

智能化施工技术在现代建筑工程中的创新应用

柳祚发

湖北省工业建筑集团有限公司 湖北 武汉 430000

摘要：在建筑行业向数字化、集约化转型的背景下，智能化施工技术已成为推动现代建筑工程高质量发展的核心支撑。本文系统梳理数字化建模、自动化施工设备、智能监测与感知、信息化管理四大核心技术类型，分析各技术在施工全流程的创新应用方向，探讨技术落地所需的人才、设备、平台与技术融合等支撑条件，并提出针对性优化路径。研究表明，智能化施工技术可有效提升施工效率与精度、降低安全风险，助力建筑行业从传统粗放式施工向集约高效式发展转型，为现代建筑工程高质量推进提供有力保障。

关键词：智能化施工；建筑机器人；数字孪生；智慧工地；技术融合

引言：随着建筑工程向大型化、复杂化、精细化方向发展，传统施工模式在效率、精度与安全管控上的局限日益凸显，难以适配现代工程建设的高质量发展需求。智能化施工技术依托数字技术、自动化装备与智能感知手段，重构施工全流程的组织模式与技术路径，实现施工要素精准调度、工序流程优化升级与管理模式迭代更新。相较于传统施工模式，智能化技术可有效破解施工效率偏低、质量离散度大、安全风险突出等行业痛点，其深度应用是建筑行业实现数字化、集约化转型的关键抓手，对推动现代建筑工程高质量发展具有重要现实意义。

1 智能化施工技术的核心类型

1.1 数字化建模技术

数字化建模技术构成智能化施工的数据底座，建筑信息模型通过多维几何参数与非几何属性的集成表达，将设计意图转化为可被机器识别的结构化数据。该技术以三维实体为骨架，附加时间、成本、质量等维度信息，形成贯穿全生命周期的数据载体^[1]。激光点云扫描与倾斜摄影测量为既有场地提供高精度三维复刻手段，使施工组织方案的编制拥有可靠的空间参照。参数化设计逻辑让构件尺寸与连接关系具备自适应调整能力，当设计变更发生时，模型各关联视图可即时联动更新，避免人工传递信息所产生的偏差累积。

1.2 自动化施工设备技术

自动化施工设备技术将机械执行层面从人工操作推向程序控制，建筑机器人、数控加工中心与智能运输装备构成三大执行终端。焊接机器人依据预设路径完成钢结构节点的高精度对接，抹光机器人借助激光传感实现

地面平整度的毫米级控制。塔吊防碰撞系统通过传感器阵列感知邻近设备的空间位置，在出现接近趋势时触发制动逻辑。自动化装备的引入使高危工序中的人力暴露大幅缩减，施工精度的离散程度也因机械运动的可重复性而显著收窄。

1.3 智能监测与感知技术

智能监测与感知技术赋予施工现场持续获取环境与结构状态数据的能力，分布式传感器网络覆盖基坑变形、混凝土温度应力、结构沉降等关键指标。光纤布拉格光栅传感器可嵌入构件内部，在不干扰结构受力的前提下获取应变与温度的连续曲线。视觉感知模块借助深度学习算法对作业画面进行实时解析，自动捕捉未佩戴防护装备、进入危险区域等异常行为并推送告警信号。物联网网关将各类传感终端的数据汇聚至统一平台，为管理层提供决策所需的信息支撑。

1.4 信息化管理技术

信息化管理技术将分散的施工要素整合至统一的数字空间中进行调度与协调，智慧工地平台集成人员实名制、物资进出场、机械台班等多模块数据，使管理者可在一张屏上掌握全局态势。移动端应用让现场指令的下达与反馈在数秒内完成闭环，电子工单系统将任务分解到具体班组与个人，完成状态被自动记录并归档。数据中台对多源异构信息进行清洗与关联，为进度偏差分析与资源再平衡提供计算依据，推动施工管理从经验驱动向数据驱动转变。

2 智能化施工技术在现代建筑工程中的创新应用方向

2.1 施工前期准备阶段的应用

施工前期准备阶段是智能化技术介入的最早窗口,数字化建模手段可在地质勘察数据基础上生成三维场地模型,为临时设施布局与材料堆场规划提供空间决策依据。BIM平台将各专业设计图纸整合至统一的虚拟环境中,碰撞检测功能在开工之前即完成管线交叉与结构冲突的排查,大幅削减后续变更带来的返工成本^[2]。物联网传感器预先部署于基坑周边与既有建筑表面,为后续变形监测建立基线数据。智能算量系统依据模型自动提取混凝土、钢材等主要材料的用量清单,为采购计划与资金拨付提供精确的数量支撑。无人机倾斜摄影技术可在数小时内完成大面积场地的高精度测绘,替代传统人工测量所需的漫长周期。

