

高等学校新体系土木工程系列教材

建筑结构抗震设计

柳炳康 主 编
马建勋 翟长海 副主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校新体系土木工程系列教材

建筑结构抗震设计

Jianzhu Jiegou Kangzhen Sheji

柳炳康 主 编
马建勋 翟长海 副主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是高等学校新体系土木工程系列教材之一,主要依据新修订的《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等相关规范和标准,并参照高等学校土木工程学科专业指导委员会2011年编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》知识体系的基本要求编写。内容主要包括地震基本知识、建筑结构抗震设计基本要求、场地地基和基础抗震设计、单质点及多质点弹性体系地震反应与地震作用计算的反应谱理论,以及多层和高层混凝土结构抗震设计、多层砌体和底部框架结构抗震设计、多层和高层钢结构抗震设计、单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计,为反映结构抗震新技术,还介绍了结构隔震、减震和振动控制技术。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参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构抗震设计/柳炳康主编. --北京:高等教育出版社,2013.12

ISBN 978-7-04-038612-7

I. ①建… II. ①柳… III. ①建筑结构-防震设计-高等学校-教材 IV. ①TU352.104

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第244226号

策划编辑 葛心

责任编辑 赵向东

封面设计 李卫青

版式设计 马敬茹

插图绘制 尹莉

责任校对 殷然

责任印制 朱学忠

出版发行 高等教育出版社

社址 北京市西城区德外大街4号

邮政编码 100120

印刷 三河市骏杰印刷厂

开本 787mm×1092mm 1/16

印张 20.25

字数 490千字

购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598

网址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landrac.com>

<http://www.landrac.com.cn>

版次 2013年12月第1版

印次 2013年12月第1次印刷

定价 31.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 38612-00

序

随着高等学校土木工程学科专业指导委员会 2011 年编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的实施,同时,为及时将各高校精品课程建设与教学改革成果吸收固化到教材中去,向高校土木工程专业人才培养提供优质教学资源,高等教育出版社于 2012 年 8 月在桂林组织召开了“新体系土木工程系列教材组稿会”,邀请到西安建筑科技大学、西安交通大学、兰州理工大学、沈阳建筑大学、长沙理工大学、石家庄铁道大学等近 20 所高校的专家和教师参加了会议。

会上交流研讨了《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的实施经验和新体系土木工程专业系列教材的编写原则与特色:以行业企业需求为导向,以工程实际为背景,以工程技术为主线,着力提升学生的工程素养,培养学生的工程实践能力、工程设计能力和工程创新能力。对系列教材的出版达成一致意见,希望通过各高校与我社的共同努力,出版一套符合新的专业规范、新体系的、偏向“大土木”的系列化教材,更好地满足高校土木工程专业课程教学需求,对土木工程专业教材建设、资源建设起到积极的推动作用。

本系列教材的编写经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,恳请读者批评指正!

高等教育出版社
建筑与力学分社
2013 年 9 月

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%。1976 年河北唐山地震给我国人民带来了巨大的灾难,2008 年四川汶川地震给社会发展和人民生活带来了前所未有的影响,2010 年青海玉树地震及 2013 年四川芦山地震再次敲响警钟。历次强震经验表明,地震造成的人员伤亡和经济损失,主要是由房屋破坏和工程结构倒塌引起的。为了抵御和减轻地震灾害,必须对各类工程结构进行抗震分析和抗震设计,提高结构的抗震性能是减轻地震灾害的根本途径。结构工程师应当掌握工程地震基本知识、工程抗震原理以及建筑结构抗震设计的方法。

“建筑结构抗震设计”是土木工程专业的一门主要专业课程。本书参照高等学校土木工程学科专业指导委员会 2011 年编制的《高等学校土木工程本科指导性专业规范》知识体系的要求,依据《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)等新修订的相关规范、标准编写。书中内容注意深入浅出,力求理论联系实际,反映工程技术最新研究成果。

本书首先介绍地震基础知识、建筑结构抗震设计基本要求和地基与基础的抗震设计,进而讨论弹性体系地震反应与地震作用计算的反应谱理论、建筑结构抗震设计方法,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的抗震设计方法,并为反映结构抗震发展趋势介绍了结构隔震、减震与振动控制技术。为便于读者学习,主要章节后面附有计算实例,各章均有内容提要、习题和思考题。

