

21
CENTURY

21世纪土木工程实用技术丛书

重温经典

大师著作

推陈出新

新规范

高层建筑钢筋混凝土 结构概念设计

Gaocheng Jianzhu Gangjin Hunningtu Jiegou Gainian Sheji

方鄂华 编著

第2版



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪土木工程实用技术丛书

高层建筑钢筋混凝土 结构概念设计

第 2 版

方鄂华 编著

机械工业出版社

本书主要介绍高层建筑结构的概念设计,更着重于高层建筑钢筋混凝土结构的抗震设计概念。首先介绍了高层建筑的结构方案和结构体系。在概念设计方面,一是通过大量的震害实例来说明一些重要的设计概念,二是通过试验研究了解钢筋混凝土梁、柱、剪力墙等构件的性能,从而了解规范和规程对构件设计和配筋构造的要求,三是通过力学分析和受力、变形特性了解一些空间结构和复杂结构的特性,以便掌握设计概念。本书还介绍了许多工程实例,读者可以看到国内外一些钢筋混凝土结构和混合结构的著名建筑结构简介。

本书与高层建筑结构的教材和规范解说不同,书内基本没有对规范和规程具体规定条文的重复和逐条解释(仅有少量为说明概念列出的要求),读者阅读时联系规范、规程条文,便可深化对条文的理解和掌握。规范、规程的条文不能涵盖千变万化的建筑结构,也不是一成不变的条条框框,规范和规程也会发展和改进,因此很多情况下需要设计者根据规范、规程条文的实质内容对所采取的设计措施做出合理判断,并加以灵活运用。

本书适合于广大的结构工程师和建筑师阅读,同时亦可作为高校相关专业师生的辅助教材,对于高层建筑方面的科研及设计人员也有很大的参考价值 and 帮助。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑钢筋混凝土结构概念设计/方鄂华编著.
—2版. —北京:机械工业出版社,2014.11
ISBN 978-7-111-47838-6

I. ①高… II. ①方… III. ①高层建筑—钢筋混凝土结构—结构设计 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 201868 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:薛俊高 责任编辑:薛俊高
版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹
封面设计:张静 责任印制:乔宇
北京铭成印刷有限公司印刷
2014 年 11 月第 2 版第 1 次印刷
169mm × 239mm · 23.5 印张 · 447 千字
标准书号:ISBN 978-7-111-47838-6
定价:58.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

21 世纪土木工程实用技术丛书

编 委 会

主任委员

赵国藩 大连理工大学 中国工程院院士

编 委(依姓氏笔画排序)

方鄂华 清华大学 教授
王永维 四川建筑科学研究院 教授
王清湘 大连理工大学 教授
冯乃谦 清华大学 教授
江见鲸 清华大学 教授
朱伯龙 同济大学 教授
李 奇 机械工业出版社 副社长
宋玉普 大连理工大学 教授
杜荣军 北京建筑科学技术研究院 高工
沈祖炎 同济大学 教授
金伟良 浙江大学 教授
郝亚民 清华大学 教授
顾安邦 重庆交通学院 教授
陶学康 中国建筑科学研究院 教授
唐岱新 哈尔滨工业大学 教授
黄承逵 大连理工大学 教授
蔡中民 太原理工大学 教授

第2版前言

《高层建筑钢筋混凝土结构概念设计》出版至今已经有10年了。这10年中我国的高层建筑已经进入世界前列，无论在数量上、高度上，还是在结构设计和施工技术上都飞速的发展与进步，这是值得我们自豪的。我国《建筑设计抗震规范》GB50010—2010和《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3—2010的公布实施，标志着我国高层建筑的建设正向更高水平前进，我国已有一大批有经验的结构工程师，也会有更多的年轻工程师参加到设计工作中。

在高层建筑建设飞速发展的时候，广大工程设计人员应该更加注意提高技术水平与修养，但是，无论结构设计方法和技术如何发展，结构设计的基本概念是不会改变的，因此作者认为有必要再版本书，以便于更多结构工程师、本专业的教师和学生能够了解概念设计及概念设计的方法。

