

JM

简明

高层钢筋混凝土结构
设计手册

(第二版)

李国胜 编著

中国建筑工业出版社

JIANMING GAOCENG GANGJIN HUNNINGTU JIEGOU SHEJI SHOUC

简明高层钢筋混凝土结构 设计手册

(第二版)

李国胜 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

简明高层钢筋混凝土结构设计手册/李国胜编著. 2版.
—北京:中国建筑工业出版社, 2002
ISBN 7-112-05365-X

I. 简… II. 李… III. 高层建筑—钢筋混凝土结构—结构设计—技术手册 IV. TU973-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 080387 号

本手册是根据新颁布的《混凝土结构设计规范》GB50010—2002、《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001、《建筑结构荷载规范》GB 50009—2001、《建筑地基基础设计规范》GB 50007—2002、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2002 等有关规定编写而成的。

本手册内容包括高层建筑设计的特点和重要概念, 高层建筑设计的基本规定, 高层建筑结构的荷载和地震作用, 楼盖结构的设计与构造, 体系选择和结构布置, 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, 混合结构, 高层建筑的若干特殊结构设计, 共 13 章。并有许多实用图表和设计实例。

本手册可供土建结构设计、施工、科研人员及大专院校土建专业师生使用和参考。

简明高层钢筋混凝土结构设计手册

(第二版)

李国胜 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

世界知识印刷厂印刷

*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 37 $\frac{1}{2}$ 字数: 934 千字

2003 年 1 月第二版 2003 年 8 月第五次印刷

印数: 16601—19100 册 定价: 53.00 元

ISBN 7-112-05365-X

TU·4703 (10979)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

第二版前言

本书第一版在 1995 年 9 月印刷发行, 内容是根据 20 世纪 80 年代末和 90 年代初的有关规范、规程编写的, 受到广大同行读者的欢迎, 并在 1997 年再次印刷以满足读者的需要。

根据建设部 1997 年有关通知, 由中国建筑科学研究院会同有关单位对原有规范、规程相继进行了全面修订。在 90 年代我国高层建筑进入新的发展时期, 高层建筑结构设计方面积累了许多新的有益经验。本书第二版是根据新的《建筑结构荷载规范》GB 50009、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑抗震设计规范》GB 50011、《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3—2002、《高层建筑箱形与筏形基础技术规范》JGJ 6—99、《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ 102—96、《金属与石材幕墙工程技术规范》JGJ 133—2001 等规范、规程, 以及搜集到的有关资料编写的, 对第一版的内容做了较大的调整、删改和增添。

在第二版中除高层建筑结构设计所必需掌握的内容以外, 还有若干重要方面: 高层建筑结构设计的特点和重要概念 (第 1 章); 主楼与相连的地下车库结构设计 (第 5 章); 剪力墙结构设计若干问题的处理 (第 7 章); 框剪结构中剪力墙合理数量的确定 (第 8 章); 地下室外墙设计 (第 11 章); 高层建筑的若干特殊结构设计, 如高层主楼与裙房之间基础处理、旋转餐厅、超长结构、幕墙等 (第 13 章)。此外, 还列有许多为结构方案和初步设计阶段控制构件尺寸及手算或校核电算结果所需要的实用图表, 并附有一些工程实例和计算例题。

本书在编写过程中参考了大量的有关文献资料, 得到许多同志的帮助, 为此对有关作者和同志们表示诚挚的谢意。由于引用的资料较多, 难免有疏漏之处, 望有关作者予以谅解。内容涉及的专业技术面广, 限于编写者的水平, 有不当或错误之处, 热忱盼望读者指正, 编者将不胜感谢。

