

全国普通高等院校 土木工程类
实用创新型 系列规划教材

土木工程 抗震设计

周云 宗兰 张文芳 等 编著



科学出版社
www.sciencep.com

中国科学院教材建设专家委员会教材建设立项项目
全国普通高等院校土木工程类**实用创新型**系列规划教材



土木工程抗震设计

周 云 宗 兰 张文芳等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据土木工程专业本科教学大纲要求,结合《建筑抗震设计规范》(GB5001-2001)等有关国家现行规范和规程编写。

本书以建筑结构抗震设计为主,同时介绍了构筑物、桥梁结构、地下结构及减震结构的设计。主要内容包括:工程地震和结构抗震基本知识、场地与地基基础抗震设计、结构地震反应分析与抗震极限状态计算、砌体结构抗震设计、混凝土结构抗震设计、钢结构抗震设计、构筑物抗震设计、桥梁抗震设计、地下空间结构抗震设计、隔震与耗能减震结构设计等。

本书可作为土木工程专业本科生教材或教学参考书,也可供研究生和有关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程抗震设计 / 周云,宗兰,张文芳等编著. 北京:科学出版社, 2005

(全国普通高等院校土木工程类实用创新型系列规划教材)

ISBN 7-03-016019-3

I. 土… I. ①周…②宗…③张… II. 土木工程—抗震设计—高等学校—教材 N. TU352.104

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 085569 号

责任编辑:童安齐 何舒民 / 责任校对:耿 耘

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年9月第一版 开本:787×1092 1/16

2005年9月第一次印刷 印张:23 3/4

印数:1—3 000 字数:542 000

定价:33.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈路通〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026 (HA03)

全国普通高等院校土木工程类实用创新型 系列规划教材

编 委 会

主 任 霍 达

副主任 (按姓氏笔画排序)

周 云 阎兴华 童安齐

秘书长 张志清

委 员 (按姓氏笔画排序)

白晓红 石振武 刘继明 何浙浙 何舒民

张文福 张延庆 张志清 沈 建 周 云

周亦唐 宗 兰 徐向荣 阎兴华 翁维素

傅传国 程赫明 韩建平 童安齐 雷宏刚

霍 达

前 言

本书以“拓宽专业面、加强基础、强化概念、参照规范、反应当代研究成果、应用与创新并重”为编写指导思想。主要特色如下:

1. 本书除了包含传统的房屋建筑结构抗震设计的内容外,增加了高层钢结构、构筑物、桥梁、地下结构抗震设计的内容,基本包括了土木工程中重要结构的抗震设计内容;增加了静力弹塑性分析、工程结构减震设计等新的内容。

2. 突出概念设计,强化基本理论,将各类结构的一般规定的内容纳入抗震概念设计中,从抗震概念的角度阐述这些规定。用较大篇幅详细介绍了结构地震反应分析与抗震计算的内容,而且对该部分内容进行了较大的调整和增补,注意从基本概念入手进行阐述,恰当地处理了手算与机算,原理与例题的关系。

3. 为适应采取启发式教学和培养学生主动思考积极创新的教学模式,每章后增加了“思考题与习题”的内容,同时为了适应双语教学,对有关名词、术语加注了英文。

4. 参考最新规范、规程,所用图片尽量采用近年来一些地震中的典型照片,结构图、模型图尽量采用空间立体图,恰当处理与相关课程的关系,突出抗震设计中的本质内容。

本书由广州大学周云制定编写大纲和统稿;广州大学周福霖院士主审。

全书共十章,第一章、九章由广州大学周云撰写,第二章、四章由南京工程学院宗兰撰写,第三章由太原理工大学张文芳撰写,第五章由兰州理工大学韩建平撰写,第六章由北京建筑工程学院韩森撰写,第七章由昆明理工大学高琼仙撰写,第八章由广州大学朱文正撰写,第十章由广州大学邓雪松撰写。

广州大学陈麟、吴珊瑚、吴轶等老师分别审阅了本书部分章节,研究生吴从晓、汤统壁、聂一恒、廖红伟、丁鲲、郭永恒加注了关键词英文单词,校核书中的例题,并做了大量文字处理工作,一并在表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中难免有缺点和错误,热切希望读者批评指正。

