

## 经济发展与环境污染

——环境库兹涅茨曲线假说在我国的检验\*

张晓峒<sup>1</sup> 朱翠华<sup>2</sup>

(1.南开大学数量经济研究所, 天津 300071; 2.南开大学人口与发展研究所, 天津 300071)

**摘要:** 本文运用 1995~2008 年我国省际面板数据, 对我国人均 GDP 与人类发展指数 (HDI) 两类经济发展指标与包括废水、废气、废渣的 3 类污染指标之间的关系进行了检验, 实证结果发现, 3 类污染物指标与 2 类收入指标均大都呈现倒 N 形的关系, 只有工业废水排放量与 HDI 呈现倒 U 形关系。表明我国各类污染物排放量随着经济的发展还是遵循较一致的路径的, 这告诫我们, 不发达省份应当吸收借鉴发达省份的环境治理经验, 发挥后发优势, 避免再走污染后治理的老路。更为重要的是, 已经越过倒 N 形第二个临界值的发达省份应极力避免经济发展与环境污染之间发生不利的重组现象, 例如倒 N 型重组为 W 形。

**关键词:** 经济发展; 污染排放; 环境库兹涅茨曲线(EKC); 面板数据

**中图分类号:** F276 **文献标识码:** A

## Economic development and environmental pollution——EKC Hypothesis Testing in China

**Abstract:** In this paper, using China's provincial panel data from 1995 to 2008, we tested the relationship between China's per GDP, the Human Development Index (HDI) and waste water, waste gas, waste residue pollution. We can see that the three pollution index and the two income index have inverted N-shaped relationship, and only industrial waste water and HDI have inverted N-shaped relationship. It shows that pollution waste follow the same path with economic development. This reminds us that developing provinces should learn the environmental governance experience of the developed province to avoid the old path of pollution.

**Key Words:** economic development; pollution emission; EKC; panel data

### 引言

从 1992 年《联合国气候变化公约》的签署到 2005 年《京都议定书》的生效, 从 2007 年的达沃斯世界经济论坛年会上, 气候变化被认为是超过恐怖主义、阿以冲突、伊拉克问题成为压倒一切的首要问题, 再到 2009 年哥本哈根世界气候大会的召开, 一个由温室气体排放引起的全球气候变化问题引起了全球的广泛关注。在此背景下, 世界各国呼吁要大力发展

\* [投稿日期]: 2011-01-15

[作者简介]: 张晓峒, 南开大学数量经济研究所; 朱翠华, 南开大学人口与发展研究所。

低碳经济，其目标就是实现经济增长与碳排放量的脱钩发展。因此，如何处理经济发展和环境质量的关系成为低碳经济研究领域中的十分重要的问题。特别是对于已宣布到 2020 年碳强度下降 40%-45% 的我国而言，深入研究该问题显得尤为迫切（许广月，宋德勇，2010）<sup>1</sup>。

考察经济增长与环境质量影响的研究中最具代表性的是环境库兹涅茨曲线（EKC）的提出及实证。EKC 曲线是格罗斯曼（Grossman）和克鲁格（Krueger）（1991）<sup>2</sup>在分析环境效应时，通过对 42 个国家截面数据的分析，研究了二氧化硫、微尘和悬浮颗粒三种环境质量指标与收入之间的关系，发现环境污染与经济增长的长期关系呈倒 U 形，并且判断出在一国人均 GDP 未达到 4000~5000 美元（针对二氧化硫的分析）的转折点时，经济增长趋向于加重环境压力，一旦人均 GDP 超过了 4000~5000 美元的转折点，经济增长就开始倾向于减轻环境压力。Grossman 和 Krueger 用人均收入变化的两类效应来解释该现象的出现：经济发展意味着更大规模的经济活动与资源需求量，因而对环境产生负面的规模效应，但同时经济发展又通过正的技术进步效应以及结构效应减少了污染排放，改善了环境质量。这两类效应共同决定了环境质量与经济发展之间的这一倒 U 型曲线关系。

自此之后，关于是否存在环境库兹涅茨曲线（EKC）的研究纷至沓来，但研究结果却不尽相同，例如 Nemat Shafik（1994）<sup>3</sup>提供了一系列对不同污染物的跨国界分析和图标数据，从而证实了在实证研究中环境库兹涅茨曲线可以拥有多种不同的形状，如 N 型，由此我们看到，到目前为止对环境库兹涅茨曲线的研究并没有得出统一的结论。近年来，国内学者对环境库兹涅茨曲线的研究也方兴未艾，如针对国内二氧化硫污染的研究，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。

