

清华大学土木工程系组编

土木工程新技术丛书

主 编 崔京浩

新编高层建筑结构

包世华 编著

2



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

清华大学土木工程系组编

土木工程新技术丛书

主 编 崔京浩

新编高层建筑结构

包世华 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”中的一本,是按照新规范和新规程,为适应教学和工程的需要编写而成的。全书共十一章,分上、下两篇。

上篇为基础内容篇。包括:高层建筑结构体系和布置;荷载和设计要求;框架结构的内力和位移计算;剪力墙结构的内力和位移计算;框架—剪力墙结构的内力和位移计算;框架设计和构造;剪力墙设计和构造等七章,是为工程技术人员和学生学习和了解高层建筑混凝土结构的基础内容而编写的。编写时为了突出基本概念,阐述的计算方法以适合手算的简便方法为主;为了有利于突出基本内容,取材力求适当,讲解力求简明扼要;为了便于初学者掌握,同时为了便于教和学,各章均有例题、章后附有思考题和习题。

下篇为提高和专题篇。包括:筒体结构的计算和设计;高层建筑结构计算机算法原理和程序介绍;高层建筑结构地震反应的时程分析法;高层建筑结构分析的解析和半解析常微分方程求解器方法等四章,是为了提高和适应专门的需要而编写的。

本书内容结合我国工程实际,同时也尽可能地反映出国内外及我们自己的一些科研成果。

本书可作为高等学校房屋建筑专业的教材或教学参考用书,也可作为有关专业工程技术人员、科研人员等的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新编高层建筑结构/包世华编著. —北京:中国水利水电出版社, 2001. 9

(土木工程新技术丛书/崔京浩主编)

ISBN 7-5084-0707-5

I. 新… II. 包… III. 高层建筑-建筑结构 IV. TU973

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第036203号

书 名	土木工程新技术丛书 新编高层建筑结构
作 者	包世华 编著
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	水利电力出版社印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 30.25印张 714千字
版 次	2001年8月第一版 2001年8月北京第一次印刷
印 数	0001—4100册
定 价	49.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

清华大学土木工程系组编

土木工程新技术丛书

编 委 会

名誉主编 龙驭球

主 编 崔京浩

副主编 石永久

编 委 (按姓氏拼音字母排序)

包世华	陈志鹏	崔京浩	方东平	龚晓海
李德英	李永德	廉惠珍	龙志飞	卢 谦
卢祥之	卢有杰	陆化普	路新瀛	石永久
佟一哲	王元清	吴俊奇	杨 静	阳 森
叶列平	叶书明	张铜生	张新天	

编辑办公室

主 任 阳 森

成 员 李 亮 戚琳琳 王 勤 王照瑜 张玉峰

总 序

土木工程——一个古老而又年轻的学科。

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程(Civil Engineering)是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术。”

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程(Military Engineering)而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，防护工程、发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生的更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，显示出勃勃生机。其中，工程材料的变革和力学理论的发展起着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖、瓦、灰、砂、石，而是由新理论、新材料、新技术、新方法武装起来的，为众多领域和行业不可缺少的大型综合性学科。一个古老而又年轻的学科。

《土木工程新技术丛书》由清华大学土木工程系组织编写，成立了编委会，由崔京浩教授任主编，聘请中国工程院院士龙驭球先生为名誉主编。

丛书的组织编写原则遵循一个“新”字。一方面，“新”体现在组织选编的书目上(见封底的书目)：当然首选那些与国家建设息息相关、内容新颖、时代感强的书。改革开放以来，特别是新世纪到来之际，国家建设部门对运行管理、安全保障、质量监控、交通分析等方面的需求日益迫切，在书目选择上我们有意地侧重了这一方面，力求引进一些国外的理论和实践，为我国建设服务；另一方面，“新”体现在各分册的内容上，即使是一些分册书名比较传统，其内容的编写也都努力反映了新理论、新规范、新技术、新方法，读者可以从各分册内容提要 and 章节目录编排上看出这种特色。

