



面向 21 世纪 课 程 教 材  
Textbook Series for 21st Century

# 全 球 变 化

张兰生 方修琦 任国玉 编著



高 等 教 育 出 版 社  
HIGHER EDUCATION PRESS

## 内容简介

本书是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材和教育部理科地理学科“九五”规划教材,并被列入为国家教委重点教材。全球变化是目前全人类对地球知识关注的焦点。本书反映了当前全球变化研究的基本思想和最新研究进展,内容包括三部分:1. 介绍全球变化的概念、过程和驱动力,人类对全球变化的适应,以及全球变化的研究方法;2. 按过去、近现代和未来的时间次序,介绍各时间尺度上的变化特征,特别强调地球系统各部分在全球变化过程中的彼此联系,以及全球变化与人类的相互作用;3. 重点介绍影响我国现代环境特征的重大历史环境演变事件,长期人类活动对环境的影响,以及未来全球变暖背景下我国环境变化趋势及影响等。

### 图书在版编目(CIP)数据

全球变化/张兰生,方修琦,任国玉编著. —北京:  
高等教育出版社,2000 (2001 重印)

ISBN 7-04-008569-0

I. 全… II. ①张…②方…③任… III. 全球环  
境-变化-研究 IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 18130 号

全球变化

张兰生 方修琦 任国玉 编著

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

排 版 高等教育出版社照排中心

印 刷 北京外文印刷厂

开 本 787×960 1/16

版 次 2000 年 7 月第 1 版

印 张 22.25

印 次 2001 年 7 月第 2 次印刷

字 数 410 000

定 价 18.90 元

---

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等  
质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

# 前 言

自 19 世纪近代科学体系建立以来,形成了以研究地球某一部分为主的众多学科(如研究地球大气圈的气象学、研究岩石圈的地质学),人们通过对地球各个组成部分长达一百多年的研究,于近几十年更明确地认识到自然过程不仅仅局限在地球的各个圈层内部,而且也发生在各个圈层之间,从而对地球的各个组成部分之间的关联性有了更为深刻的认识。20 世纪 60 年代以后,海底扩张说兴起,使沉寂多年的大陆漂移学说重新复活并发展成为板块运动理论,与岩石圈演化有关的一系列地质现象从此得到了相互关联、协调一致的解释,第一次成功地回答了“地球是怎样活动的”问题。70 年代提出了气候系统的概念,气候在各个时间尺度上都存在变化的观点得到普遍认同,从天文因素解释第四纪冰期—间冰期旋回变化的米兰柯维奇假说因得到深海沉积等地质证据的支持而成为被广泛接受的理论。在此前后,生态系统和生物地球化学循环过程的重要意义也受到高度重视。至 80 年代提出了地球系统的科学思想,地球的整体性和动态变化性成了人们认识地球的新视角,并构成了全球变化研究的出发点。

人类是以主动地开发利用自然资源来创建支撑自身生存的人类生态系统作为其适应环境手段的。以工具和火的使用、农业的出现、文明社会的出现和工业革命为标志,人类在其发展历史上至少经历了四次飞跃,每次飞跃带来的对自然资源的认识和开发利用能力的提高都把人类的发展推进到新的阶段。工业革命以来,特别是近 50 年来,人类活动对自然环境的强烈影响已经达到足以导致整个自然系统发生变化的程度,成为引起环境变化的一个重要因素;人们已清楚地意识到,人类本身有意或无意的行为已有使地球环境趋向恶性发展以至于达到不可收拾的危险,人类活动所引起的环境变化已不再是局地性问题,人类正在以各种连自己还没能认识得很清楚的方式,根本性地改变使生命得以在地球上存在的各种系统和循环。另一方面,人类生态系统对自然环境的变化高度敏感,环境的任何变化都对人类的生存与发展产生影响甚至构成威胁,人们比以往任何时期都更为迫切地希望了解整个地球环境的行为规律,以及人类行为对全球环境整体行为的影响。对人类赖以生存的环境的关注,成为推动全球变化研究的一个巨大动力。

以系统科学理论、遥感观测技术、地理信息系统和现代化的分析测试手段的进步等为代表的科学技术的发展,增强了人们认识地球系统的能力,为进行全球

变化研究提供了强有力的理论和技术上的支撑。

总之,传统地球学科发展产生的由分到合的趋势、对人类活动在全球变化中作用的特别关注以及相关科学技术进步的发展,促成了全球变化研究的兴起。以国际地圈-生物圈计划(IGBP)、全球变化人文计划(IHDP)、世界气候研究计划(WCRP)等全球变化研究计划的组织实施为标志,全球变化已成为当前人类对地球知识关注的焦点,并正逐步发展成为一个跨越众多地球分支学科界线的独立学科。

