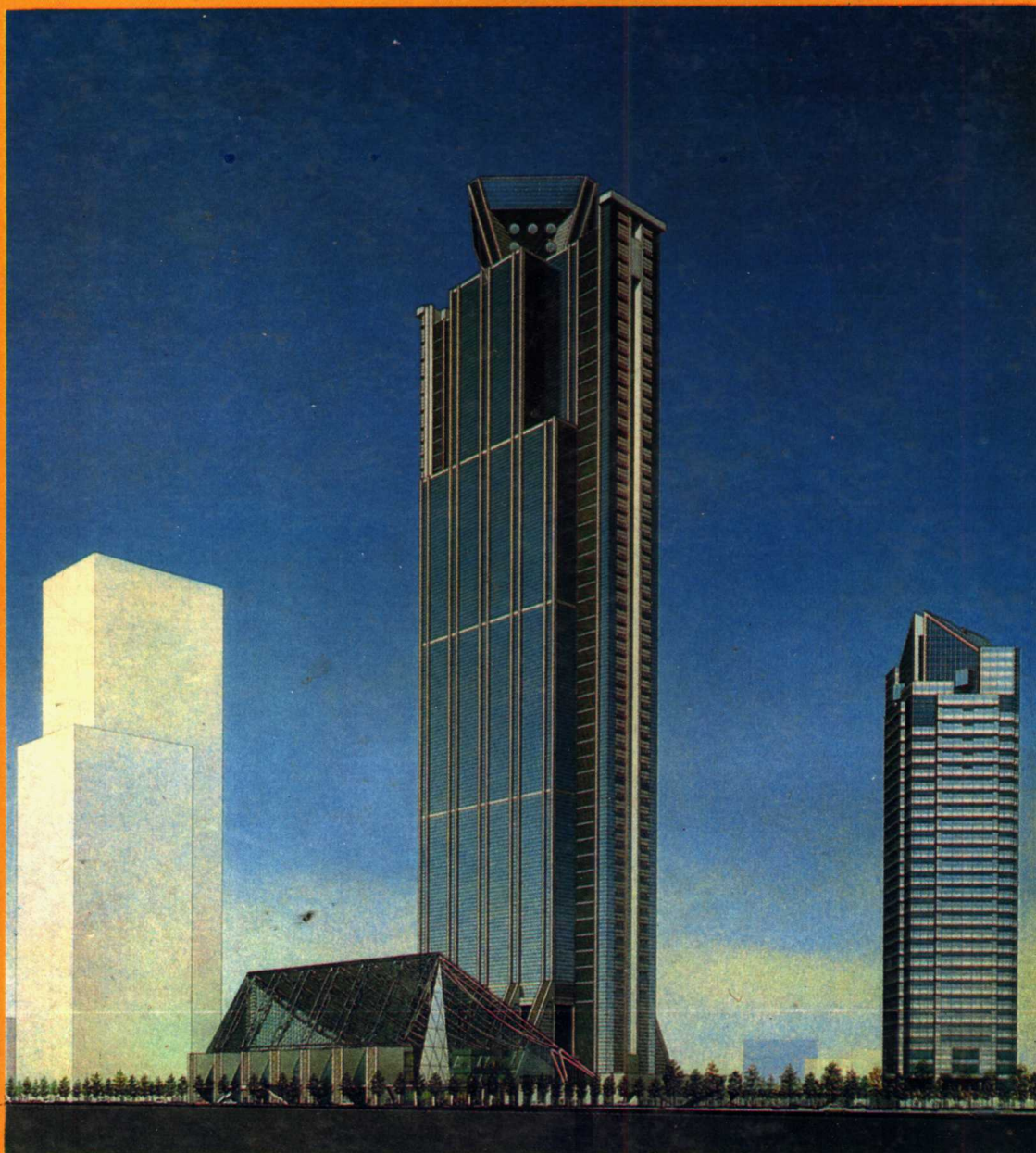


高层结构设计

赵西安编著



中国建筑科学研究院

高层结构设计

赵西安 编著

中国建筑科学研究院结构研究所

一九九五年三月

内 容 简 介

本书根据《钢筋混凝土高层建筑设计规程》JGJ 3-91 和我国 80 年代以来高层建筑设计经验和科研成果编著而成,该书比较系统地介绍了各种高层建筑设计的方法。全书共十五章和四个附录,内容包括:概论;高层建筑的体系选择和结构布置;高层建筑的设计荷载和地震作用;高层建筑分析方法;高层建筑内力分析和配筋计算程序及其应用;高层建筑计算机辅助设计;框架结构设计;剪力墙结构设计;框架-剪力墙结构设计;筒体结构设计;带转换层的高层建筑设计;高层建筑的基础设计;高层建筑其它结构的设计;混凝土材料应用的其它问题;钢-混凝土混合结构;高层建筑楼面体系选择;混凝土构件的配筋率;连体结构;国内高层建筑概况。本书以实用为主,附有大量工程实例和设计图表。

本书可供从事高层建筑设计人员和科研工作者应用,也可作为高等土建学校师生教学参考书。

高层结构设计

赵西安 编著

*

中国建筑科学研究院结构所(北京北三环东路 30 号)

内部资料 不得翻印

*

787×1092 毫米 1/16 印张:53.75 字数:1290 千字

1995 年 3 月第一版 1995 年 3 月第一次印刷

印数:1—5000 册

53.00

前 言

进入九十年代,我国高层建筑雨后春笋地在全国大中小城市兴建,技术水平迅速提高。由于城市规划和建筑功能、建筑艺术的要求,复杂平面、多变体型的高层建筑广泛应用,新的结构体系不断出现,使设计人员面临许多新问题;而中、小设计单位的设计人员,也开做从事高层建筑的设计,因此,本书的主要目的是为高层建筑结构设计者提供一些实际的设计技术资料。

《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程》JGJ 3-91 已颁布施行,并进行了局部修订,本书的技术依据就是局部修订后的《高层规程》和各设计单位的经验。

本书以实用为主,在理论问题上没有作过多的介绍;对于目前设计中常遇到而一般资料中涉及不多的部分,则作了详细的说明。

书中引用了兄弟单位的设计资料、科研报告,已在书末参考文献中列出,并尽可能在文中予以注明。本书中大量科研成果出自中国建筑科学研究院结构研究所高层建筑研究室的多年工作,在此作者向郝锐坤、吴秀水教授;钱庾青、赵宁、黄宝清、邵弘高级工程师;龚炳年、李丹、王翠坤、黄小坤工程师等本室同仁致以深切的感谢。