2.2 主体结构施工中的应用

主体结构施工阶段是自动化装备与智能感知技术密集落地的核心场景,造楼机集成平台集液压爬升、物料吊运与模板支撑于一体,在高层建筑中实现结构逐层攀升与多工种流水作业的有机衔接。焊接机器人与钢筋绑扎机器人替代人工完成钢结构节点与密集配筋区域的高强度作业,焊接质量的均一性与钢筋间距的精度均因机械执行而获得显著提升。混凝土泵送路径与浇筑顺序经智能算法优化后,冷缝与蜂窝麻面等常见缺陷的出现概率明显下降。激光整平机器人借助实时传感反馈对楼板标高进行毫米级调节,施工面的平整度偏差被控制在极窄范围之内。

2.3 施工安全管理中的应用

施工安全管理领域的智能化应用侧重于从被动处置向主动预防的范式转换,计算机视觉算法对现场监控画面进行不间断解析,当识别到人员未佩戴安全帽、未系安全带或闯入吊装危险区时,系统即刻向管理端与现场广播推送告警。智能安全帽内置定位芯片与跌倒检测模块,可在作业人员发生意外后自动发送位置坐标与求救信号。塔吊黑匣子记录载重、力矩与风速等运行参数,超限时自动切断起升动作,防碰撞算法在多台设备作业区域重叠时调度回转路径以规避干涉。基坑与高支模区域布设的位移与应力传感器将结构变形数据实时回传,异常趋势一旦浮现即触发分级预警。

2.4 施工进度与质量管控中的应用

施工进度与质量管控借助数据中台实现从经验判断向量化分析的跨越,智慧工地平台将实际完成工程量与计划进度进行自动比对,偏差超出预设阈值时生成纠偏建议并推送至责任人终端。电子巡检系统以移动端工单替代纸质记录,实测实量数据在采集后直接上传并与规

范限值比对,不合格项被标记并进入整改闭环。混凝土测温传感器全程记录水化热曲线,强度增长趋势经回归分析后可预判拆模时机。大型语言模型辅助生成施工日志与技术交底文本,将管理人员从繁重的文书工作中释放出来,使精力回归现场决策本身。

3 智能化施工技术应用 的支撑条件

3.1 技术人才培养

智能化施工技术的落地离不开一支具备跨学科素养的复合型人才队伍,传统建筑从业者习惯依赖直觉与经验处理现场问题,而智能装备操控、数据解读与算法调参等新型任务要求劳动者掌握信息技术与工程管理的交叉知识。高校与职业院校须调整课程体系,将BIM建模、机器人编程、物联网部署等内容纳入土木工程专业培养方案,使毕业生在走出校门时便拥有操作数字工具的基本能力^[3]。施工企业应建立内部轮训机制,让一线班组长在掌握传统工艺的基础上熟悉智能终端的使用逻辑,降低技术推广遭遇的人为阻力。技术骨干的成长路径需从单一技能向多维能力延伸,懂施工、会编程、能分析数据的复合型人员将成为项目管理中最稀缺的资源。

3.2 设备更新与维护

智能施工装备的高精度运行依赖持续投入与精细化维护,传感器漂移、机械臂关节磨损与控制系统固件过时等问题若得不到及时处理,将直接导致作业精度下降甚至安全事故发生。企业须制定设备全生命周期管理计划,从采购选型阶段便明确备件供应渠道与技术支持响应时效。日常巡检中应利用边缘计算模块对设备运行参数进行自诊断,异常数据在触发阈值时自动生成维修工单并推送至运维人员终端。机器人关节润滑、激光雷达镜头清洁与电池组健康度检测等保养动作需按照厂商建议的周期严格执行,避免因小故障累积而引发大范围停工。老旧设备的梯次替换策略也应纳入资产管理范畴,确保施工现场始终保持技术装备的代际领先。

3.3 信息化平台搭建

信息化平台是连接人、机、料、法、环各要素的数字神经中枢,平台架构需兼顾数据采集的广度与处理的深度。底层数据接入层应兼容主流传感器协议与工业通信标准,确保不同品牌设备的数据流能够汇聚至统一的数据湖中。中间件层承担数据清洗与格式转换任务,将非结构化的视频流、点云数据与结构化的工单记录整合为可供分析的标准数据集。应用层则面向不同角色提供差异化的操作界面,项目经理看到的是全局态势看板,

班组长收到的是具体任务推送,安全员关注的是实时告警列表。平台的响应速度与并发承载能力须经压力测试后方可投入生产环境使用,否则高并发场景下的卡顿将严重削弱一线人员对智能系统的信任。

