

# 工程结构 抗震设计

## SEISMIC DESIGN OF ENGINEERING STRUCTURE

主编 白国良

普通高等院校土木专业“十二五”规划精品教材

Civil Professional Textbooks for the 12th Five-Year Plan

主审 童岳生

普通高等院校土木专业“十二五”规划精品教材

# 工程结构抗震设计

Seismic Design of Engineering Structure

## 丛书审定委员会

王思敬 彭少民 石永久 白国良

李杰 姜忻良 吴瑞麟 张智慧

本书主编 白国良

本书主审 童岳生

## 本书编写委员会

白国良 杨德健 王显利 左宏亮

屈成忠 朱丽华 冉红东 汪洁

华中科技大学出版社

中国·武汉

## 内 容 提 要

本书根据全国高等学校土木工程专业指导委员会对土木工程专业的培养要求和工程结构抗震设计课程教学大纲,依据我国《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)编写。内容主要包括绪论,建筑场地、地基和基础,结构地震反应分析及抗震验算,建筑结构抗震概念设计,混凝土结构房屋抗震设计,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,钢结构房屋抗震设计,桥梁结构抗震设计,以及隔震与消能减震设计。

本书可作为高等院校土木工程专业的本科教材或参考书,也可供土木工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程结构抗震设计/白国良 主编. —武汉:华中科技大学出版社,2012.6  
普通高等院校土木专业“十二五”规划精品教材  
ISBN 978-7-5609-7842-0

I. ①工… II. ①白… III. ①建筑结构-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(2012)第 055415 号

工程结构抗震设计

白国良 主编

策划编辑:曹丹丹  
责任编辑:陈 骏  
封面设计:王亚平  
责任校对:何 欢  
责任监印:张贵君  
出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)  
武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437  
录 排:武汉楚海文化传播有限公司  
印 刷:华中科技大学印刷厂  
开 本:850mm×1065mm 1/16  
印 张:21.25  
字 数:445千字  
版 次:2012年6月第1版第1次印刷  
定 价:42.80元



华中科大

本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换  
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务  
版权所有 侵权必究

## 普通高等院校土木专业“十二五”规划精品教材

# 总 序

教育可理解为教书与育人。所谓教书,不外乎是教给学生科学知识、技术方法和运作技能等,教学生以安身之本。所谓育人,则要教给学生做人道理,提升学生的人文素质和科学精神,教学生以立命之本。我们教育工作者应该从中华民族振兴的历史使命出发,来从事教书与育人工作。作为教育本源之一的教材,必然要承载教书和育人的双重责任,体现两者的高度结合。

中国经济建设高速持续发展,国家对各类建筑人才需求日增,对高校土建类高素质人才培养提出了新的要求,从而对土建类教材建设也提出了新的要求。这套教材正是为了适应当今时代对高层次建设人才培养的需求而编写的。

一套好的教材应该把人文素质和科学精神的培养放在重要位置。教材中不仅要内容上体现人文素质教育和科学精神教育,而且还要从科学严谨性、法规权威性、工程技术创新性来启发和促进学生科学世界观的形成。简而言之,这套教材有以下特点。

一方面,从指导思想来讲,这套教材注意到“六个面向”,即面向社会需求、面向建筑实践、面向人才市场、面向教学改革、面向学生现状、面向新兴技术。

二方面,教材编写体系有所创新。结合具有土建类学科特色的教学理论、教学方法和教学模式,这套教材进行了许多新的教学方式的探索,如引入案例式教学、研讨式教学等。

三方面,这套教材适应现在教学改革发展的要求,提倡所谓“宽口径、少学时”的人才培养模式。在教学体系、教材编写内容和数量等方面也做了相应改变,而且教学起点也可随着学生水平做相应调整。同时,在这套教材编写中,特别重视人才的能力培养和基本技能培养,适应土建专业特别强调实践性的要求。

我们希望这套教材能有助于培养适应社会发展需要的、素质全面的新型工程建设人才。我们也相信这套教材能达到这个目标,从形式到内容都成为精品,为教师和学生,以及专业人士所喜爱。

