

引用格式:隋建利,刘碧莹,刘金全. 中国工业经济增长与工业污染的内在关联机制测度[J]. 资源科学, 2018, 40(4): 862-873.  
[Sui J L, Liu B Y, Liu J Q. The intrinsic associative mechanism between industrial economic growth and industrial pollution in China [J]. *Resources Science*, 2018, 40(4): 862-873.] DOI: 10.18402/resci.2018.04.19

# 中国工业经济增长与工业污染的 内在关联机制测度

隋建利, 刘碧莹, 刘金全

(吉林大学数量经济研究中心, 长春 130012)

**摘要:**工业污染始终是人类工业化进程中面临的重要挑战,为解决中国工业污染与工业经济之间的协调问题,本文基于中国工业固体废物产生量增长率( $solid_t$ )、工业废水排放量增长率( $liquid_t$ )、工业废气排放量增长率( $gas_t$ )和工业经济增长率( $iav_t$ )构建“ $solid_t-iav_t$ ”、“ $liquid_t-iav_t$ ”和“ $gas_t-iav_t$ ”三种“工业污染与工业经济”系统,运用非线性MS-VAR模型,测度中国工业经济增长与工业污染内在关联机制的周期性。研究结果表明:①“工业污染与工业经济”系统潜存着在“低速增长区制”和“快速增长区制”之间相互转移的结构性突变迹象,并且具有非线性周期变化特征;②“工业污染与工业经济”系统处于“低(快)速增长区制”时, $solid_t$ 与 $iav_t$ 呈负(正)相关关系, $liquid_t$ 与 $iav_t$ 呈正(负)相关关系, $gas_t$ 与 $iav_t$ 呈正相关关系;③“ $solid_t-iav_t$ ”系统和“ $gas_t-iav_t$ ”系统处于“低(快)速增长区制”时的可能性大(小)、持续性强(弱),“ $liquid_t-iav_t$ ”系统处于“快(低)速增长区制”的可能性大(小)、持续性强(弱)。

**关键词:**工业经济增长;工业污染;关联机制;周期性;中国

DOI: 10.18402/resci.2018.04.19

## 1 引言

人与自然和谐共存,是人们追求美好生活的重要体现,也是社会可持续发展的重要基础。在“十三五”时期,中国既需保持经济中高速增长,又要总体改善生态环境质量。中国经济已步入“新常态”,虽然经济发展方式转型升级压力明显,周期性和结构性矛盾特征突出,但是,经济长期向好的基本面没有改变,而生态环境却处于质量差、受损严重、风险隐患高的现状,环境承载能力已接近“天花板”,发展不平衡、不协调、不可持续问题亟待解决。在全面建成小康社会的决胜期,工业生产不仅作为支撑国民经济发展的力量,而且是引致环境质量恶化的重要污染源,因此,实现经济发展调速不减势、量增质更优的目标,重点、难点和出路均在工业领域。伴随着工业化进程的推进,经济能否与生态

环境协调发展? 工业经济增长与工业污染之间究竟蕴含怎样的联系呢?

早在20世纪80年代,Grossman等<sup>[1]</sup>、Panayotou<sup>[2]</sup>基于“经济发展与环境保护共赢”的发展理念,提出“环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve,简称EKC)”的概念,即环境污染与经济增长呈“倒U型”关系。随后,学术界围绕“EKC”展开大量研究。Omri等<sup>[3]</sup>、Jebli等<sup>[4]</sup>利用联立方程面板回归模型印证了EKC假说,余长林等<sup>[5]</sup>基于静态面板数据模型也支持EKC假说。然而,也有学者对EKC提出质疑。如Al-Mulali等<sup>[6]</sup>、Ozturk等<sup>[7]</sup>基于固定效应模型认为,EKC假说在中高等、高等收入国家有效,在低等、中低等收入国家无效;郭军华等<sup>[8]</sup>利用协整检验发现,工业固体废物排放量与经济增长具有EKC特征,工业废水、工业废气排放量与经济增长不符

收稿日期:2017-06-26;修订日期:2018-03-20

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71573104);教育部重点研究基地重大项目(16JJD790014);吉林大学青年学术领袖培育计划项目(2015FRLX15)。

作者简介:隋建利,男,吉林长白人,博士,教授,博士生导师,主要从事计量经济学和产业经济学研究。E-mail: jlsui@163.com

2018年4月

合EKC特征;王敏等<sup>[9]</sup>运用固定效应模型指出,环境污染与经济增长不具有EKC效应。鉴于EKC仅描绘了经济增长对环境污染的单向影响,并未探讨环境污染与经济增长的交互效应,Omri等<sup>[10]</sup>、Jiao等<sup>[11]</sup>基于动态联立方程模型和多元回归分析认为,污染物排放的增多会降低国家的生产能力;Wang<sup>[12]</sup>采用贝叶斯向量自回归(VAR)模型发现,环境质量优化有利于经济可持续发展;Bildirici等<sup>[13]</sup>运用非线性MS-VAR模型指出,G7国家的污染物排放是经济增长的格兰杰原因;陈桂月等<sup>[14]</sup>基于VAR模型认为,环境污染与经济增长具有双向影响机制;徐志伟<sup>[15]</sup>采用三阶段最小二乘法发现,城市环境污染与经济增长之间存在交互作用,经济增长会加重环境污染,污染物排放会促进经济增长;吴继贵等<sup>[16]</sup>基于面板VAR模型表明,环境污染与经济增长对彼此变化的贡献有限;盛鹏飞<sup>[17]</sup>通过门槛面板模型发现,环境污染是影响中国城乡居民收入差距的显著性因素。此外,还有学者探讨“环境规制”能否提升经济发展数量和质量,进而实现生态环境与经济发展和谐共生问题,例如,波特假说<sup>[18,19]</sup>提出,严格的环境规制政策能够激励企业创新,改进生产无效性并提高企业生产效率,最终甚至抵消执行环境规制政策的成本,提升企业生产效益;Tombe等<sup>[20]</sup>认为,污染排放标准易因分配不合理而造成生产效率的损失;Nalianda等<sup>[21]</sup>发现,增加污染排放税有利于推动产业绿色化;李钢等<sup>[22]</sup>、黄清煌等<sup>[23]</sup>指出,环境规制能够引致经济质量效应上升、经济增长效应下滑;沈坤荣等<sup>[24]</sup>提出,环境规制会引发污染就近转移,各城市的环境规制不利于全局环境治理。

虽然众多国内学者从宏观层面探讨了中国环境污染与经济增长的关系问题,但是,鲜有学者充分考虑在中国的长期发展历程中,特别是在经济快速增长、金融危机等特殊时期,工业经济增长与工业污染之间伴随宏观环境变化究竟具有怎样的内在关联机制?此关联机制会随时间推移而发生结构性突变吗?若发生结构性突变,又是否遵循某种潜在的周期性变化规律?此外,考虑到对EKC拟合的思想只能测度经济增长对环境污染的单向影响,并易产生内生性偏差<sup>[25]</sup>,而基于VAR模型测度环境污染与经济增长双向关联机制更为恰当<sup>[26,27]</sup>,但是,

