

| 气候变化经济过程的复杂性丛书 |

全球气候变化下的 国际经济格局与碳排放政策研究

原 嫒 李国平 孙铁山◎著



科学出版社

气候变化经济过程的复杂性丛书

全球气候变化下的国际经济格局 与碳排放政策研究

原 媛 李国平 孙铁山 著

国家重大基础研究计划（973）（No.2012CB955800）资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一本关于气候变化背景下国际经济格局演化与主要大国气候谈判对策分析的著作。作为“气候变化经济过程的复杂性丛书”的一部分,本书聚焦于区域碳排放在经济发展过程中的基本规律,遵循由理论研究到实证分析、由宏观到微观的基本逻辑原则,在区域经济发展阶段渐次式推进、主导产业更迭式升级的研究视角下,从工业化水平、产业内结构、产业间互动程度等不同层面上揭示碳排放在区域经济发展过程中的变动趋势及其规律,并探讨该规律与经济发展阶段的对应特征。在此基础上,本书对当前国际经济格局的多极化演化趋势进行分析,并将区域碳排放规律作为新的排放合理性判别依据,对未来全球国际利益集团和主要大国的立场倾向与碳排放政策进行讨论,力图为中国在国际气候谈判中的博弈提供全球尺度下的理论和事实依据,并为气候谈判战略与政策的制定提供决策支撑。

本书可供国家和各地区决策者以及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

全球气候变化下的国际经济格局与碳排放政策研究/原嫫,李国平,孙铁山著. —北京:科学出版社,2016.3

(气候变化经济过程的复杂性丛书)

ISBN 978-7-03-047394-3

I. ①全… II. ①原… ②李… ③孙… III. ①国际经济-经济格局-关系-二氧化碳-排气-环境政策-研究-中国 IV. ①F113 ②X511

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第033254号

责任编辑:万峰 朱海燕/责任校对:胡小洁

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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年3月第一版 开本:787×1092 1/16

2016年3月第一次印刷 印张:11 1/2

字数:275 000

定价:79.00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，科学技术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

依托国家重大基础研究发展计划“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”（项目编号：2012CB955800）课题，本研究主要关注“全球变化下国际利益集团变化趋势和新经济地理格局的地缘经济学分析”。历经四年，本研究开展了多维度、多层次的国际经济格局与区域碳排放演化间关系的理论与实证分析工作，《全球气候变化下的国际经济格局与碳排放政策研究》（以下简称《研究》）为该项研究工作的主要成果。

《研究》作为“气候变化经济过程的复杂性丛书”的一部分，遵循由理论研究到实证分析、由宏观到微观的基本逻辑原则，聚焦于区域碳排放在经济发展过程中的基本规律，在区域经济发展阶段渐次式推进的研究视角下，力图在理论与实证两个层面上揭示碳排放的区域发展过程中的变动趋势及其所呈现的规律，并探讨该规律的基本趋势特征。在此基础上，《研究》对当前国际经济格局的多极化演化趋势进行分析，进而将区域碳排放规律作为新的排放合理性分析依据，对未来全球国际利益集团和主要大国的立场倾向与碳排放政策进行讨论，力图为中国在国际气候谈判中的博弈提供全球尺度下的理论和事实依据，并为气候谈判战略与政策的制定提供决策支撑。

针对碳排放受到经济发展影响这一主题，本研究从理论梳理出发，选取产业结构作为主要切入点，发现了一些基本规律，得出了一些实证性结论，从而丰富了本领域的相关理论和实证研究（图 1）。在经济发展对碳排放影响的相关理论梳理及国际经济格局基本态势分析基础上，本研究主要进行了如下工作：第一，建立了产业结构对碳排放的理论影响模型；第二，探讨了产业结构不同层面特征对于碳排放的影响作用；第三，提出“基准碳排放变化曲线”，对未来气候谈判中国家利益集团进行归类，并在排放合理性判别的基础上为全球主要大国的未来气候博弈中的立场倾向做出预测。

