



全球变化与地球系统科学系列
Series in Global Change and Earth System Science

地球系统 (第三版)

The Earth System (Third Edition)

[美] Lee R. Kump James F. Kasting Robert G. Crane 著

张晶 戴永久 译



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



全球变化与地球系统科学系列
Series in Global Change and Earth System Science

地球系统

D I Q I U X I T O N G

(第三版)

The Earth System

(Third Edition)

[美] Lee R. Kump James F. Kasting Robert G. Crane 著

张晶 戴永久 译



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图字:01-2010-5359号

Authorized translation from the English language edition, entitled EARTH SYSTEM, THE, 3E, 9780321597793 by KUMP, LEE R.; KASTING, JAMES F.; CRANE, ROBERT G., published by Pearson Education, Inc, publishing as Prentice Hall, Copyright © 2010 by Pearson Education, Inc.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from Pearson Education, Inc.

CHINESE SIMPLIFIED language edition published by PEARSON EDUCATION ASIA LTD., and HIGHER EDUCATION PRESS Copyright © 2011.

本书原版为培生教育出版集团出版 EARTH SYSTEM, THE, 3E, 作者为 KUMP, LEE R.; KASTING, JAMES F.; CRANE, ROBERT G.。著作权© 2010。

版权所有。未经培生教育出版集团许可,任何部分不得以任何形式、任何途径(电子版或纸质版)复制或传播,包括影印、录制或信息存储及检索系统。

此翻译版由培生教育出版集团和高等教育出版社合作出版。著作权© 2011。

此翻译版在中国出版发行,仅限于在中华人民共和国境内(但不允许在中国香港、澳门特别行政区和中国台湾地区)销售。

本书封面贴有 Pearson Education (培生教育出版集团) 激光防伪标签。
无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

地球系统:第3版/(美)坎普赫(Kump, L. R.), (美)卡斯庭(Kasting, J. F.), (美)克莱恩(Crane, R. G.)著;张晶,戴永久译.—北京:高等教育出版社,2011.4

书名原文:The Earth System

ISBN 978-7-04-031609-4

I. ①地… II. ①坎… ②卡… ③克… ④张… ⑤戴… III. ①地球科学 IV. ①P

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第030732号

策划编辑	柳丽丽	责任编辑	柳丽丽	封面设计	张楠
版式设计	王艳红	责任校对	杨凤玲	责任印制	张泽业

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社址	北京市西城区德外大街4号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印刷	北京机工印刷厂	网上订购	http://www.landaco.com
开本	787×1092 1/16		http://www.landaco.com.cn
印张	32		
字数	870 000	版次	2011年4月第1版
插页	8	印次	2011年4月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定价	59.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 31609-00

内 容 简 介

本书与传统的地球科学教科书相比,不仅对地球系统的各个圈层(固体地球、大气、海洋)进行了介绍,还讲述了各圈层之间以及它们与生物体之间的相互作用(生态学课本的内容)。本书的第1章,全球变化,是对以上这些问题的概述——观测数据让我们确信全球环境问题的存在,而地球历史上的事件反映出地球系统如何对压力作出响应。本书其余的篇幅由三个部分构成。第2~9章主要探讨地球是如何“运转”的。这部分讲述了气候、海洋、大气环流以及元素再循环是活跃在地球表面的过程共同作用的结果,而所有这些过程中,生物起着非常重要的作用。第10~14章带领读者重温地球的历史,重点强调了对未来具有警示作用的地球事件。第15~19章关注的是地球系统的未来,提出了现代全球变化的问题,并结合前面两部分内容,探讨了在其他行星上发现生命的可能性。

关键词:地球系统 全球变化 地球系统的演化和过程

序 言

地球系统指的是地球的大气圈、陆地、水圈、岩石圈和生物圈的相互作用、相互影响的物理、化学、生物与人类过程的集合。地球系统科学的研究是将全球大气圈、水圈、岩石圈和生物圈作为相互作用的大系统,研究圈层与圈层之间的物理、化学、生物过程,其时间尺度自数年、数十年、百年至数百年,并主张将社会、经济、政治等人类活动包括在内。地球系统科学是跨自然科学与社会科学的学科。

