

中国现代科学全书

CHINESE ENCYCLOPAEDIC SERIES OF MODERN SCIENCES

● 固体地球物理学

● SOLID GEOPHYSICS

● 滕吉文 编著

固体地球物理学概论

INTRODUCTION TO SOLID GEOPHYSICS

地质出版社

中国现代科学全书·固体地球物理学

固体地球物理学概论

滕吉文 编著

地质出版社

图书在版编目(CIP)数据

固体地球物理学概论/滕吉文编著. —北京:地震出版社, 2003. 2
(中国现代科学全书)
ISBN 7-5028-2108-2

I. 固… II. 滕… III. 固体地球物理学—概论 IV. P31
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 049309 号

固体地球物理学概论

(中国现代科学全书·固体地球物理学)

滕吉文 编著

责任编辑: 张晓波

责任校对: 张晓梅

出版发行: 地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编: 100081

发行部: 68423031 68467993

传真: 68423031

门市部: 68467991

传真: 68467972

总编室: 68462709 68423029

传真: 68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 潍坊长城印刷厂

版(印)次: 2003 年 2 月第一版 2003 年 2 月第一次印刷

开本: 850×1168 1/32

字数: 769 千字

印张: 28.625

印数: 0001~1500

书号: ISBN 7-5028-2108-2/P·1131 (2664)

定价: 50.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

中国现代科学全书总编辑委员会

名誉主编	胡 绳	钱伟长	吴阶平	周光召
	许嘉璐	罗豪才	季羨林	王大珩
	郑必坚			
主 编	姜士林	郭德宏	刘 政	程湘清
	卞晋平	王洛林	许智宏	白春礼
	卢良恕	徐 诚	王洪峻	明立志

固体地球物理学编辑委员会

主 编	徐文耀			
编辑委员	(以姓氏笔画为序)			
	王妙月	王谦身	叶正仁	白武明
	姚振兴	滕吉文		

前 言

人类社会正面临着世纪交替的时代更迭,从现在起到 21 世纪中叶,将会是人类社会发展历史上的一个巨大变革时期,地球物理学在经历了以活动论为内涵的板块构造和行星际探测双重“革命”的重大发展时期以后,现在正处在一个新的起点上。从全球地球物理学的发展趋势来看,它的未来正面临着比以往任何时候都更富有挑战性的复杂格局,既展现出前所未有的发展和突破的机会,同时也正处在一个充满希望与前景的关键时刻。为此,世界上许多国家都将现阶段视为全球地球物理学发展的重要历史阶段,并提出了许多有待研究与探索的前沿领域。随着科学技术的发展和研究的不断深化,不仅将会呈现出一系列新成就,而且必然会形成一些新的科学思维、理论、方法和概念。

地球作为一个天体,在地球物理学发展的“海洋”里,不仅涉及了众多学科领域的相互“渗透”、“搭配”和“熔融”,而且在对地球本体深化认识的进程中必然要为资源、能源、灾害、环境的探查与评价、远景和预测做出贡献。地球物理学的发展与当代物理学、力学、数学和高新技术的发展及成就密切相关。这是因为,地球物理学在本质上是一门观测的科学,故可靠信息与信息量的缺乏或不是则是任何数学技巧和图像处理所无法弥补的。由于它是以研究地球及其内部为对象,所以它又是建立在物理学基础上的一门应用物理学。

地球物理学是在 20 世纪迅速发展起来的重要前沿科学领域之一,它自 20 世纪初叶就已自成体系,在 60 年代前后发展迅猛。地球物理学包含着研究重力场、磁场、电场、地震波场、热场、放射性场和行星际物理等物理场的许多学科分支,涉及了海洋、大陆和空间,是物理学、天文学、化学和地质学之间交叉的一门边缘科学。它在地球科学发展的过程中必将会越来越显示出其潜在的效能,对人类生存空间、对社会与经济的建设和可持续发展具有举足轻重的促进作用。

