



基于面板门槛模型的中国雾霾($PM_{2.5}$) 库兹涅茨曲线研究

齐绍洲 严雅雪

摘要: 将人均 GDP 和第二产业增加值占比作为门槛变量,利用门槛模型对我国 232 个城市分为四组进行研究,在构建的雾霾($PM_{2.5}$)污染 EKC 模型中加入产业结构、政府投入、技术投入、环境规制和绿地面积对我国雾霾($PM_{2.5}$)EKC 本土化特征进行实证研究,发现不同的城市组别具有不同的 EKC 特征,研究结论如下:有 12 个城市的雾霾环境库兹涅茨曲线呈现倒 U 型,有 38 个城市呈现微弱正 U 型曲线,有 36 个城市呈现单调递增线性关系,有 164 个城市出现正 U 型曲线。还发现在研究样本的 232 个城市中,大部分城市的雾霾浓度随着经济增长而增长。其他影响因素中,环境规制和政府财政投入会降低雾霾浓度,而第二产业比例则显著影响着雾霾浓度的升高。

关键词: 雾霾($PM_{2.5}$)污染;环境库兹涅茨“异质性”;门槛效应模型

中图分类号: X513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7320(2017)04-0080-11

一、引言

随着中国工业化、城镇化的快速推进,大气污染日趋严重,雾霾污染频发已成常态。根据世界卫生组织(WHO)发布的 2016 年全球污染数据库显示,城市 $PM_{2.5}$ 平均浓度最高的前 100 个城市中有 30 个为中国城市。因此,改善环境、降低雾霾、保持经济增长在合理的区间运行,已经是国人的共识。所以,实现经济增长与“治霾”的双赢目标”是当前政府和学界共同面临的重大现实问题。国内外有较多学者借助环境库兹涅茨曲线分析框架来研究经济对大气环境污染的影响,因为环境库兹涅茨假说是对环境变化与经济增长关系研究的经典表述,具有普遍的解释力,各国环境与收入之间的关系可能遵循大体上相似的演变规律,但当经济发展水平、能源结构、第二产业比例等方面存在着较大差异时,不同国家出现的拐点值和 EKC 曲线形状就具有较强的国别和区域特征,而我国国土面积广袤,不同的城市在经济初始条件、经济发展水平、资源要素禀赋、气候条件等方面均存在着差异,以致环境库兹涅茨曲线形状可能不同。环境库兹涅茨曲线形状的不同说明经济增长与雾霾污染关系的不同,对经济增长与雾霾污染关系的正确判断可以提高政府决策的准确性和有效性。故笔者试图通过门槛效应模型对我国 232 个城市进行分组研究,来科学判断我国雾霾 EKC 曲线,识别和考察中国雾霾 EKC 是否存在“本土化”的特征,为制定“治霾”政策提供经验支持。

二、文献综述

目前学术界关于大气污染物 EKC 的研究结论主要分为三类:

第一类即经济增长与环境质量呈现倒 U 型的二次曲线关系,第二类为线性的正相关

或负相关;第三类为其他形状。

第一类研究中 Grossman & Krugger(1991)最先提出环境库兹涅茨曲线,通过利用 42 个国家的 SO₂ 和细小颗粒物的面板数据,通过 GLS 方法证实人均收入和 SO₂ 存在倒 U 型曲线关系。后来较多学者利用不同国家面板数据,证实了本国的经济增长与雾霾浓度之间倒 U 型关系,如 Selden & Song(1994)、Song(2008)、Al-Mulali(2014)、Auffhammer & Carson(2008)、Kasman & Duman(2015)等。国内学者吴玉萍(2002)等考察了北京市的人均 GDP 与环境污染物排放的关系,提出北京的经济增长与环境污染的各指标之间呈现倒 U 型曲线关系,而且北京的污染物排放的拐点到达时间将比其他发达国家更早。刘华军、闫庆悦(2011)发现人均 GDP 与碳排放量之间的关系呈倒 U 型环境库兹涅茨曲线,在我国京沪津地区雾霾污染呈现下降段,而其他人均碳排放量处于上升段。许广月、宋德勇(2010)发现中国国家层面及其东部地区存在碳排放库兹涅茨曲线,而西部地区不存在此曲线。周璇、孙慧(2013)认为只有部分省份工业废水排放量与经济增长之间的关系存在环境库兹涅茨曲线,不同区域间的环境库兹涅茨曲线拐点和形状均存在异质性。

第二类研究中,有一部分研究认为经济增长与环境污染之间存在单调递增的关系,如 Holtz Eakin & Selden(1995)利用 1951—1986 年 130 个国家的 CO₂ 面板数据,证实了经济增长与 CO₂ 之间存在单调递增的关系。还有 Fodha & Zaghoud(2010)通过协整的方法,利用 1961—2004 年突尼斯的面板数据,发现经济增长与 SO₂ 之间存在倒 U 型曲线关系,但是与 CO₂ 存在单调递增的曲线关系。Ahmet & Long(2011)通过固定效应模型和工具变量回归的方法考察了 213 个国家的经济增长与环境压力之间的关系,其研究结果并不支持经典的 EKC 假说,该研究发现经济增长对环境的影响在中等收入的国家最大。另一部分研究认为人均 GDP 与环境恶化之间存在线性正相关关系。如 Nasir & Rehman(2011)、Jaunky(2011)、Saboori & Sulaiman(2011)、Shahbaz et al.(2011)、Arouri et al.(2012)等。同时,虽然碳排放不是环境污染物,但较多学者对经济增长与碳排放量之间的关系做了较为深入的研究。郑长德、刘帅(2011)利用空间计量模型发现,我国碳排放量在地区分布上存在集聚效应,经济增长与碳排放量呈现正向线性关系。

第三类是其他形状,包括 N 型、U 型等其他形状。其中 Friedl & Getzner(2003)利用 1960—1999 年澳大利亚的面板数据,通过协整检验的方法证实了澳大利亚的经济增长与 CO₂ 之间存在 N 型库兹涅茨曲线关系。符森(2008)利用非参数方法对我国废水、废气、固体废弃物三种污染物与经济增长之间的关系进行实证分析,发现整体污染、水污染、大气污染和固体废物污染曲线都呈现倒 U 型曲线,而且大部分省份地区都在工业化中级阶段。林伯强、蒋竺均(2009)利用对数平均迪氏分解法(LMDI)和 STIRPAT 模型分析碳排放影响因素,发现碳排放的库兹涅茨曲线拐点水平为人均收入 37170 元,但拐点可能要到 2040 年以后才出现。高静、黄繁华(2011)认为我国东部地区的经济增长与环境污染之间存在倒 U 型环境库兹涅茨曲线,中部地区不存在环境库兹涅茨曲线,而西部地区呈现正 U 型曲线关系。邵帅、李欣(2016)采用省级面板数据,利用空间面板模型结合系统广义矩估计方法对雾霾污染的经济动因进行了识别,发现经济增长与雾霾均存在显著的 U 型曲线关系。何枫、马栋栋(2015)利用 Tobit 模型针对工业化对雾霾污染的影响进行了实证考察,提出雾霾污染与经济增长之间呈现 N 型曲线关系。

