

装配式 混凝土结构建筑

郭学明◎主编

的设计、制作与施工

Design, Manufacture and Construction for
Precast Concrete Buildings



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



装配式混凝土结构建筑 的设计、制作与施工

主编 郭学明

参编 张晓娜 李 营 黄 营
许德民 张玉波 张 健



机械工业出版社

本书从混凝土装配式建筑的历史沿革、发展现状、技术特点入手,结合国际先进技术和国内的最新发展状况,共分五篇 26 章,全面系统详细地介绍了装配式混凝土结构的基本知识、材料特点、设计方法、制作工艺及施工工艺,近 300 幅装配式建筑实际工程和细部节点照片大多出自装配式建筑技术先进国家,是当前我国从事装配式混凝土结构管理、设计、施工人员的案头必备工具用书。

本书适用于从事装配式混凝土结构建筑的管理、设计、制作、施工及科研技术人员,对于相应专业的高校师生也有很好的借鉴、参考和学习价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

装配式混凝土结构建筑的设计、制作与施工/郭学明主编.
—北京:机械工业出版社,2017.1
ISBN 978-7-111-55623-7

I. ①装… II. ①郭… III. ①装配式混凝土结构—研究
IV. ①TU37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 303080 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:薛俊高 责任编辑:薛俊高 范秋涛 张大勇
责任印制:常天培 责任校对:李锦莉 刘秀丽
北京京丰印刷厂印刷
2017 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·28.75 印张·4 插页·705 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-55623-7
定价:89.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com



C01 沈阳兆寰 - 框架结构住宅 - 万科春河里



C02 沈阳兆寰 - 框架结构写字楼 - 安保大厦



C03 上海城业 - 框架剪力墙结构住宅 - 万科翡翠公园



C04 上海住总 - 剪力墙结构住宅 - 浦江保障房



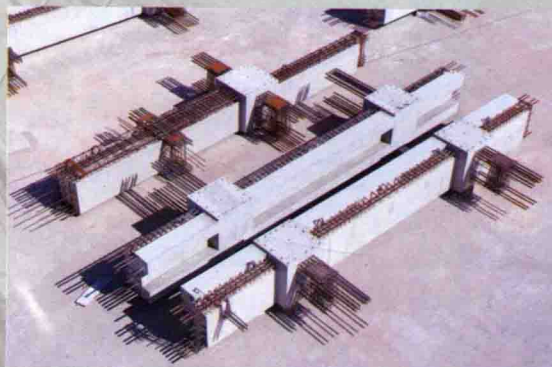
C05 沈阳兆寰 - 装饰保温结构一体化全装配式门卫房



C06 日本鹿岛 - 北滨大厦 - 最高 PC 建筑



C07 日本大阪钢结构建筑的 PC 幕墙



C08 沈阳兆寰 - 难度最大的 PC 构件 - 双莲藕梁





C09 全自动 PC 生产线 (德国艾巴维公司 Ebawe)