本书中有关震害及其经验教训、构件试验研究结果与设计规定以及一些结构的力学性能分析比较的内容没有变化。新版书除了一些局部修改和文字修改外，增加的内容有：最新世界高层建筑状况与我国高层建筑发展情况，高层建筑结构抗震性能设计方法的介绍及运用，建筑结构体系的发展和双重抗侧力结构的进一步探讨，结构规则性及减少扭转震害的措施等，并增加了一些近年设计的超高层建筑工程实例。

感谢广大读者的关心，欢迎指正！

方鄂华

2014年1月于清华园

第 1 版前言

高层建筑在我国的大规模蓬勃发展已有 30 年的历史，与发达国家相比，历史不算长，但是我国已培养和建立了自己的高层建筑结构研究、设计和施工队伍，锻炼了高水平的专门人才，有了符合我国国情的规范和技术规定，我们国家的高层建筑已经进入了世界水平。随着经济的不断发展，无论从数量上，还是从质量和技术水平上，高层建筑还需要有新的发展和飞跃，我国的教学、科研人员以及广大的结构工程师还要以更上一层楼的精神发展我国高层建筑结构的科学理论和实践技术，另一方面也需要在普及和提高广大技术人员的知识和设计水平方面做更多的工作。

因为“概念设计”对高层建筑结构设计的重要性和丰富内涵，多年以来，在高层建筑结构的教育和培训中受到普遍重视，但是又往往在严格的规范规定和一体化的程序计算中淡化了。结构概念设计不是某种具体的方法，它贯穿在结构设计的每一步骤，包括方案布置、结构计算、结构构造等，它是结构工程师的基本功。本书的目的是企图整理概念设计的基本脉络和内容，以人们容易理解的逻辑加以归纳，使更多设计人员掌握和运用概念设计。因此，本书与高层建筑结构的教材或规范解说不同，书内基本没有对规范和规程具体条文的重复和逐条解释，没有公式推导和计算，希望读者联系力学和结构的基本知识，联系规范、规程条文，联系实际工程，掌握概念。规范、规程的条文不能涵盖千变万化的建筑结构，也不是一成不变的条条框框，很多情况下需要设计者理解规范，加以灵活运用。

本书主要介绍高层建筑结构的概念设计，更着重于高层建筑钢筋混凝土结构的抗震概念设计。首先介绍了高层建筑的结构方案和实例，读者可以看到国内外一些著名钢筋混凝土和混合结构的简介，有些是成功的，有些也存在一些遗憾。在概念设计方面，一是通过大量

的震害实例来说明一些重要的设计概念；二是通过试验研究了解钢筋混凝土梁、柱、剪力墙等构件的性能，从而了解规范和规程对构件设计的要求；三是通过力学分析和受力、变形性能了解一些空间结构和复杂结构的特性，以便掌握设计概念。本书的读者需要具备大学课程的基本知识，如果有一些高层建筑结构设计的实践经验可能更有助于对内容的理解。

谨以此书献给广大年轻的结构工程师和建筑师，希望结构工程师在结构的基本功和结构的悟性上有所提高，希望增加建筑师与结构工程师的相互理解，密切配合，在中国的大地上创造出更美、更新、更符合人们要求的高层建筑。