目 录

前言

第一章 概述	1
1.1 地震成因及类型	1
1.1.1 地球构造	1
1.1.2 地震的类型	2
1.1.3 地震的分布	4
1.2 地震的破坏作用	6
1.2.1 直接灾害	7
1.2.2 次生灾害	9
1.3 地震波、震级与烈度	11
1.3.1 常用术语	11
1.3.2 地震波	12
1.3.3 震级	14
1.3.4 烈度	14
1.4 工程抗震设防的概念	16
1.4.1 抗震设防的概念	16
1.4.2 抗震设防标准	18
1.4.3 两阶段设计方法	18
1.5 抗震概念设计总则	19
1.5.1 选择有利于抗震的场地	19
1.5.2 选择利于抗震的地基和基础	19
1.5.3 选择对抗震有利的建筑平面和立面布置	19
1.5.4 选择合理的抗震结构体系	21
1.5.5 选择合理的结构构件	21
1.5.6 处理好非结构构件和主体结构的关系	21
1.5.7 注意材料的选用和施工质量	21
1.5.8 采用结构控制新技术	22
思考题	22
第二章 场地与地基基础抗震设计	23
2.1 概述	23
2.2 场地	23
2.2.1 场地与地震动作用	23
2.2.2 场地土覆盖层厚度	24
2.2.3 场地的类别	26
2.3 地基与基础的抗震验算	28

2.3.1	地基抗震设计原则	28
2.3.2	天然地基在地震作用下的抗震承载力验算	29
2.4	地基土液化及抗震措施	30
2.4.1	地基土液化的概念	30
2.4.2	影响地基土液化的因素	31
2.4.3	液化土的判别与评价	31
2.4.4	液化地基抗震措施的选择	36
2.5	桩基抗震验算	37
2.5.1	可不进行桩基验算的条件	37
2.5.2	低承台桩基础抗震验算	38
	思考题	39
	习题	39
第三章	结构地震反应分析与抗震极限状态计算	40
3.1	概述	40
3.1.1	抗震设计与抗震计算	40
3.1.2	地震作用和其他荷载效应及其组合	40
3.1.3	抗震极限状态计算	41
3.2	单自由度弹性体系的地震反应分析与抗震设计反应谱	41
3.2.1	结构动力分析中的质量模型及运动自由度选取	41
3.2.2	单自由度弹性体系的地震反应分析——解析法及理论分析	42
3.2.3	单自由度弹性体系的地震反应分析——数值时程分析法	47
3.2.4	水平与竖向地震动的反应谱	50
3.2.5	水平抗震设计反应谱——水平多遇及罕遇地震的地震影响系数	52
3.2.6	竖向抗震设计反应谱——竖向地震影响系数	55
3.2.7	水平与竖向地震作用标准值、重力荷载代表值	55
3.3	多自由度弹性体系的地震反应分析	57
3.3.1	集中质量多自由度弹性体系的分析模型	57
3.3.2	地震作用下多自由度弹性体系的运动方程	58
3.3.3	地震反应计算的振型分解法及理论分析	60
3.3.4	振型有效质量	66
3.3.5	多自由度弹性体系地震反应的时程分析法	67
3.4	平动多自由度体系水平地震作用及效应计算的反应谱方法	68
3.4.1	振型分解反应谱法	69
3.4.2	底部剪力法——只考虑基本振型效应时	71
3.4.3	底部剪力法——考虑基本振型和第二振型的效应	75
3.5	水平地震作用下考虑扭转以及地基与结构相互作用影响的计算	76
3.5.1	考虑平动-扭转耦连影响的地震作用效应计算	76
3.5.2	水平地震作用下考虑地基与结构动力相互作用的地震作用效应修正	80
3.5.3	结构水平地震作用计算、地震剪力分配及其下限的有关规定	82
3.6	多自由度体系自振周期及振型的计算	83

