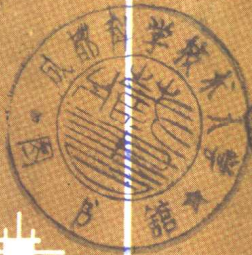
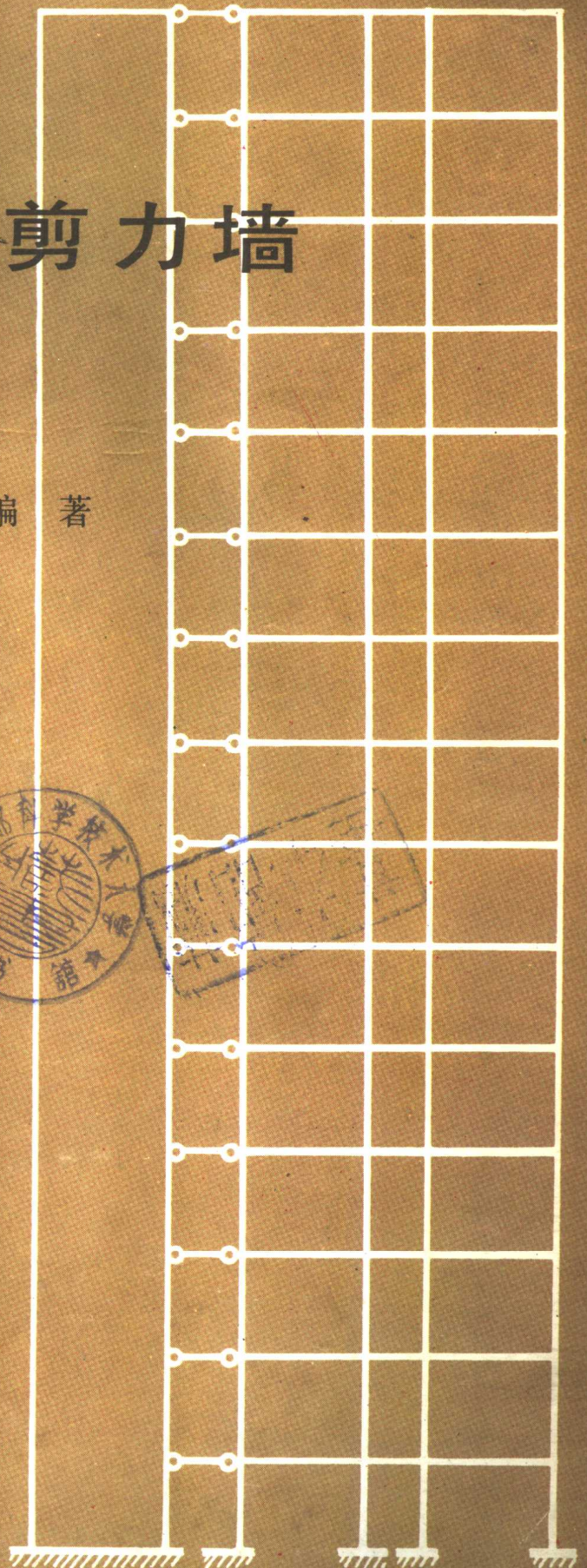


高层建筑 钢筋混凝土剪力墙 结构分析

王崇昌 马克俭 编 著
栗秀文 陈道钲



贵州人民出版社



高层建筑

钢筋混凝土剪力墙结构分析

王崇昌

马克俭

编著

栗秀文

陈道钰

贵州人民出版社

责任编辑 杨 帆
封面设计 陈为远

高 层 建 筑
钢筋混凝土剪力墙结构分析

王崇昌 马克俭 编著
栗秀文 陈道钰

贵州人民出版社出版发行
(贵阳市延安中路9号)
贵州新华印刷厂印刷 贵州省新华书店经销
787×1092毫米 16开本 28.675印张 760千字
印数 1—6000
1989年8月第1版 1989年8月第1次印刷

ISBN 7-221-00677-6/TU·01 定价: 9.00元

内 容 提 要

本书共九章，包括高层建筑的结构体系和布置，荷载，剪力墙、框支剪力墙和框架-剪力墙结构内力和位移计算，结构分析的矩阵位移法，剪力墙结构的延性和弹塑性分析等。

本书以解析手算方法为主，注意理论概念的严谨性，并将各种方法进行对比分析。除介绍常用方法外，还注意反映新近的研究成果，其中也包括编著者的成果。为便于自学，各种方法均附有计算实例。

本书可用作高等学校土建类专业选修课教材和供土建科研、设计人员参考。

前 言

高层建筑的发展，是商业化、工业化和城市化的需要，是城市人口密集、交通拥挤、土地稀缺、地价昂贵的必然反应。70年代以来，随着四化建设、对外开放和旅游事业的发展，我国高层建筑日益增多。1982年夏，著者曾应邀为陕西省力学学会开设学术讲座。此后又先后应陕西省建筑设计院、陕西省土木工程学会、宝鸡市建筑学会、贵州省建筑学会、包头钢铁学院、鞍山市建筑学会等单位的邀请，主讲高层建筑。本书即在原讲义“高层建筑钢筋混凝土剪力墙结构分析”的基础上，重新编写而成。

