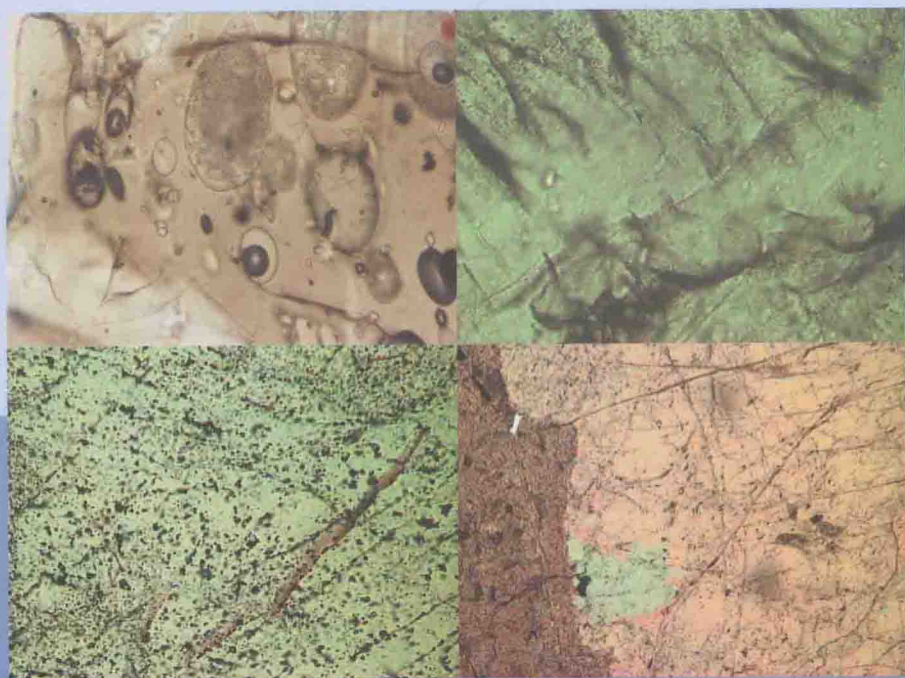


流/体/包/裹/体/专著系列

地震流体包裹体

刘 斌 著



科学出版社

流体包裹体专著系列

地震流体包裹体

刘 斌 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍流体包裹体和地震学之间发展起来的新的研究方向,探讨流体包裹体和地震之间的相互联系和相互依赖关系,利用流体包裹体研究古地震构造性质、应力场状态、物理化学环境及其地震来源、相互关系及规律性等。另外也涉及通过变形流体包裹体地震前兆信息来预报现代地震的基本思路和具体方法。作者避开了繁杂的数学推导,力求用通俗易懂的语言让更多的读者掌握利用流体包裹体研究古地震的有关测试原理与技术,同时让更多相关工作者了解利用流体包裹体预报现今地震的研究方法。

本书可作为地震工作人员拓宽研究思路与方法的补充教材,同时可供地球物理、地球化学及其他各专业人员和业余地震工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

地震流体包裹体/刘斌著. —北京:科学出版社, 2014

(流体包裹体专著系列)

ISBN 978-7-03-041044-3

I. ①地… II. ①刘… III. ①地震观测-流体包裹体-研究 IV. ①P315.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 122926 号

责任编辑:耿建业 刘翠娜 杨若昕/责任校对:宋玲玲 钟 洋

责任印制:阎 磊/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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014 年 6 月第一次印刷 印张:31 3/4

字数:622 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



序

流体包裹体作为一种有效的地球科学微观研究手段已为国内外学者所公认,近年来得到长足的发展,取得不少研究成果。同时,构造流体包裹体研究在近20~30年的飞速进展带动了构造地质学领域的飞跃发展,并且出现了某些新的研究方向,地震流体包裹体就是这一领域中又一门新的分支学科。

地壳在永无休止地运动着,按运动速度分为缓慢的和快速的。垂直运动一般为缓慢的运动,水平运动常常因快速突变性质而产生地震作用。无论哪一种运动,在漫长的地质历史上都有表现,即使现今,各种运动仍然持续不停。

