

科学版研究生教学丛书

地球系统科学

(第二版)

毕思文 编著



科学出版社

www.sciencep.com

科学版研究生教学丛书

地球系统科学

(第二版)

毕思文 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

地球系统科学理论构建主要取决于地球科学、科学技术与可持续发展三大背景和挑战。其意义是:21世纪,地球系统科学将以全球性、统一性的整体观、系统观和多时空尺度,研究地球的整体行为。地球系统科学理论的构建,将使人类更好地认识所赖以生存的环境,更有效地防止和控制可能突发的灾害对人类所造成的损害。

本书在第一版内容的基础上做了一些调整和补充,全书共7章,第1章主要介绍了地球系统科学提出的背景和地球系统的全球化;第2至第3章详细介绍了地球系统科学的科技十大领域发展趋势与挑战、地球系统科学七大特征与六大趋向,地球系统科学的研究思路、基本概念、基本框架、时间尺度、研究步骤和方法论;第4至第6章重点介绍了地球系统科学的理论基础、子系统、学科分支和地球系统各圈层相互作用动力学效应等内容;第7章对地球系统的数字表达——数字地球作了概要介绍。

本书为从事地质学、地理学、对地观测、大气、海洋、国土资源等地球科学分支,以及信息科学技术、环境科学、生物科学与生命科学等领域及相关学科的硕士研究生和博士研究生教材,也可作为广大科研人员和政府管理决策人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

地球系统科学/毕思文编著.—2版.—北京:科学出版社,2003

(科学版研究生教学丛书)

ISBN 7-03-011728-X

I. 地… II. 毕… III. 地球科学-研究生-教学参考资料 IV. P

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第053247号

责任编辑:魏 虹/文案编辑:李久进 责任校对:刘小梅

责任印制:李春生/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100017

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年5月第一版 开本:85(720×1000)

2003年8月第二版 印张:25

2003年8月第三次印刷 字数:477 000

印数:3 201—6 200

定价:45.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

序

地球系统指的是由岩石圈、大气圈、水圈和生物圈(包括人类社会)组成的作为整体的地球,它包括了自地核到地球外层空间十分广阔的范围,是一个复杂的巨系统;其间存在着地球系统各组成部分之间的相互作用,物理、化学和生物三大基本过程之间的相互作用以及人与地球系统之间的相互作用。地球系统科学是研究地球系统在复杂的相互作用中运转的机制、地球系统变化的规律和控制这些变化的机理,从而奠定全球环境变化预测的科学基础,并为地球系统的科学管理提供依据。中国科学院遥感应用研究所毕思文研究员撰写的《地球系统科学》,正是围绕着上述目标而构建的,值得一读。

地球系统科学是 20 世纪 80 年代中期新兴起的前沿科学。它的产生和发展是人类为解决所面临的全球性环境问题的需要,也是地球科学与其他科学技术结合,并向深度和广度发展的必然结果。

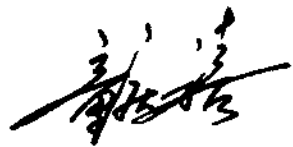
今天,遥感、地理信息系统、全球定位系统以及通信技术的发展和计算机的广泛应用,使得我们有可能在继续深化对地球科学各分支学科研究的同时,更加重视地球系统整体行为的集成研究,地球系统各圈层间相互作用的研究,以及人类活动诱发的重大全球环境变化研究。全球变化中最活跃的物质碳和水,与人类生存的物质基础生物圈紧紧联系在一起,围绕全球碳循环、水资源与水循环、食物与纤维三大主题,在更高层次上开展综合集成研究,必将极大地推动地球科学及其新增长点——地球系统科学的发展。

近年来,对资源、环境、灾害的认识深度、广度和研究重点已发生了重大变化。对资源找寻的视野越来越大,逐步从地球表层走向深层,从陆地走向海洋,从单纯地注重矿产资源的探寻逐步转移到以可持续发展为目标的资源合理利用与环境保护并重上;对环境问题的关注已从局部走向全球;对自然灾害的研究也从单一灾害走向群发灾害的研究,从单纯的监测、预报走向集监测、预报、预警、灾情评估和防治于一体的综合研究上。技术科学的进步为地球系统科学研究提供了强有力的手段,数学、化学、物质科学的发展为地球系统科学的研究主题提供了新的方法和理论基础,地球系统科学内部学科的交叉以及与其他科学间的渗透为生命和人类的起源与进化、地球的形成与演化方面的研究注入了新的活力,使得固体地球科学、短期气候预测、环境生态研究、地球系统的复杂性研究、区域可持续发展等成为新的研究热点。数字地球将成为新世纪地球科学的重要特征,推动地球系统科学从对自然现象的定性描述向量化方向发展。因此,地球系统科学理论构建的意义