地球系统科学发轫于 20 世纪 80 年代,由于全球环境变化、国际经济和政治等问题,由于对地观测技术和计算机技术等科学技术的进步,全球变化与地球系统的研究工作在近 20 年里以燎原之势迅速开展。近年来,与地球科学相关的行业部门、研究机构、高等学校、政府机关、国际组织和公众媒体等对具有全球视野和多学科交叉能力的地球系统和全球变化学科背景的综合人才均有迫切的需求。

长期以来,地球科学的发展延续着专门化的学科发展格局,难以培养和造就能够解决涉及地学、生命科学、社会科学等多学科交叉的全球变化与地球系统学科专门人才。尽管我国一些高等院校及科研单位相继成立了以“加强全球变化与地球系统科学学科建设、培养高水平研究人才”为目标的研究与教学机构,然而,在这样一门全新的交叉集成学科的建设方面,我们还没有令人满意的全球变化与地球系统学科,包括人才培养体系、课程教育体系等。

全球变化与地球系统学科建设不可能一蹴而就,但又必须要解决问题。我认为有以下几个因素需要考虑。

第一是社会需求问题。学科建设,如果不是从社会需求出发,学科将不可能得到可持续发展。全球变化与地球系统学科培养的人才,他们的就业主要在两个方面:一部分从事科学研究工作,另外一部分可能分布在各个行业,利用自己在全球变化与地球系统学科领域的专业知识去服务于某些特定的行业。对于研究型人才的培养,我认为应该让他们具备对地学的各分支学科和对数学、物理学、化学、生物、计算机科学和经济学等相应的学科提出问题的能力。比如,全球变化与地球系统学科对大气学科有什么要求、对地质学科有什么要求、对计算机学科有什么要求等。所以我认为这是研究型人才培养的一个最基本要求,我们在人才培养当中要考虑对学生这方面的训练。对于应用型人才的培养,应当考虑如何培养他们具有相应的行业延伸的能力。

第二是课程教育问题。基础课程设置,可以和地学每个相应的学科或者包括物理学、数学、计算机科学等基础学科的专家共同来研究并提炼出一些基础科学的授课内容,例如,大气学科支撑全球变化研究到底是哪个方面需要,大气科学对全球变化研究支撑的主要是哪门技术。我们现在不可能把所有的课都上好,都上完。但是我们可以从不同的学科当中筛选出有利于支撑全球变化与地球系统学科的一些基础课。专业课程设置,要考虑具体单位的优势和特色,以及当前教师的研究方向。专业课应当立足于不同方向的选修课,而不一定都成为必修课。我个人比较主张把基础打牢一些,基础课要上牢,专业课不一定上得那么多。总的来讲,课程教育的目的就是让学生具有开

展科学研究的能力,举一反三的能力,而不是很多知识。

第三是教材建设问题。如果要对我国全球变化与地球系统学科有所贡献,就一定要出版几本好教材。我们需要组织高等院校、研究单位共同来编写一套教材,这是非常重要的工作,高质量的教材是学科建设的重要标志之一。

北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院的张晶和戴永久翻译的《地球系统》是一部高等学校有关专业学生的教科书,同时它也是广大地球系统和全球变化相关领域科学工作者和中学及大学地理教师的有益读物,我谨向读者推荐。

全球变化国家重大科学研究计划专家组组长,中国科学院院士

徐冠华

2010年10月

著译者简介

(1) 原著者简介

Lee R. Kump, 美国宾夕法尼亚州立大学地球科学系教授。1981 年于芝加哥大学获得地球物理学学士学位, 1986 年于南佛罗里达大学获得海洋科学博士学位。Kump 博士是 NASA 天体生物研究所与宾州地球系统科学中心 (ESSC) 成员, 加拿大远景研究所地球系统演变项目主任助理, 美国地质学会会员, 伦敦地质学会会员, “地球生物学”杂志编辑委员会成员, “科学”杂志的审稿编辑。Kump 博士于 2000 年获得美国地质学会突出服务奖, 2008 年与 Michael Mann 合作编著了《恐怖的预测: 了解全球变暖》(DK/Pearson, 2008) 一书, 此外他还在 2009 年获得南佛罗里达大学“优秀校友”称号。Kump 博士的研究兴趣包括地球历史上极端事件(大灭绝、超温室时期、冰期)发生期间的环境和生物变化、地质历史时期海洋与大气成分演变、水环境中的生物地球化学循环、自然环境中营养和痕量元素变化等领域。