鉴于当前有关框架结构的论著颇多，且已为广大技术人员所熟知，故本书不予赘述。而我国的高层建筑大都在10~35层左右，超高层建筑为数甚少，因此本书着重讨论工程实际中应用最多的剪力墙和框架-剪力墙结构。

我国是个多震国家，本书除在结构选型、设计计算中对抗震问题给予足够重视外，还设专章讨论钢筋混凝土剪力墙结构的延性及弹塑性分析问题。

在编写过程中，编著者注意学习及吸收其他同类论著的优点，注意做到重点突出、条理清晰、内容精炼、便于自学并紧密结合工程实际。鉴于目前正值我国各种规范修订时期，本书仍以现行规范为准，并注意处理好新旧规范的衔接。

本书以解析手算方法为主，注意理论概念的严谨性，并将多种方法进行对比分析，供实际应用时参考。为了活跃学术思想，本书除介绍实际工程中已经采用的方法外，还注意反映新近的研究成果，其中也包括编著者的成果，例如：考虑剪切变形并联剪力墙分析及框架-剪力墙分析；剪力墙基础转动对框架-剪力墙结构内力的影响；框支剪力墙分析；机构控制理论、人工塑性铰在钢筋混凝土剪力墙中的应用等，以期达到抛砖引玉的目的。

限于水平，本书难免存在缺点和错误，望广大读者批评指正。

参加本书编写的有：西安冶金建筑学院王崇昌教授（主编）、贵州工学院马克俭副教授（副主编）、西北建筑工程学院栗秀文讲师、贵州工学院陈道钲副教授。具体分工为：第一章王崇昌，第二章马克俭、王崇昌，第三章栗秀文、马克俭，第四章栗秀文，第五、七章陈道钲，第六章马克俭，第八、九章王崇昌、马克俭。全书由王崇昌、马克俭最后定稿。

本书由西安冶金建筑学院钟朋教授主审，贵州工学院王毓泰教授审阅，特别是著者的导师张剑霄教授对本书的编写大纲、指导思想及主要内容给予热情指导并提出宝贵意见，特表示衷心感谢。

在本书编写过程中，引用了有关单位和同志的文献资料，并得到成复秀、杨文堃、王桂莲、康天科、郑军军等同志的大力协助，此在一并致谢。

编著者 一九八七年八月

目 录

第一章 高层建筑设计概述

§ 1-1 高层建筑的发展	(1)
§ 1-2 高层建筑的设计特点	(3)
§ 1-3 高层建筑的结构类型	(4)
§ 1-4 剪力墙结构的抗震性能	(10)
§ 1-5 高层建筑的结构布置原则及变形缝	(13)
§ 1-6 高层建筑的结构布置	(19)
§ 1-7 高层建筑内力和位移计算	(28)

第二章 高层建筑的荷载

§ 2-1 地震荷载的计算	(32)
§ 2-2 风荷载的计算	(68)
§ 2-3 荷载的组合原则	(73)

第三章 剪力墙内力和位移计算

§ 3-1 整截面及小开口剪力墙计算	(75)
§ 3-2 联肢剪力墙计算	(82)
§ 3-3 框支剪力墙结构计算	(131)

第四章 剪切变形和轴向变形对剪力墙结构内力与变形的影响

§ 4-1 墙肢剪切变形的影响	(170)
§ 4-2 剪力墙连系梁剪切变形的影响	(179)
§ 4-3 墙肢轴向变形的影响	(180)
§ 4-4 对剪切变形和轴向变形影响的估价	(182)
§ 4-5 联肢墙计算方法的讨论	(186)

第五章 壁式框架的计算

§ 5-1 壁式框架及其特点	(188)
§ 5-2 无剪力分配法	(189)
§ 5-3 “D”值法	(200)
§ 5-4 各类剪力墙的分类界限	(221)

第六章 框架-剪力墙结构计算

§ 6-1 概述	(232)
§ 6-2 框架-剪力墙结构铰接体系简化计算方法 (一)	(239)
§ 6-3 框架-剪力墙结构刚结体系简化计算方法 (一)	(257)
§ 6-4 剪力墙与框架-剪力墙结构扭转近似计算	(261)
§ 6-5 框架-剪力墙结构铰结体系简化计算方法 (二)	(266)
§ 6-6 框架-剪力墙结构刚结体系简化计算方法 (二)	(287)
§ 6-7 剪力墙基础转动对框架-剪力墙结构内力的影响	(290)
§ 6-8 框架-剪力墙结构铰接体系的无剪力分配法	(304)

