

中国环境决策费用效益分析的工具选择及应用

安 祺

(环境保护部环境与经济政策研究中心, 北京 100029)

【摘要】当前中国的环境决策急需成熟的环境问题分析与相关政策评价的技术工具体系作支撑, 而该体系的建立远非简单地照搬国际经验就可以做到。正是因为先前的匮乏, 推进中国环境决策费用效益分析的方法工具体系建设才显得尤为必要。本文尝试建立一套以投入产出技术、可计算一般均衡模型、基于多主体的模拟仿真技术和成本效益分析等工具为支柱, 能够从国家、地区、产业关联和产品服务等不同纬度, 开展环境问题分析与相关政策效果预测及评估的工具应用体系。该体系具有通过宏观经济影响分析, 评价环境政策对经济增长和社会分配等方面的影响, 说明在既定政策下能否实现环境与经济协调发展的问题; 通过成本效益分析, 评价环境政策的技术经济可行性和相对于政策目标的政策效率问题; 通过环境效果分析, 评价政策的具体实施效果等多方面的作用。

【关键词】环境决策费用效益分析; 投入产出技术; 可计算一般均衡模型; 基于多主体的模拟仿真技术; 成本效益分析

中图分类号: X21 文献标识码: A 文章编号: 1673-288X(2017)02-0022-06

引言

从经济学的角度看, 环境, 作为人类活动不可或缺有限的资源, 既可视作为生产部门开展生产活动所必要的要素投入, 也可当做消费部门的一种公共消费品。因此, 相对于“产生污染、损害环境质量”的传统意义上的经济活动, 环境保护是起到降低污染、减少环境损害作用的经济活动, 其核心作用在于保护和提高环境自我修复能力, 使环境质量维持在一个稳定状态。由于环境保护具有经济活动的属性, 其相关决策的影响效果必然通过关联部门波及到企业行业、产品服务、国内国际的不同层面, 与社会福祉、民生健康等各个领域紧密相关, 以费用或效益的形式反映到经济核算中去。

基于环境保护活动的经济属性, 本文旨在探讨经济学分析方法对我国环境决策费用效益分析的应用, 尝试建立与我国环保工作需求相对应的分析工具体系。主要内容包括三部分。第一部分, 介绍投入产出分析、可计算一般均衡分析、成本效益分析法以及基于多主体建模的模拟仿真等方法在环境领域的应用。第二部分, 比较分析各类工具的理论基础、应用领域、适应条件及特点、局限性等。第三部分, 结合我国实际要求, 研究工具选择及设计应用步骤、流程。

1 经济学分析方法在环境领域的应用

投入产出分析、可计算一般均衡分析、基于多主体建模的模拟仿真方法以及成本效益分析法等都是基于基本的经济学原理, 具备较强的适用性和应用实践效果。

这里将介绍上述方法在环境领域的应用。

1.1 投入产出分析

投入产出分析(Input-Output analysis)简称IO分析, 研究具有相互关联关系的各个经济系统部分, 反映生产或消费各部门、行业、产品等之间相互作用。资源和环境问题越来越突出, 经济学界开始重视这些曾经被忽略的外部不经济, 为了研究经济发展与环境保护的关系, 将IO分析应用到环境保护领域, 建立了一系列包括环境内容的投入产出模型。

国外学者 Maria Liop(2007)运用投入产出分析方法对西班牙制造系统的水政策的变化对经济造成的影响进行了分析, 进而对相关政策的完善进行了探讨。Jordi Roca(2006)采用投入产出方法研究了经济增长与环境压力之间的复杂关系。chen Lin(2008)提出了一种新的混合投入产出模型用以研究废水的产生和处理与环境之间的关系。Binsu等(2009)利用投入产出分析方法研究了国际贸易中相关能源的二氧化碳排放情况, 并以中国和新加坡的进出口行业为例, 确定了在相关活动中二氧化碳排放量较大的部门。

