

基于 Weibull 函数和 Gamma 函数的环境 污染与经济增长的关系

宋 涛^{1,2}, 郑挺国³, 佟连军^{1,2}

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 长春 130012; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 吉林大学数量经济研究中心, 长春 130012)

摘要: 环境库兹涅茨曲线是研究环境污染与经济增长之间关系的有效工具。传统的环境库兹涅茨曲线研究大多采用线性模型或对数线性模型, 其在采用模型描述关系的问题上存在一定的不足。为克服这些不足, 本文采用 Weibull 函数和 Gamma 函数形式的面板数据模型对中国 29 个省区 1989~2005 年四种环境污染指标人均排放量与人均收入之间的关系予以研究。结果表明 Weibull 函数和 Gamma 函数的面板数据模型拟合效果较好, 且参数具有较好的解释能力; 人均废水和人均 SO₂ 都随人均收入增加先上升后减少, 在 25000 元附近出现结构转变点, 而人均固体废弃物和人均废气随人均收入增加则呈现单调增加的变化趋势, 没有出现结构转变点。

关键词: 环境库兹涅茨曲线; 面板数据; Weibull 函数; Gamma 函数

文章编号: 1000-0585(2007)03-0569-08

1 引言

近年来, 环境污染与经济增长之间的关系问题作为“最关键的经济问题”得到理论界的普遍关注^[1]。许多经验研究发现环境污染在经济增长的早期阶段会首先随人均收入水平的提高而加重, 在达到一定的峰值之后会再随人均收入增加而减轻。这种“先升后降”的曲线关系与 Kuznets 发现的收入分配不平等关系具有相似性, 因而被称为环境库兹涅茨曲线 (Environmental Kuznets Curve, 简称 EKC)^[2]。目前环境经济学家讨论国家或区域经济发展与环境污染关系时常引用这一模型, 如何根据各国数据估计环境库兹涅茨曲线转折点的数值成为研究经济发展与环境污染演替关系的核心, 并引起诸多环境经济学家的高度关注^[3]。正如《2000 中国可持续发展战略报告》所述, “EKC 如果是不可避免的规律, 就应利用此曲线对全国以及各省、市的环境污染走势进行预测预报, 从而在科学的基础上确定出对应环境污染高峰的‘临界点’以及达到此临界点的时间长度, 并形成合理的决策框架^[4,5]”。

在传统的 EKC 研究中, 一般采用线性或对数线性模型来刻画环境污染随经济增长先上升后下降的变化趋势, 模型被设定为收入的一个多项式函数^[3~8]。然而, 从解析观点和

收稿日期: 2006-12-09; 修订日期: 2007-03-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40571041)

作者简介: 宋涛 (1978-), 女, 山东省乳山市人, 博士研究生。主要从事环境经济和区域经济等方面的研究。

E-mail: songtao@neigae.ac.cn

通讯作者: 佟连军, 研究员, 博士生导师。

经验行为来看,线性和对数线性模型中对于解释污染物排放量与经济增长之间关系的能力是不充分的^[9]。例如对数线性模型对变量施加了非负限制,而线性模型没有,这与当经济发展到较高水平时排放量也不可能为负的事实不符;线性和对数线性模型对排放量和收入之间关系施加了对称的约束,而事实上这种关系在先验场面上是不允许的;再有,在线性或对数线性模型中引入立方项时,模型系数缺乏解释能力;而且许多 EKC 文献在线性和对数线性模型之间没有进行严格的区分和界定,因而传统的 EKC 经验研究所用的模型并非一个优质的度量模型。

鉴于上述原因,一些研究开始重新考虑关于 EKC 曲线的模型设定问题,主要利用非线性模型来描述污染物排放量和人均收入之间的关系^[10,11]。特别地, Galeotti 等在 2005 年基于 1971~1995 年 108 个国家面板数据研究人均二氧化碳排放量与人均 GDP 之间的 EKC 关系,发现应用 Gamma 函数和 Weibull 函数形式的模型要比传统线性模型和对数线性模型具有更好的拟合能力^[12~14]。