第七章 剪力墙及框架-剪力墙结构矩阵分析

§ 7-1 概述	(357)
§ 7-2 单元刚度矩阵的建立	(358)
§ 7-3 结构坐标系的单元刚度矩阵-坐标系转换	(367)
§ 7-4 结构总刚度矩阵	(370)
§ 7-5 边界条件的处理和基本方程求解	(376)
§ 7-6 杆端力计算	(377)
§ 7-7 非结点荷载的处理	(377)
§ 7-8 剪力墙及框架-剪力墙结构分析	(379)
§ 7-9 程序的简略框图	(383)

第八章 钢筋混凝土剪力墙结构的延性问题

§ 8-1 概述	(386)
§ 8-2 一次加荷下受弯构件的延性	(389)
§ 8-3 反复荷载作用下钢筋混凝土构件的恢复力特性	(398)
§ 8-4 钢筋混凝土剪力墙结构的延性问题	(403)
§ 8-5 “人工塑性铰” 试验研究及在剪力墙结构中的应用	(408)

第九章 钢筋混凝土剪力墙的弹塑性分析

§ 9-1 概述	(417)
§ 9-2 钢筋、混凝土及钢筋混凝土构件的本构关系	(418)
§ 9-3 钢筋混凝土弹塑性抗震结构的机构控制理论	(431)
§ 9-4 联肢剪力墙弹塑性分析	(435)

参考文献

第一章 高层建筑设计概述

§1-1 高层建筑的发展

建筑,在一定程度上体现了社会的物质文明和精神风貌。作为时代的窗口,通过建筑可以洞察出一个国家的科学、技术、生产、经济、文化、艺术和社会意识。高层建筑的发展是城市化、工业化和商业化的需要,涉及的问题较多。从精神和社会学观点看,与城市发展紧密相关,是土地稀缺、地价高昂、居民密集的自然反应。反之,高层建筑的兴起,又对城市的环境、生态、公用事业、服务设施如商店、娱乐、卫生、教育、交通、废物处理等提出新的要求,因之又在一定程度上起着组织社会的作用。如此相互作用就涉及到政治、经济、社会学、美学和生态学等有关方面。从技术和物质观点看,高层建筑是现代技术的象征。它以结构理论、材料学、施工方法和设备、地基基础、采暖通风、给水排水、通讯、防火等学科的成就为基础,同时又对各个学科提出了新的要求。

高层建筑的历史可以追溯到千年以前。早期的高层建筑,大都与宗教和军事有关,如西安大雁塔、定县料敌塔、罗马Lasineli塔等。大规模高层建筑则开始于19世纪,然二次大战以前,高层建筑虽然有所发展,毕竟受到设计理论和建筑材料的限制,结构构件粗壮、自重较大、用料较多,且仅限为框架结构,很少考虑地震问题。二次大战以后,特别是20世纪50年代以来,由于轻质高强材料研究成功,新的设计理论取得成果,抗风和抗震结构体系得到发展,新的施工技术和设备不断涌现和电子计算机的广泛应用,为迅速发展高层建筑提供了物质条件。而城市人口的急剧膨胀,工业、商业的高度发展,又对高层建筑的发展提出了客观需要。于是,一座座高楼拔地而起,若雨后春笋,遍及欧、美及亚洲各地。迄今,有些国家的城市,30~40%建筑面积为高层建筑。美国的高层建筑最多,高度在160~200m的就有100多幢。目前世界上最高的芝加哥Sears大厦,共110层,高443m。日本原来没有高层建筑。近十几年来,由于在强震观测及设计理论方面取得成果,在地震区建造了30余幢100m以上的大楼。法国巴黎的Defece地区修建了几十幢30~50层的建筑群。其他如新加坡、香港都修建了许多高层建筑。

解放前,我国高层建筑很少。解放后,在50年代至60年代,修建了北京民族饭店、北京民航大楼。70年代特别是进入80年代以来,随着对外开放、旅游事业和科学与工业的发展,高层建筑也逐年增多。表1-1给出部分高层建筑的层数、高度及结构体系。

表1-1 国内已建成、在建的100m以上的高层建筑 (至1987年6月)

