

环境规制影响资源型城市绿色全要素生产率 的途径与政策建议

赵明亮¹, 冯健康², 孙威^{3,4}

(1. 山东财经大学国际经贸学院, 济南 250002; 2. 山东师范大学经济学院, 济南 250358; 3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 4. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049)

摘要: 环境规制对资源型城市绿色全要素生产率是否具有推动作用, 通过何种路径驱动以及是否存在城市类型异质性有待进一步理清。本文选取2004—2019年中国113座资源型城市的面板数据, 利用非径向、非角度的SBM模型与GML指数对资源型城市绿色全要素生产率进行测算, 随后通过构建多重中介效应模型实证检验了科技创新、外商直接投资和产业结构优化在环境规制影响绿色全要素生产率的传导机制及其在城市类型间的异质性。研究表明: (1) 从全样本回归结果看, 环境规制对资源型城市绿色全要素生产率的作用系数显著为正, 产业结构优化和外商直接投资均发挥了显著的正向中介效应, 而科技创新表现为间接抑制作用; 在非资源型城市中, 三类中介效应均不显著。(2) 类型异质性检验显示, 科技创新在成长型、成熟型城市中发挥了正向中介效应, 在再生型城市中表现为间接抑制作用; 外商直接投资在衰退型城市中的中介效应值为正, 而在再生型城市中表现为负向中介效应; 产业结构优化在成长型与成熟型城市中发挥了正向中介效应。(3) 对比中介效应结果表明, 全样本回归时, 产业结构优化、外商直接投资和科技创新的中介效应梯次递减, 产业结构优化的中介效应占比接近80%, 环境规制的直接效应大于总体中介效应。成长型城市和成熟型城市主要通过科技创新和产业结构优化两种渠道发挥中介效应, 衰退型城市主要通过外商直接投资、再生型城市通过科技创新和外商直接投资发挥中介效应, 稳健性检验表明结果可靠。最后, 本文从建立资源开发与污染排放的外部性约束机制、采取分类引导和因地制宜的环境规制政策等方面提出了政策建议。

关键词: 资源型城市; 环境规制; 绿色全要素生产率; 多重中介效应

资源型城市是中国重要的能源供应基地, 对推动经济增长与社会进步做出了历史性贡献。随着资源开采活动的长期推进, 诸多资源型城市的主导资源逐渐进入衰退期, 并涌现出经济持续衰退、生态环境恶化与失业激增等一系列问题, 甚至出现“矿竭城衰”的现象, 以资源消耗为基础的单一产业结构导致其陷入经济可持续发展的困境, 最终堕入“资源诅咒”的桎梏。资源型城市的绿色发展和转型升级, 是世界主要工业化国家经济社会发展面临的突出难题, 生态恶化与经济衰退成为制约众多国家资源型城市绿色转型的关键瓶颈, 探索资源型城市绿色经济发展的有效方法成为各国经济工作的重点环节。在绿色发展理念的指引下, 中国经济增长迫切需要实现绿色效率变革, 而摒弃传统的“资源掠夺式”发展理念, 实现资源型城市经济增长与环境保护耦合协调的重要性尤为突出。国务院出台的《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》成为“十

收稿日期: 2022-02-28; 修订日期: 2022-07-13

基金项目: 山东省社会科学规划基金重点项目(21BJJ05)

作者简介: 赵明亮(1985-), 男, 山东昌乐人, 博士, 教授, 研究方向为国际贸易与资源环境、区域可持续发展与产业规划。E-mail: zhaoming1985@163.com

通讯作者: 孙威(1975-), 男, 河南开封人, 博士, 岗位教授, 副研究员, 研究方向为经济地理与区域发展。

E-mail: sunw@jgsnrr.ac.cn

三五”时期资源型城市转型升级的纲领性文件，党的“十九大”报告也明确提出要支持资源型地区经济转型发展，2021年由国务院批复的《推进资源型地区高质量发展“十四五”实施方案》对新时代资源型城市绿色转型提出了更高要求。经济高质量发展离不开规范协调的长效机制，而环境规制作为政府约束企业环境外部性行为的重要手段，可以通过规范企业资源开发行为、增加环境损害成本、培育壮大接续替代产业、提高利用外资水平、引导城市创新发展等方式促进产业降污减排，推动资源型城市经济高质量发展。

目前中国资源型城市环境规制存在一些问题，与之相配套的碳排放交易市场等建设相对滞后，制度性和规范化的环境规制执行标准有待完善，地方政府的环保执法存在“一刀切”现象，缺乏多样化的环境分级管理政策工具，对于不同发展阶段的资源型城市缺乏分类引导和因地制宜的环境管理制度。企业、地方政府对于环境规制的绿色经济发展效应及影响机制认识不足，缺乏环境规制对经济高质量发展的因势利导，致使环境规制与经济绿色发展存在一定的脱节。在“双碳”目标提出背景下，研究环境规制与资源型城市绿色全要素生产率之间的关联机制以及在不同类别资源型城市间的异质性，对于完善环境规制措施，有侧重的选择差异化的中介渠道，推动中国经济高质量发展，实现绿色效率变革具有重要价值。

绿色全要素生产率的提升是资源型城市转型效率和经济高质量发展的重要体现，而关于环境规制对绿色全要素生产率影响的研究，学术界至今尚未形成一致结论。归纳起来主要有三种观点。一是环境规制促进论，以波特为代表的学者认为，环境规制虽然对企业的生产经营活动带来外部性约束，但适当的环境规制可以倒逼企业提高科技创新水平，实现生产效率的提高与期望产出的增加，进而提高全要素生产率^[1-4]。二是环境规制抑制论，认为环境规制给企业的生产决策施加了外部性约束，迫使企业的污染治理成本内部化，导致企业生产经营投资和创新研发投入下降，抑制了企业全要素生产率的提高^[5-7]。三是环境规制与绿色全要素生产率存在非线性关系^[8-14]，只有当环境规制强度保持在阈值以下，绿色全要素生产率才会实现正向增长。通过文献梳理发现，学者们的研究集中于探讨环境规制对绿色全要素生产率的直接影响或非线性关系，缺乏对于间接传导机制的中介效应探讨，而且现有文献大部分是从省级尺度或以制造业为研究对象，鲜有文献从资源型城市层面来分析环境规制对绿色全要素生产率的多重中介效应。鉴于此，本文以113座资源型城市为对象，将科技创新、外商直接投资和产业结构优化作为中介变量，探究三类传导路径的总体中介效应、特定路径中介效应、对比中介效应，以及在不同类型资源型城市中的差异性。研究成果将丰富环境规制与绿色全要素生产率的关系研究，对促进资源型城市绿色效率变革和可持续发展具有理论和现实意义。

1 理论与机制解析

环境规制作为政府解决污染问题而实行的一种非市场干预手段，在促进企业调整要素投入结构并增加期望性产出，减少生产活动对自然环境的负面影响，提高绿色经济发展水平方面会发挥一定作用。资源型城市经济发展的绿色效率变革主要体现在环境规制驱动下的科技创新效应、外商直接投资效应和产业结构优化效应，本文将分析环境规制在不同中介效应下对绿色全要素生产率的传导机制。

1.1 科技创新效应

环境规制的科技创新效应对资源型城市绿色全要素生产率有重要的影响。从环境规

制对科技创新的影响来看,主要体现在:(1)绿色生产工艺促进^[15]。当地政府为了改善生态环境而实施的规制政策会对企业的生产经营活动施加外部性约束,现阶段国家要求统筹考虑资源、环境、市场等条件,支持成长型和成熟型城市打造若干产业链完整、特色鲜明、主业突出的资源深加工产业基地。企业为了满足环境规制标准也会选择增加环保研发投入来提高清洁生产技术水平^[16,17],通过创新工业制造技术和能源清洁生产促进降污减排,这种技术革新通过产业链的前后关联产生溢出效应^[18],最终推动了整个行业技术创新能力的提高^[19]。环境规制也会促进专业技术、高技能等各类人才队伍建设,配套相关科技创新设施^[20,21]。(2)市场竞争效应^[22]。环境规制除了影响生产端企业之外还包括销售端的企业,资源型城市的环境规制导致当地高污染产品的销售被严格控制,而新型低污染产品市场中更受青睐,因此市场竞争效应会使销售端企业加大绿色科技产品的营销来提前抢占市场份额,最终倒逼生产端企业加大绿色科技研发来获得新的利润增长点,这种利润追逐效应对资源型城市科技创新水平具有正向推动作用。

而科技创新对资源型城市绿色全要素生产率的影响可以分为正反两个方面。(1)提高资源利用效率。科技创新的绿色成果产出可以推动清洁生产技术替代传统的高耗能发展模式^[23],不仅可以降低企业生产经营活动的环境污染效应,还可以提高资源利用效率,达到降低污染与增加期望产出的双赢效果^[24]。(2)资金挤出效应。环境规制虽然提高了资源型城市的科技创新投入和绿色研发能力,但科技资金的投入到产出需要较长的转化时间,并且科技创新的成果转化受到科技认知水平与人力资本等多重因素的影响^[25-27],具有较高的风险和不确定性,进而导致科技资本投入成为暂时性或永久性的沉没成本,这种科技创新的生产力转化时滞与资金挤占在短期内非但无法提高资源型城市的绿色经济发展水平,反而降低了产出水平与经济效率^[28,29]。

