

# 中国工业部门的能源 CES 生产函数估计

魏玮, 何旭波

(西安交通大学 经济与金融学院, 西安 710061)

摘要: 在构建 1980—2010 年中国工业部门投入—产出的数量和价格数据库基础上, 估计了中国工业部门的能源 CES 生产函数, 通过比较不同函数形式下的估计结果后发现: (1)  $(KE)L$  函数形式较符合中国工业部门的实际情况, 且工业部门的资本—能源替代弹性的估计值为 0.32, 合成品—劳动的替代弹性的估计值为 0.22; (2)  $(KE)L$  函数形式下, 中国工业部门能源 CES 生产函数中的能源增强型技术进步率的估计值为 2%, 资本增强型技术进步率的估计值为 -4%, 劳动增强型技术进步率的估计值为 6%。

关键词: 可计算一般均衡; 常替代弹性函数; 替代弹性; 技术进步

中图分类号: F224.0; F206

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2014)01-0027-05

## 一、文献综述

改革开放以来, 中国经济在快速增长的同时也对能源市场和生态环境造成了巨大的压力, 大量消耗以化石燃料为主的能源使中国在 2006 年已成为全球最大的碳排放国家<sup>[1]</sup>, 特别是工业以占全国 40.1% 的 GDP 消耗了全国 67.9% 的能源, 排放出全国 CO<sub>2</sub> 总量的 83.1%<sup>[2]</sup>。随着中国在哥本哈根所作承诺的逐步履行和《“十二五”控制温室气体排放工作方案》的颁布实施, 中国工业以高能耗、高排放为主要的传统增长方式将面临越来越大的节能减排压力。研究工业如何在低碳约束下实现可持续发展不仅具有必要性, 更具有紧迫性, 而如何设计政策实现上述目标则成为研究者无法回避的问题。经济学中主要使用可计算一般均衡 (Computable General Equilibrium, CGE) 模型模拟节能减排政策对能源、环境和经济等 3E 变量的影响, 以评价政策的有效性, 构建科学的节能减排政策体系。常替代弹性 (Constant Elasticity of Substitution, CES) 生产函数由于形式灵活, 被广泛用于刻画 CGE 模型中的生产者行为。但通过回顾以往文献, 发现 CGE 模型中函数形式的选择及替代弹性的取值存在较大的主观性和任意性 (表 1), 这也导致 CGE 方法备受质疑, 如何科学地设定函数形式和度量替代弹性就成了模拟结果科学与否的关键。解决这一问题的方法是利用计量经济学方法估计 CES 函数。本文所讨论的

表 1 主要气候变化 CGE 模型中的 CES 函数形式和替代弹性

模型	函数形式	替代弹性
GREEN	$(KE)L$	$\sigma_{KE}=0, 0.8; \sigma_{K,L}=0, 0.12, 1$
MERGE	$(KL)E$	$\sigma_{K,L}=1; \sigma_{K,L,E}=0.4$
ENTICE	$KLE$	$\sigma_{KLE}=1$
EPPA	$(KL)E$	$\sigma_{K,L}=1; \sigma_{K,L,E}=0.4-0.5$
MIND	$KLE$	$\sigma_{KLE}=0.4$
WITCH	$(KL)E$	$\sigma_{K,L}=1; \sigma_{K,L,E}=0.5$

资料来源: 整理自 Werf 的研究成果, 见 Werf 所著 “Production Functions for Climate Policy Modeling: An Empirical Analysis” 的第 2 964 页。

问题是如何有效地估计中国工业部门的能源 CES 函数。

文献中主要有 3 种估计 CES 函数的方法: 一是直接估计生产函数法。Kmenta (1967)<sup>[3]</sup> 开创了直接估计生产函数法, 通过将 CES 函数取对数, 在单位替代弹性附近二阶泰勒展开将生产函数变为线性形式后再估计。吕振东 (2009)<sup>[4]</sup> 运用该方法估计发现  $(KE)L$  函数形式较符合中国的实际情况, 且  $\sigma_{KE}$  等于 0.47,  $\sigma_{K,L,E}$  等于 0.84。但是 Kmenta 法难以同时估计替代弹性和要素增强型技术进步, 故该方法一般假设技术进步的形式为希克斯中性<sup>[3-4]</sup>。二是标准化供给面系统法。Klump (2007)<sup>[5]</sup> 开创了标准化供给面系统法, 通过联合估计标准化后的生产函数及其一阶条件, 发现美国的劳动—资本替代弹性在 0.5~0.8 之间。León-Ledesma (2010)<sup>[6]</sup> 通过蒙特卡洛实验证明