1.2 可计算一般均衡模型

可计算一般均衡模型(Computable General Equilibrium model), 简称CGE, 描述各个经济部门、各个核算账户之间的相互关联关系, 模拟和预测经济活动和相关政策对这些关系的影响、效果。随着电子信息技术飞速发展, 特别是数据基础的改进和计算程序的完善, 使CGE模型的应用迎来了黄金时期, 在能源、环境及税收政策分析方面等新兴领域, 也取得了良好的应

作者简介: 安祺, 经济学、环境学双博士, 国家高层次留学归国人才计划, 高级工程师、中国环境管理分会执行秘书长, 主要研究领域环境经济、产业和金融

引用文献格式: 安 祺. 中国环境决策费用效益分析的工具选择及应用 [J]. 环境与可持续发展, 2017, 42(2): 22-27.

用效果。

环境 CGE 始于 1980 年代末, 主要用于模拟环境与经济之间的互动影响, 包括分析公共经济政策(如税收、政府开支等)对环境的影响及环境政策(如环境税收、补贴和污染控制等)对经济的影响。1990 年代, 代表性学术成果增多, 结果表明, CGE 在环境政策模拟方面取得了很多成果, 环境 CGE 较为准确地分析和模拟这些政策实施的结果。尤其是在定量分析环境方面的经济政策对我国经济带来的影响方面, 有着绝对的优势。

1.3 基于多主体的模拟仿真技术

基于多主体模拟仿真技术 (Agent - Based Simulation), 简称 ABS。ABS 是多主体理论与仿真方法的融合, 以若干多主体模拟客观世界的个体系统, 以多主体间的交互模拟反映系统动态性和复杂性。与另一门新兴学科——实验经济学相结合, 借助计算机平台, 模拟人们的行为规律与价值取向。

Moira L. Zellner(2008) 构建了一个进行环境决策分析的模型, 并以地下水管理中的假设应用为例对 ABS 模型的潜力和局限性进行了探讨。Eheart J. Wayland 和 Cai ximing 等(2010) 开发了一个与流域水文模型相关联的 ABS 模型用于计算模拟不同场景下的碳氮交易, 回答有关的成本效率和氮和碳交易项目的环境效益的基本问题。

1.4 成本效益分析

成本效益分析(Cost-Benefit Analysis), 又称费用效益分析, 简称 CBA, 是通过比较项目的全部成本和效益来评估项目价值、支持决策的方法。目的是寻求在投资决策上如何以最小的成本获得最大的收益。其效益与成本计算方式, 在结合投入产出分析、CGE 模型, 甚至 ABS 技术等方法来更加精准、全面地评估项目或方案, 换句话说, 上述方法被作为成本效益分析中测算经济、环境成本效益的有效工具而使用。

1980 年代以来, 有关环境成本效益分析的研究广泛开展。梅纳德·胡弗斯密特和约翰·迪克逊 1983 年的《环境、自然资源与开发: 经济评价指南》、《环境的经济评价方法—实例研究手册》较为系统地介绍了环境影响经济评价的理论和方法, 并且进行了相关的案例研究。A·M·弗瑞曼 1993 年《环境与资源的价值评价》介绍了对环境与资源进行价值评估的经济理论基础, 并对各种价值评估方法进行了系统的理论阐述。

2 经济学分析方法的比较研究

2.1 理论基础

IO 分析的理论基础来源于两方面: 其一, 瓦尔拉斯一般均衡理论。该理论认为, 一种商品的价格变动不仅受到自身供求关系的影响, 还受到其他商品的供求关系的影响。不同行业之间的“棋盘网格关系”, 实际上

