



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

# 装配式建筑

## Civil Engineering

吴 刚 潘金龙 主编  
聂建国 主审

中国建筑工业出版社

非外借

编号：(917) 日 录 页 数 备 注

1. 绪论 1 1  
2. 装配式建筑概述 2 2  
3. 装配式建筑的发展现状 3 3  
4. 装配式建筑的优势 4 4  
5. 装配式建筑的应用 5 5  
6. 装配式建筑的未来 6 6

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材

# 装配式建筑

吴 刚 潘金龙 主 编  
聂建国 主 审

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

装配式建筑/吴刚, 潘金龙主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 11  
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材  
ISBN 978-7-112-22922-2

I. ①装… II. ①吴… ②潘… III. ①装配式构件-高等学校-教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 257407 号

本书结合当前我国建筑工业化发展现状, 参照了最新的规范、标准和国内学者最新的研究成果, 系统地介绍了不同结构体系的装配式建筑的设计、构件制作、施工等, 进而对装配式建筑的减隔震技术、BIM 技术的应用以及经济性分析等进行了全面地介绍, 层次清晰、结构合理、内容全面。本书主要包括: 绪论、装配式建筑标准化设计、装配式建筑结构体系、装配整体式混凝土结构设计、预制混凝土构件制作与安装、装配式钢结构设计与施工、装配式竹木结构设计、装配式建筑减隔震、装配式建筑中的 BIM 技术应用、装配式建筑的成本效益分析、工程案例等。

本书既可用作土木工程专业本科生教材或教学参考书, 也可供研究生和有关技术人员参考使用。

为更好地支持本课程的教学, 本书作者制作了配套的多媒体课件, 有需要的读者可以发送邮件至 [jiangongkejian@163.com](mailto:jiangongkejian@163.com) 索取。

\* \* \*

责任编辑: 仕 帅 吉万旺 王 跃  
责任校对: 姜小莲

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材  
高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材  
**装配式建筑**

吴 刚 潘金龙 主 编  
聂建国 主 审

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)  
各地新华书店、建筑书店经销  
霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版  
大厂回族自治县正兴印务有限公司印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25 $\frac{1}{4}$  字数: 629 千字  
2018 年 12 月第一版 2018 年 12 月第一次印刷

定价: 52.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-22922-2  
(33010)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材 编委会成员名单 (按姓氏笔画排序)

顾 问：王 超 王景全 吕志涛 刘德源 孙 伟

吴中如 顾金才 钱七虎 唐明述 缪昌文

主任委员：刘伟庆 沈元勤

副主任委员：吕恒林 吴 刚 金丰年 高玉峰 高延伟

委 员：王 跃 王文顺 王德荣 毛小勇 叶继红

吉万旺 刘 雁 杨 平 肖 岩 吴 瑾

沈 扬 张 华 陆春华 陈志龙 周继凯

胡夏闽 夏军武 童小东

## 出版说明

近年来,我国高等教育教学改革不断深入,高校招生人数逐年增加,相应对教材质量和数量的需求也在不断提高和扩大。随着我国建设行业的大发展、大繁荣,高等学校土木工程专业教育也得到迅猛发展。江苏省作为我国土木工程大省、教育大省,无论是开设土木工程专业的高校数量还是人才培养质量,均走在了全国前列。江苏省各高校土木工程专业教育蓬勃发展,涌现出了许多具有鲜明特色的创新型人才培养模式,为培养适应社会需求的合格土木工程专业人才发挥了引领作用。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会(以下简称江苏分会)是经中国土木工程学会教育工作委员会批准成立的,其宗旨是为了加强江苏省具有土木工程专业的高等院校之间的交流与合作,提高土木工程专业人才培养质量,促进江苏省建设事业的发展。中国建筑工业出版社是住房和城乡建设部直属出版单位,是专门从事住房和城乡建设领域的科技专著、教材、技术规范、职业资格考试用书等的专业科技出版社。作为本套教材出版的组织单位,在教材编审委员会人员组成、教材主参编确定、编写大纲审定、编写要求拟定、计划交稿时间以及教材编写的特色和出版后的营销宣传等方面都做了精心组织和专门协调,目的是出精品,体现特色,为全国土木工程专业师生提供一个全新的选择。

经过反复研讨,《高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材》定位为高年级本科生选修课程或研究生通用课程教材。本套教材主要体现创新,充分考虑诸如装配式建筑、新型建筑材料、绿色节能建筑、新型施工工艺、新施工方法、安全管理、BIM技术等,选择18种专业课组织编写相应教材。本套教材主要特点为:在考虑学生前面已学知识的基础上,不对必修课要求掌握的内容过多重复;介绍创新知识时不要求过多、过深、过全;结合案例介绍现代技术;体现建筑行业发展的新要求、新方向和新趋势。为满足多媒体教学需要,我们要求所有教材在出版时均配有多媒体教学课件。

