

中国省际贸易隐含碳流向与地区经济发展模式研究

汤维祺 周 夷 孙可奇*

摘要:中国区域经济发展模式存在差异性,而目前节能减排目标的设定缺乏对区域间差异的考虑,无法实现节能减排的效率性和公平性。因此有必要分析不同经济发展模式的地区贸易隐含碳调入、调出量及其影响因素,为制定体现地区间公平性且有效率的碳减排政策提供依据。本文通过多区域投入-产出模型估算我国各省(市)贸易隐含碳流量,并通过结构分解分析法(SDA)将其影响因素分解为规模效应、技术效应和结构效应。结果表明,重工业密集型地区和加工贸易密集型地区碳排放调入、调出均高于其他地区,并且基本均为隐含碳净调出地。在过去一段时间,我国贸易隐含碳净调出地趋向于少数几个重工业密集型省市和加工贸易密集型省市。在重工业密集型地区和加工贸易密集型地区,规模效应均对贸易隐含碳排放产生显著的正向影响,而在加工贸易密集型地区则存在较大的技术效应,其对贸易隐含碳排放有较大的负面作用。在短期内,可以通过技术改进降低这些地区的贸易隐含碳调出,但在长期内需要通过产业结构优化升级实现低碳贸易发展。

关键词:投入产出模型;结构分解分析;中国省际贸易隐含碳

一、研究背景

目前,中国是世界上最大的二氧化碳(CO₂)排放国,排放总量甚至超过了印度、巴西、俄罗斯的总和。而中国碳排放迅速增加的根源在于现象级的经济增速,以煤炭为主导的能源消费结构和以出口为导向的贸易模式。改革开放以来的三十年间,我国保持了接近两位数的年均GDP增长,巨大的经济增量需要大量的能源消费作支撑,而中国的资源禀赋决定了以煤炭为主的能源消费结构,且有超过50%的煤炭消耗是用于火电发电。2015年12月,《巴黎协议》由

*汤维祺,复旦大学金砖国家研究中心,邮政编码:200433,电子信箱:tangwq@fudan.edu.cn;周夷,复旦大学经济学院,邮政编码:200433,电子信箱:zhouyi_18@126.com;孙可奇,复旦大学经济学院,邮政编码:200433,电子信箱:sunkege@126.com。

感谢匿名审稿人提出的建设性意见,文责自负。

近200个缔约国和地区一致通过,中国作为发展中国家,也需承担更大的减排义务。在这种情况下,中国需要承受对内维持经济增长和对外履行减排责任的双重压力。因此,有必要核算中国地区间贸易隐含碳调入、调出量,并分析其影响因素,从而能够对我国地区间碳排放有更加理性的认识,并针对不同经济发展模式的地区提出低碳贸易发展路径建议。

二、文献综述

(一)多区域投入-产出相关研究

多区域投入产出(Multi-Region Input-Output)模型一方面能够很好地反映区域间产品的调入调出情况,另一方面也能反映不同区域在产品结构、技术水平、碳排放强度方面的差异。多区域投入产出分析最早被Evans等(1955)应用到对意大利区域贸易的分析。Polenske(1976)运用多区域投入产出模型估算了美国煤炭采掘业、货物运输和发电部门的经济联系。Hayami等(1999)估计了日本和加拿大双边贸易中的温室气体转移。Peters和Hertwich(2004)提出了用于封闭的多区域投入产出模型的理论框架,他们运用Lenzen等(2004)提出的对称的投入产出表讨论如何进行多边贸易隐含温室气体的测算。在Peters和Hertwich(2006)的研究中,他们运用之前的理论框架测算了挪威进出口贸易中的隐含流。研究表明,2000年挪威进口品的隐含碳排放占挪威国内生产碳排放的67%,这些进口隐含碳有一半来自发展中国家,而挪威出口的隐含碳也占其国内生产碳排放的69%。

目前,也有诸多学者对中国的贸易隐含碳开展了相关研究,第一类是从时间维度上分析了中国在国际贸易中进口和出口的隐含碳的变化。陈迎等(2008)通过对中国2002-2006年进出口贸易中隐含碳的测算,发现中国是贸易隐含碳的净出口国。魏一鸣等(2008)、魏本勇等(2009)计算了2002年中国进出口贸易中隐含碳排放。第二类研究着眼于分析中国在国际贸易中与不同国家贸易中隐含碳排放的差异。Li和Hewitt(2008)、Guo等(2010)分别估算了中英、中美贸易中的隐含碳。周新(2010)应用多区域投入产出模型,测算了十个国家和地区的贸易隐含碳总量。闫云凤(2013)在多区域投入产出模型的基础上估算了中国对外贸易隐含碳,进一步采用结构分解分析,发现出口贸易量的增长是带动出口隐含碳增长的主要动因,生产技术的发展、贸易结构调整也对出口隐含碳增长具有加速作用。

(二)基于投入-产出法的结构分解分析研究

结合投入产出法进行结构分解也是对碳排放影响因素进行分析的常用方法,Wachsmann等(2009)运用SDA和LMDI分解法研究了巴西1970到1996年工业能源消费变化的来源。他们将能源消费分解为富裕程度、人口、部门间依赖程度等六个影响因素。Lin和Polanske(1995)分析了中国1981年至1987年能源消费的变化,发现能源消费的增长带来的碳排放增长效应超过了能效提高对碳排放的减少效应,结构变化带来的影响更加不明显;资本密集型

产品的支出增加是增加排放主要驱动因素,其次是生活消费。Garbaccio和Jorgenson(1999)分析了中国1987-1992年能源排放强度变动的情况,并对其影响因素进行了结构分解分析。Andressoocallaghan和Yue(2002)分析了中国1987至1997年的经济产出变动,与Garbaccio和Jorgenson(1999)的研究结论相同,都发现效率提高对于分析对象影响程度最大,而结构效应则比较微小。

三、中国省际贸易隐含碳排放分析

(一)省际贸易隐含碳模型

省际贸易隐含碳计算模型依赖于省级投入-产出表。投入-产出表包括中间使用、最终使用、中间投入和最终投入四个部分,存在“中间使用+最终使用=总产出”的基本关系,以矩阵形式表达为:

$$\begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} & Y_1 \\ \dots & \dots & & & \\ X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{in} & Y_i \\ \dots & \dots & & & \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & X_{nn} & Y_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ \dots \\ 1 \\ \dots \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_1 \\ \dots \\ X_i \\ \dots \\ X_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

即对于任意 $i = 1, 2, \dots, n$, 都有:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} + Y_i = X_i \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

(1)-(2)式中, X_{ij} 为 i 部门的产出投入到 j 部门的生产的价值, Y_i 为 i 部门的最终使用, X_i 为 i 部门的产出。直接消耗系数 a_{ij} 体现投入产出技术的消耗关系,表示部门 j 每单位产出所消耗的 i 部门的投入:

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

各部门直接消耗系数矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

将式(3)代入式(2),并以矩阵形式表示,得到,

$$AX + Y = X \quad (5)$$

(5)式中, X, Y 分别是 $X_i, Y_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 的列向量。

