

Doi: 10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2021.10.001

欢迎按以下格式引用:汪锋,何京泽,史东杰.外商直接投资、技术水平与城市雾霾污染——基于中国276个地级市的动态空间面板数据分析[J].重庆大学学报(社会科学版),2023(5):85-100. Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2021.10.001.



Citation Format: WANG Feng, HE Jingze, SHI Dongjie. Analysis of foreign direct investment, technology level and haze pollution: Based on the dynamic spatial panel model of 276 Chinese cities[J]. Journal of Chongqing University(Social Science Edition), 2023(5):85-100. Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2021.10.001.

外商直接投资、技术水平与 城市雾霾污染

——基于中国276个地级市的动态空间面板数据分析

汪锋,何京泽,史东杰

(重庆大学经济与工商管理学院,重庆 400044)

摘要:在环境经济学理论中,污染避风港假说(Pollution Haven Hypothesis)认为国外资本的引入会给东道国的生态环境带来负面影响,这一现象尤其容易发生在发展中国家。而大规模的外资引进正是我国自改革开放以来的重要经济特征之一。同时,我国许多城市的雾霾污染问题也在经济发展过程中日益凸显,并且其中不少城市往往拥有着较高的外资利用水平。为探寻外资引入是否对我国的生态环境产生了负面影响,文章使用广义空间两阶段最小二乘法(GS2SLS)和基于光学卫星空间遥感获得的城市雾霾污染数据,对2004—2018年中国276个城市的外商直接投资、技术水平与雾霾污染之间的关系展开实证分析,并对其中传导机制进行了深入研究。实证研究结果表明:就全国整体而言,外商直接投资的资本存量与雾霾污染之间存在显著的正相关关系,而技术水平则与雾霾污染之间存在显著的负相关关系。在控制内生性问题后,具体数值计算结果显示:城市外商直接投资存量每增加1%, $PM_{2.5}$ 年均浓度值会上升0.045%,而城市专利授权数量每增加1%, $PM_{2.5}$ 年均浓度值则会下降0.041%;区域异质性分析中,中部城市的外商直接投资对雾霾污染加剧作用大于东部与西部城市,而西部城市的技术水平上升带来的减霾效果要大于东部与中部城市;同时,雾霾污染在中国存在空间上的溢出效应与时间上的叠加效应,意味着雾霾污染可以在城市之间转移,并有随时间逐步恶化的趋势;进一步的中介效应模型的研究结果显示,外商直接投资的进入对国内技术起到了负向的溢出效应,抑制了城市技术水平的提升,进一步导致了雾霾污染的加剧;而门槛效应模型的结果表明,城市技术水平每越过一个更高的门槛值,外

基金项目:国家自然科学基金项目“基于环境效用异质性的收入分配对雾霾污染的影响机制与治理研究”(71973019);国家社会科学基金项目“收入不均与雾霾防治的相互影响机理及应对策略研究”(17BGL144)

作者简介:汪锋,重庆大学经济与工商管理学院,Email: wangfeng2008@cqu.edu.cn.

商直接投资对于雾霾污染的加剧影响都将会有所下降。因此,为实现我国城市雾霾污染的治理,国家首先应对外商直接投资制定严格的准入标准,严格管控污染型外资流入。加强在技术研发领域的投入,积极推动本土企业与外资企业相互协作,提升中国企业对国外先进技术的学习能力,着重推动本国技术发展进程,从而更好发挥技术进步对我国雾霾污染的改善作用。

关键词:外商直接投资;技术水平;雾霾污染;空间计量;GS2SLS

中图分类号:X513;F124.3;F832.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1008-5831(2023)05-0085-16

引言

雾霾是空气中的二氧化硫、氮氧化物和可吸入颗粒物等污染物组成的气溶胶系统,能够使大气浑浊,能见度降低,是人类活动与特定气候条件相互作用的结果。伴随着经济的高速增长和城市化、工业化进程,中国城市雾霾污染问题日益凸显。2011年北京市雾霾污染的信息开始在网络社交媒体上大量传播,引发了中国城市居民对空气污染的广泛焦虑,雾霾污染成为全社会最为关注的公共话题之一。根据国家生态环境部通报,2019年全国337个城市中有178个城市环境空气质量不达标,京津冀及周边地区“2+26”城市环境空气质量优良天数比例仅为53%,严重影响了居民的工作与生活。

大规模引进外商直接投资是改革开放以来中国经济的重要特征。2019年,中国全年引进外资1410亿美元,成为仅次于美国的全球第二大外商直接投资目的地国^①。外商直接投资在促进资本积累、引进国外先进管理和技术方面极大地助力了中国的经济发展^[1],但在全球制造业中心向中国转移的过程中也伴随着环境污染转移,即污染避风港假说(Pollution Haven Hypothesis)所预测的发展中国家引进外资会加重环境污染的现象。统计数据显示,我国PM_{2.5}年均浓度较高的城市主要集聚在华北、华中以及成渝地区,而这些地区大多也是外商直接投资利用程度较高的地区。如2018年,北京市、武汉市和成都市实际利用外资金额分别高达173亿美元、109亿美元和122亿美元,这三座城市当年PM_{2.5}年均浓度分别为45.82 mg/m³、42.55 mg/m³和44.7 mg/m³,均远超出了2018年全国33.6 mg/m³的PM_{2.5}年均浓度水平,表明我国外商直接投资与雾霾污染之间可能存在一定相关性^②。

环境经济学理论研究表明外商直接投资对环境污染表现出复杂的“双重”影响。污染避风港假说认为,发达国家的部分企业为了逃避严苛的环境规制,会将其污染性生产活动向环保法规相对宽松的发展中国家转移,最终导致后者承担环境污染的后果,外商直接投资会加剧东道国的环境污染^[2]。也有学者持相反观点,提出污染光环假说(Pollution Halo Hypothesis),认为外商直接投资的进入,会带来技术进步、环保质量体系的扩散,进而对东道国的生态环境产生正面影响^[3]。而对于中国是否沦为发达国家转移环境污染排放的“污染避风港”的问题,学术界也存在一定争议^[4-5]。

技术水平是影响环境质量的关键因素之一,并且是外商直接投资与环境污染的关系中起传导作用的重要因素。一些学者支持外商直接投资将通过正向的技术外溢效应对东道国的生态环境带来改善的观点^[6],但也有研究结果表明,由于外资企业往往会垄断核心技术,外商直接投资的进入实际上并未对我国的技术水平起到提升作用^[7]。然而已有研究仅关注到外商直接投资通过改变我

①2019年美国吸引外资2460亿美元,数据来源于联合国贸易和发展会议《2020世界投资报告》。

②数据来源于《2019中国城市统计年鉴》和芝加哥大学能源政策研究所(EPIC)《2020空气质量寿命指数报告》。

国技术水平现状,从而给环境污染带来间接影响,并未考虑到技术水平提升是否会对外商直接投资与环境污染之间的关系产生影响,也就难以破解污染避风港假说与污染光环假说背后的经济学逻辑。

