

21
CENTURY

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

Gaoceng Jianzhu Gangjin Hunningtu Jiegou Gainian Sheji

方鄂华 编著



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

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工程实例,读者可以看到国内外一些钢筋混凝土和混合结构的著名建筑结构简介。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和帮助。

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.

—北京:机械工业出版社,2004.8

(21世纪土木工程实用技术丛书)

ISBN 7-111-14870-3

I. 高... II. 方... III. 高层建筑—钢筋混凝土结构—概念设计 IV. TU973

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第066654号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:薛俊高 版式设计:张世琴 责任校对:刘志文

封面设计:张静 责任印制:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004年9月第1版·第1次印刷

890mm×1240mm A5·12.125印张·357千字

0 001—4 000册

定价:29.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、88379646
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 四川建筑科学研究所 教授
王清湘 大连理工大学 教授
冯乃谦 清华大学 教授
石永久 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
李 珠 太原理工大学 教授
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
聂建国 清华大学 教授
黄承逵 大连理工大学 教授
蒋树屏 重庆交通科技研究院 教授
蔡中民 太原理工大学 教授

前 言

高层建筑在我国的大规模蓬勃发展已有 30 年历史，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學、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

前 言

第 1 章	高层建筑结构发展与现状	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	6
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 ...	6
1.4	高层建筑结构抗震设计	16
第 2 章	结构体系及工程实例	20
2.1	高层建筑结构体系	20
2.2	结构体系的适用范围	31
2.3	高层钢筋混凝土结构和混合结构工程实例	33
第 3 章	抗风、抗震设计方法	127
3.1	风荷载和风洞试验	127
3.2	抗震设计和计算方法的发展	132
3.3	反应谱方法	137
3.4	弹塑性地震反应分析(弹塑性时程分析)	142
3.5	静力弹塑性分析(推覆分析)	150
第 4 章	震害分析	156
4.1	国内外大地震的一般情况	156
4.2	场地、地基与结构震害	161
4.3	结构刚度和震害的关系	167
4.4	结构双向刚度不均匀造成的破坏	173
4.5	结构平面刚度不均匀造成扭转破坏	176

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	180
4.7	结构顶部刚度减小造成的鞭梢效应	188
4.8	结构碰撞造成破坏	190
4.9	结构赘余度不足造成的震害	191
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	194
4.11	剪力墙结构的地震破坏	199
第5章	结构概念设计	204
5.1	结构刚与柔的选择	204
5.2	结构平面布置宜刚度均匀, 减少扭转	205
5.3	结构沿竖向刚度宜均匀, 避免软弱层, 减少鞭梢效应	208
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	209
5.5	设计延性结构和延性构件	211
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	219
5.7	重视构件承受竖向荷载的安全	222
5.8	加强结构整体性——缝的设置	223
5.9	关于填充墙布置和材料选用	224
5.10	规范对结构平面及竖向布置的要求	225
第6章	钢筋混凝土框架构件设计	228
6.1	延性梁	228
6.2	延性柱	234
6.3	强节点、强锚固	249
第7章	钢筋混凝土剪力墙设计	256
7.1	悬臂剪力墙	256
7.2	联肢剪力墙(规则开洞的剪力墙)	271
7.3	剪力墙墙肢的加强措施	288
7.4	连梁的延性和设计概念	296

第 8 章 筒体结构设计概念	309
8.1 框筒、筒中筒和束筒的设计概念	309
8.2 框架—核心筒结构、框架—核心筒—伸臂 结构设计概念	323
第 9 章 加强层与转换层	337
9.1 伸臂与加强层	337
9.2 转换层	347
9.3 底部大空间剪力墙结构的设计概念	360
9.4 具有转换层结构的楼板设计	371
参考文献	373

第 1 章 高层建筑结构发展与现状

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，其实用空间很小，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 120 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 2002 年公布的世界 100 幢高层建筑中的前 10 名 (表中列出了每个建筑的 4 个高度)。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)，1973 年就建成 443m 高的西尔斯大厦 (Sears Tower)，见图 1-2，1998 年马来西亚吉隆坡建成表 1-1 中列出的世界最高建筑——452m 高的石油双塔

(Petronat Twin Tower), 见图 1-3; 2004 年建成的台北市国际金融中心目前已成为世界最高建筑, 达到 480m (塔尖达 508m, 尚未统计入表), 见图 1-4; 2003 年香港又建成了 89 层, 高 415m 的第二国际金融中心(世界第 6, 也尚未统计入表); 而正在建造的上海国际金融中心建成后可能达到 492m (或者更高)。目前还有一些建筑正在酝酿, 不久还有可能出现更高的建筑。

