



朱邦范

上海浦东建筑设计研究院有限公司总建筑师，高级建筑师，国家一级注册建筑师。毕业于东南大学建筑系建筑学专业。

主持设计项目包括：上海多伦路现代美术馆、2010年上海世博会世博公园、2010年上海世博会园区样板组团、天津西站、天津文化中心、上海预制装配式建筑研发中心、世博B片区央企总部等。

主要科研包括：装配式住宅建筑设计关键技术研究、建筑全寿命管理信息化系统关键技术与集成示范等。翻译并出版了《预制建筑集成——预制建筑总论》一书。

PRECAST CONCRETE HOUSING DESIGN BASED ON STANDARD CONSTRUCT SYSTEM

基于标准营造体系的装配式混凝土住宅设计

撰文 朱邦范 上海浦东建筑设计研究院有限公司

摘要 装配式住宅工业化生产已逐步在全国各地进行推广，虽初步形成了符合当地特色的装配式混凝土住宅体系，但却缺少标准的营造体系。基于部分工程实例并结合地方标准，从实际需求出发，对营造体系的标准化和模块化展开研究，从而梳理出了一套行之有效的营造体系构架。

关键词 节能减排 装配式住宅 营造体系 标准化 模块化

0 前言

装配整体式混凝土结构是由预制混凝土构件或部件通过钢筋、连接件或施加预应力加以连接，并现场浇筑混凝土而形成整体的结构，简称为预制装配式结构（precast concrete, PC结构），按照此工艺建造的建筑称为装配式建筑，亦可称为PC建筑，由此体系建造的住宅为装配式混凝土住宅。

国内的PC技术有很多种，各地不尽相同。万科在全国各地推广的PC也有多种体系，北京万科是预制整体式剪力墙体系（竖向套筒连接），深圳万科是内浇外挂体系，上海万科是PCF体系，上海城建（集团）采用的是框架体系。体系众多，装配式住宅产品的设计标准化、模数化的概念不强，和现浇的住宅产品比没有实质性的变化，导致装配式住宅的建造成本大幅度提升。同时也存在为了预制而预制，或者象征性地采用部分的PC技术，产生此问题的根本原因是缺少一个标准的营造体系。

1 营造体系的标准化需求

1.1 装配式建筑的技术策略

基于对装配式建筑多年的研究和实践，建议可采用如下技术策略解决上述问题。

1) 向制造业学习，要学习标准化、模块化思想，建立标准化的一系列标准文件占据行业发展高

端地位；2) 熟悉各种不同的技术体系，吸取各种技术体系的长处，寻找技术实施和研发的现实条件；3) 以成本为导向研发、设计产品，同时注意技术体系的延展性。

1.2 关于标准化、模块化的研究

1.2.1 标准化

1.2.1.1 标准化的定义

标准化是在一定范围内获得最佳秩序，对实际的或潜在的问题制定共同的重复使用的规则活动。上述活动主要是包括制定、发布及实施标准的过程。标准化的重要意义是改进产品、过程或服务的适用性，防止贸易壁垒，并促进技术合作。标准化的目的是为了在一定的范围内获得最佳秩序并促进最佳的社会效益。除此之外，标准化还有一个或多个特定目的，以适应某种需要或选择。标准化的基本原理通常是通行的八字原理：统一、简化、选优、协调。

1.2.1.2 标准化设计

标准化设计是指标准件的选用和常用件的设计。标准件设计中提高效率的最简便的方法是建立标准件库和常用件库。在标准件库设计中体现了信息传递的单向性，即设计者只能选用不能修改。标准件库的优点如下：采用统一的描述格式，不同系统开发的标准库可以进行信息交换，最大限度地减

少重复开发标准件库造成的资源浪费，并提高了系统的可靠性；为设计人员提供尽可能完整的标准件信息，该信息不仅包含尺寸、图形信息，还包括材料、功能信息等。基于事物特性表的标准件库体系是开放的，易于扩充。