感谢程懋堃总工程师、汪大绥总工程师、容伯生总工程师、李盛勇总工程师以及徐斌高级工程师等为本书提供资料，感谢孙建超高级工程师为第8章所作的计算和制图。

书中内容是作者多年从事高层建筑结构的教学、科研和设计评审等工作经验的积累，难免有片面和不周之处，望读者指教。

方鄂华

2004年5月于清华园

目 录

第2版前言

第1版前言

第1章 高层建筑结构的发展与现状	1
1.1 国内外高层建筑的历史和现状	1
1.2 高层建筑结构的特点	7
1.3 钢筋混凝土结构及混合结构在高层建筑结构 中的应用	8
1.4 高层建筑结构抗震设计	11
第2章 结构体系	15
2.1 高层建筑结构体系	15
2.2 结构体系的适用范围	25
2.3 结构体系的应用和发展	27
第3章 抗风、抗震设计方法	34
3.1 风荷载和风洞试验	34
3.2 抗震设计和计算方法的发展	38
3.3 反应谱方法	47
3.4 弹塑性地震反应分析(弹塑性时程分析)	51
3.5 静力弹塑性分析(推覆分析)	57
第4章 震害分析	61
4.1 国内外大地震的一般情况	61
4.2 场地、地基土与结构震害	65
4.3 结构刚度和震害的关系	69
4.4 结构双向刚度不均匀造成的破坏	75
4.5 结构平面刚度不均匀造成扭转破坏	79
4.6 结构竖向刚度不均匀或承载力不均匀造成的 薄弱层破坏	82
4.7 结构顶部刚度减小造成的鞭梢效应	87

4.8	结构碰撞造成破坏	90
4.9	结构赘余度不足造成的震害	90
4.10	短柱、角柱、节点区箍筋不足以及弱柱 强梁造成的柱破坏	93
4.11	剪力墙结构的地震破坏	97
第5章	结构概念设计	102
5.1	结构刚与柔的选择	102
5.2	结构平面布置宜刚度均匀,减少扭转	104
5.3	结构沿竖向刚度宜均匀,避免软弱层,减少 鞭梢效应	106
5.4	预先估计结构的破坏形态,调整承载力以加强 或削弱某些部位	107
5.5	设计延性结构和延性构件	109
5.6	设计多道设防结构——超静定结构 和双重抗侧力体系的概念	115
5.7	重视构件承受竖向荷载的安全	118
5.8	加强结构整体性——缝的设置	119
5.9	关于填充墙布置和材料选用	120
5.10	规范对结构平面及竖向布置的要求	121
第6章	钢筋混凝土框架构件设计	126
6.1	延性梁	126
6.2	延性柱	131
6.3	强节点、强锚固	144
第7章	钢筋混凝土剪力墙设计	150
7.1	悬臂剪力墙	150
7.2	联肢剪力墙(规则开洞的剪力墙)	163
7.3	剪力墙墙肢的加强措施	177
7.4	连梁的延性和设计概念	184
第8章	筒体结构设计概念	194
8.1	框筒、筒中筒和束筒的设计概念	194
8.2	框架—核心筒结构、框架—核心筒—伸臂 结构设计概念	205

第9章 加强层与转换层	219
9.1 伸臂、环向构件、腰桁架和帽桁架(加强层)	219
9.2 转换层	228
9.3 底部大空间剪力墙结构的设计概念	240
9.4 具有转换层结构的楼板设计	249
第10章 高层钢筋混凝土结构和混合 结构工程实例	250
10.1 上海金茂大厦	250
10.2 深圳地王大厦	254
10.3 上海明天广场	260
10.4 广州中信广场	263
10.5 香港中环广场(Hongkong Central Plaza)	266
10.6 北京新世纪饭店	271
10.7 北京天亚花园	274
10.8 马来西亚吉隆坡石油大厦双塔(Petronas Twin Towers)	280
10.9 广东国际大厦	285
10.10 广州天王中心大厦	288
10.11 深圳赛格广场	293
10.12 大连远洋大厦	297
10.13 美国加州太平洋公园广场公寓(Pacific Park Plaza)	301
10.14 美国芝加哥南威克大街311号大楼 (Building at 311 South Wacker Drive)	306
10.15 香港和合中心(Hope Well Centre)	308
10.16 芝加哥昂提瑞中心	311
10.17 上海中心	315
10.18 重庆滨江广场大厦结构优化设计	323
10.19 北京中国尊	327
10.20 合肥华润中心超限结构设计	332
10.21 其他钢筋混凝土框架结构	337
10.22 其他钢筋混凝土剪力墙结构	340
10.23 其他钢筋混凝土框架—核心筒结构	347
10.24 其他钢筋混凝土筒中筒结构和巨型结构	351
参考文献	361

