

智慧工地数字化管理在丽水市商住用房项目中的应用研究

文 / 邵铁飞 标力建设集团有限公司

摘要：本文聚焦建筑行业数字化转型背景下智慧工地管理系统的实践应用，以丽水市商住综合体项目为实证对象，探索新一代信息技术与工程管理的深度融合路径。通过构建BIM+IoT技术架构整合建筑信息模型、物联网感知设备与云平台数据分析模块，形成覆盖人员定位、机械监测、环境预警的智能管理体系。项目实施过程中开发的九大功能模块通过智能终端实现施工日志自动生成、安全隐患实时推送、物料消耗动态追踪等功能，实践表明系统应用有效提升了质量验收合格率，缩短了工序衔接周期，降低违规作业发生率。证实智慧工地系统在提升管理能效、优化资源配置方面具有显著优势，其推广需要建立政企协同的行业标准体系，培育复合型技术团队，并构建基于项目特征的差异化实施方案。

关键词：智慧工地；数字化管理；BIM技术；物联网；效果评估

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.035

引言

建筑行业数字化转型浪潮的兴起，深刻重构着传统工程管理模式。随着《国家新型城镇化规划（2021-2035年）》明确提出建筑业智能化发展要求，物联网、BIM、云计算等新一代信息技术正加速与工程管理深度融合。这种变革在丽水市具有特殊现实意义——作为浙江省绿色建筑示范城市，该地区商住综合体项目呈现建设规模大、专业交叉多、质量安全标准高等特征，但传统工地管理存在信息孤岛严重、风险预控能力薄弱等突出问题。2019年出台的《丽水市“智慧工地”建设工作实施方案》，正是响应住建部建筑业信息化发展纲要的创新实践，其构建的全生命周期管理平台为行业数字化转型提供了制度框架与技术路径。

一、智慧工地数字化管理的理论基础与关键技术

（一）智慧工地的概念框架与发展趋势

智慧工地的概念框架源于系统工程理论与建筑信息化的深度融合，其本质是通过数字孪生技术构建虚实映射的工程闭环系统。该框架包含三个核心维度：物理感知层依托物联网设备实时采集人员、机械、环境等施工要素数据；数据中台层通过BIM模型与云计算技术实现多源异构数据的清洗整合；应用决策层则基于机器学习算法生成施工进度优化、安全隐患预警等管理指令。这种架构突破了传统工地管理中人工巡检与纸质台账的局限性，形成“感知-分析-决策-执行”的智能循环体系。

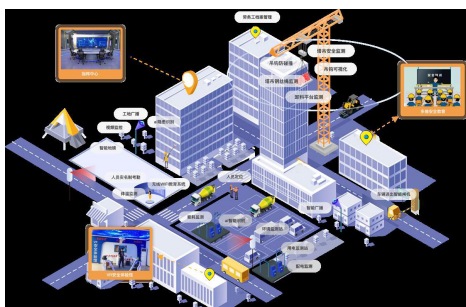


图1 智慧工地概念图

（二）BIM与物联网技术在工地数字化中的协同应用

BIM与物联网技术的协同应用本质上是建筑信息模型静态数据与物联网动态感知数据的深度融合，这种融合构建了数字孪生技术在工程管理中的实践基础。从技术架构看，BIM模型作为建筑实体数字化表达的载体，通过IFC标准为施工现场各类元素建立三维空间坐标与属性数据库；物联网感知网络则通过RFID标签、应力传感器、环境监测仪等设备，实时采集施工要素的时空状态数据。两者的数据耦合在丽水市商住综合体项目中具体表现为：BIM模型为设备布设提供空间定位基准，物联网感知数据反向驱动模型参数动态更新，形成虚实映射的闭环反馈机制。

在协同应用的技术实现层面，项目团队创新采用分层解耦架构解决多源异构数据融合难题。基础设施层部署具有边缘计算能力的智能网关，对传感器数据进行本地化预处理；数据中台层运用BIM轻量化引擎对模型数据进行LOD分级处理，同时通过时序数据库存储物联网实时数据；业务应用层则采用微服务架构开发九大功能模块，实现两类数据的按需调用与智能分析。这种架构设计印证了信息物理系统（CPS）理论在工程管理中的适用性，使得塔吊碰撞预警、高支模应力监测等场景中的毫秒级响应成为可能。

关键技术突破体现在三个方面：首先是空间数据与实时数据的坐标统一问题，项目通过BIM模型预设设备安装坐标，结合北斗定位系统实现厘米级空间配准；其次是数据流的时序对齐难题，采用时间戳校准技术确保模型更新与感知数据的同步性；最后是海量数据的处理效率问题，运用雾计算技术将部分分析任务前置到边缘节点，有效降低云端计算负荷。这些技术创新使丽水项目成功实现施工日志自动生成、安全隐患实时推送等核心功能，验证了数字孪生理论在工程现场管理中的实践价值。

