

潘志华 郑大玮 ● 主编

气候变化科学

Introduction to Climate Change Science

导论



气象出版社

China Meteorological Press

气候变化科学导论

潘志华 郑大玮 主编

内 容 简 介

全球气候变化是当今人类社会面临的重大环境与发展问题,积极应对全球气候变化是人类社会可持续发展的迫切需要。本书从气候变化科学基础、气候变化过程与成因、气候变化影响、气候变化减缓、气候变化适应、气候变化研究方法等方面初步构建了气候变化科学的基本构架,系统总结了气候变化科学的研究进展,以期引导更多对气候变化感兴趣者深入研究气候变化问题,不断推进气候变化科学的发展。本书同时系统总结了中国的气候变化特征、气候变化影响及减缓与适应气候变化的进展与对策。本书既是一部介绍气候变化科学的知识读本,也是一部含有丰富历史数据资料的科学档案。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化科学导论/潘志华,郑大玮主编. —北京:气象出版社,2015.12

ISBN 978-7-5029-6294-4

I. ①气… II. ①潘… ②郑… III. ①气候变化-研究
IV. ①P467

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 290601 号

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总 编 室:010-68407112

网 址: <http://www.qxcbs.com>

责任编辑:王元庆

封面设计:易普锐

印 刷:北京京科印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

字 数:550 千字

版 次:2015 年 12 月第 1 版

定 价:68.00 元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:刘洪滨

责任技编:赵相宁

印 张:27

彩 插:8

印 次:2015 年 12 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

《气候变化科学导论》编委会名单

主 编:潘志华 郑大玮

副主编:王 靖 何奇瑾 张璐阳 王立为 董智强

编 委:(按姓氏汉语拼音字母顺序排序)

戴 彤 董智强 范锦龙 韩国琳 何奇瑾

赫 迪 潘志华 唐建昭 王 靖 王立为

王 娜 尹 红 张璐阳 郑大玮

前言

气候变化已是不争的事实。尽管气候变化的原因仍有待探索,但气候变化已经对全球自然与社会经济产生了重大影响,积极应对气候变化是人类社会可持续发展的迫切需要。加强气候变化知识的系统整理,让更多的人了解气候变化科学进展,研究气候变化科学问题对促进气候变化科学的发展具有非常重要的意义。

随着对气候变化问题的不断研究,包括气候变化科学基础、气候变化过程与成因、气候变化影响、气候变化减缓、气候变化适应、气候变化研究方法等内容在内的气候变化科学逐渐走向成熟。本书系统梳理了气候变化科学的产生背景、基础理论与研究进展,初步构建了气候变化科学的基本构架,以期引导更多对气候变化感兴趣者深入研究气候变化问题,不断推进气候变化科学的发展。

本书由潘志华、郑大玮策划与统稿,具体章节分工如下:第一章由潘志华、郑大玮编写;第二章由何奇瑾编写;第三章由张璐阳编写;第四章由董智强、潘志华编写;第五章由王立为、潘志华编写;第六章由郑大玮、潘志华编写;第七章第一节由尹红、王靖编写;第七章第二节由范锦龙编写;第七章第三节由韩国琳、潘志华编写;第八章由王靖、赫迪、王娜、戴彤、唐建昭编写。

本书的出版得到了中国气象局局校合作经费、国家公益性行业(农业)科研专项(201103039)、国家重大科学研究计划“973”项目(2012CB956204)、国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201506016)、国家科技支撑计划(2012BAD09B02)、国家自然科学基金项目(41271110、41371232)的资助。



这本著作的出版从一个侧面反映了气候变化科学作为一门前沿性新学科蓬勃发展的特点。因编者水平有限,加之时间仓促,对当前气候变化研究的某些重要内容可能考虑不周,希望广大读者提出宝贵意见,便于我们今后做进一步的修改。但我们相信,此著作的出版将有利于广大读者和科研人员进一步了解气候变化研究的基本理论、方法及其发展动态,有利于推动我国气候变化研究的不断深入,同时也有利于推动我国高校有关气候变化科学教学的普及与创新。衷心希望我国气候变化研究能走在世界前列。

