

FDI 技术溢出、行业吸收能力与工业碳排放强度——基于面板门槛模型的实证

邓荣荣¹ 张翱祥²

(1. 南华大学, 湖南 衡阳 421001; 2. 厦门大学, 福建 厦门 361005)

摘要: 在考虑中国工业行业吸收能力异质性的基础上, 构建技术差距、人力资本水平、市场化程度、外贸开放度等 4 个反映行业技术吸收能力的要素, 利用“入世”以来中国工业行业门槛面板数据, 研究吸收能力作用于 FDI 低碳技术溢出的门槛效应。结果表明, FDI 低碳技术溢出对上述 4 个因素都存在非线性门槛效应: 人力资本水平和市场化程度越高, FDI 的低碳技术溢出效应越显著; 适度的技术差距与外贸开放度均有助于 FDI 碳减排技术溢出, 过低或过高的技术差距和外贸开放度均不利于 FDI 低碳技术溢出效应产生。因此, 工业行业尤其是高碳排放行业需要进一步提升人力资本水平, 完善市场竞争机制, 以跨越人力资本与市场化程度对 FDI 低碳技术溢出的门槛效应, 同时需要提升行业在全球贸易分工中的地位。此外, FDI 引入不能盲目追求高新技术, 需要结合内资企业的技术吸收能力适度考量。

关键词: FDI 技术溢出; 技术吸收能力; 碳排放强度; 门槛效应

中图分类号: F426

文献标识码: A

文章编号: 1006-1894 (2023) 02-0001-13

一、引言

中国是能源消耗大国, 美国橡树岭国家实验室 CO₂ 信息分析中心的数据显示, 随着中国工业化加速, 碳排放量持续增长, 从 2006 年开始持续成为最大的碳排放国, 面临着巨大的二氧化碳减排压力。2021 年中国于《巴黎协定》谈判进程中正式宣布“国家自主贡献行动目标”, 承诺二氧化碳排放量在 2030 年左右达到峰值、2060 年前实现碳中和, 且 2030 年单位国内生产总值二氧化碳排放量较 2005 年下降 60%~65%; 2021 年中国将强制性碳减排目标纳入“十四五”规划。工业是中国国民经济的主导行业, 工业部门的能源消费长期占据全国终端能源消费的 70% 以上, 既是温室气体排放的主要源头, 也是碳减排的关键领域, 如何针对工业领域实施有效的碳减排政策, 缓解能源约束、气候变化与工业发展之间的冲突, 已成为实现低碳发展目标的关键环节。众多研究与经验数据表明, 工业行业碳排放强度降低主要依靠技术进步。

作者简介: 邓荣荣, 南华大学经济管理与法学院教授, 博士, 研究方向: 生态经济; 张翱祥 (通信作者), 厦门大学中国能源政策研究院博士生, 研究方向: 生态经济。

基金项目: 湖南省社会科学成果评审委员会重大项目“数字经济驱动湖南省减污降碳协同治理的机制、效应与政策研究” (项目编号: XSP2023ZDA004)。

在开放经济条件下, FDI 能有效促进技术在国际间扩散, FDI 对东道国的技术溢出效应也被视为获取跨国公司先进科学与管理技术的渠道之一。中国已成为最具投资吸引力的东道国, 实际使用外商直接投资由 2002 年的 527.43 亿美元增长至 2020 年的 1,443.69 亿美元, 其中工业行业吸引了近一半的 FDI。理论上, FDI 能通过模仿、竞争、人力资本流动、后向关联与前向关联等技术溢出路径对工业行业产生正向技术促进作用, 然而, FDI 是否真正提升了中国工业行业的低碳技术效率仍是一个有争议的问题。外商直接投资的技术溢出效应并非自动产生, 其溢出程度与方向不仅取决于东道国资源的可获得性、招商引资政策、基础设施状况、法律和社会秩序等因素, 更取决于国内企业的吸收能力。工业行业通过 FDI 等途径获得低碳技术转移, 一个必要条件是对 FDI 先进技术的有效吸收和利用。因此, 从吸收能力角度研究工业行业引进 FDI 的差异性技术溢出效应与碳减排效应, 对充分发挥 FDI 的技术溢出效应, 助力中国“双碳”目标的实现具有理论与现实意义。

二、文献综述

作为全球科技传播途径之一, FDI 技术溢出对东道国低碳能力的构建成为学术界关注的重点议题。相关文献对 FDI 技术溢出与工业行业低碳发展的线性关系展开研究。郭沛和杨军(2015)对 2000~2012 年 FDI 对中国工业行业碳排放强度的影响效应进行了实证检验, 结果显示造成了负向影响效应。刘传江和胡威(2016)的实证研究表明, FDI 对碳生产率的影响同时表现出对区域内的“污染天堂”效应和对邻近地区的“污染光环”效应。Pazienza(2019)研究了 1989~2016 年 OECD 国家资本流出对东道国的碳排放影响效应, 发现外国直接投资对制造业二氧化碳的负面影响随着流入规模的增加而减少, 主要原因在于 FDI 对技术创新的推动。Haug 和 Ucal(2019)的研究结果表明, FDI 技术溢出对土耳其碳排放未产生显著的长期影响。宋文飞(2021)认为, FDI 对省际碳生产率同时存在促进效应与抑制效应。因此, 尽管理论上 FDI 已成为各国尤其是发展中国家获取先进低碳技术的方式, 但大量基于线性模型的实证研究却发现 FDI 技术溢出并不一定产生正向的低碳发展效应。