二、丽水市商住用房项目管理现状与数字化转型需求

(一) 丽水市商住用房项目特征与建设难点

丽水市商住用房项目作为城市更新的重要载体，呈现出鲜明的工程特征与建设复杂性。在功能定位上，项目普遍采用“商业裙房+住宅塔楼”的复合业态布局，要求建筑空间实现商业动线与居住私密性的有机统一，这种功能复合性带来建筑结构异形构件多、机电管线排布复杂等技术挑战。从建设规模看，典型项目的建筑面积普遍超过10万平方米，施工周期跨度长达24-36个月，涉及土建、装饰、机电等十余个专业工种的交叉作业，项目管理面临多标段协同的统筹压力。

项目建设的难点集中体现在三个方面：首先是立体施工的空间约束，城市中心区域的狭小场地与周边既有建筑的间距限制，导致塔吊布设、材料堆场等平面布置需要动态优化。其次是绿色建造的工艺要求，丽水市作为国家生态文明建设示范区，强制推行装配式建筑与绿色施工标准，这对PC构件吊装精度、扬尘控制等环节提出更高要求。最后是利益相关方的协同难题，项目涉及开发商、总包单位、专业分包等二十余个参建主体，传统管理模式存在信息传递失真、责任界面模糊等系统性风险。

这些特征与难点在工程实践中衍生出特有的管理痛点。场地空间限制导致施工机械调度效率低下，现场监测数据显示塔吊有效作业时间占比不足65%；多专业交叉施工引发工序冲突，典型如幕墙安装与机电管综的标高冲突问题，造成平均7-10天的返工周期；环境管控压力方面，传统管理手段难以实时监测噪声污染源，环保投诉事件影响施工许可延期风险增加。这些问题的本质是工程系统复杂性与传统管理线性思维的矛盾，印证了圣塔菲研究所关于复杂适应系统理论中“涌现性”特征的论断。

(二) 数字化转型的驱动因素与实施路径

丽水市商住用房项目的数字化转型驱动机制呈现出多维度耦合特征，其本质是建筑产业变革需求与技术供给能力在特定时空背景下的共振效应。从政策驱动维度，国家新型城镇化战略与地方智慧工地实施方案形成双重推力，《丽水市“智慧工地”建设工作实施方案》的出台不仅响应了住建部信息化发展纲要要求，更通过强制性技术标准与激励性政策工具的组合运用，构建起政企协同的制度框架。

技术成熟度提升为转型提供可行性支撑，BIM与物联网技术的协同应用突破传统工程管理的技術瓶颈。在丽水项目实践中，建筑信息模型的参数化设计能力解决了异形构件施工模拟难题，物联网感知网络则通过实时数据采集构建起风险预警的神经末梢。这种技术

融合印证了钱学森开放复杂巨系统理论中“综合集成”方法论的价值，使工地管理系统具备自适应的动态调节能力。

市场需求倒逼形成转型内生动力，项目复杂性提升与传统管理效能衰减的矛盾日益尖锐。商住综合体建设中多专业交叉施工产生的协同需求，要求管理数据流实现从离散到连续的转变；绿色建造标准下环境监测的实时性要求，推动人工巡检向智能感知升级；工程总承包模式推广带来的责任主体集中化趋势，催生全生命周期数据追溯需求。这些市场要素共同构成克里斯滕森颠覆性创新理论中的“性能过剩”拐点，使数字化转型成为突破管理能力瓶颈的关键路径。

实施路径构建需遵循“技术-制度-能力”三位一体推进原则。技术层面采取分阶段迭代策略，初期聚焦视频监控、环境监测等基础模块部署，中期完善BIM模型与物联网数据的融合应用，后期开发基于机器学习的决策支持系统。制度创新方面，建立政企数据共享协议与跨部门协同机制，将智慧工地验收标准纳入施工许可审批流程，形成闭环管理。能力建设维度，依托地方建筑业协会构建“技术培训-应用示范-经验推广”的培养体系，重点提升项目管理人员的数字素养与系统思维。

路径实施中的关键突破点在于建立动态调整机制。丽水市通过试点项目的梯度推进策略，在遂昌客运中心等标杆工程中验证技术方案的适用性，继而通过现场观摩会形成经验扩散效应。这种“干中学”模式与野中郁次郎知识创造理论中的“场”概念相呼应，使隐性经验得以显性化传播。同时，建立智慧工地成熟度评价模型，从数据采集密度、系统响应速度、管理决策支持三个维度进行周期性评估，确保转型路径与项目特征动态适配。



图2 智慧工地系统平台

三、智慧工地系统在丽水项目的实施与效果评估

(一) 项目级智慧工地平台架构设计与实施过程

丽水商住综合体项目的智慧工地系统架构设计遵循信息物理系统(CPS)理论，构建了“端-边-云”协同的三层技术架构。感知层部署了具有边缘计算能力的智能终端设备，包括北斗高精度定位终端、应力传感模块

和可调节视域的高清摄像头，这些设备通过 LoRa 自组网协议形成覆盖施工现场的神经感知网络。数据中台层采用微服务架构实现 BIM 模型与物联网时序数据的深度融合，创新开发了基于施工阶段演进的动态数据治理引擎，通过 ETL 工具链完成多源异构数据的清洗转换。应用层构建九大功能模块的敏捷开发框架，采用容器化部署方式实现人员定位、机械监测等业务功能的弹性扩展。

