DOI:10.3880/j.issn.1003-9511.2017.02.005

淮河流域的工业环境库兹涅茨曲线再检验
——来自2005—2014年安徽省地级市面板数据

王 惠[1],王树乔[1,2],李小聪[3]

(1.淮阴工学院图书馆,江苏 淮安 223003;2.中国矿业大学公共管理学院,江苏 徐州 221116;
3.河海大学商学院,江苏,南京 210098)

摘要:基于2005—2014年淮河流域安徽段8个地级市工业环境与经济相关统计数据,通过非参数Kernel函数估计描绘该区域人均GDP和工业污染排放物的动态演进过程,进而构建淮河流域环境库兹涅茨曲线(EKC)模型,考察淮河流域生态环境质量变迁与经济增长的关系。研究表明:该区域的经济发展水平整体处于上升阶段,随着时间推移地区之间差距拉大,而人均工业废水排放和人均工业废气排放的核密度估计分布图存在一定的相似性;人均工业废气排放量与人均GDP呈现线性关系,人均工业废水排放量和人均工业固体废弃物排放量与人均GDP之间均表现出正"U"型二次曲线关系,与典型的EKC曲线特征不是完全符合,安徽淮河流域大部分地区仍然处于随经济发展而生态环境不断恶化阶段。

关键词:环境库兹涅茨曲线;淮河流域;经济增长

中图分类号:F127.5 **文献标识码**:A **文章编号**:1003-9511(2017)02-0022-04

1993年,Grossman等研究发现环境污染程度在经济增长初期并不严重,但是随着人均收入的增加,环境污染程度加重,当人均收入达到一定程度后,随着人均收入增加环境污染减弱,用曲线来描绘的话如一条倒"U"型曲线[1]。据此,Grossman提出EKC曲线(环境库兹涅茨曲线假说)。

之后,国外学者通过不同污染物、不同地区的实证研究检验EKC曲线是否存在,并将生态环境与经济增长之间是否存在EKC曲线作为判断生态环境、工业化发展与经济增长三者是否协调发展的依据[2]。Caviaviglia等[3]利用1961—2000年期间146个国家人均GDP和生态足迹数据进行分析,认为生态足迹指标能够全面表征环境压力,研究表明人均GDP与生态足迹之间不存在倒"U"型曲线关系。Stern等[4]、Holtz等[5]研究发现:人均收入与大多数环境污染物之间都呈现倒"U"型关系,且新兴工业化国家和发达国家普遍适用这条曲线。

国内学者受国外学者研究的启发,依据中国或某些省份数据对自然生态环境与地区经济增长水平之间是否存在EKC曲线进行实证检验。陈向阳[6]收集1997—2011年中国省级面板数据,对样本期内EKC曲线的变化进行研究,发现选取的3个污染指标中工业固体废弃物排放量以及二氧化硫排放量与经济增长之间呈现倒"U"型曲线形态,说明中国经济发展与自然环境存在EKC曲线特征。沈能等[7]从生产率的角度检验农业环境与农业增长的关系,借助GML方法测度纳入环境因素框架后农业生产效率,拓展传统的EKC曲线,结果认为农业生产率与农业增长之间存在较为稳定的正"U"型曲线关系,农业EKC曲线在中国得到实证支持;同时中国绝大部分地区依旧处于农业环境生产效率随经济发展而下降的阶段。许登峰等[8]基于计量回归模型实证研究广西壮族自治区环境污染与经济发展之间是否存在倒"U"型曲线关系,结果显示2008年是广西壮族自治区EKC曲线的转折点,广西壮族自治区EKC曲线明显表现为倒"U"型。

目前,安徽省正处于工业化发展中期阶段,伴随着经济迅猛发展,资源消耗日益增多,作为中国矿产资源丰富的省份,丰富的煤炭资源使安徽省在未来很长一段时期内保持以煤为主的能源消耗结构,在

基金项目:国家自然科学青年基金(41301048)

