

# 产业集聚及交通联系加剧了雾霾空间溢出效应吗?

——基于产业空间布局视角的分析

罗能生 李建明

(湖南大学 经济与贸易学院, 湖南 长沙 410079)

**摘要:** 从产业空间布局视角出发, 将反映城市间交通联系的运输距离矩阵及经济距离矩阵引入空间杜宾模型, 采用地级城市 AOD 和 AQI 两套雾霾数据, 实证检验了专业化和多样化的产业集聚与交通运输互动对雾霾溢出的影响。结果表明: (1) 加入交通因素后, 产业的专业化集聚显著地产生了雾霾污染的区域传输效应, 多样化集聚作用不明显; (2) 产业专业化集聚通过加大交通运输压力引起的雾霾区域传输效应对大中小城市均作用显著, 多样化集聚仅对中小城市作用显著, 而对大城市表现出促进减排的负向溢出效应; (3) 产业集聚与交通运输相互作用产生的区域传输效应存在有效边界和最强作用区间。研究结论对于推进城市差异化产业空间布局有重要的政策含义。

**关键词:** 专业化集聚; 多样化集聚; 交通运输; 雾霾溢出效应; 产业空间布局

**中图分类号:** F062.9      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1671-9301(2018)04-0052-13

DOI:10.13269/j.cnki.ier.2018.04.005

## 一、引言和文献综述

近年来, 我国城市雾霾污染问题日趋严重。2016 年底的跨年污染过程中, 京津冀及周边地区多个城市出现空气质量指数 AQI “爆表”的现象, PM<sub>2.5</sub> 日均峰值浓度达到 596 微克/立方米<sup>①</sup>。雾霾污染流动性很大, 表现出强烈的空间相关性和区域传输特征<sup>[1-2]</sup>。从环境保护部发布的北京 2017 年 PM<sub>2.5</sub> 来源解析中, 我们可以知道北京市全年 PM<sub>2.5</sub> 来源中区域传输贡献约达 28% ~ 36%, 特殊重污染过程中, 区域传输贡献可达 50% 以上<sup>②</sup>。因此, 深入研究区域间雾霾污染的空间溢出效应, 弄清楚雾霾空间传输的主要影响因素, 对于推进雾霾污染的协同治理具有重要的意义。那么是什么因素影响了区域间污染的传递或空间溢出? 我们认为在雾霾污染空间传输过程中, 产业的空间布局和交通关联可能是重要的影响因素。产业集聚作为区域间产业布局的基本体现, 反映了区域间经济的吸引互动, 因此可能引致污染的空间传递; 同时, 产业集聚与交通是紧密联系在一起, 交通是产业集聚的重要条件和推动机制, 是区域联系、互动的基本纽带, 因而也可能是区域间污染传递的重要途径。因此, 有必要深入去探讨产业集聚和交通关联对雾霾污染的传递影响。

那么具体来说, 产业空间集聚是否通过交通运输渠道影响了雾霾污染的区域传输效应? 不同产业集聚类型对于雾霾污染区域传输的影响路径有什么差异? 什么样的产业空间布局才有利于在保

收稿日期: 2018-04-28; 修回日期: 2018-06-15

**作者简介:** 罗能生(1957—), 男, 湖南新田人, 湖南大学经济与贸易学院教授、博士生导师, 研究方向为制度与区域经济发展; 李建明(1992—), 男, 河南新乡人, 湖南大学经济与贸易学院博士研究生, 研究方向为交通运输经济与区域经济发展。

**基金项目:** 国家社会科学基金重大项目(17ZDA081); 湖南省国际经济与国际工程管理研究中心基金项目(17IEPM04); 湖南省国际经济与国际工程管理研究中心基金项目(17IEPM05)

证经济发展的同时降低雾霾污染空间溢出效应呢?基于上述问题,本文试图将产业集聚、交通运输与雾霾污染纳入统一的分析框架,利用2003—2012年274个地级以上城市的气溶胶学厚度(AOD)及2015年环保部发布的286个地级市空气质量指数(AQI)两套雾霾数据,在充分考虑雾霾污染的空间相关性和溢出效应的基础上,基于空间杜宾模型和特征性事实对我国产业集聚、交通运输对雾霾污染空间溢出的影响进行研究,据此分析产业集聚与交通运输交互作用对雾霾污染的区域传输效应。

目前已有不少文献都讨论了产业集聚与环境污染的关系,但却鲜见产业集聚对污染传递影响的研究。毋庸置疑,产业集聚会对环境污染造成影响,但由于研究主体、视角和方法的差异,现有研究也并未在集聚和环境污染问题上得到一致性的结论。一种观点认为产业集聚具有明显的环境正外部性,并从企业间协同创新下的清洁技术溢出<sup>[3]</sup>、治污边际成本递减的规模效应<sup>[4]</sup>以及集群经济下的循环利用<sup>[5]</sup>等多个角度进行阐述,认为产业集聚能够达到促进经济增长和治理环境污染的双赢。另外一种观点认为当产业集聚达到一定的高度以后,更容易出现集聚的“过度拥挤”现象,产生集聚的集中排放效应<sup>[6-7]</sup>。我国学者王兵和聂欣<sup>[8]</sup>通过匹配河流水质观测点和开发区的地理信息,利用准自然实验研究了产业集聚对周边水环境的影响,发现短期内产业集聚的确成为环境治理的阻力,环境污染更多表现为空间上的“集中排放”现象。此外,也有观点认为产业集聚和环境污染之间存在非线性关系<sup>[9]</sup>。现有研究大多是在区域内定量地分析产业集聚对于污染的影响,并未考虑区域间环境污染的传递效应。但是,产业集聚作为区域间空间布局的基本体现,区域间的产业经济互动及污染传递效应对于真实地反映集聚与污染之间的关系非常关键,并且雾霾污染并非单纯的区域内环境问题,而是在很大程度上通过大气环流、产业转移、污染泄露、工业集聚和交通流动等自然和经济机制扩散或转移到临近地区<sup>[10]</sup>。因此从更大尺度上对城市间经济活动空间分布与雾霾污染传递效应之间关系进行研究就显得非常必要。

此外,交通运输作为联系区域内和区域间经济关系的纽带,不仅是产业集聚的重要条件和推进机制,而且公路交通运输过程中的尾气排放和拥堵显著地加剧了区域雾霾污染现象。如周新军<sup>[11]</sup>认为机动车尾气排放是雾霾污染的主要影响因素,应该从调整和优化当前现存交通运输结构出发来降低雾霾污染水平。邵帅等<sup>[12]</sup>采用系统广义矩估计对雾霾污染治理的政策经济选择进行检验,发现交通运输强度显著地加剧了我国的雾霾污染现象。同时,地域之间的交通运输过程也显著地推动了雾霾污染的区域传递效应,马丽梅等<sup>[13]</sup>采用杜宾模型对能源结构、交通模式与雾霾污染的关系展开分析,实证结果发现交通拥堵以及来自临近地区污染的空间溢出是造成雾霾的重要原因。王卉彤等<sup>[14]</sup>将交通拥堵作为调节变量,采用空间截面模型研究了职住平衡对雾霾污染影响,发现随着交通拥堵程度的上升,职住平衡的减霾效应逐渐下降,变相说明了交通拥堵加剧了城市间的雾霾污染传递效应。总之,交通运输不仅对本地区的雾霾污染产生影响,并通过空间溢出效应显著地影响临近的其他地区,忽略城市内部和城市间的交通联系去考虑产业集聚对环境污染的影响并不能充分解释现实生活中的交通拥堵和雾霾污染问题。因此,在借鉴以往文献研究经验和不足之处的基础上,本文选择从产业空间布局角度分析城市产业集聚及交通联系对雾霾污染溢出效应的影响。