本套《高等学校土木工程专业创新型人才培养规划教材》是中国建筑工业出版社成套出版体现区域特色教材的首次尝试,对行业人才培养具有非常重要的意义。今年正值我国“十三五”规划的开局之年,本套教材有幸入选《住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》。我们也期待能够利用本套教材策划出版的成功经验,在其他专业、在其他地区组织出版体现区域特色的土建类教材。

希望各学校积极选用本套教材,也欢迎广大读者在使用本套教材过程中提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会

中国建筑工业出版社

2016年12月

# 前 言

建筑业是我国的支柱型产业，新型建筑工业化是我国未来建筑业发展的重中之重。发展新型建筑工业化可促进建筑业的节能减排，提高资源利用效率，实现社会的可持续发展，是我国建筑业发展的必然趋势。与传统的建筑业相比，新型建筑工业化，是“以构件预制化生产、装配式施工为生产方式，以设计标准化、构件部品化、施工机械化、管理信息化、运行智能化”为特征，整合了设计、生产、施工等整个产业链，使得建筑业从分散、落后的手工业生产方式逐步过渡到以现代技术为基础的大工业生产方式，实现了建筑业生产方式的根本转变。近年来，我国大力推进绿色建筑和以装配式建筑为重点的建筑工业化，本书正是为了适应新形势下土木工程专业教学和人才培养的要求而组织编写的。

本书围绕装配式建筑，从装配式建筑标准化、不同结构体系和节点形式，到装配式结构的设计、构件制作、施工等，进而对装配式结构的减隔震技术、BIM技术的应用以及经济性分析进行全面地介绍，层次清晰、结构合理、内容全面。本书编写也参照了相关最新规范和标准，同时，提供了典型的工程案例，便于读者在掌握理论知识的同时，对不同装配式结构具有感性的认识。

本书由吴刚和潘金龙主编，郭正兴、冯健、陈忠范、张宏、吴京、范圣刚、黄镇、王春林、徐照、陆莹、陆飞、周健等共同编写，编写人员均为在一线从事装配式建筑科研和实践的教师，专业背景包括建筑学、结构工程、防灾减灾、建筑施工及工程管理等。具体分工为：第1章由吴刚、潘金龙编写，第2章由张宏编写，第3章由吴刚、潘金龙编写，第4章由冯建、吴京编写，第5章由郭正兴编写，第6章由范圣刚编写，第7章由陈忠范编写，第8章由黄镇、王春林和吴京编写，第9章由徐照编写，第10章由陆莹编写，第11章由潘金龙和周健编写。全书由吴刚和潘金龙统稿。

在编写过程中，冯德成博士以及许荔、马军卫、范家俊、陈志鹏、叶志航、张军军、黄子睿等博士生做了大量的工作，本书编写也得到了南京长江都市建筑设计股份有限公司的大力支持，在此深表谢意。

清华大学教授、中国工程院院士聂建国担任了全书的审稿工作，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢！

本书在中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会和中国建筑工业出版社的组织下，2016年初成立了编写组，多次开会讨论，不断完善，时长达两年多，不过，也得以能够把最新的一些研究成果补充进去。同时，本书入选《住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》，对本书编写质量的提升起到了积极的推动作用，但由于时间和水平原因，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正。本书的出版，再辅以东南大学自2017年5月开始组织出版的国内第一套新型建筑工业化丛书作为参考，相信能为新形势下以装配式建筑为重点的建筑工业化相关课程的开设和人才培养提供有力支撑。同时，也希望读者能将使用过程中发现的问题和建议及时反馈给我们，以便日臻完善。