出现以上问题的原因本文认为主要有两点，一是数据的选择和预处理不同，二是分析方法不同。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，对于发达国家与发展中国家，可能会分别缺少前半部分和后半部分。我国的时间序列数据也可能只覆盖 EKC 曲线的某一部分，而且样本容量较小，因此利用面板数据可以通过欠发达地区和发达地区数据的相互补充，覆盖 EKC 曲线的不同阶段（符淼，2008）<sup>4</sup>。另外，正如一些作者所指出的（Dinda），环境——收入 EKC 形状不仅具有时序维度特征，同时也具有截面维度的特征，即不仅单个国家/地区的环境——收入关系将随着经济发展水平的变化而改变气而且不同发展水平国家/地区的环境收入关系也存在倒 U 型差异。因此，结合时序和截面二维信息的面板数据能够反映出收入水平变化和地区发展差异对环境——收入关系的综合影响（彭水军，包群，2008）<sup>5a</sup>。鉴于此，考虑到数据的可获得性，本文选取我国 14 年各省的面板数据，探究工业三废排放与经济发展间的 EKC 曲线特征，以期为制定环境政策和掌握经济发展质量提供依据。

## 1 模型与数据来源

本文利用我国 29 个省级地区（不包括西藏，将重庆与四川合并）1995~2008 年间 14 年的经济、环境污染等指标的面板数据对我国的经济增长与环境问题作出分析。本文主要选取全国各省历年的人均 GDP 或 HDI 作为经济增长的衡量指标；环境污染指标从气体污染物、

液体污染物和固体污染物三个方面，分别选取工业二氧化硫排放量，工业废水排放量，以及工业固体废弃物排放量来反映环境污染程度。所用数据均来自相应年份的《中国统计年鉴》，除工业固体废弃物排放量以外，其余均为平衡面板数据，共 348 组数据。利用这 348 组面板数据来分析传统的 EKC 曲线，确定面板数据的类型。为了便于查阅，我们将本文使用的有关变量符号名称及单位列成表格，如下：

表 1 相关变量符号名称及单位

指标	单位	符号
人均 GDP	元	rgdp
二氧化硫排放量	吨	so2
工业废水排放量	万吨	indwat
工业固体废弃物排放量	吨	indsol

我们的实证分析主要关注污染物的排放量和收入的关系，并以方程（1）为出发点：

$$m_{it} = \alpha + \beta_1 y_{it} + \beta_2 y_{it}^2 + \beta_3 y_{it}^3 + \varepsilon_{it} \quad i=1, \dots, 29, t=1, \dots, 14 \quad (1)$$

其中  $m_{it}$  表示废水、废气或废渣排放量， $\beta_1 y_{it} + \beta_2 y_{it}^2 + \beta_3 y_{it}^3$  表示 GDP 或人类发展指数等收入指标的 3 次多项式， $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$  为回归系数。 $\alpha$  为常数项， $\varepsilon_{it}$  为误差项。

### 1.1 检验传统的 EKC 曲线

为了检验传统的 EKC 曲线，本文分别对三类污染指标与人均 GDP 的关系进行回归检验。在进一步分析之前，为了克服可能出现的异方差，分别对各组数据取对数。具体估计步骤是，首先用各种污染物排放量对人均 GDP 的三次多项式进行估计，并根据估计系数的 t 统计量来判断其显著性，若某一项不显著，去掉后重新回归。其次，根据 F 检验判断其为混合模型还是固定效应模型，接着用 Hausman 检验判断其为固定效应模型还是随机效应模型。用面板数据建立的模型通常有 3 种，即混合回归模型、固定效应回归模型和随机效应回归模型（张晓峒，2009）<sup>6</sup>。本文中，具体回归方程为：

$$m_{it} = \alpha + \beta_1 \times \text{RGDP}_{it} + \beta_2 \times \text{RGDP}_{it}^2 + \beta_3 \times \text{RGDP}_{it}^3 + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中  $m_{it}$  表示气体、液体或者固体污染物排放量，RGDP 表示人均 GDP， $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$  为回归系数。 $\alpha$  为常数项， $\varepsilon_{it}$  为误差项。

### 1.2 改变衡量收入的方法检验 EKC 曲线

长期以来，在研究 EKC 的文献中一直被忽视的问题是：如何正确定义及衡量收入、因为衡量收入的不同方法对于实证结果可能产生的不同影响（Munasinghe, 1999）<sup>7</sup>。纵观相关文献，几乎无一例外的用 GDP 或人均 GDP 来衡量收入。本文将试探性的用人类发展指数来衡量收入，并考察其对污染物排放量的影响。

