

环境与经济增长的动态均衡分析*

夏艳清 王维国

〔摘要〕:本文以 Solow 增长模型为基础,在生产函数中引入环境资本这一生产要素,建立了环境 Solow 模型。它首先分析了资本均衡点和环境资源均衡点的存在性,而后应用非线性微分方程组的相位图分析方法对密集形式模型中的资本存量变化率和环境资本存量变化率进行动态均衡分析,得到在模型设定的条件下,经济达到均衡增长路径的条件。本文同时分析了模型中的参数对过渡期和长期经济增长的影响,并利用脉冲响应函数对结论进行了实证检验。

关键词:经济增长 环境 Solow 模型 动态均衡分析

JEL 分类号:H23 O13 Q01

一、导 言

在资源枯竭和环境污染、气候异常等环境问题日益严重的今天,环境与经济增长的关系成为人类共同关心的问题。在这方面,理论模型为实证研究提供基础框架,实证研究为理论模型的构建和完善提供佐证。在环境与经济增长的理论建模方面,除了 Levinson (2000) 和 Andreoni and Levinson(2001)的鲁宾逊-克鲁索模型是从微观经济学的角度展开研究,其他经济学家都是从宏观方法入手,由于环境与经济增长理论的研究是伴随着增长理论的发展而发展的,因此这方面的宏观经济模型或建立在新古典增长模型的基础上,或以内生增长模型为基础。这些模型大多认为,在一定的条件下,可持续增长路径,即同时拥有更好的环境质量和更快的经济增长是可以实现的。

环境与经济增长的宏观理论模型建模方法主要有两类,一类是动态最优化模型,这类模型大多建立在 Ramsey(1928)- Cass(1965)- Koopmans(1965)模型的基础上,其中无限生命消费者的效用最大化问题使用最优控制理论来求解,Stokey(1998)建立的包含环境因素的 AK 模型,Brock and Taylor(2003)的幼儿园规则模型等均是按照这一方法构建的。Gradus and Smulders(1993)通过考虑三个不同的增长模型(新古典增长模型、无意识的内生增长模型和有意识的内生增长模型)中消费者关于消费和污染的效用最大化(消费的边际效用为正,污染的边际效用为负),研究了环境关切对最优技术选择和长期经济增长的影响。也有的学者考虑有限生命消费者的问题,John and Pecchenino(1994)建立的跨期世代交叠模型明确考虑了代际公平问题,在 Diamond(1965)模型的框架下分析了经济增长和环境保护的潜在冲突。另一类是经济增长和环境质量或环境污染的静态或动态均衡分析,如 Brock and Taylor(2004a,2004b)通过将 Solow-Swan(1956)模型的外生技术进步假定扩展到污染削减领域,得到经济持续增长的同时环境质量改善的结果,将其称为绿色 Solow 模型(Green Solow model)。但是绿色 Solow 模型只考虑了环境污染问题,没有讨论资源的使用,也没有将环境资源看作生产要素,而且这一模型假定了削减强度(经济活动中用于削减的部分所占的比例)是外生变量,忽略了削减努力会随着环境质量的改变和经济增长而变化。

* 夏艳清,东北财经大学数学与数量经济学院,中国科学院预测科学研究中心东北分中心,讲师,博士;王维国,东北财经大学数学与数量经济学院,中国科学院预测科学研究中心东北分中心,教授,博士生导师。本文得到国家自然科学基金青年项目(批准号:70901016)、科技部创新方法专项资助(批准号:IM010400-1-39)、辽宁省社会科学基金规划项目(批准号:L10BJL016)的支持。

环境与经济增长的理论模型通常将环境污染与资源利用分割开,把资源看作生产的原材料,环境污染是生产的副产品。但是环境和资源本身是一个整体,资源的利用会降低环境质量,环境污染也会影响到可再生和不可再生资源的存量,二者对经济活动的影响是相互关联的。另外,污染削减活动会受到当时环境质量和经济发展水平的影响,在环境质量较高的时候,由于环境质量改善的边际收益较低,因此人们没有经济动力提高环境质量,在经济发展水平较低的时候,经济增长的成果首先用来提高生活水平。考虑到以上两点,本文将从宏观经济学的角度出发,以 Solow 增长模型为基础,将环境资源看作一种资本投入引入生产函数,将经济活动中提高环境质量的努力看作环境资本存量和经济活动的函数,使用动态均衡分析方法讨论这一新的增长模型——环境 Solow 模型。

