

高层建筑结构设计

(第二版)

包世华 方鄂华

清华大学出版社

高层建筑结构设计

(第二版)

包世华 方鄂华

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 提 要

本书是在 1985 年版本的基础上,按照我国新修订的有关规范全面增删修改而成。全书共十章,包括:结构体系与布置;荷载与设计要求;框架、剪力墙、底层大空间剪力墙、框架-剪力墙、筒体等结构的内力和位移计算;高层建筑结构计算的矩阵位移法;框架、剪力墙截面的设计与构造等。

本版收集了国内新的建筑实例,较详细地讨论了结构抗震设计,并介绍了时程分析法。为了突出基本概念便于教学,书中阐述的计算方法以适合手算的简便方法为主,但也介绍了矩阵位移法在高层建筑结构分析中的应用,概括介绍并评价了一些较为先进的电算程序。

书中内容结合我国工程实际,同时也尽可能地反映国内外及我校近年来的一些科研成果。

本书可作为高等院校土建类结构专业教材,也可供有关专业工程技术和科研人员参考。

高层建筑设计

(第二版)

包世华 方鄂华

责任编辑 姚美瑞

☆

清华大学出版社出版

(北京清华大学学研大厦)

北京市昌平环球印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行

☆

开本: 787×1092 1/16 印张: 29.75 字数: 705 千字

1990 年 10 月第 2 版 2002 年 7 月第 15 次印刷

印数: 78001~81000

ISBN 7-302-00666-0/TU·63

定价: 28.00 元



第二版序

从本书第一版至今,我国的高层建筑又有了很大的发展。近年来,全国许多城市普遍兴建了各种类型的高层建筑,包括住宅、旅馆、办公楼以及多功能建筑等。这些建筑不仅数量大、施工速度快,而且高度较过去增加,体型更复杂,建筑结构体系的类型也更加多样化。另外,高层钢结构在我国也开始兴建。与此相应,围绕高层建筑结构的科学研究取得了众多成果。广大工程技术人员、研究人员的创造和探索,使我国高层建筑结构设计和施工的理论 and 实践都大为丰富和深化。

1987年到1989年间,我国建筑结构的各种设计规范都完成了修订工作,无论是抗震设计,还是钢筋混凝土构件和结构设计在方法上都有了较大的变化。新的钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程也相应制定。钢结构高层建筑结构设计与施工规程正在制定中。

鉴于上述情况,本教材必须重新修订,而且确实有许多内容有待充实与更新。第二版除了所有内容都按照新规范和新规程进行编写外,主要还增加了以下一些内容:底层大空间剪力墙结构的设计;时程分析方法;框筒及筒中筒结构的实用计算方法;平面为斜交布置的结构计算方法;电算程序的概括介绍和评价等。修订版删去了一些在其他参考书上可以找到的、收入本书又不便展开和深入的属于其他技术基础学科的内容,例如:开口及带连梁薄壁杆件的约束扭转和矩阵位移法的基本原理等。这样,不仅缩减了篇幅,也更加突出和丰富了有关高层建筑结构设计的基本内容和最新发展。

本书第一版以其科学性、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。在这次编写修订过程中,我们注意保持了第一版的特点,并有所改进。第二版有关结构设计部分因国内高层建筑的迅速发展和规范、规程的修改,绝大部分经过重新编写;在计算方法的内容取材上,保留了第一版的特色,注重实用算法以及不同计算方法之间差异和内在联系的探讨。

第二版更加注意基本概念的阐述及结构受力和变形特性的分析,这将有助于读者提高概念设计能力。此外,为了适应教与学的要求,本书增加了较多例题。

本书第一、二、九、十章由方鄂华编写,第三、四、五、六、七、八章由包世华编写。

本书难免存在不妥之处,欢迎读者指正。

方鄂华 包世华

1989年8月于清华园

第一版序

本书是在 1978 年清华大学建筑工程系编《多层和高层建筑设计》讲义的基础上,为适应教学和设计的需要而重新编写的。

编写时考虑本书用作高等工科院校土建类专业的教材,也考虑设计部门作参考用书。作为教材,要求做到内容精简、概念清楚、与其他课程衔接好;作为参考书,又要求本书有一定的独立性、自成一体,便于读者自学。为此,介绍了框架结构在竖向和水平荷载下的近似计算、开口薄壁杆件的约束扭转和矩阵位移法的基本原理等内容。

在多层和高层的关系上,在介绍结构体系、方案和构造措施时,本书以高层建筑结构为主。但多层和高层有时并没有严格的界限,截面强度、构件设计是基本相同的,至于计算方法本身就再无多层、高层之分。所以,本书对多层建筑设计也可用作参考。

