

# 价值链重塑视角下的中国 企业对外直接投资和智能化

聂 飞

**摘要：**对外直接投资能否帮助中国企业突破全球价值链的低端分工束缚和增加其对智能要素的使用，是一个有待回答的重要问题。本文采用经过匹配的2000—2013年中国制造业企业微观数据，结合双重差分因果识别策略，研究了对外直接投资对中国企业智能化的影响及其价值链重塑的传导路径。实证结果表明，对外直接投资对企业智能化总体上存在显著促进效应，该效应体现于企业以市场寻求、技术寻求和效率寻求为主体的对外直接投资上，且通过了双重差分估计的有效性要求及其他稳健性检验。并非所有的企业智能化都会受到对外直接投资的影响，非劳动密集型行业内规模越大、越成熟的国有企业智能化转型越受益于其对“一带一路”倡议沿线发达国家的对外直接投资。在影响机制上，对外直接投资通过价值链分工地位攀升推动了企业在生产部门和中间品研发部门的智能化转型，发挥了人与工业机器人在任务分配上的比较优势，从而实现“人机和谐”。

**关键词：**对外直接投资；全球价值链；智能化；工业机器人；人机和谐

[中图分类号] F740.6 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2023) 1-0108-16

## 引 言

近年来，得益于人工智能与新型信息技术的蓬勃发展，加快实现企业向智能化转型受到了国家高度关注。2018年7月，习近平总书记在金砖国家工商论坛上的讲话提到：“人工智能、大数据、量子信息、生物技术等新一轮科技革命和产业变革正在积聚力量，催生大量新产业、新业态、新模式。”<sup>①</sup>在开放型经济高质量发展导向下，中国企业正试图通过加快对外直接投资（Outward Foreign Direct Investment, OFDI）谋求全球产业布局，以突破全球价值链（Global Value Chains, GVCs）低端锁定，智能制造因其高技术复杂性、高附加值成为当前中国价值链重

[收稿日期] 2022-06-20

[基金项目] 国家社会科学基金青年项目“工业化后期阶段中国对外直接投资的去工业化效应及优化对策研究”（19CJY049）；中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“数字经济背景下‘人机分工’对企业绿色转型的影响研究”（2662022JGYJY02）

[作者信息] 聂飞：华中农业大学经济管理学院副教授，电子信箱 nie\_fei@163.com

①<http://epc.people.com.cn/n1/2018/0726/c64094-30170246.html>。

塑的重点产业。OFDI 驱动价值链重塑最终反映于企业要素使用结构的变化,工业机器人等新兴智能要素在企业生产与研发业务活动中的重要性不断上升,须重新审视人与工业机器人在企业任务分配体系中承担的“角色”。本文研究有助于从国际资本流动视角下厘清中国智能制造业发展的动力机制,并为我国构建内外互促的开放经济新体制提供有益的经验证据和政策启示。

鉴于当前关于中国企业“走出去”与智能化转型关系的研究较少,本文可能的边际贡献在于:(1)将 OFDI 与企业智能化置于统一的研究框架内,探讨了 OFDI 对企业智能化的影响问题。相比现有 OFDI 影响母国产业结构的宏观研究(Wang, 2018)<sup>[1]</sup>,本研究更有益于捕捉微观企业层面的 OFDI 动机多元性效应,同时拓展了现有文献对企业智能化驱动因素的研究边界。(2)从机制层面分析了 OFDI 通过价值链重塑对企业智能化及人机关系的影响,将研究深度从“是什么”层面推进到“为什么”层面,为中国企业通过“走出去”实现更高水平的国际分工与智能要素的有机融合指引了方向。(3)利用海关数据库(以下简称“海关库”)识别出企业进口工业机器人数据和价值链重塑程度,以及利用中国商务部对外经济合作司公布的《境外投资企业(机构)名录》(以下简称“名录”)识别出企业 OFDI 的信息,再将上述数据与工业企业数据库(以下简称“工企库”)提供的基础性指标进行手工匹配,构建了一套可用于研究 OFDI、价值链重塑对中国企业智能化影响的微观样本。

## 一、文献综述与理论假说

### (一) OFDI 对企业智能化的影响分析

探讨 OFDI 对中国企业智能化的影响问题,首先应明确 OFDI 对于企业智能化的重要性如何。中国企业 OFDI 为其接触智能制造前沿技术敞开了“大门”。工业机器人作为智能制造不可或缺的新型生产要素,通过集成化的深度学习和基于数据驱动的最优决策,能够有效地实现企业生产流程的自动化控制,是数字经济先进生产力的典范(Acemoglu and Restrepo, 2017)<sup>[2]</sup>。基于 OFDI 构筑的全球生产网络,企业能够较好地“俘获”机器人的研发、制造与销售等方面知识(Chen et al., 2021)<sup>[3]</sup>。同时,OFDI 还有助于企业利用东道国的市场、要素禀赋等区位优势来实现业务部门的梯度配置(Milner et al., 2004)<sup>[4]</sup>,通过对外转移非自动化业务部门为其从事智能制造的相关活动释放空间。据此,本文提出理论假说 1 如下:

H1: OFDI 构成了企业智能化转型的推动力。

考虑到中国企业 OFDI 动机存在多元性特点,本文将结合投资动机差异具体分析 OFDI 对企业智能化的影响。

#### 1. 研究开发型

发展中国家跨国公司“逆梯度”OFDI 通常存在较强的研究开发生机,能够发挥其“学习效应”形成后发优势,通过逆向技术溢出来实现“弯道超车”。研究开发型 OFDI 的逆向技术溢出效应对企业智能化的影响主要通过三个渠道实现:(1)示范效应。研究开发型 OFDI 会促使企业学习模仿国外先进企业高效的智能制造模式,使用工业机器人来替代劳动力,实现智能化转型。(2)竞争效应。研究开发

型 OFDI 会加剧中国企业与东道国企业在较为稀缺的研发人才、专利成果等领域的“角逐”，并将这些战略性资源用于智能技术的研发与转化，通过本土化运作来进行智能化转型。(3) 人力资本回流效应。企业在海外建立研发机构与当地科研机构展开广泛的合作，能够培育和壮大企业的人力资本，这些人力资本回流到母公司将有利于机器人等智能技术的推广与运用。据此，本文提出理论假说 1a 如下：

