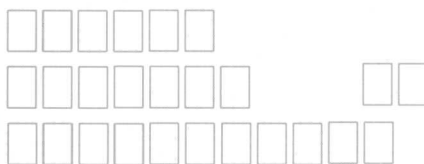


(精编本)

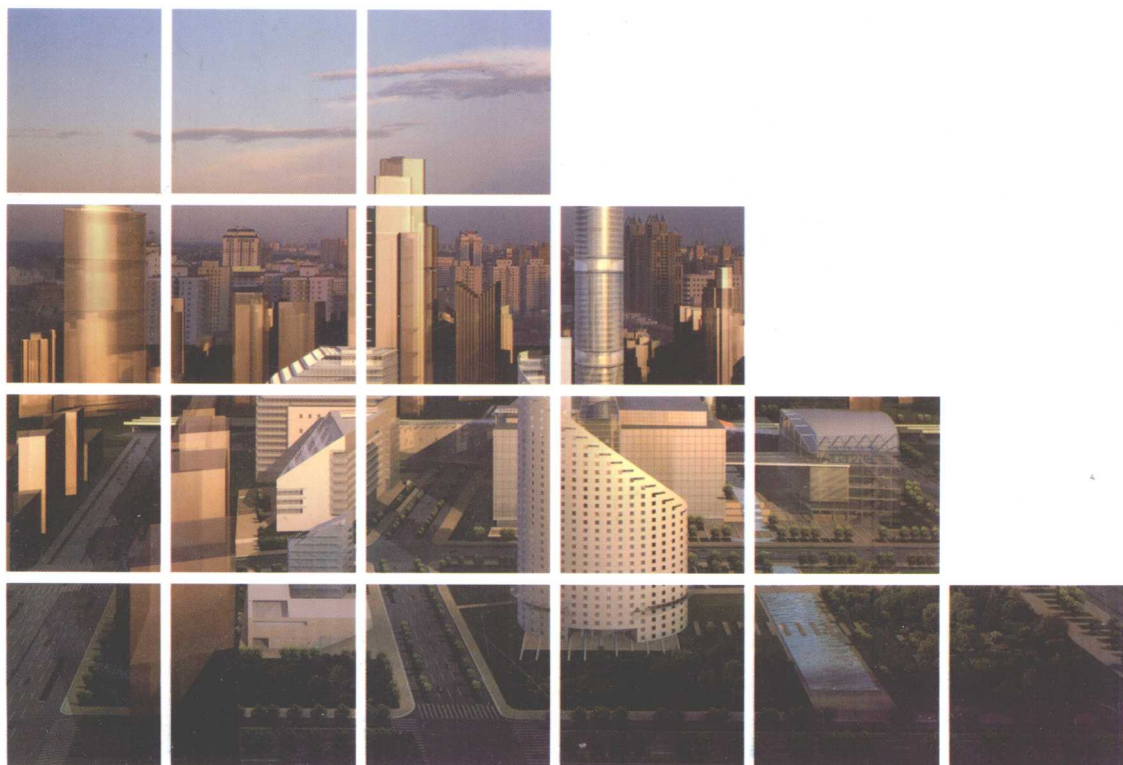


21 SHIJI GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI
21世纪高等学校土木工程专业规划教材

高层建筑结构设计

(第2版)

周云主编



013032639

TU973-43

05-2

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)

(第 2 版)

主 编 周 云



武汉理工大学出版社

· 武 汉 ·

TU973-43
05-2



北航

C1640165

【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—2010)、《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—1998)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. —2 版. —武汉:

武汉理工大学出版社, 2012. 9

ISBN 978-7-5629-3824-8

I. 高… II. ①周… III. ①高层建筑-结构设计 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 202087 号

项目负责人:徐 扬

责任编辑:彭佳佳

责任校对:段 智

装帧设计:董君承

出版发行:武汉理工大学出版社

社 址:武汉市洪山区珞狮路 122 号

邮 编:430070

网 址:<http://www.techbook.com.cn>

经 销:各地新华书店

印 刷:湖北睿智印务有限公司

开 本:850×1168 1/16

印 张:24.25

字 数:680 千字

版 次:2012 年 9 月第 2 版

印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~3000 册

定 价:38.00 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。

本社购书热线电话:027-87785758 87515778 87290908 87533148(传真)

· 版权所有 盗版必究 ·

21 世纪土木工程专业规划教材

编审委员会

(第 2 版)

主 任 石永久 周 云 王汝恒

副 主 任 战高峰 杨德健 何浙浙 周 东 孙 凌 刘永坚

岳建平 柳炳康 刘 平 王 来 冯为民 王泽云

宋少民

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 王志伟

王泽云 石永久 田道全 冯为民 刘声扬 刘永坚

刘 平 刘瑾瑜 孙 凌 孙靖立 沈小璞 何浙浙

李 珠 李京玲 李玉顺 李文渊 李世禹 宋少民

宋高嵩 苏有文 张大长 张长友 陈伟清 陈国平

陈倩华 周 东 周 云 杨德健 林德忠 岳建平

姚 勇 柳炳康 赵 平 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

第 2 版前言

本教材第 1 版自 2006 年 9 月出版以来,受到广大教师和学生的欢迎。第 2 版主要依据《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)和《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等新规范和新规程进行了修订,但依然保持了原作编写的思想、特点和风格。

本书由广州大学周云教授制定大纲和统稿。全书共 11 章,第 1 章、第 2 章由广西大学蓝文武副教授和广州大学汪达洋博士撰写,第 3 章由广州大学周云教授和广州大学汪达洋博士撰写,第 4 章由华北水利水电学院王廷彦讲师撰写,第 5 章由广州大学吴轶教授、邓雪松副教授、吴珊瑚副教授和陈麟副教授撰写,第 6 章由华北水利水电学院王廷彦讲师撰写,第 7 章由广州大学吴轶教授、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,第 11 章由广州大学周云教授撰写。

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

2012 年 4 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	(3)
1.2.1 高层建筑的发展概况	(3)
1.2.2 高层建筑结构的发展趋势	(7)
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	(10)
2.1.2 剪力墙结构体系	(12)
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	(14)
2.1.4 筒体结构体系	(15)
2.1.5 巨型结构体系	(18)
2.2 高层建筑结构的布置	(20)
2.2.1 框架结构体系的结构布置	(20)
2.2.2 剪力墙结构体系的结构布置	(22)
2.2.3 框架-剪力墙结构体系、钢框架-核心筒结构体系的结构布置	(23)
2.2.4 筒体结构体系的结构布置	(28)
2.2.5 巨型结构体系的结构布置	(29)
2.3 楼盖结构形式及其适用性	(31)
2.3.1 楼盖结构形式	(31)
2.3.2 楼盖结构体系的选用原则	(34)
思考题	(34)
3 高层建筑结构的概念设计	(35)
3.1 简单、规则、均匀原则	(35)
3.1.1 平面设计	(35)
3.1.2 立面设计	(37)
3.2 整体性原则	(39)
3.2.1 结构连续性	(39)
3.2.2 构件连接可靠性	(40)
3.2.3 基础设计	(40)
3.3 刚柔协调原则	(42)

