

环境CIE模型及应用

■ 邓祥征/著



NLIC 2970693233



科学出版社

环境 CGE 模型及应用

邓祥征 著



NLIC 2970693233

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在系统分析经济系统的一般均衡理论及环境与经济系统的相互作用关系的基础上,提出一类综合研究环境-经济系统协调发展关系的环境可计算一般均衡模型(环境CGE模型);针对环境-经济系统的均衡特征和当前环境政策分析的焦点问题,探讨环境CGE模型的结构、构建、求解和实现等;通过在典型领域的应用研究,展示环境CGE模型的应用前景。

本书可供从事资源环境、生态、经济、管理等领域研究的科研人员,环保部门的管理者以及高等院校相关专业的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境CGE模型及应用/邓祥征著. —北京:科学出版社, 2011. 4
ISBN 978-7-03-030567-1

I. ①环… II. ①邓… III. ①区域环境-环境经济-均衡模型
IV. ①X196

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第043979号

责任编辑:朱海燕 文 杨 赵 冰 / 责任校对:赵桂芬
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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年4月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011年4月第一次印刷 印张:15 1/2

印数:1—2 000 字数:347 000

定价:49.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

环境可计算一般均衡模型 (environmental computable general equilibrium model, 环境 CGE 模型) 是基于一般均衡分析思想, 综合考虑环境与经济系统之间的相互联系而建立的一类环境-经济协调发展定量分析模型。环境 CGE 模型通过对传统 CGE 模型进行结构调整, 纳入资源、环境核算账户, 主要应用于环境政策分析、环境经济影响综合评估等环境经济领域的研究及辅助决策。

目前环境 CGE 模型已经成为区域可持续发展研究较为理想的模型方法。众所周知, 环境与经济系统是区域可持续发展的重要组成部分。经济发展决定了人类的生活水平, 环境状况决定了人们的生存条件。然而, 伴随着世界经济的高速发展, 环境问题日渐凸显, 如何在经济发展与环境保育之间寻求一条协调发展道路逐渐成为世界各国普遍关注并亟待解决的重大科学命题。环境 CGE 模型的形成、发展与推广应用为解决这一命题提供了有效方法。

环境 CGE 模型秉承了 CGE 模型的可计算性与一般均衡特点, 将环境与经济系统作为研究对象。模型同时吸纳了经济系统关于资本、劳动力等初级要素的描述以及环境系统关于土地、林木或水等资源环境要素的核算, 并将与环境有关的行为成本作为生产成本纳入生产方程, 从而能够探讨自然资源和环境政策变化对生产部门活动乃至区域整体经济的影响, 揭示区域环境、经济结构或部门产出水平变动的自然资源和环境状况响应规律。基于环境 CGE 模型的一般均衡分析, 探索环境保育与经济发展之间的均衡关系, 能够实现环境-经济系统的协调、可持续发展。

早期的环境 CGE 模型研究主要集中于一般均衡经济学理论与模型均衡解存在性问题的探讨。随后, 人类对自然资源开发强度和环境扰动强度的不断增强, 带来了一系列诸如全球气候变暖、酸雨沉降、臭氧层破坏、水土流失、生物多样性减少等全球性环境问题, 环境 CGE 模型作为一种既能保持经济增长、又能缓解环境恶化的区域政策调控工具随之不断发展完善起来。20 世纪 80 年代, 环境、经济领域的专家和学者开始尝试建立一系列基于不同尺度、包含环境与 (或) 资源账户的 CGE 模型, 对不同地区的经济发展与环境保育关系进行综合分析。90 年代以后, 随着可持续发展战略的逐步推进, 环境 CGE 模型的理论探索与应用研究得以更广泛、深入地展开。这一时期所建立的模型数量明显增多, 质量也有实质性提高, 模型结构更为优化, 所考虑的环境-经济系统也更为复杂。同时, 由于计算机技术的飞速发展, 针对环境 CGE 模型建模求解的新计算理论与程序不断涌现, 进一步活跃了环境 CGE 模型的发展。

尽管当前环境 CGE 模型的研究已呈方兴未艾之势, 但遗憾的是, 尚无学者对模型的原理及应用进行系统总结与阐述。为弥补这方面缺憾, 本书从一般均衡的理论溯源出发, 对环境 CGE 模型的基本理论进行准确描述, 并基于典型案例研究, 总结分析模型