反映了这种“牵一发, 而动全身”的交错关系。其二, 以马克思再生产理论为依据的前苏联计划平衡思想。

CGE 与 IO 相同是瓦尔拉斯一般均衡理论, 将理论中的商品简化为部门, 模型的部门涵盖经济系统中的全部部门, 所采用的基础数据也来源于 IO 表。CGE 引入了均衡价格, 价格影响供需关系。居民, 政府都根据效用最大化来选择购买的商品, 不再是 IO 模型中固定的比例系数关系。CGE 模型形态上千差万别, 但具有共同特征。1) 把经济系统整体作为分析对象, 研究内容包括系统内所有市场、价格及各种商品和要素的供需关系, 并要求所有市场都结清。2) 从结构看, 包括反映供给量、需求量和供求关系的三组方程, 虽然没有显性的目标函数, 但优化行为分散在各个部门的生产、投资以及消费决策中完成。3) 经济主体的行为要满足“在技术约束下, 生产者追求利润最大化; 在收入约束下, 居民追求效用最大化”。4) 数据结构上, 数据主要取自于 IO 表, 要求建立社会核算矩阵。

ABS 理论基础主要来源于人工智能领域的主体及多主体系统思想, 随着分布式人工智能的研究而兴起的, 该思想在经济学、社会学、生态学等领域产生了广泛的影响。Minsky(1986) 提出了 Agent 即主体的概念, 认为社会中的某些个体经过协商之后可以求得问题的解, 这些个体就是 Agent, 具有社会交互性和智能性。ABS 的基本出发点是: 许多系统是由多个自治的主体构成, 主体之间的相互作用是系统宏观模式出现的根源, 通过建立主体模型, 可以更好的理解和解释这些系统。

CBA 的指导思想是福利经济学中的“消费者剩余”。经济学家认为稀缺性赋予商品或劳务以价值。如果某种东西能够满足任何想要消费它的人, 那么无论多么被需要, 它都不具备经济价值, 而一旦其不再被随意享用, 便具有了经济价值。“环境质量”类似于一种正在变得稀缺的商品, 当具备市场需求时, 其稀缺性便通过价格来反映。“消费者剩余”的基本的想法是通过人们愿意支付的费用而不是实际支付的费用来评估环境的价值。CBA 方法具体评估时, 采用工程经济学中的概念, 比如内部收益率、净现值与效费比等等。这些指标主要是用来评估具有不同年限与不同风险程度的项目在经济上的优劣。

从这四种方法的理论基础会发现, IO 分析、CGE、CBA 都具有一定的经济学基础, ABS 则是人工智能思想和技术在社会经济领域的应用。从应用的角度看, CBA 是直接针对明确的项目的评估, IO 分析与 CGE 则是针对宏观经济政策来模拟分析的, ABS 似乎更适合做理论探讨, 发掘总体的行为规律。

2.2 应用领域

IO 技术的主要应用: 经济计划编制, 特别是中长期计划; 结构分析、经济预测; 重要政策对经济的影

响；产品价格的确定；一些专门的社会问题，如环境污染、人口、就业、收入分配等。CGE从传统的宏观经济政策分析延拓到社会、区域发展、能源和气候变化、环境经济评估政策等诸多领域。环境CGE分析环境政策对整个经济的影响，研究对特定部门的影响，测算相对合理的环境政策的社会成本。还可以刻画经济体中不同的产业，不同消费者对环境政策冲击引发的相对价格变动的反应。ABS较适合描述复杂系统：包含中等数量的个体，个体往往是异构的、利用局部化信息进行决策、个体可能具有学习能力，个体在空间上分布，之间存在灵活的交互，通过计算机多次试验运行，观察呈现的宏观模式，归纳提炼后得到一般规律。CBA往往被作为环境影响评价的最后一步。其目的是将环境影响的货币化价值纳入项目整体的经济分析中，以判断项目的这些环境影响将在多大程度上影响项目、规划或政策的可行性。

2.3 适用性：特点和局限性

IO分析的特点：1)既能做局部分析，又能做综合研究。2)能深入分析产业间、行业间和产品间的相互依存关系和主要结构及比例关系，揭示各种经济活动间的连锁反应。3)全面计算人、财、物的直接投入、占用以及完全投入和占用，能揭示常规方法难以认识和揭示的经济规律。4)数学模型和参数可以用来为指定政策预测、计划提供重要数据资源。局限性：1)同质性假定和比例性假定是对应数学模型的基本要求和前提，并能保证每个部门投入结构的单一性和投入系数的相对稳定性，但与实际情况有一定的差异。当技术进步较快和经济结构变动较剧烈的情况下，其应用效果将会受到明显的影响。2)不能解决动态和优化问题。3)来自现行统计制度和经济管理水平方面的限制。

