

21世纪高等学校土木工程专业规划教材

高层建筑结构设计

(精编本)

周 云 主编



武汉理工大学出版社
Wuhan University of Technology Press

21 世纪高等学校土木工程专业规划教材

高层建筑结构设计

主 编 周 云

武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

【内容提要】

本书根据土木工程本科教学要求,结合《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)、《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—98)等国家规范和规程编写。

本书共 11 章,主要包括:高层建筑结构概述,高层建筑结构的体系与布置、概念设计,结构的荷载与作用、结构的分析方法与简化计算、结构的设计原则,高层钢筋混凝土结构的设计,高层建筑钢结构设计,高层钢-混凝土组合结构设计,高层建筑基础设计,高层建筑结构隔震与耗能减震结构设计等。

本书可作为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。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构设计/周云主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2006.9

ISBN 7-5629-2452-X

I. 高…

II. 周…

III. 高层建筑-结构设计-高等学校-教材

IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 099255 号

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路 122 号 邮编:430070

<http://www.techbook.com.cn>

印刷者:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

经销者:各地新华书店

开 本:850×1168 1/16

印 张:23.25

字 数:641 千字

版 次:2006 年 9 月第 1 版

印 次:2006 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000 册

定 价:30.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请向出版社发行部调换。

21 世纪土木工程专业规划教材 编审委员会

主 任 石永久 郑航太 王汝恒 雷绍锋

副主任 战高峰 杨德健 何渐渐 周 东 周 云 孙 凌

刘永坚 冯仲仁 岳建平 胡长明 柳炳康 张敏江

刘 平 王 来 冯为民 王俊佳 王泽云 张科强

委 员 (按姓氏笔画顺序排列)

马芹永 王汝恒 王成刚 王 来 王月明 王 宁

王志伟 王俊佳 王泽云 王文仲 石永久 田道全

冯为民 冯仲仁 刘声扬 刘永坚 刘 平 刘瑾瑜

孙 凌 孙靖立 沈小璞 何渐渐 李 珠 李京玲

李玉顺 李文渊 李世禹 宋少民 苏有文 张敏江

张科强 张长友 陈伟清 陈国平 汪 汇 周 东

周 云 杨德健 林德忠 房树田 岳建平 娄康乐

姚 勇 胡长明 柳炳康 赵 平 郑航太 战高峰

黄林青 舒秋华 崔清洋 熊丹安

总责任编辑 徐 扬

秘 书 长 蔡德民

前言

“高层建筑结构设计”课程是土木工程专业建筑工程方向的一门十分重要的专业课,课程具有明确的专业技术规范背景,内容涉及范围广,规范规定和构造较多,其思想性、理论性、实践性、专业性均很强。为了实现全面发展学生知识、能力和素质,加强工程综合教育与应用训练,及时把最新科技成果反映到教学中来的课程改革指导思想,在总结多年的研究生、本科生“高层建筑结构设计”教学实践经验的基础上,对研究生、本科生教学内容和深度以及两者的衔接进行了深入的思考,针对土木工程专业本科教学需要编写了该教材。

本书按“以学生为中心、以教师为主导、强化基础、拓宽知识、注重概念、实用与创新并重”的思想进行编写,主要特色如下:

(1) 教材内容体系完整。本教材除了传统的高层钢筋混凝土结构设计的内容外,增加了高层建筑钢结构设计、高层钢-混凝土组合结构设计、高层建筑结构基础设计和高层建筑结构减震控制设计等内容,并将各种结构设计的基本原则和共性要求集中讲述。

(2) 突出概念设计,强化基本理论。内容既有总体概念、设计要求的阐述,又有基础理论和方法的严谨推证;既有计算实例,又有典型的工程介绍。教材编写注重概念设计,注重从总体上把握高层建筑结构的设计理论、技术和方法;注重工程实例和工程实践相联系。

(3) 教材内容的历史性与现代性相协调。本教材内容既反映了高层建筑结构发展、理论、设计的历史,又反映了高层建筑结构研究与应用的新进展,将新的、典型的高层建筑结构的新体系、新技术等内容反映到教材中。

(4) 为适应启发式教学模式和培养学生主动思考、积极创新的能力,每章后面增加了思考题或习题的内容。

本书由广州大学周云教授制订大纲和统稿。全书共11章,第1章、第2章由广西大学蓝文武副教授撰写;第3章、第11章由广州大学周云教授撰写;第4章、第6章由广州大学邓雪松副教授撰写;第5章由广州大学吴轶副教授、邓雪松副教授、吴珊瑚副教授和陈麟副教授撰写;第7章由广州大学吴轶副教授、邓雪松副教授、吴珊瑚副教授和广州市民用建筑科研设计院张兴富副总工撰写;第8章由广州大学陈麟副教授撰写;第9章由广州市民用建筑科研设计院蒋友良工程师撰写;第10章由广州市民用建筑科研设计院张兴富副总工撰写。

广州大学邓雪松、吴珊瑚、陈麟、阴毅、张春梅、任达等老师分别审阅了本书各章节,研究生汪大洋、钱洪涛、唐玉果、褚洪民等校核了书中的例题,并做了大量文字处理工作,在此表示衷心的感谢。本书出版得到广州大学教材出版基金资助和武汉理工大学出版社的大力支持,在此一并致谢!

