

依据最新抗震
规范编写



建筑

JIANZHU JIEGOU KANGZHEN SHEJI

结构抗震设计



刘伯权 吴涛等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

建筑结构抗震设计

刘伯权 吴 涛 叶艳霞 李 红 黄 华 编著



机械工业出版社

建筑结构抗震设计是土木工程专业的一门重要课程。新版《建筑结构抗震设计规范》(GB 50011—2010)从2010年12月1日开始实施,本书根据新规范编写。本书共分九章,分别为:绪论;建筑抗震概念设计总则;建筑场地、地基与基础;结构地震反应分析和抗震验算;多层砌体结构抗震设计;钢筋混凝土结构的抗震设计;多、高层钢结构房屋的抗震设计;单层钢筋混凝土厂房的抗震设计;结构隔震与消能减震控制;各章还有例题、习题与思考题。

本书可作为土木工程专业教材,也可供从事工程结构与施工的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/刘伯权,吴涛,等编著.

—北京:机械工业出版社,2011.3

ISBN 978-7-111-33790-4

I. ①建… II. ①刘…②吴… III. ①建筑结
构—防震设计 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第043774号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:薛俊高 责任编辑:薛俊高 肖耀祖

版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2011年5月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·438千字

标准书号:ISBN 978-7-111-33790-4

定价:48.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

自《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)从2002年1月1日开始实施,近十年时间里,我国遭受了多次强烈地震,特别是2008年“5.12”汶川地震,对震区人民生命财产造成严重的损失,强烈地震震害既暴露出了我国建筑结构抗震存在的问题与不足,又充分肯定了唐山地震以来我国在建筑结构抗震领域取得的巨大进步。

通过专题研究和部分试验研究,调查总结了近年来国内外大地震的经验教训,采纳了地震工程的新科研成果,考虑了我国的经济条件和工程实践,我国修订颁布了《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)。为配合新规范的颁布执行和适应建筑抗震设计思想与方法的不断发展,按照新规范编写了本书。

本书共分九章,分别介绍了地震有关知识、抗震设计原则与要求、场地分类与基础抗震、地震作用与结构地震反应分析、多层砌体结构、多层及高层钢筋混凝土结构房屋、多、高层钢结构、钢筋混凝土单层工业厂房抗震设计以及隔震与减震设计等内容。为便于学生理解与学习,各章均配有例题、习题与思考题。本书第1章由刘伯权、吴涛执笔,第2、3章、第4章第1~5节由黄华执笔,第4章第6~9节、第8章由吴涛执笔,第5、9章由叶艳霞执笔,第6、7章由李红执笔。全书由刘伯权负责统稿。