收稿日期: 2013-07-14

基金项目: 国家社科基金重大项目资助“基于碳减排的产业有序转移和区域协调发展研究”(12ZD070)

作者简介: 魏玮 (1966—), 男, 教授, 博士, E-mail: wei\_wei@mail.xjtu.edu.cn; 何旭波 (1985—), 男, 博士研究生, E-mail: fisherbobo@gmail.com

了该方法的有效性,但当生产要素涉及2种以上时,由于无法观测合成品的价、量变化,参数值难以估计,故目前标准化供给面系统法主要用于估计资本和劳动之间的替代弹性和要素增强型技术进步,如戴天仕和徐现祥(2010)<sup>[7]</sup>,陈晓玲和连玉君(2013)<sup>[8]</sup>分别运用该方法估计中国技术进步的方向及不同省份间的要素替代弹性。三是估计一阶条件法。Werf(2008)<sup>[9]</sup>使用估计一阶条件法估计了12个OECD国家CES生产函数,发现(KL)E形式较好地拟合了数据, $\sigma_{K,L}$ 在0.29~0.62之间, $\sigma_{KL,E}$ 在0.17~0.61之间;De Cian(2009)<sup>[10]</sup>在KLE形式下用该方法估计了OECD国家的要素替代弹性,发现 $\sigma_{KLE}$ 等于0.39。一阶条件估计法的特点是利用合成品的份额变化代替其价、量变化,以估计多要素CES函数。

相较于直接估计生产函数法和标准化供给面系统法,估计一阶条件法能够在较为宽松的生产函数形式假设下同时估计替代弹性和要素增强型技术进步率,因此,本文拟借鉴估计一阶条件法估计中国工业部门的能源CES函数,这也是本文的主要创新之处。此外,现有的国内文献集中于估计全国水平的能源CES生产函数,研究工业部门能源CES函数的文献寥寥无几。而以工业部门作为研究对象,与目前中国工业的低碳转型要求相契合,具有一定现实意义。

## 二、计量模型设定

Arrow(1961)<sup>[11]</sup>较早构建了两要素CES函数的具体形式;Uzawa(1961)<sup>[12]</sup>将CES函数扩展至包含多要素;Sato(1967)<sup>[13]</sup>提出了嵌套式CES(Nested CES)的函数形式。在两要素CES函数中,要素同时进入CES函数;在多要素CES函数中,要素以何种组合方式进入函数变得格外重要——不同的要素组合方式不仅会带来不同的计算结果,而且代表不同的经济含义。为完整刻画资本(K)、劳动(L)和能源(E)之间的替代—互补关系,不同的要素组合方式对应着不同的函数形式:(KL)E、(KE)L、(LE)K和KLE。由于函数形式相似,此处仅以(KL)E形式为例说明,见式(1)和式(2)

$$Q = \left[ \alpha(A_E E)^{\frac{\sigma_{KL,E}-1}{\sigma_{KL,E}}} + (1-\alpha)(Z)^{\frac{\sigma_{KL,E}-1}{\sigma_{KL,E}}} \right]^{\frac{\sigma_{KL,E}}{\sigma_{KL,E}-1}} \quad (1)$$

$$Z = \left[ \beta(A_K K)^{\frac{\sigma_{KL,E}-1}{\sigma_{KL,E}}} + (1-\beta)(A_L L)^{\frac{\sigma_{KL,E}-1}{\sigma_{KL,E}}} \right]^{\frac{\sigma_{KL,E}}{\sigma_{KL,E}-1}} \quad (2)$$