1.2 外商直接投资效应

长期以来,发达国家日趋升高的污染排放成本与环境治理压力导致大量高能耗与高污染企业开始向环境规制相对宽松的发展中国家进行转移^[30],而在企业利润追逐效应与地方政府“逐底竞争效应”的双重驱使下^[31,32],大量发展中国家的资源型城市成为污染型外资企业的“避难天堂”,这种以规避污染壁垒与掠夺自然资源为主要目的的外资企业给当地带来大量的环境污染^[33],对当地绿色经济发展水平造成严重破坏。环境规制作为经济高质量发展的重要推手,对资源型城市外商直接投资有着重要影响,主要体现在:(1)污染型企业有序退出。资源型城市的地方政府为了推动本地经济发展实现绿色效率变革,通过实行环境规制政策来提高当地企业的污染排放标准,一方面环境治理成本的内部化导致当地从事资源型活动的外资企业由于产品价格失去竞争优势,从而选择外资撤离来寻找新的“污染避难所”^[34]。(2)提高外资准入门槛。据各省市统计年鉴资料显示,中低端污染型外资企业投资在资源型城市中占有相当比例,环境规制壁垒的逐渐升高,提高了外资准入门槛,缓解了以污染避难为目的的外资企业持续进入并在城市从事污染性经营活动,最终降低了资源型城市中低端污染型外资企业比例^[35,36]。环境规制可以通过筛选资源型城市的高能耗与低端污染密集型外资企业,深化对外开放,提高利用外资水平,积极引导外资更多地投向节能环保、新能源和新材料等领域来促进降污减排,进而推动经济高质量发展,这一机制的有效发挥也有赖于城市外商直接投资的总体水平和城市的产业配套完善程度。

1.3 产业结构优化效应

环境规制的产业结构优化效应是资源型城市经济发展与环境保护共融的基础性驱动因素。具体来看,环境规制可以通过产业转移效应和产业替代效应两个维度影响产业结

构优化^[37,38]。(1) 产业转移效应。环境税与控污法规等环境规制政策增加了污染要素的相对价格和生产过程的外在约束,通过塑造环境壁垒效应限制了低端企业的持续进入^[39,40],并且随之带来的成本提升效应和生产约束效应迫使现有企业转变生产经营结构,推动劳动力与资本等生产要素向服务业等清洁行业转移^[41],最终环境规制所施加的外部性环境约束控制了资源型城市中的重工业企业占比^[42],促进了要素资源在社会经济结构之间的合理配置和动态均衡,实现了各个产业部门的良性协同发展^[43]。(2) 产业替代效应。环境规制强化了企业的绿色技术创新和清洁能源生产,对企业实现主导产业置换和传统技术升级具有正向促进作用,推动了资源型产业整体绿色生产效率和产品附加值向产业链上游演进,推动谋划布局战略性新兴产业,实现资源型城市产业结构的高级化转轨。资源型城市产业结构的调整提高了当地经济的发展活力,绿色产业体系的兴起也提高了本地产业发展的生态服务性^[44],对于本地产业发展和环境效率提升有积极作用^[45],最终促进了资源型城市经济发展的绿色效率变革,达到经济增长友好和节能减排的双重目的。依托资源型城市的产业基础,发挥比较优势,大力发展接续替代产业、特色服务业,实现产业多元发展和优化升级是资源型城市可持续发展的重要机制(图1)。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究区概况

根据《全国资源型城市可持续发展规划(2013—2020年)》的界定,全国有262座资源型城市,其中地级市126座,县级市62座,县58座,市辖区16座。由于数据可得性限制,本文仅选取126座地级行政区中的113座资源型城市作为研究样本。其中,根据城市经济可持续发展水平与资源保障能力的差异性,《规划》将资源型城市划分为成长型、成熟型、衰退型、再生型四类,本文参考这一划分标准并进行实证研究。另外,为了更科学地考察资源型城市在环境规制、科技创新、外商直接投资、产业结构优化、绿色发展等方面所具有的特殊性对影响效应和影响机制带来的差异化影响,选取171座非资源型城市作为对照组进行实证研究,在不同组别城市研究结论启发下深入探讨背后的影响因素和机制,以期更全面、立体和更具针对性地提出资源型城市绿色全要素生产率提升的对策。

2.2 指标构建

绿色全要素生产率指标同时将能源投入与环境产出因素考虑在内,可以更好地表征

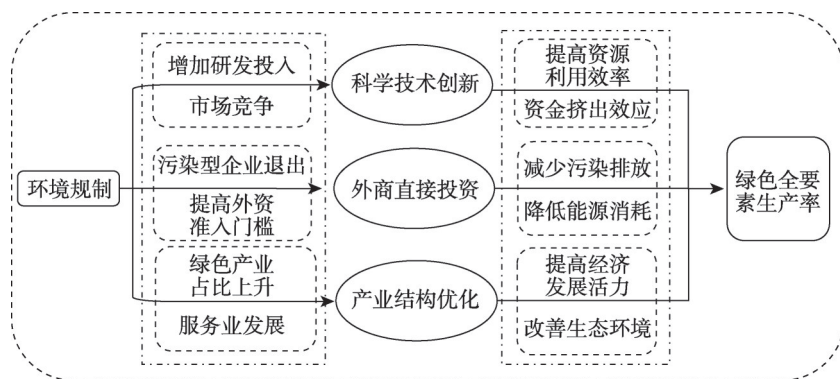


图1 理论和机制解析

Fig. 1 Analytical diagram of theory and mechanism

一个地区的绿色经济发展能力。因此,本文参考Tone^[46]和Färe等^[47]的研究,将期望产出与非期望产出考虑在内,采用基于非径向、非角度的SBM方向性距离函数并结合GML指数对绿色全要素生产率进行测算,并对最终结果进行累积化处理。

投入指标为:(1)劳动投入:采用各城市从业人员数量来衡量。(2)资本投入:采用“永续盘存法”进行估算,计算公式为: $K_{it}=I_{it}+(1-\delta_{it})K_{it-1}$ 。其中: K_{it} 为*i*城市*t*年的资本存量(万元); I_{it} 为*i*城市*t*年的固定资产投资额(万元); δ_{it} 为折旧率(%),借鉴张军等^[48]的研究,将其取值为9.6%。基期资本存量的计算公式为: $K_{it}=I_{it}/(g+\delta)$, g 为2004—2019年固定资产投资额的年均增长率(%),其中固定资产投资额以2004年为基期进行平减处理。(3)能源投入:选取全社会用电量来衡量。

产出指标为:(1)期望产出,本文选取各资源型城市的GDP进行表征,并以2004年为基期进行平减;(2)非期望产出,各地区工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业烟尘排放量。

2.3 模型设定

根据文献梳理与理论机制分析,本文参考柳士顺等^[49]、温忠麟等^[50]的研究方法,在图2中刻画了资源型城市环境规制对绿色全要素生产率影响的多重中介效应示意图。其中, X 代表城市环境规制强度; Y 代表绿色全要素生产率; M_1 、 M_2 、 M_3 分别代表科技创新、外商直接投资、产业结构优化三种中介变量。该模型中的中介效应可表示如下:

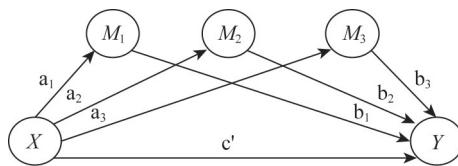


图2 多重中介效应示意图

Fig. 2 Schematic diagram of chain multiple mediation effect model

(1) 特定路径中介效应:效应1,科技创新的中介效应(a_1b_1),机制分析发现其主要体现在推动清洁生产技术应用和资金挤出效应;效应2,外商直接投资的中介效应(a_2b_2),主要体现在现有污染外资企业撤离以及外资企业进入门槛的提高两方面;效应3,产业结构优化的中介效应(a_3b_3),主要体现为产业结构合理化和产业结构高级化。(2) 对比中介效应: $a_1b_1-a_2b_2$, $a_1b_1-a_3b_3$, $a_2b_2-a_3b_3$ 分别代表上述三类中介效应之间的差异。(3) 总体中介效应: $a_1b_1+a_2b_2+a_3b_3$,代表三类中介效应之和。除了以上中介效应之外,城市环境规制对绿色全要素生产率还存在直接影响效应,在图2中以字母 c' 进行表示。

除此之外,本文认为除了核心解释变量与三类中介变量之外,还有以下因素会对城市的绿色全要素生产率产生影响:(1)经济发展水平,一个城市的经济发展水平,财政资金的充裕情况等,影响当地对于粗放式或精细化经济发展模式的选择;(2)金融发展水平,金融服务水平的提升和融资约束的缓解都会对企业科技创新、产业转型投资等产生重要影响,资本导向作用会对绿色投资项目选择产生重要影响;(3)资源丰裕度,资源禀赋可以影响地区环境污染程度与经济发展方式^[51];(4)固定资产投资水平,固定资产投资虽然对经济发展起到了有力的保障作用,但大规模固定设施建设活动若效率低下,也可能产生大量的非期望产出。

$$LGTFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 LER_{it} + \alpha_2 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$LINNO_{it} = \beta_0 + \beta_1 LER_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$LFDI_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 LER_{it} + \varphi_2 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$LIND_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 LER_{it} + \gamma_2 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$LGTFP_{it} = \eta_0 + \eta_1 LER_{it} + \eta_2 LINNO_{it} + \eta_3 LFDI_{it} + \eta_4 LIND_{it} + \eta_5 X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

