



JIANZHU JIEGOU

KANGZHEN SHEJI LINIAN YU FANGFA YANJIU

建筑结构

抗震设计理念与方法研究

王玉镯 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

建筑结构

抗震设计理念与方法研究

王玉镯 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书根据新版《建筑结构抗震设计规范 GB 50011—2010》(2010 年 12 月 1 日开始实施)编写,系统地介绍了建筑结构抗震设计的基本理论,包括地震及结构抗震防设的基本知识、多层与高层钢筋混凝土房屋抗震设计、多层砌体房屋与底部框架砌体房屋抗震设计、多层与高层钢结构房屋抗震设计、单层厂房抗震设计、建筑结构隔震设计和建筑结构消能减震设计等。本书内容丰富,条理清晰,采用典型建筑结构抗震设计的实例来阐述反震的特性和方法,技巧性强,难易兼顾,是一本值得学习研究的著作。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计理念与方法研究/王玉镯著. --
北京:中国水利水电出版社,2016. 7
ISBN 978-7-5170-4471-0

I. ①建… II. ①王… III. ①建筑结构—防震设计—
设计理念②建筑结构—防震设计—方法研究 IV.
①TU352. 104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 142169 号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:陈 洁 封面设计:马静静

书 名	建筑结构抗震设计理念与方法研究
作 者	王玉镯 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www. waterpub. com. cn E-mail:mchannel@263. net(万水) sales@waterpub. com. cn 电话:(010)68367658(发行部)、82562819(万水)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话:(010)88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京厚诚则铭印刷科技有限公司
印 刷	三河市佳星印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 17. 25 印张 224 千字
版 次	2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	52. 00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

地震是一种突发性的自然灾害,会给人民生命和财产造成巨大的伤害。据统计,全世界每年发生的地震约达 500 万次,其中绝大多数地震由于发生在地球深处或所释放的能量较小而难以被人们感觉到;人们感觉到的地震仅占地震总量的 1% 左右,但这些为数不多的地震,却给人们带来了无可挽回的巨大经济损失和重大的人员伤亡。

2016 年日本九州熊本县 4 月 14 日晚至 15 日凌晨发生多次最大震级达到里氏 6.5 级,震度为 7 的强烈地震,造成 9 人死亡,800 多人受伤;2010 年 2 月 27 日智利发生了 8.8 级大地震,震源深度为 35 千米,此次地震造成至少 521 人死亡,59 人失踪,12000 多人受伤;2008 年 5 月 12 日发生在四川汶川的 8.0 级大地震造成了近十万人伤亡,这是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广的一次地震。这起历史罕见的地震灾害所造成的巨大破坏,令举国震惊,举世关注,所以加强抗震设防尤为重要。

我国是一个地震灾害多发的国家,也是地震灾害最严重的国家,所以,结构抗震设计是建筑设计的重要内容。结构抗震是一门多学科性、综合性很强的学科,它涉及地球物理学、地质学、地震学、结构动力学及工程结构学等学科。随着学科研究的深入,尤其是震害经验的不断积累,一些关于建筑结构抗震设计的新理论、新方法不断出现。建筑抗震设计规范是结构抗震设计新理论、新方法的集中体现。为了便于读者理解和掌握实际技能,作者以《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)及《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223—2008)等规范为依据,汲取了建筑结构抗震方面的最新研究成果和经验,撰写了《建筑结构抗震设计理念与方法研究》这本书。

本书的内容组织结构为:首先介绍地震成因的基础知识、结构的抗震设防和建筑抗震设计的基本要求(第1章),然后讲述多层与高层钢筋混凝土房屋、砌体房屋以及结构房屋的抗震设计方法(第2~4章),之后是单层厂房抗震的设计方法(第5章),最后介绍已经成为抗震设计重要内容之一的结构隔震与消能减震技术设计的原理和方法(第6、7章)。全书深入浅出,理论与实践相结合,更注重实际经验的运算;结构体系上重点突出,详略得当,还注意了知识的融贯性,突出整合性的撰写原则。

