



GAOCENG JIANZHU JIEGOU
SHOUSUAN SHILI XIANGJIE

赵广会 主编

高层建筑结构 手算实例详解



化学工业出版社

赵广会 主编

高层建筑结构 手算实例详解



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书依据国家现行的《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012)等标准、规范进行编写。全书共分为五章,内容主要包括:高层建筑结构手算基础,高层建筑混凝土结构手算实例详解,复杂高层建筑混凝土结构手算实例详解,高层建筑结构基础设计手算实例详解,高层建筑钢结构设计手算实例详解。本书详细讲述了高层建筑结构的手算方法和手算公式,并列举了大量的设计计算实例,以供读者学习参考。

本书内容丰富,实用性强,可供建筑结构工程设计人员、施工人员及相关专业大中专院校的师生学习使用。

图书在版编目(CIP)数据

高层建筑结构手算实例详解/赵广会主编. —北京:化学工业出版社, 2016.3
ISBN 978-7-122-26301-8

I. ①高… II. ①赵… III. ①高层建筑-结构设计 IV. ①TU973

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 028956 号

责任编辑:彭明兰

装帧设计:关 飞

责任校对:蒋 宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12 $\frac{3}{4}$ 字数338千字 2016年5月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:45.00元

版权所有 违者必究

前言

随着我国国民经济的迅速发展和人民生活水平的提高，各项建设工程得到迅猛发展，一座座高层、超高层建筑如雨后春笋般拔地而起。高层建筑作为城市经济繁荣和社会进步的重要标志，受到了社会各界的广泛关注。当前，高层建筑结构设计电算化较为普遍，但电算只能提供计算结果，无法提供计算全过程，因此较之电算，手算有其不可取代的优势。手算可以使结构设计人员较好地了解结构设计的全过程，较深入地掌握设计方法，并且能够判断电算的正确性。基于此，我们组织相关人员编写了本书。

本书依据国家现行的《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《建筑结构设计荷载规范》(GB 50009—2012) 等标准、规范进行编写。全书共分为五章，内容主要包括：高层建筑结构手算基础，高层建筑混凝土结构手算实例详解，复杂高层建筑混凝土结构手算实例详解，高层建筑结构基础设计手算实例详解，高层建筑钢结构设计手算实例详解。本书详细讲述了高层建筑结构的手算方法和手算公式，并列举了大量的设计计算实例，以供读者学习参考。

本书由赵广会主编，由何影、雷杰、韩旭、王爽、姜媛、张鹏、张静、刘琳琳、丁蒙、韩雪、白雅君等共同参与编写完成。

由于时间和作者水平有限，尽管编者尽心尽力，反复推敲核实，但疏漏或不妥之处在所难免，恳请有关专家和读者提出宝贵意见，予以批评指正，以便作进一步修改和完善。

编 者

2016.1

目 录

1 高层建筑结构手算基础 / 1

1.1 高层建筑混凝土结构设计基本规定	1
1.1.1 高层建筑结构极限状态设计要求	1
1.1.2 高层建筑结构抗震设防分类与抗震等级	2
1.1.3 高层建筑结构构件承载力设计	4
1.1.4 高层建筑结构房屋适用高度和高宽比	5
1.1.5 高层建筑水平位移限值与舒适度	6
1.1.6 高层建筑结构抗震性能设计与抗连续倒塌设计	8
1.2 高层建筑结构荷载和地震作用	11
1.2.1 竖向荷载	11
1.2.2 风荷载	13
1.2.3 地震作用	19
1.3 高层建筑结构手算分析方法	24
1.3.1 计算分析方法	24
1.3.2 体形及结构布置复杂的结构计算方法	24
1.3.3 计算参数的选取	24
1.3.4 结构整体稳定与倾覆	25
1.3.5 薄弱层弹塑性计算	27
1.3.6 扭转效应的简化计算	28

2 高层建筑混凝土结构手算实例详解 / 32

2.1 框架结构	32
2.1.1 手算方法及公式	32
2.1.2 手算实例详解	49
2.2 剪力墙结构	63
2.2.1 手算方法及公式	63
2.2.2 手算实例详解	86
2.3 框架-剪力墙结构	101
2.3.1 手算方法及公式	101
2.3.2 手算实例详解	106
2.4 板柱-剪力墙结构	109
2.4.1 手算方法及公式	109
2.4.2 手算实例详解	119