3.3.1 刚柔相济	(42)
3.3.2 延性设计	(43)
3.4 多道设防原则	(43)
3.5 轻质高强原则	(45)
3.5.1 结构材料	(45)
3.5.2 结构自重	(46)
3.6 分合原则	(47)
3.6.1 变形缝设计	(47)
3.6.2 筒体平面布置	(50)
3.7 优先原则	(52)
思考题	(52)
4 高层建筑结构的荷载与作用	(54)
4.1 竖向荷载	(54)
4.2 风荷载	(55)
4.2.1 风荷载标准值	(55)
4.2.2 高层房屋风荷载的计算	(61)
4.3 地震作用	(65)
4.3.1 地震反应与地震作用的概念	(65)
4.3.2 抗震设防准则	(66)
4.3.3 设计反应谱	(69)
4.3.4 水平地震作用的计算方法	(71)
4.3.5 竖向地震作用的计算方法	(74)
4.3.6 结构基本自振周期的近似计算	(75)
4.4 非荷载作用	(78)
思考题	(78)
习题	(79)
5 高层建筑结构的分析方法与简化计算	(80)
5.1 高层建筑结构计算的基本假定和分析方法概述	(80)
5.1.1 基本假定	(80)
5.1.2 分析方法	(81)
5.2 框架结构的简化计算	(84)
5.2.1 框架结构的计算简图	(84)
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	(85)
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	(91)
5.2.4 框架结构在水平荷载作用下侧移的近似计算	(105)
5.3 剪力墙结构的简化计算	(111)
5.3.1 剪力墙结构的计算简图及计算方法	(111)
5.3.2 剪力墙在竖向荷载作用下的内力计算	(113)
5.3.3 剪力墙在水平荷载作用下的剪力分配	(113)

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	(113)
5.3.5	整体墙的计算	(118)
5.3.6	小开口整体墙的计算	(120)
5.3.7	双肢墙的计算	(123)
5.3.8	多肢墙的计算	(137)
5.3.9	壁式框架在水平荷载作用下的近似计算	(148)
5.4	框架-剪力墙的简化计算	(152)
5.4.1	协同工作原理	(152)
5.4.2	基本假定与计算简图	(153)
5.4.3	铰接体系协同工作计算	(153)
5.4.4	刚接体系协同工作计算	(161)
5.4.5	框架-剪力墙结构受力与位移特征	(165)
5.5	框架-支撑结构的简化计算	(174)
5.5.1	竖向荷载作用下的简化计算	(174)
5.5.2	水平荷载作用下的简化计算	(174)
5.5.3	附加效应的简化计算	(176)
5.6	筒体结构的简化计算	(176)
5.6.1	框筒结构的简化计算方法	(176)
5.6.2	框架-筒体结构简化计算	(179)
5.6.3	筒中筒结构粗略计算	(180)
5.7	建筑物受扭时抗侧力结构的近似计算	(181)
5.7.1	引起结构产生扭转的主要因素	(181)
5.7.2	《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)有关扭转的规定	(182)
5.7.3	考虑扭转作用的剪力修正方法	(182)
5.8	高层建筑结构的计算机软件介绍	(186)
5.8.1	TBSA 程序简介	(187)
5.8.2	PKPM 程序简介	(188)
5.8.3	广厦结构软件简介	(189)
5.8.4	ETABS 软件简介	(190)
5.8.5	SAP84 程序简介	(191)
5.8.6	SAP2000 程序简介	(191)
5.8.7	国内部分建筑结构计算机软件比较	(192)
思考题		(194)
习题		(194)
6	高层建筑结构的设计原则	(197)
6.1	荷载效应组合	(197)
6.2	承载力验算	(200)
6.3	位移控制	(201)
6.3.1	正常使用条件下层间位移控制	(201)

