

土 木 工 程 教 材 精 选

高层建筑结构和计算

(上册)

Design and Analysis of
Tall-building Structure

包世华 张铜生 编著

Bao Shihua Zhang Tongsheng



清华大学出版社



土 木 工 程 教 材 精 选

高层建筑结构设计和计算

(上册)

Design and Analysis of
Tall-building Structure

包世华 张铜生 编著
Bao Shihua Zhang Tongsheng



清华大学出版社

北 京

内 容 提 要

本书是在《高层建筑结构设计(第二版)》(清华大学出版社 1990 年出版)和《高层建筑结构计算》两书的基础上,按照我国最新颁布的有关规范和规程进行全面修订而成的。全书共 16 章,分上、下两册。

上册为基础内容部分,包括 8 章:高层建筑结构体系与布置;荷载作用和结构设计要求;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;筒体结构的计算和设计。上册继承了原《高层建筑结构设计(第二版)》的体系和特点,是为在校学生和工程技术人员学习和了解高层建筑混凝土结构的基本内容而编写的。书中内容以三大结构体系为主,兼及筒体;阐述的计算方法以适合手算的简便方法为主;书中各章均演算了许多例题,并有一个贯彻全书的框架-剪力墙结构工程实例;每章后面均附有思考题和习题。

本书可作为高等院校土木建筑类结构课教材,也可供有关工程技术人员和科研人员参考之用。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构设计和计算. 上册/包世华,张铜生编著. —北京:清华大学出版社,2005.12

ISBN 7-302-10714-9

I. 高… II. ①包… ②张… III. 高层建筑—结构设计—结构计算—高等学校—教材 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 023764 号

出 版 者: 清华大学出版社

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

社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦

邮 编: 100084

客户服务: 010-62776969

组稿编辑: 徐晓飞

文稿编辑: 邹永华

印 刷 者: 北京市人民文学印刷厂

装 订 者: 三河市金元印装有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 203×253 印张: 24.25 字数: 632 千字

版 次: 2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-10714-9/TU·256

印 数: 1~4000

定 价: 39.80 元



包世华

清华大学土木工程系教授，中国建筑学会高层建筑结构专业委员会委员，中国力学学会《工程力学》编委，北京大学兼职教授。长期从事高层建筑结构、结构力学、弹性力学、有限元、壳体结构和薄壁杆结构等领域的教学和科研工作。所著教材《结构力学》1988年获国家教委全国优秀教材奖，其第二版获1999年国家级科学技术进步奖二等奖和1998年教育部科技进步奖一等奖；《结构力学教程》获1992年国家教委全国优秀教材奖和2002年教育部全国优秀教材一等奖；《高层建筑设计》1987年获建设部优秀教材二等奖。



张铜生

清华大学土木工程系教授，中国力学学会《工程力学》一、二、三届编委。长期从事高层建筑结构、结构力学、弹性力学及有限元等领域的教学和研究工作。编著教材《简明有限元法及其应用》；主持“高层建筑结构空间弹塑性时程分析程序HBTA”研发。

前 言

本书是在作者和方鄂华合编的《高层建筑结构设计》(1990年第二版)以及作者编著的《高层建筑结构计算》两本书的基础上,且鉴于建筑结构规范的全面修订及近年来高层结构的新发展而重新编写的,以适应新形势下教学和工程设计的需要。

全书共16章,根据内容和要求的不同,分上、下两册。

上册为基础内容部分。原第一本书前两版以其科学性、系统性、实践性以及深入浅出的阐述方式受到广大读者的欢迎。上册仍保留了原前两版的体系和特点。为了突出基本概念,在编写中注重讲述实用算法、特别是以手算为基础的简便方法,注意阐述不同计算方法之间的差别及内在联系,以及结构受力和变形特性的分析等。为突出基本内容,并贯彻少而精的原则,以最常用的三大结构体系为主、兼及筒体,并以混凝土结构为主。为突出基本要求,便于初学者掌握,讲解方法力求深入浅出、简明扼要,内容及篇幅较原第二版更为精练。为便于教和学,各章增加了例题,并举了一个贯彻始终的框-剪结构工程设计实例;各章后附有思考题和习题。上册可供普通高等学校作为教材,同时可作为初学者的参考用书。

