

基于半参数面板数据模型的江苏省经济增长与水污染排放关系实证研究

卢爱桐¹, 简舒婷^{2,3}, 王 远^{1,2,3*}, 朱晓东¹, 张 晨^{2,3}, 李 立¹

(1. 污染控制与资源化国家重点实验室, 南京大学环境学院, 江苏南京 210023; 2. 福建师范大学福建省亚热带资源与环境重点实验室, 福建福州 350007; 3. 福建师范大学地理科学学院, 福建福州 350007)

【摘 要】 本文以江苏省为研究区域, 采用1990—2013年江苏省市级面板数据, 基于单位根检验和面板协整检验, 运用可拓展的随机性环境影响评估模型(STIRPAT)和参数、半参数固定效应回归方法, 对经济增长与工业COD排放之间的关系展开研究。研究发现, 江苏省经济增长与工业COD排放之间存在倒U形曲线关系, 即全省工业COD排放随经济的发展呈现先增长后降低的趋势, 同时人口增长对水污染物排放影响很大, 二者之间的环境库兹涅茨曲线表明了经济持续发展能够协调并能解决其与水污染排放之间的困境。本研究丰富了社会经济发展与水污染关系在市级尺度层面的实证研究, 为“十三五”期间江苏省水污染治理提供了政策依据。

【关键词】 经济增长; 工业COD排放; 环境库兹涅茨曲线; STIRPAT模型; 半参数固定效应模型

【中图分类号】 X321

【文章编号】 1674-6252 (2018) 04-0093-007

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2018.04.093

1 引言

社会经济发展与环境污染排放关系 (pollution-income relationship, PIR) 的研究一直以来都是国内外环境经济研究者和政策制定者关注的热点问题。21世纪以来, 环境治理政策不断强势推进, 环境治理成效初显。随着我国进入经济增速放缓的新常态阶段, 污染物是否也会呈现新的排放特征是近年来国内经济与环境关系研究中的关注点。东部发达地区的环境经济关系研究对全国尤其是中西部地区二者关系发展趋势研究具有很重要的参考价值。

2015年国家出台《水污染防治行动计划》, 针对各类水体分阶段提出了水污染防治的目标。江苏省境内有104个断面被列入《水污染防治行动计划》, 其中包括太湖流域、淮河流域和长江流域, 其在水污染治理方面的成效, 在很大程度上影响了长江下游流域水污染治理的进度。充分了解水体污染物排放与经济发展的关系对于江苏省预测污染物排放趋势、准确有效地制定污染物减排目标具有指导性的作用。

综合相关研究发现, 污染物排放与经济发展之间的关系存在两大类可能的形式: 一类是污染排放相对于经济增长呈现近似单调线性关系。另外一类是二者呈倒U形的曲线关系, 即污染排放先随着经济增长而增长, 但

当经济增长越过一定的阈值 (threshold), 污染排放将随着经济增长而下降。这种非单调非线性的关系称为环境库兹涅茨曲线 (environmental Kuznets curve, EKC) 假说^[1]。EKC的存在表明了经济增长对于环境污染既是问题缘由也是解决方案, 二者的矛盾是可以协调的。因此该假说具有指向性的意义, 对PIR进行实证研究也成为环境经济研究领域长期关注的重要研究命题。

近年来, 不同学者分别从理论解释和实证研究等方面对PIR进行了大量研究^[2-17]。理论模型方面, 早期的PIR分析一般仅关注污染排放和经济增长两个变量, 这部分研究忽视了人口、技术进步等对污染排放带来的影响^[18], 为此存在遗漏变量引致分析偏差的问题。基于此, York等^[19]提出了将IPAT理论和可拓展的随机性环境影响评估模型 (stochastic impacts by regression on population, affluence and technology, STIRPAT) 应用于PIR研究中。该模型认为污染排放是由国家的技术水平、富裕程度、能源结构、经济结构、人口结构等共同作用决定的^[19], 能够更加科学、全面地反映影响环境状况的各个因素。实证研究方面, 现有研究对表征二者关系的模型估计大多选用参数估计法进行验证, 应用较多的参数模型有线性模型、二次多项式模型和三次多项式

