

房建工程中装配式混凝土结构施工技术探讨

胡 志

玉溪海丰建设工程有限公司 云南 玉溪 653100

摘 要：随着建筑行业的发展，装配式混凝土结构作为一种新型的施工技术，具有施工速度快、质量可控、节能环保等优点，受到了广泛地关注和应用。通过工业化生产与智能化协同，装配式施工在效率、质量、环保及安全维度均展现显著优势，成为现代建筑产业升级的核心驱动力。

关键词：装配式混凝土结构；构件生产；构件吊装；预制楼梯

装配式混凝土结构是一种在房建工程中，越来越受人们欢迎的施工技术。通过对装配式混凝土结构施工技术的探讨，分析了其施工特点和关键技术要点。装配式混凝土结构施工技术在房建工程中具有广泛的应用前景^[1]。

1 装配式建筑特点

1.1 工业化生产模式。采用标准化设计、工厂预制构件，模块化生产模式使构件尺寸精度可达 $\pm 1\text{mm}$ ，降低现场施工误差；结合BIM技术实现全流程数字化管理，优化管线预埋与施工模拟，减少30%以上现场返工率；自动化产线（如机器人焊接、3D混凝土打印）提升产能，单线年产量可达50万平方米，人力成本降低60%。

1.2 施工效率显著提升。预制构件生产与现场基础施工同步推进，缩短工期30%-50%；机械化装配减少现场湿作业，模板用量降低85%，抹灰工程量减少50%。4人班组单日可完成80-120 m^2 建筑面积的构件安装，人力需求大幅下降。

1.3 节能环保优势突出。减少施工现场建筑垃圾80%、扬尘70%，全生命周期碳排放较传统现浇建筑低18%-25%；集成保温材料（如夹芯外墙板）提升建筑能效，传热系数 $\leq 0.3\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ，节能40%以上；支持构件拆解回收，部分项目可实现90%材料循环利用。

1.4 质量管控严格。工厂标准化生产使混凝土强度离散率从15%降至5%以内，有效规避蜂窝、麻面等质量问题；关键节点采用套筒灌浆、波纹管浆锚等连接技术，辅以智慧工地系统实时监控施工参数，确保结构可靠性^[2]。

1.5 灵活性与标准化并存。模块化设计支持建筑快速扩建、改造，适用于临时设施及紧急救援场景；国家强制要求主要构件标准化率 $\geq 50\%$ ，典型项目构件重复使用率达70%-90%。

2 不同结构类型装配式混凝土施工技术要点

2.1 剪力墙结构。高层装配整体式剪力墙。预制墙板竖向接缝位于结构边缘构件部位，采用现浇混凝土与预

制墙板形成整体，水平接缝通过套筒灌浆或浆锚搭接；每层楼面设置水平后浇带并配置连续钢筋，屋面设置封闭后浇圈梁，确保“等同现浇”受力性能。多层装配式剪力墙。结构分析采用弹性方法，无需复杂节点加固，预制墙板水平接缝处钢筋可简化连接工艺；适用于低层建筑，施工效率提升30%以上，外墙采用三明治夹心保温墙板（非组合式为主），减少现场保温层施工。

2.2 框架结构。普通装配整体式框架。预制柱、梁通过后浇节点区连接，预制楼板采用叠合板技术，节点区钢筋需满足锚固长度 $\geq 12d$ 且跨中钢筋连续；吊装顺序遵循“柱→梁→板”分层施工，临时支撑间距 $\leq 1.5\text{m}$ ，定位误差 $\leq \pm 3\text{mm}$ 。框剪体系（预制预应力框架）。预制预应力梁、板采用高强度绞线（抗拉强度1860MPa），主筋强度为现浇梁的4倍，减少构件截面尺寸；半装配式方案结合现浇柱与预制梁板，节点区后浇段采用自密实混凝土，避免振捣不实风险。

