

台湾地区润泰预制结构施工体系介绍

尹衍樑¹ 詹耀裕² 黄绸辉²

¹台湾润泰集团 ²润泰精密建筑工程(苏州). 沛丰建筑工程(上海)

1. 润泰预制结构施工体系介绍

润泰预制结构施工体系是结合欧洲、日本及我国台湾地区技术的创新建筑工艺，包含套筒连接梁柱节点、多螺箍筋柱以及全套生产组装等技术，符合国家节能减排、同步实现建筑节能及建筑工业化的发展战略。其优点在于高质量、施工快速、工厂生产、标准作业、生产环境稳定、较不受天气影响，节省建筑模版，工地整洁安全，减少垃圾、粉尘、噪音，适用于办公楼、住宅、厂房及大型超市等建筑。应用该体系，在台湾地区已建成 500 万平方米以上的商业大厦和厂房，在上海、江苏等地也完成多个工程项目的试点应用，近期并技术转移 b 辅导上海城建集团在浦江保障房项目实施第一个全预制装配整体性结构保障房项目。

润泰预制结构施工体系是一种采用预制钢筋混凝土柱、叠合梁版、现浇钢筋混凝土剪力墙，通过钢筋混凝土后浇部分将柱、梁、板、剪力墙及节点连成整体的框架结构和框架一剪力墙结构。更进一步可与钢构或预应力或隔震等工艺复合，达成建筑上多方向多功能的应用。

2. 基本规定：

2.1. 材料

- 润泰体系所使用预制构件的混凝土强度等级不应低于 C30，并且当预制构件混凝土强度等级为 C30 时，现浇混凝土强度等级应比构件强度提高一个等级，当预制构件强度大于 C30 时，现浇混凝土强度应不低于预制构件强度。
- 抗震等级为一、二级的框架结构，其纵向受力钢筋采用普通钢筋时，钢筋的抗拉强度实测值与屈服强度实测值的比值不应小于 1.25；钢筋的屈服强度实测值与强度标准值的比值不应大于 1.3；且钢筋在最大拉力下的总伸长率实测值不应小于 9%。
- 钢板或钢管的钢材宜采用 Q235，Q345。
- 套筒式钢筋连接器（图 1 及表 1）所用材料应满足下列要求：

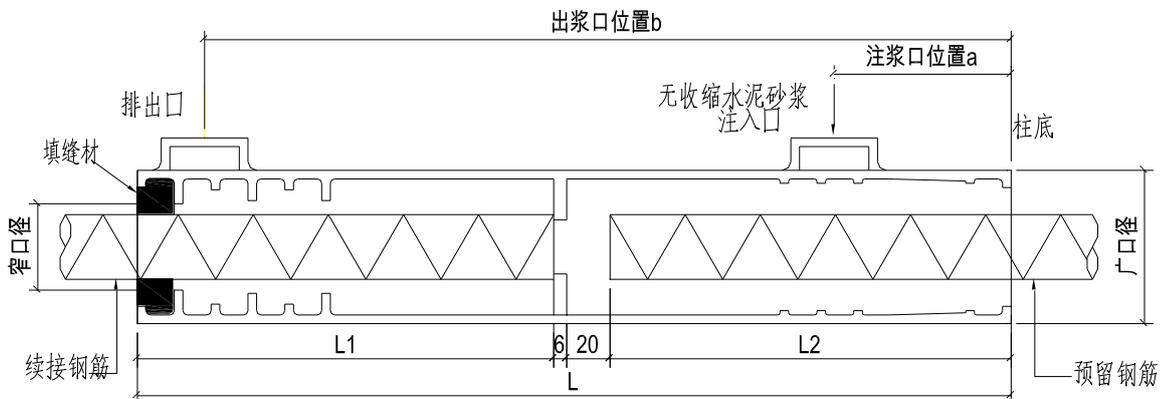


图 1 套筒式钢筋连接器构造图

套筒型号	钢筋直径	套筒总长(L)	套筒直径(Φ)	钢筋插入口径		注浆口位置(a)	出浆口位置(b)	封浆橡胶尺寸(s)	钢筋挡片厚(t)	钢筋埋入长度	
				广口径	窄口径					L ₁	L ₂
4VSA	Φ12	190	44	28	16	47	159	17	5	79±20	86 ⁰ ₋₁₀
5VSA	Φ14, Φ16	220	47	31	20		189	17	5	94±20	101 ⁰ ₋₁₀
6VSA	Φ18	250	51	35	24		219	17	5	109±20	116 ⁰ ₋₁₀
7VSA	Φ20, Φ22	290	59	43	27		259	17	5	129±20	136 ⁰ ₋₁₀
8VSA	Φ25	320	64	47	31		289	17	5	144±20	151 ⁰ ₋₁₀
9VSA	Φ28	363	67	50	35		332	17	6	165±20	172 ⁰ ₋₁₀
10VSA	Φ32	403	72	54	39		372	17	6	185±20	192 ⁰ ₋₁₀
11VSA	Φ36	443	78	58	43		412	17	6	205±20	212 ⁰ ₋₁₀
14VSA	Φ40	533	89	65	50		502	17	6	250±20	257 ⁰ ₋₁₀

