

◆ 高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材 ◆

装配式混凝土结构

ZHUANGPEISHI HUNNINGTU JIEGOU

◎ 崔 瑶 范新海 主编

中国建筑工程出版社

高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

装配式混凝土结构

崔 瑶 范新海 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

装配式混凝土结构/崔瑶, 范新海主编. —北京: 中国
建筑工业出版社, 2016. 11

高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列
教材

ISBN 978-7-112-20120-4

I. ①装… II. ①崔… ②范… III. ①装配式混凝土
结构-高等学校-教材 IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 285374 号

本书是高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材之一, 书中系统介绍了装配式混凝土结构的设计方法与施工技术。全书共分 6 章, 主要内容包括: 国内外装配式混凝土结构的国内外现状, 装配式混凝土结构设计, 装配式混凝土结构施工技术, 装配式混凝土结构构件制作, BIM 技术在装配式混凝土建筑中的应用, 施工验收与成本控制等内容。

本书是以国内外装配整体式结构发展为背景, 以国内现有规范为原则, 以当今国内装配整体式结构的施工技术为基础所编写的一本相对全面系统的图书。本书可作为土木工程专业 (含建筑工程、桥梁工程、地下工程、道路与铁道工程四个方向) 卓越工程师教育培养计划相关院校本科生教材, 以及土木工程专业本科生、研究生参考教材; 亦可供有关专业的师生、设计与施工技术人员和感兴趣的读者学习、参考。

责任编辑: 李天虹

责任校对: 李美娜 张 颖

高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材

装配式混凝土结构

崔 瑶 范新海 主编

*

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

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 12 $\frac{1}{4}$ 字数: 298 千字

2016 年 10 月第一版 2016 年 10 月第一次印刷

定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-20120-4

(29603)

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)

高校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材 编写委员会

主任委员：

陈廷国 大连理工大学

马荣全 中国建筑第八工程局工程研究院

副主任委员：

王宝民 大连理工大学

苗冬梅 中国建筑第八工程局工程研究院

年廷凯 大连理工大学

孙学锋 中国建筑第八工程局工程研究院

委员（按姓氏笔画排序）：

于洪伟 中国建筑第八工程局工程研究院

王子寒 河北工业大学

王吉忠 大连理工大学

方兴杰 中国建筑第八工程局工程研究院

孔琳 中国建筑第八工程局工程研究院

牛辉 中国建筑第八工程局工程研究院

白羽 中国建筑第八工程局工程研究院

艾红梅 大连理工大学

石运东 天津大学

冉岸绿 中国建筑第八工程局工程研究院

孙旻 中国建筑第八工程局工程研究院

刘莎 大连理工大学

邱文亮 大连理工大学

李玉歧 上海大学

陈兴华	中国建筑第八工程局工程研究院
肖成志	河北工业大学
何建军	中国建筑第八工程局工程研究院
张建涛	大连理工大学
张明媛	大连理工大学
何 政	大连理工大学
李宪国	中国建筑第八工程局工程研究院
吴智敏	大连理工大学
张婷婷	大连理工大学
罗云标	天津大学
武亚军	上海大学
周光毅	中国建筑第八工程局工程研究院
范新海	中国建筑第八工程局工程研究院
郑德凤	辽宁师范大学
武震林	大连理工大学
姚守俨	中国建筑第八工程局工程研究院
姜韶华	大连理工大学
赵 璐	大连理工大学
徐云峰	中国建筑第八工程局工程研究院
郭志鑫	中国建筑第八工程局工程研究院
徐博瀚	大连理工大学
殷福新	大连理工大学
崔 瑶	大连理工大学
韩玉辉	中国建筑第八工程局工程研究院
葛 杰	中国建筑第八工程局工程研究院

前 言

本书作为高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列教材之一,编写时汲取了国内外有关装配式结构设计方法与施工技术的最新进展,坚持内容体系的科学性、系统性和先进性。该系列教材旨在满足土木工程专业的特色培养,以土木工程专业工程师培养为重点,以土木工程执业的基本资质为导向,借鉴国外优秀工程师培养的先进经验,探索并形成具有“工文交融”特色的卓越工程师培养模式。以“工程教育”为重点,建立“工程”与“管理”、“工程”与“技术”相融通的课程体系,树立“现代工程师”的人才培养观念。通过专业知识的学习,学生们应基础扎实、视野开阔、发展潜力大、创新意识强、工程素养突出、综合素质优秀,掌握土木工程的专门知识和关键技术。