针对 FDI 技术溢出与东道国低碳发展的线性关系结论不一的现象, 有学者从二者非线性关系的角度研究这一问题, 认为 FDI 是否对东道国碳排放产生抑制作用取决于东道国是否跨过一定的门槛条件, 如环境规制、经济发展水平、基础设施状况、吸收能力等(Girma, 2005)。其中, 东道国的技术吸收能力因素由于能直接通过市场交易产生外部经济, 并产生独立于市场之外的知识溢出从而影响低碳建设能力, 逐渐引起学术界的重视。现有文献大多从区域异质性的角度研究区域 FDI 的吸收能力门槛。何兴强等(2014)从经济发展水平、外贸依存度、基础设施建设、人力资本水平等 4 个维度, 对 FDI 技术溢出的区域吸收能力门槛进行了实证检验。Wang 等(2016)考察了中国省域技术差距的阈值效应与技术溢出之间的关系。韩慧和赵国

浩(2018)从技术差距视角,运用面板门槛模型实证检验省域吸收能力与科技创新能力的关系。宋文飞(2021)的实证结果指出,对外开放是释放FDI对碳生产率的“光环效应”的有利条件。可见,现有文献大多从东道国区域吸收能力的角度展开研究,认为东道国的区域吸收能力至少应达到一个最低水平才能对FDI的低碳生产技术产生吸收作用,鲜见从行业异质性的角度研究行业吸收能力对FDI碳减排的门槛效应。考虑到不同工业行业在生产模式、要素投入、市场化程度、技术水平、FDI流入状况等方面的差异,较之区域吸收能力视角,从行业吸收能力门槛的角度研究不同工业行业引进FDI的差异性碳减排效应更具有政策价值。

本文可能的贡献是:在研究方法上,将行业吸收能力门槛效应引入FDI的工业碳排放影响实证中,从行业吸收能力门槛角度研究FDI的差异性碳减排效应,更加契合工业行业低碳技术吸收能力异质性与碳减排成效差异性的现实表征,并能较好地解释现有线性回归实证结论的冲突;在研究内容上,构建反映行业吸收能力的4个维度指标,对行业吸收能力影响FDI低碳技术溢出的作用机制展开理论分析,并与门槛回归分析模型结合;尝试构建更科学的FDI低碳技术溢出代理变量,以更有效地考察FDI低碳技术溢出效应。

三、工业行业吸收能力对FDI低碳技术溢出的门槛机制

(一)工业行业吸收能力的内涵

吸收能力是一种多维动态能力的有机构成,它综合反映了微观主体对新知识和新技术获取、消化、转化和利用的整体能力。若企业获取和消化有价值的外部知识与技术,并通过开发新的产品或流程将其转化和利用,即可因为具备对外部知识的吸收能力而获得额外竞争优势。行业吸收能力并非为行业内众多微观主体吸收能力的简单加总,而是行业内部技术吸收主体与外部技术溢出主体之间产生的有机联系,不仅指行业对外部知识获取、评估、转化、整合与开发利用的能力,也包括对外部技术、知识及信息在行业内部有效规范、配置、整合的能力(Arundel et al, 2008)。就行业吸收能力对FDI低碳技术溢出产生的作用而言,FDI技术溢出效应与行业低碳发展之间存在一个“门槛”,在门槛之下,FDI的低碳溢出效应明显,且随着吸收能力提升而增加;在门槛之上,溢出效应不显著,而吸收能力与行业内外资技术差距、人力资本、市场化特征等因素密切相关。

(二)吸收能力对FDI低碳技术溢出的门槛机制

本文基于Arundel等(2008)对行业吸收能力内涵的概述,拟从技术差距、人力资本水平、市场化程度、外贸开放度等4个维度,测度工业行业对FDI低碳技术溢出的吸收能力。各因素对FDI低碳技术溢出的门槛机制分析如下:

技术差距对FDI低碳技术溢出的门槛机制。行业技术差距主要是指外资企业与

行业内东道国企业之间的技术差距。黄繁华和王晶晶（2014）认为，投资国先进知识与技术的溢出效应是行业内外资企业和内资企业技术差距的增函数，即二者之间的技术差距越大，外资企业提供给内资企业的模仿空间越广阔，技术落后企业对外部技术引入、消化、吸收及应用的动力与潜力就越大；若内外资企业之间的技术差距小，即可能存在技术趋同效应，两类企业之间无形资产禀赋的相似性降低了知识价值与溢出效应。孙洋等（2020）认为，技术差距往往是企业发展积累的结果，过高的技术差距可能意味着内资企业技术积累与模仿能力较差，不利于 FDI 技术溢出的吸收和引进；接近技术前沿的国内企业可能较落后企业具有更大的 FDI 技术溢出潜力。因此，内外资企业的技术差距对 FDI 低碳技术溢出的影响并非是线性的，可能存在对 FDI 低碳技术溢出的“双门槛效应”。

人力资本水平对 FDI 低碳技术溢出的门槛机制。Chen 等（1996）基于跨国投资外溢效应的作用方向，将 FDI 技术外溢效应概括为水平联动效应与垂直联动效应。水平联动效应包含人力资本对 FDI 低碳技术溢出的促进效应，经外资企业培训的本地劳动者和管理者流入内资企业，引致内资企业人力资本积累，并对内资企业加速技术创新产生示范效应与模仿效应；垂直联动效应也赋有人力资本促进效应内涵：跨国公司直接向本国供应商提供技术和生产培训，提高本国企业生产效率。因此，FDI 低碳技术外溢需要东道国相关行业具备良好的人力资本水平，只有人力资本水平达到一定程度后，技术外溢才会通过培训效应及传递效应等途径提升行业的低碳技术水平。

