

环境库兹涅茨曲线的理论与实证研究

陈向阳

内容提要:环境库兹涅茨曲线(EKC)认为在人均收入与环境污染之间存在一种倒 U 型的关系。论文在对 EKC 的研究进行回顾的基础上,在内生增长模型的框架下对 EKC 提供了一个理论解释, EKC 动态地存在于经济的非稳态中。在经济中环保投资由不充足到充足是 EKC 存在的基础。通过运用 1997-2011 年的省际面板数据,对中国近十多年来 EKC 的变化进行实证分析,发现选取的 3 个污染指标中有 2 个指标(二氧化硫排放量、工业固体废弃物排放量)呈倒 U 型曲线形态,表明中国的经济增长与环境污染之间存在着环境库兹涅茨曲线特征。但是,工业废水排放量-人均 GDP 之间呈 N 型。环境质量的改善不是经济增长所内生的结果,环境污染问题不能在经济增长过程中自动得到解决。

关键词:环境库兹涅茨曲线;环境质量;减污活动投资;经济增长方式

一、引言

中国经济的快速增长伴随着严重的环境污染,由此带来环境资源越来越稀缺,环境约束的趋紧致使人们开始关注经济增长与环境污染之间的关系问题,环境质量与经济增长的关系也成为学术界的热点问题。从 20 世纪 90 年代以来,出现许多这方面的理论和实证的文献,在实证研究方面最重要的发现是环境库兹涅茨曲线(EKC),在经济增长与环境污染之间存在一种倒 U 型的关系,环境质量在经济增长的初期会恶化,随经济增长在后期会改善,环境存在先恶化后改善的情形。这一关系也在许多发达国家和工业化国家的发展中得到证实。这意味着经济增长会最终改善经济发展初期对环境的不利影响,增长可以持续下去,摆脱了 Meadows (1984)在《增长的极限》中认为的经济增长受到环境的制约而不可长期持续的看法。基于此,为了提高环境质量,经济增长是必要的。

大多数文献认为环境库兹涅茨曲线是一种经验现象,是一种经验数据的描述,在不同的国家和制度下拟合的 EKC 形状不尽相同,并不能说明经济增长与环境污染之间的必然关系。

为了加强理论与实证分析上的联系,本文在总结前人研究的基础上,首先把环境资本引入生产函数和消费函数,在内生增长的框架下以一种新的视角诠释 EKC 的形成机制,从理论模型上分析环境库兹涅茨曲线产生的条件,并导出一些有意义的结论;然后利用中国 1997-2011 年的省际面板数据,对中国近十多年来 EKC 的变化进行实证分析,找出中国环境-经济之间复杂的联系,验证中国是否存在 EKC 曲线。本文采用面板数据可反映出 EKC 关系在不同区域和发展阶段的差异;数据计算中采用不变价格增强了结论的正确合理性,得到了一些有意义的结果。

收稿日期:2014-06-10

基金资助:本文得到广东省普通高校人文社会科学研究项目(2013WYXM0098)的资助,谨致谢忱。

作者简介:陈向阳,广州大学经济与统计学院,中山大学岭南学院博士研究生,副教授。

二、环境库兹涅茨曲线研究的文献综述

环境库兹涅茨曲线(EKC)借鉴 Kuznets (1955; 1963) 的关于收入分配均等性与收入水平之间的著名“倒 U 型曲线”假说。早期 EKC 的研究主要是以下五篇论文, EKC 是 Grossman & Krueger (1991) 在探讨北美自由贸易区协议的环境效应时首次提出, Grossman & Krueger 利用 GEMS^① 的 SO₂、烟尘等空气质量数据, 通过建立包含时间趋势、地理位置、贸易密度等解释变量的简化回归方程, 发现人均收入与 SO₂、烟尘之间基本上存在一种倒 U 型关系, 环境质量一开始随人均收入增长而退化, 当人均收入达到 4000 – 5000 美元的转折点时, 环境质量随人均收入的增长而改善。Shafik & Bandyopadhyay (1992) 利用三种不同的方程形式(线性对数、对数平方和对数立方)对十项不同的环境指标进行 EKC 的估计, 发现水和城市污染随收入增加一致在减少, 然而两种空气污染(SPM、SO₂)与 EKC 假说相符合, 它们的转折点在 3000 – 4000 美元之间, 人均市政废弃物与二氧化碳排放量随收入的上升而上升的趋势很明显。Selden & Song (1994) 对 SO₂、NO_x、SPM 和 CO 进行 EKC 估计, 论证了倒 U 型曲线的成立, 但得出了更高的转折点。Panayotou (1993) 的研究也认为 EKC 存在, 并估算出 SO₂、NO_x 和 SPM 排放量的转折点大约分别在人均收入 3000、5500 和 4500 美元左右, 在一个较高的发展水平上, 产业结构趋向信息密集型和服务业, 加上人们环境意识的提高、环境管制的加强、技术的进步和环保支出的增加, 导致环境污染水平下降, 环境质量得到提高。Cropper & Griffiths (1994) 利用非洲、拉丁美洲和亚洲 64 个国家的面板数据估计毁林也存在 EKC 关系, 其中非洲的转折点在 4760 美元、拉丁美洲的转折点在 5420 美元, 但他得出结论经济增长不能自动解决森林毁损问题。环境库兹涅茨曲线出现后, 许多研究从经济规模、经济结构、技术进步等角度对 EKC 的形成的机制进行了分析。Lopez (1994) 提出了一个关于环境 – 经济增长关系高水平的理论概述, 认为当生产者支付污染的社会边际成本时, 那么污染排放与收入之间的关系取决于技术与使用偏好的特征, 如果偏好是位似的偏好, 产出的增长会导致污染的增加, 如果偏好是非位似的偏好, 污染对增长的反应取决于生产过程中污染与通常的投入之间替代弹性和相对风险厌恶水平, 替代弹性与相对风险厌恶水平越大生产增长引起污染下降的可能越大。Selden & Song (1995) 认为污染产生于生产过程, 减少污染的投资是减少生产中污染排放的关键, 减污活动只有在资本积累到一定程度才会产生, 并在最佳污染排放量与资本量间得到倒 U 型曲线关系。John & Pecchenino (1994) 基于重叠代模型, 认为污染来源于消费而不是生产, 认为环境随时间而退化除非对环境保护进行投资, 在动态均衡当环保投资由零转变为正时, 倒 U 型曲线成立。Copeland & Taylor (2004) 从经济增长来源、收入效应、环境政策和减排技术对 EKC 进行了检验, 高收入国家环境污染的减少来源于技术进步, 给以一定前提条件后, 可得到收入与环境之间的倒 U 型关系。Andreoni & Levinson (2001) 认为减污的规模经济足以产生 EKC。