表 1 套筒式钢筋连接器规格表 (mm)

5. 采用套筒灌浆连接的钢筋，其屈服强度不应大于 500MPa，且抗拉强度不应大于 630MPa。套筒应采用球墨铸铁制作，并应符合《球墨铸铁件》GB/T1348 的有关要求。球墨铸铁套筒材料性能应符合下列规定：

- a. 抗拉强度不应小于 600MPa；
- b. 伸长率不应小于 3%；
- c. 球化率不应小于 85%。

6. 套筒内的灌浆材料的性能应满足下列要求：

- a. 流动度应在 180~300mm 之间；
- b. 膨胀率应在 0%~0.5% 之间；
- c. 砂浆 1 天龄期的抗压强度不应小于 35MPa，7 天龄期抗压强度不应小于 60MPa，28 天龄期抗压强度不应小于 85MPa。砂浆的抗压强度应根据标准养护的立方体试块抗压强度测定。

7. 端锚板材料宜使用球墨铸铁、优质碳素结构钢和碳素结构钢，其力学性能应分别符合 GB/T1348、GB/T699、GB/T700 的规定。

2.2. 预制构件

1. 预制柱的截面应满足下列要求：

- a. 预制柱采用钢筋混凝土矩形截面柱，边长不宜小于 400mm。
- b. 预制柱箍筋可采用一笔式箍筋及多螺箍筋；当采用多螺箍筋时，预制柱的截面宜采用方形截面，边长不宜小于 600mm。

2. 叠合梁预制部分的梁宽和梁高最小边长不应小于 200mm。

3. 叠合板截面宜满足下列要求：

- a. 叠合板的预制部分厚度不宜小于 60mm，至少一边边长不宜大于 3500mm，且不宜小于 600mm。
- b. 格子梁板的预制部分高度不宜小于 150mm，且不宜大于 550mm，至少一边边长不宜大于 6000mm，且不宜小于 1200mm。

4. 预制构件保护层厚度应满足现行国家规范《混凝土结构设计规范》GB50010 的有关规定。

2.3. 纵向受力钢筋的连接

1. 预制柱与柱的纵向受力钢筋的连接可采用润泰体系配套的套筒式钢筋连接器，主筋的连接位置可在同一断面。

2. 连接位置的抗弯及抗剪承载力不应小于非连接位置接口的承载能力。

3. 预制结构施工的运用

3.1. 现场预制需熟悉运用

由于内地地区幅员广阔，而一般预制工厂经营上可涵盖较经济半径范围约为 400 公里，超过此范围则现场预制成本较经济，因此预制结构施工需熟练运用现场预制，把工地当作工厂，厂区生产动线规划与生产排程是预铸学习的重要课题如图 2 及图 3。



图 2 及图 3 1998 台湾地区花莲慈济精舍现场预制照片

3.2. 预制施工规划

1. 由于预制装配式结构施工目前仍属于新兴工艺，因此若实际施工于项目上，需预留至少三个月来作为专家审查及设计变更，此部分视不同区域可能尚须增加。

2. 构件数量分析：

a. 预制构件需依型式、楼层、尺寸分别计算数量及重量并列表，以作为后续起重机具能力的核算依据。

b. 实际安装时，若因同楼层面积太大需分为几组机具分区同时吊装时，则关键机组的吊装数量需以最大涵盖数量的机具来计算。机具涵盖范围重叠时，需仔细考虑现场堆置及安装的条件来加以区分哪组机具较为适合来计算分区数量。。

3. 起重机具数量的决定因素：

a. 工期长短：两组起重机械与施工工班完成吊装的时间，就是一组的 1/2。

b. 多组施工机械要有相对施工工班配合。

c. 成本。

d. 起重能率。

e. 市面上要有闲置的能率规划机械。

f. 工厂产能供给能力。

4. 塔吊能率表与安装分区的考虑:

国内使用起重机具以塔吊最常使用，我们需以塔吊的能率表（radius&capacity）如表 2 作为起重的依据并结合资源抚平安装分区（图 4）的概念，才能有效的规划预制结构施工。

吊裝半径 (m)	3.3 _{min}	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	32.5	35.0
吊裝重量 (t)	50.0 _{max}	50.0	43.3	30.8	24.0	19.4	17.7	16.1

表 2 FAVCO M440D 动臂式塔吊能率

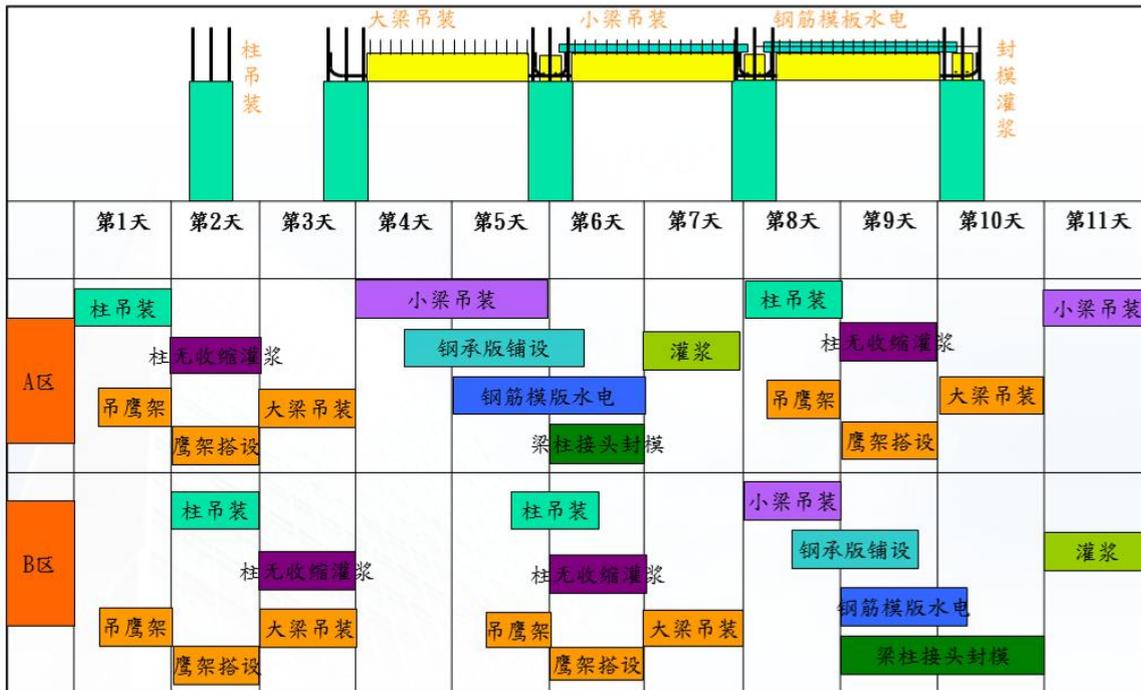


图 4 基于资源抚平的预制安装分区进度表

5. 定量定时施工分析表范例:

经由以上定量分析后，将现场施工所有影响起重因素列表如表 3，来模拟实际安装工期以作为预制施工规划的修正依据。

IFL第二天(柱子吊裝)		工作項目：吊裝柱子62支,轉運6支大樑				工作項目：卸大樑42支							
		工率：25 min		工率：30 min(一車3支大樑)									
時間	小時	工作效能極限	東出入口進貨車次	TA塔吊	TB塔吊	南出入口進貨車次	TC塔吊	東出入口進貨車次	TD塔吊	東出入口總車次	南出入口總車次	吊柱子	總計
06:30 AM ~ 07:30 AM	1	2	0			0		0		0	0	0	
07:30 AM ~ 09:00 AM	1.5	3	0	吊 3 支柱子	吊 3 支柱子	0	吊 3 支柱子	0	吊 3 支柱子	0	0	0	12
09:00 AM ~ 05:00 PM	8	19	0	吊 8 支柱子	吊 13 支柱子	0	吊 9 支柱子	0	吊 11 支柱子	0	0	0	41
	8	16	7	卸 18 支大樑		5	卸 12 支大樑	5	卸 12 支大樑	12	5	0	0
	8	19	0		運 6 支大樑	0		0		0	0	0	0
05:00 PM ~ 06:30 PM	1.5	3	0	吊 3 支柱子	吊 3 支柱子	0		0	吊 3 支柱子	0	0	0	9
總計：			7	卸 18 支大樑		5	卸 12 支大樑	5	卸 12 支大樑	12	5	62	
				吊 14 支柱子	吊 19 支柱子		吊 12 支柱子		吊 17 支柱子		17		
					運 6 支大樑								

