

# 空气污染会影响企业创新吗?

罗能生 徐铭阳 王玉泽\*

**摘要:**近年来,我国空气污染问题日益突出,在绿色生产和创新驱动背景下探究空气污染与企业创新之间的内在联系变得愈加重要。本文利用世界银行2012年中国企业调查数据,将其与城市层面的空气污染数据进行匹配,分别讨论了空气污染对企业工艺创新、管理创新和研发投入的影响。研究发现:空气污染通过“工艺创新补偿效应”与“管理创新补偿效应”对工艺创新和管理创新产生正向影响;而由于“资金挤出效应”与“人力资源损失效应”的存在,空气污染对企业研发投入产生负向影响。进一步研究表明,在企业生产率、企业所在地市场化程度、企业所在城市规模不同时,空气污染对企业创新的影响存在差异。本文的研究结论有助于为企业谋求“绿色发展”提供理论指导和决策依据。

**关键词:** 空气污染;企业创新;绿色生产;转型升级

## 一、引言

长期以来,中国经济的快速增长和生态环境的深刻变革成为社会发展过程中两大明显特征,过度依赖能源消耗使我国不得不面临经济发展带来的生态失衡及环境污染问题。其中大气污染问题尤为突出,已成为威胁人们生活和经济发展的重大隐患(杨继东、章逸然,2014)。在国内资源约束形势日益严峻的情况下,以高耗能、高污染为主的粗放型增长模式日渐式微。创新是实现经济增长的源泉,亦是培育竞争优势和提高经济实力的重要引擎,而企业作为微观生产主体,是进行自主创新、推动技术进步的重要载体。“新常态”经济建设下,寻求以创新为核心驱动的高效型增长模式是实现经济增长和环境保护“双赢”目标的最优选择。

现有文献对我国企业创新的影响因素进行了较为详尽的研究,融资约束(Czarnitzki and Hottenrott,2011)、信贷寻租(Amore et al.,2013)等都是学者关注的重点。既有的关于空气污

\*罗能生,湖南大学经济与贸易学院,邮政编码:410079,电子信箱:lms1122@163.com;徐铭阳(通讯作者),湖南大学经济与贸易学院,邮政编码:410079,电子信箱:xumingyang\_1995@163.com;王玉泽,湖南大学经济与贸易学院,邮政编码:410079,电子信箱:wangyz1716@163.com。

本文得到了国家社会科学基金重大项目“交通污染排放的社会外部性及其对公共健康的影响研究”(项目编号:17ZDA081)、湖南省国际经济与国际工程管理研究中心基金项目“对外直接投资对母国收入差距的影响效应研究(项目编号:17IEPM05)、湖南省国际经济与国际工程管理研究中心基金项目“企业对外直接投资的环境约束效应及推进机制研究”(项目编号:17IEPM04)的资助。感谢匿名审稿人及编辑部的宝贵意见,当然,文责自负。

染问题的研究多集中在污染的形成、污染对经济增长的影响等宏观、中观层面(陈硕、陈婷, 2014;席鹏辉、梁若冰, 2015),而对于空气污染对微观企业创新行为的关注则较少。然而,微观企业个体的创新行为会在整体上形成加总效应,进而会影响到政府相关政策的实施效果。企业作为微观生产主体,是实施环境规制政策的主要落脚点,同时企业创新水平的高低决定了其“绿色发展”能否顺利实现。从企业这一微观层面来看,如何引导其在“新常态”经济发展背景下探索清洁生产、提高创新水平是落实创新驱动发展战略的关键所在。

基于以上事实,本文尝试从企业成本和人力资源两种路径分析空气污染如何影响企业创新。从企业成本这一路径来看,主要表现在两个方面:一是内部污染的治理成本,即空气污染会加剧政府相关部门对环境规制政策的收紧,企业为了遵循环境规制要求而增加额外的生产成本,这给企业的生产决策施加了约束条件,加大了企业本身排污行为的治理成本,进而对企业创新产生影响(张红凤等, 2009)。二是外部污染的防范成本,即空气污染加剧,企业为了减弱外部污染对其本身生产经营过程所造成的不利影响(Fang et al., 2016),会相应地投入人力、财力及技术资源,增加了污染防范成本,对环境要求较高的企业其外部污染的防范意识更为强烈,进而影响企业创新。从人力资源这一路径来看,空气污染通过“员工健康”及“员工流动”两种方式对其产生影响,即空气污染加剧,会对企业员工的身心健康水平造成不同程度的损伤,同时又使得污染严重的地区不可避免地损失一部分高技能员工,从而会在一定程度上降低企业的人力资源积累。为了弥补人力资源的损失,企业需要相应地增加劳动力成本,并主动进行管理方面的有效变革,进而对企业创新产生影响。

与已有文献相比,本文主要存在两点边际贡献:第一,大部分文献多集中于研究经济活动对环境污染的影响,而本文尝试研究环境污染对企业行为的影响,选题具有一定的新意和较强的现实意义。第二,本文尝试总结并分析了空气污染影响企业创新的四种途径。通过对现有文献的梳理,本文提出了空气污染通过“资金挤出效应”“人力资源损失效应”“工艺创新补偿效应”和“管理创新补偿效应”影响企业创新,丰富了空气污染对企业行为影响的相关理论研究,并深化人们对绿色发展与创新驱动二者关系的认知。本文尝试性研究空气污染对企业创新的影响,为有效推进企业发展方式的绿色转型提供理论指导和决策依据。

## 二、机理分析

基于以上分析,结合现有文献对环境污染及企业创新问题进行的研究,本文总结出空气污染可通过以下四种途径对企业创新产生影响。

### (一) 空气污染、资金挤出效应与企业创新

传统的新古典理论认为,在企业的资源配置、技术水平和消费需求给定的情况下,污染将引致更为严格的环境规制,而环境保护必然以增加企业成本为代价,这将对企业创新产生不利影响。由于空气污染具有外部不经济性,需要政府制定相应政策对生产主体的经济活动进行调节。依据C-D生产函数可知,基于减排导向的环境规制虽然能控制企业的排污行为,但不可避免地增加了企业污染治理的“遵循成本”,进而挤占企业的创新资金。企业进行创新需要大量的资金投入,而环境污染一方面会提高企业内部污染的治理成本,另一方面也会增加企业对外部污染的防范成本,导致企业用于创新投入的资金减少,降低企业创新能力(杜威剑、李梦洁, 2016)。此外,企业在面临环境问题时会不可避免地增加经营管理成本,具体表现在生产、营销过程中需要支付更高的成本,由此带来的沉重负担使企业在市场竞争中

