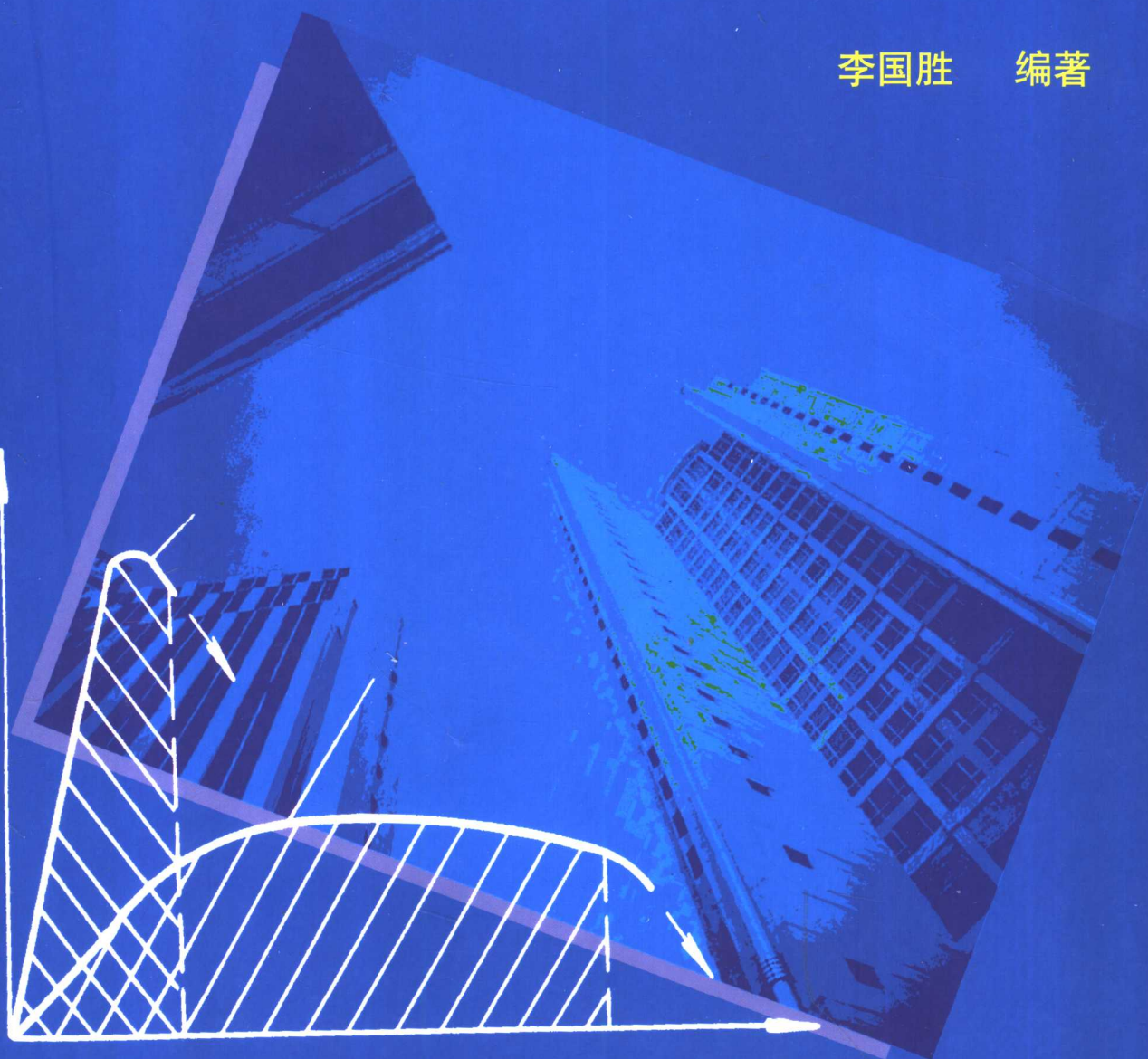


多高层 钢筋混凝土结构设计中 疑难问题的处理及算例

李国胜 编著



中国建筑工业出版社

多高层钢筋混凝土结构设计中 疑难问题的处理及算例

李国胜 编著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

多高层钢筋混凝土结构设计中疑难问题的处理及算例/李国胜编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2004