首先，希克斯（Hicks, 1946）<sup>8</sup> 认为，收入是在贫富不变前提下可能用于消费的最大数额，所谓贫富不变，实际上就是所持有的财富不变。以此为前提定义收入，其意义在于，不能用财富变现供当期消费之用，收入、消费的前提是要保证其财富到期末仍然维持在期初水平上，使资本得以保全，这样才能保证下一时期仍然可以以此为基础获得同样的收入，保证

同样的消费，这样，收入才是可持续的（高敏雪，2004）<sup>9</sup>。希克斯的这一定义与可持续发展紧密相连。但是 GDP 不是一个衡量希克斯收入的好的指标，因为如果一个地区消费掉所有的 GDP，那么总的资本存量会减少，并且这一地区的经济发展水平在后来时期会恶化。国内生产净值（NDP）似乎比 GDP 更能准确的衡量希克斯收入，因为它扣除了生产资本及自然资本折旧，衡量了能可持续发展的最大的消费量。从这个角度来讲，我们在考察 EKC 曲线时应该用 NDP 而不是 GDP 作为收入指标，但是可惜的是，关于自然资本折旧的数据较难获得，因此很难正确的估计 NDP。

另一方面，如果我们想研究经济发展与环境污染的关系，NDP 这一指标来衡量发展是远远不够的，因为它没有考虑诸如失业、不均等、犯罪率、健康水平等。有大量的研究试图拓展衡量经济发展或福利的指标。例如“真实发展指数”（Genuine Progress Indicator）、永续经济福利指标（Index of Sustainable Economic Welfare）、人类发展指数（Human Development Index，以下简称 HDI）等。福利与人均 GDP 在经济发展的早期阶段是正相关的，但会随着经济的进一步发展变为负相关关系(Robert J. H,2002)<sup>10</sup>，这一结论会改变我们对 EKC 曲线形状的预期。不管这一结论正确与否，可以肯定的是对于收入/福利的不同衡量方法可能会影响 EKC 曲线的形状。

需要特别注意的是，在衡量收入或福利的指标中自然资源和环境问题所占的份额越大，收入与污染物排放量之间的正相关关系越弱，即使收入处于较低水平也是如此。因此，为了准确测量收入与环境之间的关系，收入指标中不应包含环境因素。本文将用 HDI 来替代人均 GDP 做进一步分析，并观察其对结果的影响。我们的模型进一步转化为：

$$m_{it} = \alpha + \beta_1 \times \text{HDI}_{it} + \beta_2 \times \text{HDI}_{it}^2 + \beta_3 \times \text{HDI}_{it}^3 + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

之所以选择 HDI 而不选择“真实发展指数”或“永续经济福利指标”，首先是因为 HDI 数据可得性，另外，HDI 不包括环境参数。

关于人类发展指数的计算方法从 1990 年以来有过变动，现在的具体计算方法是想要计算某个国家或地区人类发展指数，首先计算出预期寿命指数、教育获得指数和 GDP 指数值。要想计算出这三个方面的指数，先选定每个基本指标的最小和最大值，即“阈值”，各项指标的最大值或最小值（阈值）有规定的域值，三方面的阈值是：出生时的预期寿命，最大为 85 岁，最小为 25 岁；成人识字率，最大为 100（%），最小为 0；综合入学率，最大值为 100（%），最小值为 0；人均 GDP(美元)，最大值为 40000 美元，最小值为 100 美元。然后通过公式计算出每个分项指标的指数，结果表示为 0 到 1 之间的数值。HDI 的最终数值就是这三个方面指数的简单平均值。具体计算公式如下：

$$\text{预期寿命指数} = \frac{\text{预期寿命实际值} - 25}{85 - 25}$$

$$\text{教育获得指数} = \frac{2}{3} \times \text{成人识字率指数} + \frac{1}{3} \times \text{综合入学率指数}$$

$$\text{成人识字率指数} = \frac{\text{实际成人识字率} - 0}{100 - 0}$$

$$\text{综合入学率指数} = \frac{\text{实际综合入学率} - 0}{100 - 0}$$

$$\text{GDP指数} = \frac{\log(\text{实际人均GDP}) - \log(100)}{\log(40000) - \log(100)}$$

$$\text{HDI} = \frac{1}{3} \times \text{预期寿命指数} + \frac{1}{3} \times \text{教育获得指数} + \frac{1}{3} \times \text{GDP指数}$$