运用线性VAR模型探讨具有非线性特征的环境污染与经济增长交互效应,仍旧存在较多缺陷<sup>[28,29]</sup>。因此,本文选用近年来备受国内外众多学者关注的非线性马尔科夫区制转移向量自回归模型(MS-VAR)<sup>[30]</sup>,通过构建“工业污染与工业经济”系统,探究中国工业污染与工业经济在涨落变换过程中的内在关联机制,从而为政府推行正确有效的治污举措提供理论参考和实证依据。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 MS(M)-VAR(p)模型的构建

首先构建一个被广泛应用于探讨变量之间动态关系的线性二维 $p$ 阶向量自回归(VAR)模型:

$$y_t = v + A_1 y_{t-1} + \cdots + A_p y_{t-p} + u_t \quad (1)$$

式中  $y_t = (y_{1t}, y_{2t})'$  代表2维的内生变量向量,其中  $y_{1t}$  表示工业污染变量;  $y_{2t}$  表示工业经济变量;  $t=1, \cdots, T$ ;  $v$  代表截距项;  $A_1, \cdots, A_p$  代表回归系数。在此,假设二维的内生变量时间序列均具有平稳性特征。同时,假设方程(1)中的误差项  $u_t$  服从正态分布,即  $u_t \sim NID(0, \Sigma)$ , 那么,方程(1)即为“截距形式”的线性VAR(p)模型。当然,还可以将方程(1)表示为“均值形式”的线性VAR(p)模型,即:

$$y_t - \mu = A_1 (y_{t-1} - \mu) + \cdots + A_p (y_{t-p} - \mu) + u_t \quad (2)$$

式中  $\mu$  代表  $y_t$  的  $2 \times 1$  维均值。然而,利用方程(1)或方程(2)所表征的线性VAR(p)模型,无法准确发掘内生变量时间序列潜存的非线性特征,因此,本文参考Krolzig<sup>[30]</sup>的思想,将非线性“区制转移”因素引入方程(1)和方程(2)所示的线性VAR(p)模型中。具体而言,假设  $y_t$  数据生成过程的参数依赖于离散变量  $s_t$ , 其中,  $s_t$  表征  $M$  种区制,同时,  $s_t$  遵循遍历  $M$  种区制的马尔科夫过程,其中,转移概率  $p_{ij} = \Pr(s_{t+1} = j | s_t = i)$ ,  $\sum_{j=1}^M p_{ij} = 1, \forall i, j \in \{1, \cdots, M\}$ 。本文以方程(2)所示的“均值形式”线性VAR(p)模型为基础,可以构建4种不同类型的“均值形式”非线性MS(M)-VAR(p)模型:

如果在方程(2)所涵括的均值  $\mu$  中引入区制变量  $s_t$ , 则可以基于变参数函数  $\mu(s_t)$  构建MSM(M)-VAR(p)模型:

$$y_t - \mu(s_t) = A_1 [y_{t-1} - \mu(s_{t-1})] + \cdots + A_p [y_{t-p} - \mu(s_{t-p})] + u_t, u_t \sim NID(0, \Sigma) \quad (3)$$

$$\text{其中, } \mu(s_t) = \begin{cases} \mu_1, & s_t = 1 \\ \vdots & \vdots \\ \mu_M, & s_t = M \end{cases}$$

下文中所提及的变参数函数  $A_p(s_t)$ 、 $\Sigma(s_t)$ 、 $v(s_t)$  等的表达形式与  $\mu(s_t)$  相类似,在此不再赘述。如果在方程(2)所涵括的均值  $\mu$ 、回归系数  $A_p$  中均引入区制变量  $s_t$ ,则可以基于变参数函数  $\mu(s_t)$ 、 $A_p(s_t)$  构建  $\text{MSMA}(M)\text{-VAR}(p)$  模型:

$$y_t - \mu(s_t) = A_1(s_t)[y_{t-1} - \mu(s_{t-1})] + \cdots + A_p(s_t)[y_{t-p} - \mu(s_{t-p})] + u_t, \quad u_t \sim \text{NID}(0, \Sigma) \quad (4)$$

如果在方程(2)所涵括的均值  $\mu$ 、回归系数  $A_p$ 、异方差  $\Sigma$  中均引入区制变量  $s_t$ ,则可以基于变参数函数  $\mu(s_t)$ 、 $A_p(s_t)$ 、 $\Sigma(s_t)$  构建  $\text{MSMAH}(M)\text{-VAR}(p)$  模型:

$$y_t - \mu(s_t) = A_1(s_t)[y_{t-1} - \mu(s_{t-1})] + \cdots + A_p(s_t)[y_{t-p} - \mu(s_{t-p})] + u_t, \quad u_t \sim \text{NID}(0, \Sigma(s_t)) \quad (5)$$

如果在方程(2)所涵括的均值  $\mu$ 、异方差  $\Sigma$  中均引入区制变量  $s_t$ ,则可以基于变参数函数  $\mu(s_t)$ 、 $\Sigma(s_t)$  构建  $\text{MSMH}(M)\text{-VAR}(p)$  模型:

$$y_t - \mu(s_t) = A_1[y_{t-1} - \mu(s_{t-1})] + \cdots + A_p[y_{t-p} - \mu(s_{t-p})] + u_t, \quad u_t \sim \text{NID}(0, \Sigma(s_t)) \quad (6)$$

相类似的,本文以方程(1)所示的“截距形式”非线性  $\text{VAR}(p)$  模型为基础,同样可以构建4种不同类型的“截距形式”非线性  $\text{MS}(M)\text{-VAR}(p)$  模型:

如果在方程(1)所涵括的截距项  $v$  中引入区制变量  $s_t$ ,则可以基于变参数函数  $v(s_t)$  构建  $\text{MSI}(M)\text{-VAR}(p)$  模型:

$$y_t = v(s_t) + A_1 y_{t-1} + \cdots + A_p y_{t-p} + u_t, \quad u_t \sim \text{NID}(0, \Sigma) \quad (7)$$

如果在方程(1)所涵括的截距项  $v$ 、回归系数  $A_p$  中均引入区制变量  $s_t$ ,则可以基于变参数函数  $v(s_t)$ 、 $A_p(s_t)$  而构建  $\text{MSIA}(M)\text{-VAR}(p)$  模型:

$$y_t = v(s_t) + A_1(s_t)y_{t-1} + \cdots + A_p(s_t)y_{t-p} + u_t, \quad u_t \sim \text{NID}(0, \Sigma) \quad (8)$$

如果在方程(1)所涵括的截距项  $v$ 、回归系数  $A_p$ 、异方差  $\Sigma$  中均引入区制变量  $s_t$ ,则可以基于变参数函数  $v(s_t)$ 、 $A_p(s_t)$ 、 $\Sigma(s_t)$  而构建  $\text{MSIAH}(M)\text{-VAR}(p)$  模型:

$$y_t = v(s_t) + A_1(s_t)y_{t-1} + \cdots + A_p(s_t)y_{t-p} + u_t, \quad u_t \sim \text{NID}(0, \Sigma(s_t)) \quad (9)$$

如果在方程(1)所涵括的截距项  $v$ 、异方差  $\Sigma$  中均引入区制变量  $s_t$ ,则可以基于变参数函数  $v(s_t)$ 、 $\Sigma(s_t)$  而构建  $\text{MSIH}(M)\text{-VAR}(p)$  模型:

$$y_t = v(s_t) + A_1 y_{t-1} + \cdots + A_p y_{t-p} + u_t, \quad u_t \sim \text{NID}(0, \Sigma(s_t)) \quad (10)$$

