

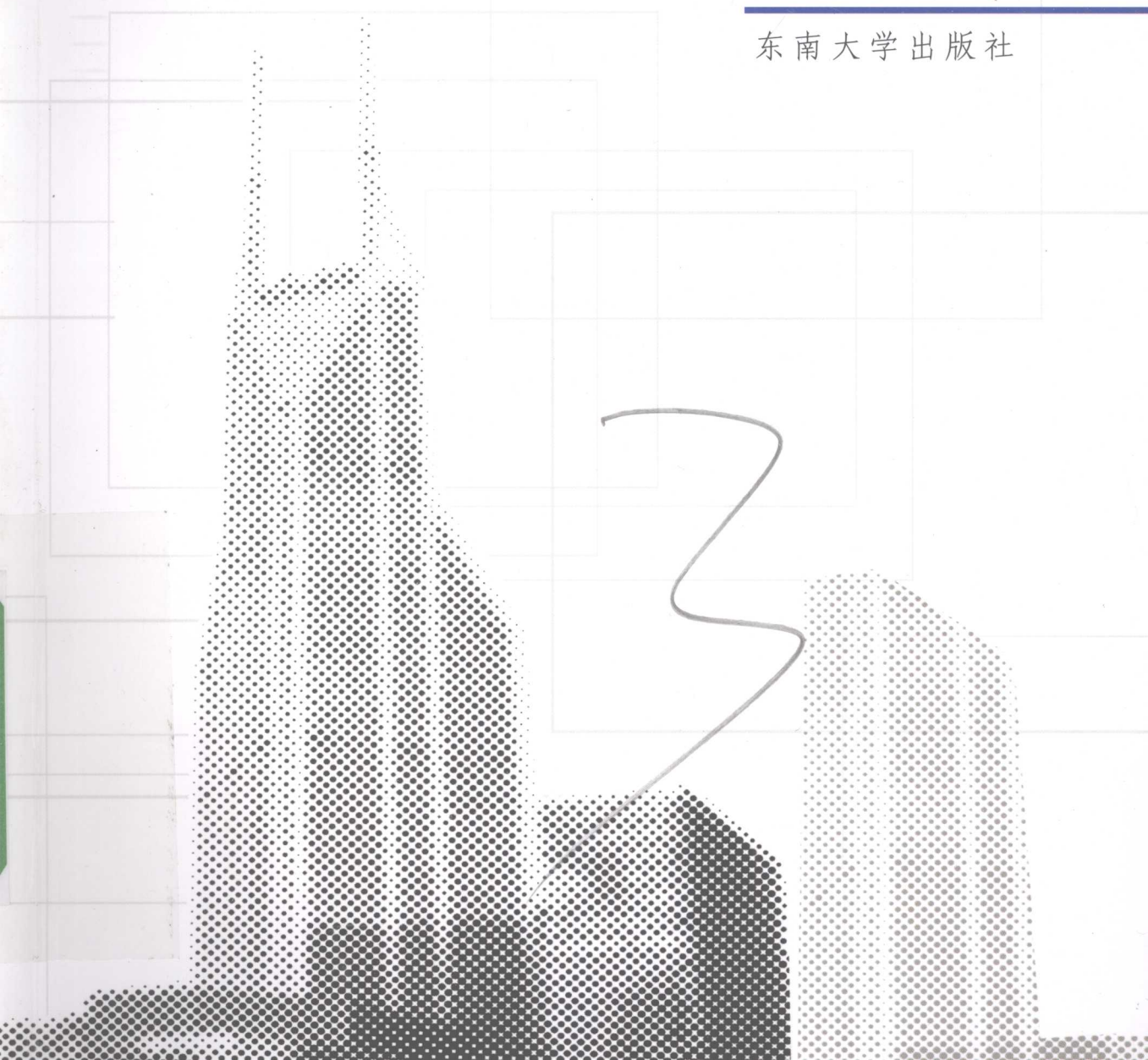
Tall Building Structures

# 高层建筑结构

高等院校土木工程专业  
研究生教材

陈忠范◎编著

东南大学出版社



TU973/68

2008

高等院校土木工程专业研究生教材

# 高层建筑结构

Tall Building Structures

陈忠范 编著

东南大学出版社

·南京·

## 内 容 提 要

本书论述了荷载与地震作用、基础、框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构,对其他高层结构体系也作了介绍,并附有思考题。对地震作用、剪力墙结构和框架-剪力墙结构作了些独到的解读,第一次使框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构实现了大统一,让读者站在最高点,俯视各种结构体系,领悟高层建筑结构的真谛。本书以现行标准、规范为依据,结合作者15年来对这门课的教学经验、研究成果和工程设计实践,特别加入了作者对汶川地震实地考察获得的相关图片资料和体会,使内容更加立体化、生动化。

