

·区域经济与绿色生态·

人口与经济集聚对雾霾污染影响研究 ——基于空间面板模型的实证检验



□吴士炜 余文涛

[福州大学 福州 350116]

[摘要] **【目的/意义】**人口与经济集聚是中国经济转向高质量发展的推动力,而生态环境作为高质量发展重要组成部分,如何协调好集聚与环境是实现可持续发展的关键。**【设计/方法】**基于扩展的生产密度函数,利用中国1998~2018年289个地级市面板数据,结合空间经济学相关理论,从一线城市、二三四线城市与五线城市视角考察人口与经济集聚对雾霾污染影响。**【结论/发现】**人口与经济集聚对雾霾污染影响呈N型曲线关系,说明城市化与工业化推进对雾霾污染呈现先促增后促减,当超过地区土地、环境与资源承载力时,会加剧雾霾污染。进一步考察发现,中等城市人口与经济集聚对雾霾污染影响呈倒U型曲线,而超大城市集聚对雾霾污染影响表现为正相关性。稳健性检验结果进一步验证上述结论。基于此,在发挥集聚规模经济效应促进高质量发展的同时,要注意地区环境承载力,且雾霾污染治理应以区域联治为主。

[关键词] 人口集聚;经济集聚;雾霾污染;N型曲线;空间溢出效应

[中图分类号] F062.2

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2022)-5016

The Effects of Population and Economic Agglomeration on Haze Pollution —An Empirical Analysis Based on Spatial Panel Data Model

WU Shi-wei YU Wen-tao

(Fuzhou University Fuzhou 350116 China)

Abstract [Purpose/Significance] Population and economic agglomeration are power of high quality development in China. Since the ecological environment is an important part of high quality development, how to coordinate agglomeration and environment is the key to realize sustainable development. [Design/Methodology] Based on the extended out density function, and China's 289 prefecture-level cities panel data from 1998 to 2018, combing with spatial economics theory, from first tier cities, second-third-fourth tier cities, fifth tier cities, perspective to test how population and economic agglomeration affect haze pollution. [Conclusions/Findings] There is an N shaped cure relationship between population agglomeration, economic agglomeration and haze pollution. It shows that the promotion of urbanization and industrialization first increase haze pollution then decrease, when it exceeds the carrying capacity of land, environment and resources will aggravate haze pollution. Furthermore, the relationship between population agglomeration, economic agglomeration and haze pollution in medium-sized cities presents an inverted U shaped cure, but the agglomeration and haze pollution in Mega cities presents positively. The robustness test results further verify the above conclusions. Based

[收稿日期] 2020-12-15

[基金项目] 福建省社科研究基地重大项目(FJ2021MJDZ009)。

[作者简介] 吴士炜(1990-)男,福州大学经济与管理学院讲师;余文涛(1985-)男,福州大学经济与管理学院副教授。

on this, when leveraging the effect of scale economy to promote high quality development, environmental carrying capacity should be paid attention to, and controlling haze pollution should adapt to regional joint governance.

Key words population agglomeration; economic agglomeration; haze pollution; N shaped cure; spatial spillover effect

党的十九大报告提出,中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,经济发展不仅看重数量,更注重质量,尤其是受新冠肺炎疫情冲击,全球经济形势不容乐观。传统的消费、投资与出口三驾马车拉动中国经济增长,因资源禀赋、能源不足与土地稀缺等因素,已不再适应现阶段中国经济发展。且原有的粗放型发展模式,即地方政府为追求本地区经济发展以牺牲资源环境招商引资,导致部分地区环境污染日益凸显,尤其是以PM_{2.5}为代表的雾霾污染,生态环境作为高质量发展的重要组成部分,其重要性不言而喻。雾霾主要是由SO₂、NO_x与可吸入颗粒物组成,随着城市化与工业化不断发展,雾霾污染日益严峻,例如2013年京津冀、长三角与华北中原地区暴发大面积雾霾事件。雾霾污染不仅会危害居民身心健康^[1~2],造成居民过早死亡^[3],也不利于经济与社会可持续发展。那么,现在的问题是人口与经济集聚是否会对雾霾污染产生影响?若存在影响,具体影响效应如何?

人口与经济集聚是中国经济转向高质量发展的推动力,会对雾霾污染产生不容忽视的影响。一方面,人口与经济集聚会扩大城市规模,导致大量企

业与人口集中在某些特定地区,进而提高能源消费量、增加工业三废排放量、造成城市交通拥堵、大量汽车尾气与城市粉尘污染,加剧PM_{2.5}在内的环境污染。另一方面,人口与企业高度集中会产生规模经济效应,有助于提高劳动力生产率与企业全要素生产率,并且集聚有利于环境政策制定、实施与管理,会促进绿色技术在内的技术进步,从而改善城市生态环境。但也应认识到由于土地与资源承载力存在临界值,环境自我恢复能力有限,人口与经济过度集聚会对资源环境造成不可磨灭的伤害。中国经济发展转型过程中必然经历人口集聚与经济集聚,例如以城市规模为代表的人口集聚来看,千万以上人口城市从2010年的9个上升至2020年的18个(如图1横轴所示);以国内生产总值为代表的经济集聚来看,国内生产总值(GDP)万亿元以上城市也从2010年的3个增加至2020年的23个(如图1纵轴所示)^①。此外,人口集聚为经济集聚提供人口基础,而经济集聚为人口集聚提供物质保障,二者之间是相辅相成的,在经济发展过程中,人口与经济集聚对雾霾污染究竟会造成怎样的影响,这是值得深入探讨的现实问题。

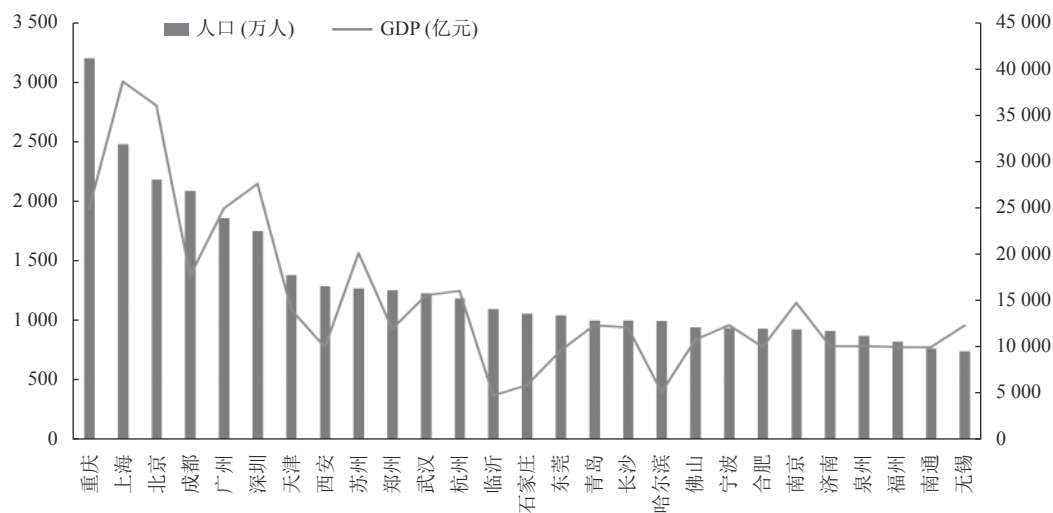


图1 2020年中国人口千万与GDP万亿元以上城市

一、相关文献回顾

从现有文献来看,集聚对环境污染影响研究主要是基于产业集聚与制造业集聚,环境污染以SO₂排放量、碳排放量、空气质量指数及雾霾污染为主,且研究得到的结果以倒U型曲线为主,即大

量制造业企业集聚会增加能源消耗量与工业三废排放量,而城市人口规模增多会造成城市交通拥堵、大量企业尾气以及城市基建产生的粉尘污染,导致环境污染问题加剧,但也应认识到适度集聚有助于更好的实现劳动力专业化分工,在提高劳动生产率的同时,发挥规模经济效应,提升企业生产效率,

