

# 大气污染对围产儿死亡率的影响研究

杜两省 刘 斌 范 丹\*

**摘要:**大气污染正在严重威胁居民健康,而围产儿作为敏感群体更容易受到大气污染影响。本文选取中国省际面板数据,以围产儿死亡率作为公众健康的代理指标,采用空间自滞后模型分析大气污染的溢出效应对围产儿死亡率的影响机制,并进一步构建面板门槛模型捕捉大气污染的溢出效应对本地区围产儿死亡率的非线性特征。研究发现,大气污染浓度的增加是围产儿死亡率显著增加的主要因素之一,但邻近地区的大气污染浓度增加并未增加本地区围产儿死亡率。基于面板门槛模型的研究发现,本地区经济发展水平的不同导致邻近地区的大气污染对本地区围产儿死亡率产生差异化抑制作用,且随着经济发展水平的提高,抑制作用愈加增大。因此,政府在重视经济高质量发展的同时,更应注重提高居民健康保护意识,完善敏感人群特别是婴幼儿的健康管理,降低空气污染对胎儿健康的负面影响。

**关键词:**大气污染;空间自滞后模型;面板门槛模型;公众健康

## 一、引言

目前,我国正处于人口红利从数量型向质量型转换期,人民健康水平的提升已经上升为建设“健康中国”国家战略任务之一,而大气污染问题仍是威胁国民健康的突出问题。经合组织(OECD)在国际交通论坛 2014 年年度峰会上发布空气污染成本评估报告,指出“室外空气污染导致每年在全球有 350 万人死亡,由此造成的健康成本每年高达 3.5 万亿美元。其中,中国的死亡人数约为 120 万,约占总死亡人数的五分之二,经济损失约为每年 1.4 万亿美元”。事实表明,我国正面临着严峻的大气污染所带来的健康问题。Dadvand 等(2013)分析了 9 个

\*杜两省,东北财经大学经济学院,邮政编码:116025,电子信箱:duliangsheng@vip.sina.com;刘斌,东北财经大学经济学院,邮政编码:116025,电子信箱:liubinwwin@163.com;范丹,东北财经大学经济学院,东北财经大学经济计量分析与预测研究中心,邮政编码:116025,电子信箱:fandanrx @163.com。

本文系国家自然科学基金青年项目“绿色技术创新视阈下我国环境污染的空间效应及差异化环境规制路径研究”(71603042)、国家自然科学基金面上项目“省际能源消费的变系数非参空间面板数据模型研究”(71773012)、国家社会科学基金重大项目“新常态下我国宏观经济监测和预测研究”(15ZDA011)的阶段性成果。感谢匿名审稿人的宝贵修改建议,文责自负。

国家 14 个研究中心的 300 万新生儿资料,发现在空气质量严重污染区域生活的孕妇更容易产下体重低于 2.5kg 的低体重儿,这更容易导致婴儿死亡、发育不良等情况发生,这表明孕妇和胎儿易受到周围空气质量的影响。围产儿死亡率<sup>①</sup>是体现国家社会经济和医疗发展水平的衡量指标之一,因此识别大气污染对围产儿死亡率的影响机制对实行“健康中国”战略具有重要意义。

既有大气污染对公众健康的影响研究主要从两个角度进行。第一类文献主要采用危险度定量评价方法对暴露于高浓度大气污染下的人群健康损失进行评估;第二类文献主要利用计量模型识别大气污染的健康效应。就前者而言,主要采用流行病学研究中广泛使用的泊松回归模型对大气污染对人体健康影响进行风险评价和健康损失评估。谢鹏等(2010)、陈仁杰等(2010)、黄德生和张世秋(2013)分别对珠江三角洲、中国 113 个城市和京津冀地区的 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 等主要大气污染颗粒物浓度进行健康风险评价,表明暴露于高浓度大气污染下会对呼吸系统疾病、心血管疾病和居民死亡率等人群健康终点产生不利影响。健康损失评估的方法常见的有两种,疾病成本法(COI)将大气污染所造成的总成本分为直接医疗成本和间接社会成本,主要量化高浓度大气污染所导致的住院、门诊治疗及患病等健康终点的经济损失;支付意愿法(WTP)在进行健康损失评价时考虑了大气污染所造成的精神、心理上的无形损失,主要用于早逝和慢性支气管炎健康终点的衡量(Zhang et al.,2007;陈仁杰等,2010;黄德生、张世秋,2013;谢元博等,2014)。为了衡量年龄结构对健康损失评估的影响,穆泉和张世秋(2015)采用统计寿命年对过早死的健康损失进行了评估。上述文献均采用医学上的泊松回归模型对大气污染健康效应进行评估,无法对大气污染的健康效应进行严谨的识别;另外,医学领域的文献大都忽视了大气污染的内生性问题,故其结论和政策含义需要谨慎斟酌(陈硕、陈婷,2014)。

很多学者开始借用计量经济学中的方法解决大气污染的内生性问题,研究大气污染对公众健康的影响。Chen 和 Oliva 等(2018)以逆温次数作为大气污染的工具变量,研究发现大气污染会增加居民精神疾病患病率。将在校学生作为研究对象,Chen 和 Gao 等(2018)同样以大气层的逆温现象为大气污染的工具变量,发现大气污染浓度会危害学生的健康,影响在校生的出席率。Chen 等(2013)以中国淮河为天然分界线,研究发现北方冬天的采暖行为加剧了北方的空气污染情况,并导致北方居民的平均预期寿命比南方居民缩短了三年半。考虑大气污染的健康影响,死亡率是常见的也是最广泛应用的健康生命终点指标(Anderson,2009),但相对于成年人死亡率,婴儿死亡率指标更能准确地反映大气污染对于健康的影响(Luechinger,2014),可能的原因在于:成人死亡率中包含年老而自然死亡的年老者;由于移民现状的