与以往研究成果相比,本文的边际贡献主要在以下三个方面:第一,基于产业在不同城市之间的空间布局的差异,以城市间道路交通运输为切入点,通过产业集聚外部性来考量雾霾污染区域传输效应,以期为有效地开展区域联防联控,削减区域雾霾污染总量寻找政策着力点。第二,运用空间杜宾模型(SDM)的分析方法,除距离权重矩阵和经济地理权重矩阵以外,创新性地引入运输距离权重矩阵,全面深入考察城市间的地理联系、经济联系和交通运输联系,以期得到更加准确可靠的结果。第三,产业集聚对环境污染的作用受到产业空间布局的影响,由于城市规模和区位的不同,相同的产业集聚类型却很有可能表现出对环境污染完全相反的作用效果。本文准确地测算了区域传输效应

的有效区间,并基于有效区间内探讨了异质性城市规模下,产业集聚及交通运输对雾霾污染空间溢出的差异化影响。此外,本文的研究还具有重要的政策含义:在推进中国城市化战略进程中,结合城市规模等因素,各个城市应该采取差异化的产业集聚政策,提高资源配置效率,优化产业空间布局,降低城市雾霾污染程度,抑制其在空间上的区域传输效应。

## 二、理论机理和特征性事实

### 1. 理论机理

由于关于产业集聚、交通运输和雾霾污染传递的理论分析较少且零散地分布在其他问题的研究文献中,并且产业空间集聚所组成的空间组织形式包含了两个维度,一种是强调集群内产业垂直分工和水平关联的“生产关系维度”,另外一种包含产业空间集中和匹配的“空间关系维度”<sup>[15]</sup>。因此我们下面从产业集聚模式与交通运输交互对雾霾区域传输效应理论,雾霾区域传输和城市规模匹配理论两个方面进行梳理,以期对计量模型的设定和实证结果的解释提供理论基础。

#### (1) 产业集聚模式、交通运输压力与雾霾污染区域传输效应

从产业集聚模式来看,单个城市可以受益于同一行业内部的专业化集聚模式,也可以受益于行业间的多样化集聚模式。首先,Marshall<sup>[16]</sup>提出的专业化集聚主要是行业内的外部性,专业化集聚促进了行业内垂直的专业化分工协作。当前,城市群作为城市发展到成熟阶段的最高空间组织形式,城市群内部各城市间基于原材料的资源优势、中间产品供给优势和最终产品市场优势的产业专业化集聚虽然能够在更大程度上发挥分工优势,促进经济发展<sup>[17-18]</sup>,但是这种空间地域相对分散、经济联系紧密的城市群体极大程度上依赖于城市间发达的交通运输和通信等基础设施网络。同时,城市间道路交通运输过程中形成的尾气排放、污染泄露和产业转移等自然和经济机制无疑推动了雾霾污染的区域传输效应,形成雾霾污染的空间溢出。因此,专业化集聚往往引致更多的交通运输压力而产生雾霾污染的区域传输效应。其次,与专业化集聚不同,Jacobs<sup>[19]</sup>提出的多样化集聚主要是行业间的外部性,城市内的多样化集聚不仅能够实现中间投入品的共享(文化娱乐设施、金融和法律服务等),而且能够促进上下游产业间前向和后向的水平关联,实现消费的规模经济,同时城市内部互补性和关联性强的多样化产业集聚更能够有效地支撑区域发展的多样化中间投入品<sup>[20]</sup>,降低城市间中间产品的运输强度,甚至在一些大城市中,城市内部就是一个完备的一体化市场。因此多样化集聚强的城市能够通过降低交通运输压力从而减少雾霾污染的区域传输效应。最后,基于上述讨论,我们提出如下假设:

**H1:** 产业不同集聚模式与交通运输的交互作用对雾霾污染溢出的影响表现出差异性,专业化集聚会通过城市间原材料加工、中间产品供给和最终产品销售等渠道加大城市间交通运输压力而产生雾霾污染的正向空间溢出效应。而互补性和关联性强的多样化集聚则通过产业间前后关联、消费规模经济和中间品供给等渠道减轻交通运输压力而抑制雾霾污染的正向空间溢出效应。

#### (2) 产业集聚模式、城市规模匹配与雾霾污染区域传输效应

产业集聚模式虽然会通过引致交通运输压力不同而产生差异性的雾霾溢出效应,但是基于城市规模不同,这种雾霾的区域溢出效应往往也会有不同的表现。或者说,基于产业集聚模式与城市规模匹配的产业空间布局对于雾霾溢出效应问题的研究同样至关重要。这是因为产业集聚模式与城市规模的良性互动和有效匹配有助于提高全要素生产率,降低雾霾污染的溢出效应。一般来说,工业结构较为简单的中小型城市更加倾向于专业化集聚模式<sup>[21]</sup>,通过资源的集中利用、规模经济和环保技术溢出提高生产效率与环保水平;而对于产业链比较完善、工业规模庞大的大城市来说,一般具有多样化集聚模式,其主要原因可能是大城市具备提供在技术上具有规模报酬递增的多样化中间投入品<sup>[22]</sup>,降低生产要素在企业间的错配程度<sup>[23]</sup>。同时,在社会现实产业布局中,产业集聚易受到政府政策导向和城市经济发展方向等相关因素的影响<sup>[24]</sup>,城市内部产业集聚模式和规模很难有效匹

配,进而导致了各个城市生产性服务业“大而全、小而全”的低效率多样化集聚模式<sup>③</sup>,产业结构同质及其在地理空间上的不断传导将导致整体资源的扭曲配置、重复建设和规模偏小等问题<sup>[25]</sup>,因而更容易产生环境污染传输问题。由此我们提出以下假设:

**H2:** 不同产业集聚模式的减霾效应受城市规模的影响,城市之间地域分散型的专业化分工集聚适合在中小城市布局,其能够在一定程度上缓解雾霾污染的正向空间溢出效应。城市内部紧凑型多样化集聚更适合在规模较大的城市实现,而在中小城市中往往会表现为低效率的污染区域传输现象。

## 2. 特征性事实

从2013年,中国开始实时发布大中城市的空气质量指数(AQI)。由环保部所公布的AQI日报数据可以得到包含PM2.5、PM10等在内的更为综合的空气污染指标,与传统的API相比,AQI日报数据将机动车尾气造成光化学污染的臭氧指标纳入分析,更能够满足本文的需要和准确地反映当前复杂的大气污染形势。由于2014年以来中国环保部监测的城市才逐渐包含到更多的中小城市,因此本文将环保部所公布的2015年数据全年处理以后得到286个城市AQI均值作为样本进行分析<sup>④</sup>。

为了更好地验证产业集聚、交通运输和雾霾污染溢出效应之间的相关关系,我们描绘了2015年集聚外部性、交通运输和临近地区雾霾污染之间的散点图(图1)<sup>⑤</sup>。其中,左图为专业化集聚与交通运输交互( $\ln TR \times \ln Mar$ ),右图为多样化集聚与交通运输交互( $\ln TR \times \ln Jac$ )。通过简单的散点图可以发现:专业化集聚和交通运输交互作用与临近地区雾霾污染存在显著的正相关关系,这与我们前文中的假设保持一致,专业化集聚更多通过加大交通运输压力而产生正向的雾霾传输效应,增加了临近地区的雾霾污染水平。多样化集聚和交通运输交互作用与临近地区雾霾污染存在显著的负相关关系,随着我国城镇化进程的推动和城市规模的扩张,多样化集聚能够极大程度地降低交通运输压力,促进资源优化配置,从而抑制了雾霾污染的区域传输效应。

