

# 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

李欣 曹建华 孙星\*

**摘要:**雾霾污染已经成为当前最受关注的环境问题之一,而空间溢出效应和城市化进程是影响本地区雾霾污染的重要因素,因此有必要在空间视角下考察城市化对区域雾霾污染的影响。本文采用空间杜宾模型,以长三角区域的地级市为例,分析了城市化进程对雾霾污染的影响。研究表明,长三角区域雾霾污染存在显著的正向空间溢出效应,周边地区雾霾污染加重将加剧本地区雾霾污染;城市化推进是长三角地区雾霾污染加剧的重要原因,在空间邻接权重矩阵下,城市化水平增加了1个百分点,PM<sub>2.5</sub>浓度将增加2.216微克/立方米;周边地区城市化进程对本地区雾霾具有显著的正向影响,而且,城市化对雾霾影响的间接效应远大于直接效应。据此,本文提出加强区域联防联控和城市间的协同发展等政策建议。

**关键词:**城市化;雾霾污染;PM<sub>2.5</sub>;空间杜宾模型;空间溢出效应

## 一、引言

改革开放以来,尽管我国取得了巨大的经济增长成就,但经济增长的代价是严重的资源和环境问题,特别是以雾霾为主的大气污染已经引起全国乃至世界各国的关注。2016年冬天,重度雾霾污染天气席卷全国多地,部分城市拉响黄色甚至红色预警,2016年全国190个监测城市中,PM<sub>2.5</sub>年均浓度超过35微克/立方米(2012年新修订《环境空气质量标准》的二级浓度限值)的城市就有172个,其中河北省和山东省共有7个城市的PM<sub>2.5</sub>浓度年均值超过了100

---

\*李欣(通讯作者),上海财经大学财经研究所,上海商学院商务经济学院,邮政编码:200433,电子邮箱:qingpingguo12@126.com;曹建华,上海财经大学财经研究所、城市与区域科学学院,邮政编码:200433,电子邮箱:cao.jianhua@mail.shufe.edu.cn;孙星,上海财经大学财经研究所、城市与区域科学学院,邮政编码:200433,电子邮箱:sun.xing@mail.shufe.edu.cn。

本研究系上海市哲学社会科学规划课题“长三角雾霾污染的经济成因及污染防治的区域合作机制研究”(2015BGL012)的阶段性成果。感谢匿名审稿人对文章提出的建设性意见,文责自负。

微克/立方米<sup>①</sup>。日益严峻的雾霾形势已经对交通安全、人类健康造成了严重影响。长三角区域包括上海市、江苏省、浙江省和安徽省4个省份<sup>②</sup>,是我国城镇分布最密集、经济发展水平最高的地区之一,该地区是我国经济发展的重要引擎,也是雾霾污染的重灾区。

目前,我国对雾霾污染的关注已经达到前所未有的高度,政府部门亦出台了有关雾霾污染治理的联防联控政策。2012年国务院发布了《重点区域大气污染防治“十二五”规划》,2013年9月10日,国务院又发布了《大气污染防治行动计划》,同年,党的十八届三中全会提出,建立污染防治区域联动机制。在2015年第十二届全国人民代表大会上,李克强总理提出“深入实施大气污染防治行动计划,实行区域联防联控”。长三角区域是节能减排和大气污染防治的重点区域,区域内的政府对大气污染防治高度重视,并于2014年1月7日正式启动了由长三角三省一市和国家八部委组成的长三角区域大气污染防治协作机制。

从上述政策可以看出,我国政府在应对雾霾污染问题时,主要实施的是区域联防联控政策,这主要是由雾霾污染的空间相关特征决定的。从自然因素讲,在大气环流、大气化学的作用下,雾霾污染呈现出较强的空间传输性;在经济社会因素方面,受区域经济连片发展、污染产业转移、产业集聚等因素的影响,雾霾污染在地理分布上也表现出一定的空间相关特征。由此可见,以雾霾为代表的大气污染治理不仅仅是一个城市的局部问题,更是区域性甚至全球性的问题,涉及到颗粒物在大气中的长途传输和化学循环。因此,雾霾污染治理不可能依靠个别城市孤军奋战,而必须要加强城市间的协调合作,实行联防联控。同时,这也意味着在分析雾霾污染的经济成因时不可能忽视雾霾污染的空间相关特征。

我国不少地区雾霾天气反复出现,表面看是受到不利的气候条件如湿度饱和、静稳天气等的影响,但深层次来看,快速的城市化、工业化、机动化均是加剧我国雾霾污染的重要经济因素<sup>③</sup>,特别是城市化因素对雾霾污染的加剧作用更不容忽视(孟春、郭上,2014)。城市是能源消耗的主体,2015年城市消耗的能源占全国能源消费量的84%;此外,从城市布局来讲,城市化高度集中在我国东部地区,这与雾霾污染集中分布的特点如出一辙。由此可见,从城市化角度探讨雾霾污染的分布及成因显得非常必要。

