

# 城市创新行为、经济发展与环境污染 ——基于面板门槛模型的实证分析

范晓莉, 李秋芳

天津城建大学经济与管理学院, 天津 300384

**摘要** 基于2005—2016年285个城市面板数据研究城市创新行为、经济发展与环境污染三者之间的互动关系,并运用面板门槛模型以城市创新行为作为门槛,验证经济发展与环境污染之间的非线性关系。结果表明:经济发展水平与环境污染之间仍呈现“倒U型”关系,且存在基于城市创新行为的单门槛非线性关系,仅当城市创新水平跨越门槛值后,经济发展才对环境污染具有显著抑制作用;样本区间内城市创新水平不断跨过门槛值,东部地区跨过门槛值的城市高于中西部地区;产业结构升级和人口集聚效应同样有助于降低环境污染,而能源消耗的增加则会加剧环境污染;各城市应重点提升城市创新水平,加快产业结构优化升级,推进绿色经济发展。

**关键词** 城市创新行为;经济发展;环境污染;门槛效应

改革开放以来,中国经济的高速发展举世瞩目,已成为世界第二大经济体。与此同时,高速发展的工业化进程也相继带来了资源过度消耗、生态环境恶化等问题。耶鲁大学等研究单位联合发布的《2020年全球环境绩效指数(EPI)报告》显示:180个参评国家里,作为世界第二大经济体的中国排名120位,可见环境问题已成为阻碍中国经济高质量发展的关键问题之一。近年来,我国十分重视生态环境保护和节能减排问题,党的十九大报告将“美丽”纳入到新目标当中,三大攻坚战中污染防治成为全国人民极为关心的问题。2021年在全国两

会中再次提出加强生态环境治理,并制定2030年前碳排放达峰行动方案。“十三五”规划以来,我国生态环境质量已有较大改善,但是我国各区域间城市发展不平衡、传统产业升级缓慢、环境污染严重等问题依然存在。因此,处理好经济发展与环境保护之间的关系,探寻改善生态环境的有效路径,进而实现两者的良性互动,已成为现阶段推进我国经济高质量发展的迫切问题。随着创新驱动发展战略的不断推进,创新在经济质量发展和数量的协调上发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。创新驱动不仅能通过技术创新推动城市发展,还能有效降低城市环境污染<sup>[2]</sup>。

收稿日期:2020-10-02;修回日期:2021-01-05

基金项目:天津市科技发展战略研究计划项目(18ZLZXZF00280);天津城镇化与新农村建设研究中心开放基金项目(KFJJ18-03)

作者简介:范晓莉,副教授,研究方向为城市与区域经济、城市问题与产业经济,电子信箱:xiaoli19821996@126.com

引用格式:范晓莉,李秋芳.城市创新行为、经济发展与环境污染——基于面板门槛模型的实证分析[J].科技导报,2022,40(4):64-73;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2022.04.007

新时代下,面对全球绿色经济发展浪潮以及走可持续发展道路的现实要求,要深入践行习近平的绿色发展思想,实现人与自然和谐共生<sup>[3]</sup>。本研究聚焦于研究城市创新行为、经济发展对环境污染的影响机理,并以285个城市面板数据为样本,运用面板门槛模型分析城市创新行为能否发挥经济发展在城市环境治理中的最大效用,验证这种影响是否为非线性。

## 1 国内外研究现状

目前学术界针对经济发展水平与环境污染的研究主要从宏观视角和微观视角两方面展开。宏观视角主要表现为“环境库兹涅兹”假说的验证,大多数学者认为前期经济发展主要依靠工业化,过分追求产能往往忽视重工业发展对环境造成的影响,工业产能和规模的不断扩张必然加大环境的负外部性;与此同时,随着工业化水平的提升,第二产业向第三产业转移一定程度上有助于改善环境,产业优化升级可以降低环境污染,此时经济发展会对环境污染产生负效应,即环境污染与经济发展之间存在倒“U”型关系<sup>[4-6]</sup>。后续也有学者进一步验证这一关系,发现不同大气污染物与经济增长之间也呈现这种倒“U”型关系<sup>[7-8]</sup>。微观层面主要集中于经济增长对环境污染的影响路径,学者从不同角度研究环境污染的影响因素,证实了产业结构、人力资本、城市化水平、外商直接投资等是推动经济增长的重要原因,并验证了众多因素与环境污染之间呈现一定的影响关系。部分学者认为城镇化进程中,大量农村人口涌入城市导致城市规模迅速扩张,引起产业扩张和消费需求增加,直接导致污染排放量增加,加剧环境污染<sup>[9-10]</sup>。同时,有学者认为产业集聚通过合作研发吸引人才和资本,很大程度上降低了研发风险,有利于企业间形成竞争,促进开展技术创新活动,减少污染成本,从而改善环境<sup>[11-12]</sup>。此外,外商直接投资与经济发展具有密切联系,经济发展初期生产型创新会加剧环境污染,然而通过经济转型,生态型创新会降低环境污染<sup>[13-14]</sup>。