序号	名 称		高度 (m)	层 数		结 构			说 明
				地上	地下				
1	北京	京广大厦	208	53	3	S	扇 形	框架-剪力墙	基础施工
2	广州	国际大厦	195	62	2	RC	矩 形	筒中筒	基础施工
3	北京	京城大厦	184	52	4	S	方 形	框架-剪力墙	基础施工
4	深圳	国际贸易中心	160	50	3	RC	方 形	筒中筒	已建成
5	北京	国际贸易中心	155	40	2	S	枣核形	筒中筒	基础施工
6	深圳	发展中心	154	39	1	S+RC	圆 形	框架-剪力墙	主体完工
7	上海	锦江饭店	154	44	1	S	八边形	框架-支撑	主体完工
8	上海	希尔顿饭店	143	43	1	S+RC	三角形	框架-筒体	基本完工
9	深圳	外贸中心	139	39	1	RC	椭圆形	筒中筒	在施工
10	北京	中央彩电中心	135	27	2	RC	矩 形	筒中筒	已建成
11	深圳	航空大厦	133	41	2	RC	三角形	筒体-框架	基本完工
12	上海	上海电讯大楼	131	24	3	RC	矩 形	筒中筒	已建成
13	深圳	中国银行	130	35	1	RC	矩 形	多个筒体	基础已完, 主体施工
14	广州	珠江实业中心	130*	38	1*	RC	双三角形	筒体-框架	在施工
15	深圳	新华大厦	127	37	2	RC	方 形	超级框架	设计完
16	上海	华东电管局	124	30	1	RC	矩 形	筒体-框架	主体完工
17	深圳	新闻文化中心	123	35	1	RC	三角形	筒体-框架	主体完工
18	深圳	旅游中心	121	36	1	RC	弧 形	筒体-框架	在施工
19	杭州	国际大厦	121	35	1*	RC	矩 形		在施工
20	上海	贸易信息中心	120*	33	1*	RC	方 形	筒体框架	在施工
21	上海	花园饭店	119	34	1*	RC			在施工
22	深圳	华联大厦	118	36	1	RC	方 形	筒体-框架	在施工
23	深圳	四川大厦	117	35	1	RC	方 形	筒体-框架	在施工
24	沈阳	科技文化中心	117	32	3	RC	矩 形	筒体-剪力墙	在施工
25	北京	新 华 社	117	28	4	RC	矩 形	筒体-框架	在施工
26	北京	国际饭店	117	32	3	RC	蝶 形	剪力墙	基本完工
27	广东	肇庆星湖饭店	115	31	1	RC	圆 形	筒体-剪力墙	已设计完
28	广州	白云宾馆	115	33	1	RC	矩 形	剪力墙	已建成
29	深圳	亚洲大酒店	114	33	1	RC	Y 形	超级框架	基本建成

续表1-1

序号	名 称		高度 (m)	层 数		结 构			说 明
				地上	地下				
30	广州	珠江商业大厦	112	32	1	RC	方 形	筒体-框架	已建成
31	南京	金陵饭店	110	37	1	RC	方 形	筒体-框架	已建成
32	珠海	蓝天酒店	110	34	1	RC	三角形	筒体-框架	设计完成
33	上海	杨子江大饭店	110*	36	1	RC			在施工
34	北京	左家庄办公楼	109	32	3	RC	三角形	筒体-框架	设计完成
35	广州	花园酒家	109	31	2	RC	Y 形	剪力墙	已建成
36	上海	物资贸易中心	107	30	1	RC	Y 形	筒体-框架	在施工
37	上海	瑞金大厦	107	29	1	S+RC	矩 形	筒体-框架	已建成
38	天津	贸易中心	107	33	2	RC	三角形	筒体-框架	在施工
39	上海	联谊大厦	106	30	1	RC	矩 形	筒体-框架	已建成
40	深圳	金陵饭店	106	29	1	RC	瓜 形	剪力墙	在施工
41	上海	虹桥宾馆	105	35	1	RC	双三角形	筒体-框架	基本完工
42	广州	白天鹅宾馆	103	29	1	RC	鼓 形	剪力墙	已建成
43	北京	国际大厦	101	29	2	RC	矩 形	筒体-框架	已建成
44	乌鲁木齐	环球大酒店	107	24					已施工

注：1. S—钢结构 RC—钢筋混凝土结构 *—估计。

2. 在建工程设计可能有变化，上述资料仅供参考。

§1-2 高层建筑的设计特点

高层建筑和低层建筑一样，承受自重、活载、雪等垂直荷载及风、地震等水平荷载。由于高层建筑的特点首先是高，因而水平荷载成为其设计的控制因素。

从对结构内力的影响看，垂直荷载主要使柱产生轴力，其与房屋高度大体为线性关系；水平荷载则产生弯矩，其与房屋高度呈二次方变化。

从受力特性看，垂直荷载方向不变，房屋增高仅引起量的增加；水平荷载则可来自任一方向，反向荷载可能使内力反号。

从侧移观点看，主要由水平荷载产生，且与高度呈四次方变化。

高层建筑设计第二个特点是，一些在低层建筑中不太重要而常被忽视的问题，在高层建筑中却显得十分突出，必须慎重处置。由于条件限制，目前在荷载取值，结构的荷载效应等方面都存在许多尚未解决的问题。例如地震力和结构的地震反应，结构的延性和延性计

