

DOI: 10.19361/j.er.2016.04.02

中国对外贸易隐含碳:结构特征与影响因素

潘安 魏龙*

摘要: 本文基于技术异质性的多区域投入产出(MRIO)模型,采用 WIOD 提供的数据库计算 1995–2011 年中国对外贸易隐含碳排放量,从地区 and 行业两个维度来分析贸易隐含碳排放的结构特征,并通过结构分解分析(SDA)方法考察中国出口隐含碳排放增长的影响因素。研究表明,中国对外贸易隐含碳排放的地区分布较为集中,出口隐含碳排放主要集中于美国、日本、韩国等地区,进口隐含碳排放则集中于韩国、中国台湾、俄罗斯等地区;贸易隐含碳排放主要集中在重制造业、轻制造业、能源工业等工业行业,仅能源工业和农业的净出口隐含碳排放量为负;规模效应对出口隐含碳排放增长起到了主导的正效应,技术效应有利于抑制出口隐含碳排放增长,但结构效应并未发挥出应有的负效应。中国未来在贸易增长的趋势下,有利于实现碳减排目标的途径包括调整进出口贸易结构、推进雁阵式产业升级、发挥地区合作机制等。

关键词: 隐含碳;MRIO 模型;SDA 方法;碳减排

一、引言及文献综述

改革开放以来,中国温室气体排放随着对外贸易规模高速增长也呈现出显著的增长态势,与之相关的全球气候变化问题受到了广泛关注,国内面临的碳减排压力逐渐加强。1980–2012 年间,中国货物进出口总额增长近 100.4 倍; CO_2 排放量增长 475.67%,占全球排放总量比重由 7.89% 上升至 25.86%,并于 2006 年首次超过美国,至今位列世界第一^①。中国在 2009 年《哥本哈根协议》中承诺,到 2020 年,在 2005 年水平上削减碳密度 40%~45%;进一步在《中美气候变化联合声明》(2014)中提出了 CO_2 排放总量控制目标,即“计划 2030 年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰”。那么,中国近年来逐渐增长的 CO_2 排放趋势是否与对外贸易增长密切相关?若回答是肯定的,中国又该如何在贸易增长的趋势下寻求碳减排,具体可有哪些途径?这些亟待解决的实际经济问题关系到中国未来如何协调贸易增长与应对气候变化关系以及实现经济可持续发展。为此,本文通过计算中国对外贸易隐含碳排放,对其地区与行业结构进行分析,探寻结构特征产生的内在原因,并通过影响因素分析,试图对上述问题进行回答。

基于环境投入产出模型计算得到的贸易隐含碳,能够较为准确地回答一国或地区参与

*潘安,中南财经政法大学经济学院,邮政编码:430073,电子信箱:panan0819@163.com;魏龙,武汉理工大学经济学院、湖北省科技创新与经济发展研究中心,邮政编码:430070,电子信箱:longwei@whut.edu.cn。

本文感谢中央高校基本科研业务费专项资金资助项目“资源贸易、环境污染与政策选择:基于扩展战略性环境政策的研究”(项目编号:2014-yb-007)和国家社会科学基金重点项目“战略性新兴产业发展理论与政策研究”(项目编号:11AZD081)的资助。作者感谢匿名审稿人的宝贵意见,文责自负。

①货物进出口数据来源于中华人民共和国国家统计局, CO_2 排放数据来源于 OECD 统计数据。

贸易活动所引起的碳排放水平,相关研究展开使用的分析方法起源于 Leontief (1970) 讨论经济发展与环境关系时提出的投入产出分析方法。国内学者在此领域研究较国外而言起步较晚,但相关研究成果逐渐丰富,主要包括计算中国整体对外贸易、参与双边贸易隐含碳等方面内容。一方面, Pan 等 (2008) 较早地计算了中国对外贸易隐含碳排放量,并认为基于消费者责任的计算原则更为合理;李小平 (2010) 则从垂直专业化分工视角计算了中国贸易隐含 CO₂ 排放量,得到出口含 CO₂ 强度要小于进口,从而认为贸易总体上有利于中国节能减排;彭水军等 (2015) 进一步测算了中国生产侧和消费侧碳排放量,得到生产侧排放明显高于消费侧排放的结论。另一方面, Shui 和 Harris (2006)、Du 等 (2011)、赵玉焕和李洁超 (2013) 等考察了中美贸易隐含碳问题;其他学者还关注到了中欧贸易 (谭娟、陈鸣, 2015)、中日贸易 (Liu et al., 2010; 赵玉焕、王淞, 2014)、中澳贸易 (Tan et al., 2013)、中英贸易 (Li and Hewitt, 2008)、中国与金砖国家贸易 (潘安、魏龙, 2015) 等。

总的来看,现有关于中国对外贸易隐含碳排放研究仍存在一定的局限性:一是对中国整体对外贸易隐含碳问题,多数研究仅从地区或行业的单一维度进行分析^①;二是对双边贸易隐含碳问题,较多考察中国与单一国家间贸易隐含碳排放情况,忽视了与不同国家双边贸易隐含碳排放可能存在的异质性进行考察;三是限于连续年份投入产出数据的可获得性,现有研究主要局限于计算个别年份贸易隐含碳,并通过运用结构分解分析 (Structural Decomposition Analysis, SDA) 方法使分析更为完整 (Wiedmann et al., 2011)。在采用世界投入产出数据库 (World Input-Output Database, WIOD) 提供的相关数据基础上,本文计算 1995—2011 年各年中国对外贸易隐含碳排放量,从地区和行业两个维度来分析贸易隐含碳排放的结构特征,并利用 SDA 方法考察出口隐含碳排放增长的影响因素,试图在对现有研究进行扩展的基础上,为中国未来协调贸易增长与应对气候变化关系等提供经验依据。

二、研究方法与数据说明

(一) 基于技术异质性的 MRIO 模型

计算贸易隐含碳的方法并非单一,主要包括扩展环境投入产出 (Environmental Extended Input-Output, EE-IO) 模型、物质流核算 (Material Flow Accounting, MFA)、生命周期评价 (Life Cycle Assessment, LCA) 等方法;其中, EE-IO 模型主要可分为三类,包括早期研究中较为常用的单区域投入产出 (Single Region Input-Output, SRIO) 和双边贸易投入产出 (Bilateral Trade Input-Output, BTIO) 模型,以及现有研究中较为常用的多区域投入产出 (Multi-Region Input-Output, MRIO) 模型 (Sato, 2014)。具体而言, SRIO 模型多用于考察一国或地区与所有贸易伙伴整体的贸易隐含碳,基于“进口替代效应”假设认为国内外生产技术相同,即本国完全碳排放系数与国外相同^②; BTIO 模型则用于考察双边贸易隐含碳,由于考虑具体贸易伙伴国,可放弃 DTA 以提升计算结果的准确性,但未考虑进口产品中作为中间投入部分; MRIO 模型则进一步完善了上述假设,其不仅考虑了技术异质性,即不同国家的生产技术并不相同,因而完全碳排放系数也有所差异,还将进口产品分为中间投入和最终需求两部分,使计算结果更为准确。

本文在借鉴相关前期研究基础上 (Sánchez-Chóliz and Duarte, 2004; 彭水军等, 2015), 构建了基于技术异质性的 MRIO 模型,并据此计算中国与所有贸易伙伴国或地区的对外贸易隐含碳排放量。假设中国仅与国家 (地区) f 有贸易往来 ($f=1, \dots, n$), 各国 (地区) 内均有 s 个