目前国内关于 EKC 的研究主要是利用线性或对数线性模型来解释环境污染与经济增长之间的关系,如包群等^[15]利用线性模型研究我国 30 个省区 1996~2002 年间人均收入与 6 类环境污染指标之间的关系;刘荣茂等^[16]利用对数线性模型对我国 29 个省区 1991~2003 年工业废水、废气、固体排放物等变量与人均 GDP 的面板数据进行了研究;宋涛等^[17]则采用对数线性模型对我国 29 个省区 1985~2004 年 6 类环境指标与人均收入之间的关系进一步进行了实证分析。而采用非线性模型来研究 EKC 关系的文献尚未见到。

基于 EKC 基本假设,本文采用 Weibull 函数和 Gamma 函数对中国环境污染与经济增长之间的 EKC 关系进行实证分析。收集了中国 29 个省区 1989~2004 年的经济和环境面板数据,采用 Weibull 函数和 Gamma 函数形式分别对四种环境污染指标(废水、固体废弃物、废气以及二氧化硫)的人均排放量和人均收入的 EKC 关系进行估计和分析。

2 研究方法

大量的 EKC 研究文献假设人均排放量和人均收入之间的经验关系可由一参数化模型来充分描述,并进一步明确地表述为可由收入的多项式表示。估计的回归模型通常在两方面有所区别:(i) 方程为线性的或为对数线性的;(ii) 方程为二次的或三次的。如引言所述,尽管线性模型和对数线性模型在描述 EKC 关系时已经获得了相应的效果,但仍然存在一些明显的不足,所以促使研究者寻找一些非线性方法或非参数方法。这里,我们将选用 Weibull 函数和 Gamma 函数形式来刻画环境污染随经济发展的变化关系,这两个函数被应用于环境和生态经济学,并且被广泛应用于持续期模型^[18,19],通过这两种函数形式更容易解释函数参数,并放宽线性和对称性的限制。下面,首先给出 Weibull 函数和 Gamma 函数的一般形式,然后给出这两种函数形式推广至关于排放量与收入之间关系的面板数据模型。

2.1 Weibull 函数和 Gamma 函数

Weibull 函数和 Gamma 函数均为非线性函数,其参数化形式可分别表示为:

$$y = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp \left\{ - \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right\} \quad (1)$$

$$y = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha-1} \exp \left\{ - \left(\frac{x-\gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right\} \quad (2)$$

这里 α 、 β 和 γ 为 Weibull 函数和 Gamma 函数的参数, 式(1)和(2)又称为三参数 Weibull 函数和 Gamma 函数。

这两个函数关系对自身参数具有更好的解释能力, 其中 α 、 β 和 γ 分别与函数的“形状”、“规模”和“移动”有关, 函数依赖于它们的取值, 并由此函数关系可假设为各种不同行为。从函数的参数特点来看, 参数 α 和 β 直接与函数的高度有关, 并由此决定了转变点处的排放量大小; 移动或位置参数 γ 控制沿着水平轴的函数位置, 并由此可以刻画收入转变点; 最关键的是参数 α , 它控制着函数的形状。特别地, 当 $\alpha=1$, Weibull 和 Gamma 分布函数类似于指数分布函数, 当 $\alpha < 1$ 时, 两种函数形式呈逆“J”型, 即曲线可能是指数递减的, 而当 $\alpha > 1$ 时, 两种函数形式呈“钟”型或称倒“U”型。

Weibull 函数和 Gamma 函数形式的一个较好特点就是允许对转变点给出一个解析闭型表示。在实际应用中, 在(1)和(2)中取 y 关于 x 的导数并设其为零可以求解 x 的极值点 x^{TP} , 亦即“转变点”, 可分别表示为:

$$x^{TP} = \gamma + \beta \left(\frac{\alpha - 1}{\alpha} \right)^{1/\alpha} \quad (3)$$

$$x^{TP} = \gamma + \beta(\alpha - 1) \quad (4)$$

从表达式(3)和(4)中, 两个函数的转变点均依赖于自身的三个参数 α 、 β 和 γ 。

2.2 面板数据模型

EKC 研究一般使用的模型主要有: 时间序列模型、截面数据模型和面板数据模型。由于时间序列数据和截面数据获取相对较难, 数据长度较短, 且模型估计往往表现出不稳定性, 而面板数据可以通过合并时间序列数据和截面数据获得, 样本数据大规模增加, 估计结果也明显较稳健, 因此是 EKC 研究较为理想的模型。