本书语言朴实、易懂,理论分析透彻,公式推导详尽,是一本具有鲜明特色的研究生及高年级本科生教材,由于结合了较多的概念设计和工程实践内容,本书也可作为注册结构工程师的考试参考书和相关技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构/陈忠范编著. —南京:东南大学出版社, 2008. 8

高等院校土木工程专业研究生教材

ISBN 978-7-5641-1321-6

I. 高… II. 陈… III. 高层建筑—结构设计—研究生—教材 IV. TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 123902 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人: 江 汉

网 址: <http://press.seu.edu.cn>

电子邮件: [press@seu.edu.cn](mailto:press@seu.edu.cn)

全国各地新华书店经销 扬州鑫华印刷有限公司印刷

开本: 787 mm×1092 mm 1/16 印张: 14.75 字数: 360 千字

2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5641-1321-6/TU·167

印数: 1~3000 册 定价: 36.00 元

本社图书若有印装质量问题,可直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328

## 前 言

作者 1982 年进设计院从事结构设计,参加了南京当时最高的住宅——锁金村小区高层住宅 16 层框架-剪力墙结构设计,深感自己理论的欠缺,1985 年回校读硕士,1992 年博士毕业,期间苦苦探索框架-剪力墙结构的奥秘。留校后开始从事研究生“高层建筑结构”课程教学至今。经多年的教学发现,土木工程专业的本科生虽然学过一些高层建筑结构设计的内容,但都不够系统,更不够深入,同时作为研究生课程又没有一本专门的研究生教材,给研究生听课、复习、考试带来了很大的不便,严重影响了教学的效果。一直想自己编写,苦于想不出特色和亮点。

作者 3 年前发现框架-剪力墙结构刚度特征值与剪力墙结构墙肢整体性系数的统一,启动了这本教材的编写,希望能以现行标准、规范为依据,结合 15 年来对这门课的教学经验、研究成果和工程设计实践,用朴实、易懂的话语把读者引领到这些结构体系的上方,更清楚地认识这些体系。

作为国家首批一级注册结构工程师,作者长期以来的设计经历为本书提供了良好的素材;作为江苏省一级注册结构工程师继续教育“高层建筑”课主讲教师的经历为本书带来了新的设计理念;对汶川地震实地考察获得的相关图片资料和体会,使本书的内容更加立体化、生动化。

本书的编写,解决了“高层建筑结构”研究生教材的有无问题,但时间匆匆,水平有限,错误难免,自觉有许多不满之处,敬请批评指正。编写过程中吸取了很多相关书籍的精华,在此向这些书的作者深表感谢。

陈忠范

2008 年 6 月于南京东南大学

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 高层建筑的定义 .....	1
1.2 高层建筑的发展 .....	2
思考题 .....	5
<b>2 结构体系及其设计的一般规定</b> .....	6
2.1 高层建筑结构体系 .....	6
2.1.1 框架结构 .....	6
2.1.2 剪力墙结构 .....	7
2.1.3 框架-剪力墙结构及框架-筒体结构 .....	8
2.1.4 筒体结构 .....	9
2.1.5 框架-核心筒-伸臂结构 .....	11
2.1.6 巨型框架结构 .....	11
2.1.7 脊骨结构 .....	12
2.1.8 其他结构体系 .....	12
2.2 高层建筑结构高度控制 .....	12
2.3 高层建筑高宽比限值 .....	14
2.4 高层建筑结构的布置原则与要求 .....	15
2.4.1 结构平面布置 .....	15
2.4.2 结构立面布置 .....	17
2.4.3 伸缩缝、沉降缝和防震缝 .....	18
2.4.4 高层建筑的基础设置 .....	19
2.5 高层建筑的设计要求 .....	19
2.5.1 截面承载力验算 .....	19
2.5.2 正常使用条件下结构水平位移限值 .....	20
2.5.3 稳定和抗倾覆验算 .....	21
2.5.4 抗震结构的延性要求 .....	21
2.6 抗震结构的概念设计 .....	25
思考题 .....	26
<b>3 荷载与地震作用</b> .....	27
3.1 作用的类型 .....	27
3.1.1 永久荷载 .....	27

