

智能建造技术在装配式建筑工程中的应用与质量控制研究

裴建

泰安市城市管理综合服务中心 山东 泰安 271000

摘要: 随着建筑行业向工业化转型,装配式建筑成为重要方向,但传统模式下其质量管控存在短板。本文探究智能建造技术的应用与质量控制路径。首先明确装配式建筑工程以工厂预制构件为核心、全流程数字化的定义与特征;随后剖析BIM、物联网、人工智能、智能制造四大智能建造技术的体系构成与核心功能;阐述了各技术在设计、生产、施工、运维阶段的具体应用;最后提出构建全生命周期质量数据体系、深化智能监测、完善协同机制三类质量控制策略。研究为智能建造与装配式建筑融合提供理论参考,助力提升工程质量与工业化水平。

关键词: 智能建造技术;装配式建筑工程;应用;质量控制

引言: 当前建筑行业面临传统模式下装配式建筑质量管控数据割裂、效率低的问题,智能建造技术为行业转型提供新路径。本文以泰安市城市管理综合服务中心实践需求为背景,先界定装配式建筑工程定义,梳理四大智能建造技术体系;再系统分析技术在工程各阶段的应用场景,破解传统管控痛点;最终提出针对性质量控制策略。

1 装配式建筑工程的定义

装配式建筑工程是指以工厂标准化生产的预制构件为核心载体,通过前期数字化协同设计、中期机械化装配施工、后期信息化运维管理的全流程模式,在施工现场将预制墙板、梁、柱、楼板等结构构件,与门窗、厨卫集成模块、管线等部品部件精准连接组装,最终形成完整建筑结构的工程类型,其核心区别于传统“现场浇筑、手工操作”模式,突出“设计标准化、生产工厂化、施工装配化、管理信息化”四大特征,能有效减少现场作业量、降低资源消耗与碳排放,是推动建筑行业从传统粗放型向现代工业化转型的核心工程形式,且覆盖从构件生产、现场装配到后期运维的全生命周期,需多环节高效协同以保障工程质量与效率^[1]。

2 常见智能建造技术

2.1 建筑信息模型(BIM)技术

建筑信息模型(BIM)技术本质是基于数字化技术、包含建筑全生命周期信息的参数化三维模型体系。其技术构成涵盖以下三大核心模块:(1)模型创建模块依托专业建模软件,通过参数化设计将建筑几何形态、材料属性、结构力学特性、设备管线布局等转化为数字化参数,形成可编辑、可计算的三维模型,区别于传统二维图纸静态呈现;(2)信息集成模块具备多源数据融合能力,纳入建筑设计、构件生产、施工进度、质量检测、

运维管理等全流程数据,实现信息结构化存储与关联,保障各阶段数据一致性;(3)协同管理模块基于云端平台搭建多参与方协同环境,支持设计、施工、构件厂、监理等主体实时访问、修改与反馈模型信息,通过权限管理与版本控制保障数据安全与流程规范。技术特性体现为可视化、参数化、协同化、全周期化,核心价值是打破全生命周期信息壁垒,为其他智能技术应用提供统一数据框架。

2.2 物联网(IoT)技术

物联网(IoT)技术体系围绕以下“感知-传输-处理”三环节构建。(1)感知层为基础,通过温度、湿度、应力、位移、振动传感器及视频监控设备,部署于预制构件、施工机械、脚手架、建筑结构关键部位,精准捕捉构件生产环境、施工受力状态、结构变形、设备运行参数等信息,数据精度达毫秒级或微米级;(2)传输层负责数据高效传递,采用4G/5G、LoRa、NB-IoT等无线技术与以太网、光纤等有线技术结合的方式,低功耗广域网(LPWAN)因覆盖广、功耗低,适用于施工现场复杂环境下远距离传输;(3)处理层通过边缘计算与云计算结合处理数据,边缘设备在现场实时筛选、过滤与简单分析数据,减少无效传输量,云计算平台则存储海量数据并深度处理,为后续应用提供支持。其核心是构建“物理实体-数字空间”映射通道,实现工程全流程实时感知与动态监控。

2.3 人工智能(AI)技术

人工智能(AI)技术是智能建造中实现“数据驱动决策”与智能化分析的核心技术,应用依托以下机器学习、计算机视觉、自然语言处理三大分支。(1)机器学习通过算法模型分析工程海量数据,涵盖监督学习(回归分析、分类算法)、无监督学习(聚类算法、异常检