**針對TA塔吊在9:00AM~5:00PM之塔吊使用進行分析：吊裝柱子8支需時200min，卸7車次18支大樑需時210min，共需410min，少於8小時(480min)，故可行。
 **針對TB塔吊在9:00AM~5:00PM之塔吊使用進行分析：吊裝柱子13支需時325min，轉運6支大樑需時120min，共需445min，少於8小時(480min)，故可行。
 **針對TC塔吊在9:00AM~5:00PM之塔吊使用進行分析：吊裝柱子9支需時225min，卸5車次12支大樑需時150min，共需375min，少於8小時(480min)，故可行。
 **針對TD塔吊在9:00AM~5:00PM之塔吊使用進行分析：吊裝柱子11支需時275min，卸5車次12支大樑需時150min，共需425min，少於8小時(480min)，故可行。

表 3 台湾地区 1999 中和三星项目预制定量定时分析表

3.3 预制基础钢筋的精度控制施做流程

预制结构精度的控制需从基础做起，所谓万丈高楼平地起，搭配控制精度的工具（治具）

来让预制柱与基础的连接精度达到要求，需做到以下两个方面：

1. 整体控制：从工地开始的基准线测量控制体系需达到预制要求的精度，并以可靠的控制精度的工具（治具）如龙门架及钢琴线将控制线引到各柱位以方便施工。
2. 局部控制：各柱基础柱筋间距及各柱柱间间距需达到要求的精度，底部需以定位架组立角钢（蜡烛台）如图 5 及格网箍圆钢棒（烤肉架）如图 6 等治具以固定各柱筋位置，灌浆顶部以格栅网圆钢棒（格网箍）控制顶部位置及柱筋垂直度。预制柱与基础施做剖面图示意如图 7。



