

| 气候变化经济过程的复杂性丛书 |

基于自主体模拟的 碳交易集成评估模型研究

朱潜挺 王 铮 吴 静 张 磊◎著



科学出版社

气候变化经济过程的复杂性丛书

基于自主体模拟的 碳交易集成评估模型研究

朱潜挺 王 铮 吴 静 张 磊 著

国家重大基础研究计划(973)(No. 2012CB955800)

中国科学院碳收支专项(No. XDA05150900)

联合资助

中国石油大学(北京)科研启动基金(No. 2462013YJRC23)

科学出版社

北 京

X196
113

内 容 简 介

本书是一本关于碳排放权交易理论和应用的著作。它从气候变化经济学的角度出发,分别采用 Agent-Based 建模和实验经济学的方法进行政策模拟研究。在 Agent 建模方面,通过模拟区域 Agent 间的动态交互过程,实现对全球碳排放权交易行为集成评估,进而探索区域碳交易行为在应对全球气候变化过程中所发挥的作用。在实验经济学方面,通过构建基于计算机网络的碳排放权交易实验平台,完成多种拍卖机制下的方案设计和实验结果分析,进而评价人的决策对碳排放权配额分配和交易的影响,以及探索计算机网络实验方法在相关研究领域的适用性。

本书可供国家和各地区决策者及气候变化碳交易政策模拟领域的研究人员参考,也可作为经济学、管理学、地球科学等学科高年级本科生和研究生参考或者作为基础教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

基于自主体模拟的碳交易集成评估模型研究/朱潜挺等著. —北京:科学出版社, 2014. 12

(气候变化经济过程的复杂性丛书)

ISBN 978-7-03-042566-9

I. ①基… II. ①朱… III. ①二氧化碳-排污交易-研究-世界
IV. ①X511

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 270055 号

责任编辑:朱海燕 李秋艳 李上男 / 责任校对:韩 杨

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:铭轩堂

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 12 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 12 月第一次印刷 印张:11 1/2

字数:245 000

定价:99.00 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

应对全球变化是当代人面临的科学挑战,为了有效应对全球变化,科学界发展起了气候变化经济学集成评估模型(IAM),目前国际上已经有多个 IAM 被研发出来。本书是我主持的 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”关于新型 IAM 研究的一个成果。这个成果,不仅研究了 IAM,而且根据中科院的部署,我还研究了“排放交易市场机制建设及路线图”问题,这样它实现了研究包含碳交易的气候变化经济学过程及其相应的应对政策评估与平台开发的结果。事实上,碳交易目前已经被认为是气候保护的重要方式,在国际范围内实行碳交易是众多气候化学者和经济学政策制定者的构想。可惜一直以来,由于问题的复杂性,人们还没有在 IAM 中嵌入碳交易分析。我们的 973 项目,突破常规思维,引入 ABM(基于自主体的建模)方法,突破了这一难题。

本书反映了我们在建立新型 IAM 方面的努力。这一努力使得我们不仅得到了关于碳交易的一些政策模拟结论,而且在方法学上成功地实现了 ABM 与一般经济动力学数值模拟的结合,也实验了计算机实验人文地理学方法与计算模拟的结合,令我们甚为高兴。总之,它探讨了非数值模拟与数值模拟的结合。它在方法学上有一定的创新;因此我们决定以专著形式发表出来,奉献给作者,以引起学者们对这种结合方法的探讨。

本书是在我指导的博士研究生朱潜挺的博士生论文和张磊的硕士生论文精华部分的基础上完成的。作为导师,我设计、指导了这项研究工作,并且与他们共同研究了模型和设计了实验。本书的最后完成情况是:朱潜挺执笔完成了第 1 章到第 6 章,而且研发了这一模型的计算平台。张磊完成了第 7 章,并且开发了开展碳交易实验的计算机实验经济学及人文地理学的软件平台。由于工作的艰难性,以及我因病住院,我的助手,中国科学院科技政策与管理科学研究所吴静副研究员参与了研究工作,并且协助我指导。像许多重要工作一样,本书是集体研究的成果。但是必须指出的是,本书是以朱潜挺博士生论文为基础的,朱潜挺完成了本书大部分章节的写作,对本书完成具有第一位的贡献,他也因此是本书名副其实的第一作者。其他作者,对本书内容的丰富,也有明显贡献。全书最后由王铮在吴静协助下统稿、修定,我希望本书最后呈现给科学界、政策制定者的是一个比较完美的作品。

必须指出的是,中国科学院科技政策与管理科学研究所、华东师范大学、中国石油大学为本书的写作提供了基本科研条件,作者深表谢意。在本书写作过程中,作者得到徐冠华院士、丁一汇院士和许世远教授的多次指导,特表谢意。

