

● 全国地震台站观测岗位资格培训系列教材

地震地质学

(试用本)

中国地震局监测预报司 编

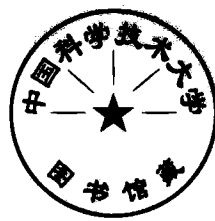
地震出版社

全国地震台站观测岗位资格培训系列教材

地震地质学

(试用本)

中国地震局监测预报司 编



地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震地质学：试用本/中国地震局监测预报司编. —北京：地震出版社，2007. 10
(全国地震台站观测岗位资格培训系列教材)

ISBN 978 - 7 - 5028 - 3077 - 9

I. 地… II. 中… III. 地震地质学 IV. P315.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 035816 号

地震版 XT200500212

地震地质学 (试用本)

中国地震局监测预报司 编

责任编辑：樊 钰

责任校对：孙铁磊

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：88421706

门市部：68467991

传真：68467991

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：北京地大彩印厂

版 (印) 次：2007 年 10 月第 1 版 2007 年 10 月第 1 次印刷

开本：787 × 1092 1/16

字数：250 千字 插页：1

印张：9.75

印数：0001 ~ 2000

书号：ISBN 978 - 7 - 5028 - 3077 - 9/P · 1318 (3725)

定价：25.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题，本社负责调换)

《全国地震台站观测岗位资格培训系列教材》编委会

主 编：李 克

副主编：赵仲和 宋彦云 李 明

编 委：钱家栋 吴忠良 刘耀炜 吴 云 滕云田

余书明 杨心平 孙为民 王 峰 熊道慧

《地震地质学》(试用本) 执笔：刘懋现 方洪银

序

20 世纪 90 年代以来,中国地震局先后在“九五”、“十五”期间实施了数字化、网络化的改造和建设项目,地震监测基本实现由模拟观测向数字化、网络化的重大转变。面对大量数字化设备和新技术的综合应用,如何保障观测网络正常、可靠、稳定、连续地运行,从而提供可靠观测资料,这是广大地震台站工作人员面临的现实挑战。毋庸置疑,只有通过继续教育,领会和接受新技术、新装备,才能熟练应用并使之充分发挥作用。

众所周知,防震减灾事业和地震科学的发展,有赖于观测的创新与拓展、监测技术的革命与进步,地震监测的基础地位与作用是十分重要的,地震台站的首要任务是监测,以便及时获得可靠的观测信息。当然,仅仅如此还不够,应当促进台站监测同科研、预测的有效结合。为此,许多关注和从事地震台站观测工作的同志逐渐达成一种共识,地震台站观测人员需要具备相当的有关学科知识,不断增强自身的业务素质,提高工作的综合水平。另外,许多年轻人员进入地震观测岗位后,要求接受继续教育来学习和掌握相关地学知识的愿望也十分迫切。

同样重要的是进入新世纪以来,国家行政和科技体制改革要求,事业单位今后须实行岗位考核竞争上岗以促进事业的良性发展。中国地震局认真贯彻国家要求,决定逐步推行“观测岗位资格考核制度”,以实现地震监测规范化管理,达到规范观测队伍、提高人员素质、保障监测质量的目的。观测岗位资格考核是一项系统性的工作,在岗位资格考核前,对被考核人员进行必要培训,是保障考核工作顺利开展的重要环节。作为地震观测岗位资格考核与考前培训的基本保障,需要有一套适于培训工作的教材。

基于以上诸多目的,中国地震局监测预报司组织编写了地震监测岗位培训系列教材,包括:《地球物理学概论》、《地震地质学》、《防震减灾法律法规》、《地震台站公用技术》、《计算机基础与网络》、《数字信号处理的 MATLAB 实现》、《地震学与地震观测》、《地震地下流体理论基础与观测技术》、《地震电磁学》、《地形变测量》。此套系列教材力求内容与地震监测实际工作紧密结合,符合台站技术的需求,理论深入浅出,内容较新、较详尽,既适合作为岗位资质考核的考试用书,也可以作为广大地震

监测一线工作人员的自学教材。

我相信，该教材的出版，将为台站观测岗位考核制度的逐步推行，为提高地震台站人员的业务素质，为奠定地震台站可持续发展的人才基础起到积极的保障和促进作用。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '陈建平' (Chen Jianping).

