

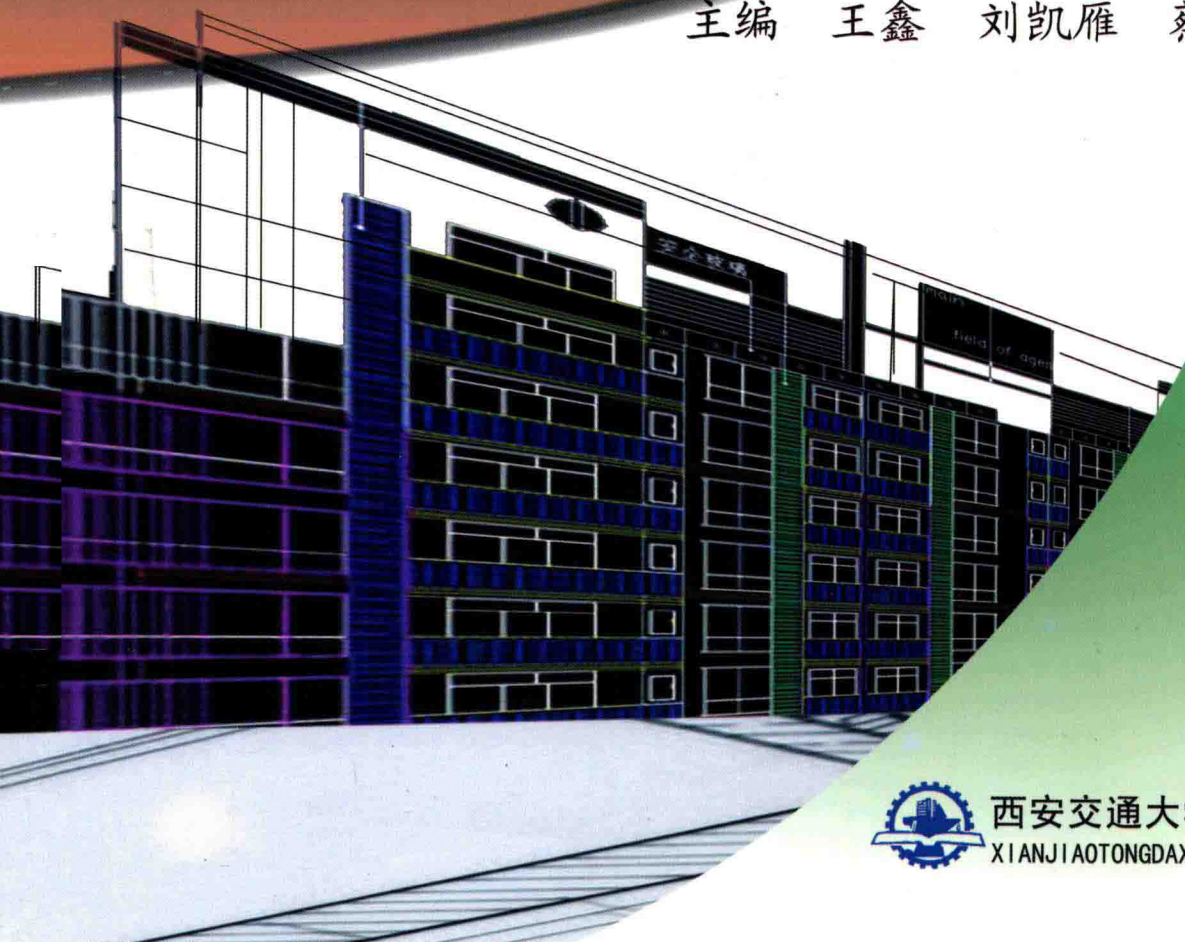


高等院校“十二五”（精品）规划教材

高层建筑结构设计

GAOCENGJIANZHUJIEGOUUSHEJI

主编 王鑫 刘凯雁 蔡洁



西安交通大学出版社
XI'ANJIAOTONGDAXUECHUBANSHE



十二五 高职高专“十二五”（精品）规划教材

高层建筑结构设计

主 审 袁海庆
主 编 王 鑫 刘凯雁 蔡 洁
副主编 闫振国 付向红 刘开敏



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书为土木工程系列教材之一,以《高层建筑混凝土结构技术规程》JG3—2010及相关规范,规程为依据,根据建筑工程相关专业培养目标、专业特点和教学要求并结合实践经验,阐述高层混凝土结构设计的计算方式及各种常用体系的设计计算问题。全书共9章,内容包括:高层建筑结构设计的基本规定、高层建筑结构荷载和地震作用、筒体结构、地下室和基顾设计。可供土木工程专业本科生使用,也可作为从事相关专业技术工作人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构设计/王鑫,刘凯雁,蔡洁主编.

