

# 预制装配式工法在建筑工程上之优势

詹耀裕 黄绸辉

## 1 概述

预制装配式工法（简称预制工法）在20世纪初就开始引起人们的兴趣，到第二次世界大战后，欧洲国家以及日本等国房荒严重，迫切要求解决住宅问题，促进了预制工法的发展，到六十年代，预制工法得到大量推广。由于预制工法的建造速度快，而且生产成本较低，迅速在世界各地推广开来。预制工法是指在工厂中预



图1 现浇混凝土与预制混凝土外观质量的比较



图2 预制混凝土外观质量



图3 现浇混凝土外观质量

先制成(如房屋的)全部或多数构件,然后在工地装配完成的工法。这种建筑的优点是建造速度快,受气候条件制约小,节约劳动力并可提高建筑质量。另外可节省建筑模板,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。

## 2 预制工法的优点

### 2.1 预制工法的优点

1. 预制工法的混凝土外观质量优良:由于是在工业化的工厂生产出来,因此其混凝土的质量管控相对现浇混凝土容易且外观非常优良,可以不用经过再粉刷的过程即可施做装饰工程,减少了粉刷所需要的材料、垃圾、粉尘及人工,如图1、图2、图3预制与现浇混凝土外观比较。

2. 预制工法可跳脱现浇混凝土的限制:由于预制工法是将结构体分成不同部位的构件先行在工厂以钢模

浇筑生产,因此可跳脱现浇做不到的方式,如长柱可一体生产如图4所示、外饰工程先完成如图5所示、高挑空梁板无支撑如图6所示、弧形复杂线条建筑如图7所示的建筑限制,而实现比现浇应用更广的建筑方式,更能符合现代建筑求新求变的设计理念。

3. 预制工法整体工期速度比钢结构快:预制工法在结构体阶段与钢结构约7天一层速度相同,但可免防火批覆,免打底粉光,免搭架外装修,比钢结构快的主要原因是机电工程及装修工程提早同步施工,在台湾一般可在结构完成后45天完成粗装修申请使用执照(国内称呼竣工验收)。图8为台湾内湖大润发2店与旁边B&Q进度比较,当B&Q钢构已完成结构六楼时,预制的内湖大润发2店才准备施做地下一楼,但最后开幕时间B&Q为2002年4月1日,采预制工法的内湖大润发2店则提前2天在2002年3月29日开幕。图9为各楼层同步工程的施工现场。



