

基于智能建造技术的装配式建筑施工要点探究

宁胜利

(上海城建市政工程(集团)有限公司, 上海 200232)

摘要 智能建造是现代绿色高质量建筑发展的重要方向, 装配式建筑与智能建造紧密结合, 成为建筑领域转型升级的重要驱动力。为解决传统装配式建筑施工管理中存在的设计协同效率低、构件管理粗放、现场控制精度不足等问题, 本文以装配式建筑施工全过程为研究对象, 分析智能建造技术内涵、应用价值与核心构成, 从数字化引领、智能作业、全流程质量追溯三个层面重构施工组织思路, 并重点对智能放样、智能吊装、节点智能连接三大关键工序的技术原理、施工要点与控制要求进行深入剖析, 旨在提升装配式建筑施工效率与质量, 降低成本与安全风险, 为建筑产业绿色高质量发展提供参考。

关键词 智能建造; 装配式建筑; 数字化施工; 质量控制

中图分类号: TU74; TP273

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.13.008

0 引言

随着人工智能、BIM、物联网、智能装备等技术的快速渗透, 智能建造作为新一代工程建造方式, 通过数据驱动、智能感知、自动控制与决策优化, 重构了建筑全生命周期的生产关系与作业模式, 为解决装配式建筑传统施工痛点提供了全新的技术路径。智能建造不仅能够实现施工过程的精准化、高效化与安全化, 还可推动装配式建筑从构件预制化向系统集成化、施工智能化方向升级, 对提升工程品质、降低综合成本、保障施工安全具有重要的意义。

1 智能建造技术概述

1.1 定义

智能建造技术属于综合性技术体系, 由人工智能、自动化控制、BIM等技术组成, 能够精准感知现场施工情况, 替代人工完成复杂的操作任务, 并自动检测施工成果质量是否符合工程建设标准, 实现了施工模式从劳动密集型升级为技术密集型。同时, 智能建造技术应用范围并不局限于现场施工阶段, 而是完整覆盖建筑全生命周期, 如在设计阶段通过仿真施工消除设计缺陷, 在运维阶段诊断设备/构件健康程度, 降低建筑综合能耗水平^[1]。

1.2 应用价值

智能建造技术特性高度适配装配式建筑施工需求, 相比传统施工模式, 智能建造模式的应用价值体现在以下方面: 其一, 精度提升。通过部署智能设备, 替

代人工完成精度要求严格的操作任务, 如构件对位调整和测量放样, 智能设备基本不存在操作误差。其二, 效率提升。针对关键工序环节推行智能施工技术, 如在节点连接工序配备智能灌浆设备, 取代低效的人工操作方式, 预计可以进一步节省15%~30%工期时间。其三, 安全作业。针对构件吊装等高空作业, 在塔吊上部署智能控制系统, 按照预定路径, 将预制构件匀速起吊至安装面上方, 精准感知并避让障碍物, 确保吊臂回转幅度等参数始终处于安全区间, 有效预防高处坠落等安全事故发生。

1.3 核心技术

其一, BIM技术作为智能建造核心载体, 根据工程信息, 参数化构建三维模型, 可视化呈现施工过程, 提供构建坐标、安装要求在内的精准施工数据。其二, 智能装备技术, 即为新一代智能施工系统, 如智能吊装系统、智能放样系统, 替代人工高精度、高效率开展操作任务。其三, 物联网监测技术, 在施工现场部署高精度传感器, 以重要工艺参数为监测内容, 如构件安装姿态、节点钢筋锁紧扭矩, 为智能决策提供数据支撑。

2 基于智能建造技术的装配式建筑施工思路

2.1 数字化引领

装配式建筑依托工业化、数字化集成工艺, 应以数字化引领为核心施工原则, 通过参数化构建与现场工况高度匹配的BIM模型, 在虚拟环境中开展全过程施工模拟, 提前识别设计冲突、工序矛盾及施工风险,

作者简介: 宁胜利(1990-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 建筑施工(施工技术)。

形成隐患清单并对设计方案、施工方案进行迭代优化。同时，将模拟过程制作成可视化动画，作为技术交底核心资料，确保施工人员准确理解施工意图、熟练掌握工艺要点。具体如下：其一，流程仿真，关联 BIM 模型和施工进度计划，按顺序模拟全部工序环节，对比各道工序实际完工时间和计划时间，适当调整进度计划，相邻工序间预留适当时间，预防工序脱节^[2]。其二，冲突排查，统计虚拟仿真施工期间出现的全部专业冲突、工序冲突问题，针对性调整施工顺序和现场布局方案，常见问题包括 PC 构件与脚手架碰撞、吊装路径存在障碍物、塔吊吊臂运动路径相互干涉。其三，人员培训，利用 VR 设备，引导施工人员沉浸到虚拟施工环境，实操开展测量放样、构件吊装、对位调整、节点连接等操作步骤，提前熟悉智能设备操作方法。

