

简明高层钢筋混凝土结构 设计手册

李国胜 编

中国建筑工业出版社

目 录

第一章 高层建筑结构设计的基本

规定 1

1-1 结构的极限状态 1

1-2 材料强度 1

1-3 建筑重要性分类和抗震等级 3

1-4 建筑结构的安全等级 4

1-5 裂缝控制等级及受弯构件允许 挠度 4

1-6 建筑物的高度及高宽比 6

1-7 高层建筑结构水平位移的限值 7

1-8 结构计算的基本假定 7

1-9 结构计算的方法 8

1-10 抗风和抗地震作用 10

1-11 荷载效应和地震作用效应的 组合 12

1-12 承载力抗震调整系数 γ_{RE} 13

第二章 高层建筑结构的设计荷载和

地震作用 14

2-1 竖向荷载 14

2-2 风荷载 18

2-3 地震作用 25

2-4 水平地震作用计算 29

2-5 塔楼的水平地震作用 31

2-6 竖向地震作用的计算 33

第三章 高层建筑结构体系的选择和

结构布置 34

3-1 高层建筑结构设计的特点 34

3-2 合理的结构布置 36

3-3 结构体系的选择 38

3-4 伸缩缝、沉降缝、防震缝 40

第四章 楼盖结构的设计与构造 42

4-1 钢筋混凝土楼盖分类和基本 要求 42

4-2 现浇单向板和双向板 43

4-3 现浇密肋板 51

4-4 预应力混凝土薄板叠合楼板 53

4-5 预制大楼板 54

4-6 预制预应力混凝土圆孔板 55

4-7 预制混凝土双钢筋薄板叠合 楼板 56

4-8 现浇无梁楼盖 57

4-9 后张无粘结预应力混凝土现浇 板 64

4-10 悬挑梁外端吊筋的计算 与构造 67

第五章 框架结构 69

5-1 结构布置 69

5-2 梁截面尺寸的确定及其刚度 取值 71

5-3 柱截面尺寸的确定 73

5-4 竖向荷载作用下的计算 74

5-5 水平力作用下的计算 74

5-6 构件设计中的一些重要规定 81

5-7 梁正截面受弯承载力计算及 构造 82

5-8 梁斜截面受剪承载力计算及 构造 93

5-9 斜截面受剪承载力计算应用 图表 96

5-10 柱截面设计与构造 130

5-11 柱正截面承载力计算应用 图表 144

5-12 梁柱节点受剪承载力验算 183

5-13 梁上开洞的计算及构造 191

5-14 薄弱层(部位)层间弹塑性 位移的简化计算 193

5-15 框架结构计算实例 195

5-16 附录: 钢筋截面积和新老规范混 凝土强度等级、标号及设 计强度对照 219

第六章 剪力墙结构 224

6-1 适用范围	224	第九章 筒体结构	405
6-2 结构布置	226	9-1 筒体结构分类和受力特点	405
6-3 剪力墙的分类	228	9-2 适用最大高度和高宽比	406
6-4 剪力墙的刚度计算	230	9-3 结构布置	406
6-5 内力和位移计算的简化方法	241	9-4 筒体结构计算	415
6-6 剪力墙设计内力的取值	256	9-5 筒体结构的简化计算方法	418
6-7 剪力墙的截面设计	258	9-6 截面设计和构造	427
6-8 剪力墙的构造和配筋	263	9-7 筒中筒结构计算实例	429
6-9 剪力墙结构计算实例	268	第十章 基础	435
第七章 底部大空间剪力墙结构	278	10-1 基础选型和埋置深度	435
7-1 结构类型	278	10-2 地基承载力	435
7-2 结构布置	279	10-3 基础变形计算	437
7-3 转换层结构	281	10-4 上部结构的嵌固部位	448
7-4 内力、位移计算和内力取值	283	10-5 单独柱基	449
7-5 截面设计和配筋构造	290	10-6 交叉梁基础	452
第八章 框架—剪力墙结构	295	10-7 筏形基础	454
8-1 框剪结构的特点	295	10-8 箱形基础	471
8-2 适用高度及高宽比	296	10-9 桩基	479
8-3 结构布置	297	10-10 桩基承台	509
8-4 剪力墙合理数量的确定方法	298	10-11 箱形基础设计实例	513
8-5 刚度计算	301	第十一章 高层建筑的若干特殊结构	
8-6 内力与位移计算	304	设计	520
8-7 地震作用下内力调整	381	11-1 高层主楼与裙房之间基础	
8-8 扭转影响的近似计算	382	处理	520
8-9 截面设计和构造	384	11-2 旋转餐厅	527
8-10 简化手算方法设计步骤	387	11-3 加强层	537
8-11 框架—剪力墙结构设计实例	390	11-4 预制外墙板	542
8-12 一级剪力墙截面承载力计算		11-5 玻璃幕墙	547
例题	402	参考文献	552

第一章 高层建筑结构设计的基本规定

1-1 结构的极限状态

钢筋混凝土构件应进行下列两类极限状态的计算和验算：

1. 承载能力极限状态

- (1) 承载力计算—所有结构构件；
- (2) 抗震的承载力计算—地震区的结构；
- (3) 疲劳强度验算—工业建筑吊车构件；
- (4) 稳定验算—所有压屈构件的计算；某些结构或构件在必要时应进行倾覆和滑移的

