

中国省域污染强度变动的空间效应分解

胡萌 刘峰*

摘要:降低污染强度对改进环境质量,建设“美丽中国”具有重要意义。通过构建空间因素分解分析模型,本文利用LMDI I分解技术,将污染强度的变动分解为三个空间效应:效率效应、密度效应和分布效应,并以中国24个省2007-2016年的工业废水、工业二氧化硫和工业烟粉尘污染强度为样本进行了计算。研究结果显示:总体上,工业废水和二氧化硫强度逐步下降,而工业烟粉尘强度逐渐上升;密度效应为正效应,分布效应为负效应,效率效应则因污染物种类不同存在分化;效应程度由弱到强依次为分布效应、密度效应和效率效应。基于研究结论,本文给出以下政策建议:减少行政障碍,提高城市经济密度;保持废水空间排放效率上升的良好态势,重点抑制烟粉尘空间排放效率不利的变化;在制定城市体系规划时,力促经济活动向空间排放效率、经济密度提升更高的城市集中。

关键词:污染强度;空间因素分解;效率效应;分布效应;密度效应

一、引言

近年来,中国的环境质量有了一定的改善,但是在经济增长的环境约束下,与“美丽中国”和“健康中国”的要求还有一定的差距。与此同时,中国的空间经济布局尚处在重要的调整期。确定城市规模应该集中还是均衡化分布,以及选择和实现合适的经济密度等问题,成为优化经济空间布局,实现高质量发展的重要理论和实践课题。本文旨在将上述两方面结合起来,从空间经济这个新的视角,研究反映环境质量的一个重要指标——污染强度,以期为进一步优化环境质量、调整经济活动的空间布局提供一个新的着力方向并给出相关建议。

污染强度是消耗强度指标之一。后者是资源环境经济学研究中的一个常用指标,它是资

*胡萌,青岛大学经济学院,邮政编码:266071,电子信箱:humeng888@sohu.com;刘峰,青岛大学经济学院,邮政编码:266071,电子信箱:1351486088@qq.com。

本文系青岛市社会科学规划项目“青岛市环保公共服务绩效的提升研究”(QDSKL1701058)的阶段性成果。感谢匿名审稿专家提出的修改意见,文责自负。

源和环境系统的投入与经济系统的产出之比,反映经济活动的资源和环境效率。其中,学者们对能源强度的研究最多,其次是碳强度、水消耗强度以及一些污染物强度等等(张友国,2010;陈诗一,2011;孙欣、张可蒙,2014;付云鹏等,2015;屈超、陈甜,2016;张峰等,2017;傅智宏,2018)。目前针对消耗强度的研究主要分为两类:一类是以环境库兹涅茨曲线为框架,利用计量经济学方法研究影响消耗强度及其地区差异的因素;另一类是建立闭合系统模型,对影响消耗强度变动的因素进行完全分解,统称因素分解法。

国内对环境库兹涅茨曲线的研究始于本世纪初,目前积累的文献十分丰富。从研究的空间尺度上看,既有对全国层面的研究,也有对省、市层面的研究;从研究指标上看,一般选择能源强度、污染强度等作为被解释变量;从影响因素上看,除了常见的人均GDP指标,产业结构、能源结构、技术进步、环境规制、政府干预、对外贸易、外商直接投资、城市化等因素也被相继纳入研究视野(林伯强、蒋竺均,2009;许广月、宋德勇,2010;高宏霞等,2012;刘华军、裴延峰,2017;赫永达等,2017;唐啸、胡鞍钢,2018)。由于被解释变量、解释变量的指标选择,研究的空间尺度以及样本期间的确定等不尽相同,研究结论也存在差异,显示了环境库兹涅茨曲线的经验性,即在特定的时空上具有不同的表现形态。

因素分解法主要分为以下几类。一是基于Kaya恒等式建立的因素分解分析模型(FDA),其中较为常见的是指数分解技术(IDA)。早期的FDA模型多将总的消耗强度分解为产业(或地区)结构、部门(或地区)消耗强度、能源结构、经济规模等因素(韩智勇等,2004;吴巧生、成金华,2006;齐志新、陈文颖,2006;胡萌等,2011;王锋等,2013;王韶华等,2015),随着研究的深入,更多新的驱动因素逐渐被纳入到因素分解的框架,如夏晨霞和王子龙(2018)除了将能源强度的变动分解为传统的经济规模、产业结构、部门能源强度、能源结构因素外,还将其分解为运输线路单位长度能耗、运输线路产出能耗、人均生活用能与城市化等因素。二是将FDA与投入产出技术相结合,构建结构分解分析模型(SDA),该模型不仅能将市场需求因素纳入进来,还能进行结构化的分解,可以用来计算能源消耗系数、完全需求、最终需求、最终需求结构和最终能源消耗总量等因素对能源强度变动的的影响,如李玲等(2017)、Wang等(2017)的研究。三是针对FDA模型的不足,即不能进一步解释部门消耗强度变动的原因而将其笼统地归为部门能源或环境效率,提出的基于生产函数的生产分解分析模型(PDA),如Wang(2011)基于谢泼德产出距离函数,将能源强度的变动分解为产业结构效应、能源间替代效应、技术效率效应、资本能源替代效应和劳动能源替代效应。Wang等(2018)在其基础上进一步拓展,构建了一种可以进行多层分解的PDA方法。他们首先将一个国家的碳排放强度分解为对各地区的影响,再将对各地区的强度分解为对各行业的影响,继而计算某一地区的行业结构变动对一国的碳强度变动的的影响。但是,PDA方法也存在理论计算结果与预期、实际情况相悖的缺陷。Wang(2011)的研究显示,1990-2005年的北京和上海的产业结构变动对能源强度的变动有负面影

