

# Technical Control Points for Quality Promotion of Fabricated Shear Wall High-Rise Residential Building System

Zhi Yang Peng Cheng Shantian Zhang

China Construction third Bureau Group Co., Ltd., Wuha, Hubei, 430070, China

## Abstract

The high-rise residential system of prefabricated shear wall is adopted in Shenye Luqi House project, which mainly includes 11 residential buildings and 2 commercial buildings, with an assembly rate of 51. The types of prefabricated components include prefabricated exterior walls (convex windows), prefabricated balconies, prefabricated laminated floors, prefabricated beam staircases, prefabricated floating window panels. With the theme of “Design—Production—Assembly”, the project adopts the lifting frame, prefabricated component installation, connection and reinforcement tooling system to save transportation cost, shorten construction period, reduce material loss and large area running water Construction. At the same time, the key control points in the design and construction process are pointed out, which can provide reference for similar projects and facilitate popularization.

## Keywords

assembly shear wall high-rise residential system; prefabricated components; design-production-assembly integration; information simulation; tooling system

# 装配式剪力墙高层住宅群建筑精益建造控制要点

杨志 程鹏 张善添

中建三局集团有限公司, 中国 · 湖北 武汉 430070

## 摘 要

深业鹭栖府项目采用了装配式剪力墙高层住宅体系, 主要包括 11 栋住宅和 2 栋商业建筑, 装配率达 51%。预制构件类型包括预制外墙(凸窗)、预制阳台、预制叠合楼板、预制梁式楼梯、预制飘窗板。本工程以山水洲城为基调、荷塘玉鹭为主题, 通过“设计—生产—装配”一体整体策划、信息化模拟及各工序合理穿插, 采用提升架、预制构件安装、连接及加固的工装系统, 实现了节省运输费用、缩短工期、物料损耗减少、以及大面积流水施工的目标。同时, 体现设计及施工过程中的关键控制点, 为同类工程提供借鉴, 便于推广。

## 关键词

装配式剪力墙高层住宅体系; 预制构件; 设计—生产—装配一体化; 信息化模拟; 工装系统

## 1 引言

为响应习近平总书记“百年大变局下, 新业态、新模式、新变化以及新旧动能转换”的重要讲话内容, 装配式建筑作为建筑业发展新模式开始快速崛起, 中华人民共和国国务院办公厅和各省办公厅也发文指示, 装配式建筑即将占新建建筑的一半以上。

根据市场分析, 传统现浇式建筑的技术集成、管理方式、劳动力素质、生产手段等方面效用不佳, 导致建造质量和效益不理想。而装配式建筑安全高效、节能环保, 正给全球的

发展和人类生产生活带来翻天覆地的变化, 并不断发展成一种精益的建造体系。

## 2 工程简介

深业鹭栖府项目位于国家级湘江新区核心长沙 CED 城芯自然保留区, 择址千亿洋湖生态新城这处天赋之地。项目总建筑面积约 24 万 m<sup>2</sup>, 占地约 8 万 m<sup>2</sup>, 包含 11 栋住宅、2 栋公寓、1 栋商业建筑及配套工程, 其中精装交付住宅约 14 万 m<sup>2</sup>, 目标工期为 760 个日历天。在我司品牌建设定位上, 本工程为打造精益建造实施示范项目。项目正视效果图如图 1 所示。本工程采用了提升架、预制构件安装、连接及加固的工装系统, 实现节省运输费用、缩短工期、物料损耗减少

【作者简介】杨志(1984-), 男, 中国湖北应城人, 高级工程师, 从事工程项目管理研究。

以及大面积流水施工的目标。



图 1 正视效果图

论文以深业鹭栖府预制装配整体式住宅群为依托,阐述 PC 与铝模结构体系的小工序穿插模型、PC 竖向吊装构件与铝模交接截面垂直度和平整度的控制、外墙挂板 + 铝模板 + ALC 板薄抹灰体系、建筑外立面封水体系、新型叠合板现浇板带凹槽防漏浆技术等关键施工技术的应用。

### 3 项目实施特点

深业鹭栖府项目建安工程 1-11# 运用装配式混凝土技术,预制构件包括预制外墙(凸窗)、预制阳台、预制叠合楼板、预制叠合梁、预制楼梯。各楼栋装配率均不低于 50%,项目预制构件概况详见表 1。