这套丛书的读者对象是比较宽泛的，除土木工程技术人员以外，对建设部门管理人员也是一套很有指导意义的参考读物。特别需要指出的是，这套书的作者几乎全是高等学校的教师，职业决定了他们写书在逻辑性、条理性和可读性诸方面有其独特的优势。在组织编写时我们又强调了深入浅出、说理透彻、理论与实际并重的原则，以便大专院校做为教材选用。

《土木工程新技术丛书》编委会

前 言

近年来,高层建筑在我国又有了很大的发展,许多城市普遍兴建了各种类型的高层建筑,包括住宅、旅馆、办公楼和多功能建筑等。这些建筑不仅数量大、施工速度快,而且高度增加很快,体型复杂,建筑结构体系的类型也更加多样化。另外,高层的钢结构建筑在我国已兴建了不少,我国自己的高层建筑钢结构设计和施工规程已经出台。与此相应,围绕高层建筑结构的科学研究也取得了众多成果。广大工程技术人员、研究人员的创造和探索,都大大丰富了我国高层建筑结构设计和施工的理论 and 实践。在此背景下,我国建筑结构的各种规范和高层建筑混凝土结构技术规程都完成了新的修订工作。

本书是按照新规范和规程,为适应新形势下教学和工程的需要新编写的。

在编写时,根据内容和要求不同,全书分为上、下两篇。

上篇为基础内容篇,共7章,是为工程技术人员和学生学习和了解高层建筑混凝土结构的基础内容而编写的。其中包括有关结构体系和布置,荷载和设计要求,以及各种结构体系的内力和位移计算等内容,其原理和方法也适合于高层建筑钢结构和混合结构。编写时,为了突出基本概念,注重实用算法、特别是以手算为基础的简便方法,注意不同计算方法之间的差别及内在联系,注意结构受力和变形特性的分析等(在计算机已经普及、高层建筑设计已大部或全部用计算机程序进行的今天,作者认为仍要强调基本概念,而基本概念的建立要依赖于简便方法以及对结构受力和变形性能的了解等;另外,这些也将有助于提高读者概念设计的能力)。为了突出基本内容,取材力求适当、同时贯彻少而精的原则,为此采用了分上、下篇的做法,上篇只选了最常用的三大结构体系,并以混凝土结构为主。为了突出基本要求,便于初学者掌握,讲解方法上力求深入浅出、简明扼要;为了便于教和学,各章内均有例题、各章后附有思考题和习题。

下篇为提高和专题篇,共4章,是为提高和适应专门的需要而编写的。

筒体结构是高层建筑结构中另一种常用的、代表空间结构受力和变形特征的结构型式,第八章介绍其计算和设计,作为提高的内容。

高层建筑结构的计算和设计是依靠程序、通过计算机来实现的,第九章介绍计算机方法的原理,并介绍通用和专用程序,作为提高的内容。

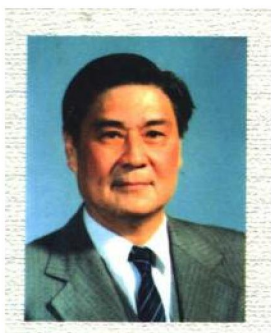
第十章专门介绍高层建筑结构地震反应的时程分析法,也是提高的内容。

第十一章全部是我们近年的研究成果。一方面介绍解析法和半解析法两个解高层建筑结构的方法系列；另一方面介绍用这两个方法系列计算得到的大量的、复杂的高层建筑结构的受力和变形特点，可以加深读者对高层建筑结构（特别是复杂结构）性能的了解，有助于概念设计能力的提高。本章是专题章，为了查阅资料方便，章后单列了参考文献。

由于时间仓促，本书难免存在不足之处，欢迎读者批评指正。

包世华

2001年2月



作者简介

包世华 清华大学土木工程系教授，中国力学学会《工程力学》常务编委，中国建筑学会高层建筑结构学组成员。1985~1986年为美国伊里诺大学土木工程系访问学者，1991~1993年为香港理工大学土木与结构系研究员。长期从事高层建筑结构、结构力学、弹性力学、能量原理及有限元、板壳结构和薄壁杆结构等领域的教学和研究工作。