3.4 技术融合与适配

单一技术的孤立运用难以释放智能化施工的全部潜能,唯有将 BIM、物联网、人工智能与机器人技术进行有机融合,方能构建完整的智能建造闭环。技术融合面临的最大挑战在于不同系统间的数据壁垒与接口标准不统一,各厂商的私有协议使设备间的信息互通变得异常困难。企业在引入新技术时需评估技术栈与既有系统的兼容程度,优先选用支持开放 API 的产品以降低集成成本。施工现场的网络环境、供电条件与空间布局也会制约部分技术的部署方式,例如 5G 基站覆盖不足的区域需借助边缘网关实现本地化运算,高压电磁环境下的传感器选型须考虑抗干扰性能。技术适配的本质是在理想方案与现场约束之间寻找最优解。

4 智能化施工技术应用的优化路径

4.1 技术应用优化

技术应用层面的优化着眼于从单点突破向全链条贯通演进,现有智能化手段多停留在局部工序的自动化替代,尚未形成覆盖设计、采购、施工、交付全流程的技术闭环^[4]。算法模型需在更多工况条件下进行训练与迭代,使计算机视觉识别与自然语言处理能力具备更强的泛化特征。施工现场的网络带宽与算力资源有限,轻量化模型的部署成为突破算力瓶颈的关键路径,模型压缩与边缘推理技术可将原本依赖云端的计算任务下沉至终端设备,大幅缩短从数据采集到指令下达的响应链路。技术选型应遵循够用即止原则,避免过度堆叠高端功能导致操作门槛过高而脱离一线实际需求。

4.2 人才队伍建设优化

人才队伍建设需突破传统师徒制的知识传递路径,构建以数字素养为基底的多层次培养体系。企业可设立内部智能建造学院,将 BIM 操作、机器人调试、数据分析等技能培训嵌入日常考核指标,使技术学习从被动接受转化为主动积累。跨专业协作机制的建立能够让土木工程师与信息技术人员在同一项目中深度磨合,双方在反复交流中形成共同语言,打破学科壁垒带来的沟通损耗。青年技术骨干的职业晋升通道应与智能化技能等级挂钩,让掌握数字工具的劳动者获得更清晰的成长预期,从而在组织内部形成技术向善的激励导向。

4.3 设备与平台升级优化

设备与平台的升级应以解决现场痛点为导向而非追求技术参数的堆砌,传感设备的布设密度与精度须与监测目标的风险等级相匹配,高风险区域采用高密度光纤阵列,低风险区域则以无线传感器网络覆盖即可。平台架构应从单体应用向微服务化方向演进,各功能模块独立部署与升级,避免牵一发而动全身的耦合困境。数据存储层需引入时序数据库与图数据库的混合架构,以适配施工现场多源异构数据的高频写入与复杂查询需求。设备固件的远程推送与在线升级能力可有效降低运维人员的现场作业频次,使装备始终运行在最优版本之上。

4.4 技术融合模式优化

技术融合模式的优化核心在于打通数据孤岛,建立统一的数据交换标准与接口规范。BIM 模型应作为各技术系统之间的通用语言,物联网采集的实时数据回写至模型中形成动态更新的数字孪生体,人工智能算法在孪生体上进行推演与预测后将决策指令反馈至自动化装备执行^[5]。融合过程中需警惕为融而融的倾向,每一项技术的引入都应回答解决了什么问题这一根本命题。开放式技术生态的构建鼓励不同厂商的设备与软件在统一协议下协同工作,降低企业被单一供应商锁定的风险,使智能化施工体系具备持续迭代与弹性扩展的能力。

结束语

智能化施工技术为现代建筑工程高质量发展注入强劲动力,其核心类型的协同应用的,已在施工全流程实现多维度创新,有效破解行业传统痛点。技术落地需依托人才、设备、平台与融合适配四大支撑条件,通过多路径优化持续完善应用体系,推动技术价值充分释放。各建筑企业需立足自身实际,合理选型、优化布局,推动智能化技术与施工实践深度融合,破解应用中的各类瓶颈,实现施工效率、质量与安全水平的同步提升,助力建筑行业完成集约化、数字化转型。

参考文献

- [1] 夏文伟. 智能化施工技术在现代建筑工程中的创新应用 [J]. 智能建筑与智慧城市, 2026(2): 133-135.
- [2] 徐文玉. 智能化施工技术在现代建筑工程中的创新应用 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025(9): 76-78.
- [3] 高祥彬. 建筑工程土石方施工的技术创新与管理优化 [J]. 中国建筑金属结构, 2025, 24(1): 154-156.
- [4] 杜敬煌. 智能化技术在现代装修施工中的创新应用 [J]. 中国建筑装饰装修, 2025(5): 74-76.
- [5] 唐建文. 现代智能技术在建筑施工安全风险管控中的应用研究 [J]. 城市开发, 2025(5): 116-118.