上述文献从国家层面的经济增长对环境污染进行了经验考察和研究,为宏观环境政策提供了丰富的经验成果,但雾霾污染 EKC 延伸至国家内部区域层面进行研究还十分匮乏,这种“短板”现象影响了治霾政策的系统性和完整性。国家层面的环境库兹涅茨曲线隐含着同质性假设,即假设中国各城市间影响环境的因素和方向是相同的,这一假设否认了中国城市在地理位置、产业结构、技术发展水平、市场成熟度、基础设施投入、资源禀赋、气候条件等方面的差异,而中国国土面积广袤,依据同一种标准去考察雾霾污染库兹涅茨曲线可能导致估计的偏误。因此,考察我国城市间的雾霾(PM_{2.5})库兹涅茨曲线的“异质性”至关重要。为了准确考察雾霾(PM_{2.5})库兹涅茨曲线,本文在研究方法上、选择指标上进行了如下拓展:

第一,在研究方法上,利用门槛效应模型可以自动识别的数据内生特征来对研究对象进行有效的划分,克服了一般线性模型对非线性关系的解释力不强、划分的组别趋同性较弱、设定分组标准时出现的主观随意等问题。故本文将采用的 Hansen 的面板门槛模型将样本划分为不同区间,通过数据自动识别来确定门槛值,划分出趋同性较强的组别。将我国 232 个地级市分为 4 个不同的组别来考察我国 EKC 曲线的特征,再利用固定效应模型、随机效应模型以及混合 OLS 模型进行考察。

第二,在指标选择方面,由于在经济增长过程中不可避免的消耗化石能源从而产生和排放各种污染物,随着技术的进步,空气中的所含污染物的结构在不断地发生变化。Arrow et al. (1995)认为在人均收入不断增长时,某一些污染物的减少或者增加均将导致污染结构发生不断的变化。后工业化时代,除了传统污染物的影响外,新型技术产生的污染逐渐侵入了环境,相对于传统大气污染物,PM_{2.5}分为一次排放源和二次转化源,其中二次转化的贡献可达 PM_{2.5}总质量浓度 50%,故 PM_{2.5}更能代表大气复合污染的复合性及复杂的综合信息,并直接客观地反映了经济增长与雾霾污染之间的关系,而现以传统大气污染排放作为研究对象的文献已较为丰富,但关于 PM_{2.5}库兹涅茨曲线的研究仍然比较匮乏。而大气污染物中的新型污染物对 EKC 的影响的研究不容忽视。

故本文利用的是由巴特尔研究所公布的、基于气溶胶光学厚度(AOD)的卫星监测数据转化而成的栅格数据,并将其采用 Arcgis 软件进行解析,准确得到了 1998—2012 年中国大陆 232 个城市的 PM_{2.5}浓度年均值数据。利用门槛效应模型将人均 GDP 和第二产业增加值占比作为门槛变量,利用门槛模型对我国 232 个城市分为四组进行研究,在构建的雾霾污染 EKC 模型中加入第二产业比例、政府投入、技术投入、环境规制和绿地面积对我国雾霾(PM_{2.5})EKC“本土化”特征进行实证分析,旨在考察在不同的城市组别中雾霾(PM_{2.5})EKC 特征的差异性和趋同性。

三、模型构建和数据来源

(一) 回归检验模型

Shafik & Bandyopadhyay(1992)认为,环境库兹涅茨曲线检验模型应该先设定为三次方的形式,如果三次方形式不显著,就再检验二次方形式,如果二次方形式仍不显著,则可以拟合为线性关系。按照以上思路,初始模型可以写为:

$$\ln PM_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln agdp_{it} + \beta_2 (\ln agdp_{it})^2 + \beta_3 reg_{it} + \beta_4 gov_{it} + \beta_5 tech_{it} + \beta_6 is_{it} + \beta_7 \ln gl_{it} + \mu_{it} \quad (1)$$

式(1)中,lnPM_{it}表示第*i*个地区第*t*个时期的 PM_{2.5}浓度,reg_{it}为第*i*个地区的环境规制水平、gov_{it}为第*i*个地区的政府财政投入(科技投入除外)、tech_{it}为第*i*个地区的技术研发投入、is_{it}为第*i*个地区的第二产业增加值占 GDP 比例、gl_{it}为第*i*个地区的园林绿地面积,μ_{it}为正态分布的随机误差项。

(二) 门槛模型

彭迪云(2015)认为门槛效应是指由于一个经济参数达到某一个特定的值而引起另一个经济参数发生方向上的变化或数量上变化的现象,这个解释变量的临界值即为门槛值。笔者在 Hansen(1999)的门槛模型基础上,先将雾霾浓度作为因变量,再利用人均收入和产业结构的门槛变量,依据数据内生特征将研究样本划分为不同组别,然后利用固定效应模型和随机效应模型进行分组回归检验。依照门槛值分组后,再将雾霾浓度作为因变量,人均 GDP 作为核心解释变量,人均收入作为门槛变量,考察在不同经济发展阶段下的经济增长对雾霾浓度的非线性影响,选取人均收入为门槛变量,环境规制水平、政府财政投入、第二产业增加值比例、技术研发投入、园林绿地面积五个指标为控制变量。借鉴 Hansen 提出的面板门槛模型理论,笔者构建如下回归模型:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 xI(q_{it} \leq \gamma) + \beta_2 xI(q_{it} > \gamma) + \epsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中,Y_{it}为雾霾(PM_{2.5})浓度值,其中*i*代表观察个体,*t*代表时间,*x*为控制变量,包括环境规制水平、政府财政投入、第二产业增加值占比、技术研发投入、园林绿地面积等影响 PM_{2.5}浓度的因素;q_{it}