3.6.1	能量法(或 Rayleigh 法).....	83
3.6.2	顶点位移法计算基本周期 T_1 及其适用范围	84
3.6.3	等效单质点法计算基本自振周期及其适用情况	85
3.6.4	用向量迭代法计算自振周期及振型	88
3.7	水平地震作用下结构变形分析	89
3.7.1	水平多遇地震下结构的弹性变形分析	89
3.7.2	水平罕遇地震下结构弹塑性变形分析	90
3.8	结构的竖向地震作用及效应计算	96
3.8.1	竖向地震的作用	96
3.8.2	高层建筑与高耸构筑物的反应谱法	98
3.8.3	大跨度和长悬臂结构的等效静力法	99
3.9	结构抗震极限状态计算	100
3.9.1	多遇地震下截面抗震承载力极限状态计算	101
3.9.2	多遇地震下结构弹性变形极限状态抗震验算	103
3.9.3	罕遇地震下结构弹塑性变形的承载能力极限状态抗震验算	104
	思考题	105
	习题	106
第四章	砌体结构抗震设计	108
4.1	震害现象及其分析	108
4.1.1	多层砌体房屋的震害现象及分析	108
4.1.2	底部框架-抗震墙房屋的震害现象与分析	111
4.2	多层砌体结构的抗震设计	111
4.2.1	多层砌体结构的抗震概念设计	111
4.2.2	多层砌体结构的抗震计算	115
4.2.3	多层砌体结构的抗震构造措施	123
4.2.4	多层砌体结构抗震设计实例	128
4.3	底部框架-抗震墙房屋抗震设计	133
4.3.1	底部框架-抗震墙房屋抗震概念设计	134
4.3.2	底部框架-抗震墙房屋的抗震计算	135
4.3.3	底层框架-抗震墙房屋的抗震构造措施	138
4.3.4	底部框架-抗震墙房屋设计实例	140
	思考题	144
第五章	混凝土结构抗震设计	145
5.1	震害现象及其分析	145
5.1.1	结构布置不当引起的震害	146
5.1.2	框架的震害	147
5.1.3	填充墙的震害	148
5.1.4	抗震墙的震害	149
5.1.5	单层钢筋混凝土厂房的震害	149
5.2	多层与高层钢筋混凝土结构的抗震概念设计	150

5.2.1	结构体系选择及最大适用高度	150
5.2.2	抗震等级	151
5.2.3	防震缝的设置	152
5.2.4	结构布置	153
5.2.5	抗震墙的局部加强	154
5.3	框架结构的抗震设计	154
5.3.1	抗震设计步骤及地震作用计算	154
5.3.2	水平荷载作用下框架内力计算	156
5.3.3	控制截面及其内力不利组合	161
5.3.4	框架结构水平位移验算	161
5.3.5	框架结构截面抗震设计	164
5.3.6	框架结构抗震构造措施	171
5.3.7	框架结构抗震设计计算例	177
5.4	框架-抗震墙结构的抗震设计	186
5.4.1	框架-抗震墙结构的受力特点	186
5.4.2	框架-抗震墙结构计算的基本假定及计算简图	187
5.4.3	框架-抗震墙结构简化计算要点	188
5.4.4	框架-抗震墙结构截面设计	190
5.4.5	框架-抗震墙结构抗震构造措施	192
5.5	单层钢筋混凝土工业厂房抗震设计	194
5.5.1	单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计的一般规定	194
5.5.2	单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算	195
5.5.3	单层钢筋混凝土柱厂房的抗震构造措施	205
	思考题	210
	习题	211
第六章	钢结构抗震设计	212
6.1	震害现象及其分析	212
6.1.1	结构倒塌	212
6.1.2	构件的破坏	212
6.1.3	节点破坏	213
6.1.4	基础锚固破坏	213
6.2	钢结构的抗震概念设计	214
6.2.1	钢结构房屋的结构体系及其抗震性能	214
6.2.2	钢结构房屋抗震设计的一般规定	217
6.3	多层和高层钢结构抗震设计	219
6.3.1	计算模型	219
6.3.2	变形验算	220
6.3.3	地震作用下的内力调整	220
6.3.4	抗震承载力和稳定性验算	221
6.3.5	抗震构造要求	226
6.4	多层与单层钢结构厂房的抗震设计	232