本书在撰写过程中参考了大量书籍,在此向有关作者表示衷心的感谢并在参考文献中列出。

由于作者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,殷切希望读者批评指正。

山东建筑大学 王玉镯
2016年3月

目 录

前 言

第 1 章 引言	1
1.1 地震的成因	1
1.2 结构的抗震设防	3
1.3 抗震设计的基本要求	6
第 2 章 多层与高层钢筋混凝土房屋抗震设计	12
2.1 多层与高层钢筋混凝土房屋的震害及其分析	12
2.2 多层与高层钢筋混凝土房屋抗震设计的一般 要求	18
2.3 钢筋混凝土框架结构抗震设计	29
2.4 钢筋混凝土抗震墙结构抗震设计	49
2.5 钢筋混凝土框架-抗震墙结构抗震设计	55
第 3 章 多层砌体房屋与底部框架砌体房屋抗震设计	65
3.1 多层砌体房屋的震害及其分析	65
3.2 多层砌体房屋抗震设计的一般要求	67
3.3 多层砌体房屋的抗震验算	73
3.4 多层砌体房屋抗震构造措施	83
3.5 底部框架-抗震墙房屋抗震设计	102
第 4 章 多层与高层钢结构房屋抗震设计	122
4.1 多层与高层钢结构房屋的震害及其分析	122
4.2 多层与高层钢结构房屋抗震设计的一般规定	134

4.3	多层与高层钢结构房屋抗震计算	138
4.4	多层与高层钢结构房屋抗震构造措施	148
4.5	多层与高层钢结构房屋抗震设计实例	158
第5章	单层厂房抗震设计	165
5.1	单层厂房的震害及其分析	165
5.2	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	170
5.3	单层钢结构厂房抗震设计	202
第6章	建筑结构隔震设计	204
6.1	建筑结构隔震原理	204
6.2	隔震系统的构成	206
6.3	建筑隔震结构的设计要点	208
6.4	建筑隔震结构的施工与维护	233
第7章	建筑结构消能减震设计	240
7.1	建筑结构消能减震原理	240
7.2	建筑结构消能减震装置与部件	241
7.3	消能器的性能检验	253
7.4	消能减震部件的连接	257
参考文献		269

第 1 章 引言

强烈地震在瞬息之间就可以对地面上的建筑物造成严重破坏。现代科技的发展,虽能对地震的发生进行预测,但准确地预报何时、何地、将发生何种强度的地震目前是很困难的,因此对抗震与减震进行研究是非常有必要的。

1.1 地震的成因

根据地震形成原因的不同,地震可分为四大类,具体如图 1-1 所示。

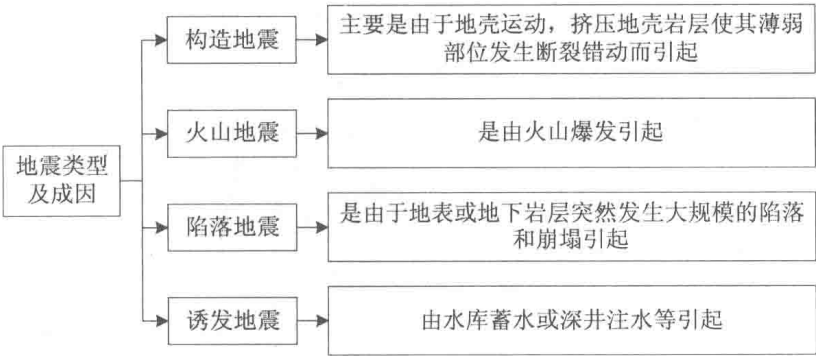


图 1-1 地震的类型及成因

在这四种类型的地震中,构造地震分布最广,危害最大,占地震总量的 90% 以上;虽然火山地震造成的破坏性也较大,但在我国不常见;其他两种类型的地震一般震级较小,破坏性也不大。