中国工程院院士 王思敬

2006年6月于北京

## 前 言

地震是一种突发式的自然灾害,严重威胁着人们的生命与财产安全。为尽量减少地震造成的损失,一个切实有效的措施就是工程结构的抗震。

自1976年唐山大地震后,结构的抗震问题在我国得到普遍重视,高等学校相继开设了结构抗震设计课程。此后,基于结构抗震理论与试验研究成果的不断丰富及国内外大地震经验教训的积累总结,我国《建筑抗震设计规范》先后历经多次修订。其中,现行的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)在前版的基础上又吸取2008年汶川地震震害经验教训,并采纳了地震工程的新科研成果编制而成。

本教材紧密结合《建筑抗震设计规范》,主要阐述建筑结构抗震设计的原理与方法,同时,也介绍了桥梁结构的抗震设计以及隔震与消能减震设计。目的在于使学生掌握结构抗震的基本理论与设计方法,能够遵循规范进行结构的抗震设计。

全书由正文、附录和参考文献等组成。正文分为10章,包括:绪论,建筑场地、地基和基础,结构地震反应分析及抗震验算,建筑结构抗震概念设计,混凝土结构房屋抗震设计,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,钢结构房屋抗震设计,桥梁结构抗震设计,隔震与消能减震设计。附录列出了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。

本书第1章、第3章和第10章第1~3节由白国良编写,第2章由杨德健编写,第4章由王显利编写,第5章由左宏亮编写,第6章由屈成忠编写,第7章由朱丽华编写,第8章由冉红东编写,第9章及第10章第4节由汪洁编写。全书由白国良教授统稿,由资深教授童岳生主审。王博、薛冯、杜宁军为本书的插图绘制、例题试算做了大量工作。

限于编者水平,书中不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2012年2月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	(1)
1.1 地震基本知识 .....	(1)
1.2 地震动特性 .....	(5)
1.3 地震震害 .....	(10)
1.4 工程结构抗震理论的发展历史 .....	(13)
1.5 建筑结构抗震设计的基本要求 .....	(15)
<b>第 2 章 建筑场地、地基和基础</b> .....	(18)
2.1 建筑场地的选择 .....	(18)
2.2 建筑场地类别的划分 .....	(21)
2.3 天然地基与基础的抗震验算 .....	(24)
2.4 地基土的液化与抗液化措施 .....	(25)
2.5 桩基抗震设计 .....	(31)
<b>第 3 章 结构地震反应分析及抗震验算</b> .....	(35)
3.1 概述 .....	(35)
3.2 单自由度体系的地震反应分析 .....	(36)
3.3 单自由度体系的水平地震作用 .....	(39)
3.4 多自由度体系的地震反应分析 .....	(44)
3.5 多自由度体系的水平地震作用 .....	(59)
3.6 结构的地震扭转效应 .....	(66)
3.7 竖向地震作用计算 .....	(74)
3.8 时程分析法 .....	(76)
3.9 地基与结构的相互作用 .....	(85)
3.10 地震作用计算的一般规定 .....	(86)
3.11 结构抗震验算 .....	(87)
<b>第 4 章 建筑结构抗震概念设计</b> .....	(95)
4.1 场地选择及地基与基础的设计 .....	(95)
4.2 建筑形体选择及平立面布置 .....	(97)
4.3 结构选型及构件布置 .....	(99)
4.4 确保结构的整体性 .....	(102)
4.5 设置多道抗震防线 .....	(102)
4.6 提高结构的延性 .....	(104)
4.7 减轻房屋自重和非结构构件的处理 .....	(105)