作者简介: 卢爱桐 (1993—), 女, 硕士, 主要研究方向为环境经济与政策, E-mail: luaitong@163.com。

* 责任作者: 王远 (1975—), 男, 博士, 教授, 主要研究方向为环境经济与政策, E-mail: 283265616@qq.com。

模型。但此类估计结果因严重依赖模型本身的设置而受到一定质疑。相较于参数估计法,半参数方法由于包含了参数和非参数两个部分,解决了潜在的函数形式误设、变量遗漏等问题,在近几年逐步得到应用,如Wang^[20]应用半参数法研究OECD国家城市化发展与二氧化碳排放之间的关系,Desbordes和Veradi^[21]运用该法研究了113个国家经济发展与不平等之间的关系。通过对相关文献的梳理发现,目前已有的实证研究多集中于探索大气污染物、工业三废的排放与经济发展之间的关系,很少有研究针对水中排放的污染物进行实证分析。Shen^[22]通过联立方程检验中国31个省份1993—2002年收入和COD排放之间的关系;Jayanthakumaran and Liu^[23]选用1990—2007年我国省级面板数据,通过Dean联合方程发现COD排放和人均GDP之间存在倒U形曲线关系;Hearne^[24]基于韩国四条河流1985—2009年的数据,采用参数固定效应模型,得出GDP和COD排放之间的倒U形曲线仅存在于Yeongsan和Nakdong两条河流中;Liu^[25]利用三次函数模型,选取我国一个城市2002—2012年的数据拟合GDP和COD/NH₃-N之间的关系。

在我国经济发展进入新常态,发展重点由追求速度向追求质量上转变的新形势下,追踪结构转型期经济与环境发展关系的变化与发展趋势成为当前研究的现实需要。2017年,我国人均国内生产总值达到9 000美元,属于中等偏上收入国家。按照发达国家经验,在这一阶段,受公众环境意识觉醒和经济结构变化驱动,经济 and 环境污染的关系可能出现EKC中的拐点。就江苏省来说,全省人均GDP在2016年已达到14 600美元,伴随着经济总量的持续扩大,江苏省的工业COD排放总量在近几年呈现下降的趋势,如图1所示。为了探究江苏省工业COD排放量的下降是短期波动还是长期趋势,本研究将从理论检验和实践需求两方面考虑,以STIRPAT模型为框架和理论基础进行拓展,选取江苏全省13个省辖市1990—2013年的面板数据,运用参数和半参数两种回归方法来确定江苏省工业COD排放与经济增长之间的长期关系,推动社会经济发展与环境之间关系及发展阶段的研究,为“十三五”期间水污染针对性减排,改善江苏省水环境质量提供政策依据。

2 研究方法和数据

本研究首先采用Pesaran

CSD^[26]方法检验面板数据之间的依赖性,在此基础上利用单位根检验判断数据的稳定性;其次,通过面板协整检验判断变量之间是否存在长期均衡关系。基于以上检验结果,通过采用扩展后的STIRPAT模型进一步分析影响水污染排放的驱动力,并选用半参数面板固定效应模型辅以传统的参数回归模型对经济和污染物排放之间的关系进行拟合。

本研究以江苏省为研究实例,选用全省13个省辖市1990—2013年的非平衡面板数据来控制变量间的异质性和共线性,分析经济增长与工业COD排放关系,主要观测变量的描述统计量见表1。所有变量均被转化成其所对应的自然对数形式,因此回归变量的系数可以直接解释为对应的弹性。

2.1 协整检验

2.1.1 单位根检验

为了避免非平稳变量导致的伪回归,面板数据模型在回归之前需检验数据的平稳性。本研究采用单位根检验对各面板序列进行平稳性检验。大部分单位根检验方法都假设截面数据间是互相独立的,但是由于区域及宏观经济作用,宏观经济变量所涉及的大部分数据会存在截面依赖。因此在进行单位根检验前,本研究首先采用Pesaran CSD^[26]检验方法对各面板数据进行截面依赖性检验。一旦截面依赖性较高,传统的面板单位根检验就会存在过度拒绝原假设的可能,需要选取允许截面依

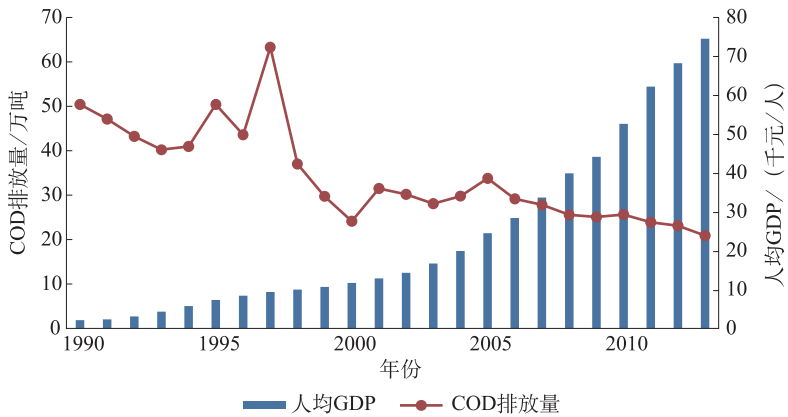


图1 江苏省1990—2013年人均GDP与工业COD排放量

表1 变量的描述统计

变量	定义	均值	标准差	最小值	最大值
lnCE	工业COD排放(千克)自然对数	16.91	0.71	14.95	18.84
lnP	总人口自然对数	15.50	0.36	14.76	16.17
lnWI	水资源消耗强度,每千元GDP(以1990为基期的可比价)水资源消耗量(千克)的自然对数	7.67	1.13	5.45	11.05
lnA	人均GDP(千元)的自然对数	2.50	1.18	-0.53	4.74
i	13个省辖市				