由于水平有限,书中难免有缺点和错误,希望读者批评指正。

周 云

2006年5月于广州大学城

目 录

1 高层建筑结构概述	(1)
1.1 高层建筑及其特点	(1)
1.1.1 高层建筑的起点	(1)
1.1.2 高层建筑的特点	(1)
1.2 高层建筑的发展与展望	(2)
1.2.1 高层建筑的发展概况	(2)
1.2.2 高层建筑结构的发展趋势	(6)
思考题	(8)
2 高层建筑结构的体系与布置	(9)
2.1 高层建筑结构的体系	(9)
2.1.1 框架结构体系	(9)
2.1.2 剪力墙结构体系	(11)
2.1.3 框架-剪力墙或框架-筒体结构体系及框架-支撑(或剪力墙板) 结构	(12)
2.1.4 筒体结构体系	(14)
2.1.5 巨型结构体系	(15)
2.2 高层建筑结构的布置	(17)
2.2.1 结构的总体布置	(17)
2.2.2 变形缝的设置	(19)
2.2.3 框架结构体系的结构布置	(22)
2.2.4 剪力墙结构体系的结构布置	(24)
2.2.5 框架-剪力墙结构体系、钢框架-核心筒结构的结构布置 ..	(25)
2.2.6 筒体结构体系的结构布置	(29)
2.2.7 巨型结构体系的结构布置	(32)
2.3 楼盖结构形式及其适用性	(33)
2.3.1 楼盖结构形式	(33)
2.3.2 楼盖结构体系的选用原则	(35)
思考题	(35)
3 高层建筑结构的概念设计	(37)
3.1 简单、规则、均匀原则	(37)
3.1.1 平面设计	(37)
3.1.2 立面设计	(39)
3.2 整体性原则	(40)
3.2.1 结构连续性	(40)
3.2.2 构件连接可靠性	(41)

3.2.3	基础设计	(41)
3.3	刚柔协调原则	(43)
3.3.1	刚柔相济	(44)
3.3.2	延性设计	(44)
3.4	多道设防原则	(45)
3.5	轻质高强原则	(46)
3.5.1	结构材料	(47)
3.5.2	结构自重	(47)
3.6	分合原则	(48)
3.6.1	抗震缝设计	(48)
3.6.2	筒体平面布置	(49)
3.7	优先原则	(51)
	思考题	(52)
4	高层建筑结构的荷载与作用	(53)
4.1	竖向荷载	(53)
4.2	风荷载	(54)
4.2.1	单位面积上的风荷载标准值	(54)
4.2.2	风荷载	(59)
4.3	地震作用	(62)
4.3.1	地震反应与地震作用的概念	(62)
4.3.2	抗震设防准则	(62)
4.3.3	设计反应谱	(64)
4.3.4	水平地震作用计算	(65)
4.3.5	竖向地震作用计算	(69)
4.3.6	结构基本自振周期的近似计算	(70)
4.4	非荷载作用	(72)
	思考题	(73)
	习题	(73)
5	高层建筑结构的分析方法与简化计算	(74)
5.1	高层建筑结构计算的基本假定和分析方法概述	(74)
5.1.1	基本假定	(74)
5.1.2	分析方法	(75)
5.2	框架结构的简化计算	(78)
5.2.1	框架结构的计算简图	(78)
5.2.2	框架结构在竖向荷载作用下内力计算的近似方法——分层法	(79)
5.2.3	框架结构在水平荷载作用下内力计算的近似方法——反弯点法和 D 值法	(85)
5.2.4	框架结构在水平荷载作用下侧移的近似计算	(99)
5.3	剪力墙结构的简化计算	(105)
5.3.1	剪力墙结构的计算简图及计算方法	(105)
5.3.2	剪力墙在竖向荷载作用下的内力计算	(107)

