

(精编本)

□□□□□□
□□□□□□□□ □□
□□□□□□□□□□□□

21 SHIJI GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI
21世纪高等学校土木工程专业规划教材

工程结构抗震设计

(第 2 版)

柳炳康 沈小璞 主编



21 世纪高等学校土木工程专业规划教材

工程结构抗震设计

(精编本)

(第 2 版)

主 编 柳炳康 沈小璞
副主编 李玉顺 林德忠 郭仕群

武汉理工大学出版社

内容提要

本书主要依据《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)编写,并参考了高等学校土木工程专业指导委员会建议的《工程结构抗震设计》课程基本要求。内容包括:地震基本知识、工程结构抗震设计基本要求、场地地基和基础抗震设计、弹性体系地震反应与地震作用计算的反应谱理论、弹塑性体系地震反应分析的时程分析法,以及多层和高层混凝土结构、多层砌体和底部框架结构、多层和高层钢结构、单层钢筋混凝土柱厂房、桥梁结构的抗震设计方法,为反映结构抗震新技术,介绍了结构隔震、减震和制振技术。主要章节后均附有计算实例。

本书可作为高等学校土木工程专业全日制本科生或土建类成人教育的教材,也可供土木工程技术人員阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程结构抗震设计/柳炳康,沈小璞主编. —2. —武汉:武汉理工大学出版社,2010.7

ISBN 978-7-5629-3239-0

I. 工…

II. ①柳… ②沈…

III. ①建筑结构-抗震设计

IV. ①TU352·104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 142872 号

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市:武昌珞狮路 122 号 邮编:430070)

印刷者:武汉理工大印刷厂

发行者:武汉理工大学出版社发行部

开 本:850×1168 1/16

印 张:22

字 数:550 千字

版 次:2010 年 7 月第 2 版 2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数:1—5000

定 价:36.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

21 世纪土木工程专业规划教材

编审委员会

(第 2 版)

主 任 石永久 周 云 王汝恒

副 主 任 战高峰 杨德健 何浙浙 周 东 孙 凌 刘永坚

岳建平 柳炳康 刘 平 王 来 冯为民 王泽云

宋少民

委 员 (按姓氏笔画顺序排列)

马芹永 王汝恒 王成刚 王 来 王月明 王志伟

王泽云 石永久 田道全 冯为民 刘声扬 刘永坚

刘 平 刘瑾瑜 孙 凌 孙靖立 沈小璞 何浙浙

李 珠 李京玲 李玉顺 李文渊 李世禹 宋高嵩

苏有文 张大长 张长友 陈伟清 陈国平 陈倩华

周 东 周 云 杨德健 林德忠 岳建平 姚 勇

柳炳康 赵 平 战高峰 黄林青 舒秋华 崔清洋

熊丹安

总责任编辑 徐 扬

秘 书 长 蔡德民

第 2 版前言

我国是世界上地震多发国家之一,1976 年的唐山地震给社会发展和人民生活带来了前所未有的影响,2008 年 5 月 12 日四川汶川地震震撼了世界,2010 年 4 月 12 日青海玉树地震再次敲响警钟。地震造成的损失主要是由于工程结构倒塌引起的,为了抗御和减轻地震灾害,必须提高各类工程结构的抗震性能,对结构进行抗震分析和抗震设计。

工程结构抗震是一门建立在抗震实验和震害调查基础上的理论性与实践性很强的学科,汶川地震房屋震害是对 20 世纪 70 年代以来我国结构抗震设计方法的一次整体检验。2008 年 5 月 12 日汶川地震发生后,本书主编柳炳康曾于 5 月下旬前往德阳、绵竹、什邡、都江堰等重灾区进行房屋抗震鉴定,开展房屋震害调查,前后历时 10 天,获取了大量的现场震害资料。在震害调查中发现多所具有典型震害的建筑物,从中总结出了以往抗震设计考虑不周的地方。震害调查结果对认识各类结构的抗震性能提供了第一手资料,对于今后进一步改进我国建筑抗震设计方法,发展地震工程研究,减轻未来的地震灾害,具有重要的工程价值,也为工程抗震课程教学内容的改进与充实提供了依据。

汶川地震后,住建部及地震主管部门针对汶川地震中暴露的问题及时对相关规范进行了修订,先后颁布《建筑抗震设计规范》GB50011—2001(2008 版),《建筑抗震设防分类标准》GB50223—2008,《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02—01—2008 等一系列新规范,因此,教材的内容需作相应调整。近年来,随着科学技术的发展,结构基底隔震、结构消能及阻尼减震、结构被动控制体系以及结构主动控制体系等减轻地震灾害的新技术得到应用,也需要将最新发展趋势反映到教材中。较第 1 版而言,本书总体框架不变,仍分为九章,其中第 1 章(地震基本知识与工程结构抗震设防),第 8 章(桥梁抗震设计),第 9 章(结构隔震、减震设计与制振技术)的内容做了较大充实和改动。