本教材是以国内外装配式混凝土结构发展为背景,以国内现有规范为原则,以当今国内装配式混凝土结构设计及施工技术为基础所编写的一本相对全面系统的图书。本教材借鉴了国内外大量的研究成果和施工技术,将理论教学内容与实际工程相结合,以理论为指导,以实践为目的,努力使学生将理论知识转化为施工技术,达到学有所用的目的。同时,本教材作为国内少数介绍“装配式混凝土结构”的图书之一,对各建筑单位的施工技术也具有指导和借鉴的意义,也将有力推动我国“装配式混凝土”的研究与发展,从而减少现场施工对场地等条件的要求,提高建筑功能和结构性能,实现“四节一环保”的绿色发展要求,促进我国建筑业的整体发展。

由于国内装配式混凝土结构在设计与施工方面尚不完善,我国尚未出版相对全面的教材,不能为初学者提供相对权威的依据。因此,本教材致力于从全方位、多角度地阐述国内装配式混凝土结构的内容和施工方法。教材编写组主要成员以我校土木工程学院与中建八局工程研究院专家为主,兼顾国内工科院校从事结构设计与研究的优秀青年教师为核心组成的,所有成员长期工作在教学科研或工程实践第一线,主讲土木工程专业的基础课程,教学经验丰富,深受学生的喜爱。教材编写前积累了多年的教学 and 实践经验,编写组成员对本教材的编写做了大量的前期工作,收集、研读了国内外相关的教材与文献,力图取其长,用其精。

按照“装配式混凝土结构”的教学大纲编写,将研究+工程技术型教学模式体现在教材中,内容涵盖装配式混凝土结构的设计方法、最新进展、信息化施工技术、工程案例等内容。紧密结合工程实际,在多个章节加入“工程实例及分析”内容,使学生充分认识到课程在实际工程中的重要地位。

该教材根据装配式混凝土结构设计的教学大纲编写而成,涵盖了国内外装配式混凝土结构的国内外现状,装配式混凝土结构设计,装配式混凝土结构施工技术,装配式混凝土结构构件制作,BIM技术在装配式混凝土建筑中的应用,施工验收与检测等内容。本书具备以下特点:

1. 内容全面,编排合理。本教材从最简单的装配式混凝土结构的概念出发,涵盖了

必要的基础知识。注重理论基础和实例分析,重点突出,结构严谨。具有系统性、一致性和可扩展性。国内尚无合适的教材,本教材适应了部分本科生课程的实践化趋势。

2. 结构合理,循序渐进。本教材作为应届本科生走向建筑岗位的首要选择,内容由浅入深,详略得当,可为初学者打下良好基础,为进一步研究装配式混凝土结构的性能与施工技术提供理论依据。

3. 适应国情,通俗易懂。近些年来,装配整体式结构在我国得到了长足的发展,研究更加深入,但另一方面人们意识到装配式结构的潜力还有待进一步发掘,本书的出版能进一步推动装配整体式混凝土结构在我国的研究与发展,使该项技术得到进一步提升,逐步实现建筑行业的绿色施工标准。在重要概念引入时,尽可能做到简明扼要、自然浅显。

4. 主编教师团队从事建筑设计与施工多年,在高校任职,有扎实的理论与实践能力,还有丰富的教学经验。主编教师队伍及团队成员工作认真负责、教学态度严肃端正,具有良好的职业道德和师德风范,能很好地胜任本教材的编写与教学工作。

5. 本教材将 BIM 软件与结构设计有机结合,通过软件深化设计,利用设计更好地了解相关软件的使用方法,有助于学生更好地理解结构设计概念,加深学生对 BIM 相关理论知识的认识,反应相关学科发展趋势和经济社会发展的需要。

本书由崔瑶、范新海主编,苗冬梅、廖显东副主编,郭志鑫、牛辉、李雪丰、罗云标、石运东、徐博瀚等参加编写。具体分工如下:前言、第 1 章、第 3 章由大连理工大学崔瑶及中国建筑第八工程局工程研究院范新海、郭志鑫编写;第 2 章、第 4 章第 3~5 节由天津大学罗云标及中国建筑第八工程局工程研究院苗冬梅、牛辉、刘亚男编写;第 4 章第 1、2 节、第 5 章由天津大学由石运东及中国建筑第八工程局工程研究院苗冬梅、牛辉编写,第 6 章由中国建筑第八工程局工程研究院李雪丰及大连理工大学徐博瀚编写,最后由崔瑶统稿。

对于本书的顺利出版,还要感谢大连理工大学教育教学改革基金(MS201536、JG2015025)和教材出版基金(JC2016023),以及辽宁省本科教育教学改革基金项目(201650)、住建部土建类高等教育教学改革项目土木工程专业卓越计划专项(2013036)的资助,特别感谢中国建筑工业出版社的领导和责任编辑的大力支持。对于书中所引用文献的众多作者(列出的和未列出的)表示诚挚的谢意!