二、环境 Solow 模型

(一)环境 Solow 模型的设定

Solow 增长模型中没有将自然资源和环境视为投入品,认为环境资源的可得性对经济增长不是一个主要的约束,在 Solow 和 Swan 生活的年代,环境资源对经济增长的约束并没有引起大多数人的关注,许多人认为自然资源是取之不尽、用之不竭的,但是在资源耗竭、环境污染及其带来的气候变化、物种灭绝等环境问题越来越严重的今天,环境资源的约束、生态阈值的存在已经逐渐成为经济增长无法忽视的问题,因此将环境资源引入生产函数符合现阶段和未来经济增长的特点。由于自然资源是生产所必需的原材料(土地、矿产资源、森林资源、水资源等)的提供者,同时环境质量的优劣对劳动者的生理、心理健康和学习能力等有不同程度的影响,进而对生产函数产生作用,因此可以将环境资源看作资本投入,与有效劳动和资本(后文的资本均指物质资本)一同进入生产函数。本文的环境资本既包括环境质量,也包括自然资源,是总的环境状况的抽象表示。

在 Solow 模型的基础上,将环境资本引入生产函数,称之为环境 Solow 模型。这一模型包含五个变量:产量(Y),资本(K),劳动(L),劳动的有效性或知识(B),环境资本(E)。技术进步是哈罗德中性的,生产函数的形式是:

$$Y(t)=F(K(t),B(t)L(t),E(t)) \quad (1)$$

其中 t 表示时间。假定生产函数对其三个自变量资本、有效劳动和环境资本是规模报酬不变的,即函数为线性齐次函数。假定生产函数中每种投入的边际产量为正,边际收益递减,即 $F_K > 0$ (F_K 表示函数 F 对自变量 K 的偏导数, $F_K = \frac{\partial F}{\partial K}$, 下文同此), $F_L > 0$, $F_E > 0$, $F_{KK} < 0$ (F_{KK} 表示函数 F 对自变量 K 的二阶偏导, $F_{KK} = \frac{\partial^2 F}{\partial K^2}$, 下文同此), $F_{LL} < 0$, $F_{EE} < 0$ 。

假定劳动和知识以不变速率增长:

$$\dot{L}(t) = nL(t), \quad (2)$$

$$\dot{B}(t) = gB(t), \quad (3)$$

其中, $n+g > 0$ 是外生参数,变量上面加一点表示其对时间的导数(即 $\dot{X}(t) = \frac{dX(t)}{dt}$)。方程(2)和(3)意味着 L 和 B 以指数增长。

储蓄率 s 和资本的折旧率 δ 外生,部分投资性产出用于节约资源、削减污染和修复生态系统等改善环境质量的活动中,这里称之为环境努力。这样,净投资等于总投资减去折旧资本投资和环境努力投资 A , 即

$$\dot{K}(t) = sY(t) - \delta K(t) - A(t) \quad (4)$$

其中环境努力的产出与总产出和环境资本存量有关,总产出越多,用于环境努力的越多,而环境资本存量越高,用于环境努力的投资越少,即

$$A(t)=A(Y(t),E(t)) \quad (5)$$

且 $A_Y>0, A_E<0, A_{YY}<0, A_{EE}<0$ 。假定环境努力函数对其两个自变量产出和环境资本也是规模报酬不变的。将方程(5)带入方程(4)中,得到净投资的方程为

$$\dot{K}(t)=sY(t)-\delta K(t)-A(Y(t),E(t)) \quad (6)$$

经过对量纲的调整,一单位环境努力的投资产生一单位的环境资本存量,则环境资本的变化量为

$$\dot{E}(t)=\eta E(t)-P(t)+A(Y(t),E(t)) \quad (7)$$

其中常数 η 是环境资源的更新率(包括可再生资源的更新、环境自身对污染物的净化等),变量 P 是经济活动的环境损失,假定 P 是产出的副产品,经过对污染排放、资源使用等环境损失的计量单位进行调整使得环境损失与产出成比例,即

$$P(t)=\theta Y(t), 0<\theta<1 \quad (8)$$

其中的 θ 是单位产出带来的环境损失,即环境损失强度。将方程(8)带入方程(7)中,得到环境资本增量等于环境自然更新的部分减去生产活动带来的环境损失,环境增量方程为

$$\dot{E}(t)=\eta E(t)-\theta Y(t)+A(Y(t),E(t)), 0<\theta<1, 0<\eta<1 \quad (9)$$

假定 $n+g>\eta$, 这是保证经济增长达到稳定均衡的条件。

(二)环境 Solow 模型的密集形式

生产函数的密集形式为

$$y=f(k,e) \quad (10)$$

假定没有资本或环境资本的投入就没有产出, $f(0,e)=0, f(k,0)=0, f(0,0)=0$ ($e=0$ 为保持生存的基本环境资源,这时没有环境资源可用于生产)。根据对生产函数边际收益为正和收益递减的假定,可以得到 $f(k,e)$ 满足 $f_k>0, f_e>0, f_{kk}<0, f_{ee}<0$ 。