本书可作为土木工程专业教材,也可供从事工程结构与施工的工程技术人员参考。

本书引用了大量震害资料,在此对资料版权所有者表示谢意。由于我们水平有限,书中难免有不当或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言	
第1章 绪论	1
1.1 地震基本知识	1
1.1.1 地球的构造	1
1.1.2 地震类型与成因	1
1.1.3 地震波、震级及地震烈度	3
1.2 地震灾害概述	5
1.2.1 中国地震背景	5
1.2.2 地震的破坏作用	6
1.3 工程抗震设防	8
1.3.1 抗震设防的目的和要求	8
1.3.2 抗震设计方法	9
1.3.3 建筑物重要性分类与设防标准	9
习题	10
第2章 建筑抗震概念设计总则	11
2.1 建筑抗震概念设计的意义	11
2.2 建筑场地选择	11
2.2.1 地形的影响	12
2.2.2 工程地质和水文条件的影响	13
2.2.3 避开抗震危险地段	15
2.3 建筑体型选择	17
2.3.1 建筑平面规则性	17
2.3.2 建筑竖向规则性	19
2.3.3 不规则结构的处理	21
2.3.4 防震缝的设置	22
2.4 结构体系选择	23
2.4.1 结构选型	23
2.4.2 结构总体布置	24
2.5 提高结构抗震性能的措施	27
2.5.1 结构的延性	27
2.5.2 延性结构的设计与构造措施	28
2.5.3 多道抗震设防	32
2.5.4 结构整体性	34
2.5.5 建筑物抗倒塌能力	34
2.6 非结构构件的处理	36
2.7 结构材料与施工	37
2.8 建筑抗震性能化设计	38
习题	41
第3章 建筑场地、地基与基础	42
3.1 建筑场地	42
3.1.1 场地土类型	42
3.1.2 场地类别	42
3.2 地基与基础的抗震验算	44
3.2.1 抗震验算的一般原则	44
3.2.2 天然地基基础抗震验算	45
3.3 地基土的液化	46
3.3.1 地基土液化	46
3.3.2 液化的判别	46
3.3.3 液化地基的评价	47
3.3.4 地基液化的抗震措施	49
3.4 软弱黏性土地基和不均匀地基	51
3.4.1 软弱黏性土地基	51
3.4.2 不均匀地基	51
3.5 桩基础抗震验算	52
3.5.1 桩基不进行抗震验算的范围	52
3.5.2 低承台桩基抗震验算	52
3.5.3 桩基的其他要求	53
习题	54
第4章 结构地震反应分析和抗震 验算	55
4.1 概述	55
4.1.1 地震作用	55
4.1.2 计算简图及结构自由度	55
4.2 单质点弹性体系的地震反应	57
4.2.1 运动方程	57
4.2.2 运动方程的解答	58
4.3 单质点弹性体系的水平地震作用	61
4.3.1 水平地震作用基本公式	61
4.3.2 地震系数	62
4.3.3 动力系数	62
4.3.4 地震影响系数与设计反应谱	63
4.4 多质点弹性体系的地震反应	64
4.4.1 多质点弹性体系的自由振动	65
4.4.2 多质点弹性体系地震反应	73

4.5 多自由度体系的水平地震作用	75	5.3.3 墙体抗震承载力验算	116
4.5.1 振型分解反应谱法	75	5.3.4 多层砌体结构抗震设计实例	118
4.5.2 底部剪力法	79	5.4 多层砌体房屋抗震构造措施	123
4.6 结构基本周期的近似计算方法	82	5.4.1 多层砖砌体房屋抗震构造措施	123
4.7 竖向地震作用	86	5.4.2 多层小砌块房屋抗震构造措施	127
4.7.1 高耸结构及高层建筑	86	5.5 底部框架-抗震墙砌体房屋地震作用	129
4.7.2 大跨度结构	87	5.5.1 底部框架-抗震墙砌体房屋的结构布置	129
4.8 结构平扭耦合地震反应与双向水平地震影响	87	5.5.2 底部框架-抗震墙砌体房屋的抗震计算	130
4.8.1 平扭耦合体系的运动方程	88	5.5.3 底部框架-抗震墙砌体房屋抗震构造措施	132
4.8.2 平扭耦合体系的地震作用	90	习题	134
4.8.3 振型组合	92	第6章 钢筋混凝土结构的抗震设计	136
4.8.4 双向水平地震影响	92	6.1 钢筋混凝土结构的震害及其分析	136
4.9 结构非弹性地震反应分析	93	6.1.1 框架的震害及分析	136
4.9.1 结构的非弹性性质	93	6.1.2 抗震墙的震害及分析	137
4.9.2 结构非弹性地震反应分析的逐步积分法	94	6.1.3 其他震害	138
4.9.3 结构非弹性地震反应分析的简化方法	97	6.2 钢筋混凝土结构抗震设计的一般规定	139
4.10 结构抗震验算	100	6.2.1 钢筋混凝土结构的适用高度	139
4.10.1 结构抗震计算原则	100	6.2.2 钢筋混凝土结构适用的高宽比	140
4.10.2 结构抗震计算方法的确定	100	6.2.3 结构布置	140
4.10.3 重力荷载代表值	101	6.2.4 抗震等级的划分	143
4.10.4 不规则结构的内力调整及最低水平地震剪力要求	102	6.3 钢筋混凝土框架结构的抗震计算与抗震构造措施	144
4.10.5 地基—结构相互作用	102	6.3.1 钢筋混凝土框架结构的抗震计算	144
4.10.6 结构抗震验算内容	103	6.3.2 框架结构抗震构造措施	161
习题	105	6.4 钢筋混凝土抗震墙结构的抗震计算与抗震构造措施	166
第5章 多层砌体结构抗震设计	107	6.4.1 钢筋混凝土抗震墙结构的抗震设计	166
5.1 概述	107	6.4.2 钢筋混凝土抗震墙结构的抗震构造措施	172
5.1.1 砌体结构震害特点	107	6.5 钢筋混凝土框架-抗震墙结构的抗震计算与构造措施	175
5.1.2 砌体结构震害规律	109		
5.2 建筑布置与结构选型	109		
5.2.1 房屋层数和总高度的限制	109		
5.2.2 房屋高宽比的限制	110		
5.2.3 砌体抗震横墙的间距	111		
5.2.4 房屋局部尺寸限制	111		
5.2.5 多层砌体房屋的建筑布置和结构体系	111		
5.2.6 防震缝设置	112		
5.3 多层砌体结构的抗震计算	112		
5.3.1 水平地震作用计算	112		
5.3.2 楼层水平地震剪力的分配	113		

