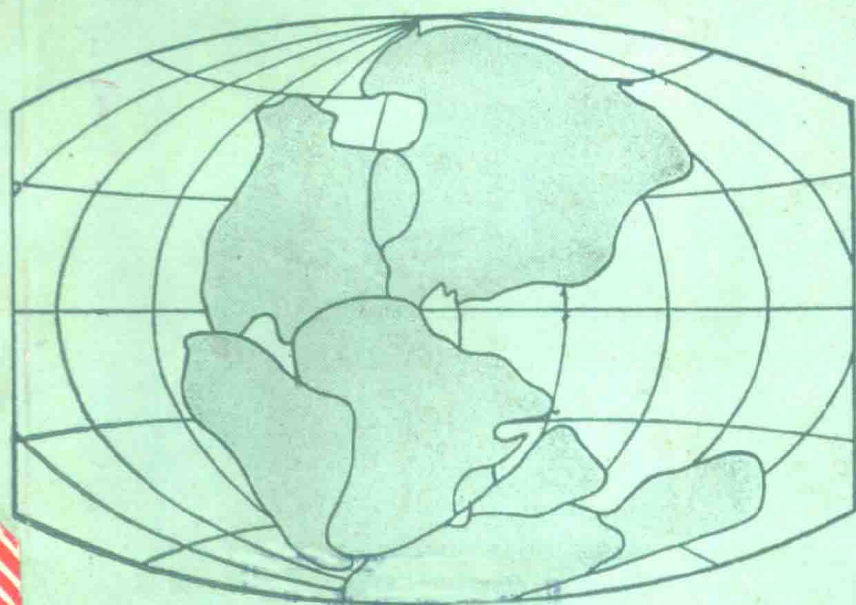


地质学研究中的
地球物理方法



地质出版社

474354

地质学研究中的 地球物理方法



地质出版社

高等学校教学参考书

地质学研究中的地球物理方法

〔丹麦〕 P.V.莎玛 著

王恕铭 丁绪荣 苏子栋 等译

苏子栋 校

地质出版社

GEOPHYSICAL METHODS IN GEOLOGY

P. V. SHARMA

Elsevier NEW YORK 1978.

高等学校教学参考书 地质学研究中的地球物理方法

〔丹麦〕 P.V. 莎玛著

王恕铭 丁绪荣 苏子栋 等译

苏子栋 校

责任编辑：林清溪

地质矿产部教材编辑室编辑

地质出版社出版

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店北京发行所发行·全国新华书店经售

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：9⁵/₈ 字数：250,000

1983年5月北京第一版·1983年5月北京第一次印刷

印数：1—3,590册 · 定价：1.30元

统一书号：15038·教158

译 者 的 话

现在正处于地球科学大发展的时代，而在新地球观的形成过程中地球物理方法起了很大的促进作用。于是地质院校（系）纷纷提出要求为地质系的学生开设与此有关的地球物理课，即从大陆漂移、海底扩张、板块构造的角度来介绍地球物理方法。在我国目前尚未出版相应教材之时，普通物探编委会选中了这本书，因为它既不同于我国已有的各种普通物探教材，也不同于纯地球物理学教程；而是介于它们之间。其重点放在海岸边缘、洋脊、深海沟、古地磁、地磁倒转、地热流、地震构造和板块构造等问题的地球物理研究上。以上特点亦适合于我国目前教育改革中理、工科要互相渗透的要求。本书叙述简明扼要，通俗易懂，深入浅出，取材广泛且均具有代表性。可以做为地质系的地球物理教材，亦可供物探系的学生参考。

参加本书翻译工作的同志有：成都地质学院物探系丁绪荣（第三章重力法，第六章放射性法及第七章地热法），武汉地质学院北京研究生部物探方法研究室苏子栋（第二章地震法及第五章地电阻率法）王恕铭（第四章磁法及第八章应用于全球构造的地球物理学），地质出版社教材室林清溪（第一章地球物理学及其方法的范围以及前言）。全书由王恕铭同志汇总并作部分校对，由苏子栋同志进行总校。地质出版社绘图室韩京平同志承担了图件绘制及植字工作。

