

# 能源税征收的劳动替代效应实证研究<sup>\*</sup> ——基于上海市2002年大气污染的CGE模型的试算

王德发

(上海财经大学统计学系,上海 200433)

**摘要:**作为政策分析的有力工具,可计算一般均衡(Computable General Equilibrium,简称 CGE)模型经过 40 多年的发展已在世界上得到广泛应用,并逐渐发展成为应用经济学的一个分支。目前,我国的 CGE 模型研究已取得了一些具有开拓性的成果,主要产生了有国务院发展研究中心的 DRCCGE 和中科院数量经济与技术研究所的 PRCGEM 两套 CGE 模型。在这些成果的基础上,文章首先分析了对煤征收能源税的重要性与必要性,随后详细介绍了采用由四大模块组成的 CGE 模型系统,并且给出了具体的求解处理过程。其次根据 2002 年上海市投入产出表数据,建立了一个地区性(上海市)可计算一般均衡(CGE)模型,结果表明能源税的征收有效地推动了劳动对能源的替代,促进了经济结构和能源结构的调整,导致大气污染物的减少,同时对实际产出的影响较小,表明对煤征收能源税的可行性和合理性。最后对模型的改进提出了一些建议,为日后地区 CGE 模型应用及政策分析提供了一些支持。

**关键词:**CGE 模型;大气污染;能源税;投入产出表

**中图分类号:**F205; F223 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-9952(2006)02-0098-08

## 一、引言

(一)模型分析背景。大气污染是世界环境问题中的难题,也是中国环境问题中最为严重的问题之一。中国的大气污染主要是由以煤和石油为主的能源消费结构所造成。中国在煤的燃烧过程中,SO<sub>2</sub> 中的 85%、CO<sub>2</sub> 中的 85% 和 NO<sub>2</sub> 中的 60% 排向大气层。因此,要改善中国的大气污染问题,降低煤能源消耗是一个重要举措。

在上海市经济增长的同时,导致持续增长的能源消耗所造成的大气污染问题不容忽视。由于上海市的能源结构仍以煤炭为主,其 CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>(其中 CO<sub>2</sub> 的排放占了主要部分)的排放也随着经济的快速增长而迅速增长。

(二)模型模拟分析的内容与目的。能源使用是影响环境的主要因素之

收稿日期:2005-10-05

作者简介:王德发(1947—),男,上海市人,上海财经大学统计学系教授,博士生导师;上海财经大学应用统计研究中心研究员。

一,上海城市生态环境的改善,能源结构的调整是重要的制衡条件,将直接影响上海的城市空气质量。上海近几年的实践证明,能源结构的调整,对改善上海城市的生态环境意义深远。那么,目前在上海,应该如何来限制能源消耗,从而迅速减少大气污染的程度呢?在市场经济条件下,利用价格机制适当提高能源的价格,以促进能源利用率的提高,调节污染物的排放,改善大气质量应该是现实可行的办法。由于上海市产生环境污染问题的主要原因是以煤炭为中心的能源消费结构所造成的,虽然目前上海市的煤炭消费总体上呈下降趋势,但鉴于价格因素的作用,煤炭仍有相当的市场吸引力。那么对煤炭征收一定的消费税就应该可以减少污染物质的排放。因此,本文主要讨论上海市在实行对煤征收消费税的情况下:(1)对上海经济的整体将产生怎样的影响?(2)由于能源消耗的减少,大气污染物质排放量减少的效果如何?最后的模拟分析结果可以证实:在上海的经济发展过程中,适时地实施征收能源消费税,是保持经济可持续发展的有效途径——既能保持经济的较快增长,又能降低能源消耗,同时减少大气污染物质的排放量。