随着研究视角的拓宽,多数学者逐步关注到创

新行为与经济同步发展对环境产生的影响特征,并从不同视角验证城市创新行为促进经济发展过程中对环境污染的影响效应,目前研究主要表现为“促进”和“抑制”两种观点。支持“促进”效应的学者认为经济发展过程中城市创新行为会引起环境恶化,该观点强调技术创新行为可能增加环境污染,表现在企业为了追求经济利益而忽视环境保护,对技术创新和绿色研发的经费投入不足,从而增加污染,创新主体因不断追逐个人利益而导致生态环境的恶化<sup>[15-16]</sup>。类似地,有学者进一步研究环境污染、人力资本与区域创新发展的传导机制,认为环境污染降低了区域创新水平,环境污染问题加剧会对人才引进产生负面影响,进而挤出人才和企业投资,表现在环境污染通过对人力资本产生挤出效应而阻碍创新行为开展<sup>[17]</sup>。支持“抑制”效应的学者认为城市创新行为有助于降低环境污染,尤其制造业中的技术进步有利于减少SO<sub>2</sub>排放量<sup>[18]</sup>,特别是随着城市化进程的加快,人力资本和技术水平的提升将有助于降低环境污染<sup>[19]</sup>,而绿色创新技术研发和绿色创新活动开展具有实现城市经济增长和环境治理的双重作用<sup>[20-23]</sup>。此外,经济发展过程中城市规模扩张产生的拥挤效应会增加环境污染,但规模效应又会降低环境污染,两者叠加效应对环境污染具有改善作用<sup>[24]</sup>。

整体来看,城市创新活动对环境的影响是多样性的,并非单一的线性关系<sup>[25]</sup>。从我国城市创新发展历程来看,早期的城市创新行为主要通过城市扩张、资源消耗、重化工业的粗放式经济发展来实现,进而导致资源短缺、环境破坏,污染问题愈发严重。同时,为吸引外资投入而放松环境规制,产业规模不断扩张,由此产生的“污染避难所效应”又会进一步加重环境污染。随着城市绿色创新行为的开展,污染减排、低碳城市建设和产业结构升级均有效促进了科技创新,城市创新行为不仅优化了城市治理模式,还有效提升了城市资源利用效率,进而改善环境状况,实现城市创新水平和环境保护共赢<sup>[26-27]</sup>。现阶段我国正处于经济转型的关键时期,但城市创新对环境污染的改善作用仍较为受限,只有实现经济发展水平和科技创新同步发展、扩大绿

色创新效益、加强绿色创新意识才能真正解决环境问题<sup>[28-29]</sup>。因此,应不断提升绿色创新意识,加快绿色创新技术研发,推动产业结构转型升级,进而实现城市经济可持续发展,从而有效提升生态环境质量。

综上所述,已有研究为探索城市创新行为、经济发展与环境污染之间的关系提供了一定的理论基础和实证方法,证实了经济发展过程中城市创新行为为解决环境污染问题具有重要作用。但仍存在一些不足:一是现有研究主要针对经济增长或城市创新对环境污染影响的直接验证,针对城市创新行为、经济发展与环境污染之间的关系以及影响路径的研究较少。二是关于城市创新的数据选取大多为专利授权量或某一特定变量,主要停留在工业或企业数据层面,而企业创新只是改善环境污染的部分因素,不能较为全面的反映整体效率。三是研究样本大多基于省际层面,从地级市层面考察城市创新行为与环境污染关系的研究不多。

基于此,本研究边际贡献在于:数据样本选取方面,借助复旦大学产业发展研究中心发布的中国城市创新能力指数,基于中国2005—2016年的285个城市面板数据考察经济发展水平与环境污染的非线性关系,克服了城市创新能力的片面性,弥补了省际层面数据的粗糙性;计量方法选择方面,采用面板计量模型分析城市创新行为、经济发展对环境污染的直接影响特征,并以城市创新行为为门槛,用门槛模型验证经济发展对环境污染的非线性关系。

## 2 理论分析与研究方法

### 2.1 理论机制分析

通过文献梳理,已有研究证实了经济发展对环境污染产生的不同影响。纵观世界各国经济发展历程,一国或地区的经济发展离不开技术创新,但技术创新带来的经济增长也是引起环境污染的重要原因。本文认为经济发展对环境污染的影响表现出阶段性特征,这种阶段性特征是基于城市创新

行为产生的。在城市创新初始阶段,城市经济规模扩张及工业技术发展引致的资源及能源过渡消耗是产生环境问题的关键。这一阶段的城市创新行为大多以生产型创新为主,并将经济利益放在首位而忽视了公共利益,资源和能源过度利用,导致生态环境恶化,此时的粗放型经济发展方式不断加剧环境污染。随着不可再生能源逐渐减少,生态环境问题凸显,人们逐渐认识到环境保护的重要性,经济发展和生态保护同步进行才能实现可持续发展,因此,城市创新行为逐渐走向成熟化。在成熟阶段的城市创新行为主要以生态型创新为主,技术创新能力显著提升,产业结构不断优化升级,依靠绿色创新技术逐步实现环保和经济增长双赢的目标。综上所述,经济发展和环境污染之间存在明显的非线性关系,经济发展对环境污染的作用特征取决于城市创新行为。由此,以城市创新行为作为门槛,研究经济发展对环境污染的影响特征,并分析这一特征在门槛值前后的差异性,可以更有针对性地提出降低污染的政策措施。