^①例如, Zhao 等 (2014) 仅考察了分行业的贸易隐含碳排放情况。

^②该假设也被部分学者 (Tukker et al., 2013; Arto et al., 2014) 称为“国内技术假设” (Domestic Technology Assumption, DTA)。

行业部门,MRIO 模型对中国各行业投入产出关系以及各国(地区)碳排放系数作如下设定:

设 x 和 y 分别为中国各行业部门的总产出向量和最终需求向量,且有 $x = Ax + y$,其中 A 代表包括国内和进口投入的直接消耗系数矩阵,故 A 可分解为:

$$A = A^d + \sum_{f=1}^n A^f \quad (1)$$

(1)式中: A^d 和 A^f 分别代表来自国内和国家(地区) f 进口投入的技术系数矩阵。进而,中国进口产品包括用于中间投入和满足国内最终需求两部分,具体可表示为:

$$x^m = \sum_{f=1}^n A^f x + y^m = \sum_{f=1}^n A^f x + \sum_{f=1}^n y^f \quad (2)$$

(2)式中: x^m 代表中国总进口向量, y^m 和 $\sum_{f=1}^n y^f$ 均代表用于满足国内最终需求的进口产品;

$\sum_{f=1}^n A^f x$ 代表作为中间投入的进口产品。同时,中国总出口向量 x' 也可分解为对 n 个贸易伙伴出口^①,即:

$$x' = \sum_{f=1}^n x^f \quad (3)$$

(3)式中: x^f 代表中国对国家(地区) f 的出口向量。因此,中国对外贸易隐含碳排放不仅包括出口隐含碳,还包括进口隐含碳,而净出口隐含碳排放则为上述两者之差。

在各国(地区)碳排放系数方面,设 c^d 为中国单位行业产出直接碳排放系数向量,则中国单位行业产出完全碳排放系数向量可表示为:

$$v^d = c^d (I - A^d)^{-1} \quad (4)$$

(4)式中: $(I - A^d)^{-1}$ 为去除中间进口的里昂惕夫逆矩阵。可见,各行业完全碳排放系数取决于碳排放强度和中间生产技术,总体上反映出各行业的生产技术水平。同样地,可设国家(地区) f 的完全碳排放系数向量为 v^f 。在获得不同国家(地区)完全碳排放系数的条件下,本文能够基于技术异质性较为准确地计算得到中国与所有贸易伙伴以及整体的贸易隐含碳排放情况。

至此,可以得到中国对外贸易隐含碳排放总量 C (从中国的角度)的计算公式为^②:

$$C = C_t + C_m = \underbrace{\sum_{f=1}^n v^d x^f}_{\text{对 } n \text{ 个国家(地区)出口隐含碳总和}} + \underbrace{\sum_{f=1}^n (v^f A^f x + v^f y^f)}_{\text{对 } n \text{ 个国家(地区)进口隐含碳总和}} \quad (5)$$

中国对外贸易的净出口隐含碳排放量 B 的计算公式则为:

$$B = C_t - C_m = \sum_{f=1}^n B^f = \underbrace{\sum_{f=1}^n (v^d x^f - v^f A^f x - v^f y^f)}_{\text{对 } n \text{ 个国家净出口隐含碳总和}} \quad (6)$$

(5)式和(6)式中: C_t 和 C_m 分别代表中国出口隐含碳和进口隐含碳; B^f 表示中国对国家(地区) f 的净出口隐含碳,当 $B^f > 0$ 时,表明中国在与国家(地区) f 双边贸易中处于隐含碳净出口地位,反映出双边贸易的开展增加了国内碳排放;反之亦然。需要说明的是,净出口隐含碳的概念不仅适用于对不同国家(地区)双边贸易及整体对外贸易,还同样适用于各行业贸

①中国出口也包括进口国(地区)作为中间投入和满足其国内最终需求两部分,在此不再细分。

②本文以中国角度计算贸易隐含碳的做法借鉴了彭水军等(2015)以国家1(中国)为例展开的研究思路,能够简化 MRIO 模型的分析内容。

易隐含碳分析,例如 B_j^f 可表示中国与国家(地区) f 贸易中行业 j 的净出口隐含碳排放量,故有 $B^f = \sum_{j=1}^s B_j^f$,即可对中国整体对外贸易隐含碳按地区和行业维度进行分解。

(二) 碳贸易条件和进出口比较碳指数

为了更好地分析中国对外贸易隐含碳排放的地区结构,本文借鉴“贸易的环境污染条件”(Pollution Terms of Trade)指数的构建方法与分析思路(Antweiler, 1996),尝试通过构建“碳贸易条件”(Carbon Terms of Trade, CTT)指数分析中国对外贸易隐含碳排放的相对规模水平。CTT 指数计算公式为:

$$CTT = \eta / \delta = \frac{C_t / x^t}{C_m / x^m} \quad (7)$$

(7)式中: $\eta = C_t / x^t$ 表示出口碳排放强度, $\delta = C_m / x^m$ 表示进口碳排放强度。 $CTT > 1$ 表明中国单位出口产品的隐含碳排放水平大于单位进口产品, $CTT < 1$ 则表明单位进口产品的隐含碳排放水平大于单位出口产品。

如果计算各行业进出口隐含碳排放可反映贸易隐含碳排放的绝对贡献水平,那么如何能够衡量各行业进出口隐含碳排放的相对贡献水平?为此,本文在借鉴 Balassa (1965) 提出的显示性比较优势指数(Revealed Comparative Advantage, RCA)基础上,通过构建进出口比较碳(Export/Import Comparative Carbon, ECC/ICC)指数来衡量中国各行业进出口隐含碳的相对贡献水平。以 ECC 指数为例,其计算公式如下:

$$ECC_i = \frac{C_{t,i} / C_t}{x_i^t / x^t} \quad (8)$$

(8)式中: ECC_i 表示行业 i 的出口比较碳指数, $C_{t,i}$ 和 x_i^t 分别表示行业 i 的出口隐含碳排放量和出口额。当 $ECC_i > 1$ 时,表明行业 i 的相对碳排放水平大于相对出口水平,该值越大表示其对碳排放的相对贡献也越大;当 $0 \leq ECC_i < 1$ 时,表明行业 i 的相对碳排放水平小于相对出口水平,该值越小表示其对碳排放的相对贡献也越小。进口比较碳(ICC)指数的计算公式和具体含义与 ECC 指数相似,在此不再详述。ECC/ICC 指数可作为分析中国对外贸易隐含碳排放行业结构的重要指标。

(三) 出口隐含碳排放增长的结构分解

根据(5)式可知,中国出口隐含碳排放取决于单位行业产出完全碳排放系数和出口水平。与现有相关研究相同(赵玉焕、李洁超, 2013; 赵玉焕、王淞, 2014; 等等),本文通过构建 SDA 模型来考察中国出口隐含碳排放增长的影响因素^①;有所不同的是,本文直接将完全碳排放系数向量 v^d 作为影响出口隐含碳排放的影响因素,其他两个影响因素为出口结构向量 S ^② 和出口总额 X 。具体模型如下:

$$C_t = v^d x^t = v^d S X \quad (9)$$

使用两极分解法对(9)式进行结构分解,则出口隐含碳排放的变动 ΔC_t 可表示为:

$$\Delta C_t = C_{t,1} - C_{t,0} = v_1^d S_1 X_1 - v_0^d S_0 X_0 \quad (10)$$

(10)式中:下标 0(或 1)表示为基期(或计算期)。

首先从基期进行分解,可得:

①除 SDA 方法外,分解方法还有对数平均迪氏指数(Logarithmic Mean Divisia Index, LMDI)分解法,更有学者将两种方法相结合来考察碳排放增长的影响因素(袁鹏等, 2012)。

② S 为 $s \times 1$ 向量,且 $x^t = S X$ 。

$$\Delta C_t = \Delta v^d S_0 X_0 + v_1^d \Delta S X_0 + v_1^d S_1 \Delta X \quad (11)$$

再从计算期进行分解,可得:

$$\Delta C_t = \Delta v^d S_1 X_1 + v_0^d \Delta S X_1 + v_0^d S_0 \Delta X \quad (12)$$

进一步取(11)和(12)两式的算术平均值,并结合 Grossman 和 Krueger (1991) 提出的贸易影响环境的规模效应、结构效应和技术效应,可得:

$$\Delta C_t = \underbrace{\frac{1}{2}(\Delta v^d S_0 X_0 + \Delta v^d S_1 X_1)}_{\text{技术效应}} + \underbrace{\frac{1}{2}(v_1^d \Delta S X_0 + v_0^d \Delta S X_1)}_{\text{结构效应}} + \underbrace{\frac{1}{2}(v_1^d S_1 \Delta X + v_0^d S_0 \Delta X)}_{\text{规模效应}} \quad (13)$$

(13)式中:第一部分为完全排放系数的变化对出口隐含碳排放的影响,表示技术效应;第二部分为出口结构的变化对出口隐含碳排放的影响,表示结构效应;第三部分为出口规模的变化对出口隐含碳排放的影响,表示规模效应。

(四)数据说明

本文研究的关键在于计算得到连续年份中国与所有贸易伙伴进出口隐含碳排放量。然而,研究难点主要包括:第一,获得各国(地区)连续年份的投入产出、碳排放数据,以便得到各国(地区)各年的完全碳排放系数向量;第二,获得各年中国对所有贸易伙伴的进出口贸易数据,包括作为中间投入和最终需求两部分,从而得到中国与每一个贸易伙伴进出口隐含碳排放量;第三,投入产出、碳排放以及进出口贸易数据的行业分类口径需统一。上述难点或导致现有相关研究存在不同方面的局限性:难点一导致仅能得到个别年份的贸易隐含碳排放结果,而非连续年份;难点二导致仅能计算中国与个别国家(地区)双边贸易隐含碳,且无法单独计算得到进口中间投入部分隐含碳;难点三导致计算结果或存在明显偏差,原因在于行业统计口径并不一致,因而降低了计算的准确性。

如何同时克服上述计算难点是本文区别于现有研究的关键之处,也是进行贸易隐含碳排放地区与行业结构特征分析的重要基础。需要强调的是,近年来有关 GMRIO (Global Multiregional Input-Output) 数据库的发展为本文研究提供了可能,这些数据库包括 EORA、EXIOPOL、WIOD 等。本文使用的相关数据均来自于 WIOD,以保证数据统计口径的统一。该数据库提供了 1995-2011 年 40 个国家(地区)各年的投入产出系数、各国(地区)与其他国家(地区)的投入产出关系以及 1995-2009 年各国(地区)8 种气体污染物排放数据^①;此外,其提供的投入产出和污染排放数据均包括 35 个行业(行业代码为 c1-c35)^②。由于碳排放数据仅提供 34 个行业部门(c1-c34),本文最终删除雇用家政服务人员的私人家庭的活动(c35),保留其余 34 个行业部门^③;为尽可

①WIOD 将其他地区统一称为 RoW(Rest of World)。为便于分析,下文“国家(地区)”均简称为“地区”。

②根据 WIOD, c1-c35 对应的行业名称如下: c1 为农业、狩猎、林业和渔业, c2 为采矿及采石, c3 为食品、饮料及烟草制品的制造, c4 为纺织品及服装制造, c5 为皮革的鞣制及修整、鞋靴的制造, c6 为木材、木材制品及软木制品的制造, c7 为纸和纸品的制造、出版及印刷, c8 为焦炭、精炼石油产品及核燃料的制造, c9 为化学品及化学制品的制造, c10 为橡胶和塑料制品的制造, c11 为其他非金属矿物制品的制造, c12 为基本金属及金属制品的制造, c13 为未另分类的机械和设备的制造, c14 为无线电、光学仪器等制造, c15 为运输设备制造, c16 为未另分类的制造业及回收利用, c17 为电力、煤气和水的供应, c18 为建筑业, c19 为汽车和摩托车的销售、维护和修理、汽车燃料的零售, c20 为批发贸易和经纪贸易(汽车和摩托车除外), c21 为零售贸易(汽车和摩托车除外)、个人和家庭用品的修理, c22 为旅馆和餐馆, c23 为陆上运输, c24 为水上运输, c25 为航空运输, c26 为辅助性和附属性运输活动、旅行社的活动, c27 为邮政和电信, c28 为金融媒介活动, c29 为房地产活动, c30 为不配备操作人员的机械和设备以及个人和家庭用品的租赁及其他商业活动, c31 为公共管理与国防、强制性社会保障, c32 为教育, c33 为卫生与社会工作, c34 为其他社区、社会和个人服务活动, c35 为雇用家政服务人员私人家庭的活动。

③中国的投入产出数据缺失行业 c19、c35,即国内投入和出口部分数据均为“0”;但数据库仍统计了进口数据,故最终选择保留行业 c19。

能充分利用 WIOD 提供的数据,并考虑到碳排放强度或在短时间内不发生明显变化,本文选择使用 2009 年各国(地区)直接碳排放系数向量近似替代 2010 年和 2011 年数值^①。本文计算结果均使用 Matlab7.0 软件计算得到。

三、计算结果分析

(一) 贸易隐含碳排放总体概况

根据(5)和(6)式,本文计算得到 1995-2011 年中国各年对外贸易隐含碳(C)和净出口隐含碳(B)的排放水平,并根据(7)式计算得到碳贸易条件指数,如表 1 所示。

表 1 1995-2011 年中国对外贸易隐含碳排放总体概况

年份	C (千吨)	B (千吨)	CTT 指数	年份	C (千吨)	B (千吨)	CTT 指数
1995	690 271.90	502 348.31	5.37(0.88)	2004	1 538 411.98	875 879.32	3.17(0.89)
1996	650 503.25	448 478.97	4.56(0.88)	2005	1 793 681.27	1 064 611.43	3.14(0.88)
1997	690 104.27	472 385.23	3.93(0.86)	2006	2 017 842.20	1 266 524.45	3.30(0.88)
1998	709 860.81	466 129.20	3.54(0.84)	2007	2 212 869.51	1 373 625.99	3.10(0.88)
1999	687 702.52	398 572.35	3.05(0.85)	2008	2 239 633.26	1 371 573.21	3.07(0.88)
2000	784 284.46	418 164.65	2.76(0.85)	2009	1 961 975.07	1 062 615.74	2.65(0.86)
2001	803 125.08	395 979.02	2.51(0.86)	2010	2 542 048.82	1 329 086.96	2.62(0.86)
2002	947 007.36	461 987.20	2.45(0.85)	2011	3 080 029.45	1 544 654.39	2.59(0.87)
2003	1 221 347.13	631 326.47	2.73(0.86)				

