

北京大学地质学教学参考丛书

普通地质学

[俄] A. Ф. 雅库绍娃 B. E. 哈茵 B. И. 斯拉温 著

何国琦 等 译

北京大学出版社



普通地质学

[俄] A. Ф. 雅库绍娃
B. E. 哈茵 著
B. H. 斯拉温

何国琦 等 译

北京大学出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

普通地质学/(俄)哈茵(Хаин, В. Е.)著;何国琦等
译. —北京:北京大学出版社, 1995. 10
ISBN 7-301-02921-7

I. 普… II. ①哈… ②何… III. 地质学 IV. P5

ОБЩАЯ ГЕОЛОГИЯ

Якупова Александра Федоровна,
Хаин Виктор Ефимович,
Славин Владимир Ильич

© Издательство Московского университета, 1988 г.

书 名: 普通地质学

著作责任者: 何国琦 等

责任编辑: 赵学范

标准书号: ISBN 7-301-02921-7/P·38

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村北京大学校内 100871

电 话: 出版部 2502015 发行部 2559712 编辑部 2502032

排 印 者: 中国科学院印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787×1092毫米 16开本 15.75印张 400千字

1995年10月第一版 1995年10月第一次印刷

定 价: 19.80元

内 容 简 介

本书吸收了宇航、地球物理、海洋学、同位素地质学及其他许多研究领域的新硕果,系统论述并完美地表述了庞大的地球科学知识体系:关于地球的形成及其内部结构、地壳运动和变形、岩浆作用和岩石变质作用、地震活动、风与水的地质作用、冰川以及海洋地质作用等基本内容,并在观念上有重大更新。该书不仅精辟论述了地质学的基本理论与方法,更强调了地质学科的实际应用,同时充分重视了人类与地质环境的相互作用以及环境保护问题。

本书可作为高等院校地质类专业学生的教科书或教学参考书,也可作为理科公共选修课教材,还可供从事地球物理、地理和土壤等领域研究工作的广大科技人员参考。

译者序

《普通地质学》是引导初学者迈入地球科学殿堂之门的重要课程,各国学者历来十分重视这门课程教材的编写,因此出版有不少各种文本的优秀教科书。这些教科书除了介绍地质学的一些基本概念和知识外,还反映了各国学者各具特色的地质思想。因而我们认为,择优翻译一些国外的普通地质学教材以为学习借鉴,对这门课程教学的深入和提高是很有意义的。

当代著名俄罗斯地质学家哈茵(В. Е. Хаин)院士等合著的《普通地质学》是高等学校地质类专业大学生适用的一本优秀教科书。

这本书突出的优点在于,它充分运用了地球科学近20年来在大陆、海洋和近地空间等领域的重要资料,从而完美地表述了庞大的地球科学知识体系。书中文字叙述深入浅出、简明扼要,极便于初学者阅读和掌握。本书的另一个突出优点是它力求准确地阐述关于地球和地壳的结构和形成以及各种内、外动力地质过程的现代概念和理论。此外,本书作者运用历史的和辩证的思维方法,在对丰富的历史资料和学科发展现状进行科学分析的基础上,对地质学本身的发展历史和地质学中尚待解决的重大理论问题阐述独到的看法,这也堪称本书的重要特色之一。由于作者系俄罗斯学者,故书中引用前苏联学者的观点和研究成果较多。

本书第1—4章、第9—11章、第14—15章和第17—20章由何国琦翻译,孙桂玉校对;第5—8章和第12章由孙桂玉翻译,第13章由韩宝福翻译,第16章由王式光翻译,均由何国琦校对。最后,何国琦和韩宝福对全书进行统校。

在本书翻译中仅对个别处稍作改动。例如,在作者前言中稍有删略;另外删去第10章部分内容,而将原文第9—10两章概括为一章;其余章节均按原文译出。由于译者水平有限,加之时间仓促,译文中错误难免,请读者批评指正。

书稿译成后,在校审过程中得到杨承运和李茂松的指正与帮助,特此表示感谢。

本书译版得到北京大学教材出版基金的资助;同时,也得到北京大学地质学系的关怀与赞助,特致谢意。

译者

1995年3月

作 者 前 言

这本《普通地质学》教科书是按照给高等学校地质专业大学生讲授该课程的大纲编写的。书中汲取了近 20 年来在大陆和大洋地质领域所获得的一切新资料。作者们编写本书时确立了三个目标:编一本内容相当完整同时量又不大的教科书;充分反映关于地球和地壳的结构与形成、大洋的构造与沉积物、岩浆作用和构造作用以及其他地质过程的规律与起因等的现代观念;将叙述的科学性和对初学者的可读性很好地结合起来。

第 1, 4, 14—15 章及第 16 章的后半部分、第 17—19 章和第 21 章由哈茵(В. Е. Хаин)编写;第 5, 7—11 章由雅库绍娃(А. Ф. Якушова)编写;第 3, 6, 12—13, 16, 20 章由斯拉温(В. П. Славин)编写。