6.3.2 罕遇地震作用下的薄弱层弹塑性位移限制	(201)
6.4 舒适度验算	(203)
6.5 抗震等级	(203)
6.6 结构抗震性能设计	(206)
6.7 抗连续倒塌设计基本要求	(208)
6.8 结构整体稳定	(209)
6.8.1 高层钢筋混凝土结构的整体稳定性验算	(209)
6.8.2 高层钢结构的整体稳定性验算	(210)
思考题	(211)
7 高层钢筋混凝土结构设计	(212)
7.1 钢筋混凝土框架结构的设计与构造	(212)
7.1.1 荷载效应组合	(212)
7.1.2 非抗震框架结构的设计要点与构造	(215)
7.1.3 框架结构的抗震设计与构造	(218)
7.2 钢筋混凝土剪力墙设计	(245)
7.2.1 影响剪力墙延性的主要因素	(245)
7.2.2 剪力墙的延性设计	(245)
7.2.3 墙肢设计	(247)
7.2.4 连梁设计	(256)
7.3 框架-剪力墙结构的设计与构造	(261)
7.3.1 框架-剪力墙结构相应的适用高度和构造措施的确定	(262)
7.3.2 框架-剪力墙结构中框架总剪力的调整	(262)
7.3.3 框架-剪力墙结构的主要构造要求	(263)
7.4 筒体结构的设计与构造	(264)
7.4.1 框架-核心筒中的框架梁和柱以及筒中筒中柱的设计及主要构造要求	(264)
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	(264)
7.4.3 框筒梁和内筒连梁的设计和主要构造要求	(265)
7.4.4 板的构造要求	(266)
7.5 复杂高层建筑设计简介	(266)
7.5.1 复杂高层建筑结构概念	(266)
7.5.2 复杂高层建筑结构抗震设计的特殊要求	(267)
7.5.3 复杂高层建筑设计一般准则	(267)
思考题	(271)
习题	(272)
8 高层建筑钢结构设计	(273)
8.1 钢框架结构设计与构造	(273)
8.1.1 框架梁的设计	(273)
8.1.2 框架柱的设计	(275)
8.1.3 钢框架结构抗震构造措施	(279)

8.2 中心支撑框架结构的设计与构造	(279)
8.2.1 中心支撑类型	(279)
8.2.2 中心支撑的设计	(280)
8.2.3 中心支撑钢框架抗震构造措施	(281)
8.3 偏心支撑框架结构的设计与构造	(282)
8.3.1 偏心支撑的基本性能	(282)
8.3.2 消能梁段的设计	(282)
8.3.3 偏心支撑斜杆的设计	(284)
8.3.4 偏心支撑钢框架抗震构造措施	(284)
8.4 节点设计与构造	(285)
8.4.1 节点连接的极限承载力	(285)
8.4.2 梁与柱的连接	(287)
8.4.3 柱与柱的连接	(293)
8.4.4 梁与梁的连接	(295)
8.4.5 支撑与框架的连接	(297)
思考题	(298)
9 高层钢-混凝土组合结构设计	(299)
9.1 组合结构概述	(299)
9.2 型钢混凝土结构设计	(300)
9.2.1 型钢混凝土梁	(301)
9.2.2 型钢混凝土柱	(306)
9.2.3 型钢混凝土梁柱节点	(308)
9.2.4 构造要求	(310)
9.3 钢管混凝土柱结构设计	(311)
9.3.1 钢管混凝土的力学性能	(311)
9.3.2 钢管混凝土柱的设计	(314)
9.3.3 钢管混凝土梁柱节点与构造	(316)
9.4 钢-混凝土组合梁板设计与构造	(317)
9.4.1 概述	(317)
9.4.2 截面分析	(318)
9.4.3 抗剪连接件	(321)
9.4.4 压型钢板-混凝土组合楼板	(322)
思考题	(324)
习题	(324)
10 高层建筑基础设计	(325)
10.1 高层建筑地基与基础的特点和设计原则	(325)
10.1.1 高层建筑地基与基础	(325)
10.1.2 高层建筑地基基础的特点	(325)
10.1.3 高层建筑地基基础设计基本原则	(325)

