

国际产品内分工对中国工业行业 环境技术效率的影响效应研究

陈 颂 卢 晨

摘要：经济全球化及国际分工深化与环境问题密切相关。本文从理论上分析了参与国际产品内分工对中国工业行业环境技术效率的影响及其作用机理，并采用基于DEA技术的SBM方向性距离函数模型和世界投入产出数据对此开展了实证检验。结果表明：以中间品进口和中间品出口两种方式参与GVC分工都会对行业环境技术效率产生显著的正向影响，证明了中国进出口贸易高速增长及快速融入全球价值链分工体系是促进国内工业转型升级和低碳经济发展的重要动力。但是这种正向影响主要源于对技术效率的改进，而不是对技术进步和创新的推动。GVC分工地位对环境效率的提升具有调节作用，处于GVC高端环节的行业将获得更大的环境技术效率提升。

关键词：国际产品内分工；环境技术效率；SBM方向性距离函数

[中图分类号] F426 [文献标识码] A [文章编号] 1002-4670 (2019) 12-0046-15

引 言

经济全球化和国际分工的深化推动着世界范围内自由贸易的快速发展和福利的大幅增进，与此同时，也引起了人们对资源环境问题的广泛关注和讨论。伴随着我国对外贸易和经济的持续增长，资源利用效率低下、环境污染严重、能源消耗巨大等问题也日益凸显。

现代增长理论对经济增长源泉的探讨也从单要素生产率发展到综合考虑资本、劳动、能源及污染约束下的绿色生产率。学者们尝试在Malmquist生产率指数的基础上，将能源投入和环境污染纳入到生产技术效率的评价框架中，将污染排放当作具有弱处置性的非期望产出，利用方向性距离函数和DEA技术计算考虑资源环境因素的Malmquist-Luenberger指数。为了更好地解决投入产出的松弛问题以及可能由于径向及角度选择引致的偏差，学者们又发展出基于非径向、非角度SBM

[基金项目] 福建省社会科学规划项目“福建省企业对外直接投资的逆向技术溢出机制及效应研究”(FJ2017B038)；福建省高校杰出青年科研人才计划项目“金融发展与经济增长——基于人力资本积累的视角”(FJ201500729)。

[作者信息] 陈颂：厦门大学嘉庚学院国际商务学院副教授、硕士生导师；卢晨（通讯作者）：厦门大学嘉庚学院国际商务学院副教授、硕士生导师 363105 电子信箱 luchen@xujc.com。

(Slack-based Model) 模型的 SBM 方向性距离函数, 这一方法已得到较广泛的认可和应用 (Zhou et al., 2006^[1]; Färe et al., 2012^[2]; Goto et al., 2014^[3])。近年来, 我国学者也逐渐采用此方法来对我国经济发展过程中的环境技术效率水平及其变化进行评估 (胡鞍钢等, 2008^[4]; 涂正革, 2008^[5]; 王兵等, 2010^[6]; 石旻等, 2016^[7])。然而, 大多数文献主要采用全国或省际的宏观面板数据, 对我国省际区域或省际工业的环境技术效率进行测度, 较少从行业层面研究中国工业的环境技术效率, 探讨其影响因素及提升机制。

在以全球价值链 (Global Value Chains, 下文简称 GVC) 分工为特征的新型国际分工模式下, 中国利用自身优势要素积极融入国际产品内分工, 成为国际生产网络特定环节的重要配置地, 并以出口导向的加工贸易模式成为了“世界工厂” (杨高举和黄先海, 2013)。因此, 中国的环境问题与经济全球化密切相关, 不仅仅是国内生产和消费活动的结果, 也是中国深度参与 GVC 分工体系以及与此相关联的产品内贸易急剧增加的结果。学者们从不同角度采用不同方法从理论和实证层面对中国参与国际贸易的环境效应进行了大量的研究和评估, 得出的结论不尽相同。比如, 李秀香和张婷 (2004)^[9] 以环境库兹涅茨曲线以及 Grossman 和 Kruger (1992)^[10] 的贸易环境效应分解理论为基础, 实证分析了我国出口扩大对环境 (CO₂) 的影响, 发现出口的增长并没有带来人均 CO₂ 排放量的大量增加, 相反, 在一定程度上却减少了人均 CO₂ 的排放。马翠萍和史丹 (2016)^[11] 的经验研究结果却表明: 1960—2010 年中国经济增长与碳排放存在“N”形曲线关系, 贸易开放对中国人均碳排放存在正向影响, 贸易开放程度每提高 1%, 人均碳排放量增加 0.3%。何洁 (2010)^[12] 通过建立一个四方程联立系统, 选取中国 29 个省、自治区、直辖市 1993—2001 年工业 SO₂ 排放的面板数据进行实证检验, 估计结果显示, 出口和进口在工业 SO₂ 排放的决定中起到了完全相反的作用: 出口增加排放, 而进口减少排放。

然而, 此类研究都没有考察在全球价值链分工模式下贸易增长对我国环境的影响。对于发展中国家来说, 融入全球生产网络的产品内分工体系, 将使其比较优势不再局限于传统产业, 有可能体现在或者逐渐攀升到某些结构层次更高的生产区段上 (戴翔, 2010)^[13]。同时, 发展中国家通过参与产品内国际分工吸收海外直接投资或承接跨国公司外包业务, 能够更多地获取外源技术知识、增强创新能力, 从而有利于提升其生产效率和资源环境效益。因此, 需要从中国参与国际产品内分工的角度谨慎地评估我国经济贸易增长与资源环境的关系。

目前关于这一问题的研究有一些有意义的探索, 大致分为两类: 第一类是将某一个反映参与 GVC 分工程度的单一指标 (如垂直专业化指数 VS) 引入贸易的环境效应分析框架中作为一个影响因素, 通过得到的回归系数来判断参与 GVC 分工对我国污染排放总量的影响 (戴翔, 2010; 黄娟和田野, 2012^[14]; 黄凌云等, 2017^[15]); 另一类是运用投入产出法分别计算进口中间品、进口制成品、出口中间品、出口制成品的总污染排放量, 然后进行对比分析 (张相等, 2012^[16]; 潘安, 2017^[17])。但是这种核算方法的特点决定了测度的污染排放量

无法对应到具体行业，因为其核算的并不是特定行业自身贸易量变化引致的自身污染排放量（或减排量）的变化，而是包括该行业在内的所有行业单位产出或贸易量的变化通过行业间的完全消耗关系引致该行业的排放量的变化。因此，用这种方法无法衡量微观行业层面通过不同模式参与 GVC 分工是否能够使其自身的环境技术效率提升。

