



高等学校“十一五”精品规划教材

结构抗震设计

邓宇 梁炯丰 万军 主编

JIEGOU KANGZHEN SHEJI



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校“十一五”精品规划教材

结构抗震设计

邓宇 梁炯丰 万军 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是结合我国最新的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)(2008版)而编写的。本书内容包括绪论,场地、地基与基础,结构地震反应分析与抗震验算,多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计,多层砌体结构房屋抗震设计,单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计,隔震与消能减震及非结构构件抗震设计。

本书可作为高等院校应用型本科土木工程专业或成人教育土建类的教学用书,也可供土木工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

结构抗震设计 / 邓宇, 梁炯丰, 万军主编. — 北京
: 中国水利水电出版社, 2010. 1

高等学校“十一五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-7037-5

I. ①结… II. ①邓… ②梁… ③万… III. ①工程结
构—抗震设计—高等学校—教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第221650号

书 名	高等学校“十一五”精品规划教材 结构抗震设计
作 者	邓宇 梁炯丰 万军 主编
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: sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (营销中心) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 10.75印张 255千字
版 次	2010年1月第1版 2010年1月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	22.50元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

前 言

地震是一种突发性的自然灾害，强烈地震在瞬时就能对地面建筑造成严重破坏。我国是一个多地震国家，地震区分布广，历次地震表明，地震对人民生命财产造成的损失是巨大的。所以，对建筑结构进行必要的抗震设计是减轻地震灾害积极有效的措施。《建筑抗震设计规范》（GB 50011—2001）在 2008 年进行了局部修订，重要的修订内容有：对在危险地段建造房屋建筑的要求，作了局部的调整；针对山区房屋选址和地基基础设计，提出明确的抗震要求；对建筑方案的各种不规则性，分别给出处理对策，以提高建筑设计和结构设计的协调性；针对预制混凝土板在强烈地震中容易脱落导致人员伤亡的震害，增加了推荐采用现浇楼、屋盖，特别强调装配式楼、屋盖需加强整体性的基本要求；补充了对教学楼、医院等横墙较少砌体房屋的楼、屋盖体系的要求，以加强横墙较少、跨度较大房屋的楼、屋盖的整体性；补充了大跨混凝土梁支承构件的构造和承载力要求，不允许采用一般的砖柱或砖墙。为了配合修订后的规范实施及适应建筑抗震设计思想和方法的不断发展，我们结合多年的教学和科研经验，编写了本书。

本书主要内容包括绪论，场地、地基与基础，结构地震反应分析与抗震验算，多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计，多层砌体结构房屋抗震设计，单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计，隔震与消能减震及非结构构件抗震设计。本书第 1 章、第 3 章、第 6 章由邓宇编写，第 4 章、第 7 章由梁炯丰编写，第 2 章、第 5 章由万军、梁炯丰编写，全书由邓宇、梁炯丰统稿。

本书在编写过程中参考和引用了国内外近年来正式出版的相关规范、教材等，在此向有关作者谨表感谢。由于水平有限，书中难免有缺点和错误，热切希望读者批评指正。

编者

2009 年 8 月

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 地震成因	1
1.2 地震震级与地震烈度.....	3
1.3 地震活动、分布与地震灾害	5
1.4 工程抗震设防	7
1.5 抗震概念设计	8
1.6 地震应急和救生必读	11
本章小结	14
思考题	15
第 2 章 场地、地基与基础	16
2.1 概述	16
2.2 场地	16
2.3 天然地基和基础	18
2.4 地基土的液化	20
本章小结	23
思考题	24
第 3 章 结构地震反应分析与抗震验算	25
3.1 概述	25
3.2 单自由度弹性体系的水平地震反应	25
3.3 单自由度弹性体系的水平地震作用计算的反应谱法	28
3.4 多自由度弹性体系的水平地震反应	31
3.5 振型分解反应谱法	34
3.6 底部剪力法	37
3.7 结构基本周期的近似计算	40
3.8 竖向地震作用	43

3.9 结构抗震验算	45
本章小结	49
思考题	49
第4章 多层和高层钢筋混凝土房屋抗震设计	51
4.1 概述	51
4.2 抗震设计基本要求	55
4.3 框架结构抗震计算	61
4.4 框架结构抗震构造措施	87
4.5 框架结构抗震设计例题	93
本章小结	102
思考题	103
第5章 多层砌体结构房屋抗震设计	104
5.1 概述	104
5.2 震害现象及其分析	104
5.3 抗震设计基本要求	106
5.4 多层砌体房屋抗震设计	108
5.5 多层砌体房屋抗震构造措施	114
5.6 多层砌体房屋抗震计算实例	117
本章小结	122
思考题	122
第6章 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计	123
6.1 概述	123
6.2 震害现象及其分析	123
6.3 抗震设计一般规定	126
6.4 单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算	128
6.5 单层钢筋混凝土柱厂房抗震构造措施	138
本章小结	142
思考题	142
第7章 隔震与消能减震及非结构构件抗震设计	143
7.1 概述	143
7.2 结构隔震设计	144
7.3 结构消能减震设计	147
7.4 非结构构件抗震设计	152
本章小结	156
思考题	157
附表 规则框架承受均布及倒三角形分布水平力作用时反弯点的高度比	158
参考文献	163