全球变化是一种新的地球观,它以地球系统的概念为基础,从整体上研究地球系统在各个时间尺度上随时间的变化,集中研究那些把系统中所有部分紧密地联系在一起的、并导致系统发生变化的过程和机制。人类活动导致的全球变化及人类对全球变化的适应受到特别的关注。狭义理解的全球变化主要是指人类生存环境的恶化。

全球变化总是由一定的自然或人为的因素驱动,并通过一系列自然过程的变异来实现的,其结果导致地球系统状态随时间发生整体改变或部分调整,并表现为全球环境特征的时空变化。对于人类社会而言,全球变化意味着人类生存条件的变化,势必对人类产生有利或不利的影晌。为适应全球变化,人类必须认识全球变化,并采取相应的对策。上述诸方面及与此相关的数据和信息分析管理技术构成了全球变化研究的主要内容。

本书的目的在于揭示地球表层系统在不同时间尺度上的变化规律,以及人与环境相互作用的规律,帮助学生从时间维认识地理环境的过程、区域特征的形成,以及人地关系等问题,使学生建立起地理科学是时空耦合的综合科学的观念。认识全球变化通常可从两个彼此联系的途径入手,一是从全球变化的过程和驱动力出发,通过对全球变化主要过程的定量描述,建立模式,模拟给定条件下可能发生的全球环境变化,并与实际发生的变化进行对比验证。另一途径是从已发生的全球变化事实出发,通过分析各种全球变化现象之间的关系,推断可能导致变化的过程和驱动力。鉴于许多过程的研究尚在探索阶段,对全球变化的模拟结果与实际变化的解释尚有相当差距,同时考虑到本书的使用者主要是大学地理专业的学生,因此采用后一种途径组织全书的内容,即主要通过已发生的全球变化事实,理解全球变化的过程及地球系统的整体性特征,对全球变化的主要过程只作定性描述。这样编排便于理解地球系统各部分在全球变化过程中的彼此联系,有利于从整体上认识全球变化。

全书共10章,包括三部分内容。第一部分(第1~4章)主要介绍全球变化研究的原理与方法。第二部分(第5~9章)分别按过去、近现代和未来的时间顺序对全球变化进行介绍,尽管当前全球变化研究主要关注的是对人类和对生物圈影响最大、对人类活动最为敏感的几十年至几百年时间尺度的全球变化,但为

了对全球变化有更全面的理解,本书介绍的全球变化史(第5~7章)包括了地球诞生以来所有时间尺度上的重要变化过程。本着厚今薄古的原则,着重从第四纪人类出现以来各时间尺度上的变化历史认识全球变化的主要过程、成因机制、人类对全球变化的作用和人类对全球变化的适应等。在近现代全球变化中(第8章),主要介绍与人类活动密切相关的气候变化、海平面变化和陆地生态系统变化等内容。未来全球变化(第9章)介绍了当前普遍关注的全球变暖问题,包括可能气候情景与相应的海平面和陆地生态系统的变化、对人类的影响及人类所应采取的对策等。第三部分为全球变化在中国的表现(第10章),重点介绍青藏高原隆起对我国环境演变的影响,第四纪冰期-间冰期变化在我国的独特表现,人类活动导致的环境变化以及未来全球变化变暖背景下我国的环境变化趋势及影响等。

本书是师生两代在全球变化研究与教学领域近20年积累的结晶,它得以脱稿和交付出版,实际上是两位青年博士方修琦和任国玉努力的结果。在此20年中,全球变化研究发展之迅速是惊人的。20世纪80年代初期作者根据当时国际发展动向在北京师范大学开设《环境演变》课程时,有关全球变化的国际研究尚处开始酝酿阶段,“全球变化”一词尚未成为科学术语,可供教学参照的中外文献屈指可数。如今,全球变化研究已成为地球科学最热门的研究领域,吸引了地球科学界众多的精英,不仅有关全球变化的文献唾手可得,而且全球变化的新认识、新观念不断产生,学术界对全球变化研究的重心也发生了根本性的转变。全球变化研究的迅速发展无疑将推动21世纪地球科学的发展,并促进地理学特别是自然地理学发生革命性的变革,但这同时也增加了本书编写的难度。在本书筹划和编写过程中,作者虽数度修改计划和文稿,以求更好地体现全球变化的内容体系和全球变化研究的最新进展,但由于多方面因素的限制,直到书稿完成仍觉有许多不足与遗憾之处,有待日后改进,也诚请读者谅解并指正。

