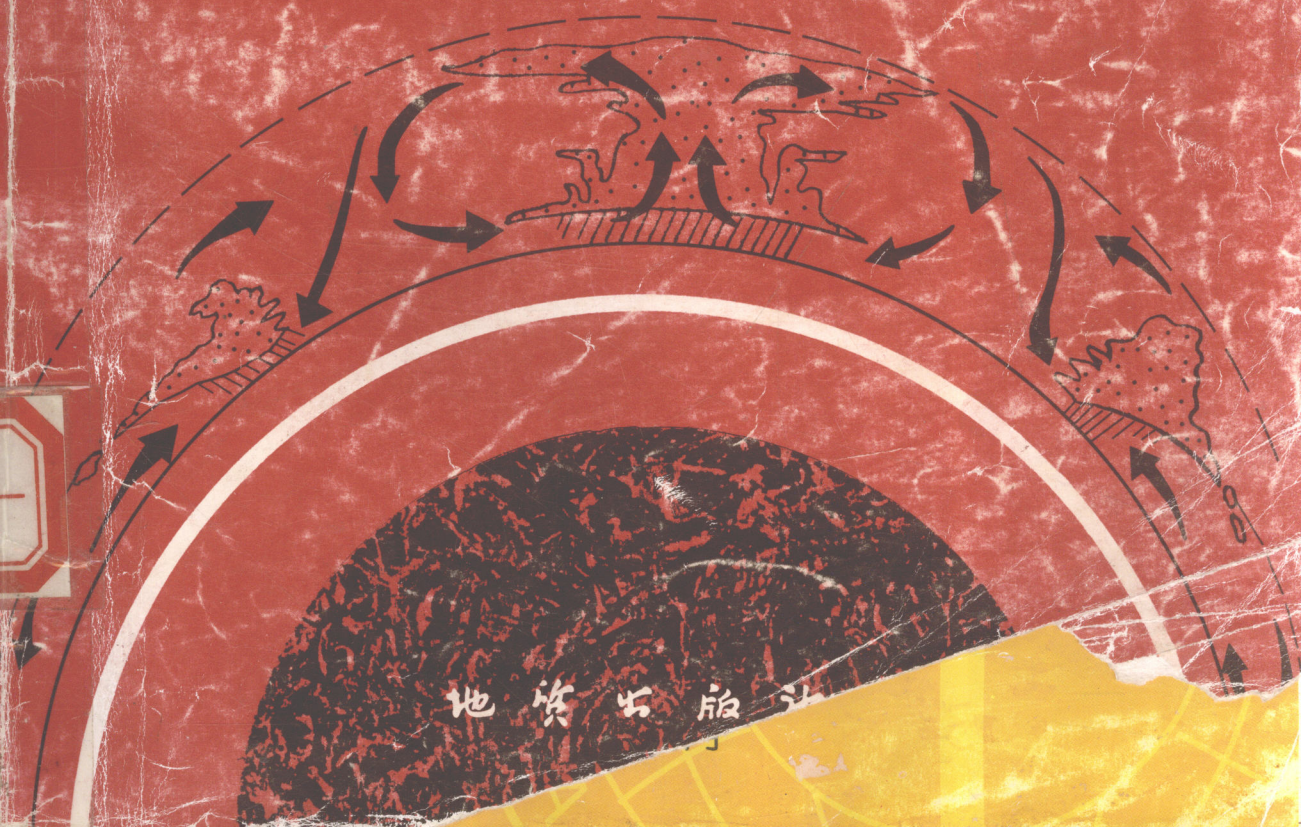


普通高等教育地质矿产类规划教材

地质学概论

叶俊林 黄定华 张俊霞 编



普通高等教育地质矿产类规划教材

地 质 学 概 论

叶俊林 黄定华 张俊霞 编



地 质 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

地质学概论/叶俊林等编. -北京:地质出版社, 1996. 10 (2001. 3 重印)

普通高等教育地质矿产类规划教材

ISBN 7-116-02111-6

I. 地… II. 叶… III. 地质学-概论 IV. P5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 16522 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑: 张荣昌

*

北京市朝阳区隆华印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张: 14.875 字数: 347000

1996 年 10 月北京第一版 • 2001 年 3 月北京第三次印刷

印数: 5001—10000 册 定价: 14.20 元

ISBN 7-116-02111-6

P • 1584

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 由本社发行处负责调换)