图4 预制长柱一体浇筑的质量确保



图5 预制外墙外饰先行完成的质量



图 6 预制挑高施工室内无支撑施工



图 7 预制施工外围无脚手架及弧形阳台板

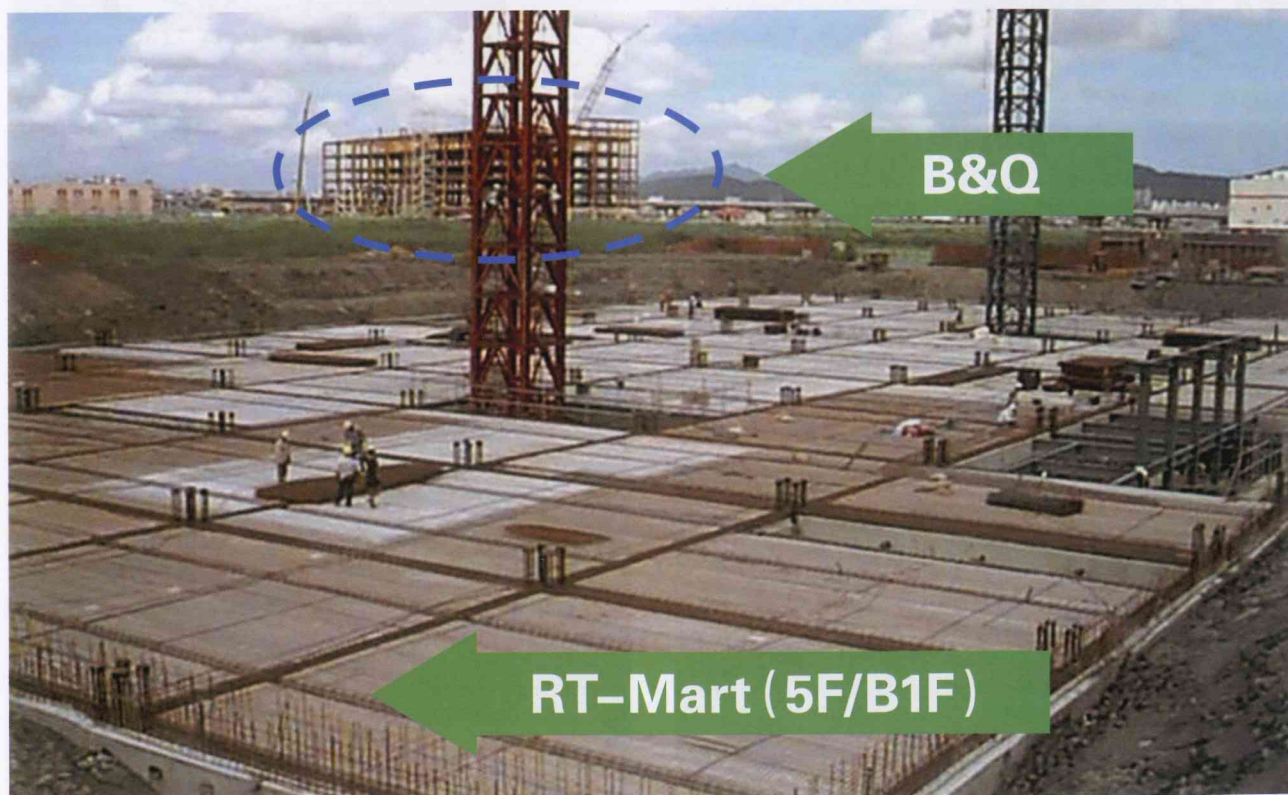


图 8 台湾内湖大润发2店与旁边B&Q进度实况

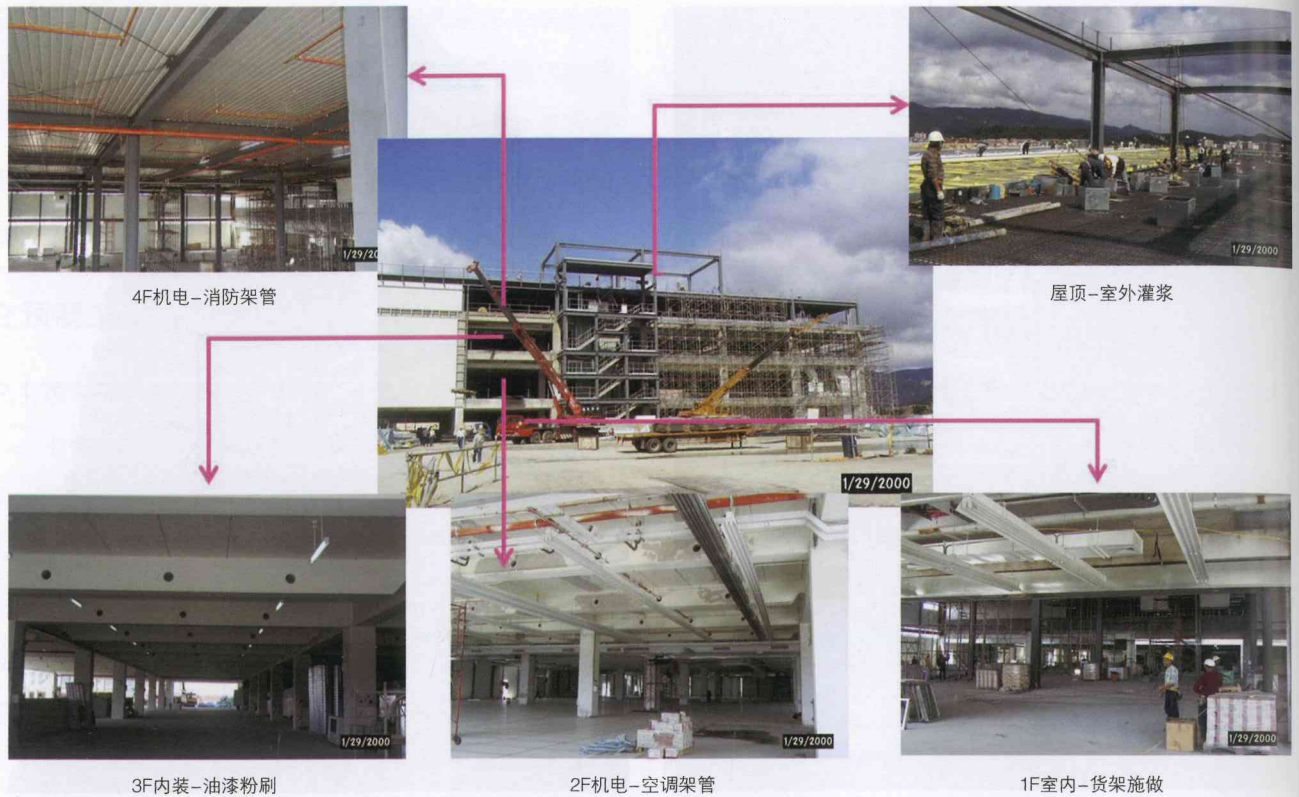


图9 台湾内湖大润发2店各楼层同步工程施工现场



图10 台湾杨梅纺三厂施工现场



图11 台湾台中物流钢构与预制节点



图12 台湾台北听障奥运场馆预制与屋顶钢构施工现场

5. 预制工法可以很轻易与钢构混合施工实现复合化工法: 目前现代化建筑的趋势已不满足单独采用钢构或预制混凝土等单一工法, 而是希望能复合不同工法的优点而实现现代化建筑的复杂性, 在这点上预制工法有其独特的包容性, 可轻易与钢构混合或其他建材而实现未来趋势复合化工法的要求。如图10、图11、图12所示为预制与钢构复合的施工现场。