作者们衷心感谢莫斯科地质勘探学院普通地质和地质填图教研室的同事们和列宁格勒大学的波尔什尼亚科夫(Г. С. Поршняков)教授对本书稿深入而全面的分析和所提出的宝贵意见。作者们对弗罗洛夫(Т. И. Фролов)教授等对书稿个别章节所提出的宝贵意见也深表感谢。

作 者

1988 年

目 录

第1章	地质学的研究对象、任务及其分支学科和研究方法	(1)
第2章	地球的结构和组成	(5)
2.1	地球的形状和大小	(5)
2.2	地球内部的结构	(6)
2.3	地壳的物质组成(元素,矿物,岩石)	(10)
2.4	地壳的构成	(16)
2.5	地幔和地核的组成	(19)
第3章	地球的年龄和地质年代学	(21)
3.1	相对地质年表及其建立的方法	(21)
3.2	绝对地质年代学及其方法	(24)
3.3	地质年表	(26)
3.4	主要地质时代单元的特征	(27)
第4章	太阳系中的行星——地球及其形成	(31)
4.1	太阳系的构成	(31)
4.2	太阳系的起源和地球的形成	(36)
第5章	风化作用	(40)
5.1	物理风化	(40)
5.2	化学风化	(42)
5.3	化学风化过程中有机界的作用	(44)
5.4	风化壳	(45)
5.5	研究风化壳的科学价值和实际意义	(49)
第6章	风的地质作用	(52)
6.1	吹蚀作用与磨蚀作用	(52)
6.2	风的搬运	(54)
6.3	风成堆积	(54)
6.4	风成作用最发育的地区——荒漠	(55)
第7章	地表水流的地质作用	(59)
7.1	斜坡面流	(59)
7.2	暂时性河流的地质作用	(60)
7.3	河流的地质作用	(63)
7.4	河谷及其形态和河漫滩的发育	(67)
7.5	河谷发育的趋势和循环性	(72)

7.6	河系及其发育与分水岭的迁移	(78)
7.7	与河流作用有关的有用矿产	(79)
第8章	地下水的地质作用	(80)
8.1	岩石中水的类型	(80)
8.2	地下水的形成	(82)
8.3	地下水的类型	(83)
8.4	地下水的化学成分	(86)
8.5	岩溶作用	(89)
8.6	地下水的开发和利用	(95)
第9章	冰和冰水流的地质作用	(96)
9.1	冰川的类型	(96)
9.2	冰川体系	(100)
9.3	冰和冰水流的地质和地貌作用	(101)
9.4	地质历史中的冰川	(106)
9.5	冰川发生的原因	(108)
9.6	冻土带的地质作用	(110)
第10章	海和洋的地质作用	(112)
10.1	大洋地貌和物理化学基本特征	(112)
10.2	海洋的破坏作用	(121)
10.3	全球大洋中各带的沉积作用	(125)
10.4	泻湖和咸化水盆地中的某些沉积物	(133)
10.5	沉积物转变成沉积岩,成岩作用和成岩期后作用	(134)
10.6	岩相的概念	(137)
10.7	沉积岩	(139)
10.8	现代沉积物和沉积岩中的有用矿产	(140)
第11章	湖和沼泽及其地质作用	(142)
11.1	湖盆的形成	(142)
11.2	湖的地质作用	(143)
11.3	沼泽的形成及分类	(146)
11.4	沼泽的沉积及其地质作用	(147)
11.5	湖和沼泽沉积的实际应用	(147)
第12章	重力作用	(148)
12.1	重力作用的类型	(148)
12.2	研究重力作用的实际意义及防治措施	(152)
第13章	地壳运动、变形和断裂	(154)
13.1	构造运动	(154)
13.2	构造变动	(158)
13.3	地壳和岩石圈的基本构造要素	(162)

第 14 章 地震	(172)
14.1 研究地震的方法.....	(173)
14.2 地震的地理分布.....	(177)
14.3 地震预报和抗震建筑.....	(179)
第 15 章 岩浆作用	(183)
15.1 火山过程的阶段性.....	(183)
15.2 火山喷发的产物.....	(190)
15.3 火山的地理分布.....	(192)
15.4 研究火山的实际意义.....	(195)
15.5 侵入体的形态和组成.....	(196)
15.6 岩浆的产生和岩浆岩成因的多样性.....	(199)
15.7 研究侵入岩浆作用的实际意义.....	(202)
第 16 章 岩石的变质作用	(204)
16.1 接触变质作用.....	(206)
16.2 动力变质作用.....	(207)
16.3 区域变质作用.....	(207)
16.4 冲击变质作用.....	(211)
16.5 研究变质岩系的实际意义.....	(213)
第 17 章 地壳演化的基本阶段	(214)
第 18 章 构造运动和变形的可能原因	(218)
18.1 地质历史中构造假说的更迭.....	(218)
18.2 活动论的再生和板块构造.....	(221)
第 19 章 人类的地质活动和自然环境的保护	(227)
19.1 人类的地质活动.....	(227)
19.2 地表形态的改变和人为景观.....	(229)
19.3 地质环境的保护.....	(230)
第 20 章 地质科学发展的基本阶段	(231)

