

装配式混凝土结构高效施工工艺 及技术指南

2024 年 9 月

目 录

第一章 前言	1
1.1 装配式相关政策	1
1.2 装配式建筑评价	3
1.3 装配式建筑常用图集规范	7
第二章 预制构件深化设计	9
2.1 深化原则	9
2.2 装配式结构体系	10
2.3 深化设计要点	19
2.4 预制楼梯连接节点	24
2.4.1 连接节点介绍	24
2.4.2 连接节点选择	25
2.5 叠合板连接节点	26
2.5.1 连接节点介绍	26
2.5.2 连接节点选择	27
2.6 预制剪力墙连接节点	27
2.6.1 连接节点介绍	28
2.6.2 连接节点选择	32
2.7 预制填充墙连接节点	33
2.7.1 连接节点介绍	33
2.7.2 连接节点选择	33
2.8 预制梁柱连接节点	34
2.8.1 连接节点介绍	34
2.8.2 连接节点选择	35
2.9 预制主次梁连接节点	35
2.9.1 连接节点介绍	35
2.9.2 连接节点选择	36
2.10 其他预制构件	37
2.10.1 预制空调板	37
2.10.2 预制阳台板	37
2.10.3 预制飘窗	37
2.11 智能化深化设计	43
第三章 预制构件生产运输	45

3.1 预制楼梯生产运输	45
3.1.1 预制楼梯生产	45
3.1.2 预制楼梯运输	47
3.2 叠合板生产运输	47
3.2.1 桁架筋生产	47
3.2.2 叠合板生产	48
3.2.3 叠合板运输	50
3.3 预制墙体生产运输	50
3.3.1 预制墙体生产	50
3.3.2 预制墙体运输	53
3.4 预制柱生产运输	54
3.4.1 预制柱生产	54
3.4.2 预制柱运输	56
3.5 叠合梁生产运输	56
3.5.1 叠合梁生产	56
3.5.2 叠合梁运输	57
3.6 预制飘窗生产运输	58
3.6.1 预制飘窗生产	58
3.6.2 预制飘窗运输	58
3.7 智能化制造生产	59
第四章 装配式结构施工	62
4.1 施工部署	63
4.1.1 施工技术准备	63
4.1.2 施工进度计划	63
4.1.3 施工平面布置	64
4.1.4 构件进场验收	64
4.1.5 构件现场堆放	66
4.1.6 构件成品保护	66
4.2 预制楼梯施工	67
4.2.1 预制楼梯吊装	68
4.2.2 预制楼梯灌浆	68
4.2.3 成品保护	68
4.3 叠合板施工	69
4.3.1 叠合板支模	69
4.3.2 叠合板吊装	72

4.3.3 叠合板连接节点施工	73
4.4 预制剪力墙施工	75
4.4.1 定位放线	76
4.4.2 预制剪力墙吊装	76
4.4.3 剪力墙节点钢筋绑扎	78
4.4.4 剪力墙节点模板支设	85
4.4.5 预制剪力墙套筒灌浆	86
4.5 预制柱施工	90
4.5.1 定位放线	90
4.5.2 预制柱吊装	90
4.5.3 预制柱套筒灌浆	92
4.6 叠合梁施工	93
4.6.1 叠合梁支撑	93
4.6.2 叠合梁吊装	93
4.6.3 叠合梁节点施工	94
4.7 预制飘窗施工	99
4.8 检测与验收	100
4.9 主要施工设备与机具	105
4.10 智能化现场施工	108
第五章 装配式结构施工措施	114
5.1 落地脚手架	114
5.1.1 普通 PC 外墙附着方式	114
5.1.2 夹心保温外墙附着方式	117
5.2 工字钢穿墙悬挑脚手架	118
5.2.1 普通 PC 外墙附着方式	118
5.2.2 夹心保温外墙附着方式	119
5.3 拉杆式悬挑脚手架	120
5.3.1 普通 PC 外墙附着方式	120
5.3.2 夹心保温外墙附着方式	121
5.4 承托式/三角支撑悬挑脚手架	122
5.4.1 普通 PC 外墙附着方式	122
5.4.2 夹心保温外墙附着方式	123
5.5 附着式升降脚手架	123
5.5.1 普通 PC 外墙附着方式	123
5.5.2 夹心保温外墙附着方式	123

5.6 外挂架	125
5.6.1 普通 PC 外墙附着方式	126
5.6.2 夹心保温外墙附着方式	126
第六章 典型项目案例	127
6.1 “叠合板+楼梯”装配式施工	127
6.1.1 项目概况	127
6.1.2 施工组织	128
6.1.3 施工工艺	129
6.2 “叠合板+楼梯+填充墙”装配式施工	132
6.2.1 项目概况	132
6.2.2 施工组织	135
6.2.3 施工工艺	135
6.3 “叠合板+楼梯+填充墙+剪力墙”装配式施工	141
6.3.1 项目概况	141
6.3.2 施工组织	143
6.3.3 施工工艺	143
6.4 “PK 板+楼梯+预制柱+预制梁”装配式施工	149
6.4.1 项目概况	149
6.4.2 施工组织	152
6.4.3 施工工艺	152
6.5 “外挂板”现浇改装配式施工	159
6.5.1 现浇改装配背景	159
6.5.2 现浇改装配思路	161
6.5.3 构件深化设计	162
6.5.4 施工部署	166
6.5.5 施工工艺	167
6.5.6 技术总结	171
6.6 “外立面连续独立梁”现浇改装配式施工	171
6.6.1 现浇改装配背景	171
6.6.2 现浇改装配思路	175
6.6.3 构件深化设计	175
6.6.4 施工部署	178
6.6.5 施工工艺	179
6.6.6 技术总结	182
6.7 “地下室集水井盖板”现浇改装配式施工	183

6.7.1 现浇改装配背景	183
6.7.2 现浇改装配思路	183
6.7.3 构件深化设计	183
6.7.4 施工工艺	184
6.7.5 技术总结	185
6.8 “屋面风帽基础”现浇改装配式施工	185
6.8.1 现浇改装配背景	185
6.8.2 现浇改装配思路	185
6.8.3 构件深化设计	186
6.8.4 施工工艺	186
6.8.5 技术总结	187

第一章 前言

1.1 装配式相关政策

近年来，由于装配式建筑能有效节约资源、环境制约影响小、操作模式机械化、可减少建筑垃圾和污染排放等，受到了国家政府部门的大力支持。为推动装配式建筑产业发展，近几年国家层面陆续出台了一系列的支持政策，如下表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 国家装配式相关政策（部分）

发布时间	发布部门	文件名称	关于装配式重点内容
2023. 12	国务院	《空气质量持续改善计划》	到 2025 年，装配式建筑占新建建筑面积比例达 30%。
2023. 07	商务部等 13 部门	《关于促进家居消费若干措施的通知》	大力发展绿色家装、装配式装修。
2023. 01	财政部、住建部	《关于扩大政府采购支持绿色建材促进建筑品质提升政策实施范围的通知》	各有关城市要大力发展装配式、智能化等新型建筑工业化建造方式，全面建设二星级以上绿色建筑。
2022. 04	国务院	《关于推动城乡建设绿色发展的意见》	推广绿色低碳建材和绿色建造方式，加快推进新型建筑工业化，大力发展装配式建筑，推广钢结构住宅。
2022. 01	住建部	《“十四五”建筑业发展规划》	大力发展装配式建筑，装配式建筑占新建建筑的比例达到 30%以上，打造一批建筑产业互联网平台，形成一批建筑机器人标志性产品，培育一批智能建造和装配式建筑产业基地。
2021. 10	国务院	《关于印发 2030 年前碳达峰行动方案的通知》	推广绿色低碳建材和绿色建造方式，加快推进新型建筑工业化，大力发展装配式建筑，推广钢结构住宅。
2020. 08	住建部等 9 部门	《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》	加快新型建筑工业化发展，以新型建筑工业化带动建筑业全面转型升级。
2020. 07	住建部等 13 部门	《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》	加快建筑工业化升级。大力发展装配式建筑，推动建立以标准部品为基础的专业化、规模化、信息化生产体系。
2016. 09	国务院	《关于大力发展装配式建筑的指导意见》	力争用 10 年左右的时间，使装配式建筑占新建建筑面积的比例达到 30%。
.....			

相应地，浙江省也出台了相关政策支持装配式建筑的发展，如下表 1.1.2 所示。

表 1.1.2 浙江省装配式相关政策（部分）

发布时间	发布部门	文件名称	关于装配式重点内容
2023. 04	省住建厅	《浙江省新型建筑工业化发展质量提升行动方案（2023—2027 年）》	提出了 2023 年、2025 年、2027 年三个阶段目标，到 2027 年新开工装配式建筑面积占新建建筑比例达到 40%以上，加快推进建筑工业化、数字化、智能化升级。
2023. 04	省住建厅	《浙江省开展装配化装修试点工作方案》	以提升装配式建筑品质为目标，开展装配化装修试点，推进建筑服务业和制造业协同发展。
2022. 07	省人民政府	《关于进一步支持建筑业做优做强的若干意见》	加快推动装配式构件和部件标准化，推广应用一批成熟的装配式建筑结构体系。开展装配化装修试点示范，推广整体厨卫、装修部品和设备管线集成化等技术应用。
2022. 01	省人民政府	《关于高水平推动全省城乡建设绿色发展的实施意见》	到 2025 年，城镇新建建筑中绿色建筑比例达到 98%，装配式建筑占新建建筑比例达 35%。
2021. 04	省人民政府	《关于推动浙江建筑业改革创新高质量发展的实施意见》	到 2025 年，装配式建筑占新建建筑比例达到 35%以上，钢结构建筑占装配式建筑比例达到 40%以上。
.....			

与此同时，浙江省各地级市也相继出台了装配式相关政策，响应国家及省厅对装配式建筑的发展要求，如下表 1.1.3 所示。

表 1.1.3 浙江省各地级市装配式相关政策（部分）

地级市	发布时间	文件名称及装配式重点内容
杭州市	2022. 10	杭州市人民政府起草了《关于持续推进装配式建筑发展的实施意见（征求意见稿）》，提出杭州市装配式发展目标。
宁波市	2024. 01	宁波市人民政府印发了《宁波市绿色建筑专项规划（2022—2030 年）》的通知，要求大力发展节能低碳建筑，全面推广绿色建材及新型建筑，发展钢结构等装配式建筑，推行全装修房交付。
温州市	2021. 11	温州市人民政府印发了《关于推动温州建筑业改革创新高质量发展的实施意见》的通知，提出温州市装配式发展目标。
嘉兴市	2024. 7	嘉兴市人民政府印发了《嘉兴市 2024 年碳达峰碳中和工作要点》的通知，要求大力发展装配式建筑，抓好智能建造全国试点工作。
湖州市	2024. 6	湖州市人民政府印发了《国家碳达峰试点（湖州）实施方案》的通知，

		要求加快推进新型建筑工业化。
绍兴市	2021. 1	绍兴市人民政府出台了《绍兴市人民政府办公室关于加快推进绿色建筑和新型建筑工业化发展的实施意见》，要求积极推进装配式建筑发展。
金华市	2022. 10	金华市人民政府印发了《金华市“无废城市”建设工作实施方案（2022—2025 年）》的通知，提出 2022~2025 年装配式发展目标。
衢州市	2024. 08	衢州市人民政府发布了《关于进一步支持建筑业做优做强的若干意见》，提出加快推动装配式构件和部件标准化，推广应用一批成熟的装配式建筑结构体系。
舟山市	2022. 09	舟山市人民政府发布了《关于支持建筑业做优做强的若干意见》，提出大力发展混凝土 PC 结构装配式建筑，提高装配式建筑预制率，开展装配式建筑示范项目试点。
台州市	2023. 04	台州市人民政府印发了《台州市智能建造试点城市实施方案》的通知，提出大力发展装配式建筑。
丽水市	2024. 06	丽水市建设局等三部门印发了《丽水市绿色建筑和建筑工业化实施细则》的通知，提出新建项目应按项目所在地绿色建筑专项规划的相关要求实施建筑工业化。
.....		

在相关政策的推动下,以及装配式建造方式自带的施工方便、节能环保等优势,主体结构、地下结构(如地下车站、基坑地连墙构件等)、围护构件等装配式建造技术均得到了快速发展,新型预制构件不断涌现,生产效率大大提升,为智能建造的发展打下了坚实的基础。受限于篇幅,本指南聚焦地上主体结构装配式建造技术的介绍,供装配式项目参考。

1.2 装配式建筑评价

装配率是评价装配式建筑的重要指标之一,也是政府制定装配式建筑扶持政策的主要依据指标。根据《装配式建筑评价标准》(GB/T51129-2017)相关规定,装配率按照以下规则计算:

$$P=(Q_1+Q_2+Q_3)/(100-Q_4)\times 100\%$$

式中: P——装配率;

Q₁——主体结构指标实际得分值;

Q₂——围护墙和内墙墙指标实际得分值(见表 1.2.1);

Q₃——装修和设备管线指标实际得分值(见表 1.2.1);

Q₄——评价项目中缺少的评价项分值总和。

表 1.2.1 装配式建筑评分表（国标）

评价项		评价要求	评价分值	最低分值
主体结构 (50 分)	柱、支撑、承重墙、延性墙板等竖向构件	$35\% \leq \text{比例} \leq 80\%$	20~30*	20
	梁、楼板、屋面板、楼梯、阳台、空调板等构件	$70\% \leq \text{比例} \leq 80\%$	10~20*	
围护墙和内隔墙 (20 分)	非承重围护墙非砌筑	比例 $\geq 80\%$	5	10
	围护墙与保温、隔热、装饰一体化	$50\% \leq \text{比例} \leq 80\%$	2~5*	
	内隔墙非砌筑	比例 $\geq 60\%$	5	
	内隔墙与管线、装修一体化	$50\% \leq \text{比例} \leq 80\%$	2~5*	
装修和设 备管线 (30 分)	全装修	—	6	6
	干式工法楼面、地面	$70\% \leq \text{比例}$	6	—
	集成厨房	$70\% \leq \text{比例} \leq 90\%$	3~6*	
	集成卫生间	$70\% \leq \text{比例} \leq 90\%$	3~6*	
	管线分离	$50\% \leq \text{比例} \leq 70\%$	4~6*	

注：（1）表中带“*”项的分值采用“内插法”计算，计算结果取小数点后 1 位；

浙江省装配率计算规则：

浙江省装配率评价暂时执行浙江省《装配式建筑评价标准》（DB33/T1165-2019）（旧标）相关规定，装配率按照以下评分表 1.2.2 进行计算。新标（DB33/T1165-2024）（表 1.2.3）自 2025 年 1 月 1 日起施行，旧标（DB33/T1165-2019）同时废止。

表 1.2.2 装配式建筑评分表（浙江省旧标）

评价项			评价要求	评价分值	最低 分值
主体结构 (Q ₁) (50 分)	柱、支撑、承重 墙、延性墙板等 竖向构件	应用预制部件	35%≤比例≤80%	20~30*	20
		现场采用高精度模板	70%≤比例≤90%	5~10*	
		现场应用成型钢筋	比例≥70%	4	
	梁、板、楼梯、阳台、空调板等构件		70%≤比例≤80%	10~20*	
围护墙和 内隔墙 (Q ₂) (20 分)	非承重围护墙非砌筑		比例≥80%	5	10
	围护墙	墙体与保温隔热、 装饰一体化	50%≤比例≤80%	2~5*	
		采用保温隔热与装饰一体化 板	比例≥80%	3.5	
		采用墙体与保温隔热一体化	50%≤比例≤80%	1.2~3.0*	
	内隔墙非砌筑		比例≥50%	5	
	内隔墙	采用墙体与管线、装修一体 化	50%≤比例≤80%	2~5*	
		采用墙体与管线一体化	50%≤比例≤80%	1.2~3.0*	
装修和 设备管线 (Q ₃) (30 分)	全装修		—	6	—
	干式工法楼面		比例≥70%	6	
	集成厨房		70%≤比例≤90%	3~6*	
	集成卫生间		70%≤比例≤90%	3~6*	
	管线 分离	竖向布置管线与墙体分离	50%≤比例≤70%	1~3*	
		水平向布置管线与楼板和 湿作业楼面垫层分离	50%≤比例≤70%	1~3*	

注：表中带“*”项的分值采用“内插法”计算，计算结果取小数点后 1 位。

表 1.2.3 装配式建筑评分表（浙江省新标）

评价项			评价要求	评价分值	最低分值
主体结构 (Q ₁) (50 分)	柱、支撑、 承重墙等 竖向构件	应用预制部件	35% ≤ 比例 ≤ 80%	20 ~ 30 *	20.0
		现场采用高精度模板	70% ≤ 比例 ≤ 90%	3 ~ 5 *	
		现场应用成型钢筋	比例 ≥ 70%	2	
	梁、板、楼梯、阳台、 空调板等构件		70% ≤ 比例 ≤ 80%	10 ~ 20 *	
围护墙和 内隔墙 (Q ₂) (最高 20 分)	非承重围护墙非砌筑		比例 ≥ 80%	5	10.0
	围护墙	墙体与保温隔热、 装饰一体化	50% ≤ 比例 ≤ 80%	2 ~ 5 *	
		采用保温装饰一体化板	比例 ≥ 80%	3.5	
		采用墙体与保温一体化	50% ≤ 比例 ≤ 80%	1.2 ~ 1.5 *	
	内隔墙非砌筑		比例 ≥ 50%	5	
	内隔墙	采用墙体与管线、 装修一体化	50% ≤ 比例 ≤ 80%	5 ~ 8 *	
		采用墙体与管线一体化	50% ≤ 比例 ≤ 80%	1.2 ~ 3 *	
装修和 设备管线 (Q ₃) (最高 30 分)	装修	建筑通用空间 全部装修	—	2	2
		除建筑通用空间外其 余功能空间全部装修		4	
	装配式 内装修	干式工法楼面	比例 ≥ 70%	6	—
		干式工法吊顶	比例 ≥ 70%	4	
		集成厨房	70% ≤ 比例 ≤ 90%	3 ~ 6 *	
		集成卫生间	70% ≤ 比例 ≤ 90%	3 ~ 6 *	
	管线 分离	竖向布置管线 与墙体分离	50% ≤ 比例 ≤ 70%	1 ~ 3 *	
		水平向布置管线 与楼板和湿作业楼面 填充层分离	50% ≤ 比例 ≤ 70%	1 ~ 3 *	

注：1 表中带“*”项的分值采用“内插法”计算，计算结果取小数点后2位；

2 住宅建筑通用空间的楼面采用干式工法的比例大于等于70%，则干式工法楼面评价项实际评价分值可取3分；

3 住宅建筑通用空间设置吊顶且吊顶采用干式工法的比例大于等于70%，则干式工法吊顶评价项实际评价分值可取2分；

4 住宅建筑通用空间的墙面采用干式工法的比例大于等于70%，则建筑通用空间全部装修评价项实际评价分值可取4分。

5 当住宅建筑“除建筑通用空间外其余功能空间全部装修”时，注2、注3和注4不适用。

浙江省装配率计算规则类似国标《装配式建筑评价标准》（GB/T51129-2017）规定，但评分表中增加了评分项目，例如现场应用成型钢筋、现场采用高精度模板

也可以计入；增加了加分项，例如采用标准化设计、全过程采用 BIM 技术等。此外，浙江省新标准的装配率计算考虑加分项，确定装配式建筑时的“装配率表述为计算装配率与加分值之和；调整了“全装修”评价项要求，分为“建筑通用空间全部装修”和“除建筑通用空间外其余功能空间全部装修”两部分，并把“建筑通用空间全部装修”作为装配式建筑确定的必要条件，同时引导住宅建筑的建筑通用空间装修采用干式工法；在“装修和设备管线”评价部分增设“干式工法吊顶评价项；细化了主体结构中部分评价项的技术要求，调整了评价分值。

浙江省装配率的计算及评价工作，除满足浙江省《装配式建筑评价标准》规定外，还应遵循省厅 2023 年 9 月发布的“关于浙江省《装配式建筑评价标准》执行中有关问题的说明”，主要涉及高精度模板、成型钢筋、墙体与保温隔热一体化及新技术、新工艺、新材料和新设备等内容。

1.3 装配式建筑常用图集规范

表 1.3.1 浙江省装配式混凝土建筑常用规范图集表（部分）

序号	类别	名称	编号	发布时间
1	图集（国家）	装配式混凝土结构住宅建筑设计示例 （剪力墙结构）	15J939-1	2015.2
2	图集（国家）	装配式混凝土结构表示方法及示例 （剪力墙结构）	15G107-1	2015.2
3	图集（国家）	预制混凝土剪力墙外墙板	15G365-1	2015.2
4	图集（国家）	预制混凝土剪力墙内墙板	15G365-2	2015.2
5	图集（国家）	桁架钢筋混凝土叠合板 （60mm 厚底板）	15G366-1	2015.2
6	图集（国家）	预制钢筋混凝土板式楼梯	15G367-1	2015.2
7	图集（国家）	装配式混凝土结构连接节点构造 （楼盖结构和楼梯）	15G310-1	2015.2
8	图集（国家）	装配式混凝土结构连接节点构造 （剪力墙结构）	15G310-2	2015.2
9	图集（国家）	预制钢筋混凝土阳台板、空调板及女儿 墙	15G368-1	2015.2
10	图集（国家）	装配式混凝土剪力墙结构住宅施工工 艺图解	16G906	2016.3
11	验收规范（国家）	混凝土结构工程施工质量验收规范	GB50204-2015	2014.12

12	验收规范（国家）	混凝土结构工程施工规范	GB50666-2011	2011.7
13	技术标准（国家）	装配式混凝土建筑技术标准	GB/T51231-2016	2017.1
14	评价标准（国家）	装配式建筑评价标准	GB/T51129-2017	2017.12
15	技术规程（行业）	钢筋机械连接技术规程	JGJ107-2016	2016.2
16	技术规程（行业）	钢筋套筒灌浆连接应用技术规程	JGJ355-2015	2015.1
17	设计规程（行业）	装配式混凝土结构技术规程	JGJ1-2014	2014.2
18	评价标准（浙江省）	装配式建筑评价标准*	DB33/T1165-2019	2019.3
19	评价标准（浙江省）	装配式内装评价标准	DB33/T 1259— 2021	2021.10
20	验收规范（浙江省）	装配整体式混凝土结构工程施工质量 验收规范	DB33/T1123-2016	2016.9
21	验收规范（浙江省）	叠合板式混凝土剪力墙结构工程施工 质量验收规范	DB33/T1186-2020	2020.1
22	技术规程（浙江省）	装配式混凝土结构检测技术规程	DBJ33/T1270-2022	2022.3
23	技术规程（浙江省）	叠合板式混凝土剪力墙结构技术规程	DB33/T1120-2016	2016.3
24	技术规程（浙江省）	装配式部分包覆钢-混凝土组合结构技 术规程	DBJ33/T 1290-2023	2023.1
25	技术规程（浙江省）	装配式混凝土结构钢筋套筒灌浆连接 技术规程	DB33/T1198-2020	2020.4
26	技术规程（浙江省）	蒸压加气混凝土墙板应用技术规程	DB33/T1232-2021	2021.1
27	技术规程（浙江省）	螺栓连接全装配混凝土墙板结构技术 规程	DBJ33/T 1325-2024	2024.6
28	设计导则（浙江省）	浙江省装配式建筑 BIM 设计规则及设 计深度导则	/	2024.4
29	设计导则（浙江省）	装配式内装修设计导则	/	2024.4
30	设计导则（浙江省）	浙江省装配式建筑预制混凝土构件（水 平）标准化设计导则	/	2024.8

注：表中带“*”项为旧标准，浙江省《装配式建筑评价标准》（DB33/T1165-2024）新标
自 2025 年 1 月 1 日起施行。原《装配式建筑评价标准》(DB33/T 1165-2019)同时废止。

第二章 预制构件深化设计

2.1 深化原则

目前我国装配式建筑设计基本采用等同现浇的设计理念,施工图设计单位设计完成后,根据装配率要求选择合适构件进行装配式方案设计,深化设计单位再按照装配式方案进行构件深化。为充分发挥装配式建筑工业化建造方式的优势,在实际实施时,建议甲方应尽可能组织各参建单位在项目设计阶段即介入,相互协调、多方协同,在构件类型选择、预制构件尺寸、预制构件节点处理等方面充分考虑各单位在设计、生产、施工等多阶段下的实施要求及施工痛点,并积极利用信息化技术,例如 BIM 建模等手段,开展碰撞检查、施工推演等。总体来说,在装配式深化设计时主要考虑以下几个方面:

(1) 满足装配率指标

满足项目相关审批文件规定的装配率等指标要求。本条要求设计院等参与方熟悉装配率计算规则,确定结构的装配式方案,合理选择预制构件的范围。

(2) 结构受力合理

构件拆分时,应考虑结构的合理性,接缝应位于受力较小的部位。保证 PC 构件连接节点性能良好,技术成熟,施工方便,易满足主体结构各类力学性能要求。

(3) 标准化模数化

构件拆分的关键是设计标准化,应遵循少规格、多组合的理念,建立一整套具有适应性的模数以及模数协调原则。设计中据此优化各功能模块的尺寸和种类,使建筑部品实现通用性和互换性,保证建筑在建设过程中,在功能、质量、技术和经济等方面获得最优的方案,促进建造方式从粗放型向集约型转变。

(4) 施工质量易控

构件拆分时,可优选板、楼梯、梁等构件进行预制,此类构件连接节点简单、施工质量成熟可靠;对于柱、支撑、承重墙、延性墙板等竖向构件,若采用预制,对施工管控质量要求较高,建议作为备选。

(5) 施工方便

预制构件的拆分存在制作、运输、安装的可行性等诸多问题。既要考虑构件厂家起重机效能、模台或生产线尺寸限制(一般构件厂的生产装备,流水线模台尺寸主要是 $3.5 \times 9 \text{ m}$,也可以定非标尺寸,固定模台生产线一般采用 $4 \times 12 \text{ m}$ 的尺寸。)

又要考虑交通法限制的运输限高、限宽、限重以及道路路况的约束，还要结合施工现场塔吊吊能、构件堆放条件等。预制构件的拆分深化尽可能的满足后期支撑体系搭设的少支撑，甚至免支撑。受制约的因素较多，总体需要满足施工便利性。

(6) 综合造价最优

成本是制约 PC 拆分方案的关键因素，拆分方案需兼顾经济性。构件的制作、运输和吊装的要求要考虑起重设备的能力因素。从造价角度来说，叠合板混凝土量小，运输可多层堆放运输，施工方便，造价相对较低；而竖向构件如剪力墙，预制混凝土体积较大，运输效率低，安装复杂且需要额外斜撑，灌浆套筒连接质量控制难度较大等，造成竖向构件综合造价升高，一般尽可能作为备选方案选用。

综上，装配式建筑拆分方案在满足装配率要求的基础上，以综合造价为目标，进行多种拆分方案对比，选择合适的拆分方案。预制构件按综合性价比从高到低依次排序分别是：预制叠合板、预制楼梯、预制阳台板、预制空调板、预制外围护墙（预制飘窗）、预制竖向承重构件（剪力墙、柱）等。（见表 2.1.1）

表 2.1.1 不同装配率下的预制构件选择

性价比（由高至低）		预制混凝土结构构件百分比		
		25%	30%	40%
		装配率不小于 50%		
1	叠合楼板	√	√	√
2	预制楼梯	√	√	√
3	预制阳台	√	√	√
4	空调板	√	√	√
5	预制外围护墙	√	√	√
6	预制飘窗	√	√	√
7	预制竖向承重构件（剪力墙、柱）		√	√

2.2 装配式结构体系

PC 构件深化、构件之间连接节点做法等与相应装配式结构体系密切相关。本节列举目前常见的几种装配式结构体系，如表 2.2.1 所示。

表 2.2.1 常见装配式结构体系

序号	体系名称	序号	体系名称
1	装配整体式混凝土剪力墙结构体系	6	竖向分布筋不连接剪力墙结构体系
2	装配整体式混凝土框架结构体系	7	装配整体式叠合剪力墙结构体系
3	装配整体式混凝土空腔结构体系	8	螺旋箍筋约束波纹管浆锚连接剪力墙体

	(SPCS 体系)		系
4	EMC 预制空心叠合剪力墙结构体系	9	纵肋叠合剪力墙体系
5	EVE 装配式空心板剪力墙结构体系	10	NPC 装配整体式剪力墙结构体系

1、装配整体式混凝土剪力墙结构体系

(1) 结构体系介绍

装配整体式混凝土剪力墙结构体系（简称装配整体式剪力墙结构）是指全部或部分剪力墙采用预制墙体，并与叠合楼板、楼梯及阳台等混凝土预制构件，通过节点部位的后浇混凝土形成的能够可靠传力，并满足承载力和变形要求的剪力墙结构。

装配整体式剪力墙结构是近年来我国装配式住宅建筑中应用最多、发展最快的结构体系，主要适用于抗震设防烈度为 6~8 度区的多、高层住宅建筑。其特点是全部或部分剪力墙大面预制，边缘构件现浇，剪力墙竖向钢筋采用套筒灌浆连接，楼板多采用叠合板。如图 2.2.1 所示。



图 2.2.1 装配整体式剪力墙结构体系示意图

(2) 节点连接技术

目前装配整体式剪力墙结构墙体连接节点主要包括预制剪力墙、预制填充墙、叠合板、预制楼梯等连接节点。叠合板之间主要采用底筋搭接方式连接；叠合板预制底板与现浇层之间主要利用粗糙面与桁架筋以及新老混凝土咬合作用连接成结构受力整体。剪力墙则主要为边缘构件现浇，剪力墙竖向分布筋采取灌浆套筒连接（图 2.2.2）或浆锚搭接（图 2.2.3）。

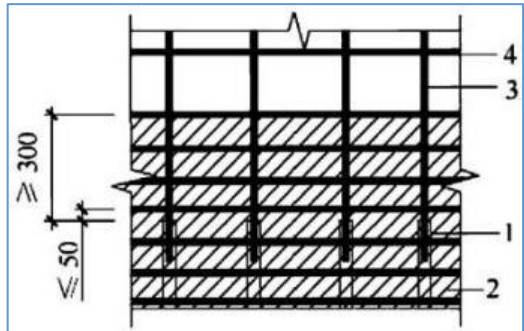


图 2.2.2 套筒灌浆连接

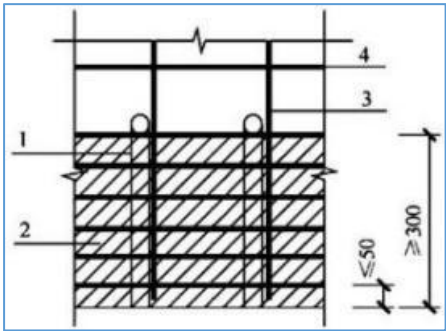


图 2.2.3 浆锚搭接连接

1—灌浆套筒（图 2.3 中 1 为波纹管）；2—水平分布钢筋加密区域（阴影区域）；

3—竖向钢筋；4—水平分布钢筋

（3）结构体系优点

①混凝土浇捣量少：竖向墙体除暗柱外全部预制，混凝土浇捣量较少；

②竖向构件受钢筋约束，不容易偏位：竖向构件预留孔插入钢筋头后，活动空间基本可控；

③复杂构件可预制：包括阳台、飘窗等构件均可预制；

④外饰面可一次预制成型：外饰面线条可通过模具一次预制成型，不需要 EPS 线条施工；

⑤目前技术成熟，行业认可度高，规范成熟，应用广泛，工人熟练度较高。

（4）结构体系难点：

①构件重量太大：在塔吊选型时，往往因为 PC 构件重量太大不得不加大塔吊型号，从而造成成本增加；

②灌浆质量得不到保证：灌浆不容易灌密实，导致竖向构件连接不紧密，造成渗漏、结构隐患等风险；

③暗柱节点工效低：由于节点作业面小、竖向构件外伸的钢筋等原因，造成暗柱钢筋绑扎及模板加固效率低下，占用工期时间久；

④建造成本高：由于构件成本高、节点工效慢、构件安装费用高等原因，造成装配式混凝土建筑的建造成本显著高于现浇混凝土建筑。

2、装配整体式混凝土框架结构体系

（1）结构体系介绍

装配式整体式框架结构是指全部或部分框架梁、柱采用预制构件通过可靠的连接方式装配而成，连接节点处采用现场后浇混凝土、水泥基灌浆料等将构件连成整体的混凝土结构。常见的预制构件类型有：预制梁、预制柱、预制叠合板、预制楼梯。其中，预制柱常用的连接方式为灌浆套筒连接。如图 2.2.4 所示。



图 2.2.4 装配整体式框架结构体系示意图

(2) 节点连接技术

装配整体式框架主要包括框架节点后浇和框架节点预制两大类：前者的预制构件在梁柱节点处通过后浇混凝土连接，预制构件为一字形，如图 2.2.5；而后的连接节点位于框架柱、框架梁中部，预制构件有十字形、T 形、一字形等并包含节点，如图 2.2.6。由于预制框架节点制作、运输、现场安装难度较大，现阶段工程较少采用。



图 2.2.5 框架节点后浇

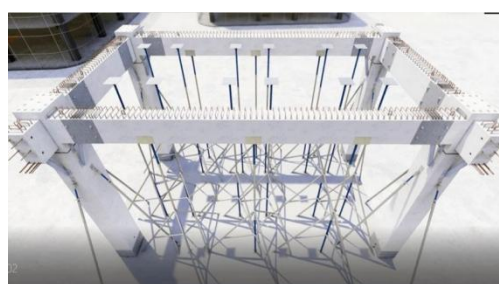


图 2.2.6 框架节点预制

装配整体式框架结构连接节点设计时，应合理确定梁和柱的截面尺寸以及钢筋的数量、间距及位置等，钢筋的锚固与连接应符合国家现行标准相关规定，并应考虑构件钢筋的碰撞问题以及构件的安装顺序，确保便于现场施工。装配整体式框架结构中，预制柱的纵向钢筋可采用套筒灌浆、机械冷挤压等连接方式。当梁柱节点现浇时，叠合框架梁纵向受力钢筋应伸入后浇节点区锚固或连接，其下部的纵向受力钢筋也可伸至节点区外的后浇段内进行连接。当叠合框架梁采用对接连接时，梁下部纵向钢筋在后浇段内宜采用机械连接、套筒灌浆连接或焊接等连接形式连接。叠合框架梁的箍筋可采用整体封闭箍筋及组合封闭箍筋形式。

3、装配整体式混凝土空腔结构体系（SPCS 体系）

(1) 结构体系介绍

SPCS 装配整体式钢筋焊接网叠合混凝土结构成套技术（简称：SPCS 装配式体

系），钢筋网笼可实现一体成型，全部或部分抗侧力构件采用叠合剪力墙、叠合柱，以预制部分的钢筋混凝土结构承受施工荷载并以其作为混凝土浇筑模板，待现浇混凝土达到设计强度后，再由预制部分和现浇部分形成的整体叠合截面承受使用荷载。主要包括空腔预制墙和空腔预制柱技术。如图 2.2.7 所示。

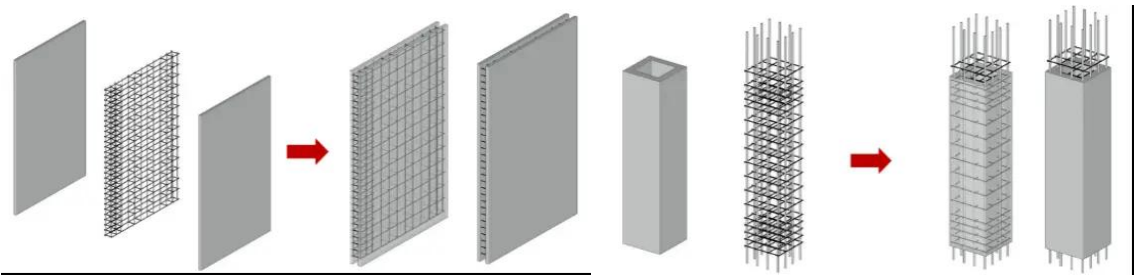


图 2.2.7 SPCS 装配式体系示意图

（2）节点连接技术

SPCS 体系利用混凝土叠合原理，把竖向叠合构件、水平叠合构件、墙体边缘约束构件等通过现浇混凝土结合为整体，充分发挥了预制混凝土构件和现浇混凝土的各自优点，整体性能安全可靠，保证与现浇结构体系相同的抗震能力以及建筑保温、防水、隔音等性能，实现现浇混凝土与高精度预制构件的结合。预制构件间通过在空腔内设置搭接钢筋、空腔内现场浇筑混凝土的方式连接形成整体的叠合受力剪力墙，如图 2.2.8 所示。

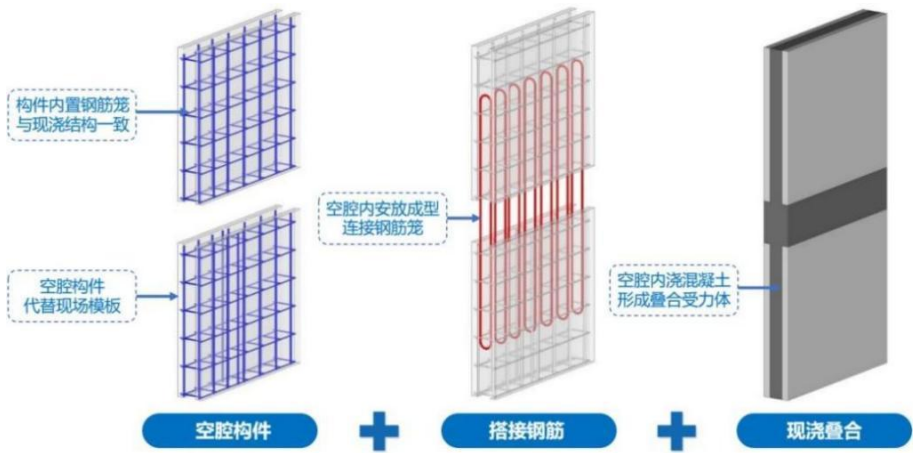


图 2.2.8 SPCS 装配式体系竖向节点连接示意图

SPCS 空腔墙板构件叶板间采用整体钢筋笼连接，与国内整体现浇剪力墙钢筋形态一致，钢筋笼由梯子形水平钢筋网片与纵向钢筋组合而成，钢筋笼在叶板内整体锚固，对两侧叶板形成整体强拉接；预制墙板间水平及竖向连接钢筋均采用封闭的环状，并在水平连接钢筋端部增加竖向插筋，增强锚固作用，便于现场构件安装。

4、EMC 预制空心叠合剪力墙结构体系

(1) 结构体系介绍

EMC 预制空心叠合剪力墙结构体系采用混凝土预制墙板作为主要的承重和抗侧力构件，通过设置水平和竖向连接钢筋或钢筋连接接头，并采用后浇混凝土实现剪力墙墙板构件间的水平和竖向连接。EMC 预制空心叠合墙板内部采用金属波纹管预埋成孔，形成带竖孔的叠合剪力墙体系；上下层墙板内竖向纵筋在波纹管内搭接连接或贯通设置并采用机械连接，波纹管内后浇筑混凝土，实现整体受力。预制边缘构件采用孔道内大直径纵筋贯通布置时，边缘构件预制墙板内仅布设竖向构造钢筋与边缘构件箍筋、拉筋形成钢筋笼，边缘构件内采用少根数大直径纵筋贯通布置，上下层边缘构件大直径贯通纵筋采用机械连接。预制墙身布设梅花状分布外伸连接钢筋，下层钢筋从预制墙板顶部伸出、伸入上层预制墙板波纹管内进行搭接连接。同时边缘构件可采用局部预制局部现浇，将主要受力纵筋配置在局部后浇边缘构件内，实现边缘构件统筹高效配筋。如图 2.2.9 所示。

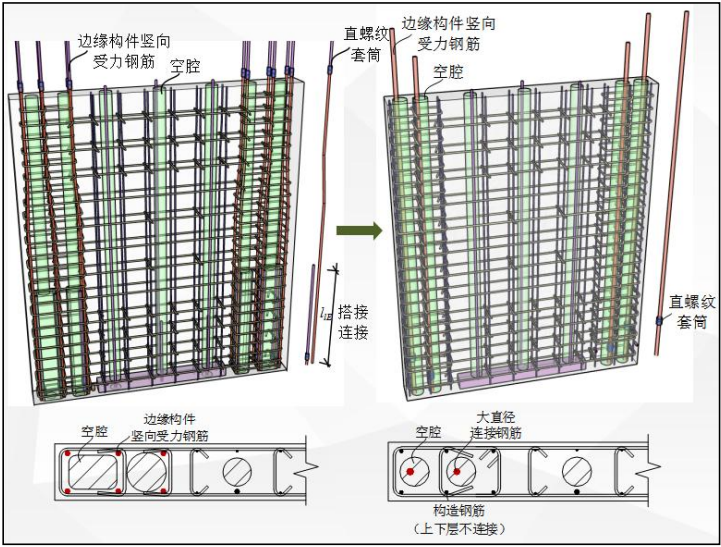


图 2.2.9 EMC 预制空心叠合剪力墙结构体系示意图

(2) 节点连接技术

EMC 预制边缘构件墙板竖向受力纵筋采用大直径贯通纵筋穿设于波纹管内，上下层大直径纵筋采用机械连接，质量可靠；预制墙身仅布设梅花状分布外伸钢筋，上下层钢筋在波纹管内进行搭接连接。波纹管内仅单根纵筋，混凝土浇筑质量有保障。EMC 预制空心叠合剪力墙结构技术体系剪力墙抗震性能、配筋及连接构造经过试验验证，在受力机理、破坏模式上与现浇结构相同，在承载力、刚度、变形能力及滞回耗能性能等方面不低于现浇结构，可实现“等同现浇”的受力性能；其

主要连接方式、连接措施及体系受力性能安全可靠，可满足抗震需求。

EMC 预制空心叠合墙板内部采用金属波纹管预埋成孔，形成带竖孔的叠合剪力墙体系，该体系加工及建造工艺简单、施工便捷、墙板安装效率高，预制墙板标准化程度高，施工建造过程可实现“快速、高效、可控”。

5、EVE 装配式空心板剪力墙结构体系

（1）结构体系介绍

EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构技术体系竖向构件由预制空心剪力墙板和预制空心边缘构件剪力墙板共同组成。预制构件内设有墙体分布钢筋、箍筋及预制部分的梁纵筋；在构件竖向开设有若干空心孔道，非边缘构件处沿竖向孔道后置竖向间接搭接连接钢筋，而边缘构件竖向空心孔道内设置通长纵向钢筋，采用直螺纹套筒连接或搭接连接。横向连接采用外露封闭环钢筋与现浇段连接，现浇段及空心孔内浇筑混凝土形成有效的节点连接，共同构成整体装配式叠合剪力墙结构。如图 2.2.10 所示。



图 2.2.10 EVE 装配式空心板叠合剪力墙结构体系示意图

（2）节点连接技术

EVE 体系竖向剪力墙板构件中的竖向孔道内采用可靠的纵向钢筋搭接连接和钢筋直接连接构造，形成有效的受力机制，后浇空心孔道混凝土构成叠合整体剪力墙结构，满足现有相关剪力墙结构抗震规范设计要求，能够保证建筑结构具有可靠的抗震性能和建筑质量。

6、竖向分布筋不连接剪力墙结构体系

（1）结构体系介绍

竖向分布钢筋不连接（SGBL）装配整体式剪力墙结构体系是一种受力合理、构造简单、连接便捷的新型装配式混凝土剪力墙结构体系。该体系主要竖向预制构

件为预制墙板，水平预制构件主要包括预制叠合楼板、预制楼梯、预制阳台板等。其中，预制墙板构件构造简单，底部无需埋设套筒等连接件，竖向分布钢筋无需甩出下层楼面。如图 2.2.11 所示。

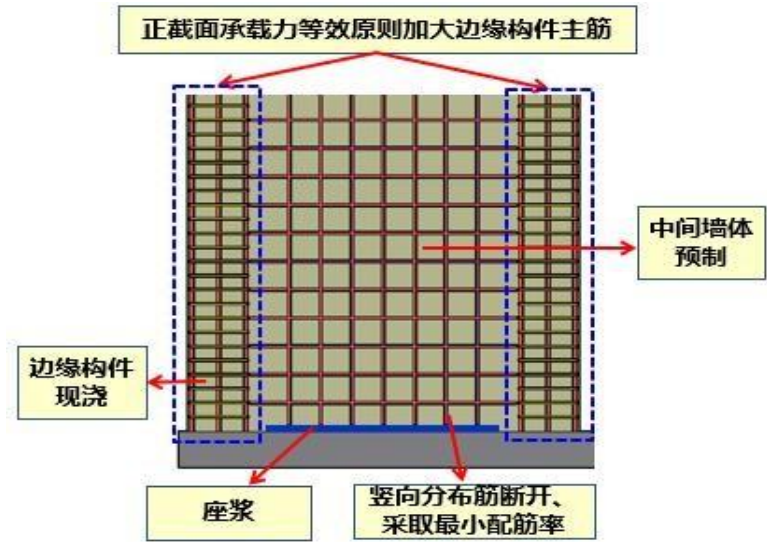


图 2.2.11 竖向分布筋不连接剪力墙体系示意图


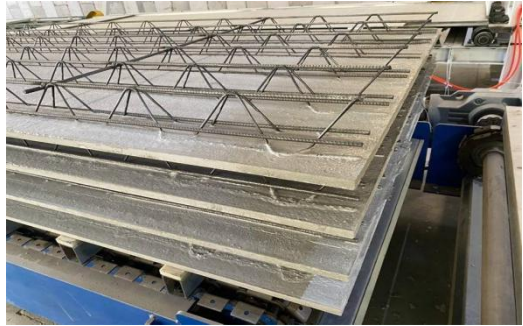



（2）节点连接技术

竖向分布筋不连接剪力墙技结构体系主要特点是中间墙体预制，竖向分布钢筋在楼层处不连接，仅保留两根定位钢筋；边缘构件现浇，竖向主筋根据正截面承载力等效原则适当加大，保证承载力不降低；取消了预制墙体竖向分布钢筋套筒等连接形式，楼面处采用坐浆方式；水平分布钢筋按截面受剪计算配筋，并锚入现浇边缘构件后浇成整体。

在装配式建筑建造过程中，楼板是其中重要的一个环节，同时也是施工量较大的一个工序。目前市场上常用的装配式楼板主要分为：桁架钢筋混凝土叠合板、钢筋混凝土砼肋叠合板、钢筋桁架楼承板等。下面列举几种目前常见的装配式楼板，如表 2.2.2 所示。

表 2.2.2 常见装配式楼板类型

序号	楼板类型	图片示意
1	桁架钢筋混凝土叠合板	

2	钢筋混凝土砼肋叠合板	
3	钢筋桁架楼承板	
4	钢筋混凝土预应力叠合板（PK 板）	
5	钢筋混凝土预应力空心板	
6	钢筋混凝土预应力双 T 板	

由于目前市面上装配式项目类型绝大多数为装配整体式混凝土剪力墙结构体系和装配整体式混凝土框架结构体系,且桁架钢筋混凝土叠合板是装配式建筑中最常用的装配式水平楼板构件。故本技术标准将以这两种最常见的装配式结构体系以及桁架钢筋混凝土叠合板展开介绍,其他结构体系及装配式水平楼板构件不再赘述。

2.3 深化设计要点

无论选择何种结构体系进行装配式拆解,在整个装配式建造过程中,主要有三个阶段,分别是:设计规划阶段——构件生产阶段——施工建造阶段,设计规划阶段作为装配式建筑的起点,做好深化设计是装配式建筑的重要环节。

装配式设计工作贯穿于项目整个阶段,其中在施工图设计阶段,主要工作内容为:①装配式建筑、结构、设备设计说明;②提供装配式构造节点做法;③预制构件拆分平面布置图;④装配式整体防水设计方案及建议。在构件深化设计阶段,主要工作内容为:①根据建筑、结构、机电专业正式施工图,绘制构件加工详图;②确认模板方案,提供构件深化模板预留前置条件;③确认外架方案,提供构件深化外架预留前置条件;④其他各工程单位提供预留预埋前置条件。在构件深化审核阶段,主要工作内容为:①项目组织各分包单位进行内审交圈,提前识别重难点与工序干涉问题;②项目组织设计、施工、监理等单位对装配式专项图纸进行联合会审。在构件生产安装阶段,主要工作内容为:①生产重难点技术交底;②施工重难点技术交底;③构件首件验收;④铝模试拼装验收(若有)等。

装配式深化设计涉及到的单位包括:主体设计单位、施工单位、预制厂家、铝模单位、精装单位、模架单位、内隔墙生产单位等。各单位之间相互协调、多方协同,在开始生产施工前需深化完成满足各单位施工条件,并且各单位间无碰撞。参建各方共同参与的深化设计,贯穿于装配式项目设计、生产、施工三个阶段。下面主要从预埋预留、配件工具、施工措施及钢筋连接方式角度出发,对构件深化设计要点进行阐述。

1、预留预埋类:

(1) 叠合板吊环预埋

叠合板厚度仅为 60mm,单独埋设吊环,锚固长度长,且容易出现吊环脱出的情况。分析考虑利用叠合板桁架筋节点代替原预埋吊环,在吊点处附加桁架加强筋,并复核吊点位置受力,计算是否满足吊装要求。采用桁架筋起吊,减少了预埋工序和吊环材料成本。为避免吊装时发生错误对构件造成损坏,吊点处涂刷红漆标注。

(2) 叠合板洞口及电气线盒预留预埋

依据图纸所示烟风道、洞口、线盒以及其他管线位置,在叠合板相应位置上提前预留,减少现场工作量。提前设计调整叠合板内钢筋排布,并在洞口处做相应的加强措施,保证构件强度,避免后期安装烟风道、线盒或其他管线相互碰撞产生的

破坏。穿层套管如消防立管位置生产时预留方形缺口（钢筋甩出），现场预埋钢套管，避免因上下层位置的反向偏差，导致套管位置不在一条垂线上，后期安装立管时会倾斜，导致返工。

（3）空调板等构件预留预埋

电气线盒、冷凝水立管、地漏和雨水管等可按叠合板的布置原则预留；另外需根据建筑设计要求预留栏杆和百叶埋件。

2、配件工具类：

（1）钢筋定位钢板

钢筋位置准确不仅关系到墙体安装的速度和位置精度，还关系到后续注浆工序的施工质量。为保证灌浆连接钢筋位置的准确性，使用钢筋定位钢板控制钢筋位置。

（2）叠合板后浇带吊模

叠合板后浇板带模板使用铝合金模板，模板固定使用吊杆“吊模”的固定方式代替原单独支撑体系，轻便、操作简单、成活效果好，使施工组织更加灵活。

3、施工措施类：

（1）塔吊附着、外架连墙支座预留孔洞

在预留孔洞深化设计过程中，需要与设计、深化设计、脚手架厂家共同协商，需要考虑预制外墙受力问题、预制外墙保温保护层的受力破坏问题、预留孔洞与墙体内钢筋或其他专业预留预埋冲突问题。

（2）模板对拉螺栓连接预留孔洞

预制墙体之间现浇部位的模板使用对拉螺栓与墙体另一侧模板或背楞对拉固定，根据厂家的模板施工方案，确定模板对拉螺栓孔洞的位置及直径后，对预制构件的图纸进行深化，在构件厂进行预留工作。

（3）预制墙体斜撑碰撞

两预制墙板交叉处，比如在楼层平面阳角里侧两个预制墙板成 90° 布置部位，当采用斜撑分别对该交叉墙板进行固定时，由于底板预埋固定座位置及墙板预埋件位置固定，所以斜支撑无法调整位置，经常会碰撞“打架”，需要提前在深化设计阶段进行 BIM 碰撞检查，调整安装角度，进行规避。

4、钢筋连接方式类：

（1）梁柱节点钢筋避让

框架结构中，预制主梁底部钢筋结合使用弯钩锚固+锚固板锚固，解决梁柱节

点钢筋避让的问题。

（2）主次梁节点钢筋连接

框架结构中，主次梁节点可设置为铰接，次梁采用牛腿板企口梁与主梁连接，施工过程简单、高效。

（3）预制剪力墙水平连接

剪力墙结构中，相邻预制墙体水平连接一般优先选择水平筋伸出段不重叠的方式，若相邻预制墙体水平筋伸出段重叠，墙体吊装下落至时，会导致受阻，不便施工。

（4）预制柱竖向连接

框架结构中，预制柱上下层钢筋连接宜采用灌浆套筒连接。根据项目经验，预制柱深化时，要考虑上下层主筋归并，尤其是顶层框架柱主筋直径变化，宜采用灌浆套筒连接。

（5）边缘构件处纵筋连接

剪力墙边缘构件处纵筋直径一般在 12mm 及以上，纵筋连接一般采用电渣压力焊或机械连接。优先设计纵筋采用机械连接，且采用一级连接接头，施工简单。当由于成本因素无法使用机械连接时，应提前考虑墙体伸出钢筋采用开口形式，以免造成箍筋施工困难的情况。

装配式施工中最大难点在于碰撞问题，一个是构件生产时存在的碰撞，即构件本身预留预埋之间的冲突，如外架孔与钢筋碰撞，螺栓孔与套筒碰撞、与斜撑固定点碰撞、与钢筋碰撞、与机电线盒碰撞等问题；另外一个为构件安装时产生的碰撞，如构件预留钢筋之间的碰撞，墙体伸出钢筋为封闭箍筋时相邻墙安装时产生碰撞，又如转角部位连梁安装，伸出钢筋与墙体封闭箍筋碰撞。诸如此类的碰撞问题，需要在施工前提前做好深化设计，实现防碰撞，减少拆改，才能在保证施工工期的同时实现能源资源的节约和环境保护。

在对装配式建筑进行深化设计中，建立 BIM 模型可以让建筑、结构等专业性信息达到最大范围的信息整合，相对于传统的二维设计，BIM 设计可以装配式建筑建造各方都能够通过 BIM 模型对项目本身达到高度理解，进而优化项目本身的质量。

装配式建筑深化设计具有容错率低、协同性高以及精细化等特点。基于 BIM 的深化设计，通过数字化、虚拟化的信息描述，实现智能构件的参数化设计，有利

于提高建模效率；利用碰撞检测功能，可以快速检测设计的正确性；对设计构件进行预装配，能检测构件的可建造性，减少施工现场容易出现的装配偏差问题；通过一键输出功能，输出指导构件生产的详图，能确保图纸的准确性。

以某公司装配式项目为例，该项目具有参建单位多、施工进度管理难度大、物项状态跟踪环节复杂以及施工节点可视化交底需求大等特点。

1、通过创建 BIM 设计模型，将装配式构件、建筑结构、机电管线进行整合，并开展冲突检测，共计发现碰撞问题 137 处，并在 PC 构件预制生产前完成孔洞、PC 构件尺寸的完善，有效避免了装配式构件的现场返工，节约了项目成本。如图 2.3.1。

