

目 录

第一章 绪论	1
§ 1-1 高层建筑主要结构体系及适用范围	5
§ 1-2 高层建筑结构力学分析中的几个问题	25
第二章 高层建筑结构水平荷载计算	30
§ 2-1 结构振动分析基础	30
§ 2-2 风荷载计算	43
§ 2-3 地震作用计算	50
第三章 高层框架结构计算	56
§ 3-1 广义反弯点法 (D 值法)	56
§ 3-2 高层钢框架结构的受力特点	71
§ 3-3 分层计算法	76
§ 3-4 高层框架结构自振周期简化计算方法	78
第四章 用简化方法计算剪力墙结构体系	82
§ 4-1 整体墙的侧移和内力计算	83
§ 4-2 整体小开口墙的侧移及内力计算	84
§ 4-3 多肢墙的侧移和内力计算	91
§ 4-4 用 D 值法计算壁式框架的位移和内力	112
§ 4-5 框支剪力墙的侧移和内力计算	120
§ 4-6 各类剪力墙的分类界限	131
第五章 用简化方法计算框架-剪力墙结构体系	134
§ 5-1 基本假定和计算简图	134
§ 5-2 综合剪力墙抗弯刚度、综合框架抗剪刚度和连系梁旋转刚度	136
§ 5-3 框架-剪力墙协同工作微分方程的解	139
§ 5-4 内力分配及计算步骤	148
§ 5-5 框架、剪力墙、框架-剪力墙结构体系扭转的近似计算	150
§ 5-6 剪力墙、框架-剪力墙结构体系自振频率的近似计算方法	154
§ 5-7 框架-剪力墙结构计算实例	157
第六章 剪力墙、框架-剪力墙结构体系的空间协同工作矩阵位移法	165
§ 6-1 计算假定和单元刚度矩阵	165
§ 6-2 简约侧向刚度矩阵	172
§ 6-3 结构的位移和内力计算	174
第七章 框筒结构的简化计算	183
§ 7-1 展开为平面框架的方法	184
§ 7-2 框筒结构的完全空间协调方法	191
§ 7-3 等效连续的简化分析方法	195

§ 7-4 等效槽形方法	208
§ 7-5 美国纽约世界贸易中心和芝加哥西尔斯大厦筒体初步分析	212
第八章 筒中筒结构的简化分析方法	216
§ 8-1 展开为平面框架-剪力墙方法	216
§ 8-2 筒中筒结构连续微分方程法	221
§ 8-3 筒中筒结构优化分析和初步设计	232
第九章 有限条法在高层建筑中的应用	236
§ 9-1 有限条法基础	236
§ 9-2 用有限条法计算剪力墙结构体系	241
§ 9-3 开洞剪力墙计算实例	252
第十章 样条函数方法在高层建筑中的应用基础	258
§ 10-1 B样条函数方法基础	258
§ 10-2 B样条函数法在剪力墙结构体系中的应用	263
§ 10-3 样条函数法分析剪力墙实例	269
第十章附录: B_s 、 B_s^T 、 C_s 、 F_s 矩阵	274
第十一章 结构温度变化的受力分析	277
§ 11-1 柱长度变化的分析	277
§ 11-2 底层楼面间温度变形差受力分析	283
§ 11-3 柱长度变化分析实例	286
第十二章 人体对风运动的舒适度和高层建筑结构的风振控制	290
§ 12-1 人体对风运动的舒适度	290
§ 12-2 高层建筑的风振动力分析	295
§ 12-3 最优控制理论基础	303
§ 12-4 粘弹性阻尼器	309
§ 12-5 调频质量阻尼器	312
§ 12-6 主动锚索控制	324
§ 12-7 主动挡风板控制	329
参考文献	334

第一章 绪 论

高层建筑是紧随着城市的发展而发展起来的。在人口密集、土地有限的大中城市，发展高层建筑有利于节约用地，减少市政基础设施和创造优美的城市环境。从1885年美国兴建第一幢高层建筑——芝加哥家庭保险公司大楼(The Home Insurance Building, 10层, 55m)算起，至今已有100年的历史了，在这期间，特别是在70年代和80年代，高层建筑的发展是很快的，全世界范围内差不多有35个国家建造了100m以上的高层建筑，其中有5幢已达到100层，它们是美国芝加哥西尔斯大厦(Sears Tower, 110层)、纽约世界贸易中心南、北楼(World Trade Center South, North, 110层)、纽约帝

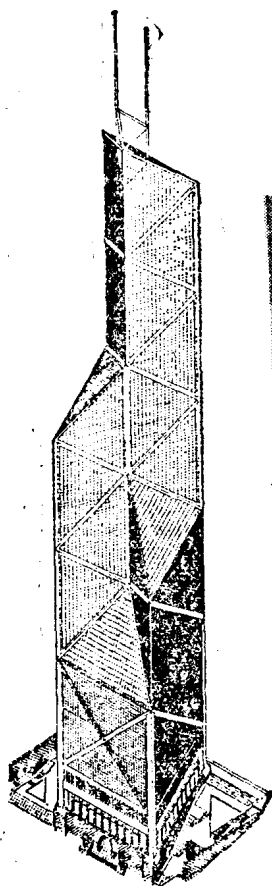
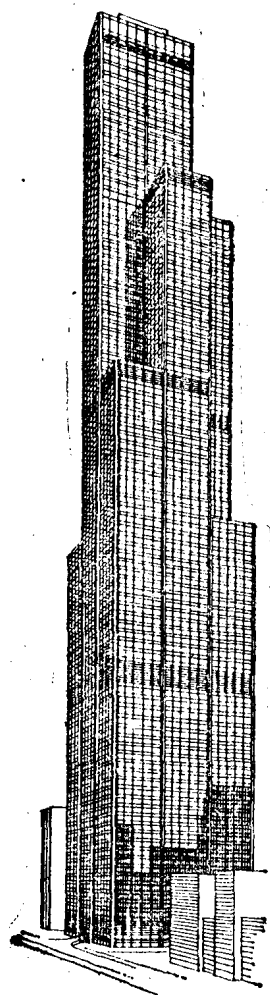


图 1-1 西尔斯大厦 图 1-2 中国银行大厦

图 1-3 加拿大第一银行大厦

国大厦 (Empire State, 102层)、芝加哥约翰·汉考克大楼 (John Hancock, 100层), 均在美国, 其中最高的是西尔斯大厦, 达443m, 见图1-1。国际上最古老的高层建筑是美国华尔胡斯大厦 (Woolworth Bldg.), 1913年建造, 高度242m, 钢结构办公大楼; 帝国大厦 (381m) 于1931年建造, 曾保持了41年世界最高纪录; 世界上最高的钢筋混凝土建筑是美国芝加哥的水塔广场大厦 (Water Tower Place, 74层, 262m); 最高的钢-混组合结构是美国休斯顿市的商业中心大厦 (Texas Commerce Plaze, 75层, 305m); 目前欧洲最高的建筑是波兰华沙第一科学文化宫 (Palace kulury 1 Nauki, 42层, 241m), 系钢-混组合结构, 亚洲最高的建筑是新加坡的华联银行大厦 (Overseas Union Bank, 63层, 280m), 但即将完工的香港中国银行 (Bank of China) 大厦 (72层, 368m) 将成为亚洲之冠, 见图1-2。世界上最高的高层建筑大多在美国。除美国以外, 最高的高层建筑要算加拿大多伦多市第一银行大厦 (First Bank Tower, 72层, 285m), 见图1-3。根据统计资料, 全世界最高的30幢建筑物如表1-1所列。