用来解释构造地震成因的最主要学说是断层说和板块构造说。

断层说认为,组成地壳的岩层时刻处于变动状态,产生的地应力也在不停变化。当地应力较小时,岩层尚处于完整状态,仅能发生褶皱。随着作用力不断增强,当地应力引起的应变超过某

处岩层的极限应变时,该处的岩层将产生断裂和错动(图 1-2)。而承受应变的岩层在其自身的弹性应力作用下将发生回跳,迅速弹回到新的平衡位置。一般情况下,断层两侧弹性回跳的方向是相反的,岩层中构造变动过程中积累起来的应变能,在回弹过程中得以释放,并以弹性波的形式传至地面,从而引起地面的振动,这就是地震。

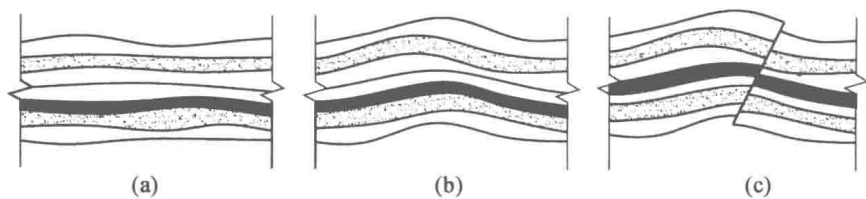


图 1-2 地壳构造变动与地震形成示意图

(a)岩层原始状态;(b)受力后发生褶皱变形;(c)岩层断裂产生振动

如图 1-3 所示,地球的表面岩的六大板块并不是静止不动的,它们之间相对缓慢地进行运动,两两交界处会发生相对挤压和碰撞,从而致使板块边缘附近岩石层脆性断裂而引发地震。地球上大多数地震就发生在这些板块的交界处,从而使地震在空间分布上表现出一定的规律,即形成地震带。

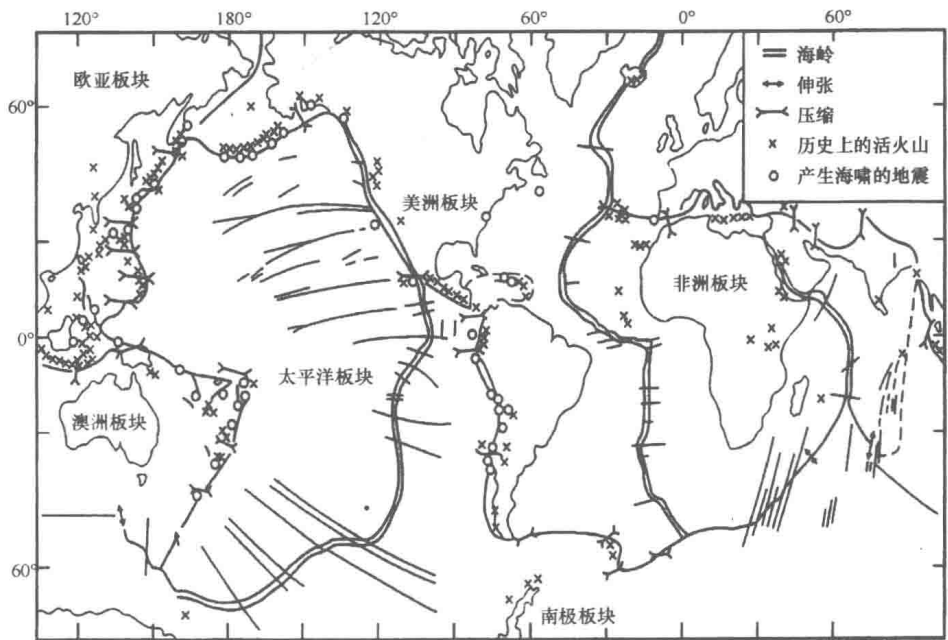


图 1-3 板块的分布

1.2 结构的抗震设防

1.2.1 抗震设防依据

1. 基本烈度和地震动参数

我国使用基本烈度的概念来对某地区未来一定时间内可能发生的最大烈度进行预测,并编制了《中国地震烈度区划图(1990)》,示意图如图 1-4 所示,一般情况下可采用《中国地震动参数区划图》的地震基本烈度或设计地震动参数作为抗震设防依据。