C10 美国辛辛那提大学体育中心 屈米



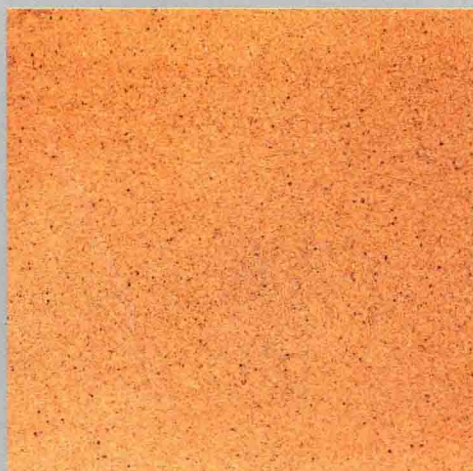
C12 香港理工大学专上学院



C11 达拉斯佩罗自然科学博物馆



C13-1 PC 质感图 - 白砂岩



C13-2 PC 质感图 - 细粒黄砂岩



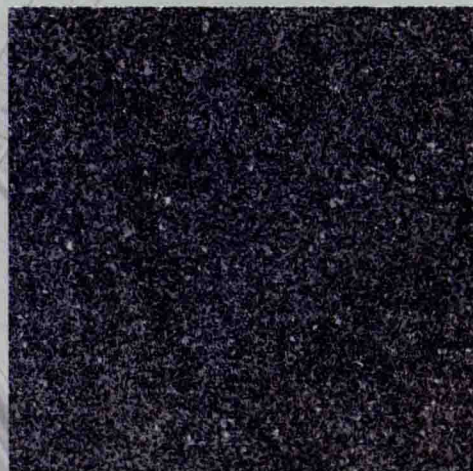
C13-3 PC 质感图 - 粗粒黄砂岩



C13-4 PC 质感图 - 粉砂岩



C13-5 PC 质感图 - 砂岩火烧板



C13-6 PC 质感图 - 黑砂岩

前 言

2016年2月6日《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》中提出,10年内,我国新建建筑中,装配式建筑比例将达到30%。由此,我国每年将建造几亿平方米装配式建筑,这个规模和发展速度在世界建筑产业化进程中也是前所未有的,我国建筑界面临巨大的转型和产业升级压力。

发达国家装配式建筑技术是经历了半个多世纪发展起来的,是技术理论、技术实践和管理经验逐步积累的过程。但目前大多数国家装配式建筑比例也不到30%。我们要用10年时间走完其他国家半个多世纪的路,需要学的知识和需要做的工作非常多,专业技术人员、技术工人和懂行的管理者的需求将非常巨大。

参与本书编写的作者都是近年来从事装配式混凝土结构建筑研发、设计、制作、施工和企业管理的一线人员。主编郭学明是沈阳兆寰现代建筑产业园有限公司首任董事长,参编者许德民是沈阳兆寰现代建筑产业园有限公司总经理,兆寰公司的一项重要成果是与日本著名建筑企业鹿岛集团和骊住集团合作,全面系统引进了日本装配式建筑技术与工艺,以及日本建筑企业的精细化管理运作模式。参编者李营多年从事水泥基预制构件的技术与管理工作,专门去日本鹿岛集团和一些PC构件工厂接受系统培训,多次去欧洲考察,近年来先后担任PC工厂厂长、PC企业负责技术的副总;参编者张晓娜和黄管是结构设计师,有多年建筑结构设计经验,近年来专门从事装配式混凝土结构研发和设计;参编者张玉波多年从事企业管理工作,现为沈阳兆寰现代建筑构件有限公司董事长;参编者张健多年从事混凝土构件制作的技术与管理工作,现为PC构件厂厂长。

本书以装配式混凝土结构现行行业标准和辽宁省地方标准为基础,系统介绍了装配式混凝土结构建筑的基本知识、设计、制作与安装,介绍了国外特别是日本装配式建筑的技术与工艺。本书既是装配式混凝土结构建筑的入门读物和培训教材,也是设计、制作、安装人员的工具书,还可以作为装配式建筑用户与政府管理者的参考书。

本书共分五篇。

第一篇基本知识共3章,介绍什么是装配式建筑、装配式建筑的历史沿革、装配式建筑的优势与不足、我国实现装配式的难点和装配式建筑主要材料。

第二篇设计共10章,以行业标准和地方标准为依据,介绍了如何进行装配式结构建筑的建筑设计、结构设计、拆分设计、预制构件设计和各专业设计协同;介绍了日本装配式建筑基本设计方法;指出了装配式建筑设计存在的错误认识;介绍了设计质量要点。

第三篇制作共6章,介绍了混凝土预制构件的制作工艺和工厂布置,模具设计与制作,原材料制备与配合比设计,构件制作、堆放、运输,试验项目和技术档案等。

第四篇施工共4章,介绍装配式混凝土结构的施工条件、施工材料、构件安装与验收。

第五篇质量与成本共3章,介绍了装配式混凝土结构建筑的质量要点、成本分析和BIM系统的应用。

装配式混凝土结构建筑在国际建筑界也被称为 PC (Precast Concrete) 建筑, 预制混凝土构件被称为 PC 构件, 为表述清晰, 本书较多地用“PC 建筑”替代“装配式混凝土结构建筑”。