是:21世纪,地球系统科学将以全球性、统一性的整体观、系统观和多时空尺度,研究地球系统的整体行为。地球系统科学的发展,将使人类更好地认识所赖以生存的环境,更有效地防止和控制可能突发的灾害对人类所造成的损害。

地球系统科学将地球作为一个整体来进行研究,但它并非是一门凌驾于地球科学、环境科学和生命科学之上的“超级学科”,而是以学科之间的交叉作为其主要特点和研究领域,以学科之间的相互渗透和合作为其研究方式的一门大跨度交叉学科,对它的研究需要有创新的理念、方法和理论。

毕思文研究员自1991年以来,一直不懈地从事地球系统科学理论的探索,以构建地球系统科学理论体系,开展深层次的地球系统科学研究作为目标。其中包括多方面的内涵:一是介绍了地球系统科学提出的背景和基本概念,加深对复杂地球巨系统的认识,探索和研究了地球系统科学的研究方法、基础理论、子系统和地球系统科学的学科分支等内容;二是依托“数字地球”对地球系统科学进行数字表达;三是青藏高原大陆碰撞各圈层统一相互作用为例作为地球系统科学研究示范,剖析地球系统各圈层之间的相互作用与影响。我们对于地球的研究虽然已经有很长时间,但是对地球系统科学,即地球系统各圈层间相互作用的研究工作才刚刚开始,甚至很多人对此还不太了解,亟需一些全面介绍有关地球系统科学的书籍。本书的出版,正是符合地球科学和社会发展的需要,我衷心希望它将有助于我国地球系统科学研究工作的开展。



中国科学院院士

前 言

地球系统科学理论的构建主要取决于三大背景和挑战。首先,地球已有46亿年的演化历史。从科学探索的开始,人类就寻求有关地球的知识。人类对地球的开发利用、探索研究活动由来已久。在很久以前,人们已认识到地球是一个圆球,并以此来预报日蚀、月蚀。公元前3世纪,Eartosthenes通过比较相距800km的两个地方中午的太阳角度,估算出了地球的圆周。16世纪,哥白尼日心说使得对地球及其在宇宙中的位置,有了相当准确的描述。人们的好奇心和经济活动驱使人类遍布世界各地,很多国家的航海家在全球航行,并对地球进行测量。17世纪,牛顿建立了加速度与特定力的关系方程式,从而阐明了包括地球转动、月潮和日潮在内的行星动力学。18世纪,富兰克林研究了大气电并确定了电流的路径,赫顿建立了地质时间概念并推断了地球内部热机的存在。19世纪初叶,莱伊尔建立了一个动力学研究方法,达尔文将莱伊尔的方法与生物变化的原始观测相结合,建立了生物进化论。20世纪初,魏格纳提出了大陆漂移学说。由于上述背景以及物理学、化学和数学方面新思想的飞速发展,使20世纪成为对地球进行定量研究的发展阶段。

其次,地质学、地理学、气象学、海洋学和生态学等都有悠久的学科历史。然而迄今对地球的研究,多是针对地球的某一组成部分分门别类地进行的,形成了各种带有各自门类特色的传统研究方法及知识体系的专门学科。仅在10余年前,科学家才普遍认识到必须把地球作为一个由相互作用着的各个子系统——主要是地核、地幔、岩石圈、大气圈、水圈、生物圈(包括人类社会)组成的地球系统来研究,只有如此才能真正深化对地球的研究,才能回答一些人类所面临的一系列地球行为的重大问题。这样一种眼界和观念的转变,标志着从传统地球科学观念向地球系统科学的转变。这种转变的实现有两重背景,一是地球科学各分支的深入发展;二是40年来空间技术和信息科学的突飞猛进开阔了人类的眼界,大大提高了人类认识地球的能力。由上述我们既可看到地球系统

科学从传统地球科学脱胎的印迹,又可以体察到 20 世纪末和 21 世纪的今天正处于地球科学发生飞跃和突破的前夕,而地球系统科学将正是这个突破口。从研究对象、研究方法和要解决的问题诸方面看,地球系统科学与传统地球科学相比,具有许多全新的特色,是 21 世纪最受人们重视的新兴学科之一。

