

# 节能减排视角下能源生产的经济学评价

张士杰

(安徽财经大学 经济学院, 安徽 蚌埠 233030)

**摘 要:** 能源生产的经济学评价能使能源结构向清洁化及与环境保护协调的方向调整, 这有助于加快实现节能减排的目标。首先分析了能源生产的经济学评价对节能减排的重要作用及必要性; 然后给出了包括指标体系、计算方法体系与优化方法体系的能源生产的经济学评价体系; 基于上述体系, 采取征收环境税的形式来实现外部成本的内在化, 对几种不同能源的效后发电成本进行了估算。研究表明: 煤炭是经济性最差的能源选择, 节能减排应首先从减少煤炭的开采与生产着手。

**关键词:** 能源经济学; 节能; 减排; 能源生产; 外部成本

**中图分类号:** F062.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-980X(2008)11-0045-04

## 1 问题提出

随着我国经济的快速发展, 我国未来能源的发展如何与环境保护相协调、兼顾经济性和清洁性的双重要求, 是摆在社会面前的重大课题之一, 其中, 寻求经济增长与能源开发利用程度间的平衡已成为政府和学术界非常关注的问题。要解决上述问题, 我国至少需要考虑两方面的内容: 一是确保能源保持适度的增长速度; 二是解决由此导致的环境问题。因此, 长期坚持节能优先就成为我国可持续发展能源战略的一个重要基本点<sup>[1]</sup>。党的十七大报告提出了“加强能源资源节约和生态环境保护, 增强可持续发展能力”的发展理念, 强调了“落实节能减排工作责任制”的重要性, 国务院也批转了节能减排统计监测及考核实施方案和办法的通知。我国从能源消费的角度采用总量指标和单位指标相结合的目标考核方法来评价节能工作<sup>[2]</sup>, 但因为能源生产具有其特殊性, 因此仅从能源消费的角度而采用 GDP 能耗作为指标来评价能源生产的节能减排问题具有片面性。以能源的可持续发展和有效利用来支持经济社会的可持续发展的关键, 是要准确把握它们之间的比例关系, 确定一个科学的并趋向量化的使用标准, 而这个标准的确定则需要首先研究节能减排的源头——能源生产的经济学评价问题。在前人关于能源生产经济学评价的研究成果的基础上, 本文试图

建立全新的能源生产经济学评价体系, 为衡量能源的可持续发展提供一个新的、更科学的经济核算方法, 为科学地制定相关的能源政策和有效解决各种能源问题提供参考。

本文首先分析节能减排与能源生产的经济学评价之间的关系, 然后构建基于节能减排视角的能源生产的经济学评价体系, 并给出应用这一体系的实例, 最后得出结论。

## 2 相关理论

### 2.1 节能减排

节能是实施可持续发展的能源政策的重要组成部分, 而减排是实现节能的主要手段。节能减排可以从总体上提高国民经济的效率、降低生产经营成本、增加经济的竞争力, 可以减少污染物的产生和排放量、减少环境影响和治理费用, 是减少温室气体排放的最经济可行的措施, 可以使现有的资源发挥最大的作用、降低不可再生资源的耗竭速度、实现可持续发展, 可以相应减少对能源进口的依赖, 起到保障国家安全的作用。

我国的节能潜力较大, 主要体现在:

1) 产品能耗高。通过对 15 个行业的节能潜力进行分析, 近期技术措施节能潜力约 1 亿吨标准煤。2) 产值能耗高, 即单位能耗创产值低。据专家预测, 2010 年我国节能潜力为 8 亿吨标准煤。3) 电力结

收稿日期: 2008-08-01

作者简介: 张士杰 (1979—), 男, 安徽怀远人, 安徽财经大学经济学院讲师, 博士, 研究方向: 区域经济学与能源经济学。  
即《国务院批转节能减排统计监测及考核实施方案和办法的通知》(国发[2007]36号)。

构不合理。我国可再生能源资源丰富,如风力发电装机容量在 1999 年仅占电网总装机容量的 0.07% 左右,而发达国家风力发电的比例已达到 2% ~ 5%,可见我国风力发电可提升的空间很大<sup>[3]</sup>。

因此,党的十七大和国务院提出节能减排的目标,并已开始具体实施。而笔者认为,与节能减排目标同等重要的是电力结构问题,能源结构的优化调整同样关系到节能减排的成败,因此能源生产的经济学评价势在必行。