测)、强化学习(施工路径优化),经历史与实时数据训练,使模型具备自主优化与决策能力;(2)计算机视觉基于图像识别与视频分析算法,处理现场图像或视频数据,通过卷积神经网络(CNN)等深度学习模型提取关键特征,实现预制构件外观缺陷、人员安全违规、机械运行状态自动识别;(3)自然语言处理对设计规范、施工日志、合同文件等文本数据进行语义分析与信息提取,实现文档智能化分类、检索与合规性审查。核心价值是将经验性决策转化为数据驱动的精准决策,提升工程管理智能化水平。

2.4 智能制造技术

智能制造技术体系涵盖以下智能生产装备、数字孪生、生产过程管控系统三部分。(1)智能生产装备为硬件基础,预制构件生产环节包含自动化生产线(预制混凝土墙板、钢结构焊接机器人生产线)、智能搬运设备(AGV无人搬运车、智能起重机)、自动化检测设备(构件尺寸激光检测机、钢筋间距自动测量仪),通过可编程逻辑控制器(PLC)与数控系统精准控制动作,减少人工干预;(2)数字孪生构建生产车间虚拟映射模型,将设备运行参数、生产进度、质量检测数据实时映射至虚拟模型,实现生产过程可视化监控与模拟优化,提前发现流程瓶颈;(3)生产过程管控系统基于制造执行系统(MES),实现预制构件生产计划、原材料采购、生产工序、质量检测、成品出库全流程数字化管理,通过与BIM模型、物联网设备数据对接,确保生产信息与施工需求实时匹配,实现“按需生产”与“精准交付”^[2]。

3 智能建造技术在装配式建筑工程各阶段的具体应用

3.1 设计阶段的智能建造技术应用

设计阶段智能建造技术围绕“参数化建模、多方协同、全维度优化”深度融入设计全流程。建筑信息模型(BIM)技术作为核心工具,通过参数化设计平台搭建建筑整体三维模型,将户型布局、构件尺寸、墙体厚度等基础几何信息转化为可编辑参数,同时嵌入预制构件的生产工艺要求、施工安装约束及后期运维需求(如管线检修通道),确保设计方案适配工厂生产与现场装配流程。在多参与方协同层面,BIM协同平台支持设计单位、构件厂、施工企业等通过云端权限接入模型,各方基于同一数据基准开展工作,设计单位上传构件拆分方案后,构件厂可结合生产线规格提出尺寸调整建议,施工企业能针对吊装条件优化构件重量与连接方式,减少后期返工。人工智能技术参与设计优化,通过算法对构件类型、规格进行统计归类,筛选重复率高的构件纳入

标准化构件库,提升项目构件标准化率;同时借助碰撞检测算法,对建筑结构与机电管线、设备安装空间进行全维度数字化模拟,识别空间冲突点并生成优化方案,保障设计方案的可操作性。

3.2 生产阶段的智能建造技术应用

生产阶段智能建造技术通过“自动化作业、全流程感知、数字化管控”实现构件生产工业化。在自动化生产方面,智能制造技术中的专用自动化生产线贯穿全工序:钢筋加工环节,数控设备根据BIM模型参数自动完成钢筋弯箍、切断,机器人臂将钢筋骨架精准放入模具;模板拼装环节,可编程逻辑控制器(PLC)控制模板开合与定位,确保尺寸误差在毫米级;混凝土浇筑环节,自动化设备按预设配比浇筑,振捣机器人保障混凝土密实度;养护环节,智能养护窑自动调节温湿度与养护时长,避免人工养护的不稳定性。物联网技术构建全流程数据采集网络,在生产设备上部署振动、转速传感器,采集振捣频率、设备转速;在模具上安装压力、温度传感器,监测浇筑压力与养护温度;在构件表面粘贴应变传感器,记录成型过程应力变化;所有数据通过5G或LoRa网络实时传输至云端管理平台,形成构件生产数据档案。数字孪生技术搭建生产车间虚拟镜像,将设备运行状态、生产进度、质量检测数据实时映射至虚拟模型,管理人员可直观查看生产情况,及时调整异常;结合制造执行系统(MES),对生产计划、原材料采购、检验记录、出库信息进行数字化录入,为每个构件生成唯一标识,为后续质量追溯提供数据支撑。

3.3 施工阶段的智能建造技术应用

施工阶段智能建造技术聚焦“精准装配、实时监测、动态协同”保障施工质量与安全。在精准装配层面,BIM技术与AR增强现实技术融合:施工前,技术人员将构件安装位置、节点连接工艺、吊装路径导入AR设备;施工时,作业人员佩戴AR设备,现场叠加三维模型指引标识,显示精准安装坐标、对接间隙要求及吊装轨迹,避免传统经验导致的安装偏差。物联网技术构建施工现场监测网络:在预制构件上粘贴位移、应力传感器,采集吊装受力与安装后位移数据,超阈值时实时预警;在脚手架、高支模上部部署倾角、压力传感器,监测结构变形与荷载,防范坍塌风险;在塔吊、施工电梯上安装重量、倾角传感器,监控起吊重量与塔身倾斜度,避免超载;施工现场高清视频监控结合计算机视觉技术,自动识别人员未戴安全帽、构件堆放违规等行为,识别后立即提醒,辅助安全管理。BIM协同平台实时接入施工进度数据,对比实际与计划进度,生成偏差报表;

