

# 孕期空气污染损害了新生儿早期健康

——来自武汉出生队列追踪调查的经验证据

石智雷 周小强\*

**摘要:** 本文利用武汉市 22 个环境监测站点的日度数据与武汉出生队列追踪调查数据,研究了孕期空气污染对新生儿早期健康的影响。结果发现:孕期空气污染显著损害了新生儿早期健康,且该影响会随着空气污染等级的提高而不断增强。相比怀孕晚期,怀孕早期和中期的空气污染对新生儿的影响明显更大。孕期空气污染主要影响低社会经济地位和高龄产妇的孩子。机制分析表明,孕期空气污染提高了孕产期并发症的概率,减少了产前检查次数。

**关键词:** 孕期空气污染;新生儿;早期健康

**DOI:** 10.13821/j.cnki.ceq.2024.06.16

## 一、引言

提高人口整体素质是推进中国式现代化的必然要求。在人口负增长的当下,我国正经历人口红利消减和用工成本上涨,只有不断提高人口整体素质,才能够为经济高质量发展提供人力资源支撑。新生儿早期健康作为人口高质量发展的源头,对经济社会发展起着至关重要的作用。根据生命早期 1 000 天理论,从妊娠到 2 周岁生命最初 1 000 天所呈现的早期健康,是影响人一生发展的关键因素,能够预测青少年时期的学业表现 (Bharadwaj et al., 2013)、成年后的收入水平 (Bharadwaj et al., 2018),甚至中老年期的健康状况 (Hu et al., 2019)。在生命最初 1 000 天,个体对母体和外部环境极为敏感,尤其容易受到空气污染的影响 (Currie and Neidell, 2005)。

空气污染对人口素质的影响是近年来学术界关注的热点话题。根据研究对象的差异可以将已有文献分为两类。一类关注空气污染对成年人的影响。许多研究证实了空气污染与成年人身心健康之间的直接联系:暴露在严重空气污染环境中的成年人无论是身体健康还是心理健康都明显更差 (Schlenker and Walker, 2016; Chen, 2023),患病率和死亡率也更高 (He et al., 2020)。另一类研究则聚焦对空气污染更为敏感的新生儿,主要讨论空气污染是否会增加不良出生结果的风险,如出生缺陷、低出生体重等 (Hill, 2018)。成

\* 石智雷,中南财经政法大学经济学院、人口与健康研究中心;周小强,中南财经政法大学公共管理学院。通信作者及地址:石智雷,湖北省武汉市东湖新技术开发区南湖大道 182 号,430073;电话:027-88385519;E-mail:shizhilei2004@126.com。作者感谢国家社科基金重大项目(22&ZD196)的资助。作者感谢匿名评审专家的宝贵建议,文责自负。

年人可能对空气污染没有那么敏感,但是对于新生儿、孕妇、老人等群体来说,更容易受到空气污染的伤害。目前空气污染对新生儿的影响研究,也只是通过是否低体重、是否早产等问题型指标来测度新生儿早期健康,缺乏对新生儿早期健康更全面的测度。

准确估计孕期空气污染对新生儿早期健康的影响需要具备两个条件:一是要能够基于人的发展视角对新生儿早期健康进行更全面的衡量。衡量新生儿的早期健康不仅需要考虑到出生时的体重、是否早产等生理性特征,还应考虑语言能力、运动能力等功能性特征。这些功能性特征虽然只有在成长过程中才能够观测到,但在很大程度上受到了新生儿在母亲子宫内的发育状况影响,是刻画新生儿早期健康不可或缺的衡量指标(Whitehouse et al., 2012)。这些信息需要在新生儿出生时便通过追踪调查来搜集。二是污染数据需要足够的空间精度,以准确反映居民家庭遭受空气污染的真实情况。现有研究多使用城市层面的数据来衡量该城市所有家庭遭受的空气污染情况(Zhang et al., 2017)。然而,一个城市的空间范围往往十分广阔,尽管生活在相同城市,但不同地点的居民家庭所遭受的空气污染可能存在很大差异。因此,研究空气污染对微观家庭的影响需要空间精确程度更高的污染数据。

本文将新生儿早期健康界定为出生时的生理性特征以及出生后一段时间内逐渐显现的功能性特征,基于武汉出生队列追踪调查数据,构建了新生儿早期健康指标体系,并采用投影寻踪模型对新生儿早期健康进行科学测度。然后,本文将之与武汉市2019—2020年22个环境监测点的空气污染日度数据进行匹配,使用工具变量方法估计了孕期空气污染对新生儿早期健康的影响效应及其作用机制。结果显示,孕期空气污染显著损害了新生儿早期健康,孕期PM<sub>2.5</sub>每上升10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,新生儿早期健康指数相较于全样本均值下降7.43%,且这种负向影响随着空气污染等级的上升而不断增强。另外,孕期不同阶段空气污染的影响存在很大差异,只有怀孕早期和中期的空气污染会显著损害新生儿早期健康,怀孕晚期空气污染的负向影响在统计意义上不显著。机制分析表明,诱发孕产期并发症和减少产前检查次数是孕期空气污染影响新生儿早期健康的重要途径。异质性分析发现,低社会经济地位女性、高龄产妇、孕前BMI不正常女性以及低学历女性所生孩子的早期健康更容易受到空气污染的影响。此外,在遭受孕期空气污染这样的负向冲击时,男性胎儿受到的影响更大。

与已有研究相比,本文的贡献体现在三个方面。第一,本文基于武汉出生队列追踪调查数据和新生儿早期健康指标体系,采用投影寻踪模型对新生儿早期健康进行科学测度,为探究中国城市家庭出生人口素质整体水平提供更为全面的经验证据。一方面,新生儿早期健康不仅应该包括是否低体重、是否早产等出生时的生理性特征(Hill, 2018; Chien, 2019),还应包含出生后一段时间内逐渐显现的功能性特征,如语言能力、运动能力等。另一方面,早产儿、低体重儿在新生儿群体中是少数,其比例在未来还会越来越低。如果只是使用是否早产和是否低体重来衡量新生儿早期健康,绝大部分新生儿会被同质化,便无法考察早期健康在这类群体内的差异。即便是在那些正常出生体重和足月出生的新生儿中,他们的早期健康也有高低和优劣之分,这需要通过构建早期健康指数加以区分。

第二,本文利用受访家庭住址信息和环境监测站点位置信息,在更精细的空间尺度上

研究空气污染的影响效应。囿于数据限制,以往研究在探讨空气污染对家庭消费、个体迁移、劳动供给等微观行为的影响时,多使用城市层面的空气污染数据(赵红军等,2021;陈涵一等,2023),存在精确程度不高的问题。本文所用的武汉出生队列追踪调查搜集了受访家庭的详细住址信息,结合武汉市生态环境监测站点的位置信息,本文能够将城市内部不同区域的空气污染数据匹配给受访家庭,进而弥补以往研究在这方面的不足。