H1a：研究开发型 OFDI 对企业智能化存在正向影响。

## 2. 商贸服务型

发展中国家跨国公司对具有较大市场潜力的高收入发达国家的常规出口通常面临着市场受众有限、售后服务无法及时跟进的瓶颈。为克服不利的贸易条件，采用商贸服务型 OFDI 在东道国建立子公司，扩大产品宣传和完善售后服务支持，有利于企业产品声誉提升和建立稳定的销售渠道。商贸服务型 OFDI 通过促进国际市场份额扩张，将会影响企业自身对工业机器人的应用水平。一方面，商贸服务型 OFDI 提升了市场深度，扩大了对现有产品的国外消费群体数量，企业有动力使用高效、先进的工业机器人扩大产能，以应对出口订单的急剧增加；另一方面，商贸服务型 OFDI 也拓宽了市场广度，企业为满足国外潜在客户群体的需求，将会使用机器人来更新生产线，实现对定制化产品的研发及富有弹性的自动化生产。据此，本文提出理论假说 1b 如下：

H1b：商贸服务型 OFDI 对企业智能化存在正向影响。

## 3. 当地生产型

当地生产型 OFDI 是指企业在东道国直接投资设厂的生产行为，根据子公司与母公司之间的业务联系，又可将其划分为垂直当地生产型和水平当地生产型。水平当地生产型 OFDI 实现了企业在东道国的生产与销售一体化，不仅节约了最终消费品出口因长距离运输所产生的“冰山成本”，而且规避了东道国关税上升、反倾销等贸易壁垒。为适应规模化的生产需求，海外子公司会进口专业化工业机器人等中间品，为实现生产标准的统一化和规范化，国内母公司也会采取相同的工业机器人使用策略，从而整体上推动企业智能化水平上升（陈雯和苗双有，2016）<sup>[5]</sup>。垂直当地生产型 OFDI 表现为企业根据东道国的资源要素禀赋优势在东道国建立子公司并从事与母公司关联的业务。企业通过 OFDI 优先对外转移失去比较优势的劳动密集型非自动化部门，将有利于释放空间为其从事高附加值产品的经营活动创造条件。企业通过垂直生产型 OFDI 将劳动密集型业务环节转移到劳动力成本低廉的东道国，在国内则增加工业机器人的密集使用以从事高附加值产品的研发和自动化生产，实现传统制造模式向智能制造模式的“腾笼换鸟”。据此，本文提出理论假说 1c 如下：

H1c：当地生产型 OFDI 对企业智能化存在正向影响。

## 4. 资源寻求型

资源寻求型 OFDI 是指企业对油气、矿产资源丰富的东道国进行投资的行为。企业通过市场交易手段获取生产经营所需的稀缺资源会面临垄断势力的制约，这类资源的市场定价容易被人为抬高；由于市场交易耗时长，存在着“时滞”效应，故企业在获取资源时将面临诸多不确定性（Stiglitz，1976）<sup>[6]</sup>。资源寻求型 OFDI

通过在资源丰裕的东道国直接从事资源勘探、开采以及销售等业务，子公司与子公司之间、子公司与母公司之间的内部交易取代市场交易有利于降低交易成本；统一协调各分支机构业务活动有利于提升交易效率和消除市场时滞；通过中间产品差别价格或转移价格来实现利润转移，则会消除外部垄断势力给企业造成的经济损失。因此，企业利用资源寻求型 OFDI 能够节约资源采购成本，增强盈利能力来充实现金流，使其拥有更丰裕的资金用于工业机器人投资，以加速形成在智能制造领域的比较优势，从而提升其智能化水平。据此，本文提出理论假说 1d 如下：

H1d：资源寻求型 OFDI 对企业智能化存在正向影响。

## （二）价值链重塑传导机制分析

OFDI 对企业 GVCs 分工的正向影响在诸多文献中均得到过证实（刘斌等，2015<sup>[7]</sup>；郑丹青，2019<sup>[8]</sup>）。企业通过 OFDI 在全球范围内构建生产网络，深化了国际生产分割。尤其在母公司和海外子公司的紧密经济关联下，生产的国别界限变得日益模糊，有利于全球要素市场的匹配与整合，从而提高企业产品工序附加值并实现价值链重塑。

价值链重塑会如何影响企业智能化转型呢？对此有必要结合 GVCs 不同环节人与工业机器人的组合特性进行理解。围绕人机关系，学界主要形成了“替代论”和“互补论”两种截然不同的观点。其中，替代论认为企业智能化转型将会加剧人与工业机器人之间的“竞赛”，造成工业机器人对劳动力的替代效应（Acemoglu and Restrepo, 2020）<sup>[9]</sup>。互补论则认为企业智能化转型会产生岗位更迭，创造出的一部分涵盖不同技能水平且难以被替代的工作岗位，从而发挥机器人对劳动力的互补效应（Bughin et al., 2018）<sup>[10]</sup>。价值链重塑整体表现为中国企业上游度和生产复杂度的显著提高，产业链向上游延伸（倪红福和王海成，2022）<sup>[11]</sup>。随着中国所处 GVCs 分工位置实现由生产端主导向创新端主导的重塑，将会令企业在生产部门中增加工业机器人的使用规模来减少对低技能劳动力的依赖，此时机器人发挥了替代效应；同时，价值链重塑还会增加企业对高素质的研发管理人才的需求且侧重于中间品生产的创新活动，企业通过人力资本与工业机器人等智能技术的适配能够有效地整合任务模块，并对研发任务进度进行实时监测从而避免失序所引起的非效率，此时机器人发挥了互补效应（聂飞等，2022）<sup>[12]</sup>。在生产部门的替代效应和研发部门互补效应的综合作用下，企业智能化转型将最大限度地发挥人与机器人的比较优势，形成人机和谐的新型组织管理模式。据此，本文提出理论假说 2 如下：