全世界30幢最高的建筑物

表 1-1

建 筑 物	城 市	落成年份	层 数	高 (m)	材 料	用 途
西尔斯塔楼	芝加哥	1974	100	443	钢	办公楼
世界贸易中心 (北楼)	纽约	1972	110	417	钢	办公楼
世界贸易中心 (南楼)	纽约	1973	110	415	钢	办公楼
帝国大厦	纽约	1931	102	381	钢	办公楼
印地安纳标准石油大厦	芝加哥	1973	83	346	钢	办公楼
约翰·汉考克大厦	芝加哥	1968	100	344	钢	多功能
克里斯勒大厦	纽约	1930	77	319	钢	办公楼
中国银行	香港	1988	71	314	混 合	办公楼
得克萨斯商业广场大厦	休斯敦	1981	75	305	混 合	办公楼
联合银行广场大厦	休斯敦	1983	71	296	钢	办公楼
哥伦比亚中心	西雅图	1985	76	291	钢/混凝土	办公楼
美国国际大厦	纽约	1931	66	290	钢	办公楼
第一银行塔楼	多伦多	1975	72	285	钢	办公楼
40沃尔塔楼	纽约	1966	71	283	钢	办公楼
达拉斯梅恩中心	达拉斯	1985	70	281	混 合	办公楼
华联银行大厦	新加坡	1986	63	280	混 合	办公楼
市社团中心	纽约	1977	59	280	钢	多功能
特伦斯科塔楼 2	休斯敦	1983	64	275	钢	办公楼
水塔广场大厦	芝加哥	1976	74	262	混凝土	多功能
联合加州银行	洛杉矶	1974	62	262	钢	办公楼
跨美金字塔大厦	旧金山	1972	48	259	钢	办公楼
RCA洛克菲勒中心	纽约	1933	70	259	钢	办公楼
第一国民银行	芝加哥	1969	60	259	钢	办公楼
美国钢铁大厦	匹兹堡	1970	64	256	钢	办公楼
万蔡斯曼哈顿广场大厦	纽约	1961	60	248	钢	办公楼
泛美大厦	纽约	1963	59	246	钢	办公楼
华尔胡斯大厦	纽约	1913	57	242	钢	办公楼
第一科学文化宫	华沙	1955	42	241	钢/混凝土	办公楼
约翰·汉考克大厦	波士顿	1973	60	241	钢	办公楼
M.L.C.中心	悉尼	1976	70	240	混凝土	办公楼

由于出现了轻质高强材料、新的结构体系和高速电梯, 150~200层的建筑在技术上已成为可能。因此, 近年来高层建筑又向着新的方向发展, 美国正在规划或设计好几幢摩天大楼的蓝图, 其中包括名为“电视城”的大厦, 楼高150层, 509m, 位于纽约曼哈顿商业中心区; 正在设计的美国费尼克斯市的Phoenix Tower建成后, 高度亦将突破500m; 此外, 澳大利亚计划在昆士兰首府布里斯班建造一座高445m的中央大厦, 据一些专家预测, 突破现今世界上最高建筑物的地方, 很有可能首先在亚洲而不是在美国出现。

我国自五十年代初开始设计、建造高层建筑, 虽然只有30余年的历史, 但发展是很快的, 特别是在钢筋混凝土高层方面有较明显的进展, 近几年内高层钢结构建筑也有所发展。60年代我国建成了广州宾馆(27层, 87m), 进入70年代, 于1974年建成的北京饭店新楼(18层, 87m), 使我国地震区高层建筑高度突破80m, 1975年广州兴建了白云宾馆(33层, 112m), 使我国的高层建筑高度超过100m; 80年代我国高层建筑发展进入一个兴盛时期, 全国30多个大中城市兴建了一批高层建筑, 其中较为集中的是北京、广州、深圳和上海等地。目前已建成的最高建筑是深圳发展中心(40层, 165m), 广东国际大厦建成后, 将成为我国钢筋混凝土高层之最, 楼高62层, 196m, 见图1-4。近几年, 我国开始建造钢结构高层建筑, 已经建成的有上海金沙江大酒店(16层, 50.4m)、瑞金宾馆(27层, 107m)、锦江宾馆(43层, 150m)、希尔顿饭店(43层, 143m)、深圳发展中心及正在施工的上海国际贸易中心(37层, 143m)、北京香格里拉饭店(28层, 83m)、北京长富宫大厦(25层, 88.7m)、京城大厦(50层, 183m)、北京国际贸易中心大厦(39

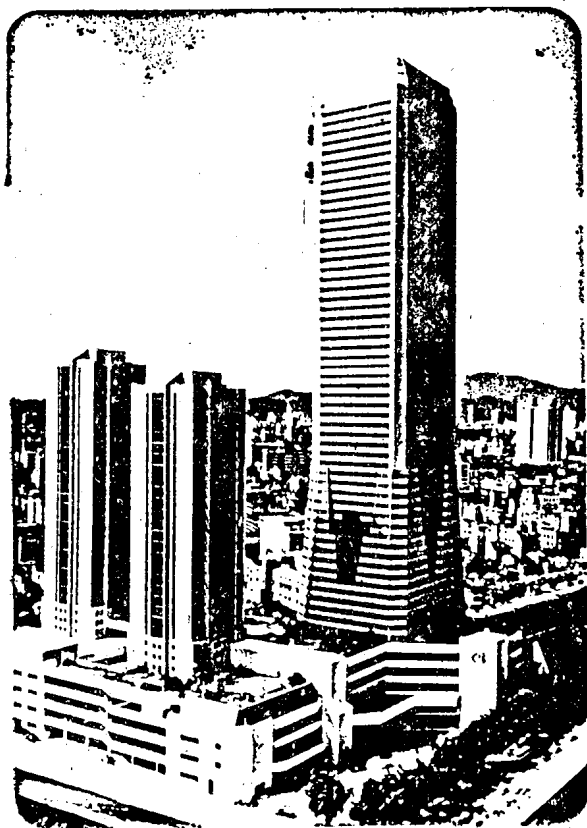


图 1-4 广东国际大厦

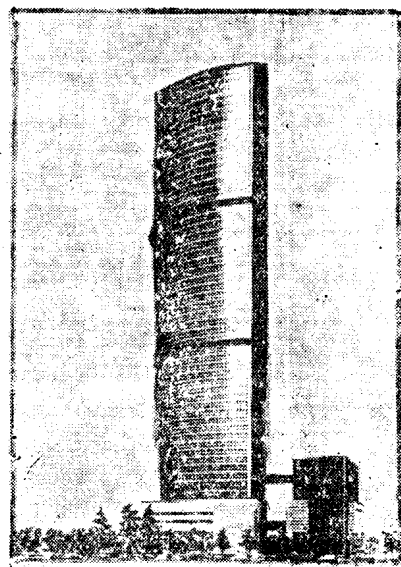


图 1-5 京广大厦

层, 155m) 及北京京广大厦, 楼高53层, 208m, 将是我国第一幢突破200m 高度的建筑物, 见图1-5。据一些资料统计, 我国已建成和正在建造的100m以上的高层建筑已达40幢, 表1-2列出了这些建筑物的基本情况。

