

高层建筑 结构设计

方鄂华 编著

清华大学土木工程系

按新规范编写专业用书

地震出版社

清华大学土木工程系
按新规范编写专业用书

高层建筑结构设计

方鄂华 编著

地震出版社

1990

内 容 提 要

本书内容包括：高层建筑结构体系及方案布置，风荷载及地震作用计算，常用体系结构内力和位移计算方法，钢筋混凝土框架及剪力墙截面计算、配筋构造等抗震设计方法。均依据《混凝土结构设计规范(GBJ10-89)》、《建筑结构抗震设计规范(GBJ11-89)》、《建筑结构荷载规范(GBJ9-87)》及《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程》等新规范、新规程编写。

本书也适用于多层钢筋混凝土结构。

本书可作为大专院校工业与民用建筑专业学生的教材或教学参考书，也可作为电视大学、业余职工大学学生和广大工程技术人员学习自修之用。

高层建筑结构设计

方鄂华 编著

责任编辑：曹可珍 蒋乃芳

责任校对：李和文

地 震 出 版 社 出 版

北京民族学院南路9号

中国建筑工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

787×1092 1/16 10.75 印张 275千字

1990年8月第一版 1990年8月第一次印刷

印数 00001—10000

ISBN 7-5028-0314-9/TU·16

(703) 定价：6.00元

清华大学土木工程系
按新规范编写专业用书

编 委 会

主 编： 王国周 龙驭球 沈聚敏 陈启之
崔京浩

编 委(以姓氏笔划为序)：

支秉琛 邝守仁 刘元鹤 江见鲸
杨德骅 郑金床 裘宗濂

前 言

随着我国经济建设的迅速发展,近十五年来,由少数大城市开始,发展到遍及全国的许多大中城市,兴建了为数众多的高层住宅、办公楼、旅馆、商业大厦等,高层建筑已日益普及。为此开展了多方面的科学研究和学术交流,制定了我国的高层建筑结构和施工规定。通过实践,锻炼和造就了一大批高层建筑结构和施工的技术人员,积累了十分丰富的经验。各大专院校的工民建专业也相继开设了多高层建筑结构设计课程。

近几年,我国有关的建筑设计规范都作了较大修改。在高层建筑方面,不但将原有的《规定》修订成为《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程》,还正在制定《高层钢结构设计与施工规程》。这些新的规范、规程已陆续颁布执行。工民建专业在教学和设计方面也迫切需要按照新的规范、规程编写的教材和参考书。

本书是作者在多年教学实践经验的基础上,根据新的规范、规程[《工业与民用建筑荷载规范(GBJ9-87)》、《混凝土结构设计规范(GBJ10-89)》、《建筑抗震设计规范(GBJ11-89)》及《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程》],并针对大专院校工民建专业的教学要求编写的教材。注重基本的、实用的内容。既重视理论、概念的阐述,也注意工程实例及设计方法的介绍。各章都有例题及思考题,便于教学,也便于土建专业工程技术人员及其他自学人员自学。

内容以常用的框架、框架-剪力墙及剪力墙结构体系为主。介绍了高层建筑的风荷载和地震作用计算方法;内力和位移计算部分以工程中常用的手算方法为主,加强规律性分析,使读者对高层建筑结构的受力和变形特性有清晰的概念,并能够进行运算;在截面设计和构造内容方面,本书着重介绍抗震设计方法和构造要求;在方案部分还介绍了一些除上述三种基本体系以外的新型体系。

本书内容也适用于多层钢筋混凝土建筑结构的设计和计算。

在学习本书时,读者应具备结构力学及钢筋混凝土基本构件的知识。

本书的许多内容参考和借鉴了包世华、方鄂华主编的《高层建筑结构设计》一书(清华大学出版社,1985年出版,本书的修订版也即将由清华大学出版社出版,可作为阅读本书的参考),在此特向除本人以外的其他三位作者包世华、江爱川和钱素英同志致以谢意。此外,本书初稿经包世华教授认真审阅,在此一并致谢。

作者于清华园 1989年12月

目 录

第一章 结构体系及布置	(1)
§ 1-1 引言	(1)
§ 1-2 结构体系及典型布置	(3)
§ 1-3 结构总体布置原则	(12)
第二章 水平荷载与结构计算简化原则	(16)
§ 2-1 风荷载	(16)
§ 2-2 地震作用	(21)
§ 2-3 水平荷载作用方向及结构计算的一般简化假定	(28)
第三章 框架结构内力与位移计算	(30)
§ 3-1 竖向荷载作用下的近似计算——分层算法	(30)
§ 3-2 水平荷载作用下的近似计算——反弯点法	(32)
§ 3-3 水平荷载作用下的改进反弯点法——D值法	(36)
§ 3-4 水平荷载作用下侧移的近似计算	(45)
第四章 剪力墙结构内力与位移计算	(50)
§ 4-1 荷载分配及计算方法概述	(50)
§ 4-2 整体墙计算方法	(52)
§ 4-3 双肢墙和多肢墙连续化计算方法	(53)
§ 4-4 小开口整体墙及独立墙肢近似计算方法	(73)
§ 4-5 带刚域框架近似计算方法	(76)
第五章 框架-剪力墙结构协同工作计算	(83)
§ 5-1 框剪结构协同工作原理及计算方法	(83)
§ 5-2 两种计算图形	(84)
§ 5-3 铰结体系协同工作计算	(85)
§ 5-4 刚结体系协同工作计算	(87)
§ 5-5 刚度特征值 λ 对框剪结构受力、位移特性的影响	(90)
§ 5-6 内力计算	(91)
第六章 扭转近似计算	(104)
§ 6-1 概述	(104)
§ 6-2 质量中心、刚度中心及扭转偏心距	(104)
§ 6-3 考虑扭转作用的剪力修正	(106)
§ 6-4 讨论	(108)
第七章 荷载效应组合及设计要求	(111)
§ 7-1 荷载效应组合	(111)
§ 7-2 结构设计要求	(112)