H2：OFDI 通过价值链重塑推动了企业智能化转型，有利于形成人机和谐关系。

## 二、研究设计

### （一）计量模型设定

为检验 OFDI 对企业智能化的影响，本文将 OFDI 视为外生事件，设定多期双重差分（Difference-in-Differences, DID）计量模型如下：

$$\ln robot_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 ofdi_i \times post_t + x_{it}\gamma + \mu_j + v_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中,  $i$  表示企业,  $j$  表示行业,  $t$  表示年份。被解释变量  $\ln robot_{ijt}$  是企业智能化水平的对数值, 代表企业对工业机器人的使用规模。在中国工业机器人制造商面临电子芯片等关键技术领域掣肘的当下, 中国工业机器人绝大部分来自进口 (李磊等, 2021)<sup>[13]</sup>, 本文采用进口工业机器人来衡量企业智能化水平。为确保计量单位的一致性, 进口工业机器人采用以美元计价的金额表示。 $ofdi_t$  是对象虚拟变量, OFDI 企业 (实验组) 取值为 1, 而非 OFDI 企业 (对照组) 则取值为 0;  $post_t$  是时期虚拟变量, OFDI 发生之后取值为 1, 而 OFDI 发生之前则取值为 0。 $\mu_j$  是行业固定效应<sup>①</sup>,  $v_t$  是年份固定效应,  $\varepsilon_{ijt}$  是随机扰动项。运用交互项  $ofdi_t \times post_t$  的待估参数  $\alpha_1$  验证 OFDI 对企业智能化的影响, 当  $\alpha_1 > 0$  时, OFDI 构成企业智能化转型的动力。 $x_{ijt}$  是包含一系列影响企业智能化的企业、行业层面的控制变量集合。参考已有文献的做法, 主要包括: (1) 企业年龄 ( $\ln age$ ), 使用统计年份与企业登记注册年份之差加 1 取对数表示; (2) 企业利润水平 ( $\ln pro$ ), 使用企业营业利润对数表示; (3) 企业生产率 ( $tfp$ ), 使用通过 LP 方法测算得到的 TFP 表示, 鉴于 2007 年之后的企业中间投入数据缺失, 本文采用收入法对生产函数中的中间投入值进行近似补充测算, 即中间投入值 = 工业总产值 - 工业增加值 + 增值税, 再计算期间的企业 TFP; (4) 资本—劳动比 ( $\ln kl$ ), 使用企业固定资产合计与从业人数的比值对数表示; (5) 产权性质 ( $soe$ ), 使用虚拟变量表示, 国有企业取值为 1, 非国有企业取值为 0; (6) 行业集中度 ( $hhi$ ), 使用 Herfindahl-Hirschman 指数表示; (7) 行业外部融资依赖度 ( $\ln fin$ ), 使用行业长期负债与固定资产的比值对数表示。

## (二) 数据来源

本文研究样本为海关库、工企库和名录手工匹配的制造业企业微观数据, 时间跨度为 2000—2013 年。本文样本共包含这 14 年间中国 559 148 家企业 2 443 808 个观测值的非平衡面板数据。其中, OFDI 企业数量有 2 896 家, 样本观测值为 18 496 个; 非 OFDI 企业数量有 556 252 家, 样本观测值为 2 425 312 个。企业基础性指标来自工企库, 按八位海关 (HS) 编码的进口工业机器人数据来自海关库<sup>②</sup>, OFDI 数据来自名录, 行业产值、长期负债、固定资产等行业层面数据来自《中国工业统计年鉴》。便于分析, 本文将企业所属二位数制造业行业分类代码统一到 2011 年标准。为确保数据质量, 本文对以下异常值进行了处理: (1) 工企库中的异常数据处理。依据现有国际通用会计准则, 剔除了流动资产、总固定资产和固定资产净值年平均余额大于总资产的样本点, 剔除了折旧大于累计折旧的样本点, 剔除工业增加值、总固定资产、固定资产净值年平均余额、工业销售额小于 0 的样本点, 剔除了企业代码缺失及成立时间不合理的样本点。(2) 名录中的异常数据处理。剔除了企业 OFDI 流向为百慕大群岛、开曼群岛、英属维尔京群岛等避税港和中国香港、中国澳门及中国台湾等邻近地区样本点, 剔除了金融类 OFDI 企业。借鉴

① 工业机器人的使用具有鲜明的行业特征, 包括行业商业模式、供应链、政府政策等诸多方面, 这些均构成了影响企业智能化的非观测因素, 须纳入行业固定效应予以控制 (王永钦和董雯, 2020)<sup>[15]</sup>。

② 企业进口机器人及其对应 HS 编码为: 多功能工业机器人 (84795010)、多功能工业机器人以外的其他工业机器人 (84795090)、IC 工厂专用的自动搬运机器人 (84864031)。

Feenstra 等 (2014)<sup>[14]</sup> 的研究, 本文采用“两步法”进行数据匹配: 首先采用企业名称按照年份进行一对一匹配, 然后, 对于未匹配成功的企业样本, 本文运用企业所在地邮政编码与电话号码的后七位进行再次合并。

### 三、实证结果分析

#### (一) OFDI 对企业智能化的影响

表 1 报告了基准回归结果。第 (1) — (4) 列和第 (5) — (8) 列分别对应于不含控制变量和含控制变量的情况下, 未加入固定效应、加入行业固定效应、加入年份固定效应和加入双重固定效应的回归结果。结果表明, 当不控制任何因素时, 双重差分项  $ofdi \times post$  的估计系数在 1% 的水平上显著为正; 当控制了企业—行业层面的特征因素时, 双重差分项  $ofdi \times post$  的估计系数虽有所缩小, 但仍在 5% 的水平上显著为正。第 (1) — (8) 列中的边际效应显示, 中国企业进行 OFDI 将使其智能化水平上升 2.59%~3.86%, 说明 OFDI 促进了企业对工业机器人的使用。企业利用 OFDI 建立的全球生产网络能获取与工业机器人有关的知识及战略性资产, 在淘汰边际业务部门和对外转移非自动化业务部门的基础上, 增加生产与研发环节的工业机器人使用来对其进行自动化改造, 部门间的资源优化配置将会提高企业智能化水平, 证实了理论假说 H1。