本文 1990 年, 2005 年 HDI 数据摘自于《我国省际间人类发展指数比较研究》(胡斌, 2009) 11, 其余年份采用内插法与外推法计算而来。具体分析时, 同样为了克服可能出现的异方差, 分别对各组数据取对数。但是 HDI 数据取对数后均为负值, 为了分析方便, 将 HDI 数据扩大十倍后再取对数作为衡量收入的替代指标。具体估计步骤同传统 EKC 曲线的分析。

## 2 估计结果

### 2.1 传统 EKC 曲线检验结果

表 2 列出了基于方程 (2) 的 29 个省级地区的面板数据分析结果, 检验结果表明, 三类污染指标与人均 GDP 之间均为个体固定效应模型, 并在估计方程中加入 AR 项来克服自相关。

表 2 三类污染排放与人均 GDP 的回归结果

	个体固定效应模型(1)	个体固定效应模型(2)	个体固定效应模型(3)
	SO <sub>2</sub> (因变量)	Indwat(因变量)	indsol(因变量)
Ln(RGDP)	-26.25 (-3.68)	-81.0 (-11.62)	-121.0 (-2.06)
Ln(RGDP) <sup>2</sup>	2.96 (3.89)	8.55 (11.18)	13.5 (-2.18)
Ln(RGDP) <sup>3</sup>	-0.11 (-4.04)	-0.30 (-10.72)	-0.5 (2.34)
AR	随个体不同而不同	随个体不同而不同	随个体不同而不同
R <sup>2</sup>	0.98	0.96	0.89
DW	1.7	1.6	1.96
曲线形状	倒 N 形	倒 N 形	倒 N 形
拐点	8、9.9	9、10	8.4、9.6
F 统计量	4.94	8.14	3.0
H 统计量	116.46	202.32	54.67

注: 括号里数字为相应的 t 统计量的值。

数据来源:《中国统计年鉴》1999~2009 EVIEWS 6 计算。

#### (1) 工业二氧化硫排放量与人均 GDP 的 EKC 曲线的检验

工业二氧化硫排放量与人均 GDP 的线性混合模型估计结果为:

$$\hat{\text{SO}}_{2it} = 567245.1 + 1.5154 \text{RGDP}_i$$

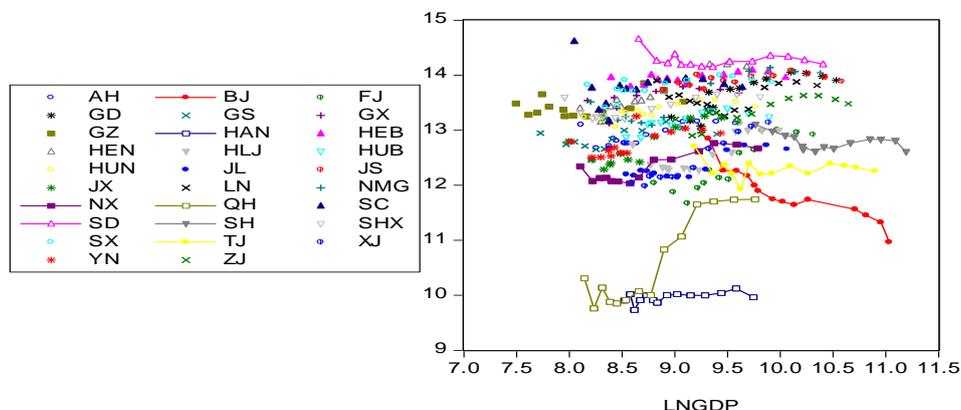
(18.41)      (0.792)

R<sup>2</sup>=0.00155      DW=0.09542

其中括号内数字为 t 统计量的值。说明二氧化硫排放量与人均 GDP 之间不存在线性关系, 并由可绝系数值非常低可知数据一定非常散。为了克服可能存在的异方差, 我们将数据取对数, 继续分析二氧化硫排放量与人均 GDP 面板数据的特征, 观察以每个个体观测值为一符号的面板数据散点图, 如图 1 所示<sup>1</sup> (我们将北京、海南、宁夏、青海、山东、上海、

<sup>1</sup> 注: 图 1 左边的各省标识以各省名称的第一个字母组成, 其中 SX 代表山西省、SHX 代表陕西省

天津的散点图分别连在一起), 可以看出, 北京二氧化硫排放量的对数值下降迅速, 而青海的二氧化硫排放量在 2000 年以来上升速度惊人, 海南省的二氧化硫排放量保持微微上升趋势, 并且大大低于其他省份。其余各省份均大体表现出先下降再上升而后再下降的倒 N 形趋势, 例如, 山东、上海。