本书编写过程中参考引用了大量的文献和图件,其中绝大部分在文中注明,并在书后参考文献中列出,在此向这些文献的作者表示衷心的感谢。本书承蒙教育部列入“九五”重点教材编写计划并给予资助,高等教育出版社及黎勇奇编审对本书的编写给予了热情的支持与帮助,北京师范大学资环系资料室在文献资料方面提供了诸多方便,李令军同学帮助用计算机清绘了本书的图件,连鹏灵同学帮助进行了文稿校对。在此一并表示诚挚的谢意。

张兰生

1999.9 于北京师范大学

# 目 录

前言 .....	1
第一章 地球系统与全球变化 .....	1
第一节 地球系统 .....	1
第二节 全球变化与全球变化研究 .....	4
第三节 全球变化研究的历史、现状和趋势 .....	12
第二章 全球变化的主要过程与驱动力 .....	22
第一节 全球变化的主要过程 .....	22
第二节 全球变化的驱动力 .....	48
第三节 全球变化的概念模式 .....	67
第三章 全球变化的影响及人类的响应 .....	73
第一节 全球变化对人类的影响 .....	73
第二节 人类对全球变化的适应 .....	81
第四章 全球变化研究的主要途径 .....	88
第一节 过去全球变化的重建 .....	88
第二节 全球变化的动态监测 .....	110
第三节 全球变化的模拟 .....	112
第五章 全球自然环境的形成与演化 .....	122
第一节 主要圈层的演化 .....	122
第二节 全球自然环境的演化 .....	131
第六章 新生代衰落与第四纪全球变化 .....	142
第一节 新生代衰落 .....	142
第二节 第四纪冰期-间冰期变化 .....	148
第三节 冰期-间冰期之间的转换机制 .....	154
第四节 最后冰期最盛期的环境 .....	158
第五节 人类的演化与环境 .....	170
第七章 全新世及近 2000 年的全球变化 .....	179
第一节 全新世的气候变化与环境的响应 .....	180
第二节 全新世人与环境的相互作用 .....	195
第三节 2000 年来的环境变化及其影响 .....	210
第八章 近现代全球变化 .....	225
第一节 全球气候系统的变化 .....	225

---

第二节 生态系统的变化 .....	245
第九章 未来全球变化及其影响 .....	254
第一节 全球气候变化预测 .....	254
第二节 全球气候变化的可能影响 .....	261
第三节 全球海平面变化及其可能影响 .....	266
第四节 未来全球变化的复杂性与不确定性 .....	268
第十章 全球变化对中国的影响及其响应 .....	272
第一节 板块运动与巨地形格局的形成对环境演变的影响 .....	273
第二节 第四纪冰期-间冰期旋回的表现 .....	278
第三节 人类活动对自然环境的影响 .....	286
第四节 全球变暖的可能影响 .....	298
参考文献 .....	321

# CONTENTS

Preface .....	1
<b>1 Earth system and global change .....</b>	<b>1</b>
1.1 Earth system .....	1
1.2 Global change; conception and research focus .....	4
1.3 History and progress in global change research .....	12
<b>2 Processes and driving forces of global change .....</b>	<b>22</b>
2.1 Processes .....	22
2.2 Driving forces .....	48
2.3 Concept models .....	67
<b>3 Impacts and adaptations of global change .....</b>	<b>73</b>
3.1 Impacts .....	73
3.2 Adaptations .....	81
<b>4 Methods of global change research .....</b>	<b>88</b>
4.1 Reconstruction of past global changes .....	88
4.2 Monitoring .....	110
4.3 Modeling .....	112
<b>5 Formation and evolution of natural environment .....</b>	<b>122</b>
5.1 Evolution of the spheres of the Earth .....	122
5.2 Evolution of natural environment .....	131
<b>6 Past global changes in the Cenozoic era and Quaternary .....</b>	<b>142</b>
6.1 Cenozoic Decline .....	142
6.2 The Quaternary glacial and inter-glacial cycles .....	148
6.3 Mechanism of Ice Age and Inter Ice Age alternation .....	154
6.4 The Last Glacial Maximum .....	158
6.5 Global changes and Human evolution .....	170
<b>7 Past global changes in the Holocene and last 2 millennium .....</b>	<b>179</b>
7.1 Global changes in the Holocene .....	180
7.2 Interaction between human kind and global changes during the Holocene .....	195
7.3 Global changes and its impacts on the human beings during the last 2000 years .....	210
<b>8 Recent and present global changes .....</b>	<b>225</b>



