

# 我国环境库兹涅茨曲线：形态、拐点和影响因素<sup>1</sup>

符 森

(广东外语外贸大学国际经贸学院、国际经贸研究中心)

**摘要** 本文采用非参数方法分析我国环境库兹涅茨曲线。结果表明，废水曲线为两端略微上翘的倒 U 形曲线，在 11.9 万元处存在拐点；废气曲线为线性上升曲线，斜率约为 11.04；固体废物曲线存在东部发达地区的上升变平缓趋势和中西部的线性上升趋势。污染曲线的高度随第三产业比例提高而下降，第二产业比例和重污染行业比例提高将损害曲线形态。矿产资源丰富的省份废气和固体废物曲线斜率较大，水资源丰富地区废水曲线易形成 U 形曲线。排污费曲线反常的上拐部分表明排污费存在失效区，在失效区右端提高排污费方能改善曲线形态。

**关键词** 经济增长 环境污染 库兹涅茨曲线 非参数

**中图分类号** F 2241.0 **文献标识码** A

## Chinese Environmental Kuznets Curves: Shapes, Turning Points and Responsible Factors

**Abstract:** This paper studies the Chinese Environmental Kuznets Curves relying on nonparametric approaches. Results show that the water pollution curve is inverted U-shaped with little upswings on both sides, and turning point emerges at 11997 Yuan. The air pollution curve is upward sloping, and the slope coefficient is 11.04. In case of the solid waste curves, there are two trends. The curve of the east regions rises firstly and then stabilizes, and the curve of the middle-west regions rises monotonously. The heights of the curves are negatively related with the tertiary industry share. The shapes of the curves will be hurt if the share of the second industry and the share of polluting sectors in industrial output increase. In general, the slope coefficients of the air and solid waste pollution curves increase where mineral resources are rich and U-shaped curve of water pollution is more likely to occur where water resources are abundant.

**Key words:** Economic Growth; Environmental Pollution; Kuznets Curve; Nonparametric

<sup>1</sup> 本文获广东外语外贸大学 2007 年校级青年项目资助。感谢华中科技大学林少宫教授、王少平教授和中共广东省委党校黄灼明教授的指点。

## 引 言

库兹涅茨 (Kuznets, 1955) 在研究收入不均与经济发展的关系时, 提出倒 U 形的库兹涅茨曲线。Grossman 和 Krueger (1991)、Panayotou (1993) 以实证方法将其推广到环境库兹涅茨曲线 (EKC), 认为污染物的排放和经济发展之间存在类似关系, 即污染物的排放随着经济的发展而先增后减。随后国内外对 EKC 问题展开了广泛的研究, 但是, 结论混乱且缺乏说服力是这一研究领域的显著特点。结论的不一致性不仅体现在拐点数值上, 而且体现在曲线形态上, 如同样是  $\text{SO}_2$  污染, Grossman 和 Krueger (1991)、Panayotou (1993) 和 Selden 和 Song (1994) 的结论支持 Kuznets 假设, 但 Kaufmann 等 (1998)、Dinda 等 (2000) 得到与其完全相反的 U 形曲线; 又如  $\text{CO}_2$  污染, Selden 和 Song (1994)、Galeottia 和 Lanza (2005) 得到符合 Kuznets 假设的倒 U 形曲线, 而 Friedl 和 Getzner (2003) 得到 N 形的曲线, HoltzEakin 和 Selden (1995) 得到单调上升曲线, Agras 和 Chapman (1999), Richmond 和 Kaufmann (2006) 则认为两者之间不存在显著的关系。利用国内数据的研究存在同样问题, 如针对国内  $\text{SO}_2$  污染的研究, Shen (2006) 得到 U 形曲线, 李刚 (2007)、彭水军和包群 (2006) 得到 N 形的曲线; 国内针对整体大气污染的研究, 马树才、李国柱 (2006) 得到 N 形的曲线, 刘荣茂等 (2006) 得到倒 U 形曲线, 曹光辉等 (2006) 则得到线性上升的曲线。

出现以上现象的主要原因有两点: 一是数据的选择和预处理不同; 二是采用的分析方法不同。EKC 估计的最大问题是样本数据既要覆盖污染物的上升阶段, 又要覆盖下降阶段, 对于发展中国家和发达国家, 分别缺少后半部分和前半部分。我们的全国序列数据只有 EKC 的前半部分, 且到 2005 年为止样本大小不超过 21, 因此利用全国序列数据存在后半段缺数据和多重共线性问题。利用省级面板数据能部分克服以上缺陷, 可通过发达地区和欠发达地区数据的相互补充, 覆盖 EKC 的不同阶段。但是, 目前利用省级面板数据的估计绝大部分为参数估计, 参数估计需要预先设定模型的形式并假设随机干扰项为正态分布。大部分研究在套用模型之前并没有检验数据的随机特征和判断其是否适合模型, 这是导致结论混乱和缺乏说服力的重要原因 (Stern, 2004)。

EKC 问题可选择的参数模型主要有多项式模型和对数多项式模型, 可选择的解释变量有人均 GDP 的一次项到三次项和其他控制变量。实际上, 笔者发现多项式模型存在递增或递减过快的问题, 部分曲线在人均 GDP 为合理值范围时, 污染物的值已经穿过 X 轴, 变成负的; 对数多项式模型虽然可以减缓递增或递减的速度, 但由于对数函数的作用, 曲线的整体形态, 尤其在接近零处和样本区间的右端发生较大的形变<sup>1</sup>。在解释变量的选择上, 除了含人均 GDP 三次项的模型在样本区间内拟合得较好外, 一次模型和大部分二次模型曲线在样本区间内就已远远偏离了样本点。此外, 数据预处理方式不同也是多变结果的原因。

综上所述, 在我国目前的数据条件下, 关于 EKC 的研究我们可以得到两个结论: 一是采用省级面板数据更具优势; 二是目前并未找到适合我国 EKC 问题的最佳参数模型。参数模型的优点是可以得到变量之间的数量关系并进行预测, 但是到目前为止, 大部分实证研究得到的系数水平值并没有太多的用处, 有的甚至连拐点都未计算。如果仅仅是为了得到曲线的形状和拐点, 利用非参数估计具有更大优势。原因有四: 一是非参数分析无须预先设定模

<sup>1</sup> 依据参数回归结果绘制相应的曲线图, 我们从中发现多项式模型和对数多项式模型存在的问题。

型的形式和假设随机变量的分布,避免设定误差;二是非参数估计的优势就在于拟合出曲线,不同于参数分析拟合出方程;三是非参数分析的结果通常用图形的方式输出,可以在其上叠加样本散点图,避免在进行抽象分析时忽视结果是否切合数据本来面目的问题;四是非参数分析只要采用相同的数据,得到的曲线基本一致。因此,本文基于非参数方法和省级面板数据分析 EKC 问题,比对参数分析的结果,寻找曲线的形态和拐点,并在了解曲线现状的基础上,从产业结构、地理资源、政府的经济和环保政策等方面分析曲线形态的成因,并讨论如何利用这些影响因素将我国环境库兹涅茨曲线调整到对我们有利的形态。