国内100m以上高层建筑物 表 1-2

建筑物名称	城市	建年	成份	层数	高度(m)	材料	用途	备 注
京广大厦	北 京	正施工		53	208	钢	旅馆	建成后全国最高,我国第一幢超200m
广东国际大厦	广 州	正施工		62	196	混凝土	办公	建成后全国最高的钢筋混凝土建筑
京城大厦	北 京	正施工		50	183	钢	办公	采用带钢板支撑剪力墙
深圳发展中心	深 圳	1987		40	165	组 合	办公	钢框架、钢筋混凝土剪力墙
深圳国贸中心	深 圳	1985		53	160	混凝土	办公	筒中筒结构
北京国际贸易中心	北 京	正施工		39	155	钢	办公	双层框筒结构
锦江宾馆	上 海	1987		43	150	钢	旅馆	钢框架、钢支撑、钢板剪力墙
静安希尔顿饭店	上 海	1987		43	143	组 合	旅馆	钢框架、钢筋混凝土剪力墙
某外贸中心	深 圳	正施工		39	140	混凝土	办公	筒中筒结构
航空大厦	深 圳	1987		41	130	混凝土	办公	筒体-框架结构
上海电讯大楼	上 海	1987		24	130	混凝土	办公	筒中筒结构
深圳中国银行	深 圳	正施工		35	130	混凝土	办公	多 筒 体
珠江实业中心	广 州	正施工		38	125	混凝土	办公	筒体-框架结构
华东电管局	上 海	1987		30	120	混凝土	办公	筒体-框架结构
杭州国际大厦	杭 州	正施工		35	120	混凝土	办公	
中央彩电中心	北 京	1986		26	120	混凝土	办公	筒中筒结构
花园饭店	上 海	正施工		34	119	混凝土	旅馆	
华联大厦	深 圳	正施工		36	118	混凝土	办公	筒体-框架结构
四川大厦	深 圳	正施工		35	115	混凝土	综合	筒体-框架结构
沈阳科技文化中心	沈 阳	正施工		32	115	混凝土	办公	筒体-剪力墙结构
贸易信息中心	上 海	正施工		33	115	混凝土	办公	筒体-框架结构
新 华 社	北 京	正施工		28	115	混凝土	办公	筒体-框架结构
北京国际饭店	北 京	1987		28	115	混凝土	旅馆	剪力墙结构
白云宾馆	广 州	1975		33	112	混凝土	旅馆	剪力墙结构
亚洲大酒家	深 圳	1987		37	114	混凝土	旅馆	巨型结构
珠江商业大厦	广 州	1987		32	110	混凝土	办公	筒体-框架结构
星湖饭店	肇 庆	正施工		31	110	混凝土	旅馆	筒体-剪力墙结构
花园酒家	广 州	1984		31	110	混凝土	旅馆	剪力墙结构, 下部几层框架
金陵饭店	广 南	京	1983	37	110	混凝土	旅馆	筒体-框架结构
瑞金宾馆	上 海	1987		27	107	组 合	综合	钢框架
联谊大厦	上 海	1985		28	105	混凝土	办公	筒体-框架结构
上海物资贸易中心	上 海	正施工		30	105	混凝土	办公	筒体-框架结构
天津贸易中心	天 津	正施工		30	105	混凝土	办公	筒体-框架结构
深圳金陵饭店	深 圳	正施工		29	105	混凝土	旅馆	剪力墙结构, 下部几层局部框架
虹桥饭店	上 海	1987		32	105	混凝土	旅馆	筒体-框架结构
环球大酒店	乌鲁木齐	正施工		24	105	混凝土	旅馆	
北方大厦	深 圳	1986		26	104	混凝土	办公	筒体-框架结构
白天鹅宾馆	广 州	1982		30	102	混凝土	旅馆	剪力墙结构
国际大厦	北 京	1984		29	101	混凝土	办公	筒体-框架结构
亮马河大厦	北 京	正施工		28	100	混凝土	办公	筒中筒结构

注: 表中统计资料至1988年为止。

我国习惯上称八层及八层以上的民用建筑为“高层建筑”，主要原因是从八层开始一般要设置电梯，我国目前另一种说法是以15层为界限。国外有的国家称30层以上为高层建筑，30层以下为多层。

下面先介绍一下目前我国和国外高层建筑采用的主要结构体系，然后再介绍其适用范围。

§ 1-1 高层建筑主要结构体系及适用范围

一、框架结构体系

框架一般是同一平面内由水平横梁和竖柱通过刚性结点连接在一起，形成矩形网格的形式（图1-6），它可位于房屋的内墙平面或外墙平面，属杆系结构。平面框架在房屋的平面图上可形成各种平面形式（见图1-7），布置较为灵活。框架结构适宜于层数不多的办公楼、医院、旅馆等。例如，我国北京民航局办公楼（15层，60m）、上海国际饭店（24层，82m）、北京长富宫大厦（25层，88.7m，图1-8）等。

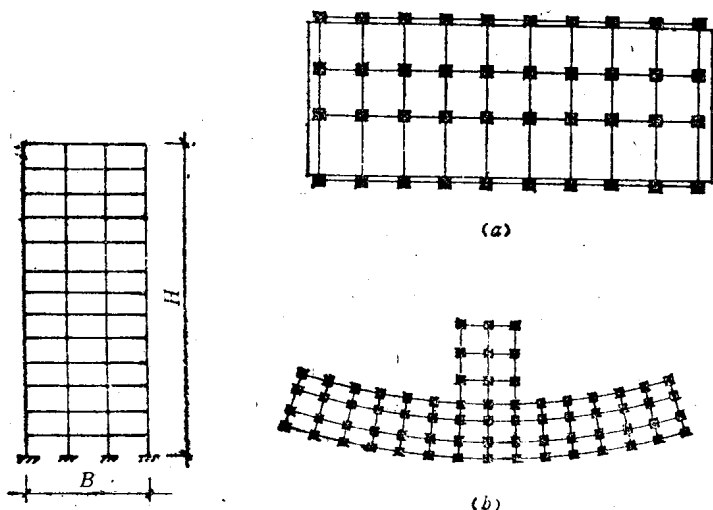


图 1-6 平面框架

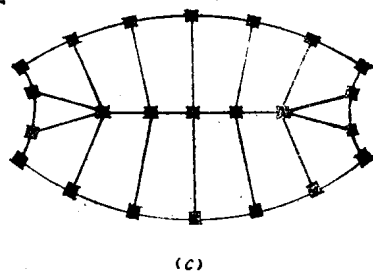


图 1-7 平面布置多种平面形式

二、钢筋混凝土剪力墙结构体系

剪力墙结构主要是用于承担横向水平力的实体墙体体系。剪力墙体系可以直接竖立在基础上（图1-9a），也可为了适应下部大空间的需要而由框架支承，形成框支剪力墙（图1-9b）。剪力墙又称作结构墙。

剪力墙截面较大，且整幢建筑物剪力墙之间互相连接，整体性好，有较大的抗侧能力，可建造较高的房屋。

在同一楼层平面内，只能部分结构为框支剪力墙，部分剪力墙仍旧落至基础，框支剪力墙总片数不应超过落地剪力墙的总片数。对于这类剪力墙体系的房屋，还有更严格的规定，应按有关规范处理。

剪力墙结构体系适于建造住宅、旅馆等一类隔墙较多的房屋，这在我国建造的数量相

当多, 例如: 广州宾馆、广州白天鹅宾馆 (30层, 102m)、北京西苑饭店 (27层, 92m, 图 1-10)、上海漕溪路高层住宅等。在深圳, 建造框支剪力墙结构的高层建筑最多, 一般多

为沿街商店住宅两用塔楼, 高25~30层的居多, 例如, 德兴大厦 (30层, 97m) 等, 这种塔楼有很多好处, 受到住户欢迎, 框支剪力墙的应用实例见图1-11。

三、钢筋混凝土框架-剪力墙结构体系

钢筋混凝土框架-剪力墙结构体系由框架和剪力墙共同承担横向水平力的抗侧力体系组成 (图1-12), 它兼顾了框架与剪力墙各自的优点, 如框架的布置灵活剪

力墙的抗侧力强等, 可在受力上相互取长补短, 因而被广泛应用。

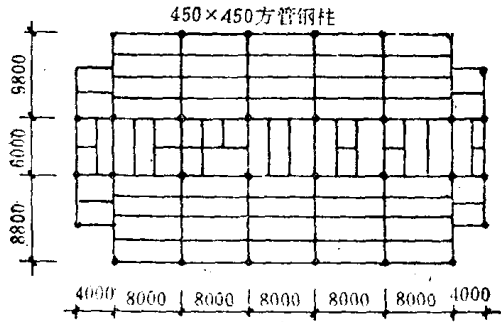


图 1-8 长富宫大厦平面图

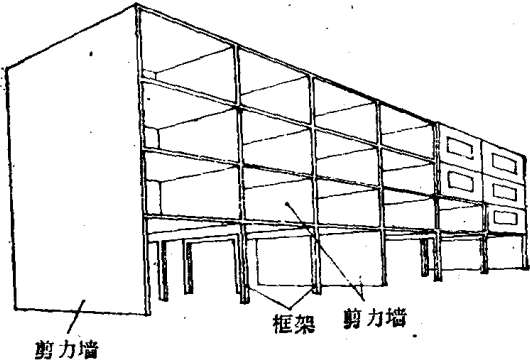
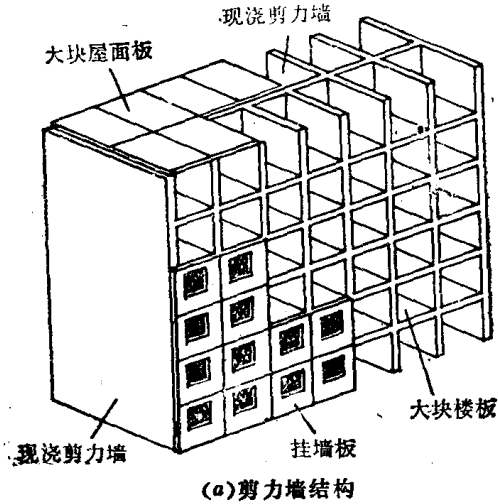


