

基于智能建造的装配式建筑施工关键技术研究与应用

文 / 曾德伟 新七建设集团有限公司

摘要:我国信息技术水平和我国各行各业的快速发展,装配式建筑施工关键技术应用是主要工作。目前,传统的建筑方式正面临巨大的挑战,装配式建筑作为一种新型的建筑方式,因其高效、环保、节能等优势,正逐渐成为建筑领域的重要发展方向。装配式建筑的工厂化生产和装配化施工为智能化技术的应用提供了有利条件,通过智能化手段,可以进一步提高施工效率和质量,使得装配式建筑能够实现更多的功能和服务。分析智能建造技术在施工组织 and 具体施工中的应用,研究成果可广泛应用于装配式建筑中。

关键词:智能建造;装配式建筑;施工关键技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.05.021

引言

预制构件整个生命周期的全过程数据链,推进了智能建造与建筑工业化的协同发展,基本实现了预制构件的自动化、信息化和智能化施工,在节能降耗、风险降低与提升质效方面的成效较为显著,可为其他类似项目提供借鉴。

一、智能建造技术应用优势研究

智能建造是一种以高新技术为支持的新颖建造方式,其主要是将物理信息技术为核心,来进行智能工地的构建,以面向建筑施工全过程进行动态化、全面化的管理,在装配式建筑施工,通过此项技术的有效应用,可以营造良好的施工条件,进一步完善与优化固有的工程施工模式。现阶段,随着我国现代化信息技术的快速发展,诸多新兴技术应运而生,受这些技术的影响,传统的施工工艺出现了较大变化,特别是智能化、云计算以及计算等技术的应用,明显加深了人力和机械间的联系,因此使得工程施工效率大幅度提升,有效转变了过去建筑施工中效率低下、环境污染严重、建造方式落后、安全隐患较多等问题,推动建筑施工不断向着绿色环保节能方向发展。另外,智能建造技术在装配式工程施工中的科学应用,不但可以让不同学科、专业间具备更强的关联性,而且还能够更大程度上共享数据信息,因此可以保证构件安装的精准性,避免误差较大的现象出现。不仅如此,在工程正式施工之前,还可以利用智能建造技术来展开模拟演示,之后再依据工程实际情况来不断优化与调整施工方案、管理方案,这样一来,便能够为装配式工程施工的高效、高质开展,提供有力支持。

二、智能建造的装配式建筑施工关键技术应用措施

(一) 自动化生产

采用基于SYMC和以太网的PMS中央控制系统的自动化流水线生产系统,集成自动导入设计模型、快捷布模计算、生产数据采集与监控和信息共享等功能,能够降低人工成本、提高信息采集的及时性,并可实时显示监控各工位状态,实现生产线的全自动流转控制。该系

统具有故障自动诊断、人员行动捕捉等功能,确保安全生产,规范预制构件制造厂的生产管理流程。预制构件自动化生产流程主要涵盖清理底模、喷脱模剂、组装模板钢筋骨架、安放钢筋预埋件、混凝土浇筑与振捣、刮平、抹面、养护、脱模等环节。其中钢筋加工数控钢筋弯曲机器人,实现钢筋的弯曲、切割全自动,通过自动化设备配备的传感器和检测系统,以确保钢筋加工的精度和质量。①机器开启自动清扫,通过脱模剂自动喷涂机系统的控制,实现脱模剂的自动喷涂,确保喷涂质量均匀稳定;②无线遥控布料的方式使混凝土布料更加精准。通过设置合理的移动路径和移动速度,可减少混凝土下料过多造成的浪费,通过设置合理的振捣时间和频率,确保PC构件的质量;③振捣完成的预制构件通过模台输送到养护窑内,根据预设的养护时间(通常为8h),自动完成养护构件的养护过程。重要步骤如图1所示。