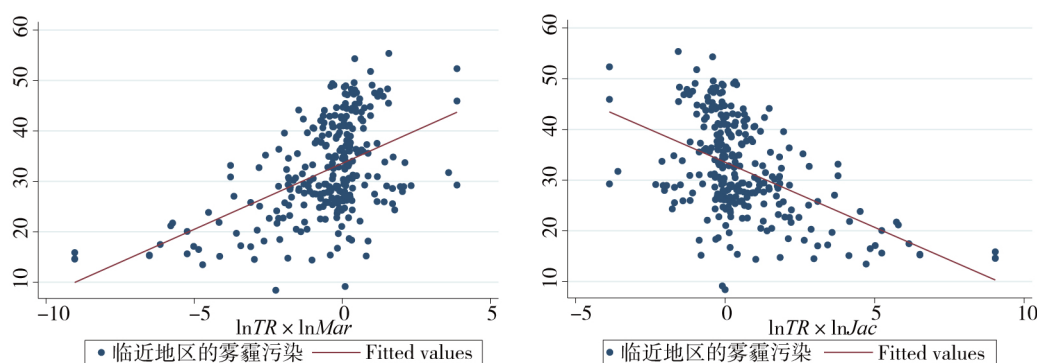


图1 集聚外部性和交通运输交互作用与临近地区雾霾污染的散点图

## 三、变量选择、数据来源和权重设计

20世纪70年代由美国经济学家Holdren and Ehrlich<sup>[26]</sup>提出的IPAT模型被认为是解释人口经济活动对环境变化影响的典范,他们认为人口规模、人均财富和技术水平是影响生态环境的主要因素。标准的IPAT模型公式为:

$$\text{模型1: } I = aP_i^b A_i^c T_i^d e_i \quad (1)$$

其中 $I$ 表示环境影响; $a$ 为常数项; $P$ 是人口规模; $A$ 是人均财富; $T$ 为技术水平; $e$ 为随机误差项。为了更好地解释产业集聚、交通运输和雾霾污染之间的关系,本文在此模型基础上进行扩展和变形,具体来说,式子左边的 $I$ 即为以PM2.5来表示的雾霾污染浓度,式子右边为影响因素和扩展指标,对

模型 1 取对数处理并在计量方程中继续加入扩展指标以后,公式变成:

$$\begin{aligned} \ln PM_{it} = & \eta l_N + \alpha_1 \ln TR + \alpha_2 \ln Mar + \alpha_3 \ln Jac + \alpha_4 \ln Mar \times \ln TR \\ \text{模型 2:} & + \alpha_5 \ln Jac \times \ln TR + \alpha_6 \ln pgdp + \alpha_7 \ln sqpgdp + \alpha_8 \ln trpgdp \\ & + \alpha_9 \ln pden + \alpha_{10} \ln ind + \alpha_{11} \ln fdi + \alpha_{12} \ln urban + \alpha_{13} \ln RD + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

其中  $\eta l_N$  为常数项及常数项系数,  $\alpha_1$  至  $\alpha_{13}$  为解释变量的弹性系数,被解释变量和解释变量的具体选用说明如下:

被解释变量:雾霾污染浓度( $\ln PM$ )。本文以 PM2.5 作为雾霾污染的代理变量,我们采用哥伦比亚大学社会经济数据和应用中心(SEDAC)公布的全球 PM2.5 浓度均值栅格数据<sup>[27]</sup>,并进一步通过 ArcGIS 软件结合行政区域矢量图将此栅格数据解析成地级市层面数据。

核心解释变量 1:专业化集聚( $\ln Mar$ )和多样化集聚( $\ln Jac$ )。城市间专业化和多样化集聚指标测算公式分别为: $Mar = \max_j \left( \frac{s_{ij}}{s_j} \right)$ ,  $Jac = \frac{1}{\sum_j |s_{ij} - s_j|}$ ,其中  $s_{ij}$  代表  $i$  城市  $j$  产业就业人数占  $i$  城市

总就业人数的比例,  $s_j$  代表  $j$  产业全国就业人数占所有产业全国总就业人数的比例。

核心解释变量 2:交通运输强度( $\ln TR$ )。公路交通运输的机动车尾气排放不仅是雾霾污染的一次污染源,其产生的污染物  $CO_2$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$  也是 PM2.5 重要的二次污染源。考虑到城市层面数据的可得性,我们采用单位行政区域面积的公路里程数来反映交通运输强度。

控制变量:(1)人均 GDP( $\ln pgdp$ )。人均 GDP 代表了各个城市的经济发展水平。本文以 2000 年为基期,将经过 GDP 平减指数调整以后的人均实际 GDP 来表示,考量到经济增长和环境污染之间存在的 U、N 和倒 N 型关系,借鉴 EKC 曲线,本文在回归模型中放入了  $\ln pgdp$  的二次项( $\ln sqpgdp$ )和三次项( $\ln trpgdp$ )。(2)人口密度( $\ln pden$ )。我们采用单位行政区域面积内的人口数来表示人口集聚对雾霾污染的影响。(3)产业结构( $\ln ind$ )。以第二产业增加值占 GDP 比重来刻画产业结构对雾霾污染的影响。(4)外商直接投资( $\ln fdi$ )。用各城市实际利用外资额来表示外商直接投资情况。(5)城市化水平( $\ln urban$ )。用非农业人口比例衡量城市化水平对雾霾污染的影响。(6)研发投入( $\ln RD$ )。借鉴邓玉萍和许和连<sup>[28]</sup>的做法,用地方财政预算支出中科学技术支出的比重来进行衡量。上述变量主要来源于《中国城市经济统计年鉴》和中国区域经济数据库,少数缺值数据利用插值法进行填补。

空间权重矩阵:在借鉴以往文献的基础上,首先根据反距离矩阵构建空间相关性权重矩阵  $W_1$ ,其基本的思想是“单位间的空间相关性随着距离的增加而逐渐递减”(地理学第一定律)。

$$W_{1ij} = \begin{cases} 1/d_{ij} & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (3)$$

其中  $d_{ij}$  表示城市  $i$  和城市  $j$  之间的地理空间距离。

其次,由于产业在空间上的集聚有可能通过两个城市横向产业间的分工协作产生空间关联,也可能通过纵向产业内的分工管理产生空间联系,因此地理因素并不是产生空间效应的唯一因素,社会经济属性往往同样是空间相关性的成因。有鉴于此,本文基于引力模型构建地理区位和经济联系相结合的经济地理空间权重矩阵。

$$W_{2ij} = \begin{cases} (\bar{Q}_i \times \bar{Q}_j) / d_{ij}^2 & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (4)$$

其中  $\bar{Q}_i$  和  $\bar{Q}_j$  分别表示  $i$  城市 and  $j$  城市实际人均 GDP。

最后,公路运输中机动车尾气的排放是雾霾污染的直接影响因素,对于区域雾霾溢出效应有显著的正向影响,单位行政区域面积的公路里程数虽然可以反映交通运输强度的整体情况,但是对于

