

外资引入、技术进步偏向影响了制造业的碳排放吗? ——来自我国 27 个制造行业面板数据模型的实证检验

李新安^{1,2}, 李 慧²

(1. 河南财经政法大学 国际经济与贸易学院, 河南 郑州 450046;

2. 河南省区域产业创新与发展软科学研究基地, 河南 郑州 450046)

摘 要:制造业碳减排事关绿色发展与生态文明建设。利用我国 2009—2018 年制造业 27 个细分行业的面板数据,在测算制造业技术进步偏向指数和碳排放基础上,运用面板回归模型和 GMM 动态面板模型对 FDI 引入、技术进步偏向与碳排放间的内在影响机理进行实证分析。研究发现:FDI 通过技术溢出、技术进步偏向等影响制造业的碳排放;FDI 引入对我国制造业碳排放的整体影响为负相关关系,资本密集型制造业相较制造业整体,其 FDI 引入和技术进步偏向的交互项与碳排放显著正相关,表明 FDI 通过要素积累效应使技术进步方向偏向资本的程度进一步加深,对碳排放的促进作用更大,而对劳动密集型制造业二者的交互项系数并不显著;与常规认识不同的另一发现是,在样本期间,研发投入对制造业整体、资本密集型制造业和劳动密集型制造业均表现出与碳排放正相关,且劳动密集型制造业的研发增加反而促进碳排放量更多。基于上述研究,提出促进制造业高质量发展的相应建议。

关键词:外商直接投资(FDI);高质量发展;碳排放强度;技术进步偏向

中图分类号:F062.9

文献标识码:A

文章编号:1005-0566(2022)01-0159-12

Do Foreign Investment and Technological Progress Bias Affect the Carbon Emission of China's Manufacturing Industry? ——Based on the Empirical Research of Manufacturing Sector Segmentation Data

LI Xinan^{1,2}, LI Hui²

(1. Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450046, China;

2. Henan Regional Industrial Innovation and Development Provincial Soft Science Research Base, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Carbon emission reduction of manufacturing industry is related to green development and ecological civilization construction. Based on the inherent requirement of manufacturing high quality development, the use of 2009-2018 data of 27 niche manufacturing industry of our country, in measuring the manufacturing technology progress deviation index and carbon emissions, based on the regression model and GMM dynamic panel model, the influence of FDI introduction,

收稿日期:2021-09-15 修回日期:2022-01-10

基金项目:国家自然科学基金项目(41871215、U1704133);教育部人文社科研究规划基金项目(17YJA790050);2021 年度河南省哲学社会科学规划项目“绿色技术创新推动河南制造业高质量发展研究(2021BJJ003);河南省高校哲学社会科学基础研究重大项目“全球价值链下制造业技术进步偏向的碳减排效应研究”(2022-JCZD-03);河南省高校重点科研项目(21A480001);河南省软科学研究计划重点项目“河南省科技服务业做大做强研究”;河南财经政法大学首批科研团队支持计划项目。

作者简介:李新安(1967—),男,河南济源人,博士,河南财经政法大学教授、博士生导师,河南省区域产业创新与发展软科学研究基地主任,研究方向为区域开放与产业创新发展。通信作者:李慧。

technological progress bias and carbon emissions is demonstrated empirically. The research finds that the technology spillover effect and technology progress bias introduced by FDI affect the carbon emission of the manufacturing industry. The overall impact of FDI introduction on China's manufacturing carbon emissions is negatively correlated. Capital-intensive manufacturing industry compared with manufacturing industry as a whole, the interaction of FDI and technological progress bias with carbon emissions is significantly related to the accumulation effect shows that FDI technological progress direction is to further deepen the degree of capital, and the interaction coefficient of labor-intensive industry is not significant; In terms of R&D input, the overall manufacturing industry, capital-intensive industries and labor-intensive industries are positively correlated with carbon emissions in the sample period, and the increase of R&D in labor-intensive industries promotes more carbon emissions. Finally, the corresponding policy suggestions are put forward.

Key words: foreign direct investment (FDI); high quality development; carbon intensity; technical progress bias

一、文献综述

改革开放 40 多年来,我国积极融入全球经济,通过引进大量外商直接投资(FDI)及其带来的先进管理技术,在弥补国内资本缺口和技术缺口的同时,融入全球生产网络,成为世界制造业大国。制造业作为我国实体经济的重要支撑^[1],是利用 FDI 的聚集领域。尽管近年来我国引资水平与结构得到持续优化,但早期 FDI 进入的大多行业都具有典型的高资源能源消耗和高排放的高碳产业特征,而高投入、高能耗的技术偏向更加剧了高排放造成的环境生态问题。能源使用所产生的二氧化碳及其他污染物排放量的持续攀升,导致了空气质量下降和生态环境的急速恶化。在应对全球气候变化和全球长期碳中和目标背景下,降低碳排放和低碳技术创新也日益成为重塑大国竞争格局的重要因素。技术进步作为影响碳排放的关键因素,日益引起各界关注。然而现有关于技术进步对碳排放影响的研究多是建立在技术进步中性(neutral)假定的基础上。但在多数情况下,技术进步本身却具有偏向性(biased)。当其偏向于某一方向,就会有利于经济中的某些生产要素和个体;忽视技术进步的偏向性则不能全面反映技术进步对碳排放的影响。目前,针对技术进步偏向效应的研究主要集中于探讨其经济效应^[2-3],关于其环境效应的分析则较少^[4]。但在实践方面,人们日益认识到技术偏向与制造业用能系统要素之间的相互作用与影响关系,技术偏向对低碳发展、节能减排等政策影响的真实存在性日益显现,在政策制定领域相关部门也正逐步考虑技术偏向效应的影响,这为本文的研究提供了应用层面的

现实支撑。

制造行业 FDI 引入对碳排放与环境污染的影响,已有相关学者研究,甚至认为中国环境状况的变化可能与 FDI 的大量引入密不可分。外资流入、产业结构变化和行业技术水平提升对碳排放具有不同方向的影响^[5]。然而,外国直接投资是否加剧了中国的环境污染和二氧化碳排放则一直存在争议。其中,“污染光环假说”和“污染避难所假说”两种论点长期占主导地位。“污染光环假说”认为,外商直接投资带来了先进生产技术和管理经验,通过技术溢出效应,提高了当地企业的资源能源效率,并最终有利于减少环境污染和碳排放^[6-7]。陈颂等(2019)^[8]利用构建的 FDI 技术溢出指标,通过测量中国 23 个制造业行业的技术相似度发现:如果行业内或行业间使用相似技术且相互间联系密切,则外资的先进技术对当地制造业全要素生产率和技术进步就具有促进作用。詹江等(2019)^[9]通过实证研究表明,FDI 对我国制造业表现出显著的正向技术溢出。邬丽萍等(2019)^[10]发现东盟国家技术创新与空间集聚存在显著的相关性,并且这种相关性与 FDI 溢出效应呈现正向关系。郑翔中等(2019)^[11]利用 DCCE 模型通过研究我国 FDI 流入对地方能源利用效率的影响,发现 FDI 可通过技术溢出等效应降低地方的能源强度从而改善能源效率。