5.3.3	剪力墙在水平荷载作用下的剪力分配	(107)
5.3.4	剪力墙的分类及剪力墙在水平荷载作用下的受力特点	(107)
5.3.5	整体墙的计算	(112)
5.3.6	小开口整体墙的计算	(114)
5.3.7	双肢墙的计算	(117)
5.3.8	多肢墙的计算	(130)
5.3.9	壁式框架在水平荷载作用下的近似计算	(140)
5.4	框架-剪力墙的简化计算	(146)
5.4.1	协同工作原理	(146)
5.4.2	基本假定与计算简图	(146)
5.4.3	铰结体系协同工作计算	(148)
5.4.4	刚结体系协同工作计算	(156)
5.4.5	框架-剪力墙结构受力与位移特征	(160)
5.5	框架-支撑结构的简化计算	(168)
5.5.1	竖向荷载作用下的简化计算	(168)
5.5.2	水平荷载作用下的简化计算	(168)
5.5.3	附加效应的简化计算	(170)
5.6	筒体结构的简化计算	(170)
5.6.1	框筒结构的简化计算方法	(170)
5.6.2	框架-筒体结构简化计算	(173)
5.6.3	筒中筒结构粗略计算	(174)
5.7	建筑物受扭时抗侧力结构的近似计算	(175)
5.7.1	引起结构产生扭转的主要因素	(175)
5.7.2	《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)有关扭转的规定	(176)
5.7.3	考虑扭转作用的剪力修正方法	(176)
5.8	高层建筑结构的计算机分析软件介绍	(180)
5.8.1	TBSA 程序简介	(181)
5.8.2	PKPM 程序简介	(182)
5.8.3	广厦结构软件简介	(183)
5.8.4	ETABS 软件简介	(184)
5.8.5	SAP84 程序简介	(185)
5.8.6	SAP2000 程序简介	(185)
5.8.7	国内部分建筑结构计算软件比较	(186)
思考题		(188)
习题		(188)
6	高层建筑结构设计原则	(191)
6.1	承载力验算	(191)
6.2	位移控制	(192)
6.2.1	正常使用条件下层间位移控制	(192)
6.2.2	罕遇地震作用下的薄弱层弹塑性位移限制	(192)

6.3	舒适度验算	(194)
6.4	抗震等级	(194)
6.5	结构整体稳定	(196)
6.5.1	高层钢筋混凝土结构的整体稳定验算	(196)
6.5.2	高层钢结构结构的整体稳定验算	(197)
6.6	荷载效应组合	(198)
	思考题	(199)
7	高层钢筋混凝土结构设计	(200)
7.1	钢筋混凝土框架结构的设计与构造	(200)
7.1.1	荷载效应组合	(200)
7.1.2	非抗震框架结构的设计要点与构造	(203)
7.1.3	框架结构的抗震设计与构造	(206)
7.2	钢筋混凝土剪力墙设计	(232)
7.2.1	影响剪力墙延性的主要因素	(232)
7.2.2	剪力墙的延性设计	(233)
7.2.3	墙肢设计	(234)
7.2.4	连梁设计	(243)
7.3	框架-剪力墙结构的设计与构造	(248)
7.3.1	框架部分抗震等级、适用高度和高宽比的调整	(248)
7.3.2	框架-剪力墙结构中框架总剪力的调整	(249)
7.3.3	框架-剪力墙结构的主要构造要求	(249)
7.4	筒体结构的设计与构造	(250)
7.4.1	框架-核心筒中的框架梁和柱的设计及主要构造要求	(250)
7.4.2	框架-核心筒和筒中筒结构中墙体的设计和主要构造要求	(251)
7.4.3	框筒梁和框筒柱、内筒连梁的设计和主要构造要求	(251)
7.4.4	板的构造要求	(253)
7.5	复杂高层建筑结构设计简介	(254)
7.5.1	复杂高层建筑结构概念	(254)
7.5.2	复杂高层建筑结构抗震设计的特殊要求	(254)
7.5.3	复杂高层建筑结构设计一般准则	(254)
	思考题	(258)
	习题	(259)
8	高层建筑钢结构设计	(260)
8.1	钢框架结构设计与构造	(260)
8.1.1	框架梁的设计	(260)
8.1.2	框架柱的设计	(262)
8.1.3	钢框架结构抗震构造措施	(266)
8.2	中心支撑框架结构的设计与构造	(266)
8.2.1	中心支撑类型	(266)
8.2.2	中心支撑的设计	(267)