1.2.2 模块化

模块的本意就是“组件、预制件或预制住房单元”等，人们采用标准尺寸的砖、石和黏结剂，通过不同的组合，可建成形状、风格各异的建筑物。砖、石的形状虽然简单，但它们的组合是多变的。模块化是在通用化、系列化、组合化等标准化基础上引入系统工程原理而发展起来的一种标准化的高级形式，表现特征为尺寸模数化、结构典型化、部件通用化、参数系列化、组装积木化。作为组合化发展的高级阶段，模块化的理论基础是系统的分解与组合原理。

1.2.2.1 模块化的涵义

所谓模块化设计，就是在标准化理论的基础上运用系统工程的原理，将一个复杂的工程产品分解成层次合理的简化、系列化、标准化单元模块，并用这些标准化模块组合成各种不同产品。它是以功能分析为基础，通过功能、用途不同的各模块的互联组合实现基型产品和变型产品，主要包括模块划分与模块组合两个过程，模块划分是功能模块的结构设计过程，模块组合则是根据具体的功能要求，选择合适的模块组成产品。

1.2.2.2 模块化设计

模块化设计的关键是模块化、标准化和通用化。它是指结构标准化，尤其是模块接口标准化和通用化。模块化设计所依赖的模块化的组合，即连接或接口。显然，为了保证不同功能模块的组合和相同功能模块的互换，模块化应具有可组合性和互换性两个特征，而这两个特征出现在接口上，必须提高其标准化、通用化、规格化的程度。

1.2.2.3 模块化与模数协调

模块化是复杂产品标准化的高级形式，

无论是组合式的单元模块，还是结构模块都遵循一个基本原则，这就是用型式和型式尺寸数目很少且经济合理的统一化单元—模块，组合成大量具有不同性能的各种复杂的非标准综合体，这一原则称为模块化原则。为了实现模块化原则，保证由模块组成的产品在尺寸上的协调，必须建立一套模数系统对产品的主尺度、性能参数以及模块化的外形尺寸进行约束，这就是建筑中的模数协调。

1.2.2.4 模数协调技术在装配式混凝土住宅设计中应用的目的

模数协调技术在装配式混凝土住宅设计中应用的目的主要表现在以下几方面：实现住宅建筑的设计者、制造业者、经销商、建筑业者和业主等人员之间的生产活动互相协调；能将建筑各部位分割，并确定各部件（模块）的尺寸和边界条件，使部件（模块）规格化，又不限制设计自由；优选某种类型的标准化方式，达到使用数量不多的标准化部件（模块）建造不同类型的住宅建筑的目的；能使建筑部件（模块）尺寸的数量得到优化；促进部件（模块）的互换性，使部件（模块）的互换与其材料、外形或生产方式无关；采用合理化的方法定位，吊装和组装部件（模块），以简化施工现场作业。

1.2.3 PC技术体系选定要诀

在PC技术体系选定的过程中，一定要做到“六化”，即简化、统一化、通用化、组合化、系列化、模块化。具体可表现为以下9点：1）结构布置尽可能简单，构件的规格尽可能简化；2）相同通用构件体系的住宅产品可以实现多种户型和楼型，但是具有相同的“基因”，实现一种统一的外部表现，个性化的表现则通过外表面颜色、附加构件如阳台板、空调板等的设置来实现；3）构件、户型应该形成事实上的通用化体系，并具有互换的特性，通用构件应具有很灵活的组合性特点；4）按照建筑模数，形成构件、部品的系列化分布，以适应更加多样的需求；5）PC建筑首

先拆分为标准模块，然后是标准构件，形成一定的系统层次关系，某些非标部位形成非标模块，以适应部分特殊需求；6）标准化需要形成一定的标准化构件和部品库，且这是一个开放的系统，易于扩充；7）拆分构件时应注意构件在整个系统中的作用及其更换的可能性和必要性，并保持构件在功能及结构方面有一定的独立性和完整性，构件间的结合要素便于连接与分离；8）构件的标准化背后其实就是模板的标准化，目的就是提升钢模的利用效率，标准的构件可以由可变模板技术实现系列化的构件系统；9）模块化数理方面的支撑就是模数协调技术，即首先利用基本模数网格控制建筑物的平立剖面，以利于拆分成单元模块或构件，并利用构件定位、公差与配合等技术实现部件安装接口的模数协调。

