

文章编号:1671-9352(2009)02-0052-04

# 环境和能源约束下的内生经济增长模型

王庆晓,崔玉泉,张延港

(山东大学数学学院, 山东 济南 250100)

**摘要:**综合考虑环境和能源这两个制约经济高速发展的因素,建立经济增长和环境质量与能源强度之间的关系。引入人的身体健康指数去衡量环境的质量,并将其引入效用函数,揭示了基于代表性个体的消费和健康的效用函数达到最大化的经济发展需要满足的条件。

**关键词:**环境;能源;经济可持续发展;内生增长

**中图分类号:**F015      **文献标志码:**A

## An endogenous economic growth model with the restraints of environment and energy

WANG Qing-xiao, CUI Yu-quan, ZHANG Yan-gang

(School of Mathematics, Shandong University, Jinan 250100, Shandong, China)

**Abstract:** By considering the two factors affecting the economic growth, environment and energy, the relationship between economic growth, environmental quality and energy intensity was setup. The health index of people was introduced to measure environmental quality. Meanwhile, the health index was taken as a variable of the utility function. Finally, the conditions that the sustainable development of economy needed to satisfy were shown, which can maximize the utility function including two variables, consumption and health index.

**Key words:** environment; energy; sustainable development; endogenous growth

## 0 引言

为保证中国经济长期稳定地健康发展,2005年中国政府在“十一五”规划中将能源可持续发展问题提高到新的战略高度,提出“GDP能源消耗强度比“十五”期末降低20%左右”这一发展目标。过去传统粗放的经济增长方式,造成了能源的错置和浪费,我国经济的增长呈现了依赖能源资源的高投入、高消耗和高污染的特点。如此下去,我国以煤炭等不可再生资源为主的能源消费结构将难以维持能源地可持续使用;而同时国际能源价格地不断上升,使得利用国际石油天然气改善能源供应和消费结构变得更加困难,能源对经济发展的制约作用凸显。此外由于粗放式发展使得环境受到越来越严重的污染,对人们的健康构成严重的威胁。

为协调环境、能源和经济发展之间的关系,很多学者做了大量研究。Rashe & Tatom首次将耗竭资源引入Cobb-Douglas生产函数,寻求耗竭资源利用和长期经济增长之间的关系<sup>[1]</sup>。Moon & Soon采用内生增长模型,提出了经济的增长与能源强度呈现倒U关系,模型对能源依赖进口的韩国有很好的应用性<sup>[2]</sup>。王海建<sup>[3-4]</sup>以多种内生增长模型为基础,研究了环境、能源和经济增长之间的关系。彭水军,包群将环境质量作为

收稿日期:2008-07-19

基金项目:中科院知识创新工程重要方向资助项目(KZCXZ-YW-305-4);山东省自然科学基金资助(Y2007G08)

作者简介:王庆晓(1983-),女,硕士研究生,研究方向为运筹学与经济分析. Email:wqxsnow2008@yahoo.cn

内生因素引入生产函数和效用函数,分析了在环境污染的约束下经济可持续发展的条件<sup>[5]</sup>。本文引入了人的身体健康指数去衡量环境质量,并将其引入效用函数建立了综合考虑经济增长和能源消耗、环境保护的模型,揭示了环境保护意识、能源强度和经济增长之间的关系。

## 1 模型

### 1.1 考虑能源投入的生产函数

本文假设生产中除使用资本和劳动力外还使用能源。能源作为生产中不可缺少的要素,与其他要素一般具有有限的可替代性,本文采用 C-D 生产函数形式,因而有代表性个体单位劳动力的生产函数为:

$$Y = A_0 K^\alpha E^\beta, \quad (1)$$

其中,  $A_0$  是生产技术系数,  $E$  为能源投入量,  $\alpha$ 、 $\beta$  分别为资本和能源的产出弹性。

$$E = \tau Y, \quad (2)$$

$\tau$  为能源强度,即单位产出的能源消耗量。

则由能源强度表示的生产函数为:

$$Y = AK^{\frac{\alpha}{1-\beta}} \tau^{\frac{\beta}{1-\beta}}, \quad (3)$$

其中,  $A = A_0^{1/(1-\beta)}$  为常数。

### 1.2 耗竭性能源约束

能源包括两类,一类是可再生能源,另一类是不可再生能源。本文中假定,可再生资源每年以  $\mu$  的速度增长,用  $S$  表示能源的数量,则每个时刻的能源存量的变化方程为:

$$\dot{S} = \mu S - E = \mu S - \tau Y. \quad (4)$$

### 1.3 资本积累方程

假设产出除了用于消费以外,都用于资本的积累,不考虑资产折旧和人口增长,用  $K$  表示资本,  $C$  表示消费,资本积累方程表示为:

$$\dot{K} = Y - C. \quad (5)$$

### 1.4 环境质量约束

假设环境质量的变化受到两种影响<sup>[5]</sup>。一是污染排放。由于我国能源消费以煤炭为主,根据徐国泉等(2006)假定污染物排放量与能源消费量成正比例关系,这里我们考虑主要污染气体排放量和消费的化石类燃料量之间成正比例关系。二是环境的自净化能力。由于环境存在的再生能力,对排放的污染物有一定的自我净化作用。环境污染随时间变化的运动方程为:

$$\dot{P} = \alpha_0 d\tau Y - \delta P, \quad (6)$$

其中  $d$  ( $d > 0$ ) 是化石类能源(煤、石油、天然气)占总能源消耗的比例,  $\alpha_0$  ( $\alpha_0 > 0$ ) 是污染物排放量与化石类能源消耗量关系的线性系数,  $\delta$  ( $\delta > 0$ ) 表示环境自净化的速度。

### 1.5 社会福利

在传统的最优内生增长理论的研究中,社会福利只是消费的函数,社会福利最大化也就是消费或产出的最大化。本文借鉴 Glomm(2007)<sup>[6]</sup> 将代表性个体的健康指数引入了效用函数,综合考虑消费和人的健康指数,使其效用最大化。有大量证据表明环境的污染程度对人类的健康构成了严重威胁,特别是对小孩和老人的健康<sup>[6]</sup>。

本文中定义健康指数  $h$  是环境污染程度  $p$  的函数,简单地取成

$$h = \frac{1}{p}. \quad (7)$$

上式表明环境污染程度越低,健康指数越大,环境对人类的健康越有利。

本文采用可加的等弹性效用函数形式,社会福利最大化可表示为:

$$U(c) = \frac{c^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + \frac{h^{1-\theta} - 1}{1-\theta}. \quad (8)$$

$\sigma \in (0, 1)$  为相对风险厌恶系数(跨期替代弹性的倒数),  $\theta \in (0, 1)$  表示对健康质量的偏好。

基于内生增长的环境、能源与经济增长模型的目标就是:在资本、能源和环境约束下,通过选取适当的路径实现消费者效用最大化。因此,有如下最优化问题:

$$\begin{aligned} & \max \int_0^{\infty} U(c) e^{-\rho t} dt \\ & \text{s.t.} \begin{cases} Y = AK^{1-\alpha} \tau^{1-\beta} \\ \dot{S} = \mu S - E = \mu S - \tau Y, \\ \dot{K} = Y - C, \\ \dot{P} = \alpha_0 d \tau Y - \delta P, \\ h = \frac{1}{P}, \end{cases} \end{aligned}$$

其中  $\rho$  为贴现因子。

## 2 能源和环境双重约束下的经济增长模型求解

本文模型是求解连续时间内,泛函积分最大化问题。其中控制变量为:  $C$ 、 $\tau$ ; 状态变量:  $S$ 、 $K$ 、 $P$ 、 $h$ 。根据最优控制理论,构造现值 Hamilton 函数:

$$H = U(c) + \lambda_1(\mu S - \tau Y) + \lambda_2(Y - C) + \lambda_3(\alpha_0 d \tau Y - \delta P), \quad (9)$$

其中  $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_3$  分别是能源、资本、污染程度的影子价格。

整理得控制变量  $C$ 、 $\tau$  的一阶条件为

$$c^{-\sigma} = \lambda_2, \quad (10)$$

$$\lambda_1 \left( -Y - \frac{\beta}{1-\beta} Y \right) + \lambda_2 \frac{\beta}{1-\beta} \frac{Y}{\tau} + \lambda_3 \alpha_0 d \left( Y + \frac{\beta}{1-\beta} Y \right) = 0; \quad (11)$$

状态变量  $S$ 、 $K$ 、 $P$  的欧拉方程为

$$\dot{\lambda}_1 = (\rho - \mu) \lambda_1, \quad (12)$$

$$\dot{\lambda}_2 = \rho \lambda_2 - \left( \lambda_1 \tau \frac{\partial Y}{\partial K} + \lambda_2 \frac{\partial Y}{\partial K} + \lambda_3 \alpha_0 d \tau \frac{\partial Y}{\partial K} \right), \quad (13)$$

$$\dot{\lambda}_3 = \rho \lambda_3 - \left( -\frac{P^{-\theta}}{P^{2(1-\theta)}} \right) + \delta \lambda_3; \quad (14)$$

横截性条件:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_1 S e^{-\rho t} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_2 K e^{-\rho t} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda_3 P e^{-\rho t} = 0。$$