## 2, 工程结构抗震设计

<b>第 5 章 混凝土结构房屋抗震设计</b> .....	(108)
5.1 混凝土结构房屋震害现象及其分析 .....	(108)
5.2 混凝土结构房屋抗震设计的一般规定 .....	(111)
5.3 框架结构的抗震设计 .....	(118)
5.4 抗震墙结构的抗震设计要点 .....	(147)
5.5 框架-抗震墙结构的抗震设计要点 .....	(159)
<b>第 6 章 多层砌体结构房屋抗震设计</b> .....	(162)
6.1 多层砌体结构房屋震害现象及其分析 .....	(162)
6.2 多层砌体结构房屋抗震设计的一般规定 .....	(165)
6.3 多层砌体房屋的抗震设计 .....	(168)
6.4 底部框架-抗震墙房屋的抗震设计 .....	(190)
<b>第 7 章 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计</b> .....	(202)
7.1 单层钢筋混凝土柱厂房震害现象及其分析 .....	(202)
7.2 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计的一般规定 .....	(204)
7.3 单层钢筋混凝土柱厂房横向抗震计算 .....	(205)
7.4 单层钢筋混凝土柱厂房纵向抗震计算 .....	(219)
7.5 单层钢筋混凝土柱厂房抗震构造措施 .....	(224)
<b>第 8 章 钢结构房屋抗震设计</b> .....	(233)
8.1 钢结构房屋震害现象及其分析 .....	(233)
8.2 多、高层钢结构房屋抗震设计 .....	(236)
8.3 单层钢结构厂房抗震设计 .....	(254)
8.4 多层钢结构厂房抗震设计 .....	(259)
<b>第 9 章 桥梁结构抗震设计</b> .....	(263)
9.1 桥梁结构震害现象及其分析 .....	(263)
9.2 桥梁结构抗震设计的一般规定 .....	(266)
9.3 桥梁结构抗震计算分析 .....	(271)
9.4 桥梁结构抗震延性设计 .....	(280)
9.5 桥梁结构抗震构造措施 .....	(284)
<b>第 10 章 隔震与消能减震设计</b> .....	(288)
10.1 概述 .....	(288)
10.2 建筑结构隔震设计 .....	(289)
10.3 建筑结构消能减震设计 .....	(301)
10.4 桥梁结构减隔震设计 .....	(308)
<b>附录 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</b> .....	(318)
<b>参考文献</b> .....	(333)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 地震基本知识

### 1.1.1 概述

地震是一种突发式的自然灾害,除会造成人身伤亡外,还会导致房屋破坏,交通、生产中断,以及水灾、火灾、疾病等次生灾害发生。全世界平均每年发生的破坏性地震(里氏 5 级以上)近 20 次,毁灭性的地震约 2 次。

我国是一个多地震的国家,在 20 世纪内,震级等于或大于 8 级的强地震已经发生 10 次之多,损失惨重。其中,1920 年海原 8.6 级地震死亡 20 余万人,1976 年唐山 7.6 级地震死亡 24 万人,1999 年台湾 7.6 级地震死亡 2 400 多人。进入 21 世纪以来,我国境内又发生了多次地震,其中 2008 年的汶川地震共造成人员伤亡和失踪超过 8 万人。

为尽量减少地震带来的损失,一个切实有效的措施就是工程结构的抗震。本章主要介绍地震学的一些基本概念、工程结构抗震的基本理论以及抗震设计的基本要求。

### 1.1.2 地震类型及成因

地震按其成因可分为:构造地震、火山地震、陷落地震和诱发地震四种。其中,构造地震主要是由于地壳运动,挤压地壳岩层使其薄弱部位发生断裂错动而引起;火山地震是由火山爆发引起;陷落地震是由于地表或地下岩层突然发生大规模的陷落和崩塌引起;诱发地震是由水库蓄水或深井注水等引起。在这四种类型的地震中,构造地震分布最广,危害最大,约占地震总量的 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 1-1)。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。

板块构造学说认为,地球的表面岩层由六大板块构成,即美洲板块、太平洋板块、澳洲板块、南极板块、欧亚板块和非洲板块(见图 1-2)。这些板块在相对缓慢地运动着,在边界处相互挤压和顶撞,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。