由于编者水平所限,加之编写时间仓促,书中难免有不当之处,敬请读者批评指正。

编 者
2016 年 10 月

目 录

前言

第 1 章 装配式混凝土结构概论	1
1.1 装配式建筑介绍	1
1.2 装配式混凝土结构体系	1
1.3 基本概念介绍	2
1.4 装配式混凝土结构发展概况	3
1.5 相关建筑工业化政策	7
1.6 装配式混凝土结构的技术路线和发展思路	13
第 2 章 装配式混凝土结构设计	14
2.1 概述	14
2.2 装配式混凝土建筑设计及结构设计基本规定	14
2.3 装配整体式框架结构设计	18
2.4 装配整体式剪力墙结构设计	32
2.5 外墙挂板设计	42
第 3 章 装配式混凝土结构施工技术	54
3.1 机械选型与施工场地布置	54
3.2 装配整体式框架结构施工技术	61
3.3 装配整体式剪力墙结构施工技术	75
3.4 外挂墙板施工技术	91
第 4 章 装配式混凝土结构构件制作	103
4.1 基本规定	103
4.2 预制构件的生产模式	103
4.3 预制构件制作工艺	107
4.4 预制构件验算	115
4.5 构件存放与运输	118
第 5 章 BIM 技术在装配式混凝土建筑中的应用	122
5.1 概述	122
5.2 BIM 在装配式混凝土建筑设计阶段中的应用	125

5.3 BIM 在装配式混凝土建筑装配阶段的应用	145
5.4 BIM 应用案例	151
第 6 章 施工验收与成本控制	158
6.1 施工验收与检测	158
6.2 结构性能检验	166
6.3 成本控制	172
参考文献	186

第 1 章 装配式混凝土结构概论

本章学习要点：

了解装配式混凝土结构的国内外现状，掌握装配式混凝土结构体系，了解我国相关建筑工业化政策及装配式混凝土结构的技术路线及发展思路。

1.1 装配式建筑介绍

装配式建筑是指用预制构件在施工现场通过可靠连接方式装配而成的建筑。该种建筑具有施工快速、节省人力、受气候条件制约小、质量控制易行等显著优点。

装配式建筑具有数百年历史，对世界建筑行业影响深远。17 世纪北美出现的一种采用木构架拼装的房屋，可认为是装配式建筑的雏形。19 世纪，随着近代工业技术的发展，铁成为一种新的建筑材料，铁结构出现在人们的视野中。铁构件在工厂中铸造成型并运抵现场组装——这种建造方式已经具备装配式建筑施工的特点，采用这种方式建造的建筑如伦敦“水晶宫”、巴黎埃菲尔铁塔等轰动一时。20 世纪初，一种新的建筑理念又引起了人们的兴趣。法国著名建筑师 Le Corbusier 在《走向新建筑》一书中写道，“如果房子也像汽车底盘一样工业化地成批生产，我们将看到意想不到的健康的、合理的形式很快出现，同时形成一种高精度的美学。”这种像汽车一样生产的、工业化的、标准化的、功能主义的建筑，在 20 世纪的西方掀起一股狂潮。英、法、美、加、苏联等国纷纷进行了研究、尝试与应用，成果丰硕。

如今，装配式建筑技术种类繁多，涉及学科门类广泛。现代装配式建筑按结构形式和施工方法主要分五种，即砌块建筑、板材建筑、盒式建筑、骨架板材建筑和升板、升层建筑等。其中，骨架板材建筑是由全预制或部分预制的骨架和板材连接而成的。本书中着重介绍的装配式混凝土结构体系即为骨架板材建筑的一种结构形式。

此外，采用钢结构、木结构、钢木组合结构等的建筑，由木材、钢材等预制成的梁、柱等构件组成承重骨架，并在工厂、施工现场进行组装，同样属于装配式建筑。

1.2 装配式混凝土结构体系

根据《装配式混凝土结构技术规程》JGJ 1—2014，装配式混凝土结构，简称装配式结构，是一种由预制混凝土构件通过可靠的连接方式装配而成的混凝土结构。装配式结构按连接方式分为两类，即装配整体式混凝土结构、全预制装配混凝土结构。我国当前多采用装配整体式混凝土结构，即由预制混凝土构件通过可靠的方式进行连接，并与现场后浇混凝土、水泥基灌浆料形成整体。