第 1 章 绪 论

本章提要：本章主要介绍地震类型及成因；地震波、震级、地震烈度等度量指标；工程结构抗震设防依据和抗震设计思想；工程结构抗震概念设计的基本要求和地震应急等知识。

1.1 地震成因

地震是一种突发的自然灾害，主要由地下薄弱岩层突然破裂，在原有累积弹性应力作用下断层两侧发生回跳而引起振动，或者地球板块相互挤压、冲掩引起振动，并以波的形式将岩层振动传至地表引起地面的剧烈颠簸和摇晃，这种地面运动叫做地震。由于这种地震是地壳构造变动而引起的，故又称为构造地震。我国是世界上多地震国家之一。自 20 世纪以来的 80 多年内，共发生破坏性地震 2600 余次，其中 6 级以上破坏性地震 500 余次，平均每年 5.4 次，7 级以上的地震 9 次。这些地震给人民生命财产和国民经济造成了十分严重的损失，这是必须深刻吸取的教训。

自 2008 年“5·12”大地震以来，我国的地震活动又进入了一个新的活跃期。近两年内 5 级以上地震的次数已大大高于 21 世纪以来年平均发震次数。预计这个新的地震活跃期可能持续到 21 世纪末。为了最大限度地减轻地震灾害，搞好新建工程的抗震设计，是一项重要的根本性的减灾措施。

1.1.1 地球构造

地球是一个近似于球体的椭球体，平均半径约 6370km，赤道半径约 6378km，两极半径约 6357km。从物质成分和构造特征来划分，地球可分为三大部分：地壳、地幔和地核，如图 1.1 所示。

1. 地壳

地壳是地球外表面的一层很薄的外壳，它由各种不均匀的岩石组成。地壳表面为沉积层，陆地下面主要有花岗岩和玄武岩层，海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳的下界称为莫霍界面，是一个地震波传播速度发生急剧变化的不连续面。地壳的厚度在全球变化很大，各处厚薄相差也很大，最厚处达 70km，最薄处约 5km。

2. 地幔

地壳以下到深度约 2895km 的古登堡界面为

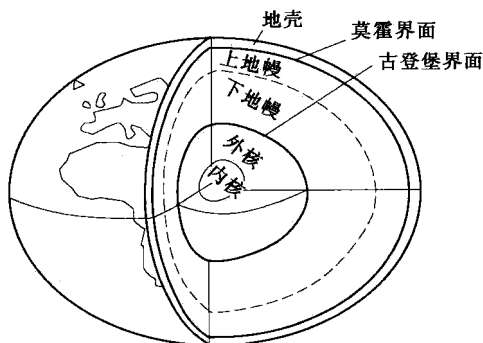


图 1.1 地球分层剖面

止的部分称为地幔，约占地球体积的 5/6。地幔主要由质地坚硬的橄榄岩组成，这种物质具有黏弹性。地幔上部存在一个厚度约几千米的软流层。由于温度和压力分布不均匀，就发生了地幔内部的物质对流运动。

3. 地核

古登堡界面以下直到地心的部分为地核，又可分为外核和内核。其主要构成物质是镍和铁，温度高达 4000~5000℃。据推测，外核可能处于液态，内核可能是固态。

1.1.2 地震类型与成因

地球内部发生地震的地方称为震源。震源在地球表面的投影称为震中。地球上某一地点到震中的距离称为震中距。震中附近地区称为震中区，破坏最为严重的地区称为极震区，震源到震中的垂直距离称为震源深度，如图 1.2 所示。

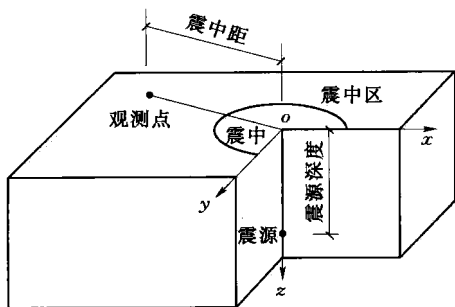


图 1.2 地震术语示意图

地震按其成因可以划分为诱发地震和天然地震两大类。诱发地震主要是由于人工爆破、矿山开采及重大工程活动（如兴建水库）所引发的地震，诱发地震一般不太强烈，仅有个别情况（如水库地震）会造成严重的地震灾害。

天然地震包括构造地震与火山地震。前者由地壳构造运动所产生，后者则由火山爆发所引起。比较而言，构造地震发生数量大（占地震发生总数约 90%）、影响范围广，是地震工程的主要研究对象。构造地震是由于地应力在某一地区