基于地球物理学在当今地球科学的发展,在社会、经济和国防事业中的作用与地位,我欣然接受了要编写这本《固体地球物理学概论》专著的任务。我清晰地知道要写好这本书难点还是很多的,一方面是因为 20 世纪以来,特别是七八十年代在国内外已有一批相关专著问世;特别是近二三十年以来,国际上组织了多次有五六十个国家参加的全球性地球物理研究计划和实施,故涌现了大批的新成果,给出了浩瀚的信息与文献;另一方面则因本书又为《中国现代科学全书》系列理学分卷;《固体地球物理学》五本专著中的第一本专著。它是一本涉及面非常广泛,且内容十分丰富的论著。为此,一系列的问题涌向脑海。《固体地球物理学概论》一书撰写的指导思想是什么!该书的主体内涵与特色又应该是什么!篇幅与框架应当怎样组构!等等。于是必须阅读大量的著作和文献,而后才能提出该书的初始模型。在这些信息与资料丛中,除每章目录给出的论著和文献外,主要参阅了:傅承义、陈运泰、祁贵仲著的《地球物

理学基础》,1985;曾融生著的《固体地球物理学导论》,1984;张少泉编著的《地球物理学概论》,1987;冯德益编著的《地震波理论与应用》,1988;何樵登编的《地震波理论》,1988;Anderson 著的《Theory of the Earth》,1989;Garland 著的《Introduction to Geophysics》,1979;Babuska 和 Cara 著的《Seismic Anisotropy in the Earth》,1991;Артюшков 著《Геодинамика》,1979;Логачев 著《Геодинамика Внутриконтинентальных Горных Областей》,1990;Olson 著《Continental Rifts》,1995;等著作。在此基础上,依据国内外在该领域的最新成就和参考资料(详见每一章的参考文献目录)和我自己多年从事这一领域研究的成果进行整体构思,并提出总体提纲。本书的撰写是本着简明、系统,突出物理概念,重视图表,一定要涉及我国近些年来的重要成果,同时在书中必须含盖当今最新的内容与成就作为全书的指导思想。因此,这便必然会对初始目录进行不断修改、补充和删减,直至全书完稿。

本书共分为十八章;由固体地球物理学研究的对象、发展沿革、特点和其战略意义开始,系统阐述了地球的起源及早期演化、地球的年龄、形状和作为一个行星在空间的转动与轨迹。在论述地球内部圈层结构与耦合的驱使下,讨论了地球重力场与地球物理特征;地球的磁场与西向漂移;地球的电磁感应和电性结构;地球内部的热状态与地热场。在地球物理学发展与不断深化中,地震波的研究起到了极为重要的独特作用,故较为系统地论述了地震体波的波场;地震面波和地球的自由振荡;地球内部复杂介质结构和各

向异性;地震层析成像与地球内部和深层过程。由于 20 世纪的八九十年代以来,地球物理学不论在理论上,方法上,还是在世界各地不同的大地构造单元,包括大陆、海洋和极地都进行了卓有成效的研究,故又对全球地学大断面(GGT)与地球动力学,青藏高原整体隆升与地壳短缩增厚的物理-力学机制进行了系统研究。对当代地球物理学中的最新成果:地球内核快速旋转与地球物理场效应进行了论述。为了说明地球物理学在保护绿色地球和“净化”人类生活空间中的作用,专门讨论了固体地球物理学与地球环境。最后以 21 世纪的固体地球物理学作为本书的结束。

本书的问世,诚希能对地球科学领域的同行们了解地球物理学的内涵和作用及未来的发展有一定的参考价值;对地球物理学领域里从事科学研究,教学和生产实践的青年朋友们能有所帮助;更重要的是希望本书在地球科学步入 21 世纪的创新道路上架起一座“桥梁”,使之更快的达到彼岸,迎接地球物理学新时代的到来。

在本书的写作过程中,参考了不少书籍和文献,引用了众多作者的资料和成果,尽管在参考文献目录中均一一列出,但还深感不够,因为若没有这数十本论著,数百篇参考文献和我自己多年来科研工作成果的支撑,写成本书也是不可能的,所以它是站在“巨人”肩膀上的产物。为此请允许我在这里向他们和与我长期合作共事的同仁及学生们表示最诚挚的感谢!