将(5)式进行变形后,得到如下方程:

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (6)$$

(6)式中, $(I-A)^{-1}$ 是列昂惕夫逆矩阵, 它的第 i 行第 j 列元素表示 j 部门增加一个单位最终使用时, 对 i 部门产品与服务的直接需求和间接需求之和, 即对 i 部门产品和服务的完全需求量, 可以反映部门之间隐含的间接技术联系。式(6)等号左边的 X 表示各行业的总产出, 其中一部分以中间投入形式再次进入生产部门, 一部分由居民部门最终消费, 还有一部分通过出口成为其他地区的中间产品和最终消费。以出口 Ex 代替式(6)等号右边表达式中的 Y , 得到用于生产出口商品的投入:

$$X^e = (I-A)^{-1} Ex \quad (7)$$

将式(7)中得到的各行业用于出口商品的投入分别乘以各行业碳排放强度, 可以获得各行业隐含于出口贸易的碳排放, 即:

$$C_i = c_i X_i^e \quad (8)$$

(8)式中, c_i 为部门 i 的碳排放强度。

那么, 出口贸易隐含碳公式表达为:

$$C = cX^e = c(I-A)^{-1} Ex \quad (9)$$

(9)式中, $c = \begin{pmatrix} c_1 \\ \dots \\ c_n \end{pmatrix}$, 为行业碳排放强度向量。

地区 a 向地区 b 的出口隐含碳则是地区 a 的碳排放强度系数与地区 a 向地区 b 出口商品所消耗商品投入的乘积, 其表达式为:

$$C_{a,b} = c_a X_{a,b}^e = c_a (I-A)^{-1} Ex_{a,b} \quad (10)$$

(10)式中, c_a 是地区 a 的碳排放强度系数, $Ex_{a,b}$ 是地区 a 向地区 b 分行业出口商品的价值。

(二)数据说明

本文利用的数据包括2002年、2007年中国分地区投入产出表、分部门省际贸易数据、工业部门能源终端消费量, 以及全国能源平衡表。其中,《中国区域间投入产出表》由国家统计局国民经济核算司每五年编制一次, 目前公开渠道可获得的最新数据为2007年。

首先, 根据《2002中国地区投入产出表》(彭志龙, 2008)和《2007中国地区投入产出表》(彭志龙, 2011), 计算中国各省直接消耗系数和列昂惕夫逆矩阵, 获得式(10)中的 $(I-A)^{-1}$ 。

其次, 我国2002年22个省(不包含港澳台)、4个直辖市、4个自治区(不包含西藏)、42部门的贸易数据来源于李善同(2010)整合的中国投入产出扩展表。2007年的贸易数据根据李善同的方法进行贸易流量估算, 从而获得式(10)中的 $Ex_{a,b}$ 数据。

最后,2002年和2007年分行业的碳排放强度根据能源统计年鉴中工业部门能源终端消费量和全国能源平衡表整理计算得到,最终获得42部门^①碳排放强度。由于数据限制,工业部门与非工业部门的碳排放强度采用不同方法估算。

(1)工业部门的碳排放数据由工业部门能源终端消费量计算获得。计算公式为:

$$\text{工业部门能源消费碳排放} = \sum (\text{能源排放因子} \times \text{氧化率} \times \text{能源消费量})$$

(2)农林牧渔业、建筑业、交通运输、仓储及邮电通讯业、批发和零售贸易业、餐饮业以及其他部门的能源消费数据来自于全国能源平衡表。该部分数据经过整合以后进行了扩展,最终得到42部门的碳排放数据。非工业部门从能源输入、加工、转换和最终消费的角度计算碳排放量,计算公式为:

$$\text{非工业部门碳排放} = \sum [\text{排放因子} \times \text{氧化} \times (\text{终端消费量} + \text{发电与供热消费量} - \text{非燃烧消耗})]$$

(三)结果分析

在下文的结果分析中,主要讨论三种类型地区的隐含碳调入、调出特征:加工贸易密集型地区、重工业密集型地区和消费密集的超一线城市。其中,加工贸易密集型地区主要指珠江三角洲、长江三角洲城市群,包括广东(9个珠三角城市)、上海、江苏和浙江。而重工业密集型地区包括河北、山东、辽宁、陕西、天津、内蒙等,其中河北、山东、辽宁2007年钢材、粗钢、生铁的产量均位于全国前四位,天津钢材产量位于第五位;内蒙古2007年发电量、焦炭产量分别位于全国第四、第六位;陕西则是天然气、焦炭供应大省。并且这种分布格局到2014年基本不变。消费密集型的超一线城市主要为北京,北京作为首都,越来越专注于发挥政治文化中心的职能,逐步将制造业向周边天津、河北地区转移,但对能源密集型产品的需求量仍然较高。

图1、图2分别展示我国各省(市)隐含碳调入、调出总量。从隐含碳调入角度来看,调入量较大的省(市)基本可以归为这三类地区:(1)加工贸易密集型地区:浙江、江苏、广东、上海等制造业发达、中间品加工贸易密集的城市,它们虽然不属于能源密集地区,但由于经济体量大、从事能源密集型生产,对能源的终端消费和中间生产投入的需求大,从而成为隐含碳调入大省;(2)重工业密集型地区:以河北、山东两个重工业密集省份为例,它们对生产过程中的能源投入需求量大,碳调入量在全国位于较高水平。其中,河北是钢铁大省,省内有邯钢、唐钢两大钢铁集团。自2002年起,河北省钢铁、钢材产量稳居全国第一。由于钢铁生产的大量能源需求,河北省成为了隐含碳调入大省。山东省也具有与河北类似的特征,随着钢铁工业的快速发展,济钢、莱钢等企业纷纷进入全国十大钢铁企业,由于自身产煤供不应求,从外地调入能源产品显得十分必要;(3)消费密集型超一线城市:北京由于经济体量大、人口密集,对作为生产投入和生活消费的能源需求量

^①42部门行业代码见附录表1。

都较大,因而隐含碳调入量在全国居于较高水平。

从时间维度来看隐含碳调入的变化,2007年我国各省市隐含碳调入总量均显著上涨,但各省市隐含碳调入总量在全国的相对占比基本稳定。在各省市调入总量上,一些地区增长了一倍左右,浙江省隐含碳调入量从2002年的2.6亿吨增加到了2007年的5.7亿吨,广东省隐含碳调入量则从2002年的2亿吨增加到了4.7亿吨。在结构方面,2002与2007年相似,浙江、广东、河北、江苏和北京是贸易隐含碳调入量最多的省(市),调入量最少的仍然为青海、海南、宁夏、甘肃等地区。

