

关于建筑工程土建施工现场管理问题的思考

任阳

浙江庆杰建设有限公司, 浙江 杭州 311256

DOI:10.61369/ETQM.2026070041

摘 要 : 传统“人机料法环”管理框架已无法适配现代复杂土建工程对精度、效率和安全的极致要求。本文突破经验驱动的管理思维,从技术驱动视角系统阐述 BIM+GIS 融合、数字孪生、AI 机器视觉、物联网感知、区块链溯源五大核心技术在施工现场的深度应用,剖析技术落地中数据孤岛、标准缺失、人才断层等深层次问题,提出基于“数据中台+业务中台”的智慧工地整体架构与分阶段实施路径。通过工程案例量化分析技术革新带来的管理效能提升,为土建施工现场管理数字化转型提供可复制的技术方案。

关 键 词 : 土建施工现场管理; 数字孪生; BIM+GIS; AI 机器视觉; 智慧工地

Reflections on the Management Issues at Civil Engineering Construction Sites

Ren Yang

Zhejiang Qingjie Construction Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 311256

Abstract : The traditional "man-machine-material-method-environment" management framework is no longer able to meet the stringent requirements for precision, efficiency, and safety in modern complex civil engineering projects. This paper breaks away from experience-driven management thinking and systematically expounds on the in-depth application of five core technologies—BIM+GIS integration, digital twins, AI machine vision, IoT sensing, and blockchain traceability—at construction sites from a technology-driven perspective. It analyzes deep-seated issues such as data silos, lack of standards, and talent gaps in the implementation of these technologies, and proposes an overall architecture and phased implementation path for smart construction sites based on "data middleware + business middleware." Through quantitative analysis of engineering cases, it demonstrates the improvement in management efficiency brought about by technological innovation, providing a replicable technical solution for the digital transformation of civil engineering construction site management.

Keywords : civil engineering construction site management; digital twins; BIM+GIS; AI machine vision; smart construction sites

引言

土建施工现场管理正经历从“经验驱动”向“数据驱动”的根本性变革。传统依赖人工巡检、层层汇报的管理模式,在超高层建筑、大型综合体、地下空间工程等复杂项目中,暴露出信息传递滞后、管理覆盖不全、决策缺乏量化支撑等致命缺陷。据中国建筑业协会 2024 年发布的行业报告显示,传统管理模式下施工现场平均问题响应时间超过 24 小时,管理盲区占比达 30% 以上,夜间施工和隐蔽工程环节的事故发生率是白天的 3.2 倍,每年因管理不善造成的直接经济损失超 1.2 万亿元。

近年来,新一代信息技术与建筑工业化深度融合,为施工现场管理革新提供了技术支撑。数字孪生实现物理工地与虚拟工地的实时映射,AI 算法让安全质量监管从“人盯人”变为“全天候自动监控”,物联网传感器网络实现施工全要素的实时感知。本文聚焦技术层面的创新实践,深入探讨核心技术的应用场景、实现方式与实际效果,旨在为施工企业数字化转型提供技术指引。

一、传统施工现场管理的技术瓶颈

传统管理模式的核心痛点本质是技术手段不足导致的信息不对称与管理颗粒度粗糙,具体表现为五大技术瓶颈:

信息传递断层:现场问题需经班组、工长、项目经理、公司管理层多级传递,决策滞后性显著,小隐患易演变为大事故。据

统计,80% 以上的重大安全事故都是由于初期隐患未能及时发现和处理导致的。

全时段全覆盖缺失:10 万平方米项目仅靠 10-20 名管理人员,无法实现 24 小时无死角监管,夜间施工、隐蔽工程等环节成为事故高发区。人工巡检平均每天只能覆盖施工现场 30% 的区域,且存在疲劳、疏忽等人为因素影响。

数据价值难以挖掘：施工过程中产生的海量数据分散在设计、施工、监理等不同主体，格式不统一、标准不一致，无法形成有效决策依据。传统模式下，90% 以上的施工数据在工程竣工后被丢弃，未能发挥其应有的价值。