本书由郭学明任主编, 编写各章概要并撰写了本书第 4 章、第 5 章、第 6 章及第 13 章的内容。张晓娜参与了设计篇和质量与成本篇的编写, 是第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章和第 26 章的主要编写者; 李营参与了制作篇与施工篇的编写, 是第 14 章、第 15 章、第 17 章、第 20 章、第 21 章、第 22 章的主要编写者; 黄营参与了设计篇的编写, 是第 7 章、第 12 章的主要编写者, 补充修改或校审了结构设计各章, 设计绘制了第 3 章图样和第 8 章、第 9 章、第 10 章、第 11 章、第 13 章部分图样, 并校审了全书图样; 许德民参与了基本知识篇和质量与成本篇的编写, 是第 1 章、第 2 章、第 25 章的主要编写者; 张玉波参与了基本知识篇和质量与成本篇的编写, 是第 3 章、第 23 章、第 24 章和附录的主要编写者, 并负责全书的校订工作; 张健参与了制作篇的编写, 是第 16 章、第 18 章、第 19 章的主要编写者。

除主编外, 许德民、李营多年来与国外特别是日本企业交流较多, 搜集、拍摄了一些有价值的资料和照片, 本书中多有引用。许德民、李营对其他人主笔的部分章节也提出了一些有价值的编写意见。

同时, 感谢沈阳兆寰公司田仙花翻译了有关日本资料; 沈阳兆寰公司孙昊绘制了第 5 章、第 6 章、第 15 章图样; 石家庄山泰公司梁晓艳绘制了第 11 章、第 13 章图样。

特别感谢企业家赵连虎先生, 不仅由于他早期对现代建筑产业事业的投资, 更主要的是他坚决主张和支持引进日本先进技术与管理。特别感谢郭学仁先生, 他是引进日本先进装配式建筑技术的主要策划师和推动者。

感谢上海城业管桩构件有限公司总经理叶汉河先生多年来对本书主要编写者的指导帮助, 对本书部分章节提出了宝贵的意见。

感谢以下专家对本书的指导与帮助: 上海住总工程材料有限公司下沙分公司总经理顾建安先生提供了宝贵的意见和资料, 审阅了基本知识篇和制作篇各章, 提出了重要修改意见; 中建东北设计研究院伍军教授级高级工程师审核了基本知识篇和设计篇各章, 提出了宝贵的修改意见; 上海申通地铁集团有限公司鞠丽艳博士提供了宝贵的意见和资料; 龙信集团有限公司倪雪民先生、戴祝泉先生审核了施工篇各章, 提出了宝贵的意见; 北京思达建茂科技发展有限公司总经理钱冠龙先生提供了套筒及灌浆料技术资料; 德国艾巴维/普瑞集团公司俞建章先生提供了全自动流水线及立模生产线的技术资料; 北京首钢国际工程技术有限公司 BIM 专家董鑫工程师指导了 BIM 一章的编写; 中建东北设计研究院 BIM 专家陈勇先生审阅修改了 BIM 一章; 上海住总住博建筑科技有限公司副总经理张元疆先生给予了现场指导。

