

某装配式住宅小区设计优化及施工重难点研究

方三陵

中国一冶集团有限公司 湖北 武汉 430000

【摘要】：装配式建筑是我国正在大力推行的一类建筑。装配式建筑的主要技术革新是将传统建筑现场建造的模式更改为工厂化制造加现场安装的模式，但其造价较高已成为其推广实施的一大障碍。故本文依托某装配式住宅小区项目，在充分理解原设计方案理念后进行设计优化，保证在不劣化原设计方案各项使用功能的前提下提升项目的经济效益。

在完成优化的过程中，本文将辅以计算机有限元分析、传统纸算等方法保证优化方案的可靠性。并进一步在施工过程中总结得出了更为高效的施工工艺，为保证项目效益提供了坚实的基础。

最后，本文通过对项目造价对比分析，验证了优化设计的经济效益，完成了研究预期，能更好地推动后续装配式项目的实施，具有实践性和现实意义。

【关键词】：装配式住宅；设计优化；工程应用；效益分析

1 绪论

1.1 引言

随着现代工业技术的发展，建造房屋可以像拼乐高积木一样，工厂建造之后将预制完成的构件运到需要的地方拼装即可。

这一技术于20世纪60年代首先被英国人实现。1976年，美国国会通过了国家工业化住宅建造及安全法案，发展至今已建造1000万套以上的装配式建筑。欧洲近年来将常规设计发展为“产品目录设计”，率先实现装配式建筑数模法制化。

我国于二十世纪中期引入装配式建筑技术。但鉴于国情，装配式建筑造价高昂、技术难度大故并未得到实质应用。近年来我国国力突飞猛进，建筑技术早已不是短板。在追求绿色中国、可持续发展的大背景下，装配式建筑以其在绿色建筑领域无可比拟的优势再次进入人们的视野。近年来各省市纷纷响应国家号召，在对建筑的装配化率提出要求的同时也给出了各式各样的优惠政策。装配式建筑已成为我国建筑市场未来的发展方向。

1.2 选题背景及研究意义

随着装配式建筑的逐步推广，我们在施工中发现了以下问题：

- (1) 设计难度大，深度不够，造成现场施工问题频发。
- (2) 装配式构件设计偏向于方便制造，加大了施工难度，降低了施工效率。
- (3) 费用较高。

(4) 技术路径多样，且更新快、变化多，培训工人难度大、费用高。

为了解决上述问题，落地装配式建筑技术、抢占相关市场，我们必须研究解决上述问题。

1.3 本文研究内容和技术路线

本文依托某装配式保障性还建房项目，研究、分析其设计文件，借鉴国内先进成果，进行深度设计工作，通过设计优化，降低施工难度，提升经济效益。积累大型装配式项目的设计、施工经验，尝试解决公司推广装配式建筑技术遇到的难题，并为同行提供经验参照。本文主要研究内容如下：

(1) 研究分析本项目装配式住宅设计体系及其技术特点，理解、消化其设计原理及设计理念。

(2) 设计优化。在理解本项目设计方案后，在不改变其设计初衷的前提下进行设计优化，在不改变制造难度的前提下，使设计方案更易于现场实施，并通过深度深化设计，从制造及施工两个大方向入手，提高经济效益。

(3) 施工过程及重难点分析。通过施工过程中的重难点，验证本文设计优化工作的效果，列举成功点，找出不足点。

(4) 总结。结合经济效益研究的结果，评价本文设计优化工作的成效，同时指出后续项目的发展方向，力争形成一套模数化的设计、施工、评价体系，解决装配式项目难度大、费用高的难题。

本论文中运用的技术路线可以看出，论文的工作主要分以下几个部分：

第一部分为准备工作，熟悉项目情况及其设计图纸，研究其设计理论和设计方案。

第二部分是设计图纸的内容转化吸收，分析其优缺点及适用性，选择合适于本项目子项进行的设计优化工作。

第三部分是详述施工过程并进行分析。跟踪工厂制造情况及现场建造过程，验证、总结设计优化成果。分析本项目工期、造价等经济技术指标，对比前期方案，找出优缺点，分析项目实施后真实的经济效益。

最后，总结项目设计、实施的相关经验，并进行展望。

2 某装配式住宅小区设计分析及优化

2.1 项目介绍

本论文应用、服务于某装配式保障房项目。项目位于武汉市蔡甸区，包含 6-18 层住宅 41 栋、商业配套楼 3 栋、幼儿园 2 栋、社区邻里中心 1 栋及小区其它配套设施。项目规划占地面积 190100 平方米，总建筑面积 499230 平方米。本工程住宅主体结构采用框架剪力墙结构，部分采用装配式建筑构造，装配率为 50%。本工程抗震等级为四级，抗震设防烈度为 6 度，抗震设防类别为丙类，建筑结构安全等级为二级，建筑物耐火等级为一级。

2.2 装配式构件供应商选择

根据已有的装配式构件物流相关研究^[1]，物流半径模型如下：

$$r = X \times \max_{n \in m} \{Y_{nm} d_{nm}\} \quad \text{式 1-1}$$

式中：r——最优半径；

X——一个一元变量，因不同托运物而不同；

Y_{nm} ——一个二元变量，由 n 起运点至 m 中转点或终点的物流能力决定；

d_{nm} ——n 起运点至 m 中转点或终点的距离。

根据式 1-1 物流模型，结论为装配式混凝土构件经济运距不大于 267km（不考虑混凝土构件的运输损坏），钢结构构件经济运距不大于 546km。武汉公路运距 267km 范围内有中建、楚元等近 10 家装配式工厂可供选择，包含叠合板、ALC 板等多种技术路线，不受技术制约，亦可充分投标竞价。

2.3 某装配式住宅小区设计方案分析及优化

2.3.1 地基基础设计方案分析

（1）地基基础方案设计概况

本项目采用筏板基础，地基基础设计等级乙级，场地土

体类型为中硬土，建筑场地类别为 II 类，属建筑抗震一般地段，无地层液化问题，场区地下水主要为填土层中上层滞水和砂性土层中的承压水。场区工程地质情况如表 2-3-1 所示。

表 2-3-1 地质情况表

土层编号	土层名称	层面埋深(m)	状态	fak(kPa)	Es ₁₋₂ (MPa)
① ₂	素填土	0.00~0.85	松散	60	3.0
② ₁	淤泥	1.07~1.37	流塑	45	2.0
③ ₁	粉质黏土	0.00~1.35	可塑	120	6.0
④ ₁	粉质黏土	1.54~4.42	可塑	180	7.0
④ ₂	粉质黏土	1.88~7.07	硬塑	380	12.0
⑤ ₁	粉质黏土	6.89~11.18	硬塑	420	13.5
⑥ ₁	黏土	9.22~11.33	硬塑	230	14.0
⑦ ₁	泥质粉砂岩	11.48~14.21	强风化	500	(46.0)
⑦ ₂	泥质粉砂岩	14.21~22.58	中风化	(1800)	可视不可压缩

本项目楼面活载最小值为户内的 2.0KN/m²，最大值为电梯前室、门厅等的 3.5KN/m²。计算并考虑主体结构、墙体、地下室顶板及底板覆土的抗浮作用等后，保证地下室的抗浮稳定性。同时，地基的变形允许值控制在 0.002 以内。初始设计方案如图 2-3-1、图 2-3-2、图 2-3-3 所示。