§ 7-3	内力组合及最不利内力	(115)
第八章	框架截面设计和构造	(121)
§ 8-1	框架抗震设计方法——延性框架的概念	(121)
§ 8-2	框架梁抗震设计	(122)
§ 8-3	框架柱抗震设计	(126)
§ 8-4	梁柱节点区抗震设计	(131)
第九章	剪力墙截面设计和构造	(138)
§ 9-1	概述	(138)
§ 9-2	墙肢正截面抗弯承载力	(139)
§ 9-3	墙肢斜截面抗剪承载力	(142)
§ 9-4	连梁截面承载力	(144)
§ 9-5	悬臂剪力墙设计及抗震要求	(145)
§ 9-6	开洞剪力墙设计及抗震要求	(149)
§ 9-7	有边框剪力墙设计及抗震要求	(151)
§ 9-8	底层大空间剪力墙结构设计及抗震要求	(151)

第一章 结构体系及布置

§ 1-1 引 言

当建筑物高度增加时，水平荷载（风荷载及地震作用）对结构起的作用将愈来愈大。除了结构内力将明显加大外，结构侧向位移增加更快。图1-1是结构内力（ N ， M ）、位移（ Δ ）与高度的关系，弯矩和位移都成指数曲线上升。

高层建筑中，结构要使用更多的材料来抵抗水平力，抗侧力成为高层建筑结构设计的主要问题。在地震区，地震作用对高层建筑的威胁也比低层建筑要大，抗震设计应受到加倍重视。

高层建筑抗侧力体系在不断的发展和改进，建筑高度也不断增高。现在，高层建筑结构体系大约可分为四大类型：框架结构、剪力墙结构、框架-剪力墙结构和筒体结构，各有不同的适用高度和优缺点。本章将介绍各种体系及其组成和布置。

高层建筑结构所用的材料，主要是钢筋混凝土和钢。钢结构具有自重轻、强度高、抗震性能好、施工方便等优点。在钢材多的国家，很多都采用钢结构建造高层建筑。钢筋混凝土结构造价较低、材料来源丰富，便于做成各种形状，而且结构刚度大，耐火性能好。它的缺点是自重较大、抗震性能不如钢结构、建造高度也低于钢结构。近年来，开始采用高强混凝土，并且改进了结构体系，钢筋混凝土的建造高度也逐渐增加。目前世界上最高的钢筋混凝土结构是朝鲜平壤市的柳京饭店，105层，319.8m高，美国芝加哥的水塔广场大厦居其次，高76层、262m。世界上最高的结构是1974年建成的西尔斯大楼，钢结构、110层、442m高，在美国芝加哥。

解放前，我国高层建筑很少。解放后，在50和60年代陆续建造了一些，如1959年建成的北京民族饭店，12层、高47.4m；1964年建成的北京民航大楼，15层、高60.8m等。70年代初期，我国几个大城市开始加速建造高层建筑，目前，在许多中等城市及一些小城市也都已建造了高层建筑。70年代以后的发展速度很快，大量建造的高层住宅，多数在10—30层之间，旅游饭店及办公楼也已有相当数量。在北京、上海、广州、深圳等城市，已有一批40层左右的办公大楼和饭店。在我国，高层建筑以采用钢筋混凝土为主，近年来，不仅建造高度在增长，建筑体型和结构体系也愈益多样化。而且在50层左右的建筑中，已开始采用钢结构，这些都体现了我国建造高层建筑的技术水平得到全面的发展和提高。目前，我国最高钢筋混凝土结构是广州的国际大厦，62层、195.8m高，其次是深圳国贸中

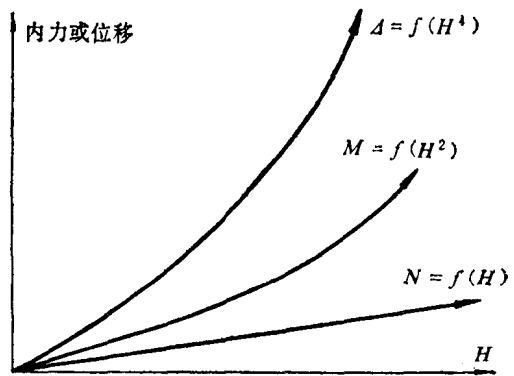


图1-1 结构内力、位移与高度的关系

心大厦，50层、高158.9m，它们都是商业办公大楼。最高的钢结构是北京 的京广中心大厦，53层、208m高，这也是我国最高的高层建筑。图1-2是已建成的深圳国贸中心大厦的照片和结构平面。

