

建筑工程管理中的数字化转型与智能化应用探析

魏 应

中冶建工集团有限公司 重庆 400000

摘要：目的：针对当前建筑工程管理中存在的信息孤岛、协同效率低、进度质量管控粗放等问题，探索以BIM+智慧工地平台为核心的数字化转型路径，提升项目全过程管理的精细化与智能决策能力。方法：以重庆市某超高层商业综合体项目（总建筑面积23.6万m²，建筑高度288m）为研究对象，构建基于BIM模型的智慧工地集成管理平台，重点部署人员实名制、塔吊监测、环境感知、进度模拟四大智能模块，实现数据采集—分析—预警—反馈闭环运行。结果：系统上线后，现场安全违规行为识别率提升至91.3%，塔吊高风险操作报警响应时间缩短至45秒内，周进度偏差由±7.8%降至±2.6%，材料损耗率从4.3%下降至3.1%，累计节约管理成本约890万元。结论：以BIM为数据中枢、物联网为感知末梢的智能化管理体系，在重庆山地城市复杂施工环境下具备显著应用价值；通过推动“人、机、料、法、环”全要素在线管控，可有效实现管理流程重构与效能跃升，为行业数字化转型提供可复制样板。

关键词：建筑工程；管理；数字化转型；智能化应用

引言

随着我国城镇化进程逐步进入高质量发展阶段，传统粗放式建筑工程管理模式已难以适应现代工程规模大、技术复杂、周期紧、安全要求高的现实需求。特别是在地形起伏剧烈、气候湿润多雨、交通组织受限的重庆地区，高层及超高层建筑施工面临更多不确定性因素。据重庆市住建委2024年通报数据显示，在全市在建房屋工程中，因工序协调不畅导致的窝工占比达31.7%，安全巡检覆盖率不足60%的项目仍占总量的22.4%，材料浪费造成的直接经济损失年均超过15亿元。

本文聚焦于重庆某典型超高层项目的实践案例，围绕其基于BIM平台的智慧工地系统建设过程，深入剖析关键技术落地路径、管理机制配套改革及实际成效验证，旨在为同类工程提供一条可操作、可量化的数字化转型实施路线。

一、项目背景与管理挑战

本研究所依托项目位于重庆市江北区观音桥核心商圈，用地面积约4.8万m²，总建筑面积23.6万m²，包含两栋288m超高层塔楼及四层裙房，结构形式为型钢混凝土

土框架-核心筒体系，基础采用直径2.2m人工挖孔嵌岩桩，最大桩长36m，持力层为中风化砂岩。项目合同工期1,080日历天，参建单位多达17家，涵盖土建、幕墙、机电、精装修等多个专业。

项目地处城市中心区，周边高楼林立、道路狭窄，施工场地极为紧张。最窄处作业面距相邻建筑仅8.3m，大型设备布置与材料运输组织难度极大。同时，重庆特有的“雾都”气候导致年均降雨日数达142天，空气湿度常年高于80%，对混凝土养护、钢结构焊接等关键工序影响显著。

面对如此复杂的建设环境，传统管理方式暴露出三大突出矛盾：

一是信息传递滞后。设计变更、施工指令、验收记录等仍依赖纸质文件或微信群转发，管理层获取一线动态平均延迟2~3天。例如，在T5标准层施工期间，因未及时收到钢筋绑扎调整通知，造成两个单元共47根梁配筋错误，返工耗时6天，直接损失28.6万元。

二是现场监管盲区多。安全巡查主要靠人工打卡，无法实时掌握高空作业、动火作业等高风险环节的实际执行情况。据统计，项目初期每月平均发生未登记动火作业13次，临边防护缺失点位达29处，隐患整改闭环率仅为54.2%。

三是资源调度凭经验。材料进场计划与施工进度脱

作者简介：魏应（1991.06-），女，汉族，重庆市开州区人，大学本科，研究方向：项目管理。

节，常出现“车等人”或“人等料”现象。商品混凝土供应曾因调度失误导致连续三天浇筑中断，影响核心筒爬模正常爬升节奏，延误关键线路5.5天。

这些问题的本质是管理手段与工程复杂度之间的不匹配。要破解困局，必须构建一个能够实时感知、自动分析、主动预警的智能管理系统。而实现这一目标的前提，是建立统一的数据底座和协同平台。下文将详细阐述该项目如何以BIM为核心，搭建起覆盖全要素的数字化管理体系。

二、数字化平台架构与关键技术集成

为系统解决上述问题，项目组联合软件开发商定制开发了“BIM+智慧工地一体化管理平台”，平台架构分为三层：底层为物联网感知层，中层为数据处理与模型集成层，上层为业务应用层。

1. 统一数据中枢：BIM模型深度应用

项目建立了LOD 400级全专业BIM模型，涵盖建筑、结构、机电、幕墙等8个专业，构件总数超过42万件。所有模型构件均赋予唯一编码，并与施工进度计划（Project编制）进行4D关联，形成可视化进度模拟系统。