2 装配式混凝土住宅相关体系

近年来，装配式混凝土住宅按结构体系可分为预制框架体系、预制剪力墙体系、预制叠合剪力墙结构体系、内浇外挂体系，各体系的综合比较见表1。

2.1 预制框架体系

预制框架结构体系的主要特征是将框架结构的构件拆分成梁、柱、楼板等基本预制结构体，单个构件重量较小，有利于预制和运输。连接处可以选择在梁柱节点，也可选择在梁柱节点以外，垂直构件连接一般采用套筒灌浆连接，以实现高可靠性的连接。节点区或分段连接区现浇，楼板叠合层一般现浇，形成整体的刚度，达到等同现浇、抗震的目的。目前上海地区现行规范规定，装配整体式混凝土框架结构总高度不应大于50m。

外墙作为结构体的荷载，不作为主要受力构件，根据建筑物的性质，可以选择预制混凝土墙板或者玻璃幕墙。预制墙板与结构体的连接采用干法或湿法连接，必定有一个方向与结构体铰接。结构体遇到外部荷载发生形变时，墙板之间可以发生变形，但墙体本身不发生破坏。

表1 主要技术体系的综合比较

比较项目	预制框架结构体系	预制剪力墙结构体系	预制叠合剪力墙结构体系
上海地区适用高度	50m	未有现行规范明确	60m
构件拆分	构件拆分为梁、柱、板、墙等形式， 构件重量较小；	构件拆分为墙、板等形式， 构件重量较大；	仅在外墙约8cm的范围应用预制墙板技术；
构件连接形式	立柱采用灌浆套筒连接，梁柱可以采用现浇接头连接，墙板采用干法或湿法连接	墙体竖向采用灌浆套筒或浆锚连接， 水平向采用现浇节点连接	PCF与现浇墙体形成整体
住宅户型	框架+外挂墙板体系容易出现外漏梁柱等问题	户型与传统现浇剪力墙结构接近	户型与传统现浇剪力墙结构接近
外墙保温	可采用预制夹芯保温墙体或内保温	可采用预制夹芯保温墙体或内保温	内保温
现行规范的支持程度	支持	不支持	支持但不鼓励，持谨慎态度

