

文章编号: 1000-6788(2004)05-0051-04

# 考虑资本 能源 劳动投入的中国超越对数生产函数

郑照宁, 刘德顺

(清华大学现代管理研究中心, 清华大学全球气候变化研究所, 北京, 100084)

**摘要:** 除了资本和劳动之外, 把能源作为一种投入, 并考虑产出随时间的变化, 建立了一个中国的超越对数生产函数模型并用岭回归方法估计了它的参数. 研究了该模型的产出弹性、替代弹性和各种投入的技术进步差异. 发现了中国经济系统的投入产出呈规模递增效应但逐年下降; 资本和劳动、能源可有效的相互替代, 但劳动和能源替代弹性较低; 技术进步以中性技术为主, 各种投入的技术进步差异不大, 技术进步快慢为资本 > 能源 > 劳动, 但它们之间的差异逐年缩小.

**关键词:** 能源; 资本; 劳动; 超越对数生产函数; 岭回归; 产出弹性; 替代弹性; 技术进步

**中图分类号:** F062.1

**文献标识码:** A

## China's Trans-log Production Function Using Capital, Energy and Labor as Input

ZHENG Zhao-ning, LIU De-shun

(Research Center of Contemporary Management & Global Climate Change Institute, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Besides capital stock and labor, adding the energy as an input, a China's trans-log function with time trend is built. The ridge regression approach is used to estimate the parameters of the model, and the elasticity of productivity, substitution elasticity and the bias of technological progress of different inputs are studied. Moreover, we find that the increasing scale return with decreasing trend is existed in China's Economy; capital can effectively substitute labor and energy but the substitution between labor and energy is low; and the bias of the technological progress is small for different inputs, the rank of rate of technological progress is capital > energy > labor with converging trend which means neutral technological progress is main characteristic for technological change.

**Key words:** energy, capital, labor, trans-log production function; ridge regression; elasticity of productivity; substitution elasticity; technological progress

### 1 引言

在大多数研究能源经济问题所采用的生产函数中, 能源都被考虑成一种投入要素, 并考虑技术进步为中性, 其中 Cobb-Douglas 生产函数, 常替代弹性 (CES) 生产函数得到广泛的应用<sup>[1]</sup>. 在实际的经济系统中, 各种投入对产出的影响不只和该投入要素的变化有关, 还与其它投入要素有关; 同时各种投入要素的技术进步是各不相同的, 采用中性技术进步 C-D 和 CES 生产函数不见得能全面反映要素投入间的相互作用及技术进步与投入要素间的相互影响.

超越对数生产函数模型是一种易估计和包容性很强的变弹性生产函数模型<sup>[2]</sup>, 它在结构上属于平方反应面 (Quadratic Response Surface) 模型, 可以较好的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及技术进步随时间的变化等. 本文受文献 [3] 启发, 以资本、劳动、能源作为投入, 同时考虑产出随时间的变化, 建立了一个中国超越对数生产函数模型并用岭回归估计了它的参数, 通过该模型分析了投入

收稿日期: 2003-06-26

资助项目: 教育部人文社科重大项目 (01JAZJD630008)

作者简介: 郑照宁 (1974- ), 男, 博士研究生, 云南人, 主要从事能源系统工程研究

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

的产出弹性. 投入的替代弹性及技术进步的差异.

## 2 超越对数生产函数模型

本文产出用国内生产总值 (GDP)表示,投入为资本存量 (K),能源 (E) 和劳动力 (L),考虑技术进步随时间的变化,引入一个时间趋势变量  $\tau = T - T_0$ ,这样把经济系统自主技术进步也考虑进了生产函数中. 建立的超越对数生产函数如下:

$$\begin{aligned} \ln GDP_t = & A + U_f f + U_{ff} f^2 + U_K \ln K_t + U_L \ln L_t + U_E \ln E_t + U_{KL} \ln K_t \ln L_t \\ & + U_{KE} \ln K_t \ln E_t + U_{LE} \ln L_t \ln E_t + U_{KK} (\ln K_t)^2 + U_{LL} (\ln L_t)^2 \\ & + U_{EE} (\ln E_t)^2 + U_{Kf} (\ln K_t) f + U_{Lf} (\ln L_t) f + U_{Ef} (\ln E_t) f. \end{aligned} \quad (1)$$

则劳动投入的产出弹性为

$$\begin{aligned} Z_L = \frac{dGDP/GDP}{dL/L} &= \frac{d \ln GDP_t}{d \ln L_t} \\ &= U_L + U_{KL} \ln K_t + U_{LE} \ln E_t + 2U_{LL} \ln L_t + U_{Lf} f. \end{aligned} \quad (2)$$