表 1 深业鹭栖府 PC 构件概况

楼栋号	预制范围	标准层高度/mm	预制构件类型	装配率/%
1-5#栋	2-屋面层	2900mm	预制外墙(凸窗)、预制阳台、预制叠合楼板、预制叠合梁、预制楼梯	52%
6-7#栋	2-屋面层	2900mm	预制外墙(凸窗)、预制阳台、预制叠合楼板、预制叠合梁、预制楼梯	50.1%
8#栋	2-屋面层	2900mm	预制外墙(凸窗)、预制阳台、预制叠合楼板、预制叠合梁、预制楼梯	50.44%
9#栋	2-屋面层	2900mm	预制外墙(凸窗)、预制阳台、预制叠合楼板、预制叠合梁、预制楼梯	50.19%
10#栋	2-屋面层	2900mm	预制外墙(凸窗)、预制阳台、预制叠合楼板、预制叠合梁、预制楼梯	50.39%
11#栋	2-屋面层	2900mm	预制外墙(凸窗)、预制阳台、预制叠合楼板、预制叠合梁、预制楼梯	51.81%
备注	项目预制构件缩写对照如下: YLB—预制叠合板; YTC—预制凸窗; YWQ—预制外墙; YYT—预制阳台; YLT—预制楼梯; YTL—预制叠合梯梁			

根据项目详情可知,本项目有以下实施特点。

第一,本工程装配结构主要采用 PC+ 铝模 + 爬架 / 新型悬挑架 + 精装修 + 管线分离 + ALC 内墙板,涉及相关方较多,提资条件众多,沟通协调量大。项目商务管控任务重,风险化解额达 4182.72 万元。

第二,现场场地狭小,装配率高,对现场材料堆场及塔吊布置要求高。本工程总共 11 栋装配式建筑和 2 栋办公公寓塔楼,塔楼间距较小,装配式构件多,且 PC 构件堆放要求高(如考虑堆放荷载,卸车运输及吊装),平面布置难度大。

第三,专业分包众多,工序交叉频繁,专业协调量大。

项目资源供应众多,分包众多,项目协调及总承包管理难度大。

第四,新材料、新工艺应用范围广,深化设计、施工协调及质量把控点多、面广。本项目为精装交房,PC 深化及铝模深化设计需综合考虑范围广;本项目室内墙体材料为新型 ALC 板,目前施工经验较少,综合风险把控难度大。

第五,PC 构件吊装施工经验不足,吊装精度控制难度大。经过前期调研,发现 PC 构件吊装施工难度大,精度受多方面因素影响,整体吊装效率底,吊装拼接精度难控制<sup>[1]</sup>。

### 4 PC 与铝模结构体系的小工序穿插模型

本工程主体结构施工队伍确定为 2 家,地上标准层采用不等高同步攀升技术,立面穿插提效。利用外提升架体,在架体内部完成全部结构施工内容,水平上室内外同步施工,立面上结构、粗装修流水施工,以达到“水平同步、竖向流水、立体穿插、不等高攀升”的目标。

主体结构施工受钢筋、铝膜、PC 吊装、PC 运输、塔吊等多工序穿插相互影响,协调量大,标准层施工周期长,前期根据多方考察、调研发现相同体量、同类型装配式项目标准层施工工期基本上为 7~8 天一层,项目结合自身工期情况较为宽裕,前期标准层施工基本上按 7~8 天一层可满足工期节点要求。

由于疫情影响以及主体队伍劳动力流失,PC 供应不足,铝膜供应滞后、水电安装配合单位劳动力不足影响现场工期,原计划 7~8 天一层已经无法满足项目工期节点要求。在主体结构封顶节点十分紧迫的情况下,项目从工效分析与再论证、队伍实际需求、施工组织沟通协调、三轮优化压缩工期、不利工况下减少负影响等方面进行技术策划,责任工程师现场蹲点,每个环节亲自协调安排,将各项小工序穿插精确至小时,并安排专人协调 PC 计划,保证 PC 供应,成功将各栋主体结构标准层工期固化至 4 天一层,这在中国尚属罕见。标准层施工工期模型如图 2 所示。

时间	第一天			第二天			第三天			第四天		
	上午	下午	晚上	上午	下午	晚上	上午	下午	晚上	上午	下午	晚上
前期准备												
混合PC吊装、竖向爬架												
墙柱												
水电插入												
竖向爬架及合模												
铝模浇筑爬架												
叠合板浇筑												
水电安装												
楼地面												
验收及清理垃圾清运												