2007年8月

前 言

这本教材是应中国地震局监测预报司为进一步提高台站观测队伍的专业水平和质量，适应新时期地震观测技术系统运行管理和岗位培训的需要而编写的。

本书是在防灾技术高等专科学校编著的《地震地质学基础》教材的基础上，结合地震监测岗位应掌握的地震地质的基本知识，作了相应的增减编写而成的。

地震地质学是一门查明地震发生的地质构造背景，探讨地震活动规律，寻求未来可能发生地震的地区、地带和地点的学科。

学习地震地质学的任务是初步掌握相关学科如普通地质学、构造地质学、地震学、地质力学、板块构造等的基本知识，了解地震在地壳中的分布特征，了解我国地震带分布特征及我国主要活动断裂带与地震分布的对应关系。

本书扼要地介绍了地质学、地震学与地震地质学的基本知识和方法。其主要内容包括：地球概述、地壳的物质组成、地壳运动与地质构造、板块构造、地质力学、地震的时空分布与地质构造、活动断裂的鉴定与观测及地震地质在地震预测预防中的应用等。

教材完稿后，经三次地震系统岗位培训班试用，根据学员提出的意见和中国地质学会地质力学专业委员会委员、地质制图专业委员会委员、中国地质科学院科学技术委员会委员、国土资源部实物地质资料中心、研究生导师叶定衡研究员评审意见进行多次修改、补充而定稿。在此向叶定衡研究员以及对教材提出宝贵意见的同志表示衷心的感谢。

由于时间较短及编者的实践经验和理论水平有限，敬请读者对本书中的错误和不妥之处提出批评和建议。

编 者

2007 年 8 月

目 录

第一章 地球.....	(1)
第一节 地球的起源和年龄.....	(1)
第二节 地球的圈层构造.....	(3)
第三节 地质作用概述.....	(9)
第二章 地壳的物质组成.....	(11)
第一节 矿物.....	(11)
第二节 岩石.....	(17)
第三章 地壳运动与地质构造.....	(36)
第一节 地壳运动.....	(36)
第二节 地质构造.....	(43)
第四章 板块构造学说与地质力学简介.....	(65)
第一节 板块构造学说简介.....	(65)
第二节 地质力学简介.....	(80)
第五章 地震概述.....	(94)
第一节 地震现象及成因.....	(94)
第二节 地震的时空分布与地质构造.....	(101)
第六章 活动断裂与地震.....	(114)
第一节 活动断裂与地震的关系.....	(114)
第二节 活动断裂的鉴定与观测.....	(128)
第七章 地震监测台站的地震地质条件.....	(139)
第一节 一般地震监测台站应具备的主要地震地质条件.....	(139)
第二节 不同手段监测台站应具备的主要地震地质条件.....	(140)

第一章 地 球

第一节 地球的起源和年龄

一、地球的起源和演化

地球和太阳系的起源，一直是人们关心的一个问题，也是有争论的问题。但科学家们都一致认为太阳系中的行星与太阳是近于同时形成的，因此，只要了解了太阳系的起源问题，地球的起源也就随之解决了。

随着社会经济的发展和科学的不断进步，18 世纪以来，对于地球和太阳系的起源曾经出现几十种假说，主要有灾变假说、俘获假说、星云假说等。在这些假说中，比较能被人们接受的，又能比较合理地解释太阳系中某些现象的是星云假说。

1755 年，德国哲学家康德（Keant）根据万有引力原理提出了“微粒假说”。他认为宇宙中散布着微粒状的弥漫物质，称为原始物质。在万有引力作用下，较大的微粒吸引较小的微粒，并逐步聚集成较大的团块，团块形成后，引力增大，促使聚集加快，结果在弥漫物质团的中心形成巨大的球体即原始太阳。在原始太阳周围的微粒继续向引力中心垂直下落时，由于原始太阳质量增大而斥力也增大，微粒受到斥力而发生偏转，一部分因受到其他微粒的排斥而改变了方向，从而绕太阳转动。最初，转动有不同的方向，后来有一个主导方向占了上风，便形成一个扁平的旋转状星云。星云状物质中后来又逐渐聚集成不同大小的团块，在引力和斥力共同作用下，这些团块绕太阳旋转，便形成行星。行星周围的微粒以同样过程形成卫星（图 1-1）。

1796 年，法国天文学家拉普拉斯提出一个太阳起源于星云的假说。他认为太阳是由一团体积很大、温度很高，并缓慢旋转的气体星云形成的。星云一边冷却一边收缩，由于角动量守恒，随着星云收缩，旋转速度不断加快，当星云边缘物质的离心力和内部较密物质对它的吸引力相等时，在星云赤道边缘的气体便不再收缩，从而留下一个气体环。这样的分离过程不断地重演，形成了和行星数目相等的气体环。星云中心收缩形成太阳，气体环内又有吸引

