

DOI: 10.7672/sgjs2025240087

全景智能监管技术在模块化建筑工程中的应用*

朱怀涛¹, 张博², 刘鹏远¹, 苏幕杰², 汤杰³, 王嘉杰³,
刘翔³, 龙凡江³

(1. 深圳市安居集团有限公司, 广东 深圳 518000; 2. 深圳市福田区安居有限公司,
广东 深圳 518031; 3. 中海建筑有限公司, 广东 深圳 518057)

[摘要] 随着建筑行业对数字化、智能化需求的不断增长,全景智能监管技术作为融合 BIM、数字孪生与 AI 的创新成果,为建筑行业带来全新的管理与监管模式。详细阐述全景智能监管技术的核心构成,深入探讨其在建筑项目周期,包括规划设计、施工建设及运维管理阶段的具体应用,并通过实际案例分析其应用成效,同时对该技术未来发展趋势进行展望。研究表明,全景智能监管技术能显著提升建筑行业的生产效率、质量把控及管理水平,推动行业向智能化、精细化方向发展。

[关键词] 建筑工业化;全景智能监管;模块化建筑;建筑信息模型;数字孪生;人工智能

[中图分类号] TU17

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)24-0087-05

Application of Panoramic Intelligent Supervision Technology in Modular Construction Engineering

ZHU Huaitao¹, ZHANG Bo², LIU Pengyuan¹, SU Mujie², TANG Jie³,
WANG Jiajie³, LIU Xiang³, LONG Fanjiang³

(1. Shenzhen Public Housing Group Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518000, China;
2. Shenzhen Futian Public Housing Group Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518031, China;
3. China Overseas Construction Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong 518057, China)

Abstract: With the construction industry's growing demand for digitization and intelligent solutions, panoramic intelligent supervision technology (a groundbreaking integration of BIM, digital twins, and AI) has revolutionized management and supervision practices. This paper details the core components of panoramic intelligent supervision technology, explores its implementation across the entire project life cycle (including planning/design, construction, and operation/maintenance phases), analyzes real-world case studies to demonstrate its effectiveness, and forecasts future technological trends. Research findings indicate that panoramic intelligent supervision technology significantly enhances production efficiency, quality control, and management standards in the construction sector, driving the industry toward smarter, more refined development.

Keywords: building industrialization; panoramic intelligent supervision; modular buildings; building information modeling (BIM); digital twins; artificial intelligence

0 引言

建筑行业作为国民经济的重要支柱产业,长期受困于生产效率低、管理模式粗放、质量安全风险管控难等核心痛点,传统建造模式已难以适配现代

建筑对高效化、精细化的发展需求。在数字化技术驱动行业变革的背景下,模块化集成建筑凭借其工业化属性,成为破解行业困境的关键路径,展现出广阔的宏观市场前景^[1]。

从全球实践来看,模块化建筑已形成成熟的发展范式:2015 年纽约迷你公寓项目通过“工厂预制全装修单元+现场拼装”模式,实现建造成本降低、建设速度提升与居住质量优化的多重效益;欧洲以

* 国家重点研发计划(2023YFC3806605)

[作者简介] 朱怀涛,工程师, E-mail: zhuhuait@szrcj.com

[通信作者] 张博,工程师, E-mail: zhangbo@szrcj.com

[收稿日期] 2025-10-12

法国为代表,预制装配率达 80%,依托预应力混凝土装配式框架体系保障高生产施工质量;亚洲以新加坡为核心,15~30 层单元式高层住宅预制化率>70%,印证了模块化建筑在不同场景下的适配性与可行性。这种将 80% 以上现场作业转移至工厂完成的建造模式,不仅重构了“设计-生产-施工”流程,更推动建筑行业从“以现场为核心”的项目制管理向“以工厂为核心”的工业化管理转型,真正实现“像造汽车一样造房子”^[2-3]。

然而,模块化建筑的高精度预制、多环节协同与全流程管控需求对传统监管技术提出挑战:工厂预制阶段的模块精度把控、运输环节的状态监测、现场吊装的协同调度,以及全生命周期的信息追溯,均需更智能的技术体系支撑。在此背景下,全景智能监管技术应运而生。该技术深度融合建筑信息模型(BIM)、数字孪生与人工智能(AI)三大前沿技术,通过构建与物理建筑高度仿真的数字模型,打通“工厂预制-运输仓储-现场拼装-运维管理”全链条数据壁垒,实现模块全生命周期的实时监测、精准预警与智能决策。

