

装配式混凝土建筑施工难点及质量管控措施

杨飞飞

新疆北新国际工程建设有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 835000

摘要：装配式混凝土建筑作为建筑业转型升级的核心方向，凭借其高效、绿色、节能等优势，在我国得到大力推广。然而，其“设计-生产-运输-装配”一体化的建造模式也带来了诸多新的施工难点与质量挑战。本文系统剖析了当前装配式混凝土建筑在深化设计协同、构件生产精度、物流供应链管理、现场吊装定位、套筒灌浆连接以及接缝防水处理等关键环节存在的主要技术与管理难题。针对这些难点，文章提出了涵盖全过程、全链条的质量管控体系，包括强化BIM正向设计与各专业协同、建立严格的构件生产驻厂监造制度、优化基于物联网的智慧物流调度、推行高精度测量放线与智能吊装技术、实施套筒灌浆全过程影像追溯以及应用高性能密封材料与精细化施工工艺等具体措施。研究表明，只有通过技术创新、流程再造和管理升级的深度融合，才能有效破解装配式建筑的发展瓶颈，确保其工程质量与安全，推动建筑产业现代化高质量发展。

关键词：装配式混凝土建筑；施工难点；质量管控；套筒灌浆

引言

在全球倡导可持续发展的大背景下，传统粗放式的现浇混凝土建造模式因其资源消耗大、环境污染重、劳动生产率低等弊端，已难以满足新时代高质量发展的要求。装配式建筑，特别是以预制混凝土构件（Precast Concrete Components）为核心的装配式混凝土建筑，应运而生并迅速成为全球建筑工业化的重要趋势。在我国，《“十四五”建筑业发展规划》等系列政策文件更是将大力发展装配式建筑作为推动建筑业供给侧结构性改革、实现“双碳”目标的关键抓手。装配式混凝土建筑的核心思想是将建筑结构拆分为若干标准化、模块化的构件，在工厂内进行高精度、高质量的预制生产，再运输至施工现场，通过可靠的连接技术进行快速装配。这种“像造汽车一样造房子”的模式，理论上能够显著缩短工期、减少现场湿作业、降低扬尘噪音污染、提升建筑品质。然而，理想与现实之间往往存在差距。在从理论走向大规模工程实践的过程中，装配式建筑暴露出一系列复杂的施工难点和潜在的质量风险点，如构件错漏碰缺、吊装定位偏差、连接节点失效、接缝渗漏等，这些问题若得不到有效解决，不仅会抵消其效率优势，更可能埋下严重的安全隐患。因此，深入研究装配式混凝土建筑的施工难点，并构建一套科学、系统、可操作的质量管控措施，对于保障工程实体质量、促进行业健康发展具有极其重要的现实意义。

1 装配式混凝土建筑的主要施工难点分析

装配式建筑的施工过程远非简单的“搭积木”，其背后涉及设计、生产、物流、安装等多个环节的精密协

同。任何一个环节的脱节或失误，都可能导致现场施工陷入困境。

1.1 深化设计与多专业协同困难

装配式建筑的成功始于设计。与传统设计不同，装配式项目要求在设计初期就进行深度的“正向设计”，即从方案阶段就充分考虑构件的拆分、生产、运输和吊装可行性。然而，现实中普遍存在以下问题：（1）设计与生产脱节：设计院对工厂生产工艺不熟悉，导致构件拆分不合理，出现形状过于复杂、预埋件冲突等问题，增加了生产难度和成本^[1]。（2）各专业协调不足：建筑、结构、机电、精装等各专业在BIM模型中未能有效协同，造成管线与预留洞口、预埋套管位置冲突。当构件运抵现场后才发现无法安装，只能进行昂贵的现场开洞或切割，严重破坏构件完整性，影响结构安全和防水性能。（3）设计变更管理滞后：施工过程中难免出现设计变更，但变更信息若不能及时、准确地同步到构件生产厂家，就会导致已生产的构件作废，造成巨大浪费。

1.2 预制构件生产与质量控制

构件是装配式建筑的“细胞”，其质量直接决定了最终建筑的品质。目前，构件生产环节面临的主要挑战有：（1）精度控制难：虽然工厂环境优于现场，但要保证成千上万构件的尺寸偏差控制在毫米级（如《装配式混凝土建筑技术标准》GB/T 51231要求墙板长度允许偏差为 $\pm 4\text{mm}$ ），对模具精度、混凝土配合比、养护温湿度控制等均有极高要求。微小的累积误差在安装时会被放大，导致拼缝不严或无法合拢。（2）原材料与工艺波动：混凝土强度、钢筋保护层厚度、预埋件定位等关键