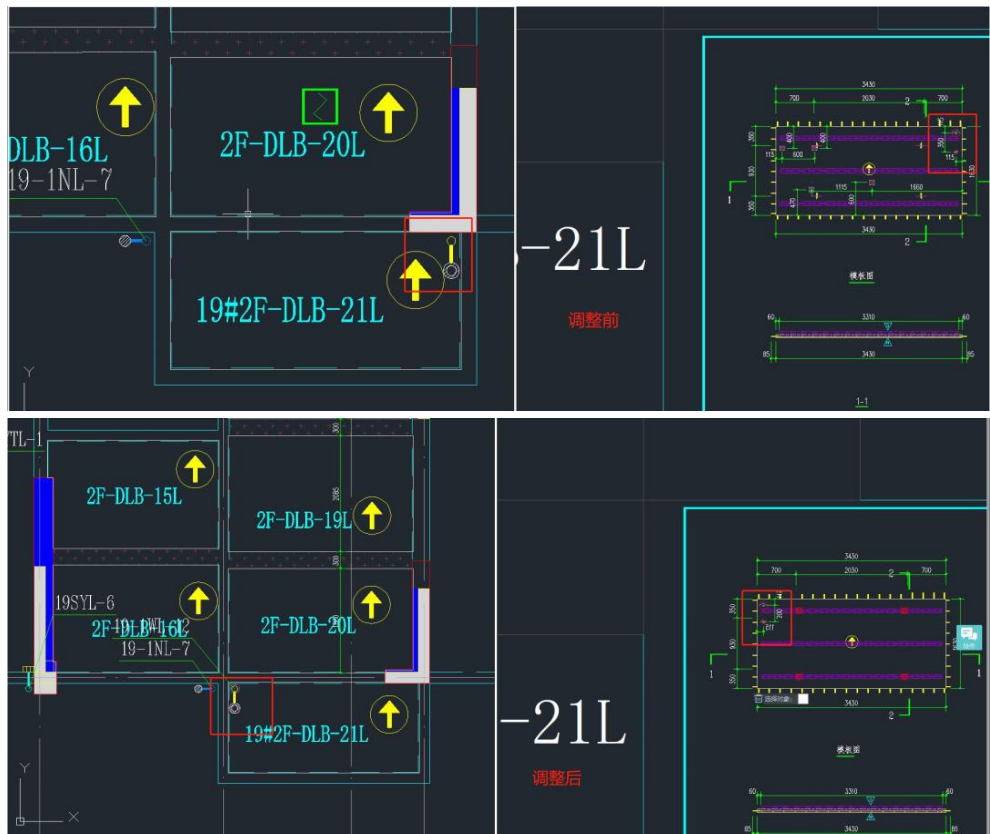


图 2.3.1 碰撞问题调整前后对比

2、根据项目装配式建筑施工特点，提前对施工节点进行深化设计，确定钢筋、装配式构件的具体形状及尺寸，确保施工过程的一次成功，有效避免返工和材料的浪费。如图 2.3.2。

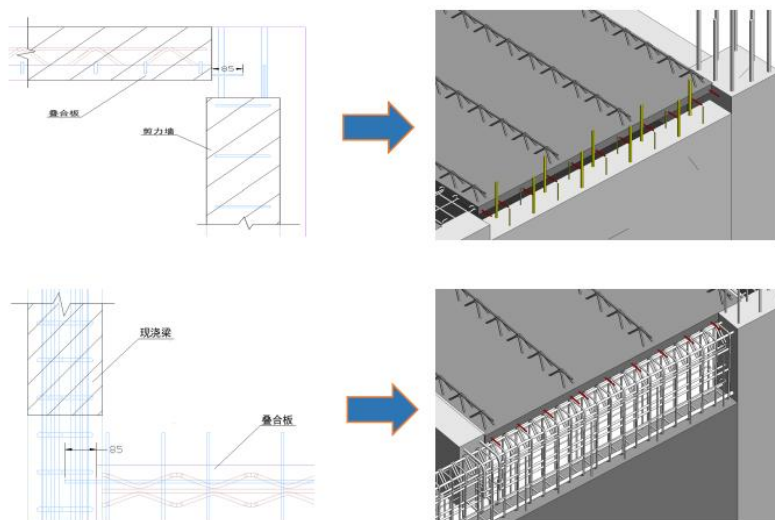


图 2.3.2 节点钢筋深化

3、对原 PC 斜撑平面布置图进行可视化检查，通过建模过程中发现 PC 构件斜撑安装位置发生 4 处碰撞，在模型中通过标红显示，施工期提前进行斜撑位置调整，有效避免了现场返工。如图 2.3.3。

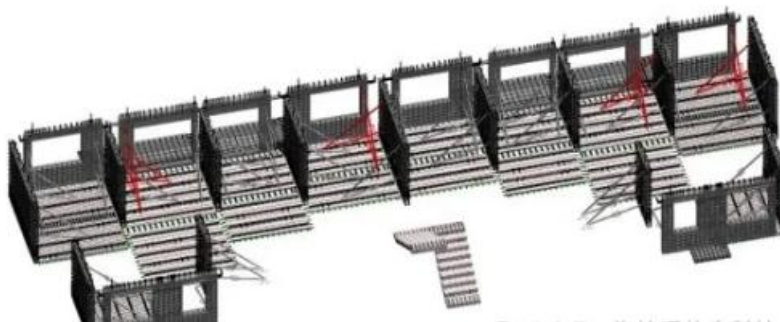


图 2.3.3 斜撑碰撞可视化检查

4、对原场布方案进行可视化方案审查，共计发现塔吊布置问题 3 处，装配式构件堆场设置问题 1 处，并在项目场布实施前进行了方案优化，有效避免了现场返工。如图 2.3.4。



图 2.3.4 场布方案可视化检查

从以上例举的几个深化设计方面的具体问题,可以直观地感受到在装配式项目实施过程中,提前做好深化设计对项目顺利进行的重要意义。同时,BIM技术的应用提高了装配式深化设计的精细程度,不仅为公司装配式建筑项目的数字化应用提供了参考和借鉴,也为项目精细化高效施工奠定了基础。

2.4 预制楼梯连接节点

预制楼梯常见的连接节点有四种：高端固定铰支座，低端滑动铰支座；高端固定铰支座，低端固定铰支座；高端固定铰支座，低端滑动铰支座；高端固定铰支座，低端固定铰支座。

2.4.1 连接节点介绍

国家建筑标准设计图集 15G367-1 《预制钢筋混凝土板式楼梯》和 G310-1《装配式混凝土结构连接节点构造（楼盖和楼梯）》中给出了四种连接节点做法（未尽之处参考图集内容）。

（1）高端固定铰支座，低端滑动铰支座

属于搁置式楼梯。高端固定铰支座，即预制楼梯高端预留螺栓孔，螺栓孔下部采用高强度灌浆料填充，顶部采用砂浆封堵（图 2.4.1）；低端滑动铰支座，预制楼梯低端同样预留螺栓孔，螺栓孔下部采用螺母垫片形成空腔，螺母垫片上部采用砂浆进行封堵（图 2.4.2）。

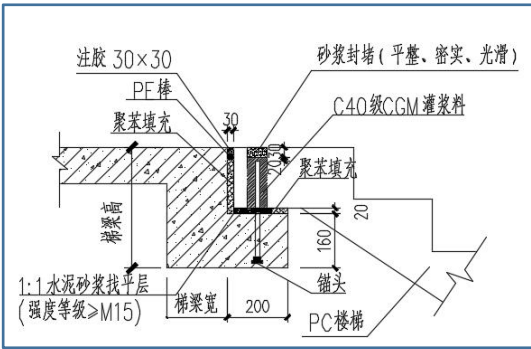


图 2.4.1 高端固定铰支座

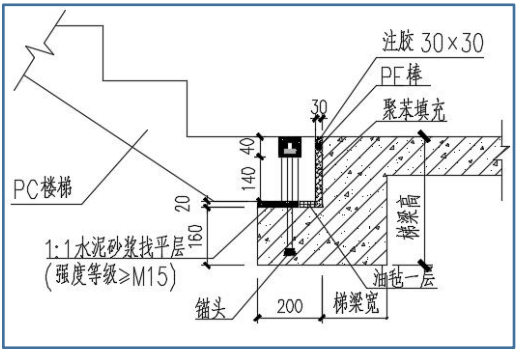


图 2.4.2 低端滑动铰支座

（2）高端固定铰支座，低端固定铰支座

属于搁置式楼梯。楼梯高低端做法相同，均预留螺栓孔，螺栓孔下部采用高强度灌浆料填充，顶部采用砂浆封堵（图 2.4.3、图 2.4.4）。

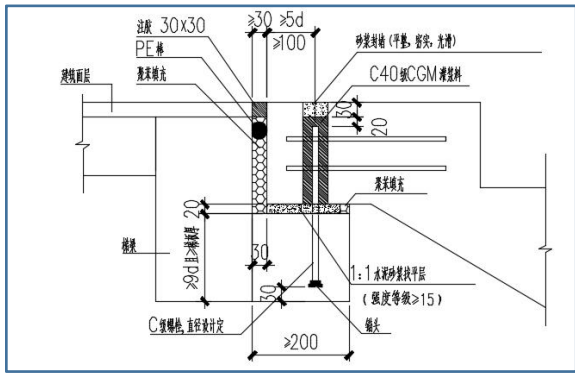


图 2.4.3 高端固定铰支座

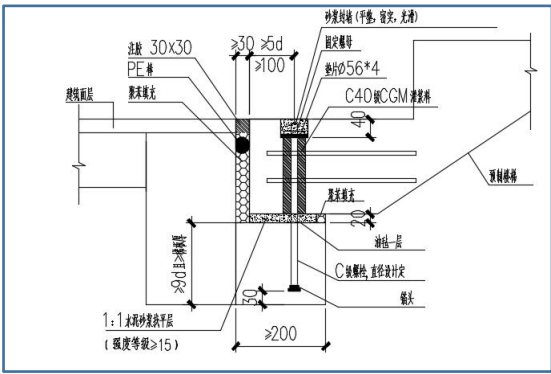


图 2.4.4 低端固定铰支座

(3) 高端固定支座，低端滑动铰支座

属于锚固式楼梯。楼梯高端下部纵筋锚固在梯梁中，上部纵筋锚固在楼梯平台板中（图 2.4.5）；低端滑动铰支座，预制楼梯低端预留螺栓孔，螺栓孔下部采用螺母垫片形成空腔，螺母垫片上部采用砂浆进行封堵（图 2.4.6）。

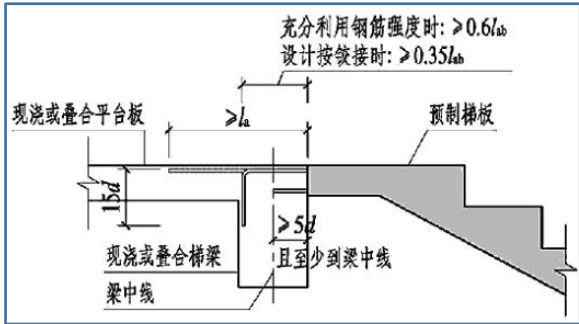


图 2.4.5 高端固定支座

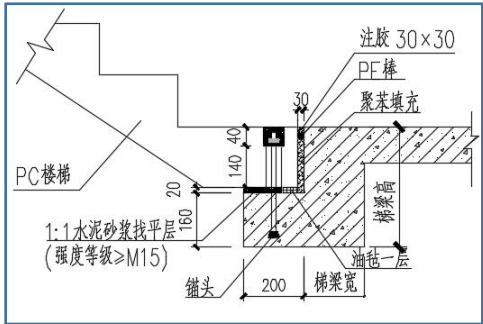


图 2.4.6 低端滑动铰支座

(4) 高端固定支座，低端固定支座

属于锚固式楼梯。高、低端支座构造形式相同，楼梯下部纵筋锚固在梯梁中，上部纵筋锚固在楼梯平台板中（图 2.4.7、图 2.4.8）。

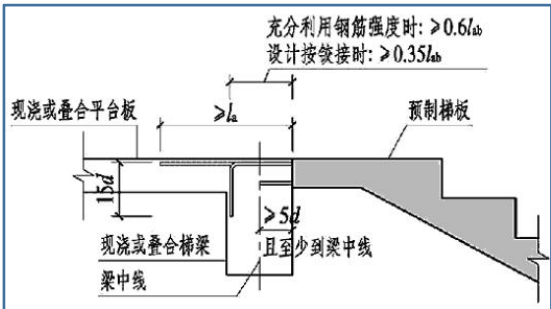


图 2.4.7 高端固定支座

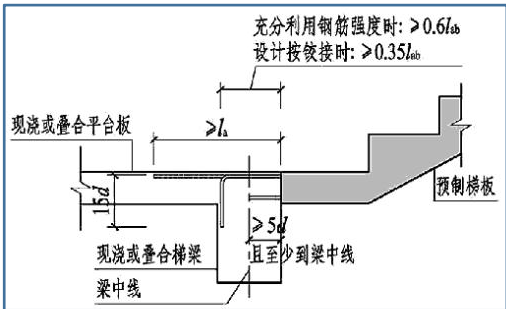


图 2.4.8 低端固定支座

2.4.2 连接节点选择

拆分设计时，应根据主体结构计算模型合理选择连接节点类型。对计算模型中不考虑楼梯斜撑作用的，可考虑采用低端滑动铰支座节点，即高端固定铰支座、低

端滑动铰支座类型，以及高端固定支座、低端滑动铰支座类型。若计算模型中需利用楼梯斜撑作用的，可考虑采用低端固定（铰）支座节点，即高端固定铰支座、低端固定铰支座类型，以及高端固定支座、低端固定支座类型。

从施工难易角度来说，①搁置式楼梯不需要搭设脚手架，具有免支撑的施工优势；②锚固式楼梯固定端下部纵筋需要锚固在梯梁里，梯梁钢筋已经绑扎固定好，下部钢筋难以实现锚固，且楼层处平台已浇筑完成，只预留部分后浇段供楼梯上部纵筋锚固，后浇段位置标高很难控制准确。

综上，根据施工项目经验，搁置式楼梯更加有利于施工，在设计前期介入时，可以建议设计单位采用搁置式楼梯做法。从当下在施项目来看，较多均采取了高端固定铰支座、低端滑动铰支座的连接节点。

2.5 叠合板连接节点

叠合板按构造类型分为双向叠合板和单向叠合板，施工常见类型为双向叠合板，双向叠合板后浇带处的连接节点形式包括后浇带形式接缝与密拼接缝两大类。

2.5.1 连接节点介绍

国家建筑标准设计图集 15G366-1《桁架钢筋混凝土叠合板（60mm 厚底板）》和 G310-1《装配式混凝土结构连接节点构造（楼盖和楼梯）》中给出了两种连接节点做法（未尽之处参考图集内容）。

（1）后浇带形式接缝

后浇带形式主要为两块叠合板之间预留一定空间，底筋连接后与叠合板现浇层整体浇筑，从而实现等同现浇效果。目前后浇带处钢筋连接类型主要为以下四种，即板底纵筋直线搭接（图 2.5.1），板底纵筋末端带 135° 弯钩搭接（图 2.5.2），板底纵筋末端带 90° 弯钩搭接（图 2.5.3），板底纵筋弯折锚固（图 2.5.4）。

四种连接节点原理相同，目前板底纵筋末端带 135° 弯钩搭接节点最为常用。相对此节点，底筋直线搭接方式钢筋搭接长度较长，另外两种连接方式则出现底筋伸出叠合板预制底板面，不方便运输。

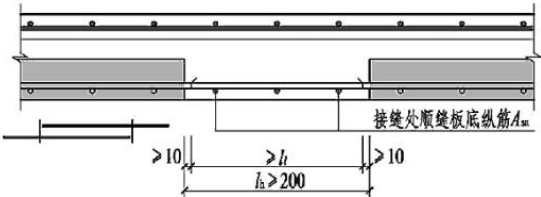


图 2.5.1 底筋直线搭接节点

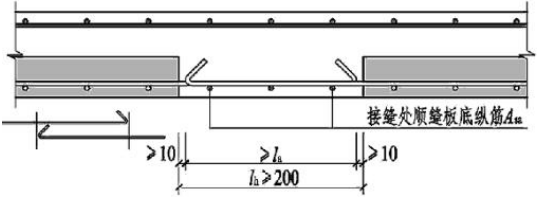


图 2.5.2 底筋 135° 弯钩搭接节点

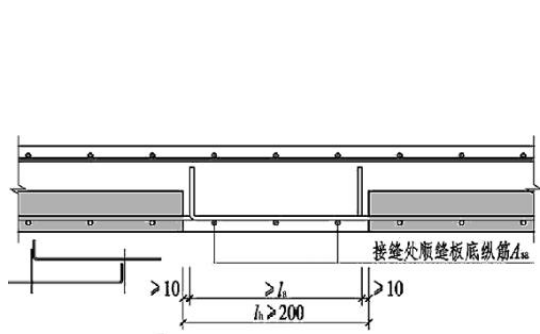


图 2.5.3 底筋 90° 弯钩搭接节点

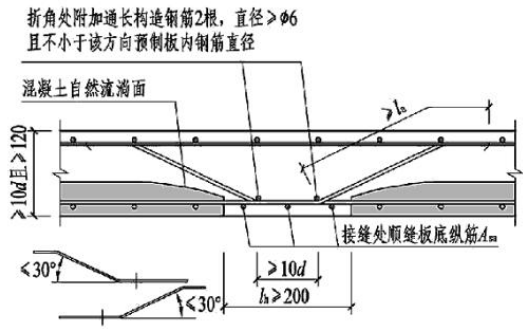


图 2.5.4 底筋弯折锚固节点

(2) 密拼接缝

该节点对应连接区域一般设置在双向板受力较小部位（图 2.5.5），可以做到不出筋，方便运输；且施工中不存在后浇段，相比后浇带形式，此做法节省了后浇带的支模等工序，施工更为方便。但此做法对应拼缝处需进行合理处理，否则易给业主形成“裂缝”错觉，如拼缝处设置企口，后期采用挂网抹灰处理。

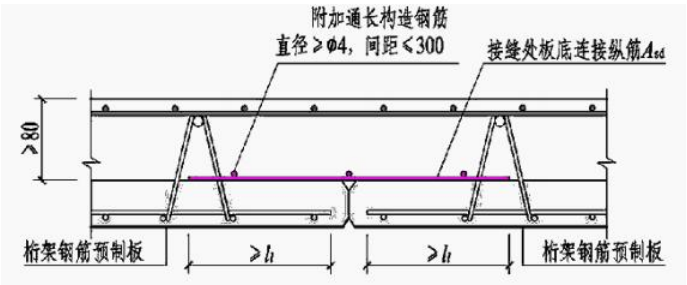


图 2.5.5 密拼接缝节点

2.5.2 连接节点选择

根据经验，双向叠合板采用板底纵筋末端带 135° 弯钩搭接的后浇带形式接缝形式最为常见，建议在设计前期介入时，可以建议设计单位采用此做法。

2.6 预制剪力墙连接节点

国家建筑标准设计图集 15G310-2《装配式混凝土结构连接节点构造(剪力墙)》中给出了三大类节点构造做法（未尽之处参考图集内容）。

- (1) 预制墙间竖向接缝（非边缘构件）做法；
- (2) 预制墙与现浇墙间竖向接缝（非边缘构件）做法；
- (3) 预制墙间边缘构件做法。

由于是剪力墙构件，以上接缝做法均针对剪力墙水平钢筋在接缝处的构造处理。从连接处水平钢筋受力特点出发，（1）与（2）可以归为同一种类别，（3）对应的为边缘构件，由于抗震构造要求，钢筋布置与前面两类略有差异。

2.6.1 连接节点介绍

图集给出的连接做法节点较多，建议在选择连接节点时，一般优先选择相邻预制墙体水平筋伸出段不重叠的连接节点（图 2.6.1），若相邻预制墙体水平筋伸出段重叠（图 2.6.2），墙体竖向吊装（需将套筒孔位或盲孔孔位对准预留插筋），下落至设计位置，经常会导致下落受阻，不方便施工。

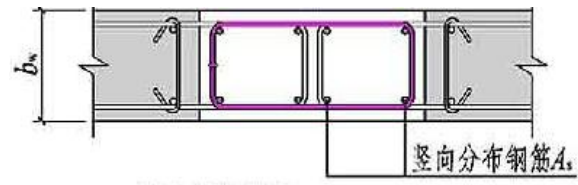


图 2.6.1 水平筋伸出段不重叠

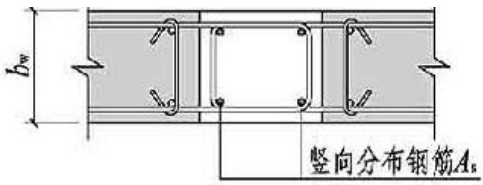


图 2.6.2 水平筋伸出段重叠

下面结合实际工程问题，介绍几种常用节点，并分析其连接特点，供项目选择时参考。

（1）预制墙间竖向接缝（非边缘构件）做法

预制墙间竖向接缝，一般纵筋直径较小且间距较大，施工空间较好，此类位置处纵筋连接一般采用绑扎搭接形式。

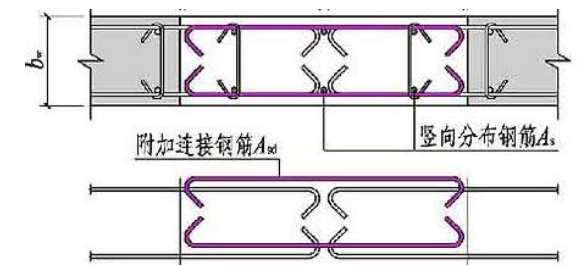


图 2.6.3 预留弯钩筋+附加弯钩筋

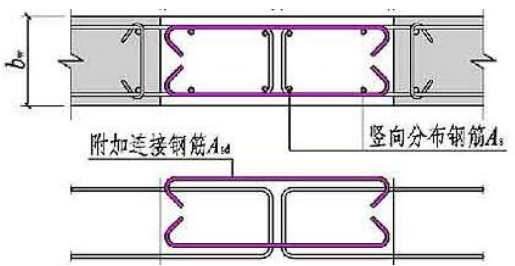


图 2.6.4 预留 U 形筋+附加弯钩筋

针对此类节点，可优选图 2.6.3 节点，即剪力墙伸出筋为带弯钩形式，施工时可根据需要临时调整伸出筋位置，附加连接筋也为带弯钩筋，施工时搁置即可。若墙体非夹心保温预制外墙，附加连接筋也可设计为箍筋形式。

由于此接缝处纵筋为墙体构造纵筋，均较细，也可考虑采用图 2.6.4 节点，即使 U 形钢筋下落稍有不便，但纵筋避让难度不大，施工也较为方便。此节点附加连接钢筋一般采用带弯钩筋，施工时搁置即可。

（2）构造边缘构件做法

国标图集 22G101-1 对边缘构件利用墙体水平筋作为箍筋进行了详细的规定，见下图 2.6.5、图 2.6.6 所示。但对于预制墙体，图 2.6.5、图 2.6.6 所示做法中预留水平筋（U 形或带弯钩形式）较长，不方便运输与吊装，故一般情况下预制墙体外

伸水平筋均不考虑此类做法，而是伸出一定的锚固长度，与现浇边缘构件后设的箍筋搭接连接。

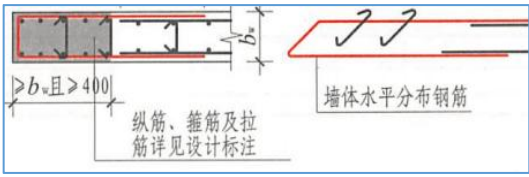


图 2.6.5 水平筋采用 U 形筋形式

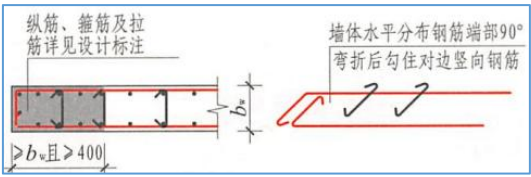


图 2.6.6 水平筋弯折并带弯钩形式

另外，边缘构件处节点做法与纵筋连接方式关系较大。边缘构件处纵筋直径一般在 12mm 及以上，纵筋连接一般采用电渣压力焊或机械连接。若纵筋采取机械连接，且采用一级连接接头时，连接节点位置可考虑设置在楼面标高 100mm 左右，如图 2.6.7 所示，此时图集节点对应施工难度均不大。由于机械连接时施工难度较小，本文主要介绍纵筋采取电渣压力焊时常用的节点特点及构造。

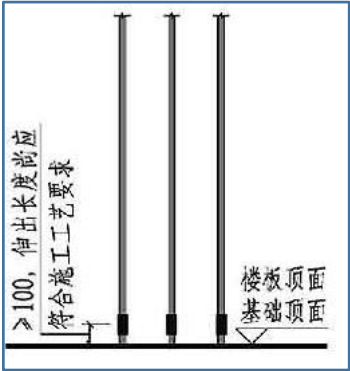


图 2.6.7 一级接头机械连接构造

①一字型构造边缘构件

一字型边缘构件三边均为自由边，箍筋绑扎容易，此时可采用图 2.6.8 方式，即将箍筋放置柱底，纵筋连接后提升即可；也可采用图 2.6.9 方式，此时箍筋在高度方向上逐根插入，由于暗柱三边自由，箍筋施工也相对简单。

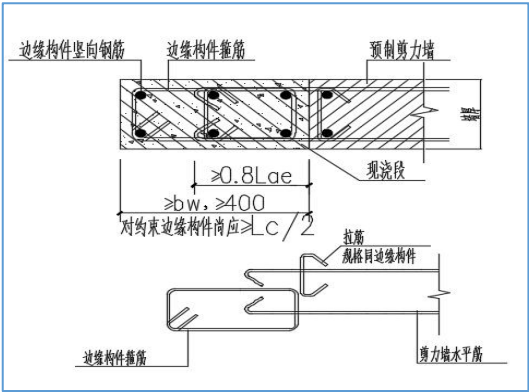


图 2.6.8 水平筋采用带弯钩形式

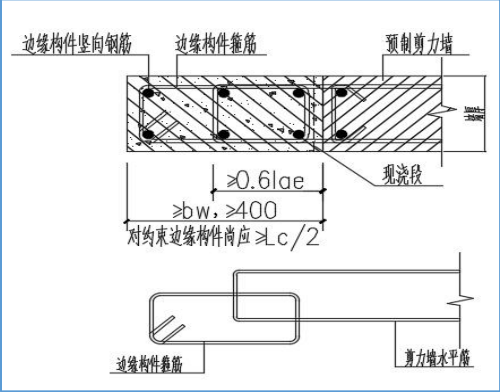


图 2.6.9 水平筋采用 U 形筋形式

② L 型构造边缘构件

L 型边缘构件纵横向均为两边自由，较常见的做法为图 2.6.10 所示，此时若纵筋间距较大，也可采用图 2.6.11 做法，箍筋在高度方向上逐根插入。

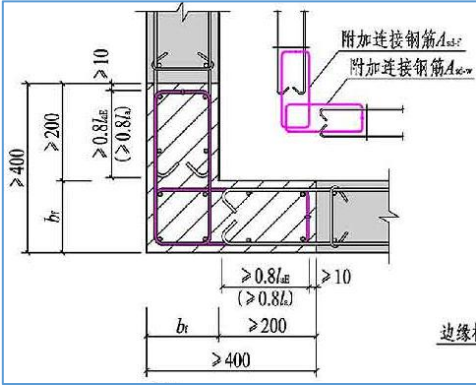


图 2.6.10 水平筋采用带弯钩形式

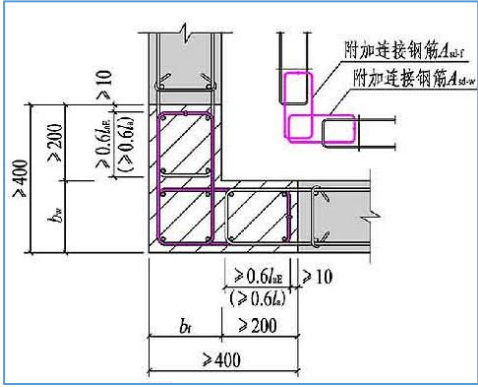


图 2.6.11 水平筋采用 U 形筋形式

对于非加强区构造边缘构件，图 2.6.11 对应的附加连接钢筋可调整为开口箍筋形式（图 2.6.12）。

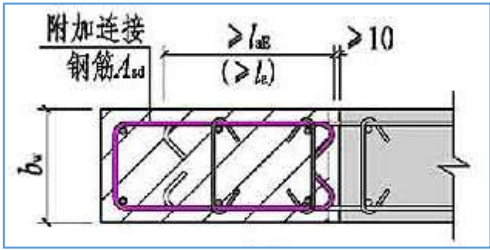


图 2.6.12 附加连接钢筋采用开口箍筋形式

③ T 型边缘构件

T 型边缘构件由于预制墙体较多，节点钢筋复杂，箍筋施工难度较大。较常见的做法如图 2.6.13 所示。

由于是构造边缘构件，图 2.6.13 对应的水平向闭口箍筋可改为两端带弯钩筋搭接连接方式，如图 2.6.14 所示。这种连接方式对水平墙体为夹心保温外围墙比较适用。

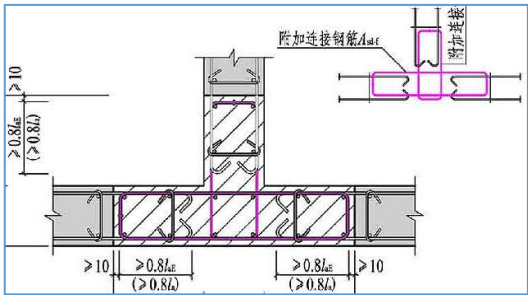


图 2.6.13 附加连接钢筋采用闭口箍筋形式

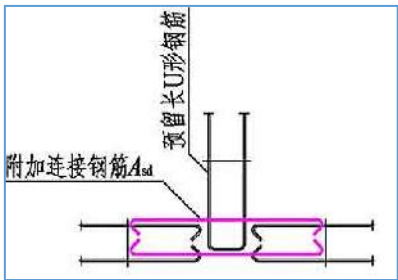


图 2.6.14 水平附加连接钢筋搭接连接

(3) 约束边缘构件做法

根据国标图集 22G101-1 对约束边缘构件钢筋设置要求，约束边缘构件附加连接钢筋计入的体积配箍率与总体积配箍率之比值，不应大于 30%。所以一般在预制墙体水平预留筋之间均需增补一道箍筋。

同构造边缘构件，若纵筋采取机械连接，且采用一级连接接头时，图集节点对应施工难度均不大。同样，本文主要介绍纵筋采取电渣压力焊时常用的节点特点及构造。

①一字型边缘构件

一字型边缘构件三边均为自由边，箍筋绑扎容易，此时可采用图 2.6.15 方式，即将箍筋先放置柱底，纵筋连接后提升即可；也可采用图 2.6.16 方式，此时箍筋在高度方向上逐根放置，由于暗柱三边自由，箍筋放置较为简单。

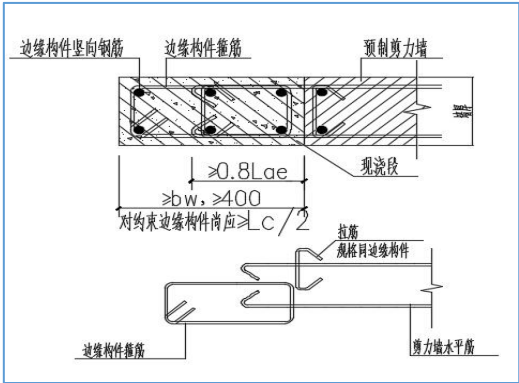


图 2.6.15 水平筋采用带弯钩形式

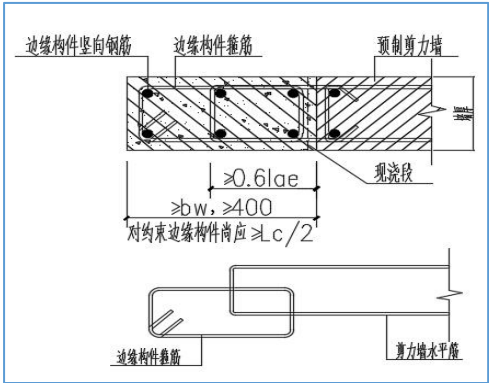


图 2.6.16 水平筋采用 U 形筋形式

② L 型边缘构件

L 型边缘构件纵横向均为两边自由，较常见的做法为图 2.6.17 所示。

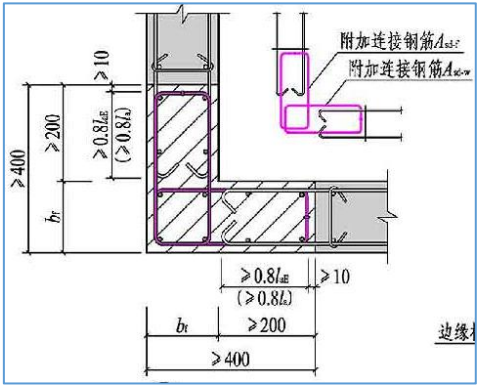


图 2.6.17 水平筋采用带弯钩形式

③ T 型边缘构件

T 型边缘构件由于预制墙体较多，节点钢筋复杂，箍筋施工难度较大。较常见

的做法如图 2.6.18 所示。

若水平墙体为夹心保温外墙，水平箍筋难以施工，此时必须采用一级连接接头的机械连接。

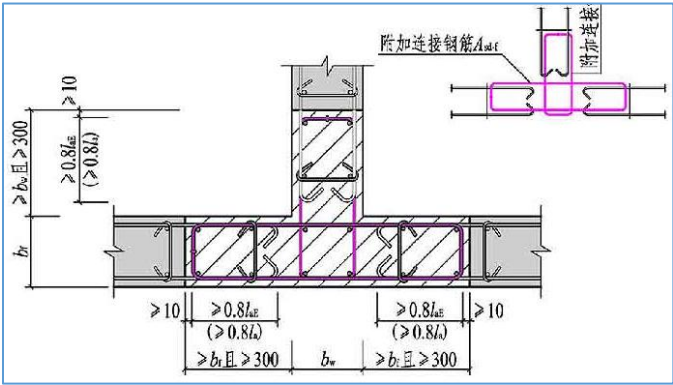


图 2.6.18 附加连接钢筋采用闭口箍筋形式

2.6.2 连接节点选择

作为施工方，一般均可提前介入 PC 的深化、生成过程，应尽可能与设计院、深化单位沟通，采取方便施工的施工节点。根据前文分析，在选择节点时可考虑：

(1) 预制墙体水平筋伸出段优先采用开口形式

预制墙体水平筋伸出段采用闭口形式时，如图 2.6.19 所示，在剪力墙下落时，需要将纵筋归拢至闭口箍筋内部，而浇筑过程中出现的偏位纵筋将阻碍构件下落，需要提前纠正。另外，此做法对边缘构件箍筋的施工非常不友好，甚至是很难施工。

若采用如图 2.6.20 所示的开口形式伸出筋，在剪力墙下落时，可将伸出筋临时避让，方便剪力墙安装。

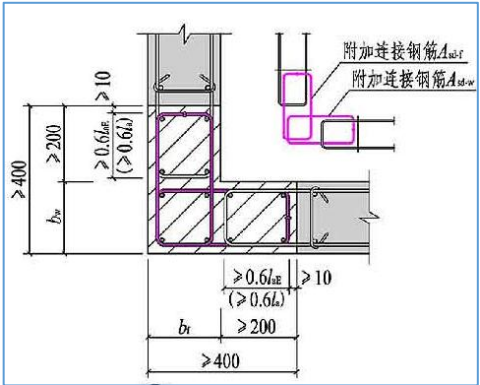


图 2.6.19 水平筋采用闭口箍形式

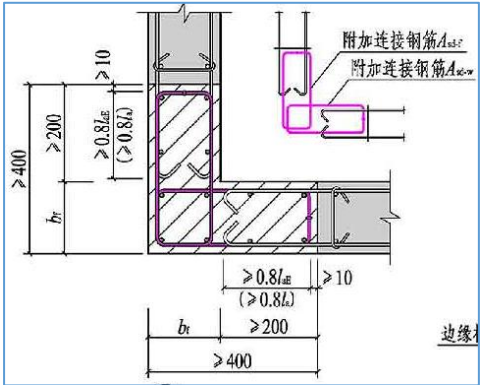


图 2.6.20 水平筋伸出段开口形式

(2) 边缘构件纵筋连接优先采用一级连接接头的机械连接

由于边缘构件节点做法与纵筋连接方式关系较大，当纵筋采取机械连接，且采用一级连接接头时，连接节点基本位于楼层标高处，此时上一层楼施工预留的插筋

对本层 PC 墙体吊装几乎没有影响，国标图集提供的节点对应施工难度均不大。所以在复杂节点处，例如外墙为夹心保温一体墙板时，为确保施工及节点质量，应积极与甲方或者设计院沟通，采用机械连接。

2.7 预制填充墙连接节点

2.7.1 连接节点介绍

预制填充墙与现浇混凝土墙体主要有螺栓连接、钢筋连接两种水平连接节点。

(1) 螺栓连接节点

即预制填充墙侧面预埋接驳套筒，现场安装完毕待相邻墙体钢筋绑扎完毕后，拧入接驳螺栓，通过接驳螺栓和现浇部分连接（图 2.7.1）。

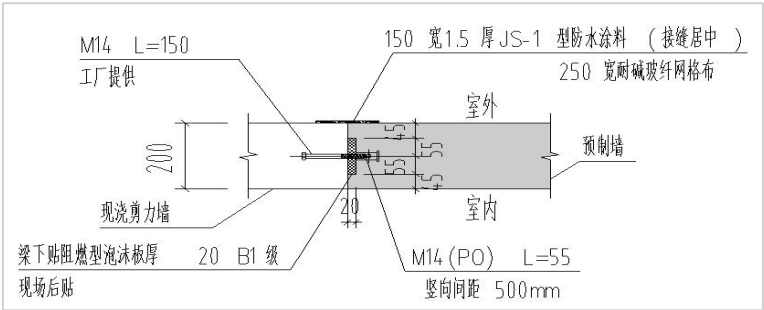


图 2.7.1 螺栓连接节点

(2) 钢筋连接节点

做法同剪力墙连接方式，即预制填充墙侧面伸出连接钢筋，锚固在现浇墙体中（图 2.7.2），由于是填充墙，连接钢筋间距较大且伸入长度较短。

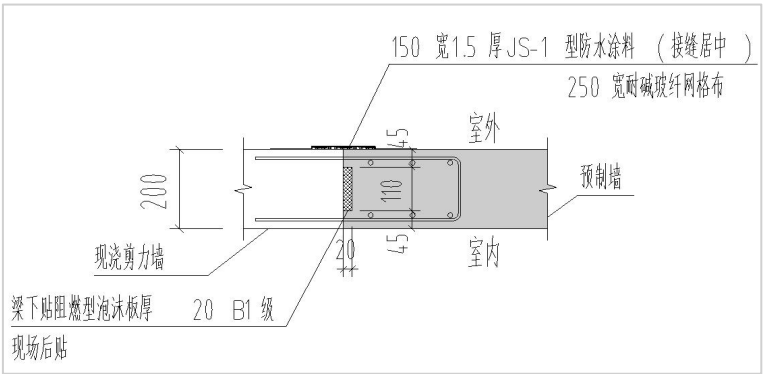


图 2.7.2 钢筋连接节点

2.7.2 连接节点选择

在吊装过程中，预制填充墙侧面伸出水平筋会影响现浇部位钢筋的绑扎，且吊装时伸出钢筋容易和现浇部位钢筋发生碰撞；当采用螺栓套筒连接时，填充墙侧面不伸出钢筋，不影响现浇钢筋的绑扎，只需等墙板吊装及现浇部位钢筋绑扎完成后，

在后拧接驳螺栓即可。

所以建议采用螺栓连接节点。需要提醒的是该节点需考虑后期现浇墙体收缩可能出现收缩微裂缝，建议在预制墙体端部设置压槽，后期挂网抹灰处理。

2.8 预制梁柱连接节点

国家建筑标准设计图集 20 G310-3《装配式混凝土结构连接节点构造（框架）》中给出了预制梁柱的连接节点做法（未尽之处参考图集内容）。预制主梁受力钢筋锚固在预制柱中，有三种锚固形式：锚固端板锚固、弯折锚固以及焊接短钢筋锚固。

2.8.1 连接节点介绍

锚固端板锚固：即预制主梁伸出水平段钢筋，钢筋长度不小于 $0.4l_{aE}$ ，端部安装锚固端板（图 2.8.1）。

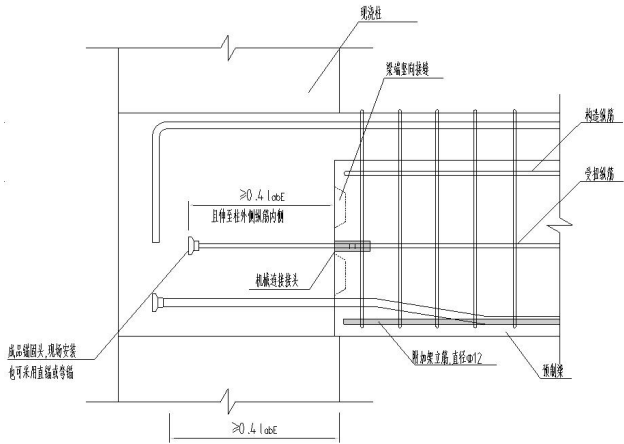


图 2.8.1 锚固端板锚固节点

弯折锚固：即预制主梁底筋伸出弯钩钢筋，钢筋水平段长度不低于 $0.4l_{aE}$ ，竖向长度不小于 $15d$ （图 2.8.2）。

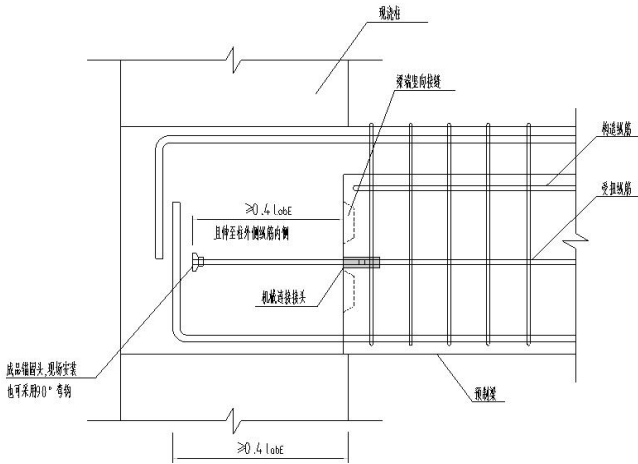


图 2.8.2 弯折锚固节点

焊接短钢筋锚固：即预制主梁底筋伸出水平段，长度不小于 $0.4l_{aE}$ ，端部焊

接短钢筋，单面焊接长度不小于 $10d$ ，双面焊接长度不小于 $5d$ （图 2.8.3）。

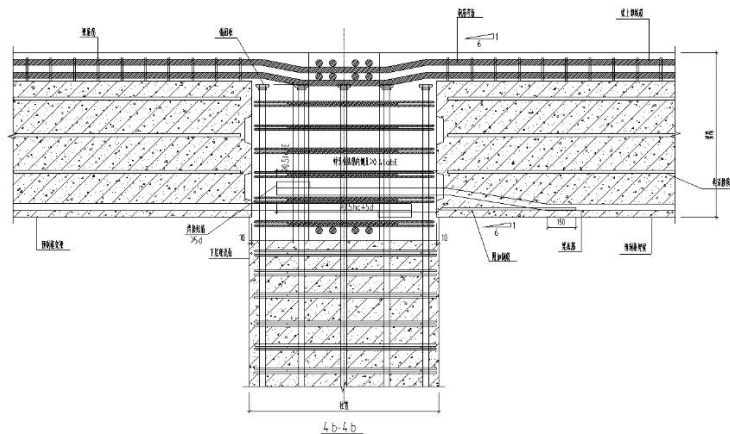


图 2.8.3 焊接短钢筋锚固节点

2.8.2 连接节点选择

从避免钢筋碰撞的角度来说：采用锚固端板以及焊接短钢筋的连接节点相比弯折锚固的节点，不同方向预制梁底筋避让更加容易，能够避免现场钢筋碰撞问题的发生。因此，采用锚固端板以及焊接短钢筋的锚固形式对现场施工和吊装更加有利。

2.9 预制主次梁连接节点

国家建筑标准设计图集 15G310-1《装配式混凝土结构连接节点构造（楼盖与楼梯）》中给出了预制主次梁三种水平连接节点构造做法（未尽之处参考图集内容），分别为：主梁预留后浇槽口，次梁伸出钢筋；主梁预留后槽口，次梁预埋接驳器；主梁预埋机械连接套筒，次梁设后浇段。

2.9.1 连接节点介绍

1) 主梁预留后浇槽口，次梁伸出钢筋：即预制次梁伸出底筋，预制主梁预留后浇槽口。当预制主梁为抗扭腰筋时，需要现场放置后浇槽口处的腰筋，并进行焊接连接；当预制主梁为构造腰筋时，腰筋无需整根连通，现场单独增设后浇槽口处的腰筋即可（图 2.9.1）。

2) 主梁预留后槽口，次梁预埋接驳器：即预制主梁预留次梁槽口，钢筋不截断，预制次梁预埋接驳器，现场后拧锚固钢筋的节点做法（图 2.9.2）。

3) 主梁预埋接驳器，次梁设后浇段：即预制主梁无需预留后浇槽口，现场通过接驳器的连接钢筋与次梁后浇段伸出的底筋进行搭接连接（图 2.9.3）。

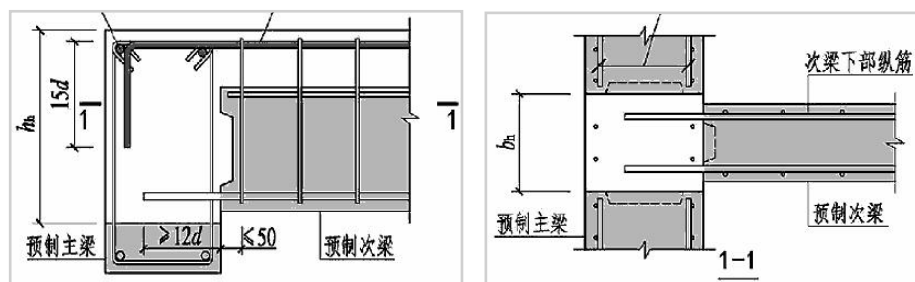


图 2.9.1 主梁预留后浇槽口，次梁伸出钢筋

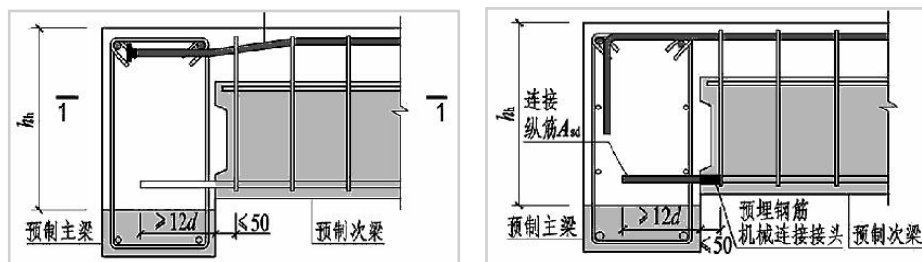


图 2.9.2 主梁预留后浇槽口，次梁预埋接驳器

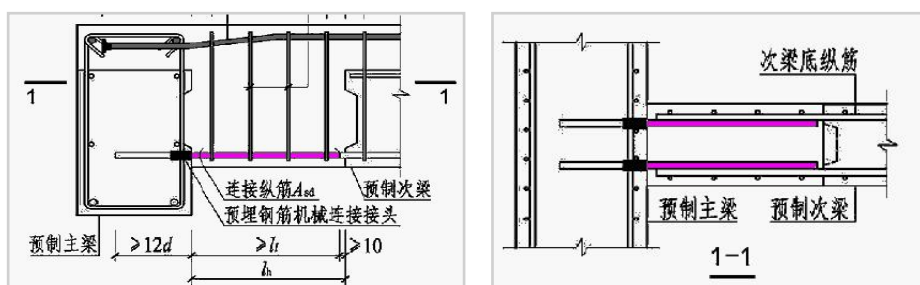


图 2.9.3 主梁预埋接驳器，次梁设后浇段

2.9.2 连接节点选择

从现场是否需要支模的角度来说：1) 采用主梁预留槽口，次梁伸出钢筋的连接方式，现场需要放置后浇槽口处的钢筋，当预制主梁为抗扭腰筋时，两侧均需放大一定宽度，现场缺口两侧还需要支模浇筑混凝土。2) 采用主梁预留槽口，次梁预埋接驳器的连接方式，次梁直接搭边主梁 10mm，不预留后浇段，现场不需要支模后浇；3) 采用主梁预埋接驳器，次梁设后浇段的连接方式，次梁端部预留一定长度的后浇段，现场还需支模后浇端部混凝土。

从现场方便施工的角度来说：1) 采用主梁预留槽口，次梁伸出钢筋的连接方式，主梁受力腰筋断开，现场还需进行焊接；2) 采用主梁预留槽口，次梁预埋接驳器的连接方式，次梁受力钢筋断开，预制构件预埋连接套筒，现场需要后拧锚固钢筋。3) 采用主梁预埋接驳器，次梁设后浇段的连接方式，现场需要后拧次梁底筋，并与次梁伸出钢筋进行搭接。

综上所述，依据以往项目经验，采用主梁预留槽口，次梁预埋接驳器的连接方

式相比较其他方式更加有利于施工，是施工较优的连接节点。

2.10 其他预制构件

2.10.1 预制空调板

预制空调板一般为全预制构件，通过甩出钢筋锚固在楼板中（图 2.10.1）。国家建筑标准设计图集 15G368-1 《预制钢筋混凝土阳台板、空调板及女儿墙》中给出了预制空调板的连接节点构造做法。



图 2.10.1 预制空调板构造

2.10.2 预制阳台板

阳台结构布置方式有挑板式和挑梁式。挑板式阳台一般拆分为整体板式阳台（图 2.10.2）；挑梁式阳台可以拆分为叠合板式阳台、整体梁式阳台（图 2.10.3、图 2.10.4）两种。整体板式阳台、整体梁式阳台为整体预制构件，预制程度高，预留钢筋锚入梁内即可，连接节点较为简单，施工方便。国家建筑标准设计图集 15G368-1 《预制钢筋混凝土阳台板、空调板及女儿墙》中给出了预制阳台板的连接节点构造做法。



图 2.10.2 整体板式阳台



图 2.10.3 叠合板式阳台



图 2.10.4 整体梁式阳台

2.10.3 预制飘窗

对于常规的飘窗来说，楼层标高处由上下挑板、混凝土翻边、混凝土梁、飘窗封堵墙（砌体或百叶）等共 4 个边组成，其中上下挑板、混凝土翻边、混凝土梁三个边均为混凝土构件，仅仅飘窗封堵墙可变，例如可为砖砌体、百叶甚至是没有任何构件。所以飘窗可分为以下两种类型：

(1) 飘窗封堵墙设计为二次砖砌筑、后设百叶或者是不设置任何构件，此时结构施工方法与普通现浇结构施工思路相同。

(2) 飘窗封堵墙设计为预制混凝土构件，此时飘窗处四周均为混凝土构件，那么不管是挑板、混凝土翻边，亦或是混凝土梁，只要涉及到现浇，必然存在模板无法拆除的问题，施工方法与(1)所述情况截然不同。

本节将列举常见的几种预制飘窗形式。另外，在本文叙述时，由于飘窗面墙、飘窗侧墙、封堵墙实际上均属于外墙范畴，为叙述方便，若无特别说明，均统称为外墙。

(1) 封堵墙预制类：仅外墙预制

仅将外墙预制，上挑板钢筋甩出，与梁整浇；下挑板单独预制，并在预制外墙相应位置设置牛腿，下挑板在主体结构施工完毕后，搁置于牛腿和混凝土翻边（或梁）之上，如下图 2.10.5、图 2.10.6 所示。

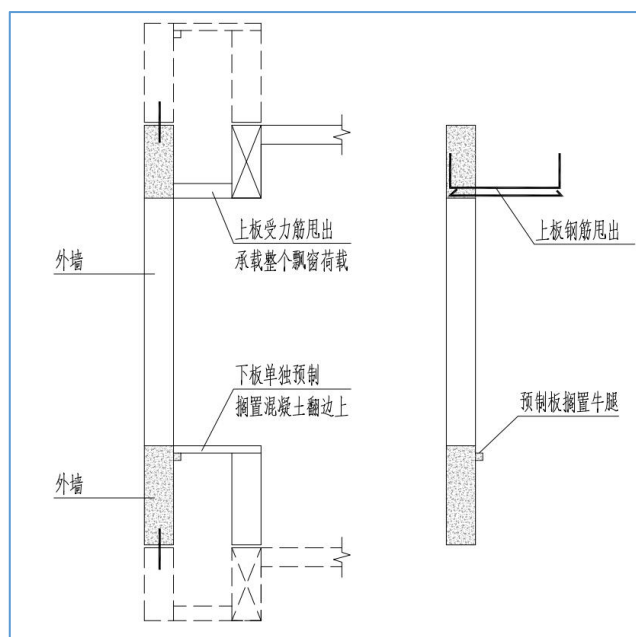


图 2.10.5 仅外墙预制类飘窗拆分图

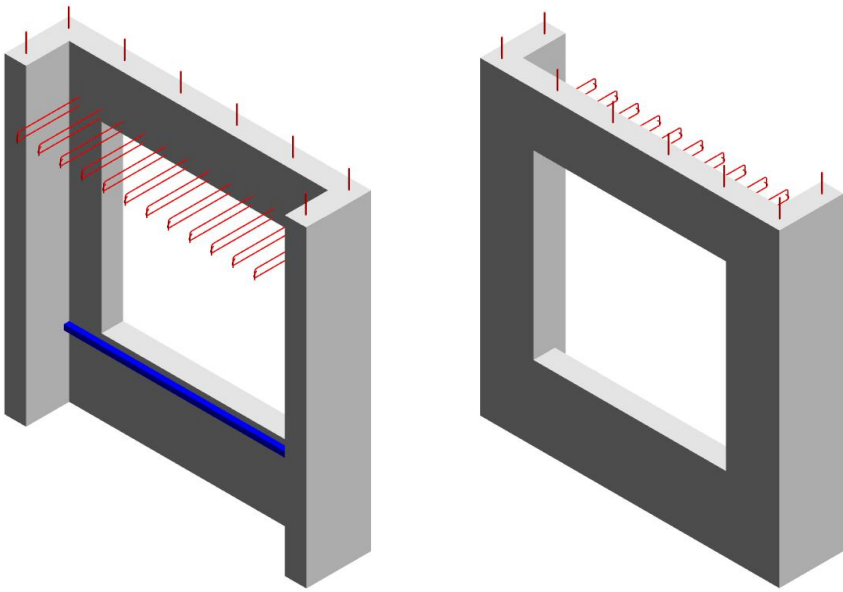


图 2.10.6 构件三维模型

(2) 封堵墙预制类：外墙+上板预制

外墙与上挑板一起进行预制；下板单独预制，并在预制外墙相应位置设置牛腿，下板在主体结构施工完毕后，搁置于牛腿和混凝土翻边(或梁)之上，如下图 2.10.7、图 2.10.8 所示。

