

CGE

中国环境经济

一般均衡分析系统及其应用

秦昌波 著

GENERAL EQUILIBRIUM ANALYSIS SYSTEM FOR
ENVIRONMENT AND ITS APPLICATIONS

 科学出版社

中国环境经济

一般均衡分析系统及其应用

秦昌波 著

CGE

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书从可计算一般均衡 (CGE) 模型的原理出发, 在系统分析环境系统与经济系统之间的一般均衡关系基础上, 介绍了自主开发的环境 CGE 模型——中国环境经济一般均衡分析系统 (general equilibrium analysis system for environment, GREAT-E)。GREAT-E 模型通过对传统 CGE 模型进行结构调整, 纳入资源、环境核算实物量账户和细分环境治理部门, 形成环境政策分析和环境经济影响综合评估平台。通过在国家环境保护规划和典型环境政策领域的应用研究, 展示了 GREAT-E 模型系列版本在相关领域的战略规划和政策制定方面发挥出的决策支撑作用。

本书可供从事环境规划、环境经济、环境管理、环境政策、环境 CGE 模型研究的科学家、经济学家、工程技术人员、高等院校师生和政府决策者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国环境经济一般均衡分析系统及其应用 / 秦昌波著. —北京: 科学出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-03-039386-9

I. 中… II. 秦… III. 环境经济-均衡分析-中国 IV. X196

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 309813 号

责任编辑: 李 敏 吕彩霞 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 无极书装

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

*

2014 年 1 月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2014 年 1 月第一次印刷 印张: 14 1/4

字数: 280 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

国家社会科学基金重点项目(12AZD040)
环境保护部公益性行业科研专项(201309043)
国家自然科学基金重点项目(50939006)

序 言

1978~2010年,我国GDP年均增长9.8%,经济总量由世界第十上升为世界第二。但是,发达国家上百年工业化过程中分阶段出现的环境问题,在我国近30年来集中爆发,不断损害中国经济社会赖以发展的环境资源家底。如何在经济发展与环境保护之间寻求一条协调发展道路逐渐成为亟待解决的重大科学命题。目前环境CGE模型已经成为国家和区域可持续发展研究较为理想的方法。

环境系统和经济系统之间存在密切的关系。对于消费品的生产来说,生产过程需要环境提供物质资料和能源。经环境提供的物质资源和能源在生产和消费过程中得到转换,并且产生的副产品随后被排放到环境中。环境不仅是物质资料和能源的提供者,也是生产和消费过程中所产生废物的接受者,环境系统消纳经济活动所产生废物的环境容量是有限的,这个有限的环境容量限制了经济的增长。20世纪80年代以来,全球气候变化、臭氧层破坏、环境污染、水生流失、生态破坏和生物多样性减少等环境问题日益突出。

在这种背景下,世界各国都开始寻求一种既能保持经济增长,又能削减污染排放的环境经济控制政策。一方面,众多环境政策被广泛采用,比如环境标准、环境税、排污交易、碳减排等,这些环境政策的首要目标是减低污染排放,但却可能对价格、数量和经济结构产生影响;另一方面,经济行为的变化也会对环境系统产生影响,比如贸易自由化和产业发展政策可能导致资源的重新分配和污染产业的转移。在这种背景下,CGE模型不断被应用到环境政策的分析中。具体来说,环境CGE模型主要用于模拟环境与经济之间的互动影响,其中包括分析公共经济政策(如税收、政府开支等)对环境的影响,以及环境政策(如环境税收、补贴和污染控制等)对经济的影响。

本书在研究环境保护与经济发展相互作用关系的基础上,系统地介绍了作者近6年来在环境CGE模型开发、应用和决策支撑方面的研究成果,共分10章。第1章主要介绍CGE模型特别是环境CGE模型的形成、发展及应用。第2章主要介绍作者自主开发的环境CGE模型——中国环境经济一般均衡分析系统(general equilibrium analysis system for environment, GREAT-E)。GREAT-E模型通过对传统CGE模型进行结构调整,纳入资源、环境核算实物量账户和细分环境治理部门,形成环境政策分析和环境经济影响综合评估平台。第3章主要介绍模型的数据基础——环境经济一体化社会核算矩阵,介绍如何细分独立的环境治理

