

# 外商直接投资赋能企业绿色技术创新： 产业关联与知识流动

林 澜<sup>1</sup>, 武力超<sup>2</sup>, 余泳泽<sup>3</sup>

(1. 北京大学经济学院, 北京 100871; 2. 厦门大学经济学院, 福建 厦门 361005;  
3. 南京财经大学国际经贸学院, 江苏 南京 210023)

**摘要:** 绿色发展是中国式现代化的重要方向之一, 以外商直接投资(FDI)为载体的技术溢出是赋能企业绿色技术创新能力的重要途径。基于2002—2013年中国工业企业数据库和专利数据库的企业微观数据, 研究结果表明, 产业关联方面, FDI依赖于市场交易关系的水平溢出效应显著为负, 即负向的竞争效应占主导地位, 而行业间溢出效应主要体现在前向渠道; 知识流动方面, 基于技术相似度的水平和垂直溢出均对于企业绿色技术创新具有正向显著的影响。基于技术相似度的纯知识溢出效应对于污染行业和信息依赖行业以及高环境规制强度、高外商直接投资强度和绿色技术创新专业化与多样化集聚的地区更加显著。研究结论为合理引入外资、切实提高内资企业吸收能力并针对不同行业和地区进一步优化内资企业绿色技术创新提供了政策启示。

**关键词:** 外商直接投资; 绿色技术创新; 技术相似度; 产业关联; 知识流动

**中图分类号:** F740 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2154(2023)05-0061-18

**DOI:** 10.14134/j.cnki.cn33-1336/f.2023.05.005

## Foreign Direct Investment and Firm Eco-innovation: Industrial Linkage and Knowledge Spillover

LIN Lan<sup>1</sup>, WU Lichao<sup>2</sup>, YU Yongze<sup>3</sup>

(1. School of Economics, Peking University, Beijing 100871, China;

2. School of Economics, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

3. School of International Economics and Business, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Eco-innovation plays a crucial role in China's green high-quality development, in which technology spillover of foreign direct investment (FDI) is the key channel to enhancing the capability of independent eco-innovation. Based on the firm-level data of the Patent Database from China National Intellectual Property Administration (CNIPA) and Annual Census on Industrial Enterprises (ACIE) dataset from the National Bureau of Statistics (NBS) during the period of 2002 ~ 2013, this paper examines the spillover effects of FDI on eco-innovation of domestic firms from the perspective of industrial linkage and technology closeness. The results show that FDI horizontal spillover effect which depends on market transaction relations is significantly negative, that is, the negative competition effect dominates, while the spillover effect of industrial linkage is mainly reflected in the forward channel. Both the horizontal and vertical spillover based on technological closeness generate positive and significant impacts on eco-innovation. The

**收稿日期:** 2023-02-17

**基金项目:** 国家社会科学基金一般项目“碳中和背景下企业技术创新引领型发展与政策引导研究”(21BJL088)

**作者简介:** 林澜, 女, 博士研究生, 主要从事国际经济理论与政策研究; 武力超(通讯作者), 女, 教授, 博士生导师, 经济学博士, 主要从事国际经济理论与政策研究; 余泳泽, 男, 教授, 博士生导师, 经济学博士, 教育部“长江学者奖励计划”青年学者, 主要从事产业经济学研究。

knowledge spillover effect based on technology closeness is more pronounced for pollution industries and information-communication-dependent industries, the regions with high environmental regulation stringency, high FDI intensity and eco-innovation specialization and diversification. This paper has important policy implications for introducing foreign capital reasonably, improving the absorptive capacity of domestic firms, and further optimizing firm eco-innovation in different industries and regions.

**Key words:** foreign direct investment (FDI); eco-innovation; technological closeness; industrial linkage; knowledge spillover

## 一、引言

技术创新是实现经济增长的关键动力。当前国际战略与经贸形势日益复杂,只有掌握关键核心技术,才能真正实现独立自主并拥有持续竞争力。党的二十大报告明确指出,加快实施创新驱动发展战略,强化企业的科技创新主体地位,营造有利于科技型中小微企业成长的良好环境。中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化,在推动发展方式绿色转型的过程中,科技支撑起着关键作用。在积极稳妥推进碳达峰碳中和的背景之下,绿色技术创新已成为推进中国式现代化、平衡碳减排与经济增长之间关系的关键途径之一。

技术溢出是发展中国家发展提高技术创新水平的重要途径。企业技术创新能力的提升不仅和自身的研发努力密切相关,还取决于其从所处行业和地区获取的技术知识(Venturini等,2019)<sup>[1]</sup>。外商直接投资(FDI)往往包含着来自发达经济体的先进技术或管理经验,是发展中国家重要的知识来源(Vujanovic等,2022)<sup>[2]</sup>,因此也成为技术溢出的一个重要渠道。2022年,我国实际使用外商直接投资金额1.23万亿元,同比增长14.5%,规模稳步上升,且利用外资结构不断改善。<sup>①</sup>那么,外商直接投资流入对我国内资企业的绿色技术创新有何影响?是否存在基于产业关联和技术相似度的溢出效应?这一效应对于异质性企业是否存在差异?在我国以中国式现代化全面推进中华民族伟大复兴的背景下,对上述问题的研究对于现阶段外资政策的制定及优化具有重要的现实意义,同时能为当前绿色创新发展战略的设计和实施,促进我国企业的绿色技术创新活动进而实现可持续发展提供政策指导。

基于技术自身特征,技术溢出可分为两种类型(Verspagen和Loo,1999)<sup>[3]</sup>:其一为产业关联溢出,主要来自企业之间的市场交易与商品流动。由于市场的不完备性,新商品的价格变动往往不能完全反映由于产品创新而导致的质量提升。如果这种商品被其他企业用于投入生产,则这些企业将获得部分该产品创新的溢出。其二为纯知识溢出,与商品流动的市场行为不同,而是通过劳动力流动等渠道产生。因此,纯知识溢出更有利于促进企业的研发能力和创新水平提升。基于行业内水平以及行业间垂直关联的投入产出关系所构建的FDI溢出指标主要捕捉了产业关联效应,而无法反映纯知识溢出效应(Hamida,2013)<sup>[4]</sup>。鉴于此,本文在以产业关联视角识别FDI溢出的基础上,引入基于技术相似度的纯知识溢出效应,将FDI的产业关联溢出和纯知识溢出入统一的研究框架,探究FDI对于企业绿色技术创新的溢出效应以及其中异质性因素的影响差异。

本文可能的边际贡献如下:第一,目前关于FDI技术创新溢出效应的研究主要聚焦于我国企业专利的数量和质量(唐宜红等,2019;褚竹君等,2020)<sup>[5-6]</sup>。本文从绿色技术创新角度出发,探究外商直接投资的流入对我国内资企业绿色技术创新活动的影响,且比较这一影响在不同种类的溢出效应下是否存在差异;第二,本文聚焦于技术关联度带来的纯知识溢出效应,通过测算我国各工业行业在水平和垂直层面的技术距离,构建基于技术相似度的FDI溢出指标,并将其和FDI产业关联溢出入统一的分析框架中,以更全面地探讨FDI基于产业关联和知识流动的技术溢出如何作用于我国内资企业绿色技术创新进程,从而为FDI技术溢出与绿色技术进步之间的内在关系提供新的视角和微观经验证据。

<sup>①</sup>数据来源:国家统计局《2022年国民经济和社会发展统计公报》,http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202302/t20230228\_1919011.html。

## 二、文献综述

对于外商直接投资与环境二者之间的关系研究一直是学术界研究的热点问题。“污染天堂”假说(Pollution Haven Hypothesis)认为,污染密集型行业往往聚集在环境规制强度较低的地区以实现经济利益最大化。从环境标准上看,发达国家与环境相关的规章制度往往更为严格,企业的环境污染行为面临着严厉的管制和处罚,而发展中国家为了实现经济增长,倾向于实施较为宽松的环境标准,并降低对于环境质量的要求。这使得发展中国家的生态环境遭受严重威胁(Copeland和Taylor,1994)<sup>[7]</sup>。与之相反,“污染光环”(Pollution Halo Hypothesis)假说由Birdsall和Wheeler(1993)<sup>[8]</sup>学者提出。跨国公司在绿色技术和环境管理体系方面往往拥有更丰富的经验,因此FDI的流入有助于东道国企业改善资源利用效率、解决环境污染问题。通过接触来自FDI的先进绿色技术和管理经验,东道国企业可以进行学习并运用,进而有助于提升本国的环境质量。因此,外商直接投资的流入有助于改善本国的生态环境。随着中国FDI规模的不断增加,许多研究探讨了外商直接投资的环境效应在中国的表现(许和连和邓玉萍,2012;沈国兵和张鑫,2015;Cai等,2016;邵朝对等,2021)<sup>[9-12]</sup>。