CGE模型的优点：1)更好地反应市场运作机制。2)基于瓦尔拉斯一般均衡理论的价格调整，使商品和要

素的供求达到平衡。3)供需函数分别由基于厂商利润最大化和居民效用最大的行为导出，具有微观经济学基础。4)模型通常是多部门和非线性的，包含资源约束，如劳动力、土地以及资本等不是无限供给的，与现实更加符合。机制选择更多样化。局限性：1)数据的整理比较困难。2)计算的复杂性。

ABS模型提供了一个可控的、完全透明的实验环境，可以设定包括经济制度、个体类型等所有环境变量。特点：1)空间拓扑没有限制。2)主体具有一定的自治性。3)主体往往是异质的。4)主体之间的交互方式灵活多样。5)主体行为是并发的、异步的。用于环境经济政策仿真中时满足以下条件：1)经济系统模型可以用ABS建模。2)模拟系统中的计算变量与政策控制变量具有可映射性，即政策控制变量与系统中的计算变量之间的影响可度量。3)评估的政策可度量。此外，校验是一大难点，包括模型输出的描述、关注瞬间动态特性、非线性与脆弱性、验证数据的不可得(不易得)。ABS的主要意义在于提供了一种有益的补充：即至少这些答案为进一步深入研究提供了某些“启示”和“线索”。

CBA的应用不仅包括对项目进行环境成本效益分析，而且对规划和立法进行成本效益分析，国外已将环境成本效益分析作为环境决策的重要工具，在重大项目和重大环境决策中已普遍推行，并以立法作为保证。但是，由于该方法在环境问题的估值上存在着很大的“裁量空间”，从而有可能会引起不同的人给出的估值相差较大，这或许也是CBA最需要避免的缺点。总的来说，应用时应注意以下几点：(1)结合我国的国情。(2)注意环境价值评估方法的选择是否适用。(3)考虑环境影响的长期性特点。

综上所述，各种方法工具的特点与局限性如表1所示。

表1 各种方法的特点与局限性

方法	维度	优点及特长	适于解决的问题	局限性
IO	行业层面	多部门交叉联系，体现结构关系	产业关联与结构变化、指标核算，比如拉动系数，感应力系数等	地区、国家间产业关联的建立、相关数据拆分整合
CGE	宏观层面、自上而下	在IO基础上，引入微观机理并具备非线性关系，体现不同行业产品之间的不完全替代、宏观结果	财税货币政策、汇率变动等模拟，获得宏观经济、环境影响，如行业、就业、居民收入、消费等影响	数据整理及计算平台建设
ABS	微观层面(个人、企业等经济个体)、自下而上	微观层面，细致到经济个体(个人或企业)，反映大量异质个体间相互作用，统计得到宏观结果；自下而上建模，刻画复杂系统，使微观行为与宏观现象有机结合；模型可塑性、可重用性强，使用灵活	理论与机理探索，企业对环境政策的响应	确定微观行为规则及计算平台建设；验证困难，可信性差；具有路径依赖的特点，输出结果受到所使用软硬件平台的影响；可再现性差，具有不确定性
CBA	综合	财务经济概念明确，计算步骤规范	具体项目的经济效益评估(针对环境问题，需要量化环境影响)	成本、效益范围的界定存在一定随意性；需要的信息数据量大；科研基础方面要求有较多支持

