

7116

区域构造地质学中的 地球物理方法

(苏联)Б·А·安德雷耶夫著

刘 光 鼎 译

中国工业出版社

区域构造地质学中的 地球物理方法

(苏联)Б·А·安德雷耶夫著

刘 光 鼎 译

中 国 工 业 出 版 社

本书共分五章。第一章以近年大地物理学的成就简要地说明地球的形狀及其内部构造。第二章叙述地壳的构造单元在各种地球物理場中的反映；对地壳进行了分层，并且说明各层的物理性质。第三章在强调构造分区的实际意义之后，通过岩石的物理性质说明地球物理勘探方法与地质因素间的联系。然后用实例阐述地槽区（第四章）与地台区（第五章）的构造分区，以及各种地球物理方法在构造分区中的作用。

本书可供地质学院及綜合性大学地质系师生作为教学参考书，也可供地质及物探工作人员参考。

书中插图为学术性示意图，系按原书附图翻印，图上的界綫画法并不准确。

Б.А.Андреев
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В РЕГИОНАЛЬНОЙ
СТРУКТУРНОЙ
ГЕОЛОГИИ
Госгеолтехиздат
Москва 1960

* * *

区域构造地质学中的地球物理方法

刘 光 鼎 译

*
地质部地质书刊編輯部編輯（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京後翫園路西10号）

（北京市书刊出版事业許可証出字第110号）

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $8^{1/4}$ ·字数 193,000

1963年7月北京第一版·1963年7月北京第一次印刷

印数0001—1,847·定价(10-6)1.40元

*
統一书号：15165·2128(地质-212)

謹將本書獻給——

挽救作者生命的列宁格勒的医生們

費德洛夫·德米特利·尼柯拉耶維奇，
罗曼諾夫斯卡婭·瓦蓮金娜·康士坦丁諾夫娜，
馬尔岑柯夫斯卡婭·万达·安东諾夫娜，
洛特曼·維克多丽婭·米哈依洛夫娜

作者

前 言

本书系统地阐述区域构造地质学中的一些地球物理方法问题；在苏联石油学院、地质勘探学院与综合性大学现有教育计划规定的许多课程中都要讨论这些问题。其中首先是下列课程：“综合地球物理工作的地质解释与工作方法”（石油学院与石油系）；“综合地球物理调查工作方法”（地质勘探学院与地质勘探系）；“地质学中的地球物理方法”（综合性大学地质系）。看来，本书给地质勘探学院及综合性大学的地质系学生作为地球物理勘探方法课程的教材是适合的。希望本书不仅对大学生，而且对生产工作中的专家、地球物理学家以及地质学家也多少是感兴趣的和有用处的。

作者以感激的心情指出编写本书时参加编写并给予帮助的许多同志。乌克兰加盟共和国科学院通讯院士С.И. 苏博廷 (Суботин) 撰写第四章 § 21 中喀尔巴阡地球物理特征一节。Н.А. 卡腊耶夫 (Караев) 编写描述西西伯利亚地震勘探工作方法的附录 I。Г.П. 塔费耶夫 (Тафеев) 给作者提供了航磁测量剖面的资料 (图63)。Н.С. 谢尔金 (Серкин) 和Л.А. 沙茨 (Шац) 绘制日本的重力与大地构造图 (图57)。В.В. 费登斯基 (Федюнский) 教授、А.Г. 塔尔霍夫 (Тархов) 教授与А.С. 谢苗诺夫 (Семенов) 教授给予作者许多宝贵的建议，使本书许多章节阐述得更明确。本书的科学编辑А.В. 哈巴科夫 (Хабаров) (苏联地质部全苏地质勘探科学研究所) 对于提高本书的质量完成了巨大的工作。