破坏性地震给人们带来了灾难,地震的准确预测是人们长期以来追求的目标。但是,一个地区的强震总是很少的,从历史文献上得到的资料根本满足不了地震研究和预测的需要。地震流体包裹体的研究可以弥补这方面的不足,地震流体包裹体研究可以获得大规模古地震研究所需要的构造活动信息,了解断层地震活动与其伴生现象的特点及范围,从而判断古地震的强度及其他某些特征。

地震过程前期、震期和震后的主要地质特征是断裂的移动,断裂的移动致使地震流体发生了动力学迁移,从而产生热动力学条件的变动(如井水水位变动、氢气的释放等)。同时,现代地震作用使原来岩石中保存下来的流体包裹体发生形变和成分泄漏,包裹体热动力学参数的变化,提供了将要发生的地震的许多前兆信息。

利用现代数学、物理、化学原理和计算机技术,测定地震微小包裹体,计算出它们形成时的热动力学条件,分析地震构造性质和环境,地震应力大小、方向、来源,以及应力场分布及其变化规律性,为地震预报提供最直接的数值分析基础,这就是又一门新兴分支学科——地震流体包裹体的研究内容。

地震流体包裹体作为一门新兴分支学科,有待于进一步发展完善,从这个意义上讲,该专著的出版具有承前启后的作用。

卢焕章 刘 斌

2013年7月

前 言

地震预报特别是破坏性强震预报是人们长期以来追求的目标,也是当代地球科学中最富有魅力和挑战性的一项前沿性研究课题。

长期以来人类对地震进行了艰辛的探索,在认识地震发生过程及掌握和应用地震预报理论、技术、方法等方面已经取得了长足的进步。在地震预报实际应用中已获得某些成功,并且减少了某些地震灾害的损失,这增强了人们实现预报地震的信心。

近年来人们对地下流体观测和预报地震提高重视,多年的观测结果表明,地下流体观测具有较强的地震信息获取能力,已有不少成功范例。由于地震前在不同的构造环境、动力背景条件下,地下流体物理场和化学场异常表现出的特征不同,基于经验积累来进行地震预测的成功率受到很大局限。

长期以来,地下流体学科的研究重点为中短期和临震异常,而针对地下流体长趋势变化异常与预测方法尚未开展专门的研究,对有关地下流体长趋势变化异常机理的信息,我们了解甚少,对涉及地震孕育的各种异常特征的认识至今仍很局限。

然而,广泛发育在构造地震过程中的流体包裹体,保留了地震过程的许多“信息密码”。

构造地震活动,在断裂近地表岩石脆性和脆性变形时,在微观尺度下有大量变形结构和显微裂隙形成,随后很快被地下流体充填而封闭。流体包裹体迹面(fluid inclusion plane, FIP)是地震作用过程中流体活动的轨迹,这是由于地震过程中流体渗透迁移到变形结构和显微裂隙中并使之愈合、封闭而形成的地震流体包裹体。解开这些活动轨迹中“信息密码”,可以获得地震过程中热动力参数,这是分析地震孕育、发生过程中,地下介质受到构造应力场作用而表现出来的地震前兆异常的最直接和唯一的流体信息来源。

为了预防或尽可能有效地减少地震造成的损失,应该了解地震可能发生在什么地方、强度大概有多大,为此,必须研究各地区已发生的地震。大规模研究古地震断层的工作,将能获得所需要的补充资料。从地震产生的裂隙与伴生地震流体包裹体的特点及范围能够判断出古地震的强度及某些特征。流体包裹体对古地震构造地质研究的重要性是无可非议的,对于长趋势地震前兆异常的研究具有一定的优势,但是如何通过长期地震前兆异常信息来进行短期临震预报还处于探索阶段。

目前,我们对某一地区或某一断层以往的地震活动信息,可以通过当时形成的流体包裹体信息获得,然而重要的是必须了解当前断层活动状态,在现今条件下,我们不可能采集到地下深处现代断层活动流体包裹体样品进行测定,现今地表出露的岩石,即使岩石产生变形和破裂,在地表温度和压力条件下,新的显微裂隙难以愈合,赋存在显微裂隙中的流体难以封闭形成流体包裹体迹面。