王 铮

2014 年 9 月 18 日

• iii •

目 录

《气候变化经济过程的复杂性丛书》序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 气候变化及碳交易	1
1.1.1 气候变化及其可能对人类社会的影响	1
1.1.2 全球应对气候变化历程	2
1.1.3 碳交易	5
1.2 碳交易的相关研究进展	9
1.2.1 政策模拟	9
1.2.2 面向气候保护的政策模拟	9
1.2.3 碳交易政策模拟	11
第 2 章 温室气体的外部性理论	16
2.1 外部性概念	16
2.2 温室气体排放的负外部性和市场失灵	17
2.3 解决温室气体排放负外部性的途径	19
2.3.1 庇古税	19
2.3.2 科斯定理	19
2.3.3 碳排放权交易	21
第 3 章 碳交易集成评估模型的构建	23
3.1 模型结构	24
3.1.1 总体结构	25
3.1.2 功能模块	26
3.2 模型方程体系	33
3.2.1 宏观经济模块方程组	33
3.2.2 气候反馈模块方程组	38
3.2.3 配额分配模块方程组	40
3.2.4 交易模块方程组	42
3.3 模型数据采集	43
3.3.1 数据源	44
3.3.2 数据处理	44
3.3.3 模型变量初值	45
3.4 模型参数估计	46
3.4.1 参数估计的方法	46

3.4.2 模型参数的取值	47
3.5 小结.....	51
第4章 碳交易集成评估系统的实现	53
4.1 需求分析.....	53
4.1.1 用户特性	53
4.1.2 系统目标	54
4.1.3 功能性需求分析	54
4.1.4 非功能性需求分析	55
4.2 系统设计.....	56
4.2.1 总体架构设计	56
4.2.2 界面设计	57
4.2.3 模型库设计	58
4.2.4 数据库设计	58
4.3 系统开发.....	58
4.3.1 相关技术基础	59
4.3.2 系统功能的实现	61
4.4 小结.....	72
第5章 配额分配模拟	73
5.1 基于总量控制的配额分配.....	73
5.1.1 全球总配额模拟的基本路线	73
5.1.2 全球总配额模拟	75
5.1.3 区域总配额模拟基本路线	81
5.1.4 区域总配额模拟	83
5.2 基于排放水平控制的配额分配.....	85
5.2.1 模拟基本路线	85
5.2.2 主流的全球减排方案	86
5.2.3 修改的 UNDP 方案	87
5.2.4 修改的 Stern 方案	89
5.3 兼顾公平和效率的全球减排方案.....	92
5.4 小结.....	95
第6章 碳交易模拟	97
6.1 情景设置.....	97
6.2 基准情景.....	98
6.2.1 全球升温和大气 CO ₂ 浓度	98
6.2.2 碳排放量	98
6.2.3 经济水平	103
6.3 碳交易情景模拟	105
6.3.1 情景类 1: 总量控制情景	105
6.3.2 情景类 2: 排放水平控制情景	112

6.3.3 情景类 3：公平效率情景 115

6.4 小结 119

第 7 章 碳交易拍卖机制实验探索..... 121

7.1 碳交易与实验经济学 121

7.1.1 拍卖机制 121

7.1.2 实验经济学 123

7.1.3 计算机实验人文地理学 124

7.2 实验设计 125

7.2.1 实验目的 125

7.2.2 实验的基本组成 125

7.2.3 实验的原则 126

7.2.4 实验的步骤 127

7.2.5 实验方案 1：基于统一价格密闭拍卖 127

7.2.6 实验方案 2：基于向上叫价时钟拍卖 128

7.2.7 激励机制设置 129

7.3 实验平台开发 129

7.3.1 功能性分析 129

7.3.2 非功能性需求分析 130

7.3.3 总体结构设计 131

7.3.4 系统数据库设计 133

7.3.5 系统开发的相关技术基础 135

7.3.6 系统功能实现 137

7.3.7 系统发布 147

7.4 实验与结果分析 149

7.4.1 开展实验 149

7.4.2 结果分析 150

7.5 小结 155

参考文献..... 157

附录 A MRICES-CT 的区域划分 166

附录 B 人均累计碳排放均等原则下的全球配额分配 167

附录 C 主要温室气体 GWP 值 168

附录 D 2℃ 目标下人均累计原则的全球配额分配 169

附录 E 哥本哈根气候谈判主要国家温室气体减排承诺 170

附录 F 不同配额分配原则下区域年配额 171

附录 G MRICES 的基本方程 173

第1章 绪 论

1.1 气候变化及碳交易

1.1.1 气候变化及其可能对人类社会的影响

政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第四次评估报告指出,最近 100 年全球温度上升了 0.74°C , 温度上升引起了极端天气、海平面上升、旱涝灾害等一系列生态问题,给人类的生产生活造成严重影响。气候变化已成为 21 世纪人类所面临的最重大、最复杂的问题之一。事实上,气候变化不仅仅是一个环境问题,而且还引发了一系列社会、经济、政治问题,对未来全球经济和人类社会的发展将产生重要影响。

