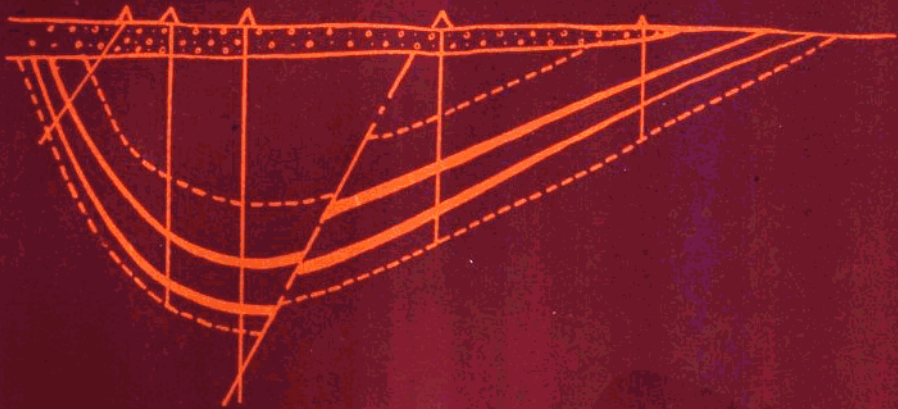


# 煤矿地质学

上册

钟显亮 编



地质出版社

# 煤 矿 地 质 学

上 册

钟显亮 编

地 质 出 版 社

## 内 容 简 介

全书分上、下两册。上册为基础部分，包括普通地质、水文地质、工程地质、煤田地质及地质制图等内容；下册为应用部分，包括以工作方法为主的煤田地质勘探和矿井地质以及矿井水、井巷工程地质、冲击地压、瓦斯地质、环境地质、综合采矿地质和矿井物探等内容。全书图文并茂，内容丰富，理论密切结合实际，具有较好的实用性。

可作为采矿类专业学生的教材及采矿工程技术人员、矿井地质工作者、煤田地质工作者的参考书。

## 煤 矿 地 质 学

### 上 册

钟显亮 编

\*

责任编辑：牟相欣

地质出版社出版发行

（北京西四）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销

\*

开本：787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张：12.875字数：297,090

1988年7月北京第一版·1988年7月北京第一次印刷

印数：1—5,895册 国内定价：3.10元

ISBN 7-116-00184-0/P·167

# 前 言

采矿科学技术的发展，对应用地质科学提出了越来越高的要求。采矿工程中系统工程的应用、机械采矿和综合采矿机组的推广、矿井建设与生产的发展，特别是深部水平生产地质条件的恶化，要求采矿类专业的学生和工程技术人员具有较扎实的地质学理论基础和必要的基本训练，广大煤矿生产工作者也迫切希望了解煤矿地质的最新理论、技术与方法。

本书的编写方针是：教学与生产兼顾、普及与提高并重。在编写上深入浅出、循序渐进，以利于教学与自学；在内容上具有实用性、先进性与科学性，反映我国煤矿地质最新进展，阐述了作者的一些观点，冀图为煤矿地质发展和百家争鸣推波助澜，也为广大采煤工作者和矿井地质工作者提供一部实用参考书。

本书分上、下两册。上册为基础部分，主要是矿井建设与生产所需要的基础地质知识，包括普通地质、水文地质、工程地质、煤田地质及地质制图等。下册为应用部分，包括煤田地质勘探与矿井地质工作，以实际图件和实用方法为主，并详细介绍了与矿井生产和安全密切相关的矿井水、井巷工程地质（包括特殊顶板处理、巷道变形防治、冲击地压、岩爆和矿震等）、瓦斯地质和综合采矿地质以及矿井物探和钻探方法等内容。

本书吸取了近几年来杂志上发表的和在中国煤炭学会矿井地质专业委员会举办的一些学术会议上交流的许多文章的精华，采用了阜新、鹤岗、铁法、邢台和井陘等矿务局以及煤炭科学研究院地质勘探分院和重庆研究所提供的资料，听取了我院和兄弟院校教师对本书所提供的许多宝贵意见，在此一并向有关专家、学者表示衷心的感谢。

本书承蒙湘潭矿业学院院长、教授、我尊敬的刘国荣老师的详细审阅，在此谨致以最深切的谢意。

本书插图由赵维娟、钟显昭同志精心绘制，作者也深为感谢。

由于作者水平有限，错误之处难免，敬请各位读者批评指正。

# 目 录

前言	
绪论	1
第一章 地球概况	4
第一节 地球的形状及起源	4
一、地球的形状和大小	4
二、太阳系及地球的起源	5
第二节 地球的圈层构造	5
一、地球的外圈	5
二、地球的内圈	8
第三节 地球的几种物理性质	9
一、密度	9
二、压力	10
三、重力	10
四、放射性	10
五、温度	11
六、磁性	12
第二章 地质作用	13
第一节 地质作用的能源	13
一、内能	13
二、外能	14
第二节 地质作用	14
一、内力地质作用	15
二、外力地质作用	24
第三章 矿物与岩石	31
第一节 矿物	34
一、矿物的基本知识	34
二、一些常见矿物的鉴定	38
第二节 岩石	43
一、岩浆岩	43
二、沉积岩	46
三、变质岩	51
第四章 地质构造	53
第一节 地质构造变动的概念及地质构造类型	53
第二节 产状要素的测量	54
一、产状要素的概念	54
二、产状要素的测量	54