《研究》共分为国际经济格局演化与碳排放、经济结构演化对碳排放影响的理论与实证研究、国家集团与排放大国的碳排放政策分析三大篇。

《研究》第一篇共分为三章，分别为第 1 章（经济发展与碳排放的基本关系与相关研究）、第 2 章（国际经济格局的演化趋势及特征）和第 3 章（全球碳排放的演化趋势及空间格局）。该部分聚焦于全书的两个核心问题——“国际经济格局”演化和“区域碳排放”基本态势，对相关理论与特征事实进行梳理与分析。其中，第 1 章从碳排放快速增长的大背景入手，对经济发展与碳排放的基本关系进行观测，并梳理碳排放演化的影响因素与定量模型，为后续研究奠定了逻辑基点。第 2 章将国际经济格局演化态势作为核心内容，基于经济规模及其所占份额这两个既有联系亦存在区别的视角，通过静态和动态的特征事实描述与分析，指出以多极化趋势为特征的全球经济枢纽-网络结构正在形成，并日臻成熟，旨在反映区域经济空间结构在未融入减排因素之前的演进过程。第 3 章将全球碳排放的基本变动趋势作为关注焦点，在全球、各国和不同发展水平国家等

不同空间尺度和类型标准背景下，回顾不同层面上的区域碳排放逐步变化的趋势及空间格局演化。第一篇对相关理论回顾和特征事实的初步分析为本书此后的研究提供了丰富的背景信息，也夯实了理论与现实基础。