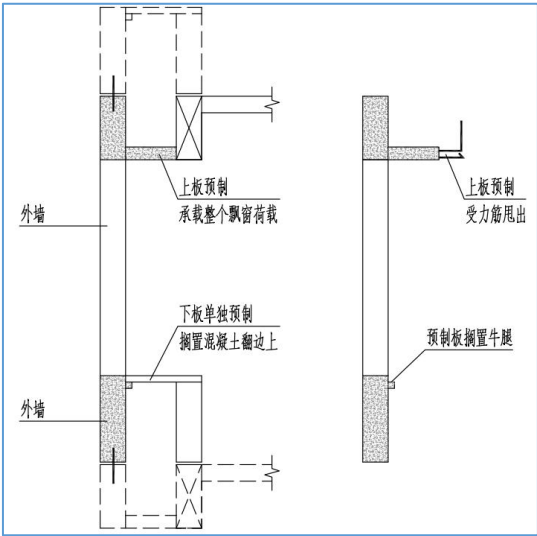


图 2.10.7 外墙+上板预制类飘窗拆分图

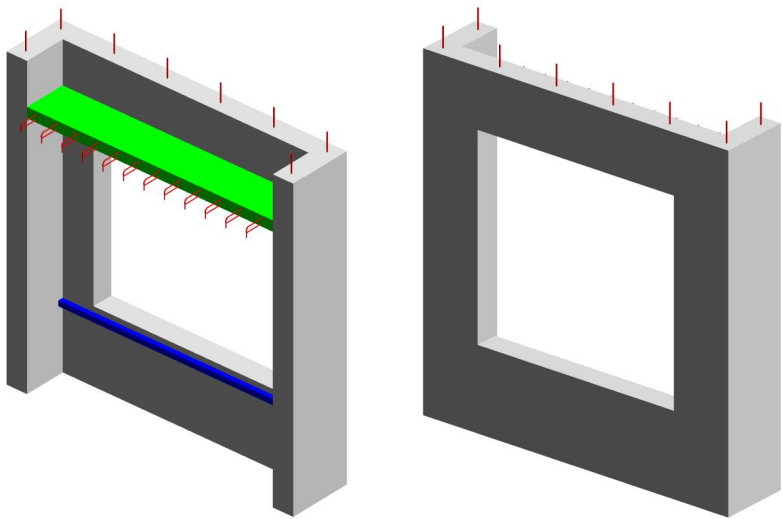


图 2.10.8 构件三维模型

(3) 封堵墙预制类：外墙+挑板+空腔预制

外墙与上、下挑板一起预制；飘窗空腔位置填入减重材料，周边用钢筋混凝土对减重材料进行封边，侧面封边的混凝土板可充当内部梁的模板，如下图 2.10.9、图 2.10.10 所示。

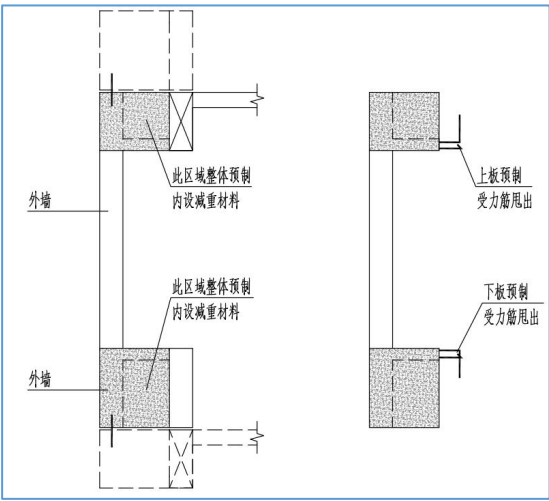


图 2.10.9 外墙+挑板+空腔预制类飘窗拆分图

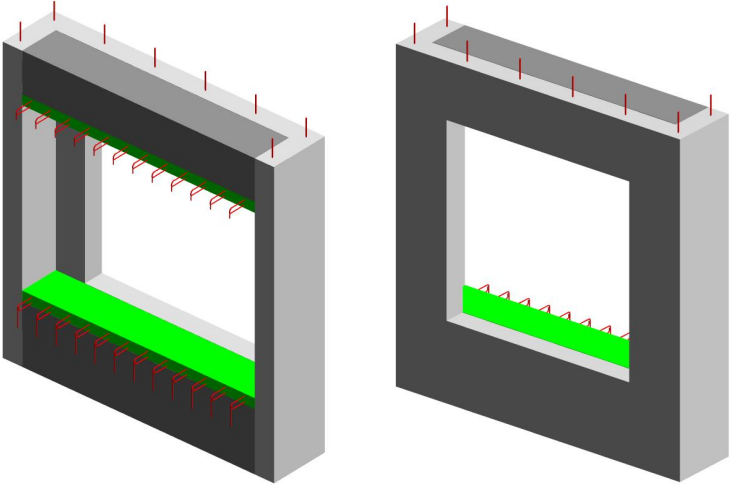


图 2.10.10 构件三维模型

(4) 封堵墙非预制类：外墙+挑板预制

外墙与上下挑板一起进行预制，如图 2.10.11、图 2.10.12 所示。

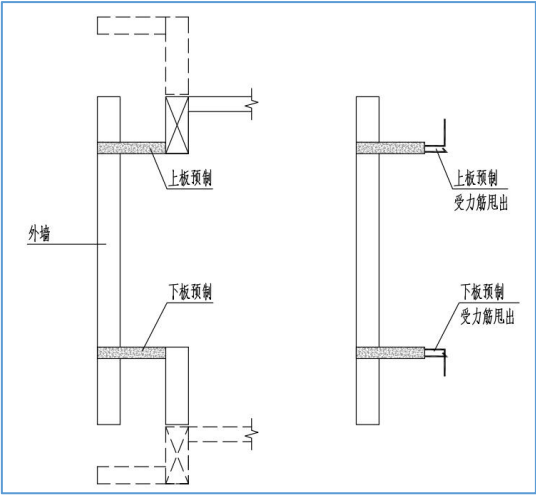
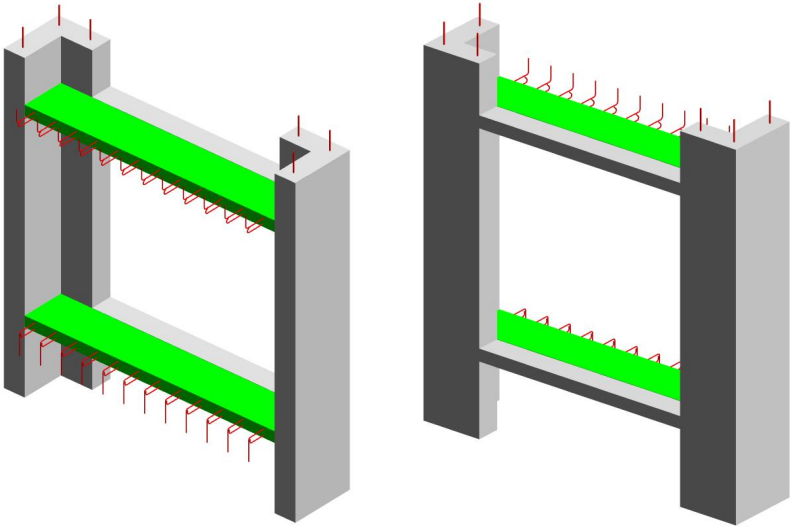


图 2.10.11 外墙+挑板预制类飘窗拆分图



2.10.12 构件三维模型

（5）封堵墙非预制类：外墙+挑板预制（侧墙不落地）

外墙与上下挑板一起进行预制，根据建筑立面，外墙高度仅存在于上下挑板之间，不贯通整个楼层标高，如图 2.10.13、图 2.10.14 所示。

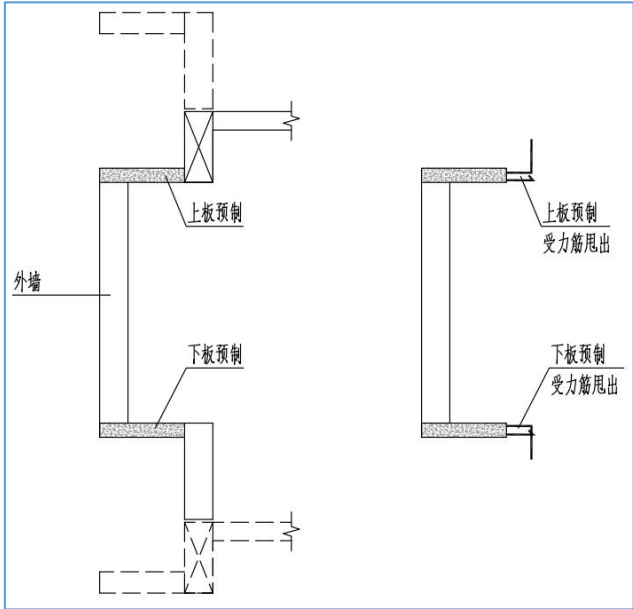


图 2.10.13 外墙+挑板预制（侧墙不落地）类飘窗拆分图

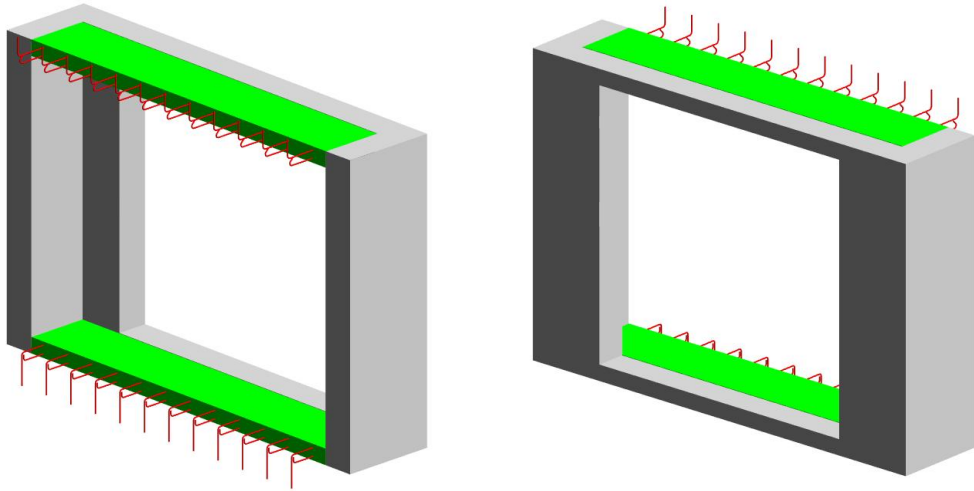


图 2.10.14 构件三维模型

综上所述两大类 5 种飘窗拆分方案优缺点、注意事项以及改进建议汇总列表，如下表 2.10.1 所示，后续项目可根据实际情况选用。

表 2.10.1 飘窗各拆分方案综合比较表

大类	飘窗拆分方案	优点	缺点	注意事项	改进建议	推荐排序
封堵墙预制类	1、仅外墙预制	生产运输简单	后续预制板施工略不便	/	/	推荐

	2、外墙+上板预制	生产运输简单	后续预制板施工略不便	/	/	推荐
	3、外墙+挑板+空腔预制	生产运输简单	/	若无侧墙上板建议加强面筋	/	推荐
封堵墙非预制类	1、外墙+挑板预制	生产运输简单	/	若无侧墙需做好成品保护	/	推荐
	2、外墙+挑板预制（侧墙不落地）	生产运输简单	吊装不便	若无侧墙需做好成品保护	/	可选用

2.11 智能化深化设计

装配式建筑设计阶段应用的数字化技术以 BIM 技术为主,采用基于 BIM 的装配式一体化设计软件,实现构件信息、图纸、模型、BOM、钢筋配料表、全楼模型等数据一键生成。设计流程包括资料收集、模型创建、方案设计、结构计算分析、构件修改与完善、碰撞检测和成果审核,最终设计成果支持导出生产部门需要的数据格式,完成设计数据利用和数字化 BIM 信息流转。具体过程如下:

- ①收集资料。收集施工图设计模型、结构设计说明及相关标准规范等资料。
- ②模型创建。根据结构设计说明及相关标准规范要求,基于施工平面图或结构设计模型创建深化设计模型。如图 2.11.1 所示。

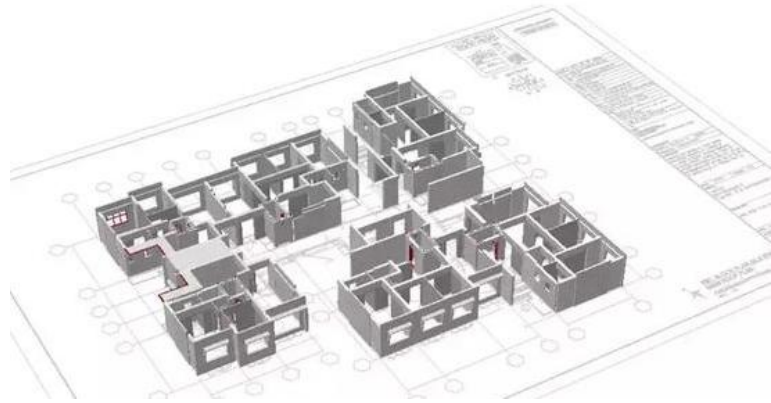


图 2.11.1 基于施工平面图模型创建

③方案设计。方案设计阶段,完成工程项目的技术可行性和经济合理性论证。主要工作内容包括:拟定设计原则、设计标准、设计方案和重大技术问题,详细考虑和研究设计方案,协调各专业设计的技术矛盾,合理确定技术经济指标。通过本阶段的 BIM 可视化分析,验证装配式预制构件的可行性,进行预制构件拆分,包括预制板、叠合梁、预制柱、预制楼梯、ALC 隔墙、预制外挂墙板等构体基于模型进行装配率的推敲计算,避免在后期施工图设计阶段的设计反复修改。

④结构计算分析。装配式建筑拆分布置满足当地装配率指标后,可对接设计软件结构计算模块进行整体计算分析,得到的配筋结果可用于后续深化设计。

⑤构件修改与完善。经参数定义与深化设计后,预制构件的一些信息,如钢筋、吊点构件编号、构件安装方向、预留预埋件等,可借助自定义构件功能进行特殊构件修改与完善。如图 2.11.2 所示。

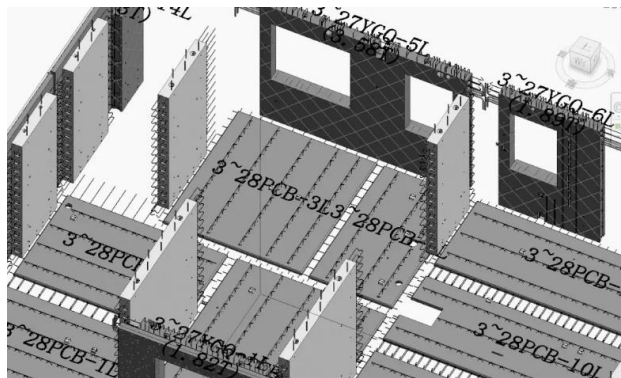


图 2.11.2 预制构件深化模型

⑥专业间机电提资及钢筋自动避让。将各专业提资内容布置在结构模型中,根据三维模型调整钢筋,并复核预制构件配筋。如图 2.11.3 所示。

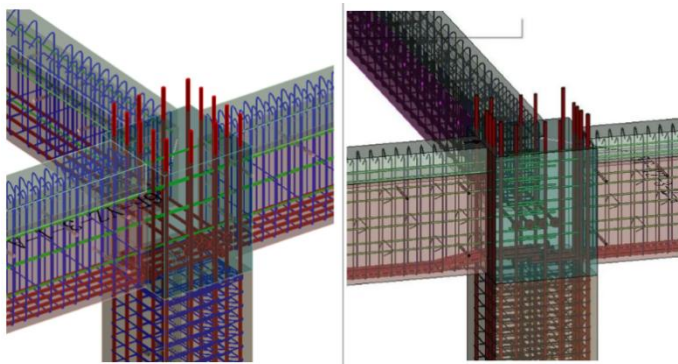


图 2.11.3 钢筋调整避让

⑦深化设计成果审核与完善。由甲方、设计、监理及 BIM 咨询单位审核,并根据审核成果完善修改深化设计成果。BIM 应用交付成果包括深化设计模型、深化设计图、碰撞查分析报告、工程量清单等。其中,碰撞检查分析报告包括碰撞点的位置、类型、修改议等内容。

⑧对接生产。将 BIM 软件设计完成的图纸传送到智慧工厂系统,完成信息导入后,在智慧工厂管理系统的项目管理模块,利用设计数据对接选项查看相应的设计图纸情况,如料表和生产任务单等、以满足生产的需要。生产过程中,通过二维码(或 RFID,即射频识别)对构件生产过程进行管理,如对生产准备、隐检、成品检、入库、装车、卸车、安装等进行信息跟踪追溯。

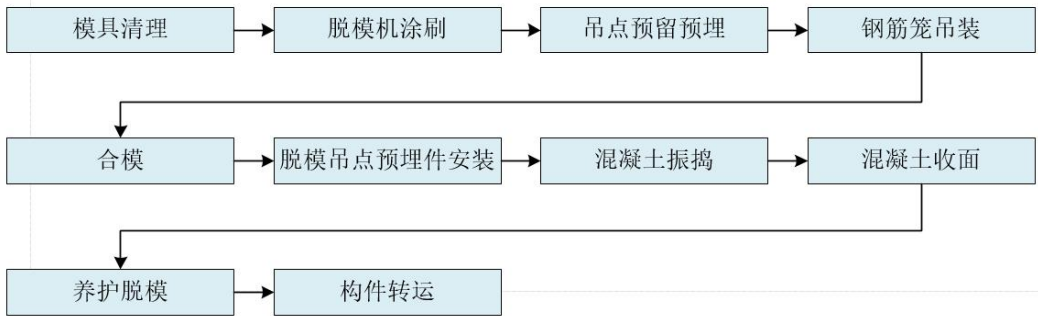
第三章 预制构件生产运输

目前装配式预制构件主要包括预制叠合板、预制楼梯、预制剪力墙、预制填充墙、预制柱、预制梁、预制飘窗等构件。本章对主要的预制构件生产流程、生产工艺以及运输方式进行详细叙述。

3.1 预制楼梯生产运输

3.1.1 预制楼梯生产

预制楼梯采用定制模具进行生产，生产流程如下：



其中主要生产工艺操作要点：

（1）合模

一边侧模沿轨道移动与另一边侧模合模，侧边模板封闭，并采用螺栓加固（如图 3.1.1），顶部外采用螺杆加固。楼梯上下段洞口模具插入。



图 3.1.1 合模图



图 3.1.2 脱模吊点预埋件安装

（2）预埋件安装

模具顶部吊放脱模吊点预埋件，如图 3.1.2。

（3）混凝土浇捣

混凝土经搅拌罐生产完毕后，经由吊斗运输到浇筑区浇筑（如图 3.1.3）。将混凝土浇筑到模具后，进行振捣。



图 3.1.3 混凝土浇筑振捣

（4）养护、脱模

预制混凝土楼梯的养护可采用自然养护和蒸汽养护，根据季节、环境温度、工期等因素合理选取养护方式和养护制度。当采用自然养护时，应洒水保湿。



图 3.1.4 脱模

预制混凝土楼梯拆模起吊时（如图 3.1.4），混凝土强度等级不应小于混凝土设计强度的 75%，且不应小于 15MPa。当设计对拆模强度有更高要求时，以设计要求为准。

（5）转运

待强度达到拆模起吊要求，可采用龙门吊将预制楼梯翻转平放在非生产范围存放，而后采用小型运输车将预制楼梯转运至外部堆放场地堆放（图 3.1.5）。



图 3.1.5 堆放场堆放

3.1.2 预制楼梯运输

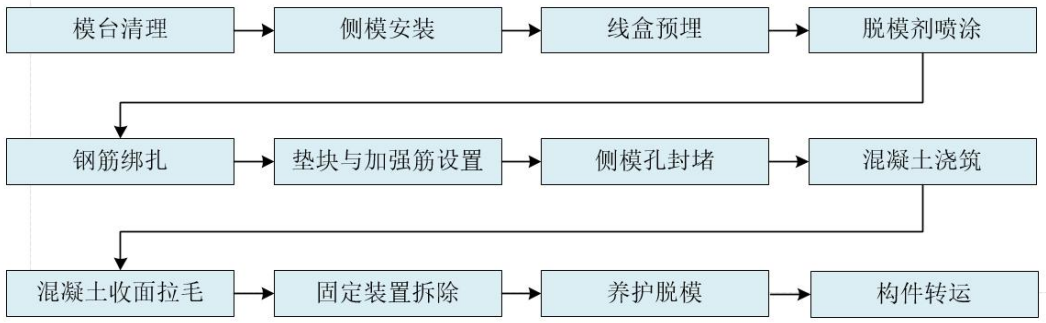
采用龙门吊将楼梯起吊至挂车上，楼梯之间采用方木垫块，上下层方木垫块保持对齐。完成后，采用绳索将固定，如图 3.1.6 所示。



图 3.1.6 预制楼梯运输与固定

3.2 叠合板生产运输

叠合板生产采用模台流水线生产，模台可整体移动，不同区域负责不同工艺，每道工艺完成后，模台移动到下一个区域。叠合板生产流程如下：



目前叠合板所用桁架筋采用自动生产线自动加工,自动化程度高,生产效率高。

3.2.1 桁架筋生产

桁架筋采用全自动数控钢筋桁架机加工（图 3.2.1），成品如图 3.2.2 所示。



图 3.2.1 桁架筋自动生产加工



图 3.2.2 桁架筋成品

3.2.2 叠合板生产

叠合板主要生产工艺操作要点：

(1) 侧模安装

按照图纸尺寸，将侧模放置在指定位置，并用带磁铁固定装置吸附在固定模台之上，如图 3.2.3 所示。



图 3.2.3 带磁铁的固定装置

(2) 线盒预埋

模台清理完成后，进行线盒预埋，预埋位置应定位精准。

(3) 保护层垫块放置，加强筋施工

钢筋绑扎完成后，对吊点，洞口等位置进行加强筋施工（如图 3.2.4）。放置钢筋保护层垫块（如图 3.2.5）。



图 3.2.4 平行于桁架筋的底筋放置



图 3.2.5 桁架筋放置、垂线向底筋插入

(4) 侧模孔位封堵

采用 PE 棒，对侧模孔位进行封堵，防止混凝土浇筑过程中漏浆，如图 3.2.6。



图 3.2.6 侧模孔封堵

(5) 混凝土浇筑

模台移动到混凝土浇筑区，混凝土经搅拌罐生产完毕后，经由吊斗运输到浇筑区浇筑，如图 3.2.7。



图 3.2.7 混凝土浇筑



图 3.2.8 收面

(6) 混凝土收面

混凝土浇筑完成后，回收封堵侧模用的 PE 棒，进行混凝土收面，如图 3.2.8。

(7) 拉毛

采用拉毛机器在初凝前拉毛完成拉毛工作，也可采用钢耙。叠合板顶部、侧面等与后浇混凝土叠合层之间的结合面应设置粗糙面。粗糙面沿构件均匀分布，面积不宜少于结合面的 80%，凹凸深度不应小于 4mm。

(8) 覆膜养护

拉毛完成后，对混凝土面进行覆膜(图 3.2.9)，进入蒸汽养护窑养护(图 3.2.10)。



图 3.2.9 覆膜



图 3.2.10 入窑养护

(9) 场内堆放

侧模拆除完毕后，堆放在场边（图 3.2.11），下部设工字钢平台，叠合板之间采用方木垫块，方木垫块保持上下层对齐。



图 3.2.11 叠合板堆放

3.2.3 叠合板运输

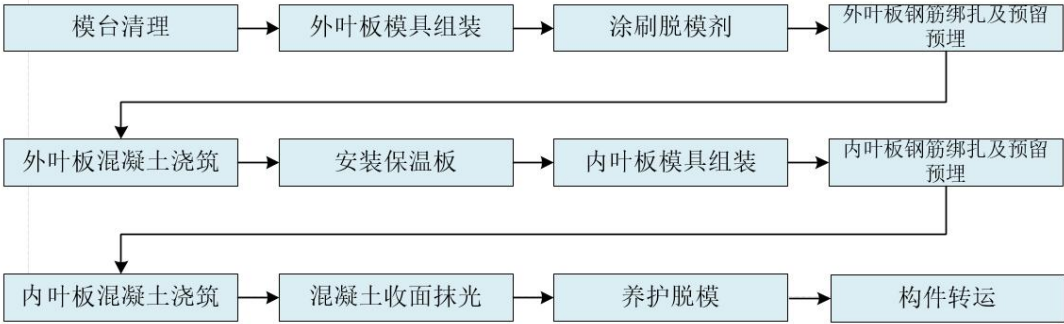
叠合板运输较为简单，需注意的是垫块位置应位于同一位置上。

3.3 预制墙体生产运输

3.3.1 预制墙体生产

装配式建筑预制墙体按照结构形式划分，可分为预制剪力墙及预制填充墙，从构造形式上又可分为普通预制墙板和预制夹心保温墙板（三明治墙）两大类，相较于普通预制墙板，预制夹心保温墙板施工工艺更复杂，本节通过介绍预制夹心保温墙板的生产过程，对装配式预制墙体构件的生产进行总结。

预制夹心保温墙板的生产工艺可分为正打工艺与反打工艺，目前工厂里常用的为反打工艺，其生产工艺流程如下：



其中主要生产工艺操作要点：

- (1) 外叶板模具组装：按照图纸设计尺寸将模板进行组装，并用螺栓固定于模台。
- (2) 外叶板钢筋绑扎及预留预埋：按照图纸要求绑扎外叶板钢筋网片（图 3.3.1），外叶板钢筋绑扎过程中需要做好模板对拉螺杆孔的预留、不锈钢针状连接件及不锈钢钢板连接件的预留及穿墙套管的预埋预留。



图 3.3.1 外叶板钢筋绑扎



图 3.3.2 保温板安装

- (3) 安装保温板：保温板安装应在外叶板混凝土浇筑振捣后立即进行，并在混凝土初凝之前完成拼装，确保保温板与外叶板混凝土粘贴牢固（图 3.3.2）。
- (4) 内叶板模具组装：保温板安装完成后，需等外叶板混凝土终凝并具备一定强度后，方可在保温板上进行预制夹心保温墙内叶板模具的组装固定，其中内叶墙体上下两条钢模具通过螺栓固定于外叶板模具或者模台上，防止混凝土浇筑过程中模具偏位。
- (5) 内叶板钢筋绑扎及预留预埋：内叶板钢筋绑扎时，首先从内叶板边模预留孔中穿入墙板及梁钢筋，可在单侧边模外侧备两根与外伸方向垂直的钢筋，通过调整单侧钢筋外伸长度保持一致，再与垂直向钢筋临时绑扎固定，防止后续混凝土浇筑过程中钢筋位置扰动，垂直向钢筋在混凝土浇筑完成后拆除，循环周转使用（图 3.3.3）。

内叶板底筋绑扎之前应按要求设置水泥垫块，保证底筋的保护层厚度，上层钢

筋绑扎前应设置钢筋马凳，保证上层钢筋的保护层厚度。钢筋绑扎完成后，边模预留孔应用 PE 棒填塞严密，防止混凝土浇筑过程中漏浆（图 3.3.4）。



图 3.3.3 内叶板钢筋绑扎



图 3.3.4 PE 棒塞孔处理

内叶板钢筋绑扎过程中会穿插进行大量预留预埋，常见的主要有以下几类预留预埋作业：

- 1、机电管线预埋：包括线盒线管预埋、穿墙套管预埋、防雷接地扁铁预埋等。
- 2、灌浆套筒预埋：剪力墙的纵筋连接方式主要有两种：全套筒灌浆连接与半套筒灌浆连接（图 3.3.5），对于预制填充墙体，通常采用盲孔灌浆的方式进行连接。（图 3.3.6）



图 3.3.5 灌浆套筒的预埋

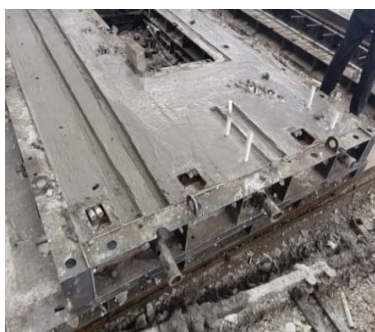


图 3.3.6 盲孔-PVC 管预留方式

- 3、门窗副框预埋：对于有门窗的预制墙板，通常会在构件生产过程中预埋门窗副框。（图 3.3.7）



图 3.3.7 门窗副框预留

4、起吊点位预埋：预制墙板生产多采用平模的方式进行，构件生产完成时需要进行水平起吊，因此需在墙面上设置起吊点，通常在内叶板钢筋绑扎时预留起吊点的金属螺母，在螺母下部穿入钢筋，并与内叶墙板的钢筋绑扎连接，待构件混凝土强度达到起吊条件时，将钢丝绳拧入预埋的起吊点螺母中，预制墙体构件运至工厂堆场后，再将钢丝绳拧下来，周转使用（图 3.3.8、图 3.3.9）。



图 3.3.8 起吊螺母与钢丝绳



图 3.3.9 预制墙体构件起吊点

5、吊件预埋：目前市场上常用到的吊件为预埋吊环或吊钉的形式。预埋吊环应为光圆钢筋，工厂生产时按照图纸确定的位置放置吊环，并将吊环钢筋与墙体钢筋进行绑扎，增强吊环与预制构件的整体性。预埋吊钉材质一般为优质合金钢，吊钉端部的圆形锻头用于挂钩，配套专用的鸭嘴扣吊具，可以实现快速挂钩，安装时需要使用半球形的橡胶在固定吊钉，同时在混凝土表面形成半球凹槽，使得吊具可以挂钩起吊。

6、外叶板连接件的预埋：预制夹心保温墙板采用反打工艺生产时，外叶板连接件的预埋在外叶板钢筋施工时就开始进行，并与外叶板钢筋网片绑扎，在内叶板钢筋绑扎时需要在不锈钢板式连接件孔洞中穿入附加钢筋，并将附加钢筋与内叶板钢筋进行绑扎。

（6）预制墙体的顶部和底部与后浇混凝土的结合面应设置粗糙面；侧面与混凝土的结合面应设置粗糙面，也可设置键槽。粗糙面的凹凸深度不应小于 6mm。

3.3.2 预制墙体运输

预制墙体浇筑完成、养护，待构件混凝土强度达到设计强度的 70%时，方可进行起吊。起吊时使用生产车间内的行车吊吊住预制墙体的 4 个起吊点，然后平稳放置到轻型平板车上，再由轻型平板车倒运至工厂内的构件堆场进行临时堆放（图 3.3.10）。



图 3.3.10 平板车倒运构件

根据现场施工进度需求，采用龙门吊按需将构件吊至运输车辆上进行装车，装车时应避免构件的磕碰破坏，预制墙体的运输可以采用平放方式运输也可采用立放方式运输，当采用平放方式运输时需放置木垫块，采用立放方式运输时需要放置靠放架；运输过程中为了防止构件发生摇晃或移动，要用钢丝绳或夹具对构件进行充分固定（图 3.3.11）。



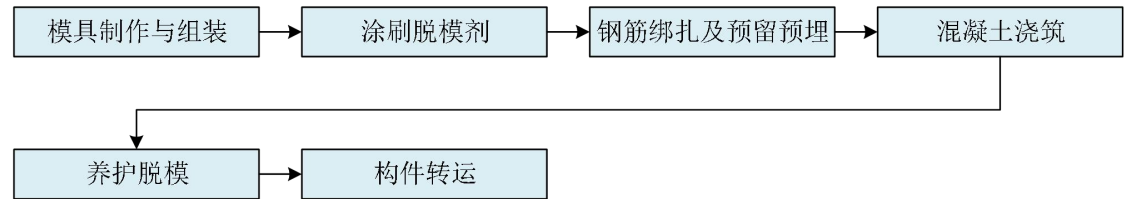
图 3.3.11 预制墙体构件运输

运输路线应提前进行规划，要选择路况较好的道路，车辆行驶要注意平稳，减少行驶过程中的剧烈晃动；同时要考虑行车路线上交通设施（比如隧道、限高杆等）能否保证车辆正常通行。

3.4 预制柱生产运输

3.4.1 预制柱生产

预制柱的生产工艺比较简单，其生产工艺流程如下：



其中主要生产工艺操作要点：

（1）钢筋绑扎及预留预埋：在模板内绑扎钢筋，确保钢筋的位置和数量符合设计要求。然后进行线盒线管预埋，及有必要的防雷接地预埋。（图 3.4.1）



图 3.4.1 预制柱模具制作及钢筋绑扎

（2）混凝土浇筑：将混凝土浇筑入模板内，并进行振捣和养护。（图 3.4.2）



图 3.4.2 预制柱混凝土浇筑

（3）养护：将预制柱放在养护场内进行养护，确保混凝土的强度和质量。（图 3.4.3）



图 3.4.3 预制柱脱模养护

（4）预制柱的底部应设置键槽且宜设置粗糙面，柱顶应设置粗糙面。粗糙面的凹凸深度不应小于 6mm。

3.4.2 预制柱运输

预制柱浇筑完成后，需进行一段时间的养护，待构件混凝土强度达到设计强度的 70%时，方可进行起吊。

根据现场施工进度需求，采用龙门吊按需将构件吊至运输车辆上进行装车，装车时应避免构件的磕碰破坏，预制柱的运输采用平放方式运输，运输过程中为了防止构件发生摇晃或移动，要用钢丝绳或夹具对构件进行充分固定（图 3.4.4）。

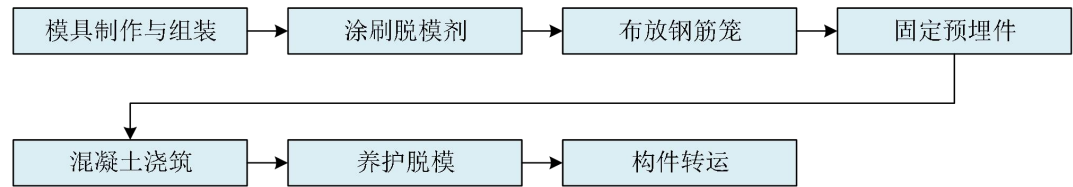


图 3.4.4 预制柱构件运输

3.5 叠合梁生产运输

3.5.1 叠合梁生产

预制梁的生产工艺比较简单，其生产工艺流程如下：



其中主要生产工艺操作要点：

- (1) 模具制作与组装：根据预制柱的尺寸和形状，制作模具并组装。（图 3.5.1）



图 3.5.1 预制梁模具制作

(2) 布放钢筋笼:按照划线标记放置钢筋笼并在钢筋笼侧面绑上保护层垫块。钢筋笼每个垂直面钢筋网交叉点利用绑扎丝进行绑扎,且相邻两个绑扎丝的倾斜方向相反。绑扎完成后,将绑扎丝末梢向钢筋笼内部弯折。

混凝土浇筑:将搅拌好的混凝土运输到叠合梁浇筑工位,注入模具后,开启振动棒开始匀速振动。振捣完成后用毛刷和抹灰刀将模具周边及箍筋出筋部分的混凝土清理干净,完成浇筑后人工手动进行拉毛。叠合梁顶部、端部等与后浇混凝土叠合层之间的结合面应设置粗糙面。梁端面应设置键槽且宜设置粗糙面,面积不宜少于结合面的 80%,凹凸深度不应小于 6mm。

(3) 养护:将叠合梁送入养护窑中,蒸汽养护 8-12 小时。

(4) 脱模起吊:将养护后的叠合梁从养护窑中取出,轻敲模具至模具有构件分离(图 3.5.2),得到叠合梁成品,起吊至堆放区(图 3.5.3)。



图 3.5.2 预制梁脱模



图 3.5.3 预制梁成品堆放

3.5.2 叠合梁运输

采用龙门吊将预制叠合梁起吊至挂车上,构件之间采用方木垫块,上下层方木垫块保持对齐。完成后,采用绳索将固定,如图 3.5.4 所示。



图 3.5.4 叠合梁运输与固定

3.6 预制飘窗生产运输

3.6.1 预制飘窗生产

前文 2.10.3 章节介绍了常见的两大类 5 种飘窗, 本节将主要介绍封堵墙预制类 (仅外墙预制) 飘窗的主要生产工艺操作要点。

室外侧平放至模台上, 飘窗侧墙采用局部吊模工艺 (图 3.6.1), 预制板 (下板) 搁置牛腿模板为两个带加劲肋角钢组成的组合模板, 并固定于侧墙吊模之上, 如图 3.6.2 所示 (图中飘窗为不带侧墙做法)。

需要说明的是, 预制飘窗生产涉及起吊螺丝、盲孔预埋件、吊环等构件预埋, 相关技术详见剪力墙生产工艺一节, 本节不再重复。



图 3.6.1 侧墙吊模做法示意



图 3.6.2 牛腿做法示意

3.6.2 预制飘窗运输

预制飘窗属于异形复杂构件, 为保证其运输稳定性及成品合格率, 在运输过程中需配合合适的防护固定工装, 以免构件在进场前遭到破坏。一般采用堆放架靠放后竖向运输的方式, 如图 3.6.3、图 3.6.4 所示。



图 3.6.3 飘窗竖向靠放运输



图 3.6.4 飘窗运输堆放架

3.7 智能化制造生产

装配式混凝土结构制造生产系统是建筑业现场现浇模式向工厂预制模式转变的必要条件。如图 3.7.1 所示。



图 3.7.1 装配式智能生产系统

(1) 智能生产管理

智能制造实现构件智能排产，一键向生产线下达生产任务，提高模产量，缩短了交货周期，控制生产节奏，提高生产效率，减少质量问题。自动对接混凝土搅拌站、钢筋加工设备和生产线设备，实现多机协同、人机协作。自动采集构件生产过程数据，自动报工，并生成生产统计报表。构件生产管理流程如图 3.7.2 所示，主要环节包括：

①合同管理。涵盖了构件销售合同、劳务采购合同、原材料采购合同、物流运输合同、模具采购合同、设备采购合同等多种合同类型。管理内容包括合同登记、确权、结算、收支等。

②项目管理。指装配式项目信息管理，如项目录入(包括 Excel 导入和手工维护)、项目设计数据对接、构件信息维护、构件销售单价维护、生产形象进度、项目生产进度等。

③生产数据管理。直接接收 BIM 设计数据，包括构件类型和数量、每个构件的基础信息和各种详图、构件的钢筋、预埋件等组成信息；自动汇总生成构件 BOM 清单；对构件生产过程中产生的生产数据进行管理，如构件查询、构件修改、构件标签打印、构件履历查询、构件清单等。

④生产计划管理。对工厂生产计划的管理，包括：将项目分解为生产订单、根据生、订单生成模台日计划、项目材料用量统计、日计划材料需求统计等；车间在执行计划时可以对计划进行调整，包括计划撤销、追加等。

⑤生产过程管理。根据企业各家工厂管理要求，生产过程管理可以进行配置化管理，如生产工艺过程，生产车间生产记录等。

⑥堆场管理。包括库房库位管理、可视化堆场、现有库存管理、成品入库、成品出库、成品退库、发货计划、装车验证、统计报表等。

⑦物流管理。包括运单查询、到场卸车、运单统计等。可以实时查看运单状态，统计物流运输数据，以及构件运抵施工现场后的卸车管理。

⑧发货管理。对构件发货出厂的管理，包括发货计划新增、发货单生成、扫码装车、构件转用、发货单打印、发货退回、发货明细查询。



图 3.7.2 装配式智能生产管理流程

(2) 智能成套装备

①拆/布模机器人。综合运用视觉扫描技术、路径规划算法、伺服驱动技术、动态库存管理技术，实现标准模具拆除入库、清理涂油、规格选择、精准布置、磁钉拔吸的全流程自动化作业，完全取代人工。如图 3.7.3 所示。

②划线涂油机器人。数据驱动自动划出构件轮廓、预埋等特征定位线，并按需自动完成构件区域涂刷脱模剂。如图 3.7.4 所示。



图 3.7.3 拆布模机械手



图 3.7.4 自动划线机器人

③成套钢筋装备。钢筋桁架、钢筋网片自动焊接,桁架最高生产速度达 18m/min,网片最高生产速度达 3min/张,作业效率提升 100%,人员减少 80%以上。如图 3.7.5 所示。



图 3.7.5 钢筋桁架、网片设备

④视觉质检系统。三维视觉图像采集及识别算法技术,获取构件轮廓、钢筋、预埋数量和位置特征,自动比对,结果反馈干预,数字化存档记录,实现隐蔽工程质检全面升级。

⑤智能布料振捣系统。基于数据驱动或视觉识别,综合运用自动规划路径、重量闭环控制、动态调节技术、低噪振捣技术,将混凝土均匀布放并振捣密实,高效高质生产。

⑥高精度翻转合模系统。核心空心墙生产能力,自动翻转合模成型,多向摇晃振捣,多重精度保证策略,确保双面合模精度。

⑦高效堆垛养护系统。抓取式结构与高效卷扬系统匹配,堆效率提升 50%;养护窑单列独立控制,主动强制循环、温湿度精准调控,偏差小于 5℃。

⑧专业构件运输车。超低底盘及液压独立悬挂设计,具备高效装卸、超大空间、主动防倾翻的特点,运输效率和安全性均显著优于平板运输,构件装卸无需吊装,单次不超过 5min。如图 3.7.6 所示。



图 3.7.6 预制构件专业运输车

第四章 装配式结构施工

一般情况下，装配式结构标准层施工流程主要包括预制构件吊装、后浇节点钢筋绑扎、后浇节点合模、水平构件支模架搭设、板钢筋绑扎及水电管线预埋、混凝土浇筑等关键工序。下面以装配整体式剪力墙结构为例，其标准层施工流程如下图 4.1.1 所示。

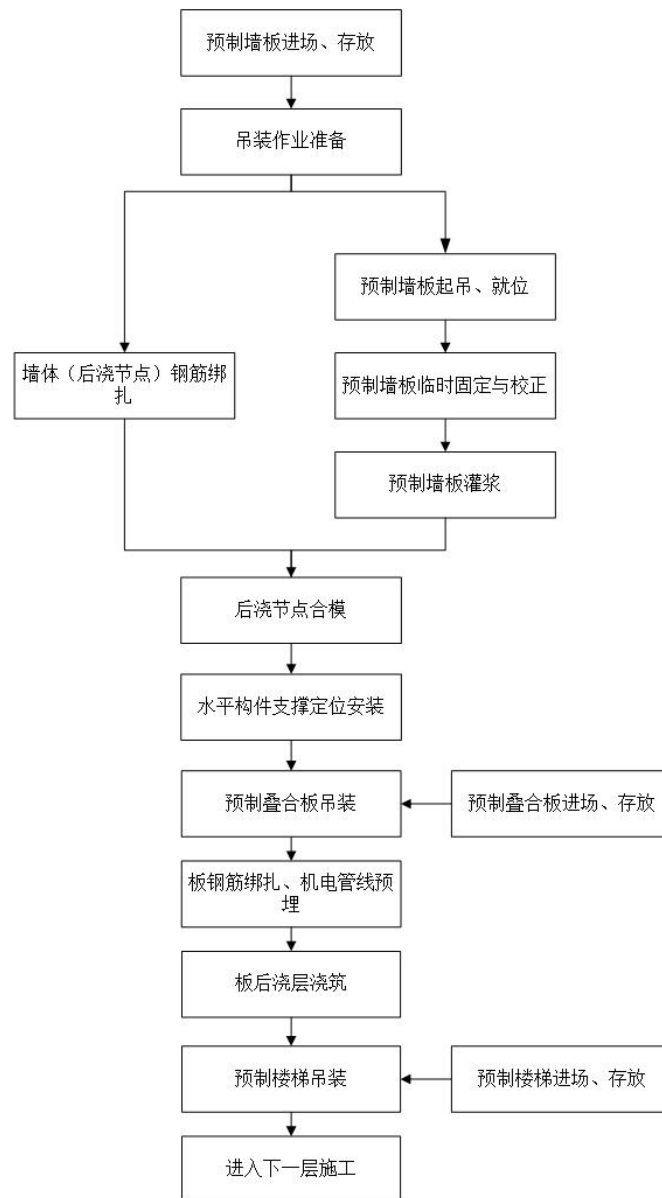


图 4.1.1 标准层施工流程图

以上工序中，例如板钢筋绑扎等均与现浇结构类似，本文不再赘述。本节重点介绍装配式项目的施工部署以及预制构件相关施工工艺，主要包括预制楼梯、叠合板、预制剪力墙、预制柱、叠合梁、预制飘窗等施工工艺及技术标准，供借鉴参考。

4.1 施工部署

4.1.1 施工技术准备

现场管理人员及PC吊装作业工人都要进行相关的技术和安全培训后方可上岗，技术培训内容主要包括预制构件安装工艺、构件预埋件与结构预埋件之间的连接方式、安装就位时的具体操作步骤等；安全培训内容主要包括做好所有作业人员的三级教育，对吊装作业时的安全培训等。

项目开工前，现场按照设计院提供的设计图纸，结合工程实际，做好下列施工准备：

- 1、组建、成立PC项目技术攻关小组和项目实施小组，全员熟悉施工图纸，分析、研究项目技术问题，实施现场操作与施工，达到项目技术目标要求。
- 2、编制并优化方案，确保节点，推行科学合理化施工。
- 3、加强施工图和PC加工图的结合，做好各图纸的相符性，提供可行的现场施工的深化图，优化原设计图纸。
- 4、做好专业多工种施工劳动力组织，选择和培训熟练技术工人，按照各种工种的特点和要点，加强安排与落实。
- 5、落实施工前期工作，包括材料、预制件制造、养护、模板、表面装饰、保护起吊、运输、储存、临时支撑，安装防水接缝安装等。

4.1.2 施工进度计划

1、空间安排

在结构施工阶段，根据装配式项目工程的特点，综合考虑工程工期、质量及劳动力、周转材料、临建设施等资源投入情况，具体安排如下：

施工前应合理规划好预制部品堆放场地、周转材料堆放场地，以减少场内二次搬运，切实有效提高施工进度。

做好随时与PC构件厂的沟通，准确预测PC构件厂距离项目的实地距离，提前联系PC构件厂发货，有助于整体施工的安排。

施工时，应充分利用各种资源。为了保证工程按照总控计划完成，装修工程、设备安装和市政工程提前插入，组织立体交叉施工，做到空间占满、时间连续，确保工期目标的实现。

2、时间安排

根据工程开工时间及工程形象进度，合理安排施工工序，以保证工程施工质量，

并降低费用。一般装配式标准层工期为 7 天左右，每层工期安排如下表 4.1.1 所示（供参考）。

表 4.1.1 一般装配式标准层施工工期安排表

项目	第一天	第二、三天	第四天	第五天	第六天	第七天
工作 安排	引测控制 线、楼面 弹线	墙柱钢筋 绑扎支模 搭设	梁钢筋绑 扎	叠合楼板吊 装及机电管 线预埋	叠合楼板上部 钢筋绑扎	混凝土浇 捣、养护
资料	技术复核 单	质量证明 书、隐蔽验 收单检验 批	质量证明 书、隐蔽验 收单检验 批	产品合格证、 技术复核单	技术复核单、质 量证明书、隐蔽 验收单检验批	浇灌令、混 凝土试块质 量证明单

4.1.3 施工平面布置

施工现场搞好“三通一平”，搭建好现场临时设施和 PC 构件的堆场准备。PC 构件进场临时道路宽度需满足 PC 运输汽车进场及卸车要求，临时道路宜紧靠各 PC 楼栋，若临时道路及 PC 堆场在地库顶板上，需对地下室顶板进行回顶加固。如图 4.1.2 所示。



图 4.1.2 地下室顶板回顶加固

为了配合 PC 结构施工和单块预制构件最大重量的施工需求，确保满足各楼栋 PC 构件的吊装距离，以及按照施工进度以及现场的场布要求，每栋楼宜单独配备塔吊，塔吊半径满足 PC 卸车吊装距离要求，起吊区离塔机最远距离应满足最重预制构件吊装需求。例如：某项目最大预制构件总重量约为 3.36t。塔吊选型为 TC7020（大臂长 45 米），查阅塔式起重机说明书显示，当采用 2 倍率，45 米臂长覆盖范围内吊重为 6t，预制构件在吊装范围内，满足吊装要求。

4.1.4 构件进场验收

PC 构件进场后即对构件外观平整度进行检测，如发现破损、不合格情况，立即与 PC 构件厂联系，返厂维修或现场修补，构件外观质量检查按下表 4.1.2 执行。

表 4.1.2 构件外观质量检查表

名称	现 象	质量要求	检验方法
露筋	构件内钢筋未被混凝土包裹而外露	主筋不应有，其他允许有少量	观察
蜂窝	混凝土表面缺少水泥砂浆而形成石子外露	主筋部位和搁置点位置不应有，其他允许有少量	观察
孔洞	混凝土中孔穴深度和长度均超过保护层厚度	不应有	观察
裂缝	缝隙从混凝土表面延伸至混凝土内部	影响结构性能的裂缝不应有，不影响结构性能或使用功能的裂缝不宜有	观察
连接部位缺陷	构件连接处混凝土缺陷及连接钢筋、连接件松动	不应有	观察
外形缺陷	内表面缺棱掉角、棱角不直、翘曲不平外表面面砖粘结不牢、位置偏差、面砖嵌缝没有达到横平竖直，转角面砖棱角不直、面砖表面翘曲不平等	清水表面不应有，混水表面不宜有	观察
外表缺陷	构件内表面麻面、掉皮、起砂、沾污等；外表面面砖污染、铝窗框保护纸破坏	清水表面不应有，混水表面不宜有	观察

同类构件现场专检抽检不应少于 30%，且不少于 5 件。检查方法：钢尺、靠尺、调平尺、保护层厚度测定仪检查。误差允许范围应符合表 4.1.3 的要求。

表 4.1.3 预制混凝土构件外形尺寸允许偏差表

名称	项目	允许偏差（mm）		检查依据与方法	
构件外形尺寸	长度	柱	±5	用钢尺测量	
		梁	±10		
		楼板	±5		
		内墙板	±5		
		外叶墙板	±3		
	宽度	±5		用钢尺测量	
	厚度	±3		用钢尺测量	
	对角线差值	柱	5	用钢尺测量	
		梁	5		
		外墙板	5		
	表面平整度、扭曲、弯曲	5		用 2m 靠尺和塞尺检查	

	构件边长翘曲	柱、梁、墙 板	3	调平尺在两端量 测	
		楼板	5		
主筋保护层厚度		柱、梁	+10, -5	钢尺或保护层厚 度测定仪量测	
		楼板、阳台 板	+5, -3		

4.1.5 构件现场堆放

预制构件批量运输到现场，尚未吊装前，应统一分类存放于专门设置的构件存放区，如图 4.1.3 所示。严禁在构件堆放场地外堆放构件，严禁将预制构件以不稳定的状态放置。

构件堆放场的地基基础必须有足够的地基承载力，用不低于 C30 的混凝土浇筑厚度不小于 25cm，浇筑成型的场地平整（平整度误差不超过 5mm 防止地面不平整引发构件倾覆危险）、排水通畅。



图 4.1.3 预制构件堆放区域

4.1.6 构件成品保护

PC 构件在运输、堆放和吊装的过程必须要注意成品保护措施。运输的过程中采用钢架辅助运输，运输墙板时，车启动慢，车速应匀，转弯变道时要减速，以防墙板倾覆，在 PC 构件与钢架结合处采用棉纱或者橡胶块等，保证在运输的过程中 PC 构件与钢架因为碰撞而破损，构件底部与构件车结合处垫有方木，且运输过程中构件需要堆放牢固稳定，不会发生碰撞、损坏。如图 4.1.4 所示。



图 4.1.4 运输过程中成品保护

堆放的过程中采用手拉葫芦调节将 PC 构件在吊装过程保持平衡，保持平稳和轻放，在轻放前也要在 PC 构件堆放的位置放置棉纱或者橡胶块或者枕木等，将 PC 构件的下部保持柔性结构。外墙门框、窗框和带有外装饰材料的表面宜采用塑料贴膜或其他防护措施。灌浆套筒、预埋螺栓孔应采用临时封堵措施。带有装饰面的板材要有专门的成品保护措施，防止面层受损。预制构件的转运次数不宜大于 3 次，以减少构件在运输及对方过程中的损伤。

在装配式混凝土建筑施工全过程中，应采取防止预制构件、部品及预制构件上的建筑附件、预埋件、预埋吊件等损伤或污染的保护措施，如图 4.1.5 所示。在保证安全的前提下，要使 PC 构件轻吊轻放，同时安装前先将塑料垫片放在 PC 构件微调的位置，塑料垫片为柔性结构，这样可以有效的降低 PC 构件的受损。



图 4.1.5 施工过程中成品保护

4.2 预制楼梯施工

装配式楼梯按照连接形式分为搁置式楼梯（图 4.2.1）及锚固式楼梯（图 4.2.2），相较而言，搁置式楼梯构造简单，施工方便，更符合装配式建筑的施工特性要求，目前国内装配式项目采用楼梯形式主要为搁置式。



图 4.2.1 搁置式楼梯



图 4.2.2 锚固式楼梯

搁置式楼梯无外伸钢筋，可以直接搁置在休息平台上，属于即安即用型预制构件，无需搭设支撑架，可直接进行吊装，主要施工流程为：楼梯吊装→楼梯灌浆→成品保护

4.2.1 预制楼梯吊装

塔吊吊运预制楼梯离地高度 200mm 后,进行吊装检查,待平稳后进行起吊(即楼梯踏步面与地面水平,无倾角),吊装至安装位置后,依据楼梯上已有的控制线为安装参照,调整楼梯位置,校正楼梯位置,精确定位,如图 4.2.3 所示。

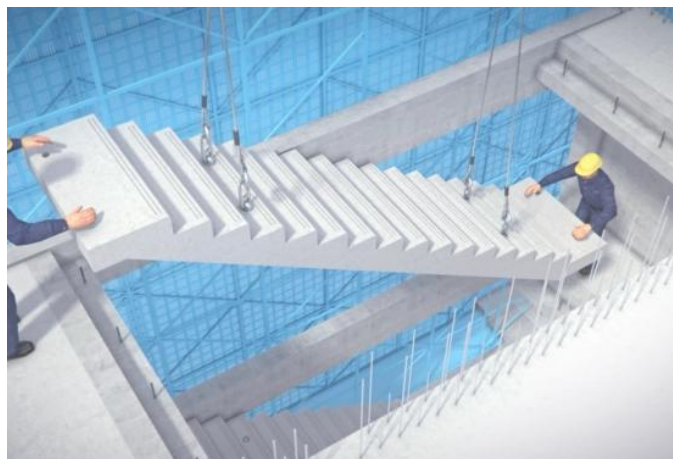


图 4.2.3 预制楼梯吊装(仅为施工示意)