装配式建筑在国内是刚起步发展中的行业, 很多课题正在研究探索之中; 加上编写者理论水平和实践经验有限, 本书会存在差错和不足, 恳请并感谢读者给予批评指正。

编者

2016 年 11 月

目 录

前言	
第一篇 基本知识	1
第1章 什么是装配式建筑	1
1.1 什么是装配式建筑	1
1.2 装配式建筑的历史沿革	1
1.3 什么是PG与PCa	5
1.4 PC化的意义	6
1.5 PC建筑主要技术	7
1.6 PC预制率	8
1.7 PC建筑适用范围	8
第2章 PC建筑利弊分析	9
2.1 概述	9
2.2 PC建筑的优势	9
2.3 PC建筑的不足	14
2.4 我国PC化难点	14
2.5 建设单位在PC化中的作用	18
第3章 PC建筑材料	20
3.1 概述	20
3.2 连接材料	20
3.3 结构主材	34
3.4 辅助材料	40
第二篇 设计	50
第4章 设计概述	50
4.1 概述	50
4.2 关于PC建筑设计的错误认识	50
4.3 设计责任	51
4.4 PC建筑的限制条件	52
4.5 PC建筑主要设计内容	53
4.6 设计依据与原则	55
4.7 PC建筑设计的中国课题	56
4.8 装配式设计意识	58
4.9 设计质量要点	58
第5章 建筑设计	60
5.1 概述	60
5.2 建筑师的作用	60
5.3 装配式对建筑风格的影响	60
5.4 PC建筑适用高度与高宽比	64
5.5 PC化与模数化	67
5.6 建筑平面设计	70
5.7 建筑立面设计与外墙拆分	72
5.8 层高与内墙设计	76
5.9 外墙保温设计	80
5.10 建筑表皮质感设计	83
5.11 PC幕墙建筑设计	90
5.12 建筑构造设计	99
5.13 装饰设计	107
5.14 水暖电设计协同	108
第6章 结构设计概述	115
6.1 概述	115
6.2 装配式混凝土结构的定义	116
6.3 结构体系与装配式	117
6.4 PC建筑结构设计的基本原理与规定	122
6.5 装配式结构连接方式	127
6.6 结构拆分设计	138
6.7 预埋件设计	141
6.8 夹芯保温构件外叶板与拉结件设计	145
6.9 日本PC建筑结构设计做法	149
第7章 PC楼盖设计	151
7.1 概述	151
7.2 楼盖类型	151
7.3 楼盖设计内容	153
7.4 楼盖预制范围与拆分	154
7.5 普通叠合楼板设计	154
7.6 预应力叠合楼板设计	162
7.7 预应力空心楼板简介	164
第8章 框架结构及其他柱、梁(板)体系结构设计	166
8.1 概述	166
8.2 框架结构设计的基本规定	167

8.3 框架结构承载力计算	167	12.6 女儿墙设计	261
8.4 柱、梁体系拆分设计原则	169	12.7 整体飘窗设计	263
8.5 框架结构构造设计	174	第13章 PC构件制作图设计	265
8.6 多层框架结构设计	188	13.1 概述	265
8.7 预应力PC框架结构	194	13.2 PC构件制作图设计内容	265
8.8 PC筒体结构	196	13.3 脱模设计	266
8.9 装配整体式PC无梁楼板结构	197	13.4 吊点设计	268
第9章 剪力墙结构设计	200	13.5 堆放、运输设计	277
9.1 概述	200	13.6 施工设置设计	285
9.2 装配整体式剪力墙结构类型	200	13.7 构件制作图设计细目	288
9.3 设计一般规定	202	第三篇 制作	292
9.4 设计计算	204	第14章 PC制作工艺与工厂	
9.5 拆分设计原则	206	布置	292
9.6 预制剪力墙构造设计	206	14.1 概述	292
9.7 连接设计	208	14.2 制作工艺综述	293
9.8 叠合板式剪力墙设计	215	14.3 PC构件工厂生产规模与基本	
9.9 预制圆孔板剪力墙设计	216	设置	299
9.10 型钢混凝土剪力墙设计	219	14.4 固定模台工艺及其车间布置	304
9.11 PC剪力墙结构须解决的问题	222	14.5 流水线工艺及其车间布置	308
第10章 多层剪力墙结构设计	223	14.6 立模工艺简介	317
10.1 概述	223	14.7 预应力工艺及其车间布置	318
10.2 一般规定	223	14.8 各种工艺比较	320
10.3 结构分析和设计	223	14.9 生产灵活性	320
10.4 拆分设计原则	224	第15章 模具设计与制作	322
10.5 连接设计	224	15.1 概述	322
10.6 辽宁省地方标准关于螺栓连接		15.2 模具分类与适用范围	322
的规定	226	15.3 模具材料	324
第11章 外挂墙板结构设计	228	15.4 模具设计要求与内容	327
11.1 概述	228	15.5 模具制作原则	329
11.2 PC墙板结构设计内容	228	15.6 流水线工艺配套模具	330
11.3 一般规定	229	15.7 固定台式工艺模具	331
11.4 拆分原则	230	15.8 独立模具	334
11.5 作用及作用组合	230	15.9 预应力构件模具	335
11.6 连接节点的原理与布置	234	15.10 集约式立模工艺模具	335
11.7 墙板结构计算	239	15.11 模具构造	336
11.8 连接节点设计	245	15.12 复杂模具设计	339
第12章 非结构PC构件设计	251	15.13 模具标识与存放	340
12.1 概述	251	15.14 模具质量与验收	340
12.2 基本设计规定	251	15.15 模具维修与改用	342
12.3 楼梯设计	251	第16章 PC原材料制备与配合比	
12.4 阳台板设计	258	设计	343
12.5 空调板、遮阳板、挑檐板设计	261		