编 者

2018年10月

# 目 录

第1章 绪论 .....	1	系统概述 .....	35
本章要点及学习目标 .....	1	2.2.2 装配式混凝土外围护构件标准化 设计原则 .....	36
1.1 装配式建筑的发展与应用 .....	1	2.2.3 装配式混凝土外围护构件节点 连接技术 .....	38
1.1.1 国外装配式建筑的发展过程 .....	1	2.3 装配式建筑内分隔与内装修构件 系统标准化设计 .....	40
1.1.2 国内装配式建筑发展过程 .....	8	2.3.1 SI系统研究进展 .....	40
1.1.3 我国装配式建筑的发展现状 .....	12	2.3.2 装配式建筑内分隔构件系统 设计 .....	43
1.2 装配式建筑的一般概念 .....	14	2.3.3 装配式建筑内部装修标准化 设计 .....	45
1.2.1 装配式建筑的定义 .....	14	本章小结 .....	47
1.2.2 装配式建筑的分类 .....	14	思考与练习题 .....	48
1.2.3 装配式建筑的特点 .....	16	第3章 装配式建筑结构体系 .....	49
1.3 我国建筑工业化发展战略 .....	18	本章要点及学习目标 .....	49
1.3.1 建筑工业化的必然性和重要 意义 .....	18	3.1 装配式混凝土框架结构 .....	49
1.3.2 国家建筑工业化发展战略及 政策 .....	18	3.1.1 装配式混凝土框架结构的概述 .....	49
1.3.3 我国建筑工业化当前面临的 挑战 .....	19	3.1.2 装配式混凝土框架结构的研究 进展 .....	52
本章小结 .....	21	3.1.3 装配式混凝土框架结构体系及其 节点连接技术 .....	59
思考与练习题 .....	21	3.1.4 装配式混凝土框架结构的应 用现状 .....	67
第2章 装配式建筑标准化设计 .....	22	3.2 装配式混凝土剪力墙结构 .....	69
本章要点及学习目标 .....	22	3.2.1 装配式混凝土剪力墙结构的 概述 .....	69
2.1 装配式建筑的物质构成与结构 构件系统标准化设计 .....	22	3.2.2 装配式混凝土剪力墙结构的研 究进展 .....	71
2.1.1 装配式建筑的构件分类概述 .....	22	3.2.3 装配式混凝土剪力墙结构体系及 连接技术 .....	73
2.1.2 装配式建筑标准构件和非标准 构件 .....	27	3.2.4 装配式混凝土剪力墙结构的应 用现状 .....	79
2.1.3 基于标准构件的建筑设计 .....	28	3.3 模块建筑体系 .....	80
2.1.4 装配式建筑标准化设计 .....	30		
2.1.5 装配式钢筋混凝土结构构件 设计 .....	33		
2.2 装配式建筑外围护构件标准化 设计 .....	35		
2.2.1 装配式混凝土建筑外围护构件			



3.3.1 结构体系简介 .....	81	4.5.11 锚固板锚固构造 .....	141
3.3.2 模块本身的结构与功能 .....	82	4.5.12 钢筋的连接构造 .....	142
3.3.3 模块建筑结构体系 .....	86	4.5.13 其他构造要求 .....	143
3.3.4 传力连接 .....	91	本章小结 .....	145
3.3.5 模块建筑的应用 .....	96	思考与练习题 .....	145
本章小结 .....	99	<b>第 5 章 预制混凝土构件制作与安装</b> ..	146
思考与练习题 .....	99	本章要点及学习目标 .....	146
<b>第 4 章 装配整体式混凝土结构设计</b> ..	100	5.1 预制构件工厂制作 .....	146
本章要点及学习目标 .....	100	5.1.1 PC 构件生产流水线概述 .....	147
4.1 概述 .....	100	5.1.2 预制混凝土构件生产 .....	151
4.1.1 我国装配式混凝土结构的 发展 .....	100	5.2 预制构件现场安装 .....	157
4.1.2 装配式混凝土结构的两种 设计 .....	100	5.2.1 预制构件的存放和运输 .....	157
4.1.3 主要构件及连接方式 .....	101	5.2.2 施工现场预制构件临时堆放 .....	159
4.1.4 设计要求 .....	101	5.2.3 垂直运输机械——塔吊的 选用 .....	159
4.2 结构设计基本规定 .....	102	5.2.4 吊索具的选择与使用 .....	163
4.2.1 一般规定 .....	102	5.2.5 预制柱构件的安装 .....	164
4.2.2 材料 .....	104	5.2.6 预制墙板构件的安装 .....	165
4.2.3 预制构件 .....	104	5.2.7 预制梁板构件的安装 .....	169
4.3 结构设计 .....	104	5.2.8 预制楼梯构件的安装 .....	171
4.3.1 内力分析 .....	105	5.2.9 钢筋浆锚连接的灌浆 .....	172
4.3.2 作用效应组合 .....	106	5.3 预制构件制作与安装质量 控制 .....	173
4.3.3 构件设计 .....	108	5.3.1 构件生产准备阶段质量控制 .....	173
4.3.4 接缝受剪承载力计算 .....	108	5.3.2 构件生产过程质量控制 .....	176
4.3.5 叠合受弯构件 .....	110	5.3.3 构件制作质量检验 .....	176
4.4 构件拆分 .....	116	5.3.4 构件安装质量控制与检查 .....	177
4.4.1 装配式框架结构的构件拆分 .....	117	5.4 装配混凝土结构现场施工 安全 .....	177
4.4.2 装配式剪力墙的构件拆分 .....	118	本章小结 .....	178
4.5 构造要求 .....	121	思考与练习题 .....	178
4.5.1 总体构造要求 .....	121	<b>第 6 章 装配式钢结构设计与施工</b> .....	179
4.5.2 叠合板构造 .....	123	本章要点及学习目标 .....	179
4.5.3 叠合梁构造 .....	126	6.1 概述 .....	179
4.5.4 预制剪力墙构造 .....	128	6.1.1 装配式钢结构 .....	179
4.5.5 连梁构造 .....	130	6.1.2 装配式钢结构建筑存在的 问题 .....	181
4.5.6 梁的纵向和横向连接构造 .....	131	6.1.3 装配式钢结构建筑发展趋势 .....	185
4.5.7 柱与柱的连接构造 .....	132	6.2 装配式钢结构体系 .....	187
4.5.8 框架梁柱连接构造 .....	133		
4.5.9 剪力墙的连接构造 .....	135		
4.5.10 梁及连梁与剪力墙的连接 构造 .....	140		