环境污染和经济增长之间关系在空间和时间维上可能呈现不同的变化特征, 所以一般需要考虑时间效应和地区(个体)效应。我们对 Weibull 函数和 Gamma 函数考虑固定效应的面板数据模型, 并对模型两边分别取对数, 于是标准的参数模型可表示为:

$$\log y_{it} = \mu_i + \theta_t + (\alpha - 1) \log \left(\frac{x_{it} - \gamma}{\beta} \right) - \left(\frac{x_{it} - \gamma}{\beta} \right)^\alpha + u_{it} \quad (5)$$

$$\log y_{it} = \mu_i + \theta_t + (\alpha - 1) \log \left(\frac{x_{it} - \gamma}{\beta} \right) - \left(\frac{x_{it} - \gamma}{\beta} \right) + v_{it} \quad (6)$$

这里 y 表示污染物人均排放量, x 为人均收入或人均 GDP, $i=1, \dots, N$ 表示地区, $t=1, \dots, T$ 表示时间, $\log(\cdot)$ 为对数函数, μ_i 表示个体特殊效应, θ_t 表示时间特殊效应, α 、 β 和 γ 表示 Weibull 函数和 Gamma 函数的三参数。这里假设 u_{it} 和 v_{it} 为正态随机扰动项, 即 $u_{it} \sim iidN(0, \sigma_u^2)$ 和 $v_{it} \sim iidN(0, \sigma_v^2)$ 。

与传统线性模型和对数线性模型不同, 模型(5)和模型(6)为非线性模型, 估计参数时无法使用传统的 OLS 估计方法, 所以一般采用 NLS(非线性最小二乘)方法进行估计, 这种估计方法等价于这些模型的极大似然估计方法。

3 实证分析

3.1 数据说明

本文选取了中国大陆除重庆和西藏之外的 29 个省(市、自治区, 以下简称省区) 1989~2004 年的经济和环境统计数据, 包括各地区 GDP、总人口、工业废水排放量、工

业固体废弃物产生量、工业废气排放量和工业二氧化硫(SO₂)排放量,所有数据来自《中国统计年鉴》和《中国环境年鉴》。数据样本在截面上涵括 29 个省区,在时间上包括 16 年序列,总体样本有 493 个。考虑到《中国统计年鉴》中各省区的 GDP 是以现价表示,我们先通过 GDP 指数(可比价,上年=100)计算得到对应的 GDP 指数(不变价,2000 年=100),然后计算各省区 2000 年不变价的实际 GDP 水平。由此,可分别计算获得所考察的人均变量,分别为人均 GDP(元/人)、人均废水排放量(kg/人)、人均废气排放量(m³/人)、人均固体废弃物产生量(kg/人)和人均二氧化硫(SO₂)排放量(kg/人)。

3.2 计算结果与分析

为对 Weibull 和 Gamma 两种非线性模型作评价分析,我们首先估计传统 EKC 研究中使用的对数线性模型,结果见表 1。在表 1 中,分别估计了不同污染物的二次和三次对数线性的面板数据模型,给出了参数估计量、调整 R² 统计量以及模型的结构转变点,其中设定模型时均考虑了个体效应和时间效应。从参数估计的显著性来看,人均固体废弃物和人均废气的三次 EKC 方程是不稳健的,参数估计量在 5% 水平不显著。而从结构转变点的估计结果来看,无论是二次函数还是三次函数,多数 EKC 方程得到的转变点估计量都较高,如二次人均废气方程的转变点为 1958317 元,远远超出当前我国实际 GDP 水平(2000 年不变价),这可能存在高估的危险。同样又如二次人均废气方程和三次人均废气方程等,且二次方程和三次方程估计得到的转变点差别较大。可见,传统对数线性模型对 EKC 关系未能给出较为稳定的解。如果考虑二次和三次对数线性模型之间的选择问题,则可以进一步采用一些统计检验方法(如 Wald 检验),本文主要研究 Weibull 函数和 Gamma 函数的非线性模型。