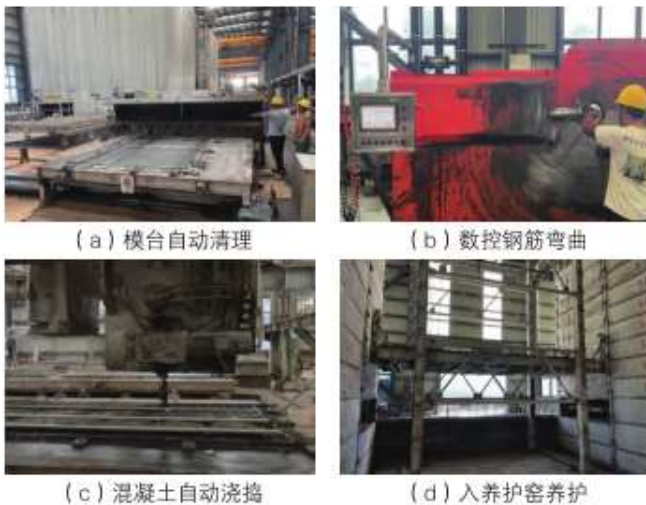


图1 预制构件自动化生产关键步骤

(二) 架体提升

预制构件吊装灌浆24h后,将预制墙体位置第三道附墙导向支座安装完成,待防护层浇筑完成后,剩余附墙导向支座安装完成。将吊点螺栓放置在附墙吊挂座

上，预紧提升电动葫芦链条并检查所有电动葫芦转向是否一致，检查上吊挂件附着情况、吊环吊钩情况、下吊点桁架与架体及导轨连接情况等。检查完成后，清理走道板垃圾、杂物以及阻碍提升的物体，翻板上翻至走道板。防护层浇筑至上层铝模拼装完成前，架体整体提升，当导轨底部提升至离开最底部支座后，停止提升，同时拆除该附墙导向支座，拆除后继续提升至作业面。架体提升至指定位置后，导向支座卸荷顶撑器到位，检查防坠器等确认无误后，放松所有链条，翻板保持密封状态。

（三）预制楼梯施工

在预制楼梯的施工过程中，施工团队的注意力应集中于五个关键环节：吊装操作的精确执行、安装精准确度的提升、灌浆施工的技术应用、成品维护，以及分段施工策略的实施。为了确保安装精度，施工人员需密切关注现场环境，特别是风力因素，因为风力可能影响施工进度。一旦风力超过六级，应果断暂停作业以保障安全。安装后的楼梯，通过细致地使用砂浆填充梯梁接缝，防止后续的位移问题。在灌浆前，务先用清水清理接缝，再以1：1的比例混合水泥砂浆填充。在成品保护阶段，对踏步平面，项目采取覆盖木胶板的方式，而楼梯侧面则采用薄膜贴附的方式，双重保护措施确保楼梯的完整无损。在分段施工策略中，质量控制和进度管理尤为关键。对于大跨度梯段板，建议先在工厂预制成组件，再到现场进行组装，这样既保证了施工质量，也符合预定的工期目标。智能化技术的应用贯穿整个预制楼梯的搬运、定位和构件连接过程。在一般住宅建设中，阳台板作为重要组成部分，其施工的智能化程度直接影响着当前智能建造技术的发展和优化。因此，阳台板的处理是智能建造技术中的核心控制点。

（四）人工智能及机器学习技术

人工智能（AI）及机器学习（ML）技术是当今科技领域的热门技术，在建筑智能化中的应用日益重要。人工智能技术使计算机和机器能模拟人类的思考和学习过程，进行数据分析、识别，并作出决策；机器学习技术是人工智能技术的一个分支，使计算机系统能通过数据分析和算法学习改进自身性能。在建筑智能化中，人工智能及机器学习技术应用于智能安防、能源管理、设备维护等方面。例如，通过机器学习算法，安全监控系统能更准确地识别异常行为和潜在威胁；能源管理系统利用AI进行预测分析，优化能源使用并减少浪费；通过分析历史数据和实时监控数据，AI可以预测设备故障，实现预防性维护，减少停机时间。人工智能及机器学习技术的应用显著提高了建筑智能化的效率，例如，智能办公大楼通过使用AI能源管理系统，显著降低了能源消耗。然而，这些技术的应用也面临着数据隐私、算法偏见和成本高昂等挑战，为解决这些问题，需要制定严格的数据管理政策，进行算法审计，并探索效益更高的解