响,这与产业结构向服务业转变有利于减少能源强度的逻辑是不相符的。鉴于此,林伯强和杜克锐(2014)通过在第一阶段使用FDA,第二阶段使用PDA,将PDA和FDA结合起来,以解释部门能源强度变动,这样既能分解部门能源强度变动的原因,又能得出合理的结论。

与上述研究不同的是,本文欲从一个全新的视角,即经济活动的空间组织形态,来分析污染强度变动的影响因素。区域经济学、空间经济学、城市经济学等都涉及对经济活动的空间组织和布局的研究,其中有两个重要的研究对象,一是经济活动的空间密集度,也称经济密度,指单位面积土地上经济效益的水平,如成德宁和杨敏(2015)、何文举(2017)的研究显示,中国的城市经济密度的提高有利于降低污染强度。二是城市规模分布,也称城市体系结构,指一个国家或地区内城市规模的层次分布。重点发展大城市还是中小城市,城市规模应该集中还是均衡化分布,一直是中国城市化政策关注的焦点之一。目前鲜有文献从资源和环境效率视角研究城市规模分布,代表性的研究如陆铭和冯皓(2014),其以人口指标度量各省的城市规模分布,发现人口在省内的集中有利于降低单位工业增加值的污染强度,认为中国当前设置行政障碍避免人口和经济活动向区域中心城市集中的做法对实现减排目标是不利的。

综上,现有文献对消耗强度、经济密度和城市规模分布三方面的研究成果都颇为丰富,但是笔者还未曾看到将三者结合起来的研究。鉴于此,本文拟借助空间因素分解模型框架,通过将污染强度的变动分解为经济密度、城市规模分布和空间排放效率三个方面的影响,以考察密度效应、分布效应和效率效应对污染强度变动的影响。从空间经济的视角研究污染强度问题,既丰富了污染强度的研究内容,拓展了因素分解法的研究领域,也为进一步降低污染强度提供一个新的方向,还为经济活动的空间布局调整展示一个新的视角。

二、空间因素分解模型的构建

为了将经济密度、城市规模分布等空间因素统一纳入对污染强度的研究框架,本文基于Kaya恒等式的基本原理,构建了如下空间因素分解分析模型(SFDA):

$$I = \frac{W}{GRP} = \sum_{i=1}^n \frac{W_i}{A_i} \times \frac{A_i}{GRP_i} \times \frac{GRP_i}{GRP} \quad (1)$$

式(1)中, I 、 W 、 GRP 、 W_i 、 A_i 、 GRP_i 分别表示一个地区的污染强度、污染物排放量、该地区的经济规模、该地区内城市 i 的污染物产生量、该地区内城市 i 的建成区面积、该地区内城市 i 的经济规模, n 为该地区内城市的总个数。

$$\text{令 } x_i = \frac{W_i}{A_i}, m_i = \frac{A_i}{GRP_i}, f_i = \frac{GRP_i}{GRP},$$

则式(1)可表示为:

$$I = \sum_{i=1}^n x_i m_i f_i \quad (2)$$

式(2)中, x_i 表示城市 i 单位建成区面积上的污染物排放量,反映了空间污染强度,本文定义

为空间排放效率,以下简称排放效率,它取决于城市的产业结构、能源结构、技术水平与环境管理水平等因素。一般来说,一个城市的污染物的空间污染强度直接影响它的环境质量,进而影响居民的健康福利。 m_i 表示创造单位经济规模需要的建成区面积,用以衡量各城市的经济密度,它取决于城市的行政区划和地理形态、城市管理和规划、产业结构等因素,体现了一个城市对土地及其附属投资的利用效率。 f_i 表示各市经济规模占本地区经济规模的比重,反映一个地区的城市规模分布状况,经济规模最大的城市的占比即城市首位度。就一个地区而言,辖区内各市的单位建成区面积产生的污染越少,即排放效率越高,总的污染强度 I 就越低;各市的经济密度越高, m_i 就越低,总的污染强度 I 就越低。在各市的排放效率和经济密度一定的情况下,经济活动向排放效率更高和经济密度更高的城市集中,会降低总的污染强度,反之则会增加污染强度。因此,总的污染强度受排放效率、经济密度、城市规模分布三个空间因素的共同作用,该闭合系统可以对三个因素的影响程度进行完全分解。