数据来源:《中国统计年鉴》1999~2009。EViews 6 计算。

图 1 各省工业二氧化硫排放量与人均 GDP 散点图

进一步通过计量分析, 我们再次证实了这种倒 N 形的关系, 并且无论固定效应模型还是随机效应模型均支持这一结论, 但通过 F 检验与 Hausman 检验, 我们最终得出了表 2 的固定效应模型 (1) 的回归结果:

$$\hat{\text{Ln}}(\text{SO}_{2ij}) = \alpha_i - 26.25 \text{Ln}(\text{RGDP})_{ij} + 2.96 \text{Ln}(\text{RGDP})_{ij}^2 - 0.11 \text{Ln}(\text{RGDP})_{ij}^3$$

通过上式可以计算出工业二氧化硫排放与人均收入的倒 N 型曲线的转折点位于 8 与 9.9。利用 EViews 6 按上式绘出的回归曲线如类似图 2, 其中人均 GDP 的对数值为 8 (人均 GDP 为 2980.96 元) 时是二氧化硫排放量随人均 GDP 的上升由下降转为上升的转折点, 人均 GDP 的对数值为 9.9 (人均 GDP 为 19930.37 元) 时是二氧化硫排放量随人均 GDP 的上升由上升转为下降的转折点。由表 3 可以看到, 到 2000 年除上海外其余省份的对数值均在 8 与 9.9 之间, 也就是说随着人均 GDP 的上升二氧化硫排放量也处于上升阶段, 但是到了 2008 年我国已经有一半的省份已经进入到类似图 2 中倒 N 型曲线的 CD 段 (随人均 GDP 的上升工业二氧化硫排放量下降的阶段)。可见我国废气排放治理初见成效, 尽管这些省份 GDP 的对数值均与临界值较为接近 (北京、上海除外)。另外, 从 2000 年到 2008 年, 大部分省份均从倒 N 型的 BC 阶段转移到 CD 阶段, 可以理解为倒 U 型的, 因此第二个转折点更值得我们关注。

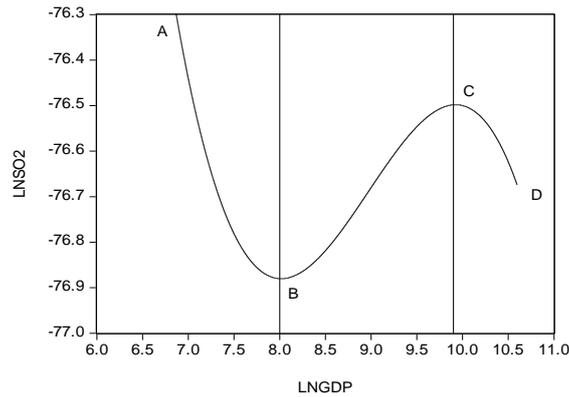


图 2 工业二氧化硫排放与人均收入回归方程曲线图

表 3 各省份 2000、2008 年对数的人均 GDP 值

	BJ	TJ	HEB	SX	NM G	LN	JL	HLJ	SH	JS	ZJ	AH	FJ
2000	9.79	9.70	8.93	8.51	8.68	9.31	8.81	9.08	10.21	9.35	9.47	8.53	9.33
2008	11.03	10.90	10.05	9.92	10.38	10.35	10.06	9.99	11.19	10.58	10.64	9.58	10.31
	JX	SD	HEN	HU B	HUN	GD	GX	HA N	SC	GZ	YN	SH X	GS
2000	8.48	9.15	8.62	8.87	8.65	9.32	8.43	8.79	8.48	7.94	8.42	8.44	8.25
2008	9.60	10.40	9.88	9.90	9.77	10.53	9.61	9.75	9.64	9.08	9.44	9.81	9.40

数据来源：用《中国统计年鉴》1996~2009 数据计算。

### (2) 工业废水排放量的 EKC 曲线的检验

考察工业废水排放量与人均 GDP 间的关系，通过 F 检验与 Hausman 检验，我们最终得出了表 2 中固定效应模型 (2) 的回归结果：

显然，估计结果表明存在着 indwat 与人均 GDP 之间的倒 N 型曲线关系，我们同样可以计算出工业废水排放量与人均收入的倒 N 型曲线的转折点位于 9 与 10。由表 3 可以看到，到 2000 年有约一半的省份人均 GDP 对数值位于 9 以下，即类似图 2 中曲线 AB 段，也就是说，随着人均 GDP 的提高，工业废水排放量是逐年下降的，只有上海市是位于类似图 2 中倒 N 型曲线的 CD 段，其余省份均是随着人均 GDP 的提高工业废水排放量是逐年上升的，即位于曲线 BC 段。到了 2008 年，其与工业二氧化硫排放量的情况基本一致。因此过去近十年间，大部分省份的工业废水排放量与人均 GDP 呈现 U 型的关系，只有一些发达省份为倒 U 型的，由此可见，我国废水治理仍需加强。