6.5.1 钢筋混凝土框架-抗震墙结构的抗震设计	176	8.2.5 支撑系统	222
6.5.2 钢筋混凝土框架-抗震墙结构的抗震构造措施	184	8.2.6 围护墙的布置	224
6.6 钢筋混凝土框架结构的抗震设计例题	184	8.3 单层厂房横向抗震计算	225
习题	202	8.3.1 计算简图和重力荷载代表值的计算	225
第7章 多、高层钢结构房屋的抗震设计	203	8.3.2 横向自振周期计算	227
7.1 钢结构房屋的主要震害特征	203	8.3.3 横向排架地震作用的计算	228
7.1.1 结构倒塌	203	8.3.4 天窗架的横向水平地震作用	229
7.1.2 节点破坏	203	8.3.5 排架内力分析及组合	229
7.1.3 基础锚固破坏	203	8.3.6 截面强度验算	232
7.1.4 构件破坏	204	8.3.7 厂房横向抗震验算的其他问题	232
7.2 钢结构房屋抗震设计的一般规定	206	8.4 单层厂房纵向抗震计算	233
7.2.1 钢结构房屋的适用高度	206	8.4.1 空间分析法	233
7.2.2 钢结构房屋适用的高宽比	206	8.4.2 修正刚度法	238
7.2.3 结构布置	207	8.4.3 拟能量法	241
7.2.4 钢结构房屋的楼板	207	8.5 抗震构造措施和连接的计算要求	245
7.2.5 钢结构房屋的地下室设置	207	8.6 计算实例	249
7.2.6 钢结构房屋抗震等级的划分	208	习题	256
7.3 钢结构房屋抗震计算要点和抗震构造措施	208	第9章 结构隔震与消能减震控制	257
7.3.1 钢结构房屋的抗震计算要点	208	9.1 结构减震设计概述	257
7.3.2 钢结构房屋的抗震构造措施	213	9.2 结构隔震原理与方法	257
习题	218	9.2.1 结构隔震原理	257
第8章 单层钢筋混凝土厂房的抗震设计	219	9.2.2 隔震装置简介	258
8.1 震害及分析	219	9.2.3 隔震设计方法	260
8.2 单层厂房结构的抗震措施	220	9.3 结构消能减震原理与方法	267
8.2.1 结构布置和选型	220	9.3.1 结构消能减震原理	267
8.2.2 屋盖体系	221	9.3.2 消能装置构造	268
8.2.3 天窗架	221	9.3.3 阻尼器	269
8.2.4 柱	221	9.3.4 房屋消能减震设计	271
		9.3.5 结构被动调谐减震控制	273
		习题	274
		附录	275
		参考文献	277

第 1 章 绪 论

教学要求：了解地震基本知识及地震破坏；掌握我国建筑结构抗震设防目的和要求，建筑物重要性分类与设防标准。

1.1 地震基本知识

地震是一种自然现象。据统计，地球每年平均发生 500 万次左右的地震，这些地震绝大多数很小，不用灵敏的仪器测量不到，这样的小地震约占一年中地震总数的 99%，剩下的 1% 才是人们可以感觉到的。其中，5 级以上的强烈地震约 1000 次。

如果强烈地震发生在人类聚居区，就会造成地震灾害。工程技术人员为防止、减少建筑物的地震破坏，有必要进行建筑工程结构的抗震分析与抗震设计。本节主要就地震基本知识进行简单介绍。