图 2 标准层施工工期模型 -4 天 / 层

## 5 设计、生产、装配一体化

无论是否进行精装修,装配式混凝土结构建筑必须考虑装修对预制构件的要求,装配式混凝土结构建筑不能在交付后再凿墙装修,所需的预埋件都必须在设计中给出,如此便把装修设计移到了建筑设计阶段。

装配式混凝土结构建筑设计环节增加的工作量与建筑结构形式、装配率、造型复杂程度等因素有关,大约为20%~30%。精装修的建筑设计成本没有增加,无装修建筑则相当于增加了对预制构件拆分工作、预制构件脱模、存放和吊装的复核计算的设计工作量。

装配式混凝土结构建筑设计应当一个构件一张（或一组）制作图，不能让工厂自己从各专业各个环节图样中去“找”技术指令。

预制构件生产阶段作为装配式建筑建造的重要环节，无论是生产效率、构件质量都决定了一个装配式的成败，而 BIM 技术与装配式建筑有机结合起来，能够较大程度的保障预制构件深化设计、生产、管理的高效性。本工程在装配式构件生产阶段应用包括 BIM 技术和 BIM 技术指导预制构件生产，加上 BIM 技术进行装配式构件生产管理，以保证整个构件生产阶段高效、有序地进行。

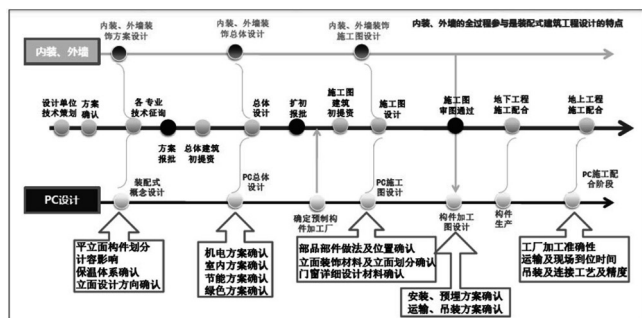


图 3 PC 设计深度融合至设计阶段

## 5.1 设计优化与深化设计

通过精装修设计提前插入，多专业融合，优化设计做法的方式，减少多余工序，提高一次成优率。如通过外窗企口、滴水线优化减少渗漏风险；构造柱、门洞下挂梁、厨卫及水电井反坎随结构一次性浇筑，减少二次结构施工工序；通过模板优化，管线压槽一次成型，减少后期剔凿。

在装配式构件深化设计开始前,设计方需提供预制构件轮廓图、精装修水电管线分离图。施工方需提供铝模拉模孔点位图、各类施工机具在竖向构件(爬架、悬挑架、卸料平台)

预留预埋点位图、各类施工措施在水平构件（放线孔、传料孔、泵送孔）预留孔位图。机电安装单位需审核管线排布图，将管线碰撞部位合理优化。

深化设计前应组织完成爬架、悬挑架、卸料平台、铝模、门窗栏杆、水电安装等分包单位的招采工作，确保各单位熟悉项目各专业施工图纸，完成项目图纸会审，整理图纸问题；

深化设计中，一是要求设计单位针对图纸会审提出的问题进行解答或变更；二是要求精装单位、铝模单位、爬架单位、悬挑架单位出具深化图纸；三是要求吊装单位编制《PC 构件吊装方案》。同时，项目部应编制《全钢集成附着式升降脚手架工程施工方案》《新型悬挑式脚手架专项施工方案》《卸料平台工程专项施工方案》《施工电梯选型布置及基础施工方案》，同时应确定楼板上放线孔、传料孔、泵送孔（或布料机）布置点位。最后，督促设计单位充分考虑以上信息，完成初步深化。

初步深化完成后,可以根据 PC 构件厂生产情况作出调整。首先,取消尺寸小于 100mm 的造型线条、反坎(门窗企口除外);其次,构件尺寸大于 100mm 但小于 500mm 的阴角或凹槽部位需考虑 PC 构件生产的脱模角;最后,PC 构件与铝模交界处应考虑 100~200mm 宽、5~8mm 深的压槽。

## 5.2 措施策划项

措施优化要以保证施工安全可行行为前提,从永临结合、优化措施方案、开发实用新型工具等方面,减少临时施工措施投入和多余辅助措施资源浪费。例如,施工道路永临结合以减少临建成本投入,房板采用打包箱重复周转使用以减少临建摊销,永久消防提前插入以减少临时消防投入,提前安装阳台栏杆、窗框、楼梯栏杆以减少临时性防护投入,楼层临时供水管线暗埋以减少维护费用。