部门及将环境和资源核算成果纳入到传统社会核算矩阵中。第 4~第 10 章主要介绍 GREAT-E 模型在典型研究领域的应用,包括基于“十二五”污染减排目标的中国绿色转型成本效益分析、水环境保护目标和经济发展目标之间的协调评估、排污交易政策的经济影响评估、提高水资源费征收标准的经济影响评估、京津冀地区环境水资源短缺制约的政策影响模拟评估、排污费改税的环境经济综合影响评估、征收碳税的经济影响评估、煤炭环境成本内部化的经济影响评估。这些研究案例涉及环境保护、水资源、碳排放、矿产资源多个研究领域,研究成果可以在国家保护规划目标确定、排污总量政策制定、排污权交易政策制定、环境税费政策制定、水资源保护政策制定等领域发挥重要的决策支撑作用。同时,不同案例也涉及 GREAT-E 模型静态版本与动态版本,以及单区域版本与多区域版本之间的区别。

作者在从事环境 CGE 模型的研究中得到了国内外多位友人的悉心指导和帮助。在此特别感谢中国水利水电科学研究院的王浩院士和贾仰文教高、环境保护部环境规划院的王金南研究员和葛察忠研究员,荷兰特文特大学管理学院的汉斯·布莱瑟教授、荷兰国际地理信息科学与地球观测学院的苏中波教授对作者从事环境经济政策模拟研究方面给予的悉心指导和大力支持。同时也对高树婷、程翠云、龙凤、任亚娟、李晓琼、苏洁琼、杨琦佳、刘倩倩和袁强等各位同仁在税率设定、成本核算、文献检索和数据处理方面所给予的大力帮助表示诚挚的感谢!

本书有助于读者在了解环境 CGE 模型之余,能对环境经济数据的收集、整理和核算有一个清晰的认识,并对模型求解与应用有一个直观印象和大致思路。由于作者在认识、水平、时间和条件所限,书中存在的不妥之处,还望广大读者批评指正。

秦昌波

2013 年 12 月 8 日

目 录

第 1 章 环境 CGE 模型的发展与应用	(1)
1.1 CGE 模型的发展和应用	(1)
1.2 环境 CGE 模型的形成和分类	(6)
1.3 CGE 模型在环境政策领域的应用	(9)
第 2 章 中国环境经济一般均衡分析系统——GREAT-E 模型	(13)
2.1 标准 CGE 模型结构及其函数形式	(13)
2.2 GREAT-E 模型的基本结构	(23)
2.3 GREAT-E 模型的方程体系	(30)
第 3 章 模型的数据基础——环境经济一体化社会核算矩阵	(42)
3.1 社会核算矩阵	(42)
3.2 环境经济一体化社会核算矩阵	(46)
3.3 SAM 的更新与平衡方法	(50)
第 4 章 基于污染减排目标的中国绿色转型成本效益模拟分析	(56)
4.1 中国绿色转型面临的挑战与机遇	(56)
4.2 基于减排目标的绿色转型成本效益分析模型	(59)
4.3 模拟结果与讨论	(67)
4.4 主要结论	(86)
4.5 促进绿色转型发展的政策建议	(89)
第 5 章 基于动态环境 CGE 模型分析中国水污染控制政策的经济影响	(92)
5.1 背景	(92)
5.2 数据与方法	(93)
5.3 模拟情景设置	(99)
5.4 模拟结果与讨论	(100)
5.5 主要结论与建议	(112)
第 6 章 基于多区域 CGE 模型分析京津冀地区水资源政策的经济影响	(113)
6.1 京津冀地区面临的水资源问题	(113)
6.2 多区域版 GREAT-E 模型的基本结构	(115)

6.3	嵌入水资源的社会核算矩阵编制	(118)
6.4	模型参数的标定	(125)
6.5	模拟情景设置	(126)
6.6	模拟结果与讨论	(129)
6.7	主要结论与建议	(134)
第7章	中国征收环境税对经济和污染排放的影响分析	(136)
7.1	背景	(136)
7.2	数据与方法	(138)
7.3	计税依据与情景设置	(143)
7.4	模拟结果与讨论	(144)
7.5	主要结论与建议	(152)
第8章	中国征收碳税对宏观经济和行业竞争力的影响分析	(153)
8.1	背景	(153)
8.2	数据与方法	(154)
8.3	计税依据与情景设置	(159)
8.4	模拟结果与讨论	(160)
8.5	主要结论与建议	(174)
第9章	基于静态 CGE 模型分析中国征收水资源费的经济影响	(178)
9.1	背景	(178)
9.2	数据与方法	(181)
9.3	水资源费情景设置	(185)
9.4	模拟结果与讨论	(186)
9.5	主要结论与建议	(191)
第10章	中国煤炭环境成本内部化的经济影响分析	(193)
10.1	背景	(193)
10.2	煤炭环境成本核算	(194)
10.3	情景设置	(199)
10.4	模拟结果与讨论	(200)
10.5	主要结论与建议	(212)
参考文献		(213)