根据国内标准，和现浇混凝土结构类似，装配式混凝土结构也可分为装配式混凝土框

架、框架-核心筒、框架-剪力墙结构，以及装配式混凝土剪力墙结构。

装配式混凝土框架结构主要采用预制混凝土柱作为竖向承重构件，其他竖向承重构件可全预制，也可部分预制。预制柱与水平承重构件可通过后浇混凝土、钢筋套筒灌浆、焊缝或螺栓等方式连接。除预制混凝土柱外，还可采用预制桩、预制叠合楼板、预制楼梯、预制阳台等其他预制承重构件。值得注意的是，当前技术条件下，提倡水平预制承重构件采用预应力技术。此法可使预制构件跨度增加，进而减少预制构件总数量，提高生产与施工效率，降低连接部位施工的成本。

装配式混凝土剪力墙结构主要采用预制混凝土剪力墙作为竖向承重构件。预制剪力墙与水平承重构件亦可通过后浇混凝土、钢筋套筒灌浆、焊缝或螺栓等方式连接。除预制混凝土剪力墙外，还可采用预制承重墙板、预制叠合楼板、预制楼梯、预制阳台等其他预制承重构件。

装配式混凝土结构体系与传统现浇结构也有着根本上的不同。传统现浇结构的破坏多见于构件本身，如梁近端部剪坏，或梁跨中受压区混凝土压碎、受拉钢筋屈服等。然而，大量资料表明，装配式混凝土结构的破坏常常始于构件间的连接节点，如梁柱节点局部发生混凝土压碎或钢筋连接屈服，导致结构挠度过大甚至结构整体离散而破坏。因此，装配式混凝土结构中，预制构件的连接具有相当重要的作用。

1.3 基本概念介绍

(1) 预制混凝土构件

预制混凝土构件是指在工厂或现场预先制作的混凝土构件，也可简称为预制构件。作为装配式结构的组成单元，预制构件种类繁多、功能多样。除作为非结构构件如预制外挂墙板、预制外墙板、预制内隔墙板等之外，预制构件也可作为结构构件，如叠合受弯构件、预制柱、预制桩等。下面介绍一些常见的预制构件。

混凝土叠合受弯构件在我国广泛应用于装配整体式混凝土结构，是指预制混凝土梁、板顶部在现场后浇混凝土而形成的整体受弯构件。这些构件预制混凝土与后浇混凝土共存，一般的，预制部分常在底部，后浇部分常在顶部，可分别简称为叠合板、叠合梁。

(2) 预制构件的连接

一般来说，装配式混凝土结构的连接方式按是否存在现场湿作业划分，主要有两种，即整体式连接、干式连接。

整体式连接，也可称为等同现浇连接、湿式连接，目前有多种施工工法，形式多样，日新月异，如浆锚连接、键槽链接、灌浆拼接、型钢辅助连接等。整体式连接的整体性好，性能往往要求等同甚至更优于现浇整体式结构。在我国，以钢筋套筒灌浆连接为主的浆锚连接施工工法最为常用。钢筋套筒灌浆连接是指在预制混凝土构件内预埋的金属套筒中插入钢筋并灌注水泥基灌浆料而实现的钢筋连接方式。

干式连接不采用现场湿作业，目前也有多种施工工法，如牛腿连接、预应力压接、预埋螺栓连接、预埋件焊接、钢吊架连接等。干式连接广泛应用于欧美发达国家，其施工简便、人力成本低、现场施工产生的污染相对较小。其中，牛腿连接又可分为明牛腿连接和暗牛腿连接两种，目前我国可见应用于装配式单层或多层厂房。

1.4 装配式混凝土结构发展概况

1.4.1 国外装配式混凝土结构发展里程

装配式建筑历史悠久，而装配式混凝土结构出现得较晚，这是由于砌块、石块、木构架等组成的承重体系早于混凝土的出现。装配式混凝土结构的发展，根本上是预制混凝土技术的发展。这里我们将从预制混凝土技术发展的角度，介绍国外装配式混凝土结构发展的概况。

1875年6月，W. H. Lascelles 提出一种新的混凝土建造体系，并获得了英国 2151 号发明专利。专利提出，在承重骨架上安装集成各项功能的预制混凝土外墙板，这标志着预制混凝土应用的起源。值得注意的是，此时的预制混凝土仅用于填充墙，并未开始作为结构的承重构件出现。这种技术并未大范围推广，零星应用在一些特殊的建筑当中，作为预制混凝土砌块，替代砖石而存在。预制混凝土砌块相对于天然石块来说经济廉价，搭建迅速，在 19 世纪末至 20 世纪初的美国、欧洲偶有出现。