图 5 定位架组立角钢（蜡烛台）



图 6 格网箍钢棒（烤肉架）

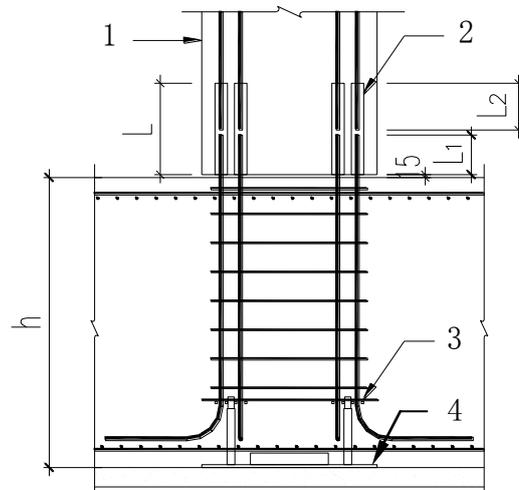


图 7 预制柱与基础的连接

1-预制柱；2-套筒连接器；3-格网箍；4-蜡烛台；h-基础高度；L—钢筋套筒连接器全长；
L₁—现场插入端；L₂—预制固定端；。

3.4 预制柱施工流程及要点

1. 预制柱标准施工流程如图 8 所示：

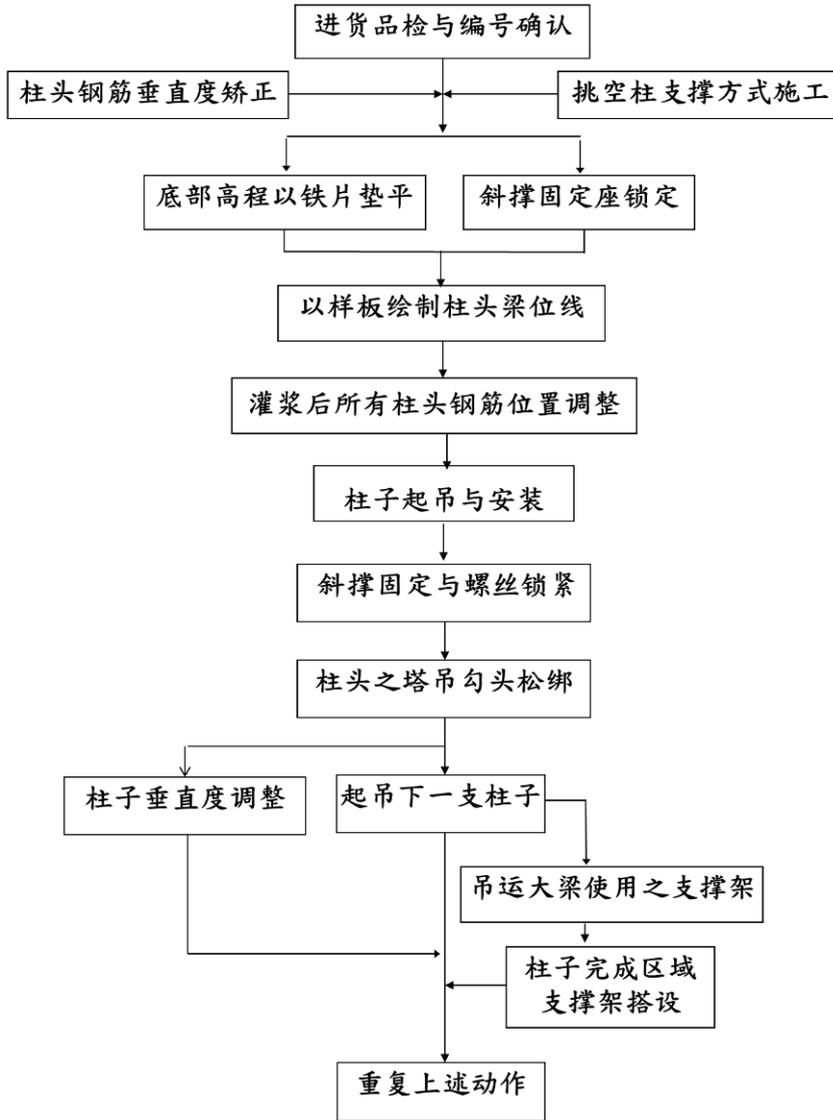


图 8 预制柱标准施工流程

2. 各动作分解说明：

1. 安装前准备工作：基准线放样(图 9)及柱边线放样(图 10)及柱续下层钢筋位置确认



图 9 基准线放样



图 10 柱边线放样

2. 以高压空气清理柱套筒内部:不能用水清理。



图 11 清洁柱套筒

3. 测高程与安置垫片: 灌浆后的柱头高程, 误差需介于高 5mm~低 10mm 间, 预留柱筋高度需控制在高低 10mm 间, 垫片先放置于柱位靠中央侧, 约 0.25 倍柱宽处 4 点。待柱垂直度调整后, 再于 4 个角落放置垫片(图 12)。

