



Study on the Relationship Between Air Pollution and Economic Development

Yang Zhanhong, Luo Hong, Wang Xiao

Department of Environment & Economy, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing, China

Email address:

yangzh@craes.org.cn (Yang Zhanhong), luohong@craes.org.cn (Luo Hong), wangxiao@craes.org.cn (Wang Xiao)

To cite this article:

Yang Zhanhong, Luo Hong, Wang Xiao. Influence of Titanium Carbide on the Three - Body Abrasive Wear Behaviour of Glass-Fabric Reinforced Epoxy Composites. *Science Discovery*. Vol. 6, No. 1, 2018, pp. 12-18. doi: 10.11648/j.sd.20180601.13

Received: January 19, 2018; **Accepted:** February 1, 2018; **Published:** March 9, 2018

Abstract: In recent years, the government has adopted a series of measures to control air pollution, and the atmospheric environment quality has been improved. However, the environmental air quality in China is still not ideal. In this paper, constructs a regression model based on the EKC hypothesis, and builds a Tapio decoupling model based on the decoupling theory. The relationships between atmospheric pollutants and GDP are analyzed by using these two methods. The atmospheric pollutants include SO₂, NO_x and CO₂. In the regression model, the quantitative relationship between atmospheric pollutants and GDP is established, and the characteristics and differences between the pollutants and GDP are analyzed. Also, the decoupling relationship between atmospheric pollutants and economic growth is analyzed by using decoupling model. Then, the mutual verification of these different methods are launched. On this basis, the new situation of air pollution in China under the background of ecological civilization construction is analyzed. At last, policy suggestions are put forward.

Keywords: EKC, Economic Growth, Air Pollution, Decoupling Analysis, CO₂

大气污染与经济发展的关系研究

杨占红, 罗宏, 王晓

环境与经济研究室, 中国环境科学研究院, 北京, 中国

邮箱

yangzh@craes.org.cn (杨占红), luohong@craes.org.cn (罗宏), wangxiao@craes.org.cn (王晓)

摘要: 近年来, 国家对大气污染采取了一系列治理措施, 大气环境得到一定改善, 但目前中国的环境空气质量状况仍不理想。本文通过构建基于EKC假说的回归模型和脱钩理论的Tapio脱钩模型, 以两种方法分别对SO₂、NO_x、CO₂与经济增长的关系进行相关性分析。回归模型中, 建立SO₂、NO_x、CO₂与GDP之间的量化关系, 分析各污染物与GDP之间关系的特点与异同; 利用脱钩模型, 分析SO₂、NO_x、CO₂与经济增长的脱钩关系, 并与回归模型相互印证。在此基础上, 分析生态文明建设的背景下中国大气污染面临的新形势, 提出应对建议。

关键词: EKC, 经济增长, 大气污染, 脱钩分析, CO₂

1. 引言

在当前经济发展模式下,经济的发展一般会伴随着资源消耗的增加和污染物排放的增加,大气污染也会对经济的发展产生影响。大气环境污染已成为经济发展、能源消费的重要约束条件。如何在发展经济的同时保护大气环境质量,是当前需要解决的重要问题。

2. 文献综述

大气污染物排放与经济发展的关系,与中国经济发展方式有关,也与大气污染防治的各项措施有关。国内外对大气污染与经济的关系开展了多项研究,如Bruvoll and Medin(2000)分析了1990-1999年挪威天气污染与经济增长的关系变化,认为经济增长导致了大气污染排放量增加了60% [1], Bernard等(2011)从二氧化碳和二氧化硫两种污染物出发证实了OECD国家存在倒U型关系[2, 3],还有学者通过EKC假说,认为环境污染的下降是由技术或人力资本对环境资源要素的替代所引起的[4], Dogan选取欧盟对CO₂与经济的关系验证了EKC假说, Menendez等对环境成本和可再生资源进行了EKC假说的验证, Hauff等对印度的饮用水及地下水等进行了EKC验证 [5~7]。De Bruyn(2000)将脱钩分成强脱钩和弱脱钩[8], Vehmas等(2003)将脱钩划分为强脱钩、弱脱钩、强复钩、弱复钩和扩张性复钩,并考虑到经济衰退提出了衰退性脱钩的概念 [9], Tapio进一步地将脱钩以弹性系数的形式呈现出来,将经济增长与污染物排放以率的变化,将脱钩系数进行了划分[10], Gray等对交通运输排放的CO₂与经济增长进行了脱钩分析[11]。国外的研究表明,在前期研究中,经济的增长导致了污染的增加,但后期的部分研究表明,经济发展与污染排放倒U型曲线和脱钩关系的存在,且研究对象逐渐向新的污染物或者其他资源扩展。

