

中国出口贸易隐含碳生产率演变态势与增长来源

胡剑波^a, 王楷文^b

(贵州财经大学 a. 经济学院; b. 大数据应用与经济学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要: 在新发展阶段,“双碳”目标的提出使生产低碳化成为高质量发展的重要内容。出口贸易带来的碳转移排放加大了碳减排压力,只有不断提高出口贸易隐含碳生产率才能实现出口增长与碳减排的双赢。然而,现有文献对出口贸易隐含碳生产率的研究不足,尤其缺乏对其演变态势和增长来源的深入探究。

本文利用非竞争型投入产出模型测算 2002—2017 年中国 26 个部门的出口贸易隐含碳排放量,用单位隐含碳排放的产出来表征出口贸易隐含碳生产率,进而考察其演变趋势和部门收敛性,并采用 LMDI-Attribution 模型对其增长来源进行分解,研究结果显示:(1)2002—2005 年,中国出口贸易隐含碳生产率出现小幅下降,其后则呈持续增长态势;尽管各部门的出口贸易隐含碳生产率呈平稳上升态势,但整体水平不高,且不同部门的演变趋势也不一致;第一、三产业的各部门出口贸易隐含碳生产率相对较高(均大于 0.10 万元/t),而第二产业的大部分部门相对较低,尤其是制造业中的高碳密集型产业最低。(2)2002—2017 年各部门出口贸易隐含碳生产率的标准差、对数离差系数以及变异系数均呈增长趋势,不存在 σ 收敛,但存在绝对 β 收敛和条件 β 收敛,表明低生产率部门的增速高于高生产率部门,但还未带来部门间绝对差距的缩小。(3)在样本期间,中国出口贸易隐含碳生产率的增长主要来源于技术进步带来的能源生产效率提高和内需扩大带来的生产外向度降低;各部门和产业出口贸易隐含碳生产率增长的主要来源也是能源生产效率的提高,其贡献率远大于其他因素,但不同部门和产业的增长来源及各因素的贡献大小也具有明显的差异。

与现有文献相比,本文采用单要素碳生产率法对 26 个部门和三次产业及制造业中不同碳密集型产业的出口贸易隐含碳生产率进行测算,并分析了其部门收敛性,丰富和细化了关于隐含碳生产率的经验分析;同时,对各部门和产业出口贸易隐含碳生产率的增长来源进行 LMDI 分解和 Attribution 归因,为提高出口贸易隐含碳生产率提供了经验借鉴。

本文研究表明:中国出口贸易隐含碳生产率持续上升,但整体水平不高且部门差距较大;技术进步是提高出口贸易隐含碳生产率的根本,满足国内需求的生产进步也会有效促进出口贸易隐含碳生产率提高。因此,应通过低碳偏向性技术进步和扩大内需有效促进碳生产率提高,尤其要通过技术扩散促使碳生产率较低的部门加快追赶速度。

关键词: 出口贸易; 隐含碳生产率; 低碳生产; 技术进步; 扩大内需; 能源生产效率

中图分类号: F752; F223 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-8131(2022)03-0109-16

* 收稿日期:2022-01-25;修回日期:2022-04-19

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(20BJL037)

作者简介: 胡剑波(1982),男,四川泸州人;教授,博士后,博士生导师,主要从事贸易与气候变化、低碳经济与绿色发展研究;E-mail:hjbbo@126.com。王楷文(1997),男,山西晋城人;硕士研究生,主要从事低碳经济与绿色发展研究。

一、引言

在人类不断满足自身需求的生产和消费活动中,大量污染物排放带来的全球气候变暖等环境问题也使人类的可持续发展面临巨大挑战和危机,低碳化逐渐成为世界经济的主流趋势之一。作为负责任、有担当的发展中大国,中国在于2020年做出“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和”的庄严承诺。这表明,中国在生态文明建设以及社会经济发展两个层面都进入了全球视野下以降碳为重点战略方向之一的新时代(黄承梁,2021)^[1]。发展依然是解决我国一切问题的基础和关键,碳减排并非要减缓发展速度,而是要统筹推进生态环境保护与经济高质量发展。在全球气候问题日益严峻的背景下,提高碳生产率毋庸置疑是兼顾社会经济发展与碳减排的一条重要途径,也是评价地区或行业低碳经济绩效的重要指标。在绿色发展理念以及“双碳”目标的指引下,不断提高碳生产率是推进低碳经济发展的根本之策,因此深入研究碳生产率相关问题对于实现“双碳”目标和高质量发展具有重要意义。

碳生产率是指一段时期内一个国家或地区单位二氧化碳的国内生产总值产出水平,反映的是二氧化碳作为一种生产要素投入所产生的经济结果(Kaya et al,1993)^[2]。目前,关于碳生产率的研究主要集中于以下两个方面:一是碳生产率的测算及收敛性分析。碳生产率的测算有全要素碳生产率和单要素碳生产率两种。基于数据包络分析等方法的全要素碳生产率测算将碳作为一种投入或生产要素纳入宏观经济效率评价体系(刘传江等,2016;滕泽伟等,2017;Li et al,2018)^[3-5],而单要素碳生产率即经济产出指标与碳排放量的比值。在对碳生产率进行测算的基础上,一些研究基于国家、地区、行业等层面对碳生产率的收敛性进行了检验(杨翔等,2015;李小平等,2017;孙慧等,2018)^[6-8]。二是碳生产率的影响因素及机制分析。一些学者基于能源效率、产业结构以及资源禀赋等维度采用LMDI模型对不同区域碳生产率的驱动因素进行分解(于雪霞,2015;李珊珊等,2018)^[9-10];另一些学者采用LMDI模型对细分行业碳生产率的影响机制进行了剖析(Lu et al,2018;张普伟等,2019)^[11-12]。可见,现有文献对碳生产率的研究取得了许多有价值的研究成果,然而关于贸易隐含碳生产率的研究较为缺乏。

隐含碳的概念源自开放经济条件下消费与生产的空间分离,与“碳转移排放”密切相关。目前,国内学者对隐含碳的研究侧重于国际贸易中被忽视的那部分碳排放,其中,出口贸易隐含碳是指,出口国为满足进口国的消费需求而生产出口产品所造成的国内二氧化碳排放(张辉等,2014)^[13]。中国加入世界贸易组织以来,对外贸易规模实现跨越式发展。然而,在对外贸易快速增长的同时,也带来了碳排放的国际转移问题,尤其是出口增长加剧了碳减排压力。显然,尽管面临艰巨的碳减排任务,加快构建“以国内大循环为主体、国内国际双循环相互促进的新发展格局”并不是要减少对外贸易,而是要通过国内经济高质量发展促进对外贸易的转型升级。因此,不断提高出口贸易隐含碳生产率就成为“双碳”目标下高质量发展的重要路径之一。要提高出口贸易隐含碳生产率,首先需要对其现状、结构及演变趋势有一个清楚客观的认识。

目前,关于中国出口贸易隐含碳的研究大多集中于对隐含碳排放量的测算和分解以及影响因素分析等方面(周葵等,2017;王保乾等,2018;钱志权等,2019;刘斌等,2021)^[14-17],而对隐含碳生产率的研究不多。少数关于出口贸易隐含碳生产率的研究中,一些采用全要素碳生产率分析方法进行测算,如戴育琴和冯中朝(2017)测算了2001—2013年中国28个省区农产品出口贸易隐含碳排放绩效指数^[18],胡剑波等(2020)测度了2002—2017年26个产品部门的出口贸易隐含碳排放效率^[19]。但全要素碳生产率的测算方法并未统一,且在节能减排实践中设定的目标大多是单要素效率指标。而单要素碳生产率直观地表达了碳排放的经济效率,可以更好地将碳减排与经济增长结合起来,尤其是在节能减排、“碳达峰、碳中和”等一系列目标约束下,单要素碳生产率的测算具有更直接的政策含义,因而成为当下主流的