市场化程度对 FDI 低碳技术溢出的门槛机制。市场化程度是指市场对供求力量变化反应的敏感程度，它衡量行业资源配置与价值规律运行效率，如果市场竞争是充分的，行业内各企业的交易活动按照市场规则进行，价格较少受到非供求关系因素的干扰。只有行业的市场化达到一定程度，行业内的内外资企业依据自身优势充分竞争，才能促使外资企业竭力利用自身的技术优势克服进入东道国行业市场的成本，内资企业也会基于竞争压力不断学习与模仿，从而提高劳动生产率，最终引致积极的 FDI 技术溢出效应。此外，较高的市场化程度往往是行业有序竞争、规制保障、持续发展等因素共同作用的结果，为 FDI 低碳技术溢出提供了较好的市场保障。

外贸开放度对 FDI 低碳技术溢出的门槛机制。在经济全球化及跨国公司资源全球配置的背景下，东道国开放程度较高的行业往往成为跨国资本投入的主要领域，东道国相关行业的经济开放程度也直接关系到该行业是否能够吸引优质跨国资本投入。Bhagwati（1978）指出，外资流入通过提升东道国相关产业经济效率而促进发展，且这一效应在更加开放的行业贸易体系中进一步被强化。理论上，行业的贸易开放程度越高，通过对外贸易及相互 FDI 进行的技术、知识、人力资本等交流程度越高，获得的外溢效应也越大。此外，贸易开放度可被视为行业成熟度的一个现实表征，FDI 技术外溢的水平联动效应与垂直联动效应更可能在自由、相对成熟、规范的行业

中产生。因此,引入外商直接投资促进工业行业的低碳发展效率可能存在基于外贸开放度的门槛效应。

四、研究方法 with 变量

(一) 门槛回归模型设定与估计方法

现有的门槛实证研究大多采用分组检验模型、交叉项检验模型与门槛回归模型等方法,但分组检验方法主要依赖主观经验设置分割点,不能对具体的门槛值进行客观精确的估计;交叉项检验方法受限于交叉项形式的不确定性,且二者均无法对门槛效应进行显著性检验。Hansen (1999) 提出的面板门槛回归模型能够在准确估计门槛值的同时,完成门槛效应的显著性检验,弥补了上述方法的不足。因此,本文运用此方法构建以行业吸收能力为门槛变量的 FDI 技术溢出影响碳排放强度的门槛模型 (1):

$$\ln CAR_{it} = \mu_i + \alpha_i \ln X_{it} + \beta_1 \ln FDI_{it} \times I(ABP_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 \ln FDI_{it} \times I(\gamma_1 < ABP_{it} \leq \gamma_2) + \dots + \beta_n \ln FDI_{it} \times I(\gamma_{n-1} < ABP_{it} \leq \gamma_n) + \beta_{n+1} \ln FDI_{it} \times I(ABP_{it} > \gamma_n) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式 (1) 中, ε 为随机扰动项; CAR 为被解释变量,即各工业行业的碳排放强度; X 为除 FDI 技术溢出以外的一组影响工业行业碳排放强度的控制变量; ABP 为门槛变量,依次为技术差距、人力资本水平、市场化程度、外贸开放度等 4 个吸收能力因素; i 表示行业; t 表示年份; $I(\cdot)$ 为指示函数; $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ 表示 n 个不同水平的门槛值。关于面板门槛模型的估计检验,通常关注如下关键问题:

对门槛值及相关控制变量的值进行参数估计。估计思路为:对式 (1) 采用组内去均值的方法消除个体效应的影响,相应的解释变量 X 和被解释变量 Y 变换为 X^* 和 Y^* ,则解释变量系数 β 的 OLS 可表示为:

$$\hat{\beta}(\gamma) = (X^*(\gamma)X^*(\gamma)^{-1})X^*(\gamma)Y^* \quad (2)$$

可得残差向量 $\hat{\beta}^*(\gamma) = Y^* - X^*(\gamma)\hat{\beta}(\gamma)$ 和残差平方和 $S_1(\gamma) = \hat{e}^*(\gamma)' \hat{e}^*(\gamma)$,进一步用格栅搜索法挑选最小残差平方和对应的门槛值,最优门槛值是使得在所有残差平方和中最小者 $\hat{\gamma} = \arg \min S_n(\gamma)$,确定了门槛估计值以后,其他参数值能随之相应确定。

进行门槛效应的存在性检验。检验思路为:构造基于模型 (1) 的原假设 $H_0: \beta_1 = \beta_2$ 及备选假设 $H_0: \beta_1 \neq \beta_2$ 。若原假设成立,则模型的变量均为线性关系,不存在门槛效应;若备选假设成立,则表示模型存在门槛效应。由于在原假设条件下 $\hat{\gamma}$ 无法识别,传统的参数检验统计量的大样本并不服从卡方分布,因此,依据 Hansen (1999) 的思想,构造 F 统计量对其进行统计检验,利用自举法 (Bootstrap) 模拟得到 P 值进行判定,拒绝原假设表示存在门槛效应。

进行门槛估计值的真实性检验。门槛估计对应的原假设是 $H_0: \gamma^* = \gamma_0$,构造似然比统计量为 $LR(\gamma) = \left[\frac{SSR(\gamma) - SSR(\hat{\gamma})}{\sigma^2} \right] \frac{1}{\sigma^2}$,可以证明,在 $H_0: \gamma^* = \gamma_0$ 成立的情况下,虽然 $LR(\gamma)$ 的分布仍然是非标准的,但其累积分布函数为 $(1 - e^{-x/2})^2$,可以直接计算临