6.4.1 多层钢结构厂房的抗震设计	232
6.4.2 单层钢结构厂房的抗震设计	235
6.5 网架结构抗震设计	238
6.5.1 抗震设计一般规定	238
6.5.2 网架抗震设计要点	239
6.5.3 网架抗震措施	242
思考题	243
第七章 构筑物抗震设计	245
7.1 震害现象及其分析	245
7.1.1 烟囱的震害	245
7.1.2 塔架的震害	247
7.1.3 水池的震害	249
7.1.4 贮仓的震害	250
7.2 构筑物的抗震概念设计	250
7.2.1 烟囱的抗震设计原则	250
7.2.2 塔架的抗震设计原则	251
7.2.3 贮仓的设计原则	252
7.2.4 水池的设计原则	253
7.3 烟囱的抗震设计	254
7.3.1 抗震设计一般规定	254
7.3.2 烟囱水平地震作用及其效应计算	255
7.3.3 烟囱竖向地震作用及其效应	257
7.3.4 地震作用效应组合及附加弯矩	258
7.3.5 烟囱的抗震构造措施	260
7.4 塔架的抗震设计	262
7.4.1 塔架抗震设计一般规定	262
7.4.2 水塔的抗震计算	263
7.4.3 水塔的构造措施	265
7.5 水池的抗震设计	266
7.5.1 一般规定	266
7.5.2 地震作用计算	267
7.5.3 水池的构造措施	271
7.6 贮仓的抗震设计	272
7.6.1 一般规定	272
7.6.2 地震作用计算	272
7.6.3 贮仓的抗震变形验算	279
7.6.4 贮仓的抗震构造措施	280
思考题	283
第八章 桥梁抗震设计	284
8.1 桥梁震害及分析	284

8.2	桥梁抗震设计的理论和方法	287
8.2.1	桥梁抗震设计的理论	287
8.2.2	桥梁地震作用力的计算	292
8.3	桥梁地震反应分析	296
8.3.1	选择合适的地震记录和输入模式	296
8.3.2	地基与结构的相互作用	297
8.3.3	阻尼问题	297
8.3.4	桥梁动力分析中的非线性因素	298
8.3.5	桥梁支座的非线性	302
8.4	桥梁的延性设计	305
8.4.1	延性指标	306
8.4.2	考虑延性的地震作用折减	306
8.4.3	钢筋混凝土桥墩的延性设计	308
	思考题	311
第九章	地下空间结构抗震设计	312
9.1	地下空间结构的震害现象及其分析	312
9.1.1	历史地震中地下结构的震害现象	312
9.1.2	地铁震害及震害分析	313
9.1.3	隧道震害及震害分析	315
9.1.4	地下空间结构震害的机理分析	317
9.2	地下空间结构的抗震设计	317
9.2.1	地下空间结构地震动力特性	318
9.2.2	地下空间结构抗震设计原则	319
9.2.3	地下空间结构的地震分析和抗震设计方法	321
9.2.4	地下空间结构抗震构造措施	324
	思考题	325
第十章	隔震与耗能减震结构设计	326
10.1	减震的概述与分类	326
10.2	隔震结构设计	327
10.2.1	结构隔震的原理与隔震结构的特点	327
10.2.2	隔震系统的组成与类型	330
10.2.3	隔震结构的设计要求	333
10.2.4	隔震结构的抗震分析	333
10.2.5	上部结构的抗震设计	334
10.2.6	隔震层的设计与验算	335
10.2.7	隔震层以下结构抗震设计要点	337
10.2.8	隔震结构的构造措施	337
10.3	耗能减震结构设计	338
10.3.1	结构耗能减震原理与耗能减震结构特点	338
10.3.2	耗能减震装置的类型与性能	339

10.3.3	耗能减震结构的设计要求	344
10.3.4	耗能减震结构体系的抗震计算分析	345
10.3.5	耗能减震结构的连接与构造	346
思考题	347
参考文献	348
附录 1	350
附录 2	360

第一章 概 述

地震(earthquake)是一种与刮风、下雨一样的自然现象,是自然界的头号杀手。它是地球内部能量的突然释放,是地球的快速振颤。全世界每年约发生地震 500 万次,平均每天多达 13 700 次,其中 7 级以上的地震全球平均每年 18 ~19 次,5 到 6 级地震每年数以百次,仅中国平均每年发生的 5 级以上的地震就有 20 ~30 次,5 级以下的地震则数以千计。人类时刻在与地震相伴,受到震灾影响。地震给人类带来巨大的灾难,造成了人类生命财产的巨大损失。因此,为了与地震灾害作斗争,人类自古以来一直对地震和抗震进行着探索,对地震的认识也随着人类文明的进步而深入,防灾减灾的技术和方法也不断完善和成熟。