第 1 章 环境 CGE 模型的发展与应用

1.1 CGE 模型的发展和应用

1.1.1 CGE 模型的理论基础

可计算一般均衡 (computable general equilibrium, CGE) 模型经过 40 多年的发展, 现已成为一种相当规范的模型。CGE 模型是以一般均衡理论为基础, 以一组数学方程的形式反映整个社会的经济活动, 可以说是经济社会的一个缩影。一般均衡理论 (general equilibrium, GE) 思想的起源可以追溯到 1874 年, 洛桑学派的领袖——法国经济学家里昂·瓦尔拉斯 (Leon Walras) 在他的论著《纯粹经济学要义》(*Elements of pure economics*) 中, 首次提出了一般均衡的概念。该理论将经济系统看作一个整体, 研究其中各要素之间复杂的相互作用和相互依存关系。一般均衡理论旨在考察经济系统中的市场均衡和总量均衡, 以及在一定条件下因供求关系的变动所导致的价格变动, 进而又使供求关系趋向均衡的经济变量的运动过程。随着这一理论的发展和完善, CGE 模型的研究逐渐走向成熟, 并且很快作为一种较为有效的政策分析工具, 得到广泛应用。CGE 模型利用一般均衡理论经验性地分析在市场经济中的资源配置和收入分配。随着计算机和软件技术的进步, 经过近半个世纪的应用和发展, CGE 模型无论是在发达国家还是在发展中国家都获得了广泛的应用和发展。

CGE 模型最重要的成功在于它在经济的各个组成部分之间建立起了数量联系, 使我们能够考察来自经济某一部分的扰动对经济另一部分的影响。对于投入产出模型来讲, 它所强调的是产业的投入产出联系或关联效应。而 CGE 模型则在整个经济约束范围内把各经济部门和产业联系起来, 从而超越了投入产出模型。这些约束包括: 对于政府预算赤字规模的约束, 对于贸易逆差的约束, 对于劳动、资本和土地的约束, 以及出于环境考虑 (如空气和水的质量) 的约束等。一般均衡理论是简单而基本的观点, 即在现实经济中, 市场是相互依存的。该理论重点关注市场经济中那些决定相对价格和资源配置的要素和机制。Debreu (1959) 指出, 一般均衡模型有着很强的逻辑性和精确性。然而, 很多对于该理论的贡献关注私人物品和私有资源的分配。Mäler (1973) 受到 Ayres 和 Kneese

(1969) 的启发,把一般均衡模型推广到外部性和有公共物品特征的环境资源。

根据瓦尔拉斯的理论,满足下列条件的经济状态称为一般均衡状态:①每一个消费者都根据自己的预算约束选购自己认为最佳的商品组合,以实现自身效用的最大化,这种预算约束是由生产要素和商品的价格所决定;②在生产要素和商品价格一定的情况下,每一个消费者向生产部门提供的生产要素的数量,是由消费者自己决定的;③在生产技术和资源禀赋一定的条件下,每一个生产者按照成本利润最大化或者既定利润成本最小化的原则来进行生产决策,但长期利润为零;④在现有价格下,商品和要素市场上供需均衡。

构建和应用 CGE 模型不仅可以进行政策模拟和影响分析,而且可以提供政策优化组合,具有十分重要的现实意义。这种现实意义表现在:①提供一个标准形式的数据组织(如编制社会核算矩阵,即 SAM 表),可以检验统计信息的一致性和系统性;②提供定量估计相关政策影响的模型和范式,方便按规则进行政策影响的量化估计而非仅仅定性化分析;③通过政策影响的模拟和分析,提供相应的政策工具和影响的数量界限,检验在制度分析基础上相关制度安排的有效性。