式中： $GTFP_{it}$ 为被解释变量，表示*i*城市在*t*年的绿色全要素生产率； ER_{it} 为核心解释变量，代表*i*城市在*t*年的环境规制强度，本文采用熵值法^[52,53]进行衡量，首先将污染排放指标选为工业废水排放量、工业二氧化硫排放量和工业烟尘排放量，其次对各城市单位经济产出的污染排放量进行标准化处理与熵值法计算，该指标得分越高，表示环境规制强度越大。 X 为控制变量集，包括：（1）经济发展水平（ $PGDP$ ），采用各城市人均GDP（元）来衡量；（2）金融发展水平（ FIN ），利用各地区年末金融机构贷款余额与GDP的占比（%）进行衡量；（3）资源丰裕度（ RES ），采用各城市采矿业从业人数与总就业人数的比例（%）进行表征^[54,55]；（4）固定资产投资水平（ INF ），采用各地区人均道路面积（ m^2 ）进行衡量。中介变量包括：（1）产业结构优化（ IND ），选取第三产业从业人数占总就业人数的比值（%）来衡量。（2）科技创新（ $INNO$ ），由于技术发展过程中存在明显的累积效应，故利用永续盘存法，选取各地区科技资本存量（万元）进行衡量，公式为： $INNO_{it} = INNO_{it-1}(1 - \delta_{it}) + I_{it}$ ，其中： $INNO_{it}$ 为*t*年*i*城市的科技资本存量（万元）； I_{it} 为*t*年*i*城市的科学技术支出额（万元）； δ_{it} 表示折旧率（%），由于科技资本折旧速度较快，故本文将其取值为15%，基期的科技资本存量为： $INNO_{it} = I_{it} / (g + \delta)$ ， g 为2004—2019年科学技术支出额的年均增长率（%）。（3）外商直接投资（ FDI ），采用各地区外商直接投资存量与GDP的比值（%）来表征，其中，外商直接投资数据按照当年人民币兑美元的汇率转换为以人民币为单位的外商直接投资存量（万元）； μ_i 为个体固定效应； λ_t 为时间固定效应； ε_{it} 表示误差项； α 、 β 、 γ 、 φ 、 η 表示待估系数。

2.4 数据说明

基于数据的可得性，本文以中国113座资源型城市和171座非资源型城市为研究样本，采用2004—2019年的面板数据进行实证研究，各类指标均来源于《中国城市统计年鉴》与各省市统计年鉴。个别城市缺失数据利用均值插补法和近5年的年均增长率进行递推处理。各变量相关指标如表1所示。

为了描绘中国资源型城市环境规制与绿色全要素生产率的空间分布状况与时间演变趋势，本文选取2004年与2019年两个时间节点的截面数据进行分析。由图3可以看出，2004年资源型城市环境规制强度整体偏低，与非资源型城市相比存在一定差距；2019年资源型城市环境规制强度相较于2004年有较大提升，追赶效应明显。山西省和陕西省资源型城市处于环境规制强度低值区。从空间分布状况来看，中国资源型城市环境规制强度呈现“东高西低”的空间分布特征；从城市类型异质性来看，2004年与2019年环境规制强度高值区主要集中在再生型城市，衰退型城市环境规制强度相对较低。

从图4资源型城市绿色全要素生产率的时空分布状况可以看出，2004年与2019年大部分资源型城市绿色全要素生产率呈现增长趋势，但与非资源型城市相比增速相对缓慢，张家口市、昭通市绿色全要素生产率表现为下降趋势。从空间维度上来看，资源型城市绿色全要素生产率呈现东、中、西三大地区梯次递减的分布特点；从城市类型异质性来看，再生型城市绿色全要素生产率水平最高，处于领先态势。

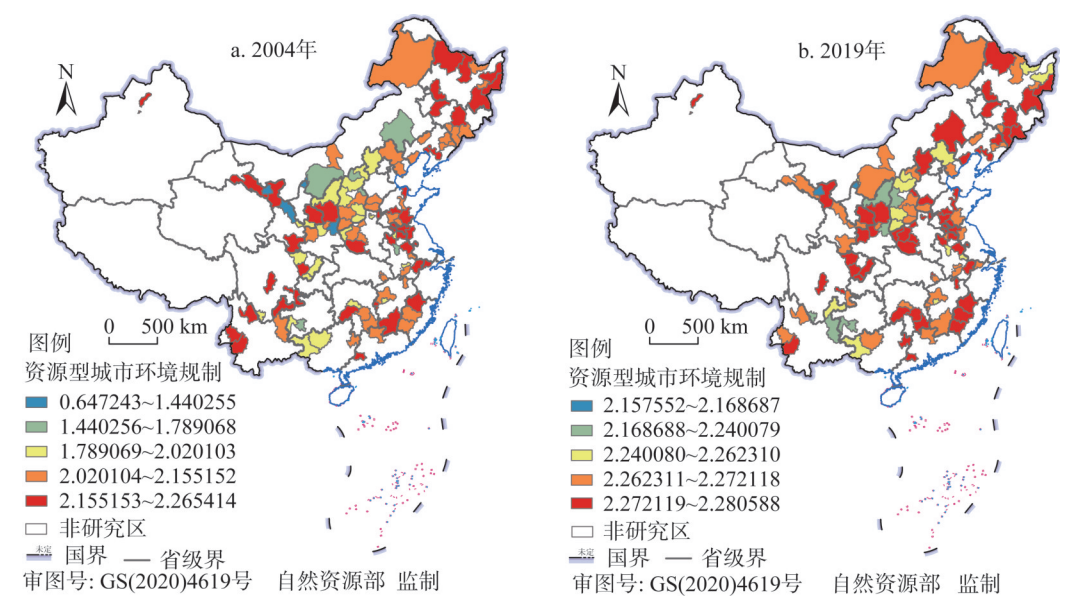
3 结果分析

3.1 变量多重共线性检验

考虑到模型解释变量较多，有的变量属于同类型变量，因此采用方差膨胀因子

表1 变量描述性统计分析
Table 1 Statistical description of indicators

变量名称	变量符号	观测值/座	最大值	最小值	平均值	标准差
绿色全要素生产率	<i>LGTFP</i>	4544	2.1199	-2.3621	0.3214	0.2946
环境规制	<i>LER</i>	4544	1.7769	0.1704	1.4588	0.2135
产业结构优化	<i>LIND</i>	4544	-0.0532	-2.3116	-0.6638	0.2762
科技创新	<i>LINNO</i>	4544	16.7421	-1.1896	10.3699	2.1809
外商直接投资	<i>LFDI</i>	4544	-0.3385	-11.7351	-3.1193	1.4677
经济发展水平	<i>LPGDP</i>	4544	13.1851	7.6607	10.2702	0.8689
金融发展水平	<i>LFIN</i>	4544	3.0315	-2.1054	0.0150	0.5953
资源禀赋	<i>LRES</i>	4544	-0.5036	-12.5008	-4.4606	2.1480
固定资产投资水平	<i>LINF</i>	4544	4.2910	-5.6196	0.9843	0.9508



注：本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作，底图无修改，下同。

图3 2004年、2019年资源型城市环境规制情况

Fig. 3 Environmental regulation of resource-based cities in 2004 and 2019

(Variance Inflation Factor, VIF)对模型的多重共线性问题进行检验。检验结果如表2所示，各变量中的最大VIF值仅为1.88，远小于10，模型不存在多重共线性问题，可以有效避免估计量方差增大，变量显著性检验失效等问题，此时回归模型较为稳定可靠。

3.2 全样本中介效应分析

本文首先从全样本层面考察资源型城市环境规制对绿色全要素生产率的影响效应，检验结果如表3所示。从全样本层面来看，环境规制对绿色全要素生产率的作用系数为0.3899，在1%的显著性水平下通过检验，说明环境规制对资源型城市绿色全要素生产率具有推动作用。从特定路径中介效应来看，路径1表示“环境规制→科技创新→绿色全要素生产率”，该效应值为-0.0140，说明在环境规制影响资源型城市绿色全要素生产率的过程中，科技创新表现为显著的负向中介效应，可能是由于科技研发的高投入对企业

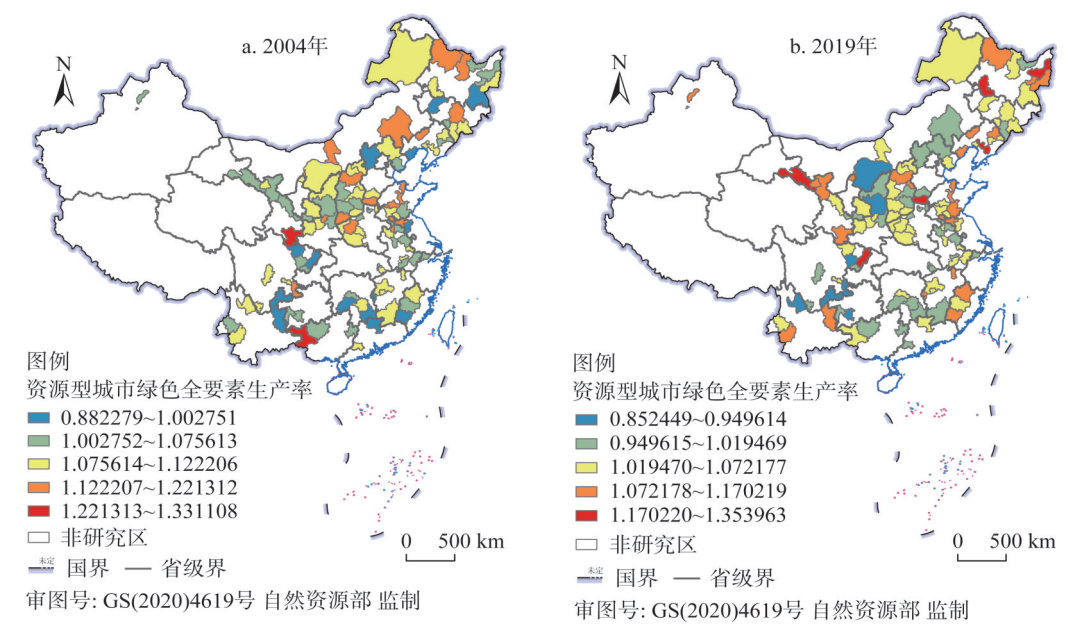


图4 2004年、2019年资源型城市绿色全要素生产率情况
Fig. 4 Green total factor productivity of resource-based cities in 2004 and 2019

