

地球环境概论

李荫堂 编著



• 气象出版社



地球环境概论

李荫堂 编著

气象出版社

内 容 提 要

本书全面、系统地描述了地球环境的概貌和基础知识。全书共分十章,包括当前的世界环境问题、生态学基础、大气环境、水环境、土地环境、生物多样性、森林环境以及能源与环境,最后概述了中国自然环境对生态环境有重要影响的几个因素。

本书着重阐述大气、水、土、生物环境的基础知识,概述各领域的主要研究热点及最新动向,简要介绍了目前的环境问题,旨在为环境领域的非地学专业提供一定宽度和深度的地球环境专业基础知识。

本书可作为高等院校非地学的环境专业或其他专业通用的本科生教材,也可供科研院所、工程技术及管理的环境专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地球环境概论/李荫堂编著. —北京:气象出版社,
2003. 8
ISBN 7-5029-3615-7

I. 地… II. 李… III. 全球环境-概论
IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 065845 号

责任编辑:宋 钢 终审:黄润恒 周诗健
封面设计:彭小秋 责任技编:刘祥玉 责任校对:李 明
气象出版社出版

(北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮编:100081)
网址:<http://cmp.cma.gov.cn> E-mail:qxcbs@263.net
新华书店总店北京发行所发行 全国各地新华书店经销

* * *

北京市白河印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:17 字数:435 千字

2003 年 8 月第一版 2003 年 8 月第一次印刷

印数:1~1500

ISBN 7-5029-3615-7/P · 1283

定价:40.00 元

前 言

对于从事环境科学与工程技術,或科技管理而又非地学专业的人员来说,需要掌握地球环境的基本知识。一方面,由于没有足够的时间和精力,另一方面,由于专业人员注重某个单一领域,虽然满目新书,却不能把它们一一读过。况且,目前的环境学导论类的书,内容宽而浅,虽适于管理等人员了解环境概况,但不能满足专业人员如学生、研究者需要的地球环境的基础知识。

本书旨在将地球环境的专业基础知识——大气、水、土壤、生物环境的基本内容集于一体,包括环境生态学、大气环境学、水环境学、土地环境、森林环境学、能源与环境几方面的主要内容,为读者描述一个完整的、一定宽度和深度的地球环境系统总图。本书编写注重三个方面:

1. 着重阐述地球环境的基础知识,强调地球环境是一个系统总体。在生态学基础中,注重环境生态学内容;在大气环境中,大气辐射、大气运动、气溶胶及气候变化内容并重;在水环境中,阐述地球上水的分布、运动以及水环境问题;在土地环境中,除了介绍土壤基本知识,还论述了土地覆被/土地利用变化以及土地环境问题;在生物与环境方面,讲述了生物多样性及森林环境学;在能源与环境中,叙述了能源开发利用对环境的影响;最后概述了中国生态环境的几点不利因素。

2. 体现各领域的最新状况,主要是研究热点与动态,这方面融合在各章内容之中,本书力图使读者从基础跨越到最新前沿。

3. 概述当前世界关注的环境问题,同时注意阐述发生机理。在内容编排上,根据 20 世纪 90 年代以来的环境动态,关注全球变化,把气候变化和其他变化全面考虑,本书将大气、水、土壤、生物的环境问题分为六个方面:全球变化、大气环境问题、水环境问题、土地荒漠化、森林面积减少、生物多样性减少。虽然全部可以归入全球变化,但为了突出问题,还是另外列出五节。有关产生机理分散于其他相关各章。

由于作者水平有限,谬误之处,诚请读者不吝赐教。

李荫堂

2003 年 2 月 5 日

目 录

前言

第一章 概 论	(1)
第一节 地球概况	(1)
1 地球的物理性质	(1)
2 地球的圈层结构	(5)
3 地质年代表	(9)
第二节 人口、资源与环境	(10)
1 人口增长和人类活动对环境的影响	(10)
2 人口增长和地球的人口环境容量	(11)
第二章 全球环境问题	(14)
第一节 全球变化概述	(14)
第二节 大气环境问题	(16)
1 大气环境问题的相互关系	(16)
2 大气成分变化	(17)
3 气候变暖	(20)
4 臭氧层减薄	(21)
5 酸沉降	(24)
第三节 水环境问题	(28)
1 淡水资源短缺	(28)
2 全球水污染状况	(29)
3 中国水污染概况	(29)
4 海洋污染	(30)
第四节 土地荒漠化	(32)
1 世界荒漠化状况	(32)
2 中国沙漠化现状	(33)
3 荒漠化的危害	(34)
第五节 森林面积减少	(35)
1 全球森林面积的减少	(35)
2 中国森林面积减小概况	(36)
第六节 生物多样性减少	(37)
1 物种多样性的减少	(37)
2 生态系统多样性减少	(39)
第三章 生态学基础	(40)
第一节 生物与环境	(40)
1 环 境	(40)