作者简介:王惠(1984—),女,馆员,博士研究生,从事环境经济学研究。E-mail:wanghuiwsq@sina.com

满足经济发展能源需求的同时,也给安徽省的生态环境带来巨大的压力,尤其是淮河流域安徽段经济发展与生态环境关系如何,引发地方政府和广大学者的普遍关注,涌现出很多相关领域的研究成果。但纵观已有文献,鲜见针对生态环境脆弱、工业化速度较快、人口密集的中国淮河流域工业环境与经济增长是否协调发展的系统研究。据此,笔者通过对安徽省淮河流域人均 GDP 与工业三废排放量之间的定量研究探究该区域的 EKC 曲线特征,探索 EKC 的拐点是否已经到来,为该区域环境污染和经济增长关系研究提供一定的借鉴和参考。

1 经济增长与工业环境污染的动态演化

为了细致、全面地揭示淮河流域安徽段 8 个地级市工业环境与经济增长的动态演化过程,笔者利用非参数 Kernel 密度分别估计人均 GDP、人均工业固体废弃物排放量、人均工业废气排放量和人均工业废水排放量的总体分布特征,该方法主要优点是适应性较强,可以随意设定函数的形式,更好地还原数据自身所具有的特征。假设随机向量 $\boldsymbol{X}$ 的密度函数为 $f(x)=f(x_1,x_2,\cdots,x_n)$,从 X 中随机抽取一组独立且同分布的样本 $X_1,X_2,\cdots,X_n$,$f(x)$ 的核密度估计式为[9]

$$\hat{f}_n(x)=\frac{1}{nh_n}\sum_{i=1}^{n}K\left(\frac{x-x_i}{h_n}\right) \qquad (1)$$

式中:h 为带宽;$k(\cdot)$为核函数;n 为样本总量。

核函数和带宽的选取关系到非参数核密度估计的好坏,使均方误差最小是选取最佳带宽的基本思想,而核函数则采用经常使用的 Epanechnikov 核函数[10]。为了避免各年度间分布曲线过于密集以致难以清晰辨认的问题,笔者分别选取 4 个代表性年份,2005 年、2008 年、2011 年、2014 年 4 个时间段,各个年份之间相隔 3 年;各条核密度曲线将随着时间推进逐渐由实线变为虚线,方便读者观察变量时序上的分布演进过程(图 1)。

1.1 变量选择和数据来源

依据数据的可获取性,选取以下 3 个工业环境污染指标:工业固体废弃物排放量、工业废水排放量以及工业废气排放量,以上排放量均为人均排放量。样本时间段设定为 2005—2014,这一区间段为淮河流域全面实施可持续发展战略、实施综合治理的关键时期,大量能源消耗高、污染排放量高的工业企业纷纷受到政府提倡的节能减排理念影响。所有污染排放数据均由相应年份的《安徽省统计年鉴》、水利部淮河水利委员会和安徽省环保厅的环境统计报表整理而得,少量缺失数据采用均值法或线性插值法填补。

EKC 曲线是通过人均收入与环境污染指标之间的演变模拟,说明经济发展对环境污染程度的影响,人均 GDP 本身具有社会公平和平等的含义,人均 GDP 虽然不能直接等同于居民的人均收入和生活水平,但构成了一国居民人均收入和生活水平的主要物质基础,是提高居民人均收入水平、生活水平的重要参照指标,同时借鉴众多国内外相关研究,笔者以人均 GDP 来衡量人均收入,即经济增长指标选用人均 GDP 来衡量,人均 GDP 与总量指标相比,更能反映真实经济发展水平,人均 GDP 由相应年份的《安徽省统计年鉴》整理计算而获得,为了消除价格因素的影响,以 2005 年不变价计算人均 GDP 实际数值。文中涉及的各类指标、单位以及符号如表 1 所示。

表 1 经济增长和环境污染指标单位与符号表示

指标	单位	符号
实际人均 GDP	万元	P
人均工业废水排放量	t	W
人均工业废气排放量	Nm^3	G
人均工业固体废弃物排放量	t	S

注:资料来源于《安徽省统计年鉴》(2006—2015)。

研究样本总体为淮河流域的滁州、六安、宿州、淮北、蚌埠、淮南、亳州、阜阳等沿淮 8 个地级市。虽然淮河流域地跨山东南部、江苏北部、安徽和河南,但是安徽省沿淮 8 个市在其区域经济中占有重要的战略地位,该区域是工业经济发展最快、经济结构转型最快的地段。据此,笔者选择的样本总体涵盖淮河流域安徽段主要城市,可以全面地反映生态环境和经济增长之间的相互关系。