## 2.2 能源生产的经济学评价研究

能源生产的经济学评价属于能源经济学的范畴。能源经济学产生于 20 世纪 70 年代,是一门研究能源开发利用的经济规律以及能源与国民经济发展关系的科学,也是一门兼跨能源科学和经济科学的交叉科学。关于能源生产的经济学评价研究主要集中在以下三个方面:能源经济性评价指标——发电成本(内部成本);能源生产外部影响的定量化指标——外部成本;外部成本的内在化。

### 2.2.1 内部成本研究

内部成本研究涉及内部成本的构成、计算模型与方法、成本优化及不同能源成本之间的比较。国际上影响较大的研究是国际经济合作组织的核能机构自 1983 年开始对 OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) 国家各种能源的预期发电成本的研究。而我国的研究重点在于评价指标的选取和计算,以高波<sup>[4]</sup>、陈衬兰<sup>[5]</sup>、温鸿钧<sup>[6]</sup>等对发电成本的计算研究为代表。

### 2.2.2 外部成本研究

外部成本研究涉及外部成本的界定、研究目标与原则、研究范围、模型及方法体系等。国际上影响较大的研究是欧洲委员会与美国能源部于 1991 年合作启动的 ExternE 计划<sup>[7]</sup>。目前,外部成本定量化的方法主要有控制成本法、生命周期分析、Top-down 方法与 Bottom-up 方法。Bottom-up 方法(又被称为效应路径法)是 ExternE 计划所采用的方法,也是目前应用最广泛的外部成本评估方法。该方法是一种从下到上的、具有地点特征的、边际的方法,也就是它考虑在研究地点由一个新行为所引起的额外效应,效应的定量化是通过代价函数或效应路径分析来实现的,并可采用照射-响应模型来评价实际影响,最终以货币的形式定量化外部成本。而我国关于能源生产的外部成本研究方面的文献较少,其中以温鸿钧<sup>[6]</sup>对核电和煤电的外部成本估算研究为代表。

### 2.2.3 内在化外部成本研究

能源生产所带来的外部成本在能源生产的经济学评价中应当也必须被考虑在内。当前的研究趋势是,如何将外部成本内在化以及在此基础上如何制定能源政策。外部成本内在化的可能的思路有三种:一是新古典主义的“庇古税”思路,即通过征收排污税的形式使外部成本内部化;二是产权管理思路,即通过产权明晰和协调各方的利益使外部成本内部化;三是国家干预思路,即政府对环境资源利用进行直接干预。国内外关于这方面的研究缺乏系统性。其中:Fouquet<sup>[8]</sup>研究了考虑外部成本后的英国乃至欧洲的能源政策的制订问题,但其并没有给出考虑外部成本的具体形式;Rafaj<sup>[9]</sup>提出了以环境费的形式将外部成本内在化的思路,但并没有按照此思路去分析与比较能源的经济性;Dolan<sup>[10]</sup>提到美国纽约对没有进行脱硫的煤电站增收 14.05 美厘/度的费用,以补偿其对环境的污染;笔者<sup>[11]</sup>分析了各种内在化外部成本方案的可行性,首次采用环境税的形式内在化外部成本,对几个聚变发电装置进行了经济学评价。随着公众对环境污染对经济、社会等方面影响关注程度的增强,关于能源生产的经济学综合评价系统的构建及其在能源政策制订方面的应用研究已越来越重要。

提高能源开发和利用的效率应摆在我国能源发展战略的首位。价格杠杆较之其他手段更有利于提高能源开发与利用的效率,而实现能源结构调整和建立可持续发展的价格体系则需要确立合理的能源价格形成机制。在市场经济条件下,要想建立合理的能源价格形成机制和价格结构,就要改革现行的不适应市场经济的能源价格形成机制和价格管制方式。合理的能源价格会抑制各地投资高外部成本的能源产业的冲动,有效使其向低外部成本的能源产业倾斜,对我国的节能减排与可持续发展的意义重大。而如何确定合理的能源价格则是能源生产的经济学评价能够解决的问题。因此,能源生产的经济学评价对节能减排具有非常重要的意义。

## 3 评价体系

目前衡量能源价格的指标是电站全寿期平准化发电成本,简称为发电成本(cost of electricity, COE)。因为成本计算体系并不统一,因此需要建立并采用一套标准的账号体系。同时,每个发电技术,包括电站建设,燃料的开采、精制和运输,发电、输电和废物处理处置的整个系统,或多或少总会

自然环境和社会产生负面影响,但发电成本计算体系没有把上述方面造成的损失和为克服这些损失所需要的投入(也即外部成本)包括在内,而是把这些损失推给了公众:这不合理也不科学。完整的经济学分析应当包括外部成本,外部成本作为电站经济学分析的一个重要组成部分,其内在化方法是一个值得深入研究的重要方向。因此,构建一个合理的能源生产的经济学评价体系非常必要。基于以上分析,本文构建了能源生产的经济学评价体系,包括评价指标体系、计算方法体系与优化方法体系三个部分。

