

TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

多层与高层建筑 结构设计

Multi-story and High-rise Building Design



高福聚 主 编
李 静 副主编

中国石油大学出版社



TEACHING MATERIALS FOR COLLEGE STUDENTS

高等学校教材

多层与高层建筑 结构设计

Multi-story and High-rise Building Design

高福聚 主 编
李 静 副主编

中国石油大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

多层与高层建筑设计/高福聚主编. —东营:中国
石油大学出版社, 2008. 9
ISBN 978-7-5636-2655-7

I. 多… II. 高… III. ① 多层建筑—结构设计 ② 高层建
筑—结构设计 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 136382 号

中国石油大学(华东)规划教材

书 名: 多层与高层建筑设计
作 者: 高福聚 李 静

责任编辑: 袁超红(电话 0546—8396214)

封面设计: 李 东

出 版 者: 中国石油大学出版社(山东 东营 邮编 257061)

网 址: <http://www.uppbook.com.cn>

电子信箱: shiyoujiaoyu@126.com

排 版 者: 中国石油大学出版社排版中心

印 刷 者: 东营石大博雅印务有限公司

发 行 者: 中国石油大学出版社(电话 0546—8392791, 8392563)

开 本: 180×235 印张: 23 字数: 462 千字

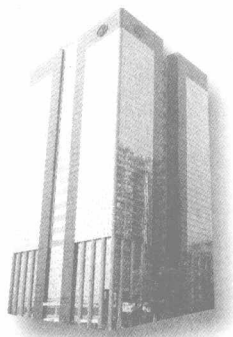
版 次: 2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 33.00 元

内 容 简 介

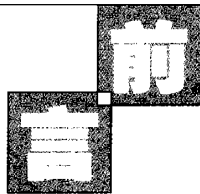
本教材是按照我国现行有关规范与规程,参考同类优秀教材,并结合我国多层与高层建筑发展状况而编写的。主要包括:多层与高层建筑的基本概念,高层建筑的基本体系与布置原则,水平荷载及简化原则,框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构的近似计算方法,扭转的近似计算和荷载效应组合及设计要求,钢筋混凝土框架、剪力墙结构设计,筒体结构及高层建筑基础等。

本教材可以作为普通高等院校土木工程专业本、专科学生学习多层与高层建筑结构设计课程的教材,也可以供相关专业工程技术人员、科研人员参考。





Preface



近年来,我国的高层建筑有了很大的发展,超高层建筑的出现犹如雨后春笋,形势十分迅猛。许多城镇普遍兴建了包括住宅、旅馆、办公写字楼、商贸会展中心和多功能建筑等各种类型的多层与高层建筑。土木工程专业学生毕业后参与多层与高层建筑结构设计已经成为必须面对的现实。为了适应我国多层与高层建筑发展的需要,丰富广大土木工程专业学生学习多层与高层建筑结构设计的课程用书,为众多建筑工程专业工程技术人员提供学习参考资料,我们编写了本教材。

本教材是根据全国高等学校土木工程专业指导委员会制定的土木工程专业多层及高层建筑结构课程的基本要求以及 1998—2002 年最新版本的相关规范与规程编写的。这些规范主要包括:《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《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—1998)及《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)等。

本教材在编写中始终贯彻以学生为中心、以教师为主导的思想,注重教材的实用性,力求概念清楚,重点突出,并要求掌握常用结构体系的特点和手算方法,以便使学生具备从事工程设计必要的概念理解和训练。

本教材的主要内容包括:多层与高层建筑的基本概念,高层建筑的基本体系与布置原则,水平荷载及简化原则,框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构的近似计算方法,扭转的近似计算和荷载效应组合及设计要求,钢筋混凝土框架、剪力墙结构设计,筒体结构及高层建筑基础等。

