

固体地球物理学

——地震学、地电学与地热学

金 旭 傅维洲 等编著



地质出版社

固体地球物理学

——地震学、地电学与地热学

金 旭 傅维洲 田 有 于 平 编著

地质出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书为《固体地球物理学》的下册,内容包括地震学、地电学和地热学;是一本以介绍基本理论为主,兼顾应用的基础教材。

本书可作为综合性大学和地质院校地球物理学专业本科生的教材,亦可供有关地质专业研究生及从事地质、地震和其他地球物理工作的科技人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

固体地球物理学:地震学、地电学与地热学/金旭
等编著. —北京:地质出版社, 2012. 5
ISBN 978-7-116-07567-2

I. ①固… II. ①金… III. ①固体地球物理学—高等
学校—教材 IV. ①P31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 228266 号

责任编辑:王春庆

责任校对:李 玫

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324514 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82324340

印 刷:北京纪元彩艺印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:11.5

字 数:280 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2012 年 5 月北京第 1 版

印 次:2012 年 5 月北京第 1 次印刷

审图号:GS (2011) 1928 号

定 价:20.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-07567-2

(如对本书有建议或意见, 敬请致电本社; 如本书有印装问题, 本社负责调换)

前 言

这套书名为《固体地球物理学》的编写与出版是吉林大学现行本科教育计划和“百门精品课”教材建设规划中的一部分。本书分上、下两册，此为下册，包括地震学、地电学和地热学三篇。上册则包括地球构造、重力学和地磁学三篇。

本教材是在金旭、傅维洲主编，由吉林大学出版社 2003 年出版的《固体地球物理学基础》的基础上，总结近 10 个年头的教学实践，并参考本学科国内外最新文献，博采众长，修编而成。

在教材编写过程中，笔者着意体现其科学性、先进性和系统性，并从以下几个方面力行：

首先，从地球物理学专业本科生实际出发，侧重基本概念、原理及方法等基础知识的介绍，使学生初步了解和掌握研究地球本体物理性质的基本理论和基本技能；

其次，在选材上，秉持深浅适中、恰如其分的原则，注意吸纳本领域研究取得的新成果，以提高学习和研究的起点；

再次，在内容结构方面，注意系统性，做到结构严谨、内容连贯、循序渐进，易于理解，便于自学；

最后，在叙述中，力求简明扼要、深入浅出、通俗易懂，力戒冗长的方法赘述和繁难的公式推导。

地震学的内容极其广博，限于篇幅和学时，本篇主要介绍天然地震的基础知识、地震波的走时方程、地震波与地球内部结构以及地震基本参数和地震机制等内容。

地电学主要介绍地球介质的电学性质，大地天然电磁场和在地壳、上地幔电性结构及区域地质构造研究中应用较多的电测深方法等内容。

地热学主要介绍传热的基本概念及岩石的热物理性质、地球内部热源与温度、大地热流密度以及大地热流分布及其规律。

鉴于地震波在研究地球内部结构中所起的重要作用，地震学内容在本书占有的篇幅略大些，建议教学中亦分配较多的课时。

本书编写时，选附了较多的插图。授课教师最好于重要的知识点和难点辅以动画、图片和视频等多媒体素材进行讲授，变抽象为具体，使复杂变简单，以增强教学效果和提高教学效率。

本套教材大致按 130 学时编写，分两学期讲授。在教学中，有些内容可酌情进行删减和补充。

本教材适于高等院校地球物理学专业的学生在修完诸如“勘探地球物理学”及“大地构造学”等先导课程之后使用。

本教材历时数载，几易其稿，终于面世。其编写分工是：第一篇中的第一章由杜江编写，第二章、第六章和本册前言由傅维洲编写，第三章和第四章由田有编写，第五章由于平编写；第二篇和第三篇由金旭编写。

