

# 出口贸易隐含碳变化驱动因素分析模型及应用

范丽伟<sup>1</sup>, 潘晨<sup>2</sup>, 赵锡波<sup>2</sup>

(1. 河海大学 商学院, 南京 211102; 2. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 南京 211106)

**摘要:** 出口贸易隐含碳排放是区域间气候变化谈判面临的重要问题。为了研究区域出口商品中隐含的碳排放及其增长的驱动因素,通过基于投入产出表的嵌套的结构分解分析(SDA)模型,测度能源消费结构等九个因素对出口贸易隐含碳变化的作用,并以江苏省为背景进行应用研究。结果表明:与1997—2002年相比较,江苏省在2002—2007年出口贸易隐含碳迅猛增长,出口结构变动、最终需求扩张及出口规模扩张是出口贸易隐含碳排放增长的主要因素,而能源使用效率的改善则是减少隐含碳排放的主要原因。

**关键词:** 出口贸易; 隐含碳; 驱动因素; 投入产出; 结构分解分析

**中图分类号:** C930

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1009-3370(2014)06-0034-07

随着我国工业化进程的快速推进,CO<sub>2</sub> 排放总量呈现出高速增长态势,控制、减缓 CO<sub>2</sub> 排放成为当务之急。据测算,2015 年我国化石燃料燃烧导致的 CO<sub>2</sub> 排放量约为 91.8 亿吨,其中源自煤炭、石油和天然气的比重分别为 81.0%、13.2%和 5.8%<sup>[1]</sup>。

国际贸易的发展使得生产和消费发生分离,现有相关国际协议的碳排放核算方式主要基于生产过程,即谁生产谁负责,从而产品消费国在满足自身需求时,并不需要对 CO<sub>2</sub> 等温室气体的排放承担责任,这对产品生产国显然不公平;另一方面,基于生产的碳排放核算方式导致了碳泄漏<sup>[2]</sup>,有损减排协议的执行效果。研究表明,基于生产与基于消费的碳排放测度存在很大差异<sup>[3]</sup>,因此,碳转移排放不容忽视。进入 21 世纪,特别是加入世界贸易组织后,我国的对外贸易飞速发展,对外贸易总额从 2002 年的 6 207.70 亿美元激增到 2012 年的 38 671.19 亿美元,且出口额大于进口额。然而,进口产品普遍具有高附加值、高技术含量和低资源消耗的特点,而出口商品正好与之相反。因此,高贸易顺差意味着日益严重的国内环境污染与高资源消耗<sup>[4]</sup>。

现有针对隐含碳排放增长因素的研究,大都集中在国际或一国层面,而较少关注地区或省级行政区域层面,如 Richard Wood(2009)研究了澳大利亚的碳排放因素<sup>[5]</sup>,Dong(2010)研究了中日贸易中的隐含碳驱动因素<sup>[6]</sup>,赵玉焕(2013)研究了美国对中国出口贸易中的隐含碳驱动因素<sup>[7]</sup>,尚红云(2009)、Zhang(2009)、郭朝先(2010)等研究了中国整体碳排

放增长驱动因素<sup>[8-10]</sup>,李艳梅(2010)、黄敏(2011)、杜运苏(2012)、Su(2013)等则研究了中国出口贸易中碳排放增长的驱动因素<sup>[11-14]</sup>。然而,地区或省级行政区域层面作为政府行政规划的具体执行与监督部门,研究其碳排放以及对外贸易中隐含碳排放转移问题对于寻找碳减排的技术路线与对策、有针对性地进行全国各省域的碳减排额度划分以及对外谈判等均具有重要意义。本文的主要目的是研究地区出口贸易隐含碳排放量的测算,及其变化的驱动因素分析模型。

目前常用的分解技术主要有两种,一种是指数分解分析 IDA(Index Decomposition Analysis),另一种是结构分解分析 SDA (Structural Decomposition Analysis)。两者最大的区别就是 SDA 投入产出技术为基础,而 IDA 只需要部门加总数据即可。这也使得 IDA 在数据可得性上相对容易,而 SDA 方法获得和处理数据难度较大。Hoekstra 等对 SDA 法和 IDA 法进行综合比较后认为,SDA 比 IDA 有着更高的数据要求,这是 SDA 法较 IDA 法的主要劣势,但较高的数据要求使得 SDA 具有 IDA 法无法具备的优势:利用投入产出模型,全面分析各种直接或间接影响因素,特别是一个部门需求变动对其他部门带来的间接影响,即列昂惕夫系数效应(Leontief effect, input-output coefficient effect, technical coefficient effect or structural matrix effect)<sup>[15]</sup>。