本教材的绪论、第一章至第十章由高福聚编写,第十一章由李静编写。全书由高福聚统稿。高福聚任主编,李静任副主编。

在本教材编写过程中,程玉梅副教授和张能老师给予了很多有价值的建议,研究生周美燕和王振殿做了大量的工作。本教材在编写中参考、引用了一些公开发表或出版的文献和资料,在此谨向这些文献和资料的作者表示诚挚的感谢。



由于编写时间仓促,编者水平有限,书中不当之处在所难免,希望广大师生和热心读者批评斧正,我们将不胜感激,铭记心间。

编 者

2008 年 6 月



目 录

<<< Contents

绪 论	1
第一节 高层建筑的基本概念	1
第二节 高层建筑发展简介	6
第一章 高层建筑结构体系及布置	10
第一节 高层建筑的结构体系	10
第二节 结构总体布置原则	19
第二章 水平荷载及结构计算简化原则	28
第一节 风荷载	28
第二节 地震作用	43
第三节 高层建筑结构计算简化的一般规定	72
第四节 高层建筑结构的设计步骤	76
第三章 框架结构的内力和位移计算	79
第一节 框架结构的布置与计算简图	79
第二节 竖向荷载作用下的近似计算——分层法和弯矩二次分配法	85
第三节 水平荷载作用下的近似计算——反弯点法	95
第四节 水平荷载作用下的近似计算——改进反弯点法(D 值法)	98
第五节 水平荷载作用下侧移的近似计算	112
第四章 剪力墙结构的内力和位移计算	122
第一节 剪力墙结构的计算假定	122
第二节 剪力墙的受力特点、分类和计算方法	126
第三节 整体墙的计算方法	133
第四节 双肢墙和多肢墙的连续化计算方法	135
第五节 小开口整体墙和独立墙肢的计算方法	165
第六节 带刚域框架的计算方法	168



第七节 竖向荷载作用下剪力墙结构的内力计算·····	172
第五章 框架-剪力墙(筒体)结构协同工作计算 ·····	181
第一节 框架-剪力墙结构的分类和计算简图·····	182
第二节 框架-剪力墙(筒体)结构的简化计算方法·····	187
第三节 框架-剪力墙(筒体)结构的构件设计·····	201
第六章 扭转的近似计算 ·····	205
第一节 概 述·····	205
第二节 质量中心、刚度中心及扭转偏心距·····	205
第三节 考虑扭转作用的剪力修正·····	209
第四节 讨 论·····	211
第七章 荷载效应组合及设计要求 ·····	213
第一节 荷载效应组合·····	213
第二节 结构设计要求·····	215
第三节 内力组合及最不利内力·····	230
第八章 框架设计和构造 ·····	242
第一节 框架抗震设计方法——延性框架的概念·····	242
第二节 框架梁抗震设计·····	245
第三节 框架柱抗震设计·····	254
第四节 梁柱节点区抗震设计·····	269
第九章 剪力墙设计和及构造 ·····	277
第一节 概 述·····	277
第二节 剪力墙截面设计及构造要求·····	281
第三节 剪力墙墙肢的构造要求·····	287
第四节 连梁截面设计及构造要求·····	292
第五节 剪力墙结构的布置要求·····	297
第十章 筒体结构 ·····	303
第一节 平面结构与空间结构·····	303
第二节 框筒与筒中筒结构特点及布置要求·····	305
第三节 框筒及筒中筒结构计算简介·····	308
第十一章 高层建筑基础 ·····	311
第一节 高层建筑基础设计要求及类型·····	311
第二节 高层建筑基础设计原则·····	317
第三节 十字交叉基础设计·····	322



第四节 高层建筑筏板基础设计.....	332
第五节 高层建筑桩基础设计.....	336
参考文献.....	359



绪 论

随着社会经济的不断发展,工业化、城市化进程的不断加快以及土木工程和相关领域科学技术水平的不断提高,高层建筑、超高层建筑的建造已成为可能,而且发展速度越来越快。自 1885 年建成 10 层高的家庭生命保险大厦(钢结构,詹尼设计,1931 年被拆除,通常被认为是世界第一栋高层建筑)以后,高层建筑在世界各国得到了迅速发展,许多高层建筑已成为城市的标志性建筑。