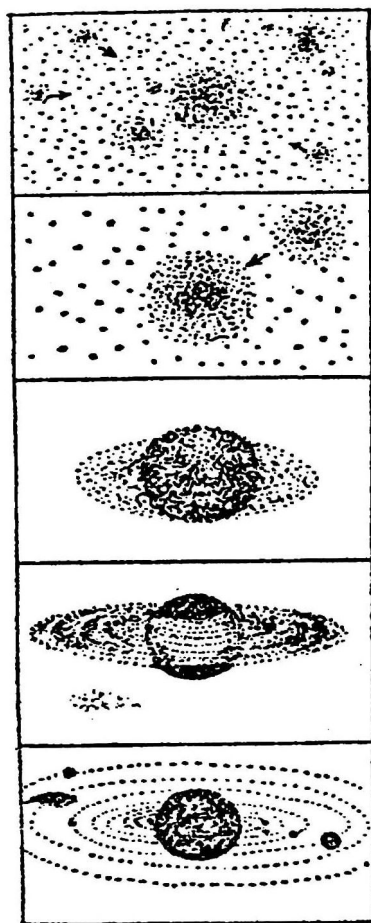


图 1-1 康德微粒假说示意图

排斥作用，靠收缩而形成了行星。在形成行星时，同样发生了和前述类似的分离过程，从而形成了卫星系统。刚形成的行星和卫星是气体的，后来冷却凝固成固态。

之后，许多学者从不同侧面提出了不同观点的太阳系起源说，如量子说、气体潮生说、陨星说、灾变说等。

19 世纪 60 年代以来，由于观测技术的改善，发现了很多新的天文现象，于是又提出许多新的太阳系起源说，以霍伊尔 (E. Hoyle) 为代表的新星云说认为，太阳系起初是一团星云 (图 1-2)，温度不高，转速也不大，由于冷却收缩，旋转加快；当其半径缩小到现今太阳与水星的距离时，星云外部不再收缩，两极变扁，物质沿赤道抛出，形成一个环绕原始太阳的盘状物。圆盘的质量只有原始太阳质量的 1%；圆盘中心的原始太阳继续收缩，温度继续增高，旋转继续加快，最后与圆盘脱离，形成现今的太阳。圆盘脱离太阳后，形成一个环状物，环绕太阳旋转，质量也不再增加；环状物又冷却聚集，最后形成环绕太阳运行的行星。卫星形成与行星形成方式相同。

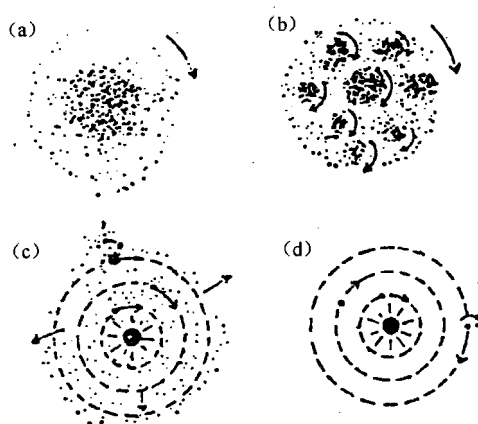


图 1-2 太阳系起源的星云假说

(a) 星云是一种旋转缓慢的气体 and 尘埃云；(b) 星云在其本身引力、位力的作用下开始收缩，在中央形成了大量浓缩的太阳毛坯和几个外部涡流；(c) 进一步浓缩形成了行星和卫星，而星体中心的质量破坏并释放出足够的重力能，从而发生了核反应。与此同时，中心质量把角动能向外传送，并且把星体内部比较自由的气体排出；(d) 形成我们今天所见到的太阳系

原始地球形成之后，由于火山活动释放的物质以及巨大陨石（碳质球粒陨石）冲击时所释放的气体，形成了地球的原始大气圈和水圈。最后，在有碳、氧、氢和氮化合物存在的情况下，通过闪电或紫外线辐射，或两者兼而有之的作用，产生愈益复杂的有机分子，并最终结合为能够自身繁殖的有机分子。这种自身繁殖的分子，经过漫长的时代逐渐演化为生物。

从上述几个假说可以看出，太阳系和地球的形成仍然是一个众说纷纭的问题，随着科学技术的不断发展，想必今后一定有一个更为合理、更能使人们接受的解释。

二、地球的年龄

地球的起源一直是人类探索的命题，很早以前就有传说，并带有神话的色彩。例如，我国古代有所谓盘古氏开天辟地之说。在国外，亦有类似的传说，如 1654 年爱尔兰有位大主教把地球的起源归功于上帝的创造。当然，这些说法都是无稽之谈。