界值，故可以利用统计量 $LR(\gamma)$ 计算 γ 的置信区间。

（二）变量选取与数据来源

被解释变量（碳排放强度 CAR ）。由于目前尚未公布中国区域及分行业碳排放数据，因此各年份分行业二氧化碳排放强度需要计算得出。计算方法依据《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》第 2 卷的参考方法，公式为：

$$C_i = Q_i / Y_i = \sum_{j=1}^8 E_{ij} \lambda_j / Y_i \quad (3)$$

式（3）中， i 表示行业， j 表示能源种类； Y_i 为行业 i 的产值； C_i 表示行业 i 的碳排放强度； Q_i 表示行业 i 的碳排放总量； E_{ij} 表示行业 i 对第 j 类能源的实物消费量； λ_j 表示第 j 种能源的碳排放系数， λ_j 的具体计算公式为：

$$\lambda_j = NCV_j \times CEF_j \times COF_j \times (44/12) \quad (4)$$

式（4）中， λ_j 代表第 j 种能源的二氧化碳排放系数； NCV 为 2007 年《中国能源统计年鉴》附录 4 提供的中国各类能源的平均低位发热量，单位为千焦 / 千克或千焦 / 立方米； CEF 为 IPCC(2006) 提供的各类能源的缺省排放因子，单位为千克 / 10^6 千焦； COF 是碳氧化因子（本文依据 IPCC 的建议取值为 1）；44 和 12 分别为二氧化碳和碳的分子量，44/12 即为将碳转化为二氧化碳的系数。

门槛变量（吸收能力变量）分别用技术差距、人力资本水平、市场化程度、外贸开放度等 4 个变量测度。衡量指标为：技术差距（ $TECH$ ），选取分行业外资企业与内资企业劳动生产率之比表示，分行业内（外）资劳动生产率用工业销售总产值除以行业就业人数得到；人力资本水平（ HR ），采用分行业 R&D 人员占该行业就业人数的比重衡量；市场化程度（ $MAKT$ ），借鉴成琼文等（2020）的做法，用各工业行业实收资本中非国家资本的比例衡量；外贸开放度（ $OPEN$ ），选取分行业外贸依存度表示，用行业进出口总额与行业产值的比重表示。

核心解释变量（FDI 技术溢出）。由于技术溢出效应难以直接观测，故测度 FDI 技术溢出效应一直是相关实证研究领域的难点。由于 FDI 规模与 FDI 技术溢出之间存在显著的正相关关系，故目前主流的处理方法是将 FDI 规模作为表征 FDI 技术溢出效应的代理变量，但 FDI 规模不能反映 FDI 低碳技术溢出，因此，本文构建分行业 FDI 规模与低碳技术增量乘积的交叉项（ $FDI \times GT$ ）考察 FDI 低碳技术溢出效应。其中，FDI 规模（ FDI ）用分行业外资企业的固定资产存量占行业全部固定资产存量的比重衡量，鉴于世界知识产权组织（WIPO）仅发布《绿色专利清单》以识别绿色专利，目前尚未有针对低碳专利的权威性分类指南，故用分行业绿色技术专利申请量作为低碳技术增量（ GT ）的替代变量。

控制变量。根据 Romer（1990）的内生增长理论，工业行业在物质资本积累过程中包含研发等活动形成的技术进步，因此，低碳技术进步源于工业行业 R&D 活动；根据 Grossman 和 Helpman（1991）的思想，技术进步或生产率提高是资本积累的

副产品,即投资具有溢出效应,不仅投资厂商可以通过积累生产经验提高生产率,其他厂商也可以通过学习提高生产率,因此,低碳技术进步是资本深化的副产品。基于上述思路,选取分行业研发投入和人均资本存量作为影响行业碳排放强度的控制变量。其中,分行业研发投入用 R&D 经费内部支出 (RD) 衡量,人均资本存量用工业企业固定资产与从业人员的比值 (CAP) 衡量。此外,二氧化碳排放主要源自对化石能源的消费,因此,添加控制变量 (ECS) 表示分行业能源消费结构,用煤炭消费量占能源消费总量的比重测度。

本文研究的时段是 2002~2019 年,将工业行业归并为 25 个行业类型,对涉及价格因素的指标均按相关价格指数平减到 2002 年,同时为了减少数据波动及异方差对回归的影响,对各指标取对数处理。各变量的基础数据均来自各年份的《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国能源统计年鉴》和《中国工业统计年鉴》,分行业绿色专利申请数据来自中国国家知识产权局 (SIPO) 专利数据库,依据 WIPO 发布的《绿色专利清单》在专利数据库中检索整理得到。各变量的描述性统计如表 1 所示。

表 1 各变量描述性统计分析

	变量	含义	平均值	标准差	最大值	最小值
被解释变量	CAR	碳排放强度	1.444	2.862	21.581	0.012
核心解释变量	$FDI \times GT$	FDI 低碳技术溢出	9,876.398	6,573.245	30,135.749	0.796
门槛变量	$TECH$	技术差距	2.313	6.779	57.820	0.714
	HR	人力资本水平	0.032	0.021	0.071	0.002
	$MAKT$	市场化程度	0.811	0.774	0.992	0.067
	$OPEN$	外贸开放度	1.362	1.610	2.165	0.008
控制变量	RD	研发投入	211.543	360.150	2,257.614	1.743
	CAP	人均资本存量	38.069	44.186	320.327	2.176
	ECS	能源消费结构	0.613	0.862	0.981	0.014