图 1-9 剪力墙结构体系

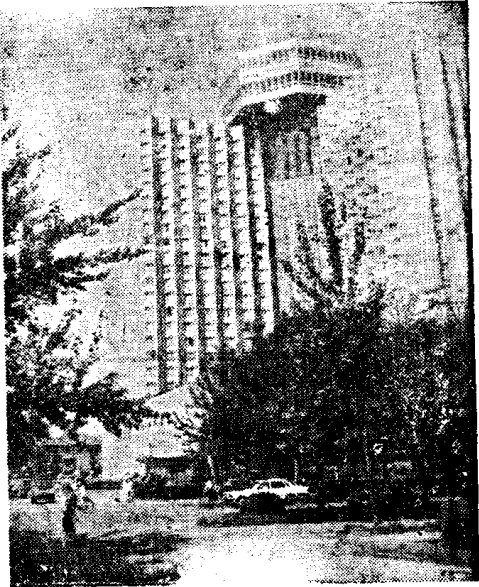
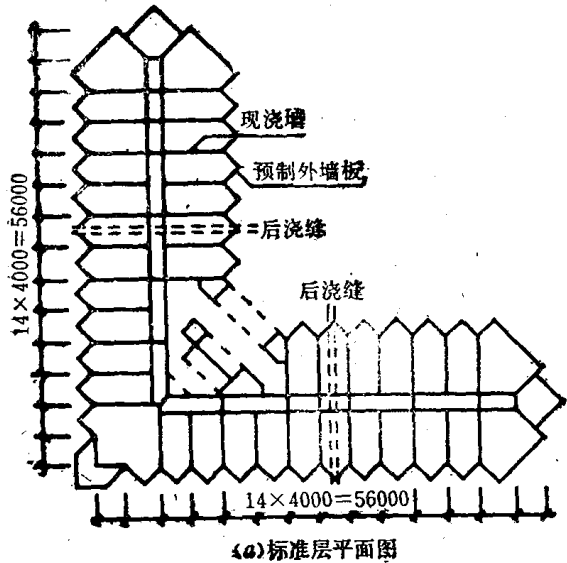


图 1-10 北京西苑饭店

框架-剪力墙体系适用于某些宾馆、办公楼、医院病房楼、科研楼、教学楼等，例如图1-13和图1-14所示的上海宾馆（27层，91.5m）、北京饭店新楼，（18层，80m）。

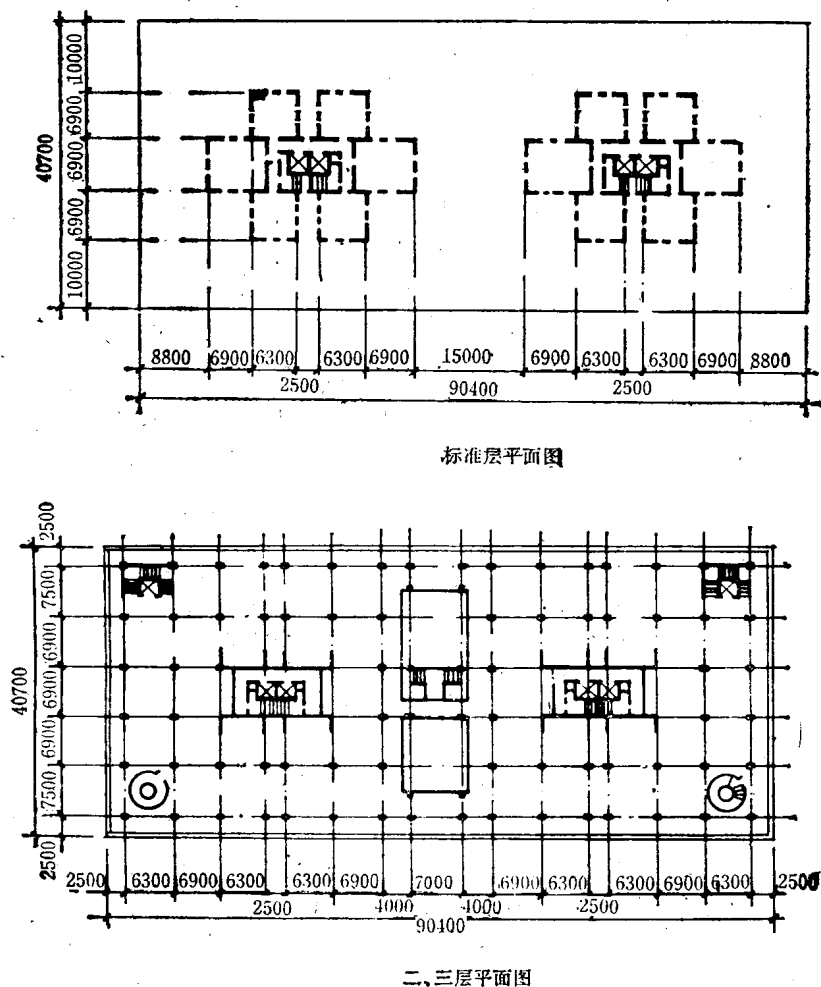


图 1-11 高层框支剪力墙的应用-大底盘大空间塔式高层建筑之一例

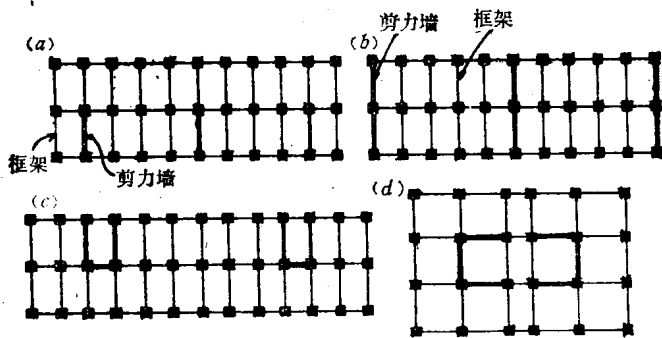


图 1-12 框架-剪力墙结构体系(平面图)

筒体结构的刚度很大，外部筒体可单独抵抗全部水平荷载，类似于一根悬臂梁的作用，增加某种内部支撑（或墙体）则会得到进一步加强。下面进一步介绍几种形式的筒体结构。

在钢筋混凝土高层建筑中，对以上的三种结构一般称为三大常规结构体系，在我国应用最为广泛。随着我国科研工作的不断进步，和建设的需要，筒体结构体系也不断增多，高层钢结构也有所发展。下面将介绍另一些结构体系，有的结构体系在我国已有应用。

四、筒体结构体系

筒体作用的概念是由美国 S.O. M 事务所的坎恩 (Fazlur Khan) 首先提出的，并首先成功地用于美国休斯顿市 52 层的贝壳广场大厦 (One Shell Plaza)，见图 1-15，外筒用轻混凝土建造。