代表门槛变量(本文的门槛变量分别设定为人均实际 GDP 和第二产业比例)。γ 代表不同的门槛值,β₀ 为待估计的控制变量系数,β₁ 和 β₂ 分别为不同区间内的待估计的门槛变量系数,I 为指示函数,其目的在于按门槛值进行样本分段;ε_{it} 为随机干扰项。

(三) 数据来源及说明

被解释变量:雾霾(PM_{2.5})浓度。本文所采用的源数据来自巴特尔研究所的卫星监测数据,笔者将栅格数据形式的全球 PM_{2.5} 浓度的监测数据解析为中国 232 个城市的年均 PM_{2.5} 浓度数据(不包括香港、澳门、台湾、西藏)。由于该机构所公布的 1998—2012 年的 PM_{2.5} 的数据是三年滑动平均值,故其他解释变量亦需要做三年滑动平均处理。

门槛变量:(1)人均 GDP(agdp)。人均地区生产总值表征了各省市的经济规模水平。本文所采用的人均 GDP 数据是经过 GDP 平减指数(以 1998 年为基年)调整后的实际人均 GDP,用以表征不同经济规模下经济增长对中国雾霾(PM_{2.5})污染的影响。(2)产业比重(is),一般来说,一个城市的第二产业比重与能源弹性系数为正比例关系。而在其他条件不变的情况下,能耗的增长自然会导致雾霾(PM_{2.5})浓度升高。故笔者选择第二产业增加值占 GDP 比重来反映研发投入的变化对雾霾(PM_{2.5})污染的影响。

控制变量:(1)绿地面积(gl),雾霾(PM_{2.5})产生原因有建筑工地扬尘、供暖火电站燃煤废气排放、汽车尾气排放、工业喷涂排放、工厂生产过程排放等,而绿化面积覆盖率表征了城市的自我生态恢复能力和城市公共设施的污染吸纳能力,通过增加绿化植被可以来吸附空气中的 SO₂ 和粉尘等有毒物质。故笔者选用城市绿地面积覆盖率来反映城市绿化水平对雾霾(PM_{2.5})污染的影响。(2)政府投入(gov),国家采取财政、税收、价格、政府采购等方面的政策和措施来支持雾霾的治理,体现了国家财政投入对“治霾”的支持力度。故笔者采用地方政府财政支出(不包括科技支出)来表征政府行政干预程度,来反映其对雾霾(PM_{2.5})污染的影响。(3)研发投入(tech)。技术进步是实现雾霾治理的长期决定因素。技术研发的投入偏好在很大程度上决定了技术进步对中国雾霾(PM_{2.5})污染的影响方向,如果研发行为和技术进步是以治污减排为主导的,就将有利于中国雾霾(PM_{2.5})污染的改善。该指标从投入型变量的角度衡量了各城市研发投入。故笔者利用城市的科学事业费支出来表征研发投入对中国雾霾(PM_{2.5})污染的影响。(4)环境规制(reg)。由于较多发展中国家出于吸引更多外资或防止本国资本外流的目的采用降低环境规制的方式来保护污染密集型产业,从而导致国内环境污染恶化。为了考察环境规制对雾霾(PM_{2.5})污染的影响,笔者将除烟(尘)率来表征各城市的环境规制水平。

以上数据均来源于中国国家统计局的《中国城市统计年鉴》和《中国统计年鉴》。表 1 报告了处理后的各变量的描述统计情况。

表 1 变量的统计性描述

| | 平均值 | 标准差 | 最小值 | 最大值 | 样本量 |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|------|
| agdp(元) | 16164.39 | 13010.96 | 0 | 134076.8 | 1856 |
| PM _{2.5} (微克/立方米) | 55.12794 | 26.34078 | 5.716538 | 128.2011 | 1856 |
| gl(公顷) | 5920.234 | 13673.06 | 42.66667 | 128234.7 | 1856 |
| reg(%) | 0.883045 | 0.126885 | 0.129746 | 0.998887 | 1856 |
| gov(%) | 0.076518 | 0.040405 | 0.018755 | 0.734413 | 1856 |
| tech(%) | 0.001254 | 0.001306 | 2.36E-05 | 0.012487 | 1856 |
| Is(%) | 0.493891 | 0.106152 | 0.159433 | 0.8551 | 1856 |

四、实证分析和结果检验

(一) 门槛回归分组结果

为了克服分组变量选择时存在的问题,先将雾霾 PM_{2.5} 浓度及其影响因素进行相关系数分析,通过相关系数的大小来判别对雾霾(PM_{2.5})浓度影响较大的因素。结果见表 2。可以发现在影响雾霾 PM_{2.5}

浓度中最大的两个因素分别为人均 GDP、第二产业比例,分别为 0.3242、0.3027。故笔者依据人均 GDP 和第二产业比例作为门槛分组变量。

基于门槛回归方法,表 3 报告了以人均 GDP 和第二产业比例为门槛的门槛值检验结果。由表 2 可知以人均 GDP、第二产业比例为门槛变量时,对应的 F 值均通过了一门槛、二门槛模型,且均在 5%的水平下通过了显著性检验。而且单一门槛的显著性水平均较双重门槛高,故笔者选择单一门槛。在单一门槛假设检验情况下,对数化后的人均 GDP 的门槛值为 16.240,第二产业占比的门槛值为 0.58。

表 2 变量相关系数矩阵

| | lnpm | lngdp | reg | gov | tech | is | lngl |
|-------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|------|
| lnpm | 1 | | | | | | |
| lngdp | 0.3242 | 1 | | | | | |
| reg | 0.0218 | 0.3768 | 1 | | | | |
| gov | -0.2236 | -0.0799 | -0.0752 | 1 | | | |
| tech | 0.0051 | 0.4294 | 0.3007 | 0.1542 | 1 | | |
| is | 0.3027 | 0.2464 | 0.2454 | -0.1071 | 0.0261 | 1 | |
| lngl | 0.1548 | 0.7498 | 0.2598 | -0.0024 | 0.4007 | 0.1329 | 1 |

