



环境、生态与可持续发展

应启肇 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

环境、生态与可持续发展

CONTENTS

应启肇 主编



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境·生态与可持续发展/应启肇主编. —杭州:
浙江大学出版社, 2008. 8

ISBN 978-7-308-06120-9

I. 环… II. 应… III. ①环境生态学②可持续发展
IV. X171 X22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 113046 号

编委会

主 编 应启肇
副主编 朱四喜
编 委 桂 峰 高 锋

环境、生态与可持续发展

应启肇 主编

策划组稿 王镭
责任编辑 王镭
封面设计 郑聪
出版发行 浙江大学出版社
(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)
(E-mail: zupress@mail. hz. zj. cn)
(网址: <http://www.zjupress.com>
<http://www.press.zju.edu.cn>)
电话: 0571-88925592, 88273066(传真)
排 版 杭州大漠照排印刷有限公司
印 刷 浙江良渚印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 11.5
字 数 230 千
版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷
印 数 0001—3500
书 号 ISBN 978-7-308-06120-9
定 价 28.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571)88072522



前言

Qian yan

气候变化,世界各处连年不断地发生自然灾害。环境恶化与生态平衡的破坏、生物多样性的锐减、人类的生活环境的污染和生产环境,尤其农业、牧业、渔业等生产环境的退化、污染加剧等,已多次给人类敲响警钟。环境保护和环境污染的治理,自然资源的合理开发、利用,生态平衡的呵护和生物多样性的保护,不仅直接关系到当代人类的生存环境,还涉及我们子孙后代的可持续发展的生存环境。环境、生态和资源问题已成为全人类面临的共同性的问题。我们编写这本书是为了将我们赖以生存的地球介绍给大家,对地球的演化、形成和地球上的资源、生态、环境,以及它和人类的关系作一阐述,从而使我们当代大学生对目前面临的全球环境问题有一个较全面的认识,对党中央和政府提出的“生态文明建设”、“节能减排降耗”能有更深刻的理解。我国从贫穷落后的旧中国到将建设成的一个社会主义和谐的小康社会,成绩是巨大的。但我们为此也付出了巨大的代价:过多、过度地消耗了地球上可再生与不可再生的资源,例如森林中的木材,草原上的牧草,江河湖海中的鱼虾,地下的石油、煤、天然气等;过度、过分地破坏了地球环境与生态平衡,例如开伐森林成农牧地,开垦草原成农田,排泄湿地中的水源改作他用,填湖、围垦造田等以修造厂房、住宅、公路等。人类又每时每刻地侵占其他生物的栖息地,大大减少了地球上生物多样性;人们不断地向地球各处排放了大量的污染物、废弃物,使地球环境遭到日益严重的污染、生态平衡失控,以至于难以自动恢复;矿物燃料的大量使用造成 CO_2 排放量日益增加以及其他化学品的释放影响了臭氧层空洞的存在与形成,等等。对于近几年来地球上的异常气候的频繁出现,不能不说它与人类生产与生活活动有着直接或间接的关系。

鉴于当代大学生的特点——即将担负起建设国家的重任,本书在介绍地球的环境、生态与资源的概况时,结合我们中国的国情与现状,以对比的方法使学生更

加了解自己的国家和自己的责任,同时告诫年轻的学生们,认为我国是“地大物博,资源丰富”、具有“取之不尽,用之不竭”的海洋资源等的观点和认识是狭隘的和错误的。已突破 13 亿人口的我国,在人均资源上远远谈不上有多少富裕。现在,我们要把“人定胜天”的“宏伟壮志”转为“与地球和谐相处”,更要相信人类有能力保护好地球。

我们希望本书能帮助我们当代的学生树立起可持续发展观,响应党中央在十七届二中全会上提出的要努力实现“人口资源环境相协调的方针”,结合我们中国的国情继续施行“计划生育”国策。坦率地说,中国要真正实现可持续发展,只有在人口进入负增长的情况下才有可能成为现实,否则,一切努力所产生的良好效果仍将被日益增长的人口压力化为乌有或被抵消。做到人口负增长,提高全民素质,是我们的当务之急。当“计划生育”成为每个中国公民的自觉行动时,正是我们的可持续发展时期到来之时。在这个意义上,我们编写此书的另一个目的,就是宣传继续严格施行“计划生育”、“土地管理法”、“环境保护法”等国策。

