

# 高铁开通、产业集聚与工业污染

范小敏<sup>1,2</sup>,徐盈之<sup>3</sup>

(1. 安徽财经大学 经济学院,安徽 蚌埠 233030;2. 安徽财经大学 合肥高等研究院,安徽 合肥 230051;  
3. 东南大学 经济管理学院,江苏 南京 211189)

**摘要:**近年来,高铁网络的快速覆盖持续降低要素流动成本,为要素的集聚提供了重要驱动力,而集聚经济往往在污染减排方面扮演着不容忽视的作用。从产业集聚视角挖掘高铁开通影响工业污染的内在机制,研究发现:(1)生产性服务业集聚和产业协同集聚水平的提升是高铁开通实现工业减排的重要机制。(2)高铁开通的产业集聚效应因城市的地理区位、经济规模、就业密度以及污染强度不同存在显著差异。(3)高铁开通提升本地生产性服务业集聚水平的同时产生空间上的负向溢出效应,但在提升本地制造业集聚的同时产生了空间上的正向溢出效应,从而导致高铁开通在降低本地污染强度的同时对邻地的污染状况产生正向溢出。(4)绿色生产效率的提升是高铁开通产生集聚减排效应的重要原因。

**关键词:**高铁开通;产业集聚;工业污染;绿色生产效率;双重差分

**中图分类号:**F061.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-6049(2023)05-0024-12

## 一、引言

自2008年中国第一条高速铁路开通以来,高铁已经迅速蔓延至辽阔的中国大地。高速铁路的连接将各地方市场织于同一张“高铁网”之下,不断削弱要素跨区域流动的空间壁垒,对区域产业的集聚产生不容忽视的影响<sup>[1-3]</sup>。产业集聚一方面会因规模扩张增加能源消耗而有利于污染治理,另一方面则会因规模效应和技术外溢效应助力污染的集中治理<sup>[4]</sup>。那么,产业集聚是否会成为高铁影响工业污染的重要机制呢?若是,要素的跨区域集聚现象是否同时伴随着污染的空间溢出?

近年来,一系列文献考察高铁开通与服务业集聚的因果关系,但并未得到较为一致的结论<sup>[1,5-7]</sup>。乔彬等<sup>[7]</sup>发现高铁开通通过要素整合效应提升生产性服务业集聚度。马红梅和郝美竹<sup>[1]</sup>发现高铁通过提高交通可达度、市场准入以及市场一体化程度促进生产性服务业集聚。宣烨等<sup>[8]</sup>发现高铁开通对高端服务业的多样化集聚水平具有显著促进作用,但对高端服务业专业化集聚影响并不明显。霍鹏和魏剑锋<sup>[3]</sup>发现高铁开通可通过资本转移效应、劳动力流动成本降低效应抑制知识密集型服务业集聚。另一支文献聚焦于探讨高铁对工业集聚的影响,同样得出了不尽一致的结论。李雪松和孙博文<sup>[9]</sup>考察发现高铁开通普遍提高城市制造业集聚水平。卢福财和詹先志<sup>[10]</sup>考察发现高铁开通促进

收稿日期:2023-06-20;修回日期:2023-09-10

**基金项目:**国家社会科学基金一般项目“数实融合驱动制造业低碳发展的机理与路径研究”(23BJY007);江苏高校学习贯彻党的二十大精神专题研究项目“推进江苏省减污降碳协同增效的路径与对策研究”(SJZT202313);2023年度江苏省社会科学应用研究精品工程发展规划专项课题“深入推进美丽江苏建设,推动人与自然和谐共生的现代化江苏新实践研究”(23SFG-11);安徽省高校科研计划重点项目“高质量发展目标下加快长三角制造业绿色转型发展研究:绩效评估、机制识别与路径优化”(2023AH050234)

**作者简介:**范小敏(1988—),女,安徽庐江人,经济学博士,安徽财经大学经济学院讲师,安徽财经大学合肥高等研究院讲师,研究方向为区域与城市经济、环境经济;徐盈之(1971—),女,浙江杭州人,经济学博士,东南大学经济管理学院教授,研究方向为环境经济。

地区工业劳动力的增加是其提升沿线城市工业集聚度的中介。魏泊宁等<sup>[2]</sup>则指出高铁开通显著降低了工业集聚度,其中成本效应是产生工业扩散的重要原因。在高铁环境效应的相关研究中,定量考察产业集聚的机制作用研究仍不多见。张般若和李自杰<sup>[11]</sup>在考察高铁开通对城市碳排放强度的影响中,发现经济集聚机制的中介效应不显著。与本文可能相关的研究还包括:张明志等<sup>[12]</sup>发现高铁开通可以通过增进服务业集聚实现城市生产效率的提升,张雪薇等<sup>[13]</sup>指出高铁通过推动生产性服务业集聚对劳动生产率产生正向促进作用。

综上所述,高铁促集聚或促扩散的影响尚未定论。本文聚焦考察产业集聚在高铁影响工业污染中的机制作用,以丰富高铁开通产生环境效应的机制研究。本文的边际贡献在于:其一,在研究内容上,深入探究异质性产业集聚对高铁环境效应的影响,包括从产业联动视角考察高铁开通对产业协同集聚的影响及其在工业污染中的作用;其二,从空间关联的视角,考察高铁开通对产业集聚与工业污染的空间溢出影响;其三,从绿色生产效率的视角切入,深入厘清产业集聚机制作用于高铁开通影响工业污染的具体路径。在研究方法上,本文主要以双重差分法(DID)为基础估计策略,并结合使用两阶段最小二乘法(2SLS)检验产业集聚的机制作用;构建空间自滞后模型(SLX)考察高铁开通影响产业集聚及工业污染的溢出效应;构建调节效应模型考察绿色生产效率的机制作用。