处于不利地位,而这会加紧企业的融资约束,并较易受到歧视性融资待遇(彭可茂等,2013)。由此可见,空气污染加剧会迫使企业在整体运作过程中付出更高的成本,并有可能陷入资金困境,进而对企业创新产生不利影响。

## (二) 空气污染、人力资源损失效应与企业创新

从人力资源这一路径来看,空气污染主要通过“员工健康”及“员工流动”两种方式影响企业人力资源。其一是空气污染加剧,会严重损害企业员工的身心健康,相应地会给企业员工的工作生活带来种种困扰,降低员工的工作效率和生活质量,并在一定程度上损耗有效劳动供给,在增加健康成本的同时,员工参与创新活动的积极性也会大打折扣(Skrzypek et al., 2013)。其二,空气质量不同会引起人力资源在区域间的重新配置,从而影响从业人员尤其是高技能员工的区位选择。污染严重的城市很难留住高技能员工,原因在于高技能员工规避空气污染的能力较强,能承担相应的转移成本,更倾向于在低污染行业或地区工作(Cole et al., 2010)。而若想留住或吸引高技能员工,高污染地区的企业需向其支付更高的工资水平、提供更优厚的福利待遇。而且企业创新活动同简单、常规的生产任务有所不同,对员工的认知及技能水平都有较高的要求,因此高技能员工的流失无疑会降低企业的创新能力。即空气污染加剧,企业会相应地增加劳动力成本,不仅仅包括为了留住或吸引高技能员工而提高的工资和薪金,还包括为了维护员工健康而提供的福利和社会保障等,同时人力资本对创新的效益也不能有效发挥出来,进而对企业创新产生不利影响。

## (三) 空气污染、工艺创新补偿效应与企业创新

空气污染加剧,政府会加快实现环境规制从“软约束”到“硬约束”的转变,并逐步加强对污染总量控制的监管力度。空气污染所带来的生产成本增加会引发企业的“损失厌恶”,为了维持原有的利润水平,企业不得不在经济活动中采取优化生产流程的措施,降低生产成本,即存在“工艺创新补偿效应”。不少学者从动态视角指出,环境规制与企业创新之间并非互相排斥,环境规制作为企业排污行为的一种成本补偿方式,能引导企业重视在资源配置过程中出现的非效率和潜在创新机会,激发“工艺创新补偿效应”,即适宜的环境规制会提高而非降低企业的创新能力(Hamamoto, 2006)。部分学者研究发现,企业作为利润最大化的追求者,在应对环境规制要求时会通过改良生产工艺等手段控制污染排放,这在一定程度上倒逼企业开展创新活动,最终减缓或抵消遵循环境规制给企业带来的环保成本(Horbach, 2008)。由此可见,空气污染加剧,企业生产成本的增加会引发自身的“损失厌恶”,进而通过“工艺创新补偿效应”倒逼企业改良生产工艺,促进其创新能力的提升。

## (四) 空气污染、管理创新补偿效应与企业创新

员工作为企业的基本构成要素,是企业生存与发展的关键所在,空气污染加剧,一旦员工工作效率下降或者高技能员工流失,会极大地刺激企业进行管理创新以维持企业人力资源的稳定(Fang et al., 2016)。事实上,员工的创新行为是企业创新的基础,但是由于创新活动的不确定性和复杂性,员工创新行为的产生不仅需要自身强大的信念动力,还需要组织环境的支持。张旭等(2017)研究发现,管理上的创新可以弥补员工在认知和精力上的损失,由此带来的组织改善能显著缓解高技能员工流失对未来企业经营绩效的负面效应。此外,现实中的企业行为是由企业经理控制的,而现期偏好将会促使其延迟对企业的创新投资,原因在于创新投资虽然能够增加企业的未来收益,但却很难增加企业的当期收益,因此,人力资源损失将有助于克服企业经理的“自我控制”问题,倒逼企业经理进行创新。由此可见,空气

污染在一定程度上降低了企业人力资源积累,倒逼其寻求新的管理方式以维持原有的企业效率,即会引致“管理创新补偿效应”,促进其创新能力的提升。

通过以上四种机理分析,可以看出空气污染可能会通过“资金挤出效应”与“人力资源损失效应”来抑制企业创新,通过“工艺创新补偿效应”和“管理创新补偿效应”来促进企业创新。空气污染影响企业创新的四种途径总结如图 1。

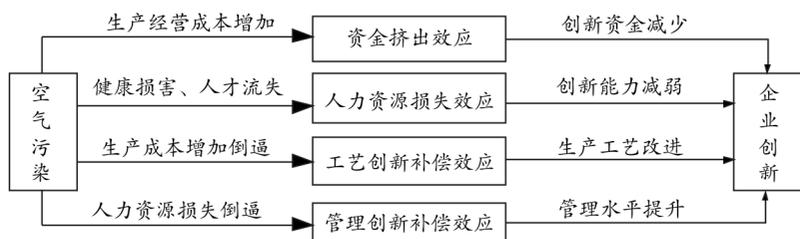


图 1 空气污染影响企业创新的四种途径

### 三、研究设计

#### (一) 模型设定与数据来源

##### 1. 模型设定

为检验空气污染与企业创新之间的关系,本文在理论分析的基础上,设定基本实证模型如下:

$$Innovation_{e,s,c} = \alpha + \beta \cdot EP_c + \gamma \cdot X_e + t \cdot Z_c + U_s + \varepsilon_{e,s,c} \quad (1)$$

模型(1)中:下标  $e, s, c$  分别代表企业 (*enterprise*)、行业 (*sector*) 与城市 (*city*)。被解释变量  $Innovation$  为企业创新;核心解释变量  $EP_c$  为企业所在城市的空气污染水平;  $X_e$  代表一系列在企业层面上影响企业创新的控制变量,包括企业规模、企业年龄等。  $Z_c$  表示在城市层面上影响企业创新的控制变量,包括城市经济发展水平和环境规制。  $U_s$  是行业固定效应,  $\varepsilon_{e,s,c}$  为随机误差项。