表 1-2 是对世界 100 幢最高高层建筑统计的一些数字, 说明其建造年代、使用材料及使用功能等, 从 100 幢最高建筑中拥有的数量看, 中国已占世界第二位。

解放前我国大陆高层建筑很少, 解放后, 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, 因此我国大陆的现代高层建筑起步较晚。表 1-3 是我国大陆各个年代的最高建筑, 也是各阶段具有代表性的高层建筑。

20 世纪 80 年代末期及 90 年代, 我国高层建筑进入了飞速发展的时期, 在数量、质量及高度上都有了迅猛的发展, 国内高层住宅已遍及全国各地, 上海、深圳、广州、北京已形成了成片的高层建筑群, 1998 年上海建成了 88 层、高 420m 的金茂大厦, 见图 1-5, 是我国目前的最高建筑。由表 1-1 可见, 我国已有 5 幢建筑进入世界最高建筑的前 10 名, 已有 17 幢进入前 100 名(包括台湾)。

表 1-1 世界上 100 幢最高建筑的前 10 幢

高层建筑与城市住宅委员会 (CTBUH) 2002 年 6~7 月发布

序号	名称	城市	建成年代	层数	材料	用途	高度/m			
							结构顶	使用顶	屋顶	塔(杆)顶
1	石油大厦 1 Petronas Tower1	吉隆坡	1998	88	混合	多功能	452	375	379	452
2	石油大厦 2 Petronas Tower2	吉隆坡	1988	88	混合	多功能	452	375	379	452
3	西尔斯大厦 Sears Tower	芝加哥	1974	110	钢	办公	442	436	442	520

(续)

序号	名称	城市	建成年代	层数	材料	用途	高度/m			
							结构顶	使用顶	屋顶	塔(杆)顶
4	金茂大厦 Jin Mao Building	上海	1999	88	混合	多功能	421	366	370	421
5	中信广场 Citic Plaza	广州	1996	80	混凝土	多功能	391	318	323	391
6	地王大厦 Shun Hing Square	深圳	1996	69	混合	办公	384	298	325	384
7	帝国大厦 Empire State Building	纽约	1931	102	钢	办公	381	369	381	449
8	中环广场 Central Plaza	香港	1992	78	混凝土	办公	374	299	309	374
9	中国银行大厦 Bank of China Tower	香港	1989	70	混合	办公	369	288	305	369
10	酋长国大厦 1 Emirates Tower One	迪拜	1999	55	混合	多功能	355	213	258	355

注：2003年建成的台北市国际金融中心目前已成为世界最高，达到480m（塔尖达508m），尚未统计入表。原占据第5、6位的世界贸易中心双塔为1972年建成，402m，于2001年9.11事件中被毁，已从排名中除去。

表 1-2 世界 100 幢最高建筑分布、建造年代、材料及功能
高层建筑与城市住宅委员会(CTBUH)2002年6~7月发布

分布的国家		分布的城市		建造年代		所用材料		建筑功能	
美国	48	纽约	13	2001	6	钢	37	办公楼	72
中国	17	芝加哥	10	2000	9	混凝土	23	多功能	24
日本	6	香港	5	1990	41	混合	32	旅馆	4
马来西亚	5	吉隆坡	5	1980	20	砌体	0	居住	1
加拿大	4	上海	4	1970	12	—	—	—	—
新加坡	4	休斯敦	4	1960	5	—	—	—	—
其他 11 国	16	其他 35 城市	59	1950 及以前	7	—	—	—	—

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	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 框一剪	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 框一剪	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	世界第 6
	1996	广州中信广场	80	391	RC 框架— 核心筒结构	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	世界第 4, 国内最高



