

制造业集聚、污染关联机制与 绿色发展实践路径*

——基于空间溢出模型的研究

陈志远 丁小珊 韩冲 于皓

内容提要：制造业集聚对环境污染的影响机制是实践绿色发展理念的关键问题。本文构建了一个包含空间溢出效应的理论模型分析制造业集聚对污染排放的空间关联机制。模型的均衡条件显示制造业集聚的集聚效应和拥挤效应对当地市场和其他城市的产品价格指数产生影响，从而改变市场的均衡需求，并进一步通过影响生产而作用于当地的污染排放。因此，某一地区的污染排放不仅受本地制造业集聚的影响，还受到其他城市制造业集聚的影响，这体现为污染排放的空间关联性。基于均衡条件导出的空间计量模型实证研究发现：本地与异地制造业集聚对当地环境污染均具有非线性影响，而整体上制造业集聚降低了污染排放。本文结论对当前产业政策调整具有一定的启示作用，为实现地区产业协同、城市群绿色发展提供实践依据，对统筹推进绿色低碳转型发展具有重要意义。

关键词：制造业集聚；污染关联；溢出效应；协同发展

DOI: 10.19343/j.cnki.11-1302/c.2022.09.004

中图分类号： F061.5 **文献标识码：** A **文章编号：** 1002-4565(2022)09-0046-16

Manufacturing Agglomeration, Pollution Linkage Mechanism and Green Development Practical Path: A Study Based on a Spatial Spillover Model

Chen Zhiyuan Ding Xiaoshan Han Chong Yu Hao

Abstract: How does manufacturing agglomeration affect environmental pollution? This is a key issue concerning the practice of green development. This paper constructs a theoretical model that includes spatial spillover effects to analyze the spatial linkage mechanism of manufacturing agglomeration on pollution. The equilibrium conditions of the model show the agglomeration effect and crowding effect of manufacturing agglomeration have an impact on product prices in the local market and product price indices in other cities, thereby changing the equilibrium demand in the markets, and further affecting local pollution emissions through the expansion (contraction) of production. As a result, pollution emissions in a certain area are not only affected by the agglomeration of local manufacturing industries, but also by the agglomeration of manufacturing in other cities. Based on a spatial econometric model derived from the theoretical equilibrium conditions, the empirical study shows that both local manufacturing agglomeration

*基金项目：中国人民大学科学研究基金（中央高校基本科研业务费专项资金资助）（22XNQ30）和国家自然科学基金（72103192）。

and non-local manufacturing agglomeration have a non-linear impact on local environmental pollution, and overall manufacturing agglomeration reduces pollution emissions. The conclusions of this article have some enlightenment for the adjustments of current industrial policy, and provide a practical basis on how to achieve regional industrial coordination and implement the green development concept of urban clusters, thus significant to promote the high-quality green development of China in a coordinated manner.

Key words: Manufacturing Agglomeration; Pollution Linkage; Spillover Effect; Coordinated Development

一、引言

当前，我国经济已由高速增长转向高质量发展，绿色发展是实现经济高质量发展的重要途径，而经济建设与生态环境保护和谐发展是绿色发展的重要内涵。“十四五”规划强调，要深入打好污染防治攻坚战，推进生态环境治理体系和治理能力现代化，协调产业发展与环境保护的关系，保证主要污染物排放总量持续减少，生态环境持续改善。在此发展目标下，如何统筹推进全国高质量绿色发展尤为关键。我国是制造业大国，但制造业集聚存在空间分布不均衡的特征，东部沿海城市是传统的聚集地区，近年来地区优势逐渐减少，而中部地区制造业集聚程度不断上升（刘志东和高洪玮，2021）。制造业集聚拉动了我国地区经济增长，推动了我国整体工业化进程，但也带来了严重的环境污染问题，导致污染排放体现出明显的区域差异性。深入探究制造业集聚对环境污染的影响与空间传导机制，有助于了解制造业集聚现状与绿色发展的契合程度，对于践行新发展理念具有一定现实意义。

现有文献关于我国制造业集聚对环境污染影响的研究结论存在诸多矛盾之处。一些研究认为，制造业集聚提高了地区劳动生产率，加剧了环境污染（张可和汪东芳，2014），污染企业在空间上的集中排放可能成为环境治理的阻力（王兵和聂欣，2016）。同时，制造业的多样化集聚和专业化集聚显著增加了周边城市的碳排放（Han等，2018）。另一类文献却认为制造业集聚有效降低了环境污染（闫逢柱等，2011），其通过节约制造成本与交易成本，实现资源有效配置，有效提高了城市建设水平（王崇锋和张吉鹏，2009）。此外，还有一些研究表明制造业集聚对环境污染具有非线性影响。

现有文献在有关产业集聚与环境污染的理论论证与计量模型的选取中仍存在不足之处。首先，现有研究中理论模型与计量分析框架往往存在不一致与脱节之处，这导致无法在一个统一的研究框架内厘清产业集聚对环境污染的作用机制，从而无法通过严谨的计量框架全面、科学地评估产业集聚对环境污染的影响。其次，大多数研究忽视了集聚与污染的空间相关性，在计量模型中仅考虑本地制造业集聚对污染排放的影响而遗漏了其他地区的制造业集聚情况，然而从实际情况来看，污染排放的影响没有明确边界，需同时考虑本地与其他地区的制造业集聚情况，否则会导致实证结果的偏差。尽管一些研究开始关注到集聚的溢出效应与污染本身的空间相关性（张可和汪东芳，2014），但这类研究以简约模型（Reduced-Form Model）为主，普遍缺乏一个理论框架以支撑溢出效应的影响机制。

鉴于此，本文构建了一个包含空间溢出的理论模型来分析制造业集聚对空间污染的作用机制。模型的均衡条件表明某一地区的污染排放不仅受本地城市制造业集聚程度的影响，还受到其他城市制造业集聚程度的影响，且地区间不同的排污成本导致了污染本身的空间异质性。基于理论模型的均衡条件方程，本文严格推导出相应的空间计量方程，并利用城市层面的制造业集聚与污染排放数据估计该计量方程，分析其背后的作用机制。本文主要边际贡献在于：其一，结合Fujita等（1999）、

Redding和Venables (2004) 等人的地区垄断竞争模型以及Copeland和Taylor (1994) 构造的污染投入要素生产函数, 构造包含集聚空间溢出效应的理论模型, 为实证计量模型的选取与构建提供支撑; 其二, 通过对城市间溢出效应的分解与异质性分析, 本文发现未考虑非线性的溢出效应是导致现有研究出现分歧的重要原因; 其三, 本文从控制污染排放的角度论证产业转移政策的合理性和可行性, 为实现地区产业协同、城市集群绿色发展提供依据。

二、理论框架与计量模型

本文拓展了Fujita等 (1999)、Redding和Venables (2004) 的理论框架, 将污染排放引入到关于制造业产品城市间贸易模型中, 用以刻画制造业污染排放的空间关联性。本文理论模型强调当地产业集聚通过一般均衡效应产生对其他城市污染排放的溢出效应, 为研究产业集聚的溢出效应及环境污染排放的空间关联性提供了理论基础, 丰富了关于产业集聚与环境污染的理论研究。基于理论模型的均衡条件, 本文分析了产业集聚对环境污染排放影响的具体形式与作用渠道, 并严格推导出关于产业集聚与污染排放的空间计量模型方程的具体形式, 以指导实证研究, 该分析框架对相关研究具有一定的借鉴性^①。

(一) 溢出效应理论框架

1. 需求与供给。

需求端假设同一城市的消费者具有同质偏好, 城市 j 的代表性消费者的效用函数具有如下常替代弹性形式:

$$U_j = \left[\sum_{i=1}^R x_{ij}^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}, \sigma > 1$$

其中, R 表示城市数目, x_{ij} 表示由 i 城市厂商生产并运往 j 地区销售的商品数量, σ 表示产品间的替代弹性。城市 i 企业运输每单位产品到达 j 市需要消耗 $(t_{ij} - 1)$ 单位产品^②, 从而得到 i 城市厂商面临的总需求:

$$x_i = \sum_{j=1}^R t_{ij}^{1-\sigma} G_j^{\sigma-1} I_j p_{ij}^{-\sigma} = G_i^{\sigma-1} I_i p_i^{-\sigma} + \sum_{j \neq i} t_{ij}^{1-\sigma} G_j^{\sigma-1} I_j p_{ij}^{-\sigma} \quad (1)$$

