

深部地质学原理

〔苏联〕Ф. С. 莫伊谢延科



地质出版社

深部地质学原理

〔苏〕Ф.С.莫伊谢延科 著

高中和 译

陆 克 校

地质出版社

内 容 简 介

本书第一次系统地叙述了深部地质研究的方法、结果和某些问题。书中分析了深部地质学的内容和对象,介绍了深部地质研究中的地质学、地球化学、物理学、岩石物理学、地球物理学和地质-地球物理方法。书中阐述了关于地壳和上地幔的结构及成分的新概念以及地震界面的性质;介绍了大陆和大洋的一些区域性深部探测的资料;分析了地壳深部结构与近地表结构的相互关系。从研究地球内部的构造、成分和状态的角度,论述了地震活动性、地壳均衡、热场和地球物理场随时间的变化。根据深部研究结果,提出了解决许多最重要的地质学问题的途径。

本书可供高等学校地质系和地理系高年级学生作为教学用书。对于地质学家、地球物理学家和地球化学家也是一本有益的参考书。

Ф.С.Моисеенно

ОСНОВЫ

ГЛУБИННОЙ

ГЕОЛОГИИ

ЛЕНИНГРАД «НЕДРА» ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

1981

深部地质学原理

[苏] Ф.С.莫伊谢延科 著

高中和 译 陆克 校

责任编辑:张怀素

地质出版社出版

(北京西四)

河北省蔚县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本: $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: $9^{1/4}$ 字数: 239,000

1986年3月北京第一版·1986年3月北京第一次印刷

印数: 1--2,472册 定价: 2.60元

统一书号: 13038·新247

序

人们对于地壳和上地幔结构、成分和状态之所以更加感兴趣，是由于科技革命的结果。这场革命为科学研究提供了更多的机会，同时也使国民经济对自然资源的需要急剧增加。地球深部探测将会为深部矿藏的预测打下科学基础。国际地球物理年计划（1957~1958年）和国际上地幔计划（1964~1971年）有力地推动了地壳和上地幔的深部研究工作。这两次计划的倡导者和鼓动者就是B.B.别洛乌索夫（Белоусов）。根据他的主张，这些研究工作从一开始就具有地球学的特点，即地质学-地球化学-地球物理学的特点。近年来，许多苏联及国外的地质学家、地球物理学家、地球化学家、物理学家、岩石物理学家，研究了地壳和地幔的构造与成分、深部物质的物理特性与物理状态，以及地壳形成的历史与机制。他们还详细研究了深部探测工作的方法和手段。

苏联学者B.B.别洛乌索夫、Г.А.甘布尔采夫（Гамбургцев）、Ю.Н.戈金（Годин）、Р.М.杰梅尼茨卡娅（Деменицкая）B.B.费登斯基（Федынский）、И.П.科斯明斯卡娅（Косминская）、С.В.克雷洛夫（Крылов）、B.C.索博列夫（Соболев）、H.B.索博列夫、H.A.别利亚耶夫斯基（Беляевский）、A.A.鲍里索夫（Борисов）H.И.帕甫连科娃（Павленкова）、H.H.普泽廖夫（Пузырев）、И.В.利特维年科（Литвиненко）、Г.Н.谢尔巴（Щерба）、B.A.库托林（Кутолин）、E.B.阿尔秋什科夫（Артюшков）、B.A.马格尼茨基（Магницкий）、Ю.М.谢因曼（Шейнман）、E.H.柳斯齐赫（Люстих）和其他许多人对地球深部的认识作出了很大贡献。苏联深部研究工作主要是具有综合地质-地球物理的特点。这是由A.Д.阿尔汉

格爾斯基 (Архангельский)、В.В.費登斯基、Е.Н.柳斯齊赫、Э.Э.福季阿基 (Фотиади) 開創的。

學科的細分、專業的狹窄，仍然是深部地質學尚未成為地質科學的獨立範疇的原因。某些深部研究方法是各種不同的、常常很窄的專業範圍內發展起來的，其中有些專業與地質學並沒有直接關係。深部地質工作往往建立在抽象模型的基礎上，這些模型遠不同於實際地質情況。

目前還沒有一本系統敘述深部地質學的內容和任務、研究方法、研究結果以及解決一些重要地質問題的途徑的書。有關這些內容的資料分散在專門討論深部地質學問題或某些地區深部地質問題的大量專著和論文中。為了在某種程度上填補這方面的空白，並勾繪這一充分發展的地質學科分支的輪廓，作者謹向讀者提供本書。它是作者於1971年在以А.А.日丹諾夫命名的國立列寧格勒大學講授的《深部地質學教程》的基礎上寫成的。