第1章 高层建筑结构的发展与现状

1.1 国内外高层建筑的历史和现状

我国的塔是古代高层建筑的典型代表，与埃及金字塔相比，我国古代的塔在建筑形式和结构上已有了相当高的水平，大都采用木与砖结构。有一些塔经受住了上千年风吹雨打，甚至经受了强烈地震而保留至今，足见其结构合理、工艺精良。但是古代的塔主要是宗教和权力的象征，是纪念性建筑，实用空间很小，墙壁厚度大，高度也受到限制。

现代高层建筑的出现是在19世纪，1884~1885年美国芝加哥建成了11层的家庭保险大楼(Home Insurance Building)，是用铸铁和钢建造的框架结构(现已拆除)，见图1-1，它首次采用框架代替承重墙建造房屋结构，被认为是一次革命，开创了现代高层建筑的历史阶段。在以后的130年间高层建筑的发展速度由慢到快，近年来呈迅速上升趋势。1931年，在纽约建成了著名的帝国大厦(Empire State Building)，102层，381m高，成为当时的奇迹，它享有“世界最高建筑”之美誉达40年之久。1960年以后，建筑材料、结构体系和施工技术的不断发展，才开始进入大量建造50层以上高层建筑的时代。近年来，亚太地区经济迅速



图1-1 美国家庭保险大厦(1885年)

发展, 高层建筑的建造速度和高度都受到世界瞩目, 建造高度被突破的时间间隔愈来愈缩短, 表 1-1 是 2013 年 11 月公布的世界 100 幢高层建筑中的前 10。由表中可见, 由于商业竞争, 高度突破周期由数十年发展为数年, 美国在 1972 年建成 402m 高的世界贸易中心双塔(World Trade Center Twin Tower, 2001 年 9.11 事件中被毁)见图 1-2, 1974 年就建成 442m 高的西尔斯大厦(Sears Tower), 见图 1-3, 1998 年马来西亚吉隆坡建成当时世界最高建筑——452m 高的石油双塔(Petronat Twin Tower), 见图 1-4; 2004 年建成的台北市国际金融中心, 达到 480m(塔尖达 508m), 见图 1-5; 2010 年建成的迪拜哈利法塔是目前世界最高的建筑, 高 828m, 见图 1-6。

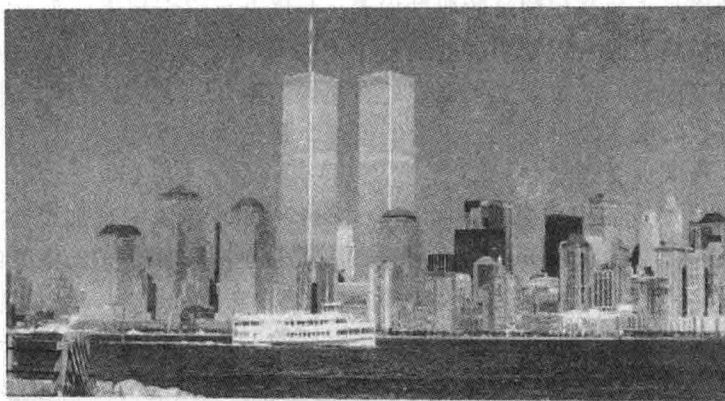


图 1-2 美国纽约世贸中心双塔(1972 年)

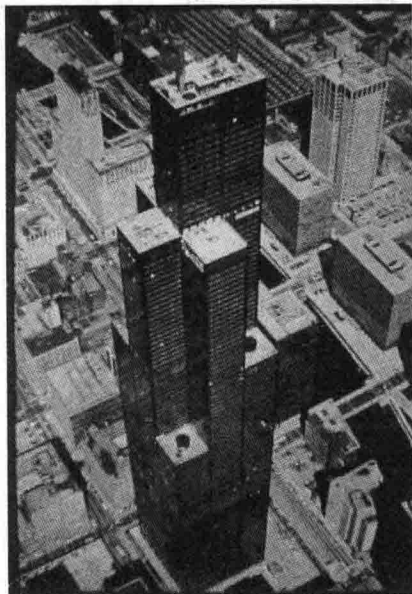


图 1-3 美国西尔斯大厦(1974 年)