第三节 地质构造 .....	56
一、褶皱 .....	56
二、裂隙 .....	59
三、断层 .....	60
<b>第五章 地史 .....</b>	<b>66</b>
第一节 地质年代及地层单位的概念 .....	66
第二节 地质年代表 .....	66
第三节 研究地史的基本方法 .....	68
一、化石及其地史意义 .....	68
二、地层及其地史意义 .....	74
三、接触关系及其地史意义 .....	77
<b>第六章 水文地质 .....</b>	<b>80</b>
第一节 地下水的分类 .....	80
一、按含水层空隙性质分类 .....	80
二、按埋藏条件分类 .....	82
第二节 岩石的给水度及渗透系数 .....	85
一、给水度 .....	85
二、渗透系数 .....	85
第三节 地下水的物理性质与化学成分 .....	86
一、地下水的物理性质 .....	86
二、地下水的化学成分 .....	87
第四节 渗透基本定律 .....	90
一、线性渗透定律(达尔西定律) .....	90
二、非线性渗透公式 .....	92
第五节 地下水向水井的流量 .....	92
一、潜水完整井涌水量的计算 .....	92
二、承压水完整井涌水量的计算 .....	93
第六节 矿坑涌水量预测 .....	94
一、水文地质比拟法 .....	94
二、解析法 .....	95
<b>第七章 工程地质 .....</b>	<b>97</b>
第一节 土的工程地质性质 .....	97
一、土的物质组成与结构 .....	97
二、土的物理性质 .....	103
三、土的水理性质 .....	106
四、土的力学性质 .....	109
五、土体的概念 .....	112
第二节 岩石的工程地质性质 .....	113
一、岩石的几种水理性质 .....	113
二、岩石的变形性质 .....	114
三、岩石的强度特性 .....	116

四、岩体	120
第三节 与岩体稳定性有关的工程地质问题	122
一、地面建筑的场地选择	122
二、斜坡破坏问题	122
三、巷道围岩稳定性问题	126
<b>第八章 煤和煤系</b>	131
第一节 煤的化学组成、工艺性质及分类	131
一、煤的化学组成	131
二、煤质指标	131
三、中国煤的分类	133
四、各类煤的基本特征及主要用途	135
五、煤的综合利用及对工业用煤的要求	136
六、煤的物理性质	139
七、煤岩常识	141
第二节 成煤原始物质及其转化	143
一、成煤原始物质	143
二、高等植物遗体转变成泥炭——泥炭化作用	144
三、低等植物遗体转化成腐泥——腐泥化作用	147
第三节 成煤的先决条件	147
一、植物条件	147
二、气候条件	148
三、地壳运动条件	150
四、沼泽条件	152
第四节 煤系的形成	154
一、近海型煤系的形成	155
二、内陆型煤系的形成	157
第五节 煤系的后期改造及构造形态	158
一、以褶皱为主的改造	159
二、以断层为主的改造	160
三、多种因素的改造	161
第六节 煤化作用与风化作用	162
一、煤化作用	162
二、煤的风化作用	167
第七节 煤层	168
一、富煤地段的形成机理	168
二、煤层厚度变化及缺失的原因	175
<b>第九章 地质制图及储量计算</b>	181
第一节 地质图及地形地质图	181
一、地质图	181
二、地形地质图	182
第二节 地质剖面图及勘探线剖面图	184
一、地质剖面图	184

二、勘探线剖面图及其编制方法.....	185
第三节 煤层底板等高线图及其编制方法.....	187
一、煤层底板等高线图的基本画法.....	187
二、断层面等高线图及其编制方法.....	189
三、受断层切割的煤层底板等高线图的绘制.....	189
第四节 直线内插法.....	191
第五节 储量计算的基本方法.....	191
一、煤炭储量的基本概念.....	191
二、储量计算.....	193
主要参考文献.....	193



# 绪 论

## (一)

地质学是研究地球的科学。人类生息于地球上，一切生活资料和生产资料都直接或间接取之于地球。因此，人类的历史，必然包括人类对地球的认识、研究和利用的历史，研究地球的各学科，也就往往成为最古老的学科。早在石器时代，人类为制作石器，在当地寻找较适用的石块，开始认识岩石；为藏身栖息，寻找天然洞穴。这些都是地质学的某种程度的萌芽。

