

# 基于智能技术的建筑施工过程优化研究

郭诗雪

福州外语外贸学院, 福建福州, 350202;

**摘要:** 建筑业作为国民经济的支柱产业, 传统施工模式普遍存在效率偏低、资源浪费严重、安全风险管控不足等问题, 难以适配行业高质量发展的客观要求。智能技术的迭代演进为建筑施工过程优化提供了创新性解决方案。本文立足建筑施工行业转型升级的时代背景, 系统梳理建筑信息模型(BIM)、建筑机器人、物联网、人工智能等核心智能技术的应用逻辑, 从施工流程协同、资源配置调控、安全风险管控、工程质量保障四个维度构建施工过程优化框架, 结合典型工程案例验证智能技术的应用成效, 深入剖析当前智能技术落地应用面临的现实瓶颈, 并提出针对性推进策略, 为建筑业数字化、智能化转型提供理论支撑与实践参考。

**关键词:** 智能技术; 建筑施工; 过程优化

**DOI:** 10.64216/3080-1508.26.03.001

## 引言

我国建筑业规模持续扩大, 总产值达 31.2 万亿元, 但行业平均利润率仅 3.5%, 低于制造业水平, 粗放式发展弊端凸显。传统施工中, 设计与施工协同不畅, 导致返工率 15%-20%、材料浪费率 8%-12%、机械设备闲置超 30%、安全监管延迟 48 小时以上。随着双碳目标推进、劳动力成本上升及政策落地, 传统模式难以满足高质量发展需求。智能建造成为转型升级核心方向, 住建部推广智能技术体系、装备和材料。智能技术通过数据驱动, 实现施工全流程可视化、精准化和协同化管控, 解决传统痛点。例如, 榆林小西沙棚改项目应用智能技术, 实现效率提升 30%、成本降 20%、排放减 60%。因此, 研究智能技术优化施工过程对推动建筑业集约增长有重要现实意义。理论层面, 构建智能技术与施工优化融合框架, 厘清应用边界与协同机制, 丰富理论体系; 实践层面, 剖析案例成效, 提炼可复制路径, 助力企业降本增效、强化安全, 推动技术规模化落地。研究内容包括梳理痛点与智能技术现状、构建优化体系、验证案例成效、剖析应用瓶颈。方法采用文献研究、案例分析(如榆林和重庆项目)和归纳总结。

## 1 建筑施工过程优化核心痛点与智能技术应用基础

### 1.1 传统建筑施工过程核心痛点

传统建筑施工过程的核心痛点主要体现在四个维度: 其一, 流程协同碎片化, 设计、施工、监理等主体间存在显著信息壁垒, 图纸会审工作不够充分, 导致管线碰撞、结构冲突等问题频发, 返工成本居高不下。其

二, 资源配置低效化, 材料采购缺乏精准预判, 易引发库存积压或供应短缺; 机械设备调度依赖经验判断, 闲置率偏高; 人力资源分配不均衡, 导致部分工序作业拥堵、部分工序人员闲置。其三, 安全管控被动化, 依赖人工巡检的传统模式, 对未佩戴安全帽、高空抛物等违规行为为识别不及时, 对深基坑、高支模等高危作业环节的风险预警存在滞后性, 安全事故发生率居高不下。其四, 质量控制经验化, 混凝土强度、墙面平整度等关键指标检测依赖人工操作, 误差较大, 且质量隐患追溯难度较高。

### 1.2 施工优化相关智能技术体系

当前支撑建筑施工优化的智能技术已形成多技术融合体系, 核心技术包括: 一是建筑信息模型(BIM)技术, 通过三维数字化建模实现建筑全生命周期的可视化管理, 具备碰撞检查、进度模拟、成本核算等核心功能, 是施工协同管控的核心载体。二是建筑机器人技术, 涵盖抹灰机器人、混凝土整平机器人、焊接机器人等专用装备, 可替代人工完成高危、高强度作业, 提升施工效率与质量精度。三是物联网(IoT)技术, 通过部署传感器、射频识别(RFID)标签、智能安全帽等终端设备, 实现对施工人员、机械设备、建筑材料、作业环境等核心要素的实时数据采集与互联。四是人工智能(AI)技术, 广泛应用于安全隐患识别、施工进度预测、资源优化配置等场景, 提升施工决策的智能化水平。五是数字孪生技术, 构建虚拟施工场景与实体工程的实时映射关系, 实现施工过程的动态监测与精准管控。