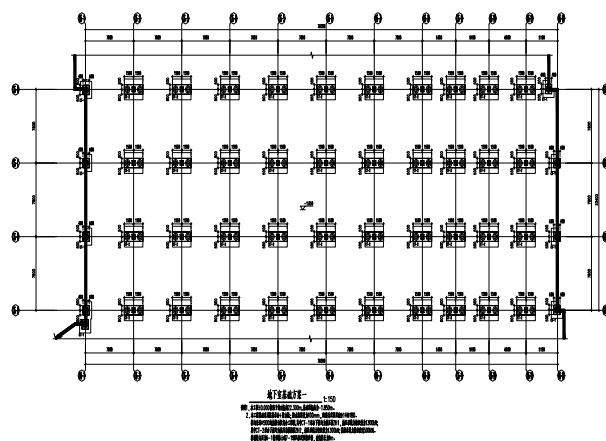


图 2-3-1 基础布置图

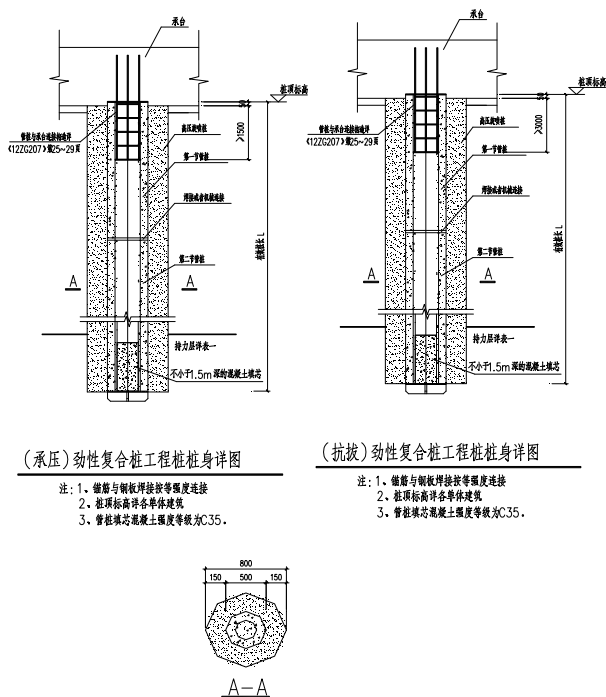


图 2-3-2 桩体结构图

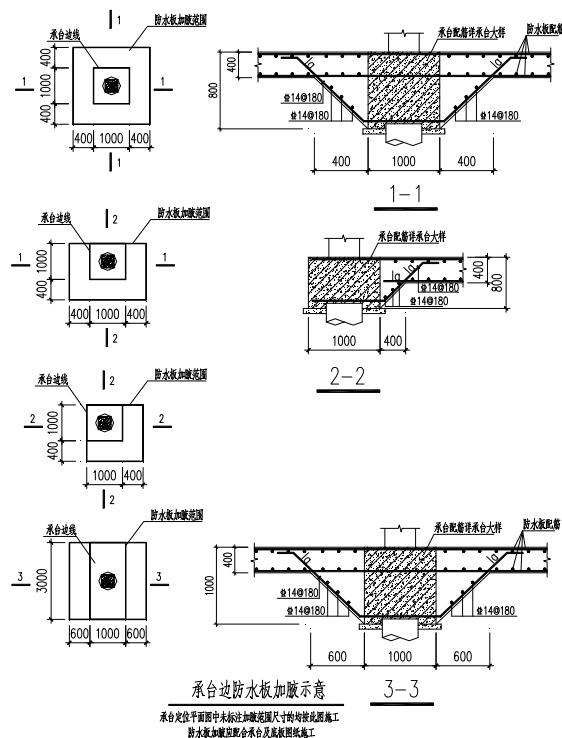


图 2-3-3 承台结构图 (2)

(2) 设计优化及分析对比

初始计方案为劲性复合桩, 劲性复合桩可利用大直径的廉价混凝土提供摩擦阻力和端阻力, 由劲芯承担和传递上部荷载。其承载力与同直径的其浇筑桩几乎相同, 但造价更低, 不失为一种优秀的技术方案。

但其更适用于沿海等软土环境, 本项目土体状态良好, 劲性复合桩虽然造价较低, 但施工周期较长, 将拖延项目整体进度。

在相同承载力体系下, 有施工速度较快但价格更高的预制管桩方案及下柱墩方案可作为替换方案。

预制管桩性能、工况与劲性复合桩基本一致, 总体承载力略高于劲性复合桩, 其布置与劲性复合桩采用同一方案, 总桩数为 1064 根, 单桩长 9m。经比价, 其全费用综合单价为 772.12 元/m, 总价约 739.4 万元, 远高于劲性复合桩的 490 万元, 故舍弃。

下柱墩方案的方案特征为: 下柱墩加筏板体系, 抗浮采用土层锚杆, 其桩外径 250mm。在与劲性复合桩方案承载力相同时需桩 2380 根, 有效桩长 9m。经计算, 其全费用综合单价为 189.05 元, 总价约 404.9 万元。其工期、费用均由于劲性复合桩方案, 故优化后地基基础设计选用下柱墩方案。其最终设计方案如图 2-3-4、图 2-3-5、图 2-3-6 所示。

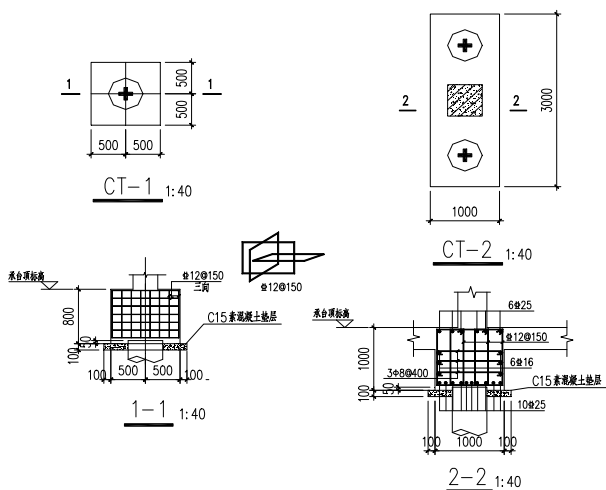


图 2-3-3 承台结构图 (1)

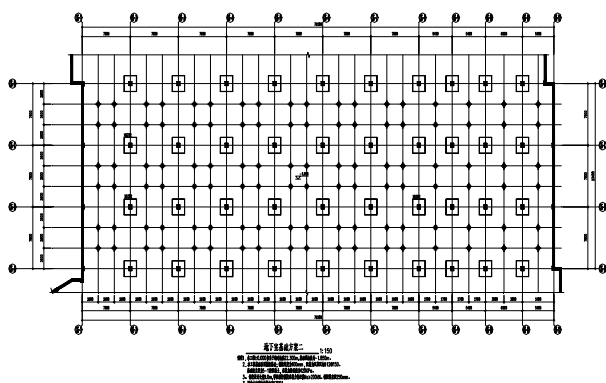


图 2-3-4 最终方案基础布置图

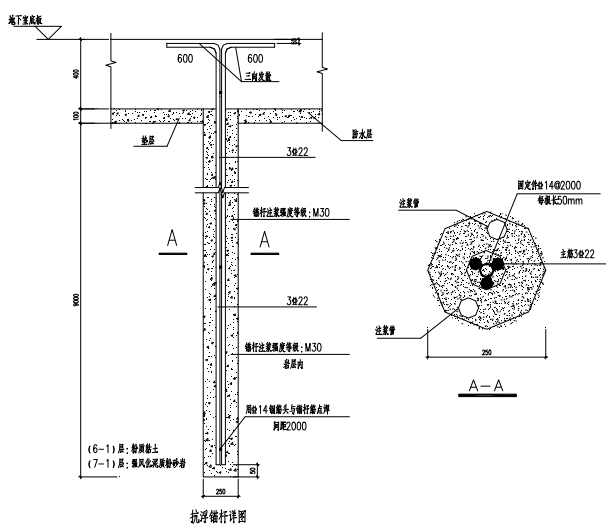


图 2-3-5 抗浮锚杆结构图

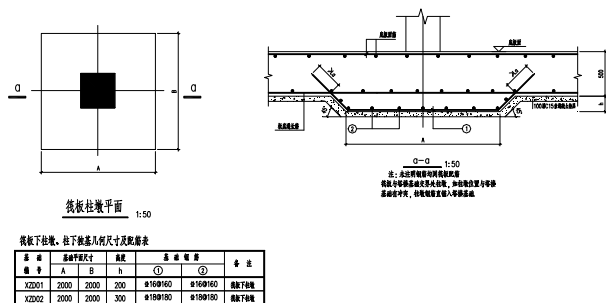


图 2-3-6 筏板结构图

2.3.2 标准层设计方案分析

本项目包含数种特征楼层，为精简篇幅，以最为代表的 B (D) 户型为例进行分析。

(1) 结构设计方案分析

B (D) 户型设计方案如图 2-3-7 所示，其中左右为 B 户

型，下方为 D 户型。

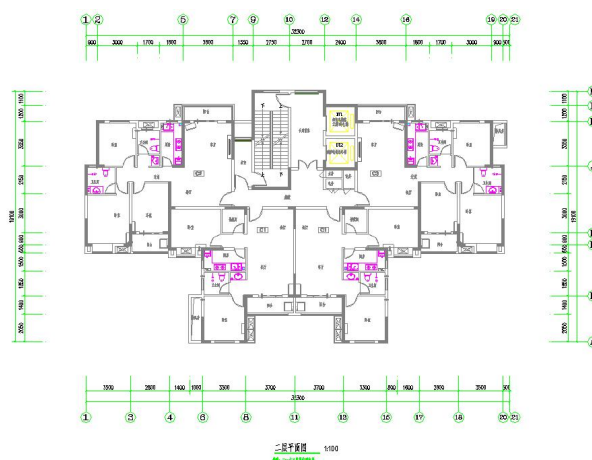


图 2-3-7 B (D) 户型结构图

根据从装配式 PC 构件厂商咨询可知，当墙体模数为 300、400、500 (mm) 时，可提高模具的通用性，减少模具采购总数，以达到降低造价的目的。但本方案中，包含有大量需定制专用模具的墙型，如图 2-3-8 所示。

