



教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

土木工程专业系列教材

高层建筑结构与抗震

主编 姜忻良

天津大学出版社
中央广播电视大学出版社

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材
土木工程专业系列教材

高层建筑结构与抗震

主编 姜忻良



天津大学出版社
中央广播电视大学出版社

内 容 提 要

本书根据中央广播电视大学开放教育试点“工科土建类土木工程专业”高层建筑结构与抗震课程教学大纲以及2002年3月审定的高层建筑结构与抗震多媒体教材一体化方案编写的。本教材是土木工程专业系列教材之一。

全书由高层建筑结构体系及布置、荷载与作用,场地与地基,结构计算方法,框架结构内力与位移计算,剪力墙结构内力与位移计算,框架—剪力墙内力与位移计算,扭转近似计算,荷载效应组合及设计要求,框架设计与构造,剪力墙截面设计与构造,筒体结构简介等内容组成。

本书可作为中央广播电视大学土木工程专业专业的专业课教材,也可供土木工程专业本科教学以及从事高层建筑结构设计、施工的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构与抗震/姜忻良主编. —天津:天津大学出版社,2004.11

ISBN 7-5618-2062-3

I. 高… II. 姜… III. ①建造结构-结构试验-电视大学-教材 ②高层建筑-抗震设计-电视大学-教材 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 118238 号

出版发行 天津大学出版社

中央广播电视大学出版社

出 版 人 杨风和

地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(天津大学出版社)

北京市海淀区西四环中路 45 号(中央广播电视大学出版社)

电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742(天津大学出版社)

发行部:010-58840200 邮购部:010-68511268(中央广播电视大学出版社)

印 刷 北京云浩印刷有限责任公司

经 销 全国各地新华书店

开 本 210mm×297mm

印 张 12.75

字 数 408 千

版 次 2004 年 11 月第 1 版

印 次 2006 年 12 月第 3 次

印 数 6001~9000

定 价 18.00 元

土木工程专业课程建设

委员会名单

顾 问:	刘锡良	江见鲸	顾晓鲁		
策 划:	钱辉镜	杨风和	任 岩	陈家修	
主 任:	姜忻良				
副主任:	蒋克中	王铁成	刘兴业		
委 员:	丁 阳	丁红岩	于俊英	王 圻	王金敏
	方根男	刘宗仁	刘津明	包世华	罗福午
	孙天正	孙天杰	匡文起	李 杰	李林曙
	李砚波	李运光	任兴华	毕继红	严士超
	杨春风	陈永灿	陈忠良	吴铭磊	旷天鑑
	郑 刚	郑家扬	邹积明	何勇军	邵立国
	张晋元	张质文	陆培毅	周建宾	赵奎生
	赵 彤	赵铁生	常春伟	洪 钧	高学平
	黄世昌	康谷贻	韩庆华	温庆博	鄢小平
	魏鸿汉	戴自强			
秘 书:	郭 鸿	陈英蕙			

前 言

本教材是依据 2001 年 11 月审定的中央广播电视大学开放教育试点工学科土建类土木工程专业《高层建筑结构与抗震课程教学大纲》以及 2002 年 3 月审定的高层建筑结构与抗震多媒体教材一体化方案编写的。本教材是土木工程专业的系列教材之一。

开放教育是一种新型的远程教育模式,其培养对象主要是以业余学习为主的成人。在编写本教材过程中,充分考虑到学生的学习环境、学习需要和学习方式,努力贯彻“以学生学习为中心”的现代教育思想,精选内容,理论联系实际,加强“导学”、“助学”功能,深入浅出,循序渐进,适应开放教育试点学生自学的需要,努力做到学以致用,培养学生分析问题和解决问题的能力。

高层建筑结构与抗震课程多媒体教材包括文字教材以及录像教材、CAI 课件、IP 课件。四种教材媒体发挥各自优势,取长补短,形成互补的较完善的综合性教材体系。录像教材共计 12 讲(学时),突出对高层建筑的特点与计算方法难点进行讲解与分析,形象直观,易于学生理解和掌握。CAI 课件重点是练习题,自测对本课程知识的掌握程度,加强实践性教学环节,并通过自我检查,发现问题和不足,以便加强学习,不断提高分析问题与解决问题的能力。IP 课程共计 12 学时,强调本课程内容的系统性,并通过讲解例题,提高学生分析和解决问题的能力。本书是高层建筑结构与抗震课程多媒体教材的文字教材。

全书共分为 12 章,即高层建筑结构体系及布置、荷载与作用、场地与地基、结构计算方法、框架结构内力与位移计算、剪力墙结构内力与位移计算、框架—剪力墙内力与位移计算、扭转近似计算、荷载效应组合及设计要求、框架设计与构造、剪力墙截面设计与构造、筒体结构简介。

本书采取集体讨论、分工执笔、相互审阅、主编统稿的编写方式。参加编写的有天津大学姜忻良(第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 12 章)、天津大学谢剑(第 5 章、第 6 章、第 8 章、第 9 章)、天津大学赵艳静(第 4 章、第 7 章、第 10 章、第 11 章)、由姜忻良担任主编。中央广播电视大学王圻老师做了本书的教学设计。

本书由天津大学宗志桓教授、严士超教授和天津市建筑设计院文礼彬教授级高工审定,宗志桓担任主审。审校专家对教材进行了认真审阅,提出了宝贵意见,在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限,对于开放式教学模式的研究探索不够,再加上时间较紧,书中定有不妥之处,恳请广大读者及专家批评、指正。