碳生产率测度方法(Hu et al, 2016; 谢会强等, 2018; 孙华平等, 2020)^[20-22]。也有一些研究采用单要素碳生产率分析方法对中国出口贸易隐含碳生产率进行了测算,如黄凌云等(2017)在其研究中测算了2000—2011年中国14个制造业行业出口贸易隐含碳排放强度(单位出口额的隐含碳排放量, 视为碳生产率的倒数)^[23];尹伟华(2019)测算了2007—2012年中国8个区域和17个产业部门的出口贸易隐含碳排放强度,并运用SDA方法对出口贸易隐含碳排放强度变化进行了结构分解(直接碳排放系数效应、增加值系数效应、中间投入技术结构效应、出口贸易综合效应)^[24]。

综上所述,现有研究对中国出口贸易隐含碳生产率的研究存在测度数据较为陈旧、测度时间周期短、增长来源分析不足等问题。有鉴于此,本文在已有研究的基础上,基于非竞争型投入产出模型对中国2002—2017年26个部门的出口贸易隐含碳生产率进行测算,并进行三次产业和制造业碳密集型产业的划分,进而对出口贸易隐含碳生产率的部门收敛性进行分析,以更为细致地刻画加入世界贸易组织后中国出口贸易隐含碳生产率的演变态势;同时,进一步对出口贸易隐含碳生产率增长的来源进行LMDI分解以及Attribution归因分析,以明确当前有效提升出口贸易隐含碳生产率的主要路径。

二、分析方法与数据来源

1. 出口贸易隐含碳生产率的测算

国际贸易使生产与消费相分离,贸易产品中的隐含碳排放发生国际转移,因此需要区别中间使用中的国内生产与国外生产。基于此,本文借鉴闫云凤和赵忠秀(2012)、胡剑波等(2020)的研究方法^{[19][25]},通过构建非竞争型投入产出模型来测算出口贸易隐含碳排放量^①:产品的直接消费系数矩阵 $A = A^d + A^m$, A^d 为各部门直接消费系数矩阵, A^m 为各进口部门直接消费系数矩阵。借鉴李小平和卢现祥(2010)剔除中间投入 A^m 的方法^[26],设 $A^m = M \times A$, M 为进口系数矩阵。因此,一国在开放条件下的国内直接消费系数矩阵 $A^d = (I - M)A$,各部门的隐含碳排放系数 $F = E(I - A^d)^{-1}$ 。则出口贸易隐含碳排放量的计算公式可表示为: $C = E(I - A^d)^{-1}Y = EX$ 。其中, E 为直接碳排放系数矩阵, $1/(I - A^d)$ 为剔除进口的里昂惕夫逆矩阵, X 为总产出, Y 为最终需求。进而,出口贸易隐含碳生产率的计算方法如式(1)所示:

$$CP_i = EX_{GDP_i} / C_i = (EX_i / X_i) \times TVA_i / C_i \quad (1)$$

其中, CP_i 为出口贸易隐含碳生产率, EX_{GDP_i} 为出口增加值; EX_i 为出口额, X_i 为总产出, TVA_i 为增加值, C_i 为出口贸易隐含碳排放量。

2001年中国正式加入WTO,因而本文以2002年为研究的时间起点;由于目前尚未公布2020年《中国投入产出延长表》,因此以2002—2017年作为样本期间。为保证数据的准确性与真实性,本文以《中国投入产出表》《中国投入产出延长表》《中国能源统计年鉴》为基础,测算各部门出口贸易隐含碳生产率。由于《中国投入产出表》与《中国能源统计年鉴》对国民经济的部门划分不同,且燃气、水生产和供应业不参与出口贸易,为了统一部门口径和便于数据处理,本文最终将产品部门划分为26个(具体的26个部门见表1)。

同时,为便于不同类型产业间的比较,本文按照《国民经济行业分类(GB/T4754—2017)》标准,将26个部门划分为三次产业。由于第二产业又包含采矿业、制造业、电热气水的生产和供应业以及建筑业等众多大类,各部门之间差异较大,且制造业又是碳排放的主要来源和对外贸易的支柱产业,进一步基于碳密集型产业的标准对制造业(编号6~21的部门)进行更为细致的分类。具体分类方法如下:

① 本文对出口贸易隐含碳排放量的计算方法仅作了简要说明,详细过程可参阅相关文献。

首先,分别计算各产业的碳排放规模 S_i 和碳排放强度 E_i : $S_i = \frac{C_i}{\sum C_i}$, $E_i = \frac{C_i}{EX_{GDPi}}$ 。然后,对二者进行

归一化处理: $S'_i = \frac{S_i - \min(S)}{\max(S) - \min(S)}$, $E'_i = \frac{E_i - \min(E)}{\max(E) - \min(E)}$ 。再计算碳排放规模与碳排放强度的几何平均

值,即各部门的碳密集程度 CI_i : $CI_i = \sqrt{S'_i E'_i}$ 。最后,将 $CI \geq 0.4$ 的部门划为高碳密集型产业,将 $0.2 \leq CI < 0.4$ 的部门划为中碳密集型产业,将 $CI < 0.2$ 的部门划为低碳密集型产业。

2. 出口贸易隐含碳生产率部门收敛性分析方法

现有文献通常采用 σ 收敛、绝对 β 收敛和条件 β 收敛来刻画经济变量的收敛性,本文也采用这 3 种方法对 26 个部门出口贸易隐含碳生产率的收敛性进行分析。

(1) σ 收敛反映变量的离散程度,本文用标准差、对数离差系数和变异系数来衡量部门间出口贸易

隐含碳生产率的差异(反映数据的离散程度),计算公式为: $S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (CP_i - \overline{CP})^2}{N}}$, $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln CP_i - \ln \overline{CP})^2}{N}}$, $CV = \frac{S}{\overline{CP}}$ 。其中, S 为标准差, σ 为对数离差系数, CV 为变异系数。

(2) 若变量的增长速度与其初始水平存在显著的负相关关系,则存在绝对 β 收敛。本文基于样本期内各部门出口贸易隐含碳生产率增长速度与其期初水平构建计量模型如式(2)所示:

$$g_{i,t+T} = \alpha + \beta \ln CP_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (2)$$

其中, $g_{i,t+T}$ 为 i 部门出口贸易隐含碳生产率在 T 时期内的年均增长率,即 $\frac{\ln CP_{i,t+T} - \ln CP_{i,t}}{T}$ 。当 β 显著小于零时,则存在绝对 β 收敛。

(3) 在绝对 β 收敛模型的基础上,加入相关控制变量,构建条件 β 收敛模型如式(3)所示:

$$g_{i,t+T} = \alpha + \beta \ln CP_{i,t} + \beta_1 TD_{i,t} + \beta_2 TS_{i,t} + \beta_3 EP_{i,t} + \beta_4 ES_{i,t} + \beta_5 GS_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (3)$$

条件 β 收敛模型可以进一步检验由于各部门异质性所导致的出口隐含碳生产率差异。其中, TD 为出口增加值占比(出口增加值/总产出)^①, TS 为生产外向度(总产出/出口额)^②, EP 为能源生产效率(出口额/出口能源消费量), ES 为能源消费结构(出口能源消费量/出口贸易隐含碳排放量)^③, GS 为要素禀赋结构(资本存量/劳动力)^④。相关数据来源于《中国投入产出表》《中国投入产出延长表》《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国劳动统计年鉴》等。当 β 显著为负时,则存在条件 β 收敛。

