



普通高等教育土建类专业“十五”规划教材



北京市高等教育精品教材立项项目

高校土木工程
专业指导委员会规划推荐教材

高层建筑结构设计

方鄂华 钱稼茹 叶列平 编著

中国建筑工业出版社

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材

北京市高等教育精品教材立项项目

高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材

高层建筑结构设计

方鄂华 钱稼茹 叶列平 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

高层建筑结构设计/方鄂华等编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2003
普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材
ISBN 7-112-05973-9

I. 高... II. 方... III. 高层建筑-结构设计-高等学校-教材 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 071897 号

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材
北京市高等教育精品教材立项项目
高校土木工程专业指导委员会规划推荐教材
高层建筑结构设计

方鄂华 钱稼茹 叶列平 编著

*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京密东印刷有限公司印刷

*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 20 $\frac{1}{4}$ 字数: 424 千字

2003 年 9 月第一版 2005 年 1 月第四次印刷

印数: 9001—13000 册 定价: 28.00 元

ISBN 7-112-05973-9
TU·5249 (11612)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书是在1992年出版的“多层及高层建筑设计”基础上修订的。本书是全国高等学校土木工程专业指导委员会的规划推荐教材之一。本书内容主要包括：高层建筑结构概述；高层建筑结构体系与布置；高层建筑结构的荷载；高层建筑设计的要求；框架、剪力墙、框架-剪力墙结构的近似计算方法及设计概念；钢筋混凝土框架构件设计；钢筋混凝土剪力墙构件设计；高层建筑结构的空问计算及设计概念等。

本书除作教材外，还适合作建筑结构专业工程技术人员及其他人员自学用书。

责任编辑：吉万旺

责任设计：崔兰萍

责任校对：王莉

前 言

1999~2002年,我国建筑结构的有关规范及规程完成了新一轮的修改,内容有较大更新。近年来,我国高层建筑设计及施工技术又有很大发展,高强混凝土技术已经成熟,钢筋混凝土结构仍然是高层建筑结构的主体,而高层建筑钢结构及混合结构也得到了较多应用;高层建筑的高度突破400m,高层建筑的体型和功能更加多样化,结构的复杂程度增加。凡此种种,编写新的高层建筑结构教材的任务势在必行。

这本教材是在1992年出版的“多层及高层建筑结构设计”(地震出版社)基础上修订的,原教材受到了广大师生的欢迎。本教材保留了原教材的重视概念、理论与实际相结合的风格,各章都有例题及思考题,内容适合于高等教育本科教学的要求。同时,增加和加强了下列各部分内容:(1)加强了结构体系介绍;(2)通过计算对比,阐述了空间结构及复杂结构设计的一些重要概念,例如框架-核心筒、框筒、伸臂、转换层等;(3)增加了程序计算部分的比重,减弱了手算方法公式的推导,但保留了手算方法及通过手算方法阐述结构受力变形规律和概念的内容;(4)以钢筋混凝土高层建筑结构为主,增加了钢结构及混合结构方案和设计基本方法的介绍,包括钢构件、钢骨混凝土构件及钢管混凝土构件的基本设计方法;(5)对消能减震结构做了简介。

本书是全国高等学校土木工程专业指导委员会的规划推荐教材,本书也适合建筑结构专业工程技术人员及其他人员自学。在学习本书时,读者应具备结构力学及钢筋混凝土基本构件的知识。

本书共分11章,其中1、3、4、5、8章由方鄂华教授编写,2、6、7、9章及10.3节由钱稼茹教授编写,10.1、10.2、10.4节及11章由叶列平教授编写。感谢中国建筑科学研究院建筑设计研究院的孙建超工程师,他在第8章的许多计算对比内容中做了大量计算工作。

如有不当之处,欢迎读者指教。

编者

于清华园 2003年7月

目 录

第 1 章 高层建筑结构概述	1
1.1 高层建筑结构的特点	1
1.2 国内外高层建筑的历史和现状	2
1.3 现代高层建筑结构的发展	6
第 2 章 抗侧力结构与布置	9
2.1 框架结构	9
2.2 剪力墙结构	12
2.3 框架-剪力墙结构	15
2.4 板柱-剪力墙结构	18
2.5 框架-支撑(抗震墙板)结构	18
2.6 筒体结构	21
2.7 框架-核心筒结构	25
2.8 巨型结构	28
2.9 抗侧力结构体系的适用高度及高宽比	31
2.10 建筑体形和结构总体布置	34
2.11 变形缝的设置	41
2.12 基础形式	43
思考题	45
第 3 章 高层建筑结构荷载	46
3.1 风荷载	46
3.2 地震作用	57
思考题	72
第 4 章 设计要求及荷载效应组合	74
4.1 承载力验算	74
4.2 侧移限制	75
4.3 舒适度要求	76
4.4 稳定和抗倾覆	76
4.5 抗震结构延性要求和抗震等级	77
4.6 荷载效应组合及最不利内力	81
思考题	89
第 5 章 框架、剪力墙、框架-剪力墙结构的近似计算方法与设计概念	90
5.1 计算基本假定	90
5.2 框架结构的近似计算方法	91