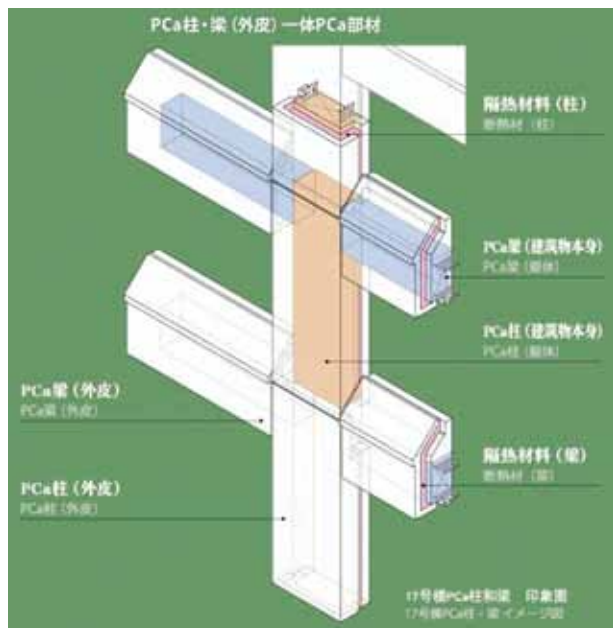


图1 沈阳万科春河里17号楼构件概念图（日本鹿岛预制框架技术体系）



图2 施工中的预制剪力墙结构



图3 沈阳万科预制夹心保温剪力墙板

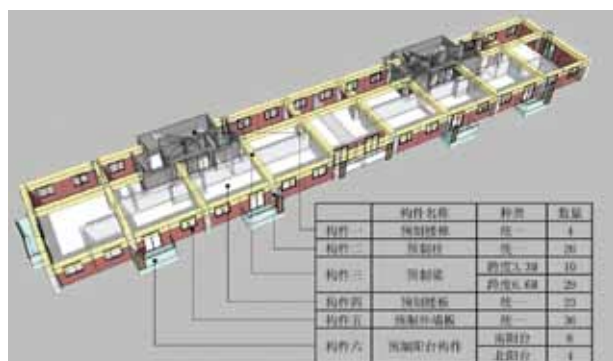


图4 标准构配件

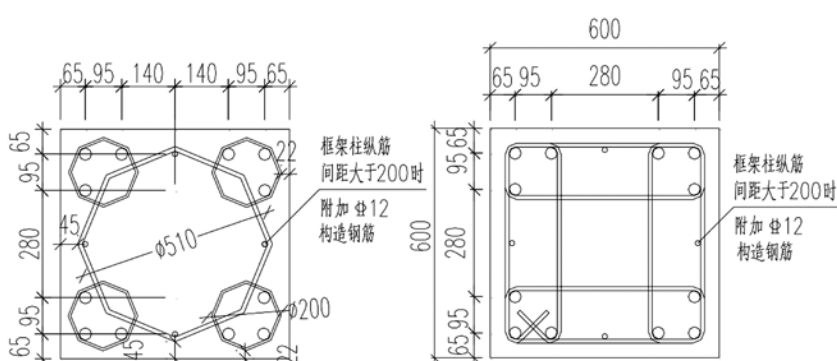


图5 标准立柱

预制框架可以结合现浇剪力墙或者预制剪力墙同时使用形成框架剪力墙结构体系。预制框架结构体系在上海、南京、沈阳有部分项目应用（图1）。

2.2 预制剪力墙体系

预制剪力墙结构体系将剪力墙结构体系的建筑拆分成剪力墙、楼板等构件，构件类型较少，但单个构件重量较大，剪力墙板竖向采用套筒或者浆锚连接；套筒可靠度高，造价也比较高；浆锚连接理论可行，造价较低，但施工质量保证难度较大。墙板水平向采用预留现浇段连接。预制剪力墙的平面布置与现浇结构区别不大，比较适合传统高层住宅的居住习惯。现行上海地区没有规范出台支持该系统。目前国内预制剪力墙技术在北京、沈阳、哈尔滨有部分项目应用（图2，3）。

2.3 预制叠合剪力墙结构体系

预制叠合剪力墙是为了实现住宅产业化而生产的介于全现浇钢筋混凝土剪力墙和全预制剪力墙之间的一种剪力墙结构构件。预制墙板工法又称为PCF工法，日本是较早推广、

应用这种剪力墙的国家，技术也相对成熟。目前，预制叠合剪力墙在日本作为框架填充墙或框架结构中的抗震墙使用，真正作为受力构件用于纯剪力墙结构的工程实例不多见，同时日本工程界对于结构高度超过60m的建筑中采用预制叠合剪力墙态度谨慎。现行上海地区规范规定预制叠合剪力墙结构只适用于结构总高度不大于60m、层高不大于5.5m、抗震等级为三级及以下的小高层、高层剪力墙结构住宅外墙。目前国内预制叠合剪力墙技术在上海有部分项目应用。

2.4 其他体系

在国内展开应用的其他体系还有NPC体系、预制叠合墙板体系等，这些体系与前述介绍的三种体系无本质区别。内浇外挂体系本质上是将部分外墙板当成荷载，受力结构采用现浇结构的形式，两者利用现浇连接在一起，本质上不属于结构受力构件采用PC技术的范畴，不具备技术延展性，属于为了预制而预制。预制异形柱结构体系也是一种适合于预制构件标准化的结构体系，由