① 出口增加值不包括生产过程中的中间消耗(即不包括出口产品中其他部门的生产贡献),因而出口增加值占比反映的是部门所进行的出口产品生产对其总产出的贡献。

② 单从计算公式来看,该指标实际为通常所说的出口贸易依存度的倒数(其值越大则部门的出口贸易依存度越小),本文用来反映部门生产满足国内需求与国外需求的比例关系,其值越小,则部门的生产外向度越强(更多地满足国外需求)。

③ 该指标反映部门在出口生产中单位能源消耗产生的碳排放量(倒数),其值越大表明能源消费结构越偏向于低碳化(更多地使用碳排放低的能源)。

④ 资本和劳动力是生产经营中最基本的要素,二者结构的变动将影响部门出口贸易隐含碳生产率,因此,本文采用资本存量与劳动力的比值来衡量要素禀赋结构,其中资本存量采用永续盘存法(PIM)进行推衍计算。

3. 出口贸易隐含碳生产率增长来源的分解

出口贸易隐含碳生产率受到多种因素的影响,主要在于两个方面:一是生产方式的变化,偏向低碳生产的技术进步会显著降低单位产出的碳排放量;二是出口行为的变化,出口产品的规模和结构变化也会影响出口贸易隐含碳生产率。对不同年度出口贸易隐含碳生产率的测算可以刻画其演变趋势,但不能明确其变化的原因。基于数据可获得性,并遵循LMDI模型的基本思路^①,选择4个变量来对出口贸易隐含碳生产率增长进行来源分解:在出口行为方面,考虑到产品出口是为了满足国外市场的需求,由于出口贸易方式(如加工贸易)以及出口产品要求等的影响,满足外需的生产与满足内需的生产可能存在异质性,本文主要从生产目的的外向性角度(即满足国外需求与国内需求的比例关系)选用出口增加值占比(出口增加值/总产出)和生产外向度(总产出/出口额)2个分解因素,以反映在总生产中满足外需的生产占比变化对出口贸易隐含碳生产率增长的影响;在生产方式方面,考虑到能源消耗是碳排放的主要来源,本文主要从技术进步带来的能源利用方式变化角度选用能源生产效率(出口额/出口能源消费量)和能源消费结构(出口能源消费量/出口贸易隐含碳排放量)2个分解因素,以反映技术进步对出口贸易隐含碳生产率增长的影响。

(1) LMDI 模型构建

本文在Kaya恒等式的基础上进行扩展,将出口贸易隐含碳生产率的增长分解为出口增加值占比变化、生产外向度变化、能源生产效率变化和能源消费结构变化四个维度,如式(4)所示:

$$CP = \sum_{i=1}^N \frac{EX_{GDPi}}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{EX_{GDPi}}{X_i} \times \frac{X_i}{T_i} \times \frac{T_i}{E_i} \times \frac{E_i}{C} = \sum_{i=1}^N TD_i \times TS_i \times EP_i \times ES_i \quad (4)$$

其中, X_i 为总产出, T_i 为出口额, E_i 为出口能源消费量, C 为出口贸易隐含碳排放量。单个时间段出口贸易隐含碳生产率变化的分解如式(5)所示:

$$\frac{CP_t}{CP_{t-1}} = \frac{TD_t}{TD_{t-1}} \times \frac{TS_t}{TS_{t-1}} \times \frac{EP_t}{EP_{t-1}} \times \frac{ES_t}{ES_{t-1}} \quad (5)$$

其中, $\frac{TD_t}{TD_{t-1}}$ 、 $\frac{TS_t}{TS_{t-1}}$ 、 $\frac{EP_t}{EP_{t-1}}$ 、 $\frac{ES_t}{ES_{t-1}}$ 分别表示在 $[t-1, t]$ 时间段内出口增加值占比、生产外向度、能源生产效率

和能源消费结构变化对出口贸易隐含碳生产率变化的影响效应,具体计算公式如下:

$$\frac{TD_t}{TD_{t-1}} = \exp\left(\sum_{i=1}^N \omega_i \ln \frac{TD_{i,t}}{TD_{i,t-1}}\right) \frac{TS_t}{TS_{t-1}} = \exp\left(\sum_{i=1}^N \omega_i \ln \frac{TS_{i,t}}{TS_{i,t-1}}\right)$$

$$\frac{EP_t}{EP_{t-1}} = \exp\left(\sum_{i=1}^N \omega_i \ln \frac{EP_{i,t}}{EP_{i,t-1}}\right) \frac{ES_t}{ES_{t-1}} = \exp\left(\sum_{i=1}^N \omega_i \ln \frac{ES_{i,t}}{ES_{i,t-1}}\right)$$

其中, $\omega_i = \frac{L(CP_{i,t}, CP_{i,t-1})}{\sum_{i=1}^n L(CP_{i,t}, CP_{i,t-1})}$,为第*i*个部门的权重。进而,可以拓展为时间序列的LMDI分解,如

式(6)所示:

$$\frac{CP_T}{CP_0} = \prod_{t=1}^T \left(\frac{CP_t}{CP_{t-1}} = \frac{TD_t}{TD_{t-1}} \times \frac{TS_t}{TS_{t-1}} \times \frac{EP_t}{EP_{t-1}} \times \frac{ES_t}{ES_{t-1}} \right) = \frac{TD_T}{TD_0} \times \frac{TS_T}{TS_0} \times \frac{EP_T}{EP_0} \times \frac{ES_T}{ES_0} \quad (6)$$

其中,下标0代表初期,下标*T*代表末期,等式右边为分解指数累计所得,表示(0, *T*)时间段内4个

^① LMDI模型从变量自身的内因出发,将其变化分解成若干个影响因素变化的组合,分解后不存在无法解释的残差项,因此前项分母与后项分子相一致是其固有形式。

分解部分对出口贸易隐含碳生产率变动的影响效应。

(2) Attribution 模型构建

在 LMDI 模型基础上进行 Attribution 归因分析,计算各部分对迪氏分解指数变化值的贡献。这里以能源生产效率为例(其他三种分解因素以此类推),计算单时间段内各部门对能源生产效率指数变化的贡献值,计算方法如式(7)所示:

$$\frac{EP_T}{EP_0} - 1 = \sum_{i=1}^n \frac{EP_{t-1}}{EP_0} \left(\frac{EP_t}{EP_{t-1}} - 1 \right) = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T \frac{EP_{t-1}}{EP_0} r_{i,t-1,t} \left(\frac{EP_{i,t}}{EP_{i,t-1}} - 1 \right) \quad (7)$$

$$r_{i,t-1,t} = \frac{\frac{\omega_{i,t-1,t}}{L(EP_{i,t}, EP_{i,t-1} \frac{EP_t}{EP_{t-1}})} S_{i,t-1}}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\omega_{i,t-1,t}}{L(EP_{i,t}, EP_{i,t-1} \frac{EP_t}{EP_{t-1}})} S_{i,t-1} \right]}。$$

三、中国出口贸易隐含碳生产率的演变

根据式(1)计算得到 2002—2017 年中国 26 个部门总体的出口贸易隐含碳生产率,如图 1 所示。只有在 2002—2005 年,中国出口贸易隐含碳生产率出现小幅下降,其后则呈稳定增长态势。根据环境库兹涅茨曲线,贸易增长与隐含碳生产率呈现“U”型关系,在出口贸易高速发展的初期,隐含碳生产率往往出现下降趋势,随着出口贸易的持续发展,贸易结构、能源结构变化以及技术进步等均会推动出口贸易隐含碳生产率提高。2002—2005 年,中国的出口贸易增加值增长约 1.8 倍,而出口贸易隐含碳排放量增长约 2.1 倍,原因在于高污染、高耗能、高排放的部门出口占比提高,例如金属矿采选业和金属冶炼加工业的出口贸易隐含碳排放量年均增长 3 倍多,进而导致此阶段出口贸易隐含碳生产率呈下降趋势。随后,一方面出口贸易结构持续优化,第三产业出口占比不断增加;另一方面国家日益重视生态文明建设,出台了一系列促进低碳生产和节能减排的政策措施。正是由于国家对产业结构优化和绿色低碳发展的高度重视,相关政策的推动以及各部门的积极响应造就了出口贸易隐含碳生产率的持续增长。