2 生态因子及其作用	(44)
3 生物对环境的适应	(47)
4 人类活动对生态环境的干扰	(49)
第二节 种群与群落	(51)
1 种群生态学	(51)
2 群落生态学	(58)
第三节 生态系统及其功能	(63)
1 生态系统的概念	(63)
2 生态系统的组织与结构	(63)
3 生态系统中的能量流动	(65)
4 生态系统的物质循环	(68)
5 生态系统中的信息传递	(72)
第四节 生态系统的耗散结构特征	(73)
1 生态系统的结构与整体性	(73)
2 生态系统是耗散结构	(74)
第五节 Gaia 假说	(77)
1 Gaia 假说的产生及发展	(77)
2 Gaia 假说的基本论点	(79)
3 雏菊世界模型(Daisy-world model)	(81)
第四章 大气环境	(83)
第一节 大气概述	(83)
1 大气结构	(83)
2 太阳—大气—地球辐射平衡	(84)
3 大气垂直温度分布及稳定度	(86)
第二节 大气运动	(88)
1 热量水平输送	(88)
2 气压分布	(89)
3 大气水平运动作用力	(90)
4 大气运动方程	(91)
5 大气环流	(92)
6 地方风	(96)
第三节 大气运动的混沌行为	(98)
1 Lorenz 奇怪吸引子	(98)
2 确定性方程中的内在随机性	(99)
3 大气运动的非线性作用与奇怪吸引子的拉伸、折叠过程	(100)
4 奇怪吸引子性质与大气运动的混沌特征	(100)
第四节 大气气溶胶	(102)
1 气溶胶来源及谱分布	(102)
2 二次粒子的生成与长大	(103)
3 气溶胶的分布、迁移与清除	(106)

4 气溶胶的环境效应	(108)
第五节 气候变化	(109)
1 地质时期的气候变化	(110)
2 历史时期的气候变化	(110)
3 近代气候变化	(111)
4 气候变化的因素	(111)
第五章 水环境	(115)
第一节 地球上水的分布与运动	(115)
1 水的分布	(115)
2 水的循环	(116)
3 大气水及水汽活动	(118)
4 陆地地表水	(121)
5 地下水及其运动	(125)
6 海洋及其运动	(128)
第二节 ENSO 事件	(130)
1 厄尔尼诺	(130)
2 赤道太平洋的大气和海洋状况	(131)
3 南方涛动	(132)
4 对厄尔尼诺的认识	(134)
5 厄尔尼诺的特征及影响	(135)
6 厄尔尼诺遥相关	(135)
第三节 水在地球环境中的作用	(136)
1 水对太阳辐射、地面长波辐射的影响	(137)
2 地表水体对气候的影响	(140)
3 水对地球生物的作用	(142)
第四节 水资源利用与保护	(143)
1 世界水资源概况	(143)
2 世界水资源利用及问题	(145)
3 中国水资源特点及问题	(148)
4 水资源有效利用与开发	(149)
第六章 土地环境	(151)
第一节 土壤	(151)
1 土壤的形成	(151)
2 土壤的组成	(155)
3 土壤的性质	(159)
4 土壤分类与分布	(162)
第二节 土地覆被/土地利用变化	(163)
1 土地覆被/土地利用	(164)
2 全球的土地覆被与土地利用	(165)
3 中国的土地覆被与土地利用	(169)

第三节 土地环境问题·····	(172)
1 土地荒漠化·····	(172)
2 土壤侵蚀与退化·····	(176)
3 土壤污染·····	(180)
第七章 生物多样性及其保护·····	(186)
第一节 概 述·····	(186)
1 生物多样性的概念·····	(186)
2 生物多样性的意义·····	(187)
3 生物多样性测定·····	(188)
第二节 生物多样性的生态作用·····	(190)
1 生物多样性影响生态系统的功能·····	(190)
2 生物多样性对生物地化循环的影响·····	(191)
3 生物多样性和生态系统稳定性·····	(192)
4 关键种和冗余种·····	(194)
第三节 生物多样性分布·····	(196)
1 生物多样性分布·····	(196)
2 生物多样性分布成因·····	(197)
第四节 生物多样性减少的原因与保护·····	(199)
1 生物多样性减少的原因·····	(199)
2 生物多样性的保护·····	(201)
第八章 森林环境·····	(206)
第一节 森林类型、分布及面积·····	(206)
1 森林分布·····	(206)
2 森林类型·····	(208)
3 全球森林面积·····	(210)
第二节 森林生态系统的特点·····	(211)
1 物种繁多,结构复杂·····	(211)
2 占据空间大,生态类型多·····	(212)
3 生物生产量高,繁殖能力强·····	(212)
4 系统稳定性高,对生态环境作用大·····	(213)
第三节 森林与环境·····	(214)
1 森林与大气环境·····	(214)
2 森林与土壤·····	(216)
3 森林与水环境·····	(217)
4 森林生物环境·····	(218)
第四节 森林环境问题及其保护·····	(221)
1 森林环境问题·····	(221)
2 森林破坏带来的环境危害·····	(222)
3 森林破坏与文明衰落·····	(224)
4 森林环境保护·····	(227)