第 1 章 地质学的研究对象、任务及其 分支学科和研究方法

“地质学”(геология)一词来源于两个希腊文“гео”和“логос”：“гео”是地球的意思，“логос”是知识、科学的意思，也就是说地质学是关于地球的科学。然而作为定义，这样说不完备的。首先，还有其他关于地球的科学，如地理学、地球物理学、地球化学。所有这些学科的研究对象都是共同的——地球，但各自的具体对象不同。地理学研究地球表层的构造配置，表层与水圈、大气圈以及生活在地球上的生物界之间的相互作用。地球物理学研究地球内部的构造，深部的物理状态及其物理场——重力(引力)场、磁场、热场、电场。地球化学的任务包括研究地球及其各圈层的化学组成，化学元素及其同位素的原子的迁移。广义的地质学包括了上述所有的学科，然而狭义的、更严格意义的地质学主要只以岩石圈层的上部——地壳，更准确地说是以岩石圈为研究对象，而岩石圈包括了地壳和中间层，即地壳和地核之间的圈层——地幔的上部。地壳和地幔的最上部是地质学本身的方法所能及的。所谓地质学本身的方法包括对出露于地表的岩石(不仅是出露于陆地表面的岩石，也包括出露于海底的岩石)，以及借助于矿井(其深度在印度和南非可达 4 km)和钻井(其深度在前苏联的科拉半岛可达 12.5 km)所得到的深处的岩石的观察和检测，而对地球更深部的研究则要靠地球物理方法了。地壳(以及整个岩石圈)包含着各种有用矿产，地质学者从事各种有用矿产的寻找和勘探工作。在地球表面矗立着各种建筑物和工程设施，保证它们的稳定性也是地质学者的任务。然而没有关于地壳和整个岩石圈构造和演化规律的认识，要正确地解决上述任务是难以想象的，而规律之发现和造就这些规律性原因的探讨又离不开将地球作为整体进行研究，这是因为地球是一个统一的自然体系。研究整个地球必须吸收地球物理学和地球化学的资料。

关于地球形成和发展的知识，以及关于地壳形成和演化的条件，地壳与水圈、大气圈相互作用中的地球表层的结构和组成的知识等乃是唯物主义世界观的必要组成部分。有了这些知识就可以了解生物学中的无机界如何向有机界转变的问题，因为这个转变是以地壳为基地而实现的。这是地质学的理论意义。

地质学的实际意义首先在于它提供了发现对工业、农业和建筑业有用矿产的理论和方法。有用矿产可划分为金属(从中获取各种金属)，非金属(从中获取磷、钾、盐、硫等)，建筑材料，宝石(金刚石、红宝石、蓝宝石等)，彩石、玉石(紫水晶、碧玉、孔雀石等)和燃料(煤、石油、天然气)。地下水也是有用矿产的一类，地质学有一个叫做水文地质学的分支专门从事地下水的研究。金属和非金属矿产地质学、燃料矿产地质学也都被认为是独立的学科。上述学科总起来构成了应用地质学，或称实用地质学。

应用地质学另一大方面的任务是研究那些预定要进行各种建设的地点的地质条件，如各种民用和工业建筑，大坝、隧道等等，目的是保障它们的稳定性。这些任务的解决依赖于工程地质学，而在发育有永久冻土的地区则还要靠冻土学。

还有一个非常重要的领域也属于地质学的应用任务，即预见和预报灾害性地质作用——塌方、滑坡、地震、火山等(后两项的预报要结合地球物理学)。

近 20 年来，随着人类进入了宇宙时代，在太阳系的其他天体上也开始了地质观察，宇航地

质学家甚至游历了月球,因而产生了宇宙地质学。

现在让我们回到地质学的基本分支,这里说的是理论部分。首先应该分出的是研究组成地壳和地幔物质的分支。它包括矿物学,即关于矿物的学科。所谓矿物是指构成岩石的或者单独存在的各种天然化合物。因为矿物一般具结晶形态,所以矿物学与属于物理科学的结晶学有密切关系,而结晶形态又与其化学组成有关,所以矿物学又与结晶化学有关,该学科既属物理学又属化学。岩石虽然由矿物组成,但又有其组合的自身规律,所以有专门的岩石学对岩石进行研究。沉积岩是岩石中的一个特别门类,属专门学科——沉积岩石学的研究对象。矿物学、岩石学和沉积岩石学与关于地球物质组成的学科——地球化学有着密切关系,结合起来可以研究地球化学旋回。