由于我们外语水平有限，对书中所介绍全球构造的有关问题也较生疏，时间又较急迫，错误难免，欢迎读者批评指正

译 者

一九八二年九月

原 版 前 言

本书是1976年我（指作者——译者注）在哥本哈根大学开设的“地质学研究中应用的地球物理方法”课程的基础上发展而来的。该课程的目的是给地质和地球物理系的大学生简明而相当全面地介绍地球物理方法，使他们能从中找到特别感兴趣的课题以作进一步的专门学习。

学习地球科学的学生对固体地球物理的广泛领域具有兴趣，固体地球物理学包括的各种方法将有助于研究构造、对比及地质年代等问题。而目前没有一本合适的教材可供使用。在“应用”（勘探）地球物理方面的简明教程（例如 *Dobrin*, 1960; *Griffiths and King*, 1965; *Parasnis*, 1972, 1973;）多着重于与石油及矿产勘探或土木工程需要所进行的浅层构造勘查等有关方面的问题。另外，近代“纯”地球物理学的所有英文教科书（如 *Stacey*, 1969; *Jeffreys*, 1970; *Bott*, 1971; *Garland*, 1971）都具有很先进的水平，但这些书的重点又都放在地球内部的物理学上。由于目前缺乏一本广泛应用于地质学研究中的地球物理方法简明教程，于是导致了本书的编写。

这本书主要为地质和物理系两部份学生学习服务我是深感其难的，为解决这一难题就要求开设尽可能适合于这两部份学生需要一个中间课程。使用本教材的学生要求他们熟悉这两门学科的术语。即为了能理解本书所叙述的内容需要具备两学期（一年）地质学和二年大学物理的基础知识。考虑到在一般的情况下，学地质学生对高等数学是不熟悉的，为此本书尽量少用高等数学，一般都不做公式的推导，请读者对这些论述给予信任。我相信这样的安排并不会严重影响本书的价值，因为对于公式的推导和某些细节有兴趣的读者能在所列出的参考文献中找到。根本的

观点是对于地球现象的理解，物理概念比数学推导更重要。

所谓全面并不是指对每一种地球物理方法的重要方面都进行广泛的讨论。因其领域太广，课题的选择受个人兴趣的左右而有所侧重是难于避免的，本书相对着重于近十年来其重要性已大大增长了的那些题目上，这十年被许多人称为地球科学“革命”的十年。这些题目包括对海岸边缘、洋脊和海沟、古地磁、地磁倒转、热流、地震构造与板块构造等的地球物理研究。与此同时，也讨论了勘探地球物理的一些问题，因为理论研究和勘探测量之间有许多方面的联系。主要的省略有电磁法、地震仪及其组合以及像地震预报与人工释能等某些近代课题，或许这样做是不无遗憾的，但如果把它们包括进去，内容可能会失去控制，而根据一些考虑，本书的篇幅应当有所限制。

在地球物理方法及其应用方面，学生们的兴趣决不可能一致，为此，我在安排篇章时，考虑到可使读者不必通读全书而找到自己特别感兴趣的那些部分。因此书中地震、重力、磁力、电阻率、放射性以及地热等方法的各章都可以单独学习。但是最后一章涉及全球构造理论，如果不读前面诸章可能不容易理解。

本书采用了常用的国际单位制 (SI) (SI制是合理化 MKSA 单位制的扩充)，但在有些情况下，不用 SI 制而还使用某些更广泛应用的所谓“实用制”，例如：密度采用(克/立方厘米) (g/cm^3)；重力采用毫伽 (mg1)；地震采用了里氏等级；海底扩张率采用了(厘米/年)。为了避免重新绘制，在从其它文献引入的一些图件上仍保留了原图件上的单位，但在正文中我在图注中给出转换为 SI 制单位的说明。地球物理学常用单位的换算表作为一个附录给出。

