

doi:10.13582/j.cnki.1672-7835.2020.04.009

城镇化水平对雾霾污染的影响研究

——以我国地级及以上城市为例

仇怡,黄丹

(湖南科技大学 商学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:基于空间计量经济理论,选取2006~2016年中国270个地级及以上城市的面板数据,运用空间杜宾模型实证检验城镇化水平对雾霾污染的影响。研究表明:(1)我国各城市雾霾污染存在显著的正向空间溢出效应,邻近地区雾霾污染浓度增加会加剧本地区的雾霾污染程度。(2)总体上全国的城镇化水平与雾霾污染存在显著的正相关关系,表明中国各地级市雾霾污染随着城镇化进程的推进呈上升趋势。(3)从地理区位和城镇化推进模式角度来看,东部地区和推行集约型城镇化城市的城镇化水平与雾霾污染呈“倒U型”曲线关系,中部地区的城镇化水平与雾霾污染之间仅呈简单正向相关关系,而西部地区城镇化水平和粗放型城镇化模式不会加剧雾霾污染。

关键词:城镇化;雾霾污染;PM_{2.5};空间杜宾模型

中图分类号:F290

文献标志码:A

文章编号:1672-7835(2020)04-0059-11

一 引言及文献综述

改革开放40多年来,我国城镇化水平不断提高,常住人口城镇化率由1978年的17.92%上升至2019年的60.6%。城镇化进程的快速推进,不仅促进了经济和社会的繁荣发展,也导致了资源能源及原材料的过度消费,造成一系列环境污染问题^①。其中,以PM₁₀和PM_{2.5}为主要污染物的雾霾污染引起了社会各界的广泛关注。雾霾天气具有影响范围广、持续时间长、污染浓度高、治理难度大等特点,对经济、政治、社会、民生等方面都具有严重的负面影响。中国政府对此高度重视,已将雾霾治理上升到国家战略高度。国务院发布了《大气污染防治行动计划》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》,并将PM_{2.5}作为重点防控污染因子;党的十九大报告更是强调必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念。实践表明,中国的雾霾治理取得了明显成效,全国空气质量整体趋好。

根据中国生态环境部发布的《2018年中国生态环境状况公报》数据显示,2018年中国PM_{2.5}平均浓度为41ug/m³,较上年下降6.8%。但是在全国338个城市中,以PM_{2.5}为首要污染物的天数占重度及以上污染天数的60%,反映出中国的雾霾污染问题依然严峻,其防控治理仍是一个艰难过程。

学术界对雾霾污染的影响因素进行了大量研究,主要集中在经济增长、产业结构、技术创新、贸易开放以及气象因素等方面,但是关于城镇化水平与雾霾污染的文献相对偏少,且尚未得出一致结论。既有关于城镇化水平对雾霾污染的影响研究主要从定性和定量两方面展开。首先,在定性研究方面,国内学者主要集中讨论城镇化水平对雾霾污染的影响机制^②及城市雾霾治理情况的评价和政策路径^③。其次,在定量研究方面,根据城镇化水平对雾霾污染的影响结果大致可分为以下三类:第一类观点认为城镇化水平会加重雾霾污

收稿日期:2019-08-15

基金项目:湖南省自然科学杰出青年基金项目(2017JJ1016);湖南省研究生科研创新项目(CX20190791)

作者简介:仇怡(1978—),女,湖南沅江人,教授,博士生导师,主要从事开放经济与区域创新研究。

①蒋洪强,张静,王金南,等:《中国快速城镇化的边际环境污染效应变化实证分析》,《生态环境学报》2012年第2期。

②童玉芬,王莹莹:《中国城市人口与雾霾:相互作用机制路径分析》,《北京社会科学》2014年第5期。

③陈诗一,王建民:《中国城市雾霾治理评价与政策路径研究:以长三角为例》,《中国人口·资源与环境》2018年第10期。

染的程度^{①②},第二类观点认为城镇化水平能有效降低雾霾污染^{③④},第三类观点则认为城镇化水平与雾霾污染之间存在非线性关系,如杜雯翠、冯科研究发现新兴经济体城市化与空气污染之间存在U型曲线关系^⑤,严雅雪和李锴认为城市化对PM_{2.5}浓度存在正向非线性的影响并具有显著的门槛特征^⑥,东童童和邓世成研究结果表明户籍人口城市化和产业城市化与雾霾污染存在U型曲线关系,而土地城市化与雾霾污染之间则存在倒U型曲线关系^⑦。此外,根据研究对象的不同,既有文献又可划分为对国际面板的研究、全国省级面板的研究、全国地级及以上城市的研究以及对某个城市群的研究。就研究方法而言,学者们主要采用了最小二乘法、面板门槛模型和空间计量模型等方法来考察城镇化水平与雾霾污染之间的关系。

综合既有文献来看,城镇化水平与雾霾污染之间的关系虽已引起国内外学者关注,但仍有需要进一步探讨的地方。首先,由于雾霾数据的复杂性和可获取性,现有关于雾霾污染的文献大多关注二氧化硫(SO₂)、二氧化碳(CO₂)、一氧化碳(CO)、可吸入颗粒物(PM₁₀)和空气质量指数(AQI)等常规污染物^⑧,对于雾霾核心污染物PM_{2.5}的研究相对缺乏。随着哥伦比亚大学、耶鲁大学和巴特尔研究所等单位公布了PM_{2.5}的卫星监测数据,一些针对PM_{2.5}的研究才开始涌现出来。其次,既有文献大多采用普通面板回归或门槛回归,鲜有文献纳入城镇化水平与雾霾污染的空间特征,并采用空间计量模型考察二者之间的