第三,本文利用女性的分娩日期和孕周信息,准确识别了女性从怀孕到分娩的具体日期,能够更为细致地刻画孕期不同阶段空气污染与新生儿早期健康之间的动态关系。以往研究在讨论空气污染对个体发展的影响时,往往将调查前一年作为测量空气污染的时间尺度(王玉泽和罗能生,2020),个体当下的疾病可能反映了许多年前发生的污染暴露(Currie et al., 2009)。更为重要的是,孕期不同阶段的空气污染对新生儿早期健康的影响可能存在显著差异。因此,在怎样的时间尺度下测量个体遭受的空气污染水平是相关研究面临的挑战。

## 二、文献回顾与理论分析

### (一) 文献回顾

近年来关于空气污染与人口素质的研究呈现增长态势,研究主题涉及身体健康(Schlenker and Walker, 2016)、心理健康(Chen et al., 2023)和认知能力(Weuve et al., 2012)等。其中,与本文最为接近的文献是关于空气污染影响出生结果的研究。多数学者认为空气污染增加了早产、低出生体重等不良出生结果的风险。Currie et al.(2009)基于美国新泽西州1989—2003年出生的新生儿样本,研究发现女性怀孕期间的空气污染越严重,新生儿低体重的风险越高,且吸烟女性和大龄女性受到的影响更大。Chang et al.(2012)利用离散时间生存模型测算了2001—2005年美国北卡罗来纳州每位怀孕女性累积暴露于PM<sub>2.5</sub>的风险,发现累积PM<sub>2.5</sub>的浓度每上升1.73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,早产风险增加6.85%。Hill(2018)以美国宾夕法尼亚州页岩气开采为背景,认为页岩气开采在给当地居民创造就业机会、增加收入的同时,也带来了严重的空气污染,并根据页岩气井开始钻探的时间和样本家庭到矿井的距离构建双重差分模型,发现页岩气开采使得实验组家庭低体重儿的发生概率增加了1.36%。

尽管国外已经形成相对丰富的研究成果,但这些研究集中在发达国家,研究结论还不足以推广到发展中国家。一方面,发展中国家的空气污染水平往往远高于发达国家。另一方面,发展中国家居民的收入和福利水平通常较低,抵御空气污染的能力弱。这些都可能导致研究结论存在较大差异。更为重要的是,本文是基于单个城市样本的研究,中国城市内部和西方国家城市存在明显差异。西方国家长期存在严重的与经济状况密切相关的居住隔离现象,部分国家甚至由此形成了贫民窟(Massey, 2005),而中国城市内部则并不存在集中连片的穷人区。此外,已有研究用的基本是女性在医院分娩时的登记数据,该数据往往只会记录少量家庭信息,无法分析空气污染影响出生结果的作用机制。

相比国外研究,利用中国数据探讨空气污染影响出生结果的文献还很少,比较相近的有两篇文献。Tanaka(2015)基于1998年中国“两控区”环境管制这一政策冲击,利用

1990—2000年的中国疾病监测点系统的新生儿死亡率数据,研究发现,在实施“两控区”环境规制的城市中,新生儿死亡率下降了20%。新生儿死亡是死亡类出生结果,本文与之不同,主要关注非死亡类出生结果。相对于死亡,空气污染导致的非死亡类出生结果变差的情况更为普遍。赵绍阳和卢历祺(2022)则基于中国13个城市33家医院的新生儿登记数据,发现怀孕前后一段时间内的空气污染越严重,从心率、肤色、呼吸、肌张力和反射五个维度综合衡量新生儿健康状况的Apgar得分以及出生体重越低,早产的概率越高。但该研究使用的是Probit模型,验证的只是相关关系。本文采用工具变量法,能够更加准确地估计空气污染产生的影响。

## (二) 孕期空气污染影响新生儿早期健康的内在机制

母体子宫是胎儿发育的唯一场所,母体的健康状况、营养摄入以及接触环境的变化决定了胎儿的发育水平。因此,本文有理由认为孕期空气污染主要是通过改变母体状况来影响新生儿早期健康,并从孕产期并发症和产前检查两个维度分析内在机制。

第一,孕期空气污染会通过诱发孕产期并发症损害新生儿早期健康。空气污染物进入人体后,会降低人体的血红蛋白水平,甚至诱发贫血、胎膜早破等孕产期并发症。基于澳大利亚的研究发现,怀孕中期暴露于PM<sub>2.5</sub>会使得胎膜早破的风险增加3%(Pereira et al., 2014)。医学研究表明,孕产期并发症是导致新生儿早期健康变差的重要风险因素,患有孕产期并发症的女性生育的新生儿出现低体重的概率是没有经历孕产期并发症女性的3倍(Mulu et al., 2020)。孕产期并发症种类较多,通常表现为胎膜早破、妊娠贫血和妊娠高血压等。胎膜早破会导致羊水流出,宫腔随之缩小、压力增强,进而引发早产;妊娠贫血则会使得怀孕女性给胎儿的供氧能力下降,胎儿在子宫内的发育受限。因此,本文认为孕期空气污染会诱发孕产期并发症,进而影响新生儿早期健康。

第二,孕期空气污染会通过降低产前检查次数损害新生儿早期健康。产前检查是指在整个怀孕期间针对孕妇和胎儿的健康检查,是优生优育的重要环节。定期产前检查有助于孕妇妊娠期疾病、胎儿发育和宫内发育环境的诊断,能够及时发现孕妇和胎儿可能存在的问题,并提供必要的妇幼保健建议。为保障母婴健康,原卫生部于2011年印发了《孕产期保健工作管理办法》,该文件要求医疗机构在整个妊娠期间至少为怀孕女性提供5次产前检查。由此可见,产前检查对检查次数有一定要求,不做或少做都可能会对新生儿早期健康产生影响。怀孕女性只有做够一定次数的产前检查或者按医嘱做产前检查,才能够最大程度发挥产前检查的作用,进而保障妊娠和分娩的顺利进行。已有研究表明,居民为避免暴露在空气污染中,会采取减少户外出行等规避行为(Xu et al., 2021)。理论上,对于孕妇这类对空气污染更加敏感的人群而言,她们更有可能采取规避行为,甚至可能会为了规避严重的空气污染而减少产前检查的次数。

## 三、研究设计

### (一) 研究数据

#### 1. 武汉出生队列追踪调查数据

本文的被解释变量及家庭层面的控制变量数据来自武汉出生队列追踪调查(Wuhan

Birth Cohort Studies, WBCS)。该调查由中南财经政法大学人口与健康研究中心和武汉市卫健委等单位合作完成,旨在追踪武汉市2020年新生儿的整个生命历程。