在环境经济学领域的应用。

环境 CGE 模型是通过继承 CGE 模型的一般均衡理论,综合考虑交易、生产以及交易与生产之间的一般均衡过程,并结合环境、经济系统相互作用过程以及生产者和消费者的环境政策反映分析发展起来的。一般来说,环境 CGE 模型的结构包括功能模块和数据结构两部分。根据市场主体行为的差别,环境 CGE 模型的功能模块可以划分为生产、收入、贸易与价格、支付、污染处理(或环境政策分析)、市场均衡与宏观闭合六大模块。各模块中包含大量需要确定的参量(如税率、份额参数、分配系数和弹性等),参量值的标定是模型建立、求解的基础,可以通过环境社会经济核算矩阵(environment social accounting matrix, ESAM)来实现。ESAM 是环境 CGE 模型的基本数据结构,是通过在传统 SAM 的基础上添加与自然资源和环境保育相关的投入产出数据扩展而成的,环境 CGE 模型的构建方法主要有三种:自下而上法、自上而下法和混合型模型构建方法。完整的环境 CGE 模型的核心方程通常包括生产方程、收入方程、贸易与价格方程、支付方程、污染处理方程、宏观闭合方程和社会福利方程等。模型参数的估计可采用校准法和计量经济学方法。大部分参数(如比率和份额参数等)可以根据 ESAM 数据结合模型方程,通过校准法计算得到;其他参数(如要素、商品的替代弹性等)则需要借助其他文献的研究成果外生给定,或通过计量经济学方法计算得到。在确定了模型方程和所有参数后,即要展开对模型的求解。模型的求解实现包括求解策略、求解算法及求解技术三个方面。伴随着 GAMS、GEMPACK 和 MPSGE 等软件的出现,环境 CGE 模型的定量求解得以顺利实现。

本书共分为 10 章,第 1~5 章为理论探索部分,重点论述环境 CGE 模型的形成、发展以及模型的原理、结构、构建估计和求解实现等;第 6~9 章为应用研究部分,主要介绍环境 CGE 模型在 4 个代表性领域(包括流域氮磷排放调控与经济增长的权衡分析、面源污染控制策略研究、气候变化影响研究以及水资源研究)的具体应用;第 10 章是对本书内容和主要结论的总结展望,为环境 CGE 模型的进一步研究奠定基础。阅读本书有助于读者在了解环境 CGE 模型建模方法之余,能对环境经济数据的收集、整理与核算有一个清晰认识,并对模型求解与应用有一个直观印象和大致思路。

本书力图涵盖环境 CGE 模型研究的各个方面,在编写过程中参阅了大量国内外学者的文献资料,大部分引述均已在书中列出,疏漏之处,在此谨致歉意。由于作者认识、水平、时间和条件所限,本书在分析、论证方面还缺乏系统性与深度,书中存在的不妥之处,还望广大读者批评指正。

作者

2011 年 2 月 20 日

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 概念辨识	2
1.2 研究进展	5
1.2.1 环境-经济协调发展评价	5
1.2.2 CGE 模型研究	9
1.2.3 环境 CGE 模型的形成	12
1.2.4 环境 CGE 模型的发展	14
1.3 环境 CGE 模型的发展趋势	16
1.3.1 尚待改进之处	16
1.3.2 未来发展方向	18
1.4 小结	19
参考文献	20
第 2 章 环境 CGE 模型原理	25
2.1 模型的理论概述	25
2.1.1 一般均衡理论溯源	25
2.1.2 环境要素的处理	27
2.2 模型的理论基础	30
2.2.1 交易的一般均衡	30
2.2.2 生产的一般均衡	33
2.2.3 交易与生产之间的一般均衡	34
2.2.4 环境-经济系统的相互作用	35
2.2.5 生产者和消费者的污染调控反应	36
2.3 模型的环境-经济协调发展分析	39
2.3.1 环境-经济协调发展分析的条件	39
2.3.2 环境-经济协调发展分析的思路	40
2.4 模型的应用领域	41
2.4.1 气候变化政策分析	41
2.4.2 污染调控政策分析	42
2.4.3 贸易自由化政策分析	42
2.4.4 土地利用变化与效应分析	43
2.4.5 其他应用	45