同样,由环境努力函数规模报酬不变可以得到其密集形式,即

$$a=a(y,e)=a(f(k,e),e)=a(k,e) \quad (11)$$

假定没有资本投入就没有环境努力的产出,即 $a(0,e)=0$ 。由于环境努力函数关于产出的边际收益为正,可知其关于资本的边际产出为正,根据环境努力函数关于环境资本的边际产出为负和关于资本和环境的边际收益递减的假定,有 $a(k,e)$ 满足 $a_k>0, a_e<0, a_{kk}<0, a_{ee}<0$ 。此外,生产函数和环境努力函数满足稻田(Inada)条件: $\lim_{k \rightarrow 0} f_k = \infty, \lim_{k \rightarrow \infty} f_k = 0; \lim_{e \rightarrow 0} f_e = \infty, \lim_{e \rightarrow \infty} f_e = 0; \lim_{k \rightarrow 0} a_k = \infty, \lim_{k \rightarrow \infty} a_k = 0; \lim_{e \rightarrow 0} a_e = \infty, \lim_{e \rightarrow \infty} a_e = 0, \lim_{k \rightarrow 0} (f_k - a_k) = \infty, \lim_{k \rightarrow \infty} (f_k - a_k) = 0, \lim_{e \rightarrow 0} (f_e - a_e) = 0, \lim_{e \rightarrow \infty} (f_e - a_e) = 0$ 。

(三)环境 Solow 模型的动态方程

假定知识和劳动的变动是外生的,要描述这一经济的行为特征就必须分析资本和环境资本的行为。资本的动态方程为

$$\dot{k}(t)=[sf(k(t),e(t))-a(k(t),e(t))]-(\delta+n+g)k(t) \quad (12)$$

环境资本的动态方程为

$$\dot{e}(t)=[a(k(t),e(t))-\theta f(k(t),e(t))]-(\eta+n+g)e(t) \quad (13)$$

方程(12)和(13)是环境 Solow 模型的关键方程。方程(12)表明,每单位有效劳动的平均资本存量的变化率,即净投资是两项的差。第一项 $sf(k,e)-a(k,e)$ 是每单位有效劳动的平均实际投资:

每单位有效劳动的平均产量是 $f(k, e)$, 其中用于投资的比例是 s , 因而总投资是 $sf(k, e)$, 从中减去用于环境努力的投资 $a(k, e)$, 则是实际投资。第二项 $(\delta+n+g)k$ 是持平投资。方程 (13) 表明, 每单位有效劳动的平均环境资本的变化率是两项的差。第一项 $a(k, e) - \theta f(k, e)$ 是经济活动对环境的影响, 包括产出带来的资源使用和污染排放等环境损失减少的环境资本存量, 以及环境努力的产出增加的环境资本存量。第二项 $(n+g-\eta)e$ 是持平环境增量, 即使得单位有效劳动的平均环境资本保持在现有水平上所必须的环境资本增量。为防止 e 下降, 必须对环境资本进行补偿, 原因有两个: 有效劳动的数量以 $n+g$ 的速率增长, 因此环境存量也必须以 $n+g$ 增长以保持 e 稳定; 环境资本有自我更新的能力, 因此其中扣除了环境资本更新的部分 ηe 。

(四) 环境 Solow 模型中 k 和 e 的动态分析

为了考虑每单位有效劳动的平均资本存量和平均环境资本存量各自随时间的变化, 这一部分将分别在假定 k 和 e 固定的情况下讨论另外一个变量的变化和均衡状况。

1. k 的动态分析

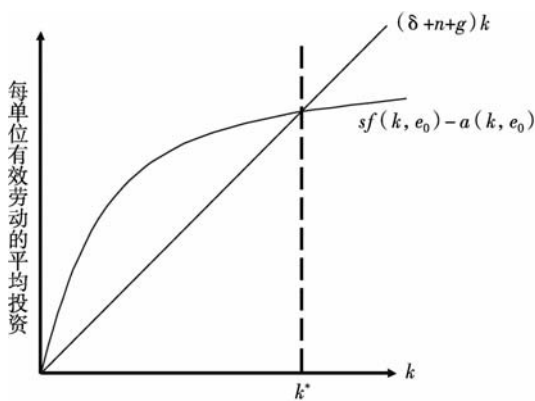


图 1 实际投资与持平投资

假设 $e=e_0$ 不变, 方程 (12) 将变为关于 k 的单一变量方程, 图 1 把 \dot{k} 中的两项表示为 k 的函数。实际投资 $sf(k, e_0) - a(k, e_0)$ 等于总投资中减去每单位有效劳动的环境努力投资。另一条线是持平投资 $(\delta+n+g)k$ 。稻田条件 $\lim_{k \rightarrow 0} (f_k - a_k) = \infty$ 意味着当 $k=0$ 时, $sf_k - a_k$ 很大, 因此曲线 $sf(k, e_0) - a(k, e_0)$ 比直线 $(\delta+n+g)k$ 陡峭。