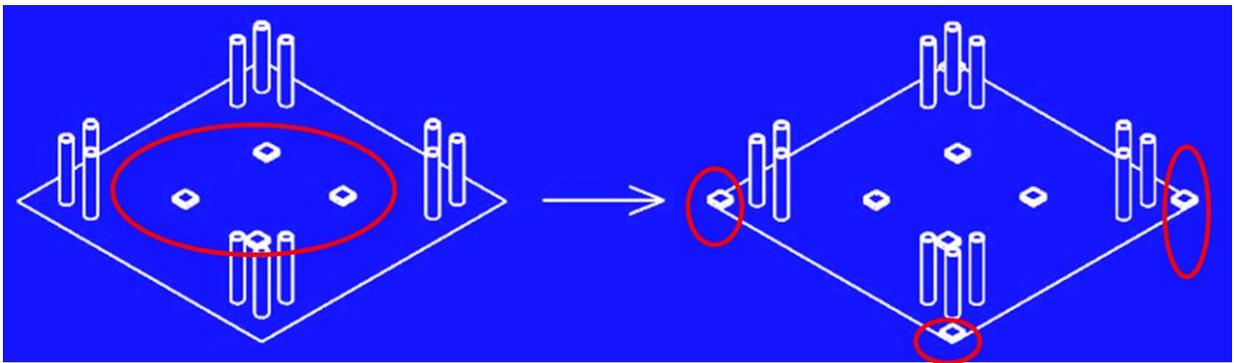


图 12 安置垫片顺序

4. 以样板绘制柱头梁位线: 以柱顶梁位线样板(图 13)当工具并用奇异笔绘制梁位线(图 14)。

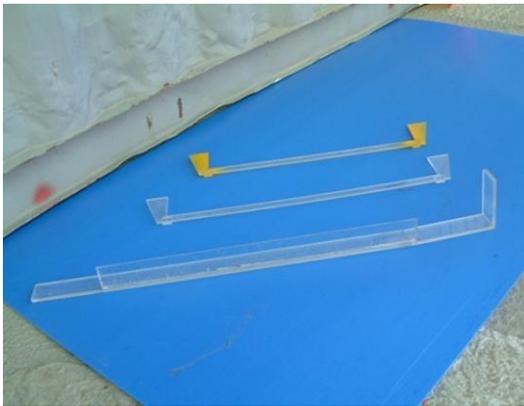


图 13 梁位线亚克力样板



图 14 绘制梁位线

5. 柱斜撑固定座(图 15)及柱头角钢固定座(视设计需要)锁固: 斜撑固定座之扣环须朝下方对正。每根柱至少须锁 3 组斜撑固定座。



图 15 柱斜撑固定座



图 16 预制柱起吊前已锁好固定座

6. 预制柱起吊与安装: 先行以软性垫片(如图 17)置于预铸柱底部, 作为翻转时柱底与地面之隔离起吊离地后停顿 15 秒, 以确认吊点强度是否足够? 同时锁上柱朝下面之斜撑底座。



图 17 柱底软性橡胶垫

7. 斜撑固定与螺丝锁紧: 柱斜撑的最佳角度 $\theta \approx 55^\circ \pm 5^\circ$ (图 18), 施工时需注意斜撑两端有螺纹处须迫紧(图 19)。除角柱锁 2 支斜撑外, 余皆锁固 3 支斜撑。



图 18 斜撑锁紧照片



图 19 柱斜撑端部

8. 柱子垂直度调整并放置四角垫片: 使用防风型垂直尺量测偏差值(图 20、图 21), 并以柱斜撑调整垂直度, 调整至合乎规范要求为止, 待柱垂直度调整后, 再于 4 个角落放置垫片。



图 20 使用防风型垂直尺量测



图 21 防风型垂直尺细部

9. 柱头之塔吊勾头松绑: 人员松绑应以符合上下设备规范的工具实施(图 22), 并应实行协同作业以确保人员安全, 长柱吊装应以半自动脱勾吊具(图 23)为原则, 减少作业人员爬上松绑次数。



图 22 塔吊勾头松绑

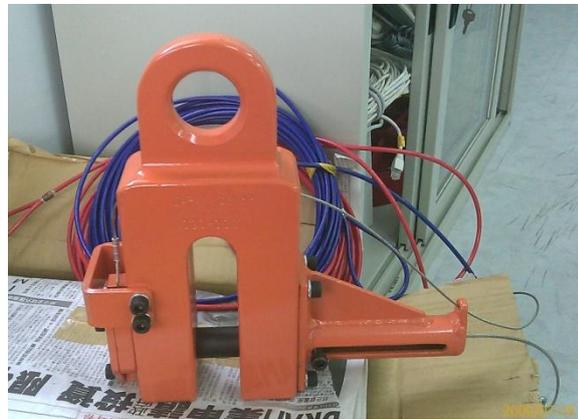


图 23 半自动脱勾吊具

3.5 柱无收缩水泥灌浆要点

柱无收缩砂浆使用套筒(图 24)及采压力灌浆方式(图 25), 底部可以高强砂浆加快乾水泥封模(图 26), 其馀施工上注意事项如下:

1. 检查无收缩水泥期限是否在六个月内, 六个月以上禁止使用, 三~六个月需过#8 号筛去除硬块后使用, 三个月内没有问题。
2. 灌浆前需用空气枪清理柱 Top Sleeves 及柱底杂物如泡绵、碎石、泥灰等, 若用水清洁则需弄干燥才能灌浆。
3. 每天量温度及湿度, 当温度 $<10^{\circ}\text{C}$, 则灌浆初凝时间会延后, 并记录于品检表。
4. 每天开始量流度, 以流度仪标准流程执行, 流度需于 20~30cm 之间, 若超过需检讨材料及水量等是否合格, 确定流度符合才能灌浆。
5. 每包水量以 $3400 \pm 200\text{cc}$ 拌合, 找适合的塑料量桶切割成刚好 3400cc 的容器使用。
6. 每天第一包无收缩水泥作润管使用, 此时使用 3600cc 水量, 然后点押操纵器, 不要连续, 主要是使机器内部及导管能适应挤压过程, 第一包打出不要使用, 放置入废弃包装袋丢弃
7. 每层需作二组试体模及三个拉力试验试体。