抑制环境污染物排放,故集聚对环境污染影响具体研究概述归纳为以下三个部分。

(一) 集聚对环境污染的负相关性

产业、人口与经济集聚会扩大城市规模,即大量企业与人口集中在某些特定地区,会提高该地区能源消耗量、增加工业三废排放量、造成城市交通拥堵、大量汽车尾气与城市基建产生的粉尘污染,加剧环境污染,即这类研究发现集聚对环境污染具有负相关性。张可和汪东芳基于中国地级市面板数据实证检验发现,经济集聚会加剧环境污染,但却有助于提高劳动生产率,且经济集聚与环境污染具有空间溢出效应^[4]。王兵和聂欣基于准自然实验研究发现,设立开发区后企业规模会有所扩大,短期内产业集聚会诱致大量污染型企业集中排放工业废水,周边流域水质会出现恶化^[5]。Liu等基于STIRPAT模型,利用中国城市面板数据研究发现,制造业集聚会加剧雾霾污染,且该现象在中西部地区表现更为明显^[6]。王卉彤等利用中国45个城市数据考察发现,人口集聚诱致的交通拥堵会加剧城市雾霾污染,且职住平衡有助于降低雾霾污染^[7]。

(二) 集聚对环境污染的正相关性

产业、人口与经济集聚更容易发挥规模经济效益。一方面,人口集聚有助于更好地实现劳动力专业化分工,进而提高劳动力生产效率,而制造业集聚有利于提高企业生产效率,进而减少工业三废排放量;另一方面,企业与居民集中在某些特定区域有助于环境政策制定、实施与管理,会促进绿色技术在内的技术进步,改善环境质量。徐盈之和刘琦指出,产业集聚规模与集聚能力提升有助于降低雾霾污染,集聚效应提高则会提升雾霾污染,但产业集聚对雾霾污染影响总效应表现为负空间溢出效应^[8]。蔡海亚和徐盈之通过研究发现,产业协同集聚与贸易开放有利于降低雾霾污染,但在不同贸易开放下各地区表现各异^[9]。Fang等基于STIRPAT模型,利用中国283个地级市2003~2013年数据,通过研究发现,制造业集聚会通过技术溢出效应降低周边及本地雾霾污染,且城市规模越大,改善效应越强^[10]。

陆铭和冯皓基于中国1993~2006年省级面板数据研究发现,人口与经济集聚有助于降低单位工业污染物排放强度^[11]。汪聪聪等基于改进的产出密度函数,利用长三角地区数据研究发现,经济集聚会通过优化区域内要素分配而抑制雾霾污染,雾霾污染具有明显的季节性特征与空间溢出效应^[12],且经济集聚有助于提高劳动生产率^[13]。Han等基于扩展

的STIRPAT模型,利用中国地级市面板数据分析发现,专业化与多元化分工集聚有助于降低本地区和周边地区碳排放量^[14]。钟顺昌等利用中介效应模型研究发现,多中心创新集聚模式会通过规模效应降低雾霾污染,且能源利用效率是其传导机制^[15]。梁昌一等认为紧凑型城市空间发展模式有利于提高能源利用效率进而降低雾霾污染,但该效应在不同城市之间存在差异^[16]。陆凤芝和王群勇指出生产性服务业多样化与专业化集聚,会通过产业结构、人口集聚及知识溢出降低雾霾污染^[17]。

(三) 集聚对环境污染的非线性关系

产业、人口与经济集聚对环境污染影响是非线性的。一方面,产业、人口与经济集聚会增加工业三废排放量、生活垃圾产生量、汽车尾气与粉尘污染,加剧环境污染;另一方面,产业、人口与经济适度集聚,有助于提高劳动生产率、企业生产效率、绿色技术进步、环境规制等,能够有效抑制环境污染。Qin和Wu基于中国省级面板数据研究发现,经济集聚与碳排放强度二者之间存在倒U型曲线^[18]。梁伟等通过研究发现,经济与工业集聚对雾霾污染影响存在倒U型曲线关系^[19]。Wu和Reimer指出,经济集聚早期因城市规模扩大会加剧环境污染,而中后期因规模经济效应会降低环境污染^[20]。邵帅等通过研究发现,经济集聚与碳排放之间存在倒N型曲线,能源强度与碳排放之间存在倒U型曲线,即经济集聚能实现节能减排效果^[21]。

罗能生和李建明利用空气质量指数(AQI)研究发现,产业集聚与交通运输互动会对雾霾污染造成影响^[22]。Lu等基于STIRPAT模型,利用2006~2018年中国渤海经济圈数据实证检验发现,产业集聚与雾霾污染二者之间存在空间相关性^[23]。Shen和Peng基于空间面板模型研究发现,产业集聚与环境效率二者之间存在U型曲线关系,且中西部地区位于U型曲线下降阶段,而东部地区则位于U型曲线上阶段^[24]。东童童等通过研究发现,工业产出与工业效率集聚有利于降低雾霾污染,而劳动与资本集聚则会加剧雾霾污染^[25]。此外,朱雨可和赵佳通过研究发现人口集聚有利于降低雾霾污染,但过度集聚诱致城市衣食住行增加会加剧雾霾污染^[26]。Ji等基于扩展的STIRPAT模型,利用国别数据研究发现,城市化与PM_{2.5}浓度之间存在倒U型曲线^[27]。Xie等通过实证检验发现,城市交通密度与雾霾污染之间存在倒U型曲线^[28],且城市交通拥堵均会影响城市环境污染^[29-30]。

上述研究结果显示,大部分学者认为产业集

聚、人口集聚与经济集聚对环境污染影响是或正、或负,而非线性关系以倒U型曲线为主,但忽视过度集聚可能会超过地区资源、环境与土地承载临界值,且从不同城市类型视角研究人口与经济集聚对雾霾污染影响文献尚且不足。

不同于以往研究,本文基于扩展的生产密度函数,利用中国1998~2018年289个地级市数据,通过空间面板模型实证检验发现,人口与经济集聚对雾霾污染影响呈N型曲线关系,与李伟娜等研究得到的结果相一致。李伟娜等基于产业发展周期理论,利用中国30个制造业面板数据实证检验发现,制造业集聚与SO₂排放量之间存在N型曲线关系,即制造业初期集聚会增加SO₂排放量,而中期集聚产生的规模经济效应有助于抑制SO₂排放量,但后期拥挤效应会超过规模效应,进而增加SO₂排放量。不同于李伟娜等研究^[31],本文是从一线城市、二三四线城市与五线城市,利用空间经济学相关理论考察人口与经济集聚对雾霾污染影响,并就得到的结果作进一步稳健性检验。

二、理论模型

(一) 模型建构

通常认为,人口与经济集聚是指单位空间内人口与经济活动密集程度。人口集聚越高地区,相同空间能容纳更多的劳动力,有助于更好地实现劳动力专业化分工,进而提高劳动生产率。经济集聚越高地区,相同产出所占用的空间越小,且经济集聚产生的规模经济效应有利于提高企业生产率。此外,人口集聚为经济集聚提供人口基础,而经济集聚为人口集聚提供物质保障,二者之间是相辅相成的,但现在的问题是人口与经济集聚是否会影响雾霾污染?若对雾霾污染存在显著影响,具体理论传导机制如何。本文在Ciccone和Hall生产密度模型基础上^[32],将环境要素纳入生产函数中,雾霾污染作为企业非期望产出,基本模型假设如下:

$$q_i = A_i [l_i^\beta k_i^\gamma e_i^{1-\beta-\gamma}]^\alpha (Q_i/N_i)^{(\lambda-1)/\lambda} \quad (1)$$

其中, q_i 、 l_i 、 k_i 和 e_i 分别表示城市*i*单位面积产出、就业人数、物质资本与资源环境消耗量, A_i 表示的是全要素生产率。 α 是单位生产要素规模报酬,当 $0 < \alpha < 1$ 时,表现为规模报酬递减;当 $\alpha > 1$ 时,表现为规模报酬递增;传统生产函数理论假设企业规模报酬不变,即 $\alpha = 1$,但实际情况是随着企业规模扩大,单位生产要素规模报酬可能出现规模报酬递增。 β 、 γ 、 $1-\beta-\gamma$ 分别表示劳动、资本