6. 预制工法可以轻易的复制复杂的外观造型: 由于预制工法是以工业化方式生产出各种结构构件, 因此复杂的钢模生产可以轻易的复制复杂的外观造型构件, 但注意在建筑规划设计时需注意将复杂外观以标准化模矩化的方式分割综合来规划预制工法的设计外观, 才

能得到经济合理的经营成本。如图13、图14为复杂的外观造型预制板片。

7. 预制工法的预制外墙板表面可以做各种面饰处理: 预制外墙板可配合建筑设计预嵌磁砖、石材、清水模、特造型清水模等各种面饰处理。如下图15为清水的树影造型预制外墙板, 图16为清水的波纹造型预制外墙板。

8. 预制夹芯保温外墙板的容易实施, 不会有外保温易脱落及内保温易被破坏的缺点: 预制夹心保温外墙板技术, 墙板采用FRP连接件或其他连接件, 保温材料采用改性玻化微珠和泡沫混凝土, 均为A级不燃保温材料, 可实现保温材料与结构体同寿命。同时外墙节点根



图 13 台湾花莲慈济精舍屋顶飞檐



图 14 台湾中部921地震教育园区预力预制结构



图 15 台湾台北中和地政大楼的树影造型预制外墙板



图 16 台湾台北中研院学人宿舍的波纹造型预制外墙板

据个案情况可采用干式接头或湿式接头都可。如下图17为预制夹芯保温外墙板的生产,图18为预制夹芯保温外墙板现场施工现场。



图 17 上海预制装配式建筑研发中心城建海港基地2号试点楼夹芯保温预制外墙板生产



图 18 上海预制装配式建筑研发中心城建海港基地2号试点楼夹芯保温预制外墙板现场

## 2.2 预制工法在建筑上的其他重要价值

1. 预制工地环保及文明施工良好: 由于预制工法的特性即是在工地组装且外观质量佳不需粉刷, 因此在工地减少了大量现场模板的作业及现场粉刷的作业, 因而较环保, 现场的文明施工也较现浇工地良好易施做。如下图19为采用预制工法的施工, 现场湿式作业少, 文明施工较良好。

2. 省力化: 相对采用现浇工地需使用大量工人来

说, 预制工法现场使用人力较少省力化。如表1为上海城建浦江PC项目预制率50%四栋实际施工采用人工数量统计, 由表中可知吊装工及钢筋工及模板工学习适应后人力可大量减少, 四栋预制50%结构体平均出工以十四楼693工/4栋 $\times 10\text{hr}/8\text{hr}=216.56\text{工}$ , 另依表2上海市建筑建材业市场管理总站的实物量与面积人工表 $202.73\text{元}/250\text{元}$  (实际人工单价) $=0.81\text{工}/\text{m}^2$ , 预制结构体每层楼板面积 $550\text{m}^2 \times 0.81=445.5\text{工}$ , 预制用工与现浇用工比例为49%, 相对一般现浇同面积约只需约一半现场人工数量。