注:研究中所有数据均来源于《江苏省统计年鉴》。

赖存在的单位检验方法。本研究采用 Bai 和 Carrion-I-Silvestre^[27] 的检验方法, 该方法允许截面依赖和多重内生断点的存在。

2.1.2 面板协整检验

基于单位根检验的结果, 在发现变量间是同阶单整的前提下, 需要检验面板数据是否存在协整关系, 即考察变量间是否存在长期均衡关系。协整关系的检验主要有三类, 分别是基于 Johansen 协整检验基础上的 Fisher 检验、建立在 Engle 和 Granger 二步法检验基础上的 Pedroni 检验和 Kao 提出的利用静态面板回归的残差进行的检验。本研究采用 Westerlund 和 Edgerton^[28] 面板检验方法, 该方法允许结构断点存在, 同时考虑了跨单元时间趋势。

2.2 STIRPAT 模型

在以上检验基础上, 需要对变量之间存在的具具体关系进行实证研究。IPAT 模型最早是由 Enrich 和 Holden^[29] 提出, 它反映了人类活动对环境压力的影响。该模型将环境影响和人口规模、人均财富以及技术水平联系起来, 建立了四者之间的恒等式 $I=P \times A \times T$ 。式中, P 代表人口; A 代表财富; T 代表技术; 因变量 I 代表对环境的影响。IPAT 模型的主要作用在于探求影响变化的幕后驱动因素。然而, IPAT 模型存在分析问题如若改变一个因素, 结果将呈等比例影响的局限性。为了修正 IPAT 模型的不足, York 等^[10] 在 IPAT 模型的基础上建立了 STIRPAT 模型, 反映了各因素对环境的非比例影响:

$$I_i = aP_i^b A_i^c T_i^d \varepsilon_i \quad (1)$$

式中, I 代表环境影响; P , A 和 T 分别代表人口数量、富裕度和技术; a , b , c 和 d 代表解释变量的估算系数; ε 代表随机误差, 下标 i 表示面板单元。为方便计算, 通常将模型转换成自然对数形式, 如表达式 (2), 回归变量的系数可以直接解释为对应的弹性。

$$\ln I_i = a + b \ln P_i + c \ln A_i + d \ln T_i + \ln \mu_i \quad (2)$$

该模型允许将各系数作为参数来估计, 也允许将各影响因素进行适当分解。

2.3 STIRPAT 模型扩展

国外学者在运用该理论时, 通常会根据研究对象的特征对该模型进行拓展, 即对 P 、 A 、 T 进一步分解。York^[10] 通过在该模型中引入富裕度的二次项形式对经济与环境之间的关系进行研究。

具体公式如下:

$$\ln I_i = a + b \ln P_i + c \ln A_i + d(\ln A_i)^2 + f \ln T_i + \mu_i \quad (3)$$

若需要将技术因素 T 进行分解, 可将相关变量如资源使用强度 C 考虑进去, 则公式变更为:

$$\ln I_i = a + b \ln P_i + c \ln A_i + d(\ln A_i)^2 + f \ln T_i + g \ln C + \mu_i \quad (4)$$

对国外学者扩展的方法和思路进行总结, STIRPAT 模型扩展需要遵循以下两个原则:

(1) 模型若引入解释 PAT 的无量纲的变量, 则可以对已有模型进行扩展, 如朱勤^[30] 等在模型中引用城市化率、二次产业比率。

(2) 若模型需引入带有量纲的变量, 则要对模型进行无残差的分解, 在此基础上转化为对数形式。例如, 若要在原公式基础上引入资源使用强度 C , 需要将 $I=PAT$ 分解为:

$$I = P \times \frac{\text{GDP}}{P} \times \frac{W}{\text{GDP}} \times \frac{I}{W} = PACF \quad (5)$$

式中, C 代表资源使用强度; F 代表排污系数, 也就是说在对被解释变量进行多个因素分解时, 需要遵循以上两个原则进行模型扩展。

本文以 York 提出的方法为基础, 以扩展的 STIRPAT 模型作为理论和分析框架, 根据水污染排放特征及其影响因素对 STIRPAT 模型进行扩展与改进, 将富裕度因素分解为一次项和二次项, 合并到 STIRPAT 模型中。考虑到水资源消耗强度可以作为技术水平在 COD 排放量方面的体现, 将 T 分解为水资源消耗强度 (WI) 和其他随时间变化的指标 (T), 因此扩展后该模型的参数表达式如下:

$$\ln CE_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln A_{it} + \beta_3 (\ln A_{it})^2 + \beta_4 \ln WI_{it} + T_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中, α_i 为常数项; β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 为模型参数; ε_{it} 为误差项; CE 为工业 COD 排放; P 为人口总数; A 为人均 GDP; WI 为水资源消耗强度; T 为以排污系数为主要代表的随时间变化的其他效应总和。