国内学者运用两种理论从不同角度分析研究了环境污染与经济增长的关系,包括从不同区域、不同污染物、不同时间段等,如王敏和黄滢(2015)对2003-2010年中国112个城市的研究发现,城市大气污染与经济增长之间存在倒U型关系[12], 范丹(2014)通过建立EKC曲线扩展模型对中国CO₂与经济的关系做了研究[13], 罗波等(2017)、尚杰等(2017)、王光升等(2014)分别对资源富集区、农业领域、沿海地区的经济增长与污染的关系做了EKC验证[14~16]。脱钩理论主要解释经济增长与污染排放是否同步变化的关联性,国内学者也分别从经济增长与污染排放、与碳排放、与工业污染物排放的脱钩关系,以及城市等区域的经济发展与环境污染的脱钩关系进行了研究[17~21]。

国内外的研究基本都以传统的污染物或者碳与经济的关系进行研究,未对两者的进行统一比较分析。中国污染控制SO₂和NO_x前后被列为总量控制指标之一,并在实施总量控制后,实现年排放量的逐年下降,但CO₂的排放控制,仍以排放强度的下降程度进行考核。本文以SO₂、NO_x、CO₂为大气污染替代变量,通过分析SO₂、NO_x、CO₂三者之间与经济增长关系的量化关系及相互之间的异同,

可在一定程度反应各污染物的治理效果,并为后续的污染因子治理提供借鉴经验,如NO_x控制对SO₂治理经验的借鉴,以及CO₂控制对NO_x和SO₂治理经验的借鉴,并通过分析各污染物与经济增长的关系,结合目前的大气污染防治新形势,提出中国新时期大气污染防治的应对建议。

3. 数据与方法

3.1. 研究数据

本文使用的数据中,经济数据以不变价GDP代表经济增长,主要来源于历年的《中国统计年鉴》;大气污染本身是一个难以量化的指标,本文以SO₂、NO_x和CO₂作为大气污染的替代变量,SO₂、NO_x主要来自历年的《环境统计年报》,CO₂来自《BP Statistical Review of World Energy June 2016》。样本的时间跨度为2000年—2015年。样本区间内,中国SO₂、NO_x、CO₂排放量与GDP增长情况见表1和图1。

表1 中国GDP及大气污染物排放数据。

年份	GDP (亿元)	SO ₂ 排放量 (万吨)	NO _x 排放量 (万吨)	CO ₂ 排放量 (千万吨)
2000	150269.2	1995.1	—	335.2671
2001	162434.8	1947.8	—	351.4958
2002	178022	1926.6	—	383.4211
2003	196670.6	2158.5	—	452.2606
2004	217340.1	2254.9	—	532.3306
2005	241031.1	2549.4	—	608.3598
2006	273105.8	2588.8	1523.8	666.1573
2007	313264.3	2468.1	1643.4	722.3889
2008	344838.9	2321.2	1624.3	736.2312
2009	374292.5	2214.4	1692.7	769.2532
2010	413030.3	2185.1	1852.4	811.8674
2011	452429.9	2217.9	2404.274	880.6716
2012	487976.2	2117.6	2337.762	897.938
2013	525835.4	2043.9	2227.359	921.8752
2014	564194.4	1974.0	2078.002	922.4102
2015	603212.1	1859.1	1851.024	916.4453
2016	643627.3	1102.9	1394.311	912.3049