表 1 基准回归结果

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot
$ofdi \times post$	0.0362 *** (0.0113)	0.0338 *** (0.0113)	0.0386 *** (0.0114)	0.0361 *** (0.0113)	0.0289 ** (0.0126)	0.0259 ** (0.0125)	0.0312 ** (0.0126)	0.0283 ** (0.0125)
控制变量	否	否	否	否	是	是	是	是
行业固定效应	否	是	否	是	否	是	否	是
年份固定效应	否	否	是	是	否	否	是	是
观测值	2 443 808	2 443 808	2 443 808	2 443 808	2 016 139	2 016 139	2 016 139	2 016 139
R <sup>2</sup>	0.0001	0.0017	0.0002	0.0018	0.0018	0.0034	0.0022	0.0037

注: 括号内为聚类到行业层面的稳健标准误, \*\*、\* 和 \* 分别代表 1%、5% 和 10% 的显著性水平。下表同。

#### (二) DID 估计的有效性分析

##### 1. 动态趋势检验

对 DID 模型进行估计的前提条件是, 在事件未发生之前, 实验组和对照组的被解释变量变化趋势理应是一致的, 即满足平行趋势假设。表 2 报告了动态趋势检验结果<sup>①</sup>。在企业 OFDI 事件发生之前, 交互项的估计系数在统计学意义上近似为 0, 说明在 OFDI 事件发生之前, 实验组企业和对照组企业的智能化水平并不存在

<sup>①</sup>为避免多重共线性, 本文剔除了企业 OFDI 事件发生前 1 期的观测值。

显著差异；在 OFDI 事件发生当期及之后，实验组企业智能化水平相较于对照组企业出现了明显的上升趋势，且显著性水平始终保持在高位。结果表明，DID 基准模型满足平行趋势假设。

表 2 动态趋势检验结果

项目	被解释变量: $\ln robot$			
	估计系数	稳健标准误	$t$ 值	$p$ 值
$ofdi \times year_{k=-5}$	0.0277	0.0362	0.76	0.4450
$ofdi \times year_{k=-4}$	0.0318	0.0284	1.12	0.2640
$ofdi \times year_{k=-3}$	-0.0061	0.0258	-0.24	0.8130
$ofdi \times year_{k=-2}$	0.0040	0.0225	0.18	0.8590
$ofdi \times year_{k=0}$	0.0720 **	0.0351	2.05	0.0390
$ofdi \times year_{k=1}$	0.0736 **	0.0357	2.06	0.0370
$ofdi \times year_{k=2}$	0.0782 **	0.0376	2.08	0.0360
$ofdi \times year_{k=3}$	0.0800 **	0.0388	2.06	0.0370
$ofdi \times year_{k=4}$	0.0851 **	0.0423	2.01	0.0430
$ofdi \times year_{k=5}$	0.0879 **	0.0421	2.09	0.0320
$ofdi \times year_{k=6}$	0.0905 **	0.0441	2.05	0.0390
$ofdi \times year_{k=7}$	0.0925 **	0.0356	2.60	0.0100
$ofdi \times year_{k=8}$	0.0968 **	0.0423	2.29	0.0250
$ofdi \times year_{k=9}$	0.0991 **	0.0590	2.08	0.0360
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	2 443 808	2 443 808	2 443 808	2 443 808
$R^2$	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019

注：下标  $k$  用来识别 OFDI 事件发生前后的期数，为确保事件发生前后有足够的观测期，本文选取事件发生前 5 期和事件发生后 9 期的动态趋势进行检验。 $year_k$  为年份虚拟变量，如果企业  $i$  在第  $k$  期进行了 OFDI，取值为 1，否则取值为 0。

## 2. 安慰剂检验

DID 的有效性还要求 OFDI 事件对企业智能化水平的影响存在真实性，为此还须进行安慰剂检验。首先，本文从 559 148 家企业中随机抽取 2 896 家 OFDI 企业，将其设定为“伪”实验组，再将剩余企业设定为非 OFDI 企业，设置“伪”实验组虚拟变量  $ofdi^{pseudo}$ ；其次，将其与 OFDI 时点虚拟变量构造交互项带入 DID 模型中进行回归，从而得到“伪”估计系数  $\beta^{pseudo}$ ；重复上述随机抽样过程 500 次，最终得到  $\beta^{pseudo}$  的  $t$  值分布，根据安慰剂检验的基本思想， $\beta^{pseudo}$  应不显著偏离零点。图 1 给出了安慰剂检验结果。观察发现，“伪”估计系数的  $t$  值集中分布在零值附近，图中虚竖线展示了 DID 模型真实估计系数的  $t$  值，在安慰剂检验的估计系数分布中明显属于异常值，证实了 OFDI 对企业智能化的影响是真实存在的。

## 3. PSM-DID 检验

企业 OFDI 行为存在自发性、自选择性，往往取决于自身的初始条件，而初始条件的差异则体现于 OFDI 企业和非 OFDI 企业在智能化水平上的不同。为更精准地识别 OFDI 对企业智能化的影响，本文采用倾向性得分匹配 (Propensity Score