<sup>①</sup>围产儿死亡率指孕满 28 周或出生体重  $\geq 1000$  克的胎儿(含死胎、死产)至产后 7 天内新生儿死亡数与活产数(孕产妇)之比,一般以%表示。

存在,无法断定长期内其死亡是由于之前居住地还是当前居住地的环境影响,存在很大的不确定性;并且相对于成人来说,婴儿更容易受到周围大气质量的影响(Pope,2000)。因而很多学者从实证角度对出生婴儿群体进行研究,并发现大气污染浓度的上升将会提高婴儿低体重率和婴儿死亡率(Stieb et al.,2012;Luechinger,2014)。Greenstone 和 Hanna(2014)对印度治理水污染政策和大气污染政策进行政策评估,研究表明印度大气污染政策显著降低了二氧化硫、二氧化氮等颗粒物浓度,并显著降低了印度婴儿的死亡率;Knittel 等(2011)进一步将居住地气候因素纳入研究框架,发现在研究大气污染和婴儿死亡率时忽视气候因素将导致结果被高估或者低估;Medeiros 等(2009)研究发现母亲暴露于大气污染中的程度越大,早期新生儿死亡的概率越高,围产儿死亡率也越高。以上研究均表明,大气污染浓度的提高对居民预期寿命、呼吸系统疾病、婴儿死亡率等确实存在消极影响。

综合既有研究可以发现两点不足:首先,国外学者对婴儿群体健康的研究文献很丰富,但国内针对婴儿健康的文献相对匮乏,说明国内学者对于这方面的关注度还不高;其次,已有文献仅仅考虑单个区域的大气污染对居民健康的影响,很少考虑空间单元之间的关联性和异质性,忽视了大气污染的溢出效应对健康的关联影响。由于大气本身存在的流动性属性和区域间的经济联动性,大气污染的空间相关性会愈加明显,邵帅等(2016)、李欣等(2017)得出雾霾污染具有空间效应,邻近地区  $PM_{2.5}$  浓度提高会显著提高本地区  $PM_{2.5}$  浓度。孙涵等(2017)虽然从空间的视角下分析了珠江三角洲地区的空气污染的健康效应,但其在  $PM_{2.5}$  或  $PM_{10}$  数据获取过程中采用先国内后国外的原则,由于两者数据统计口径不同,导致其数据缺乏准确性。

为了解决既有不足,本文选取围产儿死亡率作为公众健康的代理指标,从加拿大戴尔豪斯大学大气成分分析组获取 2002-2016 年中国 30 个省份  $PM_{2.5}$  浓度数据,采用空间自滞后模型(SLX)分析大气污染及其空间滞后项对围产儿死亡率的影响,并利用面板门槛模型捕捉其非线性特征。本文的研究结构安排如下:第二部分解决模型设定及数据来源问题,第三部分是空间计量模型和面板门槛模型的实证结果,第四部分是研究结论及政策建议。

## 二、模型设定及数据来源

### (一) 模型设定

由于样本数据大多与空间相关,空间单元之间的异质性和相互关联性导致了经典传统计量经济学模型样本点不再满足独立同分布的古典假设(周建等,2016),为了处理异质性和相关性,本文采用空间计量模型对空气污染的健康效应进行分析。选取空间自滞后模型(SLX)的原因有以下几点:首先,从模型本身来看,空间滞后模型(SAR)和空间误差模型(SEM)无法测度空气污染空间滞后项对于公众健康效应的影响,且相比于空间杜宾模型(SDM),空间自

滞后模型的直接效应和间接效应表现形式更加简单;其次,从数据角度来看,公众健康并不类似于宏观变量、大气污染等具有很明显的空间相关性,故空间自滞后模型更适合本文的研究框架。

基于上述观点,本文选用空间自滞后模型来描述大气污染的健康效应,基准模型设定如下:

$$\ln y_{it} = \alpha + \beta_1 \ln PM_{it} + \beta_2 W \ln PM_{it} + \theta \ln X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中, $i$ 代表省份, $t$ 代表年份, $\ln y_{it}$ 代表被解释变量公众健康, $\alpha$ 为常数项, $W$ 代表空间权重矩阵, $\ln PM$ 代表核心解释变量大气污染, $\beta_1, \beta_2$ 代表大气污染和大气污染空间滞后项的估计系数, $\ln X$ 代表控制变量, $\theta$ 代表控制变量的估计系数, $\mu_i$ 代表个体效应, $\lambda_t$ 代表时间效应, $\varepsilon_{it}$ 表示白噪声。

考虑到本地区的经济差异性使大气污染空间滞后项的健康效应产生不同结果,即大气污染浓度的空间滞后项和公众健康水平之间可能会随着经济的差异表现出非线性时变特征。而“门槛回归”作为一种非线性计量模型,能够从样本数据内生地估算出门槛值,然后检验其估计参数的显著性。因此,本文另构建面板门槛模型,试图捕捉经济发展水平的关键阈值点。

由于模型可能存在多个门槛值,故构建多门槛面板门槛模型,模型设定如下:

$$y_{it} = \mu_i + \alpha_1 W \ln PM_{it} \cdot I(\ln GDP_{it} \leq \lambda_1) + \alpha_2 W \ln PM_{it} \cdot I(\lambda_1 < \ln GDP_{it} \leq \lambda_2) + \dots + \alpha_n W \ln PM_{it} \cdot I(\lambda_{n-1} < \ln GDP_{it} \leq \lambda_n) + \beta X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中 $i$ 代表省份, $t$ 代表年份, $y_{it}$ 代表被解释变量公众健康, $W \ln PM$ 代表大气污染浓度的空间滞后项; $I(\cdot)$ 表示示性函数, $GDP$ 代表经济发展水平(人均GDP), $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ 分别代表门槛变量处于各门槛区间时大气污染空间滞后项对公众健康影响的估计系数, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n-1}, \lambda_n$ 代表待估算门槛值, $X$ 代表各控制变量, $\beta$ 代表各控制变量的估计系数, $\mu_i$ 代表不可观测的个体效应, $\varepsilon_{it}$ 代表白噪声。