编者

2004 年 7 月

目 录

第1章 高层建筑结构体系及布置	(1)
1.1 高层建筑结构的发展、特点及类型	(1)
1.2 高层建筑结构体系	(4)
1.3 结构总体布置的一般原则	(8)
本章小结	(10)
思考题	(10)
第2章 荷载与作用	(11)
2.1 荷载	(11)
2.2 地震与抗震设防	(16)
2.3 地震灾害	(20)
2.4 单质点弹性体系的地震反应	(21)
2.5 单质点弹性体系水平地震作用	(25)
2.6 多质点弹性体系的地震反应	(30)
2.7 多质点弹性体系的水平地震作用	(40)
2.8 竖向地震作用的计算	(46)
2.9 结构地震反应的时程分析法简介	(48)
2.10 结构自振周期和振型的近似计算	(49)
本章小结	(52)
思考题	(52)
第3章 场地与地基	(54)
3.1 工程地质条件与场地	(54)
3.2 地基基础的抗震验算	(56)
3.3 地基土的液化	(58)
3.4 软弱黏性土地基和不均匀地基的处理	(62)
本章小结	(63)
思考题	(63)
第4章 结构计算方法	(64)
4.1 概述	(64)
4.2 平面结构计算方法	(66)
4.3 空间结构计算方法简述	(68)
本章小结	(71)
思考题	(71)
第5章 框架结构内力与位移计算	(72)
5.1 框架结构计算简图	(72)
5.2 竖向荷载作用下框架内力的计算	(75)
5.3 水平荷载作用下框架内力的计算	(78)
5.4 水平荷载作用下框架侧移的计算	(87)
本章小结	(89)
思考题	(90)
第6章 剪力墙结构内力与位移计算	(91)
6.1 概述	(91)

6.2 整体墙和小开口整体墙的内力与位移计算	(93)
6.3 双肢墙的内力与位移计算	(97)
6.4 多肢墙的内力与位移计算	(108)
6.5 剪力墙的分类判别式	(110)
本章小结	(112)
思考题	(112)
第7章 框架—剪力墙内力与位移计算	(113)
7.1 框架—剪力墙结构内力分布及与位移特点	(113)
7.2 框架—剪力墙结构布置	(115)
7.3 水平荷载作用下框架—剪力墙结构的计算	(117)
本章小结	(129)
思考题	(129)
第8章 扭转近似计算	(131)
8.1 概述	(131)
8.2 质量中心、刚度中心及扭转偏心矩	(132)
8.3 考虑扭转作用的剪力修正方法	(134)
本章小结	(138)
思考题	(138)
第9章 荷载效应组合及设计要求	(139)
9.1 荷载效应组合	(139)
9.2 设计要求	(140)
9.3 内力组合及最不利内力	(144)
本章小结	(149)
思考题	(150)
第10章 框架设计与构造	(151)
10.1 框架结构的延性	(151)
10.2 框架梁的抗震设计	(155)
10.3 框架柱的抗震设计	(158)
10.4 梁柱节点的抗震设计	(162)
本章小结	(165)
思考题	(165)
第11章 剪力墙截面设计与构造	(166)
11.1 概述	(166)
11.2 墙肢截面承载力计算	(167)
11.3 悬臂剪力墙的设计与构造	(175)
11.4 开洞剪力墙的设计与构造	(178)
11.5 框架—剪力墙结构中剪力墙的设计与构造	(181)
本章小结	(182)
思考题	(182)
第12章 筒体结构简介	(184)
12.1 筒体结构的类型	(184)
12.2 筒体结构的简化分析方法	(186)
12.3 筒体结构主要构造要求	(191)
本章小结	(192)
思考题	(192)
参考文献	(193)

第1章 高层建筑结构体系及布置

学习目标

1. 了解水平力对结构内力及变形影响。
2. 了解不同体系的特点、优点及适用范围。
3. 了解结构总布置的原则及需考虑的问题。
4. 了解缝的处理和地基基础选型。

学习重点

1. 水平力对结构内力、变形影响。
2. 结构体系的类型及特点。
3. 结构总布置的原则。

1.1 高层建筑结构的发展、特点及类型

1.1.1 高层建筑的发展

现代高层建筑是随着城市的发展和科学技术的进步而发展起来的,是商业化、工业化和城市化的结果。现代高层建筑的发展有利于节约用地、解决住房紧张、减少市政基础设施和美化城市空间环境。从某种意义上说,现代高层建筑是现代化城市的标志。

我国是高层建筑发展历史悠久的国家。我国古代建造过不少高层建筑,如公元704年在西安建造的大雁塔,高64 m;公元1056年在山西应县建造的木塔,高67 m。这些古老的高塔建筑经受住了几百年乃至上千年的风吹雨打,甚至若干次大地震的考验,说明我国古代在建筑设计、结构体系选择、施工技术和方法上具有很高的水平。

但是,近代我国高层建筑发展迟缓。从20世纪初到新中国成立,我国高层建筑甚少。我国自己设计和建造高层建筑始于20世纪50年代初。1958—1959年,北京的十大建筑工程推动了我国高层建筑的发展。如1959年建成的12层北京民族饭店,高47.4 m。到了20世纪60年代,我国高层建筑有了新的发展,1964年建成的15层北京民航大楼,高60.8 m;1966年建成了18层的广州人民大厦,高63 m;1968年建成的27层广州宾馆,高88 m,是60年代我国建成的最高建筑。