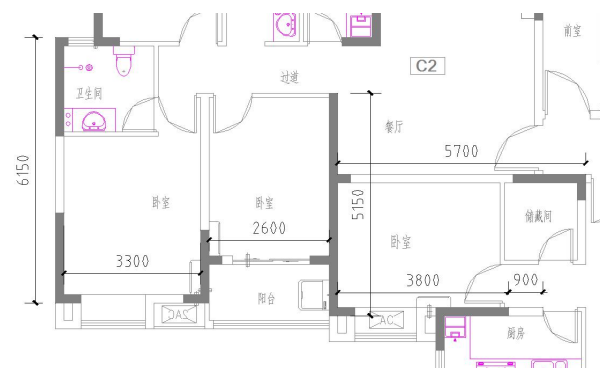


图 2-3-8 原始方案细部尺寸示意图

以 6150mm、3300mm、2600mm、5150mm、5700mm、3800mm 墙长分析可知，当分别以 300mm、400mm、500mm 为模数时，其残余量如表 2-3-2 所示。

表 2-3-2 墙体模数分析表

序号	墙长 (mm)	模数 (mm)	残余量 (mm)	模数 (mm)	残余量 (mm)	模数 (mm)	残余量 (mm)
1	6150	300	150	400	150	500	150
2	3300	300	0	400	100	500	300
3	2600	300	200	400	200	500	100
4	5150	300	50	400	350	500	150
5	5700	300	0	400	100	500	200
6	3800	300	200	400	200	500	300

由上表可知，原始设计未立足于装配式建筑技术，无统一模数，将订购大量定尺模具，会导致造价的上升。经询价得知，定制一套小型墙体用定尺模具费用不低于4万元，工期不少于14天。大型墙体或异性墙体模具将不低于13万元，工期不少于20天。故统一模数是设计优化的一项重要工作。

(2) 设计优化及分析对比

综合项目整体考虑，为使模具使用数较少，拟将各建筑墙体模式定为400mm。优化后B(D)户型设计方案如图2-3-9所示。



图 2-3-9 优化后 B(D) 户型结构图

设计优化后，墙体布置尺寸如图2-3-10所示。

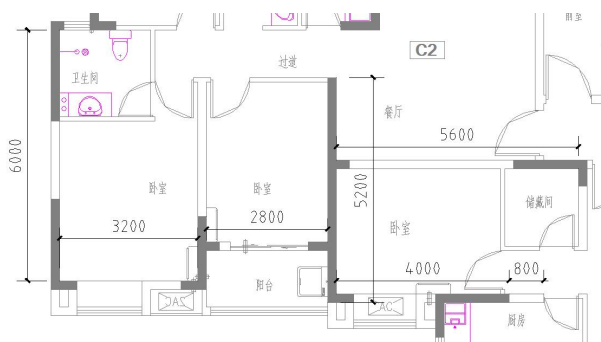


图 2-3-10 优化后墙体尺寸示意图

以B房型主卧为例，原方案使用面积为20.295m²（含卫生间4.2m²），优化后使用面积为19.84m²（含卫生间4m²），面积差为0.455m²，不影响居住体验。同理设计方案的优化并不会对房间的使用功能及体验产生实质性影响，优化方案可行。

经优化，所有墙体均为模数400（mm）的整数倍。特别需要注意的是，为避免过度调整房屋结构致使原设计方案作

废，部分墙交叉处采用100x100mm的构造柱补齐墙体模数。自此，本项目所有装配式墙体PC构件均可使用2000mm、3000mm、4000mm的可调式模具组合得到。

(3) PKPM 软件验算

由于优化方案调整了部分结构，故对新方案进行结构复算，本文使用PKPM进行分析验算。

本文使用工程计算软件为SATWE V5.2.2版。墙元细分最大控制长度1.00m，弹性板细分最大控制长度1.00m。高位转换结构等效侧向刚度比计算设置为传统方法，构件偏心方式为传统移动节点方式，结构体系为剪力墙结构，规定水平力的确定方式为楼层剪力差方法（规范方法）。修正后的基本风压为0.35KN/m²，X向结构基本周期2.55s，Y向结构基本周期2.55s，风荷载作用下结构的阻尼比2%，承载力设计时风荷载效应放大系数1.00。设防地震分组为第一组，设防烈度6（0.05g），场地类别III类，建筑抗震设防类别为丙类，砼框架抗震等级4，剪力墙抗震等级4，钢框架抗震等级3，周期折减系数0.90，特征周期0.45s，选用的分析模型为子空间迭代法。楼面活荷载折减方式选用传统方式，楼面荷载如前文所述与原设计方案相同。软件模拟工况设定如图2-3-11所示。模型如图2-3-12所示（以17层为例）。

工况编号	工况简称	工况详称
工况 1	DL	恒荷载
工况 2	LL	活荷载
工况 3	WX	X 向风荷载
工况 4	WY	Y 向风荷载
工况 5	EXP	X 向正偏心地震
工况 6	EXM	X 向负偏心地震
工况 7	EYP	Y 向正偏心地震
工况 8	EYM	Y 向负偏心地震
工况 9	LX	X 向静震(规定水平力)
工况 10	LY	Y 向静震(规定水平力)
工况 11	PX	X 向正偏心静震(规定水平力)
工况 12	MX	X 向负偏心静震(规定水平力)
工况 13	PY	Y 向正偏心静震(规定水平力)
工况 14	MY	Y 向负偏心静震(规定水平力)
工况 15	U01	土压力
工况 16	U02	水压力
工况 17	EX	X 向地震
工况 18	EY	Y 向地震

图 2-3-11 SATEW 工况设定图

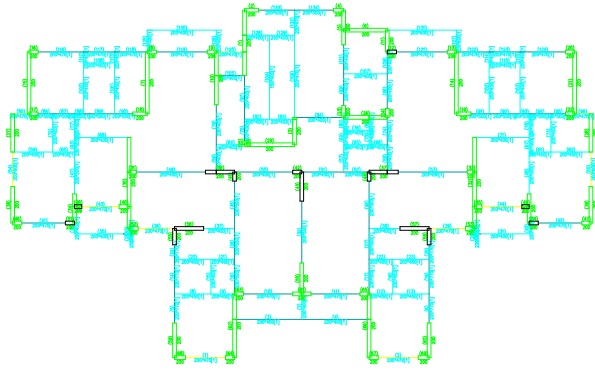
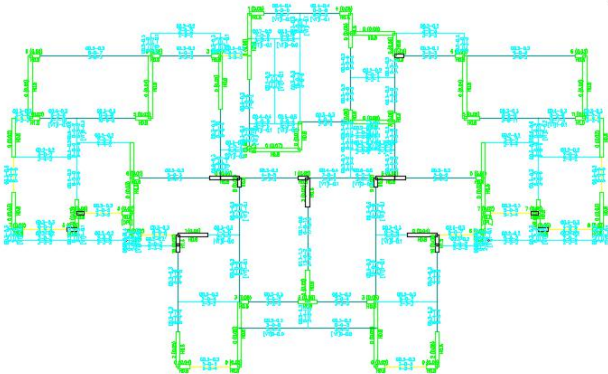


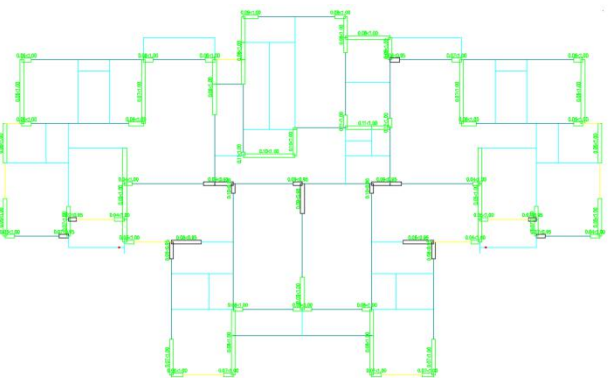
图 2-3-12 17 层模型示意图

运行软件，得出结果。如图 2-3-13、图 2-3-14 及表 2-3-3 所示。



第 17 层混凝土构件配筋及轴压比图。下侧轴压比图(单位:cm²/cm)
本层: 轴压 = 30.30 (mm) 轴压比 = 104 轴压比 = 0 轴压比 = 0
轴压比 = 89 轴压比 = 69 轴压比 = 0
混凝土强度等级: 轴 C30 轴 C30
抗震等级: 第 360 号 360
(DPL 轴压比图, DPL 轴压比图, DPL 轴压比图, DPL 轴压比图)