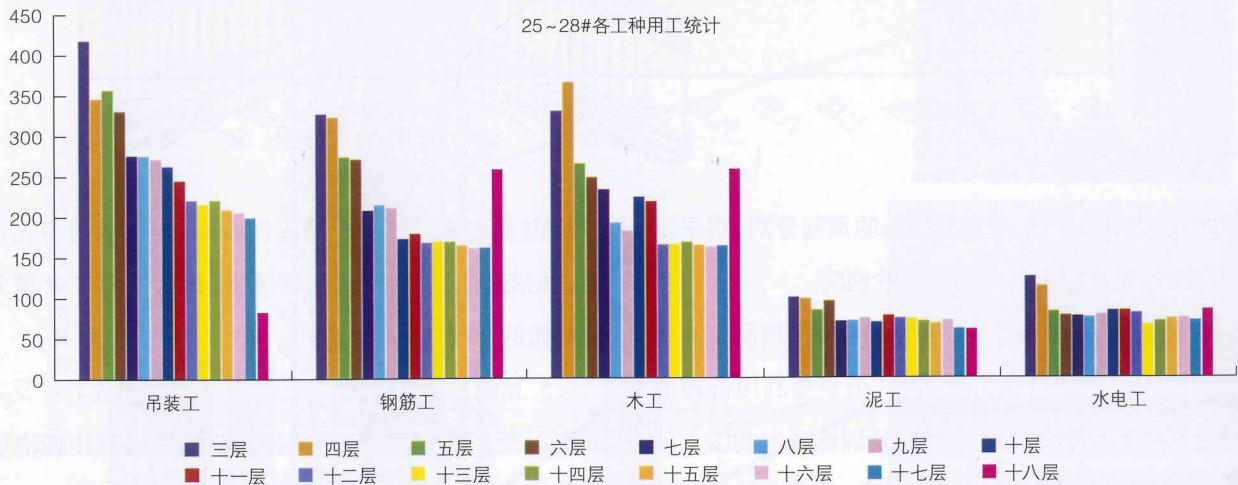
图 19 台湾台北地政大楼预制施工现场

3. 预制厂设厂机动性高: 预制可因地制宜, 只需现场有一块空地就可于现地预制, 不需如钢构厂设厂需有大量的电力供应及多又重的设备, 目前台湾润泰集团最新推行现场预制采用类似游牧式方式, 所有设备包括垫层都采用可搬迁可移动方式设厂, 如同蒙古的蒙古包游牧方式, 搬迁后不影响现场原有土地。

4. 预制工法在国际上公认是绿色环保工法, 因此目前国内政策, 如在北京市《的京建法[2011]29号文『关于延续执行<《关于产业化住宅项目实施面积奖励等优惠措施的暂行办法>的通知》(京建法[2011]29号)中将《暂行办法》延续至2015年12月31日』及, 上海市的沪建交联[2011]286号文『《关于本市鼓励装配整体式住

表1 上海城建浦江PC项目25#~28#楼3~18层四栋结构体合计工人数统计

	吊装工	钢筋工	木工	泥工	水电工	合计
三层	417	326	329	99	124	1295
四层	345	322	364	97	112	1240
五层	356	273	264	83	81	1057
六层	330	270	247	94	76	1017
七层	275	207	232	69	75	858
八层	275	214	191	70	74	824
九层	271	210	181	73	77	812
十层	262	172	223	68	82	807
十一层	244	178	217	76	82	797
十二层	220	167	164	73	79	703
十三层	215	168	164	72	64	683
十四层	220	168	167	69	69	693
十五层	208	163	163	66	72	672
十六层	205	160	161	70	73	669
十七层	199	161	163	60	70	653
十八层	82	257	257	59	83	738

表2 上海市建筑建材业市场管理总站的实物量与面积人工表(元/m<sup>2</sup>)

编码	名称	低价位~高位价	平均像	走势图	备注
04001	高层住宅(15层以上)一结构	179.95~226.16	202.73		机械挖土配合、基础回填土、钢筋混凝土模板、钢筋制作、绑扎、浇灌混凝土、文明施工、其他零星作业等。