## 一、我国环境库兹涅茨曲线的形态和拐点

排污数据和经济数据是估计环境库兹涅茨曲线的基础。在已有文献中,经济发展一般用人均 GDP 衡量,而如何表示环境污染程度则存在某些分歧,这种分歧既体现在对污染物种类及其统计口径的选择上,又体现于污染数据的预处理方法上。由于我们是经济学角度的研究,不是环境科学和环境管理的研究,没有必要细化到某一种污染物的排放与经济发展的关系,否则我们不能从整体上把握环境变化的状况。因此,本文考虑废水、废气和固体废物三类污染物的影响,不进一步细分,也不进一步合并,因为三类污染物的主要污染对象水体、大气和土壤是相对独立的系统且三类污染物的密度和计量单位存在较大的差异。在总量和人均量的问题上,我们选择人均量,这是为了保证大省和小省之间污染物数据的可比性<sup>1</sup>,排除人口规模对环境污染的影响,并与解释变量人均 GDP 保持一致。对于废气和废水,我们采用排放量,因为两者不易贮存。对于固体废物,我们采用产生量,固体废物很大一部分是贮存起来,没有排放。由此,我们最终选取人均工业废水排放量、人均工业废气排放量、人均工业固体废物产生量为环境污染指标<sup>2</sup>。

本文所采用数据为省级面板数据,数据来源为 5 中国统计年鉴6 (1986~ 2006)、5 新中国五十年统计资料汇编6。废水和固体废物数据的时间跨度为 1985~ 2005 年,废气数据的时间跨度为 1991~ 2005 年。为保证数据的纵向可比性,避免行政区变化时数据发生突变,重庆市的数据并入四川省计算,广东省 1988 年前数据不含海南省。人均 GDP 和其他货币单位变量以 2005 年不变人民币元为单位,以接近现时的 2005 年元为单位是为了方便对币值的理解。经检验,人均 GDP 和人均 / 三废0 排放量(固体废物是产生量,下面 / 三废0 并提时不再说明)的概率密度曲线均是尖峰的且右部有不规则波动长尾,不是严格的正态分布,根据经典线性回归模型的假设,被解释变量和干扰项之间存在线性关系,即干扰项也不是严格的正态分布,因此以正态分布为基础的参数估计和检验存在偏差。

对于 EKC 问题的非参数估计, Bertinelli (2005) 采用了 Nadaraya2Watson 核估计, Millimet 和 Stengos (2000)、Azomahou (2006) 等利用了局部线性估计,常用的非参数估计还有近邻估计、正交序列估计、多项式样条估计等。经检验,局部线性估计比较适合我国的 EKC 问题,核函数选用 Epanechnikov 核。局部线性估计的思想是最小化式 (1):

$$\sum_{i=1}^n [Y_i - m(x) - mc(x)(X_i - x)]^2 K_h(X_i - x) \quad (1)$$

<sup>1</sup> 横向可比的方法既可将污染物总量人均化,也可以除以土地面积。考虑到除以土地面积会夸大直辖市的污染程度和缩小地广人稀的西部省份污染程度,因此,选择除以人口数更合理。

<sup>2</sup> 除工业 / 三废0 外,国内其他领域污染物的排放量或产生量的省级数据不完整,加上我们所关注的污染主要为工业污染,因此本文采用工业 / 三废0 数据。

其中  $K_h(z) = h^{-1}K(h^{-1}z)$ ,  $K(\cdot)$  为核函数,  $h$  为窗宽。  $m(x)$  的局部线性估计的矩阵表示为式 (2):

$$\hat{m}(x, h) = e_1^T (X_x^T W_x X_x)^{-1} X_x^T W_x Y \quad (2)$$

其中  $X_x = (X_{x,1}, \dots, X_{x,n})^T$ ,  $X_{x,i} = (1, (X_i - x))^T$ ,  $e_1 = (1, 0)^T$ ,  $W_x = \text{diag}[K_h(X_1 - x), \dots, K_h(X_n - x)]$ ,  $Y = [Y_1, \dots, Y_n]^T$ , 下面分废水、废气和固体废物三种情况说明估计的结果。

## 11 工业废水排放与经济发展的关系

人均工业废水排放量与人均 GDP 关系的非参数估计见图 1, 选用的窗宽  $h = 0.17486$ 。图中的实线为非参数估计得到的曲线。实线两边的虚线为假设  $m(x)$  的估计值符合正态分布时置信水平为 95% 的置信区间, 由于  $m(x)$  的估计值并不服从正态分布, 因此置信区间仅供参考。图中的散点为样本点的位置, 东、中、西三个不同区域用不同图标加以区分。

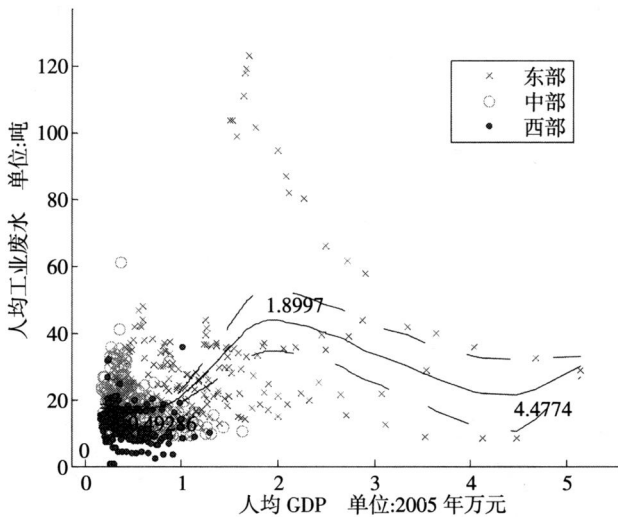


图 1 我国人均工业废水排放量与经济发展关系

结果表明, 工业废水排放量曲线符合 EKC 假设的倒 U 形状, 拐点在 11 8997 万元 (2005 年人民币元, 后面的人民币单位不特别说明同此)。曲线在 01 49 万元之前略有下降, 过了该点之后开始上升。经查证, 可以发现 1993 年我国人均 GDP 约为 01 5 万元, 最接近此值, 说明随着经济开始腾飞, 工业废水开始增加。11 8997 万元的拐点是值得关注的。首先它与其他研究国内 EKC 问题的文献结论是接近的。如彭水军和包群 (2006) 得到的拐点为 21 248 万元, Shen (2006) 得到的拐点为 11 4 万元<sup>1</sup>。其次, 该拐点与国外的研究比是偏小的, Grossman 和 Krueger (1995) 得到的拐点为 7800 美元 (1985 年美元), 约合 31 04 万 (2005 年人民币元)<sup>0</sup>。但是, 拐点在 X 轴上的数值偏小并不意味着拐点提前到来, 因为我们尚未考虑拐点在 Y 轴上的数值。若在相同经济水平下污染物排放量过大, 完全有可能对 Y 轴来讲拐点是推迟到来的。在 2000 年, 按 PPP 国际美元计算, 我国每美元 GDP 有机污水排放量是日本的 51 87 倍, 是美国的 111 67 倍。因此, 相同产值, 我们的污水排放量远远

