

空气污染与人力资本的空间配置

——基于高校招生视角的研究

孙伟增 万广华 崔淙源 毛宁*

摘要:人力资本的空间配置影响中国城乡和区域发展的均衡性,进而影响共同富裕的实现。在高校持续扩招和大学毕业生返乡比例持续下降的背景下,本文从高考招生视角研究了空气污染对高水平人力资本空间分布的影响,为解析空气污染与发展不平衡的关系提供了一个新渠道。基于显示性偏好理论,本文实证考察空气污染对高校录取分数的影响,发现了显著的负向效应,而且该效应对于综合类院校和非重点高校,或在空气污染更加严重的生源地,以及国家更加重视空气质量监管之前更为显著。机制分析表明,对于高考试题中更多提到空气污染问题的省份或年份以及互联网更为普及的生源地,空气污染对高校录取分数的影响更大。本文的研究发现有助于强化对空气污染、人力资本空间配置以及经济发展不均衡之间的关系的理解,也为政府加大环境治理力度提供了重要的政策支持。

关键词:空气污染;发展不均衡;人力资本;高考录取分数

一、引言

随着中国特色社会主义发展进入新时代,中国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾^①。同时,21世纪集中爆发的空气污染问题已然成为制约中国经济可持续平衡发展和人民生活质量提升的重要障碍之一,受到政府、学

*孙伟增,中央财经大学经济学院,邮政编码:102206,电子信箱:sunweizeng@gmail.com;万广华,复旦大学世界经济研究所,复旦大学一带一路及全球治理研究院,邮政编码:200433,电子信箱:guanghuawan@yahoo.com;崔淙源,北京大学经济学院,邮政编码:102206,电子信箱:cuicongnyuan@163.com;毛宁(通讯作者),中央财经大学经济学院,邮政编码:102206,电子信箱:eco_mn@163.com。

本文得到国家自然科学基金青年科学基金项目“开发区的生产和消费带动效应及微观机制:基于多维度微观数据的实证研究”(71903210),国家自然科学基金重点项目“新时期扶贫开发理论与政策研究”(71833003)和中央高校基本科研业务费专项资金的资助。感谢匿名审稿人提出的宝贵意见。文责自负。

①引自《习近平新时代中国特色社会主义思想学习纲要》。

界、社会和媒体的高度关注。十八大以来,中国政府不断加强对大气污染的防治力度,“十四五”开局之年,国家明确提出加大生态环境保护投入,到2035年基本实现美丽中国建设目标。

空气污染的负面影响涉及到方方面面,诸多文献对此进行了探讨,比如降低居民幸福感(Levinson, 2012; 杨继东、章逸然, 2014; Zhang et al., 2017)和城市吸引力(Chay & Greenstone, 2005; Zheng et al., 2014; 韩璇、赵波, 2021)、阻碍城市化进程(Au & Henderson, 2006; 袁晓玲等, 2019)、引发犯罪(Burkhardt et al., 2020; 李卫兵、张凯霞, 2021)等。就空气污染与经济发展之间的直接关系而言,陈诗一和陈登科(2018)发现,空气污染通过影响人力资本显著降低了中国的经济发展质量。已有文献对空气污染如何影响人力资本水平,包括人力资本质量和人力资本集聚也进行了探讨。一方面,无论是在短期还是长期,空气污染都会影响居民的身心健康(Dominici et al., 2006; Chen et al., 2013; Ebenstein et al., 2017),并且会引发抑郁症等心理疾病(Zhang et al., 2017),导致劳动生产率下降(Graff Zivin & Neidell, 2012; He et al., 2019)。另一方面,在居民“用脚投票”的机制下,严重的空气污染会降低城市的吸引力,导致人力资本流失(孙伟增等, 2019; 李丁等, 2021; Chen et al., 2022)。

遗憾的是,现有文献尚未关注空气污染影响人力资本的一个重要渠道——高校招生。已有研究探讨了学校知名度或排名、教学质量、毕业后的就业前景等因素对考生高校选择的影响(孙凯、张劲英, 2013)。然而,随着新闻媒体和网络相关报道的增加,空气污染对考生志愿填报的影响也在逐渐提升。本文针对近1000名大学生的调查结果显示,有28.8%的学生在高考志愿填报时会考虑学校所在地的生活环境,这是仅次于学校质量和学校所在城市经济发展水平的第三大类因素。

基于上述背景和文献不足,本文将从显示性偏好理论出发,以高考录取分数反映考生的志愿填报偏好,实证考察空气污染对本城市高校招生的影响。在其他因素给定的情况下,一个高校的录取分数越高意味着报考该校的优秀学生数量越多,最终录取的学生质量也越高。具体来说,我们从新浪高校信息库(<http://edu.sina.com.cn/college/>)抓取了2008—2018年所有2632所大专院校分省和分文理科的高考录取分数,然后将学校与其所在城市的空气污染($PM_{2.5}$ 浓度)数据进行匹配,构建“学校-生源地-录取类型-年份”的面板数据。借鉴Arceo等(2016)、Fu等(2021)和Chen等(2022)等的研究,我们使用逆温强度作为工具变量来解决内生性问题。研究结果显示,高校录取分数与其所在城市的空气污染水平之间存在显著的负向关系, $PM_{2.5}$ 浓度上升10%,本城市高校的平均录取分数显著降低0.4~0.9分。上述影响对于综合类院校和非重点高校、空气污染更加严重的生源地以及国家还未开始重视空气质量监测(2014年^①)之前更加明显。更为有趣的是,我们发现在高考试题中更多提到空气污染问题的

^①国务院于2013年9月印发了《大气污染防治行动计划》对空气污染排放提出明确要求,因而本文以2014年为分界点来考察空气污染对高校录取分数在不同时期的异质性影响。

省份或年份和互联网越普及的生源地,空气污染对高校录取分数的影响越大。

本文的贡献或创新主要体现在以下几点:第一,首次从高校招生视角考察空气污染对高水平人力资本集聚的影响,揭示了空气污染影响地区经济增长和发展不平衡的一个新渠道。第二,与现有文献主要关注空气污染对劳动力居住或就业选址行为的影响不同,本文聚焦个体更早期的学校选址,这丰富了空气质量影响人力资本空间配置的研究成果。此外,考虑到高校所在地对大学毕业生就业去向选择的重要性,本文也为后续开展人力资本的空间配置问题研究提供了新的视角。第三,本文的研究发现还补充了高考志愿填报的影响因素研究,在人才竞争日趋激烈的现实背景下,这为地方政府依托高校招生从长期上吸引人才提供了重要的政策支持。

本文余下的内容安排为:第二部分为文献综述与研究假说;第三部分介绍实证策略和数据;第四部分讨论空气污染对高考录取分数的影响;第五部分分析空气污染对高考录取分数的异质性效应;最后是结论和政策启示。

二、文献评述与研究假说

高考招生影响中国人力资本(尤其是高学历人员)在地区间的流动和分布,这是由户籍地高考以及全国范围招生的制度设计所决定的。以往针对考生择校行为的研究显示,学校的教学质量和知名度以及毕业生的就业前景是影响考生志愿填报的重要因素(钟宇平、陆根书,1999;王处辉、余晓静,2004;孙凯、张劲英,2013)。也有文献指出,学校所在地的地理环境 and 经济文化状况等因素会影响考生的高校选择(梁爽,2008)。近年来,随着中国城市环境污染问题的凸显以及相关报道的增加,空气质量对考生志愿填报的影响也逐渐提升。

一方面,考生在选择大学时实际上也包含了对于未来就业地和生活地的考虑,这决定了他们在未来很长一段时期的生活环境。2017年全国高校毕业生就业调查统计结果显示,大学毕业生中留在求学城市就业的人数占35.4%。而长期的污染暴露对于个人身心健康会产生负面的作用,例如导致死亡率上升(Dockery et al., 1993; Samet et al., 2000; Chay & Greenstone, 2003; Pope et al., 2011; Ebenstein et al., 2017)、新生儿出生体重降低(Bobak, 2000; Currie & Neidell, 2005; Stieb et al., 2012)、呼吸性疾病和心脑血管疾病就诊数上升(Schwartz & Morris, 1995; Wong et al., 1999; Dominici et al., 2006)、预期寿命缩短(Pope et al., 2009; Chen et al., 2013)、幸福感或生活满意度下降(Welsch, 2006; Luechinger, 2009; Levinson, 2012; Li et al., 2014)、引发抑郁症等心理疾病(Zhang et al., 2017)等。尽管尚没有文献直接考察空气污染对考生志愿填报的影响,但很多研究从居住和就业选址的视角考察了“用脚投票”的空气污染移民效应。例如,楚永生等(2015)发现环境污染对于省际劳动力流动存在显著的负向影响,并且当环境污染超过临界值时,环境污染会导致区域内人力资本积累较多的专业化人才流失。

席鹏辉和梁若冰(2015)基于国家环保模范城市考核指标的研究表明,城市空气质量与人口增长显著正相关。Qin和Zhu(2018)以网络搜索“移民”这一关键词的频率度量移民意愿,得出空气污染的突然上升会提高人们的移民倾向的结论。Chen等(2022)使用中国人口普查数据考察了空气污染对于县级层面人口迁移的作用,结果显示空气污染不仅会减少劳动力的迁入量,而且会使得劳动力净迁出量显著增加。孙伟增等(2019)利用全国流动人口动态监测调查数据研究发现城市空气污染程度与劳动力到该城市就业的概率显著负相关,并且对高等教育水平的人群影响更大。根据李明和张亦然(2019)的实证结果,国内空气污染越严重的城市,其高校在校留学生的数量越少。李丁等(2021)的研究表明,与对劳动力跨区县流出的影响相比,空气污染会导致更大程度的劳动力跨国流出,显著降低一国劳动力的存量。