20世纪70年代,我国高层建筑有了较大的发展,其代表性的高层建筑为:1974年建成的20层北京饭店新楼,高87.4 m,是当时北京最高的建筑;1976年建成的33层、高114.1 m的广州白云宾馆。与此同时,在大城市和某些中等城市建成了大量的高层住宅。上海首先建成了漕溪路20幢12~16层剪力墙住宅楼;北京建成了前三门高层住宅一条街,在8 km长

的街上建造了 40 幢 9~16 层大模板施工的剪力墙住宅。从此,高层住宅就成为我国高层建筑中数量最多的类型。

高层建筑以近二十多年来发展最快。

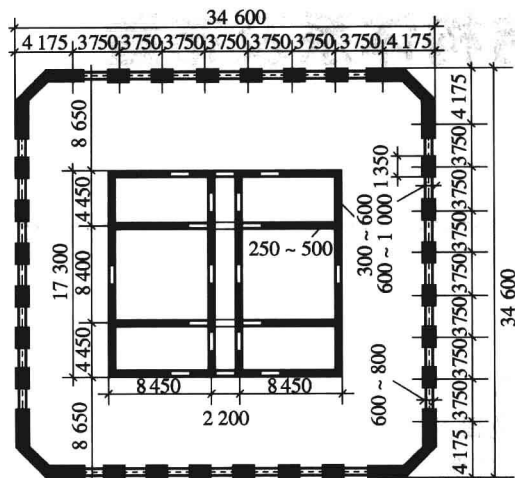
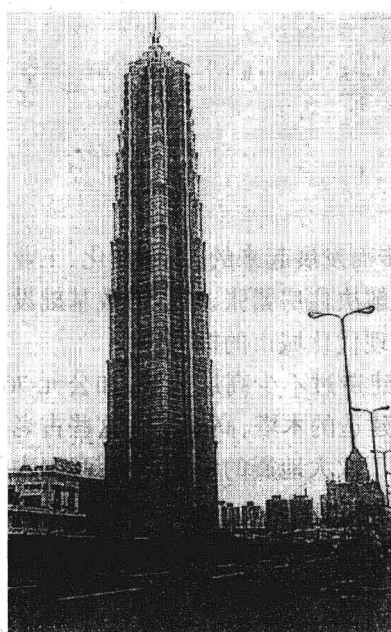


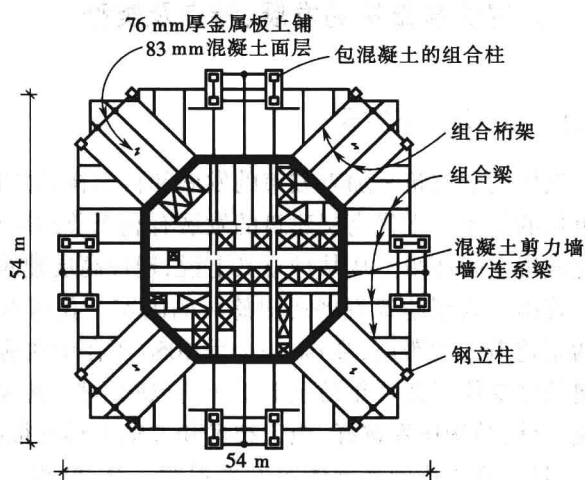
图 1-1 深圳国际贸易中心大厦
(50 层, 158.65 m) 标准层平面

从 80 年代开始,我国高层建筑迅速发展,建筑层数和高度不断增加,功能和类型越来越复杂,结构体系日趋多样化。仅 1980—1983 年所建的高层建筑就相当于 1949 年以来 30 多年中所建高层建筑的总和。比较有代表性的高层建筑有:北京中央彩色电视中心,主楼 27 层,高 112.7 m,是当时我国 8 度地震区中最高的建筑(按 9 度设防);上海第一家五星级宾馆——静安希尔顿饭店,建筑面积 69 244 m²,包括塔楼 43 层,总高 143.6 m,外形呈三角形;深圳的国际贸易中心大厦,50 层,高 158.65 m(图 1-1);深圳发展中心大厦,43 层,高 165.3 m,加上天线的高度共 185.3 m,这是我国第一幢大型高层钢结构建筑;广州广东国际大厦,钢筋混凝土结构,63 层,高 200.2 m;

深圳贤成大厦,钢筋混凝土筒中筒结构,塔楼为八角形平面,整个建筑 61 层,高 218 m;广州中天大厦,筒中筒结构,80 层,高 322 m;深圳的地王大厦,81 层,高 325 m;上海的金茂大厦,88 层,高 421 m(图 1-2)。



(a)



(b)

图 1-2 上海金茂大厦(88 层, 421 m)

(a) 立面照片; (b) 标准平面

在国外,现代高层建筑的发展只有 110 多年的历史,又以最近 40 多年发展较快。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),共 102 层,高 381 m,它享有“世界最高建筑”之美誉长达 40 年之久。20 世纪 50 年代以后,轻质高强度材料的应用,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年在芝加哥又建成当时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。目前世界上最高的建筑是1996年在吉隆坡建成的石油大厦,88层,高450m,是钢与钢筋混凝土混合结构。

