

| 气候变化经济过程的复杂性丛书 |

经济相互作用与产业进化下 全球经济和气候保护问题研究

顾高翔 王 铮◎著



科学出版社

气候变化经济过程的复杂性丛书

经济相互作用与产业进化下 全球经济和气候保护问题研究

顾高翔 王 铮 著

国家重大基础研究计划 (973) (No. 2012CB955800)

国家自然科学基金 (No. 41501130)

联合资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一本关于气候-经济集成评估模型建模和应用的著作。它从全球气候变化和国际经济一体化的角度出发,构建了一个新的气候-经济集成评估模型。该模型以多国多部门一般均衡模型为经济核心,包含了多种内生技术进步机制、国际资本流动模式、全球碳循环模型、气候-经济反馈机制,以及相应的气候政策设计和制定模块。在模型的基础上,本书对未来全球及世界主要国家的经济发展、产业国际分工和产业结构演化,以及碳排放趋势进行了预测,研究和分析了不同国际资本流动格局和技术进步速度对于世界经济发展和碳排放的影响,并对碳税政策和结合知识资本投资策略的碳税政策的经济影响和碳减排作用进行了综合评估。

本书可供国家和各地区决策者,以及政策模拟和气候变化政策领域的研究人员参考,也可供经济学、管理学、地理学等学科的高年级本科生和研究生参考或作为基础教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

经济相互作用与产业进化下全球经济和气候保护问题研究/顾高翔,王铮著. —北京:科学出版社,2015.11

(气候变化经济过程的复杂性丛书)

ISBN 978-7-03-046190-2

I. ①经… II. ①顾…②王… III. ①国际经济-研究②气候环境-环境保护-研究 IV. ①F113②X16

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第260635号

责任编辑:万 峰/责任校对:张小霞

责任印制:徐晓晨/封面设计:北京图阅盛世文化传媒有限公司

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京科印技术咨询服务公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年11月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2015年11月第一次印刷 印张:19

字数:436 000

定价:129.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《气候变化经济过程的复杂性丛书》序

气候变化经济学是新近 20 年才被认识的学科，它是自然科学与社会科学结合的产物，旨在评估气候变化和人类应对气候变化行为的经济影响与经济效益，并且涉及经济伦理问题。由于它是一个交叉科学，气候变化经济学面临很多复杂问题。这种复杂问题，许多可以追踪到气候问题、经济问题的复杂性。这是一个艰难的任务，是一个人类面临的科学挑战，鉴于这种情况，科技部启动了国家重大基础研究计划（973）项目：气候变化的经济过程复杂性机制、新型集成评估模型簇与政策模拟平台研发（No. 2012CB955800），我们很幸运接受了这一任务。本丛书就是它的序列成果。

在这个项目研究中，我们将围绕国际上应对气候变化和气候保护的政策问题，展开气候变化经济学的复杂性研究，气候保护的全球策略与比较研究，气候变化与适应的全球性经济地理演变研究，中国应对气候变化的政策需求与管治模式研究。项目将在基础科学层次研究气候变化与保护评估的基础模型，气候变化与保护的基本经济理论、伦理学原则、经济地理学问题，在技术层面完成气候变化应对的管治问题以及气候变化与保护的集成评估平台研究与开发，试图解决从基础科学到技术开发的一系列气候变化经济学的科学问题。

由于是正在研究的前沿性课题，所以本序列丛书将连续发布，并且注重基础科学问题与中国实际问题的结合，作为本丛书主编，我希望本丛书对气候变化经济学的基础理论和研究方法有明显的科学贡献，而不是一些研究报告汇编。我也盼望着本书在政策模拟的方法论研究、人地关系协调的理论研究方面有所贡献。

我有信心完成这一任务的基础是，我们的项目组包含了第一流的有责任心的科学家，还包揽了大量勤奋的、有聪明才智的博士后和研究生。

王 铮

气候变化经济过程的复杂性机制、新型集成评估模型簇
与政策模拟平台研发首席科学家

2014 年 9 月 18 日

前 言

气候变化的影响，是全球性的，应对气候变化的经济影响，也是全球性的。全球气候变化经济学的集成评估模型，就是这样的一个模型，而这个模型的研究，成为了人类需要攻克的难题。可惜的是，限于我所见，相应的全球模型在研究国际合作减排或者说全球治理方面，存在缺陷，即往往不能考虑国际经济的相互作用，虽然后来我们和一些学者探索了国际经济相互作用的模型，但是并没有考虑全球经济的一般均衡，也没有充分考虑技术进步和产业演化；另一方面，基于 GTAP，一些学者发展了气候保护的经济影响评价模型，但是这些模型在刻画碳循环机制方面和经济动力学方面有所不足，遗憾的是这些模型似乎成为主流的技术经济模型；而引领气候经济学评估的 RICE 模型，又缺少了关于具体产业的评估，这样的模型模拟的结果，较多地存在偏离实际的经济现实的可能性，不能有效揭示某些全球气候治理政策可能导致的全球经济系统失衡乃至引发全球经济危机，因为一个正常的经济系统，它必然保持在经济的一般均衡点附近，这是看不见的手决定的。在 2015 年 7 月巴黎的气候变化学术会议上，我们和一个来自瑞典的学者都尖锐地提出了这个问题。正如本书书名反映的，人类需要回答经济相互作用与产业进化下国际经济和气候全球治理问题。