注:括号内为基于 DTA 的 CTT 指数计算结果。

从计算结果来看,对外贸易隐含碳和净出口隐含碳排在 1995-2001 年间保持着相对稳定的水平,但在 2002-2011 年呈现出明显的上升趋势,其中在 2009 年出现短期波动; CTT 指数却呈现出不同的变化趋势,其在 1995-2002 年呈现出逐年下降趋势,2003-2011 年则在 3.00 左右水平上下波动,总体上从 1995 年的 5.37 下降至 2011 年的 2.59。为何中国对外贸易隐含碳排放会呈现出上述变化趋势,其原因和影响因素有哪些?本文进一步通过对外贸易隐含碳排放的地区与行业结构以及 SDA 结果分析对上述问题予以解答。

作为对比,本文在表 1 中还报告了基于 DTA 的 CTT 指数计算结果,其与基于技术异质性的计算结果相比均较小,原因在于前者过高估计了进口隐含碳排放水平^②。

(二) 贸易隐含碳排放的地区结构特征

在计算上述整体对外贸易隐含碳排放基础上,将其按照地区 and 行业两个维度进行分解,从而能够得到中国对不同地区在各行业的贸易隐含碳排放情况。从地区维度,可计算得到中国与其他所有贸易伙伴各自的进出口隐含碳排放、 CTT 指数等。限于篇幅,本文仅报告了中国进出口隐含碳排在前十位的地区,如表 2 所示。从出口隐含碳排放方面,主要集中在美国、日本、韩国等地区,中国对前十位地区出口隐含碳排放占出口隐含碳总排放的比例达 60.91%,相应的出口占比也达 58.68%;从进口隐含碳排放方面,主要集中于韩国、中国台湾、

^①以中国为例,2009 年 33 个行业(除直接碳排放系数为 0 的行业 c19)直接碳排放系数较 2008 年平均下降 2.53%,而较 2007 年和 1995 年平均下降幅度为 10.57%和 75.09%,这在一定程度上说明本文选择使用 2009 年各国(地区)直接碳排放系数向量近似替代 2010 年和 2011 年数值的做法具有一定合理性。需要注意的是,各国(地区)直接碳排放系数主要呈现下降趋势,故上述近似替代可能高估了 2010 年和 2011 年各国(地区)真实的完全碳排放系数及贸易隐含碳排放水平。

^②本文基于 DTA 的 CTT 指数计算结果与李小平(2010)相近,后者计算结果表明 1995 年、2000 年、2005 年的环境贸易条件分别为 0.85、0.85、0.89,这一定程度上低估了中国现阶段对外贸易隐含碳排放增长的严重性。

俄罗斯等地区,中国对前十位地区进口隐含碳排放占进口隐含碳总排放的比例达 57.76%,而相应的进口占比为 57.28%。此外,出口隐含碳排放前十位地区中,仅英国和法国未进入进口碳排放前十位,表明贸易隐含碳排放的地区分布较为集中;除俄罗斯、印度外,中国与上述地区贸易的 *CTT* 指数均大于 1,表明相关贸易活动并不有利于国内碳减排。

表 2 1995-2011 年中国进出口隐含碳排放前十位地区^①

C_i 排名	国家(地区)	C_i (千吨)	C_i 占比 (%)	<i>CTT</i> 指数	C_m 排名	国家(地区)	C_m (千吨)	C_m 占比 (%)	<i>CTT</i> 指数
1	美国	4 416 942.03	22.85	4.00	1	韩国	546 927.51	10.43	2.90
2	日本	2 127 490.62	11.01	5.29	2	中国台湾	522 238.56	9.96	3.24
3	韩国	1 067 787.31	5.52	2.90	3	俄罗斯	488 806.75	9.32	0.46
4	德国	1 048 881.50	5.43	8.67	4	日本	414 287.03	7.90	5.29
5	英国	621 512.66	3.22	6.25	5	美国	350 439.88	6.68	4.00
6	加拿大	569 120.85	2.94	3.08	6	澳大利亚	197 541.45	3.77	3.35
7	澳大利亚	520 908.94	2.70	3.35	7	印度	192 090.55	3.66	0.87
8	印度	490 681.00	2.54	0.87	8	德国	121 036.14	2.31	8.67
9	法国	457 526.71	2.37	8.92	9	印度尼西亚	107 530.76	2.05	1.98
10	中国台湾	450 699.08	2.33	3.24	10	加拿大	87 556.76	1.67	3.08

根据表 2 可知,中国最大出口、进口隐含碳排放的贸易伙伴分别为美国、韩国,且两者所占比重分别在 20%和 10%以上。进一步来看,中国对美国出口隐含碳排放和对韩国进口隐含碳排放的行业分布均呈现出一定变化(见表 3)。

表 3 中国对美国出口隐含碳排放和对韩国进口隐含碳排放的行业分布变化(单位:千吨)

行业 代码	C_i (对美国)		C_m (对韩国)		行业 代码	C_i (对美国)		C_m (对韩国)	
	1995 年	2011 年	1995 年	2011 年		1995 年	2011 年	1995 年	2011 年
c1	1 175.60	943.78	15.14	47.56	c16	7 321.24	13 012.11	3.09	30.90
c2	1 409.30	952.16	1.01	0	c17	2 703.76	2 114.61	3.40	84.79
c3	2 221.04	4 686.30	62.50	335.41	c21	0	938.23	0	0
c4	23 787.82	32 311.72	1 859.21	1 333.29	c23	80.36	697.65	19.47	335.82
c5	10 287.08	10 972.70	238.33	216.09	c24	26.10	0	50.87	1 746.38
c6	2 528.94	2 435.31	21.39	2.73	c25	2 854.80	16 488.01	145.24	9 189.50
c7	2 689.19	3 006.39	374.64	286.56	c26	0	0	172.47	172.19
c8	478.70	1 709.71	603.79	4 781.96	c27	0	0	18.94	326.42
c9	6 387.02	33 398.32	2 456.93	15 648.45	c28	17.52	96.56	10.78	3.57
c10	8 360.22	18 051.13	183.77	1 288.55	c30	1 226.54	28 554.71	64.17	0
c11	11 407.71	17 117.40	0	796.41	c31	0	0	90.30	239.10
c12	19 341.21	37 456.42	2 341.35	11 022.51	c32	1.19	1.85	0	0
c13	6 328.71	37 529.20	442.69	5 860.64	c33	1.02	18.67	0.09	0
c14	34 976.63	168 166.67	715.67	21 297.22	c34	133.75	117.23	83.24	584.39
c15	2 029.95	11 960.23	90.63	2 539.44					

注:行业 c18-c20、c22、c29 的 C_i (对美国)和 C_m (对韩国)均为 0。

一方面,中国对美国出口隐含碳排放的行业分布从 1995 年到 2011 年的变化表现为:1995 年 C_i 水平位列前两位的行业为无线电、光学仪器等制造(c14)、纺织品及服装制造(c4),而在 2011 年末另分类的机械和设备的制造(c13)、化学品及化学制品的制造(c9)的水平有了明显上升,两者分别从 1995 年的第 9、8 位上升至 2011 年的第 2、4 位;同时,属于服务业的行业 c30 的水平也呈现出明显上升,从第 17 位上升至第 6 位。另一方面,中国对韩