1.1.2 高层建筑结构的特点

高层建筑结构要抵抗竖向和水平荷载,在地震区,还要抵抗地震作用。但在较低的建筑结构中,往往竖向荷载控制着结构设计。随着建筑高度的增大,水平荷载效应逐渐增大。在高层建筑结构中,水平荷载和地震作用却起着决定性作用。荷载效应最大值(轴力 N 、弯矩 M 和位移 Δ)可由图1-3所示简图得到:

$$\left. \begin{aligned} N &= WH = f(H) \\ M &= \frac{1}{2} qH^2 = f(H^2) \\ \Delta &= \frac{qH^4}{8EI} = f(H^4) \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中: W 为建筑每米高度上的竖向荷载; q 为水平均布荷载; H 为建筑高度; EI 为建筑总体抗弯刚度(E 为弹性模量, I 为惯性矩)。

为直观起见,将式(1-1)表达的荷载效应与建筑物高度的关系示于图1-4。从图中可见,随着建筑物高度的增大,位移增加最快。因此,在高层建筑结构设计时,不仅要求结构具有足够的强度,而且还要求有足够的刚度,使结构在水平作用荷载下产生的位移限制在一定的范围内,以保证建筑结构的正常使用和安全。

注意内力、位移与高度的关系。

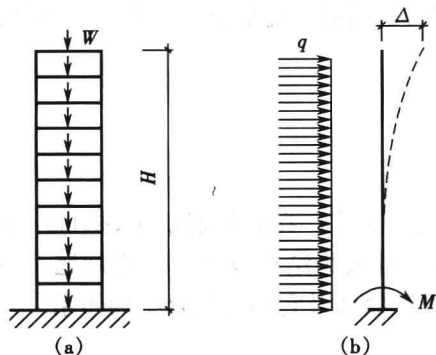


图 1-3 荷载内力和侧移
(a)重力荷载;(b)水平均布荷载

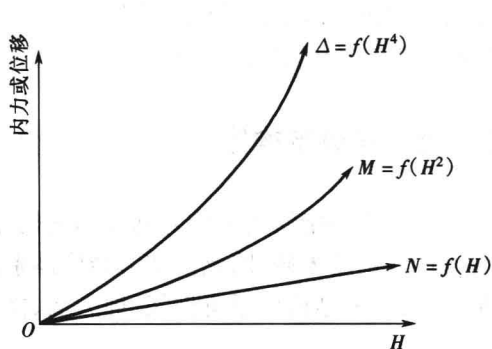


图 1-4 结构内力、位移与高度的关系

另外,相对于低层建筑而言,高层建筑相对较柔,因此在地震区,高层建筑结构应具有足够的延性。也就是说,在地震作用下,结构进入弹塑性阶段后,仍具有抵抗地震作用的足够的变形能力,不致倒塌。这样可以在满足使用条件下,能达到既安全又经济的设计要求。

综上所述,对于高层建筑结构,抵抗水平力的设计是个关键,应该很好地理解上述特点,使所设计的结构具有足够的强度、刚度和良好的抗震性能,还要尽可能地提高材料利用率,降低材料消耗和造价。

1.1.3 高层建筑结构类型

高层建筑采用的结构可分为钢筋混凝土结构、钢结构、钢—钢筋混凝土组合结构等类型。根据不同结构类型的特点,正确选用材料,就成为经济合理地建造高层建筑的一个重要方面。

注意高层建筑结构类型及它们的优缺点。

钢筋混凝土结构具有造价较低、取材丰富,并可浇筑各种复杂断面形状,而且强度高、刚度大、耐火性和延性良好、结构布置灵活方便,可组成多种结构体系等优点。因此,在高层建筑中得到广泛应用。当前,我国的高层建筑中钢筋混凝土结构占主导地位。到目前为止,我国已建成多幢 200 m 以上的钢筋混凝土建筑。但钢筋混凝土结构的主要缺点是构件占据面积大、自重大、施工速度慢等。例如,我国广东国际大厦,63 层,底层柱尺寸已达 $1.8\text{ m} \times 2.2\text{ m}$,占据了大量的空间。

钢结构具有强度高、构件断面小、自重轻、延性及抗震性能好等优点。钢构件易于工厂加工,施工方便,能缩短现场施工工期。但由于高层建筑钢结构用钢量大、造价高,而且钢材耐火性能不好,需要采取防火保护措施,因此增加了造价。在发达国家,高层建筑的结构类型以钢结构为主。在我国,由于原来钢产量不高,且价格较高,钢结构的应用受到了限制。近年来,随着高层建筑建造高度的增加,以及我国钢产量的大幅度增加,采用钢结构的高层建筑也不断增多。北京建成了京广中心(56 层,208 m)、京城大厦(52 层,183 m)、国际贸易中心(39 层,155.25 m)等高层钢结构;上海建成了锦江宾馆分馆(46 层,153.53 m)、国际贸易中心(37 层,139 m)等高层钢结构。

高层建筑结构更为合理的变形为采用钢和钢筋混凝土相结合的组合结构和混合结构。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。

组合结构是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,成为钢骨(或型钢)混凝土构件;也可在钢管内部填充混凝土,做成外包钢构件,成为钢管混凝土。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混凝土柱。

混合结构是部分抗侧力结构用钢结构,另一部分采用钢筋混凝土结构(或部分采用钢骨混凝土结构)。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混合结构。而上海金茂大厦,是用钢筋混凝土作核心筒,外框用钢骨混凝土柱和钢柱的混合结构。

1.2 高层建筑结构体系

结构体系是指结构抵抗外部作用的构件总体组成的方式。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,常用的结构体系有框架、剪力墙、框架—剪力墙、筒体及它们的组合结构体系。