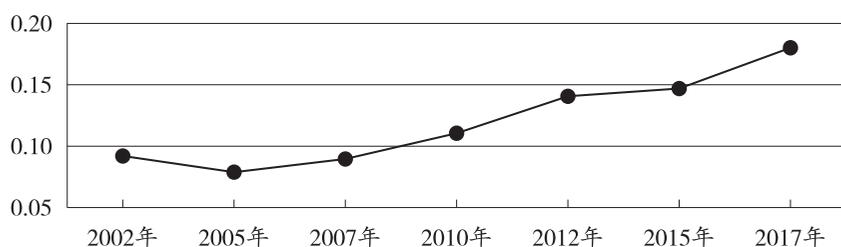


图 1 2002—2017 年中国出口贸易隐含碳生产率

进一步分别计算 26 个部门的出口贸易隐含碳生产率,结果见表 1。从部门间的横向比较来看,第一、三产业的部门出口贸易隐含碳生产率相对较高(均大于 0.10 万元/t),而第二产业的大部分部门出口贸易隐含碳生产率相对较低。在制造业中,高碳密集型产业由于能源结构严重偏煤,出口贸易隐含碳生产率最为低下;中碳密集型产业的碳排放较为密集,但能源消费结构优于高碳密集产业,出口贸易隐含碳生产率有所提高;而低碳密集型产业的出口产品附加值通常较高,清洁能源占比较大,出口贸易隐含碳生产率也较高。从纵向时间趋势来看,不同部门出口贸易隐含碳生产率的演变趋势并不一致,各部门的排名在不同年份中有所变动。有些部门的排名相对稳定,例如食品制造及烟草加工业以及其他制造业等,这些部门的能源消费结构和能源生产效率变化平稳,出口贸易隐含碳生产率排名基本保持稳

定;有些部门的排名则变动较大,例如金属矿采选业和非金属矿及其他矿采选业等。从长远来看,尽管各部门的出口贸易隐含碳生产率呈平稳上升态势,但整体水平不高,部分部门仍处于 0.10 万元/t 以下水平。因此,出口贸易隐含碳生产率较低的部门应积极优化能源结构,推动低碳技术创新,加强与其他部门的交流合作,快速提高隐含碳生产率。

表 1 中国 26 个部门的出口贸易隐含碳生产率(单位:万元/t)

产业	编号	部门	2002	2005	2007	2010	2012	2015	2017	均值	排名
第一产业	1	农业	0.350	0.404	0.511	0.632	0.691	0.747	0.881	0.602	2
	2	煤炭开采和洗选业	0.077	0.057	0.070	0.105	0.120	0.067	0.146	0.092	17
	3	石油和天然气开采业	0.104	0.213	0.192	0.229	0.302	0.191	0.515	0.249	5
	4	金属矿采选业	0.079	0.070	0.085	0.104	0.154	0.105	0.230	0.118	13
	5	非金属矿及其他矿采选业	0.106	0.069	0.115	0.107	0.185	0.123	0.212	0.131	10
	6	金属冶炼及压延加工业	0.025	0.023	0.031	0.033	0.039	0.025	0.049	0.032	24
	7	化学工业	0.043	0.041	0.046	0.056	0.062	0.055	0.088	0.056	22
	8	石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.010	0.014	0.019	0.025	0.027	0.024	0.030	0.021	26
	9	非金属矿物制品业	0.036	0.037	0.048	0.048	0.064	0.055	0.091	0.054	23
	10	电气机械及器材制造业	0.059	0.052	0.052	0.057	0.068	0.075	0.098	0.066	20
	11	金属制品业	0.042	0.042	0.051	0.052	0.066	0.063	0.096	0.059	21
第二产业	12	通信设备及其他电子设备制造业	0.097	0.073	0.105	0.104	0.152	0.169	0.173	0.125	11
	13	通用、专用设备制造业	0.069	0.057	0.073	0.078	0.101	0.103	0.145	0.089	18
	14	纺织业	0.083	0.076	0.08	0.116	0.123	0.117	0.122	0.102	14
	15	交通运输设备制造业	0.074	0.059	0.074	0.088	0.108	0.123	0.16	0.098	15
	16	造纸印刷及文教体育用品制造业	0.099	0.069	0.081	0.083	0.112	0.1	0.135	0.097	16
	17	服装皮革羽绒及其他制造业	0.109	0.124	0.118	0.126	0.171	0.232	0.168	0.150	7
	18	仪器仪表及文化办公用机械制造业	0.091	0.08	0.113	0.126	0.159	0.186	0.226	0.140	8
	19	木材加工及家具制造业	0.089	0.079	0.102	0.09	0.142	0.152	0.177	0.119	12
	20	食品制造及烟草加工业	0.134	0.148	0.157	0.169	0.238	0.263	0.298	0.201	6
	21	其他制造业	0.197	0.186	0.272	0.298	0.372	0.203	0.586	0.288	4
	22	电力、热力的生产和供应业	0.023	0.021	0.018	0.020	0.021	0.020	0.031	0.022	25
	23	建筑业	0.055	0.068	0.065	0.095	0.112	0.099	0.131	0.089	19
第三产业	24	交通运输、仓储及邮政业	0.093	0.095	0.117	0.118	0.131	0.147	0.227	0.133	9
	25	批发零售业及餐饮业	0.269	0.403	0.395	0.680	1.017	1.008	1.105	0.697	1
	26	其他行业	0.322	0.289	0.418	0.555	0.662	0.728	0.880	0.551	3

注:其中 6~9 号部门为高碳密集型产业,10~14 号部门为中碳密集型产业,15~21 号部门为低碳密集型产业。

四、中国出口贸易隐含碳生产率的部门收敛性

1. σ 收敛分析

如表 2 所示,2002—2017 年各部门出口贸易隐含碳生产率的标准差、对数离差系数以及变异系数均

呈增长趋势,表明出口贸易隐含碳生产率不存在部门间的 σ 收敛,这与李强谊等(2017)和 Xu 等(2020)对行业碳生产率收敛性的研究结论相似^[27-28]。技术进步是推动碳生产率提高的关键因素,而生产技术具有外部性,因而先进的低碳技术在部门间的扩散是碳生产率收敛的重要路径。部门间出口贸易隐含碳生产率的差距趋于扩大表明,一方面隐含碳生产率较低部门的技术进步较为缓慢,另一方面隐含碳生产率较高部门的技术扩散有待强化。

表 2 26 个部门出口贸易隐含碳生产率的 σ 收敛分析

指标	2002 年	2005 年	2007 年	2010 年	2012 年	2015 年	2017 年
标准差	0.085	0.105	0.125	0.177	0.230	0.240	0.381
对数离差系数	0.829	0.882	0.891	0.897	0.942	0.959	1.193
变异系数	0.807	0.959	0.961	1.097	1.108	1.228	1.415

为进一步考察出口贸易隐含碳生产率增长对部门间出口贸易隐含碳生产率差异的影响,本文构建以变异系数(CV)为被解释变量、隐含碳生产率增长(CPG)为解释变量的回归模型,回归结果如下:

$$CV=0.832+0.013CPG$$

$$(9.85) \quad (3.42) \quad R^2=0.801 \quad F=11.71$$

分析结果显示,出口贸易隐含碳生产率的增长与其部门间的变异系数存在一定的正相关关系,即出口贸易隐含碳生产率增长越快,部门间的差距越大。因此,在提高整体的出口贸易隐含碳生产率时,应注意缩小部门间的差距。