2.5 小结	45
参考文献	46
第3章 环境 CGE 模型结构	49
3.1 模型的功能模块	49
3.1.1 生产模块	50
3.1.2 收入模块	51
3.1.3 贸易与价格模块	52
3.1.4 支付模块	52
3.1.5 污染处理模块	52
3.1.6 市场均衡和宏观闭合模块	54
3.2 环境 CGE 模型的数据基础	55
3.2.1 社会经济核算矩阵	55
3.2.2 ESAM	56
3.3 ESAM 的编制	58
3.3.1 ESAM 编制方法	59
3.3.2 ESAM 框架结构	60
3.3.3 ESAM 平衡	69
3.4 资源环境账户核算	71
3.4.1 资源价值核算方法	71
3.4.2 环境污染核算方法	73
3.5 小结	74
参考文献	75
第4章 环境 CGE 模型构建	77
4.1 环境 CGE 模型构建方法	77
4.1.1 概念辨析	77
4.1.2 构建方法	78
4.1.3 构建流程	79
4.2 环境 CGE 模型核心方程	80
4.2.1 生产方程	81
4.2.2 收入方程	82
4.2.3 贸易方程	83
4.2.4 价格方程	84
4.2.5 支付方程	85
4.2.6 污染处理方程	86
4.2.7 宏观闭合方程	88
4.2.8 社会福利方程	89
4.3 环境 CGE 模型参数估计	90
4.3.1 校准法	90

4.3.2 计量经济学方法	91
4.3.3 两种参数估计方法的比较	92
4.4 关键参数的确定	93
4.4.1 C-D 生产函数的参数估计	93
4.4.2 CES 生产函数的参数估计	94
4.4.3 LES 需求函数的参数估计	97
4.4.4 Armington 弹性估计	98
4.5 小结	99
参考文献	99
第 5 章 环境 CGE 模型求解	101
5.1 求解策略	101
5.2 求解算法	102
5.2.1 常规求解算法	102
5.2.2 求解软件中的典型算法	104
5.2.3 近期发展的典型算法	106
5.2.4 各种算法的比较分析	108
5.3 求解技术	110
5.3.1 GAMS	110
5.3.2 GEMPACK 及其他求解软件	113
5.4 简单应用一般均衡模型的求解	114
5.4.1 描述性方程的线性化	114
5.4.2 优化方程的线性化	116
5.4.3 模型参数的确定	117
5.4.4 线性化模型的求解与改进	117
5.5 敏感性分析	118
5.5.1 敏感性分析原理	119
5.5.2 环境 CGE 模型的敏感性分析方法	121
5.6 小结	122
参考文献	122
第 6 章 鄱阳湖流域氮磷减排调控研究	124
6.1 中国湖泊富营养化现状	124
6.1.1 湖泊富营养化危机	124
6.1.2 氮磷排放与控制现状	124
6.2 氮磷排放调控的技术与经济可行性	126
6.2.1 排放标准对控制指标的约束性	126
6.2.2 污水处理效率	127
6.2.3 污水处理指标改造	127
6.2.4 污水处理的设计指标	127

6.3 氮磷排放调控技术路线	129
6.3.1 问题的识别	129
6.3.2 调控目标值的确定	130
6.3.3 污染源评价	130
6.3.4 环境容量估算	132
6.4 鄱阳湖流域基本概况	133
6.4.1 流域氮磷排放现状	134
6.4.2 产业经济发展状况	139
6.5 经济发展与氮磷减排的均衡分析	140
6.5.1 模型定制	141
6.5.2 方案设计与模拟分析	145
6.6 小结	148
参考文献	149
第7章 乌梁素海面源污染控制研究	150
7.1 氮、磷与富营养化	150
7.1.1 富营养化成因	150
7.1.2 氮、磷元素的存在形态	151
7.1.3 农业面源污染概况	152
7.2 乌梁素海及其水体中的 TN、TP 分布	152
7.2.1 乌梁素海水体特征	152
7.2.2 表层沉积物中 TN、TP 的分布	155
7.3 乌梁素海氮、磷营养源解析	156
7.3.1 乌梁素海点源污染	156
7.3.2 乌梁素海农业面源污染	157
7.3.3 乌梁素海点源与面源污染贡献对比	159
7.4 巴彦淖尔经济发展状况	160
7.4.1 工业发展现状	161
7.4.2 农业发展现状	162
7.5 面源污染控制的环境 CGE 模型解析	163
7.5.1 模型结构	163
7.5.2 氮、磷减排相关方程	165
7.6 模型数据与方案设计	166
7.6.1 模型数据	166
7.6.2 方案设计	168
7.7 模拟结果	168
7.7.1 经济-技术进步方案模拟结果分析	168
7.7.2 排污税方案模拟结果分析	169
7.7.3 两种减排方案的比较分析	170