空间权重矩阵反映了空间单元之间的交互关系强度和类型,其设定是空间计量模型的核心。为了对大气污染的健康效应进行系统分析,本文构建四个空间权重矩阵:地理距离矩阵、经济距离矩阵、地理与经济的嵌套矩阵和地理经济距离矩阵,并将各个矩阵行标准化处理。根据各个省份相邻与否,以相邻为1,不相邻为0的原则构建地理距离矩阵 $W_1$ ,反映大气污染的地理传播影响;考虑区域间经济发展水平联系的事实,以两个地区之间的人均GDP差值的倒数构建经济距离矩阵 $W_2$ ,其中人均GDP为2002-2016年人均GDP的平均值;由于仅考虑地理或经济因素会存在一定的局限性,根据公式 $W_3 = \varphi W_1 + (1 - \varphi) W_2$  ( $0 < \varphi \leq 1$ )和 $W_4 = W_1 \times W_2$ ,分别构建地理与经济嵌套矩阵和地理经济矩阵,为了简化模型, $\varphi = 1/2$ (邵帅等,2016)。

## (二) 数据来源

为了解决大气污染 $PM_{2.5}$ 颗粒物浓度历史数据缺失问题,本文从加拿大戴尔豪斯大学大

气成分分析组下载基于卫星监测下的全球  $PM_{2.5}$  栅格数据,并利用 ArcGIS 软件提取 2002—2016 年中国 30 个省份(不包括港澳台和西藏地区)历年年均  $PM_{2.5}$  具体浓度数值;其余数据均来源于历年《中国统计年鉴》和《中国卫生和计划生育统计年鉴》。

(1)被解释变量。之前大量文献都选取居民死亡率、预期寿命、呼吸系统疾病患病率等变量表征公众健康,关于大气污染对婴儿群体健康的影响,相比国外较为丰富的研究文献,国内对于这一群体的文献相对匮乏。大量国外学者研究表明大气污染对刚出生婴儿群体的生命体征存在不利影响(Pope,2000;Stieb et al.,2012;Chen et al.,2013;Medeiros et al.,2009),而国内胎教、孕产等行业的兴起表明公众越来越重视怀孕期间(或刚出生)婴儿的健康。综合上述原因,同时考虑到统计资料的限制,本文选取处于围产期这一重要时期的婴儿作为研究对象,并以其死亡率作为公众健康的代理指标。理论上,中国当前面临着“未富先老”的人口老龄化危机和全面二胎政策的实施暂时没有取得预期效果的事实,本文的研究将为保障即将出生(或者刚出生)新生儿健康提供理论依据,希望进一步提高对于新生儿健康的重视程度,缓解“人口坍塌”危机。

(2)核心解释变量。大气污染,尤其是颗粒直径较小和依附性较强的  $PM_{2.5}$  颗粒物,会对人体健康造成巨大危害。众多流行病学研究表明,暴露于高浓度  $PM_{2.5}$  颗粒物下会破坏人体的呼吸系统和心血管系统,导致呼吸疾病、支气管炎、心血管疾病和早逝的发生。近些年频繁爆发的短期高浓度雾霾重污染事件证实了上述研究,而  $PM_{2.5}$  作为雾霾天气的主要“元凶”必然难辞其咎,故本文选取  $PM_{2.5}$  浓度作为大气污染的代理指标。 $PM_{2.5}$  主要有两点区别于其他大气污染颗粒物的特征:① $PM_{2.5}$  污染物是主要的大气污染颗粒物,相比其他种类的大气污染物,它们更容易滞留在大气中,对公众健康造成不利影响;② $PM_{2.5}$  颗粒物的直径很小,能够进入人体的呼吸道,长期的潜伏会对健康造成严重威胁。

(3)其他控制变量。经济增长会改变居民生活环境和生活方式以及观念,从而影响到居民的健康。本文选取人均 GDP 作为衡量经济发展水平的指标(2002 年不变价),地区居民收入越高,越有能力采取有效的防护措施,从而最大程度上降低大气污染的健康威胁,因此预测人均 GDP 的系数为负;医疗卫生水平将会影响居民健康水平,每千人医生数量、每千人拥有门诊数等都曾被学者用于衡量医疗卫生水平(王俊、昌忠泽,2007),参考孙涵等(2017)研究,本文选取每千人卫生技术人员数量作为地区医疗卫生水平的指标;人口密度也是影响公众健康的一个重要因素,人口数量的增加会使个人所享受到的医疗资源减少,故预测人口密度系数为正;医疗支出占消费支出的比重越高,表明公众对自身健康投入越高,健康越有保障,估计其系数为负;受教育程度也是影响公众健康的主要因素之一,受教育程度越高的人群越有意识去保护自己的健康,因此预期其系数为负。主要变量的描述性统计见表 1。

表 1 主要变量的描述性统计

变量	说明	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
lnwce	围产儿死亡率(‰)	450	2.036	0.466	0.765	3.211
lnpm <sub>2.5</sub>	大气污染浓度(微克/立方米)	450	2.036	0.413	2.608	4.474
lngdp	经济发展水平(元)	450	9.846	0.676	8.089	11.456
lnho	每千人卫生技术人员(人/千人)	450	1.525	0.348	0.693	2.738
lnpd	人口密度(人/平方公里)	450	5.421	1.256	2.027	8.250
lnhe	医疗支出占消费比重(%)	450	1.964	0.250	1.152	2.533
lnedu	平均受教育年限(年)	450	2.138	0.116	1.798	2.510