2.4 半参数固定效应回归模型

为了避免参数回归法可能带来的函数形式误设的问题, 对于式 (6), 本研究借助 Stata 软件运用半参数面板固定效应回归进行样条估计。半参数方法是一种估计动态局部线性面板数据模型的方法^[31], 又被称为部分线性模型, 可以看成线性模型和非参数模型的结合, 形式灵活。

半参数回归模型可以用下式表达:

$$Y = X\beta + g(Z) + \varepsilon \quad (7)$$

式中, Y 为被解释变量; X 和 Z 为解释变量; X 代表与 Y 关系较为明确的解释变量; Z 代表与 Y 关系较为不明确的变量。线性部分 $X\beta$ 把握解释变量的大势走向, 适于外延预测, 非参数部分 $g(Z)$ 可以对被解释变量做局部调整, 使模型更好地拟合样本观测值。所以半参数方法结合了参数模型和非参数模型的优势, 拟合度较高, 适应性较好。因本研究重点判断经济增长对水污染排放的影响, 因此回归时对式 (6) 选取富裕度 A 作为代估半参数

分量，具体半参数表达式如下：

$$\ln CE_{it} = \alpha_i + \beta_1 \ln P_{it} + f(\ln A) + \beta_4 \ln WI_{it} + T_i + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

式中，函数 $f(\cdot)$ 代表待估半参数分量。

考虑到样本总体个数有限，且样本来自总体里每个元素，故本研究选用半参数固定效应模型。固定效应模型的基本思想是用每个个体作为自身的控制因素，将个体没有被观察的差异作为一个固定的参数，该参数可以直接估计出来，或在估计方程中被抵消掉，从而使我们有可能对没有或无法被观测到的变量进行控制。本研究通过一阶差分方法消除固定效应，消除涉及公式如下：

$$\ln CE_{it} - \ln CE_{it-1} = \beta_1 (\ln P_{it} - \ln P_{it-1}) + [f(\ln A_{it}) - f(\ln A_{it-1})] + T_i - T_{i-1} + \varepsilon_{it} - \varepsilon_{it-1} \quad (9)$$

3 实证分析结果与讨论

3.1 单位根检验结果

由表 2 可知，原假设被拒绝，面板数据间存在截面依赖，因此本研究采用允许断点和界面依赖的 Bai 和 Carrion-i-Silvestre 单位根检验方法进行检验，见表 3。

表 2 截面依赖性：平均相关系数绝对值和 Pesaran 截面依赖性检验结果

变量	截面依赖性检验统计量 [P 值]	相关系数绝对值	观测量
A	41.066[0.000]	0.988	300
P	40.012[0.000]	0.946	305
CE	12.053[0.000]	0.654	264

注：零假设是不存在截面依赖性。上标“a”代表在 1% 显著水平下存在显著性，相应的 P 值在 [] 中进行标注。

表 3 允许断点和截面依赖性存在的 Bai 和 Carrion-i-Silvestre 单位根检验结果

	变量显著性水平		一阶差分变量显著性水平	
	A	CE	A	CE
Z	2.777 ^a	-0.785	-1.697 ^b	-3.157 ^a
P_m	-1.928 ^b	1.174	3.481 ^a	11.060 ^a
P	12.098	34.466	51.101 ^b	105.758 ^a

注：简化后的检验结果如表格所示。上标“a”和“b”分别代表原假设在 1% 和 5% 条件下的显著水平下被拒绝。对于 Z 和 P_m 值，1% 和 5% 条件下拒绝单位根检验原假设的临界值分别为 2.326 和 1.645。对于 P 检验，卡方检验临界值是由相应显著性水平下 2N 自由度获取的。检验结果由 J. Carrion-i-Silvestre 提出的高斯代码运行得出。

由表 3 可知，一阶差分后经济发展变量和水污染变量之间均存在较高的显著性，拒绝原假设，因而可以判断面板数据平稳，可以进行后续检验。

3.2 协整检验结果

收入和工业 COD 排放量的 Westerlund and Edgerton 面板协整检验结果见表 4。

表 4 收入和工业 COD 排放量的 Westerlund and Edgerton 面板协整检验结果

	$Z_t(N)$		$Z_p(N)$	
	t 检验值	p 值	t 检验值	p 值
截距变换	-2.010 ^b	0.022	-1.926 ^b	0.027
斜率变换	-3.999 ^a	0.000	-3.036 ^a	0.001
机制变换	-4.659 ^a	0.000	-3.049 ^a	0.001