其中, G_j 为 j 城市的价格指数^③, p_{ij} 为产自 i 地区的产品在 j 地区的销售价格, I_j 为 j 市消费者购买制造业产品总支出, $G_i^{\sigma-1} I_i p_i^{-\sigma}$ 为本地需求, $\sum_{j \neq i} t_{ij}^{1-\sigma} G_j^{\sigma-1} I_j p_{ij}^{-\sigma}$ 为外地需求。式 (1) 表明, 城市 i 面临的产品需求不仅取决于当地的需求水平, 还取决于其他城市对该产品的需求。

供给方面, 本文将污染排放作为投入要素引入城市层面的Cobb-Douglas形式的生产函数 (Copeland和Taylor, 1994) 中, 假定如下生产函数形式: $x_i = A_i L_i^\alpha E_i^{1-\alpha}, 0 < \alpha < 1$ 。其中, A_i 为 i 城市生产率, L_i 和 E_i 分别表示 i 城市劳动投入和污染排放。本文假定劳动力在城市间不能自由流动, 且在城市 i 的单位劳动力成本为 ω_i , 单位排污成本为 γ_i 。求解厂商成本最小化问题可以得到污染投入要素的最优投入与边际成本函数:

①当前, 我国大力推进绿色发展, 并力争通过法律制度的不断完善、保障政策的有效引导来建立健全绿色低碳循环发展的经济体系。可见, 制造业发展对碳排放影响机制的研究是未来的重点研究方向, 具有重要的研究价值。本文研究框架对于碳排放研究也具有一定启发意义, 但由于缺乏相关数据, 本文未能研究碳排放的空间关联机制。

② t_{ij} 表示“冰山成本”, 即考虑运输过程的损耗下, 将单位产品运输至消费地所需的原产地的产品量, 假设 $t_{ij} \geq 1$, 且仅当 $i=j$ 时 $t_{ij}=1$ 。

③ $G_j = \left(\sum_{i=1}^R p_{ij}^{1-\sigma} \right)^{\frac{1}{1-\sigma}}$ 。

$$E_i = \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^\alpha \left(\frac{\gamma_i}{\omega_i} \right)^{-\alpha} \frac{x_i}{A_i} \quad (2)$$

$$mc_i = \varphi \omega_i^\alpha \gamma_i^{1-\alpha} A_i^{-1}, \varphi \equiv \left[\left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right)^{1-\alpha} + \left(\frac{1-\alpha}{\alpha} \right)^\alpha \right] \quad (3)$$

在垄断竞争市场中，各地厂商目标为最大化自身利润，结合式(3)，得到*i*地区厂商的定价策略：

$$p_i = \frac{\sigma}{\sigma-1} mc_i = \frac{\sigma}{\sigma-1} \varphi \omega_i^\alpha \gamma_i^{1-\alpha} A_i^{-1} \quad (4)$$

2.均衡分析和污染排放的空间关联机制。

为探讨产业集聚对污染排放的影响以及其与污染排放的空间关联机制，本文首先定义生产效率关于产业集聚的函数。Brinkman (2016) 将制造业集聚的集聚效应和拥挤效应纳入统一框架下进行分析，发现制造业集聚对企业生产具有非线性影响。在制造业集聚早期，生产要素和技术在地理上的高度聚集提高了地区的劳动生产率 (Ciccone和Hall, 1996)，降低了地区产品生产的边际成本。随着集聚程度的进一步加深，制造业集聚进入“非经济区域”，拥挤效应逐渐凸显，生产率随之降低 (Brühlhart和Mathys, 2008)。由于我国制造业集聚下的劳动力过度供给以及制造业的过度竞争，在制造业集聚拥挤效应不显著的情况下，制造业集聚对地区工资水平影响为负的情况更符合我国实际 (程中华和刘军, 2015)。基于上述讨论，本文定义如下一般函数形式：

$$\frac{A_i}{\omega_i^\alpha} = e^{h(AGGLO_i; \theta)} \quad (5)$$

其中， $AGGLO_i$ 代表*i*城市的制造业集聚程度， θ 为刻画该函数关系的相关参数， $h(AGGLO_i; \theta)$ 为关于 $AGGLO_i$ 的一般函数。将式(1)、式(4)、式(5)代入式(2)并在等式两边取对数，得到均衡条件：

$$\ln(E_i) = \ln\left(G_i^{\sigma-1} I_i + \sum_{j \neq i} t_{ij}^{1-\sigma} G_j^{\sigma-1} I_j\right) + (\sigma-1)h(AGGLO_i; \theta) - (\alpha + \sigma - \alpha\sigma)\ln(\gamma_i) + \beta_0 \quad (6)$$

其中， $G_i^{\sigma-1} I_i$ 为本地效应 ($LOCAL_i$)， $\sum_{j \neq i} t_{ij}^{1-\sigma} G_j^{\sigma-1} I_j$ 为外地效应，($NON-LOCAL_i$) 本地效应和外地效应相加为溢出效应 ($SPILOVER_i$)，

$$G_j = \frac{\sigma\varphi}{\sigma-1} \left[\sum_{i=1}^R (\gamma_i^{1-\alpha} t_{ij})^{1-\sigma} e^{-(1-\sigma)h(AGGLO_i; \theta)} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}},$$

$$\beta_0 = \alpha \ln\left(\frac{1-\alpha}{\sigma}\right) - \sigma \ln\left(\frac{\sigma\varphi}{\sigma-1}\right).$$

式(6)右边包含4个部分：①基于所有城市价格指数、运输成本以及制造业产品支出构成的溢出效应 ($SPILOVER_i$)，②本地制造业集聚的直接影响，③城市异质性的排污成本，④模型参数常数项。基于一个城市间制造业产品的垄断竞争模型的理论框架，制造业集聚不仅通过影响当地市场 ($LOCAL_i$)，还通过对所有城市市场的均衡需求产生影响 ($NON-LOCAL_i$)，进而作用于当地污染排放。式(6)表明当地环境污染不仅受本地制造业集聚的影响，还受其他地区制造业集聚溢出效应的影响，这为制造业集聚的溢出效应和污染排放的空间相关性提供了理论支撑。具体而言，本地制造业集聚对污染排放的影响正负不仅取决于制造业集聚的集聚效应与拥挤效应的大小，还取决于各城市制造业产品支出以及排污成本等因素。将式(6)关于本地制造业集聚变量 ($AGGLO_i$) 求导，得到其对本地环境污染排放的边际影响：

$$\frac{\partial \ln E_i}{\partial AGGLO_i} = (\sigma-1)h'(AGGLO_i; \theta) + \frac{h'(AGGLO_i; \theta)}{SPILOVER_i} \times \frac{\partial SPILOVER_i}{\partial h(AGGLO_i; \theta)}$$

由于 $SPILOVER_i = \sum_{j \neq i} t_{ij}^{1-\sigma} LOCAL_j$ ，可知 $\frac{\partial SPILOVER_i}{\partial AGGLO_i} = \sum_{j \neq i} t_{ij}^{1-\sigma} \frac{\partial LOCAL_j}{\partial AGGLO_i}$ 。这说明一般均衡

效应会导致本地制造业集聚通过影响其他地区产品价格指数与要素投入,从而影响当地的生产选择。而 $\frac{\partial SPILLOVER_i}{\partial h(AGGLO_i; \theta)} < 0$, $\sigma - 1 > 0$ 表明在城市垄断竞争模型下,本地制造业集聚的影响不仅取决于 $h'(AGGLO_i; \theta)$ 的正负,还取决于所有城市需求端的产品支出与生产端的排污成本等因素。当 $h'(AGGLO_i; \theta) > 0$, 即集聚效应大于拥挤效应时,其他城市制造业集聚水平的增强会降低本地污染排放;当 $h'(AGGLO_i; \theta) < 0$, 即集聚效应小于拥挤效应时,其他地区制造业集聚水平的增强则会增加本地污染排放。