2012 年科技部授命我们课题组开展新型的 IAM 研究，因此我组织吴静、刘昌新、顾高翔为骨干，分别而又合作完成了具有不同分析功能的 IAM。本书是在我指导下由顾高翔为技术骨干完成的 CIECIA 系统的科学内容。这些内容包括怎样建立一个气候变化经济学的 IAM 的基本路线，一个全球气候经济学 IAM 系统的具体结构，以及研究得到的全球碳排放的治理的政策结论。这项研究是一项自主科学研究，因为我们必须从模型开始，最终完成一个软件系统。我们最终研究开发完成了软件系统 CIECIA。为了完成这项研究，科技部指定中国工程院院士丁一汇先生给以指导，丁一汇先生的意见有效地指导了模型，原科技部长徐冠华院士多次给以指导，并且赠送了他的著作《建设创新型国家》，鼓励我们完成具有自主知识产权的创新。值此出版机会，特表谢意。

值得一提的是，完成这本书时，我想起从 2012 年我们课题组开始研究气候变化经济学的集成评估模型时，全球气候变化及其治理下的全球经济问题一直是个难题，最初我们引用 Mundell-Fleming Model 的 GDP 溢出模型与 Nordhaus-Yang（杨自力）建立的 RICE 结合。然而，我们不能保证模拟得出的经济政策，不会刺激经济危机，而 2012 年全球性的经济危机刚刚过去，那年我刚刚访问了位于底特律的韦恩州立大学（Wayne State University，简称 WSU），面对底特律的破落，韦恩大学的学者向我们提出一系列问题。当时经济系统平衡的问题困扰着我们，一年过去了，这个问题一直没有找到突破点，而我又在此时病倒了。幸运的是，就在我病倒之前，2013 年年初，我看到了 Jin（金刻羽）博士在 AER 上发表的关于全球经济模型的论文，我感到这就是我们所需要的一个模型基础。实际上，此前，我们课题组王铮，吴静，刘昌新等完成了对

Nordhaus-Yang 建立的气候变化经济学评估的 RICE 模型的发展研究, 这些发展工作包括碳循环模型、内生技术进步模型, 将这些工作与 Jin, Yang 的工作结合起来, 再改进我们早期发展的知识溢出模型, 就有可能克服目前 IAM 模型的不足, 而由这个模型分析得出的全球气候经济学治理策略, 可以避免模型得出的政策刺激经济危机。这时, 为了反映不确定作用强大的技术创新作用, 我指导学生龚轶下完成了一个产业进化的动力学模型的研究。不幸的是, 这时我病到了, 在这种情况下, 我在病床上开始指导顾高翔的博士论文研究新型的 IAM, 而顾高翔和石莹同学也在上海边做论文边协助我妻子照看了我。在这个过程中, 顾高翔付出了辛勤的劳动, 并且开展了程序编写, 最终, 他完成了他的博士论文及 CIECIA 的原型。本书就是根据顾高翔博士论文集成创新的成果撰写并由我最后修定的。我们高兴的是, Yang, Wu, Liu, Jin, Gu, 这是一系列的中国姓氏, 这表明我们中国人, 无论功成名就的海外华人还是在国内辛苦的劳动者, 在参与气候变化的全球治理方面, 是积极付出的。

本书是以顾高翔博士论文为基础完成的, 所以顾高翔是本书无可置疑的第一作者。我作为本项研究工作的责任人、系统开发的共同探讨者以及顾高翔博士论文的修改者, 按通讯作者模式名字放在后面, 以强调承担有关责任。在本书反映的工作开展的过程中, 中国科学院科技政策与管理科学研究所政策模拟研究室的全体同志, 精诚团结, 共同讨论, 互相取长补短, 对这些同志, 我在此表示衷心的感谢。

王 铮

2015 年 11 月 2 日于中关村

目 录

《气候变化经济过程的复杂性丛书》序

前言

第 1 章 引论	1
1.1 全球气候变化经济概述	1
1.1.1 气候变化的成因和对世界的影响	1
1.1.2 人类应对气候变化采取的措施的经济影响	4
1.1.3 当前世界的碳排放形势及其经济表现	5
1.2 从气候变化模型到气候变化经济学模型	8
1.2.1 IAM 概述	9
1.2.2 DICE、RICE 和 MRICES 模型系列及其不足	13
1.3 本书研究内容和文章结构	16
1.3.1 本书研究内容	16
1.3.2 本书结构	17
第 2 章 CIECIA 的模型构建	18
2.1 经济系统	18
2.1.1 生产行为	19
2.1.2 市场出清与均衡条件	20
2.1.3 储蓄行为	23
2.1.4 投资模式	24
2.1.5 技术进步	28
2.2 气候系统	30
2.2.1 碳核算模块	31
2.2.2 气候反馈模块	31
2.2.3 碳税政策模块	32
2.2.4 全球碳循环系统	35
2.3 模型数据来源与参数估计	37
2.3.1 国家与产业部门划分	37
2.3.2 数据来源	38
2.3.3 数据估计	44
2.4 小结	46
第 3 章 动态模拟系统的开发与设计	47
3.1 系统需求分析	47
3.2 系统逻辑设计	47