目前世界上高度超过 300 m 的超高层建筑已达上百幢。其中,我国台北的国际金融中心大厦的高度达到了 508 m,是目前世界上已建成并投入使用的最高建筑。

近 20 年来,高层建筑、超高层建筑在我国的发展速度完全可以用“突飞猛进”来形容,其中上海金茂大厦高度为 420.5 m,是我国内地目前最高的建筑。

第一节 高层建筑的基本概念

一、高层建筑的产生

高层建筑是现代城市人口高度集中、土地不足而地价昂贵的产物,100 多年前首先在芝加哥大批出现。现在,作为城市发展的新景点、建造业主实力雄厚的象征,高层建筑受到了广泛关注,高层建筑越造越高。美国“9·11 事件”后,“建筑物是否应越造越高”在一定范围内引起了争议,也给人们留下了更深层次的思考。

高层建筑的出现不仅改变了城市的建筑布局,而且为当地的经济的发展起到了巨大的带动作用。高层建筑的发展得益于新材料的不断出现、力学分析方法和分析手段的发展、结构设计和施工技术的进步以及现代化机械和电子技术的飞跃。随着高性能材料的不断研制和开发,以及对结构形式合理性的进一步研究,可以预见,在今后的土木工程领域,高层建筑仍将是世界各国在城市建设中的主要形式,仍将扮演重要的角色。因此,掌握高层建筑的设计知识,是对土木工程领域技术人员的基本要求。

高层建筑不仅要考虑结构受力问题,还要考虑建筑功能、文化、社会、经济、设备等因素,以使其发挥最佳的经济效益与社会效益。

二、高层建筑的定义

高层建筑有什么特点?或者说,什么样的建筑才能算是高层建筑?对于这一问



题,世界各国有不同的划分标准,不同国家有不同的规定。1972 年在美国宾夕法尼亚州召开的国际高层建筑会议制订了如下划分标准:

- 多层建筑 ≤ 8 层
- 高层建筑
 - 第一类 9~16 层 高度 ≤ 50 m
 - 第二类 17~25 层 高度 ≤ 75 m
 - 第三类 25~40 层 高度 ≤ 100 m
- 超高层建筑 > 40 层 高度 > 100 m

我国通常认为 8 层以上为高层(8 层以上设电梯)。从结构受力角度来看,随着高层建筑高度的增加,水平荷载(风载及地震作用)对结构所起的作用将越来越大。除了结构的内力将明显加大外,结构的侧向位移增加更快。一般情况下,对 30 层(100 m)以上的建筑物,水平力的影响大于垂直力。实际上,设计中遇到的与高度有关的因素有很多方面,如交通、水平荷载、结构体系、防火、施工等。

美国规定高度 22~25 m 以上或 7 层以上的建筑为高层建筑;英国规定高度 24.3 m 以上的建筑为高层建筑;日本则将 8 层以上或高度超过 31 m 的建筑称为高层建筑,并把 30 层以上的旅馆、办公楼和超过 20 层以上的住宅规定为超高层建筑。

我国 GB 50045—1995《高层民用建筑设计防火规范》(2001 年修订版)规定:10 层及 10 层以上的居住建筑(包括首层设置商业服务网点的住宅)或建筑高度超过 24 m 的公共建筑为高层建筑。

GB 50352—2005《民用建筑设计通则》规定:10 层及 10 层以上的住宅建筑以及高度超过 24 m 的公共建筑和综合性建筑为高层建筑;高度超过 100 m 时,不论是住宅建筑还是公共建筑,一律称为超高层建筑。

JGJ 3—2002《高层建筑混凝土结构技术规程》规定:10 层及 10 层以上或房屋高度超过 28 m 的混凝土结构高层民用建筑物称为高层建筑,并把常规高度的高层建筑称为 A 级高度的高层建筑,把高度超过 A 级高度限值的高层建筑称为 B 级高度的高层建筑。其中,A 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度见表 0.1,B 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度见表 0.2,钢结构高层建筑的最大适用高度见表 0.3。

