中国城市工业污染强度与经济增长耦合关系*

谭琦璐, 温宗国, 陈吉宁
(清华大学环境科学与工程系, 北京 100084)

摘要: 利用幂函数模型对中国 46个重点城市 1993 – 2006年人均 GDP和 7项工业污染强度指标进行曲线拟合, 用于描述和分析我国城市经济发展与工业污染强度的耦合状态, 经模型推导提出了"效率弹性系数", 作为度量城市经济与工业污染控制协调发展程度的指标。拟合统计结果显示, 中国城市工业污染强度与经济增长的关系曲线形状有明显的幂函数特征。样本城市在"曲线簇"中的位置能揭示"后发优势"以及经济–环境耦合水平优劣的信息。对样本城市效率弹性系数的统计分析证明, 该系数可以作为城市经济环境管理的决策依据。

关键词: 环境库兹涅茨曲线; 经济–环境耦合关系; 工业污染强度; 人均 GDP; 效率弹性系数
中图分类号: X196　　文献标识码: A　　文章编号: (K) 10088(原 1002 – 1264) (2010)01 – 0001 – 04

Coupling Relationship between China Cities' Industrial Pollution Intensity and Their Economic Growth

TAN Qi-lu, WEN Zong-guo, CHEN Ji-ning
(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Using data on seven types of industrial pollution indicators and per capita GDP during 1993 ~ 2006 from China 46 pilot cities, the coupling state between the industrial pollution intensity and their economic growth was described and analyzed based upon the reduced – form power function. A parameter named the "elasticity coefficient of efficiency" (ECE) was derived from it and can be used as a significant factor to assess the efficiency of the cities' efforts on their industrial pollution reduction and economic growth. The results showed that a city curve's position in the "curve cluster" made up of all sample cities and ECE values could respectively reflect the "late – comer effect" of urban development qualitatively and quantitatively. Meanwhile, sample statistical analysis of ECE values could be utilized in policy – making on a larger scale.

Key words: Environmental Kuznets Curve (EKC); economy – environment coupling state; industrial pollution intensity; per capita GDP; elasticity coefficient of efficiency (ECE)

在讨论区域经济发展与环境污染关系时, 常引用环境库兹涅茨曲线 (Environmental Kuznets Curve, EKC)假说。它是由经济学家 Grossman和 Krueger根据 42个国家的面板数据得出的环境污染与经济发展的倒"U"型关系[1]。自该假说提出以来, 众多学者在 EKC的实证研究和成因解释上做了大量工作[2–4]。传统对 EKC的研究多采用污染总量为变量, 这种研究思路在分析某一国家、地区或城市的 EKC时是合适的, 但若要比较不同国家、地区或城市间的 EKC, 则会因为不同国家、地区或城市人口、规模等原因造成偏差。而污染强度则消除了地区人口、规模等方面的差异, 便于横向比较。基于此, 清华大学城市课题组将污染总量替换成污染强度[5,6], 并通过统计拟合等方法分析了我国城市人均 GDP同污染强度的关系, 结果发现曲线形状均不同于 EKC的倒 U型, 呈现出双曲线一支的形状特征。此外, 国内和国外少数学者定性解释了以污染强度为纵坐标[7–9], 人均 GDP为横坐标形成的曲线形状含义。本文认为污染强度比污染总量更能客观评价一个城市的环境污染负荷, 因此从污染强度的思路出发, 研究了我国城市人均 GDP和工业污染强度耦合关系, 并通过对幂函数拟合模型的分析, 提出以效率弹性系数 (ECE)衡量城市经济–环境耦合水平的优劣, 通过验证表明 ECE可以作为识别城市未来经济发展和污染排放趋势的决策依据。

1　曲线形状

1.1　数据选取

考虑数据可得性以及样本在地域分布、城市规模和经济发展水平的代表性, 将原国家环保总局确定的 46个环境保护重点城市 (实施城市综合整治定量考核的城市)作为样本。经济指标选取样本城市 1993–2006年的人均 GDP, 作为曲线横坐标。环境指标采用 1993–2006年涉及"水、气、固"典型工业污染排放的

* 基金项目: 国家社会科学基金 (08CJL027)
收稿日期: 2009 – 05 – 18; 修订日期: 2009 – 11 – 23

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

强度指标, 包括工业废水、工业 COD、工业废气、工业 SO_2、工业烟尘、工业粉尘、工业固体废弃物等 7项排放强度指标作为纵坐标。

1.2 曲线拟合

样本数据拟合表明, 城市样本曲线的形状相似, 曲线均呈现出随着人均 GDP增加, 工业污染强度减少的特征, 并明显分为两个阶段: 前一阶段工业污染强度下降速度快, 后一阶段下降速度趋缓。