截至目前,WBCS已完成1次基期调查和1次追访调查,共计2期调查。第一期调查开展于2020年1月1日至2020年12月31日。该期调查由武汉市各医疗机构具体执行,调查对象覆盖了武汉市2020年出生的所有新生儿,医护人员会填写这些新生儿出生时的生理特征指标以及家庭住址、父母电话等信息。第二期调查则基于第一期调查获取的完整抽样框,采用分层、多阶段、等比例的方法,在武汉市13个行政区、1个功能区中随机抽取280个社区、3139户家庭。根据第一期调查获取的住址和电话等信息,联合基层社区进行入户调查。从调查单位层级来看,第二期WBCS问卷涉及家庭和社区两个层面。其中,家庭问卷包括新生儿、母亲、父亲、祖辈以及家庭五个模块,详细询问了新生儿早期发育、家庭养育情况,以及家庭核心成员的健康、教育、职业、迁移、生育等个体信息,涵盖了个体和家庭发展的大部分内容。社区问卷旨在了解受访家庭的居住环境,针对抽样社区,WBCS询问了社区的户籍人口、常住人口、流动人口等信息。

## 2. 空气污染数据

空气污染数据来源于武汉市生态环境局官方网站<sup>①</sup>,该网站提供了武汉市22个环境监测站点每日的空气质量数据,具体包括了AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>和CO这七个指标的日度信息。考虑到PM<sub>2.5</sub>更容易渗透室内(Chang et al., 2016),并且女性在怀孕期间的大部分时间待在室内,因而本文选取PM<sub>2.5</sub>作为空气污染的度量指标。结合研究的实际需求,本文从该网站手工搜集了2019年1月1日至2020年12月31日的日度PM<sub>2.5</sub>信息。在附录I中<sup>②</sup>,本文针对22个环境监测站点的空气污染做了对比分析,发现在同一时期内各监测站点的空气污染水平具有明显差异。

## 3. 气象数据

本文涉及的气象数据包括风速、气温、降水和日照时数。其中,风速、气温和降水数据来自美国国家环境信息中心公布的GSOD气象站点数据<sup>③</sup>,日照时数数据来自中国气象数据网发布的中国地面气候资料日值数据集V3.0<sup>④</sup>。本文利用ArcGIS软件将武汉市所有监测站点的数据插值为0.1°×0.1°分辨率的网格数据,然后将网格数据转换为栅格数据,最后分区域平均得到武汉市各区的日度气象数据。

## (二) 模型设定

本文旨在探讨孕期空气污染对新生儿早期健康的因果效应。估计两个变量间的因果关系通常面临三个方面的内生性挑战:一是遗漏变量。在本文中,遗漏与经济发展水平相关的变量可能会导致空气污染的影响被低估,甚至出现与预期相反的结果。遗漏变量偏误的表达式为 $E(\hat{\beta}_1) = \beta_1 + \delta\beta_2$ ,其中 $\hat{\beta}_1$ 是遗漏经济发展水平变量时空气污染的估计系数。

① PM<sub>2.5</sub>数据来源于武汉市生态环境局官方网站, <http://hbj.wuhan.gov.cn/>, 访问时间:2023年5月18日。

② 限于篇幅,附录未在正文中报告,感兴趣的读者可在《经济学》(季刊)官网(<https://ceq.ccer.pku.edu.cn/>)下载。

③ 美国国家环境信息中心官方网站, <https://www.ncei.noaa.gov/access>, 访问时间:2024年1月28日。

④ 中国气象数据网, <http://data.cma.cn>, 访问时间:2023年6月8日。

$\beta_1$ 为孕期空气污染对新生儿早期健康的真实影响,预期为负。 $\delta$ 为经济发展水平对新生儿早期健康的影响,预期为正。 $\beta_2$ 为经济发展水平对空气污染的影响。已有研究发现,经济增长与空气污染多呈现正相关(张晓,1999)。因此, $\beta_2$ 预期为正。鉴于 $\beta_1 < 0$ 且 $\delta\beta_2 > 0$ ,则可以推断出遗漏相关变量会低估空气污染的真实影响,甚至可能出现 $E(\hat{\beta}_1) > 0$ 这种与预期相反的情况。尽管本文可以在模型中控制部分反映地区经济发展的变量,但也无法穷尽。同时,也可能存在其他导致估计结果偏差的遗漏变量。二是测量误差。空气污染数据来自武汉市生态环境局,来源权威。家庭层面数据来自WBCS,访员在入户访问之前经过了严格的培训和考核。即便如此,也可能因为受访者的记忆偏差或主观回避,而使得个别变量的测度存在一定程度的偏差。三是反向因果。新生儿早期健康理论上并不会反过来影响空气污染,因此本文并不存在由反向因果导致的内生性问题。

为解决由遗漏变量和测量误差导致的内生性问题,本文参考谢强和封进(2023)的做法,将风速作为空气污染的工具变量,并基于两阶段最小二乘法(2SLS)对模型进行估计。具体模型设定如下:

$$PM_{2.5i}^{all} = \alpha_0 + \alpha_1 FS_i + \alpha X + \mu_i + \lambda_c + \varepsilon_i, \quad (1)$$

$$Health_i = \gamma_0 + \gamma_1 \widehat{PM}_{2.5i}^{all} + \gamma X + \mu_i + \lambda_c + \varepsilon_i. \quad (2)$$

式(1)和式(2)分别为第一阶段和第二阶段估计方程。其中, $Health_i$ 为受访家庭*i*的新生儿早期健康,值越大,新生儿的早期健康水平越高; $PM_{2.5i}^{all}$ 是受访家庭*i*中的女性在整个怀孕期间的 $PM_{2.5}$ 浓度均值,值越大,表明空气污染越严重。 $FS_i$ 为风速,是空气污染的工具变量。 $\widehat{PM}_{2.5i}^{all}$ 为根据第一阶段回归得到的拟合值。 $X$ 为控制变量向量,本文参考已有文献的做法(王玉泽和罗能生,2020;Chen et al., 2022;石智雷和滕聪波,2023),从家庭和地区两个层面选取。家庭层面变量包括是否备孕(*Prepare*)、是否封城期间怀孕(*Lockdown*)、母亲受教育程度(*Educ*)、家庭年收入对数(*LnIncome*)、怀孕前45天 $PM_{2.5}$ 浓度( $PM_{2.5}^{-45}$ )、孕期高温天数(*Gw*)、孕期累计日照时数(*Sun*)和孕期累计降雨量(*Rain*),地区层面变量包括地区人均生产总值(*PerGDP*)、人口密度(*Density*)和规模以上工业企业数量(*Firm*)。对于地区层面变量,本文参考王玉泽和罗能生(2020)的做法,做了滞后处理。考虑到样本女性的最早怀孕时间是2019年,因而本文使用《武汉统计年鉴(2019)》数据计算地区层面变量,该年鉴记录的都是武汉2018年的情况。相关变量的描述统计结果见表1。 $\mu_i$ 为新生儿出生月份固定效应。 $\lambda_c$ 为地区固定效应,本文按照主城区和远城区的分类方式对地区固定效应进行了控制。 $\varepsilon_i$ 为随机扰动项。

