

# 空气污染、人力资本流动与创新活力

## ——基于个体专利发明的经验证据

罗勇根，杨金玉，陈世强

**[摘要]** 人力资本作为创新发展的重要基础,是激发创新潜能的关键所在。本文基于个体专利发明的大样本数据和中国地级市的空气质量指数,研究了空气污染对发明人创新产出的影响及其作用机理。研究结果发现,空气污染会显著降低发明人的创新产出,抑制个体创新活力。同时,空气污染显著增加了人力资本流动的可能性,发明人更可能向空气质量较好的城市迁移。从影响机制看,空气污染会通过影响个体的健康和情绪状况,进而影响创新活力;从总体效应看,空气污染会进一步地从总体上降低地区的创新活力。此外,本文还对空气污染类型和创新类型进行分组检验,结果发现,相对于非发明专利,空气污染对创造力要求较高的发明专利的抑制作用更为明显;对个人健康影响更为严重的细微颗粒物PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>与创新产出的负向作用更为显著。在缓解内生性问题、排除替代性解释和遗漏变量检验等一系列稳健性检验之后,上述结论依旧成立。本文的结论不仅从微观个体的角度完善和丰富了创新的相关文献,也为地方政府引人引智工作、激发人才创新活力,从而推动经济的高质量发展提供了理论支持和经验证据。

**[关键词]** 空气污染；人力资本流动；个体专利发明；创新活力

**[中图分类号]**F272 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2019)10-0099-19

### 一、引言

党的十九大报告提出“我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段”,“人才是实现民族振兴、赢得国际竞争主动的战略资源”,“聚天下英才而用之,加快建设人才强国”。2019年政府工作报告也强调,“坚持创新引领发展,培育壮大新动能。发挥我国人力资源丰富、国内市场巨大等综合优势,改革创新科技研发和产业化应用机制,大力培育专业精神,促进新旧动能接续转换”。各地区为了吸引人才,鼓励人才创新,也相继出台诸多引人引智的重大举措,展开了一场“人才争夺战”<sup>①</sup>。上海市2018年出台《上海市引进人才申办上海市常住户口试行办法》,同年,海南省出台《百万人才

**[收稿日期]** 2018-11-30

**[基金项目]** 国家自然科学基金面上项目“宏观学习效应与企业行为：作用机制与经济后果”(批准号71872071);国家自然科学基金青年项目“管理层盈余预测报告文本信息在供应链中的作用研究”(批准号71702065);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“高管宏观认知与企业行为”(批准号19JNLH08)。

**[作者简介]** 罗勇根,广东财经大学会计学院讲师,会计学博士;杨金玉,华南理工大学工商管理学院博士研究生;陈世强,澳门大学工商管理学院硕士研究生。通讯作者:杨金玉,电子邮箱:yangjinyu\_carl@163.com。感谢匿名评审专家和编辑部的宝贵意见,当然文责自负。

<sup>①</sup> 新闻来源新华网：全国40多城市出台招揽人才政策 招才引智需量力而行([http://www.xinhuanet.com/politics/2018-06/04/c\\_1122932607.htm](http://www.xinhuanet.com/politics/2018-06/04/c_1122932607.htm))。

进海南行动计划(2018—2025年)》，这些政策的推行为地区人才引进提供良好的创新环境。在国家的大力号召以及地区对创新人才大力支持的背景下，引进优秀人才，发挥人才资源优势，激发创新活力，营造良好的人才成长环境，对于推动经济高质量发展有着重要的实践和政策意义。

企业在创新过程中需要面临大量的资金投入、激励更多的创新行为以及为创新提供更多的信息或技术支持等难题(蔡卫星等,2019)。He and Tian(2018)总结了近十多年来公司金融领域与创新相关的重要文献。总体来看，现有文献分别从融资约束、行业竞争、法律环境等企业、行业和国家层面对创新进行了相关研究(He and Tian,2018;申宇等,2017)<sup>①</sup>。人才作为创新的重要主体，对创新具有重要作用，然而相关的研究却相对较少。Audia and Goncalo(2007)利用计算机硬盘行业的数据进行研究，发现创造性思维是创新的关键因素，善于激发发明人创造力的企业具有强大的竞争优势。Kapoor and Lim(2007)利用并购事件作为个体情绪变化的外生冲击，研究发现，发明人精神和情绪的变化会影响创新效率。Liu et al.(2017)通过追踪个人的专利数据，将组织资本和发明者人力资本进行区分，发现发明人的固定效应在解释创新产出表现时具有至关重要的作用。可见，现有文献主要从企业层面研究影响创新的主要因素，而基于发明人个体层面的研究依旧较为缺乏，更少文献研究发明人个体创新的具体影响因素，因此，从个体层面探究人力资本在创新中的重要作用，有助于补充和完善创新的相关研究。

区域因素是影响人力资本积累和经济资源配置的重要因素。从地区层面看，中国经济在长期高速增长的同时，也付出了高昂的环境代价。2011年中国的碳排放量已经占全球的28%，2013年中国遭遇严重的雾霾，蔓延至25个省份和100多个大中型城市，2018年的全球环境绩效排名中，中国在180个国家和地区中居于第120位，空气质量指数排名更是在全部国家和地区中位列倒数第四<sup>②</sup>。由此可见，环境问题已然对公众健康和经济增长质量造成严重威胁，成为相关部门和地方政府高度重视的关键地区因素(黎文靖和郑曼妮,2016;石庆玲等,2016)。基于上述背景，本文从发明人专利产出的角度，实证检验了各地区空气污染程度对发明人个体创新行为的影响，深入考察空气污染对个体专利发明的影响及其具体作用机制，为空气污染与个体行为的相关研究提供大样本的实证证据。

具体而言，本文基于2000—2017年发明人个体专利数据以及中国地级市空气质量指数(Air Quality Index, AQI)数据，分析了空气污染对个体专利发明的影响，并进一步探讨了其作用机理。研究发现，随着空气质量的下降，发明人创新专利产出会显著降低，也增加了发明人个体流动的可能性。空气污染对个体创新的影响主要通过降低个体的健康和情绪状况产生作用，并且这种抑制作用会进一步降低地区层面的创新水平。异质性检验还发现，相对于非发明专利而言，空气污染对发明专利的抑制作用更为明显。同时，不同的污染物对创新产出也具有差异化的影响，细微颗粒物PM<sub>10</sub>和PM<sub>2.5</sub>对创新产出的负向影响更为明显。

本文可能的研究贡献在于：①利用专利发明人的大样本数据，从发明人专利的角度检验了人力资本在创新中的重要作用，丰富了创新的相关研究。本文结论也为各个地区如何进一步做好吸引人才工作，发挥人才优势，进一步激发人才创新活力提供了有益的启示，从而具有一定的政策价值。②将空气污染这一地区层面因素纳入到对个体创新行为的分析框架当中，为相关的研究提供了大样本的经验证据。以往对个体创新行为的研究，主要集中于企业或组织层面(Kapoor and Lim, 2007; Liu et al., 2017)，较少从个体所在的空间特征进行考虑。尽管空间经济学的相关研究发现，个

---

① He and Tian(2018)的文章对公司金融领域中，与创新问题的相关研究进行了极为详细的探讨，本文不再对企业创新的相关文献进行系统性回顾。

② 资料来源：<https://epi.envirocenter.yale.edu/epi-countries>。

体所在城市的规模、天气和日照等空间地理特征会影响其决策行为 (Dehaan et al., 2017; Chen et al., 2018),但是在国内外的同类文献中还较少使用大规模的样本数据进行实证检验,而地区因素对个体行为影响的作用机制更是有待进一步完善。因此,本文从空气污染这一地区层面因素进行考虑,不仅为个体创新行为的相关研究提供了更为丰富的实证证据,而且进一步考察其中的影响机制,也有助于加深对个体创新行为的理解。③拓展了空气污染经济后果的相关研究。当前环境污染对经济增长的影响集中于宏观的国家、地区的环境政策对经济增长的影响(陈诗一和陈登科,2018;李蕾蕾和盛丹,2018;罗知和李浩然,2018),少部分探讨外部环境因素对微观个体影响的研究也集中于从高管、董事会和股东的角度(Chen et al., 2017; Dehaan et al., 2017)。本文从微观个体的角度,研究了空气污染对个体创新能力的影响,发现空气质量的下降显著降低了个体创新的数量和质量,从个体层面拓展了空气质量经济后果的相关研究,也有助于理解空气污染治理的重要作用,对进一步提高环境治理能力,实现经济与环境的和谐共生具有一定的借鉴意义。

本文剩余部分结构如下:第二部分为理论分析与研究假说;第三部分为研究设计,包括数据来源、变量测量以及实证模型;第四部分是实证结果及分析;第五部分为进一步分析,对主要的影响机制进行探讨;第六部分是稳健性检验;最后是结论与政策启示。

