

中国式现代化视域下产业智能化 对 OFDI 逆向技术溢出的影响

王智新, 王艺晓

(河北大学 经济学院, 河北 保定 071002)

摘要: 在中国式现代化视域下, 本文基于 2010—2019 年中国省级面板数据, 考察了产业智能化影响对外直接投资 (OFDI) 逆向技术溢出的作用机理与经济效应。研究发现, 产业智能化显著促进中国 OFDI 逆向技术溢出, 这一结论在一系列稳健性检验和内生性处理后仍然成立。在作用机制方面, 产业智能化通过规模扩张效应和智能磁吸效应提高 OFDI 逆向技术溢出水平。异质性分析表明, 在创新投入更大、市场竞争更强的地区环境下, 产业智能化的促进作用更强, 同时产业智能化对中国西部地区 OFDI 逆向技术溢出的正向影响效应更显著。进一步分析发现, 产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出的交互作用, 提高了区域创新水平。本文研究对于推进中国产业智能化转型升级, 提高 OFDI 逆向技术溢出效应, 加快构建“双循环”新发展格局, 全面推进中国式现代化建设具有一定的启示作用。

关键词: 产业智能化; OFDI 逆向技术溢出; 中国式现代化

[中图分类号] F113 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4034(2025)05-0078-18

引言与文献综述

党的二十大报告提出, 应以国家战略需求为导向, 集聚力量进行原创性引领性科技攻关, 坚决打赢关键核心技术攻坚战。2023 年中央经济工作会议进一步明确指出, 必须把推进中国式现代化作为最大的政治, 在党的统一领导下, 团结最广大人民, 聚焦经济建设这一中心工作和高质量发展这一首要任务, 把中国式现代化宏伟蓝图一步步变成美好现实。科技现代化是中国式现代化的战略支撑, 科技进步有助于推动智能化、绿色化的产业结构体系与创新性强、技术先进的产业技术体系的

[收稿日期] 2024-03-21

[基金项目] 国家社会科学基金一般项目“复杂网络下国际制裁对海外投资的冲击及中国应对研究” (24BGJ035)

[作者简介] 王智新 (1981—), 男, 河南南阳人, 河北大学经济学院教授、博士生导师, 博士, 研究方向: 国际投资; 王艺晓 (1999—), 女, 山东临沂人, 河北大学经济学院硕士研究生, 研究方向: 国际投资

完善,为产业升级和经济社会绿色化、数字化转型提供重要支撑,进而建立完善、先进、安全的现代化产业体系助力中国式现代化。一般来说,实现技术进步的途径包括国内自主研发以及通过外商直接投资、国际贸易、OFDI等开放渠道获取的国际技术溢出(沙文兵,2012),跨国企业通过嵌入其他国家高新技术集群网络,通过学习模仿、人员交流、研发合作等方式获取前沿技术与先进研发要素,进而引入母国进行吸收转化(杨世迪和刘亚军,2021),有利于实现母国科技创新能力提高,促进关键核心技术攻坚。当前,中国面临国内研发进展缓慢、国际核心技术封锁的双重困境,不断提高OFDI逆向技术溢出水平,既可以夯实高水平科技自立自强根基和提升产业体系现代化水平,又可以加快构建“双循环”新发展格局和全面推进中国式现代化建设。因此,在中国式现代化视域下,如何提高中国OFDI逆向技术溢出,成为学术界高度关注的重大课题。

与本文直接相关的文献主要包括探讨OFDI逆向技术溢出效应和产业智能化的相关研究。Kogut和Chang(1991)最早对OFDI技术溢出效应进行研究,发现日本对美国技术密集型行业投资提高了日本技术创新能力,可能存在技术溢出。Lichtenberg和van Pottelsberghe(2001)改进国际R&D溢出模型,实证发现OFDI是国际技术溢出的重要渠道。国内研究主要在L-P基础上进行实证检验^①,白洁(2009)最早利用国际R&D溢出回归方法探究OFDI逆向技术溢出效应对中国全要素生产率影响。此后,一些学者利用不同方法研究OFDI逆向技术溢出效应对全要素生产率、区域创新能力、产业结构升级的影响(李梅和柳士昌,2012;沙文兵,2012),发现人力资本、研发投入、金融效率和技术差距是影响OFDI逆向技术溢出能力的重要因素(李梅和柳士昌,2012;Razzaq等,2021;Huang和Huang,2023;唐咏仪和蔡冬青,2024)。然而,学术界对于中国OFDI是否产生逆向技术溢出效应至今并未取得一致结论。朴英爱等(2022)研究认为,OFDI逆向技术溢出效应取决于各地的磁吸能力,技术溢出效应尚未在全国范围显现且具有地区异质性。陈强等(2016)、Jiang等(2020)、Feng和Li(2021)研究发现,OFDI逆向技术溢出不仅提高了企业的全要素生产率,而且通过行业内的横向竞争效应和行业间上下游的带动效应,对地区创新水平、产业结构升级和高质量发展具有积极作用。

产业智能化的相关研究与本文主题密切相关。产业智能化深植于人工智能、大数据、云计算、工业互联网等数字产业化与产业数字化的过程中(柏培文和张云,2021),其全方位重构生产、分配、交换、消费等经济活动的各个环节,实现产业颠覆性发展并成为未来经济增长和高质量发展的新动能(沈悦等,2021)。相关研究多关注产业智能化与就业、劳动收入及共同富裕的关系。例如,Acemoglu和Restrepo(2019)、杨飞和范从来(2020)、孙早和侯玉琳(2019)认为,产业智能化不仅产生替代效应降低重复性劳动力需求,还通过新工作创造效应推动劳动力就业结构的两极化发展。在此基础上,张万里和宣畅(2020)、陈东和秦子洋(2022)、柴正

^①L-P模型为Lichtenberg和van Pottelsberghe(2001)在国际研发溢出模型的基础上,将进口贸易、外商直接投资和OFDI三种国际研发溢出渠道与本国研发溢出渠道纳入模型中拓展而来。