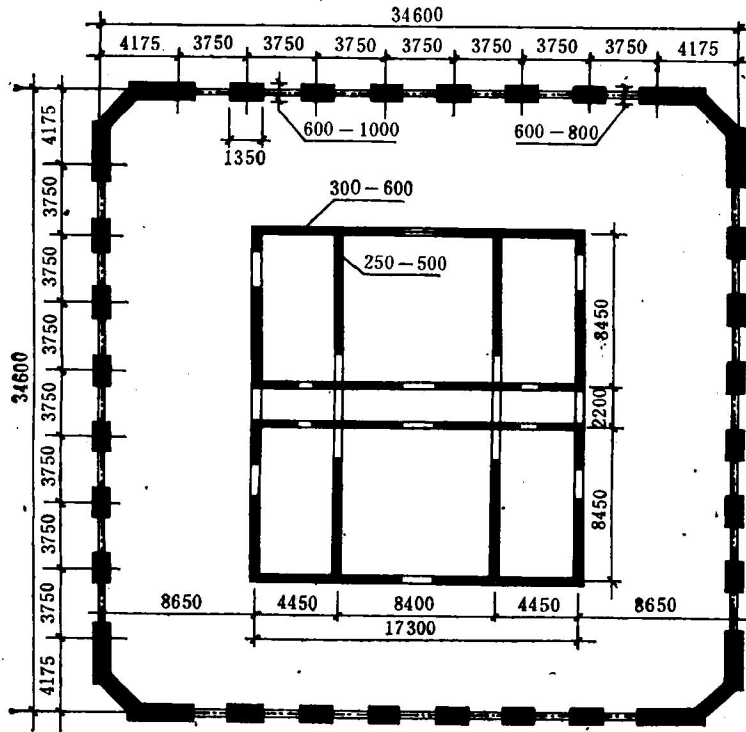


图1-2 深圳国贸中心大厦

§ 1-2 结构体系及典型布置

框架、剪力墙、框架-剪力墙结构体系是多层及高层建筑中传统的、广为应用的抗侧力体系；在高度较大的高层建筑中，利用结构空间作用，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很好的结构体系。下面分别介绍。

一、框架结构体系

当采用梁、柱组成的框架体系作为建筑竖向承重结构，并同时承受水平荷载时，称其为框架结构体系。

框架结构的优点是建筑平面布置灵活，可做成需要较大空间的会议室、餐厅、办公室及工业车间、实验室等，加隔墙后，也可做成小房间。框架结构的构件主要是梁和柱，可以做成预制或现浇框架，布置比较灵活，立面也可变化。

通常，梁、柱断面尺寸都不能太大，否则影响使用面积。因此，框架结构的侧向刚度较小，水平位移大，这是它的主要缺点，也因此限制了框架结构的建造高度，一般不宜超过60米。在抗震设防烈度较高的地区，高度更加受到限制。

通过合理设计，框架结构本身的抗震性能较好，能承受较大变形。但是，变形大了容易引起非结构构件，如填充墙、装修等出现裂缝及破坏，这些破坏会造成很大经济损失，也会威胁人身安全。所以，如果在地震区建造较高的框架结构，必须选择既减轻重量，又能经受较大变形的隔墙材料和构造做法。否则，就要严格控制框架建造高度。在北京，已建成了高18层、局部22层的现浇框架结构——长城饭店。它是我国地震区最高的框架结构，采用了延性框架设计方法，并采用轻钢龙骨石膏板作隔断墙，外墙采用玻璃幕墙。

通常是根据使用要求和建筑布置确定的柱网和层高布置梁和柱。在高层建筑中梁柱必

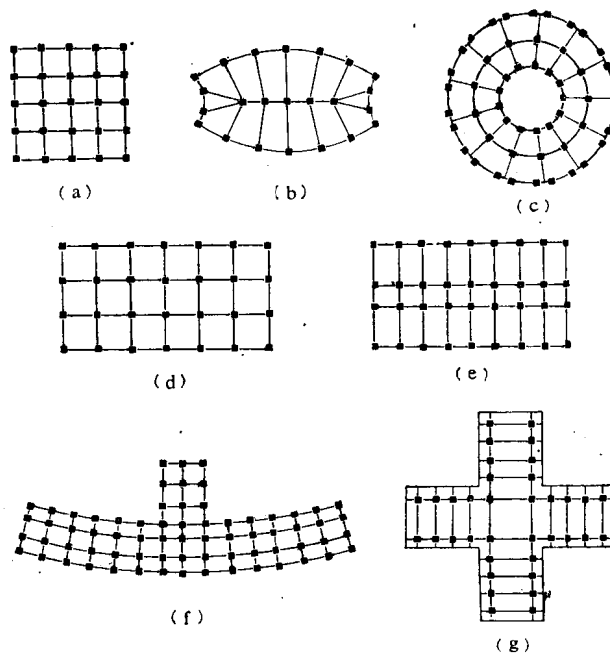


图1-3 框架柱网布置举例

须做成刚接。梁的跨度受到梁断面尺寸的限制。过大的梁断面会增加层高，是不经济的，对抗震也不好。柱断面的尺寸要根据所承受轴力和弯矩的大小确定。在地区，柱断面尺寸受到轴压比限制，不能过小（详见第八章）。