3.1.2	可变荷载	27
3.1.3	偶然荷载	28
3.2	风荷载	29
3.2.1	风灾及其成因	29
3.2.2	风荷载计算	30
3.2.3	结构顺风向抗风设计	44
3.2.4	结构横风向风振计算	45
3.3	地震作用	49
3.3.1	抗震设防分类和设防标准	49
3.3.2	地震影响	52
3.3.3	地震作用计算	53
3.3.4	场地和地基	71
	思考题	73
4	计算原则	74
4.1	高层建筑结构分析	74
4.1.1	结构弹性及弹塑性分析	74
4.1.2	结构静力及动力分析	74
4.1.3	结构水平荷载作用	75
4.2	结构计算的基本假定	75
4.3	构件的刚度与变形	77
4.4	结构塑性内力重分配	78
4.4.1	调幅	78
4.4.2	调整内力	78
4.5	结构程序分析方法	79
4.5.1	常见程序分析方法	79
4.5.2	杆件有限元分析方法	79
4.5.3	墙体的有限元分析方法	79
	思考题	80
5	框架结构设计	81
5.1	框架结构的布置	81
5.2	梁截面尺寸的确定及其刚度取值	83
5.3	柱截面尺寸的确定	85
5.4	底层柱计算高度的确定	87
5.5	竖向荷载作用下的计算	88
5.6	结构的动力特性计算	91
5.7	水平力作用下的计算	92
5.8	构件设计中的一些重要规定	99
5.9	梁截面设计及构造	99
5.10	柱截面设计及构造	104

5.11	框架梁柱节点核心区截面抗震验算	107
5.11.1	一般框架梁柱节点	107
5.11.2	梁宽大于柱宽的扁梁框架的梁柱节点	109
5.11.3	圆柱的梁柱节点	109
5.12	汶川大地震中框架结构的启示	110
5.12.1	“强梁弱柱”	110
5.12.2	填充墙	111
5.12.3	柱箍筋加密区	113
5.12.4	施工	113
	思考题	115
<b>6</b>	<b>剪力墙结构设计</b>	<b>116</b>
6.1	剪力墙结构的结构布置	116
6.1.1	剪力墙结构的结构布置	116
6.1.2	工程实例	119
6.2	剪力墙的分类及刚度计算	121
6.2.1	双肢墙计算公式的推导	121
6.2.2	剪力墙的分类	126
6.2.3	等效刚度计算	128
6.3	剪力墙截面设计及构造	132
6.3.1	剪力墙截面尺寸	133
6.3.2	剪力墙正截面抗弯承载力计算	133
6.3.3	剪力墙斜截面抗剪承载力计算	135
6.3.4	施工缝抗滑移验算	136
6.3.5	剪力墙稳定计算	137
6.3.6	剪力墙配筋要求	138
6.3.7	其他要求	139
6.4	连梁设计及构造	143
6.4.1	连梁截面设计和构造要求	143
6.4.2	延性连梁	146
	思考题	148
<b>7</b>	<b>框架-剪力墙结构设计</b>	<b>149</b>
7.1	水平荷载下的内力与位移计算	149
7.1.1	计算简图	149
7.1.2	侧移法计算水平荷载作用下的内力和位移	150
7.1.3	水平荷载作用下内力计算分析步骤	162
7.2	地震作用下的内力调整	167
7.3	框架-剪力墙结构协同工作	168
7.4	框架-剪力墙结构布置	170
7.4.1	框架-剪力墙结构中剪力墙的布置	170

7.4.2	板柱-剪力墙结构及结构布置	172
7.4.3	框架-剪力墙结构中梁的设计	172
7.5	刚度计算	173
7.5.1	框架总刚度计算	173
7.5.2	剪力墙总刚度计算	174
7.5.3	壁式框架刚度计算	174
7.5.4	连梁刚度计算	175
7.5.5	其他结构构件刚度计算	175
7.6	扭转影响的近似计算	176
7.6.1	扭转影响近似计算的基本假定	176
7.6.2	扭转近似计算的步骤	176
7.7	截面构造及设计	178
7.7.1	带边框架的剪力墙的构造要求	178
7.7.2	剪力墙的配筋要求	179
7.7.3	板柱-剪力墙结构中板的构造要求	179
7.7.4	整体小开口剪力墙	179
	思考题	186
8	筒体结构、底部大空间剪力墙结构、带转换层的高层结构简介	187
8.1	筒体结构分类和受力特点	187
8.2	一般规定	187
8.3	框筒的计算方法	189
8.4	框架-核心筒结构、框架-核心筒-伸臂结构	190
8.5	筒中筒结构	190
8.6	底层大空间剪力墙结构设计的基本要求	192
8.6.1	结构类型	192
8.6.2	一般规定	193
8.6.3	框支梁	195
8.6.4	框支柱	196
8.7	带转换层高层建筑结构简介	197
8.7.1	转换层结构按功能的分类	197
8.7.2	转换层的结构形式	198
	思考题	198
9	高层建筑的基础	199
9.1	高层建筑基础选型	199
9.2	筏形基础	200
9.2.1	筏形基础的设计要点	200
9.2.2	筏形基础的一般规定	201
9.2.3	筏形基础的内力计算	203
9.2.4	筏形基础的其他规定	204



