

基于超越对数生产函数的能源产出及替代弹性分析

黄磊,周勇

(东南大学经济管理学院,江苏南京 210096)

摘要 把劳动和资本之外的能源投入要素分解为煤炭、石油、天然气和电力的投入,建立了一个超越对数生产函数模型并基于岭回归进行了分析,估计了各能源投入要素的产出弹性、替代弹性以及相对技术进步差异。结果表明,能源要素对经济产出的总体规模报酬递增,电力和石油的经济产出率高于煤炭,并可以有效替代煤炭;技术进步速度依次为煤炭、石油、电力和天然气,符合中国能源消费以煤炭为主但努力提高石油比重的特征;天然气作为优质高效能源的特性没有体现可能与其比重较低以及更多用于生活部门有关。

关键词 能源;产出弹性;替代弹性;超越对数生产函数;岭回归

中图分类号 F206 **文献标识码** A **文章编号** 1000-198X(2008)01-0134-05

依靠科技进步可以提高能源效率,通过增加其他投入要素(如资本和劳动)可以减少等量经济产出的能源消耗。Ozatalay-Grubaugh-Long 研究结果显示,能源和资本的交叉弹性系数是 1.22,能源和劳动的交叉弹性系数是 1.03,能源和材料的交叉弹性系数是 0.58^[1]。Lin^[2]对中国 1981~1987 年能源消费的变动分析结果是,1987 年能源投入比 1981 年减少 26.5%,主要原因在于能源价格上涨,促使非能源要素更多地被用来替代能源要素。史丹^[3]分析了能源供给结构对能源需求的影响,认为能源探明储量对能源消费结构具有很大的影响。

除了能源要素与非能源要素的替代之外,不同品种能源要素的相互替代也能在一定程度上影响能源强度。Harf^[4]关于能源消费结构与能源效率关系的分析结果证实了这一点。笔者认为,各种能源由于热效率值差异以及应用技术水平原因,其经济产出能力也会不同。因此,研究各种能源的经济产出率,从而有意识地调整能源结构以获得更多的经济产出,将是降低能源强度、提高能源效率的有效方法之一。但是,对不同能源品种之间相互替代问题的研究极少。Edenhofer 等^[5]认为,政府采取能源税、能源和劳动津贴以及能源保护 3 种措施可以有效地促进能源(不同能源品种之间以及能源要素与非能源要素之间)的替代,这种替代能够提高能源使用效率。Harf^[4]计算并比较了不同能源品种的产出率,从而获得了不同能源品种的替代指数。但是,Harf^[4]用单品种能源与经济产出进行 OLS 回归可能夸大了能源对经济的作用,而且,Cobb-Douglas 生产函数采用中性技术进步的假设也与实际情况不符。

超越对数生产函数模型是一种易于估计和包容性很强的变弹性生产函数模型^[6],它在结构上属于平方反应面模型,可以较好地研究生产函数中投入的相互影响、各种投入技术进步的差异等。本文以资本、劳动以及煤炭、石油、天然气和电力为投入要素,建立了一个中国超越对数生产函数模型^[7-8],并通过该模型分析了各品种能源的产出弹性、替代弹性和技术进步的差异。为了简化模型,考虑到当年经济生产中资本、劳动、技术水平等要素在很大程度上是由上年经济总量决定的,因此用滞后一期的经济总量代替劳动和资本等解释变量。

1 计量模型及数据说明

经济产出用 GDP 表示,投入资本和劳动及经济系统自主技术进步要素用滞后一期的 GDP 表示,能源投入要素分别用煤炭、石油、天然气和电表示。建立的超越对数生产函数为

收稿日期 2007-09-10

基金项目 国家自然科学基金(70573045)

作者简介 黄磊(1970—),男,江苏海门人,博士研究生,主要从事能源贸易和物流管理研究。

$$\ln Y_t = \varepsilon + \beta \ln Y_{t-1} + \alpha_C \ln C_t + \alpha_O \ln O_t + \alpha_G \ln G_t + \alpha_E \ln E_t + \alpha_{CO} \ln C_t \ln O_t + \alpha_{CG} \ln C_t \ln G_t + \alpha_{CE} \ln C_t \ln E_t + \alpha_{OG} \ln O_t \ln G_t + \alpha_{OE} \ln O_t \ln E_t + \alpha_{GE} \ln G_t \ln E_t + \alpha_{CC} (\ln C_t)^2 + \alpha_{OO} (\ln O_t)^2 + \alpha_{GG} (\ln G_t)^2 + \alpha_{EE} (\ln E_t)^2$$