编者

2015年9月

目录

◆前言

◆第 1 章 绪论	1
1.1 气候变化科学的产生	1
1.1.1 全球变化学的兴起	1
1.1.2 气候变化科学的产生	2
1.2 气候变化的内涵	3
1.3 气候变化的事实与归因	5
1.3.1 气候变化观测事实	5
1.3.2 气候变化的归因	7
1.4 气候变化科学研究进展	8
1.4.1 国际气候变化科学研究计划	8
1.4.2 气候变化科学研究的特点	11
1.5 气候变化科学的任务	13
1.5.1 气候变化科学的学科体系	13
1.5.2 气候变化学与其他学科的相互联系	14
1.5.3 气候变化科学研究挑战	14
1.5.4 我国气候变化科学面临的挑战与机遇	16
参考文献	17
◆第 2 章 气候变化的科学基础	18
2.1 气候系统	18
2.1.1 气候系统的组成	19

2.1.2 各圈层之间的相互作用	32
2.1.3 气候系统的物理化学过程	40
2.1.4 气候系统的基本特征	40
2.2 气候系统的能量平衡	43
2.2.1 太阳短波辐射	43
2.2.2 地球长波辐射	53
2.2.3 气候系统的辐射平衡	60
2.3 气候系统的水分循环	65
2.3.1 水的物理性质	66
2.3.2 水文方程	67
2.3.3 气候系统中的水	70
2.3.4 水分循环	72
2.3.5 气候系统的水分平衡	86
2.4 气候系统和气候变化	94
参考文献	95

◆第3章 气候变化过程与成因

3.1 地质、历史时期的气候变化	97
3.1.1 地质时期的气候	98
3.1.2 历史时期的气候变化	104
3.2 近百年全球和中国的气候变化	109
3.3 极端气候的变化	121
3.3.1 全球范围极端气候变化的事实及变化规律	123
3.3.2 我国极端气候事件的研究	125
3.3.3 极端天气事件的影响	130
3.4 自然过程与气候	131
3.4.1 天文因素对气候的影响	131
3.4.2 陆面过程对气候的影响	136
3.4.3 冰雪覆盖对气候的影响	146
3.5 人类活动与气候	151

3.5.1 人类活动对气候变化的影响	151
3.5.2 大气成分改变对气候的影响	155
3.5.3 下垫面性质改变与局地气候的形成	163
参考文献	174
◆第4章 气候变化影响	180
4.1 气候变化对世界各大洲影响概述	180
4.2 气候变化对自然生态与农牧业生产的影响	182
4.2.1 气候变化对地表形态特征的影响	182
4.2.2 气候变化对生物多样性的影响	183
4.2.3 气候变化对水文水资源的影响	185
4.2.4 气候变化对农业生产的影响	187
4.2.5 气候变化对草地畜牧业的影响	190
4.3 气候变化对社会经济的影响	192
4.4 气候变化对政治外交的影响	194
4.5 气候变化脆弱性及其评估方法	197
4.5.1 脆弱性的概念	198
4.5.2 脆弱性评估方法	199
4.6 气候变化风险预估	200
4.7 气候变化影响的综合评估	202
4.8 其他一些气候变化影响的评估方法	205
参考文献	207
◆第5章 气候变化减缓	214
5.1 温室气体及其气候效应	214
5.2 大气气溶胶及其气候效应	227
5.2.1 气溶胶来源及分布	227
5.2.2 气溶胶的气候效应	232
5.3 减缓气候变化的主要途径与技术	237
5.4 清洁发展机制与碳排放交易	243