### 2.2 实证模型构建

为验证城市创新行为、经济发展与环境污染之间的关系,作为研究比较分析文中设定直接影响的基准计量回归模型,基准回归模型主要分析城市创新行为、经济发展对环境污染的直接影响,并未考虑3者之间可能存在的非线性特征,如式(1)所示。

$$poll_{it} = \beta_0 + \beta_1 inno_{it} + \beta_2 pgdp_{it} + \alpha X_{it} + \mu_{it} + \nu_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中, $poll_{it}$ 表示环境污染水平; $inno_{it}$ 表示城市创新行为; $pgdp_{it}$ 表示经济发展水平; $X_{it}$ 为控制变量组合; $\mu_{it}$ 和 $\nu_t$ 分别表示时间效应和个体效应; $\varepsilon_{it}$ 表示随机干扰项;下标 $i$ 表示城市; $t$ 表示为年份。

门槛效应是指当一个变量指标达到一定值后,会使其他变量指标之间的关系发生转变<sup>[30]</sup>。本文为验证经济发展对环境污染是否存在基于城市创新行为的门槛特征,借鉴 Hansen 提出的门槛效应模型,利用不同阶段城市创新行为的门槛变量,考察核心解释变量经济发展水平与被解释变量环境污染之间的非线性关系,构建的门槛效应模型如式(2)所示:

$$\begin{aligned}
 poll_{it} = & \varphi_0 + \varphi_1 pgdp_{it} \cdot I(inno_{it} \leq \gamma) \\
 & + \varphi_2 pgdp_{it} \cdot I(inno_{it} > \gamma) \\
 & + \alpha X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it}
 \end{aligned} \quad (2)$$

式中,  $pgdp_{it}$  为核心解释变量;  $inno_{it}$  为门槛变量;  $I(\cdot)$  为示性函数; 当函数表达式成立时, 取值为 1, 反之为 0;  $\gamma$  为城市创新估计门槛值;  $\mu_i$  为个体固定效应;  $\varepsilon_{it}$  服从独立同分布, 估计原理是根据残差平方和(SSR)最小原理估计。

### 2.3 变量选取与数据来源

1) 被解释变量为环境污染指数( $poll$ )。相关研究表明: 环境污染主要来源于工业污染, 借鉴陈阳等<sup>[1]</sup>的设计, 对工业三废排放量进行标准化处理, 以工业  $so_2$ 、工业废水和工业烟尘排放量三者标准化后之和来表征城市环境污染( $poll$ )。此外, 为全面考察城市创新对环境污染的影响, 借鉴刘飞宇和赵爱清<sup>[24]</sup>的研究, 采用工业  $so_2$ 、工业废水和工业烟尘等工业三废排放量进一步来衡量环境污染水平, 分别记为  $so_2$ 、 $h_2o$ 、 $sd$ 。

2) 门槛变量为城市创新行为( $inno$ )。对于城市层面创新活动的衡量指标选择不同, 大多学者通常用创新水平来衡量, 采取的指标通常有专利申请授权量、专利授权量、技术市场成交额等。本研究借鉴寇宗来等<sup>[31]</sup>和杨小东等<sup>[32]</sup>的研究, 选用复旦大学产业发展研究中心发布的《中国城市和产业创新力报告 2017》<sup>[25]</sup>中城市创新指数来综合反映城市创新行为, 该报告通过计量方法构建不同维度的创新指数, 结合专利和创业两方面数据, 使用微观大数据计算指数保证了指数的前瞻性和即时性。因此, 该报告中的城市创新指数能够较为全面地反映城市创新行为, 为本文实证研究的稳健性提供了保障。

3) 核心解释变量为经济发展水平( $pgdp$ )。研究分析不同城市创新水平下经济发展水平对环境污染的影响及其作用程度。本研究采用人均地区生产总值( $pgdp$ )反映地区经济发展水平。通常情况下, 人均 GDP 是衡量一个国家或地区经济发展水平的重要指标, 因其同时考虑了生产和人口 2 个指标, 可以真实反映经济发展程度。这里预期不同

程度城市创新水平下, 经济发展对环境的作用程度不同。

4) 控制变量。由于环境污染的影响因素众多, 为了避免遗漏变量而产生内生性问题, 本研究选取能源消耗、产业结构、人口密度等指标作为主要控制变量。其中, 能源消耗借鉴秦炳涛<sup>[17]</sup>的做法, 用全社会用电量( $ele$ )来反映, 地区的经济发展离不开能源消耗, 电力产生需要消耗能源, 并会释放大量工业污染物, 从而会显著加剧环境污染; 产业结构用第三产业产值与第二产业产值比重( $ind$ )来反映, 一般情况下第三产业高端化发展可以吸纳高质量的劳动力集聚<sup>[28]</sup>, 通过实现产业结构升级助推环境质量改善; 人口密度借鉴陈阳和逯进<sup>[1]</sup>的做法, 用地区单位面积人口数( $per$ )来反映, 文中预期高素质人口集聚将会减少环境污染。