其与模块化建筑的结合具有不可替代的必要性:一方面,借助 BIM 模型的参数化特性可实现模块设计与预制的协同优化,提前规避专业冲突;另一方面,数字孪生的虚实映射能力能实时同步模块生产、运输、吊装数据,解决跨场景信息不对称问题;AI 技术则通过图像识别、预测分析自动识别预制质量缺陷与现场安全隐患,大幅度提升管控效率。这种“技术-模式”的深度耦合不仅为模块化建筑的规模化推广提供技术保障,更能推动建筑行业整体竞争力提升与可持续发展,具有重要的现实意义与实践价值^[4-5]。

1 全景智能监管技术

1.1 技术特点

全景智能监管技术作为建筑工程领域的创新成果,在智能层面极具特色。其智能性首要体现在借助 AI 图像识别技术,可自动识别墙面、天花板、弱机械安装等追踪项,实现自动化的工程施工进度量化追踪,能精准且高效地实时反馈工程进度状态,为项目管理决策提供及时数据支撑。同时,在 BIM 模型与施工全景图融合构建的 1:1 数字孪生空间内,运用 AI 算法对管线排布、构件安装等施工细节与 BIM 模型开展逐项智能核验,精准定位偏差,大幅度提升核验效率与准确性,有效减少施工错误和问题^[6-7]。另外,该技术的识图功能可一键自动捕捉采集资产数据,达成自动化的资产盘点及

关联、快速检索等智能资产运维管理。在问题管理流程中,一旦发现问题,通过内置 AI 逻辑可自动标记位置、精准定位责任人并生成整改工单,构建起“发现问题-整改落实-验收反馈”的智能闭环管理体系,显著提高项目管理的智能化、精细化水平,全方位赋能建筑工业化项目的高效推进与智能管控。

1.2 多专业协同设计优化

建筑项目涉及多个专业领域,传统的设计模式下各专业间信息沟通不畅,易出现设计冲突和错漏碰缺问题。全景智能监管技术为多专业协同设计提供了高效平台。在平台上,建筑、结构、给排水、电气等各专业设计师基于同一个 BIM 模型进行协同设计。每个专业的设计变更都会实时反映在模型中,并通过数字孪生技术同步更新到其他专业的设计界面,各专业设计师可及时查看并评估变更对本专业设计的影响,进行相应调整。例如,在项目设计过程中,结构专业设计师根据现场地质勘察结果对基础结构进行了调整,这一变更通过协同平台实时通知到建筑、给排水和电气专业设计师。建筑设计师根据结构变化对首层平面布局进行微调,给排水设计师重新规划了管道走向以避免基础结构,电气设计师也相应调整了配电箱位置和线路布置,确保各专业设计的协调统一,避免了施工阶段因设计冲突导致的返工和浪费(见图 1)^[8]。

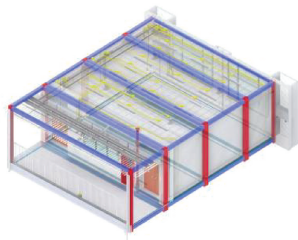


图 1 多专业协同模型

Fig. 1 Multi-specialty collaborative model

1.3 施工进度管理

在施工阶段,全景智能监管技术利用数字孪生和 AI 技术实现对施工进度的精准管理。通过在施工现场部署全景 AR 鹰眼摄像头、传感器等设备,实时采集施工进度信息,并将其反馈到数字孪生模型和智慧建造平台。AI 算法对采集到的数据进行分析处理,与施工进度计划进行对比,自动识别进度偏差。例如,在某大型桥梁建设项目中,平台通过实时监测发现某桥段的箱梁架设进度滞后于计划进度。项目管理人员通过平台查看详细的施工记录和现场视频,分析原因后及时调整施工资源分配,增加施工人员和设备投入,加快施工进度,确保

项目按计划推进。同时,平台还可根据实际施工进度预测项目完工时间,为项目各方提供准确的进度信息,便于合理安排后续工作(见图 2,3)^[9]。

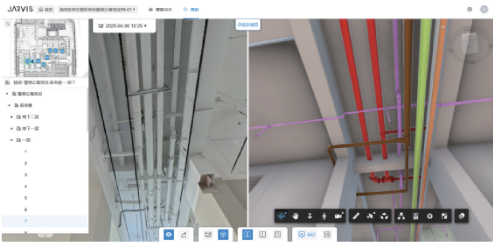


图 2 模型可视化
Fig. 2 Model visualization



图 3 进度对比
Fig. 3 Comparison of different periods

1.4 施工质量与安全管理

施工质量与安全是建筑项目的核心关注点,全景智能监管技术在这方面发挥了重要作用。利用 AI 图像识别技术,平台对施工现场的视频、图像进行实时分析,自动识别施工过程中的质量缺陷和安全隐患。例如,通过对混凝土浇筑过程的视频监控,识别混凝土振捣不密实、模板拼接不严密等质量问题;通过对工人作业区域的图像分析,检测工人是否佩戴安全帽、安全带等安全防护用品,以及是否存在违规操作行为。一旦发现问题,平台立即发出预警并通知相关责任人,并将问题记录在数字孪生模型中,便于后续跟踪整改。在项目中,可通过全景智能监管平台的质量与安全管理功能,发现并及时处理质量缺陷、安全隐患,有效提升了施工质量与安全水平,减少了事故发生率(见图 4)^[10]。