表 0.1 A 级高度钢筋混凝土高层建筑的 maximum 适用高度

单位:m

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	9 度
框 架		70	60	55	45	25
框架-剪力墙		140	130	120	100	50
剪力墙	全部落地	150	140	120	100	60
	部分框支	130	120	100	80	不应采用



续表

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	9 度
筒 体	框架-核心筒	160	150	130	100	70
	筒中筒	200	180	150	120	80
板柱-剪力墙		70	40	35	30	不应采用

注:① 房屋高度指室外地面至主要屋面高度,不包括局部突出屋面的电梯机房、水箱、构架等高度;

② 表中框架不含异形柱框架结构;

③ 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙的剪力墙结构;

④ 平面和竖向均不规则的结构或Ⅳ类场地上的结构,最大适用高度应适当降低;

⑤ 甲类建筑,6,7,8 度时宜按本地区抗震设防烈度提高 1 度后符合本表的要求,9 度时应专门研究;

⑥ 9 度抗震设防、房屋高度超过本表数值时,结构设计应有可靠依据,并采取有效措施。

表 0.2 B 级高度钢筋混凝土高层建筑的适用高度

单位:m

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度		
			6 度	7 度	8 度
框架-剪力墙		170	160	140	120
剪力墙	全部落地	180	170	150	130
	部分框支	150	140	120	100
框架-核心筒		220	210	180	140
筒中筒		300	280	230	170

注:① 房屋高度指室外地面至主要屋面高度,不包括局部突出屋面的电梯机房、水箱、构架等高度;

② 部分框支剪力墙结构指地面以上有部分框支剪力墙的剪力墙结构;

③ 平面和竖向均不规则的建筑或位于Ⅳ类场地的建筑,表中数值应适当降低;

④ 甲类建筑,6,7 度时宜按本地区抗震设防烈度提高 1 度后符合本表的要求,8 度时应专门研究;

⑤ 当房屋高度超过表中数值时,结构设计应有可靠依据,并采取有效措施。

表 0.3 钢结构高层建筑的适用高度

单位:m

结构类型	结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
			6,7 度	8 度	9 度
钢结构	框 架	110	110	90	—
	框架-支撑(剪力墙)	240	200	180	140
	各类筒体	400	350	300	250
混凝土-钢结构	钢框架-混凝土剪力墙、 钢框架-混凝土芯筒	220	180	—	—
	钢框筒-混凝土芯筒	220	220	150	—



续表

结构类型	结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
			6,7 度	8 度	9 度
型钢混凝土结构	框 架	110	110	90	70
	框架-剪力墙	180	150	120	100
	各类筒体	200	180	150	120

事实上,究竟什么样的建筑算作高层建筑,应该视建筑的结构体系受力特点而定。如果建筑的结构体系在侧向力的作用下表现出了高层建筑的受力特点,则不论其高度如何,都应该按照高层建筑来对待。

一般而言,高层建筑具有占地面积少、建筑面积大、造型特殊、集中化程度高的特点。正是这一特点,使得高层建筑在现代化大都市中得到了迅速的发展。在现代化大都市中,过度的人口和建筑密度使得城市用地日趋紧张,使得人们不得不向空间发展。高层建筑占地面积少,不仅可以节省大量的土地投资,而且有较好的日照、采光和通风效果。但是,随着建筑高度的增加,建筑的防火、防灾、热岛效应等已成为人们亟待解决的难题。从受力角度来看,随着建筑高度的增加,水平荷载(风载及地震作用)对结构所起的作用将越来越大。除了内力将明显加大外,结构的侧向位移增加更快。