资本投入的产出弹性为

$$Z_K = U_K + U_{KL} \ln L_t + U_{KE} \ln E_t + 2U_{KK} \ln K_t + U_{Kf} f. \quad (3)$$

能源投入的产出弹性为

$$Z_E = U_E + U_{KE} \ln K_t + U_{LE} \ln L_t + 2U_{EE} \ln E_t + U_{Ef} f. \quad (4)$$

产出随时间的自主变化弹性为

$$Z_f = U_f + 2U_{ff} f + U_{Kf} \ln K_t + U_{Lf} \ln L_t + U_{Ef} \ln E_t. \quad (5)$$

产出随着时间的变化弹性反映了投入的中性技术进步率的变化.

三种投入的替代弹性为:

$$\epsilon_{KL} = \frac{1}{-U_{KL} + \frac{Z_K}{Z_L} U_{LL}}. \quad (6)$$

相应推导得

$$\epsilon_{KE} = \frac{1}{-U_{KE} + \frac{Z_K}{Z_E} U_{EE}}. \quad (7)$$

$$\epsilon_{LE} = \frac{1}{-U_{LE} + \frac{Z_L}{Z_E} U_{EE}}. \quad (8)$$

设  $i$  和  $j$  是两种投入要素,则技术进步的差异为<sup>[3]</sup>:

$$BIAS_{ij} = \frac{U_i}{Z_i} - \frac{U_j}{Z_j}. \quad (9)$$

式中,  $BIAS_{ij} > 0$  表示投入要素  $i$  的技术进步快于要素  $j$ ,  $BIAS_{ij} < 0$  表示投入要素  $i$  的技术进步慢于要素  $j$ ,  $BIAS_{ij} = 0$  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、投入要素与趋势变量(时间)之间的相互作用关系,同时反映了不同投入技术进步的快慢差异. 所以超越对数生产函数比 Cobb-Douglas 生产函数,常替代弹性生产函数 (CES) 能揭示经济系统内更多的内容.

## 3 模型估计及分析

国内生产总值 (GDP) 和资本存量 (K) 使用文献 [4] 的成果,能源 (E) 和劳动力 (L) 来自中国统计年鉴,时间趋势变量  $\tau = T - 1978$ . 由于变量间的共线性比较严重,本文用岭回归方法进行估计,由方差膨

胀因子 (VIF)确定岭值  $R = 0.808$ ,使用 STATISTICA 软件包<sup>[5]</sup>进行估计,相应的估计结果见表 1.

由于变量之间的共线性严重,岭回归后所得结果的统计检验结果并不好,但岭回归结果好坏主要是看是否有效的克服了共线性和所得参数是否合理. 从表 1 中可看出所有回归系数都是正的. 时间趋势项为正说明系统的中性技术进步存在且呈加速趋势;交叉影响项和平方影响项都为正说明中国经济系统是规模报酬递增的. 这些与中国经济的发展情况相符合,可认为模型参数估计所得结果合理.

表 1 参数估计结果

变量	标准化回归系数	标准误差	回归系数	标准误差	t	p 水平	VIF
$A$			0.224312	3.387009	0.066227	0.9488222	
$f$	0.071462	0.092662	0.006757	0.008762	0.771216	0.462746859	1.073743
$f^2$	0.068642	0.089361	0.000285	0.000371	0.768147	0.464467943	0.670321
$\ln K_t$	0.070585	0.092519	0.075253	0.098636	0.762933	0.467401624	1.104642
$\ln L_t$	0.059156	0.091186	0.188815	0.291049	0.648741	0.534681082	0.868952
$\ln E_t$	0.06756	0.091667	0.13682	0.185642	0.737011	0.482167959	0.917856
$\ln K_t \ln L_t$	0.06819	0.092789	0.005077	0.006909	0.734892	0.483388603	1.133694
$\ln K_t \ln E_t$	0.069895	0.092745	0.004429	0.005877	0.753624	0.47266987	1.117647
$\ln L_t \ln E_t$	0.064353	0.091976	0.007214	0.01031	0.699675	0.503963351	1.037407
$(\ln K_t)^2$	0.070565	0.09232	0.003584	0.004689	0.764352	0.466601849	1.082363
$(\ln L_t)^2$	0.059012	0.091236	0.008634	0.013348	0.646809	0.535868287	0.870865
$(\ln E_t)^2$	0.06743	0.091712	0.005989	0.008146	0.735228	0.483194798	0.917031
$\ln K_t f$	0.071384	0.092538	0.000589	0.000763	0.771405	0.462640852	1.093201
$\ln L_t f$	0.071021	0.092691	0.000598	0.000781	0.766207	0.465557814	1.093329
$\ln E_t f$	0.071169	0.092705	0.000565	0.000736	0.767696	0.464721024	1.102631

注: VIF 值为作者编程计算,具体算法见文献 [6]  
Adjusted  $R^2 = .83540576$ ,  $F = 8.9759$ ,  $p < 0.00201$ ,标准误差估计: 0.26019

根据模型估计结果,计算每年各种投入的产出弹性和替代弹性如图 1 和图所示.

