

气候保护的经济学研究

王 铮 吴 静 朱永彬 乐 群 等 著



科学出版社
www.sciencep.com

气候保护的经济学研究

王 铮 吴 静 朱永彬 乐 群 等 著

国家 863 项目 (2008AA12Z204)

中国科学院创新工程方向性项目 (KZCX2-YW-325) 资助出版

国家自然科学基金项目 (40771076)

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书从经济学的角度系统地论述了气候保护的经济影响问题。从理论上分析了碳排放的复杂性,介绍了作者开发的基于经济动力学的碳排放预测模型,预测了我国 2005~2050 年的碳排放轨迹;本书还以作者提出的 GDP 溢出的多国气候保护政策模拟模型为基础,展开了国际减排方案的政策模拟评价;本书应用作者开发的面向气候保护的 121 部门的可计算一般均衡 (CGE) 的软件工具,分析了我国实施碳税、碳关税等政策的部门经济影响。本书最后附有作者开发的“多国气候保护方案模拟系统”软件光盘一份。

鉴于上述内容介绍,本书既是一本气候保护政策模拟的研究报告,也是一本气候经济学的理论著作。本书的科学结论适合于有关部门的业务人员、管理干部、外交工作人员参考。本书的理论和研究方法适合政策模拟相关领域的研究人员参考;也可供经济学、管理学、地理学、大气科学、环境科学等高等专业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

气候保护的经济学研究/王铮等著. —北京:科学出版社, 2010
ISBN 978-7-03-029447-0

I. ①气… II. ①王… III. ①气候变化-环境保护-环境经济学-研究-中国 IV. ①X16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 215567 号

责任编辑:韩 鹏 朱海燕 赵 冰/责任校对:桂伟利

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 11 月第一次印刷 印张:12 1/2

印数:1—2 500 字数:286 000

定价:58.00 元 (含光盘)

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

2007 年的联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第四次评估报告指出,有大量证据表明人类正在影响着全球气候,气候的变化对人类的社会经济有深刻的影响。以 IPCC 为代表的世界上大多数学者对全球气候变化的影响做了全面的研究,对全球气候变化的速度和影响都做了严峻的估计。这就提出一个突出的问题——保护我们的气候。气候变化和气候保护必然产生社会经济影响,这些经济影响问题,就是气候经济学研究的问题。从经济学看,气候具有公共产品的特性,这就引出了气候经济学研究关注的对象不是企业或者经济个体的利润最大化,而是公共经济学的特征。另一方面,气候是地球环境的一部分,所以气候经济学的研究也具有环境经济学特点。

本书没有全面研究气候经济学,而是从经济学的角度关注气候保护的经济影响问题。国际上关于气候保护的社会经济影响研究多数是基于模型的,传统的经济影响经验估计已经不适于应对气候保护的研究。这种模型研究始于 20 世纪 90 年代初,最初发展的是基于技术考虑的能源优化模型,其后发展的局部均衡模型和一般均衡模型 (Computable General Equilibrium, CGE) 把宏观的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多部门的影响,其模型技术是静态的。关于气候变化与保护的经济影响的动态方程是 Nordhuas 等发展起来的,因此有人预测 Nordhuas 将会获得诺贝尔经济学奖。这类模型又被称为综合评价模型 (Integrated Assessment Model, IAM)。IAM 是从宏观经济的角度进行政策的比较分析,完成减排政策的寻优模型, IAM 可以向政府提供何种减排政策是最好的,可以对不同减排方案进行成本-收益分析,回答减排对经济增长的长期影响。在本书中,我们对这两种模型的发展与应用均有探索。

IPCC (2007) 第四次评估报告使用了 6 个评估气候变化与保护的经济影响模型,它们作为 IPCC 的附件放在排放情景专门报告 (Special Report on Emissions Scenarios) 中,所以被称为 SRES 模型。SRES 模型是 2000 年前形成的,它们基本上是针对气候变化经济影响评估的被动型分析模型,而且缺乏对发展中国家技术进步快速的考虑。目前国际上的研究潮流是气候保护经济政策寻求的主动型模型。因为科学家不能只限于讨论打开所罗门魔瓶出现的魔鬼将是怎样的,而是应该讨论怎样阻止正在打开魔瓶,并且制止魔鬼。

针对气候保护问题的复杂性,我们认为,基于自主体的模拟 (Agent-Base Simulation, ABS) 可以推进到气候保护政策的经济分析,从而弥补 CGE 的不足,研究气候变化与气候保护政策对个人、企业更替的冲击以及群体行为。可惜目前针对气候变化和气候保护冲击评估的 ABS 还未见报道,我们也未能展开这方面的工作,这是本书的缺憾。

本书初稿的各章作者已经注明在各章首页脚注位置,吴静协助我完成了各章的统稿,薛俊波协助我完成了中国科学院创新工程方向性项目的组织。我的课题组长期以来

致力于发展气候经济学模拟，除了书中的作者外，先后参加工作的还有胡倩立、龚轶、崔丽丽、蒋轶红、郑一萍、吴兵、黎华群、庞丽、吕作奎、张焕波、李刚强、马晓哲、刘筱和李山。在此向他们一并致谢。华东师范大学王远飞副教授8年来审阅了我几乎所有研究气候问题的研究生论文；科学出版社彭斌编审支持本书的出版；中国科学院院士白春礼、丁仲礼和北京大学承继成教授在陆续听取课题组汇报时提出不少改进意见。在此一并致谢。