与资源环境要素贡献率,且 $0 \leq \beta, \gamma \leq 1$, $0 \leq \beta + \gamma \leq 1$ 。 Q_i 与 N_i 表示城市*i*的总产出和总面积, Q_i/N_i 度量的是单位面积产出。 λ ($\lambda \geq 1$) 是产出密度系数, $(\lambda-1)/\lambda$ 用于反映集聚效应的产出密度,其值越大集聚效应发挥的正外部性越强。

通过扩展的生产密度模型考察集聚对雾霾污染的影响,模型假设如下:

$$P_i/N_i = A_i [l_i^\beta k_i^\gamma e_i^{1-\beta-\gamma}]^\alpha (P_i/N_i)^{(\lambda-1)/\lambda} \quad (2)$$

其中, P_i 和 N_i 分别表示城市*i*雾霾浓度与行政面积, A_i 是企业全要素生产率,且 $l_i = L_i/N_i$, $k_i = K_i/N_i$, $e_i = E_i/N_i$, L_i 、 K_i 和 E_i 是城市*i*就业人数、物质资本与资源环境消耗量。 β 、 γ 和 $1-\beta-\gamma$ 分别表示劳动、资本与资源环境对单位面积雾霾污染的贡献率, α 代表规模报酬,当 $\alpha > 1$ 时,规模报酬递增,反之亦然。

对式(2)两边分别取对数,整理后得到:

$$\ln(P_i/N_i) = \lambda \ln A_i + \lambda \alpha \beta \ln l_i + \lambda \alpha \gamma \ln k_i + \lambda \alpha (1-\beta-\gamma) \ln e_i \quad (3)$$

式(3)表明雾霾污染与人口、资本、资源环境集聚度密切相关,例如 $\lambda \alpha (1-\beta-\gamma)$ 系数表示资源环境集聚对雾霾污染的影响,当 $\lambda \alpha (1-\beta-\gamma) > 0$ 时,资源环境集聚程度越高,越会加剧城市雾霾污染,反之亦然。

由于雾霾污染能够随气流实现跨界传播,即存在明显的空间溢出效应,故分析集聚对雾霾污染影响时,将空间地理因素纳入分析范畴有利于提高模型估计效率,实证模型设定如下:

$$\begin{aligned} \ln PM_{2.5_{it}} = & \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} PM_{2.5_{jt}} + \delta \ln A_{it} + \gamma_1 \ln (Agg_{it})^3 + \\ & \gamma_2 (\ln Agg_{it})^2 + \gamma_3 \ln Agg_{it} + \beta \ln X_{it} + \eta_i + \omega_t + \varepsilon_{it} \\ \varepsilon_{it} = & \lambda \sum_{j=1}^n W_{ij} \varepsilon_{jt} + \mu_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

其中,雾霾污染用PM_{2.5}表示, A 是全要素生产率, Agg_{it} 表示第*i*地区*t*年人口、资本与资源环境集聚度, X_{it} 表示影响雾霾污染的其他控制变量。 ρ 为空间自回归系数,若 $\rho > 0$ 时,表示相邻地区雾霾污染之间存在正的空间相关性,反之亦然; λ 为空间误差系数, η_i 、 ω_t 分别代表地区固定效应与时间固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。 W_{ij} 代表空间权重矩阵中第(*i,j*)个元素,本文采用标准的二值地理相邻权重,即如果两地相邻 $W_{ij}=1$,反之, $W_{ij}=0$ 。

γ 刻画的是集聚对雾霾污染影响方向与大小,若 $\gamma_1 > 0, \gamma_2 < 0, \gamma_3 > 0$ 时,集聚与雾霾污染之间存在N型曲线关系;若 $\gamma_1 < 0, \gamma_2 > 0, \gamma_3 < 0$ 时,集聚与雾

霾污染之间存在倒N型曲线关系;若 $\gamma_1 = 0, \gamma_2 > 0, \gamma_3 < 0$ 时,集聚与雾霾污染之间存在U型曲线关系;若 $\gamma_1 = 0, \gamma_2 < 0, \gamma_3 > 0$ 时,集聚与雾霾污染之间存在倒U型曲线关系;若 $\gamma_1 = 0, \gamma_2 = 0, \gamma_3 \neq 0$ 时,集聚对雾霾污染存在或正、或负关系。

(二) 理论假设

人口集聚可细分为初始阶段——稳步增长阶段——稳定阶段,人口集聚早期由于城市基础设施不完善,要容纳新增的城市人口需要大基建,基建产生的粉尘污染严重污染城市环境,且城市人口规模增多,垃圾围城、交通拥堵、能源消耗、汽车尾气等问题日益凸显,导致城市雾霾污染加剧。人口集聚中期由于城市基础设施已逐步完善,政府出台各种环境管制措施以降低环境污染,且人口集聚带来的专业化分工会提高劳动力生产率,进而降低城市雾霾污染。当大量人口集中在某些特定地区,形成所谓的超大或特大城市,由于土地、资源与环境承载力有一定的临界值,人口过度集中会再次诱发交通拥堵、垃圾围城、汽车尾气、能源消费过高等问题,诱致雾霾污染加剧,故如前文分析可知,当 $\gamma_1 > 0, \gamma_2 < 0, \gamma_3 > 0$ 时,人口集聚对雾霾污染影响呈先促增后促减再促增,即二者之间具有N型曲线关系(如图2所示)。

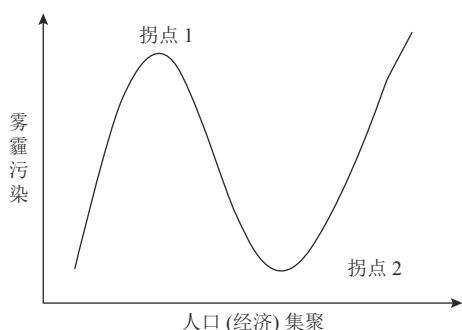


图2 人口与经济集聚对雾霾污染影响N型曲线

经济集聚可细分为起步——发展——成熟——衰退阶段,当经济集聚处于起步发展阶段时,工业集聚诱致大量制造业企业集中在某些特定区域,会增加该地区工业污染物排放量,尤其是工业废水、工业 SO_2 与工业固体废物排放量,且政府为提高本地区经济发展水平会适当放松环境规制,共同诱致城市雾霾污染加剧。当经济集聚由起步发展期转向发展成熟期时,工业集聚产生的规模经济效应,有助于提高企业生产率水平,且市场机制诱发的优胜劣汰会淘汰重污染型企业,此外,政府会加强环境管制以降低环境污染,有助于改善雾霾污染。当经济集聚步入成熟衰退期时,由于土地、环境与能源

承载力水平有限,经济过度集聚会超过该区域土地、环境与能源承载力临界值,诱致雾霾污染加剧,故经济集聚与雾霾污染二者之间呈N型曲线关系(如图2所示)。

从中国经济发展历程来看,改革开放初期,因资本稀缺与技术落后,中国通过利用廉价劳动力,以牺牲资源、能源与环境为代价,采取出口导向型发展战略,通过生产低附加值产品成为世界制造工厂,大量制造业企业集中在长三角与珠三角地带,经济集聚所产生的就业岗位,吸引大量人口向东部沿海地区迁移,为制造业企业提供劳动力。一方面,制造业大量集聚所产生的工业废气、废水、固定废物增多,诱致城市雾霾污染日益严峻;另一方面,人口大量集聚需要城市配套基础设施,而基建产生的粉尘是雾霾污染的重要组成部分,且城市人口规模增多会增加生活垃圾与汽车尾气排放量,进一步加剧雾霾污染。根据世界银行数据库数据显示,我国雾霾污染($\text{PM}_{2.5}$ 浓度)从1990年的 $57.77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 攀升至2011年的 $70.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$,远超 $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 国际标准。