其中,Q表示最终产品;Z表示资本—劳动合成品; $\alpha$ 和 $\beta$ 为份额参数; $A_K, A_L, A_E$ 分别表示资本、劳动和

能源等要素增强型技术进步(Factor-Augmented Technological Change); $\sigma_{K,L}$ 和 $\sigma_{KL,E}$ 分别表示资本—劳动以及合成品—能源之间的替代弹性。当 $A_K=A_L=A_E$ 时,式中的技术进步变为希克斯中性技术进步(Hicks-Neutral Technological Change);当 $\sigma_{K,L}=\sigma_{KL,E}$ 时,函数变为KLE形式。

给定代表性厂商的生产函数式(1)和式(2),在成本最小化的规划问题中,对代表性厂商的一阶条件取对数后一阶差分,得式(3)~式(6)

$$e-q = (\sigma_{KL,E}-1)a_e + \sigma_{KL,E}(p_Q-p_E) \quad (3)$$

$$z-q = \sigma_{KL,E}(p_Q-p_E) \quad (4)$$

$$k-z = (\sigma_{K,L}-1)a_k + \sigma_{K,L}(p_Z-p_K) \quad (5)$$

$$l-z = (\sigma_{K,L}-1)a_l + \sigma_{K,L}(p_Z-p_L) \quad (6)$$

其中, $k, l, e, z, q$ 分别表示资本存量、劳动投入、能源消费、合成品以及最终产品产量的变化率; $a_k, a_l, a_e$ 分别表示资本、劳动和能源的增强型技术进步率; $p_K, p_L, p_E, p_Z$ 和 $p_Q$ 分别表示资本、劳动、能源、合成品和最终产品的价格变化率。由于式(3)~式(6)中的 $z$ 和 $p_Z$ 不能直接观测,因此借鉴Werf的处理方法,假定 $\dot{\theta}_{mn} = p_m + m - (p_n - n)$ 表示要素 $m$ 在 $n$ 中的份额变化率,变换式(3)~式(6)后,得

$$e-q = (\sigma_{KL,E}-1)a_e + \sigma_{KL,E}(p_Q-p_E) \quad (7)$$

$$\dot{\theta}_{KZ} = (\sigma_{K,L}-1)a_k + \left( \frac{\sigma_{K,L}-1}{1-\sigma_{KL,E}} \right) \dot{\theta}_{ZQ} + (1-\sigma_{K,L})(p_K-p_Q) \quad (8)$$

$$\dot{\theta}_{LZ} = (\sigma_{K,L}-1)a_l + \left( \frac{\sigma_{K,L}-1}{1-\sigma_{KL,E}} \right) \dot{\theta}_{ZQ} + (1-\sigma_{K,L})(p_L-p_Q) \quad (9)$$

用新变量替代式(7)~式(9)中的变量,并加入随机扰动项,得计量方程式(10)~式(12)

$$y_1 = \alpha_1 + \beta_1 x_1 + \varepsilon_1 \quad (10)$$

$$y_2 = \alpha_2 + \beta_{21} x_{21} + \beta_{22} x_{22} + \varepsilon_2 \quad (11)$$

$$y_3 = \alpha_3 + \beta_{31} x_{31} + \beta_{32} x_{32} + \varepsilon_3 \quad (12)$$

为了保证式(10)~式(12)与式(7)~式(9)保持一致,需加入下列限制条件

$$\beta_{22} = \beta_{32} \quad (13)$$

$$\beta_{21} = \beta_{31} = -\frac{\beta_{22}}{1-\beta_1} \quad (14)$$

式(10)~式(14)共同组成了(KL)E形式下的计量模型,(KE)L和(LE)K与此类似,下文将分别估计这3组模型。与已有文献中计量方法相比,式(10)~式(14)具有很大的灵活性。通过对模型中的系数进行设定,可检验下面的3个原假设:

- 1.若 $\beta_{21} = \beta_{31} = 1$ ,则生产函数变为KLE形式。
- 2.若 $\beta_1 = 1$ 且 $\beta_{22} = \beta_{32} = 0$ ,则所有替代弹性均为1,

生产函数变为 C-D 形式。

3. 若  $-\frac{\alpha_2}{\beta_{22}} = -\frac{\alpha_3}{\beta_{32}} = 0$ , 则能源增强型技术进步等于 TFP, 即  $a_k = a_l = 0$ , 技术进步为希克斯中性形式。