气候变化与保护已经成为关系人类福祉、关系国家利益的大问题。希望本书能够为保护人类共同利益、维护发展中国家的发展权利作出贡献，也为气候经济学的发展作出贡献。

王 铮

2010年清明节于中关村

目 录

前言

第 1 章 气候经济学模型	1
1.1 概况	1
1.2 SRES	3
1.3 需要进一步研究的重点	11
第 2 章 碳排放的复杂性	13
2.1 碳排放 EKC 曲线的由来	13
2.2 碳排放 EKC 的发展阶段	14
2.3 碳排放演变的复杂性	24
2.4 总结与讨论	34
第 3 章 中国的省级碳排放	36
3.1 中国省级能源消费碳排放核算	36
3.2 中国各省、自治区、直辖市水泥生产碳排放估算	45
3.3 中国各省、自治区、直辖市碳排放汇总结果分析	48
3.4 总结与讨论	50
第 4 章 中国碳排放结构演变	52
4.1 技术进步对我国碳排放的影响	52
4.2 能源消费结构对我国碳排放的影响	58
4.3 产业结构对我国碳排放的影响	62
4.4 总结与讨论	64
第 5 章 中国能源与碳排放 EKC 曲线	66
5.1 能源消费碳排放预测流程	66
5.2 经济-能源动力学关系	67
5.3 能源消费碳排放预测	72
5.4 总结与讨论	82
第 6 章 中国碳的净排放曲线估计	83
6.1 水泥的碳排放	83
6.2 中国森林碳汇对碳排放的影响	85
6.3 中国 CO ₂ 净排放曲线	96
6.4 总结与讨论	96
第 7 章 多区域 GDP 溢出下气候保护模型	98
7.1 气候保护政策模拟系统概述	98
7.2 多区域气候保护模型的基本结构	99

7.3	模型方程体系	100
7.4	模型数据采集	108
第 8 章	流行的气候保护方案评估	116
8.1	国际气候保护方案研究现状	116
8.2	配额分配原则下的减排方案分析	117
8.3	排放水平控制原则下的减排方案分析	125
8.4	方案小结	132
第 9 章	中国分省域碳配额研究	134
9.1	区域配额分配原则概述	134
9.2	我国省域排放权配额计算	136
9.3	我国省域减排压力分析	139
9.4	较适合我国的分省域碳配额原则	146
第 10 章	中国气候保护方案的经济影响分析	148
10.1	模型与数据	149
10.2	模拟结果分析	153
10.3	总结与讨论	160
	参考文献	161
	附录一 环境 EKC	168
	附录二 面向气候保护的 CGE 模型的变量及参数意义表	189
	附录三 各树种自然死亡率及采伐情景设置	191

第 1 章 气候经济学模型

1.1 概 况

联合国政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第四次评估报告认为, 近 100 年来全球地表平均气温升高 0.74°C , 2005 年全球大气二氧化碳浓度达到 65 万年以来最高, 人类活动很可能是导致气候变暖的主要原因 (IPCC, 2007)。在这种情况下, 世界上兴起了气候经济学的模拟研究, 这种研究成为国际制定气候保护政策的科学基础。

关于气候保护的经济政策模拟模型研究, 始于 20 世纪 90 年代初。最初发展的是基于技术考虑的能源优化模型, 接着出现了宏观经济模型 (Nordhaus et al., 1996, 1999) 和对策论模型 (Cesar, 1994), 其后发展了局部均衡模型和一般均衡模型 (Computable General Equilibrium, CGE) (Leimbach, 1998) 及动态增长模型 (Warren et al., 1999) 等。

总体上, 当前关于气候保护的经济政策模型的发展以两类模型为基础: 一类是综合评价模型 (Integrated Assessment Model, IAM)。IAM 是从宏观经济的角度进行政策的比较分析。这类模型实际上是减排政策的寻优模型, IAM 可以向政府提供何种减排政策是最好的, 可以对不同减排方案进行成本-收益分析。IAM 里著名的模型有: 美国耶鲁大学的 DICE、RICE (Nordhaus et al., 1996, 1999), 德国汉堡大学的 FOUND (Tol, 1997; Link et al., 2004), 美国斯坦福大学的 MERGE (Manne et al., 1995, Manne et al., 2004)。其中 RICE 模型影响最大, 成为学者们研究气候经济学政策的主要工具。目前, IAM 主要用于分析宏观经济总体在各种气候政策下的动态变化, 模拟减排政策干扰下世界经济系统的动态过程, 分析各种全球减排方案的合理性。

IAM 模型的基本构成包括三个部分: 第一是气候系统, 它是对温室气体的响应系统, 输入温室气体, 输出气候特征, 主要是气温, 其次是降水; 第二是经济增长系统, 它刻画经济学动态过程, 输入气候和能源, 输出经济产品和能源需求; 第三是能源系统, 刻画经济活动中的能源需求关系, 输入能源需求, 让能源系统提供能源, 同时输出产生的温室气体, 这个温室气体被作为气候系统的输入。这三个子系统构成了气候经济系统或者说人地关系系统的结构, 相互作用, 形成内生环境。政策情景是一个外生系统, 它向增长系统和能源系统传达人类控制人地关系系统的各种信息或者说各种政策, 这些政策不同, 最后系统输出的经济情景 (即气候情景) 也不同。图 1.1 是一个简化的 IAM 模型簇的 DICE 模型结构图。在这个模型中, 能源供需系统被简化了。

另一类气候政策分析模型是 CGE 模型。CGE 是一种经济分析技术, 它把宏观的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