16.1 概述	343	19.2 PC 构件质量检验内容	379
16.2 原材料采购	343	19.3 PC 工厂质量检验程序	387
16.3 原材料入厂检验	343	19.4 PC 构件验收文件与记录	388
16.4 原材料储存	344	19.5 PC 工厂试验室配置	388
16.5 计量管理	345		
16.6 混凝土配合比设计	345	第四篇 施工	390
第 17 章 PC 构件制作	347	第 20 章 PC 施工条件	390
17.1 概述	347	20.1 概述	390
17.2 PC 构件制作的依据	347	20.2 施工管理人员与技术工人配置	390
17.3 PC 构件制作的准备	348	20.3 起重机械配置	392
17.4 制作工艺运行与调整	351	20.4 灌浆设备与工具	393
17.5 模具组装	351	20.5 施工工具与设施配置	395
17.6 涂刷脱模剂 (或缓凝剂)	353	20.6 吊具设计	396
17.7 表面装饰	354	20.7 现场道路与场地	398
17.8 钢筋制作	356	20.8 施工安全条件	399
17.9 钢筋入模	358	第 21 章 PC 施工材料	400
17.10 预埋件、连接件、孔眼定位	359	21.1 概述	400
17.11 钢筋和预埋件隐蔽工程检查	360	21.2 PC 施工材料制备	400
17.12 混凝土搅拌与运送	361	21.3 PC 构件进场检验	401
17.13 混凝土浇筑	363	21.4 PC 构件场地存放	405
17.14 养护	367	21.5 关于后浇混凝土的提醒	405
17.15 脱模	368	第 22 章 PC 装配式建筑施工	406
17.16 表面检查	368	22.1 概述	406
17.17 表面处理与修补	369	22.2 施工工艺流程	406
17.18 成品保护	370	22.3 施工组织设计与施工技术方案	406
17.19 构件制作质量要点	370	22.4 构件进场顺序	415
17.20 构件标识	371	22.5 前道工序检查	415
17.21 安全生产要点	372	22.6 构件吊装	416
17.22 节能环保要点	372	22.7 安装误差检查与调整	418
第 18 章 PC 构件吊运、堆放与 运输	373	22.8 灌浆作业	418
18.1 概述	373	22.9 临时支撑拆除	419
18.2 PC 构件脱模、翻转与吊运	373	22.10 构件安装缝施工	419
18.3 PC 构件厂内运输	374	22.11 现场修补	420
18.4 质检、修补区	375	22.12 表面处理	420
18.5 场地堆放	376	22.13 冬期施工措施	420
18.6 PC 构件装车	377	22.14 施工质量要点	421
18.7 PC 构件运输	378	22.15 安全施工要点	421
18.8 吊运、堆放、运输质量要点	378	第 23 章 PC 工程验收	422
18.9 吊运、堆放、运输安全要点	378	23.1 概述	422
第 19 章 PC 构件质量检验	379	23.2 工程验收的依据、划分	422
19.1 概述	379	23.3 PC 工程验收的主控项目	424
		23.4 PC 工程验收的一般项目	425