### 三、数据来源及预处理

基础数据包括 1980—2010 年中国工业部门的投入、产出的量和价。其中, 以工业增加值、工业资本存量、工业部门的能源消费总量和工业部门的就业人员数度量产出和投入的量, 以工业品出产价格指数、资本价格、能源价格和就业人员平均工资度量产出和投入的价。工业增加值、能源消费总量、就业人员数、工业品出产价格指数和就业人员平均工资来自历年《中国统计年鉴》, 其中工业增加值按工业品出产价格指数折算成 1990 年的货币单位, 就业人员平均工资则以 CPI 调整至 1990 年为基的实际值。资本存量的估计借鉴单豪杰和师博<sup>[14]</sup>, 并利用固定资产投资价格指数将其折算为以 1990 年的价格表示的实际额。能源价格的估计则借鉴陶小马<sup>[15]</sup>的处理方法。

资本价格的估算基于资本边际收益等于边际

成本的原则, 借鉴鲁成军和周瑞明<sup>[16]</sup>以及国涓等<sup>[17]</sup>的处理方法, 见式 (15)

$$P(t) = [r(t) + \delta(t) - \pi(t)] \quad (15)$$

其中,  $P(t)$  表示资本价格;  $r(t)$  表示名义利率;  $\delta(t)$  表示折旧率;  $\pi(t)$  为通货膨胀率。  $r(t)$  以企业一年期定期存款利率来度量, 数据来自历年《中国金融统计年鉴》, 对一年内出现多次利率的以时间加权平均;  $\pi(t)$  以 1990 年为基期的 GDP 缩减指数来度量, 通过计算历年《中国统计年鉴》中的原始数据而得;  $\delta(t)$  的取值借鉴单豪杰和师博<sup>[14]</sup>。

### 四、估计结果及讨论

#### (一) 不同函数形式下替代弹性的估计值

替代弹性的估计结果如表 2 所示。其中,  $(KL)E$  函数形式下,  $\sigma_{K,L}$  的估计值为 0.92, 在 1% 的水平上显著,  $\sigma_{KL,E}$  的估计值为 0.30, 不显著;  $(KE)L$  函数形式下,  $\sigma_{K,E}$  的估计值为 0.32, 在 1% 的水平上显著,  $\sigma_{KE,L}$  的估计值为 0.22, 在 10% 的水平上显著;  $(LE)K$  函数形式下,  $\sigma_{L,E}$  的估计值为 0.51, 在 1% 的水平上显著,  $\sigma_{LE,K}$  的估计值为 0.11, 不显著。

表 2 不同生产函数形式下的替代弹性估计

(KL)E		(KE)L		(LE)K	
$\sigma_{KL,E}$	$\sigma_{K,L}$	$\sigma_{KE,L}$	$\sigma_{K,E}$	$\sigma_{LE,K}$	$\sigma_{L,E}$
0.30	0.92***	0.22*	0.32***	0.11	0.51***
(0.23)	(0.41)	(0.12)	(0.04)	(0.26)	(0.03)

注: 括号中的值为标准差; \*, \*\*, \*\*\* 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

#### (二) 要素增强型技术进步率的估计值

要素增强型技术进步率的估计结果如表 3 所示。其中,  $(KL)E$  函数形式下,  $a_E$  的估计值为 0.07, 在 1% 的水平上显著,  $a_K$  的估计值为 -0.04, 不显著,  $a_L$  的估计值为 0.07, 不显著;  $(KE)L$  函数形式下,  $a_E$

的估计值为 0.02, 在 10% 的水平上显著,  $a_K$  的估计值为 -0.04, 在 1% 的水平上显著,  $a_L$  的估计值为 0.06, 在 1% 的水平上显著;  $(LE)K$  函数形式下,  $a_E$  的估计值为 -0.02, 不显著,  $a_K$  的估计值为 0.02, 不显著,  $a_L$  的估计值为 0.06, 在 1% 的水平上显著。

表 3 不同生产函数形式下的技术进步率估计

(KL)E			(KE)L			(LE)K		
$a_E$	$a_K$	$a_L$	$a_E$	$a_K$	$a_L$	$a_E$	$a_K$	$a_L$
0.07***	-0.04	0.07	0.02*	-0.04**	0.06***	-0.02	0.02	0.06***
(0.02)	(0.03)	(0.10)	(0.02)	(0.01)	(0.01)	(0.02)	(0.02)	(0.01)

