

高等院校
土木工程专业“十二五”
规划教材

土工抗震

TUGONG KANGZHEN

李荣建 邓亚虹 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等院校土木工程
“十二五”规划教材

土工抗震

李荣建 邓亚虹 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

岩土工程在建设和研究中的高速发展,客观上促使岩土工程的抗震分析逐渐形成了一门较完备的、具有鲜明特色的岩土工程抗震分析体系。本教材结合土动力学与结构动力学及地震工程,阐述了地震与灾害、结构动力学基础、地震反应谱理论及应用、工程场地条件与宏观震害、建筑结构抗震设计与验算、土的动力特性、地基动力分析及基础抗震、边坡及其加固的动力安全评价、地下结构抗震分析等内容,可以让读者了解、学习岩土工程各个分支的抗震分析方法。

本教材可供土木工程、城市地下空间工程、防灾与减灾工程和工程地质等专业的高年级学生、研究生与教师阅读学习,亦可作为土建、公路、铁道、水利、市政、防灾与减灾和工程地质等相关科研和工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土工抗震 / 李荣建, 邓亚虹编著. — 北京: 中国水利水电出版社, 2014.9
高等院校土木工程专业“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-2517-7

I. ①土… II. ①李… ②邓… III. ①岩土工程—防震设计—高等学校—教材 IV. ①TU4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第211925号

书 名	高等院校土木工程专业“十二五”规划教材 土工抗震
作 者	李荣建 邓亚虹 编著
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: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
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	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 16.25印张 385千字
版 次	2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	35.00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

随着经济建设的迅速发展和社会财富的快速积累,灾害的防治越来越受到重视。灾害是指那些由于自然的、人为的或人与自然的原因,对人类的生存和社会发展造成损害的各种现象。地震是重大自然灾害之一,为减轻地震所造成的生命与财产损失,人类进行了长期不懈的努力。随着科学技术的进步,抗震工程的理论和实践得到很大的发展。但是,近几十年来全球发生的许多大地震,例如,1976年中国的唐山地震、1994年美国 Northridge 地震、1995年日本阪神地震、1999年中国台湾集集大地震和2008年中国汶川大地震等仍然造成大量严重的工程破坏和惨重的生命财产损失。

我国是世界上地震灾害最严重的国家之一,我国境内强震分布十分广泛,全国各省、自治区、直辖市都有6级以上的地震发生,大部分地区都发生过8级以上强烈地震。所以,抗震问题在我国非常重要。岩土工程抗震内容不仅涉及地基工程、基础工程、地下工程、隧道工程、边坡工程、土石坝工程、岸坡堤防工程和路基工程等工程领域,而且也涉及地震学、工程地震学、结构动力学、土动力学、地震工程学等多门学科。以往岩土工程抗震大多散见于结构工程抗震、桥梁工程抗震、大坝抗震、港口工程结构抗震和地下结构抗震等内容体系中,但由于近些年来各种岩土工程建设的高速发展,客观上促使岩土工程抗震逐渐完成了系统化的过程,也逐渐成为一门体系较为完备的、适合岩土工程特色的抗震课程。

虽然目前有一些先进的土动力学、岩土地震工程学等著作出版,但这些著作大都属于研究专著或研究生教材。岩土工程抗震分析和设计是减轻和防止岩土工程地震灾害的重要基础理论,因此学习地震作用下各种岩土结构的抗震分析方法和处理措施,具有重要的理论意义和工程意义。为了方便本科生系统地学习岩土工程的抗震分析内容,以便进一步培养本科生在岩土工程抗震分析实践方面的应用能力,有必要编著一本适合本科生的岩土工程抗震教材。

本教材根据“现象—机理—问题—措施”的模式开展编写工作,着眼于培养本科生在岩土工程抗震分析方面思考问题的能力,并方便学生将所学知

识应用于岩土工程的抗震实践。本教材中李荣建负责编写了前言、第2章、第5章、第6章(6.8小节)、第7章、第8章、第9章,邓亚虹负责编写了第1章、第3章、第4章、第6章(6.1~6.7小节),最后由李荣建负责统稿。

在清华大学岩土工程研究所攻读博士学位期间的科研启迪、西安理工大学土木建筑工程学院团结和谐的工作氛围、长安大学地质与测绘学院的团结协作以及岩土工程研究所的各位前辈同仁为作者完成本研究创造了有利条件并给予了大力帮助,在此谨表示衷心感谢!