关系及其空间溢出效应^⑨。最后,既有文献大多停留在省级层面,或仅限于部分重点城市或区域,鲜有针对PM_{2.5}的全国地级市层面的研究。与本文研究主题紧密相关的文献有李欣、邵帅等人的论文^{⑩⑪},但他们的研究或者集中在长三角地区,或者集中在全国省级层面。既有文献的现状启示我们寻求新的研究思路,中国城镇化进程是加剧还是抑制雾霾污染,亟待进一步的数据分析和实证检验。基于此,本文以2006~2016年中国270个地级及以上城市作为研究对象,依托哥伦比亚大学社会经济数据和应用中心公布的卫星监测PM_{2.5}年均浓度,借助空间计量模型考察城镇化水平对城市雾霾污染的影响,以期为我国各地级市推进新型城镇化、降低雾霾污染提供政策参考。本文的创新之处如下:第一,考察全国地级及以上城市城镇化水平对雾霾污染的影响,补充了现有文献在地级市层面研究的不足;第二,在实证过程中纳入城镇化水平与雾霾污染的空间特征,充分考虑了二者的空间溢出效应,并分别考察了城镇化水平对雾霾污染的直接效应、间接效应和总效应;第三,从地理区位和城镇化推进模式两个角度探讨了城镇化水平影响雾霾污染的空间效应差异。

二 理论分析

城镇化水平与雾霾污染之间的关系已经成为学术界的热点话题。目前,学术界主要通过生态现代化理论(ecological modernization theory)、城市环境转型理论(urban environmental transition)和

①参见刘伯龙、袁晓玲、张占军:《城镇化推进对雾霾污染的影响——基于中国省级动态面板数据的经验分析》,《城市发展研究》2015年第9期。

②参见胡言言、张正勇:《环境信息披露影响分析师盈利预测准确吗——来自重污染行业上市公司的经验证据》,《商学研究》2019年第5期。

③参见梁伟、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》,《地理研究》2017年第10期。

④参见兰宜生、徐小锋:《城镇化能够提高环境绩效吗?》,《经济经纬》2019年第4期。

⑤杜雯翠、冯科:《城市化会恶化空气质量吗?——来自新兴经济体国家的经验证据》,《经济社会体制比较》2013年第5期。

⑥严雅雪、李锴:《中国城市化对PM_{2.5}浓度影响的门槛效应研究》,《环境经济研究》2016年第2期。

⑦东童童、邓世成:《中国城市化进程对雾霾污染的影响及趋势预测》,《城市问题》2019年第4期。

⑧AQI(Air Quality Index,空气质量指数)是定量描述空气质量状况的无量纲指数,其数值越大、级别和类别越高,表征颜色越深,说明空气污染状况越严重,对人体的健康危害也就越大。根据《环境空气质量标准》(GB 3095-2012),参与空气质量评价的主要污染物包括细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、二氧化氮(NO₂)、臭氧(O₃)、一氧化碳(CO)六项。

⑨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》,《中国工业经济》2014年第4期。

⑩李欣、曹建华、孙星:《空间视角下城市化对雾霾污染的影响分析——以长三角区域为例》,《环境经济研究》2017年第2期。

⑪邵帅、李欣、曹建华:《中国的城市化推进与雾霾治理》,《经济研究》2019年第2期。

紧凑城市理论(compact city theory)等来解释城镇化水平对环境污染的影响(Poumanyong 和 Kaneko, 2010)^①。其中,生态现代化理论将城镇化水平看作一个城市经济现代化和社会转型的重要标志。该理论认为,在城市发展的初期阶段,社会总会优先关注经济增长而忽略环境污染问题,甚至会以牺牲环境为代价追求更高的经济增长。在这一阶段,城市生态环境问题急速恶化。随着社会经济继续发展至中等阶段,社会便会开始关注环境可持续发展,并借助技术创新、产业结构调整以及国家政策引导等手段治理环境污染^{②③}。城市环境转型理论认为,城镇化进程的推进在带来城市经济迅猛增长的同时也会带来基础设施建设、交通活动和能源消耗的增加,对污染密集型产品消费产生了更多的需求。随着城市经济持续增长,居民人均收入不断提高、环保意识不断增强,环境污染问题可能会通过环境法规和技术水平的提高减少。由此可见,生态现代化理论和城市环境转型理论都认为城镇化进程的推进既会对城市造成消极影响也会带来积极影响,总体的影响方向取决于这两方面影响的综合作用(邵帅等, 2019)。紧凑城市理论侧重于城镇化程度的提高,该理论认为较高的城市密度有利于促进学校、医院、公共交通等各类基础设施集中,通过发挥公共基础设施的规模效应和集聚效应降低环境污染^④。

基于上述理论,本文认为城镇化水平主要通过集聚效应、规模效应、结构效应和技术效应等对雾霾污染产生影响。首先,城镇化就是人口向城镇集聚,劳动力、资本等各类生产要素向非农业产业集聚的过程。人口、资本等各类要素在城镇范围内集中,有利于发挥教育、医疗、交通等各类公共资源的规模经济性。随着城镇人口密度的不断增加,各类要素的外部成本可能超过集聚效益,还可能会造成交通拥堵效应,从而增加雾霾污染^⑤。

其次,城镇化水平的提高会带来产业结构和能耗结构的改变,进而对雾霾污染产生影响。城镇化水平对雾霾污染产生影响的方向取决于产业结构调整的方向。随着城镇化进程的推进,第二、三产业的就业比重和生产总值会逐步上升,产业结构从以第一产业为主不断调整为以第二、三产业为主。如果产业结构转向服务业等绿色产业,交通运输和能源的需求结构发生改变,那么城镇化水平的提高会降低雾霾污染;如果产业结构转向以重工业为主的高污染密集型产业,这便会增加高耗能、高污染产品的需求,那么城镇化水平的提高会增加雾霾污染。最后,城镇化进程的推进使得高端人才和资源在城镇范围内集聚,有助于推动城市的技术进步和节能减排技术的提高,这有利于促进清洁生产 and 末端治理(邵帅等, 2019)。

三 计量模型

(一) 模型设定

借鉴 Grossman and Krueger(1991)^⑥的分析框架,构建基准回归模型如下:

$$\ln PM_{2.5it} = \alpha_0 + \alpha_1 urban_{it} + \beta X_{it} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中, i 表示城市, t 表示年份, $PM_{2.5it}$ 表示第 t 年 i 城市的年均 $PM_{2.5}$ 浓度,用于衡量雾霾污染程度; $urban_{it}$ 表示第 t 年 i 城市的城镇化水平; X_{it} 为一列影响雾霾污染的控制变量,包括经济增长、产业结构、技术水平、对外开放、人口密集度、能源消耗等; λ_t 表示时间效应; μ_i 表示个体效应; ε_{it} 为随机干扰项。