表1 主要变量的描述统计

变量名	变量说明	均值	标准差	最小值	最大值	样本量
被解释变量						
<i>Health</i>	新生儿早期健康	2.84	0.25	1.30	3.20	2 830
核心解释变量						
$PM_{2.5}^{all}$	孕期 $PM_{2.5}$ 浓度	51.38	7.40	34.43	73.64	2 871
$PM_{2.5}^{1-12}$	怀孕1—12周的 $PM_{2.5}$ 浓度	54.16	13.97	26.86	95.73	2 871

(续表)

变量名	变量说明	均值	标准差	最小值	最大值	样本量
$PM_{2.5}^{13-28}$	怀孕 13—28 周的 $PM_{2.5}$ 浓度	50.15	13.99	23.61	90.37	2 871
$PM_{2.5}^{29}$	怀孕 29 周及之后的 $PM_{2.5}$ 浓度	49.77	17.21	19.76	100.73	2 868
$PM_{2.5}^l$	孕期 $PM_{2.5}$ 轻度污染及以上天数	42.18	21.54	0.00	103.00	2 871
$PM_{2.5}^m$	孕期 $PM_{2.5}$ 中度污染及以上天数	8.38	6.10	0.00	22.00	2 871
$PM_{2.5}^h$	孕期 $PM_{2.5}$ 重度污染及以上天数	1.44	1.79	0.00	7.00	2 871
工具变量						
$FS$	孕期平均风速	2.45	0.06	2.29	2.66	2 871
$FS^{1-12}$	怀孕 1—12 周的平均风速	2.47	0.18	2.16	2.91	2 871
$FS^{13-28}$	怀孕 13—28 周的平均风速	2.46	0.13	2.18	2.78	2 871
$FS^{29}$	怀孕 29 周及之后的平均风速	2.41	0.17	1.95	2.96	2 868
家庭控制变量						
$Prepare$	是否备孕,是=1,否=0	0.54	0.50	0.00	1.00	2 798
$Lockdown$	是否封城期间怀孕,是=1,否=0	0.18	0.39	0.00	1.00	2 871
$Educ$	母亲受教育程度,为分类变量,初中及以下学历=1,高中学历=2;大专及以上学历=3	2.61	0.68	1.00	3.00	2 833
$LnIncome$	家庭年收入(元)对数	11.70	1.55	0.00	13.59	2 729
$PM_{2.5}^{-45}$	怀孕前 45 天 $PM_{2.5}$ 浓度	56.09	15.75	25.91	104.09	2 871
$Gw$	孕期高温天数(天),日平均气温不低于 30 摄氏度定义为高温	19.79	11.74	0.00	40.00	2 871
$Sun$	孕期累计日照时数(小时)	1 369.24	102.38	756.53	1 667.55	2 871
$Rain$	孕期累计降雨量(mm)	1 047.05	403.80	346.97	1 709.49	2 871
地区控制变量						
$PerGDP$	地区人均生产总值(万元)	18.34	26.88	4.80	112.09	2 871
$Density$	人口密度,每平方公里所居住的常住人口数,取对数处理	7.88	1.40	6.11	10.16	2 871
$Firm$	规模以上工业企业数量(家)	170.30	138.83	17.00	429.00	2 871

注:部分新生儿未满 29 个孕周便出生,故变量  $PM_{2.5}^{29}$  的样本量会出现比  $PM_{2.5}^{13-28}$  样本量少少的情况。

### (三) 变量测度

#### 1. 被解释变量:新生儿早期健康(Health)

本文在构建新生儿早期健康指数时,综合考虑了新生儿出生时的生理性特征和生命最初 1 000 天内逐渐显现的功能性特征。在指标选取上,本文通过分娩时风险特征以及出生后医学诊断来衡量新生儿出生时的生理性特征。对于功能性特征,本文考虑了新生儿的基本发育、综合发育和社交-情绪发育。其中,对于新生儿的综合发育和社交-情绪发育,本文通过国际权威的年龄与发育进程量表(ASQ3 和 ASQ-SE2)测度得到。具体的指

标体系见表 2。在测度方法上,本文采用投影寻踪模型测算新生儿早期健康指数。该模型不仅能够解决高维数据存在的“维数祸根”问题(张吉鹏和卢冲,2019),而且无需主观预设指标权重,能够更为客观地反映新生儿早期健康的综合水平。在附录 II 中,本文详细阐述了投影寻踪模型测算新生儿早期健康指数的具体步骤。

表 2 新生儿早期健康指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	测度方式	指标方向
生理性特征	分娩时风险特征 <sup>①</sup>	出生体重异常程度	出生体重异常程度,正常=0	(-)
		早产程度	早产程度,正常=0	(-)
	出生后医学诊断	1 分钟内阿氏评分	出生时临床诊断的阿氏评分	(+)
		先天性缺陷	存在先天性缺陷=1;不存在=0	(-)
功能性特征	基本发育	特殊照料	出生后受过恒温箱等特殊照料=1;其他=0	(-)
		Z 评分	正常=0;轻度偏瘦、轻度超重=1;消瘦或超重=2	(-)
	综合发育 <sup>②</sup>	睡眠情况	睡眠时长符合原国家卫生和计划生育委员会发布的《0 岁~5 岁儿童睡眠卫生指南》要求=1;其他=0	(+)
		沟通能区		(+)
	社交-情绪发育 <sup>③</sup>	粗大动作能区		(+)
		精细动作能区	根据年龄与发育进程问卷(ASQ3)测度得分,连续变量	(+)
		解决问题能区		(+)
		个人-社会能区		(+)
			根据年龄与发育进程问卷:社交-情绪(ASQ-SE2)测度得分,连续变量	(-)

## 2. 核心解释变量:孕期空气污染( $PM_{2.5}^{all}$ )

本文使用女性整个孕期的  $PM_{2.5}$  浓度均值衡量孕期空气污染。首先,本文根据受访家庭住址和武汉市 22 个环境监测站点的经纬度信息,利用 ArcGIS 软件计算了受访家庭与每个环境监测站点的距离,然后找出距受访家庭  $i$  最近的环境监测站点  $p$ ,并将环境监测站点  $p$  对应的空气污染数据与受访家庭  $i$  进行匹配。本文参考 Currie et al.(2009)的做法,将样本限定在了最近环境监测站点在 10 公里内的样本。其次,本文根据 WBCS 提供的分娩日期和孕周信息,推算女性的怀孕时间。最后,本文根据怀孕时间、分娩时间以及

① 新生儿的正常出生体重在 2.5 kg—4.0 kg 之间,距离正常体重越远,健康风险越高。据此,本文定义了“出生体重异常程度”变量。当出生体重在 2.5 kg—4.0 kg 之间时,该变量取值为 0。当出生体重小于 2.5 kg(大于 4.0 kg)时,本文用新生儿出生体重到 2.5 kg(4.0 kg)的距离来衡量出生体重异常程度。此外,早产程度越大,健康风险越高。本文将分娩孕周大于等于 37 周的,视为正常,“早产程度”变量取值为 0;当孕周小于 37 周时,本文用 37 周减去女性实际的孕周,来给“早产程度”变量赋值。