三、变量的描述统计

(一)数据来源和处理

本文以省域作为研究单元,一是考虑到城市之间经济活动的流动更多发生在省内城市之间。Henderson(2007)认为,从劳动力迁移的角度看,中国的城市化是高度本地化的,远距离的人口迁移较少。省际行政边界的存在抑制了大城市对外省城市的吸纳效应。此外,中国的城市间存在着严格的行政层级,省级政府影响省内城市的经济活动和人口流动,因此,以省为单位研究城市规模分布等空间因素具有现实意义。二是相关统计一般以省为核算单元。本文选取2007年到2016年24个^①省级单位及其所属278个地级市的工业废水排放量、工业二氧化硫产生量、工业烟(粉)尘产生量作为污染物的排放量指标,原始数据来源于历年的《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》和各省统计年鉴。各市的面积采用建成区面积,它较行政区面积更能反映土地及其附属的经济投入所产出的经济成果,数据来源于历年《中国城市统计年鉴》。考虑到口径的一致性,各市的经济规模在地区生产总值(GRP)的基础上剔除了第三产业增加值,且以2007年为固定基期做了不变价格处理,各省不变价GRP则由其所属地级市的不变价GRP加总得到。各市历年现价GRP和不变价GRP指数、第三产业增加值及其指数来自于各省统计年鉴和wind数据库。

(二)污染强度状况

历年各省平均污染强度的变化如图1所示。工业废水强度逐年下降的趋势比较明显,工

^① 因为4个直辖市不存在城市规模分布的问题,且西藏、青海、海南和港澳台地区的数据不全,所以本文只研究24个省。

业二氧化硫强度总体上也呈现下降势头,而工业烟粉尘强度则基本呈现上升趋势。与2007年相比,2016年各省的工业废水强度都有所下降,平均下降幅度达67.79%^①;除辽宁、江苏、山东、新疆外,各省的工业二氧化硫强度均下降,平均下降幅度为28.09%;而除了吉林、黑龙江、宁夏等7省外,其余省份的烟粉尘强度都有所上升,平均上升幅度为31.5%,新疆、山东、云南等上升幅度尤为显著。从区域上分析,中部和西部地区的污染物强度普遍较高,而东部和东北地区的污染强度较低。具体来看,北方地区的工业废水排放强度比南方高,而南方地区的工业二氧化硫和烟粉尘排放强度比北方地区高^②。就三种污染物强度的下降程度而言,中部地区的工业二氧化硫强度下降最大,达35.31%,东部地区的废水下降幅度最大,达到73.1%;东北地区的烟粉尘上升幅度最小,仅为7%,而东部地区上升达到37.6%。

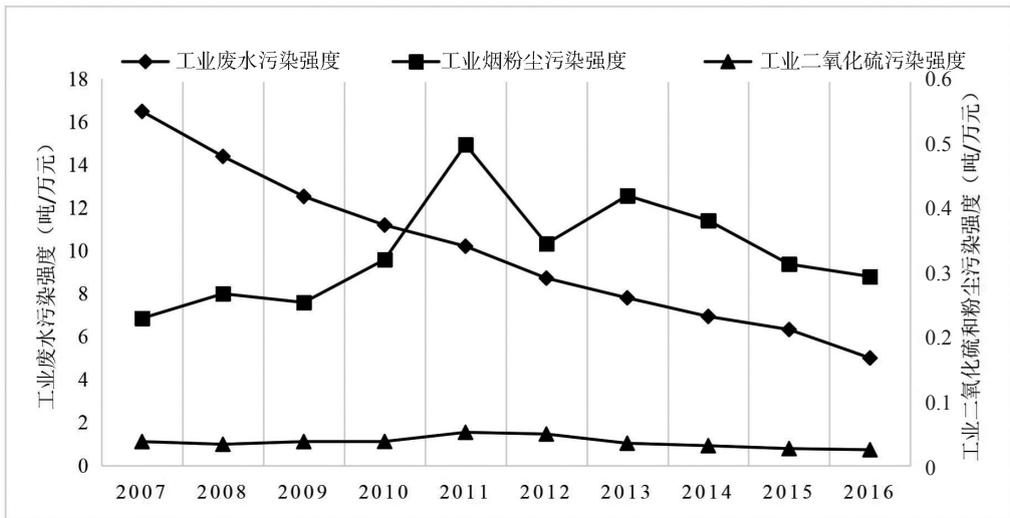


图1 历年各省的三种污染物平均污染强度

(三)经济密度状况

2016年东、中、西部地区城市的平均经济密度分别为0.069、0.079和0.098km²/亿元,较2007年都有一定程度的提高。其中中部城市的经济密度提高幅度最大,达到45.5%,其次是西部和东部。虽然绝大多数的城市经济密度都有所上升,但也有7个东部城市,4个中部城市和4个西部城市出现了经济密度的下降。此外,各省的生产总值位居前两位的城市(一般为省会或计划单列市等中心城市),其经济密度却普遍不高。如山西、吉林、云南、青海与新疆等省,首位城市的经济密度为省内最低,江苏、浙江、福建、山东、湖北、贵州、广西、河南、陕西与

①由于工业废水强度指标的计算采用的是排放量,强度值会被低估,由此计算的下降幅度会有一定误差。

②东部、中部、西部和东北部的划分采用国家统计局的区域划分标准;南北划分以中国自然地理秦岭-淮河为界,以江苏、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、四川、云南、贵州为南方地区,剩余省份为北方地区。

甘肃,首位城市的经济密度位居省内倒数后三位,河北、内蒙古、黑龙江、安徽、湖南等的首位城市的经济密度在省内属中等水平,只有辽宁、江西和宁夏的首位城市的经济密度在省内属较高水平。这反映省会等中心城市的土地利用效率反而不及省内其它城市,城市蔓延相对更为严重。