目前,TBSA 及 TBSACAD 程序已在各设计单位中广泛应用,为方便工程设计人员查阅,本书编入了第五章、第六章。第五章主要根据 TBSA 系列资料,参加资料编写的还有李丹、黄小坤、王翠坤工程师。第六章主要根据 TBSACAD 系列资料,参加资料编写的还有北京建业工程设计软件研究院吴建设高级工程师。

本书附录四引自胡世德等编著的《高层建筑施工》一书。

参加本书编写的还有赵麟工程师。结构所周永厚同志对本书全文进行了整理,并对全书进行了编辑,没有他们的工作,本书的出版是不可能的。

本书内容广泛,涉及近年来发展的许多新技术问题,还不是很成熟,有待发展。因此本书中的不足之处,请广大同行提出宝贵意见。

作 者

1994 年 11 月

目 录

第一章 概 论

第一节 国外高层建筑的发展	1
第二节 我国港台地区高层建筑的发展	20
第三节 我国内地高层建筑的发展	27
第四节 目前我国高层建筑发展的几个特点	29
第五节 我国内地高层建筑设计情况的一些分析	46
第六节 我国的高层建筑结构设计规程	48

第二章 高层建筑结构的体系选择和结构布置

第一节 常用的结构体系	49
第二节 抗震设计对结构体型的要求	51
第三节 竖向结构体系的选择	56
第四节 楼面体系的选择	62
第五节 结构平面布置的要求	67
第六节 结构竖向布置的要求	73
第七节 温度缝、沉降缝、防震缝	78
第八节 方案设计时与其它工种的配合	82
第九节 构件截面尺寸初估	84

第三章 高层建筑结构的设计荷载和地震作用

第一节 竖向荷载	86
第二节 风荷载	90
第三节 抗震设计的一般原则	98
第四节 地震作用计算	107
第五节 荷载效应和地震作用效应的组合	118
第六节 结构抗震等级	120

第四章 高层建筑结构分析方法

第一节 结构计算的基本假定	123
第二节 高层建筑结构的稳定和倾覆验算	128
第三节 高层建筑结构水平位移的限值	129
第四节 三维杆件空间分析方法	131
第五节 竖向荷载作用下的轴向变形影响	134
第六节 对高层建筑结构分析程序的基本要求和计算结果的分析	136
第七节 考虑楼板变形计算高层建筑结构	143
第八节 采用平面有限单元法分析剪力墙	152
第九节 高层建筑结构的动力时程分析方法	170

第五章 高层建筑结构内力分析和配筋计算程序及其应用

第一节	概 述	195
第二节	编制基本原理	197
第三节	几何数据输入	214
第四节	高层建筑结构空间分析的若干问题说明	227
第五节	荷载数据交互式自动形成	237
第六节	时程分析程序 TBDYNA 的使用	244
第七节	剪力墙平面有限元程序 TBFEM 的使用	253
第八节	多功能结构计算程序 MTBSA	264
第六章 高层建筑结构计算机辅助设计		
第一节	概 述	268
第二节	高层建筑结构 CAD 软件的技术依据和功能要求	269
第三节	高层建筑结构 CAD 软件的总体设计	278
第四节	TBSACAD 系统操作流程	289
第七章 框架结构设计		
第一节	结构布置	293
第二节	框架梁柱截面估算	297
第三节	截面设计和配筋构造	301
第四节	TBSACAD 系统梁截面模板图形库	320
第八章 剪力墙结构设计		
第一节	普通剪力墙结构的结构布置	323
第二节	剪力墙结构方案初估	330
第三节	剪力墙结构的截面设计和构造要求	331
第四节	鱼骨式大开间剪力墙结构设计	355
第五节	大开间少纵墙剪力墙结构设计	356
第六节	TBSACAD 系统中剪力墙构造图形库	362
第九章 框架 - 剪力墙结构设计		
第一节	框架 - 剪力墙结构的受力特点	374
第二节	框架 - 剪力墙结构中剪力墙数量的决定	375
第三节	剪力墙的布置	385
第四节	框架剪力的调整	396
第五节	框架 - 剪力墙结构的截面设计和构造要求	398
第十章 筒体结构设计		
第一节	筒体结构的受力性能和工作特点	401
第二节	筒中筒结构的布置	403
第三节	框架 - 筒体结构的布置	412
第四节	杆件 - 薄壁杆件空间分析方法	418
第五节	截面设计与构造要求	424
第十一章 带转换层的高层建筑设计		
第一节	结构转换层	431

第二节	底部大空间剪力墙结构设计·····	444
第三节	底部大空间上层鱼骨式剪力墙结构设计·····	463
第四节	大底盘大空间剪力墙结构设计·····	468
第五节	其它形式的转换层结构·····	478
第六节	带转换层结构的一般分析方法·····	498
第七节	深梁设计·····	504
第十二章	高层建筑的基础设计	
第一节	基础的选型和埋置深度·····	522
第二节	高层建筑主楼基础与裙房基础的连接·····	525
第三节	地基承载力和单桩承载力·····	526
第四节	筏形基础·····	530
第五节	箱形基础·····	534
第六节	桩基础·····	540
第七节	高层建筑基础设计实测·····	546
第十三章	高层建筑其它结构的设计	
第一节	旋转餐厅设计·····	559
第二节	加强层设计·····	587
第三节	悬挑结构设计·····	609
第四节	幕墙设计·····	619
第五节	无粘结预应力楼盖设计·····	649
第十四章	混凝土材料应用的其它问题	
第一节	高强混凝土的应用·····	667
第二节	轻混凝土在高层建筑结构中的应用·····	681
第三节	结构耐火设计·····	696
第十五章	钢—混凝土混合结构	
第一节	概 述·····	707
第二节	结构体系和结构布置·····	724
第三节	钢构件设计·····	735
第四节	组合构件设计·····	746
附录一	高层建筑楼面体系选择 ·····	766
附录二	混凝土构件的配筋率 ·····	766
附录三	连体结构 ·····	767
附录四	国内高层建筑概况 ·····	782
参考文献	·····	842

第一节 国外高层建筑的发展

一、50年代以前的高层建筑

高层建筑是近代经济发展和科学技术进步的产物。城市人口集中、用地紧张以及商业竞争的激烈化,促使了近代高层建筑的出现和发展。世界上第一幢近代高层建筑是美国芝加哥家庭保险公司大楼(Home Insurance),10层,55m高,建于1884~1886年,这座采用铸铁框架承重的结构,标志着一种区别于传统砌筑结构的新结构体系诞生。

