

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

成德宁 杨 敏

摘要 伴随着新一轮新型城市化的实施,我国人口和产业还将继续向城市地区集聚。人口和产业向城市地区集聚、城市密度进一步提高是否会导致城市环境污染的加剧呢?本文基于 2005~2012 年我国 277 个地级城市及以上城市的面板数据,实证分析了城市经济密度与污染排放强度的关系。研究结果表明,城市经济密度与环境污染排放强度呈倒“U”型关系,初期城市经济密度的提高会增加环境污染排放强度,但如果在经济密度提高的同时,实现产业结构的优化,可以降低环境污染排放强度。在现阶段,我国城市还处在经济密度的提高有利于降低环境污染排放强度的阶段,但城市经济密度对环境的正向效应在东、中、西部地区之间存在差异。

关键词 城市经济密度 污染排放 城市承载能力

中图分类号 F062.2

文献标识码 A

文章编号 1004-0730(2015)10-0005-10

改革开放以来,我国城镇化率迈上快速提升的轨道。据统计,1978~2013 年,我国大陆城镇常住人口从 1.7 亿人增加到 7.3 亿人,城镇化率从 17.9%提升到 53.7%。这不仅改变了我国过去“城镇化滞后于工业化,滞后于经济发展水平”的局面,而且城镇常住人口数量在历史上首次超过农村人口,实现了城乡社会结构的历史性转变。城镇化成为推动我国社会经济发展的重要动力。

在改革开放以来的 30 多年里,我国的城市化深受体制转型进程的影响,且具有两个典型特征:一是人口和产业开始摆脱城乡分割体制的束缚,快速向城市地区集聚,城市化水平迅速提高^[1];二是在户籍制度、土地制度的影响下,土地城市化速

度快于人口城市化速度,城市用地呈现低密度粗放扩展、大城市“摊大饼”式蔓延的趋势^[2]。为了进一步发挥城市化在社会经济中的牵引作用,并克服以往城市化的弊端,我国于 2014 年制定并开始实施《国家新型城镇化规划(2014~2020 年)》,致力于走出一条“以人为本、四化同步、优化布局、生态文明、文化传承的中国特色新型城镇化道路”。《国家新型城镇化规划》明确提出,要合理控制城镇开发边界,优化城市内空间结构,促进城市紧凑发展,防止城市边界无序蔓延,人均城市建设用地严格控制在 100 平方米以内,建成区人口密度逐步提高。伴随着新一轮新型城市化战略的实施,我国人口和产业还将继续向城市地区集聚,城市地

区的人口和经济活动的密度也将进一步提高。那么,城市的经济密度与污染排放之间存在什么样的关系?在我国城市当前环境问题日益严重的背景下,人口和产业向城市地区聚集、密度进一步提高,是否会导致城市环境污染的加剧?这是普通民众和政策决策者都十分关注的问题。本文致力于实证分析我国城市经济活动集聚对环境污染排放强度的影响,厘清城市经济密度与污染排放强度之间的关系,这对推进我国新型城镇化战略具有十分重要的理论与现实意义。

一、文献综述

在城市经济学中,城市最优规模一直是研究的重要议题。在探索城市化道路时,政策决策者往往把关注的重点放在优先发展何种规模的城市等问题方面。20世纪80年代以来,我国学术界曾出现过“优先发展小城镇”、“优先发展中等城市”和“优先发展大城市”等不同观点的激烈争论。我国过去遵循的国家城市建设和发展总方针(“严格控制大城市,合理发展中等城市,积极发展小城镇”)也是基于城市规模而制定的,城市规模始终是城市发展战略和城市规划的重点。然而,我国城市的人口和经济规模是以行政区域界线为基础来进行统计的,而一个城市的城市化地区与行政区域往往不一致,以行政区域为基础统计出的城市规模,往往不能反映一个城市经济的本质特征。例如,我国重庆市于1997年设立为直辖市,下辖38个区县,面积8.24万平方公里,2013年末户籍人口达到3343万之多,但不能由此认为重庆市就是全国规模最大的城市。实际上,从经济学的角度来看,人口和产业高密度聚集是城市经济的本质特征,研究城市的密度比研究城市的规模更有意义。