(四)城市规模分布状况

为了考察一省所有城市规模分布的状况,本文借鉴金田林等(2017)的做法,利用上述的规模分布变量 f_i 计算赫芬达尔指数(HHI),计算结果如表1。

$$HHI = \sum_{i=1}^n (GRP_i / \sum_{i=1}^n GRP_i)^2 = \sum_{i=1}^n f_i^2 \tag{3}$$

由表1知,2016年,宁夏、贵州、新疆、云南等的 HHI 较大,表示城市规模分布更加集中;而山东、广东、广西、辽宁等的 HHI 较小,说明城市规模分布更加均衡。从动态上看,通过计算2016年 HHI 与2007年 HHI 的比值发现,6个省份小于1,18个省份超过1,意味着大多数省份的城市规模分布有集中态势。从东中西部差异看,东部、中部和西部地区2007年和2016年的平均 HHI 都由低到高变化,其中中部地区的指数上升较大,而东部和西部的指数微弱下降。从南北差异来看,北方地区的 HHI 始终在南方地区以上,说明北方地区的城市分布更加集中。此外,从2007到2016年,各省的平均一城首位度和二城首位度都有所提高,极化状况有所加强。2016年,中部地区省份的平均一城首位度最高,其次是东部和西部地区,但西部地区提高的幅度最大,东部的最小,并且有山东、江苏、福建、河北四个东部省份的一城首位度在下降;西部地区省份的平均二城首位度最高,并且提高的幅度也最大,其次是中部,东部地区反而有所下降。可见,中西部省份中心城市的极化趋势较为明显,而东部省份的极化出现停滞甚至下降。

表1 2007-2016年中国各省城市规模分布的赫芬达尔指数

省份	2007	2016	比值	省份	2007	2016	比值	省份	2007	2016	比值
河北	0.136	0.147	1.081	吉林	0.235	0.254	1.081	内蒙古	0.112	0.119	1.063
江苏	0.113	0.120	1.062	黑龙江	0.207	0.194	0.937	广西	0.100	0.103	1.030
浙江	0.131	0.140	1.069	山西	0.100	0.099	0.990	四川	0.116	0.121	1.043
福建	0.168	0.177	1.054	安徽	0.203	0.245	1.207	贵州	0.313	0.211	0.674
山东	0.108	0.120	1.111	江西	0.186	0.202	1.086	云南	0.252	0.241	0.956
广东	0.095	0.116	1.221	河南	0.072	0.077	1.069	陕西	0.123	0.123	1.000
辽宁	0.106	0.101	0.953	湖北	0.186	0.192	1.032	甘肃	0.124	0.149	1.202
				湖南	0.106	0.117	1.104	宁夏	0.253	0.273	1.079
								新疆	0.261	0.233	0.893
东部	0.130	0.129	0.992	中部	0.141	0.150	1.064	西部	0.211	0.205	0.972

注:比值为2016年的 HHI 与2007年的 HHI 之比。

(五) 排放效率状况

2016年与2007年相比,三种污染物的排放效率的变动有以下特点:(1)各市平均单位建成区面积排放的工业废水量都是下降的,彰显工业废水的治理成效。(2)各市平均单位建成区面积产生的工业二氧化硫排放量有所上升,平均上升幅度为5.9%,但这是因为新疆的数量上升过大引起,如果排除新疆,23个省的数量有所下降,从省份数量看,下降的省份为15个,显示工业二氧化硫的排放效率总体上有所提升。(3)各市平均单位建成区面积产生的工业烟粉尘数量全部都上升,平均上升幅度达156%,上升最大的广东省达到791%,东部地区上升幅度居各区域之首,达249%,显示烟粉尘对城市环境造成的巨大压力,这亦是近年PM_{2.5}、PM₁₀等颗粒物污染备受关注的的重要原因。总体来看,首位度较高的城市排放效率也较高。

四、污染强度变动的因素分解结果与分析

(一) 分解方法

FDA模型一般采用IDA方法,其中较为常用的是Divisia指数分解法,其又分为采用算术平均权数的AMD方法 and 采用对数平均权数LMDI方法。AMD方法的优点在于权数计算简单,但是也存在分解有残值,无法处理数据中的零值的缺陷。Ang和Liu(2001)将LMDI分为LMDI I和LMDI II两种方法,区别在于前者在计算权函数时使用被分解变量的规模值,后者使用比重值,但是两者都能做到分解无残值。考虑到LMDI I方法的权数计算更简单,且在加总过程中具有一致性,可用于处理多层数据,因此本文采用这种方法对污染强度进行分解,具体分解过程如下:

$$I_{tot} = I_t / I_0 = D_x D_m D_f \tag{4}$$

定义 I_{tot} 为一省污染强度的变动,即总效应。 D_x 为各市的排放效率变动对省污染强度变动的的影响,称为效率效应; D_m 为各市经济密度的变动对省污染强度变动的的影响,称为密度效应; D_f 为一省内部的城市规模分布变动对该省污染强度变动的的影响,称为分布效应,三种效率效应的计算公式为:

$$D_x = \exp\left(\sum_i \frac{V_i^T - V_i^0}{\ln V_i^T - \ln V_i^0} / \frac{V^T - V^0}{\ln V^T - \ln V^0} \times \ln \frac{x_i^T}{x_i^0}\right) \tag{5}$$

$$D_m = \exp\left(\sum_i \frac{V_i^T - V_i^0}{\ln V_i^T - \ln V_i^0} / \frac{V^T - V^0}{\ln V^T - \ln V^0} \times \ln \frac{m_i^T}{m_i^0}\right) \tag{6}$$

$$D_f = \exp\left(\sum_i \frac{V_i^T - V_i^0}{\ln V_i^T - \ln V_i^0} / \frac{V^T - V^0}{\ln V^T - \ln V^0} \times \ln \frac{f_i^T}{f_i^0}\right) \tag{7}$$