由式(11)、(13)得到:

$$\frac{\dot{\lambda}_2}{\lambda_2} = \rho - \alpha \frac{Y}{K}; \quad (15)$$

由式(10) ~ (14)得到:

$$\frac{\dot{\lambda}_2}{\lambda_2} = \rho - \left( \frac{\mu \lambda_1 + \delta \lambda_3 \alpha_0 d + P^{\theta-2}}{\lambda_1 - \lambda_3 \alpha_0 d} \right) + \frac{\tau}{\tau}, \quad (16)$$

$$\frac{\dot{c}}{c} = -\frac{1}{\sigma} \frac{\dot{\lambda}_2}{\lambda_2} = \frac{1}{\sigma} \left( \frac{\mu \lambda_1 + \delta \lambda_3 \alpha_0 d + P^{\theta-2}}{\lambda_1 - \lambda_3 \alpha_0 d} - \rho - \frac{\tau}{\tau} \right)。 \quad (17)$$

在平衡增长路径上,根据消费、投资与产出的关系式(5),以及式(11)、(13)可知,变量  $Y$ 、 $C$ 、 $K$  具有相等的增长率,用  $g_x = \frac{\dot{x}}{x}$  代表变量  $x$  的增长率,则  $g_Y = g_K = g_c =$  常数。从式(17)可以看到:长期来看,能源强度的变化率与经济增长率成反关系,能源强度降低  $\left( \frac{\tau}{\tau} < 0 \right)$  促进经济的增长;反之,减缓经济增长;时间贴现率  $\rho$  越小,代表性消费者的可持续发展意识越强,长期的经济增长率越高。可再生资源的再生速度( $\mu$ ) 越快、环境自净化能力( $\delta$ ) 越强,越有利于经济的发展; $\theta$  越大,即健康意识越强烈,对环境的要求越高,污染对经济发展影响的程度就越大。

### 3 节能减排下经济的可持续发展分析与政策建议

可持续发展需要满足的三个条件是:

① 正的经济增长率;② 能源存量的增长率不低于能源消耗的增长率;③ 污染程度不能随经济规模的扩大而无限上升,由于经济存在对污染程度最大的要求,因此污染程度应该受到控制。

#### 3.1 正的经济增长率

“十一五”期间我国的节能目标是比“十五”末期实现降耗20%,平均年降耗率达到4.4%,只要保证 $\rho$ 取较小的值(一般取 $\rho = 2\%$ )<sup>[8]</sup>,由于 $\frac{\mu\lambda_1 + \delta\lambda_3\alpha_0 d + p^{\theta-2}}{\lambda_1 - \lambda_3\alpha_0 d} > 0$ ,从式(17)可以看到 $g_Y = g_c > 0$ ,我国的经济在未来一段时间内将保持健康地增长。

#### 3.2 对能源存量及消耗量的要求

由式(4)可知,能源存量的增长率要大于能源消耗量的增长率,这样才能保证能源实现可持续的利用。

多年来,我国对不可再生的煤炭消耗量占一次能源生产总量的比例一直居高不下,一般维持在70%~75%左右;可再生能源开发利用较为落后,能源的自然增长率偏低;面对日益增长的能源需求和国际石油价格高涨的外部环境,我们不能再以牺牲资源和环境为代价,通过增加煤炭产量保证能源供给,而应该积极发展核电、风电、水电等清洁、优质能源,改变我们的能源结构。同时优化经济增长结构,调整三次产业结构,严格控制“高污染高耗能”的行业的发展,大力发展服务业,从主要依靠工业带动经济增长,转向三次产业协同带动经济增长。

#### 3.3 对环境的要求

从式(17)可以看到, $\theta$ 越大,即人们的健康意识越强烈,对环境质量的要求越高,对经济发展的负面影响越大。经济的发展不能只注重速度,经济粗放型发展带来的受污染的环境,对人们的身体健康构成了严重的威胁。因此我们要坚决贯彻节能减排政策,国家可以通过制定严厉的环境标准、加强全民的环保意识和可持续发展意识,这样才能实现经济的可持续发展。

参考文献:

- [1] RASHE R, TATOM J. Energy resource and potential GNP[J]. Federal Reserve Bank of St Louis Review, 1977, 59(6):68-76.
- [2] MOON Young-Seok, SOON Yang-Hoon. Productive energy consumption and economic growth: an endogenous growth model and its empirical application[J]. Resource and Energy Economics, 1996(18):189-200.
- [3] 王海建.资源环境约束之下的一类内生经济增长模型[J].预测,1999(4):36-38.
- [4] 王海建.资源约束、环境污染与内生经济增长[J].复旦学报:社会科学版,2000(1):76-80.
- [5] 彭水军,包群.环境污染、内生增长与经济可持续发展[J].数量经济技术经济研究,2006(9):114-126.
- [6] GLOMN Gerhard, KAWAGUCHI Daiji, SEPULVEDA Facundo. Green taxes and double dividends in a dynamic economy[J]. Journal of Policy Modeling, 2008(30):19-32.
- [7] 徐国泉,刘则渊,姜照华.中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995-2004[J].中国人口、资源与环境,2006(16):158-161.
- [8] 顾六宝,肖红叶.中国消费跨期替代弹性的两种统计估算方法[J].统计研究,2004(9):8-11.

(编辑:李晓红)