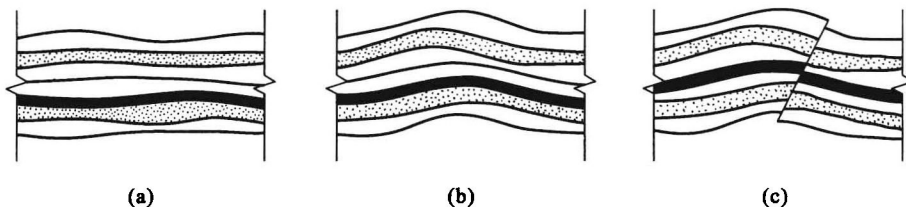


图 1-1 地壳构造变动与地震形成示意图

(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

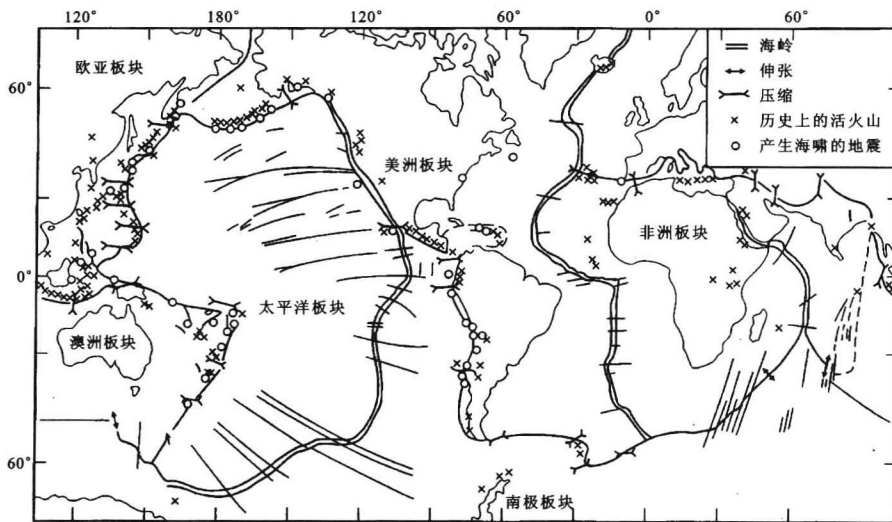


图 1-2 板块分布

### 1.1.3 地震带

#### 1) 世界地震带

20 世纪初,科学家们在遍访各大洲、进行宏观地震资料调查的基础上,编制了世界地震活动图。随后,又根据各地震台的观测数据编出了较精确的世界地震分布图。从这些图中可以清楚地看到,小地震几乎到处都有,大地震则主要发生在某些地区,即地球上的 4 个主要地震带(见图 1-3)。

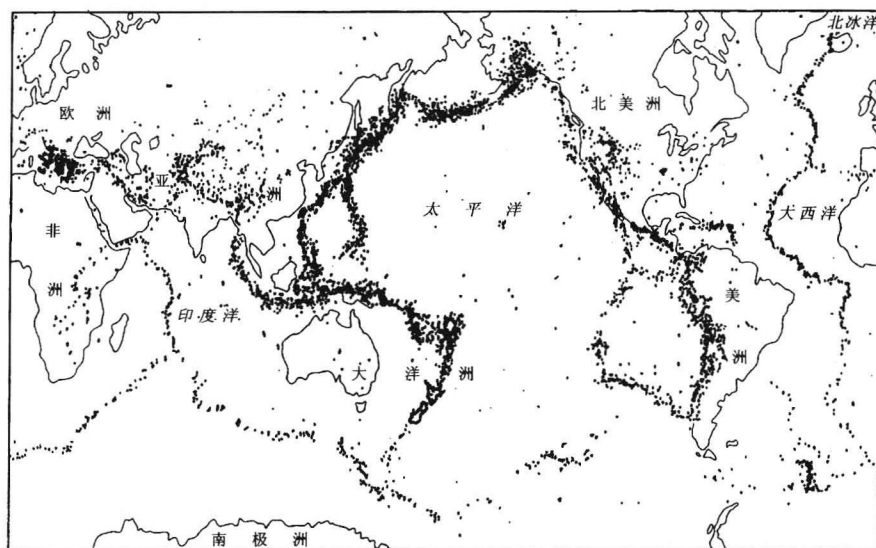


图 1-3 世界地震带分布略图

(1) 环太平洋地震带:全球约 80%的浅源地震和 90%的中深源地震,以及几乎所有的深源地震都集中在这一地震带。它沿南北美洲西海岸、阿留申群岛,转向西南到日本列岛,再经我国台湾省,达菲律宾、新几内亚和新西兰。

(2) 欧亚地震带:除分布在环太平洋地震活动带的中深源地震以外,几乎所有其他中深源地震和一些大的浅源地震都发生在这一地震活动带,这一活动带内的震中分布大致与山脉的走向一致。它西起大西洋的亚速岛,经意大利、土耳其、伊朗、印度北部、我国西部和西南地区,过缅甸至印度尼西亚与上述环太平洋地震带相衔接。

(3) 沿北冰洋、大西洋和印度洋中主要山脉的狭窄浅震活动带:北冰洋、大西洋地震带是从勒拿河口地震较稀少的地区开始,经过一系列海底山脉和冰岛,然后顺着大西洋底的隆起带延伸。印度洋地震带始于阿拉伯之南,沿海底隆起延伸,之后朝南走向南极。

(4) 地震相当活跃的断裂谷:如东非洲和夏威夷群岛等。

其中,前两者为世界地震的主要活动地带。

## 2) 我国地震带

我国东邻环太平洋地震带,南接欧亚地震带,地震分布相当广泛。图 1-4 为我国境内 6 级和 6 级以上地震震中分布及其主要地震带。可以看出,我国的主要地震带有以下两条。