逐渐增加，岩石变形也不断增加，当地应力超过岩石的极限强度时，在岩石的薄弱处突然发生断裂和错动（图 1.3），部分应变能突然释放，引起振动，其中一部分能量以波的形式传到地面，就产生了地震。构造地震发生断裂错动的地方所形成的断层叫发震断层。

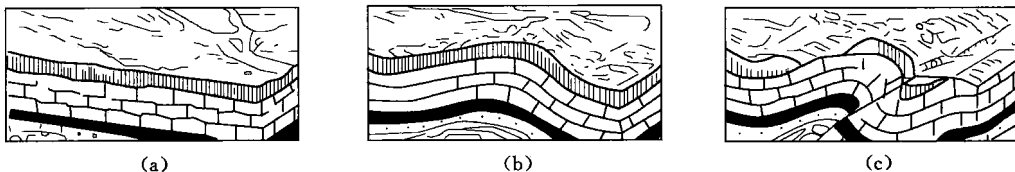


图 1.3 岩层的变形与破裂

(a) 岩层的原始状态；(b) 受力发生弯曲；(c) 岩层破裂发生振动

按震源的深浅，地震又可分为浅源地震、中源地震和深源地震。浅源地震的震源深度在 60km 以内，约占地震总数的 70% 左右，一年中全世界所有地震释放能量约 85% 来自浅源地震。浅源地震波及范围较小，破坏程度较大。中源地震的震源深度为 60~300km，约占地震总数的 25% 左右，深源地震的震源深度在 300km 以上，约占地震总数的 5% 左右。

1.1.3 地震波

地震引起的振动以波的形式从震源向各个方向传播并释放能量，这就是地震波。根据

在地壳中传播的位置不同，地震波可分为体波和面波。

1. 体波

在地球内部传播的波称为体波。体波有纵波和横波两种形式。纵波是由震源向外传递的压缩波，其介质质点的运动方向与波的前进方向一致 [图 1.4 (a)]。纵波一般周期较短、振幅较小，在地面引起上下颠簸运动。横波是由震源向外传递的剪切波，其质点的运动方向与波的前进方向相垂直 [图 1.4 (b)]。横波一般周期较长，振幅较大，引起地面水平方向的运动。

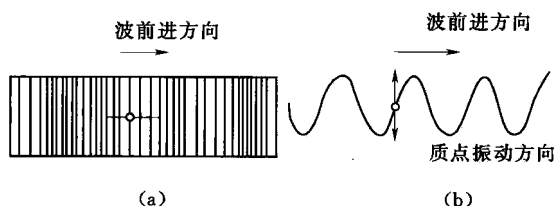


图 1.4 体波质点振动形式
(a) 压缩波；(b) 剪切波

2. 面波

沿地球表面传播的波称为面波。面波主要有瑞雷波和乐夫波两种形式。瑞雷波传播时，质点在波的前进方向与地表法向组成的平面内作逆向的椭圆运动 [图 1.5 (a)]。这种运动形式被认为是形成地面晃动的主要原因。乐夫波传播时，质点在与波的前进方向相垂直的水平方向运动 [图 1.5 (b)]，在地面上表现为蛇形运动。面波周期长，振幅大。由于面波比体波衰减慢，故能传播到很远的地方。

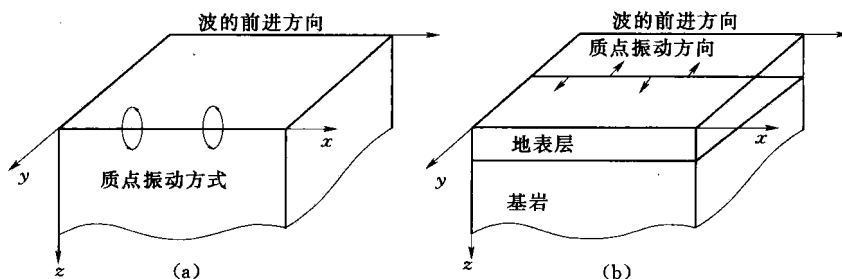


图 1.5 面波质点振动方式
(a) 瑞雷波质点振动；(b) 乐夫波质点振动

地震波的传播速度，以纵波最快、横波次之，面波最慢。所以，在地震发生的中心地区人们的感受是，先上下颠簸，后左右摇晃。当横波或面波到达时，地面振动最为猛烈，产生的破坏作用也较大。在离震中较远的地方，由于地震波在传播过程中能量逐渐衰减，地面振动减弱，破坏作用也逐渐减轻。