下册为提高、深入和专题部分。围绕底层大空间剪力墙结构的计算、高层建筑结构复杂问题的计算、高层筒体结构计算、高层建筑结构的有限条分析法、半解析常微方程求解器方法和有限元线法、高层建筑结构动力特性分析、高层建筑结构地震作用的反应谱分析法、高层建筑结构抗震分析的时程分析法、高层建筑空间弹塑性动力分析程序 HBTA 简介等方面,作了较深入的讨论,其中许多是作者近年来的科研成果。下册可供大学生、研究生、教师及工程技术人员作为深入研究和提高的学习材料以及专题参考资料。

本书上册由包世华编写。下册由包世华、张铜生共同编写;第15、16章由张铜生编写,其他各章由包世华编写。

本书难免存在不妥之处,欢迎广大读者予以批评、指正。

包世华

2004年10月于清华园

目 录

前言	I
第 1 章 高层建筑结构体系与布置	1
1.1 高层建筑的发展与特点	1
1.1.1 高层建筑的发展	1
1.1.2 高层建筑的特点	8
1.1.3 高层建筑的结构类型	9
1.2 高层建筑的结构体系	10
1.2.1 框架结构体系	10
1.2.2 剪力墙结构体系	12
1.2.3 框架-剪力墙结构(框架-筒体结构和板柱-剪力墙结构)体系	16
1.2.4 框筒和筒中筒结构	20
1.2.5 多筒体系——成束筒及巨型框架结构	24
1.2.6 各种结构体系适用的最大高度和适用高度范围	26
1.3 结构总体布置	27
1.3.1 控制结构高宽比(H/B)	27
1.3.2 结构的平面布置	28
1.3.3 结构的竖向布置	31
1.3.4 缝的设置与构造	32
1.3.5 高层建筑楼盖	37
1.3.6 基础形式及基础埋置深度	39
思考题	40
第 2 章 荷载作用和结构设计要求	42
2.1 风荷载	42
2.1.1 单位面积上的风荷载标准值	42
2.1.2 总风荷载	48
2.2 地震作用的特点和抗震设计目标	50
2.2.1 地震作用的特点	50
2.2.2 抗震设防标准、抗震设计目标和二阶段设计方法	51
2.3 地震作用的计算方法	53
2.3.1 设计反应谱曲线	53

IV 高层建筑结构设计和计算(上册)

2.3.2 等效地震力计算方法	56
2.3.3 竖向地震作用计算	60
2.3.4 反应谱方法的优缺点	64
2.4 结构的自振周期	65
2.4.1 刚度法求多自由度体系周期和振型的概念	65
2.4.2 周期的近似计算	67
2.5 荷载效应组合	69
2.6 结构设计要求	70
2.6.1 承载能力的验算	70
2.6.2 侧向位移限制和舒适度要求	71
2.6.3 高层房屋的抗震等级和抗震措施	72
2.6.4 罕遇地震作用下的变形验算	74
2.7 高层建筑结构计算的基本假定、计算简图和计算要求	76
2.7.1 弹性工作状态假定	76
2.7.2 平面抗侧力结构和刚性楼板假定下的整体共同工作	76
2.7.3 风荷载和地震作用的方向	78
思考题	78
习题	79
第3章 框架结构的内力和位移计算	81
3.1 多层多跨框架在竖向荷载作用下的近似计算——分层计算法	81
3.2 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	84
3.3 多层多跨框架在水平荷载作用下的改进反弯点法—— D 值法	91
3.3.1 柱侧移刚度 D 值的计算	91
3.3.2 确定柱反弯点高度比	93
3.4 多层多跨框架在水平荷载作用下侧移的近似计算	104
3.4.1 梁柱弯曲变形产生的侧移	105
3.4.2 柱轴向变形产生的侧移	110
思考题	113
习题	114
第4章 剪力墙结构的内力和位移计算	116
4.1 剪力墙结构的计算简图和计算方法	116
4.1.1 剪力墙结构的计算简图——水平荷载下剪力墙的计算截面	116
4.1.2 剪力墙的受力特点和计算方法	119
4.2 整体墙和小开口整体墙的计算	121
4.2.1 整体墙的计算	121
4.2.2 小开口整体墙的计算	123

