

中国对外直接投资驱动装备制造业 全球价值链低碳升级的路径研究

王英, 刘婷

(南京航空航天大学 经济与管理学院, 江苏 南京 211106)

摘要: 本文将低碳经济理念纳入中国装备制造业全球价值链升级的框架, 利用2000—2019年中国装备制造业细分行业面板数据, 采用多重中介模型, 研究中国对外直接投资如何影响装备制造业全球价值链低碳升级。研究发现: 在装备制造业整体层面, 中国对外直接投资可以通过逆向技术溢出效应和前向关联效应两条路径促进全球价值链低碳升级, 但边际产业转移效应和后向关联效应的中介作用不显著; 在细分行业层面, 低碳细分行业的实证结果与装备制造业整体层面一致; 而在高碳细分行业, 中国对外直接投资对全球价值链低碳升级存在负直接效应, 通过边际产业转移效应和逆向技术溢出效应两条路径可以促进其全球价值链低碳升级。

关键词: 对外直接投资 (OFDI); 装备制造业; 全球价值链; 低碳升级; 多重中介效应

[中图分类号] F426 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4034(2022)01-0103-16

引言

在经济全球化的进程中, 各经济体之间的联系日益密切, 全球价值链 (Global Value Chain, GVC) 应运而生并成为国际分工的重要形式。在生产效率和要素成本优先的国际分工逻辑下, 全球价值链生产环节呈现出“片段化”特征, 通过垂直专业化分工, 形成设计研发、生产制造和销售服务等生产环节, 并在各环节创造出不同的增加值。其中, 发达国家凭借技术和资本优势承担了产品设计及营销活动, 这些高附加值的生产环节为其带来巨大收益 (Meng 等, 2020); 而包括中国在内的广大发展中国家, 长期以来凭借自身廉价的劳动力和资源要素优势, 承担着产品

[投稿日期] 2021-06-09

[基金项目] 教育部人文社会科学研究规划基金项目“OFDI驱动中国装备制造业全球价值链低碳化升级绩效评价研究”(18YJA790085), 国家自然科学基金面上项目“OFDI驱动中国装备制造业全球价值链低碳化升级: 理论机制、实现路径和绩效评价”(71873064)

[作者简介] 王英 (1971—), 女, 江苏常州人, 南京航空航天大学经济与管理学院教授、博士生导师, 研究方向: 国际投资、产业经济; 刘婷 (1996—), 女, 山东淄博人, 南京航空航天大学经济与管理学院硕士研究生, 研究方向: 产业经济

标准化的低附加值加工组装环节，由于缺乏核心技术支撑，在全球价值链体系中一直处于被分工的地位。

装备制造业是中国国民经济的主体，但其在全球价值链中的低端锁定风险日益显现，低碳转型压力也日渐严峻。由于嵌入全球价值链带来出口货物的增加，中国装备制造业的生产加工环节往往伴随着高碳排放，同时也成为了国内能源消费的主要源头。中国装备制造业参与全球价值链分工所获得的经济收益和就业收益，是以高环境污染容忍度为代价的（余娟娟，2017）。根据国际能源署（International Energy Agency, IEA）发布的数据，虽然近年来中国碳排放增速有所放缓，碳排放总量仍在增加，2020年中国约占全球二氧化碳排放量的30%。过度消耗化石燃料所导致的全球气候变暖是全世界关注的热点，面对日益严峻的气候危机挑战，作为世界上最大的发展中国家，中国提出“碳达峰”“碳中和”目标，彰显了负责任大国的使命与担当。在此背景下，作为经济支柱产业的装备制造业，如何在全球价值链中实现低碳升级，更加值得深思与研究。

对外直接投资（Outward Foreign Direct Investment, OFDI）是中国参与国际分工的重要形式。自2000年实施“走出去”战略以来，中国一直秉承开放合作的态度鼓励对外投资。2020年中国OFDI是1537.1亿美元，流量规模首次位居全球第一；2020年末，中国OFDI存量达2.58万亿美元，位居全球第三。中国OFDI是否影响其在全球价值链中的分工地位？其对于装备制造业的全球价值链低碳进程又有何作用？本文将基于低碳经济的时代背景，研究中国OFDI对于装备制造业全球价值链低碳升级的影响及其作用路径，探讨对外直接投资能否改善中国装备制造业“低端锁定”“高碳排放”的双重困境，为中国OFDI和装备制造业可持续发展提供决策参考。

一、文献综述

在理论层面，通过OFDI促进产业升级的研究最早可追溯至产品生命周期理论（Vernon, 1966）。该理论指出，跨国公司通过海外投资方式将本国衰退产品的生产环节分散至投资国，可以延长其生命周期进而推动产业结构升级。此后，Kojima（1978）提出了边际产业转移理论，认为一国可以利用海外投资将母国劣势产业转移至东道国，集中本国资源要素发展优势产业，进而实现产业升级。上述两个理论皆基于发达国家的视角及经验。伴随发展中国家的崛起，技术创新产业升级理论（Cantwell和Tolentino, 1990）应运而生，提出在OFDI逆向溢出效应的推动下，发展中国家学习、吸收和积累发达国家先进技术经验，转化为自身优势，达到实现本国产业升级的目的。Mathews（2006）则提出了LLL分析框架——联系、杠杆和学习（Linkage-Leverage-Learning, LLL）理论，认为后发国家跨国公司可以首先与投资国建立关联，进而通过杠杆方式持续学习，提升生产经营水平以及核心竞争力，达到产业结构升级的目标。