针对上述已有研究中存在的争议与空白,本文基于最新的城市雾霾污染数据,构建动态空间面板计量经济学模型,针对 2004—2018 年中国 276 个城市的外商直接投资资本存量、技术水平与雾霾污染之间的关系展开深入研究,检验中国是否存在污染避风港假说所预测的引进外资而加重环境污染的现象,以及技术水平在其中起到的传导机制作用。本文的边际贡献体现在以下三个方面:第一,雾霾污染具有空间扩散特性,本文采用光学卫星空间遥感获得的中国城市年均 $PM_{2.5}$ 浓度数据,利用广义空间两阶段最小二乘法(Generalized Spatial Two Stage Least Squares, GS2SLS)控制雾霾污染的空间溢出效应,能够获得外商直接投资、技术水平对雾霾污染影响的无偏估计;第二,考虑到城市之间的经济发展也存在空间相关性,本文除了构建传统的地理距离空间权重矩阵,还构建了经济距离空间权重矩阵以及地理与经济距离嵌套权重矩阵,以增强结果分析的稳健性;第三,基于动态空间面板计量模型,同时讨论雾霾污染在空间上的溢出效应与时间上的叠加效应,并通过中介效应模型与门槛效应模型对各个城市外商直接投资、技术水平与雾霾污染之间的关系进行深入讨论。

一、文献回顾与理论假说

(一) 外商直接投资与环境污染

国际贸易和跨国投资对环境污染的影响,以及全球化进程中产业转移带来的污染排放转移是环境经济学研究中的经典问题。一个较为流行的观点是污染避风港假说,认为不同国家和地区之间环境容量和环保政策的差异会导致环境污染向经济发展较为落后的穷国转移,最早由 Copeland 和 Taylor^[2]提出,认为发达国家与发展中国家之间的自由贸易在增加两国收入的同时,会给后者带来严重的环境污染问题,进而加剧全球环境污染。围绕污染避风港假说是否成立,学术界展开了一系列实证研究,但尚未取得一致的结论。Cole 研究了发展中国家和发达国家之间污染密集型产品的贸易数据,发现污染避风港假说仅在部分地区和行业成立^[8]。Wagner 和 Timmins 基于德国制造业的外商直接投资数据,只发现化学化工行业的外商直接投资对生态环境产生了明显的负面影响^[9]。利用跨国数据,张磊等发现外商直接投资会导致发展中国家的污染加剧,而发达国家并不显著,实证数据不能完全支持污染避风港假说^[10]。

与之相对,部分学者提出与污染避风港假说相反的污染光环假说,认为跨国企业在发展中国家的投资可以促进环保技术、环保质量体系和管理经验扩散,产生学习示范效应,对发展中国家的生态环境质量带来积极影响^[11]。此外,发展中国家的外资企业相较于国内同行往往拥有更高的能源使用效率,更偏向于在生产过程中使用清洁能源,有助于推动东道国相关产业的节能减排改造^[12]。部分实证研究支持污染光环假说,例如 Antweiler 等就使用全球 109 个城市的数据发现国际市场贸易开放程度每提升 1%,二氧化硫浓度就会下降 1%^[13]。

针对中国是否存在环境避风港假说所预测的环境污染跨境转移问题,中国学者展开了大量的定量实证分析,发现污染避风港假说在中国成立的部分证据^[14]。严雅雪和齐绍洲使用省级数据对中国的外商直接投资与雾霾污染之间关系进行了实证分析,发现两者之间存在正相关关系,支持了污染避风港假说在中国的成立^[15]。许和连和邓玉萍基于空间计量经济学方法的研究发现,中国省

域外商直接投资和环境污染存在显著的空间自相关性,外商直接投资在地理上的集聚改善了中国的的环境污染状况,整体来说污染避风港假说在中国并不成立^[16]。为了对污染避风港和污染光环两种竞争性假说在现阶段中国城市雾霾污染问题中的适用性进行检验,我们提出第一个理论假说。

假说1:外商直接投资加剧了现阶段中国城市的雾霾污染。

(二) 技术水平与环境污染

对于技术水平与环境污染之间关系的问题,不少研究基于 Ehrlich 和 Holdren^[17] 构建的 IPAT 模型展开了讨论,该模型认为一个国家的环境污染往往与人口规模(P)、富裕程度(A)以及技术水平(T)有着密切关系。进一步,Dietz 和 Rosa 在其基础上,改进为 STIRPAT 模型^[18]。许多以此模型为基础的相关研究认为技术水平与环境污染之间呈现出负相关关系^[19]。同时也有学者基于环境库兹涅茨曲线假说^[20]提出在经济收入达到一定水平的时候,社会的生产技术将由污染型向清洁型转变,从而使生态环境得到改善^[21]。魏巍贤和杨芳^[22]、程中华等^[23]则基于中国数据同样得到了技术的发展会缓解污染的结论。但同时,有学者认为技术水平的提升不一定会给生态环境带来改善的作用,甚至是负面影响^[24],并且二者关系应当存在显著的行业异质性^[25]。因此,为了讨论目前我国城市技术水平的提升是否有利于雾霾污染的改善,本研究提出第二个假说。

假说2:技术水平的提升会缓解现阶段中国城市的雾霾污染。

另外,还有学者将技术作为中间因素,纳入外商直接投资与环境污染之间进行了分析。如 Grossman 和 Krueger 就提到减少贸易壁垒可以改善东道国的生产技术,从而改善当地的环境质量^[26]。盛斌和吕越则通过基于中国数据的实证研究验证了这一观点^[27]。但也有不少研究表明,进入我国的外商直接投资实际上并未推动我国技术水平的进步^[28-29],甚至对我国企业的技术创新能力产生了负面影响^[30]。可见外商直接投资是否通过推动我国技术水平发展从而起到缓解环境污染的作用,仍是存在争议的话题。因此,本文将提出第三个假说以进行验证。

假说3:外商直接投资的引入将不利于我国自身技术水平的提升,从而加剧城市雾霾污染。

以上机制分析的相关文献都是基于外商直接投资对技术水平产生影响,并进一步对东道国的生态环境产生影响,但没有考虑到东道国自身技术水平的不断提升可能会带来的变化。如我国城市自身技术水平的不断提升,可能会逐渐降低其经济发展对技术水平相对更低的外商直接投资的依赖程度,其中就很有可能包含许多高污染高能耗的外资企业,从而进一步对当地生态环境产生一定的积极影响。因此,为了探究我国城市自身技术水平的上升能否对外商直接投资与雾霾污染之间的关系产生影响这一问题,本文提出第四个假说以待验证。

假说4:随着我国城市技术水平的提升,将会削弱外商直接投资加剧雾霾污染的影响。

二、研究设计

(一) 计量模型与变量选取

本文将城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度作为被解释变量,将外商直接投资、技术水平作为核心解释变量。因此本文用于检验外商直接投资、技术水平对雾霾污染影响的基准模型为:

$$\ln PM_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln FDI_{it} + \alpha_2 Tech_{it} + \alpha_3 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 和 t 表示第 i 个城市第 t 年的数据,被解释变量 PM 为各个城市的 $PM_{2.5}$ 年均浓度值, FDI 是外商直接投资资本存量, $Tech$ 为城市的技术水平, X_{it} 为一组控制变量。 α_0 — α_3 为待估系数, ε_{it} 为