出版教材和专著20本。教材有《高层建筑结构设计》、《结构力学》、《结构力学教程》等，分别于1987年获建设部优秀教材二等奖，1988年、1992年获国家教委国家优秀教材奖，1998年度获教育部科学技术进步奖一等奖，1999年度获国家科学技术进步奖二等奖。专著有《薄壁杆件结构力学》、《高层建筑结构计算》等。

在国内外发表学术论文110多篇。其中，壳体研究成果被收入国家行业标准《钢筋混凝土薄壳结构设计规程》。提出和创建的高层建筑结构解析和半解析常微分方程求解器解法系列，1983年获北京市科委技术成果奖，1986年、1992年、1994年分别获国家教委科学技术进步奖一、二、三等奖。

目 录

总序

前言

上篇 基础内容篇

第一章 高层建筑结构体系和布置	1
第一节 高层建筑的发展与特点	1
第二节 高层建筑的结构体系	10
第三节 结构总体布置及变形缝	24
思考题	37
第二章 荷载和设计要求	38
第一节 风荷载	38
第二节 地震作用的特点及抗震设计目标	44
第三节 反应谱方法计算等效地震荷载	46
第四节 结构的自振周期和振型	53
第五节 荷载效应组合和结构设计要求	57
第六节 高层建筑结构计算的基本假定和计算简图	63
思考题	65
习 题	66
第三章 框架结构的内力和位移计算	67
第一节 多层多跨框架在竖向荷载作用下的近似计算——分层计算法	67
第二节 多层多跨框架在水平荷载作用下内力的近似计算——反弯点法	70
第三节 多层多跨框架在水平荷载作用下的改进反弯点法—— D 值法	74
第四节 多层多跨框架在水平荷载作用下侧移的近似计算	85
思考题	93
习 题	94
第四章 剪力墙结构的内力和位移计算	96
第一节 剪力墙结构的计算图和计算方法	96
第二节 整体墙和小开口整体墙的计算	99
第三节 双肢墙的计算	103
第四节 多肢墙的计算	124
第五节 壁式框架在水平荷载作用下的近似计算	134
第六节 底层大空间剪力墙结构介绍	144

思考题	149
习 题	149
第五章 框架—剪力墙结构的内力和位移计算	151
第一节 框架—剪力墙协同工作原理和计算图	151
第二节 框架—剪力墙铰结体系在水平荷载下的计算	154
第三节 框架—剪力墙刚结体系在水平荷载下的计算	160
第四节 框架—剪力墙的受力和位移特征以及本章计算方法的应用条件	165
第五节 框架、剪力墙及框架—剪力墙结构的扭转近似计算	167
第六节 框架、剪力墙及框架—剪力墙结构平面为斜向布置时的近似计算	174
第七节 计算实例	181
思考题	192
习 题	193
第六章 框架设计和构造	194
第一节 框架内力组合及最不利内力	194
第二节 框架抗震设计的延性要求	199
第三节 框架梁截面设计和配筋构造	203
第四节 框架柱截面设计和配筋构造	208
第五节 框架节点核心区截面设计和配筋构造	216
思考题	227
习 题	228
第七章 剪力墙设计和构造	229
第一节 墙肢截面承载力计算	229
第二节 悬臂剪力墙设计和构造	235
第三节 开洞剪力墙设计和构造	242
第四节 框架—剪力墙结构设计和构造	250
第五节 底部大空间剪力墙结构设计和构造	253
思考题	258
习 题	259

下篇 提高和专题篇

第八章 筒体结构的计算和设计	260
第一节 筒体结构及不适合协同工作原理的空间结构的计算图和计算方法	260
第二节 框筒结构在水平和扭转荷载下的等效平面法	263
第三节 框筒结构在水平荷载下的等效连续体法	270
第四节 框筒结构在扭转荷载下的等效连续体法	283
第五节 筒中筒结构在水平荷载下的计算	287
第六节 内筒结构在扭转荷载下的计算	291