##### 2. 数据来源

本文选取世界银行 2012 年中国企业抽样调查数据。选取该数据的主要原因有两个方面:一是该数据提供了丰富的中小微企业创新行为的有效信息,为研究企业创新及其具体形式提供了有利的数据来源,其中创新活动涵盖工艺创新、管理创新和研发投入等多方面的内容;二是该数据包含的调查企业位于北京、成都、大连等 25 个城市,与中国工业企业数据库和上市公司数据等微观数据相比,质量高且与企业创新的实际情况趋于一致,更加能够满足本文的研究需求<sup>①</sup>。本文为确保研究结论更为准确可信,在使用初始数据的基础上,去掉了调查中回答不清楚、不真实及个别极端值样本,最终获取了 2 722 家企业的数据。

空气污染指标的数据来源于以下两个方面:一种数据来自于 van Donkelaar 等(2015)制作的 PM2.5 全球地图,作者利用全球卫星搭载设备,对气溶胶光学厚度(AOD)进行测度得出均值,并在此基础上进行了人口加权,以更好地反映空气污染对所在地的实际影响。另一种数据来自生态环境部所发布的市级日度空气污染指数(API)数据,该数据基于地面观测

<sup>①</sup>该数据共有 2 848 家企业接受访问,其中涵盖了 2 700 家内、外资民营企业及 148 家国有企业。

站监测而得,可以作为反映城市内空气质量情况的有效指标。

## (二) 变量说明

### 1. 被解释变量

本文的被解释变量为企业创新(*Innovation*),调查问卷详细询问了企业是否开展及如何开展某类创新活动。但通过某一指标对企业创新进行衡量可能会有失偏颇,因此运用多种指标更能全面反映企业的真实创新水平,可以避免从单一视角分析创新所导致的结果偏差。由此,本文用工艺创新、管理创新和研发投入三种指标来界定企业的创新行为。

具体来看,对于回归模型(1)而言,被解释变量 *Innovation* 可以分为两大类:第一类借鉴 Cuijpers 等(2011)的做法,用调查问卷中的问题“是否采取了措施降低生产成本?”及“是否进行了管理创新?”分别衡量企业的工艺创新和管理创新,侧重说明企业在生产流程和管理变革方面进行创新。我们将企业肯定的回答赋值为 1,否定的回答赋值为 0,从而得到以二值选择构造的变量,因此采用 Probit 模型进行估计。第二类用调查问卷中的问题“过去三年内,企业进行研究与开发活动的年均花费是多少?”来衡量研发投入,侧重说明企业用于研发新产品的资金投入,对该变量进行对数化处理,采用 OLS 回归方法进行估计。通过以上机理分析可知,空气污染主要通过“工艺创新补偿效应”与“管理创新补偿效应”对工艺创新和管理创新产生影响;而由于“资金挤出效应”与“人力资源损失效应”的存在,空气污染也会对企业研发投入产生影响。

### 2. 解释变量

本文的核心解释变量是空气污染(*EP*),主要采用两种指标来衡量这一变量。一种是借鉴 van Donkelaar 等(2015)的研究,采用卫星数据反映的各城市年度 PM2.5 均值来衡量各城市的空气污染情况。另一种是生态环境部发布的日度 API 数据<sup>①</sup>,该数据由地面观测站根据空气质量状况实时监测而得,日度 API 数据范围从 0 到 500,数字越高表示空气污染浓度值越高。城市的日度 API 数据是基于地面监测站对多种污染物(如 PM10、SO<sub>2</sub> 和 NO<sub>2</sub>)进行综合测度的结果,对该数据取年度均值可以综合反映所在地区的空气质量状况,本文对年度 PM2.5 均值和年度 API 均值进行了对数化处理。

### 3. 其他控制变量

(1)企业规模:选用调查问卷中“企业年度总销售额”来衡量,为减少实证模型的异方差问题,本文对变量进行了对数化处理。(2)企业人力资本:根据问卷中“企业是否对全职雇员进行正式培训?”这一问题构建虚拟变量,若企业对员工进行培训则取值为 1,否则取 0。(3)企业年龄:定义为 2012 减去企业登记注册年份,并进行了对数化处理。(4)企业信息化程度:选用“企业员工在工作中经常使用计算机的比例”来衡量。(5)企业出口状态:根据问卷中“企业是否有出口行为?”这一问题构建虚拟变量,含直接出口和间接出口,若企业有出口行为则取值为 1,否则为 0。(6)企业经理人特征:选用“企业经理人在该行业的工作时间”来衡量,并进行了对数化处理。(7)非国有及外资企业:根据问卷中“企业是否有外资持股行为”这一问题构造虚拟变量,因问卷中国有与外资企业所占比例较小,故将国有及外资企业进行合并,非国有及外资企业赋值为 1,否则为 0。(8)城市经济发展水平:用人均 GDP 衡量城市的经济发展水平,并对该变量进行对数化处理。(9)环境规制:本文参考王文普

<sup>①</sup>缺少东莞这一城市的日度 API 数据。

(2013)、任胜钢等(2016)的指标构建方法,采用生活污水处理率、固体废弃物综合利用率和二氧化硫去除率3种指标,并利用熵权法综合3种指标来衡量该变量。主要变量的描述性统计如表1所示。

**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
工艺创新	1 631	0.764	0.425	0	1
管理创新	1 633	0.468	0.499	0	1
研发投入	612	13.59	1.912	0	20.21
空气污染 1	2 722	4.053	0.336	3.327	4.522
空气污染 2	2 623	4.227	0.13	3.91	4.397
企业规模	2 714	16.7	1.769	4.605	24.41
企业人力资本	2 718	0.853	0.354	0	1
企业年龄	2 721	2.417	0.518	0	4.828
企业信息化程度	2 705	38.27	30.71	0	100
企业出口状态	2 719	0.234	0.423	0	1
企业经理人特征	2 665	2.696	0.49	0	4.007
非国有及外资企业	2 722	0.864	0.342	0	1
城市经济发展水平	2 722	11.14	0.297	10.59	11.61
环境规制	2 722	0.561	0.101	0.207	0.688