第九章 能源与环境	(230)
第一节 能源概述	(230)
1 能源分类	(230)
2 化石燃料	(230)
3 水 能	(233)
4 可再生能源	(234)
第二节 能源应用的环境影响	(234)
1 能源开发的环境问题	(235)
2 能量转换与环境影响	(240)
第三节 能源消耗与污染物排放	(241)
1 能源消耗	(241)
2 燃烧化石燃料的污染物排放	(245)
第十章 影响中国生态环境的一些自然地理因素	(248)
第一节 季风气候显著	(248)
第二节 降水少而不均	(249)
1 降水空间分布	(249)
2 降水季节分布	(251)
第三节 青藏高原和黄土高原	(252)
1 青藏高原	(252)
2 黄土高原	(254)
第四节 沙 漠	(255)
参考文献	(258)

第一章 概 论

本书内容涉及的地球环境的空间范围包括了大气圈下部的对流层、水圈、岩石-土壤圈、生物圈。这几个圈层互相关联、渗透、互相作用。大气维持地面温度、传输水分及维护地球生物；水圈充斥在各个圈层，滋养生命；地壳是地球万物的立足基础，土壤养育着大量动植物；生物圈中的生物把地球各个圈层联系在一起，推动各种物质循环和能量转换。各圈层的活动、变化影响着人类及其他生物的生活，人类活动也对各圈层产生巨大影响。

第一节 地球概况

1 地球的物理性质

1.1 地球的一些基本数据

地球是一个近似圆球的旋转椭球体，但这个椭球体的表面不光滑，地球上的大陆、海洋，高高低低，很不规则。在平均海平面上，重力位能各处相等，即平均海平面在重力作用下是一个等位面；把这个等位面延伸通过大陆，包围地球形成一个封闭曲面，这个曲面叫大地水准面。这个曲面在一定程度上代表了地球的形状，如图 1.1。

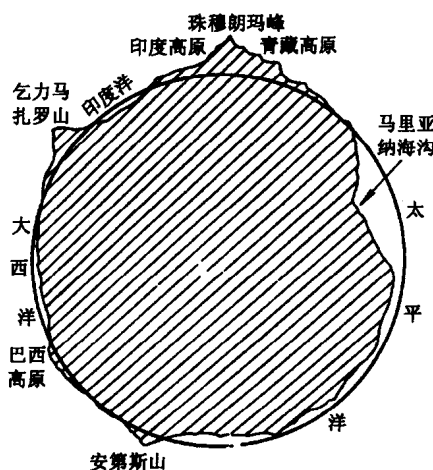


图 1.1 大地水准面(粗实线)和地球真实形状

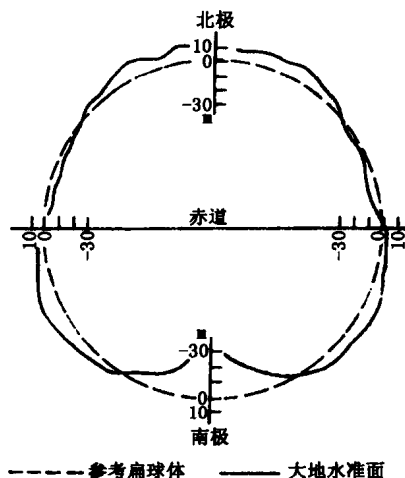


图 1.2 大地水准面(实线)对于参考扁球体(虚线)的偏离

随着人造卫星等空间技术的发展，关于地球形状的认识在不断深入。一些特殊的数据主要有：①大地水准面不是一个稳定的光滑的旋转椭球面，而是有地方隆起，有地方凹陷，相差可达 100m 以上；②地球赤道横截面不是正圆形，而是近似椭圆形，长轴指向西经 20°和东经 160°，长短轴之差为 430m；③赤道面不是地球的对称面，从包含南北极的垂直于赤道平面的纵剖面来看，其形状与标准椭球体相比，位于南极的南极大陆比基准面凹进 24m；而位于北极的北冰洋高出基准面 14m；从赤道到南纬 60°之间高出基准面，从赤道到北纬 45°之间低于基准面。夸

大地描述地球的凹凸,如图 1.2。这说明地球的形状和地球内部的物质状态,还未达到稳定平衡状态。

有关地球的一些基本数据如下:

地球赤道半径	6378.140km
地球极半径	6356.755km
平均半径	6371km
子午线周长	40008.08km
赤道周长	40075.24km
地球面积	$510 \times 10^6 \text{km}^2$
海洋面积	$361.059 \times 10^6 \text{km}^2$
陆地面积	$148.890 \times 10^6 \text{km}^2$
地球体积	$1.0830 \times 10^{12} \text{km}^3$
地球质量	$5.976 \times 10^{27} \text{g}$
地球平均密度	5.518g/cm^3
地球沿轨道运动的平均速度	29.78km/s
赤道上点的线速度	465m/s
大陆最高山峰	8846.27m
大陆平均高度	825m
海洋最深海沟	-11034m
海洋平均深度	-3800m
大陆和海洋的平均高度	-2448m (即全球表面无起伏)。

