

# 装配式建筑施工关键工艺与质量控制研究进展

万常鸿

南昌三建建设集团有限公司 江西南昌 330038

**摘要：**本文系统梳理了装配式建筑施工关键工艺与质量控制的研究进展。在关键工艺方面，构件预制生产、运输吊装及现场连接安装等环节均实现了显著的自动化、智能化与标准化提升。在质量控制方面，研究已覆盖构件生产、施工过程及信息化管理全链条，形成了较为完善的标准与检测体系。然而，当前研究仍存在工艺创新与质量控制协同不足、标准化与个性化需求矛盾等共性问题，制约了技术成果的有效转化。未来，应聚焦工艺与质量体系的协同研发，深化BIM、物联网等信息化技术的融合应用，以破解发展瓶颈，推动装配式建筑向更高质量、更高效率的方向发展。

**关键词：**装配式建筑；关键工艺；质量控制

## 引言

装配式建筑作为实现建筑工业化与绿色建造的核心路径，其发展水平高度依赖于施工工艺的先进性与质量控制的可靠性。近年来，随着国家政策的大力推动与技术的不断迭代，装配式建筑的施工工艺与质量控制研究取得了长足进步，涌现出一批创新技术与实践成果。然而，这些研究成果多分散于各个技术环节，缺乏系统性的梳理与整合，对当前研究中存在的共性挑战与未来方向的探讨尚不充分。

## 一、装配式建筑施工关键工艺研究进展

### （一）构件预制生产工艺进展

近年来，构件预制生产工艺在模具设计、混凝土浇筑与养护、钢筋加工与绑扎、预埋件定位等环节进展显著。模具设计上，高精度钢模与组合式模具系统取代传统木模，提升构件尺寸精度与表面平整度，标准化与模块化设计降低成本与周期。混凝土浇筑应用自动化布料系统与振动成型设备，提升密实度与均匀性；智能养护系统精准控制养护过程，提高混凝土早期强度与耐久性。钢筋加工与绑扎引入数控设备与自动化机器人，提升精度与效率，减少误差。预埋件定位采用激光与三维扫描技术，误差控制在 $\pm 2$ 毫米以内。自动化、智能化设备推动生产向数字化、智能化发展，提升效率与质量<sup>[1]</sup>。

### （二）构件运输与吊装工艺进展

构件运输与吊装工艺是装配式建筑施工关键环节，近年在运输路径规划、吊装方案优化、临时支撑体系设

计等方面取得重要进展。运输路径规划利用基于GIS与BIM技术的系统，综合考虑多种因素规划最优路径，降低风险与成本；运输车辆采用专用低底盘车与空气悬挂系统，减少振动与损坏风险。吊装方案优化借助基于BIM与有限元分析的模拟技术，提前模拟优化吊点与顺序，避免碰撞与变形；智能化控制系统实现精准定位与平稳操作，提升效率与安全性。临时支撑体系采用标准化、模块化系统，结合有限元分析优化支撑点与刚度，确保稳定性与安全性。这些进展提升运输与吊装效率与安全性，保障施工顺利进行。

### （三）现场连接与安装工艺进展

现场连接与安装工艺是装配式建筑施工核心环节，近年在构件间节点连接及部品安装工艺方面进展显著。构件间节点连接上，灌浆套筒连接成主流，重点在优化灌浆材料性能、改进工艺与检测质量，高性能材料提升连接可靠性与耐久性；浆锚搭接连接优化锚固与浆料性能，提升抗震性与施工便利性；后浇混凝土连接采用高强混凝土与精细工艺，确保整体性与耐久性。部品安装工艺上，标准化工具与定位系统提升精度与效率，外墙板采用干式连接与防水工艺，内墙板采用轻质隔墙与干式工艺，楼板采用预制叠合与现浇结合工艺，楼梯采用预制与精准定位技术。不同连接与安装工艺适用性与成熟度有差异，灌浆套筒连接成熟且应用广泛，浆锚搭接多用于低层建筑，后浇混凝土适用于对整体性要求高的部位。部品安装工艺形成标准化体系，满足不同需求。这些进展为施工规范化、标准化提供技术支撑，提升质量与效率<sup>[2]</sup>。

## 二、装配式建筑施工质量控制研究进展

### (一) 构件生产质量控制研究进展

构件生产质量控制是装配式建筑质量管理首要环节,研究进展体现在原材料检验、尺寸精度控制、混凝土性能控制、外观质量保证及数字化质量追溯等方面。在原材料检验上,重点对钢筋、水泥等主要材料性能检测与评价,建立多维度质量追溯体系,确保符合设计要求。在尺寸精度控制方面,用激光扫描等高精度检测技术,对构件关键尺寸实时监控,误差控制在 $\pm 2$ 毫米以内。在混凝土性能控制上,优化配合比,引入高效减水剂等提升其性能,用智能养护系统精确控制,保障强度与耐久性达标。在外观质量保证方面,重点预防控制表面缺陷,通过优化模具设计等措施提升外观质量。另外,数字化技术在质量追溯应用广泛,建立信息管理系统,实现信息实时采集、存储与追溯,为质量控制提供数据支撑。

