

匠心智建：欣安雅苑项目智能建造技术集成与应用

揭敏

中建一局集团东南建设有限公司，福建省厦门市，361101；

摘要：在国家超特大城市城中村改造专项借款政策背景下，厦门翔安欣安雅苑项目作为首批示范工程，转而向集成无人指挥塔吊、智能无人电梯、整平抹灰机器人等 12 类智能建造技术转变，构建覆盖施工全周期的数字化管理体系。研究显示，项目实现主体结构工期压缩 18%、质量验收合格率 99.6%、安全事故零发生，形成可复制的“设备-平台-标准”三位一体技术推广路径。创新点在于将 BIM 模型与机器人协同作业、物联网设备与劳务实名制深度融合，解决传统施工中效率低、安全风险高、资源浪费严重等痛点。

关键词：智能建造；城中村改造；BIM 技术；劳务实名制

DOI：10.69979/3029-2727.25.12.045

引言

随着我国城镇化进程迈入高质量发展阶段，超特大城市城中村改造成为优化城市空间结构、提升民生福祉的关键举措，2023 年国家设立城中村改造专项借款政策，对项目建设效率、质量管控、资金使用效能提出更高要求。传统建造模式因存在劳动强度大、安全风险高、资源利用率低等弊端，没法满足新型城镇化建设需求，在此背景下，智能建造技术通过数字化、网络化、智能化手段重构施工流程，成为突破行业瓶颈的重要路径。欣安雅苑项目作为国家专项借款融资的岛外示范工程，其建设标准直接关乎政策落地成效，项目创新性地集成无人设备集群、智慧工地平台、BIM 仿真分析等前沿技术，形成覆盖设计、施工、运维全生命周期的智能建造体系。本文通过系统梳理项目已应用及拟推广的 28 项核心技术，剖析技术集成对施工效率、质量安全、资源优化的提升机制，旨在为同类工程提供可复制的技术实施方案与管理经验，推动智能建造技术在城市更新领域的规模化应用。

1 项目概况与智能建造背景

1.1 项目基本情况

1.1.1 项目名称与背景

翔安欣安雅苑项目作为国家首批超特大城市城中村改造专项借款融资的岛外示范工程，位于厦门市翔安区南部新城核心区。项目承担推动城市更新、优化居住环境的双重使命，其建设标准直接关乎专项借款政策落地效果，项目总建筑面积 32.82 万平方米，涵盖 A1-1、A1-2 两个地块，其中地上建筑面积 24.61 万平方米，地下建筑面积 8.21 万平方米，包含 33 层最高建筑及 13.

6 米最大基坑深度，工程费用达 10.12 亿元。

1.1.2 项目规模与参数

项目单体建筑最大面积 60613.72 平方米（含地下室），单跨跨度 13.4 米，建筑高度 99.8 米，技术参数达到超高层住宅工程标准，工程范围覆盖土石方、桩基、主体土建、精装修、人防工程、智能化系统等 15 类专项工程，形成全专业协同施工体系，像建筑电气系统得与智能化工程深度集成，消防工程得满足海绵城市设计要求，体现复合型工程特征。

1.1.3 工程范围与参建单位

项目由厦门市翔安土地开发有限公司主导，代建单位为厦门建发建设运营管理有限公司与厦门市翔发集团有限公司联合体，设计环节由厦门华岩勘测设计有限公司与厦门上城建筑设计有限公司共同完成，地勘、设计单位一体化运作提升数据准确性，整合资源实施全生命周期管理，监理单位建发合诚工程咨询股份有限公司建立三级质量管控体系，确保规范执行率 100%。

1.2 智能建造需求与目标

1.2.1 应对周边环境挑战

项目北侧紧邻已开通石厝路与厦门演艺职业学院，南侧为规划浦边北路（杂草地），西侧浦边村存在噪音投诉风险，东侧南部新城 TOD 项目施工交叉影响显著，针对夜间施工投诉问题，项目转而向采用低噪音整平机器人（分贝值 $\leq 65\text{dB}$ ）替代传统振动设备转变，配合无人机航拍监测扬尘扩散范围，实现环境影响可控。

1.2.2 提升施工效率与安全性

传统塔吊作业需 3 名操作人员协同，无人指挥塔吊系统通过多源感知融合技术，将单次吊装时间缩短 40%，碰撞风险降低 75%，智能安全帽定位精度达 0.5 米，地

下空间通信覆盖率从 30% 提升至 95%，解决传统 GPS 信号屏蔽难题。

1.2.3 实现精细化管理与资源优化

BIM 模型与智慧工地平台数据互通，使钢筋用量误差率控制在 1.2% 以内（行业平均 3.5%），劳务实名制系统结合安全宣教室模式，实现 600 名工人同时在线培训，考勤准确率提升至 99.7%，资源动态监测模块使混凝土浪费率从 5% 降至 1.8%，年节约成本约 230 万元。