图 2-3-13 17 层应力结果图



第 17 层轴压比图

图 2-3-14 17 层轴压比结果图

表 2-3-3 指标汇总表

指标项	汇总信息
总质量(t)	9738.02
质量比	1.21 < [1.5] (2层 1塔)
最小刚度比 1	X向: 1.00 >= [1.00] (18层 1塔) Y向: 1.00 >= [1.00] (18层 1塔)
最小刚度比 2	X向: 1.00 > [1.00] (18层 1塔) Y向: 1.00 > [1.00] (18层 1塔)
最小楼层受剪承载力比值	X向: 0.96 > [0.80] (1层 1塔) Y向: 0.94 > [0.80] (1层 1塔)
结构自振周期(s)	T1 = 3.1464(X) T2 = 3.0433(Y) T3 = 2.2434(T)
有效质量系数	X向: 98.41% > [90%] Y向: 97.46% > [90%]
最小剪重比	X向: 0.79% < [0.80%] (2层 1塔) Y向: 0.85% > [0.80%] (2层 1塔)
最大层间位移角	X向: 1/1336 < [1/1000] (5层 1塔) Y向: 1/945 < [1/1000] (9层 1塔)
最大位移比	X向: 1.07 < [1.50] (17层 1塔) Y向: 1.17 < [1.50] (2层 1塔)
最大层间位移比	X向: 1.47 < [1.50] (17层 1塔) Y向: 1.16 < [1.50] (2层 1塔)
刚重比	X向: 2.34 > [1.40] Y向: 2.43 > [1.40]

根据 SATWE 计算结果, 优化后的方案满足侧向刚度、各楼层承载力、抗震指标、抗倾覆等指标, 符合规范要求。

2.3.3 围护结构设计方案分析

(1) 维护结构设计方案分析

本项目原设计方案采用 ALC 板作为装配式墙体构件。外墙由内至外做法为, 20mm 涂层和抹灰、200mm ALC 板、10mm 隔气膜、75mm 玻璃棉(采用轻钢龙骨支撑)、10mm 防潮纸、15mm 饰面硅酸钙板、5mm 涂层。内墙做法为, 5mm 涂层、10mm 界面剂及腻子、100mm ALC 板、10mm 界面剂及腻子、5mm 涂层。

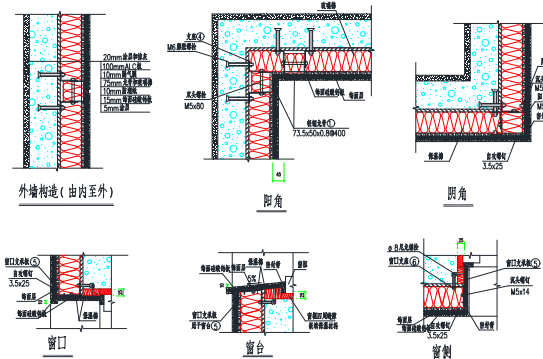


图 2-3-15 部分围护结构建筑做法图

ALC 板作为装配式技术中一项较新的技术, 其使用经验相对较少, 为充分学习原设计方案设计意图, 特对其主要性能进行计算。

1) 外墙体强度验算

外墙采用 15mm 饰面硅酸钙板、75mm 玻璃棉(采用轻

钢龙骨支撑)、200mm 强度等级为 A5.0 的 ALC 板。结合 JGJT 17-2008《增加加气混凝土应用技术规程》及相关规范进行计算。

ALC 板为 100mm 厚,最大长度 3.6m,板跨同板宽以 0.6m 计算,则板的惯性矩 $I_{\text{板}}=83333333 \text{ mm}^4$, 截面模量 $W_{\text{板}}=1666667 \text{ mm}^3$, 抗拉强度为 0.35 KN/m^2 。饰面硅酸钙板采用 $1220 \times 2440 \times 15 \text{ mm}$, 板跨取 0.6m, 则板的惯性矩 $I_{\text{板}}=343125 \text{ mm}^4$, 截面模量 $W_{\text{板}}=45750 \text{ mm}^3$, 抗拉强度为 16 MPa 。

a.对 ALC 板进行验算:

线荷载为

$$q=1.131 \times 1=1.131 \text{ KN/m}$$

最大弯矩为

$$M=1/8ql^2=1.131 \times 0.42/8=0.02262 \text{ KN.m}$$

故

$$\frac{M}{W} = \frac{22.62}{1666.67} = 0.014 \text{ MPa} < f = 3.5 \text{ MPa}$$

满足规范要求。

b.对饰面硅酸钙板进行验算:

线荷载为

$$q=1.131 \times 1.22=1.38 \text{ KN/m}$$

最大弯矩为

$$M=1/8ql^2=1.38 \times 0.42/8=0.0276 \text{ KN.m}$$

故

$$\frac{M}{W} = \frac{27.6}{45.75} = 0.603 \text{ MPa} < f = 16 \text{ MPa}$$

满足规范要求。

2) 外墙体热工计算

单层结构热阻公式为:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}$$

式中: δ ——材料厚度 (m);

λ ——材料导热系数 (W/m.K)。

饰面硅酸钙板厚度 $\delta_1=0.015 \text{ m}$, 导热系数 $\lambda_1=0.216 \text{ W/m.K}$ 。玻璃棉厚度 $\delta_2=0.075 \text{ m}$, 导热系数 $\lambda_2=0.186 \text{ W/m.K}$ 。

ALC 板厚度 $\delta_3=0.1 \text{ m}$, 导热系数 $\lambda_3=0.11 \text{ W/m.K}$ 。

维护结构传热阻公式为:

$$R_0 = R_i + \sum R + R_e$$

式中: R_i ——内表面换热阻 (本项目计算取 $0.11 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$);

R_e ——外表面换热阻 (本项目计算取 $0.04 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$);

$\sum R$ ——围护结构各层材料热阻总和 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)。

则

$$R_0 = 0.11 + \frac{0.015}{0.216} + \frac{0.075}{0.186} + \frac{0.1}{0.11} + 0.04 = 1.5318 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

维护结构传热系数公式为:

$$K = \frac{1}{R_0}$$

根据相关规范规定,民用建筑外墙结构的传热系数不应小于 0.58。故:

$$K = \frac{1}{1.5318} = 0.653 > 0.58$$

满足节能环保要求。

根据 GB50176-2016《民用建筑热工设计规范》中规定“外墙、屋顶等直接接触室外空气的楼板及不采暖楼梯间的隔墙等围护结构,应进行保温验算,其传热阻应大于或者等于建筑物所在地区要求的最小传热阻”。

最小传热阻即低限热阻,是指建筑围护结构在规定的室外计算温度及室内计算温度条件下,为保证围护结构内表面不会因为低于室内空气露点温度而发生结露现象,同时避免人体与建筑内表面之间辐射换热过多而引起的不舒适感所需最低的传热阻。最小传热阻计算公式为:

$$R_{0,\min} = \frac{(t_i - t_e)nR_i}{[\Delta t]}$$

式中: $R_{0,\min}$ ——围护结构最小传热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$);

t_i ——冬季室内计算温度 (一般居住建筑取 18°C);

t_e ——围护结构冬季室外计算温度 (根据湖北地区规范取 2.64°C);

n ——温差修正系数 (外墙、平屋顶及与室外空气直接接触的楼板等取 1.00);

R_i ——围护结构内表面换热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)。

$[\Delta t]$ ——室内空气与围护结构内表面之间和允许温差(根据湖北地区规范取 6°C)。

外墙为轻质材料或内侧复合轻质材料时,为保证不因温度波动造成结露,该部位的最小传热阻应根据外墙材料与构造增加附加热阻。当建筑物处在连续供热采暖时,其附加值为 $30\% \sim 40\%$ 。当建筑物在间歇供热采暖时,其附加值为 $60\% \sim 80\%$ 。本项目处于近郊地区,故保守考虑取附加值为 80% 。则:

$$R_{0,\min}=0.827 < R_0=1.5318 \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$$