考虑到被解释变量和解释变量存在空间相关性,基于空间计量经济学理论,进一步构建如下空间杜宾模型:

$$\ln PM_{2.5it} = \alpha_0 + \rho WPM_{2.5it} + \alpha_1 urban_{it} + \alpha_2 Wurban_{it} + \beta_1 X_{it} + \beta_2 WX_{it} + \lambda_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, W 表示空间权重矩阵, $W \ln PM_{2.5it}$ 、 $Wurban_{it}$ 和 WX_{it} 分别为城市雾霾污染、城镇化水平及其他

^①Poumanyong P, S Kaneko. "Does urbanization lead to less energy use and lower CO₂ emissions? a cross-country analysis", *Ecological Economics*, 2010, 70(2): 434-444.

^②Mol A P J, G Spaargaren. "Ecological modernization theory in debate: a review", *Environmental Politics*, 2000, 9(1): 17-49.

^③Sadorsky P. "The effect of urbanization on CO₂ emissions in emerging economies", *Energy Economics*, 2014, 41(1): 147-153.

^④Burton E. "The compact city: just or just compact? A preliminary analysis", *Urban Studies*, 2000, 37(11): 1969-2001.

^⑤郭佳,何雄伟,薛飞:《人口城镇化、经济增长对地区环境污染的影响》,《企业经济》2018年第7期。

^⑥Grossman G M, Krueger A B. "Environmental impacts of a north American free trade agreement", *Social Science Electronic Publishing*, 1991, 8(2): 223-250.

控制变量的空间滞后项,体现了其他城市变量对本地区雾霾污染的空间溢出效应。由于拉萨、嘉峪关、金昌等多个城市数据缺失,空间邻近矩阵难以真实反映空间关联情况。因此,这里选取地理距离空间权重矩阵(W_1)和经济与地理距离的嵌套空间权重矩阵(W_2)进行实证检验。其中, W_1 的元素 w_{ij} 为地级市*i*和地级市*j*首府之间地理距离的倒数, W_2 的元素由地理距离空间权重矩阵(W_1)和经济距离空间权重矩阵(W_3)加权得来,具体计算公式为: $W_2 = \omega W_1 + (1 - \omega) W_3$, ω 表示地理距离空间权重矩阵的权重取值0.5, W_3 的元素 w_{ij} 为地级市*i*和地级市*j*首府之间人均GDP年均绝对差值的倒数。

(二) 变量说明及指标选取

1. 被解释变量:雾霾浓度($\ln PM_{2.5it}$)。PM_{2.5}浓度源数据来自哥伦比亚大学、耶鲁大学和巴特尔研究所等公布的全球卫星监测数据,该数据已得到了学术界的普遍认可,并广泛应用于经济学领域。通过ArcGis软件将监测得到的栅格数据解析为2006~2016年中国270个地级及以上城市的年均PM_{2.5}浓度数据。

2. 城镇化水平($urban_{it}$)。人口比重法是衡量城镇化水平最常用的方法,主要包括常住人口比重法(梁伟等,2017;苏红键等,2019)和户籍人口比重法等^{①②}。其中,户籍人口比重法采用非农业人口占总人口的比重来衡量城镇化水平,该方法受户籍制度约束,并未考虑城乡人口流动所带来的实际居住地的变化。因此,本文借鉴苏红键和魏后凯(2019)采用常住人口比重法,即城区常住人口占市区常住人口的比重来衡量。为检验城镇化水平与雾霾污染之间是否存在倒“U”型关系,将城镇化水平的一次项和二次项同时引入模型。

3. 其他控制变量。(1)经济增长水平($\ln pgdp_{it}$),采用各城市2004年不变价格的人均GDP对数表示。根据环境库兹涅茨假说,经济增长可能与环境污染呈倒“U”型关系,因此将人均GDP的

一次项和二次项同时引入模型。(2)产业结构($stru_{it}$)。随着我国城镇化和工业化进程不断加快,大量化石能源燃烧带来了雾霾污染问题,建筑业的发展也促进了钢铁、水泥等重工业的发展。因此,本文采用工业总产值占GDP的比重用来衡量产业结构水平。(3)技术水平,采用技术进步($\ln kl_{it}$)和政府研发投入($tech_{it}$)两个部分进行度量。其中,参考Antweiler et al.(2001)和Cole and Elliot(2006)采用对数形式的资本劳动比衡量技术进步^③,采用地方政府科学技术支出占GDP的比重衡量政府研发投入。(4)对外开放(fdi_{it})。进出口贸易和外商直接投资都是衡量对外开放的重要指标,但由于地级市城市进出口贸易数据无法直接获取,故采用外商直接投资衡量对外开放水平,采用实际利用外资额占GDP的比重来度量。(5)人口密集度($\ln pop_{it}$),采用单位面积人口数(对数形式)来度量,即市辖区年末总人口数与建成区面积之比。(6)能源消耗,采用对数形式的煤炭消费量($\ln coal_{it}$)予以表示。鉴于各地级市并未直接公布其煤炭消费量数据,本文以各地级市GDP占全省之比作为权重,乘以其所在省份的煤炭消费量。

(三) 数据说明及统计性描述

本文所有数据均来源于各年的《中国统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国城市建设统计年鉴》以及中经网统计数据库等。由于《中国城市建设统计年鉴》自2006年才开始公布城区人口和市区人口相关数据,因此本文的研究年限选取2006~2016年,样本数据共包含270个地级及以上城市。对少数城市个别年份缺失数据,采用上下均值法和增长率估算补充。各城市的地区生产总值、工业总产值占GDP比重、实际利用外资额、固定资产投资额、各城市单位从业人员及城镇私营和个体从业人员数、政府财政科学技术支出、各城市人口数以及建成区面积等均采用市辖区统计数据。表1为所有变量的数据说明及统计性描述。

①陆铭,陈钊:《城市化、城市倾向的经济政策与城乡收入差距》,《经济研究》2004年第6期。

②苏红键,魏后凯:《密度效应、最优城市人口密度与集约型城镇化》,《中国工业经济》2013年第10期。

③Antweiler W, B R Copland, M S Taylor. "Is Free Trade Good for the Environment?" *American Economic Review*, 2001, 91(4): 877-908.