2 已投入应用的智能建造技术

2.1 智能设备与机器人应用

2.1.1 无人指挥塔吊系统

系统集成激光雷达、毫米波雷达与视觉传感器，构建三维空间感知网络，吊钩可视化设备采用 4K 高清摄像头，实现 150 米高空作业实时监控，防碰撞算法通过 AI 训练，可识别直径 0.3 米以上障碍物，预警响应时间 ≤ 0.3 秒，2024 年三季度数据显示，系统使塔吊利用率提升至 82%，较人工操作提高 18 个百分点。

2.1.2 智能无人电梯

电梯搭载 RFID 识别模块，可自动匹配施工楼层权限，载重监测系统通过压力传感器实时反馈荷载数据，超载时自动切断动力并触发警报，2024 年运行日志显示，日均运输量达 1200 人次，故障率 0.03%，较传统电梯降低 82%。

2.1.3 整平抹灰机器人

山地轮式底盘适应 -15° 至 $+30^{\circ}$ 坡地作业，自动找平机构通过双激光接收器实现 $\pm 2\text{mm}$ 精度控制，在纯地下室板面施工中，机器人单日作业面积达 3200m^2 ，是人工效率的 6 倍，抹灰机器人采用全地形履带底盘，摇臂装置覆盖半径 3.5 米，表面平整度符合 GB50209-2010 标准。

2.2 监测与追溯技术

2.2.1 现场监测技术

环境监测系统部署 PM2.5、噪声、温湿度等 12 类传感器，数据上传频率 1 次/分钟，当 PM10 超标 ($\geq 0.8\text{mg}/\text{m}^3$) 时，系统自动启动喷淋装置，30 秒内响应率 100%，2024 年监测数据显示，扬尘管控达标率 99.2%，较传统人工巡查提升 41%。

2.2.2 塔吊监测技术

吊钩可视化系统配备 360° 旋转摄像头，夜间照明强度达 500lux ，防碰撞设备采用 UWB 定位技术，空间分辨率 10cm ，2024 年二季度碰撞预警事件 37 次，均未发生实际碰撞，风险控制成效显著。

2.2.3 铝模二维码追溯

每块铝模构件粘贴 NFC 芯片，扫描可获取生产批次、安装位置、验收记录等 28 项信息项目建立铝模全生命周期数据库，实现 6000 余块构件精准管理，配模模型通过 BIM 生成，减少现场切割量 12%，周转次数提升至 150 次。

2.3 数字化管理工具

2.3.1 施工质量随手拍

移动端 APP 集成隐患识别算法，可自动分类安全、质量、文明施工三类问题，2024 年累计上报隐患 1243 条，闭环处理率 100%，平均处理时效 4.2 小时，标准指引库包含 327 项典型问题解决方案，一线人员查询响应时间 ≤ 30 秒。

2.3.2 BIM 模型应用

防渗漏节点模型通过有限元分析，优化 23 处施工构造，三维管线综合排布减少碰撞点 142 处，节省返工成本 87 万元，施工模拟模块可预演塔吊附着、外架拆除等高风险工序，2024 年避免 3 起潜在事故。

3 拟投入应用的智能建造技术创新

3.1 智慧工地管理平台

3.1.1 物联设备与数据同步

平台转向集成 21 类物联终端转变，包括智能电表，水位传感器，门禁系统等，数据通过 5G 专网传输，延迟 $\leq 50\text{ms}$ ，资源监测模块可实时显示钢筋，混凝土等 18 类材料库存，自动生成补货清单，2025 年试点显示，材料浪费率降低 19%，设备没法闲置率下降 26%。

3.1.2 劳务实名制考勤

系统采用人脸识别+UWB 定位双验证模式，考勤数据实时上传至政府监管平台，安全宣教室配备 VR 设备，可模拟高处坠落，物体打击等 8 类事故场景，2025 年一季度数据显示，工人安全知识考核通过率从 78% 提升至 96%。

3.2 BIM 深化应用与仿真

3.2.1 施工场界与夜间照明模拟

BIM 模型结合气象数据，动态调整照明设备布局，夜间施工照明优化方案使能耗降低 31%，光污染投诉减少 83%，平面组织模拟通过路径算法，缩短场内运输距离 17%，减少机械怠速时间 22%。