本文将研究具体到行业层面，采用基于 DEA 技术的 SBM 方向性距离函数模型测度我国 17 个工业行业的环境全要素生产率指数；利用世界投入产出表数据深入探讨各行业参与 GVC 分工的模式、程度、层次对行业的环境技术效率会产生怎样的影响；通过对环境全要素生产率指数进行分解来进一步分析这种影响的作用途径。以期能够对我国制定科学合理的节能减排目标及相关规制政策、更好地实现经济贸易增长与可持续发展的平衡提供一定的参考。

一、环境技术效率的测度

（一）测度方法

本文采用 SBM 方向性距离函数模型测度中国工业行业的环境技术效率，根据 Tone (2003)^[18]的方法，定义不变规模报酬下考虑资源环境因素的 SBM 方向性距离函数为：

$$D_c^t(x_0^t, y_0^{g,t}, y_0^{b,t}, g^x, g^g, g^b) = \max_{s^x, s^g, s^b} \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{s_m^x}{g_m^x} \right) + \frac{1}{N+I} \left(\sum_{n=1}^N \frac{s_n^g}{g_n^g} + \sum_{i=1}^I \frac{s_i^b}{g_i^b} \right) \right]$$

$$\text{st. } x_0^t = X^t \lambda + s_m^x, y_0^{g,t} = Y^{g,t} \lambda - s_n^g, y_0^{b,t} = Y^{b,t} \lambda + s_i^b, \lambda \geq 0, s_m^x, s_n^g, s_i^b \geq 0 \quad (1)$$

其中， $(x_0^t, y_0^{g,t}, y_0^{b,t})$ 是特定工业行业的投入产出向量， (g^x, g^g, g^b) 是表示投入和非期望产出压缩、期望产出扩张的方向向量， (s_m^x, s_n^g, s_i^b) 是投入产出松弛向量， $\left(\frac{s_m^x}{g_m^x}, \frac{s_n^g}{g_n^g}, \frac{s_i^b}{g_i^b} \right)$ 是标准化的松弛比率。

从式 (1) 可以看出，该测度方法即是求投入无效率和产出无效率的平均值之和的最大化，因此其衡量的是特定决策单元与技术前沿面相比的无效率程度，松弛量 (s_m^x, s_n^g, s_i^b) 越大，决策单元效率越低。

基于式 (1) 的 SBM 方向性距离函数， t 期和 $t+1$ 期之间的环境全要素生产率 Luenberger 指数（下文简称 L 指数）为：

$$L_t^{t+1} = \frac{1}{2} \left\{ \left[D_c^t(x^t, y^{g,t}, y^{b,t}; g) - D_c^t(x^{t+1}, y^{g,t+1}, y^{b,t+1}; g) \right] + \left[D_c^{t+1}(x^t, y^{g,t}, y^{b,t}; g) - D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{g,t+1}, y^{b,t+1}; g) \right] \right\} \quad (2)$$

根据 Färe 等 (1994)^[19]的思路，将 L 指数进一步分解为效率变化指数 LEC 和技术进步指数 LTP ：

$$LEC_t^{t+1} = D_c^t(x^t, y^{g,t}, y^{b,t}; g) - D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{g,t+1}, y^{b,t+1}; g) \quad (3)$$

$$LTP_t^{t+1} = \frac{1}{2} \left\{ \left[D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{g,t+1}, y^{b,t+1}; g) - D_c^t(x^{t+1}, y^{g,t+1}, y^{b,t+1}; g) \right] + \left[D_c^{t+1}(x^t, y^{g,t}, y^{b,t}; g) - D_c^t(x^t, y^{g,t}, y^{b,t}; g) \right] \right\} \quad (4)$$

LEC 指数衡量了从 t 期到 $t+1$ 期生产决策单元到达最佳实践前沿面的追赶程度, 当 $LEC > 1$ 时, 表明决策单元的生产更接近最佳前沿面, 效率有所提高; 而 LTP 指数衡量了从 t 期到 $t+1$ 期技术前沿的移动, 当 $LTP > 1$ 时, 说明最佳前沿面向上推移, 技术出现了进步和创新。

(二) 指标选取及数据说明

根据上述方法, 本文测度了 2005—2014 年全国 17 个工业行业^①的环境全要素生产率指数, 所需要的投入产出数据如下。

(1) 投入数据。投入要素包括资本、劳动力和能源。其中, 资本投入选择各行业固定资产投资额, 并以固定资产投资价格指数进行平减, 从而得到以 2005 年为不变价格的资本投资流量, 然后使用永续盘存法估计存量, 资本折旧率按照普遍采用的 5%, 初始年份选择 1995 年。劳动力投入以各行业年平均就业人数来衡量。考虑到行业间能源消费种类的差异, 能源投入以发电煤耗计算的折算成标准煤的能源消费总量代表。

(2) 产出数据。期望产出以各行业工业总产值度量, 并以分行业工业生产者出厂价格指数折算成 2005 年不变价。至于非期望产出, 参考众多相关文献的做法, 综合考虑到与工业生产过程的关联性、统计的连续性以及我国“十三五规划纲要”中对主要污染物的界定, 本文选择工业 SO_2 排放量作为“坏产出”的代理变量。

以上数据来源于《中国工业统计年鉴》《中国固定资产投资年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。

(三) 测算结果

通过 MAXDEA7.6 软件计算得到的行业环境全要素生产率指数及其分解结果在表 1 中展示。本文根据行业 SO_2 排放量均值, 将 17 个工业行业划分为高排放组和低排放组两类, 并将各组的环境全要素生产率指数均值逐年变动的轨迹以图形显示 (见图 1)。

