

Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2020.11.006

欢迎按以下格式引用:王振华,孙学涛,景再方.交通可达性与空气污染:效应识别与机制检验[J].重庆大学学报(社会科学版),2022(4):13-27. Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2020.11.006.



Citation Format: WANG Zhenhua, SUN Xuetao, JING Zaifang. Traffic accessibility and air pollution: Effect identification and mechanism testing [J], 2022(4):13-27. Journal of Chongqing University (Social Science Edition), Doi:10.11835/j.issn.1008-5831.jg.2020.11.006.

# 交通可达性与空气污染: 效应识别与机制检验

王振华<sup>1</sup>, 孙学涛<sup>2</sup>, 景再方<sup>1</sup>

(1. 沈阳农业大学 经济管理学院, 辽宁 沈阳 110866; 2. 山东社会科学院 农村发展研究所, 山东 济南 250002)

**摘要:**中国雾霾污染呈现出发生频率高、影响范围广、治理难度大的特点,其发生原因及治理路径是政府和学者关注的热点问题。雾霾的产生会受到人类社会经济活动的影响,而近年来中国以高速铁路建设为代表的交通基础设施建设促进了城市间交通可达性的快速提升,有文献开始讨论高铁建设及交通可达性提升对经济产出、产业结构等经济发展的影响,但限于数据的可得性,未见文献讨论高铁及城市间交通可达性对雾霾污染的影响。研究将交通可达性纳入环境经济学的分析框架,首先从要素配置效应、产业升级效应、产业集聚效应三个方面提出交通可达性影响雾霾污染的理论假说,并基于环境库兹涅茨曲线理论框架构建空间计量模型,计算城市间的公路、普通铁路及高速铁路出行的最短交通时间作为交通可达性的量化方法,利用中国大陆283个地级城市MODIS及MISR中PM<sub>2.5</sub>浓度的栅格数据,对城市间的交通可达性及城市雾霾污染指标进行空间相关关系检验,检验交通可达性对雾霾污染的影响,讨论模型的内生性及异质性,并进一步分析交通可达性对雾霾污染的作用机制。研究发现城市间的雾霾污染存在显著的空间溢出效应,经济发展与雾霾污染间存在倒“U”型关系,证实了环境库兹涅茨曲线;经验结论也证实交通可达性会显著降低城市雾霾污染,这一结论在中东部城市更为显著;以滞后一期的城市高等学校数量为工具变量,发现上述结论仍然稳健;交通可达性对雾霾的影响中,在短期内可能会有降低或增长雾霾污染的异质性影响,但是从长期看,交通可达性提升有助于降低城市经济间的交通成本和摩擦力,促进经济增长和效率提升,进而降低雾霾污染;交通可达性提升对城市雾霾污染的影响主要通过要素配置效应、产业升级及集聚效应来体现,具体而言,交通可达性提升会通过要素配置效应降低城市雾霾污染,会通过产业升级及集聚效应增加城市雾霾污染。研究认为在处理雾霾污染的过

基金项目:辽宁省社会科学规划基金项目“辽宁省县域经济高质量发展研究”(L19BJY040)

作者简介:王振华,沈阳农业大学经济管理学院副教授,博士,Email: huagewzhzh@163.com;孙学涛,山东社会科学院农村经济发展研究所助理研究员,博士。

通信作者:景再方,沈阳农业大学经济管理学院教授,博士。

程中,有效的措施包括:通过优化交通基础设施建设等手段,降低要素、技术、产品、产业等在城市间的流动成本,促进资源优化配置和产品市场共享;针对雾霾污染的空间相关性,构建雾霾防治的城市间联动机制。

**关键词:**交通可达性;PM<sub>2.5</sub>;高等学校数量;库兹涅茨曲线;SARAR 模型

**中图分类号:**F726.9;X513

**文献标志码:**A

**文章编号:**1008-5831(2022)04-0013-15

## 引言

雾霾污染是政府和社会公众高度关注的问题,中国雾霾污染呈现出发生频率高、影响范围广、治理难度大的特点<sup>[1-2]</sup>。雾霾的产生是特定气候条件与人类社会经济活动综合作用的结果。经济生产活动必然会排放大量细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>),当其排放量超过自然循环承载力时,受静稳天气的影响,就会出现雾霾天气<sup>[3]</sup>。雾霾污染带来了严重的经济后果,且这种影响越来越大<sup>[4]</sup>。以北京为例,雾霾污染带来的人均健康成本从2003年的211.86元增加到2013年的526.51元<sup>[5]</sup>。近年来,中国经济发展的一个重大背景就是城市间交通基础设施建设不断完善。以高速铁路建设为代表的交通基础设施建设促进了城市间交通可达性的快速提升<sup>[6-7]</sup>。交通可达性是指各交通节点相互作用机会的大小,具体是指利用交通系统,从某一给定区位到达活动地点的便利程度<sup>[7-8]</sup>。有文献开始讨论高铁建设及交通可达性提升对经济产出、产业结构等经济发展的影响<sup>[6,9-10]</sup>,但限于数据的可得性,未见文献讨论高铁及城市间交通可达性对雾霾污染的影响。本文尝试作出的贡献是,采用2005—2012年全国283个城市MODIS及MISR中PM<sub>2.5</sub>浓度栅格数据,建立空间计量模型分析城市间交通可达性与雾霾污染的关系。初步的观点是:城市间交通可达性的提升会促进城市间要素和产业优化配置,提高经济增长效率,降低雾霾污染。

## 一、文献综述与理论分析

关于中国城市雾霾污染的相关研究早期主要集中于自然科学领域及资源与环境领域,关注的问题包括雾霾产生的自然机理、污染源等<sup>[2,11-12]</sup>。随着城市雾霾数据的逐步丰富,部分学者开始从经济学的角度分析影响城市雾霾污染的经济成因及其解释因素。从经验上看,美国、欧洲、日本等在20世纪的工业化过程中都曾经出现过严重的雾霾污染<sup>[13]</sup>。上升为一般规律,雾霾污染是经济体在工业化发展时期普遍存在的问题,属于特定发展阶段的共性问题:随着经济的不断发展,环境污染会越来越严重,但随着产业结构的升级及经济的进一步发展,环境污染会逐步降低,这被称之为环境库兹涅茨曲线,即环境污染与经济发展间存在倒“U”型关系<sup>[14-16]</sup>。因此,快速跨过环境库兹涅茨曲线拐点是解决中国雾霾污染的关键。此外,城镇化发展、产业集聚、产业结构水平、外商直接投资、能源强度、政治性蓝天等因素也相继被学者们证实会影响雾霾污染<sup>[2,12,16-19]</sup>。

近年来,中国经济发展的一个大背景是高铁、公路等交通基础设施建设带来的城市间交通可达性的快速提升<sup>[6-7]</sup>,学者们开始关注交通可达性提升带来的经济后果,但相关研究主要集中在经济发展、空间布局、产业升级等方面<sup>[6,7,9-10]</sup>,并未关注其对资源与环境的影响。交通可达性是一个空间变量,而雾霾污染也具有空间属性<sup>[20-21]</sup>,因此二者间是否具有因果关系是一个有趣的问题。在空间维度上,区域间的雾霾具有相关关系,这种相关关系表现为空间溢出效应<sup>[20-21]</sup>,原因有二:一是自