## 二、理论分析与研究假说

### 1. 文献综述

人力资本是企业创新的关键因素,现有文献主要从企业和个体特征两方面研究对个体创新的影响。从企业层面的研究看,Audia and Goncalo(2007)研究表明,个体的创新绩效受到企业创新导向氛围的影响,企业强调创新理念有利于促进个体的创新绩效。张文勤等(2010)运用调查数据进行研究,发现团队创新氛围能够促进个体的创新产出。Liu et al.(2017)通过追踪个人的专利数据,将组织资本和发明者人力资本进行区分,发现发明人的固定效应在解释创新产出表现时具有至关重要的作用。

从个体层面的研究看,Jesus et al.(2013)认为个体的内在创新动机对创新产出具有显著促进作用。Hasanefendic et al.(2017)指出受教育程度也是影响创新产出的重要因素。也有研究关注于个体所处的情境对其创新绩效的影响。Kapoor and Lim(2007)利用并购事件作为个体情绪变化的外生冲击,研究发现,发明人精神和情绪的变化会影响创新效率。上述文献侧重于从微观的视角研究影响个体创新的主要因素,体现的是企业或个体特征差异性的影响,然而却缺乏从地区层面的差异进行考察。

现有文献也逐步发现外界环境因素会对个体行为产生影响。一方面,外界环境因素会直接影响个体的健康状况,进而影响个体行为和决策。比如外界环境污染通过危害公众的健康影响人力资本,从而不利于个体在工作中的绩效产出。Higdon et al.(2015)研究了墨西哥城一家大型炼油厂的关闭对外界带来污染如何影响劳动力供给,结果表明,二氧化硫每增加1%会导致工人工作时间减少0.61%。另一方面,外界环境会影响个体的情绪,继而影响其投资决策和绩效产出(Bassi et al., 2013; Chen et al., 2017; Dehaan et al., 2017)。Dehaan et al.(2017)研究结果表明,恶劣的天气导致股票分析师对收益回报的反应变得迟钝,甚至无法做出回应。Bassi et al.(2013)研究表明,天气影响了个体的决策,良好的天气(阳光天气)增强了金融市场中个体采取高风险投资行为的可能性。Chen et al.(2017)研究发现,阴天天气会使高管产生较为严重的负面情绪,企业避税的可能性也随之增加。可见,所处的外部环境将给个体决策行为带来深远的影响。上述文献说明,外界环境的变化

会对个体的健康和情绪产生重要影响,进而影响个体决策行为。

因此,本文结合个体专利发明的大样本数据以及城市空气质量指数,尝试将空气污染这一地区层面因素纳入到对个体创新行为的分析框架当中,考察空气污染对发明人创新产出的影响,并进一步检验具体的作用机制以及对地区创新的总体效应。本文认为当中的具体逻辑在于,空气污染会对个体的健康产生损害,降低人力资本的输出能力,迫使个体无法进行有效的创新工作。同时,空气污染会使个体产生负面的情绪,削弱工作积极性和创造力,而创造力的下降将进一步阻碍了个体的创新。同时,由于空气污染对个体健康的负面影响,发明人很可能流出污染较为严重的地区,提高了人力资本流动的可能性。从总体效应看,发明人创新能力的下降以及流动可能性的提高,会共同影响到地区整体的创新活力。

## 2. 研究假说

创造性思维是激发个体创新活力,保持组织竞争优势的重要因素(Audia and Goncalo, 2007)。然而,空气污染会使个体产生负面情绪,更有可能损害身体健康,进而减少人力资本输出,降低个体工作效率和创造能力,从而抑制个体的创新能力和创新水平,降低创新活力,具体包括以下几个方面:

首先,空气污染影响个体的人力资本输出,减少劳动力供给,伴随着劳动力输出的减少,创新产出也会随之下降。Higdon et al.(2015)探讨了墨西哥城一家大型炼油厂对外界带来污染如何影响劳动力供给,结果表明,二氧化硫每增加 1%会导致当地居民下一周的工作时间将减少 0.43%—0.67%;而当炼油厂关闭后,SO<sub>2</sub>浓度平均下降 19.7%,促使周围居民每周的工作小时数将增加 3.5%。类似地,学者们以学生为样本,探讨了空气污染对学生出勤率的影响,并发现空气污染与学生出勤率呈现显著负相关。Liu and Salvo(2018)通过对 6500 名学生儿童的调查研究发现,连续两周 PM<sub>2.5</sub> 超过 200g/m<sup>3</sup> 学生缺勤发生率比每天 PM<sub>2.5</sub> 始终低于 200g/m<sup>3</sup> 的高出 0.9%。对于个体而言,劳动供给的减少也意味着在创新产出过程中投入时间的减少,工作时间的减少会进一步降低个体的创新产出。

其次,空气污染影响个体的工作及生产效率,从而阻碍个体创新。不同于劳动供给,工作效率衡量的是单位时间的产出,这部分研究常用单位时间收入来反映工作效率。例如,Zivin and Neidell (2012)研究表明,空气污染在不影响劳动供给的前提下影响到农民的工作效率,大气污染导致加州农民的日均收入显著减少。Isen et al.(2017)则利用美国《清洁空气法案》实施作准自然实验,研究发现,相比于政策未实施的区域,由于空气中的总悬浮微粒(TSPs)会随呼吸进入人体,进而危害身体健康,而胎儿的抵抗力较低,更容易受到空气污染的影响,因此在胎儿期 TSPs 环境浓度暴露程度较少的个体,其在 30 岁时的工作表现和收入都会相对更高。除此之外,空气污染也将影响个体劳动生产率,工作效率衡量的是单位时间的产出,生产率衡量的则是同样投入的产出差异。Zivin and Neidell(2012)研究结果表明,臭氧每增加 10ppm(Parts per Million,即百万气体体积中臭氧的体积数),将会造成个体的生产效率将减少 0.143 个标准差,进一步研究发现,臭氧浓度每降低 10ppm,个体的生产效率将增加 5.5%。因此,空气污染通过影响个体的工作效率及其生产率,继而影响到其创新产出。

再次,空气污染会使个体产生消极情绪,降低认知能力,从而使个体无法集中精力进行创造性思考,减少创新产出。Ebenstein et al.(2016)研究表明,大气污染对学生的成绩有显著的影响作用,NO<sub>2</sub>、PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 浓度的降低会显著提高学生成绩,其中 PM<sub>2.5</sub> 对成绩的影响更为深远。Kapoor and Lim(2007)的研究提供了更为直接的证据,他们发现,发明者低落的情绪会削弱个体发明专利能力,降低发明专利效率。Chen et al.(2018)的研究发现,日照越多越容易使人心情舒畅,有利于提高个体的发明专利绩效。

最后,更为严重的是,空气污染会直接进入人体,阻碍正常的血液循环,引发呼吸系统等相关疾病,严重损害个体的健康状况,进而直接影响个体劳动力供给和工作能力。Chen et al.(2013)以中国秦岭—淮河供暖线作为空气污染高低的分界线,使用断点回归分析了空气污染对预期寿命的影响,结果表明,空气高浓度的总悬浮颗粒物平均减少个体寿命超过5年。类似地,陈硕和陈婷(2014)研究了二氧化硫排放对公众健康的影响,发现二氧化硫浓度的增加会显著提高呼吸系统疾病或肺癌的死亡人数,增加相关的医疗费用。

综上所述,本文提出:

假说1:在其他条件相同的情况下,空气污染对个体创新存在负向影响作用。

环境污染会对人口流动产生重要作用(肖挺,2016; Shuai et al.,2017)。Shuai et al.(2017)指出外界环境污染影响了人口的迁移,他们利用中国2800多个县的县级数据,实证分析了空气污染对中国人口迁移的影响,研究结果表明空气污染会显著增加人口净流出。肖挺(2016)研究了城市污染对人口流动的影响,研究结果同样发现城市污染排放量越大,越可能造成人口流失,这种人口驱逐效应在经济较发达的沿海及内地中心城市体现得更为明显。

空气污染对人力资本流动的影响取决于污染程度的高低。对于轻度的空气污染而言,个体可以采取短期的防护措施,以规避空气污染可能产生的暂时性危害,比如可以选择在一定的时间内足不出户,或者使用口罩等防护用品,以降低空气污染的影响(Peters and Wagner,2014)。在这种情况下,空气污染对个体创新的影响,更多地表现为情绪的变化或工作效率的下降,此时个体由于空气污染而发生流动的概率较低。

然而,对于严重的空气污染而言,也很有可能侵蚀人体的健康和寿命。以PM<sub>2.5</sub>为例,短期内PM<sub>2.5</sub>对人体的影响可能表现为呼吸困难,而长期暴露在这样的环境下,可能会引起人体呼吸系统的严重紊乱,甚至引发肺癌,死亡机率大幅度增加<sup>①</sup>。历史上著名的伦敦烟雾事件,由于空气质量骤然下降,空气中的污染物急剧上升,最终导致超过12000人死于呼吸系统相关疾病<sup>②</sup>。可见,严重的空气污染对个人健康的影响是巨大的。在严重的空气污染下,个人的身体健康甚至寿命受到威胁,存在较高的生存风险,因此更有可能选择离开空气污染较高的地区,加大个体流动的可能性。