1.1.2 CGE 模型的发展历程

一般均衡理论提出后的近一个世纪里,相关领域的学者主要致力于一般均衡理论完善以及基于该理论建立的数学模型解的存在性、唯一性、最优性和稳定性问题的证明。一般均衡理论的存在性依赖于一定的经济背景和数学基础。然而,该理论具有的规范分析特性限制了一般均衡数学模型的建立和求解过程的实现。Hicks (1939) 在其专著《价值与资本》中摒弃了瓦尔拉斯一般均衡的传统理论,并赋予其强大的经济实质,就商品、生产要素和货币的整体性提出了一个完整的均衡模型,进一步完善了原有的消费和生产理论,阐明了基于利润最大化假设的资本理论。Hicks 的模型为沟通一般均衡理论与现实经济系统做出了极重要贡献。

Leif Johansen 在论文 *A multi-sectoral study of economic growth* 中,展示了第一个真正意义上的 CGE 模型——挪威多部门增长模型,也就是后来被熟知的 MSG 模型。这个模型被用来预测长期经济动态及经济政策评估。模型的原初版本有 20 个生产部门及家庭部门组,公共消费、净投资及出口都是外生决定的。Johansen 将 MSG 模型作为投入产出模型的扩展版本,加入了价值增加生产函数公式和要素市场,并保持了固定产出系数。MSG 模型成为长期经济规划预测的核心工具,相当多的要素替代及能源需求被并入其中,现在的 MSG 版本经常被用于分析与

能源利用及环境污染有关的问题 (Alfsen et al., 1996)。ORANI 模型是一个详细刻画澳大利亚经济的 CGE 模型, 也被看作是“Johansen 式模型”。

但是, 由于早期的经济学家更多的关注一般均衡理论模型的研究以及计算机技术的限制, CGE 模型的应用发展较慢, 直到 20 世纪 70 年代才开始得到蓬勃发展。而且早期的各国经济政策的分析重点在于经济中长期的均衡发展策略, 线性的静态或动态投入产出模型已经满足当时政策分析的需要。后来, 经济政策分析的重点转移到分配机制上, 尤其是发展中国家对于如何解决经济成长后仍存在的分配与贫穷问题, 以及一些突发性的经济事件, 如能源价格的突然上涨等巨大的经济冲击的出现, 也为 CGE 模型的应用提供了巨大的空间。典型的例子就是 1973 年第一次石油危机时, 绝大多数基于计量经济模型的预测失准。相对于投入产出模型和计量经济模型, CGE 模型在处理这些问题方面显得更有优势, 因而开始快速发展。其中的原因除同计量经济模型相比, 含有主体优化行为的 CGE 模型更适合模拟政策变化和外部冲击的影响以外, 还有几个其他原因对 CGE 模型的应用迅速增长起到了重要作用: ①传统的计量模型在处理 20 世纪 70 年代外部冲击方面的表现不佳; ②需要更合适的供给来模拟外部政策 (如税收和补贴) 改变的影响; ③社会核算矩阵 (social accounting matrix, SAM) 的引入使得在基础数据的组织方面取得了长足进步; ④有效的数值求解算法和数值求解软件的发展。

舒伯特对于计算瓦尔拉斯一般均衡的算法对 CGE 模型的发展做出了重要贡献。使用舒伯特算法, Shoven 和 Whalley (1984) 证明了税收的一般均衡存在及其求解步骤。与 Johansen 的 MSG 模型相对应, 由 Scarf-Shoven 开发的模型充分建立在瓦尔拉斯一般均衡理论的基础之上。与此同时, 一些其他研究, 如 Adelman 和 Robinson (1982) 从线性优化问题出发, 希望建立一个可以直接对一组非线性方程进行求解的 CGE 模型, 就像 Scarf-Shoven 的预算法则一样采用微分近似的方法。对于很小的外生冲击, 这两种方法的结果是等价的, 但是要进行对数线性化有很高的固定成本, 而且近年来计算技术发展很快, 这样就使得对非线性模型进行直接求解成为主流方法。在这两个研究组的努力下, CGE 模型的发展朝气蓬勃, 在三个主要政策研究领域 (国际贸易、税收政策和经济发展) 均取得了重要的进展 (Whalley, 1989; Henderson, 1989, Robinson, 1988, 1989)。