验算。

2. 正常使用极限状态

- (1) 变形（挠度）—有关构件；
- (2) 抗裂—不允许开裂的构件；
- (3) 裂缝宽度—允许开裂的有关构件。

1-2 材 料 强 度

1. 混凝土的强度设计值、强度标准值及弹性模量见表 1-1。

混凝土的强度设计值、弹性模量和强度标准值 表 1-1

混 凝 土 强度等级	强度设计值 (N/mm ²)			弹性模量 E_c (kN/mm ²)	强度标准值 (N/mm ²)		
	轴心抗压 f_c	弯曲抗压 f_{cm}	抗拉 f_t		轴心抗压 f_{ck}	弯曲抗压 f_{cmk}	抗拉 f_{tk}
C7.5	3.7	4.1	0.55	14.5	5.0	5.5	0.75
C10	5.0	5.5	0.65	17.5	6.7	7.5	0.9
C15	7.5	8.5	0.90	22.0	10.0	11.0	1.2
C20	10.0	11.0	1.10	25.5	13.5	15.0	1.5
C25	12.5	13.5	1.30	28.0	17.0	18.5	1.75
C30	15.0	16.5	1.50	30.0	20.0	22.0	2.0
C35	17.5	19.0	1.65	31.5	23.5	26.0	2.25
C40	19.5	21.5	1.80	32.5	27.0	29.5	2.45
C45	21.5	23.5	1.90	33.5	29.5	32.5	2.6
C50	23.5	26.0	2.00	34.5	32.0	35.0	2.75
C55	25.0	27.5	2.10	35.5	34.0	37.5	2.85
C60	26.5	29.0	2.20	36.0	36.0	39.5	2.95

注：1. 计算现浇钢筋混凝土轴心受压及偏心受压构件时，如截面的长边或直径小于 300 mm，则表中混凝土的设计强度应乘以系数 0.8，当构件质量（如混凝土成型、截面和轴线尺寸等）确有保证时，可不受此限；
2. 离心混凝土的设计强度应按专门规定取用。

钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C15；当采用Ⅱ级钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C20；当采用Ⅲ级钢筋以及对承受重复荷载的构件，混凝土强度等级不得低于 C20。预应力混凝土结构的混凝土强度等级不宜低于 C30；当采用碳素钢丝、钢绞线、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C40，抗震等级为一级的框架梁、柱和节点不宜低于 C30。

2. 钢筋（钢丝）的强度设计值、弹性模量和强度标准值见表 1-2。

钢筋(钢丝)的强度设计值、弹性模量和强度标准值 表 1-2

钢 筋 种 类		符 号	强度设计值(N/mm ²)		弹性模量 E _s (kN/mm ²)	强度标准值 f _{yk} (f _{pyk}) (N/mm ²)
			受拉 f _y (f _{py})	受压 f _y (f _{py})		
热轧钢筋	I 级(A3、AY3)	Φ	210	210	210	235
	Ⅱ级(20 锰硅, 20 锰钒半)d≤25	Φ	310	310	200	335
	d=28~40		290	290		315
	Ⅲ级(25 锰硅)	Φ	340	340	200	370
冷拉钢筋	Ⅳ级(40 硅 2 锰钒) 45 硅 锰钒、 45 硅 2 锰钛	Φ	500	400	200	540
	I 级(d≤12)	Φ ^l	250	210	210	280
	Ⅱ级 d≤25 d=28~40	Φ ^l	380 360	310 290	180	450 430
	Ⅲ级	Φ ^l	420	340	180	500
热处理钢筋	40 硅 2 锰(d=6.0) 48 硅 2 锰(d=8.2) 45 硅 2 铬(d=10.0)	Φ ^l	1000	400		700
	碳素钢丝 Φ4 Φ5	Φ ^s	1130 1070	400	200	1670 1570
	刻痕钢丝 Φ5	Φ ^k	1000	360	180	1470
钢绞线	d=9.0(7Φ3) d=12.0(7Φ4) d=15.0(7Φ5)	Φ ^j	1130 1070 1000	360	180	1670 1570 1470
冷拔低碳钢丝	甲级: Φ4 Φ5	Φ ^b	I 组 460 430	II 组 430 400	400	I 组 700 650
	乙级: Φ3~Φ5 用于焊接骨架和焊接网时 用于绑扎骨架和绑扎网时				200	II 组 650 600
			320 250	320 250	200	550

- 注：1. 热轧钢筋和冷拉钢筋的强度标准值系指钢筋的屈服强度；
2. 碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线、冷拔低碳钢丝和热处理钢筋的标准强度系指抗拉强度；
3. 在钢筋混凝土结构中，轴心受拉和小偏心受拉构件的受拉钢筋设计强度大于 310N/mm² 时，仍应按 310 N/mm² 取用；其他构件的受拉钢筋设计强度大于 340N/mm² 时，仍应按 340N/mm² 取用；对直径大于 12mm 的 I 级钢筋，如经冷拉，不得利用冷拉后的强度；
4. 当钢筋混凝土结构的混凝土强度等级为 C10 时，光面钢筋的强度设计值应按 190N/mm² 采用，变形钢筋（包括月牙纹钢筋和螺纹钢筋）的强度设计值应按 230N/mm² 取用；
5. 构件中配有不同种类的钢筋时，每种钢筋根据其受力情况采用各自的设计强度。