再次,怎样对待可持续发展是全世界共同关心的重大问题,也是人类生存与自然的基本矛盾,更是地球科学面临的挑战。当前,人类正面临着一系列前所未有的重大而紧迫的全球环境问题,人口爆炸、土地荒漠化、资源短缺、环境污染加剧、“温室效应”与全球变暖、臭氧屏蔽的破坏、森林锐减和物种加速灭绝、淡水资源短缺等成为人们的热门话题。从科学角度看,这些紧迫的环境问题实质上是地球各圈层组成的统一系统,即地球系统各圈层相互作用产生的。可以预见,21 世纪将是人类明智地管理和维护地球的新纪元。

作者自 1991 年以来,从事地球系统科学理论的探索研究,试图构建地球系统科学理论体系。至目前为止,发表学术论文 90 余篇,出版专著近 10 部。

在全书撰写的过程中,始终得到刘东生院士、陈述彭院士、童庆禧院士、李小文院士、孙枢院士、马宗晋院士、陈运泰院士、陈颛院士、钟大赉院士、肖序常院士、郭华东研究员、王超研究员、黄润秋教授、许强教授、郑兰芬研究员、王长耀研究员、田国良研究员、邵芸研究员、牛铮研究员、张兵研究员、王长林副研究员和柳钦火研究员的关心和支持;同时也得到朱重光研究员、李秀云高级工程师、赵忠明研究员、杨崇俊研究员、聂跃平研究员、蔺启忠研究员、马建文研究员、董树文研究员和张荣华研究员的大力支持,作者向上述对本书的出版给予关心、支持和帮助的所有同志一并表示衷心的感谢!同时,对于书中引用相关作者的插图表示感谢!

由于地球系统科学是一个全新的、大跨度多学科相互交叉渗透的学科领域,加之编著时间仓促,书中可能有许多不足之处,欢迎专家和读者批评指正。

作者

2003 年 5 月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 人类面临全球性的重大问题	(2)
1.2 地球系统的全球化	(8)
1.3 地球系统科学与可持续发展	(22)
1.4 地球系统科学与传统地球科学	(23)
1.5 国内外研究现状	(25)
思考题	(30)
第 2 章 地球系统科学特征与趋向	(31)
2.1 科技十大领域发展趋势	(31)
2.2 科技发展面临的十大挑战	(38)
2.3 地球系统科学七大特征	(39)
2.4 地球系统科学六大趋向	(42)
思考题	(43)
第 3 章 地球系统科学的方法论	(44)
3.1 地球系统科学研究思路	(44)
3.2 地球系统科学基本概念	(46)
3.3 地球系统科学基本框架	(58)
3.4 地球系统科学时间尺度	(62)
3.5 地球系统科学研究步骤	(72)
3.6 地球系统科学的方法论	(74)
思考题	(81)
第 4 章 地球系统科学理论基础	(82)
4.1 地球系统的连续动态系统	(82)
4.2 地球系统的离散动态系统	(123)
4.3 地球系统的随机性	(150)
4.4 地球系统的自组织	(168)
4.5 地球系统的简单巨系统	(189)
4.6 地球系统的复杂巨系统	(214)

思考题.....	(227)
第 5 章 地球系统科学子系统与学科分支	(229)
5.1 行星系统	(229)
5.2 地核和地幔系统	(244)
5.3 岩石圈系统	(251)
5.4 水圈系统	(265)
5.5 大气圈系统	(266)
5.6 生物圈系统	(276)
5.7 地球系统科学学科分支	(292)
思考题.....	(294)
第 6 章 地球系统各圈层相互作用动力学效应	(295)
6.1 多体系统动力效应	(295)
6.2 非完整系统动力效应	(303)
6.3 变质量系统动力效应	(309)
6.4 碰撞动力系统效应	(314)
6.5 破坏动力系统效应	(324)
6.6 流体动力系统效应	(332)
6.7 极端动力系统效应	(342)
6.8 爆炸(发)动力系统效应	(353)
思考题.....	(366)
第 7 章 地球系统的数字表达——数字地球	(367)
7.1 数字地球提出的背景	(367)
7.2 数字地球的研究方法	(367)
7.3 数字地球原型——地球系统	(370)
7.4 地球系统场理论基础	(372)
7.5 数字地球物理模型	(373)
7.6 数字地球力学模型	(375)
7.7 数字地球数学模型	(376)
7.8 数字地球信息模型	(376)
7.9 数字地球信息获取技术与模拟	(377)
7.10 数字地球空间信息基础设施	(377)
7.11 数字地球技术方法	(378)
7.12 数字中国与数字工程	(381)
思考题.....	(382)
参考文献	(383)