### 5.3 工艺优化

为了减少质量缺陷、提高品质，项目对传统建造工艺进行优化，消除多余施工步骤，避免返工，提高一次成优率。如砖胎膜采用预制砖胎膜，减轻现场砌筑及防水基层处理工作；悬挑架采用新型悬挑架，排除洞口封堵，杜绝渗漏隐患；主体结构在主体与内隔墙板交接处压槽，降低后期内隔墙与主体结构交接处开裂的风险；卫生间倒角设计优化，将原降板区域直角优化成圆弧角或钝角倒角形式，以提高卫生间防水施工质量。

## 5.4 信息化模拟

如图4所示,利用BIM可视化和模拟性的特点,模拟预



制构件施工现场安装,可以提前发现构件拆分中的问题;同时对预制构件进行优化以达到深化设计的效果,能有效解决预制构件在施工现场无法准确安装的问题<sup>[2]</sup>。

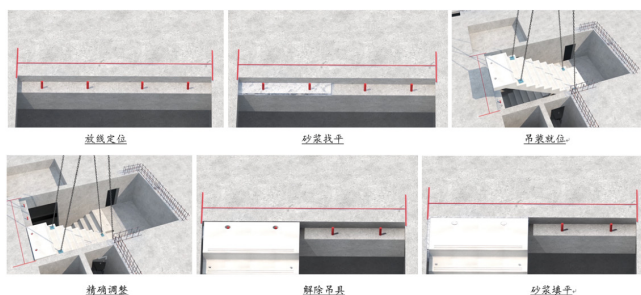


图 4 安装模拟

## 6 设计形式与设计参数

对装配式结构而言,“可靠的连接方式”的重要性不言而喻,这是结构安全的最基本保障。装配式混凝土结构连接方式包括钢筋套筒灌浆连接、浆锚搭接连接、后浇混凝土连接、螺栓连接、焊接连接等,其中钢筋套筒灌浆连接分为全灌浆套筒和半灌浆套筒两种类型,区别如表 2 所示。

表 2 全灌浆半灌浆套筒对比表

套筒类型	套筒长度 (mm)	灌浆量 (m <sup>3</sup> )	蓄热保温难度
全灌浆套筒	260	$8.86 \times 10^{-5}$	长度较大,难度大
半灌浆套筒	135	$4.6 \times 10^{-5}$	长度较短、难度相对较小

叠合板的预制和现浇厚度为 60mm (预制厚度) + 80mm,混凝土等级为 C30,钢筋采用 HRB400,钢筋保护层厚度为 15mm,预制层内四周设置钢筋与剪力墙、梁、板缝连接,面层设置桁架钢筋与现浇层连接。(如图 5 所示)

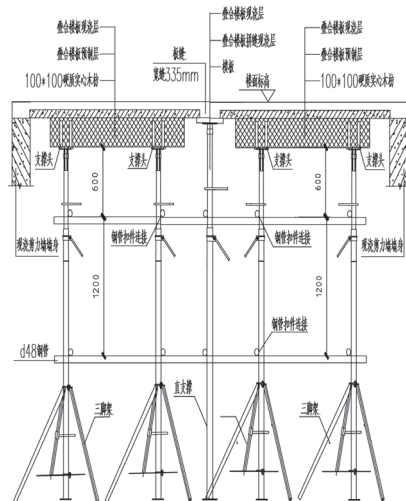


图 5 叠合板支撑搭设示意图

预制外墙为全预制结构。两侧预留插筋与现浇墙体连接,

上下位置留设企口,混凝土等级为 C30,钢筋保护层典型厚度为 20mm。

本工程标准层层高为 2.9m, 1~5# 栋的楼梯为双跑楼梯,中间设休息平台, 6~11# 栋为梁式剪刀梯,中间不设休息平台。预制楼梯混凝土等级为 C30,钢筋保护层厚度为 20mm。

## 7 精益建造与智慧建造

项目采用精益建造的方法,有效减少了多余工序、工作面闲置和资源浪费的现象、提高一次成优率,并追求达到“零浪费”“零库存”“零缺陷”“零事故”“零返工”“零窝工”的目标。