1.2.1 框架结构体系

注意框架结构体系的优缺点。

框架结构体系是由梁、柱构件通过节点连接构成,既承受竖向荷载,也承受水平荷载的结构体系(其典型布置如图 1-5)。这种体系适用于多层建筑及高度不大的高层建筑。

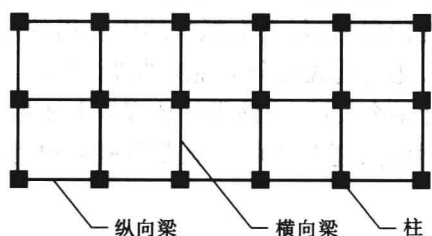


图 1-5 框架结构平面图

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。

框架结构可通过合理的设计,使之具有良好的抗震性能。但由于高层框架侧向刚度较小,结构顶点位移和层间相对位移较大,使得非结构构件(如填充墙、建筑装饰、管道设备等)在地震时破坏较严重,这是它的主要缺点,也是限制框架高度的原因,一般控制在 10~15 层。

框架结构构件类型少,易于标准化、定型化,可以采用预制构件,也易于采用定型模板而

做成现浇结构,有时还可以采用现浇柱及预制梁板的半现浇半预制结构。现浇结构的整体性好,抗震性能好,在地震区应优先采用。

1.2.2 剪力墙结构体系

剪力墙结构体系是利用建筑物墙体承受竖向与水平荷载,并作为建筑物的围护及房间分隔构件的结构体系。其典型布置如图 1-6 所示。

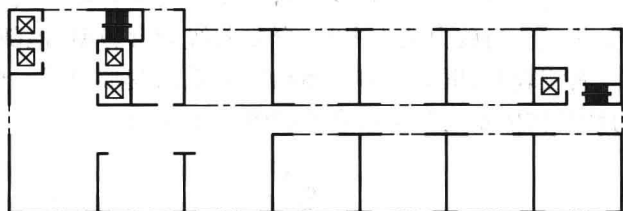


图 1-6 剪力墙结构平面图

剪力墙在抗震结构中也称抗震墙。它在自身平面内的刚度大、强度高、整体性好,在水平荷载作用下侧向变形小,抗震性能较强。在国内外历次大地震中,剪力墙结构体系表现出良好的抗震性能,震害较轻。因此,剪力墙结构在非地震区或地震区的高层建筑中都得到了广泛的应用。在地震区 15 层以上的高层建筑中,采用剪力墙是经济的,在非地震区采用剪力墙建造建筑物的高度可达 140 m。目前我国 10~30 层的高层住宅大多采用这种结构体系。剪力墙结构采用大模板或滑升模板等先进方法施工时,施工速度很快,可节省大量的砌筑填充墙等工作量。

注意剪力墙结构体系的优缺点。

剪力墙结构的局限性在于剪力墙间距不能太大,平面布置不灵活,难以满足公共建筑的使用要求。此外,剪力墙结构的自重也比较大。为满足旅馆布置门厅、餐厅、会议室等大面积公共房间,以及在住宅底层布置商店和公共设施的要求,可将剪力墙结构底部一层或几层的部分剪力墙取消,用框架来代替,形成底部大空间剪力墙结构和大底盘、大空间剪力墙结构(图 1-7);标准层则可采用小开间或大开间结构。当把底层做成框架柱时,成为框支剪力墙结构(图 1-8)。这种结构体系,由于底层柱的刚度小,上部剪力墙的刚度大,形成上下刚度突变,在地震作用下,底层柱会产生很大的内力及塑性变形,致使结构破坏较重。因此,在地震区不允许完全使用这种框支剪力墙结构,而需设有部分落地剪力墙。

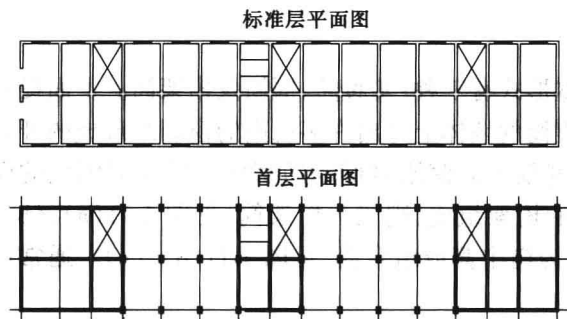


图 1-7 底层大空间剪力墙结构

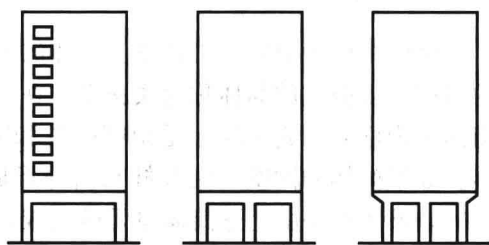


图 1-8 框支剪力墙

1.2.3 框架—剪力墙结构体系

框架—剪力墙结构体系是在框架结构中布置一定数量的剪力墙所组成的结构体系。框架结构具有侧向刚度差、水平荷载作用下的变形大、抵抗水平荷载能力较低的缺点,但又具有平面布置较灵活、可获得较大的空间、立面处理易于变化的优点;剪力墙结构则具有强度和刚度大、水平位移小的优点,但存在使用空间受到限制的缺点。将这两种体系结合起来相

