

钢筋混凝土高层建筑结构 实用设计手册

中国建筑科学研究院建筑结构研究所

钢筋混凝土高层建筑结构 实用设计手册

(按JGJ3-91编写)

中国建筑科学研究院建筑结构研究所

1992

前 言

近年来,我国高层建筑迅速发展,设计水平提高很快,并进行了大量的科学研究工作,积累了丰富的实践经验,取得了丰硕的研究成果。新的《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程》JGJ3-91中体现了这些经验和成果。鉴于新的高层规程对高层建筑结构的设计方法和技术要求将产生较大的变化,而广大设计人员也急需一本既能体现新的高层规程的精神,又具体且实用的书,我们组织了部分曾参与《钢筋混凝土高层建筑结构与施工规程》修编、讨论的同志,编写了这本实用设计手册,希望通过它帮助读者更好地掌握新的高层规程,并在提高我国高层建筑结构设计水平方面起一些促进作用。

本手册按新颁布的高层规程的内容,详细介绍了高层建筑结构的设计方法,着重介绍了实际应用方法、图表及实例。本书共九章,主要介绍高层建筑结构设计中建筑方案与结构设计原则、荷载和地震作用、结构分析的计算机方法,以及钢筋混凝土框架结构、剪力墙结构、框架—剪力墙结构、底部大空间剪力墙结构、筒体结构、基础等的计算分析、设计方法及设计实例。附录还介绍了旋转餐厅的设计。本书的重点是高层建筑结构的抗震设计。

参加本书编写的有:徐培福、郝锐坤、赵西安、龚炳年、李国胜、王绍豪、方鄂华、宁淦泉、黄宝清、国毓萃、付平均、黄小坤、艾利民、邵弘等。徐培福、郝锐坤对全书进行了审阅。在编写过程中引用了许多有关资料,这将在各章节中予以说明,并在此致谢。全书由周永厚同志担任责任编辑、版式设计和封面设计作了大量细致的工作,在此也一并致谢。由于本书引用资料很多,难免有疏漏之处,望有关作者予以谅解。本书所涉及的内容较广,而编者水平又有限,故难免有不当之处,盼广大读者指正,编者将不胜感谢。

编 者

1992.12.20

目 录

第一章 建筑方案与结构设计原则	1
1.1 建筑物的高度及高宽比	1
1.2 建筑物的平面和竖向形状	3
1.3 建筑结构布置	7
1.4 高层建筑的伸缩缝、沉降缝、防震缝	7
第二章 荷载和地震作用	10
2.1 竖向荷载	10
2.2 风荷载	11
2.3 地震作用	15
2.4 钢筋混凝土高层建筑结构的抗震等级	24
2.5 荷载效应和地震作用效应的组合	25
2.6 承载力抗震调整系数 γ_{RE}	26
2.7 罕遇地震作用的水平地震影响系数最大值	27
第三章 结构计算的计算机方法	28
3.1 结构计算的基本假定	28
3.2 高层建筑结构的稳定和倾覆验算	34
3.3 高层建筑结构水平位移的限值	35
3.4 高层建筑结构空间协同分析的方法	38
3.5 三维杆件空间分析方法	46
3.6 采用平面有限单元法分析剪力墙	48
3.7 高层建筑结构的动力分析方法	55
第四章 框架结构	73
4.1 框架结构布置	73
4.2 框架结构截面尺寸估算及材料强度等级	76
4.3 在竖向荷载作用下内力的近似计算——分层计算法	77
4.4 在水平荷载下内力的近似计算方法——D值法	78
4.5 在水平荷载作用下框架侧移的近似计算方法	80
4.6 框架结构的荷载效应组合及内力调整	89
4.7 框架结构构件截面、节点设计及构造	91
4.8 框架结构考虑水平地震作用时的计算实例	104
第五章 剪力墙结构	131
5.1 剪力墙结构设计一般原则	131
5.2 剪力墙内力与位移计算	135
5.3 剪力墙截面设计及配筋构造	153
5.4 高层建筑剪力墙结构计算实例	160
第六章 框架—剪力墙结构	218

6.1	框架—剪力墙结构的结构布置和要求	218
6.2	内力与位移计算	223
6.3	截面设计和构造	283
6.4	设计步骤(手算法)及例题	294
第七章	底部大空间剪力墙结构	317
7.1	结构类型和布置	317
7.2	内力与位移计算	320
7.3	截面配筋计算与构造	331
7.4	工程实例	336
第八章	筒体结构	350
8.1	筒体结构的工程应用	350
8.2	结构布置	362
8.3	截面设计与配筋构造	374
8.4	算例	378
第九章	基础	415
9.1	基础选型和埋置深度	415
9.2	地基承载力和单桩承载力	416
9.3	片筏基础	420
9.4	交叉梁基础	434
9.5	箱形基础	438
9.6	桩基础	445
9.7	箱形基础设计实例	451
附录	旋转餐厅设计	459