据此,本文提出:

假说2:相对于空气污染较轻的地区,空气污染越严重的地区,发明人流动的可能性更大。

### 三、研究设计

#### 1. 数据来源和样本选取

本文选择了2000—2017年中国地级市的空气质量指数数据和171437个专利发明人作为研究样本,共得到1255631个观测值。空气质量指数方面,参考黎文靖和郑曼妮(2016)研究,从全国城市空气质量日报获取了个体所在城市的空气质量指数。

专利发明人数据方面,专利数据主要来源于He et al.(2018)建立的“China Patent”数据库和中国国家知识产权局SIP0专利数据库。其中,由于“China Patent”数据库只更新至2010年,本文根据

<sup>①</sup> PM<sub>2.5</sub>对人类健康影响的详细数据,可参照世界卫生组织2013年发布的《世界卫生统计报告》,该报告收录了190多个国家和地区详细的统计数据。

<sup>②</sup> “伦敦烟雾事件”是20世纪十大环境公害事件之一。1952年12月4—9日,英国伦敦上空大量废气难以扩散,空气污染物浓度持续上升,发病率和死亡率急剧增加。据官方信息统计,在短短4天时间里,丧生者达4000多人,事件过后的两个月内有8000多人相继死亡。

上市公司名称和企业基本信息从国家知识产权局“专利检索及分析数据库”检索匹配了 2010 年后的专利数据,将数据更新到 2017 年,数据中包含了专利号、发明人、申请人、申请日期、专利类别等具体的专利信息。同时借鉴 He et al.(2018)的做法,根据专利申请人信息与企业信息进行合并,据此构建“年度—城市—公司—发明人”的面板数据结构。根据上述数据,可以识别出具体的发明人,并且数据库提供专利发明人申请的专利具体信息以及相应的专利权归属(即发明人所在的企业),与 Liu et al.(2017)的研究相同,本文将通过上述方法识别出的具有专利发明的个体界定为发明人。

企业财务等相关数据来源于万德(Wind)数据库,包括企业规模、年龄、资产收益率等指标;与个体健康及情绪相关的数据来源于中国社会综合调查(Chinese General Social Survey,CGSS)数据;城市层面的控制变量来自《中国城市统计年鉴》。为克服极端值对结果可能造成的影响,本文针对模型中的连续变量作了 1% 和 99% 的缩尾(Winsorize)处理。

## 2. 主要变量定义

(1) 空气质量指数(*AQI*)。本文借鉴黎文靖和郑曼妮(2016)等人的研究,以空气质量指数(*AQI*)作为空气污染的衡量指标。空气质量等级按照 *AQI* 指数的大小来进行划分,0—50、50—100、100—150、150—200、200—300 以及 300 以上分别代表了空气质量的六个等级:优、良、轻度污染、中度污染、重度污染以及严重污染,本文将空气质量指数取其自然对数处理,*AQI* 值越大,表明该地区污染越严重。

(2) 创新产出(*Patent*)。为了更好测度个体的创新产出,本文使用发明人当年所申请的专利总数来衡量其创新产出(*Patent*)。在稳健性检验中,也使用专利授权的数量作为因变量(蔡卫星等,2019),对主要结果重新进行检验。

(3) 人力资本流动(*Flow*)。若发明人当年发生流动则取值为 1,未发生流动则为 0。对于可能存在重名问题,本文结合专利申请的地址和专利分类号识别专利发明人重名问题,并将存在重名的样本剔除。具体地,如果发明人同一年所申请的专利位于不同的城市,并且所申请的专利不属于同一个专利大类分类号(发明和实用新型专利为 IPC 分类号,外观设计为 LOC 分类号),则认为出现重名情况。其中,IPC 分类号和 LOC 分类号均来自国家知识产权局。使用该方法识别出可能重名的发明人为 5664 个,占样本区间内发明人总数的 3.1%<sup>①</sup>。

同时,还根据发明人姓名跟踪了发明人流动的方向,举例说明,如果同一个发明人在不同的年份(如 2005 年和 2006 年)出现在两个不同的上市公司(A 和 B),如果 2006 年后该发明人不再出现在 A 企业,同时 2006 年前 B 企业也没有该发明人,则认为发明人在 A 和 B 之间发生了流动<sup>②</sup>。此外,还根据发明人流动前后空气质量的差异,区分了的发明人流动方向的变量,*Flow\_up* 表示发明人流向空气质量较好的城市,此时 *Flow\_up* 取值为 1,否则为 0;*Flow\_down* 表示发明人流向空气质量更差的城市,此时 *Flow\_down* 取值为 1,否则为 0。

(4) 控制变量。主要包括个体、企业和城市三个层面的控制变量。具体而言,参照 Chen et al.(2018)和 Liu et al.(2017)的研究,影响个体创新的控制变量有:发明人经验(*Tenure*),发明人第一次申请专利的时间越长,对个体的创新激励效果可能会产生影响;发明人所在的团队规模(*Team*),

<sup>①</sup> 在稳健性检验中,也使用了不删除重名发明人以及使用其他方法识别发明人重名问题的样本进行检验,回归结果与本文结论保持一致。

<sup>②</sup> 从数据结构而言,可以识别出发明人流向的企业是否为非上市公司以及非上市公司所在的城市,但是由于非上市企业的数据极为有限,无法获得相应的数据进行实证检验,所以在这部分的实证分析中,本研究的样本仅限于发明人在上市公司之间的流动。

用发明人所申请的每个专利的团队平均人数表示,团队人数有利于发明人创新时产生协同作用;发明人过去创新表现(*L.Patent*),发明人过去具有较好的创新表现,会对发明人的创新具有一定的推动作用。规模(*Size*)越大的企业,拥有更为丰富的资金和人力资本投入到创新活动当中;企业年龄(*Firm\_age*)也可能会影响企业对创新的重视程度;资产负债率(*Lev*)越高的企业,可能存在较高的债务压力,而更不重视长期的创新;企业未来投资机会(*Tobin Q*)越好,可能更为看重创新为企业带来的增值效应;成长性(*Growth*)越高的企业,创新能力也相对越高;资产收益率(*ROA*)越高的企业可能为创新提供更为充足的支持;国有企业(*SOE*)激励创新的动机相对更弱;企业所在城市的GDP增长率(*GDP*)与专利申请个数(*CityPatent*)同样会影响创新水平。

除了上述相应的控制变量外,还加入了可能影响发明人流动的控制变量,主要包括居民消费价格指数(*CPI*),城市的物价水平较高会影响个体的生活成本,过高的生活成本可能影响个体的流动;城市的污水处理能力(*CitySewage*)是城市居民生活环境的体现,污水处理能力越高的城市,居民的生活环境可能越好。

为了缓解不可观测变量对本文结果的影响,本文参照 Dehaan et al.(2017)的研究,在回归中还控制了年份(*Year*)、所在城市(*City*)、公司(*Firm*)以及发明人(*Inventor*)的固定效应。为了减弱内生性问题的影响,本文所有回归中的主要解释变量和控制变量均采用滞后一期处理。由于创新产出存在一定的时滞效应,在与创新相关的回归中,还考察了滞后两期和三期的回归结果<sup>①</sup>。

### 3. 研究模型

由于本文使用的专利数据为非负的整数且存在较多的零值,为验证研究假说1,适合采用计数模型进行回归分析。当数据分布较为分散时即均值远小于方差,则适合使用负二项回归,本研究的因变量专利数量(*Patent*)分布较为离散,参考王木之和李丹(2016)的研究,对条件期望的两边同时取自然对数,得到负二项分布模型:

$$\ln[\mathbb{E}(Patent_{i,t} | X_{i,t-1}, \beta)] = \beta_0 + \beta_1 AQI_{i,t-1} + \beta_2 Control_{i,t-1} + \sum Year + \sum City + \sum Firm + \sum Inventor + \varepsilon_{i,t-1} \quad (1)$$

在模型(1)中,*Patent<sub>i,t</sub>*是本文的因变量,是个体*i*在第*t*年的创新产出, $\mathbb{E}(Patent_{i,t} | X_{i,t-1}, \beta)$ 是个体专利的条件期望,*AQI<sub>i,t-1</sub>*是发明人所在城市的空气质量指数,*Control<sub>i,t-1</sub>*表示一系列控制变量,*Year*、*City*、*Firm*和*Inventor*分别是年份、城市、企业和个体的固定效应, $\varepsilon_{i,t-1}$ 是模型误差项。由于创新产出存在一定的时滞效应,也检验了滞后两期和三期的回归结果。