本书由合肥工业大学柳炳康担任主编,西安交通大学马建勋、哈尔滨工业大学翟长海担任副主编。全书共分 8 章,第 1、2、8 章由柳炳康编写,第 5、6 章由马建勋编写,第 3 章由翟长海、李爽编写,第 4 章由陈丽华编写,第 7 章由郝润霞编写。

2008 年 5 月 12 日汶川地震发生后,本书主编柳炳康 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与震害调查,前后历时 10 天,获取了大量的现场震害资料,为认识各类结构的抗震性能提供了第一手资料,也为建筑结构抗震课程教学内容的改进与充实提供了依据。本教材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,中国建筑标准设计研究院成都分院施法科等提供了部分照片,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,敬请读者批评指正。

编者
2013 年 5 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 地震基本知识与建筑结构抗震

设防 1

1.1 概述 1

1.2 地震基础知识 2

1.3 地震活动与地震灾害 4

1.3.1 世界地震活动 4

1.3.2 我国地震活动 5

1.3.3 地震灾害 6

1.4 地震特征描述 11

1.4.1 地震的空间位置 11

1.4.2 地震强度度量 12

1.4.3 地震时间描述 17

1.5 建筑结构抗震设防 18

1.5.1 建筑结构抗震设防依据 18

1.5.2 建筑结构抗震设计思想 19

1.6 建筑结构抗震概念设计 21

1.6.1 建筑形状选择 22

1.6.2 抗震结构体系 23

1.6.3 结构构件 24

1.6.4 非结构构件 24

习题与思考题 25

第 2 章 场地、地基和基础抗震 26

2.1 概述 26

2.2 工程地质条件对震害的影响 27

2.2.1 局部地形条件的影响 27

2.2.2 局部地质构造的影响 28

2.2.3 地下水水位的影响 29

2.3 场地 29

2.3.1 场地条件对震害的影响 29

2.3.2 场地土类型 30

2.3.3 场地覆盖层厚度 31

2.3.4 场地类别划分 31

2.3.5 场地选择 32

2.4 地基基础抗震验算 33

2.4.1 地基不验算的范围 33

2.4.2 地基土抗震承载力调整 33

2.4.3 天然地基抗震验算 34

2.5 地基液化 35

2.5.1 砂性土液化机理及影响液化的因素 35

2.5.2 液化的判别 37

2.5.3 液化地基危害程度评价 38

2.5.4 地基抗液化措施 40

2.6 桩基抗震设计 42

2.6.1 非液化土中桩基抗震验算 42

2.6.2 液化土中桩基抗震验算 42

习题与思考题 44

第 3 章 建筑结构地震反应分析与

抗震验算 45

3.1 概述 45

3.1.1 地震作用的性质 45

3.1.2 地震反应分析的发展历程 46

3.1.3 结构动力计算简图 46

3.2 单自由度体系地震反应分析 47

3.2.1 运动方程的建立 47

3.2.2 运动微分方程的求解 48

3.3 单自由度体系水平地震作用与设计谱 51

3.3.1 水平地震作用 51

3.3.2 地震弹性反应谱 52

3.3.3 地震作用计算和抗震设计谱 53

3.4 多自由度体系地震反应分析 57