表 3 人均 GDP 与第二产业比例门槛检验与门槛置信区间

| 门槛变量 | 模型 | F 值 | 临界值 | | | 门槛值 | 95%置信区间 |
|-------|----|------------------|--------|-------|-------|------------------------------|--|
| | | | 1% | 5% | 10% | | |
| lngdp | 1 | 13.719** (0.012) | 17.342 | 9.569 | 6.472 | 16.240 | [19.437, 19.801] |
| | 2 | 7.550** (0.05) | 12.948 | 7.893 | 5.212 | 13.981; 16.240 | [16.050, 24.656]; [19.437, 19.820] |
| | 3 | 3.121(0.106) | 8.29 | 4.807 | 3.581 | 13.981; 16.240; 13.930 | [16.050, 24.656]; [19.437, 19.820]; [16.050, 24.816] |
| is | 1 | 10.474** (0.044) | 16.301 | 9.981 | 7.45 | 0.58 | [0.352, 0.723] |
| | 2 | 8.118** (0.046) | 13.092 | 7.615 | 4.997 | 0.382; 0.580 | [0.247, 0.723] [0.569, 0.717] |
| | 3 | 5.514(0.088) | 12.1 | 6.79 | 5.261 | 0.382; 0.580; 0.628 | [0.247, 0.723] [0.569, 0.717] [0.222, 0.778] |

根据上文提出的两类分组标准结合我国 232 个城市的人均 GDP 和第二产业比例 2001—2012 年均值将样本城市分为 4 组:即高人均 GDP 和高第二产业比例城市(组 1)、高人均 GDP 和低第二产业比例城市(组 2)、低人均 GDP 和高第二产业比例城市(组 3)、低人均 GDP 和低第二产业比例城市(组 4)。表 4 报告了四个不同区间的城市分类。由此可见,仅简单按地理位置如东、中、西部进行分组存在较大区别,并且容易导致主观随意的偏误。

(二) 各组雾霾 PM_{2.5} 浓度 EKC 检验结果分析

依据上文的划分结果,再将 4 组数据进行回归分析。由于四组均符合面板数据的最小样本量的要求,故四组均为面板数据。笔者采用面板数据的固定效应、随机效应以及 OLS 进行分析,并依据 Hausman 检验结果对模型进行比较和筛选。表 5 和表 6 报告了四组城市在三次项和二次项人均 GDP 门槛的估计结果。由于变量分布并不满足 Hausman 检验基于正态分布的假设,所以,卡方检验统计量 Chi 值在四组中均出现负值,故四组均利用固定效应回归模型进行分析。从表 5 可以观察到在四组雾霾浓度 EKC 曲线中,前三组均为“倒 U”型曲线,最后一组为 U 型曲线。由于四组 EKC 曲线的异质性,笔者分组逐一讨论分析。

表 4 中国 232 个城市门槛分组结果

| | 高第二产业比例城市 | 低第二产业比例城市 |
|--------------|---|---|
| 高人均 GDP 水平城市 | 常州市、大庆市、东营市、佛山市、嘉兴市、洛阳市、泉州市、绍兴市、苏州市、威海市、烟台市、淄博市 | 保定市、北京市、沧州市、长春市、长沙市、成都市、大连市、东莞市、福州市、广州市、哈尔滨市、邯郸市、杭州市、合肥市、济南市、济宁市、金华市、昆明市、临沂市、南京市、南通市、宁波市、青岛市、上海市、深圳市、沈阳市、石家庄市、唐山市、天津市、潍坊市、温州市、无锡市、武汉市、西安市、徐州市、盐城市、郑州、重庆市 |
| 低人均 GDP 水平城市 | 安阳市、宝鸡市、本溪市、滨州市、长治市、鹤壁市、淮南市、焦作市、晋城市、辽阳市、临汾市、柳州市、六盘水市、马鞍山市、攀枝花市、盘锦市、萍乡市、平顶山市、三门峡市、石嘴山市、朔州市、铜陵市、乌海市、芜湖市、新余市、许昌市、延安市、阳泉市、鹰潭市、榆林市、玉溪市、枣庄市、镇江市、中山市、漯河市、濮阳市 | 鞍山市、安康市、安庆市、安顺市、白城市、百色市、蚌埠市、包头市、保山市、北海市、常德市、朝阳市、郴州市、承德市、赤峰市、滁州市、大同市、丹东市、德阳市、德州市、鄂州市、抚顺市、阜新市、阜阳市、赣州市、广元市、桂林市、贵阳市、海口市、汉中市、菏泽市、河池市、河源市、鹤岗市、黑河市、衡水市、衡阳市、呼和浩特市、潮州市、怀化市、黄山市、黄石市、惠州市、鸡西市、吉安市、吉林市、佳木斯市、江门市、锦州市、荆门市、景德镇市、九江市、酒泉市、开封市、兰州市、廊坊市、乐山市、丽水市、连云港市等 146 个城市 |

1. 第一组为高人均 GDP 和高第二产业比例城市。该组包含了常州市、大庆市、东营市、佛山市、嘉兴市等 12 个城市。Hausman 检验值分别为 -15.4 和 -10.4, 表明选择固定效应模型更优。在表 5 的固定模型中, 人均 GDP 一次项和二次项通过了显著性检验, 但三次项并未通过检验。在表 6 的固定模型中, 人均 GDP 一次项和二次项通过了显著性检验, 其一次项为正, 二次项为负。因此组 1 呈倒 U 型关系, 说明随着经济增长, 雾霾浓度呈现先上升后下降的趋势。高人均 GDP 和高第二产业比例城市中, 经济增长与雾霾浓度呈现倒 U 型关系表明, 高第二产业比例往往以牺牲环境为代价, 而随着经济进一步增长, 增长的社会福利促使了经济增长与环境质量的恶化脱钩。在表 6 的固定效应模型(组 1)中, 环境规制对雾霾污染有显著的降减效应, 而第二产业比例则对雾霾浓度的升高产生显著的增促效应。具体来说, 在高人均 GDP 和高第二产业比例城市中, 环境规制每增加 1%, 雾霾浓度将降低 0.459%。第二产业比例每增加 1%, 雾霾浓度将升高 0.856%。通过计算拐点值, 笔者发现在第一组城市均没有越过倒 U 型的最高拐点值, 表明在组 1 城市中虽然呈现倒 U 型曲线关系, 但大部分城市的雾霾污染仍处在与经济发展共同增长的阶段。

2. 第二组为高人均 GDP 和低第二产业比例城市。该组包含了保定市、北京市、沧州市、长春市、长沙市等 38 个城市。在表 5 的固定模型中, 人均 GDP 一次项、二次项和三次项均通过了显著性检验, 而且一次项为负, 二次项和三次项均为正, 二次项系数较三次项系数高, 其中 Hausman 检验值为 1.35, 表明选择随机效应模型更优。组 2 的城市随着经济增长, 雾霾浓度会呈现先下降后以较高速度上升然后以较低速度下降的趋势, 即不规则的 U 型关系, 其中组 2 的所有城市均越过最低拐点, 说明该组大部分城市的雾霾浓度将长期保持与经济增长而不断增长的状态。在表 5 的随机效应模型(组 2)中, 政府投入对雾霾污染有显著的降减效应。其中政府投入每增加 1%, 雾霾浓度将降低 2.234%。