Cole M A, Elliott R J R, Fredriksson P G. "Endogenous pollution havens: does FDI influence environmental regulations?", *Scandinavian Journal of Economics*, 2006, 108(1): 157-178.

表 1 变量说明及描述性统计

变量名称	变量解释	样本	均值	标准差	最小值	最大值
$\ln PM_{2.5it}$	PM _{2.5} 浓度	2 970	3.532	0.49	1.543	4.509
$urban_{it}$	城区人口占市区人口比重	2 970	65.524	22.915	7.76	100
$\ln pgdp_{it}$	人均实际 GDP	2 970	10.294	0.736	8.04	13.164
$stru_{it}$	工业总产值占 GDP 比重	2 970	146.374	71.417	12.586	1 927.777
$\ln kl_{it}$	资本占产出比重	2 970	12.515	0.76	9.769	14.91
$tech_{it}$	政府科学技术支出占 GDP 比重	2 970	0.228	0.229	0.001	2.982
fdi_{it}	实际利用外资额占 GDP 比重	2 970	2.472	2.684	0.000 2	34.592
$\ln pop_{it}$	单位面积人口数	2 970	0.233	0.45	-4.651	2.185
$\ln coal_{it}$	煤炭消费量	2 970	6.567	1.169	3.321	9.851

资料来源:作者计算所得。

四 实证结果

(一) 城镇化水平与雾霾污染的空间自相关分析

在进行空间杜宾模型回归之前,首先对雾霾污染与城镇化水平的全局空间相关性进行检验。表 2 给出了 2006~2016 年全国 270 个地级市在两种空间权重矩阵下雾霾污染与城镇化率全局 Moran's I 指数的计算结果。

表 2 雾霾污染与城镇化率的全局 Moran's I 指数

年份	雾霾污染		城镇化率	
	W_1	W_2	W_1	W_2
2006	0.205*** (30.476)	0.16*** (12.916)	0.05*** (7.869)	0.059*** (4.952)
2007	0.225*** (33.422)	0.171*** (13.754)	0.041*** (6.559)	0.057*** (4.807)
2008	0.204*** (30.277)	0.158*** (12.691)	0.049*** (7.631)	0.066*** (5.503)
2009	0.198*** (29.453)	0.153*** (12.332)	0.056*** (8.785)	0.079*** (6.512)
2010	0.209*** (31.073)	0.154*** (12.379)	0.054*** (8.456)	0.071*** (5.911)
2011	0.211*** (31.3)	0.165*** (13.248)	0.057*** (8.806)	0.074*** (6.085)
2012	0.2*** (29.757)	0.157*** (12.677)	0.043*** (6.868)	0.059*** (4.917)
2013	0.219*** (32.599)	0.171*** (13.736)	0.055*** (8.601)	0.069*** (5.759)
2014	0.199*** (29.553)	0.152*** (12.295)	0.052*** (8.162)	0.069*** (5.76)
2015	0.246*** (36.41)	0.199*** (15.921)	0.06*** (9.311)	0.067*** (5.55)
2016	0.237*** (35.144)	0.188*** (15.137)	0.065*** (10.079)	0.074*** (6.154)

注:***表示 1% 的显著性水平,括号内为 z 统计量。

根据表 2 可知,无论是雾霾污染还是城镇化率,各年份的 Moran's I 指数值均显著大于 0,这表明各城市雾霾污染与城镇化率都存在明显的空间正相关。其中,在地理距离空间权重矩阵(W_1)下,雾霾污染的全局 Moran's I 指数在 2015 年达到最大值 0.246,城镇化率的全局 Moran's I 指数在 2016 年达到最大值 0.065。而在经济与地理距离的嵌套空间权重矩阵(W_2)下,雾霾污染的全局 Moran's I 指数略微小于地理距离空间权重矩阵下的数值,城镇化率则相反,其全局 Moran's I 指数高于地理距离空间权重矩阵下的数值。前者在 2015 年达到最大值,后者则在 2009 年达到最大值。但不论是在地理距离空间权重矩阵还是经济与地理距离的嵌套空间权重矩阵下,雾霾污染和城镇化率都显示出明显的空间溢出性。

图 1 分别给出了 2016 年雾霾污染和城镇化率的 Moran 散点图。可以发现,雾霾污染和城镇化率大多集中在第一象限(H-H 型地区)和第三象限(L-L 型地区),少数集中在第二象限(L-H 型地区)和第四象限(L-L 型地区),表明雾霾污染和城镇化率均表现出明显的高-高集聚和低-低集聚模式。由于本文涉及地级市众多,以下仅重点分析局部 Moran's I 指数通过 1% 显著性水平检验的代表性地级市。就雾霾污染而言,共有 106 个地级市的局部 Moran's I 指数通过 1% 的显著性水平检验,其中北京市、天津市、唐山市、秦皇岛市、上海市、南京市等东部沿海城市显著位于 H-H 型地区;张家口市、承德市、阳泉市、长治市、赤峰市、乌兰察布市等显著位于 L-H 型地区;昆明市、丽江市、攀枝花市、海口市、徐州市等显著位于 L-L 型地区;呼伦贝尔市、郑州市等显著位于 H-L 地区。就城镇化率而言,共有 71 个地级市

的局部 Moran's I 指数在 1% 的显著性水平下显著,其中显著位于 H-H 地区的城市主要包括大连市、抚顺市、本溪市、伊春市、阜新市等;显著位于 L-H 地区的城市有绥化市、通辽市等;显著位于