---

9.3 箱形基础	204
9.3.1 箱形基础的设计要点	204
9.3.2 箱形基础的一般规定	205
9.3.3 箱形基础的内力计算	206
9.3.4 箱形基础的其他规定	211
9.4 桩箱与桩筏基础	211
9.4.1 桩箱与桩筏基础的设计要点	211
9.4.2 根据承载力布桩	212
9.4.3 考虑承台土分担荷载的桩基承载力	213
9.4.4 底板的受力计算	215
思考题	218
附表	219
参考文献	225

# 1 绪 论

登高远眺,接近苍穹自古就带给人无限遐想,高层建筑不断发展体现了人类九天揽月的美好愿望。随着时代的发展,高层建筑的高度在一定程度上反映了一个国家的综合国力和科技水平,世界著名建筑更是建筑史上的纪念碑。在人口密集、资源有限的城市,高层建筑,甚至超高层建筑越来越受到人们的青睐。

近年来,我国的高层建筑功能不断增加,结构体系不断创新,高度一再刷新,充分显示了我国的建筑结构设计和施工水平。

## 1.1 高层建筑的定义

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;随着房屋高度的进一步增加,水平荷载和地震作用将成为结构设计的控制因素。因此高层建筑的原则定义是:水平荷载和地震作用为结构设计控制因素的结构。经大量的计算,可以得到各类结构水平荷载和地震作用为结构设计控制因素的平均的层数或高度。因此高层建筑的具体定义是:层数或高度超过规定值的房屋建筑称为高层建筑。该规定值与一个国家的经济状况、科研水平、建筑技术等多种因素有关。因此,对高层建筑的定义,至今没有统一的划分标准,不同的国家在不同的时期有不同的规定。美国规定高度 22~25 m 以上或 7 层以上的建筑为高层建筑;法国规定高度 50 m 以上的居住建筑、28 m 以上的其他建筑为高层建筑;英国规定高度 24.3 m 以上的建筑为高层建筑;日本则把 8 层以上或高度超过 31 m 的建筑称为高层建筑,并把 30 层以上的旅馆、办公楼和 20 层以上的住宅规定为超高层建筑。

世界高层建筑委员会 1972 年建议将高层建筑划分为以下 4 类:

- 第 I 类:高度不超过 50 m(9~16 层);
- 第 II 类:高度不超过 75 m(17~25 层);
- 第 III 类:高度不超过 100 m(26~40 层);
- 第 IV 类:高度超过 100 m(40 层以上)。

在我国《住宅设计规范》(GB 50096—1999)中,规定住宅按层数分为以下 4 类:

- 1~3 层为低层住宅;
- 4~6 层为多层住宅;
- 7~9 层为中高层住宅;
- 10 层以上为高层住宅。

我国在不同的领域对高层建筑也有不同的定义,如在建筑领域,10层及10层以上的住宅建筑及高度超过24m的公共建筑或住宅建筑称为高层建筑,100m以上称为超高层建筑。对于土木工程领域,在《高层建筑混凝土结构技术规程》中规定: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称为高层建筑。

## 1.2 高层建筑的发展

在古代的建筑史中,建筑物的材料多用土木石等一些原始的材料,砌筑方式比较简单,建筑高度也比较低。人们没有高层建筑的概念,却同样有向高空发展的愿望,早在公元前280年,建于埃及亚历山大港高度超过100m的灯塔是西方上古时期七大建筑奇迹之一,据载,在古罗马时代的欧洲,已经建成了10层的砖墙承重的楼房。

我国的高层建筑也有悠久的历史,汉武帝时代,长安城内就有不少较高的楼阁。公元523年,在今河南登封县建成了40m高的嵩岳寺塔。至今保存最古最大的木塔——山西省应县内佛宫寺的释迦塔(图1.1),建于公元1056年,高67m,在元、明时代历经几次地震而未倒塌,充分显示了我们祖先的智慧与才能。