于该体系现浇结构的适用范围不算大（上海地区异形柱框架结构适用的高度为21m，异形柱框架剪力墙结构技术体系适用的高度为40m），且尚未开展相应预制工法的研究，预计未来可以作为一种比较有特点的预制技术体系加以应用。

3 基于标准营造的技术体系研究

基于装配式混凝土住宅标准营造可以从标准构配件、标准户型和标准立面三方面入手，形成一套完善的技术标准体系。

3.1 标准构配件

标准构配件有立柱、叠合梁、墙板、叠合板、楼梯、阳台6种构件（图4），每种构件的规格控制在两种以内，可以提高模板的重复利用率，降低模板的摊销费用，从而降低生产成本。

3.1.1 标准立柱

规格600×600，可采用预制柱或现浇柱。

方柱和扁柱的对比（图5）：方柱在形状和受力性能上四个方向完全相同，更有利

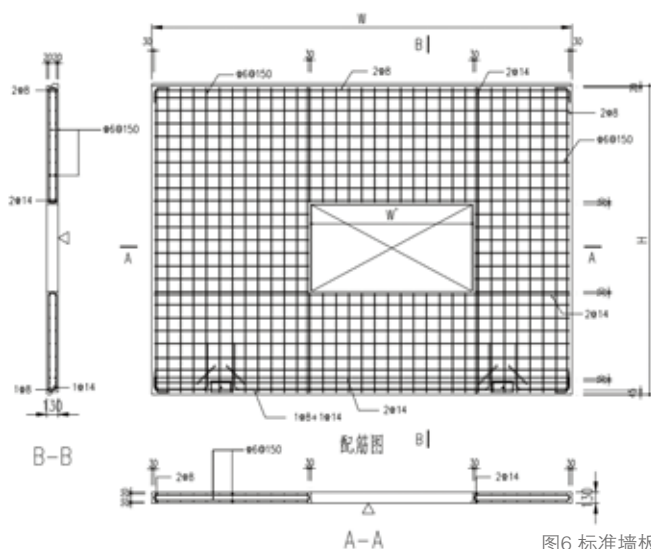


图6 标准墙板

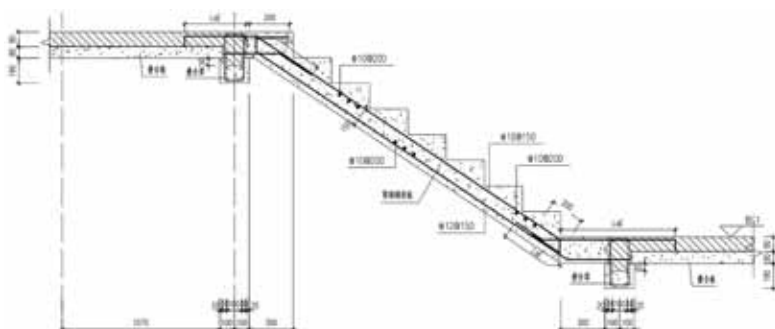


图8 标准楼梯

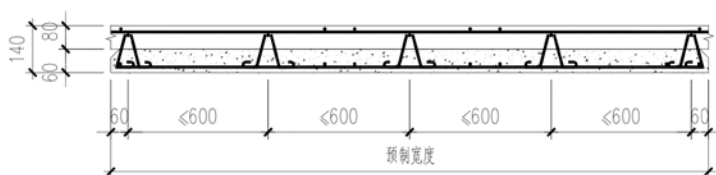


图7 标准楼板

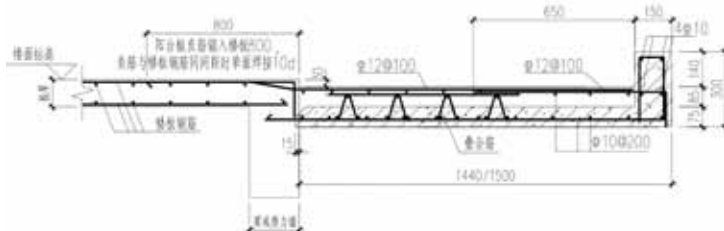


图9 标准阳台板



图10 户型设计图



图11 组合与拆分示意图

于构件梁、墙体的标准化，提高模板的利用率；扁柱在角部设置带来了多种非标准构件，处理难度较大。

3.1.2 标准墙板