8.2.3 中心支撑钢框架抗震构造措施	(268)
8.3 偏心支撑框架结构的设计与构造	(269)
8.3.1 偏心支撑的基本性能	(269)
8.3.2 消能梁段的设计	(269)
8.3.3 偏心支撑斜杆的设计	(271)
8.3.4 偏心支撑钢框架抗震构造措施	(271)
8.4 节点设计与构造	(272)
8.4.1 节点连接的极限承载力	(272)
8.4.2 梁与柱的连接	(274)
8.4.3 柱与柱的连接	(280)
8.4.4 梁与梁的连接	(282)
8.4.5 支撑与框架的连接	(284)
思考题	(285)
9 高层钢-混凝土组合结构设计	(286)
9.1 组合结构概述	(286)
9.2 型钢混凝土结构设计 with 构造	(287)
9.2.1 型钢混凝土梁	(288)
9.2.2 型钢混凝土柱	(293)
9.2.3 型钢混凝土梁柱节点	(295)
9.2.4 构造要求	(297)
9.3 钢管混凝土柱结构设计 with 构造	(298)
9.3.1 钢管混凝土的力学性能	(298)
9.3.2 钢管混凝土柱的设计	(301)
9.3.3 钢管混凝土梁柱节点 with 构造	(303)
9.4 钢-混凝土组合梁板设计 with 构造	(304)
9.4.1 概述	(304)
9.4.2 截面分析	(305)
9.4.3 抗剪连接件	(308)
9.4.4 压型钢板-混凝土组合楼板	(309)
思考题	(311)
习题	(311)
10 高层建筑基础设计	(312)
10.1 高层建筑地基与基础的特点与设计原则	(312)
10.1.1 高层建筑地基与基础	(312)
10.1.2 高层建筑地基基础的特点	(312)
10.1.3 高层建筑地基基础设计基本原则	(312)
10.2 高层建筑基础类型	(313)
10.3 高层建筑基础的基本设计要求	(314)
10.3.1 基础形式的适宜性要求	(314)
10.3.2 基础埋深要求	(314)

10.3.3	地基(或桩基)承载能力及变形控制要求	(314)
10.3.4	基础或承台承载能力及裂缝与变形控制要求	(315)
10.4	交叉条形基础设计	(315)
10.4.1	平面布置	(315)
10.4.2	构造要求	(315)
10.4.3	节点荷载的分配	(316)
10.5	筏形基础设计	(317)
10.5.1	平面布置	(317)
10.5.2	构造要求	(317)
10.5.3	筏形基础设计计算	(319)
10.6	箱形基础设计	(324)
10.6.1	平面及竖向布置	(324)
10.6.2	构造要求	(325)
10.6.3	箱形基础地基承载力与变形验算	(325)
10.6.4	箱形基础内力计算	(326)
10.6.5	箱形基础截面设计	(328)
10.7	桩基础设计	(330)
10.7.1	桩基承载力的影响因素	(330)
10.7.2	桩的设计极限状态和破坏模式	(330)
10.7.3	桩基础的设计步骤	(331)
10.7.4	单桩竖向承载力	(331)
10.7.5	单桩承载力验算	(332)
10.7.6	桩承台设计	(333)
10.7.7	桩的构造要求	(333)
	思考题	(334)
11	高层建筑结构隔震与耗能减震结构设计	(335)
11.1	减震的概述与分类	(335)
11.2	隔震结构设计	(336)
11.2.1	结构隔震的原理与隔震结构的特点	(336)
11.2.2	隔震系统的组成与类型	(339)
11.2.3	隔震结构的设计要求	(341)
11.2.4	隔震结构的抗震分析	(341)
11.2.5	上部结构的抗震设计	(342)
11.2.6	隔震层的设计与验算	(342)
11.2.7	隔震层以下结构抗震设计要点	(344)
11.2.8	隔震结构的构造措施	(344)
11.3	耗能减震结构设计	(345)
11.3.1	结构耗能减震原理与耗能减震结构特点	(345)
11.3.2	耗能减震装置的类型与性能	(346)
11.3.3	耗能减震结构的设计要求	(353)

11.3.4 耗能减震结构体系的抗震计算分析.....	(354)
11.3.5 耗能减震结构的连接与构造.....	(354)
思考题.....	(355)
参考文献.....	(356)

1 高层建筑结构概述

1.1 高层建筑及其特点

1.1.1 高层建筑的起点

超过一定层数或高度的建筑称为高层建筑。高层建筑的起点高度或层数,各国规定不一,且多无绝对、严格的标准。它与各个国家和地区的地理环境、地震烈度、建筑材料、建筑技术、电梯的设置标准以及防火的特殊要求等很多因素有关。如在美国,24.6m或7层以上视为高层建筑;日本,则为31m或8层以上;英国,为等于或大于24.3m;在我国,一般8层以上的房屋就需要设置电梯,对10层以上的房屋就有提出特殊的防火要求的防火规范,因此我国的《民用建筑设计通则》(GB 50352—2005)、《高层民用建筑设计防火规范》(GB 50045—95)将10层及10层以上的住宅建筑与高度超过24m的公共建筑和综合性建筑称为高层建筑。从结构受力性态的角度来看,8层以上的房屋,风和地震等水平荷载或作用显得越来越重要,甚至起控制作用,因此《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)将10层及10层以上或高度超过28m的钢筋混凝土结构称为高层建筑结构。当建筑高度超过100m时,称为超高层建筑。