猛等(2024)研究产业智能化对产业结构升级和高质量发展的影响。王林辉等(2022)、张万里和宣畅(2020)发现产业智能化具有生产率效应、成本效应、人力资本效应、创新效应和资本积累效应,可以重塑企业地理格局、促进产业结构优化升级和推动经济高质量发展。

以上研究对于本文深入分析产业智能化的经济效应与 OFDI 逆向技术溢出具有重要启示。不过,产业智能化是否影响以及如何影响中国 OFDI 逆向技术溢出,至今尚无准确回答。在产业智能化蓬勃发展的当下,高水平产业智能化是否推动中国 OFDI 逆向技术溢出,对于推进中国产业数字化转型与智能化升级,持续提升中国科技创新能力,打破高端核心技术市场“卡脖子”困境,实现科技高水平自立自强,加快构建“双循环”新发展格局和全面推进中国式现代化建设等具有重要作用。本文边际贡献包括:首先,本文将产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出纳入到同一理论框架下,重点分析产业智能化推动 OFDI 逆向技术溢出的影响机理、作用机制和实现路径,在一定程度上丰富和拓展产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出的相关理论内涵。其次,本文探究科技创新环境、市场竞争环境和地区营商环境对产业智能化推动 OFDI 逆向技术溢出的异质性作用。最后,在理论与实证分析的基础上,本文提出相关政策建议,为推动中国产业智能化优化升级和提高中国 OFDI 逆向技术溢出效应提供决策支撑。

一、理论分析与研究假说

人工智能作为当代最为前沿的关键共性技术,不仅赋能产业结构转型与升级,而且在研发与应用过程中形成强劲的新质生产力,为实现中国式现代化提供可靠的物质技术支撑。作为新一轮产业变革的核心驱动力,人工智能不断赋能产业实现产业智能化发展,进而推动 OFDI 逆向技术溢出。产业智能化既通过人工智能技术赋能直接推动 OFDI 逆向技术溢出,又通过规模扩张效应和智能磁吸效应间接促进 OFDI 逆向技术溢出。

(一) 产业智能化影响 OFDI 逆向技术溢出的直接效应机理

随着智能化基础设施的不断完善,人工智能技术与产业各领域、各环节深度融合。人工智能技术作为产业智能化的核心驱动力,其在基础层、算法层、技术层及应用层的嵌入与优化极大地加快了产业智能化进程。产业智能化不仅基于人工智能技术重塑传统产业的生产、管理、物流和营销等全过程,实现技术创新和生产效率提升,而且基于人工智能技术赋能智能决策系统实现各产业间创新链、价值链的最优运筹,提升产业竞争力,并释放产业效率红利^①。

随着机器学习、自然语言处理等人工智能技术的高效发展,人工智能技术打破知识溢出的传统路径,网络数据池为产业发展提供获取完全信息的可能,并打破学

^①资料来源:新一代人工智能白皮书(2020), https://www.cbdiio.com/BigData/2020-09/22/content_6160355.htm(访问日期 2023-04-18)。

习效应的空间壁垒(苏玺鉴和胡安俊, 2023)。企业利用人工智能技术赋能的智能工具, 识别、获取外部行业研发最新动态, 关注企业核心发展需求(李玉花等, 2024), 并通过互联网即时传递, 促进 OFDI 过程中知识、技术的产生与转移。

同时, 人工智能技术赋能工业互联网、大数据等数字基础设施, 实现产业间的智能联通, 企业内的知识、技术通过供需效应、网络信息传递与企业定向智能识别, 实时快速地传递给上下游企业与竞争企业, 提高了知识与技术的挖掘能力与传递速度, 推动 OFDI 逆向技术溢出效应的扩大(杨丽华等, 2024)。先进技术在母国的吸收与扩散是实现 OFDI 逆向技术溢出的核心环节(朴英爱等, 2022), 产业智能化利用人工智能技术赋能, 直接促进 OFDI 逆向技术溢出的产生与扩散。因此, 本文提出:

假说 1 产业智能化能够促进 OFDI 逆向技术溢出。

(二) 产业智能化影响 OFDI 逆向技术溢出的间接效应机理

1. 规模扩张效应

产业智能化通过推动生产规模的扩大进而间接促进 OFDI 逆向技术溢出。产业智能化有助于促进生产率的提高, 进而推动企业规模的扩大(Du 和 Lin, 2022)。首先, 产业智能化基于工业机器人和智能系统, 有助于推动生产流程的优化和生产管理动态应变性的提高, 实现企业生产方式的部分自动化, 甚至达成人与机器的相互协调与合作的自组织、自适应、自学习和自生产的能力(乔非等, 2023), 推动产品不良率的降低和企业生产效率的提升。其次, 随着自动化生产适应性的提高, 企业自觉利用自动化技术对非常规性任务进行分解、模拟和延伸, 采用标准化的形式投入生产中, 进而引发新生产方式的变革和生产率的提高(孙早和陈玉洁, 2023)。最后, 产业智能化利用大数据分析和智能决策系统协调产业间、产品间要素流动与投入, 高效优化资源配置, 实现效率提升。

产业智能化有助于缓解融资约束。产业智能化有助于提升企业生产率与科技创新实力, 并通过高效的智能工具向外充分披露企业的财务信息与非财务信息, 有助于减少融资中的信息不对称, 缓解企业的融资约束, 使企业更容易获得金融机构信贷、政府优惠信贷与创新资金的支持, 促进企业资本扩张型融资, 为企业对外直接投资与发展提供充足的资金支持, 提高企业对外风险承受能力(罗良文等, 2023)。根据异质性企业贸易理论, 只有生产率较高的企业会选择服务于国外市场, 其中生产率最高的企业将选择通过 FDI 方式服务于海外市场(Helpman 等, 2004)。技术溢出是跨国公司对外直接投资过程中产生的正外部效应, 对外直接投资是产生 OFDI 逆向技术溢出的重要基础。技术寻求型对外直接投资是产生 OFDI 逆向技术溢出的重要方式, 通过主动嵌入当地研发网络, 获取先进知识与技术, 推动 OFDI 逆向技术溢出的产生(王哲兵等, 2024)。因此, 产业智能化发展能够提高生产率和改善企业融资环境, 促进企业扩大规模, 在世界范围内进行对外直接投资活动, 进而促进 OFDI 逆向技术溢出的产生。因此, 本文提出:

假说 2 产业智能化通过形成规模扩张效应, 促进 OFDI 逆向技术溢出。

2. 智能磁吸效应

产业智能化通过推动人才质量提升,间接促进 OFDI 逆向技术溢出。人力资本是技术吸收能力的主要决定因素(李梅和柳士昌,2012)。一方面,产业智能化基于智能生产,减少重复性机械作业的低水平劳动投入,并增加对高技术劳动力和非常规性劳动力的需求,推动人才结构优化,进而提升企业人才质量。另一方面,新一代智能制造系统增加了认知和学习的功能(乔非等,2023),大量具有高速计算、处理、分析能力的智能分析与决策工具被运用到企业运营全过程,极大地提高数据处理、分析与挖掘能力,拓宽员工的学习搜索边界,修正认知偏差与思维局限,丰富员工的经验和认知,实现人与人工智能双主体协同学习,进而推动人才水平的提高(吴小龙等,2022)。

在此基础上,善于运用智能工具的高质量人才不仅有助于接触和获取其他国家前沿科技信息、专利技术等研发要素和研发成果,还有助于对外投资产生的科技资源与成果的转化,通过智能高效的磁吸能力推动对外直接投资技术与知识的吸收(朴英爱等,2022)。智能化的组织关系不仅有助于知识、技术在组织中各子单元之间的转移,促进知识经验大数据库的累积,还有助于支撑组织决策和动态模拟仿真实现价值创新。根据吸收能力理论,企业识别新的外部信息的价值,吸收并将其应用于商业目的的能力称为企业的吸收能力(Cohen 和 Levinthal, 1990)。在这个过程中,智能高效的磁吸能力实现了 OFDI 技术与知识的磁吸、转移、创新,进而促进了 OFDI 逆向技术溢出。因此,本文提出:

假说 3 产业智能化通过提高智能磁吸效应,促进 OFDI 逆向技术溢出。

二、研究设计

(一) 模型构建

为了探究产业智能化对 OFDI 逆向技术溢出效应的影响,本文构建以下基准模型:

$$TSP_{it}^{ofdi} = \alpha_0 + \alpha_1 INT_{it} + \alpha_2 Control_{it} + \lambda_t + \mu_f + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中, TSP_{it}^{ofdi} 表示 i 省份 t 年 OFDI 逆向技术溢出水平, INT_{it} 为 i 省份 t 年产业智能化水平, $Control_{it}$ 表示一系列控制变量, λ_t 和 μ_f 分别表示控制时间和个体固定效应, ε_{it} 为随机扰动项, α_1 是核心解释变量系数。

(二) 指标说明

1. 被解释变量: OFDI 逆向技术溢出 (TSP_{it}^{ofdi})

本文参考 Lichtenberg 和 van Pottelsberghe (2001)、李梅和柳士昌 (2012) 的做法,测算 OFDI 逆向技术溢出水平。根据数据的可获得性,本文选择 32 个国家(地区)作为中国 OFDI 逆向技术溢出的来源样本地区^①。具体测算如下:

^①32 个国家(地区)包括德国、荷兰、英国、俄罗斯、意大利、法国、西班牙、波兰、捷克、美国、澳大利亚、墨西哥、加拿大、巴西、智利、埃及、南非、日本、韩国、印度尼西亚、印度、越南、新加坡、马来西亚、泰国、菲律宾、沙特阿拉伯、巴基斯坦、哈萨克斯坦、缅甸、以色列和伊朗。

第一步：计算中国 OFDI 逆向技术溢出总量。

$$TSP_t^{ofdi} = \sum_{s=1}^{32} \frac{OFDI_{st}}{GDP_{st}} \times RD_{st} \quad (2)$$

式(2)中, TSP_t^{ofdi} 表示 t 年中国从 32 个国家(地区)获得的逆向技术溢出总量, $OFDI_{st}$ 表示 t 年中国对 s 国(地区)的直接投资流量, GDP_{st} 表示 s 国(地区) t 年国民生产总值水平, RD_{st} 表示 s 国(地区) t 年研发支出存量。

第二步：引入省份权重指标计算各省份一年度层面的 OFDI 逆向技术溢出水平。

$$TSP_{it}^{ofdi} = \frac{OFDI_{it}}{\sum_{i=1}^{30} OFDI_{it}} \times TSP_t^{ofdi} \quad (3)$$

式(3)中, TSP_{it}^{ofdi} 表示 i 省份 t 年产生的 OFDI 逆向技术溢出水平, $OFDI_{it}$ 表示 i 省份 t 年产生的 OFDI 总流量, $\sum_{i=1}^{30} OFDI_{it}$ 表示 t 年中国 30 个省区市^①产生的 OFDI 总流量。

2. 核心解释变量：产业智能化水平(INT_{it})

本文参考王永钦和董雯(2020)的做法, 根据国际机器人联合会(IFR)公布的中国各行业机器人安装量, 按分行业各省份就业人数占全国总人数的百分比, 计算得出各省份产业智能化水平。具体测算如下:

第一步, 计算中国各行业机器人安装密度。

$$robot_{jt} = \frac{Install_{jt}}{abour_{jt}} \quad (4)$$

式(4), $robot_{jt}$ 表示中国 j 行业 t 年的机器人安装密度, $Install_{jt}$ 表示中国 j 行业 t 年的机器人累计安装量, $abour_{jt}$ 为中国 j 行业 t 年的总就业人数。

$$INT_{it} = \sum_{j=1}^n \frac{abour_{ijt}}{abour_{jt}} \times robot_{jt} \quad (5)$$

第二步, 引入行业省份权重指标计算各省份一年度层面的产业智能化水平。

式(5)中, INT_{it} 表示 i 省 t 年的机器人安装密度即产业智能化水平, $abour_{ijt}$ 表示 i 省 j 行业 t 年的就业人数。

3. 控制变量

为了控制其他变量对 OFDI 逆向技术溢出的影响, 本文对以下因素进行控制: 人力资本水平(Edu)、经济发展水平($Agdp$)、对外开放水平($Open$)、政府扶持力度(Gov)、金融发展水平(Fin)、研发强度(Rea)。各主要变量的具体名称及含义见表 1。

