

智慧工地在工程管理中的应用研究

林 鑫

中交天航（宜宾）交通工程建设有限公司 四川 宜宾 644600

摘 要：建筑行业数字化转型下，智慧工地融合新一代信息技术与施工现场管理，成为解决传统工程管理问题关键。本文阐释其概念、技术支撑与架构，从五维度剖析应用场景。研究发现，智慧工地建设面临技术兼容性差等困境。为此，提出构建统一数据中台等优化策略，为施工企业从“技术堆砌”转向“数据驱动”的管理跃迁，提供理论与实践参考。

关键词：智慧工地；工程管理；数字化转型

引言：建筑业传统管理模式问题突出，如信息传递滞后等。物联网等技术成熟催生智慧工地，提供全新能力。但实践中，不少项目陷入误区，系统成迎检工具，未释放管理价值。本文聚焦智慧工地实际应用，厘清技术逻辑与场景，诊断困境并提出优化策略，对推动施工企业主动预防、数据驱动有现实指导意义。

1 智慧工地的理论基础与技术架构

1.1 核心概念界定

智慧工地是指综合运用物联网、建筑信息模型、人工智能、云计算及移动互联网等新一代信息技术，对施工现场的人员、机械、材料、方法、环境等要素进行全面感知、实时互联与智能控制的现代化施工管理模式。其核心特征可概括为三个层面：一是感知层，通过各类传感器、摄像头、智能终端实现现场数据的自动采集；二是互联层，借助5G、局域网等通信技术打破信息孤岛，实现各子系统间的数据共享；三是智能层，基于数据分析模型提供预警、推演与决策支持。智慧工地不是技术的简单堆砌，而是以工程管理需求为牵引、以数据驱动为内核的系统性管理变革^[1]。

1.2 关键技术支撑

智慧工地的有效运行依赖于多项关键技术的协同配合。BIM技术作为信息集成中枢，为施工现场提供可视化的三维模型载体，可承载设计、施工、运维全生命周期数据。物联网构建起现场感知层，通过部署塔吊传感器、基坑位移监测仪、智能安全帽等设备，实现设备状态与人员行为的实时采集。人工智能赋能视频分析，可自动识别未戴安全帽、抽烟、区域入侵等违章行为并即时报警。5G与云计算保障低延迟传输与海量存储，使远程巡检与实时调度成为可能。数字孪生技术则进一步实现物理工地与虚拟模型的虚实映射，支持方案模拟与风险推演。各项技术相互嵌套、缺一不可。

1.3 系统架构设计

成熟的智慧工地系统通常采用四层架构模式。感知层位于最底端，由各类硬件设备组成，包括定位基站、传感器节点、高清摄像头、RFID标签等，负责采集原始现场数据。传输层依托有线网络、4G/5G及自组网技术，将感知层数据实时、稳定地汇聚至平台层。平台层是系统的核心中枢，承担数据清洗、存储、分析与业务逻辑处理，通常部署于云端或本地服务器，集成BIM引擎、AI算法库及业务中台。应用层面向终端用户，通过可视化大屏、移动APP、PC端后台等形式，向项目经理、安全员、监理等角色提供安全管理、进度追踪、成本分析等功能模块。四层架构的协同运转，实现了从数据采集到决策支持的全链条闭环。

2 智慧工地在工程管理中的核心应用场景

2.1 安全管理：从“被动响应”到“主动预警”

传统安全管理依赖巡检人员的经验与责任心，隐患往往在事故发生后倒查时才被发现。智慧工地通过技术手段重构了安全管理的时空逻辑。人员安全方面，智能安全帽集成定位与传感模块，可实时追踪工人位置并监测脱帽行为；AI视频分析能自动识别未佩戴安全帽、作业区抽烟、车辆违规行驶等行为并抓拍存档。机械设备方面，塔吊监控系统采集吊重、幅度、回转角等参数，实现防碰撞自动预警与超载断电；施工升降机配备人脸识别与载重监测，防止无证操作与超员运行。环境安全方面，深基坑与高支模区域布设位移、轴力、应变传感器，数据异常即触发多级报警。由此，安全管理从事后追责转向事中干预与事前预防。

2.2 质量管理：全流程可追溯

工程质量的形成贯穿材料进场、施工过程到验收交付全流程，每一环节的疏漏都可能导致重大损失。智慧工地为质量管理构建了闭环可追溯体系。材料管理环

节,对钢筋、混凝土等大宗材料采用RFID标签或二维码,记录生产批次、检测报告、进场时间及使用部位,实现“一物一档”溯源。施工过程中,大体积混凝土浇筑时布设无线温度传感器,实时监测内外温差以防止裂缝;预应力张拉设备配备数据自动采集仪,避免人工读数误差与记录造假。验收管理环节,质检人员使用移动终端在现场拍照、填写检查记录并关联BIM模型位置,问题整改通知直接推送至责任班组,整改前后影像对比形成闭环。所有质量数据自动归档,为竣工验收与运维期查询提供可靠凭证^[2]。