3 工具应用的一般步骤和流程

各种分析方法具有不同的适用范围和优劣特点, 针对不同层面和领域的环境问题要选择适宜的方法。如图

1 显示, 不同方法虽然有各自的特点, 但在实际应用中, 就工具开发应用流程来说, 可以分为预评估、评估和结果评价三个阶段。

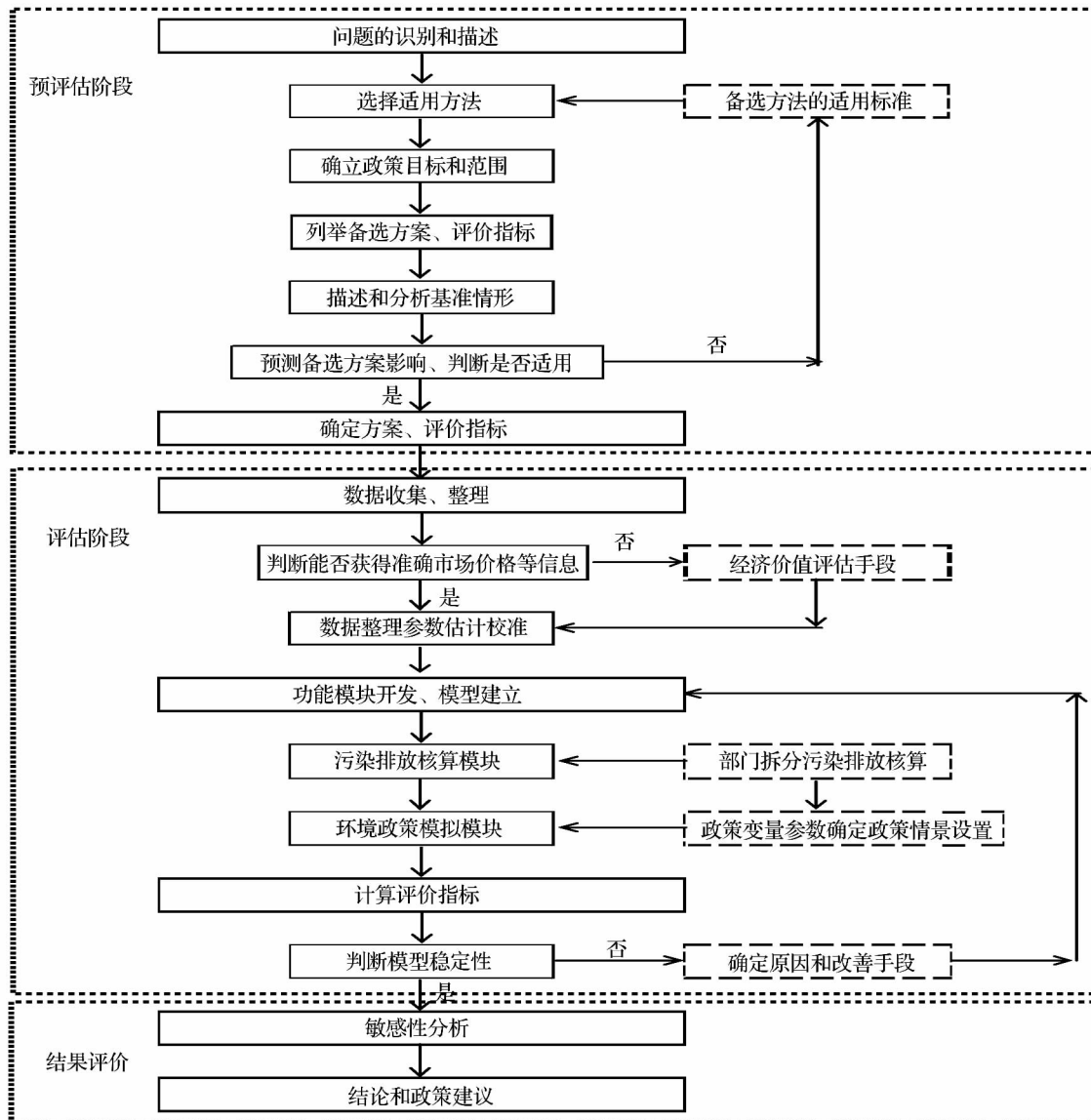


图 1 一般流程

3.1 预评估

在这一阶段需要完成三个方面的工作, 1) 问题识别和描述, 2) 列举备选方案, 3) 选择、确定工具和评价指标。如图 2 所示, 需要根据问题需要, 对各个方法进行预评估。