然因素,二是经济因素。一方面,在雾霾的生成过程中,静稳天气对雾霾有重要影响,相近区域间的天气状态类似,会有助于促进邻近区域同时产生雾霾。在雾霾产生后,风力会促使雾霾在区域间不断迁移和流动,影响邻近区域的雾霾污染情况<sup>[3]</sup>。另一方面,受经济生产活动的影响,邻近区域间雾霾污染会存在空间相关性。相邻城市间的要素禀赋、经济发展水平、产业结构水平等变量相近,这可能导致雾霾污染产生的概率及数量接近<sup>[21-22]</sup>。而区域经济体间的动态要素禀赋变化、产业结构水平及经济增长绩效等变量都会受交通可达性的影响,即区域经济体间在空间维度上的经济交流要依赖交通基础设施,交通可达性会影响区域间的经济交流程度<sup>[23-24]</sup>。因此,交通基础设施及由此决定的城市间交通便利性可能会影响雾霾污染的空间表现。从理论上讲,交通可达性对雾霾污染的影响可能主要是通过促进要素、技术、产品、产业等在区域和城市间的流动而发生作用。即交通可达性提升会缩短流动时间、降低流动成本和摩擦力,进而优化要素、技术、产业等在空间上的布局,提升经济发展质量和效率,降低雾霾污染(图1)。

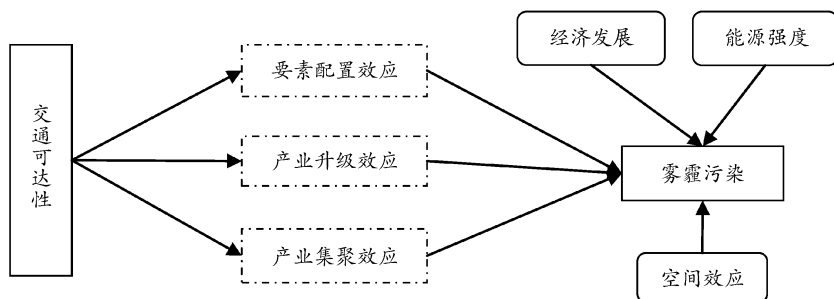


图1 交通可达性对雾霾污染的影响机制

具体而言,本文认为交通可达性可以通过三个方面影响城市雾霾污染。

一是交通可达性提升带来的要素配置效应。在初始的静态均衡状态下,由于空间等维度上摩擦力的存在,不同城市间的要素回报不一致。考虑两个城市,生产要素在A城市的回报 $R_p$ 低于该要素在B城市的回报 $R_c$ ,假定要素在城市间的流动成本为 $C_M$ ,因此要素在A、B城市间的流动净回报为 $R_c - R_p - C_M$ 。当要素在A、B城市间的回报差异值 $R_c - R_p$ 大于流动成本 $C_M$ 时,要素会流动,实现优化配置;当要素在A、B城市间的回报差异值 $R_c - R_p$ 等于或小于流动成本 $C_M$ 时,要素便不会流动。交通可达性变化会使要素流动成本 $C_M$ 下降,导致净回报 $R_c - R_p - C_M$ 会上升,更多的优质要素会流向B城市,实现要素优化配置。要素的优化配置可以促进技术效率提升,也有利于城市经济发展跨越环境库兹涅茨曲线的拐点,会降低雾霾污染

二是交通可达性提升带来的产业升级效应。产业结构与雾霾污染间的关系在理论上呈倒“U”型,符合库兹涅茨曲线,即在产业结构升级初级阶段,随着工业化比重的增加,会加剧雾霾污染;而产业结构的进一步升级,尤其是高级服务业占比的上升,会降低雾霾污染。在产业结构升级过程中,交通可达性会起到促进作用。随着城市可达性的提高,产业转移的成本下降。对产业外移的城市而言,有助于淘汰落后产业,提升产业结构水平;对于承接外移产业的城市而言,虽然承接的不是高端制造业和服务业,但相对比其自身产业而言,也会提升其产业结构水平。交通可达性提升对雾霾污染的产业升级效应取决于城市的产业结构水平:在初期,交通可达性可以通过促进产业结构升级增加雾霾污染,随着产业结构的进一步升级,交通可达性提升带来的产业结构升级效应有助于降低雾霾污染水平。

三是交通可达性提升带来的产业集聚效应。有研究指出产业集聚会加剧雾霾污染,原因在于集聚会扩大单位面积内的经济活动密度和污染排放密度,排放的污染物会有更大概率超过自然的承载力度,加上静稳天气的作用,便会加剧雾霾污染<sup>[17]</sup>。通常,同一产业的生产要素会尝试在特定空间内集聚,以获得规模效应,进而实现利润最大化。在初始阶段,交通可达性提升会打破集聚的原始均衡,促进集聚水平提升。集聚规模的增加会扩大经济活动的雾霾等污染排放,因此交通可达性会通过产业集聚效应增加雾霾排放。当然,随着集聚经济的规模效应逐步下降直至为负值时,交通可达性提升便不再增加集聚规模,不会通过此条路径影响雾霾污染。有文献发现,集聚对污染的影响也可能为负,原因在于集聚会加快技术创新的溢出,有利于改善环境质量,这与经济发展阶段相关。综上,本文认为交通可达性带来的产业集聚效应对雾霾污染的影响在初始阶段应该会增加污染,随后的影响可能会逐步降低或不显著。

## 二、模型与数据

### (一) 模型设定

分析经济体环境污染的相关计量建模大都基于环境库兹涅茨曲线(EKC)<sup>[14-15]</sup>。在工业化发展初期,随着资源使用量的增加以及政府追求经济产出增长、环保意识及监督不强,雾霾等环境污染会上升,但随着产业结构的进一步升级、技术水平的提升及环保意识和监督力度增强,能耗水平下降,环境会逐步改善,这被学者们归纳为环境库兹涅茨曲线。环境库兹涅茨曲线揭示了经济发展水平与雾霾污染的关系。因此,本文对环境库兹涅茨曲线进行扩展,在经济发展水平一次项及二次项的基础上,加入交通可达性指标作为核心解释变量,分析其对雾霾污染的影响。

已有文献证实了不同区域间的雾霾污染存在空间上的相关关系,采用传统计量模型会由于误差项的空间相关造成估计结果的不可信<sup>[20-21,25]</sup>,因此本文将采用空间计量模型检验交通可达性对雾霾污染的影响。空间计量模型有多种形式,文献中主要采用空间误差模型(SEM)、空间滞后模型(也可称为空间自回归模型,SAR),及同时考虑空间误差项和空间滞后项的模型,即带空间滞后误差项的空间滞后模型(SARAR)。本文选择SARAR模型进行基准的回归分析,同时给出空间误差模型及空间滞后模型的估计结果进行对比。SARAR模型的具体形式为:

$$\text{Haze} = \rho \mathbf{W} \mathbf{Y} + \mathbf{X} \boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\mu} = \lambda \mathbf{W} \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (1)$$

式(1)中:Haze为雾霾污染,作为被解释变量; $\mathbf{X}$ 为模型中的一系列自变量,包括经济发展一次项、二次项、交通可达性及其他变量等; $\mathbf{W}$ 为空间权重矩阵,本文选择地理距离空间权重矩阵; $\boldsymbol{\beta}$ 为估计系数, $\boldsymbol{\varepsilon}$ 则为随机扰动项, $\boldsymbol{\varepsilon} \sim N(0, \sigma^2 \mathbf{I}_n)$ ;  $\lambda$ 是残差自回归系数, $\rho$ 是空间滞后系数。