城市内公路利用程度及城市间货物运输强弱并没有予以表现。因此,本文参考经济地理空间权重矩阵的做法,在同样基于引力模型的基础上,继续构建地理区位和运输联系相结合的运输距离空间权重矩阵作为稳健性分析,其基本形式为:

$$W_{3ij} = \begin{cases} (\bar{M}_i \times \bar{M}_j) / d_{ij}^2 & i \neq j \\ 0 & i = j \end{cases} \quad (5)$$

其中  $\bar{M}_i$  和  $\bar{M}_j$  分别表示  $i$  城市和  $j$  城市在样本期间范围内的单位公路里程平均货运量。

#### 四、空间相关性、模型构建和计量结果分析

##### 1. 中国地级及以上城市雾霾污染的空间相关性分析

为了对雾霾污染的空间相关性进行准确的考察,本文首先通过 ArcGIS 软件绘制了全国雾霾污染浓度(PM2.5)的空间分布图(图2)。

然后基于反距离、经济地理和运输距离三种空间权重矩阵,采用探索性空间数据分析 ESDA 中的全局 Moran' I 指数进行统计检验,计算公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (6)$$

其中  $I$  是全局 Moran' I 指数,  $n$  是全国 274 个地级及以上城市,  $w_{ij}$  代表了空间权重矩阵,  $x$  和  $\bar{x}$  分别代表了雾霾浓度和城市均值。 $I$  的取值范围是  $[-1, 1]$ , 大于 0 表示雾霾浓度存在正相关; 小于 0 代表负相关; 若 Moran' I 指数接近于 0 则表明雾霾浓度在空间是随机分布的, 不存在空间相关性。相应的结果报告在表 1 中。

首先,从图 2 空间相关性分布图的初步分析来看,我国雾霾污染具有明显的空间集聚特征,以华北平原地区为中心,向四周呈现污染程度递减的扩散态势,中部和东部雾霾污染程度远高于西部地区,东南沿海地区要低于与其相邻的内陆地区。进一步地,从表 1 的统计检验来分析,无论是反距离权重  $W1$ 、经济地理权重  $W2$  还是运输距离权重  $W3$ ,全局 Moran' I 指数均在 1% 的显著性水平上显著大于 0,这说明我国雾霾污染受到相邻或邻近地区雾霾污染的影响,呈现出明显的正向空间依赖特征。综上所述,我国大陆地区的雾霾污染浓度存在显著的空间相关性,要准确分析雾霾污染的影响因素必须把这种空间特征考虑进来。

##### 2. 产业集聚、交通运输与雾霾污染的计量模型构建

通过分析雾霾污染的空间自相关性以后,需要进一步构建反映空间因素的空间计量模型,本文

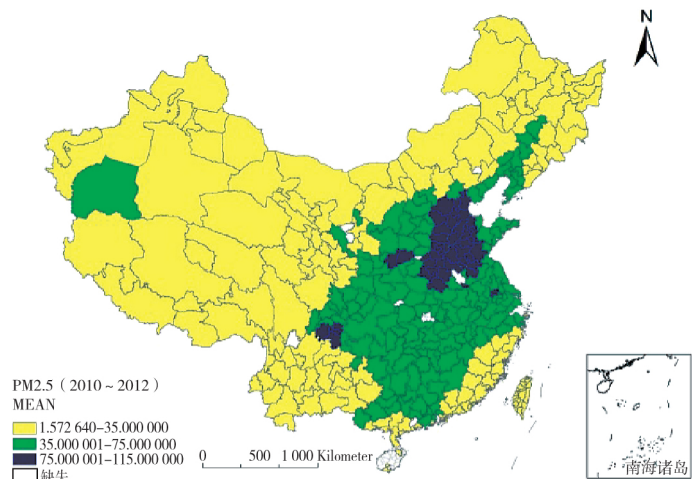


图 2 2010 年到 2012 年 PM2.5 的 3 年滚动平均空间分布图

表 1 雾霾污染的空间相关性检验

	距离权重 矩阵 W1 Moran' s I	经济距离权重 矩阵 W2 Moran' s I	运输距离权重 矩阵 W3 Moran' s I
系数值 $I$	0.226 9	0.352 1	0.334 0
期望值 $E(I)$	-0.001 0	-0.001 6	-0.001 6
标准差 $sd(I)$	0.002 5	0.007 4	0.007 3
Z 值	92.863 1	47.741 5	46.181 0
P 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0



首先借鉴以往文献构建如下通用一般嵌套空间计量模型( GNS) :

$$\text{模型 3: } \begin{cases} \ln PM_{it} = \eta l_N + \delta W_{ij} \ln PM_{it} + \sum \beta X_{it} + \theta W \sum \beta X_{it} + a_i + \gamma_t + v_{it} \\ v_{it} = \lambda W_{ij} v_{it} + u_{it} \end{cases} \quad (7)$$

其中  $\mu_{it} \sim N(0, \sigma^2 I_n)$   $\mu_i, \gamma_t$  分别表示空间效应、时间效应;  $W_{ij}$  为非负空间权重矩阵;  $\delta, \theta$  和  $\lambda$  分别表示空间自回归系数、解释变量滞后项系数和空间自相关系数;  $X$  为包含交通运输和产业集聚等在内的解释变量, 此外, 本文进一步地将产业专业化集聚与交通运输的交互项(  $\ln Mar \times \ln TR$ ) 和产业多样化集聚与交通运输的交互项(  $\ln Jac \times \ln TR$ ) 放入模型, 以便深入研究加入交通运输因素以后, 产业集聚对雾霾污染区域传输效应的影响。

其次, 参考 Elhorst<sup>[29]</sup> 的检验思路, 采用“从具体到一般”和“从一般到具体”两个思路对空间计量模型的选择进行相关检验, 检验结果报告在表 2 中。

第一, 由于空间地理位置的异质性和政策变动带来的影响不可忽视, 因此固定效应是最优的选择, 同时根据表 2 的豪斯曼检验结果也发现, 三种权重矩阵均在 1% 显著性水平上拒绝了随机效应, 认为固定效应模型更为合理。进一步地, 时间和空间联合显著性检验结果显示, LR 统计量在

表 2 空间面板模型的适用性检验

相关检验	距离权重矩阵 W1		经济距离权重矩阵 W2		运输距离权重矩阵 W3	
	$\chi^2$	P 值	$\chi^2$	P 值	$\chi^2$	P 值
从具体到一般						
LM-lag	484.531 3	0.000	768.994 3	0.000	678.331 6	0.000
R-LM-lag	52.017	0.000	78.130 8	0.000	67.441 9	0.000
LM-err	727.503 9	0.000	984.189 6	0.000	899.485 9	0.000
R-LM-err	294.989 6	0.000	293.326	0.000	288.596 2	0.000
从一般到具体						
LR test for SAR	22.977 6	0.032	138.122 9	0.000	173.024 6	0.000
Wald test for SAR	22.683 1	0.039	109.900 5	0.000	125.899 5	0.000
LR test for SEM	64.677 2	0.000	41.439 1	0.000	39.822 9	0.000
Wald test for SEM	60.681 2	0.000	39.077 3	0.000	40.152 7	0.000
Hausman Test	83.913	0.000	75.299 7	0.000	79.926 8	0.000
联合显著性检验	LR 统计量		自由度		P 值	
时间效应	536.276 8		8		0.000	
空间效应	342.433 7		274		0.000	