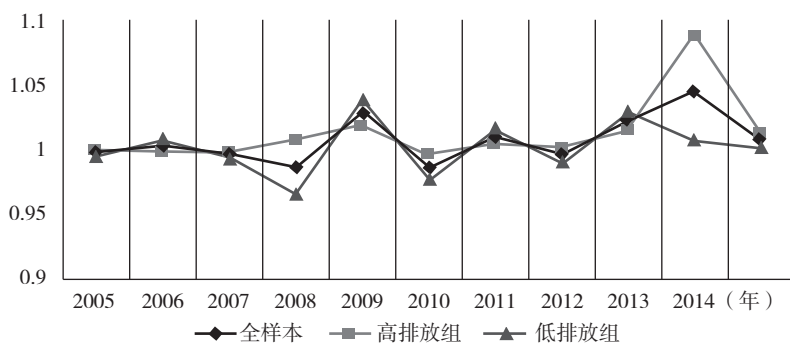


图 1 2005—2014 年中国 17 个工业行业环境全要素生产率指数变动趋势

^① 本文将各相关统计年鉴中所包含的行业与计算 GVC 分工程度和地位的 WIOD 数据库中所涵盖的行业进行比对、合并、删除后保留下来 17 个行业。

表1 2005-2014年中国17个工业行业环境全要素生产率指数及其分解

年份	2005			2006			2007			2008			2009			2010		
	LTP	L	LEC	LTP	L	LEC	LTP	L	LEC	LTP	L	LEC	LTP	L	LEC	LTP	L	LEC
HIGH	1.000	0.952	1.054	1.000	0.957	1.053	0.997	0.985	1.013	1.008	1.007	1.001	1.020	0.977	1.051	0.996	1.108	0.908
H1	1.001	1.000	1.000	1.000	0.992	1.008	1.001	0.997	1.004	1.001	1.001	1.000	1.001	0.995	1.006	1.005	1.008	0.997
H2	1.003	0.876	1.146	1.003	0.997	1.005	1.005	1.011	0.994	1.009	1.015	0.994	1.003	1.000	1.002	0.985	1.182	0.833
H3	1.000	1.001	0.999	1.000	1.005	0.995	1.001	1.003	0.998	1.001	0.998	1.003	1.005	0.999	1.006	1.000	1.015	0.985
H4	0.988	1.000	0.988	0.984	0.775	1.271	0.959	0.891	1.076	1.036	1.060	0.978	1.136	0.828	1.372	0.988	1.177	0.839
H5	1.002	0.885	1.132	1.007	1.002	1.005	1.004	1.004	1.000	1.009	0.997	1.012	1.006	0.996	1.010	0.998	1.159	0.861
H6	1.000	1.000	1.000	1.000	1.002	0.999	1.001	1.004	0.996	1.002	1.001	1.001	1.003	1.000	1.003	0.998	1.011	0.988
H7	1.005	0.866	1.161	1.005	0.880	1.143	1.004	0.968	1.038	1.003	0.987	1.017	1.004	0.995	1.009	0.996	1.306	0.762
H8	1.000	0.990	1.010	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003	0.997
LOW	0.995	0.993	1.003	1.007	1.033	0.975	0.996	1.013	0.986	0.966	1.006	0.961	1.039	0.974	1.068	0.976	1.060	0.925
L1	0.995	1.005	0.990	1.006	1.038	0.969	0.998	1.060	0.942	0.989	1.035	0.955	1.006	0.960	1.048	0.966	0.909	1.063
L2	0.995	1.001	0.994	1.016	1.049	0.969	1.037	1.077	0.963	1.030	1.001	1.029	1.038	1.007	1.031	0.975	1.089	0.896
L3	0.993	0.989	1.005	0.997	1.014	0.983	1.009	1.025	0.984	0.997	0.998	0.999	1.037	0.988	1.049	0.967	1.047	0.923
L4	0.944	0.959	0.984	0.995	0.996	0.999	1.012	1.066	0.949	0.978	0.987	0.991	1.047	1.007	1.040	0.931	1.033	0.902
L5	1.005	0.981	1.025	1.050	1.097	0.958	1.007	1.009	0.998	1.019	1.072	0.950	1.125	1.031	1.091	0.969	1.090	0.889
L6	1.000	1.000	1.000	0.955	1.000	0.955	0.966	1.000	0.966	0.918	0.948	0.969	0.988	0.896	1.103	0.998	1.111	0.898
L7	1.023	1.000	1.023	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.919	1.000	0.919	1.088	1.000	1.088	1.000	1.000	1.000	1.000
L8	1.002	0.998	1.004	1.044	1.106	0.944	0.938	0.878	1.069	0.842	1.010	0.834	1.022	0.880	1.160	1.109	1.258	0.881
L9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.871	1.000	0.871
ALL	0.997	0.974	1.027	1.004	0.997	1.012	0.997	1.000	0.999	0.986	1.006	0.979	1.030	0.975	1.060	0.986	1.082	0.917
年份	2011			2012			2013			2014			均值					
	L	LEC	LTP	L	LEC	LTP	L	LEC	LTP	L	LEC	LTP	L	LEC	LTP			
HIGH	1.004	1.077	0.937	1.002	1.071	0.937	1.016	1.042	0.975	1.088	1.063	1.026	1.013	1.024	0.996			
H1	1.001	0.999	1.002	1.002	1.008	0.994	1.001	1.003	0.998	1.003	0.999	1.004	1.002	1.000	1.001			
H2	1.005	1.074	0.935	0.995	1.062	0.937	0.990	0.997	0.993	0.984	1.079	0.913	0.998	1.029	0.975			
H3	1.001	1.043	0.960	0.999	1.081	0.924	1.003	1.062	0.944	1.002	1.058	0.947	1.001	1.026	0.976			
H4	1.013	1.126	0.900	1.008	1.056	0.955	1.074	1.101	0.976	1.524	1.072	1.423	1.071	1.009	1.078			
H5	1.006	1.164	0.865	1.004	1.119	0.897	1.012	1.066	0.949	1.057	1.029	1.028	1.011	1.042	0.976			
H6	1.000	0.984	1.016	1.001	1.077	0.929	1.000	1.066	0.938	1.118	1.264	0.884	1.012	1.041	0.975			
H7	1.006	1.231	0.817	1.004	1.161	0.864	1.045	1.045	1.001	1.017	1.000	1.017	1.009	1.044	0.983			
H8	1.000	0.996	1.005	1.000	1.006	0.994	1.000	0.999	1.001	1.000	1.008	0.993	1.000	1.000	1.000			
LOW	1.015	0.973	1.047	0.990	1.092	0.909	1.030	1.001	1.029	1.007	1.049	0.969	1.002	1.019	0.987			
L1	1.002	1.026	0.977	1.000	1.076	0.930	1.008	0.997	1.011	1.006	1.047	0.961	0.998	1.015	0.984			
L2	1.012	1.047	0.967	0.978	1.019	0.960	1.047	1.050	0.997	1.069	1.398	0.765	1.020	1.074	0.957			
L3	1.008	1.054	0.957	0.963	1.012	0.952	1.010	1.041	0.970	1.014	1.112	0.912	1.000	1.028	0.973			
L4	1.011	0.962	1.051	0.977	1.101	0.887	0.972	1.009	0.963	0.938	0.963	0.974	0.980	1.008	0.974			
L5	0.968	0.893	1.085	1.047	1.317	0.795	1.069	1.000	1.069	1.050	1.000	1.050	1.031	1.049	0.991			
L6	1.029	0.920	1.118	0.922	1.135	0.812	1.078	1.004	1.074	0.979	0.964	1.016	0.983	0.998	0.991			
L7	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.003	1.000	1.003			
L8	0.957	0.855	1.119	1.232	1.169	1.054	0.898	0.907	0.990	0.944	0.960	0.983	0.999	1.002	1.004			
L9	1.148	1.000	1.148	0.794	1.000	0.794	1.185	1.000	1.185	1.062	1.000	1.062	1.006	1.000	1.006			
ALL	1.010	1.022	0.995	0.996	1.082	0.922	1.023	1.020	1.003	1.045	1.056	0.996	1.007	1.022	0.991			