6.2.1 结构体系分类	187	性质	244
6.2.2 低多层装配式钢结构体系	187	7.2.2 装配式竹结构建筑材料及其性质	246
6.2.3 中高层装配式钢结构体系	190	7.3 装配式竹木结构建筑抗震设计及构造措施	249
6.2.4 新型装配式钢结构体系	191	7.3.1 抗震一般规定	249
6.3 结构设计基本规定	193	7.3.2 抗震计算方法	251
6.3.1 设计原则	193	7.3.3 装配式竹木结构设计	251
6.3.2 结构体系选型	194	7.3.4 抗震构造措施	255
6.3.3 材料	195	7.4 装配式竹木结构建筑施工工艺	258
6.4 结构分析	197	7.4.1 基础工程	258
6.4.1 荷载与作用	197	7.4.2 主体工程	259
6.4.2 内力分析	199	7.4.3 楼盖工程	260
6.4.3 构件设计	204	7.4.4 屋盖工程	260
6.5 装配式钢结构建筑楼面及围护结构体系	205	7.4.5 装配式竹木构件的制作、运输和储存	261
6.5.1 楼(屋)面板体系	206	7.5 装配式竹木结构建筑防火与防护工程	263
6.5.2 外墙板围护系统	209	7.5.1 防火工程	263
6.5.3 内墙板系统	214	7.5.2 防护工程	266
6.6 装配式钢结构连接节点	216	本章小结	267
6.6.1 主构件连接节点	216	思考与练习题	268
6.6.2 围护墙体连接节点	225	<b>第8章 装配式建筑减隔震</b>	269
6.7 装配式钢结构制作与安装	226	本章要点及学习目标	269
6.7.1 装配式钢结构制作	226	8.1 装配式建筑减隔震技术	269
6.7.2 装配式钢结构安装	229	8.1.1 装配式建筑采用减隔震技术的作用	269
本章小结	232	8.1.2 减震与隔震技术基本原理	270
思考与练习题	232	8.1.3 减隔震装置	271
<b>第7章 装配式竹木结构设计与施工</b>	234	8.1.4 装配式建筑减震设计	274
本章要点及学习目标	234	8.1.5 装配式建筑隔震设计	276
7.1 竹木结构建筑结构形式及特点	234	8.1.6 装配式减隔震建筑施工	279
7.1.1 传统木结构建筑	234	8.2 装配式减震框架结构	280
7.1.2 传统竹结构建筑	235	8.3 装配式减震剪力墙结构	283
7.1.3 装配式竹木结构建筑的结构体系	236	8.3.1 干性连接的耗能墙	283
7.1.4 装配式竹木结构建筑的节点形式	240	8.3.2 耗能墙的性能	284
7.1.5 装配式竹木结构建筑在我国的应用现状	242	8.4 装配式减隔震结构案例	286
7.2 装配式竹木结构建筑材料及其性质	244	8.4.1 案例一: Paramount Building	286
7.2.1 装配式木结构建筑材料及其		8.4.2 案例二: Alan MacDiarmid	