1.2 地球的密度和重力

地球的质量是根据万有引力定律计算得到。地球对某一物体(质量为 m)的引力,就是该物体的重量:

$$mg = G \frac{mM}{R^2}$$

式中 M 为地球质量; R 为地球半径; G 为万有引力常数,即两个质量均为 1kg 的物体相距 1m 时的相互吸引力, $6.67 \times 10^{11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ 。

用实验方法测定重力加速度 g 的值,已知 R 和 G ,即可求得地球质量:

$$M = gR^2/G$$

由地球的质量和体积,可得地球的平均密度:

$$\rho = M/V = 5.518 \text{g/cm}^3$$

但是地壳表层的岩石,主要是花岗岩和玄武岩,它们密度分别为 2.7g/cm^3 和 2.8g/cm^3 ,约为地球平均密度的一半。这就是说,地球内部的物质密度必高于它的平均密度。根据地震资料得知,地球密度的大致分布是随深度增加而增大的,且在地幔到地核界面即 2900km 处密度从 $5.6 \sim 5.7 \text{g/cm}^3$ 跳跃变大到 $9.7 \sim 10 \text{g/cm}^3$;推测内核密度大约是 $12.5 \sim 13 \text{g/cm}^3$ 。地球的平均密度(5.518g/cm^3)和水星(5.4g/cm^3)差不多,月球(3.341g/cm^3)和火星(3.95g/cm^3)的密度都比地球小。

地球上的重力基本上是地球的引力,自转产生的惯性离心力只是轻微地影响重力的方向和大小。在惯性离心力最大的赤道上,其大小也仅及地球引力的 0.3%。除赤道外,惯性离心力

都有垂直和水平分力;前者使重力略微小于地球引力,后者使重力方向稍微偏离地球质心。地表重力因受惯性离心力和各点到地心距离的影响,故随纬度和海拔而变化。

地表重力因纬度而异。由于地球半径随纬度增高而减小,地面上的引力在两极最大(9.832N),赤道最小(9.814N)。由于自转线速度随纬度增高而减小,地面上的惯性离心力自赤道向两极减小;赤道上为0.034N,到两极减小为零;影响重力的惯性离心力垂直分量,在惯性离心力中的比例,又随纬度增高而减小;赤道上惯性离心力只有垂直分量,全部用来抵消引力;到两极垂直分量也减小为零。因此,两极的重力等于那里的地面引力(9.832N),赤道的重力减为9.780N,相差0.052 N。由于这个差别,如果用弹簧秤衡量同一物体,在赤道上重189kg,到两极则是190kg。

地表重力又因海拔而异。如果把地球看作一个旋转椭球体,且内部密度无横向变化,所计算出的重力,称为理论重力值。但由于各点的海拔高度、周围地形以及地下岩石密度不同,以至于所测出的实际重力值不同于理论值,称为重力异常。地下有密度较大的物质,如铁、铜、铅等金属矿区,则表现为正异常;存在密度较小的物质,如石油、煤、盐类以及大量地下水,则表现为负异常。据此可进行地质调查和找矿,即重力勘探。

1.3 地球的磁场

地球是一个磁性球体,地球磁场如同在地球内放置一个条形磁铁(与地轴呈11.5°相交)。产生的偶极磁场,如图1.3。

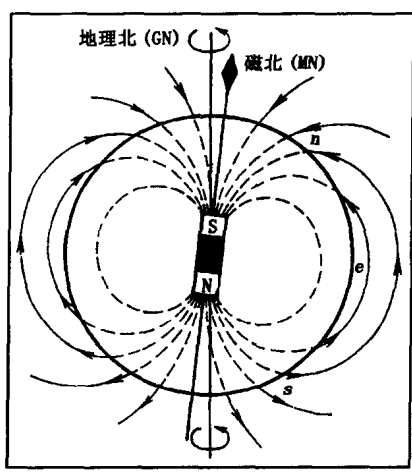


图 1.3 地球磁场示意图

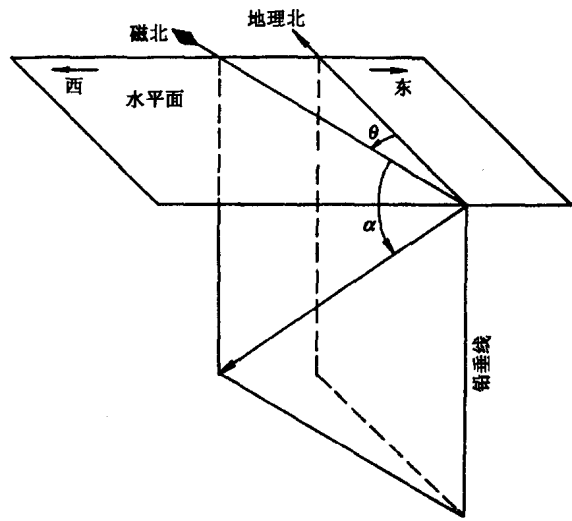


图 1.4 地磁要素示意图

地球磁场强度是一个向量,如图1.4所示,箭头长度代表大小;它对水平面的夹角,称为磁倾角(α);于是有了水平分量和垂直分量。其水平分量的方向,一般与地理上的南北方向不一致,此夹角称为磁偏角(θ),亦即地磁子午线与地理子午线的夹角。它以指北针为准,偏东为正,偏西为负。磁倾角α随纬度而变,在两磁极α为90°,在磁赤道则为0°;以指北针为准,下倾者为正,上仰者为负。