由于 $f(0, e) = 0, a(0, e) = 0$, 因此当 $k=0$ 时, 实际投资与持平投资相等, 由稻田条件 $\lim_{k \rightarrow \infty} (f_k - a_k) = 0$, 随着 $sf(k, e_0) - a(k, e_0)$ 逐渐变得比直线 $(\delta+n+g)k$ 平坦, 这两条线最终将相交。其中的 k^* 表示实际投资与持平投资相等时 k 的值, 这是经济处于稳定状态时的资本存量。

2. e 的动态分析

假设 $k=k_0$ 不变, 方程 (13) 将变为关于 e 的单一变量方程, 图 2 把 \dot{e} 中的两项表示为 e 的函数。经济活动对环境的影响 $a(k_0, e) - \theta f(k_0, e)$ 等于资本存量不变的情况下, 环境努力产出减去环境损失。另一条线是持平环境增量 $(n+g-\eta)e$, 因为 $n+g-\eta > 0$, 所以这条直线向上倾斜。由于环境资源禀赋有一个最大值 e_{\max} , 无论人类如何努力, 只要有人类的存在, 环境资本存量都不会超过这个最大值, 因此经济活动对环境的影响限制在 $e(0)=0$ 和 $e=e_{\max}$

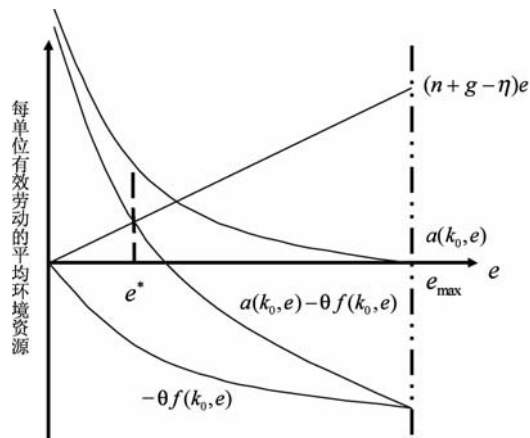


图 2 经济活动对环境的影响和持平环境增量

之间, 环境资本不能降到零值之下, 低于这个下限, 人类将无法在地球上生存。

由于 $f(k, 0) = 0$, 因此 $-\theta f(k_0, 0) = 0$, 环境存量为零时, 没有产出, 当然没有产出带来的环境损失。由于环境损失是产出的副产品, 因此 $-\theta f(k_0, e)$ 始终会降低每单位有效劳动的平均环境资本。而环境努力产出 $a(k_0, e)$ 对环境资本有正向的影响, 会在环境资本存量下降时, 逐渐抵消产出带来的环

境损失。在没有经济活动的初始环境禀赋下,也没有环境努力投资;而当环境存量下降时,环境努力投资逐渐增加;当环境存量接近于零时,为了人类自身的生存,用于环境努力的投资会趋向于无穷大。这二者的和就是人类的经济活动对环境的影响,由于它是环境的减函数,因而和直线 $(n+g-\eta)e$ 必然存在交点, e^* 就表示二者相交时 e 的值,这是经济处于稳定状态时的环境资本存量。

(五)环境 Solow 模型的平衡增长路径

环境 Solow 模型的关键方程(12)和(13)构成了一个非线性动态方程组,为了讨论经济增长的瞬时均衡的位置和动态稳定性,使用相位图对这一方程组进行定性图解分析。为了叙述方便,设 $U=\dot{k}, V=\dot{e}$,分别用 U 和 V 表示这两个一阶微分方程。构建相位图的重要任务是确定变量随时间运动的方向,对于双变量微分方程,首先在二维相空间中确定两条分界线 $\dot{k}=0, \dot{e}=0$,即

$$\begin{cases} U(k, e) = sf(k, e) - (\delta + n + g)k - a(k, e) = 0 \\ V(k, e) = a(k, e) - \theta f(k, e) - (n + g - \eta)e = 0 \end{cases} \quad (14)$$

则 $\dot{k}=0$ 的斜率是

$$\left. \frac{de}{dk} \right|_{\dot{k}=0} = -\frac{\partial U / \partial k}{\partial U / \partial e} = -\frac{U_k}{U_e} \quad (15)$$

$\dot{e}=0$ 的斜率是

$$\left. \frac{de}{dk} \right|_{\dot{e}=0} = -\frac{\partial V / \partial k}{\partial V / \partial e} = -\frac{V_k}{V_e} \quad (16)$$