其中:

$$V_i^0 = x_{i0} m_{i0} f_{i0}; \quad V_i^1 = x_{i1} m_{i1} f_{i1}$$

$$V^0 = \sum_{i=1}^n x_{i0} m_{i0} f_{i0}; \quad V^1 = \sum_{i=1}^n x_{i1} m_{i1} f_{i1}$$

(二)计算结果及分析

由图1可知,三种污染物的污染强度总体上具有较平稳的趋势性,且城市规模分布不会在短期内发生太大变动,其对污染强度的影响是较为长期的,所以本文不做逐年分解。为了使各省的分解结果具有可对比性,本文统一以2007年为基期,2016年为报告期对各省进行污染强度变动的分解,计算结果见表2、表3和表4。

总体来看,从三种效应的方向来说,密度效应都为正效应,各省工业废水、二氧化硫和烟粉尘强度变动的平均密度效应分别为0.665、0.654和0.651,经济密度的提高有利于降低污染强度。分布效应总体上为负效应,各省工业废水、二氧化硫和烟粉尘强度变动的平均分布效应分别为1.041、1.032和1.038,除了辽宁和广西,其余省份的分布效应都为负效应,说明我国的城市规模分布的变动不利于污染强度的降低,存在经济活动向排放效率提升更慢、经济密度增加更少的城市集中的情况。效率效应存在分化,工业废水强度变动的效率效应为正效应,工业二氧化硫和烟粉尘强度变动的效率效应为负效应,尤其是工业烟粉尘,其效率效应达到1.97,成为造成污染强度上升的首要因素。此外,各省三种污染物的污染强度的效率效应、密度效应和分布效应的方向或同为正,或同为负,基本都是一致的,说明污染物的种类差异不会从方向上影响其强度变动的各种空间效应。

从三种效应的程度来看,分布效应相对较小。由于政府的行政限制,城市规模分布的变动具有长期性和缓慢性,因此其对污染强度变动的影响也是一个长期和缓慢的过程,所以分布效应相对不如另两种效应显著。广东、贵州的分布效应比较大,三种污染物强度的分布效应介于1.10到1.18的区间中波动,山东、江苏、甘肃和四川在1.05到1.10区间变动,这些省份城市规模分布的变动对污染强度的变动产生了较强的不利影响。

效率效应的程度因污染物种类的不同差异较大。工业二氧化硫强度变动的效率效应较小,各省平均值为1.067,而工业烟粉尘和废水强度变动的效率效应很大,达到1.97和0.48,成为影响两者变动的首要因素。三种污染物强度变动的密度效应的程度则差异不大,各省的平均密度效应都在0.6到0.7之间,基本属于影响三者强度变动的第二位因素,对污染强度的下降也起到了积极作用。

具体到省,就效率效应而言,新疆、甘肃、内蒙古、安徽、山东的三种污染物强度变动的效率效应都低于平均水平,福建、云南、陕西的工业烟粉尘变动的效率效应,江苏、贵州的工业二氧化硫强度变动的效率效应,云南、贵州、黑龙江的工业废水强度变动的效率效应都低于平均水平。需要强调的是,除了黑龙江和四川,其余省份工业烟粉尘强度变动的效率效应值都大于1,甘肃和新疆甚至超过了4,7个省份处于2到4之间,说明烟粉尘的空间密集度的急剧上升对强度变动会产生极端不利影响。就经济密度效应而言,各省的经济密度效应总体上较为

乐观,但是相对来说,广东、山西、四川、云南等的密度效应相对较小,城市经济密度的增加对污染强度下降的作用相对较弱。

就分布效应而言,除了辽宁和广西,其余省份的三种污染物强度变动的分布效应都大于1,其中最为严重的是贵州、广东、江苏、吉林、山东、四川、陕西、浙江等省份。辽宁、广西等省份具有较大的正分布效应,可能是因为经济活动向排放效率提升更快的城市集中,这些城市在全省经济份额中的比重提高,使得污染强度下降。而大多数负分布效应的省份的情况正好相反,只有浙江等省份主要由于经济活动向经济密度更低的城市集中,导致较大的负分布效应。此外,城市规模分布的集中度与分布效应之间并无显著相关性。利用表1的各省HHI比值,计算其与工业废水、二氧化硫和烟尘强度变动的分布效应值的相关系数,分别为-0.17、-0.12和-0.28,P值分别为0.575、0.488和0.179,说明城市规模分布的集中度与分布效应之间的相关关系并不显著,这是因为,两者之间究竟是正相关还是负相关,取决于经济活动是向经济密度、排放效率提高更快还是更慢的城市集中。比如广西和辽宁,两者的分布效应都为正效应,但是前者的城市规模分布走向集中,而后者更为分散。