城市密度是指城市单位面积上的人口或经济活动的数量,是度量城市人口和产业空间聚集程度的重要指标。一般可以用城市人口密度、城市就业

密度和城市经济密度等指标来度量城市密度的不同侧面。探索城市高密度的原因和后果,也成为学术研究的热点。克鲁格曼(Paul Krugman)^[3]、藤田昌久(Masahisa Fujita)^[4]等新经济地理学家,基于不完全竞争和收益递增,建立起一个简单的“核心-外围”模型,分析了经济活动聚集的原因。许多城市经济学家在新经济地理理论的基础上,着重分析城市经济密度对劳动生产率的影响。如Ciccone and Hall^[5]利用美国县级数据,发现就业密度每增加一倍,劳动生产率会提高6%。国内学者范剑勇^[6]、陈良文^[7]、刘修岩^[8]也分别利用不同的样本数据,实证检验了密度对劳动生产率带来的积极影响。

随着可持续发展理念的兴起,学者们不再仅仅关注城市密度对经济效率的影响,也开始关注城市密度对资源和环境带来的影响。范进^[9]认为,城市人口低密度化发展会导致城市能耗增加,不利于节能减排。而程开明^[10]通过分析城市紧凑度与能源消耗的关系,也指出城市越紧凑发展,人均能源消耗越低。黄志基等^[11]根据世界银行《2009年世界发展报告》提出的“3D”即密度(Density)、距离(Distance)和整合(Division)分析框架,对环境污染排放进行了研究,认为密度与污染排放总量和排放强度都呈倒“U”型关系,且密度的提升能够显著降低环境污染排放强度。刘习平等^[12]还以城市经济密度为产业集聚的代理变量,运用扩展模型,认为城市产业集聚能有效改善城市环境。

有学者从工业集聚的角度分析了集聚与环境污染的关系,认为工业集聚与环境污染之间存在着非线性关系并存在门槛值。李筱乐^[13]借鉴Copeland-Taylor模型,利用2000~2009年30个省的数据构建模型分析了工业集聚与环境污染的关系,得出工业集聚与环境污染(二氧化硫排放总量)呈倒U型关系。具体而言,在以市场化水平为门限变量的分析中,当市场化水平较低的时候,工业集聚会导致环境污染加剧(二氧化硫排放总量),而市场化水平较高时,工业集聚会减少环境污染(二氧化硫

排放总量)。杨仁发^[14]同样借助 Copeland-Taylor 模型,使用 2004~2011 年的省级数据检验了产业集聚与环境污染(二氧化硫排放总量)的关系。认为产业集聚与环境污染并非简单的线性关系,二者之间呈现出非线性关系,并有很显著的门槛特征。当产业集聚水平低于门槛值时,产业集聚增加了二氧化硫排放总量,而当产业集聚高于门槛值时,产业集聚可以减少二氧化硫排放总量。

总之,随着产业人口的进一步集聚和环境污染问题的日益加重,对经济聚集和环境之间关系的讨论逐渐成为学者们研究的热点。但以往的研究还存在以下不足,有待进一步深化研究:一是在研究城市环境时,聚焦于城市经济增长规模对环境污染排放影响的研究较多,而关于城市经济密度对环境污染排放影响的研究较少;二是环境污染物排放是一个动态的连续累积过程,静态面板模型隐含的假设条件为环境污染排放处于稳态水平,这与现实情况不符;三是局限于省际数据的实证分析较为宏观,而在我国,省际内部差异也很大,将数据进一步深入到微观的地级市,有助于更加准确地反映出城市经济密度对污染排放的影响。

基于此,本文力求在上述三个方面有所突破,从城市经济密度的视角,在考虑城市环境承载力的情况下,不仅考察城市经济密度对污染排放物的静态影响,而且研究城市经济密度对污染排放物的动态影响以及区域差异,从而更加详实科学地度量城市经济密度对污染排放的实际影响,进而为各区域制定有针对性的环境政策提供政策依据。

二、理论假设及模型、变量和数据来源

(一)理论假设

从理论上来看,城市经济密度与环境污染排放强度二者之间有着必然的关系。城市经济密度本身是伴随着城市经济发展水平的变化而变化的,在分析经济发展水平和污染排放强度关系时

遗漏城市经济密度这一变量容易造成估计偏误。人口与产业在城市地区的集聚将减少重复建设所导致的污染,而边际污染物排放量可能有随着工业规模增加而递减的规模经济性质(Andreoni and Levinson)^[15]。人力、资本和技术等经济要素在城市地区的集聚,有利于企业的创新 and 技术的扩散,特别是环境治污技术的创新以及外溢可以提高环境治污能力,降低单个企业的排放总量和排放强度,同时聚集于城市的企业和各部门共同承担污染治理成本,可以降低单个企业的治污成本,提高企业治理污染的积极性,进而达到降低污染排放物的目的。随着城市密度的提高,土地和劳动力成本上涨,那些能耗高、污染大的产业,受政府监管和公众监督的环境成本日益增加,城市通过产业结构优化和逐步升级淘汰这些污染产业,可以降低城市的污染排放。此外,城市经济发展水平的提高,也促使公众环保意识的增加,会降低城市的污染排放。因此,我们提出假说 1:城市经济密度的提高会降低污染排放强度。