地球磁场是弱磁场。地面附近的磁场强度约有 $0.5 \times 10^{-4} \text{T}$,即 $50 \mu\text{T}$ 。赤道附近较弱,约 $30 \sim 40 \mu\text{T}$;两极较强,约 $60 \mu\text{T}$ (1高斯= 10^{-4} 特斯拉(T), $1\text{T} = 10^6 \mu\text{T}$)。

地磁南北极和地理南北极的位置不一致,并且磁极的位置逐年都有变化,磁极有向西缓慢

移动的趋势。

地面上每一点都可从理论上计算出它的磁偏角和磁倾角。如磁偏角和磁倾角与理论值不符时,叫做地磁异常。局部的地磁异常主要是地下岩石磁性差异引起的,用磁法勘探能发现隐伏地下的高磁性矿床。在俄罗斯的库尔斯克地区,磁场强度是磁极的3倍,最大的磁倾角达 90° ,最大的磁偏角达 180° ,即磁南北与地理南北完全相反,原因是地下蕴藏着丰富的磁铁矿。

地球磁场不是向外界空间自由伸展的,因受太阳风作用,在离开地球较远处,磁力线不再规则对称。在地球向日面,地球磁场被压缩在约10个地球半径(太阳活动强烈时,4~6个半径)之内;在地球背日面,地球磁场向远方伸展,其长度可达数百上千个地球半径。整个磁层形如一个头朝太阳的彗星。磁层对地球起着保护作用,使地球生物免受宇宙射线和粒子的冲击。高能粒子大部分被挡在磁层之外,一部分进入地球磁层,又被禁锢在两个辐射带(范·艾伦辐射带)内。

地球磁场的成因尚在研究之中。

1.4 地球的温度和地热

地面的温度因地因时而异,但全球地面的平均温度大致保持在 15° 左右。在地球内部,深度愈大,温度就愈高。不同地区,由于岩层性质和周围环境的不同,地温梯度有很大的差异,其平均值是 $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 。地温梯度随深度的增加而明显地减小。地幔全部是固体的事实表明,地内100km深处,温度不会超过 1300°C ;在300km深处,不会超过 2000°C (这是在这些深度的压力条件下,玄武岩熔化的温度)。当然,不同的地点会有不同的情况,但不会有太大的差别。

地球主要从太阳获得热能,同时也从地球内部获得一部分热能。比较起来,后者的数量微不足道。由于地球表层是热的不良导体,来自太阳的巨大热能,只有极小的一部分能被传到地下很浅的地方。据测定,地面以下1.5m的岩石已不受温度日变化的影响;30m以下的岩石已没有温度的周年变化。因此,在地球内部,热能的主要来源不是太阳,而是地球本身。来自太阳的热量不能深入到地球内部,而来自地球内部的热量却散逸到宇宙空间。所以,地球有热量的外流。

地热的主要来源是由放射性元素衰变产生的,如铀($\text{U}^{238}, \text{U}^{235}$)、钍(Th^{232})、钾(K^{40})等。这些放射性元素衰变放出的总热能值,现在有不同的估计。岩石中含放射性元素最多的是酸性的火成岩,例如,在1t花岗岩中,含铀元素4.75g、钍元素18.5g和钾元素37900g。另外可能的热源来自地核和地幔中物质按密度重新分配产生的重力分异热。

地球内的热能可以通过不同形式进行释放,如火山喷发、热水活动以及构造运动等都是消耗地热的形式。但地热释放最经常和持续的形式是地球内部热能从地球深部向地表的传输,这种现象称为大地热流。虽然地表单位面积的每秒热流量只有 $6.15 \times 10^{-6} \text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$,但整个地球表面在一年中的放热总量可以达到 $9.63 \times 10^{20} \sim 1.09 \times 10^{21} \text{J}$,这个数字相当于燃烧300多亿吨煤放出的热量,可见地球本身是一个庞大的热库。

地热流量单位为 $1\text{HFU} = 4.1868 \times 10^{-6} \text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$ 。近年来的统计数字表明:全球平均地热流值为 $1.47 \pm 0.74\text{HFU}$;大陆平均地热流值为 $1.46 \pm 0.46\text{HFU}$;海洋平均地热流值为 $1.47 \pm 0.79\text{HFU}$ 。但地热流值的分布却具有明显的时空差异。以海洋而论,在洋中脊最高,为 $1.90 \pm 1.48\text{HFU}$,海盆地区为 $1.27 \pm 0.53\text{HFU}$,而距离洋中脊最远的海沟其平均值最低,只有 $1.16 \pm 0.70\text{HFU}$ 。

