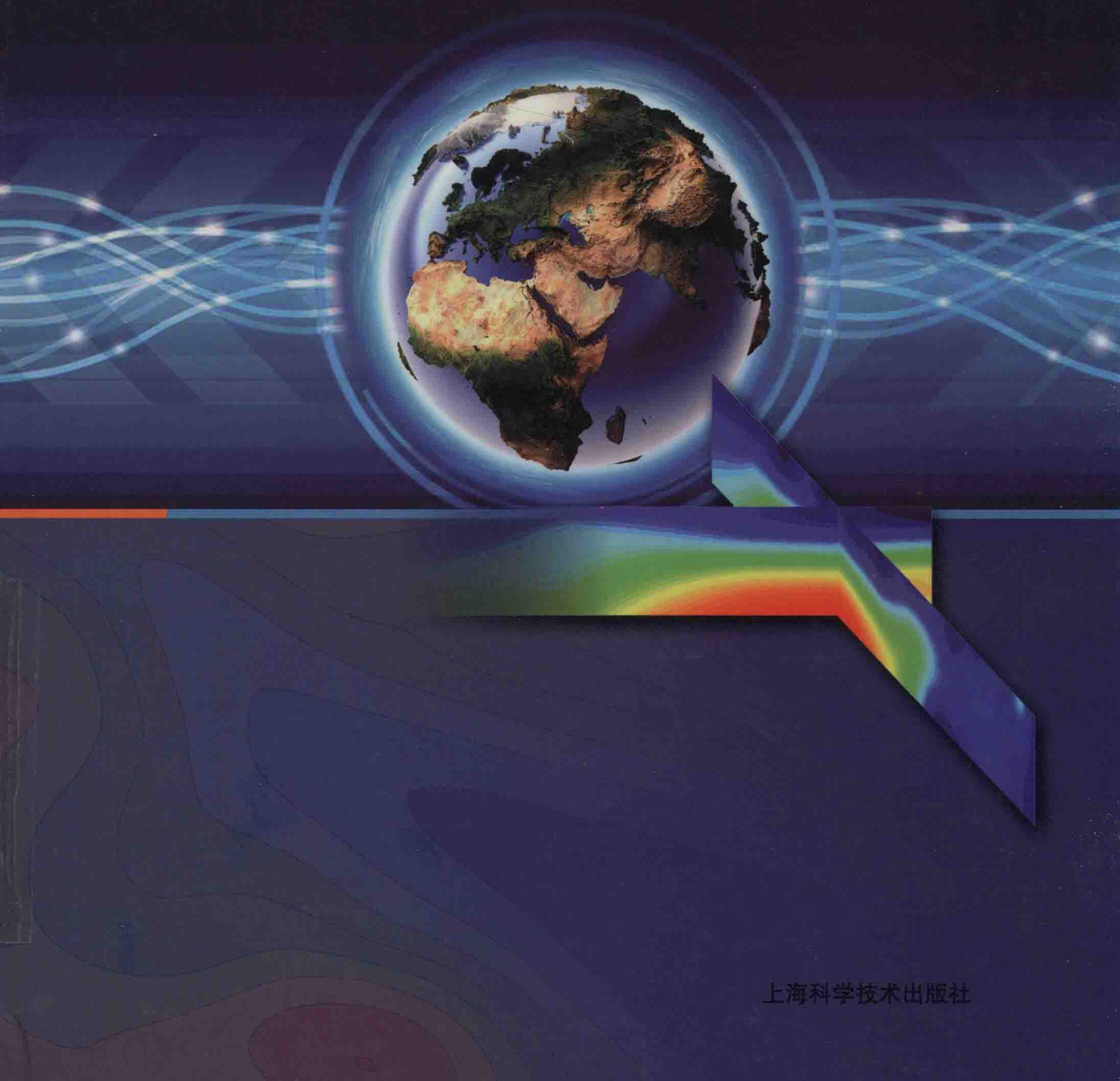




科学 专著：前沿研究

# 地球物理通论

刘光鼎 主编



上海科学技术出版社

# 地球物理通论

刘光鼎 主编

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

地球物理通论 / 刘光鼎主编. — 上海: 上海科学技术出版社, 2018. 1

(科学专著: 前沿研究)

ISBN 978-7-5478-3781-8

I. ①地… II. ①刘… III. ①地球物理学  
IV. ①P3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 270404 号

---

本书出版受“上海科技专著出版资金”资助

地球物理通论

刘光鼎 主编

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行  
上海科学技术出版社  
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