L-L 地区的城市主要包括一些西部地区城市,如重庆市、雅安市、安顺市、昭通市等;显著位于 H-L 地区的城市有东莞市、柳州市、贵阳市和昆明市等。

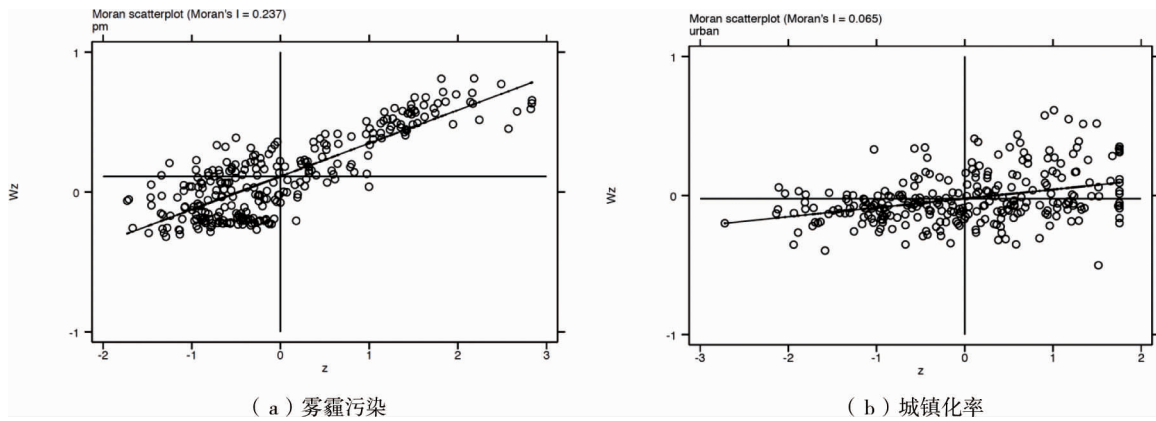


图 1 2016 年雾霾污染与城镇化率 Moran 散点图

由上述分析可知,雾霾污染和城镇化率存在明显的空间自相关,因此在实证过程中考虑雾霾污染与城镇化率的空间相关性是十分必要的,既有文献中李欣等(2017)和邵帅等(2019)已研究了雾霾污染和城镇化率的空间相关性。

(二) 回归结果

表 3 报告了 2006~2016 年我国 270 个地级市及以上城市城镇化水平与雾霾污染的估计结果。为便于比较分析,第(1)-(2)列为不考虑空间效应时城镇化水平对雾霾污染的估计结果,控制了时间和城市固定效应;第(3)-(6)列分别为基于地理距离空间权重矩阵(W_1)和经济与地理距离嵌套空间权重矩阵(W_2)的空间杜宾模型估计结果,其中偶数列报告了城镇化水平与雾霾污染二次项的实证结果。

当未考虑雾霾污染的空间相关性时,城镇化率对雾霾污染的回归系数显著为正,表明我国各地级市城镇化的推进会显著加剧雾霾污染。若继续纳入城镇化率与经济增长水平的二次项,回归结果显示城镇化水平的一次项与二次项以及经济增长的一次项均不显著,而经济增长的二次项显著为正。这说明二者均不满足环境库兹涅茨假说,从全国整体来看,城镇化水平、经济增长与雾霾污染之间仅存在简单的线性关系。根据表 3 可知,不论是基于地理距离空间权重矩阵(W_1)还是经济与地理距离嵌套空间权重矩阵(W_2),雾霾污

染的空间滞后项均显著为正,且都在 1% 的显著性水平下显著,表明中国各地级市之间的雾霾污染存在显著的正向空间溢出效应,邻近地区雾霾浓度增加会加剧本地区的雾霾污染。这反映出中国各地级市在雾霾治理过程中应与其他城市相互合作,采取区域联防联控策略共同防治雾霾污染。从表 3 第(4)列和第(6)列的回归结果来看,在两种空间权重矩阵下,城镇化率的一次项和二次项系数均不显著,这表明总体上城镇化水平与雾霾污染之间不存在显著的非线性关系。根据诺瑟姆定律,结合生态现代化理论和城市环境转型理论来看,目前我国总体上仍处于雾霾污染随城镇化水平提高而加剧的阶段。经济增长与雾霾污染之间也并不满足环境库兹涅茨假说,而是呈简单的线性正向关系,表明中国各城市的经济增长显著加剧了雾霾污染。外商直接投资和煤炭消费量对雾霾污染的影响显著为正,表明中国各地级市的对外开放力度越大、能源消耗越大越会加剧该地区雾霾污染。产业结构和人口密度不会加剧城市雾霾污染;技术进步和政府财政科技支出与雾霾污染之间存在显著的负相关关系,这表明我们可以通过提高城市技术水平降低雾霾污染。此外,比较普通面板和空间杜宾模型的回归系数可知,若忽略城市间雾霾污染的空间相关性,将会高估各解释变量对雾霾污染的影响,这进一步印证了运用空间杜宾模型的合理性。