2.2 智能作业

在人工操作模式下，装配式建造常形成操作误差，即为施工偏差，如放样误差超标、PC 构件水平位置与垂直度误差超标、套筒内部灌浆不饱满等。为解决上述问题，需推行智能作业模式，在现场配备大量智能装备替代传统工程机械，主要面向精度要求严格的重点工序，如测量放样、构件对位调整和节点连接，以及构件吊装、材料搬运等作业强度较高的工序环节，仅需施工人员提前设定工艺参数和监督作业过程，必要情况下可人工介入控制。

2.3 全流程质量追溯

智能建造技术作为一项新型管理工具，能够全面采集工程质量相关信息，包括构件生产数据、运输数据、现场施工数据和质量检测数据，集成处理多源异构数据，智能识别潜在故障隐患，问题反馈给管理人员和施工班组，争取在质量问题爆发前，把质量隐患消弭于无形。质量问题发生后，直接从 BIM 平台上调度相关数据，回溯问题出现过程，找准问题症结，协助施工班组科学制定返工整改方案。

3 基于智能建造技术的装配式建筑施工工艺

3.1 智能放样

智能放样技术是在施工现场部署全站仪机器人和激光放样仪，摒弃人工放样方式，测量人员仅需把智能放样设备部署就位，输入基准点坐标值等基本信息，无人工干预情况下，自动完成构件安装点位、标高控制线和轴线标记测设作业，人工复核测量成果，即可在短时间内完成测量放样作业，保证放样精度达标。从一线实操角度来看，在智能放样环节，重点掌握放样区域清理、设备校准放置、实操复核三方面的工艺要点，具体如下。

1. 放样区域清理。提前清理放样区域垃圾杂物和障碍物，以场地平整、无遮挡物作为合格标准，确保放样作业工程免遭干扰。同时，携带墨线、标记桩和卷尺等辅助工具，智能放样设备投射精准点位后，测量人员在目标位置快速标记或是弹设控制线，如沿着激光投射轴线方向弹出连续墨线，要求墨线宽度小于 2 mm，把墨线作为墙体、梁柱安装轴线^[3]。

2. 设备校准放置。放样区域部署支架，支架上平稳放置智能放样设备，利用自带装置和提前准备的校准工具，按照设备操作说明书，对智能放样设备进行水平校准和垂直校准处理，并在现场挑选若干已知控制点，操控智能放样设备复核控制点坐标，根据偏差程度来判断设备校准效果。各项目控制指标如表 1 所示。在正常工况下，以水平误差小于 ± 0.1 mm、激光误差小于 ± 0.5 mm 作为合格标准。

表 1 智能放样设备校准与点位控制指标

控制项目	允许偏差	检测方式	合格判定
水平校准误差	$\leq \pm 0.1$ mm	仪器自校	单次达标
激光投射误差	$\leq \pm 0.5$ mm	基准点复核	连续 3 次达标
轴线点位误差	$\leq \pm 2.0$ mm	全站仪复测	单点 ≤ 2 mm
标高控制线误差	$\leq \pm 1.0$ mm	水准复核	全线均匀

3. 实操复核。智能放样结束后，测量人员多点复核放样成果，单个点位复核次数不少于 3 次，取各次结果平均值来判断点位误差是否超标。如果点位误差大于 ± 2 mm，必须调整智能放样设备参数，重新开展放样作业。复核通过后，关闭设备电源，分类存放智能放样设备、校准工具以及辅助工具，同步编写《智能放样实操记录》，注明放样时间、部位以及复核结果，纳入施工档案。

3.2 智能吊装

智能吊装技术是智能建造技术和智能吊装设备的融合产物，提前在控制系统内导入吊装方案，AI 算法将方案内容转换为控制指令，自动化完成构件吊装作业，将 PC 构件精准悬停在安装面上方，以路径优化和防碰撞保护作为核心功能。按照构件安装位置、吊装设备参数以及施工现场障碍物分布情况，自动规划有效避让障碍物、吊装距离相对最短的吊装路径，无需施工人员手工设定吊装路径。另外，在吊臂末端和已安装构件等障碍物上部署高精度定位传感器，构件吊装期间，精准计算吊臂和周边障碍物间隔距离，如果实际距离小于预设安全值，暂停吊装作业，重新规划吊装路径^[4]。

以“全程技术赋能”作为施工准则，最大限度减轻人工干预程度，重新规划操作流程。施工人员提前检查智能吊装设备、吊索吊具和PC构件，确认吊装设备使用功能正常发挥、吊索吊具无破裂磨损问题、构件尺寸精度合格且不存在质量缺陷后，即可正式开展吊装作业。智能吊装系统内输入构件安装坐标、吊装高度、现场障碍物定位数据等相关信息，同步设定吊装速度、防碰撞安全距离等工艺参数的标准值。人工操控吊装设备移动到构件堆场，利用吊具校准功能，调节吊具角度，直至吊具精准对齐PC构件预设吊点位置，施工人员拧紧吊具螺栓，检查紧固程度。准备工作完成后，向控制系统下达启动指令，把构件原地提升至预设高度，按照锁定路径匀速移动到安装面上方，并在接近安装点时降低吊装速度，启动对比辅助功能，凭借激光定位装置，测量调整构件位置，经过调整后的构件位置误差、标高误差小于 ± 1 mm。最终由施工人员接管吊装设备控制权限，把构件下落就位，设置临时固定设施，拆除吊索吊具，即可完成单次吊装任务。