在分析城市经济密度与污染排放强度的关系时,鉴于我国三大经济带的经济密度、经济结构等有着较大的差异,为了考察这种异质性,我们提出假说 2:城市经济密度与污染排放的关系具有区域异质性。

环境污染物的排放内生于经济活动中,城市人口规模的扩大、生产活动的增加和经济密度的提高均会加大对资源的利用以及更多能源的消耗,释放出更多的污染物,造成地区环境污染物的增加。特别是随着城市建成区面积的扩大,城市居民平均的通勤距离延长,机动车数量的迅猛增加,交通拥堵日益严重,也可能会导致环境污染排放物的增加。Claeser and Kahn^[16]使用美国 66 个大都市区的数据,研究发现,郊区居民比市中心居民更容易选择私家车出行,导致了耗油量和碳排放的增加。为此我们提出假说 3:城市经济密度与污染排放强度的关系并不是线性的,取决于城市经济

密度对污染排放的不同作用机制。

此外，在分析城市密度与污染排放强度的关系时，我们还必须考虑城市环境容量问题，即城市的环境承载力问题。从静态角度而言，城市的环境容量是一个固定值，超过这个值会造成城市环境灾难。但是，根据城市生态学的理论，城市的环境容量除固有的自然资源外（水、空气等），还跟社会资源（公共基础设施水平等）、经济发展水平、经济结构、居民的生产和消费方式以及城市的空间形态等息息相关，而且，从长期来看，城市的环境容量并不是一个静态的固定值，而是处于时刻动态变化之中，特别是随着生产技术尤其是治污技术以及经济结构的改变，城市环境承载力即城市容量是可以扩大的。

(二)模型设定和变量选取

反映城市经济活动密度的变量有城市经济密度（城市国内生产总值 / 城市市辖区面积）、城市就业密度（城市就业人口 / 市辖区面积）、城市人口密度（城市人口总量 / 市辖区面积）等指标。鉴于本文研究对象为环境污染排放物，因而选取城市经济密度来度量城市密度。

为了检验城市经济密度对环境污染排放的影响，本文设置以下基本的计量模型。

$$pollution_{it} = \beta_0 + \beta_1 density_{it} + \alpha X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

(1)式中，被解释变量 $pollution_{it}$ 为各城市的环境污染物 j 和 t 分别表示地区和时间，解释变量 $density_{it}$ 代表各个城市的经济密度， X_{it} 为影响城市环境污染排放的一系列控制变量， ε_{it} 为随机误差项。

$pollution$ 代表环境污染水平。地区的环境污染水平一般由三个指标予以表示，一是环境污染排放总量，该指标虽然能说明一个地区的环境污染水平，但不能说明在不同经济规模和产出水平上的环境质量状况。二是环境污染排放强度，环境污染排放强度为该地区环境污染排放总量与工业总产值的比值。意味着每产出一元经济效益所排

放的环境污染量，排放强度越强，该值越大，继而意味着同等水平的产出带来的污染也越多。相反，若环境排放强度值变小则意味着该地区在原有产出水平上的环境质量得到了改善。三是人均污染排放量指标，该指标在跨国数据研究中也经常使用，但在国内部，人均排放量容易受到城市流动人口规模的影响。因此，本文选择环境污染排放强度作为环境污染水平的代理变量。遵照国内研究的传统，鉴于数据的可获得性，本文选择了各地级市的工业二氧化硫排放强度(RSO_2)和工业烟尘排放强度($RSOOT$)两个指标，可以较为全面地反映地区的环境污染排放强度水平。

$density$ 代表城市经济密度变量。在描述城市密度变量时，有城市经济密度、城市人口密度和城市就业密度等指标。本文采用城市经济密度指标来衡量，用市辖区内国内生产总值(GRP)除以市区建成区面积。用城市建成区面积而不是以行政区划分的市辖区面积，更能反映城市密度，进而准确地概括出城市经济集聚状况。

X_{it} 为影响城市环境污染的控制变量。一个地区的环境污染水平受到当地经济发展水平、产业结构以及对外开放程度的影响。

$PGRP$ 是经济发展水平的代理变量。环境污染物的排放与经济发展水平相关。随着经济发展水平的逐步提高，人们对环保意识的增强以及社会对环境质量要求的提高，将减轻污染排放，从而达到改善环境质量的目的。本文选取人均国内生产总值 $PGRP$ 作为经济发展水平的代理变量。