2.3 拱肋板结构。预制混凝土拱肋板与预制梁通过连接件快速拼接，形成框架轮廓，支撑柱布置于框架底部或拱肋板下方；拱肋板纵向端部支撑在预制梁上，连接工艺减少现场焊接，施工效率提升40%。

2.4 关键配套技术。叠合楼板施工。预制底板厚度 $\geq 60\text{mm}$ ，后浇叠合层厚度 $\geq 70\text{mm}$ ，安装时与支撑间距 $\leq 30\text{cm}$ ，双向受力筋需在后浇层内绑扎连续；临时支撑拆除需待叠合层混凝土强度 $\geq$ 设计值的75%。墙柱连接节点。预制墙板与立柱采用外露纵筋+箍筋外露端+后浇混凝土体连接，箍筋与横筋外露端焊接固定，提升整体抗剪强度；竖向接缝灌浆连续作业，灌浆料流动度 $\geq 300\text{mm}$ ，单次灌浆高度 $\leq 1.5\text{m}$ 。防水与保温集成。外墙三重防水构造：外侧耐候胶（宽 $\geq 15\text{mm}$ ）+中间减压空腔+内侧预埋橡胶止水条，十字缝增设聚氨酯涂层；三明治夹心墙板连接件采用GFRP材料，导热系数 $\leq 0.06\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ，避免冷桥效应。

2.5 施工效率与安全控制。BIM技术优化预制构件编码与吊装路径,减少碰撞误差80%以上;采用免焊龙骨、专用调节工具及预制楼梯临时通道,降低高空作业风险30%;智慧工地系统实时监测灌浆压力(0.1-0.3MPa)、构件定位偏差等参数,数据存档可追溯。

3 装配式混凝土结构施工技术要点

3.1 预制构件生产与运输。标准化生产控制。预制构件需编制详细生产方案,建立首件验收制度,出厂前需设置表面标识并附质量证明文件;模具化生产可保障构件尺寸精度 $\leq \pm 2\text{mm}$,混凝土强度离散率控制在5%以内,避免蜂窝、麻面等缺陷。运输与存放要求。运输时构件混凝土强度需 $\geq$ 设计强度的75%,超限构件需制定专项运输方案,叠放层数根据类型控制(如板类 ≤ 6 层,梁柱 ≤ 3 层);存放场地需平整且配置排水设施,外墙板推荐直立存放并使用专用支架加固,防止变形开裂。

3.2 现场安装工艺。吊装与定位校准。预制墙板吊装需采用专用调节工具,垂直度偏差 $\leq 3\text{mm}$,定位后采用临时支撑固定;叠合楼板安装时,跨度 $> 4\text{m}$ 需设置临时支撑,间距 $\leq 1.5\text{m}$,水平度误差 $\leq 5\text{mm}$ 。节点连接技术。柱-柱连接:采用套筒灌浆技术,下部钢筋伸入套筒后灌入高强浆料,灌浆饱满度需 $> 95\%$;梁-柱连接:预制梁端预留U形键槽,附加钢筋贯穿节点后浇筑混凝土,抗剪钢板增强连接强度;主次梁连接:搁置式连接利用“扁担”钢板或凸台支撑,形成铰接节点,符合结构计算假定。

3.3 关键质量控制。套筒灌浆技术。竖向构件灌浆前需分仓封堵,单仓长度 $\leq 1.5\text{m}$,灌浆压力0.1-0.3MPa,灌浆料流动度初始 $\geq 300\text{mm}$ 、30min $\geq 260\text{mm}$;灌浆后需留置试块检测强度,并通过内窥镜或X射线抽查内部密实度。防水与接缝处理。外墙板接缝采用耐候胶+止水条双重密封,胶缝宽度 $\geq 15\text{mm}$,嵌填深度 $\geq 80\%$;水平接缝后浇带混凝土需掺入膨胀剂,浇筑后覆盖养护 ≥ 7 天。