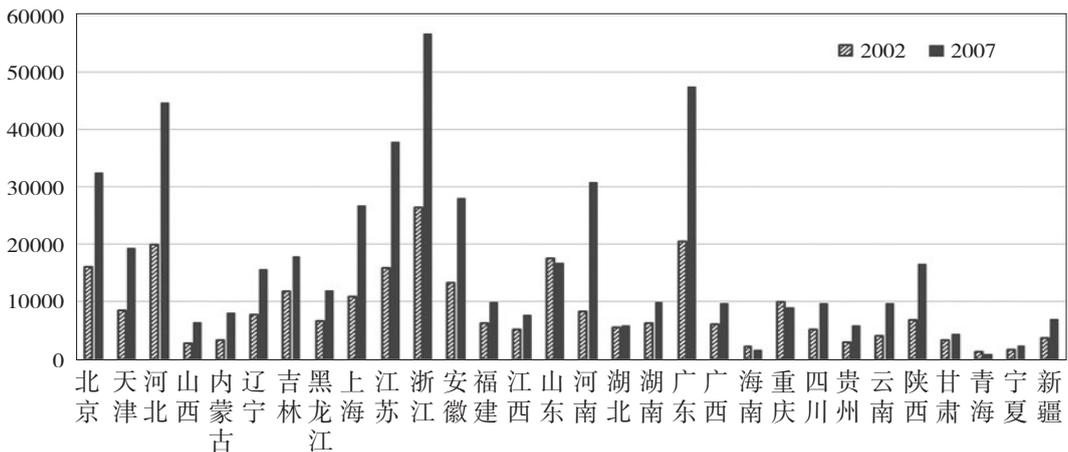


图1 各省市隐含碳调入总量(万吨)

从隐含碳调出的角度来看,加工贸易密集型地区和重工业密集型地区隐含碳调出仍然位于全国较高水平(见图2),不同地区隐含碳调出量分析如下:(1)加工贸易密集型地区:浙江、江苏、广东密集从事加工贸易,但由于其本身的能源禀赋较低,大量从外地调入原材料和能源进行加工,并以大量输出的方式来进行生产,因此其输出的产品包含了大量隐含碳;(2)重工业密集型地区:河北、辽宁、陕西作为重工业大省,也向其他地区输出大量能源密集型产品,因而成为碳调出较大的地区。河北省是我国产煤量居于前列的重要省份,煤炭开采和洗选业均是高能耗产业,同时河北也是钢铁重要产区,每年都有大量钢铁输出,隐含在贸易中会输出大量的碳排放。辽宁由于丰富的铁矿石资源和煤炭资源,成为重工业大省,密集从事能源密集型生产活动,并向全国其他地区输出钢铁、煤炭,因而有较高的碳调出。河南由于人口密集、资源丰富,重工业也相对发达。2007年,河南省钢铁、焦炭产量分别位居全国各省的第六位和第四位。因而河南省向全国其他地区输出的碳排放总量也较高。

从时间维度来看隐含碳调出的变化,从2002年到2007年各省(市)隐含碳调出量增幅有差异,出现显著增长的省(市)主要集中于长三角、珠三角地区,中西部地区甚至出现下降的趋势。如图2所示,上海、江苏、浙江、广东等地碳调出量都出现了显著上升,它们是在中国加入世

贸组织后贸易发展最快的地区,而贵州、青海、新疆等地碳调出量均出现了下降。作为重工业发达省份的河北,隐含碳调出量也出现显著上升,从2002年的2.4亿吨增加到2007年的6.4亿吨,增加两倍多。

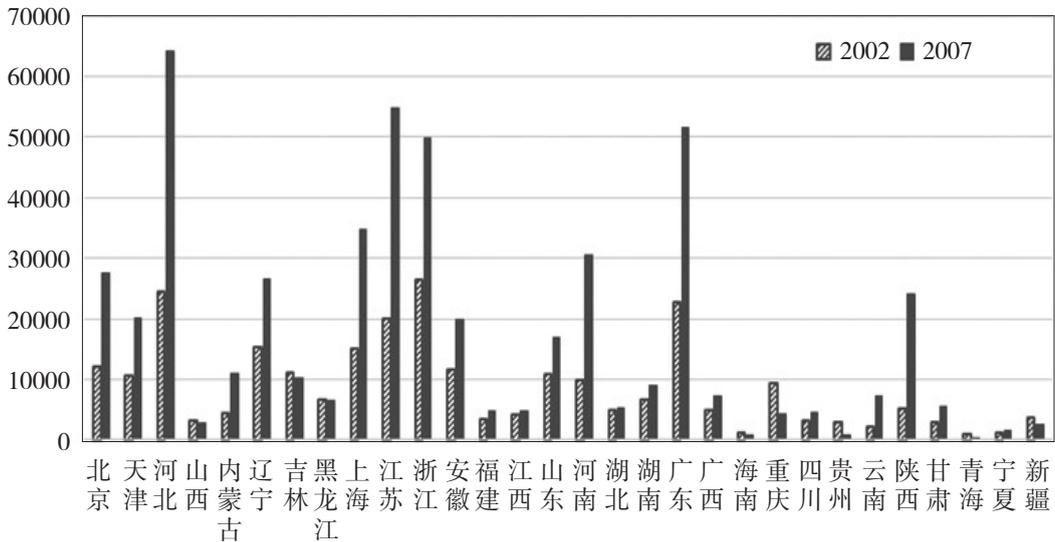


图2 各省市隐含碳调出总量(万吨)

图3、图4展示了我国2002年和2007年碳平衡情况,碳平衡量指的是各地区碳调出与碳调入的差值,碳平衡量为正的地区是净调出地,而碳平衡量为负的地区是净调入地。2002年和2007年均均为净调出地的地区包括:天津、河北、内蒙古、辽宁、上海、江苏、广东。从地区经济发展类型的角度来看,天津、河北、辽宁、内蒙古属于重工业密集型地区,且能源禀赋优越,向全国其他地区输出能源密集型产品,因而成为碳净调出地;江苏和广东作为加工贸易大省,同时分别处于长三角、珠三角经济带,也成为了碳净出口地;上海人口众多,能源消耗大,消费水平高,同时制造业发达,并处于长三角经济带的中心,碳调入量和调出量均高于全国平均水平,且碳调出量高于调入量,成为净调出地。而作为能源消费密集的超一线城市的北京则是净调入地。在京津冀集群发展的模式下,北京的制造业逐渐转入周边的天津、河北,北京专注于发挥作为首都的政治文化中心、国际交流中心、科技创新中心的职能,因而成为贸易隐含碳净调入地。

从时间的维度来看,从2002年到2007年,我国隐含碳净调出的发展趋势是,从更少的几个城市向其余城市调出,河北、江苏、辽宁、陕西、上海、广东成为主要贸易隐含碳调出地区,且他们的碳净调出量在2002年到2007年间出现了显著上升。一方面,表明我国地区间贸易总量上升,另一方面,也表明我国区域间贸易分工进一步深化,重工业密集型地区和加工贸易密集型地区成为了主要的生产和出口基地。