第一章 建筑方案与结构设计原则

建筑师和结构工程师都希望所设计的高层建筑，在建筑艺术上有所创新，房屋满足使用要求又比较经济合理，结构能经受灾害的检验。然而，在建筑方案设计阶段，这些希望往往会出现矛盾，只能依靠建筑师和结构工程师的默契配合，才能协调矛盾，获得较满意的结果。本章拟介绍建筑方案与结构设计原则的几个主要关系，希望能有助于方案设计阶段建筑师与结构工程师的协调配合，而不致束缚人们的思路和创新。

1.1 建筑物的高度及高宽比

《钢筋混凝土高层建筑结构设计与施工规程》针对我国目前钢筋混凝土高层建筑结构的混凝土强度等级和含钢率并考虑结构的经济、可靠，建筑空间不致过于受到限制等因素，对房屋适用的最大高度和适宜高宽比限值作了规定，如表1-1和表1-2所示。应当指出，如有可靠的技术依据，表中的限制数值是可以适当超过的。为开阔思路，表1-3列举国外200m以上钢筋混凝土高层建筑，表1-4列举国内超过表1-1规定高度的钢筋混凝土高层建筑，表1-5列举一些高宽比超过表1-2规定限值的高层建筑。

房屋适用的最大高度(m)

表1-1

结 构 体 系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	9 度
框 架	现 浇	60	60	55	45	25
	装配整体	50	50	35	25	/
框架—剪力墙 和 框架—筒体	现 浇	130	130	120	100	50
	装配整体	100	100	90	70	/
现浇剪力墙	无框支墙	140	140	120	100	60
	部分框支墙	120	120	100	80	/
筒中筒及成束筒		180	180	150	120	70

注：①房屋高度指室外地面至檐口高度，不包括局部突出屋面的水箱、电梯间等部分的高度。

②当房屋高度超过表中规定时，设计应有可靠依据并采取有效措施。

③位于IV类场地的建筑或不规则建筑，表中高度应适当降低。

高宽比H/B的限值

表1-2

结 构 类 型	非 抗 震 设 计	抗震设防烈度		
		6度、7度	8 度	9 度
框 架	5	5	4	2
框架—剪力墙、框架—筒体	5	5	4	3
剪 力 墙	6	6	5	4
筒中筒、成束筒	6	6	5	4

国外200米以上钢筋混凝土高层建筑

表1-3

序 号	建 筑 名 称	国 别	城 市	高 度(m)	层 数	建 成 年 份
1	311瓦克·德赖夫大厦	美 国	芝 加 哥	298	65	1990
2	1瓦克·德赖夫大厦	美 国	芝 加 哥	295	80	1990
3	水塔广场大厦	美 国	芝 加 哥	262	74	1976
4	城市大厦	美 国	纽 约	248	72	1987
5	里奥托中心	澳大利亚	墨 尔 本	243	70	1986
6	M.L.C大厦	澳大利亚	悉 尼	240	70	1976
7	图阿都罗扎克大厦	马来西亚	棕 櫚 嶼	232	61	1985
8	瑞夫城市饭店	新 加 坡	新 加 坡	226	70	1986
9	第一复兴旅馆	美 国	底 特 律	225	73	1977
10	奥林匹亚中心大厦	美 国	芝 加 哥	222	63	1981
11	桃树广场大厦	美 国	亚特兰大	220	71	1975
12	卡尔登中心大厦	南 非	约翰内斯堡	220	50	1973
13	德克萨斯贸易大厦	美 国	达 拉 斯	219	56	1987
14	首府大厦	美 国	纽 约	219	66	1986
15	贝壳广场大厦	美 国	休 斯 敦	218	50	1971
16	合和中心大厦	中 国	香 港	216	65	1981
17	南拜尔办公楼	美 国	亚特兰大	206	46	1981
18	王牌塔楼	美 国	纽 约	202	68	1983
19	华侨银行公司	新 加 坡	新 加 坡	201	52	1976
20	辉煌大厦	美 国	芝 加 哥	201	57	1933
21	帕克中心托里办公楼	委内瑞拉	加拉加斯	200	56	1979