<sup>1</sup> 原文按 1993 年不变价为 8257 元, 利用 CPI 转换为 2005 年元。

<sup>0</sup> 拐点的换算一般不采用汇率, 而用 PPP 转换因子, 1985 年人民币 PPP 转换因子为 11 1。

超出发达国家。若以污染物排放量来计量拐点，我国的拐点在 X 轴上小于发达国家的数值才是合理的。

东、中、西三个区域在图上正好彼此相邻，组合成完整的趋势<sup>1</sup>，说明将不同省市合并起来可以解决倒 U 形曲线前后两段的数据覆盖问题。拐点的右端主要由东部发达地区构成，说明东部部分地区的废水排放已经处于倒 U 形曲线的右半部分，进入下降阶段。从废水排放量看，东部高于中部，中部高于西部。西部的点集中在原点附近，东西部的这种区别主要由水资源不同导致。

### 21 工业废气排放与经济发展的关系

Grossman 和 Krueger (1991) 的研究得到工业废气曲线的拐点约在 5000 美元左右 (1985 年美元)，折合 2005 年人民币 11 95 万元。从图 2 (窗宽  $h=018459$ ) 可以看出，在 11 95 万元处，我国工业废气排放的增长趋势确实减缓，但并未收住，到 31 65 万元处才短暂收住，但是末端又有上升的趋势。由于末端样本过少，因此 31 65 万元处是否拐点还有待观察。整个曲线明显处于倒 U 形曲线的左半部分，绝大部分省市未进入右半部分。

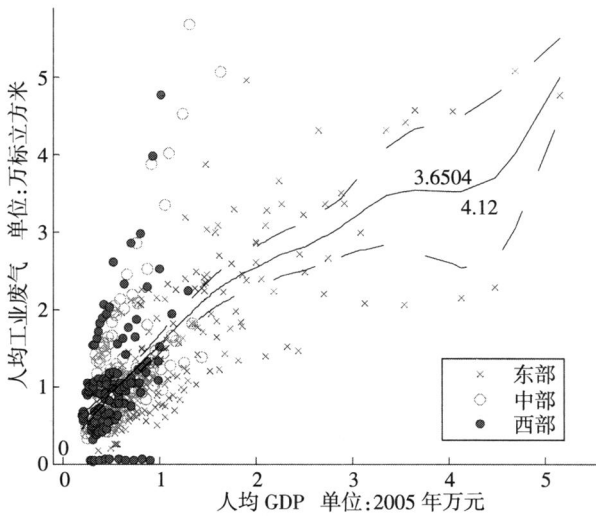


图 2 我国人均工业废气排放量与经济发展关系

从图形看，工业废气排放的形势比较严峻：(1) 曲线从整体看是线形上升的。(2) 从 X 轴的角度看，部分地区的人均 GDP 已经超出国外的拐点位置，但是并未出现明显的拐点。(3) 从 Y 轴的角度看，在相同人均 GDP 水平下，我国的废气排放量偏高，我国的二氧化硫、二氧化碳、甲烷、氧化亚氮等气体的排放量已居世界前列，不存在低排放导致拐点推迟的解释。(4) 从东、中、西三个区域看，虽然经济发展情况不一样，中西部省份的废气排放量并不低于东部。如果分三个区域分别估计曲线，可以发现三个区域都是线性上升的，且西部的斜率大于中部，中部的斜率大于东部，呈阶梯式变化。中西部随着经济发展，气体污染的速度非常快，说明中西部的模式发展存在一定的问题。中西部在发展过程中由于经济基础、人力资源、交通等方面的差距，难于 / 克隆 0 东部的发展模式，但中西部土地广阔，自

<sup>1</sup> 使用省级合并数据的散点图与分省散点图不同，分省散点图基本能排成一条曲线，而合省散点图由于样本综合了多个截面单元，只有大致的趋势，不会出现明显的曲线。

然资源较丰富，因此部分地区采用以资源换发展的战略，发展资源依赖型的高耗能、重污染的产业。二氧化硫、二氧化碳等废气的排放与能源消耗是紧密相关的，且废气排放不同于污水，不受沿江靠海等地理条件的约束，因而产业结构的差异在废气排放曲线上得到明显的体现。工业废气的线性上升趋势告诉我们，环境库兹涅茨曲线的拐点不是必定会到来的。

### 31 工业固体废物产生量与经济发展关系

工业固体废物产生量的曲线见图3。窗宽  $h=017486$ 。该曲线在1154万元处存在拐点。曲线有以下特点：(1) 曲线在达到拐点之后小幅度波动，没有下降的迹象，说明固体废物产生量是较难下降的，因此解决固体废物的关键不是降低产生量。如对矿业生产来说，只要生产规模不变，矿渣等固体废物是很难减少的。较好的途径是通过循环消耗掉已产生的固体废物。固体废物较难随经济发展而下降的情况在西方发达国家也存在，他们通过对外投资减少了废水、废气，但是经济生活中产生的固体废物仍然是难以处理的，经常需要花钱船运到其他国家。(2) 除了主曲线外，在图的左侧以中部地区为主形成了一个斜率较大的线性上升趋势。工业固体废物有一个明显的特点就是它的产生量与该地区的矿产资源密切相关，我国沿海地区矿产资源相对贫乏或者已利用到晚期，中西部则较丰富，尤其中部的矿产资源已经得到充分的开发。中部地区线性上升曲线较大的斜率说明，中部地区为获得同等速度的经济增长，在资源方面付出较高的代价。如果中部保持当前的发展模型不变，1154万元的拐点对中部并不适用。(3) 虽然西部并未显现线性上涨趋势，但是根据西部比中部更依赖资源的发展模式看，未来的预期也不容乐观。(4) 拐点及拐点右边的曲线主要由东部发达地区构成，说明东部部分地区已越过拐点。东部地区固体废物产生量较低跟东部缺少矿产资源有关系。

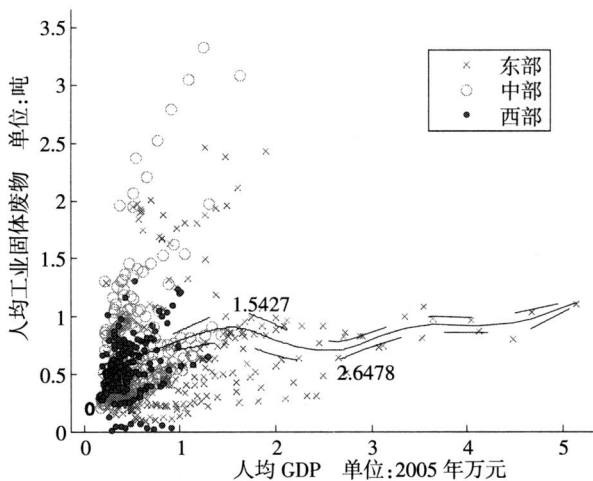


图3 我国人均工业固体废物产生量与经济发展关系

### 41 参数估计的结果

为了避免单独用非参数方法估计导致对曲线和拐点的认识发生偏差，我们利用省级面板数据的参数估计进行比对。本文选用的回归模型为多项式模型<sup>1</sup>，见式(3)。其中Y为人均

<sup>1</sup> 本文不采用对数模型的原因：(1) 对数处理使得曲线发生形变，导致找到的拐点不准确；(2) 对数模型找到拐点后需进行反对数处理，计算步骤多；(3) 多项式模型虽然存在脱离样本区间后递减或递增过快的问题，但只要我们不用于预测，仅仅在样本区间内研究曲线和寻找拐点，多项式模型优于对数模型。