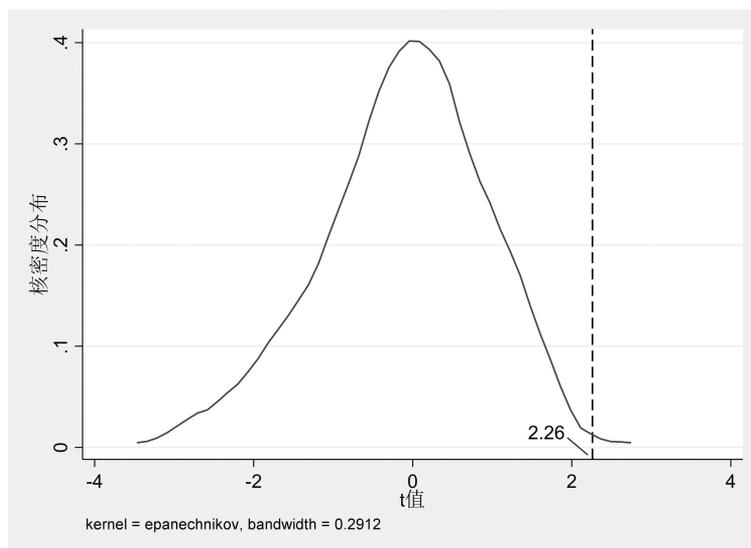


图1 安慰剂检验结果

Matching, PSM) 方法进行逐期匹配以消除两组企业所面临的样本选择性偏差。本文采用最小邻近匹配方法对样本进行匹配, 选取企业年龄、企业利润、企业生产率、资本—劳动比、产权性质、行业集中度和行业外部融资依存度等作为协变量, 分别按照匹配比例为 1:1、1:2、1:3、1:4 进行了样本匹配实验<sup>①</sup>。基于上述四类匹配比例的最小邻近匹配方法获得的缩减样本集, 本文分别给出了匹配后样本的 DID 估计结果如表 3 所示。基于匹配后的样本回归得到的双重差分项  $ofdi \times post$  的估计系数相较于匹配前有所缩小, 随着匹配比例的扩大, 该项系数在 10% 水平上均显著为正的结果未发生变化, 说明 OFDI 对企业智能化的推动作用不存在样本选择性偏差且对匹配比例的选取不具有敏感性。

表3 PSM-DID 检验结果

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	1:1	1:2	1:3	1:4
	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot
$ofdi \times post$	0.0122* (0.0065)	0.0135* (0.0077)	0.0124* (0.0072)	0.0133* (0.0072)
控制变量	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	32 099	47 777	63 151	78 328
R <sup>2</sup>	0.0177	0.0177	0.0166	0.0169

<sup>①</sup>限于篇幅, 正文中未列出, 读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

### (三) 稳健性检验

为增强回归结果的可信度,本文给出了如下稳健性检验<sup>①</sup>:

#### 1. 替换测度指标

将海关库中的进口机器人数量作为企业智能化水平的替代指标;此外,借鉴王永钦和董雯(2020)的研究,构造中国企业层面的工业机器人渗透度作为其智能化水平的另一代理指标。

#### 2. 双重聚类分析

面板数据还存在“整群相关”的通病,即相同整群内部的相关性一般较强。鉴于行业指标会随着年份而发生变化,且不同行业企业指标也存在差异,本文采用行业一年份、行业一企业双重聚类对 DID 模型进行估计。

#### 3. 考虑国际金融危机

受到2008年国际金融危机冲击,中国供给侧结构性改革得以加快,工业机器人在制造业中的运用规模不断增长;在后危机时代,国际贸易因外需不振而严重受阻,OFDI逐渐成为中国企业参与国际经济合作的新选择,可能会对企业智能化施加更大的影响。为此,本文根据国际金融危机将回归样本划分为前后两个阶段予以估计。

#### 4. 考虑企业进行 OFDI 的先后时间

企业进行 OFDI 有先后之分。在本文样本中,企业进行 OFDI 的首期为2003年,后续年份陆续有新企业加入 OFDI 行列。为区分企业进行 OFDI 模式是否会影其智能化水平,本文将2003年进行 OFDI 的企业定义为初始 OFDI 企业,而将后续进行 OFDI 的企业定义为新 OFDI 企业<sup>②</sup>,分别进行检验。

### (四) 异质性分析

#### 1. 企业层面的异质性分析

为识别不同所有权性质企业 OFDI 的智能化效应,本文将总样本划分为国有企业和非国有企业,回归结果如表4中第(1) — (2)列所示。对于非国有企业,OFDI 的影响系数为正但不显著;而对于国有企业,OFDI 的影响系数在5%水平上显著为正,说明 OFDI 对智能化的推动作用主要体现于国有企业上,国有企业会利用其在融资上的资金优势进行 OFDI,通过全球生产布局来推动智能化转型<sup>③</sup>。此外,本文还根据企业规模和年龄的均值对样本再次进行了划分,回归结果如表4中第(3) — (4)列和(5) — (6)列所示。结果表明,规模较大的企业 OFDI 对其智能化的推动作用相较于规模较小的企业更显著,而成熟的企业 OFDI 对其智能化的推动作用相较于非成熟企业更显著。

<sup>①</sup>限于篇幅,正文中未列出,读者可登录对外经济贸易大学学术刊物网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

<sup>②</sup>由于在数据处理阶段已经剔除了非连续 OFDI 企业,故企业进行 OFDI 过程中不存在中途退出的情况。

<sup>③</sup>截至2020年,中国对外非金融类 OFDI 存量按境内投资者注册类型分布核算,其中国有企业所占比重高达46.3%。

表 4 按企业特征因素划分

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	按产权性质划分		按企业规模划分		按企业年龄划分	
	非国有	国有	小规模	大规模	非成熟	成熟
	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot
<i>ofdi</i> × <i>post</i>	0.0170 (0.0107)	0.1474 ** (0.0699)	0.0237 (0.0151)	0.0300 ** (0.0126)	0.0177 (0.0170)	0.0322 ** (0.0128)
控制变量	是	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	1 916 064	100 075	1 096 099	920 040	1 053 962	962 177
R <sup>2</sup>	0.0028	0.0184	0.0039	0.0037	0.0043	0.0033

## 2. 行业层面的异质性分析

为识别行业层面自动化水平的差异，本文根据行业人均机器人的存量将总样本划分为高低两组后分别进行估计。表 5 中第 (1) — (2) 列结果表明，OFDI 对自动化水平较高的行业企业中的工业机器人使用量的增加力度明显强于自动化水平较低的行业企业，说明 OFDI 会加剧行业间企业智能化转型的两极分化，形成在工业机器人使用上“强者恒强”的局面。智能要素禀赋也体现于行业劳动力使用强度上，本文将总样本划分为劳动密集型和非劳动密集型两组（马盈盈和盛斌，2018）<sup>[16]</sup>。表 5 中第 (3) — (4) 列结果表明，OFDI 对非劳动密集型行业企业智能化的影响为正且相较于劳动密集型行业企业更为显著。

表 5 按行业特征因素划分

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	按行业人均机器人存量划分		按行业劳动要素密集度划分	
	低	高	劳动密集型	非劳动密集型
	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot
<i>ofdi</i> × <i>post</i>	0.0259 ** (0.0108)	0.0305 ** (0.0120)	0.0070 (0.0071)	0.0346 ** (0.0126)
控制变量	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	1 334 114	682 025	404 549	1 611 590
R <sup>2</sup>	0.0039	0.0040	0.0007	0.0040