5.3 剪力墙结构的近似计算方法	105
5.4 框架-剪力墙(筒体)结构的近似计算方法	120
5.5 扭转近似计算	134
思考题	143
第6章 钢筋混凝土框架构件设计	145
6.1 延性耗能框架的概念设计	145
6.2 框架梁抗震设计	147
6.3 框架柱抗震设计	154
6.4 梁柱节点核心区抗震设计	164
6.5 钢筋的连接和锚固	167
思考题	175
第7章 钢筋混凝土剪力墙设计	177
7.1 概述	177
7.2 墙肢设计	178
7.3 连梁设计	191
思考题	199
第8章 高层建筑结构的空間计算及设计概念	200
8.1 杆件有限元计算方法及计算简化假定	200
8.2 框架结构计算	209
8.3 剪力墙结构的计算模型	216
8.4 框筒、筒中筒、束筒的计算及设计概念	222
8.5 框架-核心筒结构、框架-核心筒-伸臂结构的设计概念与计算	232
8.6 转换层及加强层	241
思考题	249
第9章 高层建筑钢结构设计简介	252
9.1 一般规定	252
9.2 钢框架构件抗震承载力验算	255
9.3 中心支撑框架支撑的抗震承载力验算	258
9.4 偏心支撑框架杆件承载力验算	259
9.5 构件长细比和板件宽厚比限值	262
9.6 构件连接	263
思考题	269
第10章 高层建筑混合结构设计简介	270
10.1 概述	270
10.2 钢骨混凝土构件设计	279
10.3 钢管混凝土柱设计	290

10.4 钢-混凝土组合梁板设计·····	301
思考题·····	305
第 11 章 消能减震结构设计简介 ·····	306
11.1 概述·····	306
11.2 阻尼器·····	309
11.3 消能减震结构设计要点·····	314
11.4 其他结构减振(震)控制方法·····	318
思考题·····	319
参考文献·····	320

第1章 高层建筑结构概述

1.1 高层建筑结构的特点

从名词上看，多层和高层结构的差别主要是层数和高度，习惯上，将10层以下的建筑看做多层建筑。但是实际上，多层和高层建筑结构没有实质性差别，它们都要抵抗竖向及水平荷载作用，从设计原理及设计方法而言，基本是相同的。但是在高层建筑中，要使用更多结构材料来抵抗外荷载，特别是水平荷载，因此抗侧力结构成为高层建筑结构设计的主要问题，设计时要满足更多要求。

图1-1是结构内力（ N 、 M ）、位移（ Δ ）与高度的关系，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。图1-2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。特别是在地震区，地震作用对高层建筑危害的可能性也比对多层建筑大，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更为复杂。事实上，多层与高层建筑结构没有固定的划分界线，可以说，多层到高层，是一个水平荷载起作用由小到大的量变过程，从结构的观点看，凡是水平荷载起主要作用的建筑就可认为进入了高层建筑结构的范畴。