本书写成于1956年，随后在1958年经过某些整理与补充。最近几年内所发表的文献，在本书中只有部分的反映。

这本书概括的问题很广泛，其中有不少问题在目前还有争论。书中所提出的个别观点，暂时还缺乏实际的资料作为依据；可以这样说，这本书在最近期间内就有必要进行重新审阅与修

正。因此，作者期望得到应用地球物理方法解决区域构造地质问题的地球物理学家与地质学家对于改进本书内容的大量批评性的意见与建议。

对本书的任何意见请寄到下列地点：

列宁格勒，瓦西里岛，第21号大街，第2号，列宁格勒矿业学院，构造地球物理教研室（Ленинград, В.О.），21-я линия, д.2, Ленинградский горный институт, кафедра структурной геофизики），或者莫斯科，В-17区，彼舍夫斯基胡同，7号，国立地质保障科技书籍出版社（Москва, В-17, Пыжевский пер., д.7, Госгеолтехиздат）。

目 录

前 言	
緒 言	1
第一章 地球內帶的研究	6
§ 1. 概述	6
§ 2. 重力法	6
§ 3. 地震学	16
§ 4. 地球內部的密度、彈性、重力和压力	24
§ 5. 地球內部的溫度	31
§ 6. 地球的电場和磁場	34
§ 7. 地球內部构造与能源的地质假說	40
§ 8. 簡短的結論	53
第二章 地壳构造的研究	55
§ 9. 概述	55
§ 10. 重力法	56
§ 11. 地震学	67
§ 12. 应用其他方法的結果	85
§ 13. 地壳內部结构的地质假說	92
§ 14. 簡短的結論	106
第三章 构造分区时应用地球物理方法的物理地质	
前提	108
§ 15. 概述	108
§ 16. 沉积岩的物理性质	111
§ 17. 結晶岩石的物理性质	130
§ 18. 构造分区时应用地球物理方法的途径与可能性	133
§ 19. 簡短的結論	136
第四章 地槽区的构造分区	138
§ 20. 概述	138
§ 21. 地槽区一般构造图景的調查	139
§ 22. 地槽区巨大构造单元性质的研究	163

§ 23. 地震分区	172
§ 24. 简短的結論	176
第五章 地台区的构造分区	178
§ 25. 概述	178
§ 26. 結晶基底内部构造的研究	178
§ 27. 結晶基底表面起伏的研究	189
§ 28. 沉积岩地层結構的研究	195
§ 29. 地台构造与磁重异常間接对应原因的地质假說	211
§ 30. 简短的結論	224
附录	226
I. 計算重力异常时应用各种校正的說明	226
II. 西西伯利亚低地区域地震調查的工作方法	227
参考文献	235
內容索引	248
地理名称和地质区域索引	256

緒 言

十九世紀末与廿世紀前半期在世界經濟中标志着生产力与工业生产的迅速发展。新的工业部門，例如，石油、电工以及汽車、航空、原子能等接踵出現；在此期間，化学获得巨大的成就。

工业的发展要求大量增加矿物原料的开采量。这就不仅需要提高矿床勘探与开采的技术（例如鉆探），而且需要进一步发展加工与选矿工艺。对于地质学这门研究地球内部构造及矿产分布規律的科学，提出了新的要求。

十九世紀末叶，工业上利用容易发现的矿床（出露地表或深度較浅仅为疏松沉积复盖着的）就可以滿足，但在这以后就必须发现和利用埋藏很深的、在地面看不見任何标志的矿床；这种矿床的位置是由测区深部地质结构的某些特点决定的。

在寻找这些埋藏很深、露头很少的矿床时，找矿勘探方法的缺欠就特別明显。仅仅观察地表、揭露和研究埋藏在薄层疏松沉积之下的基岩的一般地质测量与找矿方法就显得不足了。这些方法在寻找有厚层疏松沉积掩盖的地区内的各种矿床时暴露出明显的缺点。特别是对于在现代經濟与政治中起着十分突出作用的原料——石油矿床（油田），因为石油和可燃气体的勘探和开发經常是在地下深处——离地表約为 3—5 公里处进行的。

