

装配式混凝土结构关键施工技术探讨

王水凌

南昌慧华高科混凝土有限公司 江西 南昌 330013

摘要：随着建筑工业化进程加速，装配式混凝土结构凭借施工高效、绿色环保等优势，成为建筑行业转型升级的重要方向。本文聚焦装配式混凝土结构关键施工技术，系统探讨结构类型、施工流程及核心要素，解析了预制构件生产运输、连接、吊装定位、模板支撑及钢筋混凝土协同等技术要点。通过分析模具设计、灌浆工艺、测量控制等关键环节，揭示技术实施的重点与难点。研究表明，精准把控各环节技术细节可有效提升施工质量与效率。

关键词：装配式混凝土结构；类型：关键施工技术

引言：装配式混凝土结构其复杂的施工技术体系对工程质量与安全提出更高要求。当前构件连接可靠性不足、装配精度控制困难等问题仍制约行业发展。深入研究装配式混凝土结构关键施工技术，剖析各环节技术要点与质量控制策略，对保障工程品质、推动建筑工业化可持续发展具有迫切的现实意义。

1 装配式混凝土结构类型与施工流程特点

装配式混凝土结构因建筑功能与力学性能需求的差异，主要分为框架结构与剪力墙结构。框架结构以预制柱、梁为核心构件，通过节点连接形成承重骨架，施工时需优先进行竖向构件吊装，再逐层安装水平梁体，其流程强调“自下而上、先竖后横”。由于梁柱节点受力复杂，常采用套筒灌浆或螺栓连接技术，确保结构整体性，适用于空间开阔的商业建筑与工业厂房。相比之下，剪力墙结构侧重于竖向承重与抗侧力，预制构件多为整片墙体，吊装时需严格控制垂直度与平整度，通过墙底坐浆、竖向钢筋浆锚搭接等方式实现连接，施工流程更注重构件间的拼接精度，常用于高层住宅建筑，以满足空间分隔与抗震需求^[1]。部分混合结构将框架与剪力墙结合，施工时需协调不同结构体系的构件安装顺序与连接方式，对施工组织与技术把控要求更高。

2 装配式混凝土结构施工技术核心要素

预制率、连接可靠性与装配精度构成了装配式混凝土结构施工技术的三大核心要素。①预制率是指预制构件体积或面积占建筑总体积或面积的比例，高预制率虽能提升施工效率，但对构件生产、运输及现场装配能力要求更高，需综合考虑成本与技术可行性进行设计。②连接可靠性直接影响结构安全，无论是套筒灌浆连接的密实度，还是浆锚搭接的锚固长度，均需严格遵循工艺标准，通过超声波检测、拉拔试验等手段确保节点强度与延性，避免因连接失效导致结构破坏。③装配精度则

贯穿施工全过程，从预制构件生产时的尺寸偏差控制，到现场吊装时毫米级的定位要求，均依赖高精度模具、BIM技术与先进测量设备，例如利用全站仪与三维扫描技术实时校准构件位置，确保建筑整体垂直度、平整度符合规范，保障结构受力性能与建筑使用功能^[2]。

3 装配式混凝土结构关键施工技术

3.1 预制构件生产与运输技术

预制构件生产与运输技术主要包含以下方面①预制构件生产。在模具设计与制作环节，依据构件的几何尺寸、复杂程度及生产批次，综合考量模具的材质与结构形式。对于标准化程度高的构件，如叠合楼板、楼梯等，常采用钢模具，其凭借高精度、高刚度及长使用寿命的优势，可有效保障构件尺寸精度在 $\pm 2\text{mm}$ 以内；而针对异形构件，则需通过三维建模技术进行模具定制化设计，利用数控机床加工，确保模具表面平整度误差控制在极小范围，以满足构件外观与尺寸要求。②钢筋加工与绑扎过程中，自动化生产线的引入革新了传统作业模式。数控钢筋弯箍机可精准控制钢筋弯曲角度与尺寸，误差不超过 $\pm 1\text{mm}$ ；智能绑扎机器人通过预设程序，能够自动完成钢筋骨架的绑扎作业，有效保证钢筋间距、锚固长度及保护层厚度符合设计标准。③混凝土浇筑工艺的优化。依据构件使用环境与性能需求，科学调配混凝土配合比，合理控制水胶比、砂率及外加剂掺量，以满足强度、抗渗、抗冻等指标要求。在浇筑过程中，针对不同构件类型采用差异化工艺：对于薄壁构件，采用分层分段浇筑，每层厚度控制在300 - 500mm，避免因浇筑速度过快导致混凝土离析；对于大体积构件，则需通过预埋冷却水管、添加缓凝剂等措施，控制水化热温升，防止出现温度裂缝。④养护阶段对混凝土强度增长起到决定性作用。自然养护适用于生产周期宽松、环境温度适宜的场景，通过覆盖塑料薄膜或土工布，定期洒水保

