

环境规制、工业集聚与城市碳排放强度 ——基于全国 282 个地级市面板数据的实证分析

丁 斐, 庄贵阳, 刘 东

摘 要: 环境规制是否能够通过重塑工业集聚格局的途径影响城市碳排放强度? 本文以全国 282 个地级及以上城市为考察对象, 测算了样本城市 2003—2017 年碳排放强度的变化情况, 并探讨环境规制对城市碳排放强度的直接影响和间接影响。结果表明: 环境规制有力地抑制了城市碳排放强度增长, 这一结论在替换指标后依然稳健; 中介效应分析结果表明, 环境规制虽然促进了城市工业集聚, 但工业集聚显著提升了城市碳排放强度, 一定程度上“遮掩”了环境规制对城市碳减排的积极影响; 异质性分析结果表明, 环境规制和工业集聚对城市碳排放强度影响程度存在明显的区域差异。进一步加强环境规制力度、出台更加灵活的环境政策、引导工业部门有序集聚有助于抑制城市碳排放强度, 促进中国低碳经济健康发展。

关键词: 环境规制; 工业集聚; 碳排放强度; 节能减排

中图分类号: F205 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2020)03-0090-15

DOI:10.16493/j.cnki.42-1627/c.2020.03.008

一、引 言

在应对全球气候变化的大背景下, 加快推进节能减排事业, 有助于应对全球气候变化和实现经济高质量发展。作为一个负责任的大国, 中国始终致力于走低碳经济发展道路, 将控制温室气体排放作为国民经济与社会发展的重要任务。2009 年召开的国务院常务会议明确了到 2020 年中国控制温室气体排放的行动目标, 并提出了相应政策措施与行动。“十二五”规划明确将控制温室气体排放作为约束性指标, “十三五”规划明确提出要“建设清洁低碳、安全高效的现代能源体系”。2015 年, 中国政府向联合国气候变化框架公约秘书处提交了应对气候变化国家自主贡献文件, 积极履行《巴黎协定》国际承诺, 明确了到 2030 年的自主行动目标: 二氧化碳排放 2030 年左右达到峰值并争取尽早达峰, 单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 60%~65%。由此可见, 加快推进节能减排, 促进低碳经济发展已成为经济社会发展的重要任务。

党的十八大以来, 党和政府将生态文明建设作为“五位一体”总体布局和“四个全面”战略布局的重要组成部分, 采取了一系列环境保护政策。在生态文明建设的大背景下, 为实现坚决打赢污染防治攻坚战既定目标, 中国出台了中央环保督察制度等一系列环境规制政策措施, 通过并实施

基金项目: 国家重点研发计划“可持续发展的新型城镇化共性综合评价技术研究”(2018YFF0215801); 中国社会科学院大学研究生科研创新支持计划“‘绿水青山’向‘金山银山’转化的市场机制研究”(2020-KY-017)

作者简介: 丁斐, 中国社会科学院大学博士研究生(北京 102488); 庄贵阳(通讯作者), 中国社会科学院生态文明研究所研究员, 博士生导师, zhuang_gy@aliyun.com(北京 100028)

被称为“史上最严格”的《中华人民共和国环境保护法》，初步建立起产权清晰、多元参与、奖惩并重、系统完整的生态文明制度体系，为生态文明建设提供了制度保障。随着环境规制力度的空前加强，调整产业结构、淘汰落后产能已成为大势所趋。企业特别是工业企业必须面临抉择：要么通过技术革新手段满足环境规制要求，要么在严格的环境规制面前选择退出市场。在这一过程中，环境规制不仅改变了企业的生产行为，也重塑着地区产业部门特别是工业部门的空间结构，进而影响城市碳排放强度的变化。一方面，在工业部门高度集聚的地区，集聚会促进清洁技术溢出效应，降低环境治理成本，加速城市碳减排进程，同时集聚也可能加速企业生产规模扩张，进一步提升第二产业在国民经济中的比重，不利于城市实现碳减排目标；另一方面，在日趋严格的环境规制下，部分地区力求推进“去重工业”转型，虽然一定程度上有助于降低碳排放总体水平，但“去重工业”对宏观经济的影响同样值得关注。基于对上述问题的思考，本文将从理论和实证两方面，对环境规制、工业集聚与城市碳排放强度之间的系统关系进行考察。

本文的贡献主要体现在：（1）在理论层面，阐明了实现城市碳减排目标过程中，环境规制和工业集聚的积极影响和消极影响；（2）在实证方法层面，通过中介效应分析和异质性分析，为厘清环境规制、工业集聚和城市碳减排之间的关系提供经验证据，并揭示了东中西部在传导机制上的差异性。（3）在数据层面，本文借鉴陈诗一等^[1]、宋德勇等^[2]文献，采用文本分析法等构建了环境规制强度数据，较好地解决了传统环境规制指标的内生性问题，并结合韩峰等^[3]、吴建新等^[4]研究成果，较为精确地测算了中国城市碳排放强度。

本文后续章节安排如下：第二部分对现有研究进行系统回顾与梳理，并提出相应理论假说；第三部分是实证模型构建和研究数据的说明，第四部分为实证分析结果汇报与讨论，第五部分为结论与政策建议。

二、文献综述

（一）环境规制对碳减排的影响

环境规制能否有效抑制碳排放？持乐观态度的学者认为，严格的环境规制将倒逼企业加快技术创新和实现转型升级，从而降低碳排放^[5]；与此同时，不满足环境规制要求的企业将被迫关停或采取搬迁，这在一定程度上有助于城市实现碳减排。而持悲观态度的学者认为，严格的环境规制可能无助于推动碳减排，原因在于“绿色悖论”假说与“杰文斯悖论”假说。“绿色悖论”假说认为，当化石能源生产者预期到环境规制可能带来的需求萎缩时，倾向于在当前加快开采速度，反而进一步加剧了碳排放^{[6][7][8]}。“杰文斯悖论”假说指出，在严格的环境规制下，企业更加依赖于通过技术进步手段提高能源使用效率，反过来进一步刺激能源需求，这一回弹效应的出现无助于实现碳减排目标^{[9][10]}。在实证层面上，学者们从不同研究视角对这一问题进行了深入讨论。谭娟等通过 VAR 模型评估了中国政府环境规制与碳排放总量的关系，指出政府环境规制投入是引起碳排放总量变化的 Granger 原因^[11]。张华等利用 2000—2011 年的省级面板数据，测算了环境规制与碳排放的关系，研究结果表明环境规制对碳排放的影响轨迹为倒 U 型曲线，“绿色悖论”与“倒逼减排”效应并存^[12]。徐盈之等利用省级面板数据测算了环境规制与碳排放的关系，提出环境规制能有效地抑制碳排放量^[13]。然而，现有研究多在统计层面上揭示了环境规制与碳减排的相关性，但其内在作用路径和经济学理论阐述还有待进一步明确。