4.3 双肢墙的计算	130
4.3.1 连续连杆法的基本假设	130
4.3.2 力法方程的建立	131
4.3.3 基本方程的解	135
4.3.4 双肢墙的内力计算	137
4.3.5 双肢墙的位移与等效刚度	144
4.4 关于墙肢剪切变形和轴向变形的影响以及各类剪力墙划分判别式的讨论	147
4.4.1 关于墙肢剪切变形和轴向变形的影响	147
4.4.2 关于各类剪力墙划分判别式的讨论	149
4.5 多肢墙的计算	152
4.5.1 基本方程的建立	153
4.5.2 微分方程的解	156
4.5.3 约束弯矩分配系数 η_i	157
4.5.4 内力和位移计算公式	159
4.5.5 双肢墙、多肢墙计算步骤及计算公式汇总	161
4.6 壁式框架在水平荷载作用下的近似计算	167
4.6.1 计算图及其特点	167
4.6.2 带刚域杆考虑剪切变形后刚度系数和 D 值的计算	168
4.6.3 反弯点高度比的修正	171
4.7 底层大空间剪力墙结构的受力特点和应力、内力系数	178
4.7.1 底层大空间剪力墙结构的计算图、计算方法和受力特点	178
4.7.2 框支剪力墙墙-框交接区的应力分布	179
4.7.3 底层为单、双跨框架的框支剪力墙应力、内力系数表	183
思考题	185
习题	185
第 5 章 框架-剪力墙结构的内力和位移计算	187
5.1 框架-剪力墙协同工作原理和计算图	187
5.1.1 问题的提出	187
5.1.2 两种计算图	188
5.1.3 协同工作的基本原理	190
5.2 框架-剪力墙铰结体系在水平荷载下的计算	191
5.2.1 总剪力墙和总框架刚度的计算	191
5.2.2 基本方程及其解	192
5.2.3 三种水平荷载作用时的计算公式与图表	194
5.3 框架-剪力墙刚结体系在水平荷载下的计算	197
5.3.1 刚结连梁的梁端约束弯矩系数	198
5.3.2 基本方程及其解	199

VI 高层建筑结构设计和计算(上册)

5.3.3 各剪力墙、框架和连梁的内力计算	201
5.4 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	202
5.4.1 框架-剪力墙结构的受力、位移特征和受力的限制性规定	202
5.4.2 本章计算方法的应用条件	204
5.5 框架、剪力墙及框架-剪力墙结构的扭转近似计算	205
5.5.1 问题的提出	205
5.5.2 质量中心、刚度中心和扭转偏心距	206
5.5.3 考虑扭转后的剪力修正	208
5.5.4 讨论	210
5.6 框架-剪力墙结构协同工作计算实例	212
5.6.1 结构刚度的计算	213
5.6.2 地震作用计算	215
5.6.3 框架-剪力墙协同工作计算	218
5.6.4 讨论	221
思考题	221
习题	222
第6章 框架设计和构造	229
6.1 框架结构布置、截面尺寸估算和材料强度等级	229
6.1.1 框架结构布置	229
6.1.2 框架结构截面尺寸估算及材料强度等级	230
6.2 框架内力组合及最不利内力	231
6.2.1 控制截面及最不利内力类型	231
6.2.2 荷载布置	232
6.2.3 内力调整	233
6.2.4 内力组合	234
6.3 框架抗震设计的延性要求	238
6.3.1 延性结构	238
6.3.2 延性框架设计基本措施	240
6.3.3 强柱弱梁设计原则	241
6.4 框架梁截面设计和配筋构造	242
6.4.1 梁的破坏形态与影响延性的因素	242
6.4.2 框架梁的配筋计算	244
6.4.3 框架梁的配筋构造要求	247
6.5 框架柱截面设计和配筋构造	249
6.5.1 影响框架柱延性的几个重要参数	249
6.5.2 正截面抗弯承载力计算及最小配筋率	250
6.5.3 斜截面抗剪承载力计算及配箍	252