## 四、实证结果与分析

### (一) 基准估计结果

本文分别采用 Probit 模型和 OLS 回归方法对模型(1)进行回归分析,并控制了行业固定效应,结果报告在表2中。具体来看,第(1)-(3)列和(4)-(6)列分别呈现了利用两种空气污染指标检验其对企业工艺创新、管理创新与研发投入的影响。

表2提供了基于(1)式的基准回归结果。第(1)、(4)列以工艺创新为被解释变量,得到的估计系数分别通过了1%和10%水平的显著性检验,且显著为正。这说明空气污染对企业工艺创新的影响是正向的,即空气污染加剧,企业会主动进行工艺创新以降低生产成本。具体原因在于空气污染加剧,需要政府制定环境规制政策对生产主体的经济活动进行调节,治污成本、防范成本的增加会引发企业的“损失厌恶”,企业为了维持原有的利润水平会在生产过程中采取优化生产流程的措施降低生产成本,提高生产效率。尽管空气污染增加,企业成本的增加会挤占企业的创新资金,但工艺创新和管理创新受资本的影响相对较小,由于受到了较强的“工艺创新补偿效应”,进而倒逼企业优化生产流程以降低生产成本。

第(2)、(5)列则以管理创新为被解释变量,估计系数显著为正,且均通过了1%水平的显著性检验。这说明空气污染加剧,会在一定程度上倒逼企业进行管理创新。具体原因在于空气污染会对企业员工的身心健康造成不同程度的损伤,且空气质量不同会引起人力资源在区域间的重新配置,从而影响从业人员尤其是高技能员工的区位选择,并由此降低了企业人力资源积累。但是企业为了更加合理有效地配置资源、提升组织绩效,能相对高效地引进或创造新的组织管理理念,会主动进行管理创新,以提高组织效率和竞争优势。即空气污染带来的人力资源损失会引致“管理创新补偿效应”,激励企业经理寻求新的管理方式以提高企业效率,倒逼企业进行管理创新。

第(3)、(6)列则以企业的研发投入为被解释变量,在以年度 API 数据衡量的空气污染作为核心解释变量的实证结果中,估计系数显著为负。结果表明空气污染加剧,由于“资金挤出效应”与“人力资源损失效应”的存在,企业会降低研发经费投入强度。原因在于企业创新资金是有限的,为了应对空气污染的不利影响,企业需额外增加生产经营成本,具体表现在增加内部污染治理成本、外部污染防范成本及劳动力成本,相应地挤占用于研发投入的资金。此外,企业在工艺创新和管理创新方面投入相对较少,且见效快,与这两者相比,企业的研发投入属于高风险投资,存在更高的风险与不确定性,且较易受到歧视性融资待遇,当企业用资紧张时,会更倾向于规避创新风险,优先缩减研发投入资金,进而降低了研发投入强度。

表 2 基准回归结果

变量	PM2.5			API		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	工艺创新	管理创新	研发投入	工艺创新	管理创新	研发投入
空气污染 1	0.5510*** (4.85)	0.5337*** (4.97)	-0.2236 (-1.28)			
空气污染 2				0.6531* (1.78)	1.0322*** (3.12)	-1.1943** (-2.30)
企业规模	0.0811*** (3.28)	0.2015*** (8.93)	0.5584*** (16.13)	0.0728*** (2.87)	0.1950*** (8.63)	0.5641*** (16.27)
企业人力资本	0.6500*** (6.61)	0.5228*** (5.00)	0.4275** (2.12)	0.7354*** (7.29)	0.5403*** (5.10)	0.3770* (1.87)
企业年龄	0.1395* (1.83)	0.1231* (1.75)	0.2113* (1.82)	0.1004 (1.25)	0.0960 (1.33)	0.2111* (1.77)
企业信息化程度	-0.0026 (-1.42)	0.0001 (0.05)	0.0055** (1.97)	-0.0047** (-2.44)	-0.0016 (-0.92)	0.0061** (2.18)
企业出口状态	0.1199 (1.40)	0.2668*** (3.52)	0.2791** (2.33)	0.0786 (0.89)	0.2554*** (3.31)	0.2855** (2.37)
企业经理人特征	-0.0795 (-0.94)	-0.1232 (-1.62)	-0.1606 (-1.23)	-0.0544 (-0.62)	-0.0820 (-1.06)	-0.2063 (-1.55)
非国有及外资企业	-0.4770*** (-3.61)	0.1612 (1.55)	-0.1213 (-0.72)	-0.4807*** (-3.52)	0.1237 (1.18)	-0.1355 (-0.80)
城市经济发展水平	0.2286* (1.77)	0.2544** (2.18)	0.0483 (0.24)	0.0984 (0.63)	0.3347** (2.41)	-0.1739 (-0.73)
环境规制	0.9653** (2.47)	-0.4275 (-1.16)	-1.6139*** (-3.07)	0.7239* (1.82)	-0.3985 (-1.08)	-1.5307*** (-2.93)
常数项	-6.1970*** (-3.68)	-8.9600*** (-5.75)	4.0724 (1.53)	-4.8904* (-1.68)	-11.8870*** (-4.49)	10.6760** (2.45)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
伪 R <sup>2</sup> 或 R <sup>2</sup>	0.0863	0.1045	0.4858	0.0821	0.0994	0.4956
chi <sup>2</sup> 或 F 值	149.6462	230.4969	18.1112	129.6300	210.0328	18.4429
样本数	1 593	1 597	606	1 523	1 527	594

注:括号内为 t 或 z 值,\*\*\*、\*\*、\* 分别为双尾检验在 1%、5%、10% 以内的显著性水平上显著。

控制变量的回归结果也给我们提供了丰富的关于企业创新的信息,具体分析如下:(1)企业规模这一变量在所有的回归结果中,估计系数显著为正。这一实证结果与“熊彼特假说”的结论相吻合,也支持了大多数文献关于企业创新的研究结论。(2)企业人力资本对企业创新的估计系数显著为正。这说明企业人力资源越丰富,越能利用高技能员工的创新知识和管理经验开展创新活动,以提高企业竞争力。(3)企业年龄对企业研发投入的影响显著