### (二) 施工过程质量控制研究进展

施工过程质量控制是确保装配式建筑最终质量的关键环节,其研究进展主要体现在构件进场验收、安装定位精度、连接节点施工质量、防水密封处理等关键工序的质量控制技术、检测标准及过程管理方法等方面。构件进场验收方面,研究重点集中于构件外观质量、尺寸偏差、强度等级、预埋件位置等指标的检测与评价,建立了基于视觉识别、激光扫描等技术的自动化检测系统,提高了验收效率与准确性。安装定位精度控制方面,采用全站仪、激光定位仪等高精度测量设备,对构件的平面位置、标高、垂直度等进行实时监控与调整,定位误差可控制在 $\pm 3$ 毫米以内。连接节点施工质量控制方面,研究重点集中于灌浆套筒连接、浆锚搭接、后浇混凝土连接等工艺的质量控制,通过优化灌浆材料性能、改进灌浆工艺、加强过程监控等措施,确保连接节点的强度与耐久性。防水密封处理方面,研究重点集中于外墙板接缝、窗洞口、穿墙管道等部位的防水处理,采用高性能密封材料与精细化施工工艺,确保防水效果满足设计要求。检测技术方面,研究重点集中于无损检测、实时监控等技术的应用,如超声波检测、红外热成像、光纤传感等,实现了对施工质量的实时监控与评价。验收标准方面,研究重点集中于建立基于性能的验收标准体系,明确了各项质量指标的检测方法、合格标准与验收程序。过程管理方法方面,研究重点集中于基于PDCA循环的质量管理方法,通过计划、实施、检查、改进的循环过程,实现对施工质量的持续改进<sup>[3]</sup>。

### (三) 质量控制标准与信息化管理研究进展

质量控制标准与信息化管理是装配式建筑施工质量保障的重要支撑,其研究进展主要体现在标准规范体系的完善与信息化技术的应用两个方面。在标准规范体系方面,国内外已建立了较为完善的装配式建筑施工质量标准体系,包括设计标准、生产标准、施工标准、验收标准等,涵盖了材料、构件、工艺、验收等各个环节。国内标准如《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231)、《装配式建筑构件制作与验收标准》(JGJ/T 352)等,明确了装配式建筑施工质量的基本要求与控制要点。国际标准如ISO/TC 59/SC 19《建筑工业化与装配式建筑》系列标准,为装配式建筑施工质量的国际互认提供了依据。标准规范体系的发展趋势是从传统的经验型、定性型向性能化、量化方向发展,更加注重质量指标的科学性与可操作性。在信息化管理方面,研究重点集中于基于BIM、物联网、大数据等技术的质量协同管理与过程监控。BIM技术通过建立构件的三维信息模型,实现了设计、生产、施工全过程的信息共享与协同,为质量控制提供了可视化、数字化的管理平台。物联网技术通过在构件、设备、材料上安装传感器,实现了对施工过程的实时监控与数据采集,为质量控制提供了实时、准确的数据支持。大数据技术通过对施工过程中产生的海量数据进行分析与挖掘,识别质量问题的规律与趋势,为质量改进提供了科学依据。信息化技术的应用,实现了装配式建筑施工质量的全过程、全方位、实时化管理,显著提升了质量控制效率与水平<sup>[4]</sup>。

## 三、装配式建筑施工工艺与质量控制研究中的共性问题

### (一) 工艺与质量控制协同性不足问题

当前装配式建筑施工工艺与质量控制研究的协同性不足,核心表现为工艺创新与质量控制体系的研发不同步、技术成果与工程实践需求脱节,这一问题直接制约了装配式建筑技术的落地效率与应用效果。从研究流程来看,新工艺(如新型预制构件干法连接工艺、模块化建筑整体吊装工艺)的研发多集中于“效率提升”“成本降低”等功能性目标,在实验室阶段或小范围试验阶段,往往仅验证工艺的可行性与技术参数(如吊装速度、构件拼接效率),却未同步开展配套质量控制标准与检测方法的研究。例如,某新型预制叠合板拼缝防水工艺在研发时,仅通过实验室模拟验证了防水性能达标,却未明确现场施工中拼缝清洁度、密封胶涂抹厚度的质量控制指标,也未设计对应的现场检测工具(如密封胶厚度专