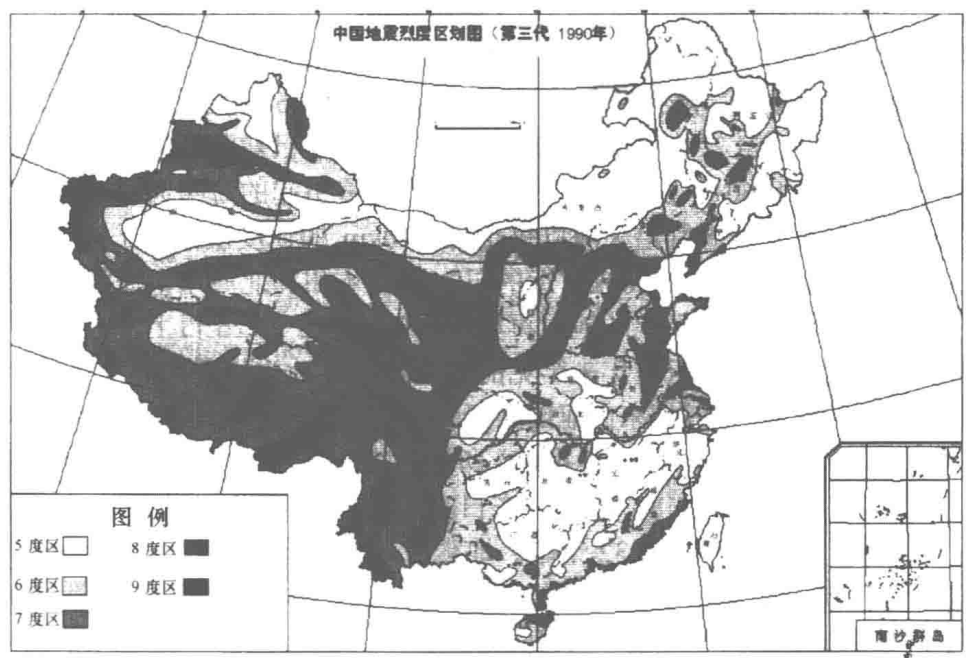


图 1-4 中国地震烈度区划图示意图

2. 地震小区划

地震烈度区划考虑了较大范围的平均地质条件,对大区域地

震活动水平做出了预测。震害经验表明,即使同一地区,场地不同,建筑物受到震害的程度也就不同,也就是说,局部场地条件对地震动的特性和地震破坏效应存在较大影响。地震小区划就是在地震烈度区划的基础上,考虑局部场地条件,给出某一区域(如一个城市)的地震烈度和地震动参数。

3. 设计地震分组

在同样烈度下,将抗震设计分为震中距离近、震中距离中等、震中距离远三组。

1. 2. 2 建筑物重要性分类与设防标准

1. 建筑的抗震设防类别

根据不同建筑使用功能的重要性不同,按其受地震破坏时产生的后果,《建筑工程抗震设防分类标准》(GB50223—2008)将建筑分为甲、乙、丙、丁四个抗震设防类别,具体如图 1-5 所示。