前 言

本书是根据地矿部《地质学基础》课程教学指导委员会第二届第一次会议 1993 年 4 月 27 日通过的“会议纪要”的要求，由叶俊林教授主持编写的。教材编写大纲是按课时为 80—100 学时，并参照 1989 年 10 月课程教学指导委员会第一届第三次会议通过的 150 学时和 100 学时两类《地质学基础》课程的“教学基本要求”拟编的。编写大纲得到课程教学指导委员会的肯定。

新编的《地质学概论》与 1987 年地质出版社出版的《地质学基础》（探工专业用，100 学时）相比较，去掉了第十一章“矿床的勘探简介”，代之以“环境与地质灾害”一章。这一作法在课程教学指导委员会“会议纪要”中得到了支持：“地质学基础课程应增加环境地质等方面的内容，才能更好地满足各方面的需要。”其它章节内容基本一致，但对内容作了较多的更新，而篇幅则有较大的压缩。本书取名《地质学概论》，是考虑到与书的内容和篇幅相匹配。

本书的绪论及第一、二、四、五、七、十一章由叶俊林编写，第八、九、十、十二章及附录由黄定华编写，第三、六章由张俊霞编写，实习指导书由三人合编，最后由叶俊林（主编）统编定稿。地质出版社教材编辑室张荣昌主审。地质矿产部《地质学基础》课程教学指导委员会于 1994 年 9 月召开了审稿会，对送审稿进行了细致的审查讨论，提出了许多修改意见。会后主编又根据审议意见进行了详细修改。

在本书编写过程中，得到了地质院校许多老师的协助，使教材质量得到了提高，中国地质大学绘图室唐核之、王香莲、熊莉和彭泥泥为本书清绘了图件，在此一并致谢。

恳请使用此书的老老师和同学对书中的错误和不足之处予以批评指正。

编 者

1994 年 12 月

目 录

绪论	(1)
一、地质学研究的对象、内容和分科	(1)
二、地质科学在现代经济建设中的作用	(1)
三、学习地质学应注意的几个问题	(2)
第一章 地球概况	(4)
第一节 地球的形状和大小	(4)
第二节 地球的外部圈层结构	(4)
一、大气圈	(4)
二、水圈	(5)
三、生物圈	(6)
第三节 固体地球的主要物理性质	(6)
一、地球的质量和密度	(6)
二、地球的重力	(6)
三、地球的压力	(8)
四、地球的磁性	(8)
五、地球内部的温度	(9)
六、地球的弹性和塑性	(9)
第四节 地球的内部圈层结构	(9)
一、地球内部圈层的划分依据	(9)
二、地球内部圈层的特征	(11)
第二章 岩石圈	(14)
第一节 岩石圈的表面形态特征	(14)
一、陆地地形	(14)
二、洋底地形	(15)
第二节 岩石圈的物质组成	(17)
一、岩石圈的化学成分	(17)
二、矿物	(17)
三、岩石	(18)
第三节 岩石圈的构造	(18)
一、现代板块的划分	(18)
二、板块边界的类型	(19)
第四节 地质作用的概念	(20)
一、一般概念	(20)

二、内动力地质作用	(21)
三、外动力地质作用	(21)
四、内外动力地质作用的关系	(21)
第三章 矿物	(23)
第一节 矿物通论	(23)
一、矿物与晶体的概念	(23)
二、矿物的化学成分与化学式	(23)
三、矿物的形态与物理性质	(26)
第二节 矿物各论	(33)
一、矿物的分类与命名	(33)
二、第一大类——自然元素	(34)
三、第二大类——硫化物及其类似化合物	(35)
四、第三大类——氧化物及氢氧化物	(37)
五、第四大类——含氧盐	(41)
六、第五大类——卤化物	(49)
第四章 岩浆作用与岩浆岩	(51)
第一节 岩浆及岩浆作用	(51)
一、基本概念	(51)
二、火山作用及其产物	(51)
三、侵入体的特点	(53)
四、侵入体和喷出岩体的原生构造	(54)
第二节 岩浆岩的基本特征与分类	(55)
一、岩浆岩的物质成分	(55)
二、岩浆岩的结构和构造	(58)
三、岩浆岩的分类	(59)
第三节 岩浆岩的主要类型	(60)
一、橄榄岩-苦橄岩类(超基性岩类)	(60)
二、辉长岩-玄武岩类(基性岩类)	(62)
三、闪长岩-安山岩类、正长岩-粗面岩类(中性岩类)	(62)
四、花岗岩-流纹岩类(酸性岩类)	(64)
五、霞石正长岩-响岩类(碱性岩类)	(64)
六、脉岩类	(65)
第四节 岩浆岩的成因概述	(66)
第五章 外动力地质作用与沉积岩	(68)
第一节 风化作用	(68)
一、物理风化作用	(68)
二、化学风化作用	(69)
三、风化壳与土壤	(70)
第二节 剥蚀作用	(71)