梁、柱布置要整齐、规则。图1-3列举了一些框架结构的平面布置形式。图1-4是北京民航办公大楼的平面布置，它是装配整体式框架结构，按七度抗震设防，由于建造时期早，没有考虑延性框架的设计要求。

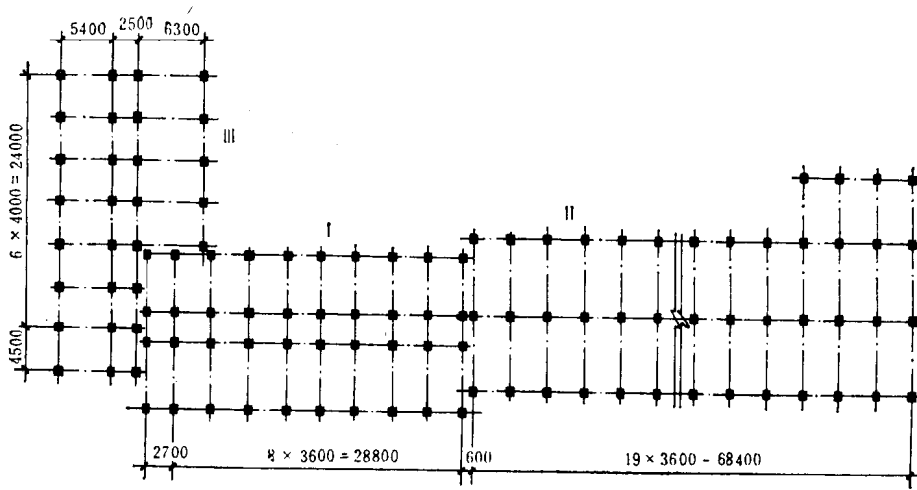
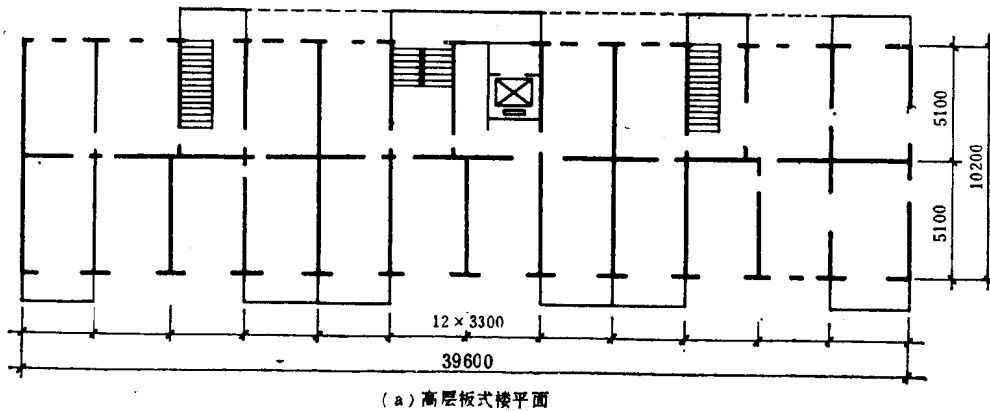


图1-4 北京民航大楼框架柱网布置

二、剪力墙结构体系

利用建筑物的墙体作为竖向承重和抵抗侧力的结构，就称为剪力墙结构体系。墙体同时也作为维护及房间分隔构件。

剪力墙的间距受到楼板构件跨度的限制，一般为3—8米，因而剪力墙结构适用于具有小房间的住宅、旅馆等建筑，此时可省去大量砌筑填充墙的工序及材料，如果采用滑升模板及大模板等先进的施工方法，施工速度很快。图1-5是典型的剪力墙结构的平面。



(a) 高层板式楼平面

图1-5 剪力墙结构的平面

现浇钢筋混凝土剪力墙结构的整体性好，刚度大，在水平力作用下侧向变形很小。墙体截面积大，承载力要求也比较容易满足。剪力墙的抗震性能也较好。因此它适宜于建造高层建筑，在10—50层范围内都适用，目前我国10—30层的公寓式住宅大多采用这种体系。