---

8.1	Global climatic changes .....	225
8.2	Changes of ecosystems .....	245
9	<b>Global changes in the future</b> .....	254
9.1	Predication of global climatic changes .....	254
9.2	Possible impacts of global climatic changes .....	261
9.3	Global sea level changes and possible impacts .....	266
9.4	Complexities and uncertainties of future global changes .....	268
10	<b>Influence and regional response of global changes in China</b> .....	272
10.1	Influence of plate tectonic and mega-topographic texture on environmental changes .....	273
10.2	Unique response of the Quaternary glacial and inter – glacial cycles .....	278
10.3	Human impacts on environmental changes .....	286
10.4	Possible impacts of the global warming .....	298
	References .....	321

# 第一章 地球系统与全球变化

## 第一节 地球系统

在太阳系的成员中,地球已被证明占有非常特殊的地位:它是唯一有生物圈的星球;唯一有充裕氧气和液态水的星球;唯一经由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。

整个地球包括多个性质不同的圈层。从地心到大气层的最外层,可分为地核、地幔、岩石圈、水圈、大气圈、生物圈、人类圈等。在地球 45 亿年的演化历史过程中,各圈层在地球上出现的时间有先有后,每一个圈层本身都有各自的特点和运动、演化规律,构成一个复杂的子系统。19 世纪建立起来的近代科学体系中的地球学科,其各分支学科是以研究地球的某一部分为研究对象的,如研究大气圈的气象学、研究岩石圈的地质学、研究大洋的海洋学等。在对地球的各个组成部分进行了长达一百多年的研究之后,科学家们于近几十年形成的一个日益明确的认识就是,自然过程不仅仅局限在地球的各个圈层内部,而且也发生在各个圈层之间,如天气气候现象不仅与大气的状态有关,而且与海洋、冰雪、火山活动等其他圈层中的过程相联系。地球的各个组成圈层是相互联系的,每一个圈层在接受其他圈层影响的同时,也对其他圈层产生作用,各个圈层之间以一定方式相互作用组成更为复杂的子系统。地球系统是这些相互作用着的复杂的子系统的集合,而不是单个组成部分的堆积。

地球系统最简便的划分是分为地圈和生物圈。地圈是各种地球物理状态的整体综合,包括岩石圈(岩石)、表土层(土壤)、水圈(液态水和冰)以及从地球表面至上空 10km 的对流层到 10~50km 的平流层与更高的电离层所组成的大气圈(Freindman, 1985)。地圈可以进一步划分为以大气圈和水圈为主体的物理气候系统和以岩石圈为主体的固体地球系统两个基本部分。物理气候系统决定着地球表层水分和能量的交换和分布,形成全球的气候;固体地球系统决定着地壳的生消及其运动,形成地球的海陆分布格局与各种地貌形态。生物圈或称为全球生态系统,包括地球上全部生物和生命支持系统,它的空间范围从地表向上和向下一直延伸到任何形式的生命自然存在的地方。全球生态系统包括地球上多种多样的生态群落与生态系统。物理气候系统、固体地球系统、

全球生态系统分别调控着水循环、生物地球化学循环和固体地球物质循环三个循环子系统，并通过这三个彼此关联的循环系统将它们有机地联系在一起，成为一个整体（图 1-1）。

人类作为生命有机体，其活动范围限制在生物圈范围内（Harold Jacobson 等,1990），但人类具有主动地开发利用自然资源的能力，并藉此构建了性质独特的人类生态系统。人类生态系统是一个构建在固体地球系统、物理气候系统和自然生态系统之上，并作为水循环、生物地球化学循环和地球岩石圈循环过程的一个中间环节的系统，是地球系统的一个重要组成部分（图 1-1）。