与理论研究相比，实证层面的研究更加丰富，但得出的结论并不一致。有研究指出，OFDI对产业结构升级有显著的促进作用（宋雯彦和韩卫辉，2021），而且

OFDI对产业结构升级的促进作用存在地区异质性,对东中部地区的促进作用大于西部地区(杨栋旭和周菲,2020)。中国OFDI不仅可以通过贸易、技术、资本积累、人力资本路径持续促进产业结构升级(李梦溪等,2020),也可以通过技术溢出、要素供给及生产率效应推动产业升级(贾妮莎和雷宏振,2019)。也有学者提出相反的观点,指出OFDI是导致中国去工业化的重要因素(白雪洁和于庆瑞,2019),甚至导致部分东部地区存在潜在产业空心化风险(杨丽丽和盛斌,2019)。同时,学者们也关注到制造业OFDI与绿色发展的关联性,指出OFDI与国内工业绿色创新效率之间所存在的“倒U型”关系(聂名华和齐昊,2019),认为中国应基于投资动因,从OFDI投资产业、区位选择和进入方式角度建立低碳路径(罗良文和成晓杰,2013),充分释放OFDI的逆向绿色创新红利,实现开放与绿色发展的双赢(韩先锋等,2020)。

随着全球价值链体系的深入发展,关于OFDI与全球价值链升级的研究日渐丰富。OFDI在总体上助力中国制造业实现了全球价值链攀升(戴翔等,2018),并具体通过促进产品升级和功能升级(杨连星和罗玉辉,2017)、提升技术创新能力(罗军和冯章伟,2018)等,提高了中国的价值链分工地位以及竞争力。但OFDI对于母国GVC分工地位的提升存在国家间差异,发展中国家母国的正效应小于发达国家,同时目的地国家越发达,对母国分工地位提升作用越明显(江强和王立成,2021)。随着经济的发展,环境破坏问题日渐凸显。全球价值链的研究范围已经从传统的经济学领域拓展到社会和环境领域(Schroeder等,2018)。现有关于全球价值链上环境问题和绿色化的研究多集中于具体行业或特定区域层面,重点关注三方面的问题:一是全球价值链是改善还是恶化了全球环境(Zhang等,2017),以及发达国家和发展中国家的环境责任问题(杨翠红等,2020);二是全球经济活动主体嵌入全球价值链过程所采取的绿色化措施,主要体现在推动机制和治理方式上(Achabou等,2017);三是嵌入全球价值链对于产业链绿色化升级所带来的影响,包括嵌入全球价值链是否促进绿色化升级(刘皖青等,2018)、分工地位提升与价值链绿色化的关系(陈艺毛等,2019;黄光灿等,2019),以及全球价值链治理模式下产业链绿色化升级的路径及机制(张伟和游建民,2017)等。

通过文献梳理可以发现,国内外学者针对OFDI与产业升级、OFDI与全球价值链升级等已经进行了大量研究,为本文的研究提供了理论实证基础。但是既有研究仍然存在一些不足,具体如下:(1)现有文献在研究OFDI对产业升级的作用时多聚焦在边际产业转移效应或逆向技术溢出效应上,鲜少将两者同关联效应整合起来进行研究分析;(2)现有研究多从国家角度以及三大行业层面分析OFDI对于产业升级的促进作用,针对作为国民经济主体的装备制造业及其细分行业的研究较少;(3)现有文献将全球价值链纳入研究时,通常测度全球价值链的分工地位、参与度指数或竞争力指数等单一指标,无法全面地体现全球价值链升级的综合状况;(4)现有针对装备制造业升级的研究,未能将低碳经济和绿色发展的现实背景充分考虑在内。本文则将低碳经济纳入中国装备制造业全球价值链升级框架,构建装备制造业全球价值链低碳升级指数评价指标体系,以OFDI所带来的三大效

应,即边际产业转移效应、逆向技术溢出效应、前向和后向关联效应作为中介变量,分析 OFDI 影响中国装备制造业全球价值链低碳升级的作用机理,进而构建四条路径并行的多重中介效应模型,从装备制造业整体层面和细分行业层面对机理进行实证检验,从而对现有研究进行创新和拓展。

二、作用机理与模型设定

(一) 作用机理

装备制造业作为工业发展的基础力量,相较于其他行业,聚集了大量的人力和财力,同时在生产过程中对于技术工艺和知识投入具有较高要求,资本密集、技术密集和劳动密集因而成为了装备制造业的标签。2013 年中国拥有超过 20 万亿元总产值的装备制造业,成为世界上装备制造业产值规模最大的国家。然而发展中的潜在危机不容小觑,国际分工逐渐深化,使得中国装备制造业技术水平低、自主创新能力弱的弊端不断暴露:70%的中高端成套设备依赖进口,2019 年装备制造业科研经费支出占总产值的比重不足 2%,2003—2019 年科研人员数量的年均增长率不足 5%;在“碳达峰”“碳中和”的目标下,装备制造业环境污染以及能源浪费问题亟待解决。

全球价值链下的装备制造业升级具有生产者驱动和购买者驱动二元驱动力:生产者驱动表现在生产者凭借垄断技术优势和雄厚资本支持,形成规模经济;购买者驱动则指企业立足市场需求,依靠匹配消费需求的设计和售后服务方式,实现产品附加值提升并获取利润。中国装备制造业嵌入全球价值链的程度逐渐加深,与各国间资金、技术、人才、经营管理经验等方面的交流也日益频繁,OFDI 作为要素流动的直接实现手段,可以在装备制造业低碳升级中发挥重要作用。

江强和王立成(2021)的研究发现,对外直接投资的目的国越发达,对母国全球价值链地位提升的作用越显著。这就意味着可以从 OFDI 资金流向的目的地角度出发,将中国 OFDI 分为流向发达国家的逆梯度 OFDI 和流向欠发达国家的顺梯度 OFDI 两种类型。

在顺梯度 OFDI 中,通过对欠发达国家的对外直接投资,将中国装备制造业生产中部分低产值、高能耗的环节转移至国外。依靠东道国资源要素的比较优势,降低国内资源获取成本,缓解生产成本上升、产能过剩的压力,释放国内稀缺资源要素,实现优化配置。因此,顺梯度 OFDI 可以通过产业转移使中国装备制造业向高附加值环节移动实现功能低碳升级,并利用投资收益支持装备制造业在技术、研发、管理等高附加值环节的发展。综合以上分析,本文提出假说 1:

假说 1 OFDI 可以通过边际产业转移效应实现功能低碳升级,促进装备制造业全球价值链低碳升级。

逆梯度 OFDI 面向的是装备制造业生产技术及低碳技术水平更为发达的国家,一方面依靠逆向技术溢出效应,既学习先进技术、引进先进设备,促进母国装备制造业高端化、智能化,又学习低碳生产理念和经验促进产业升级,以减少生产过程

中的污染和碳排放，提升质量，从而实现产品低碳化升级；另一方面，先进技术的引入可以引发竞争效应，倒逼同质装备制造企业加大科研投入，进行技术创新，提升整个生产流程的绿色化和效率水平、降低生产成本和碳排放强度，实现流程低碳化升级。同时，逆梯度 OFDI 促进中国与发达国家接轨，接触装备制造业先进市场，掌握装备制造业产品的最新需求，逐步形成市场优势，占据一定的海外市场规模，通过前向关联，增加研发设计投入满足生产服务需求，同时通过后向关联，加强营销售后支撑满足服务环节需求，由此逐步提升中国在装备制造业全球价值链高附加值环节的控制权和主导权，最终实现链条的低碳化升级。综合以上分析，本文提出假说 2、假说 3 和假说 4。

假说 2 OFDI 可以通过逆向技术溢出效应实现产品和流程低碳升级，促进装备制造业全球价值链低碳升级。

假说 3 OFDI 可以通过前向关联效应实现链条低碳升级，促进装备制造业全球价值链低碳升级。

假说 4 OFDI 可以通过后向关联效应实现链条低碳升级，促进装备制造业全球价值链低碳升级。

综上所述，通过 OFDI 的边际产业转移效应（路径 1）、逆向技术溢出效应（路径 2）和关联效应（包括前向关联效应——路径 3 和后向关联效应——路径 4），实现装备制造业在功能、产品、流程和链条四方面的低碳升级，最终实现中国装备制造业全球价值链的低碳升级（如图 1 所示）。

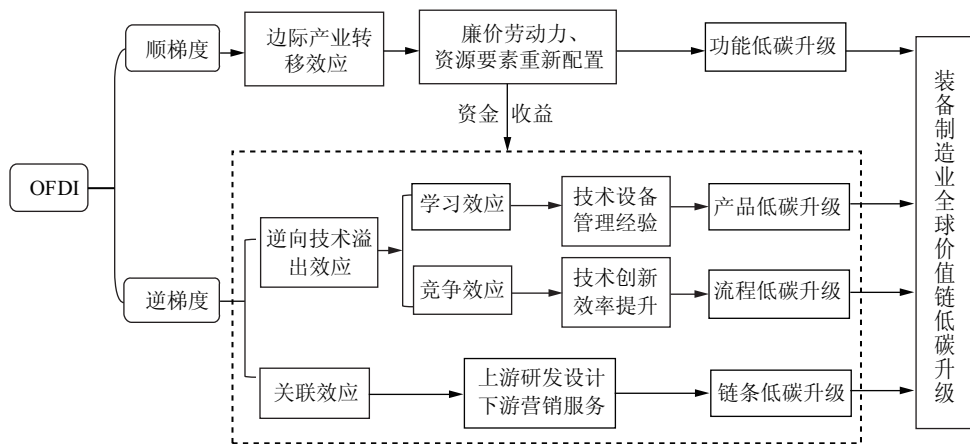


图 1 OFDI 驱动装备制造业全球价值链低碳升级路径

（二）模型设定

通过以上机理分析可见，对外直接投资可能通过边际产业转移效应、逆向技术溢出效应以及前向和后向关联效应四条路径对装备制造业全球价值链低碳升级产生影响，作用路径如图 2 所示。本文采用中介效应模型（Freedman 和 Schatzkin，

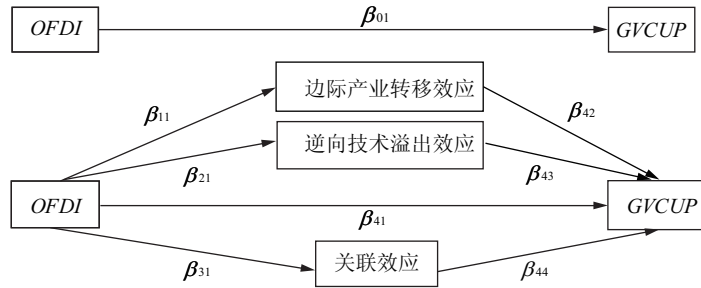


图2 多重中介效应模型

1992；温忠麟和叶宝娟，2014；柳士顺和凌文轻，2009），对提出的假说进行实证检验，构建并行多重中介效应模型如下：

$$GVCUP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 OFDI_{it} + \alpha_2 X_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$VAR_{it} = \beta_0 + \beta_1 OFDI_{it} + \beta_2 X_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$GTCH_{it} = \lambda_0 + \lambda_1 OFDI_{it} + \lambda_2 X_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$RD_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 OFDI_{it} + \varphi_2 X_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$BMI_{it} = \partial_0 + \partial_1 OFDI_{it} + \partial_2 X_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$GVCUP_{it} = \varphi_0 + \varphi_1 OFDI_{it} + \varphi_2 VAR_{it} + \varphi_3 GTCH_{it} + \varphi_4 RD_{it} + \varphi_5 BMI_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式（1）至式（6）中，GVCUP为全球价值链低碳升级指数，下文将构建指标体系对其进行测度；OFDI为对外直接投资；VAR为增加值率，作为边际产业转移效应的代理变量；GTCH为绿色技术溢出度，作为逆向技术溢出效应的代理变量；RD和BMI为研发强度和营销强度，分别作为前向关联效应和后向关联效应的代理变量； μ_i 为装备制造业细分行业的固定效应； τ_t 为时间效应； ε_{it} 表示随机扰动项。

三、研究设计

（一）变量测算

1. 被解释变量：全球价值链低碳升级指数（GVCUP）

在装备制造业全球价值链低碳发展的视角下，基于数据可获取性、前瞻性和可持续性的原则，本文将装备制造业全球价值链低碳升级拆分成全球价值链下的产业升级和低碳升级两个维度，构建包括参与程度、参与势力、参与质量、能源消耗、能源效率和污染排放6个准则层，14项细化指标的低碳升级指数评价体系（如表1所示）。