James F. Kasting, 美国宾夕法尼亚州立大学地球科学系教授。他于哈佛大学获得化学与物理学学士学位, 密西根大学获得大气科学博士学位。Kasting 博士曾在 NASA Ames 研究中心太空科学部工作了 7 年, 此后于 1988 年任职于宾夕法尼亚州立大学。Kasting 博士是 NASA 天体生物研究所与宾州 ESSC 的成员, 美国科学进步联合会会员, 国际生命起源研究协会会员, 美国地球物理学会会员, 美国 Goldschmit 协会会员, 美国国家科学院院士。他的研究主要集中在行星大气演变, 尤其是火星、金星与地球的大气不同的原因探索等领域。此外, Kasting 博士还对其他恒星周围是否存在可居住行星以及我们如何通过行星大气光谱寻找生命迹象等研究领域很感兴趣。

Robert G. Crane, 美国宾夕法尼亚州立大学地球科学系教授。他在科罗拉多大学获得地理学博士学位, 曾在美国国家冰雪数据中心和世界冰川学数据中心 - A 担任助理研究员, 此后在加拿大 Saskatchewan 大学从事了一年的教学工作, 此后于 1985 年来到宾夕法尼亚州立大学。Crane 博士是宾州地球系统科学中心的成员, 担任非洲地球科学、工程学和发展问题研究的宾州大学联盟的主任, 他也是“地理学人工神经网络应用”领域一部教科书的合作编辑人。Crane 博士的研究领域主要是海冰的微波遥感、冰 - 气候相互作用、区域尺度气候变化、气候降尺度技术、撒哈拉以南非洲的气候变化等与变率方面。

(2) 译者简介

张晶, 北京师范大学副教授。1990 年毕业于北京大学应用化学专业, 1993 年获得中国科学院生态环境研究中心硕士学位, 此后在中国环境科学研究院工作。1999 年赴美国佐治亚理工学院 (Georgia Institute of Technology) 地球与大气科学学院学习并于 2004 年获得博士学位。毕业回国后于北京师范大学从事教学科研工作, 主要从事大气化学和生物地球化学领域的研究。

戴永久,长江学者奖励计划特聘教授、国家杰出青年基金获得者。1987 年于吉林大学数学系获得学士学位,1987—1995 年在中国科学院大气物理研究所学习并获得大气科学博士学位。1992—1997 年于中国科学院大气物理研究所担任助理科学家,1997 年赴美国亚利桑那大学(University of Arizona)大气科学系任助理科学家,2000 年起在美国佐治亚理工学院(Georgia Institute of Technology)地球与大气科学学院任研究科学家。2002 年回国在北京师范大学从事教学科研工作。戴永久教授主要从事陆面模型研发和地-气相互作用的研究。(学术主页:<http://globalchange.bnu.edu.cn/>)

前言

本书不是传统意义上的地球科学教科书。传统教科书,学科界限明显。通常,固体地球学科只讲固体地球、大气学科只讲大气、海洋学科只讲海洋,它们较少关注地球系统圈层之间或者这些圈层与生物体之间的相互作用(生态学课本的内容)。本教科书将以不同于其他教科书的方式,诠释全球变暖、臭氧损耗和生物多样性丧失等现代全球环境问题。本书将贯穿的一个重要认识是:现代全球环境问题与地球历史上的情况有相似之处,地质历史是我们研究现状和未来的关键。