3.3	系统详细设计	49
3.3.1	系统模型的求解	49
3.3.2	系统主体流程设计	52
3.3.3	一般均衡经济系统设计	54
3.3.4	全球碳循环系统设计	54
3.3.5	数据库设计	55
3.4	系统实现	56
3.4.1	初始化过程	56
3.4.2	系统模拟过程	58
3.4.3	数据统计与分析	58
3.5	小结	59
第4章	气候变化下的多国经济发展、产业国际分工与碳排放研究	60
4.1	各国经济增长分析	60
4.1.1	各国 GDP 增长	62
4.1.2	人均 GDP 增长	64
4.1.3	累积效用增长	66
4.2	各行业国际分工格局变化分析	67
4.2.1	农业国际分工趋势	68
4.2.2	食品加工业国际分工趋势	69
4.2.3	能源开采与加工业国际分工趋势	70
4.2.4	金属及其他矿业国际分工趋势	71
4.2.5	轻工业国际分工趋势	73
4.2.6	化学工业国际分工趋势	74
4.2.7	重工业国际分工趋势	74
4.2.8	建筑业国际分工趋势	75
4.2.9	商贸零售业国际分工趋势	76
4.2.10	交通运输业国际分工趋势	77
4.2.11	金融保险业国际分工趋势	78
4.2.12	其他服务业国际分工趋势	79
4.2.13	产业间的比较	80
4.3	各国产业结构变化分析	85
4.3.1	中国产业结构变化趋势	85
4.3.2	美国产业结构变化趋势	86
4.3.3	欧盟产业结构变化趋势	88
4.3.4	日本产业结构变化趋势	89
4.3.5	俄罗斯产业结构变化趋势	91
4.3.6	印度产业结构变化趋势	92
4.3.7	其他发达国家产业结构变化趋势	93

4.3.8 高发展国家产业结构变化趋势	94
4.3.9 中发展国家产业结构变化趋势	95
4.3.10 低发展国家产业结构变化趋势	96
4.4 各国能源使用与碳排放趋势分析	99
4.4.1 各国总能源使用与碳排放	99
4.4.2 各国累积碳排放量	101
4.4.3 各国人均碳排放	103
4.4.4 各国累积人均碳排放量	104
4.4.5 碳排放的洛伦兹曲线	106
4.5 各国各部门能源使用趋势	107
4.6 全球气候变化分析	111
4.7 小结	112
第5章 多国经济相互作用下的国际资本流动研究	114
5.1 资本流动模式对各国经常账户余额 GDP 占比的影响	114
5.1.1 基准情景下各国经常账户余额 GDP 占比	115
5.1.2 情景 A1 下各国经常账户余额 GDP 占比	117
5.1.3 情景 A2 下各国经常账户余额 GDP 占比	118
5.2 资本流动模式对各国 GDP 的影响	120
5.2.1 情景 A1 下各国 GDP 变化趋势	120
5.2.2 情景 A2 下各国 GDP 变化趋势	122
5.3 资本流动模式对各国产业结构变化的影响	124
5.3.1 情景 A1 下各国产业结构变化趋势	125
5.3.2 情景 A2 下各国产业结构变化趋势	129
5.4 资本流动模式对各国碳排放的影响	133
5.4.1 情景 A1 下各国碳排放变化	134
5.4.2 情景 A2 下各国碳排放变化	136
5.5 小结	137
第6章 经济与碳减排过程中的技术进步研究	139
6.1 过程技术进步对碳减排的影响	139
6.1.1 过程技术进步对全球气候变化的影响	139
6.1.2 过程技术进步对各国碳排放的影响	142
6.1.3 过程技术进步对各国各部门能源使用的影响	151
6.2 知识资本投资对经济和碳减排的影响	161
6.2.1 知识资本投资对全球气候变化的影响	161
6.2.2 知识资本投资对各国经济发展的影响	164
6.2.3 知识资本投资对各国产业结构变化的影响	172
6.2.4 知识资本投资对各国碳排放的影响	177
6.2.5 知识资本投资对各国各部门能源使用的影响	187

6.3 小结	197
第7章 全球性碳税政策研究	199
7.1 不同碳税税率研究	199
7.1.1 碳税对全球气候与经济的影响	200
7.1.2 碳税对各国经济影响	202
7.1.3 碳税对各国产业结构影响	211
7.1.4 碳税对各国碳排放影响	220
7.2 不同碳税返还机制研究	231
7.2.1 碳税返还机制对各国经济影响	233
7.2.2 碳税返还机制对各国产业结构的影响	239
7.2.3 碳税返还机制对各国碳排放影响	245
7.3 技术进步对碳税政策的影响	252
7.3.1 技术进步作用下碳税对各国经济的影响	255
7.3.2 技术进步作用下碳税对各国产业结构的影响	259
7.3.3 技术进步作用下碳税对各国碳排放的影响	264
7.4 小结	269
第8章 总结与讨论	271
8.1 总结	271
8.1.1 基准情景模拟结果	272
8.1.2 国际资本流动研究模拟结果	272
8.1.3 技术进步研究模拟结果	273
8.1.4 碳税政策模拟结果	273
8.2 讨论	274
参考文献	276
附录	288
附录 A: 国家/地区与部门划分	288
附录 B: 基准情景校验	289