表2 变量方差膨胀因子VIF值

Table 2 The value of VIF

	ER	INNO	FDI	IND	PGDP	RES	INF	FIN	均值
VIF	1.0700	1.5100	1.3000	1.1900	1.8800	1.0400	1.0900	1.1600	1.2800
1/VIF	0.9639	0.6642	0.7683	0.8391	0.5331	0.9639	0.9135	0.8642	0.7813

经营活动造成了资金挤占效应，加之科技创新成果转化的时滞性带来大量的沉没成本，从而造成经济效率下降与产出降低的现象。路径2表示“环境规制→外商直接投资→绿色全要素生产率”，该中介效应值为0.0332，环境规制可以通过缓解外商直接投资的环境负效应来提高当地绿色经济发展水平。路径3表示“环境规制→产业结构优化→绿色全要素生产率”，从回归结果可以看出环境规制经产业结构优化对绿色全要素生产率的中介效应值为0.1692，且中介效应相比科技创新和外商直接投资较高。将上述三条特定路径的中介效应进行加总可得总体中介效应为0.1884。而控制三类中介变量之后可以发现，环境规制对资源型城市绿色全要素生产率的直接效应系数为0.2013，在1%的水平上显著，反映了环境规制的直接作用效应要大于三类中介效应之和，环境规制的直接效应是资源型城市绿色全要素生产率提升的重要路径。根据柳士顺等^[49]的研究，从对比中介效应来看，科技创新、外商直接投资和产业结构优化的中介效应在总体中介效应中的占比分别为6.5%、15.3%和78.2%，三类中介效应呈现路径3、路径2、路径1依次递减的现象，表明资源型城市环境规制经由产业结构优化产生的中介效应要大于科技创新与外商直接投资的中介效应。

从非资源型城市的回归结果看，环境规制对绿色全要素生产率影响的总效应值与直接效应值均不显著。从特定路径中介效应看，科技创新、外商直接投资和产业结构优化

表3 全样本多重中介效应检验结果

Table 3 Multiple mediating effect test results for the whole sample

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	资源型城市					非资源型城市				
	LGTFP	LINNO	LFDI	LIND	LGTFP	LGTFP	LINNO	LFDI	LIND	LGTFP
LER	0.3899*** (0.0895)	0.6043*** (0.2126)	-2.1543*** (0.3560)	0.3218*** (0.0565)	0.2013*** (0.0860)	-0.0144 (0.0886)	0.1562 (0.1830)	0.9365*** (0.2209)	0.0828 (0.0595)	-0.0646 (0.0839)
LINNO					-0.0231*** (0.0098)					0.0108 (0.0091)
LFDI					-0.0154*** (0.0058)					0.0078 (0.0076)
LIND					0.5259*** (0.0368)					0.4971*** (0.0279)
LRES	-0.0384*** (0.0083)	-0.1121*** (0.0198)	0.1094*** (0.0331)	-0.0120** (0.0053)	-0.0330*** (0.0079)	0.0165*** (0.0049)	-0.0051 (0.0102)	0.0086 (0.0123)	0.0105*** (0.0033)	0.0113** (0.0046)
LINF	-0.1008*** (0.0139)	0.0159 (0.0330)	0.0796* (0.0531)	-0.0211*** (0.0088)	-0.0880*** (0.0131)	-0.0445*** (0.0145)	-0.0218 (0.0300)	0.0147 (0.0362)	0.0011 (0.0098)	-0.0450*** (0.0137)
LPGDP	-0.1055*** (0.0206)	0.2912*** (0.0490)	0.4075*** (0.0819)	-0.0846*** (0.0130)	-0.0480** (0.0198)	-0.1050*** (0.0305)	0.7770*** (0.0631)	0.5033*** (0.0762)	-0.1040*** (0.0205)	-0.0656** (0.0301)
LFIN	-0.1208*** (0.0206)	0.3953*** (0.0488)	-0.1719** (0.0817)	-0.0834*** (0.0130)	-0.0705*** (0.0199)	-0.1684*** (0.0237)	0.3979*** (0.0490)	-0.1319** (0.0592)	0.0078 (0.0160)	-0.1755*** (0.0227)
CONSTANT	0.6909*** (0.2573)	5.6413*** (0.6100)	-3.7521*** (1.0211)	-0.4063** (0.1620)	0.9772*** (0.2485)	1.5804*** (0.3316)	2.3854*** (0.6853)	-9.2456*** (0.8269)	0.3782* (0.2229)	1.4384*** (0.3208)
个体固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
R ²	0.7053	0.9634	0.8417	0.8692	0.7419	0.6389	0.9734	0.8895	0.8110	0.6791
N/座	1808	1808	1808	1808	1808	2736	2736	2736	2736	2736

注：***、**、*分别代表在1%、5%、10%水平上显著，括号内数值为标准差，下同。

同样无法发挥显著的中介效应。非资源型城市一般科技创新水平较高、产业结构更为合理，外商投资有一定的筛选机制，环保压力相比资源型城市要小，但因对环境污染问题较为重视，对低端污染投资项目主动淘汰力度大，绿色全要素生产率提升并非主要由环境规制驱动。各省份及城市统计年鉴等数据资料显示，资源型城市的投资主要集中在煤炭、冶金、建材、化工、纺织等中低端生产加工行业。对比研究结论和相关资料，也从侧面印证了环境规制仅是资源型城市经济发展实现绿色效率变革的重要推手，科技创新、外商直接投资和产业结构优化是资源型城市的重要中介传导机制。

在控制变量中，资源丰裕度对资源型城市绿色全要素生产率的系数估计值显著为负，这可能是由于当地的资源禀赋推动了资源开采与原料加工等第二产业的发展，但这种粗放式经济活动具有明显的环境负效应，并且资源禀赋给城市发展带来资源依赖的同时也造成当地经济陷入以资源为主的单一产业结构^[56]，从而对绿色经济增长带来负面影响；而在非资源型城市中，资源禀赋对当地绿色全要素生产率可以产生显著的促进作用。固定资产投资水平的系数估计值显著为负，固定资产投资一方面会对城市造成资金挤占效应，另一方面大规模基础设施建设会带来严重的资源消耗和环境污染。经济发展

水平的系数估计值显著为负，资源型城市长期以资源开采与工业生产活动为主，高能耗的经济发展方式虽然促进了经济的高速增长，但这种粗放式生产经营活动造成大量能源消耗和污染产出，导致经济增长与环境质量不协调。金融发展水平对绿色全要素生产率的影响系数显著为负，资本的逐利性驱使各类金融资源流向矿产经营与房地产等高回报项目，不利于当地经济绿色发展。为提高实证方法的检验力，本文通过利用Bootstrap抽样1000次的方法重新进行中介效应检验。从表4中的结果可以看出，资源型城市科技创新、外商直接投资和产业结构优化的中介效应检验结果均与系数影响方向和显著性一致，非资源型城市中介效应结果未通过显著性检验，说明中介效应回归结果在Bootstrap检验下仍然稳健。

表4 Bootstrap抽样法中介效应检验结果
Table 4 Bootstrap sampling mediated effect test results

中介效应路径	中介效应值	95%置信区间	中介效应值	95%置信区间	抽样次数 /次
	资源型城市		非资源型城市		
科技创新效应	-0.0269** (0.0134)	[-0.0531, -0.0006]	0.0001 (0.0027)	[-0.0052, 0.0054]	1000
外商直接投资效应	0.0449** (0.0228)	[0.0003, 0.0895]	0.0052 (0.0103)	[-0.0149, 0.0253]	1000
产业结构优化效应	0.1749*** (0.0362)	[0.1040, 0.2458]	0.0410 (0.0482)	[-0.0535, 0.1355]	1000

3.3 分城市类型的中介效应分析

由于不同资源型城市在环境容量、经济发展水平与资源禀赋等方面存在差异性，因此环境规制在影响绿色全要素生产率的过程中，科技创新、外商直接投资和产业结构优化所发挥的中介效应也可能存在城市类型的异质性。从表5的回归结果可见，环境规制对成长型城市绿色全要素生产率的总效应系数不显著。而环境规制对成长型城市科技创新具有显著的正向影响，且科技创新对绿色全要素生产率产生了显著的正向影响，因此科技创新在成长型城市中表现为正向中介效应，该中介效应系数为0.3251。而由于环境规制无法对成长型城市外商直接投资产生显著影响，因此外商直接投资在成长型城市中的中介效应不显著。产业结构优化具有积极的中介效应，该效应系数为0.5736。将特定路径中介效应加总可得总体中介效应为0.8987。此外，环境规制对资源型城市绿色全要素生产率的直接效应系数在5%显著性水平上为-1.0140，从直观上来看，环境规制对绿色全要素生产率影响的总体中介效应小于直接效应，且科技创新与产业结构优化的中介效应在总体中介效应中的占比分别为36.2%和63.8%。