为了获得现今断层活动的信息,我们可以利用现今地表断层岩石中保存下来的变形流体包裹体,这些遗留下的变形包裹体成分和形态的变化,也能完全反映现今断层中岩石变形和破坏烈度的信息。

30多年来,我们对构造包裹体进行研究,探索利用包裹体研究断层活动和预测地震的方法。通过国家自然科学基金项目(1997~1999)“利用流体包裹体研究断层的活动性”,研究并且了解多期断层活动中流体包裹体特征和构造关系,进一步研究构造应力规律和地震活动历史;通过国家自然科学基金项目(2006~2008)“利用流体包裹体迹面研究岩体滑坡”,研究在地表脆性环境下,根据包裹体破坏程度反映的热动力学参数和迹面表征参数变化,来分析地震岩体滑坡,并预测未知地区滑坡可能发生的地段,取得了突破性的研究成果;通过国家自然科学基金项目(2011~2013)““安全岛”模式下核电场地构造控稳与参数特征分析”,证实参数特征在地震包裹体分析中的可靠性。

近年来,我们参与地震研究国家科技攻关项目部分工作,对汶川地震断裂带和长江三峡库区三条断层中的包裹体进行形变观测,对中短时间尺度的断层活动与地震特征参数及演变进行定量研究,探求可行的包裹体形变预测地震方法及其有效定量判别的途径,取得了一些有意义的成果。

作者多年来对我国许多地区地质构造中的流体包裹体进行测定和研究,特别关注地震带中的流体包裹体,本书是作者对其中许多研究心得和体会进行总结编写而成。

全书共8章,第1、2章是地震流体基本特征和物理化学性质;第3、4章是地震机理、流体作用及其赋存包裹体特征;第5、6章是地震流体包裹体迹面表征参数测定技术和数值分析方法;第7章是流体包裹体在古地震构造研究方面的应用;第8章是现代地震前兆中的流体包裹体分析方法。

读者需注意的是:涉及地震流体包裹体的许多基本理论和现代计算技术没有列出,如岩体力学、破裂力学、渗流力学、数值分析及其有关的计算方法和软件,读者可以参考现代数学、物理、化学和有关的热力学书籍、计算分析书籍及其相关软件(如分形理论、有限元分析原理和Ansys软件等)。另外有关的流体包裹体测定技术和计算方法也没有列出(如包裹体均一温度、冷冻温度的测定技术,包裹体捕获温度和压力等热动力学参数的计算,包裹体成分分析手段和方法等),读者可以参考流体包裹体已出版的有关书籍。

地震预报作为一个难度很大的科学问题，期望在短时间内从根本上突破是不切合实际的，它需要人们长期坚持不懈地努力。因此，拓宽地震预报工作者的思路与提高技术水平是当务之急。为便于现在从事这一领域工作的科技人员学习流体包裹体研究地震已取得的成果，也便于未来将要从事这一领域工作的科技人员继承、检验、发展地震预报的理论、技术、方法，本书是作者 30 多年来研究工作的总结，希望本书的出版能为广大地震工作者提供参考，也能为将来这一领域的进一步深入研究起到抛砖引玉的作用。

由于地震预测预报科学难题很多，加之作者对最新科学进展了解有限，书中难免存在一些不妥之处，望读者批评指正！

刘 斌

2013 年 7 月于上海同济苑

目 录

序

前言

第 1 章 地震流体概述	1
1.1 地震概念	1
1.1.1 有关地震的术语	1
1.1.2 地震的分类	2
1.1.3 地震的分布	3
1.2 地震流体	5
1.2.1 地壳中的流体	5
1.2.2 地震流体概念	8
1.2.3 构造地震流体来源	10
1.2.4 构造地震流体成因分类	10
1.2.5 构造地震流体成分分类	13
1.2.6 地震流体活动与循环	14
1.3 构造地震流体主要成分	21
1.3.1 H_2O	21
1.3.2 $NaCl-H_2O$	24
1.3.3 CO_2-H_2O	28
1.3.4 $CO_2-H_2O-NaCl$	29
1.3.5 $CH_4-H_2O-NaCl$	31
主要参考文献	32
第 2 章 地震水溶液物理化学特征及化学组成	34
2.1 地震水溶液物理化学特征	34
2.1.1 影响地震水溶液性质的物理化学因素	34
2.1.2 地震水溶液物理化学特征	35
2.2 地震水溶液的化学组成	68
2.2.1 概述	68
2.2.2 挥发气体成分	69
2.2.3 主要阳离子	73
2.2.4 主要阴离子	81