2.5 筒体结构	124
2.5.1 手算方法及公式	124
2.5.2 手算实例详解	127

3 复杂高层建筑混凝土结构手算实例详解 / 130

3.1 带转换层高层建筑结构	130
3.1.1 手算方法及公式	130
3.1.2 手算实例详解	137
3.2 连体结构	148
3.2.1 手算方法及公式	148
3.2.2 手算实例详解	151
3.3 钢-混凝土混合结构	153
3.3.1 手算方法及公式	153
3.3.2 手算实例详解	155

4 高层建筑结构基础设计手算实例详解 / 157

4.1 基础选型及埋置深度	157
4.2 基础设计手算方法及公式	159
4.2.1 高层建筑地基基础承载力计算	159
4.2.2 高层建筑地基变形计算	162
4.2.3 高层建筑地基稳定性计算	163
4.2.4 高层建筑筏形基础计算	164
4.2.5 高层建筑单独柱基础计算	167
4.2.6 高层建筑桩基础计算	170
4.3 基础设计手算实例详解	175

5 高层建筑钢结构设计手算实例详解 / 188

5.1 高层钢结构设计手算方法及公式	188
5.1.1 高层钢结构构件和节点设计计算	188
5.1.2 高层钢结构支撑体系设计计算	191
5.1.3 高层钢构件连接承载力计算	193
5.2 高层钢结构设计手算实例详解	194

参考文献 / 197



高层建筑结构手算基础

1.1 高层建筑混凝土结构设计基本规定

1.1.1 高层建筑结构极限状态设计要求

(1) 相关说明 结构极限状态设计的相关说明如下。

① 建筑结构在施工和使用期间可满足各项功能要求良好工作，则称之为“可靠”或“有效”，反之则称结构为“不可靠”或“失效”。区分结构可靠或失效的标志称为“极限状态”。当整个结构或结构的某一部分超过某一特定状态（如达到极限承载力、失稳，或变形、裂缝宽度超过规定的限值等就无法满足设计规定的某一功能的要求时），此特定状态就称为该功能的极限状态。高层建筑混凝土结构极限状态可分为承载能力极限状态和正常使用极限状态，均有明确规定的标准或限值。

a. 承载能力极限状态：建筑结构或结构构件达到最大的承载力、出现疲劳破坏、发生不适于继续承载的变形或因为结构局部破坏而引发的连续倒塌。

b. 正常使用极限状态：建筑结构或结构构件达到正常使用的某项规定限值或是耐久性能的某种规定状态。

② 高层建筑结构设计采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量结构构件的可靠度，采用分项系数的设计表达式进行设计，其中包括结构重要性系数、荷载分项系数材料性能分项系数（材料分项系数有时直接以材料的强度设计值表达）、抗力模型不定性系数（构件承载力调整系数）等。对难以定量计算的间接作用和耐久性等，仍然采用基于经验的定性方法进行设计。

③ 在高层建筑结构设计时，应当对结构的不同极限状态分别进行计算或验算，当某一极限状态的计算或验算起控制作用时，可以仅对该极限状态进行计算或验算。

(2) 承载能力极限状态 此状态对应于结构达到最大承载能力或达到不适于继续承载的变形。当结构或构件出现下列状态之一时，应当认为超过了承载能力极限状态：

- ① 建筑结构构件或连接件超过材料强度而破坏，或由于过度变形而不适于继续承载；
- ② 整个建筑结构或其中一部分作为刚体失去平衡；
- ③ 建筑结构变为机动体系；
- ④ 建筑结构或构件丧失稳定；
- ⑤ 建筑结构由于局部破坏而发生连续倒塌；
- ⑥ 地基丧失承载力而破坏；

⑦ 建筑结构或构件的疲劳破坏。

(3) 正常使用极限状态 此状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性的某项规定限值。当建筑结构或结构构件出现下列状态之一时,应当认为超过了正常使用极限状态:

- ① 影响正常使用或是外观的变形;
- ② 影响正常使用或是耐久性的局部损坏;
- ③ 影响正常使用的振动;
- ④ 影响正常使用的其他特定状态。

1.1.2 高层建筑结构抗震设防分类与抗震等级

1.1.2.1 高层建筑结构抗震设防分类

抗震设防是各类工程结构按照规定的可靠性要求与技术经济水平所确定的统一的抗震技术要求,是对房屋进行抗震设计与采取抗震构造措施,来达到抗震效果的过程。根据建筑遭遇地震破坏后,可能造成人员伤亡、直接和间接导致的经济损失、社会影响的程度及其在抗震救灾中的作用等因素,对各类建筑所做的设防类别进行划分。抗震设防的所有建筑应当按照现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)确定其抗震设防类别及其抗震设防标准。新建、改建、扩建的建筑工程,其抗震设防类别不应低于现行国家标准《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)的规定。