指标易受原材料批次、工人操作熟练度等因素影响,若质量管理体系不健全,极易出现不合格品。(3)出厂检验与追溯体系不完善:部分厂家质检流于形式,缺乏对关键性能(如粗糙面处理质量、套筒内部清洁度)的有效检测手段,且构件身份标识不清,一旦出现问题难以追溯源头。

1.3 物流运输与现场堆放管理

“物”流是连接工厂与工地的桥梁,其顺畅与否直接影响施工进度。(1)运输规划复杂:大型、异形构件(如阳台、楼梯)的运输需要特种车辆和路线规划,易受交通管制、道路条件限制。运输过程中的颠簸也可能导致构件产生隐性损伤。(2)现场场地制约:城市中心项目往往场地狭小,难以规划出足够的构件临时堆放区。构件若随意堆叠或支垫不当,极易发生变形、开裂或棱角破损。(3)库存管理混乱:面对数百种不同型号的构件,若缺乏信息化管理手段(如二维码/RFID标签),现场容易出现“找不到构件”或“用错构件”的情况,严重影响吊装效率。

1.4 现场吊装与精确定位

吊装是现场施工的核心工序,也是风险最高的环节之一。(1)吊点设计与受力分析:构件吊点的位置和数量必须经过精确计算,以确保吊装过程中构件受力合理,不产生裂缝。不合理的吊点设计是导致构件在空中开裂的常见原因。(2)定位精度要求高:竖向构件(如预制剪力墙)的垂直度、标高,以及水平构件(如叠合板)的搁置长度,均需控制在极小的公差范围内。传统的人工拉线、水准仪放线方式效率低、误差大,难以满足高精度装配要求^[2]。(3)临时支撑体系复杂:对于无可靠水平约束的独立墙体或大跨度叠合板,需要设置大量临时斜撑和独立支撑。这些支撑的稳定性、拆除时机若控制不当,会直接影响结构安全和成型质量。

1.5 关键节点连接——套筒灌浆质量

钢筋套筒灌浆连接是装配式混凝土结构中最核心、也是最脆弱的环节。其施工质量直接关系到结构的整体性和抗震性能,是公认的“卡脖子”技术。(1)灌浆料性能敏感:灌浆料对水灰比、搅拌时间、环境温湿度极为敏感。加水过多会降低强度,过少则流动性差,无法饱满填充套筒。(2)灌浆操作隐蔽性强:灌浆过程在封闭的套筒内进行,无法直观检查其饱满度。传统的“出浆口见浆”法并不能完全保证整个套筒腔体被密实填充,存在“假饱满”的风险。(3)全过程监管困难:从灌浆料制备、注浆、封堵到养护,每个环节都需严格控制。但现场作业面广、人员素质参差不齐,加之监理旁

站难以覆盖全过程,质量隐患极易滋生。

1.6 接缝防水与后浇带处理

装配式建筑由众多构件拼接而成,形成了大量的水平和竖向接缝,这些接缝是防水的薄弱环节。(1)防水构造复杂:通常采用“材料防水+构造防水”相结合的方式,如在水平缝设置企口、空腔,在竖向缝设置橡胶止水条等。这些构造措施对施工精度要求极高,稍有偏差即会失效。(2)密封胶施工质量:外墙面板间的耐候密封胶是最后一道防线。其粘结效果受基材清洁度、打胶工艺、环境条件影响很大。若施工不当,极易出现开裂、脱粘,导致雨水渗入。(3)后浇混凝土质量:叠合板后浇层、梁柱节点后浇区的混凝土浇筑质量,直接影响结构的整体性。现场钢筋密集、空间狭小,振捣密实困难,易出现蜂窝、孔洞等缺陷。

2 装配式混凝土建筑工程质量管控体系构建

针对上述难点,必须建立一个覆盖“设计-生产-施工”全生命周期的质量管控体系,运用先进的技术和和管理手段,将质量风险扼杀在萌芽状态。

2.1 强化设计源头管控,推行BIM正向协同

(1)BIM正向设计:摒弃“先设计后拆分”的逆向模式,从项目启动之初就基于BIM平台进行一体化正向设计。利用BIM模型进行碰撞检查,提前发现并解决各专业间的冲突。(2)深化设计交底:组织设计、生产、施工三方进行详细的深化设计交底,确保各方对构件的每一个细节(包括预留预埋、吊点、粗糙面范围等)达成共识。(3)建立设计变更闭环管理:所有设计变更必须通过BIM平台发起、审批,并自动同步至构件生产管理系统,确保信息传递的及时性和准确性。