7.8 小结	170
参考文献	170
第8章 气候变化的影响评价	172
8.1 应用述评	172
8.1.1 典型模型	173
8.1.2 温室气体减排的环境 CGE 模型研究	174
8.1.3 气候灾害影响评估的环境 CGE 模型研究	175
8.2 HE 模型及其在温室气体减排中的应用	176
8.2.1 碳税政策	176
8.2.2 减排驱动因素	177
8.2.3 减排方案与 BaU 方案设计	179
8.2.4 CO ₂ 减排量计算	180
8.2.5 模拟结果与分析	181
8.3 TAIGEM-D 模型及其在温室气体减排中的应用	184
8.3.1 TAIGEM-D 模型特点	184
8.3.2 TAIGEM-D 模型的 CO ₂ 排放基线预测	186
8.3.3 基于 TAIGEM-D 模型的温室气体减排	188
8.3.4 TAIGEM-D 模型的发展方向	188
8.4 华北地区干旱影响评估	189
8.4.1 数据基础	190
8.4.2 模型结构	191
8.4.3 情景设计	192
8.4.4 模拟结果分析	193
8.5 小结	195
参考文献	195
第9章 水资源利用调控研究	198
9.1 中国水资源现状与危机	198
9.1.1 中国水资源现状	198
9.1.2 中国水资源危机	198
9.2 水资源问题研究述评	200
9.2.1 水资源价格	201
9.2.2 水资源优化配置	202
9.2.3 水资源市场与水权交易	203
9.2.4 水资源与政策决策	204
9.2.5 其他应用研究	205
9.3 黑河中游干旱区水资源利用调控研究	206
9.3.1 水资源在动态环境 CGE 模型中的处理	207
9.3.2 动态环境 CGE 模型的模块与改进	207

第1章 绪 论

发展是人类社会永恒的主题，可持续发展是人类致力谋求的目标。可持续发展是涉及资源、经济、社会与环境等的综合概念，主要是指以自然资源的可持续利用和良好的生态环境为基础，在保证经济可持续发展的前提下，谋求社会的全面进步。但随着世界经济的高速发展，资源短缺、环境破坏等问题日渐凸显，经济与环境系统的协调发展逐渐成为世界各国普遍关注的重大命题。

关于环境与经济系统的协调发展研究，学术界形成了一系列观点，归纳起来主要有三种：①悲观派，认为经济增长是一切环境问题的根源，解决的唯一办法就是牺牲经济增长。②乐观派，认为经济增长是首要的，而环境问题需要等到富裕后再考虑；经济增长可以解决人类社会面临的一切问题，包括环境问题；随着科学技术的发展，将不再存在环境制约经济发展的情况。③现实派，认为人类面对环境与经济系统的正确态度，既不是落后的悲观主义，也不是盲目的乐观主义，而应是满怀信心的现实主义。

事实上，环境与经济系统是密切相关的。经济系统的再生产除了生产资料和劳动力投入外，还需要从环境系统中获取一定数量的生产要素。这些生产要素通过劳动转化为产品，经过分配、流通和消费，用以满足人类生存和社会生产发展的需要。在这一过程中，一部分废物（包括生产和消费过程中产生的废弃物）同时排入自然环境系统。当废物排放量超过自然环境系统的自净容量时，就应该采取适当的应对措施，否则自然环境系统将因无法承受外来的胁迫而失去平衡。由此可见，环境与经济系统是一个统一整体，将其联系考虑具有积极的现实意义。

长期以来，针对环境与经济系统的关系，人们已进行了积极的探索。自20世纪20年代，人们就开始尝试将环境与经济系统联合起来进行研究。但当时的研究只局限于理论探讨，尚未形成相对完备的学科体系。“环境经济学”的概念诞生于60年代。70年代末，环境经济学正式引入中国，并把如何协调环境保育与经济发展、实现两者的“双赢”作为核心研究内容之一。中国环境保护部周生贤部长曾如此诠释环境经济问题：环境问题究其本质是经济结构、生产方式和发展道路问题，离开经济发展谈环境保护必然“缘木求鱼”；自然生态环境出了问题，应当从经济发展方式上找原因；正确的环境政策，既有利于维护人民群众的身体健康，也有利于促进社会经济的可持续发展。现阶段，人类对环境与经济系统的研究主要集中于改变旧的价值观、架构新的发展战略、实现区域环境与经济的协调发展。

可计算一般均衡模型（computable general equilibrium model，CGE模型）作为经济学领域有效的政策分析工具，能够很好地模拟政策与管理措施的实施对各经济主体行为的影响。在CGE模型中加入自然资源或环境政策变量（即构建环境经济一般均衡模型，简称“环境CGE模型”），通过对环境-经济系统复杂关系的定量化描述，能够实现