改革开放由初期步入发展成熟期,城市配套设施逐步完善,人口集聚带来的专业化分工有利于提高劳动生产率,经济集聚所产生的规模经济效应有助于提升企业生产率,且各地方政府出台相关政策措施以抑制雾霾污染,诱致我国环境质量有所改善。根据世界银行数据库与《中国生态环境状况公报》数据显示,我国 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度从2011年的 $70.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降至2020年的 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$,环境质量虽有所改善,但同时也应意识到,传统的粗放型发展方式弊端日益凸显,尤其是中国人口红利逐步消失,能源、土地与资源成为稀缺物品,中国经济发展方式急需转型。随着我国城市化与工业化进程的不断推进,在某些特定地区人口与产业大量集聚,形成所谓的“增长极”,例如人口千万以上特大城市,城市规模经济效应会逐步被拥挤效应所替代,当集聚超过地区土地、资源与环境承载力时,人口与经济过度集聚会诱致雾霾污染问题加剧,部分城市采取行政中心搬迁的形式以缓解“城市病”问题,例如北京、杭州、成都、西安、哈尔滨、长沙、青岛等城市。

由此,提出本文研究假设1:随着人口与经济集聚水平的不断提高,其对雾霾污染影响呈现出先促增后促减的趋势,当超过城市土地、资源与环境承载力水平时,会加剧城市雾霾污染,即人口与经济集聚对雾霾污染影响呈N型曲线关系。

三、数据来源与变量描述

(一) 数据来源

本文基于中国1998~2018年289个地级市面板数据^②,将空间地理因素纳入分析范畴,从不同城市视角考察人口与经济集聚对雾霾污染的影响。之所以选取1998年为时间节点,一方面,1998年中国进行住房制度改革,开始实施住房分配货币化政策,以城镇常住居民度量的城镇化率从1998年的33.87%增至2018年的60.60%,即1998年之后是中国人口与经济集聚快速攀升期;另一方面,1998年之前城市雾霾污染(PM2.5浓度)数据可获得性较低,且环境状况相对良好。

被解释变量:雾霾作为大气污染物,是雾与霾的结合体,主要由SO₂、NO_x与可吸入颗粒物组成,本文采用PM2.5浓度作为雾霾污染度量指标,即直径小于等于2.5微米的污染颗粒物,其值相对PM10能够更加准确地反映城市雾霾污染状况。

1998~2016年PM2.5数据来源于哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心(<http://beta.sedac.ciesin.columbia.edu/>),并利用ArcGIS10.2提取各城市PM2.5浓度数据,单位是 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,2017~2018年PM2.5数据来源于《中国城市统计年鉴》,部分数据缺失采用移动平均法换算。

核心解释变量:人口集聚与经济集聚采用国内外学者惯用指标^[21],即城市建成区人口密度与单位面积非农产出(第二、三产业增加值之和/城市行政面积)表示,单位分别是人/平方公里和万元/平方公里,并用1998年不变价格进行调整(下同),数据来源于《中国城市统计年鉴》,部分数据缺失采用移动平均法换算。

控制变量:经济发展水平用人均GDP度量,单位是元;对外开放度用人均当年实际使用外资金额表示,并用当年平均外汇汇率换算成人民币,单位是元。为降低模型异方差性对估计结果造成的影响,对各变量分别求对数,各变量具体计算方法及说明见表1。

表 1 各变量的描述性统计量

符号	含义	度量指标	单位	Mean	Min	Max
lnPM2.5	雾霾污染	PM2.5浓度	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.4125	0.7033	4.7536
lnPop	人口集聚	建成区人口密度	人/平方公里	5.6993	1.5476	9.3557
lnEco	经济集聚	单位面积的非农产出 (1998年不变价格)	万元/平方公里	5.4642	0.5658	10.6434
lnPgdp	经济发展	人均GDP	元	9.2229	6.8730	14.6729
lnPFDI	对外开放度	人均当年实际 使用外资	元	4.5910	-2.7050	9.5593

(二) 变量描述

雾霾污染是空气污染物的重要组成部分,能够随气流实现跨界传播,即存在典型的空间溢出效应,诱致相邻地区PM2.5浓度值相接近,且由于季节性特征,雾霾污染具有春夏低、秋冬高特点^[33]。中国领土辽阔,各地区因地理气候、政策导向、产业结构、资源禀赋等差异,诱致雾霾污染程度各异,其中京津冀、长三角与华北地区是重度雾霾污染集聚地,而东南沿海地区雾霾污染状况相对良好。本文利用《中国城市统计年鉴》公布的PM2.5浓度数据验证雾霾污染是否存在空间集聚特征及雾霾污染高(低)值集聚地原因。将2018年289个地级市PM2.5浓度数据代入处理后得到图3结果。

从雾霾污染分布状况来看(如图3所示),京津冀、长三角与华北平原地区是雾霾污染重灾区,其次是中部平原地区,而东南沿海、广西与贵州是

雾霾污染低值集聚地。京津冀城市圈是我国雾霾污染历年重灾区,尤其是在秋冬季节,与其独特的地理位置、气候条件、烧煤取暖等密切相关,例如北京雾霾污染是城市汽车尾气、粉尘污染、沙尘暴、能源消费与冬季取暖共同所致,而长三角则更多是因制造业高度集中所致,尤其是污染型企业。东南沿海城市是雾霾低值集聚地,特别是三亚、海口、福州与厦门等地区,与其优良的气候环境、高森林覆盖率、污染型企业较少、降水量较多等密切相关。

(三) 空间相关性分析

空间经济学认为由于“辐射效应”与“扩散效应”的存在,地理位置相邻或相近的地区之间存在空间相关性。前文分析发现京津冀、长三角与华北平原地区是雾霾污染重灾区,而东南沿海地区是雾霾污染低值集聚地,为验证各地区雾霾污染是否存在空间相关性,本文利用Stata15.0软件计算中国

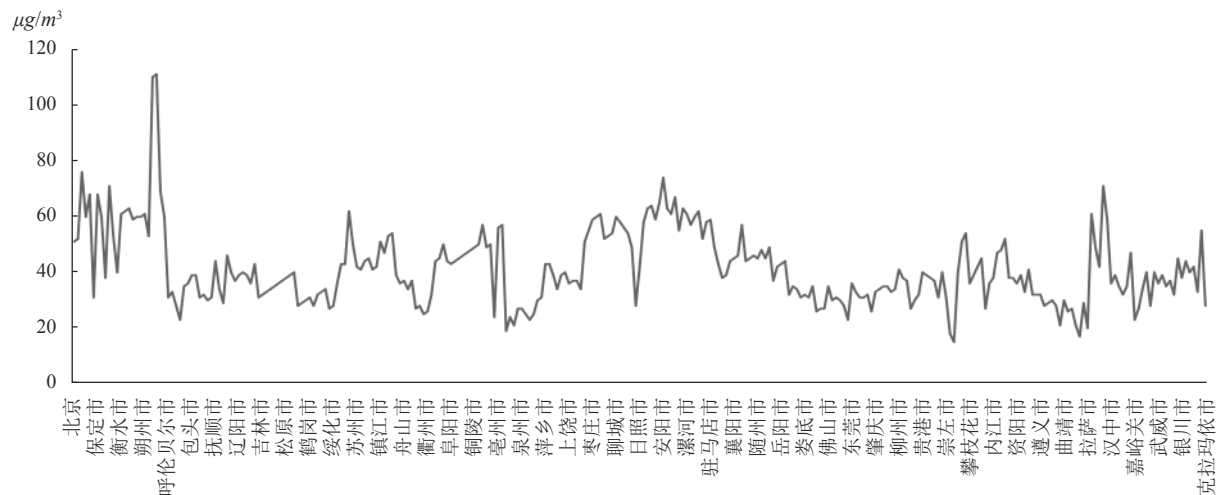


图 3 2018年289个地级市PM2.5浓度

1998~2018年289个地级市雾霾污染全局MI值。

国内外学者一般用MI、GC、G等指标来衡量各地区空间关联度的大小，其中全局Moran I (MI) 统计量:

$$MI = \frac{n}{W_0} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (5)$$

其中，n是样本中的区域数量， i,j 指的是任意两个区域单元， Y_i 是区域*i*的观测值， W_{ij} 为空间权重矩阵中第 (i,j) 个元素，且对于所有*i*， $W_{ii}=0$ ， $W_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n W_{ij}$ 。MI值在 (-1,1) 之间，大于（小于）0表示各地区之间存在空间正（负）相关性，数值越大，空间相关性越强，等于0表示各地区之间不存在空间相关性。MI近似服从均值为 $E(I)$ 和方差为 $V(I)$ 的正态分布，即 $E(I) = -\frac{1}{n-1}$ ，

$$V(I) = \frac{n^2(n-1)W_1 - n(n-1)W_2 - 2W_0^2}{(n+1)(n-1)^2W_0}, \text{ 其中, } W_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j \neq i}^n (W_{ij} + W_{ji})^2, W_2 = \sum_{k=1}^n \left(\sum_{j=1}^n W_{kj} + \sum_{i=1}^n W_{ik} \right)^2, MI_Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{V(I)}} \sim N(0,1)。$$