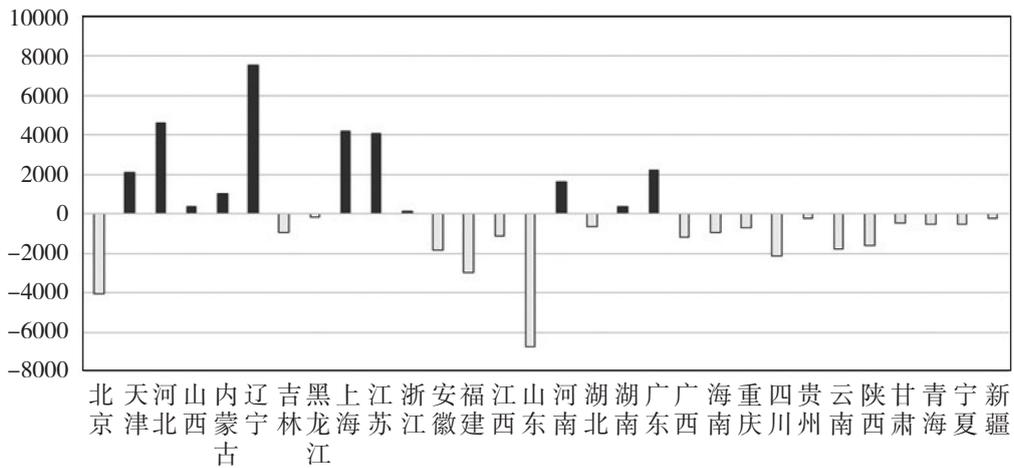


图3 2002年各地区碳平衡量(万吨)

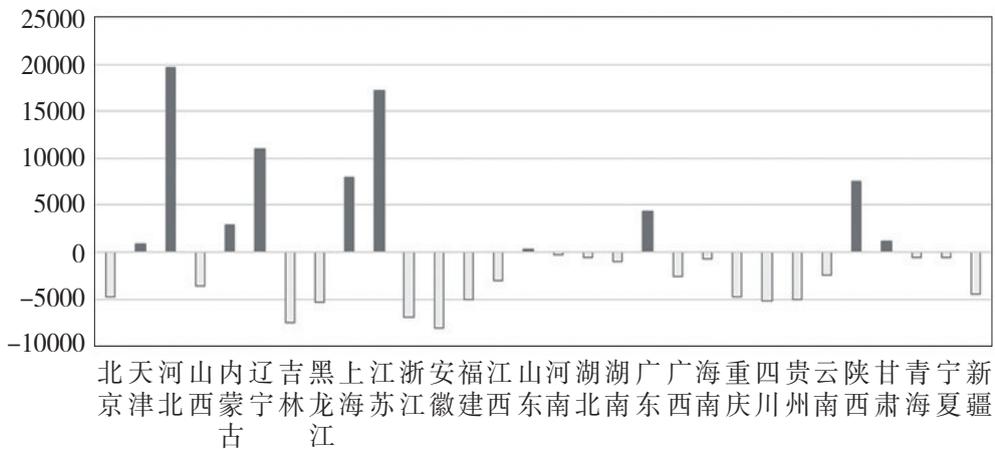


图4 2007年各地区碳平衡量(万吨)

四、中国省际贸易隐含碳影响因素分解

Grossman 和 Krueger (1992), 全面将贸易对环境的作用分为三种效应:(1)规模效应:贸易开放程度增加,贸易总量上升导致排放增加;(2)结构效应:产业结构变动带来的贸易产品结构发生变化,由于不同部门碳排放强度存在差异,最终导致碳排放变化;(3)技术效应:清洁技术的使用和生产技术的改进带来能源效率的提高,带来碳排放的下降。本文将我国贸易隐含碳的影响因素分解为规模效应、结构效应和技术效应,进一步分析不同类型经济发展模式地区的贸易隐含碳变化的影响因素。

(一)隐含碳影响因素分解法

本文利用基于投入产出表的结构分解分析法(Structural Decomposition Analysis, SDA),将贸易隐含碳的影响因素分解为规模效应、结构效应和技术效应。它的主要思路是将隐含碳表达

式进行分解后,在保持其他影响因素不变的情况下,变动某一种因素来观测隐含碳变动的程度。假设研究对象由 n 种因素驱动,按不同的顺序对因素分解将得到 $n!$ 种不同形式的分解方程。本文采用两极分解法进行结构分解分析,分别从基期和计算期分解地区间隐含碳流量,并取两者的平均值。这种做法避免了考虑 $n!$ 种分解方式的繁琐,能够直观简洁地分解出三个因素的影响。

对式(9)中的隐含碳流量表达式进行分解,首先将地区间贸易值 Ex 中的第 i 个要素 e_i 分解为:

$$Ex_i = e_i = \left(\frac{e_i}{e_v} \right) e_v \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (11)$$

(11)式中, e_v 是地区总贸易调出量, e_i 是该地区行业 i 的贸易调出量。

令 $F = c(I-A)^{-1}$ 表示 CO_2 完全排放系数,于是式(9)写作:

$$C = Fe_s e_v \quad (12)$$

这样,计算期与基期调出隐含碳的变化 ΔC 可以分解为:

$$\Delta C = C(1) - C(0) = F(1)e_s(1)e_v(1) - F(0)e_s(0)e_v(0) \quad (13)$$

则从基期分解隐含碳流量变化为:

$$\Delta C = \Delta Fe_s(0)e_v(0) + F(1)\Delta e_s e_v(0) + F(1)e_s(1)\Delta e_v \quad (14)$$

从计算期分解隐含碳流量变化为:

$$\Delta C = \Delta Fe_s(1)e_v(1) + F(0)\Delta e_s e_v(1) + F(0)e_s(0)\Delta e_v \quad (15)$$

本文通过两极法来测量不同效应的影响程度,即通过取式(14)和式(15)的平均值,来更为合理的估计各个因素带来的影响。因此隐含碳流量变化可以分解为:

$$\Delta C = \frac{1}{2}[\Delta Fe_s(0)e_v(0) + \Delta Fe_s(1)e_v(1)] + \frac{1}{2}[F(1)\Delta e_s e_v(0) + F(0)\Delta e_s e_v(1)] + \frac{1}{2}[F(1)e_s(1)\Delta e_v + F(0)e_s(0)\Delta e_v] \quad (16)$$

(16)式中, $C(\Delta F) = \frac{1}{2}[\Delta Fe_s(0)e_v(0) + \Delta Fe_s(1)e_v(1)]$ 是技术效应,表示该地区技术水平变化对隐含碳排放的影响; $C(\Delta e_s) = \frac{1}{2}[F(1)\Delta e_s e_v(0) + F(0)\Delta e_s e_v(1)]$ 是结构效应,表示产业结构变化后调出产品结构变动对隐含碳变化的影响; $C(\Delta e_v) = \frac{1}{2}[F(1)e_s(1)\Delta e_v + F(0)e_s(0)\Delta e_v]$ 是规模效应,表示调出商品总量变动对贸易隐含碳变化的影响程度。

(二)因素分解结果

图5展示了结构分解分析法得到的我国各省市隐含碳调出影响因素分解贡献度。从总体上来看,规模效应和技术效应是各地隐含碳调出变化的主要因素,而结构效应的影响

比较小。其中,规模效应对大部分地区的隐含碳调出有显著的正向影响,而技术效应产生显著的负向影响,结构效应的影响或正或负,且影响程度都较小。并且,规模效应的正向影响大于技术效应的负向影响,因此,2002年到2007年间,我国大部分地区的隐含碳调出出现上升。