“污染避难所假说”(PHH)认为,污染密集型产业通过 FDI 会从环境标准高的发达国家迁移到环境标准低的发展中国家^[12],使后者成为其污染产业转移的避难所,从而对后者的资源生态环境产生巨大压力。未良莉等(2019)^[13]利用国内省

级面板数据的研究表明 PHH 假说确实存在,并证实环境污染与引进的 FDI 数量显著正相关。傅元海等(2021)^[14]研究认为,发达国家通过 FDI 向我国国家转移的更多是制造行业的高碳生产环节,急需吸引高质量的 FDI 进入,以促进技术升级和产业结构优化。吉生保等(2020)^[15]通过利用双边随机前沿模型对我国不同 FDI 水平的环境污染效应测度发现,FDI 加剧环境污染的净效应随 FDI 水平的提高而呈现递增趋势,从另外一个角度证实了 PHH 假说。刘玉凤等(2019)^[16]基于 FDI 和环境污染的空间地理分布进行研究,发现 FDI 与环境污染表现强正相关关系,FDI 集聚度高的地区,污染集聚也高。

综上所述,大部分的国内外专家学者通过不同的实证研究,认为 FDI 和东道国制造业的技术进步及环境具有密切联系。可以肯定的是,随着我国 FDI 引入规模的不断扩大及流入速度的持续提高,必将会对经济规模、技术水平和产业结构等产生影响,并进一步影响中国的环境状况^[17]。

目前,我国尚处于工业化发展的中后期阶段,能源总需求将在一段时期内持续增长,碳排放仍会呈一定的增长趋势。实现碳排放减排,事关我国碳达峰及绿色转型发展。我国碳排放达峰、碳中和目标愿景的提出,意味着我国将更加坚定地贯彻绿色低碳发展理念,推进产业绿色转型升级。这也将引领全球经济在实现绿色、低碳复苏中的技术变革方向,推进应对气候变化的全球合作行动。随着“十四五”期间中国经济向绿色发展加快转型,在推进制造业高质量发展背景下,客观地识别和厘清 FDI 对区域环境的影响方式与作用机理,探究外资引入和技术进步偏向对中国制造业节能减排的影响效应,为我国“十四五”乃至更长时期实现制造业碳减排和经济增长的双重目标寻找新的发展路径,建立绿色低碳、循环持续的现代产业体系,就具有十分重要的理论现实价值。

二、理论假说与研究模型构建

技术进步及其偏向是驱动制造业绿色转型和实现经济可持续发展的关键,而外商直接投资对技术进步方向将产生重要影响。为此,将制造业

FDI、技术进步偏向与碳排放的关联机制纳入统一框架进行理论梳理,有助于进一步明确推进制造业向产业结构低碳化、生产过程清洁化、能源资源利用高效化的绿色制造的发展方向,为实现碳达峰目标提供有力支撑。

(一)制造业 FDI 及技术进步偏向影响碳排放的理论分析

1. 制造业 FDI 的技术溢出效应影响碳排放

制造业 FDI 通过技术示范与扩散,影响碳排放的技术溢出可大致分三类。其一,资本密集型制造业 FDI 所导致的生产规模技术溢出,促进碳排放。在环境标准较低区域,制造业 FDI 所带来的高能耗、高排放技术,为东道国本土企业带来模仿示范的样本,并通过技术扩散,使得区域生产能力提高的规模化效应,相应带来大量资源能源等生产要素的消耗,从而增加碳排放量。周杰琦等(2014)^[18]发现总体上 FDI 对碳排放的规模负效应强于其对碳排放的结构技术正效应,使得中国的碳排放增加;同时由于环境效益的结构性差异,使得 FDI 的引入增加了碳排放。聂飞等(2015)^[19]通过实证研究表明,当政府制定的环境标准较低时,FDI 会进入高污染密集度的加工制造行业,使碳排放量与制造业增长存在显著正相关。廖显春等(2015)^[20]使用 29 个省份面板数据的实证结果显示,外资企业大多选择通过 FDI 将本国的污染型产业转移到我国环境标准较低的区域,进而使 FDI 的流入增加了碳排放。其二,高标准环境规制通过诱导制造业 FDI 先进节能减排技术的引入,通过技术溢出提升行业整体技术水平,使碳排放减少。李子豪(2016)^[21]通过实证发现,FDI 在高标准环境规制和较高 R&D 资金投入行业的技术溢出效应,对促进碳减排的影响十分显著。其三,制造业 FDI 的技术溢出与行业规模和要素密集度等条件密切相关。计志英等(2015)^[22]从理论层面通过研究表明,FDI 引入与污染物排放之间具有生产规模效应,随着 FDI 引入的增加促进了碳排放。郭沛等(2015)^[23]研究发现,引进低技术的劳动密集型制造业 FDI 会降低碳排放,但引进高技术的资本密集型制造业 FDI 则增加了碳排放。

假说 1:制造业 FDI 因技术溢出的行业规模扩大效应及技术提升效应影响碳排放。

2. 制造业 FDI 在环境政策作用下通过技术进步偏向影响碳排放

制造业 FDI 可通过两种途径影响技术进步偏向及能源消耗强度,从而影响碳排放。其一,当地区环境规制等资源环境政策强化时,迫使 FDI 企业加强减碳技术引入与清洁生产技术研发,从而诱导企业技术进步偏向资源能源节约,将有利于提高制造业能源使用效率,减少碳排放^[24]。其二,当能源资源要素大量消费引起价格上升时,要素价格效应的存在,使得 FDI 来源的技术进步所带来的要素替代或互补关系投入比的变化,使技术进步偏向碳减排和节能技术,直接影响化石能源投入份额,从而影响碳排放量的变动。焦高乐等(2017)^[25]在内生增长框架下采用回归模型实证表明,引入 FDI 和企业 R&D 在没有政策干预的情况下,带来的技术进步会更多偏向资本和能源,若技术偏向能源节约将减少能源消耗,反之若偏向能源要素则将增加能源消耗。钱娟等(2018)^[26]通过构建多要素 CES 生产函数,结果表明我国技术进步偏向能源节约时可有效降低碳排放,且能

源消费结构对碳排放影响显著。

假说 2:制造业 FDI 通过技术进步偏向,作用能源资源等要素结构及效率,影响碳排放。

3. 制造业 FDI 清洁技术的引入和研发通过产业与经济结构优化促进碳减排

清洁生产技术可改变产业与经济结构,并从源头减少污染物的排放,最终实现碳减排。如果 FDI 带来的初始技术是“污染技术”,不计环境成本提高产出水平,就会使制造业二氧化碳排放增加;相反,如果 FDI 带来的是“清洁技术”,将通过直接技术效应和技术外溢效应降低制造业的碳排放。如果制造业通过 FDI 引入的“清洁技术”较多,会促进整个行业与经济结构提高能源效率,则碳排放量会减少。但如果行业通过 FDI 导致的技术进步更多偏向资源能源消耗,则在改变产业结构和经济结构的同时,将会提高能源的需求量。以上都将综合影响行业碳排放量的大小。