关于环境库兹涅茨曲线的实证研究引起其后学者的广泛兴趣, 出现了大量的相关文献。Rock (1996) 运用包括人均收入的平方、制造业在 GDP 中的比重和四个不同贸易指标的回归方程, 发现倒 U 型曲线存在, 污染随制造业在 GDP 中的比重递增, 并且出口的增长和出口在 GDP 中比重对污染有正的影响, 贸易自由化和经济开放加速了污染产业向发展中国家转移。Westbrook (1995) 利用 56 个发展中国家 1971 – 1991 年的面板数据估计 CO₂ 排放量与收入之间关系, 模型中包括人均收入的平方和农业及服务业的比重, 发现倒 U 型曲线存在, 所有系数不为零, 说明除工业结构外其他因素也决定着 EKC。Komen et al. (1996) 利用 OECD 国家的公共环境保护 R&D 支出来估计 EKC, 研究发现公共环境保护 R&D 支出与收入之间的弹性小于 1 但为正, 说明环境保护 R&D 支出也是决定 EKC 的一个因素。De Bruyn et al. (1996) 研究发现结构变化相对于收入水平是 EKC 的重要决定因素, 发达国家

^① GEMS, Global Environmental Monitoring System, WHO 和 UNEP 于 1976 年建立。

20 世纪 70 年代以来污染水平的下降来源于经济增长速度的下降。Torras & Boyce (1998) 在估计 EKC 时模型中包括收入分配的基尼系数、文化和国民的政治自由及公民权利指标, 研究发现特别对于发展中国家三个制度因素变量的影响是显著的, 并且 EKC 呈现出 N 型。Kaufmann et al. (1996) 利用大多数发达国家和中等收入国家(包括中国)1974 - 1989 年的面板数据估计 EKC 中经济活动的空间密度的影响, 环境中 SO_2 浓度与人均收入和单位面积收入都呈现出倒 U 型的关系。Suri & Chapman (1998) 论证了贸易在形成 EKC 中的重要作用, 认为国际贸易效应是烫平 EKC 的因素之一, 能源消费 EKC 的顶点在 50000 美元以上, 发展中国家最主要的能源消费是出口制成品生产的增长, 发达国家制成品进口的增加减少了能源消费。

2000 年以来, 许多国内学者对中国的 EKC 进行了研究, 彭水军和包群(2006) 利用中国 1985 - 2003 年六类环境污染指标的时间序列数据检验中国的 EKC, 发现人均 GDP 是中国污染排放量增加的原因, 而污染排放不是引起人均 GDP 变化的原因; 同时, 实证还表明经济增长并不一定引起环境质量的恶化, 国家的环境管制是环境质量改善的重要因素。但在其后的研究中, 他们得到不同的结论, 包群和彭水军(2006) 为解决经济增长与环境污染之间的双向作用问题, 通过构建包括环境污染方程和产出方程的联立方程, 利用 30 个省市 1996 - 2000 年的面板数据, 研究发现除工业废水中化学需氧量外, 其他五个污染指标都呈现出倒 U 型关系, 人均收入的顶点均高于 3 万元, 各地区仍然处于 EKC 的左侧, 并且估计出的产出方程支持环境污染对产出有反馈作用, 在控制变量中环保 R&D 投入和贸易开放度可抑制污染排放量, 产业结构也是重要影响因素。康建英和王朝梁(2006) 验证了中国环境库兹涅茨曲线的存在, 工业三废中只有废气的排放量持续上升, 离转折点还早, 污染排放量与国际贸易的弹性系数为负, 说明对外贸易有利于减缓中国的环境污染情况。杨芳(2009) 运用中国 1990 - 2006 年的时间序列数据, 采用 Granger 因果关系检验和 VAR 模型检验了中国经济增长与环境污染的关系, 经济增长与环境质量相互影响, 并且相互影响的程度在递增, 研究发现经济增长引起的环境污染加剧程度超过了经济增长速度, 经济增长并不能实现环境污染的降低。吴玉鸣和田斌(2012) 构建扩展的 EKC 模型, 利用引入环境污染空间效应的空间计量模型, 研究发现 30 个省域的 EKC 为倒 U 型, 其中 29 个省域位于左侧, 说明人均收入的增加导致环境污染的加重, 同时发现, 人口规模、城市化水平、中级人力资本与污染排放量之间成正比例关系; 高级人力资本的积累、产业结构的转型升级、对外开放度的提高, 可抑制环境污染。杨林和高宏霞(2012) 通过构造一个综合污染指数研究发现其与人均 GDP 呈倒 U 型关系, 并且倒 U 型的 EKC 是外部因素作用的结果, 而不是经济增长内生机制所导致的, 经济增长不能自动解决环境污染问题, 需要国家的环境管制政策、产业结构的升级、技术水平的提高、公民环保意识的教育等等。

三、环境库兹涅茨曲线的理论模型

以下我们在内生增长的框架下讨论 EKC 的形成机制, 把环境资本引进生产函数和消费函数, 生产函数中人造资本(物质与人力资本)和环境资本的替代性保证了增长的持续性, 但是环境具有阈值点, 环境污染超过阈值点时, 环境的再生能力变弱, 环境质量随时间趋向于零, 经济会崩溃, 所以, 减少污染活动对抑制环境质量的衰退起关键性作用。

(一) 理论模型

考虑一个单一商品(封闭)经济中环境作为一个存量, 它影响代表性经济主体的生产水平和效用水平, 假设人口增长和劳动力供给为常数且标准化为 1, 为简化我们考虑的经济系统由一个经济代理人组成, 他同时作为生产者和消费者, 其效用函数为惯用的边际效用不变弹性形式, 效用函数为:

$$U(C, E) = \frac{(C^{1-\sigma} E^{\sigma})^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma}; U_C > 0, U_E > 0; U_{CC} < 0, U_{EE} < 0; U_{CE} > 0 \quad (1)$$