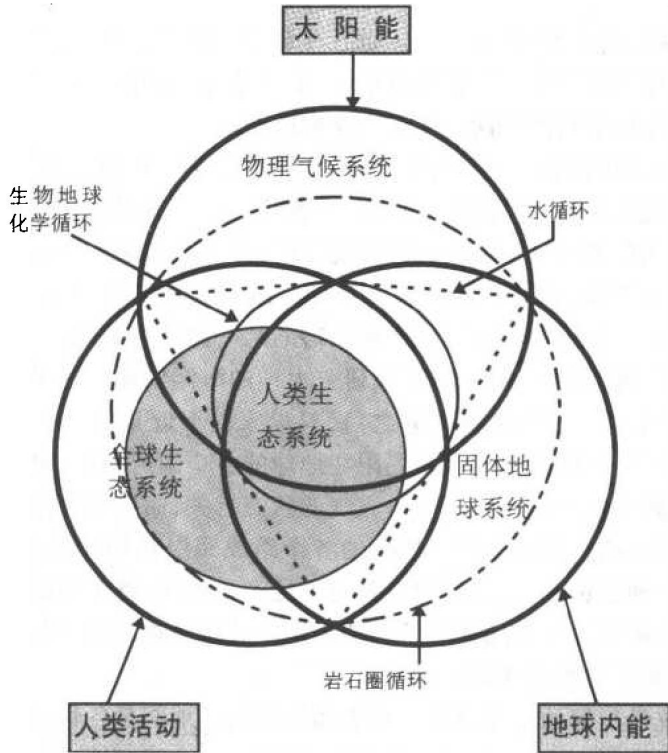


图 1-1 地球系统示意图

地球系统中物质和能量的转换与交换是通过一系列过程来实现的。这些过程按其性质可以分为物理过程、化学过程和生物过程三种类型。大气与海洋的环流运动及与此相联系的热量输送、水循环过程、地壳的垂直升降与水平推移过程均属于物理过程；岩石矿物的溶解、大洋中的碳酸盐沉积、大气中氧气的生成与消耗等，均属化学过程；而动植物的生长、繁殖过程，生物之间的捕食与被捕食过程等与生命活动相联系的过程，则属于生物过程的范畴。地球系统的过程是

地球系统中由物理、化学或生物学规律所支配的那些现象的集合。

地球系统中的物理过程、化学过程和生物过程是有机地联系的整体。植物通过光合作用的生物过程,将太阳能和大气中的碳固定在植物体内;通过植物的呼吸作用或是植物的燃烧,固定的碳和能量又被释放到大气之中。在这个过程中,太阳能被转化为化学能,进而被转化为热能,属于物理过程;碳是以不同的无机与有机化合物间转化的方式参加循环的,属于化学过程。上述生物过程与化学过程的结合构成了生物地球化学过程,这一生物地球化学过程对大气中  $\text{CO}_2$  的平衡起十分重要的作用。大气中的  $\text{CO}_2$  作为重要的温室气体对全球能量的收支平衡有重要影响,进而影响到全球气温和其他方面的物理过程。

不同的地球系统过程具有不同的时间尺度和空间尺度。时间尺度是指一个过程或一种现象所持续的时间长度,通常用  $10^n$  年表示;空间尺度是指一个过程或一种现象发生的空间规模,按空间规模的大小可分为局地尺度、区域尺度和全球尺度等。发生在各地球子系统内部和子系统之间的各种能量和物质输送过程跨越了很宽的时间尺度而发生在全球范围内(图 1-2),并在地球表层系统中留下深刻的烙印。

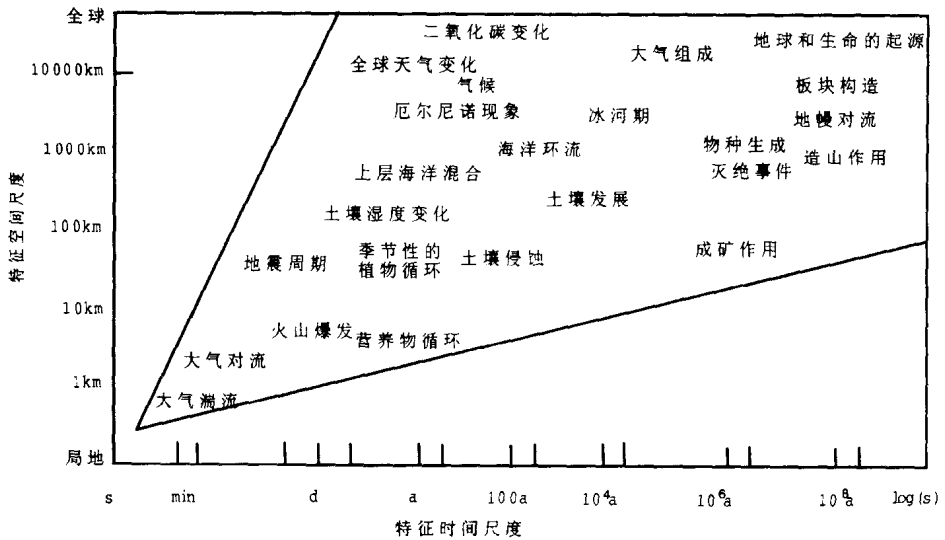


图 1-2 地球系统中过程的特征时空尺度(地球系统科学,1986)