（二）环境规制对工业集聚的影响

既往研究表明，环境规制对传统工业空间集聚形态产生冲击。其原因在于，传统工业产业部门集聚虽然带动了经济社会的繁荣，但日益上涨的土地成本、交通拥堵和环境污染问题也制约着工业

经济的进一步发展。生态环境指标进入官员绩效考核后,“竞争向上”激励政府进一步加强环境规制,淘汰落后产能,为官员晋升提供筹码^{[14][15][16]}。在严格的环境规制下,企业有动机通过产业梯度转移寻找新的“污染避难所”以降低环境成本,特别是在环境规制强度存在区域差异的情况下,产业集聚的空间形态可能会发生改变^{[17][18][19]}。近年来,一系列实证研究成果也表明,环境规制对工业集聚具有显著影响。覃伟芳等提出,环境规制强度能有效促进产业集聚^[20]。刘金林等、郝寿义等的研究进一步指出,不同地区、不同行业的环境规制对于产业集聚的作用路径和政策效果存在明显差异^{[21][22]}。樊兰的研究结果表明,环境规制对制造业产业集聚的影响存在门槛效应^[23]。然而,严格环境规制下所形成的产业集聚格局能否实现既定减排目标,目前学术界对这一问题的研究有待进一步明确。

(三) 工业集聚对碳减排的影响

工业集聚能否对碳减排产生积极影响,学术界尚有争议。一方面,节能减排并不是工业集聚的初衷。产业集聚的内生动力在于实现基础设施共享、提高生产要素匹配效率,以及促进专业知识的空间溢出,从而提高企业生产效率。因此,工业集聚不但不能促进碳减排,反而扭曲现有生产要素配置,进一步加剧碳排放。另一方面,新经济地理学认为,作为一种紧凑型的空间经济行为,以工业集聚为代表的各类产业集聚能够以外部性为纽带提高企业生产效率和资源利用效率。不同于以上两种观点,Grossman等根据北美实证研究结果,提出了著名的环境库兹涅茨曲线(EKC曲线),认为经济发展与环境污染呈倒U型曲线关系,即随着经济活动的繁荣,环境污染将呈现先增长后下降的态势^[24]。然而现有研究并没有为EKC曲线假说提供稳健一致的经验证据。陆铭等指出,经济集聚显著降低了污染物排放强度^[25]。王涛认为,专业化集聚有利于减排,而多样化集聚不利于减排^[26]。张可等^[27]、胡志强等^[28]、邵帅等^[29]和何文举等^[30]的研究结果表明,产业集聚过程中,经济发展与排放并未呈现出明确的线性关系,而是N型或倒U型关系,并且存在显著的地区差异。

综观国内外现有研究,对于环境规制、工业集聚与城市碳排放强度之间的关系并未得出完全一致的结论。本文认为,在中国这样一个城镇化和工业化快速推进、区域经济发展水平差异巨大且面临严重生态环境问题的发展中国家,工业集聚形态的变化不仅取决于企业经营策略,也取决于政府加强环境规制的政策手段。因此,在研究城市碳排放强度过程中,必须充分考虑环保政策的有效性及其对现有工业集聚形态的影响。不仅如此,在以往研究中,学者高度关注工业集聚所带来的分享、匹配、学习等正外部性的收益,而忽略了工业集聚过程中可能出现的过度竞争、拥挤效应和串谋等问题,从而导致环境规制政策效果低于预期^[31]。并且在实证设计过程中,大多数研究基于省级面板数据,而基于地级市面板往往能够提供更加稳健的经验证据。基于此,本文基于全国282个地级及以上城市2003—2017年统计数据,构建计量经济学模型,评估环境规制、产业集聚与城市碳排放强度之间的内在逻辑,为制定碳减排政策提供决策支持。

三、模型设计与数据来源

(一) 模型设计

1. 理论假说。环境规制是解决环境外部性问题的有效政策手段。在环境规制政策并不严格的经济体中,污染企业排放行为往往会导致严重的环境外部性问题,从而降低整个社会的福利水平,因此有必要对污染部门实行严格的环境规制,在部门私人利益与社会利益之间取得平衡^[32]。常用的环境规制政策包括发放排放许可证、征收排放税、建立排放权交易市场、政府直接干预等。这些政策旨在实现污染外部成本的内部化。因此,环境规制通过增加环境治理投入的方式直接提高了企业的生产成本。如何消化污染治理成本,在严格的环境规制下保持竞争力是企业面临的现实问题。

环境规制对区域排放行为的影响存在以下两条路径。其一, 环境规制使得当地引进清洁的生产工艺, 使其产品符合环境规制要求。生产环节中清洁工艺的引进提高了企业生产成本, 企业为了保持市场竞争力, 需要进一步加大创新力度以提高企业生产效率, 用技术创新带来的成本节约来补偿因环境规制所带来的成本提升。按此路径, 环境规制将淘汰不符合环保要求的企业, 加快清洁生产工艺的投入, 从而有效降低区域排放水平。其二, 环境规制通过重塑工业部门在空间上的分布改变城市排放水平。当企业面临日趋严格的环境规制时, 有动机进一步加强产业集聚。集聚经济降低了运输成本、基础设施建设成本和劳动力搜寻成本, 使得企业有可能通过共享清洁生产基础设施、提高清洁生产工艺市场议价能力、促进清洁生产工艺知识溢出等途径降低减排成本, 进而促进城市实现碳减排目标。但另一方面, 较为紧凑的空间布局在提高企业生产效率的同时, 也增强了企业之间的竞争压力。企业必须进一步通过成本节约和规模扩张的方式保持市场竞争优势。污染企业在空间上的集聚进一步提高了区域污染排放水平, 从而“遮掩”了集聚经济对减排的积极影响^[33]。具体路径如图 1 所示。

根据以上作用路径, 本文提出如下假说并加以验证:

假说 1: 通过技术创新和淘汰落后产能等手段, 环境规制有助于对碳减排起到积极作用。

假说 2: 环境规制通过产业转移重塑

了企业空间分布格局, 集聚经济一方面有助于共享清洁基础设施等方式对碳减排起促进作用, 另一方面, 也可能通过成本节约、生产规模扩张等方式弥补环境治理成本, 从而不利于碳减排目标的实现。

2. 模型设计。为验证假说 1, 本文以 Dietz 等 (1994) 提出的 STIRPAT 模型为基础, 设计如下计量模型:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 ER_{it} + \beta_2 X_{it} + u_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (1)$$