地震学一篇的编写，得到了长春市地震速测速报中心的倾力支持与无私帮助，提供了不少弥足珍贵的资料和图件。

本书出版前，责任编辑对书稿进行了仔细审阅，认真批注，提出了许多颇有见地的修改意见。其对编审工作尽职尽责、一丝不苟的精神实令编者钦敬与感佩，不敢有丝毫疏忽和大意。

感谢所有为本书编写、修改、审定和出版付出辛勤劳动和给予帮助的同志们！

由于编写者水平有限，对于书中的错误和不足之处，欢迎诸位读者，特别是使用本书的教师和同学们提出批评指正。

作 者

2012 年 2 月 于长春

目 录

前 言

第一篇 地 震 学

第一章 地震的一般知识·····	(2)
第一节 地震学常用基本概念·····	(2)
第二节 天然地震的类型·····	(3)
一、地震的类型与成因·····	(3)
二、关于构造地震的动力来源·····	(5)
第三节 地震的地理分布·····	(6)
一、全球地震的分布·····	(6)
二、中国地震的分布·····	(7)
第二章 地震波及其走时方程·····	(9)
第一节 地震波的基础知识·····	(9)
一、地球介质·····	(9)
二、地震波的类型·····	(10)
三、界面对地震波的影响·····	(12)
第二节 近震地震波的走时方程·····	(14)
一、单层地壳模型·····	(14)
二、双层地壳模型·····	(16)
第三节 远震地震波的走时方程·····	(18)
一、球对称介质中的地震射线·····	(18)
二、本多夫定律·····	(21)
第三章 地震体波与地球内部结构·····	(22)
第一节 速度分布对地震射线与走时曲线的影响·····	(22)
一、射线的曲率·····	(22)
二、不同的速度分布与射线形状的关系·····	(23)
三、速度异常区及间断面对地震射线和走时曲线的影响·····	(25)

第二节 地球内部圈层与远震地震波	(27)
一、地球内部的分层	(27)
二、远震地震波类型	(31)
第三节 用地震体波研究地壳构造	(35)
一、利用 PS_M 震相	(36)
二、利用 SP' 震相	(37)
第四节 地球内部地震波速度的反演	(38)
一、古登堡 (Gutenberg) 方法	(38)
二、赫格洛兹—维歇特 (Herglotz—Wiechert) 方法	(39)
第五节 地震波速度与其他地球物理参数的关系	(42)
第四章 地震面波与地球自由振荡	(47)
第一节 地震面波	(47)
一、面波的类型	(47)
二、面波的频散	(51)
第二节 地球的自由振荡	(60)
一、地球自由振荡的概念	(60)
二、地球自由振荡的图像	(61)
三、地球自由振荡的应用	(62)
第三节 地球介质的 Q 值	(64)
一、 Q 值的意义	(64)
二、 Q 值的测量和结果	(65)
第五章 地震基本参数测定原理	(67)
第一节 发震时刻的测定	(67)
第二节 震中位置的测定	(68)
一、近震震中位置的测定	(68)
二、远震震中位置的测定	(70)
第三节 震级的测定	(72)
一、近震震级的测定	(72)
二、远震震级的测定	(73)
三、矩震级标度	(74)
第四节 地震时空参数计算机定位原理简介	(74)
第六章 震源机制	(76)
第一节 震源力学模型	(76)

第二节 P 波初动解法	(78)
一、基本概念	(78)
二、在吴尔夫网上求 P 波初动解	(80)
第三节 解析计算 P 波初动解	(82)
第四节 震源机制解分析	(83)
一、由震源机制解推测震源断层错动类型	(83)
二、震源区的应力状态	(83)
三、一些典型地区的震源机制	(85)