1.2 动态演进过程

图 1 展示的是淮河流域安徽段人均 GDP 水平差异化演进过程。样本期内淮河流域安徽段人均 GDP 分布演化呈现 3 个明显特征:①核密度分布曲线右移趋势明显,反映出 2005—2014 年期间该区域的经济处于较快的增长趋势。②分布形状逐渐趋于“扁平”,即波峰的宽度逐渐扩大,高度逐渐降低,反映出离差程度大幅度增加,表明样本之间经济增长

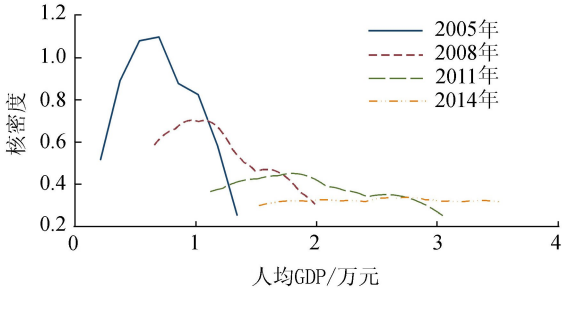

图 1 淮河流域人均 GDP 核密度估计分布

的差距进一步拉大。③2005 年、2008 年、2011 年人均 GDP 分布的核密度曲线均呈现出主体“双峰”分布倾向，这种双峰模式反映出淮河流域安徽段 8 个地级市中一部分人均 GDP 处于较高水平，而另外一部分的人均 GDP 处于较低水平，意味着人均 GDP 低的地区内部和人均 GDP 高的地区内部的收敛，两者差距变大，该区域的经济发展并不协调。

按照不同的工业环境污染指标，可测算得到淮河流域人均工业废水排放量、人均工业废气排放量以及人均工业固体废弃物排放量的核密度估计分布如图 2、图 3 和图 4 所示。可以看出图 3 和图 4 存在一定的相似性，波峰形状都是由 2005 年的“宽峰”型转变为 2014 年的“尖峰”型，反映出样本内部存在趋同现象。而人均工业固体废弃物排放量样本期内，核密度估计分布都表现出“尖峰”型，同时密度分布的右尾长度有明显增加，意味着部分人均工业固体废弃物排放量中等和较少的区域排放速度有所变缓，而人均工业固体废弃物排放量本来就较高的区域排放速度明显加快，导致样本之间的人均工业固体废弃物排放量差距变大。

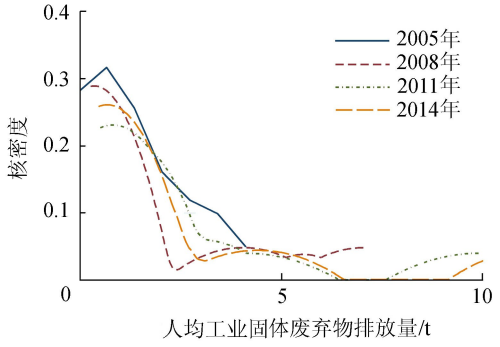

图 2　淮河流域人均工业固体废弃物排放核密度估计分布

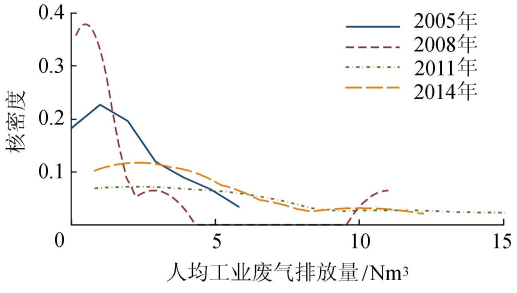

图 3　淮河流域人均工业废气排放核密度估计分布

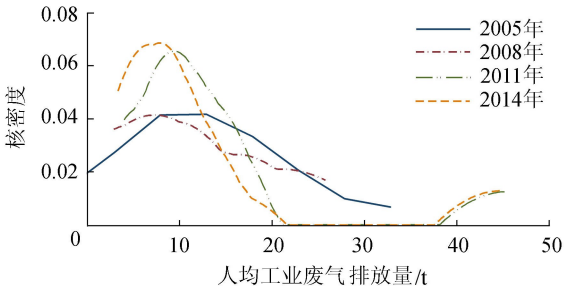

图 4　淮河流域人均工业废水排放核密度估计分布

2　EKC 曲线特征分析

利用 EKC 曲线分析模型对安徽省淮河流域的工业环境与经济增长进行实证分析，在此基础上估算确定 EKC 曲线拐点是否到来以及到达的时间，以期为安徽省发展“友好型”经济提供实证支持。