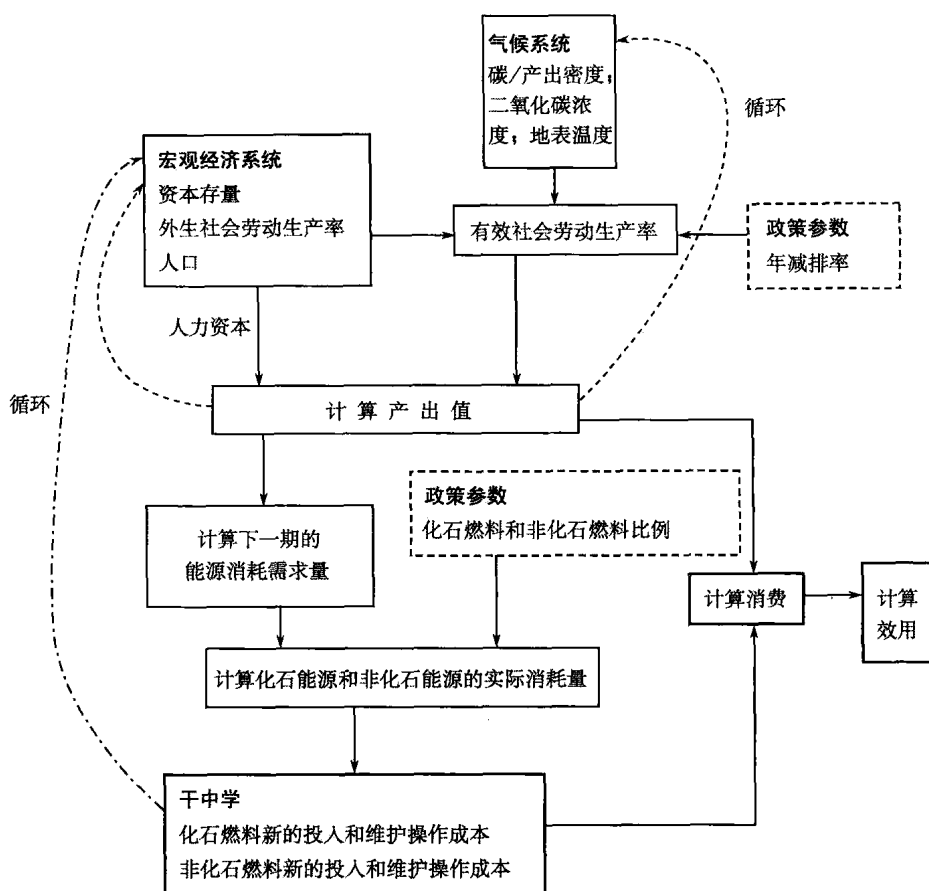


图 1.1 DICE 模型结构

策变动对宏观经济多部门的影响，这适合于在宏观经济框架下对微观经济现象进行认识，具有混杂（hybird）分析的特点。CGE 的分析涉及大量的分析计算，一般情况下涉及 100~1000 个方程和变量。

关于气候保护的 CGE 模型重点关注一个地区或者国家的能源政策和碳税政策的影响，主要分析减排政策对经济部门造成的具体后果。CGE 模型可以从产业部门的角度详细分析气候保护政策的经济影响。这类 CGE 中著名的模型有经济合作与发展组织（OECD）的 GREEN（1994，1997）模型和 LINKAGE（Yu et al.，2002）模型、美国西北国家实验室的 SGM（Edmonds et al.，1993）模型，美国能源部的 G-Cubed（McKibbin，1997；McKibbin et al.，2004）模型和日本国家环境研究所的 AIM（Masui et al.，2003）等模型。由此可知，CGE 主要是评估能源政策冲击的经济影响和碳排放量变化，相当于一般 IAM 模型的能源系统。

20 世纪 90 年代末以来，我国学术界也开展了对温室气体减排政策的模拟研究。例如，郑玉歆等（1999）引进 PRGEM 软件，分析了中国征收碳税减排二氧化碳的成本；贺菊煌等（2001）用 CGE 模型研究了碳税作用；张阿玲等（2002）将 3E 模型用于温室气体减排技术选择和减排对经济影响的分析中；蒋金荷等（2002）在分析当前温室气体减排技术模型的两种建模方法 top-down 和 bottom-up 的特点的基础上，提出了

构建混合型经济-能源系统模型的建议和开发思路；陈文颖等（2004）应用能源-环境-经济耦合的中国 MARKAL-MACRO 模型进行模拟分析；姜克隽等（2004）结合 SGM 模型重点从能源效率的角度分析了中国的减排潜力情况；王灿等（2005）用 CGE 模型分析了减排对中国经济的影响；王铮课题组从 1999 年起研究气候保护政策问题。王铮等（2002，2006）建立了局部的均衡宏观经济模型和包含内生技术进步的二氧化碳减排可计算模型体系；崔丽丽等（2002）以连贯状态模型（Pizer，1999）和 LEAN-TCM（Welsch et al.，1995）为基础，实现了控制二氧化碳减排率和 EKL（能源-资本-劳动力）替代减排温室气体的中国气候-经济系统的模拟；王铮等（2004）、王铮等（2006）在人地关系协调思想的指导下，增加了碳汇的经济成本模型，实现了对包括增汇型、能源替代型和生产型二氧化碳排放控制政策对中国宏观经济安全的影响分析。但迄今为止，尚未建立集宏观经济动态模型和 CGE 模型于一体的中国气候保护宏观经济政策模拟系统。当然还有其他一些优秀的工作，这里不一一讨论。

与早期模型相比，比 IAM 进步的是国际影响评价模型（International Impact Assessment Model，IIAM）。模型体系中除了中国外还有一个外部世界，这个外部世界是平均水平的，而实际的情况是参与减排的国家有不同的利益类型，相互博弈，因此，我们要求的是多国参与的气候变化政策模型 MIAM（Multinational Impact Assessment Model），它也可以说是 IIAM 的亚型。与一般全球模型只有全球一个经济体不同，多国模型必须考虑多个经济体，即将整个世界划分为多个主体国家，例如，RICE（Nordhaus et al.，1996，1999）、FEEM-RICE（Buchner，2005）均为 MIAM；这些模型是动态宏观经济模型。