注意框架—剪力墙结构体系的优缺点。

互取长补短,可形成一种受力特性较好的结构体系——框架—剪力墙结构体系。剪力墙可以单片分散布置,也可以集中布置。其典型布置如图 1-9 所示。

框架—剪力墙结构体系在水平荷载作用下的主要特征如下。

①在受力状态方面,框架承受的水平剪力减少及沿高度方向比较均匀,框架各层的梁、柱弯矩值降低,沿高度方向各层梁、柱弯矩的差距减少,在数值上趋于接近。

②在变形状态方面,单独的剪力墙在水平荷载作用下以弯曲变形为主,位移曲线呈弯曲型;而单独的框架以剪切变形为主,位移曲线呈剪切型。当两者处于同一体系,通过楼板协同工作,共同抵抗水平荷载。当剪力墙为主时,弯曲曲线为弯剪型,但随着剪力墙数量的减小,而向剪弯型转化。实测表明,框架—剪力墙结构体系的变形曲线一般呈弯剪型。框架、剪力墙及框架—剪力墙结构体系的变形示意图如图 1-10 所示。

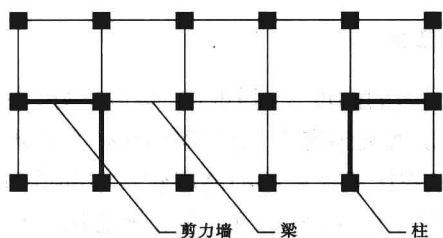


图 1-9 框架—剪力墙结构平面图

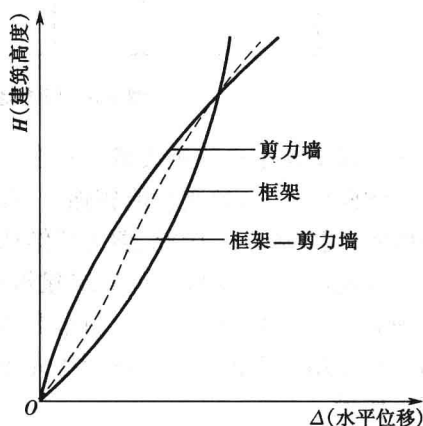


图 1-10 不同结构的变形图

三种结构体系的变形图是不同的。

由于上述变形和受力特点,框架—剪力墙结构的刚度和承载力较框架结构都有明显的提高,在水平荷载作用下的层间变形减小,因而减小了非结构构件的破坏。在我国,无论在地震区还是非地震区的高层建筑中,框架—剪力墙结构体系都得到了广泛的应用。

在框架—剪力墙结构体系中,当建造层数不太多时(一般在 10~20 层),可利用单片剪力墙作为基本单元。如果把剪力墙连在一起做成井筒式时,也称这种结构体系为框架—筒体结构体系。这种体系的刚度和承载力都得到大大提高。

1.2.4 筒体结构体系

注意筒体结构体系的特点。

筒体结构为空间受力体系。筒体的基本形式有三种:实腹筒、框筒及桁架筒。上面提到的用剪力墙围成的筒体称为实腹筒。在实腹筒的墙体上开出许多规则的窗洞所形成的开孔筒体称为框筒。它实际上是由密排柱和刚度很大的窗裙梁形成的密柱深梁框架围成的筒体。如果筒体的四壁是由竖杆和斜杆形成的桁架组成,则成为桁架筒,见图 1-11(a)、(b)、(c);如果体系是由上述筒体单元所组成,称为筒中筒或组合筒,见图 1-11(d)、(e)。通常由实腹筒作内部核心筒,框筒或桁架筒作外筒。

筒体最主要的特点是它的空间受力性能。无论哪一种筒体,在水平力作用下都可以看成固定于基础上的箱形悬臂构件,它比单片平面结构具有更大的抗侧刚度和承载力,并具有很好的抗扭刚度。因此,该种体系广泛应用于多功能、多用途、层数较多的高层建筑中。

1.2.5 各种结构体系适用的最大高度

《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)(以下简称《高层规程》),对各种结构体系的高层建筑最大适用高度作出了规定。规程中将高层建筑分为两级,即常规高度的高层建筑(A 级)和超限高层建筑(B 级)。同时,《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)(以下简

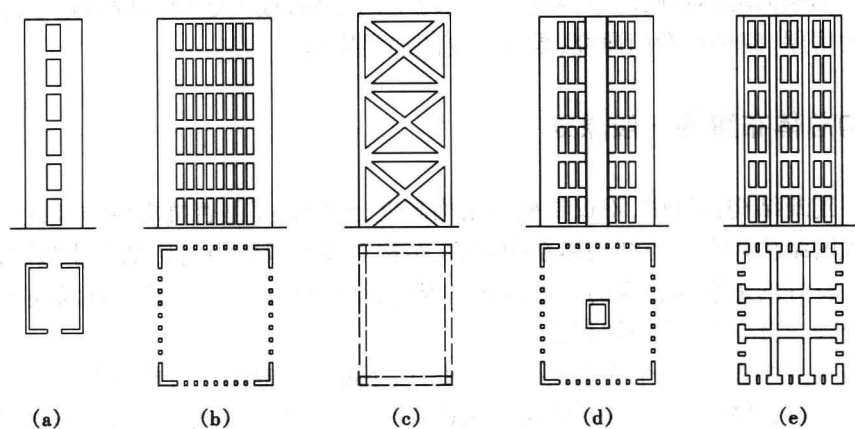


图 1-11 筒体类型

(a)实腹筒;(b)框筒;(c)桁架筒;(d)筒中筒;(e)组合筒

称《抗震规范》)根据建筑使用功能的重要性,将建筑抗震设防类别分为甲类、乙类、丙类、丁类 4 个抗震设防类别。甲类建筑为属于重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑,乙类建筑为属于地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑,丙类建筑属于甲、乙、丁类建筑以外的一般建筑,丁类建筑属于抗震次要建筑。