150厚预制混凝土外墙板或200厚预制夹心保温墙板，造价要求高时采用单板，造价允许时可采用夹心墙板（图6）。

3.1.3 标准楼板

采用叠合楼板，板厚140（60预制+80现浇）（图7）。

3.1.4 标准楼梯

采用预制楼梯（图8）。

3.1.5 标准阳台板

采用悬挑叠合阳台板（图9）。

3.2 标准户型设计

3.2.1 户型设计原则

装配式混凝土住宅设计应该充分体现标准化、模数化的设计理念。笔者结合实际情况，对户型的设计总结出若干原则：1）装配式框架-剪力墙体系预制率的高低可调节性大，且此体系还可以用于办公、商业、学校等一系列的公共建筑中，市场前景广阔。因此，新的户型设计依旧选用装配式框架-剪力墙体系；2）针对中小户型设计，提出将梁柱外凸到室外，以减弱凸梁、凸柱对室内的影响；3）建筑尺寸尽量统一，从而减少预制构件的种类和规格，通过构件之间不同的组合来达到各种户型的使用要求；4）厨房、卫

生间、阳台等小构件尺寸尽可能一致。

3.2.2 标准户型设计

在上述原则的指导下，提出了如图10所示的标准户型设计。

此户型构件的种类少，大部分的构件是以6.6m和3.3m为基本尺寸。平面规则，基本没有凹凸，体系系数小，对节能有利。柱网规则，纵横两个方向均能对齐，对结构受力有利。没有凹口，对房间采光有利。梁柱外凸，减少了结构构件对平面的影响。此户型设计成一房、二房、三房3种不同户型的组合形式，可满足中小户型的住房基本功能需求，户型单元之间可分可合（图11）。