其中 σ ($0 < \sigma < 1$) 表示对环境(E)的偏好, $(1 - \sigma)$ 表示对消费(C)的偏好, γ 表示边际效用的

弹性,也称为瞬时替代弹性。假设条件 $U_{CE} > 0$ 意味着 $\gamma < 1$; 条件 $U_{EE} < 0, U_{CC} < 0$ 暗含 $\sigma(1 - \gamma) < 1$ 和 $\gamma > 0$ 。经济中生产函数为:

$$Q = f(K_q, E); f_k, f_E > 0; f_{KK}, f_{EE} < 0 \quad (2)$$

上式中 K 表示资本存量(实物资本和人力资本), E 表示环境存量,也表示环境质量对生产的影响。对于单个生产者来说 E 是不能选择的给定的外生变量, K 和 E 是生产的必要投入要素。污染(P)是产出或生产的固定比例函数:

$$P = \theta Q, \theta > 0 \quad (3)$$

通常,环境质量是自身内生的,它随环境污染的排放而逐渐衰退,其函数形式如下:

$$\dot{E} = -P \text{ 或者 } \dot{E} = -\theta f(K_q, E) \quad (4)$$

上式意味着环境随时间不断衰退,当时间趋向于无穷大时,环境质量趋向于零,此时 $f(K_q, 0) = 0$, 环境污染非常高时会损害生产活动,经济就会崩溃,这意味着减少污染的活动对提高环境质量的重要性,但减污活动需要投入资本以进行环保技术的研究,我们假设减污活动仅依赖于人造资本(物质和人力资本),减污函数是线性 AK 型的:

$$A = A_1 K_E \quad (5)$$

这样,环境质量随时间的净变化等于 $\dot{E} = A - P$ 。总的资本存量 $K = K_q + K_E$, 在每一时刻代表性经济主体决定投入产品生产和减污活动的资本比例,在环境污染是免费的情况下其最优配置比例由式 $\frac{\partial Q}{\partial K_q} = h \frac{\partial A}{\partial K_E}$ 来决定,其中 h 是环境相对于物质资本的价格,在污染存在成本需要付费的情况下,最优配置比例由式 $(1 - h\theta) \frac{\partial Q}{\partial K_q} = h \frac{\partial A}{\partial K_E}$, 其中 $h\theta \frac{\partial Q}{\partial K_q}$ 表示污染的成本(或外部性),最优条件表明资本在两部门的净边际产品相等。现在 $K = K_q + K_E$, 或 $K_q = \rho K$, 其中 $\rho = K_q/K$, 于是:

$$K_E = (1 - \rho)K, A = A_1(1 - \rho)K \quad (6)$$

假设在时间 T 人造资本和自然资本的折旧率为 0, 于是:

$$\dot{K}(t) = f(\rho(t)K(t), E(t)) - C(t) \quad (7)$$

$$\dot{E}(t) = A_1(1 - \rho(t))K(t) - \theta f(\rho(t)K(t), E(t)) \quad (8)$$

显然式(7)第一个约束条件是与物质资本积累相关,式(8)第二个约束条件与环境的净变化相关,经济中无限期界跨时消费选择问题可定义为:

$$\text{Max} W = \int_0^\infty e^{-\delta t} \frac{(C(t)^{1-\sigma} E(t)^\sigma)^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma} dt \quad (9)$$

约束条件为式(7)和(8),在这个经济中代表性经济主体控制它的消费 C 和在两部门之间资本分配比例 ρ , 所以, $C(t)$ 和 $\rho(t)$ 是控制变量,状态变量为 $K(t)$ 和 $E(t)$, 上述最优问题的现值的汉密尔顿函数为:

$$H = \frac{(C^{1-\sigma} E^\sigma)^{1-\gamma} - 1}{1-\gamma} + \lambda [f(\rho K, E) - C] + \mu [A_1(1 - \rho)K - \theta f(\rho K, E)] \quad (10)$$

上式中, λ 表示 K 的影子价格, μ 表示 E 的影子价格,问题最优解的必要条件如下:

极值条件:

$$\frac{\partial H}{\partial C} = (1 - \sigma) C^{-\sigma} E^\sigma (C^{1-\sigma} E^\sigma)^{-\gamma} - \lambda = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \rho} = \lambda f_K - \mu (A_1 + \theta f_K) = 0 \quad (12)$$

状态方程:

$$\dot{K} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} = f(\rho K, E) - C \quad (13)$$

$$\dot{E} = \frac{\partial H}{\partial \mu} = A_1(1 - \rho)K - \theta f(\rho K, E) \quad (14)$$

欧拉方程:

$$\dot{\lambda} = \delta \lambda - \frac{\partial H}{\partial K} = \delta \lambda + (\mu \theta - \lambda) \rho f_K - \mu(1 - \rho)A_1 \quad (15)$$

$$\dot{\mu} = \delta \mu - \frac{\partial H}{\partial E} = \delta \mu - \sigma C^{1-\sigma} E^{\sigma-1} (C^{1-\sigma} E^{\sigma})^{-\gamma} \quad (16)$$

由以上必要条件,可得均衡消费增长率:

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\gamma} \left[\frac{A_1 f_K}{A_1 + \theta f_K} + \sigma(1 - \gamma) \left(\frac{E}{E} \right) - \delta \right] \quad (17)$$

(17)为经济的最优消费路径,由于 $\sigma > 0$ 和 $\gamma < 1$,可得 $\sigma(1 - \gamma) > 0$,这样,经济增长受到环境质量净变化的影响,环境质量提高($\dot{E} > 0$)增加了消费的边际效用,刺激消费的增加,提高了均衡经济增长率,这是EKC的经济均衡增长与环境质量同时提高的阶段。如果 $\dot{E}/E < 0$,最优经济增长率就会降低,这样可得到以下推论1:如果经济能保证对环境质量增长没有消极地影响,经济增长会保留在最优水平上。

资本在两部门分配比例的均衡增长率为:

$$\frac{\dot{\rho}}{\rho} = \frac{-1}{(\rho K) f_{KK}} \left[\frac{\sigma C E^{-1}}{1 - \sigma} \frac{(A_1 + \theta f_K)^2}{A_1} + (A_1 + \theta f_K) f_E + f_{KE} E + f_{KK}(\rho K) - f_{KK}^2 \right] \quad (18)$$