ISBN 7-112-06353-1

I. 多... II. 李... III. ①多层建筑-钢筋混凝土结构-结构设计-问答 ②高层建筑-钢筋混凝土结构-结构设计-问答 IV. TU973-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 013662 号

多高层钢筋混凝土结构设计中
疑难问题的处理及算例

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

有色曙光印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 18 $\frac{3}{4}$ 字数: 454 千字

2004 年 4 月第一版 2004 年 4 月第一次印刷

印数: 1—4,500 册 定价: 30.00 元

ISBN 7-112-06353-1

TU·5608 (12367)

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>

本书是根据新颁布的《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)、《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《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。

本书内容包括多高层建筑设计概念设计,荷载和地震作用,结构设计的原则和基本规定,结构体系,框架结构,剪力墙结构,框架-剪力墙结构,板柱-剪力墙结构,底部大空间剪力墙结构,筒体结构,多塔楼、错层、连体等复杂结构,混合结构,基础,住宅建筑设计中的一些问题,高层建筑主楼与裙房之间的基础处理,超长结构,超限审查及其他,计算实例,共18章。针对结构设计人员设计工作中常遇到的疑难问题,采用一问一答方式,简明实用,可读性和可操作性强。

本书可供建筑结构设计、施工、施工图审查、监理、科研人员及大专院校土建专业师生使用和参考。

* * *

责任编辑:戚大庆 王 梅

责任设计:崔兰萍

责任校对:黄 燕

前 言

随着我国经济的发展，全国大中型城市多高层建筑迅速增多，多高层建筑设计已成为建筑设计人员的重要工作内容。近两年来新的《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）、《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）、《混凝土结构设计规范》（GB 50010—2002）、《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）等规范、规程相继颁布执行。由于新旧规范、规程许多内容有所不同，结构设计人员工作中对新规范、规程的某些内容有不同理解和疑问，尤其是对工程设计中较特殊的一些问题，难以应用规范进行处理。本书内容系针对如上所述及近年来在学术交流中、指导工程设计中大家提出的问题，根据有关规范、规程和资料以及本人的经验编写的，重点是对多高层建筑设计一些重要问题的处理方法，并列有一些实用图表和计算实例，供建筑设计人员参考，助以提高设计质量及效率，也可供从事多高层建筑工程的施工图文件审查、施工及监理等工作的其他人员参考。本书的特点是简明实用，可读性和可操作性强。

本书由李国胜主编，并最后统一定稿。咸大庆、苗国航参加了部分章节的编写工作，内容涉及第2章、第3章、第4章、第5章、第6章、第7章、第13章等。

本书内容涉及的专业技术面广，限于编著者的水平，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

1 概念设计	1
1.1 在建筑结构设计中为什么要强调概念设计?	1
1.2 结构抗震概念设计的基本原则是哪些?	1
1.3 为什么高层建筑设计更应重视概念设计?	2
1.4 要做好概念设计应掌握哪方面知识?	2
1.5 地震震级和烈度是怎样确定的?	2
1.6 结构抗震设计的基本要求是什么?	3
1.7 高层建筑设计的特点是什么?	6
1.8 梁、柱、墙的剪跨比和剪压比为什么重要?	7
1.9 对多高层建筑结构计算软件有哪些基本要求?	8
1.10 多高层建筑基础埋置深度与地震反应有无关系?	9
2 荷载和地震作用	10
2.1 为什么设计楼面梁、墙、柱及基础时楼面活荷载应乘以规定的折减系数?	10
2.2 高层建筑屋面直升机停机坪荷载怎样确定?	10
2.3 怎样估算各类结构楼层单位面积的重量标准值?	11
2.4 多高层建筑的风荷载计算有哪些要点?	11
2.5 建筑结构重要性分类是怎样划分的?	15
2.6 地震作用计算有哪些规定?	15
2.7 地震作用计算的原则和方法有哪些?	16
2.8 采用弹性时程分析时有哪些要求?	17
2.9 计算地震作用时,可变荷载的组合系数怎么确定?	17
2.10 地震作用影响系数和特征周期是怎样确定的?	17
2.11 结构基本周期、结构自振周期与设计特征周期、场地卓越周期之间有何联系?	18
2.12 高层建筑结构计算单向地震作用时为什么要考虑偶然偏心的影响?	18
2.13 为什么 8 度和 9 度抗震设防时,对于大跨度和长悬臂结构要考虑竖向地震作用?	19
2.14 为什么计算各振型地震影响系数所采用的结构自振周期应考虑折减?折减系数怎么取?	19
2.15 为什么水平地震作用计算时,结构各楼层要规定最小地震剪力?	20
2.16 突出屋面的塔楼水平地震作用怎样计算?	22
2.17 哪种情况下楼层剪力可以折减?	24