1.1.1 地球的构造

地球是一个平均半径约 6400km 的椭圆球体，它由不同的三层物质构成。最表面的一层是很薄的地壳，平均厚度为 30~40km，中间一层是地幔，厚度约 2900km，最里面的称为地核，其半径约为 3500km（图 1-1）。

地壳由各种不均匀的岩石组成，除地面的沉积层外，陆地下面的地壳主要为：上部为花岗岩层，下部为玄武岩层。地壳各处厚薄不一，约为 5~40km。世界上绝大多数地震都发生在这一薄薄的地壳内。

地幔主要由致密的橄榄岩组成，这种物质具有黏弹性。由于地球内部放射性物质不断释放能量，地球内部的温度也随深度的增加而升高。从地下 20km 到地下 700km，其温度由大约 600℃ 上升到 2000℃，在这一范围内的地幔中存在着一个厚约几百公里的软流层。由于温度分布不均匀，就发生了地幔内部物质的对流。另外，地球内部的压力也是不均衡的，在地幔上部约为 900MPa，地幔中间则达到 370000MPa，地幔内部物质就是在这样的热状态下和不均衡压力作用下缓慢运动着。这可能是地壳运动的根源。到目前为止，所观测到最深的地震发生在地下 700km 左右，可见地震仅发生在地壳和地幔上部。

地核是地球的核心部分，可分为外核和内核，其主要构成物质是镍和铁，据推测，外核可能处于液态，而内核可能是固态。

1.1.2 地震类型与成因

地震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、矿山开采及工程活动（如兴建水库）所引发的地震，

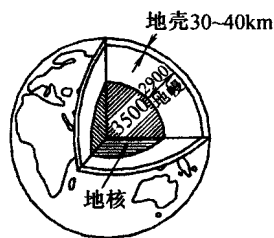


图 1-1 地球的构造

1.1.3 地震波、震级及地震烈度

1. 地震波

地震时，地下岩体断裂、错动产生振动，并以波的形式从震源向外传播，这就是地震波。其中，在地球内部传播的波称为体波，沿地球表面传播的波称为面波。

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 1-4a）。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 1-4b）。横波一般周期较长、振幅较大，引起地面水平方向的运动。

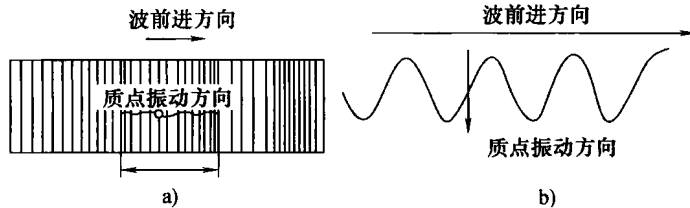


图 1-4 体波质点振动形式
a) 压缩波 b) 剪切波

面波主要有瑞雷波和勒夫波两种形式。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 1-5a）。这种运动形式被认为是形成地面晃动的主要原因。勒夫波传播时，质点在与波的前进方向垂直的水平方向运动（图 1-5b），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。

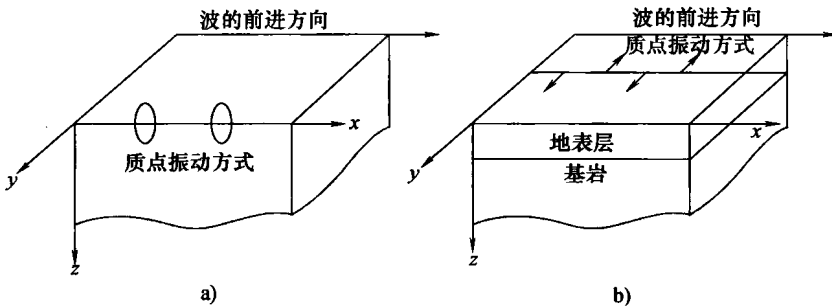


图 1-5 面波质点振动方式
a) 瑞雷波质点振动 b) 勒夫波质点振动

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，产生的破坏作用也大。在离震中较远的地方，由于地震波在传播过程中逐渐衰减，地面振动减弱，破坏作用也逐渐减轻。