### 三、实证研究

#### (一) 大气污染浓度的空间相关性检验

对大气污染浓度的空间相关性进行验证,可得地理矩阵( $W_1$ )、地理与经济嵌套矩阵( $W_3$ )和地理经济矩阵( $W_4$ )下的莫兰指数均为正,且通过1%的显著性水平,说明大气污染分布呈现出高-高集聚和低-低集聚的空间正相关特征。经济矩阵( $W_2$ )下的莫兰指数为负且不显著,说明大气污染的空间相关性没有表现为经济发展上的空间关联特征,而是地理空间关联及地理和经济的综合空间相关性,这与邵帅等(2016)研究结果一致。因此,后文的模型仅分析地理矩阵、地理与经济嵌套矩阵和地理经济矩阵三种矩阵下的实证结果。图1以地理与经济嵌套矩阵为例,分别给出了2009年和2013年省域间PM<sub>2.5</sub>浓度分布的莫兰指数散点图,横轴表示标准化的PM<sub>2.5</sub>浓度值,纵轴表示PM<sub>2.5</sub>浓度值的空间滞后项。

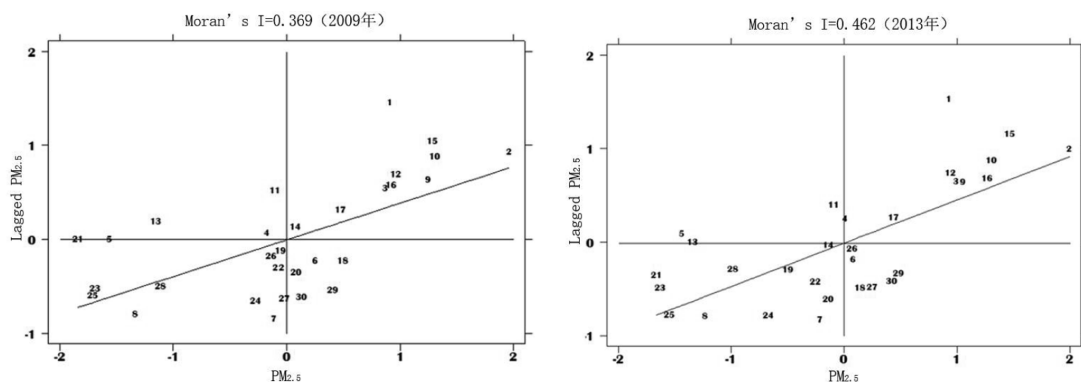


图 1 地理与经济嵌套矩阵下中国省域大气污染莫兰指数散点图

## (二) 空间计量经济模型结果

### 1. 内生性问题来源及处理

影响公众健康的因素有很多,汽车尾气、天气条件、烟草消费等都可能对公众健康产生影响,因此考虑大气污染浓度存在测量误差及模型存在遗漏变量等内生性问题,本文选取 10 米高风速作为大气污染浓度的工具变量。下载欧洲中期天气预报中心的 ERA-Interim 数据库提供的  $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$  网格的 10 米高风速栅格数据,然后根据中国各个省份经纬度与其进行匹配,最终得到 2002-2016 年各个省份历年年均 10 米高风速( $\ln si10$ )。由于风速仅仅取决于空气流通等自然条件,可以相信风速除了通过影响大气污染进而影响健康之外,与健康不存在其他作用机制,10 米高风速作为大气污染的工具变量保证了其外生性。

### 2. 两阶段最小二乘法实证结果

假设工具变量有效的前提下,本文进行了异方差稳健的 DWH 检验,结果显示大气污染浓度确实存在内生性问题。因此以 10 米高风速作为大气污染浓度的工具变量,构建模型进行两阶段最小二乘法处理,表 2 报告了其回归结果。列(1)、(2)、(3)和(4)分别代表不考虑大气污染空间溢出效应、地理矩阵、地理与经济嵌套矩阵和地理经济矩阵下模型(1)的输出结果。第一阶段回归的 F 值均大于 10,且在 1% 的显著性水平下显著,说明工具变量的选取不存在弱工具变量问题;10 米高风速系数均通过 1% 的显著性检验,表明工具变量的选取与内生解释变量之间存在很强的相关性。下文以地理矩阵为例进行说明。

大气污染浓度的系数显著为正,说明大气污染物  $PM_{2.5}$  浓度的增加会提高围产儿死亡率,对居民健康产生不利影响,这与陈晓等(2012)研究结论一致。妊娠期的母体作为易受周围空气影响的群体,长期暴露于大气污染中会对围产儿健康造成不利影响, $PM_{2.5}$  进入母体后,可通过引起系统性的氧化应激、炎症反应、血液流变学和动力学的改变,对胎儿的健康造成危害(陈仁杰、阚海东,2013)。有研究表明, $PM_{2.5}$  浓度每升高  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,将导致早产风险增加 15%(Sapkota et al.,2012)。大气污染空间滞后项( $W_1 \ln pm_{2.5}$ )的系数为负,且通过了 1% 的显著性水平检验,表明邻近地区大气污染浓度的提高对本地围产儿死亡率产生负效应。空间单元之间的经济和地理的空间关联特征会对大气污染的健康效应产生影响,围产儿死亡率不仅与本地区大气污染浓度相关,且与临近地区大气污染浓度相关。大气污染浓度的系数代表空间计量模型中的直接效应,大气污染浓度空间滞后项的系数代表间接效应,由上述表 2 列(2)可知,直接效应为 0.885,间接效应为 -0.822,而总效应等于直接效应加间接效应,由此可得大气污染对于公众健康的总效应为 0.063,可见大气污染会增加围产儿死亡率。另外,比较列(1)可以得出,在不考虑大气污染的空间溢出效应对居民健康的情况下,会低估本地区大气污染对于本地区居民健康的影响。