一、地面流水的剥蚀作用	(71)
二、海水的剥蚀作用	(73)
三、其它地质营力的剥蚀作用	(75)
第三节 搬运作用	(77)
一、河流的搬运作用	(77)
二、海洋的搬运作用	(78)
三、其它地质营力的搬运作用	(79)
第四节 沉积作用	(80)
一、河流的沉积作用	(80)
二、海洋的沉积作用	(82)
三、其它沉积作用	(85)
第五节 成岩作用	(86)
一、压实作用	(86)
二、胶结作用	(87)
三、重结晶作用	(87)
第六节 沉积岩的一般特征与分类	(87)
一、沉积岩的矿物成分特征	(87)
二、沉积岩的主要构造	(88)
三、沉积岩的结构	(89)
四、沉积岩的颜色	(89)
五、沉积岩的分类	(90)
第七节 他生沉积岩大类	(90)
一、陆源碎屑岩类	(90)
二、火山碎屑岩类	(94)
第八节 自生沉积岩大类	(96)
一、碳酸盐岩类	(96)
二、其它自生沉积岩类	(98)
第六章 变质作用与变质岩	(100)
第一节 变质作用的原理	(100)
一、变质作用的概念	(100)
二、变质作用的控制因素	(100)
三、变质作用的方式	(101)
第二节 变质作用的类型	(103)
一、接触热变质作用	(103)
二、动力变质作用	(103)
三、气-液变质作用	(103)
四、区域变质作用	(103)
五、混合岩化作用	(103)
第三节 变质岩的特征	(104)

一、变质岩的化学成分	(104)
二、变质岩的矿物成分	(104)
三、变质岩的结构	(105)
四、变质岩的构造	(107)
第四节 变质岩的类型	(107)
一、接触变质岩类	(108)
二、气-液变质岩类	(108)
三、动力变质岩类	(109)
四、区域变质岩类	(110)
五、混合岩类	(111)
第七章 地质年代与地层系统	(113)
第一节 地质年代的单位与系统	(113)
一、相对地质年代单位的建立	(113)
二、同位素地质年代表的建立	(113)
三、地质时代系统	(113)
第二节 地层的划分与对比	(115)
一、岩层与地层	(115)
二、地层划分的意义与要求	(116)
三、地层划分和对比方法	(117)
四、岩石地层单位	(119)
第三节 华北、华南地层概况及其对比	(120)
一、华北、华南地层发育简况	(120)
二、地层对比实例	(120)
第八章 地壳运动	(126)
第一节 概述	(126)
第二节 地壳的垂直运动	(126)
一、地壳垂直运动的主要标志	(126)
二、构造分区和构造旋回	(127)
第三节 地壳的水平运动	(128)
一、地壳水平运动的主要标志	(128)
二、板块构造学说简介	(128)
第四节 大陆构造研究的新进展	(130)
一、大陆的生长机制和成因	(130)
二、大陆岩石圈结构与构造的新认识	(130)
三、大陆岩石圈的演化和动力学	(131)
第五节 地震作用	(131)
一、地震的一般概念	(131)
二、地震的震级和烈度	(131)
三、地震的成因类型	(133)

四、地震的演化过程·····	(134)
五、地震效应·····	(135)
六、地震的地理分布·····	(135)
第九章 构造变形 ·····	(137)
第一节 岩层的产状·····	(137)
一、岩层的原始产状特征·····	(137)
二、岩层的产状要素·····	(137)
三、线状构造的产状要素·····	(139)
四、水平岩层·····	(139)
五、倾斜岩层·····	(140)
六、地层不整合的观察和研究·····	(142)
第二节 褶皱构造·····	(144)
一、褶皱和褶皱要素·····	(144)
二、褶皱的分类·····	(145)
三、褶皱的组合型式和叠加型式·····	(148)
四、褶皱的成因·····	(149)
五、褶皱的野外观测与研究·····	(150)
第三节 断裂构造·····	(152)
一、节理·····	(152)
二、断层要素和断层位移的概念·····	(155)
三、断层分类·····	(156)
四、断层形成机制·····	(158)
五、断层的野外观测与研究·····	(159)
第十章 矿床的基本知识 ·····	(165)
第一节 矿床的有关概念及其成因分类·····	(165)
一、有关矿床的基本概念·····	(165)
二、矿床的成因分类·····	(166)
第二节 岩浆作用矿床·····	(166)
一、成矿阶段与矿床类型·····	(166)
二、典型矿床实例——四川攀枝花钒钛磁铁矿矿床·····	(167)
第三节 变质矿床·····	(168)
一、变质成矿作用及其特点·····	(168)
二、变质成矿作用的类型·····	(169)
三、典型矿床实例·····	(169)
第四节 外生矿床·····	(171)
一、风化矿床·····	(171)
二、沉积矿床·····	(172)
三、可燃有机矿床·····	(177)
第十一章 地下水 ·····	(182)