这样，在廿世紀初，在地质学与地质勘探事业中就要求創立并发展新的矿床普查和勘探方法，因而也要求了解有用矿物在地球内部的分布規律。这就决定了在地质学与地质勘探事业中有地球物理方法出現——称为勘探地球物理学或实用地球物理学^①的

① 这两个名詞——“勘探地球物理学”，尤其是“实用地球物理学”——在意义上不能認為与其所表示的内容完全符合。在下面的闡述中，我們应用其中第一个名詞，因为它极为广泛地应用于教材与科学文献中。

一門新的地质学科便創立并发展了起来。

地球物理的研究方法，大体上比勘探地球物理学的出現要早很多，它們是随物理学以及一般來說随自然科学在十五世紀到十七世紀的发展而产生的。例如，重力法的誕生就与十七—十八世紀偉大学者伽利略、牛頓、惠更斯的工作有关。重力法在天文学（天体力学）中以及在研究大地形状时，特别是在探討与計算鉛垂綫偏差有关的均衡假說（在第二章內我們將看出，均衡假說的物理地质概念是怎样发展起来的）的大地測量学中得到初步发展。磁法还在古代的中国以及在欧洲就已經誕生，到十五—十六世紀已經成为众所周知的了。磁法的初步发展主要与航海学以及測量学的实际要求与任务有关。地震法是十九世紀末在用仪器方法記錄地震的基础上产生的。

地壳以及地下較深各带的地质結構，在某种程度上与地面及其附近的各種物理場的分布有关。勘探地球物理学就是要确定和詳細說明这种关系，并且根据在某些地区內进行專門野外工作的方法所获得的物理場分布的資料，利用上述关系以解决各种地质問題。

地球物理方法在地质学中的应用，勘探地球物理学的出現与发展，以及在地质学中物理化学方法的应用和地球化学、构造結晶学、同位素地质学等等的出現，真正地标志着地质科学发展中的革命时期。它意味着自然科学从經驗科学向理論科学的轉化。Φ·恩格斯曾經卓越地給这种轉化下了定义：“……自然科学本身也說明了自然界中所存在的各个研究部門（力学、物理学、化学、生物学等等）之間的联系，而由經驗科学变成为理論科学，并且把所得到的成果加以概括化，又轉化成为唯物論的自然認識体系”（Φ·恩格斯，“自然辯証法”，人民出版社，一九六二年，北京，第161頁）。Φ·恩格斯的这个意見，在我們今天仍旧是現實的，因为，多半是由于对这門科学还不熟悉，現在仍有对地质科学的理論認識似乎价值不大的說法。

現在，在地质学与地质勘探事业中应用地球物理方法，在任

务、野外地球物理工作的方法与技术以及其结果的专门解释方法等方面都有其特点。下面我们讨论两个特别重要的总的原则——地质地球物理调查中的方法的综合性与任务的综合性。

根据第一个原则（方法的综合性），为了有效地解决地质问题，要求同时应用地球物理方法、地质测量与山地勘探工作。在综合地质勘探工作中合理地应用地球物理学一般归结为：依一定顺序、紧密配合地应用几种方法，用每一种方法解决一部分问题，而对于解决这部分问题来说，用这种方法在物理地质与技术经济条件上都是最合理的。

进行野外地球物理工作以及对其结果作地质解释时，最好综合应用各种方法。可以作为范例的是：根据 В.И. 列宁倡议（从 1919—1921 年内）而开始的对库尔斯克磁异常区研究的最初几年内，那里就已经应用了几种地球物理方法：磁法、重力与以后的地震法，并且曾经试图制订一个对野外工作结果作综合解释的方法（П.П. 拉扎列夫 [Лазарев]，1926 年）。

从三十年代开始，地球物理方法的综合应用在解决大顿巴斯问题，以及寻找金属矿床时都取得很大效果；在这以后，地球物理方法的综合应用才逐渐获得普遍的承认。

应该指出，中央地质勘探科学研究所——全苏地质科学研究所（列宁格勒）与列宁格勒矿业学院的地球物理学家在运用这种思想方面起了巨大的作用。他们用野外工作的实际结果证实地球物理综合应用的合理性与必要性，并且在总结、文章、报告、讲义等之中进行宣传。还在 1935—1936 年内，列宁格勒矿业学院就尝试着设立有关地球物理综合问题、地球物理工作的合理设计问题等的专门课程。