假说 3:制造业 FDI 清洁生产技术的引入与研发有利于实现绿色低碳转型并促进碳减排。

综合以上理论分析,FDI 引入及技术进步偏向影响制造业碳排放的传导机制如图 1 所示。

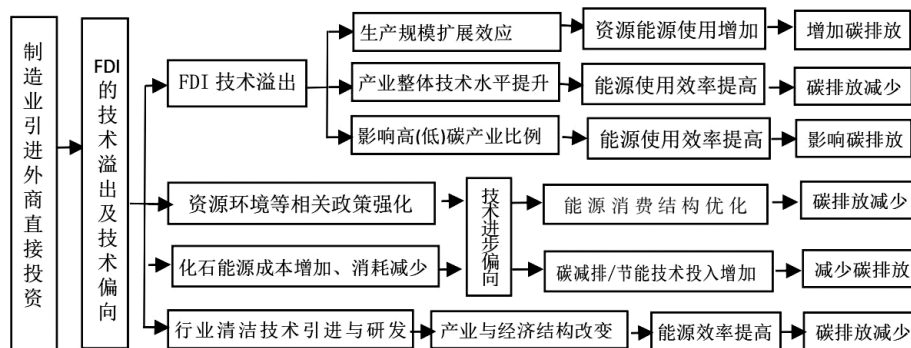


图 1 外商直接投资影响制造业碳排放的传导机制

(二) 实证模型构建

研究经济对环境影响一般常从规模、结构及技术水平 3 个因素考虑。在分析 FDI 对制造业碳排放的影响效应时,借鉴相关文献^[1,6],构建如下的基本概念模型:

$$Q_{co_2} = Y \times S \times T \quad (1)$$

在式(1)中, Q 为碳排放量, Y 、 S 和 T 分别为行业产出规模、行业结构与技术水平。 Y 与 S 的变化

将对碳排放量 Q 产生影响,FDI 引入会带来行业产出规模与结构发生改变,但这些变化很难从行业规模 Y 和行业结构 S 中分离,所以参考 Hübler(2009)^[6]的做法, Y 和 S 中分别包含了 FDI 的规模效应与结构效应。

技术水平 T 包含影响碳排放的生产技术水平和清洁生产程度等,它可通过 FDI 的技术溢出和内部研发(R&D)来获取。根据相关经济理论,行

业技术水平 T 的提高导致企业规模 (SZ) 扩张,从而产生资源能源消耗增加的碳排放规模效应与企业实力增强促进 $R\&D$ 投入以提高资源能源效率的碳减排创新效应。综合影响行业技术水平 T 的因素,得到关于 T 的分析函数:

$$T = f(FDI, SZ, RD) \quad (2)$$

从技术进步偏向角度考虑, FDI 的引入使东道国获得充裕的资金并获取相较本国而言的先进技术,会引致要素投入比的变动,使技术进步的要素偏向发生变化,进而影响碳排放。因此,在理论方程中需增加 FDI 和技术进步偏向指数 ($Bias$) 的交互项 (简称为 $FDIB$), 此时方程为:

$$Q_{CO_2} = Y \times S \times T(FDI, SZ, RD) \times FDIB \quad (3)$$

将 Y 移到等号左边, Q_{CO_2}/Y 为碳排放强度 (即单位产出的碳排放量, 用 EI 表示)。最终分析模型为:

$$EI = S \times T(FDI, SZ, RD) \times FDIB \quad (4)$$

为全面考察 FDI 和技术进步偏向及其他因素对制造业碳排放的影响, 本文以 2009—2018 年的制造业按照 27 个细分行业的时间序列数据为样本进行研究。在给定条件下, 探讨 FDI 及技术进步偏向对碳排放的影响, 可通过二者交互项 $FDIB$ 的系数来分析, 若该系数小于零, 表明 FDI 通过技术进步偏向使资源能源消耗降低, 从而实现碳减排。根据上文理论分析, 将 FDI 通过技术进步偏向对碳排放产生影响的计量分析模型最终设定为:

$$\ln EI_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln FDI_{it} + \beta_2 \ln FDIB_{it} + \beta_3 Bias_{it} + \beta_4 \ln S_{it} + \beta_5 \ln SZ_{it} + \beta_6 \ln RD_{it} + \mu_{it} + \varepsilon_{it2} \quad (5)$$

EI 为 CO_2 排放强度; $FDIB$ 为 FDI 与技术进步偏向的交互项, 检验二者的互动效应对碳排放强度的影响。控制变量: S 与 SZ 分别为行业结构和企业规模, RD 为研发资金投入。 μ_{it} 为不可观测变量的“个体效应”; ε_{it} 表示随机扰动项。

三、数据采集与技术进步偏向及碳排放量的测度

(一) 技术进步偏向指数的相关数据采集及测度

通常以测算技术进步偏向指数来判别技术偏向方向。本文选取超越对数生产函数法进行测算, 该方法避免了运用数据包络分析 (DEA)、多要

素 CES 生产函数及标准化供给面测算等方法时, 因常需估算要素替代弹性可能对结果产生的较大影响, 允许要素替代弹性随着资本密集度而变化, 使研究结果和实际更加相符。

1. 技术进步偏向指数测算的方法选择

为更好地体现要素间替代关系对技术进步偏向性的影响, 借鉴张月玲等 (2014)^[27] 的研究, 将劳动和资本二要素加入超越对数生产函数中, 构建分析模型为:

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \beta_0 + \beta_K \ln K_{it} + \beta_L \ln L_{it} + \beta_T T_{it} + \\ & \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{TT} T_{it}^2 + \\ & \beta_{KL} \ln K_{it} \ln L_{it} + \beta_{TK} T_{it} \ln K_{it} + \beta_{TL} T_{it} \ln L_{it} + e_{it} \end{aligned} \quad (6)$$

其中, Y 、 K 和 L 分别为行业产出、资本与劳动的投入, T 表示技术进步, 用时间趋势来代替。 β_0 表示固定效应, β_K 、 β_L 、 β_T 与 β_{KK} 、 β_{LL} 、 β_{TT} 分别为生产要素中资本、劳动及技术进步的累积效应与规模效应; 二阶交叉项 β_{KL} 、 β_{TK} 、 β_{TL} 各表示资本、劳动和技术进步间的交互效应; ε_{it} 为随机误差项。