同时,考虑到解释变量中包含了专利申请数量的滞后值,本文也使用动态面板模型对主假说进行检验,动态面板模型能运用自变量的滞后值对差分模型中的参数进行自变量估计,从而得到一致的估计量。本文预期,在上述回归中*AQI<sub>i,t-1</sub>*的回归系数均显著为负,则说明空气污染会降低个体创新,与研究假说1相符。

为检验研究假说2,即空气污染越严重的地区,发明人流动的可能性更大,构建如下模型:

$$\text{Prob}(Flow_{i,t}) = \beta_0 + \beta_1 AQI_{i,t-1} + \beta_2 Control_{i,t-1} + \sum Year + \sum City + \sum Firm + \sum Inventor + \varepsilon_{i,t-1} \quad (2)$$

模型(2)中,*Flow<sub>i,t</sub>*表示发明人是否发生流动,若发明人当年发生流动取值为1,否则为0。由于*Flow<sub>i,t</sub>*为二元型变量,因此使用Probit模型估计空气污染对专利发明人流动的影响。*AQI<sub>i,t-1</sub>*是发明人所在城市的空气质量指数,*Control<sub>i,t-1</sub>*表示一系列控制变量,*Year*、*City*、*Firm*和*Inventor*分别是年

<sup>①</sup> 具体变量定义请参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

份、城市、企业和个体的固定效应,  $\varepsilon_{i,t-1}$  是误差项。根据研究假说 2, 预期  $AQI_{i,t-1}$  的系数显著为正, 则说明空气质量下降, 会显著增加发明人流动的可能性。

## 四、实证结果及分析

### 1. 描述性统计

描述性统计中<sup>①</sup>, 个体创新产出(*Patent*)均值为 0.4675, 方差为 1.4796, 这说明发明人之间创新产出存在较大的差异; 空气质量指数(*AQI*)均值为 4.4151, 方差为 0.3100, 从整体而言 *AQI* 分布较为平缓均匀, 与黎文靖和郑曼妮(2016)的研究基本一致。企业层面的控制变量与蔡卫星等(2019)等人的研究基本一致。

### 2. 回归分析

表 1 报告了空气污染与创新活力的回归结果, 第(1)、(2)和(3)列分别表示自变量滞后一期、二期和三期的回归结果。其中, 空气质量指数(*AQI*)表示空气污染程度, 即 *AQI* 越大, 说明污染越严重, *L.Patent* 是滞后一期的个体专利发明。第(1)列结果显示, 空气质量指数(*AQI*)系数为 -0.5421, 并在 1% 水平下与创新产出(*Patent*)显著负相关。说明空气质量指数(*AQI*)越高将显著降低个体的创新产出, 与本文的假说相符。第(2)列中, *AQI* 系数为 -0.0271, 同样在 1% 水平下与创新产出(*Patent*)显著负相关。而在第(3)列中, *AQI* 系数并不显著, 这可能是因为空气质量在短期内对个体创新的负面影响更为明显。

表 2 是 GMM 的回归结果。第(1)列回归为不加入控制变量的基准模型设定, 第(2)列为加入主要控制变量之后的模型。在 GMM 回归中, *L.Patent* 和 *L2.Patent* 分别是滞后一期和滞后二期的个体专利发明, 用以检验是否存在二阶自相关。第(1)列中, AR(1) 和 AR(2) 的 P 值分别为 0.0000 和 0.2071, 第(2)列中, AR(1) 和 AR(2) 的 P 值分别为 0.0000 和 0.2310, 说明无论是否加入控制变量, GMM 都不能拒绝不存在二阶自相关的原假设。同时, Sargan 检验和 Hansen 检验的结果均不显著, 说明无法拒绝变量有效性的原假设, 采用滞后两阶的 GMM 估计是有效的, 模型设定合理。在第(1)列的回归中, 空气质量指数(*AQI*)系数为 -0.2696, 在 1% 水平下与创新产出(*Patent*)显著负相关, 说明空气污染对个体创新存在显著的负向影响, 在加入主要的控制变量之后, 空气质量指数(*AQI*)系数为 -0.8077, 在 1% 水平下与创新产出(*Patent*)显著负相关, 同样可以说明空气污染对个体创新存在显著的负向影响, 与本文的假说 1 相符。

表 3 是假说 2 的检验结果, 即检验空气污染对人力资本流动的影响。表 3 中第(1)列检验空气污染对发明人流动的影响, *AQI* 系数为 0.1710, 在 1% 的水平下与人力资本流动(*Flow*)正相关, 说明空气污染增加了发明人流动的可能性, 与假说 2 的预期相符。同时, 基于发明人流动样本, 还分析了空气污染对发明人流动方向的影响, 即发明人更倾向于向空气质量更好的城市迁移还是向更差的城市迁移。

第(2)列检验了空气污染与流向空气质量较好地区间的关系, *AQI* 系数为 0.8959, 在 1% 的水平下与人力资本流动(*Flow\_up*)正相关, 说明空气污染会使发明人更有可能流向空气质量更好的城市; 同样地, 第(3)列中分析了空气污染与流向空气质量更差城市间的关系, *AQI* 系数为 -0.3786, 在 5% 的水平下与人力资本流动(*Flow\_down*)负相关, 说明空气污染使发明人流向空气质量较差城市的可能性显著减少。

<sup>①</sup> 具体描述性统计表请参见《中国工业经济》网站 (<http://www.ciejournal.org>) 附件。

表1 空气污染与创新活力:负二项回归模型

	Patent		
	滞后一期	滞后二期	滞后三期
	(1)	(2)	(3)
AQI	-0.5421*** (0.0185)	-0.0271*** (0.0102)	-0.1049 (0.0729)
L_Patent	0.0243*** (0.0009)	0.0130*** (0.0012)	0.0168*** (0.0013)
Team	2.0806*** (0.1038)	2.0525*** (0.1070)	2.0616*** (0.0968)
Tenure	-0.0994*** (0.0090)	-0.0997*** (0.0095)	-0.0979*** (0.0092)
Size	-0.0612 (0.1034)	-0.0730 (0.1028)	-0.0487 (0.0992)
Firm_age	-0.0260* (0.0147)	-0.0202 (0.0154)	-0.0384*** (0.0137)
Growth	0.2502 (0.2761)	0.2399 (0.2299)	0.3888* (0.2334)
TobinQ	0.1139 (0.1122)	0.0977 (0.1084)	0.1090 (0.1226)
ROA	0.6820*** (1.1286)	0.1329*** (0.9972)	0.0675 (1.5532)
Lev	0.6298 (0.4579)	0.7705 (0.4856)	0.3829 (0.4295)
SOE	-0.6891*** (0.1180)	-0.7440*** (0.1332)	-0.6413*** (0.1209)
GDP	1.8141*** (0.5906)	3.5176*** (0.9139)	1.2443 (0.8723)
CityPatent	0.2461** (0.1156)	0.1559 (0.1056)	0.1488 (0.1003)
Year & City & Firm & Inventor	控制	控制	控制
Constant	3.5405*** (0.0729)	0.0894 (0.0964)	-1.517*** (0.1176)
Pseudo R <sup>2</sup>	0.2014	0.1937	0.0230
N	1255631	1064520	938746

注:括号内为标准误;\*,\*\*,\*\*\* 分别表示在 10%、5% 和 1% 统计水平上显著。以下各表同。

## 五、进一步分析

### 1. 影响机制分析

上文分析表明,空气污染显著抑制了个体的创新产出。根据之前的分析,空气污染影响创新的机制包括两个方面:一是可能损害个体健康,影响人力资本的输出能力;二是对个体情绪状态带来负面影响,从而降低创新的活力。为了检验这两种机制的存在,本文采用中介效应检验上述影响机制是否成立。具体而言,在前文分析基础上,本文建立了以下模型进行检验:

$$Health_{i,t}/Mood_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 AQI_{i,t-1} + \alpha_2 Control_{i,t-1} + \sum Year + \sum City + \sum Firm + \sum Inventor + \varepsilon_{i,t-1} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Patent_{i,t}/Flow_{i,t} = & \beta_0 + \beta_1 (Health/Mood)_{i,t-1} + \beta_2 Control_{i,t-1} + \\ & \sum Year + \sum City + \sum Firm + \sum Inventor + \varepsilon_{i,t-1} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Patent_{i,t}/Flow_{i,t} = & \gamma_0 + \gamma_1 AQI_{i,t-1} + \gamma_2 (Health/Mood)_{i,t-1} + \gamma_3 Control_{i,t-1} + \\ & \sum Year + \sum City + \sum Firm + \sum Inventor + \varepsilon_{i,t-1} \end{aligned} \quad (5)$$