3.4.1 多自由度体系的运动方程 57

3.4.2 多自由度弹性体系的自振特性 58

3.4.3 地震反应分析的振型分解法 60

3.5 多自由度体系水平地震作用 62

3.5.1 地震作用振型分解反应谱法 62

3.5.2 水平地震作用底部剪力法 66

3.6 扭转地震作用	69	抗震设计方法	139
3.6.1 结构的质心和刚心	70	4.6.2 框架-抗震墙结构抗震计算的简化方法	141
3.6.2 平扭耦联振动时地震作用的计算	71	4.6.3 框架-抗震墙结构抗震构造措施	148
3.6.3 平扭耦联振动时地震作用效应的组合	72	附表 4.1~4.4	152
3.7 竖向地震作用计算	72	附图 4.1~4.9	158
3.7.1 高耸和高层结构的竖向地震作用	73	习题与思考题	163
3.7.2 大跨度结构的竖向地震作用	73	第 5 章 多层砌体房屋和底部框架-抗震墙砌体房屋抗震设计	165
3.7.3 长悬臂结构及其他大跨结构的竖向地震作用	74	5.1 概述	165
3.8 结构非线性分析方法简介	74	5.2 震害及其分析	166
3.8.1 时程分析方法	74	5.2.1 多层砌体房屋的震害及其分析	166
3.8.2 静力弹塑性分析方法	75	5.2.2 底部框架-抗震墙砌体房屋震害及其分析	168
3.9 结构抗震验算	75	5.3 抗震设计基本要求	171
3.9.1 结构构件截面承载力抗震计算	75	5.3.1 结构方案与结构布置	171
3.9.2 结构构件抗震变形验算	77	5.3.2 房屋总高度和层数限制	172
习题与思考题	80	5.3.3 房屋最大高宽比	174
第 4 章 多层及高层钢筋混凝土房屋抗震设计	81	5.3.4 房屋抗震横墙最大间距	174
4.1 概述	81	5.3.5 房屋局部尺寸	174
4.2 震害及其分析	81	5.4 多层砌体房屋的抗震计算	175
4.2.1 建筑结构布置不当引起的震害	82	5.4.1 水平地震作用计算	175
4.2.2 结构构件设计不当产生的震害	83	5.4.2 楼层地震剪力在各墙体间的分配	177
4.2.3 施工质量不良产生的震害	87	5.4.3 墙体截面抗震承载力验算	181
4.3 抗震设计的基本要求	87	5.4.4 多层砌体房屋抗震计算实例	184
4.3.1 结构体系的适用高度及高宽比要求	87	5.5 多层砌体房屋抗震构造措施	191
4.3.2 抗震等级的划分	89	5.5.1 多层砖砌体房屋抗震构造措施	191
4.3.3 结构平面和竖向布置	90	5.5.2 多层砌块房屋抗震构造措施	195
4.3.4 结构布置的一般规定	94	5.6 底部框架-抗震墙砌体房屋抗震设计	197
4.3.5 结构材料	96	5.6.1 抗震设计的一般要求	197
4.4 框架结构的抗震计算	97	5.6.2 抗震计算要点	197
4.4.1 水平地震作用计算及变形验算	97	5.6.3 抗震构造措施	200
4.4.2 多遇地震下的框架内力计算	100	5.6.4 底部框架-抗震墙房屋的抗震设计计算例	202
4.4.3 竖向荷载下的框架内力计算	102	习题与思考题	205
4.4.4 内力组合	103	第 6 章 多层和高层钢结构房屋抗震设计	207
4.4.5 框架梁柱和节点的抗震设计与验算	106	6.1 概述	207
4.4.6 框架结构的抗震构造措施	112		
4.5 框架结构抗震设计例题	119		
4.6 框架-抗震墙结构的抗震设计	139		
4.6.1 框架-抗震墙结构的受力特点和			