② 沟通能区测度的是咿呀学语以及语言的表达、倾听和理解的能力;粗大动作能区测度的是手臂、身体和腿的运动能力;精细动作能区测度的是手和手指的运动能力;解决问题能区测度的是学习和玩玩具的能力;个人-社会能区测度的是单独玩玩具以及与其他小孩玩的能力。以上每个能区,ASQ3 均给出了一个得分。

③ 社交-情绪发育测度的是自我调控、依从性、沟通、适应功能、自主性、感情和人际互动这 7 个维度。对于这 7 个维度,ASQ-SE2 给出的是一个总分,并非每个维度给出一个得分。



最近环境监测站点每日的  $PM_{2.5}$  数据,计算每位女性怀孕期间(从怀孕到分娩)的  $PM_{2.5}$  均值,即  $PM_{2.5}^{all}$ 。本文还按照医学对怀孕阶段的界定,将整个怀孕期间的  $PM_{2.5}$  按照孕周进行了分解,分为了怀孕 1—12 周(孕早期)的  $PM_{2.5}$  浓度、怀孕 13—28 周(孕中期)的  $PM_{2.5}$  浓度和怀孕 29 周及之后(孕晚期)的  $PM_{2.5}$  浓度,并分别用  $PM_{2.5}^{1-12}$ 、 $PM_{2.5}^{13-28}$  和  $PM_{2.5}^{29}$  表示(韩丽萍等,2016)。与  $PM_{2.5}^{all}$  相比, $PM_{2.5}^{1-12}$ 、 $PM_{2.5}^{13-28}$  和  $PM_{2.5}^{29}$  这三个变量的构建思路除了在时间上有差异外,其余均相同。

### 3. 工具变量:风速

理论上,一个地区的风速越大,污染物扩散的条件越好,该地的空气污染浓度越低。因而,风速和空气污染高度相关。此外,风速作为气候变量,基本不受人类经济活动的影响,能够较好地满足排他性假设。在经济学研究中,风速常被用作空气污染的工具变量(谢强和封进,2023)。本文参考上述文献的做法,测算了女性怀孕期间的平均风速,并将之作为孕期空气污染的工具变量。由于本文对核心解释变量按照孕周进行了分解,因而本文也相应地计算了怀孕 1—12 周、怀孕 13—28 周和怀孕 29 周及之后的平均风速。

## 四、实证结果

### (一) 基准回归

#### 1. 孕期空气污染与新生儿早期健康

表 3 汇报了孕期空气污染影响新生儿早期健康的 2SLS 估计结果。第(1)—(2)列为逐步添加控制变量的结果,其中第(1)列仅控制家庭特征变量。从第(2)列可以看出,孕期空气污染显著损害了新生儿早期健康。具体而言, $PM_{2.5}^{all}$  每上升  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,早期健康指数下降 0.211,这相当于全样本均值(2.84)的 7.43%。

本文还就孕期空气污染对新生儿早期健康的非线性影响进行了考察。具体地,本文测算了每位女性怀孕期间  $PM_{2.5}$  浓度在轻度污染及以上( $PM_{2.5} \geq 75\mu\text{g}/\text{m}^3$ )、中度污染及以上( $PM_{2.5} \geq 115\mu\text{g}/\text{m}^3$ )以及重度污染及以上( $PM_{2.5} \geq 150\mu\text{g}/\text{m}^3$ )的天数,分别用变量  $PM_{2.5}^l$ 、 $PM_{2.5}^m$  和  $PM_{2.5}^s$  表示,并将之作为核心解释变量。从第(3)—(5)列呈现的结果看, $PM_{2.5}^l$ 、 $PM_{2.5}^m$  和  $PM_{2.5}^s$  均显著为负,且其绝对值呈现逐渐递增的趋势。这表明,随着污染浓度的加重,孕期空气污染对新生儿早期健康的边际影响在不断增强。此外,所有 Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量均大于 16.38,表明不存在弱工具变量问题。

表 3 孕期空气污染对新生儿早期健康的影响(2SLS 估计)

	Health	Health	Health	Health	Health
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$PM_{2.5}^{all}$	-0.0116 *	-0.0211***			
	(0.0065)	(0.0058)			
$PM_{2.5}^l$			-0.0101***		
			(0.0030)		

(续表)

	Health (1)	Health (2)	Health (3)	Health (4)	Health (5)
$PM_{2.5}^m$				-0.0332*** (0.0106)	
$PM_{2.5}^s$					-0.1233*** (0.0426)
控制变量	是	是	是	是	是
出生月份固定效应	否	是	是	是	是
地区固定效应	否	是	是	是	是
样本量	2 689	2 689	2 689	2 689	2 689
第一阶段工具变量系数	-25.5204*** (5.4500)	-35.4468*** (4.8666)	-74.1195*** (11.1215)	-22.5290*** (4.5533)	-6.0624*** (1.3814)
弱工具变量检验	21.9267	53.0520	44.4159	24.4812	19.2608

注：\*、\*\*和\*\*\*分别表示 10%、5%和 1%的显著性水平。括号内为聚类到社区层面的稳健标准误。弱工具变量检验报告的是 Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量。第(1)列仅控制了家庭层面的控制变量,其余列控制了所有变量。

### 2. 孕期不同阶段空气污染的影响

图 1 汇报的是孕期不同阶段空气污染对新生儿早期健康的影响。怀孕早期是胎儿发育的敏感期,在这一时期,胎儿更易受到外部环境的影响。图 1 结果显示,孕早期(怀孕 1—12 周)空气污染对新生儿早期健康的影响最大,其次是孕中期(怀孕 13—28 周),二者的系数分别为-0.0081和-0.0069。相反,孕晚期(怀孕 29 周及以后)的空气污染并未产生显著的影响。这可能是因为胎儿在孕晚期已经相对稳定,该阶段不太容易受到外部环境的影响。

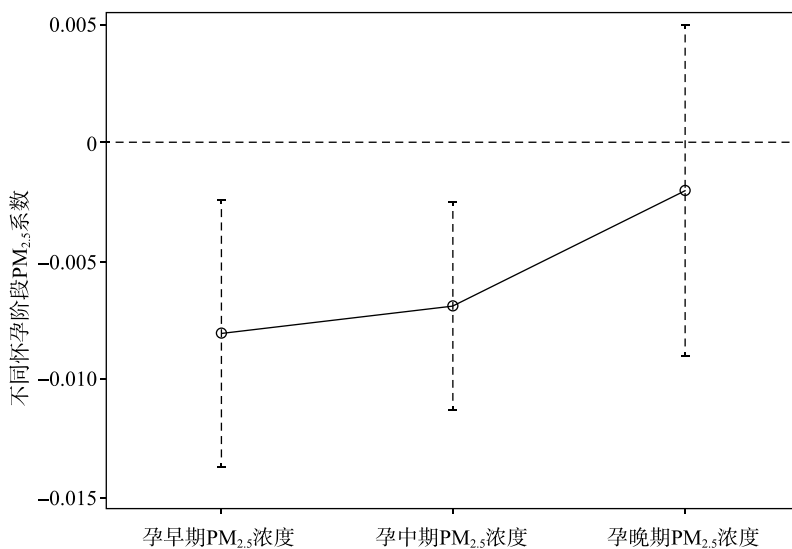


图 1 孕期不同阶段空气污染对新生儿早期健康的影响(2SLS 估计)