## 3. 国别层面的异质性分析

为检验中国企业 OFDI 究竟依赖东道国何种区位优势，本文首先对东道国的经济区位进行划分，将东道国划分为 OECD 成员国与非 OECD 成员国。由表 6 中第 (1) — (2) 列结果可知，虽然中国企业对 OECD 成员国与非 OECD 成员国的 OFDI 均促进了其智能化水平的上升，但前者系数要高于后者。说明中国企业主要对发达国家 OFDI 以利用当地市场或技术来推动智能化转型。为识别“一带一路”

倡议 (the Belt and Road Initiative, BRI) 如何作用于中国企业 OFDI 对智能化的影响, 本文将东道国划分为 BRI 沿线国家与非 BRI 沿线国家。由表 6 中第 (3) — (4) 列结果可知, 相较于非 BRI 沿线国家, 中国企业对 BRI 沿线国家的 OFDI 对其智能化的推动作用更强。

表 6 按国别特征因素划分

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	按 OECD 组织划分		按 BRI 划分	
	非成员国	成员国	非沿线国家	沿线国家
	lnrobot	lnrobot	lnrobot	lnrobot
<i>ofdi</i> × <i>post</i>	0.0355 *** (0.0121)	0.0399 *** (0.0136)	0.0343 *** (0.0119)	0.0428 *** (0.0142)
控制变量	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	2 011 049	2 012 231	2 013 776	2 009 504
R <sup>2</sup>	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037

#### (五) 各类动机下 OFDI 对中国企业智能化的影响

鉴于中国企业“走出去”背后存在的多元性动机, 还需对各类动机 OFDI 对企业智能化的影响效应予以区分。为了能够从数据上甄别制造业企业投资动机, 本文根据名录中的经营范围对制造业企业投资动机进行了初次筛选, 对无法确定投资动机的制造业企业进行二次筛选, 将其名称、投资国家、投资年份等信息于互联网进行交叉搜索予以确定 (蒋冠宏和蒋殿春, 2014)<sup>[17]</sup>。表 7 给出了基于多元化动机的估计结果。第 (1)、(2) 和 (4) 列回归结果表明, 商贸服务型、研究开发型和垂直当地生产型 OFDI 对企业智能化的影响均显著为正, 第 (5) 列资源寻求型 OFDI 对企业智能化的影响显著为负。说明以市场寻求为导向的商贸服务型 OFDI 有利于中国企业拓宽境外市场广度和深度, 以技术寻求为导向的研究开发型 OFDI 能够形成逆向技术溢出效应, 以效率寻求为导向的垂直当地生产型 OFDI 则将劳动密集型“边际部门”对外转移, 这些均构成企业使用智能要素的动力, 证实了理论假说 H1a—H1c。

表 7 基于多元化动机的分析

项目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	商贸服务型	研究开发型	当地生产型		资源寻求型
			水平	垂直	
			lnrobot	lnrobot	
<i>ofdi</i> × <i>post</i>	0.0267 *** (0.0095)	0.1045 * (0.0561)	0.0285 (0.0313)	0.1360 ** (0.0616)	-0.0208 ** (0.0091)
控制变量	是	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是
观测值	2 012 007	2 001 794	2 003 433	2 001 762	2 000 412
R <sup>2</sup>	0.0036	0.0036	0.0036	0.0037	0.0035

## 四、进一步讨论

### (一) OFDI 影响智能化的价值链重塑传导路径

在证实 OFDI 与企业智能化的基本关系后, 本部分将重点考察 OFDI 影响企业智能化的价值链重塑传导路径。鉴于单一方程在分析多个关联变量时存在的局限性, 本文构建结构方程——联立方程模型 (Simultaneous Equations Model, SEM) 进行实证分析。需要注意的是, SEM 恰好可识别的前提条件是阶条件得以满足, 即每个方程排除前定变量之后的个数不少于内生变量的个数减去 1。基于此, 本文构建 SEM 如下:

$$gvc\_up_{ijt} = \varphi_0 + \varphi_1 ofdi_{it} \times post_t + x_{ijt} \kappa + \mu'_j + v'_t + \varepsilon'_{ijt} \quad (2)$$

$$\ln robot_{ijt} = \eta_0 + \eta_1 gvc\_up_{ijt} + x_{ijt} \vartheta + \mu''_j + v''_t + \varepsilon''_{ijt} \quad (3)$$

其中,  $gvc\_up$  为渠道变量, 表示企业价值链重塑, 获取企业 GVCs 分工地位指标是测算价值链重塑的关键。本文从产品层面对企业价值链重塑程度予以测算<sup>①</sup>。企业层面的  $DVAR$  指标如下:

$$DVAR_{it} = \frac{DVA^o_{it}}{X_{it}} = 1 - \frac{M_{it} - \delta^K_{it} + \delta^F_{it}}{PY_{it}} \quad (4)$$

其中,  $DVA^o$  为一般贸易制造业企业出口的国内增加值, 即用于出口商品生产的国内净消耗;  $X$  和  $M$  分别表示制造业企业的出口额和进口额, 数据来自海关库;  $\delta^K$  表示制造业企业的资本设备,  $\delta^F$  表示制造业企业国内中间商品投入成本中的国外部分, 鉴于企业层面的  $\delta^K$ 、 $\delta^F$  数据是无法直接获得的, 我们根据 BEC 编码识别进口中间资本品的目录, 进行适当调整得到制造业企业资本设备  $\delta^K$ , 根据 KWWs 理论框架的增加值方法测算的行业层面进口商品国内增加值数值近似代替  $\delta^F$ ;  $PY$  表示制造业企业的总收入。  $DVAR$  表示制造业企业出口的国内增加值占比, 用以表征企业 GVCs 地位, 取值越接近于 1, 则企业 GVCs 的分工地位越高。为直观刻画企业价值链重塑程度, 使用制造业企业出口国内增加值占比  $DVAR$  的增长率表示。