(二) 空间杜宾计量模型的导出

为更加直观地表示制造业集聚对环境污染的边际影响,本文将多元函数 $SPILLOVER_i$ 在零点处进行二阶泰勒展开,用线性函数近似 $h(AGGLO_i; \theta) = \theta AGGLO_i$, 并将本地制造业集聚各项合并,可以得到任一城市 i 的制造业集聚与环境污染的函数关系:

$$\ln(E_i) = \beta_0 + (\theta(\sigma - 1) + \eta_i) AGGLO_i + \sum_{i' \neq i}^R \eta_{i'} AGGLO_{i'} + \vartheta_i AGGLO_i^2 + \sum_{i' \neq i}^R \vartheta_{i'} AGGLO_{i'}^2 + \sum_{i=1}^R \sum_{i' \neq i}^R \kappa_{ii'} AGGLO_i AGGLO_{i'} \tag{7}$$

式(7)等号右边可以分为三个部分,即本地制造业集聚的多项式,其他地区制造业集聚的多项式以及基于地区间排污成本和冰山成本构造的地区异质性。现有研究多采用普通固定效应模型估计式(7),存在一定的局限性:一方面,计量模型仅仅控制了本地制造业集聚对环境污染的影响而忽略了其他地区制造业集聚的溢出效应影响,从而导致内生性;另一方面,地区间排污成本以及冰山成本往往存在高度的空间相关性,这导致传统的固定效应模型并不能完全捕捉环境污染排放本身的空间自相关和空间异质性,从而产生估计偏误。为更准确地估计式(7),本文采用空间杜宾模型,其在传统固定效应模型的基础上,进一步考虑了被解释变量与解释变量的空间相关性。首先,基于空间权重矩阵,本文在固定效应模型方程中加入解释变量的空间滞后项以控制其他地区制造业集聚的溢出效应,加入被解释变量的空间滞后项以考虑环境污染排放本身的空间自相关和空间异质性。其次,本文通过控制变量与城市固定效应,控制理论模型中本地城市的排污成本、制造业产品支出等不可观测因素。最后,考虑到制造业集聚对生产率存在非线性倒U型影响,因此本文加入制造业集聚及其空间滞后项的二次项以考虑该非线性关系。本文最终采用的空间计量回归方程如下:

$$\ln(E_i) = \tau W \times \ln(E_i) + \beta_1 AGGLO_i + \beta_2 AGGLO_i^2 + \beta_3 W \times AGGLO_i + \beta_4 W \times AGGLO_i^2 + Z_i \delta' + \varepsilon_i \tag{8}$$

其中, $\ln(E_i) = [\ln(E_{1t}), \ln(E_{2t}), \dots, \ln(E_{Rt})]'$, $AGGLO_i = [AGGLO_{1t}, AGGLO_{2t}, \dots, AGGLO_{Rt}]'$, $\varepsilon_i = [\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}, \dots, \varepsilon_{Rt}]'$ 。 Z_i 表示控制变量矩阵,主要用以控制结构模型中包含的地区异质性(如制造业产品支出,排污成本等), δ 为控制变量系数向量。 W 为 $R \times R$ 维空间权重矩阵,其设定直接影响模型的估计结果和拟合效果,为了保证结果的稳健性,本文在估计式(8)时尝试了如下不同的权重选取办法。

k 阶邻近矩阵 W_k 。马国霞等(2007)指出地理邻近有利于加强产业间的投入产出联系,形成关系邻近与地理邻近之间的循环因果关系。定义 $C_i(k)$ 为与城市 i 距离最近的 k 个城市集合(不包括城市 i 本身), k 阶邻近矩阵 i 行 j 列的元素定义为 $w_{ij} = \begin{cases} 1, j \in C_i(k) \\ 0, \text{其他} \end{cases}$ 。

地理距离矩阵 W_d 。其第 i 行第 j 列的元素定义为 $w_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{d_{ij}}, i \neq j \\ 0, i = j \end{cases}$ ，其中 d_{ij} 为以千米为单位表示的

城市 i 和城市 j 间的地表距离。

经济地理矩阵 W_{ek} 与 W_{ed} 。理论模型证实了空间滞后项系数与城市间运输成本、制造业产品支出高度相关。现实中，经济发展水平较高的城市对其他城市具有更大的影响作用，但考虑到制造业集聚具有明显的距离衰减边界，因此仅使用经济相似度构建经济距离矩阵可能与现实城市间的关联情况严重不符。本文参考李婧等（2010）的做法，构建如下经济地理权重矩阵测度城市之间的“非对称”关联：

$$\begin{cases} W_{ek} = W_k \times W_e \\ W_{ed} = W_d \times W_e \end{cases} \quad (9)$$

其中， W_e 为由地区生产总值（GDP）占比构造的对角矩阵： $W_e = \text{diag} \left\{ \frac{\overline{gdp}_1}{\overline{gdp}}, \frac{\overline{gdp}_2}{\overline{gdp}}, \dots, \frac{\overline{gdp}_n}{\overline{gdp}} \right\}$ ， \overline{gdp}_i

和 \overline{gdp} 分别为城市 i 和所有城市样本期间的年均 GDP。

本文采用式（9） $k=6$ 时的经济地理矩阵 W_{ek} 进行回归^①，通过采用其他空间权重矩阵、更改邻近城市数量 k 的方式进行稳健性检验，所有空间权重矩阵经计算后均作行标准化处理，标准化后的空间权重矩阵 i 行 j 列的元素定义为：

$$w_{ij}^{\text{standard}} = \frac{w_{ij}}{\sum_{j=1}^R w_{ij}}$$

三、实证估计与结果分析

（一）数据来源与变量构造

本文数据主要来自历年《中国城市统计年鉴》，各城市中心坐标数据根据国家基础地理信息中心^②查询获得。经过剔除数据严重缺失的城市以及样本期间行政区划发生重大变化的城市，最终选取了 2003—2017 年全国 283 个地级及以上城市作为研究样本，并采用线性插值法对个别缺失值进行填充^③。

环境污染（ POL ）。由理论模型可知，实证分析需构建一个综合指标使 $POL_i = \ln(E_i)$ 。采用熵值法构建环境污染排放的综合指数可以客观地确定污染指标的权重，避免主观因素造成的偏误，并最大限度地反映我国环境污染的整体情况。基于数据可得性，本文选取工业二氧化硫排放量（ SO_2 ）、工业废水排放量（ $water$ ）以及工业烟（粉）尘排放量（ $dust$ ）三大指标，借鉴杨丽和孙之淳（2015）

构建面板数据的指标计算方法：对各类工业污染排放指标 X^k 进行归一化处理 $Z_{it}^k = \frac{x_{it}^k - x_{min}^k}{x_{max}^k - x_{min}^k}$ ；计算 t

年份城市 i 各类污染指标的比重 $\widetilde{PR}_{it}^k = z_{it}^k / \sum_{i=1}^R \sum_{t=1}^T z_{it}^k$ ， $PR_{it}^k = 1 + \widetilde{PR}_{it}^k$ ；计算各类污染指标的熵值及变异系数 $EN^k = -\frac{1}{\ln(RT)} \sum_{i=1}^R \sum_{t=1}^T PR_{it}^k \ln(PR_{it}^k)$ ， $CV^k = 1 - EN^k$ ，其中， R 、 T 分别表示样本的城市

数量和时间跨度；计算各类污染指标的指数权重并得到环境污染指数 $WGT^k = CV^k / \sum_{k=1}^n CV^k$ ，

$POL_{it} = \sum_{k=1}^n WGT^k PR_{it}^k$ 。

① 本文选取的城市中，邻居数为 6 的城市数量最多，占总样本的 22.6%。

② <https://www.webmap.cn/mapDataAction.do?method=forw&resType=5&storeId=2&storeName=%E5%9B%BD%E5%AE%B6%E5%9F%BA%E7%A1%80%E5%9C%B0%E7%90%86%E4%BF%A1%E6%81%AF%E4%B8%AD%E5%BF%83>。

③ 对逐年递减的污染指标采用线性插值会出现最后年份为负值的情况，因此本文采用对数形式进行插值。

制造业集聚 (*AGGLO*)。当前测度制造业集聚的主要有区位熵、空间基尼指数、EG指数以及DO指数等方法 (Behrens和Bouagna, 2015; 邵朝对等, 2016; 苑德宇等, 2018), 其中区位熵可以消除区域规模的差异因素, 真实反映地理要素的空间分布 (杨仁发, 2013), 是现有文献常用的测量方法。因此, 本文参考O'Donoghue和Gleave (2004) 的方法, 采用标准化的区位熵测度城市地区的制造业

$$\text{集聚程度: } AGGLO_i = \frac{emp_{ir}}{\sum_r emp_{ir}} \bigg/ \frac{\sum_i emp_{ir}}{\sum_i \sum_r emp_{ir}}, \text{ 其中, } emp_{ir} \text{ 为 } i \text{ 城市 } r \text{ 产业的就业人数。}$$