不同时空尺度的过程之间存在着复杂的相互作用。例如,火山喷发是一个以天甚至小时来计算的局地性事件,但火山喷发物所产生的气候效果却可影响很大的区域,甚至达到全球的规模,其影响的持续时间可达几个月,甚至几年以上。

地球系统主要受两台“发动机”驱动:一台是地球外部由太阳和其他外力所

组成的,它所驱动的循环过程发生在臭氧层以下、岩石圈之上,它支持着发生在地球表面的各种过程的正常进行。一台是地球内部的“发动机”,主要由放射性和内部深处的原生热所驱动,由地球内力驱动的过程发生在岩石圈、水圈、大气圈内,它驱动着地球板块的运动,决定着地球海洋和陆地的分布。两类过程相互作用,在地球表层产生复杂的循环过程。人类在其发展进化的进程中,为了自身的生存和发展,逐步用由人类所驯化的植物与动物组成的生态系统以及几乎全部由人类自己构建的城市系统来替代自然生态系统,使人类生态系统逐渐成为地球环境中不可忽视的组成部分,由此成为影响地球系统状态、引起全球变化的一个重要因素(图 1-1)。

## 第二节 全球变化与全球变化研究

### 一、全球变化的科学内涵

地表环境的变化自地球诞生以来一直延续至今从不停止。现今发生在地球表面的全球变化包括地球环境中所有的自然和人为引起的变化,可以定义为全球环境(包括气候、土地生产力、海洋和其他水资源、大气化学及生态系统等)中的、能改变地球承载生命的能力的变化。现代全球变化概念的提出是一种新地球观形成的标志。其科学内涵可以概括为以下方面。

#### 全球观点与全球尺度

在全球变化中,全球的含义包括空间规模上的全球尺度和思想认识上的全球观点两个方面。所谓全球观点就是从地球系统的思想出发把地球看作一个整体,研究地球系统随时间的变化,集中研究那些把系统中所有部分紧密地联系在一起、并导致系统发生变化的过程和机制,而不是孤立地研究地球的不同组分和它的环境。因此以地球系统的概念为基础的全球变化显著地有别于那些建立在对地球各圈层研究基础之上的地球科学的传统的分支学科,全球变化研究超越了各分支学科的界限,是建筑在各分支学科基础之上的交叉研究。

所谓全球尺度是指过程或事件本身的空间尺度大约相当于地球半径以上,或虽然过程或事件本身的空间尺度没有达到上述规模,但其影响却是全球性的。

## 所有时间过程

所有时间过程包括所有时间范畴和所有时间尺度两个方面。

全球变化研究的目的是在所有时间范畴、所有时间尺度上认识地球的演化及其变化对人类社会的影响。全球变化研究不仅是为了揭示发生在过去的全球变化规律,更主要地是为认识现代正在进行的及未来将要发生的全球变化。全球变化过程跨越了不同的时间尺度,地球系统从 $10^0$ 年以下到 $10^9$ 年的各个时间尺度上均存在变化,全球环境的变与不变是相对于一定的时间尺度而言的。尽管当前国际全球变化研究关注的重点是对预报未来世纪全球环境有重要影响的几十至几百年尺度的变化,但认识全球变化规律需要了解所有时间尺度上的过程。

全球变化的主要时间尺度可以用五个不同的时段来定义:

几百万年至几十亿年。在最初的一亿年之内,地球很快形成,其后金属核(它产生磁场)明显地与其上的对流地幔和运动着的岩石圈隔离开。地球结构的演变、生命的演化及与此有关的现代大气化学成分的变化均是由几百万年或几十亿年尺度的过程决定的。

几千年至几十万年前。此时间尺度变化的典型例子是受地球轨道参数周期性变化所驱动的全球气候的冰期和间冰期的交替,以及与此相关联的大气成分、土壤的发育、生物种类区域分布的相应变化。

几十年至几百年。这一尺度的中心课题是物理气候系统及其与生命有机体,以及生物地球化学循环,尤其是营养物质的再循环之间的相互作用。那些对地球上某些生命形式构成威胁的变化——气候变化、大气化学成分变化、地表干燥度或酸度变化,以及地球和海洋生物系统的变化,均是此时间尺度上的重要问题,在未来的十至一百年间应予以认识和预报。

几天至几个季度。天气现象、洋流中的旋涡,极区海冰覆盖的季节增长和融化,地面径流和风化以及植物生长的年循环等,都受制于由日射年循环调节的时间尺度。大部分生物地球化学循环的反馈过程是通过为主要子系统提供能量的辐射过程的交替而发生的。