6.2 震害及其分析	208	7.4.4 排架内力组合	244
6.2.1 结构倒塌	208	7.4.5 横向构件抗震承载力验算	244
6.2.2 节点破坏	208	7.5 单层厂房纵向抗震计算	245
6.2.3 构件破坏	211	7.5.1 修正刚度法	245
6.2.4 基础锚固破坏	212	7.5.2 纵向构件刚度计算	246
6.3 抗震设计基本要求	212	7.5.3 纵向地震作用及其分配	250
6.3.1 钢结构房屋结构布置一般原则	212	7.5.4 纵向构件抗震承载力验算	254
6.3.2 适用的最大高度和高宽比	213	7.6 单层钢筋混凝土柱厂房抗震构造	
6.3.3 钢结构房屋抗震等级	213	措施	256
6.4 钢结构抗震计算要点	214	7.6.1 屋盖系统	257
6.4.1 地震作用计算与地震作用效应		7.6.2 柱与柱间支撑	261
调整	214	7.6.3 隔墙和围护墙	262
6.4.2 地震作用下变形验算	216	7.7 单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算	
6.4.3 钢结构构件及节点抗震承载力		实例	263
验算	217	7.7.1 单层厂房横向抗震计算实例	263
6.4.4 钢结构支撑抗震承载力验算	220	7.7.2 单层厂房纵向抗震计算实例	267
6.4.5 钢结构构件连接抗震承载力		习题与思考题	274
验算	222	第8章 结构隔震、减震设计与振动	
6.5 钢结构抗震构造措施	223	控制技术	275
6.5.1 钢框架结构抗震构造措施	223	8.1 概述	275
6.5.2 钢框架-中心支撑结构抗震构造		8.2 结构隔震设计	277
措施	226	8.2.1 基础隔震原理	277
6.5.3 钢框架-偏心支撑结构抗震构造		8.2.2 基础隔震装置	279
措施	227	8.2.3 隔震结构计算要点	281
习题与思考题	228	8.2.4 基底隔震应用	287
第7章 单层钢筋混凝土柱厂房抗震		8.3 结构消能及阻尼减震	293
设计	229	8.3.1 消能减震原理	293
7.1 概述	229	8.3.2 结构消能及阻尼减震装置	294
7.2 震害及其分析	230	8.3.3 消能减震结构的设计	297
7.2.1 屋盖系统震害	230	8.3.4 消能减震应用	300
7.2.2 排架柱系统震害	231	8.4 结构被动控制调频减震体系	303
7.2.3 围护墙体震害	232	8.4.1 P-TMD 体系	303
7.3 抗震设计基本要求	233	8.4.2 TLD 体系	305
7.3.1 结构体型与结构布置	234	8.5 结构主动控制体系	307
7.3.2 屋盖体系	234	8.5.1 主动控制类型	307
7.3.3 结构构件	235	8.5.2 减震原理	308
7.3.4 围护墙体	236	8.5.3 工程应用	308
7.4 单层厂房横向抗震计算	236	习题与思考题	310
7.4.1 计算简图	236	参考文献	311
7.4.2 横向自振周期	238		
7.4.3 排架地震作用	240		

第 1 章

地震基本知识与建筑结构抗震设防

本章提要

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;阐述了建筑结构抗震设防依据和抗震设计思想;给出了建筑结构抗震概念设计基本要求。

1.1 概述

地震是一种灾害性自然现象。全世界每年发生大约 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测量到它们的活动。人能够感觉到的有感地震每年发生约 5 万次,其中 5 级以上破坏性地震有 1 000 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 3 000 余次,其中 6 级以上地震近 800 次,8 级以上特大地震 9 次。

地震给人类带来惨重的人员伤亡,1920 年 12 月 16 日宁夏海源发生 8.5 级地震,死亡近 20 万人,地震发生时正值北方隆冬季节,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 日河北唐山发生 7.8 级地震,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 日四川汶川发生 8.0 级地震,死亡和失踪人员 8.7 万,受伤 37.5 万人。2010 年 4 月 14 日青海玉树发生 7.1 级地震,遇难 2 698 人,失踪 270 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 100 亿人民币,恢复重建又用去 100 亿人民币;汶川地震直接经济损失达 8 451 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,抗御地震是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;其三是建筑结构抗震,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,对新建建筑结构抗震设防,已有建筑结构抗震加固,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建筑结构在地震作用下的动力反应,掌握各类建筑结构抗震设计原理和方法,利用现有科技成果进行建筑结构抗震设防,降低地震带来的人民生命、财产损失。

1.2 地震基础知识

1. 地球构造

地球是一个略呈椭圆的球体,它的平均半径约为 6 400 km。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 ~ 40 km。在海洋中,海洋地壳一般只有玄武岩层,平均厚度约为 5 ~ 8 km。地球上绝大部分地震都发生在这一层薄薄的地壳内。

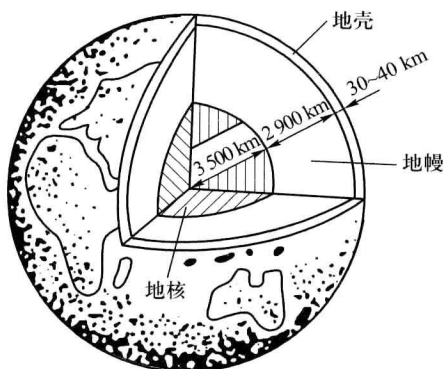


图 1.1 地球的构造

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 ~ 70 km 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黏弹性质。岩石层与软流层合称为上地幔。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,但物质密度增大。