2. 绝对 β 收敛分析

将样本期间分为 2002—2007 年、2007—2012 年、2012—2017 年和 2002—2017 年 4 个时间段,采用模型(2)分别进行绝对 β 收敛分析,Hausman 检验结果表明采用固定效应模型更优,估计结果见表 3。4 个时间段内 β 均为负数,且均通过了 1%水平下的显著性检验,表明 26 个部门的出口贸易隐含碳生产率在各时间段内均存在绝对 β 收敛,即出口贸易隐含碳生产率较低部门具有较高的增长率,正在“追赶”生产率较高的部门。出口贸易隐含碳生产率在部门间存在绝对 β 收敛,但不存在 σ 收敛,与徐如浓等(2019)和王许亮等(2020)的研究结果类似^[29-30]。绝对 β 收敛是 σ 收敛的必要不充分条件(Sala-i-Martin,1996;潘文卿,2010)^[31-32],要使部门间出口贸易隐含碳生产率最终趋于相同,低生产率部门必须要有比高生产率部门更快的增长速度,但低生产率部门增速快于高生产率部门不一定马上带来生产率趋于一致的结果。由于部门间初始的出口贸易隐含碳生产率相差较大,低生产率部门的增速还不足以大到可以在短期内缩小与高生产率部门之间的差距。

表 3 26 个部门出口贸易隐含碳生产率绝对 β 收敛分析(FE 模型)

变量	2002—2007 年	2007—2012 年	2012—2017 年	2002—2017
β	-0.736 672 ***(-4.73)	-0.837 884 4 ***(-5.76)	-2.868 555 ***(-15.47)	-0.526 675 ***(-5.06)
α	-1.741 929 ***(-4.47)	-1.767 292 ***(-5.47)	-5.772 957 ***(-15.01)	-1.076 946 ***(-4.45)
F 值	22.37[0.000 0]	33.14[0.000 0]	239.42[0.000 0]	25.60 [0.000 0]
Hausman Test	24.03[0.000 0]	34.35[0.000 0]	275.00[0.000 0]	26.59[0.000 0]

注:小括号内数值为 t 值,中括号内数值为 p 值,***、**、* 分别代表在 1%、5%、10%的显著性水平下显著。

3. 条件 β 收敛分析

采用模型(3)进行条件 β 收敛分析,估计结果见表 4。4 个时间段内 β 均为负数,且均通过了 1%水

平下的显著性检验,表明 26 个部门间的出口贸易隐含碳生产率在 4 个时间段内均存在条件 β 收敛。

表 4 26 个部门出口贸易隐含碳生产率条件 β 收敛分析 (FE 模型)

变量	2002—2007 年	2007—2012 年	2012—2017 年	2002—2017
β	-1.178 26***(-7.99)	-1.086 55***(-6.29)	-2.550 62***(-12.61)	-1.072 56***(-10.04)
α	-3.308 93***(-7.27)	-1.749 47**(-2.80)	-4.409 12***(-6.17)	-2.556 15***(-8.01)
出口增加值占比	-1.208 49(-0.64)	-0.828 676 2(-0.34)	-26.772 96***(-3.04)	-3.499 01***(-2.29)
生产外向度	-0.238 15(-0.57)	-0.125 96(-1.41)	-0.003 29(-0.71)	0.013 77(0.41)
能源生产效率	0.361 96**(2.07)	0.102 55*** (3.33)	0.001 87(0.10)	0.041 49*** (3.50)
能源消费结构	-2.492 20*(-1.95)	-13.456 84***(-4.06)	-2.472 57(-0.56)	-3.317 58**(-2.15)
禀赋结构	2.169 66*** (4.28)	0.344 24*(1.78)	0.231 830(1.26)	0.623 21** (5.51)
F 值	12.05[0.000 0]	17.63[0.000 0]	66.34[0.000 0]	19.76[0.000 0]
Hausman test	95.21[0.000 0]	63.36[0.000 0]	793.70[0.000 0]	110.74[0.000 0]

注:小括号内数值为 t 值,中括号内数值为 p 值,***、**、* 分别代表在 1%、5%、10% 的显著性水平下显著。

五、中国出口贸易隐含碳生产率的增长来源

1. 出口贸易隐含碳生产率增长来源分解

采用公式(6)对 4 个时间段的总体出口贸易隐含碳生产率增长来源进行分解,结果如表 5 所示:

表 5 4 个时期出口贸易隐含碳生产率增长来源分解

效应	2002—2007 年	2007—2012 年	2012—2017 年	2002—2017 年
出口增加值占比	0.812	0.735	0.935	0.558
生产外向度	1.109	1.397	1.097	1.702
能源生产效率	1.439	1.499	1.308	2.821
能源消费结构	0.751	1.018	0.955	0.730
总效应	0.973	1.568	1.281	1.958

(1)2002—2017 年出口增加值占比呈下降趋势(见表 6),在 4 个时间段内出口增加值占比变化对出口贸易隐含碳生产率增长的效应均小于 1,表明出口增加值占比的降低不利于出口贸易隐含碳生产率增长。出口增加值占比降低意味着在国内进行的出口产品生产活动占国内总体生产活动的比例减少,而出口贸易隐含碳生产率主要取决于生产的对象、方式及成果,因而出口增加值占比变化对出口贸易隐含碳生产率增长并无直接的影响,该分析结果更多的是对出口贸易隐含碳生产率趋于上升和出口增加值占比趋于下降的两种演变关系的映射。

(2)2002—2017 年生产外向度(负向指标)呈先增加后降低的趋势,但在 4 个时间段内其对出口贸易隐含碳生产率增长的效应均大于 1。2002—2007 年是中国对外贸易规模快速增加的时期,生产外向度增加,此时规模效应的发挥促进了出口贸易隐含碳生产率增长。2007—2017 年,出口贸易持续增长,但生产外向度降低,表明满足国内需求的生产比满足国外需求的生产增长更快;满足国内需求的生产更快增长带来整体生产技术的进步,并对满足国外需求的生产产生技术溢出效应,进而促进出口贸易隐含

碳生产率增长。因此,目前扩大内需是有利于出口贸易隐含碳生产率增长的,应积极通过国内生产的高质量发展来促进对外贸易的转型和升级。

(3)2002—2017年能源生产效率持续提高,同时,在4个时间段内其对出口贸易隐含碳生产率增长的效应均大于1,且数值最大(相比其他3个分解因素),表明能源生产效率的提高是驱动出口贸易隐含碳生产率增长的主要因素。能源是现代产业生产的必备要素,且能源消耗是碳排放最主要的来源,因而在经济保持增长的情形下,单位能源消费的产出越高,单位碳排放的产出也越高。通过数据观察可以发现,能源生产效率提高的出口贸易隐含碳生产率增长效应与总效应的变动基本保持一致(相关性分析结果显示两个变量之间的相关系数为0.87),进一步佐证了能源生产效率提高是出口贸易隐含碳生产率增长的主要来源。

(4)2002—2017年能源消费结构呈现下降后上升的趋势,在4个时间段中,2007—2012年其对出口贸易隐含碳生产率增长的效应大于1,而其他3个时间段均小于1,表明能源消费结构的变化总体上不利于出口贸易隐含碳生产率增长。出口生产的能源消费结构除了受发展模式和技术水平的影响外,还受到能源禀赋条件以及出口产品结构的影响,因而存在一定的波动性。总体上看,目前中国的能源消费结构低碳化趋势显现,但化石能源仍占有不小的比例,具有较大的优化空间。