(1) 建筑抗震设防类别划分应考虑的因素 《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)规定,建筑抗震设防类别划分应根据下列因素的综合分析确定。

- ① 建筑破坏造成的人员伤亡、直接和间接经济损失及社会影响的大小。
- ② 城镇的大小、行业的特点、工矿企业的规模。
- ③ 建筑使用功能失效后对全局的影响范围大小、抗震救灾影响及恢复的难易程度。
- ④ 建筑各区段的重要性有显著不同时,可按区段划分抗震设防类别。下部区段的类别不应低于上部区段。区段指由防震缝分开的结构单元、平面内使用功能不同的部分或上下使用功能不同的部分。

⑤ 不同行业的相同建筑,当所处地位及地震破坏所产生的后果和影响不同时,其抗震设防类别可不相同。

(2) 建筑抗震设防类别 《建筑工程抗震设防分类标准》(GB 50223—2008)第3.0.2条规定:建筑工程分为以下四个抗震设防类别。

① 特殊设防类。特殊设防类指使用上有特殊设施,涉及国家公共安全的重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害等特别重大灾害后果,需要进行特殊设防的建筑,简称甲类。

② 重点设防类。重点设防类指地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的生命线相关建筑,以及地震时可能导致大量人员伤亡等重大灾害后果,需要提高设防标准的建筑,简称乙类。

③ 标准设防类。标准设防类指大量的除特殊设防类、重点设防类、适度设防类以外按标准要求进行设防的建筑,简称丙类。

④ 适度设防类。适度设防类指使用上人员稀少且震损不致产生次生灾害,允许在一定条件下适度降低要求的建筑,简称丁类。

1.1.2.2 抗震等级

- ① 各抗震设防类别的高层建筑结构,其抗震措施应符合下列要求。

a. 甲类、乙类建筑：应按本地区抗震设防烈度提高一度的要求加强其抗震措施，但抗震设防烈度为 9 度时应按比 9 度更高的要求采取抗震措施；当建筑场地为 I 类时，应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

b. 丙类建筑：应按本地区抗震设防烈度确定其抗震措施；当建筑场地为 I 类时，除 6 度外，应允许按本地区抗震设防烈度降低一度的要求采取抗震构造措施。

② 当建筑场地为Ⅲ、Ⅳ类时，对设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区，宜分别按抗震设防烈度 8 度（0.20g）和 9 度（0.40g）时各类建筑的要求采取抗震构造措施。

③ 抗震设计时，高层建筑钢筋混凝土结构构件应根据抗震设防分类、烈度、结构类型和房屋高度采用不同的抗震等级，并应符合相应的计算和构造措施要求。A 级高度丙类建筑钢筋混凝土结构的抗震等级应按表 1-1 确定。当本地区的设防烈度为 9 度时，A 级高度乙类建筑的抗震等级应按特一级采用，甲类建筑应采取更有效的抗震措施。

注：“特一级和一、二、三、四级”即“抗震等级为特一级和一、二、三、四级”的简称。

表 1-1 A 级高度的高层建筑结构抗震等级

结构类型			抗震烈度						
			6 度		7 度		8 度		9 度
框架结构			三		二		一		一
框架-剪力墙结构	高度/m		≤60	>60	≤60	>60	≤60	>60	≤50
	框架		四	三	三	二	二	一	一
	剪力墙		三		二		一		一
剪力墙	高度/m		≤80	>80	≤80	>80	≤80	>80	≤60
	剪力墙		四	三	三	二	二	一	一
部分框支剪力墙结构	非底部加强部位的剪力墙		四	三	三	二	二	一	一
	底部加强部位的剪力墙		三	二	二	一	一		
	框支框架		二		二	一	一		
筒体结构	框架-核心筒	框架	三		二		一		一
		核心筒	二		二		一		一
	筒中筒	内筒	三		二		一		一
		外筒							
板柱-剪力墙结构	高度/m		≤35	>35	≤35	>35	≤35	>35	一
	框架、板柱及柱上板带		三	二	二	二	一	一	
	剪力墙		二	二	二	一	二	一	

注：1. 接近或等于高度分界时，应结合房屋不规则程度及场地、地基条件适当确定抗震等级。
2. 底部带转换层的筒体结构，其转换框架的抗震等级应按表中部分框支剪力墙结构的规定采用。
3. 当框架-核心筒结构的高度不超过 60m 时，其抗震等级应允许按框架-剪力墙结构采用。