8. 水质若取用没有疑虑的水源，如自来水等，则不需检测，如为地下水或井水等有使用疑虑则需作氯离子检验。
9. 每根柱灌浆时，需以品检表纪录及拍照纪录，此时于柱旁需准备一张小白板，书写日期，楼层，柱编号，温度、湿度、灌浆状况等拍照纪录
10. 当灌浆中遇到吃饭等休息时间，此时采循环回浆状态，即将灌浆管插入灌浆机注入口，休息时间以半小时为限。
11. 搅拌器及搅拌桶禁止使用铝质材料，会造成灌浆失败，每次搅拌时间需待搅拌均匀后再持续搅拌 2 分钟以上才可以。
12. 无收缩灌浆只有满浆才合格，其余只要未满浆，一律拆掉柱子并清理干净回复原状为止。
13. 无收缩水泥的灌浆时机区分：
 1. 非地震带：必须在楼版混凝土浇置前 24hr 灌浆完成。
 2. 地震带：柱子立完，即展开无收缩水泥灌浆动作，灌浆 12~18 小时后(视现场室温)方能吊装大梁，可以压试体确认无收缩水泥之强度。

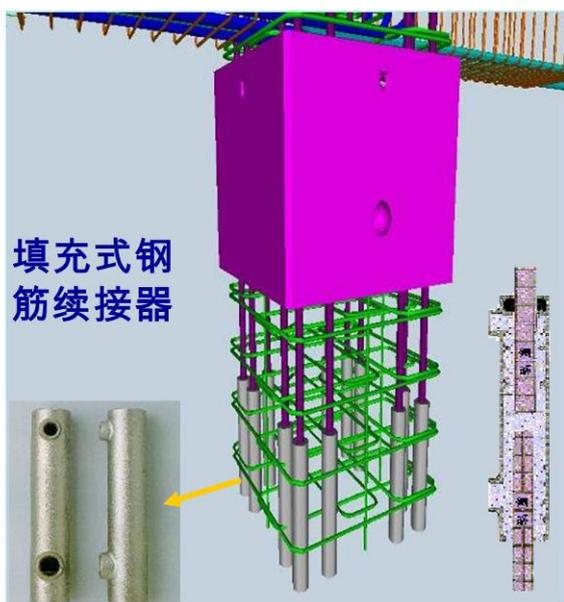


图 24 预制柱内套筒示意

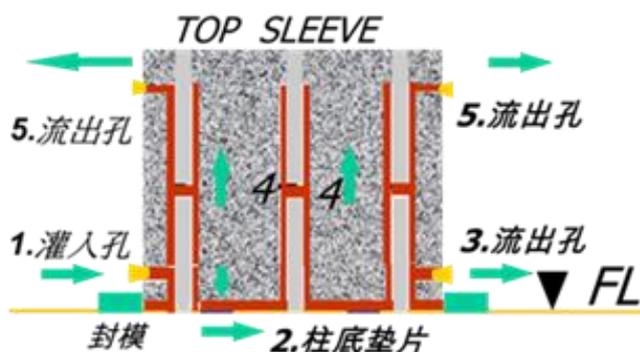


图 25 柱无收缩灌浆剖面图



图 26 柱底高强砂浆封模



图 27 柱无收缩灌浆正确出浆照片

3.6 预制大小梁安装流程及要点

1. 预制大小梁标准施工流程（图 28）如下：

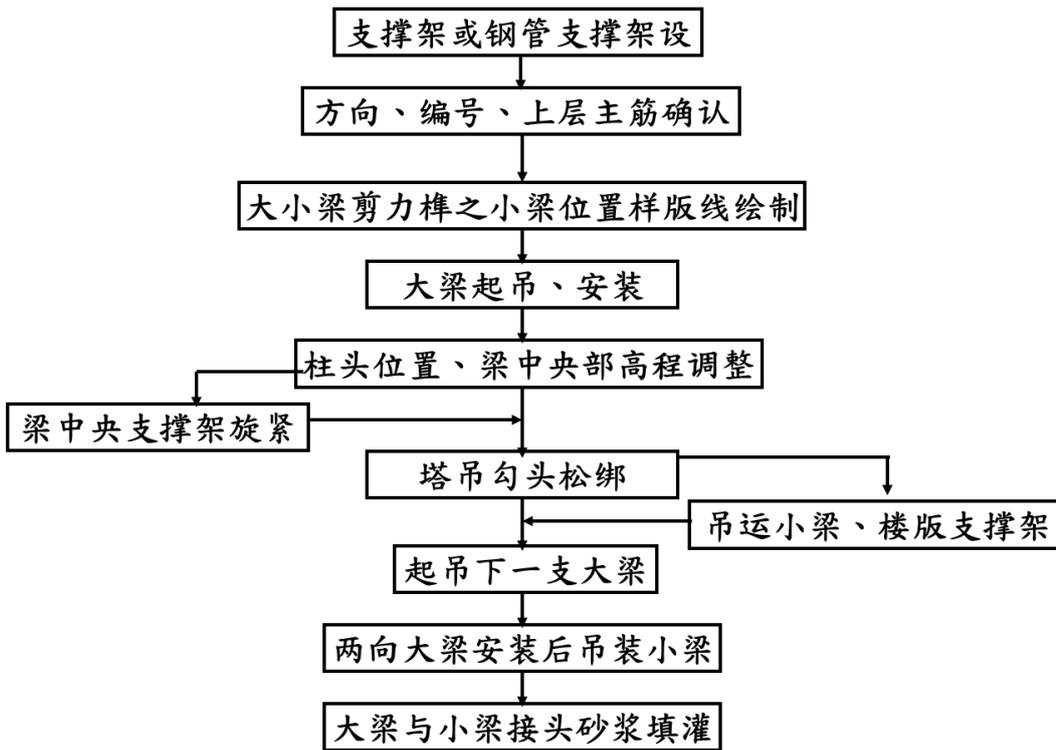


图 28 预制梁标准施工流程

2. 各动作分解说明:

1. 进货验收及堆置: 进货需检查编号、尺寸、预留孔、有否结构性裂缝等合格才能收货。大小梁堆置时, 高度不可超过 2 层, 实心梁须于两端 $0.2L \sim 0.25L$ 间垫上枕木, 枕木需保持一直线(图 29)。



图 29 预制梁堆置

2. 梁支撑架搭设: 依设计图数量施做(图 30), 需注意交叉拉杆需完全安装, 梁重心需在支撑架支点内, 不得超出两个支点外(图 31)。



图 30 梁支撑架搭设照片



图 31 支撑架偏心施做照片