近年基于博弈论的多国模型也得到了发展（Ciscar et al.，2002），多国的 CGE 模型由于涉及复杂的国际社会核实矩阵，还罕见报道。Pinto 等（2003）报道了基于 CGE 的多边气候谈判的气候变化政策研究，但是没有报告模型体系。不过，美国建立的国家政策模拟系统，应该具有 MIAM 的功能，可能因为涉及国家利益，其结果未见公开报道。总之，基于 CGE 的 IIAM 或 MIAM，或者不成熟，或者要保密，是我国需要研究的重要内容。从经济学角度看，在一般的 IIAM 或者 MIAM 方面，由于多国之间存在溢出现象，在气候保护方面国际的 GDP 溢出被提了出来（Böhringer et al.，2002）。在我国，王铮等（2007）基于 GDP 溢出模型建立了中美气候保护模型。模拟发现，两个中的任何一方加大生产性减排，对对方均有负面影响，但是不减排又面临对长期发展的威胁。研究显示，可能存在着优化的结合增加碳汇和生产性减排的混合策略。

由于多国参与环境下气候保护及其经济影响的复杂性，新 MIAM 模型需要综合考虑避免经济危机的多国（多区域）CGE，考虑各国宏观经济增长以及国际 GDP 溢出、减排贸易、清洁发展机制（CDM）等多种机制，一个重要的科学任务凸显在我们面前，需要从基础科学角度展开研究。

1.2 SRES

IPCC 第四次评估报告，使用了 6 个评估气候变化与保护的经济影响模型，它们作

为 IPCC 的附件放在排放情景专门报告中 (Special Report on Emissions Scenarios)^①, 利用这 6 个模型产生了 40 个排放情景。我们称这 6 个模型为 SRES 模型, 它们分别为:

(1) 亚洲太平洋集成模型 (Asian Pacific Integrated Model, AIM), 源自日本国家环境研究所 (1994);

(2) 大气稳定框架模型 (Atmosphere Stabilization Framework, ASF), 源自美国的 ICF 咨询公司;

(3) 温室效应评估集成模型 (Integrated Model to Assess the Greenhouse Effect, IMAGE), 源自美国公共健康和环境卫生国家研究所; 用于连接荷兰经济政策分析 WorldScan 模型;

(4) 基于多区域方法的资源和产业配置模型 (Multiregional Approach for Resource and Industry Allocation, MARIA), 源自日本东京理科大学;

(5) 替代能源供应战略和综合环境影响模型 (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact, MESSAGE), 源自澳大利亚国际应用系统分析研究所;

(6) 微型气候评估模型 (Mini Climate Assessment Model, MiniCAM), 源自美国的太平洋西北国家实验室。

下面我们对这 6 个模型做一些介绍。

1.2.1 亚太集成模型 (AIM)

AIM 是为对温室气体 (GHG) 排放和全球变暖对亚太地区的影响进行情景分析而构建的一个计算模拟系统。新版的 AIM 包含全世界, 但相对于其他地区而言, 它对亚太地区的描述具有更为详细的结构, 因此这个模型主要用于考察亚太地区对全球变暖的反应, 同时它与世界模型结合对全球的排放和减排结果开展评估。

AIM 包含三个子模型: GHG 排放模型 (AIM/emission)、全球气候变化模型 (AIM/climate) 以及气候变化影响模型 (AIM/impact)。它的逻辑路线是排放量影响气候系统, 气候系统反映气候变化, 这种变化对经济部门产生影响。图 1.2 为 IPCC (2007) 给出的 AIM 的基本结构。

在图 1.2 中, 我们可以看到, 这个模型的优点是对各种排放因素做了详细考虑。

1.2.2 大气稳定框架模型 (ASF)

大气稳定框架模型是一个基于能源流和市场平衡的模型。目前的 ASF 版本包括能源、农业、森林砍伐的 GHG 排放以及大气模型。ASF 能够对世界上 9 个地区的排放进行估算。其中, 农业 ASF 模型评估了主要的农产品的生产, 如肉类、牛奶和谷物, 这些量是由人口和国民生产总值 (GNP) 增长带动的; ASF 森林开发模型根据人口增长及其对农产品的需求评估了每年陆地森林采伐的区域。它的结构如图 1.3 所示。