第1章 绪 论

地球自诞生以来,就以其自身的规律造就并主宰着地球上的生灵。与此同时,地球上的人类在漫长的历史岁月中,为了自身的生存和发展,不断地影响并改造着地球环境,逐渐成为地球环境中不可缺少的组成部分。今天,人类对地球环境的影响已从罗马时期的局部影响步入了全球影响的时代。正因为如此,使得人类正面临着系列前所未有的、重大而紧迫的全球性环境问题。环境污染、温室效应、气候异常、植被破坏、土地荒漠化等已成为人们的热门话题。从科学的角度看,这些紧迫的环境问题,涉及地球各部分、各圈层的相互作用,涉及到地球作为一颗行星的可居住性问题。认识并预言地球环境的变化,是世界科学家们面临的严峻挑战。

长期以来,人们一直在寻求对于地球及其组成部分、地球构造和演化规律的科学认识。形成地球的某些过程是由几百万年以前那些剧烈的地球物理作用力而引起的;而另一些过程则反映出全球生物(包括人类社会)的较大影响。在很多情况下,对这些过程的研究会对人类产生大有裨益的实际效用。当今,一个新的挑战激励着人们去探索有关地球的知识。对于地球演化的戏剧性事件,人类已不再是消极的旁观者了。通过人类的经济和技术活动,人们正在对地球上重要的全球变化做出贡献,已成为地球系统的一个组成部分和影响地球变化的因素之一。正是这些因素促使着环境发生变化。对此,我们却知之甚少,而这些变化对我们的子孙后代却有着潜在的严重后果。因此,人类面临的全球变化的挑战,已成为研究地球特别重要的促动因素。

人类在全球变化中的明显作用要求我们尽快地提出全球研究的综合计划。这个计划应超越传统的学科界限,以便探索那些使地球产生演变的大气、海洋、冰、固体地球以及生物系统之间的相互作用。这种探索还必须包括那些具有完全不同时间尺度过程之间的相互作用。这些相互作用共同决定了地球的历史,并将决定地球的未来。不管我们能否最终认识那些自然规律,我们都必须努力了解它们。一方面是为了更好地认识我们的地球,另一方面也是为了更全面地了解人类活动的后果。为此,我们提出了一个新的目标:通过描述地球系统各部分、各圈层及其相互作用的演化、运行,以及在所有时间尺度范围内将会怎样持续演化等,获得对整个地球系统的科学认识。同时,我们面临一个新的直接挑战:发展预报未来十年到百年内将发生的、由自然和人类活动引起的全球变化的能力。我们最大的关心莫过于这个星球的未来以及依赖于它的生命。对太阳系的其他星球的探索已经证实

了我们这个世界在它们中间所占有的非常特殊的地位:惟一有生物圈的星球;惟一有充裕的氧气和液态水的星球;惟一有板块构造过程不断更新地表结构,使生命所必需的营养物质反复循环的星球。为保护地球,以便未来人类得以居住,我们必须对全球过程有一个更深刻的科学认识。现在是研究地球系统科学的人们提出地球系统科学研究计划并予实施来响应这一挑战的时候了。

人类只有一个地球。它不仅为人类提供了一个生存空间,而且还为人类生存提供了一切不可再生和可再生的物质源泉。因而,地球既承受着人类社会物资需要的索取,也承受着人类在社会发展进程中所进行的一切改造。特别是科学技术高速发展的今天,怎样使人类社会可持续发展,是人们共同关心的重大问题,也是人类生存与自然的基本矛盾,更是地球科学面临的严峻挑战。

1.1 人类面临全球性的重大问题

地球是人类赖以生存和发展的物质源泉和环境,因而人类总是把自己的命运与地球的演变和太阳对地球环境的影响紧密地联系在一起。一般认为,地球演变的主要因素源于自然变化,如日、地间距离变化,大气和海洋湍流,大陆板块漂移、造山运动、火山爆发、冰川伸缩,以及河流变动等过程。但是,在几个世纪的时间里,人类社会的经济和技术活动却对全球变化产生了明显的影响。无论如何,人类自身已成为地球系统的一部分,并且直接对全球变化产生影响。人类的能源生产、集约农业和强化技术已经改变了地球的反射率,改变了土壤和水体的组成、大气化学成分、森林面积,以至全球生态系统平衡。这样,当前人类的生存和社会发展已面临着一系列严重的问题。