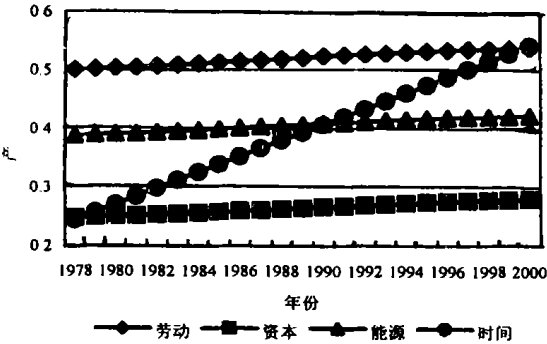


图 1 投入的产出弹性

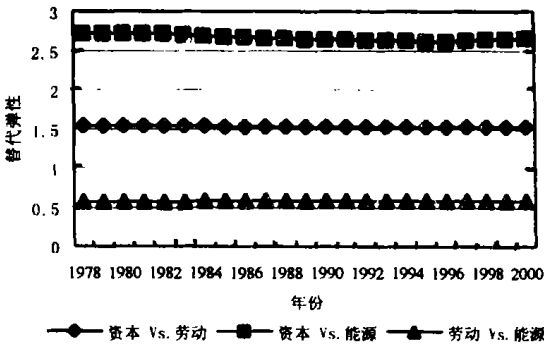


图 2 投入的替代弹性

从产出弹性看,产出随时间的自主变化弹性的变化最大,从 1978 年的 0.25 增长到 2000 年的 0.54,这说明中国经济系统中性技术进步的作用日益增加. 三种投入的产出弹性都是逐年增长的,但进入上世纪 90 年代后,增长逐渐变缓,这反映了经济系统的规模递增效应逐渐减弱.

替代弹性反映了边际技术替代率的变动引起的投入要素相对比例的变动.从计算结果看替代弹性逐

年变化不大,较为确定. 资本与劳动和资本与能源的替代弹性都大于 1,这表明资本投入可有效的与劳动和能源相互替代. 资本和能源的替代弹性高于 2. 5, 但劳动与能源的替代弹性只有 0. 5左右,这表明在中国能源使用的减少主要依靠资本替代能源,而劳动替代能源的作用不大. 我国劳动力资源丰富,资本与劳动较高的替代弹性使我国可以通过大力发展劳动密集产业促进经济发展,同时减少资本投入需求.目前各行业存在大量冗余劳动力劳动,所以劳动替代能源的作用不明显.

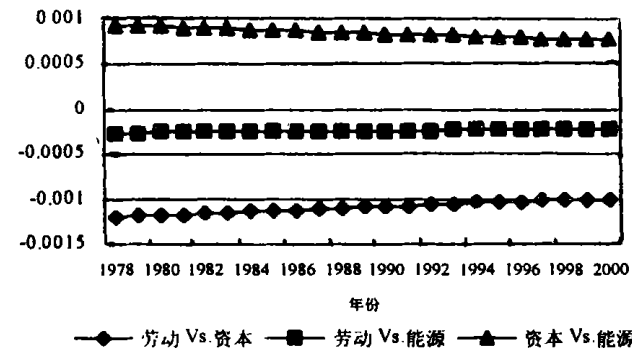


图 3 各种投入技术进步的差异

计算得的各种投入技术进步的差异如图 3. 从图 3可看出各种投入的技术进步差异不大,中国经济总体上还是反映出中性技术进步的特征,技术进步快慢为资本> 能源> 劳动,但它们之间的差异逐年缩小.

4 结束语

本文建立了一个以资本、能源和劳动为投入,并考虑时间因素的中国超越对数生产函数模型,初步分析了各种投入的产出弹性、替代弹性和技术进步的差异. 本文研究指出了中国能源经济系统的主要特征和变化趋势,为进一步研究中国能源经济问题提供了有益的启示.

参考文献:

[1] Kemfert C, Welsch H. Energy-capital-labor substitution and the economic effects of CO<sub>2</sub> abatement: evidence for germany [J]. J of policy modeling, 2000, 22(6): 641- 660.

[2] 李子奈. 计量经济学 [M]. 第一版. 北京: 高等教育出版社, 2000. 197.

