



李昕

上海中森建筑与工程设计顾问有限公司副院长、总建筑师，国家住宅工程中心华东部主任。其主持设计的万科金色里程项目成为上海市首个规模的将预制混凝土构件—PC技术、全装修一体化设计理念、项目设计总包管理、SI工法技术运用到商品住宅的成功案例。

THE INTRODUCTION OF PRECAST CONCRETE TECHNOLOGY AND ITS APPLICATION IN PRACTICAL PROJECT

PC 技术简介及其在实际工程中的应用

撰文 李昕 上海中森建筑与工程设计顾问有限公司

1 PC技术的概念和优势

PC技术是建筑工业化非常重要的一部分。关于PC技术，万科给出的定义是：PC技术即预制混凝土构件技术，它是以提升产品品质性能为目的，以提升产品生产效能、提升客户价值为目标，通过研究客户需求、产品定型，进而实现工厂预制、现场装配的生产方式。

PC技术最大的优势是可以让造房子像造汽车一样，缩短建筑周期，减少能源消耗，降低建设成本。这些可以从以下数据得到说明：

（1）由于施工水平方面的差距，国内房产企业的效益是美国的1/5，是日本的1/10。

（2）传统作业时大量工人在施工现场的高空坠落、触电、物体打击等是事故频率最高的三项。而工厂化把大量工地作业移到工厂，现场工人最多可减少89%，大大减少了现场安全事故发生率。

（3）PC楼的土建工期比普通住宅可缩短30%，渗漏、开裂、空鼓、房间尺寸偏差等质量通病可降为零。

（4）现场垃圾减少83%，材料损耗减少60%，可回收材料占66%，建筑节能50%以上，建造周期减少70%，PC综合节水效果36%，整体节能减排达到60%的标准。

据不完全统计，按现有的开发量估算，到2012年，如果整个住宅行业都实行产业化生产，社会资源年消耗的节约可达到：1）节约能耗90.4万t标

准煤，相当于22.6亿度电量，约为葛洲坝发电站2个月的发电总量；2）节约用水20 340万m³，约为19个杭州西湖的水量；3）节约混凝土损耗142.4万m³，相当于285栋18层住宅混凝土用量；4）减少钢材损耗13.56万t，相当于188栋18层住宅用钢量。

2 国外工业化发展进程和各国PC技术简述

欧洲自20世纪20~70年代在住宅工业化、产业化方面持续不断地发展并相对成熟，从20世纪80年代开始注重住宅的节能、可持续发展和提高住宅品质等综合性能。

在亚洲，日本、新加坡和中国香港工业化相对成熟。日本在20世纪60年代初住宅需求急剧增加，为了提高产品的质量和效率，开始对住宅实行部品化、批量化生产，20世纪70年代是日本住宅产业的成熟期。新加坡的PC技术发展有近30年的历史，预制混凝土在公共住宅建设中的市场份额已从1996年的30%增加到2001年的60%。香港的PC技术发展也有近20年的历史，香港政府为支持住宅产业化的推行，对采用PC技术的项目在容积率指标上比非PC体系的项目优惠10%。同时专设香港建筑事务监督屋宇署，对PC进行品质控制和质量监督。笔者参观香港大角咀PC住宅项目，整个小区50多栋住宅，每栋为58层的超高层住宅，每单元8户的标准户型，全部采用标准PCF外墙体系。



图1 香港PC工程现场照片-大角咀住宅项目



图2 香港PC工程现场照片-香港数码港住宅项目



图3 香港构件配筋方式



图4 日本构件配筋方式

在我国大陆早就有PC这种工法的应用，上海中森在进行万科金色里程项目实践时还没有相应的技术规范及政策支持，如何使海外的先进技术与我国现有的设计标准相融合、匹配，最终配合相关部门形成行业标准，需要设计单位通过配件工厂及施工现场进行大量的研讨和试验工作。

万科是国内最早将住宅产业化作为重要的战略目标，并将产业技术投入到商业开发的地产公司。一方面是其敏锐地认识到由于节能环保问题日趋突出，未来政府对施工现场提出限制性政策的可能性很大；另一方面则是为了保持自身销售规模的可持续发展。万科要在建筑品质、客户满意度、管理水平及能耗等方面做得比过去更好，就必须改变传统的建造方式，这些都促使万科下决心做PC。

万科最早学习的是香港的预制混凝土外墙技术，而在做完1号实验楼之后，万科开始向日本学习，其中很大的一个原因是香港地区大多数建筑仅使用预制混凝土外墙，而日本多使用有结构抗震规范的装配整体式预制混凝土住宅。