控制变量须尽可能控制理论模型中本地城市的排污成本、产品支出等不可观测的因素, 根据现有文献, 本文选取经济发展水平 (*pgdp*)、市场规模 (*mar*)、城市产业结构 (*ins*) 及城市交通便利度 (*tran*) 作为控制变量。Grossman和Krueger (1991) 较早发现了环境污染与经济发展水平的非线性关系, 因此选取城市人均地区生产总值及其二次项对此影响关系进行控制; 市场规模很大程度上决定了本地市场需求, 影响本地企业的生产决策和贸易决策进而影响污染排放, 本文选取城市总人口衡量城市的市场规模; 污染排放绝大多数源于工业型企业, 而产业结构高级化表示城市从工业向服务业转型, 污染排放也随之减少, 本文采用第三产业与第二产业增加值的比值表示城市的产业结构; 城市交通便利度, 采用城市年末实有城市道路面积表示。表1报告了各变量的描述性统计结果。

表1 主要变量描述性统计

变量	单位	均值	标准差	最小值	最大值
<i>SO₂</i>	吨	56012.2388	57976.2778	2.0000	683162.0000
<i>water</i>	万吨	7263.3855	9413.3379	7.0000	91260.0000
<i>dust</i>	吨	30836.5061	86348.7517	34.0000	3257261.0000
<i>POL</i>	1	2.3557	0.1760	2.1865	4.1972
<i>AGGLO</i>	1	0.8668	0.4727	0.0210	2.9136
<i>pgdp</i>	元	37708.4054	45226.7132	1891.2030	893200.9000
<i>mar</i>	万人	434.8439	306.8585	16.3700	3392.0000
<i>ins</i>	1	0.8646	0.5072	0.0943	13.4774
<i>tran</i>	万平方米	1512.4157	2123.2246	14.0000	21490.0000

(二) 空间计量检验

空间计量模型适用于估计具有空间自相关性质的被解释变量方程。Moran指数测度了变量与变量空间滞后项之间的相关性, 常用于空间自相关检验, 其取值区间为[-1, 1], 正数代表区域观测值呈空间正相关, 否则为负相关, 绝对值越趋向于1, 空间相关性越强。表2汇报了2003—2017年环境污染排放指数的Moran指数。可以看出, 与理论模型均衡条件分析一致, 2003—2017年区域环境污染排放指数存在显著的空间正相关, 且Moran指数呈现上升趋势, 表明城市层面的污染排在空间分布上趋于聚集。

2017年环境污染及制造业集聚分布情况的数据显示^①, 污染排放与制造业集聚均呈现明显的空间聚集特征, 高污染排放城市集中聚集在东部的山东、长三角、珠三角^②地区, 高制造业集聚城市集中

①因篇幅所限, 直观图示以附图1展示, 见《统计研究》网站所列附件。下同。

②本文涉及的长三角地区指上海市、南京市、无锡市、常州市、苏州市、南通市、盐城市、扬州市、镇江市、泰州市、杭州市、宁波市、嘉兴市、湖州市、绍兴市、金华市、舟山市、台州市、合肥市、芜湖市、马鞍山市、铜陵市、安庆市、滁州市、池州市、宣城市; 珠三角地区指广州市、佛山市、深圳市、东莞市、惠州市、珠海市、中山市、江门市、肇庆市。

在长三角、珠三角地区以及中部部分地区^①。此外，制造业集聚对污染排放可能具有非线性影响：集聚程度较高的地区中，中西部城市污染排放较高，东部沿海城市污染排放较低，与之邻近的城市具有较高的污染排放。

表2 我国各城市环境污染排放指数的空间自相关检验结果

年份	Moran I	z统计量	年份	Moran I	z统计量
2003	0.169***	4.884	2011	0.205***	5.758
2004	0.174***	5.009	2012	0.256***	7.158
2005	0.180***	5.164	2013	0.257***	7.193
2006	0.204***	5.850	2014	0.229***	6.429
2007	0.065***	3.742	2015	0.234***	6.584
2008	0.146***	4.163	2016	0.330***	9.164
2009	0.154***	4.408	2017	0.382***	10.616
2010	0.215***	6.106			

注：*、**和***分别表示在10%、5%、1%的水平下显著。下同。

（三）实证结果与分析

Hausman检验结果显示在1%水平上拒绝原假设，因此本文采用固定效应模型进行估计。空间计量模型的设定形式除空间杜宾模型外还包含空间自回归模型和空间误差模型。参考Elhorst（2010）的模型选择策略，借助Wald检验和LR检验进行模型检验，表3汇报了式（8）的普通固定效应模型和空间杜宾固定效应模型的回归结果和模型检验结果。列（4）与列（5）中Wald空间滞后检验和LR空间滞后检验均在1%水平上拒绝了原假设，表明模型不可退化为空间自回归模型；Wald空间误差检验和LR空间误差检验均显著拒绝了原假设，表明模型不可退化为空间误差模型，因此采用空间杜宾模型作为基准空间回归模型在计量层面更具合理性与稳健性。

列（1）与列（2）分别为普通固定效应模型和空间杜宾固定效应模型的回归结果，本地制造业集聚对环境污染具有倒U型影响，其他地区制造业集聚对环境污染具有U型影响，对比两列的估计系数可以发现在考虑制造业集聚的溢出效应以及环境污染本身的空间自相关和空间异质性后，结果发生了明显变化，主要体现在：加入控制变量进行估计后，两类模型本地制造业集聚的一次项系数均变小，二次项系数均变大，本地制造业集聚对环境污染影响的“拐点”左移，影响曲线更为“平缓”。此外，本文加入制造业集聚的空间交互项 $AGGLOINTER_i = \widetilde{W}_i \times AGGLO_i$ ，以拟合理论模型中的交互项，其中*t*年度 \widetilde{W}_i 的*i*行*j*列元素定义为： $\widetilde{w}_{ij} = w_{ij}^{standard} \times AGGLO_{jt}$ ， $w_{ij}^{standard}$ 为标准化后的6阶经济地理邻接矩阵*i*行*j*列的对应元素，以此获得加权后每个城市制造业集聚的空间交互项。列（5）显示空间交互项系数并不显著，且制造业集聚的各项系数及影响拐点较列（4）而言并无明显变化，表明本地制造业集聚与其他城市制造业集聚之间不存在调节效应，两者分别单独对本地环境污染产生影响。为便于后文计算制造业集聚的边际效应，采用列（4）作为基准回归结果。

列（4）表明在加入控制变量后制造业集聚的影响曲线拐点值为1.31，历年有38~50个城市位于拐点右侧，东部地区城市占60.00%~81.58%，部分城市率先借助制造业高度集聚实现了减排。图1进一步对比了在控制溢出效应前后，本地制造业集聚对环境污染的倒U型影响的拐点及走势变化，结果显示本地制造业集聚一次项系数增加，二次项系数降低，拐点由1.24提高至1.31，每年有7~14个城市

^①本文东部地区城市指北京、天津、上海及位于辽宁、河北、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南、广西的城市；中部地区城市指位于山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南、吉林、黑龙江、内蒙古的城市；西部地区城市指重庆及位于四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、西藏、新疆、宁夏的城市。2013年有38个城市位于拐点右侧，2017年有50个城市位于拐点右侧；2017年区位熵位于拐点右侧的城市中东部城市占60.00%，2013年占81.58%。

市^①的本地制造业集聚落回拐点左侧，制造业集聚对污染排放的影响从降低变为提高，本地制造业集聚对污染排放的影响曲线变得更加“陡峭”。这说明在实证模型控制其他城市制造业集聚的空间溢出效应后，本地制造业集聚的污染排放效应更加显著：一方面为充分发挥技术外部性所需的制造业集聚程度有所提高，另一方面，低集聚的城市制造业生产带来了更多的污染。