1% 的显著性水平上显著地表明同时存在空间和时间双向固定效应。

第二, 按照“从具体到一般”的检验思想, 在时间和空间双固定效应的模型中<sup>⑥</sup>, LM 检验和稳健的 LM 检验结果均拒绝了不存在空间滞后效应和不存在空间误差模型的原假设, 这表明模型同时具有空间滞后和空间误差两种模型的特征。在两种模型均无法被拒绝的情况下, 需要进一步采用“从一般到具体”的检验思想, 对空间杜宾模型进一步进行检验分析。从表 2 的检验结果来看, LR 检验和 Wald 检验的 P 值均小于 0.05, 这表明空间杜宾模型既不能简化为空间滞后模型也不能简化为空间误差模型, 空间杜宾模型能最好地拟合数据。

最终, 根据上述检验结果, 本文选择具有空间固定效应和时间固定效应的双向杜宾模型来进行数据拟合分析, 具体公式为:

$$\begin{aligned} \ln PM_{it} = & \eta l_N + \delta W_{ij} \ln PM_{it} + \alpha_1 \ln TR + \alpha_2 \ln Mar + \alpha_3 \ln Jac + \alpha_4 \ln Mar \times \ln TR \\ \text{模型 4: } & + \alpha_5 \ln Jac \times \ln TR + \sum \beta X_{it} + \theta W (\alpha_1 \ln TR + \alpha_2 \ln Mar + \alpha_3 \ln Jac \\ & + \alpha_4 \ln Mar \times \ln TR + \alpha_5 \ln Jac \times \ln TR + \sum \beta X_{it}) + a_i + \gamma_t + v_{it} \end{aligned} \quad (8)$$

### 3. 产业集聚、交通运输与雾霾污染的计量回归结果分析

基于模型 4, 使用 2003—2012 年中国 274 个地级以上城市的面板数据并采用基于极大似然估计函数进行估计, 结果呈现在表 3 中。

表 3 中, 三种权重矩阵内生交互效应  $W \times \ln pm$  的系数估计值在 1% 显著性水平上均显著为正, 这表明雾霾污染具有显著的正向空间溢出效应, 这与我们图 2 中 PM2.5 空间分布图得到的结论保持一致, 在雾霾严重的城市周边同样存在着污染较为严重的地区, 雾霾污染往往是连成一片的, 区域传

输效应明显。

进一步地,借鉴 Lesage<sup>[30]</sup> 的研究贡献<sup>⑦</sup>,一个特定城市的特定解释变量的变化不仅会影响这个城市自身的雾霾污染情况,同时会改变周围其他城市的雾霾污染数值,并通过城市之间相互作用的反馈效应传递到这个城市自身,这与本文研究的区域传输效应具有极大的关联性。因此在表 3 的基础上,本文对包含控制变量的回归结果进行偏微分分解,得到各解释变量的直接效应和间接效应,并将相应结果报告在表 4 中。

从表 4 的效应分解结果来分析:

(1) 产业集聚和交通运输对雾霾污染的影响。首先,专业化集聚直接效应的系数估计值在 1% 显著性水平上显著为负,间接效应不显著。即在不考虑交互作用的影响下,产业的专业化集聚有利于降低当地的雾霾污染水平,但不具有显著的空间溢出效应。可能的解释是,专业化集聚通过规模效应、技术溢出效应和循环利用效应显著地提高了本地区生产效率和绿色生产技术,但这种效果不具有显著溢出效应;其次,多样化集聚的直接和间接效应系数估计值均不显著,我们并没有发现多样化集聚存在显著的空间效应。最后,交通运输直接效应的系数估计值均在 5% 的显著性水平上显著为负,间接效应不显著,即不考虑产业集聚的交通运输仅对本地区雾霾污染具有显著减排作用。

(2) 产业集聚和交通运输的交互作用对雾霾污染的影响。专业化集聚和交通运输交互项的直接效应和间接效应均显著为正,即地域性的专业化集聚确实通过加大交通运输压力而产生负的空间溢出效应,从而加剧了当地和周边地区的雾霾污染情况,产生明显的雾霾区域传输效应。多样化集聚和交通运输的交互作用直接效应在 5% 的显著性水平上显著为正,间接效应并不显著,这说明,多样化集聚虽然同样通过交通运输引致了本地区的雾霾污染现象,但空间传输效应并不明显。

(3) 其他控制变量对雾霾污染的影响。首先,人均 GDP 及其二次项和三次项的直接效应在 1% 的显著性水平上呈现出正、负、正的相关性,间接效应不显著,这表明我国城市经济发展水平和雾霾污染之间表现为“N 型”的发展关系。其次,不仅人口密度和产业结构的直接效应均在 1% 的显著性水平上显著为正,间接效应也同样表现出显著的正向溢出效应,城市人口密度集聚和以第二产业为主的产业结构均对本地城市和周边地区产生了严重的雾霾污染情况。此外,外商直接投资在 5% 的显著性水平上显著地降低了本地城市的雾霾污染水平,但间接效应不显著;最后,在城镇化和研发投入与雾霾污染的直接效应和间接效应中,我们并没有发现稳健的相关性。

表 3 基准回归结果

解释变量	被解释变量		
	距离权重矩阵 W1	经济距离权重矩阵 W2	运输距离权重矩阵 W3
$W \times \ln pm$	0.969 3*** (-136.073)	0.924 0*** (-81.597)	0.940 0*** (-87.748)
$\ln tr$	-0.339 1** (-2.23)	-0.259 5* (-1.911)	-0.285 6** (-2.237)
$\ln mar$	-0.204 0*** (-4.778)	-0.169 8*** (-4.457)	-0.175 8*** (-4.908)
$\ln jac$	-0.056 (-0.865)	-0.0505 (-0.87)	-0.052 (-0.954)
$\ln mar \times \ln tr$	0.305 8*** (-4.48)	0.252 1*** (-4.153)	0.262 1*** (-4.572)
$\ln jac \times \ln tr$	0.283 1*** (-2.636)	0.249 3*** (-2.593)	0.258 7*** (-2.873)
$\ln pgdp$	15.554 4*** (-4.202)	16.931 0*** (-5.039)	16.102 8*** (-5.121)
$sqpgdp$	-1.755 0*** (-4.315)	-1.905 0*** (-5.16)	-1.8080*** (-5.233)
$trpgdp$	0.065 2*** (-4.389)	0.070 7*** (-5.243)	0.066 9*** (-5.304)
$\ln pden$	0.267 9*** (-20.172)	0.253 5*** (-20.825)	0.258 2*** (-22.539)
$\ln industry$	0.295 2*** (-7.21)	0.256 3*** (-6.872)	0.257 1*** (-7.309)
$\ln fdi$	-0.649 5* (-1.848)	-0.637 7** (-2.012)	-0.672 9** (-2.236)
$\ln urban$	0.518 2* (-1.776)	0.622 1** (-2.323)	0.592 7** (-2.342)
$\ln RD$	-0.479 3 (-0.498)	-0.531 (-0.621)	-0.424 8 (-0.528)
时间固定	包括	包括	包括
空间固定	包括	包括	包括
log-likelihood	-222.536	-21.236 9	-31.860 3
R-squared	0.744 5	0.798 4	0.796 4