此户型的建筑构（部）件可拆分为：交

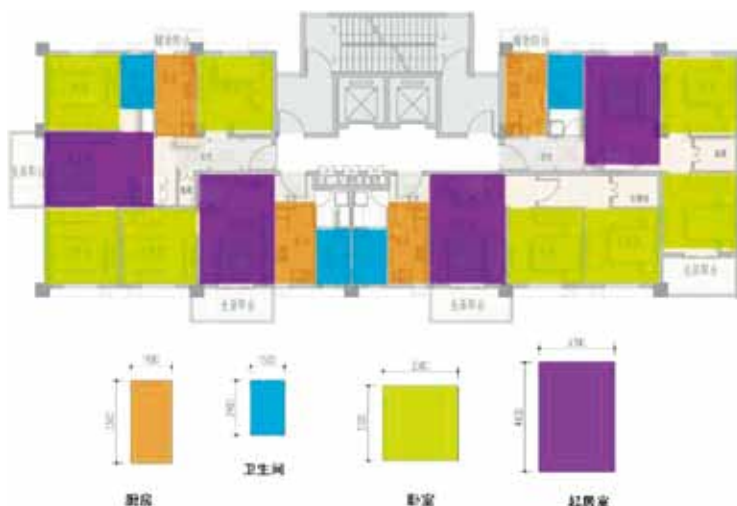


图12 模块示意图

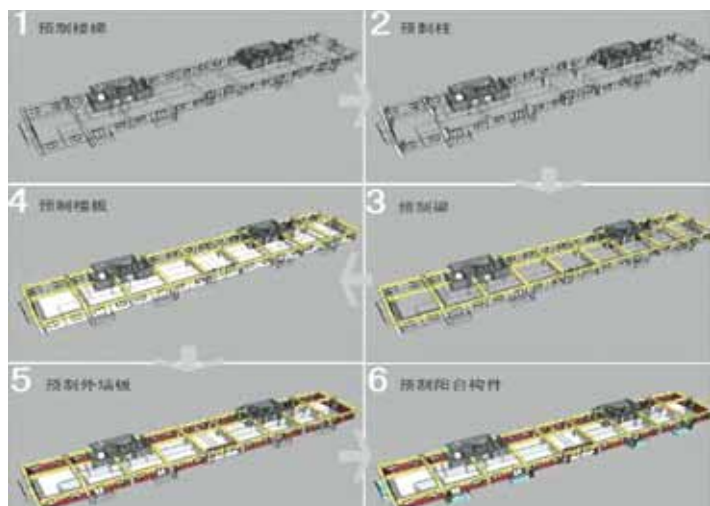


图13 预制构件拆分示意图



图14 A系列11层户型平面图 (三房85m², 二房70m²)



图15 A系列18层户型平面图 (三房87m², 二房71m²)



图16 B系列11层户型平面图 (三房84m², 一房52m²)



图17 B系列18层户型平面图 (三房86m², 一房53m²)

通核剪力墙部分、楼梯、框架柱、框架梁、外围护墙体、阳台、楼板、空调板等(图12)。剪力墙为现浇构件,楼板和阳台为叠合构件,其他均可做成预制构件(图13)。可根据工程实际情况,自主选择预制构件。

3.2.3 户型的可延展性设计

仅一种户型不能满足市场的需求,因此在上述对装配式建筑的认识、实践和设计原则的指导下,提出了一系列户型设计方案。同样的建筑构件通过不同的组合,再配以不同的现浇交通核,来满足不同住

宅需求,实现简化、统一化、通用化、组合化、系列化、模块化设计,衍生出3种系列的户型平面。

3.2.3.1 A系列

由三户组成一个单元,开间模数3 300,进深模数4 500。通过现浇交通核的不同,来满足第11~24层的户型要求(图14, 15)。

3.2.3.2 B系列

由四户组成一个单元,开间模数3 300,进深模数3 300和3 600。通过现浇交通核的不同,来满足11~24层的户型要求(图16, 17)。

3.2.3.3 C系列

由四户组成一个单元,开间模数3 300,进深模数有3种。通过内天井来实现中间户型厨卫等房间的通风和采光。此设计建筑进深大,有利于节约用地(图18, 19)。

3.2.3.4 通廊式户型(图20)

上述系列的房型都体现了标准化、模数化、系列化的概念。户型平面规整,有利于建筑节能。但建筑的进深不大,对节约土地不利。如果能逐步采用暗卫生间,对装配式建筑的户型设计是非常有利的。



图18 C系列11层户型平面图（端头二房74m²，中间二房69m²）



图19 C系列18层户型平面图（端头二房77m²，中间二房72m²）



图20 通廊式户型



图21 立面示意图

既可以减少凹凸和内天井，又能加大建筑进深，节约土地。

3.3 标准立面设计

装配式建筑的立面设计同样应体现标准化、模数化的理念。在二进制的计算机领域里，“0”和“1”创造了数字世界，简单却拥有无限可能。在做立面设计时可以借鉴这个概念。“0”可以看作是装配整体式混凝土结构，“1”可以看作是标准化、模数化的通用部件。两者相结合，并以不同的排列和组合来

达到立面设计的变化与统一性。

上述建筑户型的立面已经存在4种元素：柱、梁、板、阳台（栏杆），此4种元素是建筑的基本构件。现代住宅建筑中通常会在空调板外加百叶，来隐蔽空调室外机。因此，立面上总共有柱、梁、板、阳台（栏杆）、百叶共5种元素。通过五种元素的不同组合方式、柱和墙面的颜色和材质的变化，来达到立面设计的标准化、模数化和多样化（图21）。