表 1 传统对数线性模型的估计结果

Tab. 1 Results of traditional logarithm linear model

	人均废水		人均固体废弃物		人均废气		人均 SO ₂	
	二次函数	三次函数	二次函数	三次函数	二次函数	三次函数	二次函数	三次函数
GDP	2.3341** (6.302)	-22.2759** (-6.720)	2.1009** (5.194)	6.8315+ (1.782)	3.0716** (9.282)	0.6331 (0.202)	3.6537** (8.885)	-14.5118** (-3.812)
GDP 平方	-0.0806** (-4.509)	2.7100** (7.243)	-0.0944** (-4.838)	-0.6308 (-1.458)	-0.1184** (-7.416)	0.1581 (0.446)	-0.1609** (-8.113)	1.8989** (4.419)
GDP 立方		-0.1054** (-7.466)		0.0203 (1.241)		-0.0104 (-0.781)		-0.0778** (-4.798)
调整 R ²	0.8431	0.8603	0.8659	0.8660	0.8977	0.8976	0.8772	0.8830
转变点	1958317	30309	68079	--	430441	134601	85017	25637

注:括弧内为参数的对应 t 统计量。* *、+ 分别表示在 1%、10% 水平下参数估计值显著不为零。一般地,三次对数线性模型形式为 $\log E_{it} = \alpha_i + \gamma_t + \beta_1 (\ln GDP)_{it} + \beta_2 (\ln GDP)_{it}^2 + \beta_3 (\ln GDP)_{it}^3 + u_{it}$, 当 $\beta_3 = 0$ 时,模型为二次对数线性模型。

对于各种污染物与人均 GDP 之间 EKC 关系的 Weibull 函数和 Gamma 函数的面板数据模型,分别为式(5)和式(6),我们均采用 NLS 方法进行估计。表 2 给出关于各种污染物的 Weibull 函数和 Gamma 函数的面板数据模型估计结果。如表所示,除人均固体废弃物 Gamma 函数中参数 β 和人均二氧化硫(SO₂) Weibull 函数和 Gamma 函数中参数 γ 不显著外,三参数 α 、 β 和 γ 在大多数情形下是显著的,而且调整 R² 统计量表明各种污染物

的 Weibull 函数和 Gamma 函数估计均具有较高的拟合优度。模型估计结果说明 Weibull 函数和 Gamma 函数对排放量与收入之间关系具有较好的解释能力，参数估计比较稳健，模拟精度较高。

表 2 面板数据模型估计结果
Tab. 2 Results of panel data model

参数估计值	人均废水		人均固体废弃物		人均废气		人均 SO ₂	
	Weibull	Gamma	Weibull	Gamma	Weibull	Gamma	Weibull	Gamma
α	2.1008** (24.269)	3.1358** (9.289)	1.3928** (15.131)	1.3884** (14.967)	1.9231** (20.267)	2.0525** (17.604)	1.7782** (16.94)	2.2360** (13.229)
β	37997.9** (21.645)	13698.7** (6.129)	104548.2** (2.761)	155211.1+ (1.658)	59136.0** (8.160)	53915.1** (4.027)	38588.2** (13.749)	20563.5** (6.612)
γ	-991.00* (-2.002)	-3651.68** (-2.690)	1035.37** (20.091)	1036.57** (19.679)	551.57** (5.649)	392.26** (2.829)	255.14 (1.107)	-464.03 (-1.148)
调整 R ²	0.8639	0.8637	0.8705	0.8702	0.8985	0.8983	0.8813	0.8828
转变点	26945	25605	43168	61325	40927	57139	24501	24952

注：括弧内为参数的对应 t 统计量。*、*、* 和 + 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平下参数估计值显著不为零。转变点估计值由(3)式和(4)式计算得到。