从1884年到19世纪末,高层建筑已经发展到采用钢结构,建筑物的高度越过了100m大关,1898年建成的纽约Park Row大厦(30层,118m)是19世纪世界上最高的建筑。

随后,20世纪初,钢结构高层建筑在美国大量建成,美国在高层建筑的数量、层数、高度方面,始终居于领先地位。到第二次世界大战前,美国超过200m的高层建筑已经有10幢。

1931年建成的“摩天大楼”——纽约帝国大厦成为高层建筑发展第一阶段的典型代表。它102层,高381m,采用逐渐阶梯形内收,成为塔尖的古典风格,用实体天然材料墙面。这工程所用的钢材强度不很高,用钢量为 $190\text{kg}/\text{m}^2$ 。它保持最高的建筑物的纪录达41年。

在这时期,钢筋混凝土高层建筑于20世纪初开始兴建,1903年,世界上最初的钢筋混凝土高层建筑Ingalls大楼在美国辛辛那提布建成,16层,64m高。

由于第二次世界大战影响,高层建筑在30~40年代停顿了十余年。

二、50年代至70年代高层建筑的发展

战后的经济恢复和发展,使高层建筑又进入一个新的阶段。由于50年代初玻璃、铝合金等新型外墙材料开始使用,这个时期称为现代主义的新建筑风格迅速取代了上一个时期的古典主义风格,以简单的几何形体、大面积的金属和玻璃幕墙为代表的“玻璃盒子”作为现代化的标志,成了这一时期高层建筑的主流。

代表这一个时期开始的典型作品是纽约的利华大厦和联合国大厦。这两座30层和40层的玻璃方盒子成了建筑师们竞相模仿的作品。

这一时期高层建筑发展具有如下特点:

1. 高层建筑迅速增加,层数和高度都有大幅度的突破

到1979年,已建成200m以上的高层建筑50幢以上,其中大部分在美国。1972年两幢纽约世界贸易中心大厦建成(110层,412m),打破了帝国大厦保持了41年的381m的记录,而用钢量仅为 $160\text{kg}/\text{m}^2$ 。不久,1974年芝加哥建成了世界最高的西尔斯大厦(Sears Tower),110层,443m,加上天线达500m。

同一时期,欧洲建成了波兰华沙的1Palac Kultury i Nauki大楼,47层,241m至今仍为

欧洲最高建筑。

在这一时期,日本于 1964 年废除了建筑物高度不得超过 31m 的限制,于 1968 年首次建成了 36 层的霞关大厦,以后陆续兴建了超过 100m 高度的 50 幢高层建筑,并建成了日本最高的东京阳光大楼(60 层,226m)。

在非地震区,这一时期香港建成了 65 层的合和中心(216m),成为亚洲最高的钢筋混凝土高层建筑。

2. 结构体系新颖多变,建筑材料丰富多采

在 50~70 年代,除了传统的框架、框架-剪力墙和剪力墙体系以外,新的结构体系得到了广泛应用。

框架-筒体结构和筒中筒结构、成束筒结构成为突破新高度的主要结构手段。纽约世界贸易中心采用了筒中筒结构(412m),西尔斯大厦采用了成束筒结构(443m),约翰·考克大厦采用了桁架筒结构(384m),见图 1-1、1-2、1-3。

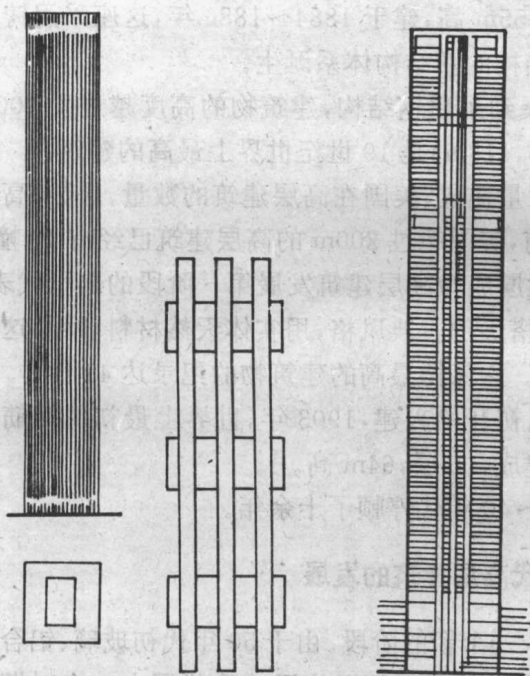


图 1-1 世界贸易中心

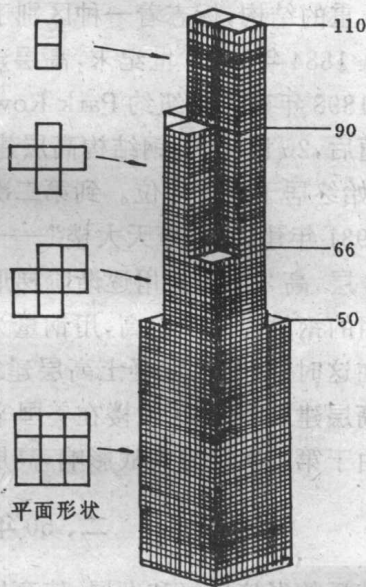


图 1-2 西尔斯大厦

悬挂结构、悬挑结构在旅馆和办公建筑中应用越来越多,其中著名的有南非约翰内斯堡标准银行(悬挂 37 层)、慕尼黑广播中心(悬挂 17 层)等(图 1-4)。

巨型框架结构和巨型桁架结构开始应用,其中有 54 层的新加坡华侨银行(图 1-6)。

这一时期,除了钢结构高层建筑继续发展以外,建成了高达 74 层、262m 的芝加哥水塔广场大厦,采用了钢筋混凝土结构。最高的全部采用轻混凝土的建筑是休士顿贝壳广场大厦(50 层,218m),它也在这一时期建成。此外,钢-钢筋混凝土混合结构也得到了迅速发展。

3. 高层建筑抗震设计水平大幅度提高

高层建筑结构抗震设计,美国西海岸以加利福尼亚为中心进行了广泛深入的研究,颁布了一系列抗震设计的法规,建成了地震区最高的钢筋混凝土建筑——洛杉矶的加利福尼亚联合银行大厦(62 层,262m)。而在大洋另一边,日本在冲破 31m 限制高度后,全力进行钢结