2.2 严控构件生产质量,实施驻厂监造

(1)建立构件生产合格供方名录:建设单位或总包单位应严格筛选构件厂,对其生产能力、质保体系、过往业绩进行全面评估。(2)推行驻厂监造制度:派遣专业监理工程师或第三方检测机构常驻构件厂,对原材料进场、钢筋绑扎、预埋件安装、混凝土浇筑、养护、出厂检验等关键工序进行全过程监督^[3]。(3)应用智能化检测技术:引入三维激光扫描仪对成品构件进行100%尺寸复核,利用内窥镜检查套筒内部清洁度,确保出厂构件100%合格。每个构件均应附带唯一的二维码“身份证”,记录其全部生产信息,实现质量可追溯。

2.3 优化物流与现场管理,打造智慧工地

(1)智慧物流调度:基于BIM模型和施工进度计划,利用物流管理软件进行构件运输的精细化排程。通过GPS/北斗定位实时监控运输车辆位置,确保构件按

时、按序送达。(2)规划专用堆场:在有限的现场空间内,利用BIM技术模拟规划最优的构件堆放方案。采用标准化的专用支架进行分类、分层堆放,并做好成品保护。(3)应用物联网(IoT)技术:为每个构件贴上RFID或二维码标签,现场通过手持终端扫码即可调取其安装位置、吊装顺序、技术参数等信息,实现“傻瓜式”精准领料和安装指引。

2.4 提升吊装精度与效率,应用智能装备

(1)高精度测量放线:全面采用全站仪、RTK(实时动态差分定位)等高精度测量设备进行控制点布设和构件定位放样,将定位误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内。(2)智能吊装辅助:研发和应用带有姿态感知和自动调平功能的智能吊具。操作人员可通过驾驶室内的显示屏实时看到构件的空间姿态,实现毫米级的微调对接。(3)标准化临时支撑:采用工具式、可调节的独立钢支撑和斜撑系统,其承载力和稳定性有明确保障,并能通过二维码记录安装和拆除信息。

2.5 狠抓套筒灌浆质量,实现全过程可追溯

这是质量管控的重中之重,必须采取最严格的措施:(1)严格的工艺评定:在工程正式施工前,必须对拟采用的灌浆料、灌浆工艺进行实体模拟试验,并经有资质的第三方检测机构出具型式检验报告。(2)全过程旁站与影像记录:灌浆作业必须由专人旁站监督,并强制要求对从灌浆料搅拌、流动度测试、注浆、出浆口封堵到养护的全过程进行高清视频录像。视频资料应与构件二维码信息绑定,形成不可篡改的电子档案^[4]。(3)创新检测方法:积极探索和应用X射线数字成像(DR)、超声波检测等无损检测技术,对灌浆饱满度进行抽样验证,作为传统方法的有效补充。

2.6 精细处理接缝与后浇带,确保结构整体性

(1)高性能密封材料:选用与混凝土基材粘结力强、耐久性好的硅酮或MS(改性硅烷)类密封胶,并严

格控制打胶前的基面处理(清洁、干燥、涂刷底涂)。

(2)标准化防水施工工艺:编制详细的接缝防水施工作业指导书,对止水条安装、空腔清理、密封胶打注等工序进行可视化交底,确保工人按章操作。(3)保障后浇混凝土质量:对于钢筋密集的后浇区域,可采用自密实混凝土(SCC),并辅以小型振捣棒或外部附着式振捣器,确保混凝土密实。加强养护,防止早期开裂。

3 结语

装配式混凝土建筑代表了建筑业未来的发展方向,但其推广之路并非坦途。从深化设计的协同困境,到构件生产的精度挑战,再到现场吊装的定位难题,尤其是套筒灌浆这一“命门”所在,每一个环节都充满了对传统建造思维和管理模式的考验。破解这些难题,不能寄希望于单一技术或某个环节的改进,而必须构建一个以信息化(BIM/IoT)为纽带、以标准化为基础、以精细化管理为手段的全过程、全链条质量管控新生态。这要求建设、设计、生产、施工、监理等所有参建方打破壁垒,深度融合,共同建立起对“毫米级”精度的敬畏之心和对“全过程”责任的担当意识。唯有如此,才能真正发挥装配式建筑的优势,打造出既高效又安全、既绿色又耐久的高品质建筑产品,为我国从“建造大国”迈向“建造强国”奠定坚实的基础。

参考文献

- [1]杨晶,马云.装配式混凝土建筑施工的重难点问题分析及应对措施[J].散装水泥,2023,(02):31-33.
- [2]李思扬.建筑工程中装配式混凝土建筑施工质量管理评价研究[J].中国建筑金属结构,2026,25(04):169-171.
- [3]时晨.预制装配式混凝土结构在建筑施工中的创新应用[J].水泥,2026,(03):115-117.
- [4]裴燕.装配式混凝土建筑施工技术及质量控制探究[J].建材发展导向,2026,24(02):13-15.