4.2.2 预制楼梯灌浆

对于高端固定铰支座、低端滑动铰支座的搁置式楼梯,梯板的上部结构采用砂浆对预留的孔洞进行封堵填实,封堵面应饱满、平整和光滑,不得出现空洞或其余杂质;梯板的下部结构则在预埋螺栓的螺母垫块上部封堵填实,垫块下部的预留空间适用于梯板的自由滑动变形。其中预制楼梯的两端与平台梁之间的缝隙采用聚苯板进行封堵填实。

4.2.3 成品保护

预制楼梯安装完成后,采用木板或其他材料覆盖到预制楼梯上,对楼梯踏步进行全覆盖封闭保护,防止结构主体施工时对预制楼梯造成损害和污染,如图 4.2.4 所示。

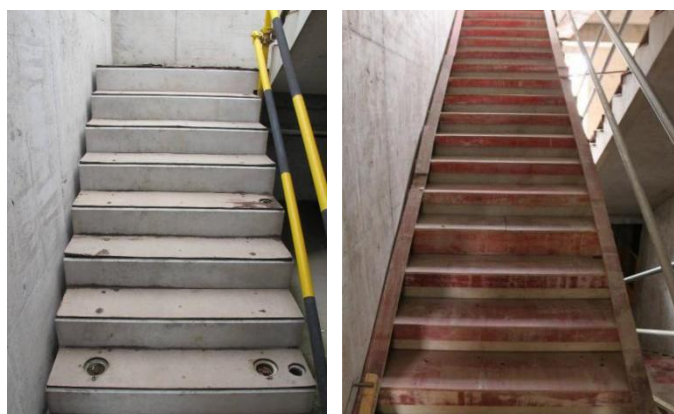
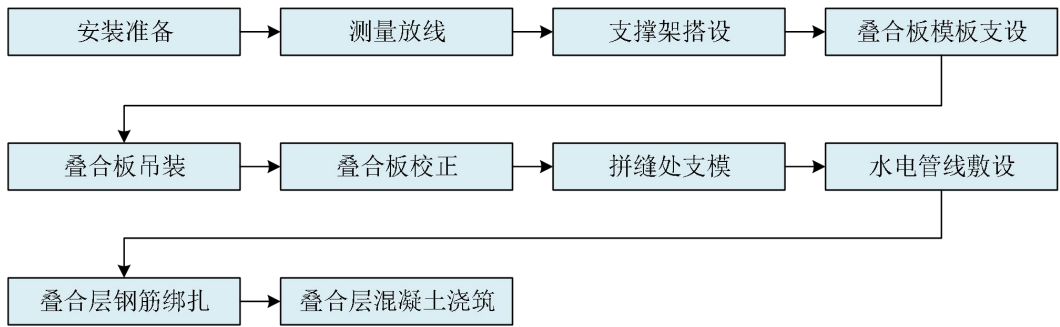


图 4.2.4 预制楼梯成品保护

4.3 叠合板施工

叠合板施工工艺流程如下：



其中主要施工工艺包括：支撑架搭设、叠合板模板支设、叠合板吊装、拼缝处支模、连接节点施工等工序。

4.3.1 叠合板支模

叠合板的模架体系主要有木模+满堂架体系、木模+独立支撑体系以及铝模+独立支撑体系三种形式。

（1）木模+满堂架体系

此种体系搭设方案与传统现浇无差别，仅在叠合板下方省掉局部模板，如图 4.3.1、图 4.3.2 所示，此处不展开说明。满堂脚手架搭设方式的优缺点如下：

优点：由于与现浇方式相同，架体方案编制简单，工人现场搭设容易，且架体整体安全性高。

缺点：未能充分发挥叠合板自身刚度，材料浪费较多，架体搭设好后，立杆和水平杆众多，与现浇结构相同，对各专业人员作业影响大，现场视觉效果较差。没能实现装配式少支撑的初始设想。



图 4.3.1 轮扣式满堂支撑架



图 4.3.2 木模+满堂轮扣架

(2) 木模+独立支撑体系

独立支撑搭设方式是《装配式混凝土剪力墙结构住宅施工工艺图解》16G906中给出的一种适用于叠合板下的支撑方案，其施工工艺与满堂式脚手架有较大区别。采用独立支撑搭设的项目，现浇梁板位置依旧为满堂脚手架形式，预制叠合板下则采用独立支撑。

独立支撑架的安装工艺流程：现浇部位架体与模板安装、立钢支撑、安装稳定架、安装（或调整）可调顶托、安装木龙骨、吊装叠合板。

具体施工时，应根据叠合楼板规格确定下部支承点数量，间距不超过 1500mm。安装楼板前调整支撑标高与两侧墙预留标高一致，如图 4.3.3 所示。两块叠合板之间的后浇板带处支模采用吊模形式，吊模节点工艺做法如图 4.3.4 所示。采用独立支撑的项目，若叠合板一侧为预制梁或预制墙，则预制构件上需依照《装配式混凝土剪力墙结构住宅施工工艺图解》16G906 图集 4-4 页安装嵌固用模板条，以防止叠合板侧翻、晃动，如图 4.3.5 所示。

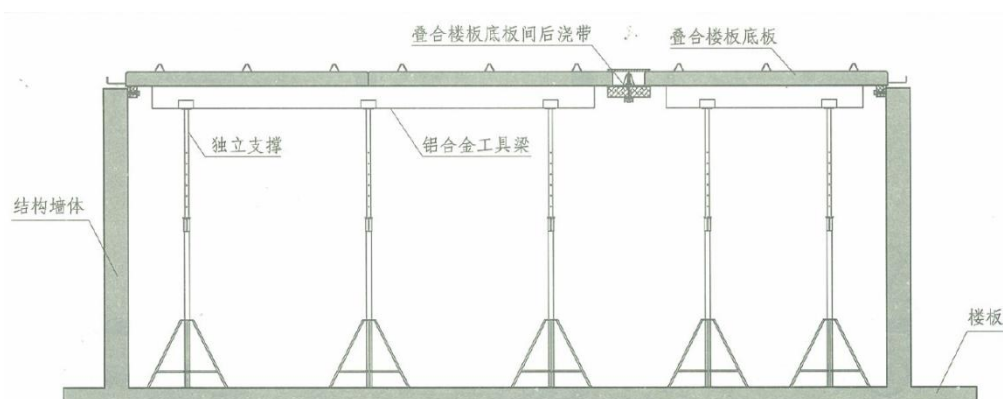


图 4.3.3 木模+独立支撑体系构造示意

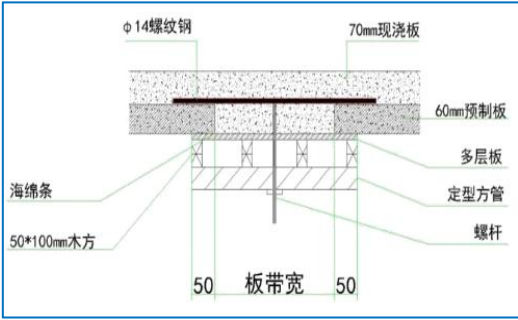


图 4.3.4 叠合板后浇段吊模工艺构造

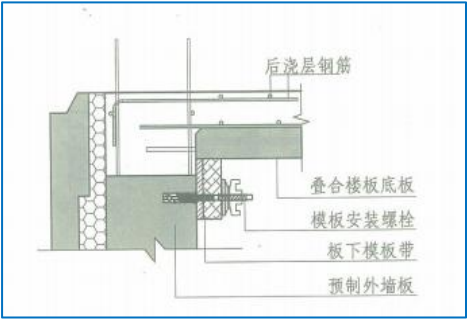


图 4.3.5 嵌固模板构造示意图

叠合板下采用独立支撑架（图 4.3.6）的优缺点：

优点：现场材料相比满堂式有一定程度减少，搭设较容易，且工人在独立支撑架内行动自由。

缺点：独立支撑架尚不能推广到整个作业面，因此，一层楼会出现独立支撑和满堂支撑两种方式混用。独立支撑架抗侧能力弱，相互间不拉水平杆时，仅能应用在层高不高的住宅建筑中。



图 4.3.6 叠合板独立支撑与后浇带吊模实景图

（3）铝模+独立支撑体系

采用铝模板的装配式建筑，其立杆与铝梁位置由铝模深化设计决定，其施工工艺与现浇建筑铝模板工艺相同，仅叠合板局部区域免铺底模，如图 4.3.7 所示，此处不展开说明。



图 4.3.7 铝模+独立支撑体系

4.3.2 叠合板吊装

目前装配式住宅项目普遍采用叠合板先吊装，吊装完成后绑扎梁、板钢筋的方式。此时板吊装时由于没有任何干扰，板吊装没有难度，如图 4.3.9 所示。但需要注意的是，在叠合板吊装前，叠合板底模四周建议均贴上胶带，防止漏浆，如图 4.3.8 所示。



图 4.3.8 叠合板防漏浆措施



图 4.3.9 叠合板吊装

吊装完成后绑扎梁、板钢筋。由于先吊装 PC 板，现场梁钢筋绑扎工序为：放置梁上部钢筋并架高、将箍筋一个一个顺次套入、从梁端插入梁下部钢筋、腰筋等，如图 4.3.10。梁钢筋绑扎完毕后，绑扎板筋。

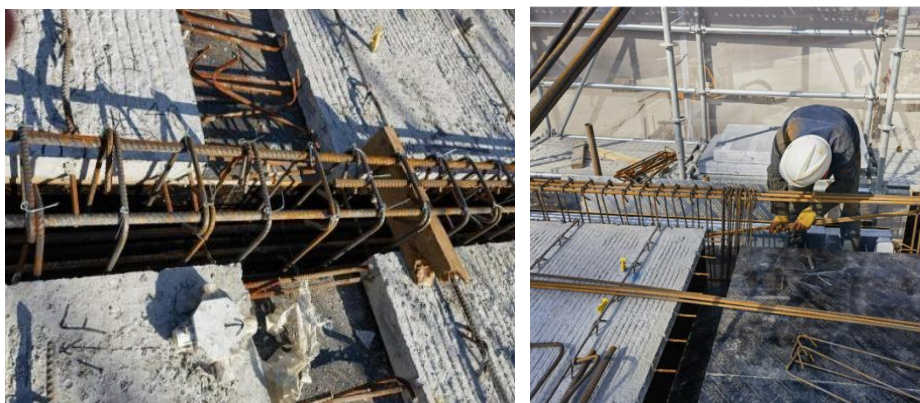


图 4.3.10 梁钢筋绑扎

叠合板的高效吊装主要依赖于科学合理的施工方案和严格的安全措施。以下是一些关键步骤和注意事项，以确保叠合板吊装的效率 and 安全性：

- ①首先，构件厂应根据现场施工进度安排合理排产，确保构件及时供应运抵现场。
- ②项目应编制详细的吊装施工方案，包括吊装顺序、吊点选择、吊具设计等。
- ③提前进行技术交底，确保施工参与人员了解吊装要求和操作规程。
- ④工人吊装前应仔细阅读叠合板设计图纸，明确叠合板的尺寸、形状、重量等

信息。

- ⑤检查并准备好吊装所需的起重机械，如塔吊、吊车等，确保其性能良好。
- ⑥准备足够的吊索、吊具、安全绳等吊装工具，并进行检查和试验。
- ⑦检查并确认叠合板堆放位置，确保叠合板堆放平稳、整齐，便于吊装。
- ⑧设计专用吊具，如吊环、吊带等，确保吊装过程中构件不会发生倾斜或变形。
- ⑨根据施工进度和现场条件确定吊装顺序，一般遵循先低后高、先边后中的原则。
- ⑩对于跨度较大的叠合板，应先吊装跨中部分，再吊装两端部分。

4.3.3 叠合板连接节点施工

叠合板连接节点模板搭设见“4.2.1 叠合板支模”章节，不再赘述。本节重点讨论叠合板后浇带钢筋施工及后浇带防漏浆处理措施。

(1) 后浇带钢筋施工

目前叠合板后浇带常选用如图 4.3.11 所示的节点构造，PC 板胡子筋伸出搭接长度，相邻两块板胡子筋 100%相互搭接。实际施工时，胡子筋搭接效果如图 4.3.12 所示。

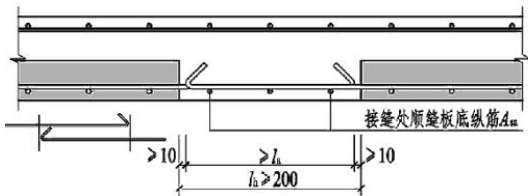


图 4.3.11 底筋直线搭接节点



图 4.3.12 后浇带胡子筋搭接

叠合板在吊装时，相邻两板若胡子筋紧贴，由于相邻胡子筋相互摩擦，PC 板移动略有不便。国标图集 22G101 提供了一种纵向钢筋非接触搭接构造，如下图 4.3.13 所示。所以建议在 PC 板深化时，可将板胡子筋相互错开 30~50mm 的净距，这样在吊装 PC 板时，避免了胡子筋之间的碰撞，方便 PC 板就位。

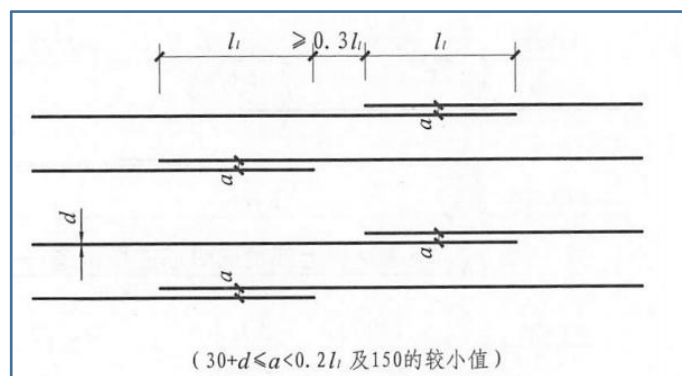


图 4.3.13 纵向钢筋非接触搭接构造 (22G101 图集)

(2) 叠合板后浇带防漏浆处理

叠合板连接节点施工难点在于防漏浆措施,为了防止叠合板连接节点浇筑混凝土产生漏浆现象,通常有以下几种措施供项目参考。

①叠合板模板铺设完成后,在叠合板四周位置粘贴海绵胶条,以防止漏浆(图 4.3.14、图 4.3.15)。



图 4.3.14 粘贴海绵胶条做法



图 4.3.15 拆模效果

从拆模效果来看,此做法可以一定程度上减少漏浆,但要求海绵胶条粘贴位置要准确,海绵胶条粘贴要顺直、牢固,对工人手艺和责任心要求比较高,且拆模时海绵条不易全部拆除,仍需工人二次清理。

②在叠合板连接处的模板上加垫一块防水卷材,以达到防漏浆的效果。此做法对工人手艺要求较低,效率更高,但是防水卷材增加费用比做法①高。(图 4.3.16、图 4.3.17)



图 4.3.16 加垫防水卷材做法



图 4.3.17 拆模效果

③对于铝模体系，通常将叠合板后浇板带位置铝模深化成企口形式，高度多5mm，后期再采用砂浆修补，减少后浇板溢浆剔凿修补。此做法操作简单，防漏浆效果好，但是后期砂浆修补增加费用较高。（图 4.3.18、图 4.3.19）



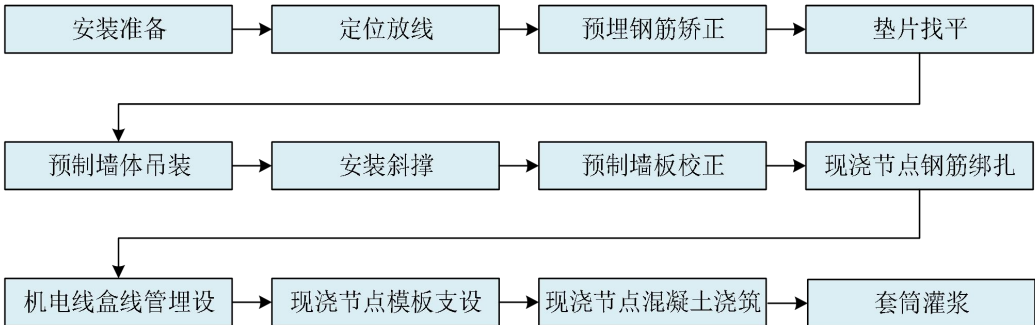
图 4.3.18 铝模企口优化拆模效果



图 4.3.19 砂浆修补效果

4.4 预制剪力墙施工

预制剪力墙施工工艺流程如下：



其中主要施工工艺包括：①定位放线，②预制墙体吊装（含支撑加固），③现浇墙体或墙段钢筋绑扎，④现浇墙体或墙段模板支设，⑤套筒灌浆连接等工序。

4.4.1 定位放线

装配式建筑需要布设诸如墙身线、洞口线、30线（模板控制线）、50线（标高控制线）、建筑1m线等传统控制线外，尚应增设控制墙体标高的抄平点。

4.4.2 预制剪力墙吊装

剪力墙吊装及支撑加固主要包含吊装准备、坐浆、吊装竖向预制构件、校准、固定斜撑、封边等工序。

（1）吊装准备

主要包括标高垫块放置、插筋位置校正、斜支撑材料准备等。需要注意的是在吊装前的插筋位置校正工作非常重要，吊装前进行插筋位置细致校正的项目，其单片剪力墙吊装时间比吊装前仅进行粗校正的项目，平均可以节省约2~3分钟。

所以建议在吊装之前，安排专人对所有插筋进行系统校正，这样可以避免后期吊装过程中因钢筋无法准确插入预留孔导致的反复起吊构件校正插筋，进而节省吊装时间，提高吊装效率。

（2）墙底坐浆

深化设计时，预制墙体底部与楼层完成面之间有20mm空隙，用以高强灌浆料灌浆，故而一般要求构件吊装前应在竖向构件底部四周铺上坐浆砂浆，或局部铺设砂浆，剩余部分待构件吊装完毕后补铺。

考虑到墙体水平定位时会采用撬棍等工具进行微调，易破坏坐浆导致增加后续修补工作，所以可采用短边坐浆，长边在吊装就位后采取勾缝抹压封仓的做法，如图4.4.1、图4.4.2所示，避免四周预先铺设坐浆砂浆的做法；这样，既解决了短边因毗邻暗柱纵筋导致的后期抹压勾缝施工不便的问题，又因为后期定位微调时撬棍不会影响到短边坐浆，规避了后续修补工作，建议可参照此做法施工。



图 4.4.1 预制墙底部短边先坐浆



图 4.4.2 预制墙底部长边后抹缝

（3）吊装预制墙体

将竖向构件垂直落在对应位置，竖向构件一般有 4 道斜撑，先固定上部 2 道斜撑，再松开塔吊吊钩。这样塔吊可吊装下一构件，校正小组可跟进该构件的进一步校正。

此步工序与剪力墙预留钢筋形式及现浇节点特点有关：

在没有夹心保温板且墙体预留带弯钩钢筋时，由于后期施工需将预留钢筋临时微调偏，方便箍筋施工，所以当构件吊装至作业面上 1 米左右的位置时，工人首先将预制构件下面 7-8 排外伸钢筋向外略调开，以避免构件安装时，该外伸钢筋与节点竖向纵筋发生碰撞，影响安装效率。钢筋调开后，工人正常引导预制构件下落，并将灌浆孔对准下层构件的外伸钢筋。将构件下落至标高处，如图 4.4.3 所示。

在夹心保温板处，以及墙体预留 U 型钢筋时，可将纵筋归拢至 U 型箍范围内，方便墙体下落。工人正常引导预制构件下落，并将灌浆孔对准下层构件的外伸钢筋，将构件下落至标高处。

构件下落就位后，安装构件上部两根斜支撑，然后摘去塔吊吊钩，塔吊吊钩移动至预制构件车位置，开始准备起吊下一块构件，如图 4.4.4 所示。



图 4.4.3 墙体吊装就位



图 4.4.4 墙体临时固定

（4）校准、固定斜撑

构件校正包括构件垂直度校正、构件水平位置校正、构件标高校正。

项目构件校正普遍采用电子水准仪辅助，电子水准仪可以打出纵横交叉的两条激光线，工人通过这两条激光线进行构件校正，如图 4.4.5 所示。

垂直度校正：通过松紧两根斜支撑对预制墙体构件垂直度进行校正，如图 4.4.6 所示。

水平位置校正：构件水平位置校正通过撬棍微调构件来实现校准。

构件标高校正：构件标高校正方法通过插入或取出垫片实现标高校正。

一般项目预制墙体安装人员可分成 2 组，一组负责初步安装，一组负责精准校正就位，穿插施工。建议项目可采用此方法施工，提高安装效率。



图 4.4.5 预制墙体校正

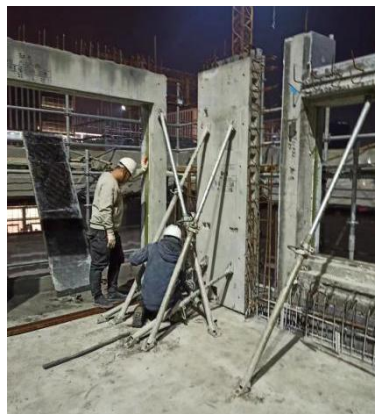


图 4.4.6 预制墙体校正后固定下方斜撑

(5) 预制墙底部砂浆封边

预制墙体校正完成且 4 道斜撑安装完毕后，将墙体底部长边使用砂浆封边，为套筒灌浆做准备。

4.4.3 剪力墙节点钢筋绑扎

根据剪力墙连接节点做法（详见第 2 章）可知，预制墙体伸出钢筋类型不同，以及节点纵筋连接方式不同，剪力墙节点钢筋绑扎方式也会有明显区别。本文将对不同种类的剪力墙节点在不同情况下的钢筋绑扎工艺进行叙述，最后将给出钢筋绑扎的建议做法。

(1) 一字型节点

一字型节点钢筋绑扎最为简单，绑扎效率最高。由于三面均为自由边，预制墙体钢筋对节点钢筋绑扎工作影响不大。

情形①：当纵筋采用电渣压力焊，预制构件外伸水平筋为带 135 度弯钩形式，外墙为非夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：剪力墙吊装过程中以及钢筋绑扎前将预制构件外伸钢筋避让节点纵筋，套箍，电渣压力焊连接纵筋，将箍筋提起绑扎，外伸钢筋就位。

情形②：当纵筋采用直螺纹套筒机械连接，预制构件外伸水平筋为带 135 度弯钩形式，外墙为夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：先将箍筋自下而上逐一放置到两侧构件外伸钢筋上，并用扎丝绑扎固定，箍筋放置完成后，从顶部自上而下穿入纵筋，然后再将纵筋与楼板

上的预留插筋进行连接（绑扎搭接或者直螺纹机械连接），最后再将箍筋与纵筋进行绑扎连接（图 4.4.7）。



图 4.4.7 一字型节点钢筋绑扎

情形③：当纵筋采用直螺纹套筒机械连接（或绑扎搭接），预制构件外伸水平筋为闭口箍形式，外墙为非夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：剪力墙吊装过程中以及钢筋绑扎前将现浇部位纵筋聚拢集中，方便预制构件外伸闭口箍套入，而后复位纵筋，底部现浇部分有纵筋部位，将箍筋掰开旋转从预制构件外伸闭口箍之中套入，上部无纵筋部位，将箍筋绑扎在预制构件外伸闭口箍上，最后将纵筋从上方插入预制构件外伸闭口箍中，完成钢筋搭接绑扎工序或者套筒连接工序。如下图 4.4.8 所示。



图 4.4.8 一字型节点绑扎效果

（2）L 型节点

L 型节点钢筋绑扎与一字型钢筋绑扎流程一致，但 L 型节点构造比一字型略微复杂，工效略低于一字型钢筋绑扎。

情形①：当纵筋采用电渣压力焊，预制构件外伸水平筋为带 135 度弯钩形式，外墙为非夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：剪力墙吊装过程中以及钢筋绑扎前将预制构件外伸钢筋避

让节点纵筋，套箍，电渣压力焊连接纵筋，然后将箍筋提起绑扎，外伸钢筋就位。如下图 4.4.9 所示。

一般常规的 L 型节点钢筋绑扎按上述方法绑扎时，难度适中，施工完成效果如图 4.4.10 所示。

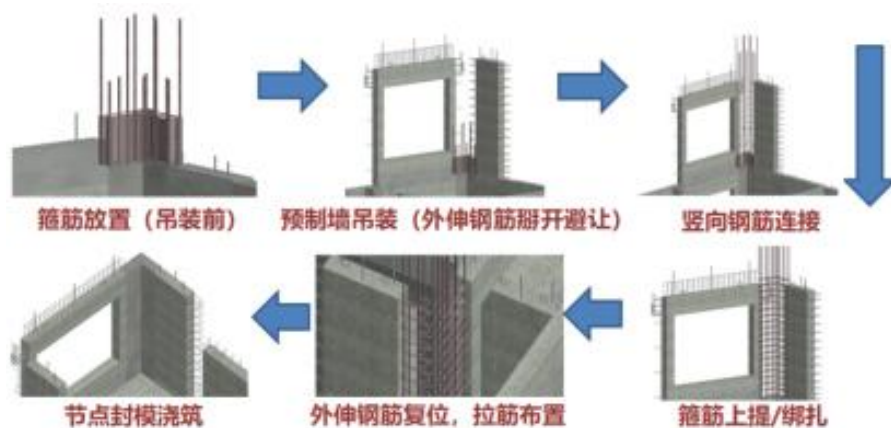


图 4.4.9 L 型节点施工流程



图 4.4.10 L 型节点绑扎效果

情形②：当纵筋采用直螺纹套筒机械连接，预制构件外伸水平筋为带 135 度弯钩形式，外墙为夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：先将 L 型一条边方向的箍筋放置到构件外伸钢筋上并临时固定，再将 L 型另一条边方向的箍筋放置到另一侧构件外伸钢筋上并临时固定，自下而上重复以上步骤完成箍筋放置，然后从顶部穿入纵筋，再将纵筋与楼板上的预留插筋进行连接（绑扎搭接或者直螺纹机械连接），最后再将箍筋与纵筋进行绑扎连接（图 4.4.11）。



图 4.4.11 L 型节点钢筋绑扎

情形③：当纵筋采用直螺纹套筒机械连接（或绑扎搭接），预制构件外伸水平筋为闭口箍形式，外墙为非夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：剪力墙吊装过程中以及钢筋绑扎前将现浇部位纵筋聚拢集中，方便预制构件外伸闭口箍套入，而后复位纵筋，底部现浇部分有纵筋部位，将箍筋掰开旋转从预制构件外伸闭口箍之中套入，上部无纵筋部位，将箍筋绑扎在预制构件外伸闭口箍上，最后将纵筋从上方插入预制构件外伸闭口箍中，完成钢筋搭接绑扎工序或者套筒连接工序。如下图 4.4.12 所示。



图 4.4.12 L 型节点绑扎效果

（3）T 型节点

T 型节点钢筋绑扎流程与 L 型节点及一字型节点钢筋绑扎流程一致，但其节点构造复杂，施工工效比一字型及 L 型低。

情形①：当纵筋采用电渣压力焊，预制构件外伸水平筋为带 135 度弯钩形式，外墙为非夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：剪力墙吊装过程中以及钢筋绑扎前将预制构件外伸钢筋避让节点纵筋，套箍，电渣压力焊连接纵筋，将箍筋提起绑扎，外伸钢筋复位。

情形②：当纵筋采用直螺纹套筒机械连接，预制构件外伸水平筋为带 135 度弯

钩形式，外墙为夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：先将 T 型一条边方向的箍筋放置到构件外伸钢筋上并临时固定，再将 T 型另一条边方向的箍筋放置到另一侧构件外伸钢筋上并临时固定，自下而上重复以上步骤完成箍筋放置，然后从顶部穿入纵筋，再将纵筋与楼板上的预留插筋进行连接（绑扎搭接或者直螺纹机械连接），最后再将箍筋与纵筋进行绑扎连接（图 4.4.13）。



图 4.4.13 T 型节点钢筋绑扎

情形③：当纵筋采用直螺纹套筒机械连接（或绑扎搭接），预制构件外伸水平筋为闭口箍形式，外墙为非夹心保温墙板时。

主要施工流程如下：剪力墙吊装过程中以及钢筋绑扎前将现浇部位纵筋聚拢集中，方便预制构件外伸闭口箍套入，而后调整纵筋，底部现浇部分有纵筋部位，将箍筋掰开旋转从预制构件外伸闭口箍之中套入，上部无纵筋部位，将箍筋绑扎在预制构件外伸闭口箍上，再将纵筋从上方插入预制构件外伸闭口箍中，完成钢筋搭接绑扎工序或者套筒连接工序，最后将现浇部分水平筋绑扎完成。

在项目施工现场经常会发现，预制构件与上翻梁等相邻，例如某项目 L 型节点处钢筋绑扎遇到上翻梁（图 4.4.14）或者节点边侧有预制填充墙时，由于上翻梁纵筋的干扰，以及预制填充墙虽不出筋，但其阻碍了剪力墙伸出筋的临时避让，施工难度会加大。



图 4.4.14 L 型节点有上翻梁

由于上翻梁纵筋阻碍了箍筋下落，且纵筋较粗，刚度较大，难以临时避让。此类情况，必须在前期深化设计阶段提前介入，例如：

①针对边侧为预制填充墙的情形，可在施工前对节点箍筋形式进行优化。

若节点为非底部加强区的构造边缘构件，则可采用图 4.4.15 做法，将箍筋调整为带水平段及弯钩的两根钢筋。

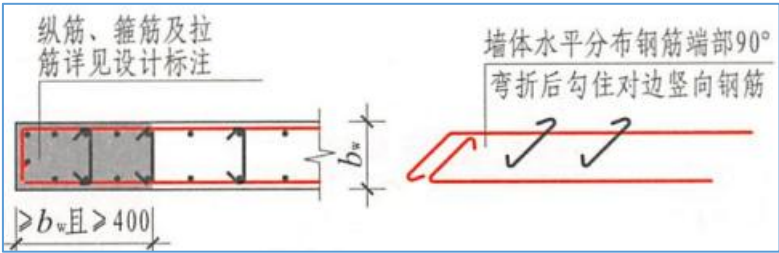


图 4.4.15 箍筋采用带水平段并带弯钩形式

②针对存在上翻梁的情形，可在施工前对节点箍筋形式进行优化或者进行深化设计提前避免。

做法一：同①情形做法。

做法二：进行深化设计提前避免。

即在浇筑上一层混凝土时预先将受影响的箍筋放置就位，避免后期上翻梁纵筋阻碍箍筋下落，提高施工效率。（图 4.4.16）

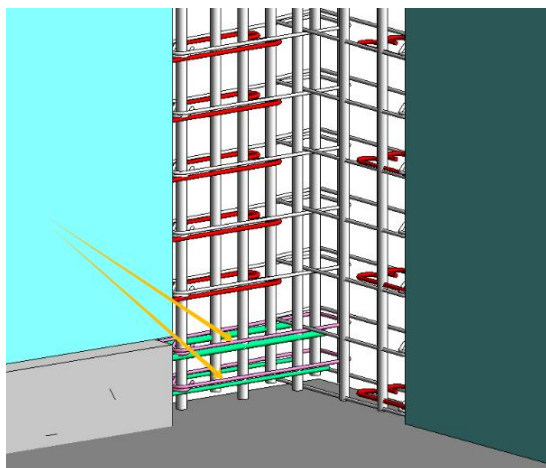


图 4.4.16 上翻梁处受影响的箍筋提前放置固定好

根据现场经验数据，相同的 L 型节点位置钢筋绑扎时间约为 30 分钟，上翻梁处节点由于需要处理底部箍筋，绑扎难度加大，往往一道底部箍筋就需要增加约 10 分钟时间，整体时间达到 50 分钟左右。通过深化设计优化之后，有效解决了上翻梁处箍筋的处理问题，后续类型节点在钢筋绑扎时耗时与常规 L 型节点无异，均为 30 分钟左右，整体施工效率大幅度提高。

当一字型节点顶部存在梁弯锚钢筋时，梁钢筋弯锚范围内的箍筋无法顺利安装。（图 4.4.17）



图 4.4.17 一字型节点顶部箍筋安装困难

针对以上情形，可进行深化设计提前避免。

即从设计端对梁钢筋进行优化，可采用钢筋锚固板代替梁弯筋，从而取消梁筋弯锚，保证箍筋可以顺利从侧向水平塞入，提高施工效率。（图 4.4.18）



图 4.4.18 梁钢筋锚固板代替弯锚

采用钢筋锚固板代替梁弯筋后，箍筋可以顺利从侧向水平塞入，有效解决了梁钢筋弯锚范围内的箍筋安装问题，节约时间约 20 分钟时间，整体施工效率大幅度提高。

（4）节点钢筋绑扎推荐做法

综合以上，当预制剪力墙外伸钢筋形式为闭口箍，特别是竖向主筋采用搭接绑扎时，无论是一字型、L 型还是 T 字型，下部存在外伸钢筋的部位，箍筋放置难度都较大，对吊装与钢筋绑扎影响很大。可采用两种方式进行优化：①将闭口箍改为开口，如此即可将外伸钢筋临时避让，减少对各工序的影响。②当所在地区必须采用闭口箍筋的情况下，可采用平断面一级接头机械连接的方式，竖向主筋高度不到剪力墙最下侧第一道外伸箍筋，吊装施工与箍筋放置均不受影响（图 4.4.19、图 4.4.20）。

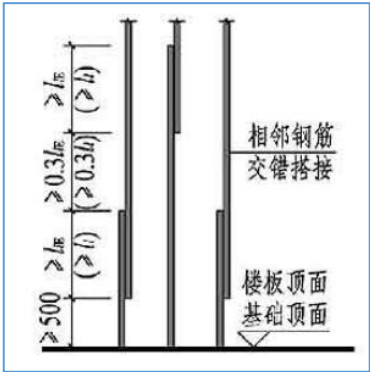


图 4.4.19 搭接连接

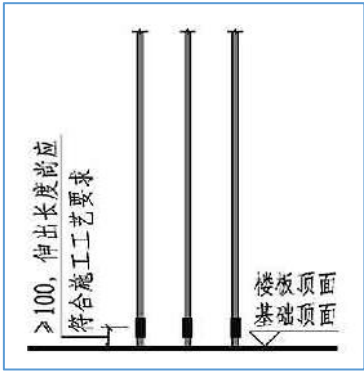


图 4.4.20 平断面一级接头机械连接

4.4.4 剪力墙节点模板支设

预制墙体之间节点模板制作较为简单，支模方式也与常规现浇结构类似，但由于节点模板仅为局部区域模板，需要在预制墙体中预留对拉螺栓孔，现场按常规加固方式加固即可。

需要注意的是，由于预制剪力墙斜撑较多（每片墙需要 2 排共 4 根斜撑），节点处的模板就位难度较大，如图 4.4.21 所示。所以建议项目在施工之前做好 BIM 深化，适当调整支撑位置，方便支模施工。

根据项目经验来看，采用铝模体系，模板、支架搭设效率最高，施工时间可以节省约 1 天左右。



图 4.4.21 剪力墙节点模板支设

4.4.5 预制剪力墙套筒灌浆

套筒灌浆连接施工质量是影响整个结构抗震性能的最关键因素。灌浆施工需考虑灌浆时间、灌浆工艺、灌浆检测方法等。灌浆操作班组人员必须经过灌浆操作培训，且灌浆的过程中需 1 名视频拍摄人员录制现场灌浆视频，记录灌浆过程，确保灌浆质量。

（1）灌浆时间

灌浆层宜为同层灌浆，并做同养试块，等灌浆料强度达到 35 Mpa 后才能进行后续有扰动施工。

（2）灌浆工艺

灌浆时从下部选择一个灌浆孔开始注浆，从上端的排浆孔以及其它灌浆孔流出浆料。排浆孔出浆后需等待 1-3 秒钟后再进行封堵，封堵时需保证一定压力，防止灌浆料回流。

有项目应用一种套筒灌浆饱满度监测器，如图 4.4.22、图 4.4.23 所示。监测端高出套筒内部空间最高点 6-7cm，只要监测端浆料灌满了，依据连通器原理，套筒内部必定是饱满的。出现漏浆或浆料自然回落时，监测端液面同时下降，工人可以第一时间发现，便于及时处理漏浆部位和补灌浆。



图 4.4.22 上海项目灌浆套筒灌浆

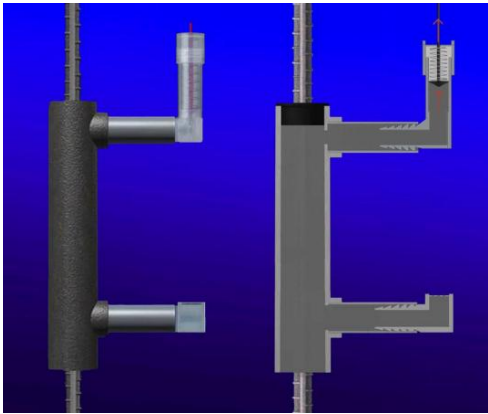


图 4.4.23 套筒灌浆饱满度监测器

较多使用常规的木塞封堵，如图 4.52 所示。即从上端的排浆孔以及其它灌浆孔流出浆料后用木塞塞住出浆孔。部分项目在出浆孔上方增设了一个高位出浆孔（图 4.53），在灌浆时待高位出浆孔出浆，则代表套筒已灌满。

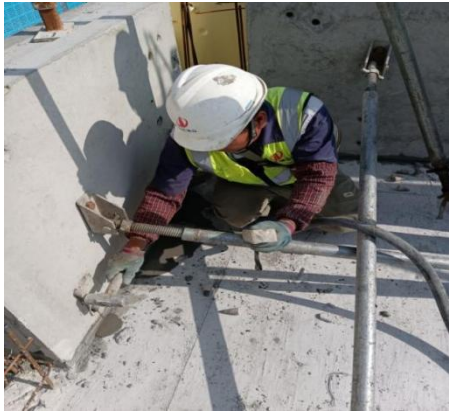


图 4.4.24 木塞封堵式套筒灌浆



图 4.4.25 套筒灌浆附加高位出浆孔

（3）灌浆检测方法

套筒灌浆质量决定了结构性能，考虑到灌浆的重要性，本文在此列举几种检测方法，供项目选用。

灌浆套筒的检验主要分为无损检验和有损检验，其中无损检测主要包括：工业 CT 法、冲击回波、预埋传感器法、钢丝拉拔法、超声波法等；有损检测法包括：钻芯法，检测灌浆料强度。

①工业 CT 法

将胶片粘贴在墙体一侧，胶片能够完全完全覆盖被测套筒，将便携式 X 探测仪放置在墙体另一侧，射线源正对同一被测套筒，调整射线源到胶片的距离与射线机焦距相同。通过胶片成像观片灯观测套筒灌浆质量。

工业 CT 法的局限性：适用于厚度不大于 200mm、套简单排或“梅花形”布置的预制剪力墙。通常还需采用局部破损法进行验证。X 射线法检测时有辐射，人员需

处在辐射安全区域(距射线机 30m 以外)。

②冲击回波法

冲击回波法是在混凝土表面通过机械冲击激发低频冲击弹性波,传播到结构内部,被缺陷表面或构件底面反射回来。冲击弹性波在结构表面、内部缺陷表面或底面边界之间来回反射产生瞬态共振,其共振频率能在振幅谱中辨别出,用于确定内部缺陷的深度和构件厚度。冲击回波方法到目前为止还不能有效识别内部缺陷。

分析测点的时程波形,对比典型时程图。当冲击弹性波的动力时程响应时间明显长于无脱空区域时,可判断脱空。根据厚度—距离图、三维厚度图、振幅图谱综合分析。

③预埋传感器法

利用振动衰减原理,检测装配式混凝土结构钢筋套筒灌浆饱满性的方法。传感器周围介质特性与其振动衰减规律直接相关,在空气、流体灌浆料、固化灌浆料三种不同介质中,振动能量衰减规律截然不同。预埋传感器法的适用范围包括:施工过程中的质量控制,监测灌浆施工过程;用于后期的节点灌浆饱满度的质量检测。

采用预埋传感器法时,对于施工过程质量控制,只要看到出浆口出浆,表明已经灌满;仪器可以监测灌浆料在凝固前的漏浆问题。后期怀疑节点灌浆质量,需要检测,必须预埋传感器。若要保证随机抽检,需要在每个出浆口预埋传感器。

④钢丝拉拔法

将专用钢丝从套筒的出浆口水平伸至套筒内靠近出浆口一侧的钢筋表面位置,就位后专用钢丝自带橡胶塞的排气孔位于正上方。检测结果的判别:取同一批测点极限拉拔荷载中 3 个最大值的平均值,该平均值的 40%记为 a ,该平均值的 60%记为 b 。如果测点数据高于 b ,判断测点对应套筒灌浆饱满;如果测点数据在 $a \sim b$ 之间,需进一步采用其他方法进行补充检测;如果测点数据低于 a 或低于 1.0kN ,则直接判断测点对应套筒灌浆不饱满。

⑤超声波法

超声检测是通过低频超声仪,测量超声纵波在结构灌浆料中的传播速度、声速度和接收信号频率等声学参数的变化判断灌浆料中的缺陷情况,如图 4.4.26 所示。

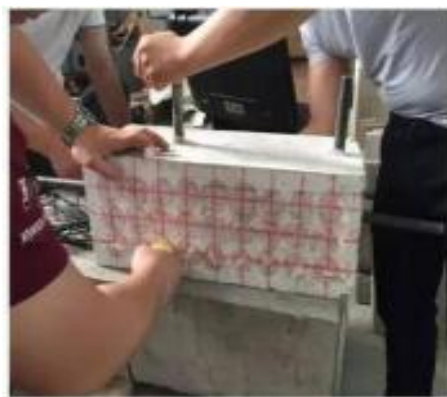


图 4.4.26 超声波检测法

⑥阵列式超声波法

可有效识别预设孔洞缺陷，并能形成 3D 图像，使检测结果可以高效、直观展示，如图 4.4.27 所示。

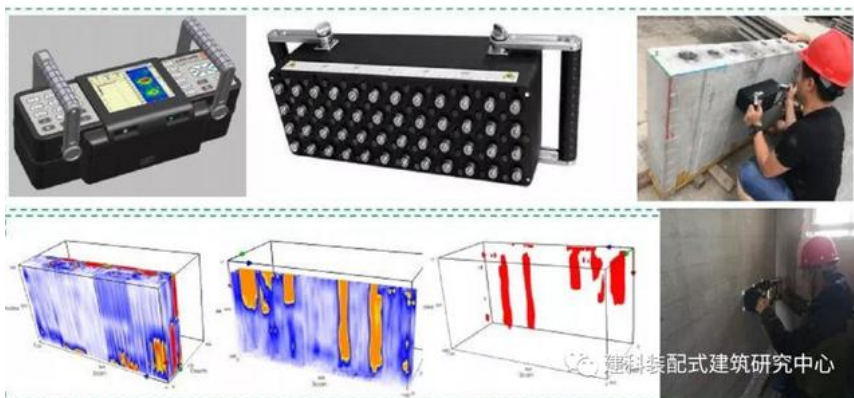


图 4.4.27 阵列式超声波检测法

⑦钻芯法

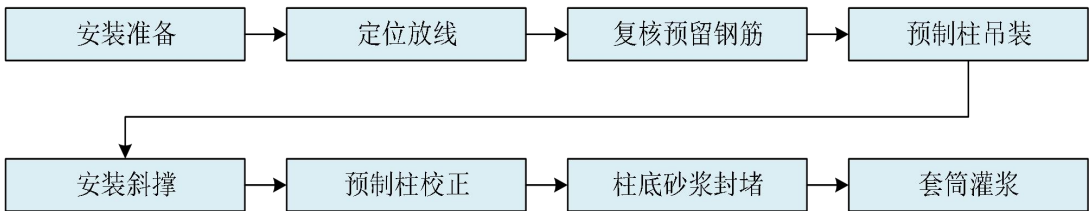
利用专用钻机在有代表性的灌浆料结构上钻取芯样，做必要的整理加工后进行抗压强度测定。通过芯样能观察到局部灌浆料的内部情况，例如骨料的分布、裂缝的大小等（图 4.4.28）。



图 4.4.28 钻芯检测法

4.5 预制柱施工

预制柱施工工艺流程如下：



其中主要施工工艺包括：①定位放线，②预制柱吊装（含支撑调节、柱底封边等），③套筒灌浆连接等工序。

4.5.1 定位放线

装配式建筑需要布设诸如柱边线、洞口线、30 线（模板控制线）、50 线（标高控制线）、建筑 1m 线等传统控制线外，尚应增设控制柱体标高的抄平点。

4.5.2 预制柱吊装

预制柱吊装及支撑调节主要包含前期准备、吊装、校准、固定斜撑、柱底封边等工序。

（1）前期准备

主要包括标高垫块放置、复核预留插筋、斜支撑材料准备等。柱吊装就位之前要将混凝土表面和钢筋表面清理干净使用自制钢筋定位控制钢套板对板面预留竖向钢筋进行复核，检查预留钢筋位置、垂直度、钢筋预留长度是否准确，对不符合要求的钢筋进行矫正，对偏位的钢筋及时进行调整。（图 4.5.1）



图 4.5.1 预留柱筋复核调整

（2）吊装

起吊柱采用专用吊运钢板和吊具，用卸扣、螺旋吊点将吊具、钢丝绳、柱上端的预埋吊点连接紧固。起吊过程中，柱不得与其他构件发生碰撞。

用塔吊缓缓将柱吊起，待柱的底边升至距地面 30cm 时略作停顿，再次检查吊

挂是否牢固，若有问题及时处理。确认无误后，继续提升使之慢慢靠近安装作业面。在距作业层上方 60cm 左右略作停顿，施工人员手扶柱子，控制柱下落方向，待到距预埋钢筋顶部 2cm 处，柱两侧挂线坠对准地面上的控制线，预制柱底部套筒位置与地面预埋钢筋位置对准后，将柱缓缓下降，使之平稳就位。（图 4.5.2、图 4.5.3）

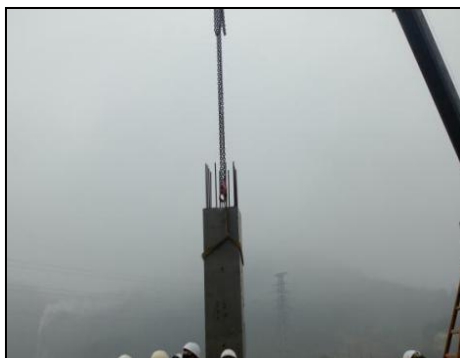


图 4.5.2 预制柱吊装



图 4.5.3 预制柱就位

（3）校准、固定斜撑

①安装时由专人负责柱下口定位、对线，并用 2m 靠尺找直。安装第一层柱时，应特别注意安装精度，使之成为以上各层的基准。

②采用可调节斜支撑螺杆将柱进行固定，每个预制柱每两个方向的临时支撑不宜少于 2 道，其支撑点距离柱底的距离不宜小于柱高的 $\frac{2}{3}$ ，且不应小于柱高的 $\frac{1}{2}$ 。

（图 4.5.4）

③采用支撑螺杆上的可调螺杆进行精度调节，垂直方向、水平方向、标高均要校正达到规范规定及设计要求。一层柱下有柱墩时，斜支撑安装位较高，无法利用斜支撑调节柱子位置，可以制作专用调节器来调节柱的准确位置。调节器的使用方法：将调节器勾在吊装柱超出下层柱的主筋上，利用扳手紧固螺栓来调整调节板的位置，从而支顶预制柱直到精确就位为止。

④安装柱的临时调节杆、支撑杆应在与之相连接的现浇混凝土达到设计强度要求后才可拆除。



图 4.5.4 预制柱校准、固定斜撑

（4）预制柱底部砂浆封边

预制柱校正完成且临时支撑安装完毕后，进行柱底接缝砂浆封堵，为套筒灌浆做准备。（图 4.5.5）



图 4.5.5 柱底砂浆封边

4.5.3 预制柱套筒灌浆

套筒灌浆连接施工质量是影响整个结构抗震性能的最关键因素。灌浆施工需考虑灌浆时间、灌浆工艺、灌浆检测方法等。灌浆操作班组人员必须经过灌浆操作培训，且灌浆的过程中需 1 名视频拍摄人员录制现场灌浆视频，记录灌浆过程，确保灌浆质量。

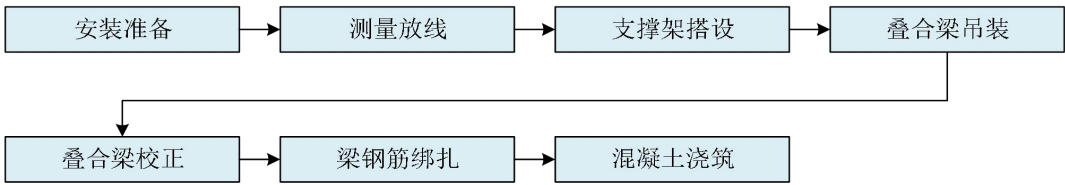
灌浆时从下部选择一个灌浆孔开始注浆，从上端的排浆孔以及其它灌浆孔流出浆料。排浆孔出浆后需等待 1-3 秒钟后再进行封堵，封堵时需保证一定压力，防止灌浆料回流。（图 4.5.6）



图 4.5.6 预制柱套筒灌浆

4.6 叠合梁施工

叠合梁施工工艺流程如下：



其中主要施工工艺包括：支撑架搭设、叠合梁吊装、连接节点施工等工序。

4.6.1 叠合梁支撑

测量放线时放出梁边线位置，并标注梁尺寸，再按照支模架深化设计施工图放出梁两侧立杆支撑点位置（图 4.6.1）。叠合梁支撑体系可采用可调钢支撑搭设，并在可调钢支撑上铺设工字钢，根据叠合梁的标高线，调节钢支撑顶端高度，以满足叠合梁施工要求。（图 4.6.2）



图 4.6.1 测量放线

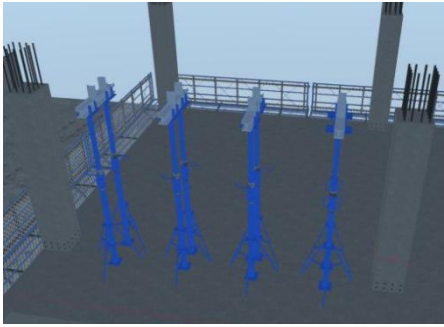


图 4.6.2 支撑搭设

4.6.2 叠合梁吊装

（1）叠合梁起吊

支撑体系搭设完毕后，将叠合梁挂钩起吊至操作面，距离墙顶 500mm 时，停止降落，操作人员稳住叠合梁，参照下层板面上的控制线，使用铅垂定位逐步引导叠合梁缓慢降落至支撑上方，待构件稳定后，方可进行摘勾和校正。（图 4.6.3）



图 4.6.3 叠合梁吊装

（2）叠合梁就位

由于叠合梁为人工手扶的落位方式，故在叠合梁落位的过程当中，需要操作人员严格按照定位进行落位。吊装过程中需要项目管理人员和劳务管理人员旁站监督。将叠合梁缓慢落在已安装好的底部支撑上，叠合梁端应锚入柱内 15mm。（图 4.6.4）



图 4.6.4 叠合梁吊装就位

（3）叠合梁复核

吊装完毕后，需要双方管理人员共同检查定位是否与定位线偏差，采用铅垂和靠尺进行检测，如超出质量控制要求，责令操作人员对叠合梁进行调整，如误差较小，采用撬棍完成调整，若误差较大，则需要重新起吊落位，直到通过检验为止。（图 4.6.5）



图 4.6.5 叠合梁吊装完成

4.6.3 叠合梁节点施工

（1）梁柱（墙）端节点施工

预制柱（或预制剪力墙）作为叠合梁的支座，叠合梁搁置在预制柱（或预制剪力墙）上，叠合梁纵向受力底筋在节点处采用直锚、弯锚或锚固板锚固，相关锚固长度均应符合设计规范要求。梁柱交接处柱子箍筋需要加密，加密高度等同梁高度。抗剪钢筋锚固长度需要满足设计要求，梁面筋与叠合梁预留钢筋绑扎牢靠。绑扎钢筋要根据钢筋位置逐层绑扎。（图 4.6.6）

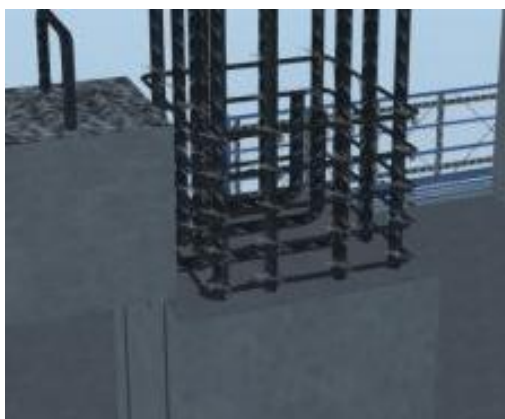


图 4.6.6 梁柱（墙）端节点施工

（2）梁柱（墙）中节点施工

叠合梁纵向受力底筋在中间节点宜贯通或采用对接连接，面筋采用贯通钢筋连接预制柱（或预制剪力墙）两端的叠合梁面层。（图 4.6.7）



图 4.6.7 梁柱（墙）中节点施工

框架结构中，梁柱节点是主体结构的重要组成部分。它承受着由梁端和柱端传递来的轴力、弯矩和剪力，受力状态比较复杂。因此，节点要求具有足够的强度，以抵抗相邻构件承受的各种荷载，保证整个结构体系坚固和安全可靠。然而在实际施工中，由于梁柱节点位置钢筋分布密集，钢筋种类较多，导致现场存在节点不放箍筋或者箍筋放置不规范的现象，给工程留下安全隐患。

当预制梁存在抗扭腰筋时，梁柱节点位置的箍筋绑扎最为复杂。因此，对该情况下的箍筋绑扎通过深化设计进行优化，可以大幅度提高施工效率。首先，对预制梁纵向抗扭腰筋的锚固形式进行优化：采用预制梁预埋机械套筒，现场后拧锚固钢筋段的节点做法。同时，确定合理的箍筋绑扎施工流程，具体操作步骤如下：①预制柱、预制梁吊装；②对梁底筋与抗扭腰筋间的箍筋进行绑扎；③拧入预制梁的抗扭锚固钢筋；④抗扭腰筋上部柱箍筋的绑扎。现场箍筋绑扎后如图 4.6.8 所示。