综上所述,在国际、国内气候变化与环境保护的背景下,有必要研究如何测算出口贸易隐含碳排

收稿日期: 2014-01-11

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(71203055);教育部人文社科青年基金项目((12YJZJH039))

作者简介: 范丽伟(1978—),女,博士,讲师,E-mail:hhufanlw@163.com

放的变化并分析其驱动因素。本文拟利用扣除进口的投入产出模型测算区域出口贸易隐含碳排放量,在此基础上构建一个嵌套的结构分解分析模型用于研究隐含碳变化的驱动因素,并应用该模型研究了江苏省出口贸易隐含碳排放量变化的原因。

## 一、研究方法

### (一)出口贸易隐含碳测算模型

#### 1. 扣除进口的投入产出模型

投入产出技术由美国经济学家列昂惕夫(Leontief)创立,用于研究一个系统进行某项活动过程中的消耗与结果的平衡关系,其在国民经济系统中的基本模型形式为

$$X=AX+Y+EX-IM \quad (1)$$

整理可得

$$X=[I-A]^{-1}Y+[I-A]^{-1}(EX-IM) \quad (2)$$

式中, $X$ 表示区域内的总产出矩阵; $A$ 为直接消耗系数矩阵; $Y$ 为区域内最终需求矩阵; $EX$ 、 $IM$ 分别表征出口和进口矩阵。本文所用的投入产出表为进口竞争型,投入产出表中间投入部分就会同时存在进口及自产产品,在计算中必须扣除进口部分<sup>[6]</sup>。本文做如下定义

$$IM=K(AX+Y) \quad (3)$$

$$k_i=im_i / \left( \sum_{j=1}^n a_{ij}x_j + y_i \right) \quad (4)$$

假设进口量与当年的该部门生产总需求成正比。其中,进口系数矩阵 $K$ 为对角矩阵; $k_i$ 表示部门 $i$ 的进口产品量占该部门中间生产与最终消费总需求的比值。

将方程(3)代入到方程(2)中,整理可得新的等式如下

$$X=[I-(I-K)A]^{-1}(I-K)Y+[I-(I-K)A]^{-1}EX \quad (5)$$

这里,我们把 $[I-(I-K)A]^{-1}$ 用字母 $R$ 来表示,同方程(2)类比可以发现,它是列昂惕夫逆矩阵的变换,相应的 $[I-(I-K)A]^{-1}(I-K)Y$ 部分表征为满足计算区域内需求的生产额, $[I-(I-K)A]^{-1}EX$ 则表征为满足出口贸易需要的生产额。

#### 2. CO<sub>2</sub>排放系数

各种能源CO<sub>2</sub>排放系数 $\theta_k$ 可以按以下公式计算得到

$$\theta_k=NCV_k \times CEF_k \times COF_k \times 44/12 \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (6)$$

式中, $NCV$ 为《中国能源统计年鉴 2008》所提供的一次能源的平均低位发热量(IPCC也称之为净发热值); $CEF$ 则为IPCC提供的碳排放系数<sup>①</sup>; $COF$ 为碳氧化因子(通常取其缺省值1);44为CO<sub>2</sub>的分子量,12为C的分子量。根据《中国能源统计年鉴》涉及能源种类及消耗的权重,我们将最终能源消费种类划分为9类(煤炭、焦炭、原油、燃料油、汽油、煤油、柴油、液化石油气和天然气)。