其中, Y_{it} 代表 i 城市第 t 年的碳排放强度, ER_{it} 代表 i 城市第 t 年的环境规制强度, X_{it} 为控制变量集, β_i 为待估参数。同时, 我们还控制了个体效应 u_i 与时间效应 v_t , ϵ_{it} 为随机误差项。

为进一步验证假说 2, 考察环境规制是否通过重塑工业集聚的路径影响, 本文借鉴温忠麟等^[34]研究成果, 构建如下中介效应模型, 并通过逐步法加以验证:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 ER_{it} + \beta_2 X_{it} + u_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$C_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 ER_{it} + \alpha_2 X_{it} + u_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

$$Y_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 ER_{it} + \gamma_2 C_{it} + \gamma_3 X_{it} + u_i + v_t + \epsilon_{it} \quad (4)$$

其中, C_{it} 代表工业集聚水平。为验证工业集聚是否在城市碳减排过程中发挥了中介作用, 需要做出如下验证: (1) 考察基准回归中待估参数 β_1 的显著性, 当 β_1 显著时进行第二步检验; (2) 考察待估参数 α_1 与 γ_2 的显著性, 若两者同时显著, 则进行第三步检验; (3) 考察待估参数 γ_1 的显著性, 若 γ_1 显著, 表明工业集聚存在部分中介效应; 若 γ_2 不显著, 表明工业集聚存在完全中介效应。

(二) 数据来源

本文以全国 282 个地级及以上城市为考察对象, 考察年份为 2003—2017 年, 数据主要来自《中国城市统计年鉴》、《中国区域经济统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国环境统计年

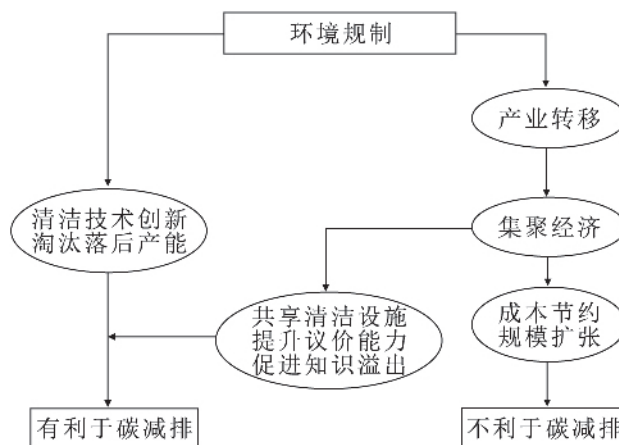


图 1 环境规制减排作用路径示意图

鉴》、《中国电力统计年鉴》、各省市自治区统计年鉴、国民经济与社会发展统计公报和政府工作报告等。个别缺失数据根据时间趋势进行平滑处理。

1. 被解释变量: 城市碳排放强度。碳排放强度为城市碳排放水平与地区经济发展水平的比重。本文着重研究城市工业碳排放强度。综合考虑数据可得性与完整性, 本文通过《中国城市统计年鉴》、《中国区域经济统计年鉴》等渠道获取城市能源消费数据。参考韩峰等^[3]现有研究, 本文测算城市碳排放强度方法如下:

$$CD = \frac{Y}{GDP_{real}} \quad (5)$$

其中, CD 代表城市碳排放强度, GDP_{real} 代表真实地区生产总值, Y 代表总二氧化碳排放量, 计算方法为 $Y = Y_e + Y_g + Y_l$, Y_e 、 Y_g 和 Y_l 分别代表工业用电、工业用天然气与液化石油气的二氧化碳排放量。以上三种能源所产生的碳排放量由能源消费量和碳排放系数共同决定。其中, 参考国家发改委 2011 年发布的《省级温室气体清单编制指南(试行)》, 天然气与液化石油气的二氧化碳排放系数分别为 2.162 2 千克/立方米和 3.101 3 千克/千克。电力消费所产生的二氧化碳排放需考虑煤电占比与对应的排放系数。由 2003—2017 年的《中国电力统计年鉴》, 可获取各年份煤电占总电力消费的比例, 参考马忠海(1999)研究成果, 取煤电燃料链温室气体排放系数为 1.302 3 千克/千瓦时。

2. 核心解释变量: 环境规制强度。本文借鉴陈诗一等^[1]、Chen 等^[19]的研究方法, 通过对省级政府工作报告进行文本分析, 计算与环境保护相关词频在总报告中的比重, 构建环境规制强度。其原因在于, 传统的环境规制指标往往基于环境投资占财政支出、环保从业人员数量、污染税率、污染治理成本衡量标准等指标。上述指标往往只能反映政府环境规制的一个侧面, 而政府环境规制的手段丰富多样, 既包括调节污染税率、提高研发补贴等经济手段, 也包括制定环境保护条例、规章和法律等行政手段, 一般指标难以度量政府环境治理政策的全貌。政府工作报告是指导政府这一年度工作的纲领性文件, 往往于年初发布。在现行的中国政治体制下, 上级政府工作报告能够直接影响下级政府部门的工作导向, 因此, 解读政府工作报告作为变量能够较好地解决传统环境规制测度的内生性问题。此外, 本文参考宋德勇等^[2]的方法, 将地级市所在省级政府工作报告中关于环境词汇的占比与该地级市重工业产值的乘积作为环境规制指标测度, 增加了环境规制指标的变异性。具体操作方法如下: 首先, 手工收集各省级行政单位历年政府工作报告; 其次, 利用 Python 对政府工作报告全文进行分词处理, 筛选出与生态环境保护相关词语, 对其频数进行统计; 第三, 计算相关词语在全文中所占的比例; 第四, 利用中国工业企业数据库(2003—2013)以及各省市统计年鉴、政府统计公报等渠道, 计算各地级市重工业占城市工业总产值的比重。最后, 将文本频率与重工业占比相乘, 得到最终的地级市环境规制指标。为方便观测, 我们将该指标放大 10 000 倍进行观测。

3. 中介变量: 工业集聚。在现有文献中, 常用的产业集聚测度方法主要有区位商指数法(Location Quotient, LQ 指数)、赫芬达尔指数、空间基尼系数和行业集中度等。本文基于各类指数的适用范围和数据可获得性, 选取区位商指数 LQ 作为工业集聚水平的测度。具体计算方法如下:

$$LQ = \frac{E_{ic} / \sum_{i=1}^n E_{ic}}{\sum_{c=1}^m E_{ic} / \sum_{c=1}^m \sum_{i=1}^n E_{ic}} \quad (6)$$

其中, E_{ic} 为 c 市 i 产业的从业人员数量, $\sum_{i=1}^n E_{ic}$ 为 c 市全部从业人员数, $\sum_{c=1}^m E_{ic}$ 是背景区域 i 产业的全部从业人员数量, $\sum_{c=1}^m \sum_{i=1}^n E_{ic}$ 是背景区域全部产业的从业人员数。LQ 指数越高, 意味着工业集聚水平越高。