注：图中的置信区间为 90%置信区间,下图同此。

### 3. 孕期空气污染对生理性特征和功能性特征的影响

本小节将新生儿生理性特征指标和功能性特征指标直接作为被解释变量,以此考察孕期空气污染对不同类别指标的影响。表4 Panel A 结果显示,对于生理性特征指标而言,孕期空气污染会显著增加新生儿出生体重异常和早产的风险,也会增加新生儿出生后接受特殊照料(如进入保育箱)的概率。 $PM_{2.5}^{all}$  每上升  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 女性将提前 0.734 个孕周分娩,新生儿出生体重异常程度将增加 0.086,同时新生儿出生后接受特殊照料的概率将增加 18.7%。从功能性特征指标看,孕期空气污染不仅会增加新生儿体重发育不正常的风险,也会降低沟通能区、粗大动作能区和精细动作能区的得分。沟通能区得分的降低意味着新生儿的语言表达能力受到了影响,粗大动作和精细动作能区得分降低则意味着新生儿运动能力变得更差。

表4 孕期空气污染对生理性特征指标和功能性特征指标的影响(2SLS估计)

Panel A: 生理性特征指标								
变量	出生体重异常程度	早产程度	1分钟内阿氏评分	先天性缺陷	特殊照料			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
$PM_{2.5}^{all}$	0.0086*** (0.0031)	0.0734*** (0.0190)	0.0094 (0.0144)	-0.0013 (0.0025)	0.0187*** (0.0068)			
控制变量	是	是	是	是	是			
出生月份	是	是	是	是	是			
固定效应	是	是	是	是	是			
地区固定效应	是	是	是	是	是			
样本量	2 700	2 701	2 698	2 721	2 721			
弱工具变量检验	53.5768	53.3049	53.1900	54.6126	54.6126			
Panel B: 功能性特征指标								
变量	Z评分	睡眠情况	沟通能区得分	粗大动作能区得分	精细动作能区得分	解决问题能区得分	个人-社会能区得分	社交-情绪得分
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
$PM_{2.5}^{all}$	0.0175* (0.0097)	-0.0098 (0.0065)	-0.3470* (0.1967)	-0.3231* (0.1946)	-0.4472** (0.1988)	-0.1748 (0.1608)	-0.1129 (0.1518)	0.0377 (0.4397)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
出生月份	是	是	是	是	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是
样本量	2 716	2 721	2 719	2 719	2 719	2 719	2 719	2 718
弱工具变量检验	54.2707	54.6126	54.6839	54.6839	54.6839	54.6839	54.6839	54.5304

注:本表所有模型采用2SLS估计,且均控制了所有控制变量。当被解释变量为0-1变量时,本文还采用IV-Probit进行了估计,结果见附录III。限于篇幅,本表不再报告第一阶段工具变量系数。其余与表3相同。

### (二) 稳健性检验

本小节从剔除双胞胎样本、控制跨市迁移、控制市内通勤、排除疫情影响、替换被解释变量和仅保留距监测点较近的样本这六个方面证明了基准回归结果的稳健性。由于篇幅

所限,稳健性检验的结果及详细分析见附录 IV。

### (三) 机制分析

本小节将逐一检验前文分析提出的孕产期并发症和产前检查这两种内在机制。在方法上,本文参考江艇(2022)关于机制分析的建议,将中介变量作为被解释变量,然后使用工具变量来估计孕期空气污染对中介变量的因果影响。

#### 1. 孕产期并发症

WBCS 询问了女性是否有过孕产期并发症,本文将回答“有并发症”的,取值为 1;回答“没有并发症”的,取值为 0。由于被解释变量为 0-1 变量,故本文同时汇报了 2SLS 和 IV-Probit 的估计结果。从表 5 第(1)—(2)列可以发现,无论是 2SLS 还是 IV-Probit 估计结果,均表明孕期  $PM_{2.5}$  浓度会显著增加女性出现孕产期并发症的概率。考虑到 IV-Probit 和 2SLS 的第一阶段回归原理和结果相同,因而在对 IV-Probit 模型进行弱工具变量检验时,本文采用的是 2SLS 报告的 Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量。表 5 第(2)列结果显示, Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量远大于 16.38,说明不存在弱工具变量问题。

#### 2. 产前检查

WBCS 询问了受访女性“怀这个宝宝时做过产前检查吗?”,选项包括“没做过”“做过一两次”“做过三四次”和“按医嘱做”。根据原卫生部印发的《孕产期保健工作管理办法》,女性在整个妊娠期间至少要做 5 次产前检查。不做或少做都可能对新生儿早期健康产生不利影响。显然,那些没做过、做过一两次和做过三四次的,都不符合要求。据此,本文定义了一个“产前检查\_离散”变量。若受访女性回答“按医嘱做”,则取值 1;若回答“没做过”“做过一两次”“做过三四次”,则取值 0。从表 5 第(3)—(4)列可以发现,孕期空气污染会使得女性产前检查达到规定次数的概率降低。在第(5)列,本文还采用另一种方式定义了一个“产前检查\_连续”变量,将回答“没做过”“做过一两次”“做过三四次”和“按医嘱做”的分别取值 1、2、3 和 4,并将该变量作为连续型变量处理。按此做法,本文依然发现孕期空气污染会减少产前检查次数。

表 5 机制分析

变量	孕产期并发症		产前检查_离散		产前检查_连续
	2SLS	IV-Probit	2SLS	IV-Probit	2SLS
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$PM_{2.5}^{all}$	0.0362*** (0.0064)	0.0228*** (0.0071)	-0.0163** (0.0074)	-0.0184** (0.0085)	-0.0372* (0.0192)
控制变量	是	是	是	是	是
出生月份固定效应	是	是	是	是	是
地区固定效应	是	是	是	是	是
样本量	2 718	2 718	2 716	2 716	2 716
弱工具变量检验	54.5629	54.5629	54.6120	54.6120	54.6120

注:IV-Probit 模型报告的是平均边际效应,其余与表 4 相同。

## 五、异质性分析

针对不同类型的受访家庭展开分析,将有助于识别孕期空气污染影响的群体差异性,以便为政府部门出台干预政策提供参考。本文根据社会经济地位、生育年龄、孕前BMI以及新生儿性别对全样本进行分类,以期考察孕期空气污染对不同群体的影响。