注:括号中的数值为 t 统计量;\*、\*\*、\*\*\* 分别代表着 10%、5% 和 1% 显著性水平。



表4 偏微分回归的直接效应和间接效应

解释变量	距离权重矩阵 W1		经济距离权重矩阵 W2		运输距离权重矩阵 W3	
	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应	直接效应	间接效应
<i>lntr</i>	-0.074 6** (-2.149)	-10.993 6 (-1.251)	-0.350 6** (-2.299)	-8.562 5 (-1.377)	-0.338 3** (-2.526)	-6.379 3 (-0.969)
<i>lnmar</i>	-0.031 8*** (-3.465)	-3.063 2 (-1.329)	-0.202 9*** (-5.001)	-3.095 4* (-1.877)	-0.200 3*** (-5.369)	-2.960 7 (-1.608)
<i>lnjac</i>	-0.012 5 (-0.990)	-1.906 1 (-0.611)	-0.058 7 (-0.889)	-0.868 3 (-0.346)	-0.052 7 (-0.907)	-0.064 (-0.023)
<i>lnmar × lntr</i>	0.052 7*** (3.265)	5.941 9* (1.939)	0.307 *** (4.726)	5.075 3* (1.904)	0.306 *** (5.044)	5.321 2* (1.718)
<i>lnjac × lntr</i>	0.044 2** (2.133)	4.256 (0.836)	0.273 9** (2.551)	2.200 9 (0.532)	0.263 8*** (2.771)	0.773 6 (0.172)
<i>lnpgdp</i>	2.491 1*** (3.440)	257.139 8 (1.390)	17.145 8*** (4.954)	33.945 2 (0.293)	16.505 9*** (5.094)	61.725 6 (0.415)
<i>sapgdg</i>	-0.279 *** (-3.482)	-28.437 4 (-1.389)	-1.933 3*** (-5.079)	-4.156 6 (-0.328)	-1.855 2*** (-5.212)	-7.108 3 (-0.432)
<i>trpgdp</i>	0.010 3*** (3.502)	1.043 9 (1.387)	0.071 8*** (5.165)	0.165 (0.357)	0.068 7*** (5.290)	0.272 5 (0.451)
<i>lnpden</i>	0.031 4*** (11.071)	1.269 5* (1.731)	0.264 9*** (20.368)	1.174* (2.320)	0.270 3*** (22.553)	1.462 1** (2.480)
<i>lnindustry</i>	0.039 2*** (6.313)	2.563 7* (1.720)	0.289 7*** (7.545)	2.949 3** (2.209)	0.283 4*** (7.924)	3.163 3* (1.814)
<i>lnfdi</i>	-0.115 8** (-2.088)	-13.878 4 (-1.052)	-0.709 7** (-2.034)	-7.304 8 (-0.576)	-0.857 8** (-2.720)	-23.729 7 (-1.454)
<i>lnurban</i>	-0.010 8 (-0.249)	-16.891 9 (-1.632)	0.450 5 (1.637)	-16.135 1* (-1.692)	0.420 5* (1.674)	-20.721 9* (-1.752)
<i>lnRD</i>	-0.001 6 (-0.007)	14.772 4 (0.290)	-0.650 2 (-0.656)	-4.238 3 (-0.098)	-0.635 6 (-0.663)	-23.494 8 (-0.448)

注: 括号中的数值为 *t* 统计量; \*、\*\*、\*\*\* 分别代表着 10%、5% 和 1% 显著性水平。

### 五、区域传输效应的距离范围检验

为了更为深入地考察产业集聚引致交通运输的区域传输效应如何随地理距离发生变化, 本文基于双向固定的空间杜宾模型(SDM), 每隔 100 公里进行一次回归, 一直到 800 公里, 从而得到不同空间距离范围内产业集聚和交通运输对雾霾污染的区域传输效应。考虑到超过距离阈值 800 公里以后, 产业集聚与交通运输的交互作用更多受到省域边界的影响, 而且空间外溢系数受异常值影响会出现较多的噪声, 因此仅采用 800 公里之内的回归结果, 回归结果报告在表 5 中<sup>⑧</sup>。

从表 5 的传输距离检验结果来分析:

(1) 专业化集聚与交通运输的区域传输效应。不管空间权重矩阵选用简单的距离权重(W1)、经济地理权重(W2) 还是运输距离权重矩阵(W3), *lnMar × lntr* 间接效应的系数估计值在 100 到 400 公里范围内均为正, 且至少在 10% 的显著性水平上通过检验, 而当距离超过 400 公里以后, 间接效应参数估计值均不显著, 这说明专业化集聚与交通运输交互引致雾霾污染区域传输效应的有效边界为 400 公里。此外, 在 100 到 200 公里内专业化集聚与交通运输引致雾霾污染的系数估计值处于最高水平, 专业化集聚引致交通运输的区域传输效应存在最强的作用区间。

(2) 多样化集聚与交通运输的区域传输效应。三种空间权重矩阵中, *lnJac × lnTr* 的间接效应的系数估计值在 100 到 200 公里范围内均至少在 5% 的显著性水平上显著为正, 而当距离超过 200 公里以后, 间接效应的系数估计值均未通过显著性检验, 这说明多样化集聚与交通运输引致雾霾污染区域传输效应的有效距离较短, 只有 200 公里。此外, 对于 100 到 200 公里距离内的区域传输效应, 通过比较 *lnMar × lntr* 和 *lnJac × lnTr* 在三种权重矩阵的系数估计值大小可以知道, 两者均是雾霾污染区域传输效应的重要推动因素。

表5 区域传输效应距离检验

空间距离 (千米)	距离权重矩阵 W1		经济距离权重矩阵 W2		运输距离权重矩阵 W3	
	$\ln Mar \times \ln tr$	$\ln Jac \times \ln tr$	$\ln Mar \times \ln tr$	$\ln Jac \times \ln tr$	$\ln Mar \times \ln tr$	$\ln Jac \times \ln tr$
0 到 100	0.128 6* (1.88)	-0.050 4 (-0.47)	0.118 5* (1.69)	-0.034 7 (-0.31)	0.104 7 (1.582)	-0.05 (-0.47)
100 到 200	0.522 *** (4.7)	0.474 5 *** (2.69)	0.498 8 *** (4.41)	0.485 5 *** (2.65)	0.461 5 *** (4.17)	0.396 7 ** (2.30)
200 到 300	0.215 5* (1.65)	0.205 4 (1.02)	0.282 1 ** (1.97)	0.264 4 (1.22)	0.232 1* (1.87)	0.302 9 (1.59)
300 到 400	0.343 3 ** (2.52)	0.338 2 (1.60)	0.317 6 ** (2.27)	0.216 6 (1.01)	0.313 5 ** (2.35)	0.311 4 (1.57)
400 到 500	-0.131 1 (-0.69)	-0.049 5 (-0.16)	-0.017 (-0.091)	0.045 9 (0.15)	0.028 2 (0.16)	-0.001 (-0.003 7)
500 到 600	-0.077 9 (-0.48)	0.022 8 (0.08)	0.218 1 (1.29)	0.291 2 (1.08)	-0.008 9 (-0.055)	0.018 3 (0.073)
600 到 700	0.013 8 (0.09)	0.275 8 (1.11)	0.153 7 (1.00)	0.609 9 (2.37)	0.039 2 (0.26)	-0.042 5 (-0.17)
700 到 800	-0.118 1 (-0.78)	0.009 4 (0.03)	-0.256 7 (-1.63)	-0.090 5 (-0.36)	0.156 5 (0.99)	0.050 4 (0.20)