注：H1 采掘业，H2 食品饮料加工制造业，H3 造纸和印刷业，H4 焦炭和精炼石油业，H5 化学原料及制品业，H6 非金属矿物制品业，H7 基本金属业，H8 电力、燃气及水的供应业，L1 纺织、服装、皮革加工制造业，L2 木材加工及制品业，L3 橡胶和塑料制品业，L4 金属制品业，L5 交通运输设备制造业，L6 电气机械和器材制造业，L7 计算机、电子及光学设备制造业，L8 仪器仪表制造业，L9 废弃资源回收加工业。

可以看出，就我国工业行业总体而言，10年间环境技术效率有所增长，平均增长率为0.7%，说明我国加大环境规制力度，倡导节能减排，促进经济发展与环境可持续性之间协调的政策取得了一定的成效。但通过环境全要素生产率指数的分解效应可以发现，这种增长的主要推动力在于技术效率的提高（LEC指数平均增长了2.15%），而不是技术进步（LTP指数平均增长率为负的1%），意味着我国工业行业生产技术效率到达最佳实践前沿面的追赶速度整体上在不断提升，但通过技

术的进步和创新推动最佳前沿面提升的效果还有待改进。

从行业差异的角度来看,两个组别在 L 指数、 LEC 指数及 LTP 指数上所呈现出的变化特征都与全部行业整体样本的基本特征一致。但无论是环境全要素生产率指数,还是其分解的技术效率指数和技术进步指数,高排放组的均值都比低排放组的均值略高,这反映了作为能源投入和污染排放都较高的传统高污染行业其节能控污的技术效率水平在提高,提高的幅度甚至超过了低污染行业,其行业发展与环境的协调能力正在逐步增强。其中,焦炭和精炼石油业,交通运输设备制造业,木材加工及制品业依次为环境全要素生产率指数最高的3个行业,其 L 指数均值都在 1.01 以上,尤其是焦炭和精炼石油业,其 LEC 指数和 LTP 指数也都大于 1,并且是所有行业中技术进步指数均值 ($LTP = 1.078$) 最高的。而环境全要素生产率指数排名后三位的行业依次为金属制品业,电气机械和器材制造业,纺织、服装、皮革加工制造业,这3个行业都属于低排放行业,但其 L 指数均值却都在 0.998 以下,并且 LTP 技术进步指数也都小于 1,说明这些行业在生产的节能减排技术效率水平上是趋于下降的。

从发展趋势看(见图1),大多数样本行业的环境全要素生产率指数在考察期内均有显著的提高趋势,但个别年份的波动较大,表明我国大多数工业行业环境技术效率的提升速度是逐年增长的,但发展并不稳定。同时,高排放行业的环境全要素生产率指数均值不仅整体上高于低排放行业,而且其逐年增长的趋势也比低排放行业更为稳定。

二、参与国际产品内分工对环境技术效率影响的作用机制

(一) 参与 GVC 分工对整体环境技术效率影响的作用机制

本国企业深度参与到 GVC 分工中,可以更好地获得专业化分工的利益。比如通过进口自身缺乏优势的中间投入品或者将自身效率低下的生产环节转移出去,从而将有限的资源集中于更有优势的核心增值领域,提高生产效率和盈利能力。企业将更有条件改善生产经营方式及进行节能减排方面的研发投入,从整体上提高环境技术效率。

与进口产成品相比,引进国外先进的清洁型中间投入品和仪器设备能够使本国企业更容易获得附着在产品和服务中的节能减排技术、生产流程组织管理方法等,提高企业自身生产过程中的清洁技术水平,降低物质资源消耗及对环境的污染(何洁,2010)。

但是,以进口国外中间产品在国内进行加工、组装再出口这种加工贸易的方式参与国际产品内分工,往往容易形成分工模式的“低端锁定”(王燕梅和简泽,2013)^[20]。而大量从事价值链下游低端环节的生产制造,将会增加企业的资源投入和环境污染,同时由于难以获得关键的核心技术,也不利于企业的技术进步。

如果企业以中间品出口方式参与 GVC 分工,中间投入品的制造一般多是价值链上游设备仪器、零部件以及原材料开采和粗加工等类型的生产活动,相对会消耗较多的能源、资源,也会产生较多污染。

但专业化于相对较高附加值和较高技术含量的核心元器件等技术密集型中间品的制造以及研发、设计等绿色清洁型环节,不但可以减少资源消耗和环境污染,还有助于企业通过“边出口边学习”积累资本和能力,从而提高生产技术水平(胡昭玲,2007)^[21]。

为了达到国外买家的高质量要求和绿色环保标准,突破发达国家更严格的技术壁垒,本国企业将会积极加快自身的技术升级和向集约生产方式的转变。在为海外公司进行合约制造的情况下,来自发达国家的发包企业也有可能向本国承包企业提供必要的技术指导和支持。同时,中间品出口能带动国内高端生产能力的扩张,增加高素质劳动力的需求,人力资本水平的提升将有利于提升行业的技术效率水平和环保节能意识(唐海燕和张会清,2011)^[22]。

(二) 参与 GVC 分工对 LEC 和 LTP 影响的作用机制

首先,参与 GVC 分工对于效率变化指数(LEC)的影响机制。黄娟(2012)认为,分工本身就在于发挥参与者的比较优势,促进资源优化配置,提高生产效率,而产品内分工是分工在生产环节和工序上的深化、细化。本国企业通过进口自身所需但缺乏优势的中间产品或生产环节,同时出口具备优势的中间产品或承接国外的生产环节转移,可以集中有限的资源在更具比较优势的核心增值领域上,避免经济资源的无谓耗损,从而提高单位投入的产出水平。

通过参与国际产品内分工引进国外包含先进技术知识和研发成果的高质量、高性能、多样化的中间投入品、机器设备以及生产方法等,可以直接提高本国企业的生产效率(何洁,2010)。

对于承接价值链上游环节国际转移的本国企业,从事比较高端、附加值和技术含量较高的核心元器件等中间品的制造和出口,能够通过“出口学习”效应、技术壁垒效应、外方技术支持及外溢效应等渠道促进自身生产过程中的效率改进。

其次,参与 GVC 分工对于技术进步指数(LTP)的影响机制。本国企业可以通过逆向产品研发来学习模仿附着在进口中间品上的先进节能减排技术和生产方法,并在此基础上进行自主创新。从发达国家进口的中间品往往还会附带相关的技术指导和售后服务,从而有利于本国企业的绿色生产技术升级(黄凌云等,2017)。

同样,从事价值链上游中间品出口的国内企业能够通过“出口学习”效应、技术壁垒效应、外方技术支持效应以及人力资本提升效应等促进自身绿色生产技术水平的提高和整体技术的进步。