1.1 地震成因及类型

1.1.1 地球构造(earth structure)

要知道地震究竟是如何形成的呢?必须先了解地球的内部构造。地球是一个近似于球体的椭球体,平均半径约为 6400km。研究表明,地球从地表至核心由三种性质不同的物质构成:最外层是很薄的地壳(earth shell),平均厚度约为 30km;中间一层是地幔(earth mantle),厚度约为 2900km,最里面部分叫地核(earth core),半径约为 3500km[如图 1-1(a)、(b)所示]。

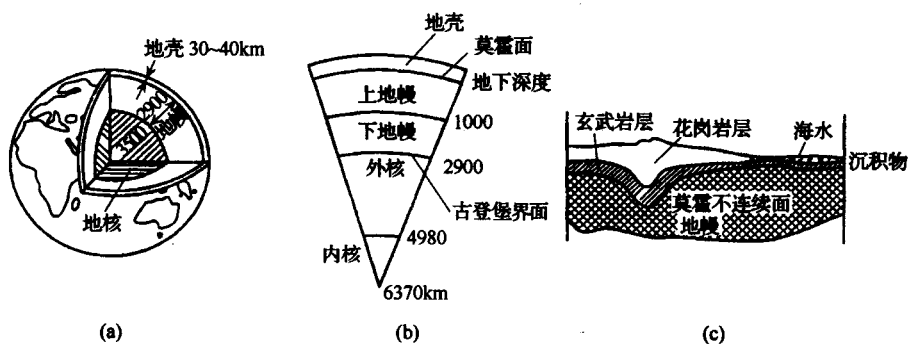


图 1-1 地球的构造

(a)地球断面;(b)分层结构;(c)地壳剖面

地壳由各种不均匀的岩石组成。地表覆盖一层薄薄的沉积岩、风化土以及疏松沉积物等。陆地下面的地壳主要为:上部是花岗岩层,下部为玄武岩层;海洋下面的地壳性质较单一,一般只有玄武岩层。地壳的下界称为莫霍界面,是一个地震波传播速度发生急剧变化的不连续面[图 1-1(c)]。地壳厚度变化很大,在海洋下面,一般仅有几千米;而在大陆下

面,平均厚度为 30~40km。世界上绝大部分地震都发生在地壳内。

地壳以下到深约 2895km 的古登堡界面以上的部分为地幔,据推测,约占地球全部体积的 5/6。地幔主要由质地坚硬、密度较大的黑色橄榄岩组成。从地下 20~700km,其温度由约 600℃上升到 2000℃。在这一范围内,存在一个厚约几百公里的软流层。由于温度分布不均匀,发生了地幔内部物质的对流;此外,地球内部的压力也是不均匀的。因此,地幔内部物质在这样的热状态下和不均衡压力作用下缓慢地运动着。这可能是地壳运动的根源。到目前为止,所观测到的最深地震发生在地下约 700km 处,可见地震仅发生在地壳内和地幔上部。

古登堡界面以下直到地心的部分为地质,其半径约为 3500km,地核可分为外核与内核。据推测,地核主要构成物质是镍和铁,外核可能处于液态,厚度约为 2100km;内核可能处于固态,半径约为 1400km。

1.1.2 地震的类型

地震的类型划分方式有很多种,可以按震源深度、地震烈度和地震的成因等方式划分。

按照震源深度划分地震可分为以下几类:

- 1) 浅源地震:震源深度小于 70km。
- 2) 中源地震:震源深度在 70~300km 范围内。
- 3) 深源地震:震源深度大于 300km,但到目前为止,所观测到的地震震源深度最深为 720km,这可能与岩石圈板块的最深俯冲深度有关。

按照正常人在安静状态下的感觉程度划分地震可分为以下几类:

- 1) 无感地震:正常人在安静状态下感觉不到,只能用地震仪器测量出来。其震级一般小于 3 级。其中震级小于 1 级的称为超微震;震级在 1 至 3 级的称为微震。
- 2) 有感地震:正常人在安静状态下能够感觉到,其震级大于 3 级。其中震级在 3 至 5 级的称为小震,一般不会造成破坏;震级在 5 至 7 级的称为中震,可以造成不同程度的破坏;震级大于 7 级的称为大地震,常造成严重的破坏。