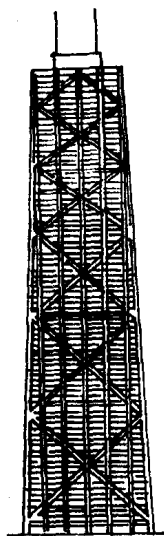


图 1-3 芝加哥约翰·考克大厦

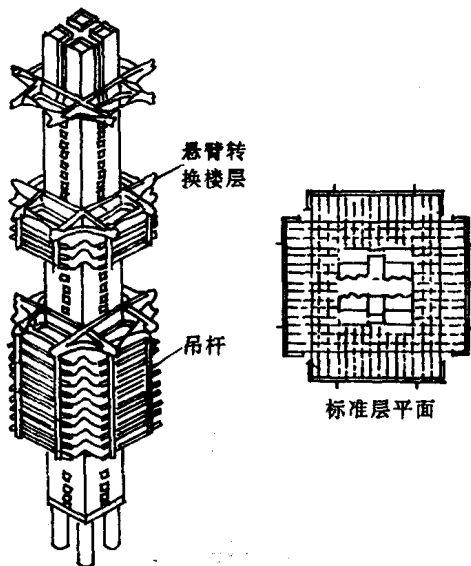


图 1-4 Standard Bank 大楼结构示意图

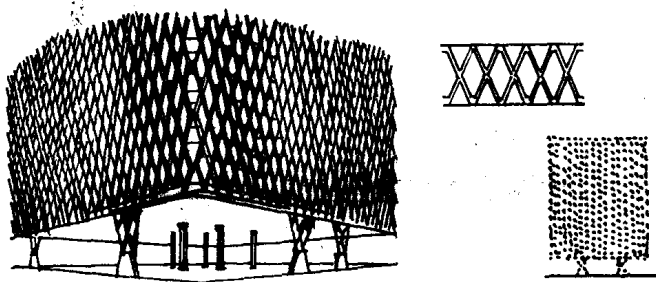


图 1-5 美国匹兹堡 IBM 公司大楼

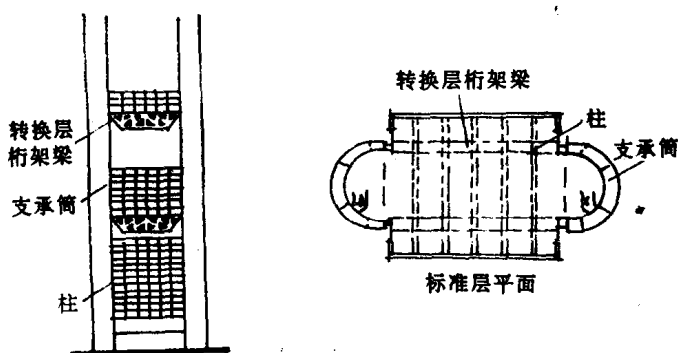


图 1-6 OCBC Center 大楼结构示意图

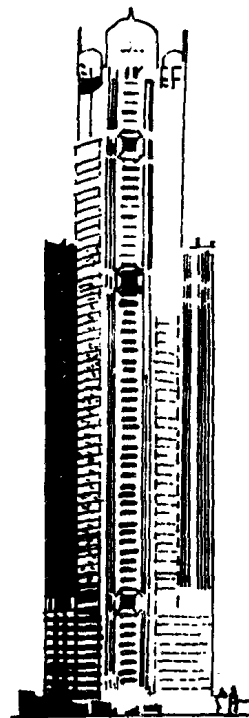


图 1-7 芝加哥第一瓦克公司大楼

构和型钢混凝土结构的抗震设计方法研究,建成了大批 100m 以上的高层建筑。

三、80 年代的高层建筑

进入 80 年代,高层建筑的风格又有了新的变化,受后现代主义思潮的影响,建筑物的体

型由单纯追求“简洁就是美”而转向多样化。在色彩、线条、质感上更为丰富多变。

这一时期,美国的高层建筑在高度上尚未有突破,但正处在一个酝酿期中。目前,几座高度超过 500m 的建筑物正在规划、设计,如纽约的 Television City Tower (509m)、Phoenix Tower(费尼克斯市,515m),一旦建成,将突破 500m 大关。不过,在这时期,美国建成最高的钢筋混凝土建筑——芝加哥第一瓦克公司大楼 (1Wacker Drive),达到 80 层,295m(图 1-7)和第 311 瓦克公司大楼(65 层,296m)。