①本文所指与中国台湾地区贸易为中国大陆与中国台湾地区贸易,下同。

国进口隐含碳排放的行业分布也表现出较为明显的变化,具体表现为:1995年 C_m 水平最高的为行业c9,其他处于较高水平的行业还包括基本金属及金属制品的制造(c12)、c4、c14等;但在2011年 C_m 水平最高行业变为行业c14,而行业c4的相对 C_m 水平明显降低。需要说明的是,俄罗斯和中国台湾是净出口隐含碳排放量为负值仅有的两个地区,净出口隐含碳排放总量分别为-197 632.84千吨、-71 539.49千吨,其中对俄罗斯进口隐含碳排放主要从行业c9、c12、c13向c2、c12、c9等行业转移,对中国台湾进口隐含碳排放主要从行业c9、c4、c12向c14、c9、c12等行业转移,表明行业c2、c14分别在中国对俄罗斯、中国台湾进口中地位有一定上升。

(三)贸易隐含碳排放的行业结构特征

在分析与个别地区贸易隐含碳排放的行业分布特征后,本文进一步考察中国整体对外贸易(或对特定地区)分行业的进出口隐含碳排放。表4报告了1995-2011年中国34个行业净出口隐含碳及其碳排放强度水平。可见,中国净出口隐含碳排放水平最高的为行业c14,且该行业的进出口占比也均位列第一;在34个行业中,有6个行业的净出口隐含碳排放量为负,其中行业c2、农业、狩猎、林业和渔业(c1)、焦炭、精炼石油产品及核燃料的制造(c8)的隐含碳净进口规模位列前三位;电力、煤气和水的供应(c17)的出口碳排放强度 η 水平最高,为15.95千吨/百万美元,远高于其他行业,其他 η 水平较高的行业还包括其他非金属矿物制品的制造(c11)、c12、航空运输(c25)等;除两个没有出口的行业(c19和c29)外,中国在其余32个行业的 η 水平均高于 δ 水平,表明中国总体碳排放强度要明显高于其他地区的平均水平,这也是导致中国常年处于隐含碳净出口地位的重要原因之一。

表4 1995-2011年中国分行业净出口隐含碳和碳排放强度

行业 代码	B (千吨)	η (千吨/ 百万美元)	δ (千吨/ 百万美元)	行业 代码	B (千吨)	η (千吨/ 百万美元)	δ (千吨/ 百万美元)
c1	-33 829.19	0.88	0.43	c18	84 696.97	1.93	0.30
c2	-532 496.91	2.57	0.58	c19	-375.97	0	0.13
c3	263 694.41	1.03	0.37	c20	319 871.37	0.67	0.32
c4	1 978 257.03	1.25	0.54	c21	74 810.60	0.72	0.20
c5	317 592.49	0.94	0.34	c22	103 320.42	0.99	0.25
c6	93 948.67	1.37	0.53	c23	47 120.87	1.40	1.12
c7	47 178.25	1.83	0.55	c24	438 459.68	1.96	1.68
c8	-12 101.72	2.07	0.90	c25	335 739.43	2.75	1.48
c9	541 383.60	2.41	0.86	c26	65 411.06	1.31	0.31
c10	632 836.43	1.76	0.68	c27	37 257.34	0.72	0.20
c11	694 071.74	4.71	2.10	c28	488.08	0.40	0.11
c12	1 705 780.05	2.92	0.98	c29	-109.46	0	0.08
c13	941 478.78	1.53	0.25	c30	281 916.15	0.84	0.13
c14	4 374 294.29	1.18	0.28	c31	-11 195.71	0.86	0.22
c15	514 746.66	1.26	0.19	c32	4 199.93	1.28	0.12
c16	429 081.84	1.17	0.81	c33	3 966.43	1.28	0.27
c17	181 577.60	15.95	3.62	c34	160 871.68	1.27	0.26

上述净出口隐含碳分析可得到各行业贸易隐含碳排放的绝对规模差异,而根据(8)式计算得到 ECC/ICC 指数可进一步得到各行业贸易隐含碳排放的相对规模差异。根据表5所示, ECC 指数大于1的行业有12个,其中行业c17最高,其他行业还包括行业c11、c12、c25等,与 η 水平较高的行业相一致; ICC 指数大于1的行业有14个,其中行业c17仍为最高,但低于该行业 ECC 指数,其他行业还包括行业c11、水上运输(c24)、c25等,与 δ 水平较高的行

业相一致。值得注意的是,虽然行业 c14 的进出口隐含碳排放量在全部行业中均位列前三位^①,但其 *ECC* 指数和 *ICC* 指数均小于 1,从一定程度上反映出该行业贸易隐含碳排放量较高的原因不在于其碳排放强度,而是其较大的贸易规模。总的来看,*ECC* 指数和 *ICC* 指数大于 1 的行业较为相似,反映出这些行业的碳排放强度在中国与其他地区均较大。

表 5 1995–2011 年中国分行业进出口比较碳指数

行业代码	<i>ECC</i> 指数	<i>ICC</i> 指数	行业代码	<i>ECC</i> 指数	<i>ICC</i> 指数	行业代码	<i>ECC</i> 指数	<i>ICC</i> 指数
c1	0.60	0.86	c13	1.03	0.49	c25	1.85	2.95
c2	1.73	1.16	c14	0.80	0.56	c26	0.88	0.62
c3	0.70	0.74	c15	0.85	0.38	c27	0.49	0.39
c4	0.85	1.07	c16	0.79	1.62	c28	0.27	0.22
c5	0.63	0.68	c17	10.76	7.22	c29	0	0.15
c6	0.93	1.06	c18	1.30	0.61	c30	0.57	0.26
c7	1.24	1.09	c19	0	0.26	c31	0.58	0.43
c8	1.40	1.79	c20	0.45	0.64	c32	0.86	0.24
c9	1.63	1.72	c21	0.49	0.41	c33	0.86	0.53
c10	1.19	1.36	c22	0.67	0.50	c34	0.86	0.51
c11	3.18	4.18	c23	0.94	2.24			
c12	1.97	1.95	c24	1.32	3.35			

注:“0”代表没有出口。

本文在借鉴赵玉焕和王淞(2014)的行业归类方法基础上,进一步将 34 个行业分为农业(c1)、工业、建筑业(c18)和服务业(c19–c34)四大行业,其中工业又分为能源工业(c2、c8、c17)、轻制造业(c3–c7)、重制造业(c9–c15)以及其他工业(c16)。表 6 反映的是上述行业对外贸易及其隐含碳排放情况,可以发现:重制造业不仅占据了我国进出口贸易中的最大比重,与其相关的贸易隐含碳与净出口隐含碳排放水平也最高,且相应的 *ECC* 指数大于 1;仅能源工业和农业的净出口隐含碳排放量为负,且均为净进口,表明我国在上述两个行业处于隐含碳净进口地位,净进口缓解了国内满足这两大行业生产与最终需求所产生的碳排放;轻制造业的出口占比远高于进口,导致我国在该行业的净出口隐含碳排放量较大,在重制造业之后位列第二;服务业的 *ECC* 指数和 *ICC* 指数均小于 1,表明碳排放强度较低的服务业对贸易隐含碳排放的贡献较低。