3 日本PC模式与中国香港PC模式的比较

3.1 PC的应用范围比较

(1) 中国香港：PC结构构件主要包括阳台、楼梯、凸窗、空调板及PCF墙板五部分，主要应用于高层住宅和公寓，多以剪力

墙结构体系为主；对梁、柱、楼板的PC构件应用目前仅用于少量5层以下的中小学等框架结构（图1，2）。

(2) 日本：对PC结构构件没有太多限制，除阳台、楼梯、凸窗、空调板、PCF墙板五部分外，梁、柱、楼板，包括整体卫生间、整体厨房等均可使用，所以评价日本的建筑是否采用PC不单纯指哪些构件，而是看它采用PC的百分比，比如80%的PC，甚至做到100%的PC，即整栋楼全部工厂装配。

3.2 构件配筋方式的比较

香港模式的PCF构件采用普通直锚式拉结筋，混凝土板无加强构造，预制构件的刚度较小，强度也不能保证，在运输和吊装等施工过程中会产生裂缝及较大变形，必须采取补强设备防止构件破坏，这样就使施工成本增加较多。直锚式钢筋是一种开放式的拉结筋，构造相对简单，只适用于香港这种非抗震地区使用。香港PCF板的厚度多为100mm（图3）。

日本模式的PCF构件采用纵横双向桁架筋，可以保证预制构件在脱模、运输、吊装、存放过程中具有足够的刚度和强度，不产生裂缝及过大的挠度变形。桁架筋是一种封闭式的拉结5筋，能使预制构件与主体结构构件叠合得更牢固，整体性更强，具有良好的抗震性，适合抗震地区使用（图4）。

3.3 PCF与结构主体关系的比较

香港模式的PCF为纯外挂构件，不参与结构主体受力工作，所以构造配筋较简单。

日本模式的PCF可将PC内部一定的厚度与结构外墙或框架柱的钢筋保护层叠加工作，从而减小外墙厚度，增加可用面积。

3.4 适用范围的比较

香港PC模式是近年来在日本模式的基础上模仿、简化以适应香港当地的情况而总结出来的一种模式，相对日本模式，香港模式较为粗糙、节点简单，但没有规范限制，可操作性强。纯日本PC结构体系在我国无法完全照用，因为我们没有相应的计算软件、验算方法和规范可遵循，没办法将PCF的一部分加入结构主体计算。而日本各大建设集团均有完善的设计、制造工法，相当于行业标准，其是以雄厚的建设集团的试验基地和实践项目积累出的经验数据为后盾。作为多地震国家，日本PC工法形成了完整、可靠的设计制作施工流程。

4 PC技术在万科金色里程B04地块项目中应用

4.1 规划和建筑设计

本项目地处上海市浦东新区中环线内，项目总用地面积为80 866m²，其中B04-1地块面积为11 000m²，属绿化用地；B04-2地块面积为69 413.7m²，属住宅用地。总建



图5 万科金色里程整体鸟瞰图



图6 万科金色里程高层住宅外观

筑面积13.6万 m^2 ，共建造房屋28幢，其中住宅27幢，配套公建1幢。可安置居民966户，近3 000人；小区容积率1.5，建筑密度20%，绿化率50%。其中采用PC技术的1-7#高层住宅建筑面积达81 252 m^2 （图5）。

小区住宅楼主要为高层单元式住宅楼和多层排屋。其中低于90 m^2 的中小房型占了73%。高层住宅为一梯两户，住宅平面设计功能合理，设施完善，分区明确，流线顺畅。起居

厅、主卧均朝向南面，满足使用要求的同时又保证景观的利好处。多层住宅以4层的四拼和六拼为主，带地下室，内部布局合理有序。建筑形式格调高雅，追求建筑自身的光影、虚实变化，并能从材质和色彩上体现出高贵的品质。

本次设计高层部分采用“PC结构工程”，即对楼房的一些部件，在工厂加工完成，再到工地现场进行拼装。本次设计对建筑的外墙、楼梯、阳台、凸窗、空调板五个部位

进行预制。立面造型以简洁的体量强调建筑的雕塑感。为达到简洁体量的目的，建筑的凸窗、阳台、挑台等均由PC外墙工厂加工完成。在高层建筑上强调建筑的线条与垂直线条的交叉，在完善体量的同时，又强调出建筑的高耸形态；而多层住宅则以块面的构成与开窗的形式强调建筑的几何美感，并通过材料的质感及颜色的变化，使整个建筑亲切、自然又极富时代感（图6~9）。