污染物的排放量。下标  $i$  表示不同的省市，下标  $t$  表示不同的时期。X 为人均 GDP。E 为干扰项。其他文献多用人均 GDP 的一次到三次项的系数的正负来判断曲线的形状，这一方法存在一定的问题<sup>1</sup>，本文利用函数制图来直观确定曲线的形状。

$$Y_i = a_i + BX_{it} + CX_{it}^2 + HX_{it}^3 + E_i \quad (3)$$

经模型设定检验<sup>2</sup>，我们的估计以变系数模型为基础，估计各省的结果，而后利用全国时间序列数据估计全国曲线作为参考。回归结果取系数显著且与样本拟合度高的列于表 1<sup>3</sup>。

表 1 环境库兹涅茨曲线的参数回归结果

		形状	拐点	PGDP05	常数项	人均 GDP 系数	人均 GDP 平方项系数	人均 GDP 立方项系数
废	北京	L		4 4774	113 2974** (151 4972)	- 85 1411** (20 0073)	23 8873** (71 7593)	- 21 2669* (1 9273)
	天津	倒 N	31 6291	3 5452	69 2229** (9 6606)	- 67 1048** (17 6204)	27 4622** (91 4013)	- 31 3464* (11 5051)
	河北	U	01 4087	11 4737	28 3338** (5 7440)	- 60 9827* (28 1872)	74 5985* (38 7936)	- 25 7459 (151 6435)
	黑龙江	倒 N	11 1996	11 4428	134 4117** (131 4763)	- 375 6295** (54 4801)	377 9231*** (66 5887)	- 123 0185** (251 0083)
	江苏	倒 N	21 4234	2 4489	5 11 6265** (5 7902)	- 50 9164** (17 1065)	35 5520* (14 2904)	- 61 8902* (3 4888)
	浙江	倒 N	21 4298	2 7435	4 11 0340** (5 2008)	- 47 9401** (14 2852)	38 3388** (10 9513)	- 7 8124*** (2 4282)
水	四川	倒 N	01 8609	0 9835	90 7217** (9 8185)	- 383 2602** (61 8099)	6071 1122** (116 7195)	- 297 7656** (661 6907)
	西藏	N	01 4059	0 9069	- 26 8268 (191 2673)	206 1373* (118 4576)	- 3851 8960* (220 5608)	2161 7286* (127 3696)
	全国	倒 N	11 6108	11 4062	40 4431*** (2 3867)	- 70 4516** (10 8477)	62 7577** (14 5164)	- 16 9231** (5 8571)

<sup>1</sup> 这些文献认为  $B > 0$ ,  $C < 0$  且  $H < 0$ ，则为 N 形曲线。N 形曲线有两个中间极值点，实际上符合这一条件的曲线也可以是没有中间极值点的；N 形曲线亦有可能最后一翘比较短且斜度很小，因此从总体上看仍是倒 U 形。倒 N 形曲线存在 N 形曲线同样的问题。另外，这些文献并未考虑  $B = 0$  的情况，也未给出  $B > 0$ ,  $C > 0$  且  $H < 0$  是什么形状。对于这些较复杂的情形，最好通过函数制图确定形状，既避免以上问题，又能从整体把握曲线的正确形状。

<sup>2</sup> 对于假设 H2: 模型是不变系数模型，F (废水) = 1211 77, F (废气) = 821 22, F (固体废物) = 181 63，大于 F 检验 1% 水平临界值 11 3819 (水、固) 和 11 4090 (气)，故否定假设 H2；对于假设 H1: 模型是变截距模型，F (废水) = 281 10, F (废气) = 261 08, F (固体废物) = 61 00，都大于 F 检验 1% 水平临界值 11 4337 (水、固) 和 11 4592 (气)，否定假设 H1，故选择变系数模型。一般面板数据的固定效应和随机效应模型属于不变系数模型，因此本文不进行固定效应和随机效应分析。

<sup>3</sup> 变系数模型的回归结果不提供分省的拟合度，省级估计通过叠加样本的散点图来判断其拟合程度。

(续)

		形状	拐点	PGDP05	常数项	人均 GDP 系数	人均 GDP 平方项系数	人均 GDP 立方项系数
废气	北京	N	11 9067	4 4774	- 0 2870 (11 2680)	3 5008** (11 5327)	- 11 3905** (01 5634)	0 1652* (01 0645)
	天津	倒 N	31 2923	3 5452	2 3644** (01 6242)	- 21 7497** (11 0601)	2 1602*** (01 5426)	- 0 3529*** (01 0847)
	上海	倒 N	41 6651	5 1486	7 2633*** (11 1906)	- 51 0785*** (11 2075)	11 8654*** (01 3842)	- 0 1888*** (01 0384)
	全国	线性		11 4062	01 2808* (01 1152)	11 0431* (01 5237)	- 0 3103 (01 7008)	0 3439 (01 2827)
废渣	福建	倒 N	11 6646	11 8582	0 9781** (01 4452)	- 3 6255* (11 8027)	4 4923** (11 9711)	- 11 3630* (01 6301)
	全国	U	0	11 4062	0 6154** (01 0783)	- 0 6095 (01 3557)	0 9512* (01 4760)	- 0 2203 (01 1920)

数据来源：5 中国统计年鉴 6（1986~2006）；5 新中国五十年统计资料汇编 6。

注：(1)\* 表示 10% 显著、\*\* 表示 5% 显著、\*\*\* 表示 1% 显著；(2) 括号中的数值为标准差；(3) N 形和倒 N 形曲线有两个拐点，这里仅列出下拐拐点。U 形曲线为上拐拐点；(4) PGDP05 为 2005 年人均 GDP，拐点和 PGDP05 的单位均为 2005 年万元。

大部分省份的参数估计因与样本的拟合度不高未列出<sup>1</sup>，但从拟合度较好的估计结果看，参数分析在样本区间边缘处发现拐点的能力比非参数分析强。表 1 中，废水曲线以倒 N 形为主，与非参数分析的结果是一致的，非参数曲线在 01 49 万元之前也有下降的部分。全国序列数据估计出的拐点为 11 6 万元，比非参数估计的 11 8997 万元略小；如果将形成倒 N 形曲线的省份的拐点加以平均，则得到 21 1 万元，比非参数估计略大，因此非参估计得到的 11 9 万元左右的拐点是合适的。2005 年全国人均 GDP 为 11 4062 万元，说明我国从整体上看未到达拐点，只有个别省市已过拐点。全国序列数据得到废气曲线是线性上升的，斜率为 11 04，即上升斜度约为 45b，这点与非参数估计得到的曲线基本一致。只有三个直辖市的废气曲线存在拐点，其中倒 N 形曲线的拐点平均值为 31 98 万元，与非参数估计得到的 31 65 万元的待检验拐点比较接近。固体废物的回归结果中，系数显著的省份只有两个，且其中只有福建的回归结果拟合度较好，它 11 66 万元的拐点与非参估计得到的 11 54 万元比较接近。全国的固体废物曲线为 U 形，拐点为 0，因此实际只有 U 形曲线的右半部，对比非参数估计的结果，可以发现它从东部的平缓曲线和中部的快速上升曲线之间穿过，综合了以上两个趋势。换言之，非参数估计得到的拐点只适合于东部地区，并不适合总体。