3 结构设计的原则和基本规定	25
3.1 结构设计的原则是什么?	25
3.2 结构的设计使用年限和安全等级是怎样确定的?	25
3.3 对于设计使用年限为 100 年及其以上的丙类建筑, 设计基本地震 加速度、抗震措施和抗震构造措施应如何确定?	26
3.4 建筑抗震设防分类是怎样确定的?	27
3.5 抗震设计的基本原则有哪些?	28
3.6 抗震设计的多高层建筑对建筑场地有哪些规定?	29
3.7 多高层建筑的适用高度和高宽比的房屋高度应怎样确定?	30
3.8 较复杂体型的高层建筑高宽比如何确定?	31
3.9 多高层建筑结构平面布置有哪些规定?	31
3.10 多高层建筑结构竖向布置有哪些规定?	35
3.11 怎样通过计算来限制建筑结构的不规则性?	37
3.12 多高层建筑结构水平位移限值的目的是什么?	39
3.13 楼层层间最大位移 Δu 是怎样计算的?	39
3.14 为什么要进行薄弱层弹塑性变形计算?	39
3.15 《高规》为什么规定舒适度要求?	39
3.16 多高层房屋适用高度和高宽比如何确定?	41
3.17 建筑结构抗震等级是怎样确定的?	41
3.18 重力二阶效应和结构整体稳定应怎样考虑?	44
3.19 建筑结构的整体倾覆怎样验算?	47
3.20 哪些钢筋混凝土构件可采用考虑塑性内力重分布的分析方法?	48
3.21 剪切刚度、剪弯刚度和地震剪力与层间位移的比值求出的刚度, 这三种算法有何区别?	49
3.22 地下室顶板作为上部结构的计算嵌固部位, 应满足什么要求?	50
4 结构体系	52
4.1 多高层建筑的结构体系有哪些?	52
4.2 框架结构体系的特点是什么?	52
4.3 剪力墙结构体系的特点是什么?	52
4.4 框架-剪力墙结构体系的特点是什么?	52
4.5 筒体结构体系的特点是什么?	53
4.6 什么是混合结构体系?	53
4.7 复杂高层结构包括哪些结构?	54
4.8 多高层建筑还有哪些其他结构体系?	54
4.9 高层建筑的结构体系对抗震有哪些要求?	55
5 框架结构	56
5.1 多高层建筑的框架结构为什么应设计成双向梁柱抗侧力体系? 怎样理解主体结构除个别部位外, 不应采用铰接?	56