#### 3. 出口贸易隐含碳测算模型

在上述模型及公式的基础上,隐含碳测算的模型可构建如下

$$Q_{EX}=\theta F \hat{E}[I-(I-K)]^{-1}EX \quad (7)$$

引入 $R$ 后记为

$$Q_{EX}=\theta F \hat{E} R EX \quad (8)$$

其中, $Q_{EX}$ 为区域内的出口贸易隐含碳排放量; $\theta$ 为碳排放系数列向量; $F$ 为能源结构矩阵(指煤炭、焦炭、原油、燃料油、汽油、煤油、柴油、液化石油气、天然气及电力消费所占比重); $\hat{E}$ 为分产业部门的能源消耗强度矩阵的对角矩阵<sup>②</sup>。

### (二)嵌套的隐含碳驱动因素分解模型

#### 1. 隐含碳结构分解基本模型

SDA模型方法是建立在投入产出技术模型上的,在SDA分解技术相关文献中,两极分解法是最常见的方法之一,它为了解决D&L方法复杂性计算的弊端应运而生<sup>[7]</sup>。对变量 $n < 2$ 的情形下,两极分解法为精确解;在 $n > 2$ 情形下,为近似解<sup>[8]</sup>。本文采用两级分解法构建模型。

将出口量 $EX$ 拆解为

$$EX=(EX/X)X \quad (9)$$

令 $V=EX/X$ ,用 $t-1$ 、 $t$ 分别表征两个相邻的计算期,根据两极分解方法,可将 $\Delta Q_{EX}$ 分解如下

$$\begin{aligned} \Delta Q_{EX} = & \theta [(\Delta \hat{F} \hat{E}_t R_t \hat{V}_t X_t + \Delta \hat{F} \hat{E}_{t-1} R_{t-1} \hat{V}_{t-1} X_{t-1})/2 + \\ & (F_{t-1} \Delta \hat{E} R_t \hat{V}_t X_t + F_t \Delta \hat{E} R_{t-1} \hat{V}_{t-1} X_{t-1})/2 + \\ & (F_{t-1} \hat{E}_{t-1} \Delta R \hat{V}_t X_t + F_t \hat{E}_t \Delta R \hat{V}_{t-1} X_{t-1})/2 + \\ & (F_{t-1} \hat{E}_{t-1} R_{t-1} \Delta \hat{V} X_t + F_t \hat{E}_t R_t \Delta \hat{V} X_{t-1})/2 + \\ & (F_{t-1} \hat{E}_{t-1} R_{t-1} \hat{V}_{t-1} \Delta X + F_t \hat{E}_t R_t \hat{V}_t \Delta X)/2] \quad (10) \end{aligned}$$

#### 2. 总产出结构分解模型

根据投入产出表平衡关系,经济规模 $X$ 的变化 $\Delta X$ 还可以进一步分解为消费和资本形成变动效应、出口扩张效应、进口替代效应与技术变动效应

①考虑到IPCC没有直接提供煤的碳排放系数,而我国煤炭消费中一直以烟煤为主(占80%左右),无烟煤消费占20%左右,故而采用烟煤与无烟煤碳排放系数加权平均的方法来计算煤炭碳排放系数。分析数据来源:<http://www.cctd.com.cn/detail/pay3/09/04/21/00193652/content.html?1240549409333>。

②标准煤折算根据《2008年中国能源统计年鉴》所提供的各种能源折算系数表。

$$\Delta X=1/2(B_{t-1}U_{t-1}+B_tU_t)\Delta C+1/2(B_{t-1}U_{t-1}+B_tU_t)\Delta I+1/2(B_{t-1}+B_t)\Delta EX+1/2[B_{t-1}\Delta U(A_tX_t+C_t+I_t)+B_t\Delta U(A_{t-1}X_{t-1}+C_{t-1}+I_{t-1})]+1/2(B_{t-1}U_{t-1}\Delta AX_t+B_tU_t\Delta AX_{t-1}) \quad (11)$$

