

全球价值链视角下的出口贸易隐含碳研究

孙博伟,张伯伟

(南开大学经济学院,天津 300071)

摘要:从全球价值链视角研究碳减排,可以为中国“碳双减”提供政策启示。采用1995—2009年的跨国跨行业面板数据,结合规模效应、结构效应和技术效应,分析全球价值链嵌入位置对出口贸易隐含碳的影响。研究结果显示,产出上游度和投入下游度的上升均会导致出口贸易隐含碳水平升高,这说明如果一国以矿业、制造业为主要产业嵌入全球价值链分工体系,那么出口贸易隐含碳水平会升高,稳健性检验结果强化了这一结论。此外,对于污染密集型行业,全球价值链效应会更弱,但是对于劳动密集型行业,全球价值链效应会更加明显。因此,为了在2030年实现碳达峰目标,中国政府应当优化产业布局,通过约束污染密集型行业和劳动密集型行业出口,调整出口规模和改善出口贸易结构。

关键词:全球价值链;MRIO模型;出口贸易隐含碳;碳减排

中图分类号:F205 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4543(2023)02-0079-17

一、引言

随着全球价值链(Global Value Chains)的兴起,世界各国或地区通过承担不同环节的生产任务参与到国际分工中,产品价值链在各个国家或地区之间不断延展细化,拓展了生产可能性边界(Gereffi, 2001; Humphrey and Schmitz, 2002)^[1-2]。在新型国际分工体系下,垂直专业化分工使得一种产品分割在不同国家或地区生产的同时,还实现了资源在全球范围的优化配置,促使以中间品贸易为代表的对外贸易快速增长(杨高举和黄先海, 2013)^[3]。然而,贸易快速增长的背后却是全球气候变暖加速和环境问题日益凸显,根据2007年政府间气候变化专门委员会(IPCC)的评估报告,大部分已观测到的全球平均温度升高很可能是由于观测到的人为温室气体浓度增加所致,所以世界各国或地区逐渐意识到减少以二氧化碳为主的温室气体排放已刻不容缓。

中国在全球碳治理事务中始终主动承担责任,积极参与国际社会碳减排行动。2020年中国政府已提出在2030年之前要实现碳达峰、2060年之前要实现碳中和的目标。在“十四五”规划和2035年远景目标中,欲实现碳排放达峰之后稳中有降,单位国内生产总值能源消耗和二氧化碳排放必须分别降低13.5%和18%,广泛形成绿色生产生活方式^①。在2021年领导人气候峰会上,习近平主席指出,中国承诺实现从碳达峰到碳中和的时间,远远短于发达国家所用时间。

但是在全球价值链背景下,碳减排不能仅从国内生产消费着手,厘清为满足国外需求而产生的出口贸易隐含碳更有利于分析碳排放持续增长的原因。经计算,中国出口贸易隐含碳占实际排放量的比值,从1995年的21.9%上升到2008年的30.48%^②。Su和Thomson(2016)^[4]研究发现,中国有20%以上的碳排放是由于国外需求引致。所以,有必要深入研究全球价值链嵌入位置对于出口贸易隐含碳的影响机制,揭示各国或地区理应承担的真实碳义务,从而为各国或地区节能减排、控制碳排放增长提供科学依据。

收稿日期:2022-06-01

作者简介:孙博伟(1992-),男,安徽淮北人,南开大学经济学院博士研究生,研究方向为全球价值链与低碳经济;
张伯伟(1969-),男,云南洱源人,南开大学经济学院教授,博士生导师,研究方向为区域经济一体化。

①引自《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》。

②本文根据WIOD数据库测算得到。

二、文献综述

国内外学者在贸易碳排放方面进行了大量且卓有成效的研究。在测度贸易碳排放方法上,自 Leontief 等(1936)^[5]首次提出投入产出分析方法之后,学者们开始将该方法引入到贸易碳排放测度中,由于早期的投入产出数据不完善,因此学者们主要是通过单区域投入产出模型(SRIO 模型)测算贸易对碳排放的影响(Wang et al., 2007; Pan et al., 2008)^[6~7]。但是 SRIO 模型不能区分进口中间品,也未考虑国内中间品的异质性,因而导致测算结果有大量误差。后来随着 WIOD、EURO、GTAP 等数据库的开发,多区域投入产出模型(MRIO 模型)成为核算贸易隐含碳的主要方法,很多学者在此基础上测算了对外贸易隐含碳(丛晓男等,2013; Liu et al., 2015)^[8~9],考察各国或地区真实的碳排放情况。在此基础上,部分学者侧重研究了双边贸易隐含碳,例如:中美贸易(尹显萍等,2010; Zhao et al., 2014; 潘安,2018)^[10~12]、中日贸易(马晶梅等,2016; Wu et al., 2016)^[13~14]、中澳贸易(陈红蕾等,2013; Tan et al., 2013)^[15~16]、中欧贸易(闫云凤等,2012; 谭娟等,2015)^[17~18]。

越来越多的学者从不同研究视角关注贸易隐含碳的影响因素。张为付和杜运苏(2011)^[19]研究发现,以金属冶炼及压延加工业为代表的少数行业是造成中国对外贸易中隐含碳排放失衡的主要原因,并发现贸易隐含碳迅速升高是受到新一轮国际产业转移的影响;李珊珊和罗良文(2012)^[20]着重研究了 FDI 对中国对外贸易隐含碳排放的影响,发现 FDI 行业结构效应是真正的主导因素;徐盈之和郭进(2014)^[21]在开放经济条件下,比较了“生产者负担”原则和“生产者消费者共担”原则下不同国家或地区的碳责任变化;彭水军等(2015)^[22]则利用 MRIO 模型测算和比较分析了中国生产侧和消费侧的碳排放量,发现前者明显高于后者,并且在中国加入 WTO 以后差距迅速扩大。

在全球价值链嵌入与贸易隐含碳的相关研究方面。潘安(2017)^[23]测算并分析了中国参与 GVC 分工对贸易隐含碳排放的影响,发现 GVC 分工加深会促进贸易隐含碳排放水平升高;吕延方等(2019)^[24]则采用面板平滑转换模型分析了 GVC 参与度对进出口贸易隐含碳存在不同转换机制下的非线性影响,结果呈双门槛特征;吕越和吕云龙(2019)^[25]研究了中国不同类型的行业在不同全球价值链嵌入方式下对碳排放的影响,结果发现会加剧污染密集型行业的贸易隐含碳排放量,而且技术密集型行业的环境改善效应更强,在嵌入方式上,后向嵌入会提高贸易隐含碳,但前向嵌入则存在对环境的改善效应;赵玉焕等(2021)^[26]主要分析了不同嵌入模式对出口贸易隐含碳的异质性影响,发现前向嵌入模式有利于降低出口贸易隐含碳。

与现有研究相比,本研究的新意体现在:其一,研究方法方面。以往的研究主要集中在全球价值链分工地位和参与度(Zhao et al., 2016; Meng et al., 2018; 吕延方等, 2019; 吕越和吕云龙, 2019)^{[27~28][24~25]},这些研究都是从增加值视角衡量一国的嵌入深度,多用于衡量经济地位(苏庆义和高凌云,2015)^[29],鲜有从嵌入位置视角分析其对出口贸易隐含碳的影响,本文在一个统一的研究框架下分析一国产业在国际生产链条中的上下游位置、产业离消费终端的距离和产业离初始投入要素的距离等因素对出口贸易隐含碳的影响机制。其二,研究视角方面。现有研究主要是探究中国出口贸易隐含碳的全球价值链效应(Su and Thomson, 2016; 潘安, 2017; 赵玉焕等, 2021)^{[4][23][26]},本文结合投入产出分析与回归分析,从国家-行业层面视角,更全面地剖析出口贸易隐含碳的全球价值链效应,从而为一国或地区更好地嵌入全球价值链分工提出建议。