Building .....	289		
8.4.3 国内隔震预制装配建筑案例 .....	291		
8.4.4 国外隔震预制装配建筑案例 .....	292		
本章小结 .....	293		
思考与练习题 .....	293		
<b>第9章 装配式建筑中的 BIM 技术</b>			
<b>应用</b> .....	294		
本章要点及学习目标 .....	294		
9.1 BIM 技术理论与应用概述 .....	294		
9.1.1 BIM 技术基本理论 .....	295		
9.1.2 BIM 技术软件工具与应用 .....	296		
9.1.3 BIM 技术应用 .....	298		
9.1.4 BIM 工程项目信息集成管理			
模式与选择 .....	299		
9.2 装配式建筑中建筑设计 BIM			
技术应用 .....	301		
9.2.1 BIM 技术对装配式建筑设计的			
必要性 .....	301		
9.2.2 BIM 设计工具 .....	302		
9.2.3 预制装配式建筑与 BIM 技术 ..	304		
9.2.4 Revit 族和预制装配式建筑			
相关族 .....	307		
9.3 装配式建筑中结构设计 BIM			
技术应用 .....	310		
9.3.1 标准化设计对装配式结构设计的			
必要性 .....	310		
9.3.2 传统的装配式结构设计方法 .....	311		
9.3.3 基于 BIM 的装配式结构设计			
方法 .....	315		
9.4 预制装配式建筑施工阶段的			
BIM 技术应用 .....	318		
9.4.1 预制装配式建筑施工阶段的构件			
管理 .....	319		
9.4.2 预制装配式建筑施工阶段的质量			
进度控制 .....	322		
9.5 装配式建筑运营维护阶段的			
BIM 技术应用 .....	325		
本章小结 .....	326		
思考与练习题 .....	327		
		<b>第10章 装配式建筑的成本效益</b>	
		<b>分析</b> .....	328
		本章要点及学习目标 .....	328
		10.1 装配式建筑的成本分析 .....	328
		10.1.1 设计成本 .....	329
		10.1.2 生产成本 .....	330
		10.1.3 物流成本 .....	332
		10.1.4 安装成本 .....	335
		10.1.5 装配式建筑的增量成本 .....	337
		10.2 装配式建筑的效益分析 .....	340
		10.2.1 时间效益 .....	340
		10.2.2 质量效益 .....	341
		10.2.3 环境效益 .....	341
		10.2.4 综合效益 .....	343
		10.3 装配式建筑的激励政策 .....	345
		10.3.1 国内相关政策 .....	345
		10.3.2 国外相关政策 .....	347
		本章小结 .....	349
		思考与练习题 .....	349
		<b>第11章 工程实例</b> .....	351
		本章要点及学习目标 .....	351
		11.1 南京上坊保障性住房项目——	
		装配式混凝土框架结构	
		实例 .....	351
		11.1.1 工程概况 .....	351
		11.1.2 结构设计及分析 .....	352
		11.1.3 关键技术及优势 .....	354
		11.1.4 技术经济性分析 .....	358
		11.2 合肥中海央墅项目 .....	359
		11.2.1 工程概况 .....	359
		11.2.2 结构设计及分析 .....	359
		11.2.3 装配化应用技术及指标 .....	362
		11.2.4 主要构件及节点设计 .....	363
		11.2.5 围护及部品件的设计 .....	366
		11.2.6 相关构件及节点施工现场	
		照片 .....	369
		11.2.7 工程总结及思考 .....	370
		11.3 昆山中南世纪城 21 号楼钢结构	
		住宅——装配式钢结构 .....	371

11.3.1 工程概况 .....	371	11.4.2 具体预制单元构造及拼装 方案 .....	379
11.3.2 设计依据 .....	375	11.4.3 钢空腹夹层板楼盖折算方法 ..	380
11.3.3 结构分析 .....	376	11.4.4 技术经济性比较 .....	381
11.4 湘潭九华创新创业服务中心 盒式钢结构标准厂房—— 大跨度空腹夹层板及 新型盒式结构 .....	377	本章小结 .....	383
11.4.1 工程概况 .....	377	思考与练习题 .....	383
		参考文献 .....	384

# 第 1 章 绪 论

## 本章要点及学习目标

本章要点:

(1) 介绍了装配式建筑的概念及其国内外发展历程; (2) 介绍了我国装配式建筑的发展现状及其必然性; (3) 介绍了我国推进装配式建筑所面临的困难和挑战; (4) 介绍了我国装配式建筑的发展战略。

学习目标:

(1) 了解装配式建筑在国内外的现状; (2) 了解装配式建筑的基本概念和不同的结构类型; (3) 了解我国建筑工业化的发展战略。

## 1.1 装配式建筑的发展与应用

### 1.1.1 国外装配式建筑的发展过程

#### 1. 装配式建筑的起源

装配式建筑起源于欧洲,在17世纪初,英德等发达国家就开始了建筑工业化道路的探索,在长期的工程建设中,积累了大量预制建筑的设计施工经验。1875年6月11日,英国人 William Henry Lascell 获得英国 2151 号发明专利“Improvement in the Construction of Buildings”(Letters Patent, 1875),标志着预制混凝土的起源。在 2151 号发明专利中, Lascell 提出了在结构承重骨架上安装预制混凝土墙板的新型建筑方案,该建筑方案可用于别墅和乡村住宅的建设。采用这种干挂预制混凝土墙板的方法可以降低住宅和别墅的造价并减少施工现场对熟练建筑工人的需求。后来 Lascell 还提出了采用预制混凝土制造的窗框来代替传统的木窗框的想法并进行了造价比较,结果发现采用这种预制混凝土窗框将比传统木制窗框更经济 (Morris, 1978)。

1878年,巴黎博览会英国展区展示了一个采用预制混凝土墙板作为墙体的临时别墅,这也被认为是世界上第一个采用预制混凝土技术的建筑。这栋别墅采用木结构作为承重骨架,墙体为预制混凝土墙板,用螺栓固定在木结构承重骨架上,外墙表面模仿了红砖材质,不过这个建筑在博览会结束后就被拆除了。

目前已知的现存最早的预制混凝土建筑是建于1882年位于英国克罗伊登市 Sydenham 大街 226 号和 228 号的一对别墅(图 1-1)。这两栋建筑采用了木结构骨架和预制混凝土墙板、楼板,预制混凝土墙板通过螺栓固定在木结构骨架上。1890年在英国萨里建成的 Weather Hill Cottage 也采用了 Lascell 提出的预制混凝土建筑体系(图 1-2)。