在 80 年代,亚洲地区的高层建筑却得到了非常迅速的发展,日本正在建造东京市政厅大厦(东京都厅舍,48 层、243.3m),为当时日本最高的建筑(图 1-8)。

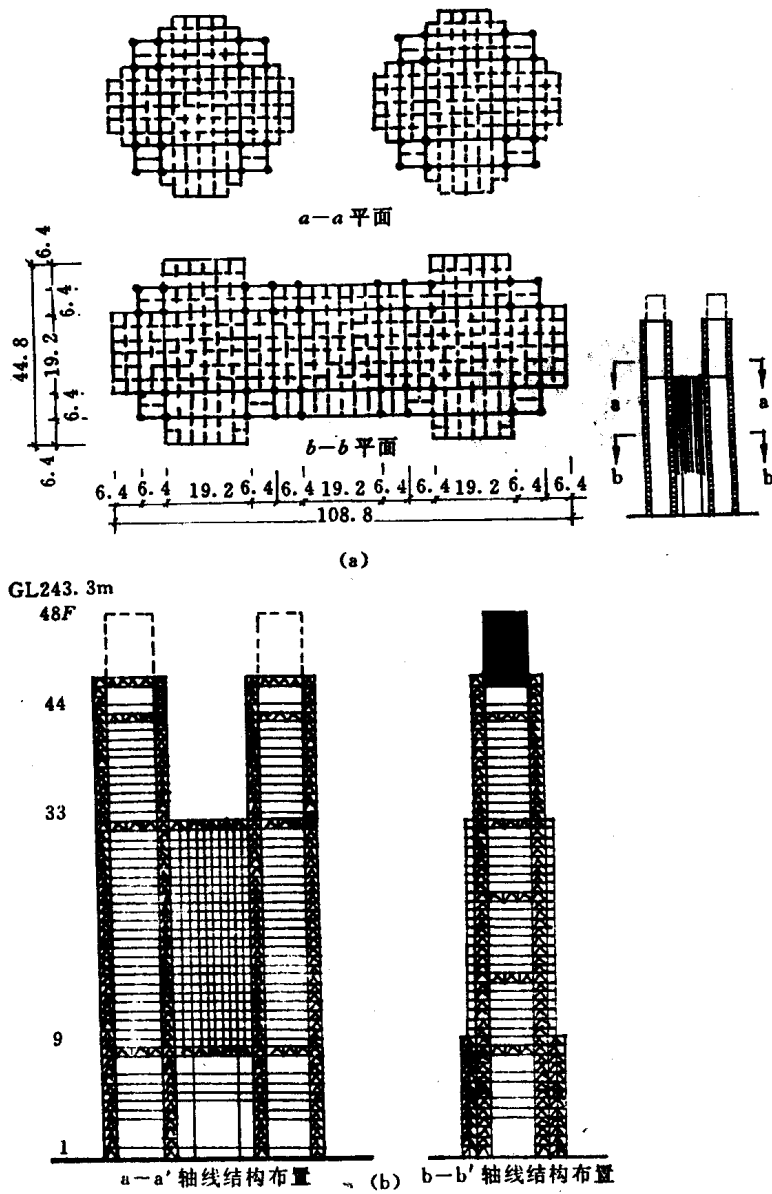


图 1-8 日本东京市厅舍 1 号楼
(a)平面; (b)结构布置

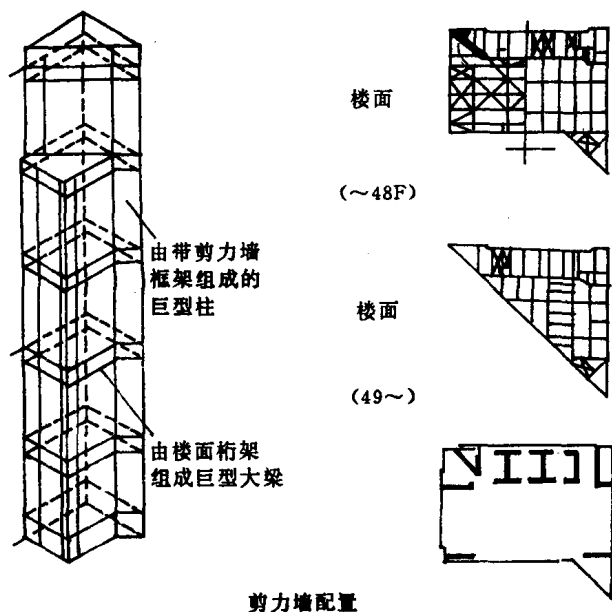


图 1-9 新加坡 OUB 中心大厦

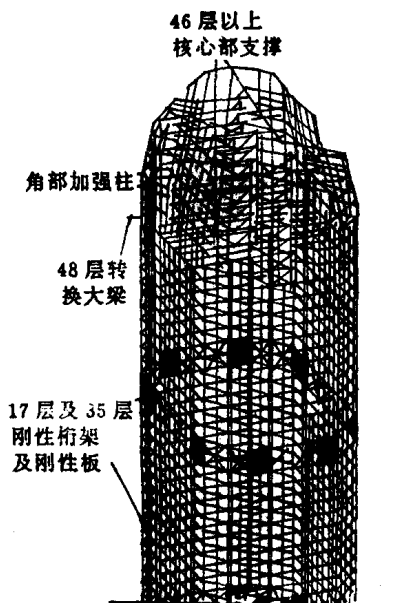


图 1-11 One Mellon 银行中心上部楼层
骨架(已除去表面蒙皮)

在我国台湾省和香港地区,高层建筑发展也十分迅速(见下节)。

新加坡建成了 Overseas Union Bank 大厦,(63 层,280m),成为当时仅次于香港中国银行大厦的亚洲第二高建筑物(图 1-9)

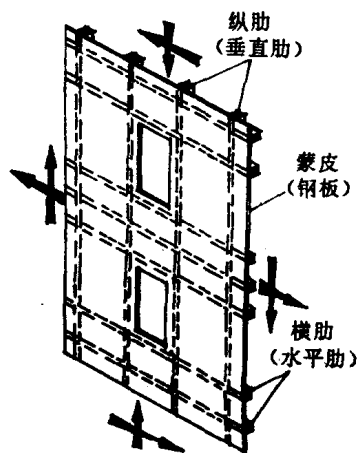


图 1-10 应力蒙皮结构局部示意

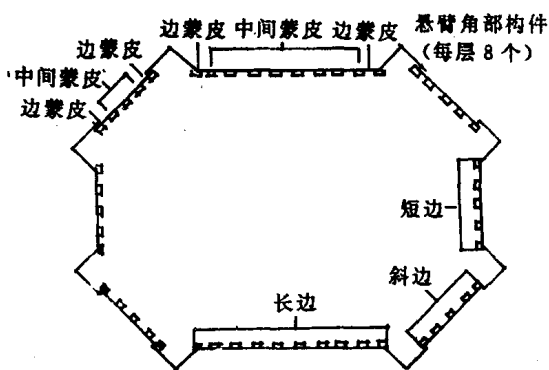


图 1-12 One Mellon 银行中心平面示意图
(表示蒙皮与骨架的关系)

除了上述各种结构体系以外,美国建成了 One Mellon 银行大厦,采用了应力蒙皮结构,将航空和造船工业的技术引入建筑结构领域。蒙皮结构在纵横肋(柱、梁)上蒙上一层薄金属板(蒙皮),形成共同工作体系。蒙皮主要在面内受力(正应力和剪应力),它相当于连续分布支撑(图 1-10)。由于作为蒙皮的钢板在平面内有很大的拉、压和剪切强度,所以应力蒙皮结构有很好承载力和刚度,而重量却很轻。图 1-11 为除去蒙皮后的结构布置,竖向骨架(纵肋)为外柱,柱距 3m。为了形成有效蒙皮,窗口面积只为墙面面积的 25%。外蒙皮厚度:下部楼层 8mm,上部楼层 5mm。

四、90 年代初期高层建筑

进八 90 年代,高层建筑虽然在高度上未有新的突破,但各国都在酝酿着更高的建筑。美国、日本都在研究、设计 500m 以上高度的建筑。图 1-13 为芝加哥 Miglin-Beiter 塔楼,(125 层,594m),现已开始施工。图 1-14 至图 1-17 分别为日本大成建设、鹿岛建设和大林组等公司正在设计的方案,一些更高的建筑也在进行可行性研究。从目前趋势来看,到 2000 年,超过 500m 的高度是可以实现的。