20 世纪初，法国建筑师 A. Perret 用预制混凝土组成外立面。1922 年，他在一座教堂的设计中采用了现浇混凝土框架，并且采用了预制混凝土砌块和点缀性的彩色玻璃共同组成的高耸的外墙。预制混凝土的承重潜力在这里已经得到了暗示。另外，在美国还出现了在现浇承重骨架上安装的、若干大块预制混凝土板组成的外墙。

20 世纪 30 年代，法国工程师 E. Mopin 提出了另一种预制混凝土体系。他提出，在钢骨架组成的结构中，用预制混凝土外壳作为“永久性的模板”来使用，施工时向预制混凝土外壳内浇筑，并在节点处建立可靠连接，这样，提升了钢骨架的承载能力，并且提供了有效的约束。这种体系在英国的一处公寓 Quarry Hill Flats 中得到了不完全的应用。虽然当时此工程遭遇了很多施工困难和质量问题，如工期延误、预制混凝土“模板”堆叠过高而难以浇捣、预制混凝土连接节点开裂等，但是，这种革命性的施工方法的出现，表明预制混凝土已经参与承载并且成为了结构构件的一部分。

“二战”后，经济高效、节省人力的预制混凝土及其装配技术迎来了黄金时期，被大量用于战后城市的重建中。例如，位于法国北部诺曼底地区的港口城市 Le Havre，战火中几近全毁，战后重建时就广泛应用了现浇混凝土框架与预制混凝土填充墙组成的体系。新建造方式大大提高了重建效率，引起了相当一批建筑师、结构师和工程人员的关注。预制混凝土真正地走上了建筑工程的舞台。另一个著名案例，是出自法国建筑大师 Le Corbusier 之手的 Marseilles Unite (马赛公寓)。这座公寓竣工于 1952 年，设计时采用模数确定建筑的所有尺寸，建筑主体为现浇混凝土，外墙板全部采用了工厂内预制的混凝土外墙板，现场装配而成。

随着战后运输和吊装设备的发展，大型化预制构件的应用成为可能。如 Reema 体系、Wates 体系的数吨重的整块预制混凝土后浇墙板出现了。大型化的预制板也能够直接构成主体结构，如法国、德国、丹麦等西欧国家随后出现的各种类型的大板住宅建筑体系，如 Cauus 体系、Larsena&Nielse 体系等。在一些大板结构中，预制混凝土构件真正成为了结构构件，主体结构构件采用预制混凝土楼板和预制混凝土墙板。在美国、日本、加拿大

以及北欧国家也出现了一种预制盒子结构,这种盒子结构是六面体预制构件,即把一个房间连同设备装修等,按照定型模式,在工厂依照盒子形式完全制作好,然后在现场吊装完毕。盒子结构著名的应用案例有,由 Safdie Moshe 设计的 Habitat 67 集合住宅,位于加拿大蒙特利尔,是 1967 年世博会的一大地标建筑;由日本建筑大师黑川纪章设计的中银舱体楼等。

20 世纪 60~70 年代,虽然战后重建的热潮已经结束,但欧美社会劳动力持续减少,人力成本持续增加,因此,节约人力的装配式结构的发展势头仍然强劲。在这一时期,预制混凝土与装配式结构不仅仅在住宅中得到推广。公共建筑的建设,使得预制柱、支撑以及大跨度预制楼板等预制构件在框架结构体系的运用中逐渐成熟。工业厂房以及体育场馆的建设,使得预制柱、预应力桁架、桁条和棚顶得到了广泛应用。

同一时期,不同于欧洲,大洋彼岸的美国出现了另一种装配式结构体系,即不采用后浇混凝土,而采用干式连接的全预制装配式结构。这种结构体系在 20 世纪 70 年代及以后的美国已经十分常见。由于美国建筑行业较为专精化,预制构件安装和混凝土浇筑两项工作往往由不同企业承担,若沿用欧洲的部分预制、部分现浇的体系,则会带来很多经济上的问题。并且美国有发达的计算机科学技术和素质较高的结构设计人员,能够对干式连接节点的传力方式加以控制,从而进一步精打细算,提高机械化程度,同时降低了材料和人力成本。经过数十年的发展,全预制混凝土结构由于其成本低廉、质量控制容易,在美国已经占据了装配式混凝土结构的主导地位。

20 世纪 70 年代后,装配式结构的发展变得多元化。经历若干次大地震之后,早期装配式结构的抗震性能问题暴露出来。装配式结构,尤其是高层装配式结构的抗震问题,至今也仍然是工程界的一大难题。很多地震中的案例表明,早期的半预制半后浇结构的抗震性能往往略优于全预制结构。但是,经过 20 世纪末期的发展,美国全预制结构在解决抗震问题方面取得了较大进展,如今二者孰优孰劣,尚难有定论(图 1-1,图 1-2)。