本书第 2 版由柳炳康、沈小璞教授担任主编,李玉顺、林德忠、郭仕群担任副主编。全书共分为 9 章,第 1 章由柳炳康、李玉顺、林德忠编写,第 2 章由刘海涛、刘殿华编写,第 3 章由柳炳康编写,第 4 章由沈小璞、吴勇、程新国编写,第 5 章由肖卓编写,第 6、7 章由王辉编写,第 8 章由宋满荣编写,第 9 章由柳炳康、刘海涛、郭仕群编写。

本文中采用的汶川地震震害照片大部分由合肥工业大学赴四川震害调查组拍摄,成都基准方中建筑设计事务所施法科等同志也提供了部分照片,书中通过互联网获得的震害照片恕不列出原出处,在此向原作者表示感谢。由于编者水平有限,书中不妥和疏漏之处,敬请读者继续批评指正。

编者

2010 年 6 月

第 1 版前言

我国是世界上地震多发国家之一,抗震设防的国土面积约占全国国土面积的 79%。历次强震经验表明,地震造成的人员伤亡和经济损失,主要是因为房屋破坏和工程结构倒塌引起的,造成地震灾害的是工程结构而不是地震本身。因此,对各类工程结构进行抗震设计,提高结构的抗震性能是减轻地震灾害的根本途径。作为结构工程师应当掌握工程地震基本知识、工程抗震原理以及工程结构抗震设计的方法。有鉴于此,我们结合多年来的教学科研经验,吸收国内外工程抗震的研究成果,编写了这本教材。

工程结构抗震设计是高等学校土木工程专业的一门主要专业课程,本书依据《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001)和《公路工程抗震设计规范》(JTJ004—89)进行编写,并参考了土木工程专业本科(四年)培养方案中《工程结构抗震设计》课程的基本要求。书中内容注意深入浅出,力求理论联系实际。书中首先介绍了地震基础知识、工程结构抗震设计基本要求和地基与基础的抗震设计,进而讨论了弹性体系地震反应与地震作用计算的反应谱理论、弹塑性体系地震反应分析的时程分析法,接着给出多层和高层钢筋混凝土房屋、多层砌体和底部框架房屋、多层和高层钢结构房屋、单层钢筋混凝土柱厂房、桥梁结构的抗震设计方法,为反映结构抗震发展趋势,书的最后介绍了结构隔震、减震与制振技术。为便于读者学习,主要章节后面附有计算实例,各章均有提要、小结和思考题。

本书由柳炳康教授担任主编,沈小璞教授担任副主编,叶献国教授担任主审。全书共分 9 章:其中第 1、3、9 章由柳炳康编写,第 2 章由刘海涛编写,第 4 章由沈小璞、宋满荣编写,第 5 章由肖卓编写,第 6、7 章由王辉编写,第 8 章由柳炳康、宋满荣编写。

由于编者水平有限,书中不妥和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2005 年 4 月

目 录

1 地震基础知识与工程结构抗震设防	1
1.1 概述	1
1.2 地震基础知识	2
1.3 地震活动与地震分布	4
1.4 地震特征描述	9
1.5 工程结构抗震设防	14
1.6 工程结构抗震概念设计	19
本章小结	22
思考题	24
2 场地、地基和基础抗震	25
2.1 概述	25
2.2 工程地质条件对震害的影响	25
2.3 场地	27
2.4 地基基础抗震验算	30
2.5 地基液化	32
2.6 桩基抗震设计	38
本章小结	40
思考题	40
3 工程结构地震反应分析与抗震验算	41
3.1 概述	41
3.2 单质点体系水平地震作用	42
3.3 多质点体系水平地震作用	51
3.4 结构自振周期及振型的实用计算方法	66
3.5 结构的扭转地震效应	73
3.6 竖向地震作用	77
3.7 结构地震反应的时程分析法	80
3.8 建筑结构抗震验算	98
本章小结	104
思考题	106
4 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计	107
4.1 震害及其分析	107
4.2 抗震设计的基本要求	110
4.3 框架结构抗震计算	117
4.4 框架结构抗震构造措施	128
4.5 框架结构抗震设计例题	135
4.6 框架-抗震墙结构的抗震设计	148