贸易带来的经济增长及收入提高,将有利于增加民众的环保需求,从而促使政府制定更加严格的环境规制,这会刺激企业加大节能减排技术的研发投入与创新(李秀香和张婷,2004)。产品内贸易还将引致更多的 FDI 流入,促使更多国外先进绿色技术向本国企业溢出,从而加速本国技术前沿面向上推进,实现技术进步和创新能力的提升。

(三) 对参与 GVC 分工程度及层次的度量

基于上述作用机制的分析,本文采用中间品进口强度和中间品出口强度两个变

量来表征特定行业参与 GVC 分工的模式及程度。为获得分行业的中间品进出口数据,本文采用 OECD 和 WTO 联合发布的世界投入产出数据库(World Input-Output Database, WIOD),该数据库提供了包括中国在内的 41 个国家(地区)1995—2014 年的多区域投入产出表。再以计算出的各行业中间品进出口额占工业总产值的比重来表示中间品进出口强度。

由以上分析可以看出,特定行业参与 GVC 分工对其环境技术效率提升产生的影响,不仅仅取决于其参与分工的模式和程度,还取决于其所处的地位或层次,即其所从事的生产活动或环节在全球产业链条中占据的相对位置,以及对整个产品价值增值的贡献。

因此,本文将特定行业的 GVC 分工地位作为调节变量引入分析中,以其与中间品贸易强度的交互项来检验 GVC 分工地位与分工程度之间的互补效应。本文采用 Koopman 等(2010)^[23]构建的同样基于世界投入产出表数据的 GPO(GVC-Position)指数作为衡量指标,计算公式如下:

$$GPO_{rk} = \ln\left(1 + \frac{IV_{rk}}{E_{rk}}\right) - \ln\left(1 + \frac{FV_{rk}}{E_{rk}}\right) \quad (5)$$

其中, IV_{rk} 表示 r 国 k 产业出口的国内增加值中被其他国家用作中间品投入生产再出口的部分; FV_{rk} 表示 r 国 k 产业出口中包含的国外增加值部分; E_{rk} 表示 r 国 k 产业的总出口额。如果一国的某产业主要通过为其他国家提供中间品来参与分工,则在全球价值链中处于上游环节,国际分工地位比较高(GPO 指数大);如果主要是进口中间品进行加工组装来生产最终产品,则处于全球价值链的下游环节,国际分工地位较低(GPO 指数小)。

本文各样本行业的 GPO 指数测算结果见表 2。可以看到,我国在电力、燃气及水的供应业,采掘业,非金属矿物制品业、木材加工及制品业等初级产品加工业以及金属制品业,橡胶和塑料制品业,食品饮料加工制造业等低端制造行业上具有较高的国际分工地位;相反,在电气机械和器材制造业,计算机、电子及光学设备制造业,交通运输设备制造业以及化学原料及制品业等技术含量高的先进制造业上分工地位较低。整体而言,我国在全球产业链中仍然处在地位较低的下游环节,难以获得较高的贸易利益,对国内经济的拉动力较弱。

表 2 2005—2014 年中国 17 个工业行业全球价值链分工地位指数均值

行业	GPO 均值	行业	GPO 均值
电力、燃气及水的供应业	0.4069	食品饮料加工制造业	0.0131
基本金属业	0.3119	造纸和印刷业	-0.0048
采掘业	0.3005	化学原料及制品业	-0.0066
非金属矿物制品业	0.2406	交通运输设备制造业	-0.0104
木材加工及制品业	0.1524	纺织、服装、皮革加工制造业	-0.0396
金属制品业	0.0998	焦炭和精炼石油业	-0.0997
橡胶和塑料制品业	0.0919	电气机械和器材制造业	-0.1203
废弃资源回收加工业	0.0674	计算机、电子及光学设备制造业	-0.2540
仪器仪表制造业	0.0554	所有行业平均	0.0709

三、实证结果与分析

(一) 计量模型设定

根据本文探讨的主题及对经济机制的分析,建立如下计量模型:

$$L_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \begin{bmatrix} MX_{it} \\ MI_{it} \end{bmatrix} + \beta \cdot C_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中, L_{it} 为 i 行业 t 年的环境全要素生产率 L 指数; MX_{it} 和 MI_{it} 分别为 i 行业 t 年的中间品出口强度和中间品进口强度。 C_{it} 表示一系列行业层面的控制变量,包括行业规模 SCA_{it} (以行业总产值衡量); 行业要素禀赋结构 END_{it} (以资本—劳动比率衡量); 行业能源结构 ENG_{it} (以行业煤炭消费量占能源消费总量的比重衡量); 行业自主研发水平 RD_{it} (以行业的研发经费内部支出存量占总产值的比重衡量); 行业人力资本水平 HUM_{it} (以行业全员劳动生产率衡量)。数据来源于《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》。

根据式 (3)、式 (4) 对 L 指数进行分解,并建立以下对应的计量方程来进一步考察参与 GVC 分工的不同方式是通过哪种具体途径对行业的环境技术效率产生影响的:

$$\begin{bmatrix} LEC_{it} \\ LTP_{it} \end{bmatrix} = \alpha_0 + \alpha_1 \begin{bmatrix} MX_{it} \\ MI_{it} \end{bmatrix} + \beta \cdot C_{it} + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

为进一步验证 GVC 分工地位的调节作用,在式 (7) 中分别引入 GPO 与 MX 及 GPO 与 MI 的交互项,得到以下计量方程:

$$L_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \begin{bmatrix} MX_{it} \\ MI_{it} \end{bmatrix} + \alpha_2 \cdot GPO_{it} + \alpha_3 \begin{bmatrix} MX_{it} \\ MI_{it} \end{bmatrix} \cdot GPO_{it} + \beta \cdot C_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

(二) 结果分析

为避免多重共线性问题,对数据进行了相关系数分析。从表 3 可以看出,各个解释变量之间的相关系数较低,表明自变量之间不存在明显的共线性问题。唯一存在较高相关系数的是 $\ln mx$ 和 $\ln mi$ 。但是,考虑到在下文的分析中, MI 和 MX 两个变量总是各自进入回归方程而并没有同时进入,因此二者之间较高的相关性并不对后续分析构成影响。

表 3 变量相关系数表

变量	1	lnmx	lnmi	lnsca	end	eng	rd	hum	gpo
1	1.0000								
lnmx	0.2997	1.0000							
lnmi	0.3094	0.9948	1.0000						
lnsca	0.2753	0.8717	0.8704	1.0000					
end	0.4174	0.1107	0.1095	0.1605	1.0000				
eng	-0.0527	0.1005	0.0921	0.1456	0.5669	1.0000			
rd	-0.1049	0.3611	0.3141	0.3469	-0.3587	-0.1871	1.0000		
hum	0.3090	-0.2353	-0.2165	-0.1442	0.6117	-0.0360	-0.4458	1.0000	
gpo	0.2133	-0.0390	-0.0828	-0.0613	0.3093	0.5057	0.0750	-0.1605	1.0000