所以,外墙建筑做法满足保温要求。

3) 结露计算

热惰性指标计算公式为:

$$D=RS$$

式中: R ——材料层的热阻 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$);

S ——材料的蓄热系数 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)。

多层维护结构 D 值计算公式为:

$$D=D_1+D_2+D_3+\dots+D_n$$

式中: $D_1+D_2+D_3+\dots+D_n$ ——围护结构各结构层材料热惰性指标。

则

$$D=25.57 \times 0.0043 + 3.6 \times 0.909 + 5.2 \times 0.403 = 5.478$$

根据 GB 50167-2016《民用建筑热工设计规范》中第 3.2.2 条规定 D 值在区间 $[4.1, 6]$ 中时,围护结构冬季室外计算温度公式为:

$$t_e=0.6t_w+0.4t_{e,\min}$$

根据 GB 50167-2016《民用建筑热工设计规范》中续表 A.0.1 可知, $t_w=1.1^\circ\text{C}$, $t_{e,\min}=-2.5^\circ\text{C}$, 故

$$t_e=0.6 \times (1.1) + 0.4 \times (-2.5) = -0.34^\circ\text{C}$$

冬季围护结构内表面温度计算公式为:

$$\theta_i = t_i - \frac{t_i - t_e}{R_0} R_i$$

式中: R_i ——内表面换热值 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)。

武汉市属于夏热冬冷地区,根据“热工规范”可知室内

计算温度 $t_i=18^\circ\text{C}$, 则

$$\theta_i = 18 - \frac{18+3.4}{1.4666} \times 0.11 = 16.62^\circ\text{C}$$

当室内温度 $t_i=18^\circ\text{C}$ 时,水蒸气分压 $P_s=2062.5\text{pa}$ 。当室内相对湿度 $\Phi=60\%$ 时,则

$$P_a = P_s \times 60\% = 2062.5 \times 60\% = 1237.5 \quad \text{pa}$$

式中: P_a ——实际水蒸气分压 (pa)。

当 $P_a=P_s$ 时,根据“热工规范”可知露点温度 $t_c=10.12^\circ\text{C}$ 。当热桥内表面温度 $\theta_i \leq t_c$ 时,其内表面就会结露。而 $\theta_i=16.62^\circ\text{C} > 10.12^\circ\text{C}$, 故本项目围护结构外墙体内表面不会结露。

4) 内部冷凝验算

外墙由内到外各层的热阻和水蒸气渗透阻如表 2-3-4 所示。

表 2-3-4 材料热工系数表

序号	材料	厚度 d (m)	导热系数 λ ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	热阻 R ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)	水蒸气渗透系数 μ ($\text{g}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}$)	水蒸气渗透阻 H ($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{g}$)
1	ALC板	0.1	0.11	0.909	0.0000998	1002
2	龙骨+保温棉	0.075	0.186	0.403	0.0000448	1536.89
3	饰面硅酸钙板	0.015	3.5	0.004	0.0000113	1327.43

故外墙热阻:

$$\sum R = 0.909 + 0.403 + 0.004 = 1.316 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

水蒸气渗透阻:

$$\sum H = 1002 + 1536.89 + 1327.43 = 3866.324 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}/\text{g}$$

则

$$R_0 = 0.11 + \frac{0.015}{3.5} + \frac{0.075}{0.186} + \frac{0.1}{0.11} + 0.04 = 1.4666 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

室内外空气的水蒸气分压力当 $t_i=18^\circ\text{C}$ 时, $P_i=1240\text{pa}$, $t_e=-5.86^\circ\text{C}$ 时, $P_e=300\text{pa}$ 。故围护结构内部各层的温度和水蒸气分压力当 $\theta_i=13.38^\circ\text{C}$ 时, $P_{s,i}=1829.2\text{pa}$ 。同理

$$\theta_2 = 18 - \frac{(0.11 + 0.909) \times (18 + 5.86)}{1.4666} = 1.415^\circ\text{C}$$

故 $P_{s,2}=638.6\text{pa}$ 。

$$\theta_3 = 18 - \frac{(0.11 + 0.909 + 0.403) \times (18 + 5.86)}{1.4666} = -5.134^\circ\text{C}$$

故 $P_{s,3}=358.6\text{pa}$ 。

$$\theta_e = 18 - \frac{(1.4666 - 0.04) \times (18 + 5.86)}{1.4666} = -5.209^\circ \text{C}$$

故 $P_s \cdot e = 358.6 \text{ Pa}$ 。

$$P_2 = 1240 - \frac{1002 \times (1240 - 300)}{3866.324} = 996.389 \text{ pa}$$

$$P_3 = 1240 - \frac{(1002 + 1536.89) \times (1240 - 300)}{3866.324} = 622.732 \text{ pa}$$

通过对比可得, $P_i < P_s \cdot i$, 所以不会出现冷凝。 $P_2 > P_s \cdot 2$, 会出现冷凝。 $P_3 > P_s \cdot 3$, 会出现冷凝。 $P_e < P_s \cdot e$, 不会出现冷凝。

综上所述, ALC 板作为一项较为新兴的装配式技术, 具备一定的先进性。其优点主要在于可在工地实现完全的“积木”式装配化施工, 做到全干法作业, 且能达到较高的装配化率。但其缺点也是显而易见的, 首先是价格因素, ALC 板即使按优化模具后的价格也高于 700 元/吨, 远高于传统混凝土剪力墙价格。其次, 由于其热导系数较低, 需要使用较复杂的保温层以保证其热工性能。以本项目初始方案为例, 其保温层工艺复杂、施工难度大, 极大地抵消了装配式建筑施工周期短的优势。即使出现了更为先进的装配式自保温双墙系统^[2], 至少于现阶段而言, 其性价比任然是难以普及化的。

(2) 设计优化及分析对比

本文设计优化的第一目的是降低项目成本、缩减项目工期, 故而以施工最高效这一思路来排序装配式墙体技术。简言之, 就是通过运输-安装能力选定综合效费比最高的装配式墙体技术作为优化方向。依据垂直运力相关研究^{[4][5][6][7]}, 总结后可得如下模型:

单位时间有效运力 = Min (施工能力 + 现场周转, 单位时间总运力)

单位时间总运力 = 运输频次 × 单次运力 × 运输机械覆盖数 × (1 - 停靠折损效率)

依据上述模型结合现场垂直运输布置、工人施工能力、作业面等情况, 推导单个构件不应大于 3600*3200*400 (mm), 且单个构件不宜大于 2.46 吨。结合 BCA 装配式易建性计算模型, 叠合板为满足装配化率前提下经济、施工效率最高的技术方案。

Buildable Design Score (B-Score) of Building	= Buildable Design Score of Structural System (including Roof System) + Buildable Design Score of Wall System + Buildable Design Score of Other Buildable Design Features
B-Score	= $\{45[\sum(A_n \times S_n)] + \text{Structural Bonus Points}\}^* + \{40[\sum(L_n \times S_n)] + C + \text{Architectural Bonus Points}\}^* + N + \text{Bonus Points}$
where A_n	= A_{n1} / A_{n2}
L_n	= L_{n1} / L_{n2}
A_n	= Percentage of total floor area using a particular structural system
A_{n1}	= Total floor area which includes roof (projected area) and basement area
A_{n2}	= Floor area using a particular structural system
L_n	= Percentage of total external & internal wall length using a particular wall system
L_{n1}	= Total external & internal wall length, excluding the length of external basement wall for earth retaining purpose.
L_{n2}	= External & internal wall length using a particular wall system
S_n	= Labour Saving Index for structural system (Table 1)
Structural Bonus Points	= Bonus points for the use of recommended precast joints, mechanical connections for precast joints, high strength concrete, self-compacting concrete and diaphragm wall (Table 1)
S_n	= Labour Saving Index for external & internal wall system (Table 2)
C	= Bonus points for simple designs (Table 2)
Architectural Bonus Points	= Bonus points for labour-saving architectural system (Table 2)
N	= Buildable Design Score for other buildable design features (Table 3)
Bonus Points	= Bonus points for the use of single integrated components, industry standard building components/design parameters, dry construction, labour-saving MEP systems and modern construction system (Table 3)

图 2-3-16 BCA 易建性计算公式

叠合板施工完成后, 其技术性能接近传统的剪力墙, 与 ALC 板有一定的区别。通过等效对角支撑 (equivalent diagonal strut) 模型分析其环境工况。这一模型将墙体视为一个延填充墙对角线方向的压杆, 当压杆受压达到极限时钢框架的抗侧力能力最大, 此时再根据等效压杆被压缩的量来计算结构的相应形变如图 2-3-17 所示。