用量规),导致该工艺在实际项目应用时,现场人员因缺乏明确的质量判定依据,只能依赖经验操作,最终出现15%的拼缝渗漏率,技术成果未能实现有效转化。

从研究主体来看,高校与科研机构在工艺创新研究中,常忽视工程实际的质量管控场景——多数工艺研究论文仅聚焦工艺原理与理论效果,未考虑施工人员技能水平、现场环境(如温度、湿度)对工艺质量的影响,也未提出适配现场操作的质量控制流程;而施工企业在应用新工艺时,只能沿用传统质量控制方法(如传统预制构件的尺寸抽检方式),无法匹配新工艺的技术特点(如模块化构件的整体垂直度控制),形成“工艺先进但管控落后”的局面。此外,行业标准更新滞后于工艺创新也是重要原因,多数新工艺从研发到落地的周期仅1-2年,而对应的质量控制标准修订周期需3-5年,导致新工艺应用时缺乏官方认可的质量判定依据,施工企业因担心质量风险不敢大规模推广,进一步阻碍了技术转化。

## (二) 标准化与个性化需求之间的矛盾

装配式建筑施工工艺标准化与建筑设计个性化需求的矛盾是当前研究与实践的挑战,这对质量控制体系的灵活性与适应性提出更高要求。工艺标准化能降低构件生产误差、提高现场安装效率、简化质量控制流程并降低管控成本。然而,随着建筑设计多元化,业主与设计方对装配式建筑的个性化需求增加,要求构件生产与施工工艺突破标准化框架,采用非标准构件与定制化安装流程。非标准构件与定制化工艺使标准化质量控制体系难以适配。一方面,非标准构件与标准构件差异大,传统抽检方法无法覆盖关键质量指标,需定制化检测手段,但缺乏检测方案设计,导致检测效率低、成本高;另一方面,定制化安装流程打破标准化质控节点,需新增专项质控环节,但现有体系未明确管控要求,施工人员凭经验调整易致质量波动。例如,某项目采用弧形预制外墙板,因缺乏标准化质控流程,构件安装后垂直度偏差超标率高,增加了工期与成本。

2021年,江苏省住房和城乡建设厅发布的《江苏省装配式建筑发展年度报告》中,提及南京江宁区某装配式保障房项目的实践问题,可作为上述共性问题的佐证。该项目在施工中采用了新型预制钢筋套筒灌浆连接工艺(工艺创新),但由于当时缺乏该工艺的专项质

量控制标准,只能参考传统套筒连接的检测方法(如回弹法检测灌浆强度),导致灌浆饱满度检测准确率仅78%,出现6处连接节点强度不达标,后期返工成本增加150万元;同时,该项目为满足户型多样化需求,设计了3种异形预制飘窗构件,因缺乏针对异形构件的标准化质量控制流程,构件安装后的几何尺寸偏差超标率达13%,较标准构件的3%超标率显著升高。该项目数据表明,工艺与质量控制协同不足、标准化与个性化矛盾,会直接导致工程质量风险上升、成本增加,凸显了针对性解决这些共性问题对推动装配式建筑高质量发展的重要价值<sup>[5]</sup>。

## 结语

装配式建筑施工工艺与质量控制的研究进展表明,行业在关键技术领域已取得显著成果,但仍面临诸多亟待解决的共性问题。未来研究应重点关注工艺创新与质量控制体系的协同发展,强化技术成果向工程实践的转化效率。一方面,需加强科研机构与施工企业的协作,确保新工艺研发过程中同步制定配套的质量控制标准与检测方法,避免因标准滞后导致的技术应用障碍。另一方面,应探索标准化与个性化需求之间的平衡点,通过模块化设计与柔性制造技术的结合,提升质量控制体系对非标准构件和定制化工艺的适应能力。此外,信息化技术的深度应用将成为破解上述问题的重要抓手,基于BIM、物联网和大数据的全过程管理平台能够实现工艺参数与质量数据的实时联动,为装配式建筑施工的高质量发展提供坚实保障。

## 参考文献

- [1] 焦峪国. 高层装配式建筑关键施工工艺分析[J]. 中国住宅设施, 2021(4): 2.
- [2] 李江彦, 陈伟, 王利明, 等. 高层装配式建筑关键施工工艺分析[J]. 建筑机械化, 2020(012): 041.
- [3] 姜魏, 李鑫, 胡溶川. 叠合板生产工艺及装配式建筑中的应用[J]. 智能建筑与智慧城市, 2020(7): 2.
- [4] 陈荣存. 影响装配式建筑施工质量的关键因素及控制措施分析[J]. 汽车博览, 2020(27): 164-164.
- [5] 虞礼超. 高层装配式建筑关键施工工艺分析[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2021(4): 2.