



中国人民大学经济学院工作论文系列
School of Economics, Renmin University of China
Working Paper Series

经济增长与环境的
关系
——基于对 CO₂ 环境库兹涅茨曲线的实证研究*

韩玉军 陆旸 #

**The Relationship between Economic Growth and Environmental
Quality: An Empirical Test of Environmental Kuznets Curve of CO₂***

Han Yujun Lu Yang #

SERUC Working Paper no. 200711001

* 本研究受到中国人民大学“985工程”“中国经济开放模式”课题资助。作者感谢那些在中国人民大学学术论坛上为本文提出有益批评的学者和学生。

韩玉军(Han Yujun), 中国人民大学经济学院教授, 博士生导师。E-mail: yj_han@sina.com。
陆旸(Lu Yang), 中国人民大学经济学院博士研究生。E-mail: Lusanmao2002@163.com。

摘要： 我们对“环境库兹涅茨假说”暗含的“同质”假设前提以及在这一假设下进行的实证研究提出了质疑。我们认为经济增长与环境之间的关系存在着“低工业低收入”、“高工业低收入”、“高工业高收入”和“低工业高收入”四个不同的发展阶段，而不同“阶段”的国家其经济增长与环境之间的关系存在差异。在这一假设前提下，我们对 165 个国家进行了分组检验。我们发现，“高工业高收入”的国家出现了 EKC 的“倒 U”型趋势；“低工业低收入”的国家出现了一个微弱的“倒 U”型趋势；“低工业高收入”的国家表现出了“~”型趋势；而“高工业低收入”的国家环境污染与收入增长同步。同时，由于受到经济结构和所处经济发展阶段的制约，中国在处理经济增长与环境污染之间的关系时，处于“两难”境地。

关键词： 环境库兹涅茨曲线 样本分组 CO₂ 排放量 面板数据

文献分类 JEL： F062.2

Abstract: We show suspicious argument on the Environmental Kuznets Curve's homogeneous assumption and empirical tests based on it. We believe that there are four stages in the EKC: low industrialization-low income stage, high industrialization-low income stage, high industrialization-high income stage, low industrialization-high income stage, and there are some economic and environmental differences in these stages. The paper analyzes the corresponding data of 165 countries in different growth stages. We find out that high industrialization-high income group has the inverted-U path of EKC; low industrialization-low income group's path like insignificant inverted-U and the path of low industrialization-high income group like “~”, meanwhile high industrialization-low income group has the slowly increasing path. In the last part of paper, we analyze the relationship between economic growth and environmental quality in China and predict that China's economic growth and environmental quality will be in sharply trade-off because China's economic structure and its economic growth stage press many constraints.

Keywords: Environmental Kuznets Curve, Sample Division, CO₂ Emissions, Panel Data

JEL Classification: F062.2

经济增长与环境的关系

——基于对 CO₂ 环境库兹涅茨曲线的实证研究

韩玉军 陆旸

一、引言

20 世纪 70 年代以前,人们普遍认为原材料、能源和自然资源的消耗大体上与经济增长成正相关关系。由于统计数据的限制,这一结论并没有得到实证的支持。到了 90 年代初期,全球环境监控系统(GEMS)为经济增长与环境影响的实证研究提供了数据支持。1991 年 Grossman 和 Krueger 首次对经济增长与环境质量之间的相关性进行了实证研究,并发现经济增长与环境质量之间呈现一种“倒 U”型关系,即在经济发展的初期阶段环境质量随经济的增长而下降,当经济增长越过某一特定的“转折点”(Turning Point)时,环境质量将随经济增长而得到改善。这就是著名的“环境库兹涅茨”曲线(the Environment Kuznets Curve,简称 EKC)^①。

EKC 形成的一个重要理论基础是“密集使用度假说(Intensity-of-Use Hypothesis)”。Auty(1985)认为工业污染密度随着经济增长呈现“倒 U”型结构。这是由于经济本身的发展过程是从清洁的农业经济到污染的工业经济再到清洁的服务型经济(Arrow 等, 1995)。而这一过程被认为是自然演进的必经之路。因此,环境质量与经济增长之间的“倒 U”型关系的深层次原因正是经济发展客观规律的外在反映。具体来说,经济增长通过三种途径对环境造成影响:规模效应、结构效应和技术效应(Grossman 和 Krueger, 1991)。规模效应本身要求更多的投入,用于投入的自然资源消耗量增加,同时,更多的产出反过来又作用于环境,对环境造成污染,因而规模效应对环境产生消极影响。然而,经济增长又通过结构效应对环境产生积极影响:随着经济的增长,经济结构也将发生变化,从过去的高污染的工业经济转向清洁的服务型经济和技术型经济,经济结构的转变使环

^① 1955 年,库兹涅茨研究发现,经济增长与贫富差距之间呈现一种“倒 U”型关系,由于经济增长与环境质量之间也出现了“倒 U”型关系,因此被命名为“环境库兹涅茨倒 U 型”假说。

境压力得以减轻。此外，经济增长带动技术的进步，更为有效的技术手段可以减轻污染物的排放量，进而减轻环境压力。总之，在经济发展的初期阶段，规模效应的影响最为显著，而随后结构效应和技术效应将逐渐占据主导地位。长期来看，环境污染将随经济增长出现一种先上升后下降的趋势。由此便产生了这样一个疑问：即经济增长是环境问题的解决途径还是环境问题产生的原因？而对这一问题的回答构成了大量 EKC 实证研究的出发点。