为分析方便,我们考虑Cobb-Douglas类型的生产函数,

$$Q = f(\rho K, E) = B(\rho K)^{\alpha} E^{1-\alpha} \quad (19)$$

(二)稳定状态

稳定状态的位置是 $\dot{C}/C = \dot{K}/K = \dot{Q}/Q = \dot{E}/E = \dot{A}/A = \dot{\rho}/\rho = 0$ 。在稳态时 ρ 和 C/K , C/E 和 K/E 的比例是常数。在上述模型中包含两个控制变量和两个状态变量,因此其相位图是四维的,通常四维问题是很难分析的,为简化通过标准化或除以一个变量把四维转化为三维或二维,在消除变量 ρ 后,得到 $C(C/E)$ 和 $K(K/E)$,这样转化为一个二维空间来分析。通过解 $\dot{K} = \dot{E} = 0$ 和 $\dot{C} = \dot{K} = \dot{E} = 0$,分别得到 $k = \frac{1}{B^{\frac{1}{1-\alpha}}} c^{\frac{1}{\alpha}} + \frac{\theta}{A_1} c$ 和 $k = \alpha \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{\theta}{A_1} \right) c$,可得到稳态时最优值如下:

$$c^* = B^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{\alpha}{\delta} - (1 + \alpha) \frac{\theta}{A_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (20)$$

$$k^* = \alpha \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{\theta}{A_1} \right) c^* = \alpha \left(\frac{1}{\alpha} - \frac{\theta}{A_1} \right) B^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{\alpha}{\delta} - (1 + \alpha) \frac{\theta}{A_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (21)$$

$$\rho^* = 1 - \frac{\theta}{A_1} c^* = 1 - \frac{\theta}{A_1} \left[B^{\frac{1}{1-\alpha}} \left(\frac{\alpha}{\delta} - (1 + \alpha) \frac{\theta}{A_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \right] \quad (22)$$

由(22)式可见,资本在生产和减污活动中的最优分配比例依赖于污染比率(θ)、生产中可利用的技术水平(B)、减污活动(A_1)、生产函数中资本比重(α)和贴现系数(δ)。

在 $k-c$ 相位图中存在鞍点路径,同时在如下式(23)约束条件下,在 $E-K$ 相位图中也存在稳定的鞍点路径,经济一旦达到稳态,经济将维持它。由于控制变量 C 和 ρ 的变化

$$D = \begin{pmatrix} \frac{\partial \dot{K}}{\partial K} & \frac{\partial \dot{E}}{\partial K} \\ \frac{\partial \dot{K}}{\partial E} & \frac{\partial \dot{E}}{\partial E} \end{pmatrix} < 0 \quad (23)$$

影响着 $E-K$ 相位图中 $\dot{E} = 0$ 和 $\dot{K} = 0$ 的位置,有几种 $\dot{E} = 0$ 和 $\dot{K} = 0$ 的可能位置,我们选择其中一种来画图分析,如图1,假设经济一开始资本 K_0 非常低而环境 E_0 非常高,随经济的增长,由图1

中路径 2 可见, 资本积累在增加, 环境质量在降低, 也就是说在资本和环境之间存在冲突, 经济增长是以环境质量降低为代价的, 这一经济发展过程会持续到经济达到稳态, 这和中国经济增长过程是相符的, 中国经济总量目前是世界第二, 但环境污染现象越来越严重。也就是说, 经济一开始资本要素是稀缺的, 而环境要素是丰富的, 环境的影子价格 μ 保持不变, 而资本的影子价格 λ 在增加, 环境相对于物质资本的价格 h 在降低, 在经济发展过程中, 资本 K 增加, 环境 E 降低或保持不变, 因此 K (或 K/E) 递增趋向于最优值 k^* , 如图 1 中的路径 2 或 7, 反之 K 随 h 的增长而递减, 如图 1 中路径 4。这样得到如下推论 2: 如果 $k(0) < k^*$, K 随 h 的降低而递增趋向于 k^* ; 如果 $k(0) > k^*$, K 随 h 的增加而递减趋向于 k^* 。

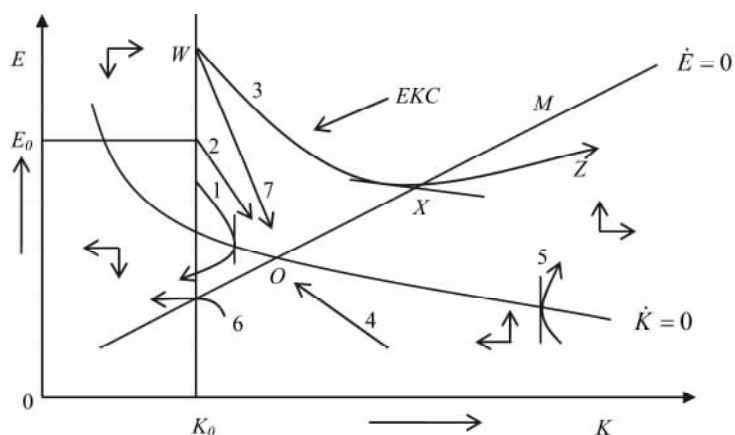


图 1 经济与环境的动态调整

经济在动态调整过程中, 环境质量在持续下降, 一直到稳态点 O , 环境质量才停止恶化, 倒 U 型曲线 (EKC) 处于左边或环境没有改善, 是由于经济要么是处于稳态, 要么是正沿着最优路径收敛于稳态。总之, 经济增长和环境退化之间的权衡是最优的, 它是经济收敛于稳态的必要条件。

(三) EKC 的存在性

如图 1, 经济从起点 W 沿 WO 运动向均衡点 O , 以环境退化为代价的经济增长方式会持续一段长的时间, 在一段时间后, 有可能 E 和 K 都下降 (如路径 1), 环境污染比率超过了最优比率, 经济走向崩溃; 也可能两者都上升 (如路径 3), 经济如沿着路径 3 运动时, 它不会趋向均衡点 O 。但如沿着路径 7 或 2 运动, 它会走向均衡点 O 。经济沿 WO 运动时环境退化率是固定的, 这时, 最优路径是 E 降低的同时 K 增加, 在 O 点稳定下来。由上可见, 只有鞍点路径能使经济到达稳态, 其他路径要么违反横截条件, 要么受到约束, 到达不了稳态。