图7 万科金色里程高层住宅外观细部

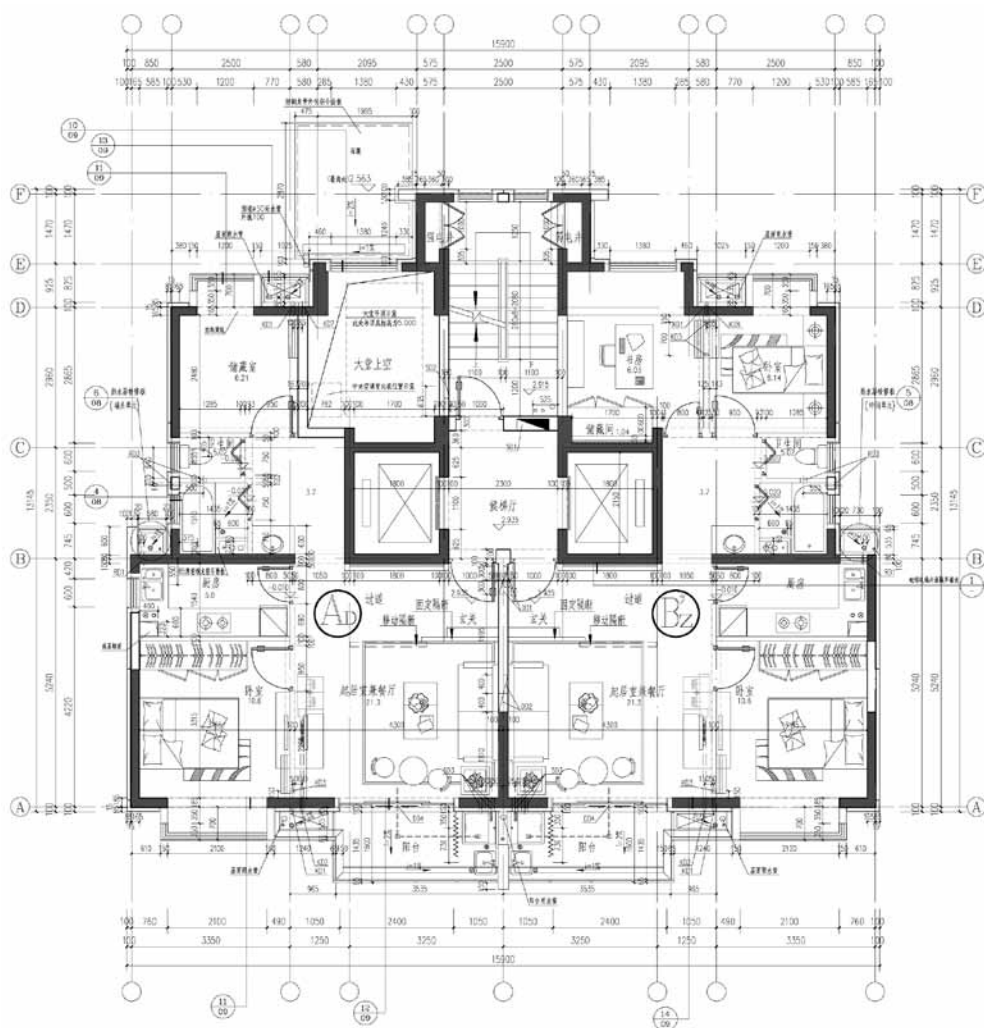


图8 万科金色里程住宅平面图

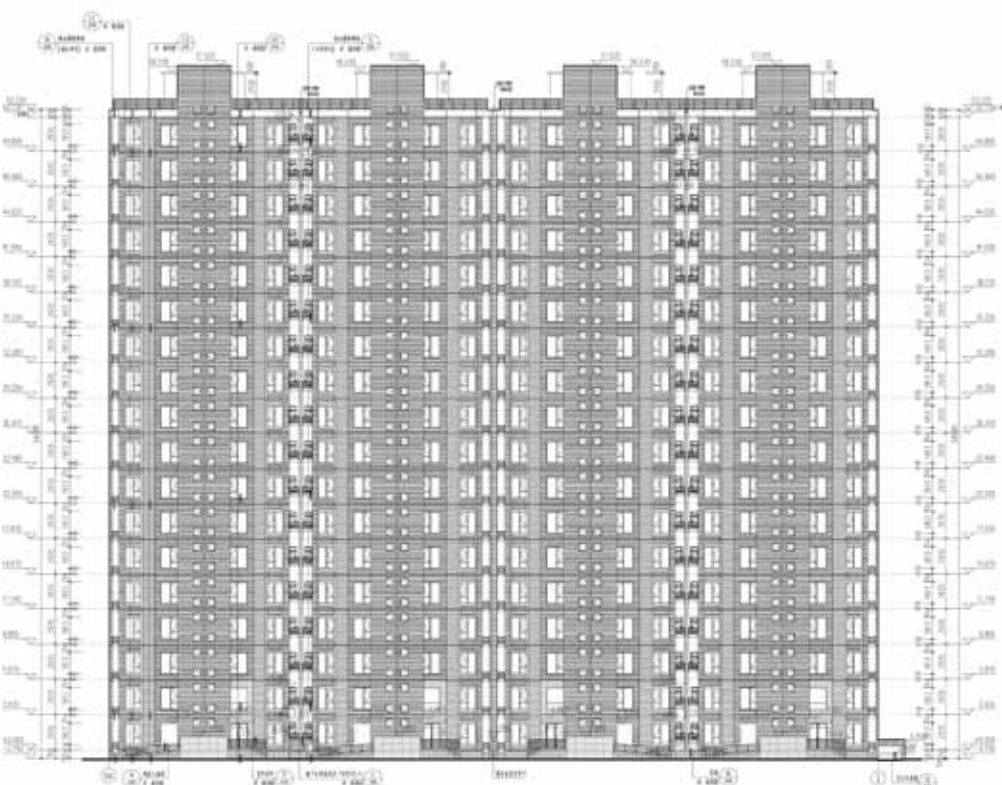


图9 万科金色里程住宅立面图

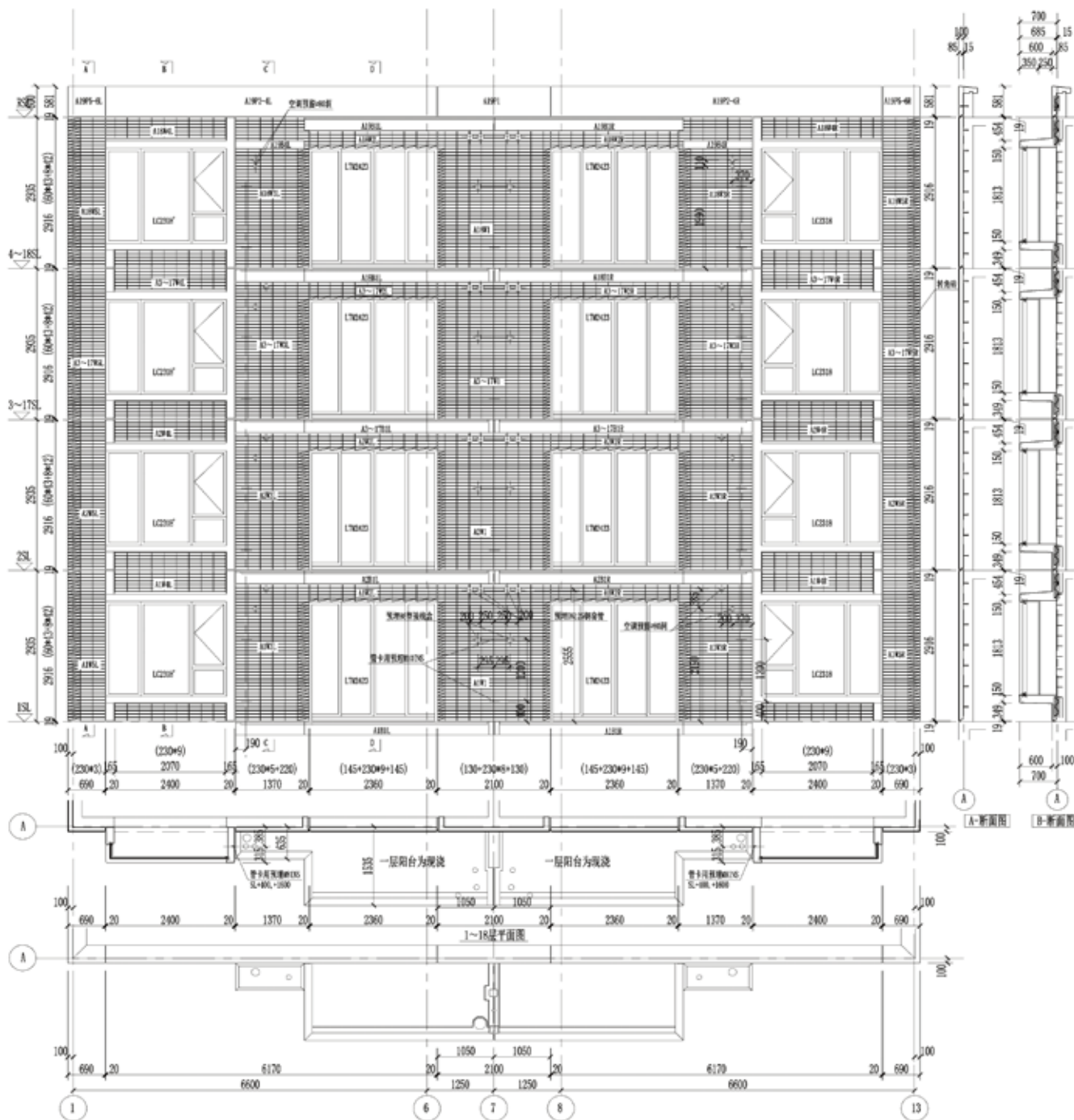


图10 万科金色里程A轴预制板装配图

4.2 PC建造技术的应用

本工程的建筑主体结构形式为剪力墙，外挂预制混凝土墙板、预制混凝土阳台、凸窗、空调板等构件。除了使用了上述各预制构件，还运用了预制混凝土楼梯技术。

运用PC建造技术的优点可概括为以下几方面：

(1) 外墙PC板。外墙面砖牢固；外面砖效果精准（工厂内统一铺贴成型）；减少渗漏几率；建造速度明显加快；减少人力投入；施工质量可控；减少模板使用量；标准户型被划分为几个组成构件，工厂有序、保质、保量地提前生产，施工现场除现浇承重剪力墙部位，主要是吊装外挂PC墙板和阳台凸窗等PC构件以及浇合承重部位及预制构件，人力物力的投入大大减少，传统需要10个月完成的工作量仅需6个月即可完成，而且节约了80%的劳动力（图10~12）。