2.2.5 胶体成分	92
2.2.6 微量元素	98
2.2.7 有机物组分	99
2.2.8 稳定同位素	100
2.2.9 放射性同位素成分	105
主要参考文献	112
第3章 地震机理及其流体作用	115
3.1 地震机理概述	115
3.1.1 地震力学——弹性回跳理论	115
3.1.2 板块构造与地震活动	118
3.1.3 断裂带中地震作用	120
3.2 孕震模式研究	123
3.2.1 孕震模式研究概述	124
3.2.2 膨胀-扩散模式	125
3.2.3 膨胀-失稳模式	127
3.2.4 膨胀-扩散模式和膨胀-失稳模式的比较	129
3.3 断裂带流体活动及其地震作用	131
3.3.1 断裂带流体活动特征	131
3.3.2 断层岩体破裂力学性质	132
3.3.3 断层破碎带扩容性质	135
3.3.4 地震孕育的雷宾德尔效应	135
3.3.5 强震复发周期与流体活动	138
3.4 地震断层阀效应及其流体包裹体验证	141
3.4.1 断层带中流体间歇性流动理论	141
3.4.2 间歇性脉的形成模式	143
3.4.3 断裂阀动力模型	145
3.4.4 断层带中流体间歇性流动的力学机制	147
3.4.5 断层幕式活动期和间歇期的流体运移特征	148
3.4.6 断裂阀模型的流体包裹体证据	150
主要参考文献	156
第4章 地震变形构造特征及其赋存的流体包裹体	159
4.1 地震活断层派生裂隙及塑性变形构造	160
4.1.1 岩石变形与破裂	160
4.1.2 断层活动派生裂隙系统	169
4.2 固结裂隙构造——脉体及其赋存的流体包裹体	175

4.2.1 脉体应力性质类型	175
4.2.2 脉体固结类型及其中的流体包裹体	179
4.2.3 脉体中流体包裹体研究中注意问题	181
4.3 含流体愈合裂隙显微构造——流体包裹体迹面(FIP)	182
4.3.1 地震构造变形和 FIP	182
4.3.2 FIP 成因类型	186
4.3.3 不同构造中的 FIP	190
4.3.4 FIP 形成和分布的综合分析	194
4.4 塑性变形显微构造及其赋存的流体包裹体	196
4.4.1 石英变形纹	196
4.4.2 扭折带	198
4.4.3 机械双晶	199
4.4.4 亚晶粒	200
4.4.5 动态重结晶新晶粒	201
4.4.6 变斑晶包迹构造	202
4.4.7 压溶构造	203
4.4.8 静态重结晶新晶粒	203
4.4.9 带状构造	204
4.4.10 出溶构造	205
4.4.11 超微构造	206
主要参考文献	208
第 5 章 地震 FIP(和脉体)表征参数特征及其测定方法	211
5.1 地震 FIP(和脉体)野外和室内观测方法及其表征参数特征	211
5.1.1 野外脉体采样和观测	211
5.1.2 显微镜下 FIP 观测	212
5.1.3 FIP(和脉体)观测资料的分析整理	215
5.1.4 地震 FIP(和脉体)表征参数特征	216
5.2 地震 FIP 的旋转台测定和赤平投影原理	221
5.2.1 旋转台的构造、安装和校正	222
5.2.2 赤平投影原理	227
5.3 地震 FIP(脉体)构造统计图的绘制和应用	240
5.3.1 地震 FIP(脉体)构造统计图的绘制	240
5.3.2 方位等密度图的绘制方法——网格法(施密特法)	242
5.3.3 计算机软件制图	245
5.3.4 FIP 组构图优选方位在投影图中的表现形式和等密线图旋转操作	247