路径 3 描述了在远离稳态时的 EKC 路径, 很明显路径 3 只有在非最优或次优的情况下存在, 它总是不稳定的, 因为资本和环境在 z 点后随时间增加, 在点 X 环境的净变化为 0, 但是资本存量还在增长, 它是经济持续增长而环境不变的必要条件。只有当 $K > 0$ 和 $E = 0$ 时, 经济的可持续增长才会继续下去。在路径 3, 路径 WX 穿过点 X ($E = 0$) 后沿 XZ 路径运动时环境质量与资本都将增加, 实现了经济 and 环境的共同发展, 这样, 路径 3 表现了 E 和 K 的 U 型关系, 说明了 EKC 的存在性。一开始当经济规模小、资本稀缺时, 全部资本用于生产而没有资本用于环境保护, 环境质量下降。这和中国经济增长的路径相符合, 在经济发展的初期, 环境资源丰富, 很少考虑环境退化问题, 工业化程度提高后, 才重视对环境保护的投资。经济和环境的协调发展不可能自动实现, 如果没有充足的资源用于环境保护, 在长期内经济增长会耗尽环境资源, 高经济增长率只是暂时的, 从长期来看, 经济增长最终会变为零。

因此, 减污活动的投资是 EKC 存在的充分条件, 在 WX 段显然环境保护的资本分配是不充足的, 在 XZ 段环境保护的资本分配变得充足起来, 对环境保护投资由不充足到充足是 EKC 的基础, 只有在

次优状态的部分才产生 EKC。减污活动是抑制环境恶化的主要力量,政策变量 ρ (资本分配比例) 对控制环境质量起关键性作用,在经济发展过程中,用于环境保护的资本比例随着上升,在经济达到稳态时停止增长,这时减污活动足以恢复环境质量。环境保护投资是 EKC 形成的动力机制,只有当用于环境保护的投资充足时,环境质量才会改善,这是经济与环境质量 U 型关系的基础。

四、中国环境库兹涅茨曲线的实证分析

以下利用中国 1997 – 2011 年的省际面板数据,对中国近十多年来 EKC 的变化进行实证分析,试图找出中国环境 – 经济之间复杂的联系,验证中国是否存在 EKC 曲线,如存在,找出其特点。

(一) 变量选取及数据来源

我们在实证分析中采用的是省际面板数据,主要是因为面板数据包含更多的信息,能够较好地构造和检验真实的、复杂的模型,提高模型的自由度;另外,环境库兹涅茨曲线形态同时具有时序信息和截面信息,即不仅单个地区的环境 – 收入关系会受经济发展水平的影响而变化,而且会因各地区经济发展情况不一致而有所差别。因此面板数据能更准确地说明地区发展及人均 GDP 对 EKC 的综合影响。

由于环境质量是一个抽象的概念,在研究 EKC 时,必须对其进行量化,根据前有的文献,污染物排放量指标最适合用于衡量环境质量和环境污染程度。其中,污染物排放量也可以分成三类:液体污染排放物、气体污染排放物及固体废弃物。由于气体污染排放物统计口径前后不一致,只选取二氧化硫的排放量为气体污染的量化指标。主要是因为二氧化硫是工业和空气污染的主要组成成分,对大气环境具有较大的消极作用,二氧化硫能大致上代表气体污染物水平。这样我们选取工业废水排放量(单位:亿吨,文中采用记号:Water)、二氧化硫排放量(单位:万吨,文中采用记号:SO₂)、工业固体废弃物排放量(单位:万吨,文中采用记号:Solid)作为环境变量。用人均 GDP 来度量经济发展水平,因为人均 GDP 更适合用于体现实际收入水平变动对生态环境的影响。因为我国各省、市的人口规模、自然禀赋等差异较大,相对于 GDP 总量,人均 GDP 更适用于本文的统计分析。由于各地区的人均 GDP 是以货币计价,而且《中国统计年鉴》中的人均 GDP 都是名义 GDP,所以为了避免通货膨胀对结果产生干扰,本文对数据做了价格指数调整,设定 1997 年为基期(1997 年 = 100)做价格调整,计算出实际人均 GDP。

根据数据的可获得性,论文的原始数据基本上都是利用 1998 – 2012 年期间的《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、中国环境统计公报、中国环境统计年报以及各省相关的数据计算所得。考虑到西藏的相关数据不够齐全,故没有把其包括在内。全部样本为 1997 – 2011 年 30 个省、市、自治区共 15 年的样本数据。

(二) 模型设置和方法

为了分析经济增长对环境质量的影响,我们借鉴了 Grossman & Krueger (1995) 等的经验模型方程,采用简化型回归方程对 EKC 进行分析,相对于结构型模型,简化型回归模型的结果不仅能够说明人均 GDP 对环境质量的单一作用;而且简化型模型能够省去环保政策和技术创新所造成的影响而产生的数据,而且这类数据往往难以获取及有效性存在诸多疑问。在设定模型时,假设 EKC 关系为三次模型,基本假设如下:

$$E_{it} = a + \beta_1 (gdp)_{it} + \beta_2 (gdp)_{it}^2 + \beta_3 (gdp)_{it}^3 + \varepsilon_{it} \quad (24)$$

其中, E_{it} 表示第 i 个地区在第 T 年的各种污染物指标, a 表示特定的截面效应, $(gdp)_{it}$ 表示第 i 个地区在第 T 年的实际人均 GDP。 β_1 、 β_2 和 β_3 取不同值会导致不同的曲线形态,可分为以下几种情况:(1) $\beta_1 > 0$ 且 $\beta_2 = \beta_3 = 0$ 时,环境污染随经济增长单调递增;(2) $\beta_1 < 0$ 且 $\beta_2 = \beta_3 = 0$ 时,环境污染随经济增长单调递减;(3) $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ 和 $\beta_3 = 0$ 时,环境污染和经济增长之间为倒“U”型关

系;(4) $\beta_1 < 0$, $\beta_2 > 0$ 和 $\beta_3 = 0$ 时 环境污染和经济增长之间为“U”型关系;(5) $\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$ 和 $\beta_3 > 0$ 时 环境污染和经济增长之间为“N”型关系;(6) $\beta_1 < 0$, $\beta_2 > 0$ 和 $\beta_3 < 0$ 时 环境污染和经济增长之间为倒“N”型关系。

在利用面板数据进行估计时 ,使用的样本数据包含个体、时间和指标 3 方面的信息。如果模型设置不适当 ,回归结果就可以跟要预测的经济现实存在偏差。因此 ,建立面板数据模型的第一步就是对模型形式进行假设检验 ,主要是检验模型的参数对所有个体样本点和时间是否都是常数。