在本文的实证研究中,无论最终选取公式(3)—公式(10)所示的哪种非线性  $\text{MS}(M)\text{-VAR}(p)$  模型,内生变量向量  $y_t$  的维数都为2,  $y_{1t}$  表示工业污染变量,  $y_{2t}$  表示工业经济变量,即  $y_t = (\text{solid}_t, \text{iav}_t)'$ , 或  $y_t = (\text{liquid}_t, \text{iav}_t)'$ , 或  $y_t = (\text{gas}_t, \text{iav}_t)'$ , 其中  $\text{solid}_t$  代表工业固体废物产生量增长率时间序列;  $\text{liquid}_t$  代表工业废水排放量增长率时间序列;  $\text{gas}_t$  代表工业废气排放量增长率时间序列;  $\text{iav}_t$  代表工业经济增长率时间序列。根据AIC和SC信息准则,本文选取最可靠和有效的非线性  $\text{MS}(M)\text{-VAR}(p)$  模型展开实证研究,同时基于期望最大化(EM)算法<sup>[31]</sup>和极大似然(ML)估计技术<sup>[30]</sup>,具体计算非线性  $\text{MS}(M)\text{-VAR}(p)$  模型的参数估计结果。

## 2.2 数据来源及处理

本文基于中国工业固体废物产生量、工业废水排放量以及工业废气排放量年度数据,分别计算其增长率时间序列,以期描述中国工业污染增长情况,同时,基于中国工业增加值年度数据,进一步计算其增长率时间序列,旨在刻画中国工业经济增长态势,所选取的样本区间为1983—2014年,数据来源源于《中国统计年鉴》<sup>[32]</sup>以及《中国环境统计年鉴》<sup>[33]</sup>。

本文基于非线性  $\text{MS}(M)\text{-VAR}(p)$  模型,构建涵括“工业污染”与“工业经济”因素的三种“工业污染与工业经济”系统,即由工业固体废物产生量增长率( $\text{solid}_t$ )与工业经济增长率( $\text{iav}_t$ )构成的“ $\text{solid}_t\text{-iav}_t$ ”系统,由工业废水排放量增长率( $\text{liquid}_t$ )与工业经济增长率( $\text{iav}_t$ )构成的“ $\text{liquid}_t\text{-iav}_t$ ”系统,由工业废气排放量增长率( $\text{gas}_t$ )与工业经济增长率( $\text{iav}_t$ )构成的“ $\text{gas}_t\text{-iav}_t$ ”系统。通过对比各个系统多阶段变迁过程的不同特征,探究中国工业经济增长与工业污染内在关联机制问题,进而为政府推行有效的治污举措提供理论参考和实证依据。

考虑到在构建非线性  $\text{MS}(M)\text{-VAR}(p)$  模型时,对时间序列数据具有平稳性要求,本文运用ADF和



2018年4月

PP检验方法,测度时间序列数据的平稳性特征。结果表明,工业经济增长率与工业污染增长率在5%的显著性水平下均显示平稳,在1%的显著性水平下均为一阶单整。进一步的,本文分别考量区制数量为2( $M=2$ )和3( $M=3$ ),滞后阶数依次取1~5( $p=1, \dots, 5$ )时,各类非线性MS( $M$ )-VAR( $p$ )模型具体设定形式的AIC值和SC值。相比较,MSMH(2)-VAR(1)模型计算得到的AIC值和SC值均最小,即基于AIC和SC信息准则,选取MSMH(2)-VAR(1)模型开展的实证研究最为可靠和有效。

### 3 结果及分析

通过基于非线性MSMH(2)-VAR(1)模型的分析,本文旨在探究中国宏观环境变化的过程中,工业经济增长与工业污染之间的内在联系,测度工业经济增长与工业污染关联机制的非线性周期变化规律,根据各个系统多阶段变迁过程不同特征的对比,甄别“工业污染与工业经济”系统怎样在“低速增长区制”和“快速增长区制”之间相互转移,并且分析区制转移的属性,进而全面测度中国工业经济增长与工业污染的内在关联机制问题。

#### 3.1 关联机制的非线性周期测度

表1具体列示出基于MSMH(2)-VAR(1)模型计算的“ $solid_t - iav_t$ ”系统,“ $liquid_t - iav_t$ ”系统以及“ $gas_t - iav_t$ ”系统的均值估计结果,能够发现,各系统工业污染增长率与工业经济增长率在区制1( $s_t=1$ )时都具有较小均值,在区制2( $s_t=2$ )时都具有相对较大均值。因此,借鉴Krolzig<sup>[30]</sup>的观点,将区制1视为“低速增长区制”,将区制2视为“快速增长区制”。此外,各系统的方差估计结果显示,较低水平的工业污染增长率和较高水平的工业经济增长率方差

较小,即工业污染在“低速增长区制”时波动性小、持续性大,工业经济在“快速增长区制”时波动性小、持续性大,中国工业经济增长和工业污染的发展具有“惯性”特征。这意味着,当工业经济呈现非稳健的低速增长态势时,在其“自我修复”功能的作用下,能够步入相对稳健的“快速增长区制”,这不仅印证了控制污染排放、治理工业污染的可能性和有效性,而且更增强了尽快实现生态环境与工业经济增长协调发展的信心。

接下来,本文计算区制变量 $s_t$ 离散取值的平滑概率值,旨在刻画“工业污染与工业经济”系统在1985—2014年所处的具体增长区制,从而为政府推行正确有效的工业污染治理举措提供科学依据。表2具体列示出“工业污染与工业经济”系统处于“低速增长区制”( $s_t=1$ )和“快速增长区制”( $s_t=2$ )的时间区间以及平滑概率均值,同时,在图1、图2、图3(图3见第867页)中分别绘制出“ $solid_t - iav_t$ ”系统、“ $liquid_t - iav_t$ ”系统以及“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”和“快速增长区制”时的实时平滑概率时间动态轨迹。区制变量 $s_t$ 的平滑概率值 $\Pr(s_t = i | I_T) > 0.5, i = 1, 2$ (其中, $I_T$ 代表过去 $T$ 期的信息集),说明“工业污染与工业经济”系统处于区制 $i(i=1, 2)$ 中,而且平滑概率值越大,处于该区制的可能性越大。如表2以及图1、图2、图3(图3见第867页)所示,“ $solid_t - iav_t$ ”系统在1989—2002年、2009年、2013—2014年处于“低速增长区制”( $\Pr(s_t = 1 | I_T) > 0.5$ ),在1985—1988年、2003—2008年、2010—2012年步入“快速增长区制”( $\Pr(s_t = 2 | I_T) > 0.5$ );“ $liquid_t - iav_t$ ”系统在1989—1993年、1996—1997年、1999年、2009年、2012—2014年处于“低速增长

表1 MSMH(2) - VAR(1)模型各均值和方差的估计结果

Table 1 Estimate results of mean and variance in model MSMH(2) - VAR(1)