5) 数据来源。本研究样本为 2005—2016 年全国地级及以上城市, 考虑到数据可得性, 最终选取 285 个城市作为研究样本。其中, 工业三废排放量、经济发展水平、产业结构、人口、能源消耗等数据均来源于 2006—2017 年的《中国城市统计年鉴》。部分缺失数据采用插值法补充, 所有以货币为单位的数据均以 2005 年为基期进行消除通货膨胀处理, 对除城市创新以外的所有数据进行对数化处理。由于城市创新指数在计算时已经消除量纲, 且一些城市创新指数为 0, 这里不再对其取对数。

各变量经过处理后的描述性统计特征如表 1 所示。

表 1 变量的描述性统计

变量	样本	均值	标准差	最小值	最大值
环境污染	3420	1.936	0.266	0.171	2.843
城市创新行为	3420	8.321	45.430	0.000	1061.370
经济发展水平	3420	9.742	1.423	1.746	13.018
产业结构	3420	0.835	0.450	0.094	9.482
全社会用电量	3420	12.755	1.403	4.419	16.514
人口密度	3420	5.726	0.913	1.548	7.887

## 3 实证检验与结果分析

### 3.1 单位根检验和协整检验

由于单位根问题可能会造成自回归系数的估

计值向左偏向于0、传统的  $t$  检验失效以及出现伪回归等问题,因此,需要对面板数据进行单位根检验。本文采用 HT 检验对各变量进行单位根检验,HT 检验方程中的自回归系数均相等,适用于时间固定,截面维度较大的短面板。如表 2 所示,各变量均通过检验,所有变量均为平稳序列。为进一步检验变量间的长期均衡关系,采用 Kao 检验对变量进行协整分析,结果显示在 1% 的显著性水平下通过协整检验,说明各变量之间均具有长期协整关系。

表2 面板单位根检验结果

变量	Z 值	变量	Z 值	变量	Z 值
<i>poll</i>	-25.47***	<i>sd</i>	38.10***	<i>ind</i>	-19.14***
<i>so<sub>2</sub></i>	-52.21***	<i>inno</i>	-6.80***	<i>ele</i>	-56.82***
<i>h<sub>2</sub>o</i>	-28.55***	<i>pgdp</i>	-26.69***	<i>per</i>	-20.57***

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平下通过检验。

### 3.2 面板计量回归及稳健性检验

首先运用面板计量模型验证城市创新行为、经济发展与环境污染的关系,为进一步检验变量数据的稳健性,将工业三废排放量分别作为被解释变量进行回归。对于基准回归的参数估计,分别运用混合回归、随机效应和固定效应模型进行回归,固定效应回归模型的  $F$  值为 40.74,  $P$  值在 1% 水平下显著拒绝原假设,说明固定效应明显优于混合回归,应该允许每个个体拥有自己的截距项。此外, LM 检验和 Hausman 检验均显示在 1% 水平下显著拒绝原假设,故选择固定效应模型,如表 3 所示。

基准回归参数估计结果显示,为消除经济发展水平与环境污染的非线性关系,引入人均 GDP 的二次项 ( $pgdp^2$ ) 的情况下,人均 GDP 的一次项 ( $pgdp$ ) 系数显著为正,二次项 ( $pgdp^2$ ) 系数显著为负,说明经济发展水平与环境污染之间呈现“倒 U 型”关系,进一步验证了“环境库兹涅兹”假说。城市创新行为 (*inno*) 对环境污染 (*poll*) 具有显著的负向效应,意味着城市创新水平的提升有助于改善本地区的环境状况。产业结构 (*ind*) 系数显著为负,说明随着产业结构升级有助于降低环境污染,近年来,随着我国各地区产业结构的调整和优化,逐步淘汰

表3 基准回归参数估计结果

变量	<i>poll</i>	<i>so<sub>2</sub></i>	<i>h<sub>2</sub>o</i>	<i>sd</i>
<i>inno</i>	-0.000*** (-3.97)	-0.002*** (-5.05)	-0.000 (-0.10)	-0.001** (-2.24)
<i>ind</i>	-0.000*** (-7.92)	-0.001*** (-7.13)	-0.000*** (-5.95)	-0.000*** (-3.46)
<i>pgdp</i>	0.000*** (5.62)	0.000** (2.39)	0.000*** (4.31)	0.000*** (4.36)
<i>pgdp<sup>2</sup></i>	-0.022*** (-6.46)	-0.043** (-2.20)	-0.045*** (-3.86)	-0.163*** (-6.03)
<i>ele</i>	0.028*** (8.60)	0.073*** (3.90)	0.061*** (5.35)	0.188*** (7.19)
<i>per</i>	-0.108* (-1.90)	0.118 (0.36)	-0.222 (-1.12)	-1.152** (-2.53)
$C$	2.681*** (8.67)	9.981*** (5.62)	9.912*** (9.19)	17.622*** (7.12)
$R^2$	0.7523	0.6134	0.8177	0.4550
$Adj-R^2$	0.7294	0.5776	0.8008	0.4044
$F$	40.74	17.95	16.67	24.35
Kao 检验	-13.1015***	-23.1999***	-3.1985***	-26.9656***
样本量	3420	3420	yes	3420
地区固定效应	yes	yes	3420	yes

注: 括号中为  $t$  值; \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5% 和 1% 的显著性水平下通过检验。