为正,这说明企业存续年限越长,对新产品研发经验越丰富,更倾向于增加研发经费投入强度以进行创新。(4)企业信息化程度对研发投入有显著的正向影响,原因在于企业信息化程度高,则反映企业的资金实力相对雄厚,有更多的资金用于研发投入。(5)出口企业更倾向于进行管理创新,增加研发投入,因为出口企业只有积极进行管理创新、加大研发投入强度,才能在激烈的市场竞争中获取比较优势,最终立足于国际市场。(6)非国有及外资企业进行工艺创新的可能性较小,即外资和国有企业更有可能在经济活动中采取优化生产流程的措施进行工艺创新。(7)城市人均 GDP 越高,该地区的企业越倾向于进行管理创新。(8)环境规制对工艺创新有显著的正向影响,但显著降低了企业研发投入,而对管理创新的影响不显著。这与环境规制的加紧,倒逼企业进行工艺创新;企业因遵循环境规制要求不可避免地挤占企业用于研发投入的资金,进而降低研发投入强度这一结论是吻合的。

## (二) 内生性问题

本文可能产生内生性问题的原因有以下几个:一是反向因果问题。较多文献研究企业创新对环境污染的影响,而本文单个企业的创新活动对整个城市层面的空气污染影响极小,几乎可以忽略不计,不存在传统意义上反向因果引发的内生性问题。然而值得注意的是,一个城市范围内企业创新活动的加总仍有可能对整个城市的空气污染带来影响,而城市激励创新的相关政策出台增加了这种可能性,因此这种内生性问题依然值得注意。二是变量的测量误差问题。空气污染数据均来自权威渠道,可信度较高,企业有关的数据虽相对权威,但很多问题出自对企业家或者管理者的问卷调查,存在当事人记忆疏漏和刻意掩饰真实情况的可能性。三是可能存在遗漏变量问题。企业创新活动容易受到多个方面的影响,很难穷举所有的影响因素。

为解决上述内生性问题,本文一方面尽可能控制企业层面、行业层面及城市层面对企业创新产生影响的相关变量,也寄希望于单个个体之间的残差项正负相抵,减少在整体上对回归结果带来的不利影响,同时,在文中也尝试使用混合工具变量法解决内生性问题。本文分别利用“距离各样本城市 200KM 及 150KM 以内的周边城市 API 加权值”作为城市空气污染的两个工具变量,原因在于:其一是周边城市的空气污染会通过大气扩散直接影响到样本城市的空气污染水平,满足相关性假设;其二是周边城市的空气污染与样本城市的企业创新不存在直接联系,满足外生性假设。

本文采用了混合两阶段最小二乘法(M2SLS),基于如下假设,即虽然企业创新的加总效应有可能对一个地区的空气污染水平在相当长的一段时间内产生影响,但具体到每一天的影响效果来看,空气污染可以看作企业创新的严格外生变量。因此,在这一方法中,实证回归分两步进行,第一步,利用样本城市 200KM 或者 150KM 内所有城市的日度 API 数据的地理加权值作为解释变量,分别获取 25 个样本城市的日度 API 拟合值;第二步,将第一步中得到的各城市日度 API 拟合值取时间上的均值,替换原来的空气污染变量,重新进行回归。具体步骤如下:

$$EP_{c,t} = \sum_i \theta_i EP_{c,t}^i + \eta_c + \psi_{c,t} \quad (2)$$

$$Innovation_{e,s,c} = \alpha + \beta \cdot \widehat{EP}_{c,t} + \gamma \cdot X_{e,t} + \delta \cdot Z_c + U_s + \varepsilon_{e,s,c} \quad (3)$$

在模型(2)中: $c$ 表示样本城市, $i$ 表示该样本城市 200KM 或 150KM 以内的邻近城市, $t$ 表示存在空气污染观测数据的每一天, $EP_{c,t}^i$ 表示  $i$  城市的日度 API 数据, $\theta_i$ 表示  $i$  城市的距

离权重,  $i$  城市离  $c$  越近, 则该权重越大,  $\sum_i \theta_i = 1, \eta_c$  表示城市层面的固定效应,  $\psi_{c,t}$  表示残差。  $\sum_i \theta_i EP_{c,t}^i$  表示样本城市 200KM 或 150KM 内所有城市的日度 API 数据的地理加权值, 将该值在所观测天数内取时间均值得到样本城市空气污染的拟合值, 并将其代入到模型 (3) 中, 便可得到空气污染对企业创新更为有效的估计值。

表 3 给出了工具变量估计结果。从实证结果来看, 无论使用哪一个工具变量, 得到空气污染对企业工艺创新、管理创新的影响都显著为正, 对企业研发投入的影响都显著为负, 这和基准回归的结果保持一致。结果表明在克服了内生性问题之后, 相关结果保持了较好的稳健性。

表 3 工具变量回归

变量	工具变量 1			工具变量 2		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	工艺创新	管理创新	研发投入	工艺创新	管理创新	研发投入
空气污染	0.7245 ** (2.06)	1.0033 *** (3.17)	-1.3409 ** (-2.54)	0.6998 ** (2.02)	1.0488 *** (3.35)	-1.3218 ** (-2.53)
企业规模	0.0738 *** (2.92)	0.1958 *** (8.66)	0.5815 *** (15.76)	0.0740 *** (2.92)	0.1958 *** (8.66)	0.5811 *** (15.75)
企业人力资本	0.7300 *** (7.23)	0.5378 *** (5.08)	0.3065 (1.43)	0.7312 *** (7.25)	0.5373 *** (5.07)	0.3086 (1.44)
企业年龄	0.1045 (1.30)	0.0991 (1.38)	0.3243 ** (2.56)	0.1050 (1.31)	0.0991 (1.37)	0.3236 ** (2.56)
企业信息化程度	-0.0049 *** (-2.59)	-0.0017 (-0.99)	0.0027 (0.91)	-0.0049 *** (-2.59)	-0.0018 (-1.02)	0.0027 (0.92)
企业出口状态	0.0820 (0.92)	0.2561 *** (3.31)	0.2621 ** (2.04)	0.0805 (0.91)	0.2567 *** (3.32)	0.2640 ** (2.05)
企业经理人特征	-0.0550 (-0.63)	-0.0825 (-1.07)	-0.2101 (-1.48)	-0.0560 (-0.64)	-0.0835 (-1.08)	-0.2099 (-1.48)
非国有及外资企业	-0.4931 *** (-3.61)	0.1178 (1.13)	-0.2760 (-1.53)	-0.4943 *** (-3.62)	0.1157 (1.11)	-0.2747 (-1.52)
城市经济发展水平	0.1145 (0.74)	0.3292 ** (2.40)	-0.2210 (-0.88)	0.1084 (0.70)	0.3396 ** (2.49)	-0.2154 (-0.86)
环境规制	0.7347 * (1.85)	-0.3690 (-1.00)	-1.7702 *** (-3.18)	0.7351 * (1.85)	-0.3686 (-1.00)	-1.7662 *** (-3.18)
常数项	-5.8797 ** (-2.06)	-11.4707 *** (-4.44)	10.9562 ** (2.42)	-5.7088 ** (-2.02)	-11.7745 *** (-4.60)	10.8158 ** (2.41)
行业固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
伪 $R^2$ 或 $R^2$	0.0837	0.0996	0.4259	0.0836	0.1002	0.4259
$\chi^2$ 或 $F$ 值	132.4525	210.5869	14.4288	132.2656	211.8101	14.4275
样本数	1 524	1 528	594	1 524	1 528	594