在从日益增加的大量文献中取材时，力图使本书大致能保持最新的水平，但必须承认最近期文献的选择只是考虑到英文读者。

在编写本教材过程中，得到了许多朋友和同事多方面的帮助，特在此对他们表示感谢，而特别感谢在不同阶段对原稿的不同部分提出意见的下列同事：R. N. Athavale, M. Bith, H. Berckhemer, I. Lehmann, D. S. Parasins 和 T. C. R. Pulvertaft。

许多作者和出版者允许本书使用他们的资料和图件，对他们所给予的良好合作也深表谢意。

P. V. Sharma, 1974

哥本哈根。

目 录

原版前言	
第一章 地球物理学及地球物理方法的范围	 1
第二章 地震法	 5
引言	 5
地震波传播的基本规律	 6
弹性常量 (6) 弹性波 (8) 波的反射和透射 (11) 岩石中的地震波速度 (14)	
地震学与地球的结构	 16
天然地震波和地震记录 (16) 地球的内部分层 (18) 低速层 (19)	
地球内部的密度和其它参量 (21)	
地震活动性和地震构造学	 23
全球地震活动性 (23) 斯堪的那维亚的地震活动性 (26) 地震机制 (27) 断裂力学和地震构造学 (29)	
地震勘探方法	 32
地震波的产生、检拾和记录 (33) 反射波法 (35) 折射波法 (45)	
地壳地震学	 56
关于地壳的现代观点 (56) 大陆地壳的结构 (57) 海洋地壳的结构 (60) 面波在地壳研究中的用途 (62)	
第三章 重力法	 66
引言	 66
基本原理	 67
牛顿定律 (67) 重力加速度 (67) 地球的质量和密度 (68)	
重力位 (69) 标准扁球体和大地水准面 (69) 岩石密度 (71)	
简单物质形体的重力效应	 74
重力的测量方法和资料整理	 79

绝对测量(79) 相对测量(80) 重力仪(80) 野外工作(83)	
重力资料的整理(84) “自由空气”异常和“布格”异常(86)	
密度的野外测定法(87)	
地壳均衡和地壳厚度	89
地壳均衡的概念(89)由重力测量检验地壳均衡(91) 补偿深	
度与莫氏界面(91) 自然界的地壳均衡实验(94) 均衡的恢	
复和地幔的粘度(96) 未补偿物质的范围(97)	
重力资料的分析和解释	101
重力解释的多解性(101)异常的划分(103)场的解析延拓(104)	
深度和质量的估计(105) 模型解释法(106)在解释中利用计算	
工具(109)	
重力异常与地质构造	112
花岗岩体构造与盐构造(113)裂谷和沉积盆地(115) 海岸边缘	
的构造, 洋脊和海沟(116) 区域地质和大地构造(120)	
第四章 磁法	123
引言	123
磁学和磁性矿物物理学	124
磁力线(124)磁场(124) 磁化强度(127) 偶极场(128)磁化率	
和导磁率(129) 抗磁性、顺磁性和铁磁性(130)磁滞迴线(132)	
常见磁性矿物(133)	
地球的磁场	136
地磁要素和地磁极(136) 非偶极场(139) 日变(140) 长期变	
化(140) 主要磁场的起源(143)	
岩石磁化	144
感应磁化强度和体磁化率(145) 磁各向异性和岩石组构(148)	
岩石的剩余磁化强度(150) 岩石的科尼斯贝格比(154)	
大陆和海洋的磁性特征	155
磁法测量和解释方法	158
陆地和海洋上的磁测(159)	
磁测资料的解释	161
定性解释(162)用模型做定量解释(162)从磁测剖面估算深度	
(166) 计算机处理的解释方法(167)	