主要参考文献	250
第6章 地震 FIP(和脉体)表征参数数值分析	252
6.1 FIP(和脉体)数值分析方法和表征参数概率分布	252
6.1.1 常用的几种 FIP 数值分析方法	252
6.1.2 FIP(和脉体)表征参数的概率分布	255
6.2 地震岩体 FIP 分维测定和分形模型	271
6.2.1 地震岩体 FIP 两种类型分维的测定	271
6.2.2 几种典型地震岩体 FIP 分形结构模型	273
6.3 地震 FIP 构造动力学条件的推算	278
6.3.1 地震 FIP 在断层性质判别中的应用	278
6.3.2 含 FIP 显微构造动力学条件的推算	286
6.4 地震 FIP 古应力莫尔圆分析	290
6.4.1 莫尔强度理论和莫尔应力圆	290
6.4.2 FIP 古应力判断准则	294
6.4.3 共轭剪切 FIP 夹角大小——莫尔圆分析	302
6.5 地震裂隙古应力莫尔圆计算	306
6.5.1 破裂准则的实际应用	306
6.5.2 破裂准则的应用实例	308
6.5.3 莫尔圆计算古应力新方法	312
6.6 FIP 构造应力场的数值模拟	322
6.6.1 概述	322
6.6.2 构造应力的概念和构成	325
6.6.3 地壳浅部原岩应力的变化规律	327
6.6.4 构造应力场的确定	330
6.6.5 地震断裂古应力场测试	331
6.6.6 地震 FIP 有限元数值模拟方法	337
6.6.7 构造裂隙的应力场模拟计算	342
6.6.8 裂隙地应力场模拟的应用	346
主要参考文献	348
第7章 流体包裹体在古地震构造研究方面的应用	352
7.1 流体包裹体在古地震构造中的研究	352
7.1.1 板块构造活动研究	352
7.1.2 地震断裂带的研究	354
7.1.3 地震构造应力场研究	355
7.1.4 地震构造岩石变形研究	356

7.1.5 地震构造流体势的研究	356
7.2 冲绳海槽现代火山岩中流体包裹体特征及其板块地震活动与金属 成矿作用	357
7.2.1 冲绳海槽现代地震构造	357
7.2.2 流体包裹体研究	358
7.2.3 板块地震活动和金属成矿作用	365
7.3 由 FIP 分析东海小洋山地震构造应力场	366
7.3.1 地质概况	366
7.3.2 样品采集和测定方法	367
7.3.3 流体包裹体迹面(FIP)分析	368
7.3.4 构造应力特征	369
7.3.5 形成的热力学条件	374
7.3.6 研究结果分析	377
7.3.7 主要结论	378
7.4 汶川地震断裂带中流体包裹体研究——以 WFSD-1 井为例	379
7.4.1 概述	379
7.4.2 样品采集和样品加工	380
7.4.3 显微镜观察	385
7.4.4 包裹体测温	390
7.4.5 包裹体形成时热力学参数的计算	391
7.4.6 不同时期动力学参数的测定	394
7.4.7 地震作用与流体活动	394
7.4.8 结论和讨论	396
7.5 测定三峡库区断裂中 FIP 预测水库诱发地震	397
7.5.1 概述	397
7.5.2 样品采集和岩石力学实验	398
7.5.3 断裂岩石形变分形测算及其应用	399
7.5.4 三峡库区断裂岩石形变的分形测算与地震危险性判定的模拟计算	410
7.5.5 结论	413
7.6 FIP 在地震岩体滑坡分析中的应用——以白鹤岭滑坡为例	413
7.6.1 导言	413
7.6.2 地质概况	414
7.6.3 分析方法	416
7.6.4 逐步回归分析结果	419
7.6.5 有限元方法模拟	420