—西安:西安交通大学出版社,2014.3

ISBN 978-7-5605-6082-3

I. ①高… II. ①王…②刘…③蔡… III. ①高层建筑—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU973

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第044416号

书 名	高层建筑结构设计
主 编	王 鑫 刘凯雁 蔡 洁
策划编辑	朱小乔
责任编辑	曹 昉

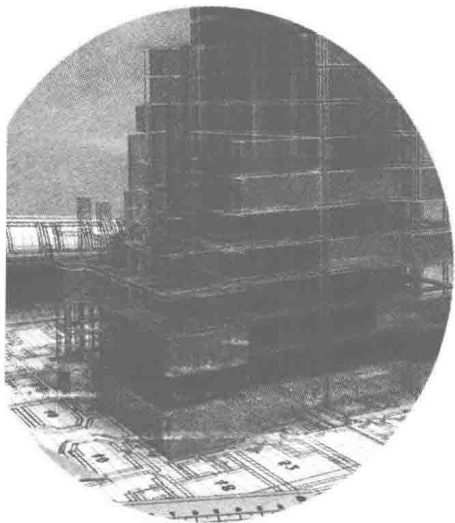
出版发行	西安交通大学出版社
	(西安市兴庆南路10号 邮政编码710049)
网 址	http://www.xjtpress.com
电 话	(010)61239909 (029)82668315
传 真	(010)61239909
印 刷	北京市通县华龙印刷厂

开 本	787mm×1092mm	1/16	印 张	15.5	字 数	357千字
版次印次	2014年6月第1版 2014年6月第1次印刷					
册 数	1~3000					
书 号	ISBN978-7-5605-6082-3/TU·107					
定 价	45.00元					

本书如出现印装质量问题,由我社负责调换。

联系电话:(010)52495161

版权所有 侵权必究



前言

近年来,随着我国国民经济的快速发展,许多城市兴建了大量的高层建筑。土木工程专业学生毕业后参加或从事高层建筑设计已成为必须面对的现实之一。与此同时,我国建筑结构的各种设计规范和规程已基本完成了新一轮修订工作,内容更新较多。为适应新形势下的教学和工程设计需要,我们按照《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3—2010)及相关设计规范和规程编写了本书。

· 本书在编写上注重教材的实用性,把工程概念、工程设计、能力的培养放在首要的地位,力求做到概念清晰、重点突出、在拓宽专业面的同时贯彻少而精的原则,使读者易掌握常见高层建筑结构体系的特点和设计方法。本书主要内容包括高层建筑设计的基本规定、高层建筑结构荷载和地震作用、高层建筑结构的计算分析和设计要求、框架结构设计、剪力墙结构设计、框架—剪力墙结构设计、筒体结构、地下室和基础设计等。本书着重阐明各种高层建筑结构整体设计的基本概念和方法,对结构方案设计、结构分析方法和确定结构计算简图等内容有比较充分的论述,有利于进行合理设计及培养读者的创新能力;书中有明确的计算方法和实用设计步骤,力求做到能具体应用;每章有工程设计实例、思考题等内容,有利于初学者掌握高层建筑结构的基本概念和设计方法。

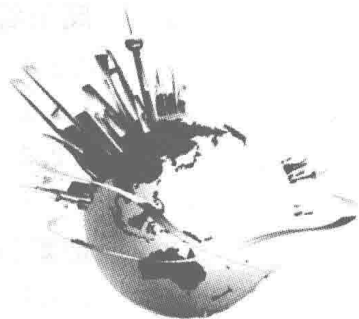
参加本书编写的人员有王鑫、付向红(第1、4、6章及附录)、刘凯雁(第7、8章)、蔡洁(第3、5章)、闫振国(第9章)、刘开敏(第2章),全书由王鑫进行统稿和修订,由袁海庆教授主审,在这里深表感谢。

本书在编写过程中参考了大量的国内外文献,引用了一些学者的资料,这在书末的参考文献中已予列出,特在此向其作者表示感谢。

希望本书能为读者的学习和工作提供帮助。鉴于编者的水平有限和时间仓促,书中难免有不足之处,敬请同行专家批评指正,在此表示衷心感谢。

编者
2014年1月

目录 Contents



第 1 章 概 述	1
1.1 高层建筑结构的特点	1
1.2 高层建筑的历史	2
1.3 高层建筑结构的发展	5
1.3.1 高层建筑结构的多样性	5
1.3.2 高层建筑结构的复杂性	7
第 2 章 高层建筑结构设计的基本规定	8
2.1 材料	8
2.2 结构布置	8
2.2.1 高层建筑结构体系概论	8
2.2.2 房屋适用高度和高宽比	13
2.2.3 结构平面布置	14
2.2.4 结构竖向布置	18
2.4 楼盖结构设计	20
2.4.1 楼盖结构选型	20
2.4.2 楼盖构造要求	21
2.4.3 基础形式及埋置深度	22
思考题	23
第 3 章 高层建筑结构荷载和地震作用	24
3.1 竖向荷载	24
3.1.1 恒荷载	24
3.1.2 活荷载	24