表 6 1995–2011 年中国对外贸易及贸易隐含碳的行业分布

行业	出口占比(%)	进口占比(%)	<i>C</i> (千吨)	<i>B</i> (千吨)	<i>ECC</i> 指数	<i>ICC</i> 指数
农业	1.06	3.46	278 360.26	−33 829.19	0.60	0.86
能源工业	1.76	16.16	1 834 014.53	−363 021.04	2.17	1.30
轻制造业	19.44	6.97	3 380 008.07	2 700 670.85	0.81	0.93
重制造业	59.13	62.55	15 688 374.86	9 404 591.56	1.10	0.96
其他工业	3.40	1.04	605 649.36	429 081.84	0.79	1.62
建筑业	0.39	0.39	109 299.79	84 696.97	1.30	0.61
服务业	14.82	9.44	2 674 991.49	1 861 751.88	0.79	0.82

根据上述行业结构特征可知,我国整体对外贸易隐含碳排放主要集中在重制造业、轻制造业、能源工业等工业行业。然而,我国与不同经济发展水平地区进行贸易时,贸易的环境效应或存在一定差异性。为此,本文在已知整体对外贸易隐含碳排放行业分布基础上,再根

^①在 1995–2011 年间,行业 c14 的出口隐含碳排放总量和进口隐含碳排放总量分别为 5 194 741.51 千吨和 820 447.23 千吨,在全部行业中分别位列第一位和第三位。

据经济发展水平不同对贸易伙伴进行细分,以期考察中国与不同经济发展水平地区贸易隐含碳排放的行业异质性。具体而言,将已知的 39 个贸易伙伴(不包括 RoW)按是否为 OECD 成员国分为两类,其中 OECD 成员国包括 28 个国家。根据图 1 和图 2 可见,与不同地区贸易的隐含碳排放行业分布的确存在一定异同。一方面,重制造业和轻制造业仍是中国对两类地区贸易隐含碳排放最多的行业,其中重制造业比重呈一定上升趋势,而轻制造业则出现下降趋势;与此同时,中国能源工业进口隐含碳排放比重呈逐年递增趋势,但其出口隐含碳比重却出现下降趋势。另一方面,中国对非 OECD 地区在重制造业的贸易隐含碳排放相对较高,但在服务业上处于较低水平;中国对 OECD 国家的服务业进出口隐含碳排放比重呈现上升趋势,而对非 OECD 地区却有所下降,表明中国与经济较为发达的 OECD 国家在服务业的贸易往来有所加强,而与经济较为落后的非 OECD 地区则侧重于重制造业和能源工业。

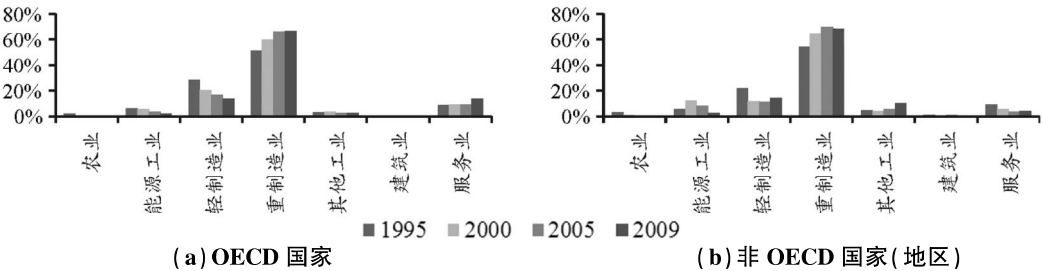


图 1 1995-2009 年中国对不同地区出口隐含碳的行业分布结构

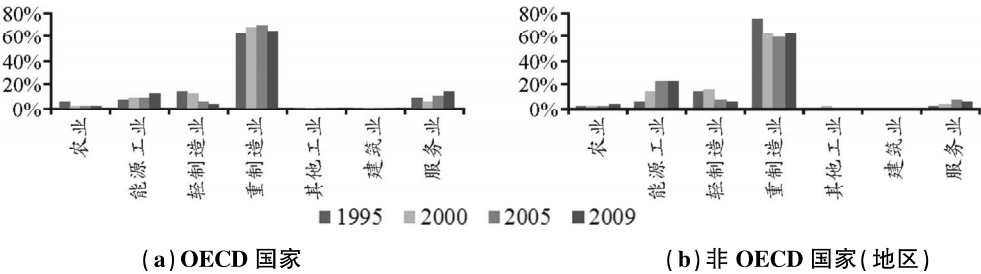


图 2 1995-2009 年中国对不同地区进口隐含碳的行业分布结构

(四)SDA 结果分析

中国出口隐含碳排放与出口规模的变化趋势较为一致,但与出口碳排放强度的变化趋势并不相同。那么,上述趋势变化是否能够得到影响中国出口隐含碳排放增长的主要因素为出口规模?碳排放强度、出口行业结构变动又对出口隐含碳排放增长产生何种影响?根据(13)式计算得到的 SDA 结果能够回答上述问题(见表 7)。

表 7 1995-2011 年中国出口隐含碳排放增长的结构分解

影响因素	出口隐含碳排放增长(千吨)				
	1995-2002 年	2002-2007 年	2007-2009 年	2009-2011 年	1995-2011 年
完全碳排放系数	-426 361.94	-540 436.48	-248 272.04	-74 588.14	-2 861 348.63
出口结构	-6 297.18	35 271.66	-21 810.45	30 283.58	109 136.73
出口规模	540 846.29	1 593 915.29	-10 869.85	844 351.08	4 468 243.72
合计	108 187.17	1 088 750.47	-280 952.34	800 046.51	1 716 031.81

结合上文对贸易隐含碳排放变化阶段性特征的分析,本文将 1995-2011 年具体分为 1995-2002 年、2002-2007 年、2007-2009 年以及 2009-2011 年四个时期,来分析中国出口隐

含碳排放增长的影响因素。从整个计算期来看,出口规模是促进出口隐含碳排放增长最为重要的因素,贡献率高达 260.38%,表明规模效应起到了主导的正效应;完全碳排放系数变化对出口隐含碳排放增长起到了明显的负效应,贡献率为-166.74%,表明技术效应总体为负,即有利于抑制出口隐含碳排放增长;出口结构的影响作用较其他两个因素较弱,贡献率仅为 6.36%,表明结构效应总体为正但并不明显。

从各个时期来看,环境效应所发挥的作用程度或方向存在一定区别,具体表现为:技术效应在 1995-2011 年对出口隐含碳排放增长呈现出负效应,其中 1995-2002 年作用最为明显^①;2007-2009 年间,出口隐含碳排放出现负增长,其中出口结构的变化贡献值为-21 810.45 千吨,表明在出口规模缩减情形下导致的出口结构调整,能够促进抑制贸易隐含碳排放的增长。值得一提的是,2009 年出口隐含碳排放较 2007 年下降 15.67%,但出口规模仅下降 0.66%,其中的相差部分主要由技术效应和结构效应共同作用所致。因而,除技术效应产生明显的负效应外,结构效应也同样可以发挥出一定程度的负效应,但其仅出现在个别时期,总体来看还是发挥出了正效应。