本文采用三阶段最小二乘法 (Three Stage Least Square, 3SLS) 对 SEM 进行估计<sup>②</sup>。表 8 第 (1) — (2) 列汇报了 OFDI 影响企业智能化的价值链重塑传导机制的检验结果。在价值链重塑决定方程中,  $ofdi \times post$  的估计系数显著为正, 说明 OFDI 拉高了企业  $DVAR$  的相对增长率。在企业智能化决定方程中,  $gvc\_up$  的估计系数显著为正, 说明随着企业 GVCs 分工地位的攀升, 其智能化水平也呈现上升状态。OFDI 通过价值链重塑渠道发挥了对企业智能化转型的正向传导, 证明企业利用“走出去”能推动价值链向高附加值智能制造工序升级。

<sup>①</sup>本文 GVCs 分工地位测算方法主要参考了 Kee 和 Tang (2016)<sup>[18]</sup> 的研究。另外, 吕越等 (2015)<sup>[19]</sup> 提出的企业 GVCs 嵌入度也是现有研究广为采用的指标, 本文也将其作为代理指标进行了检验。限于篇幅, 正文中未列出, 读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

<sup>②</sup>3SLS 方法将所有前定变量作为工具变量带入 SEM 中进行系统估计, 能够克服单一方程固有的内生性偏差。

表8 价值链重塑传导路径检验结果

项目	(1)	(2)	(3)	(4)
	SEM1		SEM2	
	<i>gvc_up</i>	<i>lnrobot</i>	<i>gvc_up</i>	<i>IC</i>
<i>ofdi</i> × <i>post</i>	0.0809*** (0.0041)		0.0809*** (0.0041)	
<i>gvc_up</i>		0.1008*** (0.0086)		0.0406** (0.0028)
控制变量	是	是	是	是
行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	428 308	428 308	428 308	428 308
R <sup>2</sup>	0.0740	0.0111	0.0740	0.0758

注：由于大部分企业未参与GVCs，这类企业样本未进入回归过程，故观测值有所减少。

## (二) 对人机关系的进一步探讨

OFDI通过价值链重塑是否提升了中国企业人机和谐程度呢？有别于现有研究对人机替代或互补关系的探讨，本文研究更侧重于从结构主义视角来理解两者的有机融合关系。为此，参考谢康等（2012）<sup>[20]</sup>的研究，本文建立人机系统的非参数随机前沿模型，分别将个体效应、时间效应以非参数形式纳入融合方程中，对人机和谐程度指标进行了测算。记 $R_{it}$ 和 $E_{it}$ 分别代表企业 $i$ 在年份 $t$ 工业机器人系统和劳动力系统的实际值。分别设定劳动力带动工业机器人融合和工业机器人带动劳动力融合的模型为：

$$R_{it} = R'_{it} + \varepsilon_{it} = f(E_{it}, i, t) + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$E_{it} = E'_{it} + \varepsilon_{it} = f(R_{it}, i, t) + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中， $R'_{it} = f(E_{it}, i, t)$ 表示企业劳动力系统发展所要求的工业机器人系统的理想发展水平，以刻画劳动力带动工业机器人路径； $E'_{it} = f(R_{it}, i, t)$ 表示企业工业机器人系统发展所要求的劳动力系统的理想发展水平，以刻画工业机器人带动劳动力路径。两者均为未知的非参数函数，且个体效应、时间效应均进入非参数函数中； $\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。

在此基础上，采用Henderson等（2008）<sup>[21]</sup>提出的非参数局部线性估计方法对上述非参数模型进行求解，分别得到企业 $i$ 于时间 $t$ 劳动力带动工业机器人的融合系数 $IC1$ 和工业机器人带动劳动力的融合系数 $IC2$ ，根据王维国（2000）<sup>[22]</sup>协调系数判断方法，计算人机系统融合系数为：

$$IC_{it} = \frac{\min\{IC1_{it}, IC2_{it}\}}{\max\{IC1_{it}, IC2_{it}\}} \quad (7)$$

上式表达了人机和谐程度，即劳动力带动工业机器人、工业机器人带动劳动力两个单向系统融合之间的差距，越接近1表明差距越小。本文进一步在SEM中将 $IC$ 作为结果变量进行检验<sup>①</sup>。表8中第（3）—（4）列汇报了OFDI通过价值链

<sup>①</sup>为考察人机系统的互动联系，本文还分别将 $IC1$ 和 $IC2$ 作为结果变量进行了检验。限于篇幅，正文中未列出，读者可登录对外经济贸易大学学术刊物部网站“刊文补充数据查询”栏目查阅、下载。

重塑对企业人机关系的影响检验结果。OFDI对企业价值链重塑的正向提升作用在1%水平上显著成立；同时价值链分工地位的攀升对企业人机和谐程度也存在显著的促进作用。有证据表明，OFDI通过价值链重塑产生的智能化转型实现了人与工业机器人的有机融合，有利于人机和谐关系的形成，证实了理论假说H2。

## 五、结论与政策启示

本文通过匹配2000—2013年海关库、工企库和名录的制造业企业微观数据，采用DID因果识别策略实证考察了OFDI对企业智能化的影响及其价值链重塑的作用机制。实证结果表明，总体上，OFDI构成了中国企业智能化转型的驱动力量，并且这一积极影响效应主要来自于企业以市场寻求、技术寻求和效率寻求为主要动机的OFDI。本文通过DID估计的有效性分析及替换测度指标、双重聚类分析、考虑国际金融危机与企业进行OFDI模式等证实了基准回归结果的稳健性。此外，自动化水平较高的非劳动密集型行业内规模较大和较成熟的国有企业在“走出去”当中面临较小的信贷约束，对BRI沿线发达国家的OFDI推动了其智能化转型。进一步分析表明，OFDI通过价值链重塑对企业智能化带来了间接影响，表现为生产部门的“替代效应”和研发部门的“互补效应”所引起的工业机器人使用量增加；智能化转型也促进了企业人机和谐关系的形成。本文研究证实了OFDI对企业向高附加值智能制造转型升级是有积极促进作用的，智能化会推动劳动力向创新部门转移，形成良性的人机分工协作关系，这一发现实则回应了当前对于工业机器人应用会带来负面冲击的过度担忧。