国内超过表1-1规定高度的钢筋混凝土高层建筑

表1-4

序 号	建 筑 名 称	城 市	高 度(m)	层 数	结 构 体 系	建 成 年 份
1	广东国际大厦	广 州	189	63	筒 中 筒	1990
2	展览中心北馆主楼	上 海	165	48	框架—剪力墙	1988
3	广东省彩色电视中心	广 州	148	32	框架—剪力墙	1990
4	金陵综合业务楼	上 海	140	37	框架—筒体	1991
5	华 侨 大 厦	广 州	133	40	框架—筒体	1991
6	国际大厦	天 津	132	38	筒 中 筒	1989
7	联 合 大 厦	上 海	129	36	框架—筒体	1990
8	扬子江大饭店	上 海	128	39	框架—剪力墙	1987
9	华东电力大楼	上 海	122	30	框架—筒体	1986
10	花 园 饭 店	上 海	123	34	剪 力 墙	1989
11	新 华 社	北 京	117	28	框架—筒体	1988
12	新世纪饭店	北 京	110	34	框架—筒体	1991
13	贵 州 饭 店	贵 阳	106	20	框支剪力墙	1988

高宽比 H/B 超过表1-2限值的高层建筑

表1-5

建筑物名称	高宽比 H/B	结构材料和体系	地 点	抗震设防烈度
华盛顿纪念塔	10	钢、砖石	华 盛 顿	非抗震设计
伍尔沃斯大厦	8.7	钢	匹 兹 堡	非抗震设计
匹莱里大厦	7	钢	美 国	非抗震设计
广东省人民银行	7	钢筋混凝土 框架—剪力墙	广 州	7度
世界贸易中心	6.8	钢、筒体	纽 约	非抗震设计
西尔斯大厦	6.4	钢、筒体	芝 加 哥	非抗震设计
京广大厦	5.8	钢、筒体	北 京	8度
东北电网调度中心	5.8	钢筋混凝土 框架—剪力墙	沈 阳	7度
太平洋饭店	5.7	钢筋混凝土 框架—剪力墙	北 京	8度

1.2 建筑物的平面和竖向形状

高层建筑平面和竖向形状的选定与结构的可行性及经济性密切相关。有些建筑物其形状可以奇特，以满足业主或建筑师的构想，而结构的经济合理性已不能作为权衡得失的主要因素，图1-1为一实例。

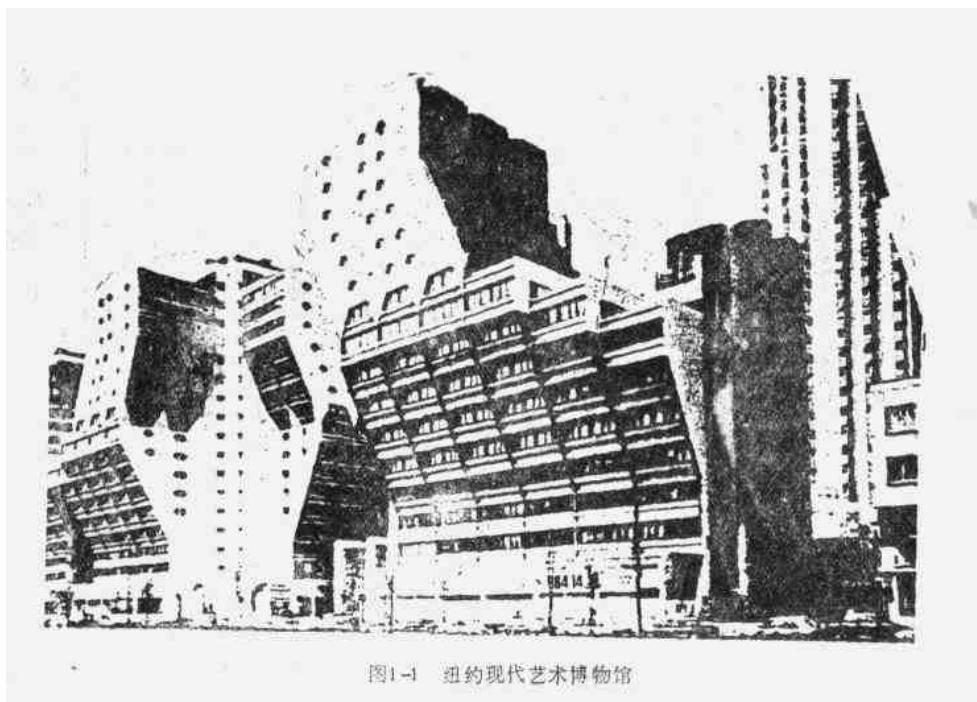


图1-1 纽约现代艺术博物馆

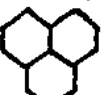
简单形状	复杂形状
  	  
  	  
  	  