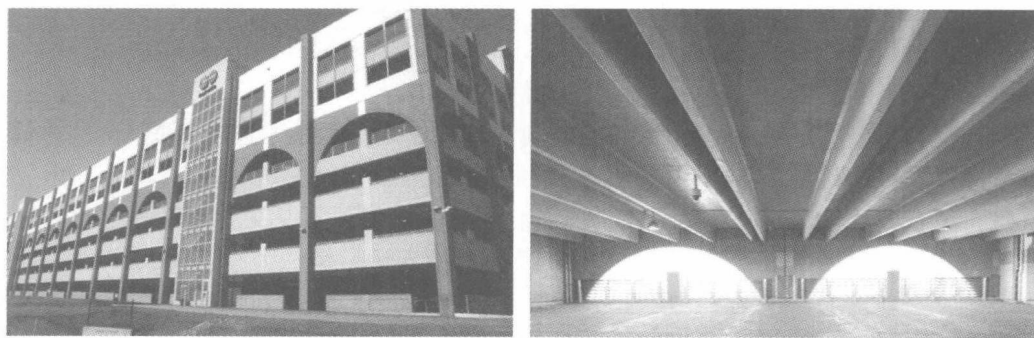


图 1-1 美国奥克维尔出行火车站停车场

此外,欧美建筑行业形势持续下滑,这种下滑的趋势最终影响到了装配式建筑的应用市场,大量的预制构件厂由于市场不景气、产能过剩、技术落后而面临破产的危机。这也刺激了欧美预制混凝土行业,使之技术水平不断发展。例如,20 世纪 80 年代,德国 FIL-IGRAN 公司发明了钢筋桁架式的叠合楼板。这种叠合楼板中预制混凝土与后浇混凝土共存,下半部是预制混凝土及预埋的钢筋桁架,钢筋桁架纵向贯穿,上半部为后浇混凝土。这种技术在欧洲地区得到了大量推广。随后,日本、中国的一些企业也相继引入该系统,



图 1-2 美国绿色广场停车场（预制混凝土框架结构）

一直沿用至今。

日本在欧美装配式结构技术的基础上，发展出了自己的特色。这种系统的特色，就是采取半预制半后浇，设计多种节点连接方式，使整体结构取得与传统现浇结构相比等同甚至更优的抗震性能。日本装配式结构大致引入于 20 世纪 50 年代。20 世纪 70 年代，日本装配式结构的应用形势同样开始下滑，其原因可能是由于构件模块化、大型化或标准化程度不足导致造价过高；设计过于标准化，难以得到社会欢迎；日本多发地震，早期装配式结构的抗震性能很难满足抗震要求；法律审批程序复杂等。这些因素加上日本社会劳动力减少、政府的推广等，共同刺激了日本的众多预制构件厂和建筑公司思索和转型，日本独特的装配式结构的发展也自此开始。在 20 世纪最后二三十年里，日本装配式结构采取半预制半后浇为主，至今仍然占据着建筑市场的一部分份额。日本装配式结构兼顾了半预制结构优异的抗震性能和预制混凝土节约人力的优点，而弊端之一就是建造成本较高。建造的时候，往往要在预制的高成本与人力的低成本之间权衡。日本的这种体系与我国当前兴起的装配整体式结构体系类似（图 1-3）。

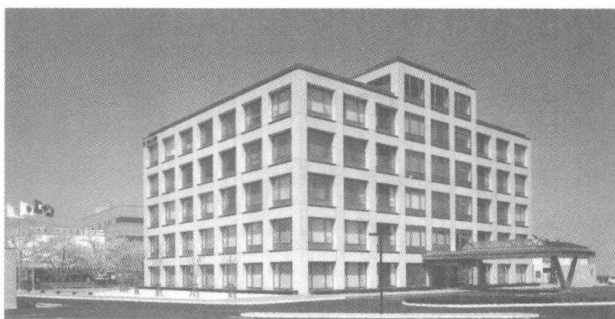


图 1-3 日本岐阜安部工业主楼（整体预应力装配式结构）

1.4.2 国内装配式混凝土结构发展概况

我国的装配式结构大致始于 20 世纪 50 年代，在苏联建筑工业化的影响下，我国建筑行业开始走预制装配式的发展道路。这一时期的主要预制件有预制柱、预制吊车梁、预制

屋面梁、预制屋面板、预制天窗架等。除屋面板及一些小型吊车梁、小跨度屋架外，大多是现场预制，即使工厂预制，也往往由现场建立的临时性预制场预制，预制作业仍然是施工企业的一部分。