3. 第三组为低人均 GDP 和高第二产业比例城市。该组包含了安阳市、宝鸡市、本溪市、滨州市、长治市、鹤壁市等 36 个城市。Hausman 检验值为 -108.11, 表明选择固定效应模型更优。在表 5 的固定模型中, 人均 GDP 一次项通过了显著性检验, 但二次项和三次项并未通过检验。在表 6 的固定模型中, 人均 GDP 一次项通过了显著性检验, 而且一次项系数为正。结果表明, 在第三组城市的雾霾浓度和人均 GDP 呈现单调递增的正相关关系, 表明组 3 的城市随着经济增长, 雾霾浓度将呈现持续上升的趋势。在表 6 的固定效应模型(组 3)中, 环境规制和政府投入对雾霾污染有显著的降减效应, 环境规制每增加 1%, 雾霾浓度将降低 0.156%。政府投入每增加 1%, 雾霾浓度将降低 1.341%。

4. 第四组为低人均 GDP 和低第二产业比例城市。该组包含了鞍山市、安康市、安庆市、安顺市、白城市等 146 个城市。在表 5 的估计模型中,人均 GDP 一次项和二次项通过了显著性检验,但三次项并未通过检验。在表 6 的估计模型中,人均 GDP 一次项和二次项均通过了显著性检验,其一次项为负,二次项为正,其中 Hausman 检验值为-8.37,表明选择固定效应模型更优。结果表明,组 4 城市呈现出正 U 型关系,即随着经济的增长,雾霾浓度出现先下降,后上升的趋势。其中组 4 的所有城市均越过最低拐点,说明组 4 城市的雾霾污染仍处在与经济增长共同增长的阶段。在表 6 的固定效应模型(组 3)中,

表 5 人均 GDP 门槛的估计结果(三次项)

| 模型 | 组 1(HH) | | | 组 2(HL) | | | 组 3(LH) | | | 组 4(LL) | | |
|-----------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | Fe | Re | Ols | Fe | Re | Ols | Fe | Re | Ols | Fe | Re | Ols |
| <i>lngdp</i> | 2.613* (1.371) | 1.781 (1.788) | -13.24** (6.193) | 1.070* (0.622) | 1.089* (0.614) | -0.380 (2.781) | 0.761 (0.466) | 0.777* (0.472) | 1.623 (1.628) | -0.409* (0.242) | -0.336 (0.247) | 5.116*** (0.820) |
| $(lngdp)^2$ | -0.0771* (0.0414) | -0.0551 (0.0538) | 0.376** (0.184) | -0.0311* (0.0185) | -0.0319* (0.0183) | 0.0154 (0.0822) | -0.0236 (0.0157) | -0.0240 (0.0158) | -0.0525 (0.0538) | 0.0167** (0.00791) | 0.0156* (0.00804) | -0.157*** (0.0272) |
| $(lngdp)^3$ | 0.0001 (0.000162) | 0.0002*** (9.03e-05) | 0.0003*** (7.36e-05) | 0.0001*** (5.15e-05) | 0.0001*** (4.66e-05) | 0.0002*** (4.01e-05) | 5.00e-05 (6.96e-05) | 5.29e-05 (6.15e-05) | 9.74e-05** (4.49e-05) | -2.34e-05 (4.07e-05) | -6.48e-05* (3.17e-05) | -3.48e-05* (2.02e-05) |
| <i>reg</i> | -0.459** (0.200) | -0.347 (0.250) | 2.036** (0.813) | -0.0364 (0.0617) | -0.0349 (0.0611) | -0.319 (0.348) | -0.156** (0.0605) | -0.160*** (0.0614) | -0.367 (0.249) | -0.0806** (0.0349) | -0.0907** (0.0355) | -0.873*** (0.118) |
| <i>gov</i> | -0.562 (0.738) | -0.178 (0.942) | 8.289*** (3.129) | -2.322*** (0.361) | -2.328*** (0.355) | -0.113 (1.415) | -1.341*** (0.333) | -1.439*** (0.336) | -7.152*** (1.102) | -0.443*** (0.0672) | -0.452*** (0.0688) | -1.666*** (0.312) |
| <i>tech</i> | 20.06 (17.61) | 20.15 (23.18) | -108.1 (70.94) | 4.467 (4.836) | 4.964 (4.747) | -22.14 (21.08) | -4.196 (8.645) | -4.985 (8.747) | -26.77 (27.54) | -1.340 (4.942) | -3.146 (4.989) | -55.57*** (15.97) |
| <i>is</i> | 0.856*** (0.273) | 0.635** (0.305) | -3.477*** (0.777) | 0.236 (0.190) | 0.257 (0.185) | 0.232 (0.478) | 0.221 (0.215) | 0.144 (0.216) | -0.735 (0.504) | 0.179* (0.101) | 0.181* (0.100) | 2.020*** (0.181) |
| <i>lngl</i> | 0.0211 (0.0908) | -0.0238 (0.0973) | 0.323*** (0.113) | -0.0341 (0.0231) | -0.0400* (0.0224) | -0.170*** (0.0468) | -0.0253 (0.0217) | -0.0224 (0.0216) | -0.0168 (0.0381) | -0.00101 (0.00857) | -0.00204 (0.00866) | -0.0704*** (0.0202) |
| <i>Constant</i> | -20.00* (11.59) | -12.61 (15.05) | 115.0** (52.08) | -5.706 (5.183) | -5.778 (5.124) | 7.658 (23.20) | -2.322 (3.479) | -2.487 (3.525) | -9.882 (12.22) | 6.031*** (1.835) | 5.329*** (1.866) | -36.43*** (6.161) |
| R^2 | 0.0163 | 0.1305 | 0.5134 | 0.1357 | 0.1425 | 0.1936 | 0.2852 | 0.3103 | 0.3953 | 0.1357 | 0.1861 | 0.3228 |
| <i>Hausman</i> | -15.41 | | | 1.35 | | | -76.09 | | | -15.38 | | |
| <i>F</i> 值 | 3.31*** | 21.9 | 10.08 | 12.67 | 120.88 | 7.84 | 7.67 | 73.60 | 20.19 | 17.67 | 178.27 | 61.33 |
| <i>(P</i> 值) | 0.0019 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.000 | 0.0000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 |
| 观测值 | 96 | 96 | 96 | 304 | 304 | 304 | 288 | 288 | 288 | 1168 | 1168 | 1168 |