随机扰动项。

在式(1)中加入城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度的空间滞后项 $W\ln PM_{it}$ 和时间滞后项 $\ln PM_{i,t-1}$,即可构建出动态空间计量经济学模型:

$$\ln PM_{it} = \alpha_0 + \rho W\ln PM_{it} + \beta \ln PM_{i,t-1} + \alpha_1 \ln FDI_{it} + \alpha_3 Tech_{it} + \alpha_4 X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中: W 为城市空间权重矩阵, ρ 为空间滞后项的回归系数,用于考察雾霾污染空间溢出效应的方向与程度;时间滞后项 $\ln PM_{i,t-1}$ 的系数 β 用于考察雾霾污染在时间维度上的叠加效应^[31-32]。

(二) 空间权重矩阵与估计方法

为了控制雾霾污染的空间溢出效应,本文构造了三种地理距离空间权重矩阵:地理距离空间权重矩阵 W_1 、经济距离空间权重矩阵 W_2 以及地理与经济距离嵌套权重矩阵 W_3 。矩阵 W_1 中的构成元素 w_{ij} 遵循以下计算原则:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1/d, i \neq j \\ 0, i = j \end{cases} \quad (3)$$

其中, d 为城市 i 与城市 j 中心位置之间的地理距离。

经济距离空间权重矩阵 W_2 ,其矩阵的构成元素 w_{ij} 遵循以下计算原则:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1/|e|, i \neq j \\ 0, i = j \end{cases} \quad (4)$$

其中, e 为城市 i 与城市 j 之间人均 GDP 之差,以此表示经济距离。

W_3 是地理与经济距离嵌套权重矩阵,参考 Case 等^[33]的做法,计算公式为 $W_3 = \lambda W_1 + (1-\lambda) W_2$, λ 表示地理距离空间权重矩阵的权重,本文将地理距离与经济距离的影响各取一半,令 λ 取值为 0.5。因此 W_3 更为全面地考虑了城市之间的地理距离与经济差距两方面的信息。

在式(2)的实证模型中,外商直接投资、技术水平作为解释变量并非严格外生,环境污染与外商直接投资、技术水平之间可能存在双向因果关系。一方面,污染密集型的外资进入可能会导致环境恶化,而清洁技术的发展则会带来生态环境的改善;另一方面,日益严重的环境污染也会倒逼政府提高环境规制强度来改善环境,从而对外商直投资的进入产生抑制作用^[34],并且会对地区技术发展产生影响^[35]。本实证研究模型存在解释变量与被解释变量相互影响可能会带来的内生性问题,直接使用普通最小二乘法估计系数是有偏且不一致的。因此本文将空间计量模型中各个解释变量及其空间滞后项作为工具变量,使用 GS2SLS 估计同时控制空间相关性和内生性对模型估计结果的影响,从而保证模型参数估计结果的无偏性和有效性^[36]。

(三) 数据说明

本文以中国 276 个地级及以上城市 2004 年至 2018 年的面板数据作为研究对象,考察外商直接投资对 $PM_{2.5}$ 年均浓度的影响。实证模型中的被解释变量为各城市的 $PM_{2.5}$ 年均浓度值 PM ,由于国家生态环境部从 2013 年起才开始将 $PM_{2.5}$ 浓度纳入日常大气环境质量监测范围,为了解决历史数据缺失的问题,本文采用了芝加哥大学能源政策研究所(EPIC)2020 年最新发布的《空气质量寿命指数报告》^③中基于卫星遥感技术获得的我国各个城市年均 $PM_{2.5}$ 浓度数据,作为本文实证研究部分的被解释变量。

③《2020 空气寿命指数报告》网页地址:<https://dev-aqli-epic.pantheonsite.io/the-index/?lang=zh-hans>。

外商直接投资水平 FDI 则是计量模型的核心解释变量,本文采用外商直接投资资本存量作为衡量各城市外商直接投资水平的指标,以考察外商直接投资的持续性影响。参考张军等^[37]提出的物质资本存量估算方法,使用永续盘存法对各个城市的外商直接投资的资本存量进行了计算。

技术水平 Tech 为模型中另一个核心解释变量,参考沈能和刘凤朝^[38]的做法,本文用各个城市专利授权数量作为技术水平的衡量指标,并且考虑到我国专利授权中的外观设计专利对实际技术水平的影响并不大,因此在数据整理时,将其中的外观设计专利进行了剔除处理。

控制变量包括:城市人口密度 Pop,即城市常住人口数除以城市面积;经济发展水平 GDP 及其二次项,通过各个城市人均 GDP 进行表征,以 2004 年为基期使用 GDP 平减指数进行了不变价处理;工业结构 IS,使用第二产业增加值占 GDP 的比重进行衡量;能源强度 EI,由于缺乏城市级别的能源消费数据,本文采用城市全社会用电量与 GDP 的比值衡量各个城市的能源强度;政府财政支出 Gov,各个城市政府财政支出占 GDP 的比重,用以考察政府财政支出在环境质量改善中的作用。

以上数据均来自《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》《中国统计年鉴》以及中国研究数据服务平台(CNDRS),部分缺失数据通过对应城市的地方统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报进行了补全和辅以插值法处理。同时为了控制异方差对计量模型回归的影响,对于上述变量中非比值形式的变量采取了自然对数处理。各变量的描述性统计见表 1。

表 1 变量描述性统计

变量	单位	平均值	标准差	最小值	最大值
lnPM	毫克/立方米	3.477	0.561	0.694	4.509
lnFDI	万元	13.172	1.854	7.577	18.074
lnTech	项	5.784	1.799	0.000	11.341
lnPop	人/平方公里	5.886	0.643	3.817	8.119
lnGDP	元	9.988	0.721	7.847	12.679
IS	%	0.488	0.105	0.019	0.859
EI	千瓦时/元	0.148	0.125	0.015	3.908
Gov	%	0.156	0.078	0.040	0.809

三、实证分析

(一) 城市雾霾污染的溢出效应与空间相关性

空气污染具有空间扩散特性,为了对雾霾污染的溢出效应进行考察,本文首先对城市雾霾污染的空间相关性进行定量分析。变量的空间相关性通常采用莫兰指数 I (Moran's I) 进行检验,其计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

其中, n 为城市总数, w_{ij} 为所用空间权重矩阵中的元素, x 与 \bar{x} 分别为各个城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度及其样本均值。 I 为计算所得各个年份衡量雾霾污染与其空间滞后项之间相关关系的全局莫兰指

数,其指数取值范围在-1 到 1 之间。若 I 大于 0,说明城市雾霾污染存在空间正相关;若 I 小于 0,说明城市雾霾污染存在空间负相关;若 I 等于 0,说明城市雾霾污染在不存在空间相关性。 I 越接近 1 则说明空间正相关性越强,反之越接近-1,则说明空间负相关性越强。基于地理距离空间权重矩阵 W_1 对中国 276 个城市 2004 年至 2018 年的 $PM_{2.5}$ 年均浓度进行空间相关性检验结果如表 2 所示。

表 2 2004 年至 2018 年中国城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度空间相关性检验