注: 括号中的值为标准差; \*, \*\*, \*\*\* 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

#### (三) 假设检验

为保证表 3 中的计量结果可信, 对不同函数形式下的估计值进行假设检验, 设计原假设如下:

原假设  $H_1$ : CES 的函数形式为  $KLE$ ;

原假设  $H_2$ : CES 的函数形式为  $C-D$  形式;

原假设  $H_3$ : CES 函数中的技术进步为希克斯中

性。

检验结果如表 4 所示。其中,  $(KL)E$  函数形式下除原假设  $H_3$  外, 原假设  $H_1$  和  $H_2$  均在 10% 的水平上被拒绝;  $(KE)L$  和  $(LE)K$  函数形式下的所有原假设均在 1% 的水平上被拒绝。

表4 不同生产函数形式下的假设检验

(KL)E			(KE)L			(LE)K		
H1	H2	H3	H1	H2	H3	H1	H2	H3
0.00	0.09	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

注:表4中的数据为双侧Wald检验的 $p$ 值。

#### (四)实证结果比较

由表2~表3中估计结果的显著性及表4中的假设检验结果判断,中国工业部门较适合的能源CES函数形式是 $(KE)L$ 。由于目前的研究中仅有吕振东估计了全国水平的能源CES函数,故将其与本文的估计结果进行比较,发现本文的估计结果小于吕振东的估计结果,这可能由下述原因导致:第一,样本差异,吕振东使用全国水平的宏观数据,相较于工业生产对投入(特别是能源)的依赖,宏观数据可能低估了投入要素之间(特别是能源和资本)的互补性;第二,式(1)和式(2)包括了要素增强型技术进步,而吕振东仅假设希克斯中性技术进步,忽略了生产要素存在效率改善的可能性。

由于所用方法的局限性,吕振东并未估计要素增强型技术进步率,故将表3中 $a_K$ 和 $a_L$ 的估计结果与戴天仕和徐现祥,陈晓玲和连玉君中的相应估计值(表5)相比较。本文 $a_K$ 的估计值小于戴天仕和徐现祥以及陈晓玲和连玉君中的估计值,而 $a_L$ 的估计值则位于戴天仕和徐现祥以及陈晓玲和连玉君的估计值之间。除了研究方法和对象的差异外,本文与戴天仕和徐现祥以及陈晓玲和连玉君最大的差异在于将能源引入CES函数,这使本文的模型更具一般性。此外,考虑到中国工业高投资和高增长并存的特征,只有 $a_K$ 为负才能保证资本的边际收益不会递减得太快<sup>[18]</sup>。

表5 戴天仕和徐现祥、陈晓玲和连玉君关于要素增强型技术进步率的研究结果

既有研究结果	资本增强型技术进步率的估计值	劳动增强型技术进步率的估计值
戴天仕和徐现祥(2010)	-0.011	0.093
陈晓玲和连玉君(2013)	0.019	0.033

注:在陈晓玲和连玉君的原文中,资本、劳动增强型技术进步率的估计值是按不同省区报告的,为进行比较,对其结果进行了简单算术平均。

#### 五、研究结论及政策含义

CGE是目前气候变化经济学中主要的研究工具,但是由于建模时存在着函数形式、替代弹性选择的任意性和主观性,使CGE模拟结果的科学性备受质疑。本文在构建1980—2010年中国工业部门投入—产出的价格和数量数据库基础上,估计了1980—2010年中国工业部门的能源CES函数形式,以试图为CGE分析方法提供一个科学的实证基础。在比较不同函数形式下替代弹性和要素增强型技术进步率估计值的显著性后,发现 $(KE)L$ 函数形式可能较符合中国工业部门。其中,在样本区间内工业部门的资本—能源替代弹性的估计值为0.32,成品—劳动的替代弹性的估计值为0.22;样本区间内能源增强型技术进步率的估计值为2%,资本增强型技术进步率的估计值为-4%,劳动增强型技术进步率的估计值为6%。本文最后对上述研究结论中的函数形式和技术进步进行了假设检验,并将要素增强型技术进步率的估计值和已有的研究成果进行比较,以保证研究结论可靠。