## 二、影响环境库兹涅茨曲线形态的因素

环境库兹涅茨曲线描述了经济发展与环境污染之间的关系，这种关系并不是一成不变的，产业结构调整、环境资源变化、政府经济和环保政策、国际贸易与投资、能源和原材料

<sup>1</sup> 拟合度低与样本小、非正态分布和模型设定误差等因素有关。对于这些忽略的省份，用非参数估计较好。



价格变动、收入不均、技术进步、企业规模变化等都有可能使曲线发生形变，因此环境库兹涅茨曲线是一个动态的概念。了解曲线的形态和拐点不是我们的目的，我们的目的是发现目前曲线形态的成因并利用以上影响因素将曲线的形态调整到对我们有利的情形。本文主要考虑产业结构、地理资源和政府政策三个重要因素。

这部分分析的思路是，各省的产业结构、地理资源和政府政策存在差异，这种差异体现在环境库兹涅茨曲线上，因此我们再次利用非参数方法估计各省市的环境库兹涅茨曲线，由曲线的差异发现各因素的影响。由于估计得到的分省环境库兹涅茨曲线数据量太大，不在文中列出<sup>1</sup>。

## II 产业结构

产业结构是环境污染重要的直接影响因素，是可调节的因素，而且是地理资源、政府经济政策等其他因素发挥作用的主要载体。在三次产业结构中，第二和第三产业的比例对污染物排放的影响是显著的，根据 2005 年各省截面数据测算，第二产业比例每增加 1%，工业污水排放量增加 11 48%，工业废气排放量增加 21 56%，工业固体废物产生量增加 21 72%<sup>1</sup> 第三产业比例每增加 1%，工业污水排放量减少 01 65%，工业废气排放量减少 11 41%，工业固体废物产生量减少 21 18%。在工业三废中，三次产业结构的调整对废气和固体废物有更大的影响。利用省级面板数据并在模型中加入第三产业比例的一次项和二次项进行参数回归，可以发现废水排放与第三产业比例存在二次关系，其回归结果的三维函数图见图 4。

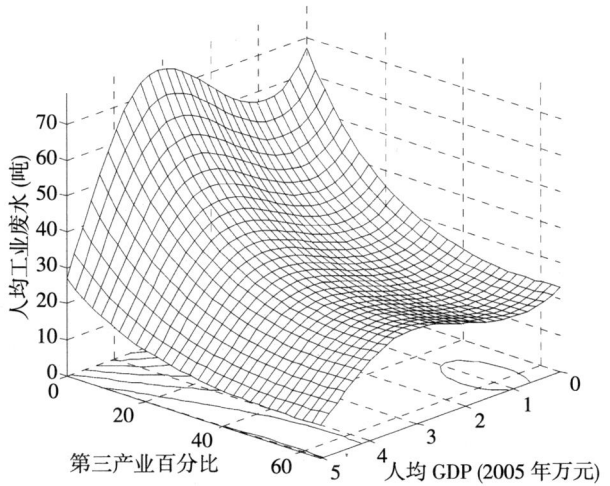


图 4 第三产业比例对废水曲线的影响

人均 GDP 和废水排放的关系曲线为倒 N 形 (人均 GDP 的原点在右)，曲线的整体高度随第三产业比例的增加而降低，降低的速度先快后慢，由快入慢的转折点发生在第三产业比例约为 38% 的位置。因此，第三产业比例在 38% 以下的省份增加其第三产业份额将有效改善曲线形态。我国各省市第二产业和第三产业比例见表 2。

工业部门内部的行业结构同样对污染物的排放有重要影响。我们将工业部门中各行业按 2005 年的 / 三废0 排放量进行排序，并将各行业的 / 三废0 排放名次相加得到总名次，取总名次的前 14 名为重污染行业<sup>2</sup>。将各省重污染行业的工业增加值加总，考虑它对污染物排放的影响，可以发现重污染行业增加值每增加 1%，工业污水排放量增加 01 21%，工业废气排放量增加 01 33%，工业固体废物产生量增加 01 30%。

<sup>1</sup> 不含重庆和台湾，全国及各省区市，每个省区市三类污染物各有一幅图，共 90 幅图。对此有兴趣的读者可与作者联系。

<sup>2</sup> 前 14 名按次序分别为：电力、热力的生产和供应业，黑色金属冶炼及压延加工业，化学原料及化学制品制造业，造纸及纸制品业，非金属矿物制品业，石油加工、炼焦及核燃料加工业，纺织业，煤炭开采和洗选业，农副食品加工业，有色金属冶炼及压延加工业，化学纤维制造业，黑色金属矿采选业，交通运输设备制造业，有色金属矿采选业。行业分类按 5 国民经济行业分类6 (GB/T 4754) 2002) 的大类分类，工业领域共分 39 个大类。

表 2 第二、第三产业增加值占 GDP 百分比及重污染行业增加值占工业总增加值百分比

单位：%

	全国	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏	浙江	安徽	福建	江西	山东
第二产业比例	47.51	29.43	55.47	51.83	56.30	45.52	49.36	43.67	53.92	48.64	56.57	53.33	41.32	48.72	47.27	57.40
第三产业比例	39.94	69.15	41.49	33.29	37.42	39.35	39.62	39.05	33.66	50.48	35.45	40.03	40.70	38.48	34.80	32.00
重污染业比例	52.36	51.64	35.04	69.98	90.71	78.08	63.21	66.71	26.45	39.49	48.15	46.05	62.12	43.49	66.57	57.72
	河南	湖北	湖南	广东	广西	海南	重庆	四川	贵州	云南	西藏	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆
第二产业比例	52.08	43.10	39.88	50.70	37.07	24.60	41.01	41.53	41.77	41.26	25.29	50.31	43.36	48.70	46.40	44.73
第三产业比例	30.05	40.31	40.55	42.91	40.55	41.78	43.90	38.41	39.59	39.46	55.59	37.83	40.71	39.27	41.71	35.69
重污染业比例	67.43	66.53	61.46	33.03	73.70	66.78	68.86	60.75	65.36	46.18	68.50	43.59	71.31	60.91	81.25	24.58

数据来源：《中国统计年鉴》(2006)；《中国工业经济统计年鉴》(2006)。

将重污染行业的增加值除以总工业增加值,得到的 2005 年各省重污染行业比例见表 2。这一比例的全国平均值为 52.136%,东部、中部、西部的平均值分别为 50.142%、65.198%、59.113%,个别省份这一比例已达到 90.171%,与 2003 年的重污染行业比例相比,2005 年全国的重污染行业比例上涨了两个百分点。如果按产成品价值算,两年间重污染行业产成品价值占工业总产成品价值比例上涨超过 5 个百分点的省份有 11 个,有 7 个属于西部地区且名列前茅。说明我国的工业发展对重污染行业的依赖程度较高,在最近几年,这种依赖并没有减轻,还在加重,尤其是西部地区形势更不容乐观。