1.2 地震震级与地震烈度

1.2.1 地震震级

地震震级是度量地震中震源所释放能量多少的指标。人们通过地震地面运动的振幅来量测地震震级。根据我国现用仪器，近震（震中距小于 1000km）震级 M 按式 (1.1) 计算：

$$M = \log A + R(\Delta) \quad (1.1)$$

式中 A ——记录图上量得的以 μm 为单位的最大水平位移；

$R(\Delta)$ ——依震中距 Δ 而变化的起算函数。

地震震级是表征地震大小或强弱的指标，是一次地震释放能量多少的度量，它是地震的基本参数之一。一次地震只有一个震级。震级直接与震源释放能量的多少有关，可以用式 (1.2) 表示：

$$\log E = 1.5M + 11.8 \quad (1.2)$$

上式表示的震级通常又称为里氏震级。

式 (1.2) 表明，震级每增加一级，地震所释放出的能量约增加 30 倍。大于 2.5 级的浅震，在震中附近地区的人就有感觉，叫做有感地震；5 级以上的地震，会造成明显的破坏，叫做破坏性地震。世界上已记录到的最大地震的震级为 8.9 级。

1.2.2 地震烈度

地震烈度表示地震造成地面上各地点的破坏程度。地震烈度与震级、震中距、震源深度、地质构造、建筑物和构筑物的地基条件有关。烈度的大小是根据人的感觉、地面房屋受破坏程度等综合因素评定的结果。地震震级和地震烈度是描述地震现象的两个参数。一次地震只有一个震级而地震烈度值可以有多个。震级越大，震中烈度越高；离震中越远，地震烈度越低。震源深度越浅，地震烈度就越高；震源深度越深，地震烈度就越低。

对应于一次地震，在受到影响的区域内，可以按照地震烈度表中的标准对一些有代表性的地点评定出地震烈度。具有相同烈度的各个地点的外包络线，称为等烈度线。等烈度线（或称等震线）的形状与发震断裂取向、地形、土质等条件有关，多数近似呈椭圆形。一般情况下，等烈度线的度数随震中距的增大而递减，但有时由于局部地形或地质的影响，也会在某一烈度区内出现小块高一度或低一度的异常区（称为烈度异常）。利用历史地震的等烈度线资料，可以针对不同地区建立宏观的地震烈度衰减规律关系式。

震中区的地震烈度称为震中烈度。依据震级粗略地估算震中烈度的方法是：震级减 1 后乘 1.5，便为震中烈度，即

$$I_0 = (M - 1) \times 1.5 \quad (1.3)$$

式中 I_0 ——震中烈度；

M ——震级。

1.2.3 基本烈度

基本烈度是指一个地区在一定时期（我国取 50 年）内在一般场地条件下按一定概率（我国取 10%）可能遭遇到的最大地震烈度。它是一个地区进行抗震设防的依据。

根据地震危险性分析，一般认为我国地震烈度的概率密度函数符合极值 III 型分布，如图 1.6 所示，即

$$f(I) = \frac{k(\omega - I)^{k-1}}{(\omega - \epsilon)^k} e^{-\left(\frac{\omega - I}{\omega - \epsilon}\right)^k} \quad (1.4)$$

式中 k ——形状参数，取决于一个地区的地震背景的复杂性；

ω ——地震烈度上限值，取 $\omega = 12$ ；

ϵ ——烈度概率密度曲线上峰值所对应的强度。

从概率意义上说,小震就是发生机会较多的地震。根据分析,当分析年限取为 50 年时,上述概率密度曲线的峰值烈度所对应的被超越概率为 63.2%,因此,可以将这一峰值烈度定义为小震烈度,又称多遇地震烈度。而全国地震区划图所规定的各地的基本烈度,可取为中震对应的烈度。它在 50 年内的超越概率一般为 10%。大震是罕遇的地震,它所对应的地震烈度在 50 年内超越概率为 2%左右,这个烈度又可称为罕遇地震烈度。通过对我国 45 个城镇的地震危险性分析结果的统计分析得到:基本烈度较多遇烈度约高 1.55 度,而较罕遇烈度约低 1 度(图 1.6)。

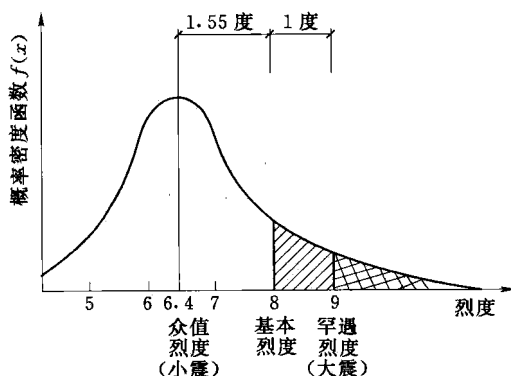


图 1.6 三种烈度含义及其关系

1.3 地震活动、分布与地震灾害

1.3.1 世界地震活动

地震是一种随机现象,从统计的角度,地震的时空分布呈现某种规律性。在地理位置上,地震震中呈带状分布,集中于一定的区域,在时间过程上,地震活动疏密交替,能够区分出相对活跃期和相对平静期。根据历史地震的分布特征和产生地震的地质背景,可以明确地球上的地震活动集中分布在两个主要地震带和其他几个次要地震带。世界上的两个主要地震带如下:

(1) 环太平洋地震带。它从南美洲西海岸起,经北美洲西海岸、阿留申群岛转向西南至日本列岛;然后分成东西两支,西支经我国台湾省、菲律宾至印度尼西亚,东支经马里亚纳群岛至新几内亚;两支汇合后,经所罗门群岛至汤加,再向南转向新西兰。该地震带的地震活动最强,全球地震总数的 75% 左右发生于此。

(2) 欧亚地震带。又称地中海南亚地震带,西起大西洋的亚速岛,经意大利、土耳其、伊朗、印度北部,再经我国西部和西南地区,由缅甸至印度尼西亚与环太平洋地震带相衔接。全球地震总数的 22% 左右发生于此地震带内。除了上述两条主要地震带以外,在大西洋、太平洋、印度洋中也有一些洋脊地震带,沿着洋底隆起的山脉延伸。这些地震带与人类活动关系不大,地震发生的次数在地震总数中占的比例亦不高。上述地震带大多数位于板块边缘,或者邻近板块边缘。

1.3.2 我国地震活动

我国地处环太平洋地震带和欧亚地震带之间,是一个多地震国家。1900 年以来,中国死于地震的人数达 55 万人之多,占全球地震死亡人数的 53%; 1949 年以来,100 多次破坏性地震袭击了 22 个省(自治区、直辖市),其中涉及东部地区 14 个省份,造成 27 万余人丧生,占全国各类灾害死亡人数的 54%,地震成灾面积达 30 多万 km^2 ,房屋倒塌达

700 万间。地震及其他自然灾害的严重性构成中国的基本国情之一。

我国的地震活动主要分布在 5 个地区的 23 条地震带上。这 5 个地区是：①中国台湾省及其附近海域；②西南地区，主要是西藏、四川西部和云南中西部；③西北地区，主要在甘肃河西走廊、青海、宁夏、天山南北麓；④华北地区，主要在太行山两侧、汾渭河谷、阴山—燕山一带、山东中部和渤海湾；⑤东南沿海的广东、福建等地。我国的台湾省位于环太平洋地震带上，西藏、新疆、云南、四川、青海等省（自治区）位于喜马拉雅—地中海地震带上，其他省（自治区）处于相关的地震带上。

1.3.3 地震灾害

地震灾害因其发生突然、破坏惨重被认为是威胁人类生存与发展的最大自然灾害之一。全世界平均每年发生破坏性地震近千次，其中震级达 7 级以上的大地震约十几次。

地震灾害主要表现在三个方面：地表破坏、建筑物破坏和由地震引起的各种次生灾害。

1. 地表破坏

地表破坏主要表现为地裂缝、喷砂冒水、地表下沉和滑坡等形式。

(1) 地裂缝。强烈的地震发生时，地面断层将达到地表，从而改变地形和地貌。地表的竖向错动将形成悬崖峭壁，地表大的水平位移将产生地面的错动、挤压、扭曲。地裂缝将造成地面工程结构的严重破坏，使得公路中断、铁轨扭曲、桥梁断裂、房屋破坏、河流改道、水坝受损等。

地裂缝是地震时最常见的地表破坏，地裂缝的数量、长短、深浅等与地震的强烈程度、地表情况、受力特征等因素有关。主要有两种类型：一种是强烈地震时由于地下断层错动延伸到地表而形成的裂缝，称为构造地裂缝，这类裂缝与地下断层带的走向一致，一般规模较大，形状比较规则；另一种地裂缝是在故河道、湖河岸边、陡坡等土质松软地方产生的地表交错裂缝，规模较小，形状大小各不相同。

(2) 喷砂冒水。在地下水位较高、砂层埋深较浅的平原地区，特别是河流两岸最低平的地方，地震时地震波产生的强烈振动使得地下水位急剧增加，地下水经过地裂缝或土质松软的地方冒出地面，当地表土层为砂土或粉土时，则夹带着砂土或粉土一起冒出地面，形成喷砂冒水现象，实际上是砂土液化的表现。

(3) 地表下沉。在强烈地震作用下，在地下存在溶洞的地区或者由于人们的生产活动产生的空洞如矿井或者地铁等，强烈地震发生时，地面土体将会产生下沉，造成大面积陷落。

(4) 河岸、陡坡滑坡。在河岸、陡坡等地方，强烈的地震使得土体失稳，造成塌方，淹没农田、村庄，堵塞河流，大面积塌方使得房屋倒塌。

2. 建筑物破坏

建筑物的破坏是造成人民生命财产损失的主要原因，其破坏可能是由于地基失效引起，也可能是由于上部结构承载力不足形成的破坏或结构丧失整体稳定性造成。地震历史资料表明，由于地基失效引起的建筑物的破坏仅仅占结构破坏的 10% 左右，其余 90% 是由于结构承载力不足或丧失整体稳定造成的。世界各国的抗震设计规范都将主要精力集中在上部结构的破坏机理的分析和研究上。

