

建设工程管理中智能建造技术的创新应用

赵 珊 张琳琳

淄博高新城市投资运营集团有限公司 山东 淄博 255000

摘 要：智能建造技术以BIM、物联网、AI、机器人等为核心，驱动建设工程管理向数字化、智能化转型。设计阶段通过参数化设计与生成式算法优化方案；施工阶段构建智慧工地系统，集成物联网监控、机器人自主作业及数字孪生动态模拟，实现精准管控与风险预警；运维阶段依托BIM-FM集成平台与AI能耗预测，提升运维效率。全生命周期管理中，区块链技术保障供应链透明化，碳足迹监测推动绿色建造，助力行业高质量发展。

关键词：建设工程管理；智能建造技术；创新应用

引言：在建筑业迈向高质量发展的进程中，传统建造模式因信息孤岛、人工依赖及资源浪费等问题，已难以满足现代工程对效率、质量与可持续性的要求。智能建造技术通过深度融合BIM、物联网、人工智能及机器人等前沿科技，构建了“感知-传输-决策-执行”的闭环管理体系，实现了从设计优化、施工自动化到运维智能化的全周期革新。其创新应用不仅提升了工程管理的精细化水平，更为建筑业转型升级提供了技术支撑，成为推动行业现代化的关键力量。

1 建设工程管理中智能建造技术体系与理论基础

1.1 智能建造技术内涵与框架

（1）定义：智能建造是一种深度融合建筑信息模型（BIM）、物联网（IoT）、人工智能（AI）、机器人等前沿技术的现代化建造模式。它打破传统建造的信息孤岛与人工依赖，通过技术集成实现工程全流程的数字化、智能化管控，推动建造行业从“劳动密集型”向“技术密集型”转型，显著提升工程质量、效率与安全水平。（2）技术层级：智能建造技术体系呈分层递进结构。感知层依托传感器、RFID等设备，实时采集施工环境、设备状态、人员信息等数据；传输层通过5G、边缘计算等技术，实现数据高速、稳定传输；决策层基于AI算法与大数据分析，对工程进度、质量、安全等问题进行智能研判与方案优化；执行层由建筑机器人、自动化设备等构成，将决策指令转化为精准施工动作，形成“感知-传输-决策-执行”的闭环管理。

1.2 关键技术解析

（1）BIM技术：作为核心技术载体，可实现工程全生命周期管理，从设计、施工到运维全程可视化；通过碰撞检测提前规避管线、结构冲突，减少返工；结合时间维度构建4D模拟模型，动态监控施工进度，提升计划准确性。（2）物联网（IoT）：通过部署智能终端，实

现设备运行状态实时监控，提前预警故障；精准感知施工现场温湿度、粉尘等环境数据，保障施工环境合规；采用定位技术实时追踪人员位置，提升安全管理效率。

（3）人工智能：基于视频监控与AI算法，自动识别未戴安全帽、违规操作等行为，实现施工安全预警；通过图像识别技术检测混凝土裂缝、钢筋间距等问题，提升质量缺陷识别精度；利用机器学习分析历史数据，优化施工进度计划，减少工期延误。（4）机器人技术：砌筑机器人可自动完成墙体砌筑，提升施工效率与精度；3D打印建筑技术实现复杂构件快速成型，减少材料浪费；无人机巡检可覆盖大面积施工现场，高效完成进度核查、安全巡查等任务^[1]。

1.3 理论支撑

（1）协同理论：为智能建造提供多主体协同管理依据，通过搭建数字化协同平台，整合建设单位、施工单位、设计单位等多方资源，打破信息壁垒，实现设计、施工、运维等环节的高效协同，提升项目整体管理效率。（2）精益建造理论：以“消除浪费、提升价值流”为核心，指导智能建造优化资源配置。通过智能技术精准分析施工流程中的无效环节，减少材料、人力、时间浪费；依托数据驱动实现施工过程的精准管控，提升工程价值创造能力，推动建造过程向精益化方向发展。

2 建设工程管理中智能建造技术的创新应用

2.1 设计阶段

（1）基于BIM的参数化设计与性能模拟：在设计环节，BIM技术的参数化设计可实现建筑构件尺寸、材质等参数的联动调整，当某一参数修改时，关联构件会自动更新，大幅减少设计误差与重复工作。同时，借助BIM平台集成的性能模拟工具，能对建筑的采光、通风、能耗等进行提前测算。例如，在住宅项目设计中，通过模拟不同朝向窗户的采光时长，优化窗户尺寸与布局；结