对 CGE 模型的发展做出了贡献, 在这些贡献中最独特的当属系统使用计量经济学方法进行模型参数估计。其他的多数 CGE 模型是利用校准技术进行供求参数估计, Jorgenson 的 CGE 模型则与之有很大不同。Jorgenson 对于计量一般均衡模型的发展起到了很大的作用。Jorgenson 对于 CGE 模型的推进从某种程度上说是结合了 Leif Johansen 传统和 Scarf-Shoven-Whalley 传统。在 Scarf-Shoven-Whalley

的静态模型中关注再分配效应, Jorgenson 的动态模型则关注不同税收政策的增长效应。

Ginsburgh 和 Waelbroeck (1984) 则发展了行为分析的 CGE 模型。即一般所称的行为分析一般均衡模型 (activity general model), 此类模型的建模基础源于线性规划模型, 但是以分段线性化的凹效用函数来取代线性效用函数边际效用不变的假设。虽然有人认为求解数值可信度不高, 但是此类模型在引进理性预期与阶段均衡的概念上, 加入迭代模型 (overlapping generations model) 的设计, 使得其动态化的工作成效优于其他类的 CGE 模型。

如果没有计算机及软件的迅速发展, CGE 模型就不会发展得如此迅猛。在早期阶段, CGE 模型缺乏有效的计算机计算能力, 计算机输入对 CGE 模型的规模及特殊性有所限制, CGE 模型也缺乏有效的软件使数值求解方法无用武之地。程序代码是针对特定模型的, 并不能被其他模型所用。而且, 对于不确定性的参数估计及敏感性分析是需要耗费大量时间的。通用代数建模系统 (general algebraic modeling system, GAMS) 的出现使模型研究者从复杂的代码写作中解脱出来。模型求解的高效化为解决多部门的模型提供了可能, 并向动态 CGE 模型迈出了第一步。同时, 这也使得广泛的敏感性分析具有可行性。因此, CGE 模型的应用迅速扩大。GAMS 的出现和发展使解决涉及大规模部门的动态模型更加容易, 使得 CGE 模型逐渐变成一个可利用的工具, 并在经济领域大显身手。

1.1.3 CGE 模型的特点与分类

虽然对于 CGE 模型没有统一的定义, 但 CGE 模型存在着共性, 下面将对 CGE 模型的特点做简要的梳理 (李善同和何建武, 2009)。

(1) CGE 模型基于一般均衡理论, 反映的是整个经济系统的均衡, 既考虑到经济冲击的直接影响, 又涵盖了经济系统中直接变化所带来的间接影响及反馈作用, 更加确切地体现了经济系统的整体性。除生产者和居民外, 模型还可以进一步包括政府、工会、资本创造者、进口和出口商等主体。这些个体都是实现其供给或者需求的最优化。

(2) CGE 模型建立在微观和宏观经济的理论基础上, 通过明确的政策变量调整 CGE 模型的结构, 更好地刻画政策调整对经济系统的影响和经济部门间的联系、作用及行为机制, 从而很好地反映经济变量间的影响关系。而宏观经济的计量模型主要是基于统计学的历史经验预测未来, 对历史数据的质量要求很高, 缺乏系统的经济理论基础。

(3) CGE 模型明确设定了各经济的行为, 在个体实现最优化时, 各部门都

是通过价格机制进行传导，因此很好地反映了价格对于资源配置的作用。例如，家庭的效用最大化、生产部门的利润最大化或者成本最小化，通过这些最优化假设，体现商品和要素价格在影响家庭消费和生产者决策中的作用。

(4) CGE 模型的核心是投入产出模型，是基于数值而建立的分析理论。所以，CGE 模型方法的突出特点是数值分析，并且在建模过程中对于数据类型及质量有着很高的要求。同时在模型处理过程中，对于 CGE 模型系数的数值选定也需要进行对比筛选。此外，CGE 模型是非线性的，而且通常伴有资源约束条件。