图 0.1 所示为结构内力(N, M)、位移(Δ)与高度(H)的关系,其中弯矩 M 和位移 Δ 均呈指数曲线上升。

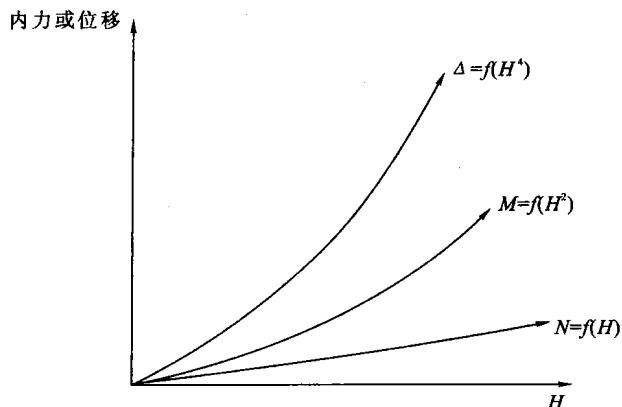


图 0.1 结构内力(N, M)、位移(Δ)与高度 H 的关系

由此可见,高层建筑不仅需要较大的承载能力,而且需要较大的刚度,从而将水平荷载产生的侧向变形限制在一定的范围内,以满足有关规范的要求。



三、高层建筑的设计特点

高层建筑在结构分析方面与多层建筑结构基本是一致的,但也有其特殊性,主要体现在以下几个方面:

(1) 构件轴向变形(墙、柱轴力大)与剪切变形(截面高度大)对结构内力和位移的影响不可忽略。

(2) 侧向风荷载或地震作用所产生的结构内力与位移往往成为控制因素。

(3) 侧向位移是结构设计控制因素。

① 顶点总位移 Δ 过大会导致电梯正常运行困难,竖向荷载下易产生 $P-\Delta$ 效应,钢材用量增加,结构失稳,倾覆危险性增加。

② 层间相对侧移量(层间位移) δ 过大会导致建筑装修及隔墙开裂,甚至引起承重构件裂缝与破坏,因此必须限制总体相对位移(或顶点相对位移) Δ/H 与层间相对位移 δ/h 两个参数。

四、高层建筑的结构材料

现代高层建筑所采用的材料主要是钢材和混凝土两种。不同国家、不同地区、不同结构形式的高层建筑所采用的结构材料不同,大致有以下几种形式:

1. 钢结构

优点是钢材强度高、韧性大、易于加工。钢结构构件可以在工厂加工,缩短了现场施工工期,施工方便。高层钢结构还具有结构断面小、自重轻、抗震性能好等优点。

缺点是高层钢结构用钢量大,钢材的防火、防腐性能不好,需要大量的防火涂料和防腐处理,增加了工程工期和造价。

2. 钢筋混凝土结构

钢筋混凝土结构材料价格低,来源丰富,可以浇注成各种复杂的断面形状。经过合理的设计,现浇钢筋混凝土结构具有较好的整体性和抗震性能;在防火和耐久性能方面有着钢结构无法比拟的优势。

缺点是自重较大,抗震性能不如钢结构,因而建造高度也不如钢结构。

香港的中环广场大厦(图0.2)是目前最高的钢筋混凝土结构建筑;其次是朝鲜平壤的柳京饭店(图0.3),为101层,高度319.8 m。

3. 钢-混凝土组合结构

将型钢布置在构件内部,外部由钢筋混凝土做成,或者在钢管内部填充混凝土,做成钢-混凝土组合结构。该种形式将钢材和混凝土两种结构材料的优势互补,使结构具有很好的抗震性能,建造高度可与钢结构相当。经济合理、技术性能优良的钢-混凝土组合结构是目前的发展趋势。