式中： Y_t, Y_{t-1} —— t 年和 $t-1$ 年的 GDP； C_t, O_t, G_t, E_t —— t 年煤炭、石油、天然气和电力的消耗量； α, β ——需要估计的系数； ε ——常数。

煤炭投入的产出弹性为

$$\eta_C = \frac{dY/Y}{dC/C} = \frac{d \ln Y_t}{d \ln C_t} = \alpha_C + \alpha_{CO} \ln O_t + \alpha_{CG} \ln G_t + \alpha_{CE} \ln E_t + 2\alpha_{CC} \ln C_t$$

石油投入的产出弹性为

$$\eta_O = \alpha_O + \alpha_{CO} \ln C_t + \alpha_{OG} \ln G_t + \alpha_{OE} \ln E_t + 2\alpha_{OO} \ln O_t$$

天然气投入的产出弹性为

$$\eta_G = \alpha_G + \alpha_{CG} \ln C_t + \alpha_{OG} \ln O_t + \alpha_{GE} \ln E_t + 2\alpha_{GG} \ln G_t$$

电力投入的产出弹性为

$$\eta_E = \alpha_E + \alpha_{CE} \ln C_t + \alpha_{OE} \ln O_t + \alpha_{GE} \ln G_t + 2\alpha_{EE} \ln E_t$$

式中： Y ——GDP； C ——煤炭的消耗量。

4 种能源投入要素的相互替代弹性计算如下：

煤炭与石油的替代弹性为

$$\sigma_{CO} = \frac{d\left(\frac{C}{O}\right)}{\frac{C}{O}} \left[\frac{d\left(\frac{MP_O}{MP_C}\right)}{\frac{MP_O}{MP_C}} \right]^{-1} = \frac{d\left(\frac{C}{O}\right)}{d\left(\frac{MP_O}{MP_C}\right)} \frac{MP_O}{\frac{C}{O}} \tag{1}$$

而

$$\frac{MP_O}{MP_C} = \frac{\frac{\partial Y}{\partial O}}{\frac{\partial Y}{\partial C}} = \frac{\eta_O}{\eta_C} \frac{C}{O} \tag{2}$$

于是可得

$$\sigma_{CO} = \frac{d\left(\frac{C}{O}\right)}{d\left(\frac{MP_O}{MP_C}\right)} \frac{\eta_O}{\eta_C} = \frac{\eta_O}{\eta_C} \left[\frac{d\left(\frac{MP_O}{MP_C}\right)}{d\left(\frac{C}{O}\right)} \right]^{-1} = \frac{\eta_O}{\eta_C} \left[\frac{d\left(\frac{\eta_O}{\eta_C} \frac{C}{O}\right)}{d\left(\frac{C}{O}\right)} \right]^{-1} \tag{3}$$

又因为

$$\frac{d\left(\frac{\eta_O}{\eta_C} \frac{C}{O}\right)}{d\left(\frac{C}{O}\right)} = \frac{\eta_O}{\eta_C} + \frac{C}{O} \frac{d\left(\frac{\eta_O}{\eta_C}\right)}{d\left(\frac{C}{O}\right)} \tag{4}$$

而

$$d\left(\frac{\eta_O}{\eta_C}\right) = -\frac{\eta_O}{\eta_C} d\eta_C + \frac{1}{\eta_C} d\eta_O \tag{5}$$

$$d\left(\frac{C}{O}\right) = -\frac{C}{O^2} dO + \frac{1}{O} dC \tag{6}$$

将式(5)(6)同时代入式(4)后分子、分母同除以 dO ,可得

$$\frac{d\left(\frac{\eta_O}{\eta_C}\right)}{d\left(\frac{C}{O}\right)} = \frac{-\frac{\eta_O}{\eta_C} d\eta_C + \frac{1}{\eta_C} d\eta_O}{-\frac{C}{O^2} dO + \frac{1}{O} dC} = \frac{-\frac{\eta_O}{\eta_C} \frac{d\eta_C}{dO} + \frac{1}{\eta_C} \frac{d\eta_O}{dO}}{-\frac{C}{O^2} + \frac{1}{O} \frac{dC}{dO}} \tag{7}$$

将式(7)代入式(3) ,整理后得

$$\sigma_{CO} = \left[1 + \left(-\alpha_{CO} + \frac{\eta_C}{\eta_O} \alpha_{OO} \right) \left(-\eta_C + \eta_O \right)^{-1} \right]^{-1}$$

式中:MP——某种能源消耗的边际产出;O——石油的消耗量.