五、实证分析

(一) 吸收能力门槛效应的存在性检验

运用 Stata 14.0 软件检验模型 (1) 的样本数据是否存在门槛效应。利用自举法分别计算技术差距、人力资本水平、市场化程度、外贸开放度等 4 个门槛变量的 F 值 (Bootstrap LM 值)、 P 值以及在不同显著性水平下的临界值,依次估计不同门槛变量情况下单门限模型、双门限模型和三门限模型的存在性,并得到相应门槛值和 95% 的置信区间,其中相关检验值均采用自举法反复抽样 300 次得到。

门槛检验和门槛值估计结果见表 2 和表 3,结果显示,以技术差距为门槛变量时,单一门槛和双重门槛检验均在 5% 的显著性水平上显著,但三重门槛的 Bootstrap LM 值不显著,因此,可以判定以技术差距为门槛变量时存在双重门槛,门槛值分别为 1.480 和 5.906;以人力资本水平为门槛变量时,单一门槛检验在 1% 的显著性水平上显著,但双重门槛和三重门槛的 Bootstrap LM 值均不显著,故可以判定以人力资

本水平为门槛变量时存在单一门槛，门槛值为 0.027；以市场化程度为门槛变量时，单一门槛和双重门槛检验均在 5% 的显著性水平上显著，但三重门槛的 Bootstrap LM 值不显著，因此，可以判定以市场化程度为门槛变量时存在双重门槛，门槛值分别为 0.607 和 0.882；以外贸开放度为门槛变量时，单一门槛和双重门槛检验均在 5% 的显著性水平上显著，但三重门槛的 Bootstrap LM 值不显著，因此，可以判定以外贸开放度为门槛变量时存在双重门槛，门槛值分别为 0.139 和 0.743。

表 2 吸收能力对 FDI 低碳技术溢出的门槛效应检验

门槛变量	门槛数	Bootstrap LM 值	P 值	不同显著性水平临界值		
				10%	5%	1%
TECH	单一门槛	48.145**	0.031	35.834	42.930	52.359
	双重门槛	28.621**	0.028	21.167	25.153	35.682
	三重门槛	14.547	0.747	31.105	34.930	47.352
HR	单一门槛	54.069***	0.001	31.721	38.082	48.009
	双重门槛	26.334	0.194	28.088	31.607	43.209
	三重门槛	16.210	0.738	11.064	35.005	50.091
MAKT	单一门槛	47.660**	0.011	33.284	39.442	51.196
	双重门槛	28.990**	0.065	21.819	28.435	42.530
	三重门槛	11.334	0.735	17.117	20.012	25.285
OPEN	单一门槛	50.768**	0.041	22.410	37.373	59.598
	双重门槛	38.272**	0.046	29.058	38.657	46.250
	三重门槛	8.910	0.886	20.863	25.271	38.868

（二）门槛回归结果与分析

表 4 显示了技术差距、人力资本水平、市场化程度、外贸开放度等吸收能力变量分别对 FDI 技术溢出碳减排效应的门槛回归结果，在控制了行业研发投入和人均资本存量等变量的前提下可得如下结果：

技术差距对 FDI 技术溢出的碳减排效应存在双重门槛效果。当内外资企业的技术差距小于等于第 1 个门槛值 1.480 时，技术趋同效应导致 FDI 低碳技术溢出对内资企业减排技术提升效应有限，碳排放强度的抑制作用不显著；只有当内外资企业的技术差距达到适度程度，即超越第 1 个门槛值而小于等于第 2 个门槛值 5.906 时，FDI 低碳技术溢出对行业碳排放强度呈现显著的抑制效应；若内外资企业技术差距大于第 2 个门槛值 5.906 时，过高的技术差距导致 FDI 低碳技术溢出对行业碳排放强度的影响系数不显著。因此，技术差距对 FDI 低碳技术溢出存在一定的门槛效应，在适度的行业内外资企业技术差距条件下，工业行业引入 FDI 有利于工业减排目标的实现。

人力资本水平对 FDI 技术溢出的碳减排效应存在单门槛效果。当人力资本

表 3 门槛估计值与 95% 水平置信区间

门槛变量	门槛 γ	门槛估计值	95% 水平置信区间	
TECH	单一门槛	1.480	1.378	1.539
	双重门槛	5.906	5.681	7.443
HR	单一门槛	0.027	0.018	0.030
MAKT	单一门槛	0.607	0.528	0.619
	双重门槛	0.882	0.822	0.941
OPEN	单一门槛	0.139	0.095	0.139
	双重门槛	0.743	0.515	0.942

表 4 门槛面板模型系数估计结果

门槛变量	区间划分	估计系数					R^2	个体效应
		$\ln FDI \times GT$	$\ln ECS$	$\ln RD$	$\ln CAPI$	常数项		
TECH	$\gamma \leq 1.480$	0.014 (0.188)	0.411*** (2.816)	-0.448** (-2.180)	-0.596** (-2.613)	5.519*** (14.072)	0.704	F(25,447) =280.270***
	$1.480 < \gamma \leq 5.906$	-0.070*** (-3.119)						
	$\gamma > 5.906$	-0.044 (-0.796)						
HR	$\gamma \leq 0.027$	-0.011 (-0.880)	0.446*** (2.974)	-0.302*** (-4.813)	-0.677*** (-3.496)	6.335*** (11.112)	0.816	F(25,447) =323.610***
	$\gamma > 0.027$	-0.073*** (-3.292)						
MAKT	$\gamma \leq 0.607$	0.063 (1.071)	0.407*** (3.196)	-0.443*** (-5.170)	-0.638** (-2.312)	5.294*** (15.337)	0.852	F(25,447) =379.820***
	$0.607 < \gamma \leq 0.882$	-0.089** (-2.148)						
	$\gamma > 0.882$	-0.443*** (-4.09)						
OPEN	$\gamma \leq 0.139$	-0.439 (-0.007)	0.527** (2.174)	-0.488*** (-3.173)	-0.608*** (-3.561)	6.035*** (12.173)	0.891	F(25,447) =415.140***
	$0.139 < \gamma \leq 0.743$	-0.273** (-2.189)						
	$\gamma > 0.743$	0.080 (0.827)						