马来西亚吉隆坡国家石油大厦(图0.4),亦即双子星大楼,就是这种结构形式。该大厦楼高451.9 m,共88层。



图 0.2 中环广场大厦

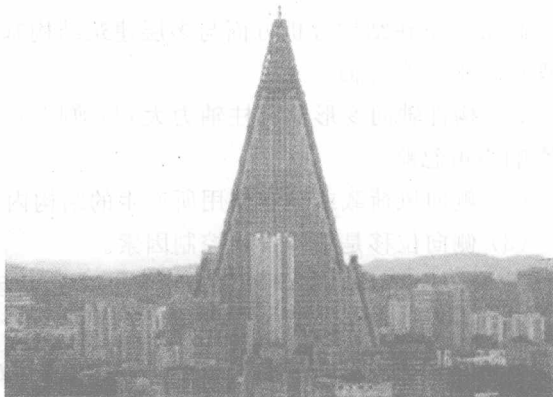


图 0.3 柳京饭店

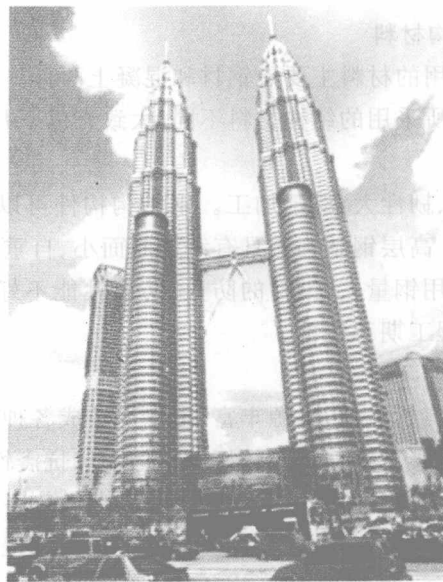


图 0.4 吉隆坡国家石油大厦

第二节 高层建筑发展简介

高层建筑的发展大致可以分成古代高层建筑和现代高层建筑两部分。

一、高层建筑的发展

在古代,高层建筑主要是寺庙或纪念性建筑,结构形式大都是木结构或砖石结构,如砖塔。许多砖塔经受了上千年的风吹雨打和地震的摇撼而屹立至今,足见其设



计和施工技术的高超。图 0.5 所示为河北定县开元寺塔。

真正意义上的高层建筑是从 1885 年美国芝加哥市建成 10 层高的家庭生命保险大厦开始的。此后 10 年中,在芝加哥和纽约相继建成了 30 幢类似的高层建筑,尤其是 1895 年奥提斯(Otis)安全电梯的投入应用,对高层建筑的发展起到了巨大的推动作用。20 世纪 30 年代是现代高层建筑发展的第一个高潮时期。1931 年建成的纽约帝国大厦(图 0.6)有 102 层,高度 381 m,保持世界最高建筑纪录长达 41 年之久。该建筑为钢结构,采用了框架结构体系。

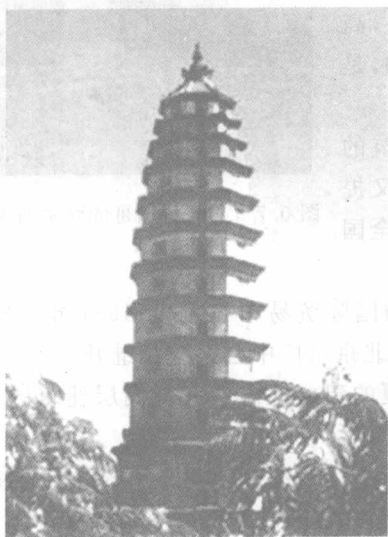


图 0.5 河北定县开元寺塔

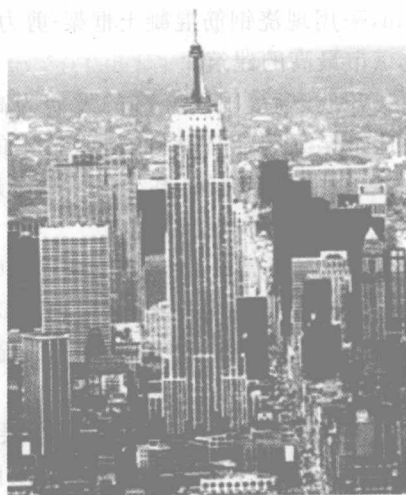


图 0.6 纽约帝国大厦

1929—1933 年美国发生了严重的经济危机,1939 年第二次世界大战全面爆发,该时期高层建筑的发展几乎处于停顿状态。第二次世界大战后,随着钢材焊接技术的成熟和发展,尤其是 20 世纪 60 年代美国人法卢齐·坎恩(Fazler K. Khan)提出了框筒体系概念,为建造超高层建筑提供了理想的结构形式。