(1) 南北地震带。北起贺兰山,向南经六盘山,穿越秦岭沿川西至云南省东北,纵贯南北。地震带宽度各处不一,大致在数十至百余千米左右,分界线是由一系列规模很大的断裂带和断陷盆地组成,构造相当复杂。

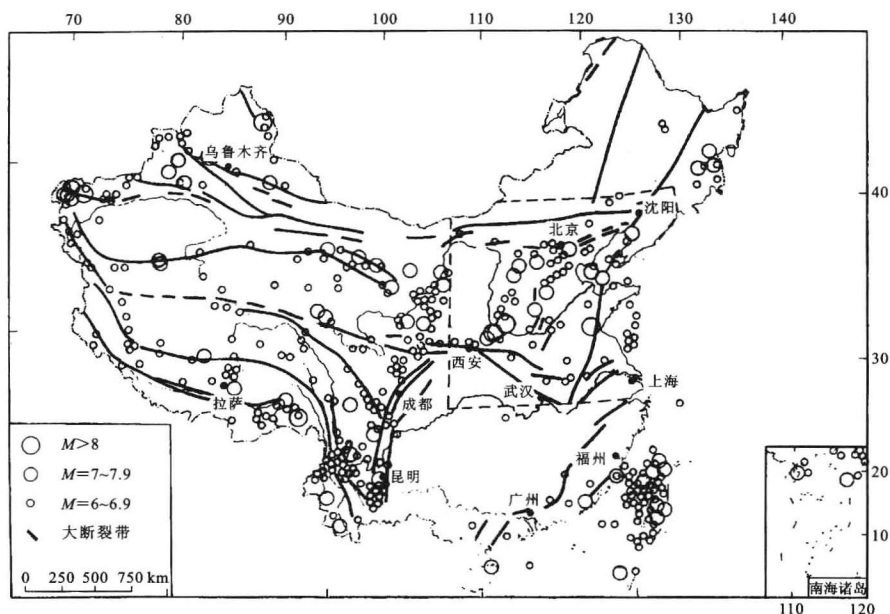


图 1-4 我国境内震级大于或等于 6 的震中分布

(2) 东西地震带。主要的东西构造带有两条,北面的一条沿陕西、山西、河北北部向东延伸,直至辽宁北部的千山一带;南面的一条自帕米尔起,经昆仑山、秦岭,直到大别山区。

据此,我国大致可划分成 6 个地震活动区:① 台湾及其附近海域;② 喜马拉雅山脉活动区;③ 南北地震带;④ 天山地震活动区;⑤ 华北地震活动区;⑥ 东南沿海地震活动区。

从历史上的地震情况来看,我国除个别省份(如浙江)外,绝大部分地区都发生过较强烈的破坏性地震,并且有不少地区的现代地震活动还相当强烈,如我国台湾省大地震最多,新疆、西藏次之,西南、西北、华北和东南沿海地区也是破坏性地震较多的地区。