同时,感谢作者的研究生刘军定、闫蕊、彭光辉、张媛、江浩和李锦等为本书的编辑、绘图和文字校对付出的辛勤劳动!由于作者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请各位专家、学者、同行以及工程技术人员不吝赐教和批评指正。

李荣建 邓亚虹

2014年5月

作者简介

李荣建，男，副教授，博士，毕业于清华大学岩土工程研究所，曾获清华大学 2008 届张光斗奖学金，现任西安理工大学岩土工程研究所副所长，岩土工程专业硕士生导师，主要从事黄土力学、土动力学与土工抗震和边坡工程方面的研究工作。近年在《岩土力学》《水利学报》《清华大学学报》《Disaster Advances》等国内外核心刊物及会议上公开发表论文 60 余篇，其中 SCI 检索 4 篇，EI 检索 30 余篇，ISTP 检索 2 篇。出版专著 1 部，主编、参与编写教材 2 部。以第一完成人身份申报发明专利 10 项，与西安长庆科技有限责任公司合作申报专利 1 项。主持完成国家自然科学基金面上项目和中国博士后科学基金面上项目各 1 项，参与研究国家自然科学基金项目多项。

邓亚虹，男，副教授，博士，毕业于浙江大学土木系岩土工程研究所，现任长安大学地工系副主任，岩土工程与地质工程专业硕士生导师，主要从事土动力学、岩土地震工程以及地质灾害防治方面的研究工作。近年在《岩土工程学报》《岩石力学与工程学报》《岩土力学》《工程力学》《浙江大学学报》等国内外核心期刊上发表学术论文 28 篇，其中 EI 检索 15 篇。合作出版学术专著 1 部，参与编写行业规范 2 部，申报发明专利 2 项、实用新型专利 5 项。主持中国博士后科学基金项目，国家自然科学基金青年项目、面上项目，国土资源部行业科研专项经费项目各一项；参与包括国家自然科学基金重点项目以及西安地铁和大西高铁等国家重点建设工程的科研项目多项。

目 录

前言

第 1 章 地震与灾害	1
1.1 概述	1
1.2 地球构造与板块运动	2
1.3 地震成因与地震类型	5
1.4 地震活动与地震灾害	7
1.5 地震动特性	10
1.6 震级与烈度	16
本章参考文献	20
第 2 章 结构动力学基础	22
2.1 地震分析模型概述	22
2.2 单自由度结构的地震反应	23
2.3 多自由度结构的地震反应	32
本章参考文献	43
第 3 章 地震反应谱理论及应用	44
3.1 地震反应谱概念与计算	44
3.2 地震反应谱的影响因素及衰减关系	47
3.3 地震反应谱的应用	47
3.4 设计地震动	50
本章参考文献	55
第 4 章 工程场地条件与宏观震害	56
4.1 概述	56
4.2 场地条件对宏观震害的影响	57
4.3 场地地层条件的影响	58
4.4 场地地形条件的影响	62
4.5 场地内断裂带的影响	63
4.6 广义地基失效的影响	64
4.7 抗震地段划分与场地分类	64
本章参考文献	67

第 5 章 建筑结构抗震设计与验算	69
5.1 工程结构震损危害	69
5.2 抗震设计的目的及目标	69
5.3 抗震设防标准与方法	72
5.4 建筑结构抗震验算	83
5.5 建筑抗震概念设计	87
本章参考文献	90
第 6 章 土的动力特性	92
6.1 概述	92
6.2 振动与波动	92
6.3 土的动力特性测试	93
6.4 土的动强度特性	100
6.5 土的动孔压特性与预测模型	103
6.6 土的振动液化与判别	106
6.7 土的动应力—应变特性	110
6.8 土的动力固结特性	118
本章参考文献	125
第 7 章 地基动力分析及基础抗震	128
7.1 天然地基土层动力响应与计算	128
7.2 砂土液化与软土地基震陷评价	139
7.3 地基与基础的抗震验算	148
7.4 桩基础抗震分析与验算	153
7.5 动力机器地基基础	167
7.6 地基基础与上部结构的相互作用	171
本章参考文献	174
第 8 章 边坡及其加固的动力安全评价	175
8.1 边坡工程震害及其特点	175
8.2 地震作用下土石坝坝坡和边坡的动力响应分析	177
8.3 地震作用下边坡稳定性分析	185
8.4 边坡的加固措施	191
8.5 挡土墙的抗震验算	192
8.6 抗滑桩抗震加固的离心模型试验分析	195
本章参考文献	211
第 9 章 地下结构抗震分析	213
9.1 地下结构震害分析	213
9.2 地下结构抗震特点及设计原则	224