近年来,随着我国雾霾污染形势日益严峻,关于雾霾成因及治理的相关研究也在不断增加,陈诗一和陈登科(2016)运用联立方程组模型和增长核算分析测算发现,煤炭消耗是中国PM<sub>2.5</sub>的主要贡献者,并提出政府的财政补贴可以帮助能源结构实现合理演化。邵帅等(2016)的研究表明,重工业为主的产业结构、煤炭为主的能源结构等都是我国雾霾污染加剧的推手。与此同时,围绕城市化对雾霾污染的影响,也有部分学者进行了研究。陈桂秋(2014)认

①数据来源:<http://forex.cngold.com.cn/gnrd/20161212d11024n106525970.html>。

②2014年《国务院关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》的出台,标志着安徽省正式划入长三角。

③资料来源:<http://www.ceh.com.cn/xwpd/2016/12/1019671.shtml>。

为,雾霾在空间格局上表现为大城市污染重于中小城市,城市及其周边地区的污染强度高于农村,从而表明城镇化进程和雾霾污染的发展态势存在密切关系。冷艳丽和杜思正(2015)采用2001-2015年中国省际面板数据考察了工业化和城市化对雾霾污染的影响,研究发现,城市化推进对雾霾污染具有正向影响,产业结构与雾霾污染存在正相关关系。刘伯龙等(2015)采用2001-2010年我国省际动态空间面板数据考察了城市化推进对雾霾污染的影响程度与方向,研究表明,城市化推进1%会导致PM<sub>2.5</sub>浓度增加0.029个百分点。彭迪云等(2015)以长江经济带11个省市为研究对象,采用门槛分析法考察了城市化对雾霾污染<sup>①</sup>的门槛效应。与彭迪云等(2015)的研究方法一致,严雅雪和李锴(2016)也采用面板门槛效应模型,实证检验了城市化对PM<sub>2.5</sub>浓度的影响及经济增长、能源结构和产业结构指标的门槛效应。研究发现,城市化水平与PM<sub>2.5</sub>浓度存在正相关关系,并且具有明显的门槛特征。刘晓红和江可申(2016)采用2001-2010年我国29个省份的数据,在对面板数据进行协整检验和单位根检验的基础上,利用FMOLS考察了城市化和产业结构对PM<sub>2.5</sub>污染的加剧作用。从以上文献分析可以看出,当前关于城市化与雾霾污染关系的研究相对较少,然而,国内外学者已经就城市化与环境质量的关系开展了较多的研究,如Cole和Neumayer(2004)、林伯强和刘希颖(2010)、Martínez-Zaragoza(2008)等。

从关于城市化与雾霾污染关系的文献研究可以看出,围绕该主题,尚存在以下可以补充完善的地方:第一,在研究方法上,多数研究采用了面板分析方法,然而,鲜有学者考虑到雾霾污染的空间溢出效应并在此基础上采用空间计量工具对城市化与雾霾污染的关系进行研究;第二,在研究层面上,多数采用的是省级面板数据,鲜有学者采用地级市数据对两者的关系予以考察。为此,本文将在现有研究的基础上,以长三角区域为例,采用2003-2010年地级市面板数据,运用空间计量分析方法就城市化对雾霾污染的影响方向与程度进行定量分析。本文结构安排如下:第二部分介绍模型及变量选择,第三部分展示空间计量分析结果,最后是结论和政策含义。

## 二、计量模型及变量选择

### (一)计量模型

考虑到雾霾污染的空间溢出效应,本文主要采用空间杜宾模型对城市化与雾霾污染的关系予以分析,空间杜宾模型(SDM)是空间计量经济学的一般分析框架,是空间滞后模型(SAR)和空间误差模型(SEM)的一般形式(陈强,2014),具体表示如下:

$$Y = \rho WY + X\beta + WX\theta + R \quad (1)$$

(1)式中, $Y$ 为被解释变量,表示PM<sub>2.5</sub>年均浓度; $\rho$ 、 $\beta$ 、 $\theta$ 为待估参数; $W$ 表示空间权重矩阵;

<sup>①</sup>采用因子分析法对工业废气、烟尘、二氧化硫、煤炭、居民汽车拥有量等指标进行处理,用来度量雾霾污染程度。

$X$  为解释变量,包括核心解释变量城市化水平和一系列控制变量; $\rho WY$  体现了其他区域雾霾污染对本地区雾霾污染的空间溢出效应; $WX\theta$  体现了其他地级市解释变量对本地区雾霾污染的空间溢出程度; $R$  为包含截距和误差项的剩余项。当  $\theta=0$  时,该模型可简化为空间滞后模型,当  $\theta+\rho\beta=0$  时,该模型可简化为空间误差模型。