1.5 智能监管的必要性

以混凝土模块化集成建筑体系为例,该体系由在工厂制作完成的混凝土模块单元,在现场通过框架式模块的干式连接,形成模块化堆叠式框架结构;或以隔墙式模块作为模板,在现场浇筑混凝土形成混凝土模块化现浇框架建筑或混凝土模块化现浇剪力墙建筑。在现场模块吊装完成后,均需采取后浇混凝土形式进行连接及固定,组成完整建筑结构体系,同时由于装配式结构本身预制的特性,对安装精度也有着较高要求,避免造成多次大量返



a 质量管理



b 安全管理

图 4 智慧建造平台质量与安全管理
Fig. 4 Quality and safety management of construction-smart system

工形成资源浪费,因此对现场监管技术的需求日益提升,同时由于现今模块化体系应用场景多为住宅、医院、宿舍等多高层建筑,楼层高、模块数量多、栋数多造成现场监管人员可能无法同时兼顾多个地点,因此结合模块化建筑体系的要求,全景智能监管技术的重要性越来越大,它在全景实时监控 AR 鹰眼的同时,还能结合 BIM 模型、智慧建造协同平台等形成一套智能监管技术体系,从进度、安全、质量多个维度确保模块化建筑的建造^[11-12]。

2 应用案例分析

2.1 项目概况

安居景馨苑项目(原梅林路 6 号保障性住房项目)位于深圳市福田区梅林街道,用地面积 0.56 万 m²,总建筑面积 4.45 万 m²,地下 2 层、地上 30 层,包含 40,70m² 2 种户型,项目采用模块化集成建筑技术,项目建成后可为深圳市提供 696 套保障性租赁住房。

作为国内首单在高密度城区建造的混凝土模块高层住宅,项目全方位建立了新型建筑工业化体系,通过工业化建造、数字化建造和绿色化建造打通整个链条,依托混凝土模块化建造技术等全套新型建筑工业化解决方案,将 80%的现场作业转移到工厂,最大限度将建筑从工地“搬进”工厂,不但能更有效地保证项目的精细化管理,更是在“人-机-料-法-环”等方面全面提升产品质量和安全。此外,项目运用标准化户型设计升级迭代了标准化模块、微管廊、模块协同结构受力等技术。

2.2 工程特点与难点

从项目核心特性来看,其兼具“高密度城区施工”“保障性住房民生属性”“模块化与现浇混合建造”三重属性:①施工环境严苛,场地红线临近主干道且周边为居民区,施工作业时间受噪声管控限制(日均有效作业时长 $<8\text{h}$),同时需满足高标准安全文明施工要求(如扬尘控制、施工垃圾日产日清);②功能质量要求高,作为保障性住房需保障 696 户家庭长期居住体验,户内装修平整度、管线接驳密封性等精度标准远高于普通住宅;③建造体系复杂,模块化体系仅适用于标准层(占比约 80%),公共区、地下室仍采用现浇体系,形成“工厂预制-现场浇筑”并行的建造模式,需实现 2 种体系的协同衔接。

上述特性进一步衍生出三大核心管理难点,且传统技术手段难以突破:①“工期-精度”双重压力下的质量管控难,项目计划工期 427d(较同类项目缩短 30%),但现浇区域需在雨季前完成主体施工以避免返潮漏水,模块化区域模块安装精度要求高;②“混合建造”模式下的协同管理难,工厂预制模块的生产进度、运输状态与现场现浇进度、吊装计划需实时匹配,传统纸质报表传递存在 12h 以上延迟,易导致工序脱节;③“高密度场景”下的安全与效率平衡难,狭窄场地内塔式起重机吊装、现浇作业、材料运输交叉进行,传统人工巡查存在视野盲区,安全隐患识别率不足,且难以兼顾巡查效率与施工进度。