空间权重选取是衡量各地区之间是否存在空间相关性的前提，包括地理相邻权重、地理距离权重与经济权重等，本文空间权重选取地理相邻权重，其中地理距离权重(W_1)选用各地级市经纬度差额的平方根值倒数，即 $W_{ij} = 1 / \left(\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)$ ， x_i 与 y_i 分别表示各地城市经纬度，而地理相邻权重（ W ）用地理距离权重换算，即 $W_{ij}^* = \frac{W_{ij}}{W_{\max}}$ ，其中 W_{ij} 为地理距离权重，当 $0 \leq W_{ij}^* < 0.5$ 时， W_{ij}^* 取值为0；当 $0.5 \leq W_{ij}^* \leq 1$ 时， W_{ij}^* 取值为1，将数据代入处理后得到表2结果。

表 2 1998~2018年289个地级市雾霾污染全局MI值

年份	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
MI值	0.484	0.484	0.577	0.589	0.596	0.692	0.557	0.600	0.606	0.706
MI _Z 值	37.519	37.501	44.722	45.630	46.065	53.529	43.093	46.410	46.909	54.537
P值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0.615	0.592	0.662	0.641	0.611	0.681	0.630	0.669	0.704	0.545	0.582
47.525	45.759	51.162	49.565	47.225	52.654	48.716	51.677	54.469	42.241	45.375
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

从雾霾污染全局视角来看（如表2所示），1998~2018年289个地级市全局MI值均大于零，且MI_Z值在1%水平下均高度显著，说明中国各地区雾霾污染存在正的空间相关性，即相邻地区PM2.5浓度值相接近，与雾霾污染能够随气流实现跨界传播

密切相关，同时也间接说明各地区在雾霾污染治理政策制定与实施方面存在相似性。此外，2018年雾霾污染高值聚集地（H-H）集中在京津冀、长三角与华北中原地区，即这些地区是雾霾污染重灾区，而云南与贵州地区是PM2.5浓度低值聚集地（L-

L），与优良的气候环境、高森林覆盖率、制造业集聚度低等密切相关。

四、实证结果分析

本文基于中国1998~2018年289个地级市面板数据，将空间地理因素纳入分析范畴，从一线城市、二三四线城市与五线城市^⑥视角考察人口与经济集聚对雾霾污染的影响，即验证人口及经济集聚与雾霾污染之间是否存在N型曲线关系，若存在，不同城市类别影响系数是否存在差异。利用LLC方法检验面板数据是否存在单位根，通过检验发现PM2.5在AIC、BIC与HQIC信息准则得到的P值均为0.00，说明面板数据不存在单位根，即面板序列为平稳过程。

（一）基准回归模型

由前文分析可知雾霾污染具有正的空间相关性，即存在空间溢出效应，故利用空间面板模型考察人口与经济集聚对雾霾污染影响相对于普通面板

模型有助于提高模型估计效率。空间面板模型包括空间面板滞后模型（SPAR）、空间面板误差模型（SPEM）与空间面板杜宾模型（SPDM），即：

$$Y_{it} = \alpha \sum_{j=1}^n W_{ij,t} Y_{jt} + \beta \sum_{j=1}^n W_{ij,t} X_{ij,t} + \gamma X_{it} + \eta_i + w_t + \varepsilon_{it}$$
$$\varepsilon_{it} = \lambda \sum_{j=1}^n W_{ij,t} \varepsilon_{ij,t} + \mu_t \tag{6}$$

其中， Y 和 X 是被解释变量与解释变量， α, β, λ 分别表示空间自回归系数、空间自相关系数与空间误差系数， γ 是被解释变量影响系数， η_i 、 w_t 分别代表地区固定效应与时间固定效应， ε_{it} 为随机扰动项。当 $\beta = \lambda = 0$ 时，模型为SPAR；当 $\alpha = \beta = 0$ 时，模型为SPEM；当 $\lambda = 0$ 时，模型为SPDM，并且由于普通最小二乘法（OLS）估计空间面板模型存在偏误，故本文使用极大似然估计（MLE）方法对静态SPAR与SPDM模型进行估计，空间权重选用地理相邻权重（ W ），将数据代入处理后得到表3结果。

表 3 基准回归结果

变量	人口集聚			变量	经济集聚		
	普通面板模型	空间面板滞后模型	空间面板杜宾模型		普通面板模型	空间面板滞后模型	空间面板杜宾模型
(lnPop) ³	0.008** (2.17)	0.10*** (2.70)	0.04** (1.87)	(lnEco) ³	0.003*** (4.71)	0.02** (2.14)	0.004*** (5.01)
(lnPop) ²	-0.15** (-2.31)	-1.93*** (-3.28)	-0.51** (-2.11)	(lnEco) ²	-0.06*** (-4.80)	-0.40*** (-3.43)	-0.07*** (-4.41)
lnPop	0.82** (2.34)	10.85*** (3.63)	0.99** (2.06)	lnEco	0.30*** (4.64)	2.44*** (4.08)	0.23*** (2.62)
lnPgdp	0.23*** (34.79)	1.43*** (17.08)	1.27*** (17.79)	lnPgdp	0.23*** (19.58)	1.28*** (8.70)	0.08*** (4.66)
lnPFDI	0.008*** (2.52)	0.21*** (6.00)	0.13*** (4.15)	lnPFDI	0.007** (2.13)	0.23*** (6.32)	0.01*** (2.66)
C	-2.62*** (-4.03)	-29.67*** (-5.74)	-13.75*** (-4.28)	C	-1.70*** (-13.07)	-19.75*** (-13.52)	-0.18 (-0.95)
W×lnPM2.5	—	0.24*** (1.0e+05)	0.27*** (6.9e+04)	W×lnPM2.5	—	0.27*** (7.2e+04)	0.03*** (385.58)
W×lnPop	—	—	0.16*** (175.16)	W×lnEco	—	—	0.006*** (11.93)
lgt_theta	—	-3.82*** (-124.69)	-1.22*** (-16.01)	lgt_theta	—	-3.84*** (-123.58)	-3.32*** (-44.45)
sigma2_e	—	2.20*** (22.27)	2.41*** (23.10)	sigma2_e	—	2.61*** (21.68)	0.03*** (11.85)
R ²	0.2231	—	—	R ²	0.2253	—	—
N	6069	6069	6069	N	6069	6069	6069

注：括号内代表Z统计值，***、**、*分别表示1%、5%、10%显著性水平下拒绝原假设，下同。

实证检验结果显示，人口集聚与雾霾污染二者之间存在N型曲线关系，系数在普通面板模型、空间面板滞后模型与空间面板杜宾模型中5%水平下显著，拐点分别在4.04与8.46。当人口集聚水平低于4.04（56.83人/平方公里）的拐点值时，人口集聚会对雾霾污染产生促进效应，归因于城市化处于

发展起步期时，人口集聚早期由于城市基础设施不完善，城市基建会产生粉尘污染，大量人口聚集在某些特定地区会诱发城市交通拥堵、居民生活垃圾与能源消费增多，加剧城市雾霾污染。当人口集聚水平超过拐点值4.04（56.83人/平方公里）并小于8.46（4 722.06人/平方公里）时，其对雾霾污染表

