

# 国外能源系统模型研究及启示

□刘 婧

(复旦大学 环境科学与工程系, 上海 200433)

摘要: 本文概述了国内外学者对能源系统模型研究的基本情况, 分别介绍了两种主要的能源模型——能源经济模型和能源技术模型, 并对其进行了分析和评述, 进而对今后能源系统模型的方法选择提出一些启示和建议。

关键词: 能源系统; 能源经济模型; 能源技术模型; 启示

〔中图分类号〕F4

〔文献标识码〕A

〔文章编号〕1003-6547 (2009) 12-0035-02

## 一、引言

如果要实现能源和环境政策措施的效果最大化, 需要了解它们在市场机制下的作用机制, 从量化角度比较分析它们的成本和效益, 从而为相关政策的制定者提供合理的参考和建议。能源系统模型是实现这种定量分析的一个较为理想的工具。能源系统的建模被用于政府的政策分析始于19世纪70年代 (Bahn et al., 1998), <sup>〔1〕</sup> 在国外已有相当多的研究。能源系统模型一般可以分为两类模型——自上而下的能源经济模型 (Top-down model) 和自下而上的能源技术模型 (Bottom-up model)。

## 二、国外能源系统模型的研究概况

1. 经济模型。能源经济模型以经济学模型为出发点, 集约地表现它们与能源消费与生产的关系, 在宏观经济的总体构架下考察经济、能源、环境部门之间的联系, 以此来分析不同政策情景下能源消费及环境排放的变化, 并从中寻求能够实现能源、经济、环境协调发展的政策方法和途径, 一般也被称为“自上而下模型” (Top-down model)。能源经济模型大多数都用诸如GDP、就业、部门产出或收入、能源价格等经济指标来衡量能源供给和需求的水平, 可能会由于结构、方法、分类、范围和地理覆盖的不同而不同。通过最小化总成本, 模型会给政策制定者展现一种最佳的解决方法。

(1) 投入产出模型。该模型利用几组联立方程将经济部门问题的复杂关系表示出来, 以总需求为已知, 并为如何满足该需求提供了相当详细的部门信息。传统的投入产出模型经过适当的扩展就可以应用于能源和环境政策分析, 并主要用来分析能源和环境政策产业效果, 但由于模型方程中的系数是固定的, 难以描述与能源环境政策相关的要素替代、技术变化以及行为变化, 因此, 在分析政策的宏观影响时受到限制。

(2) 宏观计量经济模型。该模型通过经济变量之间在过去的统计关系来预测经济行为, 并突出了与政策相关的短期动态机制。该模型中均衡机制的实现是通过数量的调

整而非价格, 并利用时间序列数据通过计量经济技术估计模型参数。尽管如此, 该模型在得出对政策变化的预期反应时, 并未考虑主体可能作出的有效率或者预见性的反应, 因此, 仅适合于少量政策变化的短期或中期预测。

(3) 线性规划 (LP) 模型。线性规划已被广泛用于优化能源系统。简单的线性规划的研究很多, 比如Gong (2003) 等学者的LP模型; 为了处理能源系统模型中的多目标、阶段性和标准化问题, 产生了多目标线性规划模型。为分析能源系统规划的不确定性, 随机线性规划 (Stochastic linear programming, SLP) 和模糊线性规划 (fuzzy linear programming, FLP) 首次被引入能源模型。

(4) 可计算一般均衡模型, 简称为CGE模型 (computable general equilibrium)。大多数模型用CGE模型描述微观经济部门的经济运行和表现。CGE是在近30年间发展起来的经济模型。它以微观经济理论为基础, 基于微观经济学原理构建经济代理人的行为, 来模拟不同行业或部门间的复杂的、基于市场的相互作用关系。该模型通过在消费者对商品和服务的需求同生产者的供给间达成平衡的过程中, 以消费者和生产者分别寻求福利或利润最大化为假设基础, 对市场均衡价格进行模拟。该模型适合于作长期比较静态分析。常见的能源环境CGE模型的内容多为温室气体排放的预测、影响评价和政策分析, 还有大量对发展中国家能源环境问题的研究。特别是, 减排政策的分析可以利用对能够限制排放增长的经济变量进行建模而得到。

2. 技术模型。技术模型可以提供详细的能源来源, 并考虑许多跟供给、需求和转换有关的技术。这些模型通常会结合许多可以在将来提供的潜在技术, 而且能够分析各种技术和资源的优点和局限性, 以为确定最佳的政策提供帮助。例如如果对进口资源的成本低于国内生产, 那么模型的结果应该选择进口。如果一个新的技术无论在成本还是效率上都要优于现有的技术, 那么该模型将用新技术取代旧技术。在这种模型中, 只考虑可变和固定成本、效率、影响因素和排放量。其他属性, 如质量、方便性和美观, 通常被忽视。

注: 本文是教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目《节能减排与环境保护宏观政策研究 (07JZD0008)》阶段性成果。

能源技术模型以反映能源消费和生产的人类活动所使用的技术过程为基础,对能源消费和生产方式等进行预测,以此来评价不同政策对能源技术选择及环境排放的影响,从中寻找能够实现能源、经济、环境协调发展的政策及技术方法和手段,一般也被称为“自下而上模型”(Bottom-up model)。大致也可以分为3类:

(1) 部门预测模型。利用大量相对简单的技术来预测能源供应和需求,适合于单个时间段或者动态与反馈随着时间引起不同程度的变化,主要内容是能源系统的技术特征及有关财政或直接成本的数据。