参 数	$solid_t - iav_t$ 系统估计值		$liquid_t - iav_t$ 系统估计值		$gas_t - iav_t$ 系统估计值	
	$solid_t$	$iav_t$	$liquid_t$	$iav_t$	$gas_t$	$iav_t$
$\mu_1$	0.040 7* (0.024 3)	0.111 9 (0.076 7)	-0.042 8*** (0.010 2)	0.114 8 (0.080 0)	0.027 0 (0.022 2)	0.102 9 (0.119 1)
$\mu_2$	0.109 8*** (0.038 7)	0.207 7*** (0.065 5)	0.021 9* (0.012 1)	0.174 1** (0.075 6)	0.166 9*** (0.027 1)	0.192 3* (0.101 8)
$\sigma_1$	0.054 9	0.073 5	0.022 1	0.058 9	0.039 9	0.074 9
$\sigma_2$	0.108 0	0.026 3	0.030 2	0.054 3	0.068 3	0.030 7

注:“\*\*\*”、“\*\*”和“\*”分别表示1%、5%和10%的显著性水平;对应参数的标准差在( )中表示。

表2 1985—2014年中国“工业污染与工业经济”系统的增长区制划分及平滑概率均值

Table 2 Regime classification and smoothing probabilities in “industrial pollution and economic” system in China from 1985 to 2014

“ $solid_t - iav_t$ ”系统				“ $liquid_t - iav_t$ ”系统				“ $gas_t - iav_t$ ”系统			
低速增长区制		快速增长区制		低速增长区制		快速增长区制		低速增长区制		快速增长区制	
时间 区间	平滑概率 均值	时间 区间	平滑概率 均值	时间 区间	平滑概率 均值	时间区间	平滑概率 均值	时间 区间	平滑概率 均值	时间 区间	平滑概率 均值
1989— 2002年	0.977 7	1985— 1988年	0.902 7	1989— 1993年	0.979 7	1985— 1988年	0.970 3	1985— 1999年	0.996 1	2000— 2008年	0.968 6
2009年	1.000 0	2003— 2008年	0.954 4	1996— 1997年	0.996 3	1994— 1995年	0.999 0	2009年	1.000 0	2010— 2011年	1.000 0
2013— 2014年	0.999 5	2010— 2012年	0.855 0	1999年	0.876 7	1998年	1.000 0	2012— 2014年	0.999 9		
				2009年	0.999 5	2000— 2008年	0.981 3				
				2012— 2014年	0.992 5	2010— 2011年	0.935 8				

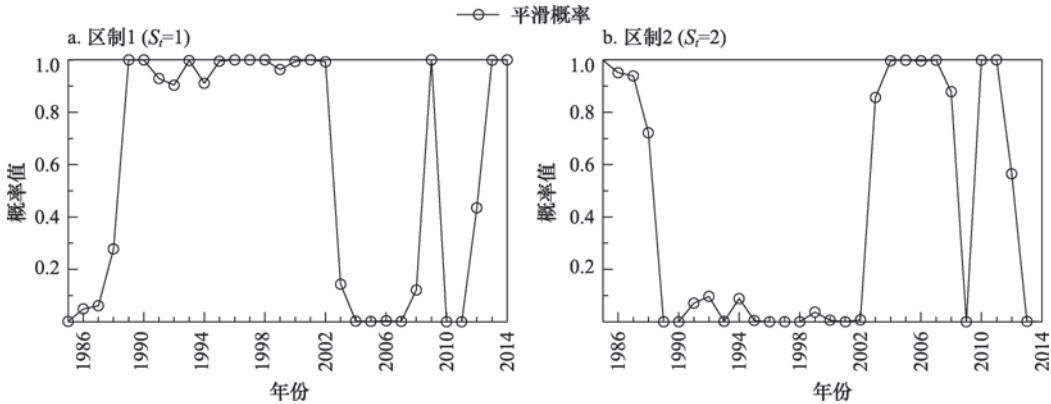


图1 1985—2014年中国“ $solid_t - iav_t$ ”系统平滑概率

Figure 1 Smoothing probabilities in “ $solid_t - iav_t$ ” system in China from 1985 to 2014

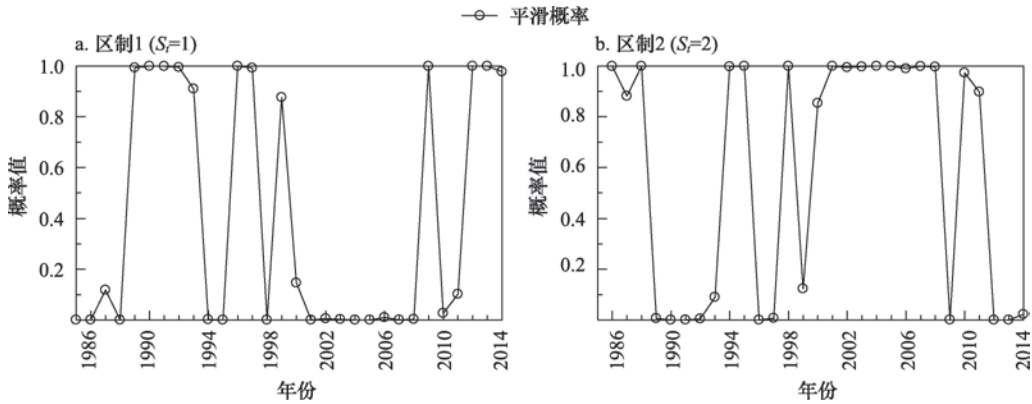


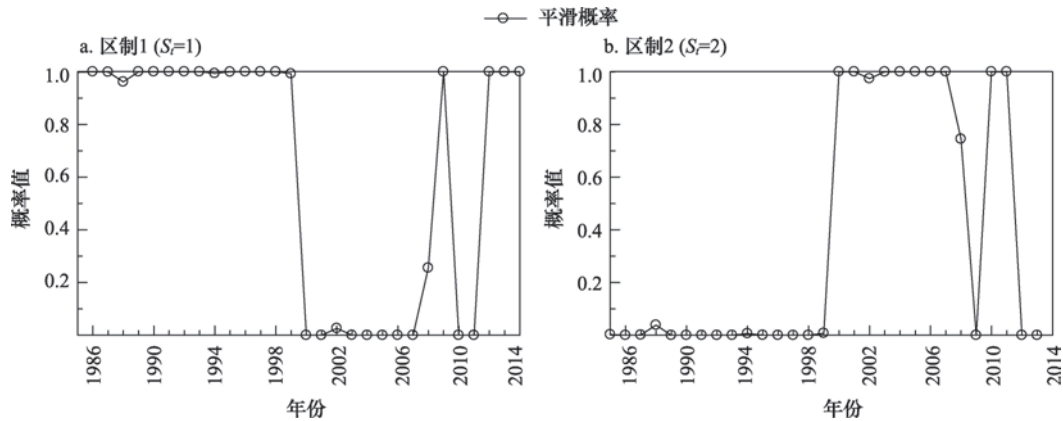
图2 1985—2014年中国“ $liquid_t - iav_t$ ”系统平滑概率

Figure 2 Smoothing probabilities in “ $liquid_t - iav_t$ ” system in China from 1985 to 2014

区制”(Pr( $s_t=1/I_t$ )>0.5),在1985—1988年、1994—1995年、1998年、2000—2008年、2010—2011年步入“快速增长区制”(Pr( $s_t=2/I_t$ )>0.5);“ $gas_t - iav_t$ ”系