注: GDP以2010年不变价计, NO_x自2006年开始全国范围统计。

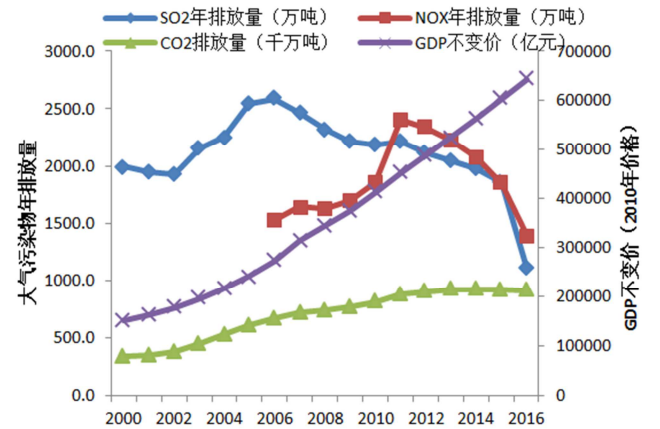


图1 中国大气污染物排放与经济发展趋势图。

3.2. 模型构建

本文试图在已有的研究基础上，通过构建回归模型和Tapio脱钩模型，以两种方法分别对SO₂、NO_x、CO₂与经济增长的关系进行分析验证，建立SO₂、NO_x、CO₂与GDP之间的量化关系，分析各污染物与GDP之间关系的特点与异同，并进一步对比两种方法结论的吻合性。

3.2.1. EKC模型构建

环境库兹涅茨曲线理论(Environmental Kuznets Curve, EKC)，又称“倒U曲线”，最开始是为研究经济发展而提出的[22]，之后，Grossman 和Kruger (1991)将此理论应用到了环境污染与经济发展的关系中，指出经济增长和环境污染会呈现一种倒U型曲线关系，即在追求经济过快增长中，忽略环境的保护，引起环境污染加重，但当经济增长到一定水平后，污染程度达到峰值，之后又会随着经济的进一步增加，人们开始加强环境的保护，污染程度逐渐降低，进而呈现倒U形[23]。

大气污染的驱动因素有很多，包括GDP产值、能源消费、科技进步、产业结构、污染防治措施等等，而各项因素也会影响GDP产值，相互关联性导致污染物的排放与GDP可能不会呈现简单的直线或者倒U形曲线关系。本文尝试建立大气污染排放与GDP的高阶曲线关系，以经济发展指标为横坐标，以环境指标为纵坐标，采用简化的一元高次幂函数方程，公式为：

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \dots + \beta_nx^n + \xi \quad (1)$$

其中，y表示SO₂、NO_x和CO₂等污染物排放量，x表示地区生产总值，β_n (n=0,1, 2.....) 为模型的参数，它们取值的不同，反映经济增长与大气污染排放之间的关系。自变量GDP以不变价（2010年价格）计算，以SO₂、NO_x和CO₂排放总量为因变量，研究经济增长与污染物排放之间的关系，通过回归模拟，建立函数关系。

3.2.2. Tapio脱钩模型构建

根据EKC假说，经济的增长一般带来环境的污染和资源的消耗，但当采取一些有效措施后，可能会以较低的环境代价换来经济的增长，这个过程被称为脱钩，即EKC曲线跨越拐点的后半段。脱钩理论是经济合作与发展组织(OECD)提出的，用于分析经济发展与资源消耗或环境污染之间的关系[24]。本文利用Tapio脱钩模型[10]，对2000年以来中国大气污染排放和经济发展统计数据之间的脱钩关系进行测度。在Tapio脱钩模型中，将弹性指数e作为主要脱钩指标，计算公式为：

$$e(\text{SO}_2, \text{GDP}) = (\frac{\Delta \text{SO}_2}{\text{SO}_2}) / (\frac{\Delta \text{GDP}}{\text{GDP}}) \quad (2)$$

$$e(\text{NO}_x, \text{GDP}) = (\frac{\Delta \text{NO}_x}{\text{NO}_x}) / (\frac{\Delta \text{GDP}}{\text{GDP}}) \quad (3)$$

$$e(\text{CO}_2, \text{GDP}) = (\frac{\Delta \text{CO}_2}{\text{CO}_2}) / (\frac{\Delta \text{GDP}}{\text{GDP}}) \quad (4)$$

根据Tapio对弹性指数的划分，本文将弹性指数值根据脱钩或未脱钩划分为6种类型，如图1所示。其中强脱钩

是实现经济低碳化发展的最理想状态；相应地强负脱钩为最不利状态。

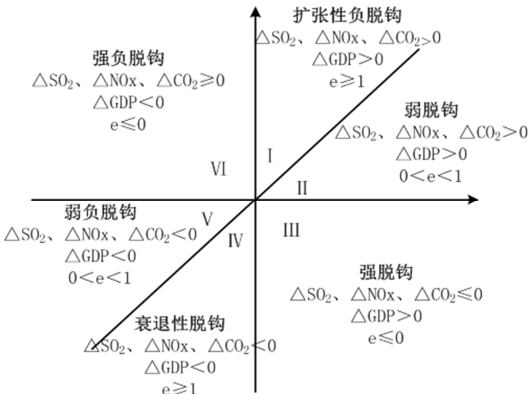


图2 大气污染物排放与经济增长脱钩分析模型。

4. 结果讨论

4.1. EKC分析结果

(1) 简化的EKC曲线分析

经分析验证，中国SO₂和NO_x排放与GDP呈现倒U关系，简化的EKC曲线关系如图所示，对应的关系方程式及关系曲线见图3和图4，拟合相关系数一般，分别为0.7928和0.7031。而CO₂与GDP呈正向直线关系，对应的关系图及关系方程式见图5，拟合系数为0.8802。