第二篇 地 电 学

第七章 地球介质的电学性质	(90)
第一节 地球表层岩(矿)石的电阻率	(90)
一、矿物的电阻率	(90)
二、常见岩石的电阻率	(90)
三、影响地球表层岩石电阻率的因素	(91)
第二节 地球深部岩石的电阻率	(91)
一、高温高压下岩石的电阻率	(91)
二、地壳和上地幔低阻层	(92)
第八章 地球天然电磁场	(94)
第一节 天然电磁场的成因	(94)
第二节 地球变化电磁场的分类	(95)
第三节 天然电磁场的一般特征	(96)
一、天然电磁场的形态特征	(96)
二、天然电磁场的时空特征	(99)
三、天然电磁场的频谱特征	(100)
四、天然电磁场的极化特征	(101)
第九章 利用天然电磁场的大地电磁测深法	(102)
第一节 均匀交变电磁场在导电介质中的传播	(102)
一、电磁场的传播方程	(102)
二、穿透深度	(102)
三、波阻抗	(104)
四、视电阻率	(104)

第二节 水平层状介质的视电阻率表达式·····	(105)
一、水平层状介质的波阻抗·····	(105)
二、视电阻率表达式·····	(107)
三、等值原理·····	(108)
第三节 二维介质条件下的波阻抗·····	(109)
一、标量阻抗·····	(109)
二、各向异性介质中的电场和电流场·····	(109)
三、二维介质中的张量阻抗·····	(111)
第四节 用有限元法求解二维介质模型上的大地电磁场·····	(113)
一、一维场的有限元法·····	(113)
二、大地电磁场的二维有限元法·····	(117)
第五节 大地电磁测深资料的处理和解释·····	(123)
一、大地电磁测深资料的处理·····	(123)
二、大地电磁测深资料的解释·····	(132)

第三篇 地 热 学

第十章 传热的基本概念及岩石的热物理性质·····	(136)
第一节 传热的基本概念·····	(136)
一、温度·····	(136)
二、热量·····	(136)
三、热的传递方式·····	(136)
第二节 岩石的热物理性质·····	(141)
一、热导率·····	(141)
二、比热容及热容·····	(142)
三、热扩散率·····	(142)
第十一章 地球内部热源和温度·····	(143)
第一节 地球内部热源·····	(143)
一、地球内部的主要热源——放射性热源·····	(143)
二、重力分异热·····	(144)
三、潮汐摩擦热·····	(144)
四、化学反应热·····	(144)

第二节 地球内部温度·····	(145)
一、地壳深部温度估算·····	(145)
二、地球内部的温度分布·····	(146)
第十二章 大地热流密度·····	(149)
第一节 大地热流密度的基本概念及测定方法·····	(149)
一、大地热流密度的基本概念·····	(149)
二、大地热流密度的测定方法·····	(149)
第二节 大地热流密度测量的影响因素·····	(151)
一、地表温度周期性变化的影响·····	(151)
二、地下水活动的影响·····	(152)
三、地形起伏的影响·····	(153)
第十三章 大地热流场分布特点及其规律·····	(155)
第一节 全球大地热流场分布特点及其规律·····	(155)
一、陆、海平均热流密度几近相等·····	(155)
二、大地热流场分布与现代地壳运动·····	(156)
三、大地热流场分布与构造活动性·····	(157)
四、大地热流与岩石生热率的关系·····	(158)
第二节 中国地热场分布特征及规律·····	(160)
一、我国大地热流场分布特征·····	(160)
二、我国温泉分布与大地构造·····	(168)
参考文献·····	(172)

第一篇 地震学

地震学是研究固体地球的震动及其有关现象的一门科学，是地球物理学的重要分支。同许多其他科学一样，地震学的发展已远超出了原来的范围。现今地震学研究分为天然地震和人工地震两个方面：前者侧重研究地震灾害的预测和预防；后者则是借助人工激发产生的地震波研究地下介质及构造，寻找油气等矿产资源。此外，地震学在研究地球内部结构、工程基础地质评价及监测核爆炸等方面也有重要应用。概括起来，地震学的研究内容分为：地震灾害及其预测预防、地震物理、地震应用、地震观测和数据处理。