(三) 数据来源

本文样本区间为 2010—2019 年中国 30 个省区市, 共获得 300 条有效观测数据。本文使用的工业机器人数据来自 IFR, 省份数据均来源于各地区相应年份的

^①根据数据的可获得性, 本文研究不含西藏自治区、台湾省、香港特别行政区和澳门特别行政区数据。

《中国区域统计年鉴》《中国科技统计年鉴》等，各国 GDP 等数据均来源于世界银行数据库(World Development Indicators)，中国进口数据来源于联合国商品贸易统计数据库(UN Comtrade)^①。

表 1 主要变量名称及含义

变量性质	变量符号	变量含义	计算方法
被解释变量	<i>TSP</i>	OFDI 逆向技术溢出水平	L-P 方法计算
核心解释变量	<i>INT</i>	产业智能化水平	Bartik 方法计算
控制变量	<i>Edu</i>	人力资本水平	平均受教育年限衡量
	<i>Agdp</i>	经济发展水平	<i>GDP</i> /人口总数
	<i>Open</i>	对外开放水平	进出口总额衡量
	<i>Gov</i>	政府扶持力度	财政支出/ <i>GDP</i>
	<i>Fin</i>	金融发展水平	金融机构存贷款余额/ <i>GDP</i>
	<i>Rea</i>	研发强度	<i>R&D</i> 经费支出/ <i>GDP</i>

注：Bartik 方法指借鉴 Bartik 工具变量法，本文中省份层面机器人安装密度指标，其构造思想类似于 Bartik 工具变量法，通过行业份额加权构成。

三、实证分析

(一) 基准回归结果分析

产业智能化是中国式现代化的重要推动力，研究产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出的关系有助于促进技术溢出、推动技术进步与创新，进而加速中国式现代化进程。本文首先评估产业智能化对 OFDI 逆向技术溢出的影响效应，回归结果如表 2 所示。从列(1)和列(2)可以看出，无论是否加入控制变量，产业智能化的系数都在 1%的水平上显著为正，说明产业智能化能显著促进 OFDI 逆向技术溢出，假说 1 得到验证。同时，为了缓解产业智能化对 OFDI 逆向技术溢出影响的时滞性，本文进一步对产业智能化变量进行滞后一期与二期处理。表 2 列(3)和列(4)结果显示，回归系数均在 1%的水平上显著为正且系数增大，说明产业智能化对 OFDI 逆向技术溢出的影响具有滞后效应，即随着时间发展，产业智能化与企业人力资源等要素相协调，对 OFDI 逆向技术溢出的影响效应不断增强。

①资料来源：国际机器人联合会，<https://ifr.org/>(访问日期 2023-04-18)；世界银行数据库，<https://data-bank.worldbank.org/>(访问日期 2023-04-20)；联合国商品贸易统计数据库，<https://comtrade.un.org/>(访问日期 2023-04-22)。

表 2 基准回归结果

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>TSP</i>	<i>TSP</i>	<i>TSP</i>	<i>TSP</i>
<i>INT</i>	0.777 *** (0.100)	0.537 *** (0.075)	—	—
<i>L. INT</i>	—	—	0.603 *** (0.092)	—
<i>L2. INT</i>	—	—	—	0.677 *** (0.115)
控制变量	否	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
样本量	300	300	270	240
R ²	0.458	0.461	0.427	0.393

注：*、** 和 *** 分别表示估计系数在 10%、5% 和 1% 的水平上显著，() 内为省份层面的聚类稳健标准误。下表同。

(二) 稳健性检验

1. 更换变量

前文中使用机器人存量代表产业智能化水平，而机器人流量代表产业智能化当期发展水平，对 OFDI 逆向技术溢出具有促进作用。机器人进口与其高效应用生产之间存在滞后效应。因此，本文不仅验证产业智能化当期发展对 OFDI 逆向技术溢出的影响，还对机器人流量进行滞后处理，其结果见表 3 列(1)至列(3)。可以发现，产业智能化当期及产业智能化的滞后 1 期、滞后 2 期均对 OFDI 逆向技术溢出具有正向促进作用，且均在 1% 的水平上显著，说明产业智能化对 OFDI 逆向技术溢出具有显著的促进作用，基准回归结果是稳健的。

表 3 稳健性检验

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	<i>TSP</i>	<i>TSP</i>	<i>TSP</i>	<i>TSP</i>
机器人流量	2.716 *** (0.368)	—	—	—
L. 机器人流量	—	2.421 *** (0.354)	—	—
L2. 机器人流量	—	—	2.362 *** (0.373)	—
智能词频	—	—	—	0.002 *** (0.000)
控制变量	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
样本量	300	270	240	300
R ²	0.486	0.437	0.403	0.511

产业智能化基于智能系统与自动化设备，嵌入生产运营的全部流程(乔非等，2023)，早期资金投入量大且回报周期长。只有财力雄厚、易于融资的上市公司可以较早投入资本，推动产业智能化发展，并在年报中报告相关智能化发展战略。因此，根据上市公司年报中智能制造的相关词频，构造省份层面的上市公司智能制造词频数据作为地区产业智能化程度并进行回归，结果见列(4)。可以看出，地区产业智能化显著推动 OFDI 逆向技术溢出，再次验证假说 1，说明本文的基准回归是稳健的。

2. 内生性：双向因果

本文的基准回归结果可能存在反向因果问题，即 OFDI 逆向技术溢出效应推动产业智能化水平的提高。因此，本文利用 1984 年每百人固定电话数作为产业智能化的工具变量。其逻辑在于，固定电话的普及情况可以反映一个地区早期的通信基础设施建设水平，并影响后续数字基础设施的发展，而这些设施的建设和发展为产业智能化提供了基础支撑，因此，1984 年每百人固定电话数与产业智能化发展具有相关性。而且，1984 年每百人固定电话数量是历史数据点，反映 1984 年中国固定电话发展情况，与当前中国 OFDI 逆向技术溢出无直接联系，因此满足外生性条件。为了构建工具变量面板数据，本文借鉴赵涛等(2020)的做法，引入上一年全国互联网用户数构造交互项作为产业智能化的工具变量，进行两阶段最小二乘回归，结果见表 4 列(1)和列(2)。从中可以看出，两阶段回归的估计系数在 5%的水

