

人大国发院系列报告

专题研究报告

2013年12月 总第8期

(能源与资源战略系列报告 ERS201304)

经济增长一定会带来环境污染吗？

——基于产业结构和技术进步的环境库兹涅兹曲线分析

黄滢 (中国人民大学国家发展与战略研究院)

王敏 (北京大学国家发展研究院)



国家发展与战略研究院
National Academy of Development and Strategy, RUC

人大国发院简介

国家发展与战略研究院(简称国发院)是由中国人民大学主办的独立的校级研究机构。国发院以中国人民大学在人文社会科学领域的优势学科为依托,以项目为纽带,以新型研究平台、成果转化平台和公共交流平台为载体,组建跨学科研究团队对中国面临的各类重大社会经济政治问题进行深度研究,以达到“服务政府决策、引领社会思潮、营造跨学科研究氛围”的目标。

国发院通过学术委员会和院务会分别对重大学术和行政事务进行决策。目前由纪宝成教授担任名誉院长兼学术委员会主任,陈雨露校长担任院长,刘元春教授担任执行院长。

地址:北京市海淀区中关村大街59号 中国人民大学国学馆(紧邻新图书馆)

电话: 010-62515049

网站: <http://NADS.ruc.edu.cn>

Email: nads_ruc@126.com, nads@ruc.edu.cn

目 录

摘要.....	4
前言.....	5
1 数据.....	10
2 计量建模.....	11
3 估计结果和分析.....	14
3.1 固定面板数据模型估计结果.....	15
3.2 相关随机趋势模型估计结果.....	18
4 结论和政策建议.....	21
5 结束语.....	23
参考文献.....	24

摘要

自 20 世纪 80 年代改革开放以来，中国经济高速增长，但是环境污染问题也日趋严重。本报告利用 112 座城市 2003-2010 年的空气污染浓度监测数据，从产业结构和技术进步的角度考察我国经济增长和环境污染之间的关系。本报告的研究表明，由于过去 10 年汽车消费高速增长导致机动车污染排放不断上升，当前中国环境污染和经济增长之间呈现“U 型”曲线关系。但是，对比不同污染物的影响因素，我们发现经济增长并不一定会导致高污染，而通过行政管制、污染税或排污权交易等环境政策诱导产业结构调整和技术进步，可以实现绿色增长。

前言

在 1978-2010 改革开放三十多年间，中国 GDP 年均增长 10%，人们物质生活水平大大提高。但是，在高增长的背后，中国的环境污染严重，高污染的压力与日俱增。世界银行的一份研究报告显示：全球污染最严重的 20 个城市中，中国占了 16 个；中国目前是世界上最大的二氧化硫（SO₂）和二氧化碳（CO₂）排放国；中国 58% 城市的大气年均 PM10（直径 10 微米以下的可吸入颗粒物）浓度超过 100 微克/立方米，只有 1% 的中国城市人口生活在年均 PM10 浓度低于 40 微克/立方米的地区（相比之下，美国全国年均 PM10 含量为 50 微克/立方米）（World Bank and The State Environmental Protection Administration, 2007）。根据中国气象局的信息披露，截至到 2013 年 10 月，2013 年全国平均雾霾日数为 4.7 天，较常年同期偏多 2.3 天，为 1961 年以来最多。

面对这样一个经济高速增长但环境日趋恶化的局面，一个重要的研究问题是，环境污染和经济增长之间究竟有什么样的关系？经济的持续增长会导致环境污染日益恶化，还是最终有可能带来环境的改善？国外有大量的研究从理论和实证的角度对经济增长和环境污染之间的关系进行探讨。对很多发达国家的研究表明，在经济发展初期，环境污染会随着人均收入的增长而增加；但是到了一定发展阶段，环境污染会随着人均收入的增长而下降。环境污染和经济增长之间的这种“倒 U 型”曲线在文献中被称之为环境库兹涅茨曲线。

文献解释环境库兹涅茨曲线形成的思路基本是一致的。人们同时

对消费品和环境质量有偏好，即效用是消费和环境质量的函数。在经济发展的不同阶段，给定社会的总产出，人们要在改善环境和增加消费之间做出权衡和取舍。在经济发展早期，由于经济水平低，人们可消费的产品少，但同时污染排放也比较少，环境质量比较高。因此，在这个阶段，环境质量的边际效用较低，而消费品的边际效用则比较高。此时，人们就愿意牺牲环境来增加消费，以获得更高的社会效用或福利水平。这就导致随着收入的增长，环境质量下降。但是，随着收入的增长、消费品的增多和环境质量的持续下降，消费品带给人们的边际效用会逐渐下降，而人们对环境质量的边际效用则逐渐上升——这最终导致人们愿意减少消费以增加对环境的投资。这就表现为，在经济发展的后期，随着收入的增长，环境污染会出现下降趋势。

但是，需要指出的是，因为环境的外部性问题，导致单位 GDP 污染下降的机制并不会自动实现。Grossman and Krueger (1995) 在发现环境库兹涅茨“倒 U 型”曲线证据的时候，就特别强调，经济增长本身不会自动改善环境，环境污染的倒 U 曲线的出现是因为经济增长所带来的产业结构转型、技术进步或者环境管制。