关于 CGE 模型的分类有多种不同的方法。根据 CGE 的建模方法，实际上也就是上节根据年代顺序介绍的 4 组模型，将 CGE 模型分为 4 类：Johansen (1960) 的多部门成长模型 (MSG 模型)，Harberger-Scarf-Shoven-Whalley 方法 (简称 H-S-S-W 模型)，Jorgenson 的计量经济学方法，Ginsburgh 和 Waelbroeck 行为分析 CGE 模型。从模型框架的角度，CGE 模型又可以分为三大派别：世界银行传统的“新古典主义结构”CGE 模型，耶鲁传统的以研究发达国家征税为主的 CGE 模型和麻省理工学院的“结构主义”CGE 模型。按照模型的模拟时期，CGE 模型可以被归为静态和动态两类。按照模型应用的区域，可以分为全球 CGE 模型、区域多国 CGE 模型、单国家模型、单区域模型和多区域模型 (Bergman, 1994; Bergman and Henrekson, 2003)。

1.1.4 CGE 模型的应用

近年来，国际上在应用 CGE 模型进行政策分析、关于 CGE 模型的能力建设和培训方面进展迅速。其中比较有影响的，有世界银行等国际机构关于贸易政策、环境政策等方面的分析，如美国普渡大学的全球贸易分析项目 (GTAP)、澳大利亚莫那什大学的 IMPACT 项目和比利时的 ECOMOD 项目在 CGE 模型方面的全球培训等。在中国，经济学界、政策机构在构建和应用 CGE 模型进行政策模拟方面也表现了空前的热情。环境保护部、国务院发展研究中心、中国社会科学院、国家发展和改革委员会、财政部、商务部、农业部等已经或正在研制自己问题导向的 CGE 模型。

五十多年以来，CGE 模型在应用经济学领域发挥越来越重要的作用。不同地区和国家根据具体国情已经建立了相应的 CGE 模型。关于 CGE 模型的应用领域，Devarajan 和 Robinson (2002) 认为 CGE 模型在公共政策研究中主要用于贸易政策、公共财政 (如税收)、结构调整、能源与环境 and 收入分配等问题。Ezaki (2006) 认为 CGE 模型广泛应用于发展中国家和发达国家的贸易、税收、收入分配、结构调整和环境问题等。在财政政策分析方面，CGE 模型主要研究税收及补

贴等政策制定的应用影响。Ballard 和 Fullerton (1995) 用 CGE 模型进行系统分析, 研究了公司税和个人所得税合并、累进消费税代替个人所得税、税率与政府收入的关系等问题。在收入分配等方面, CGE 模型常常研究外部政策变化对于收入分配等方面的影响, 共有两类 CGE 模型: 一是包括代表性居民的标准 CGE 模型, 通过对比居民收入及福利的变化分析政策影响; 二是基于 CGE 标准模型, 引入能够反映收入及贫困的方差 (Decaluwe et al., 1998)。Adelman 和 Robinson (1978), Taylor 和 Lysy (1979), Ahluwalia 和 Lysy (1981) 等都以韩国、马来西亚等为对象, 进行了收入分配相关政策的研究。王直等 (1997) 针对中国劳动力市场对美国农业出口的影响, 构造了一个包含 12 个地区、14 个生产部门的动态 CGE 模型。最著名的 CGE 模型贸易政策是美国普渡大学在贸易政策分析方面的一些贸易理论, 如 Heckscher-Ohlin 模型是以一般均衡理论为基础的, 因而很容易应用于 CGE 模型。普渡大学开发的“全球贸易分析项目”(global trade analysis project, GTAP) 模型, 是世界上最大的贸易自由化 CGE 模型, 拥有世界上最大规模的贸易数据库, 不定期更新。

1.2 环境 CGE 模型的形成和分类

6

1.2.1 环境 CGE 模型的形成

环境系统和经济系统之间存在密切的关系。对于消费品的生产来说, 生产过程需要环境提供物质资料和能源。经环境提供的物质资源和能源在生产和消费过程中得到转换, 并且产生的副产品随后被排放到环境中。环境不仅是物质资料和能源的提供者, 也是生产和消费过程中所产生废物和接受者, 环境系统消纳经济活动所产生废物的环境容量是有限的, 这个有限的环境容量限制了经济的增长。20 世纪 80 年代以来, 全球气候变化、臭氧层破坏、环境污染、水土流失、生态破坏和生物多样性减少等环境问题日益突出。