(2) 动态能源优化模型。也称为部分均衡模型,该模型以能源供给与需求技术的详细信息为基础,以能源系统的总成本最小化为目标来计算能源市场的局部均衡。该类模型在设定服务量的情况下,对不同能源供应和利用技术的经济成本(包括投资成本和运行成本)经过贴现后进行对比,以系统总成本最小的组合作为模型的优化解,并在此基础上计算得出能源构成、环境排放等一系列数据。该类模型的特点是对能源系统的全部能源载体从开采、加工、转换到最终利用的全部或部分工艺过程的技术经济状态都有比较详细的描述,因此,可以提供能源系统规划中的主要内容,并用来对能源的开发利用前景、能源开发及利用技术的经济评价、能源间相互替代的可能性和经济性、能源利用中的环境问题等一系列问题进行分析。技术模型在70年代末和80年代初发展起来,大多数模型是建立在技术优化的基础上,计算了能源市场的局部均衡。经过20多年的发展,经历了几个代表性的模型,包括法国开发的EFOM(能量流优化模型)、国际应用系统分析研究所(IIASA)开发的MESSAGE(能源供应的战略选择和一般环境影响模型)和以IEA为核心开发的MARKAL模型。

(3) 综合能源系统仿真模型。该模型包含了对能源供应和需求技术的详细表述,供应和技术的发展通过外生的情景假设驱动,这类假设也经常与技术最佳模型和计量经济预测有关。此类模型最常见的是系统动力学模型。由于能源系统的动态性和复杂性,目前有一些学者利用系统动力学的方法对能源问题进行研究。系统动力学(System Dynamics,缩写为SD)始创于1956年,是由美国麻省理工学院(MIT)的教授福瑞斯特(Jay W. Forrester)创立的。系统动力学的理论核心是系统辩证唯物观,强调系统的联系、运动和发展的观点。系统动力学是以系统方法论的基本原则来考察客观世界,体现了结构方法、功能方法和历史方法的统一。<sup>[2]</sup>另外,系统动力学最大的优点是可以定性和定量相结合,借助计算机的模拟,进行调查研究和政策分析。因此,该模型被称为是社会、经济及生态等复杂大系统的实验室。<sup>[3]</sup>系统动力学在能源和可持续发展领域的研究很多,其中重要的代表性工作就是发表于20世纪70年代初的著名的《增长的极限》<sup>[4]</sup>以及20世纪90年代初的《超越极限》。<sup>[5]</sup>

### 三、结论及启示

能源经济模型能够更好地反映宏观层面上的相互影响,它更多地关注各经济部门之间的相互联系,也能够反映市场条件下不同经济部门之间的贸易及反馈关系。但是该类模型

对能源技术的描述比较抽象,缺乏足够的细节。能源技术模型在反映技术细节上具有很大的优势,在获得足够的支撑以后,可以将技术的经济性、利用效率及环境排放水平等一系列信息纳入到模型中,充分体现部门的产品结构和技术类型。但是该类模型缺乏和忽略了经济系统内的反馈关系,一些重要因素如部门产出服务量、能源价格等因素均在模型外给定,从而容易导致一定程度的主观性和不确定性。另一方面由于能源模型是一个功能强大的工具支持系统模型,许多与能源有关的活动如能源供应、需求、定价等是复杂的,具有各种不确定性,在这种情况下,单纯运用任何一种建模方法都不能有效解决能源系统模型的所有问题。

能源和环境问题已经成为影响我国经济发展的最为关键的两个问题。为了实现我国经济的可持续增长,必须通过制定合理的政策措施,加强对能源的节约和减少环境的排放。在这个过程中,无论是政府还是研究学者,必须要通过定量分析手段,来增强政策措施的有效性、合理性和适用性。从研究的角度来说,要实现这一目的,加强能源系统模型的研究水平和分析能力尤为关键,特别是加强对能源经济模型和技术模型连接,应该成为未来一个重点的研究领域。但是单独靠两种模型中的任何一种都无法实现对它们作用的评价,只能通过将两种模型进行综合,才能获得有现实意义的分析结果。

通过经济模型和技术模型的综合运用,可以兼顾两种模型在分析评价能源和环境政策时的优点,避免由于仅考虑宏观因素或微观细节而产生的偏差,这对提高我国在制定和实施能源及环境政策方面的能力具有很重要的意义。综合模型的应用范围更广,结果也更具有现实意义和参考价值。综合模型不仅可以探讨宏观经济结构下能源、经济、环境三者的关系,还能够对微观层面下的能源技术和环境减排技术等选择进行比较分析;不仅能从经济、技术、环境、区域等多个层面对能源、经济和环境政策实施后的效果进行分析,还能对未来我国能源和环境的可能发展趋势和情景进行分析;不仅可以关注短期的如节能、能源价格调整等政策的实施效果,还能分析长期的如可再生能源政策等的影响。因此,今后应进一步加强对综合模型的实际应用,从而为能源系统模型提供更多的有效的决策支持。■

### 参考文献:

- [1] Bahn, O., Haurie, A., Kypreos, S. and Vial, J.-P. Advanced mathematical programming modeling to assess the benefits from international CO2 abatement cooperation. Environmental Modeling and Assessment, 1998, 3: 107-115.
- [2] 王其藩.系统动力学[M].清华大学出版社,1994.
- [3] 胡玉奎.系统动力学——战略与系统实验室[M].浙江人民出版社,1988.
- [4] 丹尼斯·L·梅多斯等著,李宝恒译.增长的极限[M].长春:吉林人民出版社,1997.
- [5] 唐奈勒·H·梅多斯等著,赵旭等译.超越极限[M].上海:上海译文出版社,2001.

【作者简介】刘婧(1982-),女,山东烟台人,复旦大学环境科学与工程系博士研究生,研究方向:资源与环境经济学、公共政策。

责任编辑:江海洋