10.2 高层建筑基础类型	(326)
10.3 高层建筑基础的基本设计要求	(327)
10.3.1 基础形式的适宜性要求	(327)
10.3.2 基础埋深要求	(327)
10.3.3 地基(或桩基)承载能力及变形控制要求	(328)
10.3.4 基础或承台承载能力及裂缝与变形控制要求	(328)
10.4 交叉条形基础设计	(328)
10.4.1 平面布置	(328)
10.4.2 构造要求	(328)
10.4.3 节点荷载的分配	(329)
10.5 筏形基础设计	(330)
10.5.1 平面布置	(330)
10.5.2 构造要求	(330)
10.5.3 筏形基础设计计算	(332)
10.6 箱形基础设计	(337)
10.6.1 平面及竖向布置	(337)
10.6.2 构造要求	(338)
10.6.3 箱形基础地基承载力与变形验算	(338)
10.6.4 箱形基础内力计算	(339)
10.6.5 箱形基础截面设计	(341)
10.7 桩基础设计	(343)
10.7.1 桩基承载力的影响因素	(343)
10.7.2 桩的设计极限状态和破坏模式	(343)
10.7.3 桩基础的设计步骤	(344)
10.7.4 单桩竖向承载力	(344)
10.7.5 单桩承载力验算	(345)
10.7.6 桩承台设计	(346)
10.7.7 桩的构造要求	(346)
思考题	(347)
11 高层建筑结构隔震与耗能减震结构设计	(348)
11.1 减震的概述与分类	(348)
11.2 隔震结构设计	(349)
11.2.1 结构隔震的原理与隔震结构的特点	(349)
11.2.2 隔震系统的组成与类型	(352)
11.2.3 隔震结构的设计要求	(354)
11.2.4 隔震结构的抗震分析	(354)
11.2.5 上部结构的抗震设计	(355)
11.2.6 隔震层的设计与验算	(356)
11.2.7 隔震层以下结构及基础抗震设计要点	(358)

11.2.8 隔震结构的构造措施.....	(358)
11.3 耗能减震结构设计.....	(359)
11.3.1 结构耗能减震原理与耗能减震结构特点.....	(359)
11.3.2 耗能减震装置的类型与性能.....	(360)
11.3.3 耗能减震结构的设计要求.....	(367)
11.3.4 耗能减震结构体系的抗震计算分析.....	(368)
11.3.5 耗能减震结构的连接与构造.....	(369)
思考题.....	(370)
参 考 文 献.....	(371)

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因素有关。如在美国,高度超过 24.6 m 或楼层在 7 层以上的建筑视为高层建筑;日本,则为 31 m 或 8 层以上;英国,则为等于或大于 24.3 m;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—2005)将 10 层及 10 层以上的住宅建筑与高度超过 24 m 的公共建筑和综合性建筑划称为高层建筑。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—2010)将 10 层及 10 层以上或高度超过 28 m 的住宅建筑以及房屋高度大于 24 m 的其他高层民用建筑混凝土结构称为高层建筑。当建筑高度超过 100 m 时,称为超高层建筑。

1.1.2 高层建筑的特点

(1) 高层建筑的受力与位移特点

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:

$$M = \begin{cases} \frac{qH^2}{2} & (\text{均布荷载}) \\ \frac{qH^2}{3} & (\text{倒三角形荷载}) \end{cases} \quad (1.1)$$

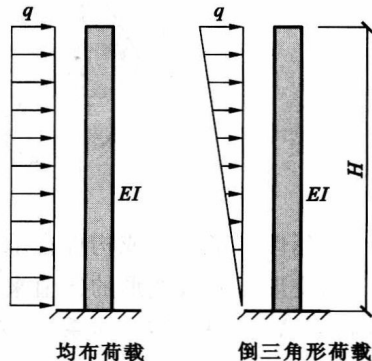


图 1.1 整体结构的计算简图

即底端弯矩与建筑物总高度 H 的平方成正比。因此,随着高度增加,底端弯矩以及跟它有关的结构的内力,就以平方关系增长,使水平荷载引起的内力在总内力中所占的比重越来越大,以致成为结构设计中的主要控制因素。

顶点侧向位移表示为:

$$\Delta = \begin{cases} \frac{qH^4}{8EI} & (\text{均布荷载}) \\ \frac{11qH^4}{120EI} & (\text{倒三角形荷载}) \end{cases} \quad (1.2)$$