非预应力钢筋宜采用Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级钢筋和乙级冷拔低碳钢丝。
预应力钢筋宜采用碳素钢丝、刻痕钢丝、钢绞线和热处理钢筋，以及冷拉Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级钢筋。对中、小型构件中的预应力钢筋，可采用甲级冷拔低碳钢丝。

1-3 建筑重要性分类和抗震等级

1. 按建筑物受地震破坏时产生的后果，《建筑抗震设计规范》对建筑重要性规定了四类：

甲类建筑—特殊要求的建筑，如遇地震破坏会导致严重后果的建筑，必须经国家规定的批准权限批准，抗震设计需采取专门的处理。

乙类建筑—国家重点抗震城市的生命线工程的建筑，包括医疗、广播、通讯、交通、供水、供电、供气、消防等建筑。这类建筑可适当增加抗震措施，一般情况地震力不提高，也不采用重要性系数调整。

丙类建筑—一般工业与民用建筑，抗震设计和抗震措施均按当地的设防烈度考虑。

丁类建筑—次要的建筑。高层建筑没有此类建筑。

2. 高层建筑的现浇钢筋混凝土结构，根据抗震设防烈度、结构类型、房屋高度、抗侧力结构的主次程度，划分抗震等级。

在决定结构抗震等级时，应按表 1-3 的规定选用在决定抗震等级时所考虑的设防烈度。

决定抗震等级应考虑的设置烈度 表 1-3

建筑类别		丙类	乙类	甲类
设防烈度		6、7、8、9	6、7、8、9	
决定抗震等级时、考虑的设防烈度	I类场地 I~V类场地	6、6、7、8 6、7、8、9	6、7、8、9 7、8、9 ^①	应采取特殊的抗震措施

① 9度设防时，抗震措施可适当提高。

结构抗震等级应按表 1-4 采用。

钢筋混凝土高层建筑的抗震等级 表 1-4

结构类型		设防烈度								
		6		7		8		9		
		≤25	>25	≤35	>35	≤35	>35		≤25	
框架结构	高度 (m)	≤25	>25	≤35	>35	≤35	>35		≤25	
	框架	四	三	三	二	二	一		一	
框架—剪力墙结构	高度 (m)	≤50	>50	≤60	>60	<50	50~80	>80	≤25	>25
	框架	四	三	三	二	三	二	一	二	一
框架—筒体结构	筒体									
	剪力墙	三		二	二	二	一	一	一	一

续表

结 构 类 型		设 防 烈 度								
		6		7		8			9	
剪力墙结构	高度 (m)	≤60	>60	≤80	>80	<35	35~80	80~100	≤25	>25
	一般剪力墙	四	三	三	二	三	二	一	二	一
底层大空间剪力墙结构	底层大	剪力墙	三	二	二	二	一	不宜采用	不应采用	
	空间层		三	二	二	一	二			
筒中筒结构	高度 (m)	60~180		60~150		60~80	80~100		60~70	
成束筒结构	框 架	三		二		二	一		一	
	剪 力 墙	三		二		一	一		一	

对于四级抗震等级的结构，除截面设计按有关规定外，均按非抗震设计采用。框架—剪力墙结构中，当剪力墙部分承受的地震倾覆力矩，包括框架与剪力墙之间连梁的约束作用，其值不大于结构总地震倾覆力矩值的 50% 时，其框架部分的抗震等级应按框架结构采用。底层大空间剪力墙结构，其转换层以上的剪力墙的抗震等级应按一般剪力墙的抗震等级采用。表 1-4 中所列的高度指室外地面至檐口的高度。

1-4 建筑结构的安全等级

1. 根据建筑结构破坏后果的严重程度，按《混凝土结构设计规范》划分了三个安全等级，在作用效应组合时应按不同的安全等级考虑结构重要性系数。建筑结构的安全等级和结构重要性系数见表 1-5。

建筑结构的安全等级及结构重要性系数 表 1-5

安全等级	破坏后果	建筑物类型	结构重要性系数 γ₀
一级	很严重	重要的建筑物	1.1
二级	严重	一般的建筑物	1.0
三级	不严重	次要的建筑物	0.9

2. 对有特殊要求的建筑物，其安全等级可根据具体情况另行确定。在抗震设计中，不考虑结构构件的重要性系数。

3. 建筑物中各类结构构件使用阶段的安全等级，宜与整个结构的安全等级相同，对其部分结构构件的安全等级，可根据其重要程度适当调整，但一切构件的安全等级在各个阶段均不得低于三级。

对承受恒载为主的轴心受压柱、小偏心受压柱，其安全等级应提高一级。

1-5 裂缝控制等级及受弯构件允许挠度

1. 结构构件设计时，应根据使用要求选用不同的裂缝控制等级，裂缝控制等级的划分

应符合下列规定：

一级—严格要求不出现裂缝的构件，按荷载短期效应组合进行计算时，构件受拉边缘混凝土不应产生拉应力；

二级—一般要求不出现裂缝的构件，按荷载长期效应组合进行计算时，构件受拉边缘混凝土不应产生拉应力，而按荷载短期效应组合进行计算时，构件受拉边缘混凝土允许产生拉应力，但拉应力不应超过 $\alpha_{ct}\gamma f_{tk}$ ，此处， α_{ct} 为混凝土拉应力限制系数； γ 为受拉区混凝土塑性影响系数； f_{tk} 为混凝土抗拉强度标准值；