本书的第一章与第五章由桂峰博士供稿,第二、三章由朱四喜博士生执笔完成,第四章由高峰硕士供稿,最后由应启肇研究员修改后定稿。上述老师近几年多次执教关于生态、环境科学和环境保护与可持续发展理论等的课程,他们根据平时讲课时的体会心得,查阅、积累相关资料后撰写成了此书。本书可以作为高校的教材,也可供高校师生在学习环境与环境保护方面课程时参考。

欢迎使用与阅读本书的朋友对本书提出宝贵意见与建议,你的意见与建议将被吸纳到下次再版修订中。

编者

2008 年 7 月

C 目 录 CONTENTS

前言 / 1

第一章 地球与人类 1

- 1.1 地球的形成与演化 1
- 1.2 地球环境功能的形成与演化 12
- 1.3 地球表层系统的协同演化 37

第二章 环境与人类 44

- 2.1 环境概述 44
- 2.2 环境问题 49
- 2.3 中国的环境问题 59
- 2.4 当今全球主要的环境问题 63

第三章 生态、人口与资源 86

- 3.1 生态系统的基本概念 86
- 3.2 主要生态系统 93
- 3.3 生态危机 103
- 3.4 人口与资源 112

第四章 可持续发展	118
● 4.1 可持续发展理论的产生与发展	118
● 4.2 可持续发展战略体系	122
第五章 人类在可持续发展中的作用	150
● 5.1 环境、生态与可持续发展	150
● 5.2 全球生态环境保护计划	158
● 5.3 人类在可持续发展中的作用	166
主要参考文献	175

第一章 地球与人类

“四方上下曰宇，往古来今曰宙”。作为宇宙中极小一分子的地球，有其空间和时间上的形成和演化过程。尽管探索太阳系及地球起源的问题有许多困难，因为这是遥远年代前的事，没有人目睹其事，但人类对这方面的认识仍在一个漫长的和递进的过程中累积深化。

1.1 地球的形成与演化

1.1.1 太阳系起源的各种假说

随着科学技术的进步，迄今提出过的太阳系演化学说已有 40 多种，代表性的为俘获说、灾变说、星子说等。这些学说各有其合理部分，是以现有的发现为基础而提出的假说。

关于太阳系的起源，比较有影响的是布丰(G. L. L. de Buffon, 1749)提出的太阳—彗星碰撞说和牛顿提出的尘云凝聚说，即太阳系可能产生于一团稀薄的气体尘埃云，云团在万有引力作用下缓慢地凝聚而形成太阳系。关于行星的起源，比较有影响的是康德(I. Kant, 1755)和拉普拉斯(P. S. de Laplace, 1796)提出的星云说，以及继布丰之后由钱伯伦(T. C. Chamberlin, 1905)和莫尔顿(F. R. Moulton, 1905)提出的碰撞说。前者认为太阳系是原始的、缓慢旋转的气体云，受某种未确定的燃烧而凝聚成许多分散的球状体。后者认为太阳系是太阳和另外一颗恒星很近地相擦而过，并分别从对方拉出一些气态物质留在太阳旁，后来就凝缩成一些小的“星子”，再发展成行星，故它也被称为“星子假说”。