## 二、机理与假说

出于对高铁城市区位优势和市场潜力的偏好,制造企业倾向于做出投资于高铁城市的区位决策,从而产生制造业集聚现象。然而,过度的集聚会引发市场竞争效应,促使低效率的生产要素由生产成本较高的区域扩散至生产成本较低的区域,从而弱化制造业的集聚趋势。因此,高铁开通对制造业集聚的影响存在不确定性。制造业集聚一方面有利于发挥规模经济效应提高企业生产效率,从而降低排污强度,另一方面导致生产规模扩张,增加排污水平,从而不利于控制排污强度。生产性服务业大多为知识密集型产业,具有较大的人员、信息及知识传递需求,因此生产性服务业更易对高铁开通做出响应,从而更加倾向于向高铁城市集中<sup>[14]</sup>。不仅如此,高铁开通的时空压缩效应有效地推动了跨区域贸易成本的降低,扩大了多样化服务的服务半径,推动原本无法提供的服务变得有利可寻,从而促进生产性服务业的多样化集聚。由于生产性服务业具备低污染密集型特征,生产性服务业集聚还会通过技术外溢发挥共享、匹配以及学习效应,提升整个地区的生产效率<sup>[15]</sup>,从而降低排污强度。由此可见,高铁开通为产业集聚提供了便利的基础条件,而制造业和生产性服务业存在产业链上的互补需求,易通过相互吸引的方式在空间上产生产业协同集聚的趋势<sup>[4]</sup>。高铁开通同时降低了制造业与生产性服务业两个部门间的交易成本,增加了制造业部门与生产性服务业部门的面对面交流、要素共享与生产合作,产业关联机制将不断强化制造业与生产性服务业的协同集聚。产业协同集聚对提高制造业生产效率,实现制造业价值链攀升,进而推动工业生产的减污降排具有重要意义。基于此,本文提出假说1。

假说1:制造业集聚、生产性服务业集聚以及产业协同集聚将是高铁开通影响工业污染的重要机制。

高铁开通推动产业集聚的过程伴随着要素的跨区域流动,当高铁开通不断强化某区域的要素集聚力时,往往伴随着其他地区的要素流失。因此,高铁开通对产业集聚进而对工业污染的影响可能存在空间溢出效应。正如前文所述,制造企业对高铁区位的偏好可能产生制造业集聚现象,但同时市场竞争效应亦可能促使边际报酬较低的要素产生扩散趋势。因此,高铁开通在推动本地制造业集聚的同时,可能对周边城市的制造业集聚存在正向溢出,而边际报酬较低的要素往往是在市场竞争中被淘汰的、生产效率较低的、污染强度较高的产业资源,进而产业扩散将伴随着污染的空间溢出。高铁开通扩大本地的市场服务半径,一方面激励边际报酬较高的要素由市场潜能不足的地区流入高铁城市,另一方面促使多样化的专业技能由劳动分工单一的地区流入高铁城市。因此,高铁开通在推动本地生产性服务业集聚的同时可能加速周边地区的优质要素流失,进而对周边地区生产性服务业集聚产生负向溢出,而优质要素流失往往不利于当地的污染治理。综上,由于高铁开通可能对周边地区的制造业产生正向溢出,对周边地区的生产性服务业产生负向溢出,因此高铁开通在促进本地产业协同集聚的同时,可能不利于提升周边地区的产业协同集聚水平,从而不利于周边地区的制造业升级与清洁

化生产转型。由此,本文提出假说2。

假说2:高铁开通在推动本地制造业集聚、生产性服务业集聚以及产业协同集聚的同时可能产生制造业集聚的正向溢出与生产性服务业集聚和产业协同集聚的负向溢出,从而产生污染的空间溢出。

绿色生产效率的提升是决定一个地区降低污染强度的关键<sup>[16]</sup>。高铁开通有助于提升城市的市场潜力,增加企业需求,致使企业有资金能力投入绿色转型生产。在制造业集聚环境下,企业更易利用集聚环境外部性,通过合作、分享、学习、吸收产业集群的技术外溢,以较低的成本从事绿色技术研发,进而提升绿色生产效率。生产性服务业多为知识密集型产业,积聚了大量的高端科技人才,这为提升地区的绿色生产效率提供了丰裕的要素储备,由此产生的“劳动力池效应”能够充分发挥知识外溢效应,进而推动整个地区的绿色生产效率提升。同时,高铁开通对城市市场潜力的提升作用不断倒逼制造业价值链与生产性服务业在功能环节的分工与匹配,尤其是推动制造业与高端服务业的分工协作,推动制造企业旧有生产模式的解锁,帮助实现制造业价值链攀升,推动制造业价值链不断沿“微笑曲线”两端延伸,从而有益于企业绿色生产效率的提升。由此,本文提出假说3。

假说3:绿色生产效率的提升是产业集聚推动实现高铁开通降低工业污染的重要机制。

### 三、研究设计

#### (一) 模型构建

本文以 DID 为基准估计策略,构建如下模型检验产业集聚在高铁开通影响工业污染中的机制作用:

$$intensity_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 HSR_{it} + \alpha_2 \sum control_{it} + \mu_i + \eta_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$agg_{it} = \vartheta_0 + \vartheta_1 HSR_{it} + J_2 \sum control_{it} + v_i + \lambda_t + \xi_{it} \quad (2)$$

其中, $i$ 和 $t$ 分别代表城市和年份, $intensity$ 表示工业污染强度, $HSR$ 表示高铁变量, $agg$ 表示产业集聚变量, $control$ 为一系列控制变量。在模型(1)中, $\alpha_1$ 描述高铁开通对工业污染强度的影响系数, $\alpha_2$ 为控制变量的边际影响系数矩阵, $\mu_i$ 为个体固定效应, $\eta_t$ 为时间固定效应, $\varepsilon_{it}$ 为随机误差项。模型(2)中的各系数及参数与模型(1)相同。

#### (二) 变量与数据

##### 1. 工业污染强度

本文采用工业SO<sub>2</sub>排放强度( $\ln SO_2 intensity$ )描述工业污染强度,具体使用工业SO<sub>2</sub>排放量与第二产业实际增加值计算得到。

##### 2. 产业集聚

(1) 制造业集聚水平( $magg$ )。该变量采用区位熵指数衡量<sup>[1,8,17]</sup>。

$$magg_{it} = \left( e_{i,j} / \sum_j e_{i,j} \right) / \left( \sum_j e_{i,j} / \sum_i \sum_j e_{i,j} \right) \quad (3)$$

其中, $magg_{i,j}$ 表示 $t$ 年城市 $i$ 在产业 $j$ 上的集聚水平, $e_{i,j}$ 表示 $t$ 年城市 $i$ 在产业 $j$ 上的就业人数。

(2) 生产性服务业专业化集聚水平( $pagg$ )和多样化集聚水平( $hagg$ )。专业化集聚的测算方法同式(3)。采用霍斯曼—赫芬达尔指数衡量多样化集聚水平<sup>[7,18]</sup>:

$$hagg_{it} = 1 - \sum_{s=1}^5 \left( e_{i,s} / \sum_{s=1}^5 e_{i,s} \right)^2 \quad (4)$$