4. 其他控制变量。城镇碳排放强度不仅受环境规制和工业集聚影响，城市自身产业结构、对外贸易规模、政府和居民收入和消费水平以及城市发展阶段对城市碳排放都具有明显影响。为了控制样本城市的其他特征，本文通过查阅《中国城市统计年鉴》及《中国区域经济统计年鉴》，选取第二产业占比、外商直接投资占 GDP 的比重、政府支出强度、人均真实 GDP、城镇化水平等一系列控制变量。由于地级市城镇化率缺少连续一致可比的统计口径，本文取城镇年末单位从业人员数、城镇私营和个体从业人员数与年末城镇登记失业人员数之和除以年末总人口数，作为城镇化水平的替代指标。借助已有数据，采用替代算法与原先城镇化率相关系数为 0.993 4，表明替代指标能较好反映观测城市的城镇化水平。为了更好地控制城市的其他特征，按照国家统计局网站提供的区域分类，将 282 个城市分为东部地区、中部地区、西部地区和东北地区，为开展异质性分析提供便利。

考虑到数据离散程度，本文对碳排放强度、环境规制强度和人均真实 GDP 进行对数化处理，并对本文使用的各主要变量进行了描述性统计（如表 1 所示）。

表 1 主要变量描述性统计

变量类别	主要变量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	二氧化碳排放强度对数	4 230	8.58	0.91	4.25	12.12
核心解释变量	环境规制强度对数	4 230	1.99	1.09	-5.67	4.89
	区位商指数	4 230	0.95	0.31	0.15	4.32
控制变量	第二产业占比（%）	4 230	48.39	10.92	0.00	90.97
	FDI 占 GDP 的比重	4 230	1.86	2.06	0.00	18.19
	政府支出强度	4 230	16.16	9.54	3.13	148.52
	人均真实生产总值（万元/人）	4 230	9.90	0.85	7.54	12.70
	城镇化水平	4 230	0.23	0.22	0.02	2.91

基于以上分析，本部分将对第二部分提出的理论假说进行验证。首先，验证环境规制对城市碳减排的直接效应，即假说 1；其次，验证本文所关心的环境规制对城市碳减排的间接效应，即工业集聚的中介效应，即假说 2；再次是稳健性检验；最后考虑区域差异，分别对东部地区、中部地区、西部地区和东北地区的环境规制、工业集聚与城市碳减排之间关系展开异质性分析。

四、实证结果

（一）基准回归结果

在对面板数据进行估计前，需要考虑选择合适的计量模型，否则可能导致回归参数的有偏估计或无效估计。借助 R 语言分析工具，为了选择合适的回归模型，本文分别采用 Pool OLS 回归、时间固定效应模型、个体固定效应模型和双固定效应模型构成基准回归。表 2 给出了基准回归结果。

如表 2 所示，在不考虑个体效应和时间效应的情况下，环境规制水平与碳排放强度呈显著正相关关系，这不符合理论预期与经济现实。其原因在于以下两点：一是中国幅员辽阔，城市众多，各个城市发展阶段、产业结构差异过大，存在明显的个体差异；二是随着中国城镇化、工业化进程深入推进，环境规制力度和碳排放强度都伴随着明显的时间趋势，因此必须要对个体效应和时间效应加以控制。表 2 的第 2—4 列分别是固定个体效应、固定时间效应和双固定模型的回归结果。根据前文分析，相比于单向固定效应模型和随机效应模型，双固定模型更符合客观现实，Hausman 检验结果也表明双固定效应模型更为合理。研究结果表明，环境规制强度与城市碳排放强度呈显著负相关关系。在控制变量中，第二产业占比与城市碳排放强度在 1% 的显著性水平上呈正相关，人均真实 GDP 与城市碳排放强度在 5% 的显著性水平上呈负相关。

表 2 基准回归结果

变量	城市碳排放强度			
	(1)	(2)	(3)	(4)
环境规制对数	0.104 3*** (0.012 7)	-0.020 8 (0.013 4)	0.071 7*** (0.013 8)	-0.041 7*** (0.015 0)
第二产业占比	0.018 4*** (0.001 4)	0.005 0*** (0.001 3)	0.017 4*** (0.001 4)	0.006 1*** (0.001 5)
FDI 占 GDP 比重	-0.012 4* (0.007 0)	-0.007 0 (0.005 3)	-0.028 9*** (0.007 3)	-0.006 2 (0.005 1)
政府支出强度	0.010 2*** (0.001 6)	-0.000 3 (0.001 4)	0.019 0*** (0.001 9)	-0.001 9 (0.001 5)
人均真实 GDP 对数	-0.229 4*** (0.024 3)	-0.233 4*** (0.022 3)	-0.045 6 (0.034 5)	-0.581 1*** (0.080 1)
城镇化水平	1.170 9*** (0.084 9)	-0.054 5*** (0.078 2)	0.970 4*** (0.088 9)	-0.031 6 (0.076 3)
时间效应	否	否	是	是
个体效应	否	是	否	是
常数项	9.344 4*** (0.222 4)			
样本量	4 230	4 230	4 230	4 230
$R_Squared$	0.086 8	0.068 2	0.089 6	0.015 2
F -统计量	66.933 7	48.053 3	69.065 9	10.122 2

注：***、**、* 分别代表统计量在 1%、5%和 10%水平上显著，括号内为标准差。

（二）中介效应检验

上述研究结果表明，环境规制强度提升有助于降低城市碳排放强度。但是，环境规制是否通过重塑工业集聚格局的方式影响城市碳减排？如果存在某种影响，那么这种影响是否有利于城市碳减排？为了解答这一问题，本文根据假说 2，考察工业集聚的中介作用，实证结果如表 3 所示。

表 3 中介效应检验结果

变量	城市碳排放强度	工业集聚水平	城市碳排放强度
	(5)	(6)	(7)
环境规制对数	-0.041 6*** (0.015 0)	0.013 8** (0.005 4)	-0.044 1*** (0.015 0)
工业集聚水平			0.173 9*** (0.044 0)
第二产业占比	0.006 1*** (0.001 5)	0.004 0*** (0.000 5)	0.005 5*** (0.001 5)
FDI 占 GDP 比重	-0.006 2 (0.005 1)	-0.003 6* (0.001 9)	-0.005 6 (0.005 1)
政府支出强度	-0.001 9 (0.001 5)	-0.001 7*** (0.000 5)	-0.001 6 (0.001 5)
人均真实 GDP 对数	-0.581 1*** (0.080 1)	0.093 0*** (0.028 9)	-0.597 2*** (0.080 1)
城镇化水平	-0.031 6 (0.076 2)	0.191 5*** (0.027 5)	-0.064 9*** (0.076 7)
时间效应	是	是	是
个体效应	是	是	是
样本量	4 230	4 230	4 230
$R_Squared$	0.015 2	0.039 5	0.019 1
F -统计量	10.122 2	26.891 6	10.936 5