式中,  $C$  和  $I$  分别表征国内生产使用的最终产品消费和国内生产使用的最终资本形成矩阵;  $B$  为  $(I-UA)^{-1}$  的简记;  $\hat{U}$  表征国内供给比率的对角矩阵。  $u_i$  为各部门生产产品的国内供给比率的对角矩阵元素。其计算表达式为

$$u_i=(x_i-ex_i)/(x_i-ex_i+im_i) \quad (12)$$

### 3. 嵌套的隐含碳驱动因素分解模型

将  $\Delta X$  的分解式嵌套至  $\Delta Q_{EX}$  的分解表达式中即得隐含碳驱动因素嵌套模型。为方便描述,令  $p=\theta(FER_tV_t+F_{t-1}E_{t-1}R_{t-1}V_{t-1})/2$ , 得

$$\begin{aligned} \Delta Q_{EX} &= \theta(\Delta F\hat{E}R_t\hat{V}_tX_t+\Delta F\hat{E}_{t-1}R_{t-1}\hat{V}_{t-1}X_{t-1})/2 \quad \text{能源消费结构变动效应 } \Delta_{str} \\ &+ \theta(F_{t-1}\hat{E}\hat{\Delta}R_t\hat{V}_tX_t+F_t\hat{E}R_{t-1}\hat{V}_{t-1}X_{t-1})/2 \quad \text{能源消费强度变动效应 } \Delta_{int} \\ &+ \theta(F_{t-1}\hat{E}_{t-1}\hat{\Delta}R\hat{V}_tX_t+F_t\hat{E}_t\hat{\Delta}R\hat{V}_{t-1}X_{t-1})/2 \quad \text{列昂惕夫变换逆矩阵变动效应 } \Delta_{inv} \\ &+ \theta(F_{t-1}\hat{E}_{t-1}R_{t-1}\hat{\Delta}V_tX_t+F_t\hat{E}R_t\hat{\Delta}V_{t-1}X_{t-1})/2 \quad \text{出口结构变动效应 } \Delta_{ext} \\ &+ p(B_{t-1}U_{t-1}+B_tU_t)\Delta C/2 \quad \text{消费扩张效应 } \Delta_{con} \\ &+ p(B_{t-1}U_{t-1}+B_tU_t)\Delta I/2 \quad \text{投资扩张效应 } \Delta_{inv} \\ &+ p(B_{t-1}+B_t)\Delta EX/2 \quad \text{出口规模扩张效应 } \Delta_{exc} \\ &+ p[B_{t-1}\Delta U(A_tX_t+C_t+I_t)+B_t\Delta U(A_{t-1}X_{t-1}+C_{t-1}+I_{t-1})]/2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{进口替代效应 } \Delta_{is} \\ &+ p(B_{t-1}U_{t-1}\Delta AX+B_tU_t\Delta AX_{t-1})/2 \quad \text{技术系数变动效应 } \Delta_{eco} \end{aligned} \quad (13)$$

简记为

$$\Delta Q_{EX}=\Delta_{str}+\Delta_{int}+\Delta_{inv}+\Delta_{ext}+\Delta_{con}+\Delta_{inv}+\Delta_{exc}+\Delta_{is}+\Delta_{eco} \quad (14)$$

## 二、应用研究

江苏省经济总量位居中国前列,2012年,江苏省国内生产总值占全国国内生产总值的10.41%,进出口总额占全国进出口总额的14.17%。与此相适应,其能源消费量在我国总能源消费量中也占有较大比重,且这一比例呈现逐年上升趋势。因此,本文选取江苏省作为应用研究背景,计算其出口贸易隐含碳排放量,并利用前述嵌套的隐含碳驱动因素分解模型分析导致该省出口贸易隐含碳排放量变化的原因。

### (一) 数据及部门分类

本文借鉴刘起运(2010)编制的1992—2005年可比价投入产出表方法<sup>[9]</sup>,根据2007年江苏省投入产出表(现价)提供的初始数据,自编了江苏省2007年可比价投入产出表。其他相关数据来自《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》及《江苏省统计年鉴》《江苏省2002年投入产出表》《江苏省2007年投入产出表》。同时,根据匹配原则,按照《中国能源统计年鉴》中的部门分类方法,把42个部门的投入产出表重新划分为29个产业部门(如表1)。由于各类能源的碳排放系数具有相对不变性,碳排放系数相关数值来自气候变化专门委员会(IPCC)编制的《2006