关于外商直接投资溢出对于技术创新的影响,基于地区层面,FDI的积极作用已得到证实(冼国明和严兵,2005;Kang等,2021)<sup>[13-14]</sup>。除了直接接受FDI的地区,外商直接投资还可能有益于其他邻近地区,因此对于外商直接投资效应的分析应将其相邻地区的FDI情况纳入研究框架(Wang和Wu,2016)<sup>[15]</sup>。然而,Girma和Wakelin(2007)<sup>[16]</sup>指出,虽然东道国企业确实从流入其所在地的FDI中受益,且FDI的溢出也发生在区域之间,但一个地区的生产率表现与其他地区的FDI流入之间不存在必然联系,因此,FDI溢出效应可能在地理上受到限制。究其原因,一是为了最小化运输成本,企业可能更倾向于与本地的供应商和分销商进行联系;二是跨国公司对员工的培训以及随后的劳动力流动是企业间溢出的主要途径,但劳动力跨区域的流动性相对较低;三是如果企业仅密切观察和模仿同一地区的其他企业,那么FDI的示范效应也可能受限。基于行业角度,FDI对内资企业的积极技术外溢取决于一定的条件(Ito等,2012)<sup>[17]</sup>,比如,适度的外商投资规模、技术势能与潜在市场规模(余泳泽,2012)<sup>[18]</sup>。唐宜红等(2019)<sup>[5]</sup>研究发现FDI行业间后向关联对我国内资企业的创新具有积极显著的溢出效应。同时,外资进入虽然有助于改善内资企业的创新数量和创新效率,但是并不利于创新质量的提升(褚竹君等,2020)<sup>[6]</sup>。

随着经济发展与环境保护的矛盾日益突出,FDI的绿色技术溢出效应已得到学者们的关注。Wang等(2021)<sup>[19]</sup>通过构建包含企业减排行为的多阶段决策模型,发现东道国的市场化水平和创新能力是影响FDI绿色技术溢出效应的两个关键因素。目前以中国为背景,探究FDI溢出与绿色技术创新二者之间关系的研究主要使用地区层面的数据,比如梁圣蓉和罗良文(2019)<sup>[20]</sup>的研究表明跨国研发投入、FDI和进口贸易这三种途径的首次溢出和二次溢出可以显著促进区域内和区域间的绿色技术创新效率。

从产业关联角度出发,探究FDI溢出效应的文献主要集中于对企业全要素生产率的讨论,但由于研究对象、样本时间选取、衡量指标等方面的不同,尚未取得一致的研究结论(Bwalya,2006;Gorodnichenko等,2014)<sup>[21-22]</sup>。以我国制造业企业为样本,已有文献证实了FDI行业间垂直溢出对于企业生产率的显著作用(Du等,2012)<sup>[23]</sup>。Lu等(2017)<sup>[24]</sup>的研究表明FDI行业内流入对于本国企业生产率的影响主要表现为挤出效应,而行业间溢出可以显著促进企业生产率的提升。而关于技术相似度,Los(2000)<sup>[25]</sup>使用投入产出表中的行业投入组合向量测算行业间的技术相似程度,陈颂和卢晨(2019)<sup>[26]</sup>则运用此方法探究其对于企业全要素生产率的溢出效应。

综上所述,现有关于FDI环境效应的研究中,“污染天堂”假说和“污染光环”假说都得到了一些研究的支持,FDI与生态环境之间的关系存在复杂的传导机制(应瑞瑶和周力,2006)<sup>[27]</sup>。尽管已有文献关注FDI溢出对于中国企业技术创新的影响(唐宜红等,2019;褚竹君等,2020)<sup>[5-6]</sup>,但主要基于地区层面数据分析FDI绿色技术的溢出效应(梁圣蓉和罗良文,2019;宋维佳和杜泓钰,2017)<sup>[20,28]</sup>。而现有基于产业关联视角针对FDI技术溢出效应的研究,主要探讨其与企业全要素生产率的关系,且所得的研究结论有所差



异(Du等,2012;Lu等,2017)<sup>[23-24]</sup>,而从技术相似度视角考察FDI技术溢出效应的研究更是缺乏(陈颂和卢晨,2019)<sup>[26]</sup>。总体来看,目前鲜有研究从企业绿色技术创新这一视角出发,将基于产业关联的溢出和基于技术相似度的知识溢出结合起来考察外商直接投资的绿色技术溢出效应。鉴于此,本文接下来将在理论分析的基础上,使用2002—2013年我国制造业内资企业的微观数据,实证考察外商直接投资在产业关联与知识流动方面对我国内资企业绿色技术创新的溢出效应,以期能为现有关于FDI绿色技术溢出效应的文献形成有益补充。

### 三、理论背景和研究假说

#### (一) FDI对内资企业绿色技术创新的溢出效应

1. 以商品流动为载体的产业关联效应。行业内层面,外资进入加剧了东道国行业内的市场竞争。一方面,竞争程度的提高可能倒逼国内企业调整技术和生产流程以维持自身市场份额;另一方面,这种竞争可能不利于国内企业的生存与发展,外资企业凭借其在产品的价格、质量和环境友好程度等方面的优势,挤占本国企业的市场份额,产生“挤出效应”,降低内资企业开展绿色技术创新活动的积极性(Liu等,2022)<sup>[29]</sup>。因此,行业内竞争效应对于东道国企业绿色技术创新表现的影响取决于促进作用和挤出效应之间的相互抵消程度。

行业间的产业关联溢出效应则主要体现在企业与前后向关联外资企业的市场交易中。行业间前向关联层面,本地企业可以通过与上游外资企业的交流合作,接触高质量且低能耗的绿色化生产设备与生产方式,并借鉴外资供应商关于绿色产品设计和组织管理方式的先进经验(Jindra等,2009)<sup>[30]</sup>,进而提升自身的绿色技术创新水平。行业间后向关联层面,由于发达国家对于企业生产过程和产品的环境标准往往高于国内,加上绿色贸易壁垒的影响,本国产品将面临来自下游外资企业的更为严格的对于环境友好程度的要求。因此,企业有动力加强绿色技术创新以保证和提高自身产品的市场份额,获得持续的竞争力。商品交易过程中上下游外资企业在产品质量与管理模式等方面产生的关联溢出效应有助于推动内资企业进行绿色技术创新活动。

基于以上分析,本文提出如下研究假说:

研究假说1:外商直接投资对于中国内资企业绿色技术创新的行业内溢出效应取决于促进作用与挤出效应之间的相互作用;行业间的前向和后向产业关联溢出效应则可能为正向促进作用或不显著。

2. 以技术共享为载体的纯知识溢出效应。行业内层面,首先,外资企业在绿色技术创新上的经验和知识存量将带来示范效应(Dong等,2019)<sup>[31]</sup>。内资企业有机会模仿和学习同行业外资企业的低碳环保技术,进而提高自身的自主创新能力,促使技术创新生态化。其次,外资企业还将发挥培训效应。外资企业有动机积极地对当地员工进行专业培训以提升自身在东道国市场中的竞争优势,指导并推进内资企业的绿色技术创新活动。同时,企业间研发人员的流动有助于内资企业提升人力资本水平并直接接触先进的绿色知识和技术(Braunerhjelm等,2020)<sup>[32]</sup>。对于正处于转型期的中国企业而言,外商直接投资的流入是很好的学习机会。通过直接接触到行业内与自身技术联系紧密的先进绿色技术和管理经验,内资企业将进一步拓宽战略视野,提升绿色技术创新能力。

行业间的纯知识溢出效应则主要表现为内资企业在垂直产业链上各外资企业之间的知识共享和技术交流。一方面,为了提高价值链上的生产效率,外资企业有意愿向其同一生产链上的合作伙伴分享绿色知识、技术与经验,从而更高效地确保产品达到质量标准(Alcacer和Oxley,2014)<sup>[33]</sup>。同时,跨国公司倾向于拓展自己的合作网络,与多个供应商建立技术合作关系,以分散可能被单一供应商拖累的风险,这将进一步鼓励绿色技术在供应部门中的传播。另一方面,在与外资企业进行技术互动与交流的过程中,内资企业有机会密切观察外资合作者在生产过程中展示的绿色技术和知识储备,因此外资企业关于低碳环保的技术知识和实践经验将在此过程中外溢至当地合作伙伴,进而推动内资企业进行绿色技术创新活动。

基于以上分析,本文提出如下假说:

研究假说2:外商直接投资对于中国内资企业绿色技术创新的水平和垂直纯知识溢出效应显著为正。

## (二) FDI 对内资企业绿色技术创新溢出效应的异质性因素分析

**1. 行业的异质性。**企业的行为也将受到所处行业环境的影响,为探究行业异质性因素的影响差异,本文从行业内部的清洁属性和对外部的信息依赖程度两方面进行考察。

**污染属性。**企业所处行业本身的清洁程度将影响 FDI 的绿色技术溢出效应。污染行业由于其本身的污染属性和技术构成使其对于生态环境存在潜在威胁。近年来,在实现碳达峰与碳中和目标的背景下,打赢蓝天保卫战、污染防治攻坚战等各类环境保护决策部署强力推进,社会环保意识显著增强,污染行业因此承担着巨大的节能减排压力。当面临外资流入时,为了应对日益严苛的环保标准,这类行业更有动力吸收其中的先进绿色技术和管理经验,并在此基础上进行绿色技术创新(徐佳和崔静波,2020)<sup>[34]</sup>。相较之下,绿色行业与清洁能源、节能环保等绿色领域息息相关。近年来在加快推进发展方式绿色转型的政策方针指引下,绿色行业受到高度重视,因而而在各地区和各产业均获得了较多的技术和资金支持。同时,由于该行业提供的产品和服务本身更加环境友好,其能较快适应绿色低碳要求,因此对于 FDI 绿色技术溢出效应的吸收可能比较有限。