研究表明,地热流值与岩石圈厚度有关,岩石圈越薄,地热流值越大;反之,则越小。因此根据地热流值的大小可以推算出岩石圈的厚度。

地热流所带出的热能是很分散的,目前只有在一定地质条件下富集起来的地热能,才能作为地热资源。在大陆地区,地热流值大于 2HFU,一般被认为是具有良好地热资源的地区。大陆地热资源分布很不均匀,中生代褶皱带(相当于环太平洋带)、新生代喜马拉雅褶皱带(相当于地中海-喜马拉雅带)是两条著名的地热带,也是地球上著名的地震带和火山活动带。这些地带有很多地方的地热流值或地热梯度高于平均值,这种地方称为地热异常区。在地热异常区,地热传导给地下水,使之变成热水或蒸汽,然后沿断层或裂隙上升到地表,形成温泉、沸泉、喷汽孔、冒汽地面或热水湖等。

2 地球的圈层结构

地球系统是由不同状态、不同物质的几个圈层组成的,包括大气圈、水圈、岩石-土壤圈和生物圈。这几个圈层之间紧密联系、相互作用,不停地进行着物质、能量交换,维持着动态的自然生态平衡,使地球及其生物得以生存、繁衍和发展。

2.1 大气圈

大气圈是地球外表包围的一层流体物质,以气体为主,含有微量颗粒物。其主要成分是 N_2 、 O_2 ,还有 CO_2 、水汽(H_2O)等微量气体,以及气溶胶粒子和其他粒子。大气圈总质量约 $5.3 \times 10^{15}t$,占地球质量的百万分之一。在地球引力作用下,大气质量主要集中在地球表面附近。对流层集中了大气质量的 75%,对流层和平流层包含了大气质量的 99.9%。地表以上,大气浓度随高度迅速减少。大气层上界难以界定,800km 以上空气已极其稀薄。就是说,地球吸引着大气物质,包围地球形成一球壳状的大气圈。因为物体脱离地球的临界速度是 11.2km/s,尽管气体很轻,分子运动速度很快,例如氧分子运动速度为 0.5km/s,但这样的速度还是不能使其脱离地球引力场。所以,地球进化过程中,气体逐渐积累,而成大气圈。

地球大气是随着地球演化而形成的。大气成分随时间推移而变化。在地球演化初期,地球表面是还原性气体,主要由水蒸汽、 H_2S 、 N_2 、 CH_4 、 NH_3 和 H_2 等组成,缺少 O_2 ,没有臭氧层,大气层较薄。而后,早期的细菌通过发酵作用取得能量,并在生命过程中放出 CO_2 ,逐渐改变了原始大气的成分。然后,出现了更进化的细菌和蓝藻类生物,开始了光合作用,大气圈中有了 O_2 。经过数亿年积累,到距今约 16 亿年前,含氧的大气圈形成,还原性的原始大气逐渐成为含 CO_2 、 H_2O 和 O_2 的氧化性大气层。大气中的 CO_2 可能曾经达到百分之几十,大约在 3 亿年前,由于植物大规模繁盛,才演化成如今的大气成分。大约是在 1 亿年前,大气的温度才接近现今的温度。从地球发展史来看, CO_2 是影响地表温度的一个重要因素。若 CO_2 增多,地球温度将会增高。

大气圈与生物圈以及其他圈层,通过不断地物质和能量交换,保持大气组分的平衡比例。目前大气中这样的氧气等气体组分浓度,是亿万年生物进化与大气相互作用的结果。约 30 亿年前,大气圈中的氧浓度只有现在的 1/1000,在紫外线的照射下,原始生命只能存在于水下 10m 深处。约 6 亿年前,氧浓度达到现在水平的 1/100,出现了生物具有保护作用的臭氧,生命开始出现在水面上。约 4 亿年前,氧浓度达到现在水平的 1/10,臭氧层进一步形成,生命从海洋扩展到陆地。现在,如果大气中氧浓度明显下降,人体健康就会因缺氧而受损害;如果氧浓度明显升高,则雷电容易把树枝、草叶点燃,火灾频繁,破坏地球植被。

大气中另一重要的气体成分 CO_2 ,也是由大气圈、生物圈等地球系统保持平衡的。在生态

系统中,绿色植物通过光合作用,将 CO_2 和水合成为有机化合物;河海、雨雪吸收一部分 CO_2 。消费者呼吸过程中分解出 CO_2 释放回大气;死亡的有机体被分解,有机碳又转化为 CO_2 和无机盐类,重返大气;化石燃料燃烧,生成 CO_2 ,排向大气;火山爆发,地下的碳酸盐岩浆迸发,向空中排放 CO_2 。这些循环保持了大气及生物圈中 CO_2 的平衡。一定浓度的 CO_2 存在,对地表温度的调节至关重要。其浓度升高,将使温室效应增强,地表温度上升;浓度降低,则可能使地表温度下降。据估算,若无温室气体,地球的年平均温度应为 -18°C ,而不是现在的 $13\sim 15^\circ\text{C}$ 。