  	  
	  

图1-2 高层建筑平面形状

为在方案设计阶段更好地选定建筑平面和竖向形状，使其能顾及结构的可行性和经济性，特提出下列几条原则：

(1) 尽量采用简单的平面和竖向形状(详见图1-2及图1-3)，这对结构的抗风、抗震都有利，尤其是按抗震设计的高层建筑更应该尽量采用简单的形状。

(2) 非抗震设计的高层建筑允许采用复杂的平面和竖向形状(详见图1-2及图1-3)，但不宜使平面和竖向形状都为复杂形状。

(3) 抗震设计的高层建筑，有些复杂形状是不允许采用的，有些复杂形状是有限制采用的，如图1-4所示。如需突破限制，则必须有可靠的技术依据。

(4) 抗震设计的高层建筑，应尽量避免平面和竖向形状都采用复杂形状(如图1-5)。

简 单 形 状	复 杂 形 状
	
	
	
	

图1-3 高层建筑竖向形状

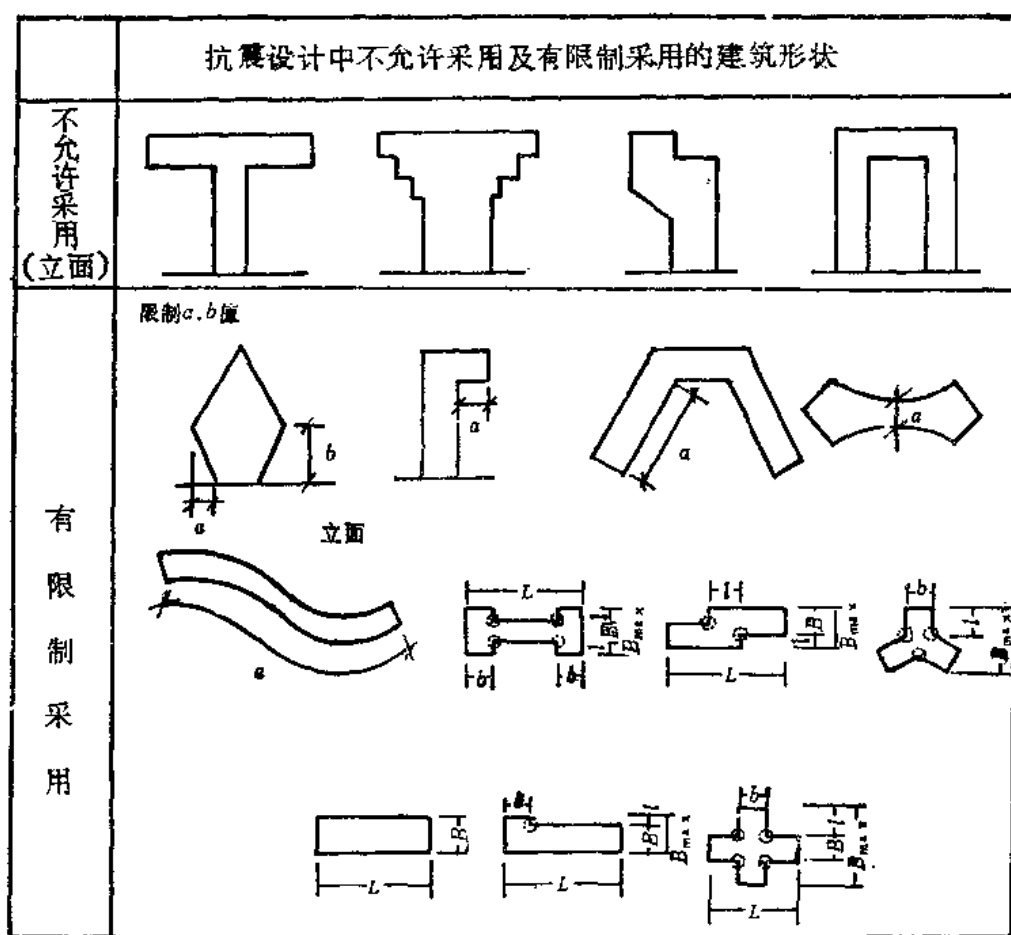


图1-4 抗震设计中不允许采用及有限制采用的建筑形状

L, l, l' 的限值

设防烈度	L/B	L/B_{max}	l/b	l'/B_{max}
6, 7度	≤ 6	≤ 5	≤ 2	≥ 1
8, 9度	≤ 5	≤ 4	≤ 1.5	≥ 1

注：平面局部突出部分尺寸 $l/b \leq 1$ 且 $l'/B_{max} \leq 0.3$ ，质量与刚度平面分布基本均匀对称时，可认为平面比较规则的建筑。