根据曲线形状特点, 利用幂函数式对其拟合, 如下:

$$PI_{it} = a \times \overline{GDP}_{it}^{b} \quad (1)$$

其中, PI_{it}表示样本中第 i个城市 t时间段内的各工业污染排放强度, a是污染强度变化率与人均 GDP变化率的比值, $\overline{GDP}_{it}$代表第 i个城市 t时间段内的人均 GDP序列, b是曲线拟合计算得出的常数。采用 SPSS统计软件拟合, 并以 R^2值、F检验中的 F值作为评价模型和参数拟合质量的指标, 结果显示: 大多数城市表征人均 GDP和工业污染排放强度关系的曲线有显著幂函数特征。各工业污染强度指标拟合结果统计如表 1所示。

表 1 利用幂函数对样本数据拟合结果统计 %

环境指标	工业废水	工业COD	工业废气	工业SO_2	工业烟尘	工业粉尘	工业固体废弃物
$R^2 > 0.7$ 的比例	80	50	52	67	65	45	56
$F > 20$** 的比例	91	67	63	72	76	63	65

注: * 一般统计学上将 R^2大于 0.7作为模型拟合质量较好的判断标准, ** 在显著置信水平为 0.001时, F检验的 F值为 20。

此外, 有少数城市在工业废气、工业固体废弃物和工业粉尘等指标上曲线呈现了譬如倒“N”型、“W”型、多重波动等特征。拟合情况不理想的原因可能是由于统计口径不同造成的数据质量问题。除个别城市工业废气、工业固体废弃物的产生强度在近几年有持续上升趋势外, 大多数具有倒“N”型、“W”型、多重波动特征的城市曲线仍然表现出幂函数两阶段的特征。因此, 根据以上统计拟合验证, 可认为中国城市人均 GDP同工业污染强度的关系曲线具有幂函数特征, 如图 1所示。

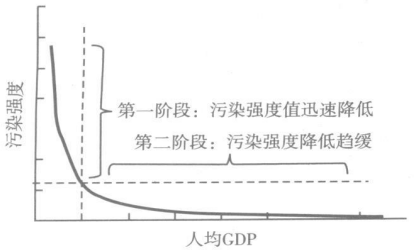

图 1 城市人均 GDP与工业污染强度的关系曲线形状示意图

2 曲线描述和模型分析

2.1 曲线描述

前已述及, 曲线 (图 1)由两个阶段组成: 第一阶段为递减期, 污染排放强度随着人均 GDP的增长快速降低; 第二阶段为稳定期, 污染强度下降趋势减缓。通过不同城市拟合曲线间的类比分析, 或者根据某一城市在各城市曲线组成的“曲线簇”中的位置, 可以定性判断该城市污染排放同经济增长的耦合水平, 并且通过参照同类标杆城市的发展轨迹, 可以分析该城市未来环境可持续发展的趋势:

1)欠发达城市的经济增长与环境负荷的耦合关系存在“后发优势”。

曲线中每个点都代表了某一城市在特定阶段下环境负荷同经济增长的耦合状态。对于确定的人均 GDP, 各城市对应的工业污染强度排放有差异。统计发现这种差异能体现“后发优势”, 即经济欠发达的城市可以借鉴采纳同类经济较发达的标杆城市的发展经验, 在达到与标杆城市同等经济水平时, 污染排放强度低于标杆城市。以工业废水排放为例 (图 2), 在人均 GDP为 2万左右时, 上海的废水工业污染强度 (约 43 t/万元)大于南昌的污染强度 (约 8 t/万元)。

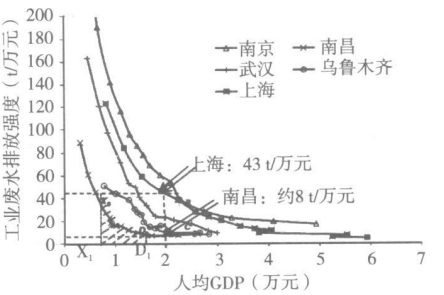

图 2 城市曲线“曲线簇”及分析示意图

2)愈靠近“曲线簇”内侧曲线所代表的城市, 其环境与经济发展模式愈可持续。

城市实现可持续发展目标为: 用较低的污染排放实现较大的经济增长。对于同一个设定的人均 GDP目标, 应使污染排放强度尽可能小[5]。以南昌的曲线为例, 图 2中 $D_0X_0X_1D_1$的面积表示增加 X_1D_1的人均 GDP需排放的污染物总量。显然, 这一面积越小越符合可持续发展理念。因此, 曲线位于“曲线簇”内侧的城市环境与经济发展模式更符合可持续发展的原则。