本文数据的特征属于 n 较大而 T 较小的短面板结构, 由于面板数据同时具有截面维度与时间维度, 因此可以一定程度上解决遗漏变量的问题并可以较好地提高估计的精确度。进行面板回归之前, 首先, 需要确定该回归方法是否优于混合回归 (pooled regression), 模型的 F 检验无一例外地拒绝了使用混合回归的原假设, 说明混合回归不适合于本文的数据样本; 其次, 对于固定效应与随机效应两种模型的选择, 本文使用 Hausman 检验来判定, 检验结果在 1% 的显著性水平上拒绝了原假设, 因此本文的回归分析都使用固定效应模型; 再次, 固定效应需要考虑使用双向固定效应还是单向固定效应, 即是否需要考虑时间固定效应。通过将 $T-1$ 个时间虚拟变量包括在回归方程中构建年份虚拟变量的联合显著性检验, 得到的 F 统计量为 1.20, 其 P 值为 0.2982, 即接受不存在时间效应的原假设。这也就意味着, 在本文的样本范围内, 个体之间的差异仅体现在截面上而没有体现在时间上, 具体回归结果见表 4。

表 4 面板回归结果

变量	L		LEC		LTP		L	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
lnmi	0.417*** (4.817)		0.274*** (3.392)		0.129** (2.168)		0.455*** (5.791)	
lnmx		0.301*** (4.864)		0.156*** (3.323)		0.097** (2.280)		0.335*** (5.791)
lnsca	-0.366** (-2.487)	-0.357** (-2.459)	-0.0965 (-0.704)	-0.0812 (-0.600)	-0.214** (-2.112)	-0.218** (-2.180)	-0.284** (-2.159)	-0.280** (-2.154)
end	0.0078* (1.799)	0.0076* (1.753)	-0.0004 (-0.093)	-0.0005 (-0.121)	0.0061** (2.025)	0.0060** (2.000)	-0.0012 (-0.288)	-0.0012 (-0.296)
eng	-0.272*** (-4.583)	-0.273*** (-4.610)	-0.169*** (-3.058)	-0.169*** (-3.058)	-0.081** (-1.976)	-0.081** (-1.999)	-0.275*** (-5.256)	-0.280*** (-5.339)
rd	-10.70*** (-4.155)	-10.60*** (-4.122)	-3.227 (-1.346)	-3.177 (-1.323)	-6.672*** (-3.764)	-6.633*** (-3.746)	-10.61*** (-4.650)	-10.48*** (-4.579)
hum	0.0196*** (4.442)	0.0198*** (4.487)	0.0128*** (3.114)	0.0128*** (3.103)	0.0057* (1.877)	0.0059* (1.930)	0.0209*** (5.377)	0.0214*** (5.459)
gpo							0.580** (2.421)	0.572** (2.393)
lnmi×gpo							1.050*** (4.552)	
lnmx×gpo								0.993*** (4.432)
Constant	0.443 (1.093)	0.541 (1.343)	0.0298 (0.0791)	0.0966 (0.257)	1.261*** (4.516)	1.290*** (4.649)	-0.035 (-0.096)	0.114 (0.311)
Obs	170	170	170	170	170	170	170	170
Adj-R ²	0.621	0.622	0.467	0.466	0.251	0.254	0.709	0.708

注: 括号内为估计系数的 t 值; *、** 和 *** 分别表示显著性水平为 10%、5% 和 1%。

1. GVC 分工方式和程度效应

从表 4 的回归结果来看, 无论是否引入中间品进出口与 GVC 分工地位指数的交叉项, 以中间品进口和中间品出口来度量的参与 GVC 分工程度对行业环境技术

效率都具有显著的正向影响,而且在包含与不包含交叉项两种情况下 MI 和 MX 两个自变量的回归结果基本一致,证明结果是稳健的。意味着我国贸易自由化程度和参与 GVC 分工程度的不断提高,有利于促进企业生产经营方式向集约化、清洁化转变和生产技术效率水平的提升。证明中国进出口贸易高速增长及快速融入全球价值链分工体系,并不是基于“污染天堂”假说基础上的比较优势而沦为“污染的避难所”,相反,这恰恰是推进国内工业转型升级和低碳经济发展的主要动力之一。本文得出的这一结论一定程度上与戴翔(2010)、黄娟和田野(2012)等得到的中国参与产品内分工能够降低污染排放水平对环境产生积极影响的结果是一致的。

然而,从参与 GVC 分工的方式来看,两种模型下中间品进口方式都比中间品出口方式对环境技术效率的作用弹性略大。中间品进口相对基准值 1% 的上升,将引起环境全要素生产率 0.42% 的提高;而中间品出口每增加 1%,环境全要素生产率将实现 0.3% 的提升。根据潘安(2017)的研究,目前我国中间品贸易(无论进口还是出口)的行业结构表现为能源工业和重型制造业占比大大超过轻制造业和服务业。那么,对于中间品出口来说,重型制造业和能源工业主要从事的是大型仪器设备及零部件的制造和原材料的开采及粗加工等高能耗、高污染环节,相对不利于整体环境技术效率的提高;而对于中间品进口来说,这些重型工业行业通过进口其生产所需的高污染、高能耗中间产品以替代本国的自主生产,一定程度上实现了污染和能耗的转移,相对更有利于改善国内的资源利用和环境。更重要的是,通过对引进的国外先进的清洁型中间投入品、仪器设备、节能减排技术及生产流程组织管理方法等进行消化吸收,进而改进现有生产工艺流程,不仅可以产生直接的技术溢出效应,提高企业生产和资源利用效率,而且还能够增加同类产品的市场竞争压力,推动整个行业不断提升技术效率水平(黄凌云等,2017)。

2. 影响效应的作用途径

表 4 第(3)列和第(4)列分别给出了中间品进出口对技术效率指数 LEC 的回归结果,第(5)列和第(6)列则分别给出了中间品进出口对技术进步指数 LTP 的回归结果。首先,无论是对 LEC 指数还是 LTP 指数,中间品进口和中间品出口仍然都具有显著的正效应,说明通过中间品进口和中间品出口的方式更多地融入 GVC 分工体系,都能够通过前文所述的作用机制促进中国工业行业的技术效率改进和技术进步。但是,与对整体环境全要素生产率的影响一样,中间品进口在对两个分解指数的作用上都大于中间品出口,说明通过中间品进口的方式更有利于行业的效率改进和技术进步。从目前我国工业行业参与 GVC 分工的情况来看,仍然是以承接发达国家产业链下游环节的转移为主,通过进口发达国家的中间产品、仪器设备等,获取隐含在其中的先进节能减排技术、生产方法和管理方法,从而能够较为有效地提高本地企业的生产效率和资源利用效率,改进其绿色生产技术水平 and 创新能力。而承接上游高附加值、高技术含量环节的国际转移,通过学习效应、技术壁垒效应、外方技术支持和知识外溢效应以及人力资本提升效应等渠道获得效率的提高及技术的进步,相对更加不容易。其次,无论是中间品进口还是中间品出