6.5.4 轴压比限制及配箍	254
6.5.5 钢筋配置构造要求	256
6.6 框架节点核心区截面设计和配筋构造	258
6.6.1 强节点、强锚固	258
6.6.2 节点区设计剪力	259
6.6.3 节点区抗剪验算	261
6.6.4 梁、柱钢筋锚固及搭接	262
6.7 框架-剪力墙结构框架截面设计实例——5.6 节计算实例续一	266
6.7.1 竖向荷载下结构的内力计算	266
6.7.2 水平地震作用下结构的内力	267
6.7.3 构件内力组合	269
6.7.4 构件截面设计	271
思考题	278
习题	279
第7章 剪力墙设计和构造	280
7.1 墙肢截面承载力计算	281
7.1.1 正截面抗弯承载力计算	281
7.1.2 斜截面抗剪承载力计算	285
7.2 悬臂剪力墙设计和构造要求	287
7.2.1 破坏形态和设计要求	287
7.2.2 剪力墙截面配筋构造	288
7.2.3 抗震延性悬臂剪力墙的设计和构造	290
7.2.4 延性悬臂剪力墙截面设计和构造要求要点	294
7.3 开洞剪力墙设计和构造	295
7.3.1 开洞剪力墙的破坏形态和设计要求	295
7.3.2 连梁截面设计和构造	297
7.3.3 延性联肢墙设计	298
7.4 框架-剪力墙结构设计和构造	302
7.4.1 框-剪结构中剪力墙的合理数量	302
7.4.2 框-剪结构中剪力墙的布置和间距	305
7.4.3 框-剪结构中框架内力的调整	306
7.4.4 有边框剪力墙设计和构造	306
7.4.5 板柱-剪力墙结构设计和构造	307
7.5 框架-剪力墙结构剪力墙截面设计实例——5.6 节计算实例续二	309
7.5.1 竖向荷载下结构的内力计算	309
7.5.2 水平地震作用下结构的内力	311
7.5.3 构件内力组合	312

7.5.4 构件截面设计	313
7.6 底部大空间剪力墙结构设计和构造	316
7.6.1 结构特点及抗震措施	316
7.6.2 落地剪力墙设计和构造	317
7.6.3 框支剪力墙设计和构造	318
7.6.4 框支层楼板	321
思考题	322
习题	322

第8章 筒体结构的计算和设计	323
8.1 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	323
8.1.1 协同工作原理适应和不适应的场合	323
8.1.2 筒体结构的计算方法	326
8.2 框筒和筒中筒结构在水平和扭转荷载下的等效平面法	327
8.2.1 翼缘展开法	327
8.2.2 框筒结构的内力系数图表	328
8.2.3 框筒结构在扭转荷载下的等效平面法	333
8.2.4 筒中筒结构在水平荷载下的等效平面法	335
8.3 框筒结构在水平荷载下的等效连续体法	336
8.3.1 等效筒的特征	336
8.3.2 内力计算	338
8.3.3 位移计算	345
8.3.4 算例	347
8.4 框筒结构在扭转荷载下的等效连续体法	351
8.4.1 内力计算	351
8.4.2 位移计算	354
8.5 筒中筒结构在水平荷载下的等效连续体-力法计算	355
8.5.1 计算图和计算方法	355
8.5.2 力法方程系数和自由项的计算	356
8.5.3 内外筒的内力和位移	358
8.5.4 算例	360
8.6 内筒结构在扭转荷载下的计算	361
8.6.1 开口截面薄壁杆的约束扭转	361
8.6.2 连梁对开口截面薄壁杆约束扭转的影响	365
8.7 筒中筒结构在扭转荷载下的等效连续体-力法计算	367
8.7.1 计算简图和计算方法	367
8.7.2 力法方程系数和自由项的计算	368

8.7.3 内外筒的内力和位移	369
8.7.4 算例	371
8.8 筒体结构设计和构造	371
思考题	374
参考文献	375

第 1 章 高层建筑结构体系与布置

1.1 高层建筑的发展与特点

1.1.1 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,甚至经受住强烈地震的摇撼仍能保留至今,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,在我国的发展却是缓慢的。解放前,我国高层建筑很少。解放后,在 20 世纪 50 至 60 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。