从气象学角度来看,气候变化是指“气候平均值和离差值两者中的一个或两者同时随时间出现了统计意义上的显著变化”(周广胜和王玉辉, 2003)。显然,气候变化的范畴并不局限于气候变暖,但当前人们对气候变化的关注焦点主要集中在地球表面平均温度的上升。

从国际政治角度来看,《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, 以下简称《公约》或 UNFCCC)将气候变化定义为:“经过相当一段时间的观察,在自然气候变化之外由人类活动直接或间接地改变全球大气组成所导致的气候改变”(UNFCCC 和 WMO, 1992)。该定义将气候变化成因区分为:人类活动因素和自然因素,而 IPCC 第四次评估报告认为,“很可能(90%以上的概率)”是人类活动导致了观察到的近 50 年全球变暖现象,并预计 21 世纪全球温度很可能比 20 世纪更高(IPCC, 2007)。

对温室效应机理的认识是将近年来观测到的全球变暖现象归因于人类活动的理论基础。虽然气候变化问题仍存在诸多的不确定性,但是,否定温室效应的观点很少(Soon et al., 1999; Singer and Avery, 2007)。温室效应是由法国数学、物理学家 Fourier (1824)首次发现,它是一种由温室气体引起的自然现象,具体表现为:以短波形式直接加热地球表面的太阳辐射,在经过地面反射转变成长波后,被温室气体吸收,从而使更多的热量留在地球,最终将地球平均温度维持在 15°C 左右(Peterson, 1989; Keeling et al., 1996; Keeling, 1998)。

温室气体的主要成分是水汽。理论上,气温上升与水汽含量之间具有正反馈作用,即气温上升会导致水汽含量增加,而增加的水汽通过温室效应使得气温进一步上升。然而,由于水汽在大气中的平均停留时间为一个星期左右,如果只考虑人类活动所导致的增强的温室效应,人类排放的水汽对气温几乎没有影响,因为三分之二的地球被水覆盖(Jancovici, 2002)。除了水汽之外,其他温室气体还包括: CO_2 、甲烷(CH_4)、氧化亚

氮(N_2O)、对流层臭氧(O_3)^①、氟利昂或氯氟烃类化合物(CFC_s)、氢代氯氟烃类化合物(HCFC_s)、氢氟碳化物(HFC_s)、全氟碳化物(PFC_s)、六氟化硫(SF_6)等。其中, CO_2 被认为是人类活动导致温室效应的主要原因。虽然人类活动排放的 CO_2 与自然碳循环相比相差甚远, 但是这些额外增加的排放量不能完全被生态系统所回收。早在 1896 年, 瑞典化学家 Arrhenius 已经发现进入大气的 CO_2 自从工业革命开始已经大量增加。IPCC(2007)估计, 人类活动每年释放出约 7GtCe^②, 大约 4GtCe 保留在大气中未被回收, 这使得大气 CO_2 浓度从工业化前的 280ppm 增加到 2005 年的 379ppm^③, 比过去 65 万年的任何时期都高。IPCC(2007)预测, 如果不采取任何措施, 未来至 2100 年大气 CO_2 当量浓度将是现在的 3 倍。

气候变化将对自然环境产生严重的影响(Brohé et al., 2009)。IPCC(2007)的模型预测, 21 世纪全球海平面将上升 18~59cm。如果考虑北极冰盖加速融化的可能性, 那么对海平面上升高度的估计被严重低估了。海平面上升对不同区域的影响是不同的, 尤其威胁到的是海岛国家和沿海区域, 比如孟加拉国和尼罗河三角洲将有三千至四千万居民因海平面的上升而需要搬迁(John et al., 2006)。气候变化将使得一些极端事件变得更加频繁和强烈, 比如极端降雨, 热浪和干旱等(Dore, 2005)。科学界已经认识到, 由于许多稀罕生态系统的适应能力有限, 对气候变化特别脆弱, 比如冰川(Gregory et al., 2004; Silverio and Jaquet, 2005)珊瑚礁和环礁(Obur, 2005)、红树林、北方森林和热带森林、极地和阿尔卑斯生态系统、湿地和大草原等都面临着气候变化带来的破坏。另外, 科学家们预测气候变化将会使一些物种面临极大的灭绝风险。例如“Nature”在 2004 年 1 月发表的研究表明, 如果在 1990 年到 2050 年之间全球温度上升 1.8~2℃, 那么可能导致 1/4 生物灭绝(Pounds and Puschendorf, 2004, Thomas et al., 2004)。

气候变化也将对社会经济带来重要影响(Brohé et al., 2009), 包括农业、森林和海域等。较高的温度将减少对空间热量的需求, 但同时也会增加对能源的需求, 如增加使用空调等。极端天气的增加, 如热浪、洪水、暴风雪和干旱, 将对人类健康产生负面影响(Haines et al., 2006)。气候变化对不同区域的影响存在差异, 一些学者(如 Monirul Oader Mirza, 2003)还指出, 受影响最大的是低收入国家, 因为这些国家无法采取必需的适应措施。