高耗能、高污染等落后产能的同时,也提高了知识密集型和技术密集型产业份额,有效促进了地区经济绿色低碳发展,从而减少了环境污染。人口密度 (*per*) 系数显著为负,说明人口密度增加有助于降低环境污染,人口往往向创新水平发达的城市集聚,同时人才集聚有利于城市创新活动开展,城市创新行为进一步提升,从而改善环境状况。能源消耗量 (*ele*) 系数显著为正,表明能源消耗的增加会释放大量污染物,从而加剧了环境污染。

为验证实证结果的稳健性,文中依次将工业二氧化硫排放量 ( $SO_2$ )、工业废水排放量 ( $H_2O$ ) 和工业烟尘排放量 ( $SD$ ) 作为被解释变量纳入模型进行回归,结论与环境污染 (*poll*) 作为被解释变量的回归结果基本保持一致,且经济发展水平对环境污染的影响仍呈现倒“U”型关系,特别强调的是,城市创新行为 (*inno*) 对工业二氧化硫排放量 ( $SO_2$ ) 和工业烟尘排放量 (*sd*) 仍表现出显著的负效应,工业废

水排放量作为被解释变量的回归结果不显著,但符号为负,进一步验证了城市创新行为对环境污染的抑制作用,说明本文选择的变量数据具有稳健性,模型设定合理。

### 3.3 环境污染门槛效应检验结果

上文证明了城市创新行为有助于抑制环境污染,且经济发展水平对环境污染存在“倒U型”关系,因此,本文以城市创新行为作为门槛变量,经济发展水平为核心解释变量,进一步分析城市创新行为对环境污染的影响路径。

表4和表5所示为门槛效应检验结果,以城市创新行为作为门槛变量时,单一门槛在1%的显著

性水平下通过检验,门槛估计值为23.870,95%置信区间为[16.5650, 29.1000]。因此,可以判定经济发展水平和环境污染之间具有非线性关系,且经济发展水平对环境污染存在基于城市创新行为的单一门槛效应,最终选择单门槛模型。

表4 门限值及置信区间

模型	门限值	置信区间(下)	置信区间(上)
单一门槛估计值	23.8700	16.5650	29.1000
双门槛估计值1	23.8700	16.5650	29.1000
双门槛估计值2	0.5200	0.3900	0.5400
三门限估计值	76.9800	—	—

表5 面板门槛模型门限效应检验结果

门槛变量	门槛类型	RSS	MSE	F值	P值	Crit10	Crit5	Crit1
城市创新指数	单一门槛	60.5331	0.0178	38.77	0.0033	19.7658	24.2796	33.3793
	双重门槛	60.2539	0.0177	15.79	0.1233	16.4995	21.8082	35.9077
	三重门槛	60.1589	0.0177	5.38	0.6100	14.5587	19.1351	40.9404

注:crit10、crit5、crit1分别为10%、5%、1%显著水平下的临界值,通过Bootstrap反复抽样300次得到。

### 3.4 环境污染面板门槛效应结果分析

构建面板门槛模型来估计经济发展水平对环境污染的门槛效应,以城市创新行为作为门槛变量,经济发展水平作为核心解释变量,运用式(2)构建面板门槛模型,回归结果如表6所示,门槛值均通过1%的显著性水平检验,当城市创新指数在门槛值以下时,经济发展水平对环境污染的影响显著为正,此时经济发展水平提升会加剧环境污染;当城市创新指数跨过23.87门槛值时,经济发展水平对环境污染的影响具有显著为负,表明城市创新指数超过23.87,经济发展水平提升将有助于降低环境污染。由此说明,我国经济发展水平对环境污染存在基于城市创新行为的“单门槛效应”,城市创新行为不足时,经济发展会对环境造成威胁。同时,能源消耗、产业结构、人口密度等控制变量回归结果与基准回归参数估计结果一致。整体来看,随着创新驱动发展战略的不断深入,我国各地区城市创新水平显著提高,逐步加大了环境治理力度,产业转型升级效果渐显,高城市创新水平下的经济发展有利于环境状况的改善。

表6 门槛回归结果

变量	门槛模型	t值	观测值
<i>per</i>	-0.2257***	-4.19	—
<i>ind</i>	-0.0001***	-7.00	—
<i>ele</i>	0.0215***	7.06	—
创新指数≤23.87	0.0000***	8.60	3217
创新指数>23.87	-0.0000***	-3.79	203
常数项	2.9783***	9.81	—
$R^2$	0.0646	—	—
$F$	43.23***	—	—

注:括号中为t值;\*,\*\*、\*\*\*分别表示在10%、5%和1%的显著性水平下通过检验。

## 4 分地区讨论

描述性统计结果显示,我国城市创新指数之间存在较大的差异,这也说明城市创新存在明显的区域异质性特征。我国城市创新样本分布及跨越门槛值情况分别见表7和表8所示。从样本分布特征来看,共有3217个样本处于低创新水平组,占全部样本的94.06%,说明2005—2016年我国大部分城市存在创新行为不足的现象,城市创新水平较低,