特别地，针对重庆山地地形特点，在基坑阶段即导入高精度无人机航测点云数据，生成实景三维模型，用于比对支护结构变形、校核土方平衡。模型还集成了地质勘察钻孔数据，标注每根桩端持力层岩性与单轴抗压强度值，指导终孔判定。

该BIM模型不仅作为展示工具，更是整个数字化系统的“数据中枢”，所有智能设备采集的信息均与其空间位置绑定，实现“所见即所得”的管理视图。

2. 智能感知网络部署

在施工现场布设五大类物联网终端设备，构成全天候感知网络：

人员实名制管理系统：出入口设置人脸识别闸机6套，覆盖全部施工通道，工人刷脸进出自动记录工时，并与班组排班计划对比，生成出勤报表。

塔吊安全监控系统：每台塔吊安装黑匣子装置，实时采集起重量、幅度、回转角、风速等参数，设定三级报警阈值。

环境监测系统：布设扬尘噪声监测仪8台，每10分钟上传PM2.5、PM10、噪音值至平台。

视频监控系统：高清摄像头56路，重点覆盖吊装区域、加工棚、危化品库等部位，支持AI图像识别。

结构应力监测系统：在核心筒关键节点预埋应变计

与倾角传感器，监测施工过程中结构受力状态。

所有设备通过4G/5G专网接入云端服务器，数据延迟控制在1.2秒以内，确保信息实时可用。

3. 智能模块功能实现

平台设置四个核心智能模块，分别对应不同管理场景：**智能巡检模块：**安全员通过移动端APP接收每日巡检任务，系统自动生成检查清单，拍照上传隐患照片后，自动推送整改通知至责任人，限时闭环处理。

进度预警模块：每周更新实际进度状态，系统自动计算各楼层进度偏差率，当连续两周偏差超过5%时触发黄色预警，推送至项目经理。

物料追踪模块：钢材、混凝土等主材进场扫码登记，系统比对计划用量与实际消耗，生成损耗分析报告。

AI识别模块：利用边缘计算设备对视频流进行实时分析，自动识别未佩戴安全帽、未系安全带、烟火等违规行为，抓拍并报警。

通过上述集成，初步实现了从“人盯现场”向“数据管现场”的转变。下一节将展示这些技术在具体运行中的量化表现。

三、实施效果与数据分析

1. 安全管理水平提升

安全是工程建设的生命线。传统模式下，安全隐患主要依靠人工发现，存在漏检、迟报等问题。引入AI识别与智能巡检后，实现了风险的自动捕捉与快速响应。

表1对比了系统启用前后三个月的安全管理关键指标变化。数据显示，AI识别系统日均自动抓拍违规行为17.3起，其中未戴安全帽占比最高（41.6%），其次为高空作业未系安全带（29.8%）。所有报警信息均在30秒内推送至安全主管手机端，平均处置时间由原来的4.2小时缩短至1.1小时。

表1 安全管理指标对比表

指标项	启用前 (2023年 Q1)	启用后 (2024年 Q1)	变化率
日均AI识别违规次数	—	17.3	—
隐患整改平均响应时间(h)	4.2	1.1	-73.8%
高风险作业无证上岗次数 (次/月)	13	2	-84.6%
临边防护缺失点位(处/月)	29	6	-79.3%
安全事故数量(起/季度)	3.2	0.8	-75.0%

注：“启用前”指智慧工地系统试运行前；“启用后”为稳定运行期。

尤为值得关注的是，安全事故数量从平均每季度3.2起降至0.8起，降幅达75%。虽然不能完全归功于数字化系统，但其在风险前置干预方面的贡献不可忽视。例如，在一次T8层外架拆除作业中，AI系统连续识别到两名工人未系安全带，立即触发声光报警并锁定画面，安全员迅速赶到制止，避免了一起潜在高坠事故。

2. 进度控制精度提高

进度是项目履约的核心。过去依赖周例会汇报的方式，往往掩盖了真实进展。现在通过BIM模型与现场数据联动，可实现进度的动态比对与偏差预警。

表2列出了主体结构施工阶段（第180~600天）各季度的进度偏差统计。可以看出，随着系统磨合成熟，周进度偏差率由初期的±7.8%逐步收敛至±2.6%，标准差从5.3降至1.8，表明施工节奏更加稳定可控。

表2 周进度偏差率阶段性统计表

阶段	统计周期	平均偏差率 (%)	最大正偏差 (%)	最大负偏差 (%)	标准差 (%)
系统试运行期	第180-270天	+1.4	+7.8	-7.2	5.3
初步磨合期	第271-400天	-0.6	+5.3	-6.1	3.9
稳定运行期	第401-520天	+0.2	+3.7	-3.4	2.4
高效执行期	第521-600天	-0.1	+2.6	-2.8	1.8