另一方面,短期的空气污染暴露对于学生的认知能力和考试成绩也存在显著负面影响,并且会因此影响到个人的长期发展。例如,Ham等(2014)和Marcotte(2017)的研究表明空气质量的改善会在一定程度上提高学生的数学和英语成绩。Graff Zivin等(2020)针对中国学生的研究发现空气污染会显著降低学生入学考试的表现。Stafford(2015)研究发现室内的空气污染虽然不会影响考试的参加概率,但会显著影响学生的考试成绩。Ebenstein等(2016)基于以色列的数据研究发现,空气污染暴露通过降低学生的考试成绩会进一步影响他们后续的升学和就业收入。

基于上述讨论可以预期,除了学校质量和就业前景等因素外,学校所在地的空气质量也会影响考生的志愿填报。针对学校所在城市的空气质量是否会真正影响考生的择校行为,我们借鉴已有文献设计了较为全面的高考志愿填报问卷。具体来说,在学校名气、专业名气、就业前景、学校生活条件、学校与家乡的交通成本等传统因素的基础上,我们增添了学校所在地的生活环境(例如空气质量、气候等)^①、学校男女生比例、学校及所在地是否有亲属等目前学术界和社会关注较多的调查问题。图1显示了2008—2020年参加高考的919名学生关于高考志愿填报时考虑的前五个因素的调查结果(问卷见附录1)。与已有研究结论类似,学校、专业以及学校所在地的经济发展水平仍然是考生填报志愿时考虑最多的因素,接下来是学校的生活条件(例如住宿条件、饮食条件等)。本文关注的学校所在地的生活环境(例如空气质量、气候等)排在第五位,有28.8%的考生将其列为填报高考志愿时考虑的前五位因素之一,这一比例要明显高于学校所在地的交通便利程度、学校与家乡的交通时间和成本及其文化差异等因素。特别地,我们针对439名学生进一步询问了“您在填报高考志愿时,是否曾考虑学校所在地的空气质量或污染问题?”(见附录2),结果有93个考生(21.2%)选择了“是”,从而更加直接地证实了学校所在地的空气质量对考生高考志愿填报的影响。

^①本文调查问卷使用“问卷星”调查平台发放,详细的问卷设计和统计结果见附录1和附录2。考虑到影响考生志愿填报的因素众多,为了避免遗漏某些重要因素,本文在主问卷设计时将空气质量、气候等统一为生活环境选项,这样可以保证选项之间在重要程度和范围上的可比性。

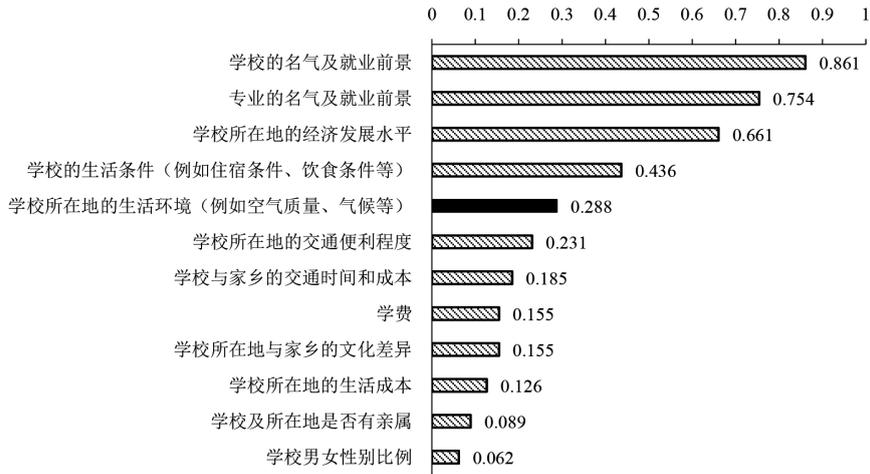


图1 考生高考填报志愿时所考虑的不同因素的占比情况

进一步地,我们计算了不同年份参加高考的学生选择“学校所在地的生活环境”的比例与2008—2018年每年全国平均的PM_{2.5}浓度,二者之间高度正相关(见图2),说明在空气污染越严重的年份,考生在填报志愿时会越多地考虑学校所在地的生活环境。

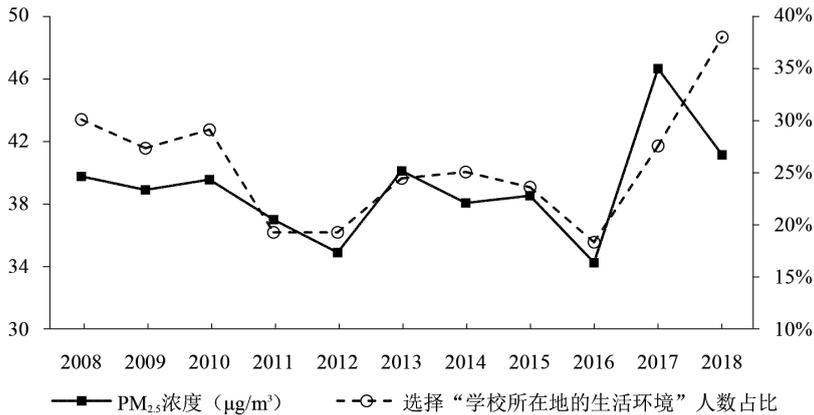


图2 选择“学校所在地生活环境”的人数占比和全国PM_{2.5}浓度变化趋势

基于上述文献以及问卷调查的统计结果,可以得到本文的核心研究假说:在给定其它因素的情况下,学校所在城市的空气污染越严重,报考该学校的优秀学生数量越少,从而导致相对较低的录取分数。

三、实证策略与数据

(一)模型设定

本文基于“学校-生源地-录取类型-年份”的面板数据,通过估计如下固定效应模型来考察本城市的空气污染水平对高校录取分数的影响:

$$score_{ipkt} = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot pm_{jt} + \alpha_2 \cdot X_{jt} + \lambda_i + \kappa_k + \rho_{pt} + \varepsilon_{ipkt} \quad (1)$$

其中,下标 i 代表高校, j 代表高校所在城市, p 代表考生的生源地省份, k 代表高考录取类型(包括学科类型和招生批次), t 代表年份。被解释变量 $score$ 为高校录取平均分, pm 为高校所在城市的平均 $PM_{2.5}$ 浓度对数值。 X 代表一系列控制变量:用人均 GDP、二产 GDP 占比和三产 GDP 占比来反映城市的经济发展水平和产业结构,这些因素会通过影响大学生的就业前景来影响志愿填报;用年末总人口来反映地区人口规模;用在校大学生数量来反映招生规模;用在校中学生数量和小学数量来反映高校所在城市的生源和城市基本公共服务情况;用医院数量和剧场数量来反映城市的医疗文化状况。这些因素都可能通过供给和需求来影响高校最终的录取分数。此外,本文还在模型中加入了学校固定效应 λ_i 、录取类型固定效应 κ_k 和生源省份-年份固定效应 ρ_{pt} ,以控制大学、录取类型、各省考试科目和历年考题难度差异等因素可能对回归结果产生的影响。 ε_{ipkt} 为随机扰动项。

本部分实证研究可能面临由遗漏变量带来的内生性问题,因为高校所在城市影响考生志愿的因素众多且较为复杂,可能存在不可观测因素同时影响空气污染和高考录取分数。例如,产业创新政策不仅有助于缓解地区空气污染,同时也有助于提高本地区高校毕业生就业前景,这类遗漏变量会导致模型(1)中的系数 α_1 低估空气污染对高考录取分数的影响;再如,有些地方为了经济发展而吸引高污染企业,这会对当地的空气污染和就业工资同时产生正向影响,这类影响因素的缺失会导致 α_1 高估空气污染对高考录取分数的影响。为了解决内生性问题,本文参考 Arceo 等(2016)、Fu 等(2021)和 Chen 等(2022)等的做法,用各个城市年度平均的第一层(距离地面 110 米以内)到第二层(距离地面 110~320 米)的逆温强度 TI_{jt} 作为空气污染的工具变量,其核心逻辑是:地面上的 $PM_{2.5}$ 、烟尘、空气污染物、水汽凝结物等会随着气流上升,但是由于逆温层的存在会阻碍空气的垂直流动,使近地面的污染物堆积在城市上空,因此逆温强度越大,越容易造成空气污染。例如 1952 年英国伦敦烟雾事件的发生就与逆温有关。此外,作为一种自然气候,逆温外生于人类经济活动,与高考录取分数没有直接关系,在一定程度上满足了外生性要求。

基于该工具变量,本文使用两阶段最小二乘法(2SLS)来进行回归:

$$pm_{jt} = \varphi_0 + \varphi_1 \cdot TI_{jt} + \varphi_2 \cdot X_{jt} + \lambda_i + \kappa_k + \rho_{pt} + \mu_{ipkt} \quad (2)$$

$$score_{ipkt} = \theta_0 + \theta_1 \cdot \widehat{pm}_{jt} + \theta_2 \cdot X_{jt} + \lambda_i + \kappa_k + \rho_{pt} + \varepsilon_{ipkt} \quad (3)$$

其中, \widehat{pm}_{jt} 为基于模型(2)的估计结果得到的 pm 的预测值。

(二)数据来源与处理

1. $PM_{2.5}$ 浓度数据及工具变量

本文使用的空气质量指标来源于 Van Donkelaar 等(2019)计算的全球年度 $PM_{2.5}$ 卫星栅格

数据。我们利用地理信息系统将每个栅格($0.1^\circ \times 0.1^\circ$)定位到其空间位置所在的城市上,然后将落在每个城市内的所有栅格数据进行平均,即可得到各个城市在不同年份的 $PM_{2.5}$ 浓度水平^①。