从前面对于地震波的介绍可知，地面上任一点的振动过程实际上包括各种类型地震波的综合作用。因此，地震动记录的最明显表征是其不规则性（图 1-6）。但是，详细分析后可知，可以采用有限的几个要素来反映不规则的地震波。例如，通过最大振幅，可以定量反映

地震动的强度特性；通过对地震记录的频谱分析，可以揭示地震动的周期分布特征；通过对强震持续时间的定义和测量，可以考察地震动循环作用程度的强弱。地震动的峰值（最大振幅）、频谱和持续时间，通常称为地震动的三要素。工程结构的地震破坏与地震动三要素密切相关。

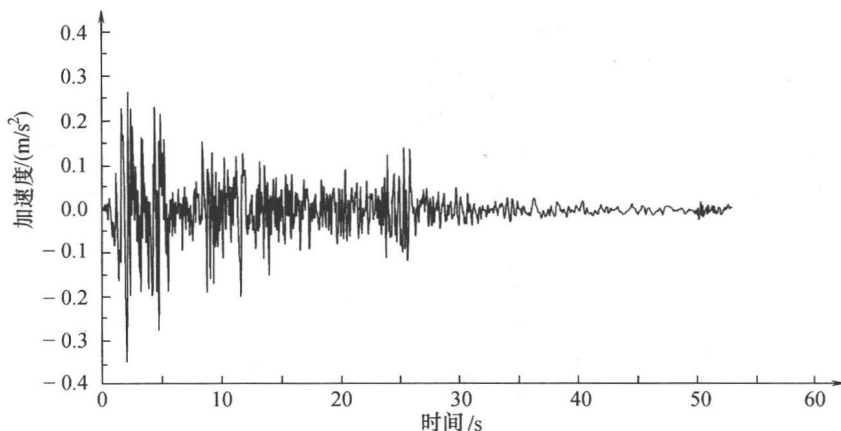


图 1-6 地震波记录示意图

2. 地震震级

地震震级是表示地震本身大小的一种度量。其数值是根据地震仪记录到的地震波图确定的。根据我国现用仪器，近震（震中距小于 100km）震级 M ，按下式计算

$$M = \lg A + R(\Delta) \quad (1-1)$$

式中 A ——地震记录图上量得的以 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。

震级 M 与震源释放能量 E （单位为 erg）之间的关系为

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1-2)$$

上式表示的震级通常又称为里氏震级： $\text{lerg} = 10^{-7}\text{J}$ 。

以上关系表明，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，称为有感地震；5 级以上的地震会造成明显的破坏，称为破坏性地震。世界上已记录到的最大地震为 1960 年 5 月 22 日的智利地震，震级为 8.9 级。

3. 地震烈度

地震烈度是指某一区域的地表和各类建筑物遭受某一次地震影响的平均强弱程度。一次地震，表示地震大小的震级只有一个。然而，由于同一次地震对不同地点的影响不一样，随着距离震中的远近会出现多种不同的烈度。一般来说，距离震中近，烈度就高；距离震中越远，烈度也越低。为评定地震烈度而建立起来的标准称为地震烈度表。不同国家所规定的地震烈度表往往是不同的，我国规定的地震烈度表见本书附录。

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烈度。具有相同烈度的各个地点的外包线，称为等烈度线（图 1-7）。等烈度线（或称等震线）的形状与发震断裂的取向、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烈度衰减关系式。