第 1 章 引 论

1.1 全球气候变化经济概述

1.1.1 气候变化的成因和对世界的影响

全球气候变化与气候保护的经济学问题已经成为最为广泛讨论的热点问题之一，也是最具挑战性的问题，并日渐成为人们共同关心的重大社会问题（Gardiner and Hartzell-Nichols, 2012）。全球气候变化的成因可分为自然影响和人类活动影响两部分。其中，自然因素的影响包括太阳辐射的变化、宇宙沙尘浓度的变化、地球轨道的变化、大陆漂移、洋流和海冰的改变、山地隆升对大气环流和环境的影响、大气中温室气体和气溶胶含量的变化，以及火山爆发、天体撞击等，在学界存在诸多假说，反映了气候变化的自然驱动力；而近 100 年来，全球气候变化在其自然变化的基础上明显叠加了人类活动的贡献，超过了气候自然波动范围（Hay et al., 2002；张强等，2008）。《联合国气候变化框架公约》（*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC）将全球气候变化定义为，在可比较的时期内观察到的，除了自然气候变异之外，由人类活动直接或间接造成全球大气构成的改变（UNFCCC, 2010）。当前，全球气候变化中最主要问题是全球气候变暖，以及由此带来的一系列经济、社会和环境问题。

1. 气候变化成因与人类经济活动

人类经济活动产生的温室气体排放对全球变暖，特别是近年来在自然变化趋冷的背景下的全球气候变暖负有主要责任（Lashof and Ahuja, 1990），这一结论在过去 20 年中逐渐成为共识。温室气体中，化石燃料燃烧排放的 CO_2 是人类活动造成气候变暖的主要驱动力（丁一汇，2008），对全球变暖负有超过 3/4 的责任，影响最大；其他的温室气体则包括甲烷、一氧化二氮、氟氯烃。大气中过量的温室气体与气溶胶，以及太阳辐射和陆地表面特性的改变影响了气候系统的能量平衡，从而影响大气的辐射强迫，引起大气温度的上升（IPCC, 2007）。这一过程由 Petit 等（1999）通过分析南极东方站（Vostok）获取的冰芯，研究过去 42 万年大气 CO_2 和甲烷的集中度与南极大陆气温的相关度得到证实。

Vitousek（1994）指出，人类对能源的消费已经导致大气 CO_2 集中度急剧上升，从 1800 年的 280ml/L 上升到 355ml/L。Nordhaus 和 Popp（1997）指出，人类活动增加了大气中温室气体的含量，使得大气 CO_2 当量浓度较工业化前上升了 0.5 倍，由此加剧了大气的温室效应。Thomas（2000）研究了过去 1000 年的气候变化成因，认为在工业革命前，全球气候变化的主要原因是，太阳辐射强度改变和火山喷发等自然因素；而工业革命后，全球气候变化的主要原因变为人类活动排放的温室气体。据政府间气候变化

专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 《第三次评估报告》(IPCC AR3, 2001) 估计, 由人类活动导致的观察到的近 50 年全球变暖现象的可能性为 66%, 而在 IPCC 第四次评估报告 (IPCC AR4, 2007) 中, 这一可能性提高到了 90% 以上。Stern (2007) 指出, 当前已经有压倒性的证据证明是由人类活动导致了全球变暖, 而温室气体排放是气候变化最主要的原因。IPCC 《第四次评估报告》(IPCC, 2007) 则明确指出, 自 1750 年以来, 全球大气的 CO_2 、甲烷和一氧化氮的浓度由于人类活动出现显著的上升, 当前已经远超过工业革命前的水平, 其中 CO_2 浓度的上升主要归因于化石燃料的使用和土地利用的变化, 而甲烷和一氧化氮浓度的上升则主要是由于人类的农业生产。丁一汇 (2008) 进一步将人类活动对气候变化的影响总结为 4 个方面: 第一, 化石燃料燃烧排放的 CO_2 等温室气体通过温室效应影响气候; 第二, 农业和工业活动排放的甲烷、二氧化碳、一氧化二氮、PFC、HFC、 SF_6 等温室气体也通过温室效应增强气候变暖; 第三, 土地利用变化导致的温室气体源/汇的变化和地表反照率变化进一步影响气候变化, 包括森林砍伐、城市化、植被改变和破坏等; 第四, 环境污染中排放的气溶胶, 尤其是硫化物与黑炭气溶胶等引起了气候变化。

Stern (2008) 对由人类生产、生活行为造成全球气候变化的过程做了简要的描述: 第一, 人类依据其消费和生产决策排放温室气体; 第二, 这些排放增加了大气温室气体的含量, 温室气体在大气中的滞留率与包括地球碳吸收能力在内的各种反馈机制有关; 第三, 大气中的温室气体捕捉热量, 导致全球变暖, 升温的幅度则与“气候敏感性”有关; 第四, 全球变暖的过程导致气候变化; 第五, 气候变化主要通过水的各种形式影响人类、植物和其他物种, 风暴、洪水、干旱和海平面上升。其中, 温室气体主要是通过改变大气的辐射强迫来改变大气温度。由人类活动所排放的温室气体是造成当前全球气候变化, 引起全球温度不断上升的主要原因。当前, 人类正遭受由过去温室气体排放所带来的不良后果, 而当前温室气体的排放将对未来造成灾难性的后果 (Stern, 2008)。