1.1.2 高层建筑的特点

建筑结构需同时承受水平和竖向的荷载或作用。低层建筑结构通常以抵抗竖向荷载为主,水平荷载(如风荷载)或作用(如地震作用)的影响较小,它所产生的内力和位移较小,一般可以忽略。因此在低层建筑结构中,竖向荷载往往就是设计的控制因素。但在高层建筑结构中,较大的建筑高度造成了完全不同的受力情况,水平荷载不仅是主要荷载的一种,跟竖向荷载共同起作用,而且往往还成为设计中的控制因素。

在高层建筑结构的整体受力分析时,高层建筑整体的计算简图是一根竖向悬臂梁,如图1.1所示,悬臂梁底端弯矩为:

$$M = \begin{cases} \frac{qH^2}{2} & (\text{均布荷载}) \\ \frac{qH^2}{3} & (\text{倒三角形荷载}) \end{cases}$$

即底端弯矩与建筑物的总高度 H 的平方成正比,因此,随着高度增加,悬臂弯矩以及跟它有关的结构的内力,就以平方关系增长,使水平荷

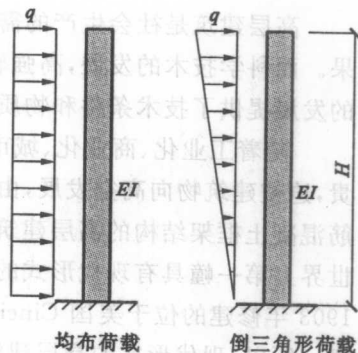


图 1.1 整体结构的计算简图

载引起的内力在总内力中所占的比重越来越大,以致成为强度设计中的主要控制因素。

侧向位移随建筑物总高度的增加而增加的速率则更大,顶点侧向位移与建筑物总高度 H 的四次方成正比,顶点侧向位移表示为:

$$\Delta = \begin{cases} \frac{qH^4}{8EI} & (\text{均布荷载}) \\ \frac{11qH^4}{120EI} & (\text{倒三角形荷载}) \end{cases}$$

式中 E ——结构材料的弹性模量;

I ——悬臂梁的横截面惯性矩;

EI ——结构的整体抗弯刚度。

因此,在水平荷载作用下,若高层建筑结构的抵抗侧向变形能力或侧向刚度不足,将会产生过大的侧向变形,不仅使人产生不舒服的感觉,而且会使结构在竖向荷载作用下产生附加内力(称为 $P-\Delta$ 效应),会使填充墙、建筑装修和电梯轨道等服务设施出现裂缝、变形,甚至会导致结构性的损伤或裂缝,从而危及结构的正常使用和耐久性。因此设计高层建筑结构时,不仅要求结构有足够的强度,而且要求结构有合理的刚度,使水平荷载所产生的侧向变形限制在规定的范围内。同时,有抗震设防要求的高层建筑还应具有良好的抗震性能,使结构在可能的强震作用下当构件进入屈服阶段后,仍具有良好的塑性变形能力,即具有良好的延性性能。

除了上述的结构受力特点之外,高层建筑还具有建筑功用上的特点。人们常说建筑是凝固的音乐,优美的高层建筑犹如艺术品,成为城市的一道道绚丽景观;建筑同时是时代跳动的脉搏,高层建筑占地面积小,符合了地价昂贵时代的需求,它可以节约建设用地或获得更多的空闲地面,以作为绿化等环境用地,并因向高空方向发展而缩短了城市道路和各种管线(如给排水管线等)的长度,减少了基础设施的投资。当然,大量高层建筑的建设,也会给城市带来不利的影响,如人口会密集化而造成交通拥挤问题;城市局部热场发生不利的变化以及地质的沉陷、消防的复杂化等问题。

综合高层建筑的上述受力特点可知,与低层结构不同,高层建筑结构在强度、刚度和延性三方面要满足更多的设计要求。抗侧力结构的设计成为高层建筑设计的关键。

1.2 高层建筑的发展与展望

1.2.1 高层建筑的发展概况

高层建筑是社会生产的需要和人类生活需求的产物,是现代工业化、商业化和城市化的必然结果。而科学技术的发展,高强轻质材料的出现以及机械化、电气化在建筑中的实现等,为高层建筑的发展提供了技术条件和物质基础。