将式(1)按照环境库兹涅茨曲线(EKC)进行拓展:

$$\text{Haze}_{it} = A_{0t} + \alpha_1 \text{gdpper}_{it} + \alpha_2 \text{gdpper}_{it}^2 + \alpha_3 \text{acc}_{it} + \dots + \mu_{it}, \boldsymbol{\mu} = \lambda \mathbf{W} \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2)$$

式(2)中: $i$ 代表样本城市, $t$ 代表时间项,具体为年份,gdpper代表经济发展一次项,gdpper<sup>2</sup>为经济发展水平的二次项,acc代表交通可达性。

本研究加入的控制变量包括:能源强度指标<sup>[26]</sup>、绿地覆盖率<sup>[27]</sup>、财政预算收入与政府规模指标<sup>[28]</sup>、城镇化发展水平<sup>[23]</sup>,以及产业结构指标、产业集聚指标、消费水平、信息化水平、金融发展水平等<sup>[12,26]</sup>。

最终,本文的SARAR模型形式为:

$$\begin{aligned} \text{Haze}_{it} = & A_{0t} + \alpha_1 \text{gdpper}_{it} + \alpha_2 \text{gdpper}_{it}^2 + \alpha_3 \text{acc}_{it} + \alpha_4 \text{energy}_{it} + \alpha_5 \text{greenland}_{it} + \\ & \alpha_6 \text{fininc}_{it} + \alpha_7 \text{finical}_{it} + \alpha_8 \text{consum}_{it} + \alpha_9 \text{gov}_{it} + \alpha_{10} \text{urb}_{it} + \alpha_{11} \text{strup}_{it} + \alpha_{12} \text{strra}_{it} + \\ & \alpha_{13} \text{infor}_{it} + \alpha_{14} \text{indagg}_{it} + \alpha_{15} \text{seragg}_{it} + \mu_{it}, \mu = \lambda W\mu + \varepsilon \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中:energy代表能源强度指标;greenland代表绿地覆盖率指标;fininc代表财政预算收入水平;consum代表消费水平;gov为政府财政支出占比;finical代表金融发展水平;strup为产业结构高级化指标;strra为产业结构合理化指标;urb代表城镇化发展水平;infor代表信息化发展水平;indagg为制造业集聚水平;seragg为服务业集聚水平。

## (二) 数据来源

本文研究对象为中国大陆地级及以上的城市。在2015年,中国大陆地级及以上城市总量为295个(包括4个直辖市、15个副省级城市等),本研究删除了行政单位发生过变更的地级城市(如巢湖市等)和数据缺失的城市(如拉萨市、中卫市、陇南市等);另外,考虑到交通可达性的量化方法,也删除了海南省的海口市和三亚市,最终获得了2005—2012年283个城市的均衡面板数据。

本文的数据来源于以下三个方面。

一是雾霾数据。本文的雾霾数据来自于美国哥伦比亚大学国际地球科学信息网路中心(CIESIN),该数据中心依托社会经济数据和应用中心(SEDAC)公布卫星搭载的中分辨率成像光谱仪(MODIS)和多角度成像光谱仪(MISR)测算得到气溶胶光学厚度图像,可被转换得到PM<sub>2.5</sub>浓度的栅格数据。本文采用ArcGIS软件将此数据解析为中国大陆地级及以上城市PM<sub>2.5</sub>浓度数据。该数据为连续3年数据的移动平均值。

二是交通可达性数据。文献中交通可达性的量化方法包括时间可达性和空间可达性两种。由于空间距离在时间维度上变化较小,在面板数据模型中不宜采用,因此本文采用时间可达性<sup>[8,10]</sup>。本研究借鉴丁如曦和倪鹏飞<sup>[10]</sup>的研究,计算城市间的公路、普通铁路及高速铁路出行的最短交通时间。具体方法是按照《全国铁路旅行时刻表》,对应中国高铁开通线路及城市,逐个搜集各城市与北上广深4个城市间的最短出行时间作为最短交通时间。对于未开通高铁的城市,进一步计算对比公路与普通铁路的最短交通时间,计算方法是采用交通运营里程除以运行时速。公路运行时速采用60公里/小时,铁路时速采用丁如曦和倪鹏飞<sup>[10]</sup>的标准,即140公里/小时。最短交通时间与交通可达性为负向指标,因此在进行检验分析的过程中取倒数。

三是其他的城市经济相关变量。原始数据主要来源于对应年份《中国城市统计年鉴》《中国区域经济统计年鉴》的整理和测算,各价格平减指数数据来源于对应年份和省份的省市统计年鉴。

另外,需要特别交代产业结构高级化、产业结构合理化及产业集聚指标的量化方法。

产业结构高级化指标的计算公式为:

$$\text{strup}_t = \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^3 \theta_{jt} = \theta_{1t} + 2\theta_{2t} + 3\theta_{3t} \quad (4)$$

式(4)中,t为时间趋势项, $\theta_{jt}$ 代表t时期j产业产值占地区生产总值之比。

产业结构合理化指标的计算公式为:

$$\text{strra}_t = \sum_{h=1}^3 \left( \frac{\text{GDP}_h}{\text{GDP}} \right) \ln \left( \frac{\text{GDP}_h}{L_h} / \frac{\text{GDP}}{L} \right) \quad (5)$$

式(5)中,GDP<sub>h</sub>表示第h产业产值;L表示劳动力要素数量;L<sub>h</sub>表示第h产业从业人员数量。

产业集聚指标的量化方法采用区位熵指数进行,具体的数据处理和测度过程借鉴程中华和于斌斌<sup>[29]</sup>的研究。

其他变量量化方法为:经济发展水平变量采用人均GDP量化,经济发展水平二次项为人均GDP平方;能源强度指标采用单位工业用电量的GDP产出量化(万元/万千瓦时);绿地覆盖率的量化方法是建成区绿化覆盖率(%);财政预算收入的量化采用地方财政一般预算内收入(万元);城市消费水平指标则采用人均社会消费品零售总额量化(万元/人);财政支出占比的量化方法是采用地方财政一般预算内支出占GDP比重(%);金融发展指标为年末金融机构各项贷款余额占GDP比重(%);城镇化发展水平指标的量化采用城镇化率指标;信息化发展水平指标的量化方法是国际互联网用户数量化(户)。在处理过程中,所有的物质资本变量都取对数值。

### (三) 中国城市间交通可达性描述统计及雾霾污染变动

从数据的描述统计看(表1),在2005—2012年间,中国大陆各城市到北京、上海、广州、深圳间的最短旅行时间平均值从8.677小时逐步下降至2012年的5.956小时,交通可达性不断提升;各样本城市PM2.5均值在2008年前一直保持上升趋势,2008年后开始逐步下降,这与中国经济整体波动有显著的相关性。