表1 部门分类及代码

部门名称	代码	部门名称	代码
农林牧渔业	01	通用、专用设备制造业	16
煤炭开采和洗选业	02	交通运输设备制造业	17
石油和天然气开采业	03	电气机械及器材制造业	18
金属矿采选业	04	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	19
非金属矿及其他矿采选业	05	仪器仪表及文化办公用机械制造业	20
食品制造及烟草加工业	06	工艺品及其他制造业	21
纺织业	07	废品废料	22
纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品	08	电力、热力的生产和供应业	23
木材加工及家具制造业	09	燃气生产和供应业	24
造纸印刷及文教体育用品制造业	10	水的生产和供应业	25
石油加工、炼焦及核燃料加工业	11	建筑业	26
化学工业	12	交通运输、仓储和邮政业	27
非金属矿物制品业	13	批发、零售业和住宿、餐饮业	28
金属冶炼及压延加工业	14	其他行业	29
金属制品业	15		

①  $R$  所表征的是满足计算区域内生产消费的完全需求量,本文指江苏省内的完全需求量,它是列昂惕夫逆矩阵的变换。其意义是:增加某一部部门单位国内最终时,需要各个部门提供的生产额是多少,反映的是对各部门直接和间接的诱发效果。本文在表格内限于篇幅可能会用变换逆矩阵变动效应来代替作为简写。

年 IPCC 国家温室气体清单指南》。

## (二) 出口贸易隐含碳测算

根据上述推导模型及处理数据,通过计算整

理,我们得到 1997 年、2002 年及 2007 年间各部门出口贸易隐含碳情况,如图 1 所示。

从图 1 中可以看出,1997—2002 年间部门隐含

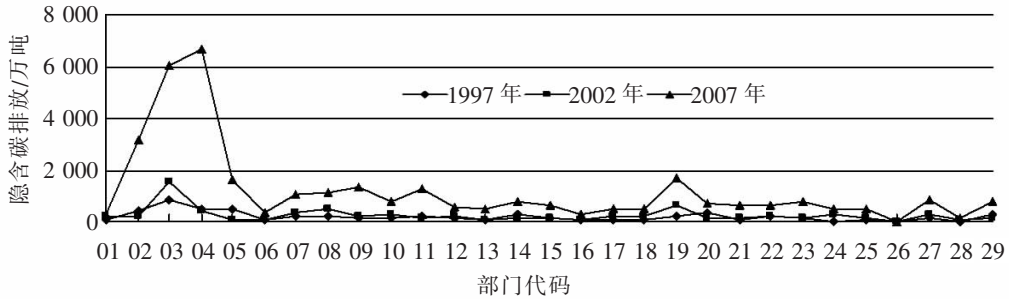


图 1 1997 年、2002 年及 2007 年江苏省部门出口贸易隐含碳排放

碳排放增长显得较为平缓,2002 年较 1997 年出口贸易隐含碳由 5 703.442 万吨(占同期 CO<sub>2</sub> 排放总量的 31.84%)增长到 7 138.181 万吨(占同期 CO<sub>2</sub> 排放总量的 34.40%),增长率为 25.16%;同期江苏省出口贸易总额同比增长 189.83%,明显高于这一期间隐含碳的增长。造成这一现象的原因,一方面可能是因为 1998 年亚洲金融危机对东亚、东南亚等地区经济造成的深远影响,虽然我国政府采用雷霆手段将此次经济危机对于我国的影响降到最低,但也不可避免地冲击了我国对外贸易。另一方面,联系到江苏省的具体情况,可能为产业结构调整,如高能耗行业的相对萎缩与低能耗高附加值行业的飞速发展;也可能为生产模式的改进,例如由原来的“粗放型”经济向“集约型”经济转移;或者可能为能源使用条件的进一步改善,即能源使用效率的提高等。

2002—2007 年间,出口贸易隐含碳排放量从 2002 年的 7 138.181 万吨增长至 2007 年的 34 370.21 万吨,累计增长 381.50%;隐含碳与 CO<sub>2</sub> 排放总量的占比也由 2002 年的 34.40% 上升到 2007 年的 75.99%。出口贸易隐含碳增长率高于 CO<sub>2</sub> 排放总量增长率(117.94%),表明在这一轮经济增长过程中,对外贸