(五) 小结与进一步讨论

根据以上对地区与行业结构的分析,本文得到中国对外贸易隐含碳排放结构主要呈现以下特征:(1)对外贸易隐含碳排放的地区分布较为集中,出口隐含碳排放主要集中于经济较为发达的 OECD 国家;(2)重制造业是贸易隐含碳排放最多的行业且所占比重呈现出一定的上升趋势,轻制造业则呈现下降趋势;(3)在进口隐含碳方面,能源工业所占比重呈上升趋势,在与非 OECD 地区贸易中尤为明显;(4)对 OECD 国家的服务业进出口隐含碳排放比重呈现逐年上升,而对非 OECD 地区却有所下降。那么,中国为何会呈现上述贸易隐含碳排放结构特征,其产生的内在原因如何? 这些问题值得进一步关注,其能够为中国未来协调贸易增长与应对气候变化关系提供重要依据。

对此,本文认为产生上述结构特征主要源于中国外贸结构的演变,其又与中国相关贸易政策与整体外贸优势转变等密切相关。具体而言:(1)改革开放初期,中国主要依靠较为丰富的自然资源、廉价的劳动力等外贸优势积极地参与到国际分工体系中,但相关产业多为污染密集型产业,进而导致出口规模递增趋势下环境污染问题逐渐加剧,尤其体现在与发达地区贸易中^②,中国在一定程度上成为了“污染避难所”;(2)中国主导出口产品经历了从资源性产品转向轻纺产品、再逐步转向机电产品和高新技术产品的演变过程(李坤望,2008),这能够解释为何重制造业比重上升而轻制造业比重下降的原因,其又与中国优化出口商品结构的贸易政策有关;(3)21 世纪初以来,中国在限制“两高一资”产品^③出口的同时,加大鼓励对能源资源产品进口,以满足持续增长的能源需求和缓解国内相关产品生产所带来的环境压力,相关进口主要来源于俄罗斯等资源大国,而上述国家多为非 OECD 成员国,加之相关产业一般为污染密集型产业,进而表现出能源工业在进口隐含碳排放中所占比重有所上升;(4)在加入 WTO 后,中国在加快服务业发展的同时积极推进发展服务贸易,扩大服务出口,但主要集中在与 OECD 国家等发达地区,这在服务业进出口隐含碳排放地位变化中能够得到充分体现。此外,中国于 2015 年提出要加快培育外贸竞争新优势,其中有关国际市场

①根据表 7 的数据计算得出,技术效应在 1995-2002 年的贡献率为-394.10%,绝对贡献率均高于其他时期。

②在 1995-2011 年间,中国与 OECD 国家的贸易在对外贸易中仍占据主要地位,根据《中国统计年鉴》(2012)提供数据计算,1995 年和 2011 年中国与 OECD 国家对外贸易总额占比分别为 57.27%和 54.19%。

③即高能耗、高污染(排放)、资源性产品。

结构与外贸商品结构调整、大力发展服务贸易等政策内容^①均延续了上述提到中国外贸结构演变的良好趋势,中国外贸优势的“低碳化”转变对中国协调贸易增长与应对气候变化关系将产生积极作用。

四、结论与政策建议

本文通过构建基于技术异质性的 MRIO 模型,将对外贸易隐含碳按地区和行业维度进行分解,并采用 WIOD 提供的数据计算与分析 1995–2011 年中国对外贸易隐含碳排放量及其结构特征,进一步通过 SDA 方法考察中国出口隐含碳排放增长的影响因素。本文得到的主要结论如下:首先,中国出口隐含碳排放主要集中于美国、日本、韩国等地区,进口隐含碳排放则集中于韩国、中国台湾、俄罗斯等地区,表明中国对外贸易隐含碳排放的地区分布较为集中。其次,中国对外贸易隐含碳排放主要集中在重制造业、轻制造业、能源工业等工业行业,表明行业分布也较为集中;仅能源工业和农业的净出口隐含碳排放量为负且均为净进口,表明净进口有利于缓解国内满足这两大行业生产与最终需求所产生的碳排放;同时,中国与经济较为发达地区在服务业的贸易及其隐含碳排放逐渐加强,而与经济较为落后地区则侧重于重制造业和能源工业。中国对外贸易隐含碳排放呈现出的上述地区与行业结构特征主要源于中国外贸结构的演变。再次,规模效应对出口隐含碳排放增长起到了主导的正效应,解释了为何对外贸易隐含碳与净出口隐含碳排放和贸易规模变化趋势较为一致。最后,技术效应总体为负,有利于抑制出口隐含碳排放增长;而结构效应则出现并不明显的正效应,但从贸易规模下降的特定阶段来看,结构效应能够发挥出一定程度的负效应。上述结论可以说明,中国逐渐增长的 CO₂ 排放趋势的确与对外贸易规模的快速增长密切相关,本文将进一步根据贸易隐含碳结构特征与影响因素分析所得结论,讨论中国未来在贸易增长的趋势下有利于实现碳减排目标的途径。据此,基于上述结论,本文提出如下政策建议:

第一,在贸易增长趋势下,通过调整进出口贸易结构促进实现碳减排,使结构效应发挥出积极的负效应。从进出口比较碳指数来看,中国应该降低重制造业和能源工业出口比重,进一步扩大其进口以满足国内相关需求;与此同时,寻求扩大较为低碳的服务业、农业等出口比重,相对“低碳”地保持出口规模增幅,尽可能地降低规模效应所带来的正效应。

第二,注重淘汰落后产能与转移高碳行业并重,推进碳减排目标下的雁阵式产业升级。中国在《节能减排“十二五”规划》(2012 年)中提到产业结构调整进展缓慢的问题,具体表现在重工业占比上升、第三产业增加值占比低于预期目标以及高排放产业增长过快等,与本文分析得到的行业结构特征相一致。现阶段中国有关淘汰落后产能工作即是针对上述现存问题,主要以电力、煤炭、有色金属、焦炭、造纸等行业为重点^②,而这些行业均为本文分析中所提到的高碳排放行业。此外,通过对外投资等方式有针对性地转移高碳行业,并通过进口相关产品满足国内需求,能够对淘汰落后产能进行有效补充,保障国民经济正常稳定运行。

第三,加强与发展中国家互补性贸易以及应对气候变化的南南合作,积极发挥当前地区合作机制以实现合作碳减排。根据地区结构分析结果,中国对外贸易隐含碳排放主要还是

^①相关政策内容可参见 2015 年《国务院关于加快培育外贸竞争新优势的若干意见》。

^②中华人民共和国国务院于 2010 年 4 月发布《国务院进一步加强淘汰落后产能工作的通知》,并在《节能减排“十二五”规划》(2012)中提出了淘汰落后产能目标。

集中在与经济较为发达地区,且主要处于隐含碳净出口地位;与经济较为落后地区的贸易隐含碳排放水平明显低于发达地区,一定时期中国在重制造业、能源工业、农业等行业还处于隐含碳净进口地位,表明通过南南合作实现中国碳减排存在可行性^①。此外,中国在建设“一带一路”中提出“优化产业链分工布局,推动上下游产业链和关联产业协同发展”^②,可以预期相关地区贸易与投资合作也会成为中国实现碳减排的另一重要机遇与途径。