9.3 地下结构抗震设计计算方法 225

9.4 地下结构抗震分析的数值计算分析 238

9.5 地下结构的抗震概念设计和构造措施 246

本章参考文献 250

第1章 地震与灾害

1.1 概 述

“灾害”是指能够给人类和人类赖以生存的自然或社会环境造成破坏性影响的事物的总称。按照灾害起因，又可以分为“人为灾害”和“自然灾害”两大类，即中国古语所言“天灾人祸”，如地震、滑坡、海啸、风灾、火灾、旱灾、矿难、核泄漏及瘟疫等各种灾害。与人为灾害相比，自然灾害往往具有“不可抗拒性”和“不确定性”，因而其破坏性和灾害损失也往往是巨大的。联合国“国际减灾十年委员会（1990—2000）”提供的资料表明：仅1963—1992年的30年内，全球自然灾害的受灾总人数就超过30亿人，其中死亡36万人，直接经济损失达3400亿美元之巨。这其中又以地震引起的各种灾害所占的比例最大。

“地震”是地壳运动过程中产生的一种自然地质现象，同时也是危及人民生命财产的一种突发性自然灾害。地震时强烈的地面运动会造成建筑物倒塌或损坏，并可能引发火灾、水灾、山崩、滑坡以及海啸等一系列次生灾害。地震灾害除造成惨重的人员伤亡和经济损失外，还会给地震区带来巨大的社会和政治影响，尤其是随着社会经济的快速发展以及城市化进程的加快，人口及物质财富向城市高度集中，现代地震所造成的灾害更加巨大。表 1-1 为 20 世纪以来死亡人数超过 2 万人的地震统计数据。

表 1-1 20 世纪以来死亡人数超过 2 万人的地震

日 期	地 点	震 级	死亡人数/人
1905 年 4 月 4 日	阿富汗坎什米尔	8.6	20000
1906 年 4 月 18 日	美国旧金山	8.3	70000
1906 年 8 月 16 日	智利瓦尔帕莱索	8.6	20000
1908 年 12 月 28 日	意大利墨西拿	7.5	120000
1915 年 1 月 13 日	意大利阿韦扎诺	7.0	30000
1920 年 12 月 16 日	中国海原	8.6	230000
1923 年 9 月 1 日	日本关东	8.3	140000
1927 年 5 月 23 日	中国古浪	8.0	40000
1932 年 12 月 25 日	中国昌马	7.6	70000
1935 年 5 月 30 日	巴基斯坦基达	7.5	50000
1939 年 1 月 24 日	智利康塞普西翁	8.3	50000
1939 年 12 月 26 日	土耳其埃尔津詹	7.9	33000

续表

日 期	地 点	震 级	死亡人数/人
1970 年 5 月 31 日	秘鲁钦博特	7.7	66000
1976 年 2 月 4 日	危地马拉萨尔瓦多	7.5	24000
1976 年 7 月 28 日	中国唐山	7.8	242000
1978 年 9 月 16 日	伊朗塔巴斯	7.7	25000
1988 年 12 月 7 日	前苏联亚美尼亚	6.9	25000
1990 年 6 月 21 日	伊朗吉兰	7.7	50000
1993 年 9 月 30 日	印度马哈拉施特拉	6.4	30000
2001 年 1 月 26 日	印度古吉拉特	7.9	20000
2003 年 12 月 26 日	伊朗巴姆	6.6	38000
2004 年 12 月 26 日	印尼苏门答腊	8.9	290000
2005 年 10 月 8 日	巴基斯坦克什米尔	7.6	90000
2008 年 5 月 12 日	中国汶川	8.0	87000