#### 1.1.4 常用术语

地震学中的常用术语主要有震源、震中、震源深度、震中距、震源距和等震线等,如图 1-5 所示。

**震源:**地质构造运动中,在断层形成的地方大量释放能量,产生剧烈振动,此处就是震源,它不是一个点,而是有一定深度和范围的。

**震中:**震源正上方的地面位置叫震中。

**震源深度:**震中到震源的垂直距离,称为震源深度。

**震中距:**建筑物到震中之间的距离叫震中距。

**震源距:**建筑物到震源之间的距离叫震源距。

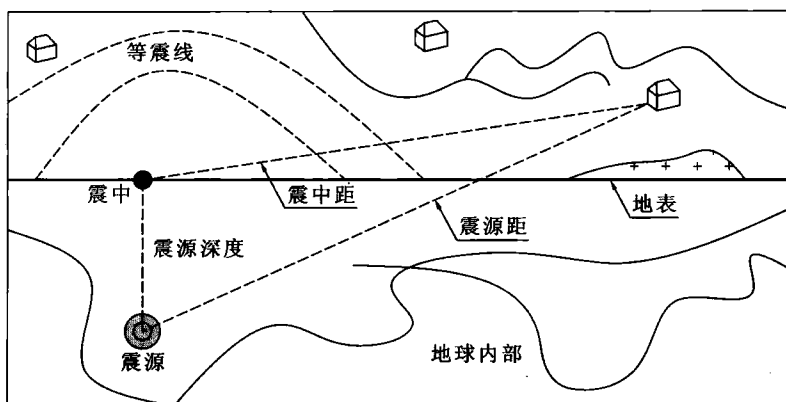


图 1-5 地震术语示意图

等震线:一次地震中,在其所涉及地区内,根据地面破坏情况利用地震烈度表可对每一个地点评估出一个烈度,烈度相同点的外包连线称为等震线。

此外,按照震源深度的不同,地震又可以分为以下三种。

① 浅源地震:震源深度小于 60 km,一年中全世界所有地震释放能量的约 85% 来自浅源地震。

② 中源地震:震源深度在 60~300 km 以内,一年中全世界所有地震释放能量的约 12% 来自中源地震。

③ 深源地震:震源深度大于 300 km,一年中全世界所有地震释放能量的约 3% 来自深源地震。

## 1.2 地震动特性

### 1.2.1 地震波

当地震产生时,地下储存的变形能以弹性波的形式从震源向四周传播,这就是地震波。它包含在地球内部传播的体波和只限于在地球表面传播的面波。

#### 1) 体波

体波包括纵波和横波两种。

(1) 纵波(P波),其介质质点的振动方向与波的前进方向一致,使介质不断地压缩和疏松,故又称压缩波或疏密波。其特点是周期短、振幅小。

纵波的波速为

$$v_p = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (1.2.1)$$

式中  $E$ ——介质的弹性模量;

$\rho$ ——介质密度;

$\mu$ ——介质的泊松比。

(2) 横波(S波),其介质质点的振动方向与波的前进方向相垂直,故又称剪切波或等容波。其特点是周期较长、振幅大。

横波的波速为

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (1.2.2)$$

式中  $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$  称为介质的切变模量。

## 2) 面波

当体波从基岩传播到上层土时,经地质界面的多次反射和折射,在地表面形成一种次生波,这就是面波,它包括两种形式的波:瑞雷波(R波)和洛夫波(L波)。

图 1-6 为面波质点的振动形式。瑞雷波传播时,质点在竖向平面内做椭圆形运动,呈滚动形式。洛夫波传播时,质点在地平面内做与波传播方向垂直的水平振动,呈蛇形运动形式。

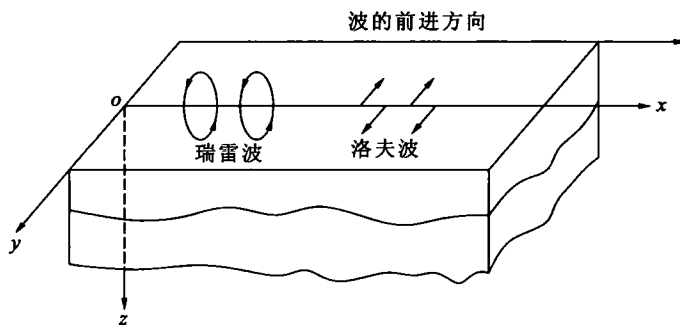


图 1-6 面波质点振动形式

和体波相比,面波的振幅大,周期长,只能在地表附近传播,比体波衰减慢,故能传播到很远的地方。

总之,地震波的传播速度以纵波最快,横波次之,面波最慢。故对于任意一次记录的地震波曲线,地震波到达的先后顺序依次是纵波、横波和面波。

### 1.2.2 震级

震级是用来反映地震强度大小的指标,它表示一次地震释放能量的多少。国际上较通用的是里氏震级,它是由里克特(C. F. Richter)在 1935 年首先提出的,即在离震中 100 km 处标准地震仪(摆的自振周期为 0.8 s,阻尼系数 0.8,放大倍数为 2 800 倍)所记录到的最大水平位移  $A$ (单位取微米)的常用对数  $M$ 。

$$M = \lg A \quad (1.2.3)$$

当震中距不是 100 km 时,则需按修正公式进行计算。

$$M = \lg A - \lg A_0 \quad (1.2.4)$$

式中  $A_0$  为被选为标准的某一特定地震的最大振幅。

根据地震震级的大小,可计算得到该次地震所释放能量的大小:

$$\lg E = 1.5M + 11.8 \quad (1.2.5)$$

式中  $E$  为地震释放的能量,单位为 erg。(1 erg =  $10^{-7}$  J)