3. 次生灾害

强烈地震除了引起结构的破坏外，一般常常会引起其他一些次生灾害，如火灾、水灾、泥石流、海啸、滑坡等。一般来说，地震本身造成的直接损失往往还小于由于地震所产生的次生灾害所造成的间接损失。例如，1995年的日本阪神大地震，震后火灾多达500余处，震中区木结构房屋几乎全部烧毁。此外，地震引起的海啸，也会对海边建筑物造成巨大的破坏。

1.4 工程抗震设防

1.4.1 抗震设防的目的和要求

工程抗震设防的基本目的是在一定的经济条件下，最大限度地限制和减轻建筑物的地震破坏，保障人民生命财产的安全。为了实现这一目的，近年来，许多国家的抗震设计规范都趋向于以“小震不坏、中震可修、大震不倒”作为建筑抗震设计的基本准则。

对应于前述设计准则，我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)明确提出了三个水准的抗震设防要求。

第一水准：当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震影响时，建筑物一般不受损坏或无需修理仍可继续使用。

第二水准：当遭受相当于本地区设防烈度的地震影响时，建筑物可能损坏，但经一般修理即可恢复正常使用。

第三水准：当遭受高于本地区设防烈度的罕遇地震影响时，建筑物不致倒塌或发生危及生命安全的严重破坏。

1.4.2 两阶段设计方法

在进行建筑抗震设计时，原则上应满足上述三水准的抗震设防要求。在具体做法上，我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)采用了简化的两阶段设计方法。

(1) 第一阶段设计：按多遇地震烈度对应的地震作用效应和其他荷载效应的组合验算结构构件的承载能力和结构的弹性变形。采用第一水准烈度的地震动参数，计算出结构在弹性状态下的地震作用效应，与风、重力等荷载效应组合，并引入承载力抗震调整系数，进行构件截面设计，从而满足第一水准的强度要求；同时，采用同一地震动参数计算出结构的弹性层间位移角，使其不超过规定的限值；另外，采用相应的抗震结构措施，保证结构具有相应的延性、变形能力和塑性耗能能力，从而自动满足第二水准的变形要求。

(2) 第二阶段设计：采用第三水准烈度的地震动参数，计算出结构的弹塑性层间位移角，满足规定的要求，并采取必要的抗震构造措施，从而满足第三水准的防倒塌要求。

1.4.3 建筑物重要性分类与设防标准

对于不同使用性质的建筑物，地震破坏所造成后果的严重性是不一样的。因此，对于不同用途建筑物的抗震设防，不宜采用同一标准，而应根据其破坏后果加以区别对待。为此，我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)将建筑物按其用途的重要性分为四类。

甲类建筑：指重大建筑工程和地震时可能发生严重次生灾害的建筑。这类建筑的破坏会导致严重的后果，其确定须经国家规定的批准权限予以批准。

乙类建筑：指地震时使用功能不能中断或需尽快恢复的建筑。例如，抗震城市中生命线工程的核心建筑。城市生命线工程一般包括供水、供气、供电、交通、通信、消防、医疗救护等系统。

丙类建筑：指一般建筑，包括除甲、乙、丁类建筑以外的一般工业与民用建筑，如普通工业厂房、居民住宅、商业建筑等。

丁类建筑：指次要建筑，包括一般的仓库、人员较少的辅助建筑物等。

对各类建筑抗震设防标准的具体规定为：

(1) **甲类建筑。**地震作用应高于本地区抗震设防烈度的要求，其值应按批准的地震安全性评价结果确定；抗震措施，当抗震设防烈度为Ⅵ～Ⅷ度时，应符合本地区抗震设防烈度提高1度的要求；当抗震设防烈度为Ⅸ度时，应符合比Ⅸ度抗震设防更高的要求。

(2) **乙类建筑。**地震作用应符合本地区抗震设防烈度的要求；抗震措施，一般情况下，当抗震设防烈度为Ⅵ～Ⅷ度时，应符合本地区抗震设防烈度提高1度的要求；当抗震设防烈度为Ⅸ度时，应符合比Ⅸ度抗震设防更高的要求；地基基础的抗震措施，应符合有关规定。对较小的乙类建筑，当其结构改用抗震性能较好的结构类型时，应允许仍按本地区抗震设防烈度的要求采取抗震措施。

(3) **丙类建筑。**地震作用和抗震措施均应符合本地区抗震设防烈度的要求。

(4) **丁类建筑。**一般情况下，地震作用仍应符合本地区抗震设防烈度的要求；抗震措施应允许比本地区抗震设防烈度的要求适当降低，但抗震设防烈度为Ⅵ度时不应降低。

抗震设防烈度为Ⅵ度时，除《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)有具体规定外，对乙、丙、丁类建筑可不进行地震作用计算。

1.5 抗震概念设计

一般说来，建筑抗震设计包括三个层次的内容与要求：概念设计、抗震计算与构造措施。所谓概念设计是指根据地震灾害和工程经验等所形成的基本设计原则和设计思想，进行建筑和结构的总体布置并确定细部构造的过程；概念设计在总体上把握抗震设计的基本原则；抗震计算为建筑抗震设计提供定量手段；构造措施则可以在保证结构整体性、加强局部薄弱环节等意义上保证抗震计算结果的有效性。建筑抗震概念设计一般主要包括：注意场地选择和地基基础设计，把握建筑结构的规则性，选择合理抗震结构体系，设置多道防线，注意非结构因素，确保材料和施工质量。