2.3 进度管理:动态可视与纠偏

进度失控是工程管理中的高频难题,传统进度汇报依赖手工填报,信息滞后且难以核实。智慧工地实现了进度管理的动态可视与主动纠偏。基于BIM的4D施工模拟将时间维度关联三维模型,将计划进度与实际进度进行颜色区分(如绿色代表超前、红色代表滞后),管理人员可在模型中直观查看滞后面层与影响范围。现场感知数据为进度校核提供了客观依据:人员定位系统可统计各作业面实际出勤人数与停留时长,判断是否满足施工强度要求;无人机定期航拍生成正射影像,与BIM模型对比自动识别施工完成边界;物资称重系统记录混凝土、钢筋的进场量与消耗速度,辅助判断材料供应是否制约进度。当进度偏差超过阈值时,系统自动推送预警并关联资源调配建议,支持管理者快速决策。

2.4 成本管理:量价双控

成本管理涉及物资、机械、人工等多个科目,传统模式下手工台账易出现漏记、错记甚至舞弊。智慧工地通过自动化采集与量价双控机制提升了成本管控精度。物资称重系统在工地出入口设置地磅与车牌识别摄像头,钢筋、混凝土等材料进出场自动称重并生成电子磅单,与采购订单、验收单据联动比对,异常偏差即时报警,有效遏制了亏吨、冒领等问题。机械台班管理方面,挖掘机、混凝土泵车等燃油设备加装油位传感器与工时记录仪,按实际作业时长与油耗结算费用,避免虚报台班。劳务成本管理依托实名制通道,人员考勤数据直连工资核算系统,考勤记录与闸机通行、智能安全帽定位交叉验证,减少劳资纠纷。成本数据实时汇总至平台,支持分部分项工程的量价对比分析,为成本偏差溯源提供依据。

2.5 绿色施工管理:环境合规

随着“双碳”目标与环保政策收紧,绿色施工已从可选项变为强制性要求。智慧工地在环境合规方面提供了高效监管手段。扬尘噪声在线监测系统在工地围墙、主要作

业区布设一体化监测终端,实时采集PM2.5、PM10、噪声分贝等数据。当扬尘浓度超标时,系统自动联动围挡上的喷淋降尘装置启停,无需人工干预即可控制污染。车辆冲洗抓拍系统在出入口设置摄像头与感应线圈,识别出场车辆是否经过冲洗台,未冲洗车辆信息自动推送至管理人员并拒绝抬杆放行,有效控制带泥上路。水电能耗管理对办公区、生活区、作业区分项计量,结合施工强度分析异常用水用电,识别管网泄漏或设备空转。环境监测数据自动生成报表供监管部门调阅,帮助施工企业规避环保处罚风险并提升文明施工形象。

3 智慧工地应用面临的现实困境

3.1 技术层面

智慧工地建设存在显著技术兼容性问题。不同供应商的子系统数据格式与通信协议各异,难以互通,形成“数据孤岛”。硬件设备可靠性与适应性不足,施工现场环境恶劣,部分传感器故障率高且维护不及时,影响数据持续性。数据安全与隐私保护未受足够重视,人员信息存在泄露风险。大型工地数据传输延迟问题突出,边缘计算能力欠缺,导致预警反应滞后,影响智慧工地整体效能的发挥。

3.2 管理层面

行业普遍存在“重采购、轻应用”的管理误区,智慧工地系统常沦为迎检工具,数据无人分析、预警无人响应。智慧工地引入需调整管理流程与岗位职责,但多数项目仍沿用传统审批链条,降低效率^[3]。项目经理对数据应用重视不一,部分习惯经验决策。项目各参建方数据共享意愿低,系统权限设置保守,协同价值被削弱。

3.3 经济层面

经济门槛限制了智慧工地在中小施工企业的推广。完整智慧工地系统初期费用高昂,对利润微薄的项目构成压力。投资回报率难以短期量化,间接收益难与投入直接挂钩,决策者认为不划算。后期运维涉及系统升级、设备更换等持续性支出,进一步加重了中小企业负担,阻碍了智慧工地技术的普及与应用。

4 提升智慧工地应用效能的优化策略

4.1 技术集成:构建“一个平台+N个终端”的统一数据中台

打破系统壁垒是释放智慧工地价值的前提。施工企业应摒弃按供应商划分子系统的采购模式,转而要求各厂商基于统一的数据接口标准接入企业级数据中台。数据中台承担设备接入、协议转换、数据清洗与业务建模功能,将分散的塔吊数据、环境数据、人员数据整合为标准化的主题数据库。在此基础上,上层应用(安全看