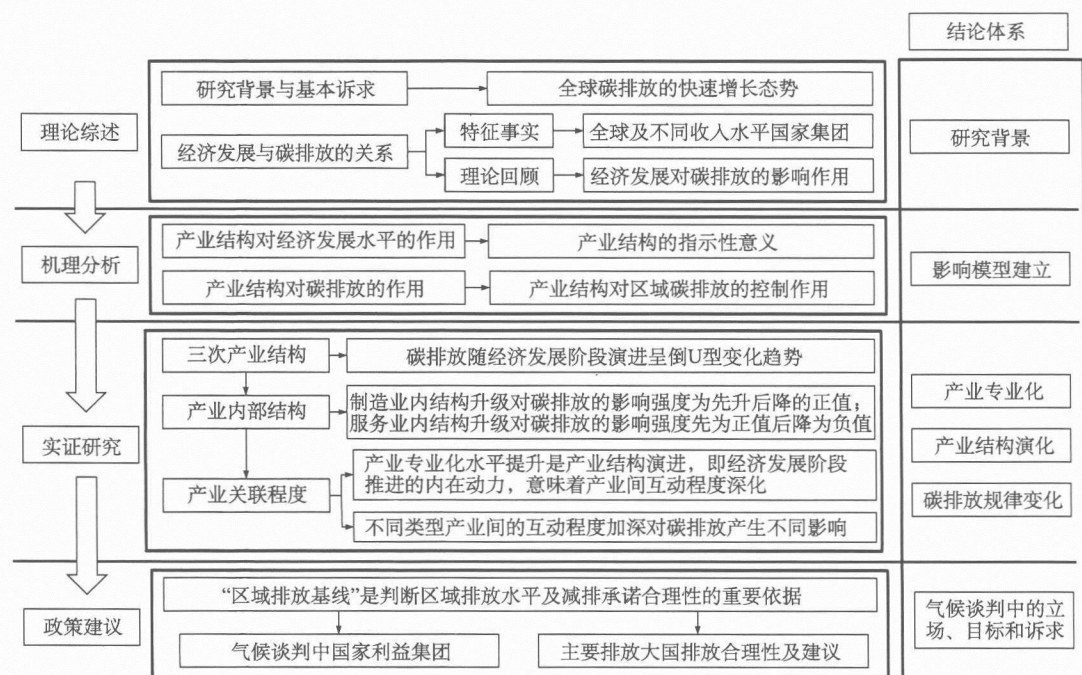


图1 本研究结论系统框架

《研究》第二篇共分为五章，分别为第4章（产业结构对区域碳排放影响的理论模型研究）、第5章（全球产业结构的演化趋势及特征）、第6章（全球各国产业结构演化对区域碳排放的影响及特征）、第7章（产业内部结构演化对区域碳排放的影响及特征）和第8章（产业内关联结构演化对区域碳排放的影响及特征）。第二篇遵循从理论到实证、由浅入深、逐层推进的逻辑顺序探讨了产业结构对碳排放影响这一核心问题，在不同层面上证实了“基准碳排放变化曲线”存在，并揭示了碳排放峰值在不同发展水平国家集团所对应的产业结构位置。其中，第4章在对产业结构指示意义的归纳与梳理基础上，构建产业结构对区域碳排放的影响框架基础上，使用模型语言证明了产业结构对区域经济发展阶段的理论指示意义，并在模型动态学分析中发现区域碳排放在经济的发展过程中存在倒U型的客观演化规律，为“基准碳排放变化曲线”呈现的经济发展中早期阶段碳排放快速上升、经济发展成熟期排放增速放缓乃至下降的现象提供了理论基础。第5章对全球及各国尺度下的产业结构演化趋势进行总结，发现全球整体仍处于工业化进程当中，且各产业类型的份额变迁与经济发展各方面指标存在显著的对应关系。第6章在三次产业结构层面上对区域碳排放的计量回归分析显示，碳排放随着经济发展阶段的推进存在先上升后下降的客观规律。不同发展水平国家集团碳排放顶峰亦对应不同的产业结构特征，可作为以碳减排为目标的基于三次产业层面的经济发展阶段辨识标准。

第7章通过制造业与服务业内部结构演化对区域碳排放影响的计量分析,显示制造业升级对碳排放呈现先升后降的正向效应,而服务业升级则由正向效应逐步降低至负向效应。同时,服务业结构升级对碳排放的影响强度峰值早于制造业升级的影响峰值,说明生产性服务业的快速发展将在推动制造业高端化的基础上,对碳排放的增速产生双重抑制作用。第8章中产业互动程度对区域碳排放影响的计量分析结果显示制造业与服务业的互动程度增强对区域碳排放产生负向效应。制造业内部与服务业内部各类型间的产业关联度对区域碳排放影响的实证研究说明工业化顶峰时期所对应的中端制造业主导阶段将促使碳排放继续抬升,造成碳排放顶峰滞后于工业化顶峰,而碳排放顶峰将出现在中端制造业及其配套服务业互动程度保持稳定高值之后。

《研究》第二篇揭示了多项有意义的信息:第一,“基准碳排放变化曲线”的存在,这为判断当前各国家和地区碳排放的合理性建立了重要标准和依据;第二,“基准碳排放变化曲线”的变化趋势规律及排放峰值所对应的产业结构位置,这为确认各国碳排放偏离合理轨迹的程度和调整方向提供了更具操作性的参考;第三,经验显示,“基准碳排放变化曲线”中的峰值位置滞后于区域工业化顶峰位置5~10年。

《研究》第三篇为全书的归纳总结与政策建议部分,共两章,分别为第9章(基于基准碳排放变化曲线的气候谈判国家利益集团划分)和第10章(依据基准碳排放变化曲线的主要大国排放合理性分析及政策建议)。其中,第9章将本书的核心研究成果归纳为“基准碳排放变化曲线”,总结并指出其内涵、定义及其意义。结合已有研究,本章将融入基准碳排放变化曲线原则的国家集团进行聚类分析,为未来气候谈判中可能出现的国家立场与倾向性的分异提供了预测性参考。第10章针对当前主要碳排放大国,依据基准碳排放变化曲线中排放峰值所对应的产业结构位置进行实际排放水平、减排承诺合理性的判别与讨论,并在比较分析的基础上对未来气候谈判中可能出现的国家集团的核心大国进行预测和判断,力图为各排放大国的应对政策制定提供建议和参考。第三篇有关国家集团的聚类分析和排放合理性判别结果显示了6个主要排放大国在未来气候谈判中的结盟情景,并揭示了各主要国家集团的立场与博弈目标,为中国在未来气候谈判中的博弈政策制定提供决策支撑。

综上所述,《研究》的核心成果包括三大部分:“基准碳排放变化曲线”、基于“基准碳排放变化曲线”的国家集团、主要大国排放合理性判断及建议。

第一,定义碳排放在经济过程中的理论演化规律为“基准碳排放变化曲线”。该曲线指在经济自然路径控制下的、确保经济发展基本趋势的碳排放变化曲线;该曲线呈现倒U型的形态特征,其峰值即为理论排放峰值,出现位置与指示区域经济发展阶段的特定经济结构相对应。进一步说,“基准碳排放变化曲线”代表着随着区域经济发展阶段的推进过程中碳排放的基本排放量,是保证区域经济发展的合理排放水平。