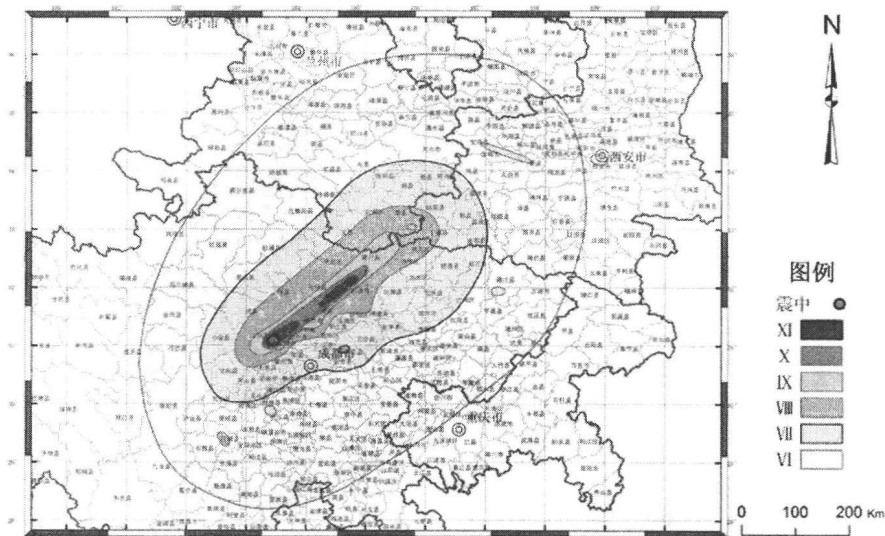


图 1-7 汶川地震等烈度线

震中区的烈度称为震中烈度。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，即为震中烈度。即：

$$M = 1 + \frac{2}{3}I_0 \quad (1-3)$$

式中 I_0 ——震中烈度。

4. 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照一定的概率（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。

依据地质构造资料、历史地震规律、强震观测资料，采用地震危险性分析的方法，可以计算给出每一地区在未来一定时限内关于某一烈度（或地震动加速度值）的超越概率，从而，可以将国土划分为不同基本烈度所覆盖的区域。这一工作称为地震区划。随着研究工作的深入，地震区划将给出地震动参数（如地震动的幅值）区划结果。

1.2 地震灾害概述

1.2.1 中国地震背景

对世界范围内的强烈地震的统计分析表明，全球地震主要集中在两个大的地震构造系范围内。其一是环太平洋地震构造系，集中了全世界地震总数的 75%；其二是位于北纬 20° ~ 50°之间的大陆地震构造系，集中了全球大陆地震的 90%。

我国位于世界两大地震构造系的交汇区域，历史上就是地震多发的国家之一，图 1-8 为我国强震及地震带分布。据统计，公元前 1177 年至 1976 年，我国共发生 4.7 级以上强震三千一百余次。1900 ~ 1980 年间，我国发生 6 级以上强震 606 次，8 级以上地震 8 次，地震中共死亡约 146.8 万人，约占全球地震死亡人数的一半。惨重的地震灾害，给人类带来了不幸，也为后人考察地震灾害提供了大量的资料。

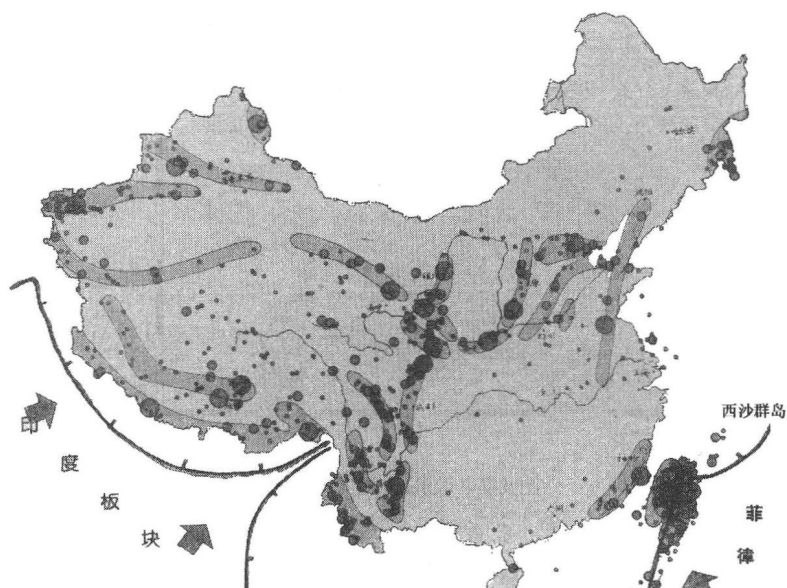


图 1-8 我国强震及地震带分布

1.2.2 地震的破坏作用

对历史地震的考察与分析表明，地震的破坏作用主要表现为三种形式：地表破坏、建筑物的破坏、次生灾害。

1. 地表破坏及其影响

地表破坏表现为地裂缝、地面下沉、喷水冒砂和滑坡等形式。

地裂缝分为构造性地裂缝和重力式地裂缝两类。前者是地震断层错动后在地表形成的痕迹。裂缝带长可延伸几公里到几十公里，带宽达数十厘米到数米。后者是由于地表土质不均及受地貌影响所形成，其规模较前者为小。当地裂缝穿过建筑物时，会造成结构开裂直至倒塌。地面下沉多发生在软土分布地区和矿业采空区。地面的不均匀沉降易引起建筑物的破坏甚至倒塌。