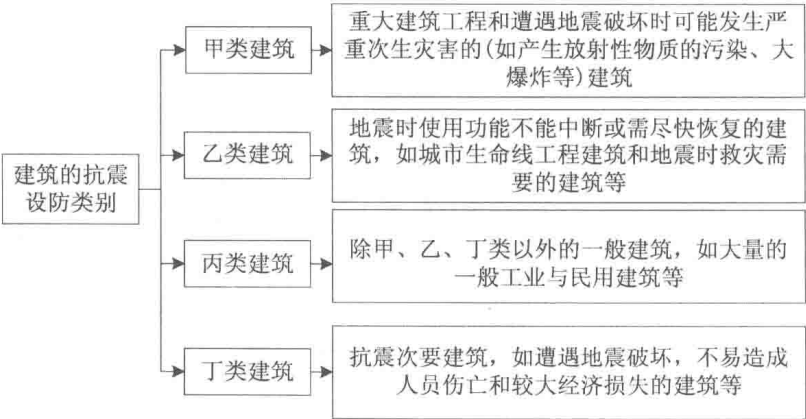


图 1-5 建筑抗震的设防类别

2. 建筑抗震设防标准

对于不同抗震设防类别的建筑,抗震设计时可采用不同的抗震设防标准。我国规范对各抗震设防类别建筑的抗震设防标准,

在地震作用计算和抗震措施方面作了规定,如图 1-6 所示。

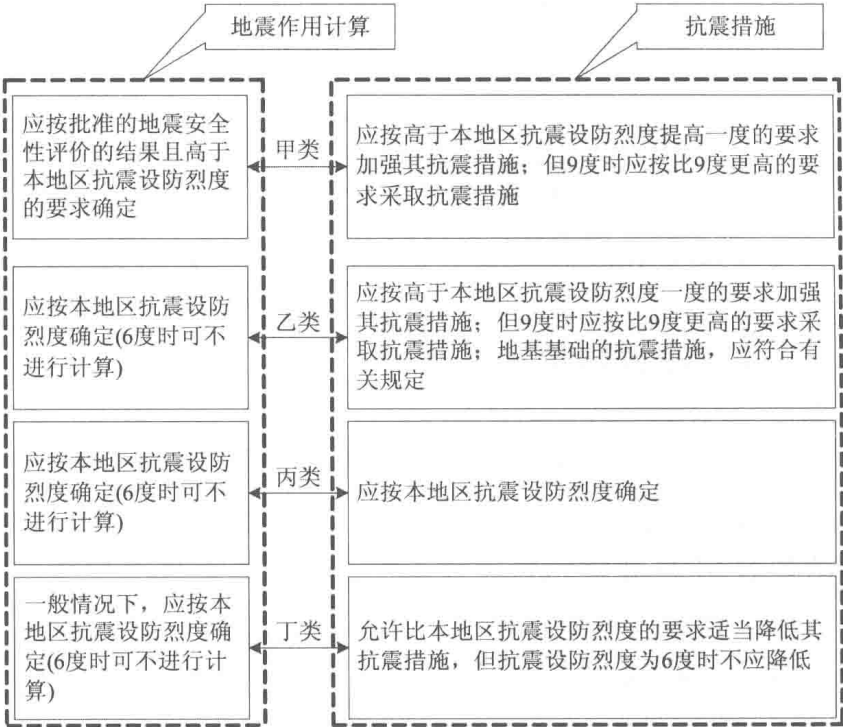


图 1-6 建筑抗震设防标准

1.2.3 建筑抗震设防的目标

我国《抗震规范》提出的“三水准”抗震设防目标如图 1-7 所示。

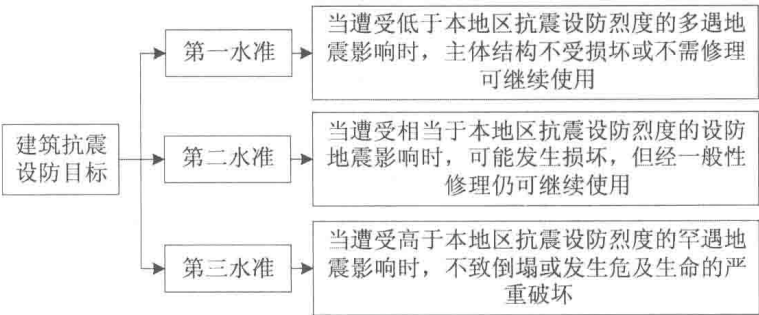


图 1-7 建筑抗震设防的目标

基于上述抗震设防目标,建筑物在设计使用年限内,会遭遇

到不同频度和强度的地震,从安全性和经济性的综合协调考虑,不同建筑物对这些地震应具有不同的抗震能力。这可以用 3 个地震烈度水准来考虑,即多遇烈度、基本烈度和罕遇烈度。

1.3 抗震设计的基本要求

1.3.1 建筑物场地的选择

地震时,场地条件直接影响着建筑物被毁坏的程度,抗震设防区的建筑工程选择场地时应选择对建筑抗震有利的地段,避开不利的地段,不应在危险地段建造甲、乙、丙类建筑。

1.3.2 建筑结构的规则性

1. 建筑平面布置应简单规整

建筑结构的简单和复杂可通过其平面形状来区分(图 1-8)。地震区房屋的建筑平面以方形、矩形、圆形为好,正六角形、正八边形、椭圆形、扇形次之。三角形平面虽然也属简单形状,但是由于它沿主轴方向不都是对称的,在地震作用下容易发生较强的扭转振动,对抗震不利,因而不是抗震结构的理想平面形状。此外,带有较长翼缘的 T 形、L 形、U 形、十字形等平面(图 1-9)对抗震结构性能也不利。