图 1-1 英国 Croydon 市 Sydenham 大街 226 号和 228 号别墅外观和内部天花板



图 1-2 英国 Surry 市 Weather Hill Cottage

Lascell 不仅率先提出了预制混凝土的建筑方案，而且致力于预制混凝土的推广，他还进行了预制混凝土的试验研究工作。Lascell 在 1881 年进行了预制混凝土抗压强度的试验研究（Lascell, 1881），这是有关预制混凝土最早的研究工作。因此，一般认为 1875 年是预制装配混凝土技术的起源时间，英国人 Lascell 是预制混凝土技术的发明人，世界上第一个采用预制混凝土技术的建筑是 1878 年巴黎博览会英国展区的临时别墅。

早期预制混凝土主要用于建筑中的非结构构件。利用预制混凝土易于成型、表面材质和颜色多样性、质量好、施工快、拥有良好的力学和防火性能等特点制成装饰构件、非承重墙板、小跨度配筋预制混凝土楼板。早期预制混凝土建筑的典型代表是 Lascell 建筑体系，即采用预制混凝土墙板和预制混凝土楼板固定在木结构、现浇混凝土结构或钢结构等主体结构上的建筑方案。预制混凝土墙板只起到围护、分隔作用，只承受自重和水平风荷载。19 世纪末，预制混凝土技术传播到法国、德国等欧洲国家，20 世纪初，预制混凝土技术又传播到美国。因为预制混凝土采用工业化的生产方式，符合资本主义工业化大生产的要求，再加上这些国家处在大发展时期，所以预制混凝土在上述国家得到了迅速发展。其中，法国对配筋预制混凝土的发展做出了较大的贡献，而美国则对预应力与预制混凝土技术的结合起到了积极的推动作用。

第二次世界大战后，由于战后大规模重建的需求和劳动力匮乏的原因，预制混凝土特有的工业化生产方式符合了当时的需求，预制混凝土在欧美各国得到了广泛应用，欧洲一些国家采用了工业化方式建造了大量住宅，工业化住宅逐渐发展成熟，并延续至今。与此同时，战后的日本为了医治战争创伤，为流离失所的人们提供保障性住房，也开始探索以工业化生产方式、低成本、高效率地制造房屋，工业化住宅开始起步。1955 年设立了“日本住宅公团”，以此为主导，开始向社会大规模提供住宅。住宅公团从一开始就提出工业化方针，组织学者、民间技术人员共同进行了建材生产和应用技术、部品的分解与组装技术、商品流通、质量管理等产业化基础技术的开发，逐步向全社会普及建筑工业化技术，向住宅产业化方向迈出了第一步。

与此同时，东欧社会主义国家的预制混凝土技术也得到了迅速发展，预制混凝土的应用涵盖了大多数建筑领域，包括住宅、办公楼、工业厂房、仓库、公共建筑、体育建筑等。东欧国家发展了很多新型预制混凝土技术，如盒子建筑、预制折板、预制壳等(Mokk, 1985)。我国预制混凝土技术也是在这个时期从效仿苏联开始起步。

## 2. 国外装配式建筑发展

### 1) 美国装配式建筑发展

美国的建筑业相当发达，在20世纪70年代能源危机期间美国开始实施机械化生产和装配化施工。美国城市发展部出台了一系列行业标准和规范，一直沿用至今，并与后来的美国建筑体系逐步融合。美国城市住宅结构基本上以混凝土装配式和钢结构装配式为主，降低了建设成本，提高了通用性，增加了施工的可操作性。

美国的装配式钢结构建筑体系经过漫长发展已经逐渐成熟，其钢结构住宅的建造技术由传统的木结构住宅衍变而来。1965年轻钢结构在美国仅占建筑市场的15%，1990年上升到53%，2000年达到75%。目前美国的钢框架小型住宅已经达20万幢，别墅和多层住宅都采用轻钢结构。20世纪60年代，美国开始发展轻钢龙骨结构建筑，该体系以2英寸乘以4英寸为基本模数，适用于低层集合住宅和联排住宅的建造。20世纪80年代至今，美国逐渐实现了主体构件通用化和住宅部品化，构配件达到模数化、标准化和系列化，生产效率显著提高，住宅达到节能环保要求。1997年美国发布《住宅冷成型钢骨架设计指导性方法》，全面指导轻钢龙骨体系住宅的设计和施工。目前美国的钢结构住宅建筑体系主要由四部分构成：

(1) 钢结构系统：用低合金型钢在工厂预制，运到建筑施工现场组装。

(2) 墙体系统：在两块薄钢板中夹玻璃纤维棉保温隔热层的复合大型材。钢板表面镀锌或锌铝合金，再涂以多种颜色的丙烯酸涂料，既延长使用寿命，又可满足建筑表面色彩的要求。有平板和瓦楞板两种形式。