现在，地球物理方法的工作组织、实施以及结果的地质解释的综合原则，已经成为苏联地球物理学的主导原则。

勘探地球物理学发展的现阶段的标志是，对第二个原则也逐渐地承认。这个原则可以定义如下：在普查有用矿床或普查与矿床有关局部构造之前（或同时），应该用地球物理方法和其他方

法对整个测区内巨大深部构造单元进行地质調查。

庫爾斯克磁異常区的工作經驗又可以作为实例。該处在发现巨大富鉄矿床之前，曾經用地球物理方法和鉆探对苏联欧洲中部基底进行了多年研究，其中包括与富鉄矿床共生的含鉄石英岩褶皺层的分布与构造的研究。寻找由区域构造所控制的石油矿床的实践是很典型的实例。

成功地寻找大頓巴斯外围煤田的工作，也是卓越的实例。工作要求在大范围内研究海西褶皺基底表面的构造，并确定它与前寒武紀俄罗斯地台边界的輪廓。此处順利地应用了多种地球物理調查方法与鉆探。在解决一般性的成矿問題和編制各种金属矿区的矿产預測图时，也必須研究深部区域构造；而且，地球物理方法对于許多类似的地区都肯定地指出了成矿带与深部构造的联系。

應該考虑到，虽然上述两个基本原则很重要，然而却經常不能得到全面的理解，或者理解得太死板，并且錯誤地加以使用。常常是为了解决某种地质問題应用着几种地球物理方法，但是調查是在同一块面积上进行的，只是机械地互相重复，不論在进行野外工作或者在解释其結果时都沒有互相協調配合，甚至于有时对每种方法还单独編写总结报告。經常也遇到这种情况：企图只用一种方法（通常是用反射波法地震勘探）解决地质問題，虽然綜合应用几种方法可以給出圓滿的解答。例如：盐丘的勘探，特别是对盐丘陡翼的研究就是这样，而这种問題只要綜合利用重力勘探与地震勘探就可以保証取得有充分价值的解答。

上述第二个原則也經常遭到破坏，这一点通常表现为在构造分区的一般性問題还未得到充分解决，即在深部区域构造单元尚未研究的地区内布置找矿工作。例如，在俄罗斯地台就发生了这种情况：在此地台范围内，許多年以来一直进行很大比例尺的普查石油、天然气、煤、鋁土矿等工作，然而，到現在还没有进行起碼必要的构造分区工作，如在許多地区内还没有进行过航磁測量。

这种情况对找矿工作的計劃和质量都有很坏的影响。近来，在区域地球物理工作还未进行或工作量进行不足的許多金属矿区内，还可以看到类似的“地球物理的事务主义”。輕視区域地球物理工作的必要性的原因，一部分是由于其結果的地质解释比找矿工作难得多，而且研究得还不够充分，这一点，我們在下面将会看到。因此，在培訓将来的地球物理学家与地质学家时，应该对区域地球物理工作的問題給以特別的注意。

勘探地球物理学按所应用的研究方法是物理科学，而按研究对象則是地质科学。因之，可以用不同的形式来确定勘探地球物理学的各个部分。通常从物理学的观点进行这种划分和研究各种地球物理方法：重力勘探、磁法勘探、电法勘探、地震勘探等。根据方法来划分勘探地球物理学，对于研究其物理基础与仪器比較方便。这种划分在生产技术方面也比较方便。