图 1-8 简单平面图形

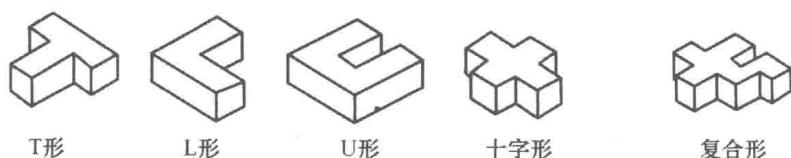


图 1-9 复杂平面图形

平面不规则有以下几种类型。

(1) 扭转不规则

楼层的最大弹性水平位移大于该楼层两端弹性水平位移平均值的 1.2 倍,如图 1-10(a)所示。

(2) 凹凸不规则

结构平面凹进的一侧尺寸,大于相应投影方向总尺寸的 30%,如图 1-10(b)所示。

(3) 楼板局部不连续

楼板的尺寸和平面刚度急剧变化。例如,开洞面积大于该楼层面积的 30%,或较大的楼层错层,或有效楼板宽度小于该层楼板典型宽度的 50%,如图 1-10(c)所示。

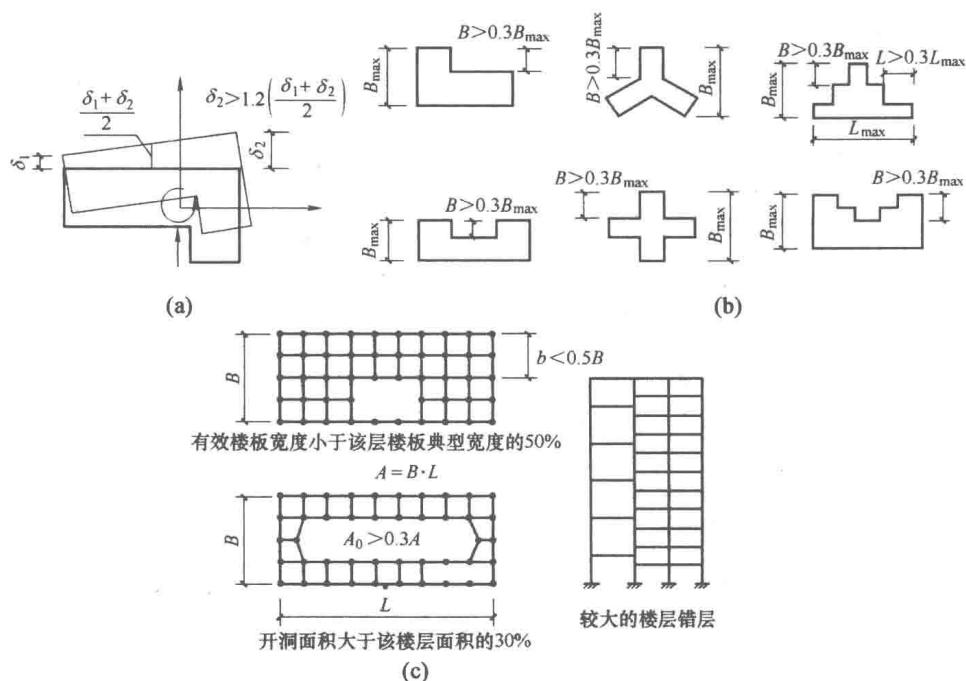


图 1-10 平面不规则的类型

(a) 扭转不规则; (b) 凹凸不规则; (c) 楼板局部不连续

2. 建筑物竖向布置应均匀和连续

建筑体形复杂会导致结构体系沿竖向的强度与刚度分布不均匀,在地震作用下容易使某一层或某一部位率先屈服而出现较大的弹塑性变形。例如,立面突然收进的建筑或局部突出的建筑,会在凹角处产生应力集中;大底盘建筑,在低层裙房与高层主楼相连处,体形突变引起刚度突变,使裙房与主楼交接处的塑性变形集中;柔性底层建筑,因底层需要开放大空间,上部的墙、柱不能全部落地,形成柔弱底层。

竖向不规则的类型如下:

- ①侧向刚度不规则[图 1-11(a)]。
- ②竖向抗侧力构件不连续[图 1-11(b)]。

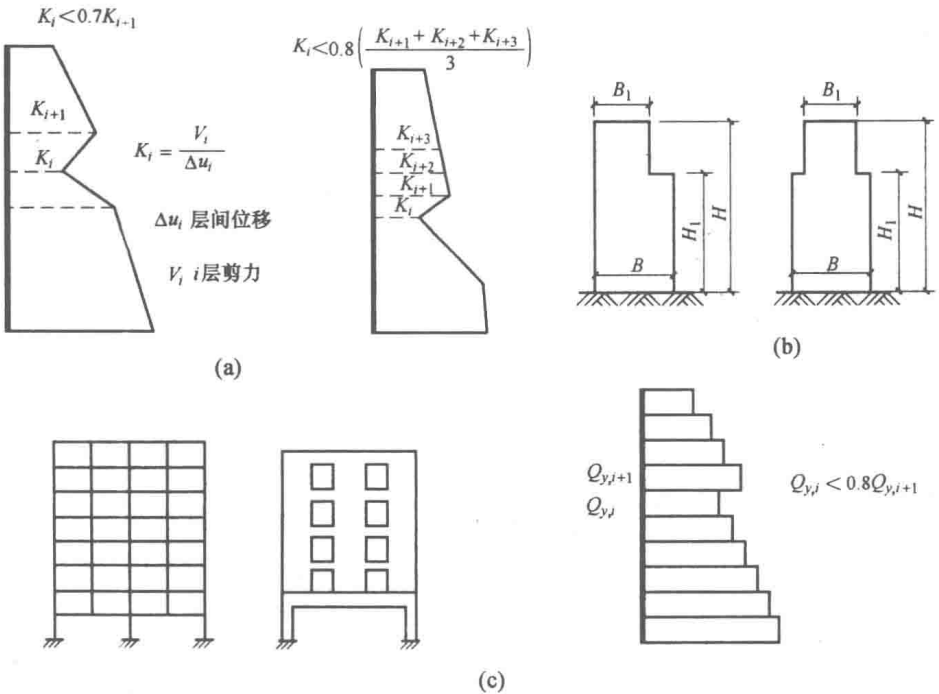


图 1-11 竖向不规则的类型

(a)侧向刚度不规则;(b)竖向抗侧力构件不连续;(c)楼层承载力突变

3. 刚度中心和质量中心应一致

房屋中抗侧力构件合力作用点的位置称为质量中心。地震时,如果刚度中心和质量中心不重合,会产生扭转效应使远离刚度中心的构件产生较大应力而严重破坏。例如,具有伸出翼缘的复杂平面形状的建筑,伸出端往往破坏较重。又如,建筑上将质量较大的特殊设备、高架游泳池偏设,造成质心偏离刚心,同样也会产生扭转效应。

4. 复杂体形建筑物的处理

房屋体形常常因其使用功能和建筑美观的限制,不易布置成简单规则的形式。对于体形复杂的建筑物可采取下面两种处理方法:设置建筑防震缝,将建筑物分隔成规则的单元,但设缝会影响建筑立面效果,容易引起相邻单元之间碰撞;不设防震缝,但应对建筑物进行细致的抗震分析,采取加强措施提高结构的抗变形能力。

1.3.3 抗震结构体系

1. 结构屈服机制

结构屈服机制可以根据地震中构件出现屈服的位置和次序将其划分为两种基本类型:层间屈服机制和总体屈服机制。层间屈服机制是指结构的竖向构件先于水平构件屈服,塑性铰首先出现在柱上,只要某一层柱上下端出现塑性铰,该楼层就会整体侧向屈服,发生层间破坏,如弱柱型框架、强梁型联肢剪力墙等。总体屈服机制是指结构的水平构件先于竖向构件屈服,塑性铰首先出现在梁上,使大部分梁甚至全部梁上出现塑性铰,结构也不会形成破坏机构,如强柱型框架、弱梁型联肢剪力墙等。总体屈服机制有较强的耗能能力,在水平构件屈服的情况下,仍能维持相