1.1.2 全球应对气候变化历程

鉴于气候变化可能给自然环境和人类社会经济带来的影响, 应对气候变化行动已经刻不容缓。然而, 直到 20 世纪 80 年代末, 政府和其他非政府组织才开始采取行动。

1988 年, 为了给政策制定者提供有关气候变化领域全面、客观、公开和透明的科学问题研究成果, 以评估气候变化对环境和社会经济的潜在影响以及应对气候变化措施, 联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)和世界气象

① 对流层臭氧主要来源于碳氢化合物的燃烧, 它有别于具有吸收太阳紫外线功能的平流层臭氧。

② GtCe 代表 10 亿 t 碳当量。

③ ppm 是浓度单位, 表示百万分率。

组织(World Meteorological Organization, WMO)成立了 IPCC。自成立以来, IPCC 分别于 1990 年、1995 年、2001 年和 2007 年发布了四次气候变化评估报告, 对气候变化的最新研究结果进行综合、系统和全面地评估。目前, 作为科学界和政府间对气候变化科学认识的共识性文件, IPCC 的评估报告已经成为全球应对气候变化决策的重要依据。正是由于 IPCC 对全球气候变化领域做出的卓越贡献, 2007 年瑞典皇家科学院诺贝尔奖评审委员会宣布将年度诺贝尔和平奖授予美国前副总统戈尔和 IPCC。

IPCC 第一次评估报告促成了各国政府间的气候对话, 并推动了政府间谈判委员会(Intergovernmental Negotiating Committee, INC)的建立, 从此开始了有关气候变化问题的国际公约谈判。历经五次会议, 由 INC 起草的《公约》于 1992 年 6 月在巴西里约热内卢举行的联合国环境发展大会上获得通过, 其最终目标是: “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。这一水平应当在足以使生态系统能够自然地适应气候变化、确保粮食生产免受威胁并使经济发展能够可持续地进行的时间范围内实现”(UNEP, WMO, 1992)。在此基础上, 《公约》确立了五个基本原则: 一、公平原则(共同但有区别责任), 即要求发达国家应率先采取措施应对气候变化及消除其不利影响; 二、特殊性原则, 即充分考虑发展中国家缔约方尤其是特别易受气候变化不利影响的缔约方的具体需要和特殊情况; 三、预防原则, 即各缔约方应当采取必要措施, 预测、防止和减少引起气候变化的事件; 四、可持续发展原则, 即各缔约方有权并且应当促进可持续发展, 所采取的政策措施应当适合本国的具体情况; 五、国际合作原则, 即各缔约方应当合作以促进有利的和开放的国际经济体系, 为对付气候变化而采取的措施不应当成为国际贸易的壁垒。《公约》成为第一个为应对气候变化给全球带来不利影响而采取全面控制温室气体排放的国际条约, 也是人类在应对全球气候变化问题上进行国际合作的一个基本框架, 它于 1994 年 3 月 21 日正式生效, 并规定缔约方每年召开一次会议。

虽然正式生效后的《公约》规定, 至 2000 年发达国家温室气体人为排放量需降回至 1990 年水平。但是, 要使全球温室气体排放总量控制在预期水平, 仍需缔约方各国的更多努力以及国际间合作。历经三年谈判, INC 取得实质性突破。1997 年 12 月, 人类历史上第一个具有法律约束力的温室气体量化减排文件——《京都议定书》(Kyoto Protocol, 以下简称《议定书》)在日本京都召开的《公约》第三次缔约方会议上通过。《议定书》包括 A、B 两个附件, 其中附件 A 为温室气体种类以及部门/类型, 附件 B 为各国减排目标。《议定书》规定, 需在附件一所列缔约方 1990 年的 CO₂ 排放总量的 55% 以上且至少 55 个缔约方国家批准第 90 天后才具有国际法效力^①(UNFCCC, 1997)。然而, 全球最大的温室气体排放国家美国在 2000 年 11 月于海牙召开的《公约》第六次缔约方会议之后宣布退出, 成为唯一一个没有签署《议定书》的附件一国家。这使得《议定书》的生效条件无法达成。直到 2004 年底, 俄罗斯的签约使得《议定书》能够生效。

2005 年 2 月 16 日, 《议定书》正式生效以后, 气候变化会议的重点开始转向“后京都”时代减排目标的制定, 即在《议定书》第一承诺期(2008~2012 年)到期后各国如何通过修改附件 B 来确定发达国家第二承诺期(2012 年以后)的量化减排指标。2007 年 12

① 附件一所列缔约方是指《公约》附件一所列的国家。

月,《公约》第13次缔约方会议在印度尼西亚巴厘岛召开,并通过了《巴厘路线图》(Bali Roadmap,以下简称《路线图》)。《路线图》规定,在遵循《公约》和《议定书》的“双轨”谈判机制下,全球气候谈判必须在2009年底前达成共识,以便为“后京都”时代全球减排协议在2012年前达成并生效预留时间^①(UNFCCC,2007)。