根据偏导数 U_k, U_e, V_k, V_e 的符号,可以得到曲线斜率的定性线索。根据方程(14)可以得到

$$U_k = sf_k - a_k - (\delta + n + g) \quad (17)$$

$$U_e = sf_e - a_e \quad (18)$$

$$V_k = a_k - \theta f_k \quad (19)$$

$$V_e = a_e - \theta f_e - (n + g - \eta) \quad (20)$$

根据 $s > 0, f_e > 0$ 和 $a_e < 0$ 的假定,公式(18)一定大于0,即 $U_e = sf_e - a_e > 0$ 。根据 $0 < \theta < 1, a_e < 0, f_k > 0, n + g - \eta > 0$ 的假定,公式(20)一定小于0,即 $V_e = a_e - \theta f_e - (n + g - \eta) < 0$ 。如果 $V_e > 0$,即环境更新率 η 远远大于有效劳动的增长率 $n + g$ 时,根据相位图分析得到的都是非稳定均衡状态,因此不考虑这种情形。

根据图1,随着资本存量 k 的增加, \dot{k} 的变化经历了先增加后减少的过程,在经济处于稳定状态时的资本存量 k^* 附近, \dot{k} 始终随着 k 的增加而减少,因此 $\frac{\partial \dot{k}}{\partial k} = U_k = sf_k - a_k - (\delta + n + g) < 0$,即总投资的

增速小于环境努力投资与持平投资的增速的和。这使得我们在考虑长期经济增长时,可以忽略 $U_k > 0$ 的情况。因此对于长期经济增长的稳定状态,可以只考虑 $U_k < 0$ 的情形。这样,按照四个偏导数的符号和两条曲线斜率的大小,可以将均衡情况分为4种,这里仅以其中一种为例介绍分析过程,其余情况的分析过程与此类似。

已知 $U_e > 0, V_e < 0$,假设 $U_k < 0, V_k < 0, \left| -\frac{U_k}{U_e} \right| > \left| -\frac{V_k}{V_e} \right|$,则会出现图3所示的情形。

其中两条分界线将相空间分成标记为I到IV的四个

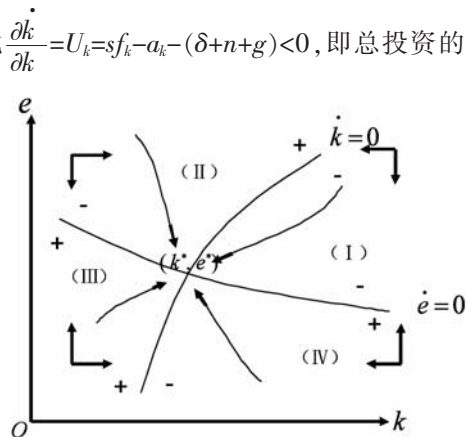


图3 稳定结点均衡的情形

区域,点 (k^*, e^*) (此处 $\dot{k} = \dot{e} = 0$)表示方程组的瞬时均衡。 $U_k < 0$ 表明曲线 $\dot{k} = 0$ 的左边(右边)有 $\dot{k} > 0$ ($\dot{k} < 0$), $V_e < 0$ 表明曲线 $\dot{e} = 0$ 的下面(上面)有 $\dot{e} > 0$ ($\dot{e} < 0$)。在区域 I 中瞬时运动的方向指向西南。区域 III 的情况正好相反,瞬时运动的方向指向东北。区域 II 中变量瞬时运动的方向是东南,而区域 IV 恰好与区域 II 的趋势相反,瞬时运动的方向是西北。对于每一个区域,这里绘出一条相路径(流线)。

使用同样的动态均衡定性分析方法,可以得到其他 3 种情形的均衡状况(见表 1)。在鞍点均衡下,对于相空间的四个区域,只有经济的初始状态处于 \dot{k} 和 \dot{e} 的符号不同的区域,并且处在特点路径上时,才能达到稳定状态。稳定焦点均衡和稳定结点均衡中,不论经济的初始状态在哪个位置,都会收敛于稳定点。在这 4 种情形中,前两种对应着 $V_k > 0$,即 \dot{e} 随着资本的增加而增加。由于 $V_k = a_k - \theta f_k$,因此这种情形意味着 $a_k > \theta f_k$,即资本增加带来的环境损失增速小于环境努力增速,这时如果产出的环境损失强度大于储蓄率,则经济会向稳定结点收敛;如果产出的环境损失强度远远小于储蓄率,只有当资本存量的变动方向与环境资本存量的变动方向相反时,经济才会趋于稳定点。后两种情形正好与之相反, $V_k < 0$,即 \dot{e} 随着资本的增加而减少,资本增加带来的环境损失增速大于环境努力增速,这时由于环境资本存量是生产要素之一,它对生产函数的制约作用引导经济向均衡状态运行。