注:*、**、*** 分别表示 10%、5% 和 1% 的显著性水平;()内为稳健标准差。以下各表同。资料来源:作者计算

表 6 人均 GDP 门槛的估计结果(二次项)

| 模型 | 组 1(HH) | | | 组 2(HL) | | | 组 3(LH) | | | 组 4(LL) | | |
|----------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| | Fe | Re | Ols | Fe | Re | Ols | Fe | Re | Ols | Fe | Re | Ols |
| <i>lngdp</i> | 2.690* (1.367) | 2.551* (1.498) | -8.744 (7.052) | 1.061* (0.635) | 1.108* (0.630) | 1.000 (2.905) | 0.714* (0.461) | 0.728488* (0.12) | 1.519 (1.638) | -0.411* (0.242) | -0.341 (0.247) | 4.941*** (0.814) |
| $(lngdp)^2$ | -0.0766* (0.0414) | -0.0729 (0.0453) | 0.241 (0.210) | -0.0270 (0.0189) | -0.0284 (0.0187) | -0.0203 (0.0860) | -0.0211 (0.0153) | -0.0215 (0.166) | -0.0485 (0.0541) | 0.0162** (0.00786) | 0.0144* (0.00803) | -0.152*** (0.0270) |
| <i>Tech</i> | 22.00 (17.45) | 25.63 (19.19) | 26.60 (76.29) | 2.792 (4.912) | 3.408 (4.852) | -15.36 (22.08) | -3.807 (8.619) | -4.410 (8.719) | -14.53 (27.13) | -1.815 (4.871) | -4.930 (4.922) | -58.98*** (15.86) |
| <i>reg</i> | -0.427** (0.196) | -0.381* (0.213) | 0.732 (0.892) | -0.0428 (0.0630) | -0.0420 (0.0626) | -0.551 (0.363) | -0.149** (0.0598) | -0.154** (0.0609) | -0.368 (0.251) | -0.0836** (0.0345) | -0.101*** (0.0353) | -0.884*** (0.118) |
| <i>gov</i> | -0.426 (0.722) | -0.346 (0.793) | 9.393** (3.589) | -2.234*** (0.367) | -2.252*** (0.364) | -1.136 (1.471) | -1.290*** (0.325) | -1.384*** (0.330) | -6.834*** (1.100) | -0.443*** (0.0671) | -0.450*** (0.0689) | -1.670*** (0.312) |
| <i>is</i> | 0.735*** (0.238) | 0.635*** (0.257) | -2.725*** (0.878) | 0.152 (0.192) | 0.173 (0.189) | -0.179 (0.495) | 0.214 (0.214) | 0.138 (0.216) | -0.707 (0.508) | 0.188* (0.0994) | 0.204** (0.0996) | 2.056*** (0.180) |
| <i>lngl</i> | 0.0384 (0.0887) | 0.0205 (0.0909) | 0.252* (0.130) | -0.0271 (0.0235) | -0.0347 (0.0230) | -0.212*** (0.0484) | -0.0260 (0.0217) | -0.0225 (0.0216) | -0.000249 (0.0375) | -0.00147 (0.00853) | -0.00318 (0.00866) | -0.0712*** (0.0202) |
| 常数项 | -21.00* (11.52) | -19.57 (12.61) | 81.61 (59.43) | -5.904 (5.292) | -6.205 (5.253) | -3.596 (24.24) | -2.009 (3.448) | -2.166 (3.504) | -9.155 (12.30) | 6.070*** (1.833) | | -35.24*** (6.127) |
| R^2 | 0.027 | 0.2737 | 0.3498 | 0.2752 | 0.2747 | 0.1098 | 0.2196 | 0.2186 | 0.3851 | 0.1354 | 0.1347 | 0.3211 |
| <i>Hausman</i> | -10.4 | | | -2.6 | | | -108.11 | | | -8.37 | | |
| <i>F</i> 值 | 308.79 | 12.24 | 5.85 | 385.88 | 99.04 | 4.55 | 188 | 72.92 | 21.84 | 265.67 | 173.60 | 68.51 |
| <i>(P</i> 值) | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 观测值数 | 96 | 96 | 96 | 304 | 304 | 304 | 288 | 288 | 288 | 1168 | 1168 | 1168 |
| 观测组数 | 12 | 12 | 12 | 38 | 38 | 38 | 36 | 36 | 36 | 146 | 146 | 146 |

环境规制和政府投入对雾霾污染有显著的降减效应,而第二产业比例则对雾霾浓度的升高产生显著的增促效应。具体来说,在低人均GDP和低第二产业比例城市中,环境规制每增加1%,雾霾浓度将降低0.0836%;政府投入每增加1%,雾霾浓度将降低0.443%;第二产业比例每增加1%,雾霾浓度将升高0.856%。

5. 从全国整体来看,有12个城市的雾霾环境库兹涅茨曲线出现倒U型形状,有184个城市出现正U型曲线,有36个城市呈现单调递增线性关系,实证结论表明我国大部分城市的经济增长与雾霾之间呈现正U型关系,说明随着经济的持续高速增长,雾霾污染并会随之恶化,此结论与王星(2016)、赵细康(2005)结论一致。赵细康(2005)认为中国多数污染物的排放量与人均GDP之间并不具有典型的EKC曲线特征,王星(2016)利用双重差分法和主成分法对超大城市、特大城市、大城市的经济发展、城市规模对雾霾污染的影响进行分析,认为GDP与雾霾浓度之间呈现U型曲线关系。总之,我国232个城市中仅有12个城市属于倒U型曲线,还有占绝大部分的220个城市的雾霾浓度将在未来出现逐渐上升的趋势。但在研究样本的232个城市中,大部分城市的雾霾浓度随着经济增长而增长。在升高雾霾浓度的影响因素中,高第二产业比例是不可忽视的原因。第二产业比例显著影响着雾霾浓度的升高。在降低雾霾浓度的因素中,政府投入和环境规制则显著降低了雾霾(PM_{2.5})浓度。