统在1985—1999年、2009年、2012—2014年处于“低速增长区制”(Pr( $s_t=1/I_t$ )>0.5),在2000—2008年、2010—2011年步入“快速增长区制”(Pr( $s_t=2/I_t$ )>

2018年4月

图3 1985—2014年中国“ $gas_t - iav_t$ ”系统平滑概率Figure 3 Smoothing probabilities in “ $gas_t - iav_t$ ” system in China from 1985 to 2014

0.5)。此外,各系统无论处于“低速增长区制”还是“快速增长区制”,平滑概率值均在1.0左右徘徊,这不仅印证本文选用MSMH(2)-VAR(1)模型测度工业经济增长与工业污染内在关联机制的非线性周期变化较为合理、可靠,而且表明“工业污染与工业经济”系统确实潜存在着在“低速增长区制”和“快速增长区制”之间相互转移的结构性突变迹象,“工业污染与工业经济”系统在不同增长区制的相互转移具有非线性周期变化特征。

回顾中国工业污染与工业经济增长的变迁历程,面对20世纪90年代初期中国过热的经济形势,中共中央于1993年下半年采取相应经济政策,并且在1996年成功实现了宏观经济的“软着陆”,而工业经济在国民经济发展中占据重要地位,因此,在那一时期,工业经济增长率呈现出“倒U型”的周期性波动轨迹。另一方面,由于当时中国实施了一系列节能减排政策,关停并转了大量高排放小企业,工业污染增长率维持在较低水平,因此,“工业污染与工业经济”系统基本处于“低速增长区制”。然而,由于中国乡镇企业在1994年实行股份制改革,中国乡镇工业发展迅猛,全国乡镇工业废水排放量达到43亿t,较1989年全国乡镇工业废水排放量增长了65.4%,而且在全国乡镇“工业三废”中,工业废水排放量增长率提高的幅度最大,这使得1994年与1995年的工业废水排放量增长率均向上波动,因此,在1994年与1995年,“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于快速增长区制,“ $solid_t - iav_t$ ”系统与“ $gas_t - iav_t$ ”系统维

持在低速增长区制。自步入经济快速发展的21世纪起,中国总体工业规模不断扩大,重化工业愈加膨胀,“投资拉动的粗放型增长”是中国主要的经济增长方式<sup>[34]</sup>,同时,很多企业一味追求利润最大化目标,缺乏环境社会责任感,不愿因投资污染物治理而增加成本,加之政府监管体制机制尚未完善,致使工业污染程度面临严峻形势,因此,“工业污染与工业经济”系统大致维系在“快速增长区制”中。由于中国在1999年发布《危险废物焚烧污染控制标准》<sup>[35]</sup>,在法规中建立了申报登记制度与许可证制度,在2000年加强了废物进口、重点化学物质以及化学品环境安全管理,进而严格控制工业固体废物的产生,这使得2000—2002年的工业固体产生量增长率均向下波动,因此,在2000—2002年,“ $solid_t - iav_t$ ”系统仍维持在低速增长区制,“ $liquid_t - iav_t$ ”系统与“ $gas_t - iav_t$ ”系统已经步入快速增长区制。受全球金融危机的波及影响,“工业污染与工业经济”系统于2009年由“快速增长区制”落入“低速增长区制”。自2010年起,中国逐步步入工业化后期,重化工业仍深化发展,工业现代化进程速度加快<sup>[36]</sup>,因此,在2010—2011年,“工业污染与工业经济”系统再次跨入“快速增长区制”。伴随着工业化后期程度的加深,严峻的产能过剩问题制约着中国工业经济的发展,加之发达国家推行“再工业化”,发展中国家继续推进工业化进程,中国面临着高端回流和中低端分流的双向挤压,本就严峻的产能过剩问题更加突出,工业经济发展状况不乐

观。同时,在“十二五”期间,国家高度重视环境保护,各地区的高新技术产业发展迅速,并逐步向高于工业平均增速的方向迈进,因此,在2013—2014年,工业经济增长率与工业污染增长率均处于较低水平,这使得“工业污染与工业经济”系统处于“低速增长区制”。总之,在中国工业污染与工业经济增长的变迁历程中,“工业污染与工业经济”系统确实存在着“低速增长区制”和“快速增长区制”之间相互转移的周期性突变迹象,即各系统在维持一段时期的“低速增长区制”后均会转移至“快速增长区制”,在维持一段时期的“快速增长区制”后又转移至“低速增长区制”。此外,“ $solid_t - iav_t$ ”系统、“ $liquid_t - iav_t$ ”系统以及“ $gas_t - iav_t$ ”系统区制转移的周期性特征均受到中国整体宏观运行环境的影响,而各系统由于自身发展特点的不同,使得“低速增长区制”与“快速增长区制”之间的相互转移呈现非线性周期变化特征。

### 3.2 区制转移属性分析

在测度工业经济增长与工业污染关联机制的非线性周期变化规律后,本文进一步分析“工业污染与工业经济”系统区制转移的属性,甄别和透析工业经济增长与工业污染在“低速增长区制”和“快速增长区制”内所呈现的相关关系,以及各系统在不同增长区制内平均持续期的长短,更为深入地探讨工业经济增长与工业污染之间的内在关联机制。

观察表3列示的工业污染增长率与工业经济增长

表3 1985—2014年中国工业污染增长率与工业经济增长率在不同增长区制内的相关系数估计

Table 3 Correlative coefficients of industrial pollution and economic growth in different regimes in China from 1985 to 2014

“ $solid_t - iav_t$ ”系统	低速增长区制		快速增长区制	
	$solid_t$	$iav_t$	$solid_t$	$iav_t$
$solid_t$	1.000 0	-0.366 2	1.000 0	0.251 5
$iav_t$	-0.366 2	1.000 0	0.251 5	1.000 0
“ $liquid_t - iav_t$ ”系统	低速增长区制		快速增长区制	
	$liquid_t$	$iav_t$	$liquid_t$	$iav_t$
$liquid_t$	1.000 0	0.438 8	1.000 0	-0.197 4
$iav_t$	0.438 8	1.000 0	-0.197 4	1.000 0
“ $gas_t - iav_t$ ”系统	低速增长区制		快速增长区制	
	$gas_t$	$iav_t$	$gas_t$	$iav_t$
$gas_t$	1.000 0	0.254 9	1.000 0	0.294 2
$iav_t$	0.254 9	1.000 0	0.294 2	1.000 0

长率在不同区制内的相关系数,能够发现,“ $solid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时,工业固体废物产生量增长率与工业经济增长率之间呈负相关关系,处于“快速增长区制”时呈正相关关系。“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时,工业废水排放量增长率与工业经济增长率之间呈正相关关系,处于“快速增长区制”时呈负相关关系。“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时,工业废气排放量增长率与工业经济增长率之间呈正相关关系,处于“快速增长区制”时同样呈正相关关系。这意味着,虽然经济结构理论<sup>[1]</sup>、内生增长理论<sup>[37]</sup>以及环境需求理论<sup>[38]</sup>均论证了环境库兹涅茨曲线(EKC)所揭示的环境污染与经济增长之间呈“倒U型”关系,但是中国工业经济发展尚未达到能够全面减轻工业污染程度的“拐点”,正如张艳磊等<sup>[39]</sup>所认为的,中国既存在“可持续发展”的经济增长模式,又存在“以污染换增长”的经济发展现象,而且工业经济增长与工业污染之间的内在关联机制随着增长区制转移而发生改变。