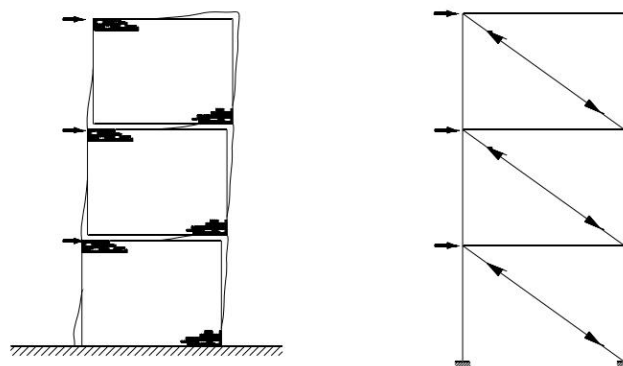


图 2-3-17 等效对角支撑概念示意图

等效对角支撑模型弱化了框架的作用, 仅能计算墙体开裂前的结构抗侧力强度。而后陆续有学者对这一理论进行了深化及改进, 二十世纪八十年代末塑性理论被引入等效对角支撑模型。引入塑性理论后计算模型可以确定规则、简单结构在弹性和非弹性荷载下的工况。随着计算机技术的发展, 在有限元分析软件的辅助下对框架内墙体的破坏形式得以

被更为细致的研究。在前人研究的基础上 El-Dakhkhni, Wael.W 提出了三支杆等效对角支撑理论 (Three strut model)。这一理论将墙体视为与框架铰接的三个支杆, 如图 2-3-18 所示, 相较于之前的理论, 它能够好的反应墙体破坏全程的受力。其数学模型为:

$$h_c = a_c h = \sqrt{\frac{2(M_{pj} + 0.2M_{pc})}{tfm - 0}} \leq 0.4h$$

$$l_b = a_b l = \sqrt{\frac{2(M_{pj} + 0.2M_{pb})}{tfm - 90}} \leq 0.4l$$

$$A = \frac{(1 - a_c)a_c h t}{\cos \theta}$$

式中: A——等效对角支撑总截面面积;

a_c ——柱接触长度系数;

a_b ——梁接触长度系数;

h ——柱高;

l ——梁长;

t ——墙厚;

M_{pc} ——柱截面屈服弯矩;

M_{pb} ——梁截面屈服弯矩;

M_{pj} ——梁、柱节点最小屈服弯矩;

θ ——框架对角线与底梁的夹角;

$f'm - 0$ ——墙体水平方向抗压强度;

$f'm - 90$ ——墙体垂直方向抗压强度。

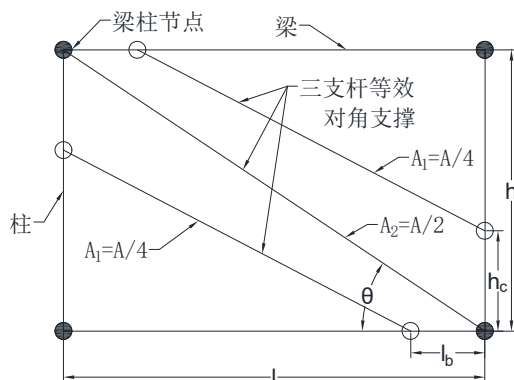


图 2-3-18 三支杆模型示意图

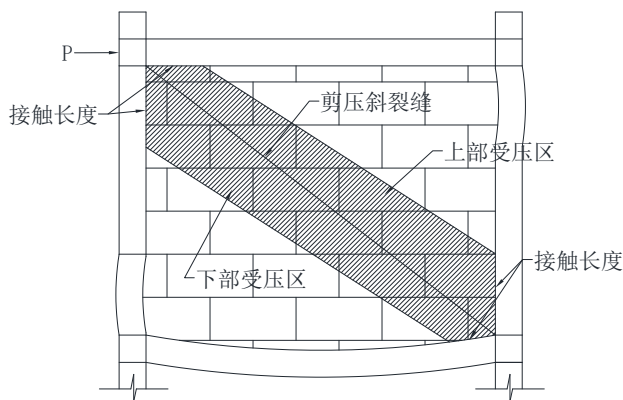


图 2-3-19 墙体受压区示意图

由于混凝土材质抗压能力强抗拉能力弱, 通常荷载和形变不大的情况下即会产生斜裂缝。但由于框架的梁、柱对墙体产生较强的约束作用, 此时墙体裂纹极为细微难以被住户发现, 并不影响居住体验。随着水平作用力的增加梁、柱变形开始增大, 对墙体约束能力降低。而且由于墙体自身受到的剪力变大, 对角线区域内的应力值不断增加, 此时情况如图 2-3-19 所示。对角线应力的增高且受力范围逐步扩大, 拉应力将导致对角斜裂缝不断变宽。当裂缝宽度达到一定数值后便将对室内装修造成影响, 产生肉眼可见的墙体裂缝等情况, 此时随结构整体完好, 并未危及结构安全性。但对于居住者而言墙体裂缝将极大地影响居住体验, 如欲需要局部进行二次装修, 费时、费力、费财。故要避免墙体开裂就要将通常情况下受水平力作用时产生的剪力不大于墙体三支杆等效对角支撑模型的承载力作为设计保证值, 即:

$$f_{vm} \geq \frac{F_x}{A}$$

式中: A——等效对角支撑总截面面积;

f_{vm} ——墙体抗剪强度;

F_x ——墙体所受水平作用力。

故而需要验算立柱提供的水平抗剪力是否足够, 而相应的验算已在本文章节“2.3.2-(3)”中完成。完成优化后图纸如 2-3-20、图 2-3-21 所示。

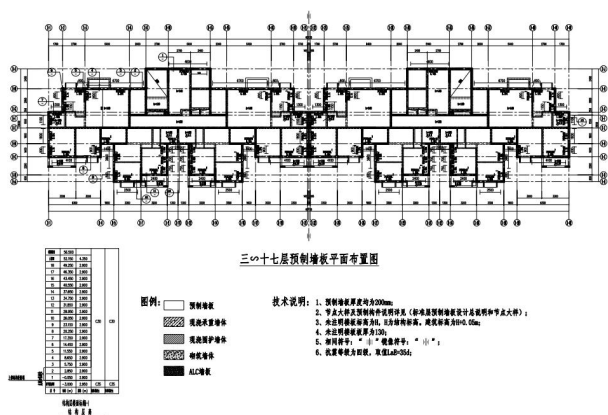


图 2-3-20 叠合板方案平面布置示意图

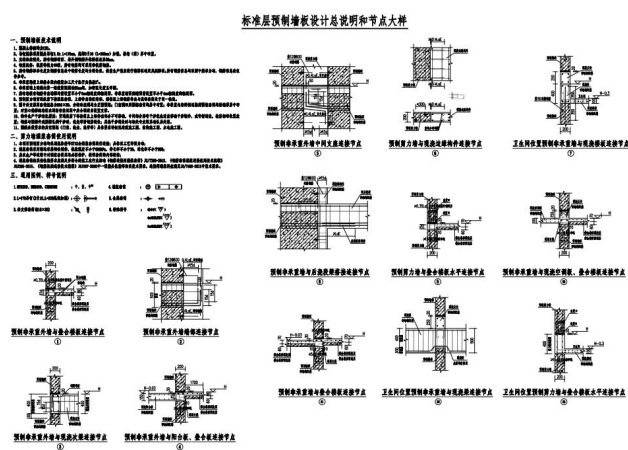


图 2-3-21 叠合板方案节点示意图

2.4 本章小结

本章对原设计方案地基基础、结构、建筑部分进行了分析、学习,在不劣化原设计方案功能性的同时,进行了设计优化。完成设计优化工作后,通过计算或使用 PKPM 软件对设计进行了验算,验证了方案的可靠性。

3 某装配式住宅小区施工重难点研究

3.1 装配式墙体施工工法及建造

本项目施工重难点在于 PC 构件的安装,主要是叠合墙板墙体的建造。这一关键点决定了项目的实施效率,是保障项目经济效益的重要一环。

3.1.1 工法概述

装配式结构对构件加工精度和预埋件质量对施工过程中的构件拼装和定位影响较大,对本项目预制构件的加工精度和预埋件质量要求高,须做好管控保证其质量。其次构件吊装难度大,对于构件的吊装需做好分配和塔吊的选型优化。预制构件安装就位后应及时采取临时固定措施,预制构