**信息沟通依赖度。**绿色研发活动具有较强的不确定性,因此企业的绿色技术创新表现在一定程度上取决于其对外部信息的捕捉程度。外商直接投资流入带来了先进绿色技术、知识和管理经验,为本土企业与跨国企业之间信息交流提供了便利,与同行业以及行业间的外资在技术、知识等方面的沟通与合作使得企业能更有效地运用外部信息,降低绿色研发活动的不确定性,而对外部信息沟通依赖度较高的行业能更加精心地捕捉并充分运用信息(孙浦阳等,2020)<sup>[35]</sup>,因此将从 FDI 的溢出效应中获益。

研究假说3:对于污染行业和信息依赖行业,外商直接投资对内资企业绿色技术创新的溢出效应更加显著。

**2. 地区异质性。**我国幅员辽阔,不同地区在对外开放程度、环境规制水平和产业集聚特征方面存在显著差异。因此,本文将进一步探究 FDI 绿色技术溢出效应是否因所处地区的制度和资源差异而不同。

**环境规制强度。**环境规制增加了企业为遵守相关环境法规标准而需支付的成本,因此企业有动机投资于绿色研发活动,以适应环境规制的要求,并有效弥补由环境监管带来的成本。合理的环境规制对于绿色技术创新具有促进作用。同时,在环境规制下,绿色研发投资由于更加符合环境标准,将助力企业提升产品价值与产品质量,因此适当的环境规制将激励企业摆脱现有技术束缚并实现绿色清洁技术,最终实现企业与社会的双赢(Porter 和 Linde,1999)<sup>[36]</sup>。基于此,地区环境规制强度可能是内资企业从外资中获取绿色技术溢出效应的重要异质性因素,FDI 的绿色技术溢出效应将在高环境规制强度的地区更加显著。

**外商直接投资强度。**地区对外开放程度同样可能影响 FDI 对企业绿色技术创新的溢出效应。外资流入将对当地企业的生产经营活动产生正外部性,在外资集聚的环境下,本土企业与外资企业之间技术信息流通的时滞被大大缩短,企业间的信息交流和业务往来更加密切,这将有利于降低内资企业获取外资企业绿色创新技术和知识的成本,从而有效促进 FDI 的知识溢出和技术扩散(Franco 和 Esteves,2020)<sup>[37]</sup>。因此,在外商直接投资强度越高的地区,外商直接投资的绿色技术溢出效应可能越显著。

**产业集聚特征。**专业化产业集聚将通过要素流动效应、规模效应和学习效应推动技术进步(Marshall,1920)<sup>[38]</sup>。首先,专业化集聚地区内的劳动力要素可以快速且自由地流动,劳动力市场匹配程度提升,有助于企业在绿色研发活动中降低对专业劳动力的搜寻成本,并在此基础上增加绿色技术创新投入;其次,专业化集聚赋予了同一领域的企业之间分享绿色技术创新成果,并且在相关绿色技术、研发人员和设备投入方面进行专业化合作的机会,实现规模效应;最后,专业化集聚使得技术关联的企业之间有机会相互交流与学习,在此过程中强化企业的竞争意识,激励企业进行绿色技术创新活动,进一步推动行业内绿色技术进步和知识外溢。

**多样化集聚**通过产业间合作和溢出效应促进企业间相互协作和补充,进而实现技术升级(Jacobs,1969)<sup>[39]</sup>。多样化集聚区的产业结构多元,不同领域的企业可以实现互补型共享,在相互学习与合作的过程中不断迸发思想的火花,促进绿色技术创新。同时,多样化集聚产生的人力资本溢出能够帮助企业降低

对于多样化人才的搜寻和培养成本,从要素投入方面提升企业的绿色技术创新水平。此外,多样化集聚带来了绿色知识和技术的异质性溢出,极大拓展了技术可能性边界,为企业提供了多维度的技术选择和吸收机会,从而使得来自外商直接投资的绿色技术溢出效应更加显著。

基于以上分析,本文提出如下假说:

研究假说4:对于高环境规制强度和高外商直接投资强度地区以及绿色技术创新专业化和多样化集聚地区,外商直接投资对内资企业绿色技术创新的溢出效应更加显著。

## 四、计量模型和变量选取

### (一) 数据来源与样本选取

本文使用的专利数据来自国家知识产权局的专利数据库,并在此基础上识别绿色专利数据。绿色专利是指与替代能源、环境材料、节能减排、污染控制与治理、循环利用技术等绿色技术息息相关的专利。<sup>①</sup> 本文使用世界知识产权局(WIPO)提供的国际专利分类绿色清单(IPC Green Inventory)和经济合作发展组织(OECD)提供的环境技术指标(ENV-TECH indicator),并结合Wagner(2007)<sup>[40]</sup>的研究,识别并整理绿色专利。

本文使用的内资企业数据来自中国工业企业数据库。在将工业企业数据库和专利数据库进行匹配的基础上,本文对数据进行了以下处理:(1)删除主要变量如总利润、总负债、出口交货值等为负数或缺失的样本;(2)删除样本年份早于开业年份等不符合常识的样本;(3)删除流动负债大于总负债、出口交货值大于销售总产值等不符合会计原则的样本;(4)删除职工人数少于10人的样本;(5)由于离群值可能会使本文的回归结果有偏,本文对主要变量进行了1%和99%分位上的缩尾处理。

鉴于2002年起外资管制逐渐放松(Lu等,2017)<sup>[24]</sup>,本文选取的样本年份为2002—2013年。借鉴Brandt等(2012)<sup>[41]</sup>的行业分类代码对应表,本文调整并统一了工业企业数据库中的行业分类四位码。同时,本文根据企业的登记注册类型对内资企业与外资企业进行识别,并在此基础上保留了制造业内资企业样本。此外,行业层面的工业销售产值及工业总产值数据来源于《中国工业统计年鉴》,地区层面的外商直接投资、固定资产投资数据来自《中国城市统计年鉴》。

### (二) 变量设定

**1. 被解释变量。**本文的被解释变量是企业绿色技术创新,使用企业绿色专利授权量的对数形式(*ecoinno*)进行衡量,并在稳健性检验中使用绿色专利授权量占专利授权总量的比值(*ecoinnop*)。

#### 2. 核心解释变量。

##### (1) 基于产业关联的溢出指标

本文参照Javorcik(2004)<sup>[42]</sup>等学者的研究,构建基于产业关联的FDI溢出指标,包括行业内水平溢出(*horizontal<sub>it</sub>*)、行业间前向溢出(*forward<sub>it</sub>*)和行业间后向溢出(*backward<sub>it</sub>*)指标。水平溢出(*horizontal<sub>it</sub>*)为该行业的外资工业销售产值所占份额,计算公式如下:

$$horizontal_{it} = \frac{\sum_{f \in \Omega_{it}} FDI\_firm_{fit} \times output_{fit}}{\sum_{f \in \Omega_{it}} output_{fit}} \quad (1)$$

其中,*output<sub>fit</sub>*是第*t*年中行业*i*企业*f*的工业销售产值,*FDI<sub>firm<sub>fit</sub></sub>*

是第*t*年中行业*i*企业*f*的外资占比, $\Omega_{it}$ 是第*t*年行业*i*的所有企业。

为计算基于产业关联的垂直溢出指标,本文使用2002年、2007年和2012年中国投入产出表,<sup>②</sup>获得中国

<sup>①</sup>具体定义见国家知识产权局《中国绿色专利统计报告(2014—2017年)》。

<sup>②</sup>鉴于投入产出情况可能随时间发生变化,本文使用2002年、2007年和2012年投入产出表分别测算2002—2005年、2005—2009年和2010—2013年的垂直关联指标。



24个工业行业的投入产出系数。行业间后向溢出 ( $backward_{it}$ ) 计算公式如下:

$$backward_{it} = \sum_{m: jf, m \neq i} \alpha_{im} \times horizontal_{it} \quad (2)$$

其中,  $\alpha_{im}$  是投入产出表中反映  $i$  行业企业与下游外资企业间关联性的直耗系数。 $backward_{it}$  代表 FDI 的行业间后向关联效应,是除行业  $i$  本身外,  $i$  行业用于其余所有下游行业  $m$  中外资企业产出的投入中间品的加权平均。

行业间前向溢出 ( $forward_{it}$ ) 计算公式如下:

$$forward_{it} = \sum_{k: jf, k \neq i} \beta_{ik} \times horizontal_{it} \quad (3)$$