虽然国外有关经济增长和环境污染的文献已经非常多，但是中国这方面的研究却相当有限。¹而且因为数据和估计方法的不同，不同研究得出的结论会出现一定差异。譬如，SO₂ 的数据既有监测的城市

¹ 文献中主流的研究大都是基于国家或者城市的面板数据对经济增长和环境污染之间的关系进行分析。而有关中国的一些研究，例如 Liu et al. (2007)，林伯强和蒋竺均 (2009)，刘笑萍、张永正和长青 (2009) 和宋马林和王舒鸿 (2011) 等，则是根据全国或一个省份（或城市）的时间序列数据对污染物和人均 GDP 之间进行回归分析。一般而言，基于时间序列数据的研究因为样本时间比较短，不容易考察经济增长和环境污染之间的长期关系。相比之下，面板数据则因为各个样本处于不同的发展阶段，能较好的克服这个问题。

大气浓度数据，也有各省市统计的排放量数据。当研究者用不同的数据和方法对SO₂和经济增长之间的关系进行分析时，结论会有所不同。另外，因为空气中污染物有多种，除SO₂之外较常使用的还有总空气悬浮物和氮氧化物浓度，针对不同的污染物进行研究也容易出现不同的结论。

本报告利用2003-2010年环保部公布的国内112座城市的空气污染浓度监测数据，把三个环境决定因素——经济增长、产业结构和技术——放到一个统一的框架中，考察中国的经济增长和环境污染之间存在着什么样的关系。本报告的主要贡献在于以下几点：

第一，在现有的研究中，研究者主要关注用人均GDP所代表的经济增长对环境污染的影响，很少对经济增长、产业结构和技术三个环境决定因素进行统一的考虑，尤其是产业结构这个因素往往被忽略掉（Brock and Taylor, 2005）。在中国，产业结构在区域间存在巨大差异，而且东部沿海地区目前正处于产业结构转型升级的时期。考虑到中国经济下一步的转型升级以及城镇化进程的加速，我们将主要关注第三产业比例进一步增长会对环境污染有什么样的影响。²

第二，在文献中，大多数的研究用一个共同的时间趋势来控制技术进步对环境污染的影响。但是事实上，每个国家或地区的技术进步水平是不一样的，我国各省和各城市在这方面的差异尤其明显。因此，本报告在控制技术进步这个变量，考虑了样本城市在技术进步方面的

² 从全国的数据来看，在我国的三大产业中，只有第三产业占GDP的比重在过去30多年的改革开放进程中始终保持持续增长的态势：第三产业的GDP占比从1978年的23.9%提高到2011年的43.2%。相比之下，在过去30多年，第一产业的GDP占比则持续下降，第二产业的GDP占比基本稳定，但在近几年开始出现下降的趋势。

异质性问题。

第三，目前，我国环境污染指标数据的来源主要有两个：一是环保部公布的 113 个重点城市的大气污染物浓度监测数据；另一个是各个地方政府统计的工业污染物排放量，即“三废”排放统计数据。本报告主要基于前者进行分析，但同时也尝试在使用相同的样本（城市和年份都一样）和回归方法的基础上，分别基于 SO_2 的工业排放数据和浓度数据进行对比分析。一方面，我们就能清楚的看出采用两套环境污染指标对中国问题进行研究时可能产生的差异，并深究差异背后的原因。另一方面，中国对 SO_2 的工业排放有直接的监管措施和明确的减排目标，对该数据的研究结果更能体验政府管制在实现库兹涅茨“倒 U 型”曲线时的作用。

第四，Dockery et al. (1993)，Pope et al. (1995, 2002)，Samet et al. (2000)，Evans and Smith (2005) 和 Kan et al. (2008) 等大量的医学研究表明，空气中的二氧化氮 (NO_2)、 SO_2 和 PM_{10} 污染都会对人体健康产生严重的影响，并会增加人们的死亡率和得病率。但是在诸多的空气污染物中，对人类健康影响最大的还是 PM_{10} 。长期居住在 PM_{10} 浓度比较高的地区会增加人们患心血管病、肺部疾病和呼吸道疾病等疾病的概率。但是，在上述有关中国环境污染和经济增长的研究文献中， PM_{10} 的分析是缺失的。其主要原因是，我国早期只对总空气悬浮物进行监测， PM_{10} 的监测统计则是从 2003 年开始。利用最新的城市空气监测质量数据，我们则可以对 PM_{10} 浓度和产业结构、经济增长之间的关系进行分析和探讨，从而弥补文献中的空白。

十八届三中全会提出要改革生态环境保护管理体制,建立吸引社会资本投入生态环境保护的市场化机制。本报告的研究结果有助于我们评估政府管制在目前的环境保护工作中是否已经发挥作用,以及在将来应该如何发挥作用方面提出政策建议。