三级—允许出现裂缝的构件，最大裂缝宽度按荷载的短期效应组合，并考虑长期效应组合的影响进行计算，其计算值不应超过允许值。

2. 钢筋混凝土和预应力混凝土结构构件的裂缝控制等级、混凝土拉应力限制系数 α_{ct} 及最大裂缝宽度允许值，应根据结构构件的工作条件和钢筋种类按表 1-6 采用。对裂缝控制有特殊要求的构件，表 1-6 规定的数值应适当减小。

裂缝控制等级、混凝土拉应力限制系数及最大裂缝宽度允许值（mm） 表 1-6

钢筋种类 结构构件工作条件		钢筋混凝土结构	预应力混凝土结构	
		I 级钢筋 II 级钢筋 III 级钢筋	冷拉 II 级钢筋 冷拉 III 级钢筋 冷拉 IV 级钢筋	碳素钢丝 刻痕钢丝 钢绞线 热处理钢筋 冷拔低碳钢丝
室内正常环境	一般构件	三级 0.3 (0.4)	三级 0.2	二级 $\alpha_{ct}=0.5$
	屋面梁、托梁	三级 0.3	二级 $\alpha_{ct}=1.0$	二级 $\alpha_{ct}=0.5$
	屋架、托架	三级 0.2	二级 $\alpha_{ct}=0.5$	二级 $\alpha_{ct}=0.3$
露天或室内高湿度环境		三级 0.2	二级 $\alpha_{ct}=0.5$	一级

注：1. 属于露天或室内高湿度环境的结构构件系指：直接受雨淋的构件；无围护结构的房屋中经常受雨淋的构件；经常受蒸汽或凝结水作用的室内构件（如浴室等）；与土壤直接接触的构件；

2. 对处于年平均相对湿度小于 60% 地区，且可变荷载标准值与恒载标准值之比大于 0.5 的受弯构件，其最大裂缝宽度允许值可采用括号内的数字；

3. 表中预应力结构构件的混凝土拉应力限制系数及最大裂缝宽度允许值仅适用于正截面的验算，斜截面的验算应符合《混凝土结构设计规范》第五章的规定。

3. 受弯构件的最大挠度应按荷载的短期效应组合，并考虑长期效应组合的影响进行计算，其计算值不应超过表 1-7 的允许值。

受弯构件的允许挠度 表 1-7

构 件 类 型	允许挠度 (以计算跨度 l_0 计算)
屋盖、楼盖及楼梯构件	
当 $l_0 \leq 7\text{m}$ 时	$l_0/200$ ($l_0/250$)
当 $7 \leq l_0 \leq 9\text{m}$ 时	$l_0/250$ ($l_0/300$)
当 $l_0 > 9\text{m}$ 时	$l_0/300$ ($l_0/400$)

注：1. 如果构件制作时预先起拱，且使用上也允许，则在验算挠度时，可将计算所得的挠度值减去起拱值，预应力混凝土构件尚可减去预加应力所产生的反拱值；
2. 表中括号中的数值适用于使用上对挠度有较高要求的构件；
3. 悬臂构件的允许挠度值按表中相应数值乘以系数 2.0 取用。

1-6 建筑物的高度及高宽比

1. 高层建筑适用的最大高度见表 1-8。如有可靠的技术依据，表中的限制数值可以适当超过，但设防烈度为 6 度、7 度和 8 度，且房屋高度分别超过 120m、100m 和 80m 时，不宜采用有框支层的现浇剪力墙结构，9 度时，不应采用。

房屋适用的最大高度 (m) 表 1-8

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 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、楼梯间等部分的高度；
2. 位于Ⅳ类场地的建筑或不规则建筑，表中高度应适当降低；
3. 当房屋高度超过表中规定高度时，设计应有可靠依据，并采取有效措施。

2. 高层建筑结构的高宽比不宜超过表 1-9 的限值。

高宽比 H/B 的限值 表 1-9

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
现浇剪力墙	6	6	5	4
筒中筒、成束筒	6	6	5	4

1-7 高层建筑结构水平位移的限值

1. 正常使用条件下，高层建筑结构应处于弹性状态，并且有足够的刚度，避免产生过大的位移而影响结构的承载力、稳定性和使用条件。按弹性方法计算的楼层层间位移与层高之比 $\Delta u/h$ 不宜超过表 1-10 的限值。

$\Delta u/h$ 的 限 值 表 1-10

结 构 类 型		风荷载作用下	地震作用下
框 架	轻质隔墙	1/450	1/400
	砌体填充墙	1/500	1/450
框架—剪力墙 框架—筒体	一般装修标准	1/750	1/650
	较高装修标准	1/900	1/800
筒中筒	一般装修标准	1/800	1/700
	较高装修标准	1/950	1/850
剪力墙	一般装修标准	1/900	1/800
	较高装修标准	1/1100	1/1000