宅项目建设的暂行办法》(沪建交联〔2011〕286号)』也有相关类似奖励办法以推广预制装配式工法作为未来国内建筑发展的趋势工法。

### 3 预制工法的限制厘清及客户投资方关心的疑问释疑

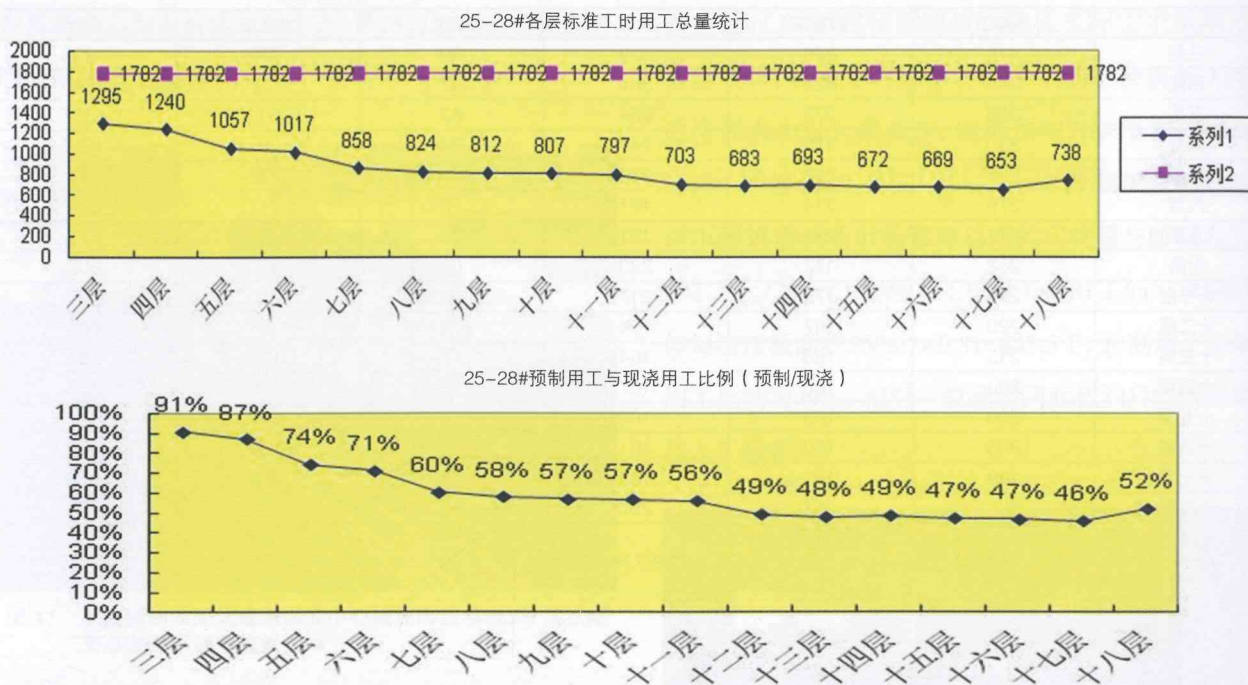
#### 3.1 预制工法的限制厘清

1. 很复杂的造型预制无法施做: 预制工法不怕复杂

的造型, 但是若没有经过标准化与模矩化的设计将导致钢模套数过多变成昂贵的预制造价。如图20为台湾921地震博物馆采用85片预制板片组装完成。

2. 尺寸很大的建筑预制无法施做: 预制工法可以将尺寸很大的建筑区分成许多不同标准的构件, 再利用预力或连接铁件方式连接, 因此就算是尺寸很大的建筑, 只要经过合理的设计分割仍然可以施做预制, 例如澳洲雪梨歌剧院就是最好的例子, 当初采用现浇作法无法

表3 上海浦江PC项目四栋预制50%结构体预制用工数与现浇用工数的比较图



施做四对大风帆, 后来经过如图21的预制分割, 再采用预力钢键连接才完成如今的雪梨歌剧院。

3. 预制容许误差太小工人无法施做: 预制工法由于组装的需求需要较精密的误差, 但只要利用合理的治理控制精度的工具 (简称治具) 及训练通过的工人就可容易的安装, 一旦熟悉了施工工序, 就可容易并快速的施工, 施工的难度比钢结构容易许多。

4. 建筑结构太重无法施做: 经过合理的设计分割,



图20 采用85片预制板片组装的台湾921地震博物馆

可将很重的建筑结构分割成许多构件, 再经过事先计算过的起重机具将构件现场组装, 因此不存在太重无法施做的情况。

5. 预制过于轻薄无法施做; 靠著生产事先养护及高强度混凝土及钢筋, 反而可将预制构件做到比现浇更轻薄的特殊造型, 并且预制容易搭配不同材料预嵌的复合工法, 如搭配金属线条预埋, 就可做到特殊的轻薄

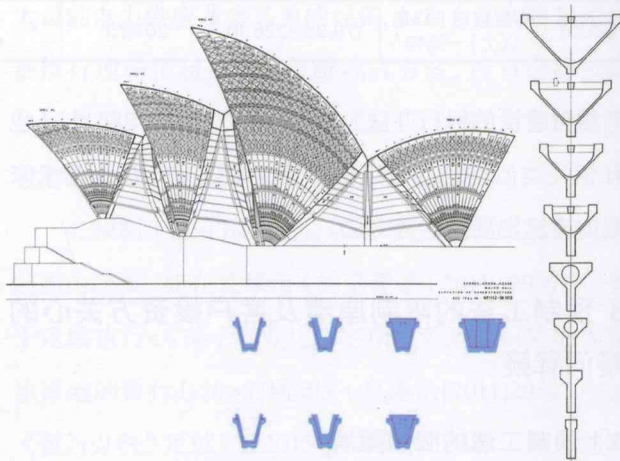


图21 预制预力薄壳结构的代表—雪梨歌剧院预制分割设计



造型。

6. 当运输坡度很陡, 无法预制运输: 若现场项目的道路运输坡度很陡, 无法运输, 那仍可考虑现场预制, 免除预制构件运输的困扰。

7. 预制不容易变更设计: 由于预制是事先生产, 因

预制比现浇及钢构有更良好的安全性, 在这两个地区, 主要是使用球状石墨铸铁套筒钢筋连接技术的刚性接头方式, 如图22所示, 此方式已证实有优异良好的安全性。而台湾润泰集团更于921大地震后自主研发独有的柱多螺箍钢筋专利, 如图23所示, 并于2008年台湾台大