表1 装备制造业全球价值链低碳升级指数评价指标体系

目标层	维度	准则层	序号	指标层	指标解释	指标属性
装备制造业全球价值链低碳升级指标体系	产业升级	参与程度	A1	参与度指数	装备制造业 GVC 参与度指数	正向
			A2	地位指数	装备制造业 GVC 地位指数	正向
		参与势力	B1	附加值口径下显示性比较优势指数	一国装备制造业产品出口额占该国出口总额的比重/世界该行业出口比重	正向
		参与质量	C1	高端装备制造业产值比重	高附加值和高技术含量的细分行业/装备制造业总产值	正向
			C2	国内增加值占比	出口的国内增加值/部门 GDP	正向
			C3	人均职工报酬	职工报酬/职工数	正向
			C4	技术优势	发明专利数	正向
	低碳升级	能源消耗	D1	煤炭消耗占比	装备制造业煤炭消耗/装备制造业能源消耗总量	负向
			D2	清洁能源消耗占比	清洁能源消耗量/能源消耗量	正向
		能源效率	E1	碳生产力	行业总产出/碳排放	正向
			E2	能源效率	行业单位增加值/能源消耗量	正向
		污染排放	F1	工业废气	工业废气排放量	负向
			F2	工业废水	工业废水排放量	负向
			F3	工业固体废弃物	工业废弃物排放量	负向

其中,参与程度层面的参与度指数和地位指数,参考 Koopman 等(2010)提出的 GVC_position 指标和 GVC_participation 指标,分别表示一国参与全球价值链的深度和广度,计算公式如式(7)和式(8)所示。参与势力层面的代理指标为附加值口径下的显示性比较优势指数(RCA_VA_{ij}),反映一国某产业的国际竞争力,计算公式如式(9)所示。

$$GVC_Participation = IV_{ij}/E_{ij} + FV_{ij}/E_{ij} \quad (7)$$

$$GVC_Position = \ln(1 + IV_{ij}/E_{ij}) - \ln(1 + FV_{ij}/E_{ij}) \quad (8)$$

$$RCA_VA_{ij} = \frac{DV_{ij}}{\sum_{i=1}^m DV_{ij}} / \frac{\sum_{j=1}^m DV_{ij}}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m DV_{ij}} \quad (9)$$

在构建装备制造业低碳升级指标体系的基础上,本文采用熵权-TOPSIS 模型进行赋权和评价,计算得到装备制造业低碳升级指数。TOPSIS 法通过对各指标与理想化的贴近度排序进行评价分析(胡鞍钢,2015),但其中指标权重是由专家评估确定的,存在一定的主观性,为了减少这一主观偏误,本文用熵权法的客观赋权进行修正,熵权-TOPSIS 模型相较于单一的熵权法或 TOPSIS 法更加合理(卢强等,2013)。

2. 解释变量: 对外直接投资 (OFDI)

选取对外直接投资流量作为代理指标,取对数以减少估计偏误。

3. 中介变量

(1) 边际产业转移效应(路径1): 增加值率(*VAR*)。通过边际产业转移, 可以实现将国内产业链中高污染、低附加值环节转移至国外, 大大释放国内资源压力, 优化资源配置, 向价值链两端研发、营销等高附加值环节拓展。本文选择增加值率指标反映边际产业转移效应, 增加值率越大, 边际产业转移效应越显著。增加值率用行业规模增加值占总产出的比重表示: $\text{增加值率} = \text{增加值} / \text{总产出}$ 。

(2) 逆向技术溢出效应(路径2): 绿色全要素生产率(*GTCH*)。逆向技术溢出效应主要表现在, 汲取国外先进技术和管理经验, 实现整个生产流程的低碳高效化。本文将绿色全要素生产率的分解项——绿色技术溢出度作为逆向技术溢出效应的代理指标。采用基于数据包络分析法(*DEA*)的Malmquist指数, 测算得到绿色全要素生产率。

(3) 前向关联效应(路径3): 研发强度(*RD*)。研发强度反映了上游研发设计情况, 研发经费支出占比越高, 说明对外直接投资驱动装备制造业实现自主研发设计能力提升的效用越大。鉴于数据可得性, 销售收入以主营业务收入作为替代指标。研发强度(*RD*)的计算公式为: $\text{研发强度} = \text{研发经费支出} / \text{行业总产值}$ 。

(4) 后向关联效应(路径4): 营销能力(*BMI*)。营销能力用以反映下游营销服务状况, 营销能力系数越高, 说明OFDI越能带动中国装备制造业销售服务水平的提升。营销能力(*BMI*)的计算公式为: $\text{营销能力} = \text{销售费用} / \text{销售收入}$ 。

4. 控制变量

对外开放程度(*OPEN*)的高低, 反映了中国与其他国家在经济以及技术方面的联系与交流, 本文用装备制造业的出口交货值占行业总产值的比重表示对外开放程度。外商直接投资(*FDI*)以最直接的方式将资本、先进技术、管理经验等输入东道国, 为其全球价值链低碳升级提供直接的资金和技术支持, 本文选取实收外商资本金作为代理指标。人力资本(*HR*)在知识转化、技术创新方面发挥着举足轻重的作用, 高质量科技人员是实现装备制造业全球价值链低碳升级的持续动力源泉, 本文采用从事科研人员数量占行业从业人员数量的比例衡量人力资本水平。行业规模(*IS*)越大, 生产要素集聚规模效应越显著, 生产成本的下降和投入产出比的上升使装备制造业获得了比较优势, 本文用工业销售现值作为行业规模的代理指标。

(二) 数据说明

被解释变量为装备制造业全球价值链低碳升级指数, 原始测算数据来源于对外经济贸易大学全球价值链数据库(*UIBE GVC Index*)、WIOD数据库以及UNCTAD数据库。解释变量OFDI数据来源于历年的《中国对外直接投资统计公报》。中介变量以及控制变量的指标均来自历年的《中国工业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国科技统计年鉴》。本文尽最大可能使用最新数据开展实证研究, 考虑到数据的可获取性和统计口径一致性问题, 将面板数据时期确定为2000—2019年。鉴于WIOD数据库的投入产出表提供的最新数据截至2014年, 采用灰色预测模型