1.5.1 注意场地选择和地基基础设计

建筑场地的地质条件与地形地貌对建筑物震害有显著影响，这已为大量的震害实例所证实。从建筑抗震概念设计的角度考察，首先应注意建筑场地的选择。简单地说，地震区的建筑宜选择有利地段、避开不利地段、不在危险地段建设。建筑场地为Ⅰ类时，甲、乙类建筑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；丙类建筑应允许按本地区抗震设防烈度降低1度的要求采取抗震构造措施，但抗震设防烈度为Ⅵ度时仍应按本地

区抗震设防烈度的要求采取抗震构造措施。

地基和基础设计应符合下列要求：

- (1) 同一结构单元的基础不宜设置在性质截然不同的地基上。
- (2) 同一结构单元不宜部分采用天然地基，部分采用桩基。
- (3) 地基为软弱黏性土、液化土、新近填土或严重不均匀土时，应估计地震时地基不均匀沉降或其他不利影响，并采取相应的措施。

1.5.2 把握建筑结构的规则性

建筑物平、立面布置的基本原则是：对称、规则、质量与刚度变化均匀。

结构对称有利于减轻结构的地震扭转效应。而形状规则的建筑物，在地震时结构各部分的振动易于协调一致，应力集中现象较少，因而有利于抗震。质量与刚度变化均匀有两方面的含义：其一是在结构平面方向应尽量使结构刚度中心与质量中心相一致，否则，扭转效应将使远离刚度中心的构件产生较严重的震害；其二是沿结构高度方向结构质量与刚度不宜有悬殊的变化，竖向抗侧力构件的截面尺寸和材料强度宜自上而下逐渐减小。地震震害实例和大量理论分析均表明：结构刚度有突然削弱的薄弱层，在地震中会造成变形集中，从而加速结构的倒塌破坏过程。而在结构上部刚度较小时，会形成地震反应的“鞭梢效应”，即变形在结构顶部集中的现象。

表 1.1 和表 1.2 分别列举了平面不规则和竖向不规则的建筑类型。对于因建筑或工艺要求形成的体型复杂的结构物，可以设置抗震缝，将结构物分成规则的结构单元。但对高层建筑，要注意使设缝后形成的结构单元的自振周期避开场地土的卓越周期。对于不宜设置抗震缝的体型复杂的建筑，则应进行较精细的结构抗震分析。

表 1.1 平面不规则的类型

不规则类型	定 义
扭转不规则	楼层的最大弹性水平位移（或层间位移）大于该楼层两端弹性水平位移（或层间位移）平均值的 1.2 倍
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%
楼板局部不连续	楼板的尺寸和平面刚度急剧变化，例如有效楼板宽度小于该层楼板典型宽度的 50%，或开洞面积大于该层楼面面积的 30%，或较大的楼层错层

表 1.2 竖向不规则的类型

不规则类型	定 义
侧向刚度不规则	该层的侧向刚度小于相邻上一层的 70%，或小于其上相邻三个楼层侧向刚度平均值的 80%；除顶层外，局部收进的水平向尺寸大于相邻下一层的 25%
竖向抗侧力构件不连续	竖向抗侧力构件（柱、抗震墙、抗震支撑）的内力由水平转换构件（梁、桁架等）向下传递
楼层承载力突变	抗侧力结构的层间受剪承载力小于相邻上一楼层的 80%

1.5.3 选择合理抗震结构体系

结构体系应根据建筑的抗震设防类别、抗震设防烈度、建筑高度、场地条件、地基、结构材料和施工等因素，经技术、经济和使用条件综合比较确定。

1. 结构体系

结构体系应符合下列各项要求：

- (1) 应具有明确的计算简图和合理的地震作用传递途径。
- (2) 应避免因部分结构或构件破坏而导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载能力。
- (3) 应具备必要的抗震承载力、良好的变形能力和消耗地震能量的能力。
- (4) 对可能出现的薄弱部位，应采取措施提高抗震能力。
- (5) 宜具有合理的刚度和承载力分布，避免因局部削弱或突变形成薄弱部位，产生过大的应力集中或塑性变形集中。
- (6) 结构在两个主轴方向的动力特性宜相近。

2. 结构构件

结构构件应符合下列要求：

- (1) 砌体结构应按规定设置钢筋混凝土圈梁和构造柱、芯柱，或采用配筋砌体等。
- (2) 混凝土结构构件应合理地选择尺寸、配置纵向受力钢筋和箍筋，避免剪切破坏先于弯曲破坏、混凝土的压溃先于钢筋的屈服、钢筋的锚固黏结破坏先于构件破坏。