下面分别给出各种结构体系适用的最大高度。

1. A 级高度高层建筑最大适用高度

甲类建筑宜按设防烈度提高一度后符合表 1-1 的要求;乙、丙类建筑宜按设防烈度符合表 1-1 的要求。

2. B 级高度高层建筑最大适用高度

甲类建筑宜按设防烈度提高一度后不宜大于表 1-2 的要求;乙、丙类建筑宜按设防烈度不宜大于表 1-2 的要求。

表 1-1 A 级高度高层建筑最大适用高度 m

结 构 体 系		非抗震设计	抗 震 设 计			
			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	全部落地剪力墙	150	140	120	100	60
	部分框支剪力墙	130	120	100	80	不应采用
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

表 1-2 B 级高度高层建筑最大适用高度 m

结 构 体 系		非抗震设计	抗 震 设 计		
			6 度	7 度	8 度
框架—剪力墙		170	160	140	120
剪力墙	全部落地剪力墙	180	170	150	130
	局部框支剪力墙	150	140	120	100
筒体	框架—核心筒	220	210	180	140
	筒中筒	300	280	230	170

对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。超过表内高度的房屋,应进行专门研究,采取必要的加强措施。

1.3 结构总体布置的一般原则

在高层建筑设计中,不仅要根据结构高度,还应根据是否抗震设防及设防烈度等因素选择合理的结构体系。当结构体系确定后,结构总体布置应当密切结合建筑设计进行,使建筑物具有良好的造型和合理的传力路线。因此,结构体系受力性能与技术经济指标能否做到先进合理,与结构布置密切相关。

理论与实践均表明,一个先进而合理的设计,不能仅依靠力学分析来解决。因为对于较复杂的高层建筑,某些部位无法用解析方法精确计算。特别是在地震区,地震作用的影响因素很多,要求精确计算是不可能的。因此,不能仅仅依赖于“计算设计”,还要正确运用“概念设计”。“概念设计”是指对一些难以做出精确计算分析或在某些规程中难以具体规定的问题,应该由设计人员运用概念进行判断和分析,以便采取相应的措施,做到比较合理地进行结构设计。概念设计要求设计人员应具有多学科知识和实践经验,在设计中处处都要带着清晰的概念和正确的理解去处理理论和构造问题。以下论述的诸方面均须用概念设计的方法加以正确处理。

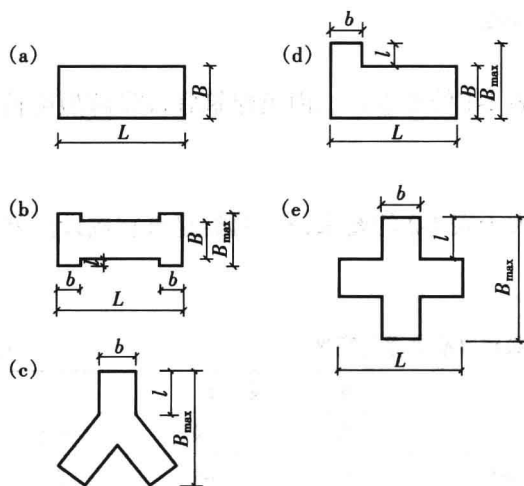


图 1-12 建筑平面

1.3.1 结构平面布置

高层建筑的开间、进深尺寸和选用的构件类型应符合建筑模数,以利于建筑工业化。在一个独立的结构单元内,宜使结构平面形状和刚度均匀对称。需要抗震设防的高层建筑,其平面布置应符合下列要求:

- ①平面宜简单、规则、对称、减少偏心;
- ②平面长度 L 不宜过长,突出部分长度 l 不宜过长(图 1-12), L 、 l 等值宜满足表 1-3 的要求;
- ③不宜采用角部重叠的平面图形或细腰形平面图形。

表 1-3 L 、 l 的限值

设 防 烈 度	L/B	$L/B_{\max}$	l/b
6 度、7 度	≤ 6.0	≤ 0.35	≤ 2.0
8 度、9 度	≤ 5.0	≤ 0.30	≤ 1.5

1.3.2 结构竖向布置

高层建筑中控制侧向位移常常成为结构设计的主要控制因素,而且随着高度增加,倾覆力矩也相应迅速增大。因此,高层建筑的高宽比 H/B 不宜过大。一般将高宽比 H/B 控制在 5 以下, H 是指建筑物地面到檐口高度, B 是指建筑物平面的短方向总宽。当设防烈度在 8 度以上时, H/B 限制应更严格一些。

高层建筑的竖向体型宜规则、均匀,避免有过大的外挑和内收。抗震设计时,当结构上

部楼层收进部位到室外地面的高度 H_1 与房屋高度 H 之比大于 0.2 时,上部楼层收进后的水平尺寸 B_1 不宜小于下部楼层水平尺寸 B 的 0.75 倍(图 1-13(a)、(b));当上部结构楼层相对于下部楼层外挑时,下部楼层的水平尺寸 B 不宜小于上部楼层水平尺寸 B_1 的 0.9 倍,且水平外挑尺寸 a 不宜大于 4 m(图 1-13(c)、(d))。