表 2 两阶段最小二乘法估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	<i>lnwce</i>	<i>lnwce</i>	<i>lnwce</i>	<i>lnwce</i>	<i>lnwce</i>	<i>lnwce</i>
$W_1 \ln pm_{2.5}$		- 0.822 *** (0.290)				
$W_3 \ln pm_{2.5}$			- 0.354 *** (0.128)			
$W_4 \ln pm_{2.5}$				0.469 (0.143)		
$W_5 \ln pm_{2.5}$					- 0.704 *** (0.269)	
$W_6 \ln pm_{2.5}$						0.000 (0.0006)
<i>lngdp</i>	- 0.4278 *** (0.036)	- 0.2804 *** (0.074)	- 0.3845 *** (0.043)	- 0.4467 *** (0.034)	- 0.350 *** (0.051)	- 0.4278 *** (0.036)
<i>lnpm<sub>2.5</sub></i>	0.587 *** (0.147)	0.885 *** (0.278)	0.651 *** (0.172)	0.541 *** (0.135)	0.670 *** (0.184)	0.585 *** (0.142)
<i>lnho</i>	0.217 *** (0.082)	0.2701 *** (0.090)	0.216 *** (0.083)	0.289 *** (0.084)	0.170 *** (0.084)	0.218 *** (0.082)
<i>lnpd</i>	- 0.2756 *** (0.035)	- 0.2478 *** (0.037)	- 0.264 *** (0.037)	- 0.283 *** (0.034)	- 0.281 *** (0.040)	- 0.275 *** (0.034)
<i>lnhe</i>	- 0.507 *** (0.111)	- 0.636 *** (0.174)	- 0.544 ** (0.127)	- 0.524 *** (0.107)	- 0.488 *** (0.117)	- 0.506 *** (0.110)
<i>lnedu</i>	0.012 (0.313)	- 0.422 (0.354)	- 0.030 (0.323)	- 0.166 (0.305)	- 0.041 (0.320)	- 0.011 (0.312)
<i>cons</i>	6.2981 *** (0.562)	7.6517 *** (0.547)	6.9961 *** (0.557)	5.3311 *** (0.664)	7.9453 *** (0.645)	6.3001 *** (0.558)
第一阶段回归结果						
<i>lnsi10</i>	0.466 *** (0.087)	0.306 *** (0.353)	0.435 *** (0.085)	0.493 *** (0.087)	0.407 *** (0.084)	0.480 *** (0.087)
F 值	28.3682 ***	15.8484 ***	26.428 ***	32.4352 ***	23.3923 ***	30.5929 ***
观测值数	450	450	450	450	460	450

注:括号内为标准误;\*表示通过 10%的显著性检验,\*\*表示通过 5%的显著性检验,\*\*\*表示通过 1%的显著性检验。



经济发展水平系数显著为负,说明经济发展水平的提高降低了围产儿死亡率。经济发展水平较高地区的居民对于高空气质量的要求和政府想创造良好投资环境的夙愿促使政府采取相关措施降低管辖地区的大气污染现状;与此同时,居民自身有资金来预防大气污染危害,比如购买空气净化器、防雾霾口罩等。Zhang 和 Mu(2018)研究发现,空气质量指数每上升100个单位,各类口罩的总销售量会增加约54.5%,其中防雾霾口罩的销售量增加约70.6%。每千人卫生技术人员数量系数显著为正,表明医疗卫生支出的增加并未抑制围产儿死亡率,反而加剧了围产儿死亡率的上升,说明政府医疗卫生投入的加大并没有惠及老百姓,可能的原因在于:第一,居民生活成本和压力上升,大部分收入都被用于偿还房贷和进行下一代的教育投资,对自身健康投资较少;第二,工作压力和工作中的就业歧视促使已有身孕的公司女职员不能投入很多精力来改善自身健康状况,导致其没有享受政府医疗投入,进而形成了“供需畸形”的状态。人口密度的增加没有成为增加围产儿死亡率的因素之一,且医疗卫生支出占消费比重的增加降低了围产儿死亡率,提高了居民健康水平。人均受教育程度的增加对围产儿死亡率的影响不显著,可能的原因在于教育转变居民健康观念需要时间。

另外,采用地理与经济嵌套矩阵时,结果并无太大差异;采用地理经济矩阵时,大气污染空间滞后项的系数不显著,故下文不再报告其实证检验结果。

### 3.稳健性检验

为了增强上述结果的稳健性,本文进行了稳健性检验和安慰剂检验。以各省经纬度构建地理距离矩阵 $W_5$ <sup>①</sup>,大气污染浓度 $PM_{2.5}$ 在地理上具有空间溢出效应,预期其输出结果与之前结果相近,表2列(5)是稳健性输出结果,结果显示结论并无大差异;为了排除上述结果受到人为设定影响,构建一个随机空间权重矩阵 $W_0$ 进行安慰剂检验,由于大气污染浓度表现为特定的空间相关关系,故采用随意的空间权重矩阵会导致实证结果出现差异,表2列(6)证实了这一观点。

综上所述,大气污染浓度严重威胁到居民的健康生活,经济发展水平、人口密度等变量对围产儿健康产生积极影响,但大气污染的空间滞后项对本地区的围产儿死亡率作用系数显著为负,即临近地区大气污染浓度的上升会显著降低本地区围产儿死亡率。针对这个“反常”结论,笔者作出如下解释。本地区大气污染主要来源于两个方面,一是本地区汽车尾气排放、污染产业排污等;二是临近地区大气污染的传播,很多学者验证了大气污染的地理传送性。正是由于政府和居民都知道大气污染具有空间溢出效应,即周边地区的大气污染浓度增加会提高本地区大气污染浓度,因此,为了应对周围地区大气污染传输的影响,本地区居民和政府会

<sup>①</sup>参考 Vega 和 Elhorst(2015),运用毕达哥拉斯定理构建经纬度地理距离矩阵,公式为: $a^2+b^2=c^2$ ,其中 a 为经度, b 为纬度, c 为两地区间的距离。