利用随机前沿分析 (SFA) 对上式 (6) 进行回归得到系数参数, 然后依据式 (7)、式 (8) 与式 (9) 可求出要素产出弹性和技术进步相对偏向。计算公式如下。

$$\eta_{K_{it}} = \frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial \ln K_{it}} = \beta_K + \beta_{KK} \ln K_{it} + \beta_{KL} \ln L_{it} + \beta_{TK} T_{it} \quad (7)$$

$$\eta_{L_{it}} = \frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial \ln L_{it}} = \beta_L + \beta_{LL} \ln L_{it} + \beta_{KL} \ln K_{it} + \beta_{TL} T_{it} \quad (8)$$

$$Bias_{KL} = \frac{\beta_{TK}}{\eta_K} - \frac{\beta_{TL}}{\eta_L} \quad (9)$$

式中, η_K (η_L) 为资本 (或劳动) 的要素产出弹性; $Bias_{KL}$ 为技术进步偏向指数, 当 $Bias_{KL} > 0$, 技术进步偏向资本, 而在 $Bias_{KL} < 0$ 时, 则偏向劳动。

2. 我国制造业技术进步偏向的测度

为判别制造业细分行业的技术进步偏向, 下文采用式 (6) 对选取的 2009—2018 年制造业进行测算。因期间制造业国家分类标准在 2012 年有所调整, 为使统计数据在考察期内保持口径统一, 借鉴钱娟 (2018)^[26] 的做法, 将现行制造业分类标

准中的铁路、船舶、航空航天和汽车制造业及其他运输设备制造业调整为交通运输设备制造业,同时将产值较小的且与之前分类标准不同的废弃资源综合利用业、其他制造业、金属制品及机械和设备修理业 3 个行业一并删除。经过合并及调整处理,将制造业 31 个细分行业调整为 27 个。根据技术进步偏向指数测算的方法,将样本数据统一为规上企业,并以 2009 年为基期进行价格调整。数据来源为《中国工业统计年鉴》《中国统计年鉴》《中经网统计数据库》《中国劳动统计年鉴》等。对相关变量数据按照如下方法进行处理。

其一,制造业产出规模(Y)。本文借鉴已有研究^[28-29],选取工业增加值“按可比价格计算的规模以上工业企业分行业工业增加值累计增长速度”来衡量产出规模。

其二,制造业资本存量(K)。采用目前较有影响的永续盘存法对 2009—2018 年制造业分行业的资本存量进行测算。具体计算公式如下:

$$K_{it} = K_{it-1}(1 - \delta_{it}) + I_{it} \quad (10)$$

下标 i 表示制造业第 i 行业, K_t 与 K_{t-1} 分别为 t 期及前一期资本存量, δ 为 t 期资本折旧率, I_t 为 t

期当年投资。参照李新安(2020)^[30]将资本折旧率 δ 选取 10% 进行核算。

其三,制造业劳动投入量(L)。采用城镇分行业年末单位就业人员数指标来测算。

其四,制造业技术进步(T)参数的测算。采用时间趋势 $T=1,2,3\cdots$ 表示行业的技术进步,对数据处理后用 SFA 分析法对超越对数生产模型进行回归,其相关系数结果如表 1。

表 1 制造业超越对数生产函数随机前沿模型回归结果

变量	$\ln y$	变量	$\ln y$
$\ln k$	-0.6114 *** (-2.4785)	t^2	-0.0017 (-0.9372)
$\ln l$	-0.6906 ** (-2.2153)	$\ln k \ln l$	-0.1183 ** (-2.0215)
t	0.1694 *** -6.3862	$t \ln k$	-0.0091 ** (-2.0013)
$\ln k^2$	0.1037 *** -4.2584	$t \ln l$	-0.0032 (-0.5136)
$\ln l^2$	0.1231 *** -3.1973	Constant	12.0974 *** -11.4107
样本总数	270	样本总数	270

注:括号内为 z 统计量,符号 **、*** 各表示变量在 5% 和 1% 的显著性水平上显著。

通过对模型进行回归并利用式(7)、式(8)与式(9)计算,可得到制造业分行业的技术进步偏向指数,结果如表 2 所示。

表 2 制造业分行业技术进步偏向指数($Bias_{KL}$)一览表

行业	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年
农副食品加工业(1)	-0.16	-0.15	-0.21	-0.17	-0.20	-0.19	-0.22	-0.21	-0.25	-0.23
食品制造业(2)	-0.41	-0.52	-0.36	-0.14	-0.12	0.01	-0.23	-0.31	-0.30	-0.27
酒、饮料和精制茶制造业(3)	-0.61	-0.47	-0.53	-0.46	-0.47	-0.50	-0.63	-0.46	-0.40	-0.38
烟草制品业(4)	-0.16	-0.15	-0.16	-0.14	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.13	-0.12
纺织业(5)	-0.04	-0.04	-0.03	-0.03	-0.03	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01
纺织服装、服饰业(6)	-0.21	-0.19	-0.18	-0.17	-0.17	-0.16	-0.16	-0.16	-0.15	-0.15
皮革、毛皮、羽毛及其制品和制鞋业(7)	-0.61	-0.59	-0.55	-0.50	-0.53	-0.53	-0.52	-0.46	-0.43	-0.45
木材加工和木、竹、藤、棕、草制品业(8)	-0.17	-0.19	-0.16	-0.15	-0.15	-0.16	-0.16	-0.15	-0.15	-0.15
家具制造业(9)	-0.25	-0.26	-0.24	-0.24	-0.25	-0.23	-0.24	-0.23	-0.19	-0.20
造纸和纸制品业(10)	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06
印刷和记录媒介复制业(11)	-0.13	-0.11	-0.12	-0.15	-0.14	-0.12	-0.13	-0.10	-0.08	-0.09
文教、工美、体育和娱乐用品制造业(12)	-0.41	-0.49	-0.51	-0.48	-0.49	-0.51	-0.47	-0.44	-0.46	-0.42
石油加工、炼焦及核燃料加工业(13)	0.35	0.38	0.36	0.37	0.39	0.38	0.41	0.42	0.40	0.41
化学原料和化学制品制造业(14)	0.22	0.23	0.28	0.27	0.32	0.36	0.34	0.41	0.39	0.40
橡胶和塑料制品业(15)	0.12	0.13	0.16	0.20	0.19	0.22	0.23	0.21	0.24	0.29
化学纤维制造业(16)	-0.07	-0.07	-0.06	-0.06	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03	-0.04
医药制造业(17)	0.19	0.23	0.31	0.28	0.33	0.30	0.32	0.33	0.35	0.34
非金属矿物制品业(18)	-0.47	-0.35	-0.39	-0.34	-0.30	-0.22	-0.17	-0.23	-0.22	-0.16
黑色金属冶炼和压延加工业(19)	0.52	0.46	0.49	0.42	0.47	0.40	0.42	0.41	0.43	0.42
通用设备制造业(20)	0.03	0.04	0.06	0.10	0.09	0.10	0.12	0.11	0.13	0.13
金属制品业(21)	-0.37	-0.42	-0.39	-0.32	-0.29	-0.33	-0.32	-0.28	-0.25	-0.23
有色金属冶炼加工业(22)	0.37	0.35	0.40	0.38	0.39	0.41	0.39	0.40	0.37	0.39
专用设备制造业(23)	0.02	0.03	0.05	0.04	0.09	0.11	0.13	0.12	0.14	0.19
计算机、通信和其他电子设备制造业(24)	0.09	0.12	0.09	0.09	0.10	0.12	0.11	0.12	0.13	0.13
电气机械和器材制造业(25)	-0.13	-0.12	-0.09	-0.08	-0.11	-0.07	-0.04	-0.02	-0.02	-0.02
交通运输设备制造业(26)	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.04	0.03
仪器仪表制造业(27)	-0.43	-0.36	-0.42	-0.39	-0.33	-0.31	-0.25	-0.21	-0.19	-0.20