5.4.1 清洁发展机制	243
5.4.2 碳排放交易	247
参考文献	254

◆第6章 气候变化适应	258
6.1 气候变化适应的意义	258
6.1.1 气候变化适应的提出	258
6.1.2 气候变化适应的定义	260
6.1.3 气候变化适应的意义	261
6.1.4 气候变化影响与适应研究存在的问题	263
6.1.5 气候变化适应的目标	265
6.1.6 国家适应气候变化战略的制定	265
6.2 气候变化适应的内涵与分类	267
6.2.1 气候变化适应的内涵	267
6.2.2 气候变化适应研究的层次与基本框架	268
6.2.3 适应行为的分类	270
6.3 气候变化适应的机制与技术途径	273
6.3.1 气候变化适应机制的类型	273
6.3.2 不同气候变化情景的适应策略与系统演化前景	275
6.3.3 基于系统反馈原理的适应技术途径	276
6.3.4 气候变化适应技术体系的构建	280
6.4 气候变化的风险管理	284
6.4.1 气候变化的风险和机遇	284
6.4.2 气候变化风险和机遇的综合评估	285
6.4.3 气候变化适应的风险和机遇管理对策	286
6.5 边缘适应及其应用	287
6.5.1 生态系统的边缘效应	287
6.5.2 边缘适应的提出	287
6.5.3 边缘适应的特殊意义	288
6.5.4 做好系统边缘适应应掌握的原则	288

6.6 气候变化适应的制约因素与阈值	289
6.6.1 气候变化适应的制约因素	289
6.6.2 受体系统适应气候变化的阈值	291
6.6.3 气候变化影响的不确定性对策	292
6.6.4 气候智能型农业与气候智能型经济	294
6.7 适应效果的综合评估	296
6.7.1 适应效果综合评估的思路	296
6.7.2 气候变化适应的成本分析	297
6.7.3 适应效果的综合评估	298
6.8 气候变化适应的案例	300
6.8.1 农业	300
6.8.2 水资源	301
6.8.3 旅游业	302
6.8.4 基础设施与重大工程	303
6.8.5 人体健康	303
6.8.6 交通运输	303
6.8.7 生态治理	304
参考文献	304

◆第7章 气候变化研究的主要方法..... 308

7.1 历史时期气候变化的重建	308
7.1.1 获取古气候资料的方法	309
7.1.2 树轮资料	309
7.1.3 历史文献资料	313
7.1.4 冰芯资料	314
7.1.5 石笋记录	315
7.2 遥感与地理信息系统在气候变化研究中的应用	315
7.2.1 遥感技术与全球气候变化研究	316
7.2.2 地理信息系统与全球变化研究	317
7.2.3 遥感和地理信息技术在全球气候变化研究中的应用实例	318



7.3 气候模式	326
7.3.1 大气环流模式简介	326
7.3.2 气候模式的发展	329
7.3.3 模式的应用	332
参考文献	334
◆第8章 中国气候变化及其影响、减缓与适应	342
8.1 中国气候变化的事实与特征	342
8.1.1 中国气候总体变化特征	342
8.1.2 不同区域气候变化特征	360
8.2 气候变化对中国的影响	364
8.2.1 气候变化对陆地生态系统的影响	364
8.2.2 气候变化对海岸带生态系统的影响	368
8.2.3 气候变化对湿地生态系统的影响	370
8.2.4 气候变化对水资源的影响	371
8.2.5 气候变化对其他领域的影响	372
8.2.6 气候变化对不同区域的影响	373
8.3 中国减缓气候变化行动	379
8.3.1 中国减缓气候变化的战略框架	379
8.3.2 中国减缓气候变化的主要对策	383
8.3.3 中国减缓气候变化的国际合作行动	390
8.4 中国适应气候变化行动	393
8.4.1 总体形势	393
8.4.2 目标和要求	394
8.4.3 各行业适应气候变化行动	395
8.4.4 区域适应行动	404
8.4.5 适应对策和保障措施	411
参考文献	413
◆附:正文中对应的彩图	421

第1章

绪论

近百年来,全球气候经历了一次以变暖为主要特征的显著变化。全球气候变暖与人类活动密切相关。自工业革命以来,人类过度使用煤炭、石油和天然气等化石燃料,排放出大量的温室气体是导致全球气候变暖的主要原因,而大面积的森林砍伐和草原破坏则加剧了全球气候变暖的进程。全球气候变暖对人类社会产生了全方位、多尺度和多层次的影响,受到了人类社会的关注,成为全球共同关注的热点问题。随着科学技术水平日新月异的发展,人类对全球气候变化问题的认识不断深入。