仍未跨过门槛值。综合来看,2005—2016年低创新水平城市数量逐渐减少,高创新水平城市数量显著增加,表明我国城市创新水平不断跨越门槛值,其中东、中、西部地区跨过门槛值的城市分别为28、9、6,截止2016年,东部地区处于低创新水平组的城市最少,处于高创新水平组的城市最多,高创新水平样本数量分别为30、9、6,由此表明我国创新水平高的城市仍集中在东部地区。从跨越门槛值来看,东部地区北京和上海始终在高创新水平组,天津较早跨过门槛值,江苏、浙江、广东所属城市跨过门槛值数量分别为6、7、5,河北、辽宁、福建、山东所属城市跨过门槛值数量分别为1、2、2、4。截止2016年,东部只有海南省的海口和三亚未能跨过门槛值,中部和西部跨过门槛值的城市主要为省会城市,中部有太原、长春、哈尔滨、合肥、芜湖、郑州、洛阳、武汉、长沙,西部有南宁、成都、重庆、贵阳、昆明、西安。中部地区主要以食品制造加工、农业畜牧业、木材加工等传统产业或资源依赖型产业为主,缺少高端制造业,创新发展水平滞后,

而西部地区则由于自身要素禀赋和经济发展水平受限,整体经济实力仍显不足,对创新型企业的吸引力不够,投资力度较为匮乏,导致城市创新水平相对较低,实现绿色创新发展任重道远。

表7 城市创新样本分布特征

年份	低创新水平组				高创新水平组			
	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部
2005	283	99	100	84	2	2	0	0
2006	283	99	100	84	2	2	0	0
2007	282	98	100	84	3	3	0	0
2008	280	96	100	84	5	5	0	0
2009	278	94	100	84	7	7	0	0
2010	274	94	98	82	11	7	2	2
2011	267	89	98	81	18	12	3	3
2012	264	86	98	80	21	15	3	3
2013	262	86	98	78	23	15	5	3
2014	256	82	94	80	29	19	6	4
2015	248	82	94	72	37	24	8	5
2016	240	71	91	78	45	30	9	6
汇总	3217	1071	1164	982	203	141	61	26

表8 不同时间低于门槛值的城市数量统计

地区	创新指数				
	2005	2008	2011	2014	2016
东部	天津、河北11、辽宁14、江苏13、浙江11、福建9、山东17、广东21、海南2	河北11、辽宁14、江苏13、浙江10、福建9、山东17、广东20、海南2	河北10、辽宁13、江苏11、浙江9、福建9、山东16、广东19、海南2	河北11、辽宁12、江苏9、浙江9、福建7、山东15、广东17、海南2	河北10、辽宁12、江苏7、浙江4、福建7、山东13、广东16、海南2
中部	山西11、黑龙江12、吉林8、安徽16、江西11、河南17、湖北12、湖南13	山西11、黑龙江12、吉林8、安徽16、江西11、河南17、湖北12、湖南13	山西11、黑龙江11、吉林8、安徽16、江西11、河南17、湖北11、湖南12	山西10、黑龙江11、吉林8、安徽15、江西11、河南16、湖北11、湖南12	山西10、黑龙江11、吉林7、安徽14、江西11、河南15、湖北11、湖南12
西部	内蒙古9、广西14、重庆、四川18、贵州4、云南8、陕西10、甘肃12、宁夏6、新疆2	内蒙古9、广西14、重庆、四川18、贵州4、云南8、陕西10、甘肃12、宁夏6、新疆2	内蒙古9、广西14、四川17、贵州4、云南8、陕西9、甘肃12、宁夏6、新疆2	内蒙古9、广西14、四川17、贵州4、云南8、陕西9、甘肃12、宁夏6、新疆2	内蒙古9、广西13、四川17、贵州4、云南7、陕西9、甘肃12、宁夏6、新疆2

## 5 结论

基于2005—2016年中国285个城市的面板数据,将城市创新行为作为门槛变量,经济发展水平作为核心解释变量,运用基准回归参数估计和面板

门槛模型研究城市创新行为、经济发展对环境污染的直接影响特征和非线性关系。结果表明:(1)基于城市创新行为门槛,经济增长对环境污染整体上呈现“先促进,后抑制”的“倒U型”的单门槛非线性关系,当城市创新行为较低且处于门槛值之前时,

经济发展水平对环境污染呈现了显著的正向效应,而当城市创新水平跨越门槛值后,经济发展水平对环境污染表现出较强的抑制作用;(2)随着城市创新行为的不断改进,各地区相继跨越城市创新行为门槛值,但不同城市跨越门槛值存在区域分异特征,东部地区城市跨越创新行为门槛的数量高于中部和西部;(3)产业结构升级和人口集聚效应有助于降低环境污染,能源消耗的增加则会加剧环境污染。