第一节 概述	(182)
第二节 地下水的赋存	(184)
一、岩石的空隙及其中水的存在形式	(182)
二、不同埋藏条件下的地下水	(184)
第三节 地下水的运动	(187)
第四节 地下水的性质	(188)
一、地下水的化学性质	(188)
二、地下水的物理性质	(188)
第五节 饮用天然矿泉水	(189)
第十二章 环境与地质灾害	(190)
第一节 环境地质问题	(190)
一、环境地质系统的主要特性	(190)
二、当前必须重视的部分环境地质问题	(192)
第二节 地质灾害问题	(197)
一、自然灾害及其分类	(197)
二、地质灾害研究中的主要任务	(199)
三、主要地质灾害简介	(200)
附录 地形图和地质图的基本知识	(206)
一、地形图	(206)
二、地形地质图	(208)
主要参考文献	(211)
实习指导书	(212)
实习一 矿物的形态及主要物理性质	(212)
实习二 自然元素及硫化物矿物	(212)
实习三 氧化物及氢氧化物矿物	(213)
实习四 硅酸盐矿物 (一)	(213)
实习五 硅酸盐矿物 (二)	(214)
实习六 其它含氧盐及卤化物矿物	(214)
实习七 酸性岩、中性岩及碱性岩	(215)
实习八 基性岩、超基性岩及脉岩	(215)
实习九 碎屑岩	(216)
实习十 泥质岩、碳酸盐岩、硅质岩及磷质岩	(216)
实习十一 变质岩	(216)
实习十二 地层划分与对比	(217)
实习十三 地形图与地形剖面图	(217)
实习十四 地质图	(219)
实习十五 地质剖面图	(220)
实习十六 褶皱发育区的地质图	(222)
实习十七 断层发育区的地质图	(224)

绪 论

一、地质学研究的对象、内容和分科

人类生活的地球是围绕着太阳运转的九大行星之一。它的外面包裹着浓密的大气，称为大气圈；在固体地球的表面还覆盖着几乎连续不断的水体，称为水圈；由厚达几十至上百公里的岩石构成的地球表层则称为岩石圈。人类在地球上出现约在 3Ma 前，岩石圈为人类的生存和发展提供了衣食之源和一切物质财富。

人类对于地球的认识，形成了好多门科学，如地理学、气象学、地质学等。地质学研究的主要对象是岩石圈。人们研究岩石圈的物质组成，诸如元素、矿物、岩石和矿产的特征、形成条件和分布规律；研究局部地区、大陆以至整个岩石圈的发展和演化史；研究区域地质构造、岩石圈的结构和运动规律，等等。这样就形成了一门独立的科学——地质学。

随着生产的发展和科学的进步，地质学研究的内容越来越广泛和深入，现代地质学已发展成具有很多分支学科的学科体系：

1. 研究岩石圈物质组成的学科，如结晶学、矿物学、岩石学、矿床学及地球化学等；
2. 研究岩石圈结构、构造和运动的学科，如构造地质学、大地构造学及动力地质学等；
3. 研究岩石圈演化历史的学科，如地层学、古生物学及地史学等；
4. 研究地下资源的找寻和勘探方法，以及地质环境评价和对策的学科，如地质制图学、找矿勘探地质学、遥感地质学、水文地质学、工程地质学、探矿工程学、地球物理勘探学、地球化学勘探学、环境地质学及数学地质学等。

二、地质科学在现代经济建设中的作用

随着现代科学的巨大进步、新的技术革命的蓬勃兴起和经济建设的高度发展，人类对矿产资源和能源的需求越来越多，人与环境的相互影响与制约也越来越大。而矿产资源、能源和环境这三大课题都与地质科学有着密切的关系。