首先，需要对选取的经济增长和工业环境变量进行单位根检验，这样可以有效避免变量之间出现伪回归。笔者选取的样本是平衡面板数据，同时为了避免使用单一方法会产生偏误，选用 HT 检验和 LLC 检验[11]。检验结果所示，除了人均 GDP(P)在 HT 和 LLC 检验以及人均工业废水排放量(W)在 HT 检验表现出非平稳性，其余变量均表现平稳；但 P、G、W 和 S 经过一阶差分，都是平稳时间序列。

由于人均 GDP、人均工业废水排放量都有表现出非平稳性，因此在估计相应的 EKC 方程前需进行协整检验。面板协整检验的结果表明，统计量都通过 10% 显著性水平检验，因此认为，人均 GDP 与人均工业废气、人均工业废水以及人均工业固体废弃物排放量之间存在长期稳定关系，可以对人均 GDP 对 3 个污染物指标的影响做进一步估计。

根据上文分析，并结合表 2 计量结果，可以得到人均工业废气排放量、人均工业废水排放量以及人均工业固体废弃物排放量与人均 GDP 之间拟合方程，除了人均工业废气排放量数据拟合为直线以外，人均工业废水排放量和人均工业固体废物排放量数据均与经济增长之前呈现“U”型曲线关系，拟合方程：

$$\begin{cases} y_w = 16.59699 - 6.051697x_{it} + 1.690005x_{it}^2 \\ y_s = 1.665633 - 0.5648456x_{it} + 0.358575x_{it}^2 \end{cases} \quad (2)$$

表 2　固定效应回归结果

污染指标	常数项	人均 GDP	人均 GDP 的平方项	调整 R_2	曲线形状
人均工业废水排水量排放	16.59699 ***(0.000)	-6.051697 *(0.087)	1.690005 **(0.054)	0.7781	正“U”型
人均工业固体废弃物排放量	1.665633 **(0.014)	-0.5648456 *(0.032)	0.358575 *(0.061)	0.8797	正“U”型
人均工业废气排放量	0.2284608(0.707)	1.716301 ***(0.000)		0.8006	线性

注：调整 R_2 为模型的拟合优度；( )为 p 值；*** 表示在 1% 水平上显著；** 表示在 5% 水平上显著；* 表示在 10% 水平上显著。

对上述方程进行一阶求导并令一阶导数值等于零：

$$\begin{cases}\dfrac{dy_w}{dx} = -6.051697 + 1.690005 \times 2x_{it} = 0 \\ \dfrac{dy_s}{dx} = -0.5648456 + 0.358575 \times 2x_{it} = 0\end{cases} \quad (3)$$

由式(3)得到拐点临界值：

$$\begin{cases}P_w = 1.7904 \\ P_s = 0.7876\end{cases} \quad (4)$$

人均工业废水排放量与人均 GDP 之间存在正“U”型二次曲线关系，没有显示出典型的 EKC 曲线倒“U”型特征。人均工业废水排放量随着人均 GDP 的上升呈现先下降后上升趋势，在人均 GDP 达到 1.7904 万元时人均工业废水排放量位于最小值，是安徽省淮河流域人均工业废水排放的理论拐点。截至 2014 年，该流域除了亳州市和阜阳市处于曲线的左侧下降阶段，其余的 6 个地级市都位于曲线的右侧上升阶段，这表明随着经济不断增长，生态环境质量呈现恶化趋势，虽然沿淮各级政府加大了对淮河流域水源质量的监管，在很大程度上减少了工业废水的排放，但是淮河附近的工业经济发展依旧以煤、电、水泥、钢、铜等原材料传统产业作为支撑，这些高能耗的产业在生产过程中产生的大量废水和废液，其中含有随水流失的工业生产用料、中间产物、副产品以及生产过程中产生的污染物，加重了淮河流域的水污染。

人均工业废气排放量与人均 GDP 之间存在正向线性关系，即人均工业废气排放量随着人均 GDP 的增长而变多。究其原因是工业经济规模增长是安徽省内大部分地区现阶段工业废气增长的主要因素，安徽省经济处于高速发展阶段，工业规模的增长不可避免地增加了废气的排放，加上淮河流域的煤资源丰富，废气排放强度居高不下是影响环境质量的重要原因。