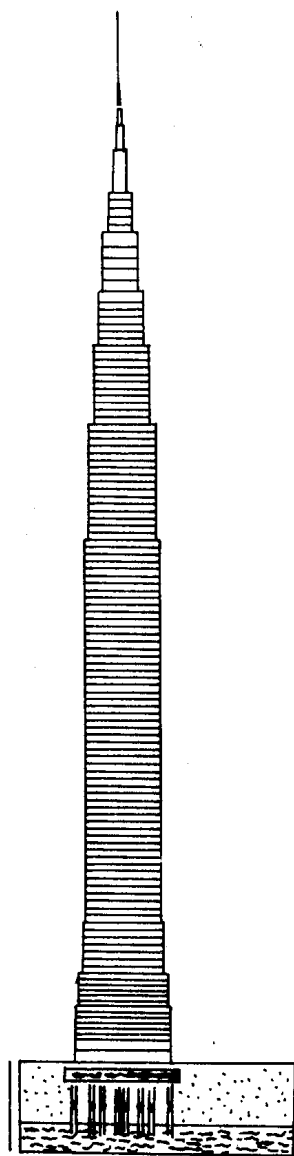


图 1-13 美国芝加哥 Miglin-Beiter
塔楼 125 层,594m

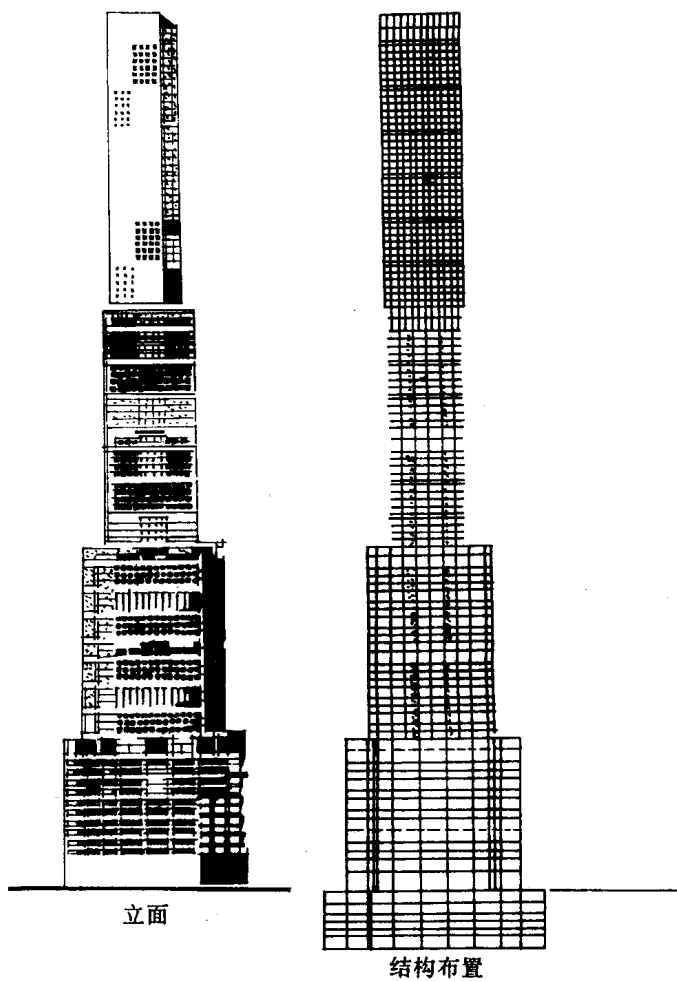


图 1-14 日本大成 100 100 层,420m

1993 年,日本建成了横滨标志大厦(Landmark Tower),地下 3 层,地上 73 层,高度 296m(图 1-18),成为当前日本最高的建筑物。

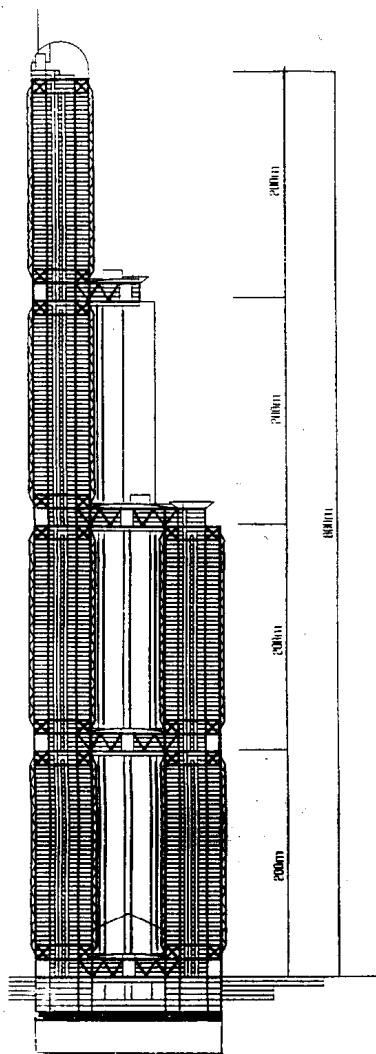


图 1-15 日本鹿島 200 工程 200 层,800m

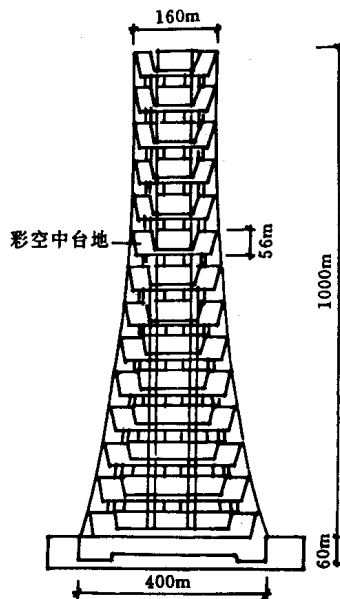


图 1-16 日本空中城市 1000 剖面

随着层数与高度的增长,钢筋混凝土建筑物的层数已超过 80,为减小墙、柱截面尺寸,高强混凝土、钢管混凝土和钢筋混凝土都得到了应用。图 1-20 为美国西雅图 58 层的双联广场大厦(Two Union Square Build.)其 65%的竖向荷载由中央四根直径 3m 的钢管混凝土柱支承,钢管厚 30mm,充填 C135 高强混凝土;其余荷载由周边 14 根小钢管混凝土柱承受。C80 以上混凝土在美国也得到广泛的应用(图 1-21)