注：括号内为 t 值，*、** 和 *** 分别表示显著性水平为 10%、5% 和 1%。

水平小于等于门槛值 0.027 时，即行业平均每千人中从事研发活动人员不多于 27 人时，FDI 低碳技术溢出对行业碳排放强度的影响效应不显著；当人力资本水平大于该门槛值时，FDI 低碳技术溢出对行业碳排放强度呈现显著的抑制效应，影响系数为负且在 1% 的显著性水平下显著。上述结果表明，FDI 低碳技术外溢对工业行业产生减排效应有赖于行业人力资本状况，行业内较高的人力资本水平往往意味着较强的本土企业学习能力、创新能力、知识吸收能力及环保责任意识等，FDI 低碳技术外溢才会通过培训效应及传递效应等途径提升行业的低碳技术水平。

市场化程度作为 FDI 低碳技术溢出的门槛变量存在两个门槛值，分别是 0.607 与 0.882。当市场化程度尚未跨越第 1 个门槛值 0.607 时，FDI 低碳技术溢出变量系数为正但不显著；当市场化程度位于 0.607 至 0.882 之间时，FDI 低碳技术溢出对行业内碳排放强度的降低有正向推进作用，且在 5% 的显著性水平上显著；当市场化程度跨越第 2 个门槛值 0.882 后，FDI 技术溢出的弹性系数显著变大且在 1% 的显著性水平下显著，表明存在更为显著的 FDI 低碳技术溢出效应。上述结果表明，一定的市场化发展水平是 FDI 低碳技术外溢的门槛条件与基础保障，市场化程度越高的工业行业，FDI 低碳技术溢出效应越显著。

外贸开放度对 FDI 技术溢出的碳减排效应存在双重门槛效果，两个门槛值分别是 0.139 与 0.743。当外贸开放度小于等于第 1 个门槛值 0.139 时，FDI 技术溢出对

表 5 2002 年与 2019 年分行业门槛值跨越情况

门槛变量	区间划分	行业 (2002 年)	行业 (2019 年)
TECH	$\gamma \leq 1.480$	S7、S9、S10、S11、S13、S16、S22、S24	S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10、S11、S12、S13、S14、S16、S17、S18、S19、S20、S21、S22、S23、S24、S25
	$1.480 < \gamma \leq 5.906$	S3、S4、S5、S6、S8、S12、S14、S15、S17、S18、S19、S20、S21、S23、S25	S1、S2、S15
	$\gamma > 5.906$	S1、S2	无
HR	$\gamma \leq 0.027$	S3、S4、S5、S9、S10、S11、S13、S17、S19	S4
	$\gamma > 0.027$	S1、S2、S6、S7、S8、S12、S14、S15、S16、S18、S20、S21、S22、S23、S24、S25	S1、S2、S3、S5、S6、S7、S8、S9、S10、S11、S12、S13、S14、S15、S16、S17、S18、S19、S20、S21、S22、S23、S24、S25
MAKT	$\gamma \leq 0.607$	S1、S2、S3、S4、S7、S18、S25	S1、S2、S3、S7、S14、S25
	$0.607 < \gamma \leq 0.882$	S5、S6、S8、S11、S12、S13、S14、S15、S16、S17、S19、S20、S21、S22、S23、S24	S4、S15、S18、S20、S21
	$\gamma > 0.882$	S9、S10	S5、S6、S8、S9、S10、S11、S12、S13、S16、S17、S19、S22、S23、S24
OPEN	$\gamma \leq 0.139$	S6、S7、S13、S25	S7、S25
	$0.139 < \gamma \leq 0.743$	S1、S3、S4、S5、S8、S10、S11、S14、S15、S17、S18、S21、S22、S23	S1、S3、S4、S6、S8、S10、S13、S17、S22、S23
	$\gamma > 0.743$	S2、S9、S12、S16、S19、S20、S24	S2、S5、S9、S11、S12、S14、S15、S16、S18、S19、S20、S21、S24

注: S1 为煤炭开采和洗选业, S2 为石油和天然气开采业, S3 为金属矿采选业, S4 为非金属和其他矿采选业, S5 为食品制造及加工业, S6 为酒、饮料和精制茶制造业, S7 为烟草制品业, S8 为纺织业, S9 为纺织服装、鞋帽制造业, S10 为皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业, S11 为木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业, S12 为造纸及纸制品业, S13 为印刷和记录媒介复制业, S14 为石油加工、炼焦及核燃料加工业, S15 为化学工业, S16 为橡胶和塑料制品业, S17 为非金属矿物制品业, S18 为金属冶炼及压延加工业, S19 为金属制品业, S20 为通用、专用设备制造业, S21 为交通运输设备制造业, S22 为电气机械和器材制造业, S23 为计算机、通信、仪器仪表和其他电子设备制造业, S24 为其他制造业, S25 为电力、热力、燃气和水的生产和供应业。其中, S1、S2、S4、S14、S15、S17、S18、S25 为高碳排放行业。