本章小结·····	169
思考题·····	170
5 多层砌体房屋和底部框架-抗震墙房屋抗震设计 ·····	171
5.1 概述·····	171
5.2 震害现象及其分析·····	171
5.3 抗震设计基本要求·····	177
5.4 多层砌体房屋抗震设计·····	179
5.5 多层砌体房屋抗震构造措施·····	189
5.6 多层砌体房屋抗震计算实例·····	193
5.7 底层框架-抗震墙砖房抗震设计·····	198
本章小结·····	206
思考题·····	207
6 多层和高层钢结构房屋抗震设计 ·····	208
6.1 概述·····	208
6.2 震害现象及其分析·····	208
6.3 抗震设计基本要求·····	210
6.4 钢结构抗震计算要点·····	215
6.5 钢结构抗震构造措施·····	223
本章小结·····	228
思考题·····	228
7 单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计 ·····	229
7.1 概述·····	229
7.2 震害现象及分析·····	229
7.3 抗震设计基本要求·····	233
7.4 单层厂房横向抗震计算·····	237
7.5 单层厂房纵向抗震计算·····	244
7.6 单层钢筋混凝土柱厂房抗震构造措施·····	253
7.7 单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算实例·····	258
本章小结·····	270
思考题·····	270
8 桥梁抗震设计 ·····	271
8.1 概述·····	271
8.2 震害及其分析·····	271
8.3 公路桥梁抗震设防要求·····	274
8.4 桥墩地震作用计算·····	277
8.5 桥台水平地震作用·····	284
8.6 支座水平地震作用·····	286
8.7 桥梁结构抗震验算·····	287
8.8 桥梁结构抗震构造措施·····	289
8.9 桥梁结构抗震计算例题·····	293

本章小结·····	307
思考题·····	307
9 结构隔震、减震设计与制振技术·····	309
9.1 概述·····	309
9.2 结构隔震设计·····	310
9.3 结构消能及阻尼减震·····	323
9.4 结构被动控制调谐减震体系·····	331
9.5 结构主动控制体系·····	335
本章小结·····	338
思考题·····	339
参考文献·····	341

1 地震基础知识与工程结构抗震设防

本章概要

本章主要讲述了地震类型、构造,地震成因,世界及我国地震活动性以及地震成灾机制;介绍了地震波、震级、地震烈度、地震强度度量指标;阐述了工程结构抗震设防依据和抗震设计思想;给出了工程结构抗震概念设计的基本要求。

1.1 概述

地震是一种灾害性自然现象。全世界每年大约发生 500 万次地震,其中绝大多数地震是人感觉不到的微小地震,只有灵敏的仪器才能监测到它们的活动。人能够感觉到的地震(有感地震)每年发生约 5 万次,其中 5 级以上破坏性地震约有 1000 余次,能够造成严重破坏的强烈地震平均每年发生约 18 次。我国是世界上多地震国家之一,20 世纪共发生破坏性地震 3000 余次,其中 6 级以上地震近 800 次,8 级以上特大地震 9 次。

地震给人类带来了惨重的人员伤亡。1920 年 12 月 16 日宁夏海源地震死亡近 20 万人。地震发生时正值北方隆冬,由于震后得不到及时救援,死亡人数中有许多是冻饿交加致死。1976 年 7 月 28 日河北唐山地震,地震发生在凌晨时分,人们处于熟睡之中猝不及防,死亡 24 万人,受伤 36 万人,是近代地震史上死伤人数最多的一次地震。2008 年 5 月 12 日汶川地震死亡和失踪人员 8.7 万,受伤 37.5 万人。

地震还给人类带来巨大的经济损失。唐山地震直接经济损失人民币 100 亿元,恢复重建又用去 100 亿元;汶川地震直接经济损失达 8451 亿元;1995 年 1 月 17 日日本阪神地震直接经济损失 976 亿美元;1999 年 8 月 17 日土耳其伊兹米特地震直接经济损失也达 500 亿美元。

地震给人类带来巨大的灾难,抗御地震因此成为人类征服自然的长期斗争。抗御地震应包括以下三方面内容:其一是地震预报,研究地震发生发展的规律,根据地壳活动的监测资料,利用地震学方法进行分析,对未来可能发生地震的时间、地点和强度做出预报,这一般来说是地震部门和地震工作者的职责。其二是防震减灾,制定防灾规则,做好震害预测;震前制定对策做好防范,震后加强指挥组织救援,这需要政府部门组织协调。其三是工程抗震,地震破坏多为房屋倒塌引起,研究和提高各类房屋抗震性能,对新建工程抗震设防、已有工程抗震加固,将地震造成的人员伤亡和经济损失降到最低限度,这就是结构工程师的任务。作为土木工程技术人员应当了解工程结构在地震作用下的动力反应,掌握各类工程结构抗震设计原理和方法,利用现有科技成果进行工程结构抗震设防,降低地震带来的人民生命和财产损失。

1.2 地震基础知识

1.2.1 地球的构造

地球是一个略呈椭圆的球体,它的平均半径约为 6400km。研究表明,地球是由性质不同的三个层次构成:最外层是薄薄的地壳,中间层是很厚的地幔,最里层是地核(图 1.1)。

地壳是由各种结构不均匀厚薄不一的岩层组成。在陆地上,除表面的沉积层外,陆地地壳主要有两大层:上部花岗岩层和下部玄武岩层,平均厚度约为 30~40km。在海洋中,海洋地壳一般只有玄武岩层,平均厚度约为 5~8km。地球上绝大部分地震都发生在这一层薄薄的地壳内。