环境规制对成熟型城市绿色全要素生产率的总效应系数为0.3944，在1%水平上显著，说明环境规制推动了成熟型城市绿色全要素生产率的增长。特定路径中介效应检验显示，科技创新的中介效应为0.0248，产业结构优化的中介效应为0.1183，而外商直接投资的中介效应不显著。当控制三类中介变量之后可以发现，环境规制对成熟型城市绿色全要素生产率的直接效应系数为0.2497，在5%显著性水平上通过检验，反映出成熟型城市环境规制的直接效应较大。在总体中介效应中，科技创新与产业结构优化的中介效应占比分别为17.3%和82.7%。

表6为衰退型与再生型城市的多重中介效应检验结果，从结果（1）可以发现，环境规制对衰退型城市绿色全要素生产率的影响系数在1%的水平上显著为正，表明环境规制可以显著推动衰退型城市绿色全要素生产率提升。从特定路径中介效应来看，科技创新与产业结构优化均无法在衰退型城市中发挥显著的中介效应。而环境规制经由外商直接

表5 成长型与成熟型城市多重中介效应检验结果
Table 5 Test results of multiple mediating effects of growing and mature cities

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	成长型城市					成熟型城市				
	LGTFP	LINNO	LFDI	LIND	LGTFP	LGTFP	LINNO	LFDI	LIND	LGTFP
LER	-0.1797 (0.3587)	3.4691*** (0.8661)	1.5608 (1.5486)	0.8431*** (0.1500)	-1.0140** (0.3710)	0.3944*** (0.1160)	-0.5143** (0.2477)	-2.9503*** (0.4569)	0.2196*** (0.0623)	0.2497** (0.1135)
LINNO					0.0937*** (0.0279)					-0.0483*** (0.0150)
LFDI					-0.0412*** (0.0157)					-0.0005 (0.0081)
LIND					0.6803*** (0.1608)					0.5389*** (0.0598)
CONSTANT	1.9624** (0.8533)	0.3645 (2.0604)	-14.0743** (3.6839)	-1.2732*** (0.3568)	2.2141*** (0.8478)	0.3113 (0.3462)	7.8900*** (0.7391)	-1.6677 (1.3632)	-0.5041*** (0.1860)	0.9636*** (0.3500)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
R ²	0.7188	0.9565	0.8442	0.8879	0.7649	0.6728	0.9660	0.8182	0.8802	0.7057
N/座	224	224	224	224	224	976	976	976	976	976

投资影响绿色全要素生产率中介效应值为0.0590。衰退型城市资源趋于枯竭，生态环境压力大，主要任务是破除城市内部二元结构，促进失业矿工再就业，逐步增强可持续发展能力。这类城市经济结构僵化，产业基础薄弱，产业转型发展的压力较大，因此产业结构优化的水平不高，促进绿色全要素生产率提升的中介效应难以发挥。同时，人才资源匮乏、科技转化能力薄弱等也制约了科技创新中介效应的发挥。在控制了三类中介变量之后可以发现，环境规制对绿色全要素生产率的直接效应系数为0.3451，在1%的水平上显著，环境规制的直接效应是衰退型城市实现绿色发展的重要渠道。

再生型城市多重中介效应检验结果显示，环境规制对绿色全要素生产率的效应系数不显著。而环境规制经由科技创新对绿色全要素生产率中介效应系数为-0.4626，这可能是由于再生型城市经济社会活动开始步入良性发展轨道^[57,58]，此时在环境规制的倒逼效应以及在自身长期性的发展驱动下，企业会选择加大科技投入来提升创新研发能力，以此来提高自身绿色经济产出并达到降污减排的效果，因此环境规制对再生型城市科技创新能力产生了显著的促进作用。但再生型城市的科技创新处在投入产出过程的初始阶段，从科技研发投入转化为创新成果仍需较长时间，并且科技成果的转化过程存在诸多风险与不确定性。只有具备多元创新主体以及产学研深度融合的城市才能很好地发挥创新效应，进而实现当地工业转型升级^[59]。而再生型城市由于创新发展能力与城市功能的完善程度较低^[60]，此时再生型城市的科技创新投入挤占了企业大量的生产经营资金，降低了生产效率与经营规模，对当地绿色经济发展产生负面影响，因此表现为显著的负向中介效应。此外，外商直接投资的中介效应为-0.1944，产业结构优化的中介效应不显著，因此，总体中介效应值为-0.6570。当控制了三类中介变量之后可以发现，环境规制

表6 衰退型与再生型城市多重中介效应检验结果

Table 6 Test results of multiple mediating effects of declining and regenerating cities

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	衰退型城市					再生型城市				
	<i>LGTFP</i>	<i>LINNO</i>	<i>LFDI</i>	<i>LIND</i>	<i>LGTFP</i>	<i>LGTFP</i>	<i>LINNO</i>	<i>LFDI</i>	<i>LIND</i>	<i>LGTFP</i>
<i>LER</i>	0.3992*** (0.1373)	2.0537*** (0.4279)	-3.0246*** (0.7364)	0.1290 (0.1628)	0.3451*** (0.1374)	-0.4975 (0.3277)	8.2171*** (1.1146)	6.3955*** (1.6152)	0.3033 (0.2986)	0.0227 (0.3200)
<i>LINNO</i>					-0.0185 (0.0173)					-0.0563*** (0.0202)
<i>LFDI</i>					-0.0195** (0.0098)					-0.0304** (0.0130)
<i>LIND</i>					0.2565*** (0.0452)					0.4517*** (0.0704)
<i>CONSTANT</i>	0.0505 (0.4372)	0.7253 (1.3627)	-4.3207* (2.3452)	0.3253 (0.5184)	-0.1038 (0.4161)	-3.2297*** (0.7932)	-8.7588*** (2.6979)	-15.0075*** (3.9098)	0.8674 (0.7228)	1.8881*** (0.6995)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
<i>R</i> ²	0.8445	0.9749	0.8898	0.7846	0.8622	0.8580	0.9711	0.8224	0.8895	0.9005
<i>N</i> /座	368	368	368	368	368	240	240	240	240	240

对绿色全要素生产率的直接效应系数同样不显著，故科技创新与外商直接投资是再生型城市环境规制影响绿色全要素生产率的重要渠道。此外，科技创新与外商直接投资的中介效应在总体中介效应中的占比分别为70.4%和29.6%（图5）。

3.4 稳健性检验

为确保环境规制对资源型城市绿色全要素生产率的多重中介效应检验结果具有稳健性，本文通过替换中介变量衡量方法对模型重新进行固定效应回归。首先，本文将各地区科技支出额作为科技创新的衡量指标；其次，选取各地区实际利用外资金额与地区生产总值的比例对外商直接投资进行表征，并利用人民币兑美元的年均汇率转换为以人民币为单位；最后，将各地区第三产业与第二产业GDP的比值作为产业结构优化的替代变量。检验结果如表7所示，环境规制对绿色全要素生产率的总效应系数、直接效应系数、三类中介变量的特定路径中介效应值及显著性均与上文一致，证明多重中介效应的回归结果具有可靠性。另外，分城市类型中介效应检验结果的系数方向和显著性与上文基本一致，进一步表明回归结果是稳健的，限于篇幅，回归结果在此不再一一列出。

4 结论与建议

4.1 结论

本文利用2004—2019年中国113座资源型城市和171座非资源型城市的面板数据，构建中介效应模型并实证检验了科技创新、外商直接投资和产业结构优化对环境规制影响绿色全要素生产率的中介效应以及在不同类型资源型城市间的异质性，主要研究结论如下：

（1）从全样本实证结果看，环境规制对资源型城市绿色全要素生产率产生了显著的促进作用。从特定路径中介效应看，“环境规制→科技创新→绿色全要素生产率”路径

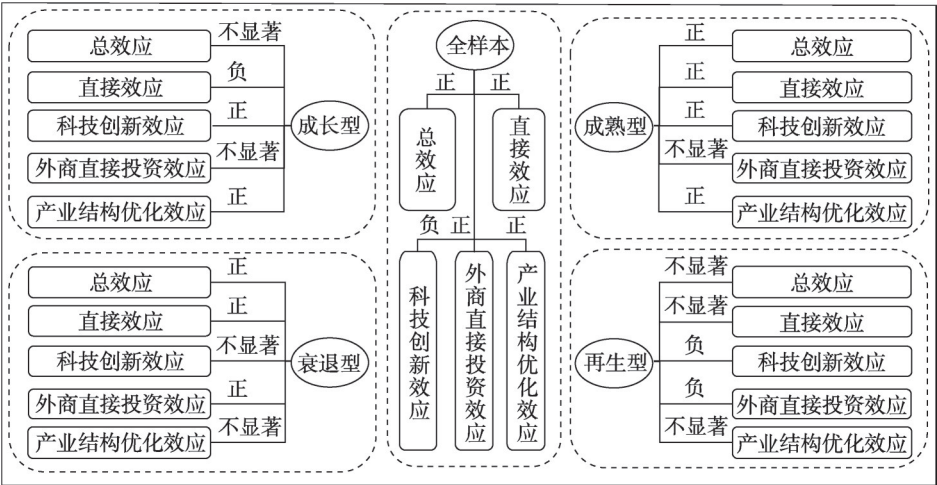


图5 环境规制对资源型城市绿色全要素生产效率的影响结果

Fig. 5 Effect of environmental regulation on green total factor production efficiency in resource-based cities