注:表中括号号为所保留的制造业细分行业的序号。

从整体上看,制造业大部分行业的技术进步偏向持续发生变动。说明有偏技术进步导致制造业行业的边际生产率改变,提高了资本和劳动要素的相对边际生产率,从而改变了资本-劳动的要素投入比例,使得制造业行业技术进步的偏向方向与行业特性关系密切。

根据制造业细分行业技术进步偏向指数 $Bias_{KL}$ 的测算结果,由表 2 可看出制造业 27 个细分行业在 2009—2018 年有 10 个行业 $Bias_{KL}$ 整体偏向资本(即资本密集型制造业)。这 10 个行业分别用表 2 中的行业编号表示为:(13)、(14)、(15)、(17)、(19)、(20)、(22)、(23)、(24) 和 (26)。以上行业的技术引进及研发投入整体上技术进步偏向资本。这主要是由于我国改革开放后为提高生产效率,通过 FDI 引进国外先进的机器设备,通过技术溢出加快了对此种类型技术的引进和吸收,机器设备加上引进资金和技术的支持,使得一些制造行业的技术进步方向偏向资本。同时金融抑制导致资本价格降低,也使得一部分行业的技术进步偏向资本。

制造业中 2009—2018 年有 17 个行业,根据 $Bias_{KL}$ 来看整体偏向劳动(即劳动密集型制造业),分别用表 2 中的行业编号表示为:(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、(6)、(7)、(8)、(9)、(10)、(11)、(12)、(16)、(18)、(21)、(25) 和 (27)。这些细分行业在 FDI 技术引进及研发投入上都更多的偏向于使用劳动要素,同时也因这些行业劳动-资本比相对较高的特性比较符合我国现实情况,使得一些制造行业的生产技术在很长时间内依托劳动投入。

(二)制造业碳排放测度方法选择及测算

1. 制造业碳排放测度方法选择

制造业是能源消耗占比较高的产业部门,其碳排放超过全国总量的 80%^[31]。现有碳排放量研究均为通过估算得到。借鉴孙艳芝等(2017)、李新安等(2021)计算出各类能源的碳排放系数(见表 3)^[32],然后以制造业细分行业各类能源消费量为基准测算分行业的能源消费量。最后,根据测算式(11)计算各行业的碳排放量。

$$Q_{CO_2, it} = \sum_{j=1}^8 E_{it}^j q_j \quad (11)$$

在式(11)中, t 、 i 和 j 分别为制造业 t 年度第 i 行业的第 j 种能源消耗, Q_{CO_2} 表示行业碳排放量, E 和 q 分别为不同行业的能源消费量与碳排放系数。

表 3 各种类型能源 CO₂ 排放系数一览表

能源类型	煤炭	焦炭	汽油	柴油	燃料油	原油	煤油	天然气
CO ₂ 排放系数 (kgCO ₂ /kg)	1.9	2.86	2.93	3.1	3.17	3.02	3.02	2.16 (kgCO ₂ /m ³)

2. 制造业各细分行业碳排放量的测算

制造业在我国能源消费中仍占主要部分,在资源环境约束趋紧背景下,碳排放量的测算是研究环境质量和经济发展的关键步骤。通过利用测算式(11),可得出制造业 27 个细分行业 2009—2018 年的碳排放量数据(因篇幅所限,计算结果不再列出)。计算结果显示,制造业整体碳排放量呈上升趋势,且 2013 年增速达到最高值,2014 年后增速放缓;整个制造业能源消费量从 2009 年的 180596 万 t 标准煤上升到 2018 年 260231 万 t 标准煤,年平均增长 104.6%;分行业碳排放量变化趋势和整体相似。我国制造业能源消费总量的持续增长,带来了碳排放增加等一系列环境问题,使制造业的节能减排已刻不容缓。

经进一步对测算结果分析,发现部分制造行业 2009—2018 年 CO₂ 排放量达到 1 亿~10 亿 t。其中石油加工、炼焦及核燃料加工业与黑色金属冶炼和压延加工业的碳排放量每年都呈现高增长趋势,黑色金属冶炼和压延加工业虽从 2012 年增速放缓,但到 2015 年才呈下降趋势;化学原料和化学制品制造业碳排放直到 2016 年才呈下降状态;造纸和纸制品业碳排放量最高,2013 年就超过 1 亿 t,之后才略有下降,但仍维持在较高水平。纺织业在 2015 年碳排量大幅增加,较 2014 年增长率达 88.72%;而医药制造业和化学纤维制造业在 2013—2016 年碳排放量一直处于较高水平。金属制品业、专用设备制造业、电气机械和器材制造业行业碳排放量相对较低,前两个行业自 2015 年后碳排放量呈现明显下降趋势。

四、实证计量及结果分析

利用 2009—2018 年我国制造业 27 个细分行业面板数据,在测算制造业技术进步偏向指数和

碳排放基础上,运用面板回归模型和 GMM 动态面板模型对 FDI 引入、技术进步偏向与碳排放间的影响关系进行实证研究。考虑到制造业各行业间资本劳动比存在着较大的差异性,因此在进行 GMM 动态面板模型分析时分别从制造业整体、资本密集型和劳动密集型制造业进行验证。

(一) 变量选取及描述性统计

根据第二部分所设定的实证模型(5),共涉及 6 个变量,变量数据口径统一为规上企业,并对所有数据以 2009 年为基期价格进行调整,基础数据根据历年中国统计年鉴及中经网统计数据库的收集整理所得。各变量指标做如下处理。

1. 二氧化碳排放强度(EI)。按照前文测算的我国制造业分年度 CO_2 排放量,再与各年产出水平 Y 相除,就得到了制造业碳排放强度 EI 。

2. 外商直接投资(FDI)。采用外商投资与港澳台投资工业企业固定资产净值占规上工业企业固定资产净值的比重来衡量。

3. 技术进步偏向($Bias$)。以表 2 测算的我国制造业 $Bias_{KL}$ 结果为依据。

4. 行业结构(S)。采用行业的资本密集度来表示,借鉴李小平等(2018)^[29]制造分行业资本密集度的计算方法,该指标确定为规模以上行业年末的固定资产净值与行业城镇单位就业人员数之比。