几秒到几小时。陆地、海洋、冰、大气和生物群落之间的质量、动量和能量通量全部由时间尺度小于一天的过程所支配。在陆地和海洋,这些过程以湍流输送作为介质而发生,而湍流输送本身又部分地受逐日加热循环的影响。

在上述五个时段中,几十年至几百年的中等时间尺度变化是全球变化研究的重点,在此时间尺度内的自然变化对人类有着重要的影响,而人类活动对全球过程的影响也最为显著。后两个短尺度的过程通常是大气、海洋等地学各传统

学科研究的领域,但发生在年际尺度上的异常扰动也是全球变化研究特别关注的问题。不同尺度之间存在密切的联系,较长时间尺度的变化是较短尺度变化的背景,较短尺度的变化有时是较长尺度过程的表现,如地震和火山爆发虽是一种瞬间表现形式,但这种灾难性事件的突然性掩盖着一个基本事实,这就是为积累使这种事件重复所需的能量需要有几十到几百年的时间,在固体地球内部进行长时间尺度的调整。某些较短尺度过程的非线性积累放大有可能引起更长尺度的变化。

## 人类的作用

由于人类活动影响的加剧,全球变化过程正以前所未有的速度加快进行,人类已经成为导致全球变化的营力之一。开展全球变化研究是人类社会所面临的挑战,狭义理解的全球变化主要是指人类生存环境的恶化。因此当前的全球变化研究特别关注的是对人类和对生物圈影响最大、对人类活动最为敏感的时间尺度为几十年至几百年的全球变化,以及作为这一尺度变化背景的几千至几万年尺度的变化。作为正在执行的关于全球变化研究的重大国际科学计划之一的国际地圈-生物圈计划(IGBP)就是旨在对地球系统进行动态的和多学科的研究,研究上述时间尺度的过去的变化和不确定性的未来。

## 二、全球变化研究的主要内容

全球变化研究的主要内容包括:全球变化的过程和驱动力、全球变化在时间和空间上的表现、全球变化对人类社会的影响,以及全球变化信息获取和分析等方面。

## 全球变化的过程和驱动力

全球变化总是由控制地球系统状态的某些因素的变化引起的,这些驱动因素可能来自于驱动地球系统运行的地球外力、地球内力和人类活动,也可能来自于地球系统内部各子系统的相互作用。根据全球变化驱动力的不同,可把全球变化区分为自然变化和人为变化两种类型。地球系统在各个时间尺度上均存在自然变化,这种变化自地球诞生之日起就开始存在并一直持续到今天,导致这种变化的营力来自于地球系统之外或产生于地球系统的自组织过程之中。另一类是人为因素作用于地球系统而引起的变化,包括由于人类土地利用所导致的土地覆盖的变化(如农田、牧场等人化自然替代纯自然景观,城市、交通线等人工自

然替代人化自然或纯自然),以及由于人类活动所引起的地球系统的状态和功能的改变。人类活动所引起的全球变化随着人类的发展进步而变得日益显著,如今人类活动所导致的全球变化在某些方面,在一定程度上已达到与自然变化相同量级的规模。全球变化是两部分变化的叠加。

全球变化都是通过一定的过程来实现的,表现为地球系统中某些关键性过程的变异,并通过这些过程的变异引起一系列的反馈过程,最终导致全球环境偏离原有的平衡状态,即发生全球变化。全球变化是地球各个组成部分——地核、地幔、岩石圈、水圈、大气圈和生物圈——之间相互作用和反馈的结果,是地球系统动力学过程的必然表现。任何时间尺度的变化都包含发生在各种时间尺度上的地球系统过程之间的相互作用,具有全球尺度的变化是地球各个子系统之间相互作用和反馈的结果。以  $\text{CO}_2$  的人为排放为例,它导致碳的生物地球化学循环过程的变化,使  $\text{CO}_2$  在大气中累积;大气  $\text{CO}_2$  含量的增加会导致大气温室效应增加,造成全球变暖;全球变暖又会引起水循环、生态系统等一系列过程与环境状态的改变。

全球变化的过程研究,就是要了解那些控制全球环境状态的关键过程,揭示这些过程的变化所导致的全球变化的内在机理,改进我们对地球系统过程的物理、化学、地质、生物和社会性质及其全球和区域尺度变化趋势的认识,从而为揭示全球变化规律、预测未来的全球变化奠定基础。当前所关注的主要过程包括:气候和水文循环过程、生态系统和生物地球化学循环过程、固体地球过程和人类对地球的影响过程等方面。