综上所述,得到表7所示的判断矩阵。总体来看,目前,中国出口贸易隐含碳生产率的增长主要来源于技术进步带来的能源生产效率提高和内需扩大带来的生产外向度降低。

表6 主要变量测算结果

变 量	2002年	2005年	2007年	2010年	2012年	2015年	2017年
出口隐含碳生产率	0.092	0.079	0.090	0.111	0.141	0.147	0.180
出口增加值占比	0.032	0.034	0.029	0.022	0.022	0.019	0.019
生产外向度	10.10	7.90	8.55	11.16	11.68	13.97	13.73
能源生产效率	3.61	4.43	5.82	8.63	9.55	9.55	9.56
能源消费结构	0.072	0.067	0.062	0.052	0.056	0.057	0.067

表7 4个时期出口贸易隐含碳生产率增长来源判断矩阵

时期	隐含碳生产率	出口增加值占比	生产外向度	能源生产效率	能源消费结构
2002—2007年	↓	-	+	+	-
2007—2012年	↑	-	+	+	+
2012—2017年	↑	-	+	+	-
2002—2017年	↑	-	+	+	-
F值		6.82**(0.0153)	14.09***(0.0010)	34.97***(0.0000)	5.99**(0.0221)

注:小括号内数值为p值;***、**、*分别代表在1%、5%、10%的显著性水平下显著。

进一步对各产业和部门的出口贸易隐含碳生产率增长来源进行分解,结果见表8。从26个部门来看,大多数部门与总体状况相似,但各部门间也具有明显的异质性。从三次产业来看,第一产业和第三产业较为相似,生产外向度、能源生产效率和能源消费结构变化均对出口贸易隐含碳生产率增长具有促进效应,而第二产业能源消费结构变化抑制了出口贸易隐含碳生产率增长。从不同的碳密集型产业来看,各因素的变化均对高碳密集型产业出口贸易隐含碳生产率增长具有负向效应。可见,在高碳密集型产业中,国外的污染转移现象需要引起重视。

表 8 2002—2017 年各部门和产业出口贸易隐含碳生产率增长来源分解

编号	部门/产业	出口增加值占比	生产外向度	能源生产效率	能源消费结构
1	农业	0.950	1.056	1.062	1.057
2	煤炭开采和洗选业	0.938	1.064	1.017	1.001
3	石油和天然气开采业	0.950	1.048	1.139	0.965
4	金属矿采选业	0.981	1.022	1.051	0.982
5	非金属矿及其他矿采选业	0.943	1.059	1.054	0.973
6	食品制造及烟草加工业	0.953	1.036	1.083	0.969
7	纺织业	0.979	1.014	1.018	0.999
8	服装皮革羽绒及其他制造业	0.985	1.008	1.053	0.969
9	木材加工及家具制造业	0.996	0.997	1.062	0.967
10	造纸印刷及文教体育用品制造业	0.994	0.996	1.026	0.992
11	石油加工、炼焦及核燃料加工业	1.001	1.001	1.002	1.001
12	化学工业	0.995	1.003	1.016	0.997
13	非金属矿物制品业	0.992	1.006	1.021	0.993
14	金属冶炼及压延加工业	1.003	0.996	1.005	1.001
15	金属制品业	0.995	1.005	1.028	0.984
16	通用、专用设备制造业	1.006	0.990	1.044	0.978
17	交通运输设备制造业	0.996	1.000	1.059	0.967
18	电气机械及器材制造业	0.992	1.004	1.042	0.972
19	通信设备及其他电子设备制造业	0.993	1.000	1.054	0.972
20	仪器仪表及文化办公用机械制造业	0.960	1.041	1.079	0.956
21	其他制造业	0.989	1.023	1.094	0.985
22	电力、热力的生产和供应业	0.989	1.008	1.006	0.998
23	建筑业	1.000	1.001	1.027	0.989
24	交通运输、仓储及邮政业	0.990	1.008	1.028	1.004
25	批发零售业及餐饮业	0.987	1.035	1.110	1.062
26	其他行业	0.967	1.138	1.181	0.963
第一产业		0.942	1.056	1.062	1.013
第二产业		0.785	1.271	1.426	0.821
第三产业		0.835	1.087	1.219	1.011
高碳密集型产业		0.983	0.977	0.986	0.931
中碳密集型产业		0.960	1.013	1.169	0.981
低碳密集型产业		0.932	1.151	1.420	1.082

2. 出口贸易隐含碳生产率增长的归因分析

采用公式(7)分析各部门各因素变化对出口贸易隐含碳生产率增长的贡献度,结果见表9,主要结论如下:其一,能源生产效率的提高一直都是出口贸易隐含碳生产率的主要增长来源,其贡献率远大于

其他因素;其中,贡献率较高的部门大多属于市场指向型制造业和服务业,其能源结构趋于清洁化,产出规模较大,出口附加值较高,对出口贸易隐含碳生产率的增长起到了关键作用。其二,不同时期各部门生产外向度变化对出口贸易隐含碳生产率增长的贡献率波动较大,同时表现出较大的差异性,贡献率较大的部门未能长期保持,例如农业和其他制造业的贡献率在不同时期表现出较大的增减变动。其三,各部门能源消费结构变化的贡献率在各时期也有较大的波动,虽然部分部门短期内的贡献率有较快提升,但并未长期保持,出现此消彼长的形势,有些部门甚至从榜首滑落至榜尾。

表9 各部门各因素变化对出口贸易隐含碳生产率增长的贡献(单位:%)

部门	2002—2007年				2007—2012年				2012—2017年			
	出口增加值占比	生产外向度	能源生产效率	能源消费结构	出口增加值占比	生产外向度	能源生产效率	能源消费结构	出口增加值占比	生产外向度	能源生产效率	能源消费结构
整体	-20.37	8.19	82.42	-25.52	-24.52	35.41	84.21	1.22	-4.69	13.67	78.92	-1.89
1	-2.60	2.50	3.03	3.28	-4.44	7.02	14.88	-1.82	2.06	-3.98	-4.47	6.02
2	-1.50	0.89	0.41	-0.10	-3.13	4.22	1.94	0.02	-0.27	0.64	0.51	0.18
3	-4.81	3.77	13.49	-5.36	-0.83	0.76	2.96	0.76	0.55	-0.32	4.63	1.92
4	-0.27	-0.46	3.82	-1.95	-1.86	2.70	1.93	0.15	1.04	-1.41	0.55	0.63
5	-3.03	2.10	3.66	-1.82	-1.26	2.10	0.04	0.46	-0.25	0.51	4.08	-1.31
6	0.68	-0.82	0.79	-0.14	-0.56	0.60	0.47	0.03	0.15	-0.11	-0.37	0.19
7	-0.18	-0.23	1.31	-0.47	-0.40	0.49	1.33	-0.12	0.16	-0.01	-0.2	0.35
8	-0.11	0.09	0.35	0.02	-0.08	0.11	0.33	0.02	0.14	-0.11	-0.39	0.05
9	-0.36	0.15	1.40	-0.43	-0.31	0.12	1.28	-0.14	-0.08	0.39	0.77	0.02
10	-0.85	0.23	3.10	-1.88	-0.25	0.20	-0.49	0.39	0.17	-0.09	5.38	-1.95
11	0.01	-0.25	2.10	-1.03	-0.52	0.53	1.37	-0.20	0.12	0.12	1.15	-0.2
12	0.19	-0.91	3.03	-1.35	-0.28	0.24	1.83	0.04	-0.44	0.75	5.56	-1.81
13	0.37	-0.77	1.93	-0.88	-0.26	-0.09	2.58	-0.33	0.24	-0.26	3.38	-0.72
14	-0.41	-0.23	1.93	-0.75	-1.48	2.39	3.96	-0.43	0.06	-0.35	-2.88	1.42
15	0.23	-0.87	3.26	-1.67	-0.16	0.17	2.31	-0.32	-0.25	0.83	3.98	-0.9
16	-0.66	-0.38	0.80	-0.22	0.09	-0.65	2.39	-0.27	-0.22	0.39	1.29	0.01
17	-1.48	1.03	3.07	-1.38	-0.05	-0.68	4.62	-0.63	-0.48	0.58	4.4	-1.59
18	-1.42	0.66	4.79	-2.62	-1.47	2.39	-0.08	0.53	-0.17	0.84	9.35	-3.13
19	0.41	-0.86	2.61	-0.80	-0.50	0.28	3.13	-0.39	-0.17	0.11	7.45	-2.33
20	-2.59	1.26	6.26	-2.58	-1.47	1.48	6.06	-0.68	-0.31	0.66	1.6	0.56
21	-1.15	0.92	9.83	-3.54	-2.52	4.90	-8.52	3.14	2.22	-2.99	8.94	-0.96
22	-1.26	0.81	0.67	-0.25	-0.13	0.12	0.16	0.02	0.09	-0.05	0.06	0.07
23	1.17	-1.13	1.39	-0.48	0.10	0.65	2.65	-0.24	-0.66	1.11	1.92	-0.22
24	0.60	-0.73	1.03	0.05	-1.46	0.85	1.86	-0.02	0.18	0.45	2.37	0.31
25	-0.92	0.76	3.53	1.97	3.92	-3.12	16.83	3.06	-4.58	8.06	6.68	0.15
26	-0.43	0.67	4.83	-1.13	-5.21	7.59	18.40	-1.80	-3.97	7.90	13.15	-0.71