统计资料表明,国民生产总值增加一倍,自然灾害损失就增加三倍,随着世界经济的增长,自然灾害的损失呈几何级数增长。这在现代地震造成的经济和财产损失方面表现得尤为明显。如1994年美国洛杉矶Northridge地区6.6级地震,造成62人死亡,但累计经济损失却超过300亿美元。1995年日本关西地区的阪神7.3级地震,造成的经济损失甚至超过1000亿美元,为同期所有其他自然灾害所引起的经济损失的总和。2008年的汶川8.0级大震,虽然不是发生在大城市,但由于震区城镇密集,人口聚居,死亡和失踪人口近10万,而直接经济损失更是高达近万亿人民币。

我国地处世界上两个最活跃的地震带—环太平洋地震带和欧亚地震带之间,是一个地震频发的国家。据统计,全国80%以上的大中城市均在地震区,Ⅵ度及Ⅵ度以上的震区几乎遍及全国各个省和自治区。我国《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)中明确规定:抗震设防烈度为Ⅵ度及以上地区的建筑,必须进行抗震设计。因此,为预防和减轻各种土工结构由于地震而造成的破坏,工程技术人员就需要对地震及其灾害有较深入地了解和认识,就需要学习和研究岩土工程的抗震问题。

工程抗震研究和设计是地震灾害防灾减灾的重要基础,学习地震作用下各种土工结构的抗震分析和评价方法,具有重要的工程实际意义。

1.2 地球构造与板块运动

1.2.1 地球内部构造

地球是一个平均半径约6400km的近似椭球体,其赤道半径略大于极半径。现代卫星资料表明,地球的真实形状近似梨形,北极略隆起,而南极略凹进(图1-1)。地球的平均密度约为 5.517g/cm^3 ,从地表岩石的密度来看,常见的花岗岩密度为 2.67g/cm^3 ,玄

武岩密度为 2.85g/cm^3 ，仅是地球平均密度的一半。这表明，地区内部物质的密度不但高于表面岩石的密度，同时也高于地球的平均密度。一般而言，地球内部的物质密度随深度而逐渐增大。同时，地球内部的温度和压力一般也随深度而增加，如地心的温度可能高达 3000°C ，甚至 $4000\sim 5000^\circ\text{C}$ ，而压力则可达 350 万个大气压。

对于地球这样一个半径 6400km 的庞然大物，我们通过钻井所能直接观察或测量的深度却不超 13km ，因此，我们对于地球内部物质及构造的认识主要依赖地震波法等地球物理手段，即根据地震波在地球内部不同深度处的速度变化来推测地球内部的物质结构。据实测资料，地球内部存在两个波速变化明显的不连续面，一个位于地下平均 33km 处，地震波通过此界面后，剪切波（S 波）和压缩波（P 波）波速均突然增大。此界面于 1909 年由前南斯拉夫地球物理学家 Mohorovicic（莫霍洛维奇）首先发现，因此后人称之为“莫霍面”。另一个在地下约 2900km 处，地震波通过该界面后，P 波波速突然减小，而 S 波消失，这个界面是由德国地球物理学家 Gutenberg（古登堡）于 1914 年发现的，后人称之为“古登堡面”。依据上述两个不连续面把地球由外向内分为三大部分：表面很薄的一层叫地壳，平均厚度约 30km ；中间很厚的一层叫地幔，厚度约 2900km ；最里面的一层叫地核，厚度约 3500km （图 1-2）。

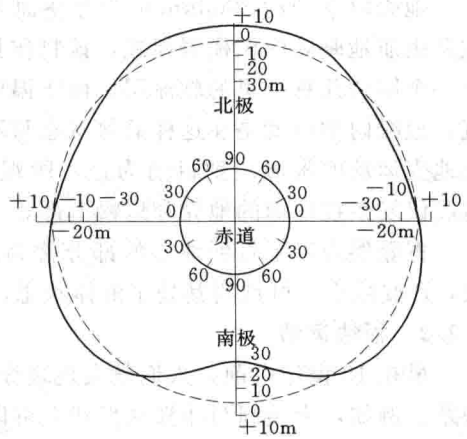


图 1-1 真实的地球——梨形椭球体

内部存在两个波速变化明显的不连续面，一个位于地下平均 33km 处，地震波通过此界面后，剪切波（S 波）和压缩波（P 波）波速均突然增大。此界面于 1909 年由前南斯拉夫地球物理学家 Mohorovicic（莫霍洛维奇）首先发现，因此后人称之为“莫霍面”。另一个在地下约 2900km 处，地震波通过该界面后，P 波波速突然减小，而 S 波消失，这个界面是由德国地球物理学家 Gutenberg（古登堡）于 1914 年发现的，后人称之为“古登堡面”。依据上述两个不连续面把地球由外向内分为三大部分：表面很薄的一层叫地壳，平均厚度约 30km ；中间很厚的一层叫地幔，厚度约 2900km ；最里面的一层叫地核，厚度约 3500km （图 1-2）。