第二,融入“基准碳排放变化曲线”的气候谈判国家集团。当前全球已形成共识,任何减排方案的制定需遵循各个国家和地区承担“共同而有差别”责任为基本前提。其中,“共同责任”意味着所有国家和地区均应加入减排行动中,通过提高能源利用效率、低碳技术水平和节能意识等途径控制并降低排量增速;“差别责任”则意味着需考虑到各个国家和地区的人口、经济、社会等多方面因素,制定显示公平与效率兼顾的减排政

策体系。因此,能够被各国普遍接受的碳配额分配原则必须具备准确反映合理排放标准的判别能力:一方面,为部分国家提供其高于合理排放水平的依据,使其减排有据可依;另一方面,尽可能不损伤后发国家的未来发展空间,保障其基本经济发展。“基准碳排放变化曲线”实质上是判断区域排放量合理性的重要依据,也是决定各国在碳配额分配谈判中立场与倾向的重要原因。本研究根据以产业结构特征为标志的经济发展阶段,对各国保证基本经济发展路径的碳配额需求变化方向进行聚类分析。各国对碳配额与经济发展的权衡与考量将促使各国作出更符合自身发展利益的立场选择,而本研究则从理论与实证的角度对这一选择结果作出相对确切的分析与说明,以期决策者制定政策提供依据。

第三,针对主要大国提出排放合理性判断及建议。主要大国分异于不同的国家集团中,必然成为各类型国家集团的核心成员,因而对主要大国排放水平和减排承诺的合理性判别具有重要意义。本研究的分析主要显示了以下信息:①美日两国排放长期偏离“基准碳排放变化曲线”、且减排承诺力度明显不足,但两国聚类结果差异较大,说明美日很有可能在气候谈判中结为不稳定同盟;②欧盟和俄罗斯排放演化趋势和减排承诺相对合理,将很有可能结为稳定同盟,以敦促各国遵守合理的自主减排方案;③中印两国由于发展阶段相似,有利益上的共同点,但中国排放高峰时点相对明确、减排承诺有能力完成,而印度在聚类结果中显示出较高的差异性,故中印两国恐很难形成稳定同盟。

在气候变化形势日益严峻的背景下,本《研究》建立了经济发展与碳排放的基本关系,在特征事实的梳理和碳排放影响要素的挖掘中,确认产业结构对于经济与碳排放的重要桥梁作用。进而通过产业结构演化对区域碳排放的影响规律分析,说明碳排放存在与经济发展相适应的演化规律与理论峰值,而区域在越过该峰值后的实际排放继续增长则属于异常排放。在保证区域经济基本增长路径不受破坏的前提下,制定全球碳配额政策应尊重经济发展与碳排放变化的基本规律,并以“基准碳排放变化曲线”作为判断区域碳配额权差异化变动方向的原则之一。因此,基于区域经济发展阶段所对应碳排放水平的判断,本研究最终提出了主要排放大国在未来气候谈判中的结盟标准、可能的结盟结果、结盟诉求与目标的演绎和应对,力图为中国在碳配额分配博弈过程中的战略与政策制定提供决策参考。

原 嫒 李国平 孙铁山

2015年9月

目 录

《气候变化经济过程的复杂性丛书》序

前言

第一篇 国际经济格局演化与碳排放

第 1 章 经济发展与碳排放的基本关系与相关研究	3
1.1 全球碳排放的快速增长与影响	3
1.1.1 碳排放演化的快速增长历史	3
1.1.2 全球碳排放快速增长的影响	4
1.2 经济发展与碳排放的基本关系	6
1.2.1 全球尺度下经济发展与碳排放的基本关系	6
1.2.2 不同收入水平国家集团经济发展与碳排放的基本关系	8
1.3 经济发展对碳排放影响的相关研究	9
1.3.1 经济发展对碳排放的基本影响因素	9
1.3.2 经济发展对碳排放影响的定量模型	11
1.3.3 现有碳排放影响因素的局限性	13
第 2 章 国际经济格局的演化趋势及特征	15
2.1 国际经济格局演化的总体趋势	15
2.1.1 整体趋势：从核心-边缘到多极世界	16
2.1.2 区域动力：东亚崛起和欧洲衰落	17
2.1.3 国家动力：新兴经济体快速发展	18
2.2 国际制造业和服务业地理格局的演化趋势及特征	19
2.2.1 全球制造业和服务业的优势分散化	19
2.2.2 全球制造业地理格局的演化趋势及特征	20
2.2.3 全球服务业地理格局的演化趋势及特征	23
2.3 本章小结	24
第 3 章 全球碳排放的演化趋势及空间格局	26
3.1 全球碳排放的演化趋势	27
3.1.1 数据和样本介绍	27
3.1.2 全球及区域层面碳排放的演化趋势	28
3.1.3 主要国家层面碳排放的演化趋势	31
3.1.4 全球及主要国家碳排放累积量的增长及其特征	33
3.2 全球各国碳排放的空间格局及与各影响因素的关系	34
3.2.1 全球各国碳排放的基本空间格局	34