7.6.6 结论	422
主要参考文献	422
第8章 现代地震前兆中流体包裹体特征和地震预报思路	426
8.1 地震前兆包裹体参数异常、定量判定方法及其地震预报思路	426
8.1.1 地震预报方法和前兆中包裹体参数异常预报地震原理	426
8.1.2 包裹体参数异常的定量判定方法	428
8.1.3 流体包裹体参数地震前兆异常信息提取	429
8.1.4 包裹体测定参数动态异常的基本特征	438
8.1.5 包裹体参数异常预报地震的思路	444
8.2 现代地震前兆中应力场变化	446
8.2.1 地下水动力学前兆展示的震前应力场基本特征	447
8.2.2 构造应力场与裂隙(脉体和 FIP)的关系	450
8.2.3 断层应力场的有限元模拟	451
8.2.4 地应力场地震预报	454
8.3 现代地震热动力学前兆	459
8.3.1 热异常与地震的关系	459
8.3.2 包裹体地热动态测定的技术思路	462
8.3.3 包裹体流体势测定在地震预报中的应用	463
8.3.4 地震活动性模拟	467
8.3.5 地震流体包裹体热动力学前兆存在问题	470
8.4 现代地震地球化学前兆	470
8.4.1 地震地球化学前兆产生的原因	470
8.4.2 影响水文地球化学前兆的主要因素	472
8.4.3 地球化学组分短临异常与短临预报的讨论	473
8.4.4 地震流体地球化学组分异常	475
8.4.5 地震地球化学前兆的几种成分特征	476
8.4.6 流体包裹体中 CO_2 、 CH_4 前兆异常机理的探讨	483
8.4.7 地震流体包裹体稳定同位素地球化学前兆预报	484
8.5 地震预报的进展、困难和前景	486
8.5.1 地震预报的现状进展	486
8.5.2 地震预报的面临的主要困难	486
8.5.3 地震预测的前景	488
主要参考文献	491

第 1 章 地震流体概述

1.1 地震概念

地震是一种自然现象，是一种内动力地质作用，它所产生的地震波能够造成地面的破坏，地震的过程很短暂，一瞬即逝。据统计，地球上每年发生的地震约有 500 万次，幸而绝大多数地震都比较轻微，甚至不为人们所感知，破坏性强烈的地震每年只有数次。由于地震发生在地壳深部，因此对它的观测难度较大。地震的成因目前尚未完全明确，但一般认为，由于地球不断旋转运动，特别是地球自转速度不均匀变化，会产生一种巨大的惯性推动力，推动地壳板块横向移动和旋扭。当这种惯性推动力不断积累、加强，在地壳构造比较脆弱的地方，超过地壳抗力和岩层强度，就会使地壳发生剧烈的破裂和错动。这时，由于岩石的破裂而引起了剧烈的震动，传到地面，就是我们感觉到的地震。

大量的观测事实证明，地震的发生与地质构造有密切关系。强震往往发生在地壳构造薄弱地域和某些活动构造断裂带上。因此，有人形象地把活动构造断裂带比作地震发生的“温床”。在活动构造断裂带上，尤其是断裂带的拐点、端点及交叉部位，是应力集中处，容易引起岩石破裂而发生强震。

1.1.1 有关地震的术语

(1) 震源：地下首先发生震动并释放能量的源地。对于地球来说，它相当于一个点。

(2) 震中：震源在地面上的垂直投影。

(3) 震源深度：从震源到震中的距离。震源深度不一，已记录到的最大震源深度为 720km(印度尼西亚)。

(4) 震中距：从震中到地震记录台站的距离。

(5) 等震线：地震烈度相等各点的连线。

(6) 震源距：从震源到地震台站的距离。

(7) 地震烈度：地震对地面影响和破坏的程度。它不仅与地震释放的能量大小有关，还与震源深度、建筑物质量、地基的牢固性、距离震中的远近等因素有关。目前我国采用 12 度地震烈度表。需要指出的是，同一次地震对不同地区造成的破坏不同，因而具有不同烈度。

(8) 地震震级：表示地震绝对强度的等级，由地震释放的能量所决定，释放

的能量越大,震级越高。每次地震只有一个震级,它不因客观环境而改变。

震级的计算公式是 $\log E = 11.8 + 1.5M$, 其中 E 为地震释放的能量, M 为震级。从表 1.1 可以看出,震级每相差一级,其能量相差约 32 倍。目前已知的最大震级为 8.9 级(智利)。

表 1.1 震级与能量关系(Киссин И Г, 1972)