18 世纪之后,随着近代地质学的兴起,地球的年龄问题又引起人们的关注。例如,有人根据河口地带埋藏的文物和沉积物的厚度推算出每年的沉积速率,然后统计出全球沉积岩的总厚度,再推算出地球的年龄约为 2.5 亿年。也有人用海水的含盐量来推算地球的年龄,首先假定原始海洋的海水是淡的,后来才慢慢变咸,于是从河口测量每年流入海洋的含盐量约为 16 亿 t,得出地球的年龄迄今约有 1 亿年。这些方法可靠性相当差。

1862 年,英国物理学家开尔芬从假定地球原是一团炽热液体,以后冷却、凝固的概念出发,根据热传导计算,认为地球的年龄为 4000 万年。当时即遭到地质学家的反对。直到 19 世纪末叶,地质学家和物理学家关于地球年龄的争论仍然异常激烈。

进入 20 世纪以后,天文科学迅速发展,资料不断丰富,于是,天文学家根据潮汐摩擦、宇宙膨胀、太阳能辐射等原理,运用各种方法算出地球年龄约为 40 亿~50 亿年。这个数字,实际上是间接获得的,并不是直接算出来的。

目前,根据对陨石的铀-铅、钾-氩和铷-锶等同位素年龄测量,得出地球形成于 45 亿~47 亿年间的结论。这些数据和最老月岩标本(46.6 亿年)以及根据大洋玄武岩铅同位素测定的地球年龄(45.3 亿年)都较协调一致,这表明地球和太阳系的其他成员形成的时间是距今约 46 亿年前。

第二节 地球的圈层构造

地球不是一个均质体,它是由不同形状不同物质组成的一个巨大的实心椭球体,在长达数十亿年的演化过程中,形成了自身特有的结构——同心圈层结构。这个圈层结构可分为地球的外部圈层和地球的内部圈层。内、外圈层又可进一步划分成几个不同的圈层。每个圈层都有其自己的特征。

一、地球的外部圈层

地球的外部圈层包括大气圈、水圈和生物圈,它不仅直接影响着地表的各种变化,而且对人们的生产和生活起着重大的作用,它是我们能够直接观察到的,现分述如下。

1. 大气圈

大气圈是环绕地球最外层的气体圈层。主要是由氮、氧、氢、二氧化碳和水蒸气等气体所组成的一个连续圈层,其下界包括地下相当深度的岩石裂隙中的气体;据人造地球卫星资料,到 $6 \times 10^4 \text{ km}$ 的高空仍存在呈离子状态的大气成分或基本粒子,再向上逐渐稀薄并过渡为宇宙空间,因此,大气圈无明显的上界。

大气圈 80% 的质量集中在海平面以上 18 km 的范围内,随着高度的变化,大气圈的密度、温度、成分、物理状态等都会发生一系列的变化。由地表向高空又可分为对流层、平流层、电离层和扩散层(图 1-3)。

(1) 对流层。对流层为大气圈的最下一层,其厚度各地不一,赤道附近为 16~18 km,温带地区为 10~12 km,两极区为 8~9 km。对流层虽然是大气圈最薄的一层,质量却占大气总量的 $\frac{3}{4}$ 以上。对流层内大气的热量主要来自地面辐射热,所以大气的温度随高度的增加而递减,大约每上升 100 m,气温降低 $0.5 \sim 0.6^\circ\text{C}$,到对流层顶部,气温降到 $-60 \sim -70^\circ\text{C}$ 。由于这一层内,大气下热上冷,加之地球表面因纬度不同、地表状况不同,底层大气受热也不

均匀，受热多的地方大气增温高，密度较小，容易发生大气的上升运动，上层气温低，密度较大，容易发生下沉运动，于是形成对流运动。大气中的水汽几乎全部集中在对流层里，因此，一切风、云、雨、雪、雾、冰雹等自然现象，都发生在这一层中。所以，对流层与人类关系最密切，意义最大。