根据地震成因,地震类型大致分为六类:构造地震(tectonic earthquake)、火山地震(volcanic earthquake)、陷落地震(depression earthquake)、爆炸地震(explosion induced earthquake)、水库地震(reservoir induced earthquake)和油田注水诱发的地震(oil field flooding induced earthquake)。

(1) 构造地震

构造地震是由地球构造运动所引起的地震。地球内部在不停地运动着。在它的运动过程中,始终存在巨大的能量,而组成地壳的岩层在巨大的能量作用下,也不停地连续变动,不断地发生褶皱、断裂和错动(图 1-2),这种地壳构造状态的变动,使岩层处于复杂的地应力作用之下。地壳运动使地壳某些部位的地应力不断加强,当弹性应力的积聚超过岩石的强度极限时,岩层就会发生突然断裂和猛烈错动,从而引起振动。振动以波的形式传到地面,形成地震。由于岩层的破裂往往不是沿一个平面发展,而是形成由一系列裂缝组成的破碎地带,沿整个破碎地带的岩层不可能同时达到平衡,因此,在一次强烈地震(即主震)之后,岩层的变形还有不断的零星调整,从而形成一系列余震(after shock)。

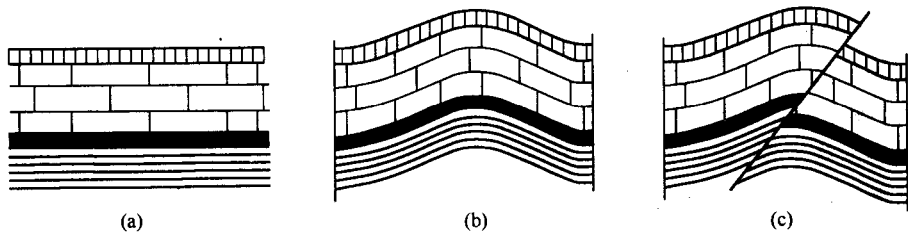


图 1-2 构造地震形成示意图

(a) 岩层原始状态; (b) 受力后发生变形; (c) 岩层断裂产生震动

此类地震约占地震总数的 90%，其特点是震源(earthquake focus)较浅，活动频繁，延续时间长，影响范围广，给人类带来的损失最严重。世界上许多著名的大地震都属于此类，例如 1976 年唐山大地震，在几十秒内，将一座用了近百年时间才建设起来的工业城市几乎夷为平地。

构造地震按其地震序列可分为孤立型地震(前震，余震少而弱，地震能量几乎全部通过主震释放出来)；主震型地震(前震很少或无，但余震很多，90%以上的地震能量是通过主震释放出来的)；震群型地震(没有突出的主震，地震能量通过若干次震级相近的地震分批释放出来)。

(2) 火山地震

火山地震是由于火山爆发，岩浆猛烈冲击地面时引起的地面振动而形成的地震。地球内部温度很高，往深处每增加 100m，温度上升 2~50℃，在地下 100km 深处的地温已达到 1200~1300℃。在高温下岩石呈熔融状态的岩浆，在强大压力作用下，岩浆向上喷出，在其冲力作用下激起地面的振动，产生火山地震。例如，1914 年日本樱岛火山喷发产生的地震相当于 6.7 级。火山地震约占发生地震的 7%。火山地震可分为 A 型火山地震(发生在火山附近，震源深度为 1~10km，其发生与火山喷发活动没有直接或明确的关系，但与地下岩浆或气体状态变化所产生的地应力分布的变化有关)；B 型火山地震(集中发生在活火山口附近的狭长范围内，震源深度浅于 1km，影响范围很小)；潜火山地震(在地下岩浆冲至接近地面，但未喷出地表的情况下产生的地震)。

(3) 塌陷地震

塌陷地震是指天然的岩洞、溶洞以及矿区的采空区支撑不住上覆岩层，发生塌陷而形成的地震。此类地震的发生既有天然因素的一面，又有人为因素的一面。此类地震约占产生地震的 3%左右。在国内外曾经发现过矿山塌陷地震震级最大可达到 5 级，在我国已发生过近 4 级的矿山塌落地震。如 1972 年在山西大同煤矿发生的采空氏大面积顶板塌落，引起最大震级为 3.4 级的地震。