同理可得,煤炭与天然气的替代弹性为

$$\sigma_{CG} = \left[1 + \left(-\alpha_{CG} + \frac{\eta_C}{\eta_G} \alpha_{GG} \right) (-\eta_C + \eta_G)^{-1} \right]^{-1}$$

煤炭与电力的替代弹性为

$$\sigma_{CE} = \left[1 + \left(-\alpha_{CE} + \frac{\eta_C}{\eta_E} \alpha_{EE} \right) (-\eta_C + \eta_E)^{-1} \right]^{-1}$$

石油与天然气的替代弹性为

$$\sigma_{OG} = \left[1 + \left(-\alpha_{OG} + \frac{\eta_O}{\eta_G} \alpha_{GG} \right) (-\eta_O + \eta_G)^{-1} \right]^{-1}$$

石油与电力的替代弹性为

$$\sigma_{OE} = \left[1 + \left(-\alpha_{OE} + \frac{\eta_O}{\eta_E} \alpha_{EE} \right) (-\eta_O + \eta_E)^{-1} \right]^{-1}$$

天然气与电力的替代弹性为

$$\sigma_{GE} = \left[1 + \left(-\alpha_{GE} + \frac{\eta_G}{\eta_E} \alpha_{EE} \right) (-\eta_G + \eta_E)^{-1} \right]^{-1}$$

另外,设*i*和*j*是2种投入要素,则相对技术进步的差异为

$$B_{ij} = \frac{\alpha_{it}}{\eta_i} - \frac{\alpha_{jt}}{\eta_j}$$

式中: $B_{ij} > 0$ 表示投入要素*i*的技术进步快于要素*j*; $B_{ij} < 0$ 表示投入要素*i*的技术进步慢于要素*j*; $B_{ij} = 0$ 表示投入要素*i*的技术进步与要素*j*相同.

可以看出,在超越对数生产函数中,产出弹性和替代弹性反映了投入要素之间的相互作用关系以及不同投入技术进步的快慢差异.所以,与Cobb-Douglas生产函数相比,超越对数生产函数能揭示经济系统更多的内容.

实证分析的样本时间段为1978~2004年,经济产出数据(GDP)以1978年为基期.数据来源于2005年《中国统计年鉴》以及1991~1996年、1997~1999年、2000~2002年、2003年和2005年《中国能源统计年鉴》.

2 计量检验及分析

由于变量间的多重共线性比较显著(相关系数均在0.94以上),由OLS估计的结果容易失真.本文用岭回归进行估计,根据岭迹图和方差膨胀因子(VIF)确定岭参数值*k*($k = 0.10$),应用SPSS软件包^[9]进行数据处理,估计结果见表1.

岭回归所得结果的统计检验比较显著(天然气的系数检验结果不理想),而岭回归结果好坏更主要的是看是否有效克服了共线性问题和估计参数是否合理.从表1可以看出,所有回归系数都为正值,符合经济现实;交叉影响项和平方影响项都为正说明能源要素对经济产出的总体规模报酬递增,这也与中国经济实际情况相符,可以认为模型参数估计结果是合理的.

根据模型估计结果计算了每年各种能源投入要素的产出弹性和替代弹性,如图1和图2所示.从产出弹性来看,4种能源投入要素的产出弹性从1978年到2004年均有所增长,说明中国能源利用效率逐年提高.比较而言,电力的产出弹性最大,平均为0.497,石油其次,煤炭第3,天然气的经济产出弹性最低,仅为0.164.天然气的产出效率低于煤炭,似乎与天然气被

表1 岭回归估计结果

Table 1 Result of ridge regression estimation

系数	回归系数	回归系数标准差	标准化回归系数	标准化回归系数标准差	显著值	VIF值
β	0.149	0.022	0.148	6.884	0.000	0.936
α_C	0.108	0.046	0.051	2.338	0.006	1.091
α_O	0.133	0.035	0.077	3.842	0.000	1.514
α_G	0.023	0.038	0.010	0.596	0.309	0.734
α_E	0.150	0.025	0.114	6.053	0.000	1.077
α_{CO}	0.006	0.001	0.062	4.855	0.000	0.536
α_{CG}	0.003	0.002	0.022	1.527	0.047	0.576
α_{CE}	0.007	0.001	0.087	7.949	0.000	0.694
α_{OG}	0.004	0.001	0.039	3.877	0.000	0.898
α_{OE}	0.008	0.001	0.095	8.328	0.000	0.414
α_{GE}	0.007	0.001	0.069	5.376	0.000	0.521
α_{CC}	0.004	0.002	0.044	2.002	0.012	1.106
α_{OO}	0.006	0.002	0.073	3.876	0.000	1.308
α_{GG}	0.001	0.003	0.004	0.201	0.460	0.904
α_{EE}	0.008	0.001	0.106	5.789	0.002	0.972
ϵ	-0.808	0.552	0.000	-1.464	0.008	