1 数据

在环保部公布大气污染物浓度监测数据的 113 个重点城市中，因为拉萨的经济数据指标缺失较多，我们主要用到 2003~2010 年除拉萨之外的其它 112 个城市的年均空气污染监测数据，即 PM10、SO₂ 和 NO₂ 在大气中的浓度数据。这部分的数据来自各年的《中国环境年鉴》。其中缺失的数据主要通过城市环境统计公报等其它途径补充。2003~2010 年 112 个城市的人均工业 SO₂ 排放数据主要来自各年的《中国城市统计年鉴》。最终，我们总共有 896 个样本数据。³ 我们使用从 2003 年开始的数据主要有两方面的考虑：一是 PM10 和 NO₂ 的数据监测分别始于 2003 年和 2001 年（早期监测的大气污染物是总悬浮颗粒物 and 氮氧化物）；二是在 2003 年以前公布的城市大气污染监测数据中，不同年份的城市样本是不一样的，而且城市数量有限。譬如，《中国环境年鉴 2003》只公布了 2002 年 58 个城市的总悬浮颗粒物大气浓度数据和 98 个城市的 SO₂ 和 NO₂ 大气浓度数据。⁴

图 1-图 4 分别描绘了上述 4 个污染物和人均实际 GDP 之间的关系。从图上的趋势来看，NO₂ 大气浓度随着人均 GDP 的增长而增长，PM10 和 SO₂ 大气浓度则随着人均 GDP 增长而下降，人均工业 SO₂ 排放量跟人均 GDP 之间的关系并不是那么清晰。但是，这些污染物跟经济增长之间的关系需要我们进一步通过回归分析进行证实。

³ 由于 2003 年邯郸市的 NO₂ 年均浓度数据无法补齐，NO₂ 浓度数据只有 895 个样本。

⁴ 相比之下，如果拿早期的数据做研究，He and Wang (2012) 的城市样本只有 76 个，Brajter, Mead and Xiao (2008, 2011) 的城市样本虽然有 128 个，但是有近一半的污染数据是缺失的。

PM10 年均浓度
(微克/立方米)

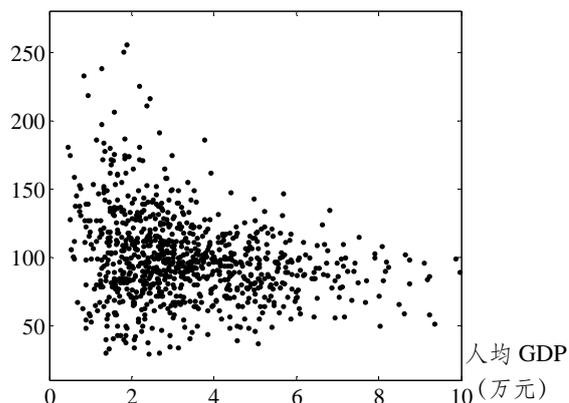


图 1: 城市 PM10 大气浓度

NO₂ 年均浓度
(微克/立方米)

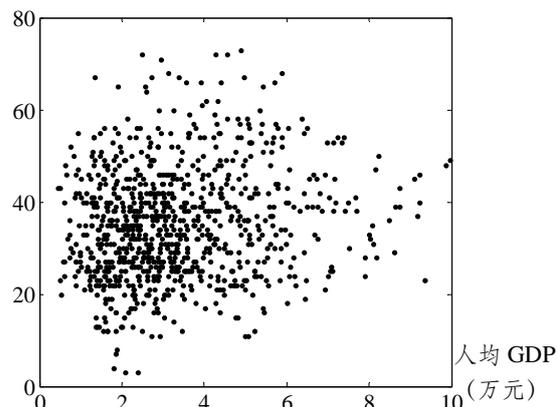


图 2: 城市 NO₂ 大气浓度

SO₂ 年均浓度
(微克/立方米)

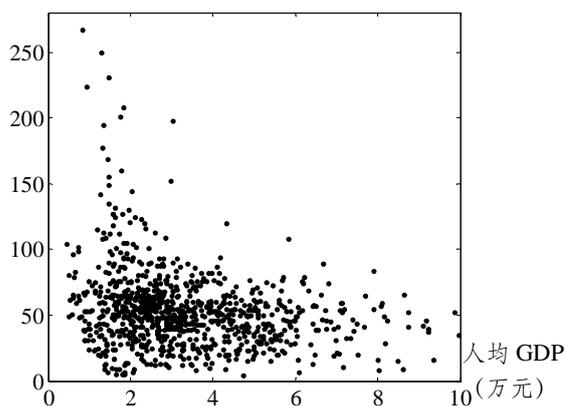


图 3: 城市 SO₂ 大气浓度

人均工业 SO₂
排放量 (吨)