## 二、CGE 模型

(一)CGE 模型及环境 CGE 模型分析。可计算一般均衡模型以瓦尔拉斯(Walras)一般均衡理论作为理论基础,经过 40 多年的发展,现在已成为一种相当规范的模型,可用于政策分析。一般均衡理论的基本思想是:生产者根据利润最大化或成本最小化原则,在资源约束条件下,进行最优投入决策,确定最优供给量;消费者根据效用最大化原则,在预算约束条件下,进行最优支出决策,确定最优需求量;均衡价格使最优供给量与最优需求量相等。概括地说,一个典型的 CGE 模型,就是用一组方程来描述供给、需求以及市场关系(在这组方程中不仅商品和生产要素的数量是变量,所有的价格,包括商品价格、工资也都是变量),在一系列优化条件(生产者利润优化、消费者效益优化、进口收益利润和出口成本优化等等)的约束下,求解这一组方程,得出在各个市场都达到均衡时的一组数量和价格。

近年来,利用 CGE 模型模拟环境政策经济影响的研究不断增加,由于以减少污染物排放为目的的环境政策对价格、数量和经济结构等变量有着巨大影响,因此对环境政策的分析难以用局部均衡分析方法进行研究。环境 CGE 模型作为 CGE 模型应用的一个分支,主要用于模拟环境与经济之间的互动影响,其中包括分析公共经济政策(如税收、政府开支等)对环境的影响,以及环境政策(如环境税收、补贴和污染控制等)对经济面的影响。

(二)CGE 模型的基本原理。作为经济计量模型,CGE 模型简而言之是使 N 种商品在各种不同的市场中,达到均衡配置最优化的模型。这种模型从需求角度,要使消费者在一定的预算制约下达到效用最大化;而从生产者角

度,则要求在一定的生产条件下达到利润最大化。因此,模型的均衡指全部市场的需求与供给达到相等,而价格则要求是满足上述均衡条件下的市场价格。

(三)模型的特征。许多 CGE 模型采用社会核算矩阵(SAM, Social Account Matrix)作为模型的基础均衡数据集,但是 SAM 的数据整理相当困难,这里我们选择简单的方式,采用到目前为止可以得到的最为详细的投入产出表——上海市 2002 年投入产出表作为本文模型的主要数据基础。

本文模型的分析是一种比较静态分析,只关注于对煤炭征税的影响而不考虑具体的实现路径,或者说不关心从一种均衡状态到另一种均衡状态的过渡情况。模型包括若干合并整合后的部门。模型中的所有产业满足“规模与收益对等”的假定。各部门的生产过程中,包括能源投入、劳动投入、资本投入和中间投入。但是,能源投入与劳动、资本的投入一样都是一次性的投入;同时,能源投入与资本、劳动的投入具有替代性。

(四)模型的机制。对煤炭征收消费税,煤、石油等部门的劳动和资本等一次性生产要素的相对价格将发生变化,导致生产要素的需求量、乃至生产量也会相应发生变化。再者,煤、石油等能源价格的上升将引起产业结构发生变化,反过来又导致能源需求降低,最终导致大气污染物质排放量的减少。大气污染物质排放量根据煤、石油的消费量与不同燃料燃烧时大气污染物的排放系数分别计算(见表 1)。

表 1 煤与石油燃烧时大气污染物的排放系数 单位:t—c/tce(标准煤)

能源	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
煤	0.025	0.008	0.683
石油	0.011	0.007	0.536

资料来源:《亚洲地区的能源利用与地球环境》日本科学技术厅出版

(五)模型的结构。本文模型理论框架由四部分组成:需求模块、生产模块、价格模块、市场结清模块。

1. 需求模块。消费者需求,以居民家庭和政府为对象,根据预算限制下的效用最大化原理,定义为如下公式:

$$\text{Max. } U = \prod_{i=1}^m X_{ik}^{\alpha_{ik}}$$

$$\text{s. t. } \sum_i^m P_i X_{ik} = Y$$

$$\sum_i^m \alpha_{ik} = 1$$

式中采用 Cobb-Douglas 效用函数, k 表示消费者(模拟中用 0 表示),  $\alpha_{ik}$  表示效用函数的参数,  $X_{ik}$  表示第 i 项消费资料的需求水平,  $P_i$  表示第 i 项消费资料的价格, Y 表示收入(费用支出水平);约束条件为消费支出约束。