第七节	筒中筒结构在扭转荷载下的计算	297
第八节	筒体结构设计	301
第九章	高层建筑结构计算机算法原理和程序介绍	304
第一节	概述	304
第二节	高层建筑结构计算中的一些补充单元	305
第三节	高层建筑结构的协同工作计算法	310
第四节	高层建筑结构的杆—薄壁杆系计算法	319
第五节	高层建筑结构的组合结构计算法	329
第六节	高层建筑结构计算和设计程序介绍	332
第十章	高层建筑结构地震反应的时程分析法	337
第一节	时程分析法概述	337
第二节	输入地震波的选择	338
第三节	结构的振动模型	341
第四节	质量矩阵和阻尼矩阵	344
第五节	结构和构件的恢复力特性	346
第六节	结构振动方程的建立	350
第七节	振动方程的积分方法	358
第八节	计算结果示例、计算结果使用和程序简介	364
第十一章	高层建筑结构分析的解析和半解析常微分方程求解器方法	368
第一节	概述	368
第二节	高层建筑结构考虑楼板变形和地基变形时的静力分析	369
第三节	高层建筑结构考虑楼板变形和地基变形时的动力分析	377
第四节	高层建筑结构考虑楼板变形时的整体稳定和二阶分析	387
第五节	变截面框架—剪力墙—薄壁筒斜交结构考虑楼板变形时的静力计算	397
第六节	变截面框架—剪力墙—薄壁筒斜交结构考虑楼板变形时的振动计算	405
第七节	变截面框架—剪力墙—薄壁筒斜交结构考虑竖向荷载作用时的弯扭耦连振动	412
第八节	大底盘多塔楼、大底盘大孔口结构和大底盘多塔楼连体结构的静力分析	417
第九节	大底盘多塔楼、大底盘大孔口结构和大底盘多塔楼连体结构的振动计算	426
第十节	大底盘多塔楼、大底盘大孔口结构和大底盘多塔楼连体结构的整体稳定和二阶分析	432
第十一节	高层建筑筒体结构的静力计算	442
第十二节	高层建筑筒体结构的振动计算	448
第十三节	高层建筑筒体结构的整体稳定和二阶分析	455
第十四节	筒体结构连续化模型的弹性动力时程分析	460
	本章参考文献	465
	参考文献	469

上篇 基础内容篇

第一章 高层建筑结构体系和布置

第一节 高层建筑的发展与特点

一、高层建筑的发展

现代高层建筑是随着社会生产的发展和人们生活的需要而发展起来的，是商业化、工业化和城市化的结果。而科学技术的进步、轻质高强材料的出现以及机械化、电气化、计算机在建筑中的广泛应用等，又为高层建筑的发展提供了物质和技术条件。

我国古代建造过不少高层建筑——塔，大都采用木结构或砖结构。有一些木塔或砖塔经受住了上千年的风吹雨打，甚至强烈地震的摇撼而能保留至今，足见其结构合理，工艺精良。但是，就近代高层建筑而言，在相当长的一段时期内，我国发展却是缓慢的。解放前，我国高层建筑很少。解放后，在五六十年代陆续建成一些，如1959年建成的北京民族饭店，12层，高47.4m；1964年建成的北京民航大楼，15层，高60.8m。1968年建成的广州宾馆，27层，高88m，是60年代我国建成的最高建筑。

20世纪70年代开始，我国高层建筑有了很大的发展，主要用于住宅、旅馆和办公楼等建筑。由于高层建筑具有占地面积小、节约市政工程费用、节省拆迁费用等优点，为了改善城市居民的居住条件，在大城市和某些中等城市中，高层住宅和底层带商店的住宅建筑发展十分迅速。这些住宅大多数在20层左右，但有些城市，例如深圳，高层住宅建筑已达30层左右。随着旅游事业的发展和经济对外开放，旅馆和高层商用办公楼、通讯大楼以及综合性多功能大厦的需要与日俱增。从20世纪80年代开始，这类高层建筑增长的速度很快；进入90年代，随着改革开放事业的发展，这类高层建筑更有迅猛的发展。