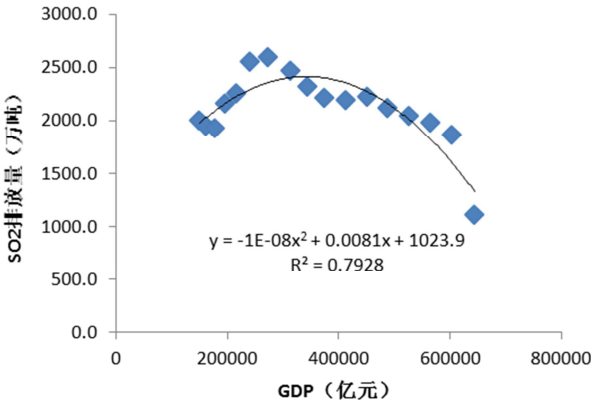


图3 SO₂排放与GDP的简化关系曲线。

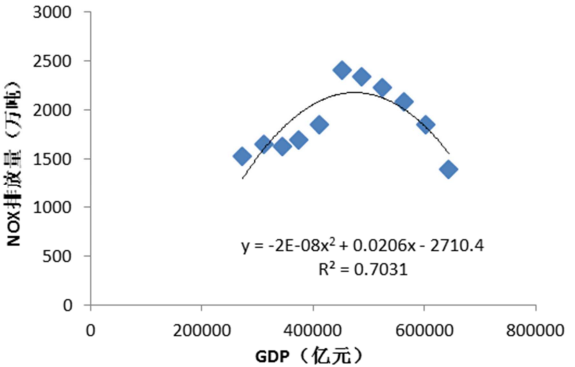


图4 NO_x排放与GDP的简化关系曲线。

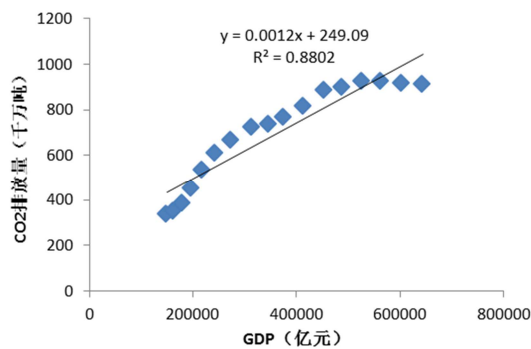


图5 CO₂排放与GDP的简化关系曲线。

表2 大气污染物排放总量与GDP的关系。

污染物	模拟方程	相关系数
SO ₂	$y=5E-15x^3-2E-08x^2+0.0102x+805.43$	$R^2=0.7945$
	$y=-2E-24x^5+3E-18x^4-2E-12x^3+6E-07x^2-0.0752x+5115$	$R^2=0.9438$
	$y=7E-30x^6-2E-23x^5+2E-17x^4-1E-11x^3+3E-06x^2-0.3479x+19187$	$R^2=0.9569$
NO _x	$y=-1E-13x^3+1E-07x^2-0.051x+7359$	$R^2=0.8983$
	$y=4E-24x^5-8E-18x^4+6E-12x^3-3E-06x^2+0.5033x-36266$	$R^2=0.9286$
	$y=-8E-29x^6+2E-22x^5-2E-16x^4+1E-10x^3-5E-05x^2+8.481x-577005$	$R^2=0.9695$
CO ₂	$y=4E-15x^3-7E-09x^2+0.0053x-311.2$	$R^2=0.9918$
	$y=-2E-26x^5+1E-20x^4+2E-14x^3-2E-08x^2+0.009x-631$	$R^2=0.9940$
	$y=3E-30x^6-6E-24x^5+6E-18x^4-3E-12x^3+7E-07x^2-0.0898x+4465.4$	$R^2=0.9982$