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。

由公式(1.2)可知,侧向位移随建筑物总高度增加而增加的速率更大了,即顶点侧向位移与建筑物总高度 H 的四次方成正比。

因此,在水平荷载作用下,若高层建筑结构的抵抗侧向变形的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、建筑装饰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。

(2) 高层建筑的延性特点

建筑结构的抗震、抗风性能主要取决于结构所吸收的能量,由结构承载力与变形能力共同决定,即“结构承载力~变形”曲线所包围的面积(如图 1.2 所示)。当结构承载力较低而具有很大的变形能力(即延性)时,也可以吸收很多的能量(如图 1.2(b)所示),即使结构较早出现损伤,但仍具有一定的变形能力而不至破坏。因此,为保证高层建筑在强风、强震作用下的安全性,必须在满足结构强度要求的条件下,保证结构在进入塑性阶段后仍具有良好的延性。

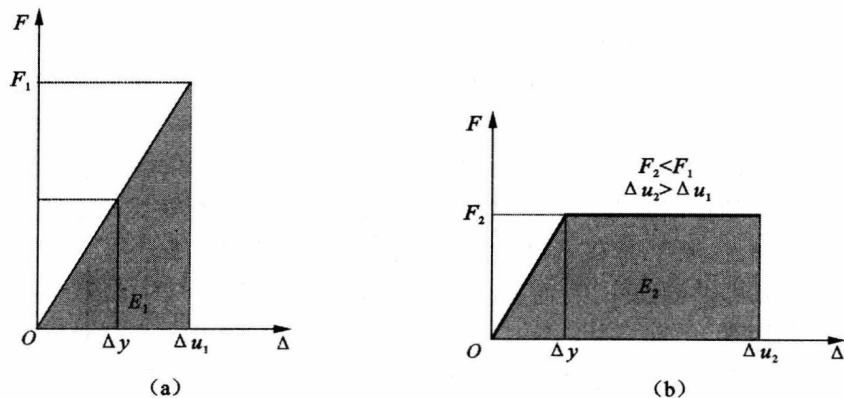


图 1.2 “承载力~变形”曲线

延性是指结构或构件在承载力没有明显降低情况下的塑性变形能力,一般用破坏或极限强度时的变形与屈服变形的比值来描述,即延性系数或延性比。高层建筑延性比的好坏受多种因素制约,如结构材料、结构体系、总体结构布置、构件设计、节点连接构造等。因此,对于高层建筑设计,应综合考虑这些因素来合理设计,从而使结构具有足够的强度、适宜的刚度和良好的延性。结构总

延性系数 μ 常用顶点位移延性比来表示:

$$\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y} \quad (1.3)$$

式中 Δu ——结构顶点极限位移;

Δy ——结构顶点屈服位移。

(3) 高层建筑的技术经济特点

① 发展高层建筑,能够有效减少地面建筑的密度,增加人们的密集程度,缩短交通联系路线,节约城市用地和市政建设方面的投资。

② 在建筑面积与建设场地面积比值相同的情况下,建造高层建筑能够提供更多的空闲地面,将这些空闲地面用作绿化和休息场地,有利于美化环境,改善城市环境质量。

③ 高层建筑的发展不仅仅限于高度的突破,而是它带动了整个建筑业的发展以及材料工艺、信息技术、设备制造工艺等其他行业的发展,具有良好的经济和社会效益。

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,高强轻质材料的广泛应用以及机械化、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。