## (二)变量选择

### 1. 雾霾污染( $PM$ )

本文用2003–2010年长三角42个地级市的 $PM_{2.5}$ 年均浓度表示该区域的雾霾污染程度<sup>①</sup>。该数据来源于巴特尔研究所、哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心,在此基础上,本文利用ArcGIS工具将该中心发布的全球2001–2010年 $PM_{2.5}$ 年均栅格数据转化为同年度地级市数据。表1汇报了长三角主要地级市雾霾污染的基本状况。从表1年均值、最小值和最大值可以看出,2003–2010年间,长三角地区雾霾污染大致呈逐年增加趋势,舟山市是长三角区域雾霾污染程度最低的地区,这主要归因于舟山市的海岛环境及以渔业和旅游业等环境友好产业为主的经济形态。相对来讲,受重工业为主的产业结构的影响,徐州的雾霾污染最为严重。

表1 长三角地区雾霾污染的基本状况 (单位:微克/立方米)

|       | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007    | 2008   | 2009    | 2010   |
|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|
| 均值    | 59.903 | 58.776 | 65.751 | 66.075 | 70.678  | 69.390 | 72.646  | 65.444 |
| 最小值   | 20.440 | 24.760 | 21.760 | 21.000 | 21.820  | 22.780 | 28.470  | 28.412 |
| (地级市) | (舟山)   | (舟山)   | (舟山)   | (舟山)   | (舟山)    | (舟山)   | (舟山)    | (丽水)   |
| 最大值   | 81.794 | 79.538 | 87.988 | 90.679 | 101.385 | 96.812 | 101.652 | 95.130 |
| (地级市) | (阜阳)   | (马鞍山)  | (常州)   | (徐州)   | (徐州)    | (淮南)   | (徐州)    | (徐州)   |

### 2. 城市化水平( $urban$ )

本文采用城镇人口占总人口的比重表示城市化水平。通常国际上衡量城市化水平的方法有三种,第一种为户籍城市化率,用非农人口占比表示;第二种用城镇人口占总人口的比重表示;第三种用城市年平均现有人口除以全国年平均数表示。参考《中国城市化率调查报告》,本文采用第一种常用的计算方法。

### 3. 其他控制变量

(1)经济增长水平(  $gdp$  ),采用2003年不变价格人均GDP表示,单位为万元/人。根据环境库兹涅茨假说(EKC假说),经济增长与环境污染可能存在倒“U”型关系,一方面,在经济发展初期,经济发展依赖大量的资源和能源消耗,进而伴随产生了环境污染问题,另一方面,随着经济持续增长,经济发展方式逐渐由粗放型向集约型转变,人们对环境质量的要求不断提

<sup>①</sup>之所以采用 $PM_{2.5}$ 年均浓度来度量雾霾污染,主要是因为 $PM_{2.5}$ 是霾的主要构成成分,是导致雾霾污染的罪魁祸首。

高,环境污染问题将有所缓解(Grossman & Krueger, 1995)。为对经济增长与环境质量的非线性关系进行验证,本文加入了人均GDP的二次项。

(2)人口规模(*pop*),采用年末人口数表示。关于人口对雾霾污染的影响,部分学者已经对此进行了研究,邵帅等(2016)认为,人口密度的增加是雾霾污染加剧的重要因素。本文认为,考察人口对雾霾污染的影响可从两个方面予以考虑:人口规模和人口密度。鉴于城市化与人口密度高度相关,在此,本部分重点考察人口规模对雾霾污染的影响。

(3)产业结构(*sec*),参考何枫和马栋栋(2015)的研究,用第二产业产值占GDP的比重表示。第二产业是能源消耗大户,2015年仅工业部门消耗的能源就占能源消费总量的67.97%,可见,其对雾霾污染的加剧作用不容忽视。

(4)能源效率(*eff*),用能源消费量与GDP(2003年不变价格)之比表示。鉴于地级市能源消费量的直接数据不可得,本文进行了间接估计,用各地级市的GDP占比作为权重,进而乘以所在省份的能源消费量。能源效率对雾霾污染的影响方向具有不确定性,直觉上讲,能源效率的提升意味着单位产值所需要消耗的能源减少,环境污染相应有所缓解,但倘若存在“能源回弹效应”,则能源效率提升可能会导致更高的能源需求,进而加剧环境污染(邵帅等,2013)。

(5)交通压力(*tri*),参考马丽梅等(2016)的做法,采用单位公路里程的民用汽车拥有量表示。该指标体现了民用汽车总量与交通建设之间的关系,若该值增大,表明交通建设的发展速度滞后于民用汽车增加的速度,交通拥堵严重将造成汽车油耗增加,雾霾污染加剧。表2对变量的基本情况进行了描述性统计。