滕吉文

·北京·



作者简介

滕吉文，地球物理学家、中国科学院院士。

1934年3月出生于黑龙江省哈尔滨市，原籍河北省黄骅县(市)。1956年毕业于原东北地质学院地球物理系。1958年赴前苏联科学院大地物理所做研究生，进行地震绕射波场动力学研究，1962年获物理-数学副博士学位。现为中国科学院地球物理研究所研究员，博士生导师，中国科技大学研究生院教授，浙江大学教授，成都理工大学教授，吉林大学教授，中国科学院院士。

1962年回国后，长期从事地球深部物理和地球动力学研究。曾主持研究过多项国家级、院(部)级重大和重点研究项目，几十年来在该科学领域做出了突出贡献。在国内外学术刊物上发表论文180余篇，出版专著8部，并广为国内外所引用。曾获得国家自然科学一等奖一次，国家攻关奖一次；中国科学院一等奖三次，特等奖一次，攻关奖一次。是我国优秀的学科带头人，也是国际上公认的我国在该研究领域的杰出代表之一。

1647315

内 容 简 介

固体地球物理学是当今世界上发展十分迅速的科学领域，本书广为收集并系统整理了国内外最新的理论、方法和观测资料，且对我国地球物理学研究中的部分成果进行了阐述。

全书共分十八章，作者基于地球物理学、地震学、天文学、地质学、岩石学和地球化学等多学科的资料和认识，讨论了地球的起源、演化、年龄和形状；论述了地球内部的圈层结构和圈层耦合；阐述了重力场、磁场、电场、地热场、地震波场在地壳、壳—幔边界，上地幔与低速层，下地幔，核—幔边界和地球内、外核研究中的作用与地球物理场特征；论述了地球内部介质、结构与各向异性。对全球地学大断面与地球动力学，青藏高原的整体隆升与地壳短缩增厚，地球内核快速旋转与地球物理场效应和固体地球物理学与地球环境进行了专门的论述。最后对21世纪的地球物理学的方向与任务进行了阐述。该书每一章均附有大量的参考文献。

本书可供地球物理学和其他有关学科的科研工作者、教育工作者、大专院校学生参考使用。

目 录

第一章 固体地球物理学导论	(1)
第一节 固体地球物理学的研究对象与特点	(1)
第二节 固体地球物理学的起源与历史沿革	(6)
第三节 固体地球物理学的分支学科及其间的 相互关系	(17)
第四节 固体地球物理学的特点和研究方法	(21)
第五节 发展固体地球物理学的战略意义	(32)
第二章 地球的起源及早期演化	(46)
第一节 太阳系	(46)
第二节 太阳系中的最新星云假说	(62)
第三节 新星云假说的观测判据与分析	(72)
第四节 地球的早期演化	(80)
第三章 地球的年龄与地质年代	(92)
第一节 放射性元素的衰变和地球的年龄	(92)
第二节 测定岩石年龄的放射性方法	(101)
第三节 地球的年龄	(112)
第四节 地质年代的划分与地壳演化	(118)
第四章 地球在空间的转动与轨迹	(126)
第一节 地球在空间的运动和状态	(127)
第二节 地球自转的证据与非均匀性	(137)
第三节 地球自转速度变化的证据	(145)
第四节 地球的公转	(157)