剪力墙结构的缺点和局限性也是很明显的，主要是剪力墙间距太小，平面布置不灵活，不适应于建造公共建筑。结构自重较大。

为了减轻自重和充分利用剪力墙的承载力和刚度，剪力墙的间距要尽可能做大些，如做成6米左右。图1-6列举了一些剪力墙结构的平面布置方式。

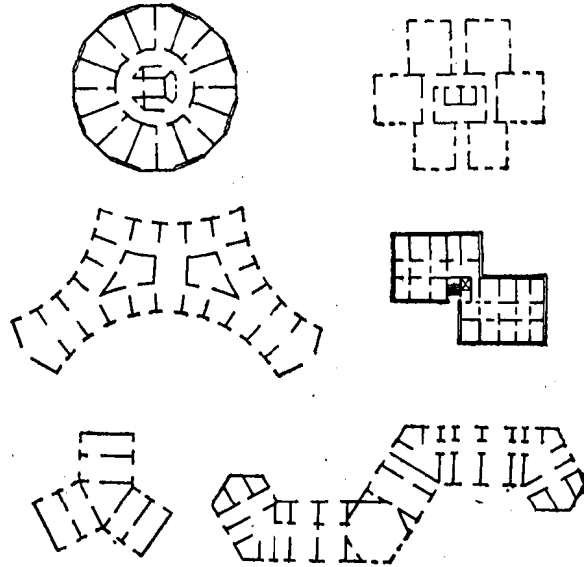


图1-6 剪力墙结构平面布置举例

当把墙的底层做成框架柱时，称为框支剪力墙，如图1-7(a)。底层柱的刚度小，形成上下刚度突变，在地震作用下底层柱会产生很大内力及塑性变形，如图1-7(b)，致使结构破坏，因此，在地震区不允许单独采用这种框支剪力墙结构。

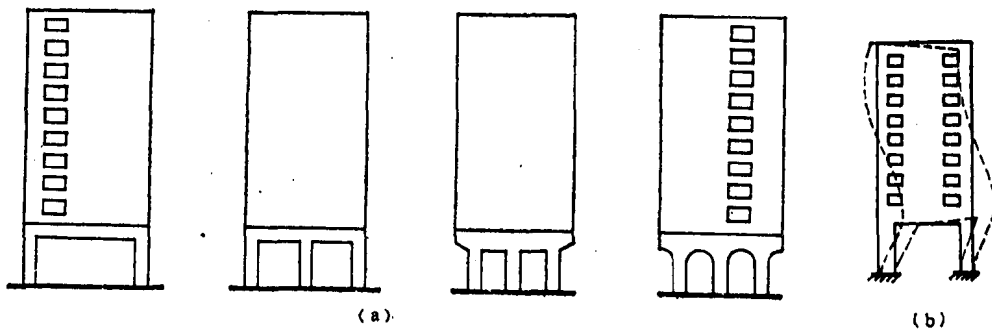


图1-7 框支剪力墙

为了满足地震区住宅建筑需要底层商店、或旅馆中底层需设置大的公用房间的要求，可做成部分剪力墙框支、部分剪力墙落地的底层大空间剪力墙结构。图1-8是底层大空间剪力墙结构的典型布置。

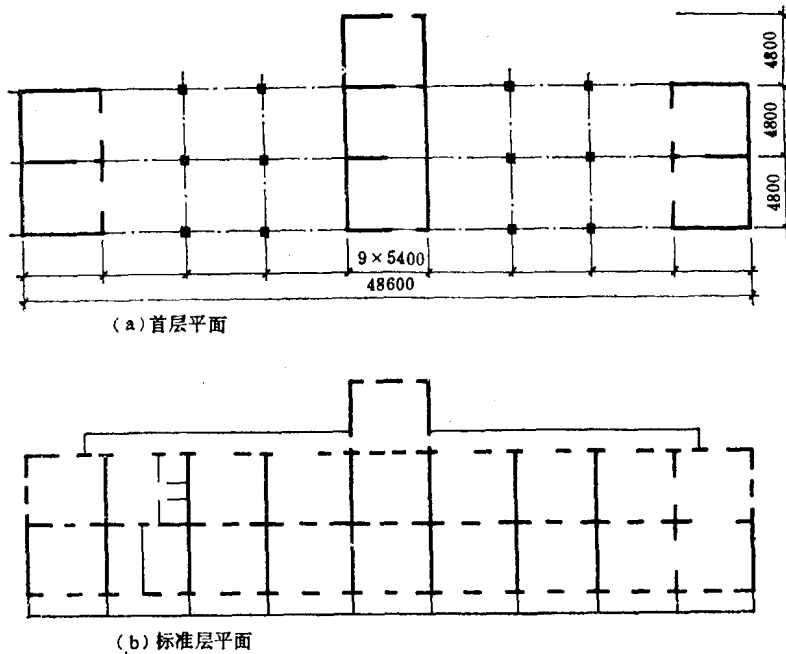


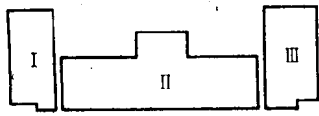
图1-8 底层大空间剪力墙结构

在底层大空间剪力墙结构中，一般应把落地剪力墙布置在两端或中部，并使纵向、横向墙围成筒体，在底层还要采取加大墙厚、提高混凝土强度等级等措施加大底层墙的刚度，使整个结构上下刚度差别减小。上部则应采用开间较大的剪力墙布置方案。因为框支剪力墙承受的剪力大部分要通过楼板传到落地剪力墙上，落地剪力墙之间的距离要加以限制（墙的距离与楼板宽度之比不超过3，抗震设计时不超过2—2.5），同时还要加强过渡层楼板的整体性和刚性（底层大空间与上部剪力墙之间的楼板称过渡层楼板），这层楼板应采用厚度较大的现浇钢筋混凝土板。

三、框架-剪力墙及框架-筒体结构体系

框架结构侧向刚度差，抵抗水平荷载能力较低，地震作用下变形大，但它具有平面灵活、有较大空间、立面处理易于变化等优点。而剪力墙结构则相反，抗侧力刚度、强度大，但限制了使用空间。把两者结合起来，取长补短，在框架中设置一些剪力墙，就成了框架-剪力墙体系。18层的北京饭店和26层上海宾馆，都是典型的框架-剪力墙结构，见图1-9和图1-10。