出现问题时自动计算工期影响,推送资源调整建议;智能施工机器人承担精细化作业,如定位校准机器人通过激光测距调整安装精度,密封胶涂刷机器人按轨迹作业,提升效率与质量稳定性。

3.4 运维阶段的智能建造技术应用

运维阶段智能建造技术通过“长期监测、智能管理、预判维护”延长建筑寿命与优化体验。在长期监测层面,物联网技术构建运维数据采集体系:在建筑主体结构关键部位嵌入光纤、应变传感器,监测荷载、温度、地震下的应力与变形;在机电设备上安装电流、温度传感器,采集运行电流、温度、噪音;在预制构件连接处部署湿度传感器,监测渗水风险;所有数据通过物联网网关传输至运维管理平台,实现24小时实时监控。BIM技术构建运维专属模型,整合设计阶段构件参数、施工阶段安装记录与检测报告,关联运维中的设备检修记录(时间、部件、故障)、能耗数据、构件维护信息,形成全生命周期信息档案;管理人员点击模型即可查阅历史数据,辅助决策。人工智能技术分析运维数据,通过算法识别异常趋势:如设备电流升高预判故障,结构应变异常预警病害,提前推送检修提醒;结合智能能耗管理系统,动态优化设备运行模式,如按人员数量调空调、按峰谷时段调设备时间,降低能耗。数字孪生技术搭建运维虚拟模型,将实时监测数据同步映射至虚拟场景,管理人员直观查看运行情况,如设备故障时虚拟模型显示标识并关联区域温度变化,辅助制定维护方案,提升运维效率^[3]。

4 智能建造技术下提升装配式建筑工程质量控制的策略

(1) 构建全生命周期质量数据集成体系,依托BIM技术打通设计、生产、施工、运维各阶段数据壁垒,将构件设计参数、生产过程检测数据、施工安装记录(如节点连接质量、吊装应力数据)、运维监测信息统一纳入数字化平台,实现质量数据的结构化存储与关联,确保各环节质量信息可追溯、可核验,同时建立数据更新机制,实时同步质量变动情况,为质量管控提供完整数据

支撑。(2) 深化智能监测技术在关键环节的应用,在构件生产阶段,部署物联网传感器实时采集生产环境温度湿度、振捣频率、养护时长等参数,结合AI算法自动识别参数异常(如温度波动超标、振捣不足),及时触发调整指令;施工阶段,利用计算机视觉技术对构件外观缺陷(裂缝、露筋)、节点连接质量进行自动检测,搭配应力传感器、位移传感器监测结构受力与安装精度,实现质量问题的实时捕捉;运维阶段,通过数字孪生模型映射建筑实时状态,动态追踪构件与结构的质量变化,形成“实时监测-异常预警-闭环处理”的质量管控流程。

(3) 完善多参与方协同质量管控机制,基于云端协同平台搭建设计、生产、施工、监理、建设单位共同参与的质量管控体系,明确各方在智能技术应用中的质量职责,设置质量数据共享权限与审核节点,确保各主体可实时查看质量信息、反馈问题;同时建立智能质量评价标准,结合BIM模型与监测数据制定量化质量指标,统一质量判定依据,减少人为主观判断误差,提升质量管控的规范性与一致性^[4]。

结束语:本文通过系统研究,分析了装配式建筑工程的核心特征、四大智能建造技术的应用逻辑,及各技术在工程全阶段的落地路径,形成多维度质量控制策略。成果可有效打破装配式建筑信息壁垒,提升质量管控精准性。未来可进一步探索智能建造技术与绿色建筑、智能运维的深度融合,完善相关标准体系,推动装配式建筑工程向更高效、更可持续的方向发展。

参考文献

- [1]宋晓静.智能化施工技术在装配式建筑工程施工管理中的应用研究[J].模型世界,2025(14):228-230.
- [2]刘珍珍,黄仁惠.智能化施工技术在装配式建筑工程施工管理中的应用研究[J].佛山陶瓷,2025,35(1):173-175.
- [3]陈景镇,李基海,刘新刚,等.智能建造技术在装配式住宅建筑中的应用与研究[J].智能建筑与智慧城市,2025(6):144-146.
- [4]周慧.装配式建筑施工技术质量控制措施[J].建筑与施工,2023,2(23):73-74.