对环境、经济系统的耦合分析。环境 CGE 模型尝试在环境与经济系统之间寻找一个平衡点,实现环境与经济的共同协调发展。模型假设环境与经济系统之间存在着相互制约关系。环境一方面为经济发展提供资源,另一方面环境资源的数量、质量、种类及构成状况也制约着经济发展;同样,经济发展一方面对环境起到积极的改善作用,另一方面不合理的经济发展方式、结构与规模又会使自然资源遭到破坏、环境受到污染,严重的甚至威胁到整个环境系统的平衡。此外,模型还“规定”当环境系统的污染物排放总量不超过环境容量与人类的控制治理能力之和时,环境与经济发展之间就会呈现出“和谐”关系;相反,如果环境损失大于经济效益,那么环境与经济发展之间就会产生“矛盾”。随着人们对环境问题关注程度的日益提升,环境 CGE 模型开始迅速发展起来。

1.1 概念辨识

环境 CGE 模型通常是针对区域尺度的环境或经济问题构建的,通过对区域环境-经济耦合系统展开一般均衡分析,模型主要用于实现环境与经济的协调可持续发展。目前,环境 CGE 模型较为热门的研究领域集中于水环境保育(尤其是水体富营养化调控)与经济的协调发展。因而,在展开环境 CGE 模型研究前,必须首先准确辨识区域、区域经济、环境、区域环境、水环境、水体富营养化、环境价值以及环境-经济协调发展等关键命题的概念与内在含义。

1. 区域

区域是个地域概念,主要是指地理上处于某一范围的地区。区域的划分通常以地理和经济特征为基础。例如,相对于全球,一个国家或地区(如亚太地区等)就是一个区域;相对于国家,一个省、市、流域或湖泊等都可以看作是一个区域;而相对于地市,一个乡镇也可以称为一个区域。但是,区域的划定也存在一定限制条件。一般来说,区域的面积不能无限缩小,在每个区域中都必须存在相对独立的自然生态系统。如一块地或一间房就不能称为一个区域。

2. 区域经济

区域经济是在一定区域内经济发展的内部因素与外部条件相互作用而产生的生产综合体。由于自然条件(如水分、热量、光照、土地资源和灾害发生频率等)、社会经济条件(如投入资金、技术和劳动等)、技术水平以及宏观政策等因素的限制,区域之间的经济发展水平、结构和布局必然存在一定差异。区域经济主要用于反映不同地区内经济发展的客观规律以及内涵和外延的相互关系,是大国经济发展非均衡的表现。

3. 环境

环境是在特定区域内直接(或间接)影响人类社会生存发展的所有生物和非生物要素,通过特定的生态联系形成的有机整体。环境与人们的生产生活息息相关。经济发展决定人类的生活水平,环境状况决定人们的生存条件。环境通常具有鲜明的特征,从与

人类关系的角度进行概括主要包括相对稳定性、普遍联系性、消费平等性以及质量可控性等。目前全球环境质量普遍偏低,环境问题较为严重,环境保护滞后于经济发展,环境保护工作处于负重爬坡状态。

4. 区域环境

区域环境指一定地域范围内的自然和社会因素的总和。一般来说,区域环境必须落实到一定区域上,且区域环境质量与人类社会行为对环境所造成的影响以及人类自身所承受的制约因素密切相关。区域环境是一类结构复杂、功能多样的环境,根据所在区域的性质又可分为自然区域环境(如森林、草原、水等)、社会区域环境(如各级行政区、城市、工业区等)、农业区域环境(如作物区、牧区、农牧交错区等)以及旅游区域环境(如西湖、桂林、庐山、黄山等)。

5. 水环境

水环境是指自然界中水资源的形成、分布和转化所处的空间环境。通常所说的水环境不仅包括围绕人群空间,可直接或间接影响人类生产和发展的水体,还包括影响该类水体正常功能的各种自然和社会因素。水环境是区域环境的重要组成部分,内涵十分丰富。根据环境要素的不同,水环境又可以进一步划分为海洋环境、湖泊环境以及河流环境等。

水环境既是人类社会赖以生存和发展的重要场所,也是受人类干扰和破坏最严重的自然资源。近年来,伴随着水资源的枯竭,水环境日益恶化,水生态系统的健康受到极大威胁,水环境问题开始逐渐成为全球关注的环境问题之一。现阶段,水环境领域的热门研究课题主要包括河流的污染防治、水体富营养化调控以及饮用水安全防护等。