五、研究结论和启示

笔者通过将人均GDP和第二产业增加值比例作为门槛变量,利用门槛模型对我国232个城市分为四组进行研究,在构建的雾霾污染EKC模型中加入第二产业比例、政府投入、技术投入、环境规制和绿地面积等控制变量对我国雾霾(PM_{2.5})EKC“本土化”特征进行实证分析,发现在不同的城市组别中具有不同的EKC特征,研究结论如下:在高人均GDP和高第二产业比例城市中,经济增长与雾霾浓度呈现倒U型关系,其中第一组城市中平均人均GDP没有越过倒U型拐点值,表明在该组城市中虽然呈现倒U型曲线关系,但大部分城市的雾霾污染仍处在与经济增长共同增长的阶段;在高人均GDP和低第二产业比例城市中,经济增长与雾霾浓度呈现不规则的U型关系,表明该组的城市随着经济增长,雾霾浓度会呈现先下降后以较高速度的上升然后放缓的趋势。其中该组的所有城市均越过最低拐点,说明该组大部分城市的雾霾浓度将长期保持与经济增长而不断增长这一状态;在低人均GDP和高第二产业比例城市中,雾霾浓度和人均GDP呈现单调递增的正相关关系;在低人均GDP和低第二产业比例城市中,经济增长与雾霾污染呈现出正U型关系。其中该组的所有城市均越过最低拐点,说明该组城市的雾霾污染仍处在与经济增长共同增长的阶段。总之,在232个研究样本中,有12个城市的雾霾环境库兹涅茨曲线出现倒U型,有38个城市出现微弱正U型,有36个城市呈现单调递增线性关系,有164个城市出现正U型曲线。但在研究样本的232个城市中,大部分城市的雾霾浓度随着经济增长而增长。其他影响因素中,笔者发现环境规制和政府财政投入会降低雾霾浓度,而第二产业比例显著影响着雾霾浓度的升高。

结合以上实证分析结论,笔者认为在现阶段内,要实现经济发展和治霾的双赢目标应注意以下几点:第一,政府在依据雾霾EKC的“异质性”进行全局规划的同时,也需要实行有侧重的区域雾霾污染治理策略,首先应该引导组2、组3、组4加大“治霾”力度,这些城市需及时转变现有的发展模式,可以考虑先向组1城市类型转化,从根本上提高工业能耗效率,及时阻断经济增长与雾霾浓度共同增长的发展态势。降低重工业比重、提高清洁能源比重、提高轨道交通比重等,通过市场性的环境规制手段倒逼第二产业比例和能源结构的绿色升级,推动制造业转型和低碳技术发展,使经济增长的新引擎逐步低碳化,促使组2、组3、组4工业发展中的城市走出制造业与雾霾污染的“双增”困境,早日实现人均GDP与雾霾污染关系“脱钩”。第二,随着组1城市经济发展的经验来看,社会福利的增加减少了雾霾污染,表明政府可以通过加大对公共设施、绿化面积和绿色、低碳、智能技术的投入以及加强环境规制的方式来降低雾霾浓度。同时,不断提高公众环保意识,逐步形成公众参与治霾监督管理机制,充分发挥公众在

治霾中的积极作用。第三,经济发展水平较高的组1城市应当发挥示范效应和扩散效应,积极与周边经济落后的城市合作。实行区域间雾霾污染联防联控,最终达到控制雾霾污染、改善空气质量、共享治理成果与经济发展的共赢目的。

参考文献:

- [1] 符 森、黄灼明(2008)我国经济发展阶段和环境污染的库兹涅茨关系. 中国工业经济,6.
- [2] 高 静、黄繁华(2011). 贸易视角下经济增长和质量的内在机理研究——基于中国30个省市环境库兹涅茨曲线的面板数据分析. 上海财经大学学报:哲学社会科学版,5.
- [3] 何 枫、马栋栋(2015). 雾霾与工业化发展的关联研究——中国74个城市的实证研究. 软科学,6.
- [4] 林伯强、蒋竺均(2009). 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,4.
- [5] 刘华军、闫庆悦、孙日瑶(2011). 中国二氧化碳排放的环境库兹涅茨曲线——基于时间序列与面板数据的经验分析. 中国科技论坛,4.
- [6] 彭迪云、刘 畅、周依仿(2015). 长江经济带城镇化发展对雾霾污染影响的门槛效应研究——基于居民消费水平的视角. 金融与经济,8.
- [7] 邵 帅、李 欣、曹建华等(2016). 中国雾霾污染治理的经济政策选择——基于空间溢出效应的视角. 经济研究,9.
- [8] 王 星(2016). 城市规模、经济增长与雾霾污染——基于省会城市面板数据的实证研究. 华东经济管理,7.
- [9] 吴玉萍、董锁成、宋键峰(2002). 北京市经济增长与环境污染水平计量模型研究. 地理研究,2.
- [10] 许广月、宋德勇(2010). 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. 中国工业经济,5.
- [11] 赵细康、李建民、王金营等(2005). 环境库兹涅茨曲线及在中国的检验. 南开经济研究,3.
- [12] 郑长德、刘 帅(2011). 基于空间计量经济学的碳排放与经济增长分析. 中国人口·资源与环境,5.
- [13] 周 璇、孙 慧(2013). 中国工业废水排放量与经济增长关系的区域分异研究. 干旱区资源与环境,12.
- [14] K. Ahmed & W. Long(2012). Environmental Kuznets Curve and Pakistan: An Empirical Analysis. *Procedia Economics and Finance*,1.
- [15] U. Al-mulali et al. (2014). Electricity Consumption from Renewable and Non-renewable Sources and Economic Growth: Evidence from Latin American Countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,30
- [16] K. Arrow et al. (1995). Economic Growth, Carrying Capacity, and the Environment. *Ecological Economics*,15(2).
- [17] M. E. H. Aroui et al. (2012). Energy Consumption, Economic Growth and CO₂ Emissions in Middle East and North African Countries. *Energy Policy*,
- [18] M. Auffhammer & R. T. Carson (2008). Forecasting the Path of China's CO₂ Emissions Using Province-Level Information. *Journal of Environmental Economics and Management*,55(3).
- [19] M. Fodha & O. Zaghoud (2010). Economic Growth and Pollutant Emissions in Tunisia: An Empirical Analysis of the Environmental Kuznets Curve. *Energy Policy*,38(2).
- [20] B. Friedl & M. Getzner(2003). Determinants of CO₂ Emissions in A Small Open Economy. *Ecological Economics*,45(1).
- [21] G. M. Grossman & A. B. Krueger(1991). Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement (No. w3914). *National Bureau of Economic Research*.
- [22] B. E. Hansen (1999). Threshold Effects in Non-dynamic Panels: Estimation, Testing, and Inference. *Journal of Econometrics*,93(2).
- [23] D. Holtz-Eakin & T. M Selden (1995). Stoking the Fires? CO₂ Emissions and Economic Growth. *Journal of Public Economics*,57(1).
- [24] V. C. Jaunky (2011). The CO₂ Emissions-Income Nexus: Evidence from Rich Countries. *Energy Policy*,39(3).
- [25] A. Kasman & Y. S. Duman(2015). CO₂ Emissions, Economic Growth, Energy Consumption, Trade and Urbanization in New EU Member and Candidate Countries: A Panel Data Analysis. *Economic Modelling*,44.
- [26] M. Nasir & F. U. Rehman (2011). Environmental Kuznets Curve for Carbon Emissions in Pakistan: an Empirical Investigation. *Energy Policy*,39(3).
- [27] B. Saboori & J. Sulaiman (2013). Environmental Degradation, Economic Growth and Energy Consumption: Evidence

of the Environmental Kuznets Curve in Malaysia. *Energy Policy*, 60.