求解上述问题的极值,以得出对各消费资料的需求量  $X_{ik}$ 。作拉格朗日函数:

$$L(D_{ik}, \lambda) = \prod_{i=1}^m X_{ik}^{\alpha_{ik}} + \lambda(Y - \sum_i^m P_i X_{ik})$$

根据极值的一阶条件,导出各部门生产资料中对应于消费资料的能源需求:

$$X_{ik} = \alpha_{ik} Y / P_i \quad i=1, \dots, m; k=0 \quad (1)$$

2. 生产模块。各部门产出一定时,根据成本最小化原则,投入决策确定为以下函数形式:

$$\begin{aligned} \text{Min. } C_j &= \sum_{i=1}^n P_i X_{ij} \\ \text{s. t. } X_j &= A_j \sum_{i=1}^n X_{ij}^{\alpha_{ij}}, \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = 1; \quad j = 1, 2, \dots, m \end{aligned}$$

式中:m 表示行业,n=m+2;C<sub>j</sub> 表示 j 行业的总成本;X<sub>ij</sub> 表示商品及初始要素(劳动、资本)投入;P<sub>i</sub> 表示第 i 种商品或要素的价格;α<sub>ij</sub> 表示各生产要素的分配率;约束条件中各产业增加值与能源的关系采取 Cobb-Douglas 生产函数的形式(允许能源与要素以及能源之间的替代)。

求解上述问题的极值,以得到各要素投入的需求量 X<sub>ij</sub>。作拉格朗日函数:

$$L(X_{ij}, \lambda) = \sum_{i=1}^n P_i X_{ij} + \lambda(X_j - A_j \prod_{i=1}^n X_{ij}^{\alpha_{ij}})$$

根据极值的一阶条件:

$$\begin{cases} \partial L / \partial X_{ij} = P_i - \lambda \alpha_{ij} / X_{ij} = 0 \\ \partial L / \partial \lambda = X_j - A_j \prod_{i=1}^n X_{ij}^{\alpha_{ij}} = 0 \end{cases}$$

可以导出各部门对劳动、资本、煤炭、石油等生产要素的需求方程:

$$X_{ij} = F(X_j, P_1, \dots, P_5) = \frac{\alpha_{ij}}{A_j P_i} \prod_{i=1}^n \alpha_{ij}^{-\alpha_{ij}} P_i^{\alpha_{ij}} X_j \quad i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\text{或 } X_{ij} = \alpha_{ij} Q_j X_j \prod_{i=1}^n P_i^{\alpha_{ij}} / \alpha_{ij} P_i, \text{ 其中 } Q_j = \prod_{i=1}^n \alpha_{ij} / A_j$$

3. 价格模块。每个行业 j 的产出值等于投入到该行业的总成本值(一般均衡条件,纯利润=0),即:

$$P_j X_j = \sum_{i=1}^n P_i X_{ij} = C_j \quad j = 1, \dots, m$$

将(1)式代入均衡条件(3)式,得:

$$P_j X_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} Q_j X_j \prod_{i=1}^n P_i^{\alpha_{ij}}。因为 \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = 1, 所以此式可简化为:$$

$$P_j = Q_j \prod_{i=1}^n P_i^{\alpha_{ij}} \quad (3)$$

4. 市场结清模块。CGE 模型假定全部市场(产品、要素市场)处于均衡状

态。对于一般产品市场,各种产品的供给总量与企业间生产资料消耗的需求、最终消费需求以及地区产品转移(出口)需求相平衡。供需平衡方程如下:

$$X_i = \sum_{j=0}^m X_{ij} + F_i + E_i \quad i = 1, \dots, m \quad (4)$$

式中: $F_i$ ——资本形成, $E_i$ ——第*i*部门的净调出(包括净出口与净调出)。要素市场同一般产品市场一样,需求平衡如下式:

$$X_i = \sum_{j=1}^m X_{ij} + F_i + E_i \quad i = m+1, m+2 \quad (5)$$

由于绝对价格水平是不确定的,因而可以将一种商品的价格定为1,即 $P_1=1$ ,而 $P_i$ 将是商品*i*相对于商品1的相对价格。

(六)模型的计算。求解非线性方程系统 $Q(X)=0$ ,采用Johansen计算方法,导出线性方程组:

$$A(X)v=0 \quad (6)$$

其中:矩阵 $A(X)$ 是在 $Q(X)=0$ 之均衡点(初始解) $X=X'$ 上的赋值,所以 $A(X')v=0$ ; $V$ 表示变量 $X$ 的百分数变化。

将上式按外生变量(向量)和内生变量(向量)进行分块运算,写成分块矩阵的形式:

$$A(X')v = [A_a(X') \cdots A_b(X')] [v_a \quad \cdots \quad v_b]^T = 0$$

即 $A_a(X')v_a + A_b(X')v_b = 0$ ,在 $A_a(X')$ 可逆的条件下有: $v_a = -[A_a(X')]^{-1}A_b(X')v_b$ 。由此可以估计出内生变量对于外生变量的弹性。

### 三、模型的模拟求解

(一)模型的求解过程。为了便于计算模拟,根据投入产出表的变量格式,对原投入产出表进行合并调整。由于对非线性的CGE模型系统直接求解比较困难,因而采用Johansen方法将非线性模型线性化,并对相对简单的线性模型求解。

首先定义如下规则:设R、P、Q为变量; $\alpha$ 、 $\beta$ 为不变参数; $r$ 、 $p$ 、 $q$ 分别为R、P、Q的百分比变化或对数变化(不能用0作为初始值),即有:

$$r = \Delta \ln R \approx \Delta R / R, p = \Delta \ln P \approx \Delta P / P, r = \Delta \ln R \approx \Delta R / R$$

则乘规则: $R = \beta P Q \Rightarrow r = p + q$

幂规则: $R = \beta P^\alpha \Rightarrow r = \alpha p$

和规则: $R = P + Q \Rightarrow r = p[P/(P+Q)] + q[Q/(P+Q)]$

根据上述规则,对模型进行线性化,以获得一个包含变量百分率变化的线性系统。

从(1)式得: $x_{ik} = y - p_i \quad i = 1, \dots, m; k = 0$

从(2)式得: $x_{ij} = x_j - (p_i - \sum_i \alpha_{ij} p_i)$

$$\alpha_{ij} = X_{ij}/X_j \quad i=1, \dots, n; j=1, \dots, m$$

$$\text{从(3)式得: } p_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} P_i \quad j = 1, \dots, m$$

$$\text{从(4)式得: } x_i = \sum_{j=0}^m x_{ij} X_{ij}/X_i + f_i F_i/X_i + e_i E_i/X_i \quad i = 1, \dots, m$$

$$\text{从(5)式得: } x_i = \sum_{j=1}^m x_{ij} X_{ij}/X_i + f_i F_i/X_i + e_i E_i/X_i \quad i = m+1, m+2$$

$$\text{从(6)式得: } p_1 = 0$$

上述公式中,  $x$ 、 $p$ 、 $f$  和  $e$  分别为  $X$ 、 $P$ 、 $F$  及  $E$  的百分率变化。

(二) 模型的结果分析。将投入产出表合并整理得到模型初始值表格(表略)。其中,  $m=6$ ,  $n=8$ , 简化的线性模型系统共包括 69 个方程, 83 个变量。根据前述模型原理, 代入具体数据模拟计算, 得到系数矩阵(即 Matlab 矩阵计算软件输入数据表, 表略)。假定对煤炭征收 5% 的能源税, 运用 Matlab 软件模拟计算得到结果如表 2:

表 2 对煤征税的影响 单位: %

	1	2	3	4	5	6	0	$f_i$	$e_i$	$x_i$	$p_i$
1	0.04	0.10	0.10	0.04	0.16	-0.01	-0.44	0.00	-0.32	0.04	4.85
2	-0.10	-0.05	-0.04	-0.10	0.01	-0.15	-0.58	0.00	-0.07	-0.05	5.00
3	-0.16	-0.11	-0.10	-0.16	-0.05	-0.21	-0.64	0.00	-0.14	-0.10	5.06
4	-0.14	-0.08	-0.08	-0.14	-0.03	-0.19	-0.62	0.01	-0.20	-0.14	5.04
5	-0.07	-0.01	0.00	-0.06	0.05	-0.12	-0.54	0.36	0.07	0.05	4.96
6	-0.06	0.00	0.00	-0.06	0.05	-0.11	-0.54	0.13	0.27	-0.11	4.96
7	0.37	0.43	0.44	0.38	0.49	0.32				0.40	4.52
8	-0.29	-0.24	-0.23	-0.29	-0.18	-0.34				-0.27	5.19
$x_i$	0.04	-0.05	-0.10	-0.14	0.05	-0.11	4.42				

1. 产量变化。在对煤炭实施能源税的条件下, 供需平衡分析的结果使煤炭部门的产量下降了 0.05%(其中, 煤炭部门能源消耗量的减少, 是煤炭价格上升导致的产量减少与能源消耗利用率的提高共同作用的结果)。同时, 随着煤炭的相对价格发生变化, 产业结构有由煤炭产业向其他非能源产业转移的倾向。根据不同部门的产量来看, 由于煤炭实施征收能源税, 对消耗煤炭较多的部门的产量下降产生了较大的影响, 一般将超过 0.1%。另外, 能源税的征收也将导致替代效应, 劳动要素的需求将增加 0.4% 左右。

2. 能源消费量与大气污染物质排放量的关系。

表 3 对煤征税对大气污染物的影响 单位: %

能源	$SO_2$	$NO_x$	$CO_2$
煤	-0.0013	-0.0004	-0.0342
石油	-0.0011	-0.0007	-0.0536

通过对煤炭征收消费税, 煤炭和石油的消费量都有所减少。根据表 1、表 2 的数据计算得到表 3 结果。由表 3 结果可见, 大气污染物质中  $SO_x$ 、 $NO_x$ 、 $CO_2$  的排放量均有所降低, 其中温室气体  $CO_2$  减排效果最好。

#### 四、模拟结论和建议

(一) 模型的改进。

1. 扩展模型的复杂程度。将行业部门细分化,复杂 CGE 模型的计算求解随着计算机技术的快速发展,已经成为可能。由于受篇幅限制,本文只是从原理算法出发,用最简单的模型数据进行模拟,当然,在模型以后的进一步发展应用中,模型的方程数、变量数会呈指数式的增长,可以考虑用专门的均衡模型求解软件如 GEMPACK、GAMS、CASGEN 等求得较为精确的数字。

也可考虑增加模型的方程模块,针对投资,地区间产品调入调出,政府税收支等,建立更为复杂的模型系统。

本文建立的模型还不算是完全的环境 CGE 模型,在一般情况下,环境 CGE 模型是将污染后果内生于生产或效用函数中,进而分析和评估公共经济政策和环境政策的实施所带来的影响。由于数据方面的原因,本文只是间接地计算了污染减少的后果。另外,对于生产模块的生产函数而言,可以增加嵌套生产函数,并且根据不同行业部门的具体性质,采用不同的生产函数。