3.2	风荷载	25
3.2.1	基本风压	25
3.2.2	风压变化系数 μ_z	25
3.2.3	风荷载体型系数 μ_s	26
3.2.4	风振系数 β_z	27
3.3	地震作用	30
3.3.1	地震作用的特点	30
3.3.2	抗震设防准则及地震作用的计算方法	31
3.3.3	反应谱理论简介	32
3.3.4	水平地震作用计算	34
3.3.5	竖向地震作用计算	40
	思考题	41
第 4 章	高层建筑结构的计算分析和设计要求	42
4.1	高层建筑结构的计算分析	42
4.1.1	结构计算分析方法	42
4.1.2	结构计算模型	42
4.2	荷载效应和地震作用效应的组合	44
4.2.1	荷载效应组合	44
4.2.2	控制截面及内力调整	46
4.3	高层建筑结构的设计要求	48
4.3.1	承载力要求	48
4.3.2	水平位移限制和舒适度要求	49
4.3.3	整体稳定和倾覆问题	52
4.3.4	结构延性和抗震等级	54
4.4	高层建筑结构的抗震概念设计	57
4.5	结构抗震性能设计	59
4.6	抗连续倒塌设计基本要求	61
4.7	结构设计框图	63
	思考题	64
第 5 章	框架结构设计	65
5.1	计算基本假定	65
5.2	框架结构的近似计算方法	69
5.2.1	竖向荷载作用下的近似计算—分层法	69
5.2.2	水平荷载作用下的近似计算—反弯点法	70
5.2.3	水平荷载作用下的近似计算—D 值法	72



5.2.4	水平荷载作用下侧移的近似计算	73
5.3	框架梁、柱及节点截面设计	74
5.3.1	框架梁的截面设计	74
5.3.2	框架柱的截面设计	76
5.3.3	框架节点核心区截面设计	78
5.4	框架结构构造	80
5.4.1	梁、柱截面尺寸估算及选型	80
5.4.2	材料强度选择及填充墙布置要求	82
5.4.3	框架梁构造要求	85
5.4.4	框架柱构造要求	86
5.4.5	框架节点核心区的配筋构造要求	89
5.4.6	框架结构设计框图	91
	思考题	92

第 6 章 剪力墙结构设计 93

6.1	剪力墙的一般设计规定	93
6.2	剪力墙结构的计算假定及近似计算方法	96
6.2.1	竖向荷载下剪力墙结构的内力计算	96
6.2.2	水平荷载下剪力墙结构的计算假定及剪力分配	96
6.2.3	整体墙的内力和位移计算	98
6.2.4	小开口整体墙的内力和位移计算	100
6.2.5	双肢墙和多肢墙的内力和位移计算	103
6.2.6	带刚域框架的内力和位移计算	128
6.3	剪力墙结构截面设计	143
6.3.1	剪力墙的截面厚度	143
6.3.2	剪力墙墙肢截面承载力计算	145
6.3.3	剪力墙连梁截面设计	151
6.3.4	施工缝抗滑移能力验算	152
6.4	剪力墙结构构造	153
6.4.1	墙肢构造要求	153
6.4.2	连梁构造要求	156
	思考题	157

第 7 章 框架—剪力墙结构设计 159

7.1	框架—剪力墙结构的一般设计规定和简化假定	159
7.1.1	一般设计规定	159
7.1.2	简化假定与计算简图	160
7.2	框架—剪力墙结构协同工作计算原理	161