5.2	为什么有抗震设计的框架结构不宜采用单跨框架？	56
5.3	为什么框架梁、柱中心线宜重合？	56
5.4	框架梁水平加腋的构造有哪些要求？	57
5.5	为什么框架结构按抗震设计时，不应采用部分由砌体墙承重的混合形式？	57
5.6	有抗震设计的框架结构，采取哪些措施达到延性要求？	58
5.7	框架梁的截面怎样确定？	58
5.8	框架梁采用扁梁时应注意什么？	58
5.9	框架结构中的次梁要不要考虑延性？其构造与框架梁有何区别？	59
5.10	框架梁的纵向受拉钢筋，不同抗震等级及非抗震设计时最大、最小配筋率有什么区别？	59
5.11	框架梁为什么沿跨中顶面和底面设置全长纵向钢筋？	60
5.12	为什么一、二级抗震等级的框架梁，贯通中柱的纵向钢筋直径有要求？	61
5.13	为什么框架梁的箍筋，有抗震设计与无抗震设计有不同要求？	61
5.14	框架柱的截面尺寸怎样确定？	63
5.15	为满足柱轴压比限值，尽可能减小柱截面尺寸有哪些措施？	64
5.16	剪跨比小的柱（短柱）为什么不好？设计中应采取何种措施？	65
5.17	有抗震设计时为提高框架柱的延性，达到“强柱”要求有哪些措施？	66
5.18	框架柱的纵向钢筋有哪些规定？	67
5.19	框架柱的箍筋有哪些规定？	68
5.20	框架梁柱节点核心区截面抗震验算有哪些规定？	77
5.21	框架梁、柱纵向钢筋锚固、接头有哪些规定？	80
5.22	为什么框架梁、柱纵向钢筋优先采用机械接头和搭接接头，焊接接头列后？	82
5.23	框架柱的混凝土强度等级与梁的混凝土强度等级不同时，节点混凝土应如何处理？	83
5.24	梁上开洞的计算和构造有哪些规定？	83
5.25	加腋梁进行内力和位移计算时，如何处理线刚度？	85
6	剪力墙结构	87
6.1	结构布置有哪些规定？	87
6.2	剪力墙是怎样分类的？	87
6.3	一般剪力墙结构的设计要点有哪些？	88
6.4	短肢剪力墙的设计有哪些规定？	90
6.5	剪力墙厚度不满足《高规》第7.2.2条的1、2、3款时怎么办？	91
6.6	剪力墙的墙肢长度（墙肢截面高度）大于8m时怎样处理？	92
6.7	剪力墙截面计算有哪些内容？	92
6.8	剪力墙结构底部加强部位的意义是什么？其高度怎么确定？	92
6.9	剪力墙底部加强部位的墙肢轴压比怎样限值？	93
6.10	剪力墙设置约束边缘构件还是构造边缘构件，根据什么条件确定？	93
6.11	剪力墙的约束边缘构件有哪些规定？	93

6.12	剪力墙的构造边缘构件有哪些规定？	96
6.13	剪力墙的水平 and 竖向分布钢筋有哪些规定？	97
6.14	剪力墙的连接梁设计有哪些规定？	99
6.15	剪力墙结构中，连梁超筋时怎样处理？	101
7	框架-剪力墙结构	103
7.1	框剪结构的特点是什么？	103
7.2	结构布置有哪些规定？	104
7.3	框剪结构中剪力墙的合理数量怎样确定？	106
7.4	框剪结构中刚度怎样计算？	108
7.5	截面设计和构造有哪些规定？	109
7.6	剪力墙上开洞如何计算及构造？	110
7.7	框架柱与剪力墙相连的梁是否作为连梁？	112
7.8	剪力墙的边框柱是否按框架柱考虑？	112
8	板柱-剪力墙结构	113
8.1	板柱-剪力墙结构适用于哪些多高层建筑？	113
8.2	板柱-剪力墙结构的特点是什么？	113
8.3	结构布置有哪些要求？	114
8.4	内力和位移计算采用什么方法？	115
8.5	截面设计和构造有哪些要求？	118
9	底部大空间剪力墙结构	124
9.1	什么是底部大空间剪力墙结构？	124
9.2	框支层的层数可以做几层？	124
9.3	结构设计时应遵循哪些原则？	124
9.4	结构布置有哪些规定？	125
9.5	底部加强部位应取多高？抗震等级怎么取？	126
9.6	转换层设计应注意些什么？	127
9.7	框支梁设计有哪些规定？	128
9.8	转换梁设计有哪些要求？	129
9.9	箱形梁设计有哪些规定？	130
9.10	转换厚板设计有哪些规定？	131
9.11	框支柱设计有哪些规定？	131
9.12	落地剪力墙、筒体设计有哪些规定？	134
9.13	框支梁上部墙体及楼板设计有哪些规定？	135
9.14	各项增大系数汇总	138
10	筒体结构	139
10.1	常用的筒体结构有哪几种？	139
10.2	筒体结构的发展及受力特点怎样？	140