19 世纪末期,开始出现了钢框架和钢筋混凝土框架结构的高层建筑。1884 年美国芝加哥建成世界上第一栋采用钢结构建造的高层建筑 Home Insurance Building(共 10 层,高 54.9 m)。世界上最早的钢筋混凝土框架结构高层建筑,是 1903 年在美国辛辛那提建造的 Ingalls Building(共 16 层,高 64 m)。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。当在钢框架结构中加设了钢支撑或竖向桁架后,结构侧向刚度提高,使建筑物高度不断增加,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 381 m 的帝国大厦。因此,20 世纪中期,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和机械技术不断涌现,为大规模建造高层建筑提供了充分的条件,高层建筑得到迅速发展。1974 年,美国芝加哥建成了 110 层、高 443 m 的西尔斯大楼(Sears Tower),按高度目前仍排在世界上已建成的高层建筑的前列。日本地处地震多发区域,其建筑基准法起初对建筑物的高度有严格的限制,但随着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 31 m 的严格限制,此后高层建筑在日本获得巨大的空间。以东京为开端,日本各大城市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 300 m 的钢结构建筑已有 20 幢左右。2011 年,在阿联酋建成 160 层、高 828 m 的迪拜塔(又称哈利法塔,图 1.3),高度排世界第 1 位。2003 年,在台北市建成了目前世界上的第 2 高建筑——台北 101 大厦(图 1.4),共 101 层,高 508 m。其他的很多国家和地区,高层建筑亦有了较大发展,部分国家还出现了高层建筑群,如法国巴黎的 Defece 区就修建了几

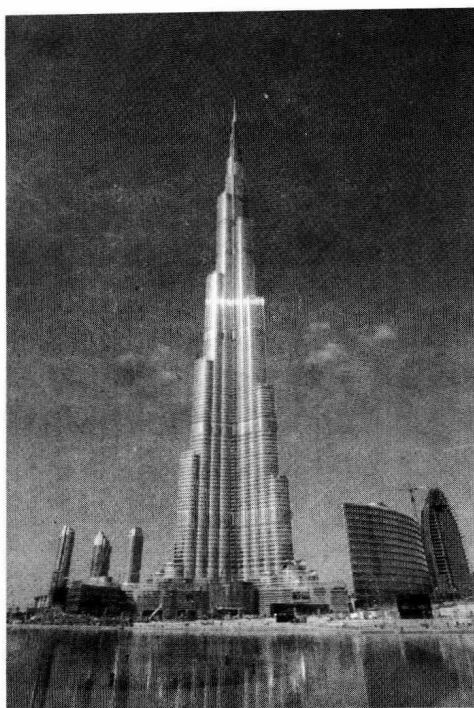


图 1.3 哈利法塔

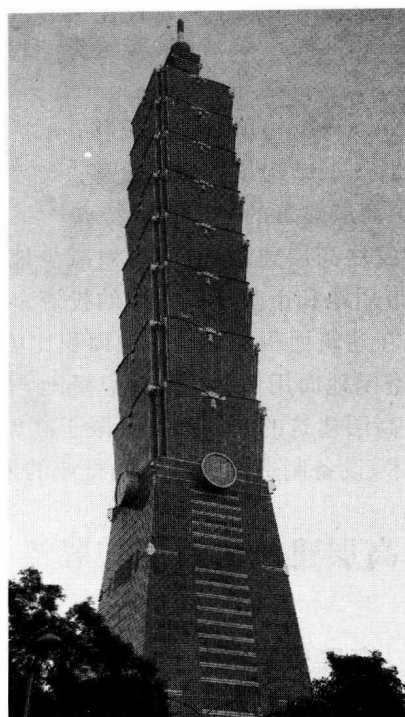


图 1.4 台北 101 大厦

十幢 30~50 层的大楼；南斯拉夫、比利时、荷兰等国，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 所列为全世界已建成的高度位列前 10 的建筑物。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 全世界已建成的高度位列前 10 的建筑物