具有悠久文化历史的中华民族，在地质学方面具有许多最早的发现和卓越的贡献。

4000年前夏禹时代的《禹贡》(它铸记在铜鼎上)可算是最早的地质书，上面记载了当时九州的土壤的某些特征和一些矿物、岩石的产地；这铜鼎本身的铸成，说明当时已具有找铜矿、熔剂、耐火材料以及做铸模用的型砂等的地质知识。约二千五六百年前的地理名著《山海经》中，记录了共约73种矿物和岩石及它们的产地，其中的“石涅”就是煤。400多年前明朝李时珍的《本草纲目》中，提到供药用的矿物、岩石和化石等达200多种，其中常见的矿物有石英、长石、云母、方解石、石膏、石盐和赤铁矿等。在描述矿物时，用到了现代矿物学的晶形、颜色、硬度和解理等性质。我国对许多矿产的开发利用都是很早的。在祖国辽阔的国土上，即使是极为偏僻的边疆地区，一般有矿地区均有古代采矿遗迹。东吴时期就用酒泉的石油点灯。帝尧或更早的时代就知道凿井取地下水。唐代时，在现在湖南省郴县就曾利用温泉灌溉，使水稻一年两季变为三季，提高了粮食产量。也是在唐代，有饮用“田公泉”的泉水来除“肠中三虫”的。这泉的泉水还能用来洗衣服。可见这泉水含有除虫的矿物成分，但主要含有碳酸钠。

我国在开发利用煤炭方面也有悠久历史。在我国新石器时代晚期遗物和周朝的墓葬里均发现过用煤制成的工艺品。如辽宁新乐古文化遗址中的煤制工艺品，它的同位素年龄有6000多年，从煤质来看它产于抚顺。早在春秋战国时期，已较多地使用煤炭。在汉朝的一冶铁遗址中发现煤的加工产品——煤饼，说明那时已把煤作为冶铁燃料。宋朝“汴京数百万家，尽仰石炭，无一家燃薪者”。可见当时采煤生产已具相当规模，用煤已很普遍。

举世无双的万里长城和南北大运河，是我国古代的工程师们具有工程地质学、地貌学和第四纪地质学方面广泛知识的例证。

早在4000年以前，中国就发明了指南针。指南针是用来确定方位的罗盘的雏型，至今尚广泛用于地质、测量和航海。1800多年以前，我国科学家张衡发明世界上第一台地动仪，它可以发现人们感觉不到的震动并测定地震震中的方向。

勤劳智慧的古代的中国人民，不仅在矿产的开发利用和地质仪器的发明使用方面写下了光辉的篇章，在精细观察和记录地质现象及探索地质规律方面，也作出了许多贡献。

对于地壳升降，我国在理论上的认识很早。老子《道德经》说：“桑田变沧海，我为之

添一筹。沧海变桑田，我又为之添一筹。今观海屋筹忽已三千年矣”。他清楚地提出了海陆变迁的观点。《诗经》说：“百川沸腾，山冢卒崩。高岸为谷，深谷为陵”。这里描述了地震时的景象和由它引起的显著的地壳升降。

我国历史上有许多关于地壳升降的记载。例如，1180年“六月，长乐平地出小阜，人畜践之即陷。明年复涌一高山”；1527年“正月，南昌城隍庙殿中，一石初生如笋，渐长至三四尺”。这是关于地壳上升的。关于地壳下降的记载更多，因为下降容易引起地面积水，较易为人们所觉察。例如，公元133年“洛阳地陷”。412年3月“山阴地陷，方四丈，有声如雷”。

对于河流的地质作用，我国知道的很早。大禹治水之所以成功，说明他了解水的性质和河流的某些规律。庄子说：“川竭而谷虚，丘夷而渊实”。这里说的是侵蚀作用使高山的岩石破坏，搬运到低处沉积，从而使山丘夷平，沟渊填平。宋朝岳珂指出河水流量与其搬运能力有关，夏季水大，搬运能力也大。河流以悬运方式搬运泥砂的现象，早在《诗经》中就有叙述。对于河流的溶运作用，唐朝的崔敖就认识到了。对于河流的淤积作用，在《诗经》上就有“在河之洲”的记录，这洲就是河流淤积作用的结果。关于黄河的淤积速度，历代记载更多。例如，北宋沈括曾丈量过当时汴京附近的黄河河床和地面，发现河床比地面高一丈二尺多：在公元1072年以前的1200年间，淤积了三丈深的泥土。沈括以后，宋朱熹提到：“常见高山有螺蚌壳或生石中。此石即旧日之土，螺蚌即水中之物。下者却变而为高，柔者却变而为刚”。这里已明确指出，低处可以变高，看到了地壳上升的结果；松散沉积物可以变成坚硬的岩石，看到了成岩作用的存在。我国历史资料中对许多湖泊的形成或消亡都有记载。从成因上说，有因地壳局部沉陷而形成的陷落湖；有位于山顶的山顶湖（如长白山湖——现已知为由火山口积水而成的火山湖；石池——华山顶上的二十八个石池，可能为冰川湖）；有因地震、山崩的泥石流堵塞河流、积水而成的堰塞湖等。至于湖泊由于沉积物的充填或别的原因而引起的湖面缩小或变大、湖水变浅直至最后消亡的记载更多。总的说，历史记载表明华北的湖泊有很多干涸消亡了，而华南则较少变化。这些湖泊生成或消亡的记载，不仅是沧海（湖泊）桑田的例证，也为我们研究古代地理和寻找泥炭等矿产提供了线索。