注: 括号内为  $t$  或  $z$  值, \*\*\*, \*\*, \* 分别为双尾检验在 1%、5%、10% 以内的显著性水平上显著。

### (三) 进一步讨论

在基准回归的基础上, 本文还考虑到不仅企业自身因素会影响企业创新, 城市作为创新的重要单元, 城市层面的宏观因素也会对企业创新产生影响, 在该部分本文从企业生产率、企业所在地市场化程度、企业所在城市规模三个角度出发, 进一步探讨空气污染对企业创新影响的差异性。

## 1. 基于企业生产率的进一步讨论

本文参照许和连和成丽红(2016)的做法,对样本企业的 TFP 水平进行了测度。表 4 呈现了从企业生产率这一角度考察的回归结果。结果表明:企业生产率的提高,显著减弱了空气污染对企业工艺创新和管理创新的促进效应。空气污染仍能倒逼企业进行工艺创新和管理创新,但这种倒逼效应将随着企业生产率的提高而显著减弱。究其原因,随着生产率的提高,企业的生产流程相对完善,技术水平不断提高,管理体系更加有效,因而一定时期内企业工艺创新和管理创新的空间相对缩小,而应对空气污染外部影响的能力增强,相应地,空气污染对其工艺创新和管理创新的倒逼效应也必然减弱。而生产率较低的企业,应对空气污染需支付更高的内部污染治理成本和外部污染防范成本,相应地购买更多治污设备和生产设备,受到的“资金挤出效应”也较为明显,更容易进行工艺创新以弥补企业的利润损失,降低生产成本;空气污染也会加剧这些企业人力资源的损失,进而刺激企业加强管理创新以维持企业效率。

表 4 基于企业生产率的回归结果

变量	工艺创新	管理创新	研发投入
空气污染	1.3004*** (2.95)	0.7351* (1.91)	-3.9065 (-0.96)
企业规模	0.2349*** (5.75)	0.2836*** (8.48)	0.6822*** (13.37)
企业人力资本	0.7004*** (6.00)	0.5186*** (4.25)	0.7584*** (3.17)
企业年龄	-0.0291 (-0.31)	-0.0594 (-0.72)	0.2326* (1.75)
企业信息化程度	-0.0044** (-2.02)	-0.0026 (-1.35)	0.0075** (2.47)
企业出口状态	-0.0535 (-0.53)	0.1900** (2.22)	0.3246** (2.50)
企业经理人特征	0.0411 (0.40)	0.0242 (0.28)	-0.3369** (-2.21)
非国有及外资企业	-0.4961*** (-3.29)	0.1087 (0.95)	-0.3091* (-1.69)
城市经济发展水平	0.1636 (0.90)	0.1694 (1.07)	-0.1468 (-0.57)
环境规制	0.1692 (0.32)	-0.4999 (-1.05)	-0.1113 (-0.17)
空气污染×企业生产率	-0.0813*** (-5.29)	-0.0321** (-2.50)	0.3109 (0.68)
常数项	-8.2988** (-2.41)	-8.6894*** (-2.84)	21.0856 (1.19)
行业固定效应	控制	控制	控制
伪 $R^2$ 或 $R^2$	0.1140	0.1131	0.4838
$\chi^2$ 或 $F$ 值	143.0951	195.8627	14.2388
样本数	1 253	1 256	503

注:括号内为  $t$  或  $z$  值,\*\*\*、\*\*、\* 分别为双尾检验在 1%、5%、10% 以内的显著性水平上显著。

## 2. 基于市场化程度的进一步讨论

表 5 呈现了从企业所在地市场化程度<sup>①</sup>这一角度考察的回归结果。可以发现:空气污染

① 本文所用的市场化程度变量,参照王小鲁等(2017)编制的中国各地区市场化指数。

仍能倒逼企业进行工艺创新和管理创新,但企业所在地区市场化程度的提高,显著减弱了空气污染对企业工艺创新和管理创新的正向影响。市场化程度的提高,导致企业面临更为激烈的市场竞争,迫使企业运用新技术、新工艺优化生产流程,凭借自身优势在市场中获取立足之地;需更为高效地营造创新氛围、引进或创造新的组织管理理念、提供市场动态性服务,使得企业自身拥有较为完善的组织体系和管理模式,由此空气污染对这些企业工艺创新和管理创新的倒逼作用不明显。而市场化程度较低的地区,企业的“工艺创新补偿效应”较强,这意味着企业有更多的空间进行工艺创新以降低生产成本;同样,这些企业会加快完善人才引进机制,构建有组织的管理体系。此外,市场化程度的提高,显著减弱了空气污染对企业研发投入的负向影响。原因在于市场化程度较高的地区拥有发育较为成熟的要素、产品市场及更好的产权保护环境,多元化的金融体系会为企业提供更多的创新资源与资金支持,研发投入资金受企业成本的挤占较少,因此空气污染对其研发投入的负向影响不明显。而市场化程度较低的地区,企业缺乏足够的资金筹措能力及充足的风险准备金,且自身资金实力薄弱,为了规避风险,在面临融资困境时会不可避免地缩减研发投入资金,降低研发投入强度。