表 1 经济增长动态稳定性的 4 种情形

U_k 的符号	U_e 的符号	V_k 的符号	V_e 的符号	$\dot{k} = 0$ 斜率的符号	$\dot{e} = 0$ 斜率的符号	曲线斜率的比较	均衡的类型
负	正	正	负	正	正	$-\frac{U_k}{U_e} > -\frac{V_k}{V_e}$	稳定结点
						$-\frac{U_k}{U_e} < -\frac{V_k}{V_e}$	非稳定鞍点
负	正	负	负	正	负	$-\frac{U_k}{U_e} > -\frac{V_k}{V_e}$	稳定结点
						$-\frac{U_k}{U_e} < -\frac{V_k}{V_e}$	稳定焦点

由于 (k, e) 向 (k^*, e^*) 收敛,在 (k^*, e^*) 处有 $\dot{k} = 0$ 和 $\dot{e} = 0$ 。因此当 $(k, e) = (k^*, e^*)$,即经济处于均衡增长路径上时,各变量的变动情况依赖于劳动和知识的增长率。劳动和知识分别以速率 n 和 g 增长,因此资本存量 K 和环境资本存量 E ,以及产出均以速率 $n+g$ 增长。

(六) 参数变化对均衡点的影响

在环境 Solow 模型的参数中,经济政策能够产生影响的有储蓄率、产出的环境损失强度。环境的更新率对经济系统来说是外生的,但是不同国家由于初始自然状况的不同,环境的自我更新能力也有差别,因此可以考虑这种更新率的不同对均衡点的影响。

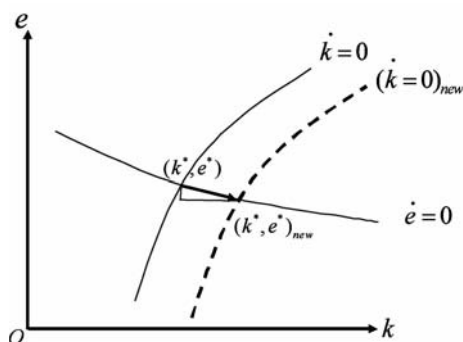


图 4 储蓄率提高对均衡点位置的影响

根据模型的设定,储蓄率只对资本的变化率有直接影响,当经济处于均衡增长路径上时, s 的增加显然会增加实际投资 $sf(k, e_0) - a(k, e_0)$,使得经济在一个更高的资本存量上达到均衡。对于环境资本来说,当 \dot{e} 随着资本的增加而增加时,储蓄率的增加会使得均衡点处的环境资本存量更高;但是当 \dot{e} 随着资本的增加而减少时,储蓄率的增加降低了均衡点处的环境资本存量。图 4 以前面分析的稳定结点均衡的情形为例说明了储蓄率的变化对均

衡点位置的影响。

由于产出的环境损失强度 θ 直接进入环境资本增量函数 \dot{e} ，因此对环境资本增量有负向的作用。这时不论经济处于哪种情形下的均衡状态，环境损失强度加大都会引起均衡点处的环境资本存量和资本存量降低，因此环境损失强度 θ 的降低是提高均衡点的人均生活质量（物质和服务消费以及环境资本消费）的有效途径。图 5 以稳定结点均衡的情形为例说明了环境损失强度的变化对均衡点位置的影响。

环境资源的更新率 η 的增加直接提高环境资本的增量 \dot{e} ，这一变化会使得均衡点处的环境资本存量和资本存量同时上升，因此自然资源条件好的国家更容易达到人均生活质量更高的均衡增长路径。图 6 以稳定结点均衡的情形为例说明了环境资本的更新率的不同对均衡点位置的影响。

三、环境 Solow 模型的结论

综合上面的分析，环境 Solow 模型意味着，如果自然增长率并不高的环境资本是生产要素之一，而环境资本努力投资的增速很高，那么不管出发点如何，从长期来看，经济都将向均衡增长路径收敛，在均衡增长路径上，模型中每个变量的增长率都是常数。但是当经济处于产出带来的环境损失极其小的初期发展阶段，由于生产对环境的影响几乎不会降低环境资本的存量，因此环境资本的约束可以忽略不计，这时经济系统并没有动力改善环境状况，因而无法达到环境存量以 $n+g$ 的速率增长的均衡增长路径，甚至在没有外生参数变化的情况下会永远偏离稳定点。即在我国经济发展的现阶段，如果环境质量是一种生产要素，可以看作资本构成之一，那么不需要外来力量的干预，经济和环境质量会自发沿着均衡增长路径发展。但是由于污染排放是生产活动的副产品，其负的技术外部效应无法通过市场的自动调节使之内部化，资源配置失当，因此对经济增长的制约作用相对滞后，而且由于人们对自然规律认识的局限，无法判断和预料生态阈值的存在和表现，因此需要外部力量干预生产活动，通过经济激励和行政限制将外部效应内部化，从而达到生态环境质量提高和经济增长的均衡增长路径。而对于外部效应较弱的资源利用，尤其是能源消费，可以相对较早的达到稳态。