将低碳升级指数补充到2019年，实现被解释变量与解释变量和中介变量的研究时期保持一致。因不同数据库和统计年鉴对于装备制造业细分行业的划分不一，本文将国内统计年鉴中的中国装备制造业细分行业与世界投入产出表中的行业进行了匹配（如表2所示），以便开展后续研究。

表2 装备制造业行业匹配

WIOD 行业	工业统计年鉴对应行业
C16	金属制品业
C17	计算机、通信和其他电子设备制造业
C18	电气机械及器材制造业
C19	通用设备制造业；专用设备制造业；仪器仪表制造业；金属制品、机械和设备修理业
C20 和 C21	汽车制造业；铁路、船舶、航空等运输设备制造业

资料来源：根据世界投入产出表（WIOD）和《中国工业统计年鉴》制造业行业分类整理得到。

所有控制变量和解释变量在进行中介效应检验之前均进行了VIF检验和平稳性检验，VIF小于10且均为平稳序列，变量间存在长期协整关系。运用Stata15统计软件进行Hausman检验后，选择了固定效应模型，从装备制造业整体层面以及五个细分行业层面进行回归分析。

四、实证结果与分析

（一）装备制造业整体层面的中介效应分析

先从装备制造业整体层面检验对外直接投资对全球价值链低碳升级的中介效应，表3中列（1）至列（6）对应的是中介模型（1）至模型（6）的回归结果。

回归结果表3列（1）中， $\ln OFDI$ 的系数为0.203，在5%的水平上显著，说明对外直接投资对装备制造业全球价值链低碳升级有促进作用。表3中模型（2）至模型（5）的结果，反映了 $\ln OFDI$ 对四个中介变量的影响。回归结果显示，对外直接投资对逆向技术溢出和前向关联有显著影响，对边际产业转移和后向关联影响不显著。结合模型（6），计算路径2和路径3的中介效应，路径2的中介效应值为0.049（ 0.103×0.476 ），在1%的水平上显著；路径3的中介效应值为0.029（ 0.121×0.240 ），在10%的水平上显著。这意味着对外直接投资通过路径2和路径3促进了装备制造业全球价值链低碳升级，每提高1个百分点，会推动装备制造业全球价值链低碳升级指数分别提升0.049和0.029。中国OFDI不能通过边际产业转移中介效应促进装备制造业全球价值链低碳升级，原因可能在于，中国寻求廉价劳动力和原材料资源、降低生产成本的边际产业转移，造成了中国装备制造业前期发展中积累的资金外逃，带来产业空心化风险，同时国内制造业投资、就业和产出规模下降，离本土化问题显现（胡立君等，2013），因此影响了装备制造业发展和全

球价值链低碳升级进程。中国 OFDI 的后向关联效应不显著，可能是由于中国装备制造业对下游营销售后等服务环节的需求较小，国内相关人力、知识等要素资源匮乏，制约了中国装备制造业全球价值链攀升，无法通过功能升级和链条升级以实现装备制造业全球价值链低碳升级。

通过以上对特定中介路径的计算，总体中介效应为 0.078 (0.049+0.029)，在 10% 的显著性水平上，对外直接投资通过路径 2 和路径 3 对装备制造业全球价值链低碳升级有正向影响，验证了假说 2 和假说 3。依据模型 (6) 的回归结果可以得到，对外直接投资的直接效应不显著，但通过路径 2 和路径 3 可以促进装备制造业全球价值链低碳升级，进一步计算得到两者的中介效应值占比分别为 63% 和 37%，说明通过逆向技术溢出路径产生的中介效应要强于前向关联。

为确保逐步回归法检验中介效应的准确性，本文同时运用 Bootstrap 法进行检验，结果与逐步回归法一致（见表 4）。中国 OFDI 通过逆向技术溢出以及前向关联两条路径对装备制造业全球价值链低碳升级起到了促进作用。

表 3 装备制造业总体中介效应回归结果

变量	<i>GVCUP</i>	<i>VAR</i>	<i>GTCH</i>	<i>RD</i>	<i>BMI</i>	<i>GVCUP</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>lnOFDI</i>	0.003 ** (0.049)	0.016 (0.026)	0.103 *** (0.010)	0.121 ** (0.053)	-0.03 (0.051)	0.001 (0.000)
<i>lnVAR</i>	—	—	—	—	—	0.422 * (0.250)
<i>lnGTCH</i>	—	—	—	—	—	0.476 *** (0.136)
<i>lnRD</i>	—	—	—	—	—	0.240 * (0.125)
<i>lnBMI</i>	—	—	—	—	—	0.650 *** (0.158)
<i>lnHR</i>	0.044 (0.078)	0.078 ** (0.034)	-0.065 ** (0.025)	0.659 *** (0.08)	0.027 (0.076)	0.001 (0.002)
<i>lnOPEN</i>	3.174 * (1.775)	2.251 *** (0.733)	2.881 *** (0.292)	0.641 *** (0.151)	0.205 *** (0.032)	0.005 (0.005)
<i>lnFDI</i>	0.726 *** (0.141)	0.032 (0.058)	0.126 *** (0.022)	-0.334 *** (0.111)	-0.238 *** (0.051)	-0.011 *** (0.002)
<i>lnIS</i>	-0.418 *** (0.101)	-0.194 *** (0.062)	0.000 ** (0.000)	0.062 (0.121)	0.393 *** (0.131)	0.000 ** (0.000)
常数项	-2.063 *** (0.366)	-0.266 (0.257)	0.998 *** (0.169)	1.371 ** (0.663)	-2.356 *** (0.602)	0.115 *** (0.019)
调整后的 R ²	0.442	0.812	0.676	0.907	0.840	0.561
个体固定	是	是	是	是	是	是
时间固定	是	是	是	是	是	是