板、进度分析、成本报表等)均可从同一数据源调用信息,确保数据一致性与关联分析能力。对于存量老旧设备,可采用边缘网关进行协议适配,避免推倒重建。企业应明确数据中台的运维责任部门,建立数据质量巡检机制,确保原始采集数据的真实性、完整性与及时性。

4.2 管理适配:重构与智慧工地匹配的组织流程

技术引入必须伴随管理变革,否则智慧工地仅是一套昂贵的外挂系统。施工企业应依据智慧工地的数据驱动逻辑,重新梳理并优化现有管理流程。第一,建立预警分级响应机制,明确不同等级报警信息对应的接收岗位、处置时限与反馈要求,将系统预警纳入岗位绩效考核。第二,简化决策链条,授予项目一线管理人员依据系统数据进行现场处置的权限,避免层层报批错失干预时机。第三,调整岗位职责,设立“智慧工地专员”岗位,负责系统运维、数据分析及对管理层的定期汇报。第四,废止与系统功能重复的线下手工台账,倒逼管理人员使用系统。管理适配的核心是让数据“进流程、进考核、进决策”,而非停留在屏幕展示^[4]。

4.3 经济平衡:采用“轻量化”方案与分级建设策略

针对经济门槛问题,可采用分级建设与轻量化部署相结合的思路。根据不同项目的规模、造价与重要性,将智慧工地配置划分为基础版、标准版与增强版。基础版聚焦强制性监管要求(如扬尘监测、出入口实名制),选用成熟稳定的低功耗设备,采用SaaS化云服务替代本地服务器部署,免去机房建设与专职IT运维成本。标准版在此基础上增加塔吊监测、AI视频分析等模块。增强版则面向大型重点项目或企业标杆项目,配置全要素感知与数字孪生功能。企业可通过租赁方式获取部分硬件设备,将一次性投入转化为按需付费。同时,积极争取地方政府对智慧工地建设的补贴或评优加分,以政策红利对冲部分成本。

4.4 人才培育:校企合作与在岗培训并重

复合型人才短缺是制约智慧工地深度应用的人力瓶颈。一方面,施工企业应联合职业院校与高校开展定向培养,在土木工程、工程管理等专业中嵌入传感器技术、数据分析、BIM应用等课程,培育“懂施工+懂数据”的毕业生。另一方面,对在职管理人员开展分层培

训:项目管理层侧重于智慧工地数据分析能力与决策应用培训,使其能够从系统报表中读懂问题;现场作业层侧重于设备操作规范与报警响应流程培训,确保智能安全帽、巡检终端等工具被正确使用;技术保障层则需掌握各子系统维护与故障排查技能。企业可设立内部认证制度,将智慧工具使用能力纳入岗位胜任力模型,与薪酬晋升适度挂钩。

4.5 标准规范:完善行业数据接口与应用评价标准

行业标准的缺位是智慧工地碎片化的深层原因。建议由行业协会或主管部门牵头,加快制定覆盖数据接口、设备通信协议、安全隐私保护等方面的团体标准或行业标准,要求供应商承诺标准兼容,从根源上降低数据集成难度。同时,建立智慧工地应用效果评价标准体系,从数据采集率、预警处置率、系统使用活跃度、管理效益提升幅度等维度设置量化指标,避免项目建设后无法评估成效。构建企业互信机制,推动优质施工企业的智慧工地建设经验形成可复制的标准化方案,通过观摩交流、案例汇编等方式向全行业推广。标准化的最终目标是使智慧工地从“定制化项目”转变为“可复用的产品”,降低复制推广成本。

结束语

智慧工地是建筑行业数字化转型在施工现场管理层面的集中体现,其本质是以数据驱动替代经验驱动、以主动预警替代被动响应。未来,随着AI大模型、边缘计算、区块链等技术的深度融合,智慧工地有望实现从“自动采集”向“自主决策”的进阶,成为智能建造体系中的关键节点。施工企业应立足自身实际,以价值创造为导向,稳步推进智慧工地的建设与应用。

参考文献

- [1]吕彬.智慧工地系统在建筑工程管理中的应用研究[J].现代工程科技,2025,4(11):137-140.
- [2]钟建强.智慧工地技术在建筑工程安全管理中的应用与发展趋势研究[J].砖瓦世界,2025(20):214-216.
- [3]智南.智慧工地在建筑工程安全管理中的应用研究[J].散装水泥,2024(3):181-183.
- [4]田茂超.智慧工地系统在建筑工程管理中的应用研究[J].砖瓦世界,2024(8):172-174.