表 5 基于市场化程度的回归结果

变量	工艺创新	管理创新	研发投入
空气污染	0.7286* (1.75)	0.7812** (2.06)	-1.5518*** (-2.83)
企业规模	0.0944*** (3.24)	0.2332*** (9.13)	0.5920*** (15.49)
企业人力资本	0.7705*** (6.71)	0.5281*** (4.35)	0.8000*** (3.37)
企业年龄	-0.0042 (-0.04)	-0.0511 (-0.62)	0.2339* (1.77)
企业信息化程度	-0.0070*** (-3.35)	-0.0041** (-2.14)	0.0061** (2.08)
企业出口状态	-0.0271 (-0.27)	0.1965** (2.29)	0.3347*** (2.60)
企业经理人特征	0.1214 (1.20)	0.0712 (0.81)	-0.3260** (-2.16)
非国有及外资企业	-0.4988*** (-3.34)	0.1067 (0.94)	-0.3197* (-1.76)
城市经济发展水平	0.3887* (1.86)	0.5070*** (2.66)	-0.6150** (-2.20)
环境规制	0.4203 (0.79)	-0.0777 (-0.16)	-0.7765 (-1.16)
空气污染×市场化程度	-0.0278*** (-2.86)	-0.0315*** (-3.54)	0.0470*** (3.45)
常数项	-8.3679** (-2.31)	-12.3202*** (-3.68)	14.7262*** (3.04)
行业固定效应	控制	控制	控制
伪 R <sup>2</sup> 或 R <sup>2</sup>	0.0981	0.1158	0.5433
chi <sup>2</sup> 或 F 值	123.7472	200.9373	18.1100
样本数	1 255	1 258	504

注:括号内为 t 或 z 值,\*\*\*、\*\*、\* 分别为双尾检验在 1%、5%、10% 以内的显著性水平上显著。

## 3. 基于企业所在城市规模的进一步讨论

依照国家对城市等级的分类标准,本文按照企业所处城市的城区人口数将城市按其规模分为大小两类。企业所在地为大城市赋值为1,小城市则赋值为0,表6呈现了加入交互项的回归结果。结果显示空气污染对企业工艺创新和管理创新仍有促进作用,但和小城市的企业相比,空气污染对大城市企业工艺创新的正向影响减弱。原因在于大城市环境治理体系更为健全,在污染治理方面具有较为完备的公共产品和服务,这在一定程度上减轻了企业的污染治理压力;而且大城市的企业实力一般相对较强,能更好地运用科学技术引进新工艺、优化生产流程,由此空气污染对其工艺创新的倒逼效应不明显。而小城市污染治理体系不够完善,且企业应对空气污染需支付更高的生产成本,进而刺激企业改良工艺,降低生产成本。此外,和小城市企业相比,空气污染对大城市企业研发投入的抑制效应相对减弱。原因在于大城市金融市场相对完善,能帮助企业克服道德风险和逆向选择问题,从而缓解企业外部融资约束,减少对企业创新资金的挤占。然而,小城市的企业应对空气污染需支付更高的融资成本,也会受到更强的融资约束,进而相对明显地减少研发投入。

表6 基于企业所在城市规模的回归结果

变量	工艺创新	管理创新	研发投入
空气污染	0.6264* (1.71)	1.0155*** (3.07)	-1.0759** (-2.07)
企业规模	0.0775*** (3.04)	0.1971*** (8.70)	0.5628*** (16.31)
企业人力资本	0.7294*** (7.22)	0.5360*** (5.06)	0.4012** (2.00)
企业年龄	0.1223 (1.51)	0.1065 (1.47)	0.1919 (1.61)
企业信息化程度	-0.0046** (-2.39)	-0.0016 (-0.92)	0.0058** (2.07)
企业出口状态	0.0578 (0.65)	0.2468*** (3.18)	0.3049** (2.53)
企业经理人特征	-0.0863 (-0.97)	-0.0956 (-1.22)	-0.1867 (-1.41)
非国有及外资企业	-0.5093*** (-3.73)	0.1086 (1.04)	-0.1163 (-0.69)
城市经济发展水平	-0.1048 (-0.58)	0.2594* (1.69)	0.0780 (0.30)
环境规制	0.2315 (0.52)	-0.6027 (-1.49)	-0.8948 (-1.55)
空气污染×城市规模	-0.0541** (-2.35)	-0.0224 (-1.15)	0.0792** (2.56)
常数项	-2.6611 (-0.85)	-10.5780*** (-3.77)	6.8673 (1.50)
行业固定效应	控制	控制	控制
伪R <sup>2</sup> 或R <sup>2</sup>	0.0981	0.1131	0.5015
chi <sup>2</sup> 或F值	136.9285	211.5507	18.2347
样本数	1 524	1 528	594

注:括号内为t或z值,\*\*\*、\*\*、\*分别为双尾检验在1%、5%、10%以内的显著性水平上显著。

## (四) 稳健性检验

本文主要从以下两个方面进行了稳健性检验:(1)删除国有和外资企业样本,主要原因

是在所选样本中,国有和外资企业数目较少,且国有企业主要考虑到预算软约束,外资企业则考虑到有些是国外子公司,不存在独立的研发行为。而在本文所选取的企业样本中,主要研究的是民营企业的创新情况,因此删除了国有和外资企业的样本做稳健性分析。(2)参照王兰芳和胡悦(2017)的做法,在原有的基准回归基础上增加了可能影响企业创新的城市层面的控制变量,如是否为省会城市、是否为东部地区城市、是否为大城市。回归结果发现<sup>①</sup>,空气污染对工艺创新和管理创新的影响都显著为正,对企业研发投入的影响显著为负,并没有因稳健性检验方法不同而发生变化,这在一定程度上表明本文的研究结论是稳健的。

## 五、结论与政策启示

本文实证分析了空气污染对企业创新的影响。结论表明空气污染会在一定程度上倒逼企业进行工艺创新和管理创新,但也不可避免地降低了企业的研发投入强度。此外,研究发现当企业生产率、市场化程度、企业所在城市规模不同时,空气污染对企业工艺创新、管理创新和研发投入的影响存在差异,针对存在的内生性问题,本文采用M2SLS方法加以解决,并进行了不同形式的稳健性检验。本文的研究发现有一定的政策现实意义,也为日后学者进一步探讨空气污染对企业创新的影响提供了分析思路。