10.3	框架-核心筒结构设计要点是什么？	141
10.4	筒中筒结构设计要点是什么？	142
10.5	筒体结构楼盖角区及主梁与筒体连接应注意什么？	145
10.6	筒体结构截面设计时内力应如何调整？	147
10.7	筒体结构截面设计的构造有哪些规定？	149
10.8	构造还有哪些要求？	154
10.9	筒体结构带加强层设计有哪些要点？	154
10.10	筒中筒结构的转换层设计有哪些要点？	156
11	多塔楼、连体、错层和带加强层等复杂结构	159
11.1	《高规》所指的复杂高层建筑结构有哪些？	159
11.2	什么是多塔楼结构？	159
11.3	多塔楼结构布置有哪些规定？	159
11.4	多塔楼结构应有哪些加强措施？	160
11.5	什么是连体结构？	160
11.6	连体结构的抗震性能怎么样？	161
11.7	连体结构的结构布置和构造有哪些规定？	161
11.8	什么是错层结构？	162
11.9	错层结构特点是什么？	162
11.10	对错层结构的设计有哪些规定？	162
12	混合结构	164
12.1	什么是混合结构？应用于哪些高层建筑？	164
12.2	混合结构设计有哪些原则规定？	164
12.3	结构布置有哪些要求？	166
12.4	型钢混凝土构件有哪些构造要求？	168
13	基础	172
13.1	多高层建筑的基础设计要点是什么？	172
13.2	地基基础设计有哪些规定？	173
13.3	地基承载力应如何确定？	174
13.4	筏形基础的设计要点有哪些？	176
13.5	箱形基础设计中应注意哪些问题？	181
13.6	单独柱基设计中应注意哪些问题？	182
13.7	地下室外墙有哪些设计要点？	183
14	住宅建筑结构设计中的一些问题	186
14.1	住宅建筑结构设计的基本要求有哪些？	186
14.2	高层住宅建筑的结构选用哪种体系？	186
14.3	居住建筑结构设计中常遇的问题怎么处理？	189

15 多高层建筑主楼与裙房之间基础的处理	193
15.1 主楼与裙房之间基础要不要设沉降缝?	193
15.2 为减少主楼与裙房之间基础差异沉降应采取哪些措施?	193
15.3 与主楼相通的地下停车库设计应注意哪些问题?	194
16 超长结构	197
16.1 何谓超长结构?	197
16.2 混凝土开裂的原因是什么?	197
16.3 混凝土结构裂缝有哪些类型?	199
16.4 超长结构控制裂缝的措施有哪些?	199
16.5 超长结构无缝设计施工具体方法是什么?	202
17 超限审查及其他	205
17.1 超限高层建筑工程为什么要审查?	205
17.2 超限高层建筑工程专项审查由谁组织管理? 怎样审查?	205
17.3 超限高层建筑工程专项审查的内容有哪些?	205
17.4 超限高层建筑工程专项审查工作在哪个设计阶段进行? 所需时间 多少及费用由谁承担?	205
17.5 承担超限高层建筑工程的勘察、设计、施工、监理、施工图设计 文件审查单位资质有哪些要求?	206
17.6 超限高层建筑工程具体指哪些工程?	206
17.7 哪些工程属于特别不规则的高层建筑工程?	206
17.8 超限高层建筑工程审查的申报材料的基本内容应有哪些?	207
17.9 超限高层建筑工程专项审查的重点是什么?	208
17.10 梁顶部设柱要不要有附加横向钢筋?	208
17.11 梁设附加横向钢筋应注意些什么问题?	208
17.12 基础底板电梯井坑、集水坑配筋应注意些什么问题?	209
18 计算实例	210
18.1 框架结构	210
18.2 剪力墙结构	214
18.3 框架-剪力墙结构	250
18.4 框架-核心筒结构	264
18.5 底部大空间剪力墙结构	282
18.6 地下室外墙及基础筏板冲切	282
参考文献	287