19世纪中期以前,欧洲和美国的建筑层数一般不超过6层,这与受到人类攀登高度限制有关。1854年,美国人伊莱沙·格雷夫斯·奥的斯第一次向世人展示了他的发明——历史上第一部安全升降梯,使实现高层建筑成为可能。

1883年,芝加哥人寿保险公司大楼(图1.2)在美国芝加哥拔地而起,高55m,是世界上最早的高层建筑,19世纪工业革命之后,电梯和钢铁得到广泛应用,高层建筑的发展也进入了黄金时期。1930年,克莱斯勒大厦突破300m,一年后竣工的纽约帝国大厦(102层,381m)(图1.3)夺得了世界之最,并傲视全球40年之久。



图 1.1 释迦塔

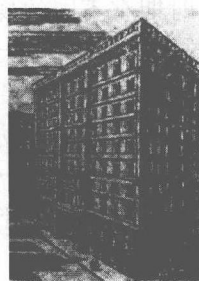


图 1.2 芝加哥人寿保险公司大楼

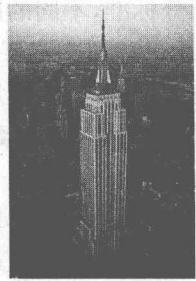


图 1.3 帝国大厦

第二次世界大战之后,经济的繁荣和人口的增多使高层建筑得到了空前发展,计算机的应用,新型材料的研发更推动了这一过程,美国高层建筑的高度大幅度上升,世界纪录被不断刷新:

——1968年,芝加哥约翰·汉考克中心建成(图1.4)。

——1974年,芝加哥西尔斯大厦建成(图1.5)。

——1988年,香港中国银行大厦建成(图1.6)。



图 1.4 约翰·汉考克中心

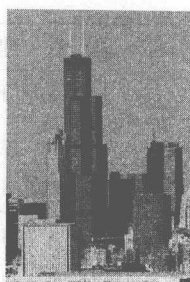


图 1.5 西尔斯大厦



图 1.6 中国银行大厦

台北 101 大楼(又称台北国际金融中心)(图 1.7)于 2003 年 10 月封顶,打破了马来西亚石油大厦保持 7 年的纪录,成为目前世界上最高的建筑。

20 世纪中叶以来,随着亚洲地区经济的迅速发展,亚洲地区开始出现高层建筑的兴建热潮,我国的高层建筑虽然只有 50 余年的历史,但发展很快,60 年代,广州已经有很多高层建筑落成,其中最高的是 27 层的广州宾馆,高 88 m。而 70 年代最高建筑的代表作是广州白云宾馆,33 层,高 100 m。步入 80 年代,中国高层建筑发展进入全盛时期,全国 30 多个大中城市都兴建了一批高层建筑,据记载,1980—1984 年间所建的高层建筑相当于以前 30 多年中兴建的总和。

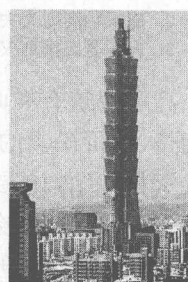


图 1.7 台北 101 大楼

进入 90 年代以来,我国的高层建筑更是迅猛发展,1996 年,深圳地王大厦(图 1.8)建成,高 384 m,81 层,1998 年建成上海金茂大厦(图 1.9,图 1.10),高达 421 m,是目前世界第四高楼。

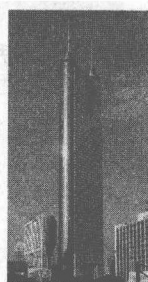


图 1.8 地王大厦

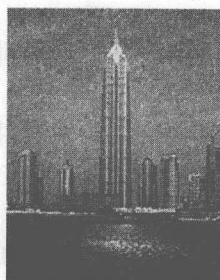


图 1.9 金茂大厦

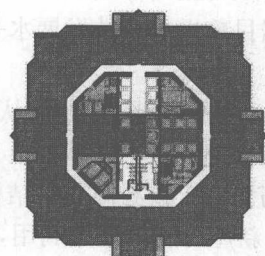


图 1.10 金茂大厦平面图

表 1.1 世界最高的 10 幢高层建筑

单位:m

序号	名称	地点	建成日期	高度	层数	结构	用途
1	台北 101 大楼	台北	2003 年	448	101	M	综合
2	西尔斯大厦	芝加哥	1974 年	442	110	S	办公
3	香港国际金融中心	香港	2003 年	420	88	S	综合
4	石油大厦	吉隆坡	1996 年	405	88	M	综合

(续表)

