

发展中区域环境经济优化模型和 最优控制策略

宫 响, 沈秀专, 钟 鸣, 张淑华

(青岛科技大学 数理学院, 山东 青岛 266061)

摘 要: 采用包含环境因素的多部门内生经济增长模型, 讨论发展中区域的环境经济问题, 探讨发展中区域环境经济可持续发展的可能性及相关的最优控制策略, 为分析发展中区域环境经济提供了可行的模型和方法。

关键词: 发展中区域环境经济; 可持续发展; 最优控制

中图分类号: O29

MR(2000) Subject Classification: 49J15

文献标识码: A

文章编号: 1672-0687(2008)02-0020-05

自 1826 年德国经济学家冯·杜能在《孤立国》中提出了农业区位理论以来, 区域经济理论发展至今已有 170 多年的历史。但是, 区域经济理论作为一个独立的研究领域却形成于 20 世纪 50、60 年代。当时, 进入这一研究领域的经济学家大部分把它看成是其所在学科的一个分支, 到了 20 世纪 60 年代末至 70 年代初, 当区域发展计划成为国际开发行动的一个重要组成部分, 区域差异问题日趋严重而缩小区域差距又成为区域经济发展的一个重要目标时, 区域经济理论研究才开始作为一个独立的经济学科而存在。而以克鲁格曼 (Paul Krugman) 为代表的新经济地理理论的产生, 以及由此所引起区域增长及区域发展模式的转变, 使得人们对区域经济理论的研究进入了一个新的阶段。

环境经济的理论研究文献根据模型特点大致可以分为 4 类: (1) 包含环境因素的新古典增长模型。如: Dasgupta 和 Heal (1974, 1979)、Tahvonen 和 Kuuluvainen (1994)、Selden 和 Song (1995) 等; (2) 环境作为生产要素的新古典增长模型。如: Lopez (1994)、Chichilinsky (1994) 等; (3) 环境恶化与经济增长的内生增长模型。如: Ligthard 和 van der Ploeg (1994)、Bovenberg 和 Smulders (1995, 1996)、Byrne (1997)、Stokey (1998)、Aghion 和 Howitt (1998)、Grimaud 和 Rouge (2003) 等; (4) 其他关于经济增长与环境关系的宏观理论模型。如 John 和 Pecchenino (1994) 的世代交替模型、Copland 和 Taylor (1994, 1995, 2003) 的一般均衡模型等。关于经济增长与环境关系的理论研究详细的文献综述可见 Panayotou (2000)^[1] 的研究。

笔者以发展中区域为例, 把环境、发展中区域的技术引进、教育培训等因素考虑在内, 构建了发展中区域环境经济最优化模型, 当最优解存在并稳定时, 通过对稳定状态下一些重要经济变量增长率的求解, 分析了发展中区域的环境经济问题, 初步得出了区域可持续发展的最优控制策略。

1 发展中区域环境经济优化模型及模型求解

1.1 发展中区域环境经济优化模型

假设瞬时效用函数为

$$U(C, E) = \frac{C^{1-\varepsilon} - 1}{1-\varepsilon} + \frac{-[(-E)^{1+\omega} - 1]}{1+\omega} \quad \varepsilon > 0, \omega > 0 \quad (1)$$

其中 C 表示消费, E 表示总的环境质量指标, 也可以把 E 当成某种资本品, 随着环境污染的增加会耗尽, 但

[收稿日期] 2007-05-09

[作者简介] 宫 响 (1977-), 女, 山东青岛人, 硕士研究生, 研究方向: 应用数学。

其有再生能力, 再生率为 $\theta > 0$ 。则无限期效用为

$$\int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C, E) dt \quad (2)$$

其中 $\rho > 0$ 为效用的时间贴现率。

实际产出函数^[2]为

$$Y = H_Y^\alpha A^{1-\beta} K^\beta z, \quad \alpha, \beta > 0, \quad \alpha + \beta = 1 \quad (3)$$

其中 H_Y 为投入到最终产品部门的人力资本量; A 为经济中中间产品的种类数, 表示创新水平或技术知识的存量。为了避免整数约束, 设 A 是连续而非离散的; K 为经济中物质资本总量; $z \in [0, 1]$ 为生产技术的不清洁程度。