在“双循环”新经济发展格局下，国内国际经济关系密切，增强内外经济互联性是当前中国要构建高水平开放型经济新体制和提升经济可持续发展韧性的必然要求。中国企业应专注于“走出去”的国际化契机来接触智能制造前沿，合理利用国际市场、技术和生产要素来助推母公司对工业机器人的应用，促进智能制造新业态的加快形成，实现企业由低效低附加值的传统产品供给向高效高附加值的新型产品供给转变。要重视价值链重塑的传导作用，企业应通过OFDI来形成纵向一体化分工格局，顺势对外转移非自动化部门，并辅之以人机和谐组织管理模式创新，促进企业在GVCs高端研发环节核心竞争力的加速形成。应发挥非劳动密集型行业内规模较大、较成熟的国有企业在OFDI上的引领作用，为推动这些企业迅速成长为智能制造领域的“龙头企业”，政府部门应在服务保障、软硬件基础设施配套等方面给予支持。此外，要维护中国企业OFDI的长期稳定性，中国政府还应通过高层互访、双边投资协议签署等多种形式进行“牵线搭桥”，为企业在BRI沿线发达国家进行适应性的国际产能与技术合作搭建平台，通过获取工业机器人技术、渠道及相关组织管理运作经验来为母公司智能化转型注入持久动力。

[参考文献]

- [1] WANG X. Export Structure Effect of Outward FDI of Sichuan Province of China [J]. *International Journal of Economics and Finance*, 2018, 10 (9): 181-187.
- [2] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Secular Stagnation? the Effect of Aging on Economic Growth in the Age of Automation [J]. *American Economic Review*, 2017, 107 (5): 174-179.
- [3] CHEN L, GUO S, LU J, et al. Outward FDI and Efficiency in Within-firm Resource Allocation Evidence from Firm-Level Data of China [J]. *Journal of Asian Economics*, 2021, 74: 1-13.
- [4] MILNER C, REED G, TALERNGSRI P. Foreign Direct Investment and Vertical Integration of Production by Japanese Multinationals in Thailand [J]. *Journal of Comparative Economics*, 2004, 32 (4): 805-821.
- [5] 陈雯, 苗双有. 中间品贸易自由化与中国制造业企业生产技术选择 [J]. *经济研究*, 2016 (8): 72-85.
- [6] STIGLITZ J E. Monopoly and the Rate of Extraction of Exhaustible Resources [J]. *American Economic Review*, 1976, 66 (4): 655-661.
- [7] 刘斌, 王杰, 魏倩. 对外直接投资与价值链参与: 分工地位与升级模式 [J]. *数量经济技术经济研究*, 2015 (12): 39-56.
- [8] 郑丹青. 对外直接投资与全球价值链分工地位——来自中国微观企业的经验证据 [J]. *国际贸易问题*, 2019 (8): 109-123.
- [9] ACEMOGLU D, RESTREPO P. Robots and Jobs: Evidence from US Labor Markets [J]. *Journal of Political Economy*, 2020, 128 (6): 2188-2244.
- [10] BUGHIN J, SEONG J, MANYIKA J, et al. Notes from the AI Frontier: Modeling the Impact of AI on the World Economy [R]. *McKinsey Global Institute Discussion Paper*, 2018.
- [11] 倪红福, 王海成. 企业在全球价值链中的位置及其结构变化 [J]. *经济研究*, 2022 (2): 107-124.
- [12] 聂飞, 胡华璐, 李磊. 工业机器人何以促进绿色生产? ——来自中国微观企业的证据 [J]. *产业经济研究*, 2022 (4): 1-14.
- [13] 李磊, 王小霞, 包群. 机器人的就业效应: 机制与中国经验 [J]. *管理世界*, 2021 (9): 104-119.
- [14] FEENSTRA R C, LI Z, YU M. Exports and Credit Constraints Under Incomplete Information: Theory and Evidence from China [J]. *Review of Economics and Statistics*, 2014, 96 (4): 729-744.
- [15] 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 (10): 159-175.
- [16] 马盈盈, 盛斌. 制造业服务化与出口技术复杂度: 基于贸易增加值视角的研究 [J]. *产业经济研究*, 2018 (4): 1-13+87.
- [17] 蒋冠宏, 蒋殿春. 中国企业对外直接投资的“出口效应” [J]. *经济研究*, 2014 (5): 160-173.
- [18] KEE H L, TANG H. Domestic Value Added in Exports: Theory and Firm Evidence from China [J]. *American Economic Review*, 2016, 106 (6): 1402-1436.
- [19] 吕越, 罗伟, 刘斌. 异质性企业与全球价值链嵌入: 基于效率和融资的视角 [J]. *世界经济*, 2015 (8): 29-55.
- [20] 谢康, 肖静华, 周先波, 等. 中国工业化与信息化融合质量: 理论与实证 [J]. *经济研究*, 2012 (1): 4-16+30.
- [21] HENDERSON D J, CARROLL R J, LI Q. Nonparametric Estimation and Testing of Fixed Effects Panel Data Models [J]. *Journal of Econometrics*, 2008, 144 (1): 257-275.
- [22] 王维国. 协调发展的理论与方法研究 [M]. 中国财政经济出版社, 2000: 227-228.

## Chinese Firms' OFDI and Intelligentization from the Perspective of GVCs Reshaping

NIE Fei

**Abstract:** An interesting question in the literature is whether OFDI can help Chinese firms move up along the GVCs and intensify product “intelligentization.” Using a micro dataset consisting of Chinese manufacturing firms from 2000 to 2013, this paper empirically analyzes the causal impact of OFDI on firms’ intelligentization strategies and the channels through which such effects take place. The results from DID analyses suggest that OFDI increases industrial robots adoption among those firms whose overseas investment is market-seeking, technology-seeking, or efficiency-seeking. These baseline results are robust to alternative model specifications. For large-scale and matured firms in non-labor-intensive sectors, their increased intelligentization mainly benefits from the investment made in developed countries under “the Belt and Road” Initiative (BRI). Finally, we show that OFDI promotes intelligentization in the R&D and the manufacturing departments by moving firms up along the GVCs. This allows firms to maximize the comparative advantages of humans and industrial robots on task allocation and achieve “human-machine integration.”

**Keywords:** OFDI; GVCs; Intelligentization; Industrial Robots; Human-machine Integration

(责任编辑 白光)