(3) 屋面系统：构造和墙面系统相同。

(4) 门窗及附属配件：包括橱窗、保温窗、街门、内门及雨水槽等标准件，可供用户选择。

这种建筑体系主要适用于低层非居住建筑，包括工业厂房、仓库、商品展销厅、农用房屋、室内运动场、飞机库以及零售商亭和建筑工地临时设施等。由于这种建筑体系具有适应性强、建造周期短和造价低且节省维修费等优点，在北美及世界各地得到比较广泛的应用，并已经开始进入中国建筑市场。

同时美国的预制装配式混凝土标准规范也获得了很大的发展。总部位于美国的预制与预应力混凝土协会PCI编制的《PCI设计手册》，其中就包括了装配式结构相关的部分。该手册不仅在美国，而且在国际上也具有非常广泛的影响力。从1971年的第一版开始，PCI手册已经修改到了第七版，该手册与IBC 2006、ACI 318-05、ASCE 7-05等标准协调。除了PCI手册外，PCI还编制了一系列的技术文件，包括设计方法、施工技术和施工质量控制等方面。

在美国，预制混凝土结构发挥着其他结构体系无法替代的作用，在1991年PCI年会上，预制混凝土结构的发展被视为美国乃至全球建筑业发展的新契机。1997年美国统一建筑规范允许在高烈度地震区使用预制混凝土结构，其前提是通过试验和分析证明该结构



在强度、刚度方面具有甚至超过相应的现浇混凝土结构。美国已将装配式建筑成功应用于住宅、工业、文化及体育建筑等领域,如亚利桑那州的菲尼克斯会议中心、费城的警察大楼(图 1-3)、北卡罗林娜州 JI 金融中心等。



图 1-3 美国费城警察大楼

总的来说,美国的住宅建设的工业化水平极为发达,美国制造业长期位居世界第一,具有各产业协调发展、劳动生产率高、产业聚集、要素市场发达、国内市场大等特点,这直接影响了住宅建设的方式和水平。美国的住宅用构件和部品的标准化、系列化、专业化、商品化、社会化程度很高,几乎达到 100%。这不仅反映在主体结构构件的通用化上,而且反映在各类制品和设备的社会化生产和商品化供应上。除工厂生产的活动房屋和成套供应的木框架结构的预制构配件外,其他混凝土构件和制品、轻质板材、室内外装修以及设备等产品十分丰富,品种达几万种,用户可以通过产品目录,从市场上自由买到所需的产品。这些构件的特点是结构性能好、用途多、有很大通用性,也易于机械化生产。

现在美国,每 16 个人中就有 1 个人居住的是工业化住宅。在美国工业化住宅已成为非政府补贴的经济适用房的主要形式,因为其成本还不到非工业化住宅的一半。在低收入人群、无福利的购房者中,工业化住宅是住房的主要来源之一。

## 2) 欧洲装配式建筑发展

法国 1891 年就开始实施了装配式混凝土的构建,迄今已有近 130 年的历史。法国建筑工业化以混凝土结构体系为主,钢、木结构体系为辅,多采用框架或板柱体系,并逐步向大跨度方向发展。早在 20 世纪 50 年代到 70 年代,法国就已经使用以全装配式大板和工具式模板为主的建筑施工技术,到了 20 世纪 70 年代又开始向“第二代建筑工业化”过渡,主要生产和使用通用构配件和设备等。1978 年住房部提出推广“构造体系”。进入 20 世纪 90 年代,法国建筑的工业化已朝着住宅产业现代化的方向发展,如法国南泰尔公寓楼(图 1-4)。法国 PPB 预制预应力房屋构件国际公司创建了一种装配整体式混凝土结构体系,称为世构体系(SCOPE),采用建筑部件建造了多栋房屋组成的住宅群。世构体系全称为键槽式预制预应力混凝土装配整体式框架结构体系,其原理是采用预制或现浇钢筋混凝土柱,预制预应力混凝土叠合梁、板,通过钢筋混凝土后浇部分将梁、板、柱及键槽式梁柱节点连成整体,形成框架结构体系。目前这套体系通过南京大地建设集团有限公司与东南大学、江苏省建筑设计研究院等联合课题组引入国内,并编制相应的技术规程



《《世构体系技术规程》苏 JG/T 006—2002》。



图 1-4 法国南泰尔公寓楼

近年来，法国建筑工业化呈现的特点是：

- (1) 焊接连接等干法作业流行；
- (2) 结构构件与设备、装修工程分开，减少预埋，提高生产和施工质量；
- (3) 主要采用预应力混凝土装配式框架结构体系，装配率达到 80%，脚手架用量减少 50%，节能可达到 70%。

德国的装配式住宅主要采取叠合板、混凝土剪力墙结构体系，剪力墙板、楼板、内隔墙板、外挂板、阳台板等构件采用混凝土预制构件，具有较好的耐久性。经过发展改进，德国将装配式住宅与节能技术充分融合，提出零能耗的被动式建筑，仅靠住宅本身的构造设计，就能达到舒适的室内温度，满足“冬暖夏凉”的要求，不需要另外安装空气调节设施，如被动式住宅和开姆尼斯城市剧院（图 1-5、图 1-6）。