在计算方法的选取上,考虑到国内的现状,以适合手算的简便方法为主。第三至七章介绍的方法都是以手算为基础的,也可以配以简单的程序上机计算。第八章介绍了矩阵位移法及其在高层建筑结构分析中的应用,为进一步使用电子计算机计算打下基础。

在结构设计方面,考虑到我国地震区分布面广,因此从结构选型到构件设计,用较多的篇幅讨论了抗震设计问题。

在内容的取材上,多数是选自目前国内在工程设计中已经采用的方法;同时,尽可能反映国内外,特别是国内的一些科学研究成果,也包括了我校近年来的教学体会和科研成果(例如,底层大空间剪力墙结构的计算方法、筒中筒结构的计算方法、带连梁的开口薄壁杆件的约束扭转、压弯构件和剪力墙结构的抗震设计等等)。后面的这些内容有待于工程实践的进一步应用与检验。

我们主观上力求处理好以上这些方面的关系,但由于水平所限,本书存在的问题一定不少,望读者提出宝贵意见,以便进一步提高。

参加本书编写工作的有:包世华(编写第四、五、六、七、八章)、方鄂华(编写第二、九、十章)、钱素英(编写第一章)、江爱川(编写第三章)。全书的编写工作由包世华、方鄂华负责。

本书在编写和出版过程中得到本系有关同志的支持和帮助,也得到北京市建筑设计院及中国建筑科学院设计所许多同志的热心帮助,特别是北京市建筑设计院胡庆昌总工程师,对第九章和第十章中抗震设计部分审阅并提出了很多宝贵意见。本书描图工作由花国本、赵振环完成。仅向他们致以谢意。

编 者

1982 年 8 月

• III •

目 录

第二版序	I
第一版序	III
第一章 高层建筑结构体系与布置	1
§1-1 高层建筑的特点	1
§1-2 高层建筑的结构体系	8
§1-3 结构总体布置及变形缝	25
第二章 荷载及设计要求	40
§2-1 风荷载	40
§2-2 地震作用特点及抗震设计	46
§2-3 反应谱方法计算等效地震荷载	49
§2-4 结构自振周期和振型计算	56
§2-5 荷载效应组合及设计要求	70
§2-6 时程分析方法	73
第三章 框架结构的内力和位移计算	91
§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	91
§3-2 多层多跨框架在水平荷载作用下内力的近似计算 (一) ——反弯点法	94
§3-3 多层多跨框架在水平荷载作用下内力的近似计算 (二) —— D 值法	101
§3-4 多层多跨框架在水平荷载作用下侧移的近似计算	119
第四章 剪力墙结构的内力和位移计算	130
§4-1 剪力墙结构的计算图和计算方法	130
§4-2 整体墙和小开口整体墙的计算	134
§4-3 双肢墙的计算	139
§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	157
§4-5 多肢墙的计算	162
§4-6 壁式框架在水平荷载作用下的近似计算	177
第五章 底层大空间剪力墙结构的内力和位移计算	189
§5-1 底层大空间剪力墙结构的计算图和计算方法	189

§5-2	底层为框架的双肢剪力墙	190
§5-3	底层为框架的多肢剪力墙	197
§5-4	框支剪力墙和落地剪力墙在水平荷载下共同工作时的内力和位移	207
§5-5	框支剪力墙、落地剪力墙和壁式框架在水平荷载下共同工作时的内力和位移	222
§5-6	框支剪力墙墙-框交接区的应力集中	237
第六章	框架-剪力墙结构的内力和位移计算	243
§6-1	框架-剪力墙协同工作原理	243
§6-2	框架的剪切刚度计算	247
§6-3	框架-剪力墙铰结体系在水平荷载下的计算	250
§6-4	框架-剪力墙刚结体系在水平荷载下的计算	255
§6-5	框架-剪力墙的受力和位移特征以及计算方法应用条件的说明	259
§6-6	框架、剪力墙及框架-剪力墙结构的扭转近似计算	261
§6-7	框架、剪力墙及框架-剪力墙结构平面为斜向布置时的近似计算	266
§6-8	计算实例	274
第七章	筒体结构的内力和位移计算	292
§7-1	筒体结构的计算图和计算方法	292
§7-2	框筒结构在水平荷载下的等效平面法	294
§7-3	框筒结构在扭转荷载下的等效平面法	301
§7-4	框筒结构在水平荷载下的等效连续体法	302
§7-5	框筒结构在扭转荷载下的等效连续体法	317
§7-6	筒中筒结构在水平荷载下的计算	321
§7-7	内筒结构在扭转荷载下的计算	326
§7-8	筒中筒结构在扭转荷载下的计算	333
第八章	高层建筑结构计算的矩阵位移法	338
§8-1	概述	338
§8-2	高层建筑结构计算中的一些补充单元	339
§8-3	高层建筑结构的协同工作算法	342
§8-4	高层建筑结构的空間计算法	353
§8-5	高层建筑结构的计算程序	364
第九章	框架截面设计及构造	367
§9-1	框架截面设计内力	367