追溯能力薄弱：质量问题和安全事故发生后，难以快速准确追溯材料来源、施工过程和责任主体，事后整改成本高。传统材料管理模式，质量问题追溯平均需要 7-14 天，严重影响工程进度。

资源配置低效：人力、材料、设备的调度依赖管理人员经验，易出现窝工、停工待料、设备闲置等问题，资源利用率低。行业数据显示，传统管理模式下的建筑材料平均浪费率达 15%-20%，大型机械设备平均利用率不足 60%。

这些瓶颈导致传统管理模式安全事故频发、质量通病屡禁不止、工期延误和成本超支成为行业常态，技术革新已成为建筑行业高质量发展的必然要求。

二、核心技术在施工现场管理中的深度应用

（一）BIM+GIS 融合技术：全要素三维可视化管理

BIM 技术已从单一建模工具升级为工程建设的核心数据载体，与 GIS 融合后可实现从宏观地理环境到微观构件细节的全要素管控。

关键技术实现：一是采用 IFC4.3 标准实现多源数据融合，整合地形、地质、设计、施工、运维等数据，构建包含几何信息、属性信息和关系信息的工程全信息三维模型；二是应用 4D BIM（3D + 时间）进行施工进度模拟，通过关键路径法（CPM）和计划评审技术（PERT）提前识别工序冲突和资源瓶颈；三是通过 5D BIM（3D + 时间 + 成本）实现成本动态核算与精细化控制，实时对比预算与实际成本差异；四是利用 GIS 空间分析功能优化施工总平面布置、大型设备吊装路径和土方平衡方案，减少二次搬运和土方运输成本。

应用效果：某 328 米超高层建筑项目应用 BIM+GIS 技术，施工前发现并解决 2300 余处碰撞问题，其中机电管线碰撞 1800 余处，结构碰撞 500 余处，减少 90% 以上设计变更，缩短工期 12%，节约成本 7800 万元。

（二）数字孪生技术：物理工地的实时数字镜像

数字孪生是 BIM 技术的高级形态，通过构建与物理工地完全一致的数字镜像，实现实时监控、模拟分析与预测预警。

关键技术实现：一是通过物联网传感器、4K 高清摄像头、无人机倾斜摄影、三维激光扫描仪等设备，实时采集人员、设备、材料、环境等全要素数据，数据采集频率可达每秒 10 次以上；二是依托 5G 和边缘计算技术，将数据处理延迟控制在 50 毫秒以内，实现物理工地与虚拟工地的毫秒级同步；三是结合大数据和机器学习算法，模拟不同施工方案的效果，预测安全隐患、质量问题和进度偏差，预测准确率可达 85% 以上；四是支持电脑、手机、平板、VR/AR 等多终端远程访问，实现跨地域协同管控。

典型应用：北京大兴国际机场构建了全球最大的机场数字孪生体，整合了 140 万平方米航站楼、5 条跑道和相关配套设施

的所有数据，实现施工过程的全面管控，提前处理数千个安全隐患，确保工程高质量按期完工。

（三）AI 机器视觉技术：安全质量智能化监管

AI 机器视觉是当前施工现场应用最广泛、效果最显著的人工智能技术，通过分析视频流自动识别安全违规和质量缺陷。

关键技术实现：一是基于 YOLOv8、Faster R-CNN 等深度学习算法，训练包含 100 万 + 建筑场景样本的专用模型，准确识别安全帽、安全带、反光衣、塔吊、挖掘机等 20 余类目标，识别准确率达 98% 以上；二是通过时序行为分析算法，识别未佩戴防护用品、违规吸烟、高空抛物、危险区域闯入、违规动火等 10 余种安全违规行为，并通过声光报警和手机推送实时预警；三是利用图像分割和边缘检测技术检测混凝土裂缝、蜂窝麻面、钢筋锈蚀、模板变形等质量缺陷，最小可检测 0.1 毫米宽的裂缝，检测准确率达 95% 以上；四是结合人脸识别和人体姿态估计技术实现人员考勤和轨迹追踪，有效防止代打卡和违规进入危险区域。