表 3 城镇化水平与雾霾污染的估计结果

解释变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	fe	fe	W ₁	W ₁	W ₂	W ₂
W * lnpm _{2.5it}			0.833 7*** (25.28)	0.836*** (25.54)	0.739 7*** (20.97)	0.746 2*** (21.32)
urban _{it}	0.000 5** (2.21)	0.001 4 (1.32)	0.000 4** (2.00)	0.001 4 (1.44)	0.000 4** (2.02)	0.001 5 (1.5)
urban _{it} ²		-0.000 01 (-0.73)		-0.000 01 (-0.92)		-0.000 01 (-0.97)
W * urban _{it}			-0.000 3 (-0.17)	-0.000 7 (-0.38)	-0.001 6 (-1.46)	-0.001 6 (-1.44)
lnpgdp _{it}	0.432 2*** (7.1)	-0.127 (-0.97)	0.417 9*** (7.22)	-0.100 5 (-0.81)	0.412 2*** (7.18)	-0.127 6 (-1.02)
lnpgdp _{it} ²		0.026 7*** (4.82)		0.024 8*** (4.69)		0.025 8*** (4.86)
W * lnpgdp _{it}			-0.383 3*** (-6.45)	-0.395 9*** (-6.68)	-0.389 3*** (-6.6)	-0.400 6*** (-6.81)
stru _{it}	-0.000 7 (-1.56)	-0.000 04 (-0.81)	-0.000 1 (1.56)	-0.000 04 (-0.85)	-0.000 07 (-1.61)	-0.000 04 (-0.88)
lnkl _{it}	-0.024 8*** (-3.04)	-0.016 1* (-1.94)	-0.021 2*** (-3.17)	-0.013 9** (-2.04)	-0.022 1*** (-3.3)	-0.014 7** (-2.14)
tech _{it}	-0.042 6*** (-2.92)	-0.052 4*** (-3.57)	-0.037 49*** (-2.76)	-0.047 2*** (-3.44)	-0.039 9*** (-2.92)	-0.049 8*** (-3.62)
fdi _{it}	0.003 1*** (2.64)	0.003 6*** (3.09)	0.003*** (2.71)	0.003 5*** (3.15)	0.003 1*** (2.79)	0.003 6*** (3.24)
lnpop _{it}	0.012 9 (1.32)	0.007 5 (0.77)	0.011 8 (1.27)	0.006 9 (0.74)	0.008 5 (0.91)	0.003 6 (0.38)
lncoal _{it}	0.029 3** (2.47)	0.036 9*** (3.1)	0.028 4*** (2.6)	0.035 4*** (3.21)	0.027 8*** (2.58)	0.034 4*** (3.18)
_cons	-0.638 (-1.07)	2.086 7** (2.54)				
sigma2_e			0.009 4*** (38.46)	0.009 4*** (30.46)	0.009 6*** (38.42)	0.009 5*** (38.42)
N	2 970	2 970	2 970	2 970	2 970	2 970
R ²	0.255 3	0.261 7	0.105	0.106 9	0.123 3	0.122 9

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10%水平下显著,括号内为 t 统计量或 z 统计量。

(三) 效应分解

为进一步探讨空间杜宾模型中回归系数所包含的交互信息,表 4 报告了在地理距离空间权重矩阵和经济与地理距离嵌套空间权重矩阵下,各变量的平均直接效应、间接效应和总效应估计值。在地理距离空间权重矩阵(W₁)下,城镇化率的直接效应为 0.000 5,在 10%的水平上显著,这表明城镇化水平每提高一个百分点会使得本地区雾霾污染上升 0.000 5 个百分点。本地区外商直接投资和煤炭消费量的增加都会显著加剧本地区的雾

霾污染;产业结构和人口密度不会加剧本地区雾霾污染;技术进步和政府财政科技支出会显著降低本地区雾霾污染。从间接效应来看,城镇化水平的间接效应不显著为正,表示相邻地区城镇化水平的提高不会显著加剧本地区雾霾污染。从总效应来看,我国各地级市(包括本地区和邻近地区)城镇化水平每增加 1%,雾霾污染浓度将增加 0.002 2%,但并未通过显著性检验。经济与地理距离嵌套空间权重矩阵(W₂)也得到了类似的效应估计值。

表4 直接效应、间接效应和总效应估计值

变量	W ₁			W ₂		
	Direct	Indirect	Total	Direct	Indirect	Total
urban _{it}	0.000 5* (2.46)	0.001 7 (0.15)	0.002 2 (0.19)	0.000 4* (1.8)	-0.004 4 (-1.03)	-0.004 (-0.92)
lnpgdp _{it}	0.414 7*** (7.45)	-0.186 5 (-1.3)	0.228 2* (1.68)	0.407 5*** (7.4)	-0.312 6*** (-3.62)	0.094 8 (1.32)
stru _{it}	-0.000 06 (-1.52)	-0.003 3 (-1.34)	-0.000 4 (-1.38)	-0.000 1 (-1.57)	-0.000 2 (-1.46)	-0.000 3 (-1.51)
lnkl _{it}	-0.021 7*** (-3.27)	-0.112 ** (-2.42)	-0.133 7*** (-2.59)	-0.022 7*** (-3.4)	-0.064 2*** (-2.84)	-0.086 8*** (-3.05)
tech _{it}	-0.037 8*** (-2.78)	-0.194 8** (-2.18)	-0.232 6** (-2.31)	-0.040 2*** (-2.94)	-0.114 ** (-2.5)	-0.154 2*** (-2.67)
fdi _{it}	0.003 1*** (2.85)	0.015 9** (2.22)	0.019 ** (2.36)	0.003 2*** (2.93)	0.009 1** (2.53)	0.012 3*** (2.69)
lnpop _{it}	0.012 1 (1.22)	0.062 2 (1.13)	0.074 3 (1.15)	0.008 8 (0.87)	0.024 6 (0.84)	0.033 4 (0.85)
lncoal _{it}	0.028 7*** (2.7)	0.148 ** (2.06)	0.176 8** (2.18)	0.028 *** (2.67)	0.079 7** (2.24)	0.107 8** (2.39)

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平下显著,括号内为z统计量。

五 空间效应的影响差异分析

(一) 地理区位差异

中国的城镇化进程和雾霾污染程度均存在明显的地理区位差异。在样本期间内,东部地区、中部地区、西部地区的平均城镇化水平分别为68.08%、67.1%、59.61%,雾霾浓度呈东部地区(43.12ug/m³)、中部地区(41.1ug/m³)明显高于西部地区(26.53ug/m³)的态势。因此,在分析城镇化对雾霾污染的空间溢出效应时应考虑我国各地级市的地理区位差异。表5报告了地理距离空间权重矩阵下东、中、西部地区城镇化水平对雾霾污染的空间杜宾模型估计结果,其中偶数列报告了同时纳入城镇化水平与雾霾污染一次项和二次项的实证结果。根据表5可知,东、中、西部地区的雾霾污染空间滞后项系数均在1%的水平上显著为正,且中部地区>东部地区>西部地区。这表明我国东、中、西部地区的雾霾污染均呈现出较强的正向空间溢出效应,其中中部地区雾霾污染的空间溢出效应最强。