用于计算逆温强度的数据来源于NASA官网提供的空气温度遥感数据,空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.625^\circ$,该数据报告了每个栅格42个垂直层(距离地面110~36000米)每6小时的空气温度。我们首先根据地理信息系统将每个栅格的空气温度汇总到每个城市上,然后使用每6小时内第二层(110~320米)的空气温度减去第一层(110米之下)的空气温度来计算温度差,若温度差值为正,则存在逆温且该差值为逆温强度,否则我们将逆温强度取值为0。最后,我们将每个城市6小时逆温强度按年平均,得到各个城市在不同年份的逆温强度。在稳健性检验中,我们还参照上述方法,用第三层(320~540米)的空气温度减去第一层(110米之下)的空气温度计算了逆温强度作为工具变量进行稳健性检验。

2. 高考录取分数数据

本文使用的高考录取分数数据来自新浪高校信息库,我们从网站上抓取了2008—2018年中国所有2632所大专院校分省、文理科和录取批次的高考录取分数。此外,我们还收集了学校所在的城市信息,通过与空气污染以及其他城市等变量匹配,最终得到了47.9万个有效观测值。

因为高校是依据考生分数从高到低进行录取,因此在招生名额变动不大的情况下,最终的录取分数能够较好地反映考生对于学校的偏好。特别是2008年以来,各省陆续推出平行志愿投档录取模式,相比于之前顺序志愿的模式,大大提高了考生报考成功的概率(康乐、哈巍,2016)。因此,在这部分实证分析中我们将样本限定在2008年及之后,这一时期高考录取分数主要由考生的志愿填报情况决定。相比于其他人力资本集聚的代理变量,该数据的一大优势在于样本全集和精确度高,从而有助于避免样本选择和度量误差对模型估计结果的影响。此外,本文使用的城市统计数据主要来自《中国城市统计年鉴》。

3. 描述性分析

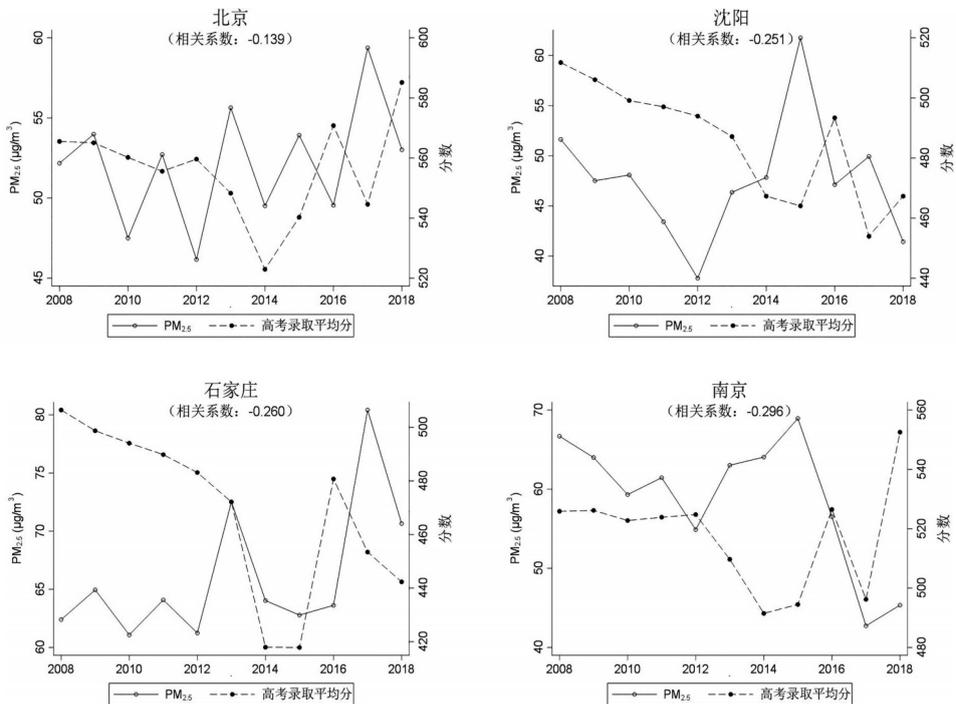
表1报告了主要变量的描述性统计结果。本文的研究样本中,各高校高考录取的平均分和最高分的均值分别为482.29和506.92;高校所在城市间的 $PM_{2.5}$ 浓度存在较大的差异,最小值和最大值分别为3.44和95.74;逆温强度的均值为0.62,标准差为0.39。从其他指标统计结果来看,高校所在城市人均GDP为6.96万元、第三产业占GDP比重的均值大于第二产业;高校招生规模的均值为41.08万人;中学生数量的均值为37.37万人;高校所在城市平均有335.59所医院和20.5个剧场。

^①2012年之前国内官方尚未对 $PM_{2.5}$ 进行系统监测,直至2012年底部分城市才开始统计 $PM_{2.5}$ 数据。目前研究中使用较多的国内官方数据集主要是生态环境部披露的空气污染数据和生态环境监测总站的“全国城市空气质量实时发布平台”的空气污染数据(李名升等,2016;黎文靖、郑曼妮,2016;宋弘等,2019;王岭等,2019;王玉泽、罗能生,2020),但这些数据均没有2013年以前的 $PM_{2.5}$ 数据,与本文的研究期不匹配。

表 1 主要变量的描述性统计

| 变量 | 观测值 | 均值 | 标准差 | 最小值 | 最大值 |
|----------------------|--------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 平均分 | 479365 | 482.29 | 87.28 | 71 | 916 |
| 最高分 | 479365 | 506.92 | 83.01 | 70 | 999 |
| PM _{2.5} 浓度 | 479365 | 47.40 | 15.33 | 3.44 | 95.74 |
| 逆温 | 479365 | 0.62 | 0.39 | 0.00 | 2.10 |
| 人均GDP(元) | 479365 | 69599.98 | 39311.84 | 1876.03 | 517012.80 |
| 年末总人口(万人) | 479365 | 791.41 | 552.34 | 21 | 3404 |
| 二产GDP占比(%) | 479365 | 44.38 | 9.69 | 14.95 | 85.08 |
| 三产GDP占比(%) | 479365 | 49.21 | 34.78 | 11.80 | 4139 |
| 大学学生数量(人) | 479365 | 410849.50 | 285077.70 | 1030 | 1086407 |
| 中学学生数量(万人) | 479365 | 37.37 | 26.64 | 1 | 192.02 |
| 小学数量(所) | 479365 | 922.49 | 853.15 | 18 | 7990 |
| 医院数量(所) | 479365 | 335.59 | 256.65 | 9 | 3052 |
| 剧场数量(个) | 479365 | 20.50 | 44.16 | 0 | 272 |

为了直观反映本文关注的空气污染与高考录取分数的关系,我们利用不同地区典型城市的统计数据进行了时间趋势分析,如图3所示。这里包含了东、中、西部地区以及南方和北方地区的典型城市。可以看出,在本文研究期内,各个城市的PM_{2.5}浓度与高考录取平均分之间均表现出一定的反向变动趋势,说明空气污染可能会给本地区高校录取带来一定的负面影响。其中,北京、深圳等一线城市的空气污染与高考录取分数的相关系数较小,主要可能是因为这些地区的经济社会发展水平较高,在考生选取学校时发挥了主导作用。



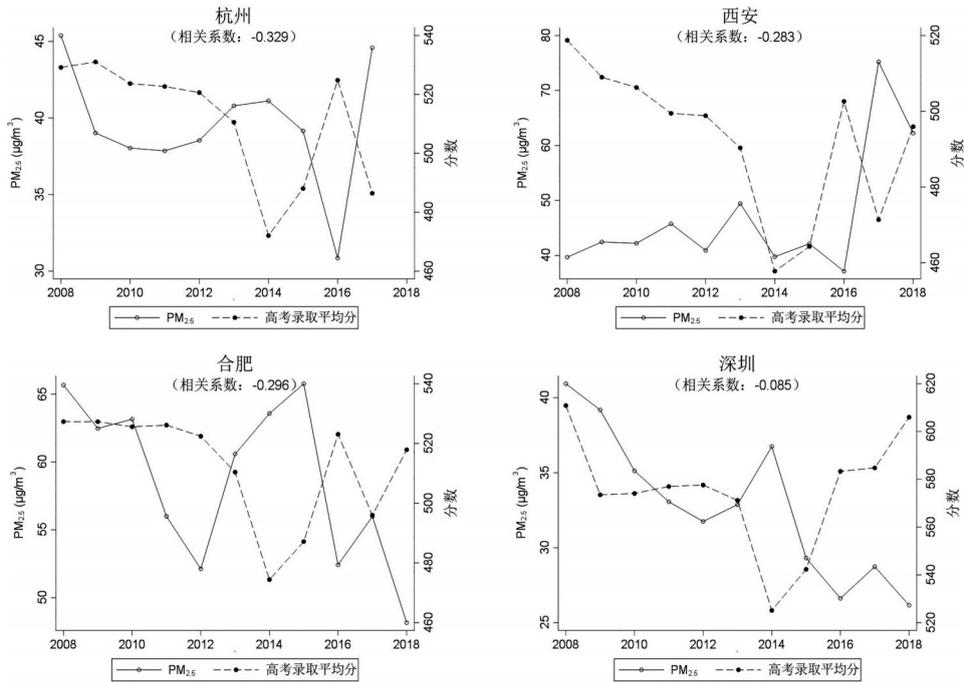


图3 典型城市PM_{2.5}浓度和高考录取平均分变化趋势

四、空气污染与高考录取分数

(一) 基准结果

表2报告了空气污染对高考录取分数影响的基准模型估计结果,其中第(1)列加入了学科类型、录取批次、学校、生源省份-年份固定效应,结果显示高校所在城市的PM_{2.5}浓度与高校当年高考招生的录取平均分显著负相关。第(2)列在第(1)列的基础上加入了一系列高校所在城市的控制变量,结果显示空气污染对高考录取分数的负向影响有小幅下降,但仍然显著。平均来看,高校所在城市PM_{2.5}浓度每上升10%,高校当年的高考录取平均分会显著下降0.43分。