地质学的另一大分支是动力地质学,它研究地质过程,也就是改变地壳及其表层,导致一些岩石被破坏、另一些岩石新形成的过程。这些过程被分成外营力过程(由外在原因引起)和内营力过程(由内在原因引起)。外营力过程在太阳能与重力(引力)能的联合作用下形成,而内营力过程则是在地球内能和热能的作用下产生,同样也与重力能相关。在自然界,在地质介质中可以观察到内营力与外营力过程相互影响和密切配合的情况,例如:山脉在导致隆起的深部力量的作用下形成,但山脉地貌的细节则是由外营力过程,如冰川、河流等的作用所造就的。

构造演化学或大地构造学属于动力地质学范畴,它是研究地壳(岩石圈)结构及其变化的学科。关于地球表面地貌及其成因的学科——地貌学也属于动力地质学范畴,因为地貌特征的研究是地理学的任务,而解释地貌成因则是地质学的任务,所以地貌学为地理学和地质学的交叉学科。

理论地质学的第三个分支是历史地质学。历史地质学研究地壳及整个地球的历史。研究地球表面自然地理环境变化的学科称古地理学,研究构造环境变化的学科称古构造学,研究气候、动、植物变化和岩石,主要是沉积岩(以沉积物的形式沉积于海、河、湖等的底部)形成顺序的学科称为地层学。研究在沉积岩中保存的古老的、已经灭绝的生物遗迹对于确立沉积岩形成的相对顺序有很大帮助。因为地质历史中一定的阶段有一定的古生物组合,所以研究生物化石的生物学科——古生物学对地层学和地史学有不可估量的意义,这正像属于物理学科的结晶学对于矿物学的意义那样。

最后,理论地质学的第四个分支是区域地质学,它与应用地质学最为相近。它的任务是描述地质构造特征,包括岩石的时代顺序,岩石所构成的构造形式以及地壳的该区段(区域)的历史演化。区段可以从不大的,直到很大的,如整个大陆或大洋,甚至整个地壳。一般将上述地质构造表示在各种比例尺的地质图上。在地质图上表示着不同时代、不同物质组成的各类岩石在地球表层的分布。地质图及其衍生的各种图,如大地构造图及其他图件是有用矿产的找矿勘探和进行各种工程建筑的基础。

本教材主要涉及地质过程,也就是动力地质学,但在总论部分包含了关于地球和地壳的综合知识,这些知识对于了解地质过程是不可缺少的。在本书的结束部分简述了地质学史和当代地质学的任务。每一个学科都不仅以其特有的对象和目标,而且以其特有的研究方法区别于其他学科,例如地质学和地球物理学在研究地壳时有共同的对象和目标,地质学者和地球物理学者虽然相互利用资料,但各自的工作方法却有原则的不同。

地质研究中基本的、传统的方法是研究岩石在地表的天然露头,从描述岩石的成分、类型、产状(水平的、倾斜的、褶皱的等等)和相互关系开始。岩石最好的露头是在河、湖、海岸和山脉

的陡壁。为了更准确确定矿物、岩石,特别是有用矿产的类型和成分及其变形的程度和性质,往往还要采集相应的样品,然后用各种实验室分析方法加以处理,如化学的、显微镜的方法等等。在沉积岩中要寻找生物遗迹,根据化石有可能用古生物学方法确立岩石的时代;此外,现在还广泛用各种物理方法确定岩石的时代(见第3章3.2节)。与古生物学方法不同,物理方法不仅对沉积岩,而且对所有类型的岩石都适用。在“生根的”岩石被植物、土壤和松散沉积物所掩盖的地方,为了地质填图,要进行探槽、探井等挖掘,然后做观察。为了研究位于很深地方的岩石,则必须进行钻探或建设矿井和平巷(目的已在于采矿)。然而松散沉积物的研究对于从事工程地质的专家来说也是有意义的,因为有些建筑物要建在松散沉积物之上。人工建筑物的基础岩石被称为土壤,工程地质学的一个分支由此而得名——土质学。

地质学者在野外观察中所采用的综合手段构成了野外地质学的内容,因为野外观察和研究的最终目的是制作地质图,所以相应的学科也称为地质制图学(地质填图)。然而在现代,传统的野外地质方法已不能满足地质学者的需要,根据航空照片研究地质构造早已成为野外地质方法的补充;近年又补充了由人造地球卫星和空间站所提供的卫星照片,同时采用了一些特殊技术,如雷达等,这种技术可以允许探测,如探测被浓密植被覆盖的亚马逊河流域或被沙漠覆盖的撒哈拉地区的基岩情况。航空照片,特别是卫星照片的优越性还在于,在这些照片上清楚地表现出地表和地壳的宏观结构特征,这些宏观特征在地面观察中被分解成细节了。同时应该记住,使用这些遥感方法和信息,虽然可以大大加速、提高精确程度和补充常规的地质测量,但绝不能取代传统的直接地质观察,即使为了检验航空和卫星照片的解释结果,直接观察也是必要的。