本文后续部分的结构安排如下:第三部分通过构建理论模型探讨出口贸易隐含碳的影响机制;第四部分为关键指标测度并进行特征事实分析;第五部分为计量方程以及数据说明;第六部分为根据计量方程进行回归分析,并进行内生性检验、稳健性检验以及异质性分析;第七部分为结论及建议。

三、理论模型

参考吕延方等(2019)^[24]和赵玉焕等(2021)^[26]的理论框架,构建一个简单的两国贸易模型。提出假设:(1)存在两个国家 A 和 B,使用生产要素资本 K 和劳动 L 组织生产产品 X 和 Y ,生产函数为 $f(K, L)$,

并且在此基础上两国有贸易往来;(2)规模报酬不变,则产品 X 和 Y 的生产技术可以由 $C^X(w, r)$ 和 $C^Y(w, r)$ 表示,其中 $C(\cdot)$ 为单位成本函数, w 表示实际工资, r 为资本价格;(3)贸易对环境的影响只考虑碳排放的相关影响;(4)市场是完全竞争市场,所以厂商的均衡利润为 0;(5) δ 表示国家 A 的产品 X 在全球价值链中的嵌入位置(产出上游度或投入下游度), $\delta > 1$;(6)忽略贸易摩擦成本和运输成本。

以 X 产品为例, A 国在生产过程中排放出的二氧化碳记为 C_A^X , 并且总产出中用于国内消费的比例为 θ , 则用于出口的比例为 $1 - \theta$; 同样, B 国在生产过程中排放的二氧化碳记为 C_B^X , 并且总产出中用于国内消费的比例为 σ , 则用于出口的比例为 $1 - \sigma$ 。可以发现, B 国出口的 X 产品即为 A 国进口的 X 产品, 所以:

A 国 X 产品的出口为:

$$EX^A = (1 - \theta)f^A(K_X, L_X) \quad (1)$$

A 国 X 产品的进口为:

$$EX^B = (1 - \sigma)f^B(K_X, L_X) \quad (2)$$

这样, A 国出口贸易隐含碳可以表示为:

$$EXC^A = \varphi(\theta)f^A(K_X, L_X) \quad (3)$$

而进口贸易隐含碳则可以表示为:

$$IMC^A = \varphi(\sigma)f^B(K_X, L_X) \quad (4)$$

其中, $\varphi(\theta)$ 是关于 θ 的碳排放函数, 由于其他因素不变时, 随着贸易规模的扩大, 隐含在贸易中的含碳量会越高, 则出口贸易隐含碳相应也会越高; 当技术水平提高时, 同样单位产品的隐含碳含量降低, 从而导致出口贸易隐含碳下降, 这样, 碳排放函数 $\varphi(\theta)$ 可以表示为:

$$\varphi(\theta) = \frac{1}{T}(1 - \theta)^{\frac{1}{a}} \quad (5)$$

其中, T 代表技术水平, a 代表贸易规模, $0 < a < 1$, 且 $\varphi'(\theta) < 0$, $\varphi''(\theta) > 0$ 。

将式(5) 带入式(3), 可得:

$$EXC^A = \frac{1}{T}(1 - \theta)^{\frac{1}{a}}f^A(K_X, L_X) \quad (6)$$

考虑到代表全球价值链嵌入位置的产出上游度和投入下游度, 其数值越大表示距离最终消费和初始要素投入越远, 代表性行业为矿业和制造业, 其产品隐含碳远远大于数值较小所代表的服务业, 所以产出上游度和投入下游度数值变大, 会导致出口贸易隐含碳上升, 因此设 $\theta(\xi)$ 为 A 国全球价值链嵌入位置对 A 国 X 产品出口贸易隐含碳的影响函数, 则式(6) 变形为:

$$EXC^A = \frac{1}{T}(1 - \theta)^{\frac{1}{a}}f^A(K_X, L_X)\theta(\xi) \quad (7)$$

将式(7) 变形并带入式(1), 可得:

$$EX^A = (1 - \theta)f^A(K_X, L_X) = (T \cdot EXC^A)(f^A(K_X, L_X))^{1-a}\theta(\xi)^{-a} \quad (8)$$

考虑到对产品征收碳税, A 国征收的碳税为 $\varepsilon = \eta \cdot T \cdot EXC^A$, 而 B 国征收的进口碳税为 $\mu = \beta \cdot T \cdot EXC^A$, 其中, η, β 分别表示 A 国、B 国的碳税税率, $T \cdot EXC^A$ 为 A 国考虑技术水平之后的出口贸易隐含碳, 这样, 厂商会通过选择最优产量和出口贸易隐含碳来实现成本最小化:

$$\begin{cases} \min\{(\eta + \beta)T \cdot EXC^A + C^X(w, r) \cdot f^A(K_X, L_X)\} \\ \text{s. t. } (T \cdot EXC^A)(f^A(K_X, L_X))^{1-a}\theta(\xi)^{-a} = 1 \end{cases} \quad (9)$$

通过构建拉格朗日方程, 并分别对产量 $f^A(K_X, L_X)$ 和出口贸易隐含碳 EXC^A 求一阶导数, 得到:

$$\begin{cases} (\eta + \beta)T = a\lambda T^a \cdot (EXC^A)^{a-1}(f^A(K_X, L_X))^{1-a}\theta(\xi)^{-a} \\ C^X(w, r) = (1 - a)\lambda T^a (EXC^A)^a (f^A(K_X, L_X))^{-a}\theta(\xi)^{-a} \end{cases} \quad (10)$$

将式(10) 中的两式相除, 得到:

$$\frac{C^X(w, r)}{\eta + \beta} = \frac{(1 - a)T(EXC^A)}{af^A(K_X, L_X)} \quad (11)$$

因为假设市场是完全竞争市场,所以厂商的均衡利润为0,因此有:

$$\pi = P_X \cdot EX^A - C^X(w,r) \cdot f^A(K_X, L_X) - (\eta + \beta)T \cdot EXC^A = 0 \quad (12)$$

整理式(12)并带入式(11),得到:

$$EX^A = \frac{(\eta + \beta)T \cdot EXC^A}{aP_X} \quad (13)$$

因此,产品X的单位产出碳排放函数 $\varphi(\theta)$ 为:

$$\varphi(\theta) = \frac{EXC^A}{EX^A} = \frac{aP_X}{(\eta + \beta)T} \quad (14)$$

结合式(13)和式(11),可得:

$$f^A(K_X, L_X) = \frac{1-a}{C^X(w,r)} \cdot P_X \cdot EX^A \quad (15)$$

设S为出口规模,则:

$$S = P_X \cdot EX^A + P_Y \cdot EY^A \quad (16)$$

设 G_X 为产品X在A国总出口中的比例,即:

$$G_X = \frac{P_X \cdot EX^A}{P_X \cdot EX^A + P_Y \cdot EY^A} \quad (17)$$

结合式(15)、式(16)和式(17),可以将式(7)出口贸易隐含碳整理为:

$$EXC^A = \frac{1-a}{C^X(w,r)} \cdot S \cdot G_X \cdot \varphi(\theta) \cdot \theta(\xi) \quad (18)$$

将式(14)带入式(18),得到:

$$EXC^A = \frac{1-a}{C^X(w,r)} \cdot S \cdot G_X \cdot \frac{aP_X}{(\eta + \beta)T} \cdot \theta(\xi) \quad (19)$$

对式(19)两边取对数,得到:

$$\ln(EXC^A) = \ln S + \ln G_X - \ln(\eta + \beta) - \ln T + \ln \theta(\xi) \quad (20)$$