上海盛通时代印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 34.25 插页 20

字数: 600 千

2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3781-8/P·31

定价: 198.00 元

---

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题,  
请向工厂联系调换

## 本书编委会名单

主 编 刘光鼎

副主编 王家林 吴健生

编 委 (以汉语拼音排序)

陈 冰 程业勋 郝天珧 李大心

李振宇 潘玉玲 宋海斌 王一新

于 鹏 张罗磊 赵永辉 钟慧智

进入 21 世纪以来,中国的科学技术发展进入到一个重要的跃升期。我们科学技术自主创新的源头,正是来自于科学向未知领域推进的新发现,来自于科学前沿探索的新成果。学术著作是研究成果的总结,它的价值也在于其原创性。

著书立说,乃是科学研究工作不可缺少的一个组成部分。著书立说,既是丰富人类知识宝库的需要,也是探索未知领域、开拓人类知识新疆界的需要。特别是在科学各门类的那些基本问题上,一部优秀的学术专著常常成为本学科或相关学科取得突破性进展的基石。

一个国家,一个地区,学术著作出版的水平是这个国家、这个地区科学研究水平的重要标志。科学研究具有系统性和长远性,继承性和连续性等特点,科学发现的取得需要好奇心和想象力,也需要有长期的、系统的研究成果的积累。因此,学术著作的出版也需要有长远的安排和持续的积累,来不得半点的虚浮,更不能急功近利。

学术著作的出版,既是为了总结、积累,更是为了交流、传播。交流传播了,总结积累的效果和作用才能发挥出来。为了在中国传播科学而于 1915 年创办的《科学》杂志,在其自身发展的历程中,一直也在尽力促进中国学者的学术著作的出版。

几十年来,《科学》的编者和出版者,在不同的时期先后推出过好几套中国学者的科学专著。在 20 世纪三四十年代,出版有《科学丛书》;自 20 世纪 90 年代以来,又陆续推出《科学专著丛书》、《科学前沿丛书》、《科学前沿进展》等,形成了一个以刊物名字样科学为标识的学术专著系列。自 1995 年起,截至 2010 年“十一五”结束,在科学标识下,已出版了 25 部专著,其中有不少佳作,受到了科学界和出版界的欢迎和好评。

为了继续促进中国学者对前沿工作做有创见的系统总结,“十二五”期间,《科学》的编者和出版者决定对科学系列学术著作做新的延伸,将科学

专著学术丛书扩展为三个系列品种,即《**科学**专著:前沿研究》、《**科学**专著:生命科学研究》、《**科学**专著:大科学工程》,继续为中国学者著书立说尽一份力。\*

随着中国科学研究向世界前列的挺进,我们相信,在**科学**系列的学术专著之中,一定会有更多中国学者推陈出新、标新立异的佳作问世,也一定会有传世的名著问世!

周光召

(《科学》杂志编委会主编)

2011年5月

---

\* 出版者注:在2017年,科学专著学术丛书又增加了第四个系列品种——《科学专著:自然资源》。

作为地球科学的重要分支——地球物理学,随着现代科技的进步和全球经济的发展,地质勘探向广度、深度和难度进军,其重要性和作用越来越被人们所认识。由于地球物理学是应用物理学的原理与方法研究认识地球内部奥秘和解决各类地质问题的学科,涉及较多的数学、物理学、电子学、信息学和现代高科技等方面的知识,相对而言,在学习和理解方面有一定难度。尽管现今已经出版了不少关于地球物理学的专著或教材,但是缺少一本比较系统全面而又通俗易懂、能融会贯通的书籍。本书的出版,积几十年教学科研与生产实践,就是想在这方面做出尝试和努力。