注：面板协整检验采用 Westerlund and Edgerton 的第二代检验方法，该方法允许面板断点和截面依赖性存在。 Z_t 和 Z_p 遵循标准正态分布。上标“a”、“b”和“c”分别代表原假设在 1% 和 5% 条件下的显著水平下被拒绝。检验结果由 J. Westerlund 提出的高斯代码运行得出。

检验结果在 1% 和 5% 的显著性水平下拒绝原假设，可以推断出收入和工业 COD 排放存在长期协整关系，因此可以对二者之间的关系进行进一步验证。

3.3 参数和半参数回归结果

基于以上检验，本研究对经济增长与工业 COD 排放的参数与半参数进行回归，结果见表 5。

表 5 收入和工业 COD 排放关系估计结果

变量	参数回归模型		半参数回归模型	
	系数	t 检验值 [p 值]	系数 (标准差)	t 检验值 [p 值]
常量	7.3202(4.6447)	1.58[0.143]		
lnP	0.9640 ^b (0.3524)	2.91[0.013]	1.0262 ^a (0.2098)	4.59[0.001]
lnWI	0.2140 ^c (0.1176)	1.82[0.070]	0.2230 ^b (0.0914)	2.34[0.037]
lnA	1.1590 ^b (0.4938)	2.33[0.038]		
lnA ²	-0.1051 ^c (0.0571)	-1.84[0.091]		
城市	Yes		Yes	
年份	Yes		Yes	
R ²	0.7451		0.6918	
N	264		237	

参数面板固定效应模型中，人均 GDP 及其二次项变量的系数均显著，并且二者系数符号与 EKC 理论相符，即表明江苏省经济增长与工业 COD 排放之间存在倒 U 形曲线关系。同时，人口、水资源消耗强度变量的系数符号在 10% 显著性水平下显著为正。从弹性系数的绝对值大小来看，人口每增加 1%，工业 COD 排放增长 0.96% 左右；水资源消耗强度每增加 1%，工业 COD 排放增长 0.21% 左右，人口增长相对于技术进步对工业 COD 排放有更大影响，可以理解为城市化对工业 COD 的排放有更大影响。随着城市化的发展，工业企业布局更加集中，土地利用方式的变化提高了环保设施的效率。

半参数面板固定效应模型的估计结果与参数法的回归结果差别不大，经济增长与工业 COD 排放在该方法中同样呈倒 U 形趋势，见图 2。在 5% 显著性水平下，人口与水资源消耗强度变量的系数均显著为正，人口每增加 1%，工业 COD 排放增长 1.03% 左右；水资源消耗强度每增加 1%，工业 COD 排放增长 0.22% 左右，两变量

的弹性系数均高于参数法的估计结果。半参数法待估参数分量的系数有相对较小的方差, 表明了半参数面板固定效应回归更为稳健。

经济增长与工业 COD 排放关系半参数分量拟合图显示, 工业 COD 的排放增速随着的经济增长不断减缓, 二者关系曲线已逐渐愈发扁平。结合前面的分析, 工业 COD 排放量与人均 GDP 及其二次项变量的系数均显著, 可以认为, 随着经济的发展, 人均 GDP 不断提高, 二者之间的关系曲线将会接近拐点。一旦经济发展到达拐点, 将呈现下降趋势。因此, 从参数和半参数面板固定效应模型回归分析来看, 研究证实了江苏省经济增长与工业 COD 排放的 EKC 关系。

3.4 时间效应分析

参数和半参数面板固定效应模型中 T 的时间效应变化趋势见图 3。半参数面板固定效应模型中时间效应值均为负值, 参数面板固定效应回归模型除 1995 年和 1997 年外也均为负值, 两模型中时间效应值总体均呈现下降趋势。相比之下半参数面板固定效应模型中, 时间效应绝对值变化更为显著。模型中, T 的时间效应可解释为控制工业 COD 排放方面的技术进步带来的影响。由此可见, 技术进步对控制工业 COD 排放起到明确的积极贡献, 并且这种影响随时间变化愈发突显。从图中可以看出, 从第九个“五年计划”开始, 时间效应 T 的负效应愈发显著, 这与江苏省“九五”之后加强环保科技工作、重点流域区域治理、工业废水排放企业重点整治, “十一五”之后加强城乡污水处理密切相关。

综合研究分析, 江苏省经济增长与工业 COD 排放的倒 U 形曲线关系与传统 EKC 理论相吻合, 经济增长对环境表现出典型的规模效应, 随着经济增长, 工业 COD 排放增速减缓; 水资源消耗强度和人口对工业 COD 排放起正向作用, 由于城市污水排放比例在占总排放比例约一半左右, 人口增长对工业 COD 排放的影响更大; 技术进步和相关环境政策的实施对控制工业 COD 减排有着积极贡献, 随时间推进显著性增强。