M	E (尔格)	M	E (尔格)
1	2.0×10^{13}	6	6.3×10^{20}
2	6.3×10^{14}	7	2.0×10^{22}
3	2.0×10^{16}	8	6.3×10^{23}
4	6.3×10^{17}	8.5	3.6×10^{24}
5	2.0×10^{19}	8.9	1.4×10^{25}
		9	2.0×10^{25}

(9) 地震序列:每次地震往往不是只震动一次,而是连续震动多次,其中最大的一次震动叫主震,主震之前发生的震动叫前震,主震之后发生的震动叫余震。在一个地区,这种相继发生并在成因上有联系的一系列大小地震称为地震序列。地震序列又分成:①主震型——主震突出,它与最大的前震和余震的震级相差较大;②多震型——主震不突出,有若干个震级相差不大的地震发生;③单发型——前震和余震很少,甚至没有,只有一个孤立的主震。

1.1.2 地震的分类

地震可以从不同的角度进行分类(Shearer, 2008)。

1. 按震源深度分类

(1) 浅源地震——震源深度为 $0 \sim 70\text{km}$, 是地震的主体。

(2) 中源地震——震源深度为 $70 \sim 300\text{km}$ 。

(3) 深源地震——震源深度大于 300km 。

2. 按成因分类

根据引起地震的原因不同,可将地震分为人为地震与天然地震两大类型。人为地震是由于人为原因造成的地震,如人工爆破、矿山采空区崩塌、水库蓄水及地下核爆炸引起的地震,此类地震属另一研究范畴。本书的研究对象主要是天然地震。天然地震的成因多而复杂,主要分 4 类:构造地震、火山地震、陷落地震和陨石地震。

(1) 构造地震: 由于地下构造应力作用使地壳产生构造运动, 从而导致地下岩石破裂和错动引发的地震称为构造地震。有两种情况, 一种情况是某地点由于地应力长期不断地积累, 当达到并超过岩石的强度极限时, 在岩石最薄弱处产生破裂并发生位移而形成断裂。在岩体破裂、移动的瞬间急剧地释放出长期积累的能量, 以弹性波的形式引起地壳的震动, 产生地震。震后原受力岩体迅速形成新的应力平衡。第二种情况是已发生断裂的岩块因地应力作用而积累能量, 达到一定程度后, 原闭锁断裂两侧的岩体再一次突然错动, 释放能量而形成地震。二者有所不同, 第一种情况是伴随新断裂构造形成地震, 第二种情况是已有断裂在发展过程中的再次活动形成地震。在地震、地应力活动与断裂构造直接相关这一本质问题上, 二者完全一致。自然界的地震更多属于第二种情况。

构造地震大多发生在地壳深度范围以内, 特别是在 10~30km 深度段更为集中, 绝大多数浅源地震都是构造地震。构造地震数量多, 距地表近, 对地面的影响大, 有史以来巨大的破坏性地震都属于这种类型。

构造地震常常由于构造运动的作用力使岩石突然折断而产生。岩石受力后先发生弹性变形并储存能量, 当岩石的变形量超过岩石的强度时, 岩石就断裂, 蓄积的能量快速释放而引起震动, 即发生地震。构造地震数量最多, 约占地震总数的 90%, 破坏性也最大, 因此也是我们研究和预防的重点。

(2) 火山地震: 由火山活动引起的地震。火山活动时, 由于岩浆中气体的冲击或热力膨胀作用引起地震, 有时地震的发生直接伴随喷出过程。这类地震通常强度不大, 震源较浅, 影响范围较小。这类地震数量不多, 约占地震总数的 7%。主要见于现代火山分布地带。

(3) 陷落地震: 易溶岩石被地下水溶蚀后所形成的地下空洞经过不断扩大, 上覆岩石突然发生陷落所引起的地震。这类地震震源极浅, 影响范围很小, 只占地震总数的 3%, 主要见于石灰岩广泛分布的地区。此外, 山崩、地滑以及各种人工爆炸也可以产生类似的地震。