7.3	框架—剪力墙结构内力和位移的近似计算方法	162
7.3.1	铰接体系的内力和位移计算	162
7.3.2	刚接体系的内力和位移计算	169
7.3.3	构件内力计算	172
7.3.4	框架剪力的调整	173
7.3.5	刚度特征值对框架—剪力墙结构内力和 位移特性的影响	174
7.4	截面设计及构造	184
	思考题	186
第 8	章 筒体结构设计简介	187
8.1	筒体结构一般设计规定	187
8.1.1	筒体结构的类型、受力及变形特点	187
8.1.2	筒体结构的构造设计要点	192
8.2	筒体结构设计简介	194
8.2.1	筒体结构的简化分析方法	194
8.2.2	框筒梁设计	195
	思考题	196
第 9	章 地下室和基础设计	197
9.1	一般规定	197
9.2	地下室设计	198
9.3	基础设计	199
附录 1	风荷载体型系数	202
附录 2	结构基本自振周期的近似计算	205
附录 3	振型分解反应谱法计算地震作用	208
附录 4	复杂高层建筑结构设计	210
附录 5	混合结构设计	219
附录 6	高层建筑结构施工	229
附录 7	柱反弯点高度系数	238
	参考文献	241

1.1 高层建筑结构的特点

高层建筑是相对于多层建筑而言的,高是一个相对的概念,因此通常以建筑的高度和层数作为两个主要指标。高层建筑至今没有一个统一的标准定义,在不同的国家、不同的年代,其规定也不一样,这与一个国家当时的经济条件、建筑技术、电梯设备、消防装置等许多因素有关。如美国规定高度为 22~25m 以上或 7 层以上的建筑为高层建筑;英国规定高度为 24.3m 以上的建筑为高层建筑;日本规定 8 层以上或高度超过 31m 的建筑为高层建筑。我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)(以下简称为《高层规程》)规定,10 层及 10 层以上或房屋高度超过 28m 的混凝土结构民用建筑物为高层建筑。

在结构设计时,高层建筑的高度一般是指从室外地面至檐口或主要屋面的距离,不包括局部突出屋面的楼电梯间、水箱间、构架等高度。从结构工程师的观点出发,一个高层建筑是:在结构设计中,因建筑物的高度,结构要同时承受竖向荷载和水平荷载,还要抵御地震作用。这些荷载和作用的影响将起到重要作用。

图 1-1 表示建筑物高度与荷载效应的关系。由图 1-1 可知,在水平荷载作用下,随着建筑物高度的增大,水平位移增加的速度最快,内力次之。因此,高层建筑结构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向变形限制在一定范围内。原因如下:

(1) 过大的侧向变形会使建筑物内的人产生不舒服的感觉,即建筑物未能提供保证正常使用的条件。这主要指风荷载作用下,使用者必须在建筑物内正常工作与生活,所以必须限制变形。至于偶尔发生的地震,人的舒适感则是次要的。

(2) 过大的侧向变形会使填充墙、建筑物装修和电梯轨道等服务设施出现裂缝、变形,甚至毁坏。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,但由于非结构的损坏和倒塌(例如填充墙的倒塌),同样会威胁生命和财产的安全,或者会使维修费用很高,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。

(4) 过大的侧向变形会使结构产生附加内力,致使结构承载力不足或者不稳定,甚至倒塌。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“ $p-\Delta$ ”效应。

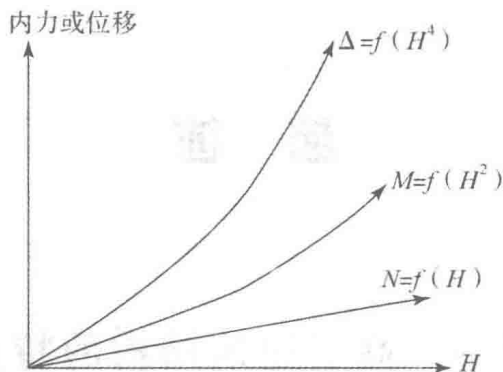


图 1-1 建筑物高度对内力、位移的影响

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。因此对地震区的高层建筑,应确保结构在地震作用下具有较好的抗震性能。结构的抗震性能主要取决于其“能量吸收与耗散”能力的大小,而它又取决于结构延性的大小。因此,为了保证结构在进入塑性变形后仍具有较好的抗震性能,需加强结构抗震概念设计,采取恰当的抗震构造措施来确保结构具有较好的延性。

在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力和刚度,又有好的抗震性能,还要尽可能提高材料利用率,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、锚固等细部构造。

此外,高层建筑结构的可行性和适用性总是依赖于高质量的材料,施工技术的水平以及建筑使用过程中必要的服务设施等几方面的密切配合及相互合作的产物。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。