采取更加严厉的防护措施保障居民健康不受危害,如在制定保护措施和排污标准时会同时考虑本地区自身大气污染浓度和周围地区传送来的大气污染。也就是说,临近地区大气污染的扩散因素促使本地区政府和居民采取更加严格的保障措施,从而间接提高了居民的健康水平,降低了围产儿死亡率。既有研究表明,经济发展水平的差异会导致居民观念认知的不同,个体收入的不平等会带来健康、医疗服务利用的不平等(解垚,2009),从而会导致不同的健康结果。因此,笔者认为当本地区经济发展水平处于不同区间时,政府和居民在接收到临近地区的高污染信息后会采取不同的决策,这些决策方法导致了不同的健康差异。故下文以本地区围产儿死亡率为被解释变量,大气污染浓度空间滞后项为核心解释变量,本地区经济发展水平为门槛变量来构建面板门槛模型,试图发现不同经济发展水平地区的邻近地区大气污染浓度对本地区围产儿死亡率的影响。

### (三) 面板门槛模型实证结果

运用 stata 14.0 反复抽样 300 次,对面板门槛模型(2)式进行检验,分析不同经济发展水平下,大气污染浓度空间滞后项对围产儿死亡率的非线性关系。检验和估计结果见表 3 和表 4:

表 3 门槛效应检验结果

空间权重矩阵	门槛模型	BS 次数	F 值	P 值	1%	5%	10%
地理矩阵	单一门槛	300	145.06	0.00	35.04	45.37	62.53
	双重门槛	300	63.65	0.02	28.52	34.64	68.24
	三重门槛	300	19.19	0.60	57.54	74.73	108.40
地理与经济嵌套矩阵	单一门槛	300	138.16	0.00	33.78	44.61	74.549
	双重门槛	300	63.90	0.01	30.06	38.159	53.765
	三重门槛	300	18.23	0.67	61.81	71.786	112.710

表 3 是采用地理矩阵和地理与经济嵌套矩阵下的门槛效应检验结果。可知,地理矩阵下双重门槛通过了 5% 的显著性检验,说明该模型存在双重门槛效应;地理与经济嵌套矩阵下双重门槛通过了 5% 的显著性检验,说明此空间权重矩阵下存在双重门槛效应。表 4 列(1)和列(2)分别代表地理矩阵和地理与经济嵌套矩阵下双重门槛模型的估计检验结果。以列(1)为例,可见在不同经济发展水平下,临近地区大气污染浓度对于本地区围产儿死亡率的影响程度确实存在差异性。具体而言,当本地区经济发展水平低于低门槛时,邻近地区大气污染浓度对于本地区围产儿死亡率的估计系数为负,相邻地区大气污染浓度的上升会降低本地区围产儿死亡率,但系数不显著;当本地区经济发展水平处于高低门槛值之间时,邻近地区大气污染浓度对本地区围产儿死亡率的估计系数为负,且通过 5% 的显著性水平检验;当本地区经济

发展水平高于高门槛值时,临近地区大气污染浓度对本地区围产儿死亡率的估计系数显著为负,且大于处于中间门槛区间的门槛变量系数,表明随着本地区经济发展水平提高,临近地区的大气污染浓度对本地区围产儿死亡率的抑制作用越强。

表 4 门槛模型输出结果

空间权重矩阵	地理矩阵 (1)	地理与经济嵌套矩阵 (2)
门槛变量	$\ln gdp$	$\ln gdp$
核心解释变量	$W_1 \ln pm_{2.5}$	$W_3 \ln pm_{2.5}$
门槛值	$\ln gdp \leq 8.902$ - 1.602 (1.224)	$\ln gdp \leq 8.902$ - 1.338 (1.289)
	$8.902 < \ln gdp \leq 9.357$ - 2.578 ** (1.210)	$8.902 < \ln gdp \leq 9.357$ - 2.296 ** (1.270)
	$\ln gdp > 9.357$ - 3.100 ** (1.208)	$\ln gdp > 9.357$ - 2.819 ** (1.265)
控制变量	有	有

注:括号内为标准误;\*表示通过 10%的显著性检验,\*\*表示通过 5%的显著性检验,\*\*\*表示通过 1%的显著性检验。

由上可知,临近地区大气污染浓度对于本地区围产儿死亡率的抑制影响随着本地区经济发展水平的提高呈现出上升趋势。在经济发展水平较低的地区,大气污染的空间滞后项的作用系数为负,但不显著,随着经济发展水平的上升,系数增大且愈加显著。可能的原因是:当临近地区大气污染浓度升高时,会对周围地区产生“警示作用”,且经济发展水平较高的地区对于这种“警示作用”更加敏感。接受到临近地区大气污染浓度上升的信息后,本地区政府会采取预防措施来改善空气质量,且居民会采取防护性手段保护自己不受大气污染的影响,从而从外部和自身两个方面保障了公众健康,降低了围产儿死亡率。另外,经济发展水平较高的地区更有可能实施对抗周围地区空气污染蔓延的防护性方案,比如提前进行街道洒水、多种种植物等措施,从而保障居民健康。因此,随着经济发展水平的提高,临近地区大气污染浓度对本地区围产儿死亡率呈现出越来越显著的负相关性。