地幔主要是由质地非常坚硬,结构比较均匀的橄榄岩组成。地壳与地幔的分界面叫莫霍面,莫霍面以下 40~70km 内是一层岩石层,它与地壳共同组成岩石圈。岩石层以下存在一个厚度几百公里的软流层,该层物质呈塑性状态并具有粘弹性质。岩石层与软流层合称上地幔。上地幔之下为下地幔,其物质成分与结构和上地幔差别不大,但物质密度较大。

地核是个半径为 3500km 的球体,可分为外核和内核。对地核的成分和状态目前尚不清楚,据推测外核厚度约为 2100km,处于液态;内核半径约为 1400km,处于固态。地核构成物质主要是镍和铁。

到目前为止,所观察到的地震深度最深为 700km,比起地球半径来仅占 1/10,可见地震仅发生于地球的表面部分——地壳内和地幔上部。

1.2.2 地震类型与成因

地震按照其成因可分为三种主要类型:火山地震、塌陷地震和构造地震。

伴随火山喷发或由于地下岩浆迅猛冲出地面引起的地面运动称为火山地震。这类地震一般强度不大,影响范围和造成的破坏程度均比较小,主要分布于环太平洋、地中海以及东非等地带,其数量约占全球地震的 7%左右。

地表或地下岩层由于某种原因陷落和崩塌引起的地面运动称为塌陷地震。这类地震的发生主要由重力引起,地震释放的能量与波及的范围均很小,主要发生在具有地下溶洞或古旧矿坑地质条件的地区,其数量约占全球地震的 3%左右。

由于地壳构造运动造成地下岩层断裂或错动引起的地面振动称为构造地震。这类地震破坏性大、影响面广,而且发生频繁,几乎所有的强震均属构造地震。构造地震为数最多,约占全球地震的 90%以上。构造地震一直是人们的主要研究对象,下面主要介绍构造地震的发生过程。

构造地震成因的局部机制可以用地壳构造运动来说明,地球内部处于不断运动之中,地幔物质发生对流释放能量,使得地壳岩石层处在强大的地应力作用之下。在漫长的地质年代中,原始水平状的岩层在地应力作用下发生形变:当地应力只能使岩层产生弯曲而未丧失其连续性时,岩层发生褶皱;当岩层变形积累的应力超过本身强度极限时,岩层就发生突然断裂和猛烈错动,岩层中原来积累的应变能全部释放,并以弹性波的形式传到地面,地面随之振动,形成地震(图 1.2)。

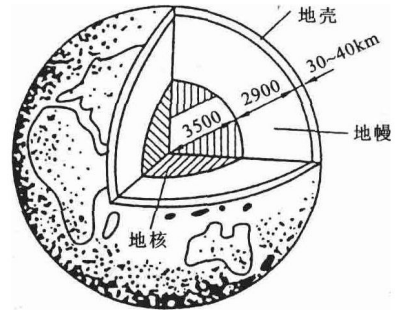


图 1.1 地球的构造

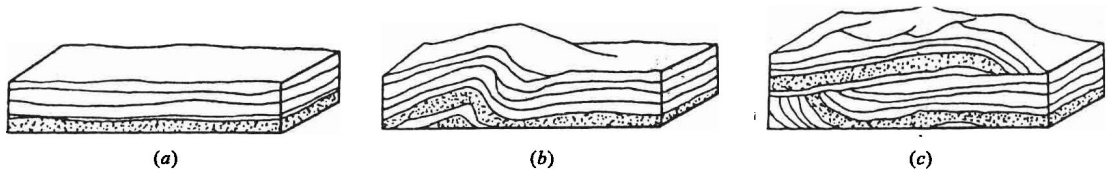


图 1.2 构造运动与地震形成示意图

(a)岩层原始状态;(b)褶皱变形;(c)断裂错动

构造地震成因的宏观背景可以借助板块构造学说来说明。板块构造学说认为,地壳和地幔顶部厚约 70~100km 的岩石组成了全球岩石圈,岩石圈由大大小小的板块组成,类似一个破裂后仍连在一起的蛋壳,板块下面是塑性物质构成的软流层。软流层中的地幔物质以岩浆活动的形式涌出海岭,推动软流层上的大洋板块在水平方向移动,并在海沟附近向大陆板块之下俯冲,返回软流层。这样在海岭和海沟之间便形成地幔对流,海岭形成于对流上升区,海沟形成于对流下降区(图 1.3)。全球岩石圈可以分为六大板块,即欧亚板块、太平洋板块、美洲板块、非洲板块、印澳板块和南极板块(图 1.4)。各板块由于地幔对流而互相挤压、碰撞,地球上的主要地震带就分布在这些大板块的交界地区。据统计,全球约 85% 的地震发生在板块边缘及附近,仅有 15% 左右发生于板块内部。