随着工业化、商业化、城市化的进程,城市人口剧增,造成城市生产和生活用房紧张,地价昂贵,迫使建筑物向高空发展,由多层发展为高层。19世纪末期,开始出现了现代形式的钢框架和钢筋混凝土框架结构的高层建筑。1889年修建的 Second Rand McNally 9层大楼(美国,芝加哥),是世界上第一幢具有现代形式的钢框架结构高层建筑。而最早的钢筋混凝土框架结构高层建筑,为1903年修建的位于美国 Cincinnati 的 Ingalls Building(16层,如图1.2)和法国巴黎 Franklin 公寓。所以,现代形式的高层建筑,只有117年的历史。在高层建筑发展初期,钢框架结构应用相当广泛,而钢筋混凝土框架结构则较少。当在钢框架结构上加设了钢支撑或竖向桁架后,使结构的侧

向刚度得以提高,可使建筑物高度增加,推动了高层建筑的发展。1905年,在美国纽约建造了高达50层的Metropolitan高楼。同样在美国纽约,1931年建造了102层、高381m的帝国大厦。该年代,高层建筑虽然有了较大的发展,但毕竟受到建筑材料性能和设计理论的限制,结构自重较大,材料用量较多,且结构形式仅限于框架,建筑地点亦局限于非地震区。

到了20世纪50年代以后,由于轻质高强材料研制成功,抗风、抗震结构体系的发展,新的设计计算理论的创立,电子计算机在设计中的应用,以及新的施工技术和机械不断涌现,为大规模地、较经济地建造高层建筑提供了充分的条件,使高层建筑得到迅速发展。在钢结构方面,得益于20世纪60年代提出的框筒结构体系以及由此衍生形成的筒中筒、筒束和斜撑筒等结构体系。1973年,在美国纽约建成了世界贸易中心的双塔(于2001年的“9·11”事件中被毁),两幢大楼均为110层,高度分别为417m和415m,该建筑创新性地首次采用粘弹性阻尼器,用于减小结构的风振反应。1974年,在芝加哥建成了110层、高为443m的西尔斯大楼(Sears Tower),按高度目前仍排在世界已建成的最高建筑的前列。日本地处地震多发区域,它的建筑基准法本来对建筑物的高度有严格的限制,但抗震设计新技术的迅速发展,使其在1963年废除了建筑高度不得超过31m的严格限制,此后高层建筑在日本获得良好的发展空间,以东京为开端,日本各大城市的高耸入云的建筑正在使天空的轮廓发生巨变,迎来了日本人所谓的“超高层建筑时代”,至今高度超过200m的钢结构建筑已有20幢左右。2003年,在香港建成88层、420m高的香港国际金融中心大厦(图1.3),高度排在世界上的第5位。同年,在台北市建成了目前世界上最高建筑——台北101(图1.4),共101层,高508m,拿下了“世界高楼”四项指标中的三项世界之最,即“最高建筑物”(508m)、“最高使用楼层”(438m)和“最高屋顶高度”(448m)。

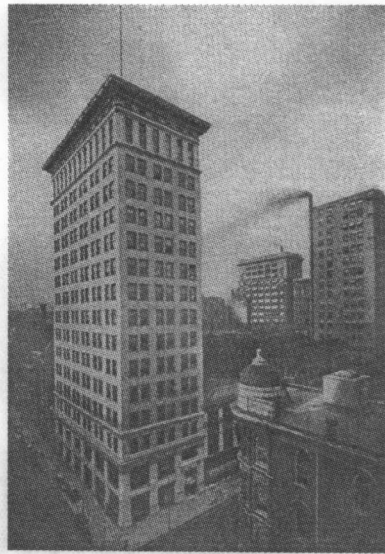


图 1.2 Ingalls 大楼

在钢筋混凝土结构方面,其结构体系的发展历程也类似于钢结构的结构体系,由最初的框架结构(1903年,Ingalls Building)逐渐发展出框架-剪力墙结构或框架-筒体结构、剪力墙结构、筒体结构和巨型结构等结构体系,使得混凝土结构的建造高度越来越高。目前,总楼层数最多的钢筋混凝土建筑是1995年建成的朝鲜平壤市的柳京大厦,105层,高300m。世界上高度最高的钢筋混凝土建筑是1992年建成的香港中环大厦,78层,高368m。