注：***、**、* 分别代表统计量在 1%、5%和 10%水平上显著，括号内为标准差。

如表 3 所示，模型 5 是基准回归的结果，环境规制对城市碳排放强度的显著影响是中介效应存在的基础。模型 6 考察环境规制强度对工业集聚水平中介变量的影响，结果表明，环境规制显著地促进了产业集聚程度的提高。模型 7 考察环境规制与产业集聚对工业绿色发展水平的影响，结果表明，在考虑工业集聚的情况下，模型 7 中环境规制对城市碳排放强度的回归系数高于模型 5 中的回归系数，且工业集聚水平对城市碳排放影响显著为正。中介效应检验结果表明，环境规制对城市碳排放存在间接影响路径，即环境规制显著地提升了工业集聚水平，然而工业集聚所带来的正外部性并未得到体现，工业集聚在 1% 的显著性水平上与城市碳排放强度呈正相关。与模型 5 相比，模型 7 中的环境规制的回归系数绝对值更大，表明由环境规制所引起的工业集聚形态的改变，在一定程度上“遮掩”了环境规制对城市碳减排的积极影响。这回应了假说 2 的判断，即环境规制过程中，工业部门集聚经济所产生的负外部性可能在一定程度上抵消环境规制的积极影响。

（三）内生性问题处理

尽管本文通过对政府工作报告进行文本分析一定程度上缓解了模型的内生性问题，然而环境规制强度的提高也可能是前期城市碳排放强度过高的政策结果。为进一步处理模型的内生性问题，本文选取滞后一期的环境规制作为工具变量，利用工具变量回归解决模型的内生性问题。计量结果如表 4 所示。

表 4 工具变量回归结果

变量	环境规制 (第一阶段回归)	城市碳排放强度 (两阶段最小二乘)
	(8)	(9)
环境规制滞后一期	-0.212 0*** (0.015 7)	
环境规制		-0.212 0*** (0.073 2)
工业集聚水平	0.128 4** (0.052 2)	0.212 4*** (0.052 4)
第二产业占比	-0.006 9*** (0.001 7)	0.002 3 (0.001 8)
FDI 占 GDP 比重	-0.001 6 (0.005 8)	-0.004 9 (0.005 7)
政府支出强度	-0.003 0* (0.001 6)	-0.002 8* (0.001 5)
人均真实 GDP 对数	-0.554 8*** (0.089 8)	-0.677 7*** (0.101 4)
城镇化水平	0.076 5 (0.083 6)	-0.042 0 (0.082 8)
时间效应	是	是
个体效应	是	是
样本量	3 948	3 948
$R_Squared$	0.086 5	0.009 9
F -统计量	49.318 9	58.708 3

注：***、**、* 分别代表统计量在 1%、5% 和 10% 水平上显著，括号内为标准差。

DWH 检验结果在 0.05 显著性水平上拒绝原假设，表明模型存在内生性。Sargan 检验表明，不能拒绝工具变量合理的原假设，且 F 统计量大于 10 在经验上表明不存在弱工具变量的问题。工

具变量估计结果表明，环境规制显著降低了城市碳排放强度，工业集聚水平提升提高了碳排放强度，并且系数绝对值更大，说明工具变量回归结果具有稳健性。

（四）稳健性检验

1. 基于环境规制替代指标的稳健性检验。为了保障实证结果的可靠性，本文参考并创新了宋德勇等^[2]的方法，重新构建了环境规制指标（ER2），并再次对式1进行回归。指标构建方法如下：

第一步，计算第*i*个城市第*j*种污染物的排放强度，用污染物除以真实地区生产总值。排放量计算公式如下：

$$pollution_density_{ij} = pollution_{ij} / GDP_{ij} \quad (7)$$

第二步，用第*i*个城市第*j*种污染物排放强度除以全国平均污染物排放强度，得到污染物排放强度指数，再将三种污染物分别取平均值，得到综合排放强度指数。计算公式如下：

$$pollution_index_{ij} = \frac{pollution_density_{ij}}{\sum_{j=1}^n pollution_density_{ij} / n} \quad (8)$$

$$pollution_index_i = \frac{\sum_{j=1}^3 pollution_index_{ij}}{3} \quad (9)$$

第三步，取综合排放强度指数的倒数，得到环境规制强度的替代指标 ER2：

$$ER2_i = \frac{1}{pollution_index_i} \quad (10)$$

之所以选择这个指标，是因为环境规制强度是地区污染程度的直接结果，往往环境问题突出的地区会以更严苛的环境规制对污染行为进行约束。单位产值污染排放强度体现了地区经济增长所付出的环境成本，可以较好地反映城市污染程度，能够作为环境规制的替代性指标。基于该指标，本文重新进行了中介效应检验，回归结果如表5所示。

表5 基于环境规制替代指标的中介效应再检验

变量	城市碳排放强度 (10)	工业集聚水平 (11)	城市碳排放强度 (12)
替代环境规制指标对数	-0.0615*** (0.0168)	0.0130** (0.0061)	-0.0617*** (0.0168)
工业集聚水平			0.1692*** (0.0438)
第二产业占比	0.0065*** (0.0014)	0.0039*** (0.0005)	0.0059*** (0.0015)
FDI占GDP比重	-0.0046 (0.0052)	-0.0037** (0.0019)	-0.0040 (0.0051)
政府支出强度	-0.0022 (0.0015)	-0.0017*** (0.0005)	-0.0019 (0.0015)
人均真实GDP对数	-0.5138*** (0.0798)	0.0816*** (0.0289)	-0.5276*** (0.0798)
城镇化水平	-0.03339 (0.0762)	0.1941*** (0.0276)	-0.0667*** (0.0765)
时间效应	是	是	是
个体效应	是	是	是
样本量	4230	4230	4230
R _{Squared}	0.0166	0.0379	0.0203
F-统计量	11.0763	25.7722	11.6424

注：***、**、* 分别代表统计量在1%、5%和10%水平上显著，括号内为标准差。

在表 5 模型 10 中，我们考察环境规制替代指标及控制变量对城市碳排放的影响，结果同基准回归的结果一致，二者呈显著负相关关系。模型 11 考察环境规制替代指标对工业集聚水平的影响，核心解释变量的系数并未发生明显的改变。模型 12 进一步考察环境规制与工业集聚对城市碳排放的共同影响，结论依然稳健，即环境规制显著地提升了工业集聚水平，但工业集聚水平的提升并未实现城市碳减排。