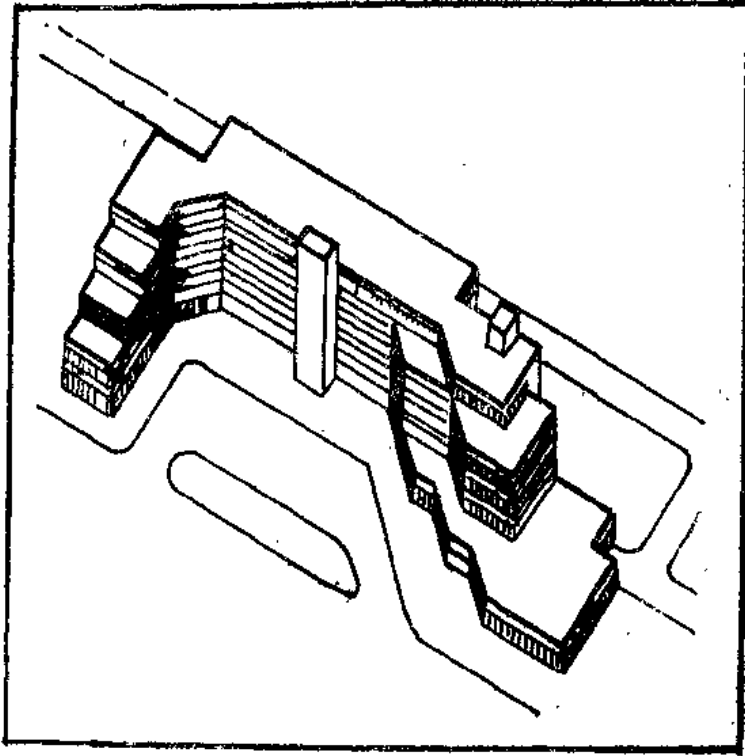


图1-5 平面和竖向均为复杂形状的建筑

1.3 建筑结构布置

为使结构经济合理、安全可靠，建筑方案设计应尽量使结构布置规则，尽量避免采用不规则的结构布置。按抗震设计的高层建筑，有些不规则结构布置方案是不允许采用的，有些则为有限制采用。图1-6列示一些不规则结构布置情况。

1.4 高层建筑的伸缩缝、沉降缝、防震缝

设计时宜调整平面形状和尺寸，采取构造和施工措施，不设伸缩缝、防震缝和沉降缝。当需要设缝时，应将高层建筑结构划分为独立的结构单元。

一、伸缩缝

1. 当高层建筑结构未采取可靠措施时，其伸缩缝间距不宜超出表1-6的限制。

2. 当屋面无保温、隔热措施，或位于气候干燥地区、夏季炎热且暴雨频繁地区的结构，可适当减小伸缩缝的间距。

3. 混凝土收缩较大或室内结构因施工外露时间较长时，伸缩缝间距应适当减小。

伸缩缝的最大间距 表1-6

结构类型	施工方法		最大间距(m)
框 架 框架-剪力墙	装 配 式		75
	现 浇	外墙装配	65
		外墙现浇	55
剪 力 墙	外墙装配		65
	外墙现浇		45