第3列报告了工具变量模型估计结果。从第一阶段估算结果看,逆温强度与城市PM_{2.5}浓度之间显著正相关,与预期相符;另外,第一阶段回归的F值88.26显著高于临界值,表明不存在弱工具变量问题。第二阶段的估算结果显示,空气污染对于高考录取分数的影响仍然显著为负,且系数的绝对值远大于OLS的估计结果,说明PM_{2.5}浓度上升10%会使本城市高校的录取平均分显著下降0.91分。显然,确实存在遗漏变量导致OLS低估了空气污染对高校招生分数的负向影响。此外,为了进一步检验本文选取的工具变量是否符合排他性要求,我们在模型(1)的基础上直接加入了工具变量,回归结果如表2的第(4)列所示。此时,工具变量逆温强度的系数在统计上不显著,说明该工具变量通过其他途径对高考录取分数的影响不显著,即能够在一定程度上满足排他性要求。

其他控制变量的估计结果也都符合预期。其中,人均GDP和第三产业GDP占比反映了大学毕业生的就业前景,与录取分数正相关;大学在校生数量越多意味着高校招生人数的增加,这对录取分数存在显著的负向影响;小学数量更多地反映了城市的基本公共服务水平,对考生具有正向的吸引作用;剧场数量与高校录取分数存在显著的负向关系,一种可能的解释是它与本地区高校的专业倾向相关,艺术类院校的分数更低,会拉低整体分数水平。

表2 空气污染与高考录取分数

| | (1) OLS | (2) OLS | (3) 2SLS | (4) OLS |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| log(PM _{2.5} 浓度) | -4.834*** (1.620) | -4.336*** (1.333) | -9.082*** (2.017) | -3.857*** (1.271) |
| log(人均GDP) | | 3.174*** (0.595) | 2.513*** (0.580) | 2.861*** (0.522) |
| log(年末总人口) | | 2.591 (2.617) | 2.665 (2.852) | 1.770 (2.835) |
| 二产GDP占比 | | -0.120 (0.077) | -0.098 (0.076) | -0.095 (0.075) |
| 三产GDP占比 | | 0.002*** (0.001) | 0.001** (0.001) | 0.001** (0.001) |
| log(大学学生数量) | | -3.604*** (0.518) | -3.446*** (0.523) | -3.508*** (0.519) |
| log(中学学生数量) | | -2.792*** (0.468) | -2.920* (1.602) | -2.594 (1.615) |
| log(小学数量) | | 6.065*** (1.869) | 6.096*** (1.916) | 6.808*** (1.813) |
| log(医院数量) | | 0.266 (0.936) | 0.188 (0.939) | 0.321 (0.945) |
| log(剧场数量) | | -1.741*** (0.181) | -1.842*** (0.190) | -1.751*** (0.185) |
| 逆温强度 | | | | 1.861 (2.421) |
| 学科类型 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 录取批次 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 学校固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 生源省份-年份固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 479365 | 472977 | 459310 | 459310 |
| 调整的R ² | 0.892 | 0.892 | N/A | 0.892 |
| 第一阶段估计结果 | | | | |
| 逆温强度 | | | 2.023*** (0.215) | |
| K-P检验F统计量 | | | 88.26 | |

注:(1)括号里为估计系数的异方差稳健标准误,并在学校所在城市层面聚类调整;(2)*、**、***分别表示10%、5%和1%的统计显著性水平。下表同。

(二)稳健性检验

本文通过改变关键变量设定和调整样本等方式来进行稳健性检验,回归结果如表3所示。

表3 稳健性检验

| | 录取最高分 | | 滞后一期 | | 剔除同省 | | 调整工具变量 | | PM _{2.5} 监测数据 | |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------|
| | (1) OLS | (2) 2SLS | (3) OLS | (4) 2SLS | (5) OLS | (6) 2SLS | (7) 第三层 逆温 2SLS | (8) 空气流动 系数 2SLS | (9) OLS | (10) 2SLS |
| log(PM _{2.5} 浓度) | -4.604*** (1.527) | -10.375*** (1.945) | -2.909* (1.585) | -6.494** (2.870) | -4.786*** (1.400) | -9.894*** (2.114) | -7.419*** (1.419) | -9.311*** (1.757) | -3.056** (1.240) | -5.087*** (1.915) |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 443069 | 416409 | 333628 | 320239 | 441674 | 428944 | 472977 | 459310 | 156254 | 156103 |
| 调整的R ² | 0.848 | N/A | 0.908 | N/A | 0.894 | N/A | N/A | N/A | 0.899 | N/A |
| | C9高校 | | 剔除C9高校 | | 生源省份 聚类标准误 | | 安慰剂检验 2001—2007年 | | | |
| | (11) OLS | (12) 2SLS | (13) OLS | (14) 2SLS | (15) OLS | (16) 2SLS | (17) OLS | | (18) 2SLS | |
| log(PM _{2.5} 浓度) | -0.738 (3.470) | 4.687 (6.467) | -4.566*** (1.326) | -9.467*** (1.971) | -4.336*** (0.711) | -9.082*** (1.030) | 1.333 (1.398) | | -4.141* (2.183) | |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | | 是 | |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | | 是 | |
| 观测值 | 5247 | 5247 | 467730 | 454063 | 472977 | 459310 | 101322 | | 101322 | |
| 调整的R ² | 0.917 | N/A | 0.891 | N/A | 0.892 | N/A | 0.871 | | N/A | |

第一,考虑到录取平均分还可能受到当年高校招生人数的影响,我们用录取最高分替代录取平均分作为被解释变量,对模型进行重新估计,结果报告于表3的前两列,与表2的相关结果对比没有显著变化。

第二,高考志愿填报集中在6、7月份,但是受数据限制,本文使用的空气污染指标是全年的平均值,两者可能在时间上不匹配;此外,考生在填写高考志愿时也会参考去年份的信息。因此,在表3第(3)列和第(4)列中我们将空气污染滞后一期,回归结果显示,空气污染对高考录取分数的影响也显著为负,尽管估算值的大小和显著性有所降低。这是因为与经济发展等统计指标相比,空气质量相关信息的时效性更高,因此影响考生志愿填报的主要原因还是当期的空气污染水平。

第三,与跨省招生相比,省内招生的录取分数对空气污染的敏感性可能更低:一方面,省内招生数量远大于跨省招生数量;另一方面,本省考生对省内城市的空气污染变化更为适

应。在第(5)列和第(6)列中,我们剔除了省内招生样本,此时的估计值的大小和系数显著性都没有明显变化,说明空气污染对考生志愿填报的影响较为稳健。

第四,本文还尝试使用了另外两种工具变量来检验结果的稳健性。一种是用地表到大气第三层的逆温强度作为工具变量;另一种是参考 Broner 等(2012),Hering 和 Poncet(2014)以及孙伟增等(2019)的做法,用各个城市分年度的空气流动系数作为空气污染的工具变量^①。表3第(7)列和第(8)列的回归结果显示,核心解释变量的系数依然显著为负,且影响大小与基准结果较为接近。

第五,本文还使用2014—2018年“全国城市空气质量实时发布平台”提供的PM_{2.5}浓度监测数据作为解释变量进行稳健性检验,回归结果如表3第(9)列和第(10)列所示,空气污染对高考录取分数的影响仍然显著为负。

第六,作为准大学生择校的“非核心”因素,空气污染对录取分数的影响还会受到本所高校“可替代性”的影响。对于一些替代性较差的高校,空气污染等因素的影响较小。对此,本文将“九校联盟(C9)”中的9所高校(北京大学、清华大学、哈尔滨工业大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、中国科学技术大学、西安交通大学)提取出来单独进行考察,结果如第(11)—(14)列所示。可以看出,空气污染对C9高校录取分数的影响并不显著,而在剔除了C9高校样本后,空气污染对其他高校录取分数的影响依然显著为负且系数大于基准回归中的结果。这一发现进一步证实了空气污染对高校录取分数影响的存在性。

第七,考虑到同一省份的高考分数在不同年份存在序列相关,我们尝试在生源省份对标准误进行聚类调整,相关估计结果报告于第(15)列和第(16)列。可以看出,在生源省份聚类调整后,系数的显著性反而有所提升。

最后,作为安慰剂检验,我们收集了2001—2007年各高校的录取分数,考察在平行志愿改革之前空气污染对高校录取分数的影响,第(17)列和第(18)列的回归结果显示该影响较小且显著性较低。这主要是因为:2008年之前各省普遍采用的是顺序志愿录取方式,与平行志愿相比,容易出现较多的非第一志愿录取结果,使得录取分数不能很好地反映考生的偏好;2008年之前公众的环保意识相对较低(闫国东等,2010),考生在填报志愿时可能较少考虑空气污染问题。这一结果也从侧面表明,空气污染对高考录取分数的影响不是通过其他渠道带来的。

^①空气流动系数的计算公式为: $vc_{jt} = ws_{jt} \times blh_{jt}$ 。其中, ws_{jt} 和 blh_{jt} 分别代表风速和行星边界层高度,二者都会对PM_{2.5}的流动性产生重要影响。一般而言PM_{2.5}在某地区的流动性越大,则该地区的污染程度越低。风速和行星边界层由气象状况和地理条件决定,在控制了固定效应后,与本地区的人口流入和高考录取分数没有直接关系,可以满足工具变量的外生性条件。用于计算空气流动系数的风速和行星边界层数据来自欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts,简称ECMWF),空间分辨率为0.5°×0.5°。采用与PM_{2.5}浓度数据相同的处理方法,我们首先利用地理信息系统将每个栅格定位到其空间位置所在的城市上,然后将落在每个城市内的所有栅格数据进行平均,即可得到各个城市在不同年份的风速和大气边界层高度。