3. 大梁安装:大梁安装前需于地面先装好边梁安全栏杆(图 32)及牵引绳(图 33)后才能安装,大梁安装位置依柱上的鸟嘴样线安装(图 34),中间梁安全母索也应在地面先装好(图 35)



图 32 边梁安全栏杆地面先装好



图 33 梁以牵引绳牵引方向



图 34 大梁安装依柱顶鸟嘴记号



图 35 中间梁安全母索

4. 小梁吊装: 相关大梁安装好后,即可安装小梁,不管大梁或小梁,须待支撑架的上部小型钢撑紧(图 36)才能松脱塔吊勾头。



图 36 支撑架上部小型钢撑紧照片

5. 安全网架设：邻近的大小梁安装完成，即需施做安全网(图 37)以保障施工人员安全。



图 37 安全网施做完成照片

6. 梁柱接头及大小梁接头封模灌浆：在梁柱接头及大小梁接头处以木模封模(图 38)，大小梁接头于楼版混凝土灌浆前先以高强砂浆灌浆(图 39)。





图 38 梁柱接头封模照片

图 39 大小梁接头灌浆照片

3.7. KT 叠合楼版、预制楼梯安装要点

- 1、因应 KT 叠合楼版厚度较薄大片，为避免吊装时版片受力不均影响 KT 版结构，应使用 KT 版吊架(图 40)进行吊装。任一边长度大于 2.5M，则应以 6 点起吊安装。



图 40 KT 版吊架

2. 当楼版为悬臂式结构，支撑架(图 41)需至少 28 天强度达到才可拆除或依设计强度要求。



图 41 悬臂楼版的支撑架照片

3. 预铸楼梯安装前应详细确认 X、Y、Z 三个方向之设计值，尤其高程必须保障日后装修完成后，楼梯每阶高度均为一样(图 42)。另支撑架需考虑不影响人行动线并于安装后立即将接头固定以免偏差产生。



图 42 预制楼梯安装照片

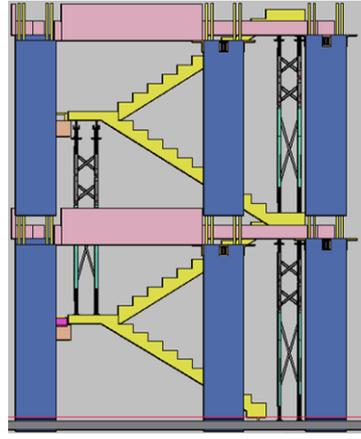


图 43 预制楼梯支撑架规划

4. 结束语

预制工艺的发展需设计、生产、施工三方面协同,才能完成好的建筑成品。标准化及模块化是预制设计上需随时注意的要点,并兼顾生产及施工上的工艺可能,朝复合化及自动化发展以满足多样化之市场需求及降低对劳力之依赖,我们期望经由一系列的预制施工技术介绍来抛砖引玉,达到合理的施工成本、改善国内工作环境及增加管理效能,将国内营造产业推向国际一流水准.