而全景智能监管技术通过“BIM+数字孪生+AI”的技术融合,可针对性解决上述难点,其应用必要性体现在 3 方面:①精准破解质量管控痛点,通过现浇区域部署温湿度传感器、模块化区域安装工业相机,实现质量问题实时监控;②高效解决协同管理难题,依托协同管理平台,将工厂模块生产数据、运输轨迹数据与现场施工进度数据同步至数字孪生模型,实现“预制-运输-吊装”工序可视化协同;③平衡安全与效率,通过全景 AR 鹰眼摄像头与 AI 行为识别算法(识别工人未佩戴安全帽、塔式起重机吊装角度超标等隐患)提升安全隐患识别率,同时通过数字孪生模拟优化施工动线,提升材料运输效率,有效缓解场地狭窄导致的效率瓶颈。综上所述,全景智能监管技术可作为保障项目按期、保质、安全交付的有效手段。

2.3 工程应用方法

在建筑设计阶段,设计师利用 BIM 软件创建三维模型,将建筑项目全生命周期内的各种信息,如几何形状、空间关系、建筑材料、设备参数、施工进

度等整合到一个可视化信息模型中,能直观展现建筑外观和内部空间,同时对不同专业(建筑、结构、给排水、电气等)的设计进行协同整合,提前发现设计冲突,避免施工阶段的设计变更。

在施工建设阶段,在施工现场每日定时部署全景 AR 鹰眼摄像头及传感器等设备,通过联通自身智慧施工平台定时采集施工进度、质量、安全及人员设备等信息,并传输到全景智能监管技术平台的数字孪生模型中。利用 AI 图像识别技术对施工质量和安全进行实时监测,及时发现并处理质量缺陷和安全隐患。

同时,通过对建筑项目各阶段数据的持续采集和存储,全景智能监管技术平台为每个建筑项目建立了完整的数据档案。从项目规划设计开始,到施工过程中的每道工序、每次材料进场,所有信息都被有序记录并关联到数字孪生模型中。这使得项目管理人员可随时回溯项目历史,精准定位问题发生的时间、地点和责任人。在施工质量问题调查中,通过平台的溯源功能可快速查看问题部位的施工过程记录,包括施工人员、使用材料、施工工艺及当时的环境条件等信息,为准确分析问题原因、制定整改措施提供有力支持。

2.4 应用效果与取得的效益

通过 BIM 与数字孪生构建的三维可视化模型,将建筑项目的复杂信息以直观易懂的方式呈现给项目各参与方,包括业主、设计单位、施工单位、监理单位等。各方人员无须具备专业的图纸解读能力,即可在平台上清晰地了解建筑的全貌、各部分细节及项目进展情况,打破了传统项目管理中由于信息不对称导致的沟通障碍。同时,基于同一数字平台,各参与方可实时共享信息、协同工作,在设计阶段共同优化设计方案,施工阶段及时解决出现的问题,提高项目整体协同效率。例如,在项目中,设计单位通过鹰眼平台将最新设计变更方案实时推送给施工单位和监理单位,施工单位根据变更内容在数字孪生模型上模拟施工过程,提前发现可能存在的施工难点,并与设计单位沟通调整,大大缩短变更处理周期,避免了因沟通不畅造成的施工延误。

通过平台的资源管理功能,实现对施工人员、材料、设备的合理调配和优化使用。在施工阶段,施工进度管理更加精准,项目实际工期比计划工期提前 1/3 完成;施工质量与安全水平大幅度提升,质量缺陷数量大幅度减少,安全事故发生率降低为 0;资源管理得到优化,材料浪费率与设备闲置率也相应降低。未来在运维管理阶段,通过物联网技术将

建筑内的各类设备接入全景智能监管技术平台,实时监测设备运行状态,利用 AI 算法进行故障预测和能耗管理优化。同时,借助平台的设施维护管理功能,对建筑设施进行全生命周期管理,提高设施维护效率和可靠性(见图 5)。

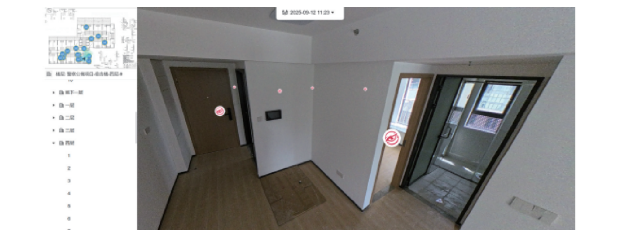


图 5 运维监管平台

Fig.5 Operation and maintenance supervision platform

3 结语

1)全景智能监管技术作为 BIM、数字孪生与 AI 技术融合的创新成果,在建筑行业全生命周期中展现出强大的应用价值。在规划设计阶段,实现了方案可视化评估、多专业协同设计优化及可持续性分析,提高了设计质量和可行性;在施工建设阶段,精准的施工进度管理、严格的质量与安全管控及高效的资源管理优化,保障了项目顺利推进,提升了项目建设水平;在运维管理阶段,设备状态监测与故障预测、能耗管理与优化及设施维护与管理功能,提高了建筑运维效率,降低了运维成本,延长了建筑使用寿命。通过实际案例分析,进一步验证了该技术能显著提升建筑项目的综合效益。