其中,  $\beta_{ik}$  是投入产出表中反映  $i$  行业企业与上游外资企业间关联性的直耗系数。 $forward_{it}$  代表 FDI 的行业间前向关联效应,是除行业  $i$  本身外,  $i$  行业获得的来自其余所有上游行业  $k$  中外资企业产出的投入中间品的加权平均。

### (2) 基于技术相似度的溢出指标

产业之间的技术相近程度可以由投入产品组合的相近程度进行衡量 (Los, 2000)<sup>[25]</sup>。因此, 本文使用任何行业  $i$  和行业  $j$  的投入组合向量之间的相关关系来反映对应行业之间的技术相似度:

$$tech_{ij} = \frac{a_i \cdot a_j'}{\sqrt{(a_i \cdot a_i') \cdot (a_j \cdot a_j')}} \quad (4)$$

其中,  $a_m (m = i, j)$  表示行业  $m$  的投入组合向量  $a_m = (a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mk})$ ,  $a_{mk}$  为行业  $m$  的产品在生产过程中消耗的第  $k$  个行业的产品数量。

同时, 本文以各行业产值占工业总产值的比重为权重, 对式 (4) 进行加权, 得到各年份行业间技术相似度指标:

$$tech_{ijt} = \frac{tech_{ij} \cdot indoutput_{jt}}{\sum_j indoutput_{jt}} \quad (5)$$

其中,  $indoutput_{jt}$  表示行业  $j$  在  $t$  年的工业总产值。

基于赫芬达尔指数, 本文同样使用 2002 年、2007 年和 2012 年中国投入产出表, 以各行业投入组合向量中最多前 8 类投入占总投入比重的平方和来测度行业内投入组合的集中程度, 以此来衡量行业内企业之间在技术上的相近程度, 即,

$$tech_{ii} = \sum_{k=1}^8 \left( \frac{a_{ik}}{\sum_k a_{ik}} \right)^2 \quad (6)$$

因此, 基于技术相似度的 FDI 水平溢出 ( $tech\_hor_{it}$ ) 为以行业  $i$  内企业的技术相似度为权重的外资工业销售产值份额, 即行业内技术相似度与该行业外资工业销售产值占比的乘积:

$$tech\_hor_{it} = tech_{ii} \times horizontal_{it} \quad (7)$$

其中,  $tech_{ii}$  为行业  $i$  内企业的技术相似度, 这一变量测度行业内 FDI 占比与行业内企业技术距离之间的相互作用。

基于技术相似度的 FDI 垂直溢出 ( $tech\_ver_{it}$ ) 为以行业间技术相似度为权重, 除去行业  $i$  本身外, 所有行业  $j$  的外资占比的加权平均, 即,

$$tech\_ver_{it} = \sum_{j \neq i} tech_{ij} \times horizontal_{jt} \quad (8)$$

其中, 权重为行业  $i$  与行业  $j$  之间的技术相似度  $tech_{ij}$ , 这一变量测度不同行业之间潜在的纯知识溢出。

**3. 控制变量。**本文借鉴齐绍洲等 (2018)<sup>[43]</sup> 的文献, 在计量模型中引入潜在影响 FDI 技术溢出与企业绿色技术创新之间关系的因素作为控制变量。(1) 企业规模 ( $size$ )。规模较大的企业往往有更多的资金和人力资本投入绿色技术的研发和创新活动中。本文使用资产总额的对数形式作为衡量企业规模的指标。(2) 企业年龄 ( $age$ )。企业的成立时间反映了其成熟程度, 可能影响企业的创新意识和动机。本文选取企业

年龄的对数形式。(3)人均工资(*wage*)。劳动力是重要的投入要素,企业人力资本水平将影响到企业的吸收能力,本文使用人均工资衡量企业的人力资本投入情况。(4)出口密集度(*export*)。企业自身的国际市场参与程度也将影响其对于FDI绿色技术溢出效应的获取,本文使用企业出口交货值占工业销售产值的比重衡量出口密集度。(5)专利存量(*patentstock*)。企业的专利存量体现了企业过去的知识储备以及未来的技术创新能力,本文使用企业过往年度专利总数量的对数形式。

表1为本文主要变量的描述性统计。

表1 主要变量的描述性统计

变量类型	变量名称	变量编码	变量含义	均值	标准差
被解释变量	绿色专利数量	<i>ecoinno</i>	绿色专利数量(加1取对数)	0.012	0.131
	绿色专利占比	<i>ecoinnop</i>	绿色专利占总专利的比值	0.005	0.061
核心解释变量	行业内外资水平溢出	<i>horizontal</i>	行业内外资工业销售产值占行业工业总销售产值比重	0.280	0.129
	行业间前向外资溢出	<i>forward</i>	基于投入产出表,除本行业外的上游行业外资水平加权平均	0.077	0.043
	行业间后向外资溢出	<i>backward</i>	基于投入产出表,除本行业外的下游行业外资水平加权平均	0.149	0.129
	行业内技术相似度水平溢出	<i>tech_hor</i>	行业内基于技术相似度的水平溢出,为行业内技术相似度与该行业外资工业销售产值占比的乘积	0.093	0.063
	行业间技术相似度垂直溢出	<i>tech_ver</i>	行业间基于技术相似度的垂直溢出,以行业间技术相似度为权重,除本行业外的所有行业外资占比的加权平均	0.055	0.024
控制变量	企业规模	<i>size</i>	企业总资产(加1取对数)	10.107	1.447
	企业年龄	<i>age</i>	企业年龄(加1取对数)	2.000	0.781
	人均工资	<i>wage</i>	总工资/企业雇佣人数	2.634	0.643
	出口密集度	<i>export</i>	出口交货值/销售产值	0.035	0.118
	专利存量	<i>patentstock</i>	企业过往年度的专利总数量(加1取对数)	0.163	0.564

### (三) 计量模型设定

本文将FDI的产业关联与知识流动效应纳入统一研究框架,探究外商直接投资对企业绿色技术创新不同维度的溢出效应,具体回归模型如下:

$$eco_{f,i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 horizontal_{i,t-2} + \alpha_2 tech\_hor_{i,t-2} + \alpha_3 tech\_ver_{i,t-2} + \alpha_4 forward_{i,t-2} + \alpha_5 backward_{i,t-2} + \beta X_{f,i,t-2} + \delta_f + \delta_p + \delta_t + \varepsilon_{f,i,t} \quad (9)$$

其中,*f*、*i*和*t*分别代表企业、行业和时间,*eco<sub>f,i,t</sub>*衡量企业绿色技术创新水平;*horizontal*、*forward*和*backward*分别表示产业关联视角下水平外资溢出、前向外资溢出和后向外资溢出,反映市场交易过程中,外资带来的竞争压力和溢出效应;*tech<sub>hor<sub>i</sub></sub>*和*tech<sub>ver<sub>i</sub></sub>*分别表示技术相似度视角下水平和垂直层面的纯知识溢出,反映企业间在技术层面上相近程度的溢出效应;*X*代表控制变量,即企业规模(*size*)、企业年龄(*age*)、人均工资(*wage*)、出口密集度(*export*)和专利存量(*patentstock*); $\delta_f$ 、 $\delta_p$ 和 $\delta_t$ 分别表示个体,省份和时间固定效应; $\varepsilon$ 为随机扰动项。鉴于FDI技术溢出效应存在时间上的滞后性,且专利申请的审批程序至少需要经过受理、初审和授权三个阶段,<sup>①</sup>由申请到授权往往存在平均两年的时滞(Furman和Hayes,2004)<sup>[44]</sup>,本文对所有解释变量进行滞后两期处理(Krammer,2009)<sup>[45]</sup>。

①来源: [https://www.cnipa.gov.cn/art/2020/6/5/art\\_1517\\_92471.html](https://www.cnipa.gov.cn/art/2020/6/5/art_1517_92471.html)。



## 五、实证结果分析

### (一) 基础回归结果

基于回归方程(9),本文逐步将核心解释变量引入方程以更清楚地识别不同维度溢出变量的影响,基础回归结果如表2所示。

第(1)列至第(3)列报告了FDI产业关联溢出效应的回归结果。行业内水平溢出(*hor*)的系数显著为负,即负向的竞争效应占主导地位;行业间前向溢出(*forward*)的系数显著为正,而后向溢出(*backward*)的系数不显著,表明行业间前向产业关联对于企业绿色技术创新具有显著的正向溢出效应。在产业关联溢出效应的基础上,本文引入基于技术相似度的纯知识溢出效应,结果如第(4)列所示。基于技术相似度的水平纯知识溢出(*tech\_hor*)对于绿色技术创新具有积极显著的影响;垂直纯知识溢出(*tech\_ver*)的系数显著为正,说明企业能够从与其所在行业技术上联系紧密的行业FDI中获取更多绿色知识技术溢出。同时,各产业关联溢出变量的系数显著性均与第(3)列保持一致。