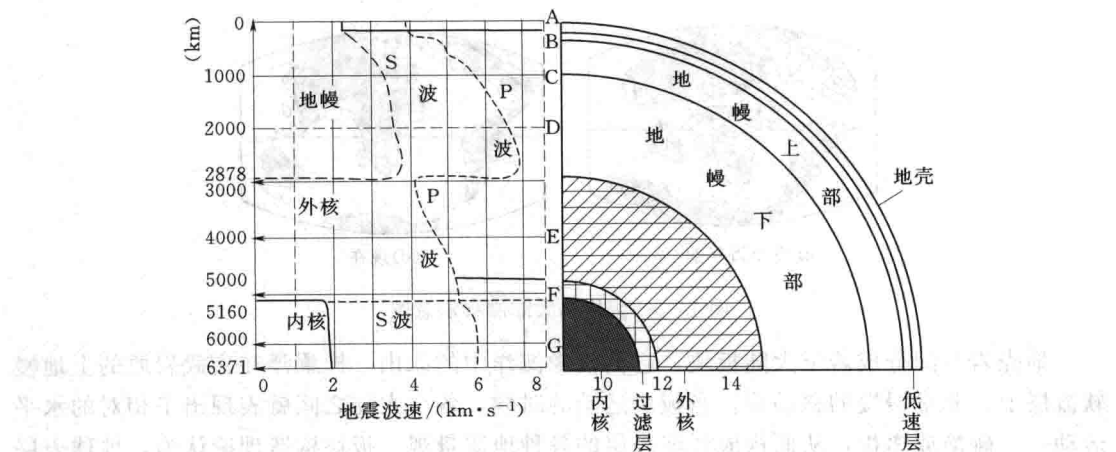


图 1-2 地球内部结构及 P 波和 S 波速度分布

地壳是地球的外壳，由各种不均匀的岩石组成。地壳在地球各处厚薄不均，一般陆壳较厚，约 $30\sim 70\text{km}$ ，洋壳较薄，约 $5\sim 8\text{km}$ 。地壳表面为沉积层，陆地下面主要有花岗岩和玄武岩，海洋下面的地壳一般只有玄武岩层。地壳的下界称为莫霍面，是第一个地震波传播速度发生急剧变化的不连续面。

地壳以下到约 2900km 的古登堡面为止的部分称为地幔, 约占地球总体积的 5/6。其主要由质地坚硬的橄榄岩组成, 该物质具有黏弹性。在地幔的上部(上地幔), 可能存在着一个厚约几百公里的软流层, 由于温度和压力分布的不均匀, 发生了地幔内部物质的对流, 地幔内物质就是在这样的热状态与不平衡的压力作用下缓慢地流动着, 这可能就是其上地壳运动的根源。到目前为止, 所观测到的最深地震发生在地下 700km 左右, 可见, 地震仅发生在地球的地壳和地幔上部。

古登堡面以下直到地心的部分称为地核, 地核可分为内核和外核。由于外核 S 波消失, P 波减小, 可推测其处于液体状态, 而内核可能是固态, 主要由镍和铁组成。

1.2.2 板块运动

早在 19 世纪以前, 人们就发现现今被大洋分隔的各大陆之间在历史上曾经有过陆地联系。例如, 南美洲与非洲从形状上可以拼合在一起, 且上亿年以来不同年龄的岩层和古生物化石都能很好地吻合。1912 年, 德国气象学家和地球物理学家 Wegener (魏格纳) 通过研究正式提出了“大陆漂移学说”, 并在 1915 年出版的《海陆的起源》一书中进行了论证。大陆漂移说认为, 地球上所有大陆在中生代以前曾经是统一的巨大陆块——“泛大陆”, 中生代开始, 泛大陆分裂并漂移, 逐渐达到现在的位置(图 1-3)。