面板数据的估计分为不变系数模型、变截距模型及变系数模型。变截距模型和变系数模型又可分为固定效应模型和随机效应模型。假设各地区环境质量与经济增长的曲线形状相同 ,所以不考虑变系数模型。先对随机效应模型进行 Hausman 检验 ,假如得出的 H 统计量小于卡方分布的临界值 ,则不拒绝原假设 ,也就认为实际模型为个体随机效应模型;假如得出的结果是 H 统计量大于卡方分布的临界值 ,则拒绝原假设。此时 ,需要对模型进行 F 检验 ,判断是选择固定效应模型还是混合效应模型。假如得出的结果是 F 统计量小于 F 分布的临界值 ,则不拒绝原假设 ,即适合用混合模型;假如得出的结果是 F 统计量大于 F 分布的临界值 ,则拒绝原假设 ,即应该选择固定效应模型。

(三) 估计结果与分析

论文的估计步骤是:首先对同时包含了人均 GDP 的立方项和平方项的方程进行估计 ,然后判断模型是否存在 N 型或倒 N 型曲线形态;如果人均 GDP 立方项不显著 ,则剔除人均 GDP 的立方项 ,然后对方程重新进行估计。分别对三类污染指标与人均 GDP 进行估计 ,结果如下表:

表 1 三类污染排放量与人均 GDP 估计结果

污染指标	工业废水	二氧化硫	工业固体废弃物
估计模型	固定效应估计模型	固定效应估计模型	固定效应估计模型
a	5.0700*** (0.2605)	35.1438*** (1.6851)	-1441.6950*** (317.6045)
gdp	2.4224*** (0.2537)	22.3538*** (1.6041)	5290.1180*** (302.3395)
$(gdp)^2$	-0.5078*** (0.0632)	-2.9419*** (0.2691)	-565.6292*** (50.7209)
$(gdp)^3$	0.0282*** (0.0057)		
$Adj - R^2$	0.9080	0.9031	0.7588
DW	0.3209	0.7143	0.3938
$Hausman - test$	8.9589	4.3531	19.0175
$F - statistic$	139.5604	135.9243	46.5750
样本数	450	450	450
曲线形状	N 型	倒 U 型	倒 U 型
拐点	2.3852 9.0035	3.7992	4.6763

注:拐点的值按照 1997 年不变价格计算 ,单位为万元;*、**、***分别表示在 10%、5%、1% 的水平下显著。

1. 工业废水排放量与人均 GDP 的 EKC 检验

根据 Hausman 检验结果 ,最后选取了固定效应模型 ,回归结果表明 ,工业废水排放量与人均 GDP 之间存在 N 型曲线关系。进一步根据估计结果可计算出该 N 型曲线的两个拐点分别为人均收入 2.3852 万元和 9.0035 万元;对于人均收入低于 2.3852 万元的地区而言 ,工业废水排放量将随着人均 GDP 的增加而增加;一旦人均 GDP 突破 2.3852 万元的临界值水平 ,此时人均 GDP 继续提高将有助于

降低工业废水的排放;随着人均 GDP 的进一步提高,在 9.0035 万元/人的第二个临界点之后工业废水排放量又将随人均 GDP 的上升而增加。

这一结果的意义有两点:分析中国各地区目前的 GDP 分布特征,能够发现 2011 年中国除贵州、云南、西藏、甘肃以外,大部分地区都超过了第一个临界点 2.3852 万元/人,都处于人均 GDP2.3852 至 9.0035 万元之间。就现实经济意义而言,大部分地区人均 GDP 继续提高有利于降低工业废水的排放。

2. 二氧化硫排放量与人均 GDP 的 EKC 检验

回归结果表明,二氧化硫排放量和人均 GDP 之间符合倒 U 型曲线关系。根据 Hausman 检验结果,最后选取了固定效应模型,可计算出二氧化硫排放-人均收入倒 U 型曲线的拐点为 3.7992 万元。当人均 GDP 低于 3.7992 万元时,二氧化硫排放量随着人均 GDP 的增加而上升,一旦人均 GDP 突破 3.7992 万元,人均 GDP 继续增加反而有利于降低二氧化硫排放量。

将中国目前人均 GDP 地区分布现状与 3.7992 万元/人的临界值进行比较可发现,很大一部分地区仍处于 EKC 曲线的左半段,目前,越过临界点的有八个地区(天津、上海、北京、江苏、浙江、内蒙古、广东、辽宁)。

另外,将实证结果与国外相关的实证结果进行比较。表 2 列出支持环境-收入 EKC 曲线关系的一些研究文献,并与我们的实证结果相比较。通过表 2 可以发现转折点一般出现在人均收入位于 5000-20000 美元之间,而我们计算的中国二氧化硫排放-收入曲线的转折点在 6127 美元处。该结果反映出选取不同的污染物质指标及样本区域将影响环境库兹涅茨曲线的实证结果。同时也提醒我们,即使是对于像中国这种发展中国家,也有可能在一个人均收入水平相对较低的阶段较早地超越 EKC 拐点。

表 2 环境库兹涅茨曲线经验研究的转折点 (单位:美元)

文献	样本地区	污染指标	转折点
Panayotou(1993)	55 个发达、发展中国家	SO ₂ 、NO _x 和 SPM	3000、5500、4500
Shafik and Bandyopadhyay(1992)	World Development Report	SPM、SO ₂ 等 10 类污染指标	3000-4000
Selden and Song(1994)	发达国家	SO ₂ 、SPM、CO 等	7114-13383
Grossman & Krueger(1991)	NAFTA 国家	SO ₂ 、烟尘等	4000-5000
List and Gallet(1999)	美国各州	SO ₂	22675
Cropper and Griffiths(1994)	非洲、拉丁美洲和亚洲 64 个国家的面板数据	森林毁损	非洲 4760、拉丁美洲 5420