注:VIF值是笔者通过编程计算出的,具体算法见文献[10];校正
 $R^2 = 0.982$, F 统计值 = 96.95(Sig. $F = 0.000$) 标准误差估计 = 0.0961.

普遍认为是优质能源相矛盾. 可能的原因是 (a)天然气在能源消费结构中比重太低 ,而回归作为计量方法无法表现出天然气作为清洁高效能源的客观现实 (b)天然气更多地用于生活部门. 如表 2 所示 ,在所有能源品种中 ,天然气用于生活消费的比重最高 ,而生活部门没有直接经济产出. 如前所述 ,在没有直接经济产出的生活部门的较高的消费比重 ,使得天然气的经济产出效率被低估. 这可能也是岭回归中天然气估计系数不显著的原因.

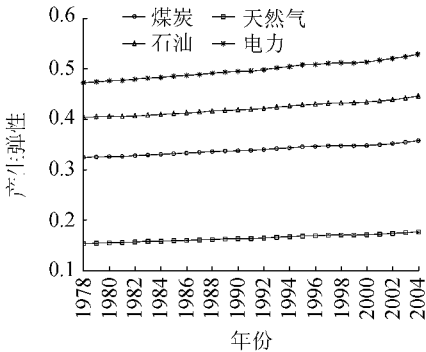


图 1 能源要素的产出弹性

Fig.1 Output elasticity of essential energy factors

替代弹性反映了边际技术替代率的变动引起的投入要素的相对变动. 从计算结果来看 ,替代弹性逐年变化不大. 煤炭与石油、煤炭与电力、石油与电力、天然气与电力的替代弹性大于 1 ,煤炭与天然气、石油与天然气的替代弹性小于 1 ,表明石油和电力投入可有效地替代煤炭. 这也佐证了中国能源结果从煤炭时代向石油时代过渡的必要性. 天然气仍然因为前述原因而没有体现出高效能源的特征.

4 种能源投入要素的相对技术进步差异如图 3 所示. 可以看出 4 种能源投入要素的相对技术存在一定差异 ,但变化不大 ,甚至有收敛的趋势 ;技术进步差异最大的是煤炭和天然气 ,最小的是煤炭和石油. 比较而言 4 种能源投入要素的技术进步速度依次为煤炭、石油、电力和天然气 ,但彼此之间的差异逐年缩小. 这反映出中国在煤炭探明储量(相对)较多 ,很长时间内能源消费不得不以煤炭为主的前提下加强煤炭利用技术改进的现实 ,以及世界能源消费结构从煤炭时期转向石油时期 ,中国石油进口量快速递增可能会影响经济安全的前提下重视石油利用技术革新的现实情况 ,而天然气的技术进步速度最慢 ,与天然气的比重过低以及经济生产中使用较少有关.