2. 气候变化的自然影响

全球气候变化对整个地球的自然环境带来严重的影响, 引发一系列生态问题。IPCC-AR3 (2001)、IPCC-AR4 (2007) 和 IPCC-AR5 (2013) 的研究结果显示, 全球温度上升速度越来越快, 导致诸如积雪层和海冰面积减少、海平面升高、极端天气和旱涝频发等生态问题, 其中一些生态问题本身对全球气候变化具有直接或间接的反馈作用, 使得气候变化加剧 (McCorcle, 1988; Rounsevell et al., 1996)。大气温度的上升会使得大气持水能力加强, 导致降水的季节分配趋于极端, 季节流量对全年流量的比例失调, 并使降水的分布更加不均匀, 使得极端降水事件发生的概率增大 (丁一汇, 2008)。海平面的上升则受气温上升导致的热膨胀和冰川融化双重因素的影响, 其中, IPCC-AR4 认为 1993~2003 年, 热膨胀贡献了 50% 左右的全球海平面上升。Hay 等 (2005) 研究认为 1900~1990 年全球海平面上升幅度为 $1.2 \pm 2\text{mm/a}$ (90% 置信区间), 而从 1993~2100 年, 全球海平面的上升幅度达 $3.0 \pm 0.7\text{mm/a}$ 。Vermeera 和 Rahmstorf (2009) 依据不同的全球碳排放情景、碳循环响应机制和气候模型设计了 342 种情景, 研究认为到 2100 年, 全球的海平面上升幅度为 1~2m。

由地表温度上升所带来的全球自然气候和环境的改变对整个地球生物圈带来了巨大的影响,如土壤微生物结构变化、植物的开花和发芽时间提前、珊瑚出现白化、鸟类迁徙活动规律改变、海洋生物的分布范围的变化,以及生物之间生态网络联系的改变(Rounsevell et al., 1996; Menzel 和 Estrella, 2001; Bairlein and Winkel, 2001; Holbrook et al., 1997; Southward et al., 1995; Hoegh-Guldberg, 1999; Walther, 2002)。

全球气候变化所引发的生态问题,同样会对人类的健康产生危害(Patz 2001; Stern, 2008)。全球气候变化到目前为止,使得人类遭受热浪袭击的概率提高了两倍,导致大量死亡(Kilbourne, 1997; Allen and Lord, 2004; Stott et al., 2004);引发洪涝灾害及灾后的传染病暴发(Malilay, 1997; Trevejo et al., 1998; Ko et al., 1999);引发旱灾使得全球面临饥荒的危险(Warren, 2006);造成疟疾等媒介传播疾病的泛滥(Gubler et al., 2001);由风暴潮带来了海岸淡水盐化问题(McCarthy et al., 2001; Patz, 2001)。

3. 气候变化对经济发展的影响

如果缺乏对温室气体排放的控制,全球环境将进一步恶化,从而影响世界经济的增长,这是由于任何社会和经济活动都是以环境为基础的(Stern, 2007)。

气候变化对各国经济影响的研究已持续 20 多年,产生了大量针对单一国家的研究、针对较大尺度地区的研究和针对全世界经济影响的研究,包括 Smith 和 Tirpak (1989) 对美国的研究,Parry 和 Duncan (1995) 对英国的研究,Kuoppamaki (1996) 对芬兰的研究,Nishioka 等 (1995) 对日本的研究、CRU/ERL (1992) 对欧盟的研究、亚洲发展银行 (Asian Development Bank, ADB, 1992) 对亚洲的研究,Strzepek 和 Smith (1995) 对非洲、拉丁美洲和亚洲的研究,以及 Fankhauser (1995) 和 Tol (1995) 对全世界的评估等。气候变化对经济的影响具有非常明显的地域/部门差异,学界普遍认为发展中国家缺乏相应的金融资本、应对机构和技术能力以像发达国家一样充分适应全球气候的变暖,因此,其因气候变化遭受的损失必然会大于发达国家(Reilly et al., 1994)。

Nordhaus (1991)、Cline (1992) 和 Fankhauser (1994) 对大气 CO_2 集中度较工业化前提高一倍 ($2\times\text{CO}_2$) 情况下的美国各部门的 GNP 损失进行了估计: Nordhaus 认为,美国的海岸部门 GNP 损失将最为严重,在此情景下美国将损失 1% 的 GNP; Cline 则认为农业和能源业损失最为严重,总 GNP 损失率为 1.3%; Fankhauser (1994) 的研究结果表明,湿地和物种损失,以及健康和舒适度的损失最大,而总 GNP 损失率为 1.3% (Nordhaus, 1993)。Callaway 等 (1994) 估算得到在升温 2.5°C 的情况下,美国的林业将损失福利 250 万~620 万美元/a。Pearce (1991) 的研究结果表明, $2\times\text{CO}_2$ 情况下世界 GDP 将损失 1.5%~2%,而发达国家的 GDP 损失为 1%~2%,发展中国家为 2%~9%,明显高于发达国家。Fankhauser and Tol (1997) 总结了 Fankhauser (1995) 和 Tol (1995) 的研究结果,基于 Pearce (1991) 的方法计算了 $2\times\text{CO}_2$ 情况下世界 GDP 变化情况,其研究发现,在 $2\times\text{CO}_2$ 情况下,全世界的真实