年份	Moran's I	z 值	p 值
2004	0.135	23.937	0.000
2005	0.144	24.779	0.000
2006	0.137	28.175	0.000
2007	0.150	25.455	0.000
2008	0.135	24.584	0.000
2009	0.145	25.900	0.000
2010	0.156	26.071	0.000
2011	0.146	24.265	0.000
2012	0.136	26.914	0.000
2013	0.161	24.640	0.000
2014	0.141	30.259	0.000
2015	0.155	29.321	0.000
2016	0.165	27.256	0.000
2017	0.141	28.245	0.000
2018	0.153	25.851	0.000

从表 2 中可以看到 2004 年到 2018 年中国城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度莫兰指数 I 均显著大于 0。说明我国城市雾霾污染存在显著的空间正相关性,即在空间上呈现出高污染城市与高污染城市相邻,低污染城市与低污染城市相邻的特征,也证明了后续研究采用空间计量模型的合理性。

(二) 全样本基准模型估计

表 3 报告了基于三种空间权重矩阵的动态空间计量经济学模型估计结果。其中,列(1)和列(2)使用地理距离空间权重矩阵 W_1 进行估计,列(3)和列(4)使用经济距离权重矩阵 W_2 进行估计,列(5)和列(6)使用地理与经济距离嵌套权重矩阵 W_3 进行估计。估计方法为采用最高三阶空间滞后项作为工具变量的 GS2SLS 估计。根据 Hausman 检验结果,估计模型均选择固定效应模型,其中列(2)、列(4)和列(6)同时控制了时间与城市固定效应,其余列则只控制了城市固定效应。

表 3 的所有列中核心解释变量 $\ln FDI$ 的估计系数均在 1% 的显著性水平上拒绝估计系数为零的原假设,表明我国城市外商直接投资资本存量与雾霾污染之间呈现正相关关系。从列(6)基于地理与经济距离嵌套权重矩阵的估计结果来看,外商直接投资资本存量每上升 1%,城市大气 $PM_{2.5}$ 年均浓度值就会上涨 0.045%。上述实证结果表明外商直接投资加剧了现阶段中国城市的雾霾污染,验证了假说 1,支持了污染避风港假说整体上在中国成立的观点。

表3 全样本基准模型估计结果

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	W_1 地理距离空间权重矩阵		W_2 经济距离空间权重矩阵		W_3 地理与经济距离嵌套权重矩阵	
WlnPM	2.314*** (0.442)	2.218*** (0.104)	0.114*** (0.030)	0.030 (0.022)	0.645*** (0.051)	0.125*** (0.043)
$\ln PM_{i,t-1}$	0.129*** (0.013)	0.134*** (0.014)	0.045*** (0.016)	0.205*** (0.158)	0.390*** (0.016)	0.203*** (0.016)
lnFDI	0.040*** (0.004)	0.037*** (0.004)	0.048*** (0.006)	0.045*** (0.005)	0.045*** (0.006)	0.045*** (0.005)
lnTech	-0.023*** (0.004)	-0.033*** (0.004)	-0.048*** (0.005)	-0.042*** (0.005)	-0.041*** (0.005)	-0.041*** (0.005)
lnPop	0.005 (0.005)	0.003 (0.005)	0.021*** (0.007)	0.002 (0.006)	0.204 (0.007)	0.003 (0.006)
lnGDP	-0.035 (0.073)	-0.076 (0.076)	0.090 (0.106)	-0.064 (0.088)	0.106 (0.098)	-0.058 (0.087)
$(\ln GDP)^2$	0.002 (0.034)	0.002 (0.004)	-0.007 (0.005)	0.003 (0.004)	-0.007 (0.005)	0.001 (0.004)
IS	-0.144*** (0.039)	-0.121*** (0.221)	-0.489*** (0.055)	-0.261*** (0.052)	-0.344** (0.052)	-0.261*** (0.051)
EI	0.040* (0.022)	0.043* (0.022)	0.080** (0.032)	0.054** (0.025)	0.065** (0.029)	0.052** (0.021)
Gov	0.097* (0.055)	0.066* (0.057)	0.128 (0.08)	0.216*** (0.066)	0.121 (0.075)	0.221*** (0.065)
常数项	-0.261 (0.36)	0.265 (0.415)	0.979* (0.521)	3.059*** (0.454)	0.574 (0.489)	2.925*** (0.689)
Wald test (p)	6 894.07 (0.000)	7 719.21 (0.000)	1 990.90 (0.000)	1 781.23 (0.000)	2 407.24 (0.000)	5 517.72 (0.000)
Hausman test (p)	10 260 (0.000)	5 119.51 (0.000)	1 081.16 (0.000)	2 398.73 (0.000)	2 276.88 (0.000)	2 491.88 (0.000)
时间固定效应	NO	YES	NO	YES	NO	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES

注:***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平,括号中数值为估计系数的标准误。

技术水平指标 lnTech 的系数为负且显著异于0,表明城市技术的进步能够有效缓解雾霾污染,说明城市技术水平提高和企业生产效率提升能够减少生产过程中资源消耗和污染排放,并伴随着一些专用于污染治理的先进技术的诞生,对环境污染起到了显著缓解作用。同样从列(6)基于地理与经济距离嵌套权重矩阵的估计结果来看,城市技术水平每上升1%,城市大气 $PM_{2.5}$ 年均浓度值就会下降0.041%。因此也验证了假说2,技术水平的提升的确改善了我国城市雾霾污染。

在空间维度上,表3中基于地理距离空间权重矩阵 W_1 和地理与经济距离嵌套权重矩阵 W_3 的空间滞后变量 WlnPM 的系数估计结果均为正且显著异于0,说明我国雾霾污染在城市间具有显著的正向空间溢出效应。这一现象既与雾霾污染随大气环流的空间扩散有关,也与区域内各个城市之间的经济交流日益频繁有一定关系,一个地区的雾霾污染及与之相关的生产活动很容易扩散到周边其他城市,从而逐渐联结成影响范围更广的区域性空气污染。而基于经济距离权重矩阵 W_2 的空间滞后变量 WlnPM 的系数估计结果虽然也为正,但在列(4)中控制时间固定效应之后未能通过显著性检验,说明仅使用经济差距信息不足以解释雾霾污染的空间相关性,因此,后续的研究将只基于地理距离空间权重矩阵 W_1 和地理与经济距离嵌套权重矩阵 W_3 进行估计。在时间维度上,雾霾污染的时间滞后项 $\ln PM_{i,t-1}$ 在表3的所有列中估计系数均为正且显著异于0,说明雾霾污染在我