3. 工业固体废弃物排放量与人均 GDP 的 EKC 检验

根据 Hausman 检验结果,选取了固定效应模型,可进一步计算工业固体废弃物-收入倒 U 型曲线的拐点位于人均 GDP4.6763 万元的临界值处。这一估计结果的经济意义是:只有当人均 GDP 超过 4.6763 万元的临界水平时,该地区工业固体废弃物将出现下降趋势,处于环境库兹涅茨曲线的右半段,即处于环境质量和经济增长的“双赢”阶段。然而对于人均 GDP 低于 4.6763 万元的地区而言,工业固体废弃物排放量呈现上升趋势。随着人均 GDP 的进一步上升,工业固体废弃物排放量将同时增加。通过将临界值与中国各省、市的实际人均 GDP 水平做比较,可以对中国区域环境-收入关系进行判断。2011 年人均 GDP 前 5 位的省份依次是天津(6.8643 万元/人)、上海(6.4022 万元/人)、北京(6.3671 万元/人)、江苏(4.8597 万元/人)和浙江(4.71 万元/人)及全国人均 GDP 的平均值为 3.1226 万元。可见,中国绝大部分地区的环境-收入关系仍位于 EKC 的上升阶段,即“两难”阶段,工业固体废弃物排放量和人均 GDP 的呈正相关关系。人均 GDP 排名前五的地区都超过了临界点,位于

EKC 曲线的右半段。排在第六、七的内蒙古和广东省人均 GDP 分别为 4.362 万元和 4.234 万元,已与临界点较为接近,但仍处于 EKC 曲线的上升阶段。计算得出 2011 年全国人均 GDP 的平均值为 3.1226 万元,可发现就全国平均水平而言,中国环境-收入之间为正相关关系。

4. 实证分析结果的经济理论与发展机制分析

综上所述,经济增长通过经济规模、经济结构和技术进步影响环境质量的变化,环境库兹涅茨曲线形成的理论机制如下:(1)规模效应。随经济规模的扩大,需要投入的环境资源越大,产生的环境污染也越多,从而使环境质量恶化。(2)结构效应。随经济发展,产业结构由污染密集型向清洁产业转化,导致环境污染降低和环境质量改善。(3)技术进步效应。随经济增长政府加大了环保技术的投资,科技进步提高了资源的利用效率和生产过程中环保技术开发利用降低了污染排放量,改善了环境质量。(4)收入效应。环境质量一般认为是正常物品,在其他因素不变的情况下,随人均收入的提高,引起人们对环境的需求在增加,环保意识在加强,如果全体居民的环境需求能顺利转化成政府的需求,政府就会将消费者需求与环境管制联系起来,导致环境质量得到改善。O-Sung(1994)利用内生增长模型研究发现,当经济主体效用函数中环境对物质消费品的边际替代弹性大于 1 时,经济增长与环境之间处于 EKC 的改善阶段。(5)政策效应。环境污染随经济增长而递增至一定程度时,经济增长变得不可持续,政府会加强环境管制,污染控制首先影响到工业,为遵守环境管制,工业部门必须在环保上投入很多资本,产生环境质量改善的政策效应。Deacon(1994)研究发现 EKC 下降阶段的出现是国家环境管制政策的实施,而不是人均收入增长的结果。(6)国际贸易。由于收入高的国家环境需求水平较高,假若收入高的国家采用排污税等环境管制措施,损害污染密集型产品的比较价格优势,它的出口下降,污染密集型产品的生产就会减少,资源转向于清洁生产行业,环境质量得到改进,进入倒 U 型曲线的下降阶段;而收入低的国家污染密集型产品的比较价格优势得到增强,专门从事污染密集行业的企业增多,导致排污增加,环境质量恶化,进入倒 U 型曲线的上升阶段。

由以上实证结果可见,中国大部分中西部地区仍处于 EKC 曲线的左半段,说明在这些地区的区域发展中规模效应占主要地位,把环境污染作为一种要素投入,经济增长方式主要以要素投入为主,仍然是一种高环境成本的经济增长方式,产业结构中污染产业比重大,存在结构性污染现象,同时这些地区由于经济基础薄弱,对环保的投资少,也缺乏环境保护的市场化方法。东部发达地区处于 EKC 的右边,说明结构效应、技术进步效应、收入效应和政策效应处于主导地位,在这些地区产业结构由污染密集型向清洁的服务与信息产业转化,导致环境污染降低和环境质量改善;随收入的提高对环境的需求也在增加,环保意识在加强,政府也在进一步加强环境管制和环保投入。

五、结论

通过对环境库兹涅茨曲线研究状况的综述,以及对 EKC 的理论模型分析,运用中国省际面板数据对中国近十多年来 EKC 的变化进行的实证分析,由此得到以下几点结论:

(1)从 EKC 研究的产生和发展来看,经济与环境之间的关系是复杂的。除受经济规模、经济结构、技术进步和国际贸易等经济因素直接影响外,还受政策、公民的环保意识和环境教育等多种因素的间接影响。因此,研究 EKC 的形成机制比单纯研究 EKC 的形状有意义得多。

(2)环境质量的改善不是经济增长所内生的结果,环境污染问题不能在经济增长过程中自动得到解决。从论文提供的 EKC 理论模型来看,EKC 动态地存在于经济的非稳态中。在经济发展的初期,由于资本相当稀缺、环境资源相当丰富,资本全部投入生产过程,生产中产生的环境污染,恶化了环境质量。理论模型建议把全部资本的一部分用于环境污染的治理投资,开始时由于用于环境污染治理投资的不足,环境质量继续恶化,随着环境污染治理投资的增加,后期阶段环境质量得到改善。最优的环境污染治理投资的比例为能满足降低环境污染的需求时的水平,环保投资的不充足到充足是

EKC 形成的基础。

(3) 中国经济增长对环境污染的影响具有不确定性,不存在单一的模式。我们选取的3个污染指标中有2个指标(二氧化硫排放量、工业固体废弃物排放量)呈倒U型曲线形态,表明中国的经济增长与环境污染之间存在着环境库兹涅茨曲线特征。但是,工业废水排放量-收入之间呈N型。这主要是样本数据的选择及环境污染测量指标的选取不同所造成的。因此,环境库兹涅茨曲线的存在并不是一种必然,环境与收入之间的EKC关系是脆弱的。环境改善并不是经济增长现象的结果而是由经济增长的内容所决定的。如果坚持认为当经济发展到一定程度环境就会自动改善,在实践中依靠粗放型的增长方式实现经济的快速增长,走“先污染,后治理”的增长路径,而不及采取有效的环境保护措施,一旦环境污染超过环境的阈值,将会造成生态失衡,阻碍中国的环境友好型经济的发展。