人均工业固体废弃物排放量与人均 GDP 之间存在正“U”型二次函数关系，同人均工业废水排放量与人均 GDP 之间关系类似，都没有呈现典型的 EKC 曲线倒“U”型特征。在人均 GDP 达到 0.7876 万元时到达拐点，就选取的淮河流域安徽省境内 8 个地级市样本数据来看，全部地区的人均 GDP 从 2010 年开始都已经达到并超过 0.7876 万元，该时段以后工业固体废弃物排放量全都位于曲线右侧，说明随着人均收入的提升人均工业固体废弃物排放量变得更多。煤炭、电力、纺织等污染严重的产业在淮河流域的工业企业中占主导地位，重型化工和矿山开采等行业的规模扩张，必然导致该流域附近的固体废弃物排放量直线上升，政府部门要积极开展环境规制管理，有效降低工业污染物的排放。

3 结论及建议

通过淮河流域安徽省境内 8 个地级市的人均工业固体废弃物排放量、人均工业废水排放量以及人均工业废气排放量等 3 类环境污染指标与人均 GDP 面板数据的估计结果，对 EKC 曲线进行检验，研究显示：2005—2014 年期间，淮河流域的人均工业废气排放量随人均 GDP 的增长表现出逐年递增趋势，而人均工业废水排放量和人均工业固体废弃物排放量与人均 GDP 之间呈现正“U”型关系，与典型 EKC 曲线特征不是完全符合。整体而言，安徽省淮河流域的生态环境随着经济快速增长不断恶化。

基于上述研究结论，为了缓和淮河流域生态环境和经济增长之间的矛盾，促进低碳经济的发展，实现经济和环境之间协调发展，政府和企业都应该扭转先污染、后治理的观念，结合淮河流域工业模式的实际状况，提出以下建议：

a. 大力发展循环经济，形成具有低碳特征的环保产业发展模式。走可持续发展道路是缓和生态环境与经济增长矛盾的必然选择。淮河流域城市凭着自身的资源和地理特点，制定符合自身优势的低碳经济发展规划，利用本区域科研院所的优势，将发展环保产业作为科技化产业推进低碳工业的关键，逐步形成具有低碳技术研发、转化和推广的平台，引导、限制和淘汰高碳工业，鼓励和支持企业从事环保新兴产业的投资和产业结构优化升级。

b. 增加环保经费投入。环保投入是环境保护事业发展的物质基础，其中，开展环保工作的重要保障就是财政支持。沿海各级政府提升环境治理和控制的能力必须要加大环境保护事业的经费投入，多渠道全方位调动全社会力量支持环境保护工作，实现经济增长速度与环境保护投入经费增长幅度相契合。

c. 注重开发洁净煤技术。淮河流域煤炭资源丰富，主要集中在苏西北、安徽的豫西、淮北和淮南、鲁西南等矿区，分布集中、煤质好、煤种类全、易于开采，但是煤属于不可再生能源，如果不注重有效利用和开发，资源就会白白浪费掉。因此，淮河流域走绿色工业化道路过程中，煤炭的利用效率是关键。

参考文献：

[1] 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.

(下转第 68 页)

性确定评价等级,具有准确性;对比云图则更加直观地反映了待评单位管理现代化实现程度,为管理现代化建设和发展提供依据和导向。

参考文献:

[1] 中华人民共和国水利部. 2015 年全国水利发展统计公报[M]. 北京:中国水利水电出版社,2016.

[2] GAO Yuqin, FANG Guohua, ZHENG Zaizhou, et al. The connotation, targets and content of modernization of water conservancy project management[C]//International Conference on Management and Service Science. Wuhan: IEEE, 2009.

[3] 高玉琴, 方国华, 韩春晖,等. 水利工程管理现代化内涵、目标及内容分析[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2009, 36(4):45-48.

[4] FANG Guohua, GAO Yuqin, TAN Weixiong, et al. Study and construction on evaluation index system of the modernization of water conservancy project management[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2009, 32(22):96-100.

[5] 高玉琴, 方国华, 黄显峰. 基于粗糙集的水利工程管理现代化评价权重确定[J]. 水电能源科学, 2011, 29(2):112-114.