国城市存在时间上的叠加效应,即一个地区如果在前期已经产生了严重的雾霾污染,若不及时进行环保政策干预,那么随后的雾霾污染将会日益加剧。

表 3 模型控制变量的估计结果中,城市人口密度指标 $\ln\text{Pop}$ 的系数估计结果均为正,且在列(3)中通过了 1%水平的显著性检验,可能原因在于,人口在城市的集聚使得城市对于生活、生产与交通的能源需求增长,空气污染排放总量相应增加。经济发展水平指标 $\ln\text{GDP}$ 的系数估计结果均不显著,说明我国的经济水平与雾霾污染之间并未呈现出倒“U”型关系。第二产业占比 IS 的系数为负且通过了显著性检验,表明较高的第二产业占比能够缓解城市雾霾污染,这一结论与许和连和邓玉萍^[16]类似,可能的原因是我国的第二产业的内部结构已经随经济发展逐渐开始调整,主要产品已由污染型产品逐渐转向为清洁型产品。能源强度指标 EI 的系数估计结果大于 0,能源强度与雾霾污染显著正相关,说明城市提高能源使用效率是缓解雾霾污染的有效手段。政府财政支出 Gov 变量的系数估计结果大于 0,表明目前我国多数城市的政府支出尚未兼顾环境污染治理。

(三) 区域异质性分析

为了考察外商直接投资资本、技术水平与雾霾污染之间关系的区域异质性,本文将样本中的 276 个城市按地理区位划分为东部、中部、西部城市,使用三个子样本基于地理距离空间权重矩阵 W_1 与地理与经济距离嵌套权重矩阵 W_3 分别进行 GS2SLS 的参数估计,其估计结果如表 4 所示。

表 4 考虑区域异质性的估计结果

变量	东部城市		中部城市		西部城市	
	W_1	W_3	W_1	W_3	W_1	W_3
$W\ln\text{PM}$	4.233*** (0.170)	8.151** (0.344)	2.899*** (0.200)	0.566*** (0.195)	6.544*** (0.438)	0.532* (0.281)
$\ln\text{PM}_{i,t-1}$	0.044** (0.021)	0.039* (0.021)	0.136*** (0.023)	0.237*** (0.026)	0.066** (0.027)	0.148*** (0.031)
$\ln\text{FDI}$	0.036*** (0.006)	0.043*** (0.007)	0.039*** (0.006)	0.054*** (0.007)	0.025*** (0.008)	0.025** (0.010)
$\ln\text{Tech}$	-0.017*** (0.005)	-0.018*** (0.005)	-0.026*** (0.006)	-0.039*** (0.007)	-0.031*** (0.011)	-0.018 (0.013)
$\ln\text{Pop}$	-0.0003 (0.095)	-0.003 (0.004)	0.007 (0.008)	0.003 (0.092)	0.041** (0.017)	0.056*** (0.02)
$\ln\text{GDP}$	0.332*** (0.096)	0.354*** (0.097)	-0.451*** (0.154)	-0.664** (0.173)	-0.081 (0.151)	-0.148 (0.175)
$(\ln\text{GDP})^2$	-0.017*** (0.005)	-0.018*** (0.005)	0.023*** (0.008)	0.032** (0.008)	0.005 (0.007)	0.007 (0.008)
IS	-0.131** (0.053)	-0.142*** (0.053)	-0.259*** (0.074)	-0.351*** (0.083)	-0.153 (0.097)	-0.295*** (0.112)
EI	0.037 (0.043)	0.031 (0.044)	-0.038 (0.053)	-0.016 (0.059)	0.062* (0.032)	0.078** (0.037)
Gov	-0.600*** (0.099)	-0.600*** (0.100)	0.334*** (0.101)	0.662*** (0.110)	-0.082 (0.098)	0.055 (0.113)
常数项	-0.489 (0.482)	-2.111*** (0.502)	2.800*** (0.819)	5.521*** (0.906)	-0.033 (0.855)	2.980*** (0.972)
样本量	1 515	1 515	1 500	1 500	1 125	1 125
Wald test (p)	7 085.78 (0.000)	6 902.76 (0.000)	3 778.47 (0.000)	2 833.67 (0.000)	1 958.51 (0.000)	1 303.94 (0.000)
Hausman test (p)	855.87 (0.000)	10 600 (0.000)	1 642.59 (0.000)	1 046.80 (0.000)	2 145.51 (0.000)	918.68 (0.000)
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES

注:***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平,括号中数值为估计系数的标准误。

在表4的估计结果中,东、中、西部城市外商直接投资资本存量(lnFDI)都得到了为正且显著异于0的系数估计结果。在使用地理距离空间权重矩阵 W_1 的情况下,东部、中部、西部城市的外商直接投资存量每上升1%,其城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度则分别上涨0.036%、0.039%、0.025%。表明污染避风港假说在中国东部、中部与西部城市均成立,并且中部城市外商直接投资加剧雾霾污染的影响大于东部与西部城市。

技术水平(lnTech)的估计系数除了在列(6)西部城市基于地理与经济距离嵌套空间权重矩阵 W_3 的情况下不显著外,其余列都得到了显著为负的结果,说明技术水平的提升在东中西各个区域的城市都起到了缓解雾霾污染的作用。而在使用地理距离空间权重矩阵 W_1 的情况下,东部、中部、西部城市的技术水平每上升1%,其城市 $PM_{2.5}$ 年均浓度则相应下降0.017%、0.026%、0.031%。因此各个地区技术水平的提升均对雾霾污染有改善作用,并且呈现出由东部向中部,再向西部逐渐递增的效应。

(四) 中介效应

为了验证假说3,即研究FDI是否通过技术外溢效应缓解了我国的城市雾霾污染,本文参考了温忠麟和叶宝娟^[39]的方法,设计了如下的中介效应模型进行研究:

$$\ln PM_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln FDI_{it} + \beta_2 X_{it} + \xi_{it} \quad (6)$$

$$\ln tech_{it} = \theta_0 + \theta_1 \ln FDI_{it} + \theta_2 X_{it} + \psi_{it} \quad (7)$$

$$\ln PM_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln FDI_{it} + \gamma_2 \ln tech_{it} + \gamma_3 X_{it} + \tau_{it} \quad (8)$$

其中, X_{it} 为一组控制变量,与式(1)中设置相同, $\ln PM$ 、 $\ln FDI$ 以及 $\ln Tech$ 则分别为样本中各个城市的 $PM_{2.5}$ 年均浓度、外商直接投资资本存量以及技术水平。根据中介效应模型的原理,若系数 β_1 、 θ_1 、 γ_2 的估计结果均显著,且 γ_1 相较于 β_1 的系数估计结果变小,或者其显著性下降,则表明存在中介效应。表5报告了上述中介效应模型基于OLS的估计结果,根据Hausman检验的结果,对城市固定效应和时间固定效应进行了控制。

从表5的估计结果中可以看到,无论是否加入控制变量 X_{it} ,式(7)中外商直接投资存量(lnFDI)对于技术水平(lnTech)的估计系数 θ_1 至少通过了5%水平上的显著性检验。而在式(6)与式(8)的估计中, β_1 、 γ_2 的系数估计结果也都通过了显著性检验。并且式(8)中外商直接投资存量(lnFDI)对于 $PM_{2.5}$ 年均浓度(lnPM)的估计系数值 γ_1 相较于式(6)中相对应的估计系数值 β_1 有所下降。这表明城市技术水平在外商直接投资与雾霾污染之间的确起到了中介变量的作用:外商直接投资的进入先导致了我国城市技术水平的下降,这与马林和章凯栋^[40]的研究结果类似,表明外商直接投资实际上对我国的技术水平表现出负向的溢出效应,对国内的技术形成了“挤出”的现象,进一步在整体上削弱了技术水平提升对我国城市雾霾污染的缓解作用。这一结论证实了假说3,外商直接投资的引入将不利于我国自身技术水平的提升,从而加剧了城市雾霾污染。