从总体来看,社会整体发展要重视环境问题,控制污染总量,各行各业都要遵循绿色发展的理念,寻求以创新为核心驱动的高效型增长模式。政府应注重搭配使用环境规制和绿色补贴政策,不能一味地追求“高标准、严要求”或者放任不管,而需制定适宜强度的环境规制政策;同时要加大友好环境投入力度,相应地向有能力的企业给予绿色补贴,并给“短视的企业”提供相应的融资渠道和优惠政策,积极引导企业探索清洁生产,为实现企业资源的优化配置提供新的契机。此外,各地区应协同推进市场化进程,实现地区产品、要素市场的均衡发展,减弱空气污染对企业研发投入的不利影响;同时要注重完善污染治理体系,提供更为优质的公共产品及服务,缓解企业的污染治理压力。

企业需积极提升创新能力、消化吸收能力,提高企业生产率、改进生产方式、加大科技投入,以创新引领企业经济实现绿色发展。同样,企业要注重内部资金的积累,完善资金配置功能,不断提高企业竞争力,有效地缓解外部融资约束。此外,企业要注重构建相对完善的管理体系和培训机制,加大对人才培养以及相关的投入,以弥补空气污染加剧所引致的人力资源损失,不断为企业注入新鲜的“血液”,提升创新能力。

### 参考文献:

- 1.陈硕、陈婷,2014:《空气质量与公共健康:以火电厂二氧化硫排放为例》,《经济研究》第8期。
- 2.杜威剑、李梦洁,2016:《环境规制对企业产品创新的非线性影响》,《科学学研究》第3期。
- 3.彭可茂、席利卿、雷玉桃,2013:《中国工业的污染避难所区域效应——基于2002-2012年工业总体与特定产业的测度与验证》,《中国工业经济》第10期。
- 4.任胜钢、蒋婷婷、李晓磊、袁宝龙,2016:《中国环境规制类型对区域生态效率影响的差异化机制研究》,《经济管理》第1期。
- 5.王兰芳、胡悦,2017:《创业投资促进了创新绩效吗?——基于中国企业面板数据的实证检验》,《金融研究》第1期。
- 6.王文普,2013:《环境规制、空间溢出与地区产业竞争力》,《中国人口·资源与环境》第8期。
- 7.王小鲁、樊纲、余静文,2017:《中国分省份市场化指数报告(2016)》,社会科学文献出版社。

<sup>①</sup>限于篇幅,稳健性检验的回归结果暂未列示,读者可向作者索取。

- 8.席鹏辉、梁若冰,2015:《空气污染对地方环保投入的影响——基于多断点回归设计》,《统计研究》第9期。
- 9.许和连、成丽红,2016:《制度环境、创新与异质性服务业企业TFP——基于世界银行中国服务业企业调查的经验研究》,《财贸经济》第10期。
- 10.杨继东、章逸然,2014:《空气污染的定价:基于幸福感数据的分析》,《世界经济》第12期。
- 11.张红凤、周峰、杨慧、郭庆,2009:《环境保护与经济发展双赢的规制绩效实证分析》,《经济研究》第3期。
- 12.张旭、张婕、樊耘,2017:《基于认知评价角度的奖励与创新绩效关系研究——情感状态与认知资源的调节作用》,《南开管理评论》第5期。
- 13.Amore, M. D., C. Schneider, and A. Žaldokas. 2013. “Credit Supply and Corporate Innovation.” *Journal of Financial Economics* 109(3):835–855.
- 14.Cole, M.A., R.J.R.Elliott, and T.Okubo.2010.“Trade, Environmental Regulations and Industrial Mobility: An Industry-level Study of Japan.” *Ecological Economics* 69(10):1995–2002.
- 15.Cuijpers, M., H. Guenter, and K. Hussinger. 2011. “Costs and Benefits of Inter-departmental Innovation Collaboration.” *Research Policy* 40(4):565–575.
- 16.Czarnitzki, D., and H.Hottenrott.2011.“R&D Investment and Financing Constraints of Small and Medium-sized Firms.” *Small Business Economics* 36(1):65–83.
- 17.Fang, D., Q.Wang, H.Li, Y.Yu, Y.Lu, and X.Qian.2016.“Mortality Effects Assessment of Ambient PM<sub>2.5</sub> Pollution in the 74 Leading Cities of China.” *Science of The Total Environment* 569–570(1):1545–1552.
- 18.Hamamoto, M.2006.“Environmental Regulation and the Productivity of Japanese Manufacturing Industries.” *Resource and Energy Economics* 28(4):299–312.
- 19.Horbach, J. 2008. “Determinants of Environmental Innovation—New Evidence from German Panel Data Sources.” *Research Policy* 37(1):163–173.
- 20.Skrzypek, M., J.E.Zejda, M.Kowalska, and E.M.Czech.2013.“Effect of Residential Proximity to Traffic on Respiratory Disorders in School Children in Upper Silesian Industrial Zone, Poland.” *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 26(1):83–91.
- 21.van Donkelaar, A., R.V.Martin, M.Brauer, and B.L.Boys.2015.“Use of Satellite Observations for Long-Term Exposure Assessment of Global Concentrations of Fine Particulate Matter.” *Environmental Health Perspectives* 123(2):135–143.

## Does Air Pollution Affect Enterprise Innovation?

Luo Nengsheng, Xu Mingyang and Wang Yuze

(School of Economics and Trade, Hunan University)

**Abstract:** In recent years, the problem of air pollution has become increasingly prominent in China. Thus, it is of increasingly significance to explore the internal connection between air pollution and enterprise innovation in the context of green production and innovation-driven development. In this paper, the World Bank Survey of Chinese Enterprises in 2012 is used to match the air pollution data at the city level and the impact of air pollution on process innovation, management innovation and R&D investment of enterprises is discussed respectively. We find that air pollution has a positive impact on process innovation and management innovation because of “process innovation compensation effect” and “management innovation compensation effect”. But due to the “crowding out effect of capital” and “the loss effect of human resources”, air pollution has a negative impact on R&D investment. Further research shows that with different corporate productivity, marketization degree and scale of location, the impact of air pollution on enterprise innovation varies. The conclusion is helpful to provide theoretical guidance and decision basis for enterprises which are seeking for the green development.

**Keywords:** Air Pollution, Enterprise Innovation, Green Production, Transformation and Upgrading

**JEL Classification:** Q53, O31

(责任编辑:彭爽)