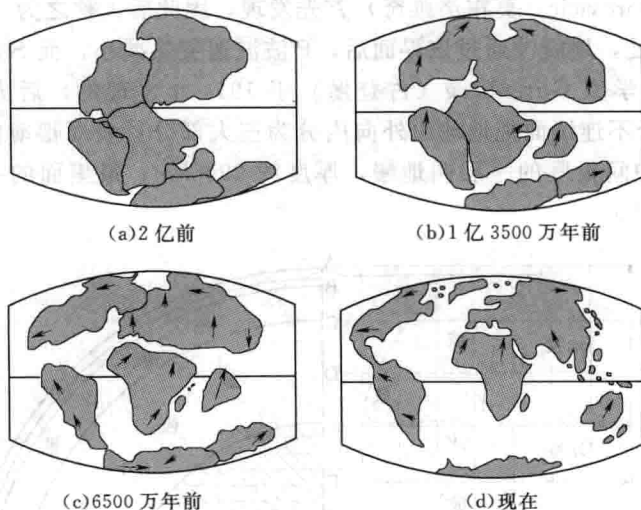


图 1-3 魏格纳大陆漂移示意图

地壳岩石圈分成若干大陆板块, 它们就像海洋中的冰山一样飘浮在玄武岩质的上地幔软流层上, 非常缓慢的移动着。当板块运动的时候, 各个大陆之间就表现出了相对的水平运动——碰撞或离析, 从而构成地球表层的各种地质景观。板块构造理论认为, 地球表层(岩石圈)是由厚度大约为 100~150km 的巨大板块构成, 根据法国地质学家 Le Pichon (勒皮雄) 等人的观点, 全球岩石圈划分为六大板块, 即太平洋板块、印度洋板块、亚欧板块、非洲板块、美洲板块和南极洲板块, 其中只有太平洋板块几乎完全在海洋, 其余均包括大陆和海洋(图 1-4)。板块间的分界线是海岭、海沟、大的褶皱山脉和裂谷与转换断层带。大板块中又可分出一些较小的板块, 例如, 把美洲板块分为北美洲板块和南美洲

板块；从太平洋板块中分出东太平洋板块；从亚欧板块中分出以中国大陆为主体的东亚板块等。



图 1-4 地球板块构造分布

很明显，板块与板块之间的交界部位是构造活动最强烈，构造应力最为集中的地方，因而也是全球地震、火山活动的主要发生地（图 1-5）。据统计，全球 85% 的地震发生于板块边界地带，仅有 15% 发生于板块内部。

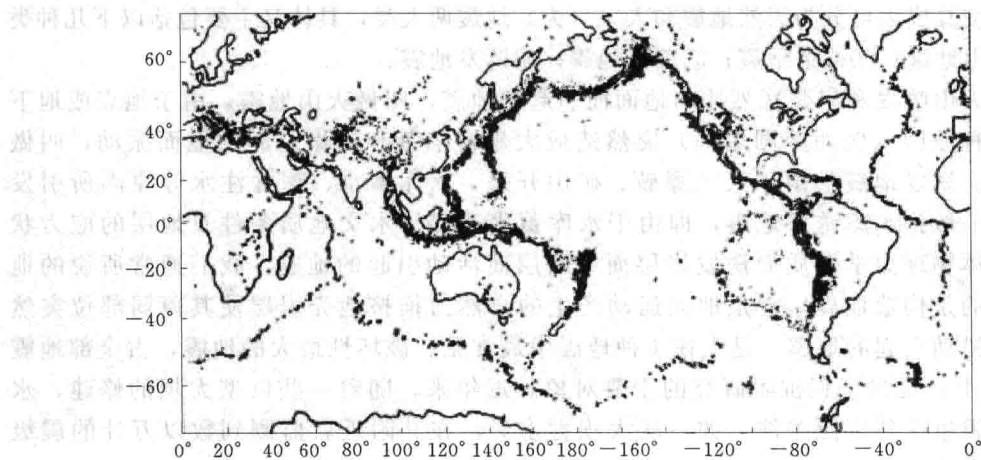


图 1-5 全球地震震中分布图（1961—1967 年）

1.3 地震成因与地震类型

1.3.1 地震成因

地震是地壳能量的一次巨大释放，并常常伴随着新的地表（岩石）破裂和强烈的地面震动。因而早期的地震成因说倾向于断层破裂引起的“弹性回跳说”，进而追踪断层破裂和弹性回跳的能量起源，发现板块的构造运动和相互碰撞挤压是这种能量积累的原始动