3.4 施工协同管理。BIM与智慧工地应用。利用BIM技术优化构件编码、运输路径模拟及碰撞检测,减少现场返工率30%以上;智慧工地系统实时监测吊装定位精度、灌浆压力等参数,数据可追溯存档。专项方案与验收。施工前需编制专项方案,包含构件存放、吊装顺序、节点连接工艺等内容,并进行试安装验证;隐蔽工程验收重点检查钢筋锚固长度、套筒灌浆密实度及临时支撑稳定性。

3.5 特殊场景应对。高层剪力墙结构:预制剪力墙与现浇边缘构件结合,竖向接缝灌浆需连续作业,灌浆后

24h内禁止扰动;异形构件安装:采用三维扫描技术复核预埋件位置,偏差 $> 5\text{mm}$ 时需调整吊装方案。

4 装配式建筑施工缝处理技术要点

4.1 接缝类型与技术规范。接缝分类与设计要求。叠合板接缝:分为分离式接缝(构件间留缝5-10mm)和后浇带式接缝(现浇混凝土填充),密缝连接需保证构件平整度 $\leq \pm 2\text{mm}$;预制墙板接缝:包括竖向拼缝和水平接缝,宽度 $\geq 15\text{mm}$ (规范要求)至20mm(实际设计),深度 $\geq 10\text{mm}$ 且宽厚比2:1以保障密封胶性能。接缝设计标准。外墙拼缝宽度根据JGJ 1—2014规定 $\geq 15\text{mm}$,实际工程常用20mm,密封胶厚度 $\geq 10\text{mm}$,避免因过宽导致胶体下垂或浪费;关键节点(如梁-板、墙-板接缝)需通过结构验算确定接缝形式,优先采用后浇带连接或附加钢筋加固。

4.2 材料与工艺控制。填缝材料选择。柔性抗裂填缝砂浆:由水泥、石英砂、高分子聚合物组成,现场加水搅拌,抗裂性能强且施工便捷,适用于内墙拼缝填筑;高强度密封胶:耐候性、弹性优异,用于外墙接缝防水,需满足宽厚比 $\geq 1:1$ 以保证位移适应能力。施工工艺要点。基层处理:接缝处需清理至无浮灰、油污,干燥无明水,必要时切割扩缝至设计尺寸(如宽度 $< 15\text{mm}$ 时切割修正);注胶与填缝:密封胶分两次填注,初次填充后嵌入衬垫材料(如泡沫棒),二次注胶压实并刮平表面,形成连续防水层;后浇带施工:叠合板接缝后浇带需绑扎附加钢筋,浇筑微膨胀混凝土并振捣密实,覆盖养护 ≥ 7 天。

4.3 防水与加固技术。防水构造措施。外墙接缝三重防水:外侧耐候密封胶+中间减压空腔+内侧预嵌防水橡胶条,十字接头处增设聚氨酯防水层;内墙接缝:采用柔性砂浆填缝后压入耐碱网格布,增强抗裂性并避免空鼓。结构加固技术^[3]。预制墙板连接节点:竖向接缝采用桁架钢筋与附加纵筋焊接,水平接缝通过锁紧螺栓与连接筋板加固,提升整体性;叠合板接缝:附加环箍与附加纵筋绑扎,形成双向受力体系,确保与现浇层协同工作。

4.4 质量控制与验收。过程监测。施工前检查接缝尺寸偏差(宽度 $\pm 2\text{mm}$ 、深度 $\pm 1\text{mm}$),不合格时切割修正或填充衬垫;注胶饱满度通过探针检测,密封胶与基材粘结面积需 $\geq 95\%$ 。验收标准。接缝表面平整度误差 $\leq 3\text{mm}$,密封胶无开裂、脱粘现象;后浇带混凝土强度需达到设计值,并通过超声波检测内部密实度。

