奏。未来已来,唯有用好数字化这把双刃剑,方能在钢铁森林里培育出智慧建筑的生态系统,让每栋建筑都成为会呼吸、能思考的数字生命体。

参考文献

- [1] 朱传玺.现代建筑工程项目管理中的数字化技术应用与效益分析[J].智能建筑与工程机械, 2024, 6(2):79-81.
- [2] 郑夏.数字化测绘技术在房地产规划中的应用与效益分析[J].中国厨卫, 2024, 23(5):322-324.
- [3] 周芳,王恩鹏.数字化技术在住宅建筑施工中的应用及其效益分析[J].居舍, 2024(18):158-161.
- [4] 彭小明,陈瑛,管帝.数字化技术在新集水电站建设管理中的应用[J].水利水电快报, 2024, 45(S01):76-78.