2. 按弹性方法计算的结构顶点位移与房屋总高度之比 u/H 不宜超过表 1-11 的限值。
在高层建筑中，一般情况下，水平位移以楼层层间位移与层高之比 $\Delta u/h$ 起控制作用。

u/H 的 限 值 表 1-11

结 构 类 型		风荷载作用下	地震作用下
框 架	轻质隔墙	1/550	1/500
	砌体填充墙	1/650	1/550
框架—剪力墙 框架筒体	一般装修标准	1/800	1/700
	较高装修标准	1/950	1/850
筒中筒	一般装修标准	1/900	1/800
	较高装修标准	1/1050	1/950
剪力墙	一般装修标准	1/1000	1/900
	较高装修标准	1/1200	1/1100

1-8 结构计算的基本假定

1. 高层建筑结构的内力与位移按弹性方法计算。在非抗震设计时，在竖向荷载和风荷载作用下，结构处于正常使用状态，处于弹性工作阶段；在抗震设计时，结构计算按多遇的小震进行，此时结构处于不裂不坏的弹性阶段。

对于某些局部构件，由于按弹性计算所得的内力过大，出现截面设计困难而配筋不合理，故可考虑这些构件的塑性变形内力重分布，对内力作适当调幅，如框架梁在竖向荷载

作用下,梁端支座负弯矩可乘以调幅系数 0.7 至 0.9;剪力墙结构和框架—剪力墙结构中的连梁,当弯矩和剪力过大时,一般允许调幅 20%;框架—剪力墙结构和剪力墙结构中连梁的刚度,可以按具体情况予以折减,但折减系数不应小于 0.55。

对于罕遇地震的第二阶段设计,绝大多数结构不要求进行内力和位移计算,“大震不倒”通过构造要求予以保证。按规定只对楼层屈服强度系数 ξ_y 小于 0.5 的框架结构和甲类建筑结构,宜进行高于本地区设防烈度预估的罕遇地震作用下薄弱层(部位)的变形进行验算。

2. 高层建筑结构应考虑整体共同工作,在风荷载或地震作用下按各抗侧力构件的抗侧刚度进行整体协同工作分析。

3. 在高层建筑结构的内力和位移计算时,一般情况下可以假定楼板在自身平面内为绝对刚性,其刚度为无限大,平面外的刚度可以不考虑。

在下列情况下,楼板的变形比较显著,此时楼板刚度无限大的假定不适用,按刚性楼面假定的计算结果应加以修正,或采用考虑楼板刚度的计算方法:

- (1) 楼面有很大的开洞或缺口,宽度削弱;
- (2) 平面上有较长的外伸段;
- (3) 底层大空间剪力墙结构的转换层;
- (4) 楼面的整体性较差。

在无梁楼盖中,由于没有框架梁,楼板起等效框架梁的作用,这时楼板的平面外刚度即为等效框架的刚度。

4. 高层建筑结构分析时,采用简化的手算方法,除考虑各杆件的弯曲变形外,对于高度 50m 以上或高宽比大于 4 的结构,宜考虑柱和墙轴向变形的影响;剪力墙宜考虑剪切变形。当采用电子计算机计算时,如用平面抗侧力结构空间协同工作分析方法,应考虑梁的弯曲与剪切变形,对柱、墙应考虑弯曲、剪切和轴向变形;采用杆件系统三维空间分析时,除上述变形外,梁、柱、墙均应考虑扭转变形,墙肢还应考虑截面翘曲。

在考虑轴向变形影响时,宜考虑施工过程分层施加竖向荷载,层数较多时,不能简单按一次加载考虑,否则会出现一些不合理的计算结果,如邻近剪力墙和筒体的上层框架梁出现过大弯矩与剪力等。当计算机程序中未进行分层加载计算时,宜适当调整部分内力计算结果。

1-9 结构计算的方法

1. 高层建筑结构采用简化方法进行内力与位移计算时,可将高层建筑结构沿两个正交主轴划分为若干面抗侧力结构,每一个方向上的水平荷载和水平地震作用由该方向上的平面抗侧力结构承受,垂直于水平荷载和水平地震作用方向的抗侧力结构不参加工作,由楼面位移保持直线分布的条件进行水平力分配;在不考虑扭转影响时,由同一楼层水平位移相等的条件进行水平力分配。

如抗侧力结构与主轴斜交时,应考虑抗侧力结构在两个主轴方向上各自的功能。

2. 在进行内力协同计算、自振周期和稳定性计算中,为了按简化计算方法中考虑轴向变形和剪切变形对抗侧力结构刚度的影响,可采用等效刚度的方法或其它有效的方法。当

采用等效刚度时, 抗侧力结构的刚度可以按顶点位移相等的原则折算为竖向悬臂受弯构件的等效刚度。

沿竖向刚度比较均匀的结构, 其等效刚度 EI_{eq} 可分别按下列方法计算:

(1) 对于单肢实体墙, 按整截面计算的剪力墙和整体小开口墙, 可按下式计算其等效刚度:

$$E_c I_{eq} = \frac{E_c I_w}{1 + \frac{9\mu I_w}{A_w H^2}} \quad (1-1)$$

式中 $E_c I_{eq}$ ——等效刚度;

E_c ——混凝土的弹性模量;

I_w ——剪力墙的惯性矩, 小洞口整截面墙取组合截面惯性矩, 整体小开口墙取组合截面惯性矩的 80%;