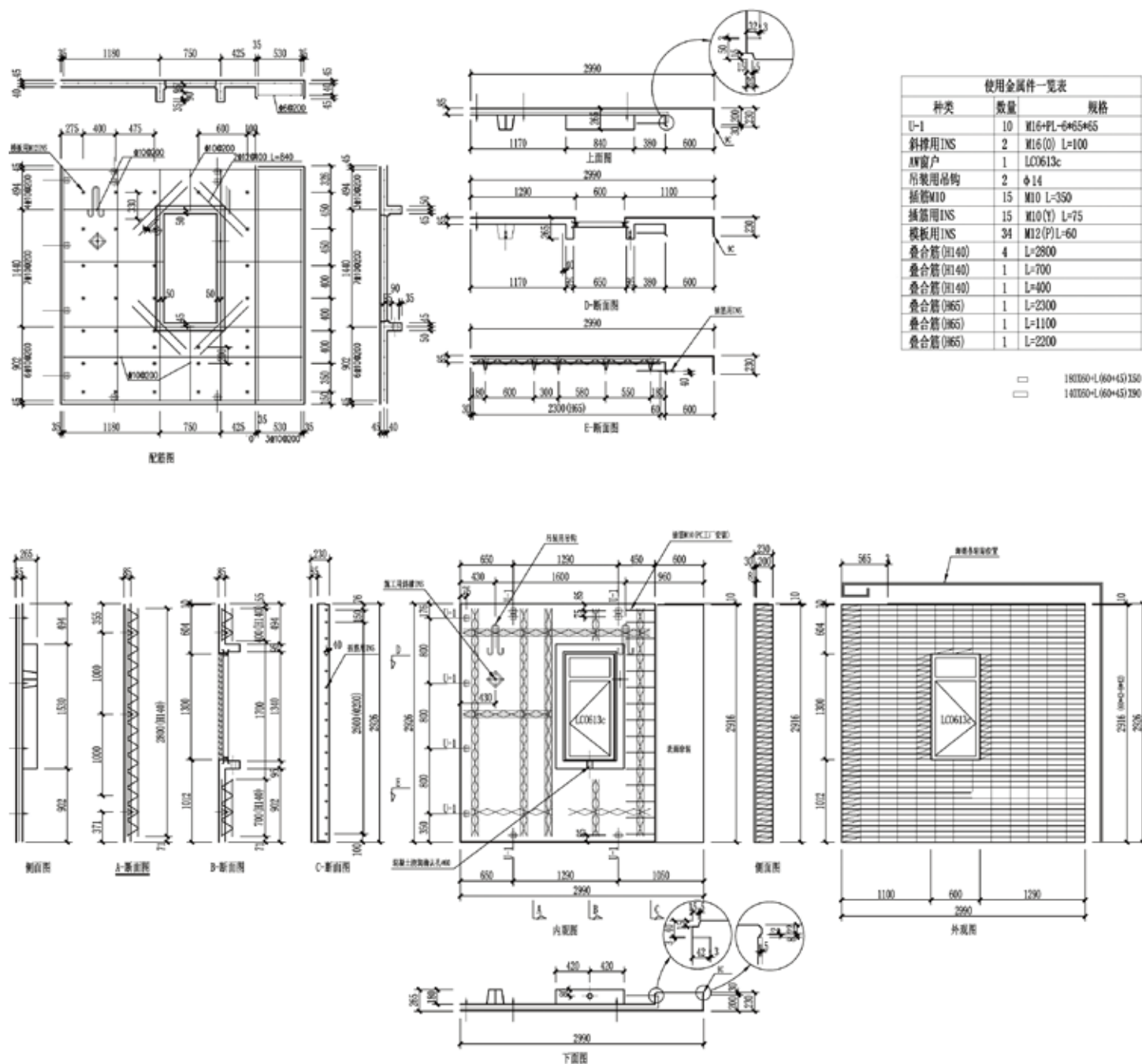


图11 万科金色里程PC墙体施工图



图12 万科金色里程现场施工

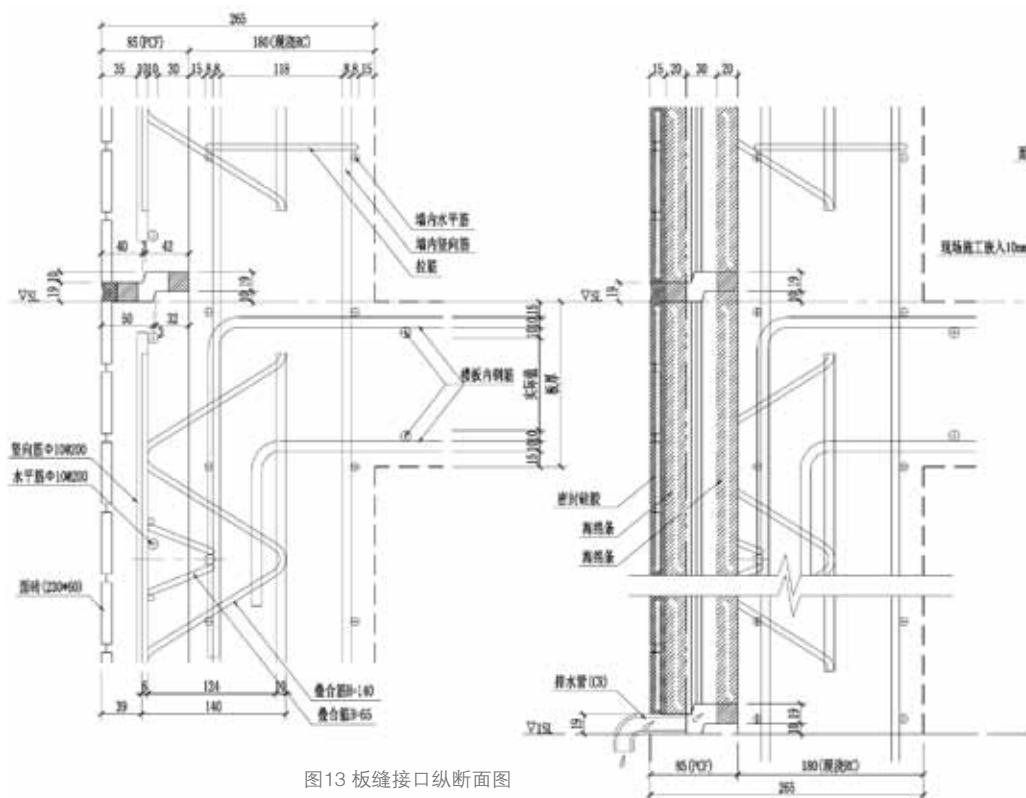


图13 板缝接口纵断面图

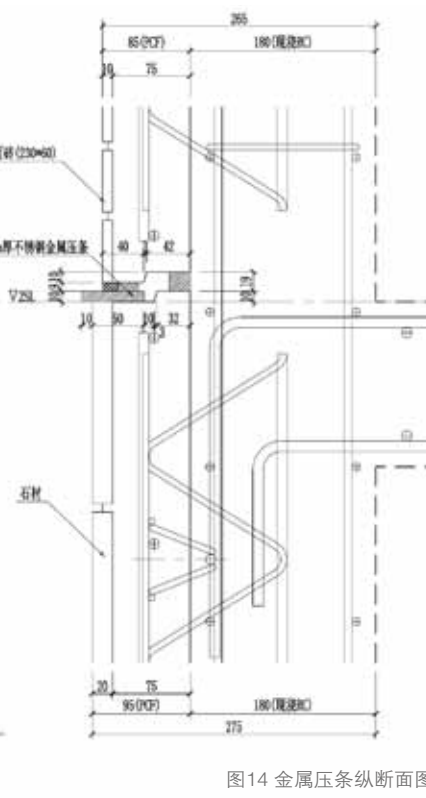


图14 金属压条纵断面图

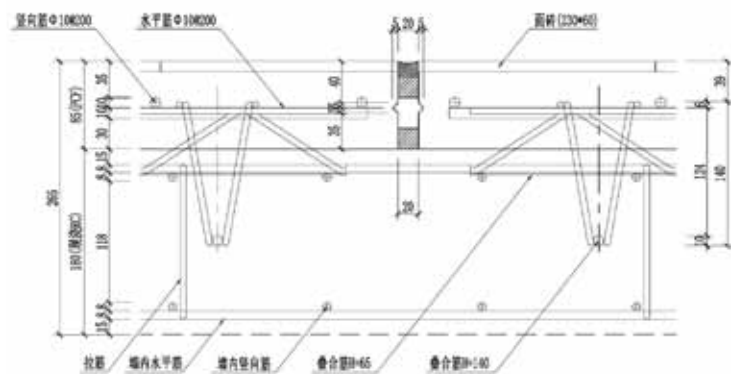


图15 板缝接口横断面图

(2) PC的连接防水。改传统的材料粘结性防水变为构造输导性防水，漏水几率大大降低，同时不会积水返潮（图13~15）。

(3) PC的门、窗预埋。窗整体性、气密性好；门窗牢固程度大大增加；几乎没有门窗变形（窗框在工厂生产过程中已预埋至预制构件，精准而变形微小）。