钢结构具有强度高、自重轻、抗震性能好等优点,钢结构的构件可在工厂加工和制作,施工速度快,工期短。钢是建造高层建筑结构比较理想的材料,但是全钢结构用钢量大,造价高,耐火性能差,需用昂贵的防火涂料。而钢筋混凝土结构具有节省钢材、造价低、材料来源丰富、可模性好等优点,且承载力也不低,经过合理设计也可获得较好的抗震性能。因此,只有在发达国家,大多数的高层建筑才采用钢结构形式,而在发展中国家,绝大部分的高层建筑采用钢筋混凝土材料建造,且由于高性能混凝土的发展和施工技术的进步,钢筋混凝土结构仍是今后高层建筑的主要结构形式。特别是近年来,由于钢筋混凝土结构的优点,发达国家采用钢筋混凝土材料建造的高层建筑的数量也在日益增多。

当然,钢筋混凝土结构的构件断面尺寸大,减少了建筑使用面积;自重大,致使基础造价增高,抗震性能也不如钢结构。因此为充分发挥钢材和混凝土这两种材料的特点,更为合理的结构形式

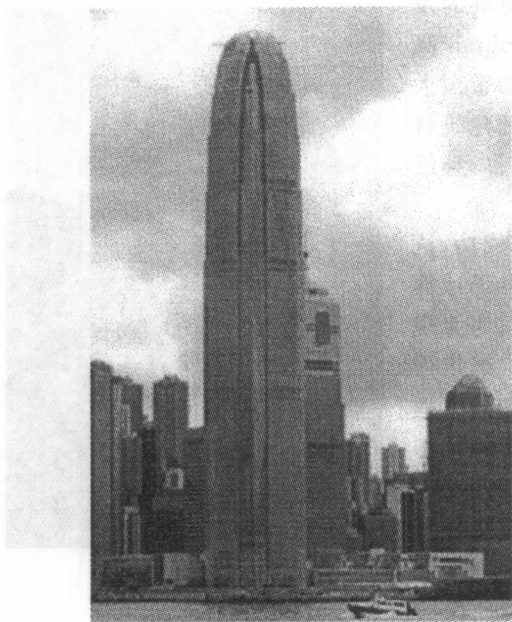


图 1.3 香港国际金融中心大厦

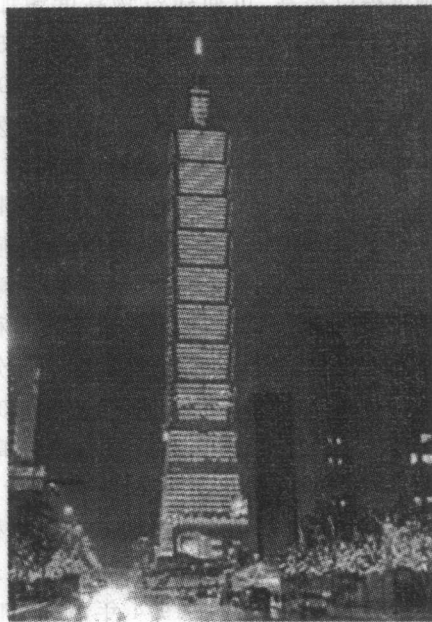


图 1.4 台北 101

是同时采用钢和钢筋混凝土材料的混合结构或组合结构。该结构形式经合理设计,可取得经济合理、技术性能优良的效果,近年来已成为研究的热点和发展的方向。混合一般有以下两种形式:一为同一构件由该两种材料组成并共同工作,通常称为组合结构或构件,例如钢梁和钢筋混凝土楼板共同工作组成的组合梁,劲性钢筋混凝土构件(钢结构构件外包钢筋混凝土加强)以及钢管混凝土等;二为在高层建筑的同一结构单元内,同一楼层或不同楼层混合采用钢和钢筋混凝土两种结构,作为主体结构或部分抗侧力结构采用钢结构,另一部分采用钢筋混凝土结构,共同承受作用于结构单元的竖向和侧向荷载,例如由钢筋混凝土内筒和钢外框筒所形成的筒中筒结构。1955年,在华沙建成了第一幢混合结构高层建筑——I Palac Kultury Nauki 大楼,42层,高241m,目前仍是欧洲的最高建筑。1989年建成的香港中国银行大楼,则是成功采用混合结构的杰出例子。该大楼72层,总高度368m,主体结构为巨型的空间钢桁架结构和大截面的组合柱,设计者将汇集在角柱处的钢桁架结构的弦杆包藏在巨型的钢筋混凝土组合柱内,这样避免了空间钢桁架的复杂节点构造,节省大量的钢材和制造工作量。1996年在马来西亚吉隆坡建成的 Petronas Tower(88层,高450m,目前列于最高建筑中的第二位),则是由钢筋混凝土、钢构件和组合构件共同结合而成的混合结构,以满足结构侧向刚度的要求。目前被称为“中华第一楼”的上海金茂大厦(88层,高420m,图1.5),用钢筋混凝土作为核心筒,外框架则用钢骨混凝土柱和钢柱、钢梁组合而成的混合结构。竣工于1993年的日本里程碑大厦(70层,高296m,图1.6)是采用钢筋混凝土和钢框架的混合结构,且在282m高程处设置有两套调谐主动减震器,两套均各配备一套调谐弹簧系统和一套控制系统,用于控制和削减结构的地震反应。该建筑是日本目前最高的高层建筑,是日本开始实践并使用主动或混合控制技术的典型,代表了现代控制技术、机械和电子技术在建筑结构中应用的新方向。