其中, $hagg_{i,s}$ 表示 $t$ 年城市 $i$ 生产性服务业的多样化集聚水平, $s$ 表示生产性服务业的种类, $e_{i,s}$ 表示 $t$ 年城市 $i$ 的生产性服务业 $s$ 的就业人数<sup>①</sup>。

(3) 产业协同集聚水平( $coagg$ )。本文采用生产性服务业与制造业集聚的相对差异来衡量<sup>[19-20]</sup>。

$$coagg_{it} = 1 - |magg_{it} - pagg_{it}| / (magg_{it} + pagg_{it}) \quad (5)$$

①参照国家统计局的划分标准,将“交通运输、仓储和邮政业”“信息传输、计算机服务和软件业”“金融业”“租赁和商业服务业”“科学研究、技术服务和地质勘查业”归为生产性服务业。

其中,  $magg_{it}$ 、 $pagg_{it}$  分别表示城市  $i$  在  $t$  年的制造业区位熵指数和生产性服务业的区位熵指数。

### 3. 高铁变量

本文设置 0 和 1 虚拟变量描述高铁开通状况 ( $HSRdum$ ), 同时使用高铁车站数量反映各个城市的高铁服务水平 ( $HSRstation$ )。

### 4. 控制变量

具体包括以下变量: (1) 经济发展水平 ( $\ln PerGDP$ ), 采用城市的实际人均 GDP 度量; (2) 科学技术水平 ( $Tech$ ), 采用财政支出中科技支出占比度量; (3) 对外开放水平 ( $Open$ ), 采用城市当年实际使用外资金额占 GDP 的比重衡量; (4) 公路客运量 ( $Road$ ), 采用高速公路的客运量衡量; (5) 城市化水平 ( $Urban$ ), 采用建成区面积占城市总面积之比来衡量; (6) 环境规制 ( $ER$ ), 采用一般工业固体废物综合利用效率衡量<sup>[21]</sup>。

### 5. 数据来源

高铁相关数据主要来自国家铁路局网站及公开资料, 其他数据主要来自历年《中国城市统计年鉴》及各省市的统计年鉴。本文剔除考察期内数据缺失严重、发生重大行政区划调整以及撤地设市的城市, 如巢湖、铜仁、毕节、拉萨等, 缺失值采用插值法补齐, 最终构建了 2004—2018 年中国 285 个地级及以上城市的平衡面板数据。其中, 本文所有使用的产值变量均以 2004 年为基期使用历年地区 GDP 指数将名义值折算成实际值。表 1 报告了变量的描述性统计情况。

表 1 变量的描述性统计情况

变量	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
$\ln SO_2 intensity$	4 275	4. 442 5	1. 352 8	-3. 028 2	8. 375 4
$HSRdum$	4 275	0. 280 2	0. 449 2	0	1
$HSRstation$	4 275	0. 796 0	1. 622 6	0	13
$\ln magg$	4 275	-0. 319 7	0. 628 9	-3. 861 3	1. 112 3
$\ln pagg$	4 275	-0. 276 6	0. 356 7	-2. 448 3	1. 040 9
$\ln hagg$	4 275	-0. 333 7	0. 076 6	-1. 578 1	-0. 223 7
$\ln coagg$	4 275	-0. 367 7	0. 325 7	-2. 924 1	-0. 000 1
$\ln PerGDP$	4 275	10. 080 6	0. 847 2	7. 660 7	12. 781 4
$Tech$	4 275	1. 251 1	1. 321 8	0. 026 5	13. 088 5
$Open$	4 275	1. 925 6	2. 098 4	0	21. 006 6
$Road$	4 275	0. 787 7	1. 295 1	0. 005 6	19. 559 7
$Urban$	4 275	8. 437 8	9. 519 1	0. 117 7	95. 305 2
$ER$	4 275	78. 575 9	23. 185 7	0	100

## 四、基准估计结果

### (一) 产业集聚对高铁环境效应的影响

为了克服可能存在的内生性问题, 本文采用 2SLS 法检验产业集聚机制在高铁环境效应中的作用。具体地, 选取历史客运量 (地级城市 1990 年客运总量) 与时间哑变量的乘积作为高铁开通的工具变量进行估计<sup>[22-24]</sup>, 结果报告于表 2。表 2 中的列 (1) 和列 (6) 显示, 高铁开通具有显著的工业减排效应; 列 (2) 至列 (5) 及列 (7) 至列 (10) 显示, 高铁开通对制造业集聚的影响为正, 显著性不高, 高铁开通显著提高了生产性服务业的专业化集聚水平、多样化集聚水平以及产业协同集聚水平。表 3 进一步报告了异质性产业集聚对工业污染强度的影响。结果显示, 制造业集聚不利于降低工业污染强度, 说明制造业集聚引发的生产规模扩张抑制了排污强度的下降, 生产性服务业集聚均能显著降低工业污染强度。同时, 产业协同集聚显著降低了工业污染强度, 说明产业的融合、互补、联动发展有助于提升制造生产效率, 发挥显著的工业减排效应。综上所述, 高铁开通整体上具有促进产业集聚的影响效应, 尤其提高了生产性服务业集聚与产业协同集聚, 其中制造业集聚在一定程度上不利于降低工业污染强度, 生产性服务业集聚与产业协同集聚则是高铁开通降低工业污染强度的重要机制。因此, 假说 1 得证。

表 2 产业集聚机制的检验结果 (2SLS 估计)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	$\ln SO_2 intensity$	$\ln magg$	$\ln pagg$	$\ln hagg$	$\ln coagg$	$\ln SO_2 intensity$	$\ln magg$	$\ln pagg$	$\ln hagg$	$\ln coagg$
$HSRdum$	-0. 427 7** (0. 214 9)	0. 356 4* (0. 210 9)	0. 550 1*** (0. 191 0)	0. 067 8** (0. 028 7)	0. 509 5** (0. 199 3)					

表 2(续)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	$\ln SO_2 intensity$	$\ln magg$	$\ln pagg$	$\ln hagg$	$\ln coagg$	$\ln SO_2 intensity$	$\ln magg$	$\ln pagg$	$\ln hagg$	$\ln coagg$
<i>HSRstation</i>						-0.1092** (0.0530)	0.0554 (0.0503)	0.1604*** (0.0481)	0.0172** (0.0068)	0.1113** (0.0455)
K-P rk LM			41.830***					45.458***		
K-P rk Wald F			10.740					10.448		
N	4275	4275	4275	4275	4275	4275	4275	4275	4275	4275