4 结论与建议

本研究以 STIRPAT 模型为框架, 结合参数和半参数面板固定效应回归, 对江苏省 13 个省辖市 1990—2013 年的人均 GDP 与工业 COD 排放之间的关系进行了实证

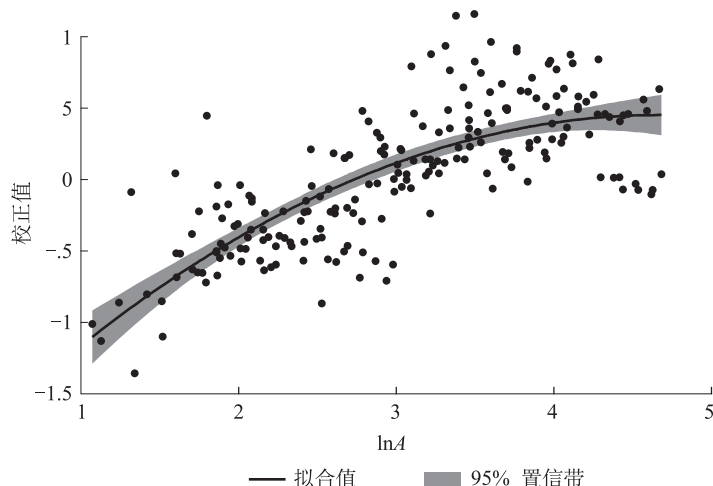


图2 经济增长与工业 COD 排放关系半参数分量拟合

注: 图中曲线代表经济增长与工业 COD 排放关系的半参数分量拟合值, 阴影部分表示 95% 的置信带。

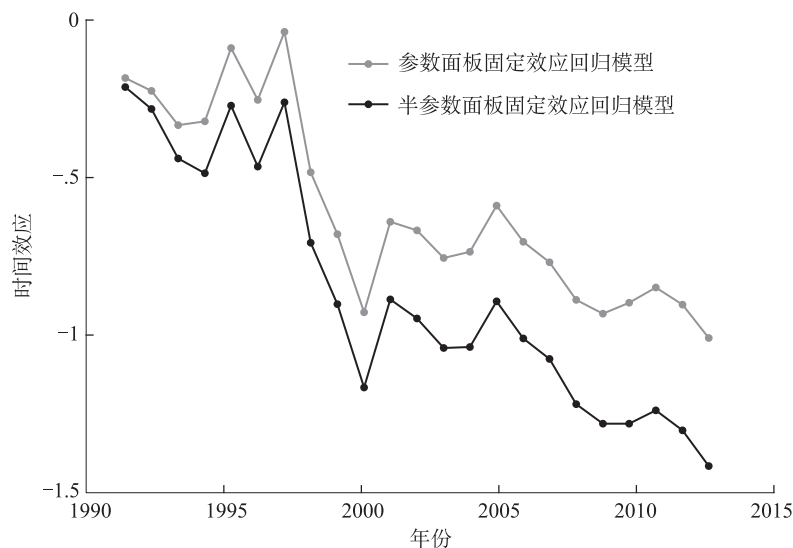


图3 时间效应估计

研究, 拓展了以往关于 PIR 的研究。尽管本研究的发现是面向江苏省的经济、社会等方面特征和规律, 但是以 STIRPAT 模型为框架, 结合半参数面板固定效应回归来研究社会经济发展与水污染排放关系的方法在参数估计方面具有很大的稳健性和普适性, 可以适用于其他地区关于此类问题的讨论和研究。

研究发现, 收入与工业 COD 排放之间存在 EKC 关系, 即倒 U 形曲线关系, 即随着人均 GDP 不断升高, 工业 COD 排放先升高, 当经济发展超过一定水平后, 工业 COD 将会随着人均 GDP 的升高而降低, 表明江苏省经济发展在水污染成功减排的情况下实现了软着陆。但环境与经济之间的关系是一个复杂的问题, 环境存在着一个阈值, 当经济发展对环境的破坏超出这个阈值, 无论再怎么发展经济也无法回到之前的状态, 因此不能单

纯地把经济当成改善环境的一种手段,二者之间的关系会随着时间和空间的差异呈现出个异性,尤其对于江苏省,省内区域发展差异较大,江苏省经济增长与污染排放曲线之间的关系不能完全代替省内所有地区。目前江苏省工业 COD 排放仍处于较高水平,曲线下降的趋势还不够显著,因此对于工业 COD 的减排还有一定空间,主要是苏中和苏北地区还有较大的减排空间。另外,江苏省工业 COD 与经济发展曲线较为平缓,整体污染排放增长率在不断减缓,可见江苏省在经济发展过程中不断优化经济结构、重视环境保护的路径转变起到了一定作用。