在北京饭店的结构平面图中可见，大多数剪力墙是单片式的散乱布置形式，这种结构刚度比较小，建造高度一般在10—20层。如果把剪力墙连在一起，做成井筒式，井筒的刚度和承载力都将大大提高，也增强了抗扭能力，因此，可以建造更高的建筑，可达30—40层。图1-10的上海宾馆楼梯和电梯间墙围成四个井筒，这种结构也称为框架-筒体结构。图1-11是更为典型的框架-筒体结构的布置方式。从受力和变形性能来看，它与框架-剪力墙结构是相同的，可统称为框架-剪力墙体系。在这种体系中，剪力墙（或筒体）常常担负大部分水平荷载，结构总体刚度加大，侧移减小。同时，由于框架和剪力墙协同工作，通过变形协调，使各层层间变形趋于均匀，改善了纯框架或纯剪力墙结构中上部和下部层



平面位置示意图

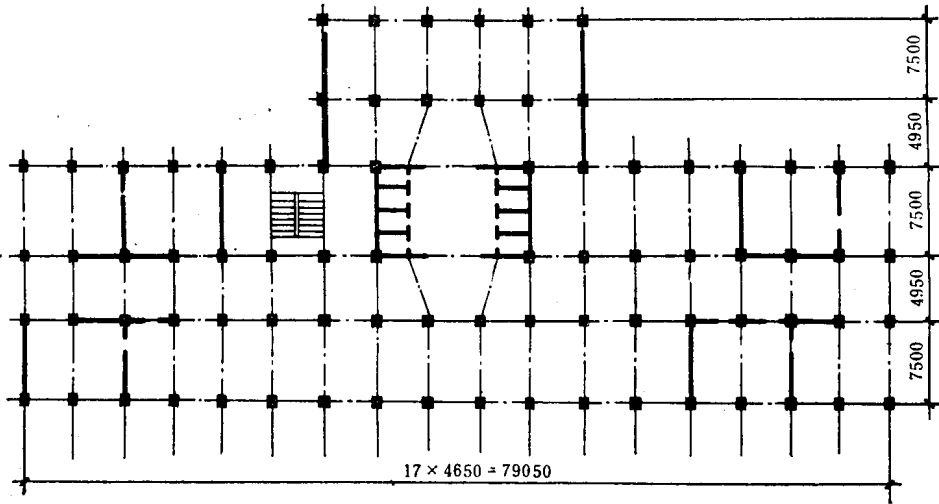


图1-9 北京饭店平面布置

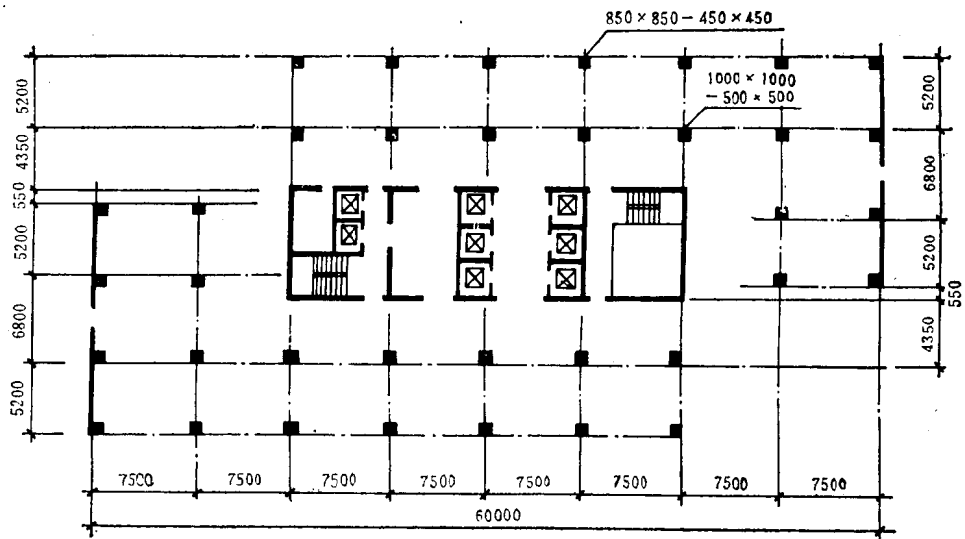


图1-10 上海宾馆平面布置

间变形相差较大的缺点，因而在地震作用下可减少非结构构件的破坏。从框架本身看，上下各层柱的受力也比纯框架柱的受力均匀，因此柱子断面、尺寸和配筋都可比较均匀。

无论从使用上，还是从受力、变形性能上看，框架-剪力墙（筒体）结构都是一种比较好的体系，在公共建筑和办公楼等建筑中得到了广泛应用。

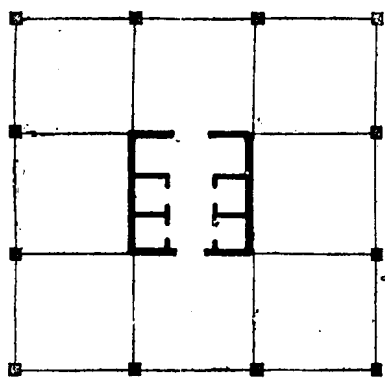


图1-11 框架-筒体结构的典型布置

框架-剪力墙结构布置的要点是剪力墙的数量和位置。剪力墙的数量和结构体形、高度有关。剪力墙多一些，结构刚度大一些，侧向变形就小一些，可减少结构及非结构构件的破坏，但剪力墙太多，不仅会增加建筑布置的困难，而且在地震作用下刚度大则地震力也大，这是不利的，通常以保证结构侧向变形不超过规范规定的限制值为宜。也可以综合考虑地基、填充墙材料、装修要求、使用情况等加以适当调整。