在 90 年代,亚洲成为经济发展最快的地区,相应地高层建筑大量兴建,沿西太平洋岸边的日本、朝鲜、韩国、中国大陆、台湾、香港和新加坡、马来西亚等国家和地区,陆续建成超过 200m、300m 的建筑物,在今后 10 年,将成为北美以外的世界新的高层建筑中心(表 1-1)。

朝鲜平壤建造的柳京大厦(图 1-22),地下 4 层,地上 105 层,高度 305m。采用小开间剪力墙结构,混凝土强度为 C45。结构部分已于 1990 年封顶。

进入九十年代,值得注意的发展趋势是:原来从高层钢结构起步的美国和日本,钢筋混凝土高层建筑迅速发展了起来。尤其是日本,以前基本上采用钢结构,现在大力发展钢筋混凝土结构,除进行基本构件和结构的抗震研究外,工程上 20~30 层的钢筋混凝土高层建筑正推广应用,最高已达 40 层。其主要原因是:钢筋混凝土结构整体性好,刚度大,位移小,舒

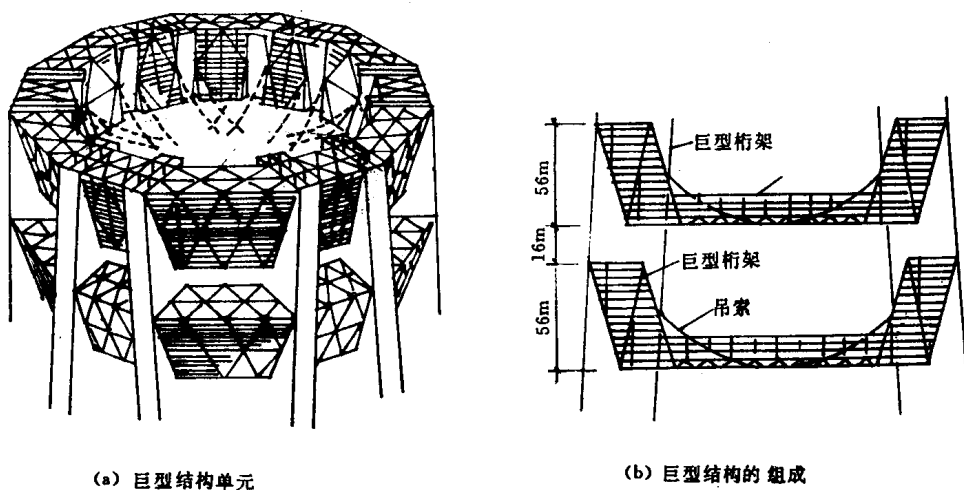


图 1-17 空中城市 1000 结构布置

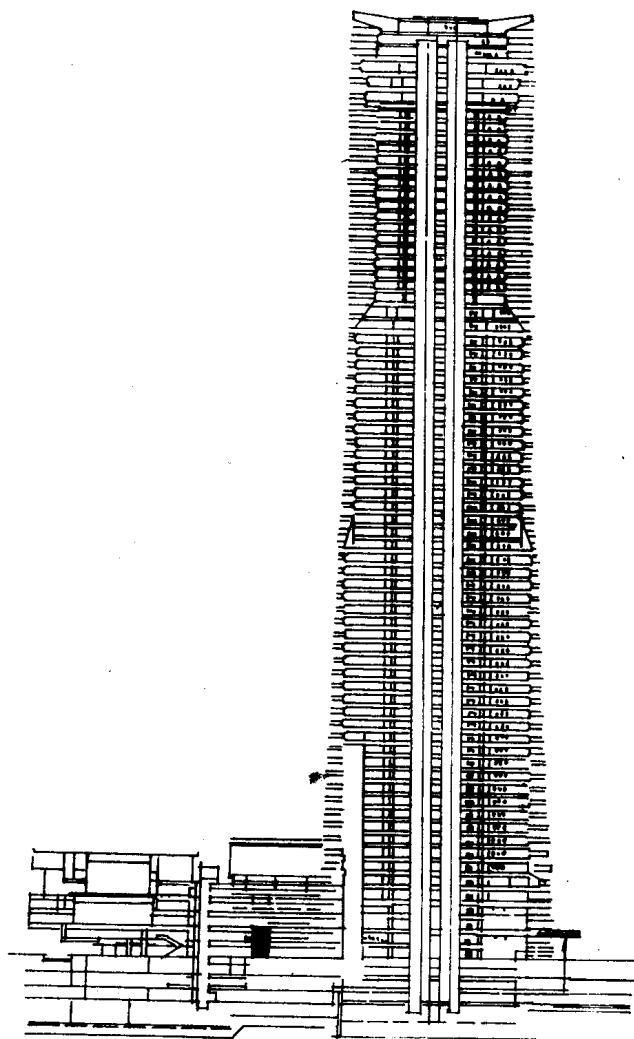
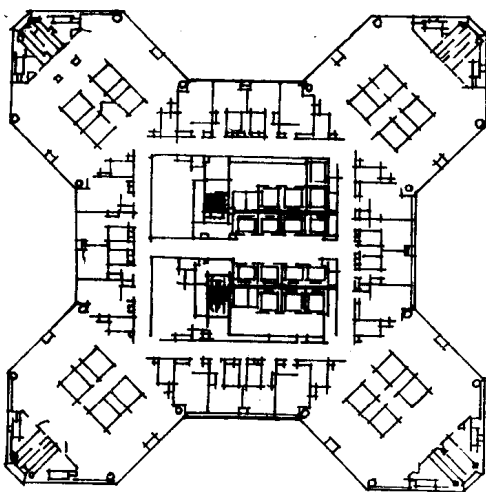
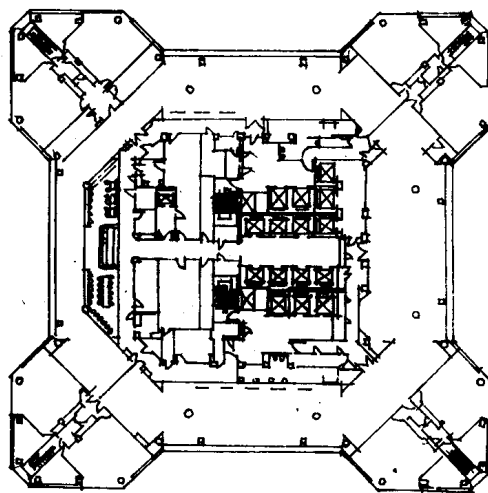