如果明确是要评估对整个宏观经济的各个方面做影响评估, 比如政府收支变化, 居民收入变化, 企业的收入情况, 就业的变化情况等等, 采用 IO 分析或者 CGE 模型就比较合适。采用成本收益方法来处理, 可能就比较繁琐, 有些项目的成本与收益也比较难以加以确定。

采用 ABS 方法, 可能面太广, 在参数设置上会有很大的不确定性。如果明确要考虑变化率的幅度较大时, 采用 CGE 是比较合理的。因为 CGE 不仅在机制上要比 IO 全面, 更为主要的是, CGE 的非线性机制能够更加准确的描述市场机制。IO 分析的线性模型, 在变化率较大的情况下, 可能偏离实际比较多。如果明确是要评估环境税的征收在企业层面上会有多大的影响, 则考虑采用 ABS 方法较为合理。因为, ABS 能够针对企业的不同特征, 对不同的个体赋予不同的属性, 即能够体现所模拟对象的异质性, 同时, 个体可以具备空间属性。它在处

理这些问题上比较灵活。在环境社会方面综合评估实施某项工程的可行性，则比较适合采用成本效益法。

3.2 评估

3.2.1 数据准备与模型建立

不同的模型对数据的要求各不相同。但就一般流程步骤而言，每个模型都不可避免的要有数据准备的过程。数据收集程度决定了模型的功能和结果。表2中列举了本文涉及工具所需主要数据的来源与构成。对IO模型来说，需要编制相应的IO表，一般采用国家统计局或地方统计局出版的投入产出表为基础，再通过统计年鉴或者其它环境数据经行适当加工得到。对于CGE

而言，需要以IO表为基础来编制更为全面也更为复杂的社会核算矩阵，综合参考资金流量表，人口统计年鉴等等来实现整合。同时，CGE还需要另外的一组数据，即参数，这需要根据历年的数据获取。ABS则需要实际的特征数据，比如个体类型，风险偏好程度等等。还需要一套行为规则，就是个体面对不同的环境时应该如何决策。CBA分析需要有关项目的一些数据。如项目建设期与维护期的时间长度，成本以及效益的核算范围，贴现率等等。其中贴现率可以用来反映风险的大小，一般认为风险大的项目，应该会相应地确定其贴现率较高一些。