力,即“板块运动说”。其实两者并不矛盾,前者解释了某一次具体地震的局部机制,而后者则揭示了全球所有构造地震的宏观动力背景。此外还有“岩体相变学说”,认为地震是由于地壳较小体积内岩体相变引起的体积变化所引起。

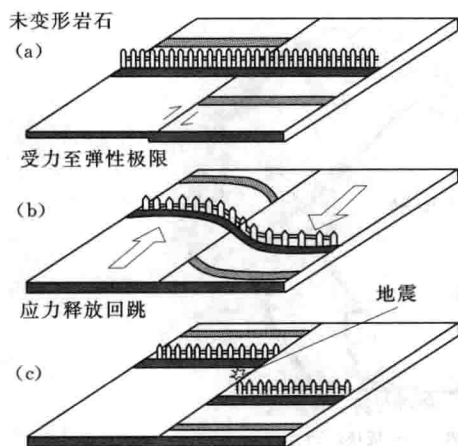


图 1-6 弹性回跳理论示意图

这就是所谓的“回跳”。这种弹跳可以产生惊人的速度和力量,把长期积蓄的能量瞬间释放出来,引起地面强烈震动,即地震。其示意图如图 1-6 所示。

1.3.2 地震类型

地震按其成因可分为天然地震和人工(为)地震两大类,具体又主要包括以下几种类型:①火山地震;②构造地震;③陷落地震;④诱发地震。

伴随火山喷发和岩浆猛烈冲出地面而引起的地震,叫做火山地震。由于地表或地下岩层因某种原因(例如溶洞塌陷)突然造成大规模陷落和崩塌引起的地面振动,叫做陷落地震。诱发地震是由于人工爆破、矿山开采、水库蓄水、深井注水等原因所引发的地震,一般指水库诱发地震,即由于水库蓄水改变了水文地质条件及地层的应力状态和岩土体物理力学性质而诱发岩层面或断层面活动引起的地震。我们通常所说的地震一般指的是构造地震,它是地壳运动产生的自然力推挤地壳岩层使其薄弱部位突然发生断裂错动引起的地震,是上述 4 种地震中最常见、破坏性最大的地震,占全部地震的 90% 以上,也是工程抗震研究的主要对象。近年来,随着一些巨型大坝的修建,水库诱发地震也受到广泛关注,如三峡大坝蓄水后,在其附近就监测到数以万计的震级较小的诱发地震。

地震根据震源的深浅不同又可分为浅源地震(震源深度 $d < 60\text{km}$)、中源地震($60 \leq d < 300\text{km}$)和深源地震($d \geq 300\text{km}$)三种类型。浅源地震约占地震总数的 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,但由于其距离地表较近,往往破坏程度较大。中源地震约占地震总数的 25%,而深源地震仅占地震总数的 5% 左右。

根据震中距的大小,地震又可分为地方震(local earthquake)、近震和远震。震中距在 100km 以内的地震叫地方震;震中距在 100~1000km 之间的地震称为近震;震中距大于 1000km 的地震为远震。

1.4 地震活动与地震灾害

1.4.1 世界地震活动

全世界每年要发生 500 万次地震,但其中大部分是人们感觉不到的小震,人们能感觉到的地震(有感地震)仅占 1%。5 级以上的破坏性地震全球每年 1000 次左右,6 级以上地震每年 100 次左右,7 级以上的地震每年只有十几次,而 8 级以上的强震则每年仅有 1~2 次。这些地震以地震波形式释放出来的能量估计每年可达 $9 \times 10^{17} \text{J}$,但主要是由少数大地震释放出来的,其中约 85% 是浅源地震释放的。

地震在全球的分布是相当不均匀的,但又表现出某种规律性。根据历史地震的震中分布,我们可以发现全球主要有两大地震活动带,即环太平洋地震带和欧亚地震带(又称地中海—喜马拉雅地震带)。20 世纪以来全球 7 级以上的地震基本上都发生在上述两个地震带上。环太平洋地震带沿南北美洲西海岸、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,全球约 80% 浅源地震和 90% 中深源地震,以及几乎所有的深源地震都集中在这一地带。除分布在环太平洋地震活动带的中深源地震以外,几乎所有的其他中深源地震和一些大的浅源地震都发生在欧亚地震带。它西起大西洋的亚速岛,经意大利、土耳其、伊朗、印尼北部、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带相衔接。