2. 征税方式的选择。根据具体数据及实际情况,选择恰当的征税方式。对煤征收固定比例的能源消费税,根据煤开采出来的含碳量征收碳税,根据煤的使用情况征收硫税。矿石燃料的不完全燃烧会带来一定的误差,对征税的后果将产生一定影响。

(二) 结论及建议。征收能源税能更有效地保护环境与资源,但也会对一些能源、交通、木材等产品的价格带来不同程度的影响。其影响程度和由此带来的不同收入阶层的分配效应也是比较复杂的,并依环境税的类型和税率而有所不同。因此,征收能源税既要考虑其规范性,达到引导社会生产过程中有效利用资源和保护环境的目的,又要考虑其所产生的社会影响和社会承受力。在税率设定上可以有一定的灵活性,并且通过税收收入的合理利用和其他措施,尽量减少环境税对低收入阶层的影响。

就本文的粗略分析,征收能源税对国民经济各产业的产品价格具有较大影响,甚至可能造成较大的“社会震荡”。在目前情况下,征收能源费可能比征收能源税更为可行。随着社会经济的发展,可由能源费为主逐步过渡到费税并重,待条件成熟后,再逐步过渡到以能源税为主。

应当注意的是,本文模拟过程中只粗略计算了三种主要大气污染物,空气中还有其他的污染物质,由于数据方面的限制,无法准确计算并获得其污染的具体数据,但它们对大气的污染同样不容忽视。

本文的研究分析意在抛砖引玉,将复杂的 CGE 系统模型作简化处理,以应用于地区环境的分析中,所得模拟结果只是一种近似估计,可以在此基础上不断扩充,以完善地区 CGE 模型的应用。

---

\* 本文获上海财经大学应用统计研究中心项目资助。

#### 参考文献:

- [1] 郑玉歆,樊明太. 中国 CGE 模型及政策分析 [M]. 北京:社会科学文献出版社,1999.

- [2]宣晓伟. 调查研究报告:用 CGE 模型分析硫税对中国经济的影响(编号:2002—197) [R]. 2002.
- [3]程海芳,张子刚. CGE 模型估计方法研究[J]. 武汉大学学报,2003,(4):141.
- [4]王德发,阮大成,王海霞. 工业部门绿色 CGE 核算研究——2002 年上海市能源-环境-经济投入产出分析[J]. 财经研究,2003,(12):66~75.
- [5]贺菊煌. 应用数量经济学[M]. 北京:经济科学出版社,1989.
- [6]郑菊生,卞祖武. 国民经济核算体系原理[M]. 上海:上海财经大学出版社,2000.

## The Simulation of CGE Model Analyzing Atmospheric Contamination of Shanghai

WANG De-fa

(Department of Statistics, Shanghai University of Finance and Economics, Shanghai 200433, China)

**Abstract:** Computable General Equilibrium, which is short for CGE model has been developed fast in the past 40 years as a powerful analyzing tool for policy, and widely used in the applied economics nowadays. In China, we have reached some pioneering results in the use of the CGE model already. Two kinds of CGE models have been developed: one is DRCGE developed by Development Research Centre of State Department and the other is PRCGEM developed by the Chinese Science Academy . Based on these achievements, this paper establishes a local CGE model analyzing impact of levying tax of coal over Shanghai economy. At first this paper analyzes the importance and necessity of imposing tax of coal, introduces the CGE model, and then presents the detailed computing process. Finally using the 2002 input-output table of Shanghai, we calculate out the final results. The results show that the tax of energy sources effectively driving the substitution between energy sources and laboring, promoting adjustment of both economic and energetic structure, leading the reduction of atmospheric contamination, while inducing little infection to practical output, which shows the feasibility and rationality of taxing coal. At last this paper put forwards some suggestions to the amelioration of the model, which might be useful for application of CGE model and policy analysis afterwards.

**Key words:** CGE model; atmospheric contamination; tax of energy sources; input-output table

(责任编辑 许 柏)