1 概念设计

1.1 在建筑结构设计中为什么要强调概念设计？

强调结构概念设计的重要性，旨在要求建筑师和结构工程师在建筑设计中应特别重视规范、规程中有关结构概念设计的各条规定，设计中不能陷入只凭计算的误区。若结构严重不规则、整体性差，则仅按目前的结构设计计算水平，难以保证结构的抗震、抗风性能，尤其是抗震性能。

1.2 结构抗震概念设计的基本原则是哪些？

结构抗震概念设计的目标是使整体结构能发挥耗散地震能量的作用，避免结构出现敏感的薄弱部位，地震能量的耗散仅集中在极少数薄弱部位，导致结构过早破坏。现有抗震设计方法的前提之一是假定整个结构能发挥耗散地震能量的作用，在此前提下，才能以多遇地震作用进行结构计算、构件设计并加以构造措施，或采用动力时程分析进行验算，试图达到罕遇地震作用下结构不倒塌的目标。下面重点阐述结构抗震概念设计的基本原则：

(1) 结构的简单性

结构简单是指结构在地震作用下具有直接和明确的传力途径，结构的计算模型、内力和位移分析以及限制薄弱部位出现都易于把握，对结构抗震性能的估计也比较可靠。

(2) 结构的规则和均匀性

1) 沿建筑物竖向，建筑造型和结构布置比较均匀，避免刚度、承载能力和传力途径的突变，以限制结构在竖向某一楼层或极少数几个楼层出现敏感的薄弱部位。这些部位将产生过大的应力集中或过大的变形，容易导致结构过早地倒塌。

2) 建筑平面比较规则，平面内结构布置比较均匀，使建筑物分布质量产生的地震惯性力能以比较短和直接的途径传递，并使质量分布与结构刚度分布协调，限制质量与刚度之间的偏心。建筑平面规则、结构布置均匀，有利于防止薄弱的子结构过早破坏、倒塌，使地震作用能在各子结构之间重分布，增加结构的赘余度数量，发挥整个结构耗散地震能量的作用。

(3) 结构的刚度和抗震能力

1) 水平地震作用是双向的，结构布置应使结构能抵抗任意方向的地震作用。通常，可使结构沿平面上两个主轴方向具有足够的刚度和抗震能力。结构的抗震能力则是结构承载力及延性的综合反映。

2) 结构刚度选择时，虽可考虑场地特征，选择结构刚度，以减少地震作用效应，但也要注意控制结构变形的增大，过大的变形将会因 $P-\Delta$ 效应过大而导致结构破坏。

3) 结构除需要满足水平方向的刚度和抗震能力外，还应具有足够的抗扭刚度和抵抗扭转振动的能力。现有抗震设计计算中不考虑地震地面运动的扭转分量，在概念设计中应

注意提高结构的抗扭刚度和抵抗扭转振动的能力。

(4) 结构的整体性

1) 高层建筑结构中,楼盖对于结构的整体性起到非常重要的作用。楼盖相当于水平隔板,它不仅聚集和传递惯性力到各个竖向抗侧力子结构,而且要使这些子结构能协同承受地震作用,特别是当竖向抗侧力子结构布置不均匀或布置复杂或各抗侧力子结构水平变形特征不同时,整个结构就要依靠楼盖使各抗侧力子结构能协同工作。楼盖体系最重要的作用是提供足够的面内刚度和抗力,并与竖向各子结构有效连接,当结构空旷、平面狭长或平面凹凸不规则或楼盖开大洞口时,更应特别注意。设计中不能误认为,在多遇地震作用计算中考虑了楼板平面内弹性变形影响后,就可削弱楼盖体系。

2) 高层建筑基础的整体性以及基础与上部结构的可靠连接是结构整体性的重要保证。

1.3 为什么高层建筑设计更应重视概念设计?