^① http://www.grida.no/publications/other/ipcc_sr/?src=/climate/ipcc/emission

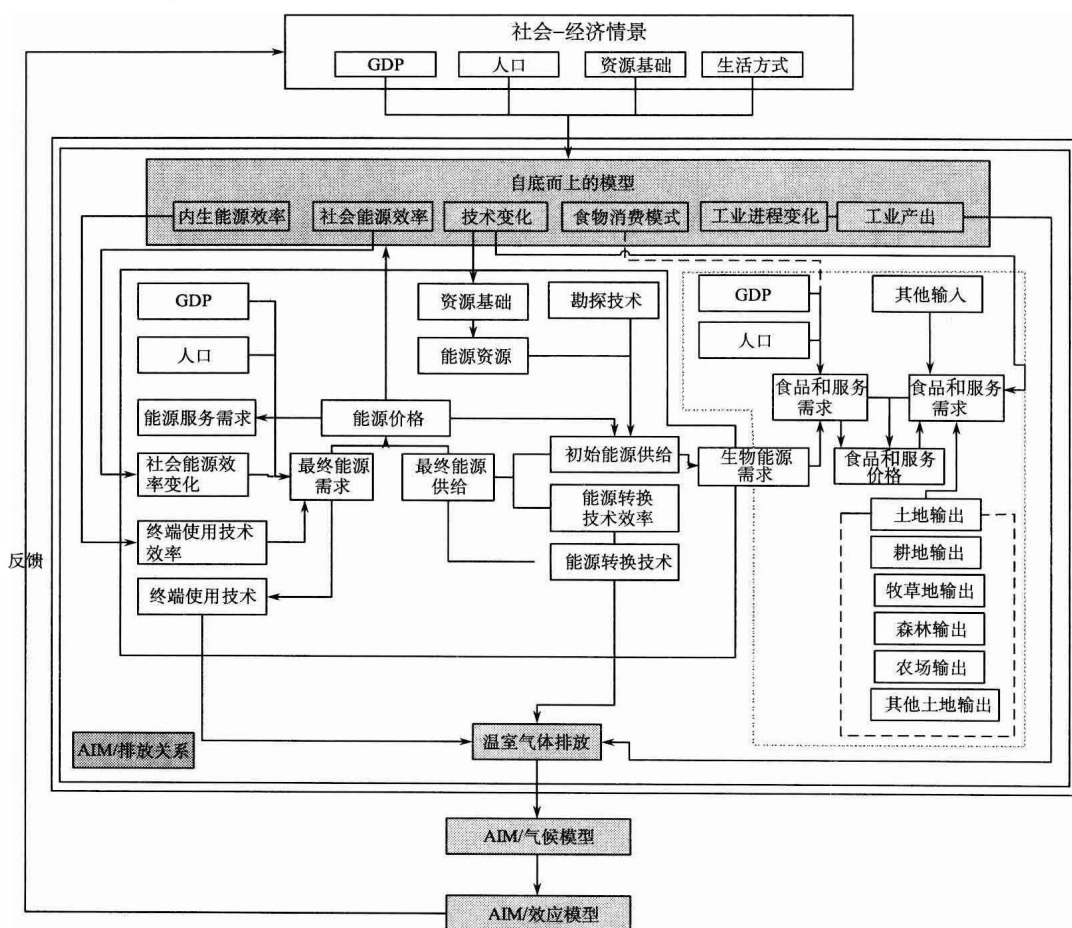


图 1.2 AIM/emission linkages 框架

在大气稳定框架模型中，平衡能源的供应和需求最终是通过调整能源价格来实现的。模型考虑了区域间能源价格的差异，这反映了不同区域在能源问题上的贸易与生态关系。模型的能源价格因能源种类不同而异，这样反映能源供给限制、加工成本和能够最终提供的能源数量。据 IPCC（2007）的介绍，在算法上，ASF 模型通过反复搜索技术来决定供给价格，以此评价供需平衡。这些供给价格，即能源生产者收取的在矿井井口装置或矿井中的燃料支出费用，被用来估计各个区域的第二能源价格。第二价格以出口地区的边际供应价格，区域间运输成本、精制和经销成本以及区域税收政策为基础。对电力来讲，第二价格反映了用于发电的每种燃料的相对比例、这些燃料的第二价格、将这些燃料转化成电力的非化石成本和转换效率。ASF 温室气体排放模型使用能源的输出、农业和森林采伐模型分别评估每个区域的温室气体排放量，最终将排放量映射到各区域的 GNP 上。

从经济学看，图 1.3 反映的结构并不完整，因为没有考虑能源系统对经济系统的反馈作用。

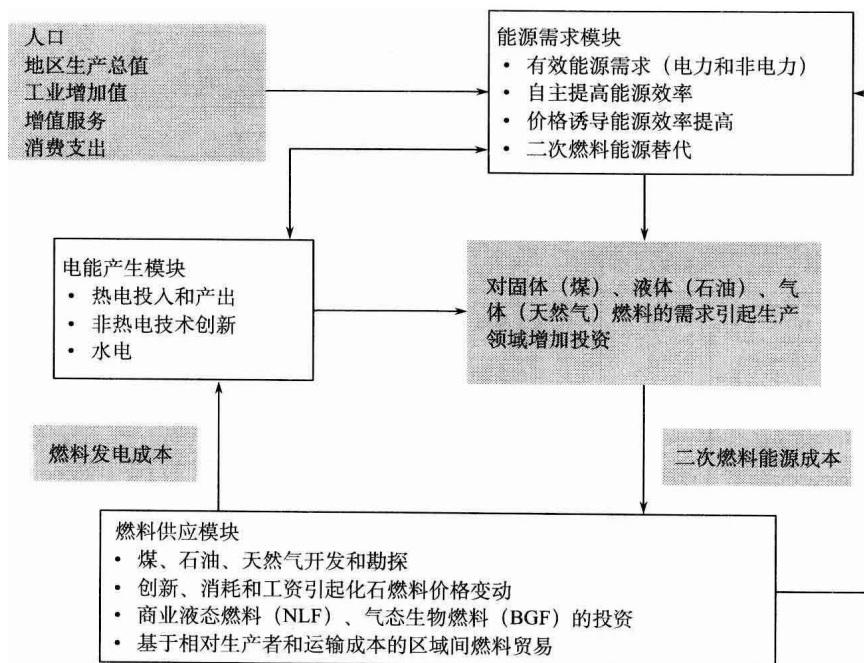


图 1.3 IMAGE 2 模型的 EIS/TIMER 模块结构

1.2.3 温室效应评估集成模型

温室气体评估集成模型，实际上是一个 IIAM 模型，如 IIAM 一样，它由能源-工业系统（energy-industry system, EIS）、陆地环境系统（terrestrial environment system, TES）、大气-海洋系统（atmosphere-ocean system, AOS）构成。