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类到城市层面的稳健标准误;上述所有方程均包括常数项、控制变量、地区固定效应以及年份固定效应。

## (二) 高铁开通影响产业集聚的动态特征

本文参考 Beck *et al.* [25] 的研究思路,构建如下模型,考察高铁开通影响产业集聚的动态效应:

$$agg_u = \vartheta_0 + \sum_{\tau=1}^8 \delta_{\tau} HSRdum_{i,t-\tau} + \sum_{\omega=1}^8 \rho_{\omega} HSRdum_{i,t+\omega} + J_2 \sum Control_u + v_i + \lambda_i + \xi_u \quad (6)$$

其中,系数  $\delta_{\tau}$  用以考察高铁开通前处理组与控制组产业集聚水平的平行趋势;系数  $\rho_{\omega}$  用以考察高铁开通后高铁影响产业集聚的动态效应。其他变量及系数与前文相同。

模型(6)的估计结果如图1所示。首先,高铁开通对不同产业集聚的影响在高铁开通前均不显著,因此可以排除高铁开通的产业集聚效应受组间差异的影响。其次,高铁开通的产业集聚效应具有明显的时间动态特征。高铁开通后对制造业集聚的影响效应呈先增后降的倒“U”型趋势,可见高铁开通对制造业集聚的正向作用在长期并不显著。生产性服务业专业化集聚水平在高铁开通后的第8年开始显著提升,生产性服务业多样化集聚水平则在高铁开通后的第5年开始显著提升,且该促集聚效应随着高铁服务时间的增加逐年递增。高铁开通对产业协同集聚的影响在高铁开通后的第5年转为正,并在高铁开通后的第8年显著为正,说明高铁开通促进产业协同融合发展存在较为明显的时间滞后性。综上所述,制造业集聚在短期对工业减排产生的制约效应可能会因低效率制造业扩散、制造业转型升级等方式得以缓解。同时,随着高铁服务时间的增加,生产性服务业集聚和产业协同集聚效应提升,进而高铁的工业减排效应在长期会得到强化。

## (三) 高铁开通影响产业集聚的异质性检验

表4报告了高铁开通影响产业集聚的异质性检验结果。

### 1. 东部地区与中西部地区

高铁开通对产业集聚的影响在东部与中西部地区存在显著差异。一是,高铁开通显著提高了中西部地区制造业集聚水平,但降低了东部地区的制造业集聚水平。东部地区的制造业集聚水平及要素成本显著高于中西部地区,因此不断提升的要素成本将促使低效率要素的流出产生扩散效应。而拥有较低要素成本的中西部地区则能够较好地承接东部地区的产业转移并吸引制造业集聚。二是,高铁开通显著提升了东部地区生产性服务业的专业化及多样化集聚水平,但这一影响在中西部地区的边际效应及显著性均明显低于东部地区。东部地区拥有更加丰裕的要素资源和雄厚的经济基础,其在吸引优质要素流入方面具有显著优势。此外,东部地区拥有更大的市场潜力、更丰富的劳动分工

表 3 产业集聚影响工业污染的检验结果

变量	被解释变量: $\ln SO_2 intensity$			
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\ln magg$	0.0523* (0.0315)			
$\ln pagg$		-0.3357*** (0.0372)		
$\ln hagg$			-0.4975** (0.2054)	
$\ln coagg$				-0.1571*** (0.0410)
N	4275	4275	4275	4275

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类到城市层面的稳健标准误;上述所有方程均包括常数项、控制变量、地区固定效应以及年份固定效应。

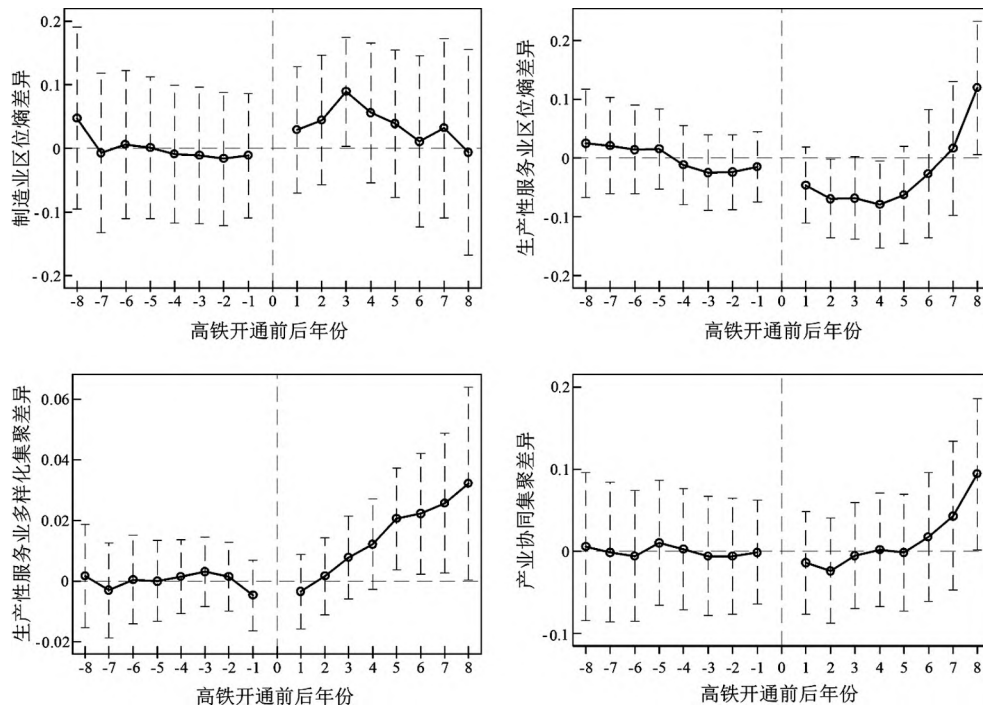


图1 高铁开通影响产业集聚的动态效应

注:图中圆圈为估计系数,虚线为估计系数95%的置信区间。

以及更多样化的服务业市场需求,因此生产性服务业更倾向聚集于与其有更高匹配度的市场。三是,高铁开通显著提升了东部地区的产业协同集聚水平,而该影响在中西部地区并不显著。在东部地区,较大的市场规模为产业融合发展创造了要素基础及协同集聚的动力,而中西部地区因市场潜力相对不足,还未形成产业互促的联动机制,无法为产业协同集聚提供良好的支撑条件。