口, 其对 *LEC* 指数的影响系数都大于对 *LTP* 指数的影响系数, 这说明参与 *GVC* 分工对环境技术效率的促进作用主要源于对技术效率的改进, 而不是推动技术最佳实践前沿面的移动, 实现创新和变革。这有可能是近年来我国整体经济的技术效率提高较快, 技术进步相对技术效率发展不够引致的 (李小胜, 2016)^[24], 因此, 创新驱动型发展战略仍将是今后改革的重点。

3. *GVC* 分工地位效应

表 4 第 (7) 列和第 (8) 列报告了参与 *GVC* 分工的层次对行业环境技术效率的影响。可以看到, 当在模型中引入 *GVC* 分工地位指数及其与中间品进出口的交叉项后, 新增自变量通过了显著性检验, 同时不改变原有自变量的显著性水平、符号甚至系数值, 说明将 *GPO* 作为调节变量来考察其对 *MI* 和 *MX* 两个自变量的影响是合理的。从回归结果来看, *MI* 和 *MX* 分别与 *GPO* 的交叉项都显著为正, 并且其系数估计值都大于 *MI*、*MX* 及 *GPO* 各自单独的影响系数, *GPO* 对于 *MI* 和 *MX* 都具有互补效应。这一结果说明了能否从参与 *GVC* 分工中获得环境技术效率的提升, 不仅仅取决于积极融入全球生产网络的程度和规模, 更取决于嵌入全球价值链的位置和层次。其原因在于: 首先, 对于处在 *GVC* 低端环节的行业, 其重心在于贸易规模的扩张, 主要承接来自发达国家转移的低附加值、高耗能、高污染的加工组装及包装环节, 完成后再将半成品或产成品出口到发达国家, 在此过程中不仅直接造成资源过度消耗和污染物的大量排放, 而且从事简单加工组装环节的生产也不利于技术的获取和提升; 而当攀升到 *GVC* 的较高端地位, 企业就开始将低端的加工制造等环节向国外转移, 同时将重心放在附加值更高、能耗和污染更少的区段, 如研发设计、市场营销、售后服务等, 从而更有利于生产技术效率的提高和节能减排。其次, 初期嵌入 *GVC* 的行业, 技术创新能力薄弱, 体系不健全, 效率低下, 资本匮乏, 低碳清洁生产技术研发成本和风险高, 因此, 企业的技术引进主要集中于以提升生产效率、扩大生产规模为导向的技术上; 而随着企业向 *GVC* 高端攀升, 具备了更雄厚的资本实力和技术吸收能力, 再加上高端产品出口市场需求的压力, 企业对国外技术的引进将逐渐转向以低碳清洁生产技术及先进管理手段和营销方法为主, 从而有利于提高行业整体的低碳技术水平。

4. 其他控制变量

从各项控制变量的回归结果来看, 大多数参数估计值显示出较高的显著性和符合预期的作用方向, 并且在不同模型中具有较好的稳定性和一致性。企业规模对于环境技术效率具有显著的负向影响, 可能的原因是: 首先, 随着企业规模的扩大, 内部结构的复杂性增强, 这种复杂性会消耗资源, 从而抵消规模扩大带来的能源效率增加的好处, 产生规模不经济 (唐玲和杨正林, 2009)^[25]。资本劳动比的影响系数在 10% 的显著性水平下为正, 说明资本密集度越高的行业越有相对更多的资本用于改善生产经营方式及进行节能减排方面的研发投入, 从而越有可能提升环境技术效率。通过进一步的观察可以发现, 资本劳动比对 *LEC* 指数的影响并不显著, 且系数为负, 但是对 *LTP* 指数的影响在 5% 的显著性水平下为正, 说明人均资本存量的增加主要是通过促进企业技术进步的方式提升其环境技术效率的。煤炭作为主

要的一次能源，是工业产业发展的重要支柱，但其开采、运输及使用过程都会对环境产生极大的不利影响，因此以煤炭消费量占能源消费总量的比重来表征的能源消费结构对环境技术效率有显著的负向影响，这与王兵等（2010）、郑丽琳和朱启贵（2013）^[26]的估计结果一致。企业自身的 R&D 投入比例并没有倾向于改善其环境技术效率，这与本文的预期不符，可能与国内专业型研发人员匮乏（王燕和谢蕊蕊，2012）^[27]、研发资本的投入结构不恰当、使用效率不高（李小平，2006）^[28]、产业结构与技术结构不匹配（谢建国和周露昭，2009）^[29]、研发活动风险高、见效慢、制约了当期生产率的提升等因素有关。最后，在所有情况下人力资本都呈现出对环境全要素生产率的显著正向影响，这体现了人力资本不仅是消化吸收引进技术和进行自主创新的主体，而且也是提高环保节能意识和环境效率管理能力的重要推动力。

四、结论及政策建议

本文实证研究所得到的结论可以概括为以下几个方面：一是以中间品进口和中间品出口两种方式参与 GVC 分工都会对行业环境技术效率产生显著的正向影响，证明了中国进出口贸易高速增长及快速融入全球价值链分工体系，是推进国内工业转型升级和低碳经济发展的重要动力；二是中间品进口方式比中间品出口方式对环境技术效率的正向影响更大，这与我国中间品贸易的行业结构特征有关；三是参与 GVC 分工对环境技术效率的促进作用主要源于对技术效率的改进，而不是通过推动技术的进步和创新；四是 GVC 分工地位对环境效率的提升具有调节作用，处于 GVC 高端环节的行业将获得更大的环境技术效率提升；五是行业规模、行业能源消费结构及行业自主研发投入将不利于环境技术效率的改善，而行业的要素密集度和人力资本水平对其绿色生产效率的提升具有积极影响。