决方案。

（五）建设进度模拟

对工程建设进度展开模拟与分析，是整个前期预备工作的最关键环节，也是预备工作的最终关卡。在实际的进度模拟进程中，笔者建议工作者可以于两个方面入手分析，第一个方面为经济性，第二个方面为操作便利性。首先，工作者应该做好建设进度的计划编设，在预备工作之前借助立体模型分析并研究工程进度以及方案的落实情况，同时导入NAVISWORKS，在此基础上进行整体化视角的模拟处理，同时还可以借助微软PROJECT来对工程建设进度展开模拟，有效编设施工进度计划。其次，工作者需要做好细致完备的进度模拟，在立体模型构建作业进行完成以后，应该对方案计划内容进行有效的动态性展示，以此来清晰明确地体现工程建设意图，重构任务层次与内容，形成全新的任务列表。通过笔者多年工作经验发现，一部分建材在不不同的光线环境之中，也会形成完全不同的展示效果，因此工作者就需要预备好不同的光源呈现展示。工程模拟进程中还应该展示出真实精准的建设日期、施工环境，以此便于工作者更加快速高效地与实际施工场地有效比对，从而发挥出节省资金费用、缩减建设周期的效果。图2构件安装进度实时监控。如所有模型全部于相同画面之中统一展示，一部分像素清楚性较差，抑或是产生了局部被遮盖问题。总体来说，在装配项目预备环节必须展开有效的监管管控，形成全体职工管控思想，高效利用智能性与信息性技术，有效地对作业流程展开预设与管理。



图2 构件安装进度实时监控

（六）预制外墙的施工

第一，施工前期准备。将生产制作好的预制构件运送到施工现场，并进行现场检查，然后将检查合格的预制构件堆放在施工现场，在以上过程中，应用BIM技术与RFID技术，可以对预制构件进行跟踪管控。在预制构

件的出厂过程中，对运输车辆中安装的RFID芯片进行扫描，可以向协同管理平台上传预制构件的出厂信息，便于施工管理人员及时了解与掌握预制构件车辆的运输情况。当运输车辆进入施工现场以后，施工管理人员可以及时通知有关人员来现场检查与验收预制构件的质量，根据施工现场规定，在规定位置处堆放验收达标的预制构件。为保证预制构件信息的实效性真实性，应在RFID芯片中录入预制构件的到场信息。为保证底部钢筋位置的精准性、顺利安装预制外墙，应校核与调整灌浆连接钢筋的位置，可通过应用定位钢板对灌浆连接钢筋位置进行校核与调整。第二，吊装预制外墙。应用RFID芯片中储存的信息对墙体中的二维码进行扫描，可以迅速获取预制外墙的位置、尺寸与型号，从而精准吊装预制外墙。对于预制外墙的吊装速度来说，信号工和塔吊司机二者之间的默契度是一个重要的影响因素。在吊装预制外墙至指定位置以后，就可以开始安装预制外墙。施工单位需要更提前调整预埋的控制螺栓，保证控制螺栓标高的精准性，然后根据斜撑，合理调整预制外墙的垂直度与位置。在三维立体模型中，可以直观展示这些斜撑的位置，若出现交叉碰撞等问题，也能够及时调整斜撑的位置。第三，保温塞缝。在两面预制外墙的节点位置处进行保温塞缝，同时粘贴自粘型防水卷材；为避免产生冷缝，应当应用保温材料填补预制外墙交接位置处。在浇筑混凝土过程中，如果预制外墙外顶立缝被混凝土浆料污染，则会对后期密封胶的施工造成较大的影响，为避免以上问题出现，在保温材料填补结束以后，施工单位还应跨缝粘贴自粘型防水卷材。