2009年12月,众人瞩目的《公约》第15次缔约方会议——哥本哈根气候大会在丹麦哥本哈根召开。19个国家的领导人出席了此次会议,旨在商讨《议定书》第一承诺期到期后的后续减排方案,即2012年到2020年的全球中期减排协议。由于发达国家与发展中国家就温室气体减排责任、资金支持和监督机制等议题上存在巨大分歧,该会议并未取得实质性进展。这些分歧包括:第一,是否坚持《议定书》和《路线图》的原则;第二,发达国家能否作出更大幅度的减排承诺;第三,发达国家如何落实对发展中国家的资金和技术支持;第四,发展中国家是否需要强制减排;第五,发展中国家的减排行动是否需要接受“三可”,即可测量、可报告和可核实。会议最终艰难通过的哥本哈根协议维护了“共同而有区别”原则;坚持了“双轨制”的气候谈判进程;就发达国家的强制减排目标和发展中国家的自主减缓行动做出妥协;并对全球升温2℃以内的长期目标(相对于工业革命时期)、资金和技术支持、透明度等问题达成共识。遗憾的是,该协议并不是一份具有法律约束力的国际合作文件。

2010年11月,在墨西哥坎昆召开的《公约》第16次缔约方会议继续就哥本哈根会议未完成的议题谈判。与哥本哈根气候大会相比,虽然坎昆会议仍未解决2012年后全球温室气体排放这一核心问题,也未指明发达国家如何筹集哥本哈根协议中承诺的到2020年每年向发展中国家提供1000亿美元的“绿色气候基金”。但是,此次会议通过了两项重要决议,《议定书》附件一缔约方进一步承诺特设工作组决议和《公约》长期合作行动特设工作组决议。这两项决议的通过表明各国正在重拾哥本哈根气候谈判大会中失去的信心,并逐步恢复发达国家与发展中国家在全球变暖问题上的相互信任。

面对《议定书》第二承诺期的存续问题,2011年12月在南非德班召开的《公约》第17次缔约方会议谈判十分艰难。虽然会议最终决定将实施《议定书》第二承诺期并启动绿色气候基金,但是加拿大宣布退出《议定书》,日本和俄罗斯不准备接受《议定书》第二承诺期,这都给未来全球谈判增加了不确定性。

2012年11月,在卡塔尔多哈召开《公约》第18次缔约方会议就2013年起执行《京都议定书》(简称《议定书》)第二承诺期(8年期限)达成一致。大会还通过了有关长期气候资金、《公约》长期合作工作组成果、德班平台以及损失损害补偿机制等方面的多项决议。

纵观全球气候谈判,未来谈判的主要议题包括三项内容:第一,如何对发达国家在《议定书》第二承诺期的温室气体减排进行量化,并确定其减排路径;第二,如何在保障发展中国家经济可持续发展的前提下实施总量减排;第三,如何确定发达国家为发展中国家提供的减排资金和技术支持。气候谈判还在继续。

^① 双轨是指,一方面,在《公约》下,就全球气候合作行动进行谈判,讨论包括全球长期减排目标在内的长期合作“共同愿景”,解决减缓、适应、资金和技术四大问题。另一方面,在《议定书》下,就附件B指定减排目标的发达国家通过谈判和磋商确定2012年后“第二承诺期”的减排义务。

1.1.3 碳交易

1.1.3.1 碳交易的背景

从一系列的国际气候谈判中可以看出,对未来全球温室气体的排放总量做出限制显然已经成为一种共识。作为目前唯一一份具有法律约束力的温室气体减排文件,《议定书》的重要地位是毋庸置疑的。它为近 40 个国家设定了强制性的温室气体总量减排目标:2008 年到 2012 年期间,主要工业发达国家的温室气体排放量要在 1990 年的基础上平均减少 5.2%,其中欧盟将 6 种温室气体减排 8%,美国减排 7%,日本减排 6%,加拿大减排 6%、东欧各国减排 5%~8%;新西兰、俄罗斯和乌克兰的温室气体排放量可以稳定在 1990 年的水平上;允许爱尔兰、澳大利亚和挪威的温室气体排放量比 1990 年分别增加 10%、8%和 1%(UNFCCC, 1997)。由于受到总量约束,温室气体的排放权已然成为一种稀缺性资源,也因此具有了商品的价值以及存在碳排放权交易(本书简称碳交易)的可能。《议定书》将碳交易描述为,以市场机制为基础,将 CO₂ 排放权作为一种商品而形成的交易。为了促进以上工业国家完成其减排任务,《议定书》规定了三大碳交易机制:清洁发展机制(Clean Development Mechanisms, CDM)、联合履行机制(Joint Implementation, JI)和国际排放贸易机制(International Emission Trade, IET)。