(三)信息传递路径

尽管前文的研究证实了空气污染会显著降低高校的录取分数,但这一影响是否真正反映了考生的选择行为?换句话说,考生会通过哪些途径关注空气污染问题,从而在填报志愿时表现出来?本文从两个角度对这个问题进行探讨。

首先,前文多次提到,考生、特别是文科生在备考过程中需要关注时事新闻,从而对空气污染以及空气污染带来的危害有更多了解。由于无法直接观察到考生的备考过程,我们以高考试卷中与空气污染相关的题目数量反映考生在备考过程中接触到的与空气污染相关的信息量。为此,我们从网上下载了2008—2018年各省份1134份高考试卷,然后基于关键词搜索统计了各省份各年高考试题中与空气污染相关的信息。具体的关键词包括“空气污染、大气污染防治、PM_{2.5}、PM₁₀、雾霾、环境、环境保护、排放、空气质量、可吸入颗粒物、悬浮颗粒物、污染指数”。通过信息整合,我们构造了三个“省份-学科-年份”变量:高考试题中是否包含关键词、高考试卷中包含关键词的试题数量和高考试卷中关键词出现次数。根据统计结果,在2008—2018年的高考中,93.1%的省份-年份都提到了空气污染,试题数量平均为3.89道(最大值为17),关键词出现次数平均为4.43个(最大值为18)^①。在此基础上,我们通过在高考录取分数模型中分别加入各信息变量与核心解释变量的交互项来考察高考试题的信息传递途径。

$$score_{ipkt} = \beta_0 + \beta_1 \cdot pm_{jt} + \beta_2 \cdot x_{pkt} + \beta_3 \cdot pm_{jt} \cdot x_{pkt} + \beta_4 \cdot X_{jt} + \lambda_i + \kappa_k + \rho_{pt} + \varepsilon_{ipkt} \quad (4)$$

上式中, x 为信息变量,其他设定与模型(1)相同。表4的第1—6列报告了对模型(4)的回归结果。在所有六个模型中,空气污染与高考试题信息交互项的系数都显著为负,表明在高考试题中出现与空气污染相关的信息越多,当年空气污染对高考录取分数的负向影响越大,验证了高考试题或备考这一信息传递路径^②。

其次,互联网是跨地区收集信息的主要工具,因此在互联网越发达的地区,考生及其家长能够掌握更多与空气污染相关的信息。类似地,我们使用生源省份人均互联网用户数(对数值)与空气污染变量进行交互,回归结果如表4的后两列所示。可以看出,交互项的系数仍然显著为负,说明在互联网越普及的省份,空气污染对录取分数的负向影响越大,验证了互联网这一信息传递路径。

①高考试卷中出现空气污染关键词比例最高的三个科目是地理(81.9%)、化学(55.0%)和政治(52.5%);2014年全国各省考卷中出现的空气污染关键词最多,共出现393次。文科试卷对于空气污染的关注度要高于理科试卷,每个省份-年份文科、理科试卷中关键词出现次数的均值分别为5.24次和3.44次。提到关键词次数最多和出现关键词题目最多的观测值均为2008年江苏省理科卷。

②为了避免高考出卷老师与考生面临相同的本地环境所产生的内生性问题,本文在剔除了自主命题的省份之后对结果进行了重新估计,结果仍然稳健,详见附录3。

表4 信息传递路径分析

| | 高考试题中是否包含关键词 | | 高考试卷中包含关键词的试题数量 | | 高考试卷中关键词出现次数 | | 生源省份人均互联网用户数(对数) | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
| | OLS | 2SLS | OLS | 2SLS | OLS | 2SLS | OLS | 2SLS |
| $\log(\text{PM}_{2.5})$ | -2.229 (1.453) | -6.389*** (2.248) | -2.020 (1.370) | -6.969*** (2.130) | -2.815** (1.344) | -5.198*** (1.439) | -1.840 (1.526) | -3.680 (2.781) |
| 信息变量 | 11.104*** (2.144) | 13.802*** (3.078) | 3.495*** (0.538) | 3.600*** (0.668) | 2.635*** (0.360) | 2.745*** (0.430) | | |
| $\log(\text{PM}_{2.5}) \times \text{信息变量}$ | -2.256*** (0.568) | -2.945*** (0.810) | -0.522*** (0.144) | -0.549*** (0.174) | -0.296*** (0.100) | -0.327*** (0.115) | -5.131*** (1.518) | -16.089*** (4.441) |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 472977 | 459310 | 471721 | 458083 | 471721 | 458083 | 472967 | 459300 |
| 调整的R ² | 0.892 | N/A | 0.894 | N/A | 0.894 | N/A | 0.892 | N/A |

五、异质性分析

本文前一部分证实了空气污染对高校录取分数的影响,证实了本文的核心研究假设。这一部分将从学校类型、级别、学科类型,以及地域和时间维度来考察空气污染对高考录取分数的异质性影响。

(一)学校类型

我们按照院校学科比重将其分为综合类、工科类、师范类、财经类和其他类型^①,然后考察空气污染对不同类型高校招生分数的影响,分样本的估计结果如表5所示。整体来看,空气污染对各类院校高考录取分数都存在较为显著的负向影响,其中受影响最大的是综合类和财经类,其次是师范类和工科类,其他类型所受到的影响相对最小。根据2SLS估计结果,PM_{2.5}浓度上升10%,综合类、财经类、师范类、工科类和其他类型院校高考录取平均分分别下降1.32、1.34、0.90、0.62和0.85分。表6报告了分组系数差异的检验结果,可以看出,综合类院校与工科类院校和师范类院校之间,以及财经类院校与工科类院校和师范类院校之间的系数差异都在统计上显著。

上述异质性可能由以下原因引起:第一,综合类院校在地区间的分布较为均匀,且具有一定的同质性,使得考生在志愿填报时可以考虑更多与学业不直接相关的因素,如空气质量。

^①其他类型院校包括体育类院校、军事类院校、农业类院校、林业类院校、医药类院校、政法类院校、民族类院校、艺术类院校、语言类院校。

第二,财经与时事热点密切相关,报考财经类院校的学生对于时事热点的关注度要高于其他专业,因此他们对当期空气污染问题更加关注,在志愿填报时会有更多考量。第三,师范和工科类院校的就业导向更加明确,学生在毕业后的就业城市选择更广,不容易受到地域的限制,因此选择这类院校的考生的目标更多的是长期就业,对短期生活环境的考虑可能会较少。

表5 学校类型异质性分析

| | 综合类院校 | | 工科类院校 | | 师范类院校 | | 财经类院校 | | 其他类型院校 | |
|---------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|----------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
| | OLS | 2SLS | OLS | 2SLS | OLS | 2SLS | OLS | 2SLS | OLS | 2SLS |
| log(PM _{2.5} 浓度) | -6.277*** (2.056) | -13.170*** (2.882) | -2.979* (1.669) | -6.230** (3.074) | -3.119 (2.200) | -9.048*** (3.163) | -6.903** (2.814) | -13.362*** (4.106) | -3.530 (2.445) | -8.497*** (2.784) |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 122821 | 118269 | 154256 | 150770 | 58042 | 56751 | 44012 | 42519 | 93842 | 90997 |
| 调整的 R ² | 0.897 | N/A | 0.896 | N/A | 0.866 | N/A | 0.902 | N/A | 0.893 | N/A |

表6 系数差异性检验

| | 综合类院校 | 工科类院校 | 师范类院校 | 财经类院校 | 其他类型院校 |
|--------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 综合类院校 | | -6.940*** (1.648) | -4.122** (2.006) | 0.193 (2.285) | -4.673*** (1.720) |
| 工科类院校 | 6.940*** (1.648) | | 2.818 (1.996) | 7.132*** (2.268) | 2.267 (1.698) |
| 师范类院校 | 4.122** (2.006) | -2.818 (1.996) | | 4.315* (2.348) | -0.550 (1.959) |
| 财经类院校 | -0.193 (2.285) | -7.132*** (2.268) | -4.315* (2.348) | | -4.865** (2.225) |
| 其他类型院校 | 4.673*** (1.720) | -2.267 (1.698) | 0.550 (1.959) | 4.865** (2.225) | |

(二)学校级别

为考察学校级别的异质性影响,我们将样本分为“211/985高校”和“非211/985高校”,分组回归结果见表7。首先,空气污染对于两组高校的录取分数都有显著的负向影响,进一步证实了本文研究结论的稳健性。其次,对比来看,空气污染对211/985高校录取分数的影响要小于非985/211高校。根据2SLS估计结果,PM_{2.5}浓度上升10%使985/211高校的平均录取分数显著下降0.85分(5%显著性),小于非985/211高校的1.01分(1%显著性)。这样的结果不难理解:一方面,985/211高校在教学资源和就业前景方面要明显优于其他学校,考生在达分的

情况下会优先选择。事实上,985/211高校和非985/211高校之间的相互替代性并不高。另一方面,985/211高校的数量较少,且高度集中在省会城市。显然,填报985/211高校的学生对城市的选择范围要明显小于其他学生,因此空气污染对于他们的影响相对较小。相比之下,非985/211高校之间的可替代性更高且空间分布范围更广,考生在填报志愿时有更多的选择。尽管如此,空气污染对985/211高校的录取分数仍然存在显著负面影响。