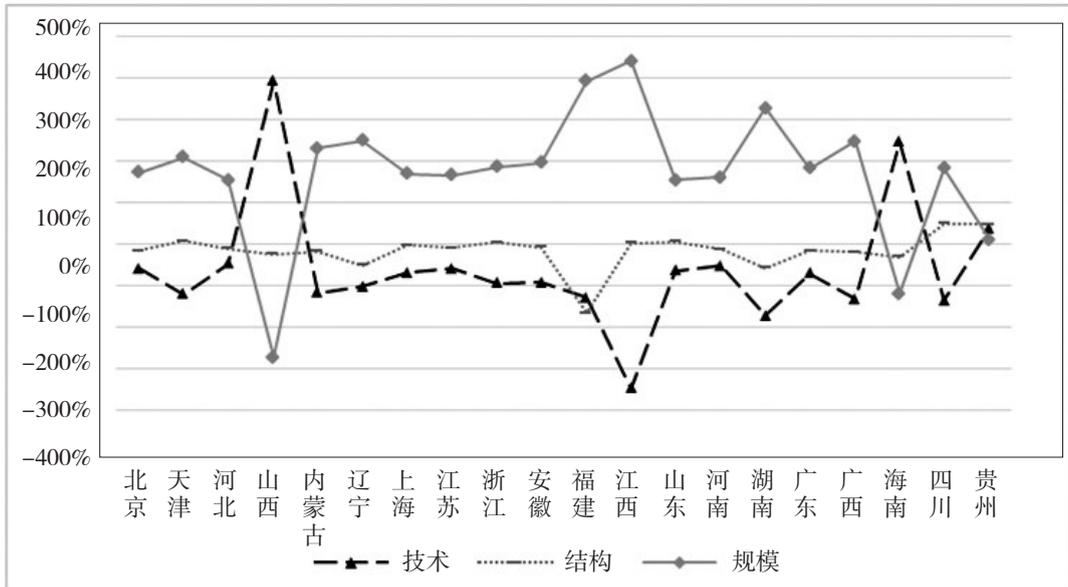
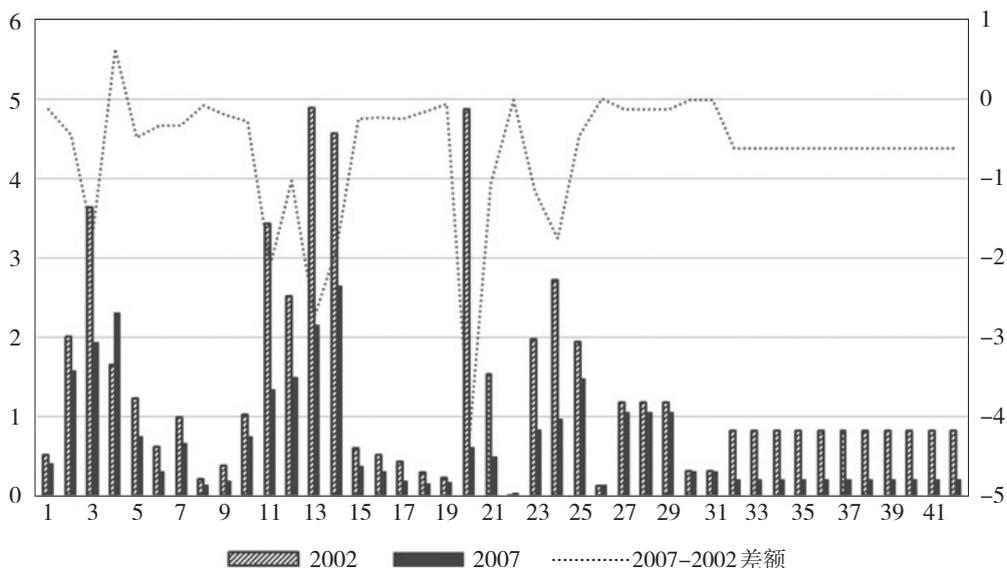


图5 省际调出隐含碳结构分解

规模效应对我国2002年到2007年间各省碳排放调出有显著的正面影响,源于这期间区域贸易规模的显著上升。一方面,随着我国加入世贸组织,在国际分工中更多地承担了加工贸易,国内区域间贸易也随之发展;另一方面,随着我国经济快速增长,物流系统迅速发展,地区间贸易扩张成为可能。

技术效应对隐含碳排放调出的影响体现在完全排放系数 $F=c(I-A)^{-1}$ 的变化上,完全排放系数包括碳排放强度 c 和直接消耗系数 $(I-A)^{-1}$ 两部分,前者的影响称为直接技术影响,而后者称为中间技术影响。图6展示了2002年到2007年间我国42个部门直接碳排放系数的变化,可以发现2002-2007年间38个部门直接碳排放强度出现下降,尤其石油和天然气开采、石油加工、炼焦及核燃料、非金属矿物制品等部门直接碳排放强度大幅降低,因此在大部分地区调出产品总量增长的情况下,调出产品隐含碳排放增量有限。直接消耗系数 $(I-A)^{-1}$ 体现中间生产技术变化带来的影响,它表示一个部门生产单位产出对其他部门产品和服务的消耗,对完全排放系数产生不确定方向的影响。在我国2002年到2007年的情况下,大多数地区直接技术影响和中间技术影响的综合作用是负向的,导致隐含碳调出下降。



注:42个部门代码对应行业名称请见附录表1

图6 直接碳排放系数(吨/万元)

结构效应对我国各地区隐含碳调出的影响较小,因为一个地区的产业结构由资源禀赋、地理区位、交通运输和政策环境等诸多因素共同决定,在短期内具有稳定性。实际上,如果产业结构调整,高污染高排放制造业调出产品减少,清洁行业调出产品增加,产业调整对隐含碳调出的影响将会是负向的,反之则会有正向的影响。

1.重工业型地区

重工业密集型地区,隐含碳调出量大多呈现上升趋势,三个因素在其中的作用具有一些共性。其中,规模效应的正向影响占主导作用,而技术效应也明显地带来隐含碳调出的下降,表现出来对于减少隐含碳的贡献率高于其他地区,一方面源于其主要工业直接碳排放系数的降低,另一方面源于其产业升级,同一工业完全消耗的其他工业的产品和服务减少了,生产效率提高了。

以河北为例,贸易的规模效应对隐含碳调出的贡献率最高,影响力最大。规模效应贡献值为6.1亿吨,贡献率为156%,说明如果其他因素保持不变,随着调出量的增加将导致调出隐含碳排放增加6.1亿吨,贡献率达156%。技术效应贡献值为-1.8亿吨,贡献率为-47%。2002-2007年期间,河北省省际调出量增长了14652亿元,较2002年增加了3倍。就结构效应而言,其贡献值为-3.5亿吨,贡献率为-9%。可见产品调出结构的变化对河北贸易隐含碳的调出量影响程度不高,主要是负向的影响。由图7可以看出,2002-2007年高耗能高排放的化学工业(12)、非金属矿物制品业(13)、通用、专用设备制造业(16)等部门在出口总量中所占的