### (3) 工业固体废弃物排放量与人均 GDP 的 EKC 曲线的检验

考察工业固体废弃物排放量与人均 GDP 间的关系，通过 F 检验与 Hausman 检验，我们

最终得出了表 2 中固定效应模型 (3) 的回归结果。

显然, 估计结果表明存在着 *indwat* 与人均 GDP 之间的倒 N 型曲线关系, 我们同样可以计算出工业废水排放量与人均收入的倒 N 型曲线的转折点位于 8.4 与 9.6。同样由表 3 可以看到, 2000 年各省人均 GDP 的对数值均大于 8.4, 即超过了类似图 2 曲线 B 点的位置, 所以近十年来各省工业固体废弃物排放量与人均 GDP 间可以理解为倒 U 形关系, 并且, 有超过一半的省份在 2008 年之后位于倒 U 型 CD 阶段。可见我国工业固体废弃物治理初见成效。

#### (4) 拐点的比较

由实证结果来看, 我国三类污染物排放量与人均 GDP 均呈倒 N 型的关系, 且第二个转折点很近似, 若按照现在的汇率计算, 大约为 3000 美元左右。我们也可以将本文实证结果与国外相关实证结果进行比较。表 4 列出了支持环境收入库兹涅茨曲线关系存在的一些研究文献。将本文实证结果与表 4 相比, 一个有趣的发现是我国可能在经济发展水平上还仍然处于相对较低的阶段越过了 EKC 的转折点, 因为表 4 估算的转折点在 3000~14700 美元之间。这一结果一方面反映了污染度量指标、样本区域的选取对 EKC 实证结果的决定作用, 另一方面也提醒我们, 即使是对于像我国这样的发展中国家而言, 也可能在一个相对较低的人均收入水平阶段较早地超越 EKC 的临界点 (彭水军, 包群, 2006)。<sup>5</sup>

表 4 以大气污染指标为代表的环境库兹涅茨曲线研究的转折点 (单位: 美元)

	二氧化硫	烟尘	漂浮颗粒物	氮氧化物	一氧化碳
Grossman 和 Krueger(1995)	4050	6150	单调递减	—	—
Shafik(1994)	3300	—	3000~3500	—	—
Panayotou(1995)	3000	—	4500	5500	—
Selden 和 Song(1994)	8700	—	10300	11200	6000
Cole(1997)	6900	—	7300	14700	9900
List 和 Gallet(1997)	2200(只针对美国)	—	—	—	—
Stern 和 Common(2001)	9000(OECD 国家)	—	—	—	—
	30000-100000(全球)	—	—	—	—

资料来源: 薛冰, 环境库兹涅茨曲线及其存在性能检验: 以东北为例。东北财经大学硕士学位论文, 2006。

表 5 三类污染排放与 HDI 的回归结果

	个体固定效应模型(1) SO <sub>2</sub> (因变量)	个体固定效应模型(2) Indwat(因变量)	个体固定效应模型(3) indsol(因变量)
Ln(HDI)	-521.98 (-3.13)	-792.62 (-5.58)	151.64 (2.48)
Ln(HDI) <sup>2</sup>	273.13 (3.24)	398.84 (5.50)	-41.64 (-2.72)
Ln(HDI) <sup>3</sup>	-47.18 (-3.33)	-66.66 (-5.41)	—
AR	0.60 (17.20)	0.34 (8.28)	0.63 (13.44)
R <sup>2</sup>	0.98	0.95	0.87
DW	1.8	1.7	2.11
曲线形状	倒 N 形	倒 N 形	倒 U 形
拐点	1.71、2.1	1.87、2.1	1.82

注：括号里数字为相应的 t 统计量值。

数据来源：《中国统计年鉴》1999~2009。EViews 6 计算。

## 2.2 改变衡量收入方法后 EKC 曲线检验结果

表 5 列出了基于方程 (3) 的 29 个省级地区的面板数据分析结果, 检验结果表明, 三类污染指标与 HDI 之间均为个体固定效应模型。并在估计方程中加入 AR 项来克服自相关。

用 HDI 替代人均 GDP 作为衡量收入的指标后, 工业二氧化硫排放量、工业废水排放量与收入仍呈现倒 N 型的关系; 工业固体废弃物排放量与收入呈现倒 U 型曲线, 符合传统的 EKC 曲线。