现出显著的抑制效应,城市化处于稳步发展期时,随着城市基础设施与交通网络的完善,人口集聚能使劳动力得到更好的专业化分工,进而提高劳动力生产率,并且随着社会各界对环境污染关注度不断提高,环境污染管制日益严格,共同诱致城市雾霾污染不断下降。当人口集聚水平超过第二个拐点值8.46(4722.06人/平方公里)时,人口集聚会对雾霾污染产生促进效应,城市化步入成熟期时,人口过度集中在某些特定地区,形成所谓的超大或超大城市,因资源、人口与土地承载力水平有限,且环境自我恢复能力有限,过多人口集聚会超过城市容纳能力,再度诱发雾霾污染,故现阶段城市化发展模式应将环境承载力纳入分析范畴。

经济集聚与雾霾污染二者之间存在N型曲线关系,系数在各模型中1%水平下高度显著,拐点分别在2.93与17.07。当经济集聚水平低于2.93(18.73万元/平方公里)的拐点值时,经济集聚会对雾霾污染产生促进效应,归因于经济发展处于起步期时,工业集聚诱致大量制造业企业集中在某些特定地区,政府部门会放松环境管制以吸纳企业投资,诱致工业SO₂、工业废水、工业粉尘与工业固体废物排放量增加,加剧城市雾霾污染。当经济集聚水平超过拐点值2.93(18.73万元/平方公里)并小于17.07(2590.64亿元/平方公里)时,其对雾霾污染表现出显著的抑制效应,经济发展迈入发展成熟期阶段,经济集聚产生的规模经济效应日益凸显,有助于提高企业全要素生产率,且政府部门会加强环境管制以实现可持续发展,诱致企业加大节能环保研发投入,有助于实现绿色技术进步,降低工业“三废”排放量,进而抑制雾霾污染。当经济集聚水平超过第二个拐点值17.07(2590.64亿元/平方公里)时,经济集聚会对雾霾污染产生促进效应,经济发展进入成熟衰退期阶段,经济集聚产生的规模经济效应会逐步被拥挤效应所替代,且由于资源与环境承载力水平有限,经济过度集聚反而会加剧城市雾霾污染。

此外,雾霾污染空间系数项在空间面板模型中1%水平下显著为正,即雾霾污染具有空间溢出效应,故制定与实施雾霾污染治理政策时应以区域联合治理为主。人口集聚与经济集聚空间系数在空间面板杜宾模型中5%水平下为正,说明相邻地区人口与经济集聚会通过溢出效应对本地区雾霾污染产生正向效应。

(二) 异质性分析

空间面板模型实证结果显示,全国层面视角上

人口与经济集聚对雾霾污染影响存在N型曲线关系,即随着人口与经济集聚水平的提高,雾霾污染呈现先上升后下降的趋势,当集聚超过一定临界值时,雾霾污染又呈上升的趋势。中国地域辽阔,城市之间因地理位置、政策导向、文化习俗等差异诱致发展水平存在较大差异,不同城市类型人口与经济集聚对雾霾污染影响存在显著差异。本文利用GMM模型检验不同城市类型人口与经济集聚对雾霾污染影响,为降低解释变量与随机干扰项相关诱致方程内生性问题,使用系统GMM方法对模型进行估计,通过Arellano-Bond AR(1)和AR(2)检验发现,系统GMM通过扰动项无自相关检验,并利用Sargan检验发现所有工具变量均有效,即模型不存在过度识别问题,将数据代入处理后得到表4结果。

系统GMM模型实证检验结果显示,全国层面上人口集聚与雾霾污染二者之间存在N型曲线关系,系数在1%水平下高度显著,与前文得到的结果相一致,但人口集聚对雾霾污染影响在不同城市之间表现各异。五线城市人口集聚对雾霾污染影响系数在5%水平下显著为正,归因于五线城市处于城市化起步期,人口集聚需要增加城市配套设施与招商引资,而大型基础设施建设容易诱致雾霾污染水平提升。二三四线城市人口集聚与雾霾污染二者之间存在倒U型曲线关系,且系数在1%水平下显著。从城市发展阶段论来看,二三四线城市处于城市发展期,大型基建、企业数量、居民消费等水平提高会促进雾霾污染水平提升。当城市步入规划成熟期时,规模效应逐步显现,会有效降低城市雾霾污染。一线城市人口集聚对雾霾污染影响系数在5%水平下显著为正,归因于一线城市人口规模均超过千万级别,城市发展处于成熟期,人口过度集聚容易诱发城市交通拥堵、垃圾围城、汽车尾气、能源消耗过高等问题,导致城市雾霾居高不下。

从全国层面上看,经济集聚对雾霾污染影响呈N型曲线关系,且系数在1%水平下高度显著,与前文得到的结果相一致,但该效应在不同城市之间表现各异。五线城市经济集聚对雾霾污染影响系数在1%水平下显著为正,归因于五线城市处于经济发展起步期,经济发展水平相对较低,以制造业集聚为代表的经济集聚诱致工业污染物排放量增加,会加剧雾霾污染。二三四线城市经济集聚与雾霾污染二者之间存在U型曲线关系,且系数在1%水平下高度显著,从经济发展阶段论来看处于发展期,经济集聚早期企业集中在某些特定区域,容易发挥规模

表 4 异质性检验结果

变量	人口集聚				变量	经济集聚			
	全国	一线城市	二三四线城市	五线城市		全国	一线城市	二三四线城市	五线城市
lnPM2.5 ₍₋₁₎	0.53*** (329.89)	0.57*** (31.89)	0.54*** (1 733.48)	0.50*** (131.38)	lnPM2.5 ₍₋₁₎	0.64*** (306.60)	0.62*** (70.39)	0.64*** (1 234.65)	0.62*** (234.41)
(lnPop) ³	0.003*** (2.77)	—	—	—	(lnEco) ³	0.002*** (4.65)	—	—	—
(lnPop) ²	-0.05*** (-3.14)	—	-0.006*** (-19.92)	—	(lnEco) ²	-0.05*** (-8.39)	—	0.01*** (34.22)	—
lnPop	0.27*** (3.93)	0.01** (2.06)	0.06*** (19.66)	0.08** (2.41)	lnEco	0.59*** (18.54)	0.006** (2.14)	-0.33*** (-72.48)	0.32*** (33.89)
lnPgdp	0.10*** (88.74)	0.009 (0.23)	0.08*** (185.25)	0.15*** (65.44)	lnPgdp	0.24*** (37.97)	0.02 (0.37)	0.20*** (129.32)	0.41*** (39.41)
lnPFDI	0.002*** (2.85)	0.04*** (2.58)	0.006*** (14.62)	-0.02*** (-15.00)	lnPFDI	0.12*** (11.07)	0.04*** (4.71)	0.02*** (33.60)	-0.002 (-1.19)
C	0.15 (1.46)	1.18 (1.31)	0.92*** (130.75)	-0.10 (-0.65)	C	0.88*** (12.80)	1.16*** (5.32)	0.73*** (44.66)	-1.04*** (-18.74)
AR (1)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	AR (1)	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000
AR (2)	0.3016	0.1398	0.0000	0.0061	AR (2)	0.3012	0.1400	0.0000	0.0012
Sargan	0.9802	1.0000	0.4458	1.0000	Sargan	0.9649	1.0000	0.4470	1.0000
N	5491	361	3629	1501	N	5491	361	3629	1501

经济效应以提高企业生产效率，进而抑制城市雾霾污染，但过度集聚会超过地区环境、土地与能源承载力，诱致雾霾污染水平提升。一线城市经济集聚对雾霾污染影响系数在5%水平下为正，归因于这些城市处于经济发展成熟期，当大量企业过度集中在某些特定区域，产生的拥挤效应会超过规模经济效应，诱致雾霾污染加剧，例如现阶段部分超大城市将部分产业转移至周边城市以降低城市拥挤程度，提高城市环境、土地与能源承载力。

此外，不管是一线城市、二三四线城市还是五线城市，雾霾污染一阶滞后系数在人口集聚与经济

集聚各模型中1%水平下高度显著为正，说明雾霾污染存在时滞性。

（三）稳健性检验

由前文研究发现人口与经济集聚对雾霾污染影响存在N型曲线关系，但若用其他指标度量集聚水平与雾霾污染，是否也存在N型曲线关系呢？本文用人均全社会固定资产投资额与单位SO₂排放量作为产业集聚（Ind）与雾霾污染替代变量，单位分别是元/人与吨/平方公里，利用普通面板模型与空间面板模型实证检验产业集聚对雾霾污染及SO₂排放量的影响，将数据代入后得到表5结果。