目 录

第 1 章 高层建筑设计的特点和重要概念 1	
第 2 章 高层建筑设计的基本规定 8	
2.1 结构的极限状态..... 8	
2.2 材料强度..... 8	
2.3 建筑结构的等级..... 15	
2.4 建筑结构的抗震设防分类和抗震等级..... 15	
2.5 房屋适用高度和高宽比..... 18	
2.6 受弯构件的允许挠度、裂缝控制等级及结构的耐久性..... 19	
2.7 高层建筑的水平位移限值和舒适度要求..... 22	
2.8 高层建筑的内力和位移计算的一般原则..... 24	
2.9 荷载效应和地震作用效应的组合..... 28	
2.10 构件承载力抗震调整系数 γ_{RE} 29	
2.11 纵向受力钢筋的配筋率..... 30	
2.12 钢筋的锚固及连接..... 32	
2.13 预应力混凝土结构抗震设计规定..... 40	
2.14 建筑物地震反应观测..... 42	
第 3 章 高层建筑结构的荷载和地震作用 43	
3.1 竖向荷载..... 43	
3.2 风荷载及雪荷载..... 49	
3.3 地震作用..... 75	
3.4 塔楼的水平地震作用..... 83	
3.5 建筑场地..... 85	
3.6 我国主要城镇抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组..... 86	
第 4 章 楼盖结构的设计与构造 100	
4.1 钢筋混凝土楼盖分类和基本要求..... 100	
4.2 现浇单向板和双向板..... 101	
4.3 现浇密肋板..... 109	
4.4 预应力混凝土薄板叠合楼板..... 110	
4.5 预制大板..... 111	
4.6 预制预应力混凝土圆孔板..... 112	
4.7 预制混凝土双钢筋薄板叠合楼板..... 113	
4.8 现浇无梁楼盖..... 114	
4.9 后张无粘结预应力混凝土现浇板..... 131	
4.10 悬挑梁外端及梁受集中荷载吊筋的计算与构造..... 134	
4.11 梁受扭曲截面承载力计算..... 137	
4.12 裂缝控制及挠度验算..... 146	
第 5 章 高层建筑结构体系选择和结构布置 160	
5.1 结构体系的选择..... 160	
5.2 结构平面及竖向布置..... 162	
5.3 楼盖结构..... 168	
5.4 主楼与相连的地下车库结构..... 169	
第 6 章 框架结构 172	
6.1 结构布置..... 172	
6.2 梁截面尺寸的确定及其刚度取值..... 174	
6.3 柱截面尺寸的确定..... 177	
6.4 竖向荷载作用下的计算..... 178	
6.5 水平力作用下的计算..... 179	
6.6 构件设计中的一些重要规定..... 187	
6.7 梁正截面受弯承载力计算及构造..... 188	
6.8 梁斜截面受剪承载力计算及构造..... 197	

6.9 斜截面受剪承载力计算应用		9.12 框支层的简化计算	363
图表	200	9.13 转换层结构工程实例	368
6.10 柱截面设计与构造	213	第10章 筒体结构	375
6.11 柱正截面承载力计算应用		10.1 筒体结构分类和受力特点	375
图表	230	10.2 一般规定	376
6.12 梁柱节点受剪承载力验算	251	10.3 框架-核心筒结构	379
6.13 梁上开洞的计算及构造	258	10.4 筒中筒结构	379
第7章 剪力墙结构	261	10.5 工程实例	382
7.1 适用范围	261	第11章 基础	407
7.2 结构布置	264	11.1 基础选型和埋置深度	407
7.3 结构计算及内力取值	268	11.2 地基基础设计规定及地基承载力	409
7.4 截面设计	269	11.3 地基变形计算	414
7.5 构造与配筋	275	11.4 单独柱基	424
7.6 若干问题的处理	286	11.5 交叉梁基础	429
第8章 框架—剪力墙结构	291	11.6 筏形基础	431
8.1 框剪结构的特点	291	11.7 箱形基础	438
8.2 结构布置	292	11.8 桩箱与桩筏基础	448
8.3 剪力墙合理数量的确定方法	295	11.9 桩基	448
8.4 刚度计算	297	11.10 桩基承台	461
8.5 内力与位移计算	310	11.11 复合地基	469
8.6 地震作用下的内力调整	324	11.12 地下室外墙	475
8.7 扭转影响的近似计算	324	第12章 混合结构	480
8.8 截面设计和构造	327	12.1 一般规定	480
8.9 框剪结构的设计步骤	330	12.2 结构布置和结构设计	481
8.10 框架—剪力墙结构设计例题	333	12.3 型钢混凝土构件的构造要求	485
第9章 底部大空间剪力墙结构	345	12.4 工程实例	488
9.1 结构类型	345	第13章 高层建筑的若干特殊结构设计	493
9.2 一般规定	346	13.1 高层主楼与裙房之间基础处理	493
9.3 框支梁	350	13.2 旋转餐厅	503
9.4 转换梁	351	13.3 加强层	514
9.5 斜腹杆桁架	352	13.4 超长结构	519
9.6 空腹桁架	354	13.5 错层结构	531
9.7 箱形梁	355	13.6 连体和立面开洞结构	532
9.8 厚板	356	13.7 幕墙	543
9.9 框支柱	357	参考文献	593
9.10 落地剪力墙、筒体	360		
9.11 上部墙体及楼板	361		

第 1 章 高层建筑结构设计

的特点和重要概念

1. 高层建筑(住宅 10 层及 10 层以上或房屋高度超过 28m)结构设计应非常重视概念设计。概念设计是结构设计人员运用所掌握的知识和经验,从宏观上决定结构设计中的基本问题。要做好概念设计应掌握以下诸多方面:结构方案要根据建筑使用功能、房屋高度、地理环境、施工技术条件和材料供应情况、有无抗震设防选择合理的结构类型;竖向荷载、风荷载及地震作用对不同结构体系的受力特点;风荷载、地震作用及竖向荷载的传递途径;结构破坏的机制和过程,以加强结构的关键部位和薄弱环节;建筑结构的整体性,承载力和刚度在平面内及沿高度均匀分布,避免突变和应力集中;预估和控制各类结构及构件塑性铰区可能出现的部位和范围;抗震房屋应设计成具有高延性的耗能结构,并具有多道防线;地基变形对上部结构的影响,地基基础与上部结构协同工作的可能性;各类结构材料的特性及其受温度变化的影响;非结构性部件对主体结构抗震产生的有利和不利影响,要协调布置,并保证与主体结构连接构造的可靠等。