从区域差异看,效率效应呈现从东、中、东北到西部地区递减的态势,东部地区的效率效应最优,污染物空间密集度下降对污染强度下降的正面作用最大,但是密度效应最差,经济密度增加对污染强度下降的推动作用不如其他地区,密度效应则从东北、中、西到东部递减。所有区域的三种污染物的平均分布效应都大于1,城市规模分布的变动不利于污染强度的降低。总体上,东部和西部地区的分布效应最大,经济活动的城市流向更不利于污染强度的降低。中部地区的城市规模分布变动对其工业二氧化硫强度上升的推动作用比较突出。从南北差异看,南方地区的分布效应普遍高于北方,具体见图2。

表2 2007-2016年各省的工业废水排放强度因素分解

省份	效率效应	密度效应	分布效应	总效应	省份	效率效应	密度效应	分布效应	总效应
河北	0.364	0.701	1.038	0.265	河南	0.350	0.587	1.041	0.214
江苏	0.351	0.737	1.153	0.298	湖北	0.349	0.558	1.027	0.200
浙江	0.403	0.720	1.044	0.303	湖南	0.324	0.554	1.012	0.182
福建	0.277	0.668	1.047	0.194	内蒙	0.610	0.593	1.026	0.371
山东	0.518	0.742	1.056	0.406	广西	0.149	0.743	0.935	0.103
广东	0.215	1.058	1.085	0.247	四川	0.301	0.745	1.046	0.234
辽宁	0.437	0.682	0.983	0.293	贵州	0.779	0.440	1.178	0.404
吉林	0.402	0.448	1.044	0.188	云南	0.947	0.669	1.054	0.668
黑龙江	0.708	0.579	1.004	0.412	陕西	0.374	0.604	1.035	0.234
山西	0.513	0.811	1.007	0.419	甘肃	0.601	0.563	1.090	0.368
安徽	0.426	0.568	1.021	0.247	宁夏	0.224	0.757	1.028	0.175
江西	0.430	0.716	1.030	0.317	新疆	1.361	0.718	1.010	0.988

表 3 2007-2016年各省的工业二氧化硫排放强度因素分解

省份	效率效应	密度效应	分布效应	总效应	省份	效率效应	密度效应	分布效应	总效应
河北	0.703	0.708	1.035	0.515	河南	0.842	0.588	1.037	0.513
江苏	0.692	0.711	1.067	0.994	湖北	0.964	0.543	0.996	0.521
浙江	0.708	0.688	1.024	0.499	湖南	0.690	0.580	1.015	0.406
福建	0.521	0.701	1.037	0.379	内蒙	1.914	0.487	1.024	0.955
山东	1.275	0.766	1.056	1.031	广西	0.351	0.740	0.952	0.247
广东	0.549	0.838	1.104	0.508	四川	0.392	0.847	1.050	0.349
辽宁	1.520	0.689	0.963	1.009	贵州	1.123	0.522	1.160	0.680
吉林	0.914	0.437	1.062	0.424	云南	0.653	0.759	1.012	0.502
黑龙江	0.793	0.542	1.006	0.433	陕西	0.802	0.605	1.050	0.510
山西	0.910	0.807	1.006	0.739	甘肃	0.733	0.531	1.056	0.411
安徽	1.227	0.619	1.021	0.776	宁夏	1.047	0.629	1.022	0.672
江西	0.954	0.634	1.021	0.618	新疆	4.711	0.708	0.999	3.333

表 4 2007-2016年各省的工业烟粉尘排放强度因素分解

省份	效率效应	密度效应	分布效应	总效应	省份	效率效应	密度效应	分布效应	总效应
河北	1.472	0.713	1.033	1.084	河南	1.409	0.782	1.053	1.686
江苏	1.329	0.702	1.065	1.387	湖北	1.952	0.589	1.035	0.858
浙江	1.705	0.678	1.036	1.198	湖南	1.483	0.563	1.012	0.844
福建	2.669	0.702	1.024	1.920	内蒙	2.095	0.520	1.020	1.111
山东	2.047	0.782	1.053	1.686	广西	1.767	0.778	1.096	1.278
广东	1.498	0.778	1.096	1.278	四川	0.712	0.825	1.030	0.605
辽宁	1.622	0.658	0.995	1.063	贵州	1.404	0.445	1.159	0.723
吉林	1.324	0.452	1.059	0.634	云南	2.188	0.800	1.002	1.754
黑龙江	0.835	0.587	1.048	0.514	陕西	2.002	0.610	1.048	1.280
山西	1.795	0.766	1.009	1.387	甘肃	4.898	0.514	1.072	2.698
安徽	2.769	0.604	0.988	1.652	宁夏	2.341	0.689	1.017	1.641
江西	1.538	0.666	1.023	1.048	新疆	4.414	0.709	1.007	3.152