表 4 工具变量法

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	IV1first	IV1	IV1+IV2	测量误差
<i>INT</i>	0.056 *** (0.025)	—	—	—
<i>Phone</i>	—	1.007 *** (0.286)	—	—
<i>Phone+otherINT</i>	—	—	0.550 *** (0.082)	—
<i>INT1</i>	—	—	—	0.683 *** (0.925)
识别不足检验	—	0.008	0.009	—
弱识别检验	—	108.511	19000	—
控制变量	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
样本量	300	300	300	300
R ²	0.247	0.088	0.217	0.349

平上显著为正，且经过统计量检验后不存在弱工具变量问题，且在 1%的水平上不存在不可识别问题。在此基础上，本文进一步选择同一地区(根据八大区域划分)其他省份的机器人安装密度的均值作为工具变量^①。不同省份间产业智能化水平相互影响，但其他省份产业智能化水平对本省的 OFDI 逆向技术溢出无直接影响，满足相关性与外生性条件。因此，将两个工具变量进行两阶段最小二乘回归，结果见列(3)。可以看出，工具变量的估计系数依然在 1%的水平上显著为正，不存在弱工具变量问题，且在 1%的水平上不存在不可识别问题。这说明在考虑反向因果问题后，产业智能化依然显著促进 OFDI 逆向技术溢出，表明本文的基准回归结果比较稳健。

3. 内生性：遗漏变量与测量误差

为了降低遗漏变量问题对本文结论的影响，本文采用 Oster(2019)的方法，参考孙早和侯玉琳(2021)的做法， R_{max} 设置为当前基本回归拟合优度的 1.3 倍，检验结果见表 5 所示。结果显示，方式一检验 δ 的取值，本文计算得出 δ 为 2.61，表明当不可观测变量的重要性是可观测变量的 2.61 倍时才可能产生零处理效果。这是很难成立的，且一般认为 δ 的值大于或等于 1，系数是比较稳定的。由此可以看出，本文的回归系数是稳定的。同时，本文利用方式二检验 β 的取值范围。一般认为， β 的取值范围不包含 0，系数是比较稳定的。表 5 显示，本文计算的 β 取值都大于 0，再次表明遗漏变量对系数的影响较小，不存在遗漏变量导致的回归偏误问题。

表 5 遗漏变量偏误检验结果

检验方法	判断标准	计算结果	是否通过检验
方式一	$ \delta(\beta=0, R_{max}=1.3R) > 1$	$\Delta=2.61$	是
方式二	$\beta(\delta=1, R_{max}=1.3R)$ 取值范围不含 0	$[0.39, 0.54]$	是

借鉴 Erickson 等(2017)的做法，运用经典变量误差模型(EIV)确定回归系数，并对测量误差问题进行检验，回归结果见表 4 列(4)。结果显示，回归系数为 0.683，与基本回归系数 0.537 相差较小，且仍在 1%的水平上显著为正，再次说明本文的基准回归结果是稳健的。

四、异质性分析

(一)创新环境

不同创新环境可能会影响产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出之间的关系。其一，不同国家(地区)在技术与研发水平上的差异可能导致其技术溢出与吸收能力

^①国务院发展研究中心(2005)提出，为了便于进行区域研究和区域政策分析，全国划分为八大区域：东北地区、北部沿海地区、东部沿海地区、南部沿海地区、黄河中游地区、长江中游地区、西南地区和大西北地区。

的不同(Li 等, 2016)。其二, 产业智能化发展离不开智能科技的研发与创新, 创新投入大的地区往往具有更好的产业智能化基础, 更能推动 OFDI 逆向技术溢出。因此, 本文综合地区教育支出、科学技术支出和 R&D 经费投入强度等影响地区创新的因素, 利用熵值法测算地区创新投入水平, 并根据 2010 年地区创新投入水平中位数将各地区划分为高创新投入和低创新投入两组进行分组回归, 结果见表 6 列(1)和列(2)。从中可以看出, 产业智能化在高创新投入环境下更能显著地推动 OFDI 逆向技术溢出, 而在低创新投入环境下不显著。这表明在高创新投入环境下, 产业智能化更能显著地推动 OFDI 逆向技术溢出。

(二) 市场竞争环境

知识与技术溢出过程中, 在东道国学习的先进技术与经验通过行业内的竞争、示范效应与行业间的上下游关联学习效应, 最终推动地区 OFDI 逆向技术溢出水平的提高(朴英爱等, 2022)。在此过程中, 自由竞争的市场环境对地区 OFDI 逆向技术溢出具有重要作用。因此, 本文利用樊纲市场化指数^①刻画市场化程度, 并根据 2010 年各地区市场化指数中位数将样本划分为高市场化地区与低市场化地区两组, 然后进行分组回归, 结果见表 6 列(3)和列(4)。从中可以看出, 产业智能化在高市场化水平地区更能显著地推动 OFDI 逆向技术溢出, 而在低市场化水平地区存在负向影响且结果不显著。这表明良好的市场化环境能够促进 OFDI 逆向技术溢出在区域间学习与传递, 更能提高 OFDI 逆向技术溢出水平。

表 6 环境异质性分析

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	低创新投入	高创新投入	低市场化水平	高市场化水平
<i>INT</i>	0.157 (0.261)	0.385 *** (0.078)	-0.050 (0.203)	0.362 *** (0.066)
控制变量	是	是	是	是
固定效应	是	是	是	是
样本量	150	150	150	150
<i>R</i> ²	0.281	0.631	0.322	0.635
组间差异检验 <i>P</i> 值	0.000		0.015	