表1 中国城市间交通可达性及PM2.5描述

| 年份   | 各城市到北上广深最短出行时间 |       |       | 各城市PM2.5 |        |        |
|------|----------------|-------|-------|----------|--------|--------|
|      | 样本量            | 均值    | 标准差   | 样本量      | 均值     | 标准差    |
| 2005 | 283            | 8.677 | 5.663 | 283      | 43.729 | 20.892 |
| 2006 | 283            | 7.231 | 4.719 | 283      | 45.872 | 21.962 |
| 2007 | 283            | 6.198 | 4.045 | 283      | 49.485 | 24.712 |
| 2008 | 283            | 6.191 | 4.048 | 283      | 49.722 | 24.639 |
| 2009 | 283            | 6.139 | 4.076 | 283      | 49.030 | 23.517 |
| 2010 | 283            | 6.129 | 4.088 | 283      | 47.862 | 22.839 |
| 2011 | 283            | 6.063 | 4.134 | 283      | 48.777 | 23.601 |
| 2012 | 283            | 5.956 | 4.168 | 283      | 47.892 | 23.313 |

数据来源:笔者对原始数据的整理和计算。

## 三、实证分析结果

### (一) 交通可达性对城市雾霾污染的影响

本文借助Stata14.0软件对城市间的交通可达性及城市雾霾污染指标进行空间相关关系检验。检验方法选择文献中出现较多的Moran's I指数<sup>[24]</sup>,Moran's I的计算公式为:

$$\text{Moran's I} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{W}_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \mathbf{W}_{ij}} \quad (6)$$

式(6)中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$ , $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ , $Y$ 分别代表交通可达性及雾霾污染, $\mathbf{W}$ 为空间0-1权重矩阵,量化方法是城市间拥有共同边界则为1,反之为0。

从 Moran's I 指数的检验结果看,中国城市间的雾霾污染呈现显著的空间相关关系,系数为正证明城市间的雾霾污染存在空间溢出效应,这与已有研究的发现一致,也与我们的预期相符。无论是雾霾生成过程还是雾霾生成后的流动过程,都会发生空间上的溢出。本文同时也发现城市间交通可达性也在显著的空间相关关系,这与交通可达性的定义及测度方法一致,也与交通基础设施建设在空间上的选择有关。由于 Moran's I 指数的检验结果较为一致,且都通过了 1% 的显著性检验,本文不给出具体的检验结果(表 2)。

表 2 空间计量模型的估计结果

| 解释变量           | 不含控制变量                |                       |                       | 含控制变量                     |                           |                          |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                | 基准模型                  | 空间误差模型                | 空间滞后模型                | 基准模型                      | 空间误差模型                    | 空间滞后模型                   |
| 交通可达性          | -72.65***<br>(18.55)  | -74.22***<br>(17.42)  | -34.80***<br>(10.15)  | -86.04***<br>(18.51)      | -97.88***<br>(18.59)      | -37.12***<br>(10.40)     |
| 经济发展一次项        | 1 304***<br>(340.0)   | 1 385***<br>(338.1)   | 838.2***<br>(310.0)   | 1 212***<br>(427.5)       | 1 594***<br>(418.9)       | 706.1*<br>(381.3)        |
| 经济发展二次项        | -56.03***<br>(16.66)  | -60.56***<br>(16.74)  | -40.52**<br>(15.91)   | -56.67***<br>(20.70)      | -76.59***<br>(20.36)      | -32.02*<br>(19.36)       |
| 能源强度           |                       |                       |                       | -0.000 341<br>(0.001 99)  | -0.000 398<br>(0.002 01)  | -0.000 163<br>(0.002 03) |
| 绿地覆盖率          |                       |                       |                       | 0.485<br>(1.017)          | 0.811<br>(1.020)          | 0.411<br>(1.023)         |
| 财政收入           |                       |                       |                       | 4.15e-05***<br>(1.54e-05) | 4.29e-05***<br>(1.54e-05) | 3.60e-05**<br>(1.57e-05) |
| 金融发展           |                       |                       |                       | -30.92<br>(46.31)         | -37.53<br>(43.85)         | -62.37<br>(40.85)        |
| 消费水平           |                       |                       |                       | -26.86<br>(53.34)         | -41.48<br>(53.12)         | -24.66<br>(49.08)        |
| 财政支出占比         |                       |                       |                       | -1 327*<br>(735.1)        | -1 287*<br>(733.2)        | -647.8<br>(671.3)        |
| 城镇化            |                       |                       |                       | -86.45<br>(71.49)         | -81.03<br>(69.69)         | -87.77<br>(56.60)        |
| 产业结构高级化        |                       |                       |                       | 4 581**<br>(2 059)        | 4 463**<br>(2,070)        | 4 732**<br>(2,098)       |
| 产业结构合理化        |                       |                       |                       | -13 044**<br>(5 763)      | -12 775**<br>(5 793)      | -13 429**<br>(5 870)     |
| 信息化            |                       |                       |                       | -0.041 5<br>(0.088 2)     | -0.038 3<br>(0.088 7)     | -0.037 8<br>(0.089 8)    |
| 制造业集聚          |                       |                       |                       | 5 256***<br>(1 825)       | 5 167***<br>(1 835)       | 5 560***<br>(1 850)      |
| 服务业集聚          |                       |                       |                       | 2 561***<br>(717.2)       | 2 588***<br>(720.6)       | 2 759***<br>(719.9)      |
| $\rho$         | -0.353***<br>(0.102)  |                       | 0.733***<br>(0.030 3) | -0.337***<br>(0.109)      |                           | 0.671***<br>(0.034 2)    |
| $\lambda$      | 0.854***<br>(0.027 9) | 0.760***<br>(0.029 8) |                       | 0.847***<br>(0.031 8)     | 1.197***<br>(0.011 2)     |                          |
| $\sigma^2_e$   | 165 383***<br>(4 409) | 147 816***<br>(4 420) | 148 740***<br>(4 443) | 162 663***<br>(4 354)     | 146 347***<br>(4 355)     | 145 747***<br>(4 350)    |
| Observations   | 2 264                 | 2 264                 | 2 264                 | 2 264                     | 2 264                     | 2 264                    |
| Number of city | 283                   | 283                   | 283                   | 283                       | 283                       | 283                      |

注:1. \*\*\*、\*\*、\* 分别代表在 1%、5%、10% 的显著性水平。2. 括号内为标准误。

在空间相关关系检验的基础上,本文采用 SARAR 模型(基准模型)检验交通可达性对雾霾污染的影响。在分析的过程中,为对比结论的稳健性,本部分同时给出了空间滞后模型和空间误差模型的估计结果,也给出含控制变量及不含控制变量的模型估计结果。

首先分析不含控制变量的三个模型。从基准模型估计结果看,空间误差项及空间滞后项都通过了显著性水平检验,说明城市间的雾霾污染存在显著的空间效应,且为空间溢出效应,与 Moran's I 指数的检验结果一致,也证实了已有文献的结论。从空间滞后模型看,自回归系数为正值,但是同时考虑了空间误差效应后,SARAR 模型基准回归显示空间误差项系数为正,自回归系数为负,说明不考虑空间误差效应是不合理的,需要采用 SARAR 模型。但从本研究的核心解释变量看,三种模型的估计结果较为一致。经济发展一次项及二次项都通过了显著性检验,一次项系数为正,二次项系数为负,说明经济发展与雾霾污染间存在显著的因果关系,具体呈现为倒“U”型关系,证实了环境库兹涅茨曲线。