2. 高层建筑结构的设计计算和绘图,目前国内外都已广泛采用了电脑软件,使设计工作快捷高效。结构电算软件的正确运用,要求结构工程师具有清晰的结构概念,能建立反映工程实际的计算模型,对计算结果的合理性、准确性能进行分析判断。

由于各种结构电算软件都具有其一定的适用范围和条件,并难免有不同的缺陷和不足,结构工程师要避免只依赖于电算,不注意运用结构概念和力学知识,不求知识更新和掌握国内外新技术的发展情况。

结构工程师在熟练运用电算方法的同时,应掌握必要的结构简化计算方法,以便在方案和初步设计阶段从整体上控制结构设计的合理性,对电算结果进行分析校核,对设计中或施工过程中出现的问题能及时处理解决。采用现有的结构简化计算方法,概念比较明确,对一般结构计算结果有足够精度,而且偏于安全可靠。但对复杂、特殊的结构采用简化计算方法会有较大误差,甚至无法解决。

3. 结构的地震反应是地震作用下建筑物的惯性力,其大小取决于地震震级及距震中距离、场地特征、结构动力特性,它具有冲击性、反复性、短暂性和随机性。

一次地震只有一个震级,震级是以地震时释放的能量大小确定的,震级相差一级释放能量相差 30 倍左右。地震烈度是地震波及范围内建筑物和构筑物遭受破坏的程度。地震烈度有两种定义:第一,地区抗震设防烈度,它是由国家根据地震历史记录和地质调查研究确定的。

新的《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 规定,地震影响应采用设计基本地震加速度和设计特征周期。设计基本地震加速度值为 50 年设计基准期超越概率 10% 的地震加速度的设计值,设计基本地震加速度与抗震设防烈度的对应关系如表 1-1。

设计基本地震加速度与抗震设防烈度关系

表 1-1

设计基本地震加速度	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
抗震设防烈度	6	7		8		9

设计特征周期,《建筑抗震设计规范》(GBJ 11—89)其取值根据设计近、远震和场地类别来确定,新规范将设计近震、远震改称设计地震分组,分为第一、二、三组。

我国主要城镇的抗震设防烈度、设计基本地震加速度和设计地震分组详见第3章3.6节。

第二,地震发生后地震波及范围内各地区遭受破坏的地震烈度,它不是地震发生后立即所能确定的,而是需要经过震害调查根据建筑物、构筑物遭受损坏和破坏情况确定的,确定烈度的标准可见《建筑抗震设计手册》(1994年版)第一篇第二章附录1.2.2-1。一次地震,震中(地震发生的地方即震源正对着的地面位置)烈度约为震级的1.3倍,如当某地区发生了地震,震级为6.2级,则震中烈度为8度左右。一次地震,当震源距地表越深,震中相对应烈度较小,地震波及范围大;震源距地表浅时,震中烈度较大,地震波及范围小。

4. 高层建筑设计结构与低层、多层建筑设计相比较,结构专业在各专业中占有更重要的地位,不同结构体系的选择,直接关系到建筑平面布置,立面体形,楼层高度,机电管道的设置,施工技术的要求,施工工期的长短和投资造价的高低。

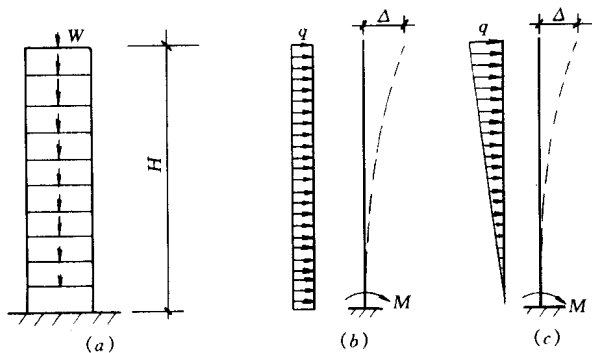


图 1-1 高层建筑结构受力简图

5. 水平力是设计的主要因素。在低层和多层房屋结构中,水平力产生的影响较小,以抵抗竖向荷载为主,侧向位移小,通常忽略不计。在高层建筑设计中,随着高度的增加,水平力(风荷载或水平地震作用)产生的内力和位移迅速增大。如图1-1所示,把房屋结构看成一根最简单的竖向悬臂构件,轴力与高度成正比;水平力产生的弯矩与高度的二次方成正比;水平力产生的侧向顶点位移与

高度的四次方成正比:

竖向荷载产生的轴力

$$N = WH \quad (1-1)$$

水平力产生的弯矩

均布荷载

$$M = \frac{1}{2} qH^2 \quad (1-2)$$

倒三角形分布荷载

$$M = \frac{qH^2}{3} \quad (1-3)$$

水平力产生的顶点侧向位移

均布荷载

$$\Delta = \frac{qH^4}{8EI} \quad (1-4)$$

倒三角形分布荷载

$$\Delta = \frac{11qH^4}{120EI} \quad (1-5)$$

式中 EI 为竖向构件弯曲刚度。

6. 高层建筑设计中, 不仅要求结构具有足够的承载力, 而且必须使结构具有足够的抵抗侧向力的刚度, 使结构在水平力作用下所产生的侧向位移限制在规范规定的范围内。因此, 高层建筑设计所需的侧向刚度由位移控制。

结构的侧向位移过大将产生下列后果:

(1) 使结构因 $p-\Delta$ 效应产生较大的附加内力, 尤其是竖向构件, 当侧向位移增大时, 偏心加剧, 当产生的附加内力值超过一定数值时, 将会导致房屋的倒塌;

(2) 使居住的人员感到不适或惊慌。在风荷载作用下, 如果侧向位移过大, 必将引起居住人员的不舒服, 影响正常工作和生活。在水平地震作用下, 当侧向位移过大, 更会造成人们的不安和惊吓;

(3) 使填充墙或建筑装饰开裂或损坏, 使机电设备管道受损坏, 使电梯轨道变形造成不能正常运行;

(4) 使主体结构构件出现较大裂缝, 甚至损坏。

7. 有抗震设防的高层建筑设计, 除要考虑正常使用时的竖向荷载、风荷载以外, 还必须使结构具有良好的抗震性能, 做到小震时不坏, 中震可修大震时不倒塌。即当遭遇相当于设计烈度的地震时, 有小的损坏, 经一般修理仍能继续使用; 当罕遇超烈度强震下, 结构有损坏, 但不致使人民生命财产和重要机电设备遭受破坏, 使结构做到裂而不倒。

建筑结构是否具有耐震能力, 主要取决于结构所能吸收和消耗的地震能量。结构抗震能力是由承载力和变形能力两者共同决定的。当结构承载力较小, 但具有很大延性, 所能吸收的能量多, 虽然较早出现损坏, 但能经受住较大的变形, 避免倒塌。但是, 仅有较大承载力而无塑性变形能力的脆性结构, 吸收的能量少, 一旦遭遇超过设防烈度的地震作用时, 很容易因脆性破坏使房屋造成倒塌 (图 1-2)。

一个构件或结构的延性用延性系数 μ 表达, 一般用其最大允许变形 Δ_p 与屈服变形 Δ_y 的比值, 变形可以是线位移、转角或层间侧移, 其相应的延性, 称之为线位移延性、角位移延性和相对位移延性。结构延性的表达式为:

$$\mu = \Delta_p / \Delta_y \quad (1-6)$$

式中 Δ_y 为结构屈服时荷载 F_y 对应的变形; Δ_p 为结构极限荷载 F_m 或降低 10% 时所对应的最大允许变形 (Δ_p 或 Δ'_p) (图 1-3)。

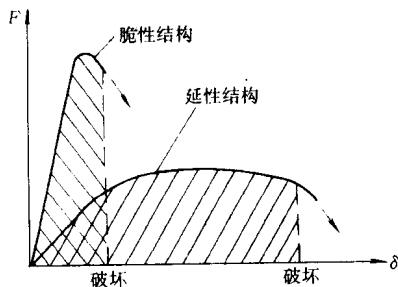


图 1-2 结构的变形

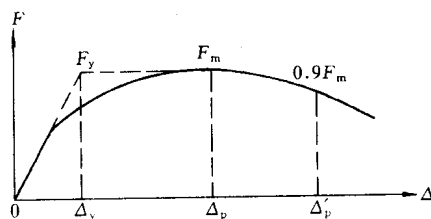


图 1-3 屈服变形和最大允许变形

钢筋混凝土是一种弹塑性材料,钢筋混凝土结构具有塑性变形的能力,当地震作用下结构达到屈服以后,利用结构塑性变形来吸收能量。增加结构的延性,不仅能削减地震反应,而且提高了结构抗御强烈地震的能力。

结构或构件的延性是通过试验测定的,是由采取一系列的构造措施实现的。因此,在结构抗震设计中必须严格执行规范、规程中有关的构造要求。从保证延性的重要性而言,抗震结构的构造措施比计算更重要。

高层建筑钢筋混凝土结构的延性要求为 $\mu=4\sim 8$ 。为了保证结构的延性,构件要有足够截面尺寸,柱的轴压比,梁和剪力墙的剪压比,构件截面配筋率要适宜,应遵照规范、规程的规定要求。