应用数据：某央企在 50 余个项目部部署 AI 安全监管系统，安装摄像头 6200 余个，运行一年累计识别违规行为 12.7 万次，发出预警 8.3 万次，现场管理人员平均每天处理的安全隐患数量增加了 3 倍，安全事故发生率下降 75%。

（四）物联网感知技术：施工全过程实时监测

物联网通过部署各类传感器，实现对施工环境、设备状态、结构安全的全天候自动监测。

关键技术实现：一是环境监测，部署温湿度、噪声、PM2.5/PM10、有害气体等传感器，实时监测施工现场环境质量，当指标超标时自动发出预警并联动喷淋系统降尘；二是设备监测，在塔吊、施工电梯、挖掘机等大型机械上安装振动、温度、电流、电压传感器，实时监测设备运行状态和故障信息，实现预测性维护，设备故障率下降 40%；三是危大工程监测，在深基坑、高支模、脚手架等部位安装应力、应变、位移、沉降传感器，实时监控结构安全，当监测值超过预警阈值时自动报警；四是 UWB 超宽带定位，实现人员厘米级定位，定位精度可达 10-30 厘米，当人员进入危险区域时自动发出声光报警。

应用案例：某地铁深基坑项目深度达 28 米，部署 216 个物联网传感器，实时监测基坑沉降、位移和应力变化，系统运行期间成功预警 3 次边坡滑移险情，避免了重大安全事故和经济损失。

（五）区块链技术：材料溯源与合同管理透明化

区块链以其去中心化、不可篡改、可追溯的特性，解决了建筑行业材料质量管控和合同履行难题。

关键技术实现：一是材料全生命周期溯源，将钢筋、水泥、混凝土等主材的生产厂家、生产日期、检验报告、运输记录、进场验收、使用部位等信息上链，质量问题可在 1 小时内追溯到责任方；二是智能合约，将工程合同条款转化为代码，当满足合同约定的工程量完成、质量验收合格等条件时，自动执行工程款支付操作，减少合同纠纷和人为干预；三是信用管理，建立基于区块链的建筑市场信用体系，将施工企业、监理单位、供应商的信用记录上链，实现信用信息的共享和透明。

实践应用：雄安新区全面推广区块链技术，截至 2024 年已上链项目超过 200 个，实现所有建筑材料溯源管理和工程款智能支

付,杜绝了假冒伪劣材料进场,工程款支付周期从平均 3 个月缩短至 7 天,有效解决了工程款拖欠问题。

三、基于“双中台”架构的智慧工地整体解决方案

单一技术应用只能解决局部问题,实现全面数字化转型需构建统一的智慧工地平台。本文提出“数据中台+业务中台”的双中台架构,打破数据孤岛,实现业务能力复用。

(一)数据中台:统一数据汇聚与治理

数据中台是智慧工地的核心,负责全量数据的采集、存储、治理和服务。通过 API 接口、物联网网关、视频接入网关等方式,整合 BIM、GIS、物联网、AI、视频监控等 10 余类系统数据;采用关系型数据库存储结构化数据,时序数据库存储传感器时序数据,对象存储存储视频、图片等非结构化数据;建立统一的数据标准和数据模型,对采集到的数据进行清洗、转换、关联和脱敏处理;提供数据查询、统计分析、数据挖掘、数据可视化等服务,为上层业务应用提供统一的数据支撑。

(二)业务中台:通用业务能力复用

业务中台将施工现场管理的通用能力抽象封装为可复用的业务组件,包括人员管理、设备管理、材料管理、安全管理、质量管理、进度管理六大核心组件。各组件独立开发、统一调用,避免了重复建设,同时支持快速迭代和个性化定制。例如,安全管理组件包含安全检查、隐患整改、安全教育、事故管理等功能模块,可根据不同项目的需求进行灵活配置。