易出口产品呈现出劳动密集、能耗高、附加值低和技术含量低等特征。这一方面与我国于 2002 年加入世界贸易组织(WTO)有很大关联,江苏省出口贸易总额在 2002—2007 年期间增幅达到 245.56%;另一方面,从 2002 年间江苏省出口贸易结构来看,以代工为主、通过低廉的劳动力价格控制成本的产业部门如 19 部门(通信设备、计算机及其他电子设备制造业)、08 部门(纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业)和 07 部门(纺织业)的出口贸易额分别占总量的 37.47%、23.14% 和 12.42%,这也是导致出口贸易隐含碳迅速增长的重要原因。

## (三) 出口贸易隐含碳驱动因素分析

### 1. 整体状况分解结果分析(如表 2 所示)

表 2 显示了 1997—2007 年分阶段各因素对江苏省出口贸易隐含碳排放增长的贡献,可以看出:从 1997—2007 年整个阶段来看,江苏省出口贸易隐含碳排放增长 28 666.77 万吨,其中,能源消费强度变动效应及进口替代效应始终为负值,为减少江苏省出口贸易隐含碳排放发挥着积极作用;而与此相反,消费扩张、投资扩张、出口规模扩张等规模增长因素和出口结构变动效应始终为正值,是驱动江

表 2 1997—2007 年江苏省出口贸易隐含碳排放变化结构分解

因素名称	出口贸易隐含碳排放增长/万吨		贡献率/%	
	1997—2002 年	2002—2007 年	1997—2002 年	2002—2007 年
能源消费结构变动效应	-28.93	220.85	-2.02	0.81
能源消费强度变动效应	-2 158.13	-1 457.41	-150.42	-5.35
变换逆矩阵变动效应	-3 370.05	6 706.81	-234.89	24.63
出口结构变动效应	2 190.30	6 002.05	152.66	22.04
消费扩张效应	833.23	1 883.38	58.08	6.92
投资扩张效应	1 317.06	3 307.25	91.80	12.14
出口规模扩张效应	3 217.18	11 558.44	224.23	42.44
进口替代效应	-670.77	-1 008.79	-46.75	-3.70
技术系数变动效应	104.85	19.45	7.31	0.07
合计	1 434.74	27 232.03	100	100

苏省出口贸易隐含碳排放强力增长的核心因素,1997—2007年,三个规模增长因素合计导致出口贸易隐含碳排放增长22 116.53万吨,出口结构变动效应累计增加贸易碳排放8 192.35万吨;表征广义社会进步<sup>①</sup>的列昂惕夫变换逆矩阵与技术系数变动效应两者累计增加江苏省出口贸易内涵碳排放3461.06万吨,且列昂惕夫变换逆矩阵效应由-234.89%提高为24.63%,说明在江苏省出口贸易经济增长的过程中,1997—2002年与2002—2007年相较经济增长内涵显得更为低碳;同时发现能源消费结构变动效应不明显,1997—2007年累计增长仅191.92万吨,表明江苏省能源消费的结构一直较为稳定,虽然改善能源消费结构的呼声越来越强烈,但彻底的变革尚未到来。

从两阶段的发展变化来看,可以将9个驱动因素分为两类,一类是“优化”的驱动因素,另一类是“劣化”的驱动因素。所谓“优化”的驱动因素是指该

因素对出口贸易隐含碳排放的影响由促进转变为抑制,或促进效应降低,或抑制效应提高,类似地可定义“劣化”的驱动因素。由表2可以看出,出口结构变动效应、消费扩张效应、投资扩张效应、出口规模扩张效应及技术系数变动效应为“优化”的驱动因素,虽然这5个因素在两阶段均呈现正值,但必须看到,1997—2007年间,上述因素对江苏省出口贸易隐含碳排放的促进作用均有较大程度的减弱,尤其是技术系数变动效应的优化,表明江苏省国民生产中间投入结构总体上得到了一定程度的改善,这是值得肯定的。与此同时,“劣化”的驱动因素包括能源消费结构变动效应、能源消费强度变动效应、变换逆矩阵变动效应及进口替代效应,其中,变换逆矩阵及能源消费结构均由抑制效应反转为促进效应,应引起重视,能源消费强度及进口替代虽呈现负值,但其抑制效应的大幅减弱值得关注。