首先，现代工业、农业、交通业等所必需的各种金属、非金属原料均来自岩石圈中的矿物和岩石，许多城市和农村的用水主要靠地下水供给，煤、石油、铀等能源资源也赋存于岩石圈中。人类要大量而稳妥地得到这些地下资源，就必须了解地质情况，运用恰当的地质勘探方法。因此，地质工作是国民经济各部门发展的“尖兵”和“参谋”。

其次，20 世纪以来，世界人口快速增长，旧城区不断扩大，新城市不断出现，现代化工业、农业、交通业等多方面的建设，都对建筑地基和地质环境提出了越来越高的要求。而要查明地下地质构造，了解地壳稳定性，克服地质环境对各类工程建筑的不利影响，都需要进行必要的地质勘测工作和环境地质调查，对可能出现的地质灾害准备稳妥的对策。

第三，随着现代工业、农业、交通业等的发展，人类活动已成为一种巨大的地质营

力。人类活动对地球表层的改造作用日益强大，对环境的改造也越加显著。反过来，环境对人类活动的反作用也日益成为影响人类安危的重大课题，如地下矿产资源的大量开采导致环境严重污染，过量抽取地下水造成地面下沉、海水入侵或土壤盐碱化等，森林的过渡砍伐、草原的耕种导致水土流失、河湖淤积及沙漠化等。边坡的破坏导致岩崩、滑坡和泥石流等灾害，以及由于环境恶化而出现的多种地方疾病等等。为了减灾、防灾，显然必须认识致灾的原因，以及灾变的演化规律性。这些也正是地质科学研究的内容之一。所以，在保护和改善地质环境以造福于人类的事业中，地质科学具有极其重要的作用。

三、学习地质学应注意的几个问题

(一) 地质学的研究对象有以下几个基本特点

1. 整体规模宏大 岩石圈的表面积超过 $5 \times 10^8 \text{ km}^2$ ，平均厚度约 100km，即使研究一个小的地质单元，其规模也多比人们日常生活中惯用的尺度大，难于一眼望穿，而往往有“不识庐山真面目”的情况。

2. 发展过程漫长 地球自形成以来的演化历史约有 4600Ma。在这漫长的过程中，地球的面貌、岩石圈的结构等不是一成不变的，必然经历一系列的大小地质事件。例如，在距今两亿多年前，非洲、南美洲、大洋洲和印度等大陆曾与南极洲连为一体，地质学上称为冈瓦纳大陆，以后逐步裂解，并四散滑移开来。绵延数千公里的雄伟的喜马拉雅山系，是向北滑移的印度洋板块于数千万年之前与亚欧板块发生碰撞、断片的堆垛、褶皱而形成的。从海槽隆起成为现今的山系，经历了 25Ma。

3. 作用因素复杂 地球是一个非常复杂的天体。在地球内部和外部各种动力的作用下，各种地质体的发展演化，总是有各种物理的、化学的，甚至还有生物的作用，错综复杂地交织着。随着时间的推移，作用因素不仅有量的变化，主次地位也可能易位。例如，在海槽中堆积起来的巨厚沉积物，处于常温或低温下，并受到重力和围压的作用，逐渐被压实、脱水，并发生局部化学作用（胶凝、交代、重结晶等）而固结为沉积岩。在强烈的区域构造作用下，这些沉积岩受到定向应力作用、较高的热力作用以及热液、热气的交代作用，转化为动力变质岩或区域变质岩。当温度升高导致岩石局部熔融时，则生成岩浆，再冷凝而成岩浆岩。

4. 区域差异明显 岩石圈作为一个整体，自有其统一的演化规律。但在几十亿年的演化过程中，不同地区的物质组成、结构和构造都会有很大的差异，而各自形成一套岩石、地层和构造体系的综合体。例如，在某一地质时期，甲地为山区，遭受剥蚀；乙地为海区，接受沉积；丙地为火山地带，堆积大量的火山喷发物。在随后一个地质时代，甲地可能沉降为海区，以沉积为主乙地可能上升为陆地；丙地也许成为高峻山区，遭受剥蚀。

(二) 学习地质学应注意的几个问题

1. 建立起认识地质事件的时空观 鉴于地质过程的长期性，地质事件的演化进程不可能用人文史的年、月、日来计量，而通常是以百万年（Ma）为单位来计量的。

地质学研究的对象从地球整体到大洋、大陆；从山系、盆地的地质构造，直到矿物、岩石标本及化石的内部结构；从地球卫星照片的观察到利用电子显微镜观察，其尺度变化很大。因此，讨论问题时必须确定研究对象的尺度，不能主次混淆。