20 世纪 60 年代末 70 年代初，随着中小预应力构件的发展，城乡出现了大批预制构件厂。用于民用建筑的空心板、平板、檩条、挂瓦板，用于工业建筑的屋面板、F 形板、槽型板以及工业与民用建筑均可采用的 V 形折板、马鞍形板等成为这些构件厂的主要产品，预制构件行业的市场开始形成。到了 20 世纪 80 年代，在政府部门持续大力推广下，大批的混凝土大板和框架轻板厂开始出现，掀起了预制混凝土行业的一股狂潮，这一时期，预制混凝土工业化程度明显提高，预制构件种类多样，包括预制外墙板、预应力大楼板、预应力圆孔板、预制阳台板、预制吊车梁、预制柱、预制预应力屋架、预制屋面板、预制屋面梁等。

20 世纪 90 年代，我国预制混凝土行业经历了停滞期，预制构件厂泛滥，趋于同质化，产能严重过剩，大中型构件厂难以为继，某些资质不足的小型乡镇构件厂充斥市场，导致部品质量下降，造成了很多安全隐患。并且，预制混凝土的抗震性能也在这一时期受到了广泛争议。预制混凝土在国内一度成为质量低劣、抗震性能不良的代名词，一些地区也勒令禁用预制混凝土结构。因此，与西方、日本预制混凝土行业经久不衰相比，20 年代末至 21 世纪初，我国预制混凝土行业几乎销声匿迹。

如今，随着建筑工业化、住宅产业化概念的提出和装配整体式结构体系的发展，预制混凝土、装配式结构又重新回到了人们的视野当中，也得到了政府部门的大力推广。如今的装配式结构已今非昔比，并成为我国建筑行业发展的一大趋势（图 1-4，图 1-5）。



图 1-4 中建虹桥生态商务社区
(装配式框架结构)



图 1-5 华润置地阡北 10-03 地块住办商品房
(装配式剪力墙结构)

由于施工场地限制、环境保护要求严格，我国香港地区的装配式建筑应用非常普遍。由香港屋宇署负责制订的预制建筑设计和施工规范很完善，高层住宅多采用叠合楼板、预制楼梯和预制外墙等方式建造，厂房类建筑一般采用装配式框架结构或钢结构建造。

我国台湾地区的装配式混凝土建筑应用也较为普遍建筑，体系和日本、韩国接近，装配式结构的节点连接构造和抗震、隔震技术的研究和应用都很成熟，装配框架梁柱、预制

外墙挂板等构件应用较广泛，预制建筑专业化施工管理水平较高，装配式建筑质量好、工期短的优势得到了充分体现。

1.5 相关建筑工业化政策

1.5.1 国家行业政策

建筑工业化是指通过现代化的制造、运输、安装和科学管理的大工业的生产方式，来代替传统建筑业中分散的、低水平的、低效率的手工业生产方式。它的主要标志是建筑设计标准化、构配件生产施工化，施工机械化和组织管理科学化，从而达到提高质量，提高效率，提高寿命，降低成本，降低能耗的目的。其中，建筑设计标准化指，从统一设计构配件入手，尽量减少构配件的类型，进而形成单元或整个房屋的标准设计；构件生产施工化指，构配件生产集中在工厂进行，逐步做到商品化；施工机械化指用机械取代繁重的体力劳动，用机械在施工现场安装构件与配件；而组织管理科学化指，用科学的方法来进行工程项目管理，避免主观臆断或凭经验管理。

建筑工业化是我国建筑业的发展方向，随着建筑业体制改革的不断深化和建筑规模的持续扩大，建筑业发展较快，物质技术基础显著增强，但从整体看，劳动生产率提高幅度不大，质量问题较多，整体技术进步缓慢。为确保各类建筑最终产品特别是住宅建筑的质量和功能，优化产业结构，加快建设速度，改善劳动条件，大幅度提高劳动生产率，使建筑业尽快走上质量效益型道路，成为国民经济的支柱产业。我们主要吸取我国几十年来发展建筑工业化的历史经验，以及国外的有益经验和做法；考虑我国建筑业技术发展现状、地区间的差距，以及劳动力资源丰富的特点；适应发展建筑市场和继续深化建筑业体制改革的要求；重点是房屋建筑，特别是量大面广、对提高人民居住水平直接相关的住宅建筑。

党的十八大提出的新型城镇化发展战略和“美丽中国”构想为我国未来经济发展指明了方向。2013年1月1日国务院办公厅出台了1号文件《绿色建筑行动方案》，进一步明确了城乡建设将走绿色、循环、低碳的科学发展道路。文件要求：住房城乡建设等部门要尽快建立促进建筑工业化的设计、施工、部品生产等环节的标准体系，推动结构构件、部品、部品的标准化，丰富标准件的种类，提高通用性和可置换性。推广适合工业化生产的预制装配式混凝土结构、钢结构等建筑体系，加快发展建设工程的预制装配技术，提高建筑工业化技术集成水平。支持集设计、生产、施工于一体的工业化基地建设，开展工业化建筑试点示范工程建设。