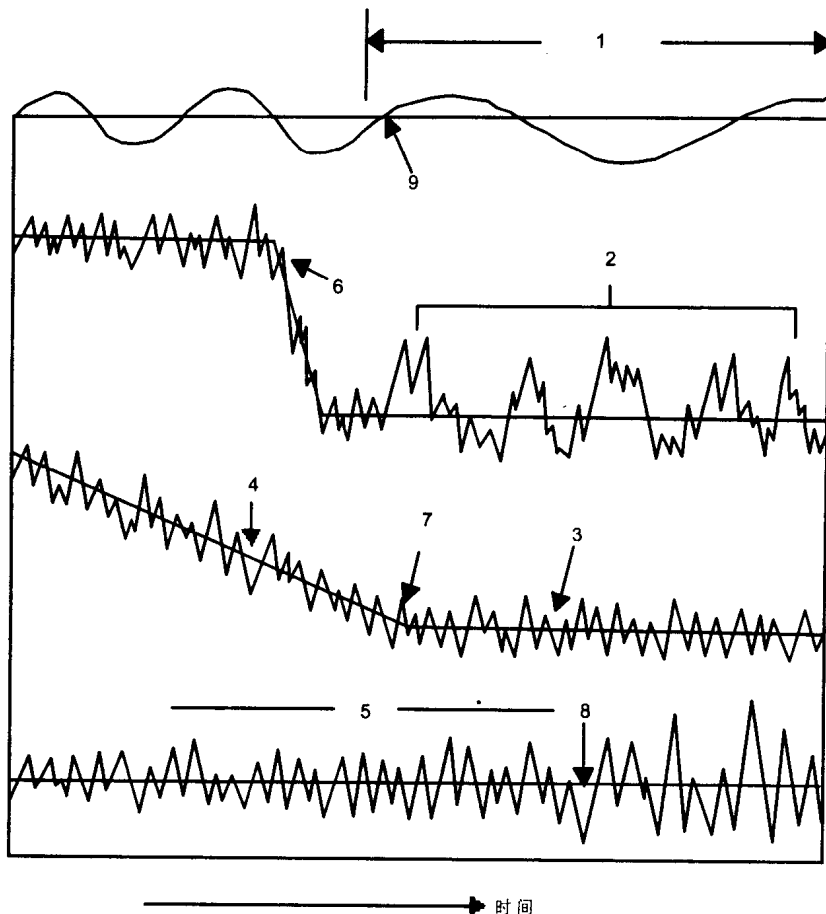
## 全球环境变化在时间和空间上的表现形式

全球变化意味着地球系统状态随时间的整体改变或部分调整,并最终表现为全球环境特征的改变。相对于物理气候系统、生态系统和固体地球系统等功能性系统而言,全球环境变化表现为系统状态的变化;相对于水循环系统、生物地球化学循环系统和沉积循环系统等过程性系统而言,全球环境变化表现为在不同的源(释放者)和汇(接收者)之间物质交换与贮存比例关系的变化。不论何种方式表现的全球环境变化,均是可检测或可感知的。

从时间过程上看,全球环境变化表现为一个时期环境的状态或其特征值较另一时期有明显不同。全球变化的时间过程可以由均值、周期、趋势、相对变率等许多参数来表征,其基本方式有两种,即环境围绕一个平衡状态的起伏波动;以及在短时间内由一种环境状态取代另一种环境状态的突变(图 1-3)。

全球变化可分为可逆性变化和不可逆性变化。严格地讲,环境的变化是不可逆的。但在一定时间尺度内,某些环境因素的变化可以认为是可逆的。准周





1-周期变化,2-准周期变化,3-平稳序列,4-均值趋势,5-相对变率变化,  
6-均值突变,7-趋势突变,8-变率突变,9-周期突变

图 1-3 在时间坐标上环境演变的基本表现形式(据 Hare, 1979 年修改)

周期性变化是可逆的,趋势性变化是不可逆的。气候系统的变化的可逆性最大,固体地球系统的演化大多是不可逆的。

区域分异是地球系统有序性在空间上的表现,地球系统的各组成要素在坐标位置不同的地球表层空间有不同的组合,从而形成具有不同环境属性特征的地理区域,每个区域内部有较高的一致性,相邻区域之间有明显的或逐渐过渡的分界线。

全球变化在不同地区均会有所反映,但不同地区响应全球变化的方式可以各不相同,可以存在着彼此不同的过程。例如,在全球总体增温的背景下,有些