地核是半径为 3 500 km 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 2 100 km,处于液态;内核半径约为 1 400 km,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 700 km,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。

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%。

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%。

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,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变形;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,岩层中原先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)。

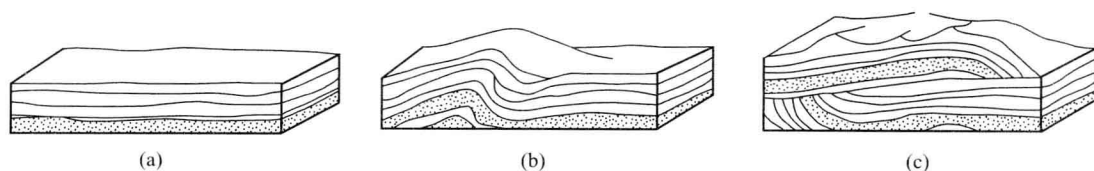


图 1.2 构造运动与地震形成示意图
(a) 岩层原始状态;(b) 褶皱变形;(c) 断裂错动

构造地震成因的宏观背景可以借助板块构造学说来解释。板块构造学说认为,地壳和地幔顶部厚为70~100 km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,即亚欧板块、太平洋板块、美洲板块、非洲板块、印度洋板块和南极洲板块(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85%左右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。

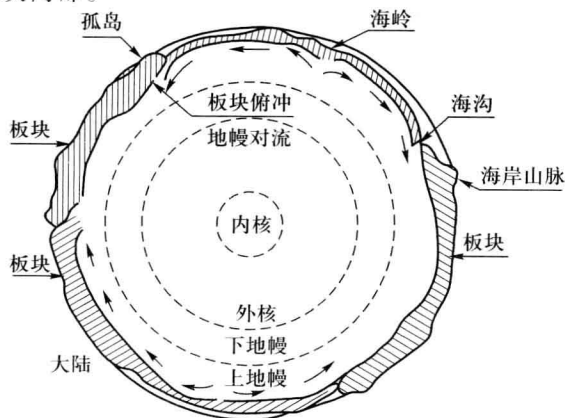


图 1.3 板块运动

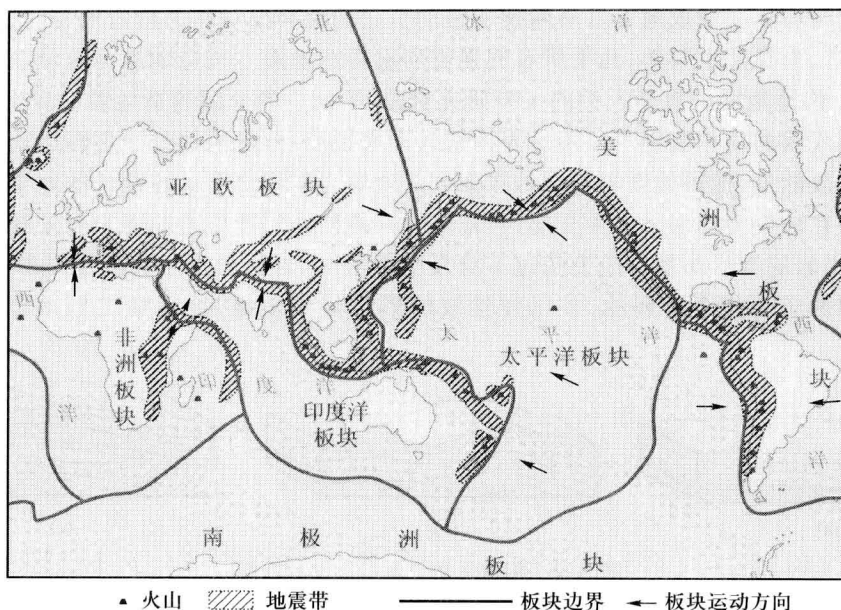


图 1.4 全球大板块划分示意图

1.3 地震活动与地震灾害

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,可以编绘出世界地震震中分布示意图(图 1.5)。由图可明了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亚欧地震带。