序号	名称	地点	建成日期	高度	层数	结构	用途
5	金茂大厦	上海	1998年	402	88	M	综合
6	帝国大厦	纽约	1931年	381	102	S	办公
7	东帝士金融中心大楼	高雄	1997年	348	85	S	综合
8	Aon 中心标准石油公司大厦	芝加哥	1973年	346	80	S	办公
9	约翰·汉考克中心	芝加哥	1968年	344	100	S	综合
10	地王大厦	深圳	1996年	328	69	M	办公

注: 1. 结构中 M 为钢混结构, S 为钢结构, C 为钢筋混凝土结构。

2. 建筑物高度为去除天线的高度。

3. 表中名次排列仅供参考。

高层建筑有如此强大的生命力,主要是由于它能有效地利用空间,在人口高度集中、交通拥挤、地价昂贵的城市,高层建筑在有限的面积内增加建筑面积,缓解用地紧张的问题,据有关资料介绍,10层建筑比5层建筑节约用地2%~30%,15层建筑比5层建筑节约用地30%~45%。一些公司或大企业为了展现自己的实力或取得广告效应,争相建造高楼,实质上,建筑高度的竞争反映了国家的政治地位和经济实力。

进入了21世纪,高效的计算方法、先进的施工技术、高强轻质的建筑材料和人们对建筑高度的欲望,加快了建筑高度排行榜的更新。94层460m的上海环球金融中心于1998年动工,由于亚洲金融风暴而停工5年,2003年3月复工时改为101层492m高,现即将完工,届时将成为我国最高的建筑,有可能成为世界第二,而在阿联酋的迪拜布吉大楼(图1.11)突破700m,预计在2009年竣工,建成之时将成为世界之最。



图 1.11 迪拜布吉大楼

根据目前世界科技发展水平,今后高层建筑结构将有如下发展趋势:

(1) 新型结构形式增多,从常规结构向复杂结构发展,特别是组合结构。香港中银大厦采用5根型钢混凝土巨型柱及8片平面支撑组成的巨型支撑结构体系,上海金茂大厦主楼采用钢筋混凝土核心筒与钢结构外框架结合的组合结构体系。

(2) 新型材料的研发利用,使得混凝土强度和性能不断得到改善,高强轻质混凝土的利用可以减轻结构自重,提高结构抗震能力。

(3) 消能减震技术将得到更广泛的应用,建筑高度的增加对结构抗震提出了更高的要求。传统的抗震设计利用建筑物自身储存和消耗地震能量来满足抗震设防标准,结构难免会受到损伤,甚至倒塌,为防止这种现象,必然要加大构件截面尺寸,增加建筑材料,消能减震技术与之相比具有安全、经济、使用范围广等优点,对高层建筑有更加重要的意义。

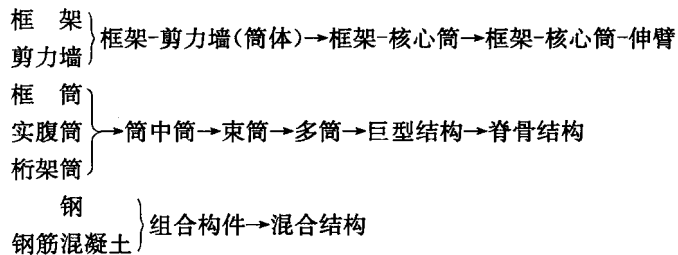
### 思 考 题

- 1-1 为何要分高层建筑与多层建筑?
- 1-2 什么是高层建筑?
- 1-3 为何要建高层建筑?
- 1-4 高层建筑较多的国家主要有哪些?
- 1-5 已建成的世界最高楼是哪个? 在建的世界最高楼是哪个? 规划中的世界最高楼是哪个?
- 1-6 根据目前的建筑材料和设计施工水平,你认为建筑最高能建多高?
- 1-7 试述世界高层建筑结构未来发展的趋势。

## 2 结构体系及其设计的一般规定

### 2.1 高层建筑结构体系

结构体系是指结构构件受力与传力的结构组成方式。高层建筑的功能、形式、高度和空间利用的不断发展,促使结构形式、材料、组成和结构体系不断发展和创新。同时,新材料和计算机技术的发展,又给结构体系发展创造了条件,总的来看,结构发展可归纳如下:



#### 2.1.1 框架结构

由梁、柱通过节点组成的结构单元称为框架,可同时承受竖向及水平荷载的结构体系称为框架结构。

框架结构优点是框架柱网可大可小,建筑平面布置灵活。延性大、耗能能力强的延性框架结构,具有较好的抗震性能缺点:刚度小、侧移大,当用于比较高的建筑时,所需要的梁、柱截面尺寸很大,不仅浪费材料,而且减小了有效使用面积,因而使用高度最低。因此,框架结构适用于层数不多、高度不太高的建筑,如商场、车站、宾馆等。目前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。