### (1) 工业二氧化硫排放量与 HDI 的 EKC 曲线的检验

考察工业二氧化硫排放量与 HDI 的关系, 通过 F 检验与 Hausman 检验, 我们最终得出了表 5 中固定效应模型(1)的回归结果:

显然, 估计结果表明工业二氧化硫排放量与 HDI 之间存在着倒 N 型曲线关系, 可以计算出工业二氧化硫排放量与 HDI 的倒 N 型曲线的转折点位于 1.71 与 2.1, 即 HDI 分别为 0.55 与 0.82。通过观察比较表 6 中 2005 年与 1995 年各年份的 HDI 数据可以看出, 1995 年时只有极少数省份(贵州、云南)的 HDI 低于 0.55, 也只有少数省份(天津、上海)的 HDI 高于 0.82。其余省份均位于类似图 2 倒 N 型曲线的 BC 阶段, 也就是随着 HDI 的提高, 工业二氧化硫排放量呈上升趋势。2005 年时, 北京、天津、上海、江苏等发达省份的 HDI 均高于 0.82, 即类似图 2 中 CD 阶段, 即随 HDI 的提高, 工业二氧化硫排放量呈下降趋势。虽然工业二氧化硫排放量与 HDI 之间存在着倒 N 型曲线关系, 但是后半部分的倒 U 型更值得我们关注, 因为大部分省份的 HDI 值大于 0.55, 即超过了类似图 2 的 B 点。

### (2) 工业废水排放量与 HDI 的 EKC 曲线的检验

考察工业废水排放量与 HDI 间的关系, 通过 F 检验与 Hausman 检验, 我们最终得出了表 5 的固定效应模型 (2) 的回归结果:

显然, 工业二氧化硫排放量与 HDI 之间也存在着倒 N 型曲线关系, 转折点位于 1.87 与 2.1, 即 HDI 分别为 0.65 与 0.82, 与二氧化硫排放量与 HDI 的倒 N 型的转折点很相似。同样观察 2005 年与 1995 年各年份的 HDI 数据可以看出, 1995 年时除贵州、云南外, 安徽、陕西、甘肃等省份的 HDI 也低于类似图 2 的 B 点。2005 年时, 工业废水排放量、工业二氧化硫排放量与 HDI 的关系完全一致, 同样这种倒 N 型曲线关系的后半部分的倒 U 型更值得我们关注。

### (3) 工业固体废弃物排放量与 HDI 的 EKC 曲线的检验

考察工业固体废弃物排放量与 HDI 间的关系, 通过 F 检验与 Hausman 检验, 我们最终得出了表 5 中的固定效应模型 (3) 的回归结果:

显然, 估计结果表明存在着 indwat 与 HDI 之间的倒 U 型曲线关系, 倒 U 型曲线的转折点位于 1.82 (HDI 为 0.62)。1995 年时有十二个省份 HDI 值位于转折点的左侧, 2005 年时各省份 HDI 值均位于转折点的右侧, 呈现出典型的 EKC 曲线。进一步证明我国工业固体废

弃物排放治理初见成效。

表 6 各省份 1995、2005 年 HDI 值

	北京	天津	河北	山西	内蒙古	辽宁	吉林	黑龙江	上海	江苏
2005	0.879	0.877	0.779	0.775	0.765	0.814	0.78	0.786	0.911	0.821
1995	0.80	0.82	0.65	0.66	0.63	0.74	0.67	0.68	0.88	0.72
	浙江	安徽	福建	江西	山东	河南	湖北	湖南	广东	广西
2005	0.831	0.723	0.786	0.735	0.797	0.758	0.755	0.752	0.82	0.741
1995	0.70	0.59	0.66	0.60	0.67	0.62	0.63	0.62	0.73	0.61
	海南	四川	贵州	云南	陕西	甘肃	青海	宁夏	新疆	
2005	0.762	0.728	0.647	0.672	0.742	0.681	0.685	0.724	0.744	
1995	0.65	0.59	0.53	0.55	0.61	0.56	0.56	0.60	0.63	

### 3 结 论

尽管众多实证研究 EKC 文献中结论大相径庭，但本文采用不同的污染物指标、不同的衡量收入的方法（除 HDI 与工业固体废弃物排放量呈现倒 U 形）均得出环境质量与经济发展的倒 N 形关系。环境质量与经济发展的倒 N 形关系，类似于“重组假说”所描述的情况。重组假说认为环境质量和经济增长分离状态不会长期持续下去，经济发展到一定水平后会重新组合。（李玉文，徐中民等，2005）<sup>12</sup> 上世纪九十年代末 Bruyn 和 opschoor 在研究 EKC 时发现了环境质量与经济发展重组的可能，在一些发达国家中确实出现重新组合现象，就本文研究结论来看，我国环境质量与经济发展之间也是呈现一种倒 N 形关系，而不是倒 U 型。