持湿润，确保混凝土强度正常发展；蒸汽养护则广泛应用于工业化生产，通过控制养护室的温度、湿度与时间参数，加速混凝土硬化，一般在12 - 24小时内即可达到设计强度的70%以上；养护室养护凭借自动化温湿度控制系统，可实现对构件养护过程的精准调控，进一步缩短生产周期，提高生产效率。⑤在运输环节，针对预制构件的形态与力学特性，制定精细化运输方案。对于预制梁、柱等细长构件，采用“井”字形专用运输支架，通过多点对称支撑与柔性捆绑固定，分散运输过程中的振动应力，防止构件产生弯曲变形；大型墙板运输时，采用立式运输架，设置侧向支撑与缓冲橡胶垫，避免构件相互碰撞造成边角破损。借助物流管理信息系统，实时监控运输车辆位置、行驶速度及路况信息，动态优化运输路线，减少在途时间，降低构件因颠簸、挤压产生损伤的风险。

3.2 装配式结构连接施工技术

以下连接技术其可靠性直接决定结构的整体性与抗震性能，①套筒灌浆连接。技术原理是利用高强无收缩灌浆料的胶结作用，将插入套筒内的钢筋与套筒内壁紧密粘结，实现钢筋间的应力传递。在施工过程中，套筒预埋精度是关键，需通过定位钢板、定位螺栓等辅助措施，确保套筒位置偏差不超过 $\pm 3\text{mm}$ ；钢筋插入前，需对套筒内部进行清理，去除油污、铁锈等杂质，并检查钢筋端头质量，保证钢筋与套筒的匹配性。灌浆作业采用压力注浆法，从套筒下口注入灌浆料，通过观察上口出浆情况判断灌浆密实度，待出浆口溢出均匀浆体后，及时封堵出浆口，防止空气进入形成空洞。为确保灌浆质量，每工作班应制作不少于3组灌浆料试块，进行强度检测，同时可采用超声波探伤技术对灌浆饱满度进行无损检测。②浆锚搭接连接。则利用预制构件预留的孔洞，将钢筋插入后灌注灌浆料实现锚固。该技术对孔洞制作精度要求极高，孔洞直径偏差需控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内，内壁需进行拉毛处理，以增强灌浆料与构件混凝土的粘结力。钢筋搭接长度需严格按照设计要求执行，一般不小于规范规定的最小搭接长度，且需保证搭接范围内钢筋的净间距满足施工要求。灌浆过程与套筒灌浆类似，需确保灌浆料充分填充孔洞，避免出现灌浆不密实或空洞现象。③后浇混凝土连接。施工时首先需对连接部位的钢筋进行可靠锚固与搭接，采用机械连接、焊接或绑扎连接等方式，确保钢筋连接强度不低于母材强度。合理设置施工缝位置，一般选择在结构受力较小且便于施工的部位，施工缝表面需进行凿毛处理，露出新鲜混凝土面，并清理干净杂物、浮浆。浇筑后浇混凝土前，在结

合面涂刷界面剂，增强新旧混凝土的粘结性能。浇筑过程中，控制混凝土坍落度在160 - 200mm，采用小直径振捣棒进行振捣，避免振捣棒直接接触预制构件，防止损伤构件表面^[3]。加强后浇混凝土的养护工作，采用覆盖保湿、喷雾养护等方式，保证混凝土强度正常增长，实现预制构件与现浇部分的有效协同工作。

3.3 构件吊装与定位施工技术

构件吊装与定位直接影响结构安装精度与施工安全，应注意以下几方面：①在吊装设备选型方面，需综合考量构件重量、尺寸、安装高度及现场作业条件。对于高层建筑施工，塔吊凭借其起升高度大、覆盖范围广的优势成为首选设备，通过计算最大构件重量、吊装半径等参数，合理选择塔吊型号，确保其起重性能满足施工需求；而在场地受限或构件重量较小的场景下，汽车吊则以其灵活机动的特点展现出独特优势。吊具设计同样不容忽视，针对不同构件类型，开发专用吊具：如采用桁架平衡梁吊具吊装大型墙板，通过合理分配吊点位置，使墙板在吊装过程中保持水平，减少吊装变形；对于预制梁、柱等构件，采用可调式吊具，可根据构件重心位置调整吊点，确保吊装过程平稳安全。②定位施工以高精度测量控制为核心。施工前，通过全站仪、水准仪等测量仪器建立统一的平面控制网与高程控制网，控制点间距一般不超过50m，且需定期进行复测，确保测量基准的准确性。③构件吊装过程中，采用全站仪进行三维坐标测量，实时监测构件的垂直度、水平位置偏差，通过安装在构件上的棱镜与全站仪进行数据交互，实现毫米级精度控制。当发现偏差超出允许范围时，利用可调支撑或千斤顶进行微调，支撑系统一般设置3 - 4个调节点，通过同步调节支撑长度，实现构件位置的精确校准。充分考虑风荷载、温度变化等环境因素对定位精度的影响，制定专项应对措施：如在风速超过5级时停止吊装作业，或采用防风缆绳对已吊装构件进行临时固定；针对温度变化导致的构件热胀冷缩，在设计阶段预留温度变形缝，施工时根据实时温度调整构件安装位置，确保结构安装精度符合设计要求。