近几十年来，依据天文学的观测：在星际空间和星云中，有大约 99% 气体和

1%灰尘组成的稀疏物质,气体中大部分是氢和氦,尘状物则类似地球物质的成分,如硅化合物、氧化铁、冰晶以及包括有机分子在内的许多细分子,于是提出了分凝序列模型。韦扎克(C. F. von Weizsacker,1944)的计算结果为:在一大漩涡做湍动收缩时,就产生出一些子漩涡,一个子漩涡足以产生一个太阳系,在太阳漩涡的外缘有一些亚子漩涡,两个亚子漩涡的啮合部位的尘埃粒子碰撞结合,从而形成星子—行星。另一种谱式认为,在旋转星云冷却时,由气体凝聚出各种固体化合物形成颗粒,逐渐群集成为细小块体或微行星。它们再吸引凝结:在距离太阳近的地方,富含高沸点物质凝结,如水星富铁;在较远离太阳的地方是较轻的成岩化合物,如由镁、硅、氧构成的物质在“较冷”环境中迅速凝聚;挥发性物质,如水、甲烷、氨,大部分逸散在地球族行星上,但会在太阳系的冷外围凝聚成冰。更远离太阳的木星和土星,保持着原始行星的成分。

1.1.2 地球的起源与演化

相比之下,关于地球的演化,所依据的事实比讨论太阳系及行星(包括地球)的起源就更充分一些。普雷斯和锡弗尔(F. Press 和 R. Siever,1982)曾做过比较详细的总结和顺序概述,可以把它们归纳为几个阶段来描述(图1-1)。

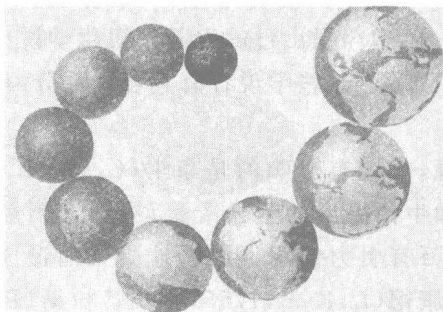


图 1-1 地球形成与深化的各个阶段

初始阶段是均一化的凝聚作用。根据已知的陨石年龄(大约 45 亿年左右)、月球年龄(大约 46 亿年)和地球上最古老岩石的年龄(大约 40 亿年)估计,约 50 亿~47 亿年前开始了获得微星体及微星体增积的行星集聚过程。这一集聚可能是一种无分选的凝聚,成分主要是硅化合物、铁和镁的氧化物,以及多种少量的天然元素。不定向的微星体的集聚使早期行星获得了自身的旋转运动,而旋转运动又有

利于加快增积集聚过程。

增温过程。在这一过程中,首先是投落的微星体所具有的运动能量在集聚中转化为热能,虽然其大部分以热辐射又散失到宇宙空间,但有相当部分仍保留在生长中的行星上。它一方面被后来增集的微星体层掩埋,另一方面则不断地增加吸纳后来投落的微星所带入的能量,特别是摩擦和压缩增温效应产生的热量。据普雷斯等大多数地球物理学家认为,增积和压缩作用会使新形成的行星的内部平均温度增达 1000°C 。接着是放射性元素的自发衰变释放热量,它们由于地球的导热率低而积累。虽然放射性热的生成十分缓慢,但要考虑很多亿年的积累会引起新形成的地球变热,并使之进入新的演化过程。

内部熔融分异过程。在这一过程中,获得了自身旋转的地球的内部因增温而熔融。铁是一种高丰度元素,而且比地球上其他普通元素较重一些。在这里,应特别强调在旋转中的地球内部,熔融的铁向地心方向渗聚,并挤动原来在中心位置的其他物质,在形成液铁地核的同时,内部发生物质对换和分层。在铁向地心方向渗聚的同时释放巨大的重力能,它们会转变为热能并积累起来,使地球内部增温到 2000°C 以上,并引起地球大部分熔融。地球内部大部分的熔融,更有利于重力分异物质的翻转对流:热膨胀的与本来就较轻的物质上浮,重的与散热的物质下沉并压缩,最终使地表层冷却成为地壳,内部则按压力与温度关系构成圈层。在上述的地球内部的重力分异与物质的翻转对流过程中,还包含着所谓的化学分带:各种元素与化合物受其熔点、化学亲和力、密度、迁移速度等因素的控制而在特定的地带内积贮,如金、铂等重元素对氧和硅没有化学亲和力,沉向地核;镁—铁硅酸盐不太容易熔融,而且比长石还重些,则贮存在地幔层中;铀、钍等强烈地趋于形成氧化物和硅酸盐,便上浮到地壳层中聚集。分异的结果是使地球内部产生相对稳定的密度圈层结构,使放射性产热物质集中到外层来,并使其后的放射性产热向地表传导较易。