注: 括号中的数值为  $t$  统计量; \*、\*\*、\*\*\* 分别代表着 10%、5% 和 1% 显著性水平。

#### 六、有效范围内异质性城市规模对区域传输效应的差异化影响

为了验证空间布局中产业集聚模式与城市规模匹配对雾霾污染区域传输效应的影响,进一步考察异质性城市规模中产业集聚与交通运输互动对雾霾空间溢出的差异性表现。本文按照城市的人口规模大小将样本细分为大城市和中小城市两个组别进行计量回归分析。需要特殊说明的是,由于进行了类别划分,某一城市的临近城市很有可能并不出现在同一组别分类中,但雾霾污染却仍然会受到相邻城市的影响,上文以 Matlable 的计量回归方法已不再适用。针对这一问题,考虑到专业化集聚和多样化集聚引致交通运输产生雾霾污染区域传输效应的有效作用范围分别为 400 公里和 200 公里,本文分别以 400 公里和 200 公里为界构建专业化集聚和多样化集聚的区域传输效应指标,进而借鉴韩峰和谢锐<sup>[20]</sup>的做法,同样采用空间滞后解释变量的 SLX 模型,运用 Stata13.0 进行回归分析,专业化集聚和多样化集聚的区域传输指标为:

$$zh1 = \ln TR \times \ln Mar \times W_{ij}^{400}, \quad zh2 = \ln TR \times \ln Jac \times W_{ij}^{200} \quad (9)$$

其中  $W_{ij}^{400}$ 、 $W_{ij}^{200}$  分别代表了 400 公里和 200 公里范围内的空间权重矩阵,专业化集聚的区域传输指标  $zh1$  衡量了 400 公里范围内专业化集聚引致交通运输产生的雾霾区域传输效应,多样化集聚区域传输指标  $zh2$  衡量了 200 公里范围内多样

表6 分城市样本的估计结果

解释变量	距离权重矩阵 W1		经济距离权重矩阵 W2		运输距离权重矩阵 W3	
	大城市	中小城市	大城市	中小城市	大城市	中小城市
$zh1$	6.416 6 *** (13.52)	5.016 1 *** (10.52)	0.140 7 *** (5.85)	0.083 4 *** (3.11)	3.529 3 *** (7.23)	1.108 6 *** (3.71)
$zh2$	-1.599 5 *** (-2.53)	4.058 8 *** (4.64)	0.925 9 (0.51)	0.093 4 *** (4.55)	-2.634 6 *** (-4.73)	0.625 7 (1.03)

注: 括号中的数值为  $t$  统计量; \*、\*\*、\*\*\* 分别代表着 10%、5% 和 1% 显著性水平。

化集聚引致交通运输产生的雾霾区域传输效应。回归结果报告在表 6 中。

从回归结果来看:

第一,专业化集聚与交通运输交互项的间接效应无论是在大城市还是在中小城市均在 1% 的显著性水平上显著为正,区域传输效应的空间溢出效应明显。进一步通过比较大城市和中小城市中专业化集聚区域传输指标  $zh1$  在三种权重中的系数估计值大小可以知道,大城市中专业化集聚区域传输指标系数显著大于中小城市。这可能是由于大城市的经济带动能力和辐射能力较强,与周边城市进行物资和人员的往来较为紧密,其引致交通运输强度相比小城市来说更高。因此,大城市专业化

集聚与交通运输交互对雾霾溢出效应的贡献占比较高,中小城市能够在一定程度上缓解专业化集聚与交通运输互动引致的区域传输效应。

第二,多样化集聚与交通运输交互项的间接效应系数估计值在大城市中(除了W2以外)基本上显著为负,而在小城市中(除了W3以外)间接效应的系数估计值显著为正,这其中可能的原因是,在产业规模较大的大城市中,产业的多样化集聚水平较高,不同行业间互补性和关联性的产业集聚通过产业间前后关联、消费规模经济和中间品供给等渠道极大程度地降低了中间产品的运输压力,从而减少了雾霾污染的区域传输水平;但中小城市往往因为资源禀赋差异和资源错配等因素,发展“大而全,小而全”的产业分布格局并不能有效地降低雾霾污染,反而更容易加重区域间的雾霾污染传输水平。

### 七、主要结论和政策建议

立足于当前交通拥堵和雾霾污染的社会现实,本文从产业空间布局的视角,通过构建双向固定的空间杜宾模型或特征性事实,实证分析不同产业集聚类型与交通运输交互对雾霾溢出效应的影响。本文得到的主要结论和相应政策建议如下:

第一,产业的专业化集聚显著地通过加大交通运输压力正向影响了雾霾污染水平,这不仅表现在当地地区,同时通过区域传输效应影响了周边地区的雾霾污染水平。对于不同规模城市的分样本回归分析,均发现专业化集聚和交通运输交互项显著地推动了雾霾区域传输污染效应。综合来看,以往研究在强调专业化集聚空间布局带来生产效率和经济发展水平提高的同时,往往忽视专业化集聚对环境污染的影响,尤其缺乏关于专业化集聚与交通运输相互作用下对雾霾污染区域传输效应的分析。因此,在发展专业化产业集聚模式的同时,应不断完善交通运输相关政策,积极发挥交通运输在减排过程中的重要作用,如在加快轨道交通发展、完善新能源汽车补贴、整合道路使用等方面制定相应的政策措施,通过鼓励专业化清洁运输技术和优化交通运输结构实现交通运输与环境保护的双赢。

第二,产业多样化集聚同样通过交通运输作用显著正向影响了雾霾污染水平,但与专业化集聚不同,加入交通运输因素以后的多样化集聚主要影响了本地区的雾霾污染水平,而对于周边地区雾霾污染的区域传输效应在不同规模城市中具有差异性。具体来说,对于大城市而言,多样化集聚和交通运输的交互作用显著地抑制了雾霾污染的区域传输效应,而对于中小城市则更多表现为对区域传输效应的促进作用,这表明当前我国“大而全,小而全”的空间分布格局显著提升了雾霾污染的区域传输水平。据此,我们建议多样化集聚更应该在大城市进行布局,尤其是互补性和关联性强的产业在大城市的多样化集聚可以显著地通过降低交通运输强度发挥雾霾治理效果。

第三,不同产业集聚类型与交通运输的交互作用对雾霾污染区域传输效应的影响存在着一定的有效边界和最强的作用区间,专业化集聚与交通运输引致雾霾污染区域传输效应的有效边界为400公里,多样化集聚与交通运输引致的雾霾污染区域传输效应的有效距离较短,只有200公里。在100到200公里内两种产业集聚类型与交通运输引致雾霾污染的系数估计值均处于最高水平。这一结论提醒我们:雾霾的跨界污染现象已较为普遍,各级政府应该破除行政区域垄断,统一部署,联合优化产业的空间布局,建立跨区域环境合作治理机制,协同解决雾霾污染的外溢效应。同时开展区域联防联控的有效范围应该重点控制在100到200公里之间,这是雾霾污染传输效应作用最强的区间。

第四,在不考虑产业集聚和交通运输交互作用下,专业化集聚和交通运输均能显著地降低本地区的雾霾污染水平,多样化集聚效果则不明显。这表明在加强区域联防联控的基础上,应当进一步推动专业化集聚水平和交通基础设施建设,充分发挥专业化集聚和交通运输对本地区雾霾污染的减排效果。尤其是规模不大的中小城市,应当利用当地的资源特色和区位优势,发展专业化地方产业和清洁生产技术,充分发挥专业化集聚在产业内部产生的规模效应和技术溢出效应,促进经济和环境的协调发展。