本教材所讲解的内容，其基本方法对多层和高层结构都是一样的，但主要内容是介绍高层建筑结构中的特殊要求和设计方法。

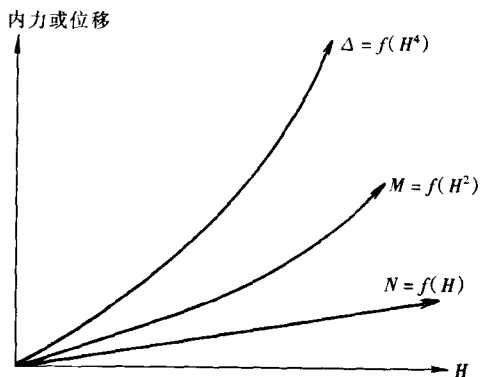


图 1-1 结构内力、位移与高度关系

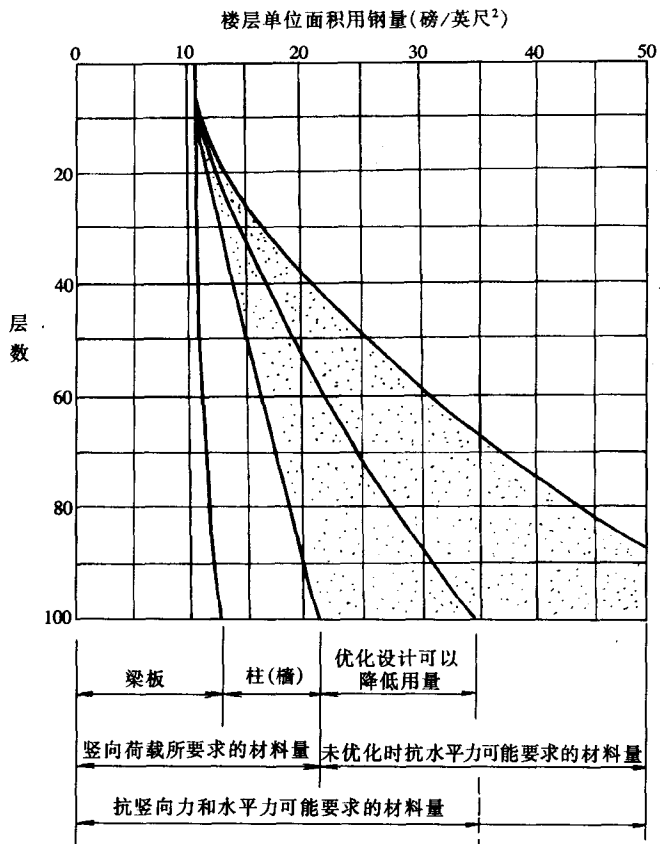


图 1-2 高层建筑结构材料用量与高度关系

摘自《结构概念和体系》(第二版) [13]

1.2 国内外高层建筑的历史和现状

我国的塔是古代多层和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。但是古代高层建筑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。

现代高层建筑是随着社会生产的发展和人类活动的需要而发展起来的,是商业化、工业化和城市化的结果。现代高层建筑不仅要满足各种使用功能,而且要求节省材料,又要美观。只有科学技术的进步、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运用,才能为多层及高层建筑的发展提供物

质基础和技术条件。

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, 开创了现代高层建筑结构的技术途径。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, 建筑材料和技术的不断发展, 才开始进入大量建造 50 层以上高层建筑的时代, 美国相继建成了 110 层、402m 高的世界贸易中心双塔 (World Trade Center Twin Towers, 1972 年建成, 在 2001 年 9·11 事件中被毁) 和 110 层、443m 高的西尔斯大厦 (Sears Tower, 1973 年建成)。近年来, 亚太地区经济迅速发展, 1998 年, 在马来西亚吉隆坡建成目前世界最高建筑——石油双塔 (Petronas Twin Towers), 88 层、452m 高, 见图 1-3。现在正在施工的台北



图 1-3 吉隆坡石油双塔

市国际金融中心建成后将达到 101 层、508m (图 1-4 为正在建造中的台北市国际金融中心), 上海的国际金融中心建成后将达到 97 层、492m (未建成的大楼高度可能变更), 更高的建筑在设计及酝酿中, 不久还会出现。