2. 基于碳排放替代指标的稳健性检验。人均碳排放量是度量碳排放的重要指标之一，反映了经济发展过程中的公平与效率。基于以上考虑，本文将人均碳排放量作为碳排放强度的替代指标，进一步检验模型稳健性，结果如表 6 所示。

表 6 模型 13 考察了环境规制对人均碳排放水平的影响，结果表明，环境规制在 1% 的显著性水平上对人均碳排放量存在显著的负向影响，说明环境规制有利于促进碳减排目标的实现。模型 14 考察了环境规制对工业集聚这一中介变量的影响，结果表明，环境规制与工业集聚水平在 5% 的显著性水平上正相关。模型 15 考察了环境规制、产业集聚对人均碳排放量的影响，结果表明，环境规制与人均碳排放量在 1% 的显著性水平上负相关，工业集聚水平与人均碳排放量在 1% 的显著性水平上正相关。由逐步检验回归系数法对模型中介效应进行检验可知，在考察环境规制对人均碳排放的影响时，工业集聚起到了部分中介作用：一方面，环境规制有助于降低人均碳排放水平，另一方面，环境规制促进了工业空间集聚格局的形成，这种工业集聚经济在一定程度上抵消了环境规制对碳减排的积极影响。

表 6 基于人均碳排放量的稳健性检验

变量	人均碳排放量 (13)	工业集聚水平 (14)	人均碳排放量 (15)
环境规制指标对数	-0.042 4*** (0.015 1)	0.013 8** (0.005 4)	-0.044 9*** (0.015 0)
工业集聚水平			0.181 0*** (0.044 3)
第二产业占比	0.006 3*** (0.001 5)	0.004 0*** (0.000 5)	0.005 6*** (0.001 5)
FDI 占 GDP 比重	-0.006 5 (0.005 2)	-0.003 6** (0.001 9)	-0.005 8 (0.005 2)
政府支出强度	-0.002 0 (0.001 5)	-0.001 7*** (0.000 5)	-0.001 7 (0.001 5)
人均真实 GDP 对数	0.367 9*** (0.080 6)	0.093 0*** (0.029 0)	0.351 1*** (0.080 5)
城镇化水平	-0.038 5 (0.076 7)	0.191 6*** (0.027 6)	-0.073 1 (0.077 0)
时间效应	是	是	是
个体效应	是	是	是
样本量	4 230	4 230	4 230
$R_Squared$	0.022 4	0.039 5	0.026 5
F -统计量	14.976 6	26.891 6	15.274 8

注：***、**、* 分别代表统计量在 1%、5% 和 10% 水平上显著，括号内为标准差。

（五）异质性分析

1. 基于区域的异质性分析。前文结果表明，环境规制一方面有助于城市碳减排，但另一方面，环境规制重塑着工业集聚空间形态，带来的拥挤效应可能不利于碳减排。为进一步考察集聚负面作

用的表现，本文将样本城市分区域进行异质性分析，以考察集聚经济负外部性的作用方式。

从全国范围来看，中国幅员辽阔，各地发展阶段、环境规制政策存在差异，环境规制更严格区域的高污染、高耗能企业有动机将企业迁移到环境规制强度较低的地区。为了考察这种异质性，本文分东部地区、中部地区、西部地区和东北地区，对环境规制、工业集聚和城市碳排放三者之间关系进行异质性分析，结果如表 7、表 8 所示。

表 7 不同区域环境规制对工业集聚水平的影响

变量	工业集聚水平			
	(东部地区)	(中部地区)	(西部地区)	(东北地区)
	(13)	(14)	(15)	(16)
环境规制指标对数	-0.023 7*** (0.005 5)	0.015 6** (0.006 7)	0.032 0*** (0.008 2)	-0.003 5 (0.011 0)
第二产业占比	0.017 5*** (0.000 8)	0.012 4*** (0.000 6)	0.010 1*** (0.000 8)	0.012 8*** (0.001 0)
FDI 占 GDP 比重	0.016 2*** (0.002 9)	-0.003 2 (0.003 3)	0.001 5 (0.007 5)	0.000 3 (0.005 0)
政府支出强度	-0.007 3*** (0.001 2)	-0.013 8*** (0.001 5)	-0.004 5*** (0.000 8)	-0.002 4 (0.001 8)
人均真实 GDP 对数	0.105 4*** (0.016 0)	0.061 0*** (0.021 1)	0.005 6 (0.022 8)	0.015 5 (0.037 2)
城镇化水平	0.073 2** (0.028 5)	0.266 7*** (0.078 5)	0.430 5*** (0.095 0)	-0.049 3 (0.130 1)
时间效应	是	是	是	是
个体效应	是	是	是	是
样本量	1 275	1 200	1 245	510
$R_Squared$	0.128 3	0.085 9	0.018 9	0.192 1
F-统计量	28.702 1	17.220 2	13.669 6	18.074 0

注：***、**、* 分别代表统计量在 1%、5% 和 10% 水平上显著，括号内为标准差。

表 7 说明了环境规制与工业集聚水平之间的关系在不同区域呈现出不同的关系。东部地区环境规制与工业集聚水平在 1% 的显著性水平上呈负相关，中部地区和西部地区分别在 5% 和 1% 的显著性水平上呈正相关，东北地区环境规制与工业集聚水平不存在明显相关关系。回归结果表明，东部地区的环境规制政策降低了工业集聚水平，与之相对应的是，中西部地区环境规制水平的提升带动了工业集聚水平的提升。这表明东中西部地区在面临环境规制所带来的成本上升时采取了不同的应对策略。东部地区企业往往可能采取关停或产业转移等手段，以退出市场的形式解决环境治理成本上升的问题。中西部地区在承接工业产业转移过程中，寄希望于通过进一步发展集聚经济的形式，既能提高当地经济发展水平，又为通过规模效应摊低环境治理成本提供可能。东北地区情况较为特殊，由于近年来受气候、人口流失、自身工业结构重化等主客观因素影响，环境规制在东北地区优先级并不高，因此，东北地区环境规制对工业企业集聚影响并不显著。

在表 8 中，模型 17—20 分析了不同区域环境规制和工业集聚水平对碳排放强度的影响。异质性分析结果表明，在除东北以外的全国其他地区，环境规制水平的提高不同程度地降低了城市碳排放强度。在中部地区和东北地区，工业集聚与城市碳排放强度分别在 1% 和 5% 的显著性水平上正相关，而在东部地区和西部地区，两者之间的关系并不显著。