本书定名为“地球物理通论”有两层含义。一是力求系统全面,融会贯通。除前言外,本书分为预备篇、基础篇、综合篇和应用篇,内容比较全面系统。前言以极其精练和通俗的语言论述了地球物理学的研究对象、研究内容、学科特点与主要应用,并重点提出了综合地球物理的方法论,为阅读全书起到了引领作用。预备篇重点介绍了地球内部的结构构造,地球物理学的特点及解决地质问题的思路,以及在全球板块构造和在中国大地构造方面的应用,为后续各篇的学习奠定了基础。基础篇则从物理学的角度,密切结合地质介绍了重力、磁力、电法、地震、放射性、地热等基本地球物理方法的原理、观测手段与仪器装备、资料的处理与解释和具体应用。综合篇则把上述多种方法综合起来,阐述了它们之间的联系与共性,介绍了综合地球物理的理论、物理地质基础和解释方法。应用篇则重点讨论了地球物理在区域地质和深部构造、油气、金属矿产、水文资源、工程与环境地质等领域的作用及应用实例。全书体现了以原理为基础、以方法为手段、以综合应用为目的解决地质问题的思路,以地球物理和地质结合为主线融会贯通。二是力争通俗易懂,触类旁通。本书主要是为非地球物理专业的广大地学科技工作者服务的,因此,书中尽量回避了过深的数理推导,重点突出了方法原理、研究思路、工作要点和系统流程,便于为读者所接受、理解和掌握。

本书的出版是希望地球物理学这门学科能从学校的课堂和研究单位的实验室中解放出来,为广大的地学工作者所掌握,实现地球物理与地质、地球化学等学科的有机结合,在探索地球、资源开发和环境保护等方面充分发挥它应有的作用。

本书是中国科学院地质与地球物理研究所、同济大学和中国地质大学通力合作的成果。刘光鼎院士是本书的主编,为了推动地球物理事业的发展,促进地球物理学科的普及与提高,他酝酿谋划已久。从编写指导思想和大纲目录的拟定、编写人员的组成、前言和预备篇的撰写、全书内容的调整变动直至全书的审查定稿,他都亲力亲为,对本书的顺利出版起到了关键的作用。副主编王家林和吴健生协助主编参与了编书的全过程。本书的各篇和相应的篇章具体分工如下:

前言和预备篇刘光鼎。

基础篇吴健生负责:第1章吴健生、宋海斌;第2章吴健生、陈冰;第3章吴健生;第4章吴健生、赵永辉;第5章程业勋、李振宇、潘玉玲;第6章吴健生、宋海斌。

综合篇王家林负责、于鹏协助:第7章王家林;第8章王家林、李大心;第9章王家林、王一新、张罗磊;第10章王家林、于鹏。

应用篇刘光鼎负责、郝天珧协助:第11章王家林、钟慧智、张新兵、郝天珧、张丽莉、李志伟;第12章郝天珧、黄松、王真理;第13章郝天珧、张丽莉、胡卫剑、于昌明、邢宝山;第14章李振宇、潘玉玲;第15章潘玉玲、李振宇。

在编写过程中,由于篇幅内容的调整变动,尉中良撰写的“地球物理测井”一章没有列入本书,在此深表歉意,他是最早提交初稿的作者之一,他高度负责的精神和顾全大局的风格使我们感动不已。为了提高本书的质量与水平,我们认真查阅和适当吸收、引用相关的专著、教材和论文,在每一章之后列出了重点的参考文献。在全书的审校中,除了主编和副主编外,还有宋海斌、郝天珧、于鹏等人的参与,同济大学综合地球物理学科组的张罗磊、张新兵以及研究生赵崇进、唐睿、陈诚、彭修成、郭俊、覃谭参与了本书的图文校核、文献查新和初稿校对打印等工作。

在《地球物理通论》出版之际,我们谨向为本书编辑出版的以上同志表示崇高的敬意、向一切关心和支持本书的单位与个人表示衷心的感谢。上海科

学技术出版社的领导和相关编辑,他们在申请出版计划、组织指导编写、图文编辑与封面设计及出版印刷等方面倾注了巨大的热情,付出了辛勤的劳动,我们向他们致以诚挚的感谢。

鉴于时间仓促,人力有限,书中可能会有错误或不当之处,恳请广大读者直率指出。

**本书编委会**

地球是人类赖以生存和发展的空间。地球科学的基本任务是认识地球,包括它的内部构造、成分和演化历史,并为矿产资源的勘探和开发、环境的检测和保护、灾害的预警和防治以及国家安全与国民经济建设中提出的广泛需求服务。

现代地球科学包括地质学、地球物理学、地球化学以及其他有关学科。地质学从地球表面出露的岩石露头,矿坑中的地层展布来认识断层、褶皱与岩脉,并通过古生物和同位素来确定其年代,推断其构造运动,寻找其产生、发展的历史。地球物理学则在海陆地区采集重力、磁力、电法、地震、地热和放射性等地球物理场的数据(正演问题),再应用电子计算机器械对已采集的地球物理场数据进行处理和解释(反演问题),以探索地下未知地质体的埋深与产状。地球化学则是分析、化验野外采集到的岩石样品,了解元素富集程度与分布情况,并作出地质解释。因此,地质学、地球物理学和地球化学分别从不同的角度来研究并认识地球,只有使它们相互渗透、相互结合,才可能求得比较全面的认识。