高层建筑设计尤其是在高层建筑抗震设计中,应当非常重视概念设计。这是因为高层建筑结构的复杂性,发生地震时地震动的不确定性,人们对地震时结构响应认识的局限性与模糊性,高层结构计算尤其是抗震分析计算的精确性,材料性能与施工安装时的变异性以及其他不可预测的因素,致使设计计算结果(尤其是经过实用简化后的计算结果)可能和实际相差较大,甚至有些作用效应至今尚无法定量计算出来。因此在设计中,虽然分析计算是必须的,也是设计的重要依据,但仅此往往不能满足结构安全性、可靠性的要求,不能达到预期的设计目标。还必须非常重视概念设计。从某种意义上讲,概念设计甚至比分析计算更为重要。

概念设计是通过无数的事例分析,历年来国内外震害分析,模拟试验的定量定性分析及长期以来国内外的设计与使用经验分析、归纳、总结出来的。而这些原则、规定与方法往往是基础性、整体性、全局性和关键性的。有些概念设计的要求,为整个设计设置了二道防线,保证了建筑物的安全、可靠。合理的结构方案是安全可靠的优秀设计的基本保证。

1.4 要做好概念设计应掌握哪方面知识?

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。

1.5 地震震级和烈度是怎样确定的?

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（简称《抗震规范》）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《抗震规范》附录 A。

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。

1.6 结构抗震设计的基本要求是什么？

（1）三水准设防要求

建筑结构采用三个水准进行抗震设防，其要求是：“小震不坏，中震可修，大震不倒”，即是说：

第一水准：多高层建筑在其使用期间，对遭遇频率较高、强度较低的地震时，建筑不损坏，不需要修理，结构应处于弹性状态，可以假定服从线性弹性理论，用弹性反应谱进行地震作用计算，按承载力要求进行截面设计，并控制结构弹性变形符合要求。

第二水准：建筑物在基本烈度的地震作用下，允许结构达到或超过屈服极限（钢筋混凝土结构会产生裂缝），产生弹塑性变形，依靠结构的塑性耗能能力，使结构得以保持稳定保存下来，经过修复还可使用。此时，结构抗震设计应按变形要求进行。

第三水准：在预先估计到的罕见强烈地震作用下，结构进入弹塑性大变形状态，部分产生破坏，但应防止结构倒塌，避免危及生命安全。这一阶段应考虑防倒塌的设计。

小震烈度比基本烈度约低 1.55 度，大震烈度比基本烈度约高 1 度（图 1-1）。

从三个水准的地震出现的频度来看，第一水准，即多遇地震，约 50 年一遇；第二水

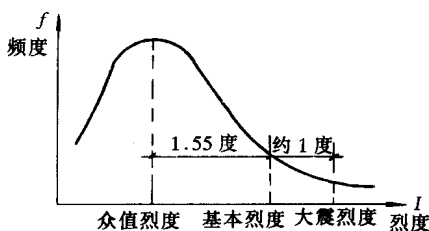


图 1-1 三个水准下的烈度

准，即基本烈度设防地震，约 475 年一遇；第三水准，即罕遇地震，约为 2000 年一遇的强烈地震。

(2) 二阶段抗震设计

二阶段抗震设计是对三水准抗震设计思想的具体实施。通过二阶段设计中第一阶段对构件截面承载力验算和第二阶段对弹塑性变形验算，并与概念设计和构造措施相结合，从而实现“小震不坏、中震可修、大震不倒”的抗震要求。

1) 第一阶段设计

对于多高层建筑结构，首先应满足第一、二水准的抗震要求。为此，首先应按多遇地震（即第一水准，比设防烈度约低 1.55 度）的地震动参数计算地震作用，进行结构分析和地震内力计算，考虑各种分项系数、荷载组合值系数进行荷载与地震作用产生内力的组合，进行截面配筋计算和结构弹性位移控制，并相应采取构造措施保证结构的延性，使之具有与第二水准（设防烈度）相应的变形能力，从而实现“小震不坏”和“中震可修”。这一阶段设计对所有抗震设计的多高层建筑结构都必须进行。