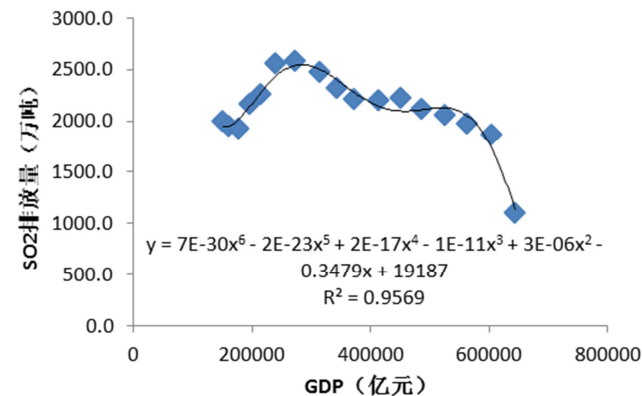


图6 SO₂排放与GDP的高阶关系曲线。

(2) 高阶曲线分析

鉴于SO₂与NO_x排放量与GDP的二次方程拟合相关系数不高,尝试高次幂进行相关性研究。通过不断尝试发现,随着n值的不断增加,拟合相关系数也不断提高,当n为6的时候,R²分别达到了0.9569和0.9695,CO₂与GDP的拟合系数也随着n的增加而提高。可见,污染物与GDP之间的关系均可以拟合为一元高次幂函数方程式,且拟合程度均较高,充分体现了大气污染物与经济发展之间的关系。

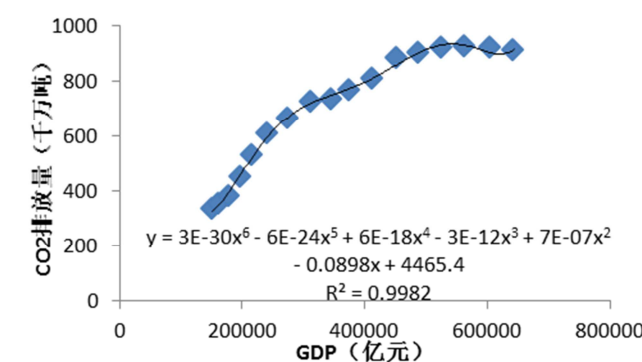


图8 CO₂排放与GDP的高阶关系曲线。

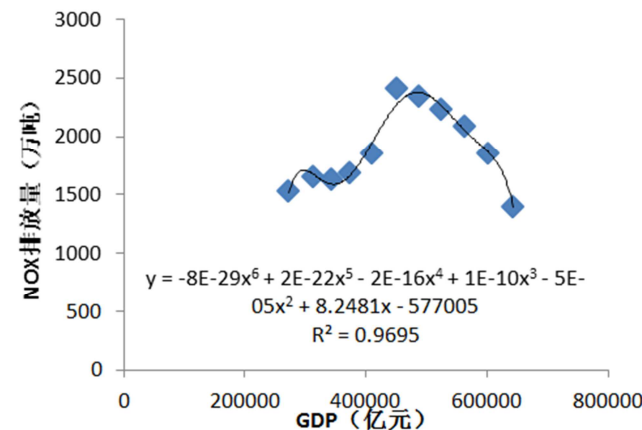


图7 NO_x排放与GDP的高阶关系曲线。

(3) 各污染物曲线对比分析

由图3至图8可知,SO₂和NO_x与GDP的关系图较为相似,均已呈现倒U型,随着经济的增长达到峰值后转而下降,但由于SO₂实施总量控制较早,峰值出现也较早;NO_x实施总量控制后也随着经济的增长而排放量下降。CO₂与GDP关系与SO₂和NO_x不同,整体呈现正向增长关系,即随着GDP的增长而排放量增加,但是在2015年起开始出现下降态势。

4. 2. 脱钩弹性e的结果分析

根据公式测算中国经济增长与SO₂、NO_x和CO₂排放之间的脱钩弹性系数,如表3所示。

表3 Tapio弹性e计算结果汇总表。

年份	$E_{SO_2, GDP}$	脱钩状态	$E_{NOx, GDP}$	脱钩状态	$E_{CO_2, GDP}$	脱钩状态
2001	-0.32	强	—	—	0.62	弱
2002	-0.13	强	—	—	0.95	弱
2003	1.13	扩张	—	—	1.61	扩张
2004	0.45	弱	—	—	1.58	扩张
2005	1.18	扩张	—	—	1.27	扩张
2006	0.13	弱	—	—	0.74	弱
2007	-0.38	强	0.57	弱	0.61	弱
2008	-0.69	强	-0.13	强	0.21	弱
2009	-0.61	强	0.51	弱	0.55	弱
2010	-0.14	强	0.92	弱	0.56	弱
2011	0.17	弱	2.64	扩张	0.90	弱
2012	-0.65	强	-0.39	强	0.26	弱
2013	-0.50	强	-0.69	强	0.36	弱
2014	-0.52	强	-1.06	强	0.01	弱
2015	-0.96	强	-1.90	强	-0.10	强
2016	-10.92	强	-5.22	强	-0.07	强