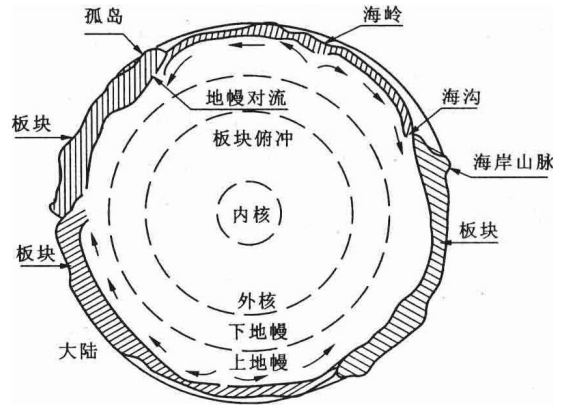
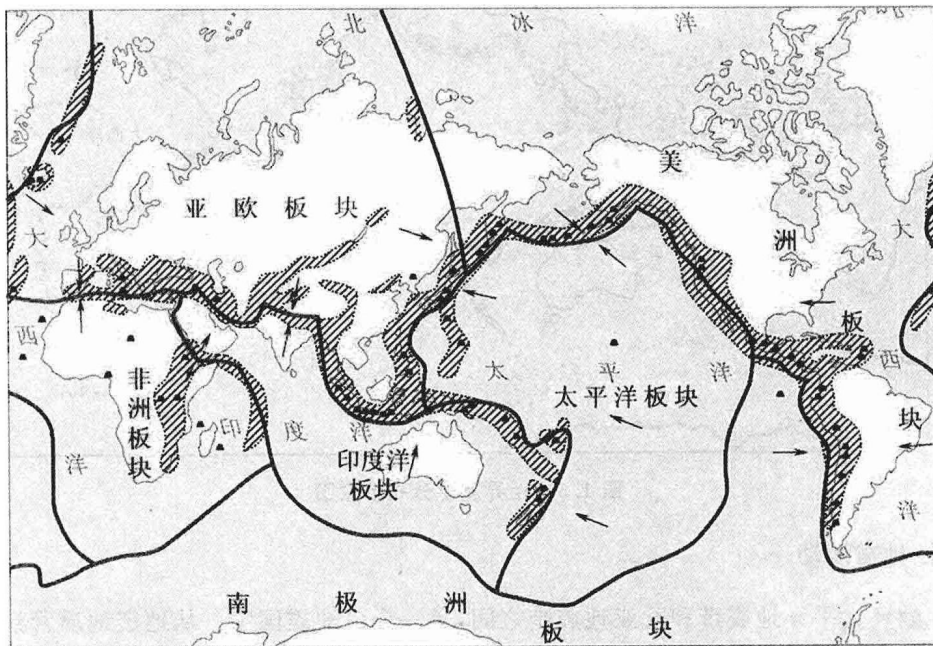


图 1.3 板块运动



• 火山 ▨ 地震带 ——— 板块边界 ← 板块运动方向

图 1.4 全球大板块划分示意图

1.3 地震活动与地震分布

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,可以编绘出世界地震震中分布图(图 1.5)。由图可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是环太平洋地震带和欧亚地震带。

(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、菲律宾至印尼,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,由缅甸至印尼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。对比一下板块划分图(图 1.4)可知,上述地震带大多数位于板块边缘,或者邻近板块边缘。

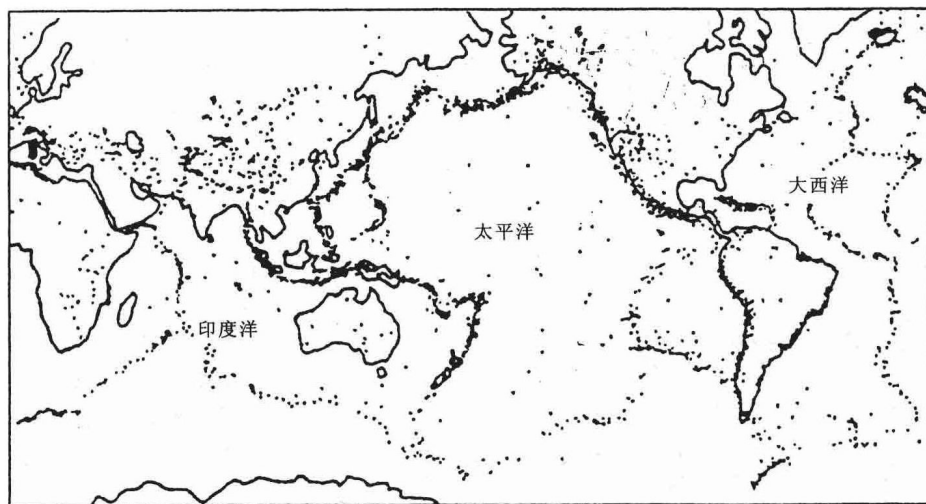


图 1.5 世界震中分布示意图

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。从地震地质背景看,我国存在发生频繁地震的复杂地质条件,因此,我国境内地震活动频度较高,强度较大。图 1.6 给出了我国历史上震级大于 5 级的地震活动分布图,由图可见地震活动呈带状分布,从中可以划分 10 个地震区:台湾地震区、南海地震区、华南地震区、华北地震区、东北地震区、青藏高原南部地震区、青藏

