

装配式混凝土建筑施工关键技术及质量控制研究

白冰

天津天房建设工程有限公司 天津 300221

【摘要】：在建筑工业化、绿色低碳与新型城镇化协同推进背景下，装配式混凝土建筑以工厂预制、现场装配为核心特征，成为建筑业转型升级的主流方向。本文围绕装配式混凝土建筑全流程施工环节，系统梳理预制构件生产与运输、精准吊装定位、节点连接、后浇与防水等关键技术，针对构件缺陷、安装偏差、连接不密实、渗漏开裂等典型质量问题，构建全链条质量控制体系，结合规范要求与工程实践提出管控措施，为提升装配式建筑结构安全、耐久性与施工质量提供理论参考与技术支撑。

【关键词】：装配式混凝土建筑；预制构件；节点连接；吊装技术；质量控制

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.037

1 引言

传统现浇混凝土建筑存在施工周期长、资源消耗大、现场污染严重、质量离散性大等短板，与建筑业高质量发展要求不相适应。装配式混凝土建筑通过构件工厂化生产、机械化吊装、标准化连接，实现建造过程高效、节能、环保，同时提升结构精度与品质稳定性。近年来，国家持续出台政策推动装配式建筑规模化应用，但其施工技术与质量控制仍存在薄弱环节：构件生产精度不足、吊装定位偏差超标、套筒灌浆不密实、节点构造处理不当、接缝防水失效等问题，直接影响结构整体性与使用安全。

基于此，本文以全流程管控为思路，拆解装配式混凝土建筑施工关键技术，明确各环节质量风险点与控制标准，形成覆盖设计、生产、运输、吊装、连接、验收的闭环控制体系，为工程实践提供可落地的技术路径与管理方法。

2 装配式混凝土建筑施工关键技术

2.1 预制构件生产与深化设计技术

深化设计是装配式建筑质量源头，需兼顾模数化、标准化与施工可行性。采用 BIM 技术进行构件拆分、管线综合、碰撞检查与节点优化，建立参数化构件库，避免现场返工。构件拆分应结合运输限载、吊装能力，控制单块重量与尺寸，优先通用构件，减少异形件。深化设计阶段还应充分考虑施工工序衔接，对吊装点位、支撑体系、临时固定装置、灌浆孔与出浆孔位置进行提前规划，确保构件出厂即可满足现场直接装配需求，减少二次加工与现场开孔对结构性能的破坏。

预制构件生产核心工艺包括：模具组装、钢筋绑扎与预埋件定位、混凝土浇筑与振捣、恒温养护、脱模与成品检验。模具采用钢模体系，尺寸偏差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内；预埋件与套筒位置偏差不大于 3mm ；混凝土养护采用蒸汽养护，脱模强度不低于设计强度 75% ；出厂前进行外观与尺寸复核，蜂窝麻面面积不大于表面积 1% ，深度不大于 5mm 。生产过程中应严格执行原材料进场复检制度，对钢筋力学性能、混凝土配合比、外加剂掺量、灌浆料性能指标进行逐批次检测，杜绝不合格材料

流入生产环节。同时，应建立构件生产全过程数字化台账，对模具使用次数、混凝土浇筑时间、养护温度曲线、脱模强度、出厂检验结果进行实时记录，实现构件从生产到安装的全生命周期可追溯。

2.2 预制构件运输与堆放技术

运输环节采用专用支架与柔性固定措施，墙板立式运输、梁板水平堆放，设置防滑与防碰撞垫块，避免边角破损与裂缝。运输路线提前规划，控制车速，减少颠簸，对超长、超宽、超高构件应提前办理道路通行许可，设置警示标识，避免运输过程中构件晃动、倾覆或碰撞损坏。构件装车时应按照安装顺序进行排布，先安装构件置于上层或外侧，减少现场倒运次数，降低二次损伤风险。

现场堆放场地硬化平整、排水良好，按安装顺序分区码放。墙板采用竖向靠放，倾斜角不小于 80° ，靠放架应具备足够刚度与稳定性，底部设置柔性橡胶垫块，防止构件边角磕碰；叠合板、梁等水平构件分层堆放，垫木对齐贯通，上下垫木在同一竖直线上，堆放层数严格按照构件刚度与承载力限值控制，严禁超量堆放导致构件弯曲开裂。堆放区域应设置明显标识，划分合格区、待检区与不合格区，避免混用。同时，堆放场地应做好防雨、防晒、防风措施，防止混凝土表面碳化、钢筋锈蚀及长期环境作用导致构件性能衰减。

2.3 精准吊装与定位技术

吊装是现场施工核心工序，需编制专项方案，选用匹配起重设备与专用吊具，采用扁担梁、万向吊环保证受力均匀，严禁单点吊装或不均匀受力导致构件开裂。吊装速度控制在 $1.5\text{m}/\text{min}$ 以内，缓起缓落，避免惯性碰撞，吊装作业区设置警戒范围，禁止无关人员进入。