合当地气候数据模拟建筑能耗,选择更节能的墙体保温材料,让设计方案既满足功能需求,又符合绿色建筑标准^[2]。(2)生成式设计在复杂结构中的应用:面对体育馆、地标性建筑等复杂结构设计需求,生成式设计可发挥显著优势。设计师只需输入建筑功能、空间限制、结构安全等核心参数,系统便会基于算法生成上百种设计方案,并从结构稳定性、建造成本、施工难度等维度进行筛选优化。以大跨度桥梁设计为例,生成式设计能在保证承重性能的前提下,优化桥梁主梁的截面形态,减少材料用量;对于建筑异形幕墙设计,可通过算法生成最合理的面板分割方案,降低加工与安装难度,兼顾美观与实用性。

2.2 施工阶段

(1)智慧工地管理系统:智慧工地管理系统通过整合物联网、大数据技术,构建全方位监控体系。在人员管理上,工人佩戴的智能安全帽可实时上传位置信息,系统能划定危险区域,当人员靠近时自动发出预警;机械管理方面,通过安装传感器采集塔吊、挖掘机等设备的运行数据,如作业时长、负载情况,提前预判设备故障,避免停机延误;材料管理中,利用RFID标签追踪钢筋、混凝土等材料的进场、使用、库存情况,防止材料浪费与丢失;环境监控则实时监测施工现场的PM2.5、噪声、温湿度,超标时自动启动喷淋降尘设备,符合环保施工要求。(2)机器人自主施工:机器人技术的应用大幅提升施工效率与精度。混凝土喷射机器人配备激光定位系统,能按照预设路径均匀喷射混凝土,尤其适用于隧道、基坑等复杂作业场景,避免人工喷射出现的厚度不均问题;钢筋绑扎机器人可自动完成钢筋裁剪、定位、绑扎等工序,以住宅楼板钢筋绑扎为例,机器人单日作业量可达人工的3倍,且绑扎误差控制在毫米级;墙面喷涂机器人通过图像识别技术扫描墙面平整度,自动调整喷涂距离与速度,确保涂料均匀覆盖,减少返工率,同时降低工人接触有害涂料的风险^[3]。(3)数字孪生技术:数字孪生技术通过构建与施工现场1:1的虚拟模型,实现施工过程的动态同步。施工前,在虚拟模型中模拟施工流程,提前发现工序冲突、场地布置不合理等问题,如调整塔吊摆放位置避免与脚手架干涉;施工中,通过传感器将现场进度、质量数据实时反馈至虚拟模型,管理人员可在虚拟场景中查看施工细节,如对比混凝土浇筑实际进度与计划进度,及时调整施工方案;对于复杂施工环节,如钢结构吊装,可在虚拟模型中模拟吊装路径与受力情况,确保现场施工安全。

2.3 运维阶段

(1)建筑信息模型(BIM)与设施管理(FM)集成:BIM与FM的集成打破了建筑设计与运维的信息断层。运维人员可通过BIM模型快速获取建筑内设备的参数信息,如电梯的型号、安装时间、维护记录,当设备出现故障时,能精准定位设备位置并调取维修方案;在空间管理上,借助BIM模型可视化展示建筑内部空间布局,如办公室、会议室的使用情况,优化空间分配;对于建筑改造项目,BIM模型可提供详细的结构数据,避免改造过程中破坏原有承重结构,降低运维风险与成本。(2)基于AI的能耗预测与设备故障诊断:AI技术为建筑运维提供智能化支持。在能耗预测方面,AI算法通过分析历史能耗数据、气象数据、建筑使用情况等因素,精准预测未来一段时间的能耗趋势,如预测夏季空调使用高峰期的能耗峰值,提前制定节能调控策略,如调整空调温度设定、优化照明系统开关时间;在设备故障诊断上,AI通过实时采集设备运行数据,如水泵的转速、温度、振动频率,建立故障预警模型,当数据异常时及时发出预警,如提前发现电梯电机温度过高的问题,避免设备突发故障导致的停运,保障建筑正常运行^[4]。

2.4 全生命周期管理

(1)区块链技术:区块链技术的去中心化、不可篡改特性,为建筑全生命周期的供应链管理与质量追溯提供保障。在供应链透明化方面,区块链记录建筑材料从生产、运输到进场的全流程信息,如钢筋的生产厂家资质、出厂检测报告、运输轨迹,建设单位、施工单位可随时查询,确保材料来源合规;在质量追溯上,当建筑出现质量问题时,通过区块链可快速追溯问题环节,如混凝土强度不达标时,能追溯到混凝土的生产批次、浇筑时间、施工人员,明确责任主体,同时为后续建筑质量改进提供数据支持^[5]。(2)碳足迹监测:碳足迹监测贯穿建筑全生命周期,助力实现绿色建造与可持续发展目标。在设计阶段,通过碳足迹监测工具测算不同设计方案的碳排放量,选择低碳方案;施工阶段,监测施工设备能耗、材料生产过程中的碳排放,如统计混凝土搅拌、运输环节的碳排放量,优化施工工艺以减少碳排放;运维阶段,实时监测建筑能耗产生的碳排放,如空调、照明、电梯运行产生的碳排放量,制定减排措施,如更换节能设备、推广可再生能源;建筑拆除阶段,监测建筑垃圾处理过程中的碳排放,推动建筑垃圾回收再利用,如将拆除的混凝土破碎后用于路基填充,减少碳排放与资源浪费,实现建筑全生命周期的低碳管理。