资本积累方程为

$$\dot{K} = Y - C - \delta K \quad (4)$$

环境质量运动方程及约束为

$$\dot{E} = -Yz - \theta E \quad (5)$$

$$E^{\min} \leq E \leq 0 \quad (6)$$

人力资本积累方程为

$$\dot{H} = \eta(H - H_Y - H_A) = \eta H_H \quad (7)$$

另外假设发展中区域的技术积累来源于技术引进, 而不是创新研发。在现实经济中, 这种假设是合理的, 因为对于发展中区域而言, 技术引进的成本比研发要低。假设技术增长方程^[3]为

$$\dot{A} = \mu(A_w - A)H_A \quad (8)$$

这里, H_A 则表示投入到技术引进部门的人力资本量, A 同样表示已有技术知识存量, \dot{A} 表示技术增量, μ 表示发展中区域的开放程度或对外来技术的接受度, A_w 表示发达区域的平均技术知识水平, 它是独立于该区域的变量, 假设由发达区域可持续发展的目标决定。得到发展中区域环境经济最优控制问题为

$$\max_{C, H_Y, H_A, z} \int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C, E) dt$$

s.t

$$Y = H_Y^\alpha A^{1-\beta} K^\beta z$$

$$\begin{cases} \dot{K} = Y - C - \delta K \\ \dot{A} = \mu(A_w - A)H_A \\ \dot{H} = \eta(H - H_Y - H_A) \\ \dot{E} = -Yz - \theta E \\ E^{\min} \leq E \leq 0, \quad z \in [0, 1] \end{cases} \quad (9)$$

$$K_0, A_0, H_0, E_0$$

1.2 模型求解^[4,5]

为区别人力资本 H , 取现值哈密尔顿函数^[2]符号 \bar{H} 如下

$$\bar{H}=U(C, E)+\lambda_1(H_Y^\alpha A^{1-\beta} K^\beta Z-C-\delta K)+\lambda_2 \mu(A_w-A) H_A+\lambda_3 \eta(H-H_Y-H_A)-\lambda_4(H_Y^\alpha A^{1-\beta} K^{\beta-1+\gamma}+\theta E) \quad (10)$$

由最优控制理论, 最优消费路径上, 4 个控制变量 C 、 H_Y 、 H_A 、 Z 的一阶条件为

$$\frac{\partial \bar{H}}{\partial C}=\frac{\partial U}{\partial C}+\lambda_1=0$$

$$\frac{\partial \bar{H}}{\partial H_Y}=\lambda_1 \alpha H_Y^{\alpha-1} A^{1-\beta} K^\beta Z-\lambda_3 \eta-\lambda_4 \alpha H_Y^{\alpha-1} A^{1-\beta} K^{\beta-1+\gamma}=0$$

$$\frac{\partial \bar{H}}{\partial H_A}=\lambda_2 \mu(A_w-A)-\lambda_3 \eta=0$$

$$\frac{\partial \bar{H}}{\partial Z}=\lambda_1 H_Y^\alpha A^{1-\beta} K^\beta-\lambda_4(1+\gamma) H_Y^\alpha A^{1-\beta} K^{\beta-1}=0$$

化简为

$$\lambda_1=-\frac{\partial U}{\partial C} \quad (11)$$

$$\lambda_1 \alpha \frac{Y}{H_Y}=\lambda_3 \eta+\lambda_4 \alpha \frac{Y}{H_Y} Z' \quad (12)$$

$$\lambda_2 \mu(A_w-A)=\lambda_3 \eta \quad (13)$$

$$\lambda_1=\lambda_4(1+\gamma) Z' \quad (14)$$

4 个欧拉方程为

$$\dot{\lambda}_1=\rho \lambda_1-\frac{\partial \bar{H}}{\partial K}=\rho \lambda_1-\lambda_1(\beta H_Y^\alpha A^{1-\beta} K^{\beta-1} Z-\delta)+\lambda_4 \beta H_Y^\alpha A^{1-\beta} K^{\beta-1} Z^{1+\gamma}$$