EKC 的实证研究主要集中在两个方面：检验各种环境污染物与人均 GDP 之间是否存在所谓的“倒 U”型关系以及存在“倒 U”型关系时，转折点处人均 GDP 的大小。结果表明，许多污染物与人均 GDP 之间并不存在所谓的“倒 U”型关系，而是更多的呈现出“N”型（或“~”型）。特别是 CO₂ 与 GDP 之间的变化关系还存在较大分歧，除了“倒 U”型及“N”型关系外，更多的表现为人均 CO₂ 排放量随人均 GDP 成正比例变化的线性关系。例如，世界银行(1992)和 Shafik(1994)研究发现，随着收入水平的提高，人均 CO₂ 排放量呈上升趋势，并不存在转折点。部分实证结果中的确出现了“倒 U”型结构，但其转折点处人均 GDP 也相当高，甚至超出了样本区间范围。Holtz-Eakin 和 Selden(1995)得出的转折点处人均 GDP 在 35428 美元-8 万美元之间，大大超出了样本的区间范围。而 Galeotti 和 Lanza(1999)采用 1960-1995 年的样本数据，将这一转折点处的人均 GDP 确定为 13260 美元。CO₂ 排放量与 GDP 之间的这种非常规现象被很多学者归结为该种污染物的外部性较强的原因所导致。

由于在实证分析中，污染物与收入水平之间存在着以上多种可能的变化关系，很多学者逐渐意识到收入水平并不是引起环境质量变化的唯一决定因素。因此，在以人均 GDP 作为主要解释变量的基础上，又逐步添加了其它一些重要解释变量。其中，Grossman 和 Krueger(1995)根据 GEMS 观测站数据进行实证分析时，加入了特定地点(Location Specific)变量，主要包括：城市人口密度变量、水温变量、机器敏感度变量等，细致地刻画了由于生态地理因素所导致的观测站数据之间的差异。此外，收入分布、文化程度、民主政治、城市化比重等因素也被引入到了模型估计之中(Torras 和 Boyce, 1998)。许多研究结果还指出，“外部冲击”特别是国际原油价格对能源结构的影响是 EKC 下降部分形成的主要原因。Unruh 和 Moomaw(1998)研究发现，暂时的历史事件而不是特定的收入水平是转

折点出现的根源，例如，20世纪70年代原油价格的大幅度上涨就导致了电能使用量的增加。此外，“移置假说”(Displacement Hypothesis)的提出者还认为贸易与FDI是发达国家环境污染程度降低的主要原因，即发达经济体的产品消费结构并没有随产品的生产结构发生转变，只不过是污染工业发生了转移。因此EKC的下降部分很可能是国际分工的结果，即“穷国”集中生产污染密集型产品，而“富国”专门生产清洁产品，然而消费结构却并没有发生变化(Stern等, 1996; Cole等, 2000)。如果这一假说成立，那么环境污染问题也只不过是一块烫手的山芋从左手倒向了右手。根据以上分析，我们可以把影响环境质量的因素归纳为直接和间接两种。直接影响因素主要包括工业化程度、收入水平和技术进步；间接影响因素包括生态地理、资源禀赋、文化程度、贸易和FDI等。这种在模型中添加直接和间接影响因素的方法是EKC现有研究的主要内容。

然而，我们注意到，由于EKC假说隐含了这样一个假设前提，即随着经济的增长，各个国家经历了相似的环境影响轨迹，暗含着收入水平决定污染水平的含义。但是我们却并不能确定经济发展轨迹是否是所有国家的必经之路，或者一些特定国家在19-20世纪的历史发展轨迹是否会在未来重现。由于率先完成工业化进程的国家，在收获高物质文明的同时也逐渐享受到了清洁的自然环境，而根据国际比较优势理论，那些处于工业化进程中的国家很可能被锁定在了污染密集型产品生产的比较优势上，环境压力将无法得到改善，进而难以形成“倒U”型曲线。因此，我们对“环境库兹涅茨假说”中隐含的这一“同质”假设前提以及在这一假设基础上进行的实证研究提出了质疑^②。

我们认为经济增长与环境之间的关系存在着一个“四阶段”的发展过程，即经济增长与环境的关系不仅取决于一个国家的收入水平同时也取决于它们的工业水平，存在着“低工业低收入”、“高工业低收入”、“高工业高收入”和“低工业高收入”四种不同的经济发展阶段。同时，我们注意到，不同“阶段”(或“类别”)的国家由于受到所处发展阶段固有特性的制约，因而难以轻易地进入下一“阶段”，而国际分工所产生的比较优势又进一步地强化了这一“归属感”。因此，我们认为不同“阶段”的国家其经济增长与环境之间的关系并非“同质”。而正

^② 实证研究中的常见做法是将总样本分成OECD和非OECD两组。事实上，这种方法是以“收入水平”作为了分组标准，而此时的模型估计中又是以“收入水平”作为解释变量，这就出现了以“收入”解释“收入”的问题。Stern和Common(2001)认为，样本中包含更多的低收入水平的数据，将产生一个更高位置的转折点。

是由于这种“异质”性的存在，才需要我们在分析经济增长与环境之间的关系时采用这种分阶段的方法。

根据这一想法，在接下来的研究中，我们首先从分组的角度入手，根据“工业化水平”和“收入水平”将 165 个国家分成四组，并进行实证分析。通过对结果的比较，我们发现那些与中国经济特征非常相近的高工业低收入水平的国家，在处理经济增长与环境污染之间的关系时处于“两难”境地。文章的结构安排如下：第二部分是模型设置及数据的说明；第三部分是实证结果及解释；第四部分是中国经济增长中的环境污染问题分析；第五部分是我们的研究结论；第六部分是本文的研究不足和需要讨论的问题。

二、模型设置及数据说明

（一）模型设置

在 EKC 的实证研究中，通常采用的是变截距面板数据模型对各种污染物与收入水平之间的变化关系以一种简化的形式进行估计，一般地，这一“简化式”可概括为：

$$E_{it} = \alpha_i + \beta_1 y_{it} + \beta_2 y_{it}^2 + \beta_3 y_{it}^3 + \beta_4 z_{it} + \varepsilon_{it}$$