表2 变量的基本描述性统计

| 变量                    | 样本  | 均值      | 标准差     | 最小值    | 最大值      |
|-----------------------|-----|---------|---------|--------|----------|
| 雾霾污染( <i>PM</i> )     | 336 | 66.083  | 18.557  | 20.440 | 101.652  |
| 城市化水平( <i>urban</i> ) | 336 | 34.718  | 17.500  | 9.910  | 88.860   |
| 经济增长水平( <i>gdp</i> )  | 336 | 2.463   | 2.041   | 0.243  | 11.337   |
| 人口规模( <i>pop</i> )    | 336 | 475.392 | 260.380 | 70.910 | 1412.320 |
| 产业结构( <i>sec</i> )    | 336 | 49.819  | 9.499   | 23.230 | 72.740   |
| 能源效率( <i>eff</i> )    | 336 | 1.048   | 0.234   | 0.640  | 1.724    |
| 交通压力( <i>tri</i> )    | 336 | 27.234  | 35.348  | 3.039  | 273.411  |

### 三、实证结果分析

#### (一)雾霾污染的空间相关性分析

本文主要采用空间计量工具分析城市化对雾霾污染的影响。为证明采用空间计量分析工具的合理性,在进行实证分析前,本文首先选择合理的空间权重矩阵并对雾霾污染的空间

相关性进行检验。本文主要选取两种空间权重矩阵,一是空间邻接权重矩阵( $W_1$ ),其元素用城市间是否相邻表示,若城市相邻则等于1,否则为0,该矩阵体现了研究区域的空间接壤关系;二是地理距离空间权重矩阵( $W_2$ ),用地级市质心的欧式距离的倒数表示。在此基础上,本文采用全局Moran's I指数对雾霾污染的空间相关性进行了检验。全局Moran's I指数用于检验区域的空间相关性,其值介于-1到1之间,大于0表示存在空间正相关,雾霾严重区域集聚在一起,小于0表示存在空间负相关,高雾霾污染区域与低雾霾污染区域相邻,等于0则表示雾霾污染不存在空间相关性。表3报告了两种空间权重矩阵下雾霾污染的全局Moran's I指数,可以看出,Moran's I的值介于0~1之间,且均满足1%的显著性水平,表明雾霾污染存在显著的正向空间溢出性,这也证明了采用空间计量分析的合理性。

表3 长三角地区雾霾污染的全局空间相关性分析

| 年份   | $W_1$     |       | $W_2$     |       |
|------|-----------|-------|-----------|-------|
|      | Moran's I | z值    | Moran's I | z值    |
| 2003 | 0.642***  | 7.083 | 0.770***  | 6.464 |
| 2004 | 0.622***  | 6.874 | 0.758***  | 6.378 |
| 2005 | 0.556***  | 6.185 | 0.673***  | 5.699 |
| 2006 | 0.714***  | 7.811 | 0.791***  | 6.607 |
| 2007 | 0.640***  | 7.083 | 0.761***  | 6.415 |
| 2008 | 0.588***  | 6.535 | 0.701***  | 5.928 |
| 2009 | 0.717***  | 7.840 | 0.793***  | 6.627 |
| 2010 | 0.707***  | 7.747 | 0.794***  | 6.648 |

注:\*\*\*表示1%的显著性水平。

## (二)基本实证结果

为确定最终选择何种模型,本文首先对空间滞后模型和空间误差模型进行LM检验及稳健LM检验。结果得到,在空间邻接权重矩阵下,均在1%的显著性水平上拒绝无空间滞后和无空间误差的原假设,因此,本文最终选择了空间杜宾模型,具体如表4所示。表5以空间邻接权重矩阵( $W_1$ )为例,分别报告了空间滞后模型、空间误差模型和空间杜宾模型的实证结果,其中,奇数列汇报了固定效应的实证结果,偶数列汇报了随机效应的实证结果。此外,从表5可知,空间杜宾模型的Hausman统计量为2.840,不满足10%的显著性水平,可见随机效应模型更为合意。总之,本文将重点关注表5第(6)列的实证结果。

表4 LM检验和稳健LM检验

|       | SAR-LM检验   | SEM-LM检验   | SAR-稳健LM检验 | SEM-稳健LM检验 |
|-------|------------|------------|------------|------------|
| $W_1$ | 253.136*** | 128.619*** | 144.028*** | 19.511***  |
| $W_2$ | 216.215*** | 118.661*** | 116.795*** | 19.212***  |

注:\*\*\*表示1%的显著性水平。

从表5第(6)列可以看出,雾霾污染的空间滞后项为正,且满足1%的显著性水平,表明长三角区域雾霾污染存在显著的正向空间溢出效应,周边地区雾霾污染浓度增加将加剧本地区的雾霾污染程度。雾霾污染空间溢出效应的存在再次证明采用空间计量分析工具的合理性,同时,也为雾霾治理过程中区域联防联控策略的制定提供了理论依据。