注：GDP以2010年不变价计，NOx自2006年开始全国范围统计。“弱”表示弱脱钩，“强”表示强脱钩，“扩张”表示扩张性负脱钩。

总体来看，SO₂和NO_x排放与经济增长之间的脱钩关系主要呈现强脱钩和弱脱钩关系，CO₂和经济增长主要呈现弱脱钩关系，个别年份会呈现扩张性负脱钩。中国经济一直呈现增长态势，影响脱钩关系的因素主要取决于污染物排放的变化量，即污染物排放呈现增长态势还是下降态势，以及增长速率与经济增长速率的比较。其中，污染物排放与经济增长的脱钩程度随着宏观经济形势和政策调控变化波动较大，脱钩状态中，出现的几次“拐点”，均与宏观经济形势和政策有关[25]。如SO₂与经济增长的关系，受2000年以后，中国经济复苏的影响，经济增长和工业化速度加快，工业经济进入高度发展阶段，但整个经济依然是以粗放型为特征，产业结构不合理，处于“三高一低”（高投入、高能耗、高污染、低效率）发展模式，能源量增长迅速，导致污染物排放增速大于经济增速，使脱钩弹性系数持续增大，2003年超过1，出现了扩张性负脱钩状态，2004弹性系数也维持在较高状态，2005年再一次超过1，直至2006年，国务院发布了《关于加强节能工作的决定》，2007年和2011年分别发布了《节能减排综合性工作方案》和《“十二五”节能减排综合性工作方案》，并制定了一系列节能减排措施，同时随着中国经济发展方式的转变、产业结构的调整及发展环境友好经济，国家重视节能减排，出台了一系列相关措施，使脱钩弹性系数下降，维持在强脱钩状态[26, 27]。

NO_x排放与经济增长的关系与SO₂类似，NO_x排放量自2006年开始全面统计，自2011年起机动车尾气污染物排放情况与生活源分开单独统计，且开始将其作为约束性指标进行总量控制，统计的完善和总量控制的实施，导致2011年NO_x排放量统计数据增高，出现了扩张性负脱钩状态，之后随着节能减排的实施和对NO_x的总量控制，使脱钩弹性系数下降，维持在强脱钩状态。

CO₂排放与经济增长的关系，落后于SO₂和NO_x，主要受CO₂在在很长时期不涉及排放空间的稀缺性问题，排放规律更多的反映了经济发展的自然规律，2006年之后，随着国务院发布的《关于加强节能工作的决定》和《节能

减排综合性工作方案》等，能源消耗的降低使CO₂排放增速放缓^[17]。且随着中国对气候变化的重视，2014年制定了第一部应对气候变化中长期规划《国家应对气候变化规划（2014—2020年）》，2015年6月30日，正式公布中国国家自主贡献预案：《强化应对气候变化行动——中国国家自主贡献》，2015年CO₂排放总量首次出现下降，与经济呈现强脱钩关系。

4. 3. 两种模型对比分析

在分析大气污染物排放与经济增长的关系时，环境库兹涅茨曲线理论和Tapio脱钩理论都是最常用的理论，二者在度量环境友好型经济时都有很好的适用性。本文将EKC理论与脱钩理论同时用于中国大气污染物排放与经济增长的实证分析，在分别分析相关性及脱钩状态的同时，相互验证结果。对比结果显示，两种方法得出的中国大气污染物排放与经济增长的关系不冲突，相互印证吻合，即EKC分析表明，中国GDP与SO₂和NO_x排放量均相关，且呈现倒U型关系，大气污染物的排放量随着经济的增长，污染物排放逐步下降的态势，这也表明中国目前GDP与大气污染物排放出现脱钩现象；Tapio脱钩分析显示，中国“十一五”以来，大气污染物排放与经济增长整体呈现脱钩关系，即随着经济的不断增长，SO₂和NO_x不断下降，两种分析方法结论一致。