④ 抗震设计时，B 级高度丙类建筑钢筋混凝土结构的抗震等级应按表 1-2 确定。

⑤ 抗震设计的高层建筑，当地下室顶层作为上部结构的嵌固端时，地下一层相关范围的抗震等级应按上部结构采用，地下一层以下抗震构造措施的抗震等级可逐层降低一级，但不应低于四级；地下室中超出上部主楼相关范围且无上部结构的部分，其抗震等级可根据具体情况采用三级或四级。

⑥ 抗震设计时，与主楼连为整体的裙房的抗震等级，除应按裙房本身确定外，相关范围不应低于主楼的抗震等级；主楼结构在裙房顶板上、下各一层应适当加强抗震构造措施。

裙房与主楼分离时，应按裙房本身确定抗震等级。

表 1-2 B 级高度的高层建筑结构抗震等级

结构类型		抗震烈度		
		6 度	7 度	8 度
框架-剪力墙	框架	二	一	一
	剪力墙	二	一	特一
剪力墙	剪力墙	二	一	一
部分框支剪力墙	非底部加强部位的剪力墙	二	一	一
	底部加强部位的剪力墙	二	一	一
	框支框架	一	一	特一
框架-核心筒	框架	二	一	一
	筒体	二	一	特一
筒中筒	外筒	二	一	特一
	内筒	二	一	特一

注：底部带转换层的筒体结构，其转换框架和底部加强部位筒体的抗震等级应按表中部分框支剪力墙结构的规定采用。

⑦ 甲、乙类建筑按《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010) 第 3.9.1 条提高一度确定抗震措施时，或Ⅲ、Ⅳ类场地且设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的丙类建筑按《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010) 第 3.9.2 条提高一度确定抗震构造措施时，如果房屋高度超过提高一度后对应的房屋最大适用高度，则应采取比对应抗震等级更有效的抗震构造措施。

1.1.3 高层建筑结构构件承载力设计

(1) 高层建筑结构构件的承载力验算公式

① 持久设计状况、短暂设计状况：

$$\gamma_0 S_d \leq R_d \tag{1-1}$$

② 地震设计状况：

$$S_d \leq R_d / \gamma_{RE} \tag{1-2}$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，对安全等级为一级的结构构件不应小于 1.1，对安全等级为二级的结构构件不应小于 1.0；

S_d ——构件承载力设计值；

R_d ——作用组合的效应设计值；

γ_{RE} ——构件承载力抗震调整系数。

(2) 钢筋混凝土构件的承载力抗震调整系数 抗震设计时，钢筋混凝土构件的承载力抗震调整系数应按表 1-3 采用；型钢混凝土构件和钢构件的承载力抗震调整系数应按《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010) 第 11.1.7 条的规定采用。当仅考虑竖向地震作用组合时，各类结构构件的承载力抗震调整系数均应取为 1.0。

表 1-3 承载力抗震调整系数

构件类型	梁	轴压比小于 0.15 的柱	轴压比不小于 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	1.0	0.85	0.85

1.1.4 高层建筑结构房屋适用高度和高宽比

1.1.4.1 钢筋混凝土高层建筑结构的最大适用高度

钢筋混凝土高层建筑结构的最大适用高度应区分为 A 级和 B 级。A 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度应符合表 1-4 的规定，B 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的最大适用高度应符合表 1-5 的规定。

平面和竖向均不规则的高层建筑结构，其最大适用高度宜适当降低。

表 1-4 A 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度 单位：m

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度				
			6 度	7 度	8 度		9 度
					0.20g	0.30g	
框架结构		70	60	50	40	35	—
框架-剪力墙结构		150	130	120	100	80	50
剪力墙	全部落地剪力墙	150	140	120	100	80	60
	部分框支剪力墙	130	120	100	80	50	不应采用
筒体	框架-核心筒结构	160	150	130	100	90	70
	筒中筒结构	200	180	150	120	100	80
板柱-剪力墙结构		110	80	70	55	40	不应采用

注：1. 表中框架不含异形柱框架。

2. 部分框支剪力墙结构指地面上有部分框支剪力墙的剪力墙结构。

3. 甲类建筑，6、7、8 度时宜按本地区抗震设防烈度提高 1 度后符合本表的要求，9 度时应专门研究。

4. 框架结构、板柱-剪力墙结构以及 9 度抗震设防的表列其他结构，当房屋高度超过本表数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。