内容

第1章,全球变化,是对全球环境问题的概述——观测数据让我们确信存在严重的全球环境问题,地球历史上的事件告诉我们地球系统如何响应外界强迫。本书其余的篇幅由三个主要部分组成。第2章到第9章主要探讨地球是如何“运转”的。这些章节逐渐展开一个概念:气候、海洋、大气环流和元素的再循环是活跃在地球表面的过程共同作用的结果。在所有这些过程中,生物起着非常重要的作用。第10章到第14章带领读者重温了地球的历史,重点强调了对未来具有警示作用的那些地球事件。最后五章(第15章到第19章),关注的是地球系统的未来,提出了现代全球变化的问题,并结合前面两部分的内容,讨论了在其他行星上发现生命的可能性。

对第一版的修订

在本书第一版出版后的10年时间里,地球环境发生了很多变化。大气 CO_2 上升了约7 ppm,氟利昂-11下降了6 ppt,全球地表空气温度持续呈波动上升趋势。单就这一个原因,即跟踪最新的全球变化数据,本书就应该定期更新。然而,变化的不止是数据。在过去10年里,人们的思想也在发生着变化。新的地质证据表明,“雪球地球”事件在地球历史上不止发生了一次。事实上,在太阳光度低的地质时期,帮助早期地球保持温暖的主要温室气体是甲烷(CH_4),而不是二氧化碳(CO_2),或者不单单是 CO_2 。IPCC(政府间气候变化专门委员会)发布了新的报告,首次明确陈述了人类活动是造成所观测到的地表温度上升的一部分原因。而NASA对新学科“天体生物学(astrobiology)”的慷慨支持使我们更加意识到演变的地球与其生物之间的紧密联系。

在本书的修订版里,我们试图反映出这些及其他变化。我们增加了两章内容:第6章(全球气候模型)和第8章(生物圈、生态系统及生物多样性)。我们还扩展了对早期地球的讨论,利用两章的篇幅讨论这个题目:第10章,地球和生命的起源;第11章,生命对大气形成的影响。除对以前在其他章节的一些内容简单进行了重新编写外,本书还增加了相当多的新内容。第6章阐述了数值模拟作为工具和方法,在为变化的世界建立全球政策中起到的重要作用。第8章则强调了生物在地球系统所起的作用。第10章和第11章讲述了由核糖体RNA排序得出的“普适”生命进化树,生命进化树把人类和真菌列为比其他形式细菌更近的近亲。此外,我们还对第11章和第12章(在第一版中的第8章和第9章)的顺序进行了对调,以反映 O_2/CH_4 对前寒武纪古气候愈加重要的

意义。

本版中的新内容

1. 更新了全球变暖一章的内容,以充分反映 2007 年 IPCC 报告的进展(第 15 章)。
2. 增加了新的一章“冰冻圈”,以反映目前北极夏季冰盖范围减少和最近观测的格陵兰冰盖融化超过预期的这两个事实。本章安排在大气和海洋环流这两章之后,重点关注作为地球系统动态成分的冰原和海冰。除原有的第二版第 15 章中“海冰和气候”一节外,其中的大部分内容都是新的。
3. 更新了所有显示温室气体、地表温度、氟利昂等变化的趋势图(第 1 章、第 15 章和第 17 章)。
4. 改写了全球变暖对经济影响的内容(第 16 章),在“全球变暖对经济影响”一节中,增加了对两个不同全球变化经济学方法的对比:一是 Nicholas Stern 在“全球变暖经济学 Stern 评论”中所提方法,二是 William Nordhaus 在其 2008 年新书“平衡的问题:权衡全球变暖政策的选择”中所提出的方法。
5. 增加了氮和磷的全球循环的内容(第 8 章)。
6. 更新臭氧损耗的内容,反映了 2006 年 WMO 报告的进展(第 17 章)。
7. 删去了关于短期气候变动的一章,将其中大部分素材和相关章节并到其他章中,作为大气-海洋相互作用和更新世末期快速气候变化的例子,并为第 15 章和第 16 章介绍全球变暖的相关问题设立了讨论背景。