中国GDP与CO₂排放量的关系，EKC分析表明，中国GDP与CO₂排放量相关，整体仍呈现正向线性关系，但基本处于拐点阶段；Tapio脱钩分析显示，中国GDP与CO₂排放量的关系已由扩张性负脱钩状态经弱脱钩过渡为强脱钩，未来将进一步稳定在强脱钩状态，两种分析方法结论也一致。

中国GDP与SO₂、NO₂的关系与CO₂的不同，究其原因，主要受国家政策导向影响，SO₂、NO₂作为主要污染物总量控制指标实施多年，SO₂、NO₂已实现逐年下降，而CO₂尚未作为污染物进行总量控制，排放量直至2015年才出现首次下降，因此，中国GDP和CO₂的关系曲线将落后于SO₂、NO₂，但随着对CO₂控制力度的重视与加强，中国GDP与CO₂将逐步呈现倒U型关系，实现强脱钩。

5. 大气污染防治面临的新形势

（1）细颗粒物污染现象突出

2016年，全国地级及以上城市SO₂和NO₂达标天数分别达到99.5%和98.4%，而PM_{2.5}达标天数为85.3%，以PM_{2.5}为首要污染物的天数占重度及以上污染天数的80.3%。在部分重污染天气，甚至出现全国各城市细颗粒物均严重超标的现象。为了应对细颗粒物污染严重等问题，中国已开展大气污染源排放清单编制及大气污染源解析等工作，以便在彻底排查摸底的基础上，针对各区域的具体问题进行对症下药。

（2）大气复合污染加剧

随着经济的发展，大气污染物的种类不断增多，各种大气污染物在排放中及空气中，形成大气复合污染，即污染物多种共存，并相互结合或反应形成新的污染物质，导

致出现严重单位雾霾天气,甚至是光化学烟雾^[18]。近年来,长三角、京津冀等地区雾霾现象频发。同时,由于各城市机动车数量的增长较快,使得NO_x减排压力陡增,而NO_x作为PM_{2.5}和O₃的前体物,也加剧了大气复合污染现象。

(3) 控制措施趋向联防联控

面对频繁出现的区域性污染,国家未来的大气污染防治措施将逐步转向为区域性的联防联控措施,各科研院所等机构也将研究的目标投向联防联控技术等,如对区域机动车排放综合控制和绿色交通管理技术的研究,对京津冀等重点区域开展了大气污染联防联控技术集成与应用示范,将大气污染区域间的输送规律作为重点着力点,并提出要重点支撑区域重污染天气显著减少,PM_{2.5}和臭氧等污染物优先达标的目标。在未来的大气污染防治中,区域性的大气污染控制管理机构或将逐步建立,并发挥重要作用。

6. 应对建议

(1) 扩大推广SO₂和NO_x控制经验

中国SO₂和NO_x排放与GDP已呈现倒U和脱钩状态,污染防治的措施可逐步总结并应用于其他污染物控制中,如对细颗粒物和CO₂的减排和总量控制等,逐步在延续治理SO₂和NO_x的同时,加强对颗粒物和CO₂的控制。

(2) 加快推进大气污染协同控制

SO₂、NO_x、PM和CO₂很多时候出自同一个排污口,在治理单个污染物的同时,更应加强多污染物的协同控制,积极研发和推广多污染物协同控制技术,合理选择和搭配各治理措施,使其不仅能起到治理重点控制的污染物,更能起到协同控制最优的效果,进而减少污染物排放,特别死减少复合污染,改善环境质量,达到大气污染与经济增长的进一步脱钩。

(3) 加快推进区域大气污染联防联控

加快推进区域大气污染联防联控研究与应用,弄清污染成因与传输影响机制,建立区域大气污染预报预警机制,建立区域联防联控机制与平台,协商统筹,解决因区域传输造成的大气污染。

(4) 转变经济增长方式

要实现大气污染与经济增长的进一步脱钩,改善环境质量,必须通过转变经济增长方式来实现。大力调整产业结构,以资源环境承载力以及节能减排目标为约束条件统筹谋划未来产业发展方向,推进经济结构的战略性调整和升级。积极推进科技进步和创新,增强自主创新能力,鼓励低碳环保技术创新,推动创新成果转化推广。