表5 空间邻接权重矩阵下的基本实证结果

| 变量             | SAR                  |                      | SEM                  |                     | SDM                 |                       |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
|                | FE                   | RE                   | FE                   | RE                  | FE                  | RE                    |
|                | (1)                  | (2)                  | (3)                  | (4)                 | (5)                 | (6)                   |
| $\rho$         | 0.773***<br>(0.034)  | 0.797***<br>(0.031)  |                      |                     | 0.765***<br>(0.037) | 0.787***<br>(0.035)   |
| $\lambda$      |                      |                      | 0.816***<br>(0.033)  | 0.858***<br>(0.033) |                     |                       |
| <i>urban</i>   | 0.215***<br>(0.077)  | 0.218***<br>(0.066)  | 0.187**<br>(0.075)   | 0.216***<br>(0.071) | 0.236***<br>(0.079) | 0.205***<br>(0.066)   |
| <i>gdp</i>     | 1.962***<br>(0.744)  | 1.739**<br>(0.760)   | 4.010***<br>(1.237)  | 1.789<br>(1.241)    | 2.835*<br>(1.585)   | 3.182**<br>(1.325)    |
| $(gdp)^2$      | -0.204***<br>(0.058) | -0.163***<br>(0.061) | -0.270***<br>(0.075) | -0.149**<br>(0.075) | -0.219**<br>(0.086) | -0.213***<br>(0.077)  |
| <i>pop</i>     | 0.046**<br>(0.020)   | 0.010*<br>(0.005)    | 0.042*<br>(0.025)    | 0.013*<br>(0.008)   | 0.015<br>(0.026)    | 0.007<br>(0.005)      |
| <i>sec</i>     | 0.019<br>(0.081)     | 0.097<br>(0.078)     | 0.045<br>(0.107)     | -0.013<br>(0.102)   | -0.055<br>(0.112)   | 0.086<br>(0.095)      |
| <i>eff</i>     | 2.981<br>(2.493)     | 3.367<br>(2.508)     | 2.443<br>(3.028)     | 6.112**<br>(3.056)  | 3.679<br>(3.452)    | 3.151<br>(3.196)      |
| <i>tri</i>     | -0.029<br>(0.020)    | -0.044**<br>(0.020)  | -0.040**<br>(0.020)  | -0.051**<br>(0.021) | -0.040*<br>(0.021)  | -0.054***<br>(0.021)  |
| $W*urban$      |                      |                      |                      |                     | 0.230<br>(0.181)    | 0.271**<br>(0.141)    |
| $W*eff$        |                      |                      |                      |                     | -9.193*<br>(5.393)  | -13.671***<br>(5.034) |
| <i>cons</i>    | -8.486<br>(6.484)    |                      | 44.874***<br>(8.202) | -8.486<br>(6.484)   |                     | 18.833<br>(12.282)    |
| Log-L          | -981.586             | -1017.355            | -913.220             | -1038.715           | -905.122            | -1010.362             |
| Hausman<br>(p) | 21.700<br>(0.001)    |                      | 10.510<br>(0.105)    |                     | 2.840<br>(0.828)    |                       |

注:①\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%和10%的显著性水平;② $\rho$ 表示空间滞后系数, $\lambda$ 表示空间误差系数;③FE、RE分别表示固定效应和随机效应;④括号内表示系数标准误;⑤基于篇幅和显著性的考虑,SDM模型仅列出了解释变量*urban*和*eff*对雾霾污染的溢出效应。下表同。

城市化水平的系数显著为正,表明长三角区域城市化的推进加剧了雾霾污染。本文认为,粗放型的城市化发展道路是导致长三角区域雾霾污染加剧的重要原因。我国在城市化发展过程中,盲目追求城市面积的扩大和人口规模的增加,从而产生了大量的基础设施建设,加剧了对钢铁水泥等高能耗产品的需求。与此同时,工业化和城市化进程往往相伴而行,而我国工业进程以重工业为主,处于主导地位的建材、石化、冶金、火电等高能耗部门占整个工业部门的比重高达79%(邵帅等,2016),这不仅引发了大量的能源消耗,而且产生了严重的环境污染。需要说明的是,城市化对雾霾污染的加剧作用体现了城市化进程与雾霾污染的矛盾,然而这并不意味着要通过缓解城市化进程来解决其环境负外部性。事实上,改变当前粗放的城市化发展道路才是缓解雾霾污染的关键。

控制变量对雾霾污染的影响如下文所述。经济增长与雾霾污染存在倒“U”型曲线关系,库兹涅茨假说在此成立,这表明长三角地区雾霾污染将随着经济增长呈先上升后下降的趋势,该结论与马丽梅和张晓(2014)、邵帅等(2016)以全国为样本得到的结论恰恰相反,可见,长三角区域经济增长与雾霾污染的矛盾并没有全国突出。人口规模、产业结构及能源效率与雾霾污染存在不显著的正相关关系,这表明,人口数量的增加、第二产业比重的上升以及能源效率的提升可能在一定程度上加剧了雾霾污染。与预期相反,本文得到交通拥堵与雾霾污染存在负相关关系,本文认为可能的原因是:尽管交通拥堵会直接增加机动车油品消耗,但油品品质升级、新能源汽车对传统能源汽车的替代可能会缓解交通拥堵的环境恶化效应。从解释变量的空间滞后项系数可得,周边城市化水平的系数显著为正,表明周边地区城市化水平的提高加剧了本地区的雾霾污染;周边地区能源效率的提升有助于缓解本地区的雾霾污染。