§9-2 抗震结构延性要求及延性框架概念.....	373
§9-3 框架梁配筋及其抗震设计.....	379
§9-4 框架柱配筋及其抗震设计.....	384
§9-5 框架节点区抗震设计.....	399
第十章 剪力墙截面设计及构造.....	408
§10-1 墙肢截面承载力计算	408
§10-2 悬臂剪力墙设计及抗震要求	417
§10-3 开洞剪力墙设计及抗震要求	426
§10-4 底层大空间剪力墙结构设计及抗震要求	440
§10-5 底层大空间剪力墙结构设计实例	444
§10-6 大模板现浇剪力墙结构节点构造	457
参考文献.....	464

第一章 高层建筑结构体系与布置

§ 1-1 高层建筑的特点

一、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。

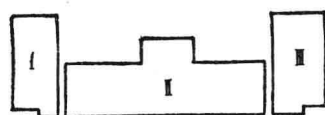
我国古代建造过不少高层建筑——塔，大都采用木结构或砖结构。有一些木塔或砖塔经受住了上千年的风吹雨打，甚至强烈地震的摇撼而能保留至今，足见其结构合理，工艺精良。但是，就近代高层建筑而言，在相当长的一段时期内，我国发展却是缓慢的。解放前，我国高层建筑很少。解放后，在 50 及 60 年代陆续建成一些，如 1959 年建成的北京民族饭店，12 层，高 47.4 米；1964 年建成的北京民航大楼，15 层，高 60.8 米。1968 年建成的广州宾馆，27 层，高 88 米，是 60 年代我国建成的最高建筑。

70 年代开始，我国高层建筑有了很大的发展，主要用于住宅、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，为了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，但有些城市，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 80 年代开始，这类高层建筑增长的速度也很快。

我国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，成为我国最高的建筑（图 1-4 和图 1-5）。

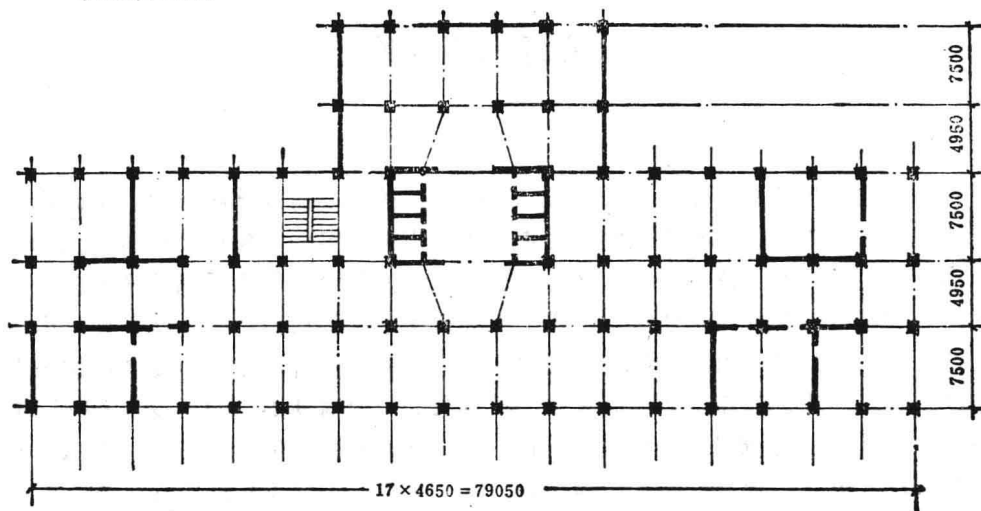
我国高层建筑的迅速发展，建筑高度的不断增加，建筑类型和功能愈来愈复杂，结构体系更加多样化，所有这些都显示我国高层建筑结构设计和施工技术水平有了很大的提高。

在国外，现代高层建筑的发展只是在近百年中，又以最近 30 年发展较快。1883 年在美国芝加哥建成 11 层的家庭保险大楼（Home Insurance Building）是近代高层建筑的开端。1931 年纽约建造了著名的帝国大厦（Empire State Building），102 层，