人类的生存离不开空气、水、食品和土地。从地球系统科学的观点看,人类赖以生存的地球环境是由大气圈、水圈(含冰冻圈)、土壤-岩石圈和生物圈组成的地球系统——一个相互作用的整体。自地球诞生以来,在其演化的漫长岁月中,地球环境经历了翻天覆地的变化。近代科学研究表明,46亿年前,从太阳系中分离出来的星云——地球,在其形成的初期主要是被以氢气为主的气层所包围。而后,随着它的迅速消散,气层逐渐为以氮气和二氧化碳为主的气体所取代,非常类似于今天所观测到的金星和火星大气。直到大约38亿年前,地球环境才逐渐变得适合于生命的生存。

根据化石记录推断,最低等的生命形式——单细胞藻类水生植物的存在已有35亿年了。而藻类以及以后出现的各种植物,通过其光合作用逐渐改变了大气的成分,使得大气中二氧化碳的含量减少到目前的状态,约占大气总含量的0.03%左右,而氧气增加到20%左右。生物在其进化中逐渐适应了地球环境,并在自然竞争中导致了人类的产生。

众所周知,虽然人类的起源只是近百万年的事,然而它的出现却对地球环境产生了深远的影响。人类在生物进化的自然竞争中,已开始影响到局地环境。随着工业革命的到来,人类学会了更多的技能,他们的活动已逐渐对整个地球环境构成影响,成为全球环境变化的又一扰动因素。人口爆炸、土地荒漠化、“温室效应”与全球变暖、臭氧屏蔽的破坏、森林锐减和物种灭绝、淡水资源短缺等已成为人们的热门话题。

1.1.1 人口爆炸

联合国人口基金《2001年世界人口状况》报告指出,世界人口增长仍趋两极分化。人口增长对环境的压力是人类面临的最大挑战。

1) 世界人口增长统计

公元前400年的世界总人口1.53亿;公元200年世界人口2.57亿;公元700年世界人口降至2.06亿;1000年2.53亿(800年内人口未增反降);1200年突破4亿;1800年第10亿个人诞生;1900年16.5亿;1930年第20亿个人诞生;1950年25.2亿;1960年第30亿个人诞生;1970年37亿;1975年第49亿个人诞生;1980年44亿;1987年第50亿个人诞生;1990年52.7亿;1999年第60亿个人诞生。

2) 中国人口增长统计

1949年前,人口已超过5亿;1960年人口达到6.5亿;1970年人口达8.3亿;1980年人口总数近10亿;1989年人口达11亿;1995年人口达12亿。

人类利用科学技术打破了自身高出生率和高死亡率的平衡。产业革命以来的300年中,世界人口从5亿剧增至50亿。1999年达到60亿,预计2050年将达到近90亿。随着城市化的扩大,居住在城市的城市人口骤增,1987年世界城市人口占总人口的42%;预计2050年城市人口将占总人口的60%。现今地球上每分钟增加170人,每年增加9000万人。占全球80%人口的发展中国家的人口继续以较高的速度增长,由于贫困、营养不良和粮食不足,有近10亿人挨饿,加之环境污染的加重,每年由于水污染而致死就有近千万人。今后增加的人口主要集中在发展中国家,特别是最不发达国家。49个最不发达国家在今后50年中,人口将增长2倍。在世界人口发展中,两极分化仍然十分严重。占全球20%的富国人口的私人消费量占全球私人消费量的86%;而占全球最贫困的20%人口的消费量只占全球的1.3%。

人口的激增加剧了资源的消耗与生存环境的恶化。为了获取必要的食物和水,为了改善生活,人类必然在更大的广度和深度上干扰地球系统自然稳定的态势,造成一连串问题。

1.1.2 土地荒漠化

为获取食物,耕地面积在300年间从4亿 hm^2 扩展至15亿 hm^2 ,耕地和牧场占陆地面积的30%以上。另一方面,森林面积急剧减小,5000年前约为76亿 hm^2 ,1860年为55亿 hm^2 ,1975年减至26亿 hm^2 ,1986年减为23亿 hm^2 。目前,森林正以1100万 hm^2/a 的速度从地球上消失。其直接结果是土地荒漠化。目前,沙漠面积已占陆地总面积的10%,还有43%的土地正面临荒漠化的威胁。