(4) PC凸窗构件。结构整体性好；外观精致（将复杂的凸窗在工厂由钢模精确加工，施工质量提升）。

(5) PC阳台、PC空调板构件。阳台、空调板的预制构件尺寸精确，方便摆放电器；排水系统无二次污染，不易堵塞（在预制阳台或空调板构件中，同时考虑并预留了设备专业的孔、洞、预埋件等，实现一步到位或方便安装的施工装修现场）；栏杆造型精致（在预制阳台构件中，预埋了安装栏杆扶手的安装件，无须现场焊接，质量与美观兼具）；减少模板

用量；减少脚手架（阳台构件等吊装后可增加人员可操作面）（图16，17）。

(6) PC楼梯构件。楼梯平整并且踏步高度、宽度精确、统一，在逃生时绊倒几率大大降低；减少模板重复用量，节材节时，质量提高。

4.3 SI工法的室内装修工法

由于外部采用了PC构件的“外保护层”，故万科金色里程1-7#高层住宅采用了EPS板外墙内保温体系，节能环保，外立面效果出色。加之本工程采用了前沿的SI工法进行室内精装修，结合内保温施工，缩短了工期，提升了质量。所谓SI工法就是指骨架体（支撑体）和填充体（内装体）完全分离的一种施工方法，也是创造长寿命、可变、可持续使用居所的施工体系。

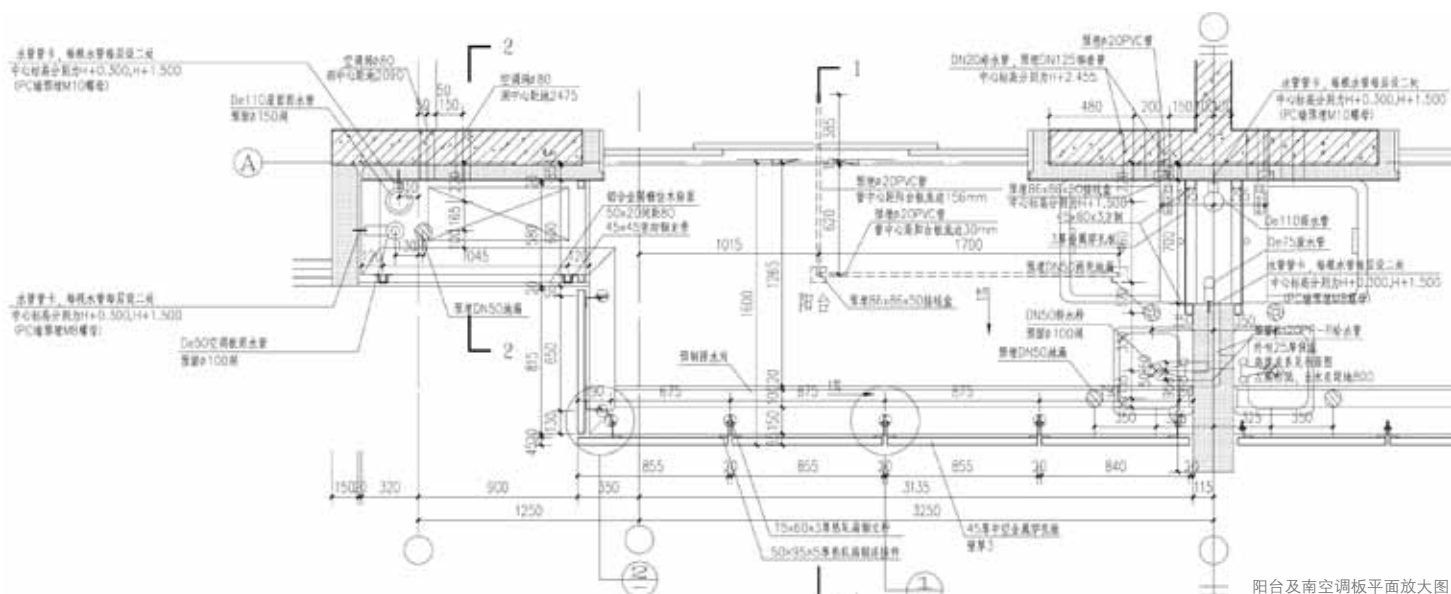
金色里程1-7#高层住宅项目体现SI工法的室内装修工法主要有以下几点：

(1) 架空楼板。管线和结构完全脱离，安拆方便；管线不接触钢筋混凝土，使用年限长；结构减少开凿量，结构本身质量提升；减少了湿作业，缩短了工期；地板更有弹性，对于儿童更加安全；更可在架空层中铺设地暖，提升住宅品质。