平面位置示意图

柱子截面	剪力墙厚度
85×85 (±0 以下)	25cm (3 层以下)
80×80 (1~2 层)	20cm (4~8 层)
70×70 (3~8 层)	15cm (9 层以上)
60×60 (9~14 层)	
50×50 (15 层以上)	
(边柱 1~2 层 70×70)	



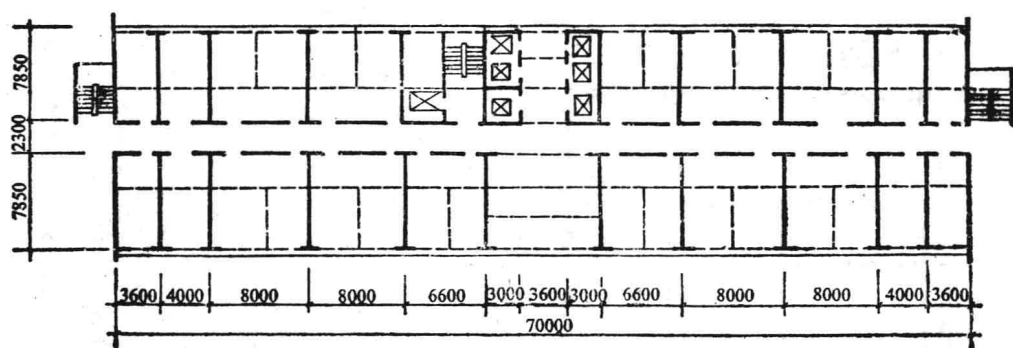
(a) II 段标准层平面



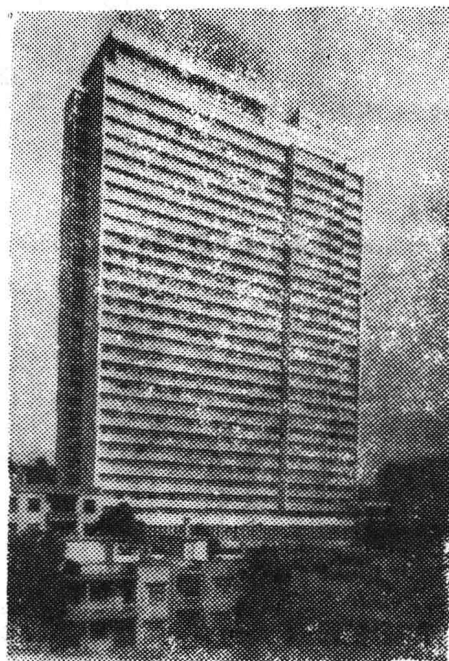
(b) 立面

图 1-1 北京饭店东楼(19 层, 87.15m)

381 m 高, 它享有‘世界最高建筑’之美誉长达 40 年之久。50 年代以后, 轻质高强材料的应用, 新的抗风抗震结构体系的发展, 电子计算机的推广使用以及新的施工机械的涌现, 才使高层建筑得到了大规模的迅速发展。1972 年, 纽约建造了 110 层、高 402m 的世界贸易中心 (World Trade Center Twin Towers), 1973 年在芝加哥又建成目前世界上最高的西尔斯大厦 (Sears Tower), 110 层, 高 443m。这两幢建筑都是钢结构。目前最高的钢筋混凝土结构是朝鲜平壤市的柳京饭店, 地面以上 101 层, 高



(a) 标准层平面



(b) 立面

图 1-2 广州白云宾馆 (33 层, 114.05m)

305.4m。芝加哥的水塔广场大厦 (Water Plaza Tower) 居其次, 76 层, 高 262m。

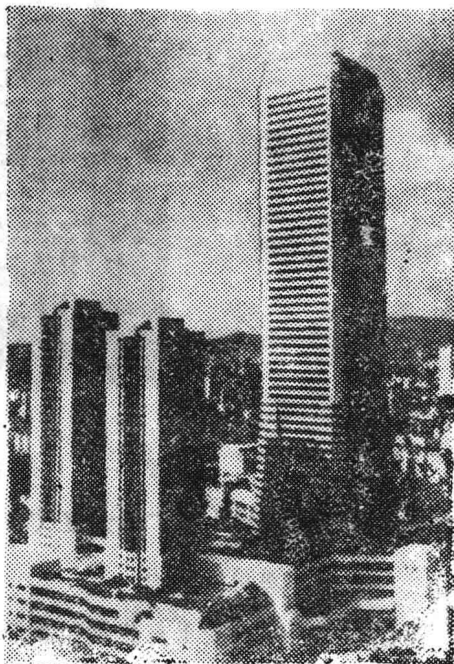
二、高层建筑的特点

结构要同时承受垂直荷载和水平荷载, 还要抵抗地震作用。在低层结构中, 水平荷载产生的内力和位移很小, 通常可以忽略; 在多层结构中, 水平荷载的效应 (内力和位移) 逐渐增大; 而到高层建筑中, 水平荷载和地震作用将成为控制因素。图 1-6 是建筑物高度与荷载效应的关系。由图可见, 随着高度增大, 位移增加最快, 弯矩次之。高层建筑设计不仅需要较大的承载能力, 而且需要较大的刚度, 使水平荷载产生的侧