2)随着科技的不断进步,全景智能监管技术在建筑行业的应用前景将更加广阔。在技术发展方面,随着 5G、物联网、大数据、人工智能等技术的不断升级,全景智能监管技术将实现更高速的数据传输、更强大的数据处理和更精准的智能分析,进一步提升其应用性能。

参考文献:

[1] 叶浩文,苏衍江.以新质生产力推动建筑业转型发展研究与探索[J]. 工程管理学报,2024,38(3):1-5.
YE H W, SU Y J. Research and exploration on promoting the transformation and development of the construction industry with new quality productivity[J]. Journal of engineering management, 2024,38(3):1-5.

[2] 李泽乐,郭宇韬,朱怀涛,等.国内高层混凝土模块化建筑实践与探索[C]//2024 年建筑结构技术交流会——第三届粤港澳大湾区工程创新技术交流会暨项目观摩会论文集,2024.
LI Z L, GUO Y T, ZHU H T, et al. Practice and exploration of high-rise concrete modular construction in China [C]//

Proceedings of 2024 Conference on Building Structure Technology—The 3rd Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area Engineering Innovation Technology Exchange Conference & Project Observation Symposium,2024.

[3] LI Z L, GUO Y T, RAO S H, et al. On the investigation of modular high-rise concrete buildings in the Asia Pacific region: engineering application analysis and future directions[J]. Results in engineering, 2025,26:104830.

[4] 曾凡博,王晓东.模块化建筑的属性及趋势浅析[J]. 建筑技艺(中英文),2024,30(11):61-64.
ZENG F B, WANG X D. Analysis of the attributes and trends of modular architecture[J]. Architecture technique, 2024,30(11):61-64.

[5] 李峰,余龙,李浩.装配式建筑正向设计创作理论研究与实践[J]. 建筑技艺,2023,29(7):98-100.
LI F, SHE L, LI H. Theoretical research and practice of forward design creation of prefabricated buildings [J]. Architecture technique, 2023,29(7):98-100.

[6] 张士友,祝思伟.实景建模+BIM 技术在房建施工项目管理中的应用[J]. 施工技术(中英文),2024,53(19):110-115.
ZHANG S Y, ZHU S W. Application of real-scene modeling and BIM technology in building construction management [J]. Construction technology, 2024,53(19):110-115.

[7] KIM J Y, KANG S, CHO J, et al. Implementation of integrated smart construction monitoring system based on point cloud data and IoT technique[J]. Sensors, 2025,25(13):3997.

[8] 殷广庆.模块化建筑的结构设计与 BIM 技术应用研究[J]. 当代化工研究,2021(5):94-95.
YIN G Q. Structural design of modular building and application of BIM technology[J]. Modern chemical research, 2021(5):94-95.

[9] 李文钦,刘峰.点云与 BIM 数据配准在施工进度检测中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术,2025,17(2):104-110.
LI W Q, LIU F. Application on fusion of point cloud and BIM in construction progress monitoring [J]. Journal of information technology in civil engineering and architecture, 2025,17(2):104-110.

[10] 李政道,李硕,宋杏玲,等.利益相关者视角下模块化建筑质量风险管控研究[J]. 建筑经济,2023,44(S1):143-149.
LI Z D, LI S, SONG X L, et al. Research on quality risk control of modular integrated construction from stakeholder perspective[J]. Construction economy, 2023,44(S1):143-149.

[11] 侯兆新,刘兆祥,龚超,等.模块化集成建造方式及质量智能检验[J]. 施工技术(中英文),2024,53(17):47-54.
HOU Z X, LIU Z X, GONG C, et al. Modular integrated construction method and quality intelligent inspection technology [J]. Construction technology, 2024,53(17):47-54.

[12] 田璐璐,黄欣莹,雷俊,等.多模自动巡检扫描机器人在模块化建筑工业生产场景中的应用[J]. 施工技术(中英文),2024,53(12):26-29.
TIAN L L, HUANG X Y, LEI J, et al. Application of multi-mode automatic inspection robots in the field of modular construction [J]. Construction technology, 2024,53(12):26-29.