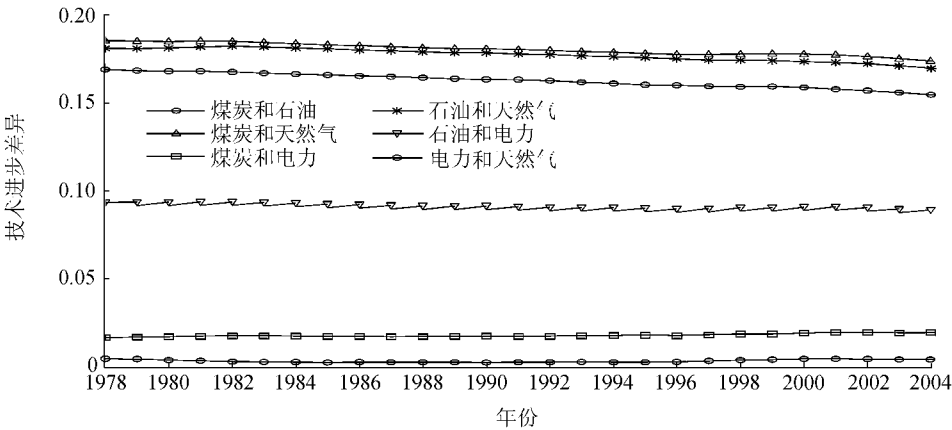


图 3 能源投入要素的技术进步差异

Fig.3 Difference between technical progresses of energy input factors

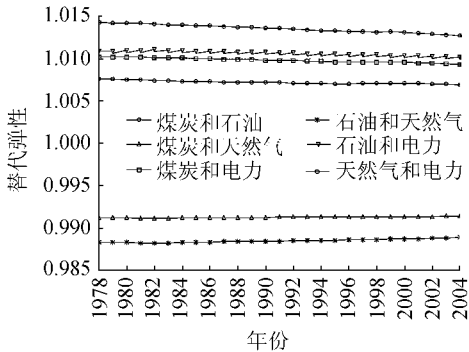


图 2 能源要素的替代弹性

Fig.2 substitution elasticity of essential energy factor

表 2 各类能源用于生活部门消费的比重

Table 2 Proportions of each kind of energy consumption in life related departments							%
年份	总能耗	煤炭	石油	汽油	柴油	天然气	电力
2002	11.5	5.5	0.0	4.4	1.1	17.5	12.3
2003	11.3	5.0	0.0	4.9	1.0	16.8	11.8

注 数据来源于 2004 年和 2005 年《中国统计年鉴》.

3 结 论

本文建立了一个以资本、劳动、煤炭、石油、天然气和电力为投入的超越对数生产函数模型,初步分析了各种能源投入要素的产出弹性、替代弹性和技术进步的差异.分析结果显示,煤炭的经济产出效率要高于天然气,但低于石油和电力.这证实了要想实现到2010年单位产出的能源消耗降低20%的战略目标,除了依靠科技进步、增加其他非能源要素投入以外,还应积极转变能源消费结构.4种能源投入要素的技术进步差异表明,在短期内不能改变煤炭为主的能源格局以及石油进口量日益激增的情况下,煤炭和石油的应用技术进步要快于天然气和电力的应用技术进步速度.

另外,由于本文所有的能源消费量包含了生活部门的能源消费,这在一定程度上影响了结论的准确性,尤其对于在生活消费中需求较多的能源如天然气和电力而言,其经济产出效率被低估了.

参考文献:

- [1] PHILLIP L G. Energy economics and technology[M]. London: The John Hopkins University Press, 1982: 21.
- [2] LIN X. China's energy strategy[M]. London: Pareger Publishers, 1996.
- [3] 史丹. 我国能源供需矛盾的转捩[J]. 管理世界, 1999, 4(6): 108-115.
- [5] EDENHOFFER O, JAEGER C C. Power shifts: the dynamics of energy efficiency[J]. Energy Economics, 1998, (20): 513-537.
- [4] HAN Zhi-yong, FAN Yu, WEI Yue-ming. Energy structure, marginal efficiency and substitution rate: an empirical study in China[J]. Energy, 2007, 14(6): 935-942.
- [6] 李子奈. 计量经济学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 197.
- [7] KHANNA N. Analyzing the economic cost of the Kyoto protocol[J]. Ecological Economics, 2001, 38(1): 59-69.
- [8] 郑照宁, 刘顺德. 考虑资本能源劳动投入的中国超越对数生产函数[J]. 系统工程理论与实践, 2004, 6(5): 51-55.
- [9] 何晓群, 刘文卿. 应用回归分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2001: 169-185.
- [10] 王明华. 现代应用统计分析方法[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999: 149-157.

Energy output and substitution elasticity analysis based on trans-log production function

HUANG Lei, ZHOU Yong

(School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract The energy input factors, except labor and capital, were classified into the inputs of coal, petroleum, natural gas, and electric power. A trans-log production function model was established, and the parameters of the model were estimated by ridge regression. From the model, the output elasticity, substitution elasticity, and the difference between the technical progresses of different input factors were derived. Some conclusions are drawn as follows: the economic output scale of energy input factors gradually increases on the whole, the economic output of electric power and petroleum is higher than that of coal, and electric power and petroleum can effectively substitute for coal; the technical progresses of different energy input factors were ranked as the order of coal, petroleum, electricity power, and natural gas, which accords with the characteristic of energy consumption in China, i.e. the energy consumption is mainly on coal, and it is attempted to raise the proportion of petroleum consumption; natural gas, as a high quality and high efficiency energy, does not play an important role due to the fact that its proportion in energy consumption is low and it is mainly applied to life related departments.

Key words energy; output elasticity; substitute elasticity; trans-log production function; ridge regression