表7 稳健性检验结果

Table 7 Robustness test results

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	资源型城市					非资源型城市				
	LGTFP	LINNO	LFDI	LIND	LGTFP	LGTFP	LINNO	LFDI	LIND	LGTFP
LER	0.3899*** (0.0897)	0.8520*** (0.2705)	-1.2562** (0.5191)	0.1917* (0.1101)	0.3752*** (0.0888)	-0.0144 (0.0886)	-0.2281 (0.2300)	1.5463*** (0.3528)	-0.1236 (0.0857)	-0.0338 (0.0884)
LINNO					-0.0279*** (0.0082)					0.0016 (0.0076)
LFDI					-0.0224*** (0.0042)					0.0202 (0.0050)
LIND					0.5380*** (0.0182)					0.0932*** (0.0204)
CONSTANT	0.6909*** (0.2573)	2.0079*** (0.7761)	-9.5670** (1.4892)	2.5053*** (0.3447)	0.3978* (0.2319)	1.5804** (0.3316)	-1.7309* (0.8609)	-20.3151*** (1.3210)	7.2167*** (0.3210)	1.3215*** (0.3735)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
个体固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
R ²	0.7053	0.9065	0.6504	0.8169	0.7157	0.6389	0.9431	0.7346	0.8422	0.6440
N/座	1808	1808	1808	1808	1808	2736	2736	2736	2736	2736

中，科技创新表现为显著的负向中介效应；“环境规制→外商直接投资→绿色全要素生产率”路径中，环境规制可以通过缓解外商直接投资的环境负效应来提高当地绿色经济发展水平；“环境规制→产业结构优化→绿色全要素生产率”路径中，产业结构优化的正向影响显著，其回归系数值最大，影响最为明显，这与资源型城市转型主要从产业结构调整入手，采取的应对措施较多有直接关系。控制三类中介变量之后，环境规制对资源型城市绿色全要素生产率的直接效应大于三类中介效应之和。环境规制对非资源型城市绿

色全要素生产率的总效应系数、直接效应系数以及三类中介变量的传导机制均不显著。经稳健性检验后结论仍然可靠。

(2) 城市类型异质性检验结果显示, 科技创新、外商直接投资和产业结构优化所发挥的中介效应存在显著差异。科技创新在成长型和成熟型城市中发挥了正向中介效应, 在再生型城市中表现为间接抑制作用, 衰退型城市未通过显著性检验, 研发基础薄弱、人才资源匮乏等制约了科技创新中介效应的发挥; 外商直接投资在衰退型城市中产生了正向中介效应, 而在再生型城市中的中介效应值为负, 环境规制对外商直接投资产生显著影响, 成长型和成熟型城市中中介效应未通过显著性检验; 产业结构优化在成长型与成熟型城市中发挥了正向中介效应, 衰退型和再生型城市存在经济结构僵化、产业基础薄弱, 产业转型发展的压力较大等问题, 促进绿色全要素生产率提升的中介效应难以发挥。

(3) 对比中介效应结果表明, 全样本回归时, 产业结构优化、外商直接投资和科技创新的中介效应依次递减, 产业结构的中介效应占比接近八成, 是最主要的影响渠道, 科技创新的作用有待进一步发挥。在成长型城市和成熟型城市中, 主要通过科技创新和产业结构优化两种渠道发挥中介效应, 同样是产业结构优化的中介效应较高, 且成长型城市中介效应影响相对较大。在衰退型城市中, 环境规制主要通过外商直接投资渠道发挥中介效应, 影响绿色全要素生产率。再生型城市环境规制可以促进科技创新和外商直接投资, 但科技创新、外商直接投资的中介效应显著为负, 这与城市的科技创新处在投入产出过程的初始阶段, 创新发展能力与城市功能的完善程度较低、外商直接投资数量占比有限有关。

4.2 建议

(1) 环境规制对资源型城市绿色全要素生产率产生了显著的促进作用, 地方政府要注重发挥环境规制驱动经济发展绿色转型的潜力, 建立资源开发与污染排放的外部性约束机制。针对环境规制存在的突出问题, 以“双碳”目标为引领, 加快完善制度性和规范化的环境规制执行标准, 严格落实资源开发企业的环境整治、生态建设与资源补偿主体责任, 通过引导资源的集约化开发和规模化生产来提高资源利用效率, 减少污染物排放。在科学调控资源开发强度的同时强化恢复治理, 推动企业环境治理成本内部化, 建立能够反映环境损害成本的资源产品价格形成机制, 利用市场化手段激励企业治污减排。中介效应方面, 在环境规制约束激励企业研发的同时, 考虑通过研发补贴、节能减排设备购置减税降费等措施, 补充研发资金, 减少其对生产经营资金的挤占, 加快创新和转化各个环节的有序衔接, 实现科技创新正向中介效应的转变。积极引导高附加值外商项目投资, 逐渐实现环境规制、外商直接投资对绿色全要素生产率的双重正向影响。

(2) 由于各类资源型城市的资源禀赋与环境容量不同, 科技创新、外商直接投资和产业结构优化所发挥的中介效应存在显著差异, 因此要采取分类引导和因地制宜的环境规制政策, 避免“一刀切”。在科技创新与产业结构优化中介效应得以良好发挥的情况下, 成长型和成熟型城市应重点针对外资出台限制、禁止和鼓励投资目录, 完善排放标准等环境规制措施, 倒逼污染型外资企业持续退出, 提高外资引进水平和标准, 向价值链高端攀升, 打通外商直接投资对经济绿色发展的正向传递路径。积极争取中央财政转移支付资金, 设立研发投资基金, 落实接续替代产业扶持机制等, 提升衰退型城市科技创新与产业结构优化水平, 畅通环境规制的中介效应渠道。再生型城市步入转型轨道, 但经济发展实力较弱, 环境规制中介效应的有效发挥, 需要通过设立城市转型基金、新

兴产业扶持基金、出台人才引进激励措施以及放宽企业融资和发行债券条件等措施,政府与市场举措相结合,增强绿色经济发展的内生动力。

(3) 考虑到各中介效应发挥作用的大小、有效性不同,各城市应根据自身所处发展阶段及科技、外资水平及产业结构特点,完善环境规制措施。成长型和成熟型城市在发展资源型相关产业的同时,首先要通过环境规制约束,推动劳动力与资本等生产要素向清洁行业转移,注重从产业链高端延伸、绿色新兴产业和服务业培育、产业协调发展等方面促进产业合理布局,构建多元产业体系,使这一最为主要的影响渠道得到充分发挥。其次,将科技创新理念贯穿城市发展全过程,注重科创的引领和转型促进作用,对于外商直接投资要坚持高水平、高附加值引进思路,尽快实现其对绿色全要素生产率促进作用的发挥。衰退型城市,经济社会发展基础较差,高端外商投资欠缺,科技创新水平低,产业转型内生动力不足,应重点从研发要素积累和资源型产业深加工着手,扩大招商引资,促进多重中介效应的发挥。再生型城市,社会经济步入良性发展轨道,但科技创新转化能力和外商直接投资相对欠缺,要重点促进产学研深度融合来提高研发创新的成果转化效率,带动产业结构优化中介效应的发挥,实现资源型城市经济发展和生态环境改善的共赢。

参考文献(References):

- [1] POTER M E, LINDE C V D. Green and competitive: Ending the stalemate. *Harvard Business Review*, 1995, 73(5): 120-133.
- [2] POTER M E, LINDE C V D. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [3] 张三峰,卜茂亮. 环境规制、环保投入与中国企业生产率: 基于中国企业问卷数据的实证研究. *南开经济研究*, 2011, (2): 129-146. [ZHANG S F, BU M L. Environmental regulation, environmental protection investment and productivity: An empirical study based on questionnaire of enterprises in China. *Nankai Economic Studies*, 2011, (2): 129-146.]
- [4] 何爱平,安梦天. 地方政府竞争、环境规制与绿色发展效率. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(3): 21-30. [HE A P, AN M T. Competition among local governments, environmental regulation and green development efficiency. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(3): 21-30.]
- [5] WALLEY N, WHITEHEAD B. It's not easy being green. *Harvard Business Review*, 1994, 72(3): 46-51.
- [6] AMBEC S, COHEN M A, ELGIE S, et al. The porter hypothesis at 20: Can environmental regulation enhance innovation and competitiveness?. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2013, 7(1): 2-22.
- [7] 王分棉,贺佳. 地方政府环境治理压力会“挤出”企业绿色创新吗?. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(2): 140-150. [WANG F M, HE J. Will local governments' environmental governance pressure 'crowd out' firms' green innovation?. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(2): 140-150.]
- [8] 殷宝庆. 环境规制与中国制造业绿色全要素生产率: 基于国际垂直专业化视角的实证. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(12): 60-66. [YIN B Q. Environmental regulation and China's green total factor productivity: Based on the perspective of vertical specialization. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(12): 60-66.]
- [9] 李玲,陶锋. 中国制造业最优环境规制强度的选择: 基于绿色全要素生产率的视角. *中国工业经济*, 2012, (5): 70-82. [LI L, TAO F. Selection of optimal environmental regulation intensity for Chinese manufacturing industry: Based on the green total factor productivity perspective. *China Industrial Economy*, 2012, (5): 70-82.]
- [10] 王杰,刘斌. 环境规制与企业全要素生产率: 基于中国工业企业数据的经验分析. *中国工业经济*, 2014, (3): 44-56. [WANG J, LIU B. Environmental regulation and enterprises' total factor productivity: An empirical analysis based on China's industrial enterprises data. *China Industrial Economics*, 2014, (3): 44-56.]
- [11] 黄志基,贺灿飞,杨帆,等. 中国环境规制、地理区位与企业生产增长. *地理学报*, 2015, 70(10): 1581-1591. [HUANG Z J, HE C F, YANG F, et al. Environmental regulation, geographic location and growth of firms' productivity in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(10): 1581-1591.]
- [12] 刘传明,刘一丁,马青山. 环境规制与经济高质量发展的双向反馈效应研究. *经济与管理评论*, 2021, (3): 111-122.