## 2. 经济发达地区与经济欠发达地区

本文依据实际人均GDP均值将样本分为经济发达和经济欠发达地区。结果发现:(1)高铁开通对制造业集聚的影响在经济发达地区不显著,在经济欠发达地区则存在显著的促集聚效应,说明经济发达地区可能因制造业集聚引起的要素成本上升产生了挤出效应,从而抑制了高铁开通的促集聚效应。(2)高铁开通显著促进了经济发达地区生产性服务业的专业化及多样化集聚,这一影响在经济欠发达地区不显著,且影响系数大多为负。可能的原因与前文类似,经济发达地区拥有更大的市场潜力和服务范围,在吸引优质要素、多样化产业要素流入方面具有显著优势,而欠发达地区在高铁开通背景下因市场需求不足可能发生要素流失现象。(3)高铁开通显著推动经济发达地区的产业协同集聚,对经济欠发达地区的影响不显著。其原因在于:一是,经济欠发达地区的生产性服务业集聚力不足,抑制了其于制造业的融合发展;二是,经济欠发达地区因产业集聚度不足,无法充分发挥规模经济效益和知识溢出效应,故而触发产业关联机制的动力受限。

## 3. 就业密度高地区与就业密度低地区

本文根据第二产业和第三产业就业密度(使用单位面积上第二产业和第三产业的就业人数衡量)的均值将样本划分为就业密度高与就业密度低地区。结果显示:(1)高铁开通显著降低就业密度高地区的制造业集聚水平,而对就业密度低地区的制造业集聚影响为正,这说明在就业密度较高的地区,高铁开通可能会对低效率劳动力产生挤出效应,从而在一定程度上产生扩散效应。(2)高铁开通显著提升就业密度高地区的生产性服务业集聚与产业协同集聚水平,而在就业密度低的地区该影响不显著。就业密度高地区往往拥有更专业化的分工以及更多样化的市场需求,高铁开通能够有效吸引拥有高科技含量和高附加值的产品以及高端人才的集聚,且较高的产业集聚水平更易激发产业间的互

补需求,强化产业关联效应,从而推动产业协同集聚水平。

#### 4. 污染强度高的地区与污染强度低的地区

根据工业 SO<sub>2</sub> 排放强度的均值将样本划分为污染强度高与污染强度低的地区。结果显示:(1)高铁开通对制造业集聚的影响在污染强度高的地区为负,在污染强度低的地区该影响为正,说明在污染强度高的地区高铁开通不利于制造业集聚,在要素流动成本降低的情况下,制造业更倾向集聚于污染强度更低的地区。(2)在污染强度高的地区,高铁开通不利于生产性服务业专业化集聚、多样化集聚以及产业协同集聚,而在污染强度低的地区,这一影响均显著为正。污染强度高的地区往往是资源依赖型发展模式,经济结构存在低端锁定特征,其对知识密集型的生产性服务业集聚能力不足,高铁开通反而加速优质要素流失。同时,生产性服务业集聚规模不足无法深入延伸至制造业生产链的各个环节,从而制约产业融合发展,进而导致产业协同集聚进程受阻,因此高铁开通亦无法有效推动污染强度高地区的产业协同集聚。

表 4 高铁开通影响产业集聚的异质性检验结果(2SLS 估计)

变量	东部地区				中西部地区			
	lnmagg	lnpagg	lnhagg	lncoagg	lnmagg	lnpagg	lnhagg	lncoagg
HSRdum	-0.439 4 *	0.755 3 **	0.094 6 **	0.424 8 **	0.634 7 *	0.303 7	0.042 4	0.301 5
	(0.264 0)	(0.314 6)	(0.047 6)	(0.213 7)	(0.334 3)	(0.206 2)	(0.038 4)	(0.247 5)
N	1 515	1 515	1 515	1 515	2 760	2 760	2 760	2 760
变量	经济发达地区				经济欠发达地区			
	lnmagg	lnpagg	lnhagg	lncoagg	lnmagg	lnpagg	lnhagg	lncoagg
HSRdum	0.119 6	1.022 7 ***	0.205 8 **	0.649 5 **	1.552 2 **	-0.120 3	-0.065 3	0.620 7
	(0.286 4)	(0.339 2)	(0.080 7)	(0.254 6)	(0.725 8)	(0.255 4)	(0.076 9)	(0.419 4)
N	2 087	2 087	2 087	2 087	2 188	2 188	2 188	2 188
变量	就业密度高地区				就业密度低地区			
	lnmagg	lnpagg	lnhagg	lncoagg	lnmagg	lnpagg	lnhagg	lncoagg
HSRdum	-0.491 0 **	1.279 1 ***	0.099 5 *	0.797 0 ***	0.445 9	-0.038 7	-0.053 8	0.142 1
	(0.249 3)	(0.430 8)	(0.054 7)	(0.303 1)	(0.362 3)	(0.183 7)	(0.074 3)	(0.252 2)
N	1 066	1 066	1 066	1 066	3 209	3 209	3 209	3 209
变量	污染排放强度高地区				污染排放强度低地区			
	lnmagg	lnpagg	lnhagg	lncoagg	lnmagg	lnpagg	lnhagg	lncoagg
HSRdum	-0.134 6	-0.510 5	-0.012 9	0.042 0	0.248 0	0.826 1 ***	0.090 8 **	0.553 1 **
	(0.526 4)	(0.322 7)	(0.065 7)	(0.427 1)	(0.238 4)	(0.258 8)	(0.039 4)	(0.223 3)
N	1 259	1 259	1 259	1 259	3 016	3 016	3 016	3 016

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类到城市层面的稳健标准误;上述所有方程均包括常数项、控制变量、地区固定效应以及年份固定效应。其中,使用HSRstation作为高铁变量的估计结果与表4的估计结果基本保持一致,备索。

#### (四) 稳健性检验

本文通过替换其他工业污染物(工业烟粉尘排放强度和工业废水排放强度)、高铁变量滞后一期以及使用PSM-DID的估计方法对前文估计结果进行稳健性检验。检验结果显示,上述结论具有较好的稳健性<sup>①</sup>。此外,本文分别参考Borusyak *et al.* [26]和Gardner [27]提出的插补估计和两阶段双重差分法,对模型(1)和(2)进行再估计,异质性-稳健估计量与前文估计结果基本一致。