表3 模型估计结果及设定形式检验

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>AGGLO</i>	0.1716*** (0.0358)	0.1821*** (0.0177)	0.1311*** (0.0287)	0.1614*** (0.0172)	0.1568*** (0.0193)
<i>AGGLO</i> ²	-0.0659*** (0.0150)	-0.0677*** (0.0070)	-0.0528*** (0.0125)	-0.0614*** (0.0068)	-0.0641*** (0.0084)
<i>AGGLOINTER</i>					0.0096 (0.0179)
<i>W×AGGLO</i>		-0.0921*** (0.0317)		-0.1712*** (0.0312)	-0.1725*** (0.0313)
<i>W×AGGLO</i> ²		0.0276** (0.0116)		0.0543*** (0.0114)	0.0509*** (0.0131)
<i>W×POL</i>		0.2831*** (0.0135)		0.2080*** (0.0142)	0.2071*** (0.0143)
<i>pgdp</i>			0.3048*** (0.0676)	0.2929*** (0.0274)	0.2912*** (0.0276)
<i>pgdp</i> ²			-0.0164*** (0.0035)	-0.0154*** (0.0014)	-0.0154*** (0.0014)
<i>ins</i>			-0.0256*** (0.0098)	-0.0202*** (0.0032)	-0.0203*** (0.0032)
<i>tran</i>			-0.0125 (0.0086)	-0.0106*** (0.0040)	-0.0105*** (0.0040)
<i>mar</i>			-0.0082 (0.0426)	0.0017 (0.0198)	0.0020 (0.0198)
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R ²	0.0212	0.0199	0.1310	0.1378	0.1383
Wald空间滞后				31.0070***	30.6496***
Wald空间误差				22.5965***	21.0871***
LR空间滞后				30.8758***	30.5236***
LR空间误差				27.3870***	25.2980***

注：括号内为稳健标准误。

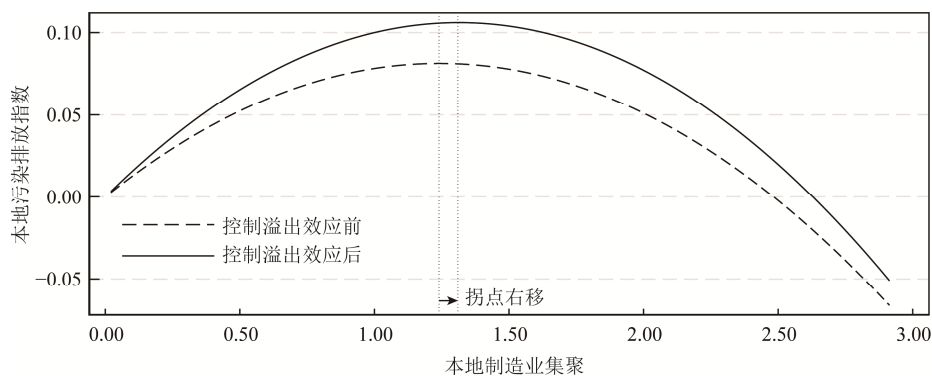


图1 控制溢出效应前后本地制造业集聚对环境污染排放的影响

①2013年有7个城市位于两个拐点之间，2017年有14个城市位于两个拐点之间。

本文估计结果解释了制造业集聚影响环境污染排放的作用机制与空间关联性。对某一城市而言，在其制造业集聚程度越过拐点之前，集聚充分发挥规模经济与范围经济效应，降低产品定价，使得消费者对本城市产品的需求增加，“挤出”了对其他城市产品的需求，因而该城市面临的总需求增加，制造业集聚程度也随之提高，集中排放加剧了地方环境污染。若该城市的制造业集聚程度越过拐点，拥挤效应逐渐凸显，地方政府环境保护政策收紧，导致生产要素边际成本和排污成本增加，本地产品价格优势消失，其他城市产品“挤入”。此时，当地制造业企业为提高竞争力会选择降低能源消耗和边际治污成本，进而促进了环境污染减排，即在高度集聚的城市中，绿色节能的生产技术作为厂商的差异化策略，使得整体污染排放水平下降。

从另一角度来看，其他城市制造业集聚在越过拐点前，会“挤出”（收缩）所有城市对本地城市产品的需求，而在越过拐点后，则“挤入”（扩大）所有城市对本地产品的需求。因此，某一城市的环境污染最终受本地制造业集聚与其他城市制造业集聚的双重影响，两者均通过影响本地产品需求实现。其中，本地制造业集聚对环境污染的影响主要是经由“集聚——本地产品定价——本地需求”的传导机制实现的，称为本地效应，呈现倒U型影响；其他城市制造业集聚对环境污染的影响则是经由“集聚——本地价格指数——本地需求”的传导机制实现的，称为溢出效应，呈现U型影响。制造业集聚对环境污染排放的影响最终取决于本地集聚效应和外地集聚效应的净效应。

从全国各区域整体的视角来看，对于其他城市特别是周边邻近城市的制造业集聚而言，在整体制造业集聚越过拐点以前发挥了充分的正外部性，整个区域通过知识溢出效应和集体学习提升企业的清洁生产技术和节能治污技术，大大提高技术创新效率，降低了企业的边际治污成本（原毅军和谢荣辉，2015）。但伴随着集聚程度的进一步提高，制造业集聚会加剧环境的污染排放。污染排放的空间滞后项一定程度上反映了城市的排污成本，其回归系数显著为正，表明高污染排放的城市呈现集聚趋势。

观察列（4）中控制变量的回归系数，可以发现人均GDP的一次项系数显著为正而二次项系数显著为负，表明经济发展水平与污染排放呈倒U型关系，符合环境Kuznets曲线假说；城市产业结构系数显著为负，表明产业升级有效降低了环境污染，这一方面源于供给侧改革下诸多城市向服务型城市转型，制造业比重大大下降，另一方面则源于快速发展的生产性服务业所提供的诸多方面的支持，倒逼制造业结构优化和升级（顾乃华等，2006；刘奕等，2017）；城市交通便利度降低了交易成本，提高了生产要素在城市内部的流动效率，显著降低了本地污染排放。

（四）稳健性检验

采用不同形式的空间权重矩阵进行估计以检验结果的稳健性。表4中列（1）~（4）分别为采用地理邻接矩阵^①、6阶地理邻近矩阵、地理距离以及经济地理距离矩阵的估计结果。结果显示，更换不同空间权重矩阵仅仅改变了其他城市制造业集聚的系数，而本地制造业集聚的影响系数基本稳健，区位熵拐点仍在1.3左右，且制造业集聚的本地效应和空间溢出效应仍然分别呈现倒U和正U型。列（3）与列（4）显示在采用地理距离与经济地理距离矩阵估计后，其他城市制造业集聚的系数不再显著，可能原因在于这两类空间权重矩阵没有合理反映城市之间的关联：垄断竞争下市场仍然具有地域性的分割特征，即使在考虑了由于经济发展水平不同导致的城市间非对称影响后，分割的影响依旧致使经济领先的城市很难与超过一定地理距离的其他城市产生关联。

此外，本文还通过改变 k 阶邻近矩阵中的 k 值，检验式（8）中经济地理 k 阶邻接矩阵对回归结果

^①若两城市 rook 相邻则矩阵元素取 1，否则取 0。

影响的稳健性。分别令k取1~10，得到本地制造业集聚及其平方的系数估计（见图2）。结果显示，定义邻近城市数量在4~8之间时系数估计均未发生较大改变，表明模型式（8）良好地控制住了制造业集聚的溢出效应，得到了本地制造业集聚的净影响，估计结果基本稳健。

表4 不同空间权重矩阵设定下的估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>AGGLO</i>	0.1667*** (0.0176)	0.1955*** (0.0211)	0.1672*** (0.0166)	0.1565*** (0.0165)
<i>AGGLO</i> ²	-0.0644*** (0.0070)	-0.0757*** (0.0083)	-0.0610*** (0.0066)	-0.0598*** (0.0066)
<i>W</i> × <i>AGGLO</i>	-0.2017*** (0.0320)	-0.0442*** (0.0068)	-0.2833 (0.3003)	-0.1766 (0.1219)
<i>W</i> × <i>AGGLO</i> ²	0.0792*** (0.0141)	0.0199*** (0.0027)	0.1161 (0.1262)	0.0396 (0.0381)
<i>W</i> × <i>POL</i>	0.2538*** (0.0195)	0.3002*** (0.0007)	2.0427*** (0.0829)	0.5491*** (0.0252)
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
N	4155	4245	4245	4245