2. 掌握辩证的思维方法 研究地质问题，必须有全局观念，有发展、变化的观念，以及由表及里的研究方法。要真正认识某一地质产物，必须了解它是在哪一个地质时代形

成的，是在什么样的古地理、古气候、温度和压力等地质环境中发生和发展的，并注意哪种因素居主导地位，等等。这样才能避免犯“见木不见林”和“瞎子摸象”之类的错误。

3. 运用现实类比和历史分析的原则 地质学家通常运用现实类比和历史分析即“将今论古”的原则，从研究眼前正在进行的地质过程入手，总结其规律性，再去推论地质历史上同类事物的发展和结局。例如，当观察现代浅海中造礁珊瑚的生长状况，发现含有造礁珊瑚化石的石灰岩层时，即可推论它是某个地质时代热带或亚热带的浅海环境下的沉积产物。可是，岩石圈的发展、演化具有一定的阶段性和不可逆性，地质历史上某个阶段的产物具有当时的地质、地理和生物演化的特点，今天正在进行的地质过程不会与地质历史时期任何一个阶段的同类过程完全相同，因而在“将今论古”时不可不加分析地简单套用。

4. 实践出真知 地质学是人们长期向大自然索取矿产资源和改善环境的斗争中总结经验而逐步发展起来的一门科学。早期的地质工作者凭着简单的工具——铁锤、放大镜和罗盘这“三件宝”，对地表出露的矿物、岩石和地质现象仔细观察、测绘，收集了大量的资料，并通过室内鉴定和综合分析，总结出规律性的认识。虽然今天现代科学已高度发展，地质领域的高、精、尖仪器设备也大量发展了，但对大学生来说，带着“三件宝”到野外现场识别矿物、岩石、地层、构造和多种地质现象，仍然是理解和掌握地质学基本原理和基础知识的重要方法，甚至可以说是必不可少的方法。

第一章 地球概况

第一节 地球的形状和大小

从人造地球卫星拍摄的地球照片(图1—1)上看到的地球,的确是一个球状体。

在测量学上以平均海平面为基准,并将其扩展到陆地而构成一个封闭球形体,代表地球的形状和大小。此球面称为大地水准面。为简化计算,一般以赤道半径(a)与两极半径(c)及扁率($a - c$)/ a 所决定的椭圆绕地轴旋转构成的旋转椭球体,代表地球的形状和大小。1975年第16届国际大地测量和地球物理联合会(IUGG)建议采用的地球形状的主要参数有:

赤道半径 a	6378.140km
两极半径 c	6356.755km
平均半径 $R = (a^2 c)^{1/3}$	6371.004km
长短半径差 $a - c$	21.385km
扁率 $(a - c)/a$	1/298.253
表面积 $4\pi R^2$	510064472 km ²
体积 $4/3 \pi R^3$	10832×10^8 km ³



图1—1 人造卫星拍摄的地球照片
照片上方为亚洲,右下方为澳洲

根据人造卫星轨道参数分析测算所得出的地球

真实形状,北极比旋转椭球体凸出约10m,南极凹进约30m,中纬度在北半球稍凹进,而在南半球稍凸出(不到10m)。据此可以推论:第一,地球极近似于旋转椭球体,这是地球自转所致,表明它具有弹塑性;第二,地球不是严格的旋转椭球体,表明其内部物质分布不均匀。

第二节 地球的外部圈层结构

地球的外部圈层包括:大气圈、水圈和生物圈。

一、大气圈

大气圈是由包围着固体地球的大气层构成的。水中、土壤中及一些岩石中也含有少量空气,但其深度一般不超过4km。大气圈没有明显的上界,在赤道上空40000km以上仍有大气存在的踪迹。

大气圈的总质量约为 5.136×10^{15} t,占地球总质量的千万分之九。由于地球引力作用,大气圈质量的97%聚集在从地表到29km高度范围内,其中的3/4又集中到地面以上

10km 范围内。因此，越接近地面大气的密度越大。大气的密度和压力与距地面的高度成反比。大气的温度也随高度的增加而降低。干燥空气 0℃ 时，在纬度 45° 时海平面上的大气密度为 0.00123g/cm³，压力为 10⁵Pa。上升到 20km 的高空，气压减至 10⁴Pa，而到 40km 高空，气压只有 10³Pa 了。