图 1-1 美国家庭保险大厦



图 1-2 美国西尔斯大厦



图 1-3 马来西亚吉隆坡石油双塔

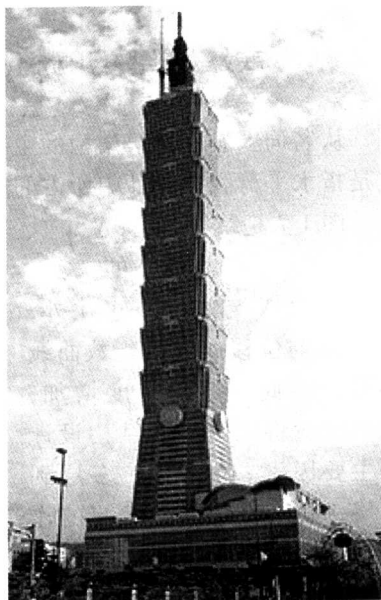


图 1-4 台北国际金融大厦

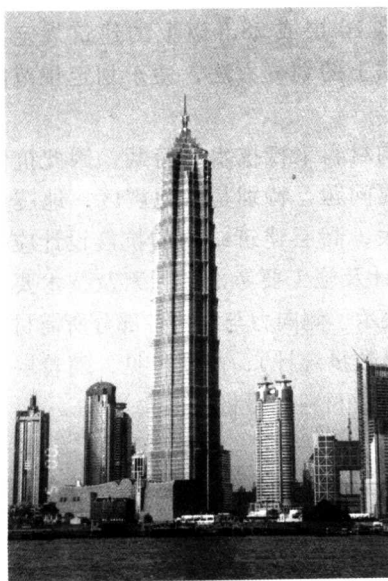


图 1-5 上海金茂大厦

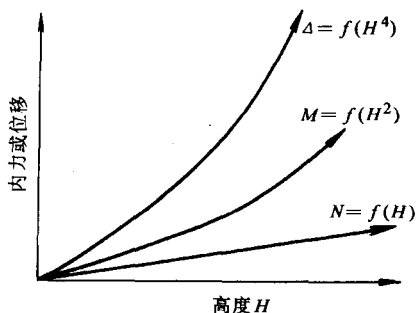


图 1-6 深圳地王大厦

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 1-7 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，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。

在高层建筑中，要使用更多结构材料来抵抗水平荷载，因此抗侧力结构成为高层建筑结构设计的主要问题，特别是在地震区，地震作用对高层建筑危害的可能性也比较大，高层建筑结构的抗震设计应受到加倍重视。因此，高层建筑结构设计及施工要考虑的因素及技术要求比多层建筑更多、更为复杂。图 1-8 表示了侧向力与结构各部分所需材料的关系(按钢结构每平方米所需的钢材数量统计)，由图可见，随着层数加大，水平力作用下结构设计是否优化，材料用量将有很大差别。

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

在过去的 100 年里，特别是近 50 年，高层建筑结构有了巨大发

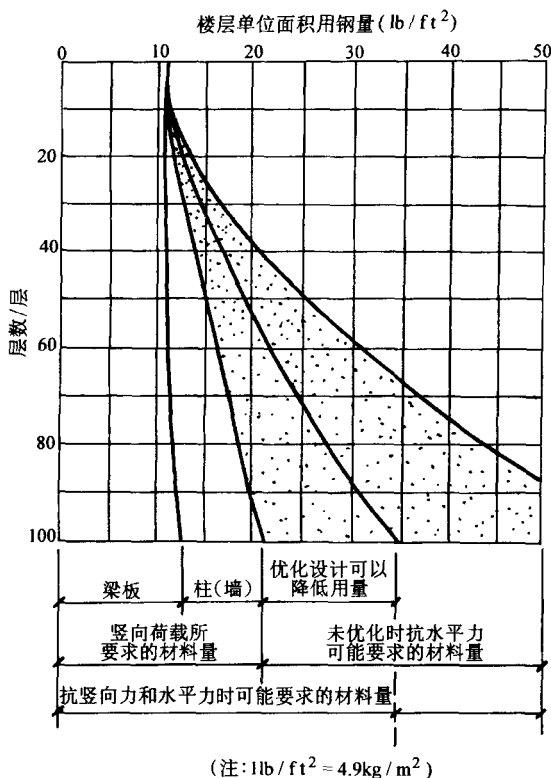


图 1-8 高层建筑结构材料用量与高度关系^[1]

展，其中包括材料、结构体系及施工技术。

高层建筑结构的材料主要是钢筋混凝土和钢。除了全部采用钢材的钢结构和全部采用钢筋混凝土材料的钢筋混凝土结构外，同时采用两种材料做成的混合结构和组合结构在近年来得到愈来愈广泛的应用。

钢结构优点突出：钢材抗压、抗拉、抗剪强度都很高，韧性大，易于加工；钢结构具有结构断面小、自重轻，可减少结构所占据的建筑面积，可降低基础造价；构件延性好，结构抗震性能优于钢筋混凝土结构；钢结构构件可在工厂加工，缩短现场施工工期。钢结构的主