图 1-18 日本横浜标志大厦剖面 73 层, 296m

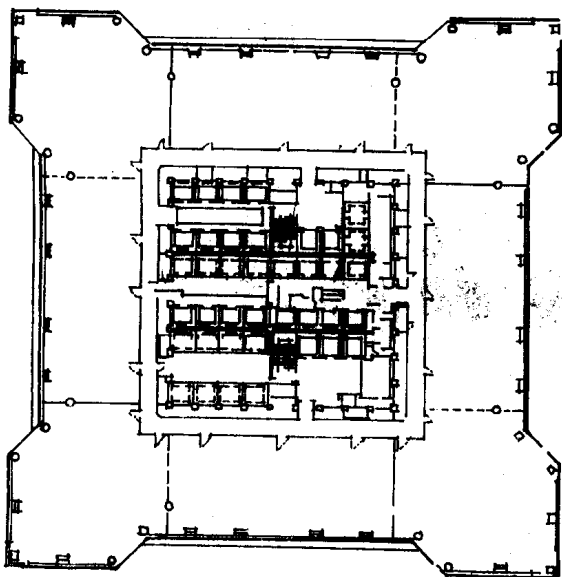
适性佳;钢筋混凝土结构耐腐蚀,耐火,维护方便;另外,即使在美国和日本,钢筋混凝土结构



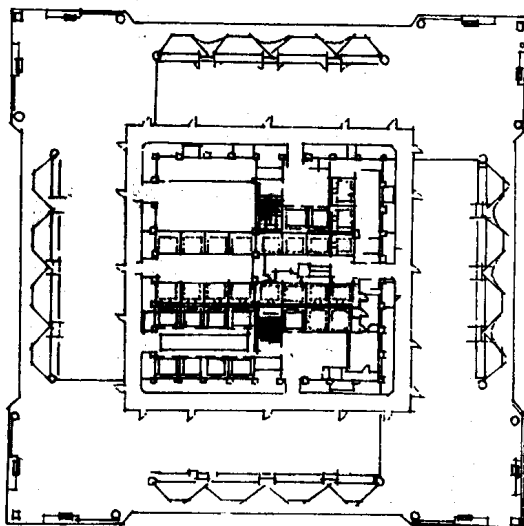
60 层



69 层



20 层



33 层

图 1-19 日本横滨标志大厦平面

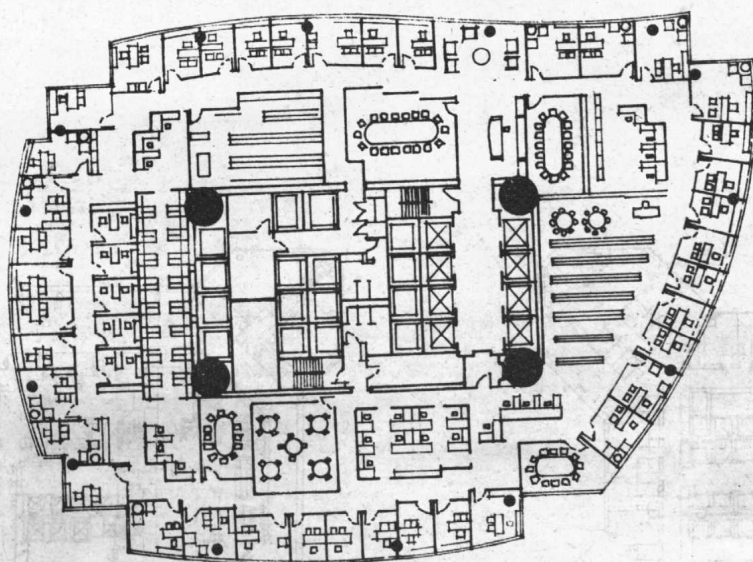


图 1-20 Two Union Square 大厦(58层)

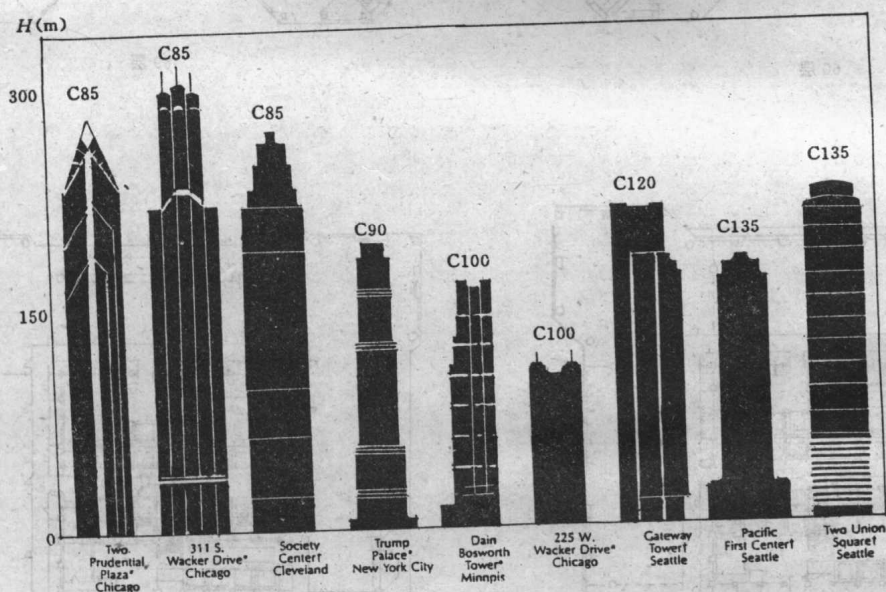


图 1-21 美国采用高强混凝土的建筑

造价还是低于钢结构。

近年来,复杂体型的高层建筑不断出现,其中立面开洞和连体建筑是新出现的形式。图 1-23 为巴黎台方斯大门,它由两座高 110m 的办公楼连结而成,门宽 110m,连体部分为 3 层高的预应力混凝土箱形大梁;该建筑未考虑抗震设计,地震设防建筑采用这类结构难度要大得多,日本 1992 年建成的东京 NEC 大厦(图 1-24)采用巨型框架结构,在中部形成大的开口 [1-24]