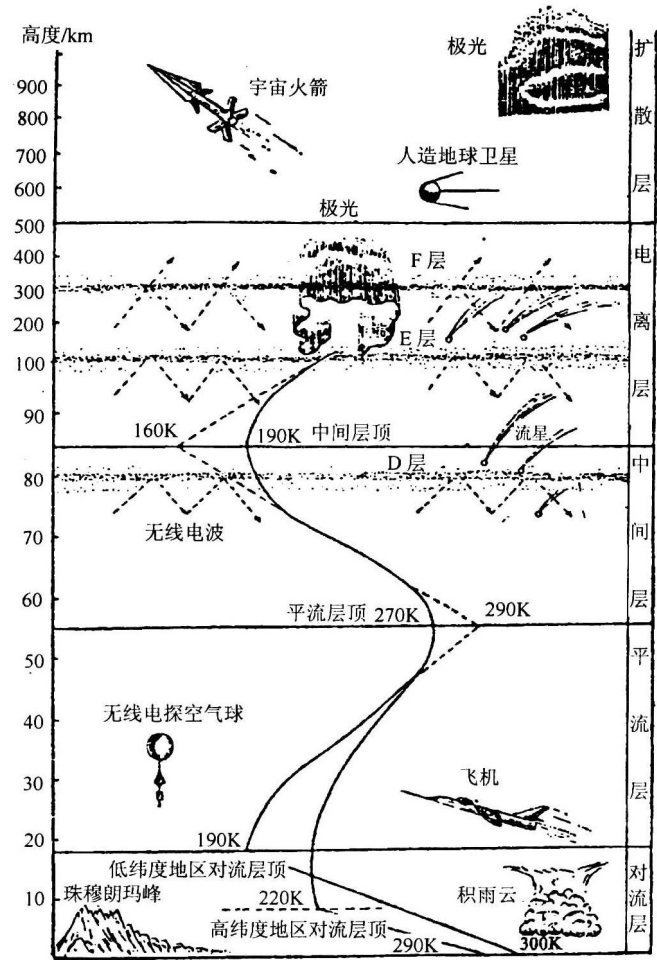


图 1-3 大气圈的分层（据《自然地理》，人民教育出版社，1978）

(2) 平流层。对流层以上至 55km 高空为平流层，此层空气水平流动占显著优势，空气比下层稀薄，水汽、尘埃含量甚微，无风、无雨，宜于飞机航行。本层的一个重要特点是高 15~35km 范围内有厚约 20km 的臭氧层。臭氧有吸收太阳光短波紫外线的能力，使空气温度升高，臭氧层顶部可达 75℃。臭氧层以上空气更为稀薄，温度又随高度增加而降低。

(3) 中间层。位于平流层之上，可伸展到 80~85km 的高空，此层空气特别稀薄，气温随高度增加而普遍下降，到此层顶部，气温可低至 -100℃ 左右，其原因是那里几乎没有臭氧。

(4) 电离层（又称为热层）。从中间层上限到高空 500km 的范围内，空气非常稀薄，在太阳紫外线和宇宙射线的作用下，中性原子分解成带电荷的离子和电子，所以此层叫电离层。由于电离，空气温度显著增加，最高可达 60~70℃，且昼夜变化很大，故又称为热层。电离

层的存在是无线电波能绕地球曲面进行传播的重要条件。当太阳表面剧烈活动时，所发射出来的带离子流顺着地球磁力线向两极运动，在两极地区以极大的速度冲进电离层，使大气中的分子和原子激发成带离子互相碰撞，产生强烈的光辉，称为“极光”。

(5) 扩散层。电离层以上为大气圈最外一层，那里空气极为稀薄，大气密度与太空密度近似，由于空气受到的地心引力很小，自由活动的微粒可以扩散到太空，所以此层称为扩散层。扩散层顶部与星际空间无截然的界线。

地球大气圈保护了地面上生物不受强烈的宇宙射线的伤害，为人类和生物界的生存创造了条件。大气中的氧和二氧化碳、大气的温度变化以及风雨等，直接作用于地表的岩石，对地表岩石的形成和破坏有着较大的影响。

2. 水圈

水圈也是闭合的连续的圈层，它包括海洋、江河、湖泊、冰川、地下水以及渗透在岩石裂隙中的水分，水圈厚度变化很大，因地而异，最厚的地方可达 11km 以上，在沙漠地区可以薄到 1km 以下。地球表面的水约为 14 亿 km^3 ， $1.49 \times 10^{18}\text{t}$ ，占地球总质量的 0.024%。其中，海水占 97.2%，冰川占 2.1%，陆地水占 0.629%。此外，还有极少一部分水赋存于生物体和大气中。若地球表面完全没有起伏，则全球将被深达 2745m 的海水淹没；若地球上的冰川和冰盖全部溶化，则海洋水位将升高 70m。