表2 基础回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>horizontal</i>	-0.002 (0.005)		-0.005 (0.010)	-0.137*** (0.016)
<i>forward</i>		0.062*** (0.016)	0.103*** (0.025)	0.253*** (0.036)
<i>backward</i>		0.010 (0.007)	0.022 (0.016)	0.034* (0.019)
<i>tech_hor</i>				0.297*** (0.031)
<i>tech_ver</i>				0.156** (0.063)
<i>size</i>	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)	0.001 (0.001)
<i>age</i>	-0.003*** (0.001)	-0.003*** (0.001)	-0.003*** (0.001)	-0.003*** (0.001)
<i>wage</i>	0.001** (0.001)	0.001** (0.001)	0.001** (0.001)	0.001** (0.001)
<i>export</i>	0.024*** (0.003)	0.024*** (0.003)	0.024*** (0.003)	0.024*** (0.003)
<i>patentstock</i>	0.017*** (0.001)	0.017*** (0.001)	0.017*** (0.001)	0.017*** (0.001)
<i>constant</i>	0.003 (0.007)	-0.007 (0.006)	-0.015** (0.007)	-0.026*** (0.009)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	313072	313072	313072	313072
$R^2$	0.559	0.559	0.560	0.560

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%、10%统计水平下显著;括号内为回归系数的标准误。下同。

产业关联方面,在市场交易的过程中,尤其是在合作的产品生产工序较为复杂或者外资企业规模相对较大时,外资企业更倾向于和其生产价值链上的各企业之间建立紧密的合作联系,从而使得产业关联溢出效应得到更好的发挥。特别是内资企业有机会接触来自产业链前向外资的生产管理经验及先进的生产设备投入,并进一步优化自身的绿色技术创新活动。知识流动方面,在行业内,我国内资企业目前在创新领域尤其是基础科技的发展仍较为薄弱。外资的流入虽然带来了更加激烈的市场竞争环境,但是也使得企业,尤其是处于高技术相似度行业的企业,在学习与吸收国外先进绿色技术的过程中受益于FDI所带来的知

识溢出效应。在行业间,外资流入所带来的技术和研发人员的流动增强了上下游企业之间在绿色技术层面的互动交流,这种垂直的知识溢出有助于企业开展绿色技术创新活动。

## (二) 工具变量回归结果

鉴于本文可能在回归模型中遗漏某些具有显著影响的变量,从而使回归结果受到内生性问题的干扰。本文参照 Park 等(2010)<sup>[46]</sup>的研究,以1995年各行业中各国外商直接投资所占份额为权重,计算1998—2013年间各行业外商直接投资来源国相较于1995年的加权平均实际汇率变化率,以构建工具变量。从外生性看,该工具变量由行业初始外资情况和外国的实际汇率变动构造,具体而言,这一工具变量使用了本文样本时期之前年份1995年的外商直接投资来源国的信息,而国家层面的实际汇率变化对于本国企业层面的表现而言相对外生。从相关性看,随时间变动的加权汇率变化率与外商直接投资水平亦具备相关性。对于外资来源国而言,其货币贬值程度越大,可能越倾向于对外投资,由此我国可能吸引更多的外商直接投资。如表3所示,使用工具变量法后,本文的回归结果保持稳健。

表3 引入工具变量的回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>horizontal</i>	-0.024 (0.022)		-0.002 (0.002)	-0.025* (0.015)
<i>forward</i>		0.013* (0.008)	0.010*** (0.004)	0.011** (0.005)
<i>backward</i>		0.005 (0.003)	0.004*** (0.001)	0.001** (0.000)
<i>tech_hor</i>				0.048* (0.028)
<i>tech_ver</i>				0.034* (0.020)
<i>size</i>	0.001 (0.001)	0.000 (0.001)	0.003*** (0.000)	0.004** (0.002)
<i>age</i>	-0.006* (0.004)	-0.003*** (0.001)	-0.000 (0.001)	-0.003* (0.002)
<i>wage</i>	0.002* (0.001)	0.003*** (0.001)	0.003*** (0.001)	0.002*** (0.001)
<i>export</i>	0.025*** (0.005)	0.022*** (0.004)	0.011*** (0.002)	0.026*** (0.004)
<i>patentstock</i>	0.018*** (0.002)	0.014*** (0.002)	0.004*** (0.001)	0.017*** (0.001)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	311141	311141	311141	311141

## (三) 行业异质性:污染属性与信息沟通依赖度<sup>①</sup>

行业本身的环境友好程度将影响 FDI 的绿色技术溢出效应,本文基于行业污染属性进行分组回归检验,表4第(1)列和第(2)列分别为污染行业和绿色行业的子样本回归结果。<sup>②③</sup>

①本文也基于绿色研发投入和技术距离的企业吸收能力异质性进行分析,限于篇幅,结果备索。

②参照国务院批复实施的《重点区域大气污染防治“十二五”规划》,资料来源于中华人民共和国中央人民政府门户网站:[http://www.gov.cn/zw/gk/2012-12/05/content\\_2283152.htm](http://www.gov.cn/zw/gk/2012-12/05/content_2283152.htm)。污染行业为被限制大气污染物排放的火电、钢铁、石化、水泥、有色、化工等六大行业。

③参照国家发展改革委等七部委发布的《绿色产业指导目录》,中华人民共和国国家发展和改革委员会门户网站:[http://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/stwmjs/201903/t20190305\\_1220625.htm](http://www.ndrc.gov.cn/fggz/hjzy/stwmjs/201903/t20190305_1220625.htm)。

绿色行业样本中,行业间后向外资对于促进企业绿色技术创新具有显著的溢出效应。污染行业样本中,FDI的水平和垂直纯知识溢出均对内资企业的绿色创新水平呈现显著的促进作用。相比于绿色行业,处于污染行业的企业亟须通过改进技术的清洁程度来提高自身竞争力,以应对环境规制下日益增长的生产成本和减排费用。一方面,污染企业可以从行业内的外资流入中学习先进的绿色技术和管理经验;另一方面,行业间的纯知识溢出也有助于污染企业开展绿色创新活动,通过学习并吸收来自其垂直产业链上外资企业的清洁技术和生产经验,处于污染行业的企业有更强的意愿投入绿色技术创新活动中。

企业的绿色技术创新活动离不开对于外部知识、信息和其他资源的获取,本文从行业对外部信息的依赖这一视角切入,借鉴 Oldenski(2012)<sup>[47]</sup>对行业信息沟通依赖度的衡量方法,<sup>①</sup>探究其是否影响 FDI 溢出效应的产生。结果如表4第(3)和第(4)列所示。基于技术相似度的水平和垂直纯知识溢出在信息依赖度相对更高的行业中具有显著影响。绿色技术创新活动的前期投入高且周期长,外商直接投资包含先进绿色技术、知识和管理经验,为本土企业与跨国企业之间信息交流提供了便利,与同行业以及行业间的外资进行技术、知识等方面的交流与合作使得企业能更有效地捕捉来自外部的信息,降低绿色研发活动的不确定性,因此相较于外部信息依赖度低的行业,对外部信息依赖度较高的行业更能体验到 FDI 流入所带来的绿色技术提升,进而将从 FDI 的溢出效应中获益。

表4 行业异质性:污染属性与信息沟通依赖度

	(1)	(2)	(3)	(4)
	污染属性		信息沟通依赖度	
	污染行业	绿色行业	高于中位数	低于中位数
<i>horizontal</i>	-0.056 (0.061)	-0.049 (0.080)	-0.170*** (0.055)	0.034 (0.021)
<i>forward</i>	0.156 (0.162)	0.275 (0.194)	0.137* (0.080)	0.066 (0.061)
<i>backward</i>	0.044 (0.028)	0.289* (0.153)	-0.078 (0.054)	0.027** (0.011)
<i>tech_hor</i>	0.216* (0.130)	-0.178 (0.229)	0.377* (0.210)	0.047 (0.048)
<i>tech_ver</i>	0.282* (0.165)	-0.421 (0.408)	0.408* (0.215)	0.019 (0.071)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	65752	24835	52939	166145
$R^2$	0.557	0.685	0.591	0.493

#### (四) 地区异质性:制度驱动、资源驱动与产业集聚特征

**制度驱动。**为探究地区的环境规制强度对于 FDI 绿色技术溢出效应的异质性影响,本文使用“十一五”期间各地区化学需氧量和二氧化硫的污染物目标排放量下降幅度衡量环境规制强度(Shi 和 Xu, 2018)<sup>[48]</sup>。<sup>②</sup>“十一五”规划中污染物目标排放量下降幅度越大的地区,其环境规制强度越高。本文基于目标排放总量下降比的中位数,将各地区划分为高环境规制省份和低环境规制省份,进行分组回归的结果如表5所示。垂直纯知识溢出在环境规制强度相对更高的地区中具有显著影响。处于环境规制严格地区的企

<sup>①</sup>基于美国职业信息网络(O\*NET)提供的数据,从手指灵活度、手工操控度、工作空间需求、独创性、艺术性、社会洞察力、谈判能力、说服能力和协助能力9个方面对各行业的信息沟通依赖情况进行打分评估。得分越高,该行业的生产经营对信息沟通依赖的程度越高。

<sup>②</sup>数据来源于《国务院关于“十一五”期间全国主要污染物排放总量控制计划的批复》,中华人民共和国中央人民政府门户网站:[http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content\\_394866.htm](http://www.gov.cn/gongbao/content/2006/content_394866.htm)。