从1991年底联合国环境规划署为联合国环发大会所准备报告的评估结果来看,全球荒漠化面积为3592万 km^2 ,约占世界表土面积的1/4,影响着约9亿人的生活。20世纪80年代初期,在全世界32.57亿 hm^2 的生产旱地中,约有19.86亿 hm^2 遭到荒漠化和严重荒漠化,约占生产旱地的61%。土地荒漠化极大地改变了陆地表面的物理特征,破坏了地表辐射收支平衡,诱发气候和环境变化。而气候和环境变化的反馈作用又将进一步影响土地荒漠化的进程,如此循环往复,从而对地球环境产生深远影响。可见土地荒漠化已成为又一重大的全球性环境问题。

1.1.3 资源趋于枯竭

全球耕地面积锐减,土地退化和水土流失严重,每年地表土壤流失约200亿t;盐碱化土地日益增多;森林面积减少,特别是热带森林减少速度明显加快,1950年以来,全球森林覆盖面积减少了一半,1978年森林覆盖陆地面积的1/5,干旱地区60%的草地荒漠化,过度放牧使草地日益退化;淡水资源危机已成为最为严重而紧迫的全球性问题,过去的50年来全球淡水用量增加近4倍。目前占全球陆地面积60%的43个国家和地区缺水;全世界每年消耗约33亿t石油,并以每年3%的速度增长;多种金属矿产资源趋于匮乏甚至枯竭;世界各主要渔场的捕捞量均已达到或超过极限,太平洋、大西洋、黑海、地中海的所有渔场,鱼产量都在下降,海洋资源出现明显危机。

1.1.4 “温室效应”与全球变暖

化石燃料的燃烧,森林的破坏及其他工业活动,使得大气化学成分发生了明显的变化。连续30年的测量表明,大气中二氧化碳(CO_2)的含量以每年0.4%的速率递增,按现有的绝大多数气候模型估计,在不太远的将来可能使全球平均温度上升 2°C ,这样的温度变化可以和最近一次冰期以来18000a间的温度变化相比拟。而对湖泊中花粉和海底深游生物骨骼沉积物的考察表明,全球范围这样的温度变

化,必将导致全球陆地植被类型和海洋生物物种分布的显著改变,而这又必然反过来影响全球气候。应该指出,除了 CO_2 以外,导致温室效应的痕量气体还有甲烷(CH_4)、氯氟烃、一氧化二氮(N_2O)等。它们在大气中的含量虽微,但增温效应强(如氯氟烃浓度仅为 CO_2 的百万分之一,增温作用却为 CO_2 的 $1/4$; CH_4 浓度仅为 CO_2 的 0.5% ,增温作用却为 CO_2 的 $1/3$,增长率高(如 CH_4 年增长率为 1.0% ,而 CO_2 年增长率为 0.4%),作用时间长(如 N_2O 增温作用虽然只有 CO_2 的 $1/12$,但它在大气中的寿命为 CO_2 的 $7\sim 10$ 倍),因而引起的效应相当可观(大致与 CO_2 相当)。这些气体含量的增加,亦起因于人类的工业和农业生产活动。

大气中温室气体的增加,必然导致温室效应增强,从而有可能引起全球变暖。观测表明,1880年以来北半球地面平均温度升高了约 $0.3\sim 0.6^\circ\text{C}$ 。虽然目前还不能识别这一全球变暖现象中温室气体的贡献有多大,但大多数科学家认为大气中增强了的“温室效应”对全球平均温度的增加是有促进作用的。

随着经济和社会的发展,人类活动排放的 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 等温室气体逐年增加,温室气体能无阻挡地让太阳的短波辐射射向地球,并部分吸收地球向外发射的长波辐射,使整个地球成为庞大的“温室”,使“温室”的气温上升。

根据1958~1988年30年大气中 CO_2 浓度的测定, CO_2 浓度逐年增长,由1958年的 314×10^{-6} 增加到1988年的 349×10^{-6} 。根据树轮所测定的近2000年来大气中 CO_2 的浓度变化,在工业革命后大气中 CO_2 浓度增长极为迅速。根据冰岩心的记录,200多年来 CO_2 的浓度比工业革命前的 $280\times 10^{-6}\pm 10\times 10^{-6}$ 增加了 70×10^{-6} ,年增长率为 0.4% ;大气中 CH_4 的浓度在工业革命前为 0.7×10^{-6} ,2000年增加到 2.1×10^{-6} ;大气中氯氟烃的浓度,在工业革命后增长也极为迅速(表1.1)。