### 1.3 智能技术优化施工过程的核心逻辑

智能技术通过数据采集-分析决策-执行反馈的闭环逻辑实现建筑施工过程的优化。首先，借助物联网终端设备全面采集施工过程中人员、机械、材料、环境等多维度数据，打破各环节信息孤岛；其次，通过人工智能算法、BIM 模拟等技术对采集的数据进行分析处理，生成施工进度调整、资源调度计划、安全风险预警等优化方案；最后，通过建筑机器人、智能控制系统等载体执行优化方案，并实时反馈执行效果，动态调整优化策略，实现施工过程的持续改进。

## 2 基于智能技术的建筑施工过程优化体系构建

### 2.1 施工流程协同优化：以 BIM 技术为核心的全周期协同

以 BIM 技术为核心构建全流程协同管理平台，实现设计、施工、监理、建设单位等多方主体的协同联动。在设计阶段，通过 BIM 三维建模开展碰撞检查工作，提前识别并解决管线交叉、结构冲突等潜在问题。例如，榆林小西沙棚改项目在地下室管道综合优化过程中，通过 BIM 模型提前发现水管与电缆桥架交叉问题并及时完成设计调整，有效规避了后期返工。在施工阶段，将 BIM 模型与施工进度计划相关联，构建 4D 进度推演系统，实现施工过程的可视化管控，当某一工序出现进度滞后时，系统自动发出预警并生成针对性调整方案。在验收阶段，利用 BIM 模型开展数字化验收工作，将实测数据与模型数据进行对比分析，确保工程质量符合相关标准，同时为后期运维管理提供完整的数字档案。

此外，通过 BIM 与地理信息系统 (GIS) 融合技术，直观呈现施工进度与周边环境的关联关系，优化施工场地布置方案，缩短材料二次搬运距离。例如，泰山区农林病虫害防控综合体项目通过 BIM+GIS 融合平台，实现施工进度与周边环境的动态匹配，显著提升了施工场地利用效率。

### 2.2 资源配置优化：物联网与 AI 驱动精准调度

依托物联网与人工智能技术实现建筑施工资源的精准配置。在材料管理方面，通过 RFID 标签对建筑材料实施全生命周期追踪管理，实时监控材料进场、存储、使用等关键环节状态，结合人工智能算法预测材料需求，优化采购计划，降低材料浪费率。例如，重庆中環万象城项目部署智能物料验收系统，运用人工智能图像识别技术自动核对钢筋、混凝土等核心材料的规格与数量，大幅降低人工核对的误差率。在机械设备管理方面，通

过传感器实时监测设备运行状态，结合施工进度需求，利用人工智能算法优化设备调度计划，减少设备闲置时间。例如，中建三局研发的桥梁智能建造云平台，可实时监控造塔机运行状态，实现设备的远程调度与运维管理。

在人力资源管理方面，通过人脸识别考勤系统自动记录工时数据，结合施工进度需求优化人员排班方案；利用虚拟现实 (VR) 技术开展沉浸式安全培训，提升施工人员专业技能水平与应急处置能力。例如，泰山区农林病虫害防控综合体项目采用 VR 模拟施工场景开展安全培训，显著提升了施工人员的应急处置能力。

### 2.3 安全管控优化：AIoT 赋能的主动防控

构建基于人工智能与物联网 (AIoT) 融合的安全主动防控体系，推动安全管理模式从人工防控向技术防控转型。通过部署人工智能摄像头、智能传感器等设备，实时采集施工现场数据，利用人工智能算法自动识别未佩戴安全帽、未系安全带、高空抛物等违规行为，并及时发出预警信号。例如，湖南大学科创港校区项目应用 AI 高位摄像头安全隐患识别系统，将隐患识别效率提升 50%，安全事故发生率降低 20%。针对深基坑、高支模、群塔作业等高危作业环节，通过传感器实时监测关键技术参数，结合人工智能算法开展风险预判，提前预警潜在安全险情。例如，重庆中環万象城项目自主研发三维群塔防碰撞系统，集成高精度激光雷达与人工智能算法，可实时预判塔吊碰撞风险并自动触发制动保护机制。

此外，通过智能安全帽实现施工人员定位与生命体征监测，当人员进入危险区域或出现生命体征异常时，系统及时发出预警，保障施工人员生命安全。例如，泰山区农林病虫害防控综合体项目通过智能安全帽实现对施工人员的精准定位与安全管控。

### 2.4 质量保障优化：机器人与数字化检测的精准控制

依托建筑机器人与数字化检测技术提升施工质量控制精度。在施工作业环节，采用专业建筑机器人完成高精度作业，例如，抹灰机器人可将抹灰误差控制在 0.3 毫米以内，作业效率达到人工的 4 倍；混凝土整平机器人能够将地面平整度误差稳定控制在 3 毫米以内。在质量检测环节，利用测量机器人、3D 扫描仪等设备开展全自动检测，生成精准的数据报表，实现质量问题的可