E 代表环境指标，在这里我们以“人均 CO_2 排放量”表示； y 代表收入水平，我们选择部分文献中所采用的“人均 GDP”作为收入水平的代表性指标。其中， i 代表特定的国家， t 代表不同的时期。 z 代表除收入水平以外的其它影响环境质量的相关指标。根据之前的分析，我们认为间接影响因素之间存在交互作用，难以对其具体分析。同时，由于 z 中所包含的这些间接影响因素与收入水平之间或多或少是相关的，因此 z 的引入往往会产生多重共线性问题。因此我们更倾向于将间接影响因素反映在 α_i 中， α_i 表示变截距的面板数据模型中不同个体的截距项。 ε_{it} 为随机误差项。正如我们之前的分析，技术水平直接影响环境污染的程度，实证分析中多用时间 T 来刻画技术进步，因此，时间 T 既可以作为一个独立指标引入模型中，也可通过面板数据中的“时间效应”来反映。然而将时间 T 作为独立变量引入模型，可能会引起与 GDP 之间的共线性问题，如果只通过“时间效应”反映技术进步，又可能丢失大量的信息。因此，考虑在模型中分别对这

两种情况进行估计，通过对估计结果的比较确定最终的模型形式。同时，文献中也存在用对数形式作为模型的简化式的情况。采用对数形式可以有效消除数据异方差的问题，有利于模型估计的准确性，但估计系数的经济学含义也会随之改变。根据以上分析，我们将模型基本形式设定如下：

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it} + \beta_2 y_{it}^2 + \beta_3 y_{it}^3 + f_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_1 y_{it} + \beta_2 y_{it}^2 + \beta_3 y_{it}^3 + \beta_4 T_t + f_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln y_{it} + \beta_2 (\ln y_{it})^2 + \beta_3 (\ln y_{it})^3 + f_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln E_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln y_{it} + \beta_2 (\ln y_{it})^2 + \beta_3 (\ln y_{it})^3 + \beta_4 T_t + f_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

其中， f_i 代表“个体效应”， γ_t 代表“时间效应”。模型估计结果存在以下几种情况：(1) $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ ，表明收入与环境质量之间不存在相关关系，图形为一条水平直线；(2) $\beta_1 > 0$ 且 $\beta_2 = \beta_3 = 0$ ，收入与环境质量之间为正相关的线性关系；(3) $\beta_1 < 0$ 且 $\beta_2 = \beta_3 = 0$ ，收入与环境质量之间为负相关的线性关系；(4) $\beta_1 > 0$ ， $\beta_2 < 0$ 且 $\beta_3 = 0$ ，“倒U”型的关系(EKC)；(5) $\beta_1 < 0$ ， $\beta_2 > 0$ 且 $\beta_3 = 0$ ，“U”型关系；(6) $\beta_1 > 0$ ， $\beta_2 < 0$ 且 $\beta_3 > 0$ ，三次项显著，“N”型，或“~”型；(7) $\beta_1 < 0$ ， $\beta_2 > 0$ 且 $\beta_3 < 0$ ，“反N”型，或“∞”型。

根据以上分析，EKC只是简化式得到的一种可能结果，这种结果的转折点出现在 $y^* = -\frac{\beta_1}{2\beta_2}$ ^③。如前所述，规模效应对环境质量产生负面影响， y 前的系数为正；而随着收入水平的提高，结构效应与技术效应对环境产生的正面影响确保 y 的平方项为负，产生了“倒U”型的结构，此时的变化趋势多由工业污染引起；如果模型的三次项也同时显著，且系数符号为正，将产生“N”型，或“~”型结构。表明随收入水平的进一步提高，污染还有“二次上升”的趋势，这时的污染多是以较高的物质消费为特征。

^③ 此时 y^* 的计算公式为二次项形式的转折点公式。如果三次项同时显著，即出现“N”型结构，则可以通过使一阶导数等于0的方法求出两个转折点。

（二）数据说明

我们选择的污染物指标是“人均 CO₂ 排放量（公吨）”，收入水平指标选择的是“以当期价格计算的人均 GDP”，这两项指标均来自联合国统计司数据库；我们用“工业增加值比重”（工业增加值与 GDP 增加值之比）和“制造业增加值比重”（制造业增加值与 GDP 增加值之比）来衡量工业化水平，数据均来自世界银行发展数据库。由于不同指标包含的时间跨度和国家个体都存在差异，我们以“最大样本容量”为选择准则，将具有公共交叉部分的数据进行保留，最终确定以 1980-2003 年为时间跨度的 165 个国家作为样本总体。总样本中包含的国家详见附录 1。

三、实证结果及解释

为确定最终的模型形式，我们分别将四个模型对总样本的估计结果进行比较（见表 1）：首先，在模型(2)和模型(4)中，由于变量“T”与收入水平之间存在相关性，因而在 10%的显著性水平下，变量“T”未能通过 t 检验；其次，在模型(3)和模型(4)中，第一转折点处的“人均 GDP”数值过小，这与实际是不相符的，因此我们认为对数形式的模型形式在这里是失效的；根据以上分析，我们去掉模型(2)、(3)和(4)，最终采用模型(1)作为最终的简化式。

在比较模型(1)的固定效应和随机效应时^④，首先我们认为 165 个国家个体并不是从一个非常大的总体中随机抽取的，同时我们希望截距项能够反映一定的个体特征。其次，截距项与解释变量之间存在了相关性。因此从定性的角度来看，固定效应要更加适合我们的模型估计。我们又采用 Hausman 检验来进一步对固定效应和随机效应进行选择，结果表明，固定效应模型优于随机效应模型。因此，在具体估计时我们采用固定效应的方法对非平衡的变截距面板数据模型进行 OLS 估计。

^④ 萧政(Cheng Hsiao, 2005)提出了一些对固定效应和随机效应进行定性选择的标准。首先，固定效应模型允许不同个体的截距存在差异，即承认每个个体或截面单元有一些自己的特性，而随机效应则假定个体单元的截距是从一个不变均值非常大的总体中随机抽取的。其次，固定效应适用于个体的特定截距与一个或多个回归元相关的情况，而随机效应适用于每个横截面单元的随机截距与回归元不相关的情况。