交通可达性对雾霾污染的影响也通过了显著性检验(1%的显著性水平),系数为负,说明交通可达性的提升会降低雾霾污染,初步证实了本文的观点。从理论上讲,交通可达性提升对雾霾污染的影响机制可能包括三个路径:首先是要素配置效应,其次是产业升级效应,最后是产业集聚效应。从基准模型的估计结果看,上述三种效应对雾霾污染的综合影响为负。但是三种机制的具体作用方向需要进一步讨论,本文将在下一部分通过构建交互项的方式进一步检验交通可达性提升对雾霾污染影响的具体作用机制。

加入能源强度、产业结构水平、产业集聚等控制变量后,核心解释变量的估计结果仍然稳健。经济发展一次项系数显著为正,经济发展二次项系数显著为负,与基准模型的估计结论一致。三个考虑了控制变量的模型中,交通可达性对雾霾污染的影响显著为负,与基准模型的估计结论也一致。

从其他控制变量的估计结果看,估计结果显著且较为稳健的变量包括财政收入、产业结构指标、产业集聚指标。具体而言,财政收入对雾霾污染存在显著正向影响,与潘敏杰等<sup>[30]</sup>的研究结论一致。地方政府可能为了获得更多的财政收入降低对排污企业的环境管制,政府也可能为了获得更多的税收而降低环境准入标准和门槛,出现“资本挟持环境治理”的现象,这些都将增加雾霾污染<sup>[30]</sup>。产业结构高级化指标显著增加了雾霾污染,而产业结构合理化指标会显著降低雾霾污染。样本期内,中国城市产业结构仍以工业化为主导,服务业水平比较低,且服务业内部结构中主要以低端服务业为主,因此在产业的高级化过程中,主要产业的能耗水平较高,房地产、水泥等产业造成了大量的雾霾污染源排放,会导致雾霾污染增多。而产业结构合理化会提升经济增长效率,降低单位能耗,有助于降低环境污染及雾霾污染。制造业及服务业集聚会增加雾霾排放,说明中国城市的产业集聚虽然有利于规模经济的释放,但是会增加要素及能源在城市的过多使用,不利于降低雾霾污染。其他控制变量的估计结果不一一解释。

## (二)内生性讨论及稳健性检验

本部分进一步对已有结论的稳健性进行讨论,从内生性和变换空间权重矩阵两方面展开(表3)。

交通可达性与雾霾污染间可能存在互为因果的关系。例如,在现实中,北京的雾霾污染较为严重,则会通过优化其与周边城市的交通基础设施以便产业外移,降低城市污染。当然,模型也可能存在遗漏雾霾污染重要解释变量(例如天气因素等)的内生性问题。本文选择工具变量来解决模型的内生性问题。工具变量的选择需要满足两个条件:一是该变量对因变量没有直接的影响,二是与



内生解释变量间存在显著的相关关系。本文认为城市内的高等学校数量是交通可达性的一个合理工具变量,其原因是:其一,大学生在学校和家庭间的往返及旅游是交通旅客运输的重要组成,因此高等学校数量越多,可能对交通基础设施的要求越高,交通可达性可能就越高;其二,城市的高等学校大部分是在 20 世纪建立,因此高等学校数量对近年来的雾霾污染没有直接影响。

表 3 稳健性检验

| 变量             | GMM 模型                     | 更换空间权重矩阵                 |                           |                          |
|----------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|                |                            | SARAR                    | SEM                       | SAR                      |
| 交通可达性          | -1 540**<br>(750.3)        | -45.71***<br>(17.63)     | -92.29***<br>(17.40)      | -37.61***<br>(10.30)     |
| 经济发展一次项        | 46 837***<br>(16 072)      | 794.4*<br>(432.0)        | 1 186***<br>(431.4)       | 674.1*<br>(379.9)        |
| 经济发展二次项        | -2 210***<br>(759.4)       | -35.86*<br>(21.41)       | -53.86**<br>(21.11)       | -30.40<br>(19.29)        |
| 能源强度           | 2.812<br>(4.388)           | -0.000 260<br>(0.002 03) | -0.000 399<br>(0.002 02)  | -0.000 219<br>(0.002 03) |
| 绿地覆盖率          | 62.96<br>(53.20)           | 0.510<br>(1.026)         | 0.642<br>(1.025)          | 0.457<br>(1.019)         |
| 财政收入           | 0.001 58***<br>(0.000 424) | 3.84e-05**<br>(1.58e-05) | 4.33e-05***<br>(1.56e-05) | 3.68e-05**<br>(1.56e-05) |
| 金融发展           | -6 350*<br>(3 279)         | -67.72<br>(41.81)        | -54.75<br>(45.29)         | -63.81<br>(40.65)        |
| 消费水平           | 5 893<br>(4 008)           | -26.70<br>(50.13)        | -28.09<br>(53.52)         | -25.21<br>(48.89)        |
| 财政支出占比         | 5 249<br>(26 278)          | -762.7<br>(695.2)        | -1 202<br>(739.9)         | -695.7<br>(668.8)        |
| 城镇化            | -44 196**<br>(22 051)      | -95.83<br>(59.48)        | -108.5<br>(68.95)         | -87.82<br>(56.33)        |
| 产业结构高级化        | -359 383<br>(3.615e+06)    | 4 916**<br>(2 093)       | 4 922**<br>(2 080)        | 4 919**<br>(2 090)       |
| 产业结构合理化        | -20 283***<br>(7 815)      | -13 906**<br>(5 854)     | -13 944**<br>(5 820)      | -13 908**<br>(5 846)     |
| 信息化            | -4.25 4**<br>(2.103)       | -0.039 0<br>(0.089 7)    | -0.043 3<br>(0.089 0)     | -0.037 6<br>(0.089 5)    |
| 制造业集聚          | 178 212<br>(1.789e+06)     | 5 666***<br>(1 847)      | 5 590***<br>(1 842)       | 5 677***<br>(1 843)      |
| 服务业集聚          | 304 250<br>(2.987e+06)     | 2 769***<br>(719.9)      | 2 705***<br>(723.4)       | 2 771***<br>(716.9)      |
| $\rho$         |                            | 0.631***<br>(0.095 7)    |                           | 0.682***<br>(0.033 0)    |
| $\lambda$      |                            | 0.142<br>(0.214)         | 0.741***<br>(0.032 3)     |                          |
| $\sigma^2_e$   |                            | 165 841***<br>(4 378)    | 144 389***<br>(4 322)     | 144 637***<br>(4 319)    |
| Constant       | 147 631<br>(3.608e+06)     |                          |                           |                          |
| Observations   | 1 981                      | 2 264                    | 2 264                     | 2 264                    |
| Number of city | 283                        | 283                      | 283                       | 283                      |

注:1. \*\*、\*、\* 分别代表在 1%、5%、10% 的显著性水平。2. 括号内为标准误。

由于 SARAR 面板数据模型不支持工具变量估计命令,因此本文选择普通面板数据 GMM 模型来进

行估计。同时,本部分也更换了空间权重矩阵,给出了采用空间0-1邻接矩阵的三个模型估计结果。

从模型的估计结果看,核心解释变量与基准模型的估计结果较为一致,4个模型的估计结果都显示交通可达性对雾霾污染有显著影响,经济发展一次项及二次项对雾霾污染也有显著影响。这说明考虑了内生性及更换了空间权重矩阵后,基准模型的估计结论仍然较为稳健。