计算表明,一个 6 级地震释放的能量相当于一个 2 万吨级的原子弹。 $M$  每增加一级释放的能量将增加 32 倍。

一般来说,小于 2 级的地震是感觉不到的,称为微震;2~4 级的地震称为有感地震;5 级以上的地震可引起不同程度的破坏,称为破坏性地震;7 级以上的地震称为强震或大震;8 级以上的地震称为特大地震。

### 1.2.3 烈度

#### 1) 地震烈度

地震烈度也是用来反映地震强度大小的指标。它主要用来反映某一个地区、地面及工程结构遭受到一次地震影响的强烈程度。

我国根据房屋建筑震害指数、地表破坏程度及地面运动加速度指标将地震烈度分为 12 度,制定了《中国地震烈度表》(见表 1-1)。

表 1-1 中国地震烈度表(GB/T 17742-2008)

地震烈度	在地面上人的感觉	房屋震害程度			其他震害现象	水平地面运动	
		类型	震害现象	平均震害指数		峰值加速度 ( $m/s^2$ )	峰值速度 (m/s)
I	无感觉	—	—	—	—	—	—
II	室内个别静止中的人有感觉	—	—	—	—	—	—
III	室内少数静止中的人有感觉	—	门、窗轻微作响	—	悬挂物微动	—	—
IV	室内多数人、室外少数人有感觉,少数人梦中惊醒	—	门、窗作响	—	悬挂物明显摆动,器皿作响	—	—
V	室内绝大多数、室外多数人有感觉,多数人梦中惊醒	—	门窗、屋顶、屋架颤动作响,灰土掉落,个别房屋墙体抹灰出现细微裂缝,个别屋顶烟囱掉砖	—	悬挂物大幅度晃动,不稳定器物摇动或翻倒	0.31 (0.22~0.44)	0.03 (0.02~0.04)

续表

地震烈度	在地面上人的感觉	房屋震害程度			其他震害现象	水平地面运动	
		类型	震害现象	平均震害指数		峰值加速度 ( $m/s^2$ )	峰值速度 ( $m/s$ )
VI	多数人站立不稳,少数人惊逃户外	A	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.00~0.11	家具和物品移动;河岸和松软土出现出现裂缝,饱和砂层出现喷砂冒水;个别独立砖烟囱轻度裂缝	0.63 (0.45~0.89)	0.06 (0.06~0.09)
		B	个别中等破坏,少数轻微破坏,多数基本完好				
		C	个别轻微破坏,大多数基本完好	0.00~0.08			
VII	大多数人惊逃户外,骑自行车的人有感觉,行驶中的汽车驾乘人员有感觉	A	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等破坏和/或轻微破坏	0.09~0.31	物体从架子上掉落;河岸出现塌方,饱和砂层常出现喷水冒砂,松软土地地裂缝较多;大多数独立砖烟囱中等破坏	1.25 (0.90~1.77)	0.13 (0.10~0.18)
		B	少数中等破坏,多数轻微破坏和/或基本完好	0.07~0.22			
		C	少数中等和/或轻微破坏,多数基本完好				
VIII	多数人摇晃颠簸,行走困难	A	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏	0.29~0.51	干硬土上亦出现裂缝,饱和砂层绝大多数喷砂冒水;大多数独立砖烟囱严重破坏	2.50 (1.78~3.53)	0.25 (0.19~0.35)
		B	个别毁坏,少数严重毁坏,多数中等和/或轻微破坏				
		C	少数严重和/或中等破坏,多数轻微破坏	0.20~0.40			
IX	行动的人摔倒	A	多数严重破坏和/或毁坏	0.49~0.71	干硬土上多处出现裂缝,可见基岩裂缝、错动、滑坡、塌方常见;独立砖烟囱多数倒塌	5.00 (3.64~7.07)	0.50 (0.38~0.71)
		B	少数毁坏,多数严重和/或中等破坏				
		C	少数毁坏和/或严重破坏,多数中等和/或轻微破坏	0.38~0.60			