项目现场安装人员实名制系统、人脸识别系统、安全帽智能识别系统、扬尘监测系统、塔吊安全监测系统等多项智能化系统,将信息集成至智慧工地云平台,并结合中建财务一体化平台、平安总包信息化系统等信息化办公平台形成项目整体智能化管理体系。项目由此建立大数据分析模型,通过模型分析,信息共享,方便项目进行劳务管理、工期管理、绿色施工管理、大型机械管理等多项管理流程,提高了管理效率和水平。

项目根据自身特点,积极推广新技术运用,主体建造采用爬架和新型悬挑架 + 铝模 + 装配式结构 + 全砼外墙 + 内隔墙条板 + 管线分离等技术,注重进度与成本协调、质量与安全并重。项目采用精益建造理念,通过新技术运用,促进项目品质的提升。

管线分离是指建筑中将设备与管线设置在结构系统之外的方式,如裸露于室内空间以及敷设在湿作业地面垫层内的管线都称之为“管线分离”。在传统的建筑中,一般会将室内装修用设备管线预埋混凝土楼板和墙体等建筑结构的系统中。这样会造成后续的维护成本相当高,当设备管线老化时,由于无法改造更新,就会影响到建筑的使用寿命。而“管线分离”因其预留在建筑之外,所以可以在工厂内根据图纸进行模块化、标准化生产,在施工时可以根据不同组合进行现场装配,大大增加了灵活性,减少了施工过程中的高损耗<sup>[3]</sup>。

## 8 施工控制要点

现场工序流程: 图纸设计—产品定型—下单工厂开模—制作构件—构件检验合格出厂—构件编号运达现场—施工现场检验构件及编号核对—构件支架现场质量、标高、位置核验—构件细部尺寸核对—吊装就位—装配质量验收并记录。

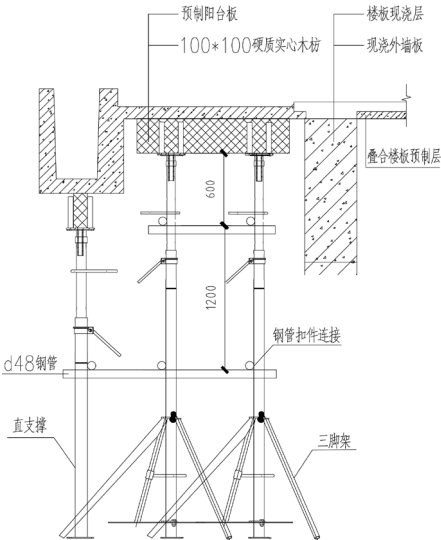


图 6 预制阳台支撑搭设大样图

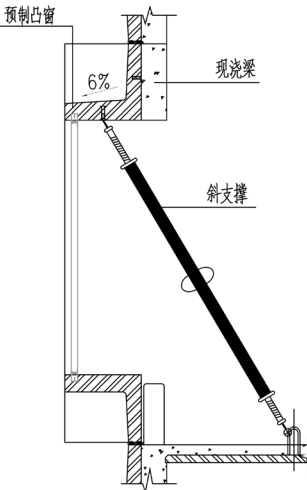


图 7 预制凸窗支撑搭设大样图

表 3 吊装分析

序号	名称	重量（t）	用途	数量 / 单元	到货周期
1	叠合楼板	2.10~2.85	承受水平荷载	30	7 天
2	楼梯	2.08~3.8	承受水平荷载	2	7 天
3	阳台板	0.975~1.15	承受水平荷载	3	7 天
4	飘窗	3.72~4.28	垂直交通设施	6	7 天
5	外墙板	1.85~2.50	垂直交通设施	6	7 天

9 结语

装配式住宅预制率 $\geq 25\%$ ，优选装配整体式剪力墙；预制率 $< 25\%$ ，可选现浇外挂、PCF 结构体系。

装配式住宅适用于外立面简单明快，结构简单，户型重复率高的住宅，工期缩短，可快速复制。预制构件需有一定的设计周期和生产加工周期，施工需有预制安装资质的施工单位及人员。在今后的项目中，可在安置房、公租房、户型重复率高的住宅中使用。

参考文献

[1] 高磊. 装配式混凝土建筑的特点及对传统建筑的影响 [J]. 绿色环保建材, 2020,158(04):106–107+109.

[2] 王强周. 基于 BIM 的大型建设项目优化技术研究 [D]. 成都: 西南交通大学, 2015.

[3] 赵军胜. 加强预制构件生产质量控制确保工程结构安全 [J]. 现代营销 (下旬刊), 2012 (04):65.