具体来讲,当“工业污染与工业经济”系统处于“低速增长区制”时,工业固体废物产生量增长率与工业经济增长率之间呈负相关关系,而工业废水排放量增长率和工业废气排放量增长率与工业经济增长率之间呈正相关关系。就“ $solid_t - iav_t$ ”系统而言,中国逐步推行的绿色工业园区发展模式,可以有效提高工业固体废物集中式治理的效率,在降低工业固体废物产生量增长率的同时,工业经济发展向好,有利于工业经济增长率的上升。同时,中国对工业固体废物的重视程度较弱,工业固体废物的治理投资和治理效率较低<sup>[40]</sup>,工业固体废物的资源回收和综合利用仍有很大发展空间,因此,工业固体废物产生量增长率的提高未能促进工业经济增长,“ $solid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”。就“ $liquid_t - iav_t$ ”系统和“ $gas_t - iav_t$ ”系统而言,随着中国可持续发展战略的推进,以牺牲环境为代价的经济增长不是明智的选择,为解决愈加严重的环境问题,中国推行日趋严格的环境规制政策。从短期来看,环境规制政策增加企业治理污染成本,挤占生产性投资,导致较大的潜在生产损失<sup>[41]</sup>,而且有些大型企业为实现达标排放,将污染严重的生产环节



2018年4月

外包给中小企业,中小企业的生产效率远远低于大型企业,导致工业企业劳动生产效率降低,影响中国工业经济发展,因此,在工业废水、工业废气排放量增长率降低的同时,工业经济增长率也会下滑,“ $liquid_t - iav_t$ ”系统和“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”。

当“工业污染与工业经济”系统处于“快速增长区制”时,工业废水排放量增长率与工业经济增长率之间呈负相关关系,工业固体废物产生量增长率和工业废气排放量增长率与工业经济增长率之间呈正相关关系。究其原因,在工业污染治理投资结构方面,治理工业废水的投资占比更高,这使得工业废水处理技术进步较快,工业用水利用效率提升较大,即工业废水排放存在一定的技术效应,伴随着工业经济增长率的提高,工业废水排放量增长率下降。由于中国在防治水污染方面做了大量的工作,例如,对三峡库区与长江上游流域水污染进行硬性指标约束,加强工业废水污染的深度治理,以及在基础设施建设过程中投入使用节水节能材料,进而严格控制工业废水的排放,因此,工业废水排放量增长率并未随工业化与城镇化进程的推进而提高,“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于“快速增长区制”时,工业废水排放量增长率与工业经济增长率之间呈负相关关系。在工业结构方面,工业废水通常来自造纸、纺织等轻工业,而工业固体废物通常源于重工业生产活动中产生的燃料废渣、化工冶炼等,工

业废气同样源自钢铁、石油化工等重工业,同时,在1999—2012年,霍尔曼系数数值逐年下降并且趋向小于1,工业结构从“去工业化”向“重工业化”转变<sup>[42]</sup>,重工业产生的污染水平随之升高,轻工业产生的污染水平反而下降。因此,伴随着中国工业化进程的推进,工业固体废物产生量增长率与工业废气排放量增长率相应提高,但是工业废水排放量增长率相应降低。在城镇化建设方面,为尽快推进工业化与城镇化进程,部分地区仅注重投入模式,盲目引入污染密集型产业,大量开展基础设施建设,忽略了环境保护的重要性,伴随着工业化与城镇化水平的提高,工业固体废物产生量增长率与工业废气排放量增长率提高,“ $solid_t - iav_t$ ”系统和“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于快速增长区制。

此外,本文在表4中进一步给出了“工业污染与工业经济”系统的区制转移概率矩阵和区制属性,能够发现,相较于在“低速增长区制”和“快速增长区制”之间的相互转移,“工业污染与工业经济”系统处于原有“低速增长区制”或者“快速增长区制”的维持概率、样本数量和平均持续期<sup>1)</sup>更大,即“工业污染与工业经济”系统维持原有增长区制的可能性和持续性相对较大,“工业污染与工业经济”系统所处的增长区制状态具有“惯性”特征,这与前文工业经济增长与工业污染发展具有“惯性”特征的结论相一致。进一步地,就各系统自身特点而言,“ $solid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的维持概率、样本

表4 1985—2014年中国“工业污染与工业经济”系统的区制转移概率矩阵以及区制属性

Table 4 Switching matrix and property of regime in “industrial pollution and economic” system in China from 1985 to 2014

“ $solid_t - iav_t$ ”系统	区制转移概率矩阵		区制属性	
	低速增长区制	快速增长区制	样本数量	平均持续期
低速增长区制	0.843 1	0.156 9	17.8	6.37
快速增长区制	0.257 3	0.742 7	12.2	3.89
“ $liquid_t - iav_t$ ”系统	区制转移概率矩阵		区制属性	
	低速增长区制	快速增长区制	样本数量	平均持续期
低速增长区制	0.630 9	0.369 1	12.2	2.71
快速增长区制	0.268 6	0.731 4	17.8	3.72
“ $gas_t - iav_t$ ”系统	区制转移概率矩阵		区制属性	
	低速增长区制	快速增长区制	样本数量	平均持续期
低速增长区制	0.891 4	0.108 6	19.2	9.20
快速增长区制	0.201 0	0.799 0	10.8	4.98

1) 与区制状态变量  $s_t$  相对应的平均持续期  $D[s_t(i)]$  可由下式计算获得:  $D[s_t(i)] = 1/(1 - p_{ii})$ ,  $i = 1, 2$ 。其中  $p_{ii}$  代表转移概率。



数量和平均持续期都较大,处于“快速增长区制”时的维持概率、样本数量和平均持续期都较小。而“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的维持概率、样本数量和平均持续期都较小,处于“快速增长区制”时的维持概率、样本数量和平均持续期都较大。“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的维持概率、样本数量和平均持续期都较大,处于“快速增长区制”时的维持概率、样本数量和平均持续期都较小。这说明,“ $solid_t - iav_t$ ”系统与“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的可能性和持续性都显著大于和强于其处于“快速增长区制”时的情形,而“ $liquid_t - iav_t$ ”系统则完全相反,即相比处于“低速增长区制”时的情形,“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于“快速增长区制”时的可能性和持续性更大。

综上所述,“ $solid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的可能性大、持续性强,此时工业固体废物产生量增长率与工业经济增长率之间呈负相关关系;“ $solid_t - iav_t$ ”系统处于“快速增长区制”时的可能性小、持续性弱,此时工业固体废物产生量增长率与工业经济增长率之间呈正相关关系。“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于“快速增长区制”时的可能性大、持续性强,此时工业废水排放量增长率与工业经济增长率之间呈负相关关系;“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的可能性小、持续性弱,此时工业废水排放量增长率与工业经济增长率之间呈正相关关系。“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的可能性大、持续性强,工业废气排放量增长率与工业经济增长率之间始终呈正相关关系。