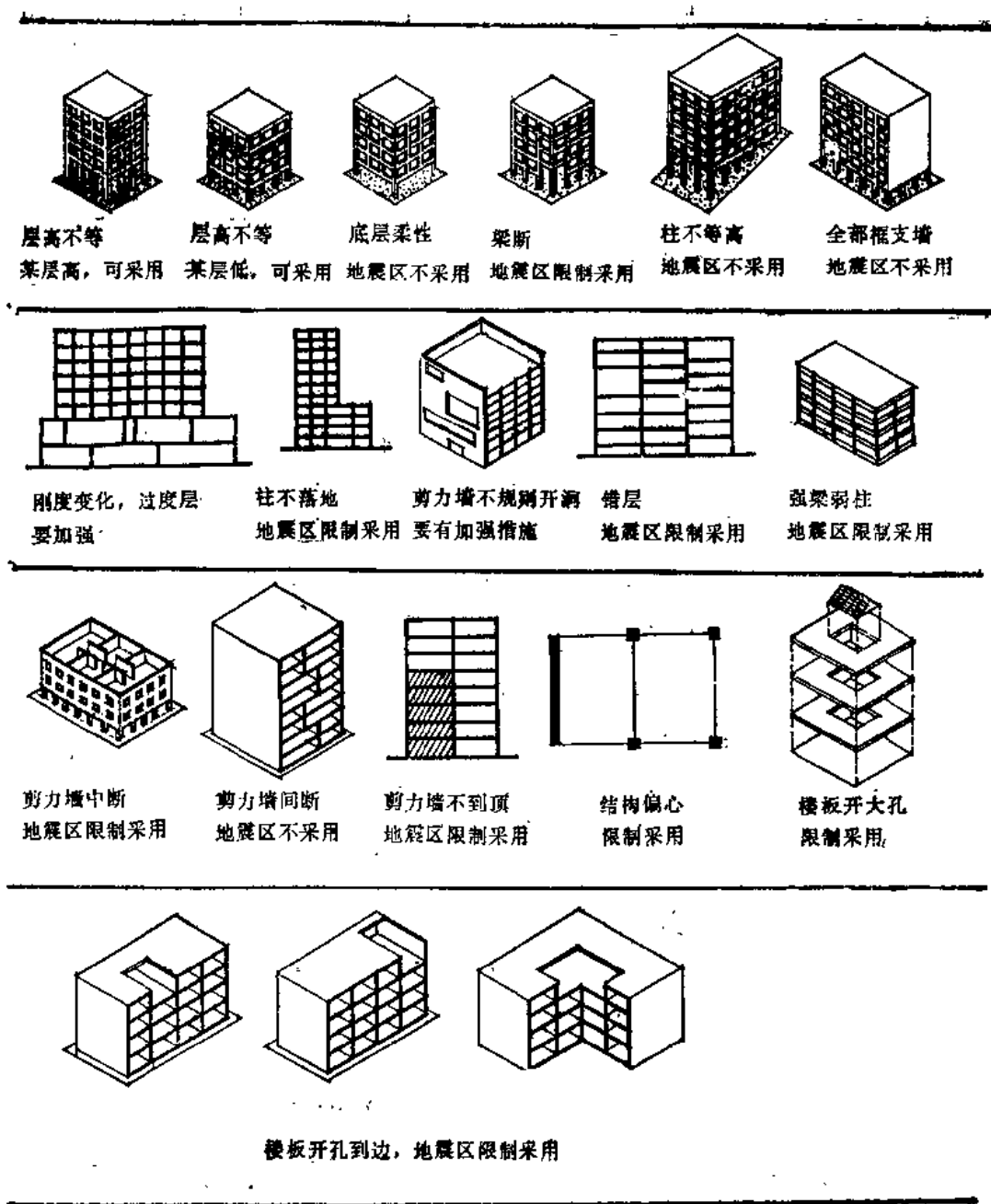


图1-8 不规则结构布置示例

二、沉降缝

1. 当建筑物相邻部位荷载悬殊或地基土层压缩性变化过大, 从而造成较大差异沉降时, 宜设置沉降缝将结构划为独立单元。高层建筑沉降缝的基本要求是相邻单元可自由沉降, 并能有效的传递水平力。

2. 高层部分与低层部分之间可采用下列措施后连为整体而不设沉降缝:

(1) 采用桩基, 桩支承在坚硬的土层上; 或采取减少沉降的有效措施并经计算, 限制沉降差在允许范围内;

(2) 主楼与裙房采用不同的基础形式, 调整土压力使沉降基本接近;

(3) 地基承载力较高, 沉降计算较为可靠时, 主楼与裙房的标高应预留沉降差, 使最后两者标高基本一致。

上述几种情况, 施工时都应在主楼与裙房之间预留后浇带, 待沉降基本稳定后再连为整体。但设计时应考虑后期沉降差的不利影响。

3. 沉降缝的宽度应考虑基础转动产生结构顶点位移的要求。

三、防震缝

需要有抗震设防的建筑, 其伸缩缝、沉降缝均应符合防震缝的要求。

1. 下列情况宜设防震缝:

(1) 平面长度 L 和突出部分 l , 其限值超过图1-4的要求而无加强措施;

(2) 房屋有较大错层;

(3) 各部分结构的刚度或荷载相差悬殊;

(4) 地基不均匀各部分的沉降差过大。

2. 防震缝的最小宽度应满足表1-7要求。

3. 防震缝的设置要求:

(1) 沿房屋全高设置;

(2) 基础可不设防震缝, 但在防震缝处基础应加强构造和连接;

(3) 不应采取牛腿托梁的做法设置防震缝。

防震缝的最小宽度(mm)

表1-7

结构类型	抗 震 设 防 烈 度			
	6	7	8	9
框 架	$4H+10$	$5H-5$	$7H-35$	$10H-80$
框架—剪力墙	$3.5H+9$	$4.2H+4$	$6H-30$	$8.5H-68$
剪 力 墙	$2.8H+7$	$3.5H-3$	$5H-25$	$7H-55$

注: H 为相邻结构单元中较低单元的层面高度(m)。

四、增大伸缩缝间距的措施

可采用下述构造措施和施工措施减少温度—收缩应力增大伸缩缝间距:

1. 在顶层、底层、山墙和内纵墙端开间等温度变化影响较大的部位提高配筋率;

2. 顶层加强保温隔热措施或采取架空通风屋面;

3. 顶部楼层改用刚度较小的结构形式或顶部设局部温度缝, 将结构划分为长度较短的区段。

4. 每隔30~40m间距留出施工后浇带, 带宽800~1000mm、钢筋搭接长度45d, 后浇混凝土一般可在60天后浇灌, 浇灌时的温度宜与主体混凝土浇灌时温度接近。

第二章 荷载和地震作用

高层建筑承受竖向荷载、风荷载和地震作用。由于高层建筑层数多、高度高，因此风荷载和地震作用对其受力起主要作用。

2.1 竖向荷载

高层建筑结构的竖向荷载包括自重、设备重和楼面活荷载。结构自重可由各构件的截面尺寸、长度、装饰材料情况，根据各种材料容重按《建筑结构荷载规范》GBJ9-87规定取值进行计算。一般统计结果，钢筋混凝土高层民用建筑单位面积的总重量包括活荷载、隔墙重量)与层数设、抗震防烈度有关：框架、框架—剪力墙结构大约为 $12\sim 14\text{kN/m}^2$ ；剪力墙和筒体结构大约为 $13\sim 16\text{kN/m}^2$ 。设备重量由有关专业提供。高层建筑结构的楼面活荷载应按《建筑结构荷载规范》GBJ9-87第3.1.1条采用。该条未规定的可按表2—1采用。楼面活荷载标准值折减系数，按《建筑结构荷载规范》GBJ9-87第3.1.2条的规定采用。

施工中采用附墙塔、爬塔等对结构受力有影响的起重机械或其他施工设备时，在结构设计中应根据具体情况验算施工荷载的影响。

民用建筑楼面均布活荷载

表2-1

项 目	活荷载标准值 (kN/m^2)	准永久值系数 ψ_q	附 注
酒吧间、舞厅、展销厅	3.0~4.0	0.5	荷载较大时 按实际情况
屋 面 花 园	4.0~5.0	0.8	
贮 藏 室	5.0~8.0	0.8	
饭店厨房、洗衣房	4.0~5.0	0.5	
健身房、娱乐室	3.0~4.5	0.5	

此外，在较高的高层建筑的顶部，如设有直升机的停机坪时，直升机的荷载可按下列式计算：

$$P = kG \quad (2-1)$$

式中 P ——直升机的荷载设计值，分布在 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 的轮子作用范围内；

G ——直升机的重量，约为 $15\sim 20\text{kN}$ ；

k ——动力系数，可取为 $2.5\sim 3.0$ 。

计算高层建筑在竖向荷载作用下的内力，一般可以不考虑楼面活荷载的不利布置，可以按活荷载满布考虑。因为高层民用建筑楼面活荷载不大，一般为 $1.5\sim 2\text{kN/m}^2$ ，只占全部竖向荷载的(10~15)%，因而楼面活荷载的最不利分布对内力产生的影响较小。当楼面活荷载较大时，可以将楼面活荷载按满布计算的梁跨中弯矩乘以1.1~1.2的放大系数。

2.2 风荷载

2.2.1 垂直作用于建筑物表面上的风荷载标准值

垂直作用于建筑物表面上的风荷载标准值应按下列式计算:

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (2-2)$$

式中 w_k ——风荷载标准值(kN/m²);

w_0 ——基本风压(kN/m²);

β_z —— z 高度处的风振系数;

μ_s ——风荷载体型系数;