业更倾向于寻找环保解决方案,进行绿色技术创新,并从外资企业的纯知识溢出效应中学习更先进的知识/技术。面对严格的环境规制,企业将积极与垂直外资企业进行互动,并积极学习和吸收其绿色知识和技术,从而产生积极显著的绿色垂直纯知识溢出效应。同时,在合理的环境监管下,企业的生产经营环境也将得到改善,有助于降低企业进行研发投入活动所面临的风险和不确定性。因此,合理的环境法规不仅有利于改善生态环境,还可以推动企业在与外资合作伙伴进行技术共享的过程中获取并吸收绿色技术溢出效应,实现企业与社会的“双赢”(Porter和Linde,1995)<sup>[49]</sup>。

**资源驱动。**鉴于我国外商直接投资在区位分布上的不平衡,本文基于各地区外商直接投资强度(外商直接投资占固定资产投资之比)的中位数进行分组回归,结果如表5第(5)、(6)列所示。垂直纯知识溢出在环境规制强度相对更高的地区中得到显著发挥,表明地区内外资水平的提升将促进企业开展绿色技术创新活动,这与之前基于企业技术创新视角的研究结论一致(冼国明和严兵,2005)<sup>[13]</sup>。FDI包含了资本、技术、制度、管理和项目等一揽子资源,其在地区内的集聚效应可以缓解信息不对称问题,降低本土企业获取先进绿色技术和知识的成本,为本土企业与其垂直外资企业的知识技术交流提供更广阔的平台,从而有效促进外商直接投资在不同行业间的知识溢出和技术扩散。

表5 地区异质性:制度驱动与资源驱动

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	化学需氧量 目标排放量下降幅度		二氧化硫 目标排放量下降幅度		外商直接投资强度	
	高于中位数	低于中位数	高于中位数	低于中位数	高于中位数	低于中位数
<i>horizontal</i>	-0.106*** (0.015)	-0.107*** (0.035)	-0.106*** (0.015)	-0.118*** (0.036)	-0.104*** (0.015)	-0.122*** (0.028)
<i>forward</i>	0.151*** (0.033)	0.433*** (0.088)	0.185*** (0.033)	0.356*** (0.089)	0.153*** (0.034)	0.384*** (0.074)
<i>backward</i>	-0.012 (0.008)	0.048** (0.021)	-0.006 (0.008)	0.027 (0.021)	-0.013 (0.009)	0.039** (0.017)
<i>tech_hor</i>	0.234*** (0.029)	0.235*** (0.071)	0.235*** (0.029)	0.262*** (0.073)	0.236*** (0.031)	0.223*** (0.057)
<i>tech_ver</i>	0.131** (0.054)	-0.079 (0.136)	0.114** (0.054)	-0.045 (0.136)	0.146** (0.057)	-0.150 (0.105)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	259973	51943	262628	49770	249602	62303
$R^2$	0.551	0.601	0.539	0.641	0.560	0.571

**产业集聚特征。**我国绿色技术创新集聚的外部性特征同样存在地区差异,参考苏丹妮和盛斌(2021)<sup>[50]</sup>的研究,本文测算了各地区绿色技术创新的专业化和多样化集聚指标,<sup>①</sup>并基于中位数进行分组回归,结果如表6所示。第(1)、(2)列的结果表明,FDI水平和垂直层面的纯知识溢出效应在专业化集聚水平相对较高的城市中保持显著,说明企业所处城市在绿色技术创新方面的专业化集聚一方面将带来规模效应,使同行业的企业间有机会共享绿色技术创新成果,并且在绿色技术投入、研发人员培养等方面相互协作。另一方面将激励企业进行绿色技术创新以获得竞争优势,进一步推动先进绿色技术和知识的外溢,因此FDI的技术溢出效应得到更好的发挥。第(3)、(4)列的结果表明,多样化集聚水平较高的城市回归结果与基础回归结果一致,而垂直纯知识溢出效应在多样化集聚水平较低的城市中显著为负。说明城市

<sup>①</sup>基于绿色专利数据,本文使用区位熵来测度城市—二位码行业层面的绿色技术创新专业化集聚程度,使用赫芬达尔指数的倒数来测度城市—二位码行业层面的绿色技术创新多样化程度,并在城市层面上取均值以衡量该地区的产业集聚特征。



的多样化产业集聚为企业提供了更多的技术选择和吸收机会,不同行业之间的跨界交流与合作将形成更加全面的知识和技术网络。同时,多样化产业集聚通过多种资源的有效组合,可以降低企业的交易成本和搜寻成本,使得企业更加高效地从 FDI 的溢出效应中获益。因此,在 FDI 技术溢出推动企业绿色技术创新的进程中,专业化与多样化集聚都在以各自特有的方式发挥作用。

表6 地区异质性:产业集聚特征

	(1)	(2)	(3)	(4)
	专业化集聚		多样化集聚	
	高于中位数	低于中位数	高于中位数	低于中位数
<i>horizontal</i>	-0.137*** (0.017)	-0.025 (0.022)	-0.113*** (0.015)	-0.052* (0.029)
<i>forward</i>	0.209*** (0.037)	0.107* (0.055)	0.192*** (0.034)	0.268*** (0.074)
<i>backward</i>	-0.016 (0.010)	0.026** (0.013)	-0.009 (0.009)	0.060*** (0.016)
<i>tech_hor</i>	0.296*** (0.033)	0.043 (0.045)	0.248*** (0.030)	0.107* (0.058)
<i>tech_ver</i>	0.156** (0.062)	-0.084 (0.083)	0.118** (0.055)	-0.171* (0.103)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	227354	83633	274248	37133
R <sup>2</sup>	0.560	0.569	0.560	0.574

(五) 稳健性检验

1. 替换外资水平衡量方式。现有文献基于数据可得性使用了多种方法衡量外资水平(Feinberg 和 Majumdar,2001; Buckley 等,2002;平新乔等,2007)<sup>[51-53]</sup>。因此,本文从实收资本(*capital*)、净资产(*net*)和就业人数(*employment*)三个角度,使用行业内外资企业实收资本占比、行业内外资企业净资产占比和行业内外资企业就业人数占比作为衡量行业内外资水平的替代指标,并构造相应的产业关联溢出指标和基于技术相似度的溢出指标进行稳健性检验,具体结果如表7所示。在替换外资水平的衡量方式后,本文的回归结果依然稳健。

表7 稳健性检验:替换外资水平衡量方式

FDI 衡量方式	(1)	(2)	(3)
	<i>capital</i>	<i>net</i>	<i>employment</i>
<i>horizontal</i>	-0.046*** (0.011)	-0.081*** (0.014)	-0.043*** (0.014)
<i>forward</i>	0.081*** (0.025)	0.116*** (0.029)	0.108*** (0.034)
<i>backward</i>	-0.0003 (0.007)	-0.008 (0.008)	0.003 (0.008)
<i>tech_hor</i>	0.148*** (0.023)	0.227*** (0.028)	0.148*** (0.029)
<i>tech_ver</i>	0.174*** (0.039)	0.236*** (0.048)	0.220*** (0.063)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes
控制变量	Yes	Yes	Yes
样本量	313072	313072	313072
R <sup>2</sup>	0.560	0.560	0.560

2. 替换被解释变量。本文将被解释变量替换为绿色授权专利占总授权专利的比重 (*ecoinnop*), 并使用不同维度的外资溢出指标进行稳健性检验, 结果如表8所示。在替换企业绿色技术创新表现的衡量方式并使用多维度的外资水平衡量指标后, 本文的回归结果保持稳健。

表8 稳健性检验: 替换被解释变量

FDI 衡量方式	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>output</i>	<i>capital</i>	<i>net</i>	<i>employment</i>
<i>horizontal</i>	-0.006 *** (0.001)	-0.027 *** (0.006)	-0.035 *** (0.008)	-0.028 *** (0.008)
<i>forward</i>	0.010 *** (0.002)	0.029 ** (0.014)	0.033 ** (0.016)	0.036 * (0.019)
<i>backward</i>	-0.0002 (0.001)	-0.002 (0.004)	-0.0045 (0.0042)	-0.003 (0.005)
<i>tech_hor</i>	0.013 *** (0.002)	0.066 *** (0.013)	0.086 *** (0.016)	0.075 *** (0.016)
<i>tech_ver</i>	0.006 * (0.004)	0.040 * (0.022)	0.054 ** (0.027)	0.061 * (0.035)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	313072	313072	313072	313072
$R^2$	0.466	0.427	0.427	0.427

3. 区分技术相似度密集度的检验。以上结果证实了技术相似度在 FDI 溢出效应研究中的重要性 (陈頌和卢晨, 2019)<sup>[26]</sup>, 为检验 FDI 的绿色技术溢出效应是否在不同技术相似程度的行业中具有不同的表现, 本文基于各行业技术相似度的四分位数进行分组回归, 结果如表9所示。