必須根据所調查的地质对象与任务来詳細研究各种地球物理方法的应用条件与应用可能性。这一点在把几种方法合理地綜合起来并推荐应用和实际应用以解决某些問題时，对于闡明其中各种方法的意义与作用也是很重要的；而且各种方法的綜合每一次都应该根据实际的物理地质条件、技术条件以及經濟条件的总和来确定。为此，应该应用綜合性的学科，其出发点不是个别方法的物理基础与技术方法，而是勘探地球物理学中全部方法綜合起来所能解决的地质問題。总之，本书的任务是：闡明区域构造地质学与大地构造学中应用各种地球物理方法的可能性，并且討論应用它們的合理性与有效性。

第一章 地球內帶的研究

§ 1. 概 述

地球內部構造的問題是地質科學中最難的，同時也是最重要的問題之一。大多數地質學科，如大地構造學與物理地質學、金屬礦床學等，都建立在有關地球內部構造以及地殼構造的某種假說之上。地質學的對象是整個地球。

在研究出露於地表的岩石時，我們可以獲得厚度不超過10—20公里的岩石圈表面附近構造的概概念（我們指出，即使最深的鉆孔所達到的深度也小於此數，約為5—7公里）。落於地表的火山噴發產物，看起來深度也不超過十幾公里。因此，直接研究地球深部是十分困難的問題，然而可以預期，隨著原子能應用的進一步擴大，使我們有可能直接研究更深處的物质狀態。

地球內部構造的研究所，只能使用相鄰科學如地球物理學、物理學、測量學、隕石學、天文學等關於上述問題的間接資料。其中最有意義與最肯定的是表示地球內部物质物理性質的地球物理資料；有關地球內部構造與發展的許多假說就是在這些資料的基礎上建立的。

下面我們討論應用各種地球物理方法時所獲得的資料，以及從表示地球內部構造的其它相鄰學科中借用來的資料。

§ 2. 重 力 法

重力法在研究地球內部成分與構造時有很重要的意義。在歷史上它的發展較其他地球物理方法早很多。從十八世紀開始，重力法與緯度測量一起就用來研究地球的形狀^①。

① 關於這一點，在A·A·米哈依洛夫的著作中有較詳盡的討論〔23，第198—199頁〕。

早期的測量已經指出，地面上重力相對變化 Δg 與整個 g 值相比是不大的（現在我們已經知道，這種變化幾乎不超過 $0.006g$ ）。這種情況不僅証實古代學者所作關於地球為近似球形的結論，而且指出地球內部質量分布的球對稱性。這就是說，可以一級近似地將地球看成為具有均勻密度或由等密度的同心層組成的圓球。

根據比較精確的測定，地球是一個扁球體，或是扁度 α 很小的旋轉橢球（圖 1）。

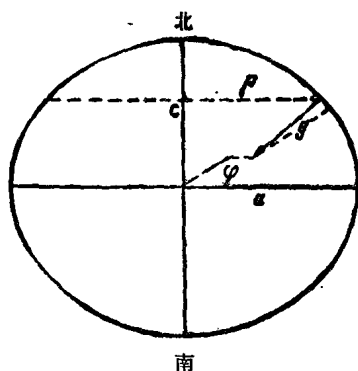


圖 1 測定扁球體的圖

$$\alpha = \frac{a - c}{a}, \quad (\text{I.1} \textcircled{1})$$

式中 a 為赤道橢球的赤道半軸； c 為它的極半軸。

地球的這些特性是根據幾何（緯度）測量與重力測量確定的。按照所得的資料，子午綫一度之長是從赤道向兩極方向減少，而重力值則增加（此處我們指的是正常重力值）。

可以從克列羅（теорема Клеро）定理^②來確定地球扁球體的扁度：

$$\left. \begin{aligned} r &= g_a (1 + \beta \sin^2 \varphi); \\ \beta &= \frac{5}{2} q - \alpha; \end{aligned} \right\}, \quad (\text{I.2})$$