其他的很多国家和地区,20世纪80年代后,高层建筑都有了较大发展,有些国家还出现了高层建筑群,如法国巴黎的 Defece 区就修建了几十幢30~50层的大楼,前南斯拉夫、比利时、荷兰、前苏联等国,高层建筑的比重在近几年都提高了若干倍。墨西哥、委内瑞拉、加拿大、澳大利亚、南

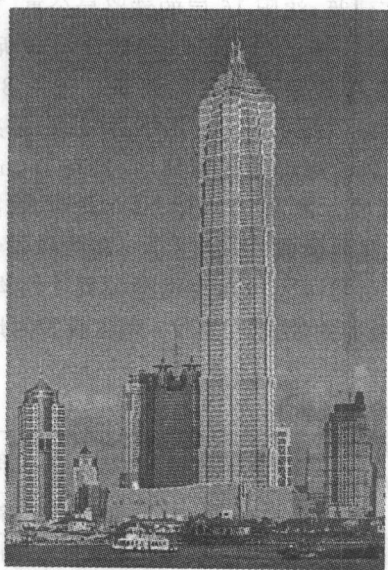


图 1.5 上海金茂大厦

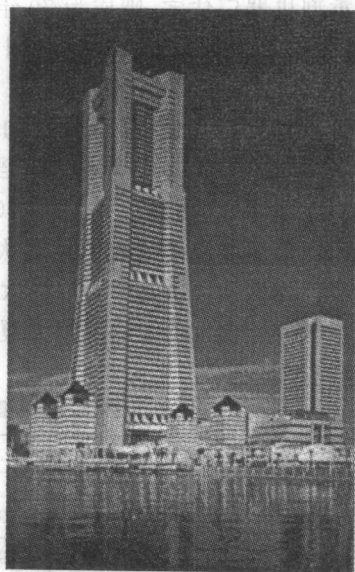


图 1.6 日本里程碑大厦

非、泰国、阿联酋、韩国、新加坡等国家,也兴建了许多高层建筑。表 1.1 所列的为全世界前 10 幢已建的最高建筑物。可以看出,进入 20 世纪 90 年代后,亚洲新兴国家的经济实力逐渐增强,超高层建筑的排行榜也从原来的美洲独霸转移到亚美争锋。

表 1.1 全世界前 10 幢已建的最高建筑物

序号	建筑物	城市	竣工年份	层数	高度(m)	材料	用途
1	台北 101	台北	2004	101	508	钢	综合
2	石油大厦	吉隆坡	1998	88	452	混合	办公
3	西尔斯塔楼	芝加哥	1974	110	443	钢	办公
4	金茂大厦	上海	1998	88	420	混合	综合
5	国际金融中心	香港	2003	90	415	钢	办公
6	帝国大厦	纽约	1931	102	381	钢	办公
7	中环大厦	香港	1992	70	367	混凝土	办公
8	中国银行大厦	香港	1990	77	319	混合	办公
9	联合酋长国办公楼	迪拜	2000	56	355	混合	办公
10	东帝士大厦	高雄	1997	85	348	钢	综合

我国的现代高层建筑起步较晚,新中国成立前,仅在几个大城市有为数很少的高层建筑。新中国成立以后,在 20 世纪 50~60 年代,陆续建造了一些。如 1958 至 1959 年在北京建成了 13 层的民族文化宫、12 层的民族饭店和 15 层的民航大楼。1966 年,广州建成 18 层的“新爱群”大厦。1968 年,高 88m、27 层的广州宾馆落成,它是纯剪力墙结构,成为 60 年代我国最高的房屋。自 20 世纪 70 年代,我国高层建筑建设加快了步伐,开始大批建造。1973 年,北京兴建了两幢 16 层外交公寓,广州建成了流花宾馆和东方宾馆新楼,上海建造了 12 层的延安饭店,南宁建成了 12 层的邕江饭店;1974 年,北京建造了 18 层的北京饭店东楼,并用大模板施工建造 14~16 层外交公寓区,武汉市建成了 13 层、高 54m 的武钢外国技术人员招待所,是我国最高的砖混内框架结构;而沈阳