就城镇化率而言,东部地区的城镇化水平与雾霾污染之间呈显著的“倒U型”关系,即东部地区城镇化率的提升会使雾霾污染浓度呈先升后降

之势。中部地区的城镇化水平与雾霾污染之间并无显著的非线性关系,而是呈单调正向关系;西部地区城镇化水平与雾霾污染之间并无显著关系。其可能原因是东部地区经济发展水平、产业结构、节能减排技术等都优于中西部地区,社会民众对环境质量的要求越来越高、环保意识也更强,东部地区对雾霾污染的影响开始逐渐迈向“倒U型”曲线的右半段,符合生态现代化理论和城市环境转型理论。中西部地区的城市发展滞后于东部地区,且承接了部分东部地区的污染密集型产业,造成了中西部地区雾霾污染浓度的显著提高。而西部地区地域辽阔,各城市间相隔较远,城镇化水平提高对彼此之间的影响较小。进一步对东部地区城镇化水平的拐点值进行计算发现,越过拐点值89.1%的城市(如上海、东莞等)已步入“倒U型”曲线的右半段,即雾霾污染浓度随城镇化率的提高而逐渐下降。此外,在东部地区和西部地区内,相关地级市城镇化率的提高会显著降低本地级市的雾霾浓度,但只有东部地区通过了水平显著性检验。这可能是因为东部地区城市分布较为密集,任一城市掌握的先进知识和节能减排技术都能通过溢出效应对相邻城市产生“示范效应”,进

而降低雾霾污染。比较东、中、西部地区雾霾污染的直接效应来看,同样只有东部地区的城镇化率满足环境库兹涅茨假说呈“倒 U 型”曲线关系,中

部地区城镇化水平的提高会显著提高本地区地级市的雾霾浓度,而西部地区城镇化水平的提高对本地区地级市雾霾浓度并无显著促进作用。

表 5 地理区位差异估计结果

变量	东部地区		中部地区		西部地区		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
$W * \ln pm_{2.5it}$	0.7682*** (19.5)	0.7666*** (19.42)	0.8086*** (21.66)	0.8118*** (21.91)	0.5982*** (9.12)	0.5991*** (9.17)	
$urban_{it}$	0.0007*** (2.71)	0.0024** (2.35)	0.0007* (1.69)	-0.0006 (-0.31)	-0.0001 (-0.18)	0.0035 (1.61)	
$urban_{it}^2$		-0.00001* (-1.78)		0.00001 (0.72)		-0.00003* (-1.69)	
$W * urban_{it}$	-0.0025* (-1.88)	-0.0028** (-2.1)	0.0012 (0.51)	0.0009 (0.38)	-0.0004 (-0.17)	-0.0003 (-0.11)	
$\ln pgdp_{it}$	0.0591 (0.78)	0.3499* (1.73)	1.7408*** (13.28)	1.298*** (5.05)	0.5304*** (5.58)	-0.0255 (-0.11)	
$\ln pgdp_{it}^2$		-0.0135 (-1.61)		0.0206** (2.00)		0.0251*** (2.57)	
$W * \ln pgdp_{it}$	-0.0927 (-1.17)	-0.097 (-1.22)	-1.7118*** (-12.74)	-1.6953*** (-12.63)	-0.5883*** (-5.75)	-0.55545*** (-5.41)	
Direct	$urban_{it}$	0.0006** (2.01)	0.0024** (2.17)	0.0009* (1.77)	-0.006 (-0.25)	-0.0001 (-0.16)	0.0036 (1.6)
	$urban_{it}^2$		-0.00001* (-1.78)		0.00001 (0.66)		-0.00003* (-1.68)
Indirect	$urban_{it}$	-0.0079 (-1.33)	-0.0038 (-0.56)	0.0104 (0.8)	0.0017 (0.1)	-0.0008 (-0.13)	0.0044 (0.62)
	$urban_{it}^2$		-0.00005 (-1.56)		0.00004 (0.62)		-0.00004 (-1.46)
Total	$urban_{it}^2$	-0.0073 (-1.2)	-0.0014 (-0.19)	0.0113 (0.85)	0.0012 (0.06)	-0.0008 (-0.14)	0.0081 (0.93)
	$urban_{it}^2$		-0.00006 (-1.63)		0.00006 (0.63)		-0.0001 (-1.6)

注:***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平下显著,括号内为 z 统计量。

(二) 城镇化模式差异

从城镇化推进模式来看,粗放型和集约型的城镇化模式对雾霾污染的影响同样呈现出明显差异。在样本期间内,我国各城市人口密度逐年递减,反映出我国城镇化存在严重的粗放型发展问题。本文以 2016 年我国各城市的平均人口密度值为分界点,将我国各城市划分为粗放型城镇化模式城市和集约型城镇化模式城市。表 6 报告了地理距离空间权重矩阵下粗放型和集约型城镇化城市城镇化水平对雾霾污染的空间杜宾模型估计结果,其中偶数列报告了同时纳入城镇化水平与

雾霾污染一次项和二次项的实证结果。

根据表 6 可知,集约型模式的城镇化水平与雾霾污染之间存在显著的“倒 U 型”曲线关系。这表明推行集约型城镇化模式城市的雾霾污染会随着城镇化水平的提高先升后降(见列 4),而粗放型模式的城镇化对雾霾污染并无显著影响,这符合前文的紧凑城市理论。进一步对集约型模式的城镇化水平的拐点值进行计算发现,已经越过拐点值 75% 的城市及年份有:2006~2016 年的上海市、东莞市、丹东市、南昌市、哈尔滨市、四平市、大同市、平顶山市、揭阳市、松原市、沈阳市、西宁

市,以及上饶市(2010~2012)、南通市(2006)、台州市(2006)、安康市(2006)等。此外,集约型模式的城镇化率对雾霾污染的直接效应和总效应也呈“倒U型”曲线关系,即集约型城镇化会造成本