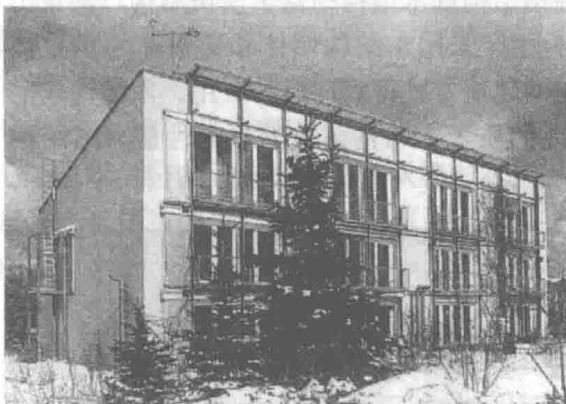


图 1-5 德国达姆施塔特市的被动式住宅

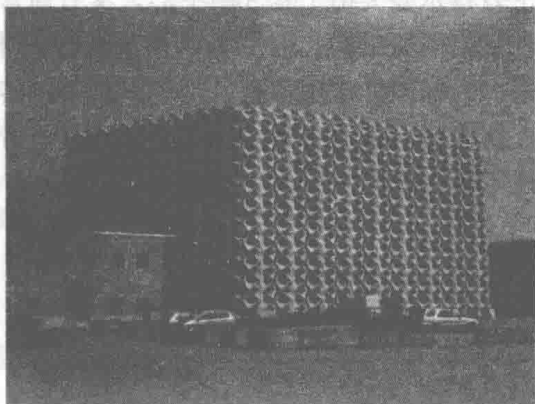


图 1-6 德国开姆尼斯城市剧院

丹麦早在 20 世纪 50 年代就已有企业开发了混凝土板墙装配的部件。目前，新建住宅之中通用部件占到了 80%，既满足多样性的需求，又达到了 50% 以上的节能率，这种新建建筑比传统建筑的能耗大幅下降。丹麦是一个将模数法制化应用在装配式住宅（图 1-7）的国家，国际标准化组织 ISO 模数协调标准即以丹麦的标准为蓝本编制。故丹麦推行建筑工业化的途径实际上是以产品目录设计为标准的体系，使部件达到标准化，然后在此基础上，满足多元化的需求，因此丹麦建筑实现了多元化与标准化的和谐统一。



图 1-7 丹麦某装配式项目

意大利在装配式钢结构住宅领域有很大的发展。其中 BASIS 工业化建筑体系是意大利在钢结构应用领域的典范，该建筑体系具有结构受力合理、抗震性能好、造型新颖、居住办公舒适方便、施工速度快等优点。该体系适用于建造 1~8 层楼高的钢结构住宅。该建筑结构为框架支撑结构体系，梁柱通过连接板采用高强度螺栓连接，楼板采用压型钢板上浇筑混凝土的组合楼板。屋顶为组合楼板，上面作保温、防水层，平屋顶作为屋顶花园。外墙结构

的外侧采用轻质混凝土条形板，板面可预制成各种图案，外墙内侧为 100mm 厚玻璃棉铝箔隔气层，结构柱布置在内外侧墙板的空气层中，内隔墙采用轻钢龙骨石膏板内填玻璃棉等。

英国作为最早开始建筑工业化道路的探索的国家之一，工厂化建筑可以追溯到 20 世纪初，原动力为两次世界大战带来的巨大的住宅需求以及随之而来的建筑工人的短缺。因此，英国政府于 1945 年发布白皮书，指出应重点发展工业化制造技术，以弥补传统建造方式的不足，推进自 20 世纪 30 年代开始的清除贫民窟计划。

此外，战争结束后钢铁和铝生产过剩，同时，不同的应用功能迫切地需要寻求多样化的应用空间。多种因素共同促进了英国建筑工业化的发展，建造了大量装配式混凝土、木结构、钢结构和混合结构建筑。20 世纪 50 年代至 80 年代，英国建筑行业在装配式建筑方向得到了蓬勃发展。这其中，既有预制混凝土大板结构，如 20 世纪 60 年代建设的英国伦敦科尔曼大街 1 号（图 1-8），又有通常采用轻钢结构或木结构的盒子模块结构，甚至出现了铝框架结构。但主要以预制装配式木结构为主，采用木结构墙体和楼板作为承重体系，内部围护采用木板，外侧围护采用砖或石头的建造方式得到广泛的应用。木结构住宅在新建建筑市场中的占比达到 30%。但后期因人们质疑木结构建筑的水密性能，木结构住宅占比急剧下滑。



图 1-8 英国伦敦科尔曼大街 1 号



图 1-9 英国伦敦切尔西楼盘

20 世纪 90 年代，英国住宅的数量问题已基本解决，建筑行业发展陷入困境，住宅建造迈入品质提升阶段。这一阶段非现场建造建筑的发展，主要受制于市场需求和政治导