上面列举的地质史料仅仅是我国古代人民在地质学方面所做贡献的很小的一部分。但从这些史实中已可得出结论：勤劳智慧的中国古代人民，在地质学方面的发现与成就是多种多样和十分杰出的；在很多方面比别的国家的要早许多年。这是我们中华民族的骄傲。但是，由于我国长期处于封建社会，儒家思想轻视科学技术，中国古代的这些发现和认识，总是处于自生自灭的境地，未能得到当时的国家和社会的支持与倡导；他们的真知灼见未能得到发扬光大，他们的朴素认识未能提高成为系统的理论，因此，在近代地质学的奠基方面，我们反而落后了。

在旧中国，地质工作得不到重视，地质工作者在极为艰苦的条件下工作，像赵亚曾那样的学者还为地质工作献出了生命。但是，我国地质工作的先驱者，仍然做出了许多贡献。李四光教授对第四纪冰川和䇃科的研究以及地质力学的创立，都是对地质科学的重大贡献。我国煤田地质工作的先驱者五竹泉对山西、河北、云南和贵州等地煤田地质进行过比较深入的调查研究，谢家荣对淮南八公山新煤田的发现，以及他们对乐平煤煤岩特征的研究，都为我国煤田地质学的建立与发展，作出了可贵的贡献。

## (二)

新中国成立以后，我国的煤田地质勘探事业从无到有、从小到大，发展很快。随着地质科技的发展，逐步建立了一支地质、水文地质、物探、钻探、测量、化验等多工种、综合性的野战化的煤田地质勘探队伍；有关方面的科研工作也积极开展。在大量找煤勘探工作的基础上，共提交各类地质报告数千件，累计探明煤炭储量数亿吨，基本上满足了煤炭工业建设迅速发展的需要。

在勘探技术上，我们正在向世界的先进水平进军。目前已普遍采用航空测量代替人工测量；在地层出露较好地区，已推广航空照片填绘1/5000—1/10000的地质图；地球物理勘探技术正逐步向数字化方向发展；在数学地质和遥感地质等方面，也取得了一些进展。如1981年召开的煤炭系统第一次数学地质座谈会上就交流论文和经验总结资料44份；1986年4月召开的数学地质在煤田地质中应用学术讨论会交流论文102篇，数学地质方法已涉及煤田地质勘探的很多领域。

地质勘探资料表明，我国开始成煤的地质时代早、成煤期长、煤种齐全、分布广泛。全国已知含煤地层分布总面积达50余万平方公里，约占陆地面积的6%。全国除上海市外，所有省、市、自治区，都有煤炭资源赋存。丰富的煤炭资源，是我国实现四化的雄厚的能源基础。

广泛开展的煤田地质勘探，为煤田地质的研究提供了丰富的资料，也对它提出了越来越高的要求。建国以来，煤田地质学的主要成就可归纳为三大方面：(1) 煤炭资源分布规律与形成条件的研究，包括划分、对比含煤地层，确定主要含煤段；研究含煤岩系的沉积环境，探索其与构造运动和构造型式的关系；研究含煤地区与煤田区划，评价煤炭资源分布特点。(2) 煤田地质学基础理论的研究，包括煤变质作用及其地质因素的研究，早古生代煤成因、性质的研究和煤岩学方面的研究。(3) 引进了新技术、新方法，提高了煤田地质学的研究水平；包括利用卫星照片判断地质构造，寻找泥炭资源；用数学地质方法定量地研究含煤沉积和煤层的形成条件与变化趋势，开始用电子显微镜研究煤的物质组分；利用X射线、顺磁共振等手段综合研究煤的微观结构、变质程度等；孢粉及某些微体化石在地层和煤层对比方面，在探索煤的沉积环境和成因方面均取得了成效。

## (三)

地质学经过近百年的发展，其复杂的内容、繁重的任务越来越需要分出专门学科来研究；大量的生产实践积累的丰富经验与研究成果，使各分科日益成熟，从而成为独立的学科，煤矿地质学就是根据煤炭工业对地质科学的需要而逐渐发展和独立起来的。