基于本文研究结论可得出以下政策启示。

1) 大力提升城市创新行为,切实推进城市创新行为的减污效用。实证结果表明较高水平的城市创新行为有助于减少环境污染,要充分发挥城市创新行为对经济发展的正向作用,进而有效增强城市创新行为对环境污染的显著抑制作用,引导创新主体大力发挥创新引领作用。仍未跨越门槛值的城市,如海口、三亚及中西部多数城市,应积极吸引各类创新资源在本地聚集,引育科技创新企业,建设高能级研发机构,搭建平台助推创新资源对接,通过集聚效应全力提升城市的综合创新水平,打造具有本地特色的“美丽”城市。刚刚跨越门槛值的城市,如郑州、西安、长沙、武汉等,应根据本地区产业结构转型升级需求,整合人才和高校科研资源,构建完善的人才培养机制,强化高端人才的引进力度,提高人力资本,助推城市创新发展;创新水平已经成熟化的城市,如北京、上海、广州、深圳等超大城市,应大力建设产业科技创新基地和高端研发平台,支持鼓励中小型企业与龙头骨干企业开展多种形式的技术合作,打造产业创新发展聚合体,推进知识技术的外溢。与此同时,各城市还应依托城市老城区改造及智慧城市建设,充分利用数字经济、5G技术、大数据、云计算、产业互联网等新一代技术的发展,打造城市创新发展新模式。

2) 推进环境保护机制建设,加强城市协同创新高效发展。不同背景下的城市创新行为、经济发展水平对环境污染的影响存在明显的差异特征,实证结果显示仍有多数城市未跨越门槛值。各地区应以城市创新门槛值作为目标,因地制宜制定创新政策和激励机制,避免环境治理“一刀切”,积极引

导各城市不断跨过门槛值。一方面,各地区政府应加快推进绿色低碳领域关键核心技术的研发,充分发挥市场的主导作用,对应用绿色创新技术的企业给予适当补贴,促进绿色创新企业培育。同时,应打破地区边界,建立区域间利益共享和成本分担机制,发挥各地比较优势,降低环境治理成本和提升城市创新效率,形成良好减污机制;另一方面,针对我国东、中、西部地区差异,因城施策,各省市应发挥各自优势实施差异化的城市发展战略,打破行政利益限制,坚持协同、特色与错位发展,强化城市间的空间联系,增强产业协同效应。同时,应积极推进经济发达的沿海城市对中西部欠发达城市创新的精准帮扶,促进全域要素的有效流动和资源的优化配置,助推各地区的产业结构优化升级和城市创新行为的改进完善,从而有效改善生态环境,推进城市经济可持续发展。

3) 突出科技创新引领产业经济发展,营造良好的创新生态环境。实证结果表明经济发展过程中,提升城市创新水平是解决环境问题的关键,同时,产业结构优化升级能够显著降低环境污染。因此,各地区应重点强化产业科技支撑,依据地区资源要素禀赋重点培育和发展特色产业,加快构建创新产业生态体系,推动形成优势互补的区域经济合作和产业布局。高创新水平城市应以“科技+金融”赋能地区主导产业领域,拓宽企业融资渠道,并聚焦本地区重点领域、重点行业,推进主导产业与大数据、物联网、云计算等新业态融合创新,同时积极发挥对创新行为不足城市的带动和辐射作用,推动城市间的产业协同发展。针对传统工业城市,应以传统产业转型和升级为主线,引进绿色生产技术,并强化知识创造运用、保护以及高价值技术成果培育,推进智能科技、新型产业与传统工业融合发展,加快实现智能制造产业转型升级。

4) 加强绿色创新发展顶层设计,制定环境治理的有效政策。若要有效发挥城市创新行为对改善环境质量的积极作用,应以“创新”“绿色”为引领,制定完善的绿色发展政策体系,助力地区经济高质量发展。各地区应树立绿色创新和节能环保理念,建立绿色产业发展协调推进机制,出台绿色

产业发展的专项政策措施及配套政策。同时,引导更多的社会资本参与绿色技术研发与创新,增加政府采购的范围和力度,支持绿色产业服务外包和国际合作。此外,应放宽绿色产业服务消费领域市场准入,以重大政策清单推进绿色产业新业态发展,全面激活消费市场,并搭建绿色产业发展平台,打通绿色产业链“生产-加工-流通-服务”4大领域,推进本地区的产业链联动服务水平提升。此外,还应进一步强化绿色产业行业监管,推进绿色产业标准建设,实现绿色产业治理监管现代化。