1. 环太平洋地震带

环太平洋地震带从南美洲西海岸起,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. 亚欧地震带

亚欧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%

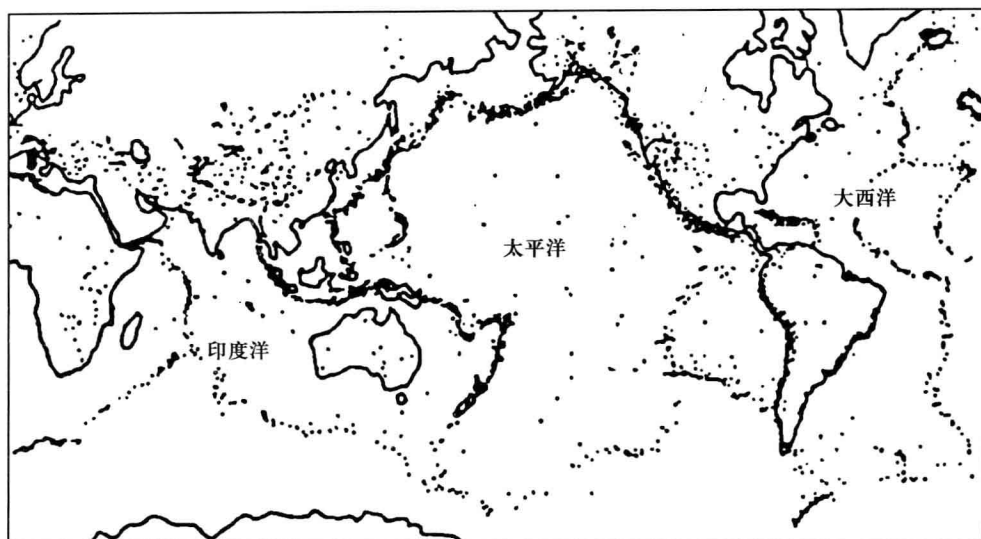


图 1.5 世界地震震中分布示意图

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。

1.3.2 我国地震活动

我国地处环太平洋地震带和亚欧地震带之间,是一个多地震国家。从地震的地质背景看,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 级的地震活动分布示意图,由图可见地震活动呈带状分布,从中可以分为 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。

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。

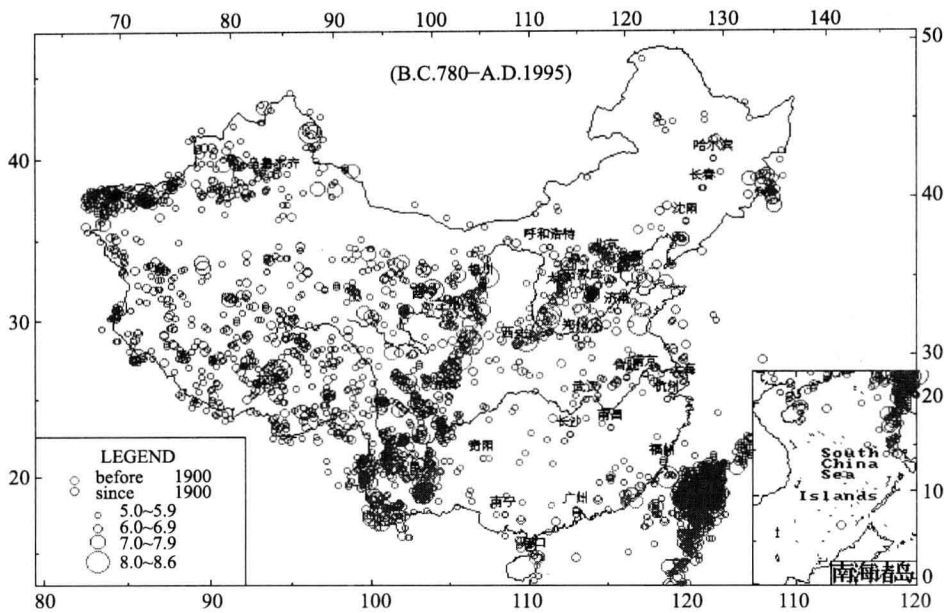


图 1.6 中国历史地震分布示意图

1.3.3 地震灾害

地震灾害以其发生突然、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 40 年来国内外部分灾害性大地震的情况。