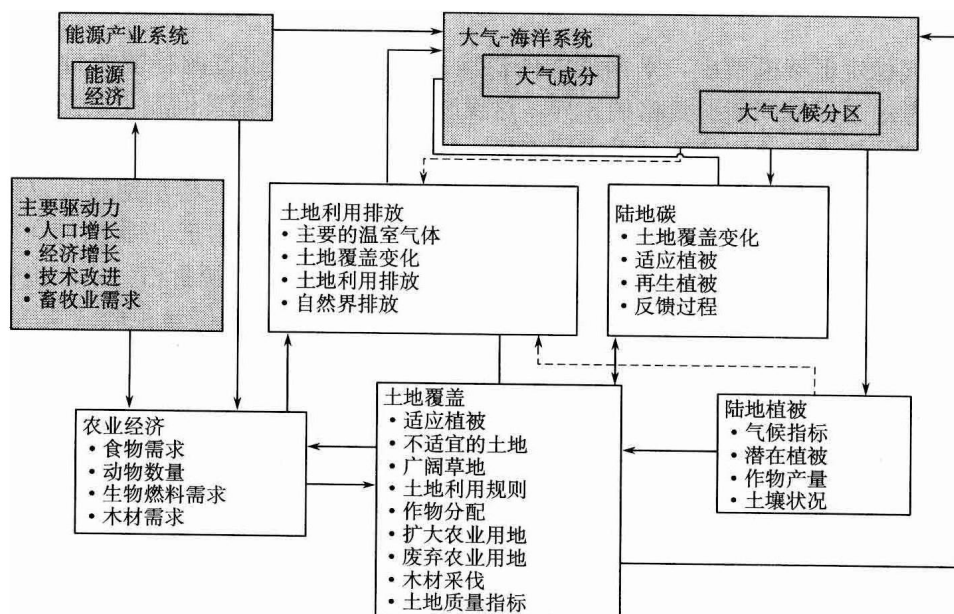


图 1.4 IMAGE 2 模型的 TES 模块结构

IPCC4 介绍,他们采用的 IMAGE 的能源产业系统 (EIS) 估算了世界 13 个地区的温室气体的排放,其结构如图 1.3 所示。其中与能源相关的排放的估算以目标图像能量区域模拟模型 (targets image energy regional, TIMER) 为基础。TIMER 是一个系统动力学模型,它带有能源效率、电力产生和能源供应的投资决策,这些是基于预期需求、相对费用或价格以及制度和信息延误的。这个模型包括五个经济部门。技术变革和燃料价格动力影响能源强度、燃料替代和非化石替代的突破,如太阳能和生物能量的使用。IMAGES 的陆地环境系统 (TES) 的功能是模拟全球陆地使用和陆地覆盖变化,评估陆地环境系统对温室气体排放和臭氧前体的影响及其对生物圈和大气圈间碳通量的影响,其结构如图 1.4 所示。而且这个子系统还被用于:评估陆地使用政策对控制温室气体增加的效能;评估大规模使用生物燃料对土地类型变化带来的后果;评估气候变化对全球生态系统和农业的影响;调查人口、经济和技术进步对改变全球土地覆盖的影响。实际上给出了最终的政策分析结果。

与 RICE 模型相比,IMAGE 采用系统动力学代替了复杂的经济构成和生态构成,使得它的分析可以比 RICE 更精细。但是,系统动力学的仿真环节的线性特征反而带来了对问题的简单化。我们知道系统动力学曾经模拟出增长的极限,而实际上它预测的情况并没有发生,因为它忽视了长期发展中的非线性现象,所以当利用 IMAGE 评估长达 50~100 年的气候保护影响时,它的精细结论只能慎重对待。

1.2.4 能源供应战略方案和综合环境影响模型 (MESSAGE)

IIASA 集成建模是由三个子系统和一个反映外部作用的情景发生器 (scenario generator, SG) 构成的。MESSAGE 模型是一个动态规划模型。模型的方式形式及其参数的选取是大量的经济发展的历史数据的经验估计。模型还与宏观经济模型 MACRO 结合。MACRO 是一个宏观经济动态模拟系统,它定义了最大化跨期效用函数,从而估算宏观经济发展与能源利用的关系,这里的跨期效用函数是以设定世界每个区域都是一个代表性的生产者-消费者经济体为基础的。MESSAGE 和 MACRO 被连接到一起并一前一后地使用。模型还有一个反映气候过程的子系统气候变化强迫模型 (Model for the Assessment of Greenhouse Gas-Induced Climate Change, MAGICC),这个模型是一个一般气候模型 (GCM 模型)。MAGICC 系统估算了大气中温室气体的浓度以及由温室气体引起的升温潜能,这个碳循环和气候变化模型由 Wigley (1994) 开发。模型以区域人口和人均经济增长作为输入变量,然后计算出各种情景下未来经济和能源发展的能源需求,这就是情景发生器 SG。图 1.5 给出的是 IIASA 集成建模框架以及相关模型的耦合方式 (Nakicenovic, 1998)。在图 1.5 所示的 6 个模型中,SG、MESSAGE、MACRO 和 MAGICC 用来描述和分析 SRES 情景。

值得一提的是,图 1.5 中所示的其他两个模型——RAINS 和 BLS,并不用于 SRES 场景的建模。RAINS (Alcamo et al., 1990) 是一个仿真模型,用于模拟硫和氮氧化物的排放以及随后的大气传输、排放物的化学变化、沉积和生态影响。BLS (Fischer et al., 1988, 1994) 是一个部门级的宏观经济模型,它能够发现 11 种农产品生产所要求的投入 (如土地、化肥、资本和劳动力)。