- [28] T. M. Selden & D. Song (1994). Environmental Quality and Development: is there a Kuznets Curve for Air Pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and management*, 27(2).
- [29] M. Shahbaz et al. (2011). Electricity Consumption and Economic Growth Nexus in Portugal Using Cointegration and Causality Approaches. *Energy policy*, 39(6).

A Haze (PM_{2.5}) Pollution Study of Kuznets Curve in China Based on Panel Threshold Model

Qi Shaozhou & Yan Yaxue (Wuhan University)

Abstract: With the rapid urbanization and industrialization boosted in China, the problem of air pollution is becoming increasingly serious. The frequent haze pollution has become a common situation. According to global pollution data published by World Health Organization (WHO), there are 30 cities in China among the top 100 cities of average PM_{2.5} concentrations list. Therefore, reducing concentration of PM_{2.5} and maintaining economic growth in a reasonable range have already reached a consensus by the Chinese people. As the environmental Kuznets hypothesis is a classical and persuasive interpretation of the relationship describing environmental change and economic growth, many scholars at domestic and overseas use the environmental Kuznets curve analysis framework to test and verify the impact of economic growth on atmospheric environmental pollution. The relationship between the environment and income per capita of each country may follow the similar pattern of general evolution. However, considering the differences in levels of economic development, energy structure as well as the proportion of the second industry in different countries, the inflection point value and the shape of the EKC would show strong national characteristics. As China has vast land area, cities in different economic initial conditions, economic development level, resource factor endowment and climate conditions, EKC of each country or district show different shapes. This indicates different relationship between economic growth and haze pollution. Reasonable evaluation of the relationship between economic growth and haze pollution may improve the accuracy and validity of government decision. Therefore, the paper divides the 232 cities in China into four groups automatically by the threshold variable of GDP per capita and the proportion of secondary industry through the threshold model. In this paper, we add industrial structure, government investment and technology investment into the haze (PM_{2.5}) pollution EKC model to analyze the localization characteristics of haze EKC in China. It is found that there are different EKC characteristics in different groups. The conclusions are as follows: There are 12 cities showing the inverse U curve, 38 cities exhibiting irregular U-shaped curves, 36 cities demonstrating monotonically increasing linear relationship, and 164 cities showing positive U-shaped curves. It was also found that in 232 cities, the haze concentration of most cities grew with economic growth. Among other factors, environmental regulation and government investment will reduce haze concentration, while the industrial structure will significantly intensify haze concentration.

Researches on EKC of haze pollution which extends to the inner regions of the country level are scarce, the shortage of related literature will affect the systemic and integrity of haze pollution governance. Environmental Kuznets Curve on national level implies the assumption of homogeneity, which assume the influencing factors of the environment among the Chinese cities show the same direction. This assumption denied the differences existing in the geographical location, industrial structure, technology development, market maturity, infrastructure investment, resources endowment, and climatic conditions in different Chinese cities. But examining Kuznets curve of haze pollution in China leads to estimation errors by according to the same standard. Therefore, it is very important to examine “heterogeneity” of haze (PM_{2.5}) Kuznets curve among the Chinese cities. In order to exam haze (PM_{2.5}) Kuznets curve accurately, this paper develops two perspectives in terms of research methods and choice of indicators:

Firstly, on the research methods, we use threshold effect model to divide research observers effectively by identifying endogenous characteristics of the data automatically, which overcome the defect of weak convergence of group, the arbitrary in setting grouping criteria, and the explicit explanation by using general linear model. Therefore, we use Hansen's panel threshold model to divide research observer into different sample intervals, determine the threshold value and mark off the

group of strong convergence. The writer divides 232 cities in China into four different groups to examine the characteristics of EKC curve in China, and uses fixed effect model, the random effects model as well as mixed OLS model to examine respectively. Secondly, in terms of index selection, as it is inevitable to discharge a variety of pollutants by fossil energy consumption in the process of economic growth, the structure of the pollutants in the air is keeping change with the progress of technology. Arrow et al. (1995) argue that pollutants structure in the air are constantly change if income per capita continues to grow.

In the Post-industrial era, in addition to the influence of the traditional pollutants, new technology gradually brings new type of pollution into environment. Compared with traditional air pollutants, $PM_{2.5}$ emissions can be split into primary emission source and secondary source. The contribution of quadratic transformation of $PM_{2.5}$ concentration occupies 50%, which could represent compound and complex integrated information of air pollution, and directly reflects the relationship between economic growth and haze pollution. Currently, the literature on traditional atmospheric pollution emissions is relatively abundant, the research on $PM_{2.5}$ Kuznets curve still devoid. Thus, research on the new type of pollutant in the air pollutant effect on EKC should not be ignored. Therefore, the paper applies the data from Columbia University center for social and economic data and application, based on the aerosol optical depth (AOD) released the satellite monitoring data, we accurately attained the $PM_{2.5}$ concentration data of 232 cities in mainland China during 1998—2012. We take per capita GDP and the added value of secondary industry as threshold variables, and use threshold effect model to divide 232 cities in China into four groups automatically, and add the proportion of secondary industry, the government investment, technology investment, environmental regulation and green land area of our country into haze pollution EKC model to examine “localization” of EKC by empirical analysis, aiming at exam the diversity and convergence characteristics of EKC.

Key words: haze pollution; environmental Kuznets “heterogeneity”; threshold effect model

■收稿日期:2016-01-05

■作者地址:齐绍洲,武汉大学经济与管理学院,碳排放权交易湖北省协同创新中心;湖北 武汉 430072。

严雅雪,武汉大学经济与管理学院,碳排放权交易湖北省协同创新中心。

■基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(71303176)

■责任编辑:刘金波