近一个多世纪以来的全球陆地和海洋大约100多万个观察记录证明,全球平均气温确实增高了。尤其是20世纪80年代以来,变暖的速度很快,全球平均气温增加了 0.5°C 。根据表1.1的测算,2000年全球平均气温上升 1.53°C ,2030年将上升 2.08°C 。由于全球变暖,1880~1980年观察到的平均海平面上升了14cm。以1980年海平面为基准,2050年海平面将上升30~50cm。气候变暖,海平面上升,将对全球的生态系统和人类社会的发展带来严重的影响:干旱区更为干旱,多雨区更多洪涝;海平面将以每10年6cm的速度上升,海水盐度变小,岛国难以生存,地势低洼的沿海区域将被淹没;海水污染淡水,地下水污染加剧;全球干旱频率增大,中纬度地区更为干旱、酷热,森林失火,湖泊干涸,水资源更为紧张;土壤盐渍化和荒漠化加剧。

表 1.1 全球温室气体的增长与气候变暖

气体	工业化前浓度 ($\times 10^{-6}$)	2000 年浓度 ($\times 10^{-6}$)	对全球气候变 暖的贡献/ $^{\circ}\text{C}$	2030 年浓度 ($\times 10^{-6}$)	对全球气候变 暖的贡献/ $^{\circ}\text{C}$
CO ₂	280	380	0.96	470	1.19
CH ₄	0.7	2.1	0.30	2.94	0.42
N ₂ O	0.21	0.31	0.12	0.33	0.17
F-11	0	0.41	0.06	1.03	0.15
F-12	0	0.55	0.08	1.93	0.14
F-13	0	0.08	0.01	0.32	0.05
总计			1.53		2.08

据欧阳自远,1997。

1990 年 5 月据政府间气候变化委员会(IPCC)第一工作组提供的最新报告预测,到 2030 年,若温室效应等于 CO₂ 的加倍,则全球平均温度将上升 1~2℃;由于气候的区域性差异,陆地比海洋增温快,南欧和北美比全球平均增温幅度大;夏季降水和土壤湿度减小,亚洲季风将加强;海平面将升高 20cm 左右。这将给全球生态系统和人类的社会经济活动带来巨大影响。因此,“温室效应”问题成了全人类共同关心的重大全球性环境问题。

1.1.5 臭氧屏蔽的破坏

臭氧(O₃)是氧的衍生物。自然大气中有微量的臭氧存在,其浓度是随高度变化的。平流层(距地面 20~25km 的大气层)臭氧浓度最大。分布于同温层中的臭氧吸收了太阳光中 99% 的对地球生物圈有极大伤害作用的高能紫外线。测量表明,1978~1987 年,全球臭氧浓度平均降低了 3.4%~3.6%;1985 年首次在南极上空观测到了臭氧空洞。有证据表明,造成臭氧屏蔽破坏的主要原因是人类活动排放到大气中的氯氟烃的光化学反应。而臭氧屏蔽的破坏,必将对地球生命系统和人类生存环境造成灾难性的影响。

英国南极调查局哈利湾观测站的资料表明,从 20 世纪 70 年代中期以来,每年 10 月(南极极夜刚结束的月份)臭氧总量减小 40%,卫星图片则进一步揭示了南极上空所谓“臭氧洞”的存在。

上述观测事实的发现,大大促进了始于 20 世纪 70 年代初期的平流层化学的研究。目前的实验室模拟结果表明,平流层臭氧对氯氟烃和氮氧化物非常敏感,通过光化学反应将使臭氧减少,且当氯气浓度(含氯氟烃物质在平流层中,紫外线的照射下发生光化分解,产生活跃的氯气)超过平流层奇数氮(NO_x, NO₂, HNO₃ 等)的浓度时,臭氧破坏的速度加快。

大气层中臭氧的浓度随高度变化,平流层中距地面 20~25km 间的大气层臭氧浓度最大。工业革命前氯氟烃的浓度为 0,现今约为 1×10^{-9} 。人类活动排放的含氟氯烃的物质和氮氧化物在平流层中通过光化学反应将使臭氧减少。自 20 世纪 70 年代以来,北半球的臭氧减少了 3%~5.5%,出现臭氧空洞。南极臭氧空洞正以每年相当于一个美国陆地面积的速度增长,不仅在南极上空,最近在北极和西藏高原上空也发现了臭氧层减薄,甚至出现臭氧空洞。预计到 2014 年,臭氧将减少 53% 以上。臭氧层出现空洞,将使地面紫外线辐射增强,皮肤癌发病率上升,还将带来幼鱼死亡率和家畜瘟疫增加,谷物减产,气候变化等一系列的影响。