(b) 立面

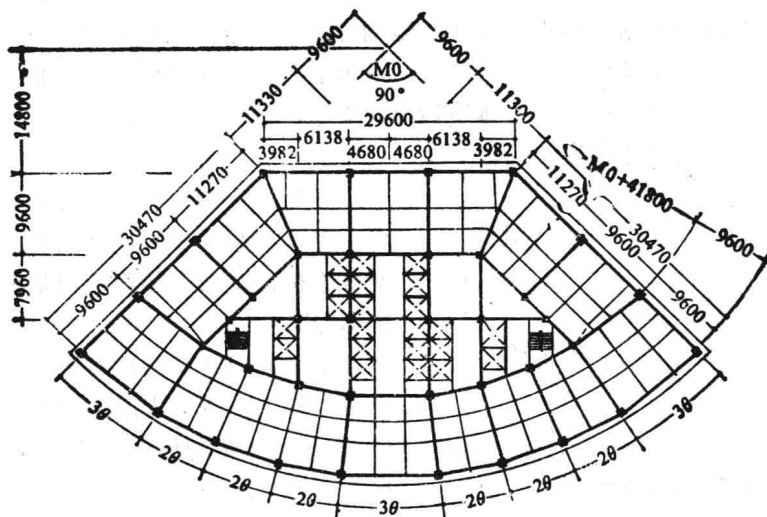
图 1-3 深圳国际贸易中心大厦 (50 层, 158.65m)



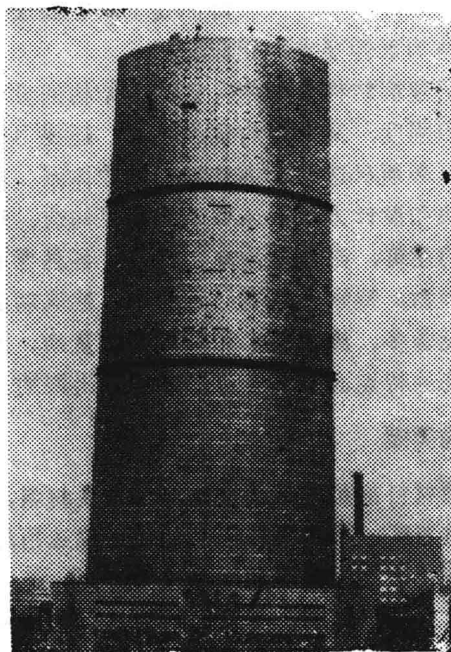
7~22层由4000收至500,每层收233

(b) 立面

图 1-4 广州国际大厦 (63 层, 200m)



(a) 高层部分一层平面



(b) 立面

图 1-5 北京京广中心大厦 (57 层, 208m)

向变形限制在一定范围内, 这是因为:

(1) 过大的侧向变形会使人不舒服, 影响使用。这主要是指在风荷载作用下, 必须保证人在建筑物内正常工作与生活。至于偶尔发生的地震, 人的舒适感是次要的。

(2) 过大的侧向变形会使填充墙或建筑装修出现裂缝或损坏, 也会使电梯轨道变形。变形限制的大小与装修的材料、构造做法有关。在地震作用下, 虽然可以比风荷载作

用下适当放宽变形限制,但由于这些非结构性的损坏会使修复费用很高,且填充墙等倒塌也会威胁人的生命及设备安全,因此,对地震作用下产生的侧向变形也要加以限制。

(3) 过大的侧向变形会使主体结构出现裂缝,甚至损坏。限制侧向变形也就是限制结构的裂缝宽度及破坏程度。

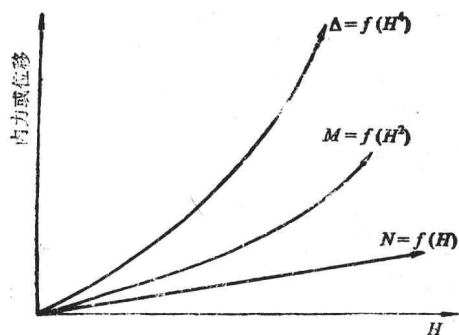


图 1-6 建筑物高度对内力位移的影响

(4) 过大的侧向变形会使结构产生附加内力,甚至引起倒塌。这是因为建筑物上的垂直荷载在侧向变形下将产生附加弯矩,即所谓 $P-\Delta$ 效应。

由于高层建筑高度较大,地震作用对它的影响也较大。在地震区,应使结构具有延性(延性是指结构塑性变形能力大小的一种性能),即在地震作用下,结构进入塑性阶段,以塑性变形抵抗地震作用,又要做到结构不破坏,不倒塌。这样设计可以降低材料消耗,经济而安全。在高层建筑中,随着结构高度的加