(4) 水库地震

水库地震是由于水库大量蓄水或过多抽水而引起的地震。前者称为注水地震，后者称为抽水地震。有些地方，历史上没有或很少发生过地震，但在兴建大型水库后，地震频频发生，甚至发生强烈的破坏性地震。自从 1931 年前苏联马拉松水库首次发生地震以来，已有 30 多个国家 100 多座水库发生了水库地震。我国已有 21 例水库发生诱发地震。例如，广东新丰江水库区，自 1959 年截流蓄水后，便频繁出现小地震，于 1962 年 3 月 19 日发生了

6.1 级的强烈地震,其后余震活动不断。

(5) 爆炸地震

爆炸地震是指由工业大爆破或地下核爆炸所激发的地震。一次核爆炸本身就产生一次地震,爆炸中心相当于一个6级左右的地震源。同时,爆炸可诱发构造地震,表现为核爆炸后接连发生地震,就如大地震后的余震。如1968年美国完成地下核试验就引起了地球1万次余震;1976年美国进行核试验几分钟后发生了危地马拉地震,使几万人丧生;1985年法国在太平洋一个小岛上的核试验后,发生了墨西哥地震及邻近国家的多次地震。

(6) 油田注水诱发地震

油田注水诱发地震是在油田开采中,广泛采用人工注水驱动工艺,从而产生油田注水诱发地震。例如,1970年加拿大斯内普油田注水导致5.1级地震。油田注水地震一般震源浅,震级也不高。

1.1.3 地震的分布

1. 全球地震带

世界上有两条主要的地震带(earthquake belt):环太平洋地震带与欧亚地震带,如图1-3所示。

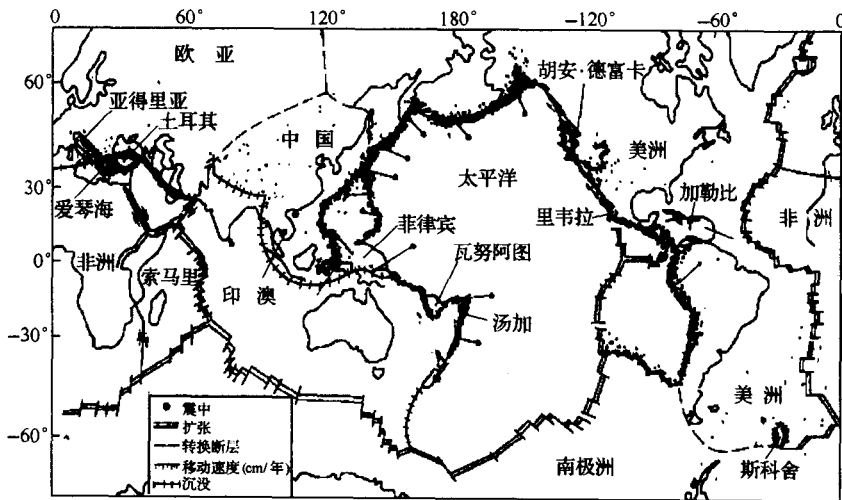


图 1-3 全球六大板块及两大地震带分布图

1) 环太平洋地震带基本上是太平洋沿岸大陆海岸线的连线,从南美洲的西海岸向北,到北美洲的西海岸的北端,再向西穿过阿留申群岛,到俄罗斯的堪察加半岛折向千岛群岛,沿日本列岛,地震带在此分为两支,一支沿琉球群岛南下,经过我国台湾省,到菲律宾、印度尼西亚;另一支转向马里亚纳群岛至新几内亚,两支汇合后,经所罗门到汤加,突然转向新西兰。全世界75%左右的地震发生于这一地震地带。