表 2 空气污染与创新活力:动态面板模型

	<i>Patent</i>	
	(1)	(2)
<i>AQI</i>	-0.2696*** (0.0174)	-0.8077*** (0.1636)
<i>L.Patent</i>	0.2290*** (0.0060)	0.2929*** (0.0073)
<i>L2.Patent</i>	0.0471*** (0.0032)	0.0606*** (0.0046)
<i>Team</i>		0.6921*** (0.0411)
<i>Tenure</i>		-0.0569*** (0.0148)
<i>Size</i>		0.0609*** (0.0183)
<i>Firm_age</i>		0.0116 (0.0121)
<i>Growth</i>		0.0766 (0.1073)
<i>TobinQ</i>		0.0881*** (0.0323)
<i>ROA</i>		-0.9562* (0.5306)
<i>Lev</i>		-0.5052 (0.3480)
<i>SOE</i>		-0.4110*** (0.0847)
<i>GDP</i>		0.2743 (0.9967)
<i>CityPatent</i>		0.2254*** (0.0523)
<i>Year &amp; City &amp; Firm &amp; Inventor</i>	控制	控制
<i>Constant</i>	1.1225*** (0.1389)	-3.0867*** (1.1425)
<i>AR(1)</i>	0.0000	0.0000
<i>AR(2)</i>	0.2071	0.2310
<i>Hansen(P)</i>	0.9372	0.6134
<i>Sargan(P)</i>	0.4557	0.8492
<i>N</i>	697036	697036

注:AR(1)(P)、AR(2)(P)以及 Hansen(P)、Sargan(P)是检验统计量对应的 P 值。

表 3 空气污染与人力资本流动

	<i>Flow</i>	<i>Flow_up</i>	<i>Flow_down</i>
	(1)	(2)	(3)
<i>AQI</i>	0.1710*** (0.0387)	0.8959*** (0.2048)	-0.3786** (0.1514)
控制变量	控制	控制	控制
<i>Year &amp; City &amp; Firm &amp; Inventor</i>	控制	控制	控制
<i>Constant</i>	-1.2667*** (0.2731)	-0.5908*** (0.1825)	-1.7249*** (0.3093)
<i>Pseudo R<sup>2</sup></i>	0.1322	0.0402	0.0185
<i>N</i>	1255631	158635	158635

注:表中省略了控制变量的回归结果。以下各表同。

模型(3)式中,重点关注空气质量指数(*AQI*)对健康(*Health*)和情绪(*Mood*)的估计系数,即空气污染对中介变量的影响估计;模型(4)关注的是健康(*Health*)和情绪(*Mood*)对专利发明人创新和流动的估计值,即中介变量对因变量的影响;模型(5)是同时加入中介变量健康(*Health*)和情绪(*Mood*)后,关注空气质量指数(*AQI*)分别对专利发明人创新和流动的影响。

对于健康(*Health*)的度量,本文使用了2011年、2012年、2013年和2015年的中国社会综合调查问卷(Chinese General Social Survey, CGSS)数据<sup>①</sup>。CGSS数据是根据多阶分层概率抽样的方法选取被调查的居民,该调查所对应的样本数量较大,调查的具体内容和范围也很丰富,受访者的类型也分布较广,从而具有较好的代表性。CGSS的数据中包括对受访者的精神性健康状态相关的调查内容,但是由于每年调查的题目略有不同,为了构造*Health*指标,本文从四年问卷的所有题目中,分别抽取了与健康密切相关的问题,2011年调查问卷采用的问题是:您觉得您目前的身体健康状况如何。2012年、2013年和2015年调查问卷使用了相同的问题:总的来说,您认为您的健康状况如何。而后将受访者对上述问题的回答从1至5进行赋值,1表示很不健康(或差),5表示很健康(或非常好),最后汇总到城市层面,以城市均值作为健康(*Health*)状况的衡量。因此,*Health*值越大,说明越健康。同样地,为了构造*Mood*指标,同样采用中国社会综合调查问卷(CGSS)的数据。2011年采用问题是:在过去的四周中您感到心情抑郁或沮丧的频繁程度是怎样。2012年、2013年和2015年使用了相同的问题“在过去的四个星期里,我觉得自己无法控制生活中的重要事情”。而后将回答的结果从1至5进行赋值,1表示总是(或非常频繁),5表示从不(从来没有),最后求出各城市的均值作为情绪状况(*Mood*)的指标,该值越大,说明情绪状况越好。

上述模型的回归结果如表4所示。第(1)和(2)列是检验创新的中介效应结果。在第(1)列以健康(*Health*)为中介变量的检验中,系数 $\alpha_1$ 在5%水平下负向显著,表明空气污染与健康(*Health*)呈负向相关关系,系数 $\beta_1$ 在1%水平下正向显著,表明健康(*Health*)与创新活力为正相关关系,系数 $\gamma_1$ 在5%水平下负向显著,说明空气污染会通过降低个体健康程度对发明人的创新活力产生负向影响,个体的健康程度在空气污染和创新活力起到部分中介的作用。同理,在第(2)列以情绪(*Mood*)为中介变量的检验中,系数 $\alpha_1$ 在1%水平下显著为负,系数 $\beta_1$ 并不显著,系数 $\gamma_1$ 在1%水平下显著为负。上述结果同样表明,空气污染会通过使个体的情绪更加低落,进而抑制个体的创造能力,降低创新活力。需要指出的是,若 $\alpha_1$ 或 $\beta_1$ 有一个系数不显著时,需要采用Sobel检验间接效应是否显著,

表4 空气污染与创新活力:影响机制分析

回归模型	负二项回归模型		Probit模型	
	<i>Patent</i>		<i>Flow</i>	
因变量	<i>Health</i>	<i>Mood</i>	<i>Health</i>	<i>Mood</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\alpha_1$	-0.0208** (0.0083)	-0.0856*** (0.0199)	-0.0253** (0.0099)	-0.0162** (0.0073)
$\beta_1$	0.3314*** (0.0143)	0.2556 (0.1704)	-0.0935** (0.0389)	-0.1158 (0.1217)
$\gamma_1$	-0.8416** (0.3507)	-0.5741*** (0.0121)	0.1902*** (0.0539)	0.1910*** (0.0380)
Sobel检验		-0.0135*** (0.0002)		0.0012*** (0.0000)
N	396549	396549	396549	396549

① 本文也使用中国家庭追踪调查(China Family Panel Studies, CFPS)中的相关调查数据进行稳健性检验。

Sobel 检验显著则说明中介效应显著。根据 Sobel 检验的结果显示,个体健康程度和情绪具有显著的中介效应。

第(3)、(4)列是检验人力资本流动的中介效应结果。由于人力资本流动(*Flow*)是 0—1 变量,因此采用 Probit 模型进行回归。结果发现,空气污染对于个体健康程度和情绪状况均具有显著的负向影响。表明空气污染会通过降低个体健康程度和情绪状况,进而增加了发明人流动的可能性,因此个体健康和情绪具有显著的中介效应。

## 2. 空气污染与地区创新活力

前文的研究表明,空气污染会抑制发明人的创新活力,增加人力资本流动的可能性。专利发明人作为创新的主体,自身的创新能力在流动过程中存在的知识溢出效应(Almeida et al., 2015; Liu et al., 2017)。从创新的总体效应看,专利发明人的专利产出汇总到区域层面,会进一步影响区域整体的创新活力,从而对城市创新的总体效应发挥着重要作用。具体而言,可以从区域的创新能力和发明人流动两方面对区域创新活力产生影响。

从创新能力的角度看,空气污染会使个体产生负面情绪,从而削弱工作积极性和创造力,工作动力下降,创造力的下降进一步阻碍了个体的创新,同时,空气污染会对个体的健康产生损害,降低人力资本的输出能力,迫使个体无法进行有效的创新工作。随着发明人工作动力和创造力的下降,会降低个体的创新能力,从区域层面来看,地区内发明人个体创新能力的总体下降,会降低地区层面创新产出,即表现为降低了整个区域的创新水平。

从发明人流动的角度看,由于空气污染对个体情绪和健康产生的负面影响,发明人很可能流出污染较为严重的地区,增加了人力资本流动的可能性。具有创新能力发明人的流出,降低了区域发明人的数量,区域发明人总数量的下降,意味着具有专利产出能力的个体总量降低,不利于地区层面的创新产出,从而降低了区域的创新水平。

因此随着发明人创新能力的下降,以及更多的发明人流出空气污染较为严重的地区,从地区的总体效应看,该地区的整体创新活力会进一步受到影响。为此,本文分别从省份和城市的专利数量两个层面考察对地区创新活力的影响。

表 5 中, *City\_patent* 表示城市层面的专利数量, *Province\_patent* 表示省份层面的专利数量。由于此处的回归中因变量是区域层面的变量,所以除了主回归中的区域控制变量外,还增加了其他可能影响区域创新的因素作为该组回归的控制变量。具体地,增加了区域金融发展规模(*Finsize*),使用金融业增加值占地区生产总值的比例表示;地区产业结构水平(*Hightech*),使用高技术产业产值占地区工业总产值比重测量;还加入了外商直接投资水平(*FDI*)变量,使用区域外商直接投资额占地区国内生产总值的比例度量。