5 装配式混凝土施工挑战与解决方案

5.1 设计与施工协同挑战。设计施工脱节风险。预制构件深化设计与现场安装需求不匹配,导致预留钢筋偏

差超限（如套筒连接精度要求 $\pm 1\text{mm}$ ），影响安装效率与可靠性；异形结构（如突变桁架）荷载分布复杂，传统设计难以模拟实际施工工况。解决方案：采用BIM技术优化节点设计与构件编码，实现设计模型与施工路径的动态匹配，减少碰撞误差80%以上；建立跨部门协同机制，设计团队与施工方联合开展试安装验证，提前修正偏差。

5.2 施工工艺与精度控制挑战。关键节点连接质量控制。套筒灌浆密实度不足（饱满度需 $> 95\%$ ）、灌浆料流动度衰减快（30min损失 $\geq 40\text{mm}$ ），易导致钢筋锚固失效；高层结构转换层施工中，预制墙板安装偏差 $> 5\text{mm}$ 时需返工，延误工期。解决方案：智能灌浆技术：采用压力传感器实时监测灌浆压力（0.1-0.3MPa），结合高精度灌浆料（初始流动度 $\geq 300\text{mm}$ ），确保灌浆连续性与密实度；三维扫描复核：对预埋件进行三维激光扫描定位，偏差 $> 3\text{mm}$ 时触发预警并调整吊装方案。高温环境影响。高温导致混凝土坍落度损失加速（20min内损失 $\geq 30\text{mm}$ ），套筒灌浆料初凝时间缩短至30分钟以下。解决方案：原材料温度控制：粗骨料遮阳降温+地下水冲洗，混凝土出机温度 $\leq 25^\circ\text{C}$ ；分时段施工：灌浆作业避开午间高温时段，采用遮阳棚覆盖养护接缝区域。

5.3 供应链与效率管理挑战。预制构件供应与调度。大型构件（如6吨预制墙板）运输效率低，垂直运输设备选型不当导致吊装延误；突发需求下混凝土供应中断风险（如单次浇筑8865方大体积底板需协调600车次运输）。解决方案：智慧物流系统：建立混凝土搅拌站与项目现场的实时调度平台，结合BIM模拟优化运输路线与泵车布点，缩短等待时间40%；战略合作机制：与预制构

件厂签订产能预留协议，配置应急生产线应对突发需求。

5.4 质量与安全风险挑战。隐蔽工程缺陷。套筒内部灌浆空洞、接缝防水层脱粘等隐患难以直观检测；高空作业中临时支撑失稳风险（如叠合板支撑间距超1.5m）。解决方案：无损检测技术：采用内窥镜抽查套筒灌浆密实度，X射线检测接缝内部缺陷；AI安全预警系统：通过高精度传感器监测塔吊荷载与临边防护状态，实时推送风险警报。材料质量波动。劣质粉煤灰掺假（煤矸石替代率 $> 30\%$ ）导致混凝土强度倒缩；水泥过度粉磨（比表面积 $\geq 480\text{m}^2/\text{kg}$ ）引发外加剂相容性差、收缩开裂。解决方案：原材料溯源管理：建立砂石、水泥电子溯源系统，关键指标（氯离子含量、细度模数）实时上传区块链存证；三检制度：严格执行混凝土“出厂检、到场检、入泵检”，每批次留样比对28天强度。

5.5 技术创新方向。全铝模施工体系：针对超高层异形结构，研发自适应铝模系统，提升施工效率30%以上；型钢混凝土同步施工：实现钢结构与混凝土浇筑无缝衔接，减少工序交叉干扰，降低材料损耗18%。

总之，通过合理的构件设计、精确的定位放线、安全的构件吊装等关键技术要点的掌握，可以有效提高施工效率和质量，实现工程的快速建设和可持续发展。

参考文献

- [1]张鹏.装配式混凝土建筑结构施工技术要点探究.2024.
- [2]付浩宇.房建工程中装配式混凝土结构施工技术分析.2023.
- [3]张海英.关于房建工程中装配式混凝土结构施工技术探讨.2024.