(4) 陨石地震: 陨石引起的地震。地球上平均每年发生 500 万次地震, 其中构造地震占 90% 以上, 火山地震只占 7%, 其他地震, 如塌陷、水库、地下核试验等引起的人工地震占 3% 左右。

本书主要研究的是构造地震, 特别是与活动断裂有关的地震流体及其捕获的包裹体。

1.1.3 地震的分布

1. 世界地震的分布

根据全球板块构造学说, 地壳被一些构造活动带分割为彼此相对运动的板

块, 板块当中有的大, 有的小。大的板块有六个, 它们是: 太平洋板块、亚欧板块、非洲板块、美洲板块、印度洋板块和南极洲板块。全球大部分地震发生在大板块的边界上, 一部分发生在板块内部的活动断裂上。

地球上有些地区地震微弱, 有些地区地震强烈而频繁, 地震显示出一定的带状分布规律。大多数地震集中在下列三个地震带(图 1.1)。

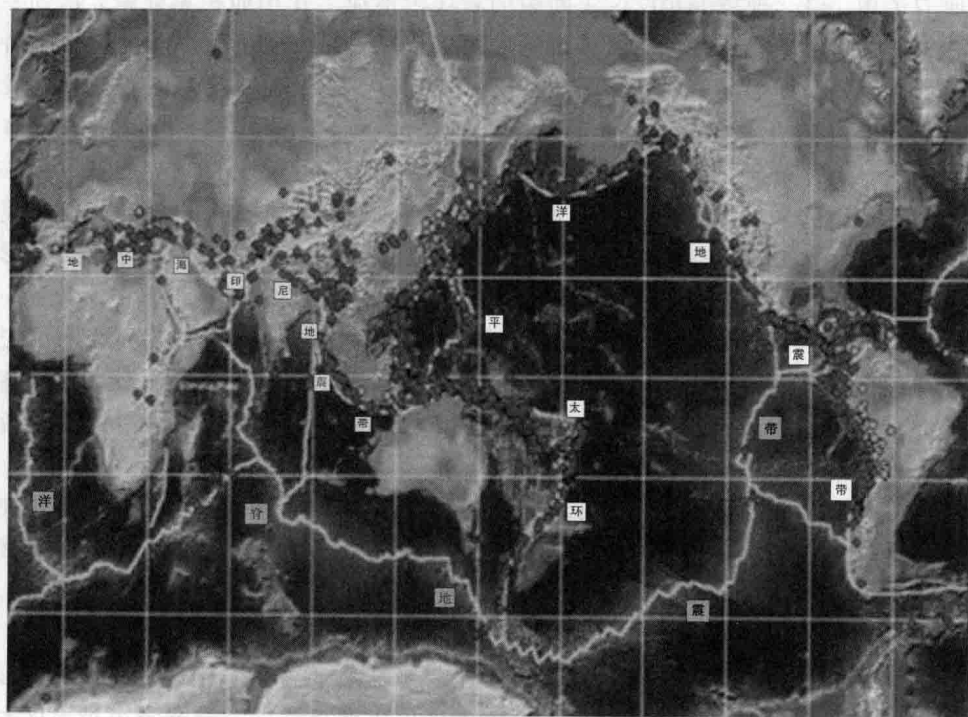


图 1.1 全球地震带分布图(Shearer, 2008)

据全球地震带互联网资料, 2013 年

(1) 环太平洋地震带。

环太平洋地震带分布于濒临太平洋的大陆边缘与岛屿。从南美西海岸安第斯山开始, 向南经南美洲南端、马尔维纳斯群岛(福克兰群岛)到南乔治亚岛; 向北经墨西哥、北美洲西岸、阿留申群岛、堪察加半岛、千岛群岛到日本群岛; 然后分成两支, 一支向东南经马里亚纳群岛、关岛到雅浦岛, 另一支向西南经琉球群岛、中国台湾、菲律宾到苏拉威西岛, 与地中海—印度尼西亚地震带会合后, 经所罗门群岛、新赫布里底群岛、斐济岛到新西兰。

环太平洋地震带基本位置和环太平洋火山带相同, 但影响范围较火山作用带稍宽, 连续成带性也更明显。这条地震带集中了世界上 80% 的地震, 包括大量的