在这种背景下, 世界各国都开始寻求一种既能保持经济增长, 又能削减污染排放的环境经济控制政策。一方面, 众多环境政策被广泛采用, 如环境标准、环境税、排污交易、碳减排等, 这些环境政策的首要目标是减低污染排放, 但却可能对价格、数量和经济结构产生影响; 另一方面, 经济行为的变化也会对环境系统产生影响, 如贸易自由化和产业发展政策可能导致资源的重新分配和污染产业的转移。在这种背景下, CGE 模型不断被应用到环境政策的分析中。具体说来, 环境 CGE 模型主要用于模拟环境与经济之间的互动影响, 其中包括分析公共经

济政策（如税收、政府开支等）对环境的影响，以及环境政策（如环境税收、补贴和污染控制等）对经济的影响。

20 世纪 70 年代，Hudson 和 Jorgenson（1975）就为分析能源政策设计了基于计量经济学的能源 CGE 模型。这是第一次为能源政策设计的大数据模型，主要为了分析 1973~1979 年石油价格飙升的经济影响。但是模型大部分是能源部门模型，而其余的经济体由外生的能源需求增长率所代表。但 Alan 和 Manne（1997）在其 ETA-MACRO 模型中，建了详细的能源科技进步评估模块与新古典主义经济部门相联系。

20 世纪 80 年代以来，环境 CGE 模型迅速发展，在环境学科方面的研究无论是在数量和质量上都有很大的突破。特别是 20 世纪 90 年代初以来，环境 CGE 模型的关注重点从能源供应问题转变为能源使用的外部效应（如化石能源使用带来的碳排放问题）和酸雨等环境污染问题。许多能源模型可以简单地被重新设计，用于二氧化碳及相关气候变化政策的分析。一些经济 CGE 模型也被改进用于分析气候变化、环境政策及资源管理分析。其中，较为著名的是 GREEN（general equilibrium environmental model）模型，它是由 OECD 秘书处所开发，并用作全球规模的气候调控政策的分析（Burniaux, 1992）。Hazilla 和 Kopp（1990）利用美国多部门的 CGE 模型，估计了环境质量法规的社会成本。Bergman（1990）利用瑞典多部门的 CGE 模型，估计了停止核能利用的社会成本。

1.2.2 环境 CGE 模型需要解决的主要问题

环境 CGE 建模是一项很重要的任务，它将遇见许多复杂的问题。

（1）污染排放和减排活动的处理。在一些环境 CGE 模型中，污染排放和生产投入间存在替代关系。一般来说，如果一项或者多项投入有所变化，每单位污染物排放也将会变化，向环境中排放污染物可以被看作生产过程中的一项输入。因此，我们可以通过估计环境排放及其他投入因子间的替代弹性来设计环境 CGE 模型。另外一些环境 CGE 模型还对减排活动进行适当的处理。这些环境 CGE 模型主要通过设置专门的减排部门为有减排义务的工业部门提供减排服务。减排活动水平取决于经济激励和环境政策严格程度，以使得减排边际成本小于或者等于生产者和消费者的边际排放成本。污染排放和减排活动之间可以存在替代关系，使生产者在减排和排放之间选择最小化的环境措施组合。

（2）污染排放的累积问题。许多环境 CGE 模型阐述了气候变化的诸多方面及酸雨政策，气候变化及酸雨等问题往往源于化石能源使用所产生的排放问题。在许多情况下，环境损害取决于污染累积，而不只是当期排放的污染物。而且，

污染物的积累计算存在较大的时间滞后，尤其是在气候变化的问题上，污染物的排放及所引起的环境影响都是累积造成的。因此，模型应该对能源的供求进行解释，应该包括详细的能源政策，如能源补贴及能源利用结构，并给出化石能源与多种污染物排放之间的关系以及详细的处理措施。

(3) 环境政策的时间跨度与技术进步问题。尽管在环境税或贸易政策中，时间跨度是 10 年或 20 年，而在气候变化政策领域的时间跨度则为数十年或者近一两个世纪。在这些时间跨度中，模型需要考虑潜在的新技术进步影响。在多数环境 CGE 模型中，技术变化是外生因素，也就是全要素生产率的增函数。在用于能源或环境政策分析的 CGE 模型中，常常假设“能源效率进步因子”和“环境效率进步因子”。这些效率因子假设是外生变量，其数值的假设将对整个建模结果产生显著影响。Goulder 和 Schneider (1999) 介绍了在 CGE 模型中引入研发服务市场，使技术进步成为内生过程。