件与吊具的分离应在校准定位及临时固定措施安装完成后进行。临时固定措施的拆除应在装配式结构能达到后续施工要求的承载力、刚度及稳定性要求后进行。同样的构件安装节点连接复杂,安装精度高,临时固定件数量多。构件水平定位和垂直度定位工艺要求高,构件拼装缝隙细部处理难度高。故而,我们对相关工艺工法做出优化。

3.1.2 施工工艺流程及技术要点

本项目施工工艺流程及技术要点如下。

(1) PC 构件堆放要求

由构架生产厂家提供预制构件插放架,一般预制墙采用插放或靠放形式,每侧靠放构件数量不大于 3 块。插放主要借助插放架,有一根一根单独设置的插放架、有一排统一堆放的单边式插放架,中间用短钢管隔开、也有双边维护形式的插放架,构件之间用钢管或角钢做分隔。靠放主要是将墙构件斜靠在有一定刚度和支撑的靠放架上,主要有单边靠放和双边靠放两种形式。预制墙板的外饰面不宜作为支撑面,对构件薄弱部位应采取保护措施。采用堆放架时,堆放架应具有足够的承载力和刚度,且应支垫稳固。预制叠合板采用叠放,叠合板叠放层数不宜大于 6 层。叠放时,底层及层间应设置支垫,支垫应平整且上下对齐,且支垫地基应坚实,构件不得直接放置于地面上。当构件堆放超过上述层数时,应对支垫和地基承载力进行验算。

(2) 装配式混凝土结构施工方案

本项目构件吊装总体原则:外墙板吊装一预制构造柱一叠合板吊装一阳台板。同时,根据 PC 构件特点,采用了一种吊点可调式横梁进行吊装,如图 3-1-1 所示。



图 3-1-1 吊点可调式横梁吊装图

在吊装前,首先应进行施工测量放线。根据优化后详图对楼层进行弹线,并在构件线外 200mm 弹出控制线,如图 3-1-2 所示。



图 3-1-2 平面测量复核弹线施工图

在构件吊装前根据设计要求通过预埋的标高调节装置，用水准仪操水平将螺栓调节至相应标高，如图 3-1-3 所示。



图 3-1-3 标高测量调节施工图

特别需要注意的是，对于灌浆路径过长时应做分仓处理，宜 3-4 个钢套筒/不大于 2 米为一个仓格，有效保证灌浆密实度，在构件吊装位置先用封堵料分格成两个区域并且在两端预留出气孔，保证后期灌浆顺利进行。

完成上述准备工作后进行吊装，工艺过程如图 3-1-4 所示。



第四步：构件就位

第五步：构件定位



第六步：卸除吊钩

第七步：构件进出微调并固



第八步：构件垂直度调整及固定

第九步：构件竖向拼缝处
黏贴 $\Phi 25$ 圆形 PE 条



第一步：卸扣安装

卸扣安装



第二步：构件起吊



第三步：构件对位



第十步：安装连接件

第十一步：安装连接件



第十二步：排架搭设



第十三步：叠合板吊装



图 3-1-4 PC 构件施工图

(3) 装配式混凝土结构施工要点及注意事项

1) 叠合板施工及注意事项

首先, 每块楼板需设 4 个起吊点, 位于叠合楼板中格构梁上弦与腹筋交接处, 距离板端为整个板长的 $1/4$ 到 $1/5$ 之间。吊点应均衡受力, 避免单点受力过大, 且板须经水平调整后放置在支座上。对于跨度超过 6 米的楼板, 应采用 8 个吊点平衡受力。楼板支撑体系工字梁设置方向必须垂直于叠合楼板格构梁方向。其次, 楼板铺设后需检查。叠合楼板平稳以后要注意格构钢筋与墙柱钢筋位置, 预防墙柱钢筋偏移或楼板下边缘不应出现高低不平等问题。

2) 套筒灌浆施工及注意事项

首先, 根据图纸和设计要求, 本工程套筒灌浆用于预制窗墙竖向连接及预制剪力墙竖向连接两种构件。预制窗墙构件采用 X16 钢筋进行竖向连接, 预制剪力墙采用 X20 钢筋进行竖向连接。施工时将套筒套在拼缝一侧预制构件的被连接钢筋上, 埋入预制构件内部。埋入时应确保套筒灌浆口及溢浆口外露 (必要时用 PVC 管接长), 并用专用橡胶塞密封好钢筋和套筒壁之间的间隙、外露灌浆口、溢浆口及套筒另一端的钢筋插入口, 以防止预制构件混凝土浇筑时砂浆及污水进入套筒内部。拼缝另一侧预制构件制作时被连接钢筋按设计要求留出需要的搭接长度。

预制构件现场拼装时, 拔出橡胶塞, 将预留钢筋插入对应部位的套筒内, 同时采用坐浆方式密闭拼缝, 然后用专用设备将搅拌好的专用灌浆料从套筒灌浆口压入, 待套筒内部被灌浆料充满后 (灌浆料从溢浆孔流出) 停止灌浆, 按规定时间养护后即完成钢筋连接处理。

3.1.3 实施难点和对策

(1) 生产加工平面规划难点及对策

总平面布置必须合理, 它将直接影响到整个工程生产加工过程的进度、安全等, 为保证生产加工能顺利进行, 结合总平面图及现场实际情况, 确定平面布置如下:

1) 能满足基础、主体、装饰等生产加工阶段的生产加工要求;

2) 各个生产加工阶段的平面布置尽量统一, 尽量避免发生多次的拆、搭工作;

3) 预制部品堆场、材料堆场及加工场地尽量靠近建筑物、物料提升机等机械位置, 减少二次搬运;

4) 场内生产加工道路合理, 畅通;

5) 生产加工用电、用水需满足生产加工规范要求;

充分考虑临建布局、交通流线组织、绿化布置、临水临电管线, 结合合格安全文明工地标准要求等综合因素, 对现场平面规划部署如下:

1) 本工程为了 PC 结构进入生产加工现场以及能够在生产加工现场运输畅通, 现场生产加工道路应布置道路宽度为 7 米, 行走部位均进行硬化处理。构件运输车为 13.5 米长的平板挂车, 载重大概 50 吨左右。保证 PC 结构运输车辆能够在主大门道路双向通行, 保证在生产加工现场转弯、直走等方式的畅通,

2) 现场设有一个钢筋加工及堆放区域, 一个木工加工堆放区域, 一个水电安装加工及堆放区域并设置于合理位置, 使其不影响运输车辆行走。

3) 由于本工程距离构件厂较远, 所需吊装构件均提前一天运输到场, 故应设立构件堆场, 堆场面积约 $260m^2$ 。

(2) 质量方面难点及对策

质量控制为装配式构件生产难点之一, 解决及控制方法如下:

1) 应加强预制混凝土构件进场验收。应对预制混凝土构件的标识、外观质量、尺寸偏差以及钢筋灌浆套筒的预留位置、套筒内杂质、注浆孔通透性等进行检验, 同时应核查并留存预制构件出厂合格证、出厂检验用同条件养护试块强度检验报告、灌浆套筒型式检验报告、连接接头抗拉强度检验报告、拉接件抗拔性能检验报告、预制构件性能检验报告等技术资料, 未经验收或验收不合格的构件不得使用。

2) 应加强模板工程质量控制。应编制有针对性的模板方案,并对模板进行承载力、刚度和稳定性计算,保证其安全性。

(3) 验收方面难点及对策

装配式工程验收在武汉还处于初级阶段所以在生产加工过程中我们要注意过程资料的搜集主要有以下几方面:

1) 装配式混凝土结构生产加工质量验收可按混凝土结构子分部工程进行。

2) 工程质量验收应在生产加工单位自检基础上,按照检验批、分项工程、分部(子分部)工程进行。

3) 装配式混凝土结构子分部工程包括钢筋分项工程、混凝土工程、预制构件安装工程三个分项工程:

①钢筋分项工程除包括原有的钢筋加工、连接检验批外,还应在钢筋安装检验批中增加定位钢筋验收的内容;

②预制构件安装工程包括预制构件进场检验批、预制构件安装检验批、预制构件节点及接缝检验批三部分内容;

③采用装配式混凝土结构的住宅项目工程验收时,应进行结构实体检验及装配式混凝土结构子分部工程的验收。

4) 装配式结构子分部工程验收时应提交下列资料和记录:

①工程设计单位已确认的预制构件深化设计图、设计变更文件;

②装配式结构工程生产加工所用各种材料及预制构件的各种相关质量证明文件;

③预制构件安装生产加工验收记录;

④钢筋套筒灌浆连接的生产加工检验记录;

⑤连接构造节点的隐蔽工程检查验收文件;