表 5 稳健性检验结果

变量	PM2.5浓度			单位SO ₂ 排放量		
	普通面板模型	空间面板滞后模型	空间面板杜宾模型	普通面板模型	空间面板滞后模型	空间面板杜宾模型
(lnInd) ³	0.0002*** (3.22)	0.007*** (2.55)	0.007*** (2.76)	0.009*** (11.38)	0.02*** (2.79)	0.03*** (3.22)
(lnInd) ²	-0.01*** (-3.25)	-0.16*** (-4.32)	-0.15*** (-4.39)	-0.13*** (-10.21)	-0.32*** (-2.83)	-0.35*** (-3.12)
lnInd	0.10*** (7.82)	1.02*** (8.48)	1.12*** (8.61)	0.26*** (5.05)	0.29*** (2.78)	1.14*** (3.00)
lnPgdp	0.17*** (15.05)	0.32*** (7.21)	2.81*** (7.23)	0.26*** (5.89)	4.46*** (8.25)	3.99*** (7.77)
lnPFDI	0.01*** (15.05)	0.06*** (5.43)	0.57*** (6.14)	0.02 (1.43)	0.61*** (5.31)	0.42*** (3.69)
C	-2.05*** (-18.53)	-17.74*** (-9.98)	-15.53*** (-9.42)	2.55*** (5.81)	-48.58*** (-9.13)	-42.70*** (-8.32)
W×lnY	—	0.27*** (7.3e+044)	0.24*** (9.1e+04)	—	0.24*** (4.1e+04)	0.24*** (4.0e+04)
W×Ind	—	—	-0.006*** (-8.29)	—	—	-0.03*** (-16.97)
lgt_theta	—	-3.85*** (-128.15)	-3.81*** (-123.17)	—	-2.03*** (-64.79)	-1.59*** (-25.71)
sigma2_e	—	2.58*** (22.45)	2.11*** (22.93)	—	19.48*** (19.30)	19.13*** (18.73)
R ²	0.2552	—	—	0.1910	—	—
N	6069	6069	6069	6069	6069	6069

实证结果表明, 产业集聚与雾霾污染二者之间存在N型曲线关系, 系数在各模型中1%水平下高度显著, 拐点分别在6.13与27.21。当产业集聚水平低于6.13 (459.44元/人) 的拐点值时, 产业集聚会加剧雾霾污染, 归因于制造业早期集聚在某些特定区域, 未形成规模经济效应会增加工业污染物排放量。当产业集聚水平超过拐点值6.13 (459.44元/人) 并小于27.21 (6563.76亿元/人) 时, 产业集聚所诱发的规模经济效应会有效抑制雾霾污染。当产业集聚水平超过第二个拐点值27.21 (6563.76亿元/人) 时, 产业过度集聚会超过地区土地、资源与环境承载力, 加剧雾霾污染。进一步检验发现, 产业集聚与单位SO₂排放量二者之间也存在N型曲线关系, 系数在各模型中1%水平下高度显著, 拐点分别在1.13与8.5, 即当产业集聚低于1.13 (3.10元/人) 的拐点值时, 产业集聚水平提高会促进SO₂排放量增多; 当产业集聚水平超过拐点值1.13 (3.10元/人) 并小于8.5 (4914.77元/人) 时, 产业集聚所诱发的规模经济效应会有效抑制SO₂排放。当产业集聚水平超过第二个拐点值8.5 (4914.77元/人) 时, 产业集聚会增加SO₂排放量。

此外, 雾霾污染与单位SO₂排放量空间系数项

在空间面板模型中1%水平下显著为正, 即雾霾污染与SO₂排放量具有空间溢出效应, 故制定与实施环境污染治理政策时应以区域联合治理为主。产业集聚空间系数在空间面板杜宾模型中1%水平下为负, 说明相邻地区产业集聚会通过溢出效应对本地区雾霾污染产生负向效应。

不管是普通面板模型还是空间面板模型, 1998~2018年, 人口与经济集聚对雾霾污染影响是N型。为考察人口与经济集聚对环境污染中长期影响, 本文基于中国1960~2019年时间序列数据, 受数据来源所限, 用人均CO₂与单位面积CO₂排放量作为环境污染替代变量, 人口与经济集聚分别用人口密度与单位非农产业增加值表示, 并以2010年不变价格调整, 单位分别是人/平方公里与万元/平方公里, 数据来源于历年《中国统计年鉴》与世界银行数据库, 部分数据缺失采用移动平均法换算, 将数据代入处理后得到表6结果。

普通最小二乘法实证结果显示, 不管是人口集聚还是经济集聚, 其与人均CO₂及单位CO₂排放量之间存在N型曲线关系, 且系数在各模型中5%水平下均显著, 说明人口与经济集聚对中国CO₂排放量影响在1960~2019年呈先促增后抑制再促增。

表 6 OLS回归结果

变量	人均CO ₂		单位面积CO ₂	
(lnPop) ³	6.41 ^{**} (2.34)	—	6.41 ^{**} (2.34)	—
(lnPop) ²	-84.79 ^{**} (-2.23)	—	-84.79 ^{**} (-2.23)	—
lnPop	374.12 ^{**} (2.12)	—	376.12 ^{**} (2.13)	—
(lnEco) ³	—	0.02 ^{***} (3.98)	—	0.03 ^{***} (5.00)
(lnEco) ²	—	-0.27 ^{***} (-3.93)	—	-0.36 ^{***} (-5.37)
lnEco	—	1.48 ^{***} (5.62)	—	2.08 ^{***} (8.10)
C	-555.45 ^{**} (-2.04)	-2.25 ^{***} (-7.27)	-555.45 ^{**} (-2.04)	1.26 ^{***} (4.19)
R ²	0.9500	0.9749	0.9693	0.9853
N	60	60	60	60

五、结论与启示

中国经济正由高速增长转向高质量发展, 在转型过程中, 人口与经济集聚已成为经济转型的推动力, 而生态环境作为高质量发展重要组成部分, 是否能协调好人口及经济集聚与生态环境关系, 是实现我国经济与社会可持续发展的关键问题。本文基于扩展的生产密度函数, 利用中国1998~2018年289个地级市面板数据, 将空间地理因素纳入分析范畴, 从一线城市、二三四线城市与五线城市视角, 使用普通面板模型、空间面板模型与动态面板模型, 实证考察人口与经济集聚对雾霾污染的影响, 得到以下几点结论。

1. 人口集聚对雾霾污染影响呈N型曲线关系,

且人口集聚对雾霾污染影响在大中小城市之间存在显著差异。人口集聚早期受制于城市基建不够完善, 人口集聚容易诱致城市粉尘污染、交通拥堵、汽车尾气与生活垃圾等问题, 会加剧城市雾霾污染。随着城市基础设施不断完善, 交通拥堵、生活垃圾、粉尘污染等问题得到缓解, 且人口集聚有助于更好地实现劳动力专业化分工以提高劳动生产率, 进而降低雾霾污染, 但人口过度集聚会超过地区土地、资源与环境承载临界值, 再度诱发雾霾污染。

2. 经济集聚对雾霾污染影响呈N型曲线关系, 且经济集聚对雾霾污染影响在大中小城市之间存在显著差异。经济集聚处于起步发展阶段时, 经济集聚诱致地区企业规模与数量增多, 大量制造业企业

集中会增加工业三废排放量,加剧该地区雾霾污染。随着经济集聚迈入发展成熟阶段,集聚所产生的规模经济效应有助于提高企业生产率,且政府加强环境管制有利于推进绿色技术进步,进而降低雾霾污染,但同时也应认识到,当经济集聚步入成熟衰退期阶段,集聚产生的规模经济效应会逐步被拥挤效应替代,再度诱发雾霾污染。

3. 京津冀、长三角与华北中原地区是雾霾污染重灾区,且PM_{2.5}能够随气流实现跨界传播,即存在空间溢出效应,诱致相邻地区雾霾污染相接近。此外,产业集聚对雾霾污染与单位SO₂排放量影响呈N型曲线关系,即产业集聚对雾霾污染及SO₂排放量影响呈先促增后促减,当超过土地、环境与资源承载力时,会进一步加剧环境污染。此外,人口及经济集聚与CO₂排放量之间存在N型曲线关系。