我国内地在各个阶段具有代表性的高层建筑是：1974年建成的北京饭店东楼，19层，高87.15m（图1-1），是当时北京最高的建筑；1976年在广州建成的白云宾馆，33层，高114.05m（图1-2），是以后9年中我国最高的建筑；到1985年，深圳建成了50层、高158.65m的国际贸易中心大厦（图1-3），超过了前者；但相隔仅两年，高度为200m、63层的广州国际大厦和208m、57层的北京京广中心大厦又相继开工，成为当时全国最高的建筑（图1-4和图1-5）；1996年建成的深圳地王大厦，81层、高325m（图1-6），是当时全国最高的建筑；1998年建成的上海金茂大厦，88层、高421m（图1-7），是目前全国第一、亚洲第二、世界第三的摩天大楼。

我国高层建筑的迅速发展，建筑高度的不断增加（表1-1所示我国内地近年建成高度超过200m的大厦），建筑类型和功能愈来愈复杂，结构体系更加多样化，所有这些都显示我

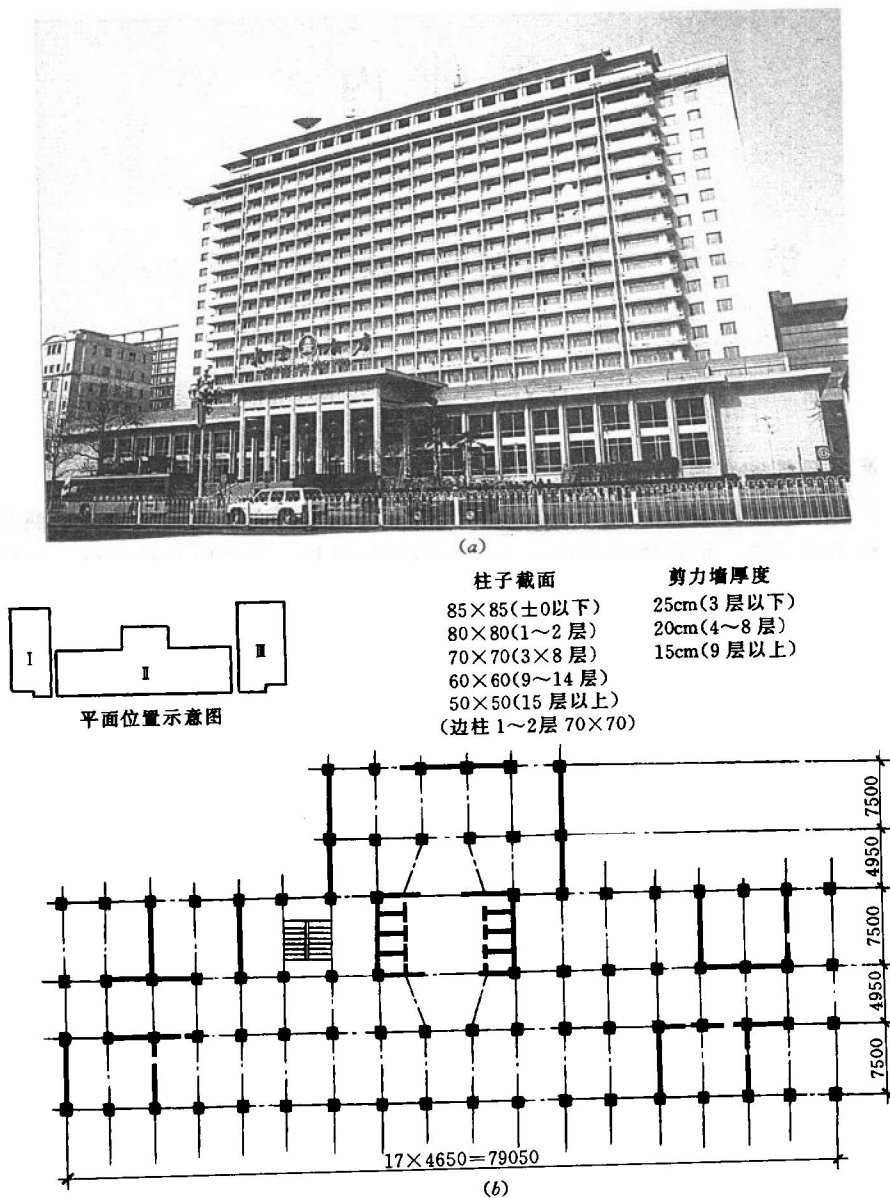
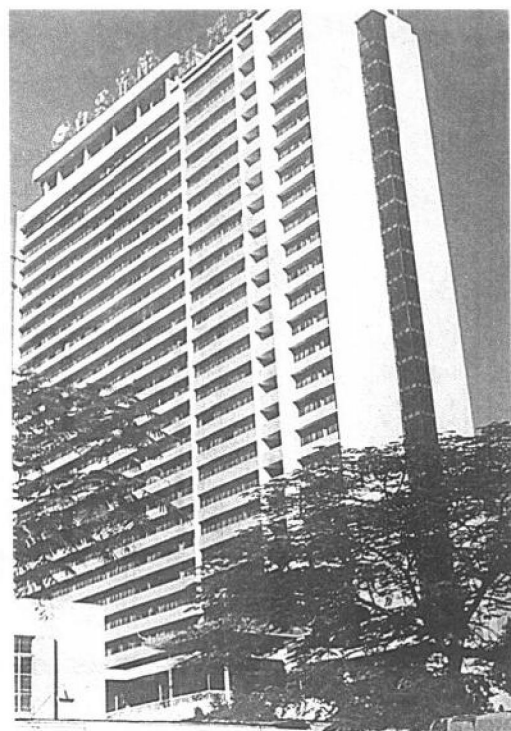