对第二版的修订

自本书第二版出版至今,已经 5 年过去了。在这段时间里,IPCC 的三个工作组一直在忙于评估科学家对气候变化的科学基础、影响、适应、脆弱性和减缓措施的当前认识。第四次评估报告比前三个版本更加急迫地指出:如果我们要避免发生危险的气候变化,就得立刻采取行动。由于在现行的基于化石燃料的能源结构和经济运作中存在着巨大的惯性,要使全社会对全球变暖进行统一行动是极其困难的。我们希望通过本书能够让读者在以下三个方面有更深层次的认识:科学家们知道些什么?他们是怎么知道的?为什么这些知识让大部分科学家得出“人类导致的气候变化对人类和自然生态系统构成了严重威胁”这样的结论?从而消除部分固有的不正确或不全面的全球变暖观点。

2007 年 IPCC 发布了第四次评估报告,其中有许多新的认识,正是由于这一原因,我们对第二版进行了修订,进而出版了本书的第三版。就像 IPCC 第四次评估报告与第三次有很大区别一样,本书第三版与第二版也有相当大的不同。由于认识到冰原和海冰融化是全球变暖影响的重要成因,对预测未来有着关键作用,我们增加了新的一章(第 6 章)——冰冻圈(行星上由冰覆盖的区域)。我们也采纳了地球化学同行的建议,将碳循环一章扩展,而将其他重要元素,即磷和氮包括进来。关于地球历史的各章也经过整理,提高了可读性;而且也更新了我们对于生命和环境在过去 35 亿年的共同演化的最新理解。对全球变化的讨论从一章增至两章。其中前面的一章(第 15 章)重点讨论全球变暖的科学证据,主要引用了 IPCC 第一工作组的报告。而气候变化的影响、适应和减缓——第二和第三工作组的工作重点——则构成了后面一章(第 16 章)的基础。第 16 章还对气候变化的经济学问题展开了讨论。气候变化经济学常常与气候科学分开来单独考虑,但是它对能源

和气候政策的制定是非常关键的。

结构与教学法

我们采用许多有特色的教学方法,以辅助学习。每一章都以关键问题(目标性问题,学生在阅读这一章后应该能够回答)和概要(对这一章的扼要介绍)开头。在每一章里,都有专栏短文,给出有趣的旁白、对正文进行更细致或定量的讨论,或者介绍在科学理解方面的最新进展。在每一章结尾都以提纲形式给出小结,以帮助读者复习回顾重要的概念。之后给出了关键词列表,由这一章中介绍的粗体字和本书后面词汇表里的词构成。复习题可使学生的复习集中在重要概念方面,只需要进行简短的回答;而思考题则要求学生将文中概念进行综合考虑来作答。课外阅读包括一般阅读和高级阅读,高级阅读是为对本书有更多兴趣的学生(和教师)提供的。在设计第三版的过程中,我们努力将题目组织得更有逻辑性,把特殊题目分成不同类型的“专栏”,具体的分类是:“深入探讨”——对文中的题目给出更细致的检验;“有用的概念”——全面描述对我们理解地球系统起重要作用的自然科学中的基本概念;“量化思考”——强调如何应用数学知识以更好地理解地球系统的运转。指导教师可以选择性地指定学生阅读其中一部分,或者全部的专栏。对使用本书的学生和其他教师所指出的错误,我们也进行了修正。我们还将数据图更新到目前的状态。我们希望这些改变可以有助于本书在不同课程中进行应用,并且对学生来说也更加易懂,具有更大的信息量。

各章排序

我们预计,本书的使用方式有很多种。我们在 Pennsylvania State University 把本课程设为一门通识课,一个学期中大概可以完成本书 3/4 的内容。可以有几位老师讲授这门课,但是并不是所有老师都选择讲授同样的章节。比如,对气候问题最感兴趣的一位老师,可能会使用第 1 章到第 6 章、第 12 章、第 14 章到第 16 章、第 19 章。而对生物多样性最感兴趣的老师,可能会选择第 1 章、第 2 章、第 8 章到第 11 章、第 13 章、第 18 章。如果课程强调地球历史(第 1 章到第 3 章、第 9 章到第 14 章)或现代全球环境问题(第 1 章到第 6 章、第 9 章、第 16 章到第 19 章),也可以进行调整。我们在本书中提供的素材比一个学期内一门课程能覆盖的内容还要多,因此也就增加了灵活性,不同教师 and 不同的学生小组可以根据各自兴趣点选择不同的重点内容来学习。