我国是世界上地震记载历史最悠久的国家之一，也是最早发明和使用地震仪观测地震的国家。

人工地震是在天然地震观测基础上发展起来的，产生于20世纪20年代初。60年代以后，由于地震波理论、观测技术、数字处理技术和计算机的飞速进步与迅猛发展，人工地震在油气勘探中获得了突破性进展。反过来，地震勘探的先进技术和成功经验也推动了天然地震研究的深入。今天，地震学已成为固体地球物理学中发展速度最快、研究程度最高、应用领域最广的一个分支。

第一章 地震的一般知识

第一节 地震学常用基本概念

为便于本篇内容的学习，下面先简要介绍一下天然地震研究中常用的几个基本概念。

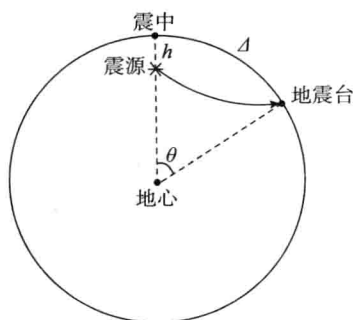


图 1-1 地震（空间）参数示意图

震源：地震时，地球内部最先开始震动的地方称为震源。理论上将震源看成一个点（图 1-1），而实际上是具有一定空间大小的震源体。

震中：震源在地面上的投影称为震中，以经度和纬度表示。震中附近的地区称震中区。遭受地震影响和破坏最严重的地区，称极震区。

震中距：地面上任何一个地方到震中的距离称为震中距，常以 Δ 表示： $\Delta < 1000\text{km}$ 的地震称为近震； $\Delta > 1000\text{km}$ 的地震称为远震。远震情况下，震中距一般用 Δ 所对地心张角 θ 表示（单位是度），如图 1-1 所示。

震源深度：将震源看做一个点，则震源到地面的垂直距离称震源深度，如图 1-1 中的 h 。按震源深度的不同，可分为浅源地震、中源地震和深源地震。

发震时刻：地震发生的时间称为发震时刻，即震源断层开始破裂的时间。实际上，发震也并非在某一瞬间，而是有一个过程。

地震震级：反映地震本身大小的等级划分称震级，其与地震释放的能量多少有关。释放的能量越多，震级就越大。震级是根据地震仪记录的地震波振幅计算出来的，通常用字母 M 表示。

$M < 3$ 级的称为弱震； $3 \leq M < 4.5$ 级的称为有感地震； $4.5 \leq M < 6$ 级的称为中强地震； $M \geq 6$ 级的称为强震，其中： $M \geq 7$ 级的称为大地震； $M \geq 8$ 级的称为特大地震。

一般情况下，小于 3 级的地震，人感觉不到；3 级以上才有感觉，故称为有感地震；5 级以上便能造成破坏，统称为破坏性地震或强烈地震。

各级地震通过地震波释放的能量参见表 1-1。

表 1-1 各级地震的能量

震 级	能 量/J	震 级	能 量/J
0	6.3×10^4	5	2.0×10^{12}
1	2.0×10^6	6	6.3×10^{13}
2	6.3×10^7	7	2.0×10^{15}
3	2.0×10^9	8	6.3×10^{16}
4	6.3×10^{10}	9	2.0×10^{18}

震级每差 0.1 级，能量约差 1.4 倍；差 1.0 级时，能量相差 $(1.4)^{10}$ 倍（约为 30 倍）。

地震烈度：地面及建筑物遭受地震影响和破坏的程度称为烈度。烈度是按一定宏观标准确定的，影响地震烈度大小的因素有地震震级、震源深度、震中距离以及地质构造条件等。烈度评定工作的最终成果集中反映在地震烈度分布图上，我国和世界上大多数国家采用的是十二度烈度表。