大,结构变形增大,对结构延性要求也相应提高。

由于上述特点,高层建筑结构设计中,抗侧力结构的设计成为关键。欲使抗侧力结构具有足够的承载能力和刚度,又有好的抗震性能,还要尽可能地提高材料利用率,降低材料消耗、节约造价,必须从选择结构材料、结构体系、基础形式等各方面着手,采用合理而可行的计算方法和设计方法,还要十分重视构造、连接、锚固等细部处理。

此外,任何一个好的建筑,必然是建筑、结构、各种管道设备以及施工等几方面的密切配合及相互合作的产物,特别是在高层建筑中,建筑功能要求高,而结构的安全性、经济性要求也高,设备多、施工技术和管理都更复杂。因此,建筑师和结构工程师都必须充分认识高层建筑的特点而互相合作,才能做出好的、经济合理的设计。

三、高层建筑的结构类型

钢和钢筋混凝土两种材料都是建造高层建筑的重要材料,但各自有着不同的特点。因而,在不同国家、不同地区、不同条件下,如何正确选用材料,充分利用其优点、克服弱点,就成为经济合理建造高层建筑的一个重要方面。

钢材强度高、韧性大、易于加工;高层钢结构具有结构断面小、自重轻、抗震性能好等优点;钢结构构件可在工厂加工,能缩短现场施工工期,施工方便。但是高层钢结构用钢量大,造价很高,而且钢材耐火性能不好,需要用大量防火涂料,增加了工期和造价。在发达国家,大多数高层建筑采用钢结构。在我国,随着高层建筑建造高度的增加,已开始采用高层钢结构。在一些地基软弱或抗震要求高而高度又较大的高层建筑中,采用钢结构显然是合理的。例如:上海建造了锦江宾馆分馆(46层,153m)和国际贸易中心(38层,140m)等钢结构;北京建造了京城大厦(52层,183m)和京广中心(57层,208m)(见图 1-5)、国际贸易中心(39层,155.25m)(见图 1-28)等钢结构。

钢筋混凝土结构造价较低，且材料来源丰富，并可浇注成各种复杂断面形状，还可以组成多种结构体系；可节省钢材，承载能力也不低，经过合理设计，可获得较好的抗震性能。因而，在发展中国家，大都采用钢筋混凝土建造高层建筑，我国的高层建筑也以钢筋混凝土结构为主。我国已建造了 63 层的钢筋混凝土结构——广州国际大厦。钢筋混凝土主要缺点是构件断面大，占据面积大、自重。近年来，由于钢筋混凝土结构造价比钢结构低、防火性能好、刚度较大，可减少侧移，发达国家的钢筋混凝土高层建筑也日益增加。在美国，已建成了 30 层的钢筋混凝土框架结构，30 层以下的高层钢筋混凝土结构已较多。在日本，过去对钢筋混凝土结构高度限制很严格，现在也已建成多幢 30 层左右的钢筋混凝土高层建筑。

在当前的发展趋势中，更为合理的是同时采用钢和钢筋混凝土材料的组合结构。这种结构可以使两种材料互相取长补短，取得经济合理、技术性能优良的效果。目前有两种组合方式：

1. 用钢材加强钢筋混凝土构件 钢材放在构件内部，外部由钢筋混凝土做成，称为钢骨钢筋混凝土构件，见图 1-7。也可在钢管内部填充混凝土，做成外包钢构件。前者可充分利用外包混凝土的刚度和耐火性能，又可利用钢骨减小构件断面和改善抗震性能，现在应用较为普遍。例如：北京的香格里拉饭店就采用了钢骨钢筋混凝土柱。在一般高层钢结构中，地下室和底部几层也常常采用钢骨钢筋混凝土梁、柱结构。

2. 部分抗侧力结构用钢结构，另一部分采用钢筋混凝土结构（或部分采用钢骨钢筋混凝土结构） 这种结构可称为组合结构，多数情况下是用钢筋混凝土做筒（剪力墙），用钢材做框架梁、柱。例如：上海静安希尔顿饭店就是这种组合结构，见图 1-8。香港中国银行（70 层、368.62m 高）则是另一种组合方式。它采用钢骨钢筋混凝土角柱，而横梁及斜撑都采用钢结构。