参考文献

- [1] Bruvoll A, Medin H. Factoring the environmental Kuznets curve Evidence from Norway [J]. Statistics Norway, Research Department in its series Discussion Papers, 2000(7), No.275.
- [2] Bernard J T, Gavin M, Khalaf L, et al. The Environmental Kuznets Curve: Tipping Points, Uncertainty and Weak Identification [J]. Cahiers De Recherche Create, 2011, 60(2):285~315.
- [3] Ma S, Shi L. The Micro-foundations of the Environmental Kuznets Curve[J]. Fudan Journal of the Humanities & Social Sciences, 2014, 7(3):471~482.
- [4] DINDA S. Environmental Kuznets Curve hypothesis: a survey[J].Ecological economics, 2004, 49(4):431-455.
- [5] Dogan E, Seker F. Determinants of CO₂ Emissions in the European Union: The Role of Renewable and Non-renewable Energy[J]. Renewable Energy, 2016, 94: 429-439.
- [6] Menendez A J L, Prezr R, Moreno B. Environmental Costs and Renewable Energy:Re-visiting the Environmental Kuznets Curve [J]. Journal of Environmental Management, 2014, 145(1):368-373.
- [7] Hauff M V, Mistri A. Environmental Kuznets Curve (EKC): Implications on Economic Growth, Access to Safe Drinking Water and Ground Water Utilization in India[J]. Journal of Fish Biology, 2015,79(6):1563~1591.
- [8] De Bruyn S M. Economic growth and the environment[J]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000, 62.
- [9] Vehmas J, Kaivo-oja J, Luukkanen J. Global trends of linking environmental stress and economic growth[J]. TUTU publications, 2003, 7: 1~25.
- [10] Tapio P. Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland between 1970 and 2001 [J]. Journal of Transport Policy, 2005, (12): 137~151.
- [11] GRAY D, ANABLE J, ILLINGWORTH L, et al. Decoupling the link between economic growth,transport growth and carbon emissions in Scotland [R]. Edinburgh: The Scottish Executive, 2006.
- [12] 王敏, 黄滢.中国的环境污染与经济增长[J].经济学, 2015, 14(2): 557~578.
- [13] 范丹.中国二氧化碳EKC曲线扩展模型的空间计量分析[J].宏观经济研究, 2014(5):83~91.
- [14] 罗波, 张金锁, 张伟等.资源富集区经济发展与环境污染的EKC实证研究——以扇贝地区为例 [J]. 中国煤炭, 2017,43(5):10~15.
- [15] 尚杰, 李新, 邓雁云.基于EKC的农业经济增长与农业面源污染的关系分析——以黑龙江省为例[J].生态经济, 2017, 33(6):157~166.
- [16] 王光升, 郭佩芳, 谭映宇, 等.基于单位根检验的沿海地区经济增长与海洋环境污染面板数据EKC分析[J].海洋环境科学, 2014, 03: 425~430.
- [17] 李斌, 曹万林.经济发展与环境污染的脱钩分析[J].经济动态, 2014, (7):48~56.
- [18] 彭佳雯, 黄贤金, 钟太洋, 等.中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究[J].资源科学, 2011, 33(04): 626~633.

- [19] 方佳敏, 林基. 中国工业行业经济增长与二氧化碳排放的脱钩效应—基于工业行业数据的经验证据[J]. 科技管理研究, 2015, 20: 243~248。
- [20] 夏勇, 胡雅蓓. 经济增长与环境污染脱钩的因果链分解及内外成因研究—来自中古30个省份的工业SO₂排放数据[J]. 产业经济研究, 2017, (5): 100~113。
- [21] 夏勇, 钟茂初. 经济发展与环境污染脱钩理论及EKC假说的关系—兼论中国地级城市的脱钩划分[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(10): 8~16。
- [22] Kuznets S. Economic growth and income inequality [J]. American Economic Review, 1955, (45): 1—28.
- [23] Grossman G. and Krueger A. Environmental impacts of the North American Free Trade Agreement [D]. NBER, working paper, No.3914, 1991.
- [24] OECD. Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressures From Economic Growth [R]. Paris: OECD, 2002.
- [25] 杨占红, 吕连宏, 曹宝等. 国际能源消费特征比较分析及中国发展建议[J]. 地球科学进展, 2016, 31(1): 94~102。
- [26] 杨占红, 裴莹莹, 罗宏等. 国际碳排放特征演进及中国应对建议[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(03): 185~192。
- [27] 谢振明. 大气污染治理形势及其存在问题和建议[J]. 能源与环境, 2016, (1): 53~54。