3.2.2 全球各国层面碳排放与各影响因素的关系	37
3.3 不同发展水平国家集团碳排放的增长及与各影响因素的关系	39
3.3.1 不同发展水平国家集团碳排放的基本情况	39
3.3.2 不同发展水平国家集团碳排放与各影响因素的关系	42
3.4 本章小结	44

第二篇 经济结构演化对碳排放影响的理论与实证研究

第 4 章 产业结构对区域碳排放影响的理论模型研究	47
---------------------------------	----

4.1 产业结构对区域碳排放影响的相关研究	47
4.1.1 产业结构指示意义的相关研究	47
4.1.2 产业结构对碳排放影响的相关研究	50
4.1.3 现有研究的不足	53
4.2 产业结构对区域碳排放影响模型的第一层级分析	54
4.2.1 产业结构对区域碳排放影响的模型框架	54
4.2.2 产业结构影响区域经济增长的基本路径	56
4.2.3 产业结构对区域经济增长的影响模型及其动态学分析	59
4.3 产业结构对区域碳排放影响模型的第二层级分析	64
4.3.1 区域碳排放的基本表达式	64
4.3.2 产业结构对区域碳排放影响模型的动态分析	65
4.4 本章小结	67

第 5 章 全球产业结构的演化趋势及特征	69
----------------------------	----

5.1 全球及各国产业结构的变迁及其特征	69
5.1.1 全球层面的产业结构变迁及其特征	69
5.1.2 主要国家层面的产业结构变迁及其特征	72
5.2 全球各国产业结构与经济发展水平的关系	75
5.2.1 全球各国产业结构变迁及其特征	75
5.2.2 全球各国产业结构变迁与经济发展水平关系的初步实证	77
5.3 本章小结	79

第 6 章 全球各国产业结构演化对区域碳排放的影响及特征	80
------------------------------------	----

6.1 基本假设和模型设定	80
6.1.1 模型基本假设	80
6.1.2 数据说明和模型设定	83
6.2 全球各国产业结构演化对区域碳排放影响的实证结果	84
6.2.1 数据概览	84
6.2.2 第一分类层级的计量结果与分析	85
6.2.3 第二分类层级的计量结果与分析	89
6.3 不同发展水平国家集团产业结构演化对区域碳排放影响的实证结果	91
6.3.1 计量结果与分析	91

6.3.2	各发展水平国家集团第一分类层级的计量结果比较分析	93
6.3.3	各发展水平国家集团第二分类层级的计量结果分析	95
6.4	本章小结	96
第 7 章	产业内部结构演化对区域碳排放的影响及特征	97
7.1	OECD 主要国家制造业与服务业内部结构的演化特征	97
7.1.1	数据说明	97
7.1.2	制造业内部结构的演化	98
7.1.3	服务业内部结构的演化	101
7.2	OECD 主要国家制造业内部结构演化对区域碳排放的影响分析	103
7.2.1	模型基本假设	103
7.2.2	模型设定与变量说明	106
7.2.3	计量结果与分析	106
7.3	OECD 主要国家服务业内部结构演化对区域碳排放的影响分析	109
7.3.1	模型基本假设	109
7.3.2	模型设定与变量说明	111
7.3.3	计量结果与分析	111
7.4	制造业与服务业内部结构对碳排放影响的综合分析	115
7.5	本章小结	115
第 8 章	产业内关联结构演化对区域碳排放的影响及特征	117
8.1	制造业与服务业互动对区域碳排放的影响机制分析	117
8.2	欧盟制造业与服务业产业互动变迁分析	120
8.2.1	数据说明与指标测算	120
8.2.2	制造业与服务业产业关联度的变迁	121
8.2.3	制造业内部与服务业内部产业关联度的变迁	123
8.3	欧盟制造业与服务业产业互动对区域碳排放的影响分析	125
8.3.1	模型基本假设	125
8.3.2	模型设定与变量说明	125
8.3.3	制造业与服务业关联度对区域碳排放的计量结果与分析	126
8.3.4	制造业与服务业内部产业关联度对区域碳排放的计量结果与分析	128
8.4	本章小结	130
 第三篇 国家集团与排放大国的碳排放政策分析		
第 9 章	基于基准碳排放变化曲线的气候谈判国家利益集团划分	133
9.1	基准碳排放变化曲线的内涵与意义	133
9.1.1	基准碳排放变化曲线的理论基础	133
9.1.2	基准碳排放变化曲线的内涵	135
9.1.3	引入基准碳排放变化曲线的重要意义	136
9.2	全球各国经济发展阶段的判断标准	137