筒体结构的外围框架由密排柱和窗裙梁（深梁）形成的网格组成，窗洞尺寸大约为墙体表面的 50%，看上去与多孔的墙体一

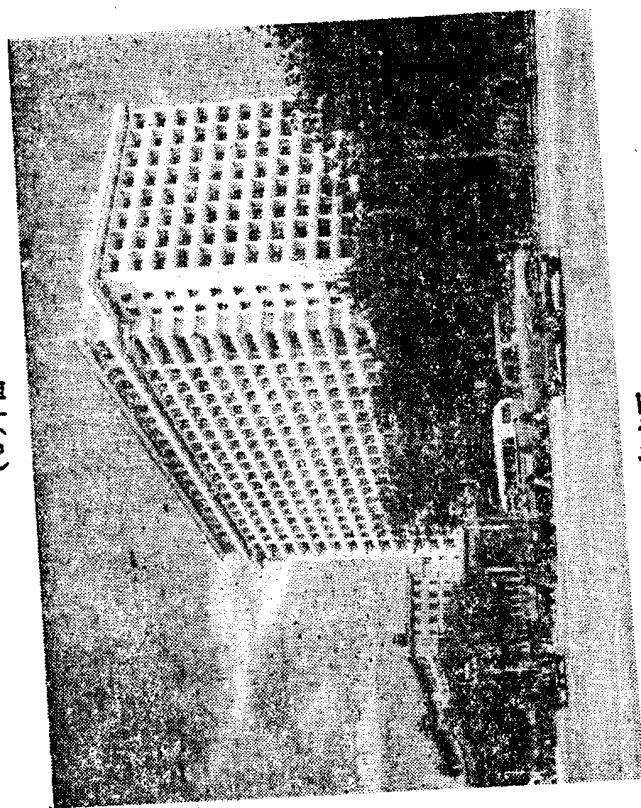
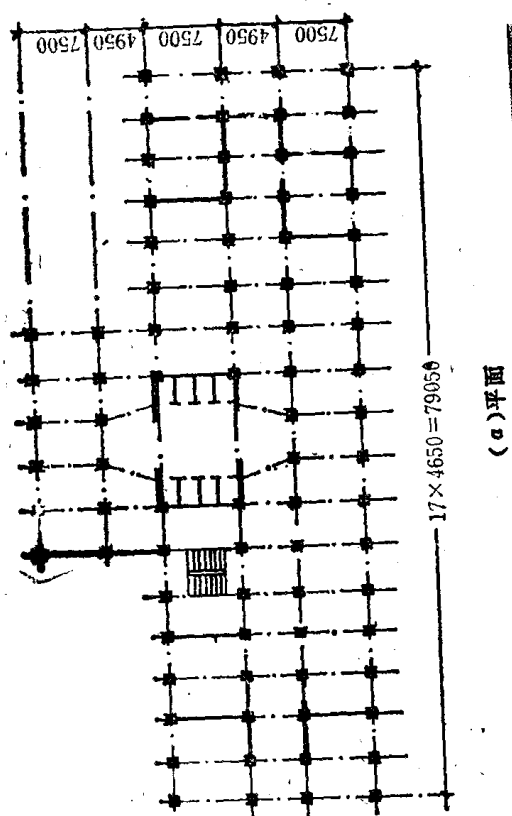


图 1-14 北京饭店新楼

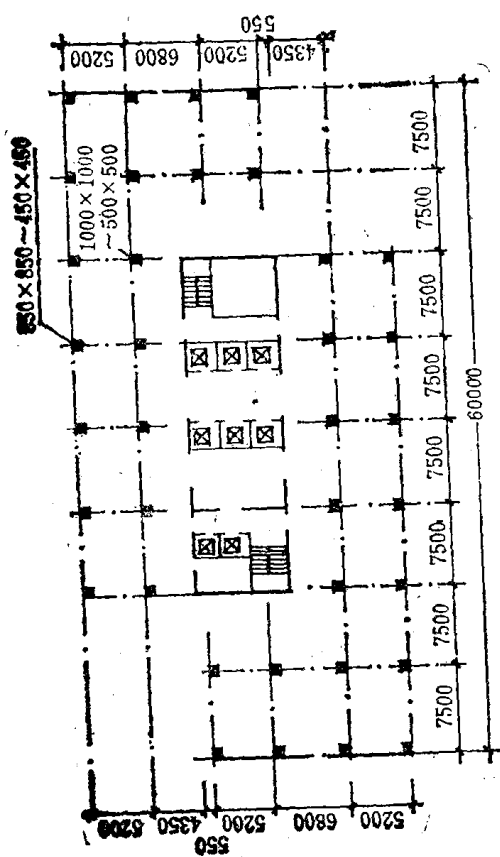
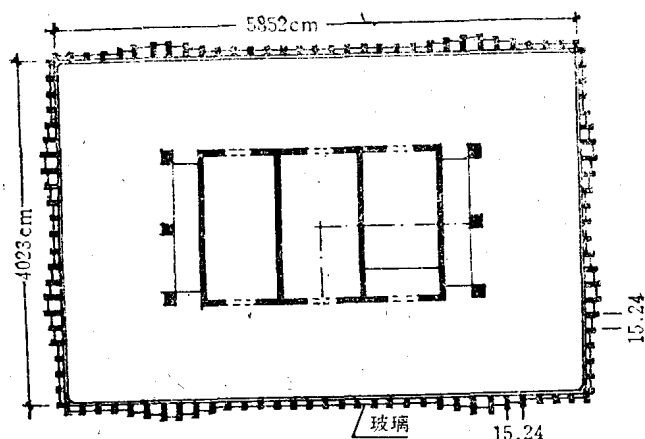
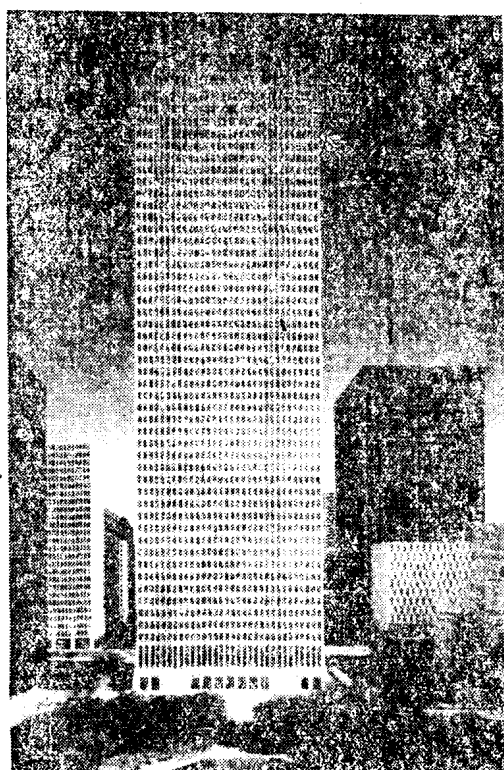


图 1-13 上海宾馆



(a) 平面图



(b) 立面图

图 1-15 贝壳广场大厦 (筒中筒结构)

1. 框筒结构体系

框架式筒体是由一般的框架结构合乎逻辑地发展起来的, 它不设内部支撑或墙体, 仅靠悬臂筒体的作用来抵抗水平荷载, 或者假定将通常设置的内部柱子只承受竖向荷载, 不分担外部的水平荷载, 如图1-16所示的那样。框筒结构体系具有很大的抗侧和抗扭刚度, 适宜于平面布置灵活、室内活动余地大的功能要求。

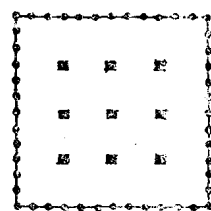


图 1-16 框筒结构 (平面图)

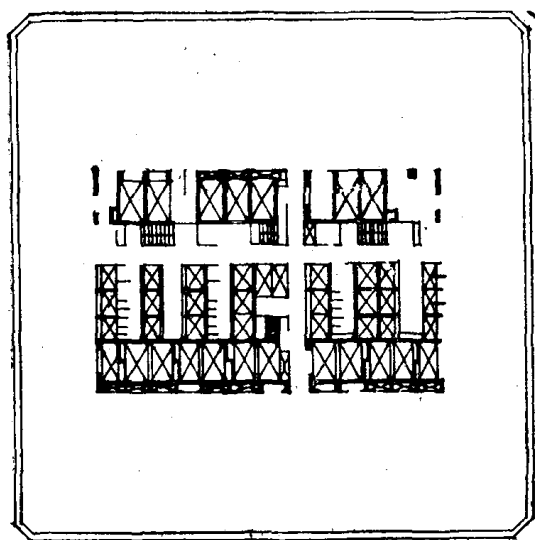
框筒结构最明显的应用是美国纽约世界贸易中心大厦 (图1-17) 和芝加哥标准石油公司大楼, 前者达110层, 后者为83层。

框筒结构体系在水平荷载作用下的受力性能如图1-18所示, 图中虚线表示理想筒体产生的直线应力分布。由于窗裙梁的柔性, 使得外围柱子的拉 (压) 力呈非线性分布, 一般地, 角柱比中柱承担的应力要大, 产生了所谓的“剪力滞后效应” (Shear lag effect), 剪力滞后效应降低了框筒结构的效果。框筒结构的侧向位移沿竖向呈弯剪变形。