第二节 天然地震的类型

天然地震是由于自然的原因而产生的。自然界引起地震的因素颇多，根据成因的不同，归纳起来大致可分为构造地震、火山地震、塌陷地震和诱发地震四种类型。

一、地震的类型与成因

1. 构造地震

解释构造地震成因的假说最重要的有三个。

(1) **断层说** 地下局部岩层在构造应力作用下变形，当积累的应力超过其强度极限时，岩层快速破裂和错动，释放出所积累的能量，其中一小部分以弹性波的形式传播到地面就产生了地震。另外，原已胶结在一起的旧有断裂受应力作用，两侧岩体再次迅速错动是引发构造地震的另一种情况。能量的来源是原来岩石中所积累的位能——应变能。

由于断裂的产生和重新活动引发地震的解释——“断层说”（图 1-2），是有大量科学依据的。“断层说”能较好地解释浅源地震，但对解释中、深源地震等存在一些不足，因此有学者又相继提出了“岩浆说”和“相变说”等。

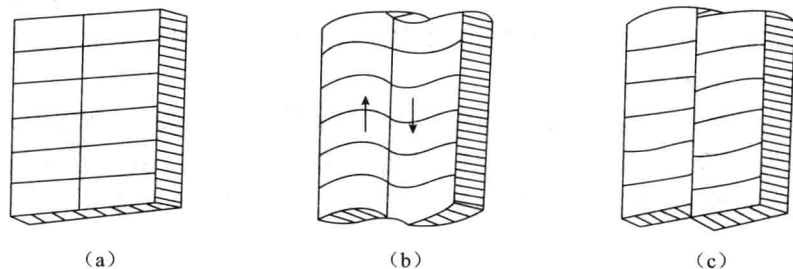


图 1-2 构造地震成因——“断层说”图解

(a) 应变前的岩层；(b) 受应力作用发生形变；(c) 应力超过弹性限度，岩层破裂错动

(2) **岩浆说** 地下岩石由于条件的改变部分融为岩浆，使体积膨胀，挤压围岩并导致其破裂产生地震。这种成因其实与岩石的破裂也是分不开的，不过能量的来源主要是岩浆的化学能、热能和动能。

(3) **相变说** 地下物质在一定的温度和压力下，可以从一种结晶状态突然转变为另一种结晶状态，因而使体积骤然发生变化，这称为相变。如果相当大的区域发生了相变，则所造成的体积变化亦是可观的，因而导致了地震。能量的来源是矿物的结晶能。

观测表明，在活火山地区不能排除岩浆冲击的影响，但这种地震是局部的，震级也不大。对浅源地震来说，相变的物理条件似乎还不够，但对深源地震是可能的。

构造地震的数量最多，约占地震总数的 90%。造成巨大灾害的主要是浅源构造地震，因而是人们关注和研究的主要对象。

2. 火山地震

火山地震是由于火山活动时岩浆的冲击或热应力作用而引起的，有时地震的发生直接与火山喷发过程有关。在日本、印度尼西亚及南美等地的一些大火山带，一般都能观测到火山地震，但在我国很少见，云南西部腾冲地区的一些地震可能与火山活动有关。

火山地震约占地震总数的 7%，此类地震的震源均较浅，一般强度也不大，波及的范围较小，多局限于火山附近数十千米范围内。

火山地区的地震并不都与火山活动有关，但构造地震对火山喷发也起一定的激发作用，例如 1960 年 5 月 21 日的智利大地震就引起了火山喷发。在这种情况下，火山活动就成为地震发生的后果。

3. 塌陷地震

这类地震主要是受重力作用引起的，如洞穴崩塌和地层陷落等。在石灰岩广泛分布的地区，由于石灰岩易被地下水溶蚀，时间长久便形成大的溶洞或地下暗河。当空穴顶部结构承受不住上覆地层的重压时就会塌落下来，引起地震。一些矿区废旧矿井与巷道顶板的突然坍塌，也会引起轻微震动。