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	1 300
1976.07.28	中国唐山	7.8	24 万
1976.08.17	菲律宾	7.9	6 500
1976.11.24	土耳其	7.3	5 000
1977.03.04	罗马尼亚	7.2	1 500
1978.09.16	伊朗	7.7	3.6 万
1980.10.10	阿尔及利亚	7.3	4 500
1985.09.19	墨西哥	8.1	9 500
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	5 400

续表

时间	地点	震级	震亡人数
1996.02.03	中国丽江	7.0	310
1997.05.10	伊朗	7.1	1 560
1999.08.17	土耳其	7.4	1.7 万
1999.09.21	中国台湾	7.3	2 400
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	9.5(矩震级)	800
2011.03.11	日本东海岸	9.0(矩震级)	2.7 万

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30 km以内,因而人员伤亡惨重,经济损失巨大。

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面裂缝、滑坡塌方、砂土液化和软土震陷等。

地面裂缝主要有两种,一种是构造地裂缝,它是地下断层错动在地表留下的痕迹。这种地面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级地震圣安德烈斯断层延伸约430 km,断层上一栅栏错动达2.6 m。1999年台湾“9·21”大地震,断层通过台中县光复国中操场形成约2.5 m落差(图1.7)。另一种是重力地面裂缝,是地震时由于地貌重力作用,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面裂缝,地面裂缝垂直及水平错位达0.9 m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,引起瓦斯卡兰山峰崩塌,山体的岩石震裂、震松,同时发生雪崩, $5 \times 10^7 \text{ m}^3$ 碎石和冰雪形成泥石流,从3 700 m高度以100 km/h的速度直泻而下,将瓦斯卡兰山峰下的容加依城瞬间埋没,2.3万居民死亡。2008年汶川地震,汶川县城王家岩山体滑坡造成房屋被埋(图1.8)。

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。

软土震陷发生于高压缩性的饱和软黏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 380 mm,房屋严重倾斜,无法继续使用。

(2) 建筑结构的破坏。地震对各类建筑物的破坏是造成地震灾害的主要原因,按房屋破坏机理划分,建筑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,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。如承重砖墙,受到水平地震力的作用,墙面产生交叉裂缝,或丧失承载力倒塌。图 1.10 为汶川地震都江堰某砌体结构底部墙体发生剪切破坏;图 1.11 为土耳其伊兹米特地震砌体房屋丧失承载力倒塌破坏。又如钢筋混凝土梁柱在地震力作用下屈服压溃,竖向构件丧失承载力倾斜倒塌等都是结构强度不足引起的破坏。图 1.12 所示为汶川地震时,都江堰市区某框架结构柱端压溃,梁端出现塑性铰;图 1.13 所示为台湾“9·21”地震时,南投县埔里饭店底层营业大厅较为空旷,形成薄弱层,导致底层柱破坏房屋倾倒。

建筑结构是由许多构件组成,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,但由于构件连接不牢、支撑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 为汉旺镇东方汽轮机厂单层厂房构件连接不牢发生倒塌。



图 1.7 台中光复国中操场断层错动



图 1.8 汶川县城王家岩山体滑坡塌方



图 1.9 日本新潟砂土液化地基丧失承载力

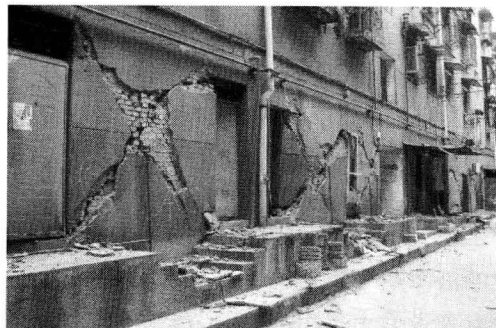


图 1.10 都江堰砌体结构墙体交叉裂缝