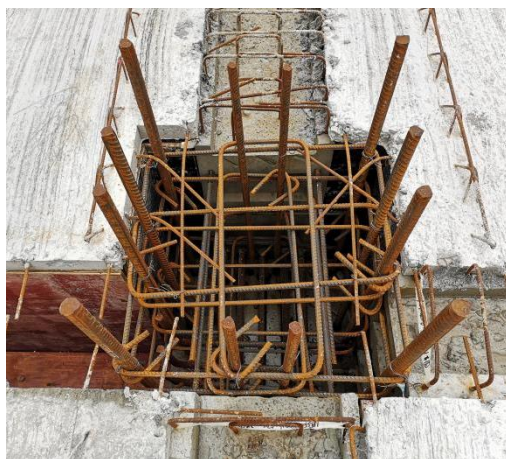


图 4.6.8 梁柱节点箍筋绑扎图

(3) 主次梁端节点施工

叠合主梁作为叠合次梁的支座，叠合梁预留钢筋锚入叠合主梁，锚固长度均应符合设计规范要求。（图 4.6.9）



图 4.6.9 主次梁端节点施工

针对上述主次梁节点，采用预制主梁抗扭腰筋不断开，预制次梁预埋机械连接套筒，现场后拧锚固钢筋的节点做法。采用该设计节点时，预制次梁机械套筒预埋的位置应与预制主梁抗扭腰筋的位置错开，否则现场安装时容易碰撞。现场具体施工流程如下：先进行预制主梁、预制次梁的吊装，随后在机械套筒中拧入预制次梁的锚固钢筋，最后完成预制主次梁上部面筋的绑扎。

(4) 主次梁中节点施工

叠合次梁分别搁置在叠合主梁上，在叠合次梁键槽处底部采用搭接钢筋连接叠合次梁底筋，面筋采用贯通钢筋连接叠合主次梁。（图 4.6.10）

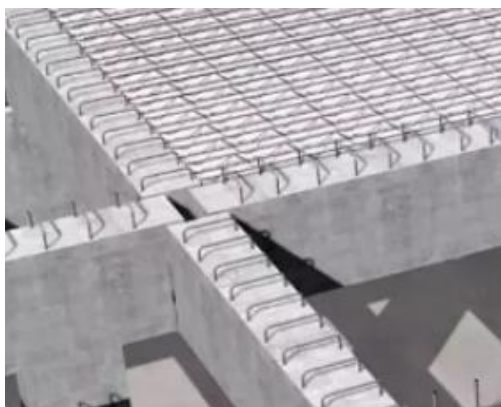


图 4.6.10 主次梁中节点施工

在装配整体式框架结构项目中，预制主次梁一般设计为封闭箍筋，现场在进行预制主次梁面筋绑扎时，面筋需要穿入预制梁的箍筋中，工人施工比较困难。同时，当预制次梁面筋数量较多时，往往存在着面筋放置空间不够的问题。封闭箍筋绑扎如图 4.6.11 所示。



图 4.6.11 现场封闭箍筋绑扎图

针对预制梁面筋穿筋困难的问题，可以对预制梁的箍筋设计形式进行优化：①预制主梁：当抗震等级为一、二级时，两侧加密区采用封闭箍筋^[3]，中间采用组合封闭箍筋；当抗震等级为三、四级时，通长采用组合封闭箍筋。②预制次梁：全部采用组合封闭箍筋。针对预制次梁叠合层高度无法满足面筋放置的问题，对其顶部形式进行优化：预制次梁顶部增设凹槽，以满足面筋的放置高度，如图 4.6.12 所示。



图 4.6.12 预制次梁顶部预留凹槽

框架结构中，预制梁柱节点为现浇节点，需要现场支模浇筑混凝土，该节点常用的支模方式有以下三种。

（1）预制梁、预制柱均预留拉模孔

现场施工时，在预制梁端部以及预制柱顶部使用螺杆对模板进行固定。此时，预制梁端部以及预制柱顶部均需预留拉模孔，预留原则如下：拉模孔中心距梁外侧一般为 150mm，上下各设置一个；预制柱四面均有拉模孔，左右各设置一个，相对平面拉模孔贯通，相邻平面拉模孔上下错开 30mm，避免螺杆安装时发生碰撞。

（2）仅预制柱预留拉模孔

梁柱节点模板支设完成后，在预制梁柱节点现浇部位以及预制柱顶部使用螺杆，现场施工如图 4.6.13 所示。此时，由于上部螺杆放置于现浇位置，因此，仅预制柱顶部需预留拉模孔，其预留原则与方法（1）一致。



图 4.6.13 预制梁柱节点现场支模图

（3）预制构件中无需预留拉模孔

梁柱节点处，除使用螺杆外，还可配合方柱扣加固件对模板进行固定。现场支模时：预制梁柱节点现浇部位，和方法（2）相同，仍使用螺杆进行模板固定；在

预制柱上部，使用方柱加固件对模板进行固定，现场施工如图 4.6.14 所示。采用此支模方式，上部螺杆仍放置于现浇位置，因此，预制梁端无需预留拉模孔；同时，方柱加固件是固定方柱模板的专用定制型卡箍，因此，预制柱顶部也无需预留拉模孔。

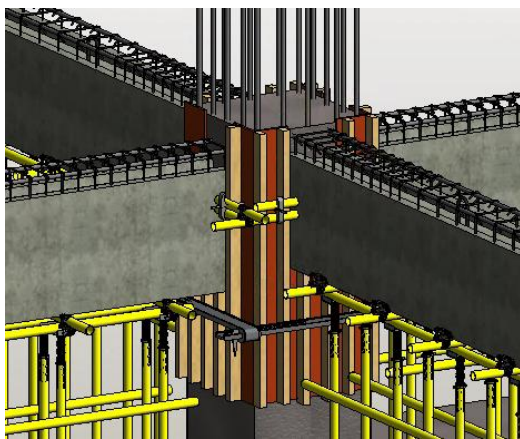


图 4.6.14 方柱扣加固件支模图

现场可根据预制梁端部以及预制柱顶部是否预留拉模孔，来选择不同的支模方式，提高装配整体式框架结构的施工效率和施工质量。

4.7 预制飘窗施工

前文 2.10.3 章节介绍了常见的两大类 5 种飘窗，本节将主要介绍封堵墙预制类（仅外墙预制）飘窗的施工过程，对预制飘窗构件的施工工艺进行总结。

预制飘窗施工前，梁上翻段处钢筋已经绑扎固定完成。预制飘窗施工流程：

①坐浆封仓：由于预制飘窗位置底部抹浆比较困难，工人预先在预制飘窗底部放置坐浆料，完成构件底部的封仓。

②构件吊装与校正：预制飘窗吊装就位后，通过斜撑对预制构件进行临时固定，之后工人使用撬棍和斜撑对预制构件进行校准定位。

③套筒灌浆：搅拌好的灌浆料通过灌浆机枪头经注浆孔流入预制构件腔体内，当浆料从其他灌浆孔出浆孔流出后应及时进行封堵，直至所有灌浆孔出浆孔封堵之后，完成此预制构件的灌浆。

④飘窗连接处暗柱钢筋绑扎：套箍筋，把箍筋全部套在竖向钢筋上；采用电渣压力焊，焊接竖向钢筋；箍筋上提，绑扎箍筋，调整预制构件的出筋；绑扎拉结钢筋。

⑤进行梁上翻段处侧模的支设。

⑥飘窗上挑板及梁非上翻段底模支设：首先进行支撑架立杆的搭设，之后在立杆上铺设飘窗上挑板及梁非上翻段底部模板；

⑦上挑板及梁非上翻段处钢筋绑扎：先进行上挑板分布筋的绑扎，再依次进行梁底筋、箍筋和腰筋的绑扎：梁底筋穿过上挑板上部伸出钢筋，放置于上挑板下部伸出钢筋上侧；随后将梁箍筋穿过梁底筋，并用钢丝将箍筋与底筋进行绑扎固定；最后将梁腰筋穿入箍筋，用钢丝与梁箍筋进行绑扎。

⑧安装预制飘窗侧面接驳螺栓。

⑨完成飘窗连接处暗柱模板及梁非上翻段处侧模的支设。

⑩现浇上挑板、现浇梁（包含本层层高上翻段与非上翻段）、现浇暗柱随本层结构一起浇筑混凝土。

⑪将现场或构件厂加工的预制下挑板搁置于梁顶部（混凝土翻边）及预制飘窗留设的牛腿之上，完成预制飘窗的施工。

4.8 检测与验收

一、构件进场验收

（1）验收标准

预制构件成品质量验收的执行标准为 GB 50204-2015《混凝土结构工程施工质量验收规范》，质量检验内容主要如下：

①观感质量：通过目测检查构件外观是否存在缺陷、构件标识是否清晰。

②外形尺寸：测量预制构件规格尺寸是否符合设计要求，型号是否与运输票据一致。

③混凝土强度：构件出厂时需要附带合格证及强度报告单，通过同条件养护试块以及实体回弹检测确定预制构件混凝土强度是否达到要求。当构件强度未达到 28d 混凝土评定标准时，可提供临时合格证，待达到 28d 时再行交付正式合格证。

④隐蔽验收：构件出厂时还需要提供隐蔽验收记录，内容包括对预制构件钢筋、预埋套筒、预埋件、预留插筋、连接套管、预埋管线等的材料质量、规格、数量和位置的验收等。

（2）验收内容

构件入场验收必须由总包、构件厂、监理部及工程部等相关部门共同参加，且第一批构件进场验收必须由五方验收并留有相关文件（建设单位、监理单位、总承包单位、设计单位、构件生产厂家）。进场验收程序如图 4.8.1 所示。

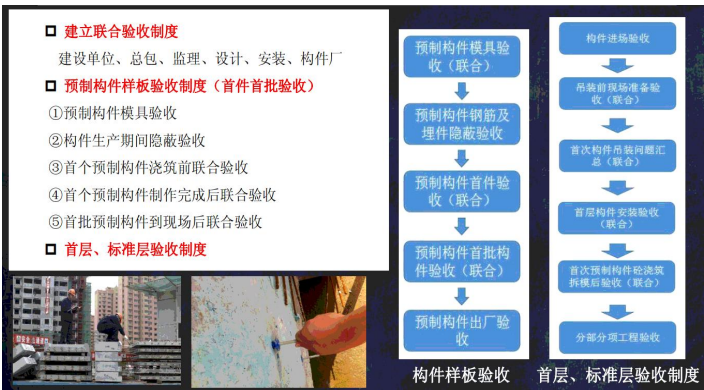


图 4.8.1 进场验收程序

①进场时需要提供构件出厂前的检查验收表和驻厂监理签认的构件生产过程中检查验收表和相关复试报告，构件的质量证明文件、合格证等相关资料，如图 4.8.2 所示。



图 4.8.2 验收资料示意

②预制构件进厂前需对构件外形尺寸进行抽样检查；预制构件应在明显部位标明生产单位、构件型号、生产日期和质量验收标志。构件上的预埋件，插筋和预留孔洞的规格、位置和数量应符合标准图或设计的要求；

③钢筋套筒、钢筋、混凝土、装饰材料、保温材料及保温拉结件等的质量均根据现行有关标准进行检查试验，出具实验报告并存档；

④预制构件的外观质量不宜有一般缺陷且不应有严重缺陷。对已出现的一般外观缺陷构件，应按技术处理方案进行处理，并重新查验收；对已经出现的严重缺陷，应经原设计单位认可后，再按技术处理方案进行处理，并重新检查验收；

⑤预制构件不应有影响结构性能和安装、使用功能的尺寸偏差。对超过尺寸允许偏差且不影响结构性能和安装、使用功能的构件，应经原设计单位认可，按技术处理方案进行处理，并重新检查验收；

⑥预制构件上的预埋件、预留插筋、预埋管线等的材料质量、规格和数量以及

预留孔、洞的数量符合设计要求，预制叠合板类构件进场需要做相应的淋水试验，确保叠合板未有裂缝；

⑦预制结构构件采用钢筋套筒灌浆连接时，应在构件生产前进行钢筋套筒灌浆连接接头的抗拉强度试验，现场需要在安装前完成钢筋套筒相关实验报审；

⑧构件进场前总包与构件生产厂家需要签订施工安全协议，明确职责。

⑨预制构件尺寸允许偏差及检验方法如下表 4.8.1 所示。

表 4.8.1 预制构件尺寸允许偏差及检验方法

项目			允许偏差 (mm)	检验方法
长度	梁、板、柱、桁架	<12m	±5	尺量检查
		≥12m 且 <18m	±10	
		≥18m	±20	
	墙板		±4	
宽度、高度	梁、板、柱、桁架截面尺寸		±5	钢尺量一段及中部，取其中偏差绝对值较大处
	墙板的高度、厚度		±3	
表面平整度	梁、板、柱、墙板内表面		5	2m 靠尺和塞尺检查
			3	
侧向弯曲	板、梁、柱		L/750 且 ≤20	拉线、钢尺量最大侧向弯曲处
	墙板、桁架		L/1000 且 ≤20	
翘曲	板		L/750	调平尺在两端两侧
	墙板		L/1000	
对角线	板		10	钢尺量两个对角线
	墙板、门窗口		5	
预留孔	中心线位置		5	尺寸检查
	孔尺寸		±5	
预留洞	中心线位置		10	尺寸检查
	洞口尺寸、深度		±10	
门窗洞	中心线位置		5	尺寸检查
	宽度、高度		±3	
预埋件	预埋件锚板中心线位置		5	尺寸检查
	预埋件锚板与混凝土面平面高差		0, -5	
	预埋螺栓中心线位置		2	
	预埋螺栓外露长度		+10, -5	
	预埋套筒、螺母中心线位置		2	

	预埋套筒、螺母与混凝土面平面高差	0, -5	
	线盒、吊环水平偏差	20	
	线盒、吊环垂直偏差	0, -10	
预留插筋	中心线位置	3	尺寸检查
	外露长度	+5, -5	
键槽	中心线位置	5	尺寸检查
	长度、宽度、深度	±5	

二、过程检验试验

（1）灌浆套筒试验

①灌浆套筒接头型式检验：灌浆套筒和灌浆料为同一厂家时，提供有效时间内合格的灌浆套筒接头型式检验报告；且应进行接头的型式检验，确定灌浆料和套筒的适配性。型式检验应在检验单位的监督下进行制作和送检，其中每个厂家的每一个规格均需进行检测。每种灌浆套筒需要制作对中接头 9 个，其中 3 个做单向拉伸试验、3 个做高应力反复拉压试验、3 个做大变形反复拉压试验； 每种套筒还需要制作偏置接头试件 3 个，做单向拉伸试验；钢筋试件 3 个，做单向拉伸试验，一般每种规格共计需要制作 15 组接头。检验结果应符合《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ355-2015 的标准要求。

②灌浆料进场复试

灌浆料进场时，以 15d 内生产的同配方、同批号的灌浆料每 50t 作为一个检验批，不足 50t 也应作为一个检验批，随机抽取不低于 30kg 灌浆料。试验项目为 30min 流动度、泌水率、抗压强度（3d、28d）、竖向膨胀率（3h、24h 与 3h 差值）。此检验应在预制构件生产前完成第一批；对于用量不超过 50t 的工程，仅检验一次即可。

③灌浆接头工艺检验

灌浆施工前，应按照《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ355-2015 中 7.0.5 的要求，对不同钢筋生产企业的进场钢筋进行接头工艺检验。工艺检验由现场灌浆施工单位（队伍）在施工现场，模拟施工条件进行灌浆制作。每种规格钢筋应制作 3 个对中套筒灌浆连接接头，并至少留置一组 40mm×40mm×160mm 灌浆料抗压强度试件。接头试件和灌浆料试件需在标准养护条件下养护 28d 后进行工艺检验，工艺检验的结果应符合标准要求。

④灌浆套筒抗拉强度检验

同一规格、同一类型、同一批号的灌浆套筒不超过 1000 个为一批，每批随机抽取 3 个灌浆套筒，采用与之匹配的灌浆料，由现场灌浆施工单位（队伍）在施工现场制作对中连接接头试件，并进行抗拉强度检验，检验结果均应符合现行行业标准《钢筋套筒灌浆连接应用技术规程》JGJ355-2015 的有关规定。

⑤灌浆料抗压强度试块的检验：

每一层均需留置至少 3 组 $40\text{mm}\times 40\text{mm}\times 160\text{mm}$ 灌浆料抗压强度试件，用钢制试模制作，由进行过培训的专人进行制作和记录，确保试件的质量符合要求，保证灌浆料的抗压强度满足标准要求，需要送往第三方检测中心进行 28d 抗压强度试验。

（2）构件生产过程质量检验

①按有关规定的要求，设立专项试验室。试验室检测设备在检定有效期内且具备数据自动采集功能。

②按要求将水泥、钢筋、混凝土标养试块、拉接件抗拔强度等取样数量的 30% 且各不少于 3 组，委托具有见证资质的检测机构进行见证检测；保存相关检测资料。

③加强预制构件制作过程质量管理，向加工厂派驻监理工程师，对构件生产过程进行质量监督。驻厂监理将参与对构件厂隐蔽工程的质量验收工作，确保加工质量满足设计和规范要求。

（3）构件成品质量检验

①预制混凝土构件生产的同类型首个预制混凝土构件，建设单位应组织工程总承包、监理、预制混凝土构件生产单位进行验收，合格后方可进行批量生产。

②委托有资质检测单位对预制构件性能进行见证检验，包括预制楼梯结构性能检验，检验取样数量为同一项目的预制构件至少各随机抽取 1 个，检验结果需符合设计要求。

③每一件构件出厂均需出具出厂合格证、出厂强度报告、隐蔽资料，提交隐蔽资料时附带监理报审表。

三、构件完工验收

验收人员由总包质量负责人牵头，参与验收人员包括总包单位施工员、质检员、总工程师、监理工程师。构件完工验收内容如下：

（1）模板与支撑：预制构件安装临时固定支撑应稳固可靠，应符合设计及相关技术标准规定。

（2）钢筋：预制构件采用直螺纹钢筋灌浆套筒连接时，钢筋的直螺纹连接应

符合现行行业标准 JGJ 107-2016《钢筋机械连接技术规程》的规定，钢筋套筒灌浆接头应符合设计要求及有关标注规定。

（3）混凝土：装配中结构安装连接节点和连接接缝部位的后浇筑混凝土强度应符合设计要求；装配中结构后浇混凝土的外观质量不应有严重缺陷，对已经出现的严重缺陷，应由施工单位提供出技术处理方案，并经监理（建设）单位认可后进行处理。对经处理的部位，应重新检查验收。

4.9 主要施工设备与机具

表 4.9.1 装配式建筑主要施工机具（工厂生产用）

序号	名称	功能	照片
1	全自动数控钢筋桁架机	全自动数控方式生产钢筋桁架，是一种集放线、矫直、弯曲成型、焊接、定尺切断及成品数控输送于一体的自动化生产线设备。	
2	叠合板底座支架	用于 PC 板临时堆放、运输过程等工况下的受力支座，叉车倒运至运输车时作为受力支撑架。	
3	吊运平衡架	将预制板吊离模台堆放时，改变吊绳角度的刚性支架。它的核心功能是平衡重力，使得操作省力、简单，能够大大提高工作效率。	
4	预制墙堆放架 1	预制墙体运输过程的靠放支架，小角度朝内倾斜。	







序号	名称	功能	照片
5	预制墙堆放架 2	预制墙体运输过程的靠放支架，小角度朝内倾斜；支架中间可插放一片预制墙体。	

表 4.9.2 装配式建筑主要施工机具（现场施工用）

序号	名称	功能	照片
1	吊具	预制构件吊起、安装用吊具。	
2	钢丝绳	预制构件吊装用钢丝绳。	
3	独立三脚架支撑	叠合板底部支撑用三角架。	
4	细钢管	叠合板胡子筋弯曲和调直。	
5	撬棍	叠合板安装就位及撬动。	

序号	名称	功能	照片
6	钢筋调直工具	装配式竖向构件钢筋调直。	
7	电镐	结构施工缝凿毛。	
8	运输用临时斜支撑杆	装配式竖向构件运输用临时支撑，防止运输过程中构件产生开裂风险。	
9	标高垫片	装配式竖向构件标高定位。	
10	反光镜	查看装配式竖向构件钢筋与套筒位置。	
11	支撑杆螺栓拧紧工具	装配式竖向构件临时支撑杆螺栓快速拧紧。	
12	临时支撑杆	装配式竖向构件临时定位，防倾覆。	

序号	名称	功能	照片
13	靠尺（2m）	构件垂直度测量及校正。	
14	水平仪	装配式竖向、水平构件标高控制。	
15	爪式千斤顶（顶部 10 吨、底部 5 吨）	装配式竖向构件顶起、标高定位。	
16	注浆机	用于装配式竖向构件钢筋连接套筒注浆。这种设备通过空气压缩机提供压力，将灌浆料压入钢筋套筒内，确保灌浆料的充分填充和固化。	

4.10 智能化现场施工

（1）智能施工管理

装配式项目施工现场涉及的参与方众多、管理要素复杂，各方交互的信息量巨大传统现场管理模式已无法满足现代施工企业管理的要求，采用信息化数字化手段辅助现场管理成为必然。现场管理智能软件，是指依托物联网、BIM、大数据、AI等多技术的集成，对施工现场“人、机、料、环、法”等因素进行智能化管理的支撑系统。它可以提供实时的数据采集，自动进行风险识别，促成信息共享和多方协同，帮助管理人员更好地监督和管控现场施工，助力项目生产提效、成本节约、风险可控。

①生产管理

进度计划在线编制与拆解。系统内置房建、市政、铁路等计划模板库，可规划进度计划在线编制，企业积累计划模板数据库。同时，系统能对计划进行拆解，拆

分为总进度计划、月进度计划、周进度计划甚至到每天，并根据项目实际情况进行多级联动。

②劳务管理

全面用工记录，全流程实时动态监控，保障项目良性用工。系统打通全国各地政府平台，助力建立劳务数据库，规范劳务用工管理。同时，系统提供劳务分包分供智能评价为项目履约保驾护航。如图 4.10.1 所示。



图 4.10.1 劳务管理（图源网络，仅示意）

③安全管理

风险自动分级管控。系统内置风险评估方法计算器，选择风险清单后系统可自动评估,同时支持项目进行修改，依托内置的数据对风险进行分级管控，实现风险告知。如图 4.10.2 所示。



图 4.10.2 安全管理（图源网络，仅示意）

④物料管理

物料管控追踪。采购环节通过移动端 (APP) 提升效率，精准采集数据。耗用环节基于部位提量，核算并管控应耗、实耗。二维码为载体，实现物资数据全链条流转、追溯。

⑤大型设备管理

系统对塔式起重机、架桥机、门式起重机等入场的大型机械设备进行基本信息登记管理并形成台账，通过智能物联和安全检查，实时显示运行状态、安全操作等多维度的监测数据，辅助项目管理人员对大型机械设备进行过程维保记录和运行状况进行监管。如图 4.10.3 所示。



图 4.10.3 大型设备管理（图源网络，仅示意）

⑥质量管理

质量巡检，问题自动推送。现场质量员在例行检查过程中，通过手机直接拍照相关质量问题，填写完问题内容、检查区域、责任人、整改期限、罚款金额等信息后，系统自动推送给相关整改人。整改人完成隐患整改，图片等整改证明由系统自动推送给检查人进行复查，复查合格拍照留存至系统，工作闭合。

⑦绿色施工管理

环境实时监测与预判。系统与环境监测设备相连通，实时接收环境数据，并将数据建模，以图表等形式可视化展示，实现实时监控与趋势预判，辅助管理人员对恶劣天气提前制定应急措施，避免安全事故发生。

（2）智能施工装备

装配式混凝土结构工程建造任务的复杂化和专业化，催生出各种智能装备系统，随着一代信息技术和智能硬件的发展，加快了建筑工业化的步伐。

①混凝土预制件专用运输装备，适用于建筑用预制墙板运输的特殊工况。以三一筑工的混凝土预制件专用运输装备为例，其运输效率比普通平板车提升一倍以上，其特点为：

1、运输能力强。装载空间大(9.5m×3.75m×1.5m)，可运输最高达 3.75m 的预

制件最长可达 12m 的预制件。

2、装卸速度快。采用定制托盘装卸预制件，单件装卸不超过 5min;标配 4 个可前后移动的液压夹具，可以快速固定不同尺寸的预制件。

3、多种模式、自动切换。车辆具备装卸、行驶和越野三种模式，自动切换，简单易用采用电液油气悬架系统，满足车辆任意载荷下减震需求，大幅度降低运输颠簸；三桥均匀承载，延长轮胎寿命；空载可提起第三桥，降低能耗和损。

②智能放线装备,一般采用执行 BIM 模型(驱动)一平板电脑(命令)一全站仪(指挥)一放线工作人员(执行)一标线的智能放线过程。如图 4.10.4 所示。



图 4.10.4 智能放线装备

③混凝土泵送装备,目前可以实现单机智能,并通过数字化平台对设备的工况、位置、运行状态进行监控,油耗情况进行分析,提供一定的预测性维护功能。以三一重工 S 系列泵车为例,该系列具有“臂架稳、打得快、不挑地、高智能、高可靠、油耗低”等鲜明优势。

④工程质量检测装备主要有实测实量装备和密实度检测装备两类。

1、实测实量装备。采用先进的 AI 测量算法处理技术,通过模拟人工测量规则,使用虚拟靠尺、角尺等完成实测实量作业,具有高收益、高精度、高效率 and 智能化的特点,自动化生成报表,测量结果客观准确。

2、密实度检测装备。混凝土密实度检测装备检测的原理主要基于超声波脉冲回波方法计算缺陷位置的深度,并采用合成孔径聚焦的信号处理技术成像,检测浇筑的混凝土是否存在不密实、空洞、蜂窝等问题。该技术具有无破坏性,检测快速精准等特点。

⑤智能安全帽作为一类新兴形态的可穿戴物联网智能装备,近几年在工程行业中被较多采用,很多项目作为智慧应用亮点进行推介。如图 4.10.5 所示。



图 4.10.5 智能安全帽

1、现场管理。管理端实时查看作业人员位置及分布情况，实时调度。监控作业实施细节，发现问题，实时纠正。统计作业面各环节进度、报警数据，及时策划。

2、轨迹回放。具备位置信息采集处理功能，形成活动轨迹数据上传。管理端支持轨迹查看，精确到某一天某个时间段的活动轨迹。

3、及时报警。具备脱帽报警功能；温度过高预警，自动关机保护人员设备安全，并设有 SOS 紧急呼叫按钮，呼叫后台管理人员视频协助；跌落、碰撞时自动报警，呼叫后台管理人员协助；同时管理端可对报警信息进行及时处理、分类管理。

⑥建筑机器人是一种用于建造建筑的自动化机器设备，能够替代人类进行工程建设，提高施工效率。建筑机器人的应用领域广泛，包括地基与基础施工、主体结构施工、建筑装饰装修施工、屋面工程施工、室外工程施工等。它们可以根据实际项目建筑空间及工艺要求，通过模拟仿真来进行施工动作的推演，优化施工方案。建筑机器人的应用还涉及到数字化施工管理，通过人机协同，实现有序高效的施工活动。具体来说，建筑机器人在工地上的应用包括喷涂机器人、地面打磨机器人、地坪漆涂敷机器人、地砖铺贴机器人、地库抹光机器人、智能施工升降梯等。如图 4.10.6 所示。





图 4.10.6 部分常用建筑机器人

第五章 装配式结构施工措施

装配式结构与传统的现浇结构施工是不同的两种结构形式,装配式建筑的预制构件在构件厂生产好再运输至施工现场安装,因此装配式结构项目需要考虑更多的施工因素,如塔式起重机的选型、外脚手架的选型、施工电梯的选型等,因为上述施工措施都会与装配式结构主体在施工期间有连接固定。塔式起重机、施工电梯扶墙件在布设时,一般布置在后浇部分或现浇部位,避免在预制构件上附着。外脚手架由于类型种类较多,且附着点多,这些固定连接件有的在现场施工时预留,有的在工厂生产构件时就需要提前预埋,所以前期的策划就显得尤为重要。本章以外脚手架为例,重点对外架与装配式预制构件的连接构造进行研究分析。

对于传统的现浇结构,外架方案选型需要综合考虑安全、环境、成本、工期以及技术可行性等因素。装配式建筑施工外架的选型、搭设与现浇结构基本一致,两者的差异之处在于:①架体与预制构件的连接节点需提前在工厂预留预埋完成;②对于夹心保温预制构件,外叶板及保温层不能直接承受荷载,需改进常规架体与结构连接构造,确保预制构件及架体的安全。

目前装配式建筑施工用到的外架主要有落地式脚手架、工字钢穿墙悬挑脚手架、拉杆式悬挑脚手架、承托式/三角支撑脚手架、附着式升降脚手架。

5.1 落地脚手架

5.1.1 普通 PC 外墙附着方式

装配式建筑与现浇结构落地式脚手架搭设方法相同,在此不述。不同的是,装配式建筑落地式脚手架连墙件的埋设方式与现浇结构不同,现浇结构通常是在混凝土浇筑之前预埋钢管或者螺杆,混凝土达到一定强度后,外架与预埋钢管或螺杆进行拉结,如图 5.1.1、图 5.1.2 所示。



图 5.1.1 预埋连墙件钢管(现浇结构)



图 5.1.2 预埋连墙件螺栓（现浇结构）

普通 PC 外墙处设置连墙件时，做法主要有以下三种：

（1）PC 外墙预埋锚栓做法

此做法通过在 PC 外墙构件预埋锚栓的方式实现外架与结构的连接，外架方案确定后需要将连墙件的位置提供给 PC 厂家，在 PC 外墙生产过程中完成连墙件锚栓的预埋，PC 构件在现场吊装完成后，外架与预埋锚栓进行拉结，如图 5.1.3 所示。



图 5.1.3 PC 外墙预埋锚栓做法

（2）后浇层预埋拉杆做法

通过提前图纸优化，将连墙件埋设在外墙后浇叠合梁位置（图 5.1.4），浇筑混凝土前，将连墙件安装预埋在设计位置与后浇混凝土一起浇筑，连接可靠、安全性能高。

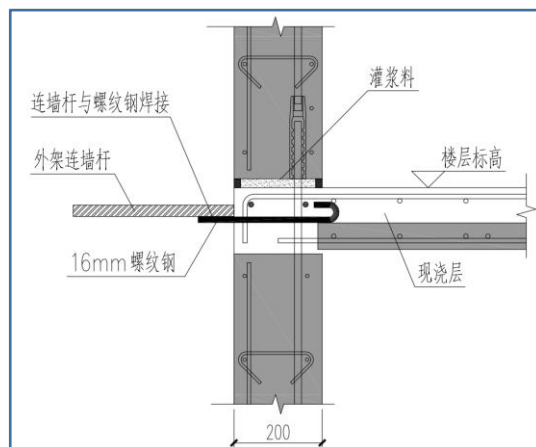


图 5.1.4 后浇层预埋拉杆做法

(3) 预埋 L 型铁片连墙件做法

PC 外墙水平拼缝部位设置 L 型铁片连墙件，具体做法：在浇筑本层混凝土前预埋扁铁，扁铁并向外架一侧甩出，安装上层 PC 外墙时扁铁压到上下层 PC 外墙水平缝隙之间，并露出固定端与外架钢管连接，形成扁铁软拉与钢管硬撑的连接方式，如下图 5.1.5 所示。



图 5.1.5 预埋 L 型铁片连墙件做法（PC 墙）

在阳台封边梁部位预埋扁铁做法，具体做法如下图 5.1.6 所示。

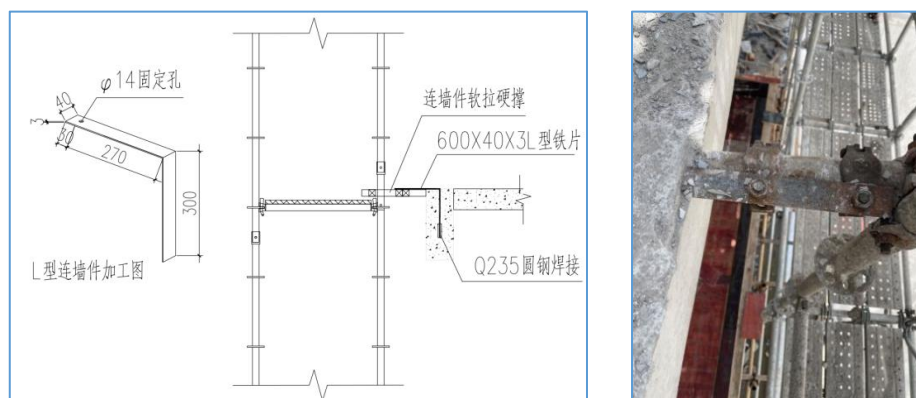


图 5.1.6 预埋 L 型铁片连墙件做法（阳台梁）

5.1.2 夹心保温外墙附着方式

预制夹心保温外墙板为内外两层混凝土板采用拉结件可靠连接，中间夹有保温材料的预制混凝土外墙板，又称“三明治”墙板，如图 5.1.7 所示。

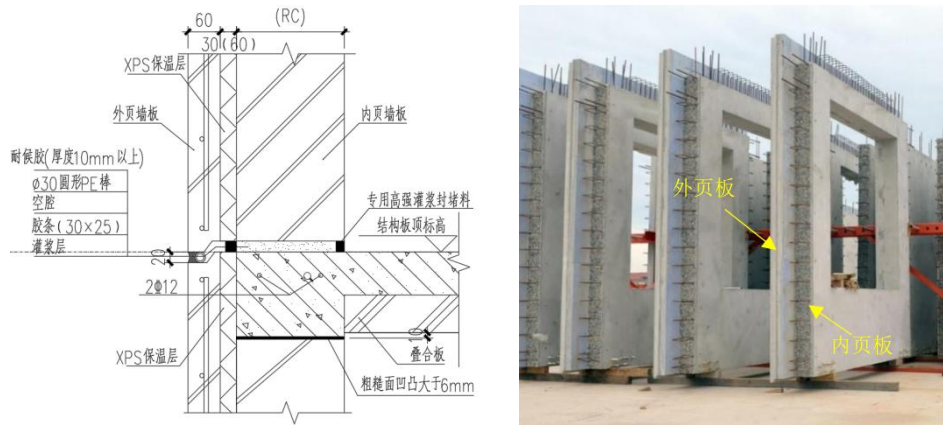


图 5.1.7 预制夹心保温外墙

夹心保温外墙构件的连墙件的设置，要避免外叶板及保温层承受荷载，同时要考虑保温板开洞后形成热桥。目前连墙件做法主要有以下两种：

(1) 后浇层预埋拉杆做法

可采用后浇层预埋拉杆做法进行连墙件的设置，将连墙件一端依附于外架，另一端预埋在外墙后浇叠合梁位置，安装预埋的同时，采用发泡剂对外墙保温位置的孔洞进行封堵，保证孔洞封堵密实，尽量减少热桥，如图 5.1.8 所示。

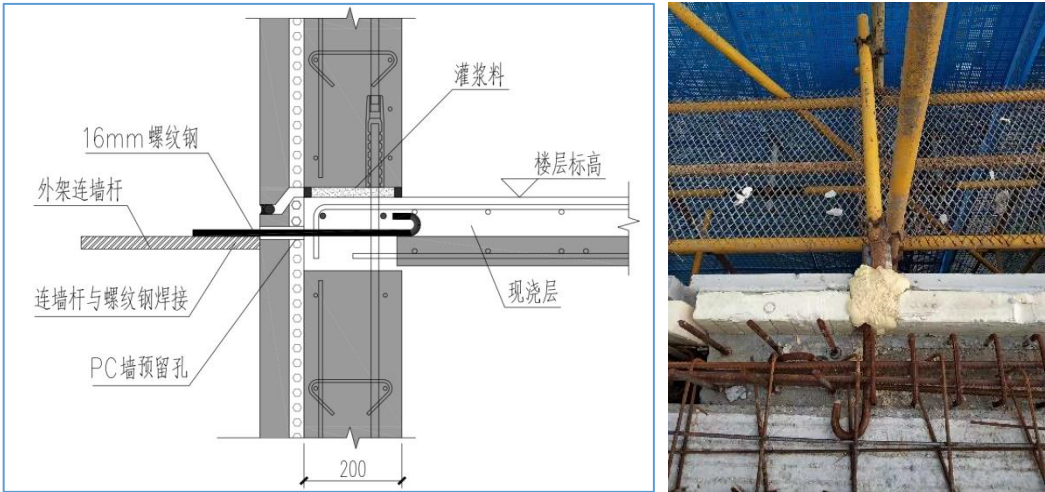


图 5.1.8 夹心保温外墙连墙件拉结

(2) 预埋 L 型铁片连墙件做法

PC 外墙水平拼缝部位设置 L 型铁片连墙件，具体做法：在浇筑本层混凝土前预埋扁铁，扁铁并向外架一侧甩出，安装上层 PC 外墙时扁铁压到上下层 PC 外墙水平缝隙之间，并露出固定端与外架钢管连接，形成扁铁软拉与钢管硬撑的连接方

式，如下图 5.1.9 所示。

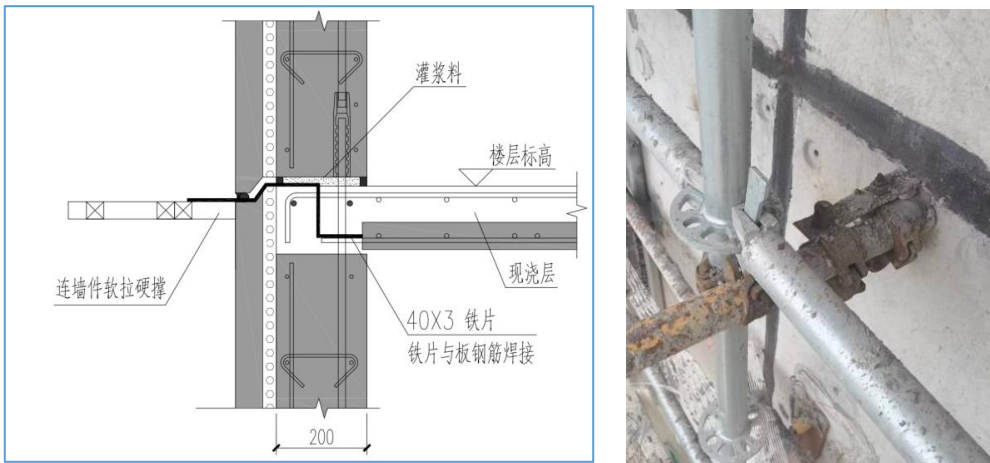


图 5.1.9 夹心保温 PC 墙中预埋 L 型铁片连墙件做法

该 L 型扁铁连墙件做法操作简单、安全可靠、成本低，以及扁铁本身具有可穿过 PC 外墙拼缝的优势，广泛应用于装配式剪力墙结构体系；相较于传统预埋钢管形式的连墙件，扁铁连墙件具有应用部位无死角及后期割除处理简便等优势，在装配式框架结构体系中也得到较好应用。

5.2 工字钢穿墙悬挑脚手架

5.2.1 普通 PC 外墙附着方式

工字钢穿墙悬挑脚手架通常在叠合板预埋 U 型锚环，工字钢穿外墙与 U 型锚环锚固连接，架体在悬挑工字钢上向上搭建，借助工字钢，将荷载传递给工程结构，如图 5.2.1 所示。

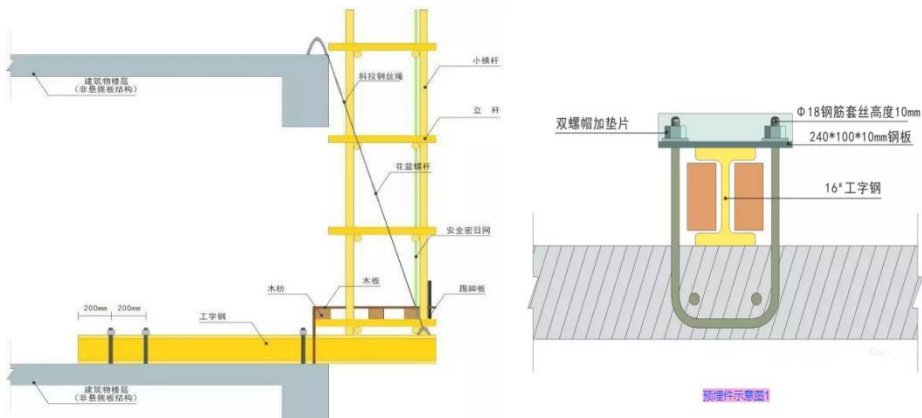


图 5.2.1 叠合板预埋 U 型锚环与工字钢连接

工字钢穿墙悬挑脚手架搭设流程如下：

图纸深化→叠合板 U 型锚环预埋、PC 外墙穿墙孔洞预留→PC 构件吊装→混凝土浇筑→悬挑工字钢安装→竖立杆→第一步扫地杆与立杆连接→第二步纵向水

平杆→第二步横向水平杆→连墙件(或临时斜撑杆)→连立杆→设剪刀撑→铺脚板、挂安全网→验收后挂楼层及栋号牌、验收牌、安全宣传标语及每层阴阳角部的警示线条。

传统悬挑脚手架在装配式建筑施工过程中存在以下弊端（图 5.2.2）：

（1）悬挑工字钢需要在叠合板生产过程中提前预埋大量锚环，增大叠合板构件生产难度，同时锚环及悬挑工字钢会影响竖向构件斜撑安装；

（2）工字钢穿墙处，需要在竖向构件中预留洞口，此洞口必须与悬挑工字钢位置保持一致，一旦出现偏差，现场返工费时费力；

（3）穿墙洞口会影响预制构件的灌浆塞缝；在外架拆除后，预留洞口需要采用吊篮进行封堵，增加封堵费用，且封堵质量不易控制，存在渗漏隐患。

（4）从成本角度考虑，传统悬挑脚手架一次性投入成本高，悬挑工字钢长度较长，拆除时不易拉出，往往需要塔吊配合，拆卸困难；且现场切割频繁，周转率相对较低。



图 5.2.2 穿墙悬挑工字钢存在的弊端

综合以上原因，工字钢穿墙悬挑脚手架在装配式建筑施工中应用正在逐步减少。

5.2.2 夹心保温外墙附着方式

预制夹心保温外墙采用工字钢穿墙悬挑架，同样存在上述问题，且由于保温和

外叶板的存在，导致预制夹心保温外墙板的穿墙洞封堵比普通 PC 外墙难度更大。

5.3 拉杆式悬挑脚手架

5.3.1 普通 PC 外墙附着方式

相较于传统悬挑脚手架，拉杆式悬挑脚手架在装配式施工中有以下优势：

- (1) 搭设简单，无需在叠合板上预埋 U 型锚环，降低了叠合板构件生产难度；
- (2) 室内无悬挑工字钢，不影响构件吊装及斜撑安装；
- (3) 工字钢直接固定在构件外侧，竖向构件无需预留穿墙洞，降低了施工难度，也避免了后期洞口封堵及修补；
- (4) 从成本角度考虑：节省了安装时的工字钢及 U 型预埋件，又节省了拆除传统工字钢和预埋件后所需的切割、修补等环节的费用和工，且新型悬挑脚手架拆除简单，周转率高于传统脚手架。

拉杆式悬挑脚手架施搭设流程：

图纸深化→下层 PC 外墙螺杆孔洞预留→下层 PC 构件吊装→下层螺杆安装→悬挑工字钢安装→上层 PC 外墙拉杆螺杆孔预留→上层 PC 构件吊装→安装拉杆→竖立杆→第一步扫地杆与立杆连接→第二步纵向水平杆→第二步横向水平杆→连墙件（或临时斜撑杆）→连立杆→设剪刀撑→铺脚板、挂安全网→验收后挂楼层及栋号牌、验收牌、安全宣传标语及每层阴阳角部的警示线条。

对于普通 PC 外墙：

- (1) 悬挑工字钢端板压力直接作用在构件外表面，工字钢端板螺杆孔及拉杆吊环螺杆孔，需要在 PC 构件生产过程中提前预留；
- (2) 拉杆式悬挑脚手架施工难点在于螺杆孔洞的精准预留（图 5.3.1），需要总包单位与 PC 厂家的密切沟通与配合，总包外架方案确定后向 PC 厂家提供预留孔洞位置，如有变更需及时向 PC 厂家沟通，PC 厂家严格按照总包要求进行螺杆孔洞预留，以免影响现场施工，如图 5.3.2 所示。

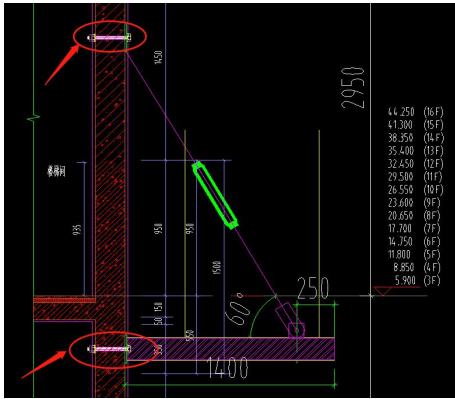


图 5.3.1 螺杆孔位置图



图 5.3.2 悬挑钢梁作用于构件表面

5.3.2 夹心保温外墙附着方式

预制夹心保温外墙构件由剪力墙（填充墙）内叶板+保温材料+保护层外叶板组成，其中内外叶板之间通过哈芬件等构件连接。此时外叶板直接承受工字钢端板传来的施工荷载，包括压力荷载与剪力荷载。

（1）压力荷载：由于外叶板厚度较小，且外叶板与内叶板之间为柔性保温材料，外叶板面外承压能力较弱；

（2）剪力荷载：内外叶板之间通过哈芬件等连接件实现点式连接，在工字钢端板处剪力作用下，外叶板通过自身面内传递，将剪力传递至内外叶板面内抗剪连接件处。此时若剪力较大，易导致对拉螺杆在外叶板接触面局部受压破坏，以及出现外叶板受拉裂缝。

所以悬挑脚手架荷载尽可能不要直接作用到外叶板，应提前进行深化，优化连接构造，将外架荷载传递至内叶墙体。

通常做法是总包外架方案确定以后，将悬挑工字钢位置提供给 PC 厂家，PC 厂家在构件生产时把悬挑工字钢位置的保温及外叶板空出，现场将悬挑工字钢端板固定在内叶墙体上，如图 5.3.3 所示。

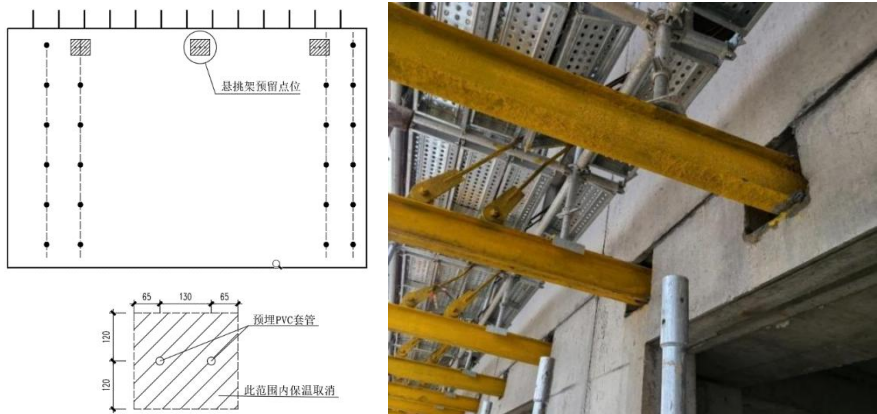


图 5.3.3 外墙保温及外叶板留空做法

5.4 承托式/三角支撑悬挑脚手架

5.4.1 普通 PC 外墙附着方式

承托式/三角支撑悬挑脚手架与拉杆式悬挑脚手架构造类似，区别在于拉杆式悬挑脚手架荷载通过工字钢传递给拉杆，拉杆与工字钢共同受力；承托式/三角支撑悬挑脚手架下部设置三角托架，悬挑架体荷载直接由三角托架承担，斜拉钢丝绳起保险作用，如图 5.4.1 所示。

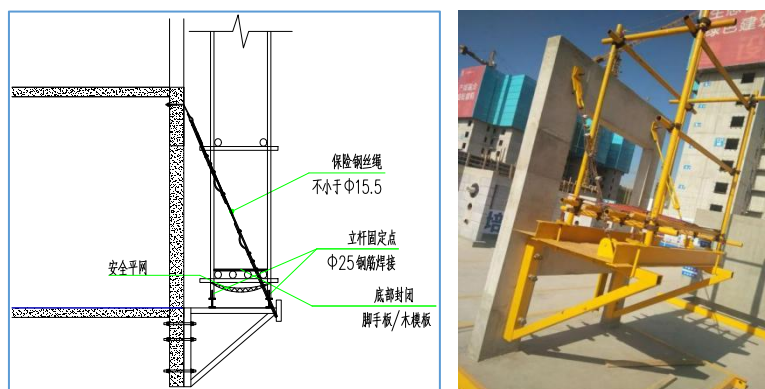


图 5.4.1 承托式/三角支撑悬挑脚手架

承托式/三角支撑悬挑脚手架施工流程：

图纸深化→下层 PC 外墙螺杆孔洞预留→下层 PC 构件吊装→下层螺杆安装→三角托架安装→上层 PC 外墙钢丝绳螺杆孔预留→上层 PC 构件吊装→斜拉钢丝绳安装→竖立杆→第一步扫地杆与立杆连接→第二步纵向水平杆→第二步横向水平杆→连墙件（或临时斜撑杆）→连立杆→设剪刀撑→铺脚板、挂安全网→验收后挂楼层及栋号牌、验收牌、安全宣传标语及每层阴阳角部的警示线条。

对于普通 PC 外墙：

（1）外架荷载传递给下方三角托架，托架根部压力作用于构件外表面，如图 5.4.2 所示；

（2）用于固定三角托架及斜拉钢丝绳的螺杆孔需要提前在 PC 工厂准确预留。

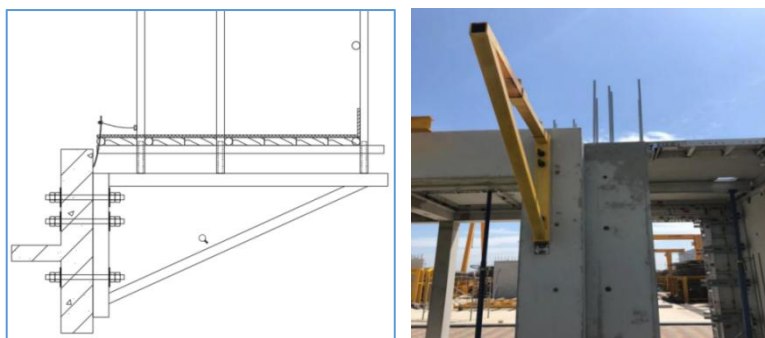


图 5.4.2 三角托架作用于构件外表面

5.4.2 夹心保温外墙附着方式

对于预制夹心保温外墙构件，由于存在保温及外叶板，悬挑脚手架荷载不能直接作用到外叶板，需要提前进行深化，优化连接构造，将外架荷载传递至内页墙体。常规做法是在构件生产前深化，在三角托架位置将保温及外叶板留空，使得在三角支撑安装时可以直接安装在内页墙体外侧，保证安全性，如图 5.4.3 所示。

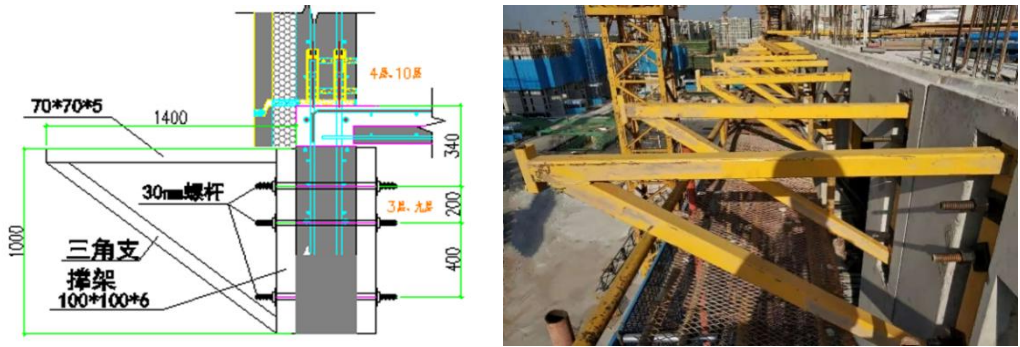


图 5.4.3 外墙保温及外叶板留空做法

5.5 附着式升降脚手架

附着式升降脚手架搭设流程：架体方案设计→PC 图纸深化→PC 构件附墙螺杆孔预留→PC 构件吊装→附墙支座安装→架体安装→顶部拉结→结构施工→支座安装→拉结拆除→架体提升

5.5.1 普通 PC 外墙附着方式

对于普通 PC 外墙，PC 构件生产时，附墙螺杆孔需要准确预留，现场通过穿墙螺杆将附墙支座与 PC 外墙连接，附墙支座荷载直接作用于构件外表面，如图 5.5.1 所示。



图 5.5.1 普通 PC 外墙附墙支座

5.5.2 夹心保温外墙附着方式

由于附着式升降脚手架荷载较大，保温及外叶板不能直接承受，为了规避夹心保温外墙板保温及外叶板受力，架体附墙支座连接构造需要进行改进，通常有以下

几种：

(1) 加装钢板法（图 5.5.2）：

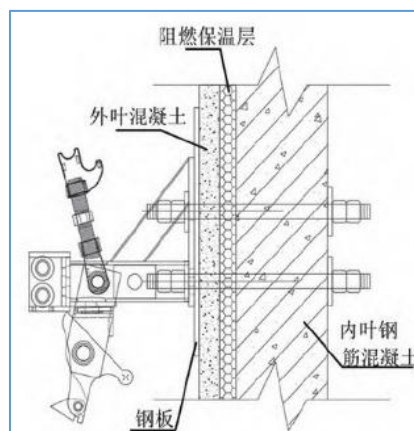


图 5.5.2 加装钢板法

通过在外叶板外侧加装一块钢板，以此增大支座位置受力面积，从而减小外叶板压力；此方法操作简单，但对钢板大小及厚度有一定要求，外叶板受力不可控，不适用于重型附着式升降脚手架，可用于轻量化附着式升降脚手架附墙，如图 5.5.3 所示。

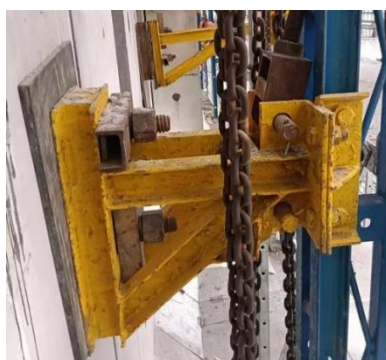


图 5.5.3 轻量化附着式升降脚手架附墙

(2) 预埋支腿法，如图 5.5.4 所示：

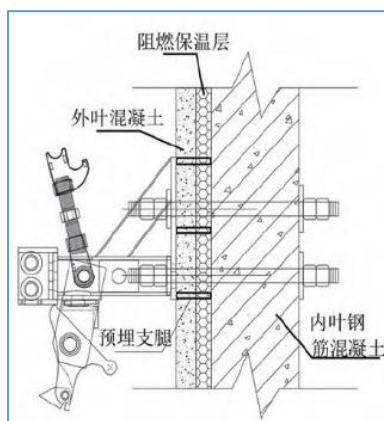


图 5.5.4 预埋支腿法

根据附着式升降脚手架支座位置进行 PC 外墙深化, 构件生产时, 在保温及外叶板中预埋支腿, 附墙支座的荷载通过支腿传递到内叶墙体上, 从而避免保温及外页受力。此方法传力路径合理, 可以规避外叶板及保温受力, 但支腿位置会存在热桥。