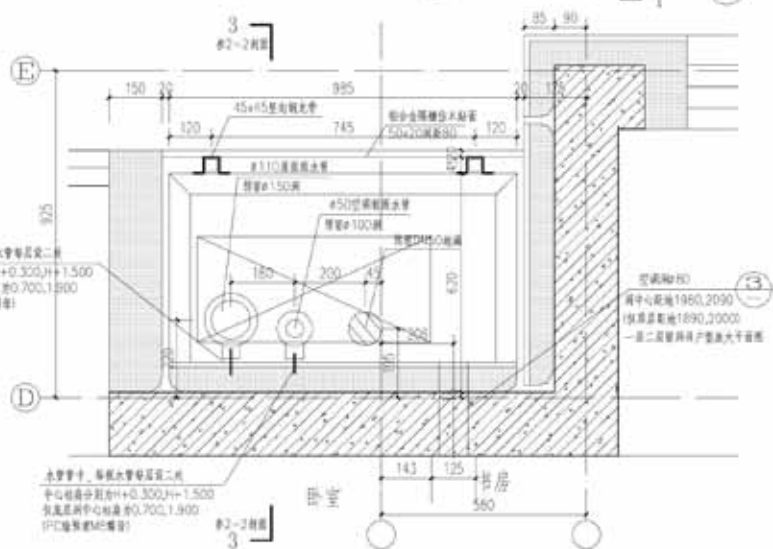
(2) 轻钢龙骨石膏板隔墙。房间可自由分隔；室内隔气隔声效果好；无返潮；管线便于更换维修；室内空间可变，实现几代人都可居住同一个“家”。

(3) 同层排水。物权问题得到解决；减少阻塞和返水，有效解决噪声和渗漏，节约水源；更换马桶无须楼板打孔，减少楼板开洞，对结构有利。

(4) 轻钢龙骨薄吊顶系统。管线脱离于结构之外，维修、更换方便；不同设备管线各行其道，更加安全可靠，使用寿命增加，真正让住宅“由内到外”都可持续化。



阳台及南空调板平面放大图



北空调板平面放大图

图16 万科金色里程阳台平面放大图

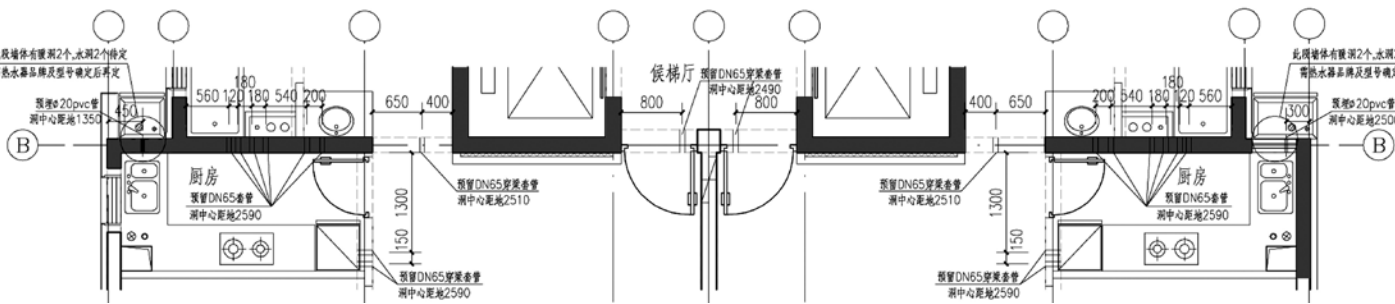


图17 局部墙体留洞图

5 结语

作为万科战略合作伙伴之一的中国院上海中森，参与了万科继金色里程一期两栋PC实验楼项目之后的二期项目设计。经过比较，我们融合日本和香港PC的工法，结合90m²小户型特点，采取了以下措施：

(1) 结构主体采用剪力墙体系，使室内小空间尽量完整。

(2) 在PC应用范围上参照香港模式，外围护体系为纯PCF形式，楼梯段为PC构件。

(3) 在PC与结构主体关系上以PC不参与主体工作、纯外挂考虑，使项目在工期紧、无法进行实验检验的情况下，得到相关部门的批准，尽快合法化。

(4) 借鉴和发挥日本PC工法的优势，细节节点处理细致，安全性能好，交接缝的防水措施牢固，外部构件的配置更美观、人性化。

(5) PC外墙厚度尽量减薄，发挥日本PCF丰富的计算经验和缜密的配筋方案，

由原来的95mm减到85mm，加大了使用空间。

万科金色里程项目最终获得国家AAA居住小区、2011年度全国优秀工程勘察设计行业住宅与住宅小区三等奖、第二届中国建筑学会建筑设备（给水排水）优秀设计二等奖、2010年度上海市优秀住宅工程小区设计二等奖、中国首届“BIM 建筑设计大赛”三等奖、中国建筑设计研究院方案设计二等奖、中国建筑设计研究院建筑设计二等奖。