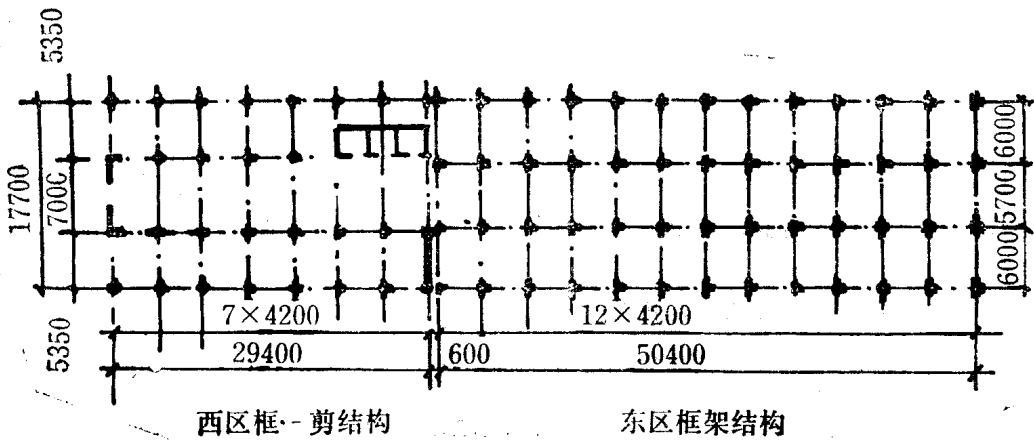
算，风荷和结构的风荷反应、涡流和旋风；结构端部效应、N—△效应、结构的破坏过程、基础和上部结构的共同工作；材料的持久强度和积伤效应等。这些问题低层建筑中虽也同样存在，但在高层建筑中则更为突出。这些问题的解决诚然是长期的，但是了解存在这些问题，并在结构设计中加以妥善考虑，作到心中有数则是必要的。

高层建筑设计第三个特点是，各工种间的配合协调更加重要。已如前述，高层建筑涉及的问题较多。一个大的高层建筑，除了建筑、结构、施工外，还有设备、防火、环境、交通、服务设施等。例如芝加哥Sears Tower所需的电力相当于147 000人的城市用电量；有102部电梯，可满足16 500用户的需要；其他如商店、食堂、娱乐、卫生、废物处理等都相当于一个小城市。因而在设计时需要全面考虑，统筹安排，作好各工种间的协调。

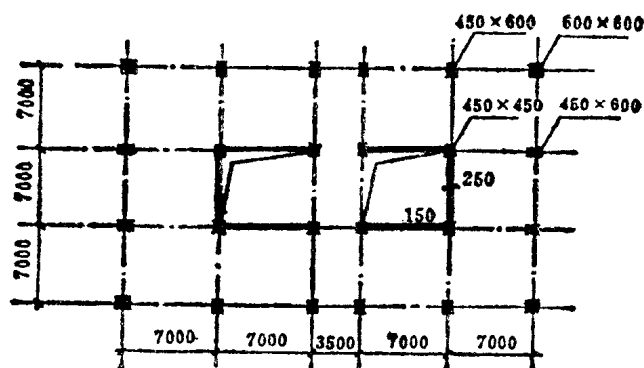
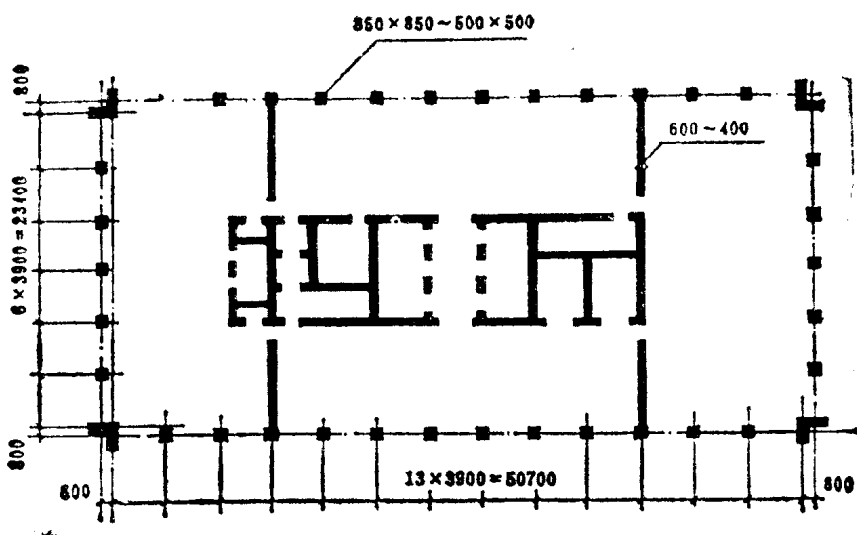
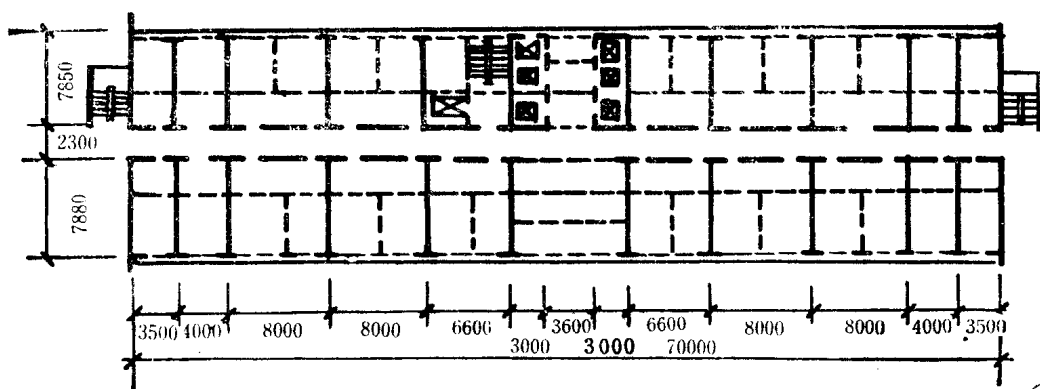
§1-3 高层建筑的结构类型