6. 水体富营养化

水体富营养化是人类活动(主要是农业退水、工业废水和生活污水的排放等)的扰动,使得水生生物生长所需的氮、磷等营养物质大量进入湖泊、河口、海湾等缓流水体,在短时间内引起藻类及其他浮游生物迅速繁殖,水体溶解氧量下降、水质恶化,造成鱼类及其他生物大量死亡。排除人类活动的干扰因素,在自然条件下,由于底泥中营养物质的释放,也有可能使湖泊从贫营养状态向富营养状态过渡,但这种自然过程十分缓慢。而人为因素引起的水体富营养化则可以在短期内出现,是水体富营养化的关键影响因素。当水体富营养化发生时,浮游藻类的大量繁殖极易形成水华,严重影响湖泊生态环境安全与流域社会经济的正常发展。目前,水体富营养化调控研究已经成为湖泊流域可持续发展研究的重要命题之一。

7. 环境价值

环境价值是伴随环境科学的发展和人类环境意识的提高而出现的一种新型价值观念。自然环境,包括未经人类劳动参与或未参与交易的天然环境,都是有价值的。环境价值是资源所有权、经济权益的具体体现,这种价值取决于自然环境对人类的有用性、

稀缺性和开发利用条件。

环境价值至少包括四部分内容：①资源价值，指自然资源满足人类生产、生活中物质与能量需要的程度；②生态价值，指生态系统满足人类对环境状态和环境过程需要的程度，如森林具有调节气候、涵养水源、保护水土、减弱噪声、防风固沙、消灭细菌、制造氧气和洁净空气等功能；③存在价值，指环境满足人类健康生存需要的程度，如优美的环境条件可以增强人体健康，而被污染的环境则危害人体健康，使人类不能正常生存；④投入价值，指社会对自然环境进行的人、财、物投入的价值。环境价值的核算不仅要从其为社会增加的财富来计算，而且还应包括其耗竭程度来计算。

环境价值核算与国民经济价值核算之间存在密切联系。一般来说，环境价值会随资源稀缺度的增加而调整。尽管环境价值的这种性质会有利于强化人们对资源的珍惜，但同时也会导致市场对于资源需求的相对减少，引起供求紧张程度的变化，对市场经济产生一定的影响；同时，供求紧张程度的调整通常还会促使人们加强对替代物的开发，导致资源综合利用水平的提高；伴随资源替代物开发难易程度变化，矿藏资源的深度开发将进一步拓展，从而影响到与环境价值相关的“资源市场”变动。

8. 环境-经济协调发展

环境-经济协调发展是指使环境和经济系统内部各要素间按一定数量和结构所组成的有机整体配合得当、有效运转。环境-经济协调发展的目标在于提高经济发展水平、使经济发展对区域环境的影响控制在其承载力之内，以提高人们对生活的满意度。环境-经济协调发展不仅强调经济系统总体价值的增长，而且强调在经济增长的同时，环境质量得到普遍改善，环境效益有所提高。

环境-经济协调发展的含义可从以下几个方面进行理解：一是经济发展水平提高，环境恶化得到改善，人民生活质量有所提高，人们对生活的满意度不断攀升，此时可视环境与经济系统是协调发展的；二是经济发展水平提高，经济发展对环境造成一定程度的影响，但仍在其承载力之内，人们对生活的满意度上升，此时认为环境与经济系统是相对和谐的；三是经济发展水平提高，但经济发展对环境的影响超过其承载力，造成生活质量下降，人们对生活的满意度下降，此时则认为环境与经济系统是不协调的；四是经济没有发展，无论环境是否有所改善，均视环境与经济系统是不协调的（文兴吾和张越川，2001）。

国内外学者关于环境-经济协调发展的研究开展较早。早在 20 世纪 30 年代，相关领域的学者就开始展开类似的研究。到 60 年代，英国经济学家 Boulding（1966）开始倡导储备型、休养生息、福利型的经济发展。Beckman 等（1972）也认为，在可预见的将来，不可再生资源短缺和环境污染的矛盾是一个亟须关注的问题。Mishan（1977）和 Daly（1992）则分别通过提出 Satiation 论点和稳态经济发展模式认为，经济发展是受环境资源约束的，他们的论点被誉为环境-经济协调发展研究的里程碑。

1.2 研究进展

1.2.1 环境-经济协调发展评价

环境-经济协调发展是一个综合的、复杂的系统工程,涉及社会、经济、环境等多个领域的内容,具有开放性、不确定性、扩散性以及混沌性等特征。这在一定程度上决定了环境-经济协调发展研究的复杂性,同时也决定了单纯地从定性、静止和思辨的角度进行研究得出的结论会缺乏可操作性。因此,欲真正了解某复杂系统在环境-经济长期协调发展过程中的演化行为,正确把握存在的风险和潜在的问题,制定科学的对策和措施,必须对系统的环境-经济协调发展程度进行评价。