地表水、地下水和大气中的水，在太阳辐射热的影响下，不断地进行着循环（图 1-4），并成为改变地球面貌的重要因素。

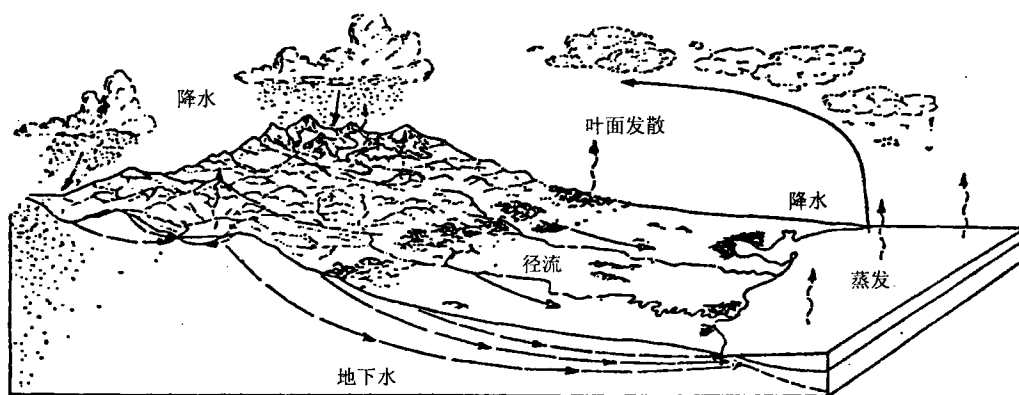


图 1-4 自然界水的循环（据 W.K. 汉布林，1975）

3. 生物圈

生物圈是地表附近生物活动的范围。在陆地、海洋、空中和地表土壤以及岩石孔隙中都有各种生物的存在和活动。它们生存的范围在空中可以达到 6km 的高度，在水中能达到最深的海底，在地壳的岩石中有的可达几百米甚至上千米的深度。

由于生物在其生命活动过程中，通过光合作用和呼吸作用等，使碳、氢、氧、氮等元素，以及一些金属元素钾、钠、硅、镁等产生复杂的化学循环，使得地壳的物质成分和结构状态不断地改变，直接或间接地参与了岩石的破坏和建设作用。

地球的外部圈层不仅没有一个截然的界线，而且又是相互作用、相互渗透、相互促进、

不断变化着的，和地壳表层的矿物、岩石以及地壳外部形态的变化有着密切的关系，因此，具有重要的地质意义。

二、地球的内部圈层

对于地球外部圈层的情况，可通过直接观察的方法进行研究，而对于地球内部的情况，我们能够直接观察到的范围是很有限的，现在世界上最深的矿井也不过几千米，最深的油井也不到万米，这个深度不到地球半径的六百分之一。因此，对于地球内部的构造及其物质状态的了解，只能依靠间接的方法加以推测。主要是采用地球物理学提供的地震观测、重力测量、地磁场测量、放射性测量等方法，用这些方法相互补充、相互校正就能得到关于地球内部情况较为可靠的知识。目前对地球内部的了解，主要利用地震观测方法。地震波基本上分为纵波和横波。纵波传播的速度最快，并能通过固态、液态和气态介质；横波传播的速度比纵波慢，只能通过固态介质。地震波在弹性物质中的传播速度，与它通过的介质性质（密度、弹性系数等）有关，如果地球为均质体，地震波传播速度在任何方向和深度都应该相同，但是，地震波在地球内部传播的速度是呈现有规律变化的（表 1-1），这说明地球内部是非均质的，从而可推测地球内部物质的密度变化。

从表 1-1 可以看出地震波在地球内部传播的速度越到深处越大，但又不是等速增加，而是达到某些深度时突然增大，达到某些深度时又显著地降低。这种波速发生突然变化的面叫

做不连续面，它标志着地球内部可以划分为若干个同心的球形面。在所有不连续面中，有两个变化最为显著的面，叫做一级不连续面，即在地下 33km 处出现的一级不连续面，称为莫霍洛维奇面，简称莫霍面；在 2900km 处出现的另一个一级不连续面，称为古登堡面。据此，将地球内部划分为三个圈层：地壳、地幔和地核（图 1-5）。