GDP 将损失 1%~2%，平均损失率为 1.8%；OECD 国家的真实 GDP 将损失 1%~4%，平均损失率为 1.9%；而发展中国家和经济转型国家的真实 GDP 将损失 0~7%，平均损失率为 1.8%，其中，非洲、南亚和东南亚，以及中东地区的 GDP 损失率较高，其平均损失率将分别达 6.9%、5.3% 和 5.5%；此外，对于中国，CO₂ 浓度的上升对其经济生产造成的损失占总损失的比例将高达 5.46%。Tol (2002a) 研究发现，全球升温 1℃ 会使除 OECD 国家、中国、中亚地区以外的地区 GDP 受损，由此导致世界平均 GDP 损失 3%。Hitz 和 Smith (2004) 认为地表升温达 3~5℃ 时，所有生产部门都会受到负面影响。Warren (2006) 的研究表明，全球升温 2℃ 会使农业部门的产出大幅下降，由此造成全球性饥荒的危险。

1.1.2 人类应对气候变化采取的措施的经济影响

由人类活动导致的全球变暖对生态环境和人类社会的经济发展造成了严重的危害。越来越多的人开始意识到气候变化可能会造成严重的或不可逆转的破坏风险，因此，必须采取一定的措施以阻止、减缓和适应由全球变暖造成的气候变化。减缓气候变化措施指的是采取一定的措施控制由温室气体排放引起的气候变化的人类活动及其累积影响，防止人类活动对气候系统的危险干涉 (IPCC-AR5, 2013)。

面对当前全球变暖的现实，减少人类活动过程中温室气体的排放是最直接的减缓措施 (刘昌新, 2013)。气候变化中，碳排放的驱动力极为复杂，包括人口、收入、经济结构、消费模式、投资决策、技术水平、可获得能源资源类型等 (IPCC-AR5, 2013)。碳排放的驱动因素地域间的差别极大，而气候变化对各国的经济影响同样具有极大的差别，这就加剧了碳减排问题的复杂性。因此，世界范围内的碳减排合作和气候保护活动需要经过严格的科学论证、研究和讨论。

为了对气候变化成因、其潜在环境和社会经济影响，以及可能的对策进行科学的研究、分析和评估，世界气象组织 (World Meteorological Organization, WMO) 和联合国环境规划署 (United Nations Environment Programme, UNEP) 于 1988 年建立了政府间气候变化专门委员会 (IPCC)，在全面、客观、公开和透明的基础上，组织相关专家对全球范围内有关气候变化及其影响、气候变化减缓和适应措施的科学、技术、社会、经济方面的信息进行评估。到目前为止，IPCC 报告已成为国际社会认识和了解气候变化问题的主要科学依据，对气候变化国际谈判产生了重要影响。

1992 年通过的《联合国气候变化框架公约》明确了气候保护的目标为“将大气中温室气体的浓度稳定在防止气候系统受到危险的人为干扰的水平上”。《联合国气候变化框架公约》根据各国的发展情况将缔约国分为三类，显示了气候保护行动中“共同但有区别的责任”原则。IPCC 于 1995 年发布了《第二次评估报告》(AR2)，对气候变化的科学问题、气候变化影响，以及减缓对策做了进一步的阐释，为两年后《京都议定书》谈判做出了贡献 (丁一汇, 1997)。1997 年签订的《京都议定书》是国际气候谈判的重要里程碑，标志着气候变化国际谈判进入实质性的阶段；以量化指标和具体时间落实了发达国家所应承担的更多的责任和义务，规定发达国家到 2008~2012 年温室气体排放量比 1990 年减少 5.2%，其中，欧盟、美国和日本应分别减少 8%、7% 和 6%；而没

有为发展中国家规定减排义务。由于全球性的气候保护工作必然涉及多国之间的相互合作,因此 IPCC-AR5 (2013) 认为,促使达成《京都议定书》这样的多国气候保护协议的国际外交手段在温室气体减排中起着至关重要的作用。

自《联合国气候变化框架公约》正式生效以来,联合国至今一共召开了 19 次气候变化框架公约缔约方会议,其缔约方目前已达 196 个。进入 21 世纪以后,各国在气候大会上争论的重点开始转向实质性的各国承诺的具体减排目标和世界各国的合作减排方面,各国对于温室气体的减排问题都持较为积极的态度。2009 年的哥本哈根气候大会后,有 55 个国家在截止日期前提交了减排承诺 (UNFCCC, 2010; 王勤花, 2010; Xie, 2011)。2012 年的德班会议决定正式启动“绿色气候基金”,成立基金管理框架。

尽管哥本哈根会议、坎昆会议和德班会议最终都达成了相关的减排协议,但是各国之间,尤其是发达国家和发展中国家之间对于减排的目标和责任仍然存在非常大的分歧。德班气候会议中,一些发达国家在德班会议中拒绝延长其在《京都议定书》第二期中的减排承诺,除非发展中国家,至少是主要发展中国家接受对等的温室气体减排责任,而发展中国家则宣称发达国家需要对其巨大的历史排放负责,发展中国家尚需要应对高比例的贫困问题。其中,中国、印度等主要新兴发展中国家认为本国的高排放量是由于所处的经济发展阶段和庞大的人口基数,并要求发达国家履行承诺,对发展中国家提供资金和技术支持 (Hedegaard and Kololec, 2011; Hu and Monroy, 2012)。