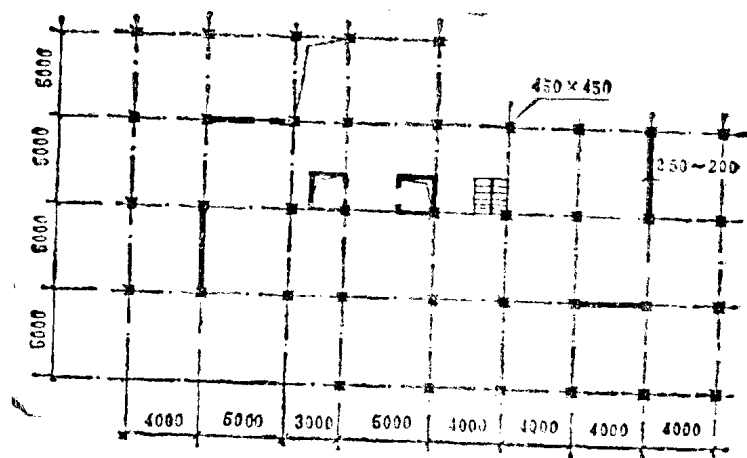
高层建筑结构选型，主要是如何选取抗侧力体系。在结构选型时要满足建筑功能要求，并将建筑艺术性与受力的合理性有机地结合起来，使不作装饰或稍作装饰即可获得较好的效果。其次，需要充分考虑荷载特点、地基条件、施工方法及材料状况。从结构观点看，要保证强度、刚度、传力途径直接简捷并满足抗震有关要求，结构体系宜有多道抗震防线，避免因部分结构或构件连接失效而导致整个体系丧失抗震能力或丧失对重力荷载的承载能力。体系应具备必要的强度、良好的变形能力和耗能能力。避免过大的应力集中和塑性变形集中及薄弱层。