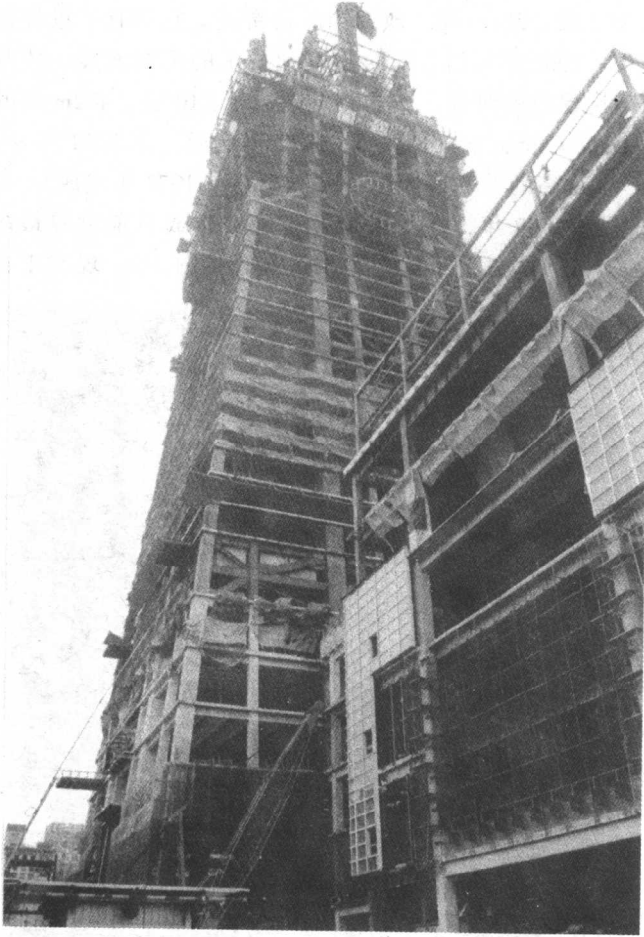


图 1-4 正在建造中的台北市国际金融中心

我国的现代高层建筑起步较晚, 解放前我国高层建筑很少, 解放后, 在 20 世纪 50 及 60 年代陆续建成了一些, 20 世纪 70 年代才开始大批建造。我国各阶段具有代表性的高层建筑是: 20 世纪 50 年代建造的最高建筑是 12 层、高 47.4m 的北京民族饭店 (1959); 20 世纪 60 年代最高建筑是 27 层、88m 高的广州宾馆 (1968); 1974 年建成的北京饭店东楼, 19 层、87.15m 高, 是当时北京最高建筑; 1976 年在广州建成的 33 层、高 114.05m 的白云宾馆, 是以后 9 年中我国的最高建筑; 1985 年深圳建成当时我国最高建筑——50 层、158.65m 的国际贸易中心大

厦；相隔仅两年，即 1987 年，超过前者高度的广州国际大厦（200m、63 层）和北京京广中心（208m、57 层）相继建成。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代，在数量、质量及高度上都有了迅猛的发展，例如 1996 年深圳建成 81 层、高 325m 的地王大厦（图 1-5），1998 年上海建成 88 层、高 420m 的金茂大厦（图 1-6），后者是我国目前的最高建筑。据 2002 年美国高层建筑协会统计，我国（包括香港）已有 5 幢建筑进入世界最高建筑的前 10 名。



图 1-5 深圳地王大厦



图 1-6 上海金茂大厦

1.3 现代高层建筑结构的发展

现代高层建筑主要着重于使用功能，同时又要充分表现其美学功能。

高层建筑往往成为现代城市的点缀或标志性建筑。在 20 世纪，高层建筑发展集中在发达国家，例如纽约、芝加哥都有成片的高层建筑群，世界最高建筑在美国。20 世纪的末期，东南亚经济腾飞，高层建筑迅速发展，东京、吉隆坡、新加坡以及我国的上海、深圳、北京、广州的高层建筑都如雨后春笋般建造起来。高层建筑的发展首先是经济发展的必然结果，必须以现代技术发展为前提，城市美观又要求建筑与美学形式的高度结合。发展至今，高层建筑的功能和形式极为多样化，建筑高度也不断加大。例如，将功能各异商业、办公、旅馆、公

寓及娱乐功能集中于一幢建筑中，信息时代高新技术的应用，室内外环境的高标准要求，要求建成具有个性化的多功能及高智能化建筑等等；在商业竞争及地皮紧缺的背景下，个别建筑的高度愈来愈高，甚至出现了高度达到 1000m 以上的“高层（建筑）城市”的设想。

为适应高层建筑多样化及高度不断增加的要求，在过去的 100 年，特别是近 50 年，高层建筑结构的技术有了巨大发展，其发展包括材料、结构体系及施工技术。今后，高层建筑结构的材料、设计与施工技术还必然会有新的发展及创造。

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在近年得到愈来愈广泛的应用。

钢材强度高，韧性大，易于加工，钢结构具有构件断面小、自重轻、抗震性能好等优点，钢结构构件可在工厂加工，缩短现场施工工期。但是高层钢结构用钢量大，造价高，防火性能不好，需要用昂贵的防火涂料。

钢筋混凝土结构造价较低，且材料来源丰富，并可浇筑成各种复杂断面形状，节省钢材，承载力也不低，经过合理设计也可获得较好的抗震性能。其缺点是构件断面大，占据室内空间并减少使用面积，自重大，从而使基础用材更多，导致基础造价增高，抗震性能不如钢结构。

过去，在发达国家，大多数高层建筑采用钢结构。在发展中国家，大都采用钢筋混凝土材料建造高层建筑。近年来，由于钢筋混凝土结构具有的优点，发达国家的钢筋混凝土建筑日益增多，美国和日本都建成了一些钢筋混凝土 30~40 层的高层建筑。实际上，采用两种材料做成混合结构，或者组合结构，只要注意其特点并经过合理设计，会得到安全而经济的结果，成为近年来发展研究的热点。