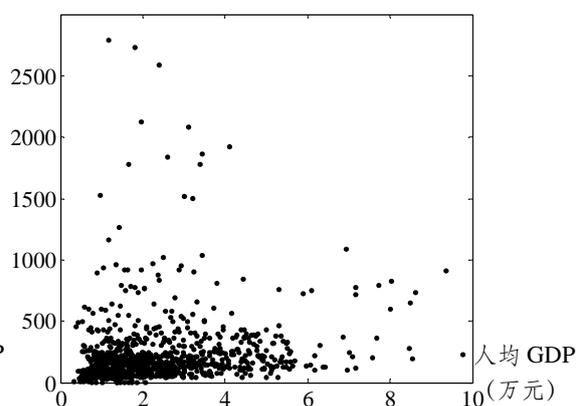


图 4: 城市人均工业 SO₂ 排放量

2 计量建模

理论上, 环境污染由三个因素同时决定: 经济总量、产业结构和技术水平 (Brock and Taylor, 2005)。根据 Brock and Taylor (2005), 设 Y 、 s_i 和 ρ_i 分别代表一个经济体的 GDP 产出、该经济体内产业 i 的 GDP 占比和产业 i 的单位 GDP 污染排放量, 那么一个经济体的污染总排放 E

就等于

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \rho_i s_i Y$$

其中 $\sum_{i=1}^n s_i = 1$ 。如果在公式两边分别对时间 t 进行求导，那么环境污染的变化就可以分解为

$$\hat{E} = \sum_{i=1}^n \pi_i (\hat{\rho}_i + \hat{s}_i) + \hat{Y}$$

其中 $\hat{x} = \frac{dx}{dt} \frac{1}{x}$ ， $x = \{E, Y, s_i, \rho_i\}$ 是各个变量在相邻时间上的变化， $\pi_i = \frac{E_i}{E}$ 是产业 i 所生产的污染占总污染的比重。

显然，环境污染的变化由 $\hat{\rho}_i$ ， \hat{s}_i 和 \hat{Y} 所决定，而这三个变量分别代表了影响环境污染变化的三种效应：技术进步效应、产业结构效应和产出规模效应。我们在计量建模时对这三个决定环境污染的因素进行统一的考虑。我们尤其关注的是，在控制了技术进步这个因素之后，经济增长和产业结构对环境污染存在什么样的影响。为了对比只考虑部分因素所可能出现的估计结果的差异，我们通过构建两个计量模型，分别对上述三个因素进行逐一考量。

首先，基于文献中传统的环境库兹涅茨曲线模型，我们只考虑经济增长和环境污染之间的关系，并考虑两者之间的对数二次项函数关系。⁵

$$\ln(Pollution_{it}) = \alpha_i + \beta_1 \ln(GDP_{it}) + \beta_2 [\ln(GDP_{it})]^2 + \beta_3 \ln(Density_{it}) + \beta_4 \ln(Green_{it}) + \beta_5 \ln(Industry_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

⁵ 我们也尝试对人均 GDP 的三次项进行回归，回归结果表明人均 GDP 的 3 个系数不但每一个都不显著，而且也联合不显著。这说明经济增长和环境污染之间的三次项函数关系并不适合。

其中, $Pollution_{it}$ 是城市 i 在 t 年的环境污染指标; α_i 是城市 i 在样本的时间范围内不变的特性; GDP_{it} 是城市 i 在 t 年以 2000 年价格衡量的实际人均 GDP; $Density_{it}$ 、 $Green_{it}$ 和 $Industry_{it}$ 分别是城市 i 在 t 年的人口密度、建成区绿化覆盖率和第三产业比重。我们用固定效应方法来估计模型 (1)。

然后, 我们考虑技术进步这个因素。在文献中, 研究者一般用共同的时间趋势来控制技术进步这个因素。⁶但是, 这样的处理忽略了一个很重要的现实, 即在现实经济中, 不同城市的技术进步程度是不一样的。因此, 如果要较好的控制技术进步这个因素, 就很有必要考虑样本城市技术进步异质性的问题, 这就需要在计量建模时考虑到每个样本都有自己单独的时间趋势变量。因此, 在模型 (1) 的基础上增加变量 λ_it , 我们可以得到:

$$\ln(Pollution_{it}) = \alpha_i + \lambda_it + \beta_1 \ln(GDP_{it}) + \beta_2 [\ln(GDP_{it})]^2 + \beta_3 \ln(Density_{it}) + \beta_4 \ln(Green_{it}) + \beta_5 \ln(Industry_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中 λ_it 是城市 i 特有的时间趋势变量, 控制了城市 i 在经济发展过程中所出现的包括技术进步在内的各种随时间趋势变化的变量。

Wooldridge (2002) 把模型 (2) 称为相关随机趋势模型 (Correlated Random Trend Model)。但是, 我们无法对模型 (2) 中的 λ_i 进行直接估计。因此, 根据 Wooldridge (2002), 为了估计 (2), 我们首先对数据进行一阶差分得到:

⁶ Grossman and Krueger (1995) 则用年份的哑变量 (即本文模型 (1) 中的 yt) 来控制技术进步一因素。作者指出, 在他们的研究中, 无论是使用年份的哑变量还是使用共同的时间趋势来控制技术进步, 回归结果基本一致。

$$\Delta \ln(Pollution_{it}) = \lambda_i + \beta_1 \Delta \ln(GDP_{it}) + \beta_2 \Delta [\ln(GDP_{it})]^2 + \beta_3 \Delta \ln(Density_{it}) + \beta_4 \Delta \ln(Green_{it}) + \beta_5 \Delta \ln(Industry_{it}) + \Delta \varepsilon_{it} \quad (3)$$