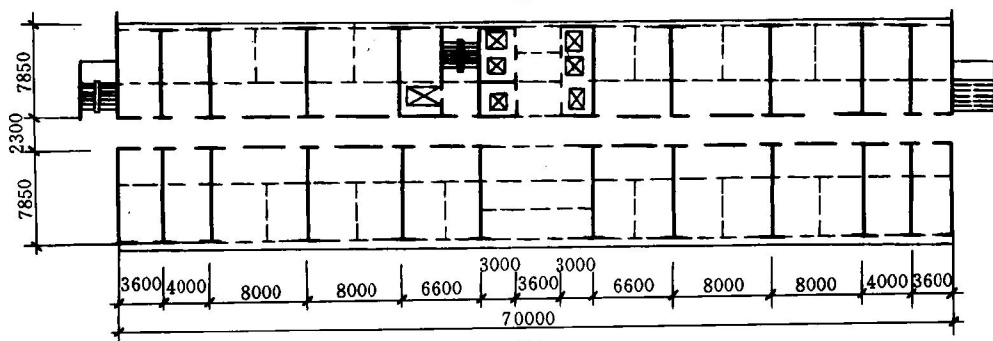
图 1-1 北京饭店东楼 (19 层, 87.15m)
(a) 立面照片; (b) 平面及 II 段标准层平面

国高层建筑设计 and 施工技术水平有了很大的提高。

在国外, 现代高层建筑的发展只有 110 多年的历史, 又以最近 40 多年发展较快。1883 年在美国芝加哥建成 11 层的家庭保险大楼 (Home Insurance Building) 是近代高层建筑的开端。1931 年纽约建造了著名的帝国大厦 (Empire State Building), 共 102 层, 381m 高, 它享有“世界最高建筑”之美誉长达 40 年之久。20 世纪 50 年代以后, 轻质高强材料的应用, 新的抗风抗震结构体系的发展, 电子计算机的推广使用以及新的施工机械的涌现, 才



(a)

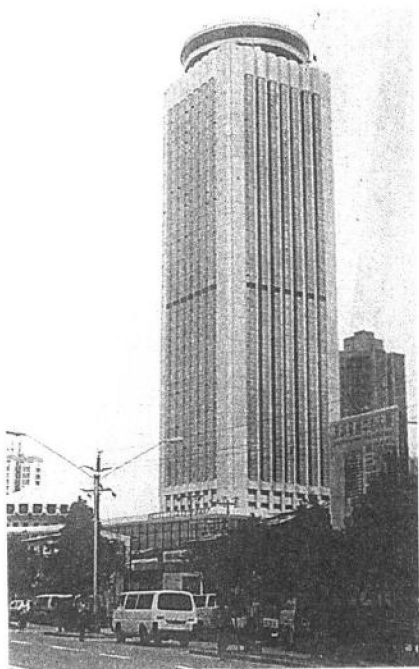


(b)