地质构造的磁法填图	168
沉积覆盖下的基底填图(168) 侵入岩体和喷出岩体填图(170)	
区域地质和构造的航空磁测	174
古地磁学及其应用	176
古地磁学的研究方法(177) 地磁场的倒转(180) 海底扩张的	
概念(182) 极移和大陆漂移(189) 古地磁学和古纬度(191) 考	
古磁学和古强度研究(192) 小规模地质问题上的应用(193)	
第五章 地电阻率法	199
引言	199
岩石和矿物的电阻率	200
电流在地内传导的基本规律	201
均匀介质中的电位分布(201) 视电阻率和真电阻率(204) 通过	
界面时电位和电流的分布(204)	
电极布置和野外工作步骤	207
电极排列(207) 电测深法(208) 电剖面法(209)	
电阻率测量仪器	212
电阻率资料的应用和解释	213
勘探水平层状构造(214) 电阻率解释中的多解性(216) 勘探垂	
直构造(216) 电阻率平面图的解释(219)	
深地电测深	222
莱因地堑的深地电测深(223) 冰岛地壳的电模型(224) 沉积盆地	
的大地电磁法研究(224)	
第六章 放射性测量法	227
引言	227
放射性衰变的基本原理	227
岩石的放射性	229
放射性产生的热	230
放射性测定年龄法	231
钾-氩法(232) 铷-锶法(233) 铀-铅法和地球的年龄(233) 放	
射性碳法和氦法(234)	
地质年表	236

前寒武纪年代学	238
氧同位素与古气候	239
放射性测量	241
仪器和野外作业(241) 放射性测量的实例 (245)	
第七章 地热法	246
引言	246
岩石的热学性质	247
地球内部的温度	248
大地热流	250
热流的测定法(250) 大陆区热流与海洋区热流相等(252) 热流异常区 (253)	
地球的热史	254
地热勘探法	256
测量的技术 (257)	
地热勘探实例	258
斯洛伐克硫化矿床(258) 热水和热汽带(258) 盐构造和花岗岩体构造 (259) 从温度测井获得的岩性资料 (262)	
第八章 应用于全球构造的地球物理学	263
引言	263
现代的地壳运动	265
大陆漂移	268
大陆合并(269) 漂移假说的古地磁证据(271) 漂移的机制(273)	
海底构造	274
Hess的海洋传送带概念 (275) 海底扩张的磁记录 (276) 海洋地壳的消亡 (278) 反对海底扩张的观点 (280)	
转换断层	281
板块构造(或新全球构造)	282
刚性板块的概念(283) 地球表面的主要板块(284) 板块理论的地震证据(287) 岩石圈运动的模型(288) 板块运动造山(289) 板块内的构造 (292) 推动板块运动的机制 (293)	
附录 国际单位制 (SI)	296
参考文献略	

第一章 地球物理学及地球物理方法的范围

根据定义,地球物理学即应用物理学的方法研究地球的科学。它与地质学,地理学一起在地球科学中占据重要位置。

严格地讲,这个学科包括了从最深部的地核直到大气圈边界的整个地球的物理学,因此它包含了许多学科。但在现代实际应用中,一般是指对“固体地球”(不包括水圈与大气圈)研究所应用的物理学这一狭义的定义。在本书中所用的地球物理学一词即是这种含义。

既使在狭义的地球物理学的辖域内,也涉及到许多研究领域(如图 1 所示)它们有

大地测量学与重力测量学——研究地球的形状与重力场;