3.3 节点智能连接

节点连接精度要求更甚于PC构件，节点连接效果理想与否，直接关系到装配式建筑整体结构性能与稳定系数。主流节点连接形式包括套筒灌浆连接和钢筋自锁连接，在人工操作模式下，分别存在灌浆不饱满和钢筋连接效率低下的施工难题。对此，需要重点引入节点智能连接技术，对现有工艺做法进行升级改进，以智能控制灌浆和多根钢筋自锁连接作为升级方向，根据节点构造特点，手动设定灌浆压力标准值，闭环控制套筒灌浆过程，精准调整灌浆压力，并在注浆量达标、实际灌浆压力超过预设值后，表明缝隙完全填充灌浆料，自动结束灌浆过程。在连接设备内嵌入智能锁紧模块和扭矩控制模块，基于钢筋规格，提前设定锁紧扭矩参数，精准调节锁紧力度，一次性完成多根钢筋自锁作业^[5]。

1. 智能灌浆。现场部署智能灌浆设备，出料口连接灌浆管道，按照施工要求设定各项工艺参数，具体控制标准如表2所示。

表2 智能灌浆关键工艺参数

参数名称	设定值	允许范围	控制方式
灌浆压力	0.4 MPa	0.3 ~ 0.5 MPa	自动闭环调节
灌浆速度	0.5 L/s	0.4 ~ 0.6 L/s	流量实时监测
搅拌时间	4 min	3 ~ 5 min	设备定时控制
灌浆终止条件	溢浆 + 稳压	压力 ≥ 0.4 MPa	传感器联动判定

在正常工况下，灌浆压力设定为0.4 MPa，灌浆料搅拌时间设定为3 ~ 5 min，灌浆速度设定为0.5 L/s。准备工作完成后，正式开展套筒灌浆作业，按照从下到上顺序，逐一向预留套筒内部灌注浆液，实时监测灌浆压力、排气流量，动态调整灌浆参数。直至节点接口灌浆孔向外溢出浆液、灌浆压力稳定高于标准值、传感器显示无排气流量后，即可终止灌浆作业，拆除灌浆管道，冲洗管道和灌浆泵残留浆液，节点部位静置2 ~ 4 h，等待灌浆料凝结。

2. 多根钢筋自锁连接。施工现场部署智能钢筋自锁连接设备，控制系统内导入BIM模型，自动设定钢筋对接参数，包括钢筋插入深度、钢筋对接位置等，可视化展示钢筋对接基准线，并在节点对接位置上放置待对接钢筋，采取激光定位手段来测量调整钢筋位置，必须保持钢筋轴线对齐状态，轴线误差不得超过 ± 1 mm。启动智能钢筋自锁连接设备，缓慢向前推动钢筋，引导钢筋接头匀速插入套筒内部，跟踪监测插入深度，确认实际插入深度抵达前期标记深度线后，自行锁定钢筋位置，锁紧扭矩和设计值保持一致。如果检测到实际锁紧扭矩低于设计值，发送报警信号，提醒施工人员再次启动锁紧模块。重复上述步骤，完成剩余节点部位的钢筋对接、套筒安装以及智能锁紧作业。

4 结束语

智能建造技术赋能装配式建筑工程高质量发展，是建筑行业的一致共识，也是实现高效施工目标的基础。建筑企业和从业人员都应聚焦一线施工视角，深入了解智能建造技术体系，立足于真实施工需求，重新构建装配式建筑施工体系，熟练掌握以智能放样、智能吊装、节点智能连接为代表的全新工艺，为工程建设质量提供技术保障。

参考文献：

- [1] 陈前亮. 基于智能建造的装配式建筑施工关键技术研究与应用[J]. 住宅与房地产, 2025(17):56-58.
- [2] 郑鑫宇. 基于智能建造的装配式建筑施工关键技术研究[J]. 建筑与预算, 2024(09):52-54.
- [3] 刘京辉, 刘小筠. 基于智能建造技术的装配式建筑施工关键技术研究[J]. 绿色建筑与智能建筑, 2025(04):52-55.
- [4] 刘锐, 王勇, 杨兴, 等. 智能建造技术在装配式建筑施工现场的应用效果分析[J]. 科技创新与生产力, 2025, 46(09): 100-102, 107.
- [5] 赵本省. 基于智能建造的装配式建筑施工关键技术研究与应用[D]. 郑州: 郑州大学, 2020.