由式(18)可以看出,出口贸易隐含碳由出口规模、出口结构、碳税税率、技术水平和全球价值链嵌入位置决定,由于各国或地区的碳税税率标准不同,因此本研究仅考虑规模效应、结构效应、技术效应和全球价值链效应对出口贸易隐含碳的影响,并在后文的实证中予以检验。

四、关键指标测度与特征事实

(一)关键指标测度

1. 基于MRIO模型测度贸易隐含碳

构建一个多区域投入产出模型(MRIO模型),假设全球有m个国家和地区,每个国家或地区有n个部门,每个部门的产品既可以用于生产本国或本地区和外国的中间品,也可以作为本国或本地区和国外的最终使用。具体的多区域投入产出模型见表1,其中, $X^i (i=1,2,3,\dots,m)$ 为 $N \times 1$ 维列向量,表示国家或地区i的n个部门的总产出,而总投入(X^i)'中的上标“'”表示转置, Z^{ij} 和 Y^{ij} 为国家或地区i的n个部门用于中间使用和最终使用矩阵, Z^{ij} 为 $N \times N$ 维矩阵, Y^{ij} 为 $N \times 1$ 维列向量, $VA^i (i=1,2,3,\dots,m)$ 为 $1 \times N$ 维行向量,表示国家或地区i的n个部门的增加值。

表1 多区域投入产出模型

		中间使用				最终使用				总产出
		1	2	...	M	1	2	...	M	
中间使用	1	Z^{11}	Z^{12}	...	Z^{1m}	Y^{11}	Y^{12}	...	Y^{1m}	X^1
	2	Z^{21}	Z^{22}	...	Z^{2m}	Y^{21}	Y^{22}	...	Y^{2m}	X^2

	M	Z^{m1}	Z^{m2}	...	Z^{mm}	Y^{m1}	Y^{m2}	...	Y^{mm}	X^m

表 1(续)

	中间使用				最终使用				总产出
	1	2	...	M	1	2	...	M	
增加值	VA ¹	VA ²	...	VA ^m					
总投入	(X ¹)'	(X ²)'	...	(X ^m)'					

仅从第一行的使用方向来看,存在以下等式,值得注意的是这里并不是矩阵的加法:

$$\begin{pmatrix} Z^{11} + Z^{12} + \dots + Z^{1m} \\ Z^{21} + Z^{22} + \dots + Z^{2m} \\ \vdots \\ Z^{m1} + Z^{m2} + \dots + Z^{mm} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Y^{11} + Y^{12} + \dots + Y^{1m} \\ Y^{21} + Y^{22} + \dots + Y^{2m} \\ \vdots \\ Y^{m1} + Y^{m2} + \dots + Y^{mm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^m \end{pmatrix} \quad (21)$$

之后定义国家或地区 i 的中间产品对国家或地区 j 的中间产品的直接消耗系数: $A^{ij} = Z^{ij}(\hat{X}^j)^{-1}$, 其中, A^{ij} 表示 j 国或地区生产一单位总产出所需投入 i 国或地区的中间品, 为 $N \times N$ 维矩阵, 其中矩阵 \hat{X}^j 表示以 j 国或地区的总产出为对角元的对角矩阵, 则有:

$$\begin{pmatrix} A^{11} & A^{12} & \dots & A^{1m} \\ A^{21} & A^{22} & \dots & A^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{m1} & A^{m2} & \dots & A^{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Y^{11} + Y^{12} + \dots + Y^{1m} \\ Y^{21} + Y^{22} + \dots + Y^{2m} \\ \vdots \\ Y^{m1} + Y^{m2} + \dots + Y^{mm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^m \end{pmatrix} \quad (22)$$

对式(22)进一步变形,得到:

$$\begin{pmatrix} X^1 \\ X^2 \\ \vdots \\ X^m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B^{11} & B^{12} & \dots & B^{1m} \\ B^{21} & B^{22} & \dots & B^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{m1} & B^{m2} & \dots & B^{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y^{11} + Y^{12} + \dots + Y^{1m} \\ Y^{21} + Y^{22} + \dots + Y^{2m} \\ \vdots \\ Y^{m1} + Y^{m2} + \dots + Y^{mm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} B^{11} & B^{12} & \dots & B^{1m} \\ B^{21} & B^{22} & \dots & B^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{m1} & B^{m2} & \dots & B^{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y^1 \\ y^2 \\ \vdots \\ y^m \end{pmatrix} \quad (23)$$

其中, $\begin{pmatrix} B^{11} & B^{12} & \dots & B^{1m} \\ B^{21} & B^{22} & \dots & B^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B^{m1} & B^{m2} & \dots & B^{mm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I - A^{11} & -A^{12} & \dots & -A^{1m} \\ -A^{21} & I - A^{22} & \dots & -A^{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -A^{m1} & -A^{m2} & \dots & I - A^{mm} \end{pmatrix}^{-1}$, 矩阵 B 即为 Leontief 的逆矩阵, B^{ij}

表示国家或地区 j 增加 1 单位最终需求所需投入国家或地区 i 的产出, y^i 表示国家或地区 i 的最终需求。

因此可以将式(23)改写为:

$$X = (I - A)^{-1}y = By \quad (24)$$

其中, X 和 y 均为 $N \times 1$ 维列向量, A 和 B 均为 $N \times N$ 维矩阵。

定义直接碳排放系数为:

$$p^i = \{p^{ik}\} = \{P^{ik}/X^{ik}\} \quad (25)$$

其中, P^{ik} ($i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n$) 是国家或地区 i 第 k 个部门的二氧化碳排放量, X^{ik} 是国家或地区 i 第 k 个部门的总产出, p^{ik} 为国家或地区 i 第 k 个部门单位产出的二氧化碳排放量, p^i ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) 为 $1 \times N$ 维的直接碳排放系数行向量, 因此完全碳排放系数向量表示为:

$$c^i = \{c^{ik}\} = p^i(I - A^{ii})^{-1} \quad (26)$$

其中, 元素 c^{ik} 代表国家或地区 i 为满足部门 k 单位最终需求产出的完全碳排放量。

由式(21)可以看出, 一国或地区的总产出既可以用于投入生产本国或本地区和外国的中间品, 也可以作为本国或本地区和外国的最终使用, 因此有:

$$output^i = \underbrace{A^{ii}X^i}_{\text{投向国内的中间品}} + \underbrace{\sum_{j \neq i} A^{ij}X^j}_{\text{投向国外的中间品}} + \underbrace{Y^{ii}}_{\text{用于国内最终使用}} + \underbrace{\sum_{j \neq i} Y^{ij}}_{\text{用于国外最终使用}} \quad (27)$$

所以,一国或地区的总出口可以表示为对外中间品和最终品的投入,即:

$$EX^i = \sum_{j \neq i} A^{ij} X^i + \sum_{j \neq i} Y^j \quad (28)$$

因此,一国或地区出口贸易隐含碳的计算公式为:

$$EXC^i = \underbrace{p^i(I - A^{ii})^{-1} \left(\sum_{j \neq i} A^{ij} X^i \right)}_{\text{投向国外中间品的隐含碳}} + \underbrace{p^i(I - A^{ii})^{-1} \sum_{j \neq i} Y^j}_{\text{用于国外最终使用的隐含碳}} \quad (29)$$

2. 产出上游度与投入下游度

产出上游度。采用 Fally(2011)^[30] 以及 Antràs 等(2012)^[31] 的计算方法,使用递归形式定义生产阶段数,本质上是某行业与最终消费之间的加权平均距离。由定义式可以发现,产出上游度可以用于衡量产业在全球价值链中的嵌入位置,产出上游度越高,表示该行业距离最终消费越远。计算公式如下:

$$Up_i = 1 \times \frac{F_i}{Y_i} + 2 \times \frac{\sum_{j=1}^N d_{ij} F_j}{Y_i} + 3 \times \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N d_{ik} d_{kj} F_j}{Y_i} + 4 \times \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N d_{il} d_{lk} d_{kj} F_j}{Y_i} + \dots \quad (30)$$