注：异质性分析中，组间差异检验 *P* 值是由 chow 检验计算得到。下表同。

^①樊纲市场化指数是由樊纲、王小鲁等学者编制，旨在衡量中国各地区市场化程度差异，反映各地区在市场化改革进程中的相对地位与发展水平。

(三)地区异质性

为了检验产业智能化对中国不同地区 OFDI 逆向技术溢出的影响是否存在区域差异，本文将样本划分为东部地区、中部地区和西部地区三个子样本进行分组回归估计，结果见表 7 列(1)至列(3)。从中可以看出，产业智能化在东西部地区，尤其是西部地区更能显著地推动 OFDI 逆向技术溢出，而在中部地区不显著。可能的原因在于，在中国“东数西算”的战略背景下，西部地区大力发展数据中心提高算力。产业智能化依托于人工智能，需要庞大的数据储存与分析能力(吴小龙等，2022)。而西部地区(如贵州省)是中国大数据发展的重要区域，产业智能化相关基础设施较好，且算力成本较低，因而对 OFDI 逆向技术溢出促进作用更强。中国东部地区地理位置较为优越，技术与产业基础较好，对 OFDI 逆向技术溢出促进作用较强，而中部地区两者均不占优势，因而 OFDI 逆向技术溢出效应不显著。

表 7 地区异质性分析			
项目	(1)	(2)	(3)
	东部地区	中部地区	西部地区
<i>INT</i>	0.423 *** (0.084)	0.255 (0.167)	0.508 *** (0.088)
控制变量	是	是	是
固定效应	是	是	是
样本量	110	90	100
R ²	0.689	0.593	0.480
组间差异检验 P 值	0.448		0.071

五、机制检验

前文理论分析认为，产业智能化可能通过规模扩张效应和智能磁吸效应间接推动 OFDI 逆向技术溢出。为此，本文建立机制模型验证产业智能化影响 OFDI 逆向技术溢出的间接作用机制，模型如下：

$$Mediator_{it} = \chi_0 + \chi_1 INT_{it} + \chi_2 Control_{it} + \lambda_t + \mu_f + \varepsilon_{it}$$

(6)

式(6)中，*Mediator_{it}* 为机制变量。

(一)规模扩张效应

产业智能化通过优化生产流程与加强产业关联，实现自动化生产与资源配置优化，提高生产与运营效率，进而产生规模扩张效应，推动企业规模扩大并进行对外扩张，进而促进 OFDI 逆向技术溢出的产生。蒋冠宏(2022)发现，生产率是国际竞

争力的重要抓手，生产率高的企业才具有“可转移优势”，并进行生产型对外直接投资。为了度量生产率提升引起的规模扩大，本文利用规模以上工业企业产成品值作为规模扩张效应指标，并利用模型式(6)进行回归，结果见表 8 列(1)。可以发现，其系数在 1%的水平上显著为正。这表明，随着产业智能化水平的提高，生产率提升，推动生产规模的扩大，进而促进 OFDI 逆向技术溢出，假说 2 得证。

(二)智能磁吸效应

产业智能化实现人才结构的优化与人才质量的提升，进而增强 OFDI 逆向技术溢出的磁吸能力。在智能化时代，人与 AI 协同的组织学习方式是突破人的认知局限并适应高度动荡环境的重要方式(吴小龙等，2022)，产业智能化依赖于掌握智能技术的员工与管理者(徐鹏和徐向艺，2020)。信息软件行业就业者是最早接触、运用人工智能技术，推动人工智能技术创新的人才。因此，本文利用信息软件业就业人数刻画智能人才状况，回归结果见表 8 列(2)。可以看出，智能人才的回归系数在 1%的水平上显著为正。由于智能人才丰裕的省份往往具有较高的产业智能化水平，因此为减少反向因果问题，本文将产业智能化的滞后一期代入回归。表 8 列(3)回归结果显示，系数在 1%的水平上显著为正，表明产业智能化提高信息软件业就业人数，推动智能磁吸能力的提高，促进 OFDI 逆向技术溢出，假说 3 得证。

表 8 机制分析

项目	(1)	(2)	(3)
	规模扩张效应	智能磁吸效应	效应检验
<i>INT</i>	23.349 *** (1.320)	0.2977 *** (0.0252)	—
<i>L. INT</i>	—	—	0.337 *** (0.042)
控制变量	是	是	是
固定效应	是	是	是
样本量	300	300	270
R ²	0.844	0.656	0.634

六、拓展分析

通过上述基准回归，发现产业智能化促进了 OFDI 逆向技术溢出，然而在产业智能化的推动下，OFDI 逆向技术溢出效应是否有助于企业创新并助力中国式现代

化发展尚未得知。创新水平是衡量 OFDI 逆向技术溢出效应的重要指标，地区创新水平是实现区域经济可持续发展的重要驱动力。随着产业智能化不断深化，探究 OFDI 逆向技术溢出是否提升地区创新水平，对进一步加快实施创新驱动发展战略和着力推动中国式现代化具有重要作用。

本文借鉴朴英爱等(2022)的做法，参考 Lichtenberg 和 van Pottelsberghe(2001)在国际研发溢出模型(C-H 模型)基础上拓展得到 L-P 模型^①，将进口贸易、外商直接投资和 OFDI 三种国际研发溢出渠道与本国研发溢出渠道纳入模型中，充分考虑影响生产率进步与创新发展的各种技术溢出效应，模型如下：

$$INN_{it} = \beta_0 + \beta_1 S_{it}^d + \beta_2 S_{it}^{fdi} + \beta_3 S_{it}^{im} + \beta_4 TSP_{it}^{ofdi} \times INT_{it} + \beta_5 TSP_{it}^{ofdi} + \beta_6 INT_{it} + \beta_7 Control_{it} + \lambda_i + \mu_j + \varepsilon_{it}$$

(7)

式(7)中， INN_{it} 表示 i 省份 t 年的区域创新水平， S_{it}^d 表示 i 省份 t 年的研发投入强度， S_{it}^{fdi} 表示 i 省份 t 年的 FDI 技术溢出水平， S_{it}^{im} 表示 i 省份 t 年的进口产生的技术溢出水平， β_4 是重点关注的产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出的交互项系数。