2) 欧亚地震带是东西走向的地震带,西端从大西洋上的亚速尔岛起,向东途经意大利、希腊、土耳其、伊朗、印度,再进入我国西部与西南地区,向南经过缅甸与印度尼西亚,最后与环太平洋地震带的新几内亚相接。这一地震带是全球中深源地震(deep-focus

earthquake)的多发地区,全世界 22%左右的地震发生于这一地震地带。

另外在大西洋、印度洋等大洋的中部也有呈条状分布的地震带。

2. 我国境内的地震带

我国是一个多地震国家,近四千年的地震文献记载表明,除浙江、江西两省外,我国绝大部分地区都发生过震级较大的破坏性地震。我国地处世界上两条大地震带之间,图 1-4 所示,不少地区地震相当活跃,我国台湾省就处于环太平洋地震带,近年来大震不断,而且发震频率相当高。我国境内断裂带发育,除西藏、台湾位于世界的两大地震带以外,强烈地震主要分布在以下两个地震带上:

1) 南北地震带:这条地震带的北端位于宁夏贺兰山,经过六盘山,经四川中部直到云南东部全长两千多公里。该地震带构造相当复杂,全国许多强震就发生在这条地震带上,例如 1976 年松潘 7.2 级地震。这条地震带的宽度比较大,少则几十公里,最宽处达到几百公里。

2) 东西地震带:东西走向的地震带有两条,北面的一条从宁夏贺兰山向东延伸,沿陕北、晋北以及河北北部的狼山、阴山、燕山山脉,一直到辽宁的千山山脉。另一条东西方向的地震带横贯整个国土,西起帕米尔高原,沿昆仑山东进,顺沿秦岭,直至安徽的大别山。这两条地震带是由一系列地质年代久远的大断裂带构成的。

根据这些地震带可将全国分为五个地震区:东北地震区、华北地震区、华南地震区、西北地震区与西南地震区,如图 1-4 所示。亦可分为以下 10 个地震区:从华南地震区分出台湾地震区、南海地震区,而西北、西南地震区则统一分为青海高原南部地震区、青海高原中部地震区与青海高原北部地震区,还有新疆中部地震区与新疆北部地震区,再加原有的东北、华北、华南地震区,总共 10 个。

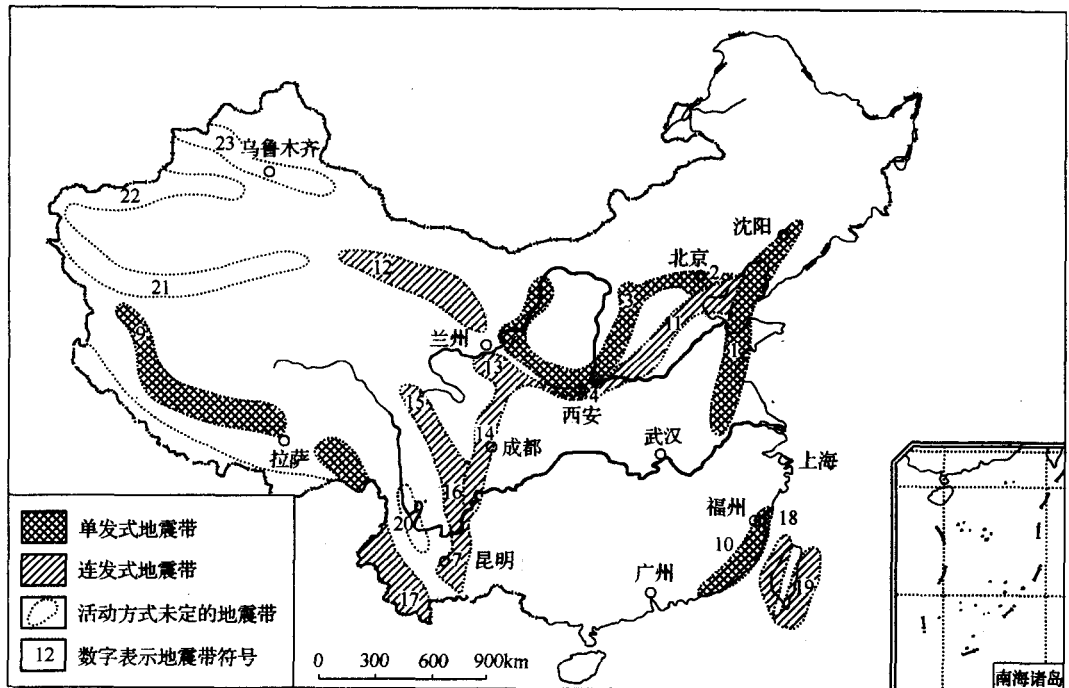


图 1-4 中国的地震带示意图