利用我国 1980~2008 年时间序列数据分析经济增长和环境质量之间的关系，得到的实证结果验证了这一结论。运用广义脉冲响应函数分析能源消费、工业三废和人均 GDP 的相互冲击响应，得到对于人均 GDP 的正的冲击，能源消费和三废排放增长率呈现不同的变化趋势，如图 7 所示，横轴表示人均 GDP 冲击作用的滞后期间数（单位：年），纵轴表示能源消费和工业三废波动的变化，实线表示广义脉冲响应函数，虚线表示正负二倍标准差偏离带，其中冲击标准差由渐进解析法得到，考虑样本数据容量将冲击响应期设定为 10 期。

从图 7 中可以看到，环境质量指标对人均收入增长率的冲击多数呈现波动反应，尤其是能源消费的波动幅度较大，只有工业废水排放量增长率反应值始终为正。从总体上看，人均 GDP 的正向冲击会导致能源消费和污染排放量增加，进而加剧环境质量的恶化，其中能源消费对人均

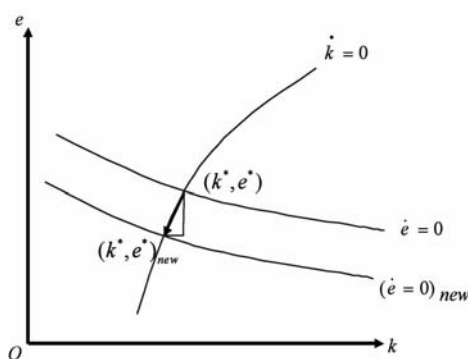


图 5 环境损失强度增大对均衡点位置的影响

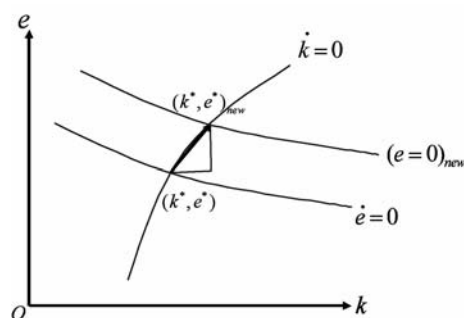


图 6 环境更新率更高对均衡点位置的影响

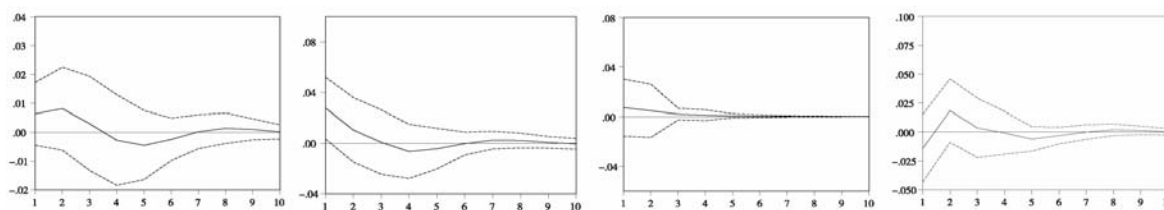


图7 人均GDP增长率冲击引起能源消费增长率、工业废气排放增长率、工业废水排放增长率、工业固体废物产生量增长率的响应函数

GDP的变化更为敏感。

同时我们更关心减少能源消费和工业污染排放对经济增长的影响,图8显示了给能源消费和工业污染物排放扰动项一个负冲击(-0.01倍标准差),得到的实际人均GDP的广义脉冲响应图。其中横轴表示环境指标冲击的滞后期间数(单位:年),纵轴表示人均GDP增长率的变化。