3.1 能源生产的经济学评价指标体系

目前尚无一个统一的指标体系来衡量能源的经济性。应优先发展何种能源及其应发展到什么程度,是能源结构调整必须面对的问题——这就需要有一个统一的价值量来对不同能源进行比较。国外学者从环境经济学的角度于20世纪90年代初提出了“绿色GDP”的概念,即在核算GDP时把环境资源的变化状况加到原有的GDP核算体系中去,以加强环境与经济的联带关系。本文的思路与绿色GDP的提出思路相类似,即在确定各种能源内部成本的核算内容相一致的情况下,主要通过对世界及我国目前能源生产经济学评价指标的优缺点进行比较,综合环境因素和社会因素来确定外部成本内在化的机制,从而建立一套完备的能源生产的经济学评价指标体系,如图1所示。图1中的效后发电成本COE表示综合内部/外部效益及成本后的发电成本,为发电成本与发电效益的差值,其计算公式如下:

$$COE = COE - BOE = [(CA^{IN} + CA^{EX}) - (BA^{IN} + BA^{EX})] / Q = COE^{IN} + COE^{EX} - BOE^{IN} - BOE^{EX} \quad (1)$$

式(1)中:  $CA^{IN}$  表示年内部成本;  $CA^{EX}$  表示年外部成本;  $BA^{IN}$  表示年内部效益;  $BA^{EX}$  表示年外部效益;  $Q$  表示年发电总量;  $COE^{IN}$  表示内部发电成本;  $COE^{EX}$  表示内在化后的外部发电成本;  $BOE^{IN}$  表示内部发电效益;  $BOE^{EX}$  表示内在化后的外部发电效益。

3.2 能源生产的经济学计算方法体系

利用经济学的成本-效益分析的基本方法,本文首先对国内外不同能源内部成本和外部成本的计算方法进行了系统研究,综合我国能源结构的特点,建立成本计算模型,形成一套成本计算方法体系。其中,外部成本定量化是将能源生产的环境因素和社会因素融入到经济因素中的货币数量形式,其准

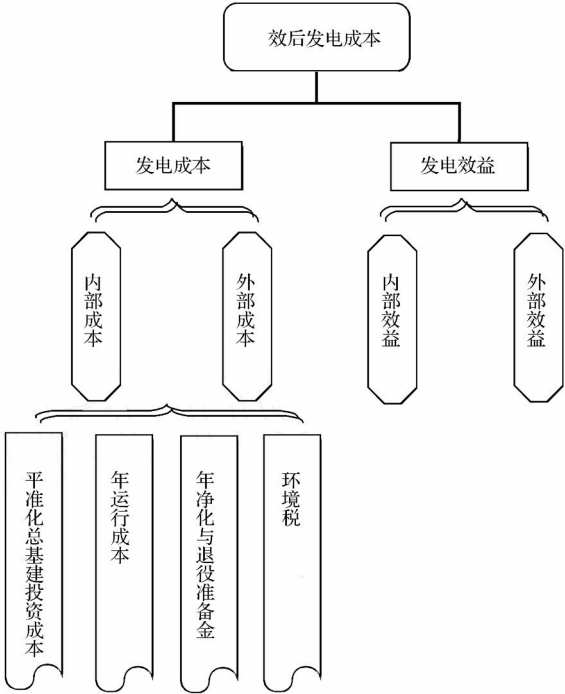


图1 完备的能源生产的经济学评价指标体系构成图

确性关系到能源结构调整的合理性问题。本文的观点是,作为内在化外部成本的可能方案,政府会对电站征收一定水平的税,即环境税,税率水平随能源的使用目的及燃料循环方式的不同而不同。

其次,针对不同能源的优点,综合我国能源结构的特点,建立效益计算模型,形成一套效益计算方法体系。一些先进的能源系统如聚变驱动次临界系统与加速器驱动次临界系统ADS<sup>[12]</sup>(accelerator driven system)具有除发电以外的其他功能,如嬗变高放核废料、增值聚变燃料及裂变燃料等功能,这些功能会给社会、环境带来效益,这些效益也应计入完整的经济学分析当中。本文的观点是,对于能源生产的外部效益可以通过政府就电站对环境和社会的贡献进行奖励的方式实现内在化。详细的成本与效益计算方法见文献[11]。