## 注释:

- ①新华社:近年来污染时间最长!河北山东等地雾霾将持续至22日。http://www.gov.cn/xinwen/2018-01/19/content\_5258642.htm。
- ②数据来源于环境保护部官方网站。http://dqhj.mep.gov.cn/dqhjzl/dqklwyjx/201709/t20170915\_421691.shtml。
- ③“大而全,小而全”主要描述的是国民经济和国内各区域经济发展中的结构雷同现象,本文中用来表示各个城市在不考虑自身区位优势和资源禀赋的情况下,均衡发展门类齐全的多样化产业集聚模式。
- ④数据来源于中华人民共和国环保部全国空气质量预报信息发布系统网站,http://106.37.208.228:8082/。
- ⑤由于2015年并未公布地级城市的公路里程数,因此交通运输强度由单位行政区域面积的公路货运量来进行衡量。同时为了着重考察雾霾污染的溢出效应,我们以临近地区的雾霾污染情况进行散点图分析。
- ⑥前文已验证时间和空间固定效应的双固定模型是本文的最优选择。
- ⑦Lasage<sup>[30]</sup>发现上述对于溢出效应的点估计可能导致错误的结论,而且观察到偏微分可以解释模型设定中变量变化的影响,是检验是否存在空间溢出效应更为可靠的基础。
- ⑧表5回归结果中均包含了各控制变量,并且间接效应反映了产业集聚与交通运输引致雾霾污染区域传输的外溢效应,因此在表中仅报告了各距离范围内专业化集聚和多样化集聚的间接效应估计结果。

## 参考文献:

- [1]梁伟,杨明,张延伟.城镇化率的提升必然加剧雾霾污染吗——兼论城镇化与雾霾污染的空间溢出效应[J].地理研究,2017(10):1947-1958.
- [2]向堃,宋德勇.中国省域PM<sub>2.5</sub>污染的空间实证研究[J].中国人口·资源与环境,2015(9):153-159.
- [3]KRUGMAN P. Space: the final frontier [J]. Journal of economic perspectives, 1998, 12(2): 161-174.
- [4]师博,沈坤荣.政府干预、经济集聚与能源效率[J].管理世界,2013(10):6-18.
- [5]EHRENFELD J. Putting a spotlight on metaphors and analogies in industrial ecology [J]. Journal of industrial ecology, 2010, 7(1): 1-4.
- [6]DUC T A, VACHAUD G, BONNET M P, et al. Experimental investigation and modelling approach of the impact of urban wastewater on a tropical river: a case study of the Nhue River: Hanoi, Viet Nam [J]. Journal of hydrology, 2007, 334(3/4): 347-358.
- [7]ANDERSSON M, LÖÖF H. Agglomeration and productivity: evidence from firm-level data [J]. Annals of regional science, 2011, 46(3): 601-620.
- [8]王兵,聂欣.产业集聚与环境治理:助力还是阻力——来自开发区设立准自然实验的证据[J].中国工业经济,2016(12):75-89.
- [9]IKAZAKI D, NAITO T. Optimal environmental and industrial policies and imperfect agglomeration effects [J]. Regional science policy and practice, 2009, 1(2): 141-157.
- [10]潘慧峰,王鑫,张书宇.雾霾污染的持续性及空间溢出效应分析——来自京津冀地区的证据[J].中国软科学,2015(12):134-143.
- [11]周新军.优化交通运输结构是防治雾霾的关键之一[J].电力与能源,2014(2):136-140.
- [12]邵帅,李欣,曹建华,等.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[J].经济研究,2016(9):73-88.
- [13]马丽梅,刘生龙,张晓.能源结构、交通模式与雾霾污染——基于空间计量模型的研究[J].财贸经济,2016(1):147-160.
- [14]王卉彤,刘传明,赵浚竹.交通拥堵与雾霾污染:基于职住平衡的新视角[J].财贸经济,2018(1):147-160.
- [15]王鹏,周轩.产业水平空间集群的空间形态识别与分析——以中国19个主要产业为例[J].中国软科学,2017(12):71-86.
- [16]MARSHALL A. Principles of economics: an introductory volume [M]. London: Macmillan, 1890.
- [17]吴建峰,符育明.经济集聚中马歇尔外部性的识别——基于中国制造业数据的研究[J].经济学(季刊),2012(2):675-690.

- [18]周明生,王帅. 京津冀服务业集聚与经济增长[J]. 经济与管理研究, 2018(1): 68-77.
- [19]JACOBS J. The economy of cities [M]. New York: Random House, 1969.
- [20]韩峰,谢锐. 生产性服务业集聚降低碳排放了吗? ——对我国地级及以上城市面板数据的空间计量分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2017(3): 40-58.
- [21]HENDERSON V. Medium size cities [J]. Regional science and urban economics, 1997, 27(6): 583-612.
- [22]ABDEL-RAHMAN H, FUJITA M. Product variety, Marshallian externalities, and city sizes [J]. Journal of regional science, 2010, 30(2): 165-183.
- [23]张天华,董志强,许华杰. 大城市的企业资源配置效率更高吗? ——基于中国制造业企业的实证研究[J]. 产业经济研究, 2017(4): 41-55.
- [24]万道侠,胡彬. 产业集聚、金融发展与企业的“创新惰性”[J]. 产业经济研究, 2018(1): 28-38.
- [25]韩峰,王琢卓,赖明勇. 中国城市生产性服务业集聚效应测度[J]. 城市问题, 2015(9): 57-67.
- [26]HOLDREN J P, EHRLICH P R. Human population and the global environment [J]. American scientist, 1974, 62(3): 282-292.
- [27]VAN DONKELAAR A, MARTIN R V, BRAUER M, et al. Use of satellite observations for long-term exposure assessment of global concentrations of fine particulate matter [J]. Environmental health perspectives, 2015, 123(2): 135-143.
- [28]邓玉萍,许和连. 外商直接投资、集聚外部性与环境污染[J]. 统计研究, 2016(9): 47-54.
- [29]ELHORST J P. Matlab software for spatial panels [J]. International regional science review, 2014, 37(3): 389-405.
- [30]LESAGE J P. An introduction to spatial econometrics [J]. Revue d'économie industrielle, 2008, 123(3): 19-44.

(责任编辑: 禾 日)

## Do industrial agglomeration and traffic links aggravate the spatial spillover effects of haze? analysis from the perspective of spatial distribution of industries

LUO Nengsheng, LI Jianming

(School of Economics and Trade, Hunan University, Changsha 410079, China)

**Abstract:** From the perspective of spatial distribution of industries, the article introduces the transport distance matrix and economic distance matrix that reflect the inter-city transport links into the spatial Dubin model, and uses the AOD and AQI data of prefecture-level cities in China to analyze the impact of specialization and diversity of industrial agglomeration and transportation interaction on haze spillover. The results are as follows. First, after the addition of traffic factors, the specialization of industry has produced a significant regional transmission effect of haze pollution, but the effect of diversified agglomeration is not obvious. Second, industrial specialization agglomeration has a significant regional transmission effect of haze on large, medium and small cities by increasing traffic pressure. Diversification agglomeration only has a significant effect on small and medium-sized cities, and shows a negative spillover effect on large cities. Third, there is an effective boundary and the strongest effective range for the regional transmission effect resulting from the interaction between industrial agglomeration and transportation. The conclusions of this article have important policy implications for promoting the spatial distribution of urban differentiated industries.

**Key words:** specialized agglomeration; diversified agglomeration; transportation; spillover effects of haze; spatial distribution of industries