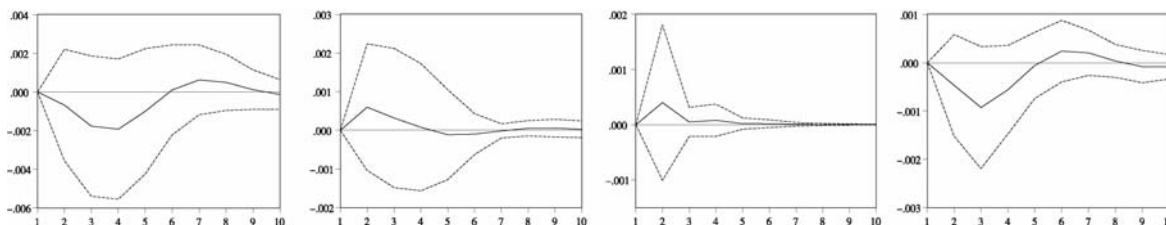


图8 能源消费量负向冲击、工业废气排放量负向冲击、工业废水排放量负向冲击、工业固体废物产生量负向冲击引起人均GDP增长率的响应函数

由图8可见,能源消费增长率的降低会对人均GDP产生负面影响,说明能源消费和经济增长速度密切相关,限制能源消费增长率会对人均GDP的增长产生较强的不利影响,验证了资源约束对经济增长的反馈作用。对工业三废的控制不但没有减缓经济增长的速度,而且会加速人均GDP的增长,这一效果通常在两年之内就会显现出来,但是这一环境利润会很快减弱,因此采取环境政策对经济有不利影响的担心是不必要的。但是能源消费不同,由于能源消费是开展生产活动和经济活动的基础,也是经济增长的指向标,因此对降低能源消费的强制性政策的实施需要慎重,要切实考虑其对经济的负面影响。

从环境Solow模型的参数看,这些参数可以分成三类,第一类参数决定经济是否能够到达均衡增长路径,经济的初始条件、有效劳动的增长率与环境更新率的差值属于这一类参数;第二类参数能够改变均衡状态的资本和环境资本水平,对过渡时期的经济状况有影响,但是对长期经济增长率没有影响,在前面讨论的三个参数,储蓄率、产出的环境损失强度、环境资源的更新率都会影响均衡点的位置,但是不影响长期经济增长率;第三类参数是对均衡水平和长期增长率都有影响的参数,即决定长期经济增长率的劳动和知识的增长率。

从决策者的角度来看,有效劳动的增长率(技术进步率)是经济的长期增长率的决定性因素,实施有效的经济政策以促进知识的积累和技术的进步是保证经济持续增长的动力。储蓄率对过渡期和均衡位置的资本存量有正向的影响,但是对环境资本存量的影响是不确定的,依赖于经济体其他参数的数值。产出的环境损失强度对过渡期和均衡点的资本存量和环境资本存量都有负向的影响,因此减小单位产出产生的环境损失对于提升产出水平和环境质量水平都不失为一个很好的选择。因此实施节能减排政策,提倡低碳经济并不是应对气候变化的权宜之计,而是拥有更高的生活水平和更好的生态环境的必要途径。

环境资源的更新率对于一个经济体来说是外生不变的,但是从整个地球的生态系统来看,当资源降低到一个生态阈值的时候,不可再生资源 and 可再生资源都会无法恢复,如濒危物种的灭绝;当污染存量累积到一定程度时,对环境可能产生不可逆转的影响,如温室气体带来的全球气候变化,这种污染物的累积效应是人类现阶段无法精确预测和改变的。这时环境的更新率会有一个突然的下降,进而影响到人类的生活和经济活动。因此对环境的污染物自净率和资源再生率的关注不只是生态学家考虑的问题,也是经济学家和政治家应该关注的焦点之一。

参考文献

- 戴维·罗默(1999):《高级宏观经济学》(第1版),商务印书馆。
- 蒋中一(1998):《数理经济学的基本方法》(第1版),商务印书馆。
- Andreoni, J. and A. Levinson, (2001): “The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve”, *Journal of Public Economics*, 80, 269–286.
- Brock, W. and M. Taylor (2003): “The Kindergarten Rule of Sustainable Growth”, NBER Working Paper, No.9597.
- Brock, W. and M. Taylor (2004a): “The Green Solow Model”, NBER Working Paper, No. 10557
- Brock, W. and M. Taylor (2004b): “Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics”, NBER Working Paper, No.10854.
- Cass, D. (1965): “Optimum Growth in An Aggregative Model of Capital Accumulation”, *Review of Economic Studies*, 32, 233–240.
- Diamond, P. (1965): “National Debt in A Neoclassical Growth Model”, *American Economic Review*, 55, 1126–1150.
- Gradus, R. and S. Smulders (1993): “The Trade-off between Environmental Care and Long-term Growth Pollution in Three Prototype Growth Models”, *Journal of Economics*, 58, 25–51.
- John, A. and R. Pecchenino (1994): “An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment”, *Economic Journal*, 104, 1393–1410.
- Koopmans, T. (1965): “On the Concept of Optimal Economic Growth”, In: *The Economic Approach to Development Planning*. Amsterdam: North-Holland.
- Levinson, A. (2000): “The Ups and Downs of the Environmental Kuznets Curve”, Prepared for the UCF/CentER Conference on Environment, November 30–December 2.
- Ramsey, F. (1928): “A Mathematical Theory of Saving”, *Economic Journal*, 38, 543–559
- Solow, R. (1956): “A Contribution to the Theory of Economic Growth”, *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65–94.
- Stokey, N. (1998): “Are There Limits to Growth?”, *International Economic Review*, 39, 1–3.
- Swan, T. (1956): “Economic Growth and Capital Accumulation”, *Economic Record*, 32, 334–361.

(责任编辑:罗 滢)