研究同时发现,人口规模效应应具有较大的正效应。人口数量的增加,尤其是城市人口数量的增加,意味着与环境污染排放相关的生产活动相应增多,工业 COD 的排放也会随之增多。人口规模的增加与城市化进程紧密相关,有研究发现城市化对污染物排放的关系也有可能呈现倒 U 形关系,因此可以推断人口规模扩大带来的正效应是可控的。另外,研究发现时间效应的负效应在近几年愈发显著,可见技术发展和环境政策实施对污染减排带来了愈发积极的影响。

污染物排放进入拐点阶段并不意味着生态环境就出现全面性、根本性的好转,随着水环境治理进程的推进,减排空间不断减小,环境质量改善的难度也在不断加大。针对江苏省目前水污染排放与经济的关系发展现状,本研究提出如下政策建议:

第一,提高用水效率,增强全民低碳环保意识。研究发现,人口规模、水资源消耗强度对工业 COD 排放量呈正向影响,但国家实施全面二孩政策,意味着江苏省人口将在未来一段时间持续增长,并且由于城市化的发展,大量外来人口涌入江苏,全省人口与环境污染之间的矛盾仍将继续。针对这种形势,工业企业需要更有效地提高用水效率,节约用水,同时加强公众的节能减排意识,积极倡导绿色消费理念,控制水资源消耗,形成可持续发展人人参与的良好局面。

第二,提高城镇生活污水处理力度。全省 COD 排放中,生活 COD 同样占相当比例,目前工业 COD 减排带来的边际成本逐渐升高,全省 COD 减排工程需要从工业点源治理逐步向城镇生活污水控制上转移,加快城市污水管网建设,推进污水处理厂提标改造,有效减少 COD 排放量。

第三,水污染治理由控制总量排放转向以关注水质为核心。研究表明,目前江苏省工业 COD 排放已进入拐点阶段,若按现有政策实施力度,污染物减排趋势将继续下降。但就目前全省水质状况来看,水质达标率与污染排放之间的关系还不够吻合,因此需要将重心转向进一步提升水质上来。在减排的基础上加强水域生态修复与建设,提高流域水环境容量,增强水体自净能力,实现水质改善。

第四,推动环保技术进步,加大环保资金投入力度。

全省总体曲线目前临近拐点,既表明仍有减排的空间,同时也预示着减排将会面临一定的瓶颈。目前随着末端治理技术的不断推广,其带来的边际减排效应逐渐降低,应该将政策重点逐步转移到水污染排放的全过程管理,包括源头治理、过程管控和末端治理所有环节,通过对工业用水分类收费促进工业节约用水,制定政策促进中水和再生水的回收利用,加强过程管理的贡献。

第五,完善相关环境政策。将环保政策与经济、法律等要素相融合,积极推进水污染治理体制改革创新,完善水污染排污权有偿使用交易试点制度、生态补偿制度,深化许可证管理改革,推进环境污染责任试点等,通过多手段实现水污染减排,改善江苏省水环境状况。

参考文献

- [1] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment[J]. Quarterly journal of economics, 1995, 110(2): 353-377.
- [2] KHANNA N, PLASSMANN F. The demand for environmental quality and the environmental Kuznets curve hypothesis[J]. Ecological economics, 2004, 51(3-4): 225-236.
- [3] COPELAND B R, TAYLOR M S. Trade, growth, and the environment[J]. Journal of economic literature, 2004, 42(1): 7-71.
- [4] DINDA S. Environmental kuznets curve hypothesis: a survey[J]. Ecological economics, 2004, 49(4): 431-455.
- [5] STERN D I. The rise and fall of the environmental Kuznets curve[J]. World development, 2004, 32(8): 1419-1439.
- [6] 胡聃, 许开鹏, 杨建新, 等. 经济发展对环境质量的影响——环境库兹涅茨曲线国内外研究进展 [J]. 生态学报, 2004, 24(6): 1259-1266.
- [7] 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]. 上海经济研究, 2005(12): 3-13.
- [8] 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 [J]. 管理世界, 2009(4): 27-36.
- [9] GROSSMAN G M, KRUEGER A B, TANG K N, et al. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement[M]. 1991.NBER Working Paper No. 3914.
- [10] BRIZGA J, FENG K S, HUBACEK K. Drivers of CO2 emissions in the former Soviet Union: a country level IPAT analysis from 1990 to 2010[J]. Energy, 2013, 59: 743-753.
- [11] KAIKA D, ZERVAS E. The environmental Kuznets curve (EKC) theory. part b: critical issues[J]. Energy policy, 2013, 62: 1403-1411.
- [12] KAIKA D, ZERVAS E. The environmental Kuznets curve (EKC) theory—part a: concept, causes and the CO2 emissions case[J]. Energy policy, 2013, 62: 1392-1402.
- [13] KIJIMA M, NISHIDE K, OHYAMA A. Economic models for the environmental Kuznets curve: a survey[J]. Journal of economic dynamics and control, 2010, 34(7): 1187-1201.
- [14] 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(5): 37-47.
- [15] 钟茂初, 张学刚. 环境库兹涅茨曲线理论及研究的批评综论 [J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(2): 62-67.
- [16] 赵爱文, 李东. 中国碳排放的 EKC 检验及影响因素分析 [J]. 科学学与科学技术管理, 2012, 33(10): 107-115.
- [17] SHAHBAZ M, SBIA R, HAMDI H, et al. Economic growth,