随着经济的发展，我国污染物排放量沿着下降到上升再到下降这样一条路径发展，并且发达省份在这条路径上进程明显快于不发达省份。东部省份大多位于倒 N 形后半部分的倒 U 形，西部一些省份位于倒 N 形前半部分的正 U 形。到目前为止，只有北京、上海、天津、江苏等发达省份的各类污染物排放量已经越过了类似图 2 倒 N 形的 C 点，大多数省份的污染物排放量仍处于类似图 2 倒 N 形的 B 点与 C 点之间。虽然，许多不发达省份正位于倒 N 形的 AB 段，也就是说会随着经济的发展，污染物排放量会呈现下降的趋势，但就本文分析来看，这种趋势会逐渐发生重组现象，即会随着经济的进一步发展污染物排放量会呈现上升的趋势，我们要尽量缩短甚至避免这一趋势的出现，发挥后发优势，借鉴发达省份的排污治理经验，避免走先污染再治理的老路。

另外，进一步观察我们可以发现，三类污染物中，我国工业固体废弃物排放治理初见成效，工业废水排放治理仍需进一步加强，这与我们现实状况也是比较一致的，也许厂商的废水的违规排放要比废弃物的违规排放更隐蔽些，我们可以随处看见被污染的河流，却不容易见到随意堆放的工业垃圾。本文之所以得出这样的结论是因为根据本文研究结果，各省份的污染排放量随着我国经济的发展似乎沿着到 N 形的轨迹在运动，我国工业固体废弃物排放量大部分省份处于到 N 形后半部分的倒 U 形，而工业废水排放量大部分省份则位于其前半部分的正 U 形，若沿着曲线过渡到后半部分的倒 U 型，必然后经过类似图 2 中曲线的 BC 阶段，这是我们不愿意看到的结果，因此我们希望工业废水排放治理得到进一步加强，甚至不经过类似图 2 中倒 N 型的 BC 段直接过渡到 CD 段。

最后, 此倒 N 形的研究结果只是本文研究所囊括的这一时间段我国工业污染物排放量与经济发展关系的描述, 随着时间的推移, 我国的环境污染与经济发展是否会继续发生重组现象或变成 W 型, 或以正弦或余弦曲线那样震荡下去, 有待进一步的研究发现。但是可以肯定的是, 倒 N 型的后半部分不会以现在的斜率无限延伸, 因为这样几十年后我们的各种废弃物的排放量会变为负值, 这是不可能的。我们最希望的结果是, 我们的环境污染物排放量无限接近于零, 而不是继续发生重组现象, 这还需要我们高度的重视和不懈的努力。

## 参考文献

- [1] 许广月, 宋德勇. 中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据[J]. 中国工业经济, 2010年5月, 第37页
- [2] Grossman, G.M. and Krueger, A.B. “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement”, in NBER WORKING PAPERS No. 3914, 1991
- [3] Nemat Shafik, *Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis*, Oxford Economic Papers, Vol. 46, 757-773, 1994
- [4] 符淼. 我国环境库兹涅茨曲线: 形态、拐点和影响因素[J]. 数量经济技术经济研究, 2008年第11期, 第41页
- [5] 彭水军, 包群. 经济增长与环境污染——环境库兹涅茨曲线假说的中国检验[J]. 财经问题研究, 2006年8月, 第3页、第7页
- [6] 张晓峒. 应用数量经济学[M]. 机械工业出版社, 2009年3月第1版, 第316页
- [7] Munasinghe, M, ‘Is Environmental Degradation an Inevitable Consequence of Economic Growth: Tunneling Through the Environmental Kuznets Curve’, *Ecological Economics*, 29, 89-109, 1999
- [8] Hicks, J.R, *Value and Capital*, Second Edition, University Press Oxford, Oxford, 1946
- [9] 高敏雪等. 《资源环境统计》[M]. 中国统计出版社, 2004年4月, 第343页
- [10] Robert J. H. Elisabetta Magnani, An exploration of the conceptual and empirical basis of the environmental Kuznets curve, *Australian Economic Papers*, Volume 41, Issue 2, pages 239-254, 2002
- [11] 胡斌. 我国省际间人类发展指数比较研究[D]. 吉林大学硕士学位论文, 2009年4月, 第12-14页
- [12] 李玉文, 徐中民等. 环境库兹涅茨曲线研究进展[J]. 中国人口、资源与环境, 2005年第5期, 第8页