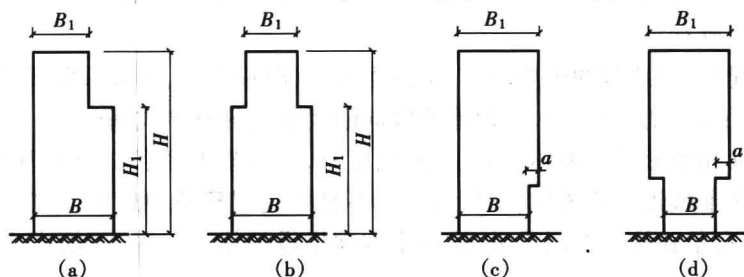


图 1-13 结构竖向收进和外挑示意

现行《高层规程》对各种结构的高宽比给出了限制。A 级高度高层建筑结构的高宽比不宜超过表 1-4 的限值;B 级高度高层建筑结构的高宽比不宜超过表 1-5 的限值。

表 1-4 A 级高度高层建筑结构适用的最大高宽比 H/B

结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6、7 度	8 度	9 度
框架、板柱—剪力墙	5	4	3	2
框架—剪力墙	5	5	4	3
剪力墙	6	6	5	4
筒中筒、框架—核心筒	6	6	5	4

表 1-5 B 级高度高层建筑结构适用的最大高宽比 H/B

非抗震设计	抗震设防烈度		
	6 度	7 度	8 度
8	7	7	6

1.3.3 变形缝的设置

在高层建筑中,为防止结构因温度变化和混凝土收缩而产生裂缝,常隔一定距离设置温度缝;在高层部分和低层部分之间,由于沉降不同设置沉降缝;在地震区,建筑物各部分层数、质量、刚度差异过大或有错层时,设置防震缝。温度缝、沉降缝和防震缝将高层建筑划分为若干个结构独立的部分,成为独立的结构单元。

高层建筑设置“三缝”,可以解决产生过大变形和内力问题以及抗震问题,但也产生另外的问题。例如:由于缝的两侧均需布置剪力墙或框架,而使结构复杂和建筑使用不便;“三缝”使建筑立面处理困难;地下部分容易渗漏,防水困难等。而更为突出的是,地震时缝两侧结构常因进入弹塑性状态,位移急剧增大发生互相碰撞而造成震害。

实践表明,高层建筑宜调整平面形状和结构布置,采取构造措施和施工措施,尽量不设缝或少设缝。需要设缝时,必须保证必要的缝宽以防止震害。

1.3.4 基础设计一般原则

高层建筑高度大、重量大,在水平力作用下有较大的倾覆力矩与剪力,对基础及地基的

要求较高,因此基础的设计是高层建筑设计中的一项重要内容。下面给出基础设计的一般原则。

①上部结构的特点是选择基础设计方案的重要因素。基础设计时,要把地基、基础和上部结构当成一个整体来考虑:当上部结构刚度和整体性较差、地基软弱且不均匀时,基础刚度应适当加强;当上部结构刚度和整体性较好,荷载分布较均匀,地基也较均匀、坚硬时,则基础刚度可适当放宽。

②一般情况下,当地基的土质均匀、承载力高、沉降量小时,可以采取天然地基和竖向刚度较小的基础;反之,则应采用人工地基或竖向刚度较大的整体式基础。

③单独基础和条形基础整体性差,竖向刚度小,不容易调整各部分地基的差异沉降,除非将基础搁置在未风化或微风化岩层上,否则不宜在高层建筑中应用。在层数较少的裙房中应用时,也需在单独柱基之间沿纵、横两个方向增设拉梁,以抵抗可能产生的地基差异沉降。

④当采用桩基时,应尽可能采用单根、单排大直径桩或扩底墩,使上部结构的荷载直接由柱或墙传至桩顶;基础底板因受力很小而可以做得较薄,如果采用多根或多排小直径桩,基础底板就会受到较大弯矩和剪力而需增大板厚。

⑤箱形基础及筏式基础是高层建筑结构常用的形式。

⑥在地震区,为保证整体结构的稳定性,减小由基础变形引起的上部结构倾斜,基础埋深不能太小。在天然地基或复合地基上,基础埋深不宜小于建筑物高度的 $1/15$ 。如果采用桩基,则从桩顶算起,基础埋深不宜小于建筑物高度的 $1/18$ 。在非地震区,基础的埋深可适当减小。

此外,无论何种形式的基础,均不宜直接置于可液化土层上。

本章小结

1. 高层建筑的受力特点不同于较低的建筑,水平荷载和地震作用起着决定性作用。
2. 高层建筑采用的结构可分为钢筋混凝土结构、钢结构、钢—钢筋混凝土结构等类型,正确选用材料成为建造高层建筑的一个重要方面。
3. 高层建筑结构常用的体系有框架结构体系、剪力墙结构体系、框架—剪力墙结构体系、筒体结构体系。结构体系的确定和设计成为结构设计的关键问题。
4. 结构体系确定后,结构总体布置至关重要,结构体系受力性能、经济指标与结构布置密切相关。

思 考 题

1. 多层与高层建筑中常采用哪些结构体系?
2. 荷载效应(轴力、弯矩和侧移)的最大值与建筑结构的高度有何关系?随着建筑高度的增加,控制结构设计的因素怎样变化?
3. 试述各种结构体系的受力及变形特点、适用的层数范围和最大高度。
4. 如何理解抗震“概念设计”?
5. 结构的平面和竖向布置应注意哪些问题?
6. 如何评估结构形状的复杂程度?
7. 伸缩缝、沉降缝、防震缝在什么情况下设置?试述设置变形缝与不设置变形缝各自的优缺点。
8. 基础设计的一般原则包括哪些内容?高层建筑中常采用的基础形式有哪些?对高层建筑基础的埋深有何要求?