本書無疑有不足之處。最主要的是：1)對深部地質學各個方面的論述不平衡，明顯偏向於構造地球物理；2)在解決具體問題時，地質學、地球物理學、地球化學的資料和其它資料的聯繫不夠。第一個缺點很難克服，因為不敢把教科書變為各種假說的匯集。至於第二個缺點的排除，暫時還沒有足夠的基礎。

書中有關深部地質學的一切問題的闡述和研究，都以經典地質學觀點為出發點。新活動論觀點的反映不如在現代地質文獻中多。之所以這樣做，有兩條原因：同時從兩種相互矛盾的學派觀點進行完整的闡述是不可能的；按照我們的觀點，地槽理論一定優於活動論。

作者給自己提出的目標是寫一本深部地質學原理，而不是完整的深部地質學。這就是本書以介紹工作方法和深部地質研究原理為主的原因。列舉一些以公式化或者非常一般的地殼結構方面的資料為基礎的研究結果作為例子，是沒有意義的。有關礦床成因區劃和闡述深部構造與油氣田之間關係的許多著作就是如此。直接地質方法的研究對象，其中包括沉積雜岩的構造，不在深

部地质学的研究对象之列；尽管从找寻各种不同矿床的观点上来看，沉积杂岩的构造也有很大意义。

本书是作为教科书编写的，但是它缺少深部地质学的，甚至其某些分支的已发表的教学资料，这就使作者不得不摘引许多原始材料。参考文献目录以简略的形式列出。

作者真诚地感谢权威评论家——列宁格勒矿业学院构造和海洋地质教研室主任П.С.沃罗诺夫 (Воронов) 教授和该教研室的全体同志以及全苏地质研究所副所长А.А.斯梅斯洛夫 (Смышлов) 教授对本书手稿提出的珍贵意见。

作者非常感谢乌恩基娜·伊万诺夫娜·莫伊谢延科——写作本书的倡议者和全部手稿整理工作的组织者，并将此书献给她。

引 言

《深部地质学》课程涉及的问题，同只能用间接方法（地球物理、岩石、地球化学的方法等）研究的地壳各带有关。本书探讨了研究地壳和地幔上部深部构造以及其中各种作用的方法和结果，分析了深部探测的特殊方法和问题，列举了利用深部探测结果解决区域性或全球范围内动力地质学、构造地质学和历史地质学中的一般理论问题的实例。

任何一门学科都产生于对某件事物或现象进行研究的必要性，即任何科学都有其研究对象。这就产生了一个问题：即事物的哪些性质应予研究，目的何在？本书第一章叙述了深部地质学的研究对象和任务。

根据探测对象及其性质和所提出的任务，选择和制定探测方法。工作结果及其表现出来的特点在很大程度上取决于探测方法。本书第二章叙述探测方法。

采用某种方法或者综合方法，可以从不同侧面来了解所研究的对象。因此，通常首先研究探测对象的空间（几何）特征及其成分、构造和各部分之间的相互关系。换句话说，就是在地球圈层处于不活动的、静力学的状态，即处于研究时的瞬息状态时，对地球圈层的深部结构进行研究。第三章阐述这个问题。

即使关于组成地壳和地幔的地质体的空间特征上的资料是最准确、最客观的，对于建立有关地球圈层的完整概念来说仍然是不足的，因为这些圈层是地球上正在活动的、正在发展的部分。无论是改造地球外貌的作用，还是改造地球内部结构的作用，都在经久不息地进行着，地球的物理场也相应地改变。由此可见，研究地球深部的动力学是必要的，这就是第四章的内容。

在有些情况下，地壳和地幔的动力学效应(Динамичность)

表现得非常剧烈，如地震时发生的情况就是如此；在另一些情况下，动力学效应又表现为缓慢的能量再分配，象岩浆作用、振荡运动等这样的地质作用所反映出的情况。相应地，地球热场和均衡状态也将发生改变。地球物理场的变化较快，很明显反映了地壳、地幔或大气圈中同时发生的作用。近地面的各带里所发生的各种变化，以不同的方式表现在不同成分和不同状态的岩石里，这就为判断地球内部的动力状态提供了可能性。分析地壳和地幔的不同部分在空间上的相互关系更有助于这种判断。在这方面，探索深部构造与近地表构造的相互关系尤其有前途。