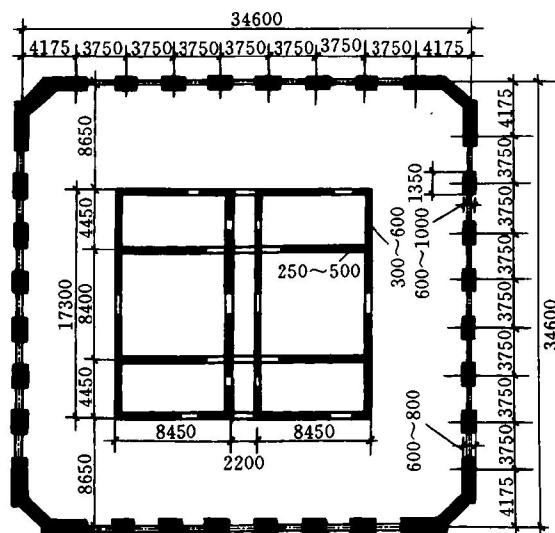
图 1-2 广州白云宾馆 (33 层, 114.05m)

(a) 立面照片; (b) 标准层平面

使高层建筑得到了大规模的迅速发展。1972 年, 纽约建造了 110 层, 高 402m 的世界贸易中心 (World Trade Center Twin Towers); 1973 年在芝加哥又建成当时世界上最高的西尔斯大厦 (Sears Tower), 110 层, 高 443m, 享有“世界最高建筑”美誉 20 多年。这两幢建筑都是钢结构。目前世界上最高的建筑是 1996 年在吉隆坡建成的石油大厦, 88 层, 高 450m, 是钢与钢筋混凝土混合结构。目前最高的钢筋混凝土结构是朝鲜平壤市的柳京饭店, 地面以上 101 层, 高 305.4m。芝加哥的水塔广场大厦 (Water Plaza Tower) 居其次, 76 层, 高 262m。

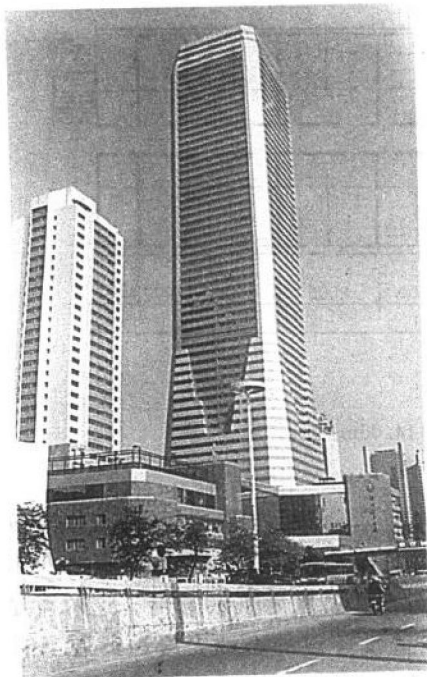


(a)

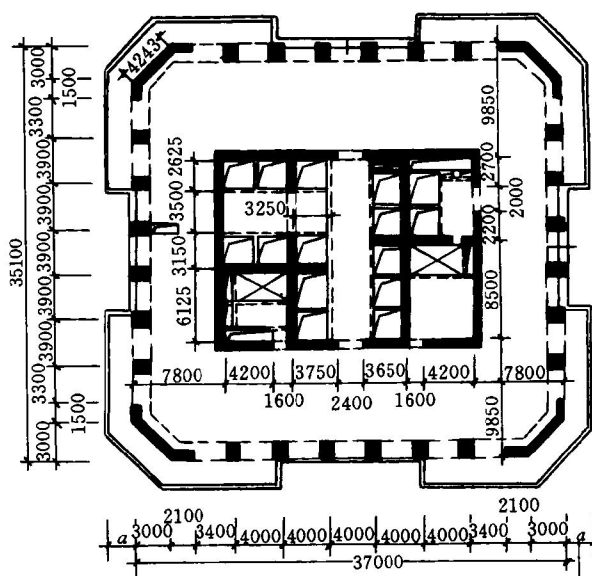


(b)