其中， Δ 代表某变量在 t 期的值减去该变量在 $t-1$ 期的值， $\eta_t = m_t - m_{t-1}$ 是新的—组年份哑变量。最后，在 (3) 的基础上，运用固定效应面板数据方法就可以把各个 β 值估计出来。在现有的文献中，Stern and Common (2001) 也运用了先对数据进行—阶差分，再对差分后的数据进行最小二乘法（或固定面板数据方法）估计的方法。跟 Stern and Common (2001) 不同的是，我们是在计量建模时考虑到技术进步异质性的问题，从而运用上述方法进行估计。在下文的分析中，我们会比较不同模型估计出来的结果，并展开分析和讨论。

根据计量建模所考虑的二次函数，经济增长和环境污染之间存在各种可能的关系：(1) 如果 $\hat{\beta}_1 > 0$ 和 $\hat{\beta}_2 < 0$ ，那么经济增长和环境污染之间存在倒 U 型曲线，且拐点的收入值为 $\exp(-0.5\hat{\beta}_1 / \hat{\beta}_2)$ ；(2) $\hat{\beta}_1 < 0$ 和 $\hat{\beta}_2 > 0$ 则表示 U 型曲线关系；(3) $\hat{\beta}_1 > 0$ 和 $\hat{\beta}_2 > 0$ 是环境污染随着经济增长单调递增；(4) $\hat{\beta}_1 < 0$ 和 $\hat{\beta}_2 < 0$ 则意味着环境污染随着经济增长单调递减。

3 估计结果和分析

在进行实证研究时，我们主要运用公式 (1) 和 (2) 中的两个计量模型对城市不同空气污染物的大气浓度进行回归分析，并进而探讨

经济增长、产业结构和技术进步对环境污染的影响。另外，我们还将就同一污染物 SO_2 的不同指标，大气浓度指标和排放指标，进行对比分析，并由此来考察采用不同污染指标对研究结果的影响。在对人均工业 SO_2 排放进行回归时，采用的数据是地级市的数据，因为建成区绿化覆盖率没有全市范围的统计，因此我们没有考虑该变量。

3.1 固定面板数据模型估计结果

表 1 汇报了固定面板数据模型对城市 PM_{10} 、 NO_2 和 SO_2 的大气浓度，以及人均工业 SO_2 排放影响因素的估计结果。

基于表 1 中 GDP 二次项系数的估计值，我们可以发现，我国城市 PM_{10} 、 NO_2 和 SO_2 大气浓度跟经济增长之间呈现出“U 型”曲线的关系，即随着经济的增长，城市主要空气污染物的大气浓度会出现先下降、后上升的趋势。与此相反，我国城市的经济增长和人均工业 SO_2 排放之间没有任何显著的关系。

基于表 1 中 GDP 二次项系数的估计值，我们可以发现，我国城市 PM_{10} 、 NO_2 和 SO_2 大气浓度跟经济增长之间呈现出“U 型”曲线的关系，即随着经济的增长，城市主要空气污染物的大气浓度会出现先下降、后上升的趋势。与此相反，我国城市的经济增长和人均工业 SO_2 排放之间没有任何显著的关系。

表 1：环境库兹涅茨模型估计结果

被解释变量	PM ₁₀ 大气浓度	NO ₂ 大气浓度	SO ₂ 大气浓度	人均工业SO ₂ 排放
ln(GDP)	-2.144*** (0.401)	-1.822*** (0.487)	-1.990*** (0.678)	0.548 (0.520)
[ln(GDP)] ²	0.0897*** (0.0195)	0.0852*** (0.0237)	0.0835** (0.0330)	-0.0275 (0.0265)
ln(Industry)	-0.119** (0.0541)	-0.204*** (0.0663)	-0.260*** (0.0914)	-0.565*** (0.122)
ln(Density)	0.101** (0.0411)	-0.0225 (0.0498)	-0.0282 (0.0694)	-1.155*** (0.274)
ln(Green)	-0.0414 (0.0308)	0.0160 (0.0373)	-0.165*** (0.0519)	
常数项	16.98*** (2.087)	14.05*** (2.535)	17.20*** (3.523)	11.32*** (3.102)
样本数	896	895	896	896
R平方值	0.312	0.042	0.162	0.068
城市数	112	112	112	112

注：(1) 括号内是稳健标准差；(2) ***, **和*分别表示在1%, 5%和10%水平上显著。

根据表 1 的估计结果，我们在图 5 中展示了各个空气污染物的大气浓度和经济增长之间的关系。图 5 中的纵坐标是根据回归结果所预测的城市空气污染物大气浓度：

$$\hat{y} = \hat{\beta}_1 \ln(GDP) + \hat{\beta}_2 [\ln(GDP)]^2 + \hat{\beta}_3 \overline{\ln(Density_{it})} + \hat{\beta}_4 \overline{\ln(Green_{it})} + \hat{\beta}_5 \overline{\ln(Industry_{it})}$$