(4) 环境效益的价值评估问题。在 CGE 模型中，环境政策的目的是取得更好的环境质量，但环境质量往往不是由经济价值表征的。CGE 模型在对环境政策的成本效益进行分析时，需要建立环境模块量化污染物减少带来的环境效益，并转化为可货币化价值。为了构建“效益函数”，需要将其分为两个函数关系。第一个就是物理损害函数，将排放和其他生产消费的环境影响转化为物理量表达的环境质量下降或者改进。第二个是定义环境损害或改进的价值，以货币单位表示。环境模块可以包括反馈机制，通过影响生产力及环境服务的供给来计量环境改善或退化。在环境 CGE 模型中，环境质量的变化将直接通过个体消费方程影响福利。对于清洁的空气和水，环境服务可以被看作是公共物品，估值需要建立在对于环境服务的支付意愿或者替代市场价格上。

1.2.3 基于建模方法的环境 CGE 模型分类

与传统 CGE 模型不同的是，环境 CGE 模型为描述环境与经济系统的相互联系、核算经济活动的环境成本，在生产模块加入了自然禀赋要素及其生产者行为方程。自然禀赋要素本质上属于初级要素，在生产结构中表现为“资源束”，是生产者应当支付给大自然而实际未支付的环境红利（高颖和李善同，2008）；而经济活动的环境成本则通常是通过生产过程中所补偿的因污染排放而造成的环境损失来体现。一般情况下，环境 CGE 模型是将污染后果内生于生产或效用函数中，进而分析和评估公共经济政策和环境政策的实施所带来的影响。根据污染活动被纳入环境 CGE 模型的方式不同，模型可被分成以下四类（黄英娜和王学军，2002）。

(1) 应用扩展型。在标准 CGE 模型的基础上另外增加一个外生的环境处理

模块，它是对传统模型进行简单扩展。这类模型通过在供给和需求部分分别运用每单位部门产出和中间投入所对应的固定污染系数，估算污染排放量，或者在不改变模型结构的情况下，外生改变与环境管制相关的价格和税收，从而模拟政策实施的结果。

(2) 环境反馈型。即在经济系统中引入环境反馈，或者在生产函数中设定污染控制成本，或者对生产的设定进一步扩展考虑环境质量对产出的影响。例如，Jorgenson 等（1990）在生产函数中考虑污染控制成本的计量；Bergman（1991）在效用函数中考虑环境的影响；Gruver 等（1994）在生产函数设定中考虑环境质量对生产率的影响。简单而言，这类模型主要探讨环境污染对生产及消费方面的影响。

(3) 函数扩张型。在模型中修正生产和消费函数，并且在生产函数中引入污染削减生产函数。其中比较有代表性的是 Nestor 等（1995）在传统的投入产出分析中增加了环境污染税和污染控制处理流程，模拟了削减税率对德国经济的影响和动态大气污染削减过程。

(4) 结构衍生型。对传统 CGE 模型进行改造，在一般均衡模型中增设污染治理部门，并且假设增加的治理部门与生产部门具有相同的运作方式。典型的代表如 Xie 和 Saltzman（2000）推出的模型。在该模型中，除了生产和消费部门，还另外增设了一个污染削减部门。一旦污染发生，生产部门的生产商将基于新的成本和包容污染后果的新生产函数调整产出水平，消费部门的家庭将重新做出消费选择；在污染削减部门中，污染清除被视为一种特殊的商品，由污染者为降低其污染排放水平而按照一定的价格购买，清除污染的价值成为该部门的实际产出值。该部门的产出水平与生产部门相同，价格由市场决定。

1.3 CGE 模型在环境政策领域的应用

1.3.1 CGE 模型在污染控制政策领域的应用

环境 CGE 模型的一个重要应用就是评估各种环境政策对经济系统的影响。CGE 模型在环境经济研究中主要对命令控制型政策和以市场为主体的经济政策进行分析。现在很多环境 CGE 模型都已经同时包括了这两类政策属性。Dufournaud 等（1988）最先将污染排放和治理行为引入 CGE 模型构建了环境 CGE 模型。在模型中，生产部门的排放行为用固定的污染排放系数来刻画，治理部门的行为主要通过政府对该部门的支付来实现。Robinson（1990）开发的环境 CGE 模型简化