大洋与大气圈的形成。大洋水是地球内部加热和分异作用的产物,当熔岩到达地表时,大部分水就呈热的蒸气云形态逸散出来。按照现代的火山活动速率估计,在过去的进程中确有足够的时间可由上升熔岩带出足够多的水蒸气成为充满大洋所需要的水。一般认为,地球大气也主要是因为地球的分异脱气作用,由内热和化学反应而从地球内部释放出来的气体构成。据熔岩的化学成分和现代火山释放的气体,地球上原始大气主要成分应该是水汽、 H 、 HCl 、 CO 、 CO_2 和 N ,很少有 O_2 。有部分水汽经阳光作用会分解成 H 和 O ,但又会同 CH_4 、 CO 等相结合成 H_2O 和 CO_2 ,还会同部分金属物质结合成氧化

物,如 Fe_2O_3 (图 1-2)。



图 1-2 “地球的脱气作用”

陆地的增生。最早的地壳基本上是熔岩质的,但因大气与水的出现以及受太阳辐射能的驱使而运动。地表熔岩处于太阳辐射、运动水和运动气的共同作用下,自身发生物理风化和化学风化,或者裂成细小颗粒,或者被溶解而迁移,在新的环境中沉积成岩,另有部分熔岩和沉积岩遭受后来的承压、地热、熔岩及挥发物质等的作用而发生变质,成为变质岩。部分熔岩和变质岩、沉积岩组成大陆地壳的上层,地球表面逐渐出现大片的新生大陆,或者被扩张的海洋包裹,或是汇聚又包裹部分海域。全球岩石圈运动使地球表面的海陆分布格局经常发生变化。

生命的诞生和进化序列。近代发现,星际空间中有氮、甲烷、甲酸以及陨石中有氨基酸,这对地球和宇宙其他地方生命的起源具有深刻的意义,说明简单的有机化合物—生命的构成单元是银河系演变的“正常”产物。在地球上已发现了 32 亿年前的微球粒状和纤维状碳质有机物。大约 20 亿年前,地球上主要为结构良好的藻类,6 亿~10 亿年前则相继出现了好几千种动物(生命大爆炸),6 亿年来又相继出现孢子植物—裸子植物—被子植物与海生无脊椎动物—鱼类—两栖动物—爬行动物—哺乳动物—人类。含叶绿素的植物通过光合作用能把二氧化碳和水转变成碳水化合物并放出氧,以致光合作用产生的氧超过生命呼吸消耗的需要而逐渐在大气中积累起来。大约在 6 亿年前,大气中的氧含量便增加到相当接近于现代的水平,从而为大量生命的繁衍创造了条件。同时,生物的进化越来越成为地球表层地理环境的重要组成部分,既受外在环境的控制和驱使,又影响外在环境的发展和变化。因此,生物的进化成为全球地理环境发展变化的最生动活泼、最富有说服力的记录(表 1-1)。

表 1-1 生物—地层年表简表(引自:夏邦栋、刘寿和,1992)

宙	代	纪	距今年 龄/百 万年	动 物 界		植 物 界		中国的构 造运动		
显 生 宙	新生代	第四纪	2.0	人类时代	人类繁盛	被子植 物时代	被子植物繁 盛	~喜马 拉雅运动~ ~燕山运动~		
		第三纪	65	哺乳动 物时代	类人猿出现					
	中生代	白垩纪	144	爬行动 物时代	真骨鱼出现, 恐龙繁盛,鸟 类出现,哺乳 动物出现,恐 龙灭绝	裸子植 物时代	被子植物出 现,裸子植 物繁盛	~印支运动~ ~海西运动~		
		侏罗纪	213							
		三叠纪	248							
	古生代	三叠纪	286	两栖动 物时代	腕足类、三叶虫 绝灭,原始爬行 类出现,蜥类由 出现到绝灭	陆地孢 子植物 时代	裸子植物出 现,孢子植 物、蕨类繁 盛	~加里东运动~		
		石炭纪	360							
		泥盆纪	408	鱼类时代	笔石绝灭,两 栖类出现	半陆生 孢子植 物时代	半陆生孢子 植物繁盛,苔 藓植物繁盛			
		志留纪	438	海生无 脊椎动 物时代	笔石繁盛					
		奥陶纪	505		甲冑鱼类出现, 腕足、珊瑚类出 现,头足类极 盛,三叶虫繁盛	海生藻类时代				
		寒武纪	590							
		隐生宙	元古代				震旦纪		800	腔肠动物、节肢动物、蠕虫动物
					2500					
	太古代				原始细菌和蓝藻					