#### 五、空间溢出效应检验

为检验空间关联视角下高铁开通产生的空间溢出效应,构建如下SLX模型<sup>[28]</sup>:

$$intensity_{it} = \theta_0 + \theta_1 HSR_{it} + \theta_2 WHSR_{it} + \theta_3 \sum control_{it} + \omega_i + \tau_t + v_{it} \quad (7)$$

①由于篇幅限制,稳健性检验结果未在文中报告,如有兴趣,可向作者索取。

$$agg_{it} = \sigma_0 + \sigma_1 HSR_{it} + \sigma_2 WHSR_{it} + \sigma_3 \sum control_{it} + \pi_i + \chi_t + \zeta_{it} \quad (8)$$

在  $WHSR$  中,  $W$  为空间权重矩阵。本文采用标准化后的基于地理距离倒数的空间权重矩阵, 其他变量及参数与前文相同。

表 5 报告了空间自滞后模型的估计结果, 由此可以发现: (1) 高铁开通有助于本地减排却对邻地的工业污染强度造成了不利影响, 可能是周边城市承接了来自高铁城市的低效率高排放产业的扩散以及受高铁城市虹吸效应影响发生优质要素流出。(2) 高铁开通虚拟变量显著提升了本地制造业集聚水平, 对邻地制造业集聚影响为正且不显著, 高铁站数量的增加对本地制造业集聚水平影响为正且不显著, 但显著提升了邻地制造业的集聚水平, 说明高铁开通在吸引要素集聚的同时也会产生要素的溢出。(3) 高铁开通显著提升了本地生产性服务业集聚水平以及产业协同集聚水平, 降低了邻地生产性服务业的集聚水平与产业协同集聚水平, 说明高铁开通在提升本地生产性服务业集聚力的同时造成了周边地区优质要素的流失。

表 5 空间自滞后模型的估计结果 (2SLS 估计)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	$\ln SO_2 intensity$	$\ln magg$	$\ln pagg$	$\ln hagg$	$\ln coagg$	$\ln SO_2 intensity$	$\ln magg$	$\ln pagg$	$\ln hagg$	$\ln coagg$
$HSRdum$	-0.533 2** (0.269 3)	0.382 9* (0.221 3)	0.739 2*** (0.224 3)	0.090 7*** (0.033 6)	0.645 5*** (0.239 2)					
$WHSRdum$	1.479 5* (0.831 2)	0.352 4 (0.698 6)	-2.731 3*** (0.622 7)	-0.325 3*** (0.092 9)	-1.972 9*** (0.640 9)					
$HSRstation$						-0.117 5* (0.060 9)	0.056 3 (0.051 6)	0.172 1*** (0.048 0)	0.018 4*** (0.007 1)	0.118 3** (0.047 2)
$WHSRstation$						0.150 5 (0.112 2)	0.196 5* (0.111 1)	-0.535 4*** (0.115 4)	-0.042 4** (0.017 0)	-0.299 0*** (0.096 7)
K-P rk LM			36.198***					38.578***		
K-P rk Wald F			10.047					8.928		
adj. R <sup>2</sup>	0.691 7	0.516 0	-0.129 2	0.049 8	-0.232 2	0.696 8	0.530 3	0.014 0	0.105 1	-0.020 2
N	4 275	4 275	4 275	4 275	4 275	4 275	4 275	4 275	4 275	4 275

注: \*\*\*、\*\* 和 \* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平下显著, 括号内为聚类到城市层面的稳健标准误; 上述所有方程均包括常数项、控制变量、地区固定效应以及年份固定效应。

本文在模型(8)的基础上以工企密度(单位面积规模以上工业企业数量)为被解释变量, 考察高铁开通是否产生了制造业扩散效应。表 6 估计结果显示, 高铁开通显著降低了本地工企密度, 增加了邻地工企密度, 说明高铁开通促使工业企业转移至邻地引发制造业扩散效应。进一步地, 高铁开通显著降低了本地的市辖区工企密度, 对非市辖区工企密度的影响不显著, 说明高铁开通产生的扩散效应主要源自市辖区的产业迁出。原因在于, 市辖区的工企密度往往高于非市辖区的工企密度, 高铁开通背景下随着集聚水平的提升, 市辖区的“拥挤效应”将对市辖区工业企业产生挤出。至此, 假说 2 得以验证。

表 6 高铁开通对本地及邻地工企密度的影响 (2SLS 估计)

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	工企密度	市辖区工企密度	非市辖区工企密度	工企密度	市辖区工企密度	非市辖区工企密度
$HSRdum$	-0.674 8*** (0.256 8)	-0.667 7** (0.263 0)	-0.007 1 (0.016 8)			
$WHSRdum$	1.503 6*** (0.574 8)	1.456 8** (0.581 9)	0.046 8 (0.046 3)			
$HSRstation$				-0.133 7*** (0.049 4)	-0.130 1*** (0.050 1)	-0.003 5 (0.003 6)
$WHSRstation$				0.060 0 (0.079 3)	0.038 6 (0.078 0)	0.021 4** (0.010 5)
N	4 275	4 275	4 275	4 275	4 275	4 275
adj. R <sup>2</sup>	0.181 3	0.157 2	0.549 8	0.384 5	0.368 6	0.533 4

注: \*\*\*、\*\* 和 \* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的显著性水平下显著, 括号内为聚类到城市层面的稳健标准误; 上述所有方程均包括常数项、控制变量、地区固定效应以及年份固定效应。



## 六、绿色生产效率的机制检验

本文进一步检验绿色生产效率的作用机制。具体地,构建如下调节效应模型:

$$intensity_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 efficiency_{it} + \gamma_2 agg_{it} \times efficiency_{it} + \gamma_3 \sum control_{it} + o_i + l_t + \tau_{it} \quad (9)$$

其中,  $efficiency$  为绿色生产效率,其他的变量及参数与前文相同。绿色生产效率采用 DEA 方法测算,其中投入变量包括劳动力(就业人数)、资本存量(采取永续盘存法计算)<sup>[29]</sup>、以及能源消耗(用电量),产出变量中期望产出为实际人均 GDP,非期望产出包括工业 SO<sub>2</sub> 排放量、工业烟粉尘排放量以及工业废水排放量。