高原中部地震区、青藏高原北部地震区、新疆中部地震区和新疆北部地震区。

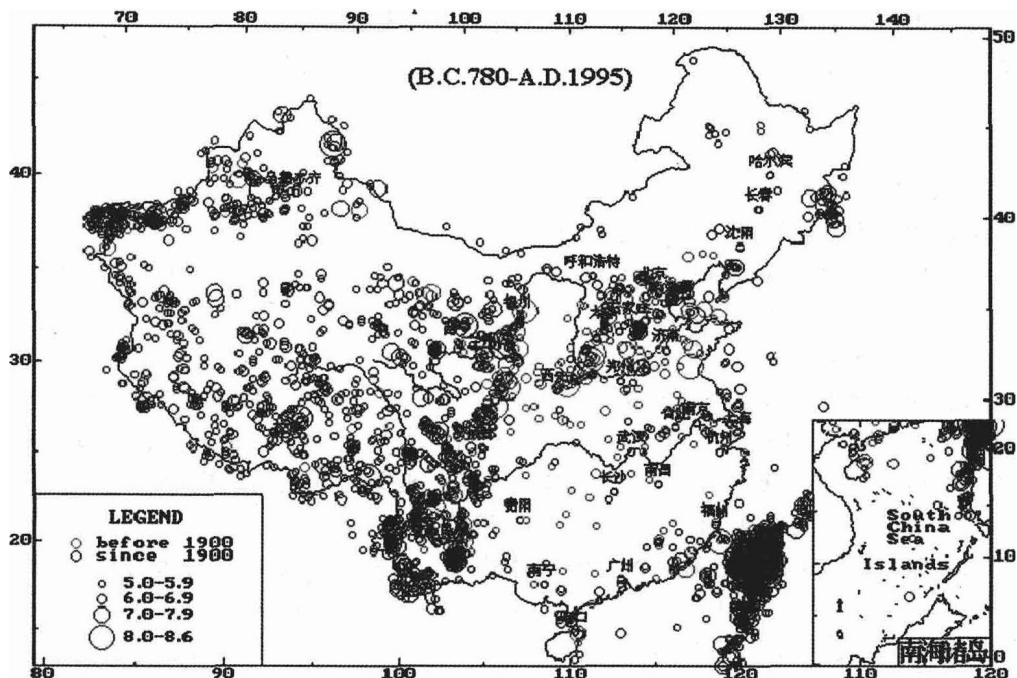


图 1.6 中国地震分布示意图

上述地震区中,台湾地震区、南海地震区和华南地震区中的一部分,属环太平洋地震带,是由太平洋板块与亚欧板块挤压引起的。其中台湾东部是我国地震活动最强、频率最高的地区。青藏高原南、中、北部地震区和新疆中、北部地震区,属亚欧地震带,其活动与印度洋板块俯冲亚欧板块的运动有密切关系,除青藏高原北部地震区外,均属地震活动程度强烈地区。华北地震区主要是古生代褶皱系统,由一系列大断裂带组成,是典型的板块内部地震区,近期活动较为活跃。

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,表 1.1 列出近 30 年来国内外部分灾害性大地震的情况。

我国是一个多地震国家。地震分布范围广,抗震设防的国土面积约占全国国土面积的 79%;地震频度高,强度大,20 世纪以来已发生 7 级以上地震逾百次;地震震源浅,灾害重,绝大多数地震都是浅源地震,震源深度在 30km 以内,因而人员伤亡惨重,经济损失巨大。

表 1.1 近期世界部分大地震情况

时间	地点	震级	震亡人数
1975.02.04	中国海城	7.3	1300
1976.07.28	中国唐山	7.8	24 万
1976.08.17	菲律宾	7.9	6500
1976.11.24	土耳其	7.3	5000
1977.03.04	罗马尼亚	7.2	1500
1978.09.16	伊朗	7.7	3.6 万
1980.10.10	阿尔及利亚	7.3	4500
1985.09.19	墨西哥	8.1	9500
1988.12.07	亚美尼亚	7.1	2.5 万
1989.10.19	美国旧金山	7.1	约 60
1995.01.17	日本神户	7.2	5400
1996.02.03	中国丽江	7.0	310
1997.05.10	伊朗	7.1	1560
1999.08.17	土耳其	7.4	1.7 万
1999.09.21	中国台湾	7.3	2400
2001.01.26	印度	7.7	2.0 万
2004.12.26	印度洋	8.9(矩震级)	20 万
2008.05.12	中国汶川	8.0	8.7 万
2010.02.27	智利	8.8(矩震级)	800

地震成灾有三种机制:一是由地震造成的直接灾害(一次灾害),如地表的破坏,建筑物倒塌等;二是由直接灾害继发的次生灾害(二次灾害),如地震后的火灾、水灾、海啸、毒气逸散等;三是由前面两种灾害引起的诱发灾害(三次灾害),如工厂停产、城市瘫痪、瘟疫蔓延等。