- [LIU C M, LIU Y D, MA Q S. Research on two-way feedback effect between environmental regulation and high-quality economic development. *Review of Economy and Management*, 2021, (3): 111 -122.]
- [13] 李德山, 赵颖文, 李琳瑛. 煤炭资源型城市环境效率及其环境生产率变动分析: 基于山西省 11 个地级市面板数据. *自然资源学报*, 2021, 36(3): 618-633. [LI D S, ZHAO Y W, LI L Y. Change of environmental efficiency and environmental productivity of coal cities: Based on panel data of 11 cities in Shanxi province. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(3): 618-633.]
- [14] WU H T, HAO Y, REN S Y. How do environmental regulation and environmental decentralization affect green total factor energy efficiency: Evidence from China?. *Energy Economics*, 2020, 91: 104880, <https://www.doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104880>.
- [15] CAI X, ZHU B Z, ZHANG H J, et al. Can direct environmental regulation promote green technology innovation in heavily polluting industries? Evidence from Chinese listed companies. *Science of the Total Environment*, 2020, 746: 140810, <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140810>.
- [16] 颜茂华, 王瑾, 刘冬梅. 环境规制、技术创新与企业经营绩效. *南开管理评论*, 2014, 17(6): 106-113. [JIE M H, WANG J, LIU D M. Environment regulation, technological innovation and corporate performance. *Nankai Business Review*, 2014, 17(6): 106-113.]
- [17] 吴力波, 任飞州, 徐少丹. 环境规制执行对企业绿色创新的影响. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(1): 90-99. [WU L B, REN F Z, XU S D. Influence of environmental regulation enforcement on enterprises' green innovation. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(1): 90-99.]
- [18] 赵增耀, 章小波, 沈能. 区域协同创新效率的多维溢出效应. *中国工业经济*, 2015, (1): 32-44. [ZHAO Z Y, ZHANG X B, SHEN N. Multidimensional spillover effect of regional cooperative innovation efficiency. *China Industrial Economics*, 2015, (1): 32 -44.]
- [19] 肖雁飞, 尹慧, 廖双红. 环境规制对产业链区际分工影响的本地与邻地效应: 基于长江经济带化工行业实证分析. *经济地理*, 2021, 41(6): 116-125. [XIAO Y F, YIN H, LIAO S H. Local-neighborhood effect of environmental regulation on interregional division of labor in industrial Chain: Based on the analysis of chemical industry in Yangtze River Economic Belt. *Economic Geography*, 2021, 41(6): 116-125.]
- [20] HILLE E, ALTHAMMER W, DIEDERICH H. Environmental regulation and innovation in renewable energy technologies: Does the policy instrument matter?. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 153: 119921, <http://www.doi.org/10.2139/ssrn.2736357>.
- [21] HU J F, PAN X X, HUANG Q H. Quantity or quality? The impacts of environmental regulation on firms' innovation-Quasi-natural experiment based on China's carbon emissions trading pilot. *Technological Forecasting and Social Change*, 2020, 158: 120122, <https://www.doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120122>.
- [22] SONG M L, WANG S D, ZHANG H Y. Could environmental regulation and R&D tax incentives affect green product innovation?. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 258: 120849, <https://www.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120849>.
- [23] 申洋, 郭俊华, 朱彦. 智慧城市建设对地区绿色全要素生产率影响研究. *中南大学学报: 社会科版*, 2021, 27(2): 140-152. [SHEN Y, GUO J H, ZHU Y. Research on the impact of smart city construction on urban green total factor productivity. *Journal of Central South University: Social Sciences*, 2021, 27(2): 140-152.]
- [24] 汪涛, 张家明, 禹湘, 等. 资源型城市的可持续发展路径: 以太原市创建国家可持续发展议程示范区为例. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(3): 24-32. [WANG T, ZHANG J M, YU X, et al. Sustainable development pathway of resource-based cities. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(3): 24-32.]
- [25] 李静, 楠玉, 刘霞辉. 中国研发投入的“索洛悖论”: 解释及人力资本匹配含义. *经济学家*, 2017, (1): 31-38. [LI J, NAN Y, LIU X H. The "Solow Paradox" of China's R&D: Explanation and implication of human capital matching. *Economist*, 2017, (1): 31-38.]
- [26] 易明, 吴婷. R&D资源配置扭曲、TFP与人力资本的纠偏作用. *科学学研究*, 2021, 39(1): 42-52. [YI M, WU T. Effect of distorted allocation of R&D resources on total factor productivity and the corrective action of human capital. *Studies in Science of Science*, 2021, 39(1): 42-52.]
- [27] 刘晔, 徐植钫, 马海涛. 中国城市人力资本水平与人口集聚对创新产出的影响. *地理科学*, 2021, 41(6): 923-932. [LIU Y, XU X F, MA H T. Impact of human capital stock and population concentration on innovative output in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2021, 41(6): 923-932.]
- [28] 唐未兵, 傅元海, 王展祥. 技术创新、技术引进与经济增长方式转变. *经济研究*, 2014, 49(7): 31-43. [TANG W B, FU Y H, WANG Z X. Technology Innovation, technology introduction and transformation of economic growth pattern. *Eco-*

- omic Research Journal, 2014, 49(7): 31-43.]
- [29] 叶祥松, 刘敬. 异质性研发、政府支持与中国科技创新困境. 经济研究, 2018, 53(9): 116-132. [YE X S, LIU J. Heterogeneous R&D, government support and China's technological innovation dilemma. Economic Research Journal, 2018, 53(9): 116-132.]
- [30] ANTWEILER W, COPELAND B R, TAYLOR M S. Is free trade good for the environment?. American Economic Review, 2001, 91(4): 877-908.
- [31] 朱平芳, 张征宇, 姜国麟. FDI与环境规制: 基于地方分权视角的实证研究. 经济研究, 2011, 46(6): 133-145. [ZHU P F, ZHANG Z Y, JIANG G L. Empirical study of the relationship between FDI environmental regulation: An intergovernmental competition perspective. Economic Research Journal, 2011, 46(6): 133-145.]
- [32] WU H T, LI Y W, HAO Y, et al. Environmental decentralization, local government competition, and regional green development: Evidence from China. Science of the Total Environment, 2020, 708: 135085, <https://www.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135085>.
- [33] 魏龙, 潘安. 出口贸易和FDI加剧了资源型城市的环境污染吗? 基于中国285个地级城市面板数据的经验研究. 自然资源学报, 2016, 31(1): 17-27. [WEI L, PAN A. Do export and FDI aggravate environmental pollution in resource-based cities? An empirical analysis based on panel data of 285 prefecture cities in China. Journal of Natural Resources, 2016, 31(1): 17-27.]
- [34] 刘满凤, 陈华脉, 徐野. 环境规制对工业污染空间溢出的效应研究: 来自全国285个城市的经验证据. 经济地理, 2021, 41(2): 194-202. [LIU M F, CHEN H M, XU Y. Study on the effect of environmental regulation on industrial pollution spillover: Empirical evidence from 285 cities Nationwide. Economic Geography, 2021, 41(2): 194-202.]
- [35] 原毅军, 谢荣辉. FDI、环境规制与中国工业绿色全要素生产率增长: 基于Luenberger指数的实证研究. 国际贸易问题, 2015, (8): 84-93. [YUAN Y J, XIE R H. FDI, environmental regulation and green total factor productivity growth of China's industry: An empirical study based on luenberger index. Journal of International Trade, 2015, (8): 84-93.]
- [36] 吕朝凤, 余啸. 排污收费标准提高能影响FDI的区位选择吗? 基于SO₂排污费征收标准调整政策的准自然实验. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(9): 62-74. [LYU C F, YU X. Can environmental regulation influence the location choice of FDI in China?. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(9): 62-74.]
- [37] 干春晖, 郑若谷, 余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响. 经济研究, 2011, 46(5): 4-16, 31. [GAN C H, ZHENG R G, YU D F. The impact of China's industrial structure changes on economic growth and fluctuations. Economic Research Journal, 2011, 46(5): 4-16, 31.]
- [38] 陈妍, 王士君, 梅林. 东北地区非资源型城市与资源型城市产业转型的对比研究. 地理研究, 2021, 40(3): 808-820. [CHEN Y, WANG S J, MEI L. The comparison study of industrial structure transformation between non-resource-based and resource-based cities in Northeast China. Geographical Research, 2021, 40(3): 808-820.]
- [39] 沈坤荣, 金刚, 方炯. 环境规制引起了污染就近转移吗? 经济研究, 2017, 52(5): 44-59. [SHEN K R, JIN G, FANG X. Does environmental regulation cause pollution to transfer nearby?. Economic Research Journal, 2017, 52(5): 44-59.]
- [40] 黄永源, 朱晨君. 公众环境关注、环境规制与中国能源密集型产业动态. 自然资源学报, 2020, 35(11): 2744-2758. [HUANG Y Y, ZHU S J. Public environmental concerns, environmental regulations and energy-intensive industrial dynamics in China. Journal of Natural Resources, 2020, 35(11): 2744-2758.]
- [41] 杨林, 温馨. 环境规制促进海洋产业结构转型升级了吗? 基于海洋环境规制工具的选择. 经济与管理评论, 2021, (1): 38-49. [YANG L, WEN X. Public environmental concerns, environmental regulations and energy-intensive industrial dynamics in China. Journal of Natural Resources, 2021, (1): 38-49.]
- [42] 徐成龙, 程钰. 新常态下山东省环境规制对工业结构调整及其大气环境效应研究. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1662-1674. [XU C L, CHENG Y. The action of environmental regulation on industrial structure adjustment and atmospheric environment effect under the new normal in Shandong province. Journal of Natural Resources, 2016, 31(10): 1662-1674.]
- [43] LI Q Y, ZENG F E, LIU S H, et al. The effects of China's sustainable development policy for resource-based cities on local industrial transformation. Resources Policy, 2021, 71: 101940, <https://www.doi.org/10.1016/j.resourpol.2020.101940>.
- [44] 彭建, 王仰麟, 叶敏婷, 等. 区域产业结构变化及其生态环境效应: 以云南省丽江市为例. 地理学报, 2005, 60(5): 798-806. [PENG J, WANG Y L, YE M T, et al. Research on the change of regional industrial structure and its environmental effect: A case study in Lijiang city, Yunnan province. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(5): 798-806.]
- [45] 林江彪, 王亚娟, 张小红, 等. 黄河流域城市资源环境效率时空特征及影响因素. 自然资源学报, 2021, 36(1): 208-222. [LIN J B, WANG Y J, ZHANG X H, et al. Spatial and temporal characteristics and influencing factors of urban re-