1.1.3 地球表层系统

“地球表层”概念最早由德国地理学家李希霍芬(F. von Richthofen, 1883)提出,指的是与人类有直接关系的那部分地球环境。虽然他当初仅把岩石圈的外壳称为地球表层,后来才把它的范围扩大到包括地面的上、下层,但他曾认为地球表层是地理学研究的核心,并认为地理学的任务就在于集中研究地球表层相互联系

的各种现象,特别是研究人与地球,以及生物现象之间的联系。

生物圈是指地球上所有生命活动的部分,它的范围与地球表层空间很相近。但地理学家认为,生物圈应与大气圈、水圈、岩石圈一样,只是地球表层的一个圈层,不仅各圈层的物质组成与物质运动各有特色,而且各圈层相互交错又互相紧密渗透,所以,地球表层的空间范围应比生物圈更宽展一些。20世纪80年代提出的“地球表层”,上界划在大气同温层的底部或对流层的上限(极地上空约8km,赤道上空约17km,平均约地面往上10km),下界定为岩石圈的上部(陆地表面往下约5~6km,海洋往下约4km)。该范围往上的部分与比其更深的部分,则是“地球表层的环境”。

但是,“陆地往下5~6km,海洋往下约4km”的界定概念仍然比较模糊。基于以下事实,地球表层的下界应该重新考虑:一是有些大平原与大盆地的地面往下5~6km,尚在新生代形成的尚未完全固结成岩的沉积层厚度以内,人类已经开始在这个深度以下寻找并开发能源;二是如青藏高原,一般地面高程就在4~5km以上,部分地点在7~8.8km以上,那么“地面往下5~6km”深度,实际上还悬在海平面以上,甚至悬在许多平原地面以上;三是“海洋往下4km”,刚接近世界大洋的平均深度(3229m)与印度洋的平均深度(3897m),尚未达到太平洋的平均深度(约4300m),最深点尚在11km以下。考虑到“地球表层”的完整性和系统性,它的下界应明确地定为地壳层的下界。李希霍芬(1833—1905)在谈论地球表层的时候,科学界尚没有“地壳”概念,以后的“莫霍面”是在1925年才被查明的。

(一) 地球表层系统是开放系统

系统的性质可以分为孤立系统、封闭系统和开放系统。孤立系统与外界没有能量与物质的交换。封闭系统可与温度确定不变的外界交换能量而不交换物质,体系温度保持恒定。开放系统可与外界交换能量和物质。在孤立系统中实际发生的过程,总是使系统的熵增加,状态只能自发地从非平衡转变为平衡,从有序转变为无序,而不可能逆转。对于封闭系统,当体系和外界同一的绝对温度足够低时,就有可能形成低熵的有序平衡结构,如晶体和相变。对于开放系统,在时间间隔内,体系熵的改变等于熵流加熵的产生,其中的熵流由体系与外界交换能量和物质所引起,熵的产生由体系内部的不可逆过程所引起。当熵流为负,并达到相当数量时,可以使体系的总熵减少并成为远离平衡态,从而可能出现有序的自组织的耗散结构(任振球,1990)。

地球表层系统的特征,从天体演化尺度来看具有相当的稳定性。理由之一是太阳辐射到达地球的能量相当稳定。从短尺度一日平均的几天和年平均的几年,并从全球讨论能量平衡时,可将地球接受太阳短波辐射与向高空放射长波辐射视