表 1-5 B 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度 单位：m

结构体系		非抗震设计	抗震设防烈度			
			6 度	7 度	8 度	
					0. 20g	0. 30g
框架-剪力墙结构		170	160	140	120	100
剪力墙	全部落地剪力墙	180	170	150	130	110
	部分框支剪力墙	150	140	120	100	80
筒体	框架-核心筒结构	220	210	180	140	120
	筒中筒结构	300	280	230	170	150

注：1. 部分框支剪力墙结构指地面上有部分框支剪力墙的剪力墙结构。

2. 甲类建筑，6、7 度时宜按本地区设防烈度提高 1 度后符合本表的要求，8 度时应专门研究。

3. 当房屋高度超过表中数值时，结构设计应有可靠依据，并采取有效的加强措施。

1.1.4.2 钢筋混凝土高层建筑结构的高宽比

钢筋混凝土高层建筑结构的高宽比不宜超过表 1-6 的规定。

1.1.4.3 钢-混凝土混合结构高层建筑的高宽比

钢-混凝土混合结构高层建筑的高宽比不宜大于表 1-7 的规定。

表 1-6 钢筋混凝土高层建筑结构适用的最大高宽比

结构体系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6 度、7 度	8 度	9 度
框架结构	5	4	3	—
板柱-剪力墙结构	6	5	4	—
框架-剪力墙结构、剪力墙结构	7	6	5	4
框架-核心筒结构	8	7	6	4
筒中筒结构	8	8	7	5

表 1-7 钢-混凝土混合结构高层建筑的高宽比

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-筒体结构	8	7	6	4
筒中筒结构	8	8	7	5

1.1.5 高层建筑水平位移限值与舒适度

1.1.5.1 高层建筑水平位移限值

① 在正常使用条件下，高层建筑结构应具有足够的刚度，避免产生过大的位移而影响结构的承载力、稳定性和使用要求。

② 正常使用条件下，结构的水平位移应按《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010) 中第 4 章规定的风荷载、地震作用和《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010) 规定的弹性方法计算。

③ 按弹性方法计算的风荷载或多遇地震标准值作用下的楼层层间最大水平位移与层高之比 $\Delta u/h$ 应符合下列规定。

a. 高度不大于 150m 的高层建筑，其楼层层间最大位移与层高之比 $\Delta u/h$ 不宜大于表 1-8 的限值。

表 1-8 楼层层间最大位移与层高之比的限值

结构体系	$\Delta u/h$ 限值
框架结构	1/550
框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构、板柱-剪力墙结构	1/800
筒中筒结构、剪力墙结构	1/1000
除框架结构外的转换层	1/1000

b. 高度不小于 250m 的高层建筑，其楼层层间最大位移与层高之比 $\Delta u/h$ 不宜大于 1/500。

c. 高度为 150~250m 的高层建筑，其楼层层间最大位移与层高之比 $\Delta u/h$ 的限值可按 a. 和 b. 的限值线性插入取用。

注：楼层层间最大位移 Δu 以楼层竖向构件最大的水平位移差计算，不扣除整体弯曲变形。抗震设计时，本条规定的楼层位移计算可不考虑偶然偏心的影响。

④ 高层建筑结构在罕遇地震作用下的薄弱层弹塑性变形验算应符合下列规定。

a. 下列结构应进行弹塑性变形验算：

- I. 7~9度时楼层屈服强度系数小于0.5的框架结构；
- II. 甲类建筑和9度抗震设防的乙类建筑结构；
- III. 采用隔震和消能减震设计的建筑结构；
- IV. 房屋高度大于150m的结构。

b. 下列结构宜进行弹塑性变形验算：

I. 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010) 中表 4.3.4 所列高度范围且不满足《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010) 第 3.5.2~3.5.6 条规定的竖向不规则高层建筑结构；

II. 7度Ⅲ、Ⅳ类场地和8度抗震设防的乙类建筑结构；

III. 板柱-剪力墙结构。

注：楼层屈服强度系数为按构件实际配筋和材料强度标准值计算的楼层受剪承载力与按罕遇地震作用计算的楼层弹性地震剪力的比值。

⑤ 结构薄弱层（部位）层间弹塑性位移应符合下式规定：

$$\Delta u_p \leq [\theta_p] h \tag{1-3}$$

式中 Δu_p ——层间弹塑性位移；

$[\theta_p]$ ——层间弹塑性位移角限值可按表 1-9 采用，对框架结构，当轴压比小于 0.40 时可提高 10%，当柱子全高的箍筋构造采用比框架柱箍筋最小配箍特征值大 30% 时可提高 20%，但累计提高不宜超过 25%；

h ——层高，m。

表 1-9 层间弹塑性位移角限值

结构体系	$[\theta_p]$
框架结构	1/50
框架-剪力墙结构、框架-核心筒结构、板柱-剪力墙结构	1/100
筒中筒结构、剪力墙结构	1/120
除框架结构外的转换层	1/120