### (三)稳健性分析结果

以上分析表明,长三角区域雾霾污染存在显著的正向空间溢出效应,周边地区雾霾污染浓度的增加将加剧本地区的雾霾污染程度;城市化推进是长三角区域雾霾污染加剧的重要原因;周边地区城市化进程对本地区雾霾污染具有显著的正向溢出效应。为对该结论的稳健性进行检验,本文采取了替换空间权重矩阵的方法,用地理距离空间权重矩阵就城市化与雾霾污染的关系进行重新估计,实证结果如表6所示。根据表4的检验结果,在1%的显著性水平上拒绝无空间滞后和无空间误差的假设,应该选择空间杜宾模型。从第(5)、(6)列 Hausman 统计量来看,在5%的显著性水平应该选择随机效应模型,因此,本文将重点关注第(6)列的实证结果。从表中可以看出,空间滞后项的系数显著为正,城市化水平与雾霾污染浓度存在显著的正相关关系,周边地区雾霾浓度的上升对本地区存在显著的正向溢出效应,可见,稳健性分析结果与上文实证结果基本一致。

### (四)效应计算

由于空间溢出效应的存在,某解释变量对雾霾污染的偏导数(总效应)不可能等于该解释



表6 地理距离空间权重矩阵下的稳健性分析结果

| 变量             | SAR                  |                      | SEM                  |                      | SDM                  |                      |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                | FE                   | RE                   | FE                   | RE                   | FE                   | RE                   |
|                | (1)                  | (2)                  | (3)                  | (4)                  | (5)                  | (6)                  |
| $\rho$         | 0.720***<br>(0.032)  | 0.749***<br>(0.029)  |                      |                      | 0.707***<br>(0.035)  | 0.745***<br>(0.032)  |
| $\lambda$      |                      |                      | 0.755***<br>(0.031)  | 0.787***<br>(0.033)  |                      |                      |
| <i>urban</i>   | 0.203***<br>(0.075)  | 0.192***<br>(0.064)  | 0.161**<br>(0.077)   | 0.191**<br>(0.076)   | 0.194**<br>(0.081)   | 0.130**<br>(0.068)   |
| <i>gdp</i>     | 2.237***<br>(0.726)  | 1.948***<br>(0.744)  | 4.516***<br>(1.114)  | 2.572**<br>(1.207)   | 4.226***<br>(1.520)  | 3.958***<br>(1.280)  |
| $(gdp)^2$      | -0.215***<br>(0.057) | -0.165***<br>(0.059) | -0.287***<br>(0.067) | -0.171**<br>(0.072)  | -0.269***<br>(0.083) | -0.231***<br>(0.073) |
| <i>pop</i>     | 0.053***<br>(0.020)  | 0.006<br>(0.005)     | 0.064**<br>(0.025)   | 0.015*<br>(0.009)    | 0.027<br>(0.028)     | 0.002*<br>(0.005)    |
| <i>sec</i>     | 0.031<br>(0.079)     | 0.098<br>(0.076)     | 0.118<br>(0.104)     | 0.022<br>(0.103)     | 0.010<br>(0.114)     | 0.107<br>(0.093)     |
| <i>eff</i>     | 2.891<br>(2.440)     | 2.354<br>(2.438)     | -1.213<br>(2.774)    | 1.974<br>(2.986)     | 1.133<br>(3.476)     | 1.516<br>(3.134)     |
| <i>tri</i>     | -0.024<br>(0.019)    | -0.044**<br>(0.020)  | -0.019<br>(0.020)    | -0.037*<br>(0.021)   | -0.029<br>(0.021)    | -0.047**<br>(0.021)  |
| $W*urban$      |                      |                      |                      |                      | 0.155<br>(0.126)     | 0.198*<br>(0.108)    |
| $W*eff$        |                      |                      |                      |                      | -3.126<br>(4.652)    | -7.758*<br>(4.274)   |
| <i>cons</i>    |                      | -2.781<br>(6.244)    |                      | 45.541***<br>(8.536) |                      | 11.475<br>(9.846)    |
| Log-L          | -907.133             | -1015.612            | -912.806             | -1042.811            | -902.521             | -1007.926            |
| Hausman<br>(p) | 5.050<br>(0.538)     |                      | 17.030<br>(0.004)    |                      | 12.040<br>(0.061)    |                      |