图 1-3 深圳国际贸易中心大厦 (50 层, 158.65m)
(a) 立面照片; (b) 标准层平面



(a)



(b)

图 1-4 广州国际大厦 (63 层, 200m)
(a) 立面照片; (b) 标准层平面

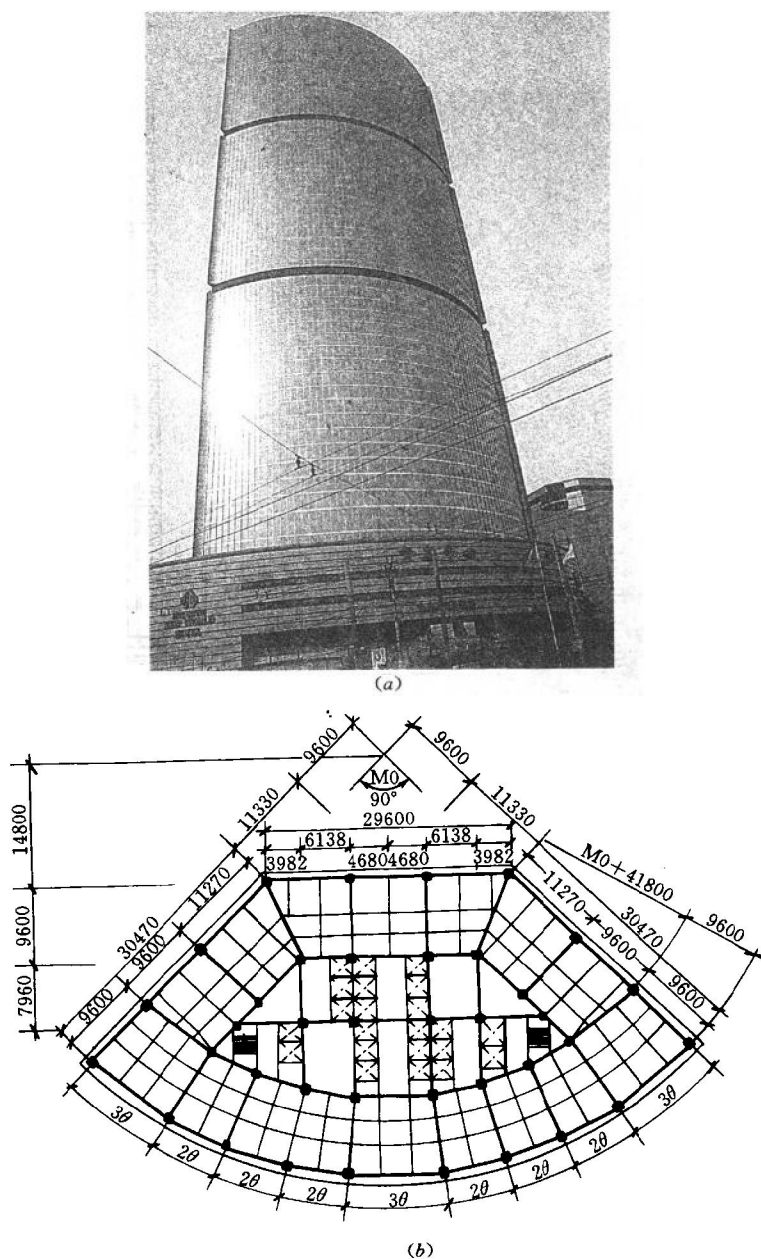


图 1-5 北京京广中心大厦 (57 层, 208m)

(a) 立面照片; (b) 高层部分一层平面

二、高层建筑的特点

结构要同时承受垂直荷载和水平荷载, 还要抵抗地震作用。在低层结构中, 水平荷载产生的内力和位移很小, 通常可以忽略; 在多层结构中, 水平荷载的效应 (内力和位移) 逐渐增大; 而到高层建筑中, 水平荷载和地震作用将成为控制因素。图 1-8 是建筑物高度与荷