(4) 中国大部分地区仍处于“两难”阶段。通过实证模型估计结果的分析可见,目前中国大部分地区仍处于曲线的上升阶段,即中国的总体环境与经济增长之间是不协调的。随着收入水平的提高,只有少数地区的污染水平降低,可见,某些地区在环境污染治理投资上已经取得不错的成效。但是大部分地区的环境污染治理投入不足,2011年中国环境污染治理投资总额仅占GDP的1.39%,十多年来比重最高的2010年也只有1.66%。政府需要进一步加大环境污染治理投资的力度,实施相关的市场化的环保政策,以激励企业增加环境保护投入。同时,由于中国各省市、地区的经济发展、自然条件存在着巨大的差异,所以环境政策不能一刀切,必须因地制宜、灵活多样,由于政策的空间联动性,又要注重环境政策的区域合作。

(5) 中国有可能较早地进入“双赢”阶段。把我们估计的结果与国际上相关的研究进行对比可以发现,中国可以在收入水平较低的情况下越过环境库兹涅茨曲线的转折点,实现环境质量的改善。但这需要将环境污染的外部效应进行清晰界定,建立有效的资源和污染权交易机制,通过市场化手段实现环境外部成本的内部化;优化产业结构,增强人们的环保意识,进一步转变现有的经济增长方式,加强生态文明建设。

参考文献:

- [1] Andreoni J., and A. Levinson, 2001, “The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve,” *Journal of Public Economics*, 80(2): 269-286.
- [2] Copeland B. R., and M. S. Taylor, 2003, *Trade and the Environment: Theory and Evidence*, Princeton: Princeton University Press.
- [3] Cropper M., and C. Griffiths, 1994, “The Interaction of Population Growth and Environmental Quality,” *American Economic Review*, 84:250-254.
- [4] Deacon R., 1994, “Deforestation and the Rule of Law in Across 2 Section of Countries,” *Land Economics*, 4:414-430.
- [5] Grossman G. M., and A. B. Krueger, 1991, “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement,” National Bureau of Economic Research: Working Paper.
- [6] John A., and R. Pecchenino, 1994, “An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment,” *The Economic Journal*, 104:1393-1410.
- [7] Komen R., S. Gerking, and H. Folmer, 1996, “Income and Environmental Protection: Empirical Evidence from OECD Countries,” Department of Economics and Finance, University of Wyoming, Laramie WY.
- [8] Lopez R., 1994, “The Environment as a Factor of Production: the Effects of Economic Growth and Trade Liberalization,” *Journal of Environmental Economics and Management*, 27:163-184.
- [9] O-Sung, 1994, “Economic Growth and the Environment: the EKC Curve and Sustainable Development, an Endogenous Growth Model,” A dissertation for PHD of University of Washington.
- [10] Rock M. T., 1996, “Pollution Intensity of GDP and Trade Policy: Can the World Bank be Wrong?,” *World Development*, 24:471-479.
- [11] Selden T. M., and D. Song, 1994, “Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution?” *Journal of Environmental Economics and Environmental Management*, 27:147-162.
- [12] Selden T., and D. Song, 1995, “Neoclassical Growth, the J Curve for Abatement, and the Inverted U Curve for Pollu-

- tion,” *Journal of Economic and Environmental Management*, 29(2):162 – 168.
- [13] Shafik N., and S. Bandyopadhyay, 1992, “Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross – country Evidence,” Background Paper for the World Development Report, Washington DC: The World Bank.
- [14] Suri V., and D. Chapman, 1998, “Economic Growth, Trade and Energy: Implications of the EKC,” *Ecological Economics*, 25: 195 – 208.
- [15] Torras M., and J. Boyce, 1998, “Income, Inequality and Pollution: A Reassessment of the Environmental Kuznets Curve,” *Ecological Economics*, 25:147 – 160.
- [16] 包群、彭水军 2006, “经济增长与环境污染:基于面板数据的联立方程估计”, 《世界经济》,第 11 期,第 48 – 58 页。
- [17] 陈向阳、冯芷茵 2013, “碳金融发展的国际经验及其启示”, 《广州大学学报(社会科学版)》,第 9 期,第 60 – 66 页。
- [18] D·梅多斯等,1984,《增长的极限》,于树生译,北京:商务印书馆。
- [19] 康建英、王朝梁 2006, “环境库兹涅茨曲线在中国的诠释与修正”, 《河北大学学报(哲学社会科学版)》,第 4 期,第 8 – 12 页。
- [20] 彭水平、包群 2006, “中国经济增长与环境污染 – 基于时序数据的经验分析(1985 ~ 2003)”, 《当代财经》,第 7 期,第 5 – 12 页。
- [21] 吴玉鸣、田斌 2012, “省域环境库兹涅茨曲线的扩展及其决定因素——空间计量经济学模型实证”, 《地理研究》,第 4 期,第 627 – 640 页。
- [22] 杨芳 2009, “现有增长模式下的中国经济发展能否可持续? ——关于中国经济增长与环境污染的实证分析”, 《福建论坛·人文社会科学版》,第 6 期,第 31 – 34 页。
- [23] 杨林、高宏霞 2012, “经济增长是否能自动解决环境问题——倒 U 型环境库兹涅茨曲线是内生机制结果还是外部控制结果”, 《中国人口·资源与环境》,第 8 期,第 160 – 165 页。

A Theoretical and Experimental Research of the Environmental Kuznets Curve

CHEN Xiangyang

Guangzhou University, Guangzhou, 510006

Abstract: The environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis proposes that there is an inverted U – shape relation between environmental degradation and income per capita. This paper provides a possible theoretical explanation for the Environmental Kuznets Curve in the framework of endogenous growth model. The EKC exists dynamically in the off – steady state. A change from insufficient to sufficient allocation of capital for abatement activity is the basis for an inverted U – shaped relationship between environmental quality and economic growth. This paper uses panel data on Chinas’ 30 provinces during 1997 – 2011 to examine the EKC relationship between per capita income and three categories measured pollution indicators. We find the volume of sulphur dioxide emission and production of industrial solid wastes have an inverted U – shaped relationship with GDP per capita. But the discharge of industrial waste water assumes a N – shaped relationship with GDP per capita. Economic growth can not be endogenous to automatically solve environmental problems.

Key words: EKC; environmental quality; investment for abatement activity; industrial development mode

(责任编辑:宋 涛)(校对:方菲菲)