表9 区分行业技术相似度

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	低于中位数	高于中位数	低于25分位数	25分位数至中位数	中位数至75分位数	高于75分位数
<i>horizontal</i>	-0.165 *** (0.036)	-0.007 (0.016)	-0.083 (0.089)	-0.189 *** (0.065)	-0.077 (0.059)	-0.008 (0.030)
<i>forward</i>	0.375 *** (0.072)	0.023 (0.046)	-0.045 (0.370)	0.387 *** (0.087)	0.414 *** (0.085)	-0.030 (0.117)
<i>backward</i>	0.024 (0.022)	-0.009 (0.010)	-0.162 *** (0.049)	0.015 (0.034)	-0.009 (0.080)	-0.092 *** (0.023)
<i>tech_hor</i>	0.159 (0.168)	0.129 *** (0.031)	0.928 (0.733)	0.086 (0.237)	0.628 *** (0.191)	0.091 * (0.047)
<i>tech_ver</i>	0.073 (0.137)	0.280 *** (0.068)	0.044 (0.301)	0.293 (0.332)	0.153 (0.182)	1.088 *** (0.205)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	117707	188097	32488	84828	75552	111043
$R^2$	0.582	0.536	0.545	0.585	0.545	0.535

行业内层面,技术相似度低的行业主要体现了负向的竞争效应,技术相似度高的行业则表现为正向的知识溢出效应。说明在相似技术领域,外资先进的绿色技术和管理经验的溢出作用将得到更有效的发挥,并抵消负向的竞争效应。因此,在技术相近度相对更高的行业内,FDI 能够更显著地促进内资企业绿色技术创新水平的提升。行业间层面,随着技术相似度的提高,来自其他技术相近行业的外资绿色技术溢出效应更加显著,且相比于产业关联的溢出效应,这种依赖于技术相似度的纯知识溢出效应更加重要。行业间相近的技术距离赋予了企业在绿色技术创新方面相互学习、沟通与交流的可能性,因此,企业能够受益于与其技术上联系紧密的行业中 FDI 的技术创新活动,推动绿色技术创新水平的提升。

**4. FDI 技术溢出的时滞效应。**为检验 FDI 绿色技术溢出效应随着时间推移所产生的差异,本文对解释变量进行滞后3期、4期和5期的处理,结果如表10所示。

首先,在行业内层面,体现竞争效应的变量(*hor*)和体现行业内依赖于技术关联度的溢出效应的变量(*tech\_hor*)均保持显著,但二者回归系数的绝对数差值随着滞后时期的延长逐渐减小,说明随着时间的推移,行业内依赖于技术关联性的 FDI 纯知识溢出效应所起的主导作用逐渐减小,而由于市场份额争夺所引致的竞争效应在长时期内影响仍比较明显。其次,行业间产业关联的前向溢出始终呈现出正向效应,而后向溢出在一定时期内(滞后3期、4期)体现出负向的影响。可能的原因是,在市场交易的过程中,来自上游行业外资的生产管理经验及先进的生产设备投入将持续地助力内资企业优化自身的绿色技术创新进程,而下游行业外资对于产品质量的严格要求和严苛的绿色环保标准可能在一段时间内使内资企业的生产经营压力增大,进而抑制企业投入绿色研发活动的积极性。最后,行业间以技术相似度加权的垂直溢出效应(*tech\_ver*)在一定时期内(滞后2期、3期和4期)始终保持在至少10%的显著性水平上且数值有所增加,滞后5期的效应则不再显著。说明依赖于技术关联性的行业间外溢效应具有一定的时效性,在一定时期内,基于技术相似度的垂直溢出将逐步显现并且不断增强。

表10 长短期效应分析

	(1)	(2)	(3)	(4)
	滞后2期(基础回归)	滞后3期	滞后4期	滞后5期
<i>horizontal</i>	-0.107*** (0.014)	-0.148*** (0.016)	-0.164*** (0.021)	-0.107*** (0.029)
<i>forward</i>	0.208*** (0.031)	0.194*** (0.036)	0.205*** (0.049)	0.193*** (0.064)
<i>backward</i>	-0.0004 (0.008)	-0.023** (0.009)	-0.034*** (0.012)	-0.020 (0.017)
<i>tech_hor</i>	0.236*** (0.027)	0.297*** (0.031)	0.291*** (0.043)	0.133** (0.057)
<i>tech_ver</i>	0.083* (0.050)	0.204*** (0.059)	0.291*** (0.081)	-0.144 (0.107)
个体固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
时间固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
省份固定效应	Yes	Yes	Yes	Yes
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes
样本量	313072	293905	199739	148424
$R^2$	0.560	0.582	0.568	0.552

## 六、结论及政策建议

基于2002—2013年中国工业企业数据库和专利数据库的数据,本文考察了 FDI 的纯知识溢出和产业关联溢出对于内资企业绿色技术创新的影响,以及行业异质性和地区异质性对于 FDI 绿色技术溢出效应

的作用差异。同时,本文的实证结果通过了替换核心解释变量、替换被解释变量、区分技术相似度密集度的检验和 FDI 技术溢出时滞效应等稳健性检验。主要结论如下:

产业关联方面,FDI 依赖于市场交易关系的水平溢出效应显著为负,即负向的竞争效应占主导地位,而行业间溢出效应主要体现在前向渠道。知识流动方面,基于技术相似度的水平和垂直溢出均对于企业绿色技术创新具有正向显著的影响。因此,我国内资企业从与其技术联系更紧密的行业获取的 FDI 溢出效应是推动绿色技术创新的重要渠道。

对于污染行业和信息沟通依赖行业以及高环境规制强度、高外商直接投资强度和绿色技术创新专业化与多样化集聚的地区,外商直接投资对内资企业绿色技术创新的溢出效应更加显著。从行业技术相似度来看,在行业内企业技术相似度高的情况下,内资企业能够从 FDI 中获得更多的绿色技术溢出,而行业间依赖于技术关联度的溢出对于企业绿色技术创新的促进作用也更显著;从滞后效应来看,随着时间的推移,行业内依赖于技术关联性的 FDI 溢出效应和依赖于产业关联的行业内和行业间前向溢出始终呈现出正向效应,而后向溢出在一定时期内体现出负向的影响,行业间垂直纯知识溢出效应则在一定时期内逐步显现并且不断增强。

当前,我国经济已转向高质量发展阶段,绿色技术创新已成为保护生态环境、实现绿色发展并兑现“双碳”承诺的重要途径。外商直接投资在我国绿色技术创新进程中扮演着日益重要的角色,实施更高水平更加精准的外资政策对于我国高水平对外开放与高质量吸引外资具有深远影响,厘清其基于技术相似度以及产业关联对于我国企业绿色技术创新活动产生的溢出效应具有重要的政策含义。

第一,合理引入外资。鉴于政府积极引进外资政策具备战略上的正确性,应进一步合理引导外资流向,特别是向与本国其他行业具有较高的技术关联度的行业集聚,同时注重外商直接投资绿色技术溢出效应的时效性,把握向外资学习的黄金时期。切实鼓励内资企业培养吸收能力,主动学习先进的国外原创技术,从外商直接投资的流入和溢出过程中受益。在与上下游外资企业互动交流的过程中,充分利用纯知识溢出效应,学习并吸收更先进的绿色环保标准和技术以及绿色生产流程和组织管理实践方面的经验,推动研发一批具有自主知识产权的关键核心技术。

第二,针对不同的行业应制定有针对性的政策组合。为污染行业的绿色技术创新活动提供必要的资金和政策支持,充分利用外资在清洁生产、节能减排、污染治理、循环利用等绿色研发活动的先进技术与管理经验,帮助其减少路径依赖,提高清洁程度。同时也应关注绿色行业的绿色技术创新进展,实行有效的鼓励型政策,充分发挥绿色行业在绿色转型发展上的主导作用,并促进绿色内资企业通过 FDI 的溢出效应进一步提升绿色技术创新绩效。此外,注重各行业在信息传递成本方面的异质性,应积极主动为内资企业搭建技术交流平台,以提高企业获取 FDI 信息的便利程度。

第三,结合区域异质性进一步为外商直接投资向本地企业的绿色溢出效应的发挥创造良好的制度环境。针对各地区产业特点和比较优势,制定科学合理的环境政策,比如完善行业清洁生产审核、排污收费、清洁能源补贴等相关政策工具,优化我国内资企业绿色技术创新进程。鉴于我国地区之间外商直接投资分布的不平衡现象,在制定区域政策时应致力于改善各地区的投资环境和营商环境,切实提高外商直接投资强度相对低地区在吸引和利用外资方面的能力。同时,促进产业集聚区的发展,通过制定相关配套政策推动绿色技术创新活动在专业化与多样化方面的集聚,推动外资企业更好融入各地产业体系,有效发挥协同共进作用,更好地利用外商直接投资促进本国企业的绿色技术创新能力。

#### 参考文献:

- [1] VENTURINI R, CECCAGNOLI M, VAN ZEEBROECK N. Knowledge integration in the shadow of tacit spillovers: empirical evidence from US R&D labs[J]. Resource Policy, 2019, 48(1): 180-205.
- [2] VUJANOVIC N, RADOSEVIC S, STOJCIC N, et al. FDI spillover effects on innovation activities of knowledge using and knowledge creating firms: evidence from an emerging economy[J]. Technovation, 2022, 118: 102512.
- [3] VERSPAGEN B, LOO I D. Technology spillovers between sectors and over time[J]. Technological Forecasting and Social