表 1 模型形式的选择

解释变量	模型(1)		模型(2)		模型(3)		模型(4)	
	固定效应 (N=3723)	随机效应 (N=3723)	固定效应 (N=3723)	随机效应 (N=3723)	固定效应 (N=3722)	随机效应 (N=3722)	固定效应 (N=3722)	随机效应 (N=3722)
β_0	2.8086 (32.0464)	2.7718 (9.7692)	2.8372 (36.4589)	2.7907 (9.9872)	2.5598 (3.1201)	2.9475 (3.6128)	2.7572 (3.3644)	2.9595 (3.6340)
y_{it}	4.09E-04 (13.7913)	4.61E-04 (17.3957)	4.10E-04 (13.8854)	4.82E-04 (16.9827)	—	—	—	—
y_{it}^2	-1.22E-08 (-10.4811)	-1.40E-08 (-12.7042)	-1.22E-08 (-10.5722)	-1.45E-08 (-12.8581)	—	—	—	—
y_{it}^3	9.94E-14 (7.4211)	1.18E-13 (9.1173)	1.01E-13 (7.5565)	1.23E-13 (9.3536)	—	—	—	—
Lny_{it}	—	—	—	—	-1.9485 (-5.8121)	-2.2847 (-6.8812)	-2.0509 (-6.1255)	-2.3151 (-6.9843)
$(Lny_{it})^2$	—	—	—	—	0.3478 (7.7828)	0.4071 (9.2046)	0.3611 (8.0896)	0.4133 (9.3604)
$(Lny_{it})^3$	—	—	—	—	-0.0168 (-8.6701)	-0.0195 (-10.1586)	-0.0173 (-8.9323)	-0.0197 (-10.3217)
T_t	—	—	-21.1E-4* (-0.5839)	-66.7E-4* (-1.8696)	—	—	0.0117* (1.6861)	-0.0043* (-0.6345)
R^2	0.9506	0.3190	0.9502	0.3317	0.9746	0.5288	0.9744	0.5394
第一转折点 (美元)	23511	23368	23892	23872	49.77	49.28	53.29	48.11
第二转折点 (美元)	58396	55728	56636	54719	19814	22482	20734	24661

注： β_0 为变截距面板数据模型中的共同截距项系数，N 代表模型估计时的观测值数量，“*”表示在显著性水平为 10% 时没有通过 t 检验，其余未标注“*”均表示在 10% 显著性水平下通过 t 检验。

(一) 分组及实证结果

我们根据“工业增加值比重”（或“制造业增加值比重”）和“人均 GDP”指标将总样本分成四组^⑤。由于样本时期的跨度较大，同一个国家在不同年份的“工业增加值比重”（或“制造业增加值比重”）以及“人均 GDP”都是一个动态变化过程，使得分组不具确定性。为解决这一问题，我们以 1990 年作为基准年份，将“工业增加值比重”高于 40%，或“制造业增加值比重”高于 25% 的国家视为高工业国家，将“人均 GDP”5000 美元以上视为高收入国家，根据这

^⑤ 由于不同年份的“工业增加值比重”数据存在缺失，因此考虑另一项指标“制造业增加值比重”对其加以补充。

一标准划分出“低工业中低收入组”(71个)、“低工业高收入组”(25个)、“高工业中低收入组”(48个)、“高工业高收入组”(21个)^⑥。具体估计时,我们采取逐一添加解释变量的方法,观察变量系数的显著性水平变化,进而确定“人均GDP”与“人均CO₂排放量”之间的变化关系。我们将“显著性水平”以及“多项式次数”视为模型最终形式的确定标准,也就是说,当模型系数均通过显著性检验时,选择含有最高次数项的模型作为最终形式。估计结果详见表2。

^⑥ 我们首先将“人均GDP”1000美元以下、1000美元~10000美元、10000美元以上,分别作为“低收入组”、“中等收入组”及“高收入组”的划分标准。此时,“低收入组”与“中收入组”的实证结果相差不大,并没有表现出明显的组间差异。而我们将“人均GDP”5000美元作为“中低收入组”与“高收入组”之间的划分界线时,实证结果得出的组间差异更为明显。

表 2 分组结果及比较

解释变量	组 1: 低工业中低收入组(n=71)			组 2: 低工业高收入组(n=25)			组 3: 高工业中低收入组(n=48)			组 4: 高工业高收入组(n=21)		
β_0	0.947 (37.766)	0.558 (11.184)	0.481 (7.172)	9.401 (20.737)	7.433 (9.275)	5.097 (5.154)	2.759 (34.688)	2.262 (16.901)	1.761 (9.524)	10.356 (31.128)	7.836 (15.1646)	7.085 (9.953)
y_{it}	1.14E-4 (5.318)	8.28E-4 (10.205)	10.36E-4 (7.155)	-6.11E-5 (-2.152)	1.23E-4 (1.807)	4.65E-4 (4.231)	2.83E-4 (7.824)	6.84E-4 (7.236)	13.52E-4 (6.923)	2.07E-5* (1.033)	2.95E-4 (6.115)	4.21E-4 (4.417)
y_{it}^2	—	-1.31E-7 (-8.934)	-2.33E-7 (-3.841)	—	-2.65E-9 (-2.968)	-1.53E-8 (-4.591)	—	-5.01E-8 (-4.586)	-2.57E-7 (-4.745)	—	-5.14E-9 (-6.202)	-1.04E-8 (-2.943)
y_{it}^3	—	—	1.30E-11 (1.733)	—	—	1.37E-13 (3.935)	—	—	1.74E-11 (3.900)	—	—	6.24E-14* (1.533)
R^2	0.948	0.950	0.950	0.826	0.829	0.834	0.951	0.952	0.953	0.939	0.944	0.944
N	1621	1621	1621	588	588	588	986	986	986	481	481	481
\bar{y}_{it}	852	852	852	15622	15622	15622	2081	2081	2081	15942	15942	15942
第一 转折点	—	—	2953 1.843	—	—	21276 9.384	—	—	—	—	28696 12.069	—
第二 转折点	—	—	8996 0.409	—	—	53176 7.160	—	—	—	—	—	—
边际污染	—	—	6.67E-4	—	—	0.87E-4	—	—	5.08E-4	—	1.31E-4	—