回归结果如表 5 所示,第(1)列是城市层面的回归,第(2)列是省份层面的回归。可以发现,第(1)和(2)列的回归中, *AQI* 系数分别在 5% 和 1% 水平上显著为负,说明空气污染越严重的地区,当地的专利数量显著更低,上述结果表明,从地区总体的角度看,空气污染会进一步地降低地区的创新水平。

## 3. 空气污染与创新类型

本文进一步将专利申请分为发明专利和非发明专利两种创新类型,其中发明专利(*Patenti*)是公司发明专利申请的总数,非发明专利(*Patentud*)指的是实用新型和外观设计专利申请的总数, *L.Patenti* 表示滞后一期的发明专利, *L.Patentud* 表示滞后一期的非发明专利。

回归结果如表 6 所示,第(1)列因变量为发明专利(*Patenti*),第(2)列因变量为非发明专利

(*Patentud*)。可以发现,第(1)列中 *AQI* 的回归系数为 -0.7948,在 1% 水平下显著,第(2)列中 *AQI* 回归系数为 -0.3986,也在 1% 水平下显著负。回归结果表明,在区分不同的创新类型之后,空气污染对创新同样都具有显著的负面影响,但是相对于非专利发明而言,空气污染对专利发明的影响更大。

表 5

空气污染与区域创新

	<i>City_patent</i>	<i>Province_patent</i>
	(1)	(2)
<i>AQI</i>	-0.0317** (0.0138)	-0.1222*** (0.0421)
<i>Hightech</i>	1.6136*** (0.3165)	1.5087*** (0.4531)
<i>Finsize</i>	4.2415** (1.8561)	-0.5239 (3.7347)
<i>FDI</i>	-0.0264 (0.0515)	0.0997 (0.0615)
控制变量	控制	控制
<i>Year &amp; City</i>	控制	控制
<i>Constant</i>	-9.5836 (6.3938)	3.0783 (14.2479)
Pseudo R <sup>2</sup>	0.2363	0.2130
N	1061	347

表 6

空气污染与创新活力:区分创新类型

	<i>Patenti</i>	<i>Patentud</i>
	(1)	(2)
<i>AQI</i>	-0.7948*** (0.1295)	-0.3986*** (0.1374)
<i>L.Patenti</i>	0.2786*** (0.0102)	
<i>L.Patentud</i>		0.2397*** (0.0180)
控制变量	控制	控制
<i>Year &amp; City &amp; Firm &amp; Inventor</i>	控制	控制
<i>Constant</i>	-0.0776 (0.2756)	-1.2182*** (0.3002)
Pseudo R <sup>2</sup>	0.2135	0.2676
N	1255631	1255631

#### 4. 不同污染物类型与创新活力

本文进一步将空气污染划分为二氧化硫(SO<sub>2</sub>)、可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub>)和一氧化碳(CO)四种类型,并分析不同类型污染物对个体创新的影响。由于在 2013 年前只公布了空气污染指数(Air Pollution Index, API),其中所监测的污染物仅包括 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 和 PM<sub>10</sub> 三项,2013 年之后才在空气质量指数(*AQI*)中新增了对 PM<sub>2.5</sub>、CO 和 O<sub>3</sub> 的监测。

结合陈硕和陈婷(2014)和石庆玲等(2016)的研究,本文在 2013 年之前将空气污染物分为 SO<sub>2</sub> 和 PM<sub>10</sub> 两类,2013 年之后将空气污染物分为 PM<sub>2.5</sub> 和 CO 两类。在区分不同的污染物类型后,根据不同的污染物监测区间,将样本分为 2000—2012 年以及 2013—2017 年两组分别回归。污染物类型的数据来自中国国家统计局。

回归结果如表 7 所示。第(1)—(3)列为 2013 年前 PM<sub>10</sub> 和 SO<sub>2</sub> 与创新活力的估计结果,第(4)—(6)列为 2013 年后 PM<sub>2.5</sub> 和 CO 对创新活力的估计结果。具体而言,第(1)、(2)列分别是 PM<sub>10</sub>

和  $SO_2$  对个体创新影响的回归结果,可以发现, $PM_{10}$  和  $SO_2$  分别在 1% 和 5% 水平下与创新产出 (*Patent*) 显著负相关,表明两类不同的污染物对个体的创新均有负向的影响作用。第(3)列则是将两种类型的污染物同时进行回归,结果发现, $PM_{10}$  对个体创新的负向影响显著强于  $SO_2$ 。

同样地,第(4)列和第(5)列分别是  $PM_{2.5}$  和 CO 对个体创新的影响, $PM_{2.5}$  和 CO 均在 1% 水平下与创新产出 (*Patent*) 显著负相关,表明两类不同的污染物对个体的创新均有负向的影响作用。第(6)列则是将两种类型的污染物同时进入回归的结果,可以发现,可吸入颗粒物  $PM_{2.5}$  对个体创新的负向影响显著强于 CO。

表 7 空气污染与创新活力:区分不同污染物类型

	<i>Patent</i>					
	2000—2012 年			2013—2017 年		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$PM_{10}$	-2.3677*** (0.3353)		-2.5305*** (0.3466)			
$SO_2$		-1.3617** (0.5447)	-0.4893** (0.2224)			-0.0304*** (0.0015)
$PM_{2.5}$				-0.2115*** (0.0010)		-0.1887*** (0.0196)
CO					-0.0289 (0.0304)	
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>Year &amp; City &amp; Firm &amp; Inventor</i>	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Constant	1.7292*** (0.1184)	1.3531*** (0.1288)	1.2987*** (0.1353)	-2.6466*** (0.5105)	-4.1329*** (0.4750)	-2.7112*** (0.5154)
Pseudo R <sup>2</sup>	0.2938	0.3016	0.2942	0.0878	0.0897	0.0198
N	509423	509423	509423	450356	450356	450356

## 六、稳健性检验

为了保证本文结论的可靠性,进行如下稳健性检验<sup>①</sup>。

### 1. 内生性检验

对于可能存在的内生性问题,本文构建了工具变量,采用两阶段估计方法以缓解可能存在的内生性问题。具体来讲,以城市是否实施“禁煤区”政策设置虚拟变量,作为城市空气污染的工具变量,本文认为以“禁煤区”政策作为工具变量满足相关性和外生性的要求。从相关性角度看,2016 年京津冀及周边地区大气污染防治协作小组提出建设国家“禁煤区”<sup>②</sup>,该会议明确指出,将在北京、天津、保定、廊坊建设国家“禁煤区”,规定除煤电、集中供热和原料用煤企业外,其余企业均要将燃料煤炭清零处理。姜春海等(2017)利用禁煤区政策进行研究,他们发现,各地区的“禁煤区”政策对于空气污染具有治理效应。可见禁煤政策实施的地区,城市空气污染程度相对较低,空气质量相对较高;从外生性角度看,“禁煤区”政策的提出与实施主要目的在于治霾减排,一个地区是否被规划为禁煤区域显然与该地区的创新产出无关。工具变量检验的结果也显示,第一阶段的 F 值大于 10,所以该模型不存在弱工具变量问题。总体来看,使用“禁煤区”政策作为工具变量具有一定的合理性。

参考姜春海等(2017)的研究,本文将 2016 年和 2017 年北京、天津和河北作为“禁煤区”

① 稳健性检验的结果请参见《中国工业经济》网站(<http://www.ciejournal.org>)附件。

② 具体资料详见 2016 年 10 月 20 日京津冀及周边地区大气污染防治协作小组召开第七次会议 ([http://www.gov.cn/xinwen/2016-10/21/content\\_5122583.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2016-10/21/content_5122583.htm))。

(*Ban\_coal*),将山东、河南、山西、陕西、辽宁和内蒙古作为“非禁煤区”。为使结果更为稳健,本文也使用全样本进行检验,将2016年和2017年北京、天津和河北作为“禁煤区”,其余城市均视作“非禁煤区”。工具变量回归结果显示,第一阶段回归中,禁煤区对城市空气污染有显著的负向影响,即禁煤区会显著降低空气污染程度,提高空气质量。第二阶段回归中,空气污染仍与发明人创新具有显著的负向影响,与发明人流动具有显著的正向影响。工具变量的回归结果与本文的研究结论保持一致。

## 2. 使用专利授权作为因变量

由于专利申请和专利授权都有可能代表创新的质量,体现了创新的活力。因此,本文从专利授权的角度进行稳健性检验,以专利授权的数量(*Patent\_grant*)作为因变量,对主要结果重新进行检验。结果发现,空气污染与专利授权的数量(*Patent\_grant*)显著负相关,说明空气污染显著抑制了专利授权,与本文的研究结论保持一致。

## 3. 使用独立发明人以及第一发明人的子样本检验

由于专利发明中存在独立发明和共同发明的情况,而共同发明中,发明人的名字排序,可能体现了发明人对专利发明的贡献程度,为此本文也分别采用独立发明人以及第一发明人的子样本重新进行回归。本文检验了专利中排在第一的专利发明人和单独发明专利的样本,并分别对其进行了分组检验。回归结果显示,*AQI*系数均在1%水平下与创新产出(*Patent*)显著负相关,回归结果与主回归保持一致。