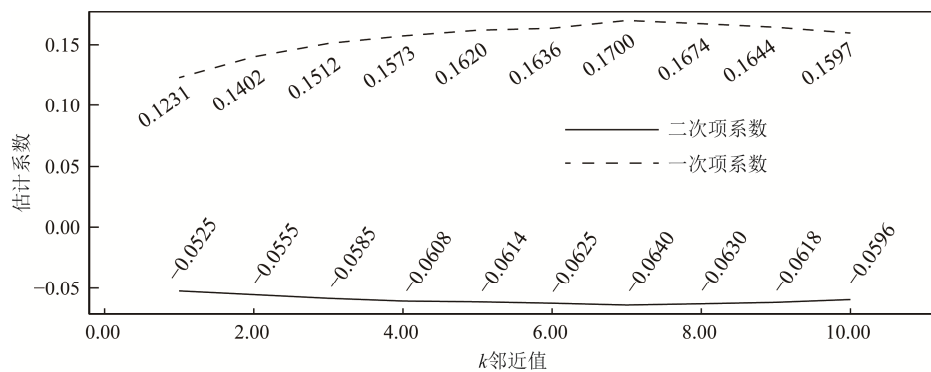


图2 改变各城市的邻近城市数量后本地制造业集聚的系数估计结果

四、效应分解与机制分析

(一) 制造业集聚对污染排放的平均偏效应

此前得到了制造业集聚对污染排放影响的点估计结果，但无法准确观测解释变量对被解释变量的边际效应（LeSage和Pace, 2009），因此需要基于回归结果进行偏效应的分解与计算。具体而言，边际效应可以分解为直接效应和间接效应：直接效应指本地制造业集聚对本地污染排放的影响以及本地制造业集聚对其他城市污染排放产生影响进而对本地环境污染排放所产生的影响；间接效应即空间溢出效应，指其他城市制造业集聚对本地污染排放的影响以及其他城市制造业集聚对其他城市污染排放产生影响进而对本地污染排放所产生的影响，体现了污染排放的空间关联性。

借助偏导数矩阵，环境污染排放的数学期望对各城市制造业集聚的偏导数可以表示为：

$$S_{RT \times RT} = \begin{pmatrix} S_{R \times R}^{t=1} & \cdots & \mathbf{0}_{R \times R} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{R \times R} & \cdots & S_{R \times R}^{t=T} \end{pmatrix}, S_{R \times R}^{t=s} = \begin{pmatrix} \frac{\partial POL_{1s}}{\partial AGGLO_{1s}} & \cdots & \frac{\partial POL_{1s}}{\partial AGGLO_{Rs}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial POL_{Rs}}{\partial AGGLO_{1s}} & \cdots & \frac{\partial POL_{Rs}}{\partial AGGLO_{Rs}} \end{pmatrix}$$

其中， $s=1, \dots, T$ 。具体到式（8），注意到 $POL_t = \ln(E)$ ，则对任一年份s的制造业集聚的偏导数矩阵可以表示为：

$$\begin{aligned} S_{R \times R}^{I=5} &= (\mathbf{I} - \tau \mathbf{W})^{-1} [\beta_1 \mathbf{I} + 2\beta_2 \text{diag}(AGGLO_{1s}, AGGLO_{2s}, \dots, AGGLO_{Rs})] \\ &+ (\mathbf{I} - \tau \mathbf{W})^{-1} \mathbf{W} [\beta_3 \mathbf{I} + 2\beta_4 \text{diag}(AGGLO_{1s}, AGGLO_{2s}, \dots, AGGLO_{Rs})] \end{aligned} \quad (10)$$

其中, \mathbf{I} 为同阶单位矩阵。式 (10) 得到了基于本地制造业集聚与其他城市制造业集聚的非线性影响构建的边际效应矩阵, 各个城市间制造业集聚的边际效应不仅取决于空间权重矩阵和回归系数, 还取决于城市自身制造业集聚程度, 充分考虑了城市间的非对称关联。参考 Elhorst (2010) 的计算方法, 可得到制造业集聚对污染排放的平均总效应 (TE)、平均直接效应 (DE) 以及平均间接效应 (IE):

$$\begin{cases} TE = \frac{1}{RT} \mathbf{i}'_{RT} \mathbf{S}_{RT \times RT} \mathbf{i}_{RT} \\ DE = \frac{1}{RT} \text{tr}(\mathbf{S}_{RT \times RT}) \\ IE = TE - DE \end{cases} \quad (11)$$

其中, $\mathbf{i}_{RT} = \underbrace{(1, 1, 1, \dots, 1)'}_{RT}$, tr 表示矩阵的迹。基于表 3 中基准回归结果列 (4) 和式 (11) 计算得到:

平均直接效应为 0.05, 即本地制造业集聚提高 1 单位, 本地环境污染排放指数平均提高 0.05, 该点位于倒 U 型拐点的左侧, 这说明平均而言, 增加本地产业集聚会增加本地城市的污染排放; 平均间接效应为 -0.07, 即其他城市制造业集聚提高 1 单位, 本地环境污染排放指数平均降低 0.07, 该点位于 U 型拐点的左侧, 这表明平均来看, 增加其他城市的制造业集聚有利于缓解本地的环境污染; 平均总效应为 -0.02, 表明在综合考虑本地直接效应和间接的空间溢出效应之后, 整体而言增加制造业集聚有助于减轻全国环境污染排放。

由于环境污染排放存在空间关联性, 针对某地区的局部产业政策可能无法达到节能减排和绿色高质量发展的目的, 而只有在考虑各地区的经济发展现状与产业之间的协调性才能确保绿色发展理念得到有效实施。鉴于此, 有必要系统性地分析不同城市污染排放的本地直接效应和空间溢出相关的间接效应, 对制造业集聚对环境污染的作用机制进行更深入的剖析。

(二) 制造业集聚对环境污染的地域差异

为更深入了解制造业集聚对环境污染的内在机理, 本文进一步分析制造业集聚对环境污染的地域差异, 并探讨相应的发展政策。由于污染排放存在空间关联性, 本文将从本地城市视角和异地城市视角阐释制造业集聚对环境污染的作用机制。本地城市视角指从本地出发, 理解本地制造业集聚对当地污染排放和对异地污染排放的作用效应, 而异地城市视角分析周边城市产业集聚如何影响当地的污染排放。

1. 本地制造业集聚的环境污染效应。

首先, 考虑本地制造业集聚对当地污染排放的直接效应。图 3 左侧为直接效应和制造业集聚年平均值的散点图, 直接效应在 $[-0.13, 0.14]$ 区间内波动, 可以发现直接效应近乎是制造业集聚年平均值的线性函数: $DE \approx -0.1209 \overline{AGGLO} + 0.1579$ 。这表明, 在考虑制造业集聚与环境污染的空间相关性后, 本地制造业集聚的影响仍呈倒 U 型走势: 城市制造业集聚年平均值每下降 1 单位, 直接效应下降 -0.12。在 283 个城市中, 共有 43 个城市的直接效应为负, 与前文回归结果一致, 这些城市集中在东部地区, 以山东沿海城市、长三角沿海城市以及珠三角沿海城市为主, 而内陆城市仍处于制造业集聚的前中期, 其制造业集聚加剧了本地的污染排放。