### 1. 区分社会经济地位

相较于低经济地位的家庭,高经济地位家庭在遭受负向冲击时往往表现出更强的抵御风险能力(高梦滔和姚洋,2005)。本文从家庭收入、房产数量和母亲学历三个维度来刻画社会经济地位。图2结果显示,孕期空气污染对低经济地位家庭新生儿的影响要比高地位家庭明显更大。以家庭收入为例, $PM_{2.5}^{all}$ 每上升 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,低收入家庭和高收入家庭新生儿的早期健康指数分别下降0.303和0.10,前者是后者的3.03倍。<sup>①</sup>可能的原因是,高经济地位家庭规避空气污染的能力更强。例如,高收入家庭能够通过购买防尘口罩、在室内安装空气净化器或者购买更好的医疗服务等举措来降低空气污染的影响。

### 2. 区分生育年龄

医学通常将35岁视为低龄产妇和高龄产妇的临界值(陈宇等,2017),本文据此对样本进行了分类。图2结果显示,相较于低龄产妇所生的孩子,孕期空气污染对高龄产妇所生孩子早期健康的不利影响明显更大。从系数绝对值大小看, $PM_{2.5}^{all}$ 每上升 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,高龄产妇和低龄产妇所生孩子的早期健康分别下降0.390和0.171,前者是后者的2.28倍(0.390/0.171)。这表明高龄产妇抵御空气污染的能力比低龄产妇更差,更易受到空气污染的影响。

### 3. 区分女性孕前BMI

BMI是衡量健康状况的重要指标(张明昂,2021)。WBCS询问了女性怀孕前的身高和体重,本文据此测算了每位女性的BMI。成年人BMI的正常值是在18.5—23.9之间。若女性怀孕前的BMI在该区间内,则BMI正常;否则,属于不正常。图2结果显示,孕期空气污染对孕前BMI不正常女性的影响更高。 $PM_{2.5}^{all}$ 每增加 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,孕前BMI不正常和正常女性所生孩子的早期健康指数分别下降0.247和0.194。

### 4. 区分新生儿性别

已有研究发现,男性胚胎在母亲遭受负向冲击时更脆弱、更容易受到伤害(Trivers and Willard, 1973)。为此,本文按照新生儿性别对样本进行了划分,以此考察孕期空气污染对不同性别新生儿的影响。图2结果显示,孕期空气污染对男孩的负向影响要大于女孩,这一发现和以往研究基本一致。

<sup>①</sup> 本文将家庭收入不低于全样本均值的视为高收入群体,否则视为低收入群体;将大专及以下定义为低学历,将本科及以上定义为高学历。

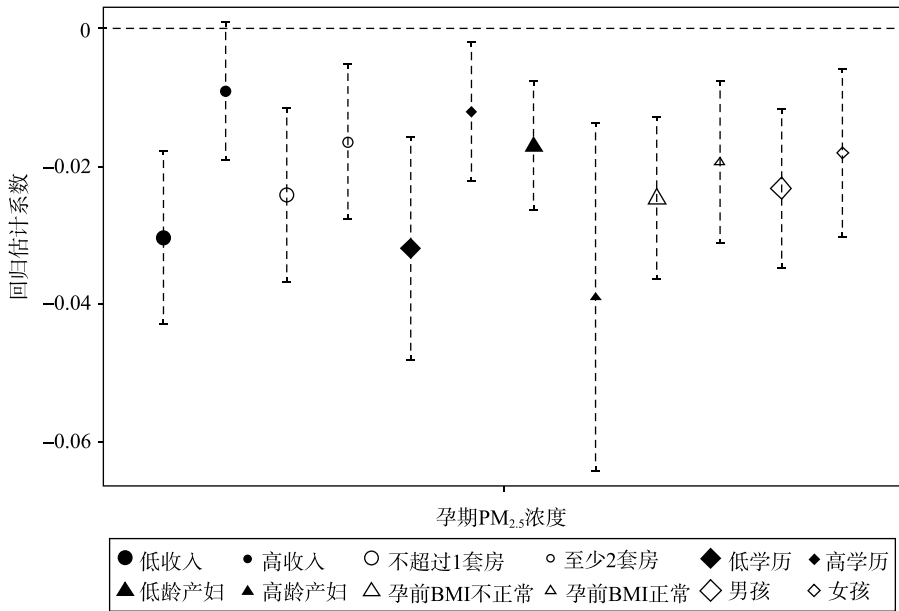


图 2 孕期空气污染影响新生儿早期健康的异质性分析

### 六、政策启示与未来拓展

本研究具有重要的政策启示。第一，新生儿早期健康作为人口高质量发展的源头，不仅会影响人一生的发展，更是我国实现从人口资源大国向人力资本强国转变的重要支撑。针对孕期空气污染会显著损害新生儿早期健康的问题，今后空气质量标准的修订和完善应该更加关注像孕妇这样的敏感人群，相关标准可以按照空气污染对孕妇的危害来制定。第二，需要充分认识到孕期不同阶段空气污染对新生儿早期健康的差异化影响。根据本文结论，孕早期的空气污染对新生儿早期健康的不利影响是最大的。此后，随着怀孕阶段的演变，空气污染的不利影响在逐渐减弱。这一发现在一定程度上间接拓展了赫克曼曲线所揭示的人力资本投资收益递减规律。赫克曼曲线验证的是个体在 0 岁及之后的投资收益，而本文的结论适用于胎儿时期。即越是怀孕早期，胎儿越容易受到外部环境的影响，此时采取干预措施的收益就越大。因此，相关部门应该加强孕期健康知识宣传，提高居民健康素养和孕期污染规避意识，以便最小化空气污染的不利影响。

本文所用数据来自武汉出生队列追踪调查，虽然该数据对武汉居民家庭具有很好的代表性，但也存在不足和拓展空间：第一，该调查是在武汉这一个城市开展，因而将研究结论外推时可能有一定局限，未来研究可尝试使用全国层面数据进行拓展。第二，本文是从家庭居住地视角来考虑女性孕期遭受的空气污染，但对有工作的女性而言，工作地点的空气污染对新生儿早期健康的影响也不容忽视，未来研究可尝试综合考虑居住地和工作地的空气污染。