由于研究了地壳和地幔静力学及动力学特征，有可能解决许多地质学的问题。第五章写了这方面的内容。

当然，这些问题涉及的范围很广，书中只讨论了其中某些部分。

有关深部地质学的参考文献是相当丰富的。大部分已发表的文献专门论述了深部地质学的某些问题和某一具体地区或者在一定的大地构造条件下的深部探测结果，以及某些方法的制定。也有一些有关深部探测的方法技术的著作。关于地壳和上地幔中发生的作用和引起岩石圈构造运动、岩浆形成、成矿及其它地质现象的作用方面的文献非常多。一般说来，有些假说尽管自以为起理论作用，但或多或少总是设想的，有时甚至是离奇的。在这样大量的假说还建立在不很可靠的事实基础上的情况下，我们最好不要把注意力集中在深入分析超出常规的概念上，而是要深入分析事实本身，分析这些事实的可靠性、可信性，以及它们与近地表的地质学资料是否符合。

目 录

序

引言

第一章 深部地质学的研究对象和任务	(1)
深部地质学的分出是地质科学发展和国民经济需要的 结果.....	(1)
深部研究的内容.....	(3)
地球物理学时期以前关于地球内部结构的观念.....	(5)
第二章 地壳和上地幔的研究方法	(11)
地质学方法.....	(11)
地球化学方法.....	(22)
物理学方法.....	(25)
岩石物理学方法.....	(31)
地震波在岩石中的传播速度.....	(31)
岩石的密度.....	(33)
岩石的磁性.....	(38)
岩石的电性.....	(41)
高温高压岩石物理学.....	(43)
根据动力学研究资料讨论岩石的物理性质.....	(52)
地球物理方法.....	(54)
地震法.....	(54)
重力测量法.....	(62)
磁测法.....	(67)
重力场和磁场定性特征的应用.....	(70)
电测法.....	(74)
地热法.....	(76)
地质-地球物理方法	(78)

深部研究中不同方法的关系	(92)
第三章 地球深部静力学	(96)
现代地球模型	(96)
地幔	(101)
下地幔 (D 层)	(101)
上地幔 (B层 和C层)	(102)
地幔的成分	(111)
地壳	(119)
根据地震资料得出的地壳内部结构	(120)
根据独立的地质-地球物理资料得出的地壳结构	(134)
资料的可比性问题	(137)
地壳结构的一般图象	(141)
关于地壳成分和地震界面性质的概念	(145)
世界某些地区的地壳和上地幔结构	(155)
欧亚褶皱区和某些海洋	(156)
苏联境内深部结构的一般特点	(156)
苏联的褶皱区	(159)
欧洲其他国家的褶皱区	(176)
北美褶皱区	(178)
北美西部褶皱带	(178)
阿巴拉契亚褶皱系	(181)
地台	(183)
东欧 (俄罗斯) 地台	(183)
西伯利亚地台	(186)
西西伯利亚台坪	(187)
图兰台坪	(189)
北美地台	(190)
褶皱区和地台地壳结构特征的比较	(192)
大洋	(192)
太平洋	(193)
大西洋	(199)

印度洋·····	(201)
大洋水域的地幔·····	(203)
地壳深部结构与近地表结构之间的关系·····	(204)
参数对比·····	(204)
地形高度和壳下层埋藏深度之间的关系·····	(206)
根据详细工作资料得到的地壳深部结构与近地表结构 的某些关系·····	(211)
第四章 地球深部动力学·····	(216)
地震活动·····	(216)
震中和震源的空间分布·····	(216)
地震现象随时间的规律·····	(220)
震源区的应力状态·····	(221)
地震和地质构造·····	(223)
地球深部各带的结构和状态·····	(226)
地壳均衡·····	(228)
均衡异常·····	(228)
均衡面的多层性·····	(231)
地壳均衡对认识地壳深部结构和地壳发展过程的意义·····	(234)
热场·····	(237)
地球能量平衡中的热量·····	(237)
热 源·····	(238)
地壳上部各带中的热分布·····	(241)
构造单元的地热特征·····	(243)
地球内部的热分布·····	(244)
热场与其它地球物理场的相互关系·····	(247)
古地热学的几个问题·····	(248)
地球物理场随时间的变化·····	(250)
重力场的变化·····	(250)
磁场的变化·····	(253)
第五章 地壳和上地幔在结构和发展上的某些共同问题 ·····	(256)
地壳和地幔的结构·····	(256)

地壳的形成和发展.....	(258)
从深部地质学资料讨论岩石学的规律性.....	(266)
从深部地质学观点讨论某些大地构造问题.....	(268)
从深部地质研究的观点讨论成矿作用的某些问题	(270)
深部地质学的基本地质-地球物理问题	(274)
附录 物理量单位.....	(278)
参考文献.....	(281)