1.1.5.2 高层建筑舒适度要求

(1) 舒适度与风振加速度关系 高层建筑物在风荷载作用下将产生振动，过大的振动加速度将使在高楼内居住的人们感觉不舒适，甚至不能忍受，两者的关系可根据表 1-10 来确定。

表 1-10 舒适度与风振加速度的关系

不舒适的程度	建筑物的加速度
无感觉	$<0.005g$
有感	$0.005g \sim 0.015g$
扰人	$0.015g \sim 0.05g$
十分扰人	$0.05g \sim 0.15g$
不能忍受	$>0.15g$

(2) 风振加速度限值 房屋高度不小于 150m 的高层混凝土建筑结构应满足风振舒适度要求。在现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2012) 规定的 10 年一遇的风荷载标准值作用下，结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度计算值不应超过表 1-11 的限值。

结构顶点的顺风向和横风向振动最大加速度可按现行行业标准《高层民用建筑钢结构技术规程》(JGJ 99—1998)的有关规定计算,也可通过风洞试验结果判断确定,计算时结构阻尼比宜取 0.01~0.02。

表 1-11 结构顶点风振加速度限值 a_{lim}

使用功能	$a_{lim}/(m/s^2)$
住宅、公寓	0.15
办公、旅馆	0.25

(3) 楼盖结构舒适度 楼盖结构应具有适宜的舒适度。楼盖结构的竖向振动频率不宜小于 3Hz,竖向振动加速度峰值不应超过表 1-12 的限值。

表 1-12 楼盖竖向振动加速度限值

人员活动环境	峰值加速度限值/(m/s^2)	
	竖向自振频率不大于 2Hz	竖向自振频率不小于 4Hz
住宅、办公	0.07	0.05
商场及室内连廊	0.22	0.15

1.1.6 高层建筑结构抗震性能设计与抗连续倒塌设计

1.1.6.1 高层建筑结构抗震性能设计

① 结构抗震性能设计应分析结构方案的特殊性,选用适宜的结构抗震性能目标,并采取满足预期的抗震性能目标的措施。

结构抗震性能目标应综合考虑抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构的特殊性、建造费用、震后损失和修复难易程度等各项因素选定。结构抗震性能目标分为 A、B、C、D 四个等级,结构抗震性能分为 1、2、3、4、5 五个水准(表 1-13),每个性能目标均与一组在指定地震地面运动下的结构抗震性能水准相对应。

表 1-13 结构抗震性能目标

性能目标 性能水准 地震水准	A	B	C	D
	1	1	1	1
多遇地震	1	2	3	4
设防烈度地震	2	3	4	5
预估的罕遇地震				

② 结构抗震性能水准可按表 1-14 进行宏观判别。

表 1-14 各性能水准结构预期的震后性能状况

结构抗震性能水准	宏观损坏程度	损坏部位			继续使用的可能性
		关键构件	普通竖向构件	耗能构件	
1	完好、无损坏	无损坏	无损坏	无损坏	不需修理即可继续使用
2	基本完好、轻微损坏	无损坏	无损坏	轻微损坏	稍加修理即可继续使用

结构抗震性能水准	宏观损坏程度	损坏部位			继续使用的可能性
		关键构件	普通竖向构件	耗能构件	
3	轻度损坏	轻微损坏	轻微损坏	轻度损坏、部分中度损坏	一般修理后可继续使用
4	中度损坏	轻度损坏	部分构件中度损坏	中度损坏、部分比较严重损坏	修复或加固后可继续使用
5	比较严重损坏	中度损坏	部分构件比较严重损坏	比较严重损坏	需排险大修

注：“关键构件”是指该构件的失效可能引起结构的连续破坏或危及生命安全的严重破坏，“普通竖向构件”是指“关键构件”之外的竖向构件；“耗能构件”包括框架梁、剪力墙连梁及耗能支撑等。

③ 不同抗震性能水准的结构可按下列规定进行设计。

a. 第 1 性能水准的结构，应满足弹性设计要求。在多遇地震作用下，其承载力和变形应符合本规程的有关规定；在设防烈度地震作用下，结构构件的抗震承载力应符合下式规定：