表 8 不同区域环境规制、工业集聚水平对碳排放强度的影响

变量	城市碳排放强度			
	(东部地区)	(中部地区)	(西部地区)	(东北地区)
	(17)	(18)	(19)	(20)
环境规制指标对数	-0.103 3*** (0.035 1)	-0.035 9** (0.017 5)	-0.108 8*** (0.042 0)	-0.021 0 (0.078 6)
工业集聚水平	0.111 1 (0.084 4)	0.305 2*** (0.081 7)	0.095 1 (0.075 3)	0.547 8** (0.237 7)
第二产业占比	-0.001 6 (0.003 1)	0.000 7 (0.002 7)	0.005 6* (0.003 0)	0.007 9 (0.006 5)
FDI 占 GDP 比重	-0.008 1 (0.007 5)	0.020 5** (0.009 3)	-0.020 9 (0.020 3)	-0.001 9 (0.015 3)
政府支出强度	0.001 5 (0.002 5)	0.013 3*** (0.004 5)	-0.002 5 (0.002 6)	-0.002 1 (0.005 1)
人均真实 GDP 对数	-0.248 7*** (0.170 8)	-0.213 9* (0.131 0)	-0.829 3*** (0.179 1)	-1.377 0*** (0.294 5)
城镇化水平	-0.195 7** (0.092 2)	-0.025 7 (0.196 5)	-0.057 9 (0.264 9)	-0.051 4 (0.475 5)
时间效应	是	是	是	是
个体效应	是	是	是	是
样本量	1 275	1 200	1 245	510
$R_Squared$	0.013 1	0.031 1	0.026 7	0.062 6
F-统计量	2.209 3	5.033 2	4.468 6	4.340 7

注：***、**、* 分别代表统计量在 1%、5% 和 10% 水平上显著，括号内为标准差。

呈现以上结果的原因在于，随着绿色发展理念深入人心，促进工业转型、提高经济发展质量已成为社会广泛共识。在样本期内，东部地区处在从要素驱动走向创新驱动的关键时期，产业集聚所带来的规模经济红利已经得到充分释放，环境规制对促进碳减排作用明显，且产业集聚不再是影响城市碳排放的重要驱动因素。中部地区是中国重要的制造业产业集群，工业部门面临着重工业比例过高、外向型工业发展不足和工业部门同构等现实矛盾，尚未实现与碳排放的“脱钩”，从而导致环境规制对碳减排影响程度偏低，工业集聚水平提高加快了碳排放强度的提升。西部地区工业化处在起步上升阶段，一方面，强有力的环境规制能够促进清洁工业的快速发展，环境规制对抑制城市碳排放强度的作用最为明显；另一方面，受限于交通、技术、产业结构等因素，工业集聚程度不高，并未成为明显改善区域碳排放的影响因素。东北地区情况较为特殊。受历史因素影响，东北地区工业产业结构明显偏重。这种产业结构加剧了东北地区碳排放，环境规制对于促进碳减排并未起到明显作用。

2. 基于环境规制政策的异质性分析。由于城市发展路径、发展阶段存在差异，环保政策力度也存在明显区别。对于经济发展水平较高、发展过程中生态环境问题严重的地区，有必要采取更为严格的环境规制手段。基于以上考虑，原国家环境保护部在制定“十一五”规划过程中，划定了北京、天津、唐山等 113 个环境保护重点城市。为考察这种异质性，本文分别对环境保护重点城市和非环境保护重点城市进行回归分析，结果如表 9 所示。

表 9 基于环境保护重点城市的异质性分析结果

变量	城市碳排放强度	
	(重点城市)	(非重点城市)
	(21)	(22)
环境规制	-0.027 0 (0.022 1)	-0.044 6** (0.019 8)
工业集聚水平	0.240 7*** (0.086 6)	0.092 5* (0.052 6)
控制变量	控制	控制
时间效应	是	是
个体效应	是	是
样本量	1 665	2 565
$R_Squared$	0.038 8	0.016 6
F -统计量	8.838 5	5.718 7

注：***、**、* 分别代表统计量在 1%、5% 和 10% 水平上显著，括号内为标准差。

回归结果表明，在 113 个环境保护重点城市中，环境规制与城市碳排放强度无明显相关关系，工业集聚水平与城市碳排放强度在 5% 的显著性水平上正相关；在非环境保护重点城市中，环境规制与城市碳排放强度在 5% 显著性水平上负相关，工业集聚水平与城市碳排放强度在 10% 显著性水平上正相关。由于环境保护重点城市工业体系较为发达，且多数城市工业发展尚未实现与碳排放的完全“脱钩”，工业部门为带动城市经济发展和就业贡献重要力量，因此推进环境规制促进碳减排面临较大阻力。而在非环境保护重点城市，污染行业对经济增长和就业的贡献较小，通过加强环境规制实现碳减排阻力相对较小，更有利于实现碳减排目标。

五、结论与政策建议

本文测算了全国 282 个地级及以上城市 2003—2017 年碳排放强度，通过对省一级政府工作报告进行文本分析，并结合中国工业企业数据库进行修正，得到环境规制指标，较好地解决了传统环境规制指标内生性问题，也如实反映了中国产业经济转型与环境规制现状。在此基础上，本文实证检验了环境规制对于城市碳减排的促进作用，以及工业集聚在城市碳减排过程中的中介作用。研究结果表明：（1）环境规制能够显著降低城市碳排放强度。这一结论在经过内生性处理和指标替换后依然稳健。（2）中介效应分析结果表明，环境规制显著地提升了城市工业集聚水平，然而工业集聚提高了城市碳排放强度，一定程度上削弱了环境规制对城市碳减排的积极影响。（3）异质性分析结果表明，由于城市所处区域和自身发展水平差异，环境规制和工业集聚对城市碳排放强度的影响程度也存在明显区别。东部地区和西部地区环境规制显著降低了城市碳排放强度，并且工业集聚对城市碳排放影响并不显著。中部地区城市既受到环境规制对碳排放强度的抑制作用，也受到工业集聚对碳排放强度的促进作用。东北地区环境规制对城市碳排放强度的影响并不显著，而工业集聚对碳排放强度存在显著的正向影响。此外，在环境保护重点城市，环境规制未能实现减排预期，工业集聚对城市碳排放强度促进作用明显，环境规制力度有待进一步加强。上述结论充分表明，进入 21 世纪以来，随着经济发展过程中所出现的一系列生态环境问题逐渐暴露并引发社会广泛关注，党和政府生态文明建设力度日渐提高，经济发展开始从高速增长阶段向高质量发展阶段转型。在社会发展转型过程中，一方面，工业部门寻求通过产业集聚所带来的规模效应实现经济高质量发展；另一方面，工业集聚进一步提高了中国城市碳排放强度，这一现象在中部地区和东北地区表现得尤