(1) CDM

CDM 是三大碳交易机制中唯一一项与发展中国家直接相关的机制。其主要内容是指《公约》附件一的缔约方通过向发展中国家提供资金和技术的方式,实现项目合作。这种合作以最大限度保证不对发展中国家的社会、环境和经济产生影响为前提,将《公约》附件一的缔约方在发展中国家的项目投资所实现的“经核实的减排额度”(Certified Emission Reductions, CERs)作为资金和技术提供者在《议定书》中的减排承诺。CDM 优势在于,它在降低发达国家自身减排费用的同时,可向发展中国家提供有助于可持续发展的资金和技术。

(2) JI

与 CDM 一样,JI 也是通过不同国家之间项目合作方式实现《议定书》附件 B 中缔约方的减排承诺。不同的是,JI 是《议定书》为附件 B 缔约方之间设定的温室气体减排项目交易。它允许附件 B 缔约方通过转让减排单位(Emission Reduction Units, ERUs)来完成减排目标。其中,ERUs 的转让必须保证缔约方分配数量单位(Assigned Amount Units, AAUs)^①总额不变。

(3) IET

IET 允许附件 B 缔约方通过将其超额完成的配额指标,以贸易方式转让给另一附

^① 每个分配数量单位等于 1t CO₂ 当量。

件 B 缔约方。它与 JI 共同构成了《议定书》关于缔约方之间的双重碳交易机制。这里的配额是指缔约方在一定时期内分配到的碳排放权份额。例如, 欧盟配额 (European Union Allowances, EUAs) 是指在欧盟排放交易体系下企业分配到的碳排放权份额。由于受到所分配配额的限制, 一些企业的实际碳排放量可能低于其配额, 而另外一些企业正好相反。此时, 那些实际碳排放量低于配额的企业可以将盈余配额出售给存在配额缺口的企业, 实现碳排放权的有效配置。一般而言, 这种基于配额的市场交易市场机制被认为是实现有效减排的最佳途径。

1.1.3.2 现有的主要碳市场

得益于两大具有重要意义的气候变化国际公约——《公约》和《议定书》的生效, 碳交易市场在全球范围内逐步发展起来。由于目前国际上对碳交易市场的定义还没有形成一个统一的共识, 参照经济学的市场概念, 本书将碳交易市场定义为: 所有具有买方和卖方的商品交换场所, 其交易对象为碳排放权。据世界银行统计, 2005~2008 年间, 全球碳交易市场年均增长 126.6%。2008 年全球碳交易市场交易额达 1263 亿美元, 比 2007 年的 630 亿美元上升了 100.6% (李艳君, 2010)。

从交易目的来看, 碳交易市场可分为非京都机制市场和京都机制市场。非京都机制市场是指不基于《议定书》交易机制的碳交易市场。非京都机制市场以自愿交易为主, 表现为企业通过自愿购买一定数量的减排量, 来中和企业生产过程所排放的碳。通常它被用于企业社会责任、品牌建设和社会效益等活动。事实上, 由于缺乏统一的市场管理, 自愿交易市场的交易数量和交易价格经常出现巨大的波动并无规律可循, 市场规模也较小。随着《议定书》的正式生效, 以《议定书》中三大碳交易机制为基础而建立的京都机制市场迅猛发展起来。

从交易类型来看, 碳交易市场可分为基于配额的碳交易市场和基于项目的碳交易市场。其中, 基于配额的碳交易市场在总量控制和市场机制的作用下, 对管理者制定、分配或拍卖的碳排放权配额进行交易, 它以 IET 机制下的 AAUs 或 EUAs 交易为主。基于项目的碳交易市场将可证实降低碳排放的项目进行交易, 主要将包括, JI 项目中的 ERUs 合作和 CDM 项目中的 CERs 合作。

目前国际上主要的碳交易体系包括: 欧盟排放交易体系、芝加哥气候交易所和澳大利亚新南威尔士温室气体减排计划。

(1) 欧盟排放交易体系 (The EU Emissions Trading System, EU-ETS)

根据《议定书》规定, 2008~2012 年间欧盟碳排放总量需比 1990 年平均减少 8%。为了实现这个目标, 欧盟委员会于 2005 年推出了首个基于配额交易机制 (Cap and Trade) 的区域性碳交易市场——EU-ETS。EU-ETS 允许将碳排放权作为一种商品在欧盟之间流通, 它首先根据《议定书》中各成员国减排目标对 EUAs 进行国家间分配; 然后通过国家分配计划 (National Allocation Plans, NAPs) 确定国家配额分配数量和分配形式, 最终发放给相应企业。如果企业通过技术升级或其他途径减少了碳排放, 其多余的碳排放权便可在市场上出售给有需求的企业。为了保证参与 EU-ETS 的企业能够按规定参与基于配额交易机制, 欧盟委员每年对这些企业进行一次核查, 对超过配额的二

氧化碳排放量处以每吨 100 欧元的高额罚款(2008~2012 年),且该罚款不能抵消企业的减排指标,需在下一年度予以弥补。EU-ETS 只涉及 CO₂ 这一温室气体,配额分配以免费发放形式为主,而在未来拍卖形式将有可能成为主要方式(EU Commission, 2012)。例如,欧盟 EU-ETS 初期根据历史排放量在国家间完成排放权的初始分配,但到 EU-ETS 第二阶段,10% 的配额被允许通过拍卖获得,而到第三阶段,这一比例将继续上升至 60%。