1.2 高层建筑的历史

人类从文明社会的开始就向往着高楼大厦,最初建造的高大建筑是为了抵御侵略,随之发展到教会建筑。多层建筑是古罗马时期的特点,4层木结构住宅建筑普遍采用梁、柱构成。遭受罗马大火之后,在拱和筒形穹顶结构建筑中开始使用新的砖和混凝土材料。高层建筑的建造始于19世纪80年代,那时大部分用于商业和住宅建筑。砖石结构的最高建筑是建造于1891年的16层芝加哥Monadnock大楼。19世纪的工业化引起了社会经济飞跃,要求在增长的美国城市中增加建筑使用面积,形成对建筑高层建筑的强烈刺激。但是,这次高层建筑的发展没能持续,因为在19世纪中期尚未出现两个技术革新:高强度和对结构更有效的材料(锻铁和钢材)的发展及电梯的产生。直到1870年纽约的Equitable Life Insurance大楼开始使用电梯,它在高层建筑中的潜在力才



被证实,从而使高层建筑产生了经济活力。

新材料促进了轻骨架结构的发展,允许高层任意的内部大空间及大开窗。然而,最早期的铁框架结构仍然采用砖石自承重维护墙。第一幢完全金属框架承重的高层建筑是建于1883年的11层芝加哥 Home Insurance 大楼,第一幢全钢框架结构建筑是建于1889年的9层 Rand-McNall 大楼。1898年,Masonic 教堂采用了竖向桁架加斜支撑的框架结构,这就是剪力墙和框架支撑结构的原始形式。该建筑的设计中考虑了风荷载对建筑高度的影响。19世纪末,由于钢铁工业的发展和钢结构设计技术的进步,促进了高层建筑快速发展。建筑物高度增大后,考虑水平风荷载的作用,在结构理论方面突破了纯框架抗侧力体系,提出在框架结构中设置竖向支撑或剪力墙,来增加高层建筑的侧向刚度。1907年在纽约建造了辛尔大楼,47层,高187m,为第一幢超过金字塔高度的高层建筑;1913年纽约又建造了60层、高242m的乌尔瓦斯(Woolworth)大楼;1931年,在纽约曼哈顿建造了著名的帝国大厦,102层、高381m,它享有“世界最高建筑”之美誉长达40年之久。在这一时期,混凝土作为一种结构材料开始进入高层建筑的领域,1902年在美国的辛辛那提市建造了16层、高64m的英格尔斯(Ingalls)大楼,为世界第一幢钢筋混凝土高层建筑。

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。如建成于1968年的芝加哥约翰·汉考克中心(John Hancock Center),100层,高344m,采用对角支撑桁架型筒体结构体系;建成于1973年的纽约世界贸易中心(World Trade Center)双塔楼,北楼高417m,南楼高415m,均110层,采用钢结构框筒结构(外筒内框),该工程当时在规模和技术进行了多项创新,如首次进行了模型风洞试验,首次采用了压型钢板组合楼板,首次在楼梯井道采用了轻质防火隔板,首次采用粘弹性阻尼器进行风振效应控制等,并对以后高层建筑结构的设计和建造具有重要的参考价值。然而不幸的是,2001年9月11日世界贸易中心突遭恐怖分子毁灭性袭击,因高温下钢结构失效,造成两座大楼先后竖向逐层座塌,对全世界高层建筑的发展产生了很大的影响。建成于1974年的芝加哥西尔斯大厦(Sears Tower),110层,高443m,采用钢结构束筒框架筒体结构,享有“世界最高建筑”美誉20多年。

20世纪末期,随着东南亚经济腾飞,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。日本于1964年废除了建筑高度不得超过31m的限制,于1968年首次建成了36层,高147m的霞关大厦;1978年在东京建造了60层、高226m的阳光大厦;1996年在吉隆坡建成的石油大厦,88层,高450m。我国的高层建筑开始于20世纪50年代。1959年建成的北京民族饭店,12层,高47.4m;1974年建成的北京饭店东楼,19层,高87.15m,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,它保持我国最高的建筑长达9年,同时还标志着我国的高层建筑已突破100m大关。1987年建造的北京彩色电视中心,27层,高112.7m,采用钢筋混凝土结构,是当时我国8度地震区中最高的建筑;1988年建成的上海锦江饭店分馆,43层,153.52m,采用框架-芯墙全钢结构体系;1988年建造的上海静安希尔顿饭店,43层,高143.62m,采用钢-混凝土混合结构;1988年建造的深圳发展中心大厦,43层,高165.3m,是我国第一幢大型高层钢结构建筑。1996年建成的深圳地王大厦,81层,高325m,是当时全国最高的建筑;1998年建成的上海金茂大厦,88层,高421m;2008年建成的上海环球金