其明显,亟待通过出台更有针对性的环境政策。

基于以上研究结果,为进一步促进中国低碳经济发展,积极履行《巴黎协定》承诺,本文提出如下建议:(1)继续采取最严格的环境规制手段,引导企业从逐底竞争到逐优、逐顶竞争,将经济发展对生态环境的破坏降到最低。(2)警惕环境规制过程中“污染天堂”现象。根据地方实际情况出台有区别的环境政策,防止高污染、高耗能产业向生态脆弱的欠发达地区转移。(3)政府应根据主体功能区定位,积极引导工业部门合理布局 and 有序集聚,发挥好集聚的正外部性,促进清洁技术在工业高度集聚地区得到广泛应用,真正实现环境改善与经济发展的“双赢”局面。

参考文献

- [1] 陈诗一,陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究,2018(2).
- [2] 宋德勇,杨秋月. 环境规制与人力资本在破解资源诅咒中的作用[J]. 城市问题,2019(9).
- [3] 韩峰,谢锐. 生产性服务业集聚降低碳排放了吗?——对我国地级及以上城市面板数据的空间计量分析[J]. 数量经济技术经济研究,2017(3).
- [4] 吴建新,吴延瑞,郭秀梅. 中国的城市密度与碳排放[A]. 宋立刚,[澳]郇若素,蔡昉,等编. 中国经济增长的新源泉(第 1 卷):改革、资源能源与气候变化[C]. 北京:社会科学文献出版社,2017.
- [5] Porter, M. E., C. Van der Linde. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship [J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995(4).
- [6] Sinn, H. Public policies against global warming: A supply side approach[J]. *International Tax and Public Finance*, 2008(4).
- [7] Van der Ploeg, F., C. Withagen. Is there really a green paradox? [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012(3).
- [8] Smulders, S., Y. Tsur, A. Zemel. Announcing climate policy: Can a green paradox arise without scarcity? [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2012(3).
- [9] Alcott, B. Jevons' paradox[J]. *Ecological Economics*, 2005(1).
- [10] Sorrell, S. Jevons' paradox revisited: The evidence for backfire from improved energy efficiency[J]. *Energy Policy*, 2009(4).
- [11] 谭娟,宗刚,刘文芝. 基于 VAR 模型的我国政府环境规制对低碳经济影响分析[J]. 科技管理研究,2013(24).
- [12] 张华,魏晓平. 绿色悖论抑或倒逼减排——环境规制对碳排放影响的双重效应[J]. 中国人口·资源与环境,2014(9).
- [13] 徐盈之,杨英超,郭进. 环境规制对碳减排的作用路径及效应——基于中国省级数据的实证分析[J]. 科学与科学技术管理,2015(10).
- [14] 周黎安. 中国地方官员的晋升锦标赛模式研究[J]. 经济研究,2007(7).
- [15] 孙伟增,罗党论,郑思齐,等. 环保考核、地方官员晋升与环境治理——基于 2004—2009 年中国 86 个重点城市的经验证据[J]. 清华大学学报(哲学社会科学版),2014(4).
- [16] Jia, R. X. *Pollution for Promotion*[Z]. Social Science Research Network, No. 3029046, 2017.
- [17] Levinson, A., M. S. Taylor. Unmasking the pollution haven effect[J]. *International Economic Review*, 2008(1).
- [18] 傅帅雄,张可云,张文彬. 环境规制与中国工业区域布局的“污染天堂”效应[J]. 山西财经大学学报,2011(7).
- [19] Chen, Z., M. E. Kahn, Y. Liu, et al. The consequences of spatially differentiated water pollution regulation in China[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 88.
- [20] 覃伟芳,廖瑞斌. 环境规制、产业效率与产业集聚[J]. 现代财经(天津财经大学学报),2015(3).
- [21] 刘金林,冉茂盛. 环境规制、行业异质性与区域产业集聚——基于省际动态面板数据模型的 GMM 方法[J]. 财经论丛,2015(1).
- [22] 郝寿义,张永恒. 环境规制对经济集聚的影响研究——基于新经济地理学视角[J]. 软科学,2016(4).

- [23]樊兰. 环境规制、外商直接投资与工业集聚——基于省际动态面板数据的实证研究[J]. 产经评论, 2018(1).
- [24]Grossman, G. M., A. B. Krueger. *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*[Z]. NBER; Working Paper, No. 3914, 1991.
- [25]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(7).
- [26]王涛. 工业专业化、多样化集聚与碳排放[J]. 工业技术经济, 2019(6).
- [27]张可, 豆建民. 集聚与环境污染——基于中国 287 个地级市的经验分析[J]. 金融研究, 2015(12).
- [28]胡志强, 苗健铭, 苗长虹. 中国地市工业集聚与污染排放的空间特征及计量检验[J]. 地理科学, 2018(2).
- [29]邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019(1).
- [30]何文举, 张华峰, 陈雄超, 等. 中国省域人口密度、产业集聚与碳排放的实证研究——基于集聚经济、拥挤效应及空间效应的视角[J]. 南开经济研究, 2019(2).
- [31]周圣强, 朱卫平. 产业集聚一定能带来经济效率吗: 规模效应与拥挤效应[J]. 产业经济研究, 2013(3).
- [32]Wu, J. J., J. J. Reimer. Pollution mobility, productivity disparity, and the spatial distribution of polluting and nonpolluting firms[J]. *Journal of Regional Science*, 2016(4).
- [33]Calmette, M-F., I. Péchoux. Are environmental policies counterproductive? [J]. *Economics Letters*, 2007(2).
- [34]温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展[J]. 心理科学进展, 2014(5).

Environmental Regulation, Industrial Agglomeration and Urban Carbon Emission Intensity: Empirical Analysis Based on Panel Data of 282 Prefecture-level Cities in China

DING Fei, ZHUANG Gui-yang, LIU Dong

Abstract: Can environmental regulations affect the intensity of urban carbon emissions by reshaping the industrial agglomeration pattern? This paper takes 282 cities at prefecture-level and above across China as the object of the study, measures the changes in carbon emission intensity of sample cities from 2003 to 2017, and discusses the direct and indirect impacts of environmental regulations on urban carbon emission intensity. The results show that environmental regulation has effectively curbed the growth of urban carbon emission intensity, and this conclusion is still robust after replacing the indicators. The analysis of mediation effect shows that although environmental regulation promotes urban industrial agglomeration, industrial agglomeration significantly increases the intensity of urban carbon emissions, and thus to some extent “masks” the positive impact of environmental regulation on urban carbon emission reduction; Heterogeneity analysis results show that there are obvious regional differences in the impact of environmental regulations and industrial agglomeration on urban carbon emission intensity. Further strengthening environmental regulations, introducing more flexible environmental policies, and guiding the orderly agglomeration of industrial sectors will help curb the intensity of urban carbon emissions and promote the sound development of China’s low-carbon economy.

Key words: environmental regulation; industrial agglomeration; carbon emission intensity; energy saving and emission reduction

(责任编辑 朱 蓓)