3.2.2 铝膜砌筑方案经济性分析

BIM 模拟不同配模方案的材料用量，结合市场价格生成成本曲线，2025 年优化方案使铝模周转次数从 120

次提升至 180 次，单平方米成本下降 24 元，砌筑机器人路径规划算法减少空驶距离 38%，施工效率提升 29%。

3.3 新型施工机器人研发

3.3.1 自由行走式混凝土整平机器人

激光发射器精度达 $\pm 1\text{mm}$ ，自动找平机构响应时间 0.2 秒，在 C30 混凝土施工中，表面平整度标准差从 3.2mm 降至 1.5mm，电池续航能力 8 小时，满足连续作业需求。

3.3.2 自由行走式混凝土抹光机器人

PLC 控制系统可预设抹光路径，摇臂装置覆盖面积达 12 m^2 /次，在环氧地坪施工中，表面光泽度达到 60GU 以上，符合 GB/T 22374-2008 标准，履带式底盘越障能力 20cm，适应复杂地形。

3.4 人员安全定位系统

3.4.1 智能安全帽与电子围栏

安全信标部署在基坑边缘，塔吊覆盖区等 12 类危险源区域，预警半径 3 米，电子围栏信标定位精度 5cm，误报率 $\leq 0.5\%$ ，星璇基站采用 LoRa 无线技术，覆盖半径 500 米，单基站可接入 200 个终端。

3.4.2 劳动力数据分析

系统通过定位轨迹分析，自动生成工效热力图，2025 年试点显示，钢筋绑扎工序人均效率提升 19%，模板安装工序缩短工期 12%，动态调配模块使班组闲置率从 18%降至 7%，资源利用率显著提高。

4 智能建造技术集成效应与行业影响

4.1 技术集成提升施工效能

4.1.1 效率提升

无人设备使单工序作业时间缩短 35%-50%，整体工期压缩 18%，BIM 模型与机器人协同作业，减少返工率 27%，2024 年数据显示，项目提前 42 天完成主体结构封顶，创造经济效益 3200 万元。

4.1.2 质量可控

三维扫描技术使主体结构垂直度偏差控制在 0.1% 以内，远超规范要求，铝模二维码追溯系统实现质量责任到人，验收合格率提升至 99.6%，智能监测设备使混凝土强度达标率 100%，无结构安全质量事故。

4.2 安全风险防控创新

4.2.1 事故预防

塔吊防碰撞系统避免 3 起潜在坠物事故，智能安全帽预警 17 次违规进入危险区行为 2024 年安全检查得分 92.3 分（满分 100），较传统项目提高 14.6 分，应急响应时间从 15 分钟缩短至 3 分钟，救援效率显著提升。

4.2.2 应急响应

系统自动生成应急预案，通过 APP 推送至相关人员，定位数据可快速锁定受困人员位置，2025 年模拟演练显示，10 分钟内完成 50 人疏散，与消防、医院系统对接，实现救援资源快速调配。

5 结束语

欣安雅苑项目通过智能建造技术的深度集成与应用，验证了数字化手段对提升施工效能，保障质量安全，优化资源配置的显著作用，研究结果表明，无人设备集群使单工序作业效率提升 40%-60%，BIM 仿真分析减少返工成本 87 万元，劳务实名制系统实现 600 名工人精准管理，这些数据给智能建造技术的经济性予以有力支撑，项目形成的“政策引导-技术创新-标准输出”实施路径，不仅解决了专项借款融资类工程的管理难题，更为超特大城市城中村改造提供了可推广的技术范式，未来研究可进一步探索 AI 算法在施工优化中的应用，跨平台数据互通机制等方向，持续推动建筑行业向智能化、绿色化转型。

参考文献

- [1] 霍乙霄, 郁达飞. 智能建造引领装配式建筑全生命期的转型研究[J]. 中国住宅设施, 2025, (08): 163-166.
- [2] 黄梓怡, 盛武. 国内外智能建造领域研究热点及前沿趋势——基于 CiteSpace 的文本可视化分析[J]. 建筑施工, 2025, 47(08): 1238-1242+1247. DOI: 10.14144/j.cnki.jzsg.2025.08.014.
- [3] 刘璐. 智能建造背景下 BIM 驱动装配式建筑造价精益管控研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2025, (08): 68-70. DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2025.08.021.
- [4] 徐文, 杨迎春, 张萍. 智能建造与绿色数字化技术在建筑工程中的融合应用[J]. 建设科技, 2025, (14): 78-80. DOI: 10.16116/j.cnki.jskj.2025.14.021.
- [5] 项静. 智能建造技术赋能房地产经济高质量发展[J]. 城市开发, 2025, (12): 22-24.