碳排放强度的抑制作用不显著; 当外贸开放度跨越第 1 个门槛值 0.139 但未跨越第 2 个门槛值 0.743 时, FDI 低碳技术溢出对行业碳排放强度呈现显著的抑制效应; 当外贸开放度跨越第 2 个门槛值时, FDI 技术溢出对行业碳排放强度的影响系数不显著。上述结果表明, 行业 FDI 低碳技术外溢效应的发挥有赖于适度的行业开放, 在此区间内, 工业行业引入 FDI 有利于降低碳排放强度, 但若过度依赖外资以支撑行业经济发展和低碳技术进步, 则会挤占内资企业的生存空间, 导致行业内的内资企业迫于生存压力将资源应用于短期经营绩效, 缺乏减排技术创新与吸收引进的长期动力。

(三) 分行业门槛值跨越情况

表 5 显示了研究初期 (2002 年) 与报告期 (2019 年) 分行业吸收能力门槛值跨越情况, 为便于观察, 以 2002~2019 年分行业年均碳排放强度值 1.41 吨/万元为界

限设定高碳排放行业与非高碳排放行业，分析如下：

从技术差距指标来看，2002 年为中国“入世”初期，除烟草制品业等 8 个劳动密集型制造业外，17 个工业行业的内外资企业存在较大的技术差距，跨越技术差距最低门槛值，其中 15 个工业行业的内外资企业技术差距介于第 1 个门槛值与第 2 个门槛值之间，依据上文的实证结果，此阶段 FDI 技术溢出对行业碳排放强度呈现显著的抑制效应。随着内资企业技术创新能力不断提升，内外资企业技术差距不断降低，2019 年，22 个行业的内外资企业技术差距均低于最低门槛值，煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业、化学工业的内外资企业技术差距介于第 1 个门槛值和第 2 个门槛值之间，且全部为高碳排放行业。这一结果表明，从技术差距为吸收能力门槛的角度而言，FDI 技术溢出的行业碳减排效果将十分有限。

从人力资本指标来看，2002 年，16 个工业行业的人力资本水平跨越了人力资本门槛值，表明这些行业的人力资本水平能有效吸收 FDI 低碳技术溢出，但金属矿采选业、非金属和其他矿采选业等 9 个工业行业未达到有效吸收 FDI 低碳技术溢出的水平，这一状况在 2019 年得到有效改善。2019 年，除非金属和其他矿采选业外，其余 24 个工业行业全部跨越人力资本门槛值，表明工业行业人力资本已处于稳步上升阶段，且大多已达到能有效吸收 FDI 低碳技术溢出的水平。

从市场化程度指标来看，中共十四大提出建立社会主义市场经济体制，中国为顺应“入世”要求采取了一系列旨在完善市场经济的举措。2002 年，16 个工业行业的市场化程度跨越了第 1 个门槛值，使得 FDI 有一定的低碳技术溢出效应；2 个行业的市场化程度跨越第 2 个门槛值，存在更显著的 FDI 低碳技术溢出效应。截至 2019 年，中国工业行业的整体市场化程度进一步提升，半数以上（14 个）行业的市场化程度跨越了第 2 个门槛值；但尚有 6 个工业行业的市场化程度未达到 FDI 技术溢出有效吸收的第 1 个门槛值，其中 4 个为高碳排放行业；除非金属矿物制品业外，其他高碳排放行业的市场化程度均未跨越 FDI 技术溢出有效吸收的第 2 个门槛值，表明提升高碳排放行业市场化程度是有效促进工业行业碳减排能力的重要途径。

从外贸开放度指标来看，2002 年，14 个工业行业处于第 1 个门槛值到第 2 个门槛值之间，4 个行业没有跨越第 1 个门槛值，7 个行业跨越了第 2 个门槛值。“入世”以来中国国际经济交往程度不断提升，工业行业整体外贸开放度迅速提高，2019 年，仅烟草制品业及电力、热力、燃气和水的生产和供应业的外贸开放度低于最低门槛值，半数以上（13 个）行业的外贸开放度跨越了第 2 个门槛值，位于第 1 个门槛值和第 2 个门槛值之间的行业降为 10 个。

六、结论与政策建议

（一）结论

本文构建技术差距、人力资本水平、市场化程度、外贸开放度等 4 个吸收能力

变量,利用 2002~2019 年中国 25 个工业行业门槛面板数据,研究吸收能力因素作用于 FDI 低碳技术溢出的门槛效应。结果表明,FDI 低碳技术溢出对上述 4 个因素都存在非线性门槛效应:人力资本水平和市场化程度越高,FDI 的低碳技术溢出效应越显著;适度的技术差距与对外开放度均有助于 FDI 碳减排技术溢出,过低或过高的技术差距和对外开放度均不利于 FDI 低碳技术溢出效应的产生。分行业门槛值跨越情况显示,研究期间内外资企业的技术差距有不断缩小的趋势,从技术差距吸收能力的门槛效应而言,FDI 技术溢出的行业碳减排效果十分有限;各行业人力资本已处于稳步上升阶段,且大多已达到能有效吸收 FDI 低碳技术溢出的水平;工业行业的市场化程度整体持续提升,半数以上跨越第 2 个门槛值,有利于 FDI 低碳技术溢出效应的发挥,但若干高碳排放行业的市场化程度尚未跨越第 1 个门槛值;研究期间工业行业的整体外贸开放度持续提升,半数以上行业的外贸开放度跨越了第 2 个门槛值,位于第 1 个门槛值和第 2 个门槛值适度范围的行业为 10 个。