通常, 框筒结构对于达80层的钢结构房屋和60层的钢筋混凝土房屋是经济的。

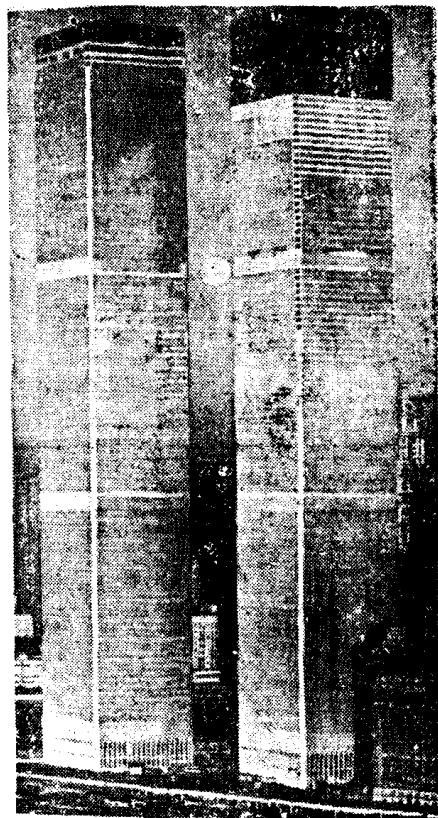
2. 桁架式筒体

为了尽量减少剪力滞后效应, 外筒的四周需进一步加强, 桁架式筒体就是在房屋四周的外柱之间用巨大的斜撑连接, 这样剪力主要由斜撑而不是由窗裙梁承担, 斜撑主要在轴



(a)

(a)平面图(一个塔楼)



(b)立面图

图 1-17 纽约世界贸易中心双塔建筑

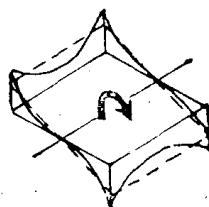
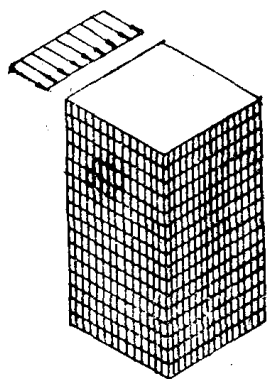


图 1-18 框筒受力特性

向直接承受侧向力，也作为斜柱支承竖向荷载（图1-19）。

美国芝加哥约翰·汉考克中心（John Hancock Center）的斜撑是 45° 角度，每边墙上有五个巨大的X斜撑（图1-20），有效地把集中荷载分布到整个结构中去，使其差不多按一个理想悬臂梁工作。纽约帝国大厦（102层）的用钢量为 $2.06\text{kN}/\text{m}^2$ ，而汉考克中心（100层）仅为 $1.45\text{kN}/\text{m}^2$ 。纽约西蒂柯布中心（Citicorp Center）则把筒体和三角形桁架结合起来（图1-21），桁架筒把全部风荷载和一半竖向荷载传至基础四根粗大的柱子上，另一半竖向荷载由核芯承担。

3. 筒中筒结构体系

框筒结构可以在外围立面内用斜撑加强，还可以在房屋内部增设剪力墙或内部核芯，

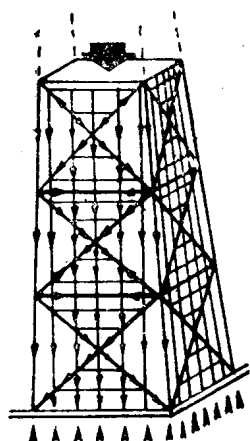


图 1-19 桁架式筒体的受力

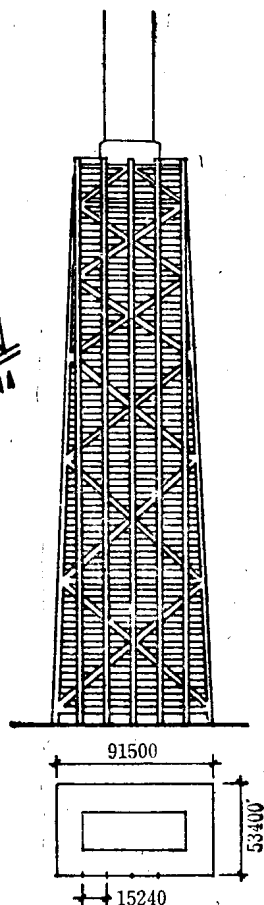


图 1-20 芝加哥约翰·汉考克中心

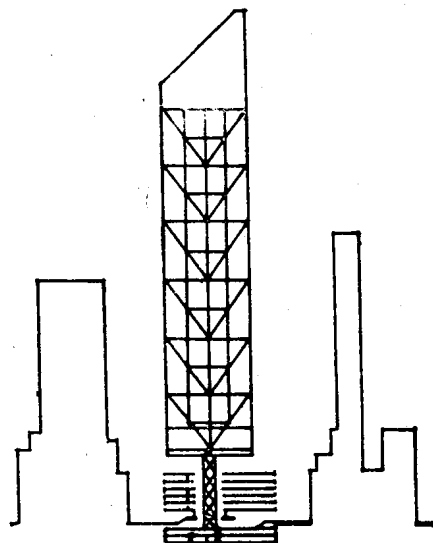


图 1-21 西蒂柯布中心桁架支撑体系

它由两个或两个以上的筒体作为竖向承重结构的高层房屋结构体系（图1-22）。一般内筒即核芯筒是利用电梯间、楼梯间和设备间等墙体或支撑构成，楼面结构将外框筒和内筒连接在一起，使两者作为一个整体来抵抗水平力。内筒不仅承受竖向荷载，也抵抗水平荷载。

筒中筒结构体系在水平荷载作用下的受力性能接近于框架-剪力墙结构，但是框架式筒体的刚度要比一般框架强得多。

我国的广东国际大厦（62层，196m）、深圳国际贸易中心（53层，162m）、上海电讯大楼（24层，130m）、北京中国国际贸易信托投资公司（29层，102m）、北京中央彩电中心（26层，107m）等皆属筒中筒结构体系，见图1-23。香港的合和中心（64层，215m）由一个外框筒和三个内筒组成，呈圆形平面（图1-24）。以上皆是钢筋混凝土结构体系，上海的锦江宾馆（43层，150m）（图1-25），系钢结构高层旅馆，采用筒中筒结构方法分析的。

4. 筒体-框架结构体系

目前有相当一部分工程的外框架柱距较大，有的已达10m，内部仍采用剪力墙核芯，形成所谓的筒体-框架结构体系，例如上海的联谊大厦（28层，105.15m）、南京金陵饭

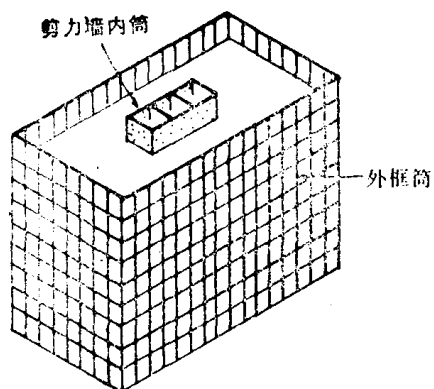
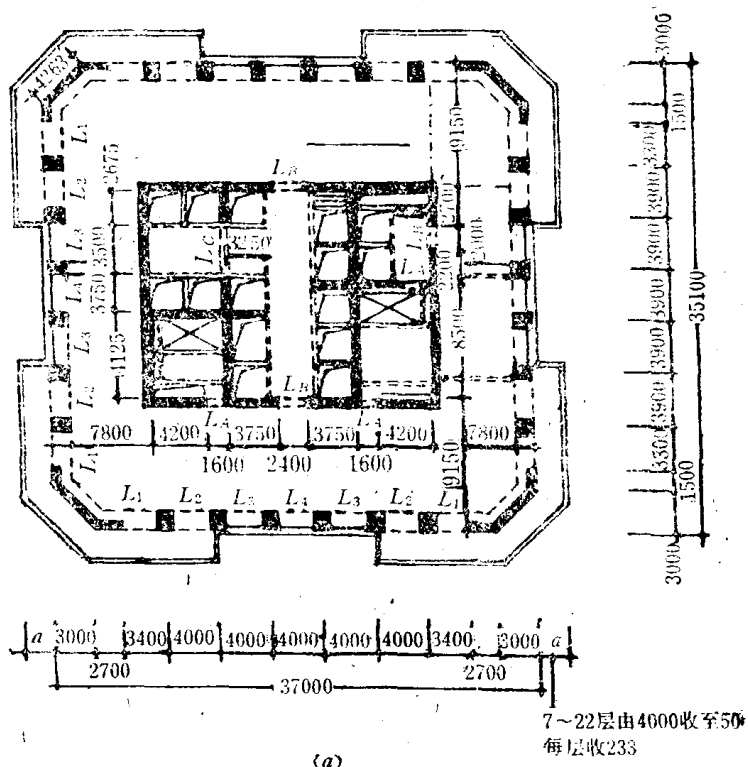
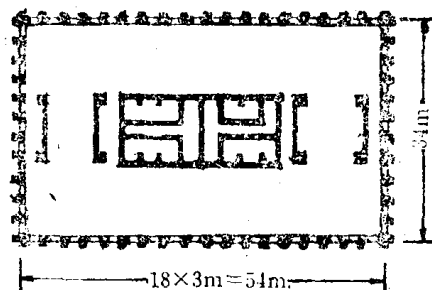