从框筒体系中衍生出来的筒中筒、成束筒等结构体系将高层建筑的发展推向了第二个高潮,在美国出现了一批 100 层以上的超高层建筑。例如,1969 年芝加哥建成了 100 层、高 344 m 的汉考克大厦;1972 年纽约建成了 110 层、高 417 m 的世界贸易中心;1974 年芝加哥又建成了 110 层、高 443 m 的西尔斯大厦(图 0.7)。其中,西尔斯大厦作为新的世界最高建筑,享誉 22 年之久。

日本是一个地震多发国家。从抗震防灾角度出发,日本政府曾规定房屋高度不得超过 31 m。自从 1965 年取消此项规定后,高层建筑在日本也得到了充分的发展。

二、我国高层建筑的发展状况

新中国成立前我国的高层建筑很少,其中由外国人设计的上海国际饭店(24 层,



高 85 m)是当时最高的建筑。

我国高层建筑的真正发展是在新中国成立以后。在 20 世纪 50 至 60 年代,受当时经济条件的限制,高层建筑规模小,发展速度也慢。1968 年建成的广州宾馆(27 层,高 88 m)采用现浇钢筋混凝土剪力墙结构,是 20 世纪 60 年代我国建成的最高建筑。20 世纪 70 年代以后,高层建筑在我国的发展速度逐渐加快。1974 年建成的北京饭店东楼,19 层,高 87.15 m,采用现浇钢筋混凝土框架-剪力墙结构,是当时北京市最高的建筑。

改革开放以后,国民经济的发展为高层建筑的发展创造了充分的经济基础,科学技术的发展又提供了技术条件,高层建筑,甚至是超高层建筑在全国各地像雨后春笋般发展起来。

1985 年,深圳建成了 63 层、高 158.65 m 的国际贸易中心大厦;1987 年,63 层、高 200 m 的广州国际大厦和 57 层、高 208 m 的北京京广中心大厦相继开工。

1998 年,88 层、高 420.5 m 的上海金茂大厦的建成标志着我国高层建筑的建设水平已经达到了世界先进水平。

20 世纪 80 年代以来,我国已建高层建筑 2 000 余幢,仅上海 100 m 以上的就有 100 幢。1984—1993 年,每年建成 10 层以上高层建筑超过 10 000 000 m²。

目前已建 10 层以上的高层建筑在 120 000 000 m² 以上。

目前世界最高的建筑——国际金融中心大厦(图 0.8)在我国台北,101 层,高 508 m(含天线)。该建筑有世界最大且最重的“风阻尼器”,还有两台世界最高速的电梯,从 1 楼到 89 楼只需 39 s。

我国内地最高建筑是上海的金茂大厦(图 0.9),88 层,结构高度 383 m,建筑高度 420.5 m,RC 内筒、SRC 外柱,为正方形筒体-框架结构,平面 53.4 m×53.4 m,内筒 27 m×27 m,墙厚 850 mm,C60 混凝土外柱:每边 8 根高强度混凝土柱,1 500 mm×1 500 mm,角部 8 根。

三、高层建筑主要技术特点和措施

1. 结构加强层

某一层进行加强,以减少核心筒弯矩及侧移。

2. 转换层

梁式、预应力大梁,桁架式,箱式,用于上层为剪力墙、下层为框架大空间的建筑(高度可达 2~3 层楼高)。



图 0.7 美国芝加哥的西尔斯大厦