## 4 结论与政策启示

### 4.1 结论

本文基于工业固体废物产生量增长率( $solid_t$ )、工业废水排放量增长率( $liquid_t$ )、工业废气排放量增长率( $gas_t$ )与工业经济增长率( $iav_t$ )构建“ $solid_t - iav_t$ ”、“ $liquid_t - iav_t$ ”和“ $gas_t - iav_t$ ”三种“工业污染与工业经济”系统,运用非线性MS(M)-VAR(p)模型,捕捉和刻画“工业污染与工业经济”系统处于“低速增长区制”和“快速增长区制”的多阶段变迁过程,进而甄别和透析在不同增长区制中,工业经济增长与工业污染之间内在关联机制的

非线性周期特征和区制转移属性,最终获得如下认识与判断:

(1)“工业污染与工业经济”系统潜存着在“低速增长区制”和“快速增长区制”之间相互转移的结构性突变迹象,并且具有非线性周期变化特征。“ $solid_t - iav_t$ ”系统在1989—2002年、2009年、2013—2014年处于“低速增长区制”,在1985—1988年、2003—2008年、2010—2012年步入“快速增长区制”。“ $liquid_t - iav_t$ ”系统在1989—1993年、1996—1997年、1999年、2009年、2012—2014年处于“低速增长区制”,在1985—1988年、1994—1995年、1998年、2000—2008年、2010—2011年步入“快速增长区制”。“ $gas_t - iav_t$ ”系统在1985—1999年、2009年、2012—2014年处于“低速增长区制”,在2000—2008年、2010—2011年步入“快速增长区制”。

(2)中国工业经济增长与工业污染之间的内在关联机制随着增长区制转移而发生改变。“ $solid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时,工业固体废物产生量增长率与工业经济增长率之间呈负相关关系,处于“快速增长区制”时呈正相关关系。“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时,工业废水排放量增长率与工业经济增长率之间呈正相关关系,处于“快速增长区制”时呈负相关关系。“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时,工业废气排放量增长率与工业经济增长率之间呈正相关关系,处于“快速增长区制”时同样呈正相关关系。

(3)中国“工业污染与工业经济”系统维持原有增长区制的可能性和持续性相对较大,“工业污染与工业经济”系统所处的增长区制状态具有“惯性”特征。“ $solid_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的可能性大、持续性强,处于“快速增长区制”时的可能性小、持续性弱。“ $liquid_t - iav_t$ ”系统处于“快速增长区制”时的可能性大、持续性强,处于“低速增长区制”时的可能性小、持续性弱。与“ $solid_t - iav_t$ ”系统相一致,“ $gas_t - iav_t$ ”系统处于“低速增长区制”时的可能性大、持续性强,处于“快速增长区制”时的可能性小、持续性弱。

### 4.2 政策启示

长久以来,工业污染问题始终是人类工业化进

2018年4月

程中面临的严峻挑战。在中国工业发展的历史进程中,由于各个时期减少工业污染还是促进工业经济增长的侧重点不同,“工业污染与工业经济”系统在“低速增长区制”和“快速增长区制”之间的相互转移呈现非线性周期特征,工业污染与工业经济之间的关系也随宏观环境变化而发生改变,因此,中国需根据具体宏观发展目标制定相应的政策措施。当前,中国旨在平衡好工业污染与工业经济发展之间的关系,实现可持续绿色发展,中国应针对工业固体废物污染、工业废水污染以及工业废气污染与工业经济增长关系的不同规律,采取差异化的治理工业污染举措。

### 参考文献(References):

- [1] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American free trade agreement [J]. *Social Science Electronic Publishing*, 1991, 8 (2): 223-250.
- [2] Panayotou T. Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development [R]. ILO Working Paper No. 4, 1993.
- [3] Omri A, Daly S, Rault C. Financial development, environmental quality, trade and economic growth: what causes what in MENA countries [J]. *Energy Economics*, 2015, 48 (3): 242-252.
- [4] Jebli M B, Youssef S B, Ozturk I. Testing environmental Kuznets curve hypothesis: the role of renewable and non-renewable energy consumption and trade in OECD countries [J]. *Ecological Indicators*, 2016, 60 (1): 824-831.
- [5] 余长林, 高宏建. 环境管制对中国环境污染的影响 [J]. *中国工业经济*, 2015, 20 (7): 21-35. [Yu C L, Gao H J. The effect of environmental regulation on environmental pollution in China [J]. *China Industrial Economics*, 2015, 30 (7): 21-35.]
- [6] Al-Mulali U, Weng-Wai C, Sheau-Ting L. Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis by utilizing the ecological footprint as an indicator of environmental degradation [J]. *Ecological Indicators*, 2015, (48): 315-323.
- [7] Ozturk I, Al-Mulali U, Saboori B. Investigating the environmental Kuznets curve hypothesis: the role of tourism and ecological footprint [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23 (2): 1916-1928.
- [8] 郭军华, 李帮义. 中国经济增长与环境污染的协整关系研究 [J]. *数理统计与管理*, 2010, 29 (2): 281-293. [Guo J H, Li B Y. A co-integration analysis of China's economy development and environment pollution [J]. *Application of Statistics and Management*, 2010, 29 (2): 281-293.]
- [9] 王敏, 黄滢. 中国的环境污染与经济增长 [J]. *经济学 (季刊)*, 2015, 14 (2): 557-578. [Wang M, Huang Y. China's environmental pollution and economic growth [J]. *China Economic Quarterly*, 2015, 14 (2): 557-578.]
- [10] Omri A, Nguyen D K, Rault C. Causal interactions between CO<sub>2</sub> emissions, FDI, and economic growth: evidence from dynamic simultaneous - equation models [J]. *Economic Modeling*, 2014, 42 (10): 382-389.
- [11] Jiao R, Zhang P, Zhu S. Identification and implications of relationships among pollutant emission, economic structure and economic growth in China through multivariate analysis [J]. *Journal of Environmental Science and Management*, 2014, 17 (1): 1-11.
- [12] Wang L, Zhou D, Wang Y. An empirical study of the environmental Kuznets curve for environmental quality in gansu province [J]. *Ecological Indicators*, 2015, 56 (9): 96-105.
- [13] Bildirici M E, Gokmenoglu S M. Environmental pollution, hydro-power energy consumption and economic growth: evidence from G7 countries [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, (75): 68-85.
- [14] 陈桂月, 李海涛, 梁涛. 山西省工业废弃物排放与经济增长之间的关系分析 [J]. *资源科学*, 2013, 35 (6): 1184-1193. [Chen G Y, Li H T, Liang T. The relationship between industrial waste discharge and economic growth in Shanxi [J]. *Resources Science*, 2013, 35 (6): 1184-1193.]
- [15] 徐志伟. 工业经济发展、环境规制强度与污染减排效果 [J]. *财经研究*, 2016, 42 (3): 134-144. [Xu Z W. Industrial economic development, environmental regulation intensity and emissions reduction effect [J]. *Journal of Finance and Economics*, 2016, 42 (3): 134-144.]
- [16] 吴继贵, 叶阿忠. 环境、能源、R & D与经济增长互动关系的研究 [J]. *科研管理*, 2016, 37 (1): 58-67. [Wu J G, Ye A Z. A research on the interactive relationships among environment, energy, R&D and economic growth [J]. *Science Research Management*, 2016, 37 (1): 58-67.]
- [17] 盛鹏飞. 环境污染与城乡收入差距 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27 (10): 56-63. [Sheng P F. Environmental pollution and urban-rural income gap [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27 (10): 56-63.]
- [18] Poter M E. America's green strategy [J]. *Scientific American*, 1991, 264 (4): 168.
- [19] Poter M E, Linder C V D. Toward a new conception of the environment competitiveness relationship [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9 (4): 97-118.
- [20] Tombe T, Winter J. Environmental policy and misallocation: the productivity effect of intensity standards [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2015, 72 (7): 137-163.
- [21] Naliandaa D K, Kyprianidis K G, Sethia V. Techno-economic viability assessments of greener propulsion technology under poten-