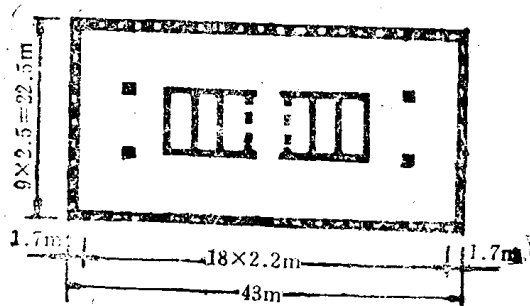
图 1-22 标准的筒中筒结构



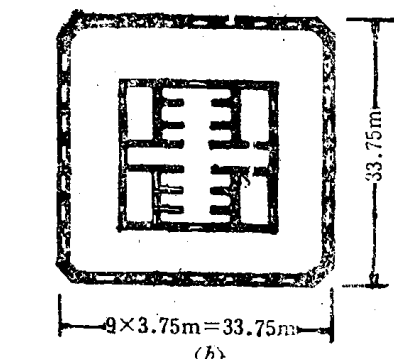
(a) 广东国际大厦



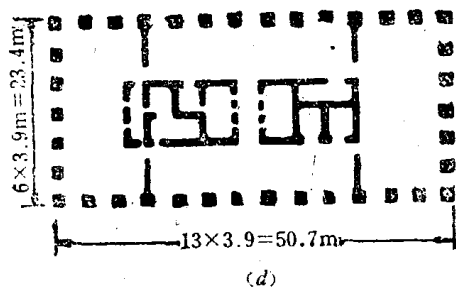
(c) 上海电讯大楼



(e) 中央彩电中心



(b)深圳国际贸易中心



(d) 中国国际贸易信托投资公司

← 图 1-24 香港合和中心平面图（筒中筒结构）

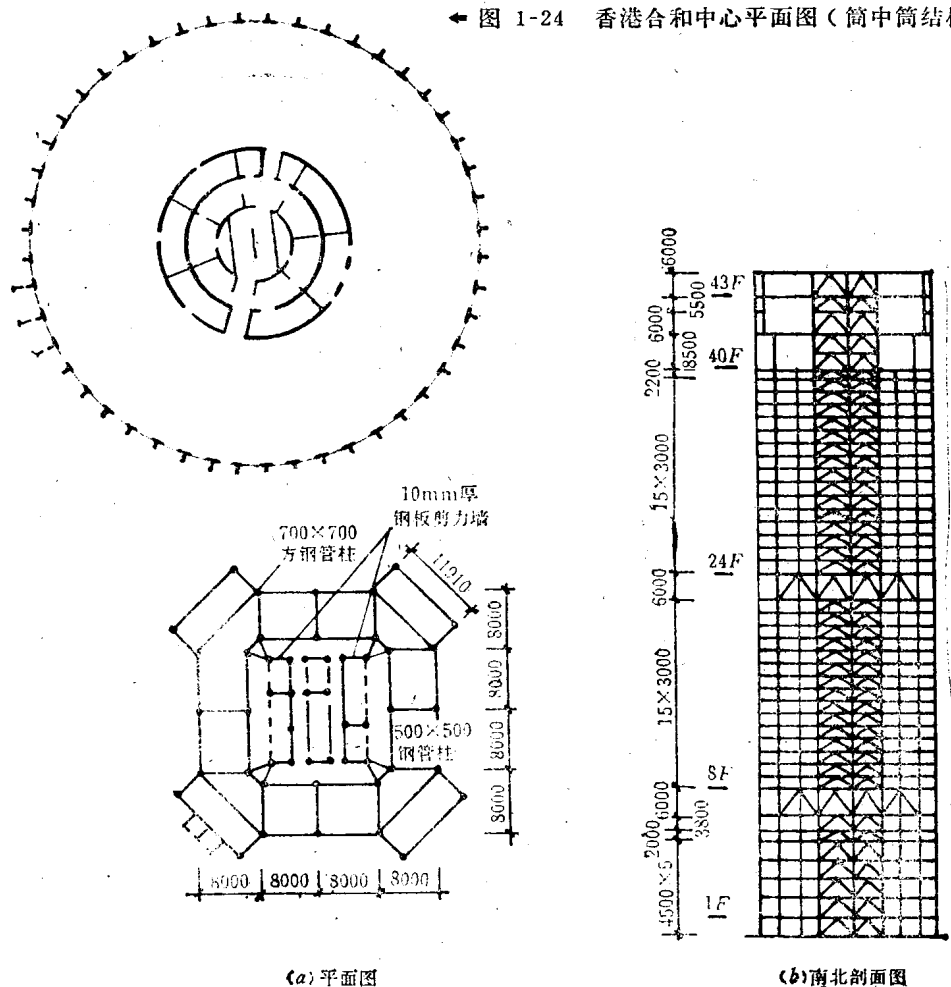


图 1-25 上海锦江宾馆平、剖面图

店（37层，110m）即属这一类，见图1-26。联谊大厦外框柱距为7.5~9.0m不等，金陵饭店柱距4.5m。

关于筒体-框架的受力性能，一些人认为稀柱空间作用很差，其刚度远小于核芯筒，故假定水平荷载全部由芯筒抵抗。事实上，虽然柱子的抗剪力较小，但稀柱的轴力对抗侧力有较大影响，例如柱距8.0m的筒体-框架体系，水平荷载作用下计及稀柱影响比不计其影响时顶点侧向位移小一半以上，即使周边布置有核芯筒的稀柱筒体-框架结构，柱轴力也能承担1/4的倾复力矩。

5. 成束筒结构体系

当多个框筒组合在一起时，形成了框架束筒结构，相邻两个筒毗连处的公共筒壁成为内框架，内筒柱的柱距与外筒柱距相近，各层窗裙梁是连续的，这样便大大增强了建筑物的抗弯和抗剪能力。著名的西尔斯大厦（110层，443m）是由九个方块筒组成的（图1-27），这九个方块筒捆在一起形成一个3×3的网格平面，每个筒体22.86m见方，柱距4.57m，该成束筒结构还进一步向上收缩（图1-1）。框架式束筒结构的受力性能如图1-28所示，平行于水平荷载方向的横隔框架（腹板）承受剪力，在与垂直于横隔框架（翼缘板）