致谢

除了对本书的第一版和第二版提供过帮助的许多人外,我们还特别感谢我们的编辑 Dru Peters, Crissy Dudonis, Shari Toron 和我们的制作编辑 Suganya Karuppasamy。此外,以下同事也对本书的第一版和第二版进行了审阅,为第三版的出版提供了很大帮助。

Eric Barron,

The National Center for Atmospheric Research

Kerry H. Cook,

Cornell University

Chris Duncan,

University of Massachusetts, Amherst

Jim Evans,

Utah State University
Jonathan K. Filer,
Towson University
Woody Hickcox,
Emory University
Jean L. Hoff
St. Cloud State University
Hobart M. King,
Mansfield University of Pennsylvania
David Liddell,
Utah State University
Michael F. Rosenmeier,
University of Pittsburgh
Cameron P. Wake,
University of New Hampshire
Dean Wilder,
University of Wisconsin – La Crosse
Andrew Wulff,
University of Iowa

Lee R. Kump
James F. Kasting
Robert G. Crane
The Pennsylvania State University

目 录

第 1 章 全球变化	1
导论	1
短时间尺度的全球变化	4
深入探讨:飓风随着时间的推移会变得越来越强吗?	10
深入探讨:南极臭氧洞的发现	13
长时间尺度的全球变化	16
第 2 章 雏菊世界:对系统的介绍	24
系统的方法	24
量化思考:正反馈循环的稳定性	28
雏菊世界的气候系统	29
有用的概念:图形和图形的绘制	34
外部强迫:雏菊世界对不断增加的太阳光度的响应	34
第 3 章 全球能量平衡:温室效应	42
导论	42
电磁辐射	43
温度的度量	47
黑体辐射	48
行星能量平衡	50
深入探讨:行星能量平衡	51
大气的成分与结构	52
量化思考:温室效应是如何起作用的:单层大气	53
温室效应的物理成因	57
云对大气辐射收支的影响	59
气候模型简介	61
气候的反馈过程	62
第 4 章 大气环流系统	67
全球循环子系统	67
大气环流	68
深入探讨:温度、压强和体积之间的关系——理想气体定律	69
深入探讨:飓风(热带气旋)的工作原理	80
全球温度和降雨的分布	82
第 5 章 海洋环流	96

风和表面环流	96
深入探讨:涡度	102
深入探讨:1982—1983 年和 1997—1998 年的 ENSO 事件	108
深海环流	108
深入探讨:海洋的含盐量和地球的年龄	111
有用的概念:同位素及其应用	115
深入探讨: ^{14}C ——一种放射性时钟	116
第 6 章 冰冻圈	123
导论	123
河冰和湖冰,季节性积雪和永久冻土	125
冰川与冰原	129
量化思考:冰川的移动	130
海冰与气候	133
第 7 章 固体地球环流:板块构造学说	138
导论	139
地球结构剖析	140
深入探讨:地震仪的原理	142
板块构造理论	147
板块与板块边界	152
深入探讨:大洋中脊喷出孔处的深海生命	155
固体地球的生理学:板块构造运动的推动力是什么?	160
深入探讨:地质样品的放射性年龄测定	162
岩石圈的循环:岩石循环	163
地球历史中的板块构造运动	165
第 8 章 元素的循环:碳和营养元素循环	170
碳循环的系统方法	170
有用的概念:摩尔的概念	175
短期有机碳循环	176
深入探讨:氧含量最低区	179
长期有机碳循环	182
无机碳循环	184
有用的概念:pH	186
碳酸盐—硅酸盐地球化学循环	190
深入探讨:化学风化的生物增强作用	192
有机碳循环与无机碳循环之间的联系	193
磷循环和氮循环	193
第 9 章 聚焦生物圈:新陈代谢、生态系统和生物多样性	200
地球上的生命	201
生物圈的构成	203