A_w ——无洞口剪力墙的截面面积; 小洞口整截面墙取折算截面面积; $A_w =$

$$\left[1 - 1.25 \sqrt{\frac{A_{op}}{A_t}} \right] A; \text{ 整体小开口墙取墙肢截面面积之和 } A_w = \sum_{i=1}^m A_i;$$

A ——墙截面毛面积;

A_{op} ——墙面洞口面积;

A_t ——墙面总面积;

A_i ——第 i 墙肢截面面积;

H ——剪力墙总高度;

μ ——截面形状系数, 矩形截面 $\mu=1.2$ 。

(2) 单片联肢墙、壁式框架和框架—剪力墙可采用倒三角形分布荷载或均布荷载, 计算出顶点位移, 然后按下式之一折算其等效刚度:

$$\left. \begin{aligned} \text{采用均布荷载时: } E_c I_{eq} &= \frac{qH^4}{gu_1} \\ \text{采用倒三角形分布荷载时: } E_c I_{eq} &= \frac{11q_{max}H^4}{120u_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中 $E_c I_{eq}$ ——等效刚度;

q 、 q_{max} ——计算顶点位移 u_1 、 u_2 时所用的均布荷载值和倒三角形分布荷载的最大值;

u_1 、 u_2 ——分别为由均布荷载和倒三角形分布荷载产生的结构顶点水平位移。

当所采用的内力、位移计算方法直接计算其等效刚度时, 可不必再按公式 (1-2) 进行折算。

3. 高层建筑结构的电子计算机计算, 可采用下列方法:

(1) 空间协同工作的分析方法

其基本计算图形与手算方法大致相同, 将高层建筑结构划分为若干片正交或斜交的平面抗侧力结构, 对任一方向的水平荷载和水平地震作用, 所有正交和斜交的抗侧力结构均参加工作, 由空间位移协调条件进行水平力的分配。这一方法可应用于框架、框架—剪力墙和剪力墙等较为规则结构的计算。

(2) 三维杆件—薄壁杆件空间分析方法

这种分析方法是将高层建筑结构作为空间体系，梁和柱为空间杆件，每端 6 个自由度；剪力墙作为空间薄壁杆件，每端 7 个自由度（除如梁、柱杆件每端 6 个自由度外，另需考虑截面的翘曲角所对应的杆端力双力矩），由矩阵位移法形成线性方程组求解。这一方法适用于高层建筑，特别是平面不规则、体型复杂的建筑结构，成为最广泛应用的高层建筑结构分析方法。

(3) 剖分为有限元或有限条进行应力分析的方法

在结构较复杂、确有必要而且计算机容量也许可的情况下，剪力墙、筒体、楼板等构件可以剖分为有限元、有限条，进行更细致的应力分析。但由于实际工程层数多、杆件多，采用此方法较困难。对于框支剪力墙等局部构件，可采用有限元分析作为整体分析的补充。

4. 高层建筑结构应根据不同情况，分别采用以下的地震作用计算方法：

(1) 高度不超过 40m、以剪切变形为主且质量和刚度沿高度分布比较均匀的高层建筑结构，可采用底部剪力法。

(2) 除 (1) 所述以外的高层建筑结构宜采用振型分解反应谱法。

(3) 下列情况宜采用时程分析法进行补充计算：

1) 刚度与质量沿竖向分布特别不均匀的高层建筑结构；

采用时程分析法的乙、丙

类高层建筑结构

表 1-12

7 度、8 度的 I、II 类场地	>80m
8 度的 III、IV 类场地，9 度	>60m

2) 甲类高层建筑结构；

3) 表 1-12 所列的乙、丙类高层建筑结构。

采用时程分析法宜按烈度、近震、远震和场地类别选用适当数量的实际地震记录或人工模拟

的加速度时程曲线，所求得的底部剪力小于底部剪力法或振型分解反应谱法求得的底部剪力的 80% 时，至少按 80% 取用。

采用时程分析法时，通常可以采用的地震加速度记录有：

(1) 在建场地的实际地震记录，这是最为真实，有可能出现的地震记录，如在唐山市建的工程可选用迁安记录；天津市建的工程可选用宁河记录等。

(2) 类似场地上的实际地震记录，如建筑在 I 类场地上的工程可选用迁安、松潘地震记录；II 类和 III 类场地可选用美国 Elcentro 和 Tafat 地震记录；III 类和 IV 类场地可选用天津宁河地震记录。多数工程都可采用这类地震记录进行分析。

(3) 拟建场地的模拟人工地震波，可由当地地震部门根据场地地质情况，提供所建场地可能产生的人工地震记录。

(4) 根据抗震规范的反应谱曲线生成的人工波，例如，根据 II 类场地土生成的 MMW 人工地震波等。

采用时程分析法计算时，每个工程一般至少选用 3 条以上的地震波进行计算，以较大的反应值来控制设计。

1-10 抗风和抗地震作用

1. 高层建筑设计中，应优先选择抗风和抗震性能好而经济合理的结构体系及建筑

体型，在构造上应加强连接。

2. 在高层建筑的抗风设计中，应保证结构有足够承载力，必须具有足够的刚度；控制在风荷载作用下的位移值，保证有良好的居住和工作条件；外墙（尤其是玻璃幕墙）、窗玻璃、女儿墙及其它围护和装饰构件，必须有足够的承载力，并与主体结构有可靠的连接，防止房屋在风荷载作用下产生局部损坏。