为处于平衡状态。理由之二是地球在太阳系中的运动轨道相当稳定。不仅地球轨道参数的变化非常规则,可以精确测算,而且地球与其他星体之间的引力相互作用似乎也调制到了相当完美的程度。理由之三是地球各圈层的空间结构、成分、质量、能量收支、物质运动方式与运动规律等,也都处于相对稳定和近似于平衡状态,使地球上所特有的大气、温度、水、土壤、地表环境等在一定时期内保持相对稳定少变,为人类和生物的生存与发展提供了良好的基本条件。地球各圈层都具有各自的相对独立的运动方式和运动规律。各圈层某些时空尺度的变化,可根据内部的因子与条件给予较好的近似,外界因子通过各圈层内部的条件和运动规律而起作用。因此,地球表层系统似已处在与外界有稳定的能量交换而物质交换可以忽略的状态。也许正是由于以上的传统认识,诺贝尔奖金获得者普利高津(1977)在他的较早著作中曾提到“地球近似地是一个封闭系统”,即与外界有能量交换而没有物质交换。其实,当时的认识在很大程度上起因于分别看待地球各圈层的物质组成和物质运动,主观上又受着均衡论的束缚——均衡论认为均衡和运动分不开,在绝对的、永恒的物质运动过程中存在着相对的、暂时的静止和均衡,渐变才是自然界的正常状态,并绝对地看待发展变化中暂时的、相对的统一。

普利高津在后来的著作《探索复杂性》(1986)中,已多次谈到“气候体系的巨大复杂性”,“如果不求助于建立在不可逆性概念基础上的耗散系统”,“气候的历史简直就无法理解”,这“表明气候系统保持在远离热力学平衡态的位置上”。钱学森(1989)则明确地指出,地球表层是一个非常复杂的开放系统,地球表层系统(地球表层往外的部分和地球表层更深的部分即地球表层的)与环境有物质和能量的交换。说地球表层系统是一个开放系统,主要表现在以下几个方面:第一,地球表层依赖太阳源源不断提供的能量(负熵流),不断抵消地球表层的熵增加和降低系统的总熵,从而形成和维持大气圈、水圈、生物圈的丰富多彩的自组织的有序结构。大气运动、海洋水体运动和生命过程之所以得以存在和维持,主要依靠太阳辐射而源源不断来到地球的能量。理论计算表明,如果一旦失去太阳辐射,地球大气本身的能量仅能维持一个星期左右。洋流的动力主要来自大气环流底层的盛行风和热、盐对流,其能源可看作直接、间接地来自太阳辐射。地球上一切生命过程的存在,更是离不开太阳的光和热。第二,地球还接受来自太阳的带电粒子流的影响。五颜六色的北极光流和南极光流是沿地磁场的磁力线方向运动的(Anders Celsius, 1741),在磁暴期间能在较低纬度的波士顿及纽约(Boston, $42^{\circ}22'N$; New York, $40^{\circ}43'N$)见到北极光流。过去认为,极光形成的原因可能是白天太阳照射电离层的原子使它转变为带电的离子,而夜间这些离子再变成原子并释放白天所获