第四,推动低碳技术开发与引进,并同时大力发展节能环保产业,加快培育低碳经济下的新经济增长点。一方面,完全碳排放系数下降所表现出积极的技术效应已经在 SDA 结果分析中得以体现,从碳贸易条件的逐渐改善中也可得以验证,进而反映出加强低碳技术开发成为实现碳减排途径的可行性和重要性。然而,中国整体低碳生产技术水平仍相对落后,所以引进国外先进气候友好技术显得尤为关键。另一方面,对于已有环境污染治理,作为七大战略性新兴产业之一的节能环保产业仍处于前期发展阶段,但其未来对经济增长及节能减排所能发挥的积极作用不可忽视^③,能够弥补产业结构调整可能带来的经济增长动力不足等问题,为实现经济可持续发展提供重要保障。

参考文献:

- 1.李坤望,2008:《改革开放三十年来中国对外贸易发展评述》,《经济社会体制比较》第4期。
- 2.李小平,2010:《国际贸易中隐含的 CO₂ 测算——基于垂直专业化分工的环境投入产出模型分析》,《财贸经济》第5期。
- 3.潘安、魏龙,2015:《中国与其他金砖国家贸易隐含碳研究》,《数量经济技术经济研究》第4期。
- 4.彭水军、张文城、孙传旺,2015:《中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究》,《经济研究》第1期。
- 5.谭娟、陈鸣,2015:《基于多区域投入产出模型的中欧贸易隐含碳测算及分析》,《经济学家》第2期。
- 6.袁鹏、程施、刘海洋,2012:《国际贸易对我国 CO₂ 排放增长的影响——基于 SDA 与 LMDI 结合的分解法》,《经济评论》2012年第1期。
- 7.赵玉焕、李洁超,2013:《基于技术异质性的中美贸易隐含碳问题研究》,《中国人口·资源与环境》第12期。
- 8.赵玉焕、王淞,2014:《基于技术异质性的中日贸易隐含碳测算及分析》,《北京理工大学学报(社会科学版)》第1期。
- 9.Antweiler, W. 1996. "The Pollution Terms of Trade." *Economic Systems Research* 8(4): 361-366.
- 10.Arto, I., J. Roca, and M. Serrano. 2014. "Measuring Emissions Avoided by International Trade: Accounting for Price Differences." *Ecological Economics* 97: 93-100.
- 11.Balassa, B. 1965. "Trade Liberalization and 'Revealed' Comparative Advantage." *The Manchester School* 32(2): 99-123.
- 12.Du, H. B., J. H. Guo, G. Z. Mao, A. M. Smith, X. X. Wang, and Y. Wang. 2011. "CO₂ Emissions Embodied in China-US Trade: Input-Output Analysis based on the Energy/Dollar Ratio." *Energy Policy* 39(10): 5980-5987.
- 13.Grossman, G. M., and A. B. Krueger. 1991. "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement." NBER Working Paper 3914.
- 14.Leontief, W. 1970. "Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach." *The Review of Economics and Statistics* 52(3): 262-271.
- 15.Li, Y., and C. N. Hewitt. 2008. "The Effect of Trade between China and the UK on National and Global Carbon

①中国在《国家应对气候变化规划(2014-2020年)》(2014)提出要大力开展南南合作,其中包括加强南南合作机制建设和支持发展中国家能力建设等。

②资料来源于2015年3月发布的《推动共建丝绸之路经济带和21世纪海上丝绸之路的愿景与行动》。

③中国政府在2015年《政府工作报告》中指出,国内节能环保市场潜力巨大,且要把节能环保产业打造成新兴的支柱产业;此外,在2015年5月发布的《关于加快推进生态文明建设的意见》中也指出要大力发展节能环保产业。

- Dioxide Emissions.” *Energy Policy* 36(6): 1907–1914.
16. Liu, X. B., M. Ishikawa, C. Wang, Y. L. Dong, and W. Liu. 2010. “Analysis of the CO₂ Emissions Embodied in Japan–China Trade.” *Energy Policy* 38(3): 1510–1518.
 17. Pan, J. H., J. Phillips, and Y. Chen. 2008. “China’s Balance of Emissions Embodied in Trade: Approaches to Measurement and Allocating International Responsibility.” *Oxford Review of Economic Policy* 24(2): 354–376.
 18. Sánchez-Chóliz, J., and R. Duarte. 2004. “CO₂ Emissions Embodied in International Trade: Evidence for Spain.” *Ecological Economics* 32(18): 1999–2005.
 19. Sato, M. 2014. “Embodied Carbon in Trade: A Survey of the Empirical Literature.” *Journal of Economic Surveys* 28(5): 831–861.
 20. Shui, B., and R. C. Harriss. 2006. “The Role of CO₂ Embodiment in US–China Trade.” *Energy Policy* 34(18): 4063–4068.
 21. Tan, H., A. J. Sun, and H. Lau. 2013. “CO₂ Embodiment in China – Australia Trade: The Drivers and Implications.” *Energy Policy* 61: 1212–1220.
 22. Tukker, A., A. de Koning, R. Wood, S. Moll, and M. C. Bouwmeester. 2013. “Price Corrected Domestic Technology Assumption—A Method to Assess Pollution Embodied in Trade Using Primary Official Statistics Only. With a Case on CO₂ Emissions Embodied in Imports to Europe.” *Environmental Science & Technology* 47(4): 1775–1783.
 23. Wiedmann, T., H. C. Wilting, M. Lenzen, S. Lutter, and V. Palm. 2011. “Quo Vadis MRIO? Methodological, Data and Institutional Requirements for Multi–Region Input–Output Analysis.” *Ecological Economics* 70(11): 1937–1945.
 24. Zhao, Y. H., Z. H. Zhang, S. Wang, and S. J. Wang. 2014. “CO₂ Emissions Embodied in China’s Foreign Trade: An Investigation from the Perspective of Global Vertical Specialization.” *China & World Economy* 22(4): 102–120.

Embodied Carbon in China’s Foreign Trade: Structural Features and Influential Factors

Pan An¹ and Wei Long²

(1: Economics School, Zhongnan University of Economics and Law;

2: School of Economics, Wuhan University of Technology)

Abstract: This paper firstly estimates the embodied carbon in China’s foreign trade with MRIO model based on technical heterogeneity and data from WIOD during 1995–2011. Then it analyzes the regional and industrial structure features of embodied carbon, and employs the structure decomposition analysis to investigate on the influential factors of embodied carbon in exports. The results show that embodied carbon in exports concentrate mainly on the regions like United States, Japan and South Korea, and embodied carbon in imports concentrate mainly on the regions like South Korea, Taiwan and Russia. Besides, embodied carbon emissions concentrate mainly on heavy manufacturing, light manufacturing and energy industries, and only energy industries and agricultural sector have net balance of embodied carbon. Furthermore, the scale effect plays a leading positive role in the growth of embodied carbon in exports; The technique effect turns to be the negative effect and composition effect fails to have the negative effect which it could generate. Driven by the trend of trade growth, China could achieve the targets of carbon reduction by adjusting the structure of import and export, implementing flying geese industrial upgrading, improving regional cooperative mechanism, etc.

Keywords: Embodied Carbon, MRIO Model, Structural Decomposition Analysis, Carbon Emission Reduction

JEL Classification: F14, F18

(责任编辑:彭爽)