大气圈的物质成分以氮和氧为主，其中氮占大气圈总质量的 75.5%，氧占 23.1%；其次有氩（占 1.28%），二氧化碳（占 0.05%）。水蒸气在大气中的含量随温度和高度而变化。在海平面附近的湿热大气中，水蒸气含量可达 2%；但在 5km 高空以上的大气中几乎不含水蒸气。

根据大气温度、密度等物理特征，一般把大气圈自下而上分为对流层、平流层、中层、电离层和扩散层。下面简略介绍与地质作用关系密切的对流层的特点。

对流层位于大气圈底部，在赤道地区厚约 16—18km，两极地区厚约 7—10km，冬季较薄，夏季较厚。本层大气的温度主要来自地面的红外辐射，即由太阳光照射地面再辐射出来的热。贴近地面的大气受热后体积膨胀，密度减小，产生上升运动；上层大气则因冷却而密度增大，产生下降运动，于是形成了热空气与冷空气的对流运动。地面水体受热汽化产生的水蒸气自然也参与大气的对流运动。所以，风、云、雨、雪、雹、雷、电等变化多端的天气现象，都发生在对流层中。对流层大气的流动，不仅是一种重要的地质营力，同时又是推动水圈循环的重要因素。

二、水圈

地球表面四分之三以上的面积被海洋、冰层、湖泊、沼泽、河流中的水体覆盖。地面以下的土壤和岩石缝隙中也充填有大量的地下水，它们共同构成一个连续而不规则的圈层，称为水圈。水圈的质量约 143 × 10¹⁶t，约占地球总质量的四千分之一。各种水体的储量见表 1—1。

表 1—1 地球上各种水体的水量

水 体 类 型	水 体 水 量	
	10 ¹² m ³	百分数 (%)
I 海洋水	1338000	96.538
II 大气水	12.9	0.001
III 陆地水	47971.7	3.461
1. 冰层	24064.1	1.736
2. 永冻土底冰	300	0.022
3. 地下水	23400	1.688
4. 湖沼水	187.9	0.0135
5. 土壤水	16.5	0.0012
6. 江河水	2.1	0.0002
7. 生物水	1.1	0.0001
总 计	1385984.6	100.0

(据联合国水文会议文件，1977)

水圈中的水，主要在太阳热能和重力的作用下不停地运动着。陆地上的地表水、地下水和冰层总的说都可自高处向低处运动，其中绝大部分流入海洋。海洋水也在不停地进行

水平运动或上下运动。地表水和海洋水通过蒸发，或植物的蒸腾，一部分水成为水蒸气而进入大气圈，由大气环流带到各处，以雨、雪等形式返回地面。这样就构成了水圈的循环（图 1—2），并同时影响岩石圈、大气圈与生物圈产生影响。

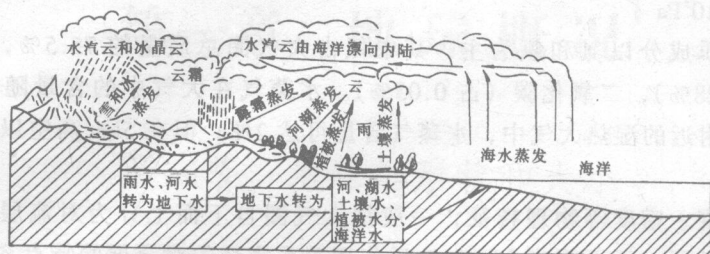


图 1—2 水圈的循环示意图

三、生物圈

生物圈是生物及其生命活动的地带所构成的连续圈层。生物生存的范围可从海平面以上 10km 高空到岩石圈表面以下数公里深处的岩石中（几乎包括了整个水圈）。生物圈中生物及有机体总质量约 $11.48 \times 10^{12} \text{t}$ 。

地球上生命物质的出现约在 3500Ma 以前。在南非距今 3200Ma 的层状岩石中发现了原核生物化石。自前 1000Ma 以来植物和动物蓬勃发展。生物的活动使自然界的各种元素产生了复杂的化学循环，使岩石圈的表层物质成分受到改造，这便是生物地质作用。一些学者认为，在地球发展的早期阶段，大气中的 CO_2 甚多，而 O_2 比现在少得多。由于植物的大发展，植物的光合作用消耗了大部分 CO_2 ，使 C 在地层中富集，释放出大量的 O_2 ，才使大气的成分达到现代的状况。