图1-1所示为常用的结构类型。



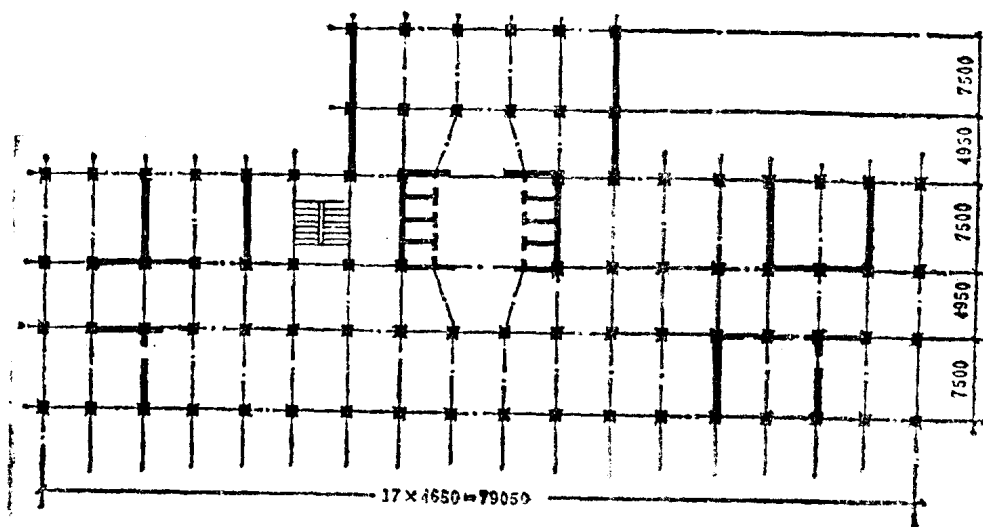
(a) 天津友谊宾馆



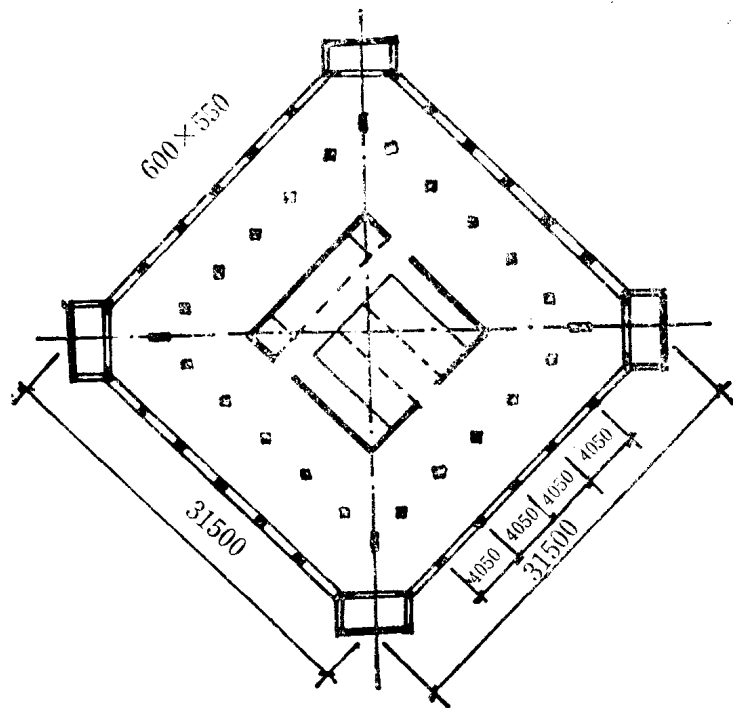


(e) 北京16层外交公寓

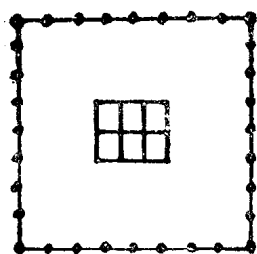
柱子截面	剪力墙厚度
85×85 (±0 以下)	25cm (3 层以下)
80×80 (1~2 层)	20cm (4~8 层)
70×70 (3~8 层)	15cm (9 层以上)
60×60 (9~14 层)	
50×50 (15 层以上)	
(边柱 1~2 层 70×70)	



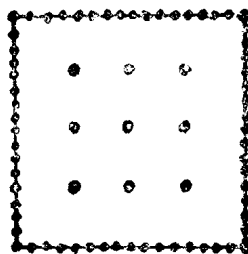
(f) 北京饭店新楼 II 段标准层平面



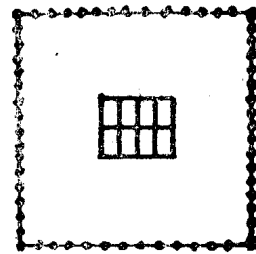
(g) 南京金陵饭店



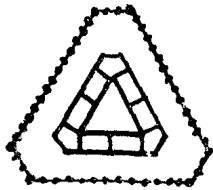
内筒体外框架结构



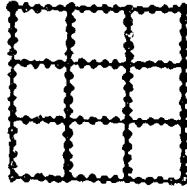
外筒体内框架结构



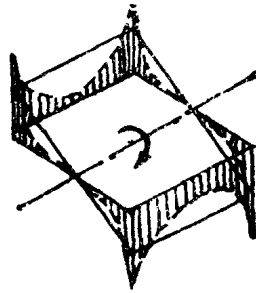
筒中筒结构



筒中筒结构



多筒结构



剪力滞后

(h) 筒体结构

图 1-1

一、框架结构

框架结构的优点是，建筑平面布置灵活，可以组成大空间的会议室、营业厅等。缺点是抗侧移刚度差、侧移变形大，在地震力作用下非结构构件破坏严重，结构的次生内力复杂。

二、剪力墙结构

剪力墙结构的优点是抗侧移刚度大、变形小，抗震性能好。缺点是平面布置不够灵活，结构自重大，在地震力作用下，如果配筋和构造处理不当，可能出现整体倾覆或局部剪切破坏。

三、框架-剪力墙结构

框架-剪力墙结构是框架及剪力墙结构的组合，可以兼二者之长。水平力主要由剪力墙承受，框架一般仅承受20%左右。垂直力则由框架和剪力墙按所在位置承担。框架属剪切型变形，剪力墙属弯曲型变形，二者通过楼板协调工作，因而保证楼板在平面内刚度接近无穷大，保证楼板与墙和框架的可靠连接，是该结构的一大关键。总之，框架-剪力墙结构由于使用灵活、刚度大、抗侧力强、抗震性能好，因而应用较为广泛。

四、筒体结构

筒体结构有如一固定于基础的封闭箱形悬臂构件，抗弯抗扭刚度甚大，根据不同的组成

方式，可分为三种类型：

(1) 框架筒结构。由密柱高梁形成的密集空间网络，通过外围筒体抵抗水平荷载，内部柱仅承受垂直荷载；外围网格，兼作窗框之用。由于横梁变形使剪力传递存在滞后现象，柱中正应力分布呈抛物线状，此种现象称作剪力滞后。剪力滞后现象使框筒角柱应力集中。与水平力平行方向的框架称为腹板框架，主要通过梁柱弯曲抵抗水平剪力；与水平力垂直方向的框架称为翼缘框架，主要通过拉压轴力抵抗倾覆力矩。腹板框架的梁柱以弯曲变形为主，变形属剪切型，翼缘框架柱主要为轴向变形，形成弯曲型变形。框筒结构的受力特点是，受梁柱刚度比及平面形状长宽比影响较大。梁柱刚度比愈小，剪力滞后现象愈严重，角柱应力愈大；反之，梁柱刚度比愈大，翼缘框架柱应力愈均匀，空间作用愈好。平面形状愈接近正方形，剪力滞后现象愈轻，而长宽比愈大，剪力滞后愈严重。平面形状的影响又与梁柱刚度比有关，刚度比愈小，平面形状影响愈大；反之，影响较小。框筒结构的角柱截面，必须大小适当。太大，则与之相连系的梁中剪力过大，剪力滞后现象严重。过小，则不能将剪力传递给腹板框架，降低了空间作用。由此可见，角柱对框筒结构的受力性能影响较大，设计时应予重视。