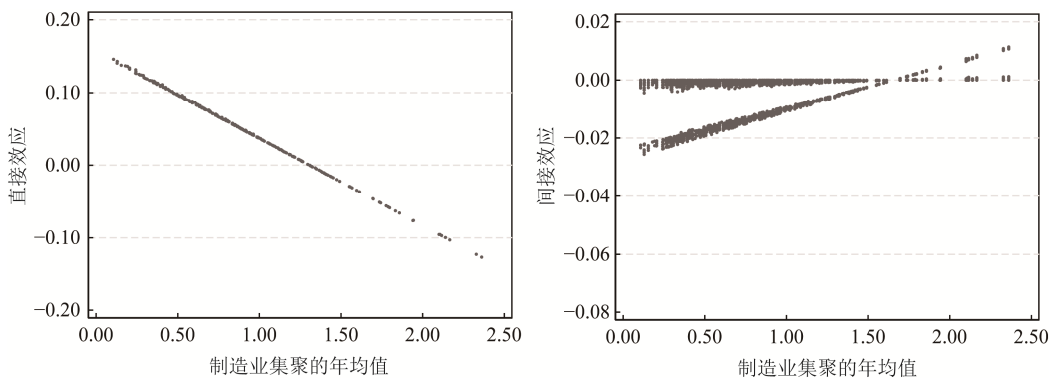


图3 直接效应（图左）、间接效应（图右）与各城市制造业集聚年平均值的散点图

其次，考虑本地制造业集聚对其他城市的环境污染效应。在其他城市制造业集聚程度较低时，空间溢出效应为负，显著降低了本地城市的污染排放，有近93%的“城市—城市”对的溢出效应位于这一区间；随着集聚程度的进一步增加，溢出效应逐渐降低越过拐点最终加剧了本地城市的污染排放，位于这一区间的溢出效应绝大部分源于东部城市，包含4512个城市对。图4绘制了基于经济6阶邻近矩阵计算的间接效应与各城市地表距离的关系图，其中城市间地表距离基于各城市经纬度计算获得，结果显示多数城市对的溢出效应在500公里内具有较为明显的影响，在-0.07至0.03这一区间内波动；在距离超过500公里后，溢出效应逐渐收敛趋向于零。此外，污染排放的空间正相关性在城市间传递，致使不邻近的城市彼此之间仍然具有显著的溢出效应。

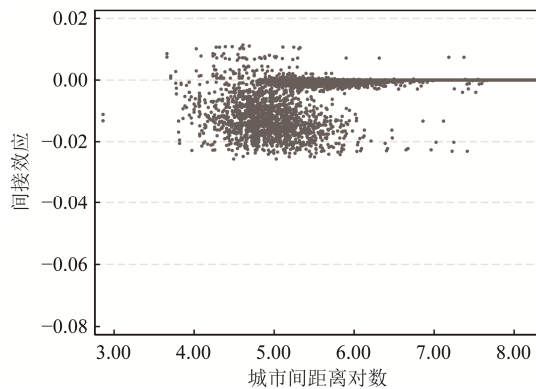


图4 间接效应与各城市之间距离对数的散点图

在考虑制造业集聚的非线性影响后，各地区及城市群在直接效应、间接效应和平均总效应上具有明显差异。表5汇报了各地区及城市群的制造业集聚的边际效应。京津冀城市群、成渝城市群^①以及中西部地区的本地制造业集聚直接效应在0.06~0.07左右，其加剧污染的效应较全国更为明显；相反，东部地区本地制造业集聚的直接效应要显著低于全国地区，长三角城市群已降至较低水平，而珠三角城市群已率先跨过倒U型拐点，制造业的高度集聚有效降低了本地的污染排放。表5将各地区及城市群制造业集聚的溢出效应（间接效应）分解为两部分，分别为源自同一地区其他城市的溢出效应和源自其他地区城市的溢出效应，所有地区及城市群的溢出效应均显著为负，中西部地区主要

①成渝城市群包括重庆市、成都市、自贡市、泸州市、德阳市、绵阳市、遂宁市、内江市、乐山市、资阳市、南充市、眉山市、宜宾市、广安市、达州市、雅安市。

受到同一地区其他城市制造业集聚的溢出效应影响，而东部地区受到制造业集聚溢出效应的影响主要源自其他地区城市。实证部分表明高度的制造业集聚会对其他城市产生负面影响，反映到对环境的溢出效应上表现为绝对值降低，源自东部地区的溢出效应绝对值显著低于其他地区水平，表明高制造业集聚下东部主要城市对其他城市污染产生了负面影响。总体来看，制造业集聚的减排效应在东部地区、长三角城市群、珠三角城市群和成渝城市群最为明显，而在中西部地区以及京津冀城市群则相对较弱。

表5 各地区及城市群的平均直接效应、间接效应与总效应

	全国	东部	中部	西部	京津冀	长三角	珠三角	成渝
直接效应	0.0531	0.0284	0.0674	0.0748	0.0621	0.0092	-0.0593	0.0664
间接效应	-0.0732							
区域内		-0.0056	-0.0714	-0.0884	-0.0666	-0.0238	-0.0012	-0.0657
区域外		-0.0475	-0.0118	-0.0055	-0.0137	-0.0083	-0.0030	-0.0288
总效应	-0.0201	-0.0247	-0.0158	-0.0191	-0.0182	-0.0229	-0.0635	-0.0281
N	283	115	109	59	13	26	9	16

2. 周边城市制造业集聚的环境污染效应。

一般而言，某一地区制造业集聚的空间分布格局可以划分为两种：一种为“分散式”的空间分布，即地区内各城市的集聚水平相似，不存在领先的中心城市；另一种为“集中式”的空间分布，即在地区内存在1~2个高度集聚的城市，领先于周边城市，呈现出明显的辐射特征。这两种不同的制造业空间分布格局对环境污染治理具有不同启示。图5左图绘制了周边城市的制造业集聚排列与其产生的平均溢出的走势图，其中制造业集聚排列 $rank_i = \sum_{j \neq i, d_{ij} < 300} \left(\sum_t \frac{1}{T} AGGLO_i - \sum_t \frac{1}{T} AGGLO_j \right)$ 测度了城市*i*较300公里内其他城市的年平均制造业集聚的“领先程度”，指标越高，则城市*i*的制造业越趋于高度聚集，所在区域越趋于集中式的集聚分布；该城市对其他城市产生的平均溢出 $\frac{1}{RT} \sum_t \sum_{j \neq i, d_{ij} < 300} \frac{\partial POL_{jt}}{\partial AGGLO_{it}}$ 测度了该城市对300公里内其他城市所产生的年平均溢出效应，溢出效应为负表示该城市制造业集聚整体上降低了周边城市的环境污染排放。图5显示，多数城市所在地区的制造业集聚在城市间分布较为均衡，城市溢出效应显著为负，但也有个别城市的集聚排列很高，其所在地区的制造业集聚空间分布高度集中，溢出效应由负转正，对周边城市产生了显著的环境负外部性，加重了其他城市的环境污染排放。

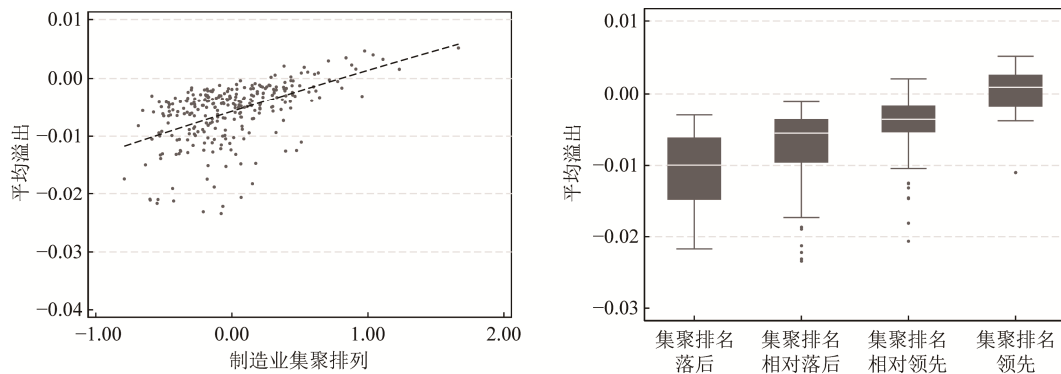


图5 周边城市的平均溢出随其制造业集聚排列的走势（左）和箱线图（右）

两个视角下的机制分析结果对治理地区污染提供了一定启示。对于多数城市和地区而言,城市污染的有效控制主要得益于周边城市制造业集聚的空间溢出,这意味着产业政策可以通过引导承接转移其他地区城市的制造业、优化某一地区整体的制造业集聚水平以降低污染。而空间溢出的正外部性在地区“分散式”的集聚分布中更加明显,从调整地区及城市群内部各城市产业结构分布的角度为治理地区污染提供路径:对于某些“集中式”分布的地区及城市群,重点疏解过度集聚城市的制造业部分转出、有效引导其他工业城市承接、推进服务型城市生产服务业发展则更应该成为顶层设计治理污染的首要途径。