表 2 结果还给出了各组人均排放量与人均收入之间 EKC 关系的结构转变点，其中通过 Weibull 函数估计得到的废水、固体废弃物、废气和 SO₂ 的转变点依次为 26945 元、43168 元、40927 元和 24501 元，而通过 Gamma 函数估计得到的结果分别为 25605 元、61325 元、57139 元和 24952 元，这些转变点估计值都要低于前面对数线性模型估计得到的转变点估计值。相对于传统二次或三次对数线性模型，从这些结果容易看出 Weibull 函数和 Gamma 函数的非线性模型具有更好的闭型解和更低的转变点，因此这也使得非线性模型的估计结果更为可信。

另外，由 Weibull 函数和 Gamma 函数的非线性模型估计结果表明：从各种不同污染物来看，人均废水排放量和人均 SO₂ 排放量的转变点较低，而人均固体废弃物产生量和人均废气排放量的结构转变点较高；从不同函数拟合结果来看，Weibull 函数估计得到的结构转变点要明显低于 Gamma 函数估计得到的结果。

图 1~图 4 依次给出了各种污染物人均排放量随人均收入变化的 Weibull 函数和 Gamma 函数的数据拟合结果，纵轴表示人均排放量拟合值对数，横轴表示人均 GDP。如图所示，人均废水和人均 SO₂ 随人均收入增加的变化曲线均已呈现下降趋势，而人均固体废弃物和人均废气随人均收入变化尚未出现下降的趋势，这与前面面板数据模型估计结果是一致的，因为前者具有较低的结构转变点，后者具有较高的结构转变点。同样，对人均固体废弃物和人均废气两种情形，我们发现 Weibull 函数和 Gamma 函数拟合曲线几乎一致，曲线关系非常接近；而对人均废水和人均 SO₂ 两种情形，曲线关系相对较远，但基本上呈现了相同的变化趋势，只是在峭度（表示排放量的高度）和深度（表示下降的速度）上有差别。

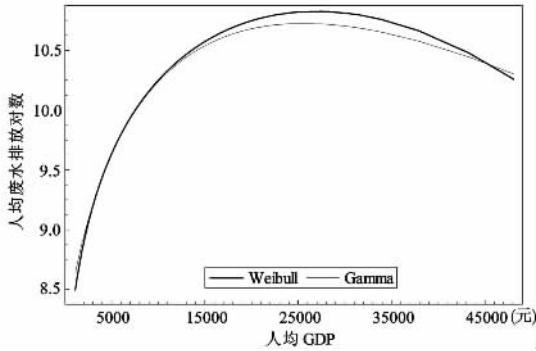


图 1 人均废水与人均 GDP 的 Weibull 函数和 Gamma 函数

Fig. 1 Weibull and Gamma functions of per capita waste water emission and per capita GDP

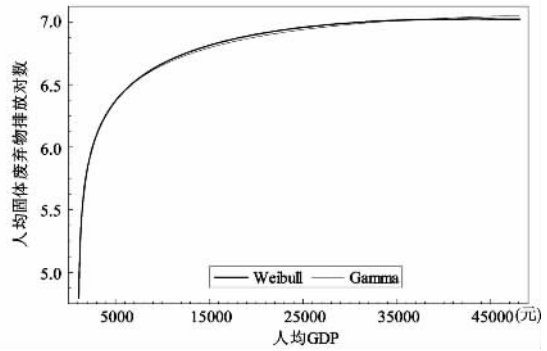


图 2 人均固体废弃物与人均 GDP 的 Weibull 函数和 Gamma 函数

Fig. 2 Weibull and Gamma functions of per capita solid wastes emission and per capita GDP