其中， \hat{y} 是模型所估计的各个污染物大气浓度的对数值， $\hat{\beta}_i$ 是表 1 中的各个系数估计值，变量上方有横线表示对该变量取样本平均值。

因为样本的实际人均 GDP 区间是 4475 元到 99530 元 (对应的对数值区间是[8.4,11.5]), 因此图 5 中横坐标的区间取值为[8,12]。

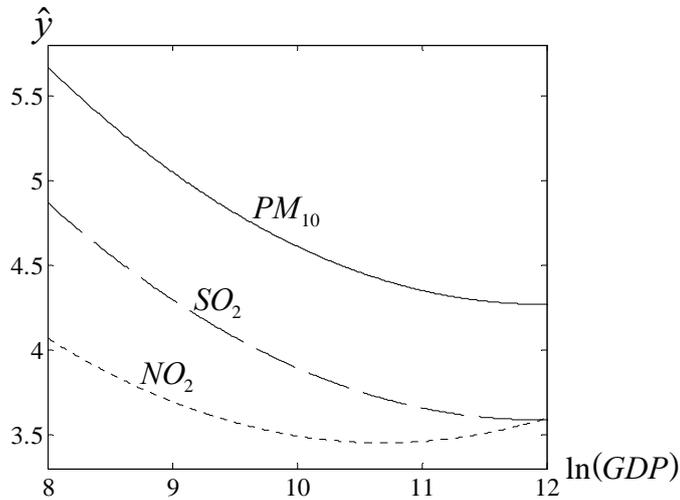


图 5: 模型估计的城市大气污染物和经济增长之间的关系

从图 5 我们可以看到, 在环保部门监测的 3 个大气污染物中, NO_2 大气浓度“U 型”曲线的翘尾部分尤其明显。根据《2011 年环境统计年报》, 我国氮氧化物的主要排放源是工业排放和机动车排放, 分别占总排放量的 71.9% 和 26.5%; 在构成 PM_{10} 主要来源的烟(粉)尘排放中, 工业排放和机动车排放在全国总排放量中的占比则分别为 86.1% 和 4.9%; 在全国二氧化硫总排放量中, 工业排放占比为 91%, 机动车尾气排放没有分开单独统计, 而是放在剩余的 9% 的生活排放中(环保部, 2013)。显然, 机动车尾气排放对 NO_2 排放的影响远高于其它两个污染物。而同时 NO_2 大气浓度的“U 型”曲线翘尾远比另外两个污染物明显。这说明, 我国城市空气污染物在“U 型”曲线中出现翘尾, 尤其是 NO_2 大气浓度的“U 型”曲线翘尾, 主要原因是过去 10 年我国城市汽车消费出现高速增长而导致汽车尾气排放急剧增

加。而且收入越高的城市越可能消费更多的汽车，从而导致更多的污染排放。根据历年国家统计局的统计公报，2003 年末全国民用汽车保有量大概在 2400 万辆左右，经过 10 年左右的发展，2012 年年末全国民用汽车的保有量达到了 1.2 亿辆。目前，我国的汽车消费仍在快速增长，预计 2020 年汽车保有量将突破 2 亿辆（交通部，2012）。显然，基于本报告环境库兹涅茨模型的估计结果，如果我国机动车消费继续快速增长且机动车排放无法得到有效控制，“倒 U 型”的环境库兹涅茨曲线在 5-10 年内将很难实现。

最后，从表 1 中我们可以看到，城市第三产业 GDP 占比对城市污染始终有负的显著影响：第三产业 GDP 占比每提高 1%，我国城市 PM10、NO₂ 和 SO₂ 大气浓度将分别降低 0.12%、0.20% 和 0.26%，而人均工业 SO₂ 排放量将下降 0.57%。这个结果跟我们的预期一致。但我们更关心的是，在进一步控制包含了技术进步在内的时间趋势变量的影响后，产业结构是否继续在我国的环境污染中起到显著的作用。

3.2 相关随机趋势模型估计结果

为了进一步考察技术进步对环境污染的影响，我们基于相关随机趋势模型进行回归分析。表2汇报了该模型对城市PM10、NO₂和SO₂的大气浓度，以及人均工业SO₂排放影响因素的估计结果。

表 2：相关随机趋势模型估计结果

被解释变量	PM ₁₀ 大气浓度	NO ₂ 大气浓度	SO ₂ 大气浓度	人均工业SO ₂ 排放
ln(GDP)	-0.855 (0.699)	-1.296 (0.990)	0.980 (1.106)	7.454*** (1.497)
[ln(GDP)] ²	0.0410 (0.0342)	0.0610 (0.0484)	-0.0505 (0.0541)	-0.372*** (0.0743)
ln(Industry)	-0.141** (0.0600)	-0.142* (0.0855)	-0.0952 (0.0949)	-0.0944 (0.147)
ln(Density)	0.0919** (0.0433)	-0.0146 (0.0613)	-0.000744 (0.0685)	-1.231*** (0.384)
ln(Green)	-0.0557* (0.0312)	-0.0150 (0.0441)	0.0146 (0.0493)	
常数项	-0.0339*** (0.00659)	-0.00150 (0.00933)	-0.0374*** (0.0104)	-0.00640 (0.0203)
样本数	784	783	784	784
R平方值	0.020	0.008	0.004	0.049
城市数	112	112	112	112