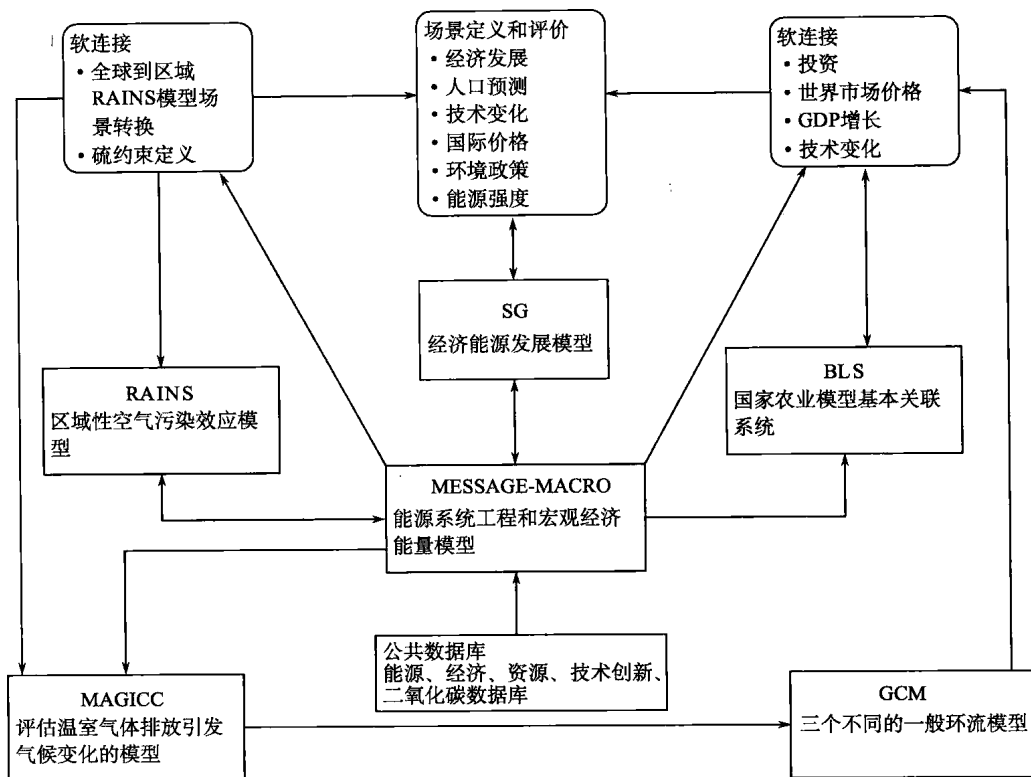


图 1.5 IIASA 集成建模框架

1.2.5 基于多区域方法的资源和产业配置模型(MARIA)

基于多区域方法的资源和产业配置模型是一个精简集成的评价模型，用来评价经济、能源、资源、土地利用与全球气候变化的关系 (Mori et al., 1999; Mori, 2000)。该模型起源于 Nordhaus (1994) 开发的气候和经济的动态集成模型 (Dynamic Integrated Model of Climate and the Economy, DICE)。MARIA 包含能量流动，并把世界分为多个区域，用来评价用于解决全球变暖问题的技术和政策。在经济学上，MARIA 是一个非线性跨期优化模型，用于模拟国际上 8 个区域间的贸易问题：NAM (North American, 美国和加拿大)、日本、其他 OECD (Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) 国家、中国、东南亚国家联盟 (Association of Southeast Asian Nations, ASEAN) 国家 (印度尼西亚、马来西亚、菲律宾、新加坡、韩国、泰国)、SAS (South Asian Region, SAS) (印度、孟加拉国、巴基斯坦、斯里兰卡)、EEFSU (Eastern Europe and the Former Soviet Union, EEFSU) (东欧和原苏联加盟国) 和 ALM (Africa and Latin America, ALM) (非洲和拉丁美洲)。这个模型还包括能量流动、简化的粮食生产和土地利用变化，这些都可以用来显示生物能的潜在贡献。

在这个模型中，经济活动使用常替代生产函数 (CES) 而不是 C-D 函数，模型所使用的变量包括上述 8 个区域的资本存量、劳动力、电力和非电力能源。GDP 未来的增长由人口和人均 GDP 增长潜力估计，是外生的，方程内生决定了能源成本和价格。MARIA 的能源模块包括三种主要的化石能源 (煤、天然气和石油)、碳汇、核能和可再

生能源技术（如水力发电、太阳能、风能和地热）。能源需求追溯到工业、交通和其他公共用途。核燃料循环技术也被简明地描述。碳固定技术也被纳入模型中。非常有代表性的是，MARIA 考虑了资源可开采的状况，即天然气主要用于 21 世纪的上半叶，此后，在 21 世纪下半叶，无碳能源（如太阳能、核能和生物能）和煤将发挥主要作用。

IPCC4 介绍，这个模型中的能源成本由能源生产和使用成本组成。市场价格以模型计算出的影子价格为基础来决定。在各种参数中，化石燃料资源的提取成本和能源转化成本系数实质上有助于决定模型的能源配置和排放。最近的模型版本 MARIA-8 应用 Rogner 对化石资源可用性进行估计（Rogner, 1997）。为了简化，化石资源和储备分类被合计成两个分类，假设用一个二次函数来解释资源创新和开发的成本。图 1.6 是 MARIA 在一个区域上的模型的内部结构。