此外，诸如岩崩、滑坡以及陨石等巨大质量的自然物体突然撞击地面，均能引起地面震动。

塌陷地震不仅能量小，次数也很少，仅占地震总数的 3%。在构造地震发生时也会有地层陷落与崩塌现象产生，引起的地面震动显然是构造地震的结果。

4. 诱发地震

这类地震是指地下构造应力原处于相对平衡的地区，当受到某一外力作用后，破坏了其相对稳定的状态，发生构造运动引起的地震。水库蓄水、深井注水或人工爆破时所引起地震即属此类，但为数甚少。

诱发地震中的水库地震，因其较为常见且有时能造成一定破坏，所以引人关注。世界上有不少国家发生过水库地震，记录到的最大震级是 6.5 级。我国广东新丰江水库自 1959 年 10 月建成蓄水后就经常发生地震，其中最大一次是 1962 年 3 月 19 日的 6.1 级地震。

与深井注水有关的地震活动最先发现于美国科罗拉多丹佛地区的一口深井（3674m）附近。当注水量加大时地震随之增加，注水量减少时地震也相应减弱。分析认为，向深井注水可能使岩石孔隙压力增大，降低了岩石的抗剪强度，导致破裂面滑动。国外一些油田由于注水采油也发生过小震活动。

较大型的地下核爆炸能诱发地震这一事实，在美国内华达州原子能实验场早已被人们所注意。最突出的例子是 1968 年 12 月的一次百万吨级的试验（相当于 6.3 级地震）曾引起数千次余震。爆炸三周后仍有余震，震中最远距爆炸中心 13km，震源最深达 7km。20 世纪 60 年代我国渡口矿山大爆破后也在该地区引发了 3.0~3.5 级小震序列。

上述水库蓄水、深井注水、地下核爆炸等人类活动诱发的地震，由于多是在工程实施一段时间后才出现的，且有些震中并非位于施工中心区，这显然与施工场地的地质构造条件有关，或该地区原本就已孕育地震，人类活动只不过起触发作用。

二、关于构造地震的动力来源

通常所说的地震，多指构造地震。引发地震的动力来源问题，实际上也是岩石圈运动的原动力从何而来的问题，这是地球科学的根本问题之一。对此有多种解释，且长期存在争议。其中地幔热物质对流说（简称地幔对流说）和地球自转角速度变化说为地学界多数人士所认同。

1. 地幔对流说

早在 20 世纪 30 年代，为解释大陆漂移假说的力源问题，霍姆斯（A. Holmes）就提出了地幔对流的假说。他认为大陆漂移的原动力就是地幔的热对流：当地幔内的流体上升到巨大的大陆中央并向两侧散开时，大陆就会从这里裂开，海洋也就借此扩张了。

根据地幔对流的观点，上地幔软流圈中的物质呈塑性状态，在温度和密度不均匀的情况下，就会发生缓慢流动。地幔下部的物质受高温地核加热，温度升高，密度减小，质量变轻。上升后，在岩石层底部水平运动，热量逐渐散失，冷却后变重下沉，由此造成了地幔物质的循环运动。热物质上升后沿水平方向移动时，必然会拖曳上部刚性岩石层随之一同运动。这样，一些地区的地球表面就会发生挤压或拉张，形成褶皱或断裂，这就是地震发生的动力之一。

地幔内部温度升高的原因，一是放射性元素蜕变产生的巨大热能；二是重力分异作用，地幔中重的物质向地心集中，地核生长，释放出来的重力能转化为热能。

由于地幔对流作用在时间和空间上是不连续的，从而引起构造运动活跃期与平静期的间隔出现，相应地也导致地震活动具有这一规律。

2. 地球自转角速度变化说

用地球自转角速度变化的观点解释地壳运动的动力也得到地学界不少学者的支持，特别是李四光创立的地质力学，认为地壳中的褶皱、断裂等各种构造形迹均是地应力作用的结果。各种构造体系彼此不是孤立的，而有着内在的联系，并得出构造运动以水平运动为主，垂直运动是水平运动派生的结论。