从 2006 年开始,EU-ETS 已成为全球最大的碳交易市场。2010 年 EU-ETS 成交额达 1198 亿美元,占全球碳交易成交额的 84%。目前,EU-ETS 已经发展成为一个与国际金融和能源市场有着密切联系的碳交易市场,并形成了包括场外、场内、现货、衍生品在内的多层次市场结构,它为欧盟实现《议定书》第一承诺期的减排目标做出了巨大贡献,给全球碳交易市场的发展提供了重要的借鉴意义。

(2) 芝加哥气候交易所(Chicago Climate Exchange, CCX)

2003 年成立的 CCX 是全球第一个具有法律约束力的自愿减排交易平台,也是全球唯一一家同时开展《议定书》附件 A 中规定的六种温室气体减排交易的市场。它允许会员自愿参与温室气体排放登记、减排和交易。在 CCX 的减排计划中,要求会员实现两阶段的减排目标是:第一阶段,2003~2006 年间,所有会员温室气体排放量比基准线每年减少 1%;第二阶段,2007~2100 年间,所有会员温室气体排放量比基准线每年减少 6% 以上。为了实现这个目标,会员间可通过购买许可或者碳减排项目产生的信用额度实现。

(3) 澳大利亚新南威尔士温室气体减排计划(New South Wales Greenhouse Gas Reduction Scheme, NSW GGRS)

NSW GGRS 是全球最早实施碳交易的减排计划之一,它于 2003 年 1 月在澳大利亚新南威尔士州正式启动。NSW GGRS 是一个涉及 6 种温室气体为期 10 年的温室气体减排体系。与欧盟排放交易体系最大的区别是,参加 NSW GGRS 的企业仅包含电力零售商以及其他负有减排义务的电力企业。为了保证交易制度的顺利实施,NSW GGRS 设计了一个以人均 CO₂ 排放量为目标的温室气体减排框架,同时建立了企业超额排放的罚款制度。NSW GGRS 是全球最大的京都体制外碳交易市场。其运行过程受新南威尔士独立价格和管理法庭(IPART)的监督。

除以上三个主要的碳交易体系外,国际碳交易体系还有区域温室气体行动计划(Regional Greenhouse Gas Initiative, RGGI)、西部气候倡议(The Western Climate Initiative, WCI)、中西部温室气体减排协议(The Midwestern Greenhouse Gas Accord, MGGA)、新西兰排放交易体系(NZ-ETS)、日本排放交易体系(JP-ETS)等。值得一提的是,至今为止,欧洲已经成为世界上最大的区域性碳交易市场,包括:欧洲气候交易所(EXC)、欧洲能源交易所(EEX)、北欧电力交易所(Nordpool)、巴黎碳交易市场(Bluenext)、伦敦能源经济协会(LEBA)、意大利电力交易所(IPEX)、荷兰交易所(Clim ex)和奥地利能源交易所(EXAA)等 8 个交易中心。

从国内碳市场来看,目前以自愿减排交易为主,主要的交易机构有北京环境交易

所、天津排放权交易所、上海环境能源交易所等。但国内碳交易市场尚不完善,其中行政干预的力度较大,还没有真正体现出市场的主导作用(付玉,2007)。这就导致碳交易缺乏效率,企业可选择的交易对象范围窄,价格不够透明,交易成本较高。事实上,由于缺乏统一的市场管理,自愿交易市场的交易数量和交易价格经常出现巨大的波动并无规律可循。显然,没有一个政府强制性的减排目标,自愿性市场的作用将是很有限的。

随着气候变暖的加剧,以及国内碳市场相关法律法规的逐步建立和完善,碳交易必将由自愿减排交易向总量控制和配额交易过渡(杨永杰,2012)。王学山等(2005)的计算结果表明,区域排污权交易不仅带来明显的经济和环境效益,而且也成为协调区域间环境矛盾的重要手段。事实上,京、津、沪、渝、鄂、粤和深圳7省市将从2013年开始进行类似EU-ETS的碳交易试点,实行总量控制。只有实行总量控制,强制减排,才能刺激交易。现在这七个省市正在做相关的前期准备,按照国家发改委的部署,这个试点从2013年持续到2015,2015年以后将建成全国性的碳市场。

1.1.3.3 碳交易市场的未来

随着区域碳交易体系的逐步建立,全球碳交易市场的规模将不断增大。然而,以京都机制为基础的碳交易市场在未来还存在诸多不确定性(陈洪波,2009):