比重都有所下降,低污染低排放的批发零售、服务业等部门调出产品的比重明显上升,因此出口结构的变化对于河北省碳减排有促进作用。所以,对高能耗、重工业密集的省份,在长期内逐步实现产业结构调整、降低重工业比重是降低出口隐含碳的重要途径。

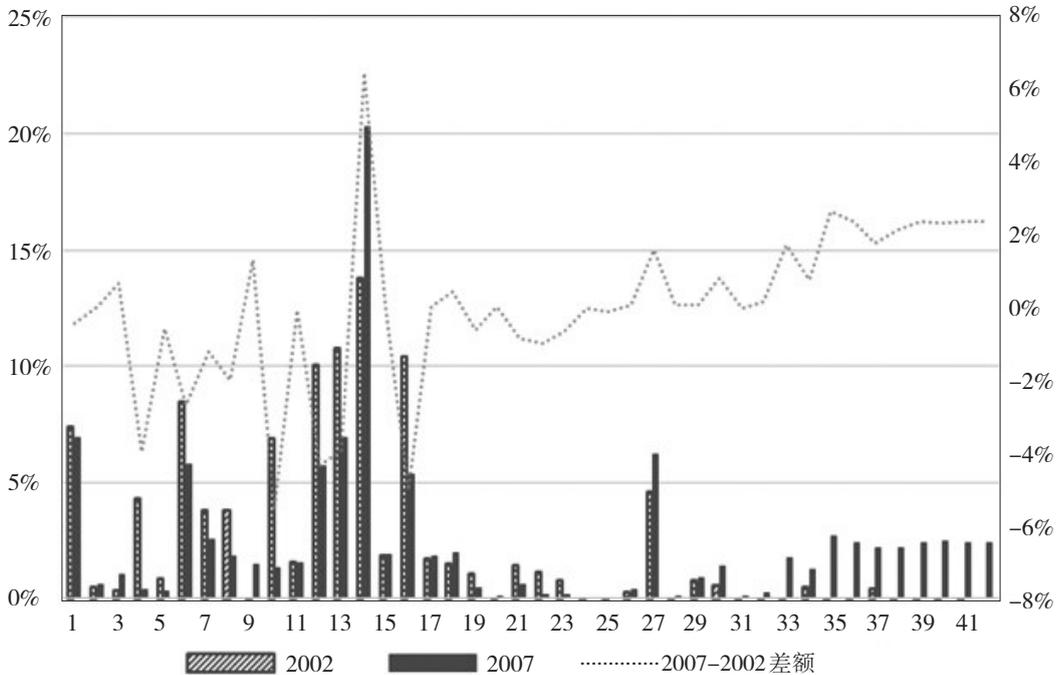


图7 2002-2007年河北省各部门隐含碳调出量比重变化

2.加工贸易型地区

以加工贸易为主的长三角、珠三角地区,受到三个因素影响的模式也具有共性。这些地区的贸易隐含碳调出也主要受到规模效应的正向影响,技术效应相对于重工业密集型地区略强,而结构效应的影响很微弱。

以位于长三角中心地带的上海市为例,2002年到2007年上海市省际调出的产品总量上升了1943.8亿元,较2002年增长了0.7倍。而且,上海市规模效应对于隐含碳调出的贡献值为3.3亿吨,贡献率为170%。上海市技术效应贡献值为-1.3亿吨,贡献率为-69%。由于产业结构和贸易结构的稳定性,上海以加工贸易为主的产业结构变化对隐含碳调出的影响也不显著。虽然上海市调出产品中能耗较低的服务业产品比重稍有增加,但由于其本身基数小,比重低,对于整体隐含碳调出量的影响不明显,仅为-2%。因此对于以加工贸易为主的地区,仍然要将技术水平提升置于重要地位,引进先进技术和自主研发相结合,加强技术提升对于节能减排的促进效应。

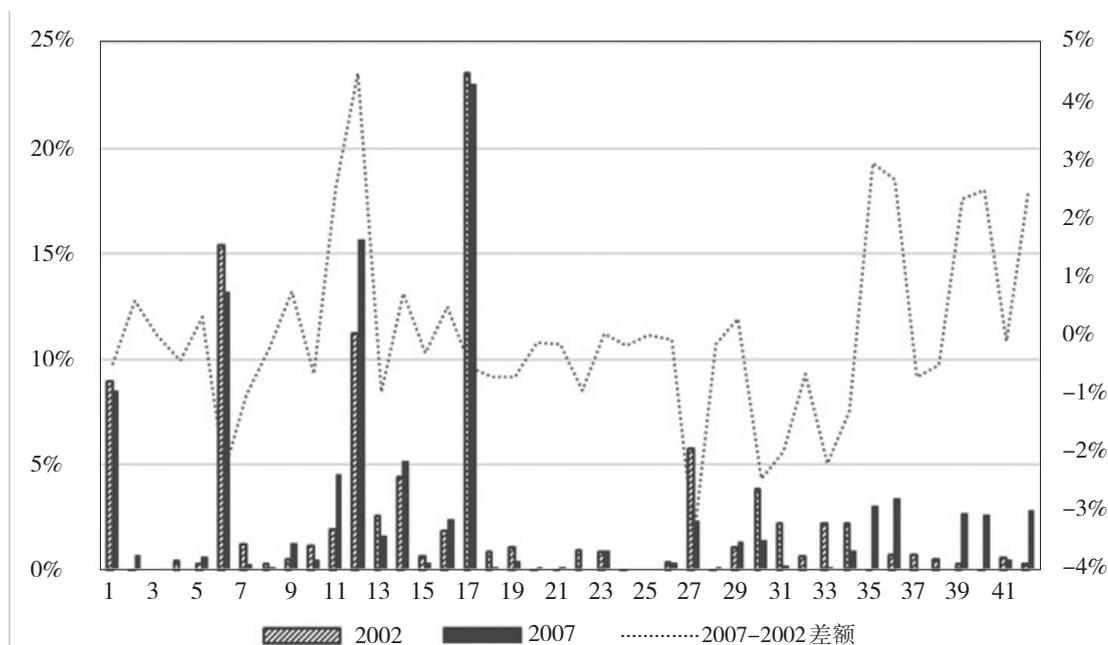


图8 2002-2007年上海市各部门隐含碳调出量比重变化

3.消费密集的超一线城市

消费密集的超一线城市省际贸易隐含碳调入、调出总量均较大,且调入量大于调出量,北京具有这样的特征。同样是超一线城市,北京与上海具有显著的区别,北京作为消费密集型城市的特征较为明显,而上海作为加工贸易城市的特征较为显著。在经济发展的过程中,北京逐渐将高耗能制造业转移到周边的河北、天津,成为贸易隐含碳净调入地,而上海与周边长三角城市形成分工合作的关系,参与到加工贸易出口的过程中,是贸易隐含碳的净调出地。