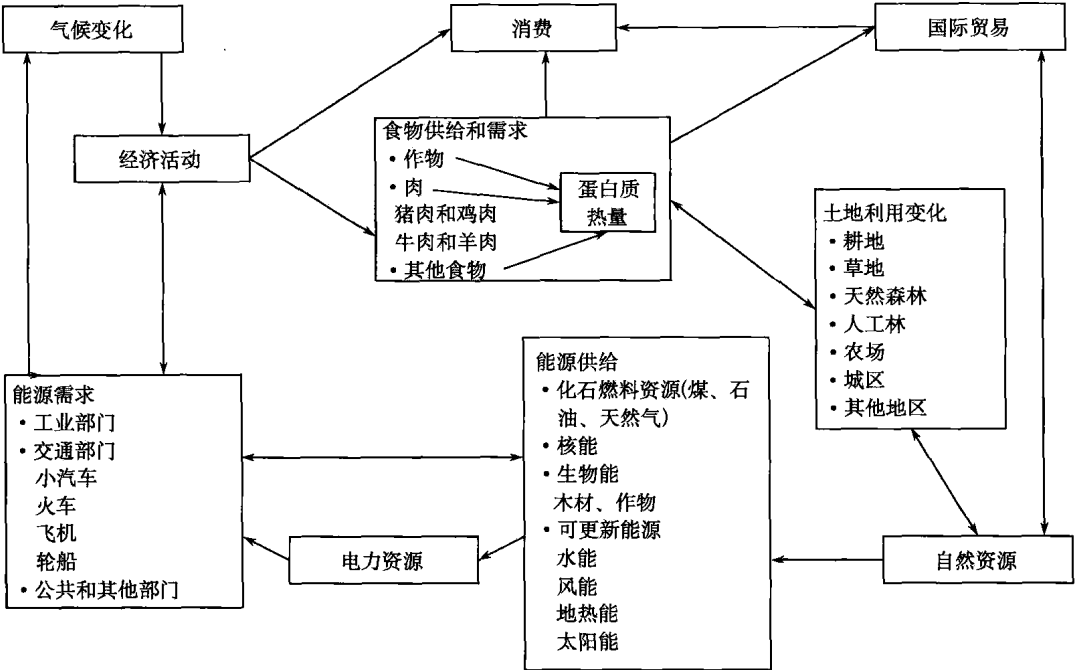


图 1.6 单区域 MARIA 模型的结构

MARIA 中的全球变暖子系统是基于 Wigley 的排放-浓度机制的五时段常数模型。同时，MARIA 还采用了 DICE 模型中的海陆两层热储蓄模型（Wigley, 1994; Nordhaus, 1994）。在这个模型的组件中，只有全球碳排放是经过进一步深化研究的。

由于 MARIA 并不在能源细节和经济活动方面展开，因此它的功能是宏观评估。实际上，由于技术创新的持续性和偶然性，追索到经济细节的模型往往没有可信性。就像面对一个数据群，我们可以拟合它的趋势，但如果要逼近每一个细节波动，往往会抓了芝麻，丢了西瓜。

1.2.6 微型气候评估模型(MiniCAM)

微型气候评估模型是由全球气候组织太平洋西北实验室在简洁原则下开发的一个快

速运行集成评估模型。它用 MAGICC 模型来估计气候变化,用 Hulme 等(1995)的 SCENGEN 工具来估计区域气候变化,并用 Manne 等(1995)的破坏函数来检验气候变化的影响。现行模型由 11 个区域(美国、加拿大、西欧、日本、澳大利亚、东欧和原苏联、中央计划亚洲^①、中东、非洲、拉丁美洲和东南亚)组成。它提供了完整的世界覆盖。据 IPCC4 介绍,相关组织正在开发第十四版模型。IPCC 这样介绍了 MiniCAM:

在经济功能方面,MiniCAM 采用直接人口乘以劳动生产率过程来估计集体的劳动生产率水平。劳动力参与率被用来估计劳动力投入,政策以外生形式影响劳动生产率。在能源消费方面,由于能源价格变动所产生的影响通过 GNP/能源弹性作用于 GNP 估计值的校正,模型把能源服务分为三种需求分类(居民的/商业的、工业的和运输的),将它作为价格和收入的函数。这样它就构造了一个局部均衡模型,以提高价格来对模型中 11 个区域的 7 个主要能源分类(煤、天然气、石油、核能、水能、太阳能和生物量)的能源供应和需求进行估计。这样它就完成了气候模块、增长模块和能源需求模块的功能。

在能源需求模型中采用能源的替代序列是这个模型的优势。能源服务由四种二级燃料(固体、液体、气体和电力)供应。对二级燃料的需求依赖于它们相关的成本和通过最终用户的能源效率提高来表示的用户技术进步。一级燃料需求由将它们转化为二级燃料的相应成本决定。如果石油和天然气变得非常昂贵或将用尽,那么煤和生物量会被转换成气体和液体,核能、太阳能和水能将直接被电力部门消耗。在新的版本中,氢已经被加入到模型中,而且如同精炼的天然气和石油一样,它能够被用来产生电力或者作为二级燃料供应给三种最终需求部门。

模型的能源供给部门提供了可再生资源(水电、太阳能和生物量)以及不可再生资源(煤、石油、天然气和核能)。化石资源的成本与基于等级、生产成本(技术和环境)以及历史生产能力的资源相关。关于一个基于等级的化石燃料资源的介绍,使模型清楚地检测化石燃料资源限制的重要性并描绘了非传统燃料,如油页岩和甲烷氢氧化物。就非传统燃料而言,只有少量能够在低成本下获得,而潜在的大量部分需要高成本或者在广泛的技术发展之后才能获得。对于一级燃料的生产和转化,技术变化的燃料规格率是可行的,它是针对电力生产的每一分类的技术变化系数。

生物量由农业部门供给,它提供了农业、森林和土地使用模型与能源模型之间的联系。第一个模型估计每一区域中五项活动(庄稼、草原、森林、现代生物量和其他)之一的土地分配。这种分配反映了与每一使用相关的收益率。收益率由庄稼、家畜、森林产品和生物量的价格决定。价格反映每一产品的区域需求与供给函数。庄稼、家畜/草地、森林和现代生物量产品都有各自的技术变化系数。

一旦模型在一个时期到达均衡,温室气体的排放就能被计算。就能源而言,二氧化碳、甲烷和一氧化二氮的排放通过燃料类型反映了化石燃料的使用,而这些气体的农业排放反映了土地使用的变化、肥料的使用以及产生的家畜的数量和类型。高温室效应气体(全氟化碳等)仅被作为一个大类而不是逐一基于它们的组成被估算。硫化物排放基于化石燃料使用的函数被估计,并反映了硫化物的控制措施,它的效力由控制水平与单

^① CDIAC 的统计区域,主要是指亚洲中央计划经济的国家:越南、北朝鲜、蒙古和中国。http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/tre_cpa.html