序号	建筑物	城市	落成年份	层数	高度(m)	材料	用途
1	迪拜塔	阿联酋	2010	163	828	钢	综合
2	台北 101	中国台北	2004	101	508	钢	综合
3	环球金融中心	上海	2008	101	492	混合	综合
4	环球贸易广场	香港	2010	108	484	混合	综合
5	双子塔	吉隆坡	1997	88	451.9	钢	综合
6	紫峰大厦	南京	2009	88	450.89	钢	综合
7	西尔斯大厦	芝加哥	1973	110	442.3	混合	综合
8	京基金融中心	深圳	2011	100	441.8	混合	综合
9	国际金融中心	广州	2010	103	441.75	混合	综合
10	金茂大厦	上海	1998	88	420	混合	综合

现代高层结构常采用钢筋混凝土结构体系、钢结构体系和混合结构体系。在钢筋混凝土结构方面，由最初的框架结构(1903 年, Ingalls Building)逐渐发展到框架-剪力墙结构、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(共 105 层，高 300 m)。世界上高度最高的钢筋混凝土建筑是于 1992 年建成的香港的中环大厦(共 78 层，高 368 m)。在钢结

构方面,得益于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,使得高层钢结构体系取得了巨大发展。1931年,美国纽约建成当时世界上最高的钢结构建筑——高381 m的帝国大厦;1973年,纽约同样采用钢结构体系建成了世界贸易中心(于2001年的“9·11”事件中被毁),两幢大楼均为110层,高度分别为417 m和415 m。

然而,高层钢筋混凝土体系由于构件断面尺寸和自重重大,会导致建筑使用空间减小、造价增高,抗震性能也不如钢结构优越;而高层钢结构体系又存在用钢量大、造价高、防火性能不佳等问题。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。该结构体系经合理设计,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:一是同一构件由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;二是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材料,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,共42层,高241 m,目前仍是欧洲的最高建筑。1989年建成的香港中国银行大厦,则是成功采用混合结构的杰出代表。该大楼72层,总高度368 m,主体结构为巨型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,以避免空间钢桁架的复杂节点构造,节省了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(共88层,高451.9 m,目前高度列于第5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。目前高度列于第10位的上海金茂大厦(88层,高420 m,图1.5),用钢筋混凝土作为核心筒,外框架则是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年的横滨的里程碑大厦(共70层,高296 m,图1.6)是采用钢筋混凝土和钢框架的混合结构,且在282 m高处设置有两套调谐主

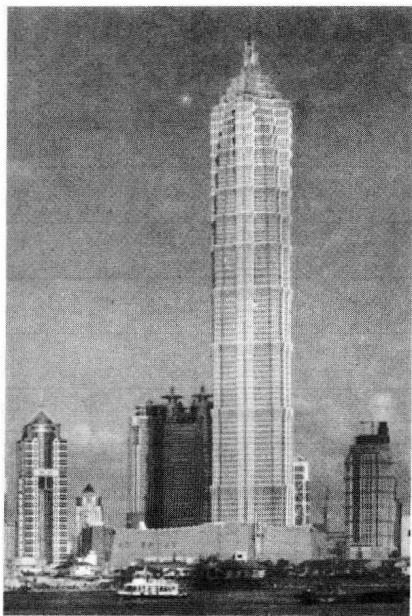


图 1.5 上海金茂大厦

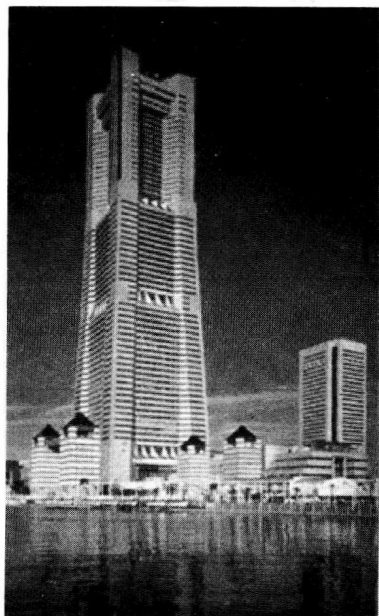


图 1.6 日本里程碑大厦