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_{Eh} S_{Ehk}^* + \gamma_{Ev} S_{Evk}^* \leq R_d / \gamma_{RE} \quad (1-4)$$

式中 R_d ——构件承载力设计值；

γ_{RE} ——构件承载力抗震调整系数；

γ_G ——重力荷载分项系数；

S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；

γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数；

S_{Ehk}^* ——水平地震作用标准值的构件内力，不需考虑与抗震等级有关的增大系数；

γ_{Ev} ——竖向地震作用分项系数；

S_{Evk}^* ——竖向地震作用标准值的构件内力，不需考虑与抗震等级有关的增大系数。

b. 第 2 性能水准的结构，在设防烈度地震或预估的罕遇地震作用下，关键构件及普通竖向构件的抗震承载力宜符合式(1-4)的规定；耗能构件的受剪承载力宜符合式(1-4)的规定，其正截面承载力应符合下式规定：

$$S_{GE} + S_{Ehk}^* + 0.4 S_{Evk}^* \leq R_k \quad (1-5)$$

式中 R_k ——截面承载力标准值，按材料强度标准值计算。

c. 第 3 性能水准的结构应进行弹塑性计算分析。在设防烈度地震或预估的罕遇地震作用下，关键构件及普通竖向构件的正截面承载力应符合式(1-5)的规定，水平长悬臂结构和大跨度结构中的关键构件正截面承载力尚应符合式(1-6)的规定，其受剪承载力宜符合式(1-4)的规定；部分耗能构件进入屈服阶段，但其受剪承载力应符合式(1-5)的规定。在预估的罕遇地震作用下，结构薄弱部位的层间位移角应满足《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)第 3.7.5 条的规定。

$$S_{GE} + 0.4 S_{Ehk}^* + S_{Evk}^* \leq R_k \quad (1-6)$$

d. 第 4 性能水准的结构应进行弹塑性计算分析。在设防烈度或预估的罕遇地震作用下，关键构件的抗震承载力应符合式(1-5)的规定，水平长悬臂结构和大跨度结构中的关键构件正截面承载力尚应符合式(1-6)的规定；部分竖向构件以及大部分耗能构件进入屈服阶段，但钢筋混凝土竖向构件的受剪截面应符合式(1-7)的规定，钢-混凝土组合剪力墙的受剪截面应符合式(1-8)的规定。在预估的罕遇地震作用下，结构薄弱部位的层间位移角应符合《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)第 3.7.5 条的规定。

$$V_{GE} + V_{Ek}^* \leq 0.15 f_{ck} b h_0 \quad (1-7)$$

$$(V_{GE} + V_{Ek}^*) - (0.25f_{ak}A_a + 0.5f_{spk}A_{sp}) \leq 0.15f_{ck}bh_0 \quad (1-8)$$

式中 V_{GE} ——重力荷载代表值作用下的构件剪力, kN;

V_{Ek}^* ——地震作用标准值的构件剪力, kN, 不需考虑与抗震等级有关的增大系数;

f_{ck} ——混凝土轴心拉压强度标准值, N/mm²;

h_0 ——截面有效高度, mm;

b ——矩形截面宽度, mm;

f_{ak} ——剪力墙端部暗柱中型钢的强度标准值, N/mm²;

A_a ——剪力墙端部暗柱中型钢的截面面积, mm²;

f_{spk} ——剪力墙墙内钢板的强度标准值, N/mm²;

A_{sp} ——剪力墙墙内钢板的横截面面积, mm²。

e. 第5性能水准的结构应进行弹塑性计算分析。在预估的罕遇地震作用下, 关键构件的抗震承载力宜符合式(1-5)的规定; 较多的竖向构件进入屈服阶段, 但同一楼层的竖向构件不宜全部屈服; 竖向构件的受剪截面应符合式(1-7)或式(1-8)的规定; 允许部分耗能构件发生比较严重的破坏; 结构薄弱部位的层间位移角应符合《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)第3.7.5条的规定。