## 参考文献

- [1] Bharadwaj, P., K. V. Løken, C. Neilson, “Early Life Health Interventions and Academic Achievement”, *American Economic Review*, 2013, 103(5), 1862-1891.
- [2] Bharadwaj, P., P. Lundborg, and D. O. Rooth, “Birth Weight in the Long Run”, *Journal of Human Resources*, 2018, 53(1), 189-231.
- [3] Chang, H. H., B. J. Reich, M. L. Miranda, “Time-to-Event Analysis of Fine Particle Air Pollution and Preterm Birth: Results from North Carolina, 2001-2005”, *American Journal of Epidemiology*, 2012, 175(2), 91-98.
- [4] Chen, F., X. Zhang, and Z. Chen, “Air Pollution and Mental Health: Evidence from China Health and Nutrition Survey”, *Journal of Asian Economics*, 2023, 86, 101611.
- [5] Chen, S., P. Oliva, and P. Zhang, “The Effect of Air Pollution on Migration: Evidence from China”, *Journal of Development Economics*, 2022, 156, 102833.
- [6] 陈宇、郑晓莉、伍绍文、张为远, “不同年龄段高龄孕产妇临床特点与妊娠结局的分析”, 《中华妇产科杂志》, 2017年第8期, 第508—513页。
- [7] Chien, P., “The Perinatal Burden of Preterm Delivery and Twin Pregnancy”, *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology*, 2019, 126(5), 549-550.
- [8] Currie, J., M. Neidell, and J. F. Schmieder, “Air Pollution and Infant Health: Lessons from New Jersey”, *Journal of Health Economics*, 2009, 28(3), 688-703.
- [9] Currie, J., and M. Neidell, “Air Pollution and Infant Health: What Can We Learn from California’s Recent Experience?”, *The Quarterly Journal of Economics*, 2005, 120(3), 1003-1030.
- [10] 陈涵一、史铁、王临风、郑安刚, “空气污染、规避行为和家庭电力消费——来自中国地级市的证据”, 《经济学》(季刊), 2023年第5期, 第1865—1882页。
- [11] 高梦滔、姚洋, “健康风险冲击对农户收入的影响”, 《经济研究》, 2005年第12期, 第15—25页。
- [12] Hill, E. L., “Shale Gas Development and Infant Health: Evidence from Pennsylvania”, *Journal of Health Economics*, 2018, 61, 134-150.
- [13] He, G., T. Liu, M. Zhou, “Straw Burning, PM<sub>2.5</sub>, and Death: Evidence from China”, *Journal of Development Economics*, 2020, 145, 102468.
- [14] Hu, C., Y. Mu, Q. Wan et al., “Association Between Birthweight and Diabetes: The Role of Body Mass Index and Lifestyle in Later Life”, *Journal of Diabetes*, 2019, 12(1), 10-20.
- [15] 韩丽萍、陈岩岩、张会敏、余海洋、Hada Abha, “中期妊娠合并卵巢良性肿瘤的腹腔镜手术治疗”, 《中国妇产科临床杂志》, 2016年第1期, 第28—30页。
- [16] 江艇, “因果推断经验研究中的中介效应与调节效应”, 《中国工业经济》, 2022年第5期, 第100—120页。
- [17] Massey, D. S., “Racial Discrimination in Housing: A Moving Target”, *Social Problems*, 2005, 52(2), 148-151.
- [18] Mulu, B. G., B. Gebremichael, K. W. Desta, M. A. Kebede, Y. A. Aynalem, and M. B. Getahun, “Determinants of Low Birth Weight Among Newborns Delivered in Public Hospitals in Addis Ababa, Ethiopia: Case-Control Study”, *Pediatric Health, Medicine and Therapeutics*, 2020, 119-126.
- [19] Pereira, G., M. L. Bell, K. Belanger, and N. De Klerk, “Fine Particulate Matter and Risk of Preterm Birth and Pre-labor Rupture of Membranes in Perth Western Australia 1997-2007: A Longitudinal Study”, *Environment International*, 2014, 73, 143-149.
- [20] Schlenker, W., W. R. Walker, “Airports, Air Pollution, and Contemporaneous Health”, *The Review of Eco-*

- nomics Studies*, 2016, 83(2), 768-809.
- [21] 石智雷、滕聪波, “三孩政策下生育质量研究”, 《人口学刊》, 2023 年第 5 期, 第 1—16 页。
- [22] Tanaka, S., “Environmental Regulations on Air Pollution in China and Their Impact on Infant Mortality”, *Journal of Health Economics*, 2015, 42, 90-103.
- [23] Trivers, R. L., and D. E. Willard, “Natural Selection of Parental Ability to Vary the Sex Ratio of Offspring”, *Science*, 1973, 179(4068), 90-92.
- [24] Whitehouse, A. J. O., M. Robinson, J. P. Newnham, and C. E. Pennell, “Do Hypertensive Diseases of Pregnancy Disrupt Neurocognitive Development in Offspring?”, *Paediatric and Perinatal Epidemiology*, 2012, 26(2), 101-108.
- [25] Weuve, J., R. C. Puett, J. Schwartz, J. D. Yanosky, F. Laden, and F. Grodstein, “Exposure to Particulate Air Pollution and Cognitive Decline in Older Women”, *Archives of Internal Medicine*, 2012, 172(3), 219-227.
- [26] 王玉泽、罗能生, “空气污染、健康折旧与医疗成本——基于生理、心理及社会适应能力三重视角的研究”, 《经济研究》, 2020 年第 12 期, 第 80—97 页。
- [27] 谢强、封进, “环境管制的健康效应与福利效应”, 《经济学》(季刊), 2023 年第 3 期, 第 894—912 页。
- [28] Xu, Y., Y. Liu, X. Chang, and W. Huang, “How Does Air Pollution Affect Travel Behavior? A Big Data Field Study”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2021, 99, 103007.
- [29] Zhang, X., X. Zhang, and X. Chen, “Happiness in the Air: How Does a Dirty Sky Affect Mental Health and Subjective Well-Being?”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 2017, 85, 81-94.
- [30] 张吉鹏、卢冲, “户籍制度改革与城市落户门槛的量化分析”, 《经济学》(季刊), 2019 年第 4 期, 第 1509—1530 页。
- [31] 张晓, “中国环境政策的总体评价”, 《中国社会科学》, 1999 年第 3 期, 第 88—99 页。
- [32] 张明昂, “贸易自由化如何影响居民健康? ——基于中国加入 WTO 的证据”, 《经济学》(季刊), 2021 年第 3 期, 第 819—842 页。
- [33] 赵红军、刘晓敏、陶欣洁, “空气污染对劳动供给时间的时空影响——基于全国劳动力动态调查数据的经验证据”, 《经济学动态》, 2021 年第 11 期, 第 76—90 页。
- [34] 赵绍阳、卢历祺, “空气污染影响人们的生育行为吗——基于中国的经验研究”, 《中国经济问题》, 2022 年第 1 期, 第 61—75 页。

## Air Pollution During Pregnancy Damages the Newborns' Health: Evidence from Wuhan Birth Cohort Studies

SHI Zhilei\* ZHOU Xiaoqiang

(Zhongnan University of Economics and Law)

**Abstract:** We examine the causal impact of air pollution during pregnancy on the newborns' health using daily data from environmental monitoring stations in Wuhan and data from the Wuhan Birth Cohort Studies. Results show that air pollution during pregnancy significantly damages the newborns' health, and

---

\* Corresponding Author: SHI Zhilei, No. 182 Nanhu Avenue, East Lake High-tech Development Zone, Wuhan, Hubei 430073, China; Tel: 86-27-88385519; E-mail: shizhilei2004@126.com.



---

this effect enhance continuously with the increase in air pollution level. Compared with late pregnancy, air pollution has a greater impact on the newborn in early and mid-pregnancy. The air pollution during pregnancy has a greater impact on children born to women with low socioeconomic status and advanced age. Mechanism analysis suggests that air pollution increases the probability of maternal complications and reduces the number of prenatal visits.

**Keywords:** air pollution during pregnancy; newborn; early-life health

**JEL Classification:** I12, J13, Q53