9.2.1	基于三次产业结构的经济发展阶段判断标准	137
9.2.2	产业内结构与产业互动程度的经济发展阶段判断	138
9.3	引入基准碳排放变化曲线的气候谈判国家集团	139
9.3.1	数据说明与研究方法	139
9.3.2	引入基准碳排放变化曲线的聚类结果	140
9.3.3	气候谈判中国国家集团的稳定性分析	144
9.4	本章小结	146
第 10 章	依据基准碳排放变化曲线的主要大国排放合理性分析及政策建议	147
10.1	主要发达国家和地区的排放合理性分析及政策建议	147
10.1.1	美国	147
10.1.2	西欧发达国家	149
10.1.3	日本	151
10.1.4	俄罗斯	152
10.2	主要发展中国家的排放合理性分析及政策建议	154
10.2.1	中国	154
10.2.2	印度	157
10.3	主要排放大国在基准碳排放变化曲线指导下的比较分析及政策建议	159
参考文献		162

第一篇 国际经济格局演化 与碳排放

本部分包含三章内容，聚焦于全书的两个核心问题——国际经济格局演化和区域碳排放基本态势，对相关理论与特征事实进行梳理归纳与描述分析。其中，第1章从碳排放快速增长的大背景入手，对经济发展与碳排放的基本关系进行观测，并详尽回顾碳排放演化的影响因素与定量模型，为本论题的后续研究奠定了逻辑基点。第2章将国际经济格局演化态势作为核心内容，基于经济规模及其所占份额这两个既有联系亦存在区别的视角，通过静态和动态的特征事实描述与初步分析，指出以多极化趋势为特征的全球经济枢纽-网络结构正在形成并日臻成熟，初步呈现区域经济空间结构在未融入减排因素之前的演进过程。第3章将全球碳排放的基本变动趋势作为关注焦点，基于全球、各国和不同发展水平等不同空间尺度和类型标准，回顾不同层面上的区域碳排放逐步变化的趋势及特征。总体而言，第一篇聚焦于理论回顾和特征事实的初步分析主要以夯实理论与现实基础为目标，旨在为本书的后续研究建立较为丰富的背景信息。

第 1 章 经济发展与碳排放的基本关系与相关研究

已有大量证据表明, 包含碳排放在内的温室气体近百年来在全球范围内的快速增长主要由工业化进程中的人类经济行为所主导和控制。目前, 全球变暖形势正在日益严峻, 碳减排已经成为需要全球各国共同面对的责任。国际经济格局在历史上经历过多次重组, 仅就近半个世纪以来而言, 在技术水平和创新能力快速增长的基础上, 全球化进程显著加快, 促使国际经济格局进入了全新的历史时期。但是, 在现有的以国家为单元、以跨国公司为主体、以技术进步为引擎的现代经济格局演化过程中, 更多的视线开始集中到减排可能对经济发展产生的具有区域性差异的反馈作用。本章将以碳排放的异常增长为背景, 针对本书的核心研究对象——国际经济与碳排放——的联系进行现象上的初步观测, 并对经济发展影响碳排放的因素与定量模型进行详细梳理与总结, 为后文进一步的挖掘建立适当的背景与铺垫。

