

构建中国的能源-经济-环境系统评价模型

张阿玲¹, 李继峰²

(1. 清华大学核能与新能源技术研究院, 北京 100084; 2. 清华大学公共管理学院, 北京 100084)

摘要: 能源-经济-环境综合评价模型(3E模型)是开展国家能源系统规划的重要工具,中国在模型实际开发方面还落后于世界先进水平。该文根据国际流行的建模思路,构造了混合式3E模型TH-3EM(清华能源-经济-环境混合评价模型),利用可计算一般均衡模块描述经济系统整体,应用跨时段能源系统优化模块描述能源系统微观细节,通过在2个模块间建立双向闭合连接,描述能源系统与经济系统之间的互动关系,并保证模块结果的一致性。

关键词: 能源系统分析; 能源-经济-环境系统综合评价模型; 清华能源-经济-环境系统混合评价模型; 能源系统优化模型

中图分类号: N 945.12

文献标识码: A

文章编号: 1000-0054(2007)09-1537-04

Chinese integrated energy-economy-environment assessment model

ZHANG Ailing¹, LI Jifeng²

(1. Institute of Nuclear and New Energy Technology,

Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. School of Public Policy and Management,

Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract Integrated energy-economy-environment(3E) assessment models are widely used to analyze comprehensive problems in energy systems for designing national energy development strategies. However, China lags behind international development in such models work. This paper presents a Chinese integrated energy-economy-environment assessment model, Tsinghua hybrid energy-economy-environment model (TH-3EM). The model includes a computable general equilibrium module for analyzing the economic structure at some special time points, an inter-temporal energy system optimization module for calculating the detailed roadmaps of technologies development in energy system, and a link module for building the bidirectional connections between the economic model and the energy model to keep the consistency of two models in describing the energy sector production and the end use energy consumption in balance.

Key words energy system analysis; integrated energy-economy-environment system assessment; Tsinghua hybrid energy-economy-environment model (TH-3EM); energy system optimization

2003—2005年间,我国出现了较大范围的“电荒”、“煤荒”和“油荒”,能源供应不足成为制约经济发展的瓶颈,为了扭转这种紧缺局面,国家一方面努力增加能源供应能力,另一方面更加重视节能。2006年国家“十一五”规划纲要中,首次明确提出了在5年内实现单位GDP能耗降低20%的约束性目标,也彰显国家推行节能的决心。目前,迫在眉睫的问题是推行怎样的节能战略才能实现既定目标,并长期有效地开展节能工作。回答这个问题,需要对不同节能战略选择的影响进行全面的科学的定量分析,而能够较好完成这项工作的模型工具,根据国际经验,应该是能源-经济-环境综合评价模型(integrated energy-economy-environment assessment model, 3EM),既能够在整个经济系统框架下来全面分析不同节能战略的影响,又能够从能源系统的微观层面考察各种节能战略的可行性^[1]。

目前国际上3E模型的流行构建思路是融合自底向上(bottom-up)与自顶向下(top-down)2种思路,建立混合(hybrid)模型^[2]。我国现有3E模型落后于世界先进水平,在模型开发方面处于起步阶段,需要在建模方法论上进行探索和积累实践经验^[3]。

文章根据已有研究^[4]和模型基础^[5],探索完整的混合式3E综合评价模型的建模方法,并据此独立构建了一个混合式模型——清华大学能源-经济-环境混合评价模型(Tsinghua hybrid energy-economy-environment assessment model, TH-3EM)。

1 TH-3EM模型的构建基础

TH-3EM模型是在已有研究基础^[5]上构建而

收稿日期: 2006-08-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90410016)

作者简介: 张阿玲(1944—),女(汉),河北,教授,博导。

E-mail: zhanga@tsinghua.edu.cn

来,原有研究基础中的模型以一个能源系统优化模块(energy system optimization module, ESOM)为核心。利用宏观经济计量模块(macro-economic module, MEM)的经济变量结果,通过能源服务需求预测模块(energy demand forecast module, EDFM)计算,为ESOM提供外生变量能源服务需求,从而构建起来一个3E模型。该模型的框架结构如图1所示

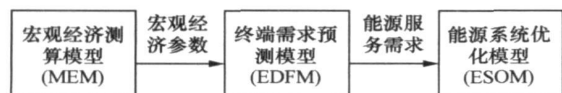


图1 清华大学原有能源-经济-环境模型框架^[5]

该模型在国内的3E模型开发领域具有创新意义,但存在如下不足:

1) 利用MEM模块进行中长期预测缺乏可靠性。MEM是计量经济模型,利用过去20年的历史数据回归出来的经济规律难以对我国未来较长时期的经济发展作出准确预测。

2) MEM模块无法对经济系统部门层面进行分析。在考察经济与能源系统之间关系时,考虑不到能源系统与各部门之间的协调互动,显得功能不足。

3) 现有模型无法反映能源系统变化对经济系统的反作用,模拟现实的真实性不足。

总体来看,原有3E模型只将能源系统看作是经济系统的一个被动子块,缺乏对能源系统反作用于经济系统的模式进行描述。

鉴于原有3E模型反映出来的不足会在分析节能战略选择时,直接影响结果的可靠性,提出在原有基础上重新构建3E综合评价模型——TH-3EM。

2 TH-3EM模型的基础假设及框架

TH-3EM模型需要满足如下2个要求:

1) 完善分析功能。能够对整个经济系统状态进行描述,考察能源系统与经济系统之间的相互关系;能够从微观层面上对能源系统进行深入分析。

2) 模型结构科学合理。模型中各模块能够通过闭环连接相互校验,保证模型内部结果的一致性。

为此,根据经济理论和现实情况,作出如下假设,作为构建模型的基础。

2.1 TH-3EM模型基础假设

开发TH-3EM模型的基础假设有4个方面:

1) 中国经济系统的市场化程度不断提高。该假设基于中国的市场化改革现状,以及政府继续深化改革的决心。另外只有市场化的经济体系才能使用价格来调节商品及生产要素的供需平衡,并使用以一般均衡理论为基础的模型(主要是可计算一般均衡模型)进行系统模拟。

2) 能源系统的市场化是在国家的主导下进行。国家通过中长期规划来调控能源系统发展,规划目标是在规划期内以最小的代价来满足经济建设所需的能源服务需求,支撑经济发展。该假设反映出:能源是经济系统的基础性产业,需要国家通过各种宏观调控措施来规范发展;另外,本文以规划期内能源系统成本最小化为规划原则,是将市场化理念融入到政府的宏观调控中,反映了政府的宏观调控要与能源市场化顺利接轨的未来趋势。

3) 将中国能源系统与经济系统之间的相互关系理解为:由能源系统来满足经济发展所需要的能源服务需求;由经济系统提供能源系统发展所需要的资本、劳动力投入。该假设建立在一般经济常识的基础上,同时也是将2个系统之间错综复杂的联系抽象成几个变量,便于模型化。

4) 能源系统各环节的具体技术进入市场后的发展,遵循技术商业化周期规律,经历导入期、生长期、成熟期和衰退期4个阶段。该假设源自技术商业化周期理论,是能源市场化机制不断完善的另一种体现。另外,该假设是对原有能源系统优化模型所进行的重要修改,如此修改使得模型设置更贴合中国实际,结果也更合理。

2.2 TH-3EM模型框架结构

以理论假设为基础,考虑原有模型的实际情况,根据国内外先进的混合模型构建理论^[6],本文提出TH-3EM模型构建的总体思路为:建立一个多部门比较静态可计算一般均衡模块(Comparative static computable general equilibrium module, CSCGEM),在整个规划期内按照需求在各个时间点上对经济系统状态进行描述;在原有模型基础上改进得到新的跨时段能源系统优化模块(Intertemporal energy system optimization module, IESOM),细致描述能源系统的行为状态、技术选择等。CSCGEM和IESOM各自运行,通过连接模块(Link module, LIM)进行连接。LIM中既包含从CSCGEM流向IESOM的数据变量,也包括相反流向的变量,使得2个主要运算模块之间构成闭合回