(a) 柱断面

(b) 梁断面

图 1-7 钢骨钢筋混凝土构件

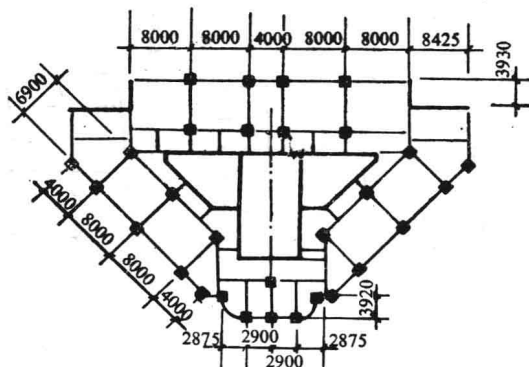


图 1-8 上海静安希尔顿饭店标准层平面（43 层，143.6m）

综上所述，目前我国的情况是，在高层建筑中仍以钢筋混凝土材料为主。在这方面我国已积累了十分丰富的经验，今后将加强高强轻质混凝土结构的研究和推广。钢结构高层建筑已开始建造，在高度超过 100m 时可酌情采用。预期组合结构及钢骨钢筋混凝土结构将逐步增加。

本教材仍以钢筋混凝土高层建筑为主。本章将介绍一些高层钢结构的体系；第二至第八章介绍的荷载和内力、位移计算方法大部分亦可适用于钢结构。

§ 1-2 高层建筑的结构体系

结构体系是指结构抵抗外部作用的构件组成方式。在高层建筑中,抵抗水平力成为设计的主要矛盾,因此抗侧力结构体系的确定和设计成为结构设计的关键问题。高层建筑中基本的抗侧力单元是框架、剪力墙、实腹筒(又称井筒)、框筒及支撑。由这几种单元可以组成下列多种体系。

一、框架结构体系

由梁、柱构件组成的结构称为框架。整幢结构都由梁、柱组成,就称为框架结构体系,有时称为纯框架结构。

框架结构的优点是建筑平面布置灵活,可以做成有较大空间的会议室、餐厅、车间、营业室、教室等。需要时,可用隔断分隔成小房间,或拆除隔断改成大房间,因而使用灵活。外墙用非承重构件,可使立面设计灵活多变。如果采用轻质隔墙和外墙,就可大大降低房屋自重,节省材料。

框架结构在水平力作用下的受力变形特点如图 1-9 所示。其侧移由两部分组成:第一部分侧移由柱和梁的弯曲变形产生。柱和梁都有反弯点,形成侧向变形。框架下部的梁、柱内力大,层间变形也大,愈到上部层间变形愈小,使整个结构呈现剪切型变形,见图 1-9a。第二部分侧移由柱的轴向变形产生。在水平荷载作用下,柱的拉伸和压缩使结构出现侧移。这种侧移在上部各层较大,愈到底部层间变形愈小,使整个结构呈现弯曲型变形,见图 1-9b。框架结构中第一部分侧移是主要的,随着建筑高度加大,第二部分变形比例逐渐加大,但合成以后框架仍然呈现剪切型变形特征,见图 1-9c。

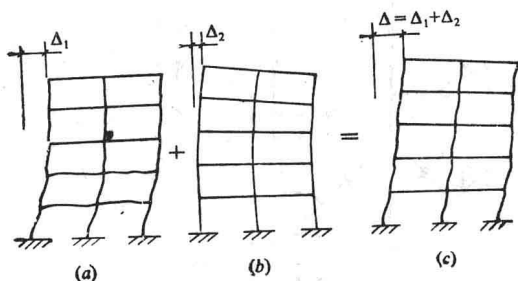
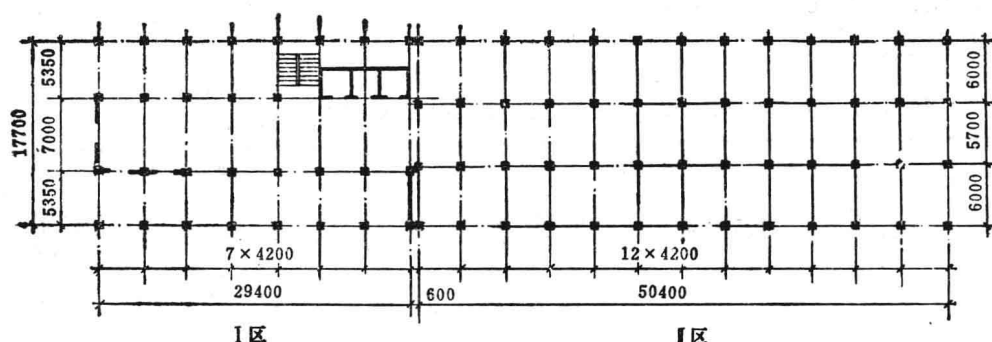