地区和总体的雾霾污染先上升后下降。由此可见,随着城市人口密集度的提高,推行集约型城镇化的城市随着城镇化水平的提高最终会降低雾霾污染。

表6 城镇化模式差异估计结果

变量	粗放型		集约型		
	(1)	(2)	(3)	(4)	
$W * \ln pm_{2.5it}$	0.756 3*** (16.74)	0.753 9*** (16.63)	0.746 4*** (27.67)	0.755 3*** (16.47)	
$urban_{it}$	0.000 5 (5.54)	-0.001 3 (1.02)	0.000 5* (1.64)	0.003 9*** (3.18)	
$urban_{it}^2$		0.000 01 (1.02)		-0.000 03*** (-2.7)	
$W * urban_{it}$	-0.001 5 (-0.84)	-0.001 3 (-0.74)	0.000 9 (0.42)	0.000 6 (0.29)	
$\ln pgdp_{it}$	0.444 1*** (5.54)	0.817 2*** (3.69)	0.366 1*** (4.54)	-0.372 4** (-2.19)	
$\ln pgdp_{it}^2$		-0.016 7* (-1.8)		0.038 3*** (4.85)	
$W * \ln pgdp_{it}$	-0.430 6*** (-5.2)	-0.437 1*** (-5.28)	-0.337 4*** (-4.1)	-0.400 1*** (4.51)	
Direct	$urban_{it}$	0.000 4 (1.35)	-0.001 3 (-0.73)	0.000 6* (1.72)	0.004 1*** (3.13)
	$urban_{it}^2$		-0.000 01 (0.95)		-0.000 03*** (-2.66)
Indirect	$urban_{it}$	-0.003 7 (-0.5)	-0.009 1 (-0.95)	0.005 6 (0.67)	0.015 2 (1.39)
	$urban_{it}^2$		0.000 04 (0.88)		-0.000 09** (-2.04)
Total	$urban_{it}$	-0.003 2 (-0.43)	-0.010 5 (-0.96)	0.006 1 (0.73)	0.019 3* (1.66)
	$urban_{it}^2$		0.000 05 (0.91)		-0.000 1** (-2.24)

注:***、**、*分别表示在1%、5%、10%水平下显著,括号内为z统计量。

六 主要结论与对策建议

本文以2006~2016年全国270个地级及以上城市为研究对象,采用空间杜宾模型考察城镇化水平对雾霾污染的影响。主要研究结论如下:首先,雾霾污染存在显著的正向空间溢出效应,邻近地区雾霾污染浓度增加会加剧本地区的雾霾污染;其次,从全国整体来看,城镇化水平与雾霾污染存在显著的简单的正相关关系,即中国各地级市的雾霾污染随着城镇化进程的推进呈先上升趋势。进一步,通过分解各解释变量对雾霾污染的

空间效应发现,本地区城镇化水平仅会加剧本地区的雾霾污染。最后,通过考察城镇化水平影响雾霾污染的地理区位和城镇化推进模式差异性发现,东部地区和推行集约型城镇化模式城市的城镇化水平与雾霾污染呈“倒U型”关系,中部地区的城镇化水平与雾霾污染之间仅呈简单的正向相关关系,而西部地区和推行粗放型城镇化城市的城镇化水平并不会加剧雾霾污染。

基于以上理论与实证分析,结合我国当前推进新型城镇化建设的实际情况,提出如下对策建

议。第一,加强区域联防联控,共同治理雾霾污染。研究发现防治雾霾应从控制局部污染向区域联防联控转变。建立和完善区域间污染防治的生态补偿机制,加强区域联合执法。针对雾霾污染表现为高-高集聚的京津冀地区和长三角地区,成立专门的雾霾污染防治领导小组,完善雾霾污染防治协作机制,建立实时共享雾霾信息平台,统一协调区域经济发展和产业升级规划。严格限制污染产业,淘汰落后高污染高耗能产业的同时,鼓励绿色节能减排技术及新兴产业发展。第二,真正落实“绿水青山就是金山银山”的发展理念,全面推进新型城镇化建设。前文实证研究表明,我国整体上城镇化与雾霾污染之间仅存在简单的线性关系。究其原因在于,过去我国在推进城镇化过程中片面追求“数字化”“政绩化”和“人口城镇化”,过度开发城市资源。因此,要将绿色、循环、低碳的生态发展理念融入新型城镇化建设,推动城市由经济型城镇化向生态城镇化转变、由数量型城镇化向质量型城镇化转变、由粗放型城镇化向效益型城镇化转变,实现城镇可持续发展。此

外,实证结果还表明邻近地区城镇化进程的推进也会加剧本地区的雾霾污染,因而各地级市在推进新型城镇化的过程中应加强城市间的协调发展,形成雾霾治理与城市协调发展的双赢格局。第三,制定差异化的城镇化发展路径和雾霾治理对策,推动城镇化发展模式从粗放型向集约型转变。根据研究结果,我们认为,东部地区应更加注重城镇化质量的提升,不断优化产业结构和能源消费结构,加快形成雾霾污染联防联控机制,尽快推进城镇化迈过“倒U型”曲线右半段;中部地区应转变当前的粗放型城镇化发展道路,把雾霾治理和生态优化放在城镇化发展的优先位置;西部地区应大力推进城镇化建设,但应避免盲目追求人口城镇化带来雾霾污染问题。推动城镇化发展模式从粗放型向集约型转变,应实行紧凑的城市建设,提高城市资源配置效率,避免城市工业用地的无序扩张。另外,各地级市还应不断增加科研投入,增强城市技术创新能力,以实现雾霾污染的前端预防和末端治理,进而推动城市可持续发展。

The Impact of Urbanization Level on Haze Pollution: Based on Cities at Prefecture Level and Above in China

QIU Yi & HUANG Dan

(School of Business, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Based on the spatial econometric theory, this paper sets up a spatial Durbin model to measure the impact of urbanization on haze pollution by using the data of 270 cities at the prefecture level and above between 2006–2016 in China. Results show that firstly there is a significant positive spatial spillover effect of haze pollution in China, and the increase of haze pollution in related areas will exacerbate the haze pollution in local area. Secondly, there is a significant positive relationship between urbanization and haze pollution, indicating that China's haze pollution shows an upward trend with the advancement of urbanization. Lastly, from the perspective of geographic location and urbanization promotion mode, the urbanization level and haze pollution show an inverted U-shaped curve relationship in the eastern region and the cities implementing intensive urbanization. There is only a simple positive correlation between the urbanization level and haze pollution in the central region. The urbanization level and the extensive urbanization mode in the western region does not aggravate haze pollution.

Key words: urbanization; haze pollution; $PM_{2.5}$; spatial Durbin model

(责任校对 王小飞)