我国煤炭资源丰富，煤矿地质工作有着广阔的前景。随着科学技术的不断发展，煤矿地质学科也必将有一个大的发展，新的技术手段将日益增多。

# 第一章 地球概况

## 第一节 地球的形状及起源

### 一、地球的形状和大小

早在公元前300多年，人们就知道地球的形状象个球。近年宇宙飞船上拍的地球照片，更逼真地反映了地球的形状。(图1—1)

据近代天文测量和大地测量得知，地球不是一个理想的球体，而是两极扁平、赤道突起的椭球体。其数据为：

赤道半径： $a = 6378.160$ 公里；

极半径： $b = 6356.755$ 公里。

$$\text{扁率: } \alpha = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298.25}$$

地球的平均半径等于6371.11公里，地球表面积约为5亿1千万平方公里，体积约为1万亿立方公里。

人们对地球形状的了解是逐步接近实际的。人造卫星对地球的精确测量表明，地球赤道也是一个椭圆，其最长半径比最短半径大26.5米；地球的北极端略细，南极端略粗，大致呈梨状(图1—2)。



↑ 36,000km高空所见的地球(同步卫星于1977年12月摄)

图 1—1 人造卫星拍摄的地球照片

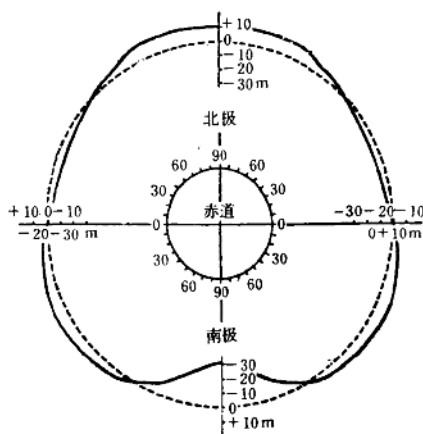


图 1—2 通过人造卫星测得的地球真正形状(实线)

## 二、太阳系及地球的起源

关于地球的起源问题，是与太阳系的起源联系在一起的。1543年哥白尼提出“日心地说”后，关于太阳系的起源问题，一直存在激烈的争论。18世纪以来，先后提出过几十种假说，按它们的主要差别，可分成两类：一类假说认为行星（地球为九大行星之一）是从太阳本身分出来的；另一类认为行星和太阳同是由星际物质形成的。下面选择最新的且能较圆满地解释太阳系起源的假说，作一简单介绍。

英国天文学家霍伊尔(F·Hoyle)于1960年(1972年他自己又作了补充修改)。提出新星云假说。他认为，太阳系最初是一团温度不高、转动不快的星云，其范围比现在的太阳系大得多。它在引力收缩过程中，角速度加快，当收缩到一定程度时，角速度快到使它沿赤道突出，最终从它的中心甩出一个旋转不快的圆盘，其质量只有太阳的百分之一。这圆盘内保留太阳系的一部分角动量。中心体继续收缩而不再分裂，形成原始太阳。太阳内部开始热核反应，发出电磁辐射，使圆盘内气体电离成为等离子体。等离子体不能跨越磁场而随磁场转动，产生磁致力矩，遂把太阳的角动量大量转移给圆盘。圆盘获得角动量而向外扩张；扩张时轻物质（如氢、氦、氩）被太阳风（太阳表面的稀薄大气层，由气体离子组成，气体离子以高速度不断向四周扩散，到地球上空时，速度450公里/秒。这种粒子流称太阳风）推开而远离太阳，聚集成类木行星，较重的固体物质不能被太阳风推走而保留下来聚集成类地行星(图1—3)。当时太阳因不断失去角动量，虽收缩也未增大角速度，因而转动缓慢。卫星的

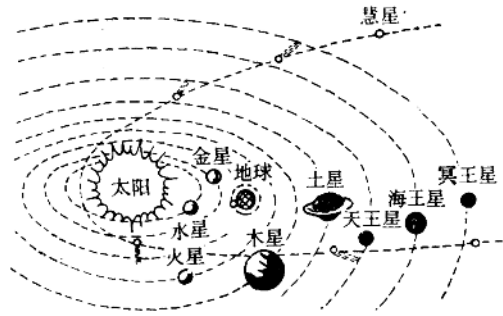


图 1—3 地球在太阳系的位置

形成过程与行星大体相似，不同的是：卫星圆盘与行星分离时，缺少行星将它的角动量转移给卫星的条件（行星没有热核反应使它的圆盘电离），所以行星自转速度比卫星快。

## 第二节 地球的圈层构造

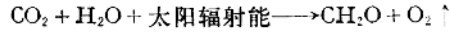
前面介绍的地球的形状及大小，都是指地球的坚硬部分。从天文和地质的观点看，地球还有它的外圈，这就是大气圈、水圈和生物圈。地球本身也不是一个均质体，而是具有核心和几个同心圈层。下面先介绍外圈，然后介绍内圈(图1—4)。