## 4. 遗漏变量检验

发明人所在地区的其他因素,例如温度、湿度、降雨量和日照时数等因素也可能影响到个体情绪和心态,从而影响创新产出,即城市层面的其他变量可能也会对本文结果产生影响,是本文重要的遗漏变量。因此,本文进一步控制与城市相关的因素以缓解遗漏变量对主要结果的影响。具体而言,本文获取了个体当年所在城市的年平均温度(*Temperature*)、湿度(*Humidity*)、降雨量(*Rainfall*)、日照时数(*Sunshine*)、人均GDP(*GDP\_avg*)和城市人口数(*Population*),并将这些变量放入模型中重新进行回归。结果发现,加入可能的遗漏变量之后,解释变量*AQI*与主回归结果依旧保持一致。

## 5. 替代性解释

薪酬作为一种激励手段,对个体的绩效产生显著影响,因此本文的结果也可能由于企业之间的薪酬激励效应所致。对此,本文从以下两方面进行检验:

(1)增加相应的控制变量。如果由于薪酬的激励作用而产生的个体发明绩效的显著提高,那么在加入相应的薪酬控制变量之后,空气质量(*AQI*)变量应不再显著。因此,分别进一步控制企业研发人员的薪酬水平(*R&D\_salary*)和企业职工的薪酬水平(*Salary*)对主检验进行重新回归<sup>①</sup>。其中,企业研发人员的薪酬水平(*R&D\_salary*)的度量,是通过城市统计年鉴,找到每个城市与高科技行业密切相关的“信息传输、计算机服务和软件业”就业人员的平均工资,与该城市拥有的研发人员数量相乘,从而计算出研发部门员工的薪酬水平,取自然对数后作为研发部门薪酬的替代变量,需要说明的是相比于制造业等其他行业而言,信息传输、计算机服务和软件业对研发人员的需求更大,该行业技术人员的平均工资应不低于其他行业,使用该行业平均工资为基础估计每个企业研发部门的薪酬总额,一定程度上更有可能会高估研发人员的薪酬水平。如果在高估发明人薪酬激励的情况下,依旧能发现本文的研究结果,从而更有可能说明本文的结论。

企业职工的薪酬水平(*Salary*)来源于企业年报中披露的职工薪酬总额,在回归中取自然对数处理。

<sup>①</sup> 最为理想的情况是能够找到每一个发明人具体的薪酬数据并进行控制,但出于数据可得性的限制,本文使用企业研发人员的薪酬水平和企业职工的薪酬水平进行替代。

回归结果发现,  $AQI$  的回归系数依旧显著为负, 说明在控制了薪酬激励的影响后, 研究结论保持不变。

(2) 考虑到依旧可能存在的测量偏误以及薪酬数据的缺失问题, 参照 Dehaan et al.(2017)的方法, 他们在研究天气对分析师预测行为的影响相关研究中, 为了解决不可观测因素对结果的影响, 使用了  $Firm-Year$  固定效应的检验框架。类似地, 本研究在回归中也进一步增加了  $Firm \times Year$  的固定效应, 从而尽可能控制所有可能存在于个体和时间维度上的不可观测变量对结果产生的影响。结果显示, 在加入严格的公司—年份的固定效应之后,  $AQI$  的系数依旧显著为负, 说明本文结论是稳健的。

## 6. 不同创新类型的动态面板模型回归

为了进一步检验不同创新类型的回归结果, 本文使用动态面板模型对空气污染和不同类型创新间的关系进行了检验。回归结果发现, 对于发明型专利和非发明型专利的回归,  $AQI$  系数分别在 1% 和 5% 水平下显著, 表明空气质量会显著降低发明专利和非发明专利的产出, 并且对发明专利产出的影响更为明显, 与本文结论保持一致。

## 7. 更换个体情绪的度量方法

考虑到在度量个体情绪时使用 CGSS 的调查数据可能存在一定的偏差, 本文也采用中国家庭追踪调查(China Family Panel Studies, CFPS)进行稳健性检验。中国家庭追踪调查数据使用 K6 标准设置了 6 个关于心理健康的问题。对于每一个问题提供了从“完全没有”到“几乎每天”的 5 个选项, 而后对 6 个问题的分数加总为 K6 分数, 该分数得分越高代表心理问题越大。最后将其汇总到城市层面( $K6score$ )作为个体情绪的度量指标, 并使用该指标重新进行了中介效应检验。回归结果发现, 空气污染通过影响个体的情绪对发明人的创新活力和流动产生了影响, 进一步验证了影响机制的稳健性。

## 8. 更换重名测量方法

为了进一步控制由于重名问题给本文结果带来的影响, 通过以下两种方式进行检验。首先, 本文保留了全样本数据进行回归, 即不剔除可能出现的重名的发明人情况, 全样本共包括 177101 个专利发明人, 共 1316213 个观测值。回归结果显示, 自变量滞后一期的回归中,  $AQI$  在 1% 水平下与创新产出( $Patent$ )显著负相关, 滞后二期的回归中,  $AQI$  在 1% 水平下与创新产出( $Patent$ )显著负相关, 滞后三期回归并不显著。其次, 还更换了识别专利发明人重名的方法, 本文具体通过以下方法识别:①同一个发明人姓名在同一年出现于两家不同的企业, 并且所申请的专利均没有企业层面的合作时, 认为存在重名的情况;②同一个发明人姓名, 前后两个专利时间跨度长于 10 年且属于不同的企业, 本文同样剔除了此类样本, 以此缓解由于长周期的时间跨度带来的误判问题。使用该方法识别出可能重名的发明人为 7485 个, 占样本区间内发明人总数的 4.2%。回归结果同样显示, 自变量滞后一期和滞后二期的回归中,  $AQI$  与创新产出( $Patent$ )均显著负相关, 滞后三期回归并不显著。与本文的研究结论保持一致。

# 七、研究结论与启示

## 1. 研究结论

本文基于专利发明人的大样本数据, 利用空气质量指数度量地区空气污染程度, 研究空气污染对个体创新的影响及作用机制。研究表明, 空气污染会显著抑制发明人的创新产出, 并显著增加了发明人流动的可能性。机制检验表明, 空气污染主要通过影响健康和情绪状况对个体创新水平产生作用。进一步地, 空气污染会通过降低个体的创新水平进而抑制城市的创新活力。此外, 相对于非发明专利, 空气污染对发明专利的抑制作用更为明显, 表明空气污染会显著抑制创新的“质量”。同时,

不同污染物( $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $PM_{2.5}$ 和CO)在不同程度上抑制了个体创新产出,其中,可吸入颗粒物( $PM_{10}$ 和 $PM_{2.5}$ )与创新产出的负向作用更为显著。在对内生性问题、替代性解释和遗漏变量检验等一系列稳健性检验之后,本文的研究结论依旧成立。

在本文研究的基础之上,可以从以下方向展开更为深入的研究:一方面可以扩展数据的来源。可以在本文专利发明人数据的基础之上,通过人才网站的在线简历等途径以获取专利发明人个体特征数据,进一步扩展其他个体层面的特征变量,从而获得对专利发明人影响的更为直接的证据。另一方面,可以建立层次更为丰富的个体特征数据库。根据个人特征的数据,识别不同的工作岗位以及不同职级地位的人力资本,通过对更为细致的数据进行分析,进一步深入研究区域性政策对不同类型人力资本影响的差异性,以优化地区人才引进决策和效率。

## 2. 启示与对策建议

综合上述结论,本研究可以得到以下启示:

(1)对于国家和地方政策制定者而言,当前空气污染负向影响宏观经济实体的经济增长的同时,研究发现空气污染对微观个体(发明人创新产出)也带来了负向的影响,特别地,空气污染同时阻碍了个体创新产出,不利于国家整体创新水平的提高和国家长期的经济发展。正因为如此,空气污染对微观个体带来了不同程度的负面影响造成了对宏观经济实体的影响。在这种情况下,国家和政策制定者应当注意到空气污染对发明人创新产出的负向影响。与此同时,在制定并推行出相关立法之余,应当意识到使用限行、停产等强制性的手段一定程度上改善了中国的环境质量,但空气污染问题的持续改善依旧不容乐观。国家和相关机构还应当致力于探索能够从根本上改善中国环境污染问题的方法与路径,例如除了使用强制性手段,还应当加强对公众、尤其是对企业的教育与宣传工作,使其意识到自身所造成的环境污染反过来会抑制其产出绩效和长期的发展,引导企业技术革新。