融中心,101层,高492m;2009年建成的广州电视塔,高600m。表1-1为全球排名前10位的高层建筑。

表 1-1 全球排名前 10 位的高层建筑

序号	建筑名称	所在城市	层数	高度/m	建成年份	备注
1	哈利法塔	迪拜	162	828	2010	图 1-2(a)
2	广州塔	广州	66	600	2009	图 1-2(b)
3	台北 101	台北	101	508	2003	图 1-2(c)
4	上海环球金融中心	上海	101	492	2008	图 1-2(d)
5	吉隆坡石油双塔	吉隆坡	88	452	1996	图 1-2(e)
6	紫峰大厦	南京	89	450	2010	图 1-2(f)
7	西尔斯大厦	芝加哥	110	443	1974	图 1-2(g)
8	上海金茂大厦	上海	88	421	1998	图 1-2(h)
9	香港国际金融中心	香港	88	415	2003	图 1-2(i)
10	中信广场	广州	80	391	1997	图 1-2(j)



图 1-2(a) 哈利法塔

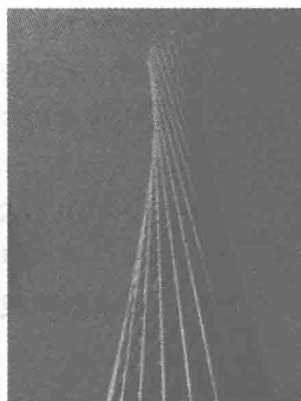


图 1-2(b) 广州塔

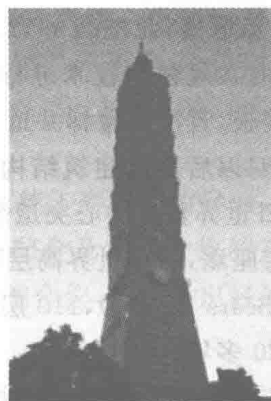


图 1-2(c) 台北 101

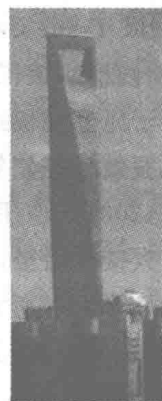


图 1-2(d) 上海环球
金融中心



图 1-2(e) 吉隆坡石油双塔



图 1-2(f) 紫峰大厦



图 1-2(g) 西尔斯大厦



图 1-2(h) 上海金茂大厦

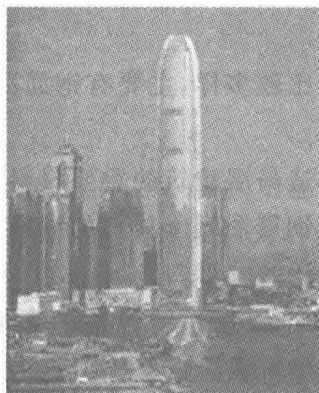


图 1-2(i) 香港国际金融中心



图 1-2(j) 中信广场

图 1-2 全球排名前 10 位的高层建筑

1.3 高层建筑结构的发展

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。由于商业活动的需要,高层商业建筑接踵而起,并且都尽可能的位居城市中心,因此使城市中心空余的土地面积严重短缺。迅速增长的都市人口和随之减少的有限空地已经相当大的影响了城市住宅的发展。土地价格的昂贵,期望避免都市的过度膨胀,必须保护重要的农业生产等要求都将促成使住宅建筑向空间发展。在一些城市中,例如香港和里约热内卢,由于土地紧缺,高层建筑是解决住房要求的唯一手段。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。

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进步,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、设计及施工技术还必然会有新的发展及创造。

1.3.1 高层建筑结构的多样性

1. 主体结构体系的多样性

高层建筑的主体结构体系具有多样性。迄今为止主要有:框架、框架-剪力墙、剪力墙、筒体、筒中筒、束筒、筒框(筒体稀柱框架结构的简称)、带支撑或带刚臂(刚性加强层的简称)的筒框、巨型支撑等等。一幢高层建筑的主体结构可以由其中的某一体系单独构成,也可以由其中的某二个甚至三个体系组合而成。

2. 楼屋盖结构体系的多样性

高层建筑的楼屋盖结构体系种类极其广泛,它们包括钢筋混凝土和预应力混凝土的各类梁板体系、无梁楼盖体系、钢结构的钢梁、混凝土组合楼板体系等等。



3. 结构材料的多样性

适用于高层建筑结构的材料比较多样,主要有钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土、钢及钢筋混凝土、钢筋混凝土的组合。

钢和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。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;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,施工方便。但是高层钢结构用钢量大,造价高,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。例在发达国家,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,也开始采用高层钢结构。在一些地基软弱或抗震性能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(37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)等钢结构。