生态系统	205
深入探讨:生长的生理学最佳条件和生态学最佳条件	206
生物多样性	211
相互作用的多样性	214
第 10 章 地球和生命起源	217
导论	217
深入探讨:地球年龄的确定	219
太阳系的形成	220
深入探讨:主序列恒星和赫罗 (Hertzsprung - Russell, H - R) 图	222
大气和海洋的形成	225
深入探讨:太阳系形成的 Nice 模型	226
生命的起源	228
深入探讨:氢气逃逸导致的大气氧化	228
深入探讨:生命起源前 O ₂ 的浓度	230
深入探讨:活着意味着什么?	231
深入探讨:生命的化合物	232
第 11 章 生命对大气的影响:大气中氧气和臭氧含量的上升	241
导论	241
生命对早期大气的影响	242
氧气含量的上升	246
有用的概念:铁的价态	249
深入探讨:非质量相关硫同位素比值及其对大气中氧气含量上升的启示	251
臭氧含量的上升	255
过去 20 亿年大气中氧气含量的变化	256
量化思考:碳同位素和有机碳的掩埋	260
对大气中氧气的现代控制	261
第 12 章 长时间尺度上的气候调节	268
导论	268
再论早期太阳暗淡佯谬	269
长期气候记录	276
量化思考:雪球地球的能量平衡模拟	281
深入探讨:生命是如何在“雪球地球”时期生存的?	283
显生宙大气中 CO ₂ 以及气候的变化	284
第 13 章 地球历史时期的生物多样性	293
生物多样性的化石记录	293
有用的概念:分类学	295
白垩纪—第三纪大灭绝的可能起因	301
深入探讨:白垩纪—第三纪奇爱 (Strangelove) 海洋	307
地外影响与灭绝	308

第 14 章 更新世冰期	314
更新世冰期的地质学证据	315
Milankovitch(米氏)旋回	318
量化思考:Kepler(开普勒)定律	319
量化思考:太阳和月亮对地球倾斜度和岁差的影响	322
冰河期气候反馈	324
深入探讨:随机共振与快速气候变化	334
第 15 章 全球变暖(一)近期和未来气候	339
导论	339
全新世气候变化	340
碳储库和通量	348
CO ₂ 清除过程和时间尺度	352
深入探讨:吸收 CO ₂ 的化学作用	354
对未来大气 CO ₂ 浓度和气候的预测	355
深入探讨:三维大气环流模型(GCMs)	361
深入探讨:CO ₂ 水平的长期预测	363
第 16 章 全球变暖(二)影响、适应与减缓	368
导论	368
海平面的变化	369
对生态系统的影响	372
全球变暖对人类的影响	374
对全球变暖的适应	375
减缓全球变暖的政策	377
全球变暖的经济后果	382
第 17 章 臭氧损耗	390
导论	390
紫外线辐射及其生物效应	391
臭氧垂直分布和气柱厚度	393
查普曼(Chapman)机制	395
氮、氯、溴的催化循环	398
臭氧损耗化合物的源和汇	399
南极臭氧洞	403
深入探讨:氟利昂和臭氧损耗之间的联系是怎样被发现的	403
中纬度地区臭氧层损耗的证据	407
制止臭氧损耗的机制	409
第 18 章 人类对生物多样性的威胁	415
导论	415
现代灭绝	418
深入探讨:热带森林砍伐的其他后果	422

我们为什么应该关注生物多样性 429

第 19 章 地球和类地行星的气候稳定性 436

 导论 436

 遥远未来的气候演变 437

 金星和火星的气候演变 439

 深入探讨:地球未来气候问题的地球工程学解决方案 439

 其他恒星周围的可居住行星 442

 德雷克 (Drake) 方程式 445

 确保我们的长期生存 451

附录 A 单位和单位换算 455

附录 B 温度换算 457

附录 C 元素周期表 458

附录 D 常用数据 459

专业术语表 460

索引 477

译后记 490