大气提供了生物生存所必需的 C、H、O、N 等元素,维持着地球表面的温度和水分。大气层保护着地球生物,使之避免宇宙射线的危害。大气造成了冷暖阴晴、风霜雨雪等万千气象。大气也是地质作用的重要因素。大气与人类等地球生物的生存、发展息息相关。

2.2 水 圈

在地球表面上下,液态和固态的水形成一个几乎连续的、但不规则的圈层,称为水圈。它包括海洋、江河、湖泊、冰川等咸水、淡水、大气水、土壤水和地下水等。水圈的质量约为 $1.386\times 10^{18}\text{t}$,占地球总质量的 0.023% 。海洋是水圈的主要部分,陆地水只占水圈总质量的 2.8% ,而陆地水中冰川就占水圈总质量的 2.2% ;因此除了海洋和冰川,其他陆地水所占比重很小。

地球水圈和其他圈层互相交错。水分布在空中、地面和地下。大气中有水汽、水滴和冰晶;地面有海洋、江湖,生物体内含有大量水分,一般为体重的 $60\%\sim 80\%$;浅层、深层的地下也有水的存在。水圈充斥于大气圈、岩石-土壤圈、生物圈等整个地球系统中,通过蒸发、凝结、冻结、地表及地下流动、生物代谢活动等自然过程,水在海、陆、空、生物之间传输、循环,养育生命,更新自然资源和自然环境。

地球是太阳系中唯一具有丰富表层水的星体,重要原因之一是地球与太阳的距离最佳,太阳向地球提供热量,保持地球温暖,使地球表面大部分温度处于 $0\sim 100^\circ\text{C}$ 之间,使得水以液态为主存在于地球表面,这对地球演变十分重要。与其他星球相比,地球有水是得天独厚的条件。例如,月球、水星、金星上都没有水。金星表面温度高,水蒸发散失了。火星上虽然有水,但它表面温度低,水几乎都是以冰的形式存在的。土星的光环也是由冰块组成的。

早期地球的增温及分异作用,产生了大气层和海洋。许多含结晶水及气体的矿物,在加热熔化时将水和空气释放出来;随着地球表面的冷却,这些水汇聚成海洋。目前火山喷发常有大量水汽随之喷出,便可证明地球上的原生水是地球物质分异的产物,经过亿万年逐渐演化形成了今天的地球水圈。

根据目前对于生命起源的研究结果,水圈是生命的起源地,没有水便没有生命。地球能够成为一个有智慧生命的星球,水是关键因素。水不仅对地球生命产生和进化起了关键作用,而且对今天的地球生物、生态环境也具有无可比拟的重要性。其主要作用如下:

(1) 水是营造地球面貌的重要动力,在地球演变中起重要作用。

(2) 水是许多物质的贮存、反应、转移的场所;作为一种极好的溶剂,水为生命过程中营养物和废弃物的传输提供了媒介。水的介电常数在液体中是最高的,使得大多数离子化合物能够在其中溶解并发生电离,这对于营养物质的吸收和生物体内各类生化反应的进行具有重要意义。

(3) 水保护水中生物免受紫外线的伤害,同时能让可见光和波长较长的紫外光部分透入水中一定深度,使浅层水中光合作用得以进行,这对于过去地球生物的进化和今天生物的生存

都十分重要。

(4) 水的比热和蒸发热都很高。地球上的海洋、江湖等水体,白天吸收到达地表的太阳光的热量,夜晚又将热量释放到大气中,避免了温度的剧烈变化,使地表温度保持在一个相对恒定的范围中。

(5) 水是最重要的物质资源和能量资源,因此水的多寡、优劣,对人类的生存和发展起决定作用。

2.3 岩石-土壤圈

地质学把地球内部分为三层:地壳、地幔和地核,如图 1.5 所示。地壳是地球表面层的固体硬壳,是岩石圈的上部,主要由硅酸盐类岩石组成,其表面覆盖着不连续分布的土壤层。与地球半径相比,地壳只是地球表面的一层薄壳,其厚度大致为地球的 $1/400$;各处厚度不一,大陆部分厚度 $30\sim 40\text{km}$,海洋部分厚度只有 $5\sim 10\text{km}$;高山、高原部分地壳则厚达 $50\sim 75\text{km}$,如我国青藏高原最厚可达 70km 。

地壳在地质学中表示为 A 层;在地壳下面、地幔的上层部分,是固态的橄榄岩层,地下约 $33\sim 60\text{km}$ 的一层,表示为 B' 层。通常把这一层加上地壳(A+B'层)称为岩石圈。再往下的一层, $60\sim 400\text{km}$ 的范围,可能有部分熔融,熔融程度随深度而增加,因这层岩石较软,故称为软流层(圈)。其深度、厚度、范围随地而异。温度大约 $700\sim 1600^\circ\text{C}$,地壳运动、岩浆活动、火山活动以及热对流等都可能与此层有关。

在地壳表面覆盖着一层疏松的土壤层,它由矿物质、有机质、水分、气体等组成。土壤是由岩石经历长期的物理、化学、生物作用演化而来,除了江海等水体、两极冰盖与高山冰川以外,几乎都有土壤存在。即使在岩石裸露或流沙覆盖的地方,也可能有原始的土壤或风沙土的发育。因此,各种土壤在地球表面形成一个断续分布的圈层,覆盖于岩石圈之上,其厚度几厘米至几米不等。在炎热湿润的热带、亚热带地区,土壤厚度可能达到几十米。