近年来,国内外学者对环境-经济的协调发展展开了大规模的评价研究,构建了一系列有针对性的环境-经济协调发展评价指标体系,并形成了大量的综合评判数学模型。

1. 环境-经济协调发展评价指标体系

1992年联合国环境与发展大会制定了《21世纪议程》,号召各国、国际组织和非政府组织建立环境-经济协调发展评价指标体系,开启了世界范围的环境-经济协调发展评价研究。现阶段,已经建立的有代表性的环境-经济协调发展评价指标体系既有全球尺度的,也有国家、区域和地区层次的(张锦高和李忠武,2003),主要包括联合国可持续发展委员会(Commission on Sustainable Development, CSD)的可持续发展指标体系、联合国统计局(United Nations Statistical Office, UNSO)的FISD(Framework for Indicators of Sustainable Development)、环境问题科学委员会(Scientific Committee on Problems of the Environment, SCOPE)和联合国环境规划署(United Nations Environment Programme, UNEP)高度合并的可持续发展指标体系、世界银行(World Bank Group, WBG)的“新国家财富”指标体系、美国总统可持续发展理事会(President Council for Sustainable Development, PCSD)的美国可持续发展指标体系、英国可持续发展指标体系以及系统可持续发展的能值评价指标(emergy sustainable indices, ESI)等。

国内对环境-经济协调发展评价指标体系的研究可以追溯到20世纪90年代。牛文元(1994)提出了衡量可持续发展度(degree in sustainable development, DSD)的指标体系。赵景柱(1995)综合考虑世代的连续性、重叠性以及人类的生育年龄和工作年龄等因素,构造了时间跨度为30年的世代持续发展评价指标体系。毛汉英(1996)设计了针对山东省的、包含4个系统层共计90个指标的可持续发展指标体系。同时,国家科学技术委员会(简称国家科委)、中国科技促进发展研究中心也提出了包括1个目标层、5个准则层和42个指标层的可持续发展评价指标体系。郝晓辉(1998)提出了由社会(含23个指标)、经济(含18个指标)、资源(含6个指标)、环境(含20个指标)等四部分组成的可持续发展指标体系。张世秋(1996)基于“压力-状态-响应”模式,提出了一组由环境-经济系统当前和未来协调发展程度共同决定的可持续发展指标

体系。近年来,李小建(1999)、曾珍香和顾培亮(2000)等专家在保持上述指标体系框架结构的基础上进行增删修改,形成了一系列新的指标体系。

2. 环境-经济协调发展综合评判模型

1) 统计学模型

(1) 主成分分析模型(principal components analysis model, PCA 模型)。环境-经济协调发展评价研究涵盖的内容较为广泛。研究中为追求综合评判的完备性,通常会选取大量评价指标,通过对评价指标进行筛选确定表征环境-经济协调发展的综合指标,结合对综合指标的协调度计算,判定环境-经济协调发展程度。常用的评价指标筛选方法是 PCA 法。PCA 法的原理可以概括为:首先,对各指标的原始数据进行标准化处理;其次,通过计算不同指标之间的相关系数并对重复指标加以合并(一般定义相关系数大于 0.95 的指标为重复指标),构造相关系数矩阵;再次,结合方差贡献率和累积方差贡献率确定评价指标的主成分个数及主成分指标;最后,根据主成分指标进行协调度计算。

(2) 层次分析模型(analytic hierarchy process model, AHP 模型)。AHP 模型是美国运筹学家、匹兹堡大学教授 Saaty (1980) 提出的一种层次权重决策分析模型。利用该模型展开的环境-经济协调发展综合评判研究可以分为 5 个步骤:第一,通过加深对环境-经济系统的深刻认识,确定系统的总体目标(即“环境-经济协调发展程度”);第二,建立一个多层次的递阶结构,根据目标的不同和实现功能的差异,将系统分为几个等级层次;第三,构造两两比较判断矩阵,确定对于上一层某元素而言,本层中与其相关元素的重要性排序,即相对权值;第四,计算各层元素对系统总体目标的合成权重,进行层次总排序,以确定递阶结构中最底层各元素在总体目标中的重要程度;第五,进行一致性检验。其中,指标权重的确定通常还要借助德尔斐法和频度统计法等。