1.4.2 中国地震特点

我国是一个多地震国家,地震活动频度高、强度大、分布广,灾害严重。我国的绝大部分地区都受到地震的威胁,除浙江和贵州两省之外,其余各省均发生过 6 级以上强震。抗震设防烈度为Ⅷ度以上的高烈度区覆盖了一半以上的国土,其中包括 3 个直辖市、23 个省会城市(含台北)和 2/3 的 100 万以上人口大城市。而目前居住在农村地区的人口,超过 80% 居住在地震高烈度区。1900 年以来,我国发生的 7 级以上大震就达 80 余次,约占全世界的 1/3。20 世纪全球 8.5 级以上的大地震共 3 次,其中有 2 次发生在我国。全国平均每年发生 5 级以上地震 30 次,6 级以上强震 6 次,7 级以上大地震 1 次。

1556 年(明嘉靖三十四年)发生在今陕西省华县的“关中大地震”,震级超过 8 级,死者不计其数,奏报有名者就达 83 万人,是现今文献记载死亡人数最多的一次地震。1668 年(清康熙七年)山东省郯城发生 8.5 级大地震,这次地震破坏区域纵长 1000 余 km,面积达 50 多万 km^2 。当时,蒲松龄出游在山东省临淄县,亲身经历了这一次地震,蒲松龄把自己的这些亲身体验和见闻,记录在《聊斋志异》中的《地震》一文中(图 1-7)。而现代死亡人数最多的两次地震也发生在我国(1920 年宁夏海原 8.5 级地震,死亡 23.4 万余人;1976 年唐山 7.8 级地震,死亡 24.2 万多人,重伤 16.4 万余人)。据统计,20 世纪以来,全球因地震而死亡的人数超过 120 万人,其中我国就占一半以上。据新中国成立以来近 50 年的统计资料,地震所造成的人口死亡数量位居各种自然灾害之首。特别是 1976 年的唐山大地震和 2008 年的汶川大地震,其灾害损失在中国乃至全世界都是史无前例的。

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分,四川省汶川县发生 8.0 级强烈地震(震中位于映秀镇



图 1-7 蒲松龄《聊斋志异》中记录的郾城地震

西南，地理位置为北纬 31.0° ，东经 103.4° ），极震区破坏烈度高达 XI 度，曾经山清水秀的北川县城、汶川县映秀镇等城镇被夷为平地，青川县城及多个乡镇基本变为废墟，茂县、绵阳、德阳、都江堰等地遭受重创。地震发生时，全国 25 个省（直辖市、自治区）有明显震感，其中又以四川、甘肃、陕西、重庆四地受灾最为严重。汶川地震全国直接经济损失达 8451 亿元，是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、诱发地质灾害最多、救灾难度最大的一次地震，造成大面积房屋倒塌、山体滑坡、道路、桥梁、通信和电力中断、重灾区面积超过 10 万 km^2 ，受灾人口近 4000 万，共造成 37 万余人受伤，87000 多人死亡。汶川地震后，国务院将每年的 5 月 12 日定为全国防灾减灾日。

我国地震在空间上分布不均匀，呈带状分布。新编的“中国及邻区地震区、带划分图”将中国及邻近地区划分为 7 个地震区，4 个地震亚区和 23 个地震带。7 个地震区分别为天山地震区、青藏地震区、东北地震区、华北地震区、华南地震区、台湾地震区和南海地震区。地震区下又分若干地震亚区或地震带。如 2008 年的汶川地震就发生在青藏地震区的龙门山地震带上。

总体来说，由于我国夹于世界两大地震带（环太平洋地震带和欧亚地震带）之间，因而地震频发，灾害严重，全国除个别省份外，绝大部分地区都发生过较强的破坏性地震，且现今地震活动仍相当强烈。据统计，我国国土面积占全世界的 7%，人口占全世界的 22%，但地震和地震灾害却分别占到全世界的 33% 和 52%，可以说是世界上地震灾害最为严重的国家。

1.4.3 地震灾害

地震是一种突发式地质灾害，地震发生时巨大的能量释放，强烈的地面震动，往往造成地表形态的巨大改变，工程结构的损毁倒塌，并可能诱发诸如火灾、水灾、毒气泄漏、海啸、瘟疫等次生灾害。因此，从地震工程学的角度出发，地震灾害又可以分为直接灾害