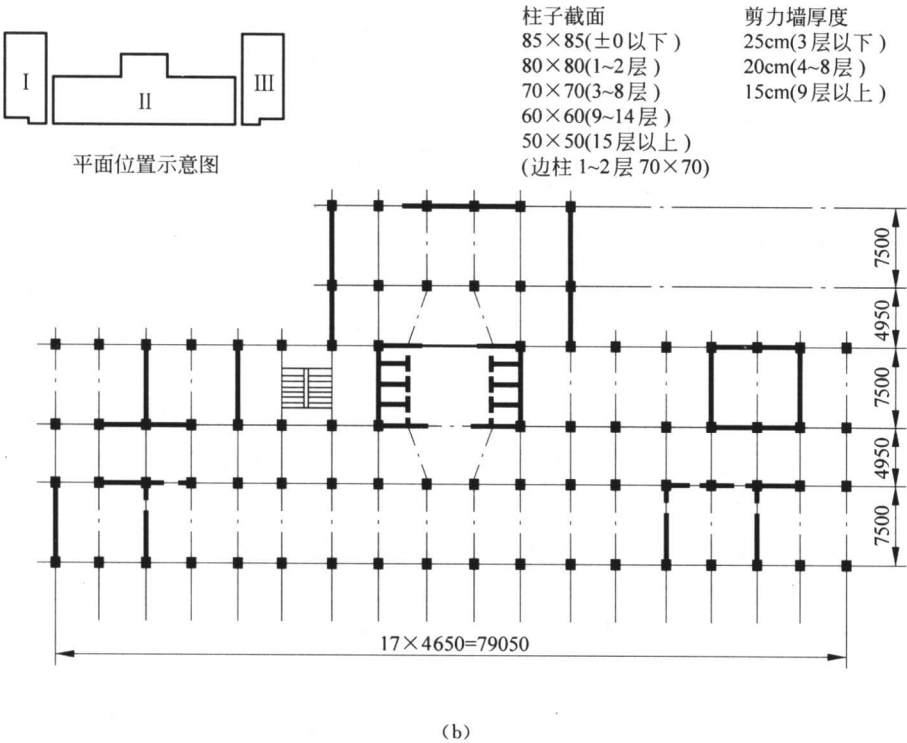
20 世纪 70 年代开始,我国高层建筑有了很大的发展,主要为住宅、旅馆和办公楼等建筑。由于高层建筑具有占地面积小、节约市政工程费用、节省拆迁费用等优点,因此为改善城市居民的居住条件,在大城市和某些中等城市中,高层住宅和底层带商店的住宅建筑发展十分迅速。这些住宅大多数在 20 层左右,而有些城市,例如深圳,高层住宅建筑已达 30 层左右。随着旅游事业的发展和经济对外开放,旅馆和高层商用办公楼、通讯大楼以及综合性多功能大厦的需要与日俱增。从 20 世纪 80 年代开始,这类高层建筑增长的速度很快;进入 90 年代,随着改革开放事业的发展,这类高层建筑更得到迅猛发展。

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);1998 年建成的上海金茂大厦,88 层,高 420.5m(图 1-7),是目前全国第一、亚洲第二、世界第三高的摩天大楼。

2 高层建筑设计 and 计算(上册)



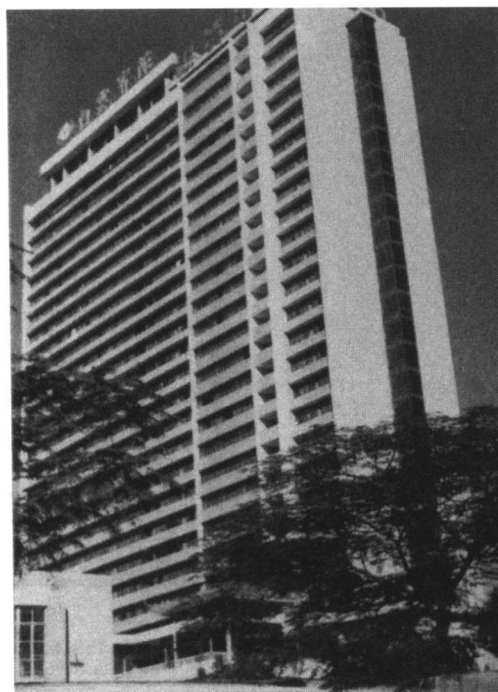
(a)