在野外地质学者,特别是从事找矿的地质学者的武库中,除了采用遥感方法之外,越来越多地使用地球物理学和地球化学方法。随着直接出露于地表或在地表有标志的矿产越来越难找到的情况下,地球物理学和地球化学方法的意义与日俱增,出现了深部地质填图、三维地质填图、隐伏矿产预测等新的任务。这里已经不能绕过以不同组分的岩石具有不同物理性质为基础的地球物理方法,如采用以电流或由地震和人工爆炸所引起的弹性波动为基础的方法等(磁法勘探、电法勘探和地震勘探等)。

在海洋地质学中,地球物理方法具有特殊重要的意义。近30年来发展起来的地质学的这一分支与初步掌握海底的有用矿产相联系(首先是石油与天然气)。现在从海底开发的石油已占世界石油产量的30%。海洋地质学所研究的对象包括海底地貌、海底照相和自海下山脉陡壁上采取的岩石样和在海底采取的松散沉积样。近年来为了研究海底的露头 and 采样,已开始成功地使用带有操纵器的水下探测器。使用地震方法,专门研究热场、磁场和重力场的仪器已成功地探测海洋沉积层和整个地壳的结构。在开阔大洋中借助于专门的钻探船已打了650个钻孔;在浅水区为了勘探油、气,也打了许多钻孔。

近几十年来,许多复杂的现代仪器,如质谱仪(岩石测年和同位素分析所必备的),进行微区、微量分析用的探针等装备了地质实验室。为处理所得数据,越来越广泛地使用电子计算机,因而现代地质学家应该有很好的基础学科训练,即数学、物理学和化学的训练。

当然,像任何其他学科一样,地质学也不能仅限于资料和事实的收集,而是要能够将它们综合起来,找出规律性的东西,建立能够解释所收集事实的理论。掌握辩证法就能够使我们获得成功,辩证法能使人将所有的现象和研究对象置于相互联系和相互制约中予以理解,找出矛盾,揭示导致事物运动和对立统一规律,寻求从量变到质变的过渡;将发展阶段的交替

理解为一个阶段对前一阶段的否定,而自身又被下一个阶段所否定乃是不可逆转的前进过程。

涉及地质过程本质的地质综合分析的最重要方法之一是现实主义方法。上个世纪著名的不列颠地质学家赖尔(Charles Lyell)曾给出最简明的定义:“现在是了解过去的钥匙”。诚然,任何人不能直接观察过去,例如,20 Ma 或 50 Ma 以前河流是怎么流的以及其他一些地质过程是如何进行的,但可以从各方面研究今天发生在我们眼前的类似过程,比如河流的作用,然后将所得的认识用于过去的地质过程。有了现实主义方法,地质学者能够建立关于外营力过程和内营力过程的精细理论。

然而必须记住的是,现实主义方法有其一定的、甚至是严重的局限性。辩证法告诉我们,发展是不可逆的,重复的只是类似的事物,离现代越远的地质时代,与现代相比其各方面的差别也越大。如在地球发展的早期,其表面的温度应较现代高得多,从深部来的热也得多(放射性元素的量大),在大气圈中不曾有游离氧,生物界非常原始(菌类、藻类),而且也不像后来那样,对地质过程有那么大的影响,等等。从这个观点出发,那些停留在早期发展阶段的太阳系其他成员的“地质学”对地质学者来说就非常重要了,这就是比较行星学所研究的内容了。

在地球发展的过程中,地壳的结构和组成也进化了。一些类型的矿物和岩石产生了,而另一些类型消失了,岩石变形的形式改变了,地貌改观了,一些大陆或大洋产生了,另一些大陆或大洋消失了。生物界的进化最为迅速,它们占领越来越大的空间,对地质过程的进程有越来越大的影响,特别是人类的诞生及其文明的发展。有一些地质时代以其陆地之广袤,气候对比性之强和极地冰盖之广泛发育与现代的地球相似,而另一些地质时代的地球则和现代的地球相去甚远,在应用现实主义方法时这些情况都要考虑到。然而现实主义原则仍是认识地质现象和过程的一条主线,应该在更广泛的比较历史方法的基础上加以运用。永远应该记住的是,地质学乃是一门历史性的科学。

在进行理论地质学和应用地质学研究中,模拟方法占据一定的位置。在矿物学研究中有合成矿物,包括金刚石和其他宝石的合成,在岩石学研究中有岩石的熔融和合成实验,在构造地质、工程地质等的研究中有岩石变形实验。模拟实验对于不能进行直接观测的深部过程的研究更是一个不可替代的手段。数字模拟也找到了自己用武之地,特别是在地球物理学科中。