### 参考文献(References)

- [1] 陈阳, 逯进, 于平. 技术创新减少环境污染了吗?——来自中国 285 个城市的经验证据[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2019, 39(1): 73-84.
- [2] 石大千, 丁海, 卫平, 等. 智慧城市建设能否降低环境污染[J]. 中国工业经济, 2018(6): 117-135.
- [3] 秦书生, 杨硕. 习近平的绿色发展思想探析[J]. 理论学刊, 2015(6): 4-11.
- [4] 张居营. 工业化进程中技术创新对环境污染的门槛效应——基于中国 283 个城市的实证分析[J]. 云南财经大学学报, 2019, 35(8): 34-42.
- [5] 彭水军, 包群. 经济增长与环境污染——环境库兹涅茨曲线假说的中国检验[J]. 财经问题研究, 2006(8): 3-17.
- [6] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American Free Trade Agreement[J]. Social Science electronic Publishing, 1991, 8(2): 223-250.
- [7] 包群, 彭水军, 阳小晓. 是否存在环境库兹涅茨倒 U 型曲线?——基于六类污染指标的经验研究[J]. 上海经济研究, 2005(12): 3-13.
- [8] 王敏, 黄滢. 中国的环境污染与经济增长[J]. 经济学, 2015, 14(2): 557-578.
- [9] 陆铭, 冯皓. 集聚与减排: 城市规模差距影响工业污染强度的经验研究[J]. 世界经济, 2014, 37(7): 86-114.
- [10] 王华星, 石大千. 新型城镇化有助于缓解雾霾污染吗——来自低碳城市建设的经验证据[J]. 山西财经大学学报, 2019, 41(10): 15-27.
- [11] 徐瑞. 产业集聚对城市环境污染的影响[J]. 城市问题, 2019(11): 52-58.
- [12] 苗建军, 郭红娇. 产业协同集聚对环境污染的影响机制——基于长三角城市群面板数据的实证研究[J]. 管理现代化, 2019, 39(3): 70-76.
- [13] 霍伟东, 李杰锋, 陈若愚. 绿色发展与 FDI 环境效应——从“污染天堂”到“污染光环”的数据实证[J]. 财经科学, 2019(4): 106-119.
- [14] 欧阳艳艳, 黄新飞, 钟林明. 企业对外直接投资对母国环境污染的影响: 本地效应与空间溢出[J]. 中国工业经济, 2020(2): 98-121.
- [15] Jaffe A B, Newell R G, Stavins R N. Technological change and the environment[J]. Handbook of Environmental Economics, 2000, 1(3): 461-516.
- [16] Wils I. The effects of three categories of technological innovation on the use and price of nonrenewable resources[J]. Ecological Economics, 2001, 37(3): 457-472.
- [17] 秦炳涛, 崔珍妮. 环境污染、人力资本与区域创新发展[J]. 技术经济, 2020, 39(2): 107-113.
- [18] Arik L. Technology, international trade, and pollution from US manufacturing[J]. American Economic Review, 2009, 99(5): 2177-2192.
- [19] 梁伟, 杨明, 张延伟. 城镇化率的提升必然加剧雾霾污染吗——兼论城镇化与雾霾污染的空间溢出效应[J]. 地理研究, 2017, 36(10): 1947-1958.
- [20] 刘国买, 俞立平. 技术创新的环境倾向研究[J]. 现代经济探讨, 2020(4): 101-108.
- [21] 黄娟, 汪明进. 科技创新、产业集聚与环境污染[J]. 山西财经大学学报, 2016, 38(4): 50-61.
- [22] 黄天航, 赵小渝, 陈凯华. 技术创新、环境污染和规制政策——转型创新政策的视角[J]. 科学学与科学技术管理, 2020, 41(1): 49-65.
- [23] 任亚运, 张广来. 城市创新能够驱散雾霾吗?——基于空间溢出视角的检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(2): 111-120.
- [24] 刘飞宇, 赵爱清. 外商直接投资对城市环境污染的效应检验——基于我国 285 个城市面板数据的实证研究[J]. 国际贸易问题, 2016(5): 130-141.
- [25] 寇宗来, 刘学悦. 中国城市和产业创新力报告 2017[R]. 上海: 复旦大学产业发展研究中心, 2017.
- [26] 王文普. 污染减排、外部性与环境技术创新: 来自省级环境专利的证据[J]. 统计与信息论坛, 2014, 29(7): 95-102.
- [27] 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(6): 95-108+195.
- [28] 玮娜. 中国环境污染治理科技创新及其机制研究[J]. 科学管理研究, 2017, 35(3): 30-33.
- [29] 姜照华, 马娇. 绿色创新与环境污染、能源消耗的相互关系研究[J]. 生态经济, 2019, 35(4): 160-166.

- [30] 任雪. 长江经济带经济增长对雾霾污染的门槛效应分析[J]. 统计与决策, 2018, 34(20): 138-141.
- [31] 寇宗来, 刘学悦, 刘瑾. 产业政策导致了产能过剩吗? ——基于中国工业行业的经验研究[J]. 复旦学报(社会科学版), 2017(5): 148-161.
- [32] 杨小东, 冉启英, 张晋宁. 城市创新行为、财政分权与环境污染[J]. 产业经济研究, 2020(3): 1-16.

## Urban innovation behavior, economic development and environmental pollution: Empirical analysis based on panel threshold model

FAN Xiaoli, LI Qiufang

Institute of Economics and Management, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

**Abstract** Based on the panel data of 285 cities from 2005 to 2016, the interactive relationship among the urban innovation behavior, the economic development and the environmental pollution is studied, and a panel threshold model is used, with the urban innovation behavior as the threshold, to verify the nonlinear relationship between the economic development and the environmental pollution. One sees an inverted U-shaped relationship between the levels of the economic development and the environmental pollution, and it is a single threshold nonlinear relationship based on the urban innovation behavior. Only when the level of the urban innovation crosses the threshold value, the economic development has a significant inhibitory effect on the environmental pollution. In the sample range, the level of the urban innovation constantly crosses the threshold, and the number of cities in the eastern region with the level of the urban innovation crossing the threshold is larger than those in the central and western regions. The industrial structure upgrading and the population agglomeration also help to reduce the environmental pollution, while the increase of the energy consumption will aggravate the environmental pollution. For all cities, the level of the urban innovation should be improved, to speed up the optimization and the upgrading of the industrial structure and to promote the development of green economy.

**Keywords** urban Innovation behavior; economic development; environmental pollution; threshold effect ●



(责任编辑 祝叶华)