$$\dot{\lambda}_2=\rho \lambda_2-\frac{\partial \bar{H}}{\partial A}=\rho \lambda_2-\lambda_1(1-\beta) H_Y^\alpha A^{-\beta} K^\beta Z-\lambda_2 \mu H_A+\lambda_4(1-\beta) H_Y^\alpha A^{-\beta} K^{\beta-1+\gamma}$$

$$\dot{\lambda}_3=\rho \lambda_3-\frac{\partial \bar{H}}{\partial H}=\rho \lambda_3-\lambda_3 \eta$$

$$\dot{\lambda}_4=\rho \lambda_4-\frac{\partial \bar{H}}{\partial E}=\rho \lambda_4-\frac{\partial U}{\partial E}+\lambda_4 \theta$$

化简为

$$\dot{\lambda}_1=\rho \lambda_1-\lambda_1\left(\beta \frac{Y}{K}-\delta\right)+\lambda_4 \beta \frac{Y}{K} Z' \quad (15)$$

$$\dot{\lambda}_2=\rho \lambda_2-\lambda_1(1-\beta) \frac{Y}{A}-\lambda_2 \mu H_A+\lambda_4(1-\beta) \frac{Y}{A} Z' \quad (16)$$

$$\dot{\lambda}_3=\rho \lambda_3-\lambda_3 \eta \quad (17)$$

$$\dot{\lambda}_4=\rho \lambda_4-\frac{\partial U}{\partial E}+\lambda_4 \theta \quad (18)$$

由(14)式及欧拉方程(15), 可得

$$\dot{\lambda}_1=\rho \lambda_1-\lambda_1\left(\beta \frac{Y}{K}-\delta\right)+\lambda_1 \frac{\beta}{1+\gamma} \frac{Y}{K}, \quad \frac{\dot{\lambda}_1}{\lambda_1}=-\frac{\beta \gamma}{1+\gamma} \frac{Y}{K}+\rho+\delta \quad (19)$$

对(11)式两端去对数并对时间 t 求导得

$$\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = \frac{U_{\alpha}\dot{C} + U_{\omega}\dot{P}}{U_c} = \frac{U_{\alpha}\dot{C}}{U_c} = -\varepsilon \frac{\dot{C}}{C} \quad (20)$$

由(19)、(20)式, 可得最优路径上消费增长率为

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\beta\gamma}{1+\gamma} \frac{Y}{K} - \rho - \delta \right) \quad (21)$$

把(3)式代入(21)式得

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\beta\gamma}{1+\gamma} H_{\gamma}^{\alpha} \left(\frac{A}{K} \right)^{1-\beta} z - \rho - \delta \right) \quad (22)$$

在该模型下可以看出, 只要技术 A 的增长率及人力资本的增长率相比资本 K 的增长率足够大, 足以抵消 z 的递减, 发展中区域的可持续发展是可以实现的。但对技术引进的假设并没有体现在消费的最优增长路径中, 似乎在区域经济增长中, 技术增长是来源于自主创新还是从区域外引进, 对经济来说, 效果一样, 笔者将在下面进一步分析此问题。

2 结论分析及最优控制策略

笔者将利用各变量在稳定状态时增长率来分析发展中区域环境经济的关系。由(1)~(18)式, 令 $\chi = A_w - A$, 则有

$$g = (\dot{A}_w - \dot{A}) / (A_w - A)$$

假设技术增长来自于技术引进, 所以分析时要考虑下列 2 种情况。

(1) 趋于零。由区域经济趋同理论可知, 发展中区域随着经济的发展及技术不断引进, 拥有与发达区域同样的技术水平。发展中区域与发达区域技术差异逐渐减小, 也即发展中区域技术增长率 χ 趋于零, 由(8)式可知, 这时发展中区域如果要维持技术增长率, 就得依靠大量人力资本投入到技术中。此时发展中区域有两种选择: 加大教育培训的投入, 提高人力资本的产出, 以此来维持技术增长; 把技术增长从技术引进转移到自主研发, 从而放弃依靠从发达区域引进技术的经济增长模式。