[6] 方国华, 高玉琴, 谈为雄,等. 水利工程管理现代化评价指标体系的构建[J]. 水利水电科技进展, 2013, 33(3):39-44.

[7] 欧阳红祥, 李欣, 方国华. 水利工程管理现代化及其评价指标体系[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(1):150-152.

[8] 黄祚继,高玉琴,汪霞,等. 水利工程管理现代化评价指标体系研究[J]. 江淮水利科技,2016(2):4,8.

[9] 高玉琴, 汤宇强, 黄祚继,等. 大中型泵站管理现代化评价指标体系及其应用[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 2016, 38(4):31-35.

[10] 吴淳, 方国华, 高玉琴. 基于物元分析法的河道堤防工程管理现代化评价模型及应用[J]. 水电能源科学, 2015(2):156-159.

[11] 谢葛霞. 浅析水闸安全运行管理的措施[J]. 水利建设与管理, 2009, 29(5):33-34.

[12] 边志勇. 对水闸规范化管理的认识[J]. 水科学与工程技术, 2002(2):16-17.

[13] 王玫. 浅谈水闸工程管理单位的管养分离[J]. 治淮, 2003(9):16-17.

[14] 刘俊滨, 边自然. 模糊评价在水闸工程管理考核中的应用[J]. 南水北调与水利科技, 2007, 5(5):124-126,131.

[15] 叶琼, 李绍稳, 张友华,等. 云模型及应用综述[J]. 计算机工程与设计, 2011, 32(12):4198-4201.

[16] 李德毅, 刘常昱, 杜鹢,等. 不确定性人工智能[M]. 北京:国防工业出版社, 2014.

[17] 李德毅, 刘常昱. 论正态云模型的普适性[J]. 中国工程科学, 2004, 6(8):28-34.

[18] 徐克虎, 孟强, 李科. 基于云理论的坦克分队进攻队形综合评价[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(10):37-40.

[19] 罗胜, 刘广社, 张保明,等. 基于云模型的数字影像产品质量综合评价[J]. 测绘科学技术学报, 2008, 25(2):123-126.

[20] 李超. 供应商选择评估模型研究[D]. 大连:大连理工大学, 2010.

[21] 史彦斌, 高宪军, 张安. 云理论在航空电子战系统效能评估中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(22):241-243.

[22] 黄海生, 王汝传. 基于隶属云理论的主观信任评估模型研究[J]. 通信学报, 2008, 29(4):13-19.

(收稿日期:2016-12-06 编辑:方宇彤)

(上接第 25 页)

[2] 吕志鹏. 中国环境库兹涅茨曲线研究文献的发展规律探析[J]. 统计与决策,2015(17):110-112.

[3] CAVIAVIGLIA H J L, CHAMBERS D, KAHN J R. Taking the "U" out of Kuznets: a comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation[J]. Ecological Economics, 2009, 68(4):1149-1159.

[4] STERN D I, COMMON M S, BARBIER E B. Economic growth and environmental degradation: the environmental Kuznets curve and sustainable development[J]. World Development, 1996, 24(7):1151-1160.

[5] HOLTZ E D, SELDEN T M. Stoking the fires: CO_2, emissions and economic growth[J]. Social Science Electronic Publishing, 1995, 57(1):85-101.

[6] 陈向阳. 环境库兹涅茨曲线的理论与实证研究[J]. 中国经济问题,2015(3):51-62.

[7] 沈能,张斌. 农业增长能改善环境生产率:有条件"环境库兹涅茨曲线"的实证检验[J]. 中国农村经济,2015(7):17-30.

[8] 许登峰,刘志雄. 广西环境库兹涅茨曲线的实证研究[J]. 生态经济,2014(2):52-56.

[9] 杨槿,陈雯,袁丰. 苏州老城区文化产业空间格局演化及其机理分析[J]. 地理科学,2015(12):1551-1559.

[10] 王惠,卞艺杰,王树乔. 出口贸易、工业碳排放效率动态演进与空间溢出[J]. 数量经济技术经济研究,2016(1):3-19.

[11] 林毅夫,姜烨. 经济结构、银行业结构与经济发展:基于分省面板数据的实证分析[J]. 金融研究,2006(1):7-22.

(收稿日期:2016-12-05 编辑:方宇彤)