[3] Khanna N. Analyzing the Economic cost of the Kyoto protocol[J]. Ecological Economics, 2001, 38(1): 59- 69.

[4] 李治国,唐国兴. 中国平均资本成本的估算 [J]. 统计研究, 2002, (11): 21- 25.

[5] 洪楠,侯军,李志辉. STATISTICA for Windows 统计与图表分析教程 [M]. 第一版. 北京: 清华大学出版社,北方交通大学出版社,2002. 205- 209.

[6] 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.

附录: 替代弹性的推导

$$\epsilon_{KL} = \frac{d\left(\frac{K}{L}\right)}{\left(\frac{K}{L}\right)} \bigg/ \frac{d\left(\frac{MP_L}{MP_K}\right)}{\left(\frac{MP_L}{MP_K}\right)} = \frac{d\left(\frac{K}{L}\right)}{\left(\frac{MP_L}{MP_K}\right)} \cdot \frac{\left(\frac{MP_L}{MP_K}\right)}{\left(\frac{K}{L}\right)}. \tag{A-1}$$

而

$$\frac{MP_L}{MP_K} = \frac{\frac{\partial Y}{\partial L}}{\frac{\partial Y}{\partial K}} = \frac{Z_L}{Z_K} \cdot \frac{K}{L}. \tag{A-2}$$

推得

$$\epsilon_{KL} = \frac{d\left(\frac{K}{L}\right)}{\left(\frac{MP_L}{MP_K}\right)} \cdot \frac{Z_L}{Z_K} = \frac{Z_L}{Z_K} \bigg/ \frac{d\left(\frac{K}{L}\right)}{\left(\frac{MP_L}{MP_K}\right)} = \frac{Z_L}{Z_K} \bigg/ \frac{d\left(\frac{Z_L}{Z_K} \cdot \frac{K}{L}\right)}{\left(\frac{K}{L}\right)}. \tag{A-3}$$

因为 (下转第 115页)

3)以开环不稳定非线性 CSTR( Continuous Stirred-Tank Reactor)连续搅动水箱式反应堆为被控对象,进行了仿真研究. 仿真结果表明部分修正权值可以减小计算量,加快训练速度并且系统具有较好的性能,基于 T-S模型动态自适应调节修正步长的模糊神经网络控制器具有较好的动态性能.

参考文献:

[1] 张化光,何希勤.模糊自适应控制理论及其应用 [M].北京:北京航空航天大学出版社,2002.  
[2] 孙增圻.智能控制理论与技术 [M]. 北京,清华大学出版社,1997.  
[3] Yan Shi , Masaharu Mizumoto. Some considerations on conventional neural-fuzzy learning algorithms by gradient descent method[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2000, 112( 1): 51- 63.  
[4] Chyi-Tsong Chen, Shih-Tein Peng. Intelligent process control using neural fuzzy techniques[J]. Journal of Process Control, 1999, 19( 6): 493- 503.  
[5] Tomohiro Takagi, Michio Sugeno. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control[ J]. IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetic, 1998, 115( 1): 116- 132.

(上接第 54页)  
因为

$$\frac{d\left(\frac{Z_L}{Z_K}\frac{K}{L}\right)}{d\left(\frac{K}{L}\right)}=\frac{Z_L}{Z_K}+\frac{K}{L}\frac{d\left(\frac{Z_L}{Z_K}\right)}{d\left(\frac{K}{L}\right)}.\tag{A-4}$$

而

$$d\left\{\frac{Z_L}{Z_K}\right\}=-\frac{Z_L}{Z_K^2}dZ_K+\frac{1}{Z_K}dZ_L.\tag{A-5}$$

$$d\left\{\frac{K}{L}\right\}=-\frac{K}{L^2}dL+\frac{1}{L}dK.\tag{A-6}$$

把 (A-5),(A-6)同时代入 (A-4) 然后分子分母同除 dL 得

$$\frac{d\left\{\frac{Z_L}{Z_K}\right\}}{d\left\{\frac{K}{L}\right\}}=\frac{-\frac{Z_L}{Z_K^2}dZ_K+\frac{1}{Z_K}dZ_L}{-\frac{K}{L^2}dL+\frac{1}{L}dK}=\frac{-\frac{Z_L}{Z_K^2}\frac{dZ_K}{dL}+\frac{1}{Z_K}\frac{dZ_L}{dL}}{-\frac{K}{L^2}+\frac{1}{L}\frac{dK}{dL}}.\tag{A-7}$$

把 (A-7)代入 (A-3),整理得

$$\epsilon_{KL}=\frac{1}{-U_{KL}+\frac{Z_K}{Z_L}U_{LL}}.\tag{6}$$