追溯管理。例如，榆林小西沙棚改项目采用3D扫描仪精准复核结构尺寸，确保施工质量符合相关标准；重庆中環万象城项目通过测量机器人以虚拟靠尺完成全自动检测，数据报表精度较人工检测提升40%。

同时，构建全流程质量追溯体系，将施工过程中的人员、设备、材料、检测数据等信息与BIM模型相关联，当出现质量问题时，可快速定位问题根源，制定针对性整改措施。

### 3 智能技术优化施工过程的案例验证

#### 3.1 案例概况：榆林小西沙棚改项目

榆林小西沙棚改项目为陕西省智能建造试点项目，总建筑面积约30万平方米，属重点民生工程。该项目承建方中建八局二公司以智能建造为核心引擎，构建涵盖BIM技术应用、智能装备部署、协同管理管控的全流程优化体系，旨在打造智能建造引领的民生工程标杆项目。

#### 3.2 智能技术应用与优化措施

该项目在施工过程中综合应用多项智能技术：一是以BIM技术为数字核心，贯穿项目建设全生命周期，开展管线综合优化、进度模拟等关键工作，提前规避施工冲突；二是部署自主研发的造楼机智能顶升平台，实现封闭环境下的多工序穿插施工，提升施工效率与作业安全性；三是组建智能机器人作业团队，涵盖抹灰机器人、地坪研磨机器人、管道检测机器人等，覆盖多个关键施工环节；四是构建全流程安全管控体系，对材料进场、工序执行等关键环节实施严格检测，实现事前技术交底—事中过程控制—事后效果评估的闭环管理。

#### 3.3 优化成效

通过智能技术的综合应用，该项目取得显著优化成效：施工效率提升超30%，人工成本降低20%，粉尘排放减少60%；采用预制装配式外墙一体板结合造楼机递进施工工艺，项目整体进度进一步提速20%；通过BIM技术提前解决管线交叉等潜在问题，大幅降低返工率；实现安全零隐患管控目标，工程质量得到有效保障。目前项目多栋住宅已完成封顶，智能建造的技术优势转化为民生工程的品质提升动力，为棚改项目的智能建造实践提供了可复制的经验样本。

### 4 智能技术在施工优化中面临的瓶颈与推进策略

尽管智能技术在建筑施工优化中价值显著，但规模化落地面临多重瓶颈：其一，技术融合不足，数据标准不统一、接口不兼容，难以协同；其二，成本投入高，智能装备研发和平台部署费用大，中小企业难承担；其三，人才短缺，缺乏复合型管理人才和技能型操作人才，数字技能需提升；其四，标准体系不完善，技术、评价、安全标准未建立，制约应用；其五，产业链协同不足，设计、施工、生产等环节缺乏联动，难一体化。针对这些瓶颈，提出推进策略：其一，强化技术融合，建立统一标准与接口，推动BIM、物联网、AI等技术融合，构建智能建造平台；其二，加大政策支持，通过补贴、税收优惠降低成本，鼓励中小企业参与试点；其三，完善人才培育，高校增设专业，政企协同培训，培育复合型人才；其四，加快标准建设，制定技术、评价、安全标准，明确应用流程；其五，构建产业生态，依托龙头企业整合资源，推动各环节协同，形成产学研用一体化。

### 5 结论与展望

本文研究智能技术优化建筑施工过程，结论显示：智能技术能有效解决传统施工中流程协同碎片化、资源配置低效化、安全管控被动化、质量控制经验化等痛点。构建了以BIM为核心的流程协同、物联网与AI驱动的资源配置、AIoT赋能的安全管控、机器人与数字化检测的质量保障四大体系，提供系统解决方案。典型案例验证智能技术应用可显著提升施工效率、降低运营成本、强化安全与质量管控。随着5G、数字孪生、生成式AI等发展，智能建造将向全局智能化和全生命周期协同化演进。建议强化智能技术与施工场景深度融合，推动智能装备轻量化低成本化，完善产业生态，加速建筑业数字化、智能化、低碳化转型，支撑高质量发展。

#### 参考文献

- [1] 陈益峰. 基于BIM技术的建筑施工过程优化研究[C]//2024人工智能与工程管理学术交流会论文集. 2024.
- [2] 刘珊, 张珂旋. 基于智能技术的建筑设计与施工协同优化研究[J]. 中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术, 2024(003):000.
- [3] 张宇. 智能建筑中的电气工程及其自动化技术研究[J]. 工程技术研究, 2020, 5(3):2. DOI:CNKI:SUN:YJCO.0.2020-03-017.

作者简介：郭诗雪（2002.11.24-），女，本科学历。