（七）装配式建筑智能建造在可视化交底上应用

装配式建筑施工过程可视化交底是通过图形、图表、三维模型等可视化工具和技术，将项目或工程的相关信息、流程、规范、标准等以直观、易懂的方式呈现出来，以便于团队成员更好地理解、掌握和执行。可视化交底的方法和技术主要有3类，分别是三维模型技术、虚拟显示技术和动画演示。三维模型技术利用BIM（建筑信息模型）软件，建立真实比例的建筑模型，并进行各种操作和分析。通过三维模型，可以直观地展示施工过程中的各个环节，帮助施工人员更好地理解施工要求；虚拟现实技术可在BIM模型的基础上通过计算机生成虚拟的三维场景，让使用者可以身临其境地感受到真实的物理环境，装配式建筑施工中，虚拟现实技术可以用于模拟整个建筑过程，对施工流程进行预演和调试，呈现施工过程的虚拟仿真，可提前发现和解决施工中的问题和风险，提高施工效率和质量；BIM技术可以生成生产工艺动画演示，对于关键施工环节或复杂操作，可以制作动画演示，将施工步骤和操作要点以动态的形式展现出来，这种方式更加直观易懂，有助于施工人

员快速掌握操作技巧。以隔震层技术交底为例，通过Revit创建精细化BIM抗震支座族（包括钢筋、定位板、锚杆），策划布置完成后通过Revit直接出施工图、三维效果图、工程量统计、方案优化，加强族库管理，以便在后续项目中可以快速调用。最后，通过运用三维可视化交底、二维码查阅等方式，对每道工序施工时查漏补缺，及时将模型和现场实际对比，方便管理人员及工人复核，保证施工质量。优化支座安装工艺，减小了隔震支座的安装难度，极大提高了工程的工期、安全、质量等。

（八）系统装备研发

在对装配式建筑智能管理软件设计完成后，还必须将智能技术有效的融入生产管理系统之中，并不断提高系统设备的整体应用效果，唯有如此，才可以在后续实现生产软件与硬件的合理搭配，最终有效提高企业的生产效率与生产质量。在管理软件具体采集信息环节，要注重对信息的加工效果，将加工与处理后的信息输入到生产系统之后，要保证管理系统可以详细的解析数据内容，进而将其转化为自动生产装备能够识别的生产信号。与此同时，装配式建筑工程中还涉及钢筋加工操作，让系统装备在工作环节主动进行钢筋加工，还可降低钢筋加工所占用的资源比重，有利于提高总体生产指标，促进装配式构件的整体生产效率的进一步提升。

结语

建筑智能化的发展也面临着技术标准不统一、缺乏数据安全与隐私保护等问题，解决这些问题对于推动行业健康发展至关重要。为此，文章提出了加强技术创新、制定统一标准、强化人才培养和完善政策法规等解决策略，以为行业发展提供参考。信息传递、过程工序和智能技术应用水平直接影响装配式建筑的质量管理水平，其中过程工序的直接影响效应最为显著，资源整合则在质量管理过程中起到显著的间接作用，是重要的中介节点；质量信息集成管理、业务流程标准化、智能技术的持续更新和应用化程度是影响装配式建筑质量管理水平的关键因素。鉴于智能建造技术在国内的应用尚处于初期阶段，相关研究文献和项目实践较少，构建的模型有待更多案例的验证。随着智能建造技术的进一步成熟和普及，需要进行更深入、系统的调研和数据分析，以进一步提高模型的适用性和准确度。

参考文献

- [1] 赵成恭. 装配式建筑施工智能建造技术与应用研究[J]. 中国建设信息化, 2023, (22): 66-69.
- [2] 张洋. 基于智能建造技术的装配式建筑施工管理研究[J]. 中国建筑金属结构, 2022, (07): 131-133.
- [3] 瞿民江. 基于智能建造的装配式建筑施工关键技术研究与应用[J]. 砖瓦, 2023, (11): 155-157.