第一章 深部地质学的研究

对象和任务

深部地质学的分出是地质科学 发展和国民经济需要的结果

地质学除了解决其自身的主要任务——保证矿物原料的需求外，还应该为工业、水电、建筑部门提供可靠的关于地质构造的特征、力学性质和随时间变化方面的资料。这些要求促进了地质探测的迅猛发展，无论是野外考察、实验工作还是理论研究都是如此。由于在广大范围内对地壳近地表各带研究得比较充分，所以地壳的各带及其分布和地质发展规律已被查明和描述。但是，对已知事实和规律的解释、对这些规律的表达方式，以及对这些规律在整个科学知识体系中的作用，迄今还是众说纷云，莫衷一是；似乎在地质学的所有基本问题上，地质学家们的认识都有一些似是而非的矛盾。

地壳是地球的各个圈层在非常复杂的、各种各样的相互作用下的产物，显然，宇宙因素也显示出重大影响。因此，对地球表面所观察到的重要地质现象做出的任何解释，不可避免地要涉及地球深部资料，或者地球与天体相互作用的资料，这是很自然的。但是，由于只有地壳表层的一层薄皮能为地质学家所直接观察，故我们关于深部的知识是贫乏的，有时甚至是矛盾的。这样就产生了一些内容相反的假说，它们之间的斗争可以延续数十年，各有胜负。坚持大陆处于比较稳定位置的固定论者与确信各

大陆水平位移达数千公里的活动论者之间的争论进行了半个多世纪。地质学中另一个争论不休的问题，是估计垂直运动和水平运动在地壳构造形成中的相对作用以及推覆构造出现的规模。关于成矿物质源于壳下还是源于壳内的争论也远没有结束。当然，在争论中可以加深对现象的认识，人们可以在各种可能的答案中选择一种最大可能的解答。但是，这些争论本身却不可能导致问题的根本解决。要是缺乏有关地球深部的构造、成分、物质状态和它们中所发生的各种现象的可靠知识，就不可能把假说发展成为有根据的理论。

地质学的任何一门学科都有一些最关键的问题，如果缺少深部地质学的一定的成就，要解决这些问题是不现实的。

在找矿理论中，成矿物质的来源、成矿带与构造带的关系、矿床分布规律、控制单旋回矿体还是多旋回矿体的因素，便属于这样一类问题。弄清楚地表见到的金属和非金属矿床在深部出现的几率有多大，这也是非常重要的。上述问题中，关键是第一个问题——成矿物质的来源。如果将壳下层当作矿源，那么显然，正如为解决矿床成因问题的所有深部研究工作一样，找矿工作应集中在断裂带上，特别是深大断裂上。如果矿石组份在某种程度上是由地壳物质供给的，那么就应对地壳的结构、成分和状态进行全面详细的研究。由此可见，深部研究工作的方向和特点取决于对矿物来源的看法。但是，这是一种相互的依赖关系：即使最一般性的地壳结构的研究工作也会有利于某种成矿假说。

某些岩石学问题的解决也取决于深部研究工作。属于这类问题的有：花岗岩的成因、侵入岩浆作用的空间和热源、岩浆岩的时空分布规律、地球表面和地壳深部及上地幔不同成分的岩石分布规律之间的关系。深部研究工作的总方向很大程度上取决于这类问题的解决。譬如说，先验地把许多岩石学的过程和现象的起因认为是深部的，把更多的注意力集中在地壳下部的构造，这就在某种程度上失去了对地壳上层的兴趣。

大地构造学的问题非常复杂，没有深部构造的研究，要满意

地解决这些问题实际上是不可能的。构造区划就属于这一类问题，由于保存下来的构造的不完整性及其结构的多期性，使得这项工作很难进行。褶皱和断裂作用的能量问题也属于这一类问题。由于缺少应有的深部资料，阻碍了地质学的许多任务和问题的深入研究，这种状态可能还要持续下去。

科学技术的进步也以原料资源的加速利用作为自己的结果，与此同时，在近地表条件下发现新矿床的前景却日趋暗淡，因为它们的数目和储量并不是无限的。所以，提出扩大研究地壳和上地幔的任务，目的仍在于研究矿产的形成过程和分布规律。在地表寻找没有明显标志的矿床，首先需要有深部结构的知识，根据这种知识我们有希望发现矿产；也需要了解矿床在深部构造中的分布规律等。