### 一、地球的外圈

#### (一) 大气圈

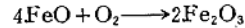
大气圈是包围地球表面的空气层，其质量是 $5.15 \times 10^{15}$ 吨，由于地心引力，其中大部分集中于距地表16公里高度以下，更高处空气逐渐稀薄。大气圈中主要为氮和氧的混合物。氮、氧、氩和二氧化碳占干燥空气质量的99.99%。属于微量组分的有臭氧(O<sub>3</sub>)、氢和一些惰性气体。

地球早期的大气圈成分，与后期不同，一般认为它主要由二氧化碳和氮组成，可能不含游离氧。后期大气圈中游离氧的来源，多数人认为是由绿色植物经光合作用产生的：绿色植物吸收二氧化碳，形成碳水化合物，放出游离氧：



光合作用的累积效果还把大气中二氧化碳含量的  $\frac{1}{3}$  固定在有机体中。煤、石油都是地球历史中被生物固定了的碳组成的有机物质，即所谓化石燃料。

大气中游离氧出现后，地球上才出现氧化作用，例如把低价铁氧化成高价铁：



可见在地球历史中，大气圈的成分是有变化的，主要变化趋势是游离氧从无到有、二氧化碳由多到少，而引起这种变化的根本原因是绿色植物的出现。

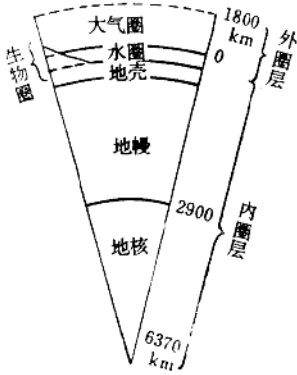


图 1-4 地球的圈层构造

大气圈的存在，除了为生物的生存提供必需的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$  等物质外，还使生物免遭各种宇宙射线的伤害。例如，高空臭氧 ( $\text{O}_3$ ) 层能吸收大量太阳紫外辐射线，从而保护了地球上的生物。

## (二) 水圈

水圈由海洋、湖泊、沼泽、河流和地球表层岩石中的地下水层所组成；这些水包围地球，形成连续的圈层。其中海水总质量为  $1.413 \times 10^6$  吨（据梅逊，1966），占整个水圈质量的98%。

水圈可分为海洋水和陆地水两大部分，它们的物质组成和物理性质是有差别的。

海洋水的平均盐度为35%，其具体数值因海而异，例如我国渤海为22%，黄海为30%，东海为32%，南海为35%。到目前为止，已从海水中测出近60种元素及其含量。海水的最主要成分为：O、H、Cl、Na、Mg、S六种元素，其中O和H大部分以水分子形式存在，而其它元素和部分氧则呈溶解的离子和分子形式存。海水的盐分主要为  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$ 。由于海水与大气圈接触，所以还溶解有  $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$  和  $\text{CO}_2$  等气体。海水底部的停滞水中常常缺乏游离氧，形成还原环境，并富含  $\text{CO}_2$ ，有时含有少量  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{CH}_4$ 。从原始海洋到现在，海水的成分也是有变化的。

陆地水的总量只占水圈质量的很小部分。据估计，地球陆地面积上每年全部降雨量为  $123.4 \times 10^{12}$  吨，其中有  $27.4 \times 10^{12}$  吨的水流入海中。陆地水主要是淡水（盐度小于0.3%），但内陆地区也存在咸水（例如死海的盐度高达238%）。陆地水的最大特点是：水中所溶解的物质及其含量，受河流流经地区的局部因素控制，这些因素主要是气候、降雨量、水的流动情况（相对的动水或静水）以及流经地区的岩石成分和生物类型等。例如，在湿润、植物繁茂地区，河水中主要含  $\text{Na}^+$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ ，陆地淡水中常以重碳酸钙占优势。

由于地下水长期与不同成分的岩石接触，所以也溶解其中的一部分物质，从而含有  $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{H}_2\text{S}$  等。

自然界的水处于不断的循环中。在太阳能的作用下，存在于海洋、湖泊、河流、土壤和植物体中的水，不断蒸发和蒸腾（植物叶子蒸发水分）到大气中。据计算，每年约有518000立方公里体积的水通过蒸发和蒸腾作用进入大气。这些水蒸汽在原地上空或在风（气流）的作用下带到别处的上空，然后在冷空气作用下冷凝聚集，在重力作用下以降水（降雨、降雪、降冰雹等）形式降落到地面或水面。降在陆地上的水，部分沿地表或河流流入湖泊和海洋；部分渗入地下，形成地下水，向低处流动，其中的一部分，最终也流入海洋（图1—5）。