地球自转时产生巨大的离心力，离心力的垂直分力与地球重力相抵消，其水平分力则驱使南、北半球高纬度地区的表层物质向赤道方向运移，所以地球呈椭球形状。

当地球自转角速度增大时，物质向赤道方向运移；自转角速度减小时，物质向两极方向运移。致使产生南北向的构造力，形成纬向构造。

另外，地球自转角速度变化的同时，还产生一种与自转方向相反的惯性力，就像汽车变速时乘客会前仰后合一样，引起东西向的水平挤压或拉张，形成经向构造。

至于地球自转角速度缘何变化，个中原因复杂，影响因素颇多，但不外乎地球内部和外部两个方面。属于前者的，像由于地球内部物质运动引起质量分布的变化，必然使自转角速度改变。重物质向地心相对集中时，会使旋转速度加快。反之，速度则会减慢。另外，一次强烈的地震或大量的岩浆喷发都能引起地球自转角速度的改变。由外界影响引起地球自转角速度改变的有日、月等天体对地球的引力和大气的流动等。

应当指出，上述用以解释地震动力来源的两种学说亦不是完美无缺的，仍有一些不能自圆其说之处。

第三节 地震的地理分布

地震在全球的分布是不均匀的,但也不是随机的,它受一定的地质构造条件控制,或相对密集于某些地区,或沿一些特定条带分布。

一、全球地震的分布

全球性的地震活动带有三个:环太平洋地震带、地中海-南亚地震带和海岭地震带。

1. 环太平洋地震带

环太平洋地震带的分布,若由太平洋北端的阿留申群岛开始,一支向东经美国阿拉斯加,再转向东南沿北、南美洲西海岸,最后从南美洲南端经福克兰和南乔治亚岛而止于南安的列斯环。另一支则向西经堪察加半岛,再转向西南沿千岛群岛至日本,然后又分成两支:向东南的分支经马里亚纳群岛至伊里安岛;向西南的分支经琉球群岛、我国台湾省、菲律宾、印度尼西亚至伊里安岛。两支在此汇合后经所罗门、汤加至新西兰。

环太平洋地震带是地球上地震活动最强烈的地带。全世界约80%的浅源地震,90%的中源地震和几乎所有的深源地震都集中在这里。能量约占全球地震释放能量的80%,但其面积仅占世界地震区总面积的一半。

2. 地中海-南亚地震带

地中海-南亚地震带主要分布于欧、亚大陆,所以又称欧亚地震带。该带西起大西洋亚速尔群岛,经地中海北岸、伊朗、帕米尔高原和喜马拉雅地区,转向南经中南半岛西部至印度尼西亚再转向东,与环太平洋地震带相接,总长约15000km。该地震带各段宽度相差很大,并经常出现分叉,如在帕米尔沿北东方向,经我国新疆、蒙古至中亚的贝加尔地震带就是其中规模较大的一个分支。大陆内部的地震比较分散,这可能表明大陆内部地震的成因与海洋地震的成因不同。

地中海-南亚地震带的地震活动性仅次于环太平洋地震带,释放能量占全球地震释放能量的15%。由于该地震带以浅源地震为主,且大多分布于大陆上,所以常造成很大的灾害。

3. 海岭地震带

在太平洋东南部,大西洋、印度洋和北冰洋的海底山脉,即海岭一带,也有一定数量的地震呈带状分布。海岭地震带的宽度很窄,一般只有数十千米。海岭地震的次数虽然不少,但强度都不大,且皆为浅震。