其中,下标 i, j, k, l 等代表具体行业, N 表示行业总数, Y_i 表示 i 行业的总产出, F_i 代表产品的最终使用, d_{ij} 为中间投入产出系数,表示生产一单位 j 产品所需要投入 i 产品的数量。经过观察可以发现,产出上游度大于等于 1。当本行业生产的产品全部用于最终消费时,产出上游度等于 1;当本行业生产的产品部分用于其他产业的生产时,产出上游度大于 1。产出上游度越大表明该行业的产品更多的是作为中间品投入到别国或地区进行生产,也代表着中间产出占总产出的比例越大,距离最终消费端越远,式(30)经过变形可以转化为矩阵形式:

$$U = F + 2DF + 3D^2F + 4D^3F + \dots \quad (31)$$

其中, U 表示由 N 个行业上游度构成的 $N \times 1$ 列向量, F 表示由 F_i 组成的最终使用的 $N \times 1$ 列向量, D 表示中间投入产出系数矩阵。在此基础上,式(31)可以进一步简化为:

$$U = [I - D]^{-1} Y \quad (32)$$

其中, I 为单位矩阵, Y 为各行业总产出组成的 $N \times 1$ 列向量,由此可以计算得出各行业的产出上游度。

投入下游度。采用 Antràs 等(2013)^[32] 以及 Miller 和 Temurshoev(2015)^[33] 的计算方法,考虑的角度是行业离初始投入要素的距离,是所有产品部门的初始增加值从生产到某一具体产品部门的远近,计算公式如下:

$$Down_i = 1 \times \frac{VA_i}{Y_i} + 2 \times \frac{\sum_{j=1}^N d_{ij} VA_j}{Y_i} + 3 \times \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N d_{ik} d_{kj} VA_j}{Y_i} + 4 \times \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N d_{il} d_{lk} d_{kj} VA_j}{Y_i} + \dots \quad (33)$$

其中, VA_i 表示 i 行业的增加值,计算方法同产出上游度。由定义式可以发现,投入下游度大于等于 1。投入下游度也可以用于衡量产业在全球价值链中的嵌入位置,投入下游度越高,说明此行业会更更多地使用来自别国或地区不同产业的产品作为中间投入,并表示该行业距离初始投入要素越远,或者说相对于初始生产要素越处于下游。

(二) 特征事实

1. 出口贸易隐含碳

通过测算,得到 1995—2009 年的出口贸易隐含碳,并对其来源做出分解,测算结果与潘安(2017)^[23] 的研究相同。以中国为例,如图 1 所示,从左图可以看出,统计期间出口贸易隐含碳呈现明显的增长趋势^①,从 1995 年的 596.43Mt(兆吨,下同)增加到 2009 年的 1512.42Mt,年均增长率为 6.87%,其中,中间品出口贸易隐含碳和最终品出口贸易隐含碳分别从 1995 年的 295.98Mt 和 300.44Mt 上升至 2009 年的 831.62Mt 和 680.79Mt,年均增长率分别为 7.66% 和 6.02%。从出口结构看,除 1995 年以外,其余年份均是中间品出口贸易隐含碳高于最终品出口贸易隐含碳。

①图 1 左图中,出口贸易隐含碳的分解使用左 y 轴,出口贸易隐含碳使用右 y 轴。

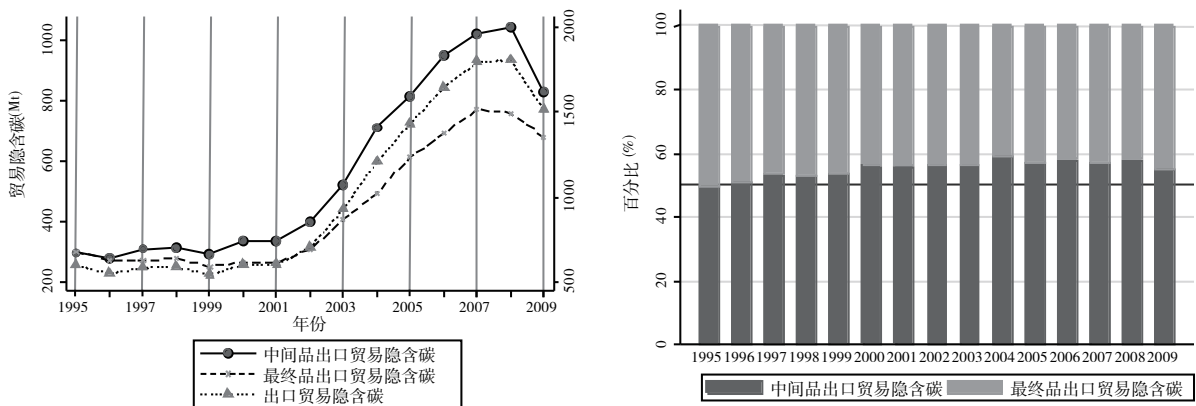


图1 中国出口贸易隐含碳分解^①

根据 WIOD 的行业划分,图 2 统计了中国四大行业平均出口贸易隐含碳的变化情况,尤其是以 2001 年加入 WTO 作为转折点,2001 年以前,四大行业的出口贸易隐含碳均出现一定程度的下降趋势,但是 2001 年加入 WTO 以来,中国更深入地参与全球价值链分工之后,制造业的出口贸易隐含碳出现快速拉升趋势,成为中国出口贸易隐含碳不断升高的主要因素。而从图 3 可以看出,2009 年中国制造业对出口贸易隐含碳的贡献率高达 77.32%。

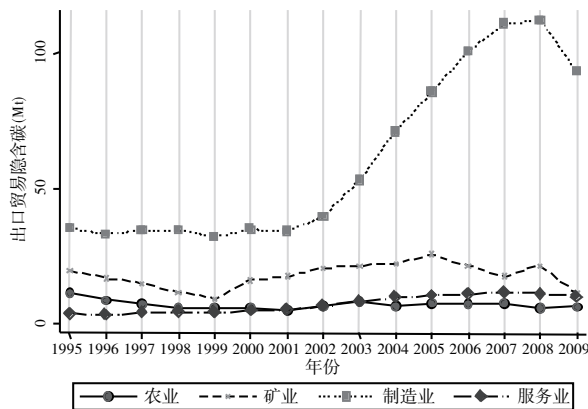


图2 中国四大行业出口贸易隐含碳变化情况^②

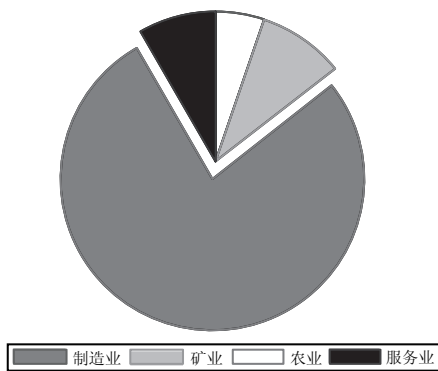


图3 中国四大行业 2009 年出口贸易隐含碳占比^③

①资料来源:经 WIOD 数据库计算得到。

②资料来源:经 WIOD 数据库计算得到。

③资料来源:经 WIOD 数据库计算得到。

2. 产出上游度与投入下游度

根据 WIOD 的行业划分,表 2 统计了中国四大行业在 GVC 中嵌入位置的变化情况,尤其是以 2001 年加入 WTO 作为转折点。1995—2001 年,农业、矿业、制造业的产出上游度和投入下游度均有一定幅度的上升,服务业有一定幅度的下降,但是加入 WTO 以来,中国更深入地参与全球价值链分工,可以看出,在分工链条上的位置相比之前有了更大幅度的延伸。