混合结构是部分采用钢构件（例如钢柱、钢梁），部分采用钢筋混凝土构件（例如钢筋混凝土剪力墙），或者部分采用组合构件的结构。组合构件是指将钢材及钢筋混凝土材料结合在同一个构件中，例如钢骨混凝土柱、钢管混凝土柱、组合梁、组合板等。目前世界最高的吉隆坡石油双塔，由于高度大，要求更大的结构刚度，以避免风振引起的加速度造成人体不舒适，经过仔细研究，采用了钢筋混凝土、钢构件和组合构件结合做成的混合结构。

在我国，高层建筑中仍以钢筋混凝土结构为主，但是由于我国的钢产量已有相当数量，要求逐步推广钢结构。我国钢结构设计、钢构件加工及安装技术都已成熟，钢骨混凝土、钢管混凝土构件的研究和应用也正在蓬勃发展，混合结构应用已有相当多数量。

高层建筑的抗侧力体系是高层建筑结构是否合理、安全而经济的关键，它随着建筑高度及功能的发展需要而不断发展变化。由最初的框架、剪力墙结构等基

本体系，发展为框架-剪力墙体系，继而又发展了框架-筒体体系、框架-筒体-伸臂体系、框筒体系、筒中筒体系、巨型框架体系、空间桁架结构体系等等。随着建筑功能及形式的不断发展，相信还会有更多、更新的结构体系出现。

我国为多地震国家，地震烈度为6度及6度以上的地震区占全国面积的60%，位于6、7、8、9度抗震设防区域内的高层建筑必须进行抗震设计。我国国家标准又按建筑使用功能的重要性分为甲、乙、丙、丁四个抗震设防类别。甲类建筑是重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑；乙类建筑是在地震发生时使用功能不能中断的建筑，如医院、通信枢纽等；丁类建筑属于抗震次要建筑；除甲、乙、丁类以外的建筑都是丙类建筑。大部分高层建筑属于丙类，但属于乙类的也为数不少，结构抗震设计成为高层建筑设计的重要内容。

本教材介绍的结构体系、结构荷载及地震作用、设计要求、分析方法等对于各种类型的高层结构都基本相同，构件设计则以钢筋混凝土结构为主，对高层钢结构及混合结构只做简单介绍。从结构体系到结构计算、构件设计，本教材对高层建筑结构的抗震要求和设计方法都作了重点介绍。

第2章 抗侧力结构与布置

设计抗侧力结构是高层建筑结构设计的关键和主要工作。高层建筑基本的结构构件是梁、柱、支撑、墙和墙组成的筒，用这些构件可以组成高层建筑众多的抗侧力结构。

2.1 框 架 结 构

由梁、柱组成的结构单元称为框架；全部竖向荷载和侧向荷载由框架承受的结构体系，称为框架结构。框架梁、柱可以分别用钢、钢筋混凝土、型钢（型钢）混凝土，柱还可以用钢管混凝土等。

框架结构的柱距，可以是4~5m的小柱距，也可以是7~8m的大柱距，采用钢梁—混凝土组合楼盖时，柱距可以更大。框架结构的建筑平面布置灵活，可以用隔断墙分隔空间，以适应不同使用功能的需求。框架结构适用于办公楼、教室、商场、住宅等房屋建筑。

我国地震区最高的现浇钢筋混凝土框架结构是高18层、局部22层的北京长城饭店（图2-1），为延性框架；用轻钢龙骨石膏板作隔墙，外墙为玻璃幕墙。最高的钢框架结构是北京的长富宫（图2-2），26层，94m，底部2层采用型钢混凝土框架结构，以增大侧向刚度。

框架只能在自身平面内抵抗侧向力，必须在两个正交的主轴方向设置框架，以抵抗各个方向的侧向力。抗震框架结构的梁柱不允许铰接，必须采用刚接，使梁端能传递弯矩，同时使结构有良好的整体性和比较大的刚度。抗震设计的框架结构不宜采用单跨框架。

框架结构可以采用横向承重，或者纵向承重，或者纵横双向承重，采用何种承重方式主要取决于楼板布置。

沿建筑高度，柱网尺寸和梁截面尺寸一般不变，上层的柱截面尺寸可以减小。当柱截面尺寸变化时，轴线位置尽可能保持不变。柱网布置要尽可能对称，图2-3为一些框架结构的平面布置图。

通过合理设计，框架可以成为耗能能力强、变形能力大的延性框架。梁、柱都是线形构件，截面惯性矩小，因此框架结构的侧向刚度比较小。用于比较高的建筑时，需要截面尺寸大的梁柱才能满足侧向刚度的要求，减小了有效使用空间，造成材料浪费。因此，框架结构不适用于高度很大的房屋建筑。

框架在侧向力作用下的变形如图2-4所示。其侧移由两部分组成：梁和柱的