(五) 门槛效应

为了验证假说4,探讨城市自身技术水平的提升能否削弱外商直接投资加剧雾霾污染的影响。因此本研究设计了如下式(9)所示的门槛效应模型:

$$\ln PM_{it} = \eta + \lambda_1 \ln FDI_{it} \times I(\ln Tech \leq \mu_1) + \lambda_2 \ln FDI_{it} \times I(\mu_1 < \ln Tech \leq \mu_2) + \dots + \lambda_n \ln FDI_{it} \times I(\mu_{n-1} < \ln Tech \leq \mu_n) + \lambda_{n+1} \ln FDI_{it} \times I(\ln Tech > \mu_n) + \varphi X_{it} + \omega_{it} \quad (9)$$

其中,被解释变量为雾霾污染(lnPM),核心解释变量为外商直接投资存量(lnFDI)。而各个城

市的技术水平($\ln\text{Tech}$)在其中将作为门槛变量。 X_{it} 为一组控制变量,与式(1)中的设置一致。另外, η 为常数项, $\lambda_1, \lambda_2 \cdots \lambda_n, \lambda_{n+1}$ 为在不同的城市技术门槛水平下外商直接投资存量对雾霾污染的阶段性影响, μ_i 则为特定门槛值, φ 为一组控制变量的估计结果, ω_{it} 则为该模型的随机扰动项。表6报告了通过自抽样法(Bootstrap)反复抽样500次对门槛效应的存在性以及具体门槛数量的检验结果。

表5 中介效应模型估计结果

变量	模型不加入控制变量			模型加入控制变量		
	LnPM	LnTech	LnPM	LnPM	LnTech	LnPM
lnFDI	0.052*** (0.005)	-0.029** (0.014)	0.050*** (0.005)	0.057*** (0.007)	-0.061*** (0.015)	0.054*** (0.005)
lnTech			-0.057*** (0.005)			-0.050*** (0.005)
lnPop				0.001 (0.006)	0.024 (0.019)	0.002 (0.006)
lnGDP				-0.162* (0.091)	1.191*** (0.007)	-0.102 (0.090)
(lnGDP) ²				0.006 (0.004)	-0.058*** (0.011)	0.003 (0.004)
IS				-0.372*** (0.054)	1.140*** (0.168)	-3.150*** (0.054)
EI				0.053** (0.026)	0.325*** (0.032)	0.070*** (0.026)
Gov				0.314*** (0.068)	-0.476** (0.210)	0.290*** (0.067)
常数项	3.027 (0.057)	4.770*** (0.177)	3.297*** (0.612)	4.086*** (0.464)	-1.564 (1.443)	4.007*** (0.458)
Hausman test (p)	8.27 (0.016)	530.74 (0.000)	50.22 (0.000)	200.89 (0.000)	522.94 (0.000)	269.07 (0.000)
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES

注:***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平,括号中数值为估计系数的标准误。

表6 技术水平门槛效应的检验结果

变量	F值	P值	门槛值	95%置信区间下限	95%置信区间上限
存在单一门槛	61.88***	0.000	6.155	6.122	6.163
存在双重门槛	47.23***	0.002	9.644	9.508	9.747
存在三重门槛	26.99	0.530	3.912	—	—

注:***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平,括号中数值为估计系数的标准误。

根据表6所得结果,可知门槛效应检验结果为双重门槛在1%的水平上显著,其门槛值分别为6.155以及9.644。因此进一步的,表7报告了相应的技术水平($\ln\text{Tech}$)的双重门槛效应的回归结果。

从表7的估计结果中可以看到,当技术水平($\ln\text{Tech}$)每越过一个门槛时,外商直接投资存量($\ln\text{FDI}$)对于雾霾污染($\ln\text{PM}$)的系数估计结果都会有所下降,这一结果也验证了假说4,即随着技术水平逐渐上升,外商直接投资对雾霾污染的加剧作用将会逐渐被削弱。其原因在于,国内各个城

市技术水平的提升,不仅促进了本地生产力的发展,也推动了生产方式向技术密集型转变,让城市经济发展逐渐摆脱了对高能耗、高污染外商直接投资的依赖,从而逐渐降低了外商直接投资对城市雾霾污染的负面影响。

表7 技术水平门槛效应的回归结果

变量	估计系数	置信区间
lnFDI(lnTech<6.155)	0.074 ^{***} (0.010)	[0.0544, 0.093]
lnFDI(6.155<lnTech≤9.644)	0.068 ^{***} (0.010)	[0.487, 0.088]
lnFDI(lnTech>9.644)	0.060 ^{***} (0.010)	[0.040, 0.081]
lnPop	0.025 ^{**} (0.010)	[0.004, 0.045]
lnGDP	-0.286 [*] (0.171)	[-0.286, 0.171]
(lnGDP) ²	0.007 (0.008)	[-0.009, 0.232]
IS	0.824 ^{***} (0.096)	[0.636, 1.013]
EI	0.109 [*] (0.063)	[-0.015, 0.232]
Gov	0.265 [*] (0.158)	[-0.046, 0.577]
常数项	4.316 ^{***} (0.816)	[2.710, 5.922]
F test	48.23	
(p)	(0.000)	

注:***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平,括号中数值为估计系数的标准误。

四、稳健性检验

基于式(2)所示动态空间计量经济学模型,本文通过三种策略对实证分析结果进行稳健性检验。一是用各城市工业废水排放量作为被解释变量,重新进行回归分析。二是将主要解释变量外商直接投资资本存量替换为新增外商直接投资流量,即各城市对应年份实际使用外资金额(lnFDI_flow)。三是用将衡量城市技术水平的每年专利授权数量,替换为每年各个城市的专利申请数量(lnTech_apply)。其估计方法仍然沿用基于地理距离空间权重矩阵 W_1 和地理与经济距离嵌套权重矩阵 W_3 的GS2SLS方法进行估计,结果如表8所示。