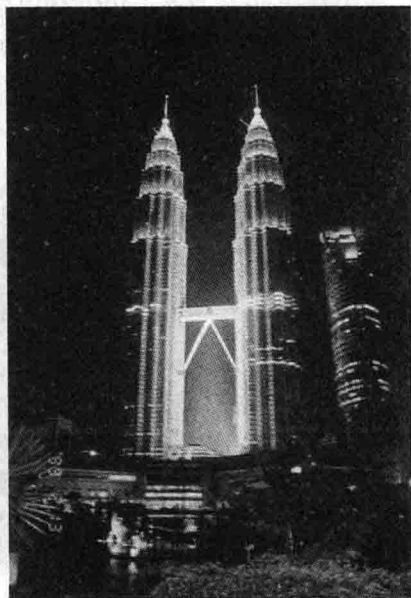


图 1-4 马来西亚吉隆坡石油双塔(1998 年)

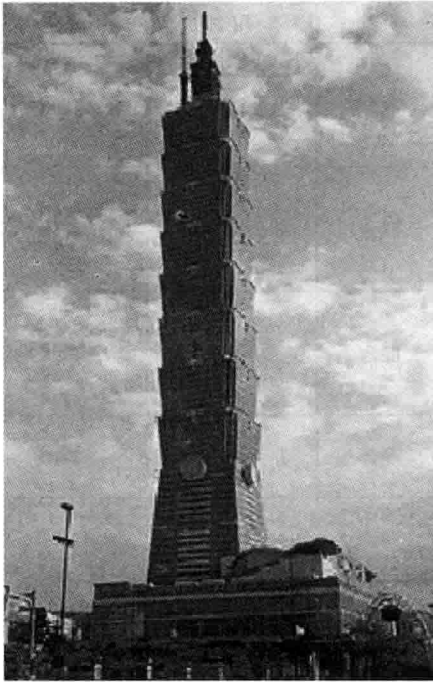


图 1-5 台北国际金融大厦(2004 年)

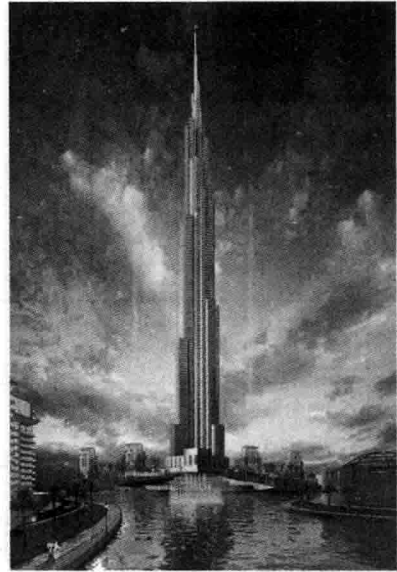


图 1-6 迪拜哈利法塔(2010 年)

表 1-2 是对世界 100 幢最高高层建筑统计的一些数字,说明其分布的国家、建造年代、使用材料等,从 100 幢最高建筑中拥有的数量看,中国已占世界第一位。

表 1-1 世界 100 幢最高建筑的前 10 幢

高层建筑与城市住宅委员会 (CTBUH) 2013.11 发布

序号	名称	城市	层数	高度/m	材料	用途	建造年代
1	哈利法塔 Burj Khalifa	迪拜	163	828	钢/混凝土	旅馆/公寓 /办公楼	2010
2	麦加钟楼 Makkah Royal Clock Tower Hotel	麦加	120	601	钢/混凝土	多功能	2012
3	台北 101 Tapei 101	台北	101	508	混合	办公楼	2004

(续)