路,相互校验,保证整个模型运行结果的一致性。除此3个模块之外,还有一个虚拟模块根据情景设计

为 CSCGEM 提供外生变量,推动模型运行。模型的总体框架如图 2所示。

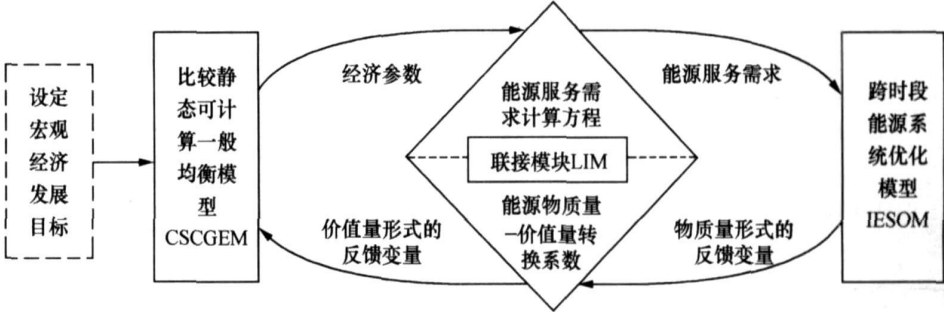


图 2 TH-3EM模型整体框架结构图

模型运行时,根据实施能源节约战略的经济情景给出外生变量驱动 CSCGEM 运行; CSCGEM 计算出各个时点上的经济均衡状态,包括经济结构、投资分配、劳动力分配等等,将主要的经济变量输送给 LIM; LIM 以主要经济参数为解释变量计算出经济系统所需要的能源服务量,这些服务量作为外生变量输入 IESOM 模块,经过技术优化选择得到物理量形式的能源部门的产出量、资本存量和对其他经济部门的输入量,再由 LIM 转换为价值量后作为外生变量输入到 CSCGEM 中,从而实现模型整体的闭环连接,最后再通过迭代运算保证 2 个主要模块结果的协调一致。

2.3 TH-3EM模型的创新之处

相比原有模型, TH-3EM模型最大的创新点在于将一个 CGE类模块与一个能源系统优化模块进行双向闭环连接,在结构上保证了模型内部结果的一致性;另外建立了能源系统对经济系统影响的反馈通道,也使得模型设计更符合现实。

3 TH-3EM模型中双向闭环连接的设计

模型认为,能源系统与经济系统之间的互动连系在现实世界中体现为能源部门与其他经济部门之间的相互投入,即能源部门为其他经济部门提供中间投入以及提供最终消费,其他部门为能源部门提供投资和劳动力保证生产运行;因此,连接的目的是保证 TH-3EM 模型的不同模块对能源部门的生产投入和其他经济部门对能源的需求的描述具有一致性。由此设计了模型的双向闭环连接,如图 3所示。

具体来说包括 2点:

1) 实现 2个功能模块对能源终端利用环节表述的一致。

能源终端利用环节在输入上是终端能源,在输出上是能源服务,在实际中分散于各个经济部门之内。在 CSCGEM 中,终端能源需求等于能源部门的产出,而能源服务的概念隐含在各个经济部门之内;在 IESOM 中,能源服务需求是外生变量,而终端能源需求可以计算得出。

模型使用 CSCGEM 计算出来的宏观经济变量结果来计算能源服务需求,驱动 IESOM 模型运转;从 IESOM 对整个能源系统描述的结果中,整理出用于各个生产部门以及居民消费和进出口的终端用能,输送到 CSCGEM 中。在整个模型迭代运算过程中,这 2个方向的连接构成了一个小的闭环,实现从 CSCGEM 输入到 IESOM 的能源服务需求与从 IESOM 输入到 CSCGEM 的终端能源之间协调一致性,使得 2个模型在对能源终端利用环节的表述上达到一致。

2) 实现 2个功能模块对能源部门生产过程描述的一致。

如前所述, 2个模块对于能源部门生产所需投入的理解是一致的,都是资本和劳动力,因此直接使用 IESOM 中的计算结果来替换 CSCGEM 中对能源部门生产进行描述的方程,保证 2个模型对能源部门生产过程的一致描述;但是在具体实施中,需要注意如下 2点:

① IESOM 模型中的资本存量是内含技术进步的资本存量; CSCGEM 中的资本是不含有技术进步因素的,二者概念不一致。

② IESOM 中没有关于劳动力投入的结果,但是 CSCGEM 中,为保证劳动力市场均衡,需要每个部门的劳动力投入量。

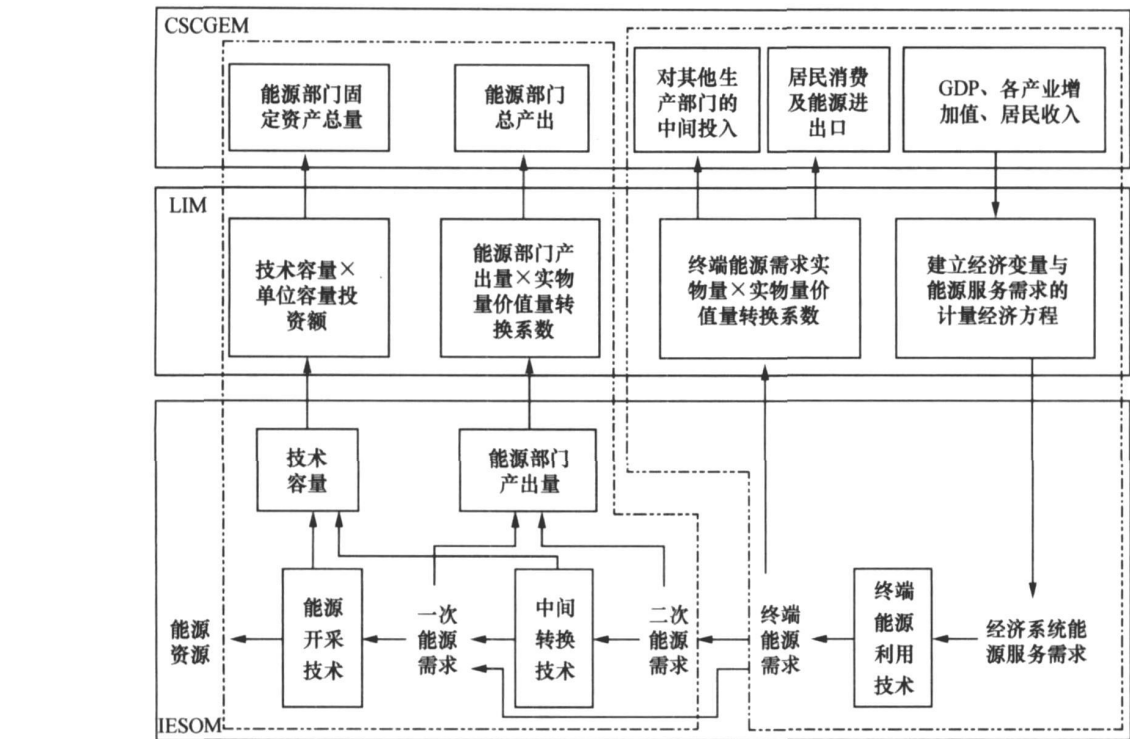


图 3 TH-3EM模型双向闭环连接的示意图

4 结 语

为了 TH-3EM 模型的运行,分别建立了 2000 年、2002 年社会核算矩阵 (SAM) 以 2000 年数据为基础的能源参考系统;另外还完善了模型的能源技术数据库,补充了可再生能源技术和煤液化技术

TH-3EM 模型的规模如下表 1 所示

表 1 TH-3EM模型各模块的变量及方程数		
模块名称	包含的变量数	包含的方程数
QSCGEM	1 020	880
LIM	225	250
IESOM	36 069	53 640
合计	37 314	54 770

目前,正在利用该模型对中国的节能战略选择进行分析和研究,限于篇幅,未在本文中进行说明,但有理由相信,这种混合式 3E 模型必将在我国未来的能源系统规划研究中发挥越来越重要的作用。

参考文献 (References)

[1] International Panel of Climate Change. Climate Change 2001: Mitigation [R]. UK: Cambridge University Press, 2001.

[2] 魏一鸣, 吴刚, 刘兰翠, 等. 能源 - 经济 - 环境复杂系统建模与应用进展 [J]. 管理学报, 2005, 2(2): 159 - 170.
WEI Yiming, WU Gang, LIU Lancui, et al. Progress in modeling for energy-economy-environment complex system and its applications [J]. Chinese Journal of Management, 2005, 2(2): 159 - 170. (in Chinese)

[3] 李继峰, 张阿玲. 国际能源 - 经济 - 环境综合评价模型发展评述 [J]. 能源政策研究, 2006, 5: 33 - 39.
LI Jifeng, ZHANG Ailing. Review on the development of Integrated energy-economy-environment assessment model in the world [J]. Energy Policy Research, 2006, 5: 33 - 39. (in Chinese)

[4] 王灿. 基于动态 CGE 模型的中国气候政策模拟与分析 [D]. 北京: 清华大学, 2003.
WANG Can. China's climate policy simulation and analysis based on dynamic CGE model [D]. Beijing: Tsinghua University, 2003. (in Chinese)

[5] 张阿玲, 郑淮, 何建坤. 适合中国国情的经济、能源、环境 (3E) 模型 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 2002, 42(12): 1616 - 1620.
ZHANG Ailing, ZHENG Huai, HE Jiankun. Economy, energy, environment model for the Chinese situation system [J]. J Tsinghua Univ (Sci & Tech), 2002, 42(12): 1616 - 1620. (in Chinese)

[6] Messner Sabine, Leo Schrattenholzer. MESSAGE-MACRO: linking an energy supply model with a macroeconomic module and solving it iteratively [J]. Energy, 2000, 25: 267 - 282.