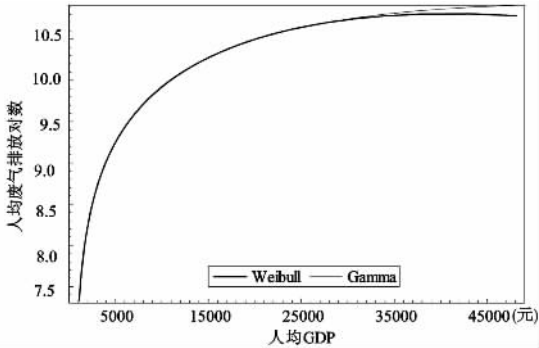


图 3 人均废气与人均 GDP 的 Weibull 函数和 Gamma 函数

Fig. 3 Weibull and Gamma functions of per capita waste gas emission and per capita GDP

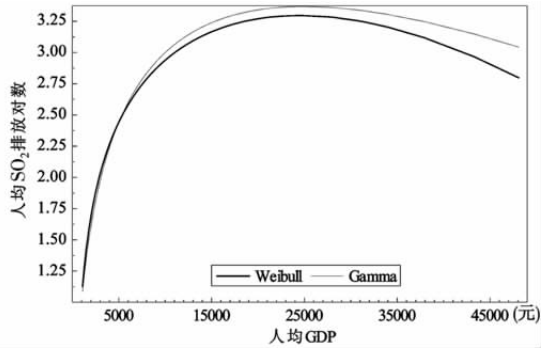


图 4 人均 SO₂ 与人均 GDP 的 Weibull 函数和 Gamma 函数

Fig. 4 Weibull and Gamma functions of per capita SO₂ emission and per capita GDP

4 基本结论

鉴于大多数 EKC 文献采用线性和对数线性模型在研究人均污染物排放量与人均 GDP 之间关系问题上存在局限性, 本文尝试采用 Weibull 函数和 Gamma 函数对中国的污染物人均排放量与人均收入之间的关系进行估计。我们收集了中国 29 个省区 1989~2004 年间的经济和环境面板数据, 进而分析基于 Weibull 函数和 Gamma 函数的 EKC 面板数据模型。

通过前文分析, 结果表明基于 Weibull 函数和 Gamma 函数的面板数据模型对于描述人均污染物排放量和人均收入之间 EKC 关系具有较好的解释能力, α 、 β 和 γ 三参数分别表示了函数的“形状”、“规模”和“移动”, 估计模型的拟合效果较好; 相对于传统二次或三次对数线性模型, Weibull 函数和 Gamma 函数的面板数据模型具有更好的闭型解、更低的转变点, 这也使得非线性模型的估计结果更为可信; 研究还进一步揭示中国环境污染不同指标与经济增长之间呈现不同的排放量—收入关系, 其中人均废水和人均 SO₂ 指标

都随人均收入增加先上升后减少, 已出现的结构转变点在人均收入 25000 元附近, 而人均固体废弃物和人均废气随人均收入增加则呈现单调增加的变化趋势, 结构转变点相对较高。

概括来说, 本文基于 Weibull 函数和 Gamma 函数的面板数据模型对中国的环境污染与经济增长之间的关系进行了估计和检验, 为中国的 EKC 研究提供了新的证据, 并从方法应用上对 EKC 研究进行了新的补充。尽管本文在方法上取得一定的进步, 但在 Weibull 函数和 Gamma 函数面板数据模型与线性模型以及对数线性模型的比较及其对应模型设定检验的问题上仍有待进一步的研究和探讨。

参考文献:

- [1] Goldin I, Winters A. Economic policies for sustainable development. In Goldin I, Winters A(eds.). *The Economics of Sustainable Development*. Cambridge: Cambridge University Press,1995. 2.
- [2] Kuznets S. Economic growth and income inequality. *American Economic Review*,1955,(45):1~28.
- [3] 吴玉萍, 董锁成, 宋键峰. 北京市经济增长与环境污染水平计量模型研究. *地理研究*,2002,21(2):60~66. 239~246.
- [4] 杨凯, 叶茂, 徐启新. 上海城市废弃物增长的环境库兹涅茨特征研究. *地理研究*,2003,22(1):60~66.
- [5] 中国科学院可持续发展研究组. 2000 中国可持续发展战略报告. 北京: 科学出版社,2000. 46~63.
- [6] Grossmann G M, Krueger A B. Environmental Impact of a North American Free Trade Agreement. NBER Working Paper No. 3914. 1991.
- [7] Grossmann G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement . In:Garber P (Ed.). *The Mexico-US Free Trade Agreement*,Cambridge:MIT Press,1993. 13~56.
- [8] Panayotou T. Empirical tests and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development. Geneva, Switzerland: International Labour Office, Working Paper, 1993. WP238.
- [9] Holtz-akin D, Selden T M. Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth. *Journal of Public Economics*, 1995,57:85~101.
- [10] Giles D E, Mosk C. Ruminant Eructation and a Long-Run Environmental Kuznets' Curve for Enteric Methane in New Zealand: Conventional and Fuzzy Regression. *Econometrics Working Paper 0306*, Canada;Department of Economics, University of Victoria, 2003.
- [11] Müller-Fürstenberger G, Wagner M. Exploring the environmental Kuznets hypothesis: Theoretical and econometric problems. *Ecological Economics*, doi:10.1016/j.ecolecon.2006.08.005.
- [12] Galeotti M, Lanza A. Desperately seeking environmental Kuznets. *Environmental Modelling & Software*, 2005, 20:1379~1388.
- [13] Galeotti M, Lanza A. Richer and cleaner? A study on carbon dioxide emissions by developing countries. *Energy Policy*,1999. 27:565~73.
- [14] Galeotti M, Lanza A, Pauli F. Reassessing the environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A robustness exercise. *Ecological Economics*, 2006,57:152~163.
- [15] 包群, 彭水军, 阳小晓. 是否存在环境库兹涅茨倒 U 型曲线? ——基于六类污染指标的经验研究. *上海经济研究*, 2005,(12):3~13.
- [16] 刘荣茂, 张莉侠, 孟令杰. 经济增长与环境质量: 来自中国省际面板数据的证据. *经济地理*,2006,(3):374~377.
- [17] 宋涛, 郑挺国, 佟连军. 基于面板数据模型的中国省区环境分析. *中国软科学*,2006,(10):121~127.
- [18] Bai J, Jakeman A J, McAleer M. Estimation and discrimination of alternative air pollution models. *Ecological Modelling*,1992,64:89~124.
- [19] Florens J P, Fougere D, Mouchart M. Duration models. Mátyás L, Sevestre P(eds.). *The Econometrics of Panel Data*. Kluwer, Dordrecht, 1996. 491~536.

Study on the relationship between economic growth and environmental pollution based on the Weibull and Gamma specifications

SONG Tao^{1,2}, ZHENG Ting-guo³, TONG Lian-jun^{1,2}

(1. Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130012, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Quantitative Research Center of Economics, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: In the past twenty years, the Environmental Kuznets Curve has been regarded as one of the most powerful tools in studying the relationship between economic growth and environmental pollution. Conventional studies usually use the linear model or the log-linear model to examine the existence of the Environmental Kuznets Curve. However, from analytical viewpoint and empirical behavior, the performance of the linear model or the log-linear model is suspected for their strict restrictions, such as linearity, nonnegative property, and symmetry. Consequently, conventional linear methods for the Environmental Kuznets Curve studies can not be a fine econometric tool. With a view to the above shortcomings in describing the Environmental Kuznets Curve with the linear model and the log-linear model, this paper investigates the relationship between economic growth and environmental pollution in China, using panel data models with the Weibull specification and the Gamma specification, where all the three parameters are used to describe the "shape", "scale" and "shift" of the curves, respectively. In this study, we select per capita waste water emission, per capita waste gas emission and per capita solid wastes generated as the environmental indexes, and per capita gross domestic product (GDP) as the income index with the 29 provincial data over the period from 1989 to 2005. The results show that panel data models with the Weibull specification and the Gamma specification are both simulated better than that with the log-linear model, and their parameters have good explanatory capability. It is also suggested that with the rise of per capita income, per capita waste water emission in China first increases and then decreases, appearing a turning point around 25 000 yuan, while per capita solid wastes generated and per capita waste gas emission take on monotonously increasing relationships which have quite high income turning points.

Key words: Environmental Kuznets Curve; panel data; Weibull function; Gamma function