地球是一个处于运动和变化之中的巨系统,它不仅体积庞大、内部结构和成分复杂,而且有漫长的演化历史。

地球科学是一门观测的科学,它是在大量实际观测资料的基础上进行总结,提出工作假说(working hypothesis),再到实践中去广泛求证(verification),然后经过补充修正,再提出新的工作方法,以形成对客观规律的正确认识。因此,地质学、地球物理学、地球化学既要开展综合研究,又必须分层次地进行。

地球物理学是应用物理学的理论、方法和技术来认识地球。在物理学中有力学、声学、光学、磁学、电学、热学和放射性等多种分支学科,从而在研究地球时,根据不同的岩石物理性质而有重力(密度)、磁力(磁化率)、电法(电阻率)、地震(速度、波阻抗)、地热(传导率)、放射性等,从不同侧面的地球物

理场的反演问题来认识地球。在数学上,场的反演问题是多解的,不唯一的,而不同地球物理场所依据的岩石物性又是不同的,所以,也需要开展综合研究。

应用地球物理方法进行找矿,其中包括对石油、天然气、煤炭以及各种金属矿床的勘探,既要重视岩石露头、矿点的地质现象,也要重视区域地质理论的认识,更应探索矿产资源的时空分布规律,以指导找矿勘探工作。总结多年来找矿勘探的实践经验,我们认识到“区域约束局部,深层制约浅层”不仅能有力地探索多种矿床形成演化历史,还可作为工作方法来指导更大尺度的调查研究。

总结我们对综合地球物理的应用,得出下列“一、二、三、多”的基本认识,或可称为“综合地球物理的方法论”。

一种指导:以全球构造活动论为理论指导。

二个环节:一是岩石物性,二是物理-地质模型,它们是地球物理工作中的重要环节,是联系地质与地球物理的桥梁与纽带。

三项结合:地质学、地球物理学、地球化学相结合;

地球物理正演与反演相结合;

定性与定量相结合。

多次反馈:上述过程的多次循环,不断逼近正确解答。



预 备 篇

绪论 ..... 3

1. 固体地球物理 ..... 4

2. 地质纪年 ..... 9

3. 20 世纪地球科学的发展 ..... 11

基 础 篇

第 1 章 地震波场与地震勘探 ..... 31

1.1 地震波场 ..... 31

1.2 天然地震 ..... 42

1.3 远震记录和地球圈层结构 ..... 50

1.4 反射地震勘探 ..... 59

1.5 折射波和面波法探测 ..... 80

参考文献 ..... 88

第 2 章 重力场与重力勘探 ..... 89

2.1 地球重力场 ..... 89

2.2 重力的观测 ..... 89

2.3 重力异常 ..... 92

2.4 岩(矿)石的密度 ..... 96

2.5 重力异常的分离和提取 ..... 97

2.6 重力异常的正、反演 ..... 105

2.7 重力资料的地质解释和应用 ..... 111

参考文献 ..... 116

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第3章 地磁场与磁力勘探 .....           | 117 |
| 3.1 地磁场 .....                | 117 |
| 3.2 地磁场的观测 .....             | 124 |
| 3.3 磁力异常 .....               | 127 |
| 3.4 岩(矿)石的磁性 .....           | 127 |
| 3.5 磁性体的磁场 .....             | 128 |
| 3.6 磁力异常的处理和转换 .....         | 133 |
| 3.7 磁异常的反演 .....             | 136 |
| 3.8 磁力勘探的应用 .....            | 140 |
| 3.9 古地磁学和应用 .....            | 143 |
| 参考文献 .....                   | 152 |
| 第4章 地电场与电法勘探 .....           | 153 |
| 4.1 地电场 .....                | 153 |
| 4.2 岩石和矿物的电性特征 .....         | 161 |
| 4.3 电阻率法探测 .....             | 167 |
| 4.4 高密度电阻率法探测 .....          | 174 |
| 4.5 激发极化法 .....              | 179 |
| 4.6 大地电磁测深 .....             | 183 |
| 4.7 探地雷达法 .....              | 191 |
| 参考文献 .....                   | 197 |
| 第5章 辐射场与放射性勘查 .....          | 198 |
| 5.1 物理基础 .....               | 198 |
| 5.2 $\gamma$ 射线测量与勘查方法 ..... | 204 |
| 5.3 氡气测量 .....               | 211 |
| 5.4 核磁共振技术与应用 .....          | 215 |
| 参考文献 .....                   | 225 |
| 第6章 地温场与地热勘探 .....           | 226 |
| 6.1 地温场 .....                | 226 |
| 6.2 热流测量和热流分布 .....          | 228 |
| 6.3 热源分布和传热机制 .....          | 234 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 6.4 地球温度分布 ..... | 242 |
| 6.5 地热能 .....    | 250 |
| 6.6 地热勘探 .....   | 253 |
| 参考文献 .....       | 256 |