1.1 气候变化科学的产生

1.1.1 全球变化科学的兴起

全球变化科学(Global change science)作为一门新兴交叉学科,是随着全球环境问题的加剧和人类对全球变化认识的不断深入而发展起来的。全球变化科学是研究地球系统整体行为的一门科学,它把地球的各个层圈(如大气圈、水圈、岩石圈、冰冻圈和生物圈)作为一个整体,研究地球系统在过去、现在和未来的变化规律以及控制这些变化的原因和机制,从而建立全球变化预测的科学基础,并为地球系统的管理提供科学依据。

20世纪以来,全球出现了包括大气污染、温室效应、臭氧层损耗、土地退化、水体污染、海洋环境恶化、森林锐减、生物多样性减少、垃圾成灾、水资源减少、矿产资源枯竭、人口迅速增长等一系列环境问题,对人类社会可持续发展产生了重大影响。全球变化科学的产生和发展是人类为解决全球性环境问题的需要,也是科学技术向深度和广度发展的必然结果。今天,全球环境问题的严重性主要在于人类本身对环境的影响已经接近并超过自然变化的强度和速率,正在并将继续对人类未来的生存环境



产生长远的影响。这些重大全球环境问题已经远远超过了单一学科的范围,迫切要求从整体上来研究地球环境和生命系统的变化,从而提出了地球系统的概念。全球变化学的理论基础是地球系统科学,它是研究地球系统各组成部分之间的相互作用,以及发生在地球系统内的物理、化学和生物过程之间的相互作用的一门新兴学科。科学技术的发展,特别是卫星遥感等观测技术的发展,为人类提供了对整个地球系统行为进行监测的能力;计算机技术的发展为处理大量的地球系统的信息,建立复杂的地球系统的数值模式提供了工具。

1980年,“世界气候研究计划(WCRP)”启动。1982年,国际测量与地球物理协会(IUGG)加兰(G. D. Garland)首次提出了地球系统科学的概念。1983年,美国科学院物理、数学、资源委员会主席弗里德曼(H. Friedman)第一次提出全球变化(Global change)的概念。1984年,国际科学理事会(ICSU)副主席马隆将全球变化研究付诸实现,组织实施了以研究地球系统的生物化学过程为主要内容的“国际地圈-生物圈计划(IGBP)”,该计划又称“全球变化研究计划”,成为全球变化科学研究史的重要里程碑。到20世纪90年代又陆续开展了“国际生物多样性计划(DIVERSITAS)”、“国际全球环境变化人文因素研究计划(IHDP)”等一系列重大国际研究计划。

全球变化学源于传统地球科学,但已产生质的飞跃(表 1.1)。

表 1.1 全球变化科学与地球科学的区别(朱诚 等,2006)

学科	地球科学	全球变化科学
研究对象	以地球各部分为研究对象	以地球整体为研究对象
研究计划	以认识各部分的结构、演化,尤其是过去的变化为目标	以相互作用过程及未来变化和预测为目标
学科间联系	地球科学各部分之间的联系	地球科学与生命科学、社会科学的联系
研究内容	自身过程的研究	人与地球系统的相互作用
学科属性	自然科学	自然科学与社会科学的交叉

1.1.2 气候变化科学的产生

伴随着全球变化科学的发展,气候变化科学得到了快速发展。气候变化(Climate change 或 Climatic change)的理念在20世纪初期就已经出现。在这一时期及此前的气候变化主要指地质历史时期或仪器观测的气候记录的变化,较少关注气候变化对人类的影响。美国地理学家亨廷顿1907年的《亚洲的脉动》(Huntington, 1907)是关于气候变化对文明影响最早的著作。1941年美国农业部出版的农业年

报,以气候变化为题专门阐述气候变化的渊源和影响问题,在关注地质历史时期的气候变化基础上,发展了气候变化的概念,提出在地质历史时期气候的变化是正常的,并开始关注现代气候变化在不同区域的表现,对健康以及对农业各方面的影响(Department of Agriculture, United States, 1941)。

