

装配式混凝土结构在民用住宅中的施工应用分析

王晓杰¹ 李海斌^{*2} 徐 晓³

- 1. 上海天华建筑设计有限公司青岛分公司 山东 青岛 266000
- 2. 上海天华建筑设计有限公司青岛市黄岛分公司 山东 青岛 266000
- 3. 青岛市房屋使用安全服务中心 山东 青岛 266000

摘 要：装配式混凝土结构作为建筑工业化的重要载体，在民用住宅建设中日益普及，其施工逻辑与传统现浇体系存在本质差异。本文从体系适用性出发，系统分析了装配式混凝土结构在住宅施工中的关键环节，涵盖预制构件生产与验收、现场安装定位、连接节点处理、支撑系统设置及施工组织协调等核心内容。研究表明，装配式施工的核心不在于构件本身的拼装速度，而在于“设计—生产—运输—安装”全链条的精密度控制与界面协同。文章进一步剖析了当前推广应用中的现实障碍，包括节点灌浆质量保证、构件公差累积、工种衔接转换等难题，并提出以“前序深化设计、过程精准管控、后置检测验证”为主线的应对策略，以期为民用住宅装配式施工实践提供系统参照。

关键词：装配式混凝土结构；民用住宅；预制构件；施工安装

引言

近年来，我国大力推动建筑产业现代化转型，装配式建筑因其资源节约、环境友好、用工减少等优势，成为政策引导的重点方向。在民用住宅领域，装配式混凝土结构已从试点示范走向规模化应用，众多保障性住房、商品房项目均采用预制叠合板、预制楼梯、预制外墙及预制剪力墙等构件体系。然而，装配式施工并非传统现浇工法的简单替代，而是一次建造逻辑的根本转变——从“现场成型”转向“工厂预制+现场组装”，这对施工精度、工序衔接、节点质量和组织管理提出了全新的能力要求。实践中，部分项目因对装配式施工特性认识不足，出现了安装偏差过大、灌浆不密实、接缝渗漏等质量问题，甚至影响了结构安全。因此，深入剖析装配式混凝土结构在住宅施工中的技术要点与管控难点，对于提升建设质量、降低隐形成本具有现实紧迫性。

1 装配式混凝土结构体系与住宅适用性

1.1 主要结构体系分类及特征

装配式混凝土结构根据受力特点和预制程度，可划分为装配整体式框架结构、装配整体式剪力墙结构以及框架-剪力墙混合结构。框架结构中，预制柱、预制梁与叠合楼板组合，节点采用后浇混凝土形成整体受力，适用于多层及小高层住宅。剪力墙结构以预制墙板为主要竖向受力构件，墙板间通过套筒灌浆或浆锚搭接连接，配合叠合楼板和预制楼梯，适用于高层住宅，尤其在抗震设防地区具有良好应用前景。此外，还衍生出双面叠合剪力墙和模壳剪力墙等新型体系，进一步提升了工业化水平。不同体系的施工侧重点各异——框架结构重在

对缝精度和节点钢筋避让，剪力墙结构重在对接安装和竖向连接可靠性。

1.2 民用住宅采用装配式结构的适宜性

民用住宅建筑单元标准化程度高、户型重复率高，天然适合装配式建造逻辑。标准层中楼板、楼梯、阳台板等水平构件以及部分外墙、内墙板均可预制化生产，预制率可达40%至60%。从施工效率看，预制构件免去支模、绑扎钢筋和混凝土养护等工序，可显著缩短标准层施工周期。从质量管控看，工厂环境下的构件制作精度优于现场浇筑，外观平整度和尺寸一致性更有保障。然而，并非所有住宅项目都无条件适用装配式。建筑造型复杂、平面凹凸变化多、层高变化频繁的项目，将面临模具种类增多、构件标准化程度下降的问题，反而增加成本和管理难度。因此，住宅项目在决策采用装配式结构时，应结合标准化设计程度、项目规模和施工单位的技术储备进行综合研判。

2 预制构件生产与进场质量管控

2.1 工厂生产精度与模具控制

构件质量始于工厂生产环节。模具系统的精度直接决定构件的外形尺寸和预埋件位置，模具组装偏差须控制在±2毫米以内。生产过程中，钢筋骨架的绑扎、保护层垫块的布置、套筒或预埋螺母的精确定位是隐蔽控制要点——套筒位置偏差将直接导致现场安装时钢筋无法对位^[1]。混凝土浇筑后需进行充分的蒸汽养护或自然养护，确保出池强度达到设计强度的75%以上方可起吊和运输。工厂还应建立完善的构件编码和追溯系统，每一块构件应附带身份信息，包括工程名称、构件编号、混凝