钢筋混凝土结构造价较低,且材料来源丰富,并可浇筑成各种复杂断面形状,还可以组成多种结构体系;也可以节省钢材,承载力也不低,经过合理设计,可获得较好的抗震性能。其缺点是构件断面大,占据室内空间并减小使用面积,自重较大,从而使基础用材更多,导致基础造价增高。因而在发展中国家,大都采用混凝土建造高层建筑,我国的高层建筑也以混凝土结构为主。在广州已建造了63层的广州国际大厦。近年来,由于混凝土结构具有的优点,发达国家的混凝土结构建筑日益增多,美国和日本都建成了一些钢筋混凝土30~40层的高层建筑。

在当前的发展趋势中,更为合理的是同时采用钢和混凝土材料的混合结构。这种结构能将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。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。目前有以下两种组合方式:

(1)用钢材加强混凝土构件。钢材放在构件内部,外部由钢筋混凝土做成,称为钢骨(或型钢)混凝土构件。也可在钢管内部填充混凝土,形成钢管混凝土。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。在一般高层钢结构中,地下室和底部几层也常常采用钢骨混凝土梁、柱结构。

(2)一部分抗侧力结构用钢结构,另一部分采用混凝土结构(或部分采用钢骨混凝土结构)。例如:上海的金茂大厦和上海环球金融中心就是用钢筋混凝土核心筒,外框钢骨混凝土和钢柱的混合结构。深圳地王大厦也是用钢筋混凝土核心筒,外框为钢结构的混合结构。

在我国,高层建筑中仍以钢筋混凝土结构为主。但是随着钢产量的增加,我国钢结构设计、钢结构加工及安装技术都已成熟,钢结构高层建筑已有相当数量。今后将加强钢骨混凝土、钢管混凝土构件和高强轻质混凝土结构的研究和推广。预期混合结构和钢骨混凝土结构今后会逐步增多。



1.3.2 高层建筑结构的复杂性

1. 主体结构的转换

对于下部商业空间、上部住宅公寓的商住综合楼,下部商业空间通常希望采用比较规则的大柱网框架体系,上部住宅公寓为避免室内出现较大的柱子,利于防火、防盗、隔声,改善使用条件,又通常希望采用大开间的剪力墙体系。这两种体系的结合,必然要产生主体结构由上部剪力墙结构到下部筒体结构或框架-剪力墙结构的转换。

国内外这种主体结构的转换已有大量成功的工程实例。事实证明,这些必要的转换不仅具备建筑的合理性,也具备结构的可行性,关键在于建筑师、结构工程师密切的配合和精心的设计。

2. 结构立面的变化

高层建筑立面体型的丰富变化是近年来高层建筑发展的又一个重要趋势。立面退台、部分切块、挖洞、尖塔、悬挂、大悬臂等是其中的典型。高层结构的刚度沿竖向发生突变,使高层结构抗震、抗风设计增添了许多复杂性,结构的设计、计算乃至构造都需要有进一步的研究发展。

高层建筑结构的复杂性给结构工程师提出了挑战,要求结构分析、设计的技术不断向前发展。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,它随着建筑物高度及功能的发展需要而不断变化。由框架结构、剪力墙结构等基本体系,发展为框架-剪力墙体系、框架-筒体体系、框筒体系、筒中筒体系、巨型桁架结构体系、空间桁架结构体系等等。显然,随着建筑科学技术各个领域的不断发展,随着人们对建筑功能素质要求的不断提高,新的更合理的高层结构体系和形式还会不断出现。建筑师、结构工程师应该紧密合作总结创新,努力实现建筑结构的完美统一,从而推动建筑科学不断向前发展。

本书内容以常见的钢筋混凝土高层建筑为主,但书中介绍的结构体系、布置、荷载和设计要求、各种结构体系的内力和位移计算等各章,其原理和方法均适用于高层建筑钢结构和混合结构。

第 2 章

高层建筑结构设计的基本规定

2.1 材料

高层建筑结构所用的材料,主要是钢筋混凝土和钢材。高层建筑混凝土结构宜采用高强高性能混凝土和高强钢筋;当构件内力较大或抗震性能要求较高时,宜采用型钢混凝土、钢管混凝土构件等。各类结构用混凝土的强度等级均不应低于 C20,并应符合下列规定:

- (1)抗震设计时,一级抗震等级框架梁、柱及其节点的混凝土强度等级不应低于 C30;
- (2)筒体结构的混凝土强度等级不宜低于 C30;
- (3)作为上部结构嵌固部位的地下室楼盖的混凝土强度等级不宜低于 C30;
- (4)转换层楼板、转换梁、转换柱、箱形转换结构以及转换厚板的混凝土强度等级均不应低于 C30;
- (5)预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C40、不应低于 C30;
- (6)型钢混凝土梁、柱的混凝土强度等级不宜低于 C30;
- (7)现浇非预应力混凝土楼盖结构的混凝土强度等级不宜高于 C40;
- (8)抗震设计时,框架柱的混凝土强度等级,9 度时不宜高于 C60,8 度时不宜高于 C70;剪力墙的混凝土强度等级不宜高于 C60。