在水平力作用下,框架的侧移变形有两部分组成:①梁柱弯曲变形使框架结构产生侧移,一般情况下,梁、柱都有反弯点。由于框架层间剪力是其上部水平荷载的合力,所以下大上小,导致下部层间变形大,上部小;侧移曲线表现为剪切型(图 2.1)。②柱的轴向变形也使框架结构产生侧移,为弯曲形,上部层间变形大。两侧移以前者为主,因而框架结构的侧移曲线表现为剪切型(图 2.2)。柱的层间剪切变形相对于柱的层间弯曲变形要小得多,通常都忽略柱的剪切变形。

在结构布置中,由于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,一般现浇,设防烈度为 9 度时,不得采用装配整体式结构,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。

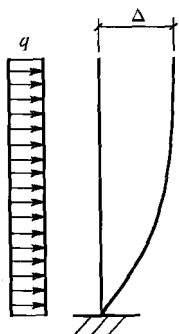


图 2.1 剪切型变形

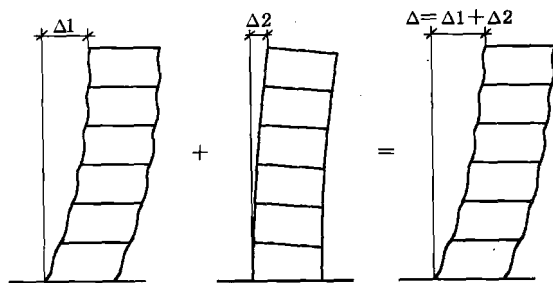


图 2.2 框架结构在侧向力作用下的侧移曲线

### 2.1.2 剪力墙结构

由墙体承受竖向荷载和抵抗水平力的结构称为剪力墙结构。用于抗震结构时也称为抗震墙。

剪力墙结构的优点有：整体性好、刚度大，容易满足承载力和侧移的要求，高剪力墙能设计成抗震性能好的延性剪力墙。施工方便，适用于住宅、旅馆等建筑。适用的高度范围较大。该结构缺点在于：剪力墙间距一般为 3~8 m，平面布置不灵活。结构刚度大使剪力墙结构的基本自振周期短、地震作用大。所以，高层剪力墙结构，应尽量减轻建筑物的重量，宜采用大开间结构方案，在保证结构安全的条件下，尽量减小构件截面尺寸，采用轻质高强材料。非承重隔墙宜采用轻质材料。

在水平荷载作用下，剪力墙结构以弯曲变形为主，侧移曲线表现为弯曲线，就像悬臂梁一样，层间位移自下而上逐渐增大。这种增大的原因是因墙体纵向轴线由基础处的竖直状态向上发生倾斜，其转角的不加而造成的，高剪力墙的剪切变形相对于弯曲变形要小得多。

剪力墙是平面构件，在其自身平面内有较大的承载力和刚度，平面外承载力和刚度小，结构设计时一般不考虑平面外承载力和刚度。因此，剪力墙要双向布置，分别抵抗各自平面内抗震设计的剪力墙结构，力求使两个方向的刚度接近。当平面为三角形、Y 形时，剪力墙可沿三个方向布置；当平面为多边形、圆形和弧形平面时，可沿环向和径向布置。

沿高度方向，剪力墙应连续布置，避免刚度突变，中间楼层不宜中断。墙厚度应沿竖向逐渐减薄，截面厚度变化时不宜太大。厚度改变与混凝土强度等级的改变宜错开楼层。当设防烈度不超过 8 度，顶层须减少部分剪力墙时，该层刚度不应小于相邻下层刚度的 70%，楼、顶板按转换层处理。为减少上下剪力墙的偏心，内墙厚度变化宜两侧同时内收。为保持外墙面平整，楼梯间墙为上下完整，电梯井墙为安装电梯方便，可以一侧内收。

墙肢截面宜简单、规则，剪力墙的两端尽可能与另一方向的墙相接，成为 I 形、T 形、L 形等有翼缘的墙，以增大剪力墙的刚度和稳定性。在楼梯和电梯间，两个方向的墙互相连接成井筒，以增大结构的抗扭能力。

为了使底层有较大的空间，可以做成底层为框架、上部为剪力墙的框支剪力墙(图 2.3)。由于底层框支柱的刚度比上部剪力墙的小很多，成为刚度小的软弱层和承载能力低的薄弱层。因此，地震区不允许采用纯框支剪力墙结构。《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)