表7 学校级别异质性分析

| | 985/211 高校 | | 非 985/211 高校 | |
|---------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|
| | (1) OLS | (2) 2SLS | (3) OLS | (4) 2SLS |
| log(PM _{2.5} 浓度) | -4.808* (2.590) | -8.540** (3.775) | -4.153*** (1.101) | -10.066*** (1.737) |
| 系数差异 | | | -0.655 (0.443) | 1.526** (0.666) |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 64973 | 63479 | 408003 | 395830 |
| 调整的 R ² | 0.873 | N/A | 0.884 | N/A |

(三)学科类型

进一步地,我们考察空气污染对文理科录取分数的不同影响,回归结果如表8所示。可以看出,不管是系数大小还是显著性,空气污染对文理科录取分数的影响相当接近,对不同学科的志愿填报的负面影响没有显著差异。

表8 文科和理科异质性分析

| | 文科 | | 理科 | |
|---------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | (1) OLS | (2) 2SLS | (3) OLS | (4) 2SLS |
| log(PM _{2.5} 浓度) | -4.045*** (1.379) | -7.660*** (1.698) | -4.129*** (1.359) | -6.880*** (2.315) |
| 系数差异 | | | -0.113 (0.687) | -0.505 (1.201) |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 212669 | 206465 | 258690 | 251261 |
| 调整的 R ² | 0.910 | N/A | 0.923 | N/A |

需要说明的是,空气污染对文理科生的影响机制可能并不完全一致。与理科生相比,文科生在学习过程中会接触更多的时事新闻,包括空气污染等热点问题。此外,有研究指出,文

科生的个性更加“外倾”，容易受到外界环境的影响(张永安等,2005)。从这两个角度看,文科生在填报志愿时可能对空气污染更为敏感。此外,由于理科生可以报考的专业和学校都要多于文科生,因此在志愿填报时可选的学校或城市也较多,从而可以考虑包括空气质量在内的诸多非学校因素。

(四)生源地空气质量

空气污染对考生志愿填报的影响,不仅与考生对空气质量的偏好相关,同时与考生对空气污染的敏感性相关。据此,我们来考察录取分数是否受到生源地省份的空气质量的影响。根据《环境空气质量标准》(GB3095-2012),PM_{2.5}的二级浓度限值是年平均35 μg/m³,以此为标准可以将样本分为两组,并进行子样本回归。表9的结果显示,PM_{2.5}浓度每上升10%会使高校在空气质量较好的省份的录取分数显著下降0.69分,小于空气质量较差的省份(0.94分),这可能是因为,生源地省份空气质量较差的考生在学习阶段会经历更多的空气污染,能切身感受到空气污染带来的危害,从而在志愿填报时给予空气质量更多的考虑。这一结果进一步证实了空气污染对于人力资本的挤出效应。

表9 生源地空气质量异质性分析

| | PM _{2.5} 浓度低于35 μg/m ³ | | PM _{2.5} 浓度高于35 μg/m ³ | |
|---------------------------|--|----------------------|--|----------------------|
| | (1) OLS | (2) 2SLS | (3) OLS | (4) 2SLS |
| log(PM _{2.5} 浓度) | -3.243** (1.568) | -6.944*** (2.313) | -4.662*** (1.413) | -9.419*** (2.029) |
| 系数差异 | | | -1.419* (0.774) | -2.475* (1.364) |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 176004 | 170156 | 296945 | 289126 |
| 调整的R ² | 0.913 | N/A | 0.890 | N/A |

(五)不同时期

2013年9月10日,国务院印发《大气污染防治行动计划》,要求到2017年全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比2012年下降10%以上,所以我们以2013年为分界点来考察不同时期的异质性影响(见表10)。根据2SLS估计结果,2008—2013年期间,PM_{2.5}浓度上升10%会导致平均录取分数显著下降1.54分,高于2014—2018年期间的0.90分。出现上述差异的原因可能在于,2014年之前,空气污染问题突然爆发给民众带来了较大的心理冲击,短期内考生对空气污染的敏感度提升较大;2014年之后,国家高度重视空气污染的治理,给民众带来了空气质量改善的预期,从而降低了空气污染对志愿填报的影响作用。

表 10 不同时期异质性分析

| | 2008—2013年 | | 2014—2018年 | |
|-------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | (1) OLS | (2) 2SLS | (3) OLS | (4) 2SLS |
| $\log(\text{PM}_{2.5})$ | -1.600 (1.805) | -15.438** (6.189) | -2.725*** (0.957) | -9.033*** (1.715) |
| 系数差异 | | | -1.125 (0.976) | 6.405** (2.921) |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 237075 | 230051 | 235893 | 229251 |
| 调整的 R^2 | 0.903 | N/A | 0.886 | N/A |

六、结论与启示

污染防治是中国三大攻坚战之一。加强环境治理、改善空气质量不但直接关系到人们的生活质量,也与人力资本的流动和空间分布紧密相关。现有文献研究了空气污染如何影响具有不同人力资本水平的劳动力和居民的就业和居住选址行为,但尚未考虑发生在更早期且影响更为深远的大学就学选址问题。

本文以高考录取分数作为高考生对学校及其所在城市偏好的显示性反映,通过实证分析首次验证了空气污染对高校录取分数线(代表生源质量)的影响。考虑到越来越多的大学生选择留城就业,我们的研究揭示了空气质量对高水平人力资本集聚的作用。本文的主要发现包括:空气污染会显著降低本城市高校的高考录取分数或将来的入力资本的质量,该结论在考虑内生性问题和进行相关稳健性检验后依然成立。平均来看,PM_{2.5}浓度上升10%,高校平均录取分数将显著降低0.91分。空气污染主要通过信息传递路径影响高校录取分数。异质性分析发现,空气污染对于财经类院校、综合类院校、非985/211院校的高考录取分数影响更大,并且在生源地空气污染越严重和国家更加重视空气污染治理之前,空气污染对高考录取分数的影响越明显。本文的政策含义体现在如下三个方面。

第一,以空气质量等生活环境为代表的非学业因素对于学生择校行为具有显著影响,这会降低学生与学校之间的匹配度,导致人力资本与教育资源之间的错配。因此,中国应该大力推进环境治理,同时通过积极的宣传帮助民众形成良好预期,以降低高校的资源错配,提升资源使用效率。事实上,除了本文研究的空气污染外,还存在其他导致我国人力资本空间分配不均和不合理的因素,各级政府应努力破除制约要素流动的障碍,促进人力资本在空间上的有效配置。

第二,空气污染对于个人早期就学选址的影响进一步突显了环境治理在可持续平衡发展中的重要意义。绿水青山就是生产力。随着人们对更美好生活的追求,良好的环境质量蕴藏

着越来越大的吸引力。近年来,出国留学生的低龄化趋势愈加加剧^①,这直接影响国家的人力资本储备。据此,国家和地方应该未雨绸缪,充分认识环境保护与人才流动之间的关系,以采取更为有力的举措治理环境,进而实现环境改善和经济可持续发展的双赢。

第三,高校是科研重地,在提升我国科技创新能力和构建国家创新体系中具有极其重要的作用。创新不仅依赖于高质量的教师队伍,也离不开高质量的生源以及两者之间通过教学相长带来的知识外溢效应。面对愈演愈烈的人才引进之争,本文的研究表明,地方政府和高校不仅要吸引高质量教师,也要注重通过改善当地空气质量吸引更多更好的学生报考当地高校。

参考文献:

- [1] 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, 53(02): 20-34.
- [2] 楚永生,刘杨,刘梦. 环境污染效应对异质性劳动力流动的影响——基于离散选择模型的空间计量分析[J]. 产经评论, 2015, 6(4): 45-56.
- [3] 韩璇,赵波. “奢侈”的蓝天——房价中的优质空气溢价估计及其异质性[J]. 经济学(季刊), 2021, 21(03): 755-774.
- [4] 康乐,哈巍. 高考志愿填报改革对录取匹配质量的影响[J]. 北京大学教育评论, 2016, 14(1): 105-125.
- [5] 李丁,张艳,马双,邵帅. 大气污染的劳动力区域再配置效应和存量效应[J]. 经济研究, 2021, 56(05): 127-143.
- [6] 李明,张亦然. 空气污染的移民效应——基于来华留学生高校-城市选择的研究[J]. 经济研究, 2019, 54(06): 168-182.
- [7] 李名升,任晓霞,于洋,周磊. 中国大陆城市PM_{2.5}污染时空分布规律[J]. 中国环境科学, 2016, 36(03): 641-650.
- [8] 李卫兵,张凯霞. 空气污染是否会影响犯罪率:基于断点回归方法的估计[J]. 世界经济, 2021, 44(06): 151-177.
- [9] 黎文靖,郑曼妮. 空气污染的治理机制及其作用效果——来自地级市的经验数据[J]. 中国工业经济, 2016, (04): 93-109.
- [10] 梁爽. 高考考生择校行为与择校满意度关系的研究[D]. 上海:华东师范大学, 2008.
- [11] 宋弘,孙雅洁,陈登科. 政府空气污染治理效应评估——来自中国“低碳城市”建设的经验研究[J]. 管理世界, 2019, 35(06): 95-108+195.
- [12] 孙凯,张劲英. 中国研究型大学新生择校影响因素实证分析——以某“985工程”高校2009级新生为例[J]. 中国人民大学教育学报, 2013, (02): 59-71.
- [13] 孙伟增,张晓楠,郑思齐. 空气污染与劳动力的空间流动——基于流动人口就业选址行为的研究[J]. 经济研究, 2019, 54(11): 102-117.
- [14] 王处辉,余晓静. 从填报高考志愿看城市家庭的代际关系和教育问题——2003年高考考生/家长填报志愿情况调查报告[J]. 高等教育研究, 2004, (01): 24-31.
- [15] 王岭,刘相锋,熊艳. 中央环保督察与空气污染治理——基于地级城市微观面板数据的实证分析[J]. 中国工业经济, 2019, (10): 5-22.