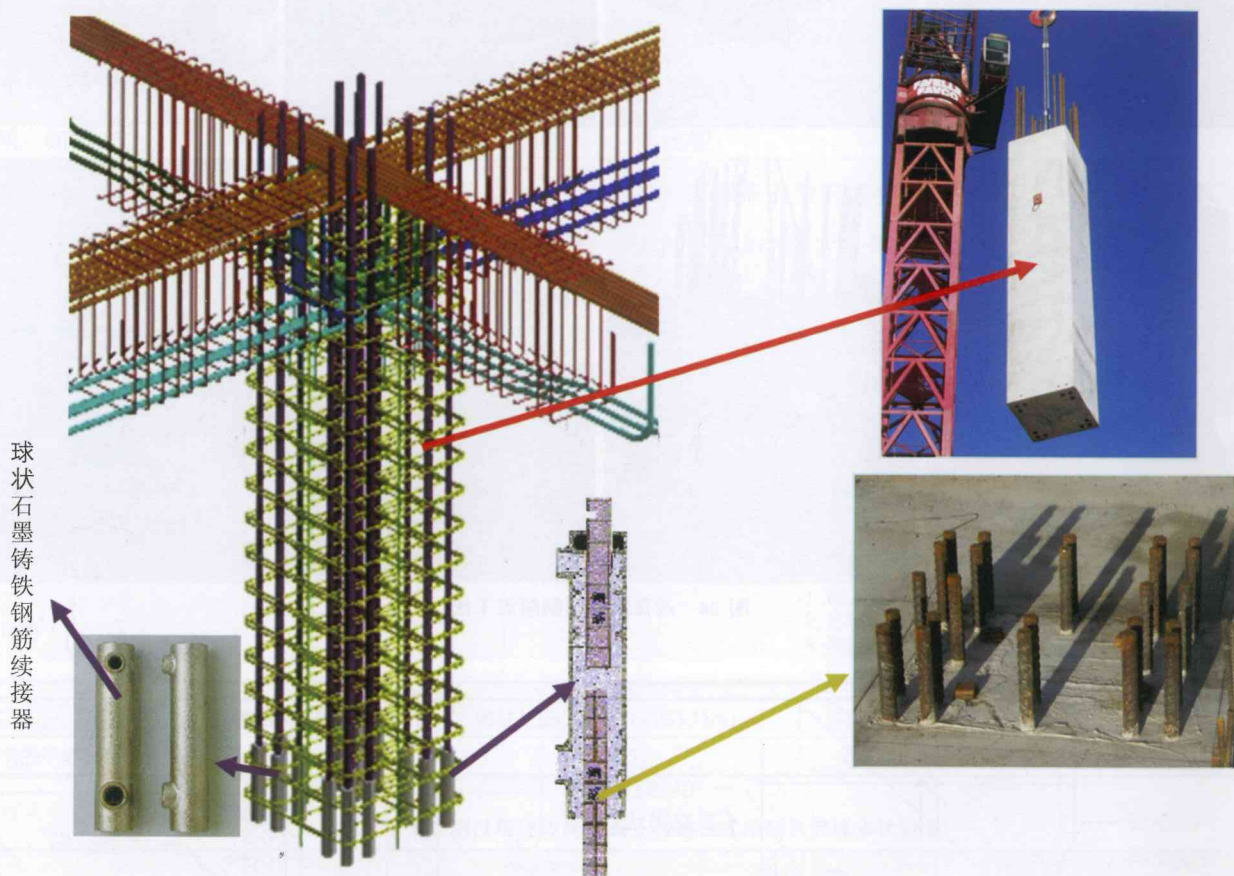


图 22 预制柱钢筋连接采用球状石墨铸铁钢筋续接器

此需提前至少两个月深化设计再开钢模生产, 但并不是说预制就不能变更设计, 只要在生产前确定变更设计的细节, 预制可变更设计的幅度还是蛮大的, 只是太多的变更设计会影响施工成本而已。