《国家新型城镇化规划（2014～2020年）》明确要求，积极推进建筑工业化、标准化，提高住宅工业化比例。在地方，住宅产业化成为多个城市发展新兴产业的抓手，一系列支持政策陆续出台。2014年5月，住房和城乡建设部副部长齐骥在讲话中指出：“当前，全面推进住宅产业现代化正逢其时”。2014年7月出台的《关于建筑业的发展与改革的若干意见》当中，就明确提出如何推动建筑现代化。9月8日，在“全国工程质量治理两年行动电视电话会议”上住房和城乡建设部副部长王宁透露，住建部正在制定建筑产业的现代化发展纲要。纲要中初步确定发展目标是：到2015年底，除西部少数省区外，其他地方

都应具备相应规模的构件生产能力；政府投资和保障性安居工程要率先采用这种建造方式；用产业化方式建造的新开工住宅面积所占比例逐年增加，每年增长 2 个百分点。

根据国家发改委测算，“十二五”期间节能减排的重点工程总投资约 23660 亿元。到 2020 年前，用于建筑节能项目的投资至少将有 1.5 万亿元。大规模投资建设的展开，给钢结构等绿色环保建筑行业带来难得的发展机遇。

《方案》指出，政府投资的公益性建筑、大型公共建筑以及各直辖市、省会城市的保障性住房要全面执行绿色建筑标准。其中明确提出到 2015 年城镇新建建筑绿色建筑标准执行率达到 20%，新增绿色建筑 3 亿 m^2 的发展目标。

国务院总理 2015 年政府工作报告中“深入推进新型城镇化”中提出了三项工作，在第三项“加强城市规划管理”中提到：积极推广绿色建筑和建材，大力发展钢结构和装配式建筑，提高建筑工程标准和质量。打造智慧城市，改善人居环境，使人民群众生活得更安心、更省心、更舒心。

中央“十三五”发展规划纲要，在“推进新型城镇化”篇章中提到多项关于建筑工业化的规划。其中，在“提升城市治理水平”中提出：发展适用、经济、绿色、美观建筑，提高建筑技术水平、安全标志和工程质量，推广装配式建筑和钢结构建筑。在“促进房地产市场健康发展”中提出：加快推进住宅产业现代化，提升住宅综合品质。

“中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见”的“提升城市建筑水平”章节中提出：发展新型建造方式。大力推广装配式建筑，减少建筑垃圾和扬尘污染，缩短建造工期，提升工程质量。制定装配式建筑设计、施工和验收规范。完善部品部件标准，实现建筑部品部件工厂化生产。鼓励建筑企业装配式施工，现场装配。建设国家级装配式建筑生产基地。加大政策支持力度，力争用 10 年左右的时间，使装配式建筑占新建建筑的比例达到 30%。积极稳妥推广钢结构建筑。在具备条件的地方，倡导发展现代木结构建筑。

1.5.2 省市行业政策

新型住宅产业加快绿色城市建设。上海、安徽、深圳等地都开始在保障房项目中推动住宅产业化。不少地方还出台了经济激励政策。截至 2015 年底，共批准和建成国家住宅产业化综合试点城市 11 个以及国家住宅产业化基地 59 个。其中，国家住宅产业化综合试点城市有深圳、南通、济南、北京、合肥、绍兴、厦门、乌海、太原、大同、长沙。

(1) 上海市

2014 年，上海市政府办公厅转发了《上海市绿色建筑发展三年行动计划（2014～2016）》。行动计划指出，2014 年下半年起新建民用建筑原则上全部按照绿色建筑一星级及以上标准建设。其中，单体建筑面积 2 万 m^2 以上大型公共建筑和国家机关办公建筑，按照绿色建筑二星级及以上标准建设；八个低碳发展实践区（长宁虹桥地区、黄浦外滩滨江地区、徐汇滨江地区、奉贤南桥新城、崇明县、虹桥商务区、临港地区、金桥出口加工区）、六大重点功能区域（世博园区、虹桥商务区、国际旅游度假区、临港地区、前滩地区、黄浦江两岸）内的新建民用建筑，按照绿色建筑二星级及以上标准建设的建筑面积占同期新建民用建筑的总建筑面积比例，不低于 50%。

新建装配式建筑。各区县政府在本区域供地面积总量中落实的装配式建筑的建筑面积