能量,从而成为可见的极光的;因为它们是带电粒子,所以它们沿磁力线聚于磁极附近。但是,进一步研究磁暴并用太阳单色光观测镜拍摄太阳耀斑之后发现,只有当太阳耀斑正对着地球喷发的时候,太阳耀斑才会引起地球上的磁暴,即磁暴是由 1.5×10^8 km 以外的太阳耀斑射向地球的带电粒子洪流所造成的。进一步的观测又建立了“太阳风”、“磁层”等概念。1956年2月,太阳大耀斑曾使地面中子监测器的响应增加了90倍,估计通过这一事件,整个太阳活动周期提供给地球的 ^{14}C 增加了10%左右。1972年8月,一系列的大耀斑曾引起一次相当持续时间长的同温层 O_3 的耗损。此外,太阳还偶尔发射高能离子电子流,这些粒子进入磁层与地磁场尾端相耦合形成极盖,并能穿透到电离层面,其产生的强电离作用可以使无线电信号中断,从而表明这些粒子与地理环境产生相关(H. Fridman, 1984)。为此,阿西莫夫(I. Asimov, 1972)曾预言:“如果是这样的话,太阳风的强弱变化就可能变成天气预报科学武器库中的又一件武器。”据周树荣(1992)研究,1991年7月中国江淮大洪水就与同年5月开始的4个强耀斑活动有关。第三,卫星测量射到地球来的太阳辐射常数,实际上也是有变化的。全球平均气温从1930—1970年前后降低了 0.45°C ,地球上有些地方的降水出现趋势性长期减少,有人曾惊呼疑是新冰期即将来临的预兆,究其原因之一就可能与太阳常数的变化有关,它起了“起搏”的作用。第四,南半球与北半球的冬半年与夏半年的太阳高度角的变化,造成太阳辐射能量收支不平衡,纬度 60° 地带夏半年的辐射量为冬半年的4.4倍,这直接影响到中高纬地带之间的能量输送与平衡关系。第五,地球表层系统还不断获得来自地球深部的物质与能量的补充,如热流和地核地幔转动惯量的传递与岩浆活动等,而且它们也是因时因地而多变化的。第六,长期天气过程和气候变化的非绝热性、地壳运动的不均匀性、大地水准面的变形等,一般地说也多为远离平衡态的现象。第七,在地球表层系统,当熵流达到相当数量时,体系的总熵减少成为远离平衡态。古气候研究已证实,太阳辐射能量及其积累值的微量变化,通过地球表层系统内的反馈机制与“放大效应”,曾使全球气候与地理环境发生巨大变化。因此,正如任振球(1990)在论述地球表层系统的开放性特征时说,它的开放性质是较为鲜明的,新的认识“对于地球科学和生物科学研究的进一步深化,是相当重要的”。

此外,地球表层系统的开放性,还体现在地球运动能量输入的影响。地球表层以运动的地球为依托,地球表层系统内的物质运动以运动中的地球为参照,并以惯性力的作用影响着地球表层物质运动体系。因此,可以把钱学森(1989)等所述的“地球表层环境”分解为以下三个部分:地球外部环境、地球内部环境和地球运动

系统。地球外部环境从地球表层上界从上影响地球表层系统,地球内部环境从地球表层下界从下影响地球表层系统,地球运动系统则包容地球表层系统。

(二) 地球表层系统的演化

地球表层物质是早期地球演化的产物。原始地球表层物质按颗粒集合体形态分为固态、液态和气态。由于三态物质的密度有很大的差异,于是在地球引力作用下它们分别汇聚为岩石圈、水圈和气圈,具流动性特性的水和气充填了岩石圈层中的颗粒孔隙和表面的洼地。这时期的地球表层的基本特征是:(1)受到地球的吸引,地球表层物质按密度分出层次,下重上轻,相对比较稳定,并以运动的地球为依托,地球表层与地球内部层(上地幔)之间也保持相对稳定;(2)继续获得来自地球内部的物质与能量,如地热、岩浆侵入,中深源地震释放能量等,但在强度与量值方面已大为削弱;(3)仍有少量宇宙物质进入地球表层,并且太阳辐射的能量输入在地球表层开始占主导地位;(4)地球表层有物质与能量的输出,如有一部分物质在地壳层底部相变或直接插入地幔层,另有一部分气体与热辐射输向平流层直至散逸入星际空间等。但是,太阳辐射能在地球表层内流通转化形成负熵流,仍然占主导地位。

当负熵流达到相当数量时,地球表层的总熵减少成为远离平衡态,从而出现有序的结构和稳定的功能,成为具有耗散结构的开放系统(浦汉昕,1983)。特别是由于地壳层因放射性衰变而增热,太阳辐射被地表吸收并转化为热能,因此在地球表层中出现不稳定能量结构,而有利于不可逆过程所引起的熵的产生。地球表层的演化过程中的第一次飞跃是原始大气圈及其水圈的形成,第二次飞跃就是原始生命的出现及其大量繁衍,并改变了大气圈的组成。之后,关于地球表层的演化,景才瑞(1989)等还认为人类的诞生是第三次飞跃,人类能够通过社会生产的方式增强在地球表层利用太阳能,延长太阳能在地球表层中的流通转化的时间。