六、结论与启示

生产低碳化是可持续发展的根本要求之一,对外贸易结构优化和升级是构建双循环新发展格局的必由之路,因此,不断提高出口贸易隐含碳生产率成为新时代高质量发展的现实选择。本文基于非竞争型投入产出模型测算 2002—2017 年中国 26 个部门的出口贸易隐含碳排放量,进而分析出口贸易隐含碳生产率的演变趋势及部门收敛性,并对出口贸易隐含碳生产率增长的来源进行 LMDI 分解和 Attribution 归因,研究结果显示:(1)2002—2005 年中国出口贸易隐含碳生产率出现小幅下降,随后呈持续递增态势;第一、三产业以及低碳密集型制造业的出口贸易隐含碳生产率较高,而第二产业中的高碳密集型产业隐含碳生产率较低;各部门的出口贸易隐含碳生产率呈平稳上升态势,但整体水平不高,部分部门仍处于 0.10 万元/t 以下水平,且不同部门的演变趋势也不一致。(2)在样本期间,26 个部门的出口贸易隐含碳生产率整体上不存在 σ 收敛,但存在绝对 β 收敛和条件 β 收敛,表明初期生产率较低部门的增长速度高于生产率较高部门,但由于初始的差异较大,部门间的差距还未出现缩小的趋势。(3)在样本期间,能源生产效率的提高是中国出口贸易隐含碳生产率增长的最主要来源,生产外向度的降低也有利于出口贸易隐含碳生产率增长,因而技术进步是提高出口贸易隐含碳生产率的主要路径,扩大内需也可以通过内需生产(满足国内需求的生产活动)对外需生产(满足国外需求的生产活动)的技术溢出来促进出口贸易隐含碳生产率增长;能源生产效率的提高也是各部门和产业出口贸易隐含碳生产率增长的主要来源,其贡献率远大于其他因素,但出口贸易隐含碳生产率增长的来源及各因素的贡献大小表现出明显的部门和产业异质性。

“双碳”目标的提出使中国经济增长面临巨大的碳减排压力,要在高质量发展中实现产出增长与碳减排的双赢,必须不断提高碳生产率。其中,出口贸易隐含碳生产率的提高不但有助于碳减排,也有利于出口贸易结构和质量的提升,进而促进新发展格局的形成。目前,中国的出口贸易隐含碳生产率虽然持续上升,但还有较大的提升空间,尤其是生产率较低的部门应加快追赶速度。基于本文研究结果,就进一步提高出口贸易隐含碳生产率提出以下启示:

第一,技术进步是提高出口贸易隐含碳生产率的根本。企业要强化技术进步的低碳化偏向,积极发展节能减碳技术,努力提高能源生产效率,并依托对外贸易和投资引进适宜的减碳、去碳化、零碳化等先进技术;政府要更好地发挥调控作用,例如通过征收能源税、碳税等环境规制来激发价格引致型技术进步和环境规制引致型技术进步。第二,满足国内需求的生产进步也会有效促进出口贸易隐含碳生产率提高,因而不应消极地通过减少出口来降低生产外向度,而应积极扩大内需,通过国内大循环的提质升级促进国内生产的整体进步,并畅通内需生产进步对外需生产的技术溢出效应,提高出口贸易隐含碳生产率,并实现国内国际双循环的相互促进。第三,各部门和产业的出口贸易隐含碳生产率水平和增长来源存在显著差异,需要根据不同时期、不同部门、不同产业的差异,因时制宜、因地制宜和因势利导相结合,建立健全多元化、多渠道的低碳贸易政策。特别要通过积极有效的部门间技术扩散,促进出口贸易隐含碳生产率较低部门对较高部门的追赶,进而高质量地稳步提升整体碳生产率。第四,目前中国的能源消费依然偏煤,能源消费结构变化难以有效促进出口贸易隐含碳生产率增长,能源消费结构亟待优化。各部门应加快清洁能源的开发利用,构建多元化清洁能源供应体系,进而发挥能源消费结构优化的碳减排效应。

本文基于非竞争型投入产出模型和 LMDI-attribution 模型,对中国出口贸易隐含碳生产率的演变趋势及增长来源进行了经验分析,由于篇幅及数据的受限,还存在深化和拓展的空间:一是本文仅基于三次产业和碳密集型产业进行产业分类,后续研究可以针对不同类型的产业展开更为细致的分类研究;二是本文采用 LMDI 模型对出口贸易隐含碳生产率增长来源进行分解,但该模型并不是单一固定模型,可

根据研究需要进行扩展,在后续研究中可以选择不同的变量从不同的角度来深入研究出口贸易隐含碳生产率变动的内因;三是研究的时间跨度也可延展,未来国家统计局发布了新的《中国投入产出表》和《中国投入产出延长表》后,可基于更长的时间跨度、更新的数据来进行更细致的研究。

参考文献:

- [1] 黄承梁. 构建人与自然生命共同体的基本原则[J]. 红旗文稿,2021(13):41-43.
- [2] KAYA Y, YOKOBORI K. Environment, energy and economy: Strategies for sustainability [M]. Delhi: Bookwell Publications, 1993:165-177.
- [3] 刘传江,赵晓梦. 长江经济带全要素碳生产率的时空演化及提升潜力[J]. 长江流域资源与环境,2016(11):1635-1644.
- [4] 滕泽伟,胡宗彪,蒋西艳. 中国服务业碳生产率变动的差异及收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究,2017(3):78-94.
- [5] LI W, WANG W, WANG Y, et al. Historical growth in total factor carbon productivity of the Chinese industry: A comprehensive analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 170:471-485.
- [6] 杨翔,李小平,周大川. 中国制造业碳生产率的差异与收敛性研究[J]. 数量经济技术经济研究,2015(12):3-20.
- [7] 李小平,王洋. “一带一路”沿线主要国家碳生产率收敛性及其影响因素分析[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版),2017(3):58-76.
- [8] 孙慧,邓小乐. 产业视角下中国区域碳生产率收敛研究[J]. 经济问题探索,2018(1):167-175.
- [9] 于雪霞. 区域碳生产率变化差异成因分析[J]. 中国人口·资源与环境,2015(S1):344-349.
- [10] 李珊珊,罗良文. “十二五”时期中国碳生产率的分解与增长动力——基于 LMDI-PDA 分解法[J]. 技术经济, 2018(8):77-86.
- [11] LU M, WANG X, CANG Y. Carbon productivity: Findings from industry case studies in Beijing[J]. Energies, 2018, 11(10): 2796.
- [12] 张普伟,贾广社,何长全,等. 中国建筑业碳生产率变化驱动因素[J]. 资源科学,2019(7):1274-1285.
- [13] 张辉,耿安逸,姚蕾. 国际贸易隐含碳研究文献综述[J]. 再生资源与循环经济,2014(12):7-10.
- [14] 周葵,毛运意. 中国出口隐含碳排放影响因素研究——基于反事实法的分析[J]. 中国人口·资源与环境,2017(6):16-26.
- [15] 王保乾,陈盼,杜根,等. 中国出口贸易隐含碳排放结构分解研究——基于中国与贸易伙伴国行业贸易碳排放数据的比较分析[J]. 价格理论与实践,2018(1):134-137.
- [16] 钱志权,杨来科,蒋琴儿. 全球价值链背景下中国出口增加值隐含碳测度与结构分解[J]. 亚太经济,2019(5):59-67+150-151.
- [17] 刘斌,王乃嘉,余森杰,等. 制造业服务要素投入与出口中的隐含碳——基于全球价值链环境成本视角的研究[J]. 中国人民大学学报,2021(2):81-94.
- [18] 戴育琴,冯中朝. 中国农产品出口贸易隐含碳排放绩效评价——基于中国省级面板数据的实证分析[J]. 江汉论坛, 2017(3):85-90.
- [19] 胡剑波,闫烁,王蕾. 中国出口贸易隐含碳排放效率及其收敛性[J]. 中国人口·资源与环境,2020(12):95-104.
- [20] HU X, LIU C. Carbon productivity: A case study in the Australian construction industry[J]. Journal of cleaner production, 2016, 112:2354-2362.
- [21] 谢会强,黄凌云,刘冬冬. 全球价值链嵌入提高了中国制造业碳生产率吗[J]. 国际贸易问题,2018(12):109-121.
- [22] 孙华平,杜秀梅. 全球价值链嵌入程度及地位对产业碳生产率的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2020(7):27-37.
- [23] 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.
- [24] 尹伟华. 中国出口贸易隐含碳排放强度变动及驱动因素研究——基于 CMRIO-SDA 模型[J]. 经济问题探索,2019

(12):123-134.

- [25] 闫云凤,赵忠秀. 中国对外贸易隐含碳的测度研究——基于碳排放责任界定的视角[J]. 国际贸易问题,2012(1):131-142
- [26] 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(1):15-26.
- [27] 李强谊,钟水映,徐飞. 中国旅游业二氧化碳排放的地区差异与收敛性研究[J]. 经济问题探索,2017(8):28-38.
- [28] XU R N, WU Y M, HUANG Y. Measurement and convergence of carbon productivity across Shanghai's manufacturing sectors[J]. International Journal of Climate Change Strategies and Management,2020,12(3):369-387.
- [29] 徐如浓,吴玉鸣,邹小芄. 浙江省制造业碳生产率变动差异与收敛性研究[J]. 华东经济管理,2019(3):12-18.
- [30] 王许亮,王恕立,滕泽伟. 中国服务业碳生产率的空间收敛性研究[J]. 中国人口·资源与环境,2020(2):70-79.
- [31] SALA-I-MARTIN X X. The classical approach to convergence analysis[J]. The economic journal,1996:1019-1036.
- [32] 潘文卿. 中国区域经济差异与收敛[J]. 中国社会科学,2010(1):72-84+222-223.

Evolution Trend and Growth Source of Embodied Carbon Productivity in China's Export Trade

HU Jian-bo^a, WANG Kai-wen^b

(*a. School of Economics; b. School of Big Data Application and Economics, Guizhou University of Finance and Economics, Guiyang 550025, Guizhou, China*)

Abstract: In the new stage of development, the proposal of the “dual carbon” goal makes low-carbon production an important part of high-quality development. The carbon transfer emissions brought by export trade increase the pressure of carbon emission reduction. Only by continuously improving the embodied carbon productivity of export trade can we achieve a win-win situation between export growth and carbon emission reduction. However, the existing literature on the embodied carbon productivity of export trade is insufficient, especially a lack of in-depth exploration of its evolution and sources of growth.

This paper uses a non-competitive input-output model to measure the embodied carbon emissions of China's export trade in 26 sectors from 2002 to 2017, uses the output of unit embodied carbon emissions to characterize the embodied carbon productivity of export trade, examines its evolution trend and sector convergence, and uses the LMDI-Attribution model to decompose its growth sources. The research results show that: (1) from 2002 to 2005, the embodied carbon productivity of China's export trade decreased slightly, and then continued to grow steadily; although the embodied carbon productivity of export trade in various sectors has shown a steady upward trend, the overall level is not high, and the evolution trend of different sectors is also inconsistent; the embodied carbon productivity of export trade in various sectors of the primary and tertiary industries is relatively high (both greater than 0.1 million yuan / t), while most sectors of the secondary industry are relatively low, especially the high-carbon-intensive industries in the manufacturing industry are the lowest. (2) From 2002 to 2017, the standard deviation, logarithmic deviation and coefficient of variation of carbon productivity embodied in export trade of various sectors showed an increasing trend. There is no “ σ ” convergence, but there is an absolute “ β ” convergence and a conditional “ β ” convergence, indicating that the growth rate of the low-productivity sector is higher than that of the high-productivity sector, but it has not yet brought about a narrowing of the absolute gap between sectors. (3) During the sample period, the growth of carbon productivity embodied in China's export trade is mainly due to the improvement of energy production

efficiency brought about by technological progress and the reduction of production export degree brought about by the expansion of domestic demand. The main source of the growth of embodied carbon productivity in export trade across sectors and industries is also the improvement of energy production efficiency, which contributes much more than other factors. However, the sources of growth of embodied carbon productivity in export trade in different sectors and industries and the size of the contribution of each factor are also significantly different.

Compared with the existing literature, this paper uses the single factor carbon productivity method to measure the embodied carbon productivity of export trade in 26 sectors, three industries and different carbon-intensive industries in the manufacturing industry, and analyzes its sectoral convergence, enriching and refining the empirical analysis on the embodied carbon productivity. At the same time, the LMDI decomposition and Attribution of the growth sources of export trade embodied carbon productivity of various sectors and industries provide experience and reference for improving export trade embodied carbon productivity.

The research of this paper shows that: the embodied carbon productivity of China's export trade continues to rise, but the overall level is not high and the gap between sectors is large; technological progress is fundamental to improving the embodied carbon productivity of export trade, and advances in production to meet domestic demand will also effectively promote the increase of the embodied carbon productivity of export trade. Therefore, it is necessary to effectively promote carbon productivity through low-carbon technological progress and expansion of domestic demand, especially to accelerate the catch-up speed of sectors with low carbon productivity through technological diffusion.

Key words: export trade; embodied carbon productivity; low-carbon production; technological progress; expanding domestic demand; energy production efficiency

CLC number: F752; F223 **Document code:** A **Article ID:** 1674-8131(2022)03-0109-16

(编辑:黄依洁)

声 明

本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在中国知网及其系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文;同时,本刊为《国家哲学社会科学学术期刊数据库》《万方——数字化期刊群》《中文科技期刊数据库》《科技论文在线》《超星数字图书馆》《国研网》《龙源期刊网》《教育阅读网》《博看网》等数据库全文收录期刊(其中《国研网》为选择性收录),论文在本刊发表后将通过上述数据库传播。

文章凡经本刊选用,即视为作者同意本刊代理该作品电子版的信息网络传播权,并且本刊有权授权其他机构进行该作品电子版信息的网络传播。

作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意本刊上述声明。若作者不同意其作品收录入上述或其他数据库,请在来稿时说明,我们可做相应处理。

西部论坛编辑部