序号	名称	城市	层数	高度/m	材料	用途	建造年代
4	上海世贸中心 Shanghai World Financial Center	上海	101	492	混合	办公楼/酒店	2008
5	国际商业中心 International Commerce Center	香港	108	484	混合	办公楼/酒店	2010
6	石油大厦双塔 Petronas Tower 1 Petronas Tower 2	吉隆坡	88	452	混合	办公楼	1998
7	紫峰大厦 Zifeng Tower	南京	89	450	混合	办公楼/酒店	2010
8	西尔斯大厦 Sears Tower	芝加哥	110	442	钢	办公楼	1974
9	京基 100 KK100	深圳		442	混合	办公楼/酒店	2011
10	广州国际金融中心 Guangzhou International Finance Center	广州	100 103	439	混合	办公楼/酒店	2010

表 1-2 世界 100 幢最高建筑分布、建造年代、材料及功能

依据高层建筑与城市住宅委员会(CTBUH)2013.11 发布

分布的国家	分布的城市	建造年代	所用材料
中国 33	迪拜 22	2010 - 2013 44	钢 14
阿联酋 25	芝加哥 7	2000 - 2009 27	混凝土 45
美国 20	香港 7	1990 - 1999 17	混合 41
马来西亚 3	广州 6	1980 - 1989 5	
韩国 3	上海 5	1970 - 1979 3	
	纽约 5	1960 - 1969 1	
其他 13 国 16		1960 以前 3	

注：中国 33 幢建筑中，包括香港 7 幢、台北 1 幢、高雄 1 幢。

解放前我国大陆高层建筑很少，在 20 世纪 50 及 60 年代陆续建成了一些，70 年代才开始大批建造，我国大陆的现代高层建筑起步较晚。20 世纪的 80 及 90 年代，我国高层建筑进入了高速发展时期，在数量、质量及高度上都有很大发展，高层住宅已遍及全国各地，上海、深圳、北京、广州——形成了成片的高层建筑群。进入 21 世纪后，我国的发展速度更加迅猛，高层建筑的数量和高度几乎是飞跃式的增加，由表 1-1、表 1-2 可见，现在我国已替代美国，成为世界上高层建筑最多的国家。表 1-3 列出了我国大陆各个年代建造的具有代表性的高层建筑，而目前尚有多幢超过 400m 的高层建筑仍在施工中。图 1-7 ~ 图 1-10 是在表 1-3 中列出的几幢国内高层建筑。



图 1-7 深圳地王大厦

表 1-3 我国高层建筑发展

年代(20 世纪)		名 称	层数	高度/m	体 系	备 注
30	1934	上海国际饭店	22	82.5	SS 框架	当年远东第一
50	1959	北京民族饭店	12	47.4	RC 框架	
60	1968	广州广州宾馆	27	87.6	RC 框—剪	当年国内最高
70	1976	广州白云宾馆	33	114.1	RC 剪力墙	当年国内最高
80	1985	深圳国贸大厦	50	158.7	RC 筒中筒	当年国内最高
	1987	广州国际大厦	63	200.0	RC 筒中筒	当年国内最高
	1987	北京京广中心	57	208.0	SS 框—剪	当年国内最高
90	1996	深圳地王大厦	69	384	混合框架— 核心筒结构	当年世界第 6
	1996	广州中信广场	80	391	RC 框架— 核心筒结构	当年世界第 5、世界钢筋混 凝土最高
	1999	上海金茂大厦	88	421	混合筒—框	当年世界第 4、国内最高

(续)

年代(20 世纪)	名 称	层数	高度/m	体 系	备 注	
21 世纪	2008	上海环球金融中心	101	492	混合	世界第 2, 国内最高
	2010	南京紫峰大厦	89	450	混合	世界第 7
	2010	广州国际金融中心	103	439	混合	世界第 10
	2011	深圳京基 100	100	442	混合	世界第 9

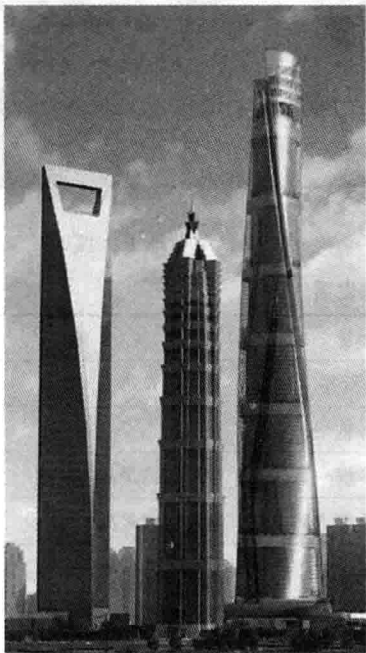


图 1-8 上海金茂大厦(中)、上海环球金融中心(左)、上海中心(右,建设中,632m)