STR 代表经济结构。一个城市的环境污染状况跟每个城市的经济结构有着较大的关系，在经济发展的不同阶段，产业结构对环境的影响存在差异。本文将产业结构的变量引入模型，选择各地级市第二产业产值占该区当年国内生产总值的比重来表示。一般而言，第二产业比重越大，污染排放越多。

$open$ 作为对外开放程度的代理变量。在开放

经济下,城市的环境污染状况还受到城市对外开放程度的影响。对外贸易对环境有三方面的作用机制,即规模效应、结构效应和技术效应^[17]。但研究表明,贸易对环境的影响还可能存在着“污染避难所假说”^[18]。*open* 用各地级市的进出口总额与地级市国内生产总值的比值来表示,在计算过程中,依据当年人民币兑换美元的年平均汇率将其单位转化为人民币,并且以 2005 为基期消除价格因素的影响。

综合上述分析,本文将模型进行对数化并加以扩展,得到实证分析模型一,用来检验假说 1:

$$\begin{aligned} \ln pollution_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln density_{it} \\ & + \beta_2 \ln PGRP_{it} \\ & + \beta_3 \ln STR_{it} \\ & + \beta_4 \ln open_{it} + e_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

考虑到我国东部地区、中部地区和西部地区在城市经济密度、经济发展水平、对外开放程度等一系列经济变量上存在着较大的差异。下面我们用地区变量和城市经济密度的交叉项来分别验证不同区域城市经济密度对环境污染排放强度的影响。*east* 表示东部地区城市为 1,其余地区取 0;*mid* 表示中部地区城市取 1,其余地区取 0;*west* 表示西区地区城市取 1,其他地区取 0。东部地区、中部地区以及西部地区的划分遵循我国三大经济带的划分传统。城市经济密度与东部地区、中部地区以及西部地区的交叉项分别为 $\ln density_{it} \times east$ 、 $\ln density_{it} \times mid$ 和 $\ln density_{it} \times west$ 。为此,我们建立实证分析模型二,用来验证假说 2:

$$\begin{aligned} \ln pollution_{it} = & \beta_0 + \beta_1 \ln density_{it} \\ & \times east + \beta_2 \ln density_{it} \\ & \times mid + \beta_3 \ln density_{it} \\ & \times west + \beta_4 \ln PGRP_{it} \\ & + \beta_5 \ln STR_{it} \\ & + \beta_6 \ln open_{it} + e_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

现实中,由于环境变量通常具有一定的路径

依赖特征,前期情况对当期结果可能存在不可低估的影响,由于产业结构、减排技术、环境政策的调整以及其他经济惯性的影响,环境污染排放的调整往往是一个连续、缓慢的动态过程^[19]。污染物排放也可能存在着滞后效应,而动态模型的滞后项可以控制滞后效应。同时,考虑到城市经济密度与环境污染之间并不是简单的线性关系,我们引入城市经济密度的二次项来进行验证^[20]。因此,本文构建如下动态面板数据模型,得到实证分析模型三,用来验证假说 3:

$$\begin{aligned} \ln pollution_{it} = & \beta_0 + \gamma \ln pollution_{i,t-1} \\ & + \beta_1 \ln density_{it} \\ & + \beta_2 \ln density_{it}^2 \\ & + \beta_3 \ln PGRP_{it} + \beta_4 \ln STR_{it} \\ & + \beta_5 \ln open_{it} + e_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

(三)数据来源及描述性统计

本文选择 2005~2012 年中国的 286 个地级市及以上作为样本,数据主要来源于《中国城市统计年鉴》(2006~2013)和《中国区域统计年鉴》(2006~2013)中的地级市数据资料。为了消除通货膨胀的因素,我们以各地级市的 GRP 指数和固定资产投资指数进行了平减处理。必须说明的是,由于我国的地级市还包括下属的县级市以及其他开发区等,我们在选择指标的时候都是采用市辖区的数据;同时由于部分城市的建成区面积在短时间内由于合并或新区建设导致市辖区面积发生翻倍增长,这部分极端异常值我们将删除掉;另外一些城市的部分数据难以获得,我们进行了删除处理。因此,最终进入实证分析的样本为 277 个,总计 2216 个观察值。

本文采用 STATA12.0 进行统计回归,结果如表 1 所示。在 2005~2012 年间,全国 277 个样本城市中,各污染物的排放各不相同。以二氧化硫排放强度为例,均值为 374.4994 吨/亿元,最小值仅为 0.01 吨/亿元,而最大值却为 9011.186 吨/亿

表 1 样本数据描述(2005~2012)