从上面分析可知, 发展人力资本, 对于上述两种选择中的任意一个, 都有积极意义, 也即发展教育及培训。对发展中区域而言, 无论是单纯地发展经济还是实现环境经济可持续发展都会起到积极促进作用, 人才不能解决发展中区域的一切问题, 但是发达的教育培训能给环境经济的发展带来可能。

(2) χ 为常数。虽然很多经济学家都预言无论发达区域还是发展中区域, 随着经济的发展, 最后都会趋同。但现实中除了少数区域因为特殊的经济发展模式实现经济的腾飞, 如亚洲四小龙等, 区域经济趋同的事例却不多。发达区域走向更发达, 而很多发展中区域却陷入经济无法发展的泥潭, 很少有发展中区域赶上或甚至于超越发达区域, 而且成功的经济腾飞案例中的经济发展模式并不是本模型研究的重点。这里假设由于发达区域的高研发率, 始终相对于发达区域拥有一定程度的生产技术优势, 也即 χ 为时间 t 常数, 这不是由于发展中区域在技术引进中投入不够产生的, 而是由于发达区域的技术 A_w 保持着很高增长率。

在稳定状态时可算得 A, H, z, E, C 的增长率分别为

$$g_A^* = g + g_{\chi}^* \quad (23)$$

$$g_H^* = g_v^* = g_{H_A}^* = g_{H_H}^* = (1 - \varepsilon) g_C^* + \eta - \rho \quad (24)$$

$$g_z^* = -\frac{1}{\gamma} \frac{\varepsilon + \omega}{1 + \omega} g_C^* \quad (25)$$

$$g_E^* = \frac{1 - \varepsilon}{1 + \omega} g_C^* \quad (26)$$

$$g_C^* = [\alpha\gamma(g + 2\eta - 2\rho)(1 + \omega)] / [(\varepsilon + \omega) + \alpha\gamma(2\varepsilon - 1)(1 + \omega)] \quad (27)$$

由(21)~(27)式可知,在此情形下,发展中区域无论技术的增长还是经济增长主要依靠技术引进,换言之,只有发达区域技术增长率足够大,而且发展中区域对技术引进足够重视及人力资本充足时,环境经济的可持续发展才会有可能实现,当然也有可能随着经济的发展,环境进一步恶化。而在现实中,对于发展中区域,往往由于教育的不发达、人力资本(也即人才)缺乏等因素而导致经济发展停滞不前,更不会在发展经济的同时环境能得以改善。

综上所述,发展中区域可持续发展问题在某些程度上也就是现实中经常讨论的人才缺乏问题。在我国中西部,很多地方不缺乏自然资源,也不缺开发资源的技术,但是由于教育的落后,人才引进的高昂成本,导致人才的高度缺乏,阻碍经济发展。可见,解决发展中区域环境经济问题的关键不是盲目引进一些高端技术,而是发展教育。教育发展了,人力资本充裕了,才能在技术引进及本土研发的基础上,实现经济发展的同时又能改善环境,真正做到可持续发展。

参考文献:

- [1] Theodore Panayotou. Economic Growth and the Environment[R/OL]. [2007- 07- 18]. <http://www.cid.harvard.edu/cidwp/056.htm>.
- [2] 菲利普·阿吉翁,彼特·霍依特. 内生增长理论[M]. 北京:北京大学出版社,2004.
- [3] 刘金山,胡适耕,李楚霖. 一个关于发展中国家经济增长的模型预测[J]. 预测,2002,21(3):69-71,75.
- [4] 吴沧浦. 最优控制的理论与方法[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [5] 邢继祥,张春蕊,徐洪泽. 最优控制应用基础[M]. 北京:科学出版社,2003.

The Optimal Model of Environmental Economy and the Optimal Control Strategy of Developing Regions

GONG Xiang, SHEN Xiu-zhuan, ZHONG Ming, ZHANG Shu-hua

(School of Mathematics and Physics, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: By using the multi-departments to live the economic growth model which contains the environmental factor, the authors have discussed the environmental economic problem of developing regions, the possibility of the sustainable development and the correlation optimal control strategy, and have provided a kind of feasible model and method to the environmental economic problem of developing regions.

Key words: environmental economy of developing regions; sustainable development; optimal control

责任编辑:蔡熹芸