1975年,“气候系统”作为一个科学概念被科学界接受,标志着气候变化不再仅是与气候学有关的科学问题,而是一个多学科、跨学科的科学主题,与气象学、海洋学、地质学、冰川学、生物学和新技术等诸多学科有着密切联系,但此时气候变化仍是属于自然科学领域的名词。在20世纪后半叶,是气候变化研究不断深入、研究方法不断发展、成果不断积累的时期,气候变化的研究领域不断扩展,逐步从大气科学领域向交叉领域发展。

自20世纪80年代开始,随着国际社会对全球环境问题的日益关注,以及在《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)框架下逐步发展的全球一体的气候变化减缓行动,使气候变化跨越科学的界限,成为与政治、外交、经济、健康等密切相关的复杂主题,气候变化、温室气体、全球变暖等已经成为全球妇孺皆知的公共问题甚至政治核心问题。1979年第一次世界气候大会呼吁保护气候;1988年,政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)的成立;1990年、1995年、2001年、2007年、2014年IPCC先后发表五次气候变化评估报告,不断推进气候变化的新认识;2007年10月12日,当挪威诺贝尔委员会宣布将2007年度诺贝尔和平奖授予致力于气候变化科学评估的政府间气候变化专门委员会和致力于传播气候变化知识的美国前副总统戈尔时,气候变化问题无疑成了当今世界的最强音。更多的国家、组织和公众已经汇集到应对气候变化挑战的旗帜下,“在气候变化超出人类的控制之前,人类必须立即行动起来了”。

气候变化是全球变化的核心问题。伴随着全球问题的日趋严重,气候变化科学迎来了发展良机,得到迅猛发展。

1.2 气候变化的内涵

气候变化学源于气候学。研究气候特征、形成和变化的学科是气候学,它是大气科学的一个重要分支。气候学依据它的发展有狭义和广义之分(国家气候变化对策协调领导小组办公室/中国21世纪议程管理中心,2004)。狭义的气候学通常被定义为平均天气或在某一长时期的平均天气状态,更严格的是用这一长时期内对有关变量的平均值或变率从统计上来表征气候。广义的气候学指气候系统的状态及其变化,包括平均气候状态和气候变化与变率(Climate change and variability)。由以上定义可见,随着科学的发展,气候从一个局部的、低层大气特征的概念已转变为全球气候系

统的概念。气候学的研究对象也自然而然地扩展为全球气候系统。

科学地讲,气候变化是指气候平均状态和离差(距平)两者中的一个或两者一起出现了统计意义上的显著的变化。离差值增大,表明气候变化的幅度越大,气候状态不稳定性增加,气候变化敏感性也增大。图 1.1 以温度为例说明气候变化与平均值变化或离差值变化的关系。如图 1.1 所示,假定某一地区或地点的温度在多年平均条件下呈正态分布。在平均温度处出现的概率最大,偏冷和偏热的天气出现的概率较小。极冷或极热的天气(一般在 2 倍标准差(σ)以上)出现的可能性很小或没有。假如由于气候变暖的作用,平均值增加了某一数值(图 1.1(a)中水平箭头向右移动),这时偏热天气出现的概率将明显增加,并且原来从不出现的极热天气现在也可以出现了(见上图的最右端,现在也具有一定的概率值,虽然很小);相反,偏冷天气出现的概率将大大减少。图 1.1(b)则说明平均值不变,但离差增加后,会造成更多的偏冷或偏热天气,更多的极冷或极热天气,可以看到这几类天气的出现概率都比先前气候条件下的出现概率增大了。图 1.1 不但说明了气候变化可以由气候平均值或离差的变化引起,而且也清楚地说明了气候变化与极端天气事件出现的关系。此外,气候要素或现象发生的概率分布的变化,也是气候变化的重要特征之一。