⑥后浇筑节点的混凝土或灌浆料强度检测报告;

⑦密封材料及接缝防水检测报告;

⑧分项工程验收记录;

⑨装配式结构实体检验记录;

⑩工程的重大质量问题的处理方案和验收记录。

5) 装配式混凝土结构子分部工程应在安装生产加工过程中完成下列隐蔽项目的现场验收:

①结构预埋件、钢筋接头、螺栓连接、套筒灌浆接头等;

②后浇混凝土中的钢筋的牌号、规格、数量、位置、锚固长度。

③结构预埋件、螺栓连接、预留专业管线的数量与位置;

④预制构件与后浇混凝土结构连接处混凝土的粗糙面或键槽;

⑤预制混凝土构件接缝处防水、防火作法。

6) 装配式混凝土结构子分部工程生产加工质量验收合格应符合下列规定:

①有关分项工程生产加工质量验收合格;

②质量控制资料完整且符合要求;

③观感质量验收合格;

④结构实体检验满足设计或规程的要求。

3.2 工程造价分析

使用广联达软件进行造价计算,其样例如图3-2-1所示。

单位工程投标报价汇总表

序号	汇总内容	金额(元)	其中:暂估价(元)
一	分部分项工程费	16055427.95	
1.1	其中:人工费	4339194.14	
1.2	其中:施工机具使用费	686132.85	
1.3	土方工程	72623.05	
1.4	桩基工程	570050.05	
1.5	砌筑工程	705665.31	
1.6	混凝土及钢筋混凝土工程	3871228.84	
1.7	金属结构工程	217871.99	
1.8	门窗工程	1451550.83	
1.9	屋面及防水工程	666575.03	
1.10	保温、隔热、防腐工程	688728.27	
1.11	楼地面装饰工程	542082.98	
1.12	墙、柱面装饰与隔断、幕墙工程	1961194.76	
1.13	天棚工程	30712.16	
1.14	油漆、涂料、裱糊工程	1051110.36	
1.15	其他装饰工程	361470.2	
1.16	措施项目	3864564.12	
1.17	补充部分		
二	措施项目合计	557546.87	
2.1	单价措施项目费		
2.1.1	其中:人工费		
2.1.2	其中:施工机具使用费		
2.2	总价措施项目费	557546.87	
2.2.1	安全文明施工费	524882.25	
2.2.2	其他总价措施费	32664.62	
三	其他项目费		

注:本报适用于单位工程招标控制价或投标报价的汇总,如为单项工程划分,单项工程也使用本报汇总

表-04

图 3-2-1 工程造价计算示意图

具体而言,以 200mm 墙体为例,常规墙体造价如表 3-2-1 所示。

表 3-2-1 普通墙体造价分析表

普通砌块(200mm 厚每 m ³ 墙体单价)					
编号	施工项目	单位	单价	数量	合价
一	砌块砌体(G5-40)	元	369.38	0.2	73.88
1	人工费	元			87.97
	普工	工日	60	0.491	29.46
	技工	工日	92	0.636	58.51
2	材料费	元			280.64
	普通砌块	m ³	245	0.951	233
	蒸压灰砂砖	千块	320	0.026	8.32
	干混砂浆	kg	0.29	134.3	38.95
	水	m ³	3.15	0.12	0.38
3	机械费				0.76
	干混砂浆罐式搅拌机	台班	191.04	0.004	0.76
二	墙面清扫(A14-74)	m ²	0.66	2	1.32
三	梁柱面钢丝网(A14-79)	m ²	21.38	0.35	7.48
四	墙面干混砂浆抹灰(G5-100)	m ²	24.92	2	49.84
1	人工费	元			11.65
	普工	工日	60	0.0423	2.54
	技工	工日	92	0.099	9.11
2	材料费	元			13.07
	干混抹灰砂浆	kg	0.32	38.12	12.2
	水泥浆	m ³	692.87	0.001	0.76
	801 胶	kg	2.6	0.025	0.06
	水	m ³	3.15	0.013	0.04
3	机械费				0.21
	干混砂浆罐式搅拌机	台班	191.04	0.0011	0.21
	合计				132.73

同样的,计算叠合板墙体造价,如表 3-2-2 所示。

表 3-2-2 叠合板墙体造价分析表

叠合板墙体(200mm 厚每 m ² 板材单价)					
编号	施工项目	单位	单价(元)	数量	合价(元)
一	板材(A14-290)				123.98
1	人工费	m ²			18.76
	普工	工日	60	0.06	3.67
	技工	工日	92	0.16	15.09
2	材料费	元			105.22
	板材(含套简及后浇等)	m ²	315.054	1	315.054
	砌筑粘结剂	kg	0.78	0.8	0.62
	板面网格布	m ²	2	0.3	0.6
	节点用辅材费	元	4	1	4
	合计				339.034

如上述方法经计算,以 B(D) 户型标准层为例,优化后方案与普通现浇方案造价基本相同,如表 3-2-1 所示,较之原始方案有较大的改善。

表 3-2-3 标准层(B&D 户型)造价分析表

序号	现浇工序	单价	装配式工序	单价	增加费用
		(元/m ²)		(元/m ²)	(元/m ²)
1	现浇混凝土板钢筋	391.01	预制叠合板(户内)	2775.27	34.95
2	现浇混凝土板模板	874.83			
3	现浇混凝土板混凝土	391.46			
4	现浇混凝土阳台板钢筋	391.01			
5	现浇混凝土阳台板模板	1025.80			
6	现浇混凝土阳台板混凝土	479.74	预制叠合阳台板	2775.27	4.10
7	现浇混凝土空调板钢筋	941.09			
8	现浇混凝土空调板模板	680.10			
9	现浇混凝土空调板混凝土	482.26	预制整体空调板	2907.43	2.55
10	现浇混凝土楼梯钢筋	249.58			
11	现浇混凝土楼梯模板	741.24			
12	现浇混凝土楼梯混凝土	458.95	预制简支楼梯	2437.08	6.52

结合本文“2.3.1-(2)”桩基方案优化数据及本章节计算方法,对本工项目完工后进行估算,预计优化后方案共节约费用 2049.58 万元,节约工期 3.7%。

3.3 本章小结

上一章我们完成了对本项目设计方案的优化,在此基础上重点研究了施工工艺流程和技术要点,并与普通建筑方法进行了经济效益对比。通过经济对比,验证了设计构想,得到了想要的结果。

综上所述,设计优化符合项目各项性能指标要求,方案合理、经济,适用本项目并对后续同类项目有较高的借鉴价

值。

4 总结与展望

本文依托于某装配式住宅小区项目,研究目的是为后续的装配式项目找到一条建筑难度可控、施工效率高且具有较好经济效益的方法路径,为后续项目的实施提供指导、借鉴。

通过分析原有设计方案,学习、理解其设计思路及目的,结合本项目实际资源及作业能力,针对性的对部分设计方案进行了修改。优化后利用 PKPM 软件或传统方法进行验算,确保了优化方案的可靠性。后结合项目本身,合理执行了施

工工艺,并解析了技术要点。

完成上述工作后,利用广联达软件对项目造价进行了计算。并将之与传统施工方式进行了比较,用以验证了优化后方案的经济效益。经对比,优化后的方案虽仍高于传统施工方式,但已具备了较好的实用价值,脱离了为了完成指标而应用的范畴。较之原设计方案更是大幅提升了经济效益,同时提升了一定的施工效率。

总而言之,本项目的设计优化工作是成功的,具备较高实用价值的。更进一步,可将本项目所得经验应用于后续同类项目,以达到甲乙双方合作共赢的目的。

参考文献:

- [1] 单翠,高文超.装配式建筑预制构件厂选址模型及实例分析[J].攀枝花学院报,2020,9.
- [2] 张奕,韦佳,徐乐.装配式自保温双墙复合系统设计与应用研究[J].建筑节能,2020,11.
- [3] 许艳苗,王长录,徐玉亮.基于 BIM 超高层建筑垂直运输体系配置与调度研究[J].施工技术.2020,8.
- [4] 穆荫楠.上海中心大厦施工阶段垂直电梯运力分析[J].建筑施工,2020,010(040).
- [5] 时明雪,郑璐,梁先军.超高层小楼距施工垂直运输设备的选型与优化[J].广东土木与建筑,2020(10).
- [6] 宋卫华.超高层建筑机电工程垂直运输与物料平衡管理[J].工程管理,2020(22).
- [7] 李兵,夏飞,李鑫奎,等.多场耦合环境下的垂直运输设备对超高层建筑建造安全的力学研究[J].建筑施工,2020,042(002).