23.5	PC 结构实体验收	427	25.5	运输成本分析	439
23.6	分项工程质量验收	427	25.6	安装成本分析	439
23.7	PC 工程验收需提供的文件与 记录	428	25.7	业主管理费用成本分析	440
第五篇 质量与成本		430	25.8	我国 PC 建筑成本高的原因 分析	440
第 24 章 PC 质量要点		430	25.9	降低 PC 建筑成本的关键环节	441
24.1	概述	430	第 26 章 BIM 简介		442
24.2	PC 建筑常见质量问题	430	26.1	概述	442
24.3	PC 质量管理要点	434	26.2	什么是 BIM	442
第 25 章 PC 建筑成本分析		436	26.3	BIM 的特点	442
25.1	概述	436	26.4	BIM 在 PC 建筑中的应用	443
25.2	设计环节成本分析	436	26.5	如何启动 BIM 的应用	444
25.3	PC 建筑增加的材料	437	附录 PC 有关国家标准或行业 标准目录		447
25.4	制作环节成本分析	437			

第一篇 基本知识

本篇共3章,介绍装配式建筑的基本知识。第1章介绍什么是装配式建筑;第2章对PC建筑利弊进行分析;第3章介绍PC建筑用的材料。

第1章

什么是装配式建筑

1.1 什么是装配式建筑

1.1.1 装配式建筑的定义

装配式建筑是指由预制构件通过可靠连接方式建造的建筑。装配式建筑有两个主要特征:第一个特征是构成建筑的主要构件特别是结构构件是预制的;第二个特征是预制构件的连接方式必须可靠。

1.1.2 装配式建筑的分类

1. 按材料分类

装配式建筑按结构材料分类,有装配式钢结构建筑、装配式钢筋混凝土建筑、装配式轻钢结构建筑和装配式复合材料建筑(钢结构、轻钢结构与混凝土结合的装配式建筑)。以上几种都是现代建筑。

古典装配式建筑按结构材料分类,有装配式石材结构建筑和装配式木结构建筑。

2. 按高度分类

装配式建筑按高度分类,有低层装配式建筑、多层装配式建筑、高层装配式建筑和超高层装配式建筑。

3. 按结构体系分类

装配式建筑按结构体系分类,有框架结构、框架-剪力墙结构、筒体结构、剪力墙结构、无梁板结构、预制钢筋混凝土柱单层厂房结构等。

4. 按预制率分类

装配式建筑按预制率分类,有高预制率(70%以上)、普通预制率(30%~70%)、低预制率(20%~30%)和局部使用预制构件几种类型。

1.2 装配式建筑的历史沿革

装配式建筑不是新概念新事物。早在史前时期,人类还是采集-狩猎者时,尚未定居下

来,也就是说,还处于“前建筑时期”,就有了装配式居住设施。

人类建筑史可分为三个阶段:前建筑时期、古典时期和现代时期。在前建筑时期,人类是游动的采集-狩猎者,没有定居,住所非常简单,主要是树枝、树叶搭建的草棚或兽骨、树干与兽皮搭建的帐篷。

兽皮帐篷(图 1.2-1)是人类最早的装配式“建筑”。狩猎者把几十张兽皮缝制在一起,用木杆做骨架,围成了“房子”。走到哪里,把兽皮带到哪里,装配式“建筑”就建在哪里。