注：(1) 括号内是稳健标准差；(2) ***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。

根据表2的估计结果，我们首先观察到的一个非常有意思的结论是，在控制了每个城市包括技术进步在内的时间趋势变量后，经济增长和我国城市PM₁₀、NO₂和SO₂大气浓度之间仍然呈现出“U型”曲线关系，虽然这种关系已经不显著，而样本城市的经济增长和人均工业SO₂排放之间则呈现出“倒U型”曲线的关系，且拐点是22445元。也就是说，在控制了产业结构和包含技术进步在内的时间趋势变量

后，我国城市的人均工业SO₂排放会随着经济增长而上升，但是到一定阶段后，人均工业SO₂排放会随着经济增长而下降。在我们的896个样本数据中，实际全市人均GDP的区间是[3222, 97519]，其平均值和中值则分别是23739和19377元。这说明我国城市人均工业SO₂排放“倒U型”中向下的趋势是比较明显的。这两个模型估计结果的差异跟Stern and Common (2001) 所得到的结论一致：文献中大多数的研究是在不考虑样本城市或国家的时间趋势变量的情况下，考察经济增长和污染之间的关系，并从中得出两者之间各种各样的关系，但我们一旦控制时间趋势变量，估计结果会发生变化。

在控制了技术进步这个因素后，城市第三产业GDP占比对PM10和NO₂大气浓度继续保持负的显著影响：第三产业GDP占比每提高1%，PM10和NO₂大气浓度都分别降低0.14%。根据前文引用到的数据，我们可以看到在这3个污染物中，SO₂排放的工业源占比是91%，远高于其它两个污染物——SO₂污染理应对产业结构变化更为敏感。但是在控制了技术进步这个因素后，产业结构对SO₂大气浓度和人均工业SO₂排放都不再有显著的负影响，这说明技术进步对SO₂大气浓度的影响可能比其对另外两种大气污染物的影响要大。这可能跟SO₂在政府控制空气污染中的特殊地位有关：自“九五”规划开始，历次的规划都将二氧化硫和化学需氧量分别作为空气和水污染的监控指标（世界银行，2008）。“十一五”规划更是将二氧化硫和化学需氧量减排目标纳入到地方政府的业绩考核中，实施“环保一票否决制”。因此，各地在“十一五”期间出台了一系列行政措施以促使SO₂的减排：要

求所有新建电厂安装脱硫设备；对装机容量低于20万千瓦的老电厂强行关闭；对达到脱硫要求的电厂发电采用脱硫优惠电价，即在现有上网电价基础上每度电加0.015元（世界银行，2008）。如前文所讨论的，因为环境污染的外部性问题，促使污染下降的技术进步并不会自动实现，而很大程度上是受各种环境政策诱导。我国历年来对空气污染的治理主要放在SO₂控制上，因此导致SO₂排放下降的技术进步会比较显著，从而使其在对城市SO₂大气浓度的影响中起了决定性的作用。另外，该结果也在一定程度上表明，虽然在环境保护方面，政府行政性的命令与控制手段从理论来说未必是最有效率的，但在目前中国的行政体制下却是有效的。

我们还可以看到人口密度和建成区绿化覆盖率对PM10大气浓度分别有显著的正向和负向影响。这些结论都比较符合人们的一般直觉：城市人口密度越高意味着城市越拥挤，单位土地上的经济活动越多，因此污染排放会更多一些；绿化显然能有助于改善城市空气质量。

4 结论和政策建议

中国经济在过去30多年高速增长的同时，也因为粗放式的发展模式产生了严重的环境污染问题。本文基于环境污染决定因素的一个理论框架进行应用计量建模，并利用城市数据对我国城市主要的大气污染物（PM10，NO₂和SO₂）的影响因素进行回归分析。理论上，环境污染是由经济增长、产业结构和技术进步这三个要素所决定。我

们的回归分析也主要围绕这三个因素展开。

本报告的主要研究结果如下。第一，基于传统的环境库兹涅茨曲线模型，经济增长和城市的空气污染存在“U型”曲线关系，而且“U型”向上的部分主要是受持续增长的机动车污染排放的影响。但是，如果我们一旦在计量模型中控制了异质的技术进步这个因素，那么这种“U型”曲线关系则变得不显著。这说明技术进步可以部分抵消经济增长对环境的不利影响。第二，我国城市的经济增长和人均工业SO₂排放之间则呈现出“倒U型”曲线的关系，而且有些城市人均工业SO₂排放“倒U型”中向下的趋势是比较明显的。因为工业SO₂排放量是政府行政管控的对象，这说明政府行政管控在环境保护方面是有一定作用的。第三，产业结构升级对城市PM₁₀和NO₂大气污染有好的影响：第三产业GDP占比每提高1%，PM₁₀和NO₂大气浓度都分别降低0.14%。