## 2. 分产业分解结果分析(如表3所示)

表3 1997—2007年江苏省分产业出口贸易隐含碳排放变动结构分解

时间区段	出口贸易隐含碳变动/万吨				贡献率/%				
	农业	工业	建筑	服务	农业	工业	建筑	服务	
1997—2002年	$\Delta_{str}$	-3.72	-12.34	-0.000 2	-12.86	-3.87	-0.99	0.02	-14.57
	$\Delta_{inv}$	-100.18	-1 942.58	-0.2715	-115.10	-104.13	-155.25	28.31	-130.40
	$\Delta_{lin}$	120.67	-3 122.95	-2.42	-365.36	125.44	-249.59	252.36	-413.92
	$\Delta_{exst}$	9.28	1 997.33	0.917	182.77	9.65	159.63	-95.63	207.06
	$\Delta_{con}$	5.20	761.06	0.128	66.84	5.40	60.83	-13.39	75.73
	$\Delta_{inv}$	13.46	1 209.71	0.274	93.62	13.99	96.68	-28.60	106.06
	$\Delta_{exsc}$	49.05	2 881.97	0.479	285.68	50.99	230.33	-49.96	323.65
	$\Delta_{IS}$	-5.62	-593.8	-0.101	-71.25	-5.84	-47.46	10.57	-80.72
	$\Delta_{ico}$	7.73	74.95	0.033	22.14	8.03	5.99	-3.42	25.08
	合计	96.20	1 251.23	-0.959	88.27	100	100	100	100
2002—2007年	$\Delta_{str}$	-12.76	225.91	-0.008 5	7.71	-17.94	0.87	-0.22	0.63
	$\Delta_{inv}$	-42.04	-1 176.21	0.32	-239.48	-59.08	-4.53	8.41	-19.64
	$\Delta_{lin}$	-83.74	6 738.85	0.69	51.00	-117.69	25.98	17.58	4.18
	$\Delta_{exst}$	65.89	5 499.52	1.76	434.89	92.60	21.20	44.47	35.67
	$\Delta_{con}$	31.97	1 691.91	0.152	159.35	44.93	6.52	3.85	13.07
	$\Delta_{inv}$	16.05	3 125.16	0.643	165.40	22.55	12.05	16.28	13.56
	$\Delta_{exsc}$	112.13	10 688.71	0.420	757.18	157.59	41.21	10.64	62.10
	$\Delta_{IS}$	-6.80	-900.64	-0.051	-101.30	-9.55	-3.47	-1.28	-8.31
	$\Delta_{ico}$	-9.52	44.24	0.022	-15.29	-13.38	0.17	0.55	-1.25
	合计	71.15	25 937.58	3.95	1 219.34	100	100	100	100

表3显示了江苏省出口贸易隐含碳排放分产业分解的结果。从表中数据可以看到,在1997—2007年总的江苏省出口贸易隐含碳排放增长中(28 666.77万吨),农业、工业、建筑业与服务业对出口贸易隐含碳排放增长的贡献率分别为0.58%、94.84%、0.01%和4.56%。显然,工业行业的出口贸

易隐含碳排放占据了决定性地位,工业出口贸易隐含碳排放增长占据江苏省出口贸易隐含碳排放增长总量的九成以上,而农业、建筑业及服务业出口贸易隐含碳排放的增长量总量相对较少。从一般意义上来讲,农业、建筑业与服务业低碳化拥有较为悠久的历史传统,但出口贸易隐含碳排放的连年增

<sup>①</sup>一般来讲,涉及到投入产出系数因素的可以考虑为影响整个区域的科学技术进步水平、管理集约化水平、产业结构变动情况等的情况<sup>[20]</sup>。

长也体现出江苏省这三个产业对外贸易生产的“欠低碳化”,绿色农业、绿色建筑与绿色服务的进程仍然任重道远。

图2表示不同时段分产业各效应的贡献情况,可以看出,1997—2007年能源消费强度效应和进口替代效应是出口贸易隐含碳排放减少的主要因素,但在2002—2007年建筑业的能源消费强度变动效应却为正值,可见,建筑行业在2002—2007年在能源消费