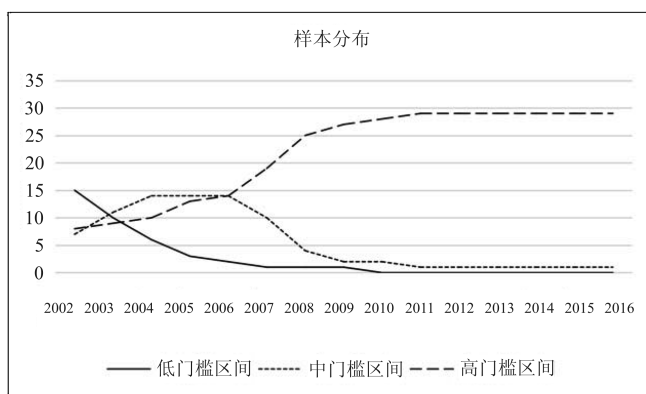


图 2 门槛样本数量分布

为了更好地显示出各个门槛样本数量的变化趋势,描绘其门槛样本数量折线图,见图 2。由图 2 可知,处于低门槛区间的样本数量呈现陡峭的下降趋势,在 2010 年,该区间下的样本数量下降为 0;处于中门槛区间的样本数量呈现“倒 U”型,其样本数量呈现先增后减的趋势,在 2011-2016 年,仅剩贵州省处于此门槛区间;处于高门槛区间的样本数量呈现出明显的上升趋势。在本地区经济发展水平处于低门槛区间时,临近地区大气污染浓度和本地区围产儿死亡率是负相关关系,但不显著,其样本数量呈下降趋势;在本地区经济发展水平处于中门槛区间时,临近地区大气污染浓度对本地区围产儿死亡率的作用变为显著的抑制作用;在本地区经济发展水平处于高门槛区间时,其抑制作用变得更加强烈,并且处于此区间的样本数量呈现明显的上升趋势。处于低门槛区间的样本数量的不断下降和处于高门槛区间的样本数量的持续上升,促使抑制作用越来越大,导致了临近地区大气污染浓度对于本地围产儿死亡率的系数显著为负。

#### 四、研究结论及政策建议

大气污染正在严重威胁居民健康,识别大气污染对公众健康的影响具有重要意义。本文以围产儿死亡率作为公众健康的有效代理指标,采用空间自滞后模型识别大气污染及其滞后项对围产儿死亡率的影响。研究结果表明:(1)我国大气污染  $PM_{2.5}$  颗粒物浓度的分布呈现出地理及地理和经济下的高-高和低-低的集聚特征;(2)本地区大气污染浓度的上升会增加本地区围产儿死亡率,但是临近地区大气污染的上升对其表现出降低作用,结合两种作用发现临近地区大气污染浓度的提高对本地区围产儿死亡率所表现出来的降低作用不足以抵消本地区大气污染上升对其产生的增加作用,总的来说大气污染浓度上升会增加围产儿死亡率;(3)在地理矩阵和地理与经济的嵌套矩阵下,经济发展水平存在双重门槛,且随着经济发展水平的提高,临近地区大气污染浓度提升对本地区围产儿死亡率的抑制作用愈大且愈显著;(4)经济发展水平的提高、医疗支出占消费比重的提升和受教育程度的增加有利于降低围产儿死

亡率,人口密度增加并没有增加围产儿死亡率,每千人医疗卫生人员的增加反而提高了围产儿死亡率。基于上述结论,本文提出以下政策建议来改善空气质量、提高孕妇围产儿健康水平:

第一,建议对大气污染源上游实行严格合理的奖惩制度,从而降低大气污染浓度,提高围产儿健康水平。比如,针对严重依赖于环境资源、排污较严重的企业,政府可以按照各个行业的边际污染治理成本进行区别征税,将税收所得投入到“健康中国”的建设中去,进一步完善孕产妇医疗保健体系。

第二,在相邻各省之间建立信息共享平台,在发现有大规模的大气污染天气后,相邻地区能同速度地接受到消息,并针对消息作出迅速而有效的措施。加大健康教育宣传,建立层层宣传机制,从政府部门到基层社区形成有效的学习途径,定期进行安全教育讲座学习。公共卫生部门可以在重雾霾天气免费发放空气污染防护性用品,降低个体群体由大气污染带来的经济损失。

第三,提高孕妇群体的社会福利,比如定期免费对孕产妇群体进行身体及胎儿检测,另外要增加孕产妇医疗资源的投入,提高妇科医师数量与质量,并且要正确疏导孕产妇由于过分注重居住环境大气污染导致的心理上的焦虑和不安,从生理和心理上全方位地进行保护。对于经济发展水平较低的地区更要注重绿色 GDP 的发展,在保证环境不受危害的同时稳而有序地提高经济发展水平和医疗保障水平,最大限度地减少大气污染造成的健康损失。

## 参考文献:

- [1] 陈仁杰,陈秉衡,阚海东. 我国 113 个城市大气颗粒物污染的健康经济学评价[J]. 中国环境科学, 2010,30(03):410-415.
- [2] 陈仁杰,阚海东. 雾霾污染与人体健康[J]. 自然杂志,2013,35(05):342-344.
- [3] 陈硕,陈婷. 空气质量与公共健康:以火电厂二氧化硫排放为例[J]. 经济研究,2014,49(08):158-169-183.
- [4] 陈晓,陈亚琼,侯海燕,王丹. 天津地区空气污染与围生儿死亡和出生缺陷的关系[J]. 国际妇产科学杂志,2012,39(03):308-310.
- [5] 黄德生,张世秋. 京津冀地区控制 PM<sub>2.5</sub> 污染的健康效益评估[J]. 中国环境科学,2013,33(01):166-174.
- [6] 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[J]. 环境经济研究, 2017, 2(2): 81-92.
- [7] 穆泉,张世秋. 中国 2001-2013 年 PM<sub>2.5</sub> 重污染的历史变化与健康影响的经济损失评估[J]. 北京大学学报(自然科学版),2015,51(04):694-706.
- [8] 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,2016,51(09):73-88.
- [9] 孙涵,聂飞飞,申俊,彭丽思,於世为. 空气污染、空间外溢与公共健康——以中国珠江三角洲 9 个城市为例[J]. 中国人口·资源与环境,2017,27(09):35-45.
- [10] 王俊,昌忠泽. 中国宏观健康生产函数:理论与实证[J]. 南开经济研究,2007,(02):20-42.
- [11] 解莹. 与收入相关的健康及医疗服务利用不平等研究[J]. 经济研究,2009,44(02):92-105.