剪力墙布置可以灵活，但要考虑以下几点要求：

（1）剪力墙布置以对称为好，可减少结构的扭转。在地震区、要求更加严格。当不能对称布置剪力墙时，也要使刚度中心尽量和质量中心接近，减少地震作用产生的扭转。

（2）剪力墙应贯通全高，使结构上下刚度连贯而均匀。

（3）在层数不高的情况下，剪力墙可以做成T形、I形或L形，以充分发挥剪力墙的作用。在高度较大的建筑中，剪力墙要布置成井筒式，以加大结构抗侧力的刚度和抗扭刚度。这种布置方式还可以使框架柱的布置灵活，形成丰富多变的立面效果。图1-12是上海雁荡大厦的平面图，外形是十字形的。

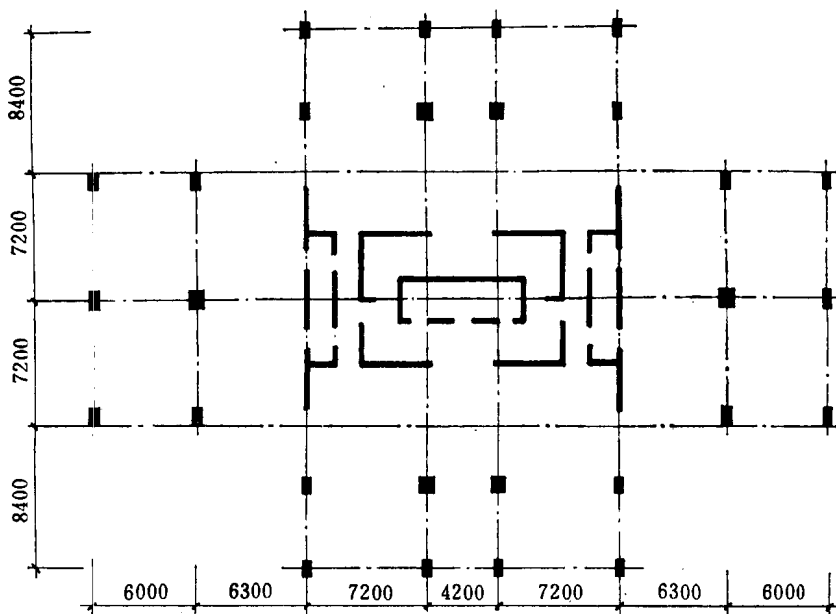


图1-12 上海雁荡大厦结构平面

(4) 剪力墙靠近结构外围布置, 可以加强结构的抗扭作用, 但要注意, 在同一轴线上又分设在两端相距较远的剪力墙, 会限制两墙之间构件的收缩和膨胀, 产生的温度应力可能造成不利影响。

(5) 在两片平行的剪力墙(或两个井筒)之间布置框架时, 两片墙之间的楼板在水平力作用下可能挠曲, 如图 1-13 所示, 对框架柱将产生不利影响。要限制剪力墙(或井筒)之间的距离与楼板宽度的比值 L/B 。剪力墙的间距不要超过下表所列的值, B 为楼板宽度。

表 1-1 横向剪力大墙的最大间距 L

楼盖形式	非抗震设计	抗震设计 设防烈度		
		6—7 度	8 度	9 度
现 浇	$\leq 5B$	$\leq 4B$	$\leq 3B$	$\leq 2B$
	$\leq 60\text{m}$	$\leq 50\text{m}$	$\leq 40\text{m}$	$\leq 30\text{m}$
装配整体	$\leq 3.5B$	$\leq 3B$	$\leq 2.5B$	—
	$\leq 50\text{m}$	$\leq 40\text{m}$	$\leq 30\text{m}$	—

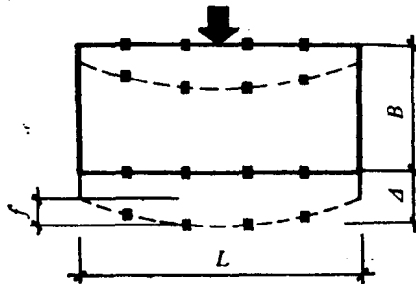


图 1-13 楼板水平变形

四、筒中筒结构体系

当建筑超出 40—50 层时, 就需要采用抗侧力刚度更大的结构体系——框筒结构或筒中筒结构体系, 见图 1-14。

框筒是在 60 年代初由美国工程师法卢齐·坎恩第一次提出来的, 他设计了第一幢框筒结构——芝加哥 43 层的德威特切斯纳特公寓。框筒通常放在建筑物的外围, 由间距很密的柱与截面很高的梁(称为窗裙梁)组成。这种密柱深梁结构, 形式上象框架, 实质上是一个开了许多窗洞的筒体, 因此称为框筒, 它是靠空间的筒体受力特性来抵抗水平力的。图 1-15 示意了在水平