3.3 能源生产的经济学优化方法体系

通过对智能化优化算法进行深入研究,同时考虑能源领域的特点,本文建立了在一定经济发展水平约束条件下的能源结构最优化的方法体系。因为实际生活中很多工业工程的设计问题非常复杂,因此很难用传统的优化方法来解决。近年来,以遗传算法、模拟退火、禁忌搜索以及人工神经网络为代表的智能化优化技术发展迅速,其中遗传算法以其优良的计算性能和显著的应用效果而特别引人注目。鉴于我国能源结构的复杂性,本文在能源生产成本

定量化的基础上,采用遗传算法对能源结构进行优化分析,以达到能源生产与经济发展间的平衡。

4 实例分析

基于上述能源生产的经济学评价体系,本文计算出考虑了外部效应后的几种不同能源的发电成本,即不同能源的效后发电成本(计算基准年选为 1992 年),见表 1。表 1 列出的是主要数据,数据来源在表 1 中已分别标出。计算表 1 中的数据所采用的外部成本的内在化公式为:

$$COE^{EX} = f^{EI} \times COE^E。$$
 (2)

式(2)中: $f^{EI}$ 是内在化因子,用以表征内在化的程度; $COE^E$ 是电站的外部成本。为简单起见,本文中 $f^{EI}$ 的值取为 100%,外部成本的数据参考 Ex-ternE 计划的计算结果。除了混合堆,笔者认为聚变电站与煤电站的外部发电效益与内部发电效益为 0,其他能源的外部发电效益与内部发电效益有待进

一步研究,故暂不考虑。

下面,以混合堆和磁约束聚变堆电站的计算过程为例,对表 1 中效后发电成本的计算过程进行简单介绍。

混合堆的计算数据都来源于文献[11],内部发电成本为 38.65 美厘/度(考虑到成本的不确定性,内部发电成本的区间取为 34~44 美厘/度),内部发电效益为 1.26 美厘/度,内在化后的外部发电成本为 6.50 美厘/度,内在化后的外部发电效益为 0.75 美厘/度;根据式(1), $COE = 38.65 + 6.50 - 1.26 - 0.75 = 43.14$  美厘/度(考虑不确定性后为 38.41~48.41 美厘/度)。内部发电效益和内在化后的外部发电效益的计算过程可参阅文献[11]。磁约束聚变堆电站的内部发电成本为 90.80 美厘/度<sup>[13]</sup>,内在化后的内部发电效益与外部发电效益均为 0,外部发电成本为 1.60 美厘/度<sup>[15]</sup>;根据式(1), $COE = 90.80 + 1.60 - 0 - 0 = 92.40$  美厘/度。

表 1 不同能源的效后发电成本 美厘/度

类型	参数	混合堆电站 FDS-I <sup>[11]</sup>	磁约束聚 变堆电站 ARIES-RS <sup>[11]</sup>	煤电站 PFBC <sup>[13-14]</sup>	轻水堆核裂变 电站 ALWR <sup>[13-14]</sup>	天然气电站 CCCT <sup>[13-14]</sup>	风电站 <sup>[13-14]</sup>
内部	$COE^{IN}$	38.65 (34~44)	90.80	56.80	46.10	48.60	29.60
	$BOE^{IN}$	1.26	0	0			
外部	$COE^{EX}$	6.50	1.60	20~150	2.40~7.40	5~35	0.50~2.60
	$BOE^{EX}$	0.75	0	0			
综合	$COE$	43.14 (38.41~48.41)	92.40	76.80~206.80	48.50~53.50	53.60~83.60	30.10~32.20

注: FDS-I: Fusion-Driven Subcritical reactor。ARIES: Advanced Reactor Innovative Engineering Study。RS: Reversed-Shear。PFBC: Pressurized Fluidized-bed Combustion plant。ALWR: Advanced Light Water Reactor。CCCT: Combined Cycle natural gas-fired Combustion Turbine。

由表 1 可知,虽然煤炭的发电成本很低,但在内在化外部成本后煤炭将是经济性最差的能源选择,节能减排应首先从减少煤炭的开采与生产着手,同时应加大对效后发电成本低的能源的利用,以此来调整能源结构。如果根据效后发电成本进行能源投资,那么通过价格机制就可使能源结构向清洁化及与环境保护相协调的方向调整,这可以加快实现节能减排的目标。

5 结论

本文从节能减排的视角出发,通过研究能源生产的经济学评价与节能减排的关系,试图寻求如何实现合理利用自然资源和有效保护生态环境的同时寻求稳步的经济发展,以更好地实现全社会的节能减排。本文建立了能源生产的经济学评价指标、计算与优化方法体系,可为能源结构的调整提供定量