由此可见，深部地质学作为地质科学的一个独立分支而被划分出来，从根本上说，是地球知识的发展和科学技术进步的必然结果，是地质学对实际需要的回答。

深部研究的内容

深部研究通常与地球内部的地球物理研究结合在一起。实际上，地球物理方法所确定的仅仅是地球内部的不均匀层及壳幔界面的几何形状和地球物理参数，这是深部地质学的一项最重要的任务，但不是唯一的任务。地壳和地幔的成分，各个不同层面物质的物理状态、性质和性状，是地球化学和岩石物理学的研究内容（这些学科都引用了各种实验研究方法）。在解决深部地质学的任务中，构造地质学、古气候学、天文学、行星学等做出了出色的贡献，但是现阶段在深部研究中起着最显著作用的还是地球物理学。

深部地质学的研究对象是地球深部各个带的结构（成分和构造），它们的发展历史，以及在這些帶里正在进行的作用。但是，如果把地表到地心的整个地球包含在深部地质学的研究范畴

内，也还为时过早，因为目前认为确实可靠的关于地球深部的资料混杂着许多假说。合理的提法是只研究地壳和上地幔，也就是说，按大多数地质学家和地球物理学家的意见，仅研究那些与经典地质学的研究对象——地壳的近地表部分有紧密联系的地球圈层。地质找矿工作的实践和地质学各个分支的理论恰恰需要这些地球圈层的资料。在这样的情况下，《深部地质学教程》可以认为是描述地壳和上地幔的地质学。因此，深部地质学应该研究地壳和地幔的成分、构造及其岩石的物理性质和状态，地壳和地幔里已经进行的和正在进行的作用，以及描述地壳产生和发展的历史，并确定构造圈的深部结构与近地表地质的相互关系。深部研究的根本目的是获取解决各种地质学问题的资料，并为寻找深部矿床奠定基础。

一些研究者曾正确地指出，在某种场合下，用传统的地质学方法，如钻探，研究3~6公里的深度并不属于深部研究范畴^[61]；而在另一种场合下，数百米深的研究已属于“深部研究”。因为在第一种情况下，地质学家可直接获得有关岩石和构造的资料；而在第二种情况下，只是间接地指明岩石的可能成分。显然，不能直接用地质学方法进行的那一部分地壳应该属于深部地质的研究领域，而不管其埋藏深度如何。当然把地壳的研究工作分为“深部”与“非深部”是相对的，实际上用间接的方法研究深部必然与地质工作同时进行，地质工作的可能性决定于钻探和山地工程发展的水平。

在褶皱区和地台区，“深部”的上界线是有区别的：在褶皱区，上界线很少低于1km；在地台区，上界线深度4~7km。对地壳上那些钻井达不到的地方及地幔的研究工作，毫无疑问属于深部地质学。根据上述观点，不应该把深部（或三维）地质-地球物理测量——它实际上是最重要的地质学分支之一——看作是深部地质学的一部分。岩石学、矿床成因学、构造学的工作与深部地质学也没有直接的关系。尽管这些学科利用了深部地质学的一些最基本的资料。

对深部地质研究工作有两种观点。一种观点认为，对于解决某一项具体任务或一系列任务来说，大家对每种方法的作用都已相当明确，每种方法能满意地完成所担负的使命。为了成功地解决一些问题，只需要根据地质情况合理地、准确地选择综合的地球物理学、地质学、地球化学和其他方法。

另一种观点认为，各种不同方法在解决具体地质任务时还不成熟。应该注意到，地质学中许多观点建立在假设的基础上，这些假设本身还需要证明。例如，地壳的分层不应该只是严格按照地震资料，因为根据地质测量所描绘出的深部褶皱在地震资料中不一定会反映出来。地震界面也并不总是重力异常体或磁性体的界面。这种观点使得地质学家和地球物理学家开始怀疑一些已获得的信念。已取得的真理具有相对性，还需要受到检验和证明。这样一种对于深部地质-地球物理工作的态度可以称之为研究，作者在本书中特别注意到这个问题。

地球物理学时期以前关于 地球内部结构的观念

只是随着地球物理探测方法的出现，对地球深部结构的研究才有了发展，这种观点广为流传。但是历史表明，在地球物理学时期以前，地质学对地球深部的认识就已取得很大成就。

人类对地球结构的观念甚至在同一时期里也是形形色色的。所以，如果冒险把这些看法组成一根链条的话，那么这根链条起始于保留下来的古代手抄本而结束于现代。古希腊罗马的哲学家（柏拉图、亚里士多德、德谟克利特、色列克）认为，整个地球和地球表面一样都是由同一种岩石所组成。地球充满许多空洞，其中有水、空气、火和可燃物质（硫磺、地沥青、油页岩）。这些空洞是引起地球上可观察到的各种现象的原因：地下水的产生、火山爆发、地震等。这些观念在中世纪曾广泛流传，到了17世纪，这些观念稍有改变，仍占统治地位。