- sources and environmental efficiency in the Yellow River Basin. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(1): 208-222.]
- [46] TONE K. Dealing with undesirable outputs in DEA: A slacks based measure (SBM) approach. *GRIPS Research Report Series*, 2003.
- [47] FARE R, GROSSKOPF S. Directional distance functions and slacks-based measures of efficiency. *European Journal of Operational Research*, 2010, 200(1): 320-322.
- [48] 张军, 吴桂英, 张吉鹏. 中国省际物质资本存量估算: 1952—2000. *经济研究*, 2004, (10): 35-44. [ZHANG J, WU G Y, ZHANG J P. The estimation of China's provincial capital stock: 1952-2000. *Economic Research Journal*, 2004, (10): 35-44.]
- [49] 柳士顺, 凌文铨. 多重中介模型及其应用. *心理科学*, 2009, 32(2): 433-435, 407. [LIU S S, LING W Q. Multiple mediation models and their applications. *Journal of Psychological Science*, 2009, 32(2): 433-435, 407.]
- [50] 温忠麟, 叶宝娟. 中介效应分析: 方法和模型发展. *心理科学进展*, 2014, 22(5): 731-745. [WEN Z L, YE B J. Analyses of mediating effects: The development of methods and models. *Advances in Psychological Science*, 2014, 22(5): 731-745.]
- [51] 杜凯, 周勤, 蔡银寅. 自然资源丰裕、环境管制失效与生态“诅咒”. *经济地理*, 2009, 29(2): 290-297. [DU K, ZHOU Q, CAI Y Y. Resource endowment, invalidation of environmental regulation and ecological curse. *Economic Geography*, 2009, 29(2): 290-297.]
- [52] 崔学刚, 方创琳, 张蔷. 京津冀城市群环境规制强度与城镇化质量的协调性分析. *自然资源学报*, 2018, 33(4): 563-575. [CUI X G, FANG C L, ZHANG Q. Coordination between environmental regulation intensity and urbanization quality: Case study of Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(4): 563-575.]
- [53] 王珍愚, 曹瑜, 林善浪. 环境规制对企业绿色技术创新的影响特征与异质性: 基于中国上市公司绿色专利数据. *科学学研究*, 2021, 39(5): 909-919, 929. [WANG Z Y, CAO Y, LIN S L. The characteristics and heterogeneity of environmental regulation's impact on enterprises' green technology innovation: Based on green patent data of listed firms in China. *Study in Science of Science*, 2021, 39(5): 909-919, 929.]
- [54] 李虹, 邹庆. 环境规制、资源禀赋与城市产业转型研究: 基于资源型城市与非资源型城市的对比分析. *经济研究*, 2018, 53(11): 182-198. [LI H, ZOU Q. Environmental regulations, resource endowments and urban industry transformation: Comparative analysis of resource-based and non-resource based cities. *Economic Research Journal*, 2018, 53(11): 182-198.]
- [55] 斯日吉模楞, 毛培. 资源型地区自然资源对经济增长影响的实证分析: 基于2000—2016年中国重点煤炭城市样本. *自然资源学报*, 2019, 34(12): 2491-2503. [SI R J M L, MAO P. Empirical analysis of the influence of natural resources on regional economic growth: Based on the sample of key coal cities in China from 2000-2016. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(12): 2491-2503.]
- [56] 李江龙, 徐斌. “诅咒”还是“福音”: 资源丰裕程度如何影响中国绿色经济增长?. *经济研究*, 2018, 53(9): 151-167. [LI J L, XU B. Curse or blessing: How does natural resource abundance affect green economic growth in China?. *Economic Research Journal*, 2018, 53(9): 151-167.]
- [57] 余建辉, 李佳铭, 张文忠. 中国资源型城市识别与综合类型划分. *地理学报*, 2018, 73(4): 677-687. [YU J H, LI J M, ZHANG W Z. Identification and classification of resource-based cities in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 677-687.]
- [58] 谭俊涛, 张新林, 刘雷, 等. 中国资源型城市转型绩效测度与评价. *经济地理*, 2020, 40(7): 57-64. [TAN J T, ZHANG X L, LIU L, et al. Research on the urban transformation performance of China's resource-based cities. *Economic Geography*, 2020, 40(7): 57-64.]
- [59] 李江苏, 唐志鹏. 再生型资源型城市产业的结构增长研究: 以唐山市为例. *地理研究*, 2017, 36(4): 707-718. [LI J S, TANG Z P. An analysis of industrial structure increase of regenerative resource-based cities: A case of Tangshan city. *Geographical Research*, 2017, 36(4): 707-718.]
- [60] 仇方道, 张春丽, 郭梦梦, 等. 中国再生性资源型城市创新能力与工业转型耦合协调分析. *地理科学*, 2020, 40(7): 1092-1103. [QIU F D, ZHANG C L, GUO M M, et al. Heterogeneity of the coupling relationship between the innovation capacity and industrial transformation of renewable resource-based cities in China. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(7): 1092-1103.]

Ways and policy suggestions of environmental regulation on green total factor productivity in resource-based cities

ZHAO Ming-liang¹, FENG Jian-kang², SUN Wei^{3,4}

(1. School of International Economics and Trade, Shandong University of Finance and Economics, Jinan 250002, China; 2. School of Economics, Shandong Normal University, Jinan 250358, China; 3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 4. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: It remains to be clarified whether environmental regulation has a driving effect on green total factor productivity in resource-based cities, through what path and whether there is heterogeneity of city types. This paper selects panel data of 113 resource-based cities in China from 2004 to 2019, and uses non-radial and non-angular SBM model and GML index to measure green total factor productivity of resource-based cities. Then, this paper empirically tests the intermediary effect of scientific and technological innovation, foreign direct investment and industrial structure optimization and the heterogeneity among different type cities. The results show that: (1) The effect coefficient of environmental regulation on green total factor productivity of resource-based cities is significantly positive. Both industrial structure optimization and foreign direct investment play a significant positive mediating effect, while scientific and technological innovation plays an indirect inhibiting effect. (2) The heterogeneity test of city types shows that technological innovation plays a positive mediating role in growing and mature cities, and an indirect inhibiting role in regenerating cities; the foreign direct investment has a positive mediating effect in the declining cities, and negative in regenerating cities; the industrial structure optimization plays a positive mediating effect in growing and mature cities. (3) The comparative mediation effect results in the whole-sample regression shows that the intermediary effect of industrial structure optimization, foreign direct investment and scientific and technological innovation decrease step by step; the mediating effects of industrial structure optimization account for nearly 80%, and the direct effect of environmental regulation is greater than the overall mediating effect. Growing and mature cities mainly exert intermediary effects through scientific and technological innovation and industrial structure optimization, declining cities mainly exert intermediary effects through foreign direct investment, and regenerating cities mainly exert intermediary effects through scientific and technological innovation and foreign direct investment. The robustness test shows that the results are reliable. Finally, this paper puts forward policy suggestions from the aspects of establishing the externality constraint mechanism of resource development and pollution emissions, and adopting the environmental regulation policy of classified guidance and local conditions, etc.

Keywords: resource-based city; environmental regulation; green total factor productivity; multiple mediating effect