变量名	单位	均值	方差	最小值	最大值
RSO ₂	吨 / 亿元	374.4994	730.4823	0.010286	9011.186
RSO _{OT}	吨 / 亿元	201.013	783.5991	0.038375	22487.31
DENSITY	万元 / 平方公里	48332.57	42332.48	334.2003	619165.8
OPEN		0.530049	0.825335	0.000705	7.37648
STR	100	51.33013	12.35242	16.38	90.97
PGRP	万元 / 人	37678.83	28778.76	2662	278161

元 ;以工业烟尘排放强度为例 ,均值为 201.013 吨 / 亿元 ,最小值仅为 0.0384 吨 / 亿元 ,而最大值竟然高达 22487.31 吨 / 亿元 ,这表明各地区的环境污染排放强度有较强的异质性。以经济密度表示的城市密度变量均值为 48332.57 万元 / 平方公里 ,最小值为 334.2 万元 / 平方公里 ,最大值为 619165.8 万元 / 平方公里 ,意味着各地区城市经济密度存在很大的不同。此外 ,经济发展水平、产业结构和对外开放度这些变量离散程度也较大。因此 ,有必要使用各地级市的微观数据来分析城市经济密度对环境污染排放的影响。

三、实证结果

(一)变量相关性分析

首先对各关键变量进行相关性分析。各污染物排放强度之间的相关性显示 :工业二氧化硫排放强度与工业烟尘排放强度为中度正相关 ,为 0.37。各污染物排放强度与城市密度变量之间的相关性显示 :城市经济密度与工业二氧化硫排放强度、工业烟尘排放强度为弱负相关 ,分别为 -0.23 , -0.11。其他变量如经济发展水平、产业结构以及对外开放度与各污染物排放强度也不存在高度相关。需要指出的是 ,城市经济密度与人均 GDP 之间存在中度正相关 ,为 0.5。

(二)结果分析

本文是“大 N 小 T 型”平衡面板 ,为了控制未观测因素的影响 ,在回归之前先进行 Hausman 检

验 ,以确定是选取固定效应模型(fixed effects ,简称为“FE”)或随机效应模型(random effects ,简称为 RE)。回归结果在 1%的显著性水平上均拒绝了随机效应模型 ,所以本文采用固定效应的回归结果 ,如表 3 所示。

表 3 的左边两列显示了以工业二氧化硫排放强度和工业烟尘排放强度为被解释变量 ,在模型一基础上的估计结果。解释变量 Indensity 的系数在 10%的统计水平上显著为负 ,城市经济密度每提高 1 个百分点 ,工业二氧化硫排放强度降低约 0.06% ,工业烟尘排放强度降低约 0.12%。

其他解释变量中 ,对外开放度对污染物排放的影响不一致。工业二氧化硫排放强度为正值 ,但统计意义上不显著 ,而在工业烟尘排放强度中 ,显著为负数 ,表明对外开放度每增加 1 个百分点 ,则工业烟尘排放强度降低约 0.06%。对此的解释为 :对外开放度对不同的污染排放物作用机制不一样 ,并且对外开放度是一个城市环境质量的重要影响因素。这一研究结论也与彭水军^[9]的研究是一致的。产业结构变量的系数均为正 ,且在 5%的水平上高度显著 ,一个地区的经济结构中第二产业每提高 1% ,工业二氧化硫的排放强度增加约 0.568% ,而工业烟尘的排放强度增加约 0.34%。这说明一个地区第二产业结构比例越高 ,环境污染排放强度越大。同时也表明我国当前的城市经济结构偏向于重型工业化结构 ,重型工业化结构的特点在于“高投入、高污染、高排放” ,这种结构不利于降低环境污染排放强度 ,必须加快城市产

表 2 各变量相关性分析

	RSO ₂	RSOOT	density	open	STR	PGRP
RSO ₂	1					
RSOOT	0.3666	1				
density	-0.2297	-0.1114	1			
open	-0.0195	-0.0436	0.2106	1		
STR	-0.2796	-0.1422	0.1974	-0.0414	1	
PGRP	-0.3019	-0.1494	0.5	0.2339	0.3491	1

业结构转型,向“低消耗、低污染、低排放”的低碳经济结构转型。

经济发展水平在 1%的水平上显著为负,意味着经济发展水平提高 1%,工业二氧化硫排放强度和工业烟尘排放强度分别降低约 1.1%和 0.85%。这说明经济发展水平和技术水平的提高增加了产值也降低了污染物的排放;另一方面,人们的生活水平提高,环保意识的加强和环境保护政策的出台有助于降低环境污染物的排放。