图 1.2-1 印第安采集-狩猎者的兽皮帐篷

古典时期,人类进入了农业时代,定居了下来,石头、木材、泥砖和茅草建造的房子出现了,真正的建筑出现了。古典时期人类不仅建造居住的房子,也建造神庙、宫殿、坟墓等大型建筑。许多大型建筑都是装配式建筑,如古埃及和古希腊石头结构的柱式建筑(图 1.2-2),中世纪用石头和彩色玻璃建造的哥特式教堂(图 1.2-3),中国的木结构庙宇(图 1.2-4)和宫殿等,都是在加工工场把石头构件凿好,或把木头柱、梁、斗拱等构件制作好,再运到现场,以可靠的方式连接安装。



图 1.2-2 古希腊雅典帕特农神庙——石材装配式建筑



图 1.2-3 科隆的哥特式大教堂——石材装配式建筑



图 1.2-4 五台山唐代庙宇——木结构装配式建筑

现代建筑是工业革命和科技革命的产物，运用现代建筑技术、材料与工艺建造。世界上第一座现代建筑——1851年伦敦博览会主展览馆——水晶宫，就是装配式建筑。

1850年,英国决定在第二年召开世界博览会,展示英国工业革命的成果。博览会组委会向欧洲著名建筑师征集主展览馆的设计方案。各国建筑师们提交的方案都是古典建筑,既不能提供博览会所需要的大空间,又不能在博览会开幕前如期建成。万般无奈,组委会负责人,维多利亚女王的丈夫艾伯特亲王采纳了一个花匠提出的救急方案,把用铸铁和玻璃建造花房的技术用于展览馆建设:在铁工厂制作好铸铁柱梁,在玻璃工厂按设计规格制作玻璃,然后运到现场装配,几个月就完成了展览馆建设,解决了大空间和工期紧的难题,建筑也非常漂亮,像水晶一样,被誉为“水晶宫”,创造了建筑史上的奇迹,如图1.2-5所示。

巴黎埃菲尔铁塔和纽约自由女神像也是装配式建筑,或者称为装配式建造物。

自由女神像(图1.2-6)是法国在美国建国100周年时赠送给美国的,1886年建成。自由女神像是铸铁结构,铸铜表皮。铸铁结构骨架和铸铜表皮都是在法国制作的,漂洋过海运到美国安装。结构由著名的埃菲尔铁塔设计师埃菲尔设计。自由女神像是世界上最早的装配式钢结构金属幕墙工程。

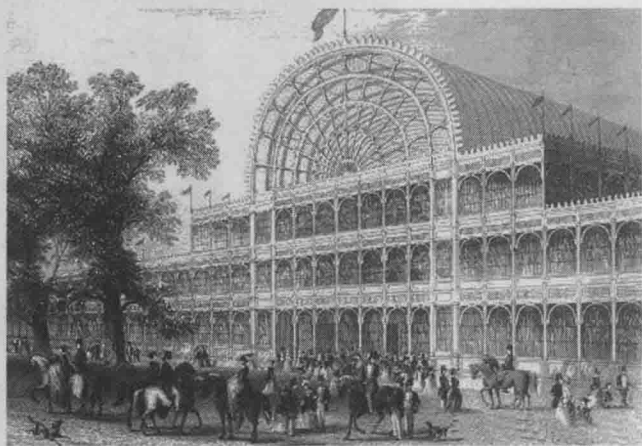


图1.2-5 人类第一座现代建筑——水晶宫是装配式建筑

1931年建造的纽约帝国大厦(图1.2-7)也是装配式建筑。这座高381m的钢结构石材幕墙大厦保持世界最高建筑的地位长达40年。帝国大厦102层,采用装配式工艺,全部工期仅用了410天,平均4天一层楼,这在当时是非常了不起的奇迹。

现代建筑从1850年问世到20世纪50年代长达100年的时间,装配式建筑主要是钢结构建筑。1950年以后,钢筋混凝土装配式建筑开始成为建筑舞台上的重要角色。



图1.2-6 纽约自由女神像是装配式建造物



图1.2-7 帝国大厦