4 标准营造体系控制造价的基本思路

装配式混凝土住宅控制造价的总体思路是：大力推广标准化工作，促进预制构件的社会化大生产和加强施工操作人员的培训，降低预制构件的造价和安装价格；部分简易构件，比如叠合楼板推行工地现场就地预制，减少运输费用。而在较低PC率的时候，采用立柱不预制、内隔墙全部采用传统砌块等灵活措施。

下面参照已有项目，根据标准营造体系进行不同PC率的造价分析（见表2~5，表内

表2 标准层构件拆分体积表

构件名称	混凝土总量（m ³ ）（楼板厚140）	可预制混凝土量（m ³ ）	混凝土总量（m ³ ）（楼板厚110，楼板为现浇）
柱	51.80	45.60	51.80
剪力墙	51.40	0.00	51.40
楼板	84.3	48.10	65.3
梁（外圈）	24.90	18.60	24.90
梁（内部）	37.60	27.40	37.60
外墙	28.00	28.00	28.00
阳台	8.00	5.00	8.00
楼梯	9.00	9.00	9.00
混凝土总体积	295.00		

表3 PC率计算表

PC率与构件预制方案(工程量统计以某PC住宅楼标准层为例)					
	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
外墙	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00
梁（挂墙板）		18.60	18.60	18.60	18.60
梁（内部）			27.40	27.40	27.40
阳台板	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
楼梯	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
楼板				48.10	48.10
柱					45.60
剪力墙					
预制总体积	42.00	60.60	88.00	136.10	181.70
PC率	15.22%	21.96%	31.88%	46.14%	61.59%
方案描述	低PC率方案（外墙板、阳台、楼梯等预制）	较低PC率方案（外墙板、外挂墙板梁、阳台、楼梯等预制）	中等PC率（外墙板、梁、阳台、楼梯等预制）	高PC率（外墙板、梁、阳台、楼梯、楼板等采用预制）	高PC率（外墙板、梁、阳台、楼梯、楼板、柱等采用预制）

表4 PC率与构件预制部位关系表

	方案一	方案二	方案三	方案四	方案五
外墙	◆	◆	◆	◆	◆
梁（挂墙板）		◆	◆	◆	◆
梁（内部）			◆	◆	◆
阳台板	◆	◆	◆	◆	◆
楼梯	◆	◆	◆	◆	◆
楼板				◆	◆
柱					◆
剪力墙					
PC率	15.22%	21.96%	31.88%	46.14%	61.59%

表5 不同PC率与成本的关系（元）

序号	名称	施工方式	比传统每平方米增加	方案一15.22%	方案二21.96%	方案三31.88%	方案四46.14%	方案五61.59%
1	外墙	砌块	160	198	239	301	368	542
		预制+安装						
2	阳台板	全现浇	22					
		预制+安装						
3	楼梯	全现浇	16					
		预制+安装						
4	梁（挂墙板）	全现浇	41					
		预制+安装						
5	梁（内部）	全现浇	62					
		预制+安装						
6	楼板	全现浇	67					
		预制+安装						
7	柱	全现浇	174					
		预制+安装						
8	剪力墙	全现浇						

数据基于笔者部分工程实践，按照上海市相关技术规程和定额计算标准）。

5 结语

混凝土装配式住宅曾在我国二十世纪五六十年代得到过推广，但由于技术等各种原因，最终被市场所淘汰。经过几十年的发展，如今混凝土装配式建筑的技术在国外已经达到

了很高的水平，但国内发展仍较缓慢。在经济和产业面临转型之际，混凝土装配式建筑必然会迎来大的发展时期。混凝土装配式建筑，尤其是推广装配式住宅标准营造体系对国家的产业转型，对行业的健康发展有着积极的意义，设计师应充分重视，认真学习相关先进技术，积极应对。AT

参考文献

- [1] 社团法人预制建筑协会著，朱邦范等译. 预制建筑总论. 中国建筑工业出版社，2012.
- [2] 中国建筑文化中心. 保障性住房设计图集. 江苏人民出版社，2011.