④ 结构弹塑性计算分析除应符合《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2010)第5.5.1条的规定外, 尚应符合下列规定。

a. 高度不超过150m的高层建筑可采用静力弹塑性分析方法; 高度超过200m时, 应采用弹塑性时程分析法; 高度为150~200m, 可视结构自振特性和不规则程度选择静力弹塑性方法或弹塑性时程分析方法。高度超过300m的结构, 应有两个独立的计算, 进行校核。

b. 复杂结构应进行施工模拟分析, 应以施工全过程完成后的内力为初始状态。

c. 弹塑性时程分析宜采用双向或三向地震输入。

1.1.6.2 高层建筑结构抗连续倒塌设计

① 安全等级为一级的高层建筑结构应满足抗连续倒塌概念设计要求; 有特殊要求时, 可采用拆除构件方法进行抗连续倒塌设计。

② 抗连续倒塌概念设计应符合下列规定:

a. 应采取必要的结构连接措施, 增强结构的整体性;

b. 主体结构宜采用多跨规则的超静定结构;

c. 结构构件应具有适宜的延性, 避免剪切破坏、压溃破坏、锚固破坏、节点先于构件破坏;

d. 结构构件应具有一定的反向承载能力;

e. 周边及边跨框架的柱距不宜过大;

f. 转换结构应具有整体多重传递重力荷载途径;

g. 钢筋混凝土结构梁柱宜刚接, 梁板顶、底钢筋在支座处宜按受拉要求连续贯通;

h. 钢结构框架梁柱宜刚接;

i. 独立基础之间宜采用拉梁连接。

③ 抗连续倒塌的拆除构件方法应符合下列规定。

a. 逐个分别拆除结构周边柱、底层内部柱以及转换桁架腹杆等重要构件。

b. 可采用弹性静力方法分析剩余结构的内力与变形。

c. 剩余结构构件承载力应符合下式要求:

$$R_d \geq \beta S_d \quad (1-9)$$

式中 R_d ——剩余结构构件承载力设计值;

S_d ——剩余结构构件效应设计值；

β ——效应折减系数，对中部水平构件取 0.67，对其他构件取 1.0。

④ 结构抗连续倒塌设计时，荷载组合的效应设计值可按下式确定：

$$S_d = \eta_d (S_{Gk} + \sum \psi_{qi} S_{Qi,k}) + \psi_w S_{wk} \quad (1-10)$$

式中 S_{Gk} ——永久荷载标准值产生的效应；

$S_{Qi,k}$ ——第 i 个竖向可变荷载标准值产生的效应；

S_{wk} ——风荷载标准值产生的效应；

ψ_{qi} ——可变荷载的准永久值系数；

ψ_w ——风荷载组合值系数，取 0.2；

η_d ——竖向荷载动力放大系数，当构件直接与被拆除竖向构件相连时取 2.0，其他构件取 1.0。

⑤ 构件截面承载力计算时，混凝土强度可取标准值；钢材强度，正截面承载力验算时，可取标准值的 1.25 倍，受剪承载力验算时可取标准值。

⑥ 当拆除某构件不能满足结构抗连续倒塌设计要求时，在该构件表面附加 80kN/m^2 侧向偶然作用设计值，此时其承载力应满足下列公式要求：

$$R_d \geq S_d \quad (1-11)$$

$$S_d = S_{Gk} + 0.6 S_{Qk} + S_{Ad} \quad (1-12)$$

式中 R_d ——构件承载力设计值；

S_d ——作用组合的效应设计值；

S_{Gk} ——永久荷载标准值的效应；

S_{Qk} ——活荷载标准值的效应；

S_{Ad} ——侧向偶然作用设计值的效应。

1.2 高层建筑结构荷载和地震作用

1.2.1 竖向荷载

竖向荷载包括恒载、楼面与屋面活荷载及雪荷载等。高层建筑结构的活荷载在计算内力时一般可不作最不利布置，设计时按满载考虑。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 $10\% \sim 15\%$ ，其不利分布产生的影响较小。在活荷载较大的情况下，可以把按满载计算的梁跨中弯矩乘以 1.1~1.2 的放大系数。

(1) 楼面活荷载 高层民用建筑楼面均布活荷载的标准值及其组合值系数、频遇值系数和准永久值系数的取值不应小于表 1-15 的规定。

表 1-15 民用建筑楼面均布活荷载标准值及其组合值、
频遇值和准永久值系数

项次	类 别	标准值 /(kN/m^2)	组合值 系数 ψ_c	频遇值 系数 ψ_f	准永久值 系数 ψ_q
1	(1) 住宅、宿舍、旅馆、办公楼、医院病房、托儿所、幼儿园	2.0	0.7	0.5	0.4
	(2) 实验室、阅览室、会议室、医院门诊室	2.0	0.7	0.6	0.5
2	教室、食堂、餐厅、一般资料档案室	2.5	0.7	0.6	0.5