5. 企业规模(SZ)。该指标测度选取行业企业平均职工人数方法,即分行业年末城镇单位就业人数除以行业企业数。

6. 研发投入(RD)。该指标测度按行业规模以上企业的 R&D 活动经费支出。

将以上各变量指标的相关数据通过 STATA 软件进行处理后,其描述性统计结果见表 4。

表 4 影响制造业碳排放相关变量基本情况的统计性描述

变量	中位数	平均值	标准差	最大值	最小值
$\ln EI$	2.1207	2.2163	0.4936	2.4715	1.8143
FDI	0.2716	0.3129	0.1934	1.5972	0.0011
$FDIB$	-0.1067	0.0374	0.3694	0.4304	-1.5076
$Bias$	-0.0472	0.1132	0.4527	0.5243	-0.6142
S	3.4321	4.2167	2.5320	17.1624	0.6325
SZ	0.1231	0.1965	0.2653	1.9162	0.0196
$\ln RD$	13.7920	14.1365	1.2973	16.5491	10.2196

表中可看出, $\ln EI$ 、 FDI 、 $FDIB$ 的平均值分别为 2.2163、0.3129、0.0374,标准差分别为 0.4936、0.1934、0.3694,各变量的标准差均较小,表明各变量的样本数据离散程度小,变量的均值分布具有较好的代表性。行业结构(S)两极值之间相差较大, $FDIB$ 交互项的最大值与平均值具有较大差距, RD 变量同其他解释变量间数值存在较大差异,说明制造业在行业结构、FDI 与技术进步偏向的交互项、研发投入方面存在一定差异。

(二) 面板数据单位根检验与模型回归分析

为使面板数据在分析时具平稳性,选取 ADF 及 IPS 方法进行检验,结果见表 5。

表 5 制造业面板数据平稳性的单位根检验

相关变量	ADF 检验值	IPS 检验值
$\ln EI$	109.2367 ***	-1.8103 **
FDI	138.5732 ***	-3.2645 ***
$FDIB$	189.3621 ***	-4.9876 ***
$Bias$	178.8964 ***	-3.9783 ***
S	63.2317	-2.2361 **
SZ	108.6275 ***	-4.1325 ***
$\ln RD$	101.8968 ***	-4.1273 ***

注:符号*、**、*** 各表示变量在 5% 和 1% 的显著性水平上显著。

从表 5 结果看,除行业结构(S)在 ADF 检验中不显著外,其余变量的 ADF 检验和全部变量的 IPS 检验均显著,表明可满足实证的平稳性要求。通过单位根平稳性检验后,将整理的数据通过设定的计量实证模型进行分析。如表 6 所示,模型(1)为主要解释变量“FDI 和技术进步偏向”对被解释变量“碳排放”的影响;模型(2)、模型(3)和模型(4)为逐渐添加控制变量行业结构(S)、行业规模(SZ)、研发投入(RD)后对被解释变量“碳排放”的影响。

表 6 外资引入(FDI)、技术进步偏向与碳排放的回归检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
FDI	-0.0798 (-0.6794)	-0.1496 (-1.2932)	-0.1432 (-1.2109)	-0.0552 (-1.1256)
$FDIB$	0.1576 * (-1.6951)	0.1826 * (-2.1153)	0.1902 ** (-2.1325)	0.2849 *** (-3.2153)
$Bias$	-0.0397 (-1.7102)	-0.0504 * (-1.8943)	-0.0497 ** (-2.1978)	-0.0801 *** (-3.1237)
S		0.0614 ** (-2.2173)	0.0512 * (-1.8972)	0.0715 *** (-2.8731)
SZ			-1.2964 *** (-2.8736)	-0.7986 ** (-2.2837)
$\ln RD$				0.3876 *** (-3.3125)
C	7.5634 *** (-131.6582)	7.2827 *** (-87.8861)	7.6120 *** (-69.7863)	2.2347 (-1.3127)
行业固定效应	是	是	是	是
时间固定效应	是	是	是	是
样本总量	270	270	270	270
R^2	0.356	0.428	0.455	0.549
F	11.69	16.87	17.52	20.39

注:括号内为 t 统计量,符号*、**、*** 各表示变量在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

根据制造业面板回归数据可看出,FDI 的系数为负值表明,FDI 通过技术溢出效应带来了先进的生产技术和管理经验,且节能减排技术也有效提高了能源使用效率,降低了碳排放。企业规模的回归系数为负值且统计量显著,说明企业规模扩张所产生的规模经济将导致产品成本降低,使资源能源的使用效率得以提高,促进了碳减排。假说 1 得到了验证。但 4 个模型中 FDI 统计量的数值均不显著,表明可能存在内生性问题,下文需变更回归方法继续对其进行讨论。

FDI 和技术进步偏向交互项 $FDIB$ 的系数为 0.2849,通过了 1% 的显著性检验,表明 FDI 通过技术进步偏向资本使生产规模扩大,对碳排放产生了正向促进作用;通过技术进步偏向劳动使企业能源资源消耗得到节约,降低了碳排放。进而验证了理论分析假设的正确性,验证了假说 2。

企业 R&D 投入的系数为正,且通过了 1% 的显著性检验,表明增加 R&D 投入将会促进碳排放。该实证结论与假说 3 不相符,且与我们对研发投入的一般认识也不尽相同。其可能原因在于,尽管清洁技术研发和引进,会使资源能源利用率提高并减少碳排放,但这需要具备一定的经济发展水平和突破行业技术吸收能力门槛等条件^[34],在此之前增加 R&D 投入将更多提高导致生产规模扩大的技术水平,从而使资源能源消耗增加并促进了碳排放。从长远看,增加 R&D 投入将使行业整体技术水平提升,并最终减少碳排放。

(三) 动态面板模型的 GMM 拓展分析

FDI 和技术进步偏向可通过技术溢出效应和改变要素投入比例来影响制造业的碳排放,但碳排放量的大小对 FDI 也有所影响,可能存在反向的因果关系。如果碳排放量比较大,在环境规则政策强化条件下,会寻求和引进有清洁生产技术的 FDI,从而改变 FDI 中清洁技术的占比,同时 FDI 和碳排放量会受到要素相对价格等其他因素的共同作用。此外,面板数据中宏观变量间的互相影响,或实证模型设定分析变量的可能遗漏及统计误差等均会造成内生性问题。因此,为消除变量之间的内生性,采取动态面板的 GMM 分析方法,

对内生变量 FDI 加入碳排放的二阶滞后项,采用时间固定效应,进行动态面板数据分析。

考虑到制造业各行业间资本—劳动要素比存在着较大的差异性,借鉴陈晓玲等(2015)^[35]的处理方法,将 27 个细分行业根据资本—劳动比的中位数划分为 10 个资本密集型行业和 17 个劳动密集型行业(见表 2),然后仍以 2009—2018 年为样本期间,分别从制造业整体、资本密集型制造业和劳动密集型制造业进行计量回归,结果见表 7。

表 7 制造业动态面板 (GMM) 回归检验

变量	制造业整体 $\ln EI$	资本密集型 $\ln EI$	劳动密集型 $\ln EI$
FDI	-21.3265 *** (-2.8569)	-12.6952 *** (-2.7942)	63.4927 ** (-2.4526)
$FDIB$	0.5282 *** (-2.8761)	8.2516 ** (-2.1364)	0.4120 (-0.7234)
S	0.4132 * (-1.9216)	0.4264 *** (-2.8644)	1.8768 * (-1.7964)
SZ	-3.8524 *** (-4.3972)	-3.2365 *** (-5.7260)	-16.9658 (-0.8972)
$\ln RD$	0.9876 *** (-2.6957)	0.8968 ** (-2.1652)	1.9217 ** (-2.1876)
$Constant$	-2.2672 (-0.7065)	-4.7542 (-0.9107)	-39.9857 ** (-2.2653)
样本总量	270	100	170
$R-squared$	0.0213	0.0376	0.0325