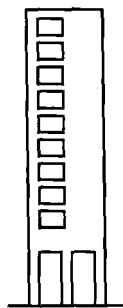


图 2.3 框支剪力墙立面示意图



(以下简称《高规》)允许采用有部分剪力墙落地的底层大空间结构,通过转换层将不落地剪力墙上的剪力转移到落地剪力墙上,避免了刚度和承载能力的突然变小,有利于结构抗震。

### 2.1.3 框架-剪力墙结构及框架-筒体结构

在结构中同时布置框架和剪力墙,使两者共同承受竖向荷载和水平荷载,就是框架-剪力墙结构。在框架-剪力墙结构中,两个方向的剪力墙围成筒体,就是框架-筒体结构。如果框架在外围四周,中间布置核心筒,就成为框架-核心筒结构。这几种结构的受力特性基本相同,可以统称为框架-剪力墙结构。

框架-剪力墙结构兼有框架结构布置灵活、延性好和剪力墙结构刚度大、承载能力大的优点,变形也兼有这两种结构的特点。在假定楼板平面内刚度无限大时,受水平力作用时,框架、剪力墙协同工作,在结构的底部框架侧移减小,在结构的上部剪力墙的侧移减小,侧移曲线是弯剪型(图 2.4),接近于直线。不仅改善了纯框架结构和纯剪力墙结构的抗震性能,也有利于减小地震作用下非结构构件的破坏。层间变形沿建筑高度比较均匀,不容易形成变形集中的软弱层,地震时,剪力墙为第一道防线,框架为第二道防线,在剪力墙底部形成塑性铰后框架作为第二道防线承担剩余荷载,是一种比较好的抗侧力体系,广泛应用于高层建筑,其最大适用高度与剪力墙结构接近。可应用于多种使用功能的高层房屋,如办公楼、饭店、公寓、住宅、教学楼、实验楼、病房楼等。

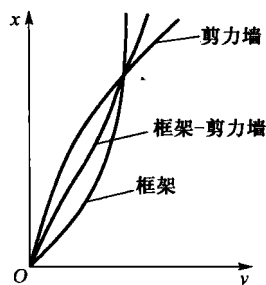


图 2.4 框架-剪力墙结构的变形特征

框架-剪力墙都只能在自身平面内抵抗侧向力,抗震设计时,框架-剪力墙结构应设计成双向抗侧力体系,结构的两个主轴方向要布置剪力墙。框架-剪力墙结构布置的关键是剪力墙的数量和位置。剪力墙多一些,结构的刚度大一些,侧向变形小一些,但剪力墙太多不但在布置上困难,而且也没有必要。通常,剪力墙的数量以使结构的层间位移角不超过规范规定的限值为宜。剪力墙的数量也不能过少。在基本振型地震作用下剪力墙部分承受的倾覆力矩小于结构总倾覆力矩的 50% 时,说明剪力墙的数量偏少。这种情况下,虽然适用高度可以比框架结构高一些,但其框架部分的抗震要求应当提高,与框架结构的抗震要求相同。

出于使用功能的要求,框架-剪力墙结构中剪力墙的布置往往会受到各种条件的限制,不可避免造成刚心与质心的不重合,产生偏心扭矩,应采取相应措施尽量使结构均匀。

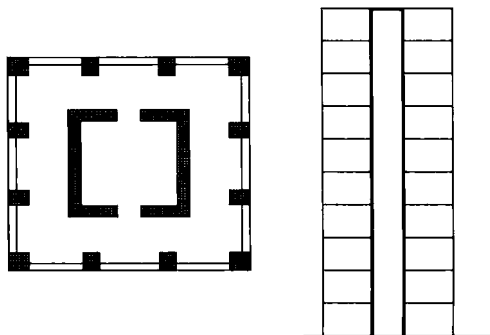


图 2.5 框架-核心筒结构

框架-核心筒结构(图 2.5)由周边稀疏框架与内筒构成,它的受力变形特点与框架-剪力墙结构相同。它的内筒由剪力墙组成,是抵抗水平力的主要构件,外围四周柱少,外框架的柱间距可达 8~9 m,且布置变化多。因而建筑立面灵活,可以获得良好的外观。若采用无黏结预应力楼板,或采用钢梁(轻型钢桁架)-压型钢板-现浇楼板,外框架与核心筒的间距可以达 10 m 以上,使用空间大而灵活,采光条件好,是办公用房的理想选择。