重污染行业比例和第二产业比例的提高使 EKC 拐点向右上角移动,导致拐点推迟到来。对于全国曲线,由于重污染行业比例较高且行业结构对废气和固体废物的影响较大,导致我国废气曲线和中部地区固体废物曲线呈线性上升趋势。考虑分省的情况,由于消费结构的变化,沿海大部分省份重工业的增长率在 1998 年底超过轻工业,这一结构变化导致它们的废水曲线发生向上的 U 形转折。虽然各省转折点在 0.5 万元~ 1.5 万元不等,但从发生转折的时间来看,大部分发生在 1998 年到 1999 年。时间上的契合说明工业结构调整对污染物的影响是立竿见影的。西部个别省份在稍后几年开始类似的工业结构调整,废水曲线在同期出现了同样的 U 形转折。在废气排放方面,产业结构偏重重工业的东北地区和中部个别省份废气排放的增长速度快于其他省份,呈二次上升趋势。相反,提高第三产业比例或降低重工业比例可以使拐点提前到来,如北京和上海的废水曲线是 L 型下降的,废气和固体废物曲线也都表明两种污染物都得到了控制,这正是产业结构调整的成果。1985 年,北京和上海都以第二产业为主,第二产业占 GDP 比例分别为 59.18% 和 69.18%,到 2005 年,两个城市都调整为以第三产业为主,第三产业占 GDP 比例分别为 69.12% 和 50.15%,金融、物流、信息技术等新型产业发展在这一转变中起重要的作用。

对比各省的产业结构和污染物曲线,可以发现,第二产业比例和重污染行业比例之和超过 104% 的省份,都存在形态欠佳的污染物曲线。

## 2.1 地理资源

经济的发展一般要建立在自己有比较优势的资源基础上。由不同的资源优势产生不同的产业特点,进而产生不同的污染状况,但决定产业结构的因素不止地理资源,跨过产业结构直接观察地理因素可以避开其他因素的干扰,发现两者之间直接的联系。对污染物排放有影响的地理因素主要包括土地资源、矿产资源、水资源和旅游资源等。土地资源既提供了工业化用地,也决定了环境对污染物排放的容量,污染容量的临界值就是尚未破坏环境可恢复性的污染物排放量。

矿产资源与固体废物产生量和废气的排放量有密切的联系。由于不同的矿产资源不能直接加总,我们以采矿业的工业增加值代表矿产资源的丰富程度,并除以总工业增加值以避免大小省不可比,称这项比例为矿业比例。矿业比例与固体废物和废气的关系见图 5,图中数据统计时间为 2005 年,矿业比例与固体废物和废气三条曲线起伏基本一致,左侧波峰处为处于能源金三角地区的省份,右侧为西北地区,说明矿产资源丰富的省份固体废物和废气也较高。我国矿产资源的分布是东少西多,东部、中部、西部的矿业比例分别为 81.1%、19.19%、23.12%,这一资源分布特点在环境库兹涅茨曲线中亦有体现,西部废气曲线的斜率大于中部,中部的斜率大于东部;固体废物曲线斜率中西部的大于东部。从分省的曲线看,固体废物曲线上升速度较快或污染物排放量较大的省份大部分是资源大省。图 5 还说明两点: (1) 不同矿产资源对 EKC 的形态有不同的影响。煤炭资源丰富的省份,废气和固体废

物曲线都较高。石油资源丰富的省份，如图中矿产资源曲线在黑龙江和新疆各有一个尖峰，但污染物曲线却不高。说明石油资源比煤炭资源环保。IEA 做过研究，煤炭的单位能源二氧化碳释放因子是石油的 113 倍，是天然气的 117 倍<sup>1</sup>。我国煤炭产量居世界第一位，2005 年煤炭消费占能源消费总量的比重高达 68.9%，这是我国废气排放曲线线性上升态势重要成因。(2) 存在矿产资源不多、污染物曲线较高的例外省市，从例外省市中我们可以发现产业发展脱离资源特点或者存在资源利用效率问题的省市。

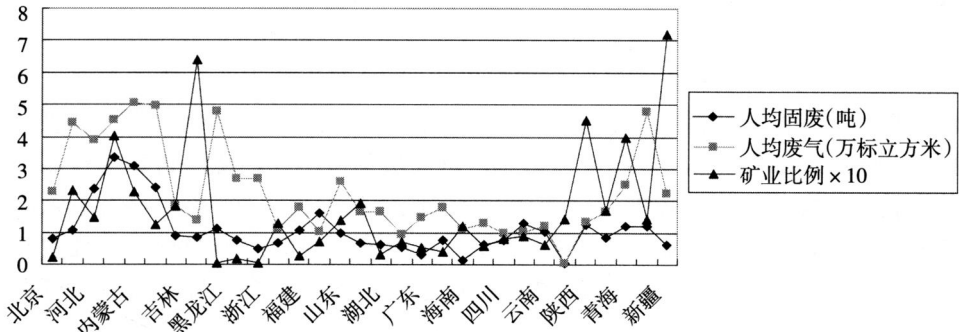


图 5 矿产资源与固体废物、废气的关系

在 EKC 问题中，我们所指水资源不仅是可以利用的水资源，而且是可以排放废水的水体资源，具体而言就是沿海靠江。水资源与废水排放有密切联系，我国水资源的分布是东多西少。人均工业废水排放量在全国平均水平之上的省市无一例外地沿海或者靠近大江干流。沿海对废水排放的影响更为明显，在 20 世纪 90 年代末的工业结构调整时期，大部分沿海省市利用丰富的水资源条件，发展重化工业，形成废水排放的 U 形曲线。

如果将以上三项资源称为污染排放的正向资源的话，旅游资源则是逆向资源。正向资源丰富的地区 EKC 拐点推迟到来，逆向资源丰富的地区 EKC 拐点提前到来。旅游资源，尤其是自然旅游资源对废水和废气的排放有一定的抑制作用，自然旅游资源丰富的省份，如云南、安徽、西藏、海南的废水和废气人均排放量均在全国的较低水平，其废水曲线都为 L 型下降曲线。

### 31 政府的经济发展策略和环保政策

政府的经济发展策略对环境库兹涅茨曲线有重要的影响，其中政府是否将重化工业作为区域的产业发展重点尤其关键。我国部分地区出现重化工业投资热的现象，这一现象引起学者的争议。本文认为发展重化工业须结合地方的资源特点，在发展经济的同时争取拐点的提前到来。不切合资源实际地说该与不该都是不对的。比如在能源方面，我们的煤炭资源丰富，就不一定非得将能源消费结构转变为以相对干净的石油天然气为主，否则将提高我们的发展成本。但是，有的地方无视资源特点，如在草原上挖坑排放废水、将重化工业建到城市住宅区、在省交界处向下游超容排污等都是不可取的。发展重化工业必须有配套的矿产资源、能源和排污资源。排污资源即远离城市住宅区和自然旅游资源的土地、水体和大气对污染物的容纳能力。发展重化工业应该重视排污资源，矿产资源和能源都可以通过运输解决，

<sup>1</sup> 数据来源：International Energy Agency, Greenhouse Gas Emissions: The Energy Dimensionl Paris: OECD, 1999