8. 剪跨比与剪压比是判别梁、柱和墙肢等抗侧力构件抗震性能的重要指标。剪跨比用于区分变形特征和变形能力,剪压比用于限制内力,保证延性。剪跨比与剪压比可分别按以下公式计算:

$$(1) \text{剪跨比: } \lambda = \frac{M}{Vh_0}$$

$\lambda > 2$, 弯剪型, 弯曲型 $\lambda \leq 2$, 剪切型

剪跨比可以用以下图形表示(图 1-4)。

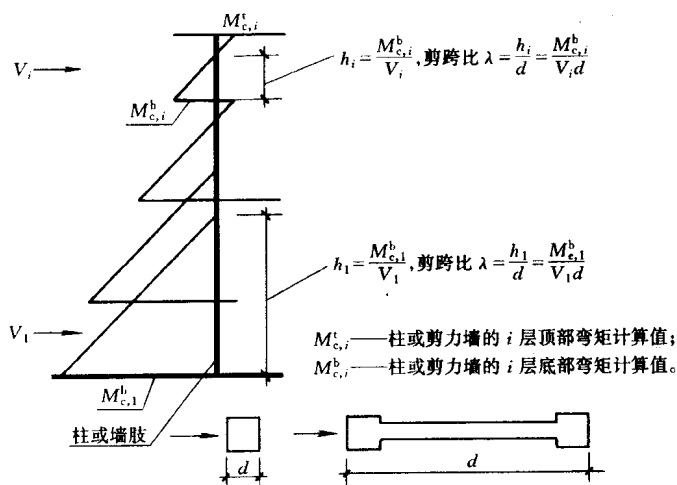


图 1-4 柱或墙的剪跨比

$$(2) \text{剪压比: } \beta = \frac{\gamma_{RE} V}{f_c b h_0}$$

跨高比大于 2.5 的梁和连梁及剪跨比大于 2 的柱和墙肢应限制 $\beta \leq 0.2$ 。

跨高比不大于 2.5 的梁和连梁及剪跨比不大于 2 的柱的墙肢应限制 $\beta \leq 0.15$ 。

上式中 λ ——剪跨比, 反弯点位于楼层中部的框架柱可按柱净高与两倍柱截面高度之比

$$\text{计算, } \lambda = \frac{H_n}{2h};$$

M ——柱端或墙截面组合的弯矩计算值, 取楼层上下端弯矩较大值;

V ——柱或墙的截面组合的剪力计算值或设计值, 计算 λ 时用计算值, 计算 β 时用设计值;

f_c ——混凝土轴抗压强度设计值;

H_n ——柱净高度；

h ——柱截面高度；

b ——梁、柱截面宽度或墙肢截面厚度，圆形截面柱可按面积相等的方形截面计算。

9. 高层建筑减轻自重比多层建筑更有意义。从地基承载力或桩基承载力考虑，如果在同样地基或桩基情况下，减轻房屋自重意味着不增加基础的造价和处理措施，可以多建层数，这在软弱土层上有突出的经济效益。

地震效应是与建筑的质量成正比，减轻房屋自重是提高结构抗震能力的有效办法。高层建筑中质量大了，不仅作用于结构上的地震剪力大，还由于重心高地震作用倾覆力矩大，对竖向构件产生很大的附加轴力， $p-\Delta$ 效应造成附加弯矩更大。

因此，在高层建筑房屋中，结构构件宜采用高强度材料，非结构构件和围护墙体应采用轻质材料。减轻房屋自重，既减小了竖向荷载作用下构件的内力，使构件截面变小，又可减小结构刚度和地震效应，不但能节省材料，降低造价，还能增加使用空间。

10. 结构自振周期应与地震动卓越周期错开，避免共振造成灾害。地震动卓越周期又称地震动主导周期，是根据地震时某一地区地面运动纪录计算出的反应谱的主峰值位置所对应的周期，它是地震震源特性、传播介质和该地区场地条件的综合反应，并随场地覆盖土层增厚变软而加长。

场地卓越周期 T_0 可按下列公式计算：

场地为单一土层时

$$T_0 = \frac{4H}{V_s} \quad (1-7)$$

场地为多层土时

$$T_0 = \sum \frac{4h_i}{V_{si}} \quad (1-8)$$

式中 H 、 h_i ——单一土层或多层土中第 i 土层的厚度 (m)；

V_s 、 V_{si} ——单一土层或第 i 土层的剪切波速值 (m/s)。

按照《建筑抗震设计规范》的规定，场地的计算深度一般为 20m，且不大于场地覆盖厚度。因此， H 或 $\sum h_i$ 的取值不大于 20m。

高层建筑结构的自振周期，可参考下列经验公式：

框架结构	$T_1 = 0.085N$	(1-9)
框架-剪力墙结构	$T_1 = 0.065N$	
框架-核心筒结构	$T_1 = 0.06N$	
外框筒结构	$T_1 = 0.06N$	
剪力墙结构	$T_1 = 0.05N$	

式中 N 为地面以上房屋总层数。

11. 抗震结构尽可能设置有多道抗震防线，应采用具有联肢墙、壁式框架的剪力墙结构，框架-剪力墙结构，框架-核心筒结构，筒中筒结构等多重抗侧力结构体系。高层建筑避免采用纯框架结构。

12. 结构的承载力、刚度要适应在地震作用下的动力要求，并应均匀连续分布。在一

般静力设计中,任何结构部位的超强设计都不会影响结构的安全。但是,在抗震设计中,某一部分结构的超强,就可能造成结构的相对薄弱部位。因此,抗震设计中要严格遵循该强的就强,该弱的就弱原则,不得任意加强,以及在施工中以大代小、以高钢号代低钢号改变配筋,如必须代换时,应按钢筋抗拉承载力设计值相等的原则进行换算。