第一,碳交易市场的规模取决于未来可能达成的全球减排方案。只有市场存在对碳排放权的需求,碳交易才有存在的意义。目前在已做出减排承诺的国家中,欧盟作为一个整体,其表现最为积极。欧盟计划至2020年温室气体排放量比1990年减少25%,其最终目标是要实现至2050年温室气体减排80%~90%(EU Commission,2012)。然而,以美国为代表的其他发达国家在减排力度上远不及欧盟,能否进一步减排尚存在不确定性。此外,对于碳排放总量处于上升过程中的广大发展中国家来说,总量减排仍遥遥无期。

第二,有效发挥碳交易市场对全球减排作用的关键在于对未来可能出现的区域性碳交易市场进行整合,以形成一个范围更广、甚至全球性的碳交易市场。大规模的碳交易市场将更有利于低碳技术的传播以及减排成本的降低。从现有碳交易市场的分布来看,主要集中在发达国家。然而,即便是对经济发展水平相当的两个区域性碳交易市场进行整合仍存在诸多困难,比如区域配额分配问题,交易价格形成机制问题等。

第三,在保证可持续发展的前提下,如何让发展中国家有效地参与全球碳交易市场尚不明晰。虽然CDM为发达国家与发展中国家之间的合作减排提供了一个平台,但其效果并不理想。在如何对CDM进行改革的问题上,发达国家与中等发展中国家存在巨大的分歧:一方面,发达国家要求,中等发展中国家适时退出该机制,并加入到基于配额的碳交易市场中;另一方面,中等发展中国家提出,CDM改革应倾向对机制细节的完善,而非机制本身。如何构建一个兼顾发达国家与发展中国家权益的碳交易平台仍将面临挑战。

第四,国家内和国家间的政策工具协调将有可能对未来碳交易市场的发展带来影响。显然,在碳交易市场运行过程中不可避免的需要结合其他政策,比如产业政策、贸易政策等。碳交易市场的健康发展必须避免这些政策对市场机制的干扰。

虽然未来碳交易市场的发展仍存在不确定性,但全球减排行动势在必行,各个国家

对碳排放权的需求也将长期存在。从有效降低减排成本的目的来看,未来碳交易市场还有很大的发展空间。刘燕华(2011)指出,至2020年全球碳交易市场规模将达3.5万亿美元,有可能超过石油市场并成为全球最大的能源交易市场,并预计碳金融有可能成为未来重建国际货币体系和国际金融秩序的基础性因素。可以想象,未来在全球范围内形成一个统一的类似WTO的全球碳交易市场是有可能的。

1.2 碳交易的相关研究进展

1.2.1 政策模拟

政策模拟是以数学计算为基础,采用计算机模拟技术,对政策问题展开建模、模拟和分析。它以管理科学为主体,融合经济学、地理学、计算机科学等多门学科知识,既可用于模拟确定多种政策中的最优政策,也可用于分析特定环境下政策的可行性和有效性(王铮等,2004)。作为一门新兴学科,政策模拟不完全具备实证科学的特点,由于模拟结果是一种计算机实验的结果,它无法在现实世界中加以检验,因为政策一旦发挥作用就改变了现实世界,无法回归原点,因此政策模拟的科学性主要由理论的正确性、模型的准确性和算法的完整性来决定(王铮等,2004)。

自1979年 *Policy Modeling* 杂志创刊以来,政策模拟开始得到了西方发达国家的重视。美国、德国、日本和印度先后成立了相应的学科学会,旨在利用传统的理论知识对复杂的社会经济系统进行政策模拟,进而分析国内经济政策以及国际贸易政策所带来的影响(薛俊波,2006)。随着政策模拟的发展,其应用范围由最初的宏观经济问题和环境经济问题向其他领域渗透,比如金融风险规避、可持续发展问题、动态一般均衡问题、经济改革问题等(Robinson et al., 1999; Adelman and Yeldan, 2000)。自20世纪90年代以来,政策模拟开始在国内发展起来。宏观动态递推(Macroscopic Dynamic Recursive, MDR)技术和可计算一般均衡(Computable General Equilibrium, CGE)技术是目前使用最广的两种宏观政策模拟技术。MDR技术以主体效用最大化为目标,通过上期宏观经济变量和控制变量计算当期宏观经济变量值。通过这种方法可以实现对宏观经济政策的长期效用评估。其特点是能够反映宏观经济的动态增长过程,并能体现技术变化。与MDR不同的是,CGE把宏观经济体系分为大量可计算的部分,通过计算模拟而非解析分析,研究在一般均衡体系下政策变动对宏观经济的影响,这适合于在宏观经济框架下对部门经济现象进行认识(薛俊波,2006)。

1.2.2 面向气候保护的政策模拟

随着政策模拟技术的不断发展,其应用领域也逐渐延伸到气候保护领域。由于气候保护涉及气候变化、经济安全、社会发展和自然资源等多方面因素,面向气候保护的政策模拟是一个系统性复杂工程。对其研究已经走在了最重要的科学前沿。目前国际上关于气候保护的社会经济研究多数是基于模型的,主要原因在于气候保护需要关注未来气候变化所带来的影响,而传统的经济数据分析已经无法满足这种需求。