3. 风荷载是高层建筑结构的主要荷载之一，取值应按《建筑结构荷载规范》(GBJ9—87)基本风压 w_0 乘以系数 1.1，对于特别重要的高层建筑应乘以系数 1.2。

4. 由于地震产生的地面运动有很大的随机性，高层建筑结构抗震设计，要充分考虑地震作用的不确定性，设计中应留有较多的余地。

5. 有抗震设防的高层建筑，应进行详细勘察，摸清地形、地质情况，选择位于开阔平坦地带，具有坚硬场地土或密实均匀中硬场地土的对抗震有利的地段；尽可能避开对建筑抗震不利的地段，如高差较大的台地边缘，非岩质的陡坡、河岸和边坡，较弱土、易液化土、故河道、断层破碎带，以及土质成因、岩性、状态明显不均匀的情况等；任何情况下均不得在抗震危险的地段上建造可能引起人员伤亡或较大经济损失的建筑物。

6. 高层建筑应选择具有抗震性能好的结构体系，如剪力墙结构，框架—剪力墙结构，筒体结构等，并适当处理构件的强弱关系，使其在强烈地震作用下形成多道防线，提高结构的抗震性能，避免倒塌。

7. 高层建筑结构应有整体抗震性能，具有较好整体性、稳定性和空间工作能力；设有多道抗震设防系统；非主要构件也具有抗震能力。

8. 高层建筑结构的设计和配筋构造，都要保证具有足够的延性，一般要求构件或结构的延性系数 $\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$ (Δu 为破坏时的变形， Δy 为屈服时的变形) 大于 3，高层建筑结构 μ 多数为 4 至 8。为保证延性，应使构件有足够的截面尺寸，不使柱子轴压比过大，不使梁和剪力墙的剪压比过大，要使构件的配筋率适宜，构件的构造措施得当。

9. 有抗震设防的高层建筑，结构刚度应适当，为满足在水平地震作用下的侧向位移限制值，结构需具有足够的侧向刚度；在满足了侧向位移限制值后，结构刚度过大必然缩短结构自振周期，增大结构内力，多用材料。

关于刚性结构和柔性结构的优缺点见表 1-13。

刚性结构与柔性结构的特点

表 1-13

结构	优 点	缺 点
刚性结构	1. 当地面运动周期长时，震害较小 2. 结构变形小，非结构构件容易处理 3. 安全储备大，空间整体性好 4. 适宜于钢筋混凝土结构特点	1. 当地面运动周期短时，有产生共振的危险 2. 地震力较大 3. 结构变形能力小，延性小 4. 材料用量常常较多
柔性结构	1. 当地面运动周期短时，震害较小 2. 地震力较小 3. 一般结构自重较轻，地基易处理 4. 适宜于钢结构的特点	1. 当长周期地面运动时，易发生共振 2. 非结构构件要有特殊要求，否则易产生破坏 3. 容易产生 $p-\Delta$ 效应和倾覆 4. 不容易适应钢筋混凝土结构

1-11 荷载效应和地震作用效应的组合

1. 非抗震设计时荷载效应的组合

非抗震设计时荷载效应组合的设计值按下列公式确定：

$$S = \gamma_G C_G G_k + \gamma_{Q1} C_{Q1} Q_{1k} + \psi_w \gamma_w C_w w_k \quad (1-3)$$

式中 S ——荷载效应组合的设计值；

γ_G 、 γ_{Q1} 、 γ_w ——分别为恒荷载、活荷载和风荷载的分项系数；

G_k 、 Q_{1k} 、 w_k ——分别为恒荷载、活荷载和风荷载的标准值；

C_G 、 C_{Q1} 、 C_w ——分别为恒荷载、活荷载和风荷载的荷载效应系数；

ψ_w ——风荷载的组合值系数。

式 (1-3) 中, $C_G G_k$ 、 $C_{Q1} Q_{1k}$ 、 $C_w w_k$ 实际上分别为恒荷载、活荷载和风荷载标准值所计算出来的结构内力和位移的计算值。例如, 简支梁受恒荷载标准值的内力弯矩 $M = C_G G_k = \frac{1}{8} G_k L^2$ 。

分项系数按表 1-14 取用。

在民用建筑实际工程设计中, 活荷载所占的比例较小, 常常将活荷载与恒荷载合在一起计算, 此时竖向荷载承载力计算时, 总的分项系数可取为 1.25。

风荷载作为第二个可变荷载, 其组合值系数 ψ_w 在一般情况下取 0.6, 但考虑到风荷载是高层建筑的主要荷载, 因此高层建筑设计时, ψ_w 取 0.7。

在验算倾覆和滑移时, 对抗倾覆和滑移有利的恒荷载, 其分项系数可取 0.9。

2. 抗震设计时荷载效应与地震作用效应的组合

抗震设计时, 考虑荷载效应与地震作用效应的组合按下式计算：

$$S = \gamma_G C_G G_E + \gamma_{Eh} C_{Eh} F_{Ek} + \gamma_{Ev} C_{Ev} F_{Evk} + \psi_w \gamma_w C_w w_k \quad (1-4)$$