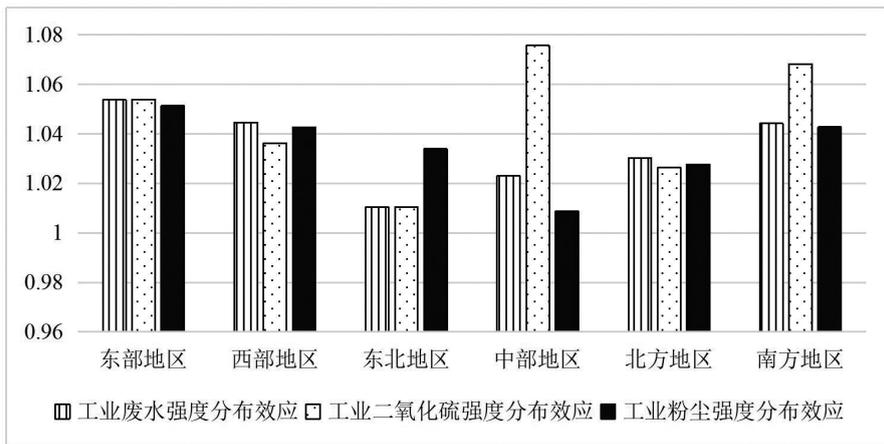


图2 各区域污染强度变动的平均分布效应

五、结论和政策含义

本文以空间经济为视角,通过构建空间因素分解模型,利用LMDI I分解技术分析了排放效率、经济密度、城市规模分布对污染强度变动的的影响程度,进而描述了三个因素的时空差异和演变,得出以下结论:

(1)总体上,工业废水和二氧化硫的污染强度逐年下降,前者下降幅度更大,而工业烟粉尘的污染强度呈现上升态势。中部和西部地区的污染强度较东部高,南方的污染强度较北方高,但中部地区的污染强度总体上下降力度最大。样本城市的工业废水排放效率有所提升,而工业二氧化硫和烟粉尘的排放效率下降,尤其是后者下降的幅度最大。工业烟粉尘排放效率下降有如下特点:一是普遍性,各省的平均单位建成区面积产生的工业烟粉尘数量全部都上升;二是严峻性,平均上升幅度达156%,个体极端值达到791%,东部地区上升幅度居各区域之首,达249%,这应该是造成雾霾天气的重要原因之一,对环境质量和居民健康产生的威胁较大。

(2)东部、中部和西部地区城市的平均经济密度逐次递增,但中部地区的经济密度提高幅度最大,东部地区提高的幅度最小。各省经济规模第一、二位的中心城市,经济密度却普遍不及省内其它城市,说明土地的利用效率与其经济发展水平不匹配。

(3)中国各省的城市规模分布总体上有一定的集中态势,城市规模分布的集中度由西向东递减,北方高于南方。就极化程度而言,中部地区的极化程度最高,但西部地区极化程度提高得最快,两个地区的经济活动都向省会城市集中的态势更为明显,相较而言,东部各省的经济活动在省内城市之间的布局更为均衡。

(4)污染强度变动的三种效应,从方向上看,密度效应都为正效应,分布效应都为负效应,效率效应存在分化,工业废水强度变动的效率效应为正,工业二氧化硫和烟粉尘强度变动的

效率效应为负效应。从程度上看,总的来说,分布效应最低,其次是密度效应,效率效应最大。此外,负分布效应大多是因为经济活动向排放效率提升更慢的城市集中,而并非是向经济密度提升更慢的城市集中而导致。区域来看,东部地区的效率效应优于其他地区,但是密度效应不如其他地区。所有区域的分布效应都为负效应,东部和西部尤为突出,南方的负效应高于北方。

基于上述结论,本文提出以下建议:

第一,在污染物种类上,要加大烟粉尘污染强度下降的力度;区域上,要注重中、西部地区、南方地区的污染强度的绝对水平的下降,而东部地区要关注的是提高污染强度下降的幅度。要重点抑制烟粉尘空间排放强度的上升势头,以降低颗粒物空间排放密度,减少对城市环境和居民健康的损害,尤其是广东、山东、福建等东部地区烟粉尘排放强度上升较大的省份;工业二氧化硫方面则要重点关注新疆等空间排放强度上升幅度过大的省份。

第二,中部和西部地区的经济密度有待进一步提高,同时,东部地区的经济密度的提升幅度要加强,省会、计划单列市等首位城市要避免无经济效率的城市扩张,减少对人口流入的限制,提高经济密度,从而降低污染强度。

第三,制定环境政策时,也要考虑空间因素的影响,通过调整产业结构、推动技术进步、改进城市规划和管理等措施,保持经济密度上升和空间排放强度下降对各省污染强度下降的促进作用。在制定城市体系规划时,力促经济活动向排放效率提升更快、经济密度增加更大的城市集中,以降低污染强度。

参考文献:

- [1] 陈诗一. 中国碳排放强度的波动下降模式及经济解释[J]. 世界经济, 2011, (4): 124-140.
- [2] 成德宁, 杨敏. 城市经济密度与污染排放强度关系的实证研究: 基于我国地级市数据[J]. 学习与实践, 2015, (10): 5-14.
- [3] 付云鹏, 马树才, 宋琪. 中国区域碳排放强度的空间计量分析[J]. 统计研究, 2015, 32(6): 67-73.
- [4] 傅智宏. 基于投入产出表的隐含问题计算方法辨析——以中国增加值出口隐含国内碳排放强度计算为例[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, (6): 132-147.
- [5] 高宏霞, 杨林, 付海东. 中国各省经济增长与环境污染关系的研究与预测——基于环境库兹涅茨曲线的实证分析[J]. 经济学动态, 2012, (1): 52-57.
- [6] 韩智勇, 魏一鸣, 范英. 中国能源强度与经济结构变化特征研究[J]. 数理统计与管理, 2004, 23(1): 2-6.
- [7] 何文举. 城市集聚密度与环境污染的空间交互溢出效应[J]. 中山大学学报(社会科学版), 2017, 57(5): 192-200.
- [8] 赫永达, 刘智超, 孙巍. 能源强度视角下中国“环境库兹涅茨曲线”的一个新解释[J]. 河北经贸大学学报, 2017, 38(3): 41-48.