^①见“中国留学生年龄结构呈低龄化趋势 国内国际学校兴起”, 中国经济网, 2016-10-22, http://www.ce.cn/xwzx/gnsz/gdxw/201610/22/t20161022_17048526.shtml。

- [16] 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[J]. 经济研究,2020,55(12):80-97.
- [17] 席鹏辉,梁若冰. 城市空气质量与环境移民——基于模糊断点模型的经验研究[J]. 经济科学,2015,(04):30-43.
- [18] 闫国东,康建成,谢小进,王国栋,张建平. 中国公众环境意识的变化趋势[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(10):55-60.
- [19] 杨继东,章逸然. 空气污染的定价:基于幸福感数据的分析[J]. 世界经济,2014,37(12):162-188.
- [20] 袁晓玲,李朝鹏,方恺. 中国城镇化进程中的空气污染研究回顾与展望[J]. 经济学动态,2019,(05):88-103.
- [21] 张永安,汪翠萍,李肖荣,陶德祥,张平. 高考学生心理健康状况调查[J]. 临床心身疾病杂志,2005,11(4):333-335.
- [22] 钟宇平,陆根书. 收费条件下学生选择高校影响因素分析[J]. 高等教育研究,1999,(02):34-40+44-45.
- [23] Au, C. C. and J. V. Henderson. Are Chinese Cities Too Small?[J]. The Review of Economic Studies, 2006, 73(3):549-576.
- [24] Arceo, E., R. Hanna, and P. Oliva. Does the Effect of Pollution on Infant Mortality Differ Between Developing and Developed Countries? Evidence from Mexico City[J]. The Economic Journal, 2016, 126(591):257-280.
- [25] Bobak, M. Outdoor Air Pollution, Low Birth Weight, and Prematurity[J]. Environmental Health Perspectives, 2000, 108(2):173-176.
- [26] Broner, F., P. Bustos, and V. M. Carvalho. Sources of Comparative Advantage in Polluting Industries[R]. 2012.
- [27] Burkhardt, J., J. Bayham, A. Wilson, et al. The Relationship Between Monthly Air Pollution and Violent Crime Across the United States[J]. Journal of Environmental Economics and Policy, 2020, 9(2):188-205.
- [28] Chay, K. Y. and M. Greenstone. The Impact of Air Pollution on Infant Mortality: Evidence from Geographic Variation in Pollution Shocks Induced by a Recession[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2003, 118(3):1121-1167.
- [29] Chay, K. Y. and M. Greenstone. Does Air Quality Matter? Evidence from the Housing Market[J]. Journal of Political Economy, 2005, 113(2):376-424.
- [30] Chen, S., P. Oliva, and P. Zhang. The Effect of Air Pollution on Migration: Evidence from China[J]. Journal of Development Economics, 2022, 156: 102833.
- [31] Chen, Y., A. Ebenstein, M. Greenstone, and H. Li. Evidence on the Impact of Sustained Exposure to Air Pollution on Life Expectancy from China's Huai River Policy[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013, 110(32):12936-12941.
- [32] Currie, J. and M. Neidell. Air Pollution and Infant Health: What Can We Learn from California's Recent Experience?[J]. The Quarterly Journal of Economics, 2005, 120(3):1003-1030.
- [33] Dockery, D. W., C. A. Pope, X. Xu, et al. Speizer. An Association Between Air Pollution and Mortality in Six US Cities[J]. New England Journal of Medicine, 1993, 329(24):1753-1759.
- [34] Dominici, F., R. D. Peng, M. L. Bell, et al. Fine Particulate Air Pollution and Hospital Admission for Cardiovascular and Respiratory Diseases[J]. Jama, 2006, 295(10):1127-1134.
- [35] Ebenstein, A., V. Lavy, and S. Roth. The Long-Run Economic Consequences of High-Stakes Examinations: Evidence from Transitory Variation in Pollution[J]. American Economic Journal: Applied Economics, 2016, 8(4):36-65.
- [36] Ebenstein, A., M. Fan, M. Greenstone, G. He, and M. Zhou. New Evidence on the Impact of Sustained Expo-

sure to Air Pollution on Life Expectancy from China's Huai River Policy[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2017, 114(39): 10384–10389.

[37] Fu, S., V. B. Viard, and P. Zhang. Air Pollution and Manufacturing Firm Productivity: Nationwide Estimates for China[J]. *The Economic Journal*, 2021, 131(640): 3241–3273.

[38] Graff Zivin, J. and M. Neidell. The Impact of Pollution on Worker Productivity[J]. *American Economic Review*, 2012, 102(7): 3652–73.

[39] Graff Zivin, J., T. Liu, Y. Song, Q. Tang, and P. Zhang. The Unintended Impacts of Agricultural Fires: Human Capital in China[J]. *Journal of Development Economics*, 2020, 147: 102560.

[40] Ham, J. C., J. S. Zweig, and E. Avol. Pollution, Test Scores and the Distribution of Academic Achievement: Evidence From California Schools 2002—2008[R]. 2014.

[41] He, J., H. Liu, and A. Salvo. Severe Air Pollution and Labor Productivity: Evidence from Industrial Towns in China[J]. *American Economic Journal: Applied Economics*, 2019, 11(1): 173–201.

[42] Hering, L. and S. Poncet. Environmental Policy and Exports: Evidence from Chinese Cities[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2014, 68(2): 296–318.

[43] Levinson, A. Valuing Public Goods Using Happiness Data: The Case of Air Quality[J]. *Journal of Public Economics*, 2012, 96(9–10): 869–880.

[44] Li, Z., H. Folmer, and J. Xue. To What Extent Does Air Pollution Affect Happiness? The Case of the Jinchuan Mining Area, China[J]. *Ecological Economics*, 2014, 99: 88–99.

[45] Luechinger, S. Valuing Air Quality Using the Life Satisfaction Approach[J]. *The Economic Journal*, 2009, 119(536): 482–515.

[46] Marcotte, D. E. Something in the Air? Air Quality and Children's Educational Outcomes[J]. *Economics of Education Review*, 2017, 56: 141–151.

[47] Pope III, C. A., R. T. Burnett, M. C. Turner, et al. Lung Cancer and Cardiovascular Disease Mortality Associated with Ambient Air Pollution and Cigarette Smoke: Shape of the Exposure–Response Relationships[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2011, 119(11): 1616–1621.

[48] Pope III, C. A., M. Ezzati, and D. W. Dockery. Fine-Particulate Air Pollution and Life Expectancy in the United States[J]. *New England Journal of Medicine*, 2009, 360(4): 376–386.

[49] Qin, Y. and H. Zhu. Run Away? Air Pollution and Emigration Interests in China[J]. *Journal of Population Economics*, 2018, 31(1): 235–266.

[50] Samet, J. M., F. Dominici, F. C. Curriero, et al. Fine Particulate Air Pollution and Mortality in 20 US Cities, 1987—1994[J]. *New England Journal of Medicine*, 2000, 343(24): 1742–1749.

[51] Schwartz, J. and R. Morris. Air Pollution and Hospital Admissions for Cardiovascular Disease in Detroit, Michigan[J]. *American Journal of Epidemiology*, 1995, 142(1): 23–35.

[52] Stafford, T. M. Indoor Air Quality and Academic Performance[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2015, 70: 34–50.

[53] Stieb, D. M., L. Chen, M. Eshoul, and S. Judek. Ambient Air Pollution, Birth Weight and Preterm Birth: a Systematic Review and Meta-Analysis[J]. *Environmental Research*, 2012, 117: 100–111.

[54] Van Donkelaar, A., R. V. Martin, C. Li, and R. T. Burnett. Regional Estimates of Chemical Composition of Fine Particulate Matter Using a Combined Geoscience-Statistical Method with Information from Satellites, Models, and Monitors[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(5): 2595–2611.

[55] Welsch, H. Environment and Happiness: Valuation of Air Pollution Using Life Satisfaction Data[J]. *Ecological Economics*, 2006, 58(4): 801–813.

[56] Wong, T. W., T. S. Lau, T. S. Yu, et al. Air Pollution and Hospital Admissions for Respiratory and Cardiovascular Diseases in Hong Kong[J]. Occupational and Environmental Medicine, 1999, 56(10):679-683.

[57] Zhang, X., X. Zhang, and X. Chen. Happiness in the Air: How Does a Dirty Sky Affect Mental Health and Subjective Well-being?[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2017, 85: 81-94.

[58] Zheng, Y., L. Capra, O. Wolfson, and H. Yang. Urban Computing: Concepts, Methodologies, and Applications[J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST), 2014, 5(3):1-55.