(三)应用层:面向不同用户的个性化服务

在双中台基础上,构建面向不同主体的应用:项目管理驾驶舱为管理层提供进度、质量、安全、成本等关键指标的可视化展示,支持钻取分析和预警提醒;现场作业 APP 为一线管理人员和施工人员提供移动检查、问题上报、任务处理、技术交底等功能;政府监管平台为建设行政主管部门提供远程实时监控工具,实现对辖区内所有工程项目的动态监管。

四、分阶段实施路径

基础信息化阶段(0-1 年):部署视频监控、人员考勤、设备台账、材料管理等基础系统,实现核心业务的数字化管理,解决数据从无到有的问题。

智能化应用阶段(1-3 年):引入 AI 机器视觉、物联网感知、BIM 等技术,实现安全质量的智能化监管和施工过程的精细化管理,提升管理效率和水平。

数字孪生阶段(3-5 年):构建项目数字孪生平台,实现物理工地与虚拟工地的实时映射和预测性管控,推动管理模式从被动响应向主动预防转变。

五、工程案例

(一)项目概况

某大型商业综合体项目位于城市核心商务区,总建筑面积 35 万平方米,地下 4 层,地上 25 层,建筑高度 100 米,包含购物中心、写字楼、酒店等多种业态。项目具有体量大、结构复杂、施工难度高、工期紧等特点,合同工期仅为 24 个月。

(二)技术应用方案

项目全面采用双中台架构智慧工地解决方案:构建了包含建筑、结构、机电、装修等全专业的 BIM 模型,进行了 4D 施工模拟和碰撞检测;部署了 120 个 4K 高清摄像头组成的 AI 安全监管系统,覆盖施工现场所有重点区域;在深基坑、高支模、脚手架等危大工程部位安装了 86 个物联网传感器,24 小时实时监测结构安全;采用 UWB 超宽带定位技术,实现了对 500 余名施工人员的实时定位和轨迹追踪;搭建了项目数字孪生平台,实现了施工现场的三维可视化管控和远程协同。

(三)应用效果

通过技术革新,项目管理效能得到了显著提升,取得了以下量化成果:安全事故发生率下降 82%,未发生一般及以上安全事故;工程质量一次验收合格率达 99.2%,混凝土裂缝、蜂窝麻面等质量通病发生率下降 65%;施工进度提前 28 天,工期缩短 8%,节约工期成本约 1200 万元;材料浪费减少 12%,工程成本降低 6.5%;管理人员工作效率提高 40%,现场管理人员数量减少 25%。该项目获评“国家级智慧工地示范项目”和“全国建筑业绿色施工示范工程”。

六、结论

随着施工机器人、3D 打印、元宇宙等技术的不断成熟,施工现场管理将向更加智能化、无人化方向发展。施工机器人将逐步替代人工完成危险、繁重的作业任务,元宇宙技术将实现更加沉浸式的远程协同和培训,3D 打印技术将改变传统的施工方式。施工企业应抓住数字化转型机遇,加大技术投入和人才培养力度,积极探索新技术应用,不断提升核心竞争力,推动我国建筑行业高质量发展。

参考文献

- [1] 丁烈云.智能建造与建筑工业化协同发展[J].中国工程科学,2020,22(2):1-6.
- [2] 王要武,吴宇迪.智慧工地建设关键技术与应用[J].土木工程学报,2019,52(10):111-120.
- [3] 李云贵.BIM 技术在建筑工程全生命周期中的应用研究[J].建筑学报,2018(S1):1-5.
- [4] 郭红领,刘文平.数字孪生驱动的智慧建造研究进展与展望[J].计算机集成制造系统,2021,27(7):1921-1933.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.智慧工地技术标准(GB/T 51436-2021)[S].北京:中国建筑工业出版社,2021.