上述结论表明人口与经济集聚会对雾霾污染造成显著影响,为协调好人口与经济集聚以降低雾霾污染,本文提出以下几点政策建议。

1. 人口集聚是中国经济转向高质量发展的重要推动力,但在集聚过程中应将地区土地、环境与资源承载力水平纳入分析范畴,尤其是城镇化发展战略应充分考虑城市容纳力,城镇化水平过低不利于实现规模经济,但超大城市有可能会超过城市承载力。中小城市应出台各种人才引进政策,通过完善城市教育、医疗与卫生等设施,以吸纳各类人才就业生活,减少人才外流现象,而特大或超大城市应制定人口准入制度,例如积分制,避免人口规模过大超过城市承载力。此外,人口老龄化与少子化问题日益严峻,适龄劳动力不足将降低人口集聚对我国经济发展影响,故政府应出台相关政策以提高人口出生率,例如建立更多学龄前儿童托管机构与公立幼儿园、提高生育津贴与延长生育假期等,缓解劳动力不足问题。

2. 由于各地区资源禀赋、地理气候、政策导向等差异,诱致地区间经济发展存在显著差距,例如东部沿海城市经济发展水平远超西部地区,且一二线城市以服务业、高端制造业、高技术产业为主,而部分四五线城市仍以传统制造业、资源开采、低技术产业为主,导致经济集聚对环境污染影响各异,故应辩证看待经济集聚对雾霾污染影响。此外,由于雾霾污染具有空间溢出效应,即相邻地区雾霾污染会相互影响,故治理时未避免出现“免费搭便车”现象,各地区政府应加强环境污染治理交流合作,采取区域间联合治理措施。

3. 雾霾污染形成因素包括气候、能源、交通、

经济等方面,治理雾霾污染需要政府、企业与居民共同参与。政府应从加强环境管制入手,将环境绩效纳入官员政绩考核体系,加大环境保护投入力度,对破坏自然环境行为实行问责制,坚决遏制以牺牲环境为代价发展地区经济。企业应树立环保意识,一方面,通过加大节能环保技术研发投入,以提升绿色技术促进企业竞争力水平提高;另一方面,高污染型企业要在社会各界协助下实现转型,例如造纸厂、钢铁厂、煤炭发电厂等,以降低污染排放量。居民要树立主人翁意识,一方面,要积极参与环境保护活动,对环境污染行为予以坚决制止;另一方面,要以身作则,例如平时出行以绿色出行为主、垃圾实行分类与减少一次性餐具使用,通过社会各界共同努力还自然一片绿水青山。

注释

① 数据来源:第七次全国人口普查数据、《政府工作报告》、政府信息网。

② 中国香港、澳门、台湾、少数民族自治州(县)与南沙群岛数据缺失。

③ 中国城市分级名单参照2020年《城市商业魅力排行榜》,一线城市:北京、天津、深圳、重庆等19个城市;二三四线城市:石家庄、长春、哈尔滨、福州等191个城市;五线城市:吕梁、南平、丽江、黄山等79个城市。

参考文献

- [1] LIU M, HUANG Y, JIN Z, et al. The Nexus between urbanization and PM_{2.5} related mortality in China[J]. *Environmental Pollution*, 2017, 227: 15-23.
- [2] HU T, ZHANG J, XING X, et al. Seasonal variation and health risk assessment of atmospheric PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in a classic agglomeration industrial city, central China[J]. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 2018, 11(6): 683-694.
- [3] ZHU G, HU WH, LIU YF, et al. Health burdens of ambient PM_{2.5} pollution across Chinese cities during 2006~2015[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 243: 250-256.
- [4] 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.
- [5] 王兵,聂欣.产业集聚与环境治理:助力还是阻力[J].*中国工业经济*, 2016(12): 75-89.
- [6] LIU J, ZHAO Y, CHENG Z, et al. The effect of manufacturing agglomeration on haze pollution in China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(11): 2-15.
- [7] 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.

[8] 徐盈之, 刘琦. 产业集聚对雾霾污染的影响机制[J]. *大连理工大学学报(社会科学版)*, 2018, 39(3): 24-31.

[9] 蔡海亚, 徐盈之. 产业协同集聚、贸易开放与雾霾污染[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018, 28(6): 93-102.

[10] FANG J Y, TANG X, XIE R, HAN F. The effect of manufacturing agglomerations on smog pollution[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2020, 54: 92-101.

[11] 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.

[12] 汪聪聪, 王益澄, 等. 经济集聚对雾霾污染影响的空间计量研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(1): 1-11.

[13] USHIFUSA Y, TOMOHARA A. Productivity and labor density: agglomeration effects over time[J]. *Atlantic Economic Journal*, 2013, 41(2): 123-132.

[14] HAN F, XIE R, FANG J, et al. The effects of urban agglomeration economies on carbon emissions: evidence from Chinese cities[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 172: 1096-1110.

[15] 钟顺昌, 闫程莉, 任娇, 等. 创新集聚空间分布模式对霾污染的影响[J]. *中国环境科学*, 2021, 21(2): 1-15.

[16] 梁昌一, 刘修岩, 李松林. 城市空间发展模式与雾霾污染——基于人口密度分布的视角[J]. *经济学动态*, 2021(2): 80-94.

[17] 陆凤芝, 王群勇. 生产性服务业集聚与雾霾污染治理[J]. *软科学*, 2021(1): 1-12.

[18] QIN B, WU J. Does urban concentration mitigate CO₂ emission? evidence from China from 1998~2008[J]. *China Economic Review*, 2014, 35: 220-231.

[19] 梁伟, 杨明, 李新刚. 集聚与城市雾霾污染的交互影响[J]. *城市问题*, 2017(9): 83-93.

[20] WU J, REIMER J. Pollution mobility, productivity disparity and the spatial distribution of polluting and non pollution firms[J]. *Journal of Regional Science*, 2016, 56(4): 615-634.

[21] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理

论与中国经验[J]. *管理世界*, 2019(1): 36-60+226.

[22] 罗能生, 李建明. 产业集聚及交通联系加剧了雾霾空间溢出效应吗?[J]. *产业经济研究*, 2018(4): 52-64.

[23] LU W, TAM V W, DU L, et al. Impact of industrial agglomeration on haze pollution: new evidence from Bohai Sea economic region in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 280: 124414.

[24] SHEN N, PENG H. Can industrial agglomeration achieve the emission-reduction effect?[J]. *Socio-Economic Planning Sciences*, 2021, 75: 100867.

[25] 东童童, 李欣, 刘乃全. 空间视角下工业集聚对雾霾污染的影响[J]. *经济管理*, 2015, 37(9): 29-41.

[26] 朱雨可, 赵佳. 人口集聚与雾霾污染: 基于生存型消费视角[J]. *生态经济*, 2021, 37(2): 167-175.

[27] JI X, YAO Y, LONG X. What causes PM2.5 pollution? cross-economy empirical analysis from socioeconomic perspective[J]. *Energy Policy*, 2018, 119: 458-472.

[28] XIE R, WEI D, HAN F, et al. The effect of traffic density on smog pollution: evidence from Chinese cities[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2018(4): 1-7.

[29] XU B, LIN B. What cause large regional differences in PM2.5 pollution in China? evidence from quantile regression model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 174: 447-461.

[30] XIE Q, XU X, LIU X. Is there an EKC between economic growth and smog pollution in China? new evidence from semiparametric spatial autoregressive models[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 220: 873-883.

[31] 李伟娜, 杨永福, 王珍珍. 制造业集聚、大气污染与节能减排[J]. *经济管理*, 2010, 32(9): 36-44.

[32] CICCONE A, HALL R. Productivity and the density of economic activity[J]. *American Economic Review*, 1996, 86(1): 54-70.

[33] 马丽梅, 张晓. 中国雾霾污染的空间效应及经济、能源结构影响[J]. *中国工业经济*, 2019, 655(4): 13-26.

编辑 朱娜