因此,尽管当前气候变化的形势非常严峻,采取适当的应对措施已经迫在眉睫,而且人类社会对于气候变化的危害也已经有了较为深刻的认识,但是出于自身眼前经济利益的考虑,许多国家(尤其是发达国家)拒绝承担温室气体减排责任,推卸减排义务。由于量化温室气体减排政策在短期内必然会对执行国家的经济发展造成影响,而这一影响又存在较大的不确定性;此外,对于全球气候变化的变化幅度及其对各国经济的实质性危害的估计也存在一定的不确定性,使得许多国家不愿意为采取减排措施而使自身的经济利益受到目前还无法准确预计的损失,影响本国的经济发展。这就造成发达国家和发展中国家之间、气候变化敏感地区(极不发达地区和岛国联盟)和气候变化不敏感地区在减排责任和目标上较大的分歧。当前,这种分歧正逐渐危害到国际减排的合作,为实现气候保护目标蒙上了一层阴影。

本书认为,世界各国在全球碳减排问题上的分歧和争论就其本质而言是一个涉及多方的经济损失分摊和经济利益分配的问题。因此,构建一个全球的经济—气候综合模型,寻找合理的、充分考虑减排参与国经济利益的气候保护方案,能够为国际气候谈判提供科学的依据,化解各国家/集团之间在碳减排问题上的矛盾,因此,具有重要的现实意义。

1.1.3 当前世界的碳排放形势及其经济表现

自 AR4 发布以来,从人均碳排放量来看,全世界的总碳排放量继续上升,其中 UNFCCC 附件 1 中的发达国家碳排放量接近于发展中国家的 4 倍,但是发展中国家的总碳排放量已经超过了附件 1 中的发达国家 (IPCC-AR5, 2013)。全球碳排放仍然极不平衡,全世界碳排放量最大的 10 个国家(包括发达国家和发展中国家,其中欧盟 27

国看作一个国家)的碳排放量达到了世界碳排放量的70%(IPCC-AR5, 2013)。

图1.1显示了EIA给出的2000年到2011年全世界与各国的碳排放量统计数据。从中可以看到,全世界在这一时期,除2008~2009年金融危机外,其余年份都呈现碳排放量增长的趋势。其中,中国的增长速度最快,从2000年的3272Mt CO₂ (million metrictons of CO₂, MtCO₂)上升到2011年的8715 MtCO₂,翻了一倍多;而印度也从2000年的991百万吨CO₂上升到2011年的1726MtCO₂,翻了将近一倍。而美国、欧盟各国和日本的碳排放量较为稳定,到2005年后均处于小幅下降的趋势。

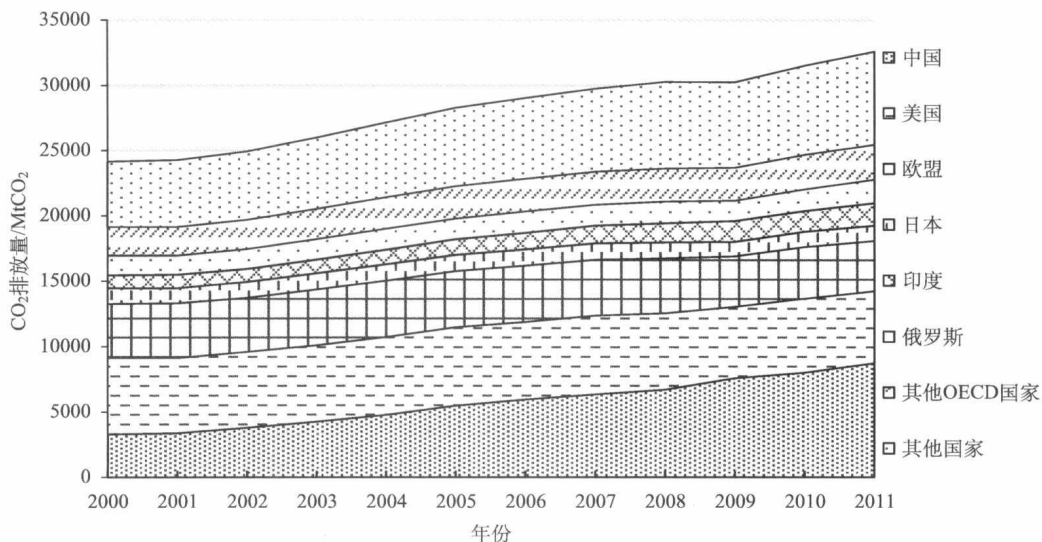


图 1.1 2000~2011 年全世界与各国 CO₂ 排放量 (数据来源: EIA^①)

而从2005年和2010年各国的碳排放量占比来看(图1.2),占比上升幅度最大的国家为中国,其次是印度。2010年发展中国家(中国、印度和世界其他国家)碳排放量的占比较2005年上升了7个百分点。这表明以中国、印度为代表的新兴经济体的碳排放量正在快速上升,成为了世界主要碳排放国。但是,由于发展中国家人口基数较高,所以,折算到人均碳排放量,发达国家仍然远远高于发展中国家。