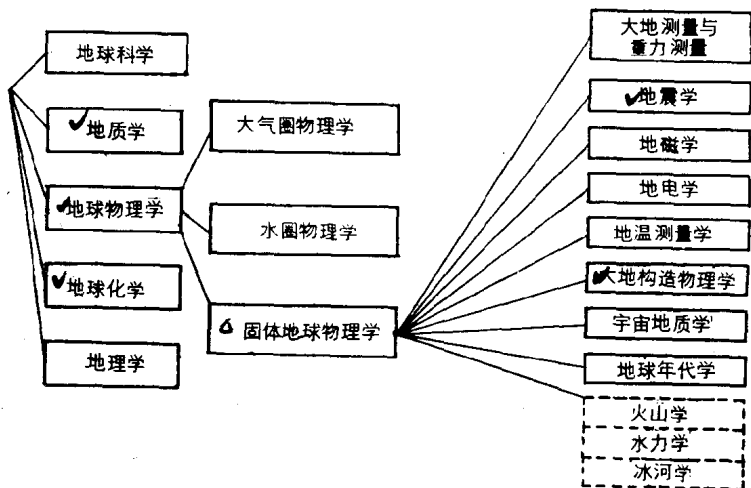


图 1 地球科学的学科分类简图

包括地球物理学的重要分支及“固体地球物理学”的次分支

地震学——研究地震及其它的地面振动（例如由化学和核爆炸所造成的）。

地磁学和地电学——研究地球的磁与电的现象。

地温测量学——研究地热流与地球内部的温度分布；

大地构造物理学——研究区域构造与全球构造的物理特性；

宇宙地质学——研究地球的起源；

地球年代学——研究地球历史事件的年代测定。

另外，尚有一些通常被认为属于地球物理学，但与地质学关系更为密切的某些研究领域，它们是一些专门的学科，如火山学、水力学、和冰河学，它们研究的领域从其名字即一目了然。

目前公认，任何试图硬性区划地球物理学中各分科的界限将是徒劳的，因为在很大程度上，他们是相互关联，在地球科学家的手中都是互相补充的手段。例如，地温测量学研究地热，它不仅与火山学、地震学和放射性研究有关，同时也与宇宙地质学和大地构造物理学有关。再举一个例子，大地构造物理学这一课题与地震学、地热学、火山学、重力学与岩石磁学都有十分紧密的关联，以致将它作为一个完全独立的课题去研究是不可能的。

对地球物理学本身来讲，作为一个孤立的学科来研究也是不可能的。地球物理学是由物理学与地质学发展而来的，它与它们之间的任何一个都不存在明显的区别界限。在其方法方面，它是实验物理学的一个分支，但在研究地球的各种错综复杂问题方面它与地质学分担着了解我们所寄居的行星这个共同课题。

地球物理工作者更多地关心地球现象的实际测量——地震波的传播时间、重力场及磁力场的测定等，这些测定的特点是定量的和实际的。尽管每一个地质工作者在野外开始也做一些简单的定量测量，例如测定某一地表地层的倾角和厚度，但地质工作者们更多关心定性的和描述性的研究。

随着地质学家使用的工具的精度越来越高，地质学家逐渐进行各种各样的和大量的实际测量。而当地球物理学家要寻找地下不断加深的矿产（或现象）时，他们所测得的成果则变得难于

解释。正如 Birch(1952 P234) 曾经忠告说“粗心的读者必须注意，通常的术语当应用于地球内部时要经受高压状态下^①的变化……”。

因此根据定量与定性工作的区别来划分地质学家与地球物理学家之间的传统区别已日趋消失。从前他们是各自努力而今正在变为更好地合作了。在勘探地球物理工作中这种趋势十分明显，石油地质学家的大多数都要化费他们大部分时间从地球物理资料，如地震记录剖面、电测井及其它测井提取定量的信息。同样地球物理学家过去只关心物理现象的测定，现在为了增加结论的可靠性他们目前正与更多的地质结合。

显然，与全球构造理论的新近发展（如“海底扩张”及板块构造）相联系的地球科学的近期革命主要是共有以下两个特长的地质学家与地球物理学家工作的结果：在物理学及地质学方面进行广泛的培训；以及将注意力从小区域的问题转向世界范围的问题。

不过在大学阶段，地质学与地球物理学相区别的状态不能期望在很短时间内发生根本变化。大学在一个相当长的时间内将继续培养地质学家与地球物理学家而不是地球科学家和勘探工作者。但是，当听到大多数大学都有在地质系的课程中增设地球物理概论课程的要求是很高兴的。本书试图以一种方式适应这种要求。