从产出上游度视角看,从高到低分别是矿业、制造业、农业、服务业,因为矿产多作为中间品投向金属制造业等部门进行生产,故距离消费终端最远,同理,服务业往往距离消费终端最近;从投入下游度视角看,从高到低分别是制造业、矿业、服务业、农业,因为制造业的生产需要使用多种生产要素综合投入,故距离初始生产要素端最远,同理,服务业、农业距离初始生产要素端较近。

表 2 中国行业嵌入位置

行业分类	1995		2001		2009	
	产出上游度	投入下游度	产出上游度	投入下游度	产出上游度	投入下游度
农业	2.102	1.875	2.138	1.956	2.887	2.049
矿业	3.866	2.250	4.018	2.100	4.611	2.532
制造业	2.652	2.860	2.795	2.881	3.129	3.282
服务业	2.204	2.131	2.158	2.139	2.389	2.288

注:表中数值由作者根据 World Input - Output Tables(<http://www.wiod.org>) 中的数据测算得到。

五、计量方程、变量与数据

(一) 计量方程

为研究全球价值链嵌入位置对出口贸易隐含碳的影响,建立计量模型如下:

$$\ln EXC_{it} = \beta_0 + \beta_1 position_{it} + \beta controls + v_i + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (34)$$

其中,下标 i 和 t 分别表示国家-行业 and 年份, EXC_{it} 代表出口贸易隐含碳水平, $position_{it}$ 表示全球价值链嵌入位置, $controls$ 代表控制变量, v_i 和 μ_i 分别表示时间固定效应和国家-行业固定效应, ε_{it} 为随机扰动项。使用异方差稳健标准误解决随机扰动项的异方差问题。

(二) 变量选择与数据说明

1. 被解释变量

采用前文测算的出口贸易隐含碳(exc)表示。

2. 解释变量

全球价值链嵌入位置。分别采用前文测算的产出上游度(up)和投入下游度($down$)表示。

3. 控制变量

包括:(1)行业出口规模($scale$)。借鉴吕越和吕云龙(2019)^[25]的做法,采用行业出口表示,用以衡量规模效应。(2)行业出口结构($strua$)。采用行业出口与行业总产出的比值表示,用以衡量结构效应。(3)单位产出能耗(enp)。参考吕延方等(2019)^[24]的做法,采用能源消耗与行业总产出的比值表示,由于单位产出能耗可以在一定程度上反映技术水平,因此可以用来衡量技术效应。(4)能源结构($enstrua$)。参考赵玉焕等(2021)^[26]的做法,采用行业煤炭消耗量与行业总能源消耗的比值表示,煤炭消费占比越大,碳排放会越高。(5)行业产出($output$)。采用行业总产出表示。

国家-行业层面的数据均来源于世界投入产出数据库(WIOD)。选取 2013 版 WIOD 中的投入产出表,包括 1995—2009 年 41 个国家或地区 35 个行业的投入产出数据;选取 WIOD 中的环境账户,包

括二氧化碳排放量数据和能源消耗数据^①。对部分变量剔除异常值和取对数处理。变量的描述性分析见表3。

表3 变量描述性分析

变量	平均值	标准差	最小值	最大值	观测值
出口贸易隐含碳(<i>exc</i>)	3992.799	17144.597	0	534734.31	21066
产出上游度(<i>up</i>)	2.09	0.643	1	10.284	21066
投入下游度(<i>down</i>)	2.09	0.44	1	3.668	21066
行业出口规模(<i>scale</i>)	6569.727	23379.567	0	1097633.2	21066
行业出口结构(<i>strua</i>)	0.242	0.271	0	1	20821
单位产出能耗(<i>enp</i>)	22.848	374.181	0	25104.426	20460
能源结构(<i>enstrua</i>)	0.035	0.117	0	0.916	20465
行业产出(<i>output</i>)	53718.157	155900.91	0	3013256	21066

注:表中数值由作者根据原始数据计算整理得到。

六、实证结果分析

(一) 基准回归

采用固定效应模型进行基准回归,结果如表4所示。(1)列和(4)列分别为产出上游度和投入下游度对出口贸易隐含碳的回归,并控制了国家-行业固定效应和年份固定效应;(2)列和(5)列分别是在(1)列和(4)列的基础上加入了规模效应、结构效应和技术效应;(3)列和(6)列分别是在(2)列和(5)列的基础上加入了其他控制变量。

由表4可知,产出上游度和投入下游度的估计系数在1%显著性水平下始终为正,说明产出上游度和投入下游度的提升均会促使出口贸易隐含碳水平升高,与理论模型的预期变动方向一致。从产出上游度视角看,一国或地区嵌入全球价值链的主要产业距离消费终端越远,例如:矿业、制造业,则会导致出口贸易隐含碳水平越高,根据估计结果,产出上游度每提高1,出口贸易隐含碳水平会提高0.167%。从投入下游度视角看,一国或地区嵌入全球价值链的主要产业距离初始要素投入越远,例如:制造业、矿业,也会导致出口贸易隐含碳水平越高,根据估计结果,投入下游度每提高1,出口贸易隐含碳水平会提高0.699%。

从控制变量看,两组回归结果均显示存在显著的规模效应、结构效应和技术效应。规模效应和技术效应的估计系数均在1%显著性水平下为正,说明出口规模越大,由出口引致的出口贸易隐含碳水平越高,而单位产出能耗水平越高,说明碳利用技术水平越差,出口贸易隐含碳水平也越高,与理论模型的预期变动方向一致。结构效应的估计系数在1%显著性水平下为负,与理论模型的预期变动方向相反,即出口比例越高越会导致出口贸易隐含碳水平降低,这可能是由于出口导向型的生产结构说明企业在国际层面上有较为先进的生产技术,拥有成本优势或技术优势,从而导致出口贸易隐含碳水平降低。能源结构的估计系数在1%显著性水平下为正,说明能源消耗中煤炭占比越高,碳排放就越高。

^①41个国家或地区包括澳大利亚、奥地利、比利时、保加利亚、巴西、加拿大、中国、塞浦路斯、捷克、德国、丹麦、西班牙、爱沙尼亚、芬兰、法国、英国、希腊、匈牙利、印尼、印度、爱尔兰、意大利、日本、韩国、立陶宛、卢森堡、拉脱维亚、墨西哥、马耳他、荷兰、波兰、葡萄牙、罗马尼亚、俄罗斯、斯洛伐克、斯洛文尼亚、瑞典、土耳其、中国台湾、美国和世界其他地区。

表4 基准回归结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>up</i>	0.349*** (0.047)	0.158*** (0.026)	0.167*** (0.025)			
<i>down</i>				0.748*** (0.048)	0.591*** (0.023)	0.699*** (0.021)
<i>scale</i>		0.793*** (0.010)	0.915*** (0.009)		0.792*** (0.010)	0.919*** (0.009)
<i>strua</i>		0.346*** (0.044)	-0.165*** (0.044)		0.402*** (0.044)	-0.126*** (0.043)
<i>enp</i>		0.0002* (0.000)	0.0001** (0.000)		0.0002** (0.000)	0.0001*** (0.000)
<i>output</i>			-0.492*** (0.011)			-0.516*** (0.011)
<i>enstrua</i>			0.583*** (0.054)			0.608*** (0.053)
常数项	4.768*** (0.098)	0.041 (0.077)	3.837*** (0.092)	3.934*** (0.101)	-0.880*** (0.074)	2.893*** (0.085)
国家-行业 固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是
R ²	0.970	0.990	0.992	0.970	0.991	0.993
N	21066	20460	20460	21066	20460	20460