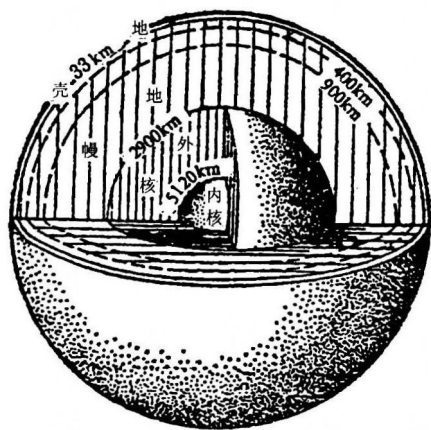


图 1-5 地球内部圈层构造示意图

（据宋春青，1978）

（一）地壳

地壳是指地面以下、莫霍面以上的固态外壳。地壳的厚度各地有很大的差异，大约变化于 5~70km 之间。在大陆范围内平均厚度约为 33km，越往高山地区厚度越大，如我国青藏高原和天山地区可厚达 70km 左右；平原地区厚度约为 30~35km。在海洋范围内，地壳厚度较小，平均厚度大约为 7.3km，大西洋和印度洋部分厚度为 10~15km，而太平洋中央部分厚度则仅有 5km。整个地壳平均厚度约 20km，这与地球半径相比，只不过是极薄的一层。

地壳本身是不均一的，地壳表层由未固结或已固结的各种沉积岩、变质岩所组成，厚约 0~5km。由地震波反映出在上述沉积盖层之下和莫霍面之上，出现一个次一级的不连续面，称为康拉德界面（简称康氏面）。此面把地壳又分为上、下两层，上层以花岗岩类岩石为主，其化学成分以硅、铝为主，称为硅铝层；下层以玄武岩类岩石为主，绝大部分由镁、铁、硅等元素为主的矿物组成，称为硅镁层。

表 1-1 地球内部分层结构*

分 层	不连续面	深度 (半径) / km	位置深度 / km	纵波速度 / $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	横波速度 / $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	密 度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	压 力 (大气压) ^①
地 壳	—	海平面 (6371)	地面 (15~20)	5.5	3.2	2.7	
	— 康拉德面 —	(6351)	20	5.6 6.4 7.6	3.2 — 3.7 4.2	— 2.8 2.9	
地 幔	— 莫霍面 —	(6338)	33	8.1	4.6	3.32	9000
	古登堡低速层	地下 50 低 至 250 速层	80 150 190 270	7.8 7.9 8.1 8.4*	4.5 4.4 4.4* 4.6	3.37 3.42 3.47 3.53	
	— 拜尔勒面高 里村高速层 —	(5958) 720 (最深地震)	413	8.97	5.0	3.64	140000 270000
	— 雷波蒂面 —	(5387)	900 984 1800 2700	11.3 11.42 12.5 13.6 13.64	6.3 — 6.3 6.8 7.3 7.3	4.60 4.64 5.13 5.60 5.66	382000
	— 古登堡面 —	(3471) 速度降低	2900	8.1	—	9.71	1368000
	—	(1667)	4703	10.4	—	11.7	3180000
	—	(1216)	5120 5154	11.2	—	12.0 15.0	约 3300000
	— (中心) —		5200 6371	9.6 11.3	— —	约 16 17.9	约 3600000
	—						
	—						
地 核	外核						
	过渡层						
	内核						

说明: *据李四光:《天文、地质、古生物》,略作补充。

—:一级不连续面; —:次一级不连续面。

① 1 个大气压 = 101325Pa。

地壳的硅铝层和硅镁层的厚度变化很大。在大陆底下一般都有 10 余 km 厚的硅铝层, 在一些山区有时可达 40km 之厚; 在海洋底部则显著变薄, 有的地区甚至没有硅铝层, 如太平洋底, 硅镁层之上直接沉积约 300m 厚的红泥和浮游微体生物的碎片。而硅镁层的情况就不同了, 在大陆平原地区硅镁层很厚, 可达 30 余 km, 而在高山地区反而要薄一些, 一般不及 20km; 在大洋区的深海盆内, 厚度仅为 5~8km (图 1-6)。

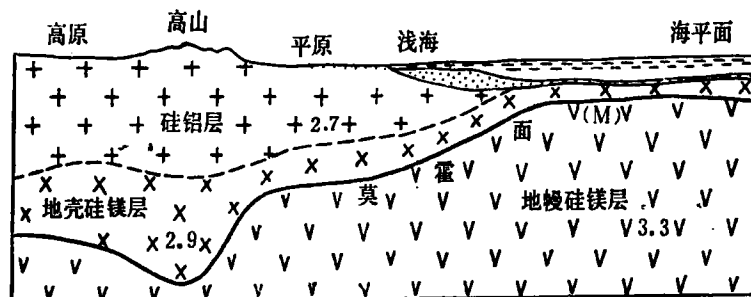


图 1-6 地壳构造示意图 (据李四光, 经简化)