五、研究结论和政策启示

本文在制造业集聚与环境污染排放的理论模型中引入了空间溢出项,在区域间一般均衡的条件下对产业集聚与环境污染的关系进行了理论与实证研究。模型的均衡条件显示:某一地区的污染排放不仅受本地制造业集聚的影响,还受到其他地区制造业集聚的影响;地区间不同的排污成本等因素导致环境污染排放本身具有空间相关性。将制造业集聚的溢出效应拓展到非线性形式,采用空间杜宾模型进行估计发现:本地制造业集聚对本地污染排放具有倒U型影响,其他城市制造业集聚对本地污染排放具有U型影响,多数城市仍位于拐点左侧,即本地制造业集聚加剧了污染排放,其他城市制造业集聚降低了污染排放,位于拐点右侧的城市以东部城市为主。通过计算制造业集聚的平均直接效应和平均间接效应,本文发现整体上制造业集聚降低了污染排放,且制造业集聚在城市间的分布更加均衡时,该降低效应更加凸显。

本文研究结论与现实中许多城市节能减排的政策和实践高度契合,为推动绿色发展提供了理论上的路径支撑:一种路径下,城市积极推进供给侧改革和制造业结构优化,在政策和市场的双重引导下,企业加速推进绿色节能技术的开发应用,推动实现本地制造业高质量、高程度集聚,从而越过倒U型拐点,充分发挥本地制造业集聚的竞争效应和结构效应,促进城市减排,实现绿色低碳转型发展;另一种路径下,部分服务产业发展领先的城市将主要制造业向周边邻近的工业城市转移,强化产业优势,加速向服务型城市转型,从而服务型城市自身环境污染水平显著降低,同时还对周边工业城市释放充分的环境正外部性^①,实现区域产业协同发展。

此外,本文研究结论从控制环境污染的角度为地区间产业转移的合理性与可行性提供了论证,具有一定的现实意义。一些文献认为制造业集聚的本地效应与空间溢出效应对污染排放具有线性影响,表明从环境污染角度来看各地方政府处于零和博弈中,产业转移仅是将高污染所产生的社会成本由一方转移到另一方,无益于区域整体减排。不同于以往研究结论,本文发现借助地区之间的产业转移,制造业集聚在城市间的均衡分布可以有效降低区域整体的环境污染排放^②。因此,对于政策制定者而言,除致力于调整城市自身制造业集聚以外,还需关注优化区域整体的制造业分布,引导高度集聚城市中的部分下游产业向周边工业城市转移,打造区域制造业产业链,建立合理的产业分工体系,推动城市集群的绿色发展。

本文基于不同研究视角发现有效制定产业政策、合理引导产业承接与产业转移有助于治理地区及城市群的环境污染。因此,制造业节能减排的最终着力点仍然是区域产业的协同发展,而提升能源效率,实现节能减排目标需要借助市场力量和政府有效监管的共同作用。为此,实现国家层面的

^①此外,其他城市的制造业集聚距离U型拐点值(约为1.58)仍相差较远,在承接制造业转移后城市仍可产生负的空间环境污染溢出。

^②本文借助样本的缩尾处理进行了反事实实验对这一结论进行佐证。因篇幅所限,实验结果以附表1展示。

绿色发展，需要健全区域利益共享与协调补偿机制，加强区域内各城市的产业关联，避免出现污染密集产业过度集聚的情况。

参考文献

- [1] 程中华, 刘军. 产业集聚、市场潜能与地区工资差距[J]. 财经论丛, 2015(3): 10-16.
- [2] 顾乃华, 毕斗斗, 任旺兵. 中国转型期生产性服务业发展与制造业竞争力关系研究——基于面板数据的实证分析[J]. 中国工业经济, 2006(9): 14-21.
- [3] 李婧, 谭清美, 白俊红. 中国区域创新生产的空间计量分析——基于静态与动态空间面板模型的实证研究[J]. 管理世界, 2010(7): 43-55, 65.
- [4] 刘奕, 夏杰长, 李焱. 生产性服务业集聚与制造业升级[J]. 中国工业经济, 2017(7): 24-42.
- [5] 刘志东, 高洪玮. 中国制造业集聚的演变特征及其影响因素——基于空间面板模型的实证研究[J]. 经济地理, 2021, 41(12): 33-42.
- [6] 马国霞, 石敏俊, 李娜. 中国制造业产业间集聚度及产业间集聚机制[J]. 管理世界, 2007(8): 58-65, 172.
- [7] 邵朝对, 苏丹妮, 邓宏图. 房价、土地财政与城市集聚特征：中国式城市发展之路[J]. 管理世界, 2016(2): 19-31, 187.
- [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] 王崇锋, 张吉鹏. 制造业产业集聚对生态城市建设影响的定量研究——基于CR⁴指数的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2009, 19(4): 140-144.
- [10] 闫逢柱, 苏李, 乔娟. 产业集聚发展与环境污染关系的考察——来自中国制造业的证据[J]. 科学学研究, 2011, 29(1): 79-83, 120.
- [11] 杨丽, 孙之淳. 基于熵值法的西部新型城镇化发展水平测评[J]. 经济问题, 2015(3): 115-119.
- [12] 原毅军, 谢荣辉. 产业集聚、技术创新与环境污染的内在联系[J]. 科学学研究, 2015, 33(9): 1340-1347.
- [13] 苑德宇, 李德刚, 宋小宁. 产业集聚、企业年龄与政府补贴[J]. 财贸经济, 2018, 39(9): 39-56.
- [14] 张可, 豆建民. 集聚与环境污染——基于中国287个地级市的经验分析[J]. 金融研究, 2015(12): 32-45.
- [15] 张可, 汪东芳. 经济集聚与环境污染的交互影响及空间溢出[J]. 中国工业经济, 2014(6): 70-82.
- [16] Behrens K, Bougna T. An Anatomy of the Geographical Concentration of Canadian Manufacturing Industries[J]. Regional Science and Urban Economics, 2015, 51: 47-69.
- [17] Brinkman J C. Congestion, Agglomeration, and the Structure of Cities[J]. Journal of Urban Economics, 2016, 94: 13-31.
- [18] Brühlhart M, Mathys N A. Sectoral Agglomeration Economies in a Panel of European Regions[J]. Regional Science and Urban Economics, 2008, 38(4): 348-362.
- [19] Ciccone A, Hall R. Productivity and the Density of Economic Activity[J]. American Economic Review, 1996, 86(1): 54-70.
- [20] Copeland B, Taylor M S. North-south Trade and the Environment[J]. The Quarterly Journal of Economics, 1994, 109(3): 755-787.
- [21] De Blasio G, Di Addario S. Do Workers Benefit from Industrial Agglomeration? [J]. Journal of Regional Science, 2005, 45: 797-827.
- [22] Duranton G, Overman H G. Testing for Localization Using Micro-Geographic Data[J]. The Review of Economic Studies, 2005, 72: 1077-1106.
- [23] Elhorst J. Applied Spatial Econometrics: Raising the Bar[J]. Spatial Economic Analysis, 2010, 5(1): 9-28.
- [24] Fujita M, Krugman P, Venables A J. The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade[M]. Cambridge, MA: MIT Press, 1999.
- [25] Grossman G, Krueger A. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement[R]. National Bureau of Economic Research, 1991.
- [26] Han F, Xie R, Lu Y, et al. The Effects of Urban Agglomeration Economies on Carbon Emissions: Evidence from Chinese Cities[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 172: 1096-1110.
- [27] LeSage J P, Pace R K. Introduction to Spatial Econometrics[M]. Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 2009.
- [28] O'Donoghue D, Gleave B. A Note on Methods for Measuring Industrial Agglomeration[J]. Regional Studies, 2004, 38(4): 419-427.
- [29] Redding S, Venables A J. Economic Geography and International Inequality[J]. Journal of International Economics, 2004, 62(1): 53-82.

作者简介

陈志远, 中国人民大学商学院助理教授。研究方向为企业创新与发展、生产率测算、产业政策。

丁小珊, 中国人民大学经济学院博士研究生。研究方向为产业政策、价值链。

韩冲, 国家统计局统计教育培训中心经济师。研究方向为产业经济、价值链。

于皓(通讯作者), 中国人民大学商学院硕士研究生。研究方向为产业经济学。电子邮箱: nirayau@163.com。

(责任编辑: 张晓梅)