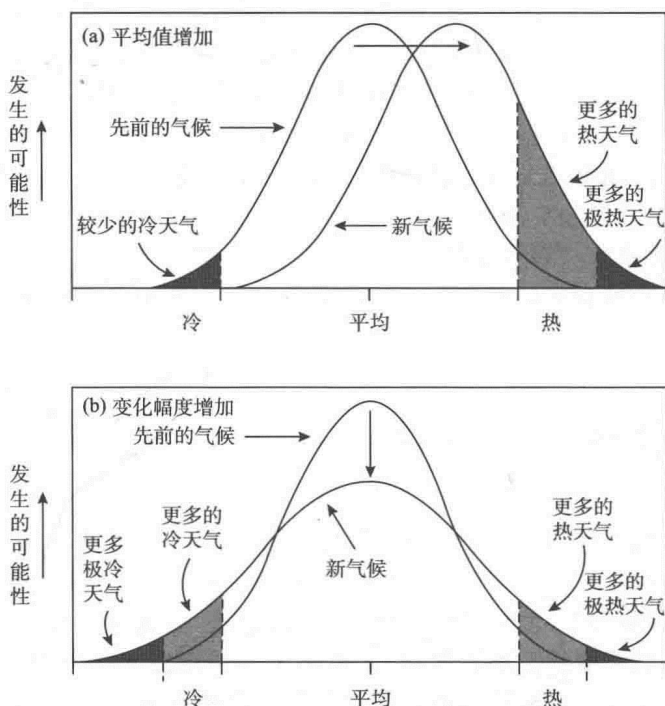


图 1.1 气候变化与气候平均值(a)和变化幅度(b)之间的关系
(横坐标代表温度,纵坐标代表出现概率)(Houghton, 2001)

造成气候变化的原因有很多。概括起来分为自然的原因和人类活动的原因。根据引起气候变化原因的不同,对气候变化的定义也不同。政府间气候变化专门委员会(IPCC)定义的气候变化是指气候随时间发生的任何一种变化,不论它是由自然的变率造成,还是人类活动的结果。但《联合国气候变化框架公约》中使用的气候变化定义则专指由人类活动直接或间接引起的气候变化。这种人类活动是通过改变全球大气成分而影响全球气候的,由此造成的气候变化是叠加在相同时期的自然气候变率之上的。

1.3 气候变化的事实与归因

1.3.1 气候变化观测事实

2013年9月,政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告第一工作组发布最新研究成果认为,气候系统变暖毋庸置疑。自1950年以来,观测到的许多变化在近百年乃至是上千年都是前所未有的:大气和海洋已变暖,积雪和冰量已减少,海平面已上升,温室气体浓度已增加。

(1)地表气温升高(图1.2)。过去的三个十年连续比之前自1850年以来的任何一个十年都偏暖(图1.2)。在北半球,1983—2012年可能是过去1400年中最暖的30年。全球平均陆地和海洋表面温度的线性趋势计算结果表明,在1880—2012年期间温度升高了 0.85°C (0.65°C 至 1.06°C)。在有足够完整的资料以计算区域趋势的最长时期内(1901—2012年),全球几乎所有地区都经历了地表增暖。

(2)降水变化(图1.3)。1901年以来,北半球中纬度陆地区域平均降水已增加。对于其他纬度,区域平均降水的增加或减少的长期趋势不明显。

(3)极端天气与气候事件增加。约自1950年以来,已观测到了许多极端天气和气候事件的变化。很可能的是,在全球尺度上冷昼和冷夜的天数已减少,而暖昼和暖夜的天数已增加。在欧洲、亚洲和澳大利亚的大部分地区,热浪的发生频率可能已增加。与降水减少的区域相比,更多陆地区域出现强降水事件的数量可能已增加。在北美洲和欧洲,强降水事件的频率或强度可能均已增加。

(4)海水温度升高。在全球尺度上,洋面附近的温度升幅最大,1971—2010年期间,在海洋上层75 m以上深度的海水温度升幅为每十年 0.11°C (0.09°C 至 0.13°C)。

(5)冰川面积缩小。过去20年以来,格陵兰和南极冰盖已经并正在损失冰量,几乎全球范围内的冰川继续退缩,北极海冰和北半球春季积雪面积继续缩小(图1.4)

(6)海平面上升。19世纪中叶以来的海平面上升速率比过去两千年的平均速率高。在1901—2010年期间,全球平均海平面上升了 0.19 m (0.17 m 至 0.21 m)(图1.4)。