表 3 的右边两列显示了以工业二氧化硫排放强度和工业烟尘排放强度为被解释变量,在模型

表 3 城市经济密度对污染排放强度的影响

解释变量	lnRSO ₂ (Fe)	lnRSOOT (Fe)	lnRSOOT (Fe)	lnRSO ₂ (Fe)
Lndensity	-0.06* (-0.0461)	-0.118* (-0.0661)		
Indensity × east			-0.16 (-0.118)	-0.0795 (-0.0828)
Indensity × mid			-0.377*** (-0.0962)	-0.178*** (-0.0674)
Indensity × west			-0.0516 (-0.0833)	-0.022 (-0.0583)
lnopen	0.013 (-0.0226)	-0.0549* (-0.0324)	-0.0492 (-0.0323)	0.0145 (-0.0226)
lnSTR	0.568*** (-0.104)	0.338** (-0.149)	0.467*** (-0.154)	0.570*** (-0.108)
lnPGRP	-1.088*** (-0.0404)	-0.845*** (-0.0578)	-0.856*** (-0.06)	-1.069*** (-0.042)
_cons	14.62*** (-0.497)	12.60*** (-0.712)	11.99*** (-0.761)	14.75*** (-0.533)
N	2216	2216	2216	2216
R2	0.42	0.397	0.304	0.422
adj. R2	0.336	0.28	0.188	0.337

注:*为 10%统计水平上显著,**为 5%统计水平上显著,***为 1%统计水平上显著。

二基础上的估计结果。Hausman 检验结果拒绝了随机效应模型,所以报告了固定效应模型回归结果。解释变量 Indensity × esat 的系数为负,但在统计意义上并不显著; Indensity × mid 的系数显著为负,表明中部地区的城市经济密度每提高 1%,工业二氧化硫排放强度和工业烟尘排放强度分别降低 0.38%和 0.18%; Indensity × west 系数为负数,但在统计意义上也不显著。这表明,中部地区城市经济密度的提高显著降低了污染物排放强度,而东部和西部地区城市经济密度的提高对降低环境污染排放强度的作用有限。可能存在的原因在于:东部地区城市经济起步早,城市集聚程度高,外资利用程度较高,人口和产业也高度集中于城市,加上新一轮产业结构转型和调整,东部地区的部分产业向西部地区转移,使得东部地区的环境污染问题影响因素更为复杂。而西部地处我国内陆,城市经济起步晚,大量的人口流出,招商引资能力有限,城市规模较小,城市经济密度较低,工业化的路径与东部地区截然不同,因而城市经济密度对西部地区的环境污染排放强度作用也有限。对于中部地区,随着中部崛起战略的实施,相比西部而言,中部地区已有的工业基础和地理位置在承接东部地区产业转移上更有优势,一方面促使中部地区经济总量迅猛增加,另一方面技术效应的扩散降低了污染物的排放,中部地区城市经济密度的提高显著降低了环境污染排放强度。

对外开放变量的系数在统计意义上不显著。第二产业结构比重变量的系数显著为正,意味着

城市地区中第二产业的比重每提高 1 个百分点，工业二氧化硫排放强度和工业烟尘排放强度分别增加约 0.47%和 0.57%。经济发展水平在 1%的水平上显著降低了各区域的环境污染排放强度，表明经济发展水平是我国环境污染排放强度的重要影响因素。与模型 1 的回归结果基本一致。

(三)系统 GMM 估计结果分析

参照前文的分析，我们引入了表 4。表 4 是基于模型(4)的系统 GMM 估计结果。系统 GMM 分为一步法(One-Step System GMM)和两步法(two-step system GMM) 估计。相比较 SYS-GMM 一步法估计，系统 GMM 估计两步法尽可能地消除了异方差的干扰，不过在样本容量有限的情况下，两步法的标准误可能产生向下偏倚，为了消除这种可能存在的非稳健性，我们采用 Windmeijer^[21]提出的方法对其进行矫正。SYS-GMM 估计量一致性的重要假设在于：随机扰动项允许存在一阶序列相关，但不允许存在二阶序列相关，我们通过序列相关检验 AR(1)、AR(2)来判断。为了验证工具变量的可靠性，我们使用 Sargan 检验值来验证，若对应的 P 值越大，我们接受工具变量合适的原假设。

表 4 的回归结果显示，滞后一期的工业二氧化硫排放强度和工业烟尘排放强度与当期的工业二氧化硫排放强度和工业烟尘排放强度在 1%的水平上显著正相关，说明环境污染物的排放是一个连续、动态累积的调整过程，前期的污染物排放强度对当期的环境污染排放强度有着重要影响，也充分验证了本文动态模型的设定是有效的。干扰项序列相关检验中 AR(1)存在一阶序列相关，AR(2)不存在二阶序列相关，接受扰动项无自相关的假设。Sargan 检验的 P 值均大于 0.1，表明工具变量是有效的，不存在过度识别问题。Wald 检验 P 值均为 0，说明模型整体显著，拟合效果较好。