13. 在地震作用下节点的承载力应大于相连构件的承载力。当构件屈服、刚度退化时,节点应能保持承载力和刚度不变。

14. 结构单元之间应遵守牢固连接或彻底分离的原则。高层建筑的结构单元之间宜采取加强连接的方法,而不宜采用分离的方法。

15. 合理的控制结构的非弹性部位(塑性铰区),掌握结构的屈服过程及最后形成的屈服机制。要采取有效措施防止过早的混凝土剪切破坏、钢筋锚固滑移和混凝土压碎等脆性破坏。

16. 梁端、柱端及剪力墙的加强部位受弯配筋在满足承载力和抗震构造要求的条件下,应避免钢筋超配。

17. 地基基础的承载力和刚度要与上部结构的承载力和刚度相适应。当上部结构与基础连接部位考虑受弯承载力增大时,相邻基础结构及上部结构嵌固部位的地下室结构,应考虑弯矩增大的作用。

18. 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、女儿墙及其他围护和装饰构件,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。

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》GB 50009—2001 基本风压 w_0 采用。

19. 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。

20. 关于刚性结构和柔性结构的优缺点见表 1-2。

刚性结构与柔性结构的特点

表 1-2

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. 地震反应较大 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. 地震反应较小 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. 当地面运动周期长时,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

21. 基础埋置深度,除了满足地基承载力、变形和稳定性要求外,对于减少建筑物的整体倾斜,防止倾覆和滑移,都将发挥一定的作用,尤其对结构的动力特性关系密切。考虑地震作用下上部结构与地基相互作用后,与一般沿用的抗震分析把建筑物置于刚性地基的假定有明显不同。考虑地基影响后建筑物的结构自振周期增大,顶点位移增加,随基础埋置深度的增加,阻尼增大,底部剪力减小,而且土质越软,埋置深度越深,底部剪力减小得越多。

据日本一些单位的测试结果,12层的框剪结构,考虑其与土体协同工作,有地下室的建筑上部结构,其地震反应要比无地下室的低20%~30%;当采用桩基时,地下室周边土的标准锤击贯入度为4时,每增加一层地下室,桩承受的水平力减少约25%;当周边土标准锤击贯入度为20时,一层地下室桩基承受的水平力可减少70%;东京新宿区,经多次小震明实测表明,地面的地震加速度为地面以下81.6m处的地震加速度的6~7倍。

22. 根据近十多年来对已建成的高层建筑主楼基础与相连的裙房基础沉降观测表明,天然地基或以侧阻为主的摩擦型桩基,当裙房为满堂筏形基础,主楼为筏形基础或箱基,主楼与裙房基础相连接处设置沉降缝或施工后浇带,在施工期间以及竣工以后,此处基础沉降曲线是连续的,没有突变现象;由于主楼基底附加压力大,地基土的压缩沉降影响有较大范围,裙房基底土质好影响距离可达40~60m,土质差影响距离为20~30m,因此沉降曲线的倾斜程度与土质相关,当土质好时比较平缓,土质差时则较陡。

根据上述现象设计时应注意下列几点:

(1) 同时施工的高层建筑主楼基础与裙房基础之间可不设置沉降缝及沉降后浇带,但应设置施工后浇带(浇灌混凝土时间相隔不少于1个月);

(2) 与高层主楼同时建造的裙房基础,设计必须考虑高层部分基础沉降所引起的差异沉降对裙房结构内力影响。当裙房基础设计不采取有效措施时,差异沉降不仅产生在与主楼相连的一跨,在离主楼的若干跨内也同时存在;

(3) 新建高层建筑设计时,应考虑基础沉降对周围已有房屋及管道设施等可能产生的影响;

(4) 对同时建造的高层主楼与裙房,为减少或避免基础的差异沉降,设计时应采取必要的措施(详见第11章)。

第2章 高层建筑结构设计的基本规定

2.1 结构的极限状态

钢筋混凝土结构设计采用以概率理论为基础的极限状态设计法,以可靠指标度量结构构件的可靠度,采用以分项系数的设计表达式进行设计。

整个结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能满足设计规定的某一功能要求,此特定状态称为该功能的极限状态。极限状态可分为下列两类进行计算和验算:

1. 承载能力极限状态

(1) 承载力及稳定:所有结构构件均应进行承载力(包括压屈失稳)计算;在必要时尚应进行结构的倾覆、滑移和漂浮验算;

(2) 处于地震区的结构应进行结构构件抗震的承载力计算;

(3) 直接承受吊车的构件,应进行疲劳强度验算;但直接承受安装或检修用吊车的构件,根据使用情况和设计经验可不作疲劳强度的验算。

2. 正常使用极限状态

(1) 对使用上需要控制变形值的结构构件,应进行变形验算;