本文的研究结论不仅可以为中国工业部门的CGE建模实践提供有益参考,而且从资本—能源替代弹性的角度或许还可为构建低碳约束下的经济增长和工业转型设计提供一个新的视角:能源之所以成为增长的瓶颈,是因为生产函数中能源和其他要素之间的替代弹性小于1;若资本—能源替代弹性大于1,低碳发展和经济增长就能并行不悖。从这个角度看,替代弹性本身或可成为一个重要的政策目标。若是将政策目标定位在增加资本—能源替代弹性,则可能在实现中国工业部门低碳转型的同时保持经济增长。因此,如何进一步改进估计方法使研究结论更加精确,探究影响替代弹性的关键因素以制定影响替代弹性的政策,是值得继续深入研究的问题。

## 参考文献:

- [1] BP. BP statistical review of world energy June 2011[EB/OL].(2011-06-20)[2013-04-15]. <http://www.bp.com/statisticalreview>
- [2] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009(4):41-55.
- [3] Kmenta J. On estimation of the CES production function[J]. International Economic Review, 1967, 8(2): 180-189.
- [4] 吕振东, 郭菊娥, 席西民. 中国能源 CES 生产函数的计量估算及选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2009(4):156-160.
- [5] Klump R, McAdam P, William A. The normalized CES production function: theory and empirics [R]. European Central Bank Working Paper(No.1294), 2007.
- [6] León-Ledesma M A, McAdam P, William A. Identifying the elasticity of substitution with biased technical change [J]. American Economic Review, 2010, 100(4): 1300-1357.
- [7] 戴天仕, 徐现祥. 中国的技术进步方向[J]. 世界经济, 2010(11):54-70.
- [8] 陈晓玲, 连玉君. 资本—劳动替代弹性与地区经济增长——德拉格兰德维尔假说的检验[J]. 经济学, 2013(1):93-118.
- [9] Werf V E. Production functions for climate policy modeling: an empirical analysis[J]. Energy Economics, 2008, 30 (6):2964-2979.
- [10] De Cian E. Factor-augmenting technical change: an empirical assessment[R]. Fondazione Eni Enrico Mattei and School of Advanced Studies in Venice Working Paper, No.18, 2009.
- [11] Arrow K J, Chenery H B, Minhas B S, et al. Capital-labor substitution and economic efficiency [J]. The Review of Economics and Statistics, 1961, 43(3): 225-250.
- [12] Uzawa H. Production function with constant elasticity of substitution[J]. Review of Economics Studies, 1961(9):291-299.
- [13] Sato K. A two-level constant-elasticity-of-substitution production function[J]. Review of Economic Studies, 1967(34):201-218.
- [14] 单豪杰, 师博. 中国工业部门的资本回报率: 1978—2006[J]. 产业经济研究, 2008(6):1-9.
- [15] 陶小马, 邢建武, 黄鑫, 周雯. 中国工业部门的能源价格扭曲与要素替代研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2009(11):3-16.
- [16] 鲁成军, 周端明. 中国工业部门的能源替代研究——基于对 ALLEN 替代弹性模型的修正[J]. 数量经济技术经济研究, 2008(5):30-42.
- [17] 国涓, 郭崇慧, 凌煜. 中国工业部门能源反弹效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2010(11):114-126.
- [18] Acemoglu D. Directed technical change[J]. Review of Economic Studies, 2002, 69(4):781-809.

## Estimation of China's Industrial Sectors' Energy CES Production Function

WEI Wei, HE Xubo

(School of Economics and Finance, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** The elasticity of substitution and the functional are cornerstones of the CGE model. First, this paper constructed China's industrial sectors' input and output data 1980—2010, including input prices and quantities, output prices and quantities. Then econometric method was used to estimate China's industrial sectors' energy CES functional form and factor elasticity of substitution. Some important results are found. First,  $(KE)L$  functional form was more feasible for China's industrial sectors, with elasticity of substitution between capital and energy 0.32 and between capital-energy aggregate and labor 0.22. Second, China's industrial sectors exhibited capital-augmenting, energy-augmenting and labor-augmenting technological changes in the sample period with the rates of -4%, 2% and 6% respectively.

**Key words:** constant elasticity of substitution; CES function; elasticity of substitution; technological change

[责任编辑:孟青]