注:括号内为 z 统计量,符号*、**、*** 各表示变量在 10%、5% 和 1% 的显著性水平上显著。

通过 GMM 检验,发现 FDI 统计量在 5% 和 1% 水平上均表现显著,表明 FDI 的增加对制造业整体碳排放具有显著的抑制作用。分类回归检验的另一个重要发现便是资本密集型制造业 FDI 的系数显著为负,但其绝对值要比制造业整体小,表明资本密集型制造业 FDI 的增加抑制了碳排放,其程度要低于制造业整体;而劳动密集型制造业 FDI 引入与碳排放显著正相关,促进了碳排放。该实证结论与我们的一般认识不相符。其可能的原因解释为,对制造业整体和资本密集型行业来讲,因 FDI 引入的技术溢出效应使生产技术和生产效率的提高,要素供给增加和生产规模扩大所带来的能源消耗和碳排放增加量,小于因为节能减排技术带来能源使用效率和能源结构优化的减排量,从而使制造业整体碳排放量减少。对劳动密集型制造业来讲,FDI 技术溢出的吸收存在一定的“规模门槛”,劳动密集型制造业的资本规模一般较小的特点导致无法便利的从 FDI 中获得技术

溢出效应,其对生产规模扩大的动力要大于吸收节能减排技术的动力,进而带来碳排放的显著增加。

FDI 和技术进步偏向交互项 $FDIB$ 的系数为 0.5282,通过了 1% 的显著性检验,较于制造业整体,在资本密集型制造业, $FDIB$ 与碳排放显著正相关,且系数为 8.2516,对促进碳排放的作用更大;而在劳动密集型制造业, $FDIB$ 的系数并不显著。表明 FDI 通过要素累积效应在资本密集型行业使技术进步偏向资本的程度日趋加深,且要素的规模效应大于价格效应,使得资本要素投入增多,不断扩大生产规模,从而增加碳排放量。假说 2 进一步得到验证。

R&D 投入方面,制造业整体与碳排放正相关,资本密集型制造业和劳动密集型制造业的 RD 统计量,在 5% 水平上与碳排放正相关,且研发投入的增加对劳动密集行业碳排放的增加更多。该实证结论与表 6 模型的检验结论相同,与假说 3 不相符。主要原因在于:对资本密集型制造业而言,在一定阶段内 R&D 资金增加会提升行业整体生产技术水平与产品质量,随着市场竞争力增强和生产规模的持续扩大,资源能源等投入增加从而促进碳排放;而劳动密集型制造业生产技术水平相较资本密集型行业要求较低,企业会把 R&D 资金更多地投入到产品生产的规模化方面,对清洁技术的研发投入较少,使得 R&D 资金投入的增加并未促进碳减排,反而增加了碳排放。

五、基本结论及政策启示

(一) 结论

其一,FDI 引入对我国制造业碳排放的整体影响为负相关关系。在制造业各行业内部存在差距,就资本密集型制造业而言,FDI 引入对碳排放具有抑制作用,但减排程度低于制造业整体,而对于劳动密集型制造业,FDI 引入与碳排放呈正相关关系。

其二,FDI 和技术进步偏向的交互作用与碳排放显著正相关,二者交互作用使得偏向资本的技术进步促进生产规模扩大,对碳排放产生了正向的促进作用,而偏向劳动的技术进步对碳排放影

响不显著。样本期内 FDI 通过要素积累效应,在行业结构的资本密集度增加的同时也使得资本、能源的投入增加,最终使技术进步偏向资本进而对碳排放的影响程度进一步加深。

其三,企业 R&D 资金投入的增加,需达到一定的门槛,当具备吸收技术溢出与清洁技术研发能力时,才使得行业整体技术水平提升,减少行业碳排放。

(二) 政策建议

1. 发挥政策引导,大力支持节能技术的引进和研发。制造业是资源能源消耗巨大的行业,“十四五”时期急需持续加大研发(R&D)投入,通过制造企业清洁生产技术的自主研发与 FDI 引入的节能技术吸收,从根本上以“绿色制造”“智能制造”实现制造业的低碳转型。可从以下几个方面着手:一是通过积极支持制造企业在清洁生产、清洁能源等技术领域的研发投入,对引进或购买的低碳生产技术的消化吸收,以促进企业研发出适宜的能源节约技术和清洁生产模式。二是政府要进一步加大清洁技术研发的资金补贴等政策激励力度^[36],营造节能技术创新的生态环境。在我国目前相关节能减排项目补贴等政策基础上,“十四五”时期应围绕工业 4.0、智能制造、新能源等制造业新业态,出台相关的财政金融补贴与税收优惠政策,着力突破低碳节能、储能智能等关键技术,并在行业内进行示范推广应用。三是要强化资源能源节约与生态环境保护,推进制造企业资源能源消费的结构优化。积极贯彻国家 2019 年最新修订的《环境保护法》“四个不批”和“三个严格”的环保要求,严控高耗能、高排放项目的审批,由此促进外商直接投资企业和国内企业及相关机构加大对新能源技术的开发力度与使用规模,发展推广先进的低碳节能及清洁生产技术,提高能源利用效率,最终实现碳减排。

2. 深化外商投资的环保监督体系改革,合理设计环境规制政策。一是加强对 FDI 引入的管理规制。在发展环境面临深刻复杂变化的“十四五”时期,既要全面扩大开放加大稳外资外贸力度^[37],又要贯彻国家“十四五”规划建议“加快推动绿色

低碳发展”要求,强化绿色节能技术的 FDI 引入与国际研发合作,以更好促进 FDI 低碳节能及清洁技术的溢出。完善所引入外资控股公司相关产业链的管理,规定高耗能产品准则,促进行业良性竞争;严格落实《环境保护法》的外资监管要求,遏制外资企业提供过多的高能耗、高污染生产技术,有效促进 FDI 的环保技术溢出。二是加快实施环境税政策,制定严格的技术和行业准入机制。在环境规制过程中通过环境税加大高污染制造企业的产品成本,提高研发清洁技术企业的相对收益,激励企业进行节能技术创新,诱发企业向绿色低碳转型。三是完善相关环境法律法规,明确环境排放标准和违法的惩罚措施,进一步建立多方监管机制。设立第三方监管机构,加强对内外资制造企业的环保监督,严惩不符合环境排放标准要求的企业,将所获惩罚资金用于补贴和奖励清洁低碳技术的研发,提高制造行业节能减排的整体技术水平。