### 3.2 客户投资方关心的疑问释疑

1. 预制够不够安全: 预制工法从六十年代大量推广使用后, 其间经历过日本1995年阪神大地震及台湾1999年921大地震的检测, 在这两个大地震中, 都发现

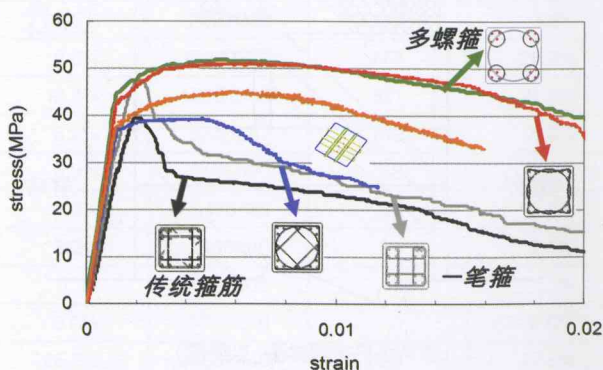


图 23 多螺箍与传统箍筋应力应变图比较



图 24 改良式半预制隔震工法

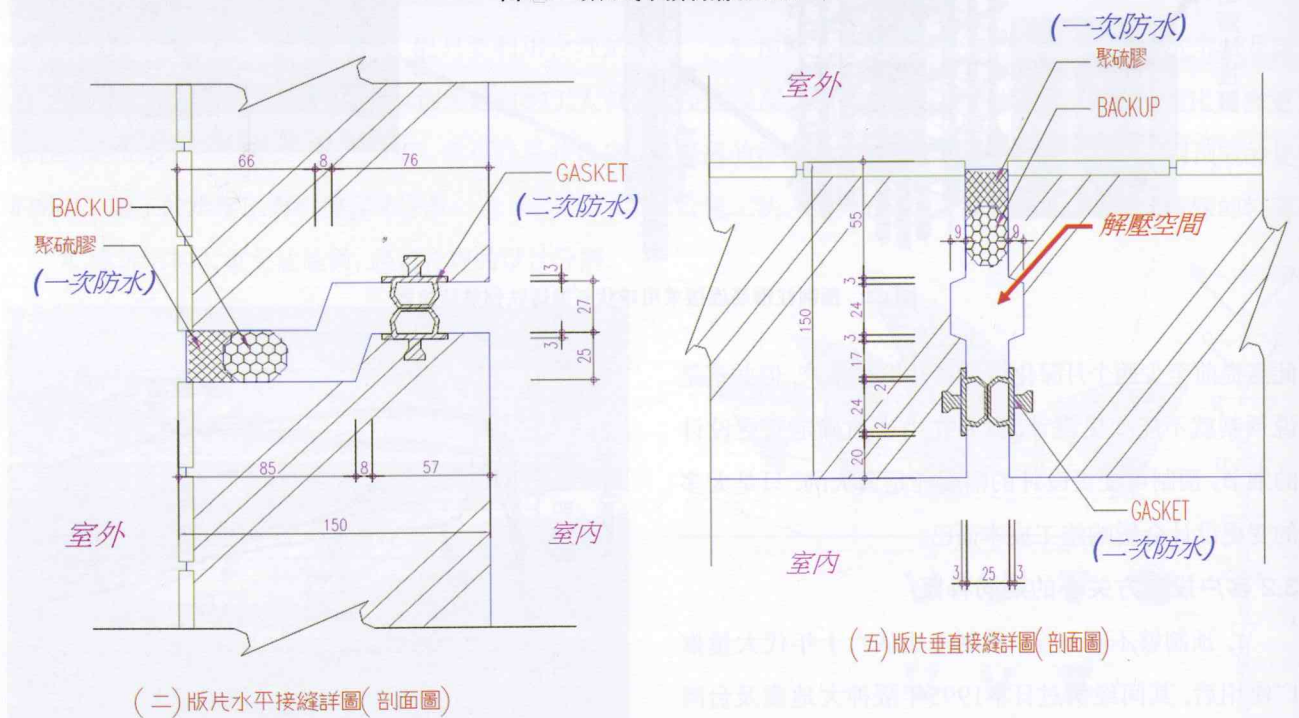


图 25 预制外墙板水平与垂直接缝节点标准设计

土研所教学大楼采用预制观念改良隔震工法,将隔震与预制结合,发表了半预制隔震工法专利,完成了比日本更快的隔震层完成速度,如图24所示。

2. 预制工法会不会漏水:只要经过合理的防水节点设计及材料搭配及严格的现场管理,从设计角度来看预制各构件中间预留板缝以软性材料吸收变位是非常良好的设计,但由于预制比起现浇需要较高的精度及相对较严格的现场管理,才能打造不会漏水的预制建筑。如图25为台湾润泰集团所使用的预制标准防水接头设计。

3. 预制外墙板抗震好不好:预制外墙板主要设计理念是比照帷幕墙外挂板的方式设计,即不承受结构

体的荷重,板片本身靠与结构体相连的钢筋及铁件承担自重及抵抗地震的影响,因此相对现浇外墙,更能抵抗地震的影响而不会产生裂缝。

4. 预制的成本贵不贵:一般而言,工厂生产的预制会比现浇贵,比钢构便宜,水泥、砂的成本是比钢构便宜很多。基本上,在总结构造价上,工厂生产的预制比传统贵10%,但节省工期的利息,足以涵盖这些金额。如下表4为一个实例关于局部钢构改成预制的成本降低比较。

5. 预制有没有机会比现浇便宜:在国内若将工厂成本的摊提取消,并采用游牧式预制的观念(目前台湾润泰集团推广中的观念),游牧式预制可以比现浇便宜的

表4 少量钢柱改成预制柱的成本降低比较表

预制柱				钢构			
型号	材料单价(元/T)	工资(元/T)	合计	型号	材料单价(元/T)	工资(元/T)	合计
HRB235	3600	650	4250	Q235	4100	4750	8850
HRB335	3750	650	4400	Q345	4300	4750	9050
说明						1. 加工费、防锈漆、运输2600元/T 2. 吊装1000元/T 3. 零星杂费300元/T 4. 防火涂料850元/T	
预制柱(650×650)		钢柱(□500×500×25×11m)		差异金额		百分比	
单支柱子总价(元/支)		10916		37105		-26189 -71%	