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平下的显著性；括号内数值为异方差稳健标准误；鉴于*enp*的回归结果数值较小，取小数点后3位近似于0，因此延长其小数位数至4位。

(二)内生性检验

为了规避可能存在的遗漏变量等内生性问题，参考陈凤兰(2021)^[34]的做法，采用两阶段最小二乘法(2SLS)处理潜在的内生性问题，并以全球价值链嵌入位置的1期滞后项作为当期变量的工具变量。因为一方面，滞后1期全球价值链嵌入位置与内生解释变量满足相关性假定；另一方面，滞后1期全球价值链嵌入位置与随机扰动项不相关，满足外生性假定，所以全球价值链嵌入位置的1期滞后项是一个有效的工具变量。

首先，进行弱工具变量检验。在第一阶段的回归中，产出上游度和投入下游度的F统计量值分别为82.71和4711.65，均大于10，且F统计量的P值均为0，故拒绝原假设，不存在弱工具变量问题，所以全球价值链嵌入位置的1期滞后项与内生解释变量高度相关。其次，工具变量的数目等于内生变量的数目，因此不存在过度识别问题。最后，对解释变量的内生性问题进行检验。由于传统的豪斯曼检验在异方差下不成立，故进行异方差稳健的DWH检验，结果显示，产出上游度F统计量和 χ^2 统计量的p值分别为0.0158和0.0225，均小于0.05，故认为产出上游度为内生变量；投入下游度F统计量和 χ^2 统计量的p值分别为0.0001和0.0002，均小于0.01，故认为投入下游度也是内生变量。

表5汇报了内生性检验的回归结果。(1)列和(2)列是两阶段最小二乘法的回归结果，可以发现，产出上游度和投入下游度的估计系数在1%显著性水平下为正，核心变量的回归结果依旧显著并且系数符号并未发生改变，与基准回归结果一致，所以，在控制了潜在的内生性之后，加入工具变量后

的回归结果依旧稳健和有效,证明本研究的核心结论依然成立。值得关注的是,表4中产出上游度和投入下游度的估计系数明显大于基准回归结果,说明一定程度上存在的内生性问题会低估全球价值链嵌入位置对出口贸易隐含碳的影响。

此外,考虑到在存在异方差的情况下,最优GMM比2SLS更有效,因此仍然选取全球价值链嵌入位置的1期滞后项作为当期变量的工具变量,进行最优GMM估计,表5中(3)列和(4)列是最优GMM估计的回归结果,可以发现,结果保持一致,虽然产出上游度和投入下游度的最优GMM回归系数小于2SLS的回归系数,但仍然大于基准回归结果,进一步证实了内生性问题会低估全球价值链嵌入位置对出口贸易隐含碳的影响。

表5 内生性检验回归结果

	2SLS		最优GMM	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>up</i>	0.283*** (0.044)		0.212*** (0.036)	
<i>down</i>		0.855*** (0.034)		0.744*** (0.029)
<i>scale</i>	1.218*** (0.023)	1.223*** (0.023)	0.933*** (0.011)	0.921*** (0.009)
<i>strua</i>	-0.907*** (0.069)	-0.854*** (0.068)	-0.077 (0.047)	-0.074* (0.043)
<i>enp</i>	0.0004*** (0.000)	0.0004*** (0.000)	0.0004*** (0.000)	0.0003*** (0.000)
<i>output</i>	-0.700*** (0.020)	-0.731*** (0.020)	-0.387*** (0.019)	-0.492*** (0.015)
<i>enstrua</i>	0.517*** (0.046)	0.557*** (0.046)	0.514*** (0.051)	0.539*** (0.050)
常数项	3.876*** (0.152)	3.104*** (0.133)	1.773*** (0.067)	3.213*** (0.261)
国家-行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R ²	0.989	0.990	0.988	0.993
N	18968	18968	18968	18968

注:***和*分别表示在1%和10%水平下的显著性;括号内数值为异方差稳健标准误;鉴于*enp*的回归结果数值较小,取小数点后3位近似于0,因此延长其小数位数至4位。

(三)稳健性检验

1. 替换被解释变量

为验证本研究结论是否稳健,对被解释变量进行替换,使用出口贸易隐含碳分解得到的中间品出口贸易隐含碳和最终品出口贸易隐含碳替代被解释变量,检验结果如表6所示。可以发现,对于中间品出口贸易隐含碳而言,产出上游度和投入下游度的估计系数在1%显著性水平下仍然为正,而且系

数大于基准回归结果,说明全球价值链嵌入位置对中间品出口贸易隐含碳的影响更大。控制变量的回归结果依旧显著,并且系数符号不变,与理论模型的预期变动方向均保持一致,说明计量模型和回归结果均稳健。

但是对于最终品的出口贸易隐含碳而言,投入下游度的估计系数在1%显著性水平下为正,而且系数小于基准回归结果,这说明投入下游度对最终品出口贸易隐含碳的影响更小一些。但产出上游度的估计系数在1%显著性水平下为负,即对于最终品出口而言,提高产出上游度可以降低出口贸易隐含碳。从产出视角看,以最终品出口为主的产业一般距离消费终端较近,这使得贸易隐含碳多集中于服务业等接近消费终端的行业,所以这时候产出上游度相对较高但作为最终品出口相对较少的矿业,其贸易隐含碳会显著低于服务业,因此会出现系数为负的情况。总之,相对于中间品出口贸易隐含碳,全球价值链嵌入位置对最终品出口贸易隐含碳的影响会显著降低,甚至出现符号相反的情况,这是由于以中间品贸易为主的行业,集中于全球价值链嵌入位置相对较高的矿业、农业以及制造业,相比于服务业,这些行业的碳排放较高,从而导致对出口贸易隐含碳的影响更大。

表6 替换变量稳健性检验回归结果

	中间品出口贸易隐含碳		最终品出口贸易隐含碳	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>up</i>	0.313*** (0.041)		-0.073*** (0.020)	
<i>down</i>		0.736*** (0.023)		0.577*** (0.025)
<i>scale</i>	0.841*** (0.011)	0.847*** (0.011)	0.774*** (0.012)	0.775*** (0.012)
<i>strua</i>	-0.097* (0.050)	-0.043 (0.050)	0.190*** (0.052)	0.203*** (0.052)
<i>enp</i>	0.0001** (0.000)	0.0001** (0.000)	0.0001* (0.000)	0.0001* (0.000)
<i>output</i>	-0.454*** (0.013)	-0.478*** (0.013)	-0.375*** (0.014)	-0.397*** (0.014)
<i>enstrua</i>	0.520*** (0.057)	0.554*** (0.055)	0.578*** (0.081)	0.585*** (0.080)
常数项	3.182*** (0.122)	2.453*** (0.098)	2.816*** (0.106)	1.633*** (0.106)
国家-行业 固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R ²	0.989	0.990	0.986	0.986
N	20460	20460	20460	20460

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平下的显著性;括号内数值为异方差稳健标准误;鉴于*enp*的回归结果数值较小,取小数点后3位近似于0,因此延长其小数位数至4位。

2. 控制其他控制变量的内生性

在处理内生性问题方面,不仅要考虑被解释变量潜在的内生性问题,而且需要控制其他控制变量

潜在的内生性问题,参照孙传旺等(2019)^[35]的做法,将所有控制变量滞后1期,回归结果见表7。(1)列和(3)列是固定效应模型的回归结果,(2)列和(4)列是两阶段最小二乘法的回归结果,各参数系数的正负和显著性与基准回归结果一致,验证了本研究模型设置的稳健性。