图 1-9 框架侧向变形

框架抗侧刚度主要取决于梁、柱的截面尺寸。通常梁柱截面惯性矩小,侧向变形较大,这是框架结构的主要缺点,也因此而限制了框架结构的使用高度。

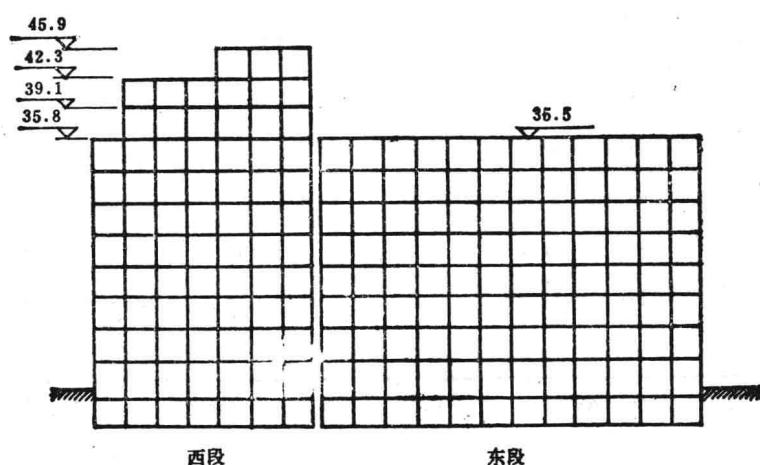
通过合理设计,钢筋混凝土框架可以获得良好的延性,即所谓“延性框架”设计。它具有较好的抗震性能。但是,由于框架结构层间变形较大,在地震区,高层框架结构带来的另一严重问题是,容易引起非结构构件的破坏。

天津友谊宾馆的震害是一个典型例子。该宾馆,东段为 8 层框架结构,西段为 11 层框架剪力墙结构,按 7 度设防,其平面及剖面见图 1-10。在唐山地震时,东段框架结构侧向变形很大,空心砖填充墙裂缝严重,外檐窗间墙裂缝也大(图 1-11)。而西段框架剪力墙结构变形较小,填充墙仅有轻微裂缝。据天津市建筑设计院初步推算,东段顶部实际侧移 Δ/H 为 $1/374 \sim 1/164$,西段顶部实际侧移则为 $1/960 \sim 1/430$ 。表 1-1 列出了东西段层间变形的侧移值及各层填充墙的破坏程度。由表中可见,东段框架结构基



(a) 标准层结构平面

I 区 外柱 $45 \times 45\text{cm}$ 内柱 $45 \times 55\text{cm}$ 剪力墙厚, 电梯井 15cm
 II 区 外柱 $45 \times 45\text{cm}$ 内柱 $45 \times 50\text{cm}$ 其他 18cm



(b) 剖面

图 1-10 天津友谊宾馆

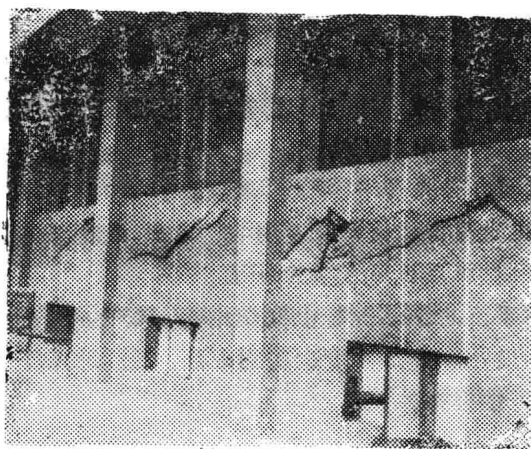


图 1-11 外墙裂缝

本上是剪切型变形, 填充墙震害下重上轻; 西段框架剪力墙结构为弯剪型变形, 填充墙震害是上重下轻, 但总是东段震害比西段重。值得提出的是, 震后填充墙进行了修复, 但时隔不久宁河地震时, 所有修复部位基本上都在原处开裂破坏。在再次修复时, 设置了剪力墙, 成为框架剪力墙结构。

但是, 美国旧金山附近的一幢钢筋混凝土框架结构 (Pacific Park Plaza Condominium), 严格按延性框架要求设计与施工, 采用轻质隔断, 改进了轻质外墙

与框架的连接构造, 在 1989 年 10 月 17 日 Loma Prieta 地震 (旧金山附近) 中,