基于上述结论，本文提出以下政策建议：首先，进一步提高贸易自由化程度及加快融入全球价值链分工体系。发挥中间品贸易中效率提升和技术进步等积极作用，促进我国工业行业绿色生产率的改进。在当前我国 GVC 分工地位相对较低的阶段，应更偏重于通过中间品进口的方式，在转移原材料、零部件等高能耗、高污染生产环节的同时引进低碳清洁型产品、设备和技术。其次，努力提升我国工业行业的 GVC 分工地位，向价值链上游攀升。应采取积极的政策措施，鼓励企业通过不断提高自身竞争力来承接高附加值、低碳环保型的生产环节或区段。同时，抓住“一带一路”倡议的机遇，积极构建并主导区域价值链，通过与沿线国家实现共享式经贸发展与节能减排，改变我国在 GVC 分工体系中低端锁定的不利地位。最后，积极推进制造业的转型升级，改变以盲目扩张产量规模、高投入、高消耗、高污染为特征的粗放式增长模式，向提高效益、节约资源、减少污染的集约式转变；激励创新、加强对清洁技术的研发和应用，并注重对引进技术的消化吸收与改进；改善能源消费结构，加强能源生产、运输、消费各环节的制度和监管，降低对环境的负面影响。

[参考文献]

- [1] ZHOU P, ANG B W, POH K L. Slacks-based Efficiency Measures for Modeling Environmental Performance[J]. *Ecological Economics*, 2006, 60(1): 111-118.
- [2] FARE R, GROSSKOPF S, CARL A P J. Substitutability among Undesirable Outputs[J]. *Applied Economics*, 2012, 44(1): 39-47.
- [3] GOTO M, OTSUKA A, SUEYOSHI T. DEA (Data Envelopment Analysis) Assessment of Operational and Environmental Efficiencies on Japanese Regional Industries[J]. *Energy*, 2014, 66(4): 535-549.
- [4] 胡鞍钢,郑京海,高宇宁,等. 考虑环境因素的省级技术效率排名(1999-2005)[J]. *经济学(季刊)*, 2008, 7(3): 933-960.
- [5] 涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性[J]. *经济研究*, 2008(2): 93-105.
- [6] 王兵,吴延瑞,颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. *经济研究*, 2010(5): 95-109.
- [7] 石旻,张大永,邹沛江,等. 中国新能源行业效率——基于DEA方法和微观数据的分析[J]. *数量经济技术经济研究*, 2016(4): 60-77.
- [8] 杨高举,黄先海. 内部动力与后发国分工地位升级——来自中国高技术产业的证据[J]. *中国社会科学*, 2013(2): 25-45+204.
- [9] 李秀香,张婷. 出口增长对我国环境影响的分析——以CO₂排放为例[J]. *中国环保产业*, 2004(6): 11-13.
- [10] GROSSMAN G, KRUGER A. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement[R]. CEPR Discussion Papers 1992, 644.
- [11] 马翠萍,史丹. 贸易开放与碳排放转移:来自中国对外贸易的证据[J]. *数量经济技术经济研究*, 2016(7): 26-40.
- [12] 何洁. 国际贸易对环境的影响:中国各省的二氧化硫(SO₂)工业排放[J]. *经济学(季刊)*, 2010, 9(2): 415-446.
- [13] 戴翔. 产品内分工、出口增长与环境福利效应——理论及对中国的经验分析[J]. *国际贸易问题*, 2010(10): 57-63.
- [14] 黄娟,田野. 产品内分工下中国自由贸易的环境效应——基于联立方程模型的实证分析[J]. *国际经贸探索*, 2012(8): 12-21.
- [15] 黄凌云,谢会强,刘冬冬. 技术进步路径选择与中国制造业出口隐含碳排放强度[J]. *中国人口资源与环境*, 2017(10): 94-102.
- [16] 张相文,黄娟,李婷. 产品内分工下中国对外贸易对环境污染的影响——基于投入产出模型的分析[J]. *宏观经济研究*, 2012(4): 77-82.
- [17] 潘安. 全球价值链分工对中国对外贸易隐含碳排放的影响[J]. *国际经贸探索*, 2017(3): 14-26.
- [18] TONE K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-based Measure (SBM) Approach[R]. GRIPS Research Report Series, 2003, 0005.
- [19] FARE R, GROSSKOPF S, NORRIS M, ZHANG Z. Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Change in Industrialized Countries[J]. *American Economic Review*, 1994(84): 66-83.
- [20] 王燕梅,简泽. 参与产品内国际分工模式对技术进步效应的影响——基于中国4个制造业行业的微观检验[J]. *中国工业经济*, 2013(10): 134-146.
- [21] 胡昭玲. 国际垂直专业化对中国工业竞争力的影响分析[J]. *财经研究*, 2007, 33(4): 18-27.
- [22] 唐海燕,张会清. 产品内国际分工与中国制造业技术升级[J]. *世界经济研究*, 2011(6): 44-50.
- [23] KOOPMAN R, POWERS W, WANG Z, WEI S J. Give Credit to Where Credit is Due: Tracing Value Added in Global Production[R]. NBER Working Paper, 2010.
- [24] 李小胜,张焕明. 中国碳排放效率与全要素生产率研究[J]. *数量经济技术经济研究*, 2016(8): 64-79.
- [25] 唐玲,杨正林. 能源效率与工业经济转型——基于中国1998—2007年行业数据的实证分析[J]. *数量经济*

技术经济研究,2009(10):34-48.

- [26] 郑丽琳,朱启贵. 纳入能源环境因素的中国全要素生产率再估算[J]. 统计研究,2013(7):9-17.
- [27] 王燕,谢蕊蕊. 区域工业效率和技术差异研究——基于共同前沿方法的考察[J]. 产业经济研究,2012(2):18-25.
- [28] 李小平,朱钟棣. 国际贸易、技术溢出和生产率增长[J]. 经济研究,2006(2):31-43.
- [29] 谢建国,周露昭. 进口贸易、吸收能力与国际 R&D 技术溢出:中国省区面板数据的研究[J]. 世界经济,2009(9):68-81.

(责任编辑 王 瀛)

Study on the Effect of International Intra-product Specialization on the Environmental Technological Efficiency of Chinese Industries

CHEN Song LU Chen

Abstract: Economic globalization, as well as the deepening of international specialization, has extremely close relationship with environmental problems. This paper conducted theoretical analysis on the impact imposed by the participation of international intra-product specialization on the environmental technological efficiency of China's industrial industry, as well as its mechanism of action. Moreover, an empirical test was carried out by employing the SBM directional distance function model based on the technology of DEA and the data collected from the world input-output table. It shows that the participation in the GVC by the means of intermediate goods import and intermediate goods export will have a significant positive impact on the environmental technological efficiency of the industry. Then, it further proves that the rapid growth of China's import and export trade, as well as its rapid integration into the division system of global value chain, serves as an important driving force for promoting domestic industrial transformation and upgrading and the development of low-carbon economy. However, such positive impact is mainly originated from the improvement of technical efficiency, instead of the promotion of technological progress and innovation. The division position of the industry in global value chain plays the role of regulation, and the industry in the high-end link of GVC will gain greater improvement in environmental technological efficiency.

Keywords: International Intra-product Specialization; Environmental Technological Efficiency; SBM Directional Distance Function