- electricity consumption, urbanization and environmental degradation relationship in United Arab Emirates[J]. *Ecological indicators*, 2014, 45: 622-631.
- [18] YORK R. Demographic trends and energy consumption in European Union Nations, 1960-2025[J]. *Social science research*, 2007, 36(3): 855-872.
- [19] YORK R, ROSA E A, DIETZ T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. *Ecological economics*, 2003, 46(3): 351-365.
- [20] WANG Y, ZHANG X, KUBOTA J, et al. A semi-parametric panel data analysis on the urbanization-carbon emissions nexus for OECD countries[J]. *Renewable and sustainable energy reviews*, 2015, 48: 704-709.
- [21] DESBORDES R, VERARDI V. Refitting the Kuznets curve[J]. *Economics letters*, 2012, 116(2): 258-261.
- [22] SHEN J Y. A simultaneous estimation of environmental Kuznets curve: evidence from China[J]. *China economic review*, 2006, 17(4): 383-394.
- [23] JAYANTHAKUMARAN K, LIU Y. Openness and the environmental Kuznets curve: evidence from China[J]. *Economic modelling*, 2012, 29(3): 566-576.
- [24] CHOI J, HEARNE R, LEE K, et al. The relation between water pollution and economic growth using the environmental Kuznets curve: a case study in South Korea[J]. *Water international*, 2015, 40(3): 499-512.
- [25] LIU X H, WANG W L, LU S Y, et al. Analysis of the relationship between economic growth and industrial pollution in Zaozhuang, China-based on the hypothesis of the environmental Kuznets curve[J]. *Environmental science and pollution research*, 2016, 23(16): 16349-16358.
- [26] PESARAN M H. General diagnostic tests for cross section dependence in panels[R]. CESifo Working Paper Series No. 1229. Munich: Center for Economic Studies and Ifo Institute (CESifo), 2004.
- [27] BAI J, CARRION-I-SILVESTRE J L. Structural changes, common stochastic trends, and unit roots in panel data[J]. *Review of economic studies*, 2009, 76(2): 471-501.
- [28] WESTERLUND J, EDGERTON D L. A simple test for cointegration in dependent panels with structural breaks[J]. *Oxford bulletin of economics and statistics*, 2008, 70(5): 665-704.
- [29] EHRLICH P R, HOLDREN J P. Impact of population growth[J]. *Science*, 1971, 171(3977): 1212-1217.
- [30] 朱勤, 彭希哲, 陆志明, 等. 人口与消费对碳排放影响的分析模型与实证 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(2): 98-102.
- [31] BALTAGI B H, LI D. Series estimation of partially linear panel data models with fixed effects[J]. *Annals of economics and finance*, 2002, 3(1): 103-116.

Using Semi-parametric Panel Data Analysis to Explore the Relationship Between Economic Growth and Industrial COD Emissions in Jiangsu Province

LU Aitong¹, JIAN Shuting^{2,3}, WANG Yuan^{1,2,3*}, ZHU Xiaodong¹, ZHANG Chen^{2,3}, LI Li¹

(1. State Key Laboratory of Pollution Control and Resource Reuse, School of the Environment, Nanjing University, Nanjing 210023, China;
2. Fujian Provincial Key Laboratory for Subtropical Resources and Environment, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;
3. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The research concentrates on Jiangsu province and attempts to explicitly investigate the impacts of economic growth on industrial chemical oxygen demand (COD) emissions through examination on the existence of an environmental Kuznets curve between them. Within the Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence and Technology framework, this paper explores the income and chemical oxygen demand emission nexus in Jiangsu, using panel data together with semi-parametric panel fixed effects regression. Dataset comprises a city-level panel of Jiangsu province spanning from 1990 to 2013. Based on the research, we find an evidence in support of an inverted U-shaped curve relationship between economic growth and chemical oxygen demand emissions, which implies that the economic growth vs. chemical oxygen demand emissions dilemma can be resolved while income continues to increase. And the increase in population contributes a lot to the industrial COD emissions. These findings advance the emerging literature on the development and water pollution nexus.

Keywords: economic growth; industrial COD emissions; environmental Kuznets curve; STIRPAT model; semi-parametric panel fixed effects model