1.1 全球碳排放的快速增长与影响

1.1.1 碳排放演化的快速增长历史

人类活动所引起的包括 CO_2 在内的温室气体大量排放造成大气碳浓度不断升高, 进而引起全球气候变暖 (Ruth and Ibarrar, 2009; Cowie, 2012; Vitousek et al., 1997)。 CO_2 浓度从前工业化时代的 280 ppm (ppm: 浓度单位, 全称为 part per million, 指溶质质量占全溶液质量的百万分比, 下同) 就开始快速增长; 截至 2009 年, CO_2 浓度已高于前工业化时代 39%^①。2011 年的大气 CO_2 平均浓度已达到 392 ppm, 而 21 世纪以来的平均增速已达到每年 2.0 ppm (Tans, 2009; Nordhaus, 2007)。当前的研究表明, 碳排放温室效应所引起的温度上升与其在大气中的浓度呈对数关系。通过简单的能源平衡计算, 若大气 CO_2 浓度上升一倍, 则可直接导致地表升温 1°C 。但是, 现实中的地表温度对温室效应的响应过程远比这一简单关系复杂得多, 大气中的水蒸气、温室气体自身均对升温有显著的放大效应, 并且这一循环过程一直为正反馈效应 (Stern, 2007), 即大气碳浓度的一次抬升, 可能造成温度的多次叠加上升。

虽然目前的电子计算技术仍然无法精确地建立碳排放与气候变暖的定量关系, 但通过以实证为基础的系列模型演绎, 仍可以获取气候变化的大量信息。与经济预测模型不同, 气候演绎模型遵循基本自然原理对辐射平衡、能源和物质流进行模拟, 涵盖不同海拔、不同区域的温度、风力和降雪等多维信息。

目前较常使用地表均温敏感性的概念来简化和方便各个演绎模型的结果比较。地表均温敏感度, 亦即气候敏感度, 是指当大气 CO_2 浓度达到工业化前水平的两倍 (大约为

① <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/09/hl-full.htm/>, Carbon Budget 2009 Highlights.

550 ppm) 时的地表平均温度上升幅度。IPCC 的模型结果显示, 气候敏感度为 $1.5\sim 4.5^{\circ}\text{C}$ (McCarthy, 2001), 远高于碳浓度加倍所引起的直接升温效果。但是, 越来越多的证据表明, 由于地表温度升高所带来的温室气体正反馈效应、环境逐步脆弱、碳汇资源缩水等正向循环作用, 导致气候敏感度很可能高于现在的估计值 (Murphy et al., 2004; Stainforth et al., 2005)。

人为驱动的碳排放增长无疑给全球气候造成了巨大威胁, 气候变暖的趋势已经发生并难以逆转。若继续以现有水平向大气排放 CO_2 , 那么 2100 年的大气碳浓度将为工业化前的三倍, 导致地表平均温度上升 $3\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。气候变暖不仅仅是地表温度的升高, 更为严峻的是其带来的自然环境恶化和生物适应性问题, 这些均是人类社会和经济发展所面临的新挑战。

1.1.2 全球碳排放快速增长的影响

1. 对自然环境的影响

可以预知, 无论任何预测情景下的碳排放不断增长均会带来全球气候整体变暖, 但这一过程在空间上并非均匀分布。在当前气候条件下, 热带地区的平均温度比中纬度和高纬度地区分别高出 15°C 和 25°C , 但是, 由温室气体引起的气温上升过程将会更加显著地表现在高纬度地区, 而极地地区的增温速度是其他地区的两倍以上 (Houghton, 1996)。这将直接导致中高纬度的环境巨变、冰川融化和海平面上升, 极端气候灾害的发生概率明显随之增加。

气候变暖同样会引起热辐射风险的加剧 (Wigley, 1985), 进而增大极高温天气的出现频率。特别是现代社会发展的城市化进程中, 城市热岛效应的逐渐突出, 将会使城市区域的升温现象更加显著。全球变暖也会引起降雨空间分布规律的巨变。大量的研究表明, 由于温室气体的持水能力更强以及全球升温的区域不均衡特征, 高纬度地区降水将明显增多, 而亚热带地区的雨水反而会减少, 造成新的干旱因素 (Sch et al., 2004)。另外, 大气中更大的蒸汽含量、降水空间分布的变化以及厄尔尼诺现象将会与气候变暖共同增加干旱、洪水和飓风等极端气候灾害的发生概率 (Huntington, 2006), 并且随着气温的不断上升, 受到威胁的区域范围亦将扩大。