依据,为衡量能源的可持续发展提供一个新的、更科学的经济核算方法。

如何结合我国能源的地域性特征来合理地量化相应的外部成本,将是未来的主要研究方向。

参考文献

[1] 刘爱芹. 山东省能源经济的可持续发展评价[J]. 技术经济, 2008(5): 78-83.  
[2] 吴国华, 闫淑萍. 中国城市节能评价的实证研究[J]. 技术经济, 2007(5): 77-83.  
[3] 陈和平. 我国可持续发展能源政策的探讨[J]. 能源工程, 1999(2): 1-4.  
[4] 高波, 张晓东, 王清照. 火电厂发电成本与上网电价的研究[J]. 热力发电, 2003(5): 6-8.  
[5] 陈衬兰. 基于工程造价及发电成本的核电与火电比较研究[J]. 科技与管理, 2005(4): 5-9.

(下转第 72 页)

## Empirical Study on Influencing Factors of Agricultural Industrialization : Based on Survey Data about 270 Farmer Households from 10 Cities and Counties in Anhui Province

Li Qiang

(College of Management ,Anhui Science and Technology University ,Bengbu Anhui 233100 ,China)

**Abstract :** Based on the survey data about 270 farmer households from 10 cities and counties in Anhui province ,this paper analyzes the influencing factors of the agricultural industrialization ,and studies the specific impacts of these influencing factors through using Poisson regression model. The result shows that the impacts of these factors including the fluctuation of leading enterprises' purchasing price ,householder's education level ,the annual income with camellia cultivation ,the farmer's commitment on industry contract ,the percentage of camellia income on total income ,the householder's gender and the cultivated area are significant . However ,the impacts of these factors including the householder's age ,the family size ,the technical service level ,the government subsidy level and the annual cultivation cost are not significant.

**Key words :** agricultural industrialization ; influencing factor ; Poisson regression model

(上接第 48 页)

- [6] 温鸿钧. 核电与煤电的外部成本比较与对策研究[J]. 核科学与工程, 2005(2) : 97-105.
- [7] European Commission. Externalities of energy-methodology annexes[R]. EUR 19083 ,Directorate-General XII, Science ,Research and Development ,1998.
- [8] FOUQUET R ,SLADE R ,KARAKOUSSIS V. External Cost and Environmental Policy in the United Kingdom and the European Union [M]. Imperial College of Science , Technology and Medicine ,Centre for Energy Policy and Technology ,2001.
- [9] RAFAJ P ,KYPREOS S. Internalization of external cost in the power generation sector :analysis with global multi-regional MARKAL model [EB/OL]. [ 2007-02-08 ]. <http://www.iiasa.ac.at/Research/ECS/IEW2003/Papers>.
- [10] DOLAN T J. Fusion power economy of scale[J]. Fusion Technology ,1993 ,24(1) :97-111.
- [11] ZHANG Shijie , HUANG Desuo , HU Liqin. Economic assessment of fusion and fusion-driven subcritical systems based on internalization of external costs and benefits[J]. Fusion Engineering and Design ,2007 ,82 : 2879-2884.
- [12] Nuclear Energy Agency. Accelerator Driven Systems (ADS) and Fast Reactors (FR) in Advanced Nuclear Fuel Cycles-A Comparative Study[R]. OECD, 2002.
- [13] OECD, NEA. Nuclear electricity generation: What are the external costs[R]. OECD, 2003.
- [14] BORRELLI G, COOK I, HAMACHER T, et al. Socio-economic research on fusion (SERF) —Summary of EU Research 1997-2000 [R]. CIEMAT: EFDA-RE-RE-1 , 2001.

## Economical Assessment on Energy Production under Perspective of Energy Saving and Emission Reduction

Zhang Shijie

(School of Economics ,Anhui University of Finance and Economics ,Bengbu ,Anhui 233030 , China)

**Abstract :** By economical assessment on energy production ,the adjustment of energy structure towards the cleaner and more eco-friendly direction can be implemented ,which helps to speed up the realization of energy saving and emission reduction. Firstly ,the importance and necessary of economical assessment on energy production is analyzed. Then ,an economical analysis system for energy production is given ,which includes index system ,computing methods and optimal methods. Based on the above system ,external costs are internalized as the tax which levies on the environmental pollution caused by energy production. Finally ,the net costs of electricity of several energy selections are calculated respectively. The results show that the economy competition of coal is the worst ,so energy saving and emission reduction should be commenced from the reduction of coal mining and production.

**Key words :** energy economics ; energy saving ; emission reduction ; energy production ; external cost