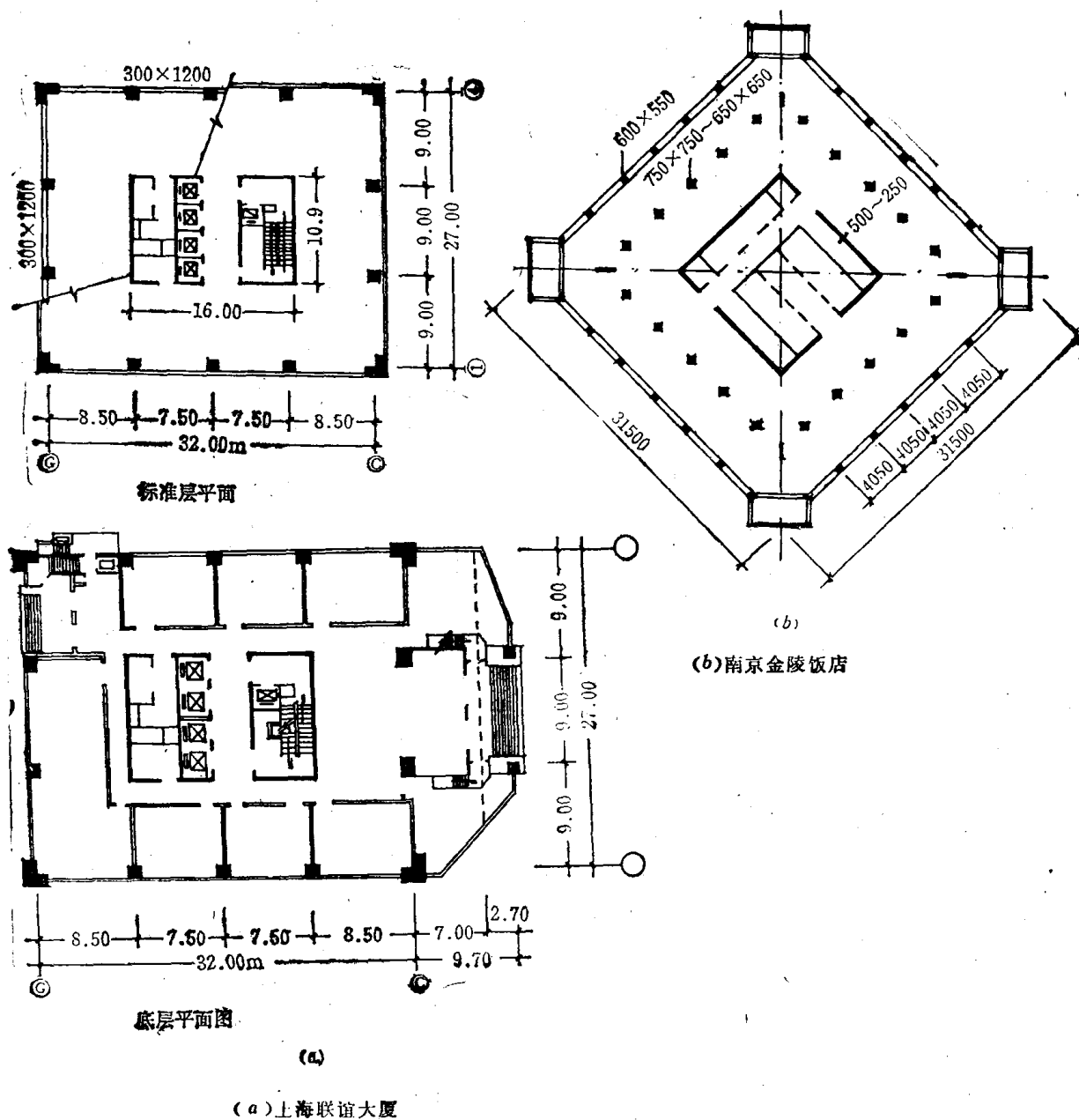


图 1-26 筒体-框架结构的应用

的交点上产生最大应力值，该图表明了每一个筒体各自的作用。内部横隔框架的作用犹如巨大悬臂梁的腹板，抵抗剪力以至使剪力滞后为最小，虽然在某种程度上依旧存在剪力滞后，但是垂直横隔框架有助于均匀地分布轴向应力，它同图中虚线所示的理想筒体应力已相差无几了。此外它们还有助于抵抗弯曲。

芝加哥57层的温美米尔大厦工程 (One Magnificent Mile Project) 采用的三个六角形钢筋混凝土筒体 (图1-29)，分别为57层、49层和22层，三个筒体采取自由式排列连在一起，使其在综合性建筑物中能满足多种使用功能的内外柱距要求。

五、钢-混组合结构体系

钢-混组合结构体系是采用钢结构和混凝土结构的组合建筑物，它们共同作用以抵抗全部水平与竖向荷载。钢-混组合结构体系主要有钢筋混凝土外框筒组合体系、钢筋混凝土

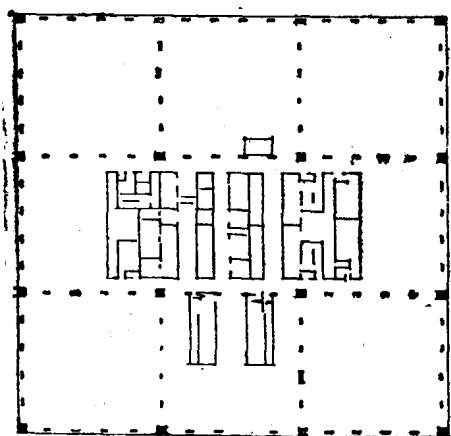


图 1-27 西尔斯大厦底部平面图（成束筒结构）

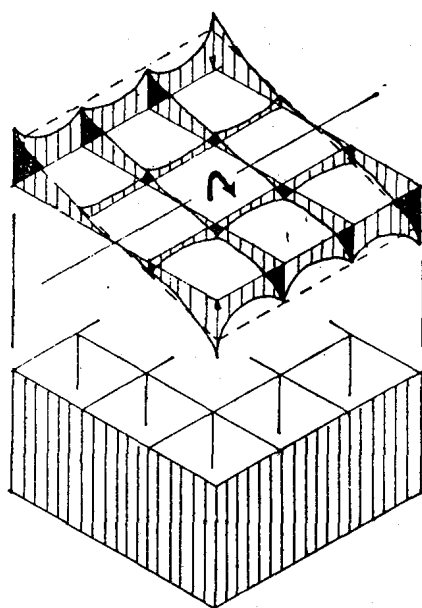


图 1-28 成束筒结构受力图(西尔斯大厦)

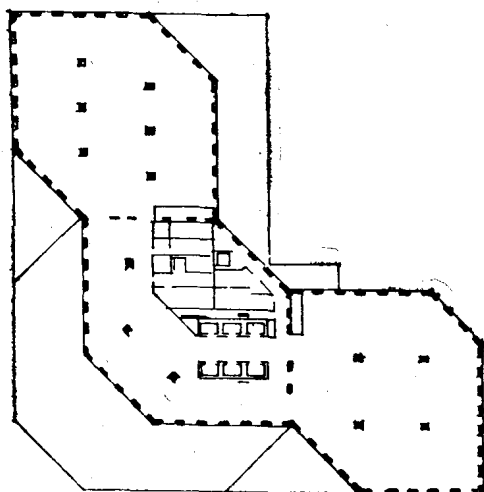


图 1-29 温美米尔大厦工程典型的平面图

土核芯筒组合体系、带剪力墙的钢框架结构体系等。将混凝土与钢结构结合起来，目的是为了利用钢筋混凝土的刚度以抵抗水平荷载，利用钢材的轻质和跨越性能好等优点以利于构造楼面。根据国外的经验，组合结构高层建筑(35~40层)的造价约为钢筋混凝土结构的63.3%，为纯钢结构的54%，钢-混组合结构体系具有经济、方便的明显优点，被认为是最有发展前途的。下面具体介绍以上三种组合结构体系。

1. 钢筋混凝土外框筒组合体系

该组合体系主要由一个外部钢筋混凝土框筒体系与内部简单框架相结合的高层建筑结构体系(图1-30)，在这种结构中，外框筒具有很大的抗侧和抗扭刚度，原则上，它承担风或地震产生的全部侧向作用力，内部钢框架只要求承受竖向荷载。

钢筋混凝土外框筒组合体系结合了钢筋混凝土外框筒与钢框架的优点，内部钢框架仅承受竖向荷载，这样既可发挥钢框架结构跨度大、重量轻的特点，且无需刚性结点，还可以赋予芯体设计的灵活性，平面上不强求方正平面。这样组合体系能得出较轻的结构，施工速度也可与纯钢结构体系相媲美。根据国外的经验，它与钢筋混凝土剪力墙结构体系相