表7 控制变量内生性

	FE	2SLS	FE	2SLS
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>up</i>	0.265*** (0.035)	0.183*** (0.049)		
<i>down</i>			0.719*** (0.039)	0.762*** (0.038)
<i>l. scale</i>	0.706*** (0.030)	0.707*** (0.029)	0.711*** (0.029)	0.711*** (0.028)
<i>l. strua</i>	-0.283*** (0.090)	-0.289*** (0.087)	-0.297*** (0.088)	-0.297*** (0.085)
<i>l. enp</i>	0.0003*** (0.000)	0.0003*** (0.000)	0.0002*** (0.000)	0.0002*** (0.000)
<i>l. output</i>	-0.321*** (0.026)	-0.320*** (0.025)	-0.343*** (0.026)	-0.345*** (0.025)
<i>l. enstrua</i>	0.403*** (0.070)	0.405*** (0.067)	0.418*** (0.069)	0.419*** (0.066)
常数项	3.504*** (0.140)	4.509*** (0.174)	2.712*** (0.141)	3.645*** (0.145)
国家-行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R ²	0.478	0.978	0.487	0.979
N	19077	19077	19077	19077

注:***表示在1%水平下的显著性;括号内数值为异方差稳健标准误;鉴于*l. enp*的回归结果数值较小,取小数点后3位近似于0,因此延长其小数位数至4位。

(四)异质性分析

根据“污染天堂假说”,由于发展中国家或地区的环境支付意愿较低,所以发达国家或地区在发展过程中会逐渐将高污染企业转移到发展中国家或地区。借鉴赵玉焕等(2021)^[26]对污染行业的划分,将WIOD中造纸及纸制品业、印刷业和记录媒介的复制业(21t22),焦炭、石油加工及核燃料加工业(23),化学原料及化学制品制造业(24),橡胶及塑料制品业(25),非金属矿物制品业(26),金属制品业(27t28)共6个行业划分为污染密集型行业。此外,不同要素密集度行业在出口贸易隐含碳方面存在差异。参考陈丰龙和徐康宁(2012)^[36]以及何斌锋等(2017)^[37]的研究,将食品饮料制造及烟草业(15t16),纺织及服装制造业(17t18),皮革、毛皮、羽毛(绒)及鞋类制品业(19),木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业(20),其他制造业及废弃资源和废旧材料回收加工业(36t37),橡胶及塑料制品业(25)共

6个行业划分为劳动密集型行业。

由表8可知,与基准回归相比,回归系数依旧显著,系数的正负也未发生改变,但是对于污染密集型制造业,产出上游度和投入下游度的估计系数均有所变小。原因在于:一方面,对于污染密集型行业,随着全球价值链分工的加深,会逐步转移到发展中国家或地区,从而降低发达国家或地区的出口贸易隐含碳,而样本中的41个国家或地区以发达国家或地区为主,发展中国家或地区较少^①,在全球价值链分工加深和产业转移背景下,发达国家或地区污染密集型行业可能发生分工位置延伸但出口贸易隐含碳同比增长缓慢的情况,所以可能低估了估计系数;另一方面,对于劳动密集型制造业,估计系数均有所变大,说明在劳动密集型行业中,全球价值链效应更加明显,因为劳动密集程度越高,随着分工链条的延伸,更有可能承担生产、组装等加工出口环节,导致出口贸易隐含碳以更快速度上升。

表8 行业异质性分析结果

	污染密集型行业		劳动密集型行业	
	(1)	(2)	(3)	(4)
<i>up</i>	0.092*** (0.034)		0.248*** (0.063)	
<i>down</i>		0.597*** (0.047)		0.772*** (0.047)
<i>scale</i>	1.105*** (0.024)	1.086*** (0.024)	1.104*** (0.032)	1.115*** (0.028)
<i>strua</i>	-0.459*** (0.113)	-0.317*** (0.110)	-0.766*** (0.092)	-0.721*** (0.086)
<i>enp</i>	0.0001** (0.000)	0.0001*** (0.000)	0.006*** (0.001)	0.006*** (0.001)
<i>output</i>	-0.782*** (0.028)	-0.755*** (0.028)	-0.635*** (0.034)	-0.678*** (0.029)
<i>enstrua</i>	0.406*** (0.063)	0.422*** (0.063)	0.953*** (0.135)	0.956*** (0.126)
常数项	5.855*** (0.185)	4.510*** (0.197)	3.370*** (0.198)	2.266*** (0.165)
国家-行业固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
R ²	0.675	0.694	0.624	0.655
N	3656	3656	3673	3673

注:***和**分别表示在1%和5%水平下的显著性;括号内数值为异方差稳健标准误;鉴于*enp*的回归结果中(1)列和(2)列的数值较小,取小数点后3位近似于0,因此延长其小数位数至4位。

①41个经济体中有27个欧盟成员国,另外13个主要经济体中仅有5个是发展中国家,1个世界其他地区。

七、结论及建议

在现有研究基础上,基于1995—2009年41个国家或地区35个行业的投入产出数据,系统研究全球价值链嵌入位置对出口贸易隐含碳的影响机制,并实证检验产出上游度和投入下游度的影响效果。研究发现:产出上游度和投入下游度的提升均会显著促进出口贸易隐含碳水平的升高,这说明存在全球价值链效应,并且效应与理论模型的预期变动方向一致。也就是说,如果一国以矿业、制造业为主要产业嵌入全球价值链分工体系,那么出口贸易隐含碳水平会更高。因为无论是从产出上游度视角还是从投入下游度视角来看,矿业、制造业距离消费终端较远,距离初始要素投入也较远,在全球价值链分工体系环境下,矿业、制造业多作为中间品出口用于别国生产,而且由于发展中国家或地区的环境支付意愿较低,所以会承接发达国家或地区高污染高能耗的生产环节,导致本国或本地区出口贸易隐含碳水平上升。

同时,回归结果也验证了理论模型存在的规模效应、结构效应和技术效应,说明出口规模越大,碳利用技术水平越差,会导致出口贸易隐含碳水平越高;但结构效应与理论模型的预期变动方向相反,这可能是由于出口导向型的生产结构说明企业在国际层面上有着较为先进的生产技术,拥有成本优势或技术优势,从而导致出口贸易隐含碳水平降低。在行业异质性检验中,发现对于污染密集型行业,产出上游度和投入下游度的估计系数均会变小,原因是对于污染密集型行业,随着全球价值链分工的加深,污染密集型行业会逐步转移到发展中国家或地区,所以可能低估了估计系数;而对于劳动密集型行业,全球价值链效应会更加明显。

本研究为如何从全球价值链嵌入位置视角降低出口贸易隐含碳提供了理论依据。鉴于中国2030年实现碳达峰目标和2060年实现碳中和目标,为在全球价值链分工体系中优化中国的贸易结构和环境绿色发展,提出以下政策建议:

第一,优化产业布局,调整出口结构。鼓励主导产业以产出上游度和投入下游度中隐含碳较小的服务业参与全球价值链分工,积极向微笑曲线两端延伸,逐步减少污染密集型行业和劳动密集型行业的出口占比,努力摆脱对低端高污染高耗能产业的依赖,并尽可能对此类产业进行产业转移。

第二,改善能源结构,提升技术水平。一方面,完善能源消费总量和强度双控制度,重点控制化石能源消费,降低煤炭作为能源消耗的比重,同时,重点布局新能源产业,努力提高能源利用效率,建设清洁低碳、安全高效的能源体系,改善能源消费结构并加快能源结构转型,加速发展非化石能源,大力提升风电、光伏发电规模;另一方面,转变原有生产方式,积极引进吸收外国先进生产技术,加大自主研发核心技术力度,形成绿色生产方式,实现经济高质量发展。

第三,自2020年初新冠肺炎疫情暴发以来,国际国内经济形势日益严峻,对现有的全球价值链分工格局造成了巨大冲击,因此,在降低出口贸易隐含碳的同时,应当积极引领“一带一路”建设,加深区域贸易合作,积极参与RECP自贸区,同时完善国内产业链,形成“双循环”发展新格局。

参考文献:

- [1] Gereffi G. Beyond the Producer - Driven /Buyer - Driven Dichotomy the Evolution of Global Value Chains in the Internet Era[J]. IDS Bulletin,2001,32(3):30-40.
- [2] Humphrey J,Schmitz H. How Does Insertion in Global Value Chains Affect Upgrading in Industrial Clusters? [J]. Regional Studies,2002,36(9):1017-1027.
- [3] 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.
- [4] Su B,Thomson E. China's Carbon Emissions Embodied in (Normal and Processing) Exports and Their Driving Forces,2006-2012[J]. Energy Economics,2016,59(9):414-422.
- [5] Leontief,Wassily W. Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States [J]. The Review of Economics and Statistics,1936,18(6):105.