每一个地球科学工作者，特别是地质工作者必须熟悉地球物理的各种方法，这些方法将能帮助他了解地球。与此同时，他们还必须熟知地球物理方法的局限性。必须着重指出，地球物理方法用于研究地球的隐伏特征与现象时，大多数问题属于“反演”类型，也就是根据观测到的“效应”反推其“源”。测定的物理效应（例如地表重力，磁力或电场的变化）通常都不能用地球内部某一特定深度存在的单一源（或现象）来解释。这是由于在不同

● 一些通常字义的高压同义词的例子（在括号内）有：一定（半信半疑）无疑地（可能）确实论证（含糊假设）

深度,具有不同参数的多个源从理论上说都可以产生相同的效应。当几种不同地球物理方法联合使用时常能提供更多的信息,帮助缩小可能解的范围,减少解的不定性。同时地质知识合乎逻辑的推理也可帮助进一步减少可能解的数目。

△地球物理调查中最常用到的岩石物理性质有岩石的弹性、密度、磁化强度、电导率、放射性、及热导率。人们根据这些性质设计了不同的研究地球的方法,通常归结为六大方面:地震法、重力法、磁法、电法、放射性法、地热法。所有这些主要的地球物理方法都是在地球大范围特征的调查研究中开始发展起来的。例如,最早的重力测量(使用摆)是用在测定地球的精确形状;测定地震波的传播时间是用以解开地球内部构造的秘密;磁测量则用来记录全球范围的地磁要素。随着认识到这些方法也可用于石油及矿产的勘探,仪器及技术也跟着发展起来,应用地球物理学开始迅速地发展。由于纯地球物理学与应用地球物理其本质的联系十分紧密,以致于当一方面前进时,另一学科也将受益而获得进展。例如:在寻找石油与金属矿床中所发展起来的许多新技术,已非常有效地用于有关地壳及其内部构造的科学研究中了。应用地球物理学于专门解决勘探方面问题的内容已包括在几本优秀的教科书中了(例如: *Parasnis*, 1973; *Dobrin*, 1960; *Gurwitsch*, 1970)本书将涉及地球物理学较广的方面,特别是那些能帮助地质学家了解地球的各种方法。

在下面的章节里将简述各种地球物理方法以及它们在不同地质问题,包括有关全球构造问题上的某些应用。

第二章 地震法

引言

地震学是地球物理学中发展程度最高的独一支。事实上，地震学 (seismology) 作为研究天然地震的科学，发源于研究地球上灾害最大的自然现象的起因和后果 (希腊语 *seismo* 意思是“振动”)。然而，现今它的研究领域包括了各种类型的大地运动，从大的天然地震波到微小而无所不在的地震脉动。所涉及的频率范围也很宽，包括从高频振动 (100赫芝以上) 到非常慢的、周期 (运动完成一个循环的时间) 达到一小时或更长的运动。因此在地震学中，我们实际上要研究频谱范围宽广的地震运动。图 2 是各类大地运动的地震频谱。

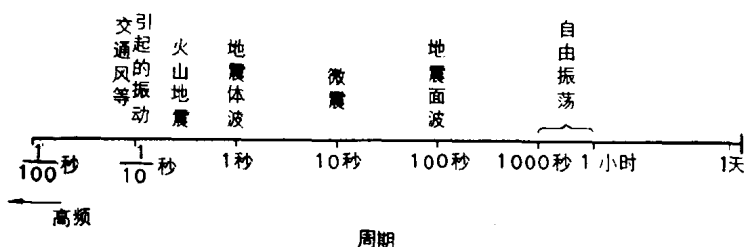


图 2 地震波频谱

各类地面运动的周期范围以对数比例尺表示

地震法一般按地震波的能源分为两大类。第一类是研究天然地震的自然震波，据以推断地球内部的物理性质和结构，称为天然地震学。另一类是在选定地点用人工爆炸产生地震波，以获取区域构造和局部构造的资料，称为爆炸地震学。这种分类多少有