(3) 保温及外叶板留空法, 如图 5.5.5 所示

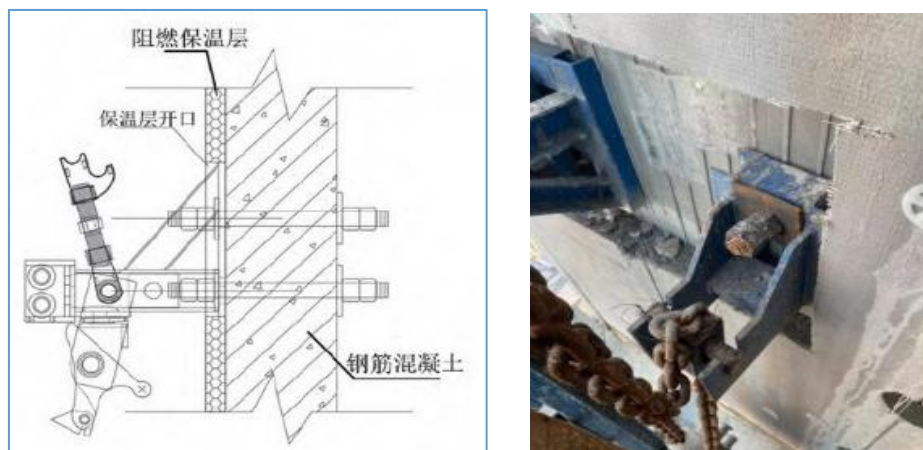


图 5.5.5 保温及外叶板留空法

附墙支座安装位置, 提前空出保温及外叶板, 附墙支座直接安装在内页墙体上; 此做法同样存在后期修补麻烦, 质量不易保证的问题。

(4) 预留混凝土法, 如图 5.5.6 所示

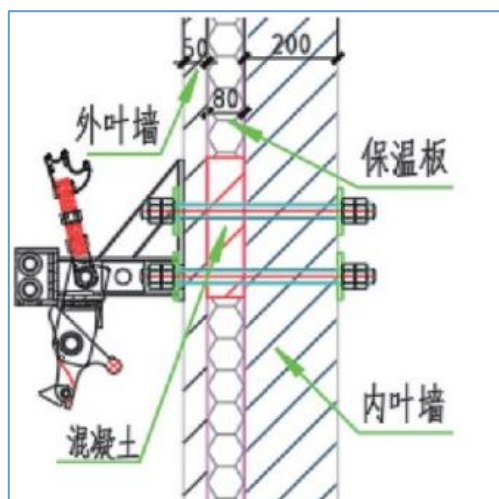


图 5.5.6 预留混凝土法

构件生产时, 在附墙支座位置处直接浇筑混凝土, 附墙支座荷载通过混凝土传递至内页墙体; 此做法施工方便, 但支座处保温缺失, 混凝土内外贯通, 热桥严重。

5.6 外挂架

外挂架是伴随装配式建筑的发展而产生的一种防护架体系, 适用于外墙预制比

例高的装配式建筑体系，一般每栋楼配两层外挂架，外挂架在地面拼装完成，可直接安装在外墙板上，如图 5.6.1 所示，具有施工便捷，节约成本，环保美观的特点。

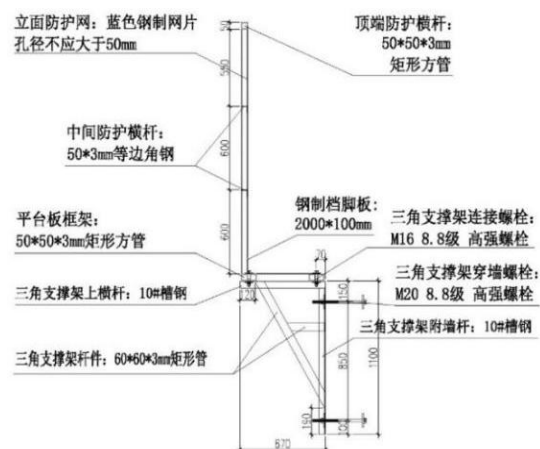


图 5.6.1 外挂架

外挂架搭设流程：图纸深化→PC 构件螺杆孔预留→PC 构件安装→外挂架螺杆穿入预留孔→吊装外挂架→紧固外挂架螺母→完成安装。

5.6.1 普通 PC 外墙附着方式

对于普通 PC 外墙，PC 构件生产时，附墙螺杆孔需要准确预留，现场通过穿墙螺杆将外挂三角支撑架与 PC 外墙连接，三角支撑架支座荷载直接作用于构件外表面。

5.6.2 夹心保温外墙附着方式

由于外架构造简单，荷载较小，可直接安装到外叶板上，通常不采用加强措施，如图 5.6.2 所示。

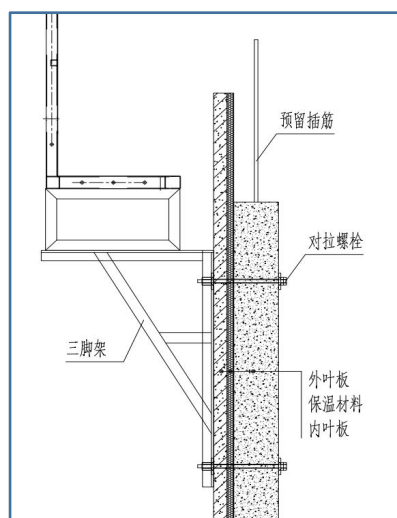


图 5.6.2 夹心保温外墙外挂架构造

第六章 典型项目案例

本课题组集中调研了杭州、宁波以及省外等地装配式项目，项目均满足装配率要求（50%），包含不同类型的预制构件，下面分别叙述各项目的施工特点。

6.1 “叠合板+楼梯”装配式施工

本课题组对公司杭州某在建装配式项目施工工艺调研的同时，记录了该目标标准层施工全过程，现将记录资料整理，供读者参考与借鉴。

6.1.1 项目概况

项目位于杭州市，主要为 16 栋高层住宅（14 层），结构体系均为装配式框架剪力墙结构，抗震等级为三级。调研工作针对项目 9#楼开展，调研前一天该楼栋第 6 层标准层混凝土浇筑完毕，调研从第 7 层标准层放线开始，直至混凝土浇筑准备工作完毕。

该楼标准层典型宽度约 32.5 米，进深约 14.5 米，建筑面积约 420 平方米，单体装配率约 50%，预制构件包括预制叠合楼板、预制楼梯。其中：水平预制构件共计 55 块，预制板和现浇叠合层的厚度为 60mm+70mm、90mm、100mm、120mm。

结构平面图、水平预制构件布置图如下图 6.1.1~6.1.2 所示。

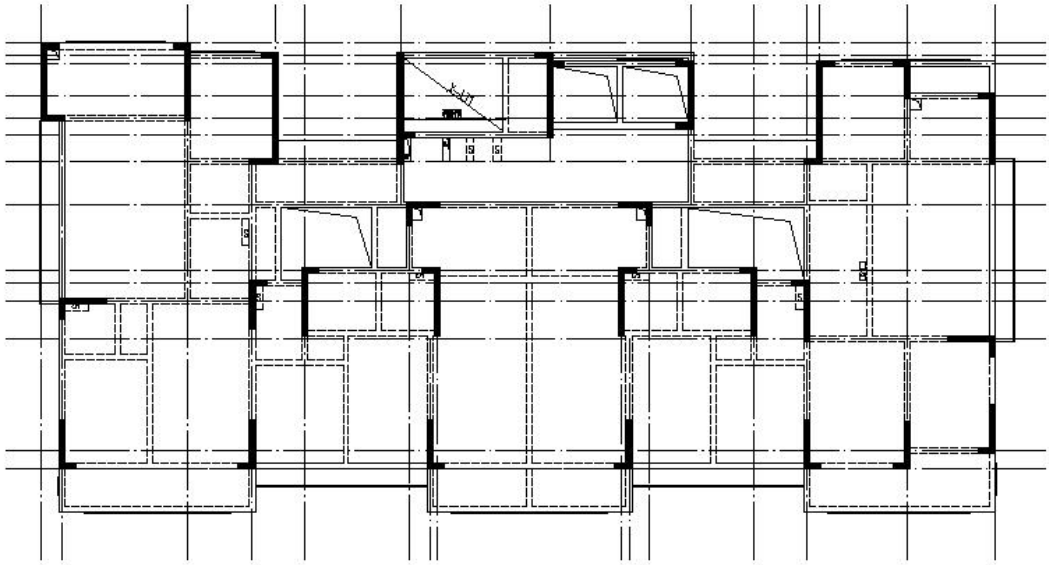


图 6.1.1 调研楼栋标准层结构平面图（建筑面积约 420 平方）

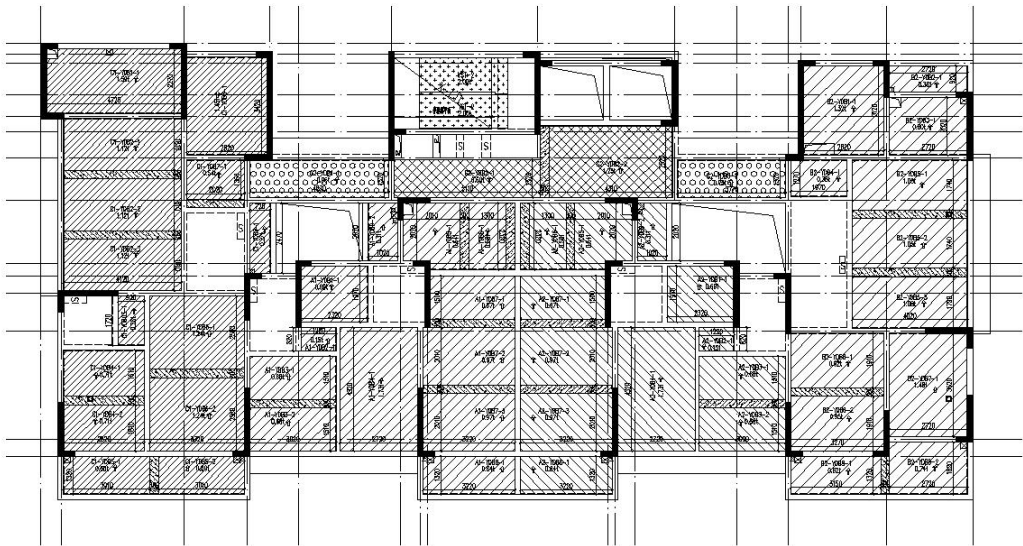


图 6.1.2 水平预制构件布置图（共计 55 块）

调研阶段，项目单体外架为落地式盘扣脚手架，支撑架采用盘扣式支撑架，构件模板采用木模板。如图 6.1.3、图 6.1.4 所示。塔吊采用浙江建机 ZJ6010，且为本楼栋单独使用。



图 6.1.3 盘扣外脚手架



图 6.1.4 盘扣支撑架及木模

6.1.2 施工组织

根据施工进度计划，标准层施工进度控制为 6 天半一层。若恰逢晚间进行构件吊装，可节约半天，约 6 天一层。9#楼第 7 层标准层施工横道图如下图 6.1.5 所示。

杭州装配式项目9#楼标准层														
工作内容	7月27日		7月28日		7月29日		7月30日		7月31日		8月1日		8月2日	
	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
测量放线														
现浇墙体钢筋绑扎														
墙体水电预埋														
墙柱模板安装														
水平架体搭设														
水平模板铺设														
节点模板加固														
叠合板吊装														
梁板钢筋绑扎														
顶板水电预埋														
隐蔽验收														
混凝土浇筑														

图 6.1.5 标准层施工进度横道图

6.1.3 施工工艺

(1) 测量放线

本层共投入约 2 名测量人员，持续时间约 4 小时左右。

(2) 墙柱钢筋绑扎（图 6.1.6、图 6.1.7）

本层共投入约 10 名钢筋绑扎工人，共计持续时间约 7 小时。钢筋绑扎工序如下：

- ①套箍筋，把箍筋全部套在竖向钢筋上。
- ②采用电渣压力焊，焊接竖向钢筋。
- ③箍筋上提，绑扎箍筋。
- ④绑扎拉结钢筋。



图 6.1.6 墙柱钢筋绑扎效果（L 型）



图 6.1.7 墙柱钢筋绑扎效果（一字型）

(3) 墙体水电预埋

墙体水电预埋共计 1 天时间，与墙柱钢筋绑扎穿插施工，投入 3 人。

(4) 墙柱模板安装、水平架体搭设、梁板模板铺设

标准层投入 10 人进行墙柱模板安装；投入 8 人进行水平架体搭设；投入 8 人

进行梁板模板铺设工作。标准层分为两个区域，西侧区域较快，东侧进场滞后，流水施工。本项工作共计 2 天半时间完成。（图 6.1.8）



图 6.1.8 墙柱模板安装

①墙柱模板安装。墙体为现浇结构，支模方式与常规现浇结构相同。

②水平架体搭设。与现浇结构相同，项目采用梁板共支的方式，板下支撑由盘扣架立杆完成；梁下支撑采用钢管并用扣件与两侧轮扣架立杆连接固定。（图 6.1.9、图 6.1.11）

③梁板模板铺设。与现浇结构基本相同，唯一不同之处在于叠合板中间区域可以省去一块模板，如图 6.1.10 所示。



图 6.1.9 叠合板架体搭设



图 6.1.10 叠合板底模支设

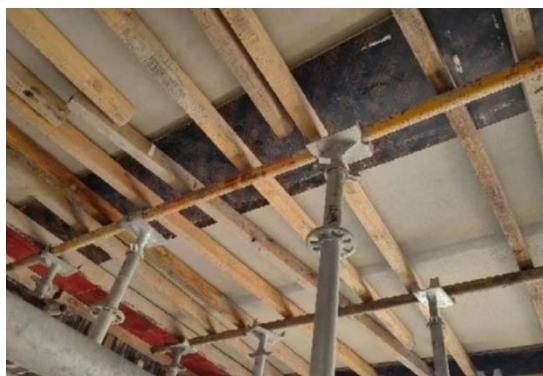


图 6.1.11 叠合板后浇段板下支撑

（5）叠合板吊装

本项目调研楼层叠合板共计 55 块，吊装人员 5 名，共计半天完成吊装工作。本项目采取先吊装预制板，后绑扎梁板钢筋的做法，速度较快。另外需强调的是，本项目在叠合板吊装前，叠合板底模四周均贴上胶带，防止漏浆，如图 6.1.12 所示。



图 6.1.12 叠合板防漏浆措施

调研组对每块叠合板的吊装时间进行粗略统计，吊装时间与板的尺寸形状几乎无关。现场记录了 5 块叠合板的吊装时间，吊装时长分别为 3 分 32 秒、3 分 18 秒、4 分 08 秒、3 分 24 秒、3 分 13 秒，平均时长为 3 分 31 秒，如图 6.1.13 所示。

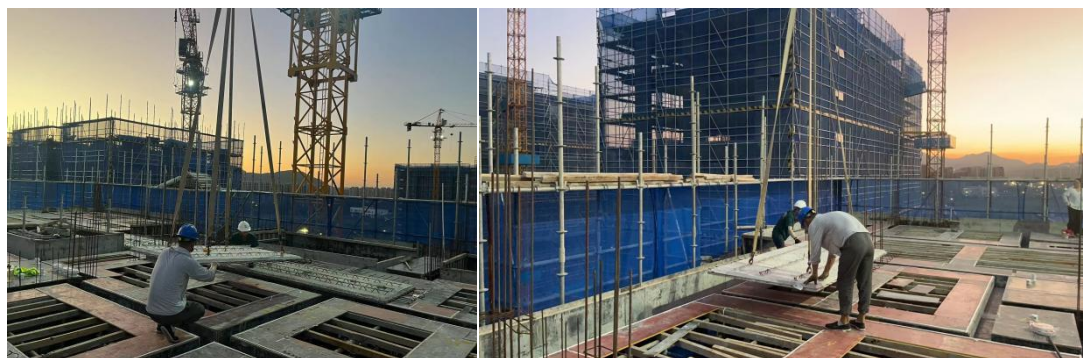


图 6.1.13 叠合板吊装过程图

（6）梁板钢筋绑扎、水电预埋

本层梁板钢筋绑扎投入人员 9 名，共计约 8 小时完成工作。楼面水电预埋投入 5 人，共计约 8 小时完成工作。

由于先吊装 PC 板，相比现浇结构，梁钢筋绑扎难度加大，现场梁钢筋绑扎工序为：放置梁上部钢筋并架高、将箍筋一个一个顺次套入、从梁端插入梁下部钢筋、腰筋等。梁钢筋绑扎完毕后，绑扎板筋。（图 6.1.14、图 6.1.15、图 6.1.16）



图 6.1.14 梁钢筋绑扎

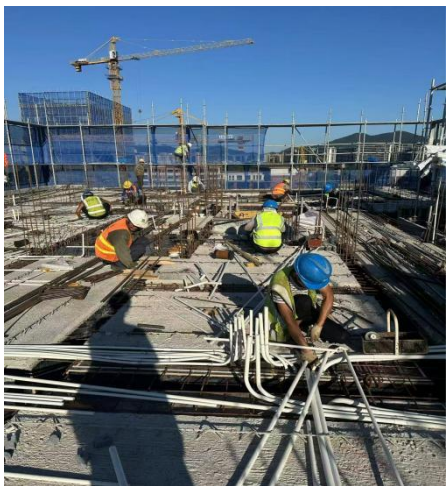


图 6.1.15 叠合板面管线敷设



图 6.1.16 叠合板面钢筋绑扎

(7) 混凝土浇筑

浇筑前课题组完成调研，最后一日浇筑混凝土泥工 10 人，并配 1-2 个木工与铁工实时整改。

6.2 “叠合板+楼梯+填充墙”装配式施工

本课题组对公司宁波某在建装配式项目施工工艺调研的同时，记录了该项目标准层施工全过程，现将记录资料整理，供读者参考与借鉴。

6.2.1 项目概况

项目位于宁波市，主要为 15 栋住宅主楼（层数 14~25F），结构体系均为装配整体式剪力墙结构，抗震等级为三级。调研工作针对项目 6#楼开展，调研前一天该楼栋第 7 层标准层混凝土浇筑完毕，调研从第 8 层标准层放线开始，直至混凝土浇筑准备工作完毕。

该楼标准层典型宽度约 38 米，进深约 16 米，建筑面积约 450 平方米，单体装配式率为 50%，预制构件包括预制外围护墙板、预制叠合楼板、预制楼梯、ALC 板，其中：

(1) 竖向预制构件共计 14 片，且预制外墙仅为非承重围护墙预制，外墙采用保温板加保温砂浆的内保温形式。

(2) 水平预制构件共计 32 块，预制板和现浇叠合层的厚度为 60mm+80mm (90mm)，部分大跨度区域总体板厚为 180mm，采用可拆卸式钢筋桁架楼承板。

结构平面图、竖向预制构件布置图、水平预制构件布置图如下图 6.2.1~6.2.3 所示。

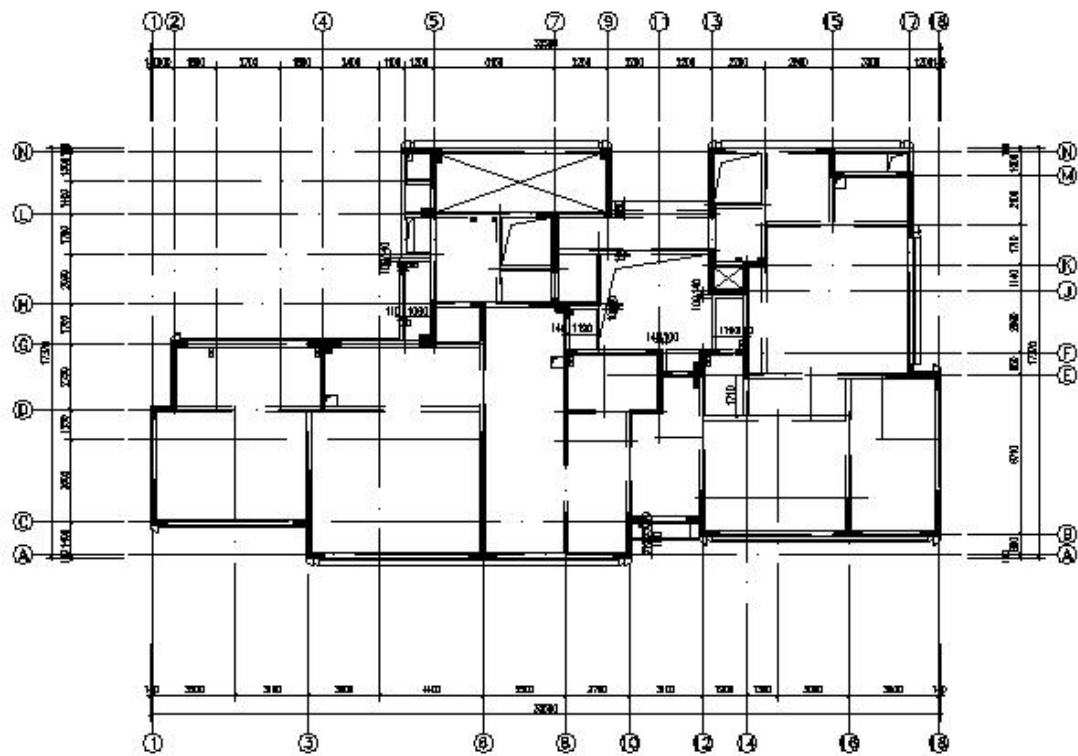


图 6.2.1 调研楼栋标准层结构平面图（建筑面积约 450 平方）

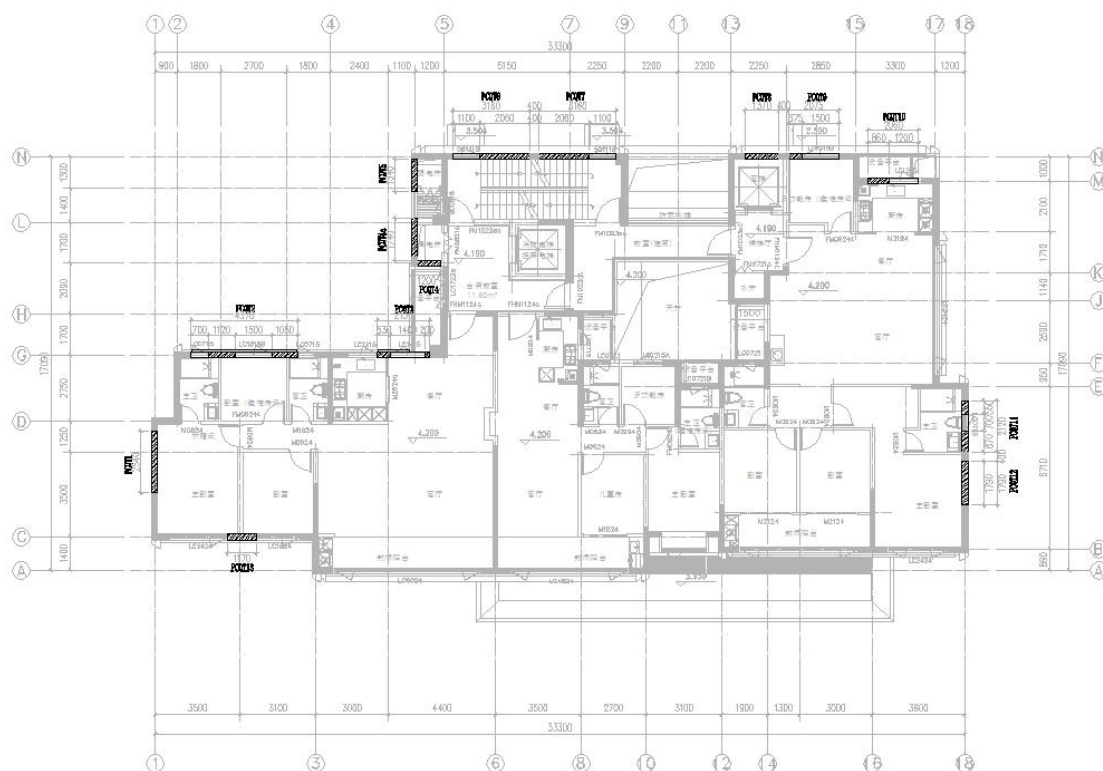


图 6.2.2 竖向预制外墙板布置图 (共计 14 片)

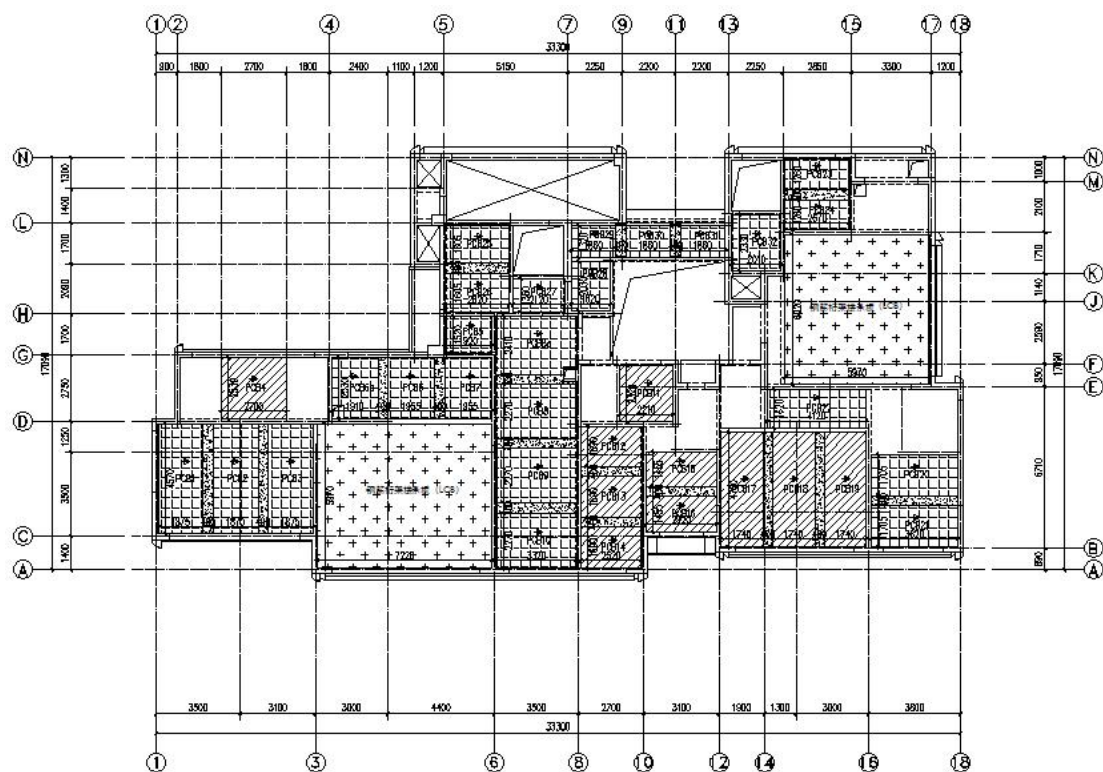


图 6.2.3 水平预制构件布置图 (共计 32 块, 桁架楼承板除外)

调研阶段，项目外架采用附着式升降脚手架，内模架为铝模及独立支撑体系，如图 6.2.4、图 6.2.5 所示。塔吊采用中联 WA7022，为 2#、10#各布置一台，与本楼栋交叉覆盖使用。



图 6.2.4 附着式升降脚手架



图 6.2.5 铝模及独立支撑

6.2.2 施工组织

根据施工进度计划，标准层施工进度控制为 5 天一层。甲方工期要求比较紧张，项目基本上安排晚上加班进行构件吊装，6#楼第 8 层标准层施工横道图如下图 6.2.6 所示。

宁波装配式项目6#楼标准层												
工作内容	6月24日			6月25日		6月26日		6月27日			6月28日	
	上午	下午	晚上	上午	下午	上午	下午	上午	下午	晚上	上午	下午
测量放线												
墙柱钢筋绑扎												
竖向构件吊装												
墙体水电预埋												
节点模板安装												
水平架体搭设												
水平模板铺设												
节点模板加固												
叠合板吊装												
梁板钢筋绑扎												
顶板水电预埋												
隐蔽验收												
混凝土浇筑												

图 6.2.6 标准层施工进度横道图

6.2.3 施工工艺

- (1) 测量放线
- 本层共投入约 2 名测量人员，持续时间约 4 小时左右。
- (2) 墙柱钢筋绑扎
- 本层共投入约 10 名钢筋绑扎工人，共计持续时间约 7 小时。钢筋绑扎工序如下：
- ①套箍筋，把箍筋全部套在竖向钢筋上。
- ②采用电渣压力焊，焊接竖向钢筋。
- ③箍筋上提，绑扎箍筋。

④绑扎拉结钢筋。

本项目存在 T 型节点、一字型节点钢筋绑扎，绑在效果如下图 6.2.7、图 6.2.8 所示。



图 6.2.7 T 型节点绑扎效果



图 6.2.8 一字型节点绑扎效果

(3) 墙体水电预埋

墙体水电预埋共计 1 天时间，第一天晚上与构件吊装穿插施工，投入 2 人，第二天上午完成剩余工作，投入 3 人。

(4) 竖向构件吊装

本层共计 14 片竖向预制构件，PC 吊装人员共计 5 人，其中 1 人为班组长，统筹吊装所有工作；2 人负责初安装，2 人负责精确校正。吊装时间约 4 个小时。施工工序如下：

①预留插筋调整：本项目为预制非承重围护墙，采用盲孔灌浆，预埋插筋数量不多，但仍存在偏位现象，影响构件吊装，需要在构件吊装前进行调整。偏位的原因多数是在上翻梁或者现浇反坎混凝土浇筑过程中，由于保护不到位造成钢筋扰动，混凝土班组又未及时恢复，最终导致钢筋偏位。

②设置垫块。标高测定后在上翻梁（或现浇反坎）处放置预制墙体标高垫片（图 6.2.9）。由于本项目采用预制非承重围护墙，在楼层外圈结构标高处设计上翻梁（或现浇反坎），使预制外墙板接缝避开楼层标高位置，更有利于外墙防水要求。

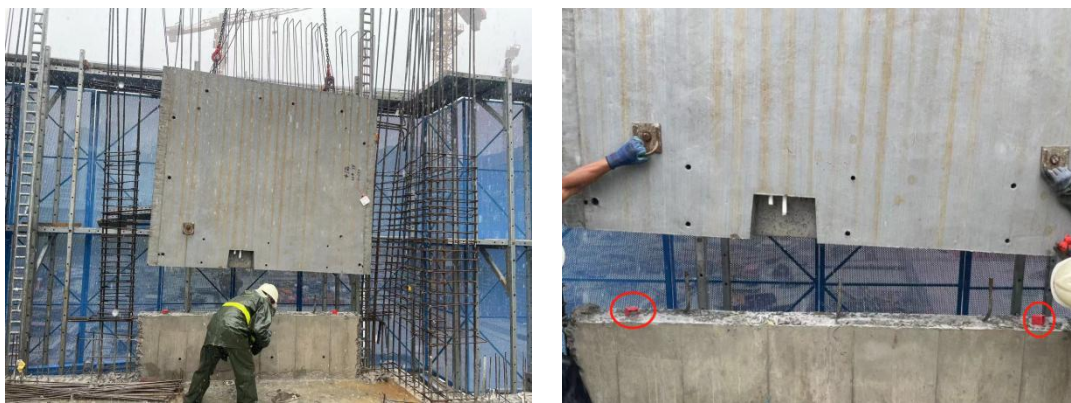


图 6.2.9 吊装前在上翻梁处放置标高垫块

③吊装预制墙体。当预制墙体吊装至作业面上 1 米左右的位置时，工人正常引导预制构件下落，弯腰查看并将盲孔对准预留插筋。将构件下落至标高处，如图 6.2.10、图 6.2.11 所示。

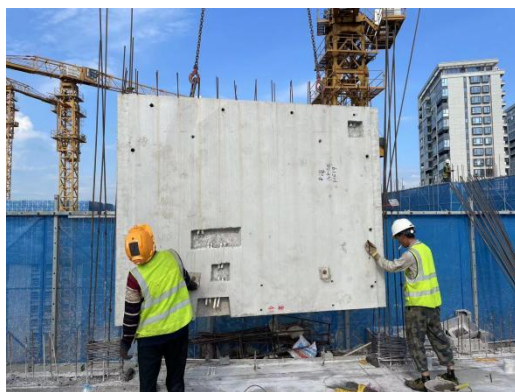


图 6.2.10 墙板吊装下落

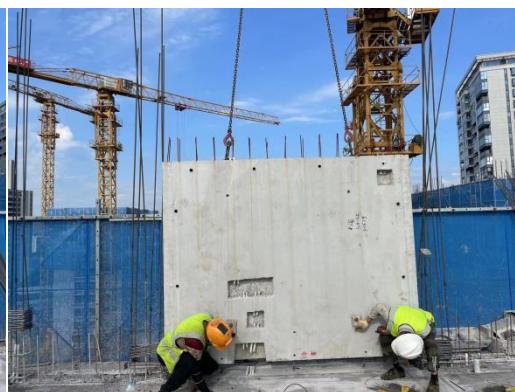


图 6.2.11 墙板吊装就位

④斜撑安装。构件下落就位后，安装构件上部两根斜支撑，当两根斜支撑安装完毕后，工人方可进行摘钩作业，塔吊吊钩移动下落至预制构件车位置，开始准备起吊下一块构件，如图 6.2.12 所示。

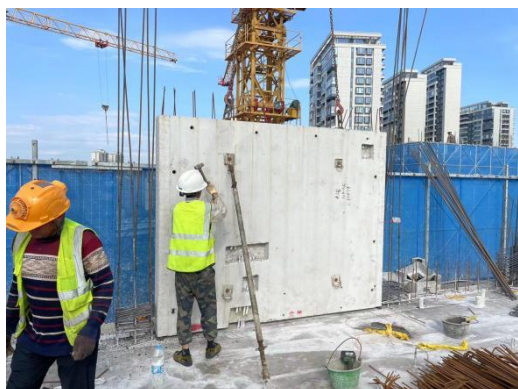


图 6.2.12 墙体临时固定

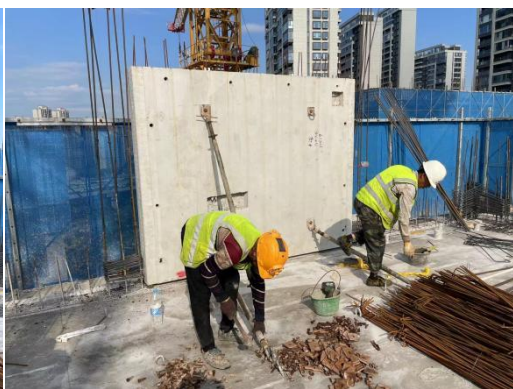


图 6.2.13 墙体斜撑校正

⑤墙体校正。吊装工人在构件落位临时固定后，随即进行构件的校正工作，包

括垂直度校正，位置校正以及标高校正：

垂直度校正：通过松紧两根斜支撑对预制墙体构件垂直度进行校正（图 6.2.13）。

水平位置校正：构件水平位置校正通过撬棍撬动构件移动，来实现校准。

构件标高校正：构件标高校正方法为使用撬棍抬起构件一侧，通过插入或取出垫片实现标高校正。

⑥吊装工效统计。按初安装、精确校正两个工序进行时间统计，本层楼部分构件安装时间如下表 6.2.1 所示。

从表中可以看出，构件安装时间呈现出较大的离散性。但整体来看，竖向构件吊装时间区间为（8，10）分钟，较多构件在 9 分钟左右。构件校准则受偶然因素影响较大，但也集中在 5 分钟左右。

表 6.2.1 标准层竖向构件安装时间统计表

名称	序号	构件编号	吊装时长	校准时长	总时长	备注
预制外围护墙	1	6-8PCQT1	8 分 30 秒	4 分 57 秒	13 分 27 秒	
	2	6-8PCQT2	9 分 56 秒	7 分 09 秒	17 分 05 秒	
	3	6-8PCQT3	9 分 15 秒	5 分 59 秒	15 分 14 秒	
	4	6-8PCQT4	15 分 47 秒	4 分 36 秒	20 分 23 秒	
	5	6-8PCQT4a	8 分 21 秒	5 分	13 分 21 秒	
	6	6-8PCQT5	9 分 27 秒	7 分 30 秒	16 分 57 秒	
	7	6-8PCQT6	10 分 27 秒	5 分 14 秒	15 分 41 秒	

（3）预制构件封仓

本项目预制构件为围护填充墙，封仓跟随竖向构件注浆进行，一般延后 N-2（或 N-3）层封仓注浆。在封仓完毕 6h 后，开始注浆工作。

（4）预制墙体节点钢筋调整

本层共投入约 1 名钢筋工进行钢筋调整，主要为箍筋调整，避免预制构件的连接螺栓与边缘构件节点箍筋的碰撞，以及连梁处箍筋的重新绑扎。（图 6.2.14）



图 6.2.14 连接螺栓与箍筋局部碰撞，上下微调

本项目调研时发现，由于是先绑扎的竖向墙体钢筋，在带连梁预制外墙吊装下落时，连梁纵向外伸底筋会将绑扎好的边缘构件箍筋压落，如图 6.2.15 所示。另外，在上翻梁处，之前在套箍时，由于上翻梁纵向钢筋深入后浇节点，导致箍筋无法下落至楼面，如图 6.2.16 所示。由于节点为非底部加强区的构造边缘构件，可将箍筋调整为带水平段及弯钩的两根钢筋，方便箍筋调整施工。



图 6.2.15 预制外墙带连梁处箍筋情况



图 6.2.16 上翻梁处箍筋情况

（5）墙柱模板安装、水平模架搭设

标准层投入 8 人进行墙柱模板安装，包括模板倒料等；投入 7 人进行水平架体搭设；投入 7 人进行梁板模板铺设工作。本项工作共计 1 天半时间完成。

①墙柱模板安装。预制墙体之间节点模板制作较为简单，支模方式也与常规现浇结构类似。但由于预制外墙斜撑较多（每片墙需要 2 排共 4 根斜撑），节点处的模板就位难度较大，如图 6.2.17 所示。

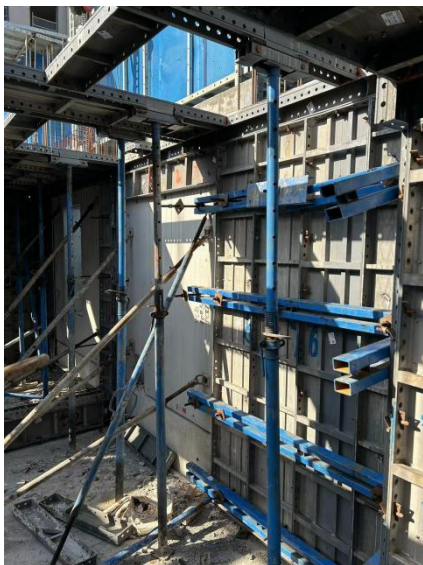


图 6.2.17 预制外围护墙节点模板支设



图 6.2.18 叠合板底模支设

②水平模架搭设。本项目水平构件采用铝模+独立支撑。（图 6.2.18）

（6）叠合板吊装

本项目调研楼层叠合板共计 32 块，吊装人员 5 名，共计半天完成吊装工作。本项目采取先吊装预制板，后绑扎梁板钢筋的做法，速度较快。课题组对每块叠合板的吊装时间进行粗略统计，吊装时间与板的尺寸形状几乎无关。现场记录了 5 块叠合板的吊装时间，吊装时长分别为 3 分 14 秒、3 分 22 秒、4 分 08 秒、3 分 38 秒、3 分 17 秒，平均时长为 3 分 32 秒，如图 6.2.19 所示。

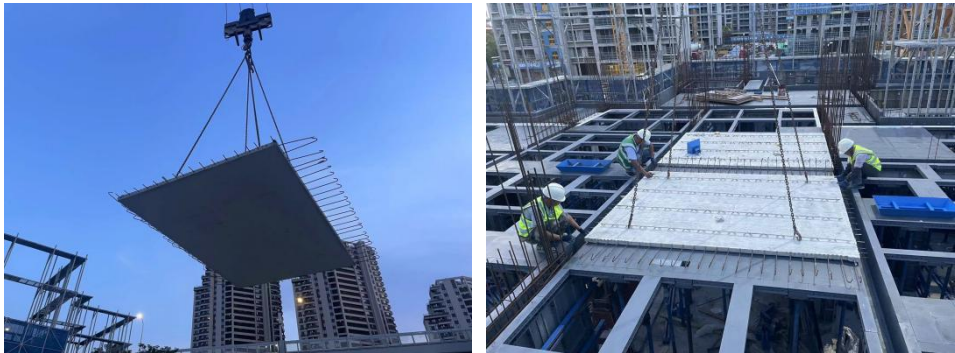


图 6.2.19 叠合板吊装过程图

（7）梁板钢筋绑扎、水电预埋

本层梁板钢筋绑扎投入人员 8 名，共计约 8 小时完成工作。楼面水电预埋投入 12 人，共计约 8 小时完成工作。（图 6.2.20、图 6.2.21）

由于先吊装叠合楼板，相比现浇结构，梁钢筋绑扎难度加大，现场梁钢筋绑扎工序为：放置梁上部钢筋并架高、将箍筋一个一个顺次套入、从梁端插入梁下部钢筋、腰筋等。梁钢筋绑扎完毕后，绑扎板筋。



图 6.2.20 水电管线敷设



图 6.2.21 楼面钢筋绑扎

（8）混凝土浇筑

钢筋及机电管线验收完成后，进行混凝土浇筑工作，浇筑工艺与现浇混凝土结构施工相同。

6.3 “叠合板+楼梯+填充墙+剪力墙”装配式施工

本课题组对公司合肥某在建装配式项目施工工艺调研的同时，记录了该目标标准层施工全过程，现将记录资料整理，供读者参考与借鉴。

6.3.1 项目概况

项目位于合肥市，包括 A、B、C 三个地块，包含 11 栋住宅，1 栋商业塔楼，1 栋幼儿园，其余为底商，本项目结构体系为预制夹心保温装配式剪力墙结构，装配率要求为不小于 65%，属于高装配率住宅项目。本次调研楼栋为 A 地块的 A7 号楼，该楼栋共 25 层，结构体系为装配式剪力墙结构。调研楼层为 10 层，调研从测量放线开始至墙体节点钢筋绑扎完成结束。

该楼栋标准层宽度约 32 米，进深约 15 米，预制构件包括预制填充墙（含预制飘窗）、预制剪力墙、预制叠合楼板、预制楼梯，其中：

（1）竖向预制构件共计 55 片，其中预制外墙为预制夹心保温外墙板：200mm 剪力墙+30mmXPS 保温板+60mm 外叶板=290mm；东西两边户卫生间外墙转角处采用 PCF 预制外墙板；

（2）水平预制构件共计 56 块，预制板和现浇叠合层的厚度分为 60mm、70mm。

结构平面图、竖向预制构件布置图、水平预制构件布置图如下图 6.3.1~6.3.3 所示。

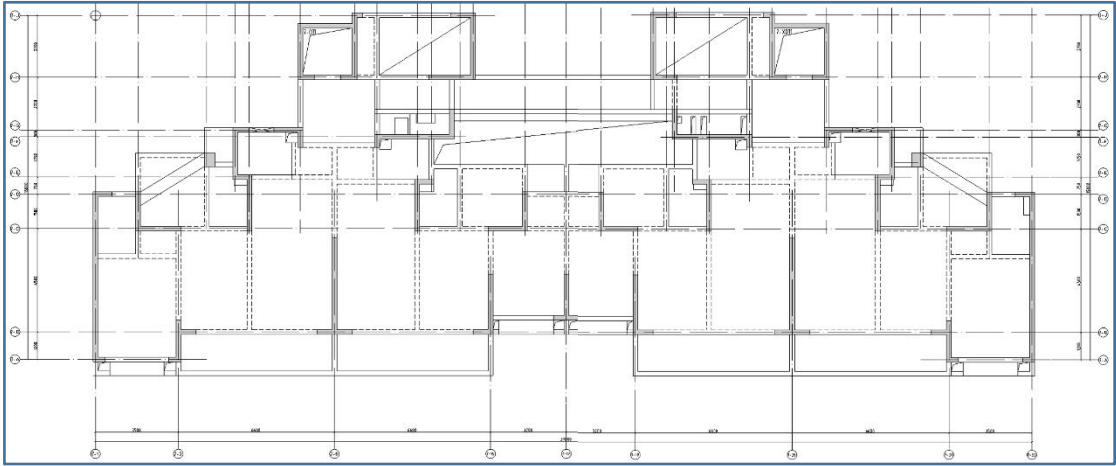


图 6.3.1 调研楼栋标准层结构平面图

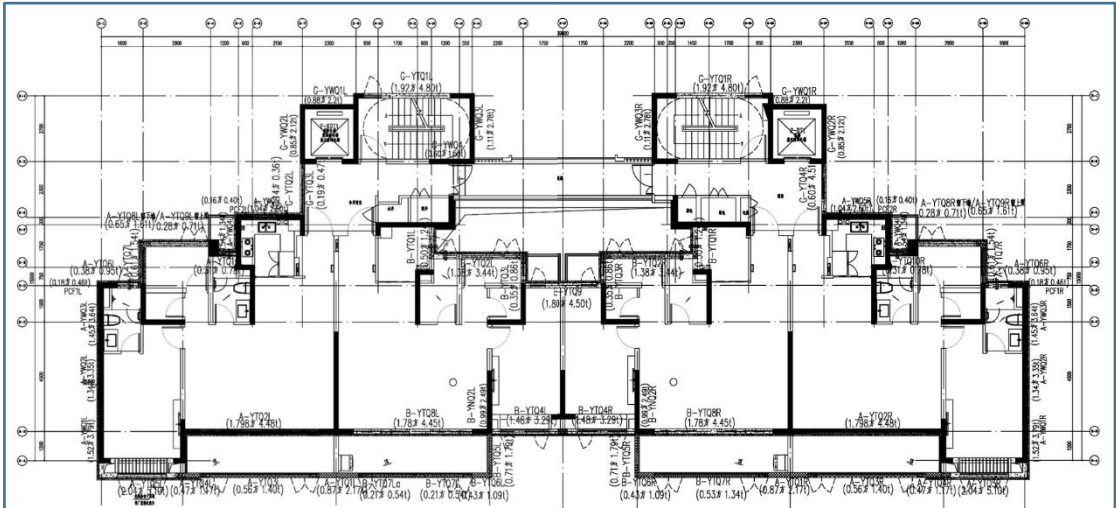


图 6.3.2 竖向预制构件布置图（共计 55 片）

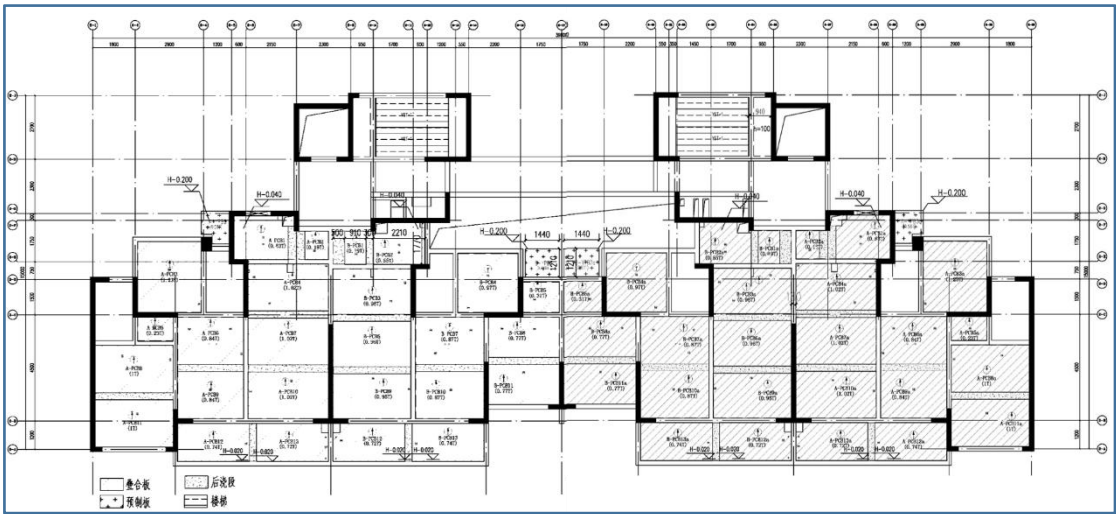


图 6.3.3 水平预制构件布置图（共计 56 块）

调研阶段，外架采用外挂架，内模架为铝模及独立支撑体系,如图 6.3.4、图 6.3.5 所示。塔吊采用中联 TC7275，且为本楼栋单独使用。



图 6.3.4 外挂架



图 6.3.5 铝模支撑体系

6.3.2 施工组织

甲方工期要求较为宽松，根据施工进度计划，标准层施工进度控制为 8 天一层。
A7 楼第 10 层标准层施工横道图如下图 6.3.6 所示。本层施工进度因下雨延误半天。

合肥装配式项目A7楼标准层																			
内容\时间	人数	5月17日		5月18日		5月19日		5月20日		5月21日		5月22日		5月23日		5月24日		5月25日	
		上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午	上午	下午
测量放线	2	下雨																	
竖向构件吊装	3																		
外墙保温板塞缝	1																		
预制构件封仓	1																		
灌浆施工	3																		
墙体钢筋绑扎	7																		
墙体水电预埋	2																		
墙柱模板安装																			
水平架体搭设																			
梁板模板铺设																			
模板加固																			
叠合板吊装																			
梁板钢筋绑扎																			
梁板水电预埋																			
混凝土浇筑																			

图 6.3.6 标准层施工进度横道图

6.3.3 施工工艺

(1) 测量放线

本层共投入约 2 名项目测量人员，持续时间约半天。

构件吊装前，项目部测量人员根据图纸要求，放出位置控制线以及结构标高控制点；在墙柱位置边线外 300mm 投测结构位置控制线，用于控制构件的安装位置；将标高控制点引测至结构钢筋上，并涂刷红色油漆或粘贴红色胶带，作醒目标记，用于控制构件的安装标高（图 6.3.7）；

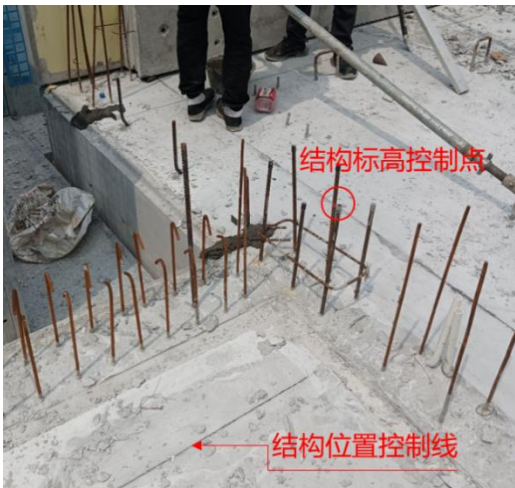


图 6.3.7 测量放线

测量人员需要注意的是竖向 PC 构件安装完成后，要及时将结构标高控制点从钢筋引测至 PC 构件上，防止墙柱合模后，标高控制点被遮蔽，无法指导后续工序施工。

(2) 竖向构件吊装

本层共计 55 片竖向预制构件，PC 吊装人员共计 3 人，吊装及校对均由此 3 人负责。施工工序如下：

①预留插筋钢筋调整：在构件吊装前统一调整完成；PC 班组专门安排 2 名工人，统一进行钢筋调整；

②垫块设置及坐浆。

工人先用激光水平仪+钢卷尺，确定构件安装标高面，再通过增减塑料标高垫片，调整到合适高度后，将垫片包成整体垫块，防止构件下落过程中造成垫片散落（图 6.3.8、图 6.3.9）。



图 6.3.8 预制墙底部标高垫片



图 6.3.9 预制墙底部短边先坐浆

③吊装预制墙体。该项目采用的是预制夹心保温外墙板，下落过程中构件自带

的外伸钢筋难免与预留插筋发生碰撞，但由于外叶板及保温的存在，导致外侧钢筋无法避让（图 6.3.10）。

当构件下落至标高垫片上时，现场作业人员首先安装构件上部两根斜支撑，当两根斜支撑安装完毕后，工人方可进行摘钩作业，塔吊吊钩移动至预制构件车位置，开始准备起吊下一块构件（图 6.3.11）。



图 6.3.10 墙体吊装就位

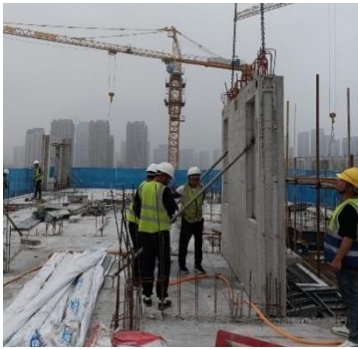


图 6.3.11 墙体临时固定

④墙体校正。

吊装工人在构件落位临时固定后，随即进行构件的校正工作，包括垂直度校正，位置校正以及标高校正。

垂直度校正：工人利用铅锤以及刮杠进行构件垂直度测量，通过松紧两根斜撑进行垂直度调节（图 6.3.12）；

水平位置校正：利用钢卷尺测量构件边缘距控制线的距离，进行构件水平位置校对（图 6.3.13）；

标高校正：通过增减垫片厚度，对构件进行标高调整。



图 6.3.12 垂直度校正



图 6.3.13 水平位置校正

⑤吊装工效统计。按初安装、精确校正两个工序进行时间统计，本层楼构件安装时间如下表 6.3.1 所示（不包含因数据丢失未统计构件）。

从表中可以看出，构件安装时间呈现出较大的离散性。但整体来看，竖向构件吊装时间区间为（5，9）分钟，较多构件在 6 分钟左右。构件校准则受偶然因素影响较大，但也集中在 5 分钟左右，与初步安装时间接近。