(2) 对使用上要求不出现裂缝的构件,应进行混凝土拉应力验算;对使用上允许出现裂缝的构件,应进行裂缝宽度的验算。

结构构件的承载力(包括压屈失稳)计算和倾覆、滑移和漂浮验算,均采用荷载设计值;疲劳、变形、抗裂及裂缝宽度验算,均应采用相应的荷载代表值;直接受动力荷载的结构构件,在计算承载力、疲劳、抗裂时,应考虑动力荷载的动力系数。预制构件尚应按制作、运输及安装时的荷载设计值进行施工阶段的验算,预制构件本身吊装的验算,应将构件自重乘以动力系数1.5。对现浇结构,必要时应进行施工阶段的验算。

对结构构件进行抗震设计时的荷载取值规定见第3章3.3节。

2.2 材料强度

2.2.1 混凝土

1. 混凝土强度等级应按立方体抗压强度标准值确定,立方体抗压强度标准值系指按照标准方法制作养护的边长为150mm的立方体试件在28d龄期,用标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度。

2. 钢筋混凝土结构的混凝土强度等级不应低于C15;当采用HRB335级钢筋时,混凝土强度等级不宜低于C20;当采用HRB400和RRB400级钢筋以及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；当采用预应力钢绞线、钢丝、热处理钢筋作预应力钢筋时，混凝土强度等级不宜低于 C40。

3. 混凝土强度标准值、设计值及弹性模量应按表 2.2-1 采用。

混凝土的强度设计值、弹性模量和强度标准值

表 2.2-1

混凝土 强度等级	强度设计值 (N/mm ²)		弹性模量 E_c ($\times 10^4$ N/mm ²)	强度标准值 (N/mm ²)	
	轴心抗压 f_c	轴心抗拉 f_t		轴心抗压 f_{ck}	轴心抗拉 f_{tk}
C15	7.2	0.91	2.20	10.0	1.27
C20	9.6	1.10	2.55	13.4	1.54
C25	11.9	1.27	2.80	16.7	1.78
C30	14.3	1.43	3.00	20.1	2.01
C35	16.7	1.57	3.15	23.4	2.20
C40	19.1	1.71	3.25	26.8	2.39
C45	21.1	1.80	3.35	29.6	2.51
C50	23.1	1.89	3.45	32.4	2.64
C55	25.3	1.96	3.55	35.5	2.74
C60	27.5	2.04	3.60	38.5	2.85
C65	29.7	2.09	3.65	41.5	2.93
C70	31.8	2.14	3.70	44.5	2.99
C75	33.8	2.18	3.75	47.4	3.05
C80	35.9	2.22	3.80	50.2	3.11

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 300mm，则表中混凝土的强度设计值应乘以系数 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，可不受此限制；

2. 离心混凝土的强度设计值应按有关专门标准取用。

4. 当温度在 0℃ 到 100℃ 范围内时，混凝土线膨胀系数 α_c 可采用 $1 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。

混凝土泊松比 ν_c 可采用 0.2。

混凝土剪变模量 G_c 可按表 2.2-1 中混凝土弹性模量的 0.4 倍采用。

5. 有抗震设防要求的混凝土结构的混凝土强度等级应符合下列要求：

(1) 设防烈度为 9 度时，混凝土强度等级不宜超过 C60；设防烈度为 8 度时，混凝土强度等级不宜超过 C70；

(2) 当按一级抗震等级设计时，混凝土强度等级不应低于 C30；当按二、三级抗震等级设计时，混凝土强度等级不应低于 C20。

6. 混凝土强度等级大于 C50 时，在构件截面设计中混凝土强度需乘以强度影响系数，系数值如表 2.2-2 所列。

混凝土强度影响系数

表 2.2-2

影响系数	混凝土强度等级							应用构件
	$\leq C50$	C55	C60	C65	C70	C75	C80	
α_1	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	受弯、偏压、偏拉
β_1	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	计算 ξ_b
β_c	1.00	0.967	0.933	0.90	0.867	0.833	0.80	受剪
α	1.00	0.975	0.950	0.925	0.900	0.875	0.85	轴心受压间接钢筋

2.2.2 钢筋

1. 钢筋混凝土结构及预应力混凝土结构的钢筋，应按下列规定选用：

(1) 普通钢筋宜采用 HRB400 级和 HRB335 级钢筋，也可采用 HPB235 级和 RRB400 级钢筋；

(2) 预应力钢筋宜采用预应力钢绞线、钢丝，也可采用热处理钢筋。

注：1. 普通钢筋系指用于钢筋混凝土结构中的钢筋和预应力混凝土结构中的非预应力钢筋；

2. HRB400 级和 HRB335 级钢筋系指国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499 中的 HRB400 级和 HRB335 级钢筋；HPB235 级钢筋系指国家标准《钢筋混凝土用热轧光面钢筋》GB 13013 中的 Q235 级钢筋；RRB400 级钢筋系指国家标准《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014 中的 KL400 级钢筋；