表 8 稳健性检验

变量	以工业废水排放量 作为解释变量		以 FDI 流量 作为解释变量		以城市专利申请数量 作为解释变量	
	W_1	W_3	W_1	W_3	W_1	W_3
$W\ln PM$	2.550*** (0.300)	0.148* (0.079)	2.266*** (0.105)	0.130*** (0.044)	2.141*** (0.105)	0.133*** (0.044)
$\ln PM_{i,t-1}$	0.237*** (0.015)	0.242*** (0.016)	0.151*** (0.014)	0.225*** (0.016)	0.137*** (0.014)	0.202*** (0.016)
$\ln FDI$	0.028 (0.023)	0.044* (0.024)			0.039*** (0.004)	0.046*** (0.005)
$\ln FDI_flow$			0.010** (0.002)	0.007*** (0.002)		
$\ln Tech$	-0.019 (0.025)	-0.022 (0.026)	-0.034*** (0.004)	-0.043*** (0.005)		
$\ln Tech_apply$					-0.030*** (0.004)	-0.041*** (0.005)
$\ln Pop$	0.071** (0.029)	0.078** (0.03)	0.004 (0.005)	0.005 (0.006)	0.003 (0.005)	0.003 (0.006)
$\ln GDP$	-0.113 (0.432)	-0.159 (0.455)	-0.069*** (0.074)	0.142* (0.085)	-0.057 (0.077)	-0.023 (0.088)
$(\ln GDP)^2$	0.003 (0.025)	0.005 (0.021)	0.004*** (0.003)	-0.007* (0.004)	0.001 (0.004)	-0.0004 (0.004)
IS	0.060 (0.257)	-0.241 (0.277)	-0.147*** (0.045)	-0.294*** (0.052)	-0.124*** (0.047)	-0.260*** (0.527)
EI	0.162 (0.126)	0.185 (0.132)	0.046* (0.022)	0.056** (0.026)	0.043* (0.022)	0.053** (0.132)
Gov	-0.972*** (0.221)	-0.779** (0.34)	0.082*** (0.058)	0.223*** (0.066)	0.798 (0.043)	-0.220*** (0.065)
常数项	-1.747 (2.429)	6.166*** (2.346)	0.325*** (0.408)	2.196*** (0.452)	0.241 (0.418)	2.724*** (2.346)
Wald test (p)	1 250.36 (0.000)	1 071.82 (0.000)	7 555.67 (0.000)	5 328.01 (0.000)	7 643.54 (0.000)	1 072.23 (0.000)
Hausman test (p)	2 579.91 (0.000)	1 636.48 (0.000)	9 182.17 (0.000)	2 363.82 (0.000)	5 066.21 (0.000)	2 519.44 (0.000)
时间固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES
城市固定效应	YES	YES	YES	YES	YES	YES

注:***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平,括号中数值为估计系数的标准误。

由表 8 中可以看到,外商直接投资与技术水平的指标与污染指标的估计结果依旧分别为正和负,且除第一列外都通过了至少 1%水平的显著性检验,说明本研究的主要结论是稳健的,即外商直接投资加剧了现阶段我国的雾霾污染,而技术水平的提升将有利于改善我国雾霾污染。

五、结论与政策启示

本文以 2004 年至 2018 年 276 个中国城市的面板数据为研究样本,使用 GS2SLS 估计和光学卫星空间遥感获得的雾霾污染数据,对我国城市外商直接投资、技术水平与雾霾污染之间的关系

进行了研究,并得出如下主要结论:(1)我国城市外商直接投资水平与雾霾污染之间呈现出显著的正相关关系,这表明外商直接投资加剧了我国城市的雾霾污染,支持污染避风港假说。(2)城市技术水平与雾霾污染之间呈现出显著的负相关关系,表明城市技术水平的提升将会对雾霾污染起到显著的缓解作用。(3)中介效应模型的估计结果表明,现阶段外商直接投资表现出对我国技术的负向溢出效应,并进一步导致了我国雾霾污染的加剧。(4)门槛效应模型的估计结果表明,城市技术水平对外商直接投资与雾霾污染之间的关系中呈现出双重门槛效应,且技术水平每越过一道更高的门槛,外商直接投资对于雾霾污染加剧作用都将有所下降。(5)动态空间面板模型的估计结果表明,我国城市雾霾污染表现出在时间维度上的正向“叠加效应”和空间维度上的正向“溢出效应”。

基于以上研究结论,本文提出如下政策启示。

第一,基于保护生态环境的目的,国家应对外商直接投资制定严格的准入标准,综合经济、环境等多方面的考虑对外资项目的质量优劣进行合理判断,设定有效的外商投资项目环境准入门槛和负面清单,将大气污染指标纳入外商直接投资评价体系之中,从而从严管控污染型外资流入。同时,也应压实地方政府吸引外资行为的主体责任,将环保责任落实到地方政府招商引资、产业规划等经济发展工作之中,并在官员晋升考核体系中纳入“环境考核”的制度激励机制,从而防止地方政府之间为争取外资流入而产生忽视生态环境保护的“逐底竞争”行为。

第二,国家应当继续加强在技术研发领域的投入,以技术进步破解雾霾污染难题。一方面在财政资金上给予科研技术部门大力支持,鼓励生产技术和污染防治技术创新,在推动全要素生产率提升和生产力进步的同时,减少各类环境污染物排放。另一方面通过税收优惠政策对企业的技术创新进行正向激励,并辅以严格的环境法规和制度安排来提高企业污染排放的内部经济成本,从而促使企业进行生产技术革新,使生产方式由“高能耗高污染”向“绿色低碳”转变,从而实现减排治污的目的。

第三,积极引进拥有高端前沿技术的外资企业,推动本土企业与外资企业相互协作,进行技术上的学习和交流。与此同时,政府应通过各种服务企业的政策措施,支持本土企业与外资企业进行技术上的良性竞争,打破外资企业的行业技术垄断,提升中国企业对国外先进技术的学习消化能力,从而达到以吸引外资企业为手段提升行业整体技术水平的目的,并进一步发挥技术进步对我国城市雾霾污染的改善作用。

第四,雾霾污染时间维度上正向的“叠加效应”表明我国雾霾污染治理已经刻不容缓,需要各级政府高度重视,严格落实环境监管和污染治理工作,彻底扭转我国生态环境不断恶化的趋势。雾霾污染空间维度上正向的“溢出效应”说明雾霾污染问题并非各个城市的“自家门前雪”,治霾不可单打独斗,各个城市应当积极谋求合作,统一制定严格的空气污染治理政策,才能共同推进我国环境友好型经济发展。

参考文献:

- [1] 姚树洁,冯根福,韦开蕾. 外商直接投资和经济增长的关系研究[J]. 经济研究, 2006(12): 35-46.
- [2] COPELAND B R, TAYLOR M S. North-south trade and the environment[J]. Quarterly Journal of Economics, 1994, 109(3): 755-787.
- [3] BIRDSALL N, WHEELER D. Trade policy and industrial pollution in Latin America: Where are the pollution havens?[J]. Journal of Environment & Development, 1993, 2(1): 137-149.