值得注意的是, 全球气候变暖可能导致大西洋温盐环流减弱, 抵消了欧洲地区和北美东部地区的升温空间, 造成极冷天气的出现 (Bryden et al., 2005)。虽然这一现象的量化过程还无法模拟, 但定性的结果已无可争议。海平面高度将随温度升高不断抬升。虽然海平面对大气碳浓度的反馈相对迟滞, 但目前全球海平面已经开始以每年大约 3mm 的速度抬升 (Church and White, 2006)。一旦格陵兰冰盖或南极洲西部冰盖开始破碎和融化, 海平面的上涨将更加剧烈、甚至失去控制。同时, 生态系统在气候变暖的挑战下尤其脆弱。研究表明, 2°C 的升温将使 15%~40% 的物种面临灭绝, 直接威胁到地球的生物多样性。

全球气候变暖是一项严肃而紧急的议题, 虽然模型对区域的自然反馈效应仍存在诸多不确定性, 但人类活动在气候变化过程及其可能产生的影响中扮演着重要角色。碳排

放若继续以当前的态势增长,地球的自然环境将面临由温室气体引起的剧烈转型。

2. 对人类生存的影响

全球气候变暖将会威胁到所有人类的生活基本要素,包括水、食物、健康、土地和生存环境(潘家华和张莹,2013)。若以当前的趋势来看,全球地表平均温度将在接下来的50年上升2~3°C,这会导致诸多严重后果。

冰川加速融化将会增加雨季洪水的暴发频率,并将威胁到全球六分之一人口在旱季的饮用水资源,如印度亚大陆、中国和南美安第斯部分区域将是首要受灾区。可耕作农田面积和粮食产量的减少也不容忽视,特别是在非洲,将有数以百万计的人口无法满足温饱。碳排放已开始使海洋出现酸化现象,这对海洋生态环境和海洋鱼群形成了根本性的威胁。若地表均温上升3~4°C,海平面的抬升幅度将造成大量人口每年遭受洪灾。同时,海岸线大城市及其人口的保护也更加成为问题,如东京、上海、香港、纽约和伦敦等;若地球的冰川和冰盖全部融化,将会淹没至少4000000km²的土地,造成全球5%的人口无家可归。综合所有这些可能的影响,将在21世纪中期导致超过2亿人口永久离开现在的家园(Cowie,2012)。

气候变暖将会给全球人类带来严重的负面影响,包括突发性的和长时间尺度的灾害风险均会增大,并且,其幅度会随着地表均温的上升而放大(潘家华和张莹,2013;刘哲和潘家华,2013)。这些变化目前还无法精确定量判断,但其结果很有可能具有潜在的灾难性,将在长时间尺度上对人类生存、迁移和全球稳定造成风险。

3. 对社会经济发展的影响

全球气候变暖对自然环境和人类生存造成了巨大的负面影响,进而对世界的发展产生了严重威胁,对于解决贫困问题更是新的阻碍。发展中国家由于收入水平低、更依赖对气候敏感强的第一产业,在面对气候变化的负面作用时将会异常脆弱。地处环境更为复杂的热带的非洲地区贫穷国家和发展中国家将以更差的适应能力面对更复杂的气候变化影响,其后果是难以预估的。实际上,全球变暖的影响已经开始在一些环境脆弱的地区显现,这些地区已被迫开始应对。有研究显示,在一些低收入国家,当前的大型自然灾害每年会损失平均5%的GDP(Munich,2006)。

一方面,首先受到影响的人群必然是从事农业生产的贫困阶层。收入的减少会令这一阶层增加贫困,降低为更好生活投资的可能性,并逼迫他们重新回到贫困线附近,造成长时期的“贫困陷阱”(Carter et al.,2005)。截至2100年,相比于剔除气候变化因素的情况,印度和东南亚地区可能将因为气候变暖多损失高达9%~13%的GDP,而这很可能造成新增1.45亿~2.2亿人口生活在每天2美元的生活标准之下,南亚和次撒哈拉非洲地区每年新增16.5万~25万儿童死于饥饿(Anderson,2006)。

另一方面,地区气候的严重转变和退化将导致大量发展中国家的人口迁徙和区域冲突,特别是在接下来的几十年中,还有20亿~30亿人口即将加入发展中国家行列(张坤民,1999)。海平面上升、过快沙漠化等将迫使数以百万的人口迁移,如全球海平面上升一米,孟加拉国超过五分之一的国土就会被淹没,而这一现象可能就将在21世纪末出