从科学的角度看,这些紧迫的环境问题涉及地球各部分、各圈层的相互作用,涉及到地球作为一颗行星的可居住性问题。认识并预言地球环境的变化,是世界科学家们面临的严重挑战。

目前,大气化学家和气象学家们对“臭氧洞”的形成提出了多种推测和假设,但都不能圆满解释“臭氧洞”的形成机理。不少科学家正在致力于从大气化学与大气动力学的结合上寻求新的理论解释。

1.1.6 生态环境的破坏

人口爆炸和人类活动以直接或间接的形式,从多方面破坏了地球的生态系统,许多种生物已濒临灭绝。物种分布改变以及具体物种的灭绝对人类的影响究竟如何,虽然还不十分清楚,但作为一种标志,它表明地球作为人类生命活动的场所,其可居住性正面临着越来越严重的考验。

1. 环境污染加剧

全球每年排放进入大气层的气体,CO₂ 为 57 亿 t,CH₄ 约 2 亿 t。排放有害金属铝 200t、砷 7.8 万 t、汞 1.1 万 t、镉 5500t,超出自然背景值的 20~300 倍。SO₂ 的排放,诱发的酸雨的频度在增加,面积在扩大;空气质量严重下降,全球有 6.25 亿人生活在空气污染的城市中;江河湖海的污染日趋严重,淡水匮乏使 12 亿人口生活在缺水城市,14 亿人口在没有废水处理设施下生活;水质污染引发的疾病死亡率已成为人体健康最主要的危害;城市垃圾、污水、船舶废物、石油和工业污染、放射性废物等大量涌入海洋,每年有 200 亿 t 污染物从河流进入海洋,约 500 万 t 垃圾被抛进海洋,在人海口处数万平方公里的臭氧层正在扩大。

2. 森林锐减和物种灭绝

生物多样性的世界正发生着严重的危机。研究表明,在人类活动干扰以前,全世界约有森林和林地 60 亿 hm²。到 1954 年世界森林和林地面积减少到 40 亿

hm²,其中温带森林减少了32%~33%,热带森林减少了15%~20%。近30年来,世界森林,特别是热带森林的减少速度明显加快,平均每年减少800万hm²。中美洲由1950年的1.15亿hm²减到1983年的0.71亿hm²。非洲森林减少更快,从1950年的9.01亿hm²减至1983年的6.9亿hm²。

世界森林的不断减少直接导致生物物种多样化的减少和物种灭绝。据估计,地球上曾经有5亿个物种,目前尚有500万~1000万个物种,其中占压倒多数的是无脊椎动物和植物。一些专家推测,当前每年消失的物种已达数千种之多。

森林锐减和生物物种的大量减少对人类社会和经济发展将产生巨大影响。特别是森林植被的大量减少,大大改变了碳、氮等微量元素的源、汇分布,使得微量元素在地球系统中的循环遭到破坏,并迫使其从原有的平衡态向新的平衡态过渡,从而给人类社会和自然生态系统带来巨大影响。

3. 淡水资源短缺

1987年全球约14.1亿km³的水量中,大约有0.42亿km³淡水,约占全球水量的3%,其中约77.2%被冷储在冰盖和冰川中,22.4%是地下水和土壤水,约0.4%为湖泊、沼泽和河水。

由于水循环的结果,全球水量分布极不均匀。从作物需水量的角度出发,非洲、中东和中亚大部分地区,美国西部,墨西哥西北部,智利和阿根廷的部分地区以及澳大利亚全部都是贫水区,其年蒸发量超过年降雨量。另一方面,20世纪以来,世界用水量大幅度增加,年用水量从1990年的约4000亿m³增加到1995年的3万亿m³,增长了6.5倍。目前,世界上已有43个国家和地区缺水,占全球陆地面积的60%,约20亿人用水紧张,10亿人得不到良好的饮用水。

1.2 地球系统的全球化

政治多极化、经济全球化是20世纪以来特别是21世纪的一个重要特征。随着科学技术的创新发展和人类社会的进步,全球化趋势将是自然科学和社会科学在21世纪的重要发展方向。为此,作者在研究构建地球系统科学时,把全球化作为重要的一章节。内容有:社会活动全球化、经济全球化、金融全球化、生产全球化、科学技术全球化、教育全球化、军事战争全球化、管理全球化等。

1.2.1 社会活动全球化

地球上,在物质与能量的转换过程中,人类是积极的参与者;在环境的变化中,人类能起到重要的作用。这些作用有的使环境变得更加适宜于人,有的则使环境