(二) 政策建议

为有效利用 FDI 技术外溢效应提升工业行业的节能减排能力,提出如下政策建议:首先,为跨越人力资本对 FDI 低碳技术溢出的门槛效应,中国需要推动供给侧结构性改革,优化工业结构,为人力资本发挥作用提供更为广阔的平台;增加人力资本提升带来的回报率,促进劳动力跨地域、跨产业、跨部门流动;深化人力资本制度改革,让各类人力资本发挥最大潜能。其次,中国需提升行业的市场化程度对发挥 FDI 低碳技术溢出效应的重要门槛作用,尤其对于高碳排放行业,要最大限度减少政府对市场资源的直接配置和对微观经济活动的直接干预;全面完善产权制度,明确各经济主体的权利界线,有效保护所有者合法权益,着力培育更多充满活力的市场主体;加快实施市场准入负面清单制度,释放行政资源加强事中事后监管,促进市场公平竞争。再次,适度的外贸开放有助于 FDI 碳减排技术溢出,在中国进一步加深融入全球化的背景下,贸易开放度较高的行业应关注招商引资质量及在全球贸易分工中的地位,促进工业行业集约型贸易增长方式转变,贸易开放度较低的行业应积极探索全球分工合作方式,突破贸易开放度瓶颈对内资企业低碳技术进步的阻碍作用。最后,适度的行业内外资企业技术差距有利于 FDI 低碳技术溢出,因此,中国在招商引资过程中不能盲目追求高新技术,需要结合内资企业的技术水平进行适度考量。

参考文献:

- [1] 成琼文等.绿色技术创新效率及其影响因素——基于我国 35 个工业行业的实证研究[J].中南大学学报(社会科学版),2020,(2).
- [2] 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).
- [3] 韩慧,赵国浩.对外直接投资影响我国创新能力的机制与实证研究——技术差距视角的门槛检验[J].科技进步与对策,2018,(4).

- [4] 何兴强等.FDI技术溢出与中国吸收能力门槛研究[J].世界经济,2014,(10).
- [5] 黄繁华,王晶晶.服务业FDI、吸收能力与国际R&D溢出效应——一项跨国经验研究[J].国际贸易问题,2014,(5).
- [6] 刘传江,胡威.外商直接投资提升了中国的碳生产率吗?——基于空间面板Durbin模型的经验分析[J].世界经济研究,2016,(1).
- [7] 宋文飞.中国外商直接投资对碳生产率的双边效应[J].大连理工大学学报(社会科学版),2021,42(5).
- [8] 孙洋等.国际知识溢出对中国内资企业创新产出的影响——FDI渠道、进口贸易渠道与吸收能力的调节作用[J].西部论坛,2020,30(3).
- [9] Arundel,A.,et al.Neglected Innovators:How Do Innovative Firms That Do Not Perform R&D Innovate?Results of an Analysis of the Innobarometer[R].INNO-Metrics Thematic Paper,2008.
- [10] Bhagwati,J. N.Foreign Trade Regimes and Economic Development:Anatomy and Consequences of Exchange Control Regimes[M].London:Balinger Publishing Company,1978.
- [11] Chen,Y.,Edward,K. Y.Transnational Corporations and Technology Transfer to Developing Countries[M].New York:Thomson Business Press,1996.
- [12] Girma,S.Absorptive Capacity and Productivity Spillovers from FDI:A Threshold Regression Analysis[J].Oxford Bulletin of Economics and Statistics,2005,67(3).
- [13] Grossman,G. M.,Helpman,E.Innovation and Growth in the Global Economy[M].Cambridge:MIT Press,1991.
- [14] Hansen,B. E.Threshold Effects in Non-dynamic Panels: Estimation,Testing, and Inference[J].Journal of Econometrics,1999,93(2).
- [15] Haug,A. A.,Ucal,M.The Role of Trade and FDI for CO₂ Emissions in Turkey:Nonlinear Relationships[J].Energy Economics,2019,81(6).
- [16] Pazienza,P.The Impact of FDI in the OECD Manufacturing Sector on CO₂ Emission:Evidence and Policy Issues[J].Environmental Impact Assessment Review,2019,77(1).
- [17] Romer,P. M.Endogenous Technological Change[J].Journal of Political Economy,1990,64(1).
- [18] Wang,H.,et al.FDI Technology Spillover and Threshold Effect of the Technology Gap:Regional Differences in the Chinese Industrial Sector[J].Springerplus,2016,5(1).

FDI Technology Spillover, Absorption Capacity and Carbon Emission Intensity: Empirical Study Based on the Panel Threshold Model

DENG Rongrong ZHANG Aoxiang

Abstract: This paper constructs four factors reflecting the industry's technology absorptive capacity, including technology gap, human capital level, marketization degree, and foreign trade openness, and uses the threshold panel data to study the threshold effect of absorptive capacity on FDI low-carbon technology spillover. Results show that FDI low-carbon technology spillovers have non-linear threshold effects in the above four factors. The higher the level of human capital and the degree of marketization is, the more significant the low-carbon technology spillover effects of FDI will be. The moderate technology gap and the degree of openness are both conducive to the spillover of FDI carbon emission reduction technology, too low or too high technology gap or openness to the outside world is not conducive to the low-carbon technology spillover effects of FDI. Therefore, the industries especially high-carbon emission industries, need to further improve the level of human capital and the market competition mechanism, and the position of the industry in the division of global trade needs to be improved. In addition, the introduction of FDI cannot blindly pursue high-tech, and needs to be appropriately considered in conjunction with the technical level of domestic enterprises.

Keywords: FDI technology spillover; technological absorption capacity; carbon emission intensity; threshold effect

(责任编辑: 张建华)