岩石圈为人类提供了丰富的化石燃料和其他矿物资源。化石燃料指煤炭、石油、天然气,还有用于核裂变原料的铀矿石。化石燃料是地壳内动植物遗体,在漫长的地质年代,经过化学、物理变化而形成的。由于其形成速度极慢而称为不可再生能源。目前已知的贮存量有限,人们正在努力探索利用其他能源。其他矿物原料主要包括提炼金属的矿石和非金属物料,如沙石、水泥、粘土等。人类对矿物资源的利用呈指数增长,对地球资源的压力日益增大。

土壤和岩石构成了大地。环境学把大气圈、水圈、土壤圈列为三大环境要素。与岩石最大的不同是,土壤具有肥力,它提供和调节水、气、热和营养元素,为植物生长提供了必要条件。与地球半径相比,土壤厚度微乎其微,但正是这薄薄的一层土壤,才使得地球上有了广阔的森林、草场和农田,人类得以从中获得生产和生活资源。

2.4 生物圈

地球上生物存在的部分,叫生物圈(biosphere)。生物圈的范围包括大气圈下层、岩石圈上层和整个水圈。这个范围在地表以上可达 23km 的高空,在地表以下可延伸到 12km 的深处。但是其核心部分为地表以上约 100m ,水面以下约 100m ;就是说,大气与地面、大气与水面



图 1.5 地球内部圈层构造示意图

的交接区域是生物最集中的区域,其厚度约为 200m。因为在这个范围内,具有适于生物生存的温度、水分和阳光等最好的条件。

生物圈的发育经历了 30 多亿年。大约在 34 亿年前,地球上出现了最早的生命——异养厌氧菌。大约在 30 亿年前,在光合作用下,水和 CO₂ 合成了光合自养生物,主要是有机蓝绿藻类。它们在海洋中逐渐繁殖、蔓延,消耗 CO₂,产生氧气。大约在 16 亿年前形成了含氧气的大气圈。氧化大气为绿色植物登陆创造了条件,高空臭氧层的出现,使陆生生物的生命有了保障。大约在 4 亿年前,绿色植物登陆。生物圈大事年表如表 1.1。经过漫长的进化过程,由于地壳的变化、气候的变异和其他因素,有的物种消亡了,新的物种产生了,最终形成了目前地球上约 1000 万种生物组成的生物圈。

在大约 46 亿年的地球史中,生命发展史约有 30 亿年,历时很长;而人类历史只有 (200~300)×10⁴ 年,相对很短。人类虽然是生物圈中的年轻成员,但人类对于自然环境的干预作用却十分显著。

表 1.1 生物圈大事年表(钱易、唐孝炎,2000)

距今时间,10 ⁸ 年	大事记	地质构造(地层)
0—	人类	锡伐利克地层(印度)
—	最早的陆地生物	上志留纪拉德洛统(英国)
	最早的多细胞动物	艾地卡拉山地层(澳大利亚)
10—	最早的真核细胞	上贝客泉地层(美国加州)
—	氧化大气圈形成	
20—	最早的光合和固氮生物	燧石藻地层(加拿大安大略省)
—		
30—	最早的已知生物	无花果地层(非洲)
—	地壳中最初的岩石	
	海洋形成	
40—	地壳、地幔与地核分化	
	地壳受放射性加热熔融	
45—	地球形成	

地球上自从生物出现以来,便对地球的发展起着重要作用。由于生物的生长、活动和死亡,使生物和大气、水、岩石、土壤之间,进行着多种形式的物质和能量交换、转化、更替,从而不断改变周围的环境。例如植物通过光合作用,不断从大气中吸收 CO₂,放出 O₂,改变着大气成分,同时将碳固定下来,并把其中一部分埋藏在地壳中,逐渐形成大量的地壳能源。大气中保证生物呼吸的氧气、基本稳定的 CO₂ 含量以及保护地表生命的臭氧层,都是生物长期作用的结果。土壤的发育也有生物的重要作用,岩石圈表层土壤的形成以及保证生物生长的化学元素组成,都要归功于 30 多亿年来的生物与地球环境的相互作用。据粗略估计,地球上活生物的个体数达 5×10²² 个,略去 98% 的微生物不计,自 7 亿年前后有大型动植物化石记录以来,累计总质量达 6.7×10³⁰g,是地球总质量(5.9763×10²⁷g)的 1000 倍。生物转移的物质总质量要比自身质量大许多倍,生物圈全部活物质更新周期平均为 8 年,其中海洋生物平均周转期只有 33 天;海洋中的水平均每半年就通过浮游生物过滤一次。可见,地球表层几乎没有未经生物作用过的物质。因此,可以认为,适于生物生存的地球环境是生物与地球协同进化的结果;这种环境又靠生物来维持与调控。生物与环境是相互依存的。