μ_z ——风压高度变化系数。

基本风压 w_0 应根据《建筑结构荷载规范》GBJ9-87图6.1.2《全国基本风压分布图》中的数值乘以系数1.1采用。这是由于高层建筑应考虑50年一遇的最大风力,而《全国基本风压分布图》中的数值是根据30年一遇的10分钟最大平均风速决定的,因而需乘以1.1的系数。对于特别重要和有特殊要求的高层建筑可按《全国基本风压分布图》中的数值乘以系数1.2采用。

在进行风荷载计算时,按高层建筑所在地面粗糙程度分为三类:A类指海岸、湖岸、海岛地区;B类指中小城镇和大城市郊区;C类指有密集建筑群的大城市市区。风压高度变化系数 μ_z 应根据地面粗糙度类别按表2-2规定采用。

风压高度变化系数 μ_z													表2-2
离地面或水面 的高度(m)	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200
地面粗糙度 类别													
A类	1.17	1.38	1.53	1.80	1.93	2.03	2.12	2.20	2.27	2.34	2.40	2.64	2.83
B类	0.80	1.00	1.25	1.42	1.56	1.67	1.77	1.86	1.95	2.02	2.09	2.38	2.61
C类	0.54	0.71	0.94	1.11	1.24	1.36	1.46	1.55	1.64	1.72	1.79	2.11	2.36

风荷载体型系数 μ_s 与高层建筑的体型、平面尺寸等有关,可按下列规定采用:

(1)圆形和椭圆形平面建筑,风荷载体型系数取0.8。

(2)正多边形及截角三角形平面风荷载体型系数 μ_s 由下列式计算:

$$\mu_s = 0.8 + 1.2/\sqrt{n} \quad (2-3)$$

式中 n ——多边形的边数。

三、矩形、鼓形、十字形平面建筑(除细高的塔式建筑外)风荷载体型系数为1.3。

四、下列建筑的风荷载体型系数为1.4:

1. V形、Y形、弧形、双十字形、井字形平面建筑;
2. L形和槽形平面建筑;
3. 高宽比 H/B_{max} 大于4、长宽比 L/B_{max} 不大于1.5的矩形、鼓形平面建筑。

迎风面积取垂直于风向的最大投影面积。

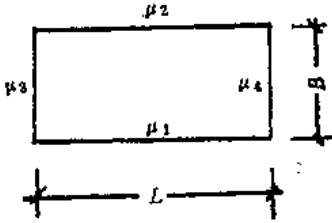
在需要更细致进行风荷载计算的情况下，风荷载体型系数由风洞试验确定或按表 2-3 采用。

复杂体型的高层建筑，当正反两个方向体型系数绝对值的和不同时，可采用两个方向中的较大值去计算风荷载的绝对值。

风荷载体型系数

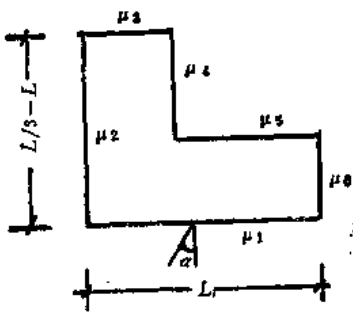
表2-3

(1) 矩形平面



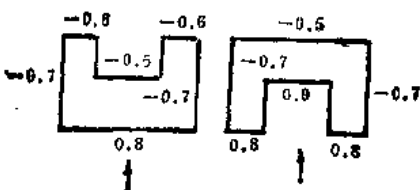
μ_1	μ_2	μ_3	μ_4
0.80	$-(0.48 + 0.03 \frac{H}{L})$	-0.60	-0.60

(2) L型平面

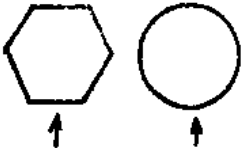


μ	μ_1	μ_2	μ_3	μ_4	μ_5	μ_6
0°	0.80	-0.70	-0.60	-0.50	-0.50	-0.60
45°	0.50	0.50	-0.80	-0.70	-0.70	-0.80
225°	-0.60	-0.60	0.30	0.90	0.90	0.30

(3) 槽形平面



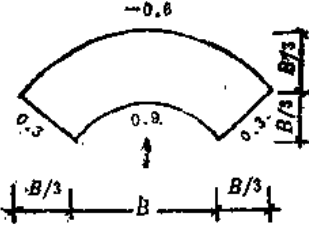
(4) 正多边形、圆形平面



$$\mu = 0.8 + \frac{1.2}{n} \quad (n \text{ 为边数})$$

(当圆形高层建筑表面较粗糙时， $\mu = 0.8$)

(5) 扇形平面



(6) 棱形平面