续表

地震烈度	在地面上人的感觉	房屋震害程度			其他震害现象	水平地面运动	
		类型	震害现象	平均震害指数		峰值加速度 (m/s <sup>2</sup> )	峰值速度 (m/s)
X	骑自行车的人 会摔倒,处不稳 状态的人 会摔离原地, 有抛起感	A	绝大多数毁坏	0.69~0.91	山崩和地震 断裂出现,基 岩上拱桥破 坏;大多数独 立砖烟囱从 根部破坏或 倒毁	10.00 (7.08~14.14)	1.00 (0.72~1.41)
		B	大多数毁坏				
		C	多数毁坏和/或 严重破坏	0.58~0.80			
XI	—	A	绝大多数毁坏	0.89~1.00	地震断裂延 续很长;大量 山崩滑坡	—	—
		B		0.78~1.00			
		C					
XII	—	A	几乎全部毁坏	1.00	地面剧烈变 化,山河改 观	—	—
		B					
		C					

注:表中给出的“峰值加速度”和“峰值速度”是参考值,括弧内给出的是变动范围。

注:1.表中的数量词:“个别”为10%以下;“少数”为10%~50%;“多数”为50%~70%;“大多数”为60%~90%;“绝大多数”为80%以上。

2.评定地震烈度时,I度~V度应以地面上以及底层房屋中人的感觉和其他震害现象为主;VI度~X度应以房屋震害为主,参照其他震害现象,当用房屋震害程度与平均震害指数评定结果不同时,应以震害程度评定结果为主,并综合考虑不同类型房屋的平均震害指数;XI度和XII度应综合房屋震害和地表震害现象。

3.以下三种情况的地震烈度评定结果,应作适当调整:

- ①当采用高楼上人的感觉和器物反应评定地震烈度时,适当降低或提高评定值;
- ②当采用低于或高于XII度抗震设计房屋的震害程度和平均震害指数评定地震烈度时,适当降低或提高评定值;
- ③当采用建筑质量特别差或特别好的房屋的震害程度和平均震害指数评定地震烈度时,适当降低或提高评定值。

4.当计算的平均震害指数值位于表1-1中地震烈度对应的平均震害指数重叠搭接区间时,可参照其他判别标准和震害现象综合判定地震烈度。

一般来说,地震烈度随着震中距的增加而递减。我国根据153个等震线资料统计出的烈度(I)、震级(M)、震中距(R)的经验关系式为

$$I = 0.92 + 1.63M - 3.49 \lg R \quad (1.2.6)$$

## 2) 基本烈度

地震基本烈度,指某地区在今后一定时间内,在一般场地条件下可能遭受的最



大地震烈度。我国是对 45 个城镇的历史震灾记录以及地震地质构造等资料进行统计并依据烈度递减规律进行预估,得到的 50 年内超越概率为 10% 的烈度。

### 3) 抗震设防烈度

抗震设防烈度是按国家规定的权限批准,用来作为一个地区抗震设防依据的地震烈度。一般情况下取基本烈度。但还须根据建筑物所在城市的大小,建筑物的类别、高度以及当地的抗震设防小区规划进行确定。

和抗震设防烈度相对应的是设计基本地震加速度,见表 1-2。

表 1-2 抗震设防烈度和设计基本地震加速度值的对应关系

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

注:  $g$  为重力加速度。

## 1.2.4 地震区划

在对某地工程结构进行抗震设计时,需要确定该地的抗震设防烈度及设计基本地震加速度,也即需要根据历史地震、地震地质构造和地震观测等资料,在地图上按地震情况的差异划出不同的区域,这就是地震区划。我国曾采用地震基本烈度值进行区划,于 1999 年颁发了《基本烈度区划图》。随后又按地震动参数,即地震动峰值加速度和加速度反应谱编制了《中国地震动参考区划图(2001)》。

此外,在抗震设计时还需要明确该地的场地类别和设计地震分组,以确定出相关的设计参数,如特征周期等。

附录为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。

## 1.3 地震震害

### 1.3.1 地表破坏

地震所造成的地表破坏主要有山石崩裂、滑坡、地面裂缝、地陷和喷砂冒水等。

地震造成的山石崩裂的塌方量可达近百万方,石块最大的能超过房屋的体积,崩塌的石块可阻塞公路,使交通中断,并且在陡坡附近还会发生滑坡现象(图 1-7)。

在地下水位较高的地区,地震的强烈振动可能会使含水的砂土或粉土液化,使得地下水夹着砂子经裂缝或其他通道喷出地面,形成喷砂冒水现象。

地陷大多发生在岩溶洞和采空(采掘的地下坑道)地区。在喷砂冒水的地段,也可能发生下陷。

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,按其成因可分为以下两种。

(1) 不受地形地貌影响的构造裂缝。这种裂缝是地震断裂带在地表的反映,其走向