注：*、**和***分别表示估计系数在10%、5%和1%的水平上显著。下表同。

表4 装备制造业总体 Bootstrap 法中介效应检验结果

中介效应路径	中介效应值	95%置信区间	抽样次数
<i>VAR</i>	-0.003	[-0.008, 0.002]	500
<i>GTCH</i>	-0.022 ***	[-0.039, -0.005]	500
<i>RD</i>	0.035 ***	[0.009, 0.061]	500
<i>BMI</i>	0.005	[-0.002, 0.011]	500

(二) 分行业的中介效应分析

为了进一步分析中国 OFDI 对装备制造业全球价值链低碳升级的中介效应是否具有行业异质性, 本文对装备制造业细分行业进行分类。参照李小平和卢现祥 (2010) 研究中测算的碳排放系数, 将装备制造业细分行业分为高碳细分行业 and 低碳细分行业两类, 其中高碳细分行业包括金属制品业、计算机、通信和其他电子设备制造业, 低碳细分行业包括电气机械及器材制造业、通用设备制造业、专用设备制造业和运输设备制造业, 在此基础上进一步从细分行业层面对装备制造业进行中介效应检验。

表5 报告了装备制造业高碳细分行业 and 低碳细分行业样本的中介回归结果, 从模型 (7) 来看, 高碳细分行业的 $\ln OFDI$ 系数为 -0.264, 说明对外直接投资对其全球价值链低碳升级有显著的负直接效应, 对外直接投资每提升 1 个百分点, 装备制造业高碳细分行业的全球价值链低碳升级指数降低 0.264。同时模型 (12) 中 $\ln OFDI$ 的回归系数不显著, 表明存在中介效应。根据模型 (8) 至模型 (12) 的回归结果可以发现, 边际产业转移和逆向技术溢出两条路径均在 5% 的水平上显著, 而前向关联和后向关联两条路径不显著。经计算, 路径 1 和路径 2 的中介效应值分别为 0.014 (-0.018×-0.791) 和 0.012 (-0.054×-0.231), 得到总体中介效应为 0.026 ($0.014 + 0.012$), 两者占比分别为 54% 和 46%, 表明装备制造业高碳细分行业的对外直接投资通过边际产业转移对全球价值链低碳升级的中介作用要略大于逆向技术溢出路径。出现以上结果的原因可能是高碳行业在生产过程中碳排放较高, 通过对外直接投资将高碳排放的行业转移至国外, 可以有效地推进装备制造业低碳化发展的进程, 实现全球价值链低碳升级。在低碳细分行业层面, 模型 (8) 至模型 (12) 的回归结果显示, 逆向技术溢出和前向关联两条路径分别在 10% 和 5% 的水平上显著, 而边际产业转移和后向关联两条路径不显著。经计算, 路径 2 和路径 3 的中介效应值分别为 0.010 (0.035×0.273) 和 0.009 (0.070×0.126), 总体中介效应为 0.019 ($0.010 + 0.009$), 路径 2 和路径 3 分别占总体中介效应的 53% 和 47%, 说明通过逆向技术溢出路径促进全球价值链低碳升级的中介效应要略大于前向关联路径。出现以上结果的原因可能是, 低碳细分行业在绿色化进程中已经在很大程度上考虑到了碳排放问题。在中国装备制造业对全球价值链下游环节需求不足的现实背景下, 将外国技术以及生产管理经验吸收转化, 应用到国内装备制造业低碳细分行业的生产制造环节, 同时鼓励科研, 加强研发投入, 成为全球价值链低碳升级的应对之策。

表5 细分行业样本中介效应回归结果

变量	(7) <i>GVCUP</i>		(8) <i>VAR</i>		(9) <i>GTCH</i>	
	高碳	低碳	高碳	低碳	高碳	低碳
<i>lnOFDI</i>	-0.264 ** (0.119)	-0.202 ** (0.045)	-0.018 ** (0.008)	-0.044 (0.035)	-0.054 * (0.031)	0.035 ** (0.018)
<i>lnVAR</i>	—	—	—	—	—	—
<i>lnGTCH</i>	—	—	—	—	—	—
<i>lnRD</i>	—	—	—	—	—	—
<i>lnBMI</i>	—	—	—	—	—	—
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-3.865 *** (1.291)	-2.966 ** (0.847)	-1.252 *** (0.122)	-0.976 ** (0.526)	2.360 *** (0.348)	1.395 ** (0.325)
固定效应	是	是	是	是	是	是
调整后的 R ²	0.473	0.920	0.708	0.963	0.758	0.904
变量	(10) <i>RD</i>		(11) <i>BMI</i>		(12) <i>GVCUP</i>	
	高碳	低碳	高碳	低碳	高碳	低碳
<i>lnOFDI</i>	0.366 *** (0.090)	0.070 *** (0.023)	-0.030 (0.049)	-0.014 (0.050)	-0.010 (0.000)	0.183 ** (0.081)
<i>lnVAR</i>	—	—	—	—	-0.791 *** (0.243)	-0.295 *** (0.056)
<i>lnGTCH</i>	—	—	—	—	-0.231 ** (0.097)	0.273 *** (0.081)
<i>lnRD</i>	—	—	—	—	-0.057 (0.092)	0.126 ** (0.056)
<i>lnBMI</i>	—	—	—	—	0.233 (0.017)	6.445 *** (1.181)
控制变量	是	是	是	是	是	是
常数项	-1.359 (1.378)	-0.012 (0.410)	-1.467 ** (0.715)	-1.192 * (0.623)	-1.144 *** (0.674)	-5.546 *** (1.235)
固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.904	0.925	0.722	0.687	0.689	0.518

为保证依次检验过程中的准确性,本文同时运用 Bootstrap 进行验证。表6报告了装备制造业高碳和低碳细分行业的 Bootstrap 法检验结果,中介效应的有效路径同上文一样,高碳细分行业通过边际产业转移以及逆向技术溢出两条路径促进全球价值链低碳升级,低碳细分行业通过逆向技术溢出以及前向关联两条路径促进全球价值链低碳升级。