3.4 模板与支撑体系施工技术

装配式混凝土结构的模板与支撑体系需同时满足预制构件安装与现浇部分施工的双重需求，具体技术如下：①早拆模板体系在叠合楼板、预制梁等构件施工中应用。其核心原理是通过在楼板跨中设置早拆头，当混凝土强度达到设计强度的50%左右时，即可拆除模板面板与部分龙骨，保留支撑立柱继续受力，从而实现模板的快速周转。②模板材料的选择。钢模板与铝合金模板

凭借其高精度、高刚度及良好的表面光洁度，成为主流选择。钢模板采用冷轧钢板制作，表面经镀锌或喷漆处理，可有效防止锈蚀，延长使用寿命；铝合金模板重量轻、拆装便捷，通过模块化设计，可实现快速组装与拆卸，提高施工效率。③临时支撑体系设计。根据构件自重、施工荷载、风荷载等工况，进行详细的力学计算，确定支撑立柱的规格、间距及基础形式。一般情况下，支撑立柱间距不大于1.2m，对于大跨度、悬挑构件，需加密支撑间距至0.8m以内，并增设斜撑或剪刀撑，增强支撑体系的整体稳定性。支撑基础需进行硬化处理，采用混凝土垫层或钢板垫板，确保支撑立柱底部受力均匀，防止出现不均匀沉降。支撑体系安装过程中，严格控制立柱垂直度，偏差不得超过 $H/500$ （ H 为立柱高度），且不大于30mm。④制定完善的支撑体系安装与拆除专项方案。明确操作流程与安全技术措施：安装时遵循“自下而上、逐层安装”原则，拆除时按照“后支先拆、先支后拆”顺序，严禁违规拆除或过早拆除支撑，避免因支撑失稳引发安全事故。

3.5 钢筋与混凝土协同施工技术

在装配式混凝土结构中，预制构件与现浇部分的钢筋连接及混凝土施工协同是保证结构整体性能的关键所在。钢筋连接方式除套筒灌浆、浆锚搭接外，以下技术也在特定场景下发挥重要作用。①直螺纹套筒连接。凭借其连接强度高、施工便捷的特点，常用于预制构件与现浇结构的水平钢筋连接，施工时需严格控制钢筋端头加工质量，保证丝头长度、牙型角等参数符合标准，套筒拧紧力矩需达到规范要求；②焊接连接。则适用于部分特殊位置的钢筋连接，如钢筋直径较小或无法采用其他连接方式的部位，但需注意控制焊接电流、焊接时间等参数，防止出现钢筋烧伤、脆断等质量问题。在节点区域，通过 BIM 技术进行钢筋碰撞模拟，优化钢筋排

布方案，合理设计钢筋避让与穿插路径，避免因钢筋碰撞影响构件安装与连接质量。③混凝土施工需充分考虑预制构件与现浇部分的结合特性。后浇混凝土浇筑前，对结合面进行严格处理：首先采用高压水枪或人工凿毛方式，去除表面浮浆、油污等杂质，使结合面露出粗骨料；然后涂刷混凝土界面处理剂，增强新旧混凝土的粘结性能。浇筑时，选择流动性良好、和易性佳的混凝土，坍落度控制在180 - 220mm，以确保混凝土能够充分填充节点区域。采用分层浇筑工艺，每层浇筑厚度不超过500mm，控制浇筑速度，避免混凝土堆积过高导致离析^[4]。振捣过程中，采用小直径振捣棒（如 $\phi 30\text{mm}$ ）进行振捣，振捣点间距不大于300mm，振捣时间以混凝土表面不再显著下沉、不再出现气泡、表面泛浆为宜，同时需防止振捣棒直接接触预制构件，避免损伤构件表面。

结束语：装配式混凝土结构关键施工技术通过多环节协同创新，实现了施工效率与质量的双重提升，显著缩短工期并降低现场湿作业污染。但在智能化建造、复杂节点处理等方面仍存在优化空间。随着数字化技术深度融合、新型连接材料研发应用，装配式混凝土结构施工技术将向更高精度、更低能耗方向发展，持续赋能建筑行业绿色化、工业化变革。

参考文献

- [1]杨礼耿. 装配式混凝土结构施工关键技术探讨[J]. 模型世界,2022(6):187-189.
- [2]江琳. 建筑装配式混凝土结构施工关键技术探讨[J]. 辽宁省交通高等专科学校学报,2021,23(1):21-25.
- [3]尹霞. 装配式混凝土建筑结构施工技术的关键点[J]. 模型世界,2024(22):191-193.
- [4]杨瑞英,王蛟. 装配式混凝土结构施工关键技术探讨[J]. 江西建材,2021(12):185-186,196.