附录:

附录 1: 大学择校因素调查问卷与统计结果

第 1 题: 您的性别是? [单选题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|----|-----|--------|
| 男 | 586 | 63.76% |
| 女 | 333 | 36.24% |
| 合计 | 919 | 100% |

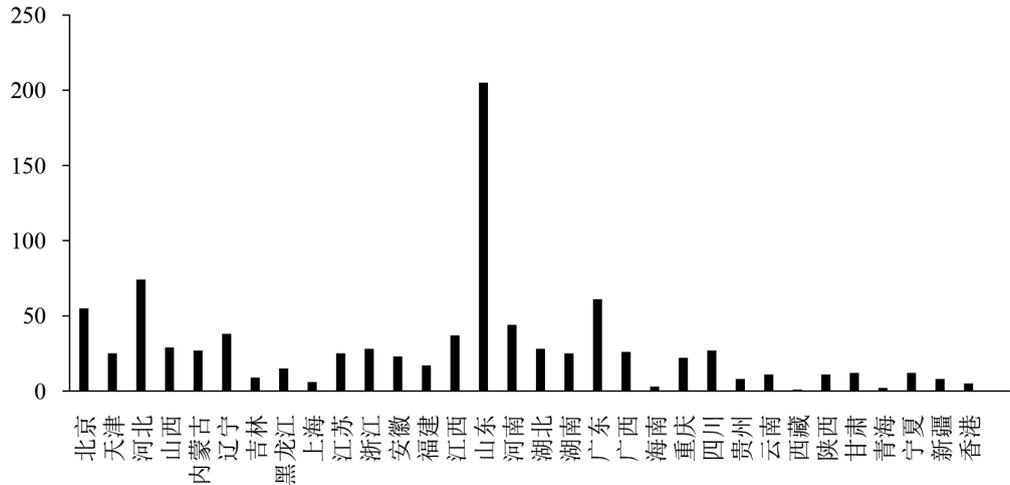
第 2 题: 您的年龄是? [填空题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|----|-----|--------|
| 18 | 89 | 9.68% |
| 19 | 136 | 14.80% |
| 20 | 198 | 21.55% |
| 21 | 182 | 19.80% |
| 22 | 82 | 8.92% |
| 23 | 51 | 5.55% |
| 24 | 36 | 3.92% |
| 25 | 41 | 4.46% |
| 26 | 26 | 2.83% |
| 27 | 26 | 2.83% |
| 28 | 31 | 3.37% |
| 29 | 11 | 1.20% |
| 30 | 10 | 1.09% |
| 合计 | 919 | 100% |

第 3 题: 您目前的就读状况是? [单选题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|---------------------|-----|--------|
| 高中(包括普通高中、中专和职业高中等) | 10 | 1.09% |
| 大学本科 | 15 | 1.63% |
| 大学专科 | 684 | 74.43% |
| 硕士 | 144 | 15.67% |
| 博士 | 52 | 5.66% |
| 其他 | 14 | 1.52% |
| 合计 | 919 | 100% |

第4题:您的高考生源地位于哪个省份? [填空题]



第5题:您在高考填报志愿时的主要决策人是谁? [单选题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|----|-----|--------|
| 自己 | 652 | 70.95% |
| 父母 | 233 | 25.35% |
| 老师 | 10 | 1.09% |
| 其他 | 24 | 2.61% |
| 合计 | 919 | 100% |

第6题:您在高考填报志愿时主要考虑以下哪些因素?(请选择您认为最重要的五个)[多选题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|------------------------|-----|--------|
| 学校的名气及就业前景 | 791 | 86.07% |
| 专业的名气及就业前景 | 693 | 75.41% |
| 学校的生活条件(例如住宿条件、饮食条件等) | 401 | 43.63% |
| 学校男女性别比例 | 57 | 6.20% |
| 学费 | 142 | 15.45% |
| 学校所在地的经济发展水平 | 607 | 66.05% |
| 学校所在地与家乡的文化差异 | 142 | 15.45% |
| 学校所在地的交通便利程度 | 212 | 23.07% |
| 学校与家乡的交通时间和成本 | 170 | 18.50% |
| 学校所在地的生活环境(例如空气质量、气候等) | 265 | 28.84% |
| 学校所在地的生活成本 | 116 | 12.62% |
| 学校及所在地是否有亲属 | 82 | 8.92% |

附录2:大学择校因素调查问卷与统计结果

第1题:您的性别是? [单选题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|----|--------|--------|
| 男 | 173.00 | 39.41% |
| 女 | 266.00 | 60.59% |
| 合计 | 442 | 100% |

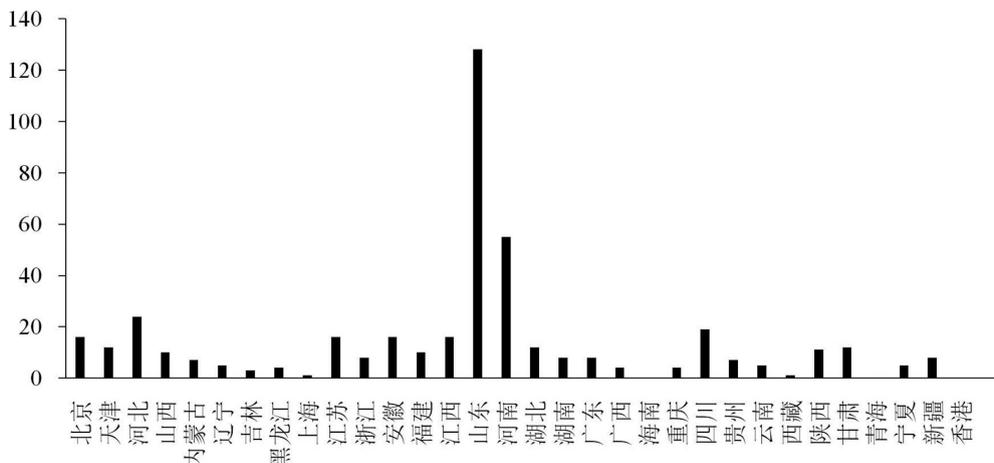
第2题:您的年龄是? [填空题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|----|-----|--------|
| 16 | 1 | 0.23% |
| 17 | 5 | 1.14% |
| 18 | 51 | 11.62% |
| 19 | 99 | 22.55% |
| 20 | 47 | 10.71% |
| 21 | 49 | 11.16% |
| 22 | 116 | 26.42% |
| 23 | 29 | 6.61% |
| 24 | 14 | 3.19% |
| 25 | 11 | 2.51% |
| 26 | 2 | 0.46% |
| 27 | 2 | 0.46% |
| 28 | 4 | 0.91% |
| 29 | 3 | 0.68% |
| 30 | 1 | 0.23% |
| 31 | 1 | 0.23% |
| 32 | 2 | 0.46% |
| 33 | 1 | 0.23% |
| 39 | 1 | 0.23% |
| 合计 | 439 | 100% |

第3题:您目前的就读状况是? [单选题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|---------------------|-----|--------|
| 高中(包括普通高中、中专和职业高中等) | 13 | 2.96% |
| 大学本科 | 304 | 69.25% |
| 大学专科 | 2 | 0.46% |
| 硕士 | 97 | 22.10% |
| 博士 | 18 | 4.10% |
| 其他 | 5 | 1.14% |
| 合计 | 439 | 100% |

第4题:您的高考生源地位于哪个省份? [填空题]



第5题:您在高考填报志愿时的主要决策人是谁? [单选题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|----|-----|--------|
| 自己 | 296 | 67.43% |
| 父母 | 111 | 25.28% |
| 老师 | 11 | 2.51% |
| 其他 | 21 | 4.78% |
| 合计 | 439 | 100% |

第6题:您在填报高考志愿时,是否曾考虑学校所在地的空气质量/污染问题? [单选题]

| 选项 | 小计 | 比例 |
|----|-----|--------|
| 是 | 93 | 21.18% |
| 否 | 346 | 78.82% |

附录3:信息传递路径稳健性检验

表A1 剔除自主命题省份的信息传递路径分析

| | 高考试题中是否包含关键词 | | 高考试卷中包含关键词的试题数量 | | 高考试卷中关键词出现次数 | | 生源省份人均互联网用户数(对数) | |
|----------------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| | (1) OLS | (2) 2SLS | (3) OLS | (4) 2SLS | (5) OLS | (6) 2SLS | (7) OLS | (8) 2SLS |
| log(PM _{2.5}) | 0.076 (1.359) | -1.201 (2.425) | -2.121 (1.468) | -4.958** (2.230) | -3.112** (1.400) | -3.022* (1.596) | -1.663 (1.386) | -2.697 (2.681) |
| 信息变量 | 19.033*** (3.190) | 32.834*** (6.673) | 4.262*** (0.654) | 6.311*** (0.938) | 2.652*** (0.392) | 4.338*** (0.547) | | |
| log(PM _{2.5} 浓度) × 信息变量 | -4.208*** (0.844) | -7.861*** (1.736) | -0.353** (0.170) | -0.890*** (0.241) | -0.138 (0.107) | -0.585*** (0.147) | -5.068** (1.958) | -18.277*** (5.121) |
| 控制变量 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 固定效应 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 |
| 观测值 | 262571 | 255082 | 262222 | 254740 | 262222 | 254740 | 262561 | 255072 |
| 调整R ² | 0.882 | N/A | 0.887 | N/A | 0.887 | N/A | 0.882 | N/A |

Air Pollution and Spatial Allocation of Human Capital: A Study from the Perspective of College Enrollment

Sun Weizeng^a, Wan Guanghua^{b,c}, Cui Congyuan^d, Mao Ning^a

(a: School of Economics, Central University of Finance and Economics; b: Institute of World Economy, Fudan University; c: Fudan Institute of Belt and Road & Global Governance; d: School of Economics, Beijing University)

Abstract: The spatial allocation of human capital affects the balance of China's urban-rural and regional development, which in turn affects the realization of common prosperity. Under the background of the continuous expansion of college enrollment and the continuous decline of the proportion of college graduates returning to their hometowns, this paper studies the impact of air pollution on the spatial distribution of high-level human capital from the perspective of college entrance examination enrollment, which provides a new channel to analyze the relationship between air pollution and unbalanced development. Based on the Revealed Preference Theory, this article first empirically examines the impact of air pollution on college admissions scores, and found a significant negative effect, which is more significant for comprehensive colleges and non-key colleges, or in the places where the air pollution is more serious, and before the country paid more attention to the supervision of air quality. Mechanism analysis shows that air pollution has a greater impact on college admission scores for provinces or years where air pollution is more mentioned in college entrance examination questions and where the internet is more popular. The findings of this article help to strengthen the understanding of the relationship between air pollution, the spatial allocation of human capital, and the unbalanced economic development, and also provide important policy support for the government to increase environmental governance.

Keywords: Air Pollution; Unbalanced Development; Human Capital; College Entrance Examination Scores

JEL Classification: R12, J24, Q53

(责任编辑:卢 玲)