- tial environmental regulatory policy scenarios [J]. *Applied Energy*, 2015, 157 (11): 35–50.
- [22] 李钢, 董敏杰, 沈可挺. 强化环境管制政策对中国经济的影响 [J]. 中国工业经济, 2012, 27 (11): 5–17. [Li G, Dong M J, Shen K T. The impact of intensified environmental regulations policies on China's economic growth [J]. *China Industrial Economics*, 2012, 27 (11): 5–17.]
- [23] 黄清煌, 高明. 环境规制对经济增长的数量和质量效应 [J]. 经济学家, 2016, 28 (4): 53–62. [Huang Q H, Gao M. Quantity and quality effects of environmental regulation on economic growth [J]. *Economist*, 2016, 28 (4): 53–62.]
- [24] 沈坤荣, 金刚, 方娴. 环境规制引起了污染就近转移吗? [J]. 经济研究, 2017, 52 (5): 44–59. [Shen K R, Jin G, Fang X. Does environmental regulation lead to the transition of pollution? [J]. *Economic Research Journal*, 2017, 52 (5): 44–59.]
- [25] 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): 62–65. [Zhong M C, Zhang X G. Summary about the critique of environmental Kuznets curve [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20 (2): 62–65.]
- [26] Coondoo D, Dinda S. Causality between income and emission: a country group-specific econometric analysis [J]. *Ecological Economics*, 2002, 40 (3): 351–367.
- [27] Dinda S. Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey [J]. *Ecological economics*, 2004, 49 (4): 431–455.
- [28] Skalin J, Terasvirta T. Another look at Swedish business cycle [J]. *Journal of Applied Econometrics*, 1999, 14 (4): 359–378.
- [29] Leamer E, Potter S. A nonlinear model of the Business Cycle [R]. Manuscript, Federal Reserve Bank of New York, 2003.
- [30] Krolzig H. M. Markov Switching Vector Autoregressions: Modeling, Statistical Inference and Application to Business Cycles Analysis [M]. Oxford: University of Oxford Press, 1997.
- [31] Hamilton J D. Analysis of time series subject to changes in regime [J]. *Journal of Econometrics*, 1990, 45 (2): 39–70.
- [32] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1978–2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 1978–2016.]
- [33] 中华人民共和国国家统计局, 中华人民共和国环境保护部. 中国环境统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1978–2016. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook on Environment [M]. Beijing: China Statistics Press, 1978–2016.]
- [34] 黎文靖, 郑曼妮. 空气污染的治理机制及其作用效果 [J]. 中国工业经济, 2016, 31 (4): 93–109. [Li W J, Zheng M N. Governance mechanism of air pollution and its effects [J]. *China Industrial Economics*, 2016, 31 (4): 93–109.]
- [35] 国家环境保护总局. 危险废物焚烧污染控制标准 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999. [State Environmental Protection Administration. Pollution Control Standard for Hazardous Wastes Incineration [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1999.]
- [36] 黄群慧. 中国的工业化进程: 阶段、特征与前景 [J]. 经济与管理, 2013, 27 (7): 5–11. [Huang Q H. The process of industrialization in China: stage, characteristic and prospect [J]. *Economy and Management*, 2013, 27 (7): 5–11.]
- [37] Stokey N L. Are there limits to growth? [J]. *International Economic Review*, 1998, 39 (1): 1–31.
- [38] Panayotou T, Peterson A, Sachs J. Is the Environmental Kuznets Curve Driven by Structural Change? [R]. CAER II Discussion Paper No. 80, 2000.
- [39] 张艳磊, 秦芳, 吴昱. “可持续发展”还是“以污染换增长”? [J]. 中国工业经济, 2015, 30 (2): 89–101. [Zhang Y L, Qin F, Wu Y. Sustainable growth or growth with pollution [J]. *China Industrial Economics*, 2015, 30 (2): 89–101.]
- [40] 王鹏, 谢丽文. 污染治理投资、企业技术创新与污染治理效率 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24 (9): 51–58. [Wang P, Xie L W. Pollution control investment, enterprise technical innovation and pollution control efficiency [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24 (9): 51–58.]
- [41] 陈诗一. 节能减排与中国工业的双赢发展: 2009—2049 [J]. 经济研究, 2010, 45 (3): 129–143. [Chen S Y. Energy-save and emission-abate activity with its impact on industrial win-win development in China: 2009—2049 [J]. *Economic Research Journal*, 2010, 45 (3): 129–143.]
- [42] 杨智峰, 汪伟, 吴化斌. 技术进步与中国工业结构升级 [J]. 财经研究, 2016, 42 (11): 44–59. [Yang Z F, Wang W, Wu H B. Technological progress and industrial structure upgrading [J]. *Journal of Finance and Economics*, 2016, 42 (11): 44–59.]



## The intrinsic associative mechanism between industrial economic growth and industrial pollution in China

SUI Jianli, LIU Biying, LIU Jinquan

(Center for Quantitative Economics, Jilin University, Changchun 130012, China)

**Abstract:** Industrial pollution is a serious problem in the process of human industrialization. In order to solve the problem in China, based on the industrial data of China's solid waste output ( $solid_t$ ), waste water emission ( $liquid_t$ ), waste gas exhaust ( $gas_t$ ) and economic growth ( $iav_t$ ), we built an industrial pollution and industrial economic growth system, namely " $solid_t - iav_t$ ", " $liquid_t - iav_t$ " and " $gas_t - iav_t$ ". Under this system, we measure the cyclicity of associative mechanisms between industrial economic growth and industrial pollution with the model of nonlinear MS-VAR. We capture and portray the regime transmission process of the industrial pollution and industrial economic growth system to identify whether the system is in "low growth regime" or "fast growth regime", so that the relationship between industrial pollution and industrial economic growth can be identified. We found that "industrial pollution and industrial economic growth" system exists a sign of structural mutation between "low growth regime" and "fast growth regime", and the system has a nonlinear characteristic of cyclic change. With the regime transforming, the relationship between industrial pollution and industrial economy will also change. While " $solid_t - iav_t$ " system is in "low (fast) growth regime",  $solid_t$  and  $iav_t$  are negatively (positively) related. Comparatively,  $liquid_t$  and  $iav_t$  are performing a negative (positive) relationship, when " $liquid_t - iav_t$ " system is in "fast (low) growth regime". No matter " $gas_t - iav_t$ " system is in "low growth regime" or "fast growth regime", the relationship between  $gas_t$  and  $iav_t$  is positive. What's more, for the " $solid_t - iav_t$ " system and the " $gas_t - iav_t$ " system, the possibility and sustainability in "low (fast) growth regime" is higher (lower). However, with a higher (lower) probability and stronger (weaker) durability, " $liquid_t - iav_t$ " system tends to be in "fast (low) growth regime".

**Key words:** industrial economic growth; industrial pollution; associative mechanism; cyclicity; China