从规模效应的角度来看,从2002年到2007年,北京由贸易规模扩大带来的贸易隐含碳调出增加达到2.69亿吨,贡献率为173%,因此,规模效应对北京贸易隐含碳调出有主要的正面影响。从技术效应的角度来看,技术水平提高导致北京2007年贸易隐含碳调出比2002年下降0.9亿吨,贡献率为-59%,因此技术改进对北京的碳减排起到了较大的积极作用。从结构效应的角度来看,结构变化带来北京贸易隐含碳调出下降0.2亿吨,贡献率为15%,因此,由于制造业向周边地区转移带来北京贸易隐含碳调出的显著下降。由图9可见,从2002年到2007年,北京市贸易隐含碳调出比重下降的行业是石油加工、炼焦及核燃料加工业(11)、金属冶炼及压延加工业(14)、仪器仪表及文化办公用机械制造业(20)、金融业(32)、租赁和商务服务业(34),而交通运输及仓储业(27)、信息传输、计算机服务和软件业(29)、批发和零售业(30)的贸易隐含碳调出出现较大幅度的上升,即北京市部分高耗能制造业、金融和商务服务等服务业的碳排放调出下降,而交通运输、软件信息等服务业出现显著的碳排放调出上升,这与北京高耗能产业向周边地区转移、信息技术等高新技术产业迅速发展的情况相一致。因此,作为规模庞大、增长迅速

的消费密集地区,高耗能产业已经逐步转移出去,未来实现贸易隐含碳减排的关键在于节能技术创新。

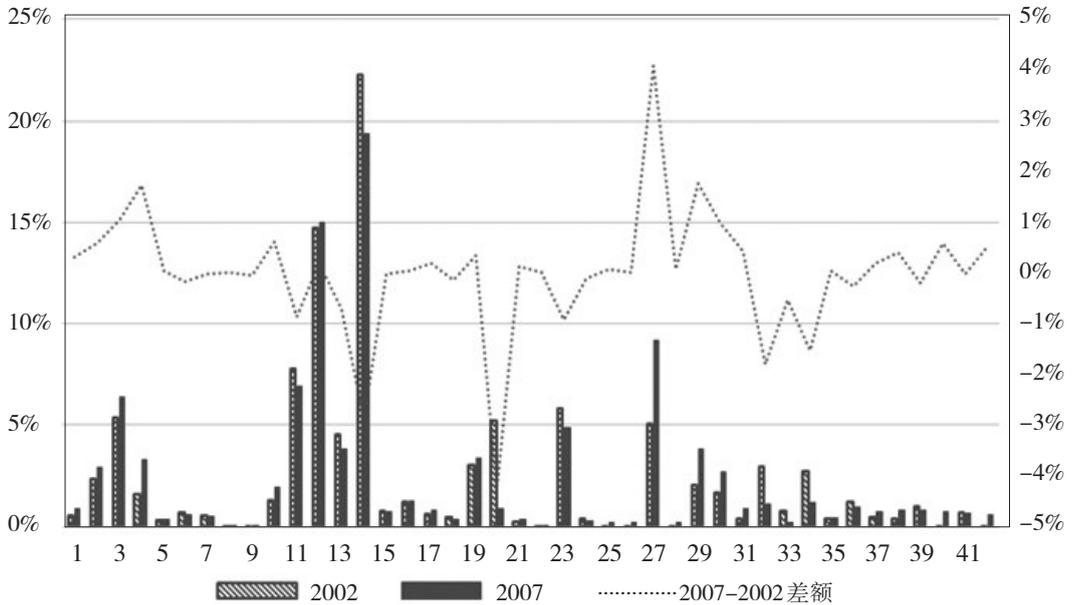


图9 2002-2007年北京市各部门隐含碳调出量比重变化

五、结论

本文估算我国各省(市)贸易隐含碳流量,并将其影响因素分解为规模效应、技术效应和结构效应,分析不同经济发展模式地区的贸易隐含碳流向模式及其受到三种效应影响程度的差异,并针对不同区域特征提出低碳贸易发展路径的建议。

我国隐含碳转移主要有以下特征:东部地区隐含碳调入量和调出量均高于中西部地区,且从2002年到2007年,增幅明显。隐含碳净调出的地区也以东部工业制造业较为发达的地区为主,净调入的地区则主要集中在中西部地区。重工业密集型地区和加工贸易密集型地区碳排放调入、调出均高于其他地区,并且基本为隐含碳净调出地。而能源消费密集的超一线城市隐含碳调入量很大,如北京。由于上海参与区域间出口贸易的程度较大,上海存在碳排放净调出,而北京为碳排放净调入城市。

在对贸易隐含碳充分测算并对相关影响因素进行定性分析的基础上,进一步将贸易隐含碳的驱动因素进行分解,拆分为规模效应、结构效应和技术效应。通过结构分解法中的两极分解法对各个效应的贡献率和贡献值进行了估计。结果发现不同地区,各种效应的影响方向和影响程度都存在差异。但总体而言,规模效应对贸易隐含碳排放增长起主导作用,其次技术效应与调出隐含碳增长呈反向变动关系,能在很大程度上抵消规模效应的作用,最后,贸易结构效应对贸易

隐含碳增长作用方向与产业结构息息相关,且影响力相对较小。对于重工业密集型地区和加工贸易密集型地区,规模效应均对贸易隐含碳排放产生显著的正向影响,而加工贸易密集型地区存在较大的技术效应,对贸易隐含碳排放有较大的负面作用。消费密集的超一线城市由巨大的规模效应带来贸易隐含碳调出的上升,由高耗能产业向外转移带来的结构效应也较为显著。

我国各省(市)直接碳排放水平差异显著,碳排放空间转移的流向表现出多层次的,多模式的特点,影响各区域贸易隐含碳流动的因素也不完全一致。因此要想完成我国整体碳减排目标,实现经济低碳发展模式,一方面要在遵循共同规律的前提下,制定符合整体发展思路的总体减排政策和目标,另一方面也要根据不同区域的特征提出不同的发展路径。

第一,加大研发力度,通过技术改进促进区域间贸易低碳化发展。对隐含碳转移影响因素的分析我们发现,能源利用效率的提高,清洁能源的使用以及清洁技术的推广,能够有效地降低碳排放,从而表现为负向的技术效应相关关系。

第二,针对不同地区经济模式,制定低碳政策。重工业密集型地区和加工贸易密集型地区是我国贸易隐含碳调出的主要源头,在短期内,通过技术提高能够在一定程度上抑制贸易规模效应带来的贸易隐含碳调出增加,但在长期内,需要通过结构效应解决这一问题。其中,重工业密集型地区是我国工业产品的主要供应地,也是我国经济发展的支柱。但由于其生产工艺相对落后,能源效率相对较低、碳排放量大,这些区域承担了较大的环境压力。应该在原有产业结构的基础上淘汰落后产能,遏制高能耗、高污染行业的盲目扩张,在必要的情况下关停产品落后、排放严重的企业,淘汰高耗能高污染的劣质产品。加工贸易密集型地区的产业模式形成,主要源自其区位优势,为了实现低碳可持续发展,应该以成为贸易中心、金融中心和研发中心为目标,加快向服务型经济模式发展。

附录:

表1 中国42部门行业名称与代码

| 行业代码 | 行业名称 | 行业代码 | 行业名称 |
|------|-----------------|------|----------------|
| 1 | 农林牧渔业 | 22 | 废品废料 |
| 2 | 煤炭开采和洗选业 | 23 | 电力、热力的生产和供应业 |
| 3 | 石油和天然气开采业 | 24 | 燃气生产和供应业 |
| 4 | 金属矿采选业 | 25 | 水的生产和供应业 |
| 5 | 非金属矿及其他矿采选业 | 26 | 建筑业 |
| 6 | 食品制造及烟草加工业 | 27 | 交通运输及仓储业 |
| 7 | 纺织业 | 28 | 邮政业 |
| 8 | 纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业 | 29 | 信息传输、计算机服务和软件业 |
| 9 | 木材加工及家具制造业 | 30 | 批发和零售业 |
| 10 | 造纸印刷及文教体育用品制造业 | 31 | 住宿和餐饮业 |
| 11 | 石油加工、炼焦及核燃料加工业 | 32 | 金融业 |
| 12 | 化学工业 | 33 | 房地产业 |

续表 1

中国 42 部门行业名称与代码

| 行业代码 | 行业名称 | 行业代码 | 行业名称 |
|------|--------------------|------|---------------|
| 13 | 非金属矿物制品业 | 34 | 租赁和商务服务业 |
| 14 | 金属冶炼及压延加工业 | 35 | 研究与试验发展业 |
| 15 | 金属制品业 | 36 | 综合技术服务业 |
| 16 | 通用、专用设备制造业 | 37 | 水利、环境和公共设施管理业 |
| 17 | 交通运输设备制造业 | 38 | 居民服务和其他服务业 |
| 18 | 电气机械及器材制造业 | 39 | 教育 |
| 19 | 通信设备、计算机及其他电子设备制造业 | 40 | 卫生、社会保障和社会福利业 |
| 20 | 仪器仪表及文化办公用机械制造业 | 41 | 文化、体育和娱乐业 |
| 21 | 工艺品及其他制造业 | 42 | 公共管理和社会组织 |

参考文献:

[1] 陈迎,潘家华,谢来辉. 中国外贸进出口商品中的内涵能源及其政策含义[J]. 经济研究, 2008, (7): 11-25.

[2] 李善同. 2002 年中国地区扩展投入产出表: 编制与应用[M]. 北京: 经济科学出版社, 2010.

[3] 彭志龙. 2002 中国地区投入产出表[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.

[4] 彭志龙. 2007 中国地区投入产出表[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.

[5] 魏本勇, 方修琦, 王媛. 基于投入产出分析的中国国际贸易碳排放研究[J]. 北京师范大学学报, 2009, 45(4): 413-419.

[6] 魏一鸣, 刘兰翠, 范英等. 中国能源报告(2008): 碳排放研究[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

[7] 闫云凤, 赵忠秀, 王苒. 基于 MRIO 模型的中国对外贸易隐含碳及排放责任研究[J]. 世界经济研究, 2013, (06): 54-58.

[8] 周新. 国际贸易中的隐含碳排放核算及贸易调整后的国际温室气体排放[J]. 管理评论, 2010, 22(06): 17-24.

[9] Andreossoocallaghan, B. and G. Yue. Sources of Output Change in China: 1987-1997: Application of a Structural Decomposition Analysis[J]. Applied Economics, 2002, 34(17): 2227-2237.

[10] Evans, W.D., H.B.Chenery., and V.Caopinna. The Structure and Growth of the Italian Economy[J]. Econometrica, 1955, 23(1).

[11] Garbaccio, R.F., M.S.Ho., and D.W.Jorgenson. Why Has the Energy-output Ratio Fallen in China?[J]. The Energy Journal, 1999, 20(3): 63-91.

[12] Grossman, G.M., and A.B.Krueger. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement[J]. Social Science Electronic Publishing, 1992, 8(2): 223-250.

[13] Guo, J., L.L.Zou., and Y.M.Wei. Impact of Inter-sectoral Trade on National and Global CO₂ Emissions: An Empirical Analysis of China and US[J]. Energy Policy, 2010, 38(3): 1389-1397.

[14] Hayami, H., M.Nakamura, K.Asakura., and K.Yoshioka. The Emission of Global Warming Gases: Trade between Canada and Japan[R]. 1999.

[15] Lenzen, M., L.L.Pade., and J.Munksgaard. CO₂ Multipliers in Multi-region Input-output Models[J]. Economic Systems Research, 2004, 16(4): 391-412.

[16] Li, Y. and C.N.Hewitt. The Effect of Trade between China and the UK on National and Global Carbon Dioxide Emissions[J]. Energy Policy, 2008, 36(06): 1907-1914.

[17] Lin, X. and K.R.Polenske. Input-output Anatomy of China's Energy Use Changes in the 1980s[J]. Economic

Systems Research, 1995, 7(1): 67–84.

[18] Peters,G.P. and E.G.Hertwich. Production Factors and Pollution Embodied in Trade: Theoretical Development [J]. Industrial Ecology Programme, 2004.

[19] Peters,G.P., and E.G.Hertwich. Pollution Embodied in Trade: The Norwegian Case[J]. Global Environmental Change, 2006, 16(4): 379–387.

[20] Polenske,K.R. Advances in Input–output Analysis[M]. USA: Ballinger Publishing Co, 1976.

[21] Wachsmann,U., R.Wood., and M.Lenzen. Structural Decomposition of Energy use in Brazil from 1970 to 1996 [J]. Applied Energy, 2009, 86(4): 578–587.

The Research of Provincial Trade–embodied Carbon Emission in China

Tang Weiqi^a, Zhou Yi^b and Sun Kege^b

(a: Center for BRICS Country Studies, Fudan University; b: School of Economics, Fudan University)

Abstract: Provinces in China have different economic development modes. However, the decision of carbon emission reduction target does not take the regional difference into consideration, thus leading to inefficiency and inequality. It is necessary to analyze the trade–embodied carbon emission inflow and outflow, as well as the factors that influence it. So that it could provide suggestions to make equal and efficient emission reduction policies for different regions. This paper estimates the carbon emission embodied in the trade flow among provinces in China through an Input–output Model. The impact of scale effect, technological effect and structural effect is estimated through the Structural Decomposition Analysis model. Results show that the Heavy–Industry–Intensive Provinces and Processing–Trade–Industry– Intensive Provinces in China are net out–flowers of trade–embodied carbon emission, with higher level of trade–embodied carbon emission outflow and inflow than other provinces. In recent years, several HIIPs and PTIIPs in China tend to be the main net out–flowers of trade–embodied carbon emission. The scale effect have significant and positive impact on trade–embodied carbon emission for both HIIPs and PTIIPs, while the impact of technology effect on PTIIPs is larger than that on HIIPs. In the short run, technology improvement is vital for trade–embodied emission reduction. However, low–carbon trade development in these regions should be achieved through industry structure adjustment and upgrading.

Keywords: Input–output Model; Structural Decomposition Analysis; Trade–embodied Carbon Emission among Provinces in China

JEL Classification: C67, R12, R15, O13

(责任编辑:朱静静、卢玲)