式中 S ——结构构件效应组合的设计值；

G_E 、 F_{Ek} 、 F_{Evk} 、 w_k ——重力荷载代表值、水平地震作用标准值、竖向地震作用标准值和风荷载标准值；

C_G 、 C_{Eh} 、 C_{Ev} 、 C_w ——分别为重力荷载、水平地震作用、竖向地震作用和风荷载的作用效应系数；

γ_G 、 γ_{Eh} 、 γ_{Ev} 、 γ_w ——相应的作用分项系数；

ψ_w ——风荷载的组合值系数。

抗震设计时, 考虑荷载与地震作用效应的组合, 其分项系数按下列规定采用：

(1) 进行承载力计算时, 分项系数按表 1-15 采用。当重力荷载效应对结构有利时, 取 γ_G 为 1.0；

非抗震设计时的分项系数 表 1-14

情况分类		分项系数值
承载力计算	恒荷载分项系数 γ_G	
	其效应对结构不利时	1.2
	其效应对结构有利时	1.0
	楼面活荷载分项系数 γ_{Q1}	
	一般情况	1.4
	活荷载标准值不小于 4kN/m^2 时	1.3
	风荷载分项系数 γ_w	1.4
位移计算时, γ_G 、 γ_{Q1} 、 γ_w		1.0

抗震设计时的作用分项系数					表 1-15
所 考 虑 的 组 合	重力荷载 γ_G	水平地震作用 γ_{Eh}	竖向地震作用 γ_{Ev}	风 荷 载 γ_w	说 明
只考虑重力荷载	按非抗震设计				
考虑重力荷载和风荷载	按非抗震设计				
考虑重力荷载与水平地震作用	1.20	1.30	—	—	9 度抗震设计时才考虑，但水平悬臂结构，8 度、9 度时考虑
考虑重力荷载与竖向地震作用	1.20	—	1.30	—	
考虑重力荷载、水平地震作用与竖向地震作用	1.20	1.30	0.50	—	
考虑重力荷载、水平地震作用及风荷载	1.20	1.30	—	1.40	60m 以上的高层建筑考虑
考虑重力荷载、水平及竖向地震作用与风荷载	1.20	1.30	0.50	1.40	60m 以上，并且 9 度抗震设计时考虑。但对于水平长悬臂构件，60m 以上建筑，8 度或 9 度抗震设计应考虑

注：表 1-15 中 “—” 表示不考虑此项荷载或作用。

- (2) 进行位移计算时，全部分项系数 $\gamma=1.0$ 。
抗震设计时，风荷载组合值系数 ψ_w 取 0.2。

1-12 承载力抗震调整系数 γ_{RE}

在抗震设计中，构件及节点承载力抗震调整系数按表 1-16 取用。

承载力抗震调整系数 γ_{RE}						表 1-16	
构件类别	梁	轴压比不大于 0.15 的柱	轴压比大于 0.15 的柱	剪 力 墙		各类构件	节 点
受力状态	受弯	偏压	偏压	偏压	局部承压	受剪偏拉	受剪
γ_{RE}	0.75	0.75	0.80	0.85	1.00	0.85	0.85

第二章 高层建筑设计荷载和地震作用

2-1 竖 向 荷 载

1. 高层建筑设计结构的竖向荷载包括恒荷载（自重、设备重）和活荷载（使用荷载）。恒荷载可以根据构件和装修的尺寸及材料重量直接计算。常用的材料重量可按表 2-1 采用。

常用材料和构件的自重 表 2-1

名 称	自 重	备 注	名 称	自 重	备 注
1. 一般材料(kN/m³)			砂土	20	很湿,φ=25°,压实
杉木	4	随含水率而不同	砂子	14	干,细砂
冷杉、云杉、红松等	4~5		砂子	17	干,粗砂
马尾松、云南松等	5~6		卵石	16~18	干
东北落叶松等	6~7		石灰石	26.4	
普通木板条、橡櫟木料	5		花岗岩、大理石	28	
木丝板	4~5		2. 水泥、灰浆及混凝土(kN/m³)		
软木板	2.5		水泥	14.5	散装,φ=30°
刨花板	6		水泥	16	袋装压实,φ=40°
铸铁	72.5		石灰砂浆、混合砂浆	17	
钢	78.5		灰土	17.5	石灰:土=3:7,夯实
普通玻璃	25.6		稻草(纸筋)石灰泥	16	
钢丝玻璃	26		水泥砂浆	20	
玻璃棉	0.5~1	作绝缘层填充料用	石膏砂浆	12	
玻璃钢	14~22		素混凝土	22~24	振捣或不振捣
水泥蛭石制品	4~6	导热系数 0.08~0.12	矿渣混凝土	20	
聚氯乙烯板(管)	13.6~16		铁屑混凝土	28~65	
聚氯乙烯泡沫塑料	0.5	导热系数不大于 0.03	无砂大孔性混凝土	16~19	
粘土	13.5	干,松,空隙比为 1.0	泡沫混凝土	4~6	
粘土	16	干,φ=40°,压实	加气混凝土	5.5~7.5	单块
粘土	18	湿,φ=35°,压实	钢筋混凝土	24~25	
粘土	20	很湿,φ=20°,压实	钢丝网水泥	25	用于承重结构
砂土	12.2	干,松	水玻璃耐酸混凝土	20~23.5	
砂土	16	干,φ=35°,压实	粉煤灰陶粒混凝土	19.5	
砂土	18	湿,φ=35°,压实	3. 砌体(kN/m³)		