借鉴李娟等(2017)的做法，选择各地区专利申请受理量和专利申请授权量作为区域创新水平的衡量指标。专利申请受理量和专利申请授权量可以较好地观察地区技术发明水平，体现 OFDI 逆向技术溢出在母国的磁吸转化程度。因此，为了探究产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出对中国区域创新水平的影响，本文将产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出作交互项与区域创新水平纳入回归中，结果见表 9 列(1)和列(2)。可以看出，交互项系数在 5% 的水平上显著为正，说明随着产业智能化水平的提高，OFDI 逆向技术溢出效应显著增强区域创新水平。

表 9 经济效应分析

项目	(1)	(2)
	专利申请受理量	专利申请授权量
$TSP \times INT$	25.284 *** (6.447)	15.529 ** (6.104)
控制变量	是	是
固定效应	是	是
样本量	300	300
R ²	0.883	0.875

①国际研发溢出模型(C-H 模型)为 Coe 和 Helpman(1995)提出的国际 R&D 溢出基本计量模型。

七、结论及建议

产业智能化是人工智能技术赋能产业发展、推动产业转型升级、促进经济提质增效和构建国家核心竞争优势的新动能。在中国式现代化视域下,合理评估产业智能化对 OFDI 逆向技术溢出的影响效应,对进一步推动中国科技进步与加快新发展格局构建具有重要作用。本文基于 2010—2019 年中国 30 个省级面板数据,实证研究产业智能化对 OFDI 逆向技术溢出的影响。研究发现:产业智能化显著促进 OFDI 逆向技术溢出,这一结论在一系列稳健性检验和内生性处理后仍然成立;在作用机制方面,产业智能化通过规模扩张效应、智能磁吸效应提高 OFDI 逆向技术溢出水平。异质性分析表明:在创新投入更大、市场竞争更强的地区环境下,产业智能化的促进作用更强;产业智能化对中国西部地区 OFDI 逆向技术溢出的正向影响效应更显著。进一步分析发现,产业智能化与 OFDI 逆向技术溢出的交互作用,提高了区域创新水平。

结合上述研究结论,本文提出以下政策建议:首先,着力推动产业智能化发展,完善智能化基础设施。人工智能助力下的产业智能化发展是未来产业蓬勃发展的新动能。积极采取政策措施,推动企业智能化转型发展,实现产业层面的智能化。加快工业机器人应用,加强数据中心建设,降低算力成本,完善各类智能基础设施,提升产业发展活力。其次,加强创新与公平竞争市场环境的培育。产业智能化在创新、竞争环境下更能促进 OFDI 逆向技术溢出,因此应加强创新支持力度,汇聚创新要素,引导企业增加创新投入,推动人工智能技术攻关。进一步优化市场环境,推动资本、劳动力等各类要素自由流动,增强市场主体活力,推动建立公平竞争环境。最后,加强智能人才培育。智能人才在技术磁吸、转化与应用中发挥着重要作用。在智能经济时代,人机协同是重要的组织学习方式,管理者需要掌握智能技术并善于协调人机关系,因此要加强相关专业人才培育,推动相关专业活动与人工智能相结合,培育高水平的人工智能技术创新与应用人才。

[参考文献]

- [1]白洁. 对外直接投资的逆向技术溢出效应——对中国全要素生产率影响的经验检验[J]. 世界经济研究, 2009(8): 65-69+89.
- [2]柏培文,张云. 数字经济、人口红利下降与中低技能劳动者权益[J]. 经济研究, 2021, 56(5): 91-108.
- [3]柴正猛,张培锋,韩先锋. 工业智能化能成为产业结构升级的新动能吗[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(19): 56-66.
- [4]陈东,秦子洋. 人工智能与包容性增长——来自全球工业机器人使用的证据[J]. 经济研究, 2022, 57(4): 85-102.

- [5]陈强, 刘海峰, 汪冬华, 等. 中国对外直接投资能否产生逆向技术溢出效应[J]. 中国软科学, 2016(7): 134-143.
- [6]蒋冠宏. 中国企业对外直接投资模式选择[J]. 经济学动态, 2022(10): 101-120.
- [7]李娟, 唐珮茵, 万璐, 等. 对外直接投资、逆向技术溢出与创新能力——基于省级面板数据的实证分析[J]. 世界经济研究, 2017(4): 59-71+135.
- [8]李梅, 柳士昌. 对外直接投资逆向技术溢出的地区差异和门槛效应——基于中国省际面板数据的门槛回归分析[J]. 管理世界, 2012(1): 21-32+66.
- [9]李玉花, 林雨昕, 李丹丹. 人工智能技术应用如何影响企业创新[J]. 中国工业经济, 2024(10): 155-173.
- [10]罗良文, 张郑秋, 周倩. 产业智能化与城市低碳经济转型[J]. 经济管理, 2023, 45(5): 43-60.
- [11]朴英爱, 于鸿, 周鑫红. 中国对外直接投资逆向技术溢出效应及其影响因素——基于吸收能力视角的研究[J]. 经济经纬, 2022, 39(5): 45-55.
- [12]乔非, 孔维畅, 刘敏, 等. 面向智能制造的智能工厂运营管理[J]. 管理世界, 2023, 39(1): 216-225+239+226.
- [13]沙文兵. 对外直接投资、逆向技术溢出与国内创新能力——基于中国省际面板数据的实证研究[J]. 世界经济研究, 2012(3): 69-74+89.
- [14]沈悦, 赵强, 朱雅玲. 产业智能化对消费升级的作用机制研究——理论分析与实证检验[J]. 经济纵横, 2021(3): 78-88.
- [15]苏玺鉴, 胡安俊. 人工智能的产业与区域渗透: 态势、动力、模式与挑战[J]. 经济学家, 2023(2): 79-89.
- [16]孙早, 陈玉洁. 机器人角色、生产分割与生产方式转换[J]. 中国工业经济, 2023(4): 5-23.
- [17]孙早, 侯玉琳. 工业智能化如何重塑劳动力就业结构[J]. 中国工业经济, 2019(5): 61-79.
- [18]孙早, 侯玉琳. 工业智能化与产业梯度转移: 对“雁阵理论”的再检验[J]. 世界经济, 2021, 44(7): 29-54.
- [19]唐咏仪, 蔡冬青. 数字经济发展与中国 OFDI 逆向技术溢出——理论与基于省际面板数据的实证[J]. 科技与经济, 2024, 37(2): 6-10.
- [20]王林辉, 姜昊, 董直庆. 工业智能化会重塑企业地理格局吗[J]. 中国工业经济, 2022(2): 137-155.
- [21]王永钦, 董雯. 机器人的兴起如何影响中国劳动力市场——来自制造业上市公司的证据[J]. 经济研究, 2020, 55(10): 159-175.
- [22]王哲兵, 郗慧妍, 韩立岩. 技术寻求型 OFDI 的逆向技术溢出效应及其影响机制[J]. 管理科学, 2024, 37(2): 138-154.
- [23]吴小龙, 肖静华, 吴记. 人与 AI 协同的新型组织学习: 基于场景视角的多案例研究[J]. 中国工业经济, 2022(2): 175-192.
- [24]徐鹏, 徐向艺. 人工智能时代企业管理变革的逻辑与分析框架[J]. 管理世界, 2020, 36(1): 122-129+238.
- [25]杨飞, 范从来. 产业智能化是否有利于中国益贫式发展[J]. 经济研究, 2020, 55(5): 150-165.
- [26]杨丽华, 金糠麟, 王康. 数字经济促进了技术寻求型 OFDI 的逆向绿色技术溢出吗[J]. 财经理论与实践, 2024, 45(5): 124-132.