第五章 地球内部的圈层速度结构和物质组成与耦合	(170)
第一节 地球内部的圈层结构	(171)
第二节 地壳结构与物质组成	(180)
第三节 上地幔结构与物质组成	(193)
第四节 上地幔与地幔低速层	(198)
第五节 下地幔和 D' 层结构与物质组成	(211)
第六节 地 核	(215)
第六章 地球的重力场和均衡补偿	(221)
第一节 地球的重力位	(223)
第二节 大地水准面与地球的形状	(236)
第三节 地球的潮汐	(253)
第四节 地球的重力异常与重力场模型	(270)
第五节 地球的重力场与均衡补偿	(277)
第七章 地球的磁场与西向漂移	(299)
第一节 地球磁场的基本属性	(299)
第二节 地球磁场的极性倒转	(314)
第三节 地球磁场的成因	(323)
第四节 核幔边界与外壳磁流体的稳态水平运动	(327)
第八章 地球的电磁感应和电性结构	(332)
第一节 地球电磁感应的物理基础	(333)
第二节 电磁感应与地球内部的电导率	(343)
第三节 中国地球深部电性结构研究	(355)
第九章 地球内部的热状态与地热场特征	(369)
第一节 热的传递方式	(369)
第二节 地球的热能源与耗损	(386)
第三节 地壳的内热与属性	(396)
第四节 地球内部的温度分布	(410)
第五节 中国地热场形成与分布的地质构造背景	(421)

第六节 中国地温和地温梯度的分布特征	(429)
第七节 地热能源的综合利用	(443)
第十章 地球内部的地震体波波场	(456)
第一节 地球介质的性质和类型	(456)
第二节 地球介质中的地震体波	(475)
第三节 地球内部地震体波的速度反演	(500)
第四节 地震体波的应用	(522)
第十一章 地震面波和地球的自由振荡	(526)
第一节 均匀弹性半空间中的面波——瑞利波	(527)
第二节 层状介质中的 SH 型面波——勒夫波	(532)
第三节 地震面波的频散	(539)
第四节 地球的自由振荡	(548)
第五节 地球内部的面波与导波	(558)
第十二章 地球内部复杂介质和结构与各向异性	(568)
第一节 地球内部复杂介质结构与各向异性存在 的判据	(570)
第二节 岩石圈介质与结构的地震各向异性	(582)
第三节 上地幔介质的各向异性	(595)
第四节 地球深部圈层的介质结构与地震各向 异性	(600)
第五节 地核介质结构与地震各向异性	(603)
第十三章 地震层析成像与地球内部和深层过程	(610)
第一节 三维结构与地震层析成像的尺度分类和 研究途径	(611)
第二节 地震层析成像方法原理概述	(616)
第三节 地震层析成像的反演方法、模型与图像	(626)
第四节 全球性地震层析图像与地球内部	(637)
第五节 大洋中脊和地幔热柱区的地震层析图像	(649)

第六节	区域性地震层析成像(小尺度)与 特异构造	(652)
第七节	地震层析成像与地球动力学	(661)
第八节	地震层析成像存在的问题和解决的途径	(665)
第十四章	地球科学大断面与地球动力学	(673)
第一节	全球 GGT 断面计划的布局与内涵	(675)
第二节	北美与欧洲的 GGT 大断面	(681)
第三节	中国地学大断面	(697)
第十五章	青藏高原整体隆升与地壳短缩增厚的物理 - 力学机制	(717)
第一节	青藏高原巨厚地壳与薄岩石圈结构和碰撞 造山带的深部构造特征	(718)
第二节	青藏高原地体划分的地球物理边界场 效应	(724)
第三节	地震活动、断层面解与区域应力场	(744)
第四节	青藏高原隆升与地壳短缩增厚的物理 - 力学机制	(749)
第五节	青藏高原隆升的动力学模式	(763)
第十六章	地球内核快速旋转与地球物理场效应	(771)
第一节	宇宙中的地球和运动	(773)
第二节	地球内核自转速度快于地壳和地幔的 判据	(778)
第三节	地球内核介质的各向异性与地核差异旋转 运动机制的探讨	(790)
第四节	重力分异与物质运动和内核的差异旋转	(795)
第五节	地球内核旋转与地球内部的电磁场效应	(799)
第六节	内核差异旋转与全球变化	(805)