第2章 地球的结构和组成

2.1 地球的形状和大小

关于地球的形状和大小,其初始概念出现于很久以前。有很长的时期,地球被认为是球状体。在17—18世纪,当最早开始使用比较精确的测量方法(三角测量法)研究地球的形状时,人们认识到了地球不是一个理想的球体,因为通过极点的半径与赤道半径不等长(它们之间的差略大于21 km)。这说明它沿旋转轴被压扁,重力和向心力的联合作用决定了地球形状的形成。这些联合作用的力被称为引力,并表现为加速度,每一个位于地表的物体都具有加速度。在17与18世纪之交,牛顿从理论上证明,在引力作用下,地球在沿旋转轴方向受挤压力,因此它具有椭球或旋转椭球体的形状。后来,在各国完成的经线或纬线弧的测量证实了牛顿的理论和计算。这些测量还表明,地球不仅沿两极方向被压扁,而且沿赤道也有某种程度的被压扁(最大和最小的赤道半径长度差213 m),也就是说地球不是两轴的,而是三轴的椭球体。

关于地球是椭球体(或旋转椭球体)的概念只是初步接近于真实,实际上地球表面的真实情况更复杂。最接近于地球现代形态的是所谓的地球体(直接的意思是类似地球的形体)。地球体具有某种假设的表面,引力的方向到处都与该表面相垂直。在大洋水域,地球体的表面与完全静止状态的水面一致,由大洋表面将其向大陆和岛弧之下延伸,使它仍保持与铅垂线方向垂直,我们就得到了地球体的表面。换言之,地球体是与大洋水面相一致的重力位表面(也就是在所有的点上都与铅垂线方向相垂直的表面)。地球体与椭球体(或旋转椭球体)之差,在有的地方达到 $\pm 100—150$ m(图2.1)。这样的差别是由影响引力(也就是影响铅垂线和垂直于铅垂线方向的表面)的地球体内不同密度物质的不均匀分布所决定的,因而也就决定了地球体的形状。

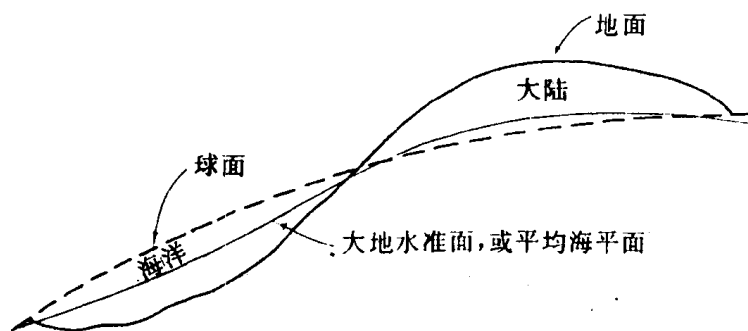


图 2.1 地球体的表面形态

1940年,大地测量学家伊佐托夫(А. А. Изотов)曾经计算过地球的形状和大小。他得到的地球形状被称为克拉索夫斯基(Ф. Н. Красовский)旋转椭球体。克拉索夫斯基旋转椭球体的概念在前苏联已被普遍接受,它的参数被现代的研究,其中包括人造地球卫星的研究所证实,而且它在解决一系列与大地测量、地图学及其他领域有关的问题中具有重要的理论和实际意义。克拉索夫斯基旋转椭球体的基本参数列于下表中。

半径/km		极扁度率 α	地 球		
赤道	极		表面积	体积	质量
6378.245	6356.863	$\frac{1}{298.25}$	$5.1 \times 10^8 \text{ km}^2$	$1.083 \times 10^{12} \text{ km}^3$	$5.976 \times 10^{27} \text{ g}$

2.2 地球内部的结构

沿半径方向物质的物理性质不均匀,而且物质组成具分异性,并可划分成一系列圈层乃是地球结构的主要特征。人们能够直接观察的只是由矿坑、矿井和钻孔揭露或出露地表的地壳最上层(达到 15—20 km)。

关于地球更深层的组成和物理状态的概念主要基于采用多种地球物理方法得来的资料的综合。在这些方法中,地震法具有特殊意义。地震法的基础是由地震或人工爆炸而引起的波在地球体内传播的记录(图 2.2)。在震源发生纵波(P)和横波(S),纵波是介质体积变化的反映,而横波是介质形状改变的反映,因而横波只能在固体中传播。

1. 地球的外壳和核

根据地震资料可将地球分成由表现清楚的

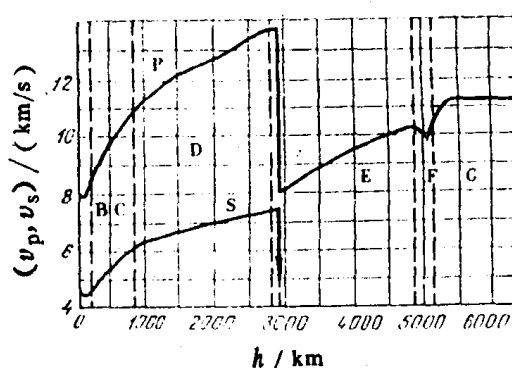


图 2.2 地球内部地震波(P和S)速度分布曲线

一级界面相互分开的三个主要部分,地震波的速度在一级界面处发生急剧变化(图 2.3)。

(1) 地壳 刚硬的地球上层[布伦(K. Bullen)称之为 A 层],它的厚度在大洋的水下变化于 5—10(12) km,在平原区达到 30—40 km,在山区则达到 50—75 km(在安第斯山和喜马拉雅山之下,厚度最大)。