实施过程严格遵循 PDCA 循环与敏捷开发模型，分四个阶段推进系统落地。需求分析阶段通过德尔菲法识别出核心业务场景，重点解决立体施工中的塔吊防碰撞、多标段进度协同等痛点问题。设备部署阶段依据《丽水市智慧工地建设实施方案》技术标准，在建筑制高点设置全景摄像节点，于基坑支护结构嵌入光纤光栅传感器，并建立设备安装坐标与 BIM 模型的空间映射关系。数据治理阶段实施分级分类管理策略，对机械运行数据建立分钟级采集频率，人员轨迹数据实施匿名化处理，环境监测数据设置阈值触发机制。系统集成阶段采用数字孪生技术构建虚拟控制中心，通过 BIM 模型轻量化处理实现 WEB 端的三维可视化监管。

关键技术突破体现在三个方面：一是开发了基于施工逻辑的智能组网算法，实现移动设备（如混凝土泵车）与固定传感器间的自适应连接；二是建立 BIM 构件与物联网设备的双向数据通道，使模型参数能随施工进度动态更新；三是构建了混合现实（MR）辅助决策系统，管理人员通过 AR 眼镜可实时查看隐蔽工程的质量数据。这些创新使系统成功解决了传统管理模式中信息滞后、协同低效等顽疾，验证了西蒙有限理性理论中“满意决策”模型在复杂工程环境中的适用性。

（二）施工进度与安全管理的数字化效能实证分析

智慧工地系统的数字化效能集中体现在施工进度优化与安全风险管控的范式重构。基于信息物理系统（CPS）理论构建的进度管理模块，通过 BIM 模型与物联网数据的动态耦合，形成“计划-执行-监测-调整”的智能控制闭环。在丽水商住综合体项目中，进度管理系统创新应用关键路径法（CPM）的数字化迭代技术，将传统甘特图升级为四维进度模拟平台，实现施工逻辑关系的自动校验与资源冲突的智能预警。实践表明，混凝土浇筑等关键工序的衔接周期显著缩短，多专业交叉施工的界面冲突发生率明显降低。

安全管理效能的提升源于风险预警体系的主动防御能力构建。建立涵盖人员行为、机械状态、环境参数的三维安全指标体系。在深基坑施工阶段，智能算法基于历史事故数据库与实时监测数据，成功预警 3 次支护结构位移异常，较传统人工巡检方式提前 48 小时识别风险。这种转变契合海因里希安全法则的预防性理念，使安全

管理从事后处置转向事前预控。特别值得关注的是，AR 安全交底系统的应用使复杂节点施工的违章操作率显著下降，验证了体验式学习理论在施工安全培训中的创新价值。

数字化协同机制有效破解了传统管理模式的信息孤岛难题。通过构建基于区块链技术的进度数据共享平台，总包单位与专业分包商可实时获取施工界面的最新状态，材料进场计划与工序安排实现动态匹配。丽水项目实践显示，幕墙安装与机电预埋的协同效率提升显著，传统模式下平均 5 天的工序等待周期被压缩至 8 小时内。

系统实施成效的深层价值在于重构了工程管理的决策范式。云端决策支持系统通过融合进度偏差数据与资源消耗信息，自动生成多目标优化方案。在主体结构施工阶段，系统提出的塔吊运行路径优化建议使吊装效率提升显著，同时降低能耗 15% 以上。这种数据驱动的决策模式突破了西蒙有限理性决策的局限，在复杂工程环境中实现了近似最优解的动态寻优。项目的实践成果为建筑业数字化转型提供了重要实证，揭示出数字化效能不仅体现为管理工具的升级，更深层次地推动了工程管理范式的演进与行业认知体系的革新。

结语

本研究通过丽水市商住综合体项目的实证分析，验证了智慧工地管理系统在工程管理范式革新中的核心价值。研究证实，基于 BIM 与物联网技术融合的数字化管理平台，能够有效破解传统工地管理中信息孤岛严重、风险响应滞后的系统性难题。项目实践表明，系统应用显著提升了施工过程透明度，通过构建“感知-分析-决策”的智能闭环，使质量验收合格率、工序衔接效率等关键指标得到根本性改善，同时降低了违规作业引发的安全风险。这种转变印证了复杂系统理论中“涌现性”特征的积极作用，即技术要素的有机整合催生出超越局部效益的整体管理效能。

参考文献

- [1] 陈家悦. 数字化设计在某大型原油码头品质工程创建中的应用 [J]. 《水运工程》, 2024 年第 8 期 235-240.
- [2] 罗情平. 城市轨道交通智慧工地信息化集成管理系统研究与应用 [J]. 《都市轨道交通》, 2022 年第 6 期 45-50.
- [3] 高佩勇. 智慧工地系统在建筑工程管理中的应用探讨 [J]. 《中国建筑金属结构》, 2022 年第 8 期 104-106.
- [4] 张晖. 智慧工地系统在建筑工程管理中的应用 [J]. 《中国科技期刊数据库 工业 A》, 2022 年第 11 期 1-3.