第十七章 固体地球物理学与地球环境	(809)
第一节 当今环境科学的发展进程与问题概况	(809)
第二节 环境科学是一个综合性的系统工程	(814)
第三节 净化人类生存空间的地球物理效应	(824)
第四节 对当今环境科学研究的思考	(832)
第十八章 21 世纪的地球物理学	(837)
第一节 地球物理学的发展和深化与现代科学技术 进步的制约	(837)
第二节 地球物理学必须向高层次的综合研究 方向发展	(840)
第三节 地球物理学面临的机遇与挑战	(846)
第四节 地球深部圈层结构与大陆动力学研究的 思考和内涵	(850)
参考文献	(856)

第一章 固体地球物理学导论

地球物理学是以地球为研究对象的一门现代应用物理学,它的主体是固体地球物理学。这门学科自 20 世纪初就已自成体系。到了 60 年代以后,发展极为迅速。固体地球物理学包含许多分支学科,涉及海、陆、空三域,是天文、物理、力学、数学、计算数学、化学和地质学之间的一门边缘科学。它在地球科学领域里占有极为重要的地位。

将地球作为一个天体来研究,这便确定了固体地球物理学和天体物理学之间的关系;在研究地球本身的结构和发展时,固体地球物理学又和地质学及地球化学有着很密切的联系。

为了人们对固体地球物理学有一个比较完整的认识,在这一章里首先要对固体地球物理学研究的对象、范围,沿革,方法、特点、与其他分支学科的关系及其在经济与社会发展中的作用等方面作一简要阐述。

第一节 固体地球物理学的研究对象与特点

地球,人类的母亲。她是人类社会与经济发展的源泉。我们世世代代在她的怀抱里生活和成长,然而我们对地球的本体却了解甚少。为了使地球,特别是地球内部物质运移、物质组成、结构、深层过程与动力学机制有一个比较全面的了解,我们就必须“钻”进地球深处去探索其“奥秘”,为人类进步与可持续发展做出贡献(滕吉文,1986)。

一、地球是人类赖以生存和繁衍生息及可持续发展的源泉

地球的上部:地壳与上地幔是人类居住与获取各种资源、能源、改造和利用的重要场所,是地球科学的基础和生长点,60年代以来,发展迅猛。我国由于资金投入所限在这一方面的工作还很薄弱,有的方面尚属空白,为在我国早日步入世界先进科学领域,为资源与能源远景,为适应当前改革开放搞活的新形势、高水平的定向性基础研究十分重要。为此,我国应当大力加强与迅速发展这一颇具前景的科学研究领域。

随着人类不断深化的社会实践,固体地球物理学对地球内部的研究与其他自然科学领域一样发展迅猛。特别是国际间的地球物理年(1959~1960),上地幔计划(1960~1970),地球动力学计划(1971~1980),岩石圈计划(1980~1990)以来,通过国际地质大会(IGC)、国际大地测量与地球物理联合会(IUGG)和岩石圈委员会(ICL)会的提议,建立了一系列的全球性的科学大协作计划。90年代岩石圈仍然是世界上地球科学发展的中心,21世纪中叶大陆动力学的研究必为导向。为此,对地球深部的研究已进入了一个新的时代。新的事实与资料在不断的累积,新的领域在不断开拓,出现或重新提出了长期以来潜伏着的和一时人们尚不敢触及的问题,动摇着一些传统的概念,并促进他们向着崭新的方向发展。人类对自然界的利用与改造愈来愈深刻,愈来愈主动,人们的劳动成就将随着时代的步伐阔步前进。

固体地球物理学中的许多重要的基本理论问题,都与地球深部的介质结构、物理性质、化学组成及其深层动力过程有关。例如:要了解构造运动和岩浆活动的过程就必须研究上地幔和下地壳的结构、化学性质与物理性质在纵向和横向的变化,以及地幔低速层随地区及深度不同变化的原因。又如地壳中有没有尖锐的界