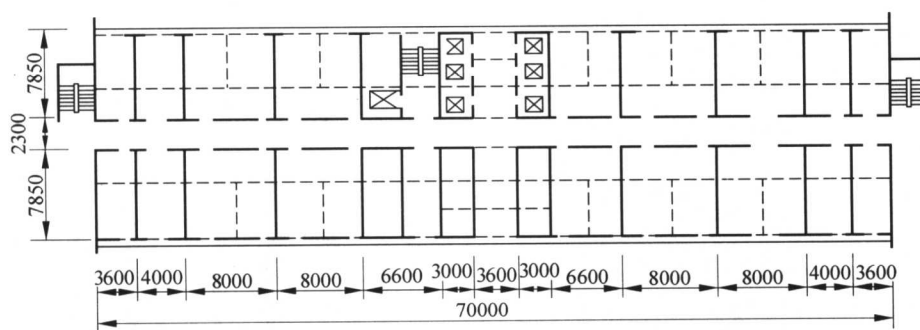
(b)

图 1-1 北京饭店东楼(19 层,87.15m)

(a) 立面照片; (b) II 段标准层平面



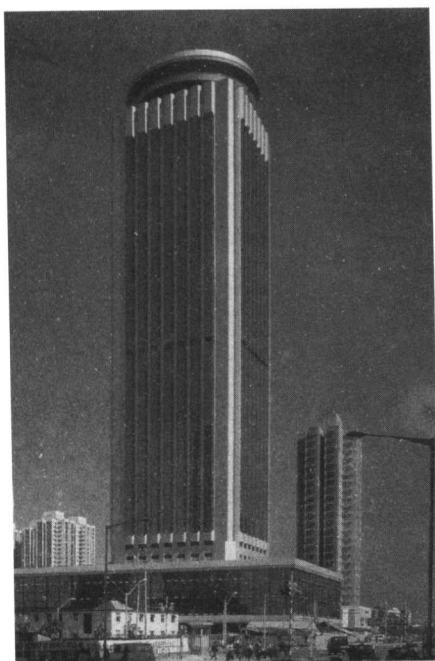
(a)



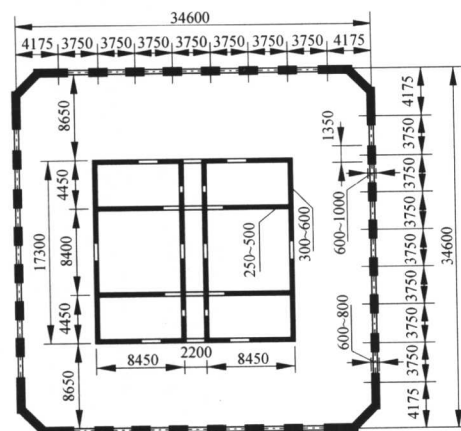
(b)

图 1-2 广州白云宾馆(33层,114.05m)

(a) 立面照片; (b) 标准层平面



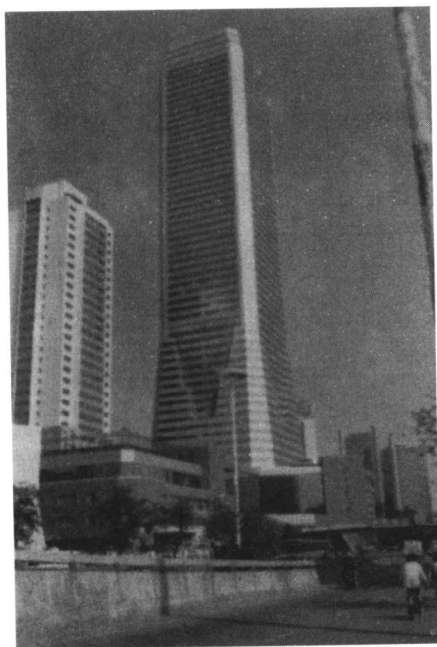
(a)