注：“*”表示在显著性水平为 10%时没有通过 t 检验，其余未标注的系数均在 10%显著性水平下通过 t 检验。n 代表组内国家个体数量，N 代表模型估计时的观测值数量， \bar{y}_{it} 表示组内所有国家在不同时期内的 GDP 均值。第一和第二转折点中的两个数值分别代表转折点处的“人均 GDP”（单位：美元）和“人均 CO₂排放量”（单位：公吨）。组 3 中包含 y 三次项的方程转折点处无实数解。“边际污染”表示，每增加 1 美元的人均收入所带来的污染增加量，此处为人均 CO₂ 排放的增加量（单位：公吨）。

在模型中包含 y 的三次项的情况下，组 1 和组 2 的模型系数依然显著，说明“低工业中低收入组”以及“低工业高收入组”中存在“人均 CO_2 排放量”随“人均 GDP”先上升后下降再次上升的“ \sim ”型趋势，然而在样本区间范围内“低工业中低收入组”只表现出了一个微弱的“倒 U”型趋势（见图 1、3）^⑦。虽然组 3 中的 y 的三次项系数已经通过了显著性检验，然而转折点处无实数解，因此无法确定转折点的具体位置。组 3 的图形更类似一个斜向上的“ \sim ”型结构，因此我们认为“高工业中低收入组”中的“人均 CO_2 排放量”与“人均 GDP”之间更类似一种正相关关系（见图 2）。组 4 中 y 的三次项系数未能通过显著性检验，而二次项形式的模型形式通过了显著性检验，表明了“高工业高收入组”中存在“人均 CO_2 排放量”随“人均 GDP”先上升后下降的“倒 U”型关系（见图 4）。

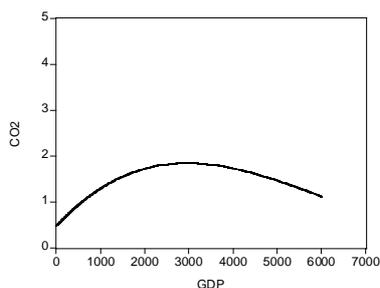


图 1 低工业中低收入组

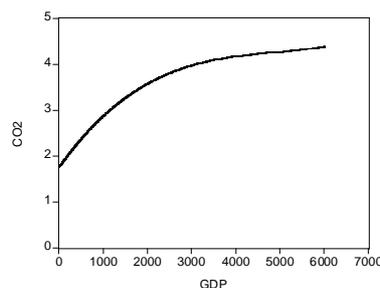


图 2 高工业中低收入组

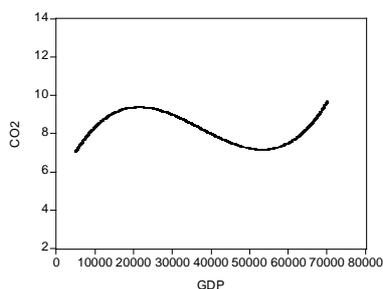


图 3 低工业高收入组

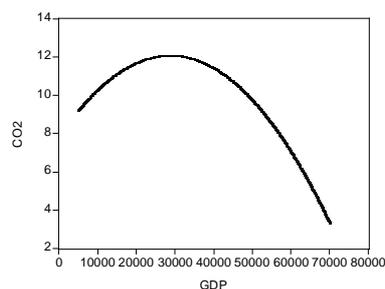


图 4 高工业高收入组

^⑦ 图 1、图 2、图 3 和图 4 是根据估计结果绘制的一个趋势图。由于我们的样本点在 5 万-7 万美元之间的数据较少（具体的样本数据描述详见附录 2），因此图 3 和图 4 中，人均 GDP 在 5 万美元之后的图形变化趋势并不明确。同样，图 1 中的“倒 U 型”下降部分的数据也较少。因此，这些国家环境质量随经济增长的长期变化趋势将取决于今后的经济发展方向、政策措施和人们对环境问题的认识程度。

（二）四组类型国家的比较分析

1. 低工业中低收入组

“低工业中低收入组”中的个体数量最多，它们大多属于世界上经济最不发达的国家和地区，经济增长主要依赖于农业和初级制造业。该组的“人均 GDP”均值仅为 852 美元，在样本区间范围内，“人均 CO₂ 排放量”随“人均 GDP”出现一个微弱的“倒 U”型的变化趋势，且无论从转折点处的收入水平上看，还是从排放量规模上看都处于四组国家中的最低水平。但是它们的边际污染排放量却是四组国家中的最高水平，具体来看，该组的人均 GDP 每增加 1 美元将带来 6.67E-04 公吨的人均 CO₂ 排放量增加。然而这些国家的经济增长速度还很缓慢，经济增长与环境污染之间的矛盾在短时期内也不会被激化。

我们认为其经济发展可以继续沿着两种不同的路径来实现：首先，依照经济演进规律，继续向高工业方向发展（图 1→图 2）。此时，经济体进入高污染的工业经济，CO₂ 排放量可能随经济的增长而明显上升。其次，也可能出现越过高工业发展阶段直接进入服务型经济的情形（图 1→图 3）。属于这一类型的国家在经济发展的初期阶段就可以通过一系列的政策措施治理环境污染，防止以环境质量换取经济增长的现象发生，通过控制环境污染工业的发展规模以及寻求清洁的经济增长途径实现经济增长与环境保护的双赢。

2. 低工业高收入组

“低工业高收入组”中的个体数量相对较少，“人均 GDP”均值达 15622 美元。该组中的大多数国家已经走过了工业化发展阶段，并已经迈进了清洁的服务型经济发展阶段。加之严格环境管制以及居民较强的环境保护意识，环境质量已经逐步得到改善，具体表现在模型中的一次项系数为负，这一特点是其他三种类型国家所不具备的。表明总体上的“人均 CO₂ 排放量”已经开始下降且排放量可控制在 9.384 公吨以下，并且这些国家的边际污染排放量很小。具体来看，该组出现了“N”型结构，其第一转折点和第二转折点处的收入水平分别为 21276 美元和 53176 美元。但是由于“二次上升”处的数据较少，我们并不能确定未来的发展趋势。

值得注意的是，这些国家的环境污染主要是由高物质消费引起的。其中，机动车的尾气排放可能是“人均 CO₂ 排放量”大小的决定因素。不过这一环境污

染问题可以通过投入更多的资金和技术逐步得到控制和解决,但仍然需要防止由高收入所带来的高物质消费污染的产生,如果这一污染问题得不到有效的预防和控制将很可能导致环境污染的“二次上升”现象发生。