地面下水位较高的地区，地震波的作用使地下水压急剧增高，地下水经地裂缝或其他通道喷出地面。当地表土层含有砂层或粉土层时，会造成砂土液化甚至出现喷水冒砂现象，液化可以造成建筑物倾斜或倒塌、埋地管网的大面积破坏。

在河岸、山崖、丘陵地区，地震时极易诱发滑坡。地震时的大滑坡可切断交通通道，冲毁房屋和桥梁（图 1-9）。

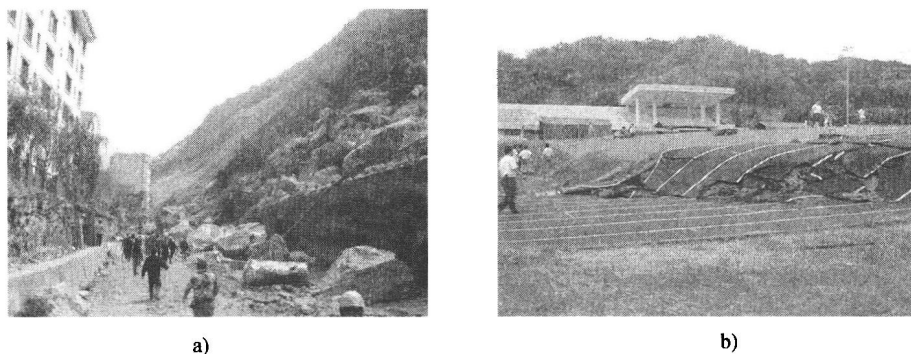


图 1-9 地表破坏
a) 山体崩塌 b) 地表隆起

2. 建筑物的破坏

建筑物的破坏可以因前述地表破坏引起，在性质上属于静力破坏。更常见的建筑物破坏是由于地震地面运动的动力作用引起，在性质上属于动力破坏。我国历史地震资料表明，90%左右的建筑物的破坏是地表运动的动力破坏作用所引起。因此，结构物动力破坏机制的分析，是结构抗震研究的重点和结构抗震设计的基础。

建筑物的动力破坏主要表现为主体结构强度不足所形成的破坏和结构丧失整体性两类破坏形式。其中，强度破坏主要是因为结构承重构件的抗剪、抗弯、抗压等强度不足所造成。例如，墙体裂缝、钢筋混凝土构件开裂或酥裂等。结构构件发生强度破坏前后，结构物一般进入弹塑性变形阶段。在这一阶段，结构物在强烈振动作用下会因为延性不足、节点连接失效、主要承重构件失稳等原因而丧失整体性，从而造成局部或整个结构的倒塌。

3. 次生灾害

地震时，水坝、煤气管道、供电线路的破坏，以及易燃、易爆、有毒物质容器的破坏，均可造成水灾、火灾、空气污染等次生灾害。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（图1-10）。

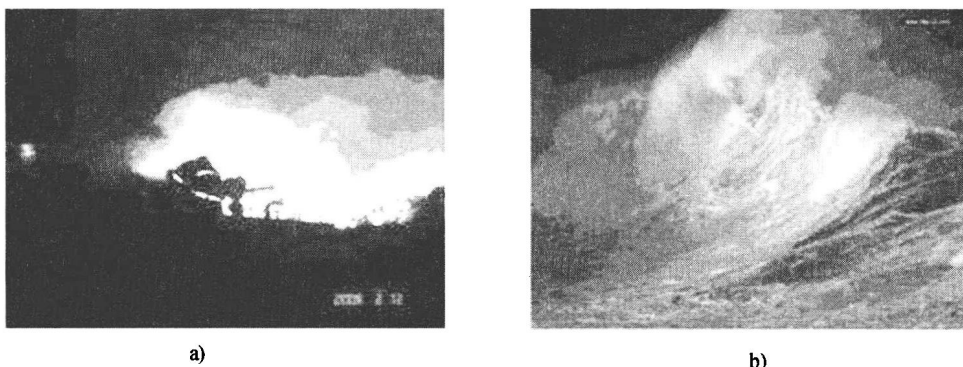


图 1-10 次生灾害
a) 地震造成的火灾 b) 地震引发海啸

1.3 工程抗震设防

1.3.1 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，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。