表6 细分行业样本 Bootstrap 法中介效应检验结果

中介效应 路径	中介效应值		95%置信区间		抽样次数	
	高碳	低碳	高碳	低碳	高碳	低碳
<i>VAR</i>	0.024 **	0.007	[0.005, 0.043]	[-0.047, 0.045]	500	500
<i>GTCH</i>	-0.079 **	-0.022 **	[-0.156, -0.001]	[-0.041, -0.003]	500	500
<i>RD</i>	0.015	0.016 **	[-0.097, 0.067]	[0.002, 0.029]	500	500
<i>BMI</i>	0.002	0.004	[-0.017, 0.022]	[-0.006, 0.015]	500	500

(三) 稳健性与内生性分析

为保证实证结果的可靠性,本文进行了稳健性检验:一是替换解释变量,将核心解释变量 $\ln OFDI$ 用人均 $\ln OFDI$ 替换,重新进行中介效应检验,检验结果显示主要变量的回归结果与上述分析保持一致,均在 1%或 10%水平上显著,且只有路径 2 和路径 3 的中介效应显著;二是增加 Bootstrap 检验的抽样次数,将抽样次数分别增加到 1 000 次、1 500 次和 2 000 次重新进行检验,检验结果表明路径 2 和路径 3 的中介效应值依旧显著,可以支持本文的研究结论。

五、结论与政策建议

(一) 结论

本文通过梳理 OFDI 驱动装备制造业全球价值链低碳升级的作用机理,提出四个假说,即 OFDI 通过边际产业转移效应、逆向技术溢出效应、前向关联效应和后向关联效应促进装备制造业全球价值链低碳升级,基于此构建了并行多重中介效应模型,通过实证研究得出如下结论:

(1) 在装备制造业整体层面,OFDI 逆向技术溢出效应和前向关联效应的中介作用显著,边际产业转移效应和后向关联效应的中介作用不显著。同时,OFDI 通过逆向技术溢出效应对全球价值链低碳升级的中介作用大于前向关联效应。

(2) 在装备制造业细分行业层面,OFDI 对全球价值链低碳升级的中介效应具有行业异质性。低碳细分行业的中介效应检验结果与整体层面一致,区别在于在低碳细分行业逆向技术溢出与前向关联效应之间的差距要小于装备制造业整体层面。而在高碳细分行业,边际产业转移和逆向技术溢出的中介效应显著,前向关联和后向关联效应的中介作用不显著,同时不考虑中介变量,OFDI 会抑制高碳细分行业的全球价值链低碳升级。

(二) 政策建议

结合上述研究结论以及中国装备制造业发展现状,本文提出以下政策建议:

(1) 适度扩大 OFDI 规模,充分发挥 OFDI 通过逆向技术溢出和前向关联对于装备制造业全球价值链低碳升级的正向效应。一方面通过投资发达国家,获取先进研发要素、引进低碳技术和完善研发成果反馈渠道,促进全球价值链低碳升级;另

一方面加大研发人员培养和研发投入力度,尤其是增加有利于能源利用效率提升和清洁能源开发的研发投入,推进装备制造业全球价值链低碳化进程。同时要关注过度 OFDI 带来的产业空心化以及离本土化问题,避免出现影响装备制造业发展规模、发展效率以及绿色进程的现象。

(2) 注重行业异质性,制定针对性政策。OFDI 驱动装备制造业高碳细分行业和低碳细分行业全球价值链低碳升级的路径不一致,需要制定适合不同行业的政策。高碳细分行业要着重解决碳排放问题,虽然可以通过对外直接投资适度将部分边际高碳排放行业转移至有需求且生产要素成本低廉的国家,但更重要的是不断优化装备制造业细分行业结构,同时学习先进国家的低碳生产技术并将其吸收应用到国内生产制造环节,以推动高碳细分行业的低碳化进程。而对于低碳细分行业,除学习先进技术和增大研发投入外,需要挖掘价值链营销服务环节的潜在需求,拓展低碳升级新渠道。

(3) 调整能源结构,提高能源利用率。能源结构转型升级对于发展低碳经济具有重要作用,中国能源消耗结构中,煤炭消耗仍居首位,其他化石能源在能源消耗总量中占比较小。与此同时,中国新能源开发领域潜力巨大。能源利用效率的提升可以减少能源消费的总量水平,提高全球价值链的参与质量,实现低碳发展水平进一步提升。

(4) 加强国际间交流协作,推动技术进步。目前国际上已经有国家初步形成了节能减排、保护环境的低碳发展机制,实践证明有积极影响。中国应引入这些机制,立足国情进行改进与创新,实现与国际技术链条的衔接。此外,中国还应加强与低碳水平较高国家的沟通合作,接触前沿技术,驱动自主研发,不断探索可持续发展新模式,与世界各国一起,共同应对能源枯竭和气候变化带来的双重挑战。

[参考文献]

- [1]白雪洁,于庆瑞. OFDI 是否导致中国“去工业化”[J]. 财经论丛, 2019(11): 3-11.
- [2]陈艺毛,李春艳,杨文爽. 中国制造业国际分工地位与产业升级分析——基于增加值贸易视角[J]. 经济问题, 2019(5): 105-114.
- [3]戴翔,徐柳,张为付. “走出去”如何影响中国制造业攀升全球价值链[J]. 西安交通大学学报(社会科学版), 2018, 38(2): 11-20.
- [4]韩先锋,李勃昕,刘娟. 中国 OFDI 逆向绿色创新的异质动态效应研究[J]. 科研管理, 2020, 41(12): 32-42.
- [5]胡鞍钢. 中国:创新绿色发展[M]. 北京:中国人民大学出版社, 2012.
- [6]胡立君,薛福根,王宇. 后工业化阶段的产业空心化机理及治理——以日本和美国为例[J]. 中国工业经济, 2013(8): 122-134.
- [7]黄光灿,王珏,马莉莉. 全球价值链视角下中国制造业升级研究——基于全产业链构建[J]. 广东社会科学, 2019(1): 54-64.
- [8]贾妮莎,雷宏振. 中国 OFDI 与“一带一路”沿线国家产业升级——影响机制与实证检验[J]. 经济科学, 2019(1): 44-56.
- [9]江强,王立成. OFDI 对母国国际分工地位的影响机理及实证研究[J/OL]. 东岳论丛, 2021(5): 68-75.