2.2 结构布置

2.2.1 高层建筑结构体系概论

高层建筑发展到今天,其结构体系形式繁多,划分标准也多种多样,以材料来分有配筋砌体结构、钢筋混凝土结构、钢结构和组合结构等。其中砌体结构强度较低,抗拉抗剪性能较差,难以抵抗水平作用产生的内力,因而一般情况下采用配筋砌体;钢筋混凝土结构强度较高,抗震性能较好,并具有良好的可塑性;钢结构强度较高,自重较轻,具有良好的延性和抗震性能,并能适应建筑上大跨度、大空间的要求;组合结构一般是钢框架与钢筋混凝土筒体的组合,在结构体系的层次上将两者的优点有效结合起来。

从结构工程师的观点出发,高层建筑结构体系的分类标准通常依据其竖向承重单体和抗侧力单元的类型来划分,其中框架、剪力墙、框架-剪力墙结构体系是高层建筑中传统的、应用广泛的抗侧力体系;在高度较大的高层建筑中,为了利用结构空间,又发展了框架-筒体



结构、框筒结构、筒中筒结构及多筒结构等多种抗侧力较好的结构体系。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。

1. 框架结构

框架结构由梁、柱构件通过节点连接构成,如整栋房屋均采用这种结构形式,则成为框架结构体系或者框架结构房屋,图 2-1 是框架结构房屋几种典型的结构平面布置。

框架结构的优点是建筑平面布置灵活,能获得大空间,也可以用隔断墙分割空间,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。

框架结构抗侧刚度较小,在水平力作用下将产生较大的侧向位移,其中一部分是框架结构产生的整体弯曲变形,即柱子的轴向拉伸和压缩所引起的侧移,在完全框架作用情况下,拉压力偶抵抗一半的外力矩,此时的整体弯曲还是比较明显的。另一部分是剪切变形,即框架的整体受剪,层间梁、柱杆件发生弯曲而引起水平位移。在完全框架作用情况下,柱子的弯曲尚需抵抗一半外弯矩,在普通的框架中,柱的弯曲需抵抗更多的外弯矩,这对比较柔的线型构建来说是比较难抵抗的。当框架的高宽比 $H/B < 4$ 时,框架结构以剪切变形为主,弯曲变形较小而可忽略,其整体位移曲线呈剪切型,特点是结构层间位移随楼层增高而减小。通过合理设计,框架结构本身的抗震性能良好,能承受较大的变形。但由于框架结构的构件截面较小,抗侧刚度较小,在强震作用下结构的整体位移和层间位移都比较大,这对结构构件以及非结构构件都是不利的,容易加重震害。此外,框架结构的节点内力集中,受力非常复杂,是结构抗震设计的关键部位。

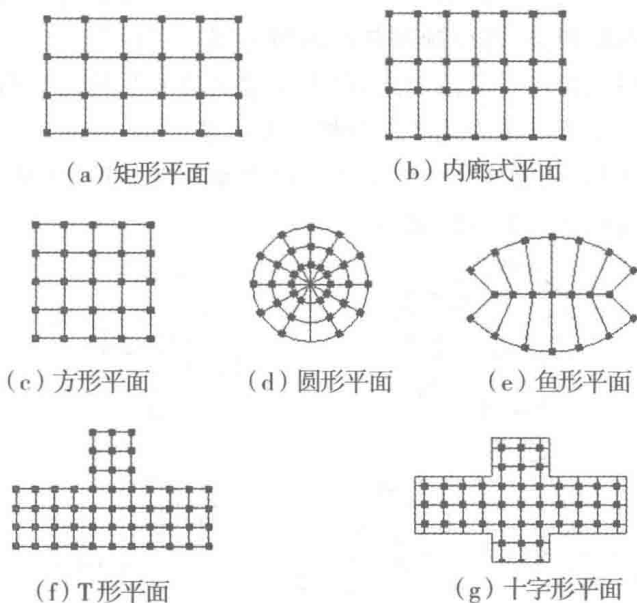


图 2-1 框架结构柱网布置图

由于普通框架的柱截面一般大于墙厚,室内出现棱角,影响房间的使用功能及观瞻,所以近十年来,由 L 形、T 形、Z 形或十字形截面柱构成的异形柱框架结构被不断采用,这种结构的柱截面宽度与填充墙厚度相同,使用功能良好,图 2-2 为异形柱框架结构平面示意图。