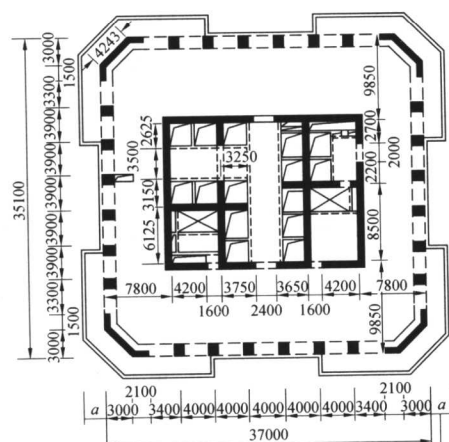
(b)

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)

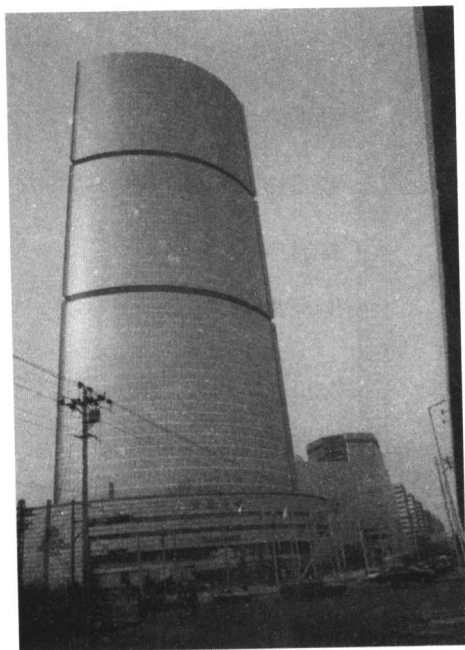


(b)

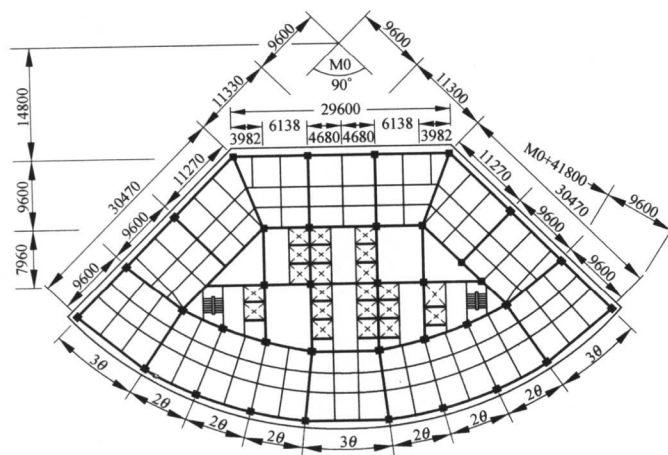
7~22层由 4000 收至 500, 每层收 233

图 1-4 广州国际大厦(63层, 200m)

(a) 立面照片; (b) 标准层平面



(a)



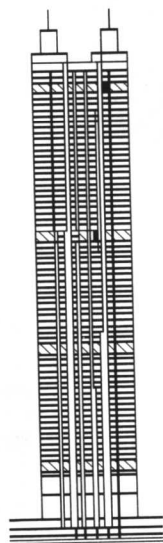
(b)

图 1-5 北京京广中心大厦(57 层,208m)

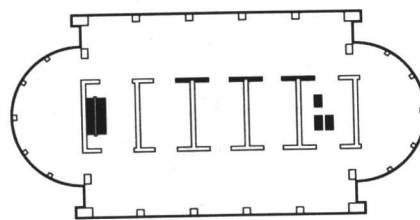
(a) 立面照片; (b) 高层部分一层平面



(a)



(b)



(c)

图 1-6 深圳地王大厦(81 层,325m)

(a) 立面照片; (b) 结构剖面图; (c) 结构平面图