首先,本文区分高铁开通前与高铁开通后两个样本组以分别估计模型(9),结果报告于表 7 和表 8 中<sup>①</sup>。可以发现,高铁开通前制造业集聚、生产性服务业多样化集聚与产业协同集聚未能通过提升绿色生产效率产生减排效应;而在高铁开通之后绿色生产效率与以上产业集聚交互项的系数均显著为负,且其显著性相较于高铁开通前有了较为明显的提升,说明绿色生产效率的提升是高铁开通产生集聚减排效应的重要原因。高铁开通提升产业集聚水平通过充分发挥规模经济效益、知识溢出效应以及劳动力池效应等降低了企业从事绿色转型生产的成本,且通过产业协同集聚效应不断推动制造业价值链攀升,从而推动整个产业集群的绿色生产效率。因此,假说 3 得证。值得注意的是,首先,与生产性服务业集聚及产业协同集聚在强化绿色生产效率的减排效应方面相比,制造业集聚的作用并不显著,说明制造业集聚引发规模扩张未能显著提升绿色生产效率;其次,绿色生产效率与生产性服务业专业化集聚的交互项系数及其显著性在高铁开通后均有所降低,原因在于,专业化集聚会导致要素成本上升产生要素拥挤效应,迫使生产要素向要素成本较低的城市扩散<sup>[8,30]</sup>,从而稀释了集聚效应的外部经济,不利于知识外溢以及企业集群间的共享合作,这在一定程度上抑制了专业化集聚提升绿色生产效率的作用。

表 7 绿色生产效率的作用机制检验(高铁开通前样本)

变量	被解释变量: $\ln SO_2 intensity$				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
$ln efficiency$	-0.8361*** (0.2347)	-0.7499*** (0.2005)	-0.9362*** (0.2639)	-0.9426*** (0.2788)	-0.7902*** (0.2468)
$ln efficiency \times ln magg$		0.8326** (0.3563)			
$ln efficiency \times ln pagg$			-0.8481** (0.3893)		
$ln efficiency \times ln hagg$				-0.6717 (1.4047)	
$ln efficiency \times ln coagg$					0.3010 (0.3707)
N	1369	1369	1369	1369	1369
adj. R <sup>2</sup>	0.5801	0.5967	0.5899	0.5803	0.5808

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类到城市层面的稳健标准误;上述所有方程均包括常数项、控制变量、地区固定效应以及年份固定效应。

为了考察绿色生产效率作用机制的稳健性,本文进一步参考杨思莹和李政<sup>[31]</sup>的方法,重新构造

<sup>①</sup>具体分组方法为,将样本期内自始至终均未开通高铁的城市删除,只保留样本期内开通高铁的城市,然后按照高铁开通时间划分开通高铁前和开通高铁后两个子样本。

高铁开通前和高铁开通后样本,以保证高铁开通前后的城市样本相同。结果发现,高铁开通后生产性服务业多样化集聚与产业协同集聚水平的提升能够更加显著地强化绿色生产效率降低工业污染强度的作用,与上述结论保持一致<sup>①</sup>。

表 8 绿色生产效率的作用机制检验(高铁开通后样本)

变量	被解释变量: $\ln SO_2 intensity$				
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>lninefficiency</i>	-1.1277*** (0.5730)	-1.2428*** (0.2203)	-1.1768*** (0.5892)	-1.6575*** (0.2984)	-1.3614*** (0.2457)
<i>lninefficiency</i> × <i>lnmagg</i>		-0.1815 (0.1292)			
<i>lninefficiency</i> × <i>lnpagg</i>			-0.3825* (0.1961)		
<i>lninefficiency</i> × <i>lnhagg</i>				-1.6569*** (0.5735)	
<i>lninefficiency</i> × <i>lncoagg</i>					-0.3401* (0.1788)
N	827	827	827	827	827
adj. R <sup>2</sup>	0.6955	0.7011	0.6993	0.7107	0.7046

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%和10%的显著性水平下显著,括号内为聚类到城市层面的稳健标准误;上述所有方程均包括常数项、控制变量、地区固定效应以及年份固定效应。

## 七、结论与启示

高铁的开通运营为要素的集聚生产营造了便利的外部环境,集聚经济提升绿色生产效率对工业污染强度产生不容忽视的作用。本文基于中国2004—2018年285个地级及以上城市的面板数据,考察高铁开通、产业集聚与工业污染间的内在关系。主要的结论与启示如下:

第一,生产性服务业集聚、产业协同集聚是推动高铁开通实现工业减排的重要机制。因此,产业集聚视角下大力推动高铁建设是实现工业减排的重要举措。一方面,依托高铁发展推动生产性服务业集聚,加速形成产业的分工与互补,充分发挥生产性服务业集聚的正外部性;另一方面,大力推动生产性服务业与制造产业互补,加速制造产业转型升级,推进产业融合发展以及工业的绿色化生产进程,不仅有助于缓解当前制造业集聚对工业减排的不利影响,还能充分发挥产业协同集聚的减排效应。

第二,高铁开通对产业集聚存在异质性影响,不同条件下高铁开通会产生要素集聚或要素扩散的影响差异。因此各地方政府在追求高铁建设时应摒弃“一刀切”式的盲目竞争。如在经济欠发达地区,政府应着力营造宽松适宜的产业集聚环境;加大对产业集聚的财税支持,推进构建多元化产业园区,着力打造融资服务平台、技术创新平台、资源共享平台等以支持产业集群的专业化及多样化发展;推动建立产业联动机制,促进产业分工协作,如通过细化合作内容,制定促进分工的要素配置政策以及促进融合的利益分享机制,推动产业链上下游延伸发展,从而提升产业协同集聚水平。

第三,在空间关联视角下,高铁开通对产业集聚及工业污染的影响存在空间溢出效应。因此,依托高铁服务发挥集聚减排效应的同时不应忽视可能产生的污染溢出。具体而言,地区间应推行差异化的产业发展策略,尤其是未开通高铁地区及高铁服务强度相对较弱的地区,应与优势地区形成产业分工与互补的发展格局,避免与优势地区产生同质资源竞争,以此提升地方的要素集聚力并

<sup>①</sup>由于篇幅限制,该结果未在文中报告,如有兴趣,可向作者索取。

稳定地方的比较优势,从而克服产业资源跨区域转移过程中伴随的污染溢出问题。

第四,绿色生产效率的提升是高铁开通产生集聚减排效应的重要原因。因此借助高铁服务强化要素集聚力,充分发挥规模经济并放大技术外溢性,促进资源共享与合作研发,有助于提升产业集群的绿色生产效率,从而为推动区域的绿色发展添砖加瓦。