3. 持续调整 FDI 引入结构,促进制造行业技术升级。根据近年来国家海关总署数据,目前我国出口多以机电产品和劳动密集型的高碳排放制造产品为主,而高端引领性的内含绿色关键技术的产品则总体上占比较少,产生了大量碳排放与环境污染等问题。未来 5 年乃至更长时期,要深入贯彻国家“十四五”规划建议的“推进清洁生产”“推进重点行业和重要领域绿色化改造”等要求,进一步协调好制造业规模增长与质量效益的关系,加快推动制造业的绿色低碳发展。为促进实现制造业结构优化升级与节能减排目标,除加大低碳技术研发投入外,必须兼顾考虑减排技术的引进;对引进外商直接投资的生产技术和工艺装备等进行严格管控,提升外资进入的技术门槛与环境标准。通过对低碳节能及清洁技术的示范推广,增强 FDI 对国内制造行业的技术外溢,以提升我国制造产品的减排技术含量,达到经济发展与制造业碳减排技术进步的双赢效果。

参考文献:

[1] 牟俊霖,闫里鹏,齐晓雨. 中国制造业规模在世界的地位及其影响因素研究:基于动态分布与增长回归相结合的方法[J]. 中国软科学,2021(2):1-10.

[2] ACEMOGLU D, AGHION P, BURSZTYN L, et al. The environment and directed technical change[J]. The American economic review, 2012, 102(1):131-166.

[3] 陈勇,柏喆. 技能偏向型技术进步、劳动者集聚效应与地区工资差距扩大[J]. 中国工业经济,2018(9):79-97.

[4] 李创,刘毅然. 基于系统科学的企业环境技术创新行为影响机制分析[J]. 系统科学学报,2019,27(3):56-61.

[5] 王向进,杨来科,钱志权. 出口结构转型、技术复杂度升级与中国制造业碳排放——从嵌入全球价值链的视角[J]. 产经评论,2017(3):5-17.

[6] MICHAEL Hübner. Energy saving technology diffusion via FDI and trade using CGE model of China[J]. Kiel working paper, 2009, 1491.

[7] SHAO Shuai, LUAN Ranran, YANG Zhenbing, et al. Does directed technological change get greener: empirical evidence from Shanghai's industrial green development transformation[J]. Ecological indicators, 2016(69):758-770.

[8] 陈颂,卢晨. 基于行业技术相似度的 FDI 技术溢出效应研究[J]. 国际贸易问题,2019(1):106-118.

[9] 詹江,鲁志国. 自主创新能力、技术差距与外商直接投资溢出效应——基于中国制造业企业的实证研究[J]. 云南社会科学,2019(1):95-101.

[10] 郭雨萍,梁浩. 国际生产共享中的技术溢出与空间相关性分析[J]. 统计与决策,2019,35(3):142-146.

[11] 郑翔中,高越. FDI 与中国能源利用效率:政府扮演着怎样的角色?[J]. 世界经济研究,2019(7):78-89.

[12] JAVORCIK B S. Does foreign direct investment increase the productivity of domestic firms? in search of spillovers through backward linkages [J]. The American economic review, 2004(6):605-627.

[13] 未良莉,王立平,王俊强. 对外贸易、FDI 与污染密集型产业转移实证研究[J]. 沈阳工业大学学报(社会科学版),2019,12(6):514-519.

[14] 傅元海,林剑威. FDI 和 OFDI 的互动机制与经济增长质量提升——基于狭义技术进步效应和资源配置效应的分析[J]. 中国软科学,2021(2):133-150.

[15] 吉生保,姜美旭. FDI 与环境污染:溢出效应还是污染效应?——基于异质性双边随机前沿模型的分析[J]. 生态经济,2020,36(4):170-175.

[16] 刘玉凤,高良谋. 中国省域 FDI 对环境污染的影响研究[J]. 经济地理,2019,39(5):47-54.

[17] RODRIK Dani. New technologies, global value chains, and developing economies[J]. NBER working paper, 2018, 25164.

[18] 周杰琦,汪同三. 外商直接投资、经济增长和 CO₂ 排

放——基于中国省际数据的实证研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版),2014,16(3):30-37.

[19] 聂飞,刘海云. FDI、环境污染与经济增长的相关性研究——基于动态联立方程模型的实证检验[J]. 国际贸易问题,2015(2):72-83.

[20] 廖显春,夏恩龙. 为什么中国会对 FDI 具有吸引力?——基于环境规制与腐败程度视角[J]. 世界经济研究,2015(1):112-119.

[21] 李子豪. FDI 增加了还是减少了中国工业碳排放?——门槛效应视角的考察[J]. 经济经纬,2016,33(2):66-71.

[22] 计志英,毛杰,赖小锋. FDI 规模对我国环境污染的影响效应研究——基于 30 个省级面板数据模型的实证检验[J]. 世界经济研究,2015(3):56-64,128.

[23] 郭沛,杨军. 中国工业行业 FDI 对碳排放强度的影响[J]. 经济问题,2015(8):76-80.

[24] 李新安,李慧. 基于节能减排的我国碳金融市场发展策略研究[J]. 郑州轻工业学院学报(社会科学版),2019,20(3):26-35.

[25] 焦高乐,严明义. 技术进步的来源、方向与工业节能减排[J]. 统计与信息论坛,2017,32(4):81-86.

[26] 钱娟,李金叶. 技术进步是否有效促进了节能降耗与 CO₂ 减排? [J]. 科学学研究,2018,36(1):49-59.

[27] 张月玲,叶阿忠. 中国的技术进步方向与技术选择——基于要素替代弹性分析的经验研究[J]. 产业经济

研究,2014(1):92-102.

[28] 杨汝岱. 中国制造业企业全要素生产率研究[J]. 经济研究,2015,50(2):61-74.

[29] 李小平,李小克. 偏向性技术进步与中国工业全要素生产率增长[J]. 经济研究,2018,53(10):82-96.

[30] 李新安. 区域创新能力对经济发展质量提升的驱动作用研究[J]. 区域经济评论,2020(2):65-74.

[31] 潘雄锋,舒涛,徐大伟. 中国制造业碳排放强度变动及其因素分解[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(5):101-105.

[32] 孙艳芝,沈镭,钟帅,等. 中国碳排放变化的驱动力效应分析[J]. 资源科学,2017,39(12):2265-2274.

[33] 李新安,李慧. 制造业高质量发展视阈下绿色技术创新的碳排放效应研究[J]. 创新科技,2021(6):61-73.

[34] 李新安. 高质量发展视阈下创新型企业集聚机理及对策研究[J]. 创新科技,2020,20(1):70-79.

[35] 陈晓玲,徐舒,连玉君. 要素替代弹性、有偏技术进步对我国工业能源强度的影响[J]. 数量经济技术经济研究,2015,32(3):58-76.

[36] 李新安. 制度环境对区域绿色创新效率提升的门槛效应研究[J]. 创新科技,2021(3):1-9.

[37] 黄鲁成,苗红,李欣,等. 使命导向创新政策与中国情景[J]. 中国软科学,2021(1):44-55.

(本文责编:辛 城)