- [4] 陈凌佳. FDI 环境效应的新检验: 基于中国 112 座重点城市的面板数据研究[J]. 世界经济研究, 2008(9): 54-59, 88.
- [5] 卢进勇, 杨杰, 邵海燕. 外商直接投资、人力资本与中国环境污染: 基于 249 个城市数据的分位数回归分析[J]. 国际贸易问题, 2014(4): 118-125.
- [6] HE J. Pollution haven hypothesis and environmental impacts of foreign direct investment: The case of industrial emission of sulfur dioxide (SO_2) in Chinese provinces[J]. *Ecological Economics*, 2006, 60(1): 228-245.
- [7] 马天毅, 马野青, 张二震. 外商直接投资与我国技术创新能力[J]. 世界经济研究, 2006(7): 4-8, 83.
- [8] COLE M A. Trade, the pollution haven hypothesis and the environmental Kuznets curve: Examining the linkages[J]. *Ecological Economics*, 2004, 48(1): 71-81.
- [9] WAGNER U J, TIMMINS C D. Agglomeration effects in foreign direct investment and the pollution haven hypothesis[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2009, 43(2): 231-256.
- [10] 张磊, 韩雷, 叶金珍. 外商直接投资与雾霾污染: 一个跨国经验研究[J]. 经济评论, 2018(6): 69-85.
- [11] REPPELIN-HILL V. Trade and environment: An empirical analysis of the technology effect in the steel industry[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 1999, 38(3): 283-301.
- [12] ESKELAND G S, HARRISON A E. Moving to greener pastures? Multinationals and the pollution haven hypothesis[J]. *Journal of Development Economics*, 2003, 70(1): 1-23.
- [13] ANTWEILER W, COPELAND B R, TAYLOR M S. Is free trade good for the environment?[J]. *American Economic Review*, 2001, 91(4): 877-908.
- [14] 杨子暉, 田磊. “污染天堂”假说与影响因素的中国省际研究[J]. 世界经济, 2017(5): 148-172.
- [15] 严雅雪, 齐绍洲. 外商直接投资与中国雾霾污染[J]. 统计研究, 2017(5): 69-81.
- [16] 许和连, 邓玉萍. 外商直接投资导致了中国的空气污染吗: 基于中国省际面板数据的空间计量研究[J]. 管理世界, 2012(2): 30-43.
- [17] EHRLICH P R, HOLDREN J P. Impact of population growth[J]. *Science*, 1971, 171(3977): 1212-1217.
- [18] DIETZ T, ROSA E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence and technology[J]. *Human Ecology Review*, 1994, 1: 277-300.
- [19] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界, 2009(4): 27-36.
- [20] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Economic growth and the environment[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [21] STOKEY N L. Are there limits to growth?[J]. *International Economic Review*, 1998, 39(1): 1-31.
- [22] 魏巍贤, 杨芳. 技术进步对中国二氧化碳排放的影响[J]. 统计研究, 2010(7): 36-44.
- [23] 程中华, 刘军, 李廉水. 产业结构调整与技术进步对雾霾减排的影响效应研究[J]. 中国软科学, 2019(1): 146-154.
- [24] 申萌, 李凯杰, 曲如晓. 技术进步、经济增长与二氧化碳排放: 理论和经验研究[J]. 世界经济, 2012(7): 83-100.
- [25] 金培振, 张亚斌, 彭星. 技术进步在二氧化碳减排中的双刃效应: 基于中国工业 35 个行业的经验证据[J]. 科学学研究, 2014(5): 706-716.
- [26] GROSSMAN G M, KRUEGER A B. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement [R]. CEPR Discussion Papers, 1992, 8(2): 223-250.
- [27] 盛斌, 吕越. 外国直接投资对中国环境的影响: 来自工业行业面板数据的实证研究[J]. 中国社会科学, 2012(5): 54-75, 205-206.
- [28] 刘星, 赵红, 张茜. 外商直接投资对中国服务业技术进步影响的实证研究[J]. 重庆大学学报(社会科学版), 2007(1): 18-21.
- [29] 陈国宏, 郭骏. 我国 FDI、知识产权保护与自主创新能力关系实证研究[J]. 中国工业经济, 2008(4): 25-33.
- [30] 蒋殿春, 夏良科. 外商直接投资对中国高技术产业技术创新作用的经验分析[J]. 世界经济, 2005(8): 3-10, 80.
- [31] 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.
- [32] 严雅雪, 齐绍洲. 外商直接投资对中国城市雾霾($\text{PM}_{2.5}$)污染的时空效应检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2017(4): 68-77.
- [33] CASE A C, ROSEN H S, HINES J R Jr. Budget spillovers and fiscal policy interdependence: Evidence from the states[J]. *Journal of Public Economics*, 1993, 52(3): 285-307.
- [34] 杨涛. 环境规制对中国 FDI 影响的实证分析[J]. 世界经济研究, 2003(5): 65-68.
- [35] 张成, 陆昉, 郭路, 等. 环境规制强度和生产技术进步[J]. 经济研究, 2011(2): 113-124.
- [36] SHEHATA E A E. GS2SLS: Stata module to estimate generalize spatial two stage least squares cross sections regression [EB/OL]. (2012-12-21) [2020-12-02]. <https://ideas.repec.org/c/boc/bocode/s457472.html>.

- [37] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000[J]. 经济研究, 2004(10): 35-44.
- [38] 沈能, 刘凤朝. 高强度的环境规制真能促进技术创新吗: 基于“波特假说”的再检验[J]. 中国软科学, 2012(4): 49-59.
- [39] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014(5): 731-745.
- [40] 马林, 章凯栋. 外商直接投资对中国技术溢出的分类检验研究[J]. 世界经济, 2008(7): 78-87.

Analysis of foreign direct investment, technology level and haze pollution: Based on the dynamic spatial panel model of 276 Chinese cities

WANG Feng, HE Jingze, SHI Dongjie

(School of Economics and Business Administration,
Chongqing University, Chongqing 400044, P. R. China)

Abstract: In the theory of environmental economics, the Pollution Haven Hypothesis believes that the introduction of foreign capital will bring negative effect on the ecological environment of host countries, especially in developing country. Meanwhile, the problem of haze pollution in Chinese cities has become more serious in the process of economic development, and many of them have a high level of foreign investment utilization. In order to explore the impact of the introduction of foreign capital on China's ecological environment, based on the Generalized Spatial Two Stage Least Squares (GS2SLS) method and data of urban $PM_{2.5}$ concentration from optical satellite monitoring to measure, this paper analyzes the relationship between the capital stock of foreign direct investment, technology level and haze pollution in 276 Chinese cities during 2004-2018. The results indicate that there is a significant positive correlation between the capital stock of foreign direct investment and haze pollution, and the technical level is negatively correlated with haze pollution. After controlling the endogeneity problem, the regression results show that: An increase of 1% in the stock of foreign direct investment will increase the annual $PM_{2.5}$ concentration by 0.045%, while an increase of 1% in the number of patents granted will decrease the annual $PM_{2.5}$ concentration by 0.041%, foreign direct investment in central cities causes more haze pollution than that in eastern and western cities, while the improvement of technological level in western cities reduces more haze pollution than that in eastern and central cities. In addition, there are spatial spillover effects and temporal superposition effects of haze pollution in Chinese cities, which means haze pollution can transfer among cities and tends to get progressively worse. Further research results based on the mediating effect model show that the entry of foreign direct investment will have a negative spillover effect on domestic technology level, restrict the development of urban technology, which further leads to the aggravation of haze pollution. The results of threshold model show that every time the technology level of cities crosses a higher threshold, the impact of foreign direct investment on haze pollution will be reduced. Therefore, the state should set strict access standards for foreign direct investment and strictly control the inflow of polluting foreign investment. At the same time, investment in technology research should be strengthened, and cooperation between local enterprises and foreign-funded enterprises should be actively promoted, so as to improve the learning ability of Chinese enterprises to foreign advanced technologies, so as to better play the role of technological progress in the improvement of China's haze pollution. So that technological progress can play a more important role in the mitigation of haze pollution in China.

Key words: foreign direct investment; technology level; haze pollution; spatial econometric; generalized spatial two stage least squares

(责任编辑 傅旭东)