### (三) 进一步讨论:区域差异

中国城市雾霾污染存在区域间的差异<sup>[22]</sup>,并且中国交通基础设施建设也存在东中西区域间的发展差异<sup>[6]</sup>,因此城市间交通可达性提升对雾霾污染的影响可能存在区域间的差异。本部分按照东中西三个区域将283个样本城市进行细分,东部地区包括河北、辽宁、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南等省份所辖的99个市;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南等省份所辖的100个市;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏、新疆等省份所辖的84个市。细分样本后,采用空间SARAR模型对细分样本后的数据进行重新估计,同时给出含控制变量和不含控制变量的模型估计结果(表4)。

表4 交通可达性对雾霾污染影响的区域差异

| 变量             | 东部区域                 |                      | 中部区域                  |                       | 西部区域                   |                        |
|----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
|                | 含控制变量                | 不含控制变量               | 含控制变量                 | 不含控制变量                | 含控制变量                  | 不含控制变量                 |
| 交通可达性          | -116.2***<br>(30.64) | -100.1***<br>(29.14) | -45.83**<br>(22.23)   | -54.32**<br>(21.86)   | -5.951<br>(10.72)      | -35.66<br>(34.24)      |
| 经济发展一次项        | 3 275***<br>(579.9)  | 1 666***<br>(431.1)  | 1 611**<br>(766.2)    | 1 425**<br>(613.0)    | -1 431**<br>(599.3)    | 655.8<br>(684.1)       |
| 经济发展二次项        | -153.7***<br>(28.32) | -81.61***<br>(21.26) | -89.94**<br>(40.96)   | -76.97**<br>(32.29)   | 76.85**<br>(31.95)     | -13.03<br>(33.28)      |
| 控制变量           | 控制                   |                      | 控制                    |                       | 控制                     |                        |
| $\rho$         | 0.654***<br>(0.110)  | 0.708***<br>(0.0992) | 0.729***<br>(0.0820)  | 0.769***<br>(0.0801)  | 0.764***<br>(0.0328)   | -0.696***<br>(0.0559)  |
| $\lambda$      | 0.269<br>(0.226)     | 0.177<br>(0.251)     | -0.0426<br>(0.264)    | -0.0403<br>(0.286)    | -0.728***<br>(0.0520)  | 0.821***<br>(0.0287)   |
| $\sigma^2_e$   | 91 247***<br>(4 032) | 96 463***<br>(4 278) | 124 594***<br>(5 658) | 127 785***<br>(5 880) | 215 023***<br>(10 700) | 229 127***<br>(11 497) |
| Observations   | 792                  | 792                  | 800                   | 800                   | 672                    | 672                    |
| R-squared      | 0.040                | 0.006                | 0.014                 | 0.019                 | 0.046                  | 0.003                  |
| Number of city | 99                   | 99                   | 100                   | 100                   | 84                     | 84                     |

注:1. \*\*\*、\*\*、\*分别代表在1%、5%、10%的显著性水平。2. 括号内为标准误。

从细分区域样本的估计结果看,东部区域和中部区域样本的估计结果与整体样本的估计结果相近,不展开讨论。西部区域样本的估计结果与整体样本的估计结果并不一致,且含控制变量和不含控制变量的西部区域样本估计结果也不稳健,说明在西部地区,交通可达性与城市雾霾污染间的因果关系并不显著和稳健。可能的解释是学者们所发现的中国区域间的雾霾污染存在俱乐部收敛情况<sup>[16]</sup>,西部地区雾霾污染情况较中、东部地区好,同时西部地区间的交通基础设施建设相对落后于中、东部地区,交通可达性水平略低,因此两个变量间的统计关系与中、东部地区并不一致。

#### (四) 交通可达性对雾霾污染的影响机制检验

本部分进一步讨论交通可达性对雾霾污染的影响机制。为甄别和检验交通可达性对雾霾污染的影响路径,本文通过引入交通可达性与机制变量的交互项来进行回归分析。根据理论部分的假定,本文构建了交通可达性与城镇化发展水平、产业结构高级化、制造业集聚等变量的交互项,分别代表要素配置效应、产业升级效应、产业集聚效应。需要说明的是,要素包括劳动力、土地、资本等。然而,在这些要素中,资本要素流动取决于金融资本市场发育完善程度,与交通可达性关系很弱。土地要素则由于区位固定,其无法流动。因此,交通可达性在要素配置上的作用就主要体现其对劳动力要素流动的作用。而劳动力要素流动的结果就表现为以常住人口比重所反映出的城镇化水平上。因此,本文选择交通可达性与城镇化发展水平的交互来体现要素配置效应。在具体的分析过程中,由于初始变量与各交互项变量间可能存在多重共线性,为尽量降低多重共线性,本文对各初始变量做了去中心化的处理。本部分同时给出了含控制变量及不含控制变量的 SARAR 模型、SEM 模型及 SAR 模型结果(表 5)。

从模型估计结果看,核心解释变量去中心化处理后,交通可达性、经济发展一次项、二次项指标对雾霾污染的影响仍然显著,城镇化发展水平指标也变得显著,而产业结构指标的估计结果不再显著,这与相关变量去中心化处理及模型加入了交互项有关。本文同时分区域对东中西部三类样本进行了影响机制检验,与整体样本结果相近,因此下文的分析主要针对整体样本结果进行讨论。

从三个交互项变量的估计结果看,要素配置效应指标显著为负,说明交通可达性提升有效促进了要素在区域间的流动,提升了单位要素的产出及生产效率,因此可以降低雾霾污染。劳动力要素为追求回报最大化会尝试在部门间及区域间流动,交通可达性提升有助于降低劳动力要素的流动成本,因此会提升劳动力要素生产率,促进经济发展和降低雾霾污染。

交通可达性带来的产业升级效应及产业集聚效应会增加城市雾霾污染。交通可达性提升会促进城市产业结构升级及产业集聚。在现阶段,由于样本城市的产业结构升级和集聚仍以工业化为主导,而工业化水平提升会显著增加能源需求,因此会增加雾霾污染源的排放。需要仔细区分的是城市雾霾污染与单位产出雾霾污染是不同的。城市产业升级及产业集聚会由于技术水平提升及规模经济的作用降低单位产出的雾霾污染,但是在产业升级及产业集聚的过程中,必然带来城市经济产出的增多,从雾霾污染的总体规模上讲,交通可达性将更多的经济生产活动从其他区域引入了城市,因此会增加城市的雾霾污染总量。另外,部分普通地级城市在城市体系中属于“中心—外围”模型中的“外围”城市,因此会承接中心城市的低端产业转出及低端制造业在其内部的集聚,相比于其原有产业而言,承接的产业会提升其产业结构水平及集聚水平,但这些产业的能耗较高、污染排放多,会增加雾霾污染。