表5 同一个案分别以现浇传统混凝土与游牧式预制计算成本比较表

项次	项目	传统RC			预制		
		单价	平米价	百分比	单价	平米价	百分比
一	下部结构体工程	7709056	373	12.0%	7709056	373	13.0%
二	上部结构体工程	20889670	1011	32.5%	2322039	112	3.9%
二-1	预制结构			0.0%	15979370	773	26.9%
三	外装工程	10561008	511	16.4%	10561008	511	17.8%
四	内装工程	3345687	162	5.2%	3345687	162	5.6%
五	假设工程	2125271	103	3.3%	1196890	58	2.0%
六	杂项工程	850108	41	1.3%	478756	23	0.8%
七	门窗工程	2125271	103	3.3%	1196890	58	2.0%
八	中庭景观工程	88800	4	0.1%	88800	4	0.1%
九	电梯设备工程	0	0	0.0%	0	0	0.0%
十	机电工程	16537840	800	25.7%	16537840	800	27.8%
	合计	64232713	3107		59416336	2874	

原因说明如下:

- (1) 不施做临时性硬铺面, 采可回收的预制板;
- (2) 储存区采可回收的预制枕板;
- (3) 运输费极少只有小搬运;
- (4) 无增值税, 自办工程, 无外买构件;
- (5) 不用蒸汽养护, 采电毯保温, 成本低;
- (6) 建材使用效率高、精简。

表5为一个个案关于现浇传统混凝土改为游牧式预制的成本比较表, 在一定的规模及设计标准化及模化等有利条件下, 游牧式预制有机会实现比现浇更便宜的成本。

6. 预制如何与机电安装工程配合: 依据台湾我们润泰的经验, 预制与机电安装工程的配合主要需注意以下

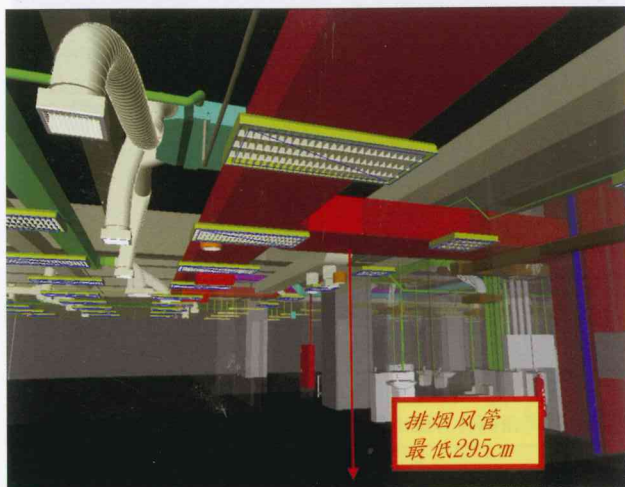


图 26 3D方式检讨机电管线并考虑风管高度及穿梁位置



图 27 台湾中和地政大楼采用垂直干管先行于楼板灌浆预埋

方面:

- (1) 所有管线尽量采明管原则;
- (2) 用3D方式检讨管线, 并提供穿梁图面, 图26;
- (3) 所有压力管线不预埋于预制构件内;
- (4) 安装的垂直干管先行完成, 尽量搭配在楼板灌浆时即先行预埋, 如图27所示;
- (5) 管线尽量预组化, 尽量可吊装施工。

## 结语

早期预制工艺因为系统认识不清, 如将不适合地震区的简支预制系统使用在地震区, 或者对防水细节的不讲究, 造成国内早期对预制工法不抗震容易漏水的印象, 但随著近年来国际间的交流, 才又重新认识到预制工法其实是一种建造速度快、成本低(在已发达国家)、节能环保的工法, 在国内目前人工费用增加, 人民居住住房需求激增的经济保障房尤其适用, 因此国内从2010年开始由中央制订政策开始推广, 我们台湾润泰集团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。■

## 作者简介

**詹耀裕**, 台湾润泰集团上海沛丰工程与江苏润泰精密工程总经理。1961年1月生于台湾省, 1989年毕业于台湾国立中央大学土木工程研究所, 取得硕士学位, 主修结构。毕业后曾任职润泰营造技术研发科经理、润弘工程预制设计部经理与施工部经理、协理、润弘精密工程事业处副总经理。主要专长为预制施工与生产技术、复合化建筑工法、建筑工法与系统规划与营建管理。

**黄纲辉**, 台湾润泰集团润弘精密工程工程处协理。1970年4月生于台湾省, 1983年毕业于台湾中央大学土木工程研究所, 取得硕士学位。1985年取得台湾地区土木技师执照。毕业后任职润弘精密工程师、主任工程师、主任、襄理、副理、经理、协理。主要专长为预制施工技术、复合化建筑工法。曾担任台湾多项大型预制工地项目经理, 包含宏盛帝宝PC外墙板预制项目负责人、蓝海红树林38层预制结构项目负责人等。