土强度等级、生产日期和检验状态，为现场验收和安装提供可追溯的数据支撑。

2.2 运输保护与现场验收要点

构件从工厂到施工现场的运输环节是质量损伤的高发期。运输方案应依据构件形状、尺寸和重量制定，墙板类构件宜采用专用直立运输架，叠合板类构件可平叠堆放但层数不宜超过六层，各层之间须垫设木方且位置上下对齐，防止弯曲变形和表面破损。现场卸货后，应按照施工部署分区堆放，堆放场地需平整坚实，排水条件良好。进场验收应逐件核对构件外观质量、尺寸偏差、预埋件位置和套筒完好性，裂缝检查尤为关键——非受力裂缝宽度超过0.2毫米或存在贯穿性裂缝的构件应予退回。验收记录应形成书面文件，作为后续安装和质量追溯的基础资料。

3 现场安装施工的关键技术环节

3.1 定位放线与安装精度控制

装配式施工对轴线和高程基准的精度要求远高于现浇结构。安装前需在施工楼层面上精确弹放构件边线、控制轴线和墙体定位线，同时在每块构件安装位置设置标高调节垫片。首层构件的定位精度尤为关键，因其误差会逐层累积放大。安装过程中应采用全站仪或激光垂直仪进行实时校核，水平位置偏差控制在 ± 5 毫米以内，垂直度偏差控制在层高的1/1000以内^[2]。对于剪力墙板，安装就位后应立即进行垂直度双向调整，合格后加设临时支撑固定。精度控制不是一次性的动作，而是贯穿每层、每件构件安装全过程的持续行为，须由专职测量人员全程跟踪。

3.2 起重吊装方案与行走路径

预制构件的单件重量通常在2至8吨之间，大型墙板可达10吨以上。吊装方案需根据构件重量、吊装半径和作业面条件选择塔吊型号和附着位置。吊具宜采用可调节长度的平衡梁或专用吊架，保证构件起吊和下降过程中保持水平姿态，避免单点受力造成开裂。吊装路径规划应避开已有建筑、高压线和施工堆场，并考虑回转半径内无干涉。指挥信号工、塔吊司机和安装工人的默契配合是安全与效率的保障，起吊、回转、下降、就位的每个动作需以明确的指令传递。必须强调的是，吊装作业区内严禁无关人员进入，安全警戒线须明确标示。

3.3 临时支撑系统设置与拆除

预制构件在连接节点后浇混凝土达到设计强度之前，完全依靠临时支撑维持稳定。竖向构件（墙板、柱）一般采用斜撑杆，每件构件不少于两道，上端锚固于构件预埋螺母，下端锚固于楼面预埋件，支撑角度宜

控制在45至60度之间，并配备可调丝杆用于垂直度微调。水平构件（叠合板、楼梯）下设满堂脚手架或独立支撑，支撑间距按计算确定，通常不超过1.5米。支撑系统的拆除时间必须依据同条件养护试块的强度报告，严禁凭经验提前拆除。尤其需要注意的是，相邻构件之间的后浇带未达到设计强度前，支撑体系应保持完整，不得扰动。

3.4 叠合层与后浇节点施工

叠合楼板安装完成后，其上部需绑扎附加钢筋并浇筑叠合层混凝土，使预制板与现浇层形成整体受力。该工序需特别注意预制板面清理和湿润处理，叠合层混凝土浇筑前应保证板面无浮灰和油污。后浇节点是装配式结构传力的关键部位，节点处钢筋密集，需确保钢筋锚固长度和搭接方式符合设计要求，混凝土宜采用比预制构件高一等级的微膨胀细石混凝土，振捣需密实到位，不得出现蜂窝和孔洞。节点后浇宜在相邻构件全部安装就位并验收合格后进行，避免因安装调整扰动已浇筑节点。

4 连接节点灌浆与质量检测

4.1 套筒灌浆连接工艺与技术参数

套筒灌浆连接是目前装配式剪力墙纵向钢筋连接的主流方式。其原理为：将下层构件预留钢筋插入上层构件底部预埋套筒内，通过专用灌浆料填满套筒与钢筋之间的间隙，硬化后实现力的有效传递。灌浆料的性能至关重要，要求高流动度、微膨胀和早强特性，流动度初始值宜大于300毫米，半小时后仍保持在260毫米以上^[3]。灌浆作业前须进行接头工艺检验和现场模拟试验，验证配合比和操作参数。灌浆压力一般控制在0.5至1.0兆帕，采用专用灌浆机从套筒下口注入，待上口排气孔流出饱满浆体后立即封堵。灌浆过程应连续不间断，单次灌浆应在30分钟内完成。

4.2 灌浆质量控制与检查验收

灌浆质量的控制难点在于隐蔽性和不可逆性——灌浆完成后无法直接观察内部填充情况。因此，过程控制成为唯一可靠的保障手段。首先，灌浆料须按批次留置试块，检测其抗压强度，试块与构件同条件养护。其次，灌浆记录应详实反映每个套筒的灌浆时间、压力、环境温度和人员信息，建立完整可追溯档案。近年来，部分项目引入压力传感器和流量计进行自动记录，提高了数据可靠性。对于关键节点或存疑部位，可采用内窥镜或预埋钢丝拉拔法进行辅助检测。一旦发现灌浆不饱满，需在24小时内进行补灌，但补灌并非万能方案，多次补灌反而可能引入气泡和杂质，所以操作须一次