1. 直接灾害

(1) 地面的破坏

地震造成的地表破坏有地裂缝、滑坡塌方、砂土液化和软土震陷等。

地裂缝主要有两种,一种是构造地裂缝,它是地下断层错动在地表留下的痕迹。这种地裂缝与地下断层走向一致,可断断续续延伸几公里至几十公里甚至数百公里。1906年美国旧金山8.3级地震的圣安德烈斯断层延伸约430km,断层上一栅栏错动达2.6m。1999年我国台湾地区9·21大地震的断层通过台中县国中操场形成约2.5m落差(图1.7)。另一种是重力地裂缝,是由于地震时地貌重力作用,地面土体受到挤压、伸张、旋扭产生的结果,常发生在古河道、河湖堤岸等地表土质松软潮湿的地方。1976年唐山7.8级地震时,天津附近某疗养院内出现地裂缝,地裂缝垂直及水平错位达0.9m左右,地裂原因是该院建于古河道填土之上。

滑坡塌方多发生在山区或丘陵地区。地震时滑坡可以切断公路,冲毁房屋;大的滑坡还会吞没村庄、堵塞河流。1970年秘鲁利马7.7级地震,引起海拔6770m的华斯卡兰山峰崩塌,大量的崩塌物滑入山谷湖中,致使湖水上涨决口,大约100万方泥石流从3700m的高度飞泻而下,附近一座2万人口的城市瞬遭埋没。图1.8是2008年汶川地震后汶川县城因山体滑坡导致房屋被埋的场景。

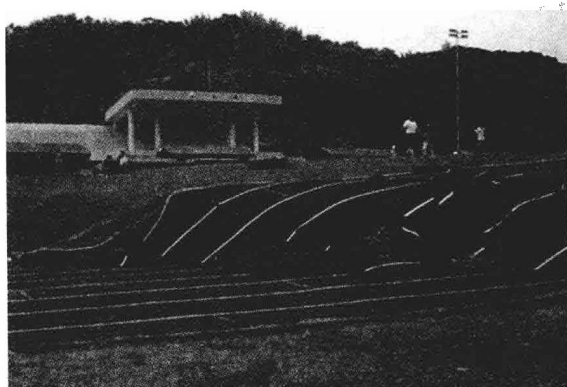


图 1.7 台中光复国中操场断层错动



图 1.8 汶川县城山体滑坡塌方

砂土液化是饱和砂土在地震作用下丧失抗剪承载力所致,一般发生在地下水位较高、砂层埋深较浅的沿海或平原地区。地震时的强烈振动会使含水层受到挤压,地下水从地裂缝或土质松软的地方夹带砂土冒出地面,形成喷水冒砂现象。砂土液化会造成地面不均匀沉降和地基失效,从而导致建筑物和工程设施严重破坏。1964年日本新潟7.5级地震中,发生大面积砂土液化并伴随喷水冒砂,造成地基失效、房屋倾倒(图1.9)。1976年唐山地震时,天津市区内喷水冒砂处约50个,喷水冒砂点近万个。

软土震陷则发生于高压缩性的饱和软粘土和强度较低的淤泥质土地区。在强烈地震作用下,软土被压密,产生不均匀沉陷,导致建筑物开裂、倾斜乃至破坏倒塌。唐山地震时,天津新港某处住宅群发生不均匀沉陷380mm,房屋严重倾斜,无法继续使用。

(2) 工程结构的破坏

地震对各类建筑物的破坏是造成地震灾害的主要原因。按房屋的破坏机理划分,工程结构的

破坏主要表现在承重结构强度不足、结构丧失整体性和地基失效等方面。

对于设计时没有考虑抗震设防或抗震设防不足的结构,地震作用附加于建筑物或构筑物上时,不仅使结构构件的内力突然增大,而且往往改变构件的受力方式,使得构件因强度不足而破坏。例如承重砖墙,受到附加水平地震力的作用,墙面产生交叉裂缝,发生剪切破坏(图 1.10),或丧失承载力倒塌(图 1.11);又如钢筋混凝土梁、柱在地震力作用下屈服、压溃(图 1.12),竖向构件丧失承载力倾斜倒塌(图 1.13)等等,都是结构强度不足引起的破坏。