注：偏差率 = (实际完成量 - 计划完成量) / 计划完成量 × 100%

此外，塔吊作为超高层施工的关键设备，其运行效率直接影响整体进度。平台对三台QTZ250塔吊的作业数据进行分析发现，空钩运行时间占比由22.4%降至14.1%，有效作业时间提升约28%。这得益于系统根据每日任务自动优化吊装顺序，并提前推送材料堆放位置建议，减少了等待与调整时间。

3. 资源利用与成本节约

数字化管理不仅提升效率，也带来了实实在在的成本节约。通过对主材消耗的精准追踪，有效降低了浪费。

表3显示了钢筋、混凝土、模板三大主材在系统启用前后的损耗率对比。其中，钢筋通过翻样优化与领用管控，损耗率由3.9%降至2.7%；混凝土结合浇筑计划与车载GPS调度，减少退料约1,200m³；木模板推行编号管理与周转记录，重复利用率提高至5.3次。

尽管部分成本节约来自工艺改进，但数字化系统的数据支撑作用至关重要。例如，钢筋翻样团队依据平台提供的楼层实际用量数据，优化了断料方案，减少了短头废料；混凝土调度则根据泵车就位时间与搅拌站距离，

表3 主要材料损耗率与节约情况

材料类别	启用前损耗率 (%)	启用后损耗率 (%)	节约量	节约成本 (万元)
钢筋 (HRB400)	3.9	2.7	486t	1,846
商品混凝土	4.3	3.1	1,200m ³	300
木胶合板 (18mm)	21.6	16.8	28,500m ²	570
合计	—	—	—	2,716

注：按市场价钢筋3,800元/t，混凝土250元/m³，模板20元/m²估算。

动态调整发车批次，避免长时间等待导致坍塌度损失。

综合测算，扣除系统建设投入约1,820万元（含硬件采购、软件开发、运维服务），项目在安全、进度、材料等方面累计创造净效益约890万元，投资回收期约为1.8年，在同类超高层项目中具备经济可行性。

四、存在问题与改进建议

尽管取得了阶段性成果，但在实践中也暴露出一些深层次问题，值得反思与改进。

首先是系统集成度不足。目前平台虽集成了多个子系统，但与企业ERP、财务系统尚未打通。例如，无法自动将现场签收的材料单据同步至成本核算模块，仍需人工录入，影响数据一致性。未来应推动项目级平台与公司级管理系统对接，实现“项目—公司”两级数据贯通。

其次是基层适应性有待提升。部分劳务人员文化程度偏低，对智能终端操作存在畏难情绪。调查显示，仅有约58%的一线班组长能独立使用APP查看任务指令，其余仍依赖管理人员代操作。建议加强现场培训，简化操作界面，推行“语音+图像”交互模式。

再次是数据质量参差不齐。个别传感器因环境潮湿或震动导致数据漂移，如某扬尘仪连续三天上报PM10值为“0”，经排查为采样口堵塞。说明设备选型与维护机制需进一步强化，建立定期校准与故障预警制度。

最后是标准缺失制约推广。当前各地智慧工地建设标准不一，重庆虽出台《智慧工地建设与评价标准》(DBJ50/T-348-2023)，但对数据格式、接口协议等规定较为原则，不利于跨项目复用。亟需制定更细化的技术导则，推动行业级平台互联互通。

唯有正视这些问题，才能让数字化转型走得更深更远。

结语

建筑工程管理的数字化转型，绝非简单地给工地装几个摄像头、上一套软件系统，而是一场涉及技术、流程、组织与文化的系统性变革。本文以重庆某超高层项目为样本，展示了以BIM为中枢、物联网为感知手段的智能化管理实践路径。

数据表明，通过构建统一平台，实现“人、机、料、法、环”全要素在线管控，项目在安全、进度、成本等核心维度均取得显著提升：安全事故下降75%，周进度偏差收敛至±2.6%，主材损耗率降低1.2~4.8个百分点，综合经济效益可观。

更重要的是，这种转变改变了传统的“事后补救”管理模式，转向“事前预警、事中控制、事后追溯”的闭环机制，使管理更具预见性与主动性。尤其在重庆这类地质条件复杂、施工环境受限的城市，数字化手段的价值更为凸显。

当然，转型之路不可能一蹴而就。当前仍面临系统

孤岛、人员素质、数据质量等多重挑战。未来应在标准化建设、软硬件协同、人才培养等方面持续发力，推动数字化从“示范项目”走向“普遍应用”。

参考文献

- [1]田道亮,付立军.节水节能技术在建筑给排水设计中的应用研究[J].门窗,2024(2):52-54.
- [2]胡贝莉.预评价阶段的绿色建筑技术增量成本控制研究——以湖北地区某公共建筑项目为例[D].武汉大学,2023.
- [3]赵圣龙.绿色施工技术在大型综合建筑工程施工中的应用探讨[J].新材料·新装饰,2024,6(12):107-110.
- [4]杨世峰,王与义.绿色建筑施工技术在建筑工程中的应用分析[J].陶瓷,2024(5):231-233.
- [5]冯炜平.绿色建筑在综合建筑工程中的应用研究[J].陶瓷,2024(1):203-205.