第三节 固体地球的主要物理性质

固体地球的主要物理性质包括它的密度、压力、重力、磁性、弹性和塑性、温度。

一、地球的质量和密度

根据牛顿万有引力定律计算出地球的质量为 $5.9472 \times 10^{24} \text{kg}$ （据 IUGG, 1975），地球的平均密度为 5.516g/cm^3 。但在地表出露的岩石中，测得砂岩、页岩和石灰岩等沉积岩的平均密度为 2.6g/cm^3 ，花岗岩的密度为 2.67g/cm^3 ，玄武岩的密度为 2.85g/cm^3 ，都远小于地球的平均密度。因而推论，地球内部大部分物质的密度，应大于地球的平均密度。

目前世界上最深的钻井仅达 12km 多，地球内部更深处的密度无法直接测量。一些学者根据地震波在地球内部不同深度的传播速度并结合实验岩石学的资料提出地球内部结构模型，推算了其密度分布状况，见图 1—3 和表 1—2。

值得注意的是，地球密度是随深度的增加而增大的。但密度的增大是不均匀的，在地下，密度值（单位 g/cm^3 ）有三个明显的跃变：在 670km 处从 3.99 跃至 4.39；在 2891km 处从 5.57 跃至 9.90；在 5150km 处从 12.17 跃至 12.75。

二、地球的重力

地球上某处的重力是该处所受地心引力与地球自转离心力（垂直地面分力）的合力。地

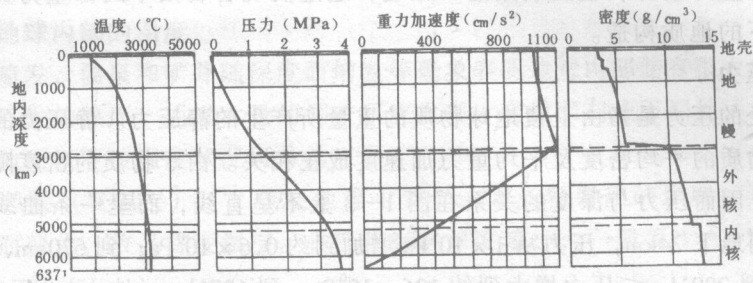


图 1—3 地球内部物理性质垂直分布图

(据周惠兰等资料改编)

表 1—2 地球内部圈层划分表

圈 层		深度 (km)	V_p (km/s)	V_s (km/s)	密 度 (g/cm ³)	特 征	其它
名 称	代号						
地壳	上地壳	A ₁	陆 洋			固态陆壳地区横向变化大， 许多地区夹中间低速层	↑ 岩 石 圈 ↑ 构造圈
	下地壳	A ₂	15 0—2	5.8 6.8	3.2 3.9	2.65 2.90	
地幔	上 盖层	B ₁	33 12	8.1	4.5	3.37	↓ 软流圈 ↓ 中 间 圈
	低速层	B ₂	80	8.0	4.4	3.36	
	均匀层	B ₃	220	8.7	4.7	3.48	
	过渡层	C	400	9.1 10.3	4.9 5.6	3.72 3.99	
	下地幔	D	670	11.7 13.7	6.5 7.3	4.73 5.55	
			2891			古登堡面	
地核	外 核	E		8.0 10.0	0 0	9.90 11.87	内 圈
	过渡层	F	4771	10.2	0	12.06	
	内 核	G	5150	11.0	3.5	12.77	
			6371	11.3	3.7	13.09	

(据 PREM 资料编)

球表面的重力随纬度值的增大而增大。据计算和实测，在赤道海平面上重力加速度为 978.0318cm/s^2 ，在两极海平面上为 983.2177cm/s^2 ，后者比前者增加 0.53%。此外，重力加速度还随海拔高度的增高而减小，每升高 1km 重力加速度值减少 31cm/s^2 。在地球内部，重力加速度随深度的增加而缓慢增大（图 1—3）。到 2891km 深处，重力加速度达到极大值 1068cm/s^2 。2891km 以下重力加速度急剧减小，地心的重力加速度为零值。

如果把地球当作一个圆滑的均质体，以大地水准面为基准计算出的重力值称为理论值，它只与地理纬度有关。但实际上，由于地面起伏甚大，加上地球物质密度不均匀以及结构的差异等原因，实测的重力值常与理论值不符，这种现象称为重力异常。对研究区的实测重力值，通过高程及地形校正以后，再减去该区的理论重力值，如为正值，称正异常；如为负值，则称负异常。前者反映地下物质密度偏大，后者反映地下物质密度偏小。