解释变量 Indensity 与工业二氧化硫排放强度、工业烟尘排放强度在 1%的水平上一次项显著为正，二次项显著为负。意味着城市经济密度与

表 4 城市经济密度对污染排放的系统 GMM 估计结果

解释变量	lnRSO ₂ (GMM)	lnRSO _{OT} (GMM)
L.lnRSO ₂	0.844*** (-172.9)	
L.lnRSO _{OT}		0.457*** (-45.95)
Indensity	1.266*** (-7.85)	0.986*** (-2.68)
Indensity2	-0.0679*** (-8.85)	-0.0908*** (-5.37)
lnopen	0.0586*** (-10.71)	-0.0116 (-0.76)
lnSTR	0.0714*** (-2.62)	0.314*** (-4.07)
lnPGRP	-0.137*** (-13.88)	-0.0478 (-1.49)
_cons	-3.334*** (-3.91)	0.18 (-0.09)
N	1939	1939
AR(1)	-5.27*** (0.0000)	-4.6345*** (0.0000)
AR(2)	0.061 (0.54)	0.778 (0.4369)
Sargan	201.6926 (0.201)	220.21 (0.18)
Wald	78907.86 (0.0000)	13449.44 (0.0000)

注：* 为 10%统计水平上显著，** 为 5%统计水平上显著，*** 为 1%统计水平上显著。

污染物排放强度并不是简单的线性关系，而是倒“U”型关系。这说明城市经济密度的提高在初期会增加环境污染排放强度，原因在于：对于中国大多数城市而言，在经济发展初期，往往以经济总量增加为目标，人口和产业的生长和集聚使得城市的生长往往是“粗放式”、外延式的，对资源和能源消耗的增加自然会导致污染物排放的增加，进而导致污染排放强度的增加；随后经济活动的进一步扩大和聚集程度的提高，技术水平的日益提升和技术创新能力的加强，人们环保意识的加强和社会对环境污染排放的管制以及节能技术的推广，会促进污染排放强度日益降低，城市产业结构高级化和低碳化，降低环境污染排放强度。

城市经济发展水平与污染物排放强度呈单调递减的关系,城市经济发展水平越高,污染物排放强度越低,相关系数在 1% 的显著性水平上分别为 -0.137, -0.0478。通过系数我们发现,经济发展水平的日益提升促进了环境污染物排放强度的降低,经济发展水平每提高 1%,工业二氧化硫排放强度降低 13.7%,而工业烟尘排放强度降低了 4.78%。城市的经济结构若以第二产业为主将会显著地增加环境污染排放强度,第二产业比重每提高 1%,工业二氧化硫排放强度将增加 7.14%,工业烟尘排放强度将增加 31.4%。对外开放有助于降低工业烟尘排放强度,但不利于减轻工业二氧化硫的排放强度,这表明对外开放度对环境污染影响不一,取决于各具体污染物指标,也表明在对外开放过程中政府要加强环境监管,扬长避短,有效地改善城市环境质量。

四、结论与政策涵义

通过对我国地级市面板数据的经验分析,我们得到了城市经济密度与环境污染排放间的关系:

第一,城市经济密度与污染物排放强度并不是简单的线性关系,而是呈倒“U”型关系:初期城市经济密度的提高会增加环境污染排放强度,但如果经济密度提高的同时,实现产业结构的优化,可以降低环境污染排放强度。在现阶段,我国城市还处在经济密度的提高有利于降低环境污染排放强度的阶段。城市经济密度每提高 1 个百分点,工业二氧化硫排放强度降低约 0.06%,工业烟尘排放强度降低约 0.12%。分区域来看,中部地区城市经济密度的提高对当地环境污染排放程度的改善作用最大,相比之下,东部地区和西部地区城市经济密度提高对区域内的环境污染排放强度改善作用不明显。

第二,城市经济发展水平、经济结构水平与污

染物排放强度负相关。城市经济发展水平越高,正向环境效应会越大,其原因是技术水平的提高、环保意识的增强以及环境管制的强化。城市的经济结构是影响污染物排放强度的重要因素,城市的经济结构若以第二产业为主将会显著地增加环境污染排放强度,相反,降低第二产业的比重可以使城市的污染物排放强度显著降低。对外开放程度对污染物排放的影响作用不尽相同,对外开放有助于降低工业烟尘的排放强度,但对工业二氧化硫的排放强度作用不明显。