从2000~2011年各国碳排放来看(图1.3),各国家/地区间每单位GDP碳排放量的差距较大。其中,发达国家的碳排放强度普遍较小,到2011年均低于0.5tCO₂/千美元,而俄罗斯、中国和印度的碳排放强度要远高于发达国家,其中,中国到2011年的能源强度仍高于2tCO₂/千美元,超过美国的4倍。

从碳排放强度的变化趋势来看,除中国和俄罗斯起伏较大外,其余各国都呈现较为稳定的下降趋势,而中国在2005年之后也是呈现出下降的趋势。俄罗斯的情况比较特殊,其2007年后,碳排放强度反而出现上升,但其从2000年开始的整体碳排放变化趋势仍然是下降的。

① EIA. <http://www.eia.gov/>.

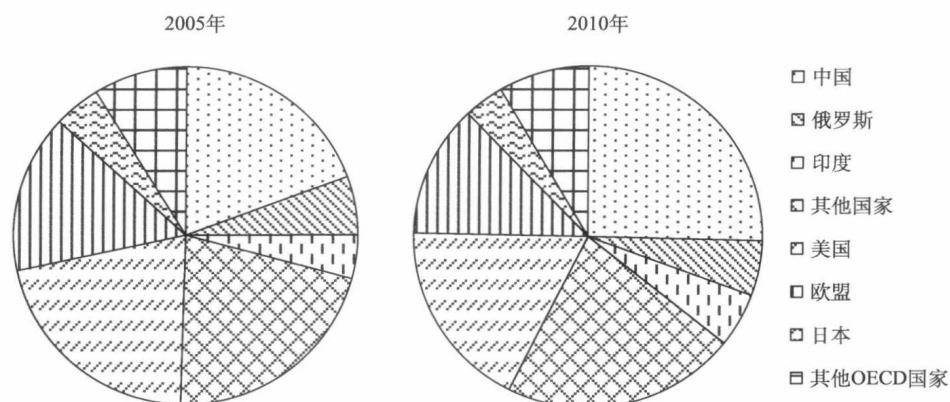


图 1.2 2005 年和 2010 年各国碳排放量占世界总碳排放量百分比（数据来源：EIA）

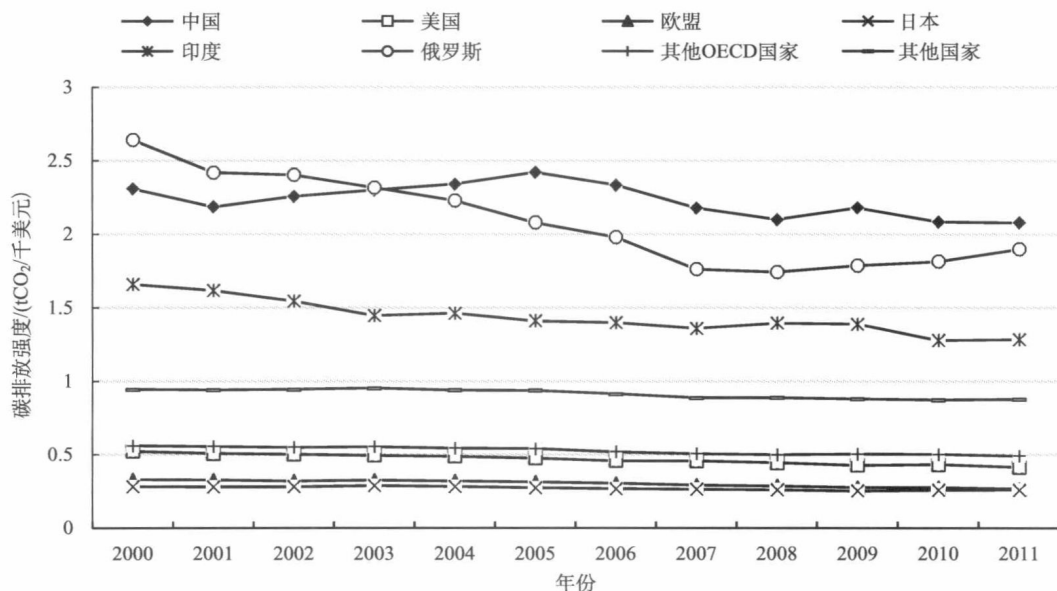


图 1.3 2000~2011 年各国碳排放强度

从当前世界各国碳排放的趋势可以看到，发达国家由于经济发展较为成熟，碳排放量处于较稳定至缓慢下降的状态；而中国、印度等新兴经济体则处在经济快速发展阶段，其碳排放量增长速度较快，绝对量也已接近甚至超过发达国家，在当前世界的碳排放格局中已占有了重要地位，但是其人均碳排放量仍然远小于发达国家。因此，关于碳排放量高速增长的新兴经济体的减排责任已经成为当今气候谈判中争议最大的一个问题，引起了发达国家和发展中国家之间激烈的争论。

从碳排放强度的趋势来看，发达国家基本处于稳步下降的趋势，而中国和俄罗斯的碳排放强度变化仍然较为剧烈。此外，发展中国家的碳排放强度要远高于拥有较先进低碳技术的发达国家，其碳排放强度具有较高的下降空间。从这个角度看，发达国家承诺