(3) 预应力混凝土的抗侧力构件，应配有足够的非预应力钢筋。

(4) 钢结构构件应合理控制尺寸，避免局部失稳或整个构件失稳。

结构各构件之间的连接，应符合下列要求：

- (1) 构件节点的破坏，不应先于其连接的构件。
- (2) 预埋件的锚固破坏，不应先于连接件。
- (3) 装配式结构构件的连接，应能保证结构的整体性。
- (4) 预应力混凝土构件的预应力钢筋，宜在节点核心区以外锚固。

1.5.4 设置多道防线

在建筑抗震设计中，有意识地使结构具有多道抗震防线，是抗震概念设计的一个重要组成部分。

多道抗震防线的概念可以从图 1.7 的解释中得到基本认识。在图 1.7 (a) 中，强梁弱柱型的框架结构在底层柱的上下端出现塑性铰，或单肢剪力墙结构在底部出现屈服变形，将迅速导致结构的倒塌。而在图 1.7 (b) 中，强柱弱梁型的框架结构或双肢剪力墙

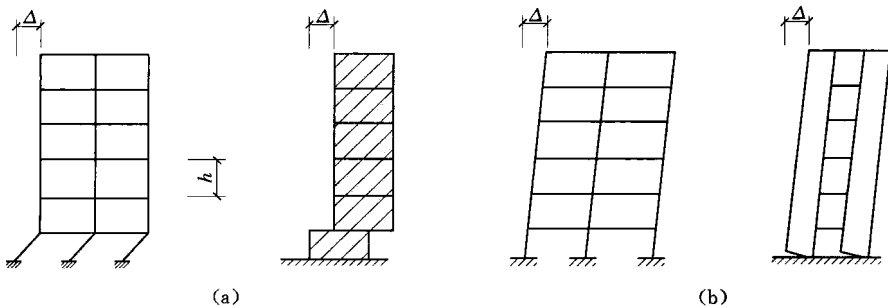


图 1.7 结构屈服机制

(a) 局部机制 (L 机制)；(b) 总体机制 (T 机制)

加连系梁的结构，则需要全部梁端出现塑性铰并迫使结构底部也出现屈服变形时，结构才会破坏。显然，后者至少存在两道抗震防线：一是从弹性到部分梁（或连系梁）出现塑性铰；二是从梁塑性铰发生较大转动到柱根（或剪力墙底部）破坏。在两道防线之间，大量地震输入能量被结构的弹塑性变形所消耗。

在建筑抗震设计中，可以利用多种手段实现设置多道防线的目的。例如：采用超静定结构、有目的地设置人工塑性铰、利用框架的填充墙、设置耗能元件或耗能装置等。但在各种灵活多样的设计手法中应该共同注意的原则是：①不同的设防阶段应使结构周期有明显差别，以利于避免共振；②最后一道防线要具备一定的强度和足够的变形潜力。

1.5.5 注意非结构因素

非结构因素含义较为宽泛，其中最主要的是非结构构件的处理。非结构构件的存在，会影响主体结构的动力特性（如结构阻尼、结构振动周期等）。同时，一些非结构构件（如玻璃幕墙、吊顶、室内设备等）在地震中往往会先破坏。因此，在结构抗震概念设计中，应特别注意非结构构件与主体结构之间要有可靠的连接或锚固。同时，对可能对主体结构振动造成影响的非结构构件，如围护墙、隔墙等，应注意分析或估计其对主体结构可能带来的影响，并采取相应的抗震措施。

1.5.6 确保材料和施工质量

抗震结构在材料选用、施工程序特别是材料代用上有其特殊的要求，主要是指减少材料的脆性和贯彻原设计意图。因此，抗震结构对材料和施工质量的特别要求，应在设计文件上注明。为保证抗震结构的基本承载能力和变形能力，结构材料性能指标应符合最低要求。

1.6 地震应急和救生必读

1.6.1 紧急避险逃生

1. 紧急避险的重要性

经验表明，破坏性地震发生时，从人们发现地光、地声，感觉有震动，到房屋破坏、倒塌，形成灾害，有十几秒，最多三十几秒的时间。这段极短的时间叫预警时间。人们只要掌握一定的知识，事先有一些准备，又能临震保持头脑清醒，就可能抓住这段宝贵的时间，成功地避震脱险。

有人调查过唐山地震幸存者中的 974 人，发现其中 258 人采取了避险措施。这 258 人中有 188 人成功脱险，占 72.9%。说明只要避险方法正确，脱险的可能性是很大的。

2. 逃生原则

破坏性地震突然发生时，采取就近躲避，震后迅速撤离的方法是应急避险的好办法。当然，如果身处平房或楼房一层，能直接跑到室外安全地点也是可行的。在 1556 年陕西华县 8 级大地震的记载中也总结出：“卒然闻变，不可疾出，伏而待定，纵有覆巢，可冀完卵。”意思是说，突然发生地震时，不要急着向外逃，而要躲避一时等待地震过去，还是有希望存活的。这“伏而待定”，高度概括了紧急避震的一条重要原则。为什么地震瞬