实证研究表明,在目前阶段,提高城市经济密度与改善环境质量、建设“美丽中国”两者目标是一致的。我国有必要进一步引导人口和产业集聚到城市地区,稳步推进城市化,并不断完善城市基础设施建设,提高城市公共服务水平,推行公共服务的均等化,吸引技术和人才,提高城市经济密度,有效发挥正向环境效应。同时,要以新型城市化为引擎,加快产业结构调整 and 升级,大力发展现代服务业,逐渐淘汰和升级高能耗、高污染的重化工业,减少环境污染物的排放。在实施对外开放的过程中,要加强环境监管,警惕污染密集型产业的转移,充分发挥技术改善环境的效应,提高治污水平,降低城市经济密度提高的负向环境效应。现阶段我国城市经济密度对污染物排放的效应在不同地区存在差异:东部地区要加快产业调整和升级速度,中部地区要尽可能地提高城市经济密度,完善公共服务水平;西部地区则要着力提高城市人口和产业吸纳能力。三大地区都要考虑实施“紧凑型”城市发展战略,提高城市密度,有效缓解“城市病”,减少污染排放,实现城市的可持续发展。

参考文献

[1]成德宁:《城市化与经济发展:理论、模式与政策》,北京:科学出版社,2004年。

- [2]陈海燕、贾倍思：《紧凑还是分散？——对中国城市在加速城市化进程中发展方向的思考》《城市规划》2006 年第 5 期。
- [3]Krugman P. Increasing Returns and Economic Geography [J]. *Journal of Political Economy*, 1991, 99(3): 483 - 499.
- [4]Fujita M, Thisse J. *Economics of Agglomeration: Cities, Industrial Location and Regional Growth*[M]. Cambridge University Press, 2002.
- [5]Ciccone A, Hall, R. Productivity and the Density of Economic Activity [J]. *American Economic Review*, 1996,86(2):54 - 70.
- [6] 范剑勇：《产业集聚与地区间劳动生产率差异》《经济研究》2006 年第 11 期。
- [7]陈良文、杨开忠、沈体雁等：《经济集聚密度与劳动生产率差异》《经济学季刊》2008 年第 10 期。
- [8]刘修岩：《集聚经济与劳动生产率》《数量经济技术经济研究》，2009 年第 7 期。
- [9]范进：《城市密度对城市能源消耗影响的实证研究》《中国经济问题》，2011 年第 6 期。
- [10]程开明：《城市紧凑度影响能源消耗的理论机制及实证分析》《经济地理》，2011 年第 7 期。
- [11]黄志基、马妍、贺灿飞：《中国城市环境污染排放的新经济地理解释》《软科学》，2013 年第 11 期。
- [12]刘习平、宋德勇：《城市产业集聚对城市环境的影响》《城市问题》2013 年第 3 期。
- [13]李筱乐：《市场化、工业集聚和环境污染的实证分析》《统计研究》2014 年第 8 期。
- [14]杨仁发：《产业集聚能否改善中国环境污染》，《中国人口·资源与环境》2015 年第 2 期。
- [15]Andreoni J,Levinson A. The Simple Analytic of the Environmental Kuznets Curve [J]. *Journal of Public Economics*, 2001(5):269 - 286.
- [16]Claeser,E.L.and Kahn,M.E.The Greenness of Cities :Carbon Dioxide Emissions and Urban Development. *Journal of Urban Economics*, 2010,67(3): 404 - 418.
- [17]Grossman G M , Krueger A B. Environmental impacts of the North American Free Trade Agreement. NEBR Working Paper 3914,1991.Economic Growth and the Environment [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1995,110(2) : 353 - 377.
- [18]Copeland B A, Taylor M S. North - South Trade and the Environment [J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1994,109(3):755 - 787.
- [19]彭水军、张文城、曹毅：《贸易开放的结构效应是否加剧了中国的环境污染：基于地级城市动态面板数据的经验证据》《国际贸易问题》2013 年第 8 期。
- [20]Panayotou T. Demystifying the Environmental Kuznets Curve: Turning a Black Box into a Policy Tool [J]. *Environmental and Development Economics*, 1997,2:465 - 484.
- [21]Windmeijer F. A Finite Sample Correction for the Variance of Linear Efficient Two - Step GMM Estimators [J]. *Journal of Econometrics*, 2005,126(1): 25 - 51.
- 作者简介：成德宁，武汉大学经济发展研究中心教授、博士生导师，湖北武汉 430072；杨敏，武汉大学经济管理学院博士研究生，湖北武汉，430072。
- （责任编辑：刘江涛）