我国对小震、中震、大震规定了具体的概率水准。根据对我国几个主要地震区的地震危险性分析结果，认为我国地震烈度的概率分布基本上符合于极值Ⅲ型分布，其概率密度函数的基本形式为

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

式中 I ——地震烈度；

k ——形状参数，取决于一个地区地震背景的复杂性；

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。

地震烈度的概率密度函数曲线的基本形状见图 1-11，其具体形状参数取决于设定的分析年限和具体地点。

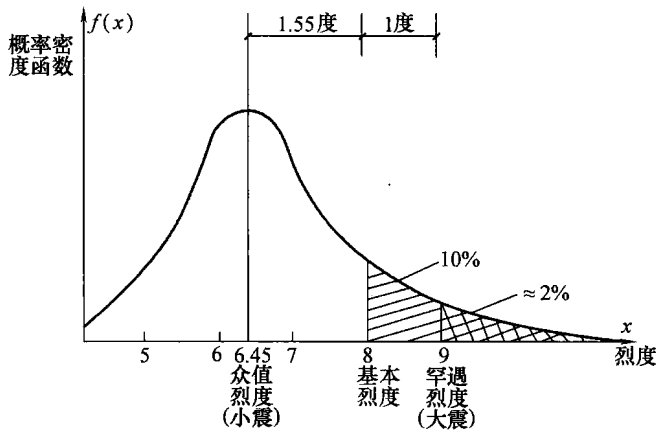


图 1-11 三种烈度含义及其关系

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。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 1-11）。

对应于前述设计准则,我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)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不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。

在一般情况下,上述设防烈度采用基本烈度,但对进行过抗震设防区划工作并经主管部门批准的城市,按批准的抗震设防区划确立设防烈度或设计地震动参数。我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)对我国主要城镇中心地区的抗震设防烈度、设计地震加速度值给出了具体规定。顺便指出,在这些规定中,还同时指出了所在城镇的设计地震分组,这主要是为了反映潜在震源远近的影响。一般而言,潜在震源远,地震时传来的地震波长周期分量较显著。为反映这一影响,对各城镇在规定抗震设防烈度、抗震设计地震动加速度值的同时,还给出了设计地震分组。这一划分使对地震作用的计算更为细致。

我国采取6度起设防的方针。根据这一方针,我国地震设防区面积约占国土面积的60%。

1.3.2 抗震设计方法

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采用了简化的两阶段设计方法。

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。

第二阶段设计:按罕遇地震烈度对应的地震作用效应验算结构的弹塑性变形。

第一阶段的设计,保证了第一水准“小震不坏”的承载力要求和变形要求。第二阶段的设计,则旨在保证结构满足第三水准“大震不倒”的抗震设防要求。如何保证第二水准的抗震设防要求,尚在研究之中。目前一般认为,良好的抗震构造措施有助于第二水准要求的实现。

1.3.3 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将建筑物按其用途的重要性分为四类:

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。

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。

标准设防类:指大量的除甲类、乙类、丁类以外按标准要求进行了设防的建筑。简称丙类。

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。

对各类建筑抗震设防标准的具体规定为：甲类建筑在6~8度设防区应按设防烈度提高一度计算地震作用和采取抗震构造措施，当为9度区时，应进行专门研究。乙类建筑按设防烈度进行抗震计算，但在抗震构造措施上提高一度考虑。丙类建筑的抗震计算与构造措施均按设防烈度考虑。丁类建筑按设防烈度进行抗震计算，但其抗震构造措施可适当降低要求（设防烈度为6度时不再降低）。

习 题

1. 震级和烈度有什么区别和联系？
2. 如何考虑不同类型建筑的抗震设防？
3. 怎样理解小震、中震与大震？
4. 如何理解建筑物重要性分类与设防标准？