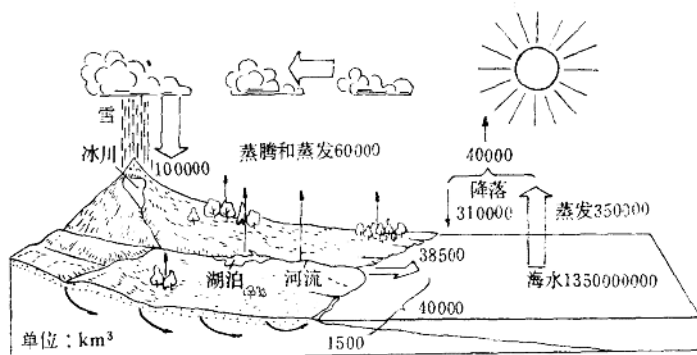


图 1—5 自然界水的循环

### (三) 生物圈

生物圈包括植物、动物和微生物的总和，它分布在地球上能够有生物生存的部位，主要分布在水圈、地壳表层及大气圈10公里高空以内。

从总质量看，生物圈与大气圈、水圈相比是微不足道的，它们的质量比例为1:300:70000。据赖利(Riley)计算，现代地表由生物形成的有机碳的化合物总量为 $(1.46 \pm 0.87) \times 10^{14}$ 吨/年。如果生物按照现今这样的繁殖速度已经进行了5亿年的话，那么生物圈的产物——有机质碳化合物的总质量就超过了地球的总质量。当然，过去生物不都像当前这样繁盛。生物死后其遗体绝大多数腐烂分解，其产物成为新的生物体的利用对象。没有生物的死亡与分解，生物就失去继续繁殖、生存的条件。植物通过叶绿素吸收太阳能、大气中的CO<sub>2</sub>和水进行光合作用，生成有机质；动物则直接从植物摄取养分。生物腐烂分解后形成CO<sub>2</sub>和水，同时放出热量。如此进行复杂的生物化学循环。

生物对地球的影响是极为巨大的，主要表现为：

改变大气组成，使二氧化碳减少，游离氧(O<sub>2</sub>)出现与增加，造成氧化环境；游离氧的出现，也为高空臭氧(O<sub>3</sub>)层的形成创造物质条件；

由生物产生及其遗体转化而成的酸类（主要为腐殖酸），对岩石起破坏作用；

在有空气或水体的条件下，微生物活动会消耗氧气，从而造成局部的缺氧还原环境，如海底、湖底及沼泽常为还原环境；

有机体在一定条件下转化并保存下来，形成煤与石油。

在地球历史中，生物出现较晚，且几经兴衰，可见生物圈与大气圈、水圈和地壳表层的关系是很复杂的。生物的兴衰影响到大气的组成。例如，绿色植物使大气中出现游离

氧和高空臭氧 (O<sub>3</sub>) 层的形成。臭氧遮挡了太阳光中对生物有害的大量紫外线, 为植物由水中扩展到陆地创造了必要条件。

## 二、地球的内圈 (图1-6)

根据地震波的传播速度的变化, 可以推测地球内部的物质状态。

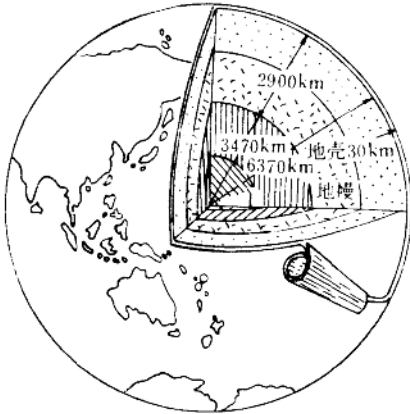


图 1-6 地球内圈构造示意图

### (一) 地壳

地壳是地球内圈的最外的一圈。它相对地球半径来说, 只是很薄的一圈(参看图 1-6)。它的厚度变化很大, 大洋的地壳最薄, 平均厚 6 公里, 最厚约 8 公里, 最薄不到 5 公里; 大陆地壳较厚, 平均厚 35 公里, 高山、高原最厚处可达 70 公里(如青藏高原)。整个地壳平均厚度约 16 公里只有地球半径的 1/400。地壳的上界面在陆地上直接暴露出来, 即常说的地表, 在有地表水体的地方则为水圈, 主要为海洋和湖泊所覆盖; 地壳的下界面为莫霍面(此界由南斯拉夫莫霍罗维契奇 1909 年发现)。

地壳的上下界面都是起伏不平的曲面, 且地形高处, 莫霍面下凹(图1-7)。地壳的这一特点是由它的物质组成上的差别造成的。地壳内可分为两层: 上地壳和下地壳。上地壳叫硅铝层, 主要成分是硅和铝, 密度 2.7 克/厘米<sup>3</sup>; 平均厚度 10 公里。这一层不连续, 只分布在大陆, 大洋底缺失。下地壳叫硅镁层, 主要成分为硅、铁、镁和铝, 密度 3.1 克/厘米<sup>3</sup>; 这层连续分布在大陆和大洋底都有。地壳的这种组成及比重的不同, 引起地壳上界面上凸处, 其下界面必下凹的情况, 这和比重较水小的木头(地壳)漂在水中(地幔)的道理完全一样。