- [9] Hendersn, J. V. 中国的城市化:面临的政策问题与选择[J]. 城市发展研究, 2007, 14(4): 32-41.
- [10] 胡萌, 李坤, 乔晗. 山东省能源消费强度变动的结构及效率效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(5): 164-169.
- [11] 金田林, 严汉平, 岳利萍. 中国省际城市规模分布演进的经济增长效应研究[J]. 人文杂志, 2017, (7): 52-60.
- [12] 李玲, 张俊荣, 汤铃, 余乐安. 我国能源强度变动的影响因素分析—基于SDA解技术[J]. 中国管理科学, 2017, 25(9): 126-130.
- [13] 林伯强, 杜克锐. 理解中国能源强度的变化: 一个综合的分解框架[J]. 世界经济, 2014, (4): 69-86.
- [14] 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.
- [15] 刘华军, 裴延峰. 我国雾霾污染的环境库兹涅茨曲线检验[J]. 统计研究, 2017, 34(3): 45-54.
- [16] 陆铭, 冯皓. 集聚与减排: 城市规模差距影响工业污染强度的经验研究[J]. 世界经济, 2014, (7): 86-114.
- [17] 齐志新, 陈文颖. 结构调整还是技术进步?——改革开放后我国能源效率提高的因素分析[J]. 上海经济研究, 2006, (6): 12-15.
- [18] 屈超, 陈甜. 中国2030年碳排放强度减排潜力测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(7): 62-67.
- [19] 孙欣, 张可蒙. 中国碳排放强度影响因素实证分析[J]. 统计研究, 2014, 31(2): 61-67.
- [20] 唐啸, 胡鞍钢. 创新绿色现代化: 隧穿环境库兹涅茨曲线[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 1-6.
- [21] 王锋, 冯根福, 吴丽华. 中国经济增长中碳强度下降的省区贡献分解[J]. 经济研究, 2013, (8): 143-145.
- [22] 王韶华, 于维洋, 张伟, 白洁. 基于产业和能源的河北省分产业碳强度因素分析[J]. 经济地理, 2015, 35(5): 166-173.
- [23] 吴巧生, 成金华. 中国工业化中的能源消耗强度变动及因素分析——基于分解模型的实证分析[J]. 财经研究, 2006, 32(6): 77-81.
- [24] 夏晨霞, 王子龙. 基于BP结构突变的中國能源强度及因素分解研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 28-33.
- [25] 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): 37-46.
- [26] 张峰, 宋晓娜, 薛惠锋, 董会忠. 环境规制、技术进步与工业用水强度的脱钩关系与动态响应[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(1): 193-200.
- [27] 张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究, 2010, (4): 120-130.
- [28] Ang, B. W. and F. L. Liu. A New Energy Decomposition Method: Perfect in Decomposition and Consistent in Aggregation[J]. Energy, 2001, 26(6): 538-543.
- [29] Wang, C. Sources of Energy Productivity Growth and Its Distribution Dynamics in China[J]. Resource and Energy Economics, 2011, 33(1): 279-292.
- [30] Wang, H., B. W. Ang, and B. Su. Assessing Drivers of Economy-Wide Energy Use and Emissions: IDA Versus SDA[J]. Energy Policy, 2017, 107(8): 585-599.
- [31] Wang, H., B. W. Ang, and P. Zhou. Decomposing Aggregate CO₂ Emission Changes with Heterogeneity: An Extended Production-Theoretical Approach[J]. The Energy Journal, 2018, 39(1): 59-79.

Spatial Effect Decomposition of Provincial Pollution Intensity Change in China

Hu Meng and Liu Feng

(School of Economics, Qingdao University)

Abstract: Reducing the intensity of pollutant emission is of great significance to improving environmental quality and building a "beautiful China". By building a spatial factor decomposition analysis model and using LMDI I decomposition technology, the variation of pollution intensity is divided into three spatial effects: efficiency effect, density effect and distribution effect. Then the discharge intensity of industrial wastewater, industrial SO₂ and industrial smoke and dust of 24 provinces in China from 2007 to 2016 was calculated. The results show that, the intensity of industrial wastewater and SO₂ decreases gradually, while the intensity of industrial smoke and dust increases gradually. The density effect is positive, the distribution effect is negative, and the efficiency effect is differentiated according to the different pollutants. The order of effect degree from weak to strong is distribution effect, density effect and efficiency effect. Based on the research conclusion, the main measures to reduce the intensity of pollutant discharge are as follows, reducing administrative barriers and improving urban economic density, maintaining a good trend of increasing space emission efficiency of wastewater and SO₂, focusing on restraining unfavorable changes in space emission efficiency of smoke and dust, and concentrating economic activities into cities with higher improvement of spatial emission efficiency and economic density in the formulation of urban system plan.

Keywords: Intensity of Pollutant Emission; Spatial Factor Decomposition; Efficiency Effect; Distribution Effect; Density Effect

JEL Classification: Q56, R12

(责任编辑:朱静静 卢玲)