2.2 模型分析——弹性系数

通过对曲线幂函数拟合式的推导, 获得可度量城

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

市在经济发展与环境治理上的效率参数, 并命名为“效率弹性系数”。对幂函数拟合式(1)进行如下推导:

等式两边取对数

$$\ln PI_{it} = \ln a + b \ln \overline{GDP}_{it} \quad (2)$$

等式两边微分

$$\frac{dPI_{it}}{PI_{it}} = b \frac{d\,\overline{GDP}_{it}}{\overline{GDP}_{it}} \quad (3)$$

微分变成差分

$$b = \frac{\Delta PI_{it} / PI_{it}}{\Delta \overline{GDP}_{it} / \sqrt{GDP_{it}}} \quad (4)$$

由公式(4)可知 b 是污染强度的变化率与人均 GDP变化率的比值, 是污染强度变化对人均 GDP 变化反应程度的一种度量, 表征人均 GDP的增加率能够引起的污染排放强度的减少率。若将人均 GDP作为投入, 节省的污染排放强度作为效益, 则两者变化率的比值在经济学上是“效率”的含义。一般而言, 污染强度和人均 GDP的变化方向相反, 故 b 值是负数。为简单起见, 后文用 b 的绝对值(记为 h)作分析。以 1为界将 h 划分成 3种情况讨论:

$h > 1$: 表明污染强度的变化率大于人均 GDP 的变化率, 人均 GDP的较小增加就能够引起污染排放强度较大减少。

$h = 1$: 表明污染强度的变化率同人均 GDP 的变化率相当, 两者同幅度向相反的方向变化, 是两种耦合状态的分界值。

$h < 1$: 表明污染强度的变化率小于人均 GDP 的变化率, 人均 GDP的较大增加才能够引起污染排放强度少量的减少。

另外, 考虑 $h = 0$ 以及 $h = \infty$ 两个极端情况。

当 $h = 0$ 时, 拟合式变为 $PI = a$, 已经丧失幂函数性质, 故 $h \neq 0$

当 $h = \infty$ 时, $PI = 0$。即不存在污染强度, 这与实际情况不符, 故 h 不能无限制增大。

因此, h 的取值区间为 $(0, M)$, M 为一正数, 不同城市样本集合的环境与经济发展协调水平决定了 M 的数值。

通过以上分析可知, h 的数值大小可以反映一个城市经济与工业污染排放的耦合状态, 可以用于度量城市污染物排放削减与经济发展的效率, 故将其称为“效率弹性系数”。通常认为, 效率高的城市在经济发展与环境治理上的表现优于效率低的城市, 因此它是度量不同城市曲线表现优劣的重要指标。在 h 大于 1 的情况下, h 值越大表明城市更能用较少增量的经济增长获得较大程度的工业污染排放削减, 效率越高。

由效率弹性系数的物理意义可知, 其政策应用内涵包括:

1)评估城市在经济发展与工业污染方面的效率。

根据某个城市效率弹性系数的绝对大小以及该城市效率弹性系数在所有城市组成的集合中的位次, 能够评估其工业污染同经济增长耦合时的污染治理效率。

2)效率弹性系数能作为“后发优势”参考。

由于效率弹性系数是时间序列数据的拟合结果, 因此是动态的, 任何同经济或环境相关的措施都将影响效率弹性系数的大小。如果一个城市的人均 GDP 处于较低水平, 它可将一个效率弹性系数值高和人均 GDP均高于自己的城市作为标杆, 借鉴该城市在处理环境与经济问题的相关举措, 提供城市环境可持续发展水平与效率。

3　样本城市效率弹性系数统计分析

3.1　各指标下城市环境与经济协调水平

图 3是同一污染强度指标下各样本效率弹性系数的箱尾图(Box - plot), 可以看出: 工业废水、工业 COD、工业烟尘和工业粉尘 4项指标的样本平均效率弹性系数大于 1, 而工业废气、工业 SO_2 和工业固体废弃物 3项指标的样本平均效率弹性系数均小于或等于 1。这说明我国城市经济发展同工业废气、工业 SO_2 的排放及工业固体废弃物排放的效率落后于同工业废水、工业 COD等。