- Change, 1999, 60(3): 215-235.
- [4] HAMIDA B L. Are there regional spillovers from FDI in the Swiss manufacturing industry? [J]. *International Business Review*, 2013, 22(4): 754-769.
- [5] 唐宜红,俞峰,李兵. 外商直接投资对中国企业创新的影响——基于中国工业企业数据与企业专利数据的实证检验[J]. *武汉大学学报(哲学社会科学版)*, 2019(1): 104-120.
- [6] 诸竹君,黄先海,王毅. 外资进入与中国式创新双低困境破解[J]. *经济研究*, 2020(5): 99-115.
- [7] COPELAND B R, TAYLOR M S. North-south trade and the environment[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1994, 109: 755-787.
- [8] BIRDSALL N, WHEELER D. Trade policy and industrial pollution in Latin America: where are the pollution heavens? [J]. *The Journal of Environment and Development*, 1993, 2(1): 137-149.
- [9] 许和连,邓玉萍. 外商直接投资导致了中国的环境污染吗? ——基于中国省际面板数据的空间计量研究[J]. *管理世界*, 2012(2): 30-43.
- [10] 沈国兵,张鑫. 开放程度和经济增长对中国省级工业污染排放的影响[J]. *世界经济*, 2015(4): 99-125.
- [11] CAI X, LU Y, WU M, et al. Does environmental regulation drive away inbound foreign direct investment? Evidence from a quasi-natural experiment in China[J]. *Journal of Development Economics*, 2016, 123(6): 73-85.
- [12] 邵朝对,苏丹妮,杨琦. 外资进入对东道国本土企业的环境效应:来自中国的证据[J]. *世界经济*, 2021(3): 32-60.
- [13] 洗国明,严兵. FDI对中国创新能力的溢出效应[J]. *世界经济*, 2005(10): 18-25, 80.
- [14] KANG Y, SCOTT-KENNEL J, BATTISTI M, et al. Linking inward/outward FDI and exploitation/exploration strategies: development of a framework for SMEs[J]. *International Business Review*, 2021, 30(3): 101790.
- [15] WANG C C, WU A. Geographical FDI knowledge spillover and innovation of indigenous firms in China[J]. *International Business Review*, 2016, 25(4): 895-906.
- [16] GIRMA S, WAKELIN K. Local productivity spillovers from foreign direct investment in the U. K. electronics industry[J]. *Regional Science and Urban Economics*, 2007, 37(3): 399-412.
- [17] ITO B, YASHIRO N, XU Z, et al. How do Chinese industries benefit from FDI spillovers? [J]. *China Economic Review*, 2012, 23(2): 342-356.
- [18] 余泳泽. FDI技术外溢是否存在“门槛条件”——来自我国高技术产业的面板门限回归分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2012(8): 49-63.
- [19] WANG M, ZHANG X, HU Y. The green spillover effect of the inward foreign direct investment: market versus innovation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 328: 129501.
- [20] 梁圣蓉,罗良文. 国际研发资本技术溢出对绿色技术创新效率影响的门槛效应——基于人力资本视角[J]. *技术经济*, 2019(4): 23-32.
- [21] BWALYA S M. Foreign direct investment and technology spillovers: evidence from panel data analysis of manufacturing firms in Zambia[J]. *Journal of Development Economics*, 2006, 81(2): 514-526.
- [22] GORODNICHENKO Y, SVEJNAR J, TERRELL K. When does FDI have positive spillovers? Evidence from 17 transition market economies[J]. *Journal of Comparative Economics*, 2014, 42(4): 954-969.
- [23] DU L, HARRISON A, JEFFERSON G H. Testing for horizontal and vertical foreign investment spillovers in China, 1998-2007[J]. *Journal of Asian Economics*, 2012, 23(3): 234-243.
- [24] LU Y, TAO Z, ZHU L. Identifying FDI spillovers[J]. *Journal of International Economics*, 2017, 107(6): 75-90.
- [25] LOS B. The empirical performance of a new inter-industry technology spillover measure[M]. London: Edward Elgar Publishing, 2000: 118-151.
- [26] 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.
- [27] 应瑞瑶,周力. 外商直接投资、工业污染与环境规制——基于中国数据的计量经济学分析[J]. *财贸经济*, 2006(1): 76-81.
- [28] 宋维佳,杜泓钰. 自主研发、技术溢出与我国绿色技术创新[J]. *财经问题研究*, 2017(8): 98-105.
- [29] LIU X, ZHANG W, LIU X, et al. The impact assessment of FDI on industrial green competitiveness in China: based on the perspective of FDI heterogeneity[J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 2022, 93(2): 106720.

- [30] JINDRA B, GIROUD A, SCOTT-KENNEL J. Subsidiary roles, vertical linkages and economic development: lessons from transition economies[J]. *Journal of World Business*, 2009, 44(2): 167-179.
- [31] DONG Y, SHAO S, ZHANG Y. Does FDI have energy-saving spillover effect in China? A perspective of energy-biased technical change[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 234: 436-450.
- [32] BRAUNERHJELM P, DING D, THULIN P. Labour market mobility, knowledge diffusion and innovation [J]. *European Economic Review*, 2020, 123: 103386.
- [33] ALCACER J, OXLEY J. Learning by supplying[J]. *Strategic Management Journal*, 2014, 35(2): 204-223.
- [34] 徐佳, 崔静波. 低碳城市和企业绿色技术创新[J]. *中国工业经济*, 2020(12): 178-196.
- [35] 孙浦阳, 陈璐瑶, 刘伊黎. 服务技术前沿化与对外直接投资: 基于服务企业的研究[J]. *世界经济*, 2020(8): 148-169.
- [36] PORTER M E, LINDE C. Green and competitive: ending the stalemate[J]. *Harvard Business Review*, 1999, 28(6): 128-129.
- [37] FRANCO M, ESTEVES L. Inter-clustering as a network of knowledge and learning: multiple case studies [J]. *Journal of Innovation & Knowledge*, 2020, 5(1): 39-49.
- [38] MARSHALL A. Principles of economics[M]. London: Macmillan, 1920: 222-231.
- [39] JACOBS J. The economy of cities[M]. New York: Vintage, 1969: 122-145.
- [40] WAGNER M. On the relationship between environmental management, environmental innovation and patenting: evidence from German manufacturing firms[J]. *Research Policy*, 2007, 36(10): 1587-1602.
- [41] BRANDT L, BIESEBROECK J V, ZHANG Y. Creative accounting or creative destruction? Firm-level productivity growth in Chinese manufacturing[J]. *Journal of Development Economics*, 2012, 97(2): 339-351.
- [42] JAVORCIK B S. Does foreign direct investment increase the productivity of domestic firms? Research of spillovers through backward linkages[J]. *American Economic Review*, 2004, 94(3): 605-627.
- [43] 齐绍洲, 林岫, 崔静波. 环境权益交易市场能否诱发绿色创新? ——基于我国上市公司绿色专利数据的证据[J]. *经济研究*, 2018(12): 129-143.
- [44] FURMAN J L, HAYES R. Catching up or standing still? National innovative productivity among “follower” countries, 1978—1999[J]. *Research Policy*, 2004, 33(9): 1329-1354.
- [45] KRAMMER S. Drivers of national innovation in transition: evidence from a panel of eastern European countries[J]. *Research Policy*, 2009, 38(5): 845-860.
- [46] PARK A, YANG D, SHI X, et al. Exporting and firm performance: Chinese exporters and the Asian financial crisis[J]. *Review of Economics and Statistics*, 2010, 92(4): 822-842.
- [47] OLDENSKI L. Export versus FDI and the communication of complex information[J]. *Journal of International Economics*, 2012, 87(22): 312-322.
- [48] SHI X, XU Z. Environmental regulation and firm exports: evidence from the eleventh five-year plan in China[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018, 89(5): 187-200.
- [49] PORTER M E, LINDE C. Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship[J]. *Journal of Economic Perspectives*, 1995, 9(4): 97-118.
- [50] 苏丹妮, 盛斌. 产业集聚、集聚外部性与企业减排——来自中国的微观新证据[J]. *经济学(季刊)*, 2021(5): 1793-1816.
- [51] FEINBERG S E, MAJUMDAR S K. Technology spillovers from foreign direct investment in the Indian pharmaceutical industry[J]. *Journal of International Business Studies*, 2001, 32(3): 421-437.
- [52] BUCKLEY P J, CLEGG J, WANG C. The impact of inward FDI on the performance of Chinese manufacturing firms[J]. *Journal of International Business Studies*, 2002, 33(4): 637-655.
- [53] 平新乔, 关晓静, 邓永旭, 等. 外国直接投资对中国企业的溢出效应分析: 来自中国第一次全国经济普查数据的报告[J]. *世界经济*, 2007(8): 3-13.