- [6] Wang T, Watson J. Who Owns China's Carbon Emissions? [Z]. Tyndall Centre Briefing Note, 2007, 23 (10).
- [7] Pan J H, Phillips J, Chen Y. China's Balance of Emissions Embodied in Trade: Approaches to Measurement and Allocating International Responsibility [J]. Oxford Review of Economic Policy, 2008, 24(2): 354 - 376.
- [8] 丛晓男, 王铮, 郭晓飞. 全球贸易隐含碳的核算及其地缘结构分析 [J]. 财经研究, 2013, 39(1): 112 - 121.
- [9] Liu Q L, Wang Q. Reexamine SO₂ Emissions Embodied in China's Exports Using Multiregional Input - Output Analysis [J]. Ecological Economics, 2015, 113(5): 39 - 50.
- [10] 尹显萍, 程茗. 中美商品贸易中的内涵碳分析及其政策含义 [J]. 中国工业经济, 2010, (8): 45 - 55.
- [11] Zhao Y H, Zhang Z H, Wang S, et al. CO₂ Emissions Embodied in China's Foreign Trade: An Investigation from the Perspective of Global Vertical Specialization [J]. China and World Economy, 2014, 22(4): 102 - 120.
- [12] 潘安. 全球价值链视角下的中美贸易隐含碳研究 [J]. 统计研究, 2018, 35(1): 53 - 64.
- [13] 马晶梅, 王新影, 贾红宇. 中日贸易污染条件研究——基于 MRIO 模型的分析 [J]. 国际贸易问题, 2016, (2): 100 - 110.
- [14] Wu R, Geng Y, Dong H J. Changes of CO₂ Emission Embodied in China - Japan Trade: Drivers and Implications [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 112(1): 4151 - 4158.
- [15] 陈红蕾, 翟婷婷. 中澳贸易隐含碳排放的测算及失衡度分析 [J]. 国际经贸探索, 2013, (7): 61 - 69.
- [16] Tan H, Sun A, Lau H. CO₂ Embodiment in China—Australia Trade: The Drivers and Implications [J]. Energy Policy, 2013, 61(10): 1212 - 1220.
- [17] 闫云凤, 赵忠秀, 王苒. 中欧贸易隐含碳及政策启示——基于投入产出模型的实证研究 [J]. 财贸研究, 2012, (2): 76 - 82.
- [18] 谭娟, 陈鸣. 基于多区域投入产出模型的中欧贸易隐含碳测算及分析 [J]. 经济学家, 2015, (2): 72 - 81.
- [19] 张为付, 杜运苏. 中国对外贸易中隐含碳排放失衡度研究 [J]. 中国工业经济, 2011, (4): 138 - 147.
- [20] 李珊珊, 罗良文. FDI 行业结构对中国对外贸易隐含碳排放的影响——基于指数因素分解的实证分析 [J]. 资源科学, 2012, 34(5): 855 - 863.
- [21] 徐盈之, 郭进. 开放经济条件下国家碳排放责任比较研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, (1): 55 - 63.
- [22] 彭水军, 张文城, 孙传旺. 中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究 [J]. 经济研究, 2015, (1): 168 - 182.
- [23] 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, 33(3): 14 - 26.
- [24] 吕延方, 崔兴华, 王冬. 全球价值链参与度与贸易隐含碳 [J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(2): 45 - 65.
- [25] 吕越, 吕云龙. 中国参与全球价值链的环境效应分析 [J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(7): 91 - 100.
- [26] 赵玉焕, 郑璐, 刘似臣. 全球价值链嵌入对中国出口贸易隐含碳的影响研究 [J]. 国际贸易问题, 2021, (3): 142 - 157.
- [27] Zhao Y H, Wang S, Zhang Z H, et al. Driving Factors of Carbon Emission Embodied in China - US Trade: A Structural Decomposition Analysis [J]. Journal of Cleaner Production, 2016, (9): 678 - 689.
- [28] Meng B, Pters G P, Wang Z, et al. Tracing CO₂ Emissions in Global Value Chains [J]. Energy Economics, 2018, 73(6): 24 - 42.
- [29] 苏庆义, 高凌云. 全球价值链分工位置及其演进规律 [J]. 统计研究, 2015, 32(12): 38 - 45.
- [30] Fally T. On the Fragmentation of Production in the US [Z]. University of Colorado Mimeo, 2011, (7).
- [31] Antràs P, Chor D, Fally T. Measuring the Upstreamness of Production and Trade Flows [J]. American Economic Review, 2012, (3): 412 - 416.

- [32] Antràs Pol, Davin Chor. Organizing the Global Value Chain [J]. *Econometrica*, 2013, 81(6): 2127 – 2204.
- [33] Miller R E, Temurshoev U. Output Upstreamness and Input Downstreamness of Industries / Countries in World Production [Z]. *International Regional Science Review* Published Online before Print, November 5, 2015.
- [34] 陈凤兰. 生产链位置与进口企业技术创新——基于下游度视角[J]. *国际贸易问题*, 2021, (4): 78 – 93.
- [35] 孙传旺, 罗源, 姚昕. 交通基础设施与城市空气污染——来自中国的经验证据[J]. *经济研究*, 2019, 54(8): 136 – 151.
- [36] 陈丰龙, 徐康宁. 本土市场规模与中国制造业全要素生产率[J]. *中国工业经济*, 2012, (5): 44 – 56.
- [37] 何斌锋, 方晟, 冯劲. 基于工业行业要素密集度的节能减排与稳增长的实证研究[J]. *工业技术经济*, 2017, 36(1): 10 – 14.

责任编辑、校对: 陆为群

Research on the Embodied Carbon of Export Trade from the Perspective of Global Value Chain

SUN Bo – wei, ZHANG Bo – wei

(*School of Economics, Nankai University, Tianjin 300071, China*)

Abstract: Studying carbon emission reduction from the perspective of global value chain can provide policy implications for China’s “reduction of carbon peaking and carbon neutrality”. The paper analyzes the impact of the embedded position of global value chain on the embodied carbon of export trade by using the transnational and cross industrial panel data from 1995 to 2009, combined with scale effect, structure effect and technology effect. The results show that both the improvement of upstream degree of output and the downstream degree of input lead to the improvement of embodied carbon of export trade, indicating that if a country takes mining and manufacturing as the main industries and embeds into the global value chain division system, the embodied carbon level of export trade will increase. Robustness test further strengthened the conclusion. In addition, for pollution intensive industries, the effect of global value chains will be weaker, but for labor – intensive industries, the effect will be more significant. Therefore, in order to achieve the goal of carbon peaking by 2030, the Chinese government should optimize the industrial layout, adjust the export scale and improve the structure of export trade by restricting the export of pollution – intensive and labor – intensive industries.

Key words: Global Value Chain; MRIO Model; Embodied Carbon of Export Trade; Carbon Emission Reduction