对稳定的竖向承载力,可以继续经历变形而不倒塌,其抗震性能优于层间屈服机制。

2. 多道抗震防线

框架-抗震墙结构是具有多道防线的结构体系,它的主要抗侧力构件抗震墙是第一道防线,当抗震墙部分在地震作用下遭到损坏后,框架部分则起到第二道防线的的作用,可以继续承受水平地震作用和竖向荷载。还有些结构本身只有一道防线,若采取某些措施,改善其受力状态,增加抗震防线。如框架结构只有一道防线,若在框架中设置填充墙,可利用填充墙的强度和刚度增设一道防线。在强烈地震作用下,填充墙首先开裂,吸收和消耗部分地震能量,然后退出工作,此为第一道防线;随着地震反复作用,框架经历较大变形,梁柱出现塑性铰,可看作第二道防线。

1.3.4 结构构件与非结构构件

结构构件要有足够的强度,其抗剪、抗弯、抗压、抗扭等强度均应满足抗震承载力要求。

结构构件的刚度要适当。若构件刚度太大,会降低其延性,增大地震作用,还要多消耗大量材料。抗震结构要在刚柔之间寻找合理的方案。

结构构件应具有良好的延性。从某种意义上说,结构抗震的本质就是延性,提高构件延性可以增加结构抗震潜力,增强结构抗倒塌能力。采取合理构造措施可以提高和改善构件延性,如砌体结构具有较大的刚度和一定的强度,但延性较差,若在砌体中设置圈梁和构造柱,将墙体横竖相箍,可以大大提高其变形能力。又如钢筋混凝土抗震墙刚度大强度高,但延性不足,若在抗震墙中用竖缝把墙体划分成若干并列墙段,则可以改善墙体的变形能力,做到强度、刚度和延性的合理匹配。

构件之间要有可靠连接,保证结构空间整体性。