到位。

5 施工组织协调与工种衔接

5.1 流水作业组织与标准层周期管理

装配式住宅施工采用标准层流水作业,一般以单个标准层为施工段,按“吊装—校正—支撑—节点钢筋—节点浇筑—养护—爬升”的节奏循环推进。施工组织设计的核心是确定合理流水步距,使预制安装班组、钢筋班、混凝土班和设备操作班之间无缝衔接。标准层工期通常控制在5至7天,其中吊装作业占1至2天,节点钢筋及支模占2至3天,混凝土浇筑及养护占1至2天。工期安排需留有适当弹性,避免因赶工而压缩养护或灌浆龄期,得不偿失。施工进度计划应细化到每层、每段、每班次,并每日召开调度会,动态纠偏。

5.2 工种配合与交叉作业管理

装配式施工中,传统工种的作业内容发生了显著变化。木工的工作量大幅减少,但测量放线和构件校核的工作量增加;钢筋工从大量现场绑扎转向节点处钢筋连接和附加筋绑扎;混凝土工则更多集中在叠合层和节点浇筑。这种变化要求对工人进行针对性转岗培训和技能考核^[4]。与此同时,预制构件安装、机电预埋、外架提升等多工种在同一作业面上交叉作业,需划明确的责任区域和作业时段。塔吊的垂直运输资源是稀缺资源,应制定详细的吊次计划,优先保障构件吊装,兼顾其他材料的垂直运输,避免无序争抢导致窝工。

6 面临的挑战与应对策略

6.1 构件公差累积与安装偏差

预制构件虽在工厂高精度制造,但安装过程中的偏差逐层累积,尤其在高度超过50米的高层住宅中,温差和风振也可能引入附加变形。应对策略包括:每层安装后均进行闭合测量,以首层基准点为依据,避免层层传递误差;在结构适当位置设置纠偏层,即在该层现浇段进行偏差归零调整;同时,深化设计阶段应充分考虑构件间的尺寸协调,预留足够的后浇空间以适应安装调整。偏差问题根源于“工厂刚性尺寸”与“现场柔性边界”之间的张力,唯有在设计和施工两端同时消化,方可保障最终实体质量。

6.2 套筒灌浆的可靠性与检验难题

灌浆质量至今仍是装配式结构最受关注的安全疑

点。现场操作受人员技术水平、环境温湿度和设备状态影响较大,且缺乏便捷、无损、全覆盖的检测手段。破解这一难题需要多措并举:推行灌浆工人持证上岗和班前交底制度;采用带透明观察管的辅助装置实时观察浆料充盈情况;引入X射线数字成像进行抽检;更根本的是,从设计端优化——在条件允许时采用扩大孔或浆锚搭接等容错性更强的连接方式,减少对灌浆操作精准度的极端依赖。

6.3 季节性施工对装配式作业的影响

冬季低温使灌浆料硬化缓慢,强度发展滞后;夏季高温则使浆料流动度损失加快,可操作时间缩短。应对冬季施工需对灌浆料采取加热保温措施,施工环境温度不宜低于5摄氏度,并延长养护时间。夏季施工则应选择早晚温度较低时段进行灌浆作业,对拌合用水采用冰水降温,运输和存放过程避免太阳直射。雨天不宜进行吊装作业,因构件表面湿滑影响绑扎固定,更因雷电威胁起重作业安全。季节性问题的技术捷径,只能通过精细化排班和完备的物资准备来稳妥应对。

7 结语

装配式混凝土结构在民用住宅中的应用,推动了建造方式的工业化与标准化。本文从体系分类、质控、安装、节点连接及管理等多维度分析,指出其核心在于全链条的精密度协同与界面管控。成败关键在于设计深度、生产精度、安装准度及组织细度的四维耦合。当前行业正由“能用”向“好用”过渡,亟待解决灌浆质量、公差累积及季节性施工等难题。随着BIM技术、智能检测及工人技能提升,装配式住宅将迈向更高可靠性与经济性。无论技术如何演进,严谨的工艺态度和闭环的质量管理始终是不可动摇的基石。

参考文献

- [1]赵卫中,钱稼茹.装配式混凝土剪力墙结构连接节点研究综述[J].建筑结构学报,2022,43(7):1-12.
- [2]刘东卫,周静敏.装配式住宅标准模数化设计与构件通用性探讨[J].建筑学报,2021,62(5):86-92.
- [3]郭正兴,张云龙.套筒灌浆连接质量控制与现场检测技术[J].施工技术,2023,52(8):74-80.
- [4]李国强,陈以一.装配式混凝土结构安装偏差累积效应与控制对策[J].工程力学,2022,39(增刊1):214-221.