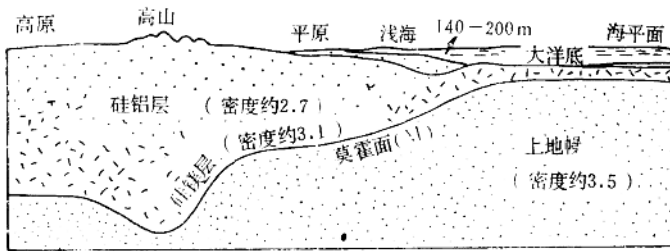


图 1-7 地壳结构示意图

地壳特别是其上部, 是地质学研究的主要对象。

地壳是由化学元素组成的。化学元素组成矿物, 矿物组成岩石, 岩石组成地壳(矿物和岩石将在第三章介绍)。元素的含量极不均匀(图1-8), 氧占地壳总重量的近二分之一。分布最广的氧、硅和铝占地壳总重量的 82.58%。分布最广和较广的九种元素氧、硅、铝、铁、钙、钠、钾、镁和氢的重量占 98.13%。其余 83 种元素的重量仅占 1.87%。地壳中的



各种化学元素在地质作用的影响下，不断迁移和聚积，在有利的地质条件下富集起来，可以形成有经济价值的矿产。

## (二) 地幔

地壳下面为地幔，它介于莫霍面和古滕堡面之间，厚度2800公里；它又分为上地幔和下地幔。上地幔厚约900多公里，密度3.5克/厘米<sup>3</sup>，其物质状态是多变的。一般认为，它的上部存在塑性较大的软流圈，其物质有的是固体，有的接近其熔点但未熔化，塑性大；有的则已达到它的熔点以上，呈液态，为岩浆的发源地。软流圈的存在是地壳运动的主要条件，按照板块构造学的观点，地壳上的各个板块就是在软流层上以不同方向和速度运动着的。下地幔位于上地幔之下，深度为1000公里到2900公里，厚1900公里，密度为5.1克/厘米<sup>3</sup>。

## (三) 地核

2900公里以下的中心部分称为地核，厚度约3400公里。由于其主要成分为高磁性的铁、镍的金属氧化物和硫化物，所以又称铁镍核心。

地核又分为外核和内核。在地下深5155公里处出现一个液体变固体的相变界面。可以推测：外核为液态，内核为固态。外核的平均密度约10.5克/厘米<sup>3</sup>，内核平均密度12.9克/厘米<sup>3</sup>左右。

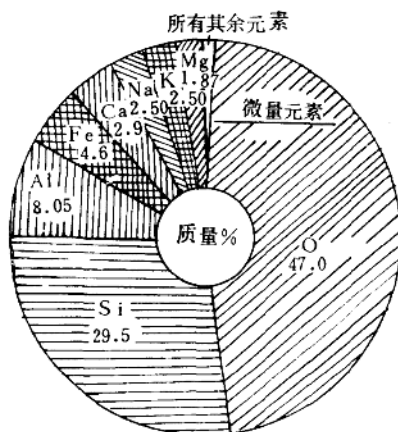


图 1-8 地壳中元素的相对含量

## 第三节 地球的几种物理性质

### 一、密度

根据万有引力公式算出的地球质量为  $5.976 \times 10^{21}$  吨，然后将它除以地球体积，得出地球的平均密度为 5.517 克/厘米<sup>3</sup>。实际测得的地表岩石的平均密度为 2.7—2.8 克/厘米<sup>3</sup>，而覆盖地表面积达 3/4 的水的密度为 1 克/厘米<sup>3</sup>，都比地球的平均密度小得多。据此，可以推断地球内部物质应当具有更大的密度。

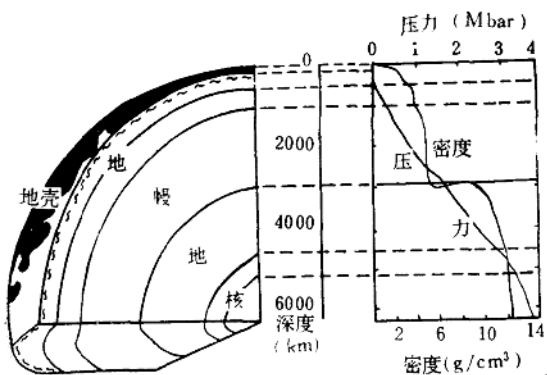


图 1-9 地球内部的密度及压力

地球内部密度随深度而增加，但增加率有变化，大约在 400、600、2900 和 4640 公里深度处有明显的变化 (图 1-9)。这也说明地壳内部的物质成分和状态