2) 数学模型

(1) 模糊综合评判模型(fuzzy synthetic evaluation model, FSE 模型)。所谓 FSE 模型就是利用模糊数学^①的方法将模糊安全信息定量化,从而达到对多因素进行定量评价与决策的目的。FSE 模型自提出以来发展较为迅速。Becker (2000)、Bossel (1999)、Dasgupta (1998)、陈守煜(1996, 2001)、余敬和易顺林(2002)分别在农业、水利和自然资源等领域成功运用 FSE 模型进行了环境-经济协调发展模式识别、优化及综合评判研究。他们的成果同时也显示,只要指标体系合理、权重分配得当,利用 FSE 模型展开的环境-经济协调发展综合评判所得到的结论都较为科学可靠。

(2) 灰色模型(grey model, GM)。环境-经济协调发展 GM 评估通常是基于灰色系统理论展开的,即假设环境-经济协调发展系统是一个信息不完全(或不确知)的灰

^① 模糊数学的概念是由美国自动控制专家 Zadeh (1965) 基于模糊集理论提出的。

色系统。模型确立的关键是建立灰类型的白化权函数（用来评估对象隶属于某个灰类程度的函数）。刘艳清（2000）、欧阳洁（2003）、郝永红和王学萌（2001）、同小军和陈绵云（2002）都分别采用 GM 开展了环境-经济协调发展综合评判的研究。

（3）其他数学模型。目前，环境-经济协调发展综合评判的理论、数学方法已经较为成熟。除了以上所述的外，比较具有代表性的研究还包括，秦耀辰等（1997）结合可持续发展思想，运用系统动力学（system dynamics, SD）模拟方法，对区域人地系统的协调发展调控进行了分析；袁旭梅和韩文秀（2000）基于小波分析理论提出了经济-资源-环境复合系统协调发展调控自适应优化控制算法；吕彤和韩文秀（2002）采用优化与混沌特性分析相结合的自学习方法，通过在系统优化目标和稳定性之间寻求平衡，从而实现了区域经济-资源-环境系统的协调混沌控制。

3) 经济学模型

（1）投入产出模型。投入产出模型是美国经济学家 Leontief（1986）创立的一类基于投入产出表（input-output table, IO 表）的经济学分析方法。它采用现代数学方法分析 IO 表中涉及的国民经济各部门间的相互依存关系，预测及平衡经济系统再生产的综合比例。该方法常用于分析改善环境质量的支付费用与带来的经济效益，以及经济发展对环境质量的影响（马洪和孙尚清，1996）。Leontief（1970）通过将废物治理活动引入 IO 表，分析了经济发展对环境的影响以及环境治理的经济效益等；James 等（1978）基于部门 IO 表分析了经济结构与空气污染的关系；Pietroforte 等（2000）、Tellarini 和 Caporali（2000）利用投入产出模型分析了实行环境污染控制对某些产品价格的影响；Lin 和 Polenske（1995）、Hubacek 和 Sun（2001）基于该模型分析了环境-经济系统的相互作用关系；Yokoyama 和 Kagawa（2006）在传统投入产出模型基础上发展了动态废物投入产出模型方法，对经济增长与废物管理之间的关系进行了分析。

（2）成本收益模型。成本收益模型的核心是从成本收益角度将环境对经济的影响计入生产成本。在市场经济条件下，大部分物品的价格都能够通过市场得到反映，但对于公共物品来说，其市场机制却难以有效确定。此外，生产（或消费）行为还具有明显的外部性特征，通常会引致市场失灵，造成环境污染、生态恶化，但该部分负面影响并未计入生产成本，结果造成生产成本小于社会成本（李金华，2000），而成本收益模型则从根本上解决了传统经济学模型对该部分内容的忽略。成本收益模型将环境污染、生态恶化所带来的环境成本加入生产成本中，使污染者的生产成本增加，迫使市场主体改进生产工艺或采用先进技术提高资源利用率，减少污染排放，提高市场主体的生态环境成本意识，促进社会经济与生态环境的协调发展。姚建（2001）在其所著的《环境经济学》一书中曾采用成本收益模型计算了生态环境的成本。

（3）绿色国民收入核算模型。绿色国民收入核算模型将经济发展对生态环境的影响计入国民收入核算中，是对传统 GDP 核算体系的补充和完善，能够综合考虑环境的经济学特征以及环境与经济系统的相互作用关系，实现对环境-经济协调发展程度的综合评价。绿色国民收入核算模型对于强化生态环境意识、加强资源的优化配置具有重要的现实意义（Herman，1996）。