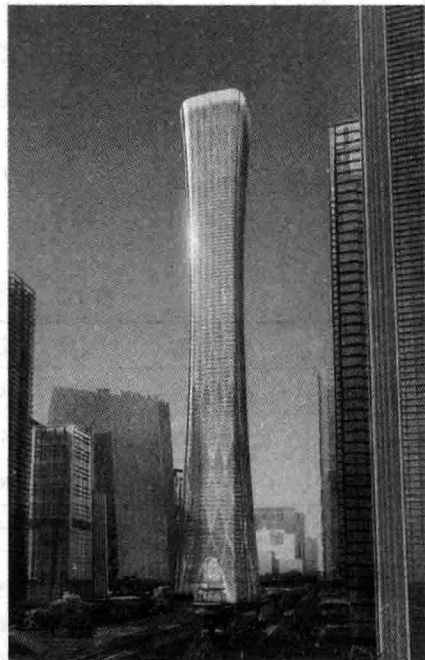


图 1-9 北京中国尊(建造中,528m)

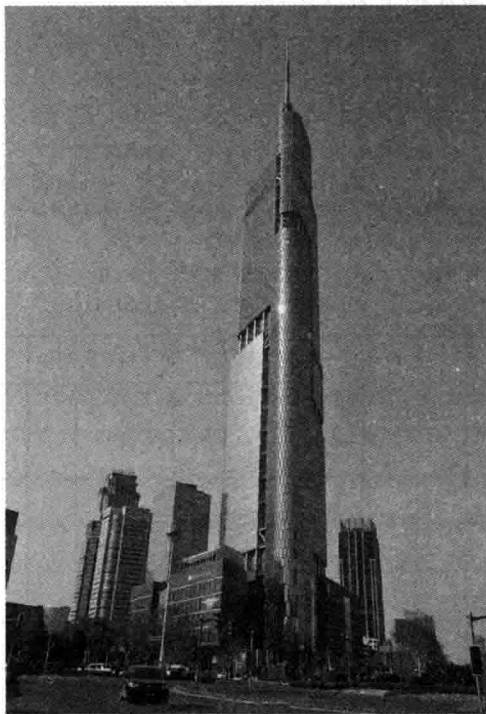


图 1-10 南京紫峰大厦

1.2 高层建筑结构的特点

从名词上看, 高层结构的主要特点是层数和高度, 实质上, 其特点是指水平荷载在设计中所占的主导地位。

图 1-11 是结构内力(N 、 M)、位移(Δ)与高度(H)的关系, 除轴向力 N 与高度成正比外, 水平荷载产生的弯矩 M 与位移 Δ 都呈指数曲线上升, 因此, 随着高度增加, 水平荷载将成为控制结构设计的主要因素。可以说, 多层到高层, 是一个水平荷载起的作用由小到大的量变过程, 多层与高层建筑结构没有固定的划分界线, 从结构的观点看, 凡是水平荷载起主要作用时就可认为进入了高层建筑结构的范畴。我国规范将 10 层或 28m 以上的建筑规定为高层建筑, 这也是世界多数国家习惯上的划分方法, 便于划定规范的适用范围。

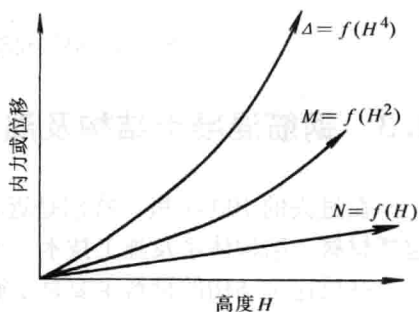


图 1-11 高层建筑内力、位移与高度关系