测量放线采用全站仪双测回复核轴线，闭合差 $\leq 3\text{mm}$ ；每层设置标高控制点，激光扫平仪校准，确保楼层标高统一。构件就位时通过斜撑、钢楔、可调定位器进行三维微调，墙板垂直度偏差 $\leq 3\text{mm}$ ，轴线偏差 $\leq 5\text{mm}$ ，临时固定牢固并经复核无误后方可摘钩。对于预制剪力墙、预制柱等竖向构件，应采用

双斜撑固定体系, 保证构件在后浇与灌浆阶段的稳定性, 防止风荷载或施工扰动导致偏位。吊装完成后应及时进行工序交接验收, 对轴线位置、标高、垂直度、构件接缝宽度进行全数检查, 不合格项必须调整到位后方可进入下道工序。

2.4 节点连接关键技术

节点连接决定结构整体性, 是安全控制核心, 主流技术包括套筒灌浆连接、浆锚搭接、后浇混凝土连接、螺栓干式连接。

套筒灌浆连接: 采用高强无收缩灌浆料, 抗压强度 $\geq 85\text{MPa}$, 流动度 $\geq 300\text{mm}$; 水料比严格按 0.12~0.13 控制, 搅拌时间 $\geq 3\text{min}$, 搅拌完成后在规定时间内用完, 严禁二次加水调整稠度。分仓长度 $\leq 1.5\text{m}$, 从最低孔注浆, 出浆孔连续溢浆后封堵, 确保灌浆腔体内完全密实无空洞。环境温度不低于 5°C , 低温采取保温措施, 高温季节避免阳光直射导致灌浆料过快失水。

浆锚搭接连接: 预留孔道清理干净, 无浮渣、积水, 钢筋搭接长度 $\geq 35d$, 灌浆饱满密实, 通过观察孔与内窥镜检测, 发现不密实区域及时补灌。

后浇混凝土连接: 结合面凿毛露骨料, 清理浮尘与杂物, 充分湿润但无积水; 掺入微膨胀剂, 加强振捣, 保证新旧混凝土结合可靠, 避免出现冷缝与结合面疏松。后浇区域模板支撑体系应牢固, 防止胀模、漏浆, 混凝土浇筑后及时养护, 保证强度正常发展。

2.5 防水与密封技术

装配式建筑防水遵循构造防水+材料防水原则, 重点控制外墙水平缝、垂直缝、窗洞口、阳台根部。水平缝设企口与止水条, 垂直缝设空腔构造, 采用耐候密封胶嵌缝, 胶缝宽度均匀、粘结牢固, 杜绝开裂与脱粘。施工前应对基层进行清理、干燥处理, 密封胶与混凝土粘结面涂刷专用底涂, 提高粘结可靠性。嵌缝完成后进行修整, 保证表面平顺光滑, 无气泡、断缝、空鼓现象。外墙施工完成后必须进行整体淋水试验, 沿墙面连续喷淋, 检查无渗漏、无湿痕为合格, 发现渗漏点及时返修。

3 装配式混凝土建筑全流程质量控制

3.1 源头控制: 深化设计与构件生产质量管控

强化 BIM 协同设计, 完成管线碰撞、节点构造、吊装路径模拟, 出具完整深化图纸, 并组织设计、生产、施工、监理四方会审, 减少后期变更。

审核构件厂资质, 建立原材料进场复检制度, 钢筋、混凝土、灌浆料、密封材料合格后方可使用, 对关键材料实行第三方平行检测。

模具精度、钢筋间距、预埋件位置全数检查; 养护制度固化, 脱模强度与出厂检验留痕可追溯, 不合格构件严禁出厂,

已出厂不合格构件必须及时退场更换。

3.2 过程控制: 现场施工关键环节管控

测量与吊装控制: 执行“先放线、后复核、再吊装”, 实行班组自检、技术复检、监理专检的“三检制”; 吊装过程全程监护, 偏差超标禁止进入下道工序。

灌浆连接质量控制: 灌浆人员持证上岗, 试件同条件养护, 每工作班留置足量抗压试块; 采用内窥镜、超声法检测密实度, 抽查比例不低于 20%, 空隙率 $> 5\%$ 必须返工补灌, 并对同批次构件扩大检测范围。

后浇与防水控制: 界面处理验收合格后方可浇筑; 防水工序做淋水/蓄水试验, 持续时间不低于 2h, 无渗漏为合格, 渗漏部位需查明原因并彻底整改。

支撑与防护控制: 叠合板底部支撑体系应经过计算确定间距与排数, 严禁提前拆模或随意减少支撑, 防止板底开裂; 施工荷载严格控制在设计允许范围内, 避免集中堆载造成构件损伤。