惟独排污资源是运不过来的。环境经济学中常用到污染造成的社会边际损失成本曲线，如果边际损失成本曲线较陡，说明社会对污染较敏感。曲线的斜率水平与该地区的文化传统、地理环境、收入水平、受教育程度和对健康的需求等因素有关。因此从经济学的角度讲，对排污资源的寻找实际上也是对不同地区不同斜率的边际损失成本曲线的选择，寻找排污资源等同于寻找平缓的边际损失成本曲线。政府在上重化工项目时边际损失成本曲线的研究工作做到最佳，那么污染造成的社会福利损失最小。

在政府的环保政策中，污染源的监测和排污费的征收是涉及面广且常态化的工作。在污染物排放存在外部性的情况下，企业的排污成本主要由排污费和治理成本构成。为了观察排污费的实际效果，我们分析排污费征收标准与单位 GDP 产生的工业三废的关系。排污费征收标准的数据来源是国家环保总局历年有关排污费的政策文件。废水、废气排污费征收标准的数据期间为 1985~2005 年，2003 年前后排污费计量单位不同，统一折算为按污染当量计算。固体废物由于文件中信息较少，因此改用全国废渣超标排污费<sup>1</sup>除以超标排放量得到单位收费情况代替，这一数据的期间为 1985~1995 年。采用相应污染物排污费征收标准的一次项、二次项和截距项对单位 GDP 污染物排放量进行回归，结果见图 6。图中 GDP 和排污费的单位都采用 2005 年元。

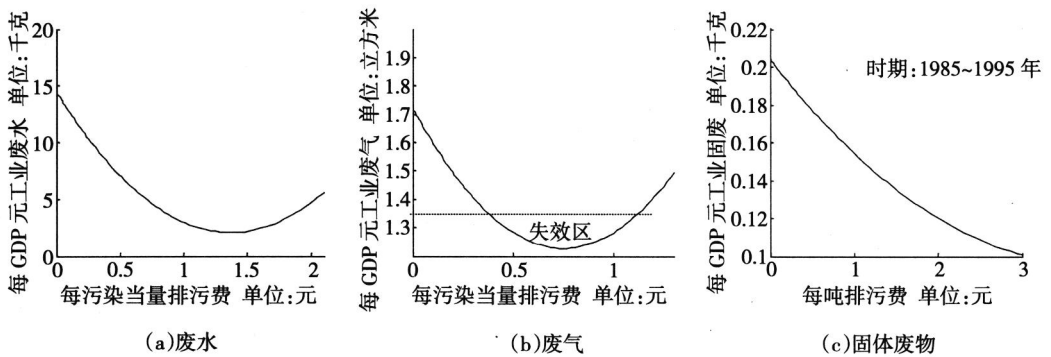


图 6 单位 GDP 工业废水、废气和固体废物排放量和排污费征收标准的关系

正常的曲线是随着排污费征收标准的升高排放量减少的向下倾斜曲线，但是废水和废气曲线都形成上拐部分，尤其废气曲线上拐更严重。固体废物曲线虽然走向正常，但是它的数据期间只是前两者的前半部分。曲线向上拐的主要原因是排污费的调整远慢于经济的发展，排放需求由于经济发展而扩大且由于企业收入增加变成可实现的需求，但是排放浓度标准随着工业技术的进步变得过于宽松，排污费征收标准因通货膨胀而不断贬值。当上拐严重时，下凹区形成了图 6 (b) 所示的虚线以下的排污费失效区域，在失效区，排污费征收标准的调整对企业排污没有影响，企业的排放水平停留在虚线以上，失效区没有样本点。废水和废气存在排污费失效区的现象导致治理成本高于缴纳排污费的成本，而管理上的漏洞又导致缴纳排污费的成本高于偷排的罚款成本<sup>2</sup>。废气的排污费曲线存在较严重失效区是导致我国废

<sup>1</sup> 全国废渣超标排污费数据来源：李周、孙若梅：5 中国环境问题 6，河南人民出版社，2000 年。

<sup>2</sup> 譬如对于火电企业，脱硫成本约为 11.2 元/公斤，而按照现行排污费征收标准，将这 1 公斤二氧化硫直接外排，企业只需为此缴纳排污费 0.63 元/公斤；正常运行脱硫设备，则其全年的脱硫成本约为 1000 多万元，而关掉脱硫设备，一年至多也只需缴纳 60 万元罚款。参见霍朗：5 / 千河之省 0 70% 河流被污染，四川省副省长呼吁提高排污标准 6，5 第一财经日报 2007 年 3 月 15 日。

气的库兹涅茨曲线线性上升的主要原因之一。解决这一问题的方法也体现在废气的排污费曲线上，该曲线左侧的斜率较大，说明废气排放对收费敏感，因此在失效区右侧调高排污费可以有效应对废气排放的问题。

除了排污费过低和排放标准缺乏约束力外，我们的环境管理缺少有效的总量控制机制，缺少民众的参与和媒体的监督，缺少对环境破坏行为进行严厉处罚和对受害者进行有效赔偿的法律依据，因此从整体讲我们的环保政策是比较宽松的，而经济政策在个别地区是比较粗放的。

### 三、结论和政策建议

环境库兹涅茨曲线的研究结论一直存在较大差异，使人怀疑该研究的严谨性。与以往研究不同的是，本文采用非参数估计避免预先设定模型和假设干扰项的正态分布性，以样本散点图来检验估计结果与数据的切合程度，利用省级面板数据解决曲线上升和下降两个阶段的数据覆盖问题，同时进行参数回归以与非参数估计进行比对检验，利用分省环境库兹涅茨曲线的差异分析各种因素对曲线形态的影响。得到曲线形态和拐点方面的结论如下：

(1) 废水曲线为两端略微有些翘起的倒 U 形曲线，在 119 万元处存在拐点。我国大部分地区处于上升阶段，小部分越过拐点进入下降阶段。在区域分布上，东部废水排放量多于中部，中部废水排放量多于西部。虽然 119 万元的拐点小于国外，但本文不乐观认为我国的拐点是提前的，因为是否提前还需考虑拐点处废水排放量大小，对废水排放量来讲，我们并不提前。

(2) 废气曲线为线性上升曲线，且西部的斜率大于中部，中部斜率大于东部。全国曲线的斜率约为 1104。虽然我们有一部分地区的人均 GDP 已经超出国外的拐点位置，但是我们的全国曲线并未出现明显的拐点。分省曲线中只有直辖市北京、上海、天津的废气曲线存在拐点。因此，我国废气排放曲线形态整体欠佳。

(3) 固体废物曲线有两个趋势，一是东部发达地区由上升变平缓的趋势，拐点在 1154 万元，平缓趋势表明固体废物产生量并不随着经济发展而下降，消耗固体废物存量的方法是发展循环经济；二是中西部走出的线性上升趋势，没有拐点。从分省曲线看，大部分省份为平缓上升曲线，资源大省为快速上升曲线。固体废物曲线的分化趋势体现了不同地区资源和经济发展模式的差异。

环境库兹涅茨曲线是一个动态的概念。产业结构、地理资源、政府经济政策等因素对曲线的形态有重要的影响，个别污染物的线性上升曲线说明拐点不是自动到来的，我们需要利用这些影响因素来主动促进环境的改善。结合文章结论，我们提出以下的政策建议：