(2) 筒中筒结构，又称双筒结构。内筒为实腹筒，外筒为框架筒，内外筒之间由平面内刚度很大的楼板连接，以保证协同工作。此种结构刚度大，空间工作性能好，既能承受水平力，

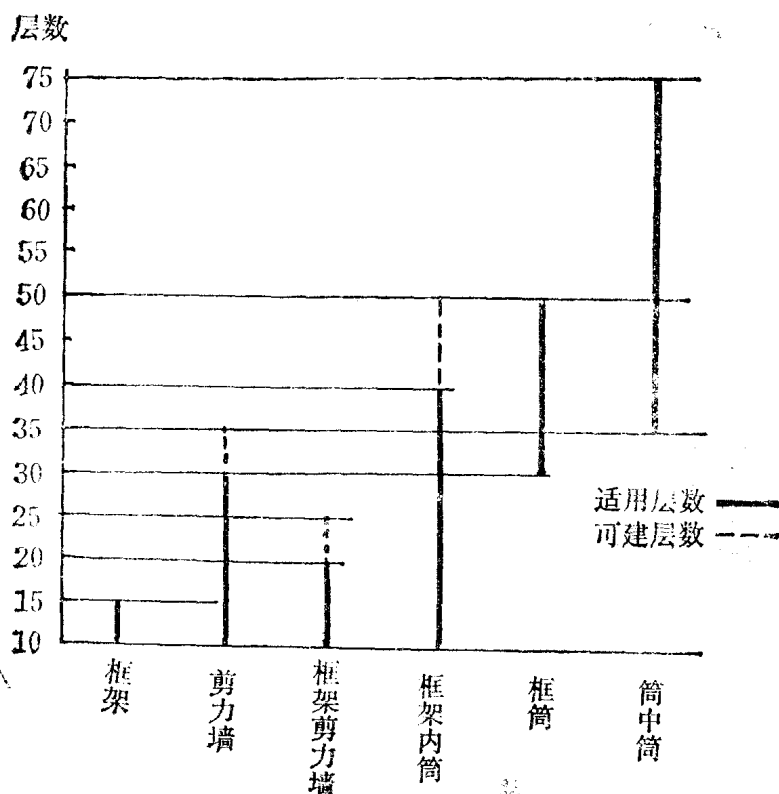


图1-2 各种结构体系的适用层数

图 1-2

又能承受垂直力。房间布置比较灵活,楼梯、电梯、管道等集中布置在核心筒内,可充分利用面积。其受力特点类似框架-剪力墙结构,但因外框筒刚度大,故抵抗房屋上部的大部分水平力,核心筒承受房屋下部的大部分水平力。

(3)多筒结构,又称多束筒。是由纵横剪力墙、框筒组合而成,如图1-1(h)所示。内部横隔类似腹板,抵抗剪力,并使翼缘框架剪力滞后现象减少,因而空间工作性能好。为减小地震力及风力,常随房屋高度的增加而逐渐对称地减少单筒个数,缩小平面尺寸。

(4)筒体-框架结构。当建筑功能不希望在外围采用密柱时,可布置成大柱距框架。由于柱距较大,因而不能形成框架筒,只能起到框架作用。

除上述四种结构体系外,还有悬挂结构、板柱结构、悬臂板结构等。

图1-2给出了四种常用结构体系的适用层数。

表1-2给出不同结构体系建筑物一般不宜超过的高度(m)限值。

表1-2

结 构 体 系		只 考 虑 风 力 作 用	地 震 设 防 烈 度		
			6~7 度	8 度	9 度
框 架	现 浇	60	55	45	/
	装 配 整 体	50	35	25	/
框架-剪力墙	现 浇	130	120	100	50
	装 配 整 体	100	90	70	30
现浇剪力墙	无框支墙	140	120	100	60
	部分框支墙	120	100	80	40
筒中筒及筒束		180	150	120	70
单筒或多个单筒		130	120	100	50

注:1.房屋高度指室外地坪至檐口高度,不包括局部突出屋顶部分。

2.当场地土较差时,可视情况提高一度考虑。

3.当场地土较好时,可视情况降低一度考虑。

由图1-2及表1-2可以看出,我国当前应用最广的是剪力墙及框架-剪力墙结构,因此下面将对剪力墙的结构性能作进一步的讨论和阐述。

§1-4 剪力墙结构的抗震性能

地震是一种破坏性极大的自然灾害,发生时,山摇地陷、河溢桥移,高层建筑因之而塌