从交通可达性对雾霾污染的影响机制检验结果看,交通可达性提升会通过要素配置效应降低城市雾霾污染,而通过产业升级及集聚效应增加城市雾霾污染,但总体而言,前者大于后者,交通可达性对雾霾污染的整体效应为负,有利于降低雾霾污染。结合经济学理论,根据环境库兹涅茨曲线,在初期,污染会随着经济发展逐步提升,随着经济的进一步发展,污染会开始减少<sup>[13-15]</sup>。交通可达性对雾霾影响的相关机制中,在短期内可能会有降低或增长雾霾污染的异质性影响,但是从长期看,交通可达性提升有助于降低城市经济间的交通成本和摩擦力,促进经济增长和效率提升,进而降低雾霾污染。当然,其长期影响是另外的故事,本文不进一步展开讨论或检验。

表5 交通可达性对雾霾污染的影响机制检验

| 解释变量             | 含控制变量模型                  |                          |                         | 不含控制变量                |                       |                       |
|------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                  | 基准模型                     | 空间误差模型                   | 空间滞后模型                  | 基准模型                  | 空间误差模型                | 空间滞后模型                |
| 交通可达性            | -75.77***<br>(19.41)     | -77.95***<br>(18.12)     | -28.95***<br>(10.92)    | -63.74***<br>(19.32)  | -78.68***<br>(19.22)  | -26.26**<br>(10.68)   |
| 经济发展一次项          | 1 039**<br>(437.6)       | 1 143***<br>(435.2)      | 448.7<br>(390.7)        | 971.5**<br>(413.0)    | 1 337***<br>(406.0)   | 508.8<br>(364.4)      |
| 经济发展二次项          | -45.59**<br>(21.32)      | -49.70**<br>(21.36)      | -17.79<br>(19.96)       | -38.37*<br>(19.84)    | -56.94***<br>(19.62)  | -19.19<br>(18.20)     |
| 城镇化              | -133.7*<br>(73.56)       | -140.1**<br>(70.97)      | -106.1*<br>(57.18)      | -151.9**<br>(72.40)   | -150.7**<br>(69.56)   | -145.2***<br>(37.88)  |
| 产业结构高级化          | 2 179<br>(2 169)         | 2 340<br>(2 195)         | 3 076<br>(2 211)        | -12.85<br>(97.48)     | -25.09<br>(98.03)     | 55.07<br>(98.28)      |
| 制造业集聚            | 2 965<br>(1 938)         | 3 163<br>(1 960)         | 4 023**<br>(1 962)      | 170.1<br>(144.4)      | 111.3<br>(144.1)      | 253.4*<br>(143.7)     |
| 交通可达性与城镇化交互项     | -20.68**<br>(10.29)      | -19.91**<br>(10.13)      | -9.779<br>(7.373)       | -25.46**<br>(10.15)   | -26.04**<br>(10.29)   | -16.01**<br>(7.238)   |
| 交通可达性与产业结构高级化交互项 | 114.9***<br>(35.80)      | 107.6***<br>(36.21)      | 78.94**<br>(35.48)      | 156.3***<br>(32.82)   | 153.2***<br>(32.32)   | 130.0***<br>(32.61)   |
| 交通可达性与产业集聚交互项    | 77.14***<br>(18.29)      | 80.82***<br>(18.64)      | 67.55***<br>(19.68)     | 90.17***<br>(17.74)   | 98.09***<br>(16.98)   | 75.93***<br>(19.33)   |
| 能源强度             | -0.000 213<br>(0.001 98) | -0.000 187<br>(0.002 01) | -5.92e-05<br>(0.002 03) |                       |                       |                       |
| 绿地覆盖率            | 0.0608<br>(1.017)        | 0.116<br>(1.025)         | 0.141<br>(1.025)        |                       |                       |                       |
| 财政收入             | 3.34e-05**<br>(1.57e-05) | 3.30e-05**<br>(1.59e-05) | 2.86e-05*<br>(1.60e-05) |                       |                       |                       |
| 金融发展             | -17.01<br>(46.33)        | -26.90<br>(45.28)        | -53.26<br>(41.11)       |                       |                       |                       |
| 消费水平             | -23.58<br>(53.53)        | -27.45<br>(53.62)        | -21.76<br>(49.00)       |                       |                       |                       |
| 财政支出占比           | -1 250*<br>(734.1)       | -1 108<br>(737.1)        | -590.5<br>(670.4)       |                       |                       |                       |
| 产业结构合理化          | -6 431<br>(6 061)        | -6 897<br>(6 133)        | -8 886<br>(6 174)       |                       |                       |                       |
| 信息化              | -0.035 2<br>(0.087 8)    | -0.034 8<br>(0.088 8)    | -0.036 2<br>(0.089 5)   |                       |                       |                       |
| 服务业集聚            | 1 612**<br>(770.4)       | 1 742**<br>(778.3)       | 2 152***<br>(772.2)     |                       |                       |                       |
| $\rho$           | -0.328***<br>(0.108)     |                          | 0.684***<br>(0.033 9)   | -0.346***<br>(0.105)  |                       | 0.711***<br>(0.032 4) |
| $\lambda$        | 0.850***<br>(0.031 0)    | 0.751***<br>(0.032 2)    |                         | 0.857***<br>(0.028 6) | 1.196***<br>(0.011 1) |                       |
| $\sigma^2_e$     | 161 093***<br>(4 308)    | 143 783***<br>(4 302)    | 144 639***<br>(4 318)   | 162 365***<br>(4 335) | 146 264***<br>(4 353) | 146 191***<br>(4 367) |
| Observations     | 2 264                    | 2 264                    | 2 264                   | 2 264                 | 2 264                 | 2 264                 |
| Number of city   | 283                      | 283                      | 283                     | 283                   | 283                   | 283                   |

注:1. \*\*、\*、\* 分别代表在 1%、5%、10% 的显著性水平。2. 括号内为标准误。

## 四、结论与讨论

雾霾污染是现阶段政府和社会公众等关注的热点问题,探索雾霾污染影响因素、寻求解决路径有重要意义。雾霾污染有着空间属性,其与同样是空间变量的交通可达性间的因果关系并未引起学者重视,交通可达性所带来的经济社会影响也并未被纳入宏观环境研究的相关分析框架。本研究基于环境库兹涅茨曲线理论框架构建空间计量模型,利用中国大陆 283 个地级城市 MODIS 及 MISR 中 PM<sub>2.5</sub> 浓度的栅格数据检验交通可达性对雾霾污染的影响。研究发现城市间的雾霾污染存在显著的空间溢出效应,经济发展与雾霾污染间存在倒“U”型关系;检验结论证实交通可达性会显著降低城市雾霾污染;以滞后一期的城市高等学校数量为工具变量,发现上述结论仍然稳健。交通可达性提升对城市雾霾污染的短期影响主要通过要素配置效应、产业升级及集聚效应来体现,具体而言交通可达性提升会通过要素配置效应降低城市雾霾污染,会通过产业升级及集聚效应增加城市雾霾污染。

本文结论的政策启示是明显且重要的,雾霾污染与其他环境问题一致,需要经济发展跨入高质量发展阶段才能彻底解决,在此过程中,有效的措施包括:通过优化交通基础设施建设等手段,降低要素、技术、产品、产业等在城市间的流动成本,促进资源优化配置和产品市场共享;针对雾霾污染的空间相关性,构建雾霾防治的城市间联动机制。