(2) 地幔 位于地壳之下,向下达到从地表起算的 2900 km 深度,它又进一步分成两部分:上地幔(B 层和 C 层)^①,位于 900—1000 km 深度以上,下地幔(D' 层和 D'' 层),从 900—1000 km 至 2900 km。

(3) 地核 分成外核(E 层),4980 km 以上;过渡层(F 层),位于 4980—5120 km 之间;内核(G 层),5120 km 以下。

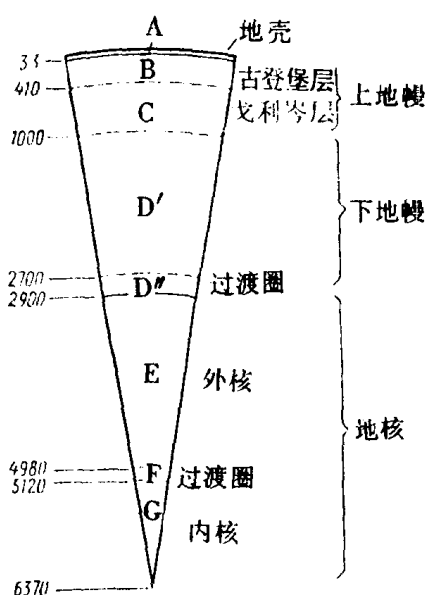


图 2.3 按地震波速度分布划分的地球圈层

^① 部分学者将 B 层定为上地幔(400 km 深度以上),而将 C 层称为过渡层或中间层(为纪念俄国地震学家,也称戈利岑层)。

在地壳下部,纵波传播速度(v_p)(见第14章)平均达到6.5—7.0到7.4 km/s,而横波(v_s)为3.7—3.8(4.1) km/s左右。在大多数情况下,地壳和地幔之间是清楚的地震界面,界面以下纵波的速度增加到7.9—8.0 km/s,有时到8.2—8.3 km/s,而横波为4.5—4.7 km/s。这个位于地壳和地幔之间的一级地震界面最早由南斯拉夫地震学家莫霍洛维奇(A. Mohorovičić)确立,所以被称为莫霍洛维奇面(简称莫霍面或M面)。莫霍面是一个可靠的界面,可以记录到由它产生的稳定的地震反射波和折射波。

用地震方法在上地幔的B层中可以确立一个密度相对较小,似乎由较软岩石构成的层,该层被称为软流层(圈)。在软流层中地震波速,特别是横波波速降低,而导电性提高。这证明这里的物质状态有自己的特征,与位于其上和下层相比,粘性较小塑性较大。软流层的粘性近 10^9 P(泊),也就是较上覆和下伏的地幔层的粘性低2—3数量级。软流层位于不同的深度:在大陆之下由80—120到200—250 km,在大洋之下由50—70到300—400 km。它在地壳最活动的带之下表现得最清楚,也隆起得最高,在有的地方达到20—25 km深,或更浅。相反,大陆的最稳定部分(地台的地盾)之下,表现得最不清楚和下降得最深。软流层中地震波速 v_p 和 v_s 的降低和导电性的提高与这里地幔物质部分熔融(1—10%)相关。部分熔融是随深度之增加,温度上升的速率超过了因压力增加而使物质熔点提高的速率的结果。软流层的粘性在铅垂方向和水方向都有明显的变化,它的厚度也有变化,软流层在决定深部地质过程方面有重要意义。

软流层以上的地幔刚性层与地壳合起来称为岩石圈。软流层以下,地震纵波波速急剧增加,在900—1000 km深处达到11.3—11.4 km/s。在下地幔中, v_p 继续增加,但较之在上地幔C层中增长的速率减缓,在2700—2900 km深处达到13.6 km/s,而横波的速度(在下地幔底部) v_s 为7.2—7.3 km/s。在2900 km深处,存在另一个一级地震界面,它分开地幔与地核。在这里,纵波速度从下地幔底部的13.6 km/s跳跃式地降低到地核中的8.1 km/s;在外地核中,渐渐增长到10.4—10.5 km/s;在F层中又减到9.5—10 km/s,在内核中(G层)增长到11.2—11.3 km/s。横波不能传入深于2900 km的地核。

2. 密度(ρ)和压力(p)