[12] 谢鹏,刘晓云,刘兆荣,李涵涵,钟流举,向运荣. 珠江三角洲地区大气污染对人群健康的影响[J]. 中国环境科学,2010,30(07):997-1003.

[13] 谢元博,陈娟,李巍. 雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM<sub>2.5</sub>持续暴露的健康风险及其损害价值评估[J]. 环境科学,2014,35(01):1-8.

[14] 周建,高静,周杨雯倩. 空间计量经济学模型设定理论及其新进展[J]. 经济学报,2016,(2):161-190.

[15] Anderson, H. R. Air Pollution and Mortality: A History[J]. Atmospheric Environment, 2009, 43(1):142-152.

[16] Chen, S. Y., C. S. Gao, and X. F. Huang. Air Pollution, Student Health, and School Absences: Evidence from China[J]. Journal of Environmental Economics & Management, 2018, (92): 465-497.

[17] Chen, S., P. Oliva, and P. Zhang. Air Pollution and Mental Health: Evidence from China[R]. 2018.

[18] Chen, Y., A. Ebenstein, M. Greenstone, and H. Li. Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution from China's Huai River Policy[J]. Proceedings of the National Academy of Science America, 2013, 110(32):12936-12941.

[19] Davdand, P., J. Parker, M. J. Bell, M. Bonzini, M. Brauer, L. A. Darrow, U. Gehring, S. V. Glinianaia, N. Gouveia, E. H. Ha, J. H. Leem, E. H. V. D. Hooven, B. Jalaludin, B. M. Jesdale, J. Lepeule, R. M. Frosch, G. G. Morgan, A. C. Pesatori, F. H. Pierik, T. P. Mulloli, D. Q. Rich, S. Sathyanarayana, J. Seo, R. Slama, M. Strickland, L. Tamburic, D. Wartenberg, M. J. Nieuwenhuijsen, and T. J. Woodruff. Maternal Exposure to Particulate Air Pollution and Term Birth Weight: A Multi-Country Evaluation of Effect and Heterogeneity[J]. Environmental Health Perspectives, 2013, 121(31): 367-373.

[20] Greenstone, M. and R. Hanna. Environmental Regulations, Air and Water Pollution, and Infant Mortality in India[J]. American Economic Review, 2014, 104(10): 3038-3072.

[21] Knittel, C. R., D. L. Miller, and N. J. Sanders. Caution, Drivers! Children Present: Traffic, Pollution, and Infant Health[J]. Social Science Electronic Publishing, 2011, 98(2):350-366.

[22] Luechinger, S. Air Pollution and Infant Mortality: A Natural Experiment from Power Plant Desulfurization[J]. Journal of Health Economics, 2014, 37(1): 219-231.

[23] Medeiros, A. P. P. D., N. Gouveia, R. P. P. Machado, M. R. D. Souza, G. P. Alencar, H. M. D. Novaes, and M. F. D. Almeida. Traffic-related Air Pollution and Perinatal Mortality[J]. Environmental Health Perspectives, 2009, 117(1): 127-132.

[24] Pope, C. A. Epidemiology of Fine Particulate Air Pollution and Human Health: Biologic Mechanisms and Who's at Risk? [J]. Environmental Health Perspectives, 2000, 108(4): 713-723.

[25] Sapkota, A., A. P. Chelikowsky, K. E. Nachman, A. J. Cohen, and B. Ritz. Exposure to Particulate Matter and Adverse Birth Outcomes: A Comprehensive Review and Meta-analysis[J]. Air Quality Atmosphere & Health, 2012, 5(4): 369-381.

[26] Stieb, D. M., C. Li, M. Eshoul, and S. Judek. Ambient Air Pollution, Birth Weight and Preterm Birth: A Systematic Review and Meta-analysis[J]. Environmental Research, 2012, 117(6): 100-111.

[27] Vega, S. H. and J. P. Elhorst. The Slx Model[J]. Journal of Regional Science, 2015, 55(3): 339-363.

[28] Zhang, J. and Q. Mu. Air Pollution and Defensive Expenditures: Evidence from Particulate-Filtering Facemasks[J]. Journal of Environmental Economics & Management, 2018, (92): 517-536.

[29] Zhang, M., S. Yu, and X. Cai. A Health-based Assessment of Particulate Air Pollution in Urban Areas of Beijing in 2000-2004[J]. Science of the Total Environment, 2007, 376(1):100-108.

## The Effect of Air Pollution on Perinatal Mortality

Du Liangsheng<sup>a</sup>, Liu Bin<sup>a</sup> and Fan Dan<sup>a,b</sup>

(a: Department of Economics, Dongbei University of Finance & Economics;

b: Center for Econometric Analysis and Forecasting, Dongbei University of Finance & Economics)

**Abstract:** Air pollution is seriously threatening the health of residents, and perinatal children are more susceptible to atmospheric pollution as sensitive groups. We select the provincial panel data of China, use perinatal mortality as a proxy for public health, and use the spatial lag of X model (SLX) to analyze the impact mechanism of air pollution spillover effects on perinatal mortality. Furthermore, we build the panel threshold model to capture the non-linear characteristics of the perinatal mortality in the region by capturing the spillover effects of atmospheric pollution. We find that the increase of air pollution concentration is one of the main factors that significantly increase the perinatal death rate, but the increase of air pollution concentration in the neighboring area does not adversely affect the perinatal mortality in this area. Based on the conclusion of the panel threshold model, we find that the difference in the level of economic development in the region has led to the differential suppression of perinatal mortality in the region, and the suppression has become more significant as the level of economic development has increased. Therefore, while attaching importance to high-quality economic development, the government is supposed to pay more attention to raising residents' awareness of health protection, improve the health management of sensitive populations, especially infants and young children, and reduce the negative impact of air pollution on fetal health.

**Keywords:** Air Pollution; The SLX Model; Panel Threshold Model; Public Health

**JEL Classification:** I19, Q53

(责任编辑:朱静静)