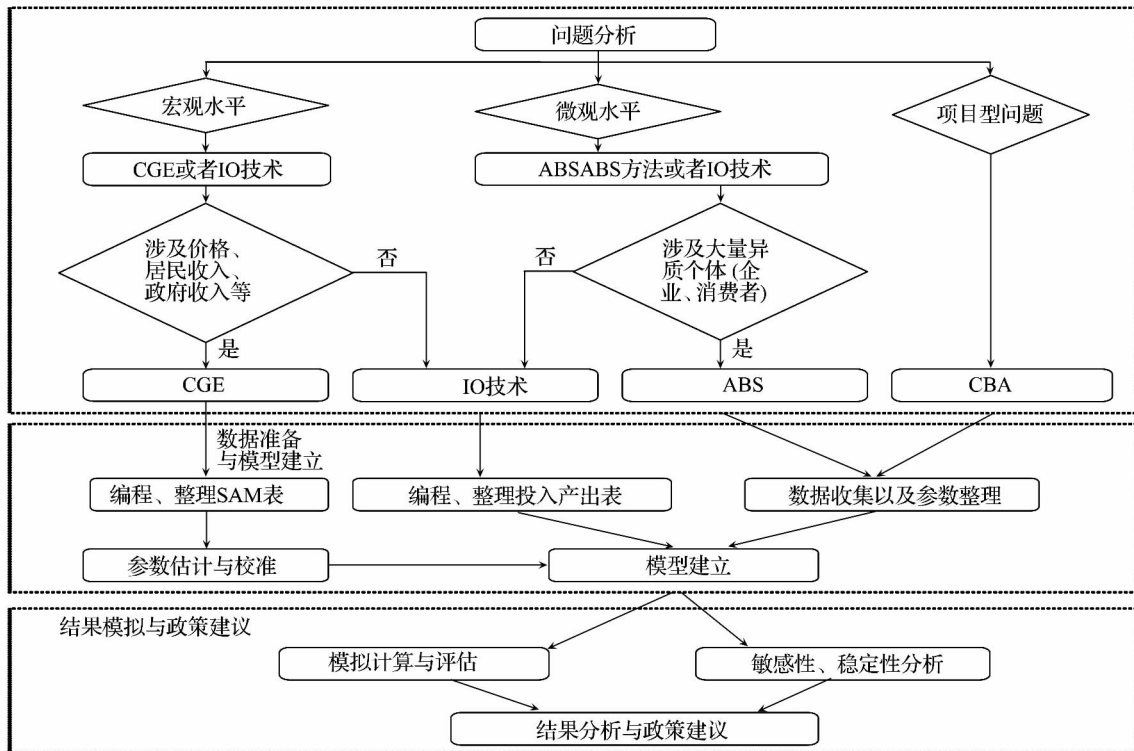


图2 工具选择

模型建立与数据准备没有明确的谁先谁后。因为建模与数据准备总是相互制约又相互促进的。再好的模型，没有数据的支撑，只能停留在理论层面，没有实用价值。但如果数据过于细化，也未必能与模型结合的上。对于CGE来说，知道某个行业的企业数量与规模对模型的求解并不带来多大的影响。当然，如果能知道各个部门每年的排污数量，甚至是治理的成本等等，对构建环境CGE来说将是非常大的帮助。模型和数据往往越细致越好，但总受限于一一定的规模尺度。很显然，用CGE来模拟单独一个企业对经济政策的影响，是很不现实的事情。但是，用来分析这个企业所在的行业对经济政策的影响却是很合理的。所以，一个类型的模型可以解决的问题很多，但采用这四种方法来研究环境问

题，建立模型时，既需要考虑数据的问题，也需要考虑问题的规模尺度。

3.2.2 模拟计算与评估

这一步相对来说比较简单一点。主要是构建计算平台，模拟或计算得到结果，并最终给出分析。对IO来说，一般使用EXCEL来计算，也可以利用MATLAB等计算平台。CGE实现的平台有GAMS, GEMPACK, MATLAB, C#等等。ABS有Repast, Swarm, Net-Logo, Mason等平台。CBA比较灵活，可以用EXCEL，也有一些针对特殊问题的专业化软件。需要提醒一点的是：结果分析不能单纯的看结果，一定要结合实际背景。各个方法并不是相互排斥的。很多时候，可以综合利用各个方法来做一个环境问题的评估。例如中国国家电网研究

中心,就分别采用了 ABS 技术,CGE 技术,以及 CBA 技术用于分析电力需求预测,电力行业涨价的经济影响分析。

3.3 结果评价

对所得到的结果进行分析总结,说明结果的环境、经济、政策含义并给出政策建议。许多政府采用 CGE 与 IO 技术用于决策支持的一个重要原因是这些模型能给出比较详细和明确的政策指导意见。而 ABS 往往揭示运行规律,CBA 则给出不同方案的费效比。同时,针对某些问题,还要结果可靠性分析、敏感度分析等等。所有的模型都依赖参数的设定和取值,因此,有必要考虑到这些参数的变动对结果的影响。由于这部分分析涉及到数理和经济理论的多方面内容,根据篇幅关系在此仅做如下简单说明。

对于 IO 来说,一般无需考虑 IO 模型的灵敏度问题。只是,投入产出的感应力指标、乘数指标实际也是灵敏度的一个反应。此外,动态模型或者情景分析中,直接消耗系数的变动也有着直接的经济意义。CGE 模型的参数都是依据基准年的数据校准与估计的,某种意义上是均衡状态下各种经济特征的反应,因此,直接简单的变动 CGE 中参数理论上是不可取的。但是,可以将参数的变动作为一个外生冲击作用于系统,如可以分析技术进步对经济带来的影响等等,是可行的,对于灵敏度分析也具有意义。ABS 参数的不确定性较大,需要对参数的灵敏度分析给出说明。一般来说,建模者多通过构建众多的情景来模拟分析。在 CBA 分析中,贴现率是作灵敏度分析的一个关键参数。这个参数的大小往往会左右费效比的大小,甚至决定费效比是否大于 1。在 CBA 中分析灵敏度的另一个作用是评估风险。