2) 第二阶段设计

对地震时抗震能力较低、容易倒塌的多高层建筑结构（如纯框架结构）以及抗震要求较高的建筑结构（如甲类建筑），要进行易损部位（薄弱层）的塑性变形验算，并采取措施提高薄弱层的承载力或增加变形能力，使薄弱层的塑性水平变位不超过允许的变位。这一阶段设计主要是对甲类建筑和特别不规则的结构。

(3) 有抗震设防的多高层建筑设计，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。即当遭遇相当于设防烈度的地震时，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）。

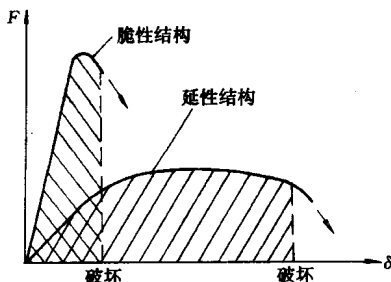


图 1-2 结构的变形

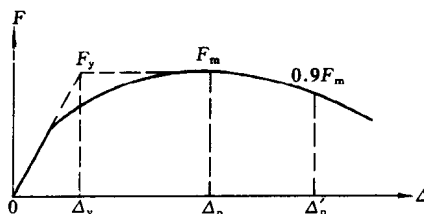


图 1-3 屈服变形和最大允许变形

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：

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

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)。

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。

多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。

(4) 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

$$T_0 = \frac{4H}{v_s} \quad (1-2)$$

场地为多层土时

$$T_0 = \sum \frac{4h_i}{v_{si}} \quad (1-3)$$

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。

多高层建筑结构的自振周期，可参考下列经验公式：

框架结构	$T_1 = 0.085 N$	
框架-剪力墙结构	$T_1 = 0.065 N$	
框架-核心筒结构	$T_1 = 0.06 N$	(1-4)
外框筒结构	$T_1 = 0.06 N$	
剪力墙结构	$T_1 = 0.05 N$	

式中 N 为地面以上房屋总层数。

(5) 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。

(6) 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。

(7) 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。

为保证混凝土与钢筋共同工作，必须使钢筋有足够的锚固长度和混凝土保护层厚度，在设计中无论柱、梁的纵向钢筋、墙的分布钢筋和楼板钢筋，直径宜细不宜粗，间距宜密不宜稀。

1.7 高层建筑结构设计的特点是什么？

(1) 高层建筑结构与低层、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。

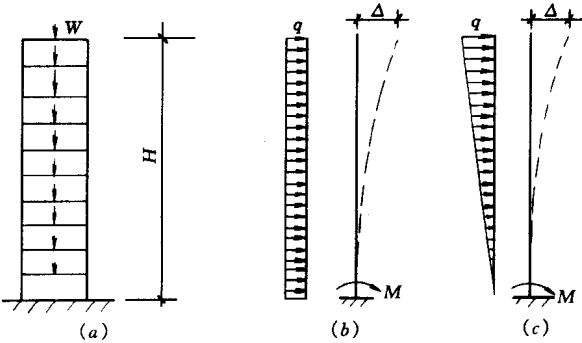


图 1-4 高层建筑结构受力简图

(2) 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。在高层建筑结构中，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 1-4 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

$$N = WH \tag{1-5}$$

水平力产生的弯矩

均布荷载

$$M = \frac{1}{2} qH^2 \tag{1-6}$$

倒三角形分布荷载

$$M = \frac{qH^2}{3} \tag{1-7}$$

水平力产生的顶点侧向位移

均布荷载

$$\Delta = \frac{qH^4}{8EI} \tag{1-8}$$

倒三角形分布荷载

$$\Delta = \frac{11qH^4}{120EI} \tag{1-9}$$