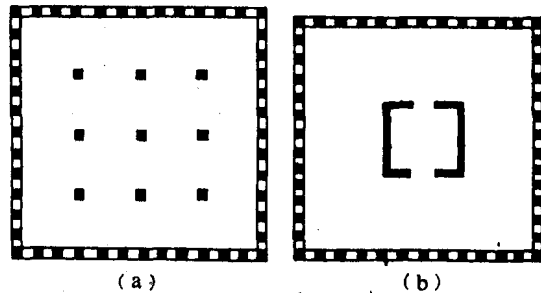


图 1-14 框筒及筒中筒结构典型平面

荷载作用下框筒柱所受的轴力分布, 迎风面柱受拉, 背风面柱受压, 腹板框架柱则有拉有压。翼缘框架中各柱轴力分布并不均匀, 由图可见, 愈靠近角部的柱所受轴力愈大。由于翼缘框架柱参加抵抗水平荷载, 整个框筒象一个悬臂筒体一样, 它的刚度和承载力都很大。

水平荷载下楼板只是一个刚性隔板，保持框筒的侧向稳定和侧向刚度，有如竹子中的竹节。楼板中板和梁则按照承受垂直荷载的要求进行设计。

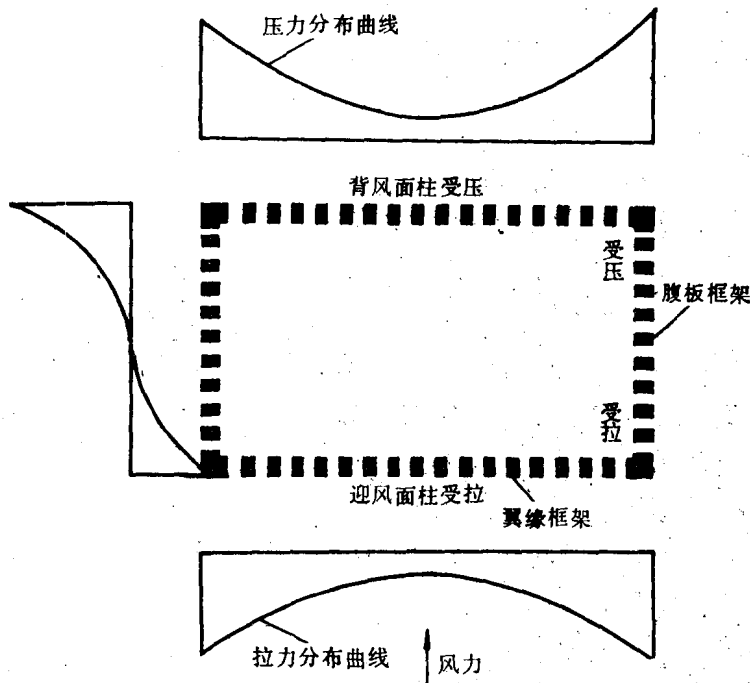


图1-15 水平作用下框筒柱轴向力分布

框筒可以作为抗侧力结构单独使用，称为框筒结构，它可形成很大的使用空间，只是为了减小楼板和梁在垂直荷载下的跨度，在房屋内部才需要设置一些柱子，见图1-14(a)，这些柱子对抵抗侧向力几乎不起作用。但是在多数情况下，都要使框筒与剪力墙组成的实腹内筒结合，形成筒中筒。见图1-14(b)。内筒中布置楼梯、电梯、竖向管道等。内、外筒之间不再设柱，内筒、外筒直接承受楼板传来的垂直荷载，并共同抵抗水平荷载，楼板除了承受垂直荷载以外，仍然可起刚性隔板的作用。这种布置方式有较大的灵活空间，使用合理，受到用户欢迎。结构上也合理，适用于较高的建筑，50层的深圳国贸大厦即采用筒中筒结构体系，平面布置见图1-2。其他如27层135m高的北京彩电中心，高130米的上海电讯大楼及63层196.6m高的广州国际大厦都是采用筒中筒结构体系。

框筒的柱距很密，大约1.2—3m，最大为4.5m，窗裙梁高度约为0.6—1.2m，宽0.3—0.5m，一般窗洞的面积不超过建筑立面面积的50%，框筒的平面形状宜接近方形或圆形，长短边比值一般不宜超过2，通常，在结构总高和总宽之比 H/B 大于3时，才能充分发挥框筒的作用。所以，在较低的建筑中，不适于采用框筒或筒中筒结构。在较低的建筑中，可以采用框架-筒体结构，它在建筑布置和使用上与筒中筒具有相同的优点，但避免了框筒所需要的密柱深梁，使设计和施工都大大简化了。

五、多筒结构

多筒结构可分为两类，一类是将多个筒体合并在一起形成束筒，见图1-16(b)；一类是在筒体之间用刚度很大的水平构件相互联系，成为巨型框架。