4 总结

在研究过程中,我们越发认识到,当前中国环境领域的决策急需成熟的环境问题分析与相关政策评价的技术具体体系作支撑,而该体系的建立远非简单地照搬国际经验就可以做到。正是因为先前的匮乏,推进中国环

境决策费用效益分析的方法体系建设才显得尤为必要。

在梳理了作者以往研究体会的基础上,本文尝试建立了一套以投入产出分析、一般均衡模型、多主体模拟仿真、成本效益分析等工具为支柱,能够从国家、地区、产业关联和产品服务等不同纬度,开展环境问题分析与相关政策工具效果预测及评估的工具应用体系。该体系具有通过宏观经济影响分析,评价环境政策对经济增长和社会分配等方面的影响,说明在既定政策下能否实现环境与经济协调发展的问题;通过成本效益分析,评价环境政策的技术经济可行性和相对于政策目标的政策效率问题;通过环境效果分析,评价政策的具体实施效果等多方面的作用。

当然,该体系在环境费用效益分析中的应用需要满足一定的条件。因此,作为服务于环境政策制度设计、制定和实施评价及修改等相关工作需求的工具应用体系,即使不是推进环境保护领域科学决策、科学评估的唯一途径,也是实现科学决策目标的一项重要实践。希望本文能够起到抛砖引玉的作用,为填补我国环境决策分析方法论的空白,将过去复杂、定性的政策研究,转变为宏观与微观结合、经济影响与环境、社会影响结合、定性定量结合的研究,提高环境政策设计、制定的科学性,为环境决策整体水平的提升奠定一定的基础。

参考文献:

- [1] F Wang, B Dong, X Yin, C An(Corresponding author) . China's structural change: A new SDA model. *Economic Modelling*, 2014, 43: 256-266.
- [2] 安祺, 冯晓. 环境经济动态模型分析. 环境经济学会年会, 2013.
- [3] 安祺, 王飞, 李娜. 开放经济条件下能耗与碳排放的测算方法研究及应用—基于 2007 年中国投入产出数据的实证分析. *环境与政策*, 2012, 4: 20-29.
- [4] 李继峰, 安祺(通讯作者) . 环境政策的经济学分析方法及应用—焦炭行业环境税的减排效果和经济影响分析. *环境与政策*, 2012, 4: 80-96.
- [5] 王飞, 安祺. 机电产业的结构分析及其对社会经济发展的作用. 国家统计局科研研究所研究参考资料, 第 84 期, 2011.
- [6] 任勇, 安祺(通讯作者) . 经济增长与环境退化关系的趋势分析. *环境经济*, 2009, 72.
- [7] C An. A Study on Economic Growth and Social Environmental Change in Urban Area of China. *Journal of Human Environmental Study*, 2006, 1(4): 61-69.
- [8] C An. Catch-up and Regional Disparity in Economic Growth. *Forum of International Development Studies*, 2005, 30: 35-50.

Tool Selection and Application for Cost Benefit Analysis of Environmental Regulation in China

AN Qi

(Policy Research Center for Environment and Economy MEP, Beijing 100029)

Abstract: At present, China's environmental decision-making is in urgent need of a mature technical tool system for support of environmental issues analysis and related policy evaluation. The establishment of the system is far from simply copying the international experience can do. On the basis of the previous research experience of the author, this paper attempts to establish a tool application system, which is supported by Input-Output Technique, Computable General Equilibrium Model, Agent-Based Simulation and Cost-Benefit Analysis, to analyze and evaluate the environmental problems and related policy effects from the different latitudes such as national, regional, industrial associations and product services.

Keywords: environmental policy evaluation; input-output technique; computable general equilibrium model agent-based simulation; cost-benefit analysis