目前,已在澳大利亚中部发现古冰川作用堆积的岩石,并发现了同期汇集冰融水分湖泊沉积(季候泥)。它们的特点是具条带状花纹,夏季冰融水量大,纹泥层厚,冬季冰融水量少,纹泥层薄,厚层与薄层互层,每隔 11 层成一组,还具有 145、290 个薄层的周期韵律。重要的是,纹泥的 11、145、290 年周期与太阳黑子周期非常接近。它能说明,早在 6.7 亿年以前,气候对太阳变化的反应已非常敏感,而且与近、现代的太阳变化周期没有多大差别(H. Fridman,1984)。当时,大气圈中的氧气含量大约增加到了目前水平的 7%左右,以后又很快增加到接近目前大气中氧气含量水平。

生物圈的形成对地球表层的演化有极为重要的贡献。生物圈是一个获取一贮存一输送能量的巨大的新陈代谢装置,地球表层化学元素的 1/3 以上都参与生物

循环。硅、碳、铁、锰、硫的富集都是生物成因的,可能还有石油。地球上的稀有元素之所以远远高出原有的宇宙丰度也是生物造成的——每天由植物返回大气中的各种有机挥发物(有的含金属)有上千吨之多。生物,从微生物到灵长类,是有机物质的“岛屿”,它们不断地降低熵值并向更高的种属演化。为了产生高级种属,有机体必须在一定的时间内保持稳定,必须有能力在不可预知的环境变化中保存自己,还必须为了自身利益去改造环境。总的来说,生物圈的储能体向更有序的方向演化,即减少混乱,而以周围环境中的混乱的加剧来补偿。这也显示了生物圈—地球表层系统相互作用的最基本的非线性性质,即新陈代谢过程必须适应自己造成的变化。

土壤是岩石、大气、水和生物共同作用的产物,其中的生物是促成土壤发育的最活跃的因素。通过生物的循环,大量的太阳能消耗于成土过程,包括矿物的分解和次生矿物的形成、有机质的分解与合成、胶体的凝聚、溶液的保蓄,等等。土壤还参与许多物质与元素在地球表层系统中的循环和部分元素的富集。土壤系统是地球表层系统的多个分支系统之一,是个开放的子系统,它不仅有降低熵值、促进有序的作用,而且生物圈的功能也是依赖土壤基础而得以发挥的。

所以,地球表层系统的负熵过程导致地球表层系统愈来愈远离平衡态,形成有序结构,具体表现为顺序演化出岩石圈地壳—大气与大气圈—水与水圈—土壤与土壤(圈)层。

(三) 地球表层系统中的界面与分支系统

地球表层按物质特征分化成几个圈层,即岩石与岩石圈地壳、大气与大气圈对流层、水与水圈、生命—有机质与生物圈、土壤层。各圈层之间均有清晰的界面,但生物圈是以生物的密集分布为标志的,所以实际上它的外界面是十分模糊的,而土壤层是不连续的,所以所谓的圈层界面在地球表层中的分布不是平行延伸的,同一界面的上、下圈层既在时间方面又在空间方面均不是固定不变的。如果某地的大片森林毁灭了,该地的圈层结构自下而上就会由岩石圈地壳—土壤层—生物圈层—大气层四层型,变为岩石圈地壳—土壤层—大气层三层型,进而再变为岩石圈地壳—大气层二层型;圈层之间的界面也由三界面转变为二界面、单界面;该地的地球表层结构就由三界四元型变为二界三元型、单界二元型。也就是说,圈层结构形式倒退到了几亿年以前的状态了。

各圈层之间的界面,既是阻止不同圈层之间进行物质与能量交换的中介面,又是不同圈层之间进行物质与能量交换所必须逾越的分界面,并且是逾越物质与能量发生转换并在对面圈层发挥作用的基面。在物质与能量逾越界面中包含着极为复杂的物理过程、化学过程和生命过程,有物态物相的变化、能量的转换,有单向的