3. 高工业高收入组

与“低工业高收入组”相似,“高工业高收入组”中的个体数量也相对较少,“人均 GDP”水平较高,样本均值达 15942 美元,是四组中唯一出现标准“倒 U”型结构的国家。转折点处的“人均 CO₂ 排放量”在这四组国家中处于一个相对较高的水平,约为 12.069 公吨,但其边际污染排放量已经显著降低。与之前的研究不同的是,“人均 GDP”在 28696 美元处出现转折点,这一结果与 Cole 等(1997)的研究较为接近(Cole 等人估计的转折点为 25100 美元)。

具体分析时发现,这些国家已经基本走出了需要以环境代价换取经济增长的恶性循环阶段,不仅有足够的治理能力治理环境污染,也可通过产业转移的方式将污染行业移植到经济相对落后又急需引入 FDI 的国家。此外,停止或减少污染密集型产品的生产,通过进口的途径来满足这部分缺口产品的国内消费需求,对“高工业高收入组”的 EKC 下降部分的形成也起到了推波助澜的作用。值得注意的是,下降部分的形成并不是一个自动的过程,而是需要环境管制等政策措施加以配合才能最终实现(Grossman 和 Krueger, 1995),因此收入水平只不过是 EKC 形成的一个必要条件而不是充分条件。

4. 高工业中低收入组

“高工业中低收入组”中的“人均 GDP”均值为 2081 美元,与同为收入水平较低的“低工业中低收入组”相比这一指标值要高很多,说明工业发展确实带动了收入水平的提高。然而,工业比重的提高也给脆弱的环境带来了沉重的压力。具体表现为“人均 CO₂ 排放量”在样本区间内呈现出递增趋势,这一结论与世界银行(1992)和 Shafik(1994)的研究结果相似。同时,这些国家的边际污染排放量也相当高,人均 GDP 每增加 1 美元将带来 5.08E-4 公吨的人均 CO₂ 排放量。而处于这一阶段的国家经济增长速度又相对较快,因此经济增长与环境之间的矛盾最为突出。

具体来看,该组中的国家工业比重较高但依旧较为贫穷。它们大多处于工业经济发展的中期阶段,经济增长多依靠高污染的工业带动。因此,这类国家在经

经济增长与环境保护之间存在一个“两难”的境地：如果注重经济增长则很难避免由快速的经济增长所带来的环境污染问题。反之，如果注重环境污染治理和保护则在某种程度上将减缓经济增长速度，甚至会失去污染密集型产品的国际比较优势，进而更加缺少资金用于环境污染的治理，因此面临着“先治理”还是“先发展”的问题。

由于受到经济结构转型的制约，这些国家一般不太可能轻易地转变产业结构，只能依照一般的经济演进规律沿着图 2 → 图 4 → 图 3 的方向发展。处于这一组中的国家，大都选择“先发展，后治理”的政策，而中国正是该组国家中的一个典型代表。改革开放以来，在“压缩型工业化”发展模式下，中国的污染物排放量急剧增加，环境质量出现了严重的恶化趋势，生态环境短缺已经成为制约经济增长与社会可持续发展的重大结构性问题，中国的经济增长与环境问题值得我们深思。

四、中国经济增长中的环境污染问题分析

中国人口基数大、人均收入水平低、工业比重高的现实状况决定了中国的经济发展需要经历较长的时期才能达到服务型经济发展阶段。在这样一个漫长的经济发展过程中，经济增长永远要与环境污染结伴而行。

改革开放以来，中国的经济增长是以高投入为基础、大量消耗资源为代价的粗放型经济增长模式。随着规模效应的不断扩大，中国的环境问题逐渐显现。而我国的“人均 GDP”刚刚超过 1000 美元，与环境质量改善的转折点之间还有很大一段距离，却已经出现了环境质量恶化与资源短缺等环境危机。而事实上，EKC 的形成又是一个长期的过程，是同一经济体在不同阶段的发展轨迹，但 EKC 假说本身却并没有告诉我们何时才能到达“转折点”，即污染改善需要多长的等待“时间”。如果等待时间过长，一旦环境污染越过了“生态阈值”，将产生无法弥补的后果。因此，继续走发达国家“先发展，后治理”的道路将是不切实际的。然而，事实上对于发展中国家特别是中国这样一个人口大国而言，经济增长仍然是发展的基础，是人们摆脱贫困和增进社会福利的根本手段，简单地通过限制经济增长来保护环境也是不切实际和令人难以接受的。在实证分析中我们注意到，经济增长与环境质量之间的关系具有很大的不确定性，正确处理两者关系的关键

是选择何种经济增长模式，即问题并不是是否增长，而是怎样增长。因此，如何将 EKC 控制在一个可容忍的发展路径上，将是值得我们进一步研究的课题。

当前，我国对环境保护的呼声越来越强烈，而环境治理的成效还是微乎其微。其中的一个关键性问题是中央和地方政府行为决策目标的不一致。尤其是当 GDP 的增长成为官员政绩考核的主要指标后，地方政府更加注重经济增长，一味地追求眼前利益、短期效益和表面繁荣。尽管目前的政绩考核指标体系在兼顾发展与环境方面已取得一定的成效，但忽视或轻视环境保护的现象依然相当明显，环境保护的相关政策在地方严重扭曲和失效。而中央和地方政府之间在相互博弈过程中，也造成了大量的资源消耗。因此，以环境质量改善程度作为政府业绩评定的一项标准，对环境污染问题的解决将起到关键性作用。

此外，我国大量引进 FDI 和不断扩大出口规模也在一定程度上加剧了环境污染程度。FDI 减轻了“移出国”的环境压力，相应地增加了“移入国”的环境压力。而贸易对环境的影响则刚好相反。我国在纺织品生产、产品加工等方面具有国际比较优势（虽然这一比较优势是由劳动力价格逐渐形成的，但客观上却导致了污染密集型行业的国际比较优势形成），而这些大都属于污染密集型行业，为我国带来经济利益的同时，我们也付出了高昂的环境代价。因此，适当减少污染行业的 FDI 引入以及污染产品的出口，不仅有利于减轻我国的环境压力，也有利于解决我国当前流动性过剩的问题。此外，将环境成本内部化以及征收污染税也是解决中国经济增长与环境问题的重要途径，而有效的环境管制对环境污染的改善也将起到推动作用。