(2)从人力资本流动的视角看,随着经济的发展和物质生活的丰富,公众日益关注于自身的健康与所处的周边环境,在求职或择业时也将顾及目标工作所处的环境。各城市的空气污染和环境质量的高低也会对人力资本的流动产生影响,例如城市环境质量的改善利于吸引高层次人才的入驻。然而,大规模的人力资本流动可能会造成城市与城市之间、地区与地区之间的人力资本错配或不均衡,从而扩大城市和地区间经济发展的差异,例如可能扩大地区间贫富差距,不利于地区甚至国家的长期、可持续的发展,也说明进一步提高环境治理能力,开创绿色发展的新局面具有重要实践意义。

(3)对于企业而言,改善员工的外部环境(例如改善空气质量)有利于缓解空气污染对创新产出的负向影响。特别地,空气质量的改善有助于提高员工的创新产出,尤其是促进企业实质性创新产出,从而提升企业长期、可持续的竞争能力。同时,企业除了追求提高企业自身的经济效益,更应该考虑到可能带来的环境污染问题,例如化工企业应当注重污染气体的排放处理,企业周边的空气污染可能反过来影响员工创新进而影响企业创新,不利于企业的长远发展。因此,企业应当重视技术革新,减少甚至杜绝高耗能、高污染和低产出的传统生产方式。从总体效应来看,倘若每一个企业都关注到自身产出带来的环境污染等问题并加以改进,则能够营造出更好的工作和生活环境,促进经济良性发展。

(4)在推动经济高质量发展的背景下,加强创新能力的培育是当下面临的重要问题。然而,缺乏足够的核心创新能力一直是制约中国产业发展的瓶颈,创新激励机制的不足影响了人力资本对创新成果的转化,创新协调体制也有待进一步提高,这些都将影响到中国市场的创造能力。本文结论表明,激发人才的创新活力对于区域创新质量具有明显的促进作用,因此进一步优化创新体系,建立和完善创新激励体系和创新协调机制,有助于更好地推动经济的高质量发展。

[参考文献]

- [1]蔡卫星,倪晓然,赵盼,杨亭亭.企业集团对创新产出的影响:来自制造业上市公司的经验证据[J].中国工业经济,2019,(1):137-155.
- [2]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,(2):20-34.
- [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,(8):158-169.
- [4]姜春海,宋志永,冯泽.雾霾治理及其经济社会效应:基于“禁煤区”政策的可计算一般均衡分析[J].中国工业经济,2017,(9):44-62.
- [5]李蕾蕾,盛丹.地方环境立法与中国制造业的行业资源配置效率优化[J].中国工业经济,2018,(7):136-154.
- [6]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,(4):93-109.
- [7]罗知,李浩然.“大气十条”政策的实施对空气质量的影响[J].中国工业经济,2018,(9):136-154.
- [8]申宇,赵玲,吴风云.创新的母校印记:基于校友圈与专利申请的证据[J].中国工业经济,2017,(8):157-174.
- [9]石庆玲,郭峰,陈诗一.雾霾治理中的“政治性蓝天”——来自中国地方“两会”的证据[J].中国工业经济,2016,(5):40-56.
- [10]肖挺.环境质量是劳动人口流动的主导因素吗?——“逃离北上广”现象的一种解读[J].经济评论,2016,(2):3-17.
- [11]王木之,李丹.资本市场中的媒体公关;来自我国企业IPO的经验证据[J].管理世界,2016,(7):121-136.
- [12]张文勤,石金涛,刘云.团队成员创新行为的两层影响因素:个人目标取向与团队创新气氛[J].南开管理评论,2010,(5):22-30.
- [13]Almeida, P., A. Phene, and S. Li. The Influence of Ethnic Community Knowledge on Indian Inventor Innovativeness[J]. Organization Science, 2015,26(1):198-217.
- [14]Audia, P. G., and J. A. Goncalo. Past Success and Creativity over Time: A Study of Inventors in the Hard Disk Drive Industry[J]. Management Science, 2007,53(1):1-15.
- [15]Bassi, A., R. Colacito, and P. Fulghieri. An Experimental Analysis of Weather and Risk Attitudes [J]. Review of Financial Studies, 2013,26(7):1824-1852.
- [16]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]. Pnas, 2013,110(32):12936-12941.
- [17]Chen, Y., R. Ge, J. Pittman, M. Veeraraghavan, and L. Zolotoy. Obscured by Clouds: The Impact of Weather-Induced Managerial Mood on Corporate Tax Avoidance[R]. SSRN Working Paper, 2017.
- [18]Chen, Y., P. H. Hsu, E. Podolski, and M. Veeraraghavan. In the Mood for Creativity: Weather-Induced Mood, Inventor Productivity, and Firm Value [R]. SSRN Working Paper, 2018.
- [19]Dehaan, E., J. Madsen, and J. D. Piotroski. Do Weather-Induced Moods Affect the Processing of Earnings News[J]. Journal of Accounting Research, 2017,55(3):509-550.
- [20]Ebenstein, A., V. Levy, 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.
- [21]Hasanefendic, S., J. M. Birkholz, H. Horta, and P. V. D. Sijde. Individuals in Action: Bringing about Innovation in Higher Education[J]. European Journal of Higher Education, 2017,7(2):101-119.
- [22]He, J., and X. Tian. Finance and Corporate Innovation: A Survey [J]. Asia-Pacific Journal of Financial Studies, 2018,47(2):165-212.
- [23]He, Z. L., T. W. Tong, Y. Zhang, and W. He. A Database Linking Chinese Patents to China's Census Firms[J]. Scientific Data, 2018,5(5):180-142.
- [24]Higdon, R., G. Van Belle, and E. Kolker. The Effect of Pollution on Labor Supply: Evidence from a Natural Experiment in Mexico City[J]. Journal of Public Economics, 2015,122(10):68-79.

- [25]Isen, A., M. Rossin-Slater, and R. Walker. Every Breath You Take Every Dollar You Make: The Long-Term Consequences of the Clean Air Act of 1970[R]. NBER Working Papers, 2017,105(1):1–14.
- [26]Jesus, S. N., C. L. Rus, W. Lens, and S. Imaginario. Intrinsic Motivation and Creativity Related to Product: A Meta-Analysis of the Studies Published between 1991—2010 [J]. Creativity Research Journal, 2013,25(1):80–84.
- [27]Kapoor, R., and K. Lim. The Impact of Acquisitions on the Productivity of Inventors at Semiconductor Firms: A Synthesis of Knowledge-Based and Incentive-Based Perspectives[J]. Academy of Management Journal, 2007, 50(5):1133–1155.
- [28]Liu, H., and A. Salvo. Severe Air Pollution and Child Absences When Schools Can Respond [R]. SSRN Working Paper, 2018.
- [29]Liu, T., Y. Mao, and X. Tian. The Role of Human Capital: Evidence from Patent Generation [J]. Kelley School of Business Research Paper, 2017.
- [30]Peters, F. S., and A. F. Wagner. The Executive Turnover Risk Premium [J]. Journal of Finance, 2014,69(4):1529–1563.
- [31]Shuai, C., P. Oliva, and Z. Peng. The Effect of Pollution on Migration: Evidence from China [R]. NBER Working Paper, 2017.
- [32]Zivin, J. G., and M. Neidell. The Impact of Pollution on Worker Productivity [J]. American Economic Review, 2012,102(7):3652–3673.

## Air Pollution, Human Capital Flow and Innovative Vitality——Evidence from Individual Patent Inventions

LUO Yong-gen<sup>1</sup>, YANG Jin-yu<sup>2</sup>, CHEN Shi-qiang<sup>3</sup>

1. School of Accounting, Guangdong University of Finance & Economics, Guangzhou 510320, China;  
 2. Business School of South China University of Technology, Guangzhou 510640, China;  
 3. Business School of University of Macau, Macau 999078, China)

**Abstract:** As an important foundation for innovation development, human capital is the key to develop and stimulate innovation potential. Based on the large sample data of individual patent inventions and the Air Quality Index (AQI) of city-level in China, this paper systematically investigates the impact of air pollution on the inventor's innovation output and its mechanism of action. We find that air pollution is significantly negatively associated with the innovation output of inventors due to it inhibits the vitality of individual innovation. At the same time, air pollution is significantly associated with the likelihood of human capital flow and inventors are more likely to migrate to cities with better air quality. The influence mechanism test shows that air pollution affects an individual's health and emotional status, therefore impacts the vitality of individual innovation. In general, air pollution further diminishes the overall innovation of the region. Compared with the non-invention patents, the heterogeneity test also finds that air pollution, especially the fine particles PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>, had a more significant effect on invention patents. The results are robust to several sensitivity tests, such as alleviating endogenous problems, mitigating alternative explanations and missing variables. This paper not only enriches the relevant literature of innovation on the individual-level, but also provides enlightenment for promoting the work of attracting talents to local governments, stimulating the innovative vitality of talents and promoting the high-quality development of economy.

**Key Words:** air pollution; human capital flow; individual patent invention; innovative vitality

**JEL Classification:** H89 O31 Q53

[责任编辑:许明]

117