(1) 经济的发展必须结合当地的资源禀赋。不同的资源优势产生不同的产业特点，进而产生不同的污染状况。土地资源、矿产资源、水资源为排污的正向资源，旅游资源和人口资源为排污的逆向资源。发展重化工业须有配套的矿产资源、能源和排污资源，尤其应该重视排污资源，即该地区的水体、大气和土地有较强的污染吸收能力，具有比较平缓的社会边际污染损失成本曲线，并且远离逆向资源。脱离资源特点的发展将付出更高的环境成本。

(2) 充分利用产业结构对环境污染的影响能力。产业结构的调整对环境污染有当期的影响，且是其他因素发挥作用的重要载体。污染曲线的高度随第三产业比例提高而下降，其中废水曲线在第三产业比例低于 38% 时下降速度较快。我国当前的产业特点是重污染行业比重过大，这对于我们达到环境库兹涅茨曲线的拐点是特别不利的。解决的方法是提高第三产

业比例, 尤其要重点发展第三产业比例在 38% 以下的省市的第三产业, 促进金融、物流、商业和信息技术等低污染行业的发展。

(3) 在污染治理方面应提高治理力度和加强治理的针对性。我们的排污费过低且没有跟随物价及时调整, 浓度标准也没有随技术发展而及时提高, 导致排污费失效区出现。失效现象使得治理成本高于缴纳排污费的成本, 导致部分排污曲线线性上升。解决这一问题的方法是在失效区右侧调高排污费。此外, 由于矿产资源和水资源跟污染类型存在密切的联系, 因此废水的治理重点在水资源丰富沿海地区, 固体废物和废气治理的重点在矿产资源丰富的中西部地区。

### 参 考 文 献

- [1] Agras I and Chapman D, 1999, A Dynamic Approach to the Environmental Kuznets Curve Hypothesis [J], *Ecological Economics*, 28, 267~ 277
- [2] Azomahou T, Laisney F and Van P N, 2006, Economic Development and CO<sub>2</sub> Emissions: A Nonparametric Panel Approach [J], *Journal of Public Economics*, 90, 1347~ 1363
- [3] Bertinelli L and Strobl H, 2005, The Environmental Kuznets Curve Semiparametrically Revisited, [J] *Economics Letters*, 88, 350~ 357
- [4] Dinda S, Coondoo D and Pal M, 2000, Air Quality and Economic Growth: An Empirical Study [J], *Ecological Economics*, 34, 409~ 423
- [5] Friedl H and Getzner M, 2003, Determinants of CO<sub>2</sub> Emissions in a Small Open Economy [J], *Ecological Economics*, 45, 133~ 148
- [6] Galeotti M and Lanza A, 2005, Desperately Seeking Environmental Kuznets [J], *Environmental Modelling & Software*, 20, 1379~ 1388
- [7] Grossman G M and Krueger A H, 1991, Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement [Z], NBER Working Paper, Vol 3914, Cambridge, MA
- [8] Grossman G M and Krueger A H, 1995, Economic Growth and the Environment [J], *Quarterly Journal of Economics*, 110 (2), 353~ 377
- [9] Holtz-Eakin D and Selden T M, 1995, Stoking the Fires? CO<sub>2</sub> Emissions and Economic Growth [J], *Journal of Public Economics*, 57, 85~ 101
- [10] Kaufmann R K, Davidsdottir B, Garnham S and Pauly P, 1998, The Determinants of Atmospheric SO<sub>2</sub> Concentrations: Reconsidering the Environmental Kuznets Curve [J], *Ecological Economics*, 25, 209~ 220
- [11] Kuznets S, 1955, Economic Growth and Income Inequality [J], *American Economic Review*, 45, 1~ 28
- [12] Millimet D and Stengos T, 2000, A Semiparametric Approach to Modelling the Environmental Kuznets Curve across US States [Z], Department of Economics Working Paper, Southern Methodist University
- [13] Panayotou T, 1993, Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development [Z], ILO Working Paper WP238, Technology and Employment Programme, Geneva
- [14] Richmond A K and Kaufmann R K, 2006, Is there a Turning Point in the Relationship between Income and Energy Use and/or Carbon Emissions? [J], *Ecological Economics*, 56, 176~ 189
- [15] Selden T and Song D, 1994, Environmental quality and development: is there a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? [J], *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, 147~ 162

- [16] Shen, Junyi, 2006, A simultaneous estimation of Environmental Kuznets Curve: Evidence from China [J], China Economic Review, 17, 383~ 394
- [17] Stern, D, 2004, The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve [J], World Development, 32 (8) 1419~ 1439
- [18] 曹光辉、汪锋、张宗益、邹畅: 5我国经济增长与环境污染关系研究6 [J], 5中国人口# 资源与环境6 2006年第1期。
- [19] 李刚: 5基于 Panel Data 和 SEA 的环境 Kuznets 曲线分析6 [J], 5统计研究6 2007年第5期。
- [20] 刘荣茂、张莉侠、孟令杰: 5经济增长与环境质量: 来自中国省际面板数据的证据6 [J], 5经济地理6 2006年第3期。
- [21] 马树才、李国柱: 5中国经济增长与环境污染关系的 Kuznets 曲线6 [J], 5统计研究6 2006年第8期。
- [22] 彭水军、包群: 5经济增长与环境污染))) 环境库兹涅茨曲线假说的中国检验6 [J], 5财经问题研究6 2006年第8期。

(责任编辑: 陈卫宾; 校对: 曹宇)

(上接第39页)

- [13] 柯飞帆、宁宣熙: 5装备制造业在利用外资过程中的技术创新问题研究6 [J], 5世界经济与政治论坛6 2006年第2期。
- [14] 林毅夫、任若恩: 5东亚经济增长模式相关争论的再探讨6 [J], 5经济研究6 2007年第8期。
- [15] 潘文卿: 5外商投资对中国工业部门的外溢效应: 基于面板数据的分析6 [J], 5世界经济6 2003年第6期。
- [16] 王少平、欧阳志刚: 5我国城乡收入差距的度量及其对经济增长的效应6 [J], 5经济研究6 2007年第10期。
- [17] 颜鹏飞、王兵: 5技术效率、技术进步与生产率增长: 基于 DEA 的实证分析6 [J], 5经济研究6 2004年第12期。
- [18] 易纲、樊纲、李岩: 5关于中国经济增长与全要素生产率的理论思考6 [J], 5经济研究6 2003年第8期。
- [19] 章艳红: 5中国贸易结构的变化特点、决定要素以及政策建议6 [J], 5国际贸易6 2007年第10期。
- [20] 张军、吴桂英、张吉鹏: 5中国省际物质资本存量估算: 1952~ 2006 [J], 5经济研究6 2004年第10期。
- [21] 赵志耘、吕冰洋、郭庆旺、贾俊雪: 5资本积累与技术进步的动态融合: 中国经济增长的一个典型事实 [J], 5经济研究6 2007年第11期。
- [22] 郑玉歆: 5全要素生产率的测度及经济增长方式的 / 阶段性0 规律))) 由东亚经济增长方式的争论谈起6 [J], 5经济研究6 1999年第5期。

(责任编辑: 陈卫宾; 校对: 吕小玲)