五、结论与对中国的启示

我们对 EKC 的“同质”假设前提提出了质疑，并认为经济增长与环境之间的关系存在着四个不同的阶段。在此基础上，我们进行了初步的实证检验，并得到了以下几点结论：

1. 对不同国家分组后的比较分析表明，处于“高工业高收入”阶段的国家出现了 EKC 的“倒 U”型结构。“低工业低收入”和“低工业高收入”阶段的国家都表现出了“N”型结构，然而，在样本区间范围内“低工业低收入”的国家只出现了一个微弱的“倒 U”型趋势。而“高工业低收入”阶段的国家环境污染

与收入增长同步。说明处于不同发展“阶段”的国家其经济增长与环境质量之间的关系存在着较大的差异。同时，这种对不同发展阶段的国家分别进行估计的方法，能够比整体的混合估计更为准确的提取样本国家的特征信息。

2. 处于“低工业低收入”阶段的国家，环境质量变化的转折点和整体的污染程度并不严重，其未来经济发展方向取决于早期阶段的环境管制政策和成效。在“低工业高收入”阶段的国家中，环境污染主要是由较高的物质消费引起的，机动车的尾气排放可能是决定因素。而那些“高工业高收入”阶段的国家，出现了“倒U”型的环境库兹涅兹曲线，说明这些国家已经基本走出了以环境代价换取经济增长的恶性循环阶段，不仅有足够的能力治理环境污染，也可通过产业转移的方式将污染向他国转移。对于那些与中国经济特征非常吻合的“高工业低收入”阶段的国家，由于受到经济结构转型的制约，在发展经济与减少环境污染的协调过程中，处于“两难”的境地。

3. 如何协调环境污染与经济增长之间的关系，是我国经济所面临的一个关键问题。将环境质量改善程度纳入地方政府业绩评定标准，可以有效解决中央与地方政府博弈中政策失效的问题，能够大大提高环境治理的成效。同时，适当减少污染行业的FDI引入以及污染产品的出口，避免我国成为发达国家环境污染向外转移的避难所也是行之有效的对策。而最为重要的是，在经济发展的过程中，将环境成本内部化，培育环境保护的全民意识，树立正确科学的发展观念，才是协调解决我国经济增长与环境问题的根本途径。

六、进一步研究的问题讨论

在我们的实证研究中，还存在了一些值得进一步讨论和改进的地方，主要包括以下几个方面：

1. 在解释变量的选取上，我们采用的是“以当期价格计算的人均GDP”数据。主要考虑到以当期价格指标计算的转折点处的收入水平更便于与一个国家的实际情况进行比较。然而，这一指标却没有除去通货膨胀因素并且也没有消除不同国家之间的购买力差异。

2. 由于我们采用面板数据进行估计，因此就存在了一个分组的不确定问题。例如，一个国家在1990年之前为低收入水平的国家，1990年之后很可能进入了

高收入水平的行列。同样，以工业水平进行分组也存在这样的问题。因此，在1980-2003年的时间跨度内，可能出现一个国家分属在不同组别中的情况。这时就需要根据一个国家大部分样本点的“归属性”进行分组。因此，我们以1990年的收入水平和工业水平对总样本进行分组，可以基本确保将大部分的数据划分到一个类别中。但是这种分组办法使个别国家所处的发展阶段与当前的实际情况不相符。以2003年为基准年份再次分组时，“低工业低收入组”的样本个体发生变动的比重为16.9%；“高工业低收入组”为29.2%；“高工业高收入组”为28.6%；“低工业高收入组”为24%。然而，以2003年等近期年份进行分组，可能会使一个国家的大部分样本不能落在所属组别，将产生估计中的更大偏差。此外，我们的收入水平和工业水平的分组标准是外生给定的，随着指标值的改变分组结果也将出现变动。

3. 由于一项新技术的出现，在短期内对环境产生积极影响，但长期来看，这一新技术的本身又可能是另一污染的根源。同时，随着收入水平的进一步提高，物质消费带来的污染将逐步显现（例如，生活垃圾造成的污染、机动车尾气排放污染等）。这些因素都可能导致“低工业高收入”阶段的国家出现“二次上升”的现象，这也正是环境库兹涅茨曲线研究中所出现的“N”型现象。由于我们的样本点在“二次上升”处的数据稀少，因此我们只能得出一个大致的趋势图，而无法对这个结论进行充分地证明，这也是我们今后将进一步研究的方向。

4. 如果“移置假说”成立，那么最先完成工业化进程的国家由于具有了一种“先发优势”，便可通过贸易或FDI的方式将部分的污染以“合理”途径向工业化进程中的国家进行转移。同时，这些处于工业化进程中的国家所处的历史环境已经不同于当年的发达国家，它们在本国工业污染的基础上又接受了部分发达国家转移过来的双重污染，而国际分工所形成的污染密集型产品生产的比较优势又进一步促进了污染的形成。在这样一个类似于产品生命周期的演化过程中，那些最不发达的国家将面临着不能再找到另外一些相对更加不发达的地区转移污染物，而当一种污染物被控制的同时，另一种污染物又开始逐渐蔓延。因此，随着产品生命周期在不同国家之间发生传递的过程中，同一污染物也随之转移，而新的污染物又不断的产生。在这样一个不断传递和叠加的过程中，就形成了一个“争上游”的局面，而最终接到“接力棒”的国家很可能成为污染的最终牺牲者。

参考文献:

- Dinda, S., 2004, "Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A Survey", *Ecological Economics*, vol.49, pp.431-455
- Grossman, G.M., and Krueger, A.B., 1991, "Environmental impacts of the North American Free Trade Agreement", *NBER Working paper*, 3914
- Auty, R., 1985, "Materials intensity of GDP: research issues on the measurement and explanation of change", *Resource Policy*, vol.11, pp.275-283
- Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Folke, C., Holling, C.S., Janson, B., Levin, S., Maler, K., Perrings, C., and Pimental, D., 1995, "Economic growth, carrying capacity, and the environment", *Science*, 268(5210), pp.520-521
- World Bank, 1992, "World Bank Development Report 1992: Development and the Environment", *World Bank*, Washington, DC
- Shafik, N., 1994, "Economic development and environmental quality: An econometric analysis", *Oxford Economic Papers*, vol.46, pp.757-773
- Holtz-Eakin, D., and Selden, T., 1995, "Stoking the fires? CO₂ emissions and economic growth", *Journal of Public Economics*, vol.57, pp.85-101
- Galeotti, M., and Lanza, A., 1999, "Desperately seeking (environmental) Kuznets", *Working Paper*, CRENoS 199901
- Grossman, G.M., and Krueger, A.B., 1995, "Economic growth and the environment", *Quarterly Journal of Economics*, vol.110, pp.353-377
- Torras, M., and Boyce, J.K., 1998, "Income, inequality, and pollution: a reassessment of the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, vol.25, pp.147-160
- Unruh, G.C., and Moomaw, W.R., 1998, "An alternative analysis of apparent EKC-type transitions", *Ecological Economics*, vol.25, pp.221-229
- Stern, D.I., Common, M.S., and Barbier, E.B., 1996, "Economic growth and environment degradation: a critique of the environmental Kuznets curve", *World Development*, vol.24, pp.1151-1160
- Cole, M.A., Elliott, R.J.R., and Azhar, A.K., 2000, "The determinants of trade in pollution intensive industries: North-South evidence", *University of Birmingham*, UK. Mimeo

Stern, D.I., and Common, M.S., 2001, "Is there an environmental Kuznets curve for sulfur? ", *Journal of Environmental Economics and Management*, vol.41, pp.162-178

Cole, M.A., Rayner, A.J., and Bates, J.M., 1997, "The Environmental Kuznets Curve: an empirical analysis", *Environment and Development Economics*, vol.2, pp.401-416

附录 1:

样本分组结果

低工业中低收入组: 越南, 柬埔寨, 坦桑尼亚, 尼泊尔, 马拉维, 莫桑比克, 布隆迪, 乌干达, 老挝, 几内亚比绍, 刚果民主共和国, 塞拉利昂, 乍得, 马达加斯加, 马里, 尼日尔, 孟加拉共和国, 也门, 贝宁, 冈比亚, 卢旺达, 布基纳法索国, 赤道几内亚, 海地, 印度, 加纳, 多哥, 中非, 几内亚, 斯里兰卡, 巴基斯坦, 肯尼亚, 科摩洛, 毛里塔尼亚, 圭亚那, 蒙古, 洪都拉斯, 苏丹, 所罗门群岛, 埃及, 塞内加尔, 乌兹别克斯坦, 玻利维亚, 巴布亚新几内亚, 吉布提, 土库曼, 危地马拉, 佛得角, 尼加拉瓜, 摩尔多瓦共和国, 科特迪瓦共和国, 多米尼加共和国, 瓦努阿图, 黎巴嫩, 巴拉圭, 喀麦隆, 约旦, 萨摩亚, 汤加群岛, 突尼斯, 波斯尼亚和黑塞哥维那, 波兰, 伊朗, 哈萨克斯坦, 圣文森特和格林纳丁斯, 斐济, 格林纳达, 多米尼克, 巴拿马, 土耳其, 立陶宛。

低工业高收入组: 塞舌尔群岛, 韩国, 安提瓜及巴布达, 巴巴多斯, 希腊, 科威特, 澳门, 斯洛文尼亚, 塞浦路斯, 新加坡, 巴哈马, 以色列, 新西兰, 西班牙, 苏格兰, 法属波利尼西亚, 比利时, 荷兰, 加拿大, 美国, 冰岛, 丹麦, 瑞典, 百慕大, 瑞士。

高工业中低收入组: 中国, 赞比亚, 塔吉克斯坦, 吉尔吉斯斯坦, 亚美尼亚, 尼日利亚, 印度尼西亚, 菲律宾, 津巴布韦, 叙利亚, 阿塞拜疆, 萨尔瓦多, 安哥拉, 史瓦济兰, 摩洛哥, 厄瓜多尔, 刚果, 秘鲁, 哥伦比亚, 泰国, 格鲁吉亚, 罗马尼亚, 纳米比亚, 乌克兰, 牙买加, 白俄罗斯, 伯利兹, 马其顿, 哥斯达黎加, 保加利亚, 委内瑞拉, 博茨瓦那, 阿尔及利亚, 阿尔巴尼亚, 马来西亚, 智利, 乌拉圭, 巴西, 南非, 斯洛伐克, 墨西哥, 拉脱维亚, 爱沙尼亚, 匈牙利, 捷克共和国, 俄罗斯联邦, 特立尼达和多巴哥, 阿根廷。

高工业高收入组: 克罗地亚, 加蓬, 阿曼, 沙特阿拉伯, 马耳他, 葡萄牙, 巴林, 波多黎各, 香港, 爱尔兰, 英国, 阿联酋, 澳大利亚, 意大利, 法国, 奥地利, 德国, 日本, 挪威, 芬兰, 卢森堡。

附录 2:

四组类型国家的“人均 GDP”统计描述

统计指标	组 1	组 2	组 3	组 4
均值 (Mean)	851.8519	15622.24	2080.723	15941.50
中位数 (Median)	478.0000	13513.00	1726.000	13422.00
最大值(Maximum)	6185.000	67324.00	8850.000	63974.00
最小值(Minimum)	35.00000	1674.000	141.0000	2231.000
标准差 (Std. Dev.)	882.7431	10019.16	1560.946	10266.30
偏度 (Skewness)	2.219267	1.383594	1.391262	1.094676
峰度 (Kurtosis)	8.859445	5.768082	5.058887	4.347117
Jarque-Bera 检验	3649.525	375.3304	492.2381	132.4352
相伴概率	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000