3.3 成品保护与验收控制

加强成品保护, 构件安装后设置防撞栏杆与警示标识, 避免碰撞、污染与随意开槽打孔; 外墙密封完成后禁止外力撕扯与敲击。按分项、分部工程验收, 核查出厂合格证、进场检验报告、施工记录、隐蔽验收资料、灌浆与后浇混凝土试件报告, 实现构件级追溯。实体检测包括混凝土强度、灌浆密实度、垂直度、标高、接缝宽度、钢筋保护层厚度等, 全部满足规范与设计要求。

3.4 管理体系与人员控制

建立项目质量责任制, 明确技术负责人、施工员、质检员、监理工程师职责, 实行质量终身责任制; 开展专项技术交底与岗前培训, 特种作业人员持证上岗, 灌浆工、吊装工必须经专项考核合格后方可作业; 推行样板引路, 先做样板墙、样板间、样板节点, 经各方验收合格后再大面积施工, 统一工艺标准与质量尺度。

3.5 数字化与智慧化管控

应用物联网技术对构件生产、运输、安装全过程进行追踪, 通过 RFID 芯片记录构件信息, 实现从生产到施工的全生命周期数据管理。利用 AI 视觉识别系统对构件外观质量进行自动检测, 识别裂缝、破损、预埋件偏差等问题, 提高检测效率和准确性。建立云端质量监控平台, 实时上传施工数据、检测报告和影像资料, 实现质量问题的及时预警和协同处理, 确保质量问题可追溯、可分析、可改进。

3.6 持续改进与风险预控

定期开展质量分析会, 总结施工中出现的质量问题及解决措施, 形成质量改进报告并应用于后续工程。针对常见质量风

险点,如灌浆不密实、构件安装偏差、后浇混凝土开裂等,制定专项预防方案,提前采取技术措施。建立质量事故应急预案,明确事故处理流程和责任分工,确保在质量事故发生时能够迅速响应、妥善处理,减少损失和影响。

3.7 环境与安全质量协同

在质量控制过程中,同步考虑施工环境对质量的影响,如高温、低温、雨季等特殊天气条件下的施工质量保障措施。加强施工现场安全管理,确保吊装设备、支撑体系等符合安全要求,避免因安全事故影响工程质量。将安全生产与质量管理相结合,通过安全文明施工促进质量提升,实现质量与安全的协同管控。

3.8 验收后服务与质量评估

工程竣工验收后,建立质量回访制度,定期对建筑物使用情况进行跟踪,收集用户反馈,及时处理质量保修问题。对装配式混凝土建筑的质量进行综合评估,分析施工过程中的质量数据,总结经验教训,为后续类似工程提供参考,不断提升装配式混凝土建筑的质量水平。

4 常见质量问题与防治措施

构件开裂、破损:优化配合比与养护工艺,延长蒸汽养护恒温时间,加强运输与堆放防护,吊装选用专用吊具,避免单点受力与野蛮装卸。

安装偏差超标:强化测量复核,采用可调斜撑精准定位,执行“三检制”,对关键构件实行全过程旁站监督。

灌浆不密实:严格水料比与分仓长度,保证注浆压力与封堵及时性,加强过程检测,低温施工采用保温灌浆罩,防止受冻影响密实度。

外墙渗漏:优化防水构造,严把材料质量,规范嵌缝施工,完成淋水试验,对窗角、接缝等薄弱部位增设防水加强层。

节点结合不良:严格凿毛、清理与湿润工艺,使用微膨胀混凝土,加强振捣养护,避免新旧混凝土界面形成缝隙。

叠合板裂缝与挠度超标:严格控制支撑拆除时间,保证后浇层强度达到设计要求后方可拆模,避免过早承受施工荷载。

5 结论与展望

装配式混凝土建筑施工是多技术集成的系统工程,预制构件精度、吊装定位准确性、节点连接可靠性、防水构造有效性构成四大技术核心。质量控制必须贯穿设计、生产、运输、安装、验收全链条,以标准化工艺、精细化管理、数字化检测为手段,有效解决常见质量通病,提升结构安全与耐久性。

未来,随着BIM、物联网、人工智能等技术深度应用,装配式建筑将向智能化生产、数字化施工、智慧化监管升级,进一步提升质量稳定性与建造效率,为建筑工业化与绿色低碳发展提供更强支撑。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 51231-2016 装配式混凝土建筑技术标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2016.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.JGJ 1-2014 装配式混凝土结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB 50204-2015 混凝土结构工程施工质量验收规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [4] 孙忠倪.装配式混凝土结构施工技术及其质量控制研究[J].建筑理论,2025(11):45-47.
- [5] 李金科,高鸿全.装配式混凝土结构住宅施工关键技术与质量控制研究[J].国际建筑学,2025,7(2):67-69.
- [6] 王强.装配式混凝土建筑关键施工技术与质量管控[J].工程技术研究,2025,10(8):123-125.
- [7] 张晓明.BIM技术在装配式混凝土建筑施工中的应用研究[J].建筑科技,2026,2(1):56-58.