根据重力资料,地球的平均密度为5.52 g/cm³。组成地壳的岩石密度由2.4—2.5到2.9—3.0 g/cm³。地壳岩石的平均密度可确定为2.8 g/cm³。如将这个值与地球的平均密度相比,则可以推断,在地幔和地核中密度应有显著的增加。在地幔的软流层之上和莫霍面之下的部分,岩石的密度远较地壳岩石的大,即3.3—3.4 g/cm³,在2900 km深处的下地幔底部,密度达到5.6—5.7 g/cm³。从地幔到地核,密度急剧跃变到9.7—10 g/cm³,然后增至11—11.5 g/cm³,而在内核,密度大约是12.5—13 g/cm³(图2.4)。上述资料表明,与分开地壳与地幔以及下地幔与外地核的一级地震界面相对应,其上、下的岩石密度有显著的改变。根据上述密度改变的资料计算出了在不同深度处的压力(见下表)。

深度(h /km)	40	100	400	1000	2900	5000	6370
压力(p /kPa)	1×10^3	3.1×10^3	1.4×10^4	3.5×10^4	1.37×10^5	3.12×10^5	3.61×10^5

重力加速度(a)在地表为982 cm/s²,到下地幔的底部(2900 km)达到最大值1037 cm/s²左右。在地核中重力加速度开始迅速减小,在过渡层F为452 cm/s²,到6000 km深度是126

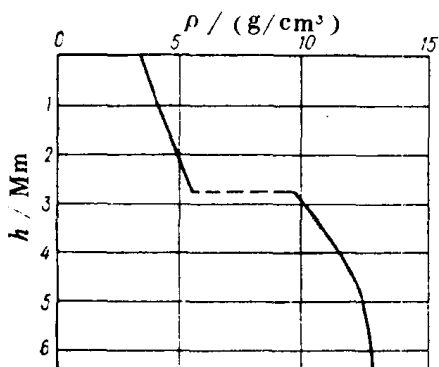


图2.4 地球内部的岩石密度

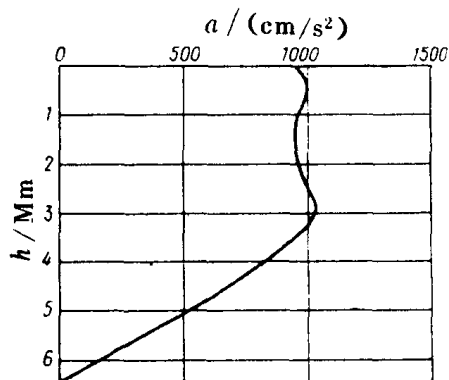


图2.5 地球内部的重力加速度

cm/s²,到地球核心时达到零(图2.5)。

3. 地磁

地球就像一个巨大的磁石,周围环绕着磁力线。地磁场是偶极场。现代的地磁极位于地理极的附近,但并不与其符合,可区分出磁偏角和磁倾角。磁偏角是根据罗盘的磁针偏离地理经线的角度而确定的,偏移可以是向西也可以是向东。在图上,具有相等磁偏转的点连线称为等磁偏线。磁倾角是根据磁针对水平面的倾角决定的。最大的磁倾角值位于磁极区。在图上,具有相等磁倾角的点的连线称为等磁倾线。地球主磁场产生的原因是用地球在旋转过程中,因液态外地核里复杂对流而产生的电流体系解释的。

在这个总的主场背景之上,叠加了位于地壳上层、在居里等温面之上的、含有铁磁性矿物的岩石的影响,因而在地球表层可观测到磁异常。所谓磁异常是指偏离正常值的磁场强度向量,可以根据磁异常判断深部不同岩石的分布情况,因为不同岩石的磁化强度不同。现在,在地质研究和部分找矿,特别是铁矿找矿工作中,广泛使用磁测方法。磁异常的研究不仅运用地面磁测仪,而且也将仪器放置在飞机和宇宙飞船上。

已经确立,含有铁磁性矿物的岩石的剩余磁化的方向与岩石形成时期地球磁场的方向一致。剩余磁化的研究表明,在地质历史进程中,地球的磁场曾不止一次地变化过:北极成了南极,南极变成了北极,也就是说发生了地磁场的反转。地磁反转年表被用来进行岩石层序的划分对比(见第3章)和确定洋底的年龄(见第18章)。

4. 地热

可区分出两类地热源:从太阳得来的热和从地球深部带出的热(热流)。太阳对地球的加热只影响到很小的深度,不超过28—30 m,在有些部位只达到几米。在距地表一定深度处分布着恒温带,温度与当地的年平均气温相等,如在莫斯科地区,在20 m深处观测到4.2℃的恒温;而在巴黎,恒温为11.83℃,深度是28 m。在矿井、钻井中观测到,在恒温带以下温度随着深度渐渐增大,这与从地球深部上来的热流有关。热流的量度是每秒每平方厘米有多少微卡^①的热($\mu \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{s}$)。

热流的研究表明,不同地区的热流值不同,其大小与地壳活动程度、各种内营力过程的强度有关。据前苏联学者的资料,在大陆的最稳定部分,热流值大都在0.9—1.2 $\mu \text{ cal/(cm}^2 \cdot \text{s)}$,

^① 热量的 SI 单位为焦耳(J), 1 cal = 4.18 J——编者注。