3. 预应力钢丝系指国家标准《预应力混凝土用钢丝》GB/T 5223 中的光面、螺旋肋和三面刻痕的消除应力的高强度钢丝；

4. 预应力钢绞线和钢丝分为Ⅰ级松弛（普通松弛）和Ⅱ级松弛（低松弛）两类；

5. 当采用本条未列出但符合强度和伸长率要求的冷加工钢筋时，应按专门规程设计。

2. 钢筋的强度标准值应具有不小于 95% 的保证率。

热轧钢筋的强度标准值系根据屈服强度确定，用 f_{yk} 表示。预应力钢绞线、钢丝和热处理钢筋的强度标准值系根据极限抗拉强度确定，用 f_{ptk} 表示。

普通钢筋的强度标准值应按表 2.2-3 采用；预应力钢筋的强度标准值应按表 2.2-4 采用。

普通钢筋强度标准值 (N/mm²) 表 2.2-3

种 类		符 号	d (mm)	f_{yk}
热轧钢筋	HPB235 (Q235)	Φ	8~20	235
	HRB335 (20MnSi)	Φ	6~50	335
	HRB400 (20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi)	Φ	6~50	400
	RRB400 (K20MnSi)	Φ ^R	8~40	

预应力钢筋强度标准值 (N/mm²) 表 2.2-4

种 类		符 号	d (mm)	f_{ptk}
钢绞线	1×3	ϕ^S	8.6、10.8	1860、1720、1570
			12.9	1720、1570
	1×7		9.5、11.1、12.7	1860
			15.2	1860、1720
消除应力钢丝	光 面 螺旋肋	ϕ^P	4、5	1770、1670、1570
		ϕ^H	6	1670、1570
			7、8、9	1570
	刻 痕	ϕ^I	5、7	1570
热处理钢筋	40Si2Mn	ϕ^{HT}	6	1470
	48Si2Mn		8.2	
	45Si2Cr		10	

注：1. 钢绞线直径 d 系指钢绞线外接圆直径，即钢绞线标准 GB/T 5224 中的公称直径 D_g ；
2. 各种直径的公称截面面积、钢筋组合面积及各种钢筋间距每 m 宽截面面积见表 2.2-8~表 2.2-10；
3. 消除应力光面钢丝直径 d 为 4~9mm，消除应力螺旋肋钢丝直径 d 为 4~8mm。

3. 普通钢筋的抗拉强度设计值 f_y 及抗压强度设计值 f'_y 应按表 2.2-5 采用；预应力钢筋的抗拉强度设计值 f_{py} 及抗压强度设计值 f'_{py} 应按表 2.2-6 采用。

普通钢筋强度设计值 (N/mm^2)

表 2.2-5

种 类		符 号	f_y	f'_y
热轧钢筋	HPB235 (Q235)	Φ	210	210
	HRB335 (20MnSi)	Φ	300	300
	HRB400 (20MnSiV、20MnSiNb、20MnTi)	Φ	360	360
	RRB400 (K20MnSi)	Φ^R		

注：1. 在钢筋混凝土结构中，轴心受拉和小偏心受拉的钢筋抗拉强度设计值大于 $300\text{N}/\text{mm}^2$ 时，仍应按 $300\text{N}/\text{mm}^2$ 取用；

2. 构件中配有不同种类的钢筋时，每种钢筋应采用各自的强度设计值。

预应力钢筋强度设计值 (N/mm^2)

表 2.2-6

种 类		符 号	d (mm)	f_{pk}	f_{py}	f'_{py}
钢绞线	1×3	ϕ^S	8.6~12.9	1860	1320	390
				1720	1220	
				1570	1110	
	1×7	ϕ^S	9.5~15.2	1860	1320	390
				1720	1220	
消除应力钢丝	光 面	ϕ^P	4~9	1770	1250	410
		ϕ^H		1670	1180	
	螺旋肋	ϕ^H	5、7	1570	1110	410
	刻 痕	ϕ^I		1570	1110	
热处理钢筋	40Si2Mn	ϕ^{HT}	6~10	1470	1040	400
	48Si2Mn					
	45Si2Cr					

注：当预应力钢绞线、钢丝的强度标准值不符合表 2.2-4 的规定时，其强度设计值应进行换算。

4. 钢筋弹性模量 E_s 应按表 2.2-7 采用

钢筋弹性模量 (N/mm^2)

表 2.2-7

种 类	E_s
HPB 235 级钢筋	2.1×10^5
HRB 335 级钢筋、HRB 400 级钢筋、RRB 400 级钢筋、热处理钢筋、	2.0×10^5
消除应力钢丝、螺旋肋钢丝、刻痕钢丝、	2.05×10^5
钢绞线	1.95×10^5

注：必要时钢绞丝可采用实测的弹性模量。

5. 有抗震设防要求的钢筋应符合下列要求：

(1) 结构构件中的普通纵向受力钢筋宜选用 HRB400、HRB335 级热轧钢筋；箍筋宜选用 HRB335、HRB400、HPB235 级热轧钢筋。在施工中，当必须以强度等级较高的钢筋