### 参考文献:

- [1] LI M N, ZHANG L L. Haze in China: Current and future challenges[J]. *Environmental Pollution*, 2014, 189: 85-86.
- [2] 刘晨跃, 徐盈之. 城镇化如何影响雾霾污染治理: 基于中介效应的实证研究[J]. *经济管理*, 2017(8): 6-23.
- [3] 肖宏伟. 雾霾成因分析及治理对策[J]. *宏观经济管理*, 2014(7): 70-71.
- [4] XU P, CHEN Y F, YE X J. Haze, air pollution, and health in China[J]. *Lancet*, 2013, 382(9910): 2067.
- [5] 曹彩虹, 韩立岩. 雾霾带来的社会健康成本估算[J]. *统计研究*, 2015(7): 19-23.
- [6] 王雨飞, 倪鹏飞. 高速铁路影响下的经济增长溢出与区域空间优化[J]. *中国工业经济*, 2016(2): 21-36.
- [7] 王振华, 李萌萌, 江金启. 交通可达性对城市经济高质量发展的异质性影响[J]. *经济与管理研究*, 2020(2): 98-111.
- [8] 周浩, 余壮雄, 杨铮. 可达性、集聚和新建企业选址: 来自中国制造业的微观证据[J]. *经济学(季刊)*, 2015(4): 1393-1416.
- [9] 蒋海兵, 张文忠, 祁毅, 等. 区域交通基础设施可达性研究进展[J]. *地理科学进展*, 2013(5): 807-817.
- [10] 丁如曦, 倪鹏飞. 中国经济空间的新格局: 基于城市房地产视角[J]. *中国工业经济*, 2017(5): 94-112.
- [11] XIAO Z M, ZHANG Y F, HONG S M, et al. Estimation of the main factors influencing haze, based on a long-term monitoring campaign in Hangzhou, China[J]. *Aerosol and Air Quality Research*, 2011, 11(7): 873-882.
- [12] 冷艳丽, 冼国明, 杜思正. 外商直接投资与雾霾污染: 基于中国省际面板数据的实证分析[J]. *国际贸易问题*, 2015(12): 74-84.
- [13] 穆治霖. 应对雾霾污染的法律思考[J]. *环境与可持续发展*, 2014(1): 52-55.
- [14] MADDISON D. Environmental Kuznets curves: A spatial econometric approach[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2006, 51(2): 218-230.
- [15] MÜLLER-FÜRSTENBERGER G, WAGNER M. Exploring the environmental Kuznets hypothesis: Theoretical and econometric

problems[J]. *Ecological Economics*, 2007, 62(3/4): 648-660.

- [16] 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*, 2014(4): 19-31.
- [17] 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: 理论与经验研究[J]. *经济管理*, 2015(9): 29-41.
- [18] 石庆玲, 郭峰, 陈诗一. 雾霾治理中的“政治性蓝天”: 来自中国地方“两会”的证据[J]. *中国工业经济*, 2016(5): 40-56.
- [19] 黄寿峰. 环境规制、影子经济与雾霾污染: 动态半参数分析[J]. *经济学动态*, 2016(11): 33-44.
- [20] HAO Y, LIU Y M. The influential factors of urban PM<sub>2.5</sub> concentrations in China: A spatial econometric analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 112: 1443-1453.
- [21] 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.
- [22] 李力, 唐登莉, 孔英, 等. FDI对城市雾霾污染影响的空间计量研究: 以珠三角地区为例[J]. *管理评论*, 2016(6): 11-24.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 王振华, 李旭. 技术进步、产业结构升级与县域经济增长: 以辽宁省为例[J]. *农业技术经济*, 2015(2): 68-75.
- [26] 何小钢. 结构转型与区际协调: 对雾霾成因的经济观察[J]. *改革*, 2015(5): 33-42.
- [27] 盛小星, 叶春明. 基于PSR模型的上海市雾霾影响因素空间差异分析[J]. *生态科学*, 2017(2): 87-92.
- [28] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. *经济研究*, 2018(2): 20-34.
- [29] 程中华, 于斌斌. 产业集聚与地区工资差距: 基于中国城市数据的空间计量分析[J]. *当代经济科学*, 2014(6): 86-94, 125.
- [30] 潘敏杰, 武舜臣, 张继良. 中国式分权、环境规制与雾霾污染[J]. *产业经济评论*, 2017(1): 5-19.

## Traffic accessibility and air pollution: Effect identification and mechanism testing

WANG Zhenhua<sup>1</sup>, SUN Xuetao<sup>2</sup>, JING Zaifang<sup>1</sup>

(1. School of Economics and management, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, P. R. China;

2. Institute of Rural Economic Development, Shandong Academy of Social Sciences, Jinan 250002, P. R. China)

**Abstract:** China's haze pollution presents the characteristics of high occurrence frequency, wide impact range and difficult treatment. Its causes and treatment path are the hot issues concerned by the government and scholars. The generation of haze will be affected by human social and economic activities. In recent years, China's transportation infrastructure construction represented by high-speed railway construction has promoted the rapid improvement of inter city traffic accessibility. Some literature began to discuss the impact of high-speed railway construction and traffic accessibility improvement on economic development such as economic output and industrial structure, but limited to the availability of data, There is no literature to discuss the impact of high-speed rail and inter city traffic accessibility on haze pollution. The research brings traffic accessibility into the analytical framework of environmental economics. Firstly, the theoretical hypothesis of the impact of traffic accessibility on haze pollution is put forward from three aspects: factor allocation effect, industrial upgrading effect and industrial agglomeration effect. Based on the theoretical framework of

Environmental Kuznets curve, a space econometric model constructed to calculate the shortest traffic time of road, ordinary railway and high-speed railway travel between cities as the quantitative method of traffic accessibility. Using the raster data of PM<sub>2.5</sub> concentration in MODIS and MISR of 283 cities in Chinese mainland, we test the spatial correlation between urban traffic accessibility and Urban Haze pollution indicators, test the impact of traffic accessibility on haze pollution, and discuss the endogeneity and heterogeneity of the model. The mechanism of traffic accessibility on haze pollution is further analyzed. It is found that there is a significant spatial spillover effect of smog pollution between cities, and there is an inverted “U” relationship between economic development and smog pollution, which confirms the Environmental Kuznets curve; The empirical conclusion also proves that traffic accessibility can significantly reduce urban haze pollution, which is more significant in central and eastern cities; Taking the number of urban colleges and universities lagging behind for one period as the instrumental variable, it is found that the above conclusion is still robust; In the impact of traffic accessibility on haze, it may reduce or increase the heterogeneity of haze pollution in the short term, but in the long term, the improvement of traffic accessibility helps to reduce the traffic cost and friction between urban economies, promote economic growth and efficiency, and then reduce haze pollution; The impact of improved traffic accessibility on Urban Haze pollution is mainly reflected through factor allocation effect, industrial upgrading and agglomeration effect. Specifically, improved traffic accessibility will reduce urban haze pollution through factor allocation effect and increase urban haze pollution through industrial upgrading and agglomeration effect. The research shows that in the process of dealing with haze pollution, effective measures include: reducing the flow cost of factors, technologies, products and industries among cities by optimizing transportation infrastructure construction, and promoting the optimal allocation of resources and product market sharing; Aiming at the spatial correlation of haze pollution, an inter-city linkage mechanism for haze prevention and control is constructed.

**Key words:** traffic accessibility; PM<sub>2.5</sub>; number of colleges and universities; Kuznets curve; SARAR model

(责任编辑 傅旭东)