变量的系数,这是因为,该解释变量的变化不仅会影响本地区雾霾污染状况,而且还会对邻近地区雾霾产生影响,并通过一系列反馈变化影响本地区雾霾污染,其中前者被称为直接效应,后者被称为间接效应。具体而言,SDM模型的直接效应和间接效应可分别表示为 $(I-\rho W)^{-1}(\beta_k + W\theta_k)$ 的对角线元素和非对角线元素。表7测算了空间邻接权重矩阵和地理距离权重矩阵下空间杜宾模型(具体指随机效应模型)的基本效应,即表5和表6第(6)列的效应值。从表7中可以看出,以空间邻接权重矩阵为例,城市化水平对雾霾污染的直接效应为0.350,表明本地区城市化水平每增加1个百分点,该地区雾霾污染浓度将增加0.35微克/立方米;城市化对

雾霾污染的间接效应为 1.867,且满足 1%的显著性水平,表明周边地区城市化水平对本地区雾霾污染存在显著的溢出效应,周边地区城市化水平增加 1 个百分点,本地区雾霾污染将增加 1.867 微克/立方米。由此可见,城市化水平对雾霾污染的空间溢出效应远大于直接效应。从总效应来看,长三角地区(包括本地区及周边)城市化水平增加 1%,本地区雾霾污染浓度将增加 2.216 微克/立方米。地理距离权重矩阵的效应值也体现了与之类似的规律。城市化水平对雾霾污染的正向溢出效应意味着长三角地区在转变城市化发展道路、治理雾霾污染的过程中,不能仅“头痛医头,脚痛医脚”,而必须树立全局观念,加强本地城市化与周边城市化的协调发展。

表 7 空间杜宾模型的效应测算

| 变量           | $W_1$                |                       |                      | $W_2$                |                     |                      |
|--------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
|              | 直接效应                 | 间接效应                  | 总效应                  | 直接效应                 | 间接效应                | 总效应                  |
| <i>urban</i> | 0.350***<br>(0.080)  | 1.867***<br>(0.655)   | 2.216***<br>(0.714)  | 0.249***<br>(0.076)  | 1.017***<br>(0.375) | 1.266***<br>(0.429)  |
| <i>gdp</i>   | 2.787**<br>(1.455)   | -6.411<br>(7.081)     | -3.623<br>(7.458)    | 4.326***<br>(1.408)  | 2.260<br>(4.206)    | 6.586<br>(4.638)     |
| $(gdp)^2$    | -0.238***<br>(0.086) | -0.275<br>(0.512)     | -0.513<br>(0.544)    | -0.315***<br>(0.084) | -0.678**<br>(0.340) | -0.993***<br>(0.377) |
| <i>pop</i>   | 0.005<br>(0.007)     | -0.028<br>(0.053)     | -0.022<br>(0.058)    | 0.007<br>(0.007)     | 0.045<br>(0.036)    | 0.052<br>(0.041)     |
| <i>sec</i>   | 0.077<br>(0.097)     | -0.358<br>(0.549)     | -0.281<br>(0.602)    | 0.072<br>(0.100)     | -0.447<br>(0.398)   | -0.375<br>(0.461)    |
| <i>eff</i>   | -0.126<br>(4.275)    | -48.705**<br>(24.383) | -48.831*<br>(27.562) | -0.713<br>(4.081)    | -23.102<br>(15.085) | -23.815<br>(18.076)  |
| <i>tri</i>   | -0.069**<br>(0.030)  | -0.174<br>(0.169)     | -0.242<br>(0.191)    | -0.068**<br>(0.031)  | -0.170<br>(0.126)   | -0.237<br>(0.149)    |

#### 四、结论和政策含义

本文将巴特尔研究所、哥伦比亚大学国际地球科学信息网络中心公布的全球 PM<sub>2.5</sub> 栅格数据进行处理,获得 2003–2010 年长三角区域 42 个地级市的 PM<sub>2.5</sub> 年均浓度值,并在此基础上采用空间杜宾模型分析了长三角地区城市化推进对雾霾污染的影响。研究表明,长三角区域雾霾污染存在显著的正向溢出效应,周边地区 PM<sub>2.5</sub> 浓度上升将加剧本地区雾霾污染;城市化推进是长三角区域雾霾污染加剧的重要原因,周边地区城市化进程对本地区雾霾污染具有显著的正向溢出效应,而且其效应值远大于直接效应;长三角区域经济增长与雾霾污染之间呈倒“U”型关系。本文研究揭示了如下政策含义:

第一,转变城市化道路,发展新型城镇化。本文实证研究表明,城市化推进加剧了长三角区域的雾霾污染。究其原因,本文认为粗放型的城市化发展道路是导致雾霾污染加剧的重要原因。为此,应该改变当前粗放型的城市化发展道路,通过新型城镇化的发展打破雾霾困局。新型城市化发展不能片面强调规模扩张,而必须重视质的提高,通过产业结构调整、交通道路优化、人口合理布局等方式提高城市的生态承载力,推进低碳、绿色、环保型城市的发展。