地壳厚度的差异和花岗岩层的不连续分布状态, 形成地壳构造的主要特点。由于地壳物质在水平和垂直方向上的不均匀性, 势必导致地壳经常进行物质的重新分配调整 (即物质迁移), 这也是引起地壳运动的因素之一。

(二) 地幔

地幔是指莫霍面与古登堡面之间的球形圈层。由于它既能传播地震的纵波, 又能通过横波, 因此认为地幔仍为固体物质组成。

关于地幔的物质成分和状态, 现在还不十分清楚。但是, 可以大致肯定以下几点: 从莫霍面至古登堡面, 根据地震波传播速度大体是缓慢而均匀增大的, 中间缺少一级不连续面, 说明地幔物质较地壳具有很大的均匀性。但是, 地震波又显示在 413km 和 984km 深处各有一个次一级的不连续面存在 (前者称为拜尔勒界面, 后者叫做雷波蒂界面), 由此可见, 地幔物质又具有一定的分异作用。目前, 一般以 984km 处的雷波蒂面为界, 把地幔又分为上地幔和下地幔。

一般认为地幔中氧、铝、硅减少了, 而铁、镁等重元素大为增加。上地幔物质主要由橄榄岩所组成, 下地幔物质则主要由铬铁或铁镍的氧化物与硫化物组成。

还有一点值得注意的是, 在上地幔深约 56~250km 范围内, 地震波的传播速度显著降低, 人们把地幔上部的这一层称为古登堡低速层 (简称低速层)。据推测, 这是因为在此范围内放射性元素大量集中, 蜕变生热, 产生高温异常, 形成潜柔性的塑性层, 或局部呈熔融状态的缘故, 所以, 又把此层称为软流层, 一般认为这里是岩浆的发源地。同时认为, 地壳运动、岩浆活动和火山喷发活动等皆可能与此层有密切的关系。

(三) 地核

深 2900km (古登堡面) 以下至地心部分称为地核。由于地震波传播速度在这一部分有一个明显的突变, 即纵波由 13.6km/s 下降到 8.1km/s, 横波在此消失中断, 表明组成地核物

质的化学成分和物理性质等有了很大变化。

据表 1-1，地核物质的密度为 $9.7\sim 17\text{g/cm}^3$ ，压力可达 $1.386\times 10^8\sim 3.6477\times 10^8\text{kPa}$ ，温度为 $2000\sim 5000^\circ\text{C}$ 。

关于地核的化学成分和物理状态，还是一个有争议的问题。多数人认为地核主要是由铁镍物质组成，类似于落入地球上的铁镍陨石的成分，所以也称为铁镍地核。铁质陨石的成分主要为铁，并含有 $5\%\sim 20\%$ 的镍。地球的磁性来源于地核，这也是地核为铁镍组成的佐证。此外，由于地核外层的密度只有 9.5g/cm^3 ，而在冲击波试验地核边界所得的温度和压力条件下，铁的密度为 11.2g/cm^3 ，说明地核除铁镍物质外，可能还含有硅或硫等轻元素。这些都有待进一步研究。

第三节 地质作用概述

一、地质作用

辩证唯物主义认为世界上没有永恒不变的东西，一切事物都在不断地变化着和发展着。地球自形成到现在大约已有 46 亿年的历史，在这漫长的地球历史中，地壳每时每刻也在变化着，地壳在运动，地表在变化，矿物和岩石在改变。例如，有些时候某些地方遭受挤压褶皱成为高山，而另外一些地方则拗陷成为海洋。高山不断遭受剥蚀，夷为平地；而沧海又不断被泥沙充填，成为桑田。坚硬的岩石遭受风化破碎成为松散的泥沙，而松散的泥沙又不断沉积形成新的岩石。根据这些事实不难理解，地壳确实不是平静不变的，而是无时无刻不在受着一种力量促使其产生着种种运动和变化。因此，我们把这种引起地壳组成物质、地壳构造和地表形态等不断的形成和变化的作用，称为地质作用。把促使地壳不断运动和变化的力量称为地质营力。由地质作用所引起的现象称为地质现象。

地质作用按照营力和能源的不同可分为两大类，即外力地质作用和内力地质作用。外力地质作用可按其作用性质的不同分为：风化作用、剥蚀作用、搬运作用、沉积作用和成岩作用五种；内力地质作用则可分为：地壳运动、岩浆活动、变质作用和地震活动四种（表 1-2），其详细内容将在以后章节中叙述。

表 1-2 地质作用分类