式中 r ——由密度均勻的同心層組成的扁球體表面上的重力值；

① 在公式的號碼中，第一個符號（羅馬字）表示各章的順序數目，第二個符號（阿剌伯字）表示公式的順序數目。

② 例如，在 А·А·米哈依洛夫的著作〔23，第 52—61 頁〕中可見到克列羅定理的結論。

φ ——具有 r 值的点的緯度；

g_a ——赤道上的重力值；

q ——赤道上离心力与重力之比， $q = \frac{\omega^2 a}{g_a}$ ；

ω ——地球自轉的角速度；

a 与 α 的意义与公式 (I.1) 中相同。

在公式 (I.2) 中，用实际在緯度 φ_1 上测量的重力值 g_1 和在緯度 φ_2 上测量的 g_2 代替 r 值（因为重力异常值比其整个值小，所以这样做是可以的），我們求得：

$$g_1 = g_a(1 + \beta \sin^2 \varphi_1),$$

$$g_2 = g_a(1 + \beta \sin^2 \varphi_2).$$

在已知天文测量值 a 与 ω 时，由此处可以确定 g_a 与 β ，因而也可确定 α 值。其实，为此目的并不用克列罗方程式，而用下列测定正常重力值的較精确的公式：

$$r = g_a(1 + \beta_1 \sin \varphi + \beta_2 \sin^2 2\varphi). \quad (\text{I.3})$$

公式 (I.3) 中的系数实际并不是根据两次重力测量来确定的，而是根据許多次重力测量并用最小二乘法計算出最大可能值。

按照苏联测量学家 $\Phi \cdot \text{H} \cdot$ 克腊索夫斯基及其学生的研究 [13]，正常重力值公式中的系数以及参数 q 与 α 有下列值：

$$g_a = 978.0490 \text{ 伽},$$

$$\beta_1 = 0.00530029, \quad (\text{I.4})$$

$$\beta_2 = 0.0000059.$$

$$q = \frac{1}{288.4},$$

$$\alpha = \frac{1}{298.3}.$$

根据 $\Phi \cdot \text{H} \cdot$ 克腊索夫斯基，子午綫橢圓的长半軸等于 $a = 6378,245$ 米^①。

① 从 1946 年起，苏联进行的所有测量工作都以 $\Phi \cdot \text{H} \cdot$ 克腊索夫斯基橢球为基础。

从上述数据中可以得出許多对我们很有意义并且很重要的結論和結果。首先，有可能导出地球的质量与平均密度值。和前面一样，作为第一近似，可以認為地球是由密度均匀的地层所組成的圓球、半径为 R ，再略去数量上相对小的地球旋轉效应，于是，对球体表面上一个质量等于1的质点，可以写出以下的等式：

$$g = \frac{kM}{R^2}, \quad \text{由此} \quad M = \frac{gR^2}{k},$$

式中 M ——地球的质量；

k ——引力常数($k = 66.7 \times 10^{-9}$ CGS)。

可以将这个公式写得更明确一些，如果将实际地面上各点的 g 和 R 的平均值代入，于是得出

$$M = \frac{g_{\text{ср}} \cdot R_{\text{ср}}^2}{k}. \quad (\text{I.5})$$

知道了 M ，我們进一步从关系式

$$M = \sigma_{\text{ср}} \cdot \frac{4}{3} \pi R_{\text{ср}}^3. \quad (\text{I.6})$$

来确定地球的平均密度 $\sigma_{\text{ср}}$ 。

如果将地球看作由密度均匀的同心层所組成的扁球体，就得到测定 M 与 $\sigma_{\text{ср}}$ 的較精确的公式。在这种情况下，地球扁球体的质量 M 决定于下式^①：

$$M = \frac{g_a \cdot a^2}{k} \left(1 - \alpha + \frac{3}{2} q \right). \quad (\text{I.7})$$

我們从下列关系式中得到平均密度：

$$M = \sigma_{\text{ср}} \cdot \frac{4}{3} \pi a^2 c. \quad (\text{I.8})$$

公式(I.7)与(I.8)中符号的意义与公式(I.1)及(I.2)相同。用上述方法测出的地球的 M 与 $\sigma_{\text{ср}}$ 数值是这样的：

① 这个公式的結論見A. A. 米哈依洛夫的著作[23, 第99—100頁]。