表 6.3.1 标准层竖向构件安装时间统计表

名称	序号	构件编号	吊装时长（min）	校准时长（min）	备注
预制剪力墙	1	A-YWQ1L	6	5	钢筋调整 1 人， 底部坐浆 1 人， 塞保温条 1 人， 吊装+校正 3 人， 夜间无加班
	2	A-YWQ2L	5	3	
	3	A-YWQ3L	5	5	
	4	A-YWQ4L	7	5	
	5	G-YWQ1L	6	7	
	6	G-YWQ2L	9	5	
	7	G-YWQ3L	5	3	
	8	A-YWQ1R	5	4	
	9	A-YWQ2R	4	3	
	10	A-YWQ3R	5	8	
	11	G-YWQ1R	5	4	
	12	G-YWQ2R	/	/	
	13	G-YWQ3R	7	4	
	14	G-YWQ4R	5	6	
预制填充墙	15	A-YTQ1L	/	/	
	16	A-YTQ2L	16	6	
	17	A-YTQ3L	9	4	
	18	A-YTQ4L	5	5	
	19	A-YTQ5L	/	/	
	20	A-YTQ6L	8	7	
	21	A-YTQ7L	4	5	
	22	A-YTQ8L	3	4	
	23	A-YTQ9L	5	7	
	24	A-YTQ10L	5	7	
	25	B-YTQ1L	7	/	
	26	B-YTQ2L	7	4	
	27	B-YTQ3L	6	5	
	28	A-YTQ1R	/	/	
	29	A-YTQ2R	11	5	
	30	A-YTQ3R	5	5	
	31	A-YTQ4R	/	/	

	32	A-YTQ5R	7	5	
	33	A-YTQ6R	3	3	
	34	A-YTQ7R	3	3	
	35	A-YTQ8R	/	/	
	36	A-YTQ9R	5	4	
	37	A-YTQ10R	8	12	
	38	B-YTQ1R	5	6	
	39	B-YTQ2R	5	5	
	40	B-YTQ3R	5	5	

（3）预制构件封仓

见（1）中第②条，单独安排 1 人进行坐浆及封仓，跟随竖向构件安装进行。

（4）保温板条塞缝

由于预制夹心保温墙板的特殊构造，预制夹心保温外墙板吊装比普通 PC 构件吊装多了保温板塞缝工序，需要在预制构件吊装校正后，节点钢筋绑扎之前完成保温板条塞缝工作，以免影响节点钢筋绑扎。为此项目部安排一名杂工专职进行保温板条塞缝工作（图 6.3.14）。



图 6.3.14 保温板条塞缝

（4）剪力墙节点钢筋绑扎

本层共投入约 7 名钢筋工，节点钢筋绑扎采用先放箍筋再穿纵筋的方式。

钢筋绑扎工序如下：

预制构件吊装到位→将构件外伸钢筋及楼板预留插筋调直捋顺→自下而上逐个放置箍筋并临时固定→从顶部自上而下穿入纵筋→将纵筋与楼板预留插筋连接→最后将箍筋与纵筋绑扎。

本项目存在一字型节点，L 型节点及 T 型节点钢筋绑扎，绑扎工艺如下图 6.3.15~图 6.3.17 所示。



图 6.3.15 一字型节点钢筋绑扎 图 6.3.16 L 型节点钢筋绑扎 图 6.3.17 T 型节点钢筋绑扎

调研过程中，课题组对节点钢筋绑扎节点时间进行了统计（以下时间均不含纵筋与箍筋绑扎），如下表 6.3.2 所示，钢筋绑扎时，每一个暗柱均为 1 个工人单独施工。

表 6.3.2 标准层剪力墙暗柱钢筋绑扎时间统计表

节点形式	墙柱编号	节点钢筋设计	总用时
一字型	GBZ8	双 $\phi 12@100$, 12 $\Phi 14$	32 分钟
	GBZ3a	双 $\phi 12@100$, 12 $\Phi 16$	25 分钟
	GBZ18	双 $\phi 8@200$, 12 $\Phi 12$	27 分钟
L 型	GBZ8	双 $\phi 12@100$, 12 $\Phi 14$	67 分钟
	GBZ3a	双 $\phi 12@100$, 12 $\Phi 16$	47 分钟
	GBZ18	双 $\phi 8@200$, 12 $\Phi 12$	45 分钟
T 型	GBZ16	双 $\phi 8@200$, 8 $\Phi 12$	32 分钟

从统计时间以及现场实际情况看，一字型节点钢筋绑扎需要约 30 分钟左右，L 型节点钢筋绑扎约 45 分钟左右。

时间最长的为 L 型节点的 GBZ8 施工，共计用时 67 分钟（不含箍筋与纵筋绑扎），原因为此节点位于山墙转角处，外侧为 PCF 板，操作空间狭小，且钢筋密集，工人操作不便（图 6.3.18）。



图 6.3.18 GBZ8 钢筋绑扎（L 型节点）

6.4 “PK 板+楼梯+预制柱+预制梁”装配式施工

本课题组对公司上海某在建装配式项目施工工艺调研的同时，记录了该项目标准层施工全过程，现将记录资料整理，供读者参考与借鉴。

6.4.1 项目概况

项目位于上海市，主要由一栋 11 层综合楼和两栋单层垃圾站房组成。其中 1# 综合楼由抗震缝分割为 1-1#、1-2#、1-3# 合计 3 个结构单体，1-1#、1-2# 为装配整体式框架-现浇剪力墙结构，1-3# 为装配整体式框架结构；2#、3# 两栋垃圾站房，结构体系为现浇框架结构。调研工作针对项目 1-1# 楼开展，调研前一天该楼栋第 8 层标准层混凝土浇筑完毕，调研从第 9 层标准层放线开始，直至混凝土浇筑准备工作完毕。

该楼标准层建筑面积约 2600 平方米，单体预制率 40% 以上，预制构件包括预制楼梯、预制 PK 板、预制叠合梁、预制柱，其中：

（1）预制柱共 40 根，外墙采用 ALC。

（2）水平预制楼板采用 PK 板，预制板和现浇叠合层的厚度为 35mm（40mm）+95mm（90mm），部分大跨度区域总体板厚为 250mm，厚度为 35mm（40mm）+215mm（210mm）。

结构平面图、预制柱平面布置图、水平预制构件（预制梁、PK 板）布置图如下图 6.4.1~6.4.4 所示。

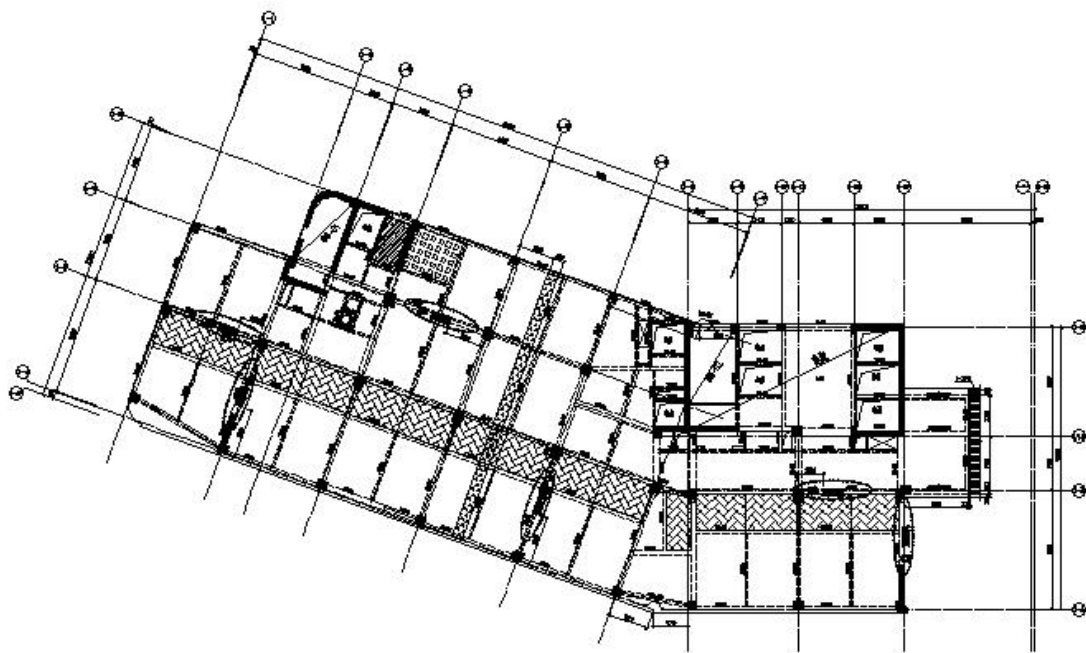


图 6.4.1 调研楼栋标准层结构平面图（建筑面积约 2600 平方）

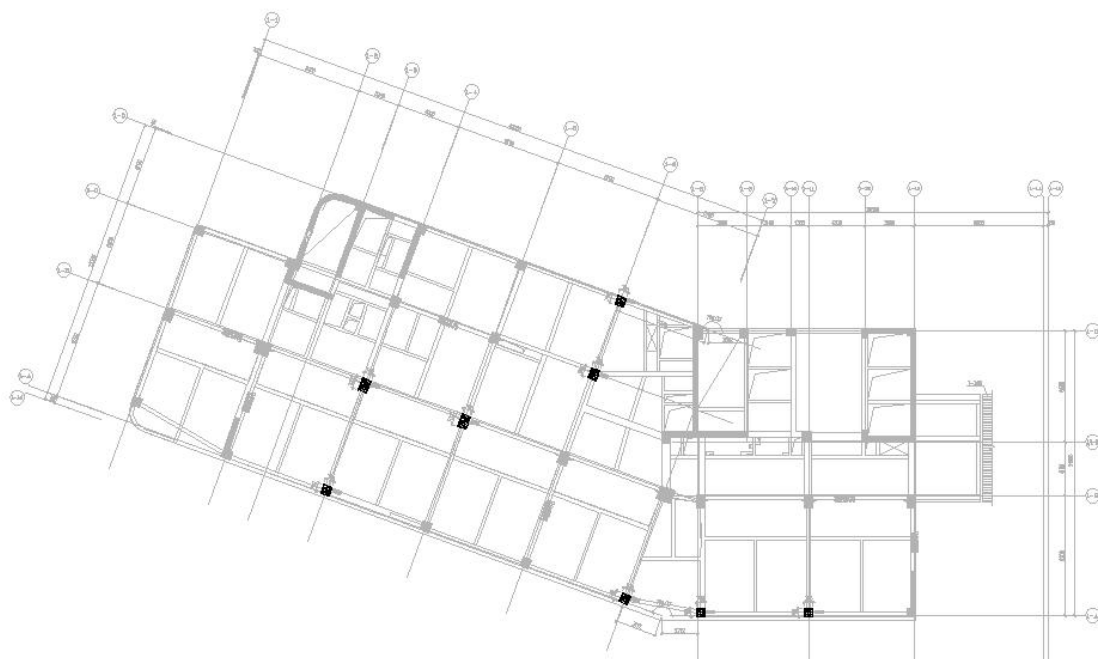


图 6.4.2 预制柱平面布置图

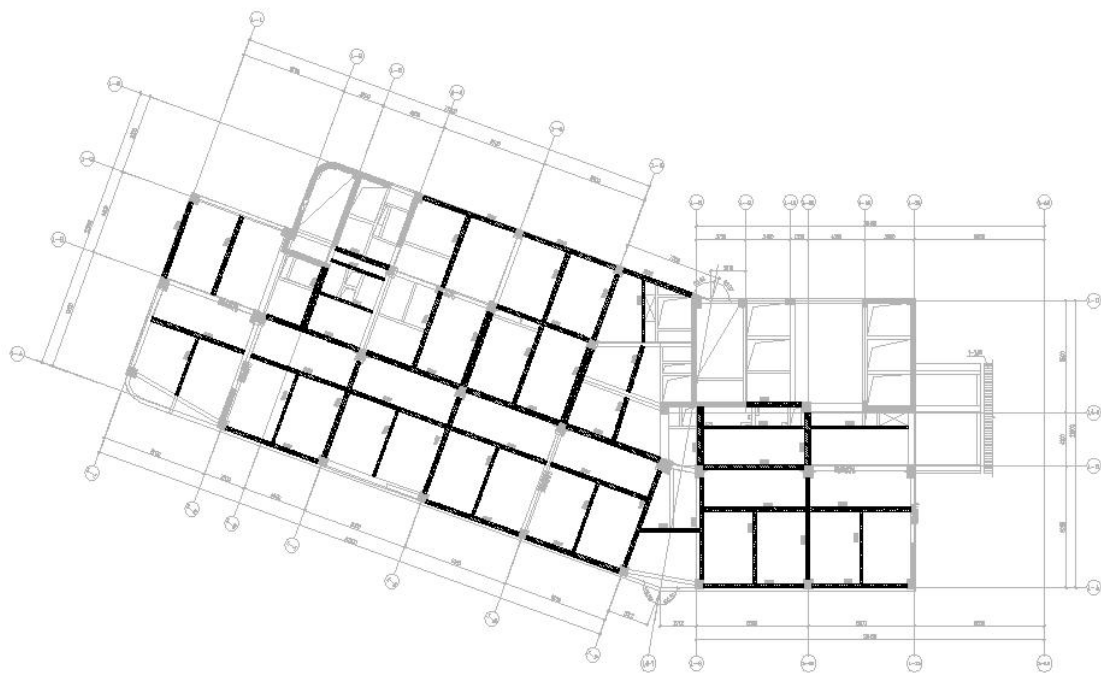


图 6.4.3 预制梁平面布置图

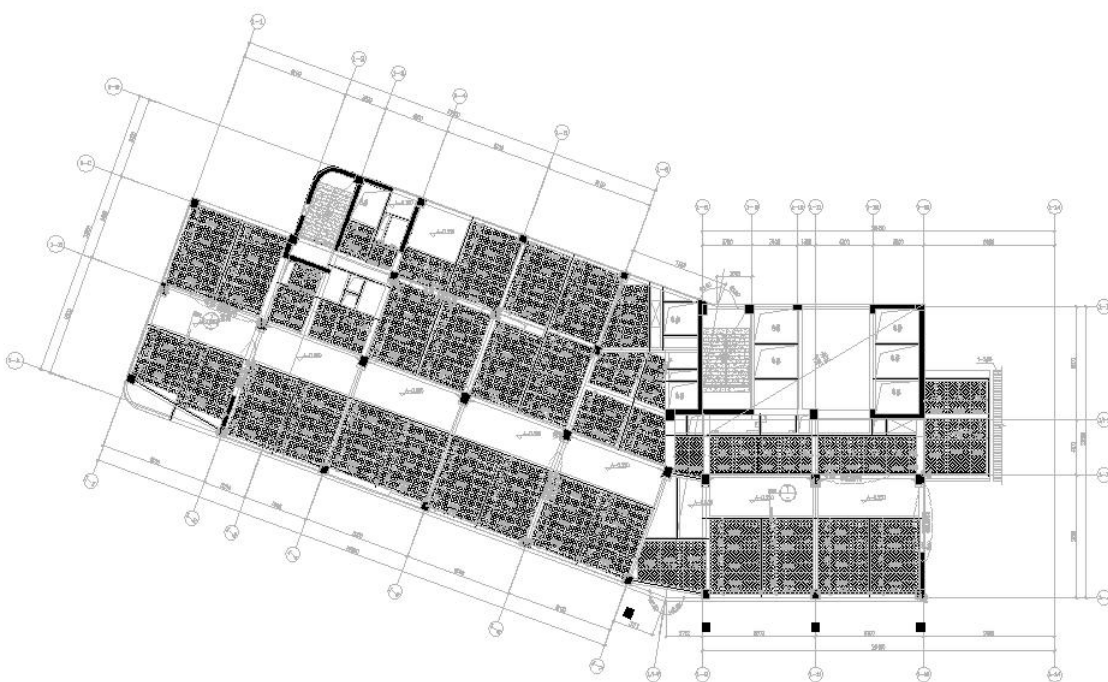


图 6.4.4 预制楼板（PK 板）平面布置图

调研阶段，项目外架采用盘扣外脚手架，内模架为木模及盘扣架体系，如图 6.4.5、图 6.4.6 所示。塔吊采用中联重科 T7525-16D，1-1#、1-2#、1-3#各布置一台，相互交叉覆盖使用。



图 6.4.5 盘扣外脚手架



图 6.4.6 木模及盘扣架

6.4.2 施工组织

根据施工进度计划，标准层施工进度控制为 10 天一层。项目工期要求比较紧张，基本上安排晚上加班进行构件吊装，1-1#楼第 9 层标准层施工横道图如下图 6.4.7 所示。



图 6.4.7 标准层施工进度横道图

6.4.3 施工工艺

(1) 测量放线

本层共投入约 2 名测量人员，持续时间约 2 小时左右。

(2) 预制柱吊装

- ①施工面清理：柱吊装就位之前要将混凝土表面和钢筋表面清理干净，不得有混凝土残渣、油污、灰尘等，以防止构件灌浆后产生隔离层影响结构性能。
- ②柱标高控制。首层柱标高可采用垫片控制，标高控制垫片设置在柱下面，垫片应有不同厚度，最薄厚度为 1mm,总高度为 20mm,每根柱在下面设置三点或四点，位置均在距离柱外边缘 100mm 处，垫片要提前用水平仪测好标高，标高以柱顶面设计结构标高+20mm 为准，如果过高或过低可增减垫片的数量进行调节，直至达到要求标高为准。施工中特别注意本操作环节的控制精度，以防止构件吊装就位后垂直度发生偏差。

③预留钢筋调整。对预留的钢筋进行清理和定位，使用预先加工精确的钢筋定位框对钢筋位置和间距进行定位，调直歪斜钢筋，禁止将钢筋打弯。如图 6.4.8。



图 6.4.8 预留钢筋调整

④吊装预制柱。起吊柱采用专用吊运钢板和吊具，用卸扣、螺旋吊点将吊具、钢丝绳、相应重量的手拉葫芦、柱上端的预埋吊点连接紧固。起吊过程中，柱不得与其他构件发生碰撞。

⑤预制柱起立。预制柱起立之前在预制柱起立的地面下垫两层橡胶地垫，用来防止构件起立时造成破损。

⑥用塔式起重机缓缓将柱吊起，待柱的底边升至距地面 30cm 时略作停顿，利用手拉葫芦将构件调平，再次检查吊挂是否牢固，若有问题必须立即处理。确认无误后，继续提升使之慢慢靠近安装作业面。如图 6.4.9 所示。

⑦在距作业层上方 60cm 左右略作停顿，施工人员可以手扶柱子，控制柱下落方向，待到距预埋钢筋顶部 2cm 处，柱两侧挂线坠对准地面上的控制线，预制柱底部套筒位置与地面预埋钢筋位置对准后，将柱缓缓下降，使之平稳就位。如图 6.4.10 所示。

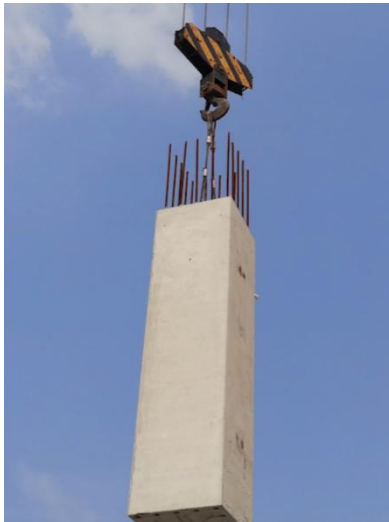


图 6.4.9 预制柱吊装



图 6.4.10 预制柱落位

⑦调节就位:

- 1、安装时由专人负责柱下口定位、对线，并用 2m 靠尺找直。安装第一层柱时，应特别注意安装精度，使之成为以上各层的基准。
- 2、柱临时固定:采用可调节斜支撑螺杆将柱进行固定，每个预制柱每两个方向的临时支撑不宜少于 2 道，其支撑点距离柱底的距离不宜小于柱高的 $\frac{2}{3}$,且不应小于柱高的 $\frac{1}{2}$ 。
- 3、柱安装精调采用支撑螺杆上的可调螺杆进行调节。垂直方向、水平方向、标高均要校正达到规范规定及设计要求。一层柱下有柱墩时，斜支撑安装位较高，无法利用斜支撑调节柱子位置，可以制作专用调节器来调节柱的准确位置。调节器的使用方法:将调节器勾在吊装柱超出下层柱的主筋上，利用扳手紧固螺栓来调整调节板的位置，从而支顶预制柱直到精确就位为止。如图 6.4.11 所示。



图 6.4.11 安装并调节斜支撑

- 5、安装柱的临时调节杆、支撑杆应在与之相连接的现浇混凝土达到设计强度要求后才可拆除。

⑧吊装工效统计。按初安装、精确校正两个工序进行时间统计，本层楼部分竖向构件安装时间如下表 6.4.1 所示。

从表中可以看出，构件安装时间呈现出较大的离散性。但整体来看，预制柱吊装时间区间为（7，9）分钟，较多构件在 9 分钟左右。预制柱校准则受偶然因素影响较大，但也集中在 3 分钟左右。

表 6.4.1 标准层竖向构件（预制柱）安装时间统计表

名称	序号	构件编号	吊装时长	校准时长	备注
预制柱	1	9-YKZ01	7 分 18 秒	3 分 42 秒	
	2	9-YKZ02	8 分 40 秒	4 分 06 秒	
	3	9-YKZ03	9 分 05 秒	4 分 49 秒	
	4	9-YKZ04	7 分 39 秒	3 分 30 秒	
	5	9-YKZ05	7 分 16 秒	4 分 01 秒	
	6	9-YKZ06	8 分 22 秒	3 分 15 秒	

（3）预制柱封仓

预制柱下与楼板之间的缝隙采用砂浆封堵，封堵要密实，确保灌浆时不会漏浆。如图 6.4.12 所示。



图 6.4.12 预制柱封仓

（4）预制柱灌浆

将排浆孔封堵只剩一个，插入灌浆管进行灌浆。将下排排浆孔封堵只剩一个，待浆液成柱状流出时封堵灌浆孔，灌浆作业完成后 24h 内，构件和灌浆连接处不能受到震动或冲击作用。如图 6.4.13 所示。



图 6.4.13 预制柱灌浆

(5) 水平模架搭设

水平模架搭设。本项目水平构件采用木模+盘扣架，采用梁板共模共撑体系。如图 6.4.14 所示。

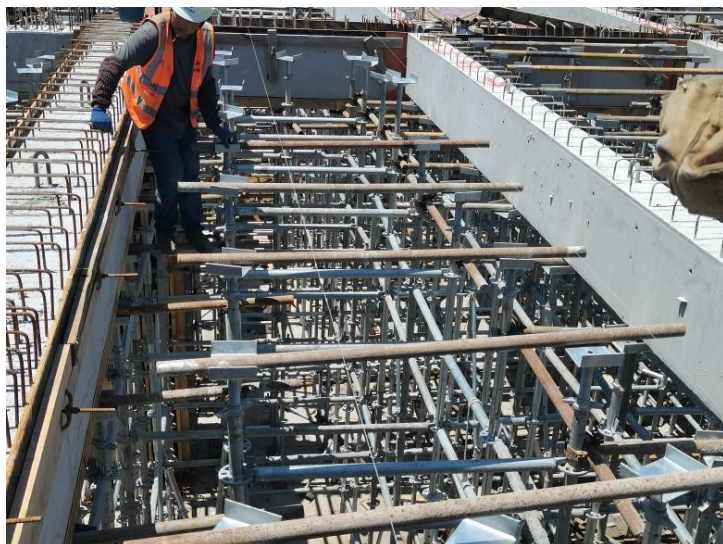


图 6.4.14 水平模架搭设

(6) 预制梁吊装

①安装准备工作。起吊梁采用专用吊运钢梁和吊具，用卸扣、吊钩将吊具、钢丝绳梁上端的预埋吊环连接紧固。起吊过程中，梁伸出钢筋不得与其他物体发生碰撞。预制梁安装顺序宜遵循先主梁后次梁，先高后低的原则。

②梁底支撑设置。梁底支撑采用钢管搭设，立杆间距宽 600mm，长度间距 900mm 或 1200mm(支撑每边距梁端不大于 300mm,可根据实际间距进行长向间距设置)。钢管上方采用顶丝和木方进行梁的支顶，木方采用 50mmx80mm 双排立放。

- 1、根据图样算出梁底标高，将梁底木方利用顶丝调整至与梁底相同高度上。
- 2、梁底支撑搭设须牢固无晃动，在保证有足够安全和稳定的前提下方可进行

吊装。

3、梁底支撑应与叠合板架体支撑相连接。

③安装就位。

1、梁在未起吊前便须安装好斜支撑预埋件。

2、塔式起重机缓缓将梁吊起，待梁的底边升至距地面 30cm 时略作停顿，检查吊挂是否牢固，若有问题必须立即处理，确认无误后，继续提升使之慢慢靠近安装作业面。如图 6.4.15 所示。



图 6.4.15 预制梁吊装

3、待梁靠近作业面上方 30cm 左右，作业人员用手扶住梁，按照位置线使梁慢慢就位。待位置准确后将梁垂直放在事前准备好的立撑上。如标高有误差可采用可调节立撑调整至预定标高。

4、梁吊装就位后，采用可调节斜支撑螺杆将梁与地面进行固定，预制梁的位置可通过可调支撑进行调节校正。可调节斜支撑内梁一侧设置两根，另一侧设置一根，对于边梁可只在内侧设置两根。

5、支撑固定妥当以后，才可进行吊钩摘除。

6、节点混凝土浇筑完毕可以拆除斜支撑螺杆。立撑待完成上两层的梁施工后，本层后浇混凝土强度达到设计要求时方可拆除。

（6）节点施工

节点施工主要包括梁柱节点以及主次梁节点，节点钢筋绑扎及封模如下图 6.4.16、图 6.4.17 所示。



图 6.4.16 预制梁柱节点钢筋绑扎



图 6.4.17 预制主次梁节点封模

(7) PK 板吊装

本项目采用 PK 板，调研楼层吊装人员 5 名，共计 1 天完成吊装工作。课题组对每块 PK 板的吊装时间进行粗略统计，现场记录了 5 块 PK 板的吊装时间，吊装时长分别为 3 分 08 秒、3 分 10 秒、3 分 25 秒、3 分 15 秒、3 分 07 秒，平均时长为 3 分 13 秒，如图 6.4.18、图 6.4.19 所示。PK 板吊装完成后，板与板之间拼缝宽度不应大于 10mm，拼缝采用 M15 膨胀砂浆抹平。



图 6.4.18 PK 板吊装

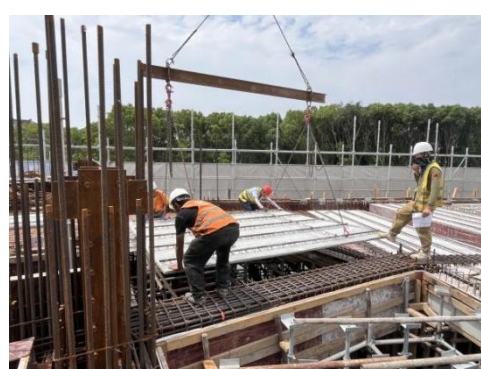


图 6.4.19 PK 板安装就位

(8) 梁板钢筋绑扎、水电预埋

PK 叠合板铺设完毕后，进行水电管线敷设。钢筋绑扎时，先布置横向受力钢筋，再在叠合板拼缝处、横向钢筋的上面布置抗裂钢筋网片。抗裂钢筋铺设完毕后，按要求布置板面支座负筋、分布筋等受力钢筋。如下图 6.4.20、图 6.4.21 所示。



图 6.4.20 水电管线敷设



图 6.4.21 楼面钢筋绑扎

（9）混凝土浇筑

浇筑前课题组完成调研，浇筑工作未详细记录。

6.5 “外挂板”现浇改装配式施工

6.5.1 现浇改装配式背景

本项目位于浙江省丽水市，总用地面积 96605 m²，总建筑面积 83984m²。整个项目主要由急诊部、门诊部、住院部、医技科室、感染楼、保障系统、行政管理和院内综合用房等八项设施构成组成（图 6.5.1）。



图 6.5.1 项目施工阶段鸟瞰图

项目感染楼地上 2 层，建筑高度 11.1m；综合楼地上 4 层，建筑高度 20.7m；均为框架结构，层高 5~6 米。综合楼外立面均采用竖向弧形装饰墙板，墙板高度为 23.8m，如下图 6.5.2 所示；感染楼西面、南面采用竖向弧形装饰墙板，墙板高度为 9.1、9.4m，如下图 6.5.3 所示。弧形装饰墙板剖面图如下图 6.5.4、图 6.5.5 所示。

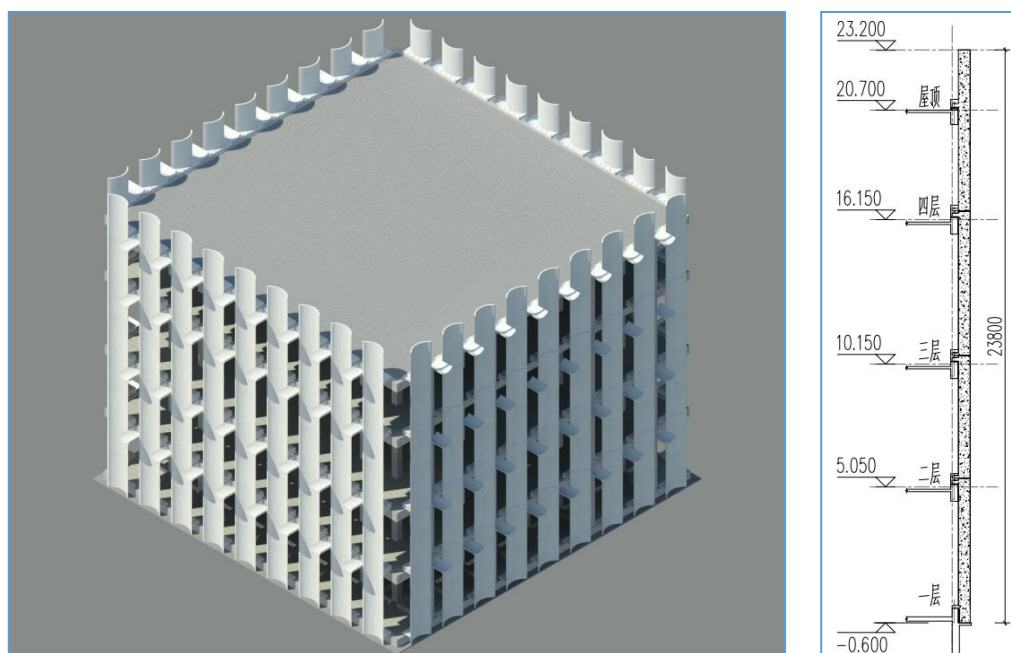


图 6.5.2 综合楼外立面效果图及外挂板剖面图

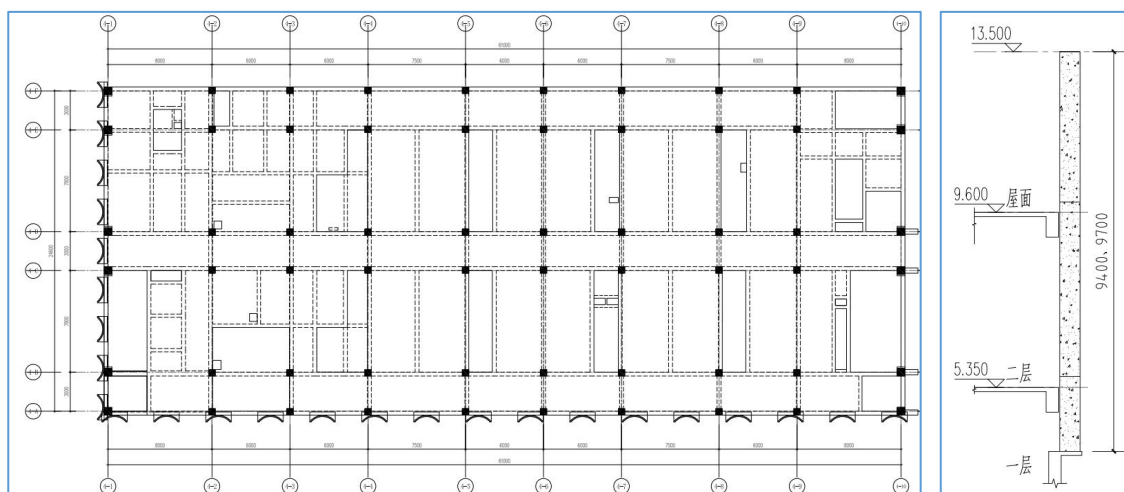


图 6.5.3 感染楼外立面效果图

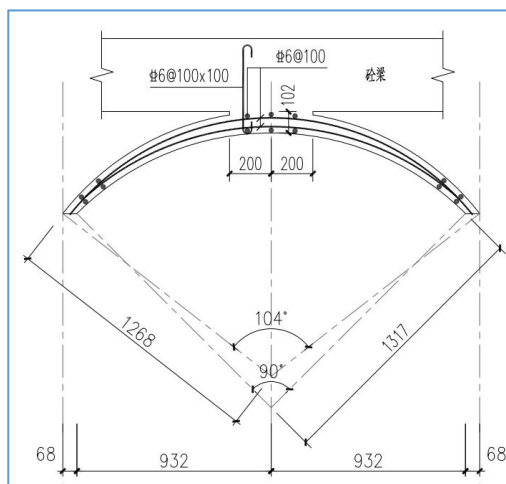


图 6.5.4 综合楼挂板做法 (平面俯视)

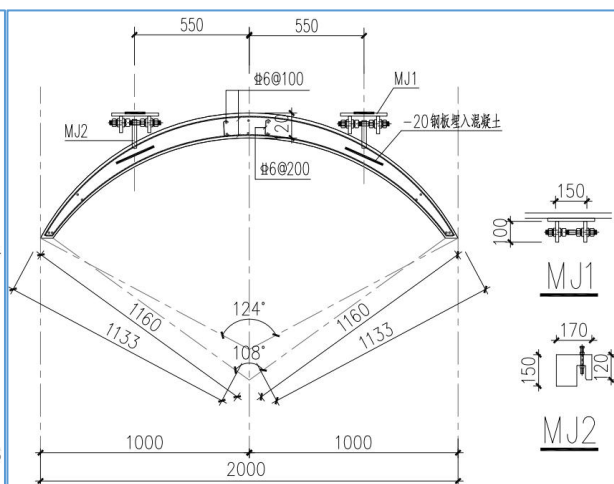


图 6.5.5 感染楼挂板做法 (平面俯视)

从图 6.5.2~图 6.5.5 可以看出，感染楼和综合楼原设计装饰墙板大样略有不同，且屋面层之上悬臂高度也不同。感染楼装饰墙板自屋面层往上延伸约 4 米，结构设计时，在屋面层附加了预埋锚板拉结；综合楼装饰墙板自屋面层往上延伸约 2.3 米，节点做法同普通楼层。

本项目主体结构较为普通，施工简单。外立面的装饰墙板原设计为现浇结构，外部涂刷灰色油漆，但由于装饰墙板设计弧度较大，厚薄不一，导致支模难度大，所需施工时间长，且观感质量要求较高，成为以上两个单体的施工难点所在。

具体来说，针对本项目异形装饰墙板，若按常规思路采用木模板现浇施工，将会存在以下难点：

- （1）传统木模施工方法观感质量难以保证；
- （2）项目部弧形板弧形钢筋弯制水平达不到，弯制较为困难；
- （3）现浇支模施工影响主体结构施工进度，对节省工期不利；

针对以上痛点，项目团队思考了以下 2 种备选方案（为方便对比，将原木模方案也一并列入），如下表 6.5.1 所示。

表 6.5.1 施工方案优缺点对比表

方案	方案名称	优缺点
方案一	随主体结构现浇-木模	随主体结构支模现浇，支模施工影响主体结构进度，每层约增加 2-3 天时间。成本较低，但木模外部观感质量难以保证。
方案二	随主体结构现浇-铝模	随主体结构支模现浇，支模施工影响主体结构进度，每层约增加 2 天。但外部观感质量较好，但成本较高。
方案三	分片预制安装	外墙装饰阶段吊装，不影响主体结构进度，预制质量有保证，外部观感质量有保证，成本适中。

经过反复计算、论证及成本测算，项目团队最终选择了方案三为本工程的竖向弧形装饰墙板施工方案，此方案解决传统现浇影响主体结构进度问题，并且预制安装，质量和外部观感质量有保证。

6.5.2 现浇改装配思路

本项目“现浇改装配”对象为外挂装饰墙板，思路如下：

- （1）根据吊装设备吊装能力，将外挂墙板在高度方向上分段，段与段之间设计专用连接节点，尽可能以干连接方式为主，且节点做法统一。
- （2）原设计外挂墙板为非等厚混凝土板，且感染楼与综合楼墙板截面尺寸不统一，如半径、厚度略有差异。为方便工厂生产，做到构件标准化，减少预制成本，

将两栋楼的墙板优化为等厚度同截面预制板。

(3) 感染楼外挂墙板顶部悬挑过大，为统一预制构件做法，在感染楼外挂墙板顶部增设框架梁，作为外挂墙板支座。这样两栋楼外挂墙板受力基本一致，墙板厚度及配筋统一，提高构件标准化。

(4) 施工时，主体结构先行施工，预制构件同步在 PC 工厂生产。待混凝土强度满足后吊装预制墙板，施工节点即可。

6.5.3 构件深化设计

1、外挂墙板截面优化

本项目感染楼、综合楼原设计外挂墙板截面见上文所述，截面半径及厚度均略有差异，为实现构件标准化，项目团队与设计院沟通，在满足建筑外立面的前提下，对外挂墙板截面进行了调整：

(1) 将两栋楼的墙板优化为等厚度同截面预制板，厚度均为 90mm，内弧半径均为 1131mm，外弧半径为 1121mm，如下图 6.5.6 所示。

(2) 外挂墙板在楼层梁标高处各增加 150、100 厚钢筋混凝土挑板，挑板与框架梁采用螺栓连接。挑板将外挂墙板所承受自重、风载、地震荷载等传递至主楼框架梁，如下图 6.5.7 所示。

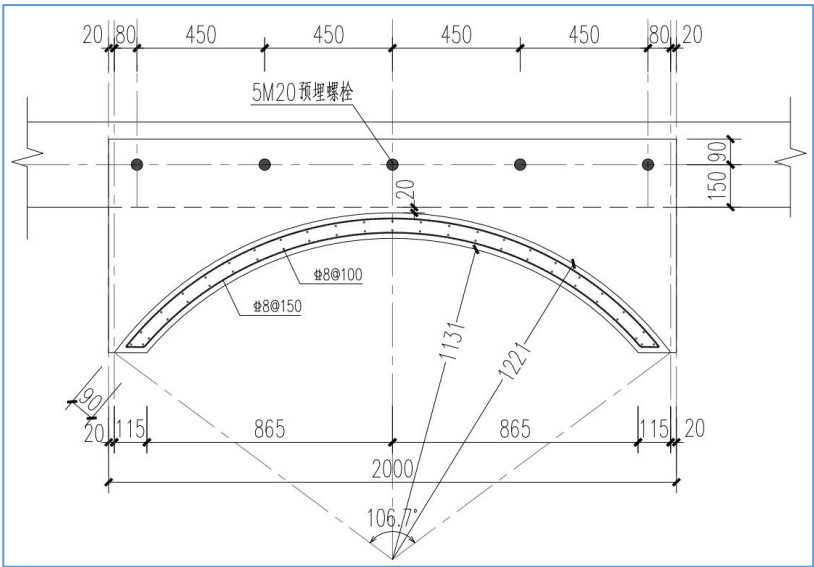


图 6.5.6 外挂墙板截面深化设计图

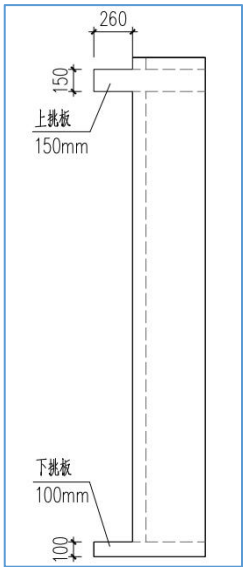


图 6.5.7 外挂墙板挑板设计图

2、外挂墙板竖向分段

本项目综合楼竖向弧形装饰墙板高度为 23.8m，感染楼墙板高度为 9.1m、9.4m，综合楼层标高、吊装能力、施工方便等各种因素，将综合楼外挂墙板沿高度方向划分为 4 段，感染楼则沿高度方向划分为 3 段。综合楼分段及编号如下图 6.5.8 及表

6.5.2 所示；感染楼分段及编号如下图 6.5.9 及表 6.5.3 所示，各预制段构件打样见图 6.5.10 所示。

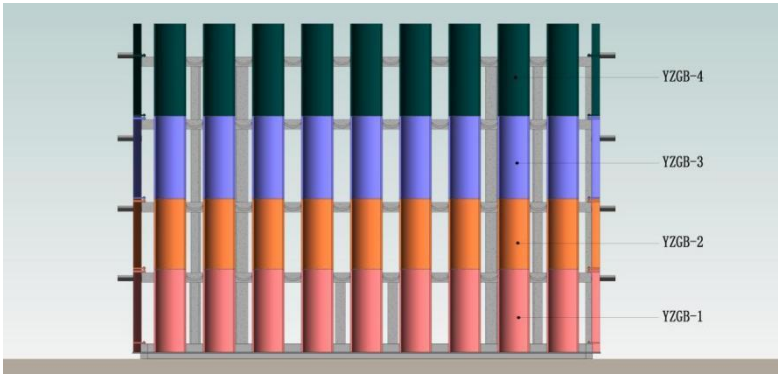


图 6.5.8 综合楼竖向分段图

表 6.5.2 综合楼竖向弧形外挂板分段统计表

构件编号	分段长度	重量	位置
YZGB-1	6000 mm	3.49t	综合楼最下层板
YZGB-2	5080 mm	3.03t	综合楼第二层板
YZGB-3	5980 mm	3.48t	综合楼第三层板
YZGB-4	6680 mm	3.82t	综合楼最上层板

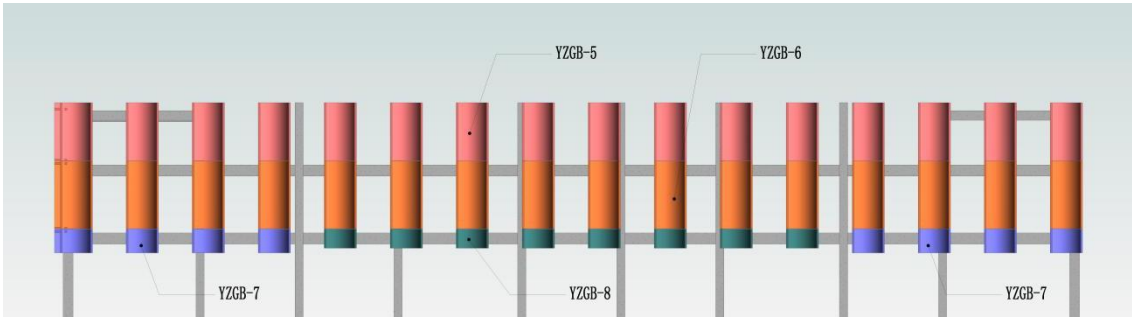


图 6.5.9 感染楼竖向分段图

表 6.5.3 感染楼竖向弧形外挂板分段统计表

构件编号		分段长度	重量	位置
上层板	YZGB-5	3630 mm	2.31t	感染楼最上层板
	YZGB-5a	3000 mm	2.00t	感染楼最上层板（电梯井部位）
	YZGB-5b	3080 mm	2.04t	感染楼最上层板（楼梯部位）
中间板	YZGB-6	4230 mm	2.61t	感染楼中间层板
	YZGB-6a	4860 mm	2.92t	感染楼中间层板（电梯井部位）
	YZGB-6b	4810 mm	2.90t	感染楼中间层板（楼梯部位）
下层板	YZGB-7	1500 mm	1.05t	感染楼最下层板（对应总高 9.4m）
	YZGB-8	1200 mm	0.90t	感染楼最下层板（对应总高 9.1m）

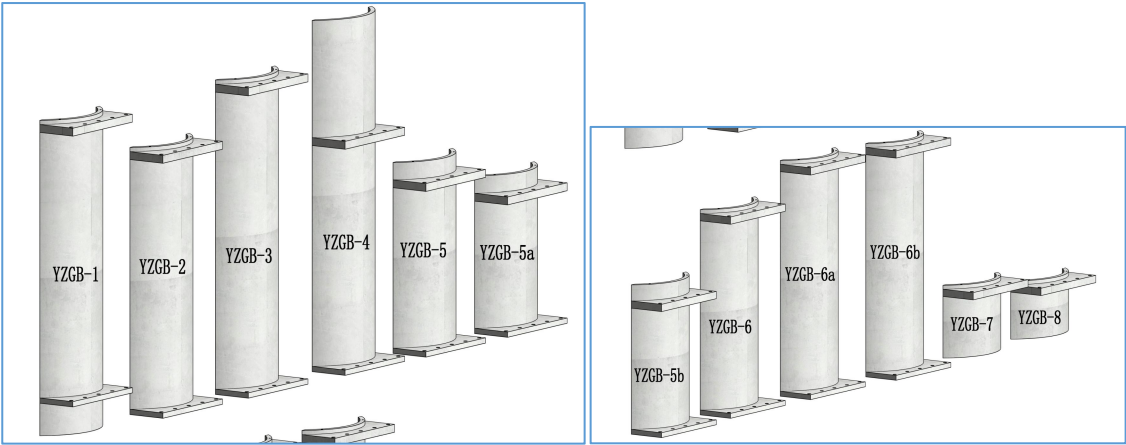


图 6.5.10 各预制段外挂板示意图

需要强调的是，感染楼外挂墙板顶部原设计悬挑约 4 米，悬臂过大，板厚及配筋将明显大于其余部位。为统一预制构件做法，在感染楼外挂墙板顶部增设框架梁，作为外挂墙板支座，如下图 6.5.11 所示。优化后两栋楼外挂墙板受力基本一致，墙板厚度及配筋统一，做到了构件标准化。

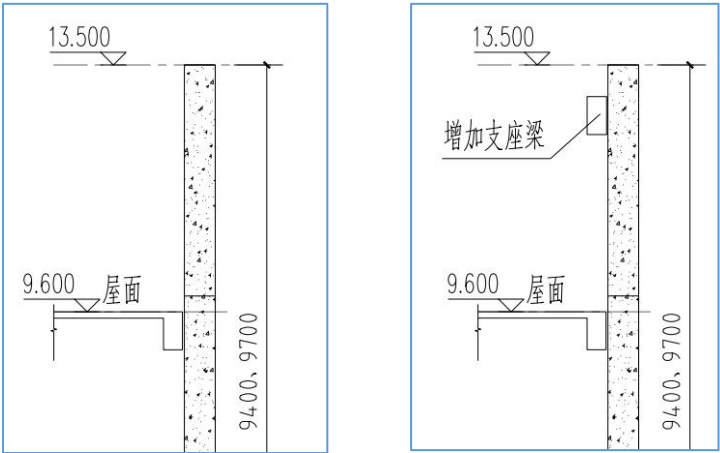


图 6.5.11 感染楼外挂板顶部优化前后对比（增加框架梁）

3、外挂板安装节点深化

本项目外挂墙板与主体结构连接节点采取钢螺栓连接，如下图 6.5.12~图 6.5.14 所示，即在主楼梁内预埋预埋件 A、B，预埋件 A 焊接支撑牛腿并伸入外挂墙板中，通过附加螺栓拧紧；预埋件 B 焊接下挂槽钢，槽钢设置螺栓孔，外挂墙壁预埋带丝扣锚筋穿入后利用螺母拧紧。竖向荷载由预埋件 A 承载，水平荷载如风荷载等则主要由预埋件 A、B 共同承担。

该设计节点要求主体结构施工时结构梁部位做成企口形式，且竖向装饰板在预制时端板也需要做成折板，施工较为困难，且后期钢构件易锈蚀，承载力受影响。

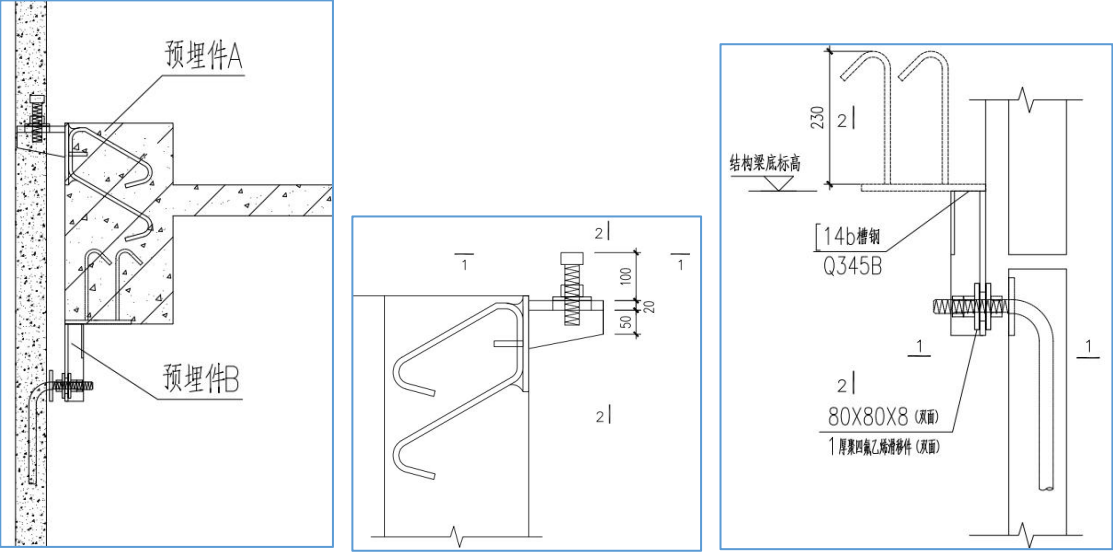


图 6.5.12 原设计连接节点 图 6.5.13 预埋件 A 大样 图 6.5.14 预埋件 B 大样

考虑原设计节点钢构件后期易锈蚀，影响其承载力，项目最终采用预埋螺栓连接节点，如下图 6.5.15 所示，该做法将外挂墙板设计为坐落式墙板，安装完成后，墙板自重可依靠上下挑板直接传递至混凝土梁；自重荷载下，因竖向支撑支座偏心影响导致的水平力以及水平荷载均由预埋螺栓承担。

本节点可以将螺栓提前预埋，节点安装可靠，安装较为简单。螺栓安装后三维模型见下图 6.5.16 所示。

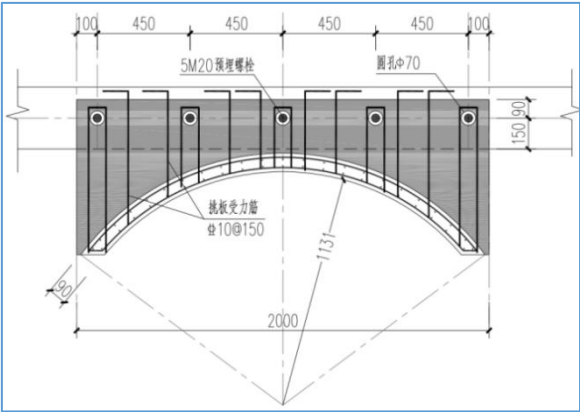


图 6.5.15 外挂板连接节点处平面布置图

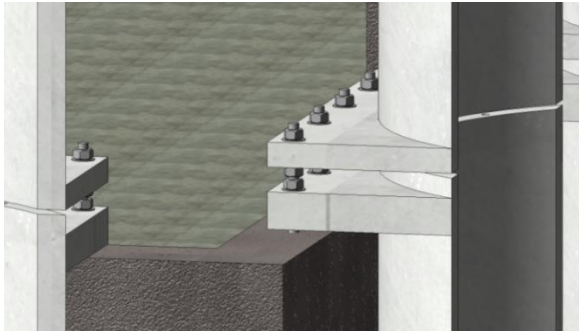


图 6.5.16 外挂墙板螺栓连接效果图

4、PC 构件构造做法

本项目预制外挂墙板内外面为清水混凝土效果，上下挑板由于生产方式的制约，也按光滑面生产。从本节点受力特点来说，由于水平荷载及自重偏心影响，上下挑板之间以及挑板与梁之间均存在较大摩擦力，挑板设置粗糙面对受力有利，后续项目可进一步改进。

每段预制墙板设计 4 个吊环，吊环对称布置，如图 6.5.17 所示。

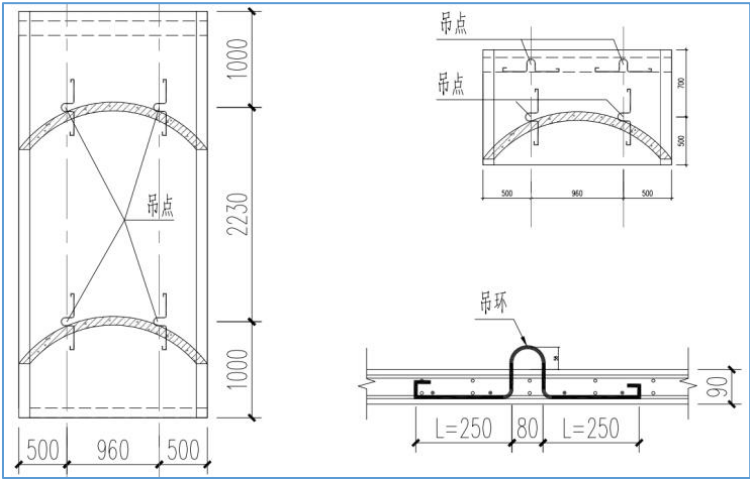


图 6.5.17 预制墙板吊环预埋图

6.5.4 施工部署

1、起吊设备选择

项目设置 1 台 ZJ6010 塔吊，臂长为 60m，单独服务综合楼，塔吊设置与综合楼西北角。设置 1 台 ZJ6010 塔吊，臂长 60m，共同服务于感染楼和停车楼，塔吊设置与停车楼北侧，距感染楼 25m。

综合楼构件最重为 3.82t，感染楼最重为 2.92t。经分析，感染楼需在 26.08m 范围内才能满足吊重要求（图 6.5.18）；综合楼需要在 20m 吊装范围线内才能满足吊重要求（图 6.5.19）。

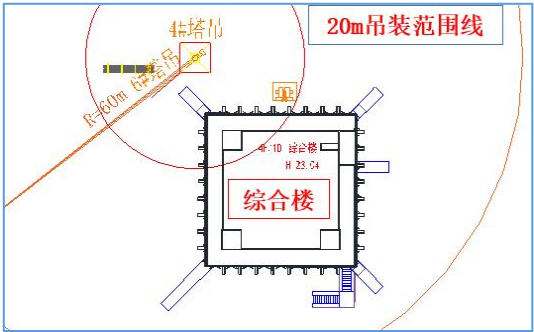


图 6.5.18 综合楼塔吊吊装能力分析图

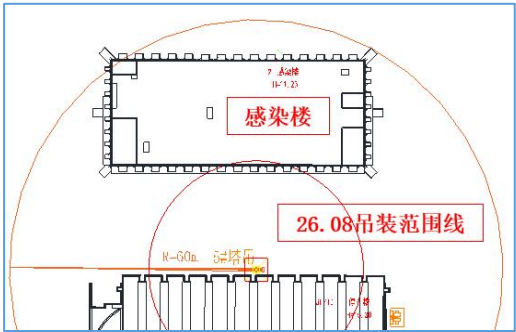


图 6.5.19 感染楼塔吊吊装能力分析图

综上所述，塔吊无法满足竖向弧形装饰墙板吊装要求，项目改用汽车吊进行弧

形装饰墙板吊装。综合构件重量及现场道路设置情况，采用 50T 汽车吊进行吊装。根据综合楼及感染楼预制构件重量，结合汽车吊起吊性能特点，吊装工作汽车吊位置部署如下图 6.5.20、图 6.5.21 所示。