由此我们可以得出重要的结论：经济增长本身并不一定会导致高污染，靠产业结构调整和技术进步，改变当前环境污染和经济增长之间的“U型”曲线关系并实现“绿色”的经济增长完全是有可能的。这对我国的环境污染治理问题也有相当重要的启示。在过去30年，我国的经济增长基本是以粗放型的高投入、高能耗为主的模式，其后果是环境的严重破坏。自2008年的金融危机以来，我国经济发展的内外部环境都发生了显著的变化，大量传统的制造业都面临着产业转型和升级的需求。因此，在这样一个大背景下，在未来10到20年，如果我国经济能成功地实现产业转型和升级，并实现依靠技

术，而不是依靠投入来驱动经济增长，那么高增长、低污染的发展模式是可预期的。

但是需要强调的是，因为环境的外部性问题，导致单位 GDP 污染下降的技术进步并不会自动实现。我们的结果表明，积极的环境政策是实现环境技术进步的有效诱导手段。只有通过行政管制或以污染税和排污权交易为主的市场手段，将环境污染的外部成本内部化，各种技术创新活动才会对污染起反应。这一点是和十八届三中全会中提出的“建议吸引社会资本投入生态环境保护的市场化机制”是一致的。

最后，将机动车污染排放减排纳入到政府的污染物减排工作中迫在眉睫。在“十一五”规划的基础上，“十二五”规划新增了氨氮和氮氧化物减排的约束性指标。但是，PM10、PM2.5 和重金属污染等对人体有直接危害且危害较大的污染物尚没有纳入政府的减排工作范围。目前，中国城市的空气环境（雾霾天气）不断恶化，而城市 PM2.5 的主要来源是机动车尾气排放，因为机动车消费将保持长期持续增长的气势，政府需要对机动车的污染排放进行更有效的管控。

5 结束语

通过行政管制或以污染税和排污权交易为主的市场手段，促进环境保护的技术进步，加快产业结构转型和升级，中国改变当前环境污染和经济增长之间的“U型”曲线关系并实现“绿色”的经济增长完全是有可能的。

参考文献

- [1] 林伯强、蒋竺均:《中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析》,《管理世界》,2009年第4期。
- [2] 刘笑萍、张永正、长青:《基于 EKC 模型的中国实现减排目标分析与减排对策》,《管理世界》,2009年第4期。
- [3] 世界银行:《中国第十一个五年规划中期进展评估》, <http://www.worldbankd.org.cn/china>, 2008年。
- [4] 宋马林、王舒鸿:《环境库兹涅茨曲线的中国“拐点”:基于分省数据的实证分析》,《管理世界》,2011年第10期。
- [5] 许广月、宋德勇.:《中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究》,《中国工业经济》,2010年第5期。
- [6] Brock, W., Taylor, M. (2005). Economic growth and the environment: a review of theory and empirics. Handbook of economic growth, 1, 1749-1821.
- [7] Dockery, D.W., et al. (1993), An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities, New England Journal of Medicine 329(24), 1753-1759.
- [8] Evans, M. F., and Smith, V. K., (2005), Do New Health Conditions Support Mortality-Air Pollution Effects, Journal of Environmental Economics and Management 50(3), 496--518.
- [9] Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1993). Environmental impacts of a north American free trade agreement. In: Garber, P.M. (Ed.), The Mexico-U.S. Free Trade Agreement. MIT Press, Cambridge, MA, pp. 13-56.
- [10] Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1995). Economic growth and the environment. Quarterly Journal of Economics 110 (2), 353-377.

- [11] Kan, H. et al. (2008), Season, Sex, Age, and Education as Modifiers of the Effects of Outdoor Air Pollution on Daily Mortality in Shanghai, China: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Study, *Environmental Health Perspectives* 116(9), 1183.
- [12] Liu, X., Heilig, G. K., Chen, J., Heino, M. (2007). Interactions between economic growth and environmental quality in Shenzhen, China's first special economic zone. *Ecological Economics* 62(3), 559-570.
- [13] Pope, C.A. et al. (1995), Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 151, 669-674.
- [14] Pope, C.A. et al. (2002), Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution, *Journal of the American Medical Association* 287(9), 1132-1141.
- [15] Samet, J. et al. (2000), Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 U.S. Cities, *The New England Journal of Medicine* 343(24), 1742-1749.
- [16] Stern, D. I., Common, M. S. (2001). Is there an environmental Kuznets curve for sulfur? *Journal of Environmental Economics and Management*, 41(2), 162-178.
- [17] Wooldridge, J. (2002), *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*, MIT Press.
- [18] World Bank (1992). *World Development Report 1992: development and the environment*, Oxford University Press.
- [19] World Bank and State Environmental Protection Administration of P. R. China (2007). *Cost of pollution in China --- economic estimates of physical damages*.

供稿：中国人民大学国家发展与战略研究院。所有权利保留。任何机构或个人使用此文稿时，应当获得作者同意。如果您想了解人大国发院其它研究报告，请访问<http://nads.ruc.edu.cn/more.php?cid=402>。