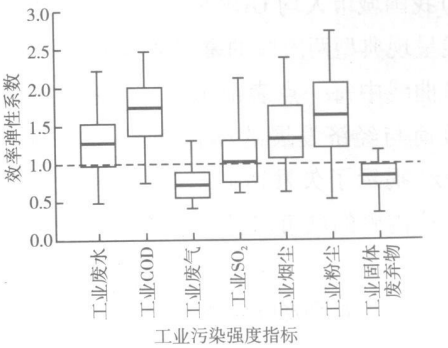

图 3　各工业污染强度指标下样本城市总体效率弹性系数比较

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

此外, 通过对箱尾图箱体“长短”的判断可知: 尽管工业 COD、工业粉尘的样本平均效率弹性系数超过 1, 但两者的“箱体长”表明各城市间两项指标的效率弹性系数差别很大, 城市表现参差不齐。工业废气、工业固体废弃物的效率弹性系数小于 1, 而且“箱体短”, 因此城市样本整体上均表现不佳。

综上, 我国城市在经济发展与工业污染治理上的效率程度由高到低依次为: 工业 COD 和工业粉尘; 工业废水和工业烟尘; 工业 SO_2; 工业废气和工业固体废弃物。

3.2 同一指标下各样本城市环境经济协调水平

针对特定污染强度指标, 可以做出样本城市效率弹性系数分布图 (见图 4)。对某一具体城市而言, 根据效率弹性系数数值点在图中所处的位置, 可以判断该市在总体样本中的表现。如图 4所示, 表征城市样本散点图趋势的直线方程的斜率为 -4×10^{6}, 这说明人均 GDP较低的欠发达城市相较于发达城市有较高的效率弹性系数, 因此欠发达城市的发展具有“后发优势”。

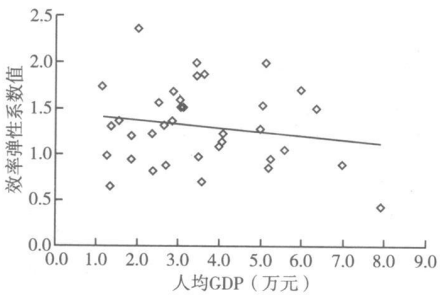

图 4 样本城市效率弹性系数分布 (以工业废水为例)

4 结论和建议

通过样本城市面板数据的模拟统计分析, 基于“效率弹性系数”可以得出以下结论:

1)我国城市人均 GDP同工业污染排放强度的关系曲线呈现典型两阶段的幂函数特征。

2)曲线中每一点表征了具体城市在特定阶段下环境负荷与经济发展的耦合状态, 城市样本组成的“曲线簇”揭示了欠发达城市的“后发优势”; 愈靠近“曲线簇”内侧的城市, 其环境与经济发展模式愈可持续发展。

3)通过对幂函数拟合式的推导, 获得可度量城市环境与经济耦合关系的效率弹性系数。如效率弹性系数大于 1, 认为城市在经济发展与工业污染治理方面效率高。

4)对样本城市效率弹性系数的统计分析得出我国城市工业废水、工业烟尘效率值最高; 工业废气、工业固体废弃物效率值最低。同时, 效率弹性系数亦可定量反映城市在经济发展中对工业污染控制的“后发优势”。

进一步扩大样本数和延长时间序列, 以验证该曲线形状在我国城市中的普适性; 同时, 对拟合模型所能表征的城市环境与经济耦合状态的相关信息进一步挖掘, 是在本研究基础上后续需进一步深入的研究。

致谢: 感谢清华大学城市课题组成员的支持以及国家社会科学基金 (08CJL027) 对该研究的资助。

参考文献

[1] Grossman, G. M., Krueger, A. B. Environmental Impact of A North American Free Trade Agreement[Z]. NBER Working Paper, 1991: 3914

[2] Andreoni, J, Levinson, A. The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve[J]. Journal of Public Economics, 2001, 80: 269 – 286.

[3] 范金, 胡汉辉. 环境 Kuznets曲线研究及应用 [J]. 数学的实践与认识, 2002, 32(6): 944 – 951.

[4] 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 [J]. 复旦学报 (社会科学版), 2004, 2: 87 – 94

[5] 王志华. 城市经济增长与环境污染负荷的耦合机制研究 [D]. 北京: 清华大学, 2007.

[6] 闫芳. 中国重点城市 EKC阶段特征及驱动因子分析 [D]. 北京: 清华大学, 2007.

[7] Hemamala, H, Mani, M, Wheeler, D. Industrial Pollution in Economic Development the Environmental Kuznets Curve Revisited[J]. Journal of Development Economics, 2000(62): 445 – 476

[8] Tisdell, C. A. Globalization and Sustainability: Environment Kuznets Curve and the WTO [J]. Ecological Economics, 2000(39): 185 – 196

[9] 崔宁宁, 李升峰. 江苏省经济发展模式与污染排放趋势探究 [J]. 河南科学, 2005, 23(5): 761 – 764.

作者简介: 谭琦璐 (1985 –), 女, 北京人, 博士研究生, 主要研究方向为环境经济与 3E模型建模。

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net