## 综 合 篇

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第7章 综合地球物理的概念与必要性 .....         | 259 |
| 7.1 综合地球物理的概念与研究内容 .....        | 259 |
| 7.2 地球物理方法的特点 .....             | 259 |
| 7.3 综合地球物理的必要性和重要性 .....        | 261 |
| 7.4 综合地球物理的回顾与发展 .....          | 274 |
| 参考文献 .....                      | 276 |
| 第8章 综合地球物理的思路、要点和解释原则 .....     | 277 |
| 8.1 综合地球物理的研究思路 .....           | 277 |
| 8.2 综合地球物理的工作要点 .....           | 280 |
| 8.3 综合地球物理解释的基本原则 .....         | 295 |
| 参考文献 .....                      | 298 |
| 第9章 综合地球物理的物理-地质基础 .....        | 299 |
| 9.1 岩石物性 .....                  | 299 |
| 9.2 物理-地质模型 .....               | 318 |
| 参考文献 .....                      | 326 |
| 第10章 综合地球物理的解释方法与应用 .....       | 327 |
| 10.1 地球物理异常的划分 .....            | 327 |
| 10.2 综合地球物理的定性解释方法 .....        | 340 |
| 10.3 综合地球物理的定量解释方法 .....        | 352 |
| 10.4 松辽盆地北部深层综合地球物理研究应用实例 ..... | 389 |
| 参考文献 .....                      | 408 |

## 应 用 篇

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 第11章 地球物理方法在区域和深部地质中的应用 .....   | 411 |
| 11.1 地球物理方法在研究区域和深部地质中的作用 ..... | 411 |

|                                 |                                  |     |
|---------------------------------|----------------------------------|-----|
| 11.2                            | 下扬子地区中古界地质结构与深部构造的综合地球物理研究 ..... | 412 |
| 11.3                            | 中扬子地区盆地基底精细结构的综合地球物理研究 .....     | 443 |
|                                 | 参考文献 .....                       | 453 |
| 第 12 章 地球物理方法在油气资源勘探中的应用 .....  |                                  | 454 |
| 12.1                            | 地球物理方法在油气勘探中的作用 .....            | 454 |
| 12.2                            | 准噶尔盆地北缘乌伦古地区火成岩油气藏综合地球物理研究 ..... | 454 |
|                                 | 参考文献 .....                       | 470 |
| 第 13 章 地球物理方法在金属矿勘探中的应用 .....   |                                  | 471 |
| 13.1                            | 地球物理方法在金属矿勘探中的作用 .....           | 471 |
| 13.2                            | 沂沭断裂带沂水段金矿预测综合研究 .....           | 472 |
| 13.3                            | 胶西北金矿集区地球物理场与控矿构造的综合研究 .....     | 482 |
|                                 | 参考文献 .....                       | 490 |
| 第 14 章 地球物理方法在地下水调查中的应用 .....   |                                  | 491 |
| 14.1                            | 地下水的主要类型及其特点 .....               | 491 |
| 14.2                            | 地球物理方法在地下水调查中的应用 .....           | 492 |
|                                 | 参考文献 .....                       | 504 |
| 第 15 章 地球物理方法在工程与环境探测中的应用 ..... |                                  | 505 |
| 15.1                            | 地球物理方法在工程地质探测中的应用 .....          | 505 |
| 15.2                            | 地球物理方法在环境地质调查中的应用 .....          | 516 |
|                                 | 参考文献 .....                       | 528 |
| 索引 .....                        |                                  | 529 |
| 图版                              |                                  |     |

# 预 备 篇