- [27] 杨世迪, 刘亚军. 中国对外直接投资能否提升区域绿色创新效率——基于知识产权保护视角[J]. 国际经贸探索, 2021, 37(2): 83-98.
- [28] 张万里, 宣畅. 产业智能化对产业结构升级的空间溢出效应——劳动力结构和收入分配不平等的调节作用[J]. 经济管理, 2020, 42(10): 77-101.
- [29] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展——来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76.
- [30] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Automation and New Tasks: How Technology Displaces and Reinstates Labor[J]. Journal of Economic Perspectives, 2019, 33(2): 3-30.
- [31] COE D T, HELPMAN E. International R&D Spillovers[J]. European Economic Review, 1995, 39(5): 859-887.
- [32] COHEN W M, LEVINTHAL D A. Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation[J]. Administrative Science Quarterly, 1990, 35(1): 128-152.
- [33] DU L, LIN W. Does the Application of Industrial Robots Overcome the Solow Paradox? Evidence from China[J]. Technology in Society, 2022, 68: 101932.
- [34] ERICKSON T, PARHAM R, WHITED T M. Fitting the Errors-in-variables Model Using High-order Cumulants and Moments[J]. The Stata Journal, 2017, 17(1): 116-129.
- [35] FENG W, LI J. International Technology Spillovers and Innovation Quality: Evidence from China[J]. Economic Analysis and Policy, 2021, 72: 289-308.
- [36] HELPMAN E, MELITZ M J, YEAPLE S R. Export versus FDI with Heterogeneous Firms[J]. American Economic Review, 2004, 94(1): 300-316.
- [37] HUANG X, HUANG X. Impact of Chinese Financial Development on OFDI Reverse Technology Spillovers: Evidence from China[J]. Finance Research Letters, 2023, 52: 103576.
- [38] JIANG M, LUO S, ZHOU G. Financial Development, OFDI Spillovers and Upgrading of Industrial Structure[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2020, 155: 119974.
- [39] KOGUT B, CHANG S J. Technological Capabilities and Japanese Foreign Direct Investment in the United States[J]. The Review of Economics and Statistics, 1991: 401-413.
- [40] LI J, STRANGE R, NING L, et al. Outward Foreign Direct Investment and Domestic Innovation Performance: Evidence from China[J]. International Business Review, 2016, 25(5): 1010-1019.
- [41] OSTER E. Unobservable Selection and Coefficient Stability: Theory and Evidence[J]. Journal of Business & Economic Statistics, 2019, 37(2): 187-204.
- [42] POTTERIE B P, LICHTENBERG F. Does Foreign Direct Investment Transfer Technology Across Borders[J]. Review of Economics and Statistics, 2001, 83(3): 490-497.
- [43] RAZZAQ A, AN H, DELPACHITRA S. Does Technology Gap Increase FDI Spillovers on Productivity Growth? Evidence from Chinese Outward FDI in Belt and Road Host Countries[J]. Technological Forecasting and Social Change, 2021, 172: 121050.

The Impact of Industrial Intelligence on OFDI Reverse Technology Spillover under the Perspective of Chinese-style Modernisation

WANG Zhixin, WANG Yixiao

(School of Economics, Hebei University, Baoding, Hebei, 071002)

Abstract: This paper examined the mechanism and economic effects of industrial intelligence affecting the reverse technology spillover of outward foreign direct investment (OFDI) under the perspective of Chinese-style modernisation, based on Chinese province-level panel data from 2010 to 2019. This study finds that industrial intelligence significantly promotes China's OFDI reverse technology spillover, a conclusion that still holds after a series of robustness tests and endogeneity treatments. In terms of the mechanism of action, industrial intelligence raises the level of OFDI reverse technology spillover through the scale expansion effect and the intelligent magnetic attraction effect. Heterogeneity analysis shows that, in the environment of regions with greater investment in innovation and stronger market competition, the promotion effect of industrial intelligence is stronger, and its positive influence on OFDI reverse technology spillover in the western region of China is more significant. This paper further finds that the interaction between industrial intelligence and OFDI reverse technology spillover has enhanced the regional innovation level. The conclusions of the study are important for promoting the transformation and upgrading of China's industrial intelligence, improving the effect of OFDI reverse technology spillover, accelerating the building of a new development pattern of "double-cycle", and comprehensively advancing Chinese-style modernisation.

Keywords: Industrial Intelligence; OFDI Reverse Technology Spillover; Chinese-style Modernisation

(责任编辑 祝子白 刘建昌)