除上述三大地震带外,还有一些规模相对较小的大陆裂谷系地震带,它们多由一些区域性大断裂组成,有时表现为地堑体系。大陆上几个主要的地堑体系在地貌上都反映为深水湖,如东非地堑、红海地堑、亚丁湾及死海、贝加尔湖等。此外欧洲莱茵地堑、太平洋夏威夷岛也属于这种类型的地震带,带内地震均为震源在地壳内的浅源地震。在地球物理方面都是以负布格重力异常(大约 -50mGal ^①)和热流值增高为其特征。地震活动性较高的地带,表明断裂仍在活动,而且还多与地壳扩张有关。

① $1\text{mGal}=10^{-5}\text{m/s}^2$ 。

二、中国地震的分布

中国是世界上地震较多的国家之一，这主要与其所处的地球动力学环境有关。中国位于欧亚板块东南部，受印度洋板块、欧亚板块、太平洋板块和菲律宾板块夹持。同时，在其东面有环太平洋地震带的西太平洋地震带通过，西部和西南边界是地中海-南亚地震带经过的地区。由此看来，我国处于世界上两个最活动的地震带之间，有些地区本身就是这两个地震带的组成部分，并且广大地区都受它们的影响。因而我国的地震活动不仅频繁而且强烈，如图 1-3 所示。根据地震活动的强度和频度，大致可分以下三种情况：

(1) **地震活动强烈的地区** 包括台湾、西藏、新疆、甘肃、青海、云南、宁夏、四川西部等省区。这些地区除少数地方历史记载较早以外，大部分地区由于人烟稀少，只从 1900 年后才有记录。近百年来，中强地震一再发生，在强度和频度方面已大大超过其他地区，是我国地震活动最显著的地区，占全国地震总数的 80%。

(2) **地震活动中等的地区** 地震震级可达 7~8 级，但频度较低。属于这种情况的有河北、山西、陕西关中地区、山东、辽宁南部、吉林延吉地区、安徽中部、福建—广东沿海地区及广西等省区。占全国地震的 15%。

(3) **地震活动较弱的地区** 仅偶尔发生破坏性地震，最大震级只有 6 级左右，强震间隔时间也较长，一般都在百年以上。属于这类的省份和地区有江苏、浙江、江西、湖南、湖北、河南、贵州、四川东部、黑龙江、吉林及内蒙古的大部分。占全国地震的 5% 左右。

应当指出，上述地震活动性分区是按我国行政区划考虑的，但地震的分布是受地质构造控制，集中在一些特定的区域或带。因此，即使地震活动强烈地区的地震也不是均匀分布，有的地段相对集中，有的地方则很零散。

总的来说，中国西部地区的地震活动性比东部强。西部地震主要沿强烈隆起的青藏高原周边、横断山脉、天山南北麓、祁连山一带。东部地震则主要发生在强烈凹陷下沉的平原或断陷盆地，以及近期活动的大断裂带附近，如汾渭地堑、河北平原、郯城-庐江大断裂带等。如图 1-3 所示。

我国境内发生的地震，绝大部分为震源在地壳中的浅源地震。中源地震分布于三处：一处是台湾东部沿海，如基隆东北、宜兰及花莲以东的海里；另一处是西藏雅鲁藏布江以南的江孜、错那等地区；再一处是新疆西南部的塔尔库尔干、麻扎一带。深源地震仅分布于吉林省和黑龙江省东部交界处的安图、珲春、穆棱、东宁和牡丹江一带，震源深度多在 400~600km 之间。

根据地震空间分布规律的总结，地震活动带大多与不同地壳块体的接合带相吻合。按其接触关系的不同，分为以下几种类型：

(1) **不同性质的地壳互相衔接地带** 太平洋的周边属于这种类型，太平洋的大洋型地壳分别与亚洲、大洋洲、美洲及南极洲等不同的大陆型地壳相接，形成一个规模巨大的地壳破裂带。由于不同性质地壳块体间的互相运动，造成在这个破裂带能量易于聚集和释放的条件。