3 建设工程管理中智能建造技术发展的挑战与对策

3.1 技术应用障碍

(1) 数据孤岛与标准不统一: 智能建造依赖多技术协同, 但当前行业内各参与方使用的软件系统、数据格式差异大, 如设计单位常用的BIM软件与施工单位的项目管理软件数据难以互通, 形成“数据孤岛”, 导致信息无法高效流转。同时, 智能建造技术缺乏统一标准, 如BIM模型精度等级、物联网设备数据传输协议未形成行业共识, 不同技术体系难以兼容, 制约技术集成应用效果。(2) 初期投资成本高、技术人才短缺: 智能建造技术落地需投入大量资金, 如智慧工地管理系统、建筑机器人、数字孪生平台的采购与部署成本较高, 中小建筑企业难以承担, 导致技术普及速度缓慢。此外, 兼具建筑专业知识与智能技术能力的复合型人才稀缺, 现有从业人员多熟悉传统建造模式, 对BIM、AI、物联网等技术的应用能力不足, 无法充分发挥智能建造技术的优势。

3.2 管理变革阻力

(1) 传统管理思维与数字化流程冲突: 部分企业管理者仍沿用传统经验化管理模式, 对数字化流程的认可度低。例如, 在施工管理中, 习惯依赖人工巡检与纸质记录, 不愿推行智慧工地的数字化监控与数据化决策; 设计环节中, 难以接受生成式设计等新型设计方式, 担心技术应用改变原有工作流程, 导致智能建造技术难以融入实际管理体系。(2) 责任界定与法律风险: 智能建造技术的应用带来新的责任界定难题。如建筑机器人施工出现质量问题时, 责任应归属于设备制造商、施工单位还是技术运维方, 目前缺乏明确的法律规定; 数字孪生技术应用中, 虚拟模型与现实场景的偏差引发的工程风险, 责任划分不清晰, 导致企业因担心法律风险而不敢大规模应用新技术。

3.3 发展对策

(1) 政策支持: 标准制定、财政补贴: 政府需牵头制定智能建造技术标准体系, 统一数据格式、设备接口、模型精度等关键指标, 打破数据孤岛; 同时出台财政补贴政策, 对企业采购智能建造设备、搭建数字化平台给予资金扶持, 降低中小企业的初期投资压力, 如对

应用建筑机器人的项目给予一定比例的税收减免。(2) 产业协同: 设计-施工-运维一体化平台: 推动产业链上下游企业协同合作, 搭建设计、施工、运维一体化数字化平台, 实现各环节信息实时共享。例如, 设计单位将BIM模型上传至平台, 施工单位可直接基于模型开展施工规划, 运维单位提前获取建筑数据, 形成全生命周期管理闭环, 提升技术集成应用效率。(3) 人才培养: 产学研联合实训基地: 高校、企业、科研机构需共建实训基地, 针对智能建造技术需求设置课程, 如BIM技术应用、AI工程管理、机器人操作等, 培养兼具理论知识与实践能力的复合型人才; 企业定期组织员工参加技术培训, 邀请专家开展智能建造技术讲座, 提升现有从业人员的技术水平, 缓解人才短缺问题。

结束语

智能建造技术凭借BIM、物联网、AI等前沿科技的深度融合, 在建设工程管理中实现了从设计优化到运维智能化的全周期创新, 大幅提升效率、质量与可持续性。尽管面临数据互通难、初期成本高及人才短缺等挑战, 但通过完善标准体系、强化产业协同及构建复合型人才培养机制, 其应用潜力将进一步释放。未来, 智能建造将持续推动建筑业向技术驱动型转型, 为构建高效、绿色、安全的工程建设生态注入核心动力。

参考文献

- [1]李猛.工程建设管理中智能建造技术的创新应用[J].装备维修技术,2021,(20):86-88.
- [2]郭星星.智能建造技术在工程建设管理中的应用策略研究[J].四川建材,2023,49(10):209-211.
- [3]李熊飞.BIM技术助力建筑工程智能建造管理升级[J].四川建筑,2022,42(04):299-300.
- [4]高文江,兰晶晶,曹鸿昂.建设工程管理中智能建造技术的创新应用[J].智能建筑与智慧城市,2024,(03):97-99.
- [5]郝毅.智能建造技术在建设工程管理中的创新应用研究[J].新城镇科技,2024,33(07):188-190.