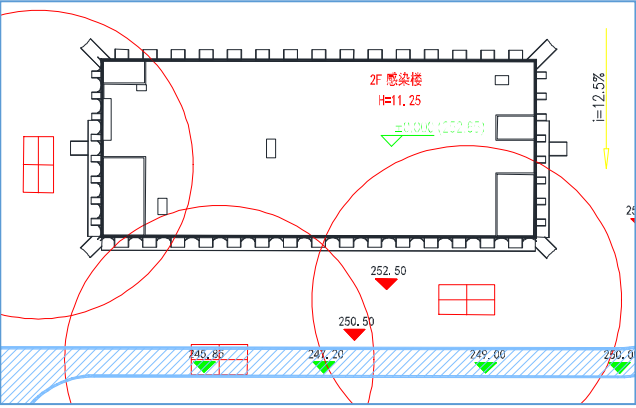


图 6.5.20 感染楼汽车吊吊装位置图

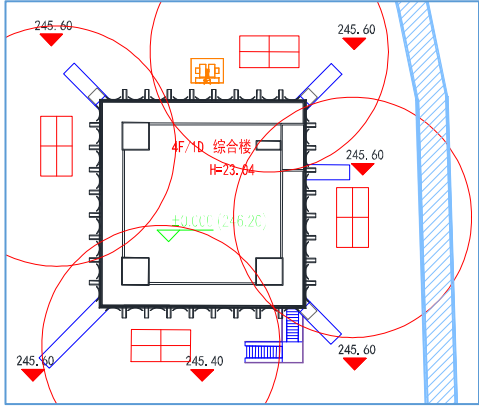


图 6.5.21 综合楼汽车吊吊装位置图

2、总体施工顺序

平面顺序：每个楼层配置一台吊装设备和施工班组，吊装设备就位后，为便于 PC 构件拼缝控制，自楼层角部开始进行施工，感染楼由东南角向西北角方向开始吊装，由下往上逐块安装，平面沿顺时针方向依次吊装。综合楼号楼由西北角处开始，沿顺时针方向吊装。

竖向顺序：吊装顺序采用竖向吊装，即先从下往上吊装同一平面位置的 PC 构件，待完成一区段内（汽车吊吊装能力范围）所有楼层后，再进行下一个平面位置 PC 构件的吊装；依次类推顺序安装。减少频繁挪车，节省时间，提高吊装效率。

6.5.5 施工工艺

1、预制构件生产

本项目预制墙板在 PC 工厂生产，由于构件为异形构件，工厂采用整体钢模板生产，生产流程包括：模具设计及加工、弧形钢筋弯制、弧形板钢筋绑扎、合模、混凝土浇筑及养护。

（1）模具设计及加工

墙板模具由底座、端模、盖板组成。底座钢模采用 12#槽钢焊制成方形底座框架，底座内设置 9 道 12#槽钢次梁，采用 60×60×3mm 角钢弯制成弧形，同底座次梁焊接，角钢顶部焊接 5mm 厚钢板，形成上部呈弧形，下部平整的钢模底座，如图 6.5.22~图 6.5.24 所示。

底座长边上设置多道螺栓孔，便于端模立柱固定及调整端模位置。盖板采用弧

形盖板，采用 $60\times 40\times 3\text{mm}$ 方钢制作门架，门架两端采用螺栓固定在底座长边螺栓孔上。门架设置可移动吊杆，吊杆底端与盖板螺栓固定，形成吊模。

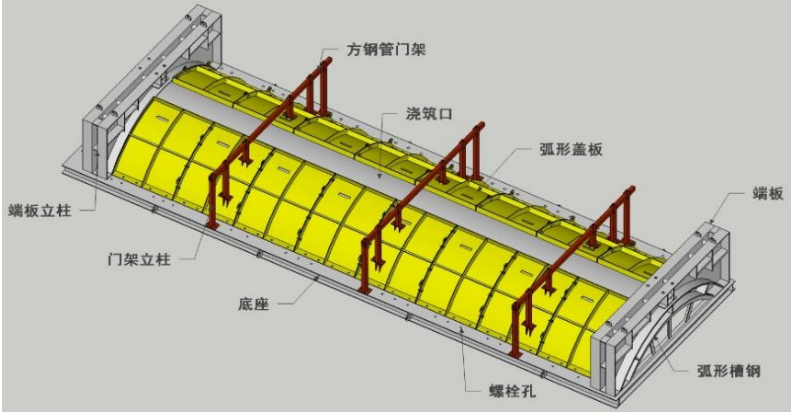


图 6.5.22 底座及端板模具三维模型



图 6.5.23 模具底座及端板实体展示



图 6.5.24 模具盖板实体展示

(2) 弧形钢筋弯制、绑扎

市场上采购的弯制机具无法满足弧形钢筋弧度要求，工人对弯制工具进行改进，通过在弧形钢筋弯制行走路径上设置磁力座，固定滚轮，来保证弧形钢筋弧度，提高弧形钢筋弯制效率。如下图 6.5.25、图 6.5.26 所示。



图 6.5.25 弧形钢筋弯制



图 6.5.26 弧形板钢筋绑扎

(3) 合模、混凝土浇筑及养护

将模具清理干净，涂布脱模剂，贴海绵胶条；将弧形板钢筋整体吊放至模具底座上，安装端板两侧立柱，对端模最外侧板进行固定，进行端板钢筋绑扎及吊点等

预埋，最后合模，如下图 6.5.27~图 6.5.29 所示。

合模完成后进行混凝土浇筑，采用小型振动棒，保证边角部位振捣到位，最后对浇筑口部位进行收面。混凝土养护采用蒸汽养护，养护 6-8 小时后，拆模，将端板侧模拆除后将盖板整体吊离，移运至堆场中进行浇水养护，见图 6.5.30 所示。



图 6.5.27 弧形板钢筋整体吊放



图 6.5.28 挑板钢筋绑扎



图 6.5.29 弧形板合模



图 6.5.30 预制弧形板拆模后集中养护

2、预制构件运输

由于本项目预制墙板为异形构件，运输过程对构件的保护尤为重要。针对此异形构件，项目采用平放形式运输，为了保证运输过程中弧形板受力均匀，避免产生裂缝，自制工字钢焊制运输支架，如下图 6.5.31 所示。

将运输之架吊运至运输车辆上，支架位置同弧形板堆放支点一致，在运输支架上搁置短方木，利用水平吊点将弧形板吊运至运输支架上。弧形板采用叠放，板与板之间放置短方木，方木位置应与运输支架上方木对应，吊运过程中应注意，防止弧形板碰撞，造成弧形板损伤。装车完毕后对弧形板搁置情况进行检查，如下图 6.5.32~图 6.5.34 所示。



图 6.5.31 弧形板运输支架（含方木）

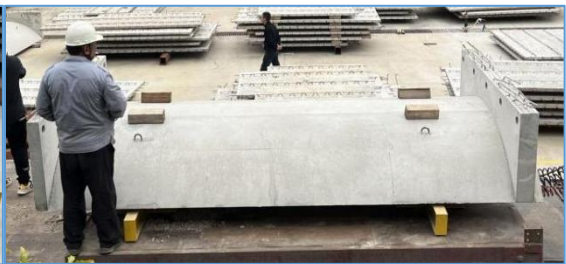


图 6.5.32 预制弧形板之间方木布置



图 6.5.33 弧形板水平吊运



图 6.5.34 预制弧形板水平叠放运输

3、预制构件吊装

预制墙板吊装主要包括底部坐浆、构件吊装、水平及垂直度调整、水泥砂浆封堵等。

（1）底部坐浆：首先复核混凝土梁顶面标高，标高误差较大地方设置 3~5mm 钢垫片垫高，然后坐浆，如下图 6.5.35 所示。

（2）构件吊装：采用端部吊点将外挂板吊起，调整外挂板角度为垂直状态，水平吊点部位设置缆风绳，辅助构件吊装，如下图 6.5.36 所示。

（3）水平及垂直度调整：起吊至安装位置，将端板预留安装孔对准预埋螺杆，缓慢放入，进行微调，利用卷尺调整外挂板位置及垂直度，如下图 6.5.37 所示。

（4）水泥砂浆封堵：调整完毕后及时采用水泥砂浆将下片板的上端板螺栓眼进行封堵，再进行上片板吊装就位，如下图 6.5.38、图 6.5.39 所示。



图 6.5.35 底部坐浆



图 6.5.36 构件吊装



图 6.5.37 水平及垂直度调整



图 6.5.38 螺杆孔水泥砂浆封堵



图 6.5.39 节点部位安装就位图

4、节点钢筋连接

所有墙板吊装完毕后，按节点要求，统一进行植筋和钢筋绑扎，对端板部位进行支模，浇筑混凝土并振捣到位。

6.5.6 技术总结

本项目主体结构较为普通，但外立面的装饰墙板设计弧度较大，厚薄不一，且观感质量要求较高；若按现浇方式施工，将会导致支模难度大，所需施工时间长，且质量难以满足设计要求。

与“随主体结构现浇-铝模”、“分片预制安装”两种方案对比后，项目团队最终选择了方案三为本工程的竖向弧形装饰墙板施工方案，此方案解决传统现浇影响主体结构进度问题，并且预制安装，质量和外部观感质量有保证。

总的来说，项目“复杂部位现浇改装配”的思路主要包含以下几个关键点：

- （1）根据吊装设备吊装能力将外挂墙板在高度方向上分段，段与段之间采用干连接方式连接，施工简单。
- （2）为方便工厂生产，将两栋楼的截面尺寸略有不同的墙板优化为等厚度同截面预制板，提高了构件标准化程度，减少了预制成本。
- （3）感染楼外挂墙板顶部悬挑过大，在挂墙板顶部增设墙板支座框架梁，墙板板厚配筋等与其他部位一直，提高了构件标准化。
- （4）工厂采用自制整体钢模板生产外挂墙板，预制构件外观质量得到保证。

6.6 “外立面连续独立梁”现浇改装配式施工

6.6.1 现浇改装配背景

本项目位于郑州市，项目二期由 13 栋洋房、2 栋高层、地下车库以及附属商业配套组成，总建筑面积 12.9 万平米。如图 6.6.1 所示。



图 6.6.1 项目鸟瞰效果图

本项目 4#楼和 5#楼坐落于场地最南侧，两栋高层住宅在结构北侧设计有大跨度独立梁，4#楼独立梁位于 2 层及以上，每层设置，截面为 $200\times 600\text{mm}$ ，净跨长 13.8m ，标高为 $+0.110\text{m}$ ，梁两侧无板，与内侧结构净距 2.3m ，外侧悬空；5#楼独立梁净跨长 12.15m ，其余特征同 4#楼。独立梁设计为混凝土现浇结构，分布位置如图 6.6.2、图 6.6.3 所示。



图 6.6.2 4#楼独立梁三维效果图

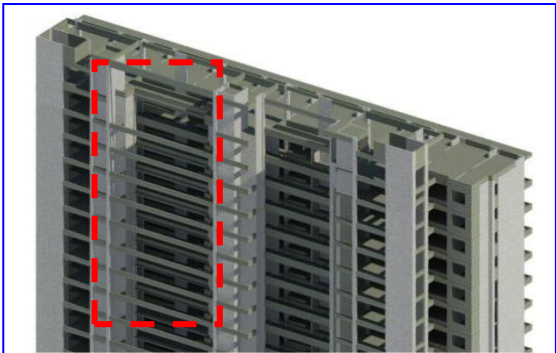


图 6.6.3 5#楼独立梁三维效果图

4#楼结构东西长度 59.7m ，5#楼结构东西长度 69.3m ，南北宽度均为 14.8m 。结构设计从基础底板至屋面板通高留设 800mm 宽温度后浇带，并要求保留时间不少于 45 天。其中 5#楼温度后浇带设计在独立梁跨中位置。独立梁平面布置图如图 6.6.4、图 6.6.5 所示。

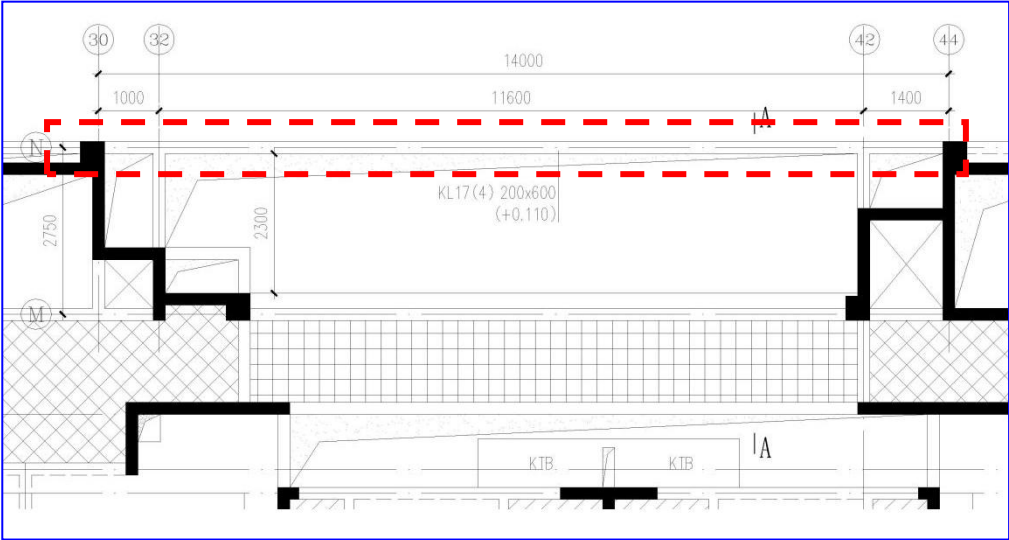


图 6.6.4 4#楼独立梁平面布置图

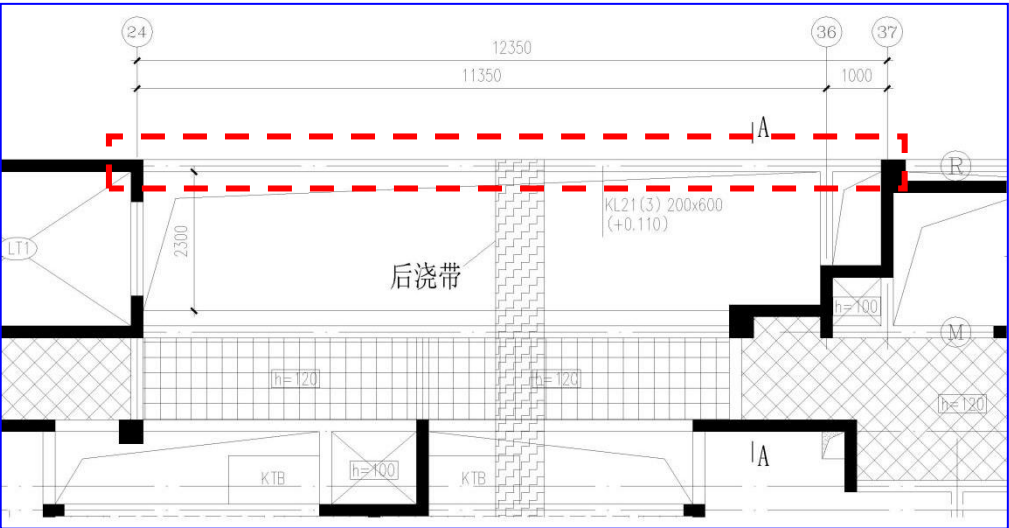


图 6.6.5 5#楼独立梁平面布置图

高层住宅此类外立面独立梁考虑采用传统满堂架或悬挑架支撑现浇方式施工时，将会给施工带来较多不便之处。对于每层设置的外立面独立梁，不管主楼采用附着式升降脚手架还是普通脚手架施工，一般均将连梁与主楼同步施工，无需后期二次施工。下面根据主楼脚手架类型，详细介绍：

1、主楼采用附着式升降脚手架施工

主楼附着式升降脚手架直接沿连梁平面拉通，保证架体整体性，架体附着在连梁上。连梁内部天井可采用落地架或悬挑架，连系梁支撑架与天井脚手架设计时可综合考虑。

2、主楼采用普通脚手架施工

(1) 主楼采用落地脚手架时，外脚手架在连梁处拉通设计，连墙件可设置于连梁；连梁内侧天井采用落地架搭设，连系梁支撑架与天井脚手架设计时可综合考

虑；

（2）主楼采用悬挑脚手架时，连梁处预埋工字钢锚固件，脚手架沿连梁平面拉通；连梁内侧天井同样采用落地架搭设，连系梁支撑架与天井脚手架设计时可综合考虑。

根据设计图纸，独立梁跨度大，梁两侧无板，为现浇结构。支模架设计如果只考虑梁底立杆和梁两侧立杆，高宽比较大，抗倾覆能力较弱。从第3层开始，支模架高度将超过8m，属于超危大工程，施工方案需组织专家论证，现场操作难度和管理难度加大，施工风险骤增。随着楼层高度不断增加，落地式支模架已经难以满足施工需求，且影响外架形象。5#楼独立梁跨中位置设计有温度后浇带，需保留至少45天，给支模架和外架设计带来很大难度。4#楼和5#楼主体结构施工阶段，使用附着式升降脚手架，此独立梁部位需布置3~4个附墙支座。对4#楼独立梁进行复核算，发现原设计结构不能承受附墙支座传递的荷载，需要加大梁截面，或采取其他加固措施；5#楼独立梁由于存在温度后浇带，加固形式更加复杂，需进行专项设计。

结合以上痛难点，项目团队首先需要解决4#楼和5#楼温度后浇带问题，根据以往施工经验，经过充分研讨，最终确定采用连续式膨胀加强带代替温度后浇带，宽度由800mm调整为2000mm，避开降板、墙柱等不利于施工的位置。调整后对4#楼独立梁施工无影响，5#楼膨胀加强带在独立梁区域调整至独立梁的右端端部位置（R轴交36/37轴），避开跨中，作为预制梁的现浇连接段，降低了5#楼独立梁的施工难度。连续式膨胀加强带随作业层同步浇筑，混凝土达到设计强度等级即可拆模。

随后针对连续独立梁施工问题，项目团队经过多次讨论和借鉴分析，结合本工程装配式结构设计思路，提出独立梁现浇改预制装配创新方案，即将原传统现浇施工改为预制独立梁加预留现浇段，现浇段与主体结构采用预留钢筋绑扎搭接，与主体结构同步施工的方案，并与传统支模现浇方案进行了对比分析，如表6.6.1所示。

表 6.6.1 施工方案优缺点对比表

	具体方案	优缺点
方案一	传统现浇施工	各专业施工全部为高处作业；梁两侧均需要搭设脚手架用于施工作业，施工安全和质量难以保证；原独立梁设计结构不能承受升降脚手架附墙支座传递的荷载，需要加大梁截面。

方案二	现浇改为预制施工	预制施工，地面作业，作业环境简单；独立梁预制成型，仅构件固定和现浇段施工为高处作业；减少安全防护范围，绿色施工。
-----	----------	--

经过综合对比分析及成本测算，方案二的优势一目了然，确定作为本工程空中独立梁的施工方案，此方案有效解决了传统高支模现浇方式施工安全、质量，进度等问题，节约了施工材料，降低了高空作业风险，节省了施工周期，独立梁的预制加工提高了成型质量，钢支撑体系的周转使用实现了降本提效。

6.6.2 现浇改装配思路

本项目“现浇改装配”对象为大跨度独立梁，思路如下：

（1）借鉴现有预制梁施工技术，可通过深化设计将独立梁拆分为预制段及现浇段，预制段采用铝合金模板，在现场进行游牧式集中预制加工；现浇段与主体结构采用预留钢筋绑扎搭接，与主体结构同步施工。

（2）关于预制独立梁支撑问题，采用 $\Phi 110 \times 5\text{mm}$ 无缝钢管加工成独立钢支撑，顶部为可调托撑，底部为固定抱箍；利用塔吊将预制梁搁钢支撑柱顶托撑上，在预制梁下方，左右两端各安装一个独立钢支撑，固定牢固；侧边加斜撑作为稳固措施。

（3）空中连梁采用预制生产，造型、滴水线等可随预制构件一次成型。

6.6.3 构件深化设计

结合独立梁建筑和结构施工图，将其进行拆分和深化设计。通常预制梁采用免抹灰清水做法，并将梁底部位滴水线、梁侧部位线条（如有）进行细化。预制段面筋、底筋、腰筋、箍筋加密区等根据施工图设计要求确定。预制梁在两侧距梁端1200mm位置处各预埋1个吊点，标准层连梁每个吊点采用1个直径为20mm、材质为Q235B的圆钢作为吊环。独立梁左端部的预留钢筋与主体结构绑扎连接，直锚锚入剪力墙内，独立梁右端部（现浇段端）与剪力墙平面外相交，剪力墙端柱400mm宽，直锚长度不够，底部钢筋采用弯锚形式。

对独立梁进行拆分设计，出具拆分设计图，并得到了甲方和原设计的确认。为减少后期施工工序，拆分设计时考虑造型、滴水线等随预制构件一次成型，以5#楼为例，设计图如下图6.6.6~图6.6.8所示。

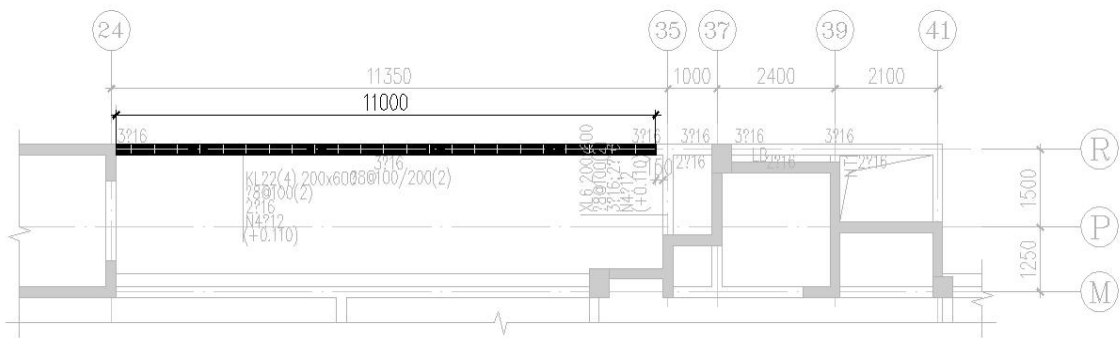


图 6.6.6 5#楼预制独立梁拆分平面图

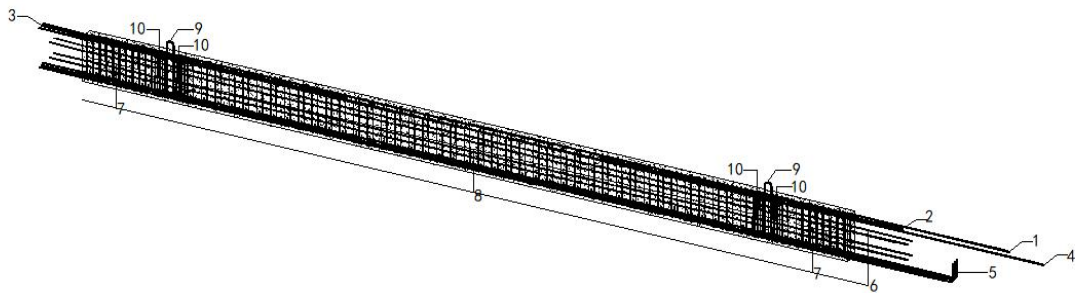


图 6.6.7 5#楼预制独立梁配筋深化图

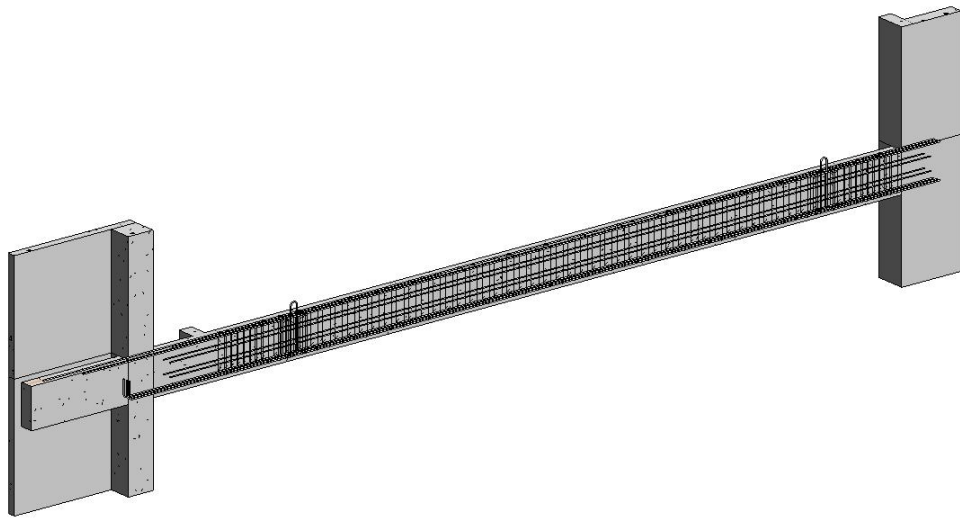


图 6.6.8 5#楼独立梁节点连接三维效果图

预制梁吊装至作业面后，应提供稳固可靠的支撑用于安放预制梁，在梁两端分别设置 1 根独立支撑，侧边加斜撑作为稳固措施。选用施工现场易取得的材料制作独立钢支撑，操作便捷、降低成本。采用 $\phi 110 \times 5\text{mm}$ 的无缝钢管作为支撑柱， $\phi 48.3 \times 3.6\text{mm}$ 钢管和 $\phi 36$ 丝杆作为可调托撑。柱顶采用可焊接钢板和顶托，用于

支撑独立梁，顶托上层钢板可进行标高微调；柱底采用两根 10 号槽钢和直径 18 的螺栓与立柱根部的钢板连接，从而把立柱根部抱箍加固在下层梁上。如图 6.6.9 所示。独立梁层间安装及支撑体系布置如图 6.6.10、图 6.6.11 所示。

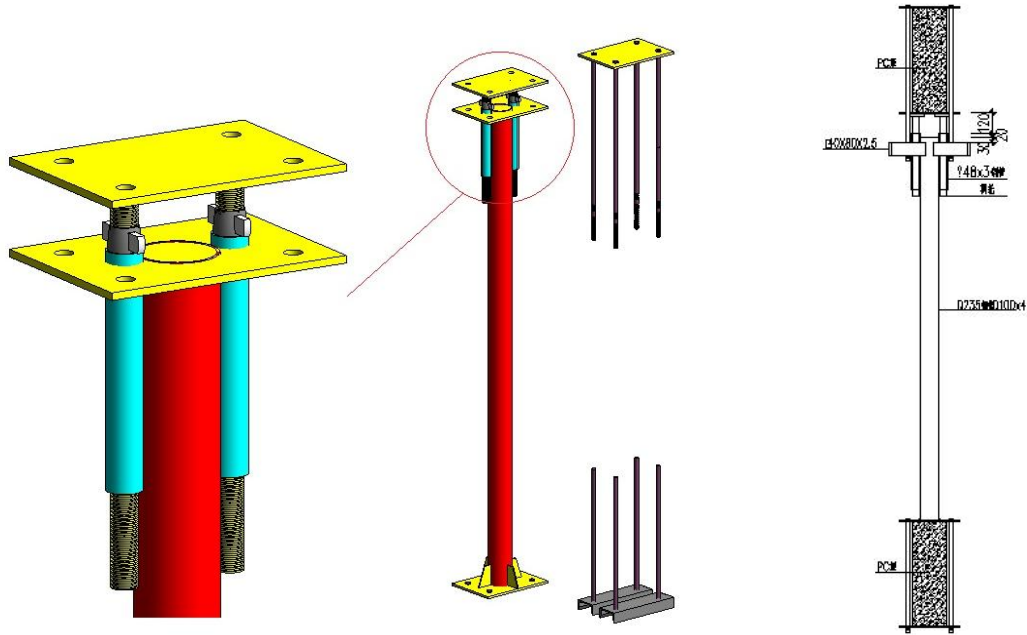


图 6.6.9 独立钢支撑设计效果及支撑示意图

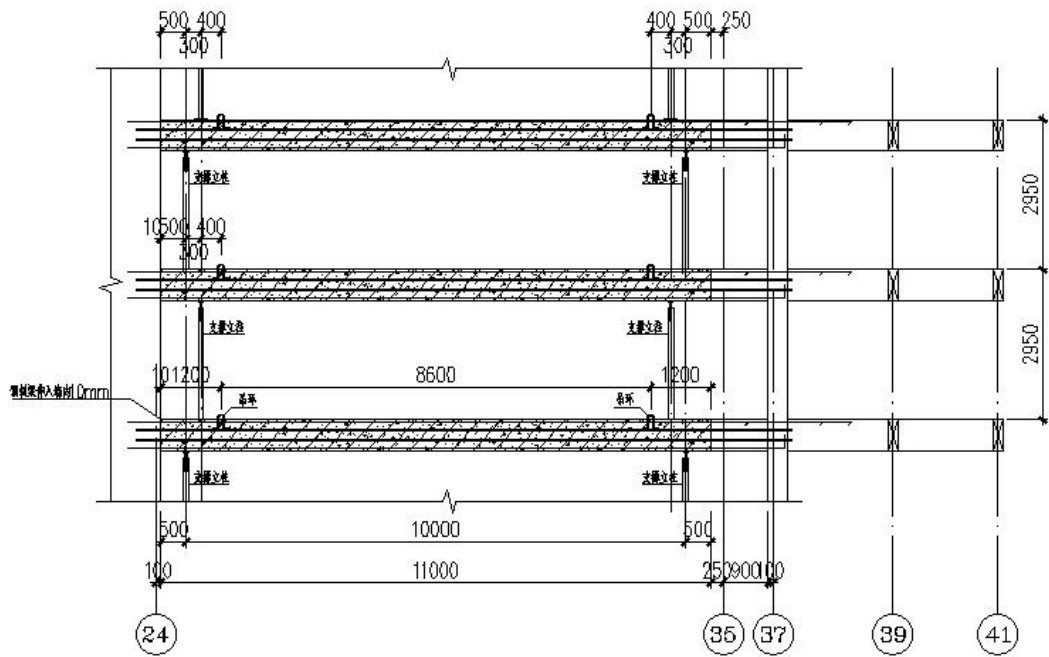


图 6.6.10 5#楼预制独立梁安装示意图

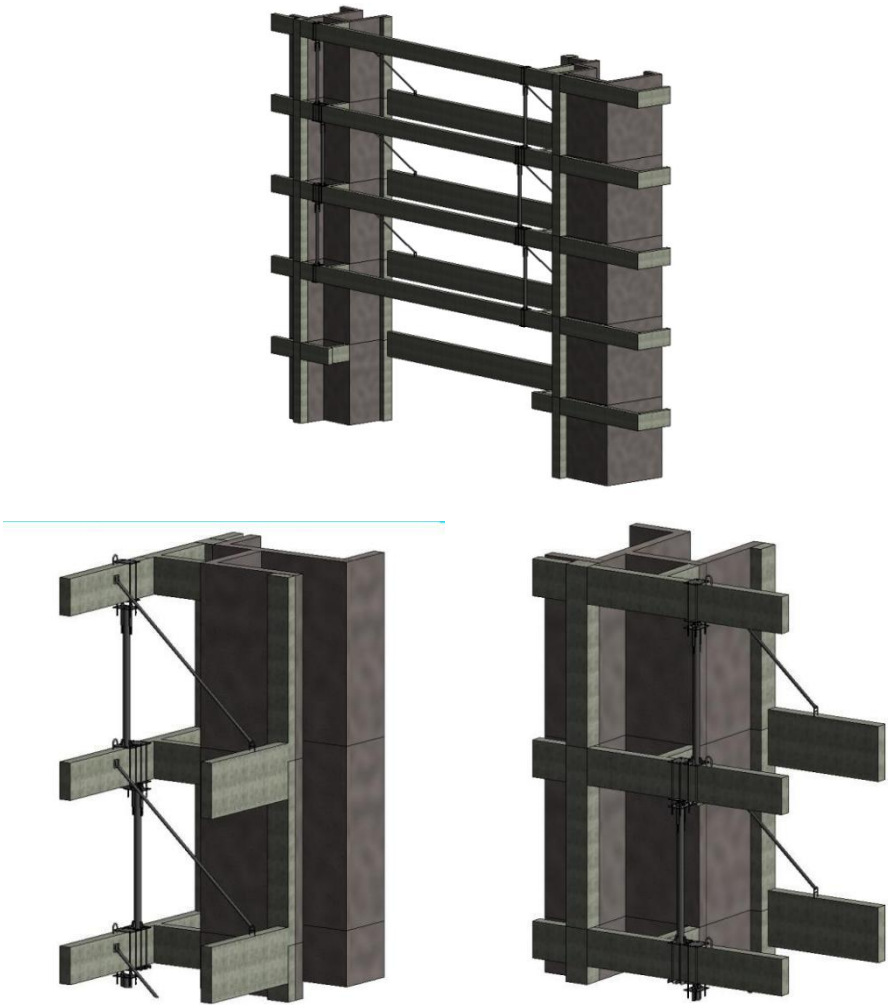


图 6.6.11 预制梁支撑布置效果图（局部模型）

6.6.4 施工部署

1、起吊设备选择

项目 4#、5#楼均设置 1 台塔吊单独服务，4#楼设置 1 台 TC 7020 塔吊，臂长 45m；5#楼设置 1 台 TC 7020 塔吊，臂长 50m。塔吊具体设置如下图 6.6.12 所示。

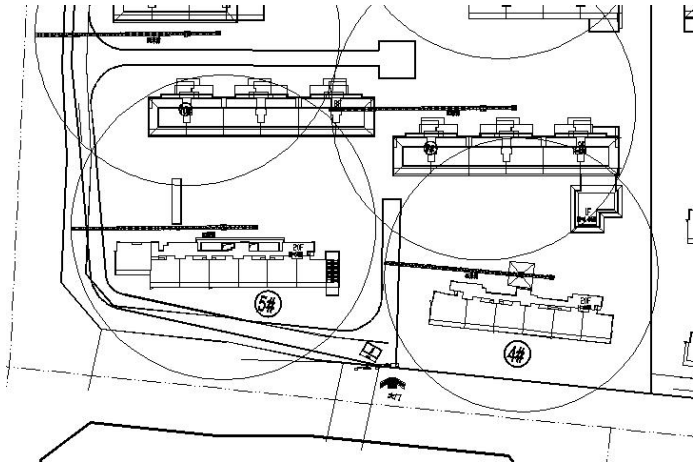


图 6.6.12 塔吊平面布置图

以梁最大跨度 14m 的 4#楼为例，混凝土梁截面 $200 \times 600\text{mm}$ ，独立梁预制段长度为 11.2m，现浇段长度共 2.8m，预制梁总重量约为：

$0.2 \times 0.6 \times 11.2 \times 25 = 33.6\text{KN}$ ，约为 3.36t。

塔吊选型为 TC7020（大臂长 45 米），查阅塔式起重机说明书显示，当采用 2 倍率，45 米臂长覆盖范围内吊重为 6t，预制连梁在吊装范围内，现有塔吊布置满足预制连梁吊装要求。

2、总体施工顺序

平面顺序：每个楼栋配置一台吊装设备和施工班组，吊装顺序采用竖向吊装，即按照施工顺序和进度从下往上，经现场实际测定，预制独立梁可提前进行生产预制，吊运至标准层临时固定后与楼层混凝土一同浇筑，不占用主体施工工期，同步施工。配备三层支模架，周转使用，N 层独立梁进行施工作业时，N-3 层预制独立梁现浇段也达到了养护强度，支撑体系可以拆除周转，周转至 N 层使用。

6.6.5 施工工艺

1、施工工艺流程

独立梁预制段生产制作→独立钢支撑安装→独立梁预制段吊装就位→支撑顶部报梁加固、安装临时斜支撑→独立梁现浇段施工→模板、独立钢支撑体系拆除周转

2、操作要点

（1）预制构件生产

结合预制独立梁深化图纸进行铝合金模板、独立梁钢筋（主筋、箍筋）、吊环等材料下料加工，在 4#楼和 5#楼南侧，地库顶板上，塔吊覆盖范围内分别规划出一块平整的预制场地，独立梁采用铝模现场预制，在车库顶板上直接铺设梁底模板，依次进行钢筋绑扎，预埋件安装，钢筋绑扎时应严格控制绑扎质量，梁两端应按规范要求预留足够长度的节点连接钢筋，绑扎完成，经验收合格后方可支设梁侧模，端头做好临时封堵措施，避免漏浆，模板工程验收合格后浇筑混凝土，待混凝土强度达到 1.2Mpa 后，拆除侧模并及时进行养护，时间不少于 14d，混凝土强度达到设计强度 100%后，方可进行吊装。（如图 6.6.13~图 6.6.16 所示）



图 6.6.13 铺设底模及绑扎钢筋



图 6.6.14 支设侧模及浇筑混凝土

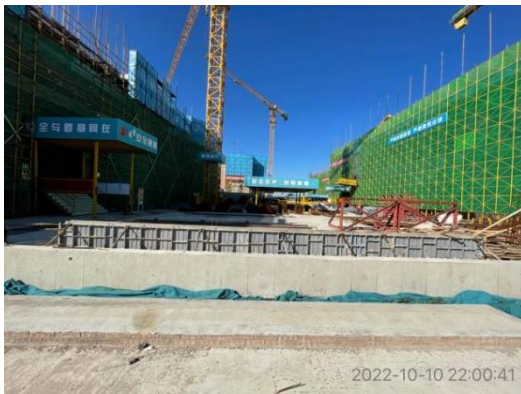


图 6.6.15 脱模养护



图 6.6.16 预制成型

(2) 预制构件吊装

①挂设好钢丝绳后，塔吊缓慢起钩，待钢丝绳绷直，把构件吊起 20cm 后拆除梁底模板，预制梁离开地面 0.3m 左右时，保持静止，检查预制梁是否出现裂缝、变形等不良情况；经检查无缺陷后，将预制独立梁吊装至所在楼层。（如图 6.6.17、图 6.6.18 所示）

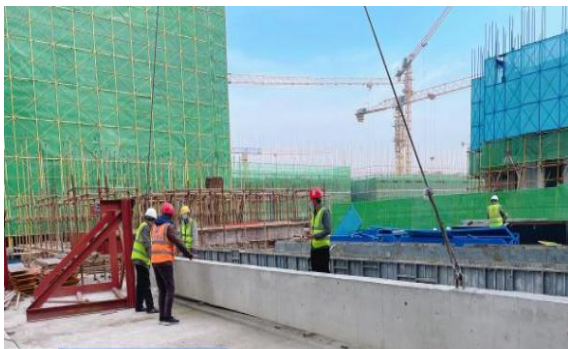


图 6.6.17 预制独立梁起吊



图 6.6.18 预制独立梁就位

②预先采用 $\phi 110 \times 5\text{mm}$ 无缝钢管加工成独立钢支撑，顶部为可调托撑，底部为固定抱箍；在预制梁下方，左右两端各安装一个独立钢支撑，固定牢固在下层独立梁上。独立钢支撑设置在梁两端 500~800mm 位置处，在脚手架覆盖操作范围内。

(如图 6.6.19、图 6.6.20 所示)



图 6.6.19 独立钢支撑安装固定



图 6.6.20 独立钢支撑顶托

③吊装前预先通过调节左右两个顶部托撑,使其标高保持一致;将预制构件缓慢安放在托撑上,借助现浇段支设模板作为限位“卡槽”校准水平位置后固定。在立柱顶部抱梁加固完成后,可松解吊钩。(如图 6.6.21、图 6.6.22 所示)

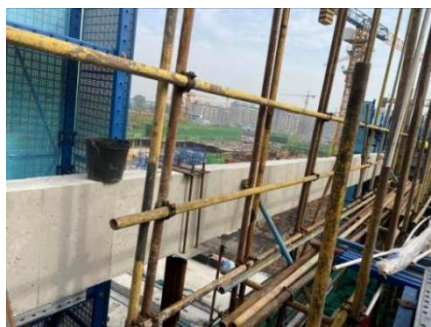


图 6.6.21 预制独立梁固定



图 6.6.22 预制独立梁安装完成

(3) 现浇段施工

预制独立梁吊装完成后,绑扎现浇段钢筋,隐蔽验收合格后,支模浇筑混凝土。浇筑完成后,底部支撑在现浇节点混凝土强度达到设计强度 100%后方可拆除,人员通过架体预留位置作为操作平台,配合塔吊拆除临时支撑。(如图 6.6.23~图 6.6.25)



图 6.6.23 现浇段钢筋绑扎及模板支设



图 6.6.24 现浇段混凝土浇筑



图 6.6.25 成型效果

6.6.6 技术总结

本项目高层住宅北侧外立面连续楼层设计有大跨度空中连梁。此类独立梁如果采用传统满堂架或悬挑架支撑现浇方式施工，不仅费时、费工、费力，而且会破坏外架的整体性，施工安全、施工质量、施工进度均难以保证。

项目团队经过综合对比分析及成本测算，确定了独立梁预制施工体系作为本工程空中连梁的施工方式，该技术通过深化设计将高层建筑立面连续独立梁拆分为预制梁，并利用钢独立支撑体系作为稳定的支撑平台，完成预制段定位固定及现浇段支模浇筑施工。较传统的搭设高空支模架，节约材料，降低高空作业的安全隐患，独立梁的预制加工提高了成型质量，钢独立支撑体系周转使用实现了降本提效，具有较好的推广应用价值。

总的来说，项目“复杂部位现浇改装配”的思路主要包含以下几个关键点：

（1）借鉴现有预制梁施工技术，可通过深化设计将独立梁拆分为预制段及预留现浇段。独立钢支撑通过两根槽钢和螺栓与立柱根部的钢板连接，从而把立柱根部加固在下层梁上，预制梁放置在顶托支撑的钢板上，钢板和顶托焊接成一个整体，然后插入支撑立柱上端部的钢管之中。预制梁通过塔吊搁置于顶部托撑上，预制段预留钢筋与主体结构绑扎连接后，与主体结构同步施工。

（2）本项目自身为装配式结构，预制连梁在现有塔吊吊装范围内，不需额外提高塔吊等级及配置其他吊装设备。

（3）预制连梁构件标准化程度高，同时独立钢支撑体系可以拆除周转使用，降低了预制模具和钢材材料成本。

（4）本项目场地位置富余，在 4#楼和 5#楼南侧地库顶板上，塔吊覆盖范围内分别规划出一块平整的场地，预制连梁采用现场自制拼装模具进行预制加工，减少

了构件运输时间和运输成本。

(5) 预制空中连梁成型质量效果好,有效降低了施工成本,提高了施工进度。

6.7 “地下室集水井盖板”现浇改装配式施工

6.7.1 现浇改装配式背景

(1) 一般工程项目地下室集水井数量较多,盖板施工工序重复且繁杂,采用传统现浇方案支拆模工程量大、成型质量难以保证。

(2) 地下室集水井采用预制盖板可减少清理、临边防护等多道工序,便于现场管理,提高施工效率。

(3) 传统的铸铁成品盖板成本较高,对于非车库区域及低等级场合使用不够经济。

6.7.2 现浇改装配式思路

本“现浇改装配式”对象为地下室集水井盖板,思路如下:

(1) 地下室集水井数量较多,盖板规格种类较为单一,构件标准化程度高,满足装配式预制的理念。

(2) 盖板根据集水井的大小,尽量选用预制盖板全部覆盖。预制盖板的尺寸大小应适合人工配合搬运。当集水井尺寸过大,检修口可单独预制混凝土盖板或采用铸铁篦子板,大盖板采用预制混凝土盖板。

(3) 集水井盖板规格简单,可现场制作模具就近预制,以方便施工和搬运为宜,并采用混凝土余料预制,节约资源。

(4) 预制集水井盖板成型质量较好,施工速度快,能有效降低施工成本,提高施工进度。

6.7.3 构件深化设计

根据地下室地面做法,盖板顶部标高同地坪完成面标高。项目集水井尺寸较大,检修口单独预制或采用铸铁篦子板,大盖板采用预制混凝土盖板,厚度设计为100mm,混凝土强度等级采用C30,板配筋为直径10@150的单层钢筋网片,检修口处设置直径12的洞口加强筋,预埋吊环方便盖板搬运和移动,预制盖板上检修口处预埋L50角钢,方便检修口盖板铺装。集水井壁上口每边设100mm*100mm结构压槽,预制盖板直接放在集水井壁口混凝土压槽上,每侧搭接100mm,防止预制盖板安装完成后出现移动错位。(如图6.7.1所示)

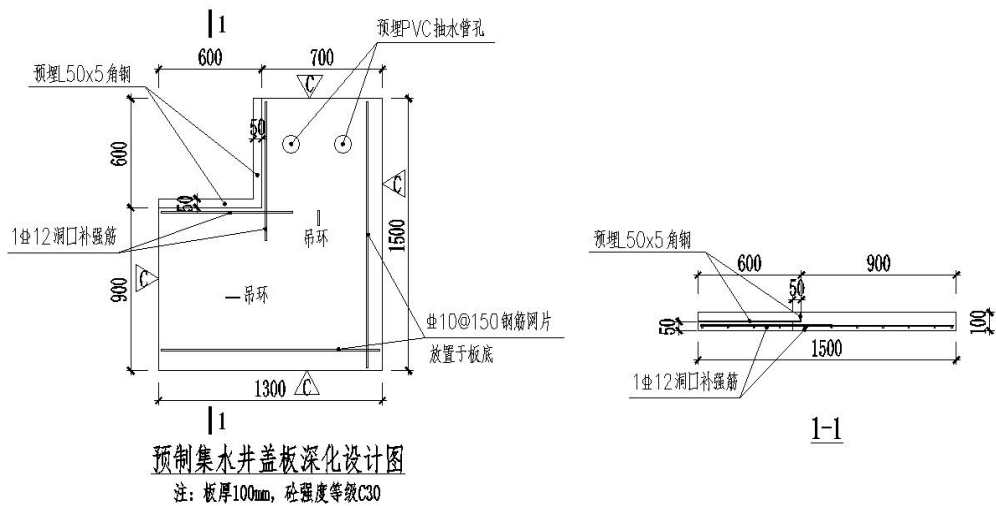


图 6.7.1 预制集水井盖板深化设计图

6.7.4 施工工艺

集水井盖板模具制作→盖板钢筋绑扎、吊环预埋→混凝土浇筑成型→构件养护
拆模→预制集水井盖板搬运安装。（如图 6.7.2~图 6.7.5 所示）



图 6.7.2 模具制作



图 6.7.3 浇筑养护



图 6.7.4 预制成型



图 6.7.5 应用效果

6.7.5 技术总结

1、效益分析

本装配式提效技术采用预制混凝土集水井盖板,优化了传统集水井盖板施工凿毛、植筋、支模、拆模、清理等繁杂工序,提高了工作效率,初步估算每个集水井可减少大约一个工时。优化后的工艺相较于传统做法,还额外减少了井坑临边围护的钢管、支模模板等方面的费用投入,根据项目估算,每个集水井 PC 盖板相较于传统做法大概能省大约 300 元。

2、注意事项

本装配式提效技术采用预制混凝土集水井盖板,集水井盖板采用现场集中预制加工,加快了施工进度、节省了工期,从而降低了施工成本,为项目带来一定的经济效益。在后续推广本技术时注意事项及建议如下:

(1) 预制前确认好集水井盖板尺寸,注意抽排水管的预埋管口位置,以及检修口方向,防止浇筑错误二次返工造成浪费。

(2) 为防止后期集水井盖板边缘与现浇地坪新旧混凝土结合面产生裂缝,可对预制盖板四周边缘进行粗糙化凿毛处理,或采用新型鱼鳞网片作为预制模具主材,从而达到粗糙效果。

6.8 “屋面风帽基础”现浇改装配式施工

6.8.1 现浇改装配背景

(1) 传统的屋面风帽基础施工一般先采用吊模浇筑混凝土反坎,然后砖砌至设计高度,再做混凝土压顶。基础筒身还需要二次抹灰修饰,影响施工进度。

(2) 传统的屋面风帽基础施工工艺流程多,且需做好防渗漏施工措施,质量难以保证。

6.8.2 现浇改装配思路

本“现浇改装配”对象为屋面风帽基础,思路如下:

(1) 采用预制混凝土风帽,基础一次成活,简化施工工序,减少施工成本。

(2) 预制混凝土风帽可在现场进行集中预制加工,采用塔吊设备或吊车吊装至屋面位置处。

(3) 烟道出屋面基础整体预制,通过预留钢筋与屋面结构现浇结合,减少屋面反坎现浇吊模施工或者二次浇筑施工,且结构自防水,降低了烟道与屋面交接处的渗漏风险。

(4) 预制风帽基础成型质量较好、观感佳，泛水槽一次预制成型，基础筒壁可达到清水效果无需二次抹平修饰。

6.8.3 构件深化设计

风帽基础在不影响排气烟道安装的前提下，宜尽量缩小尺寸，风帽基础筒身高度按高出装饰面 400mm 预制，基础内壁尺寸与烟道洞口尺寸相同，基础筒身壁厚 60mm，采用直径 8@200 的钢筋网片，基础下边预留 100mm 宽，60mm 厚的屋面板翻边，并用筋与屋面板现浇连接，与屋面梁连接面的筒壁底部预留钢筋锚固入屋面梁中。基础顶部预埋直径 8mm 圆钢吊环用于构件起吊安装，风帽基础外壁在高出装饰面 250mm 的位置处设置防水卷材收口凹槽。（如图 6.8.1 所示）

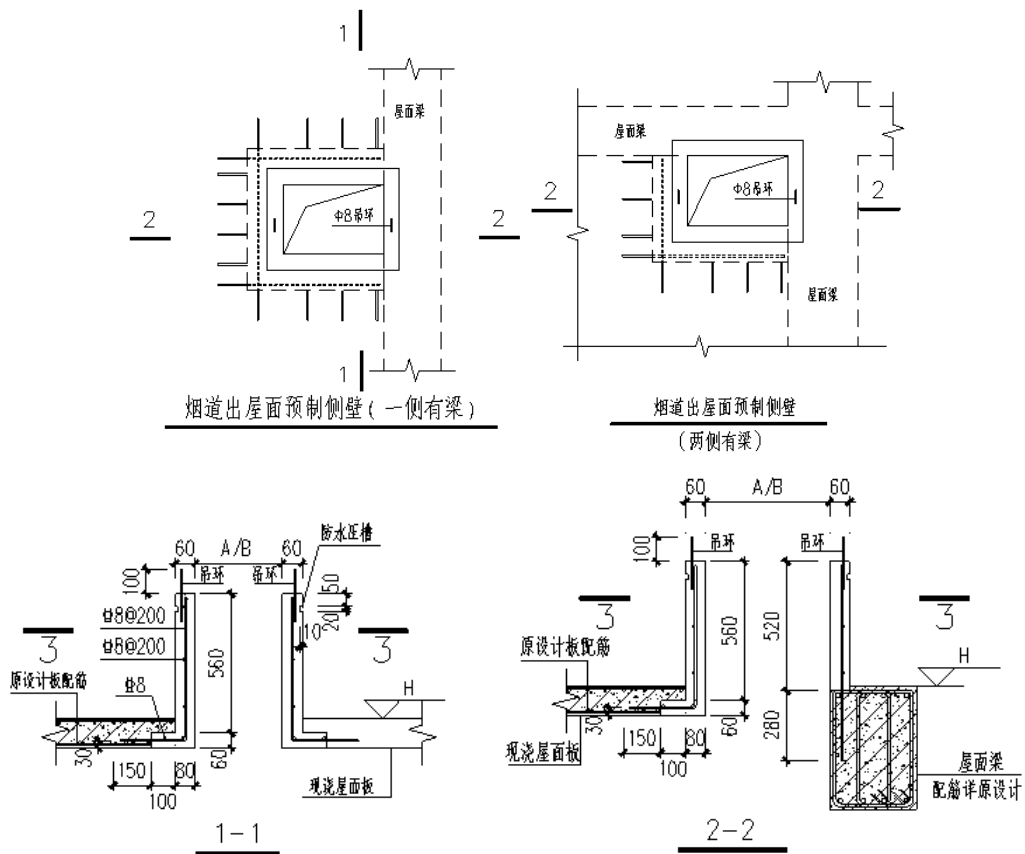


图 6.8.1 预制屋面风帽基础深化设计图

6.8.4 施工工艺

屋面风帽基础模具制作→钢筋绑扎、吊环预埋→混凝土浇筑成型→构件养护拆模→预制屋面风帽基础运安装→随屋面板一次浇筑→屋面找坡找平、防水保温饰面层施工。（如图 6.8.2、图 6.8.3 所示）



图 6.8.2 预制成型



图 6.8.3 应用效果

6.8.5 技术总结

1、效益分析

本装配式提效技术采用预制屋面风帽基础，优化了烟道出屋面反坎、壁身砌筑、混凝土压顶、二次抹灰等施工工序，提高了施工效率。优化后的工艺相较于传统做法，减少了砌体材料、模板等方面的费用投入，质量提升的同时也为项目带来了一定的经济效益。

2、注意事项

本装配式提效技术采用预制屋面风帽基础，风帽基础采用现场集中预制加工，加快了施工进度、节省了工期，从而降低了施工成本，为项目带来一定的经济效益。在后续推广本技术时注意事项及建议如下：

（1）预制风帽基础构件由于带一定宽度的屋面板翻边，属于较复杂异型构件，工程项目屋面风帽达一定数量时建议推广使用，否则构件生产模具成本较高。

（2）烟道风帽出屋面构件随屋面结构一次浇筑成型，与屋面板浇筑高度不小于泛水高度。

（3）屋面防水材料在风帽基础外壁预留的 20x20 防水凹槽内收口，同时在凹槽内填塞密封胶，使其填满。

（4）预制风帽基础下边带 100mm 宽的屋面板翻边，并用筋与屋面板现浇连接，有效降低了烟道与屋面节点交接处的渗漏风险。此翻边各表面应注意凿毛粗糙处理，以便更好的与现浇屋面板结合。与屋面梁连接面的筒壁底部预留钢筋锚固入屋面梁中，此处可考虑筒壁预留一定高度，在屋面梁上整浇反坎，避免在筒壁与屋面梁在梁面标高处结合，加强防水，降低渗漏风险。