图 1.9 日本新潟砂土液化导致地基丧失承载力

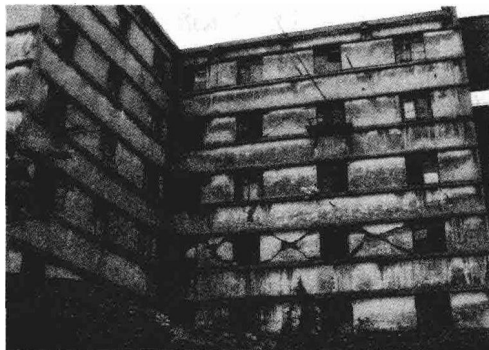


图 1.10 汉旺镇砌体结构墙体交叉裂缝

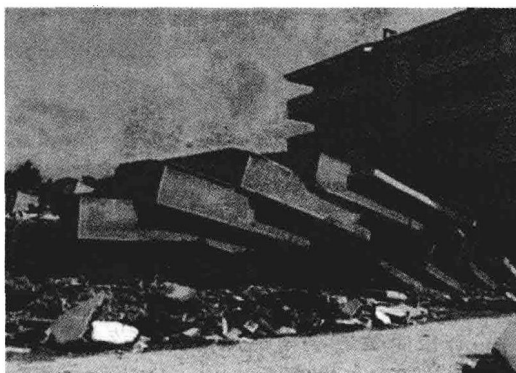


图 1.11 土耳其伊兹米特地震房屋倒塌破坏

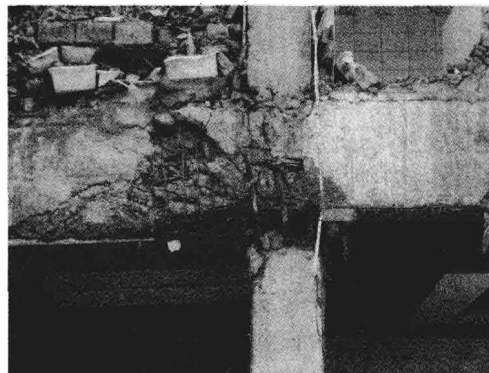


图 1.12 都江堰某框架柱端压溃梁端塑性铰

工程结构是由许多构件组成的,对于构件间连接薄弱、空间整体性较差的建筑物,有时各部分主要受力构件并未破坏,而是由于构件连接不牢、支承长度不够和支撑数量不足致使结构丧失整体性而破坏(图 1.14)。



图 1.13 云林县中山国宝大楼倾斜倒塌



图 1.14 东汽单层厂房构件连接不牢倒塌

地基失效破坏是指地震作用下地基丧失承载力引起的结构破坏。地面裂缝、砂土液化、软土震陷等都会使地基承载力下降,结构物发生不均匀沉降,严重的会使上部结构拉裂以致倒塌。

需要注意:地基失效破坏是由于地基失效产生过大位移引起的结构破坏,属静力作用;而结构强度不足,空间整体性差造成的破坏,则是由于振动产生的惯性力引起,属动力作用。

2. 次生灾害

地震时建筑物或其他设施遭受破坏而导致的一系列继发性灾害称为次生灾害。在城市或人口稠密地区,有时次生灾害造成的损失比地震直接造成的损失还要大。

次生灾害中首先是火灾,房屋倒塌后火源失控极易起火,同时震后消防系统受损,火势得不到有效控制,往往酿成火灾。1923年日本关东大地震,震倒房屋13万栋,震后大火蔓延,烧毁房屋竟达45万栋(图1.15)。1906年美国旧金山地震煤气管道泄漏引起火灾(图1.16),由于供水管线破坏延误了救火的时机,致使火灾无法控制,大火持续烧了三天三夜,近3万栋楼房化为灰烬,火灾造成的经济损失约占全部地震损失的80%。



图 1.15 关东大地震火灾烧毁的房屋



图 1.16 旧金山地震引起火灾

其次是海啸,地震产生的地震波能在海洋中激起巨浪,引起海啸,洗劫沿岸村镇和码头设施。1960年发生在海底的智利大地震激起6m高的巨浪,吞没了智利中南部沿海的村落和海港;海啸还以每小时640km的速度横扫太平洋,23小时后到达日本本洲和北海道海岸,使海港设施和码头建筑遭到严重破坏,在岩手县海岸一条大渔轮被4m高的浪头抛上码头40多米远。2004年12月26日,印度尼西亚苏门答腊岛附近海域发生强烈地震并引发海啸,波及印度洋沿岸印度尼西亚、泰国、印度、斯里兰卡等国家(图1.17),遇难者总人数达29.2万人,经济损失逾100亿欧元。

再次是水灾,地震时或因河堤水坝毁坏,或因山崩滑坡堵塞河流,均可引起水灾。1999年台湾9·21地震中受断层作用,台中县大家溪石岗大坝北段三跨泄洪道断塌(图1.18)。地震引起的毒气逸散也时有发生,厂房、仓库的倒塌会使贮存有毒物质的容器破坏,导致毒气、毒液泄漏,造成灾害。1978年日本伊豆近海地震,某矿业公司蓄水坝开裂,被氰化物污染的泥水排入附近河中,致使10多万条鱼中毒死亡。

3. 诱发灾害

由地震直接灾害和次生灾害引发的各种社会性灾害称为诱发灾害。地震发生在人口密集的工业城市,会使供电、供水、通讯、交通等生命线工程遭到破坏(图1.19),造成震后社会功能混乱,城市陷入瘫痪状态(图1.20)。地震还会毁坏生产设施,扭曲人的心理,恶化工农业生产条件,影响正常经济发展;地震能够带来各种疾病流行;在高科技时代,地震还能导致计算机事故,大量金融、