第二,加强区域联防联控,推进雾霾治理。本文全局相关性检验得到 Moran's I 指数介于 0~1 之间,雾霾污染存在显著的全局相关性,同时实证分析也表明,长三角区域雾霾污染存在显著的正向空间溢出效应,因此,长三角地区雾霾治理必须坚持区域联防联控,形成区域治霾的合力。事实上,2014 年长三角地区便启动了区域大气污染防治协作机制,并强调坚持协商统筹、责任共担、信息共享、联防联控的原则。未来在治理雾霾的过程中,长三角区域要加强信息公开和共享建设,建设统一的污染监测平台,实行联合执法和监督,尽快建立污染补偿机制。

第三,合理安排城市布局,推动城市群协调发展。城市化对雾霾污染的恶化作用不仅受本地区城市化发展道路的影响,周边地区的城市化发展轨迹对本地区雾霾也存在溢出效应。因此,新型城市化的发展与建设便不再是单个城市的问题,而是整个区域所面临的共同议题,必须合理安排区域内城市布局,加强城市间的协同发展,实现城市发展与雾霾治理的双赢目标。

## 参考文献:

- [1] 陈桂秋. 城镇化过程中的雾霾发展格局[J]. 社会科学家, 2014, (6): 46-49.
- [2] 陈强. 高级计量经济学及 Stata 应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [3] 陈诗一, 陈登科. 能源结构、雾霾治理与可持续增长[J]. 环境经济研究, 2016, 1(1): 59-75.
- [4] 何枫, 马栋栋. 雾霾与工业化发展的关联研究——中国 74 个城市的实证研究[J]. 软科学, 2015, (6): 110-114.
- [5] 冷艳丽, 杜思正. 产业结构、城市化与雾霾污染[J]. 中国科技论坛, 2015, (9): 49-55.
- [6] 林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略[J]. 经济研究, 2010, (8): 66-78.
- [7] 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[J]. 城市发展研究, 2015, (9): 23-27.
- [8] 刘晓红, 江可申. 我国城镇化、产业结构与雾霾动态关系研究——基于省际面板数据的实证检验[J]. 生态经济, 2016, 32(6): 19-25.
- [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[J]. 中国工业经济, 2014, (4): 19-31.
- [10] 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.
- [11] 孟春, 郭上. 以新型城镇化破解雾霾困局[J]. 中国财政, 2014, (11): 66-67.
- [12] 彭迪云, 刘畅, 周依仿. 长江经济带城镇化发展对雾霾污染影响的门槛效应研究——基于居民消费水平的视角[J]. 金融与经济, 2015, (8): 36-42.
- [13] 邵帅, 杨莉莉, 黄涛. 能源回弹效应的理论模型与中国经验[J]. 经济研究, 2013, (2): 96-109.
- [14] 邵帅, 李欣, 曹建华, 杨莉莉. 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.

- [15] 严雅雪,李锴. 中国城市化对PM<sub>2.5</sub>浓度影响的门槛效应研究[J]. 环境经济研究,2016,1(2):93-106.
- [16] Cole, M. A. and E. Neumayer. Examining the Impact of Demographic Factors on Air Pollution[J]. *Population and Environment*, 2004, 26(1): 5-21.
- [17] Grossman, G. and A. Krueger. Economic Environment and the Economic Growth[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377.
- [18] Martínez-Zarzoso, I. The Impact of Urbanization on CO<sub>2</sub> Emissions: Evidence from Developing Countries[J]. *Ecological Economics*, 2008, 70(7): 1344-1353.

## The Effect of Urbanization on Haze Pollution in Yangtze River Delta Region Based on Spatial Perspective

Li Xin<sup>a,b</sup>, Cao Jianhua<sup>a</sup> and Sun Xing<sup>a</sup>

(a: Institute of Finance and Economics Research, School of Urban and Regional Science, Shanghai University of Finance and Economics; b: Faculty of Business Economics, Shanghai Business School)

**Abstract:** Haze pollution has been widely concerned currently. Both the spatial spillover effect and urbanization process are important factors. Then it is essential to analyze the effect of urbanization on haze pollution based on spatial economics. In this paper, we use Spatial Durbin Model to analyze the influence of urbanization on haze pollution in Yangtze River Delta region. The result shows, there is significant spatial spillover effect of haze pollution, which means the haze pollution in local area will exacerbate with the increase of concentration of PM<sub>2.5</sub> in surrounding areas. Urbanization promotion is an important reason inducing increasing haze pollution. The concentration of PM<sub>2.5</sub> will increase 2.216 micrograms per cubic meter if the urbanization level increases by 1 percentage points. The urbanization process in surrounding areas has positive effect on local haze pollution, and the effect is far greater than direct effect. Accordingly, some suggestions are put forward such as joint prevention and control work and coordinated development between regions or cities.

**Keywords:** Urbanization; Haze Pollution; PM<sub>2.5</sub>; Spatial Durbin Model; Spatial Spillover Effect

**JEL Classification:** P25, P28, R58

(责任编辑:朱静静)