#### 参考文献:

- [1] 马红梅,郝美竹. 中国高铁建设与沿线城市生产性服务业集聚:影响机制与实证检验[J]. 产业经济研究,2020(1): 99-113.
- [2] 魏泊宁,杨栋旭,周菲. 高铁开通对工业集聚的抑制作用及其机制研究——来自中国282个地级市的经验证据[J]. 云南财经大学学报,2019,35(7):15-26.
- [3] 霍鹏,魏剑锋. 城市间高铁开通影响了产业集聚态势吗?——以知识密集型服务业为例[J]. 产业经济研究,2021(4):13-26+84.
- [4] 蔡海亚. 生产性服务业与制造业协同集聚对雾霾污染的影响研究[D]. 南京:东南大学,2021.
- [5] 覃成林,杨晴晴. 高速铁路发展与城市生产性服务业集聚[J]. 经济经纬,2016,33(3):1-6.
- [6] 邓涛涛,王丹丹,程少勇. 高速铁路对城市服务业集聚的影响[J]. 财经研究,2017,43(7):119-132.
- [7] 乔彬,张蕊,雷春. 高铁效应、生产性服务业集聚与制造业升级[J]. 经济评论,2019(6):80-96.
- [8] 宣烨,陆静,余泳泽. 高铁开通对高端服务业空间集聚的影响[J]. 财贸经济,2019,40(9):117-131.
- [9] 李雪松,孙博文. 高铁开通促进了地区制造业集聚吗?——基于京广高铁的准自然试验研究[J]. 中国软科学,2017(7):81-90.
- [10] 卢福财,詹先志. 高速铁路对沿线城市工业集聚的影响研究——基于中部城市面板数据的实证分析[J]. 当代财经,2017(11):88-99.
- [11] 张般若,李自杰. 高铁能促进低碳经济吗?——高铁开通对城市碳排放强度的影响及机制研究[J]. 华中科技大学学报(社会科学版),2021,35(1):131-140.
- [12] 张明志,余东华,孙婷. 高铁开通对城市生产体系绿色重构的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2019,29(7):41-49.
- [13] 张雪薇,宗刚,朱慧珂. 高铁开通对劳动生产率的影响研究——基于生产性服务业集聚和产业结构变迁视角[J]. 软科学,2021,35(2):38-45.
- [14] SHAO S, TIAN Z, YANG L. High speed rail and urban service industry agglomeration: evidence from China's Yangtze River Delta region[J]. Journal of transport geography,2017(64):174-183.
- [15] 李涛,王曰影. 生产性服务业集聚与城市绿色发展[J]. 北京工商大学学报(社会科学版),2023,38(2):114-126.
- [16] 王书斌. 环境规制约束下中国工业行业雾霾脱钩效应研究[D]. 南京:东南大学,2017.
- [17] 李红昌,Linda Tjia,胡顺香. 中国高速铁路对沿线城市经济集聚与均等化的影响[J]. 数量经济技术经济研究,2016,33(11):127-143.
- [18] 刘奕,夏杰长,李垚. 生产性服务业集聚与制造业升级[J]. 中国工业经济,2017(7):24-42.
- [19] 杨仁发. 产业集聚与地区工资差距——基于我国269个城市的实证研究[J]. 管理世界,2013(8):41-52.
- [20] 蔡海亚,徐盈之. 产业协同集聚、贸易开放与雾霾污染[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(6):93-102.
- [21] 王群勇,陆凤芝. 高铁开通的经济效应:“减排”与“增效”[J]. 统计研究,2021,38(2):29-44.
- [22] 刘勇政,李岩. 中国的高速铁路建设与城市经济增长[J]. 金融研究,2017(11):18-33.
- [23] 刘冲,周黎安. 高速公路建设与区域经济发展:来自中国县级水平的证据[J]. 经济科学,2014(2):55-67.
- [24] 张华,冯烽. 绿色高铁:高铁开通能降低雾霾污染吗? [J]. 经济学报,2019,6(3):114-147.
- [25] BECK T, LEVINE R, LEVKOV A. Big bad banks? The winners and losers from bank deregulation in the United States [J]. The journal of finance,2010,65(5):1637-1667.

- [26] BORUSYAK K, JARAVEL X, SPIESS J. Revisiting event study designs: robust and efficient estimation[J/OL]. <https://arxiv.org/pdf/2108.12419v1.pdf>, 2021-08-27.
- [27] GARDNER J. Two-stage differences in differences[J/OL]. <https://arxiv.org/abs/2207.05943>, 2022-07-13.
- [28] 沈坤荣, 金刚, 方娴. 环境规制引起了污染就近转移吗? [J]. 经济研究, 2017, 52(5): 44-59.
- [29] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算: 1952~2006 年[J]. 数量经济技术经济研究, 2008, 25(10): 17-31.
- [30] HENDERSON J V. Marshall's scale economies[J]. Journal of urban economics, 2003, 53(1): 1-28.
- [31] 杨思莹, 李政. 高铁开通对区域创新格局的影响及其作用机制[J]. 南方经济, 2020(5): 49-64.

(责任编辑: 刘淑浩; 英文校对: 谈书墨)

## High-speed Railway Openings, Industrial Agglomeration, and Industrial Pollution

FAN Xiaomin<sup>1,2</sup>, XU Yingzhi<sup>3</sup>

(1. School of Economics, Anhui University of Finance & Economics, Bengbu 233030, China;

2. Hefei Advanced Research Institute, Anhui University of Finance & Economics, Hefei 230051, China;

3. School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 211189, China)

**Abstract:** In recent years, the coverage of the high-speed rail network in China has continuously reduced the flow costs of factors, providing an important driving force for the agglomeration of factors. This agglomeration economy often plays an important role in pollution reduction. This paper explores the internal mechanism of the impact of high-speed rail on industrial pollution from the perspective of industrial agglomeration and finds four important results: (1) The improvement of the producer service industry agglomeration and industrial co-agglomeration are important mechanisms for the industrial emission reduction effect of high-speed railway openings. (2) The industrial agglomeration effect of high-speed railway openings varies significantly according to the geographical location, economic scale, employment density, and pollution intensity of a city. (3) The opening of a high-speed railway has a negative spatial spillover effect while improving the agglomeration level of local producer services. However, it has a positive spatial spillover effect while improving the agglomeration of the local manufacturing industry; this indicates that the opening of a high-speed railway has a positive spillover effect on the pollution status of adjacent areas while reducing the local pollution intensity. (4) The improvement of green production efficiency is an important mechanism for the opening of a high-speed railway to produce an agglomeration emission reduction effect.

**Key words:** high-speed railway opening; industrial agglomeration; industrial pollution; green production efficiency; difference-in-differences