- [10]李梦溪,朱延福,余东升.中国对外直接投资对产业结构调整的影响[J].亚太经济,2020(3):85-94+151.
- [11]李小平,卢现祥.国际贸易、污染产业转移和中国工业CO₂排放[J].经济研究,2010,45(1):15-26.
- [12]柳士顺,凌文铨.多重中介模型及其应用[J].心理科学,2009,32(2):433-435+407.
- [13]刘皖青,张战仁,张润强.中国全球创新价值链嵌入模式探析[J].世界地理研究,2018,27(6):127-133.
- [14]卢强,吴清华,周永章,等.广东省工业绿色转型升级评价的研究[J].中国人口·资源与环境,2013(7):34-41.
- [15]罗军,冯章伟.制造业对外直接投资与全球价值链地位升级[J].中国科技论坛,2018(8):76-82+91.
- [16]罗良文,成晓杰.中国OFDI推动低碳经济的路径构建[J].技术经济,2013,32(7):76-81+116.
- [17]聂名华,齐昊.对外直接投资能否提升中国工业绿色创新效率——基于创新价值链与空间关联的视角[J].世界经济研究,2019(2):111-122+137.
- [18]宋雯彦,韩卫辉.环境规制、对外直接投资和产业结构升级——兼论异质性环境规制的门槛效应[J].当代经济科学,2021,43(2):109-122.
- [19]温忠麟,叶宝娟.中介效应分析:方法和模型发展[J].心理科学进展,2014,22(5):731-745.
- [20]杨翠红,田开兰,高翔,等.全球价值链研究综述及前景展望[J].系统工程理论与实践,2020,40(8):1961-1976.
- [21]杨栋旭,周菲.对外直接投资与中国产业结构升级——基于产能转移与技术进步双重视角的研究[J].经济问题探索,2020(10):124-134.
- [22]杨丽丽,盛斌.制造业OFDI的产业“空心化”非线性效应研究——基于中国省际面板数据的PSTR分析[J].现代经济探讨,2019(2):63-72.
- [23]杨连星,罗玉辉.中国对外直接投资与全球价值链升级[J].数量经济技术经济研究,2017,34(6):54-70.
- [24]余娟娟.全球价值链嵌入影响了企业排污强度吗——基于PSM匹配及倍差法的微观分析[J].国际贸易问题,2017(12):59-69.
- [25]张伟,游建民.全球价值链下产业链绿色低碳化升级研究[J].江西财经大学学报,2017(4):3-13.
- [26]ACHABOU M A, DEKHILI S, HAMDOUN M. Environmental Upgrading of Developing Country Firms in Global Value Chains[J]. Business Strategy and the Environment, 2017, 26(2): 224-238.
- [27]CANTWELL J, TOLENTINO P E. Technological Accumulation and Third World Multinationals[J]. Discussion Paper in International Investment and Business Studies, 1990, 139: 1-58.
- [28]FREEDMAN L S, SCHATZKIN A. Sample Size for Studying Intermediate Endpoints within Intervention Trials or Observational Studies[J]. American Journal of Epidemiology, 1992, 136: 1148-1159.
- [29]KOJIMA K. Direct Foreign Investment: A Japanese Model of Multinational Business Operation[M]. London: Croom Helm Press, 1978.
- [30]KOOPMAN R, WANG Z, WEI S. Give Credit Where Credit Is Due: Tracing Value Added in Global Production Chains[R]. NBER Working Paper, 2010, No. 16426.
- [31]MATHEWS J A. Dragon Multinationals: New Players in 21st Century Globalization[J]. Asia Pacific Journal of Management, 2006, 23(1): 5-27.
- [32]MENG B, YE M, WEI S M. Measuring Smile Curves in Global Value Chains[J]. Oxford Bulletin of Economics and Statistics, 2020, 82(5): 988-1016.
- [33]SCHROEDER P, DEWICK P, KUSI S. Circular Economy and Power Relations in Global Value Chains: Tensions and Trade-offs for Lower Income Countries[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2018, 136: 77-78.

- [34] VERNON R A. International Investment and International Trade in the Product Cycle[J]. The International Executive, 1966, 8(4): 16-16.
- [35] ZHANG Z, ZHU K, GEOFFREY J D. A Multi-regional Input Output Analysis of the Pollution Haven Hypothesis from the Perspective of Global Production Fragmentation[J]. Energy Economics, 2017, 64: 13-23.

Exploring the Path of OFDI Driven Low-carbon Upgrade of China's Equipment Manufacturing Global Value Chain

WANG Ying, LIU Ting

(School of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, Jiangsu, 211106)

Abstract: This paper incorporated the concept of “low-carbon economy” into the global value chain low-carbon upgrade mechanism of China's equipment manufacturing industry (EMI). Adopting panel data of China's EMI from 2000 to 2019, the study developed multi-mediation models to estimate four distinguished paths for assessing how China's outward foreign direct investment (OFDI) affected its low-carbon upgrade mechanism of China's EMI in the global value chain. The findings reveal that at the overall level of EMI, China's OFDI can promote the upgrade of low-carbon potential in the global value chain through reverse technology spillover effect and forward correlation effect. However, the mediating effect of the marginal industry transfer effect and backward correlation effect is not significant. In the context of sub-industry, the empirical results of low-carbon sub-industry are consistent with the overall level. Whereas, in high-carbon sub-industries, the direct effect of China's OFDI on the low-carbon upgrade of the global value chain is negative, and the low-carbon level of global value chain can be improved through the critical roles of marginal industry transfer effect and reverse technology spillover effect.

Keywords: OFDI; Equipment Manufacturing Industry; Global Value Chain; Low-carbon Upgrade; Multi-mediating Effects

(责任编辑 武 齐)