的强度上并没有与其他行业一样改善,“粗放”生产占据了主导地位。消费、投资与出口扩张一般都是出口贸易隐含碳排放增长的主导因素,在不同产业中表现差异性也并不明显,基本表现为出口规模扩张因素占最主要地位,投资扩张因素次之,消费扩张因素再次之,体现出对1997—2007年江苏省出口贸易隐含碳排放产生影响的各个产业基本上呈现出受出口规模扩张、投资扩张和消费扩张逐次递减特性。

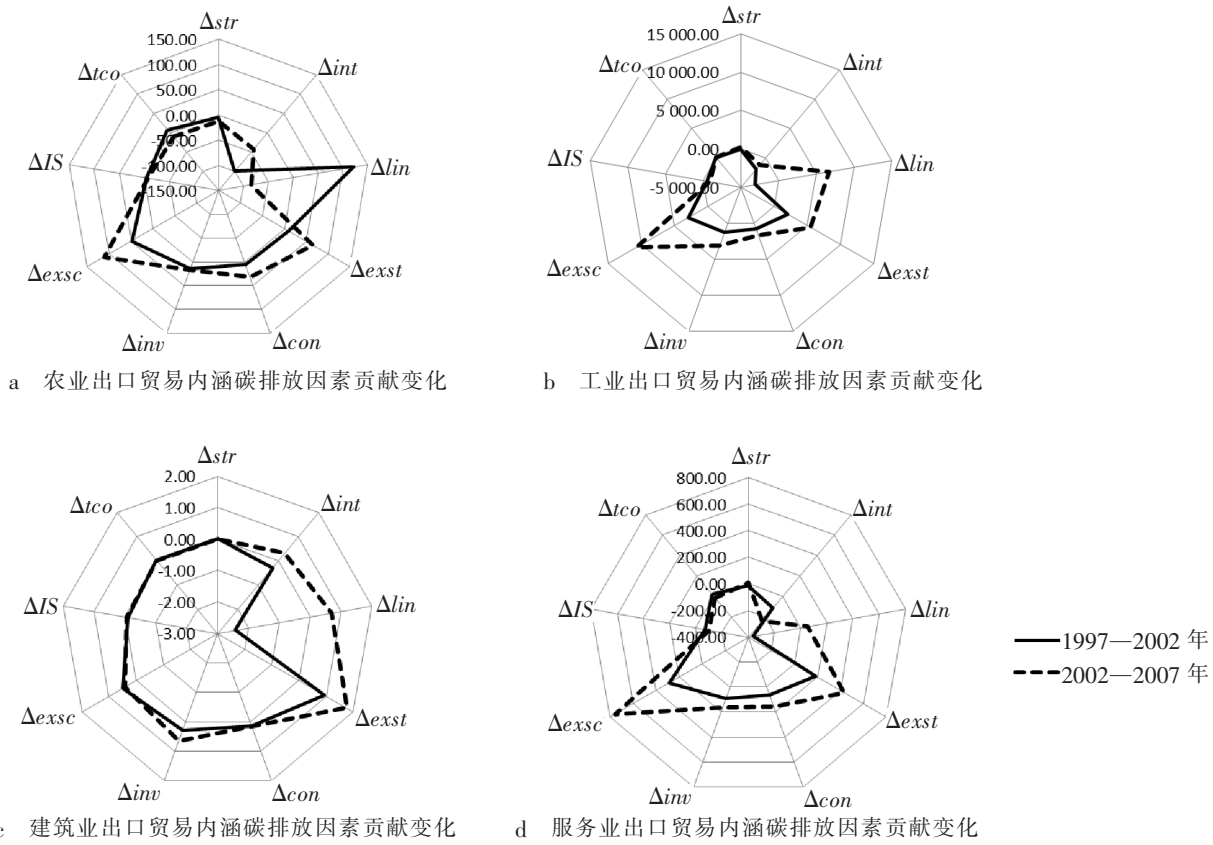


图2 1997—2007年江苏省分产业出口贸易隐含碳排放因素贡献变化

### 三、结论

本文基于低碳经济的大环境,发现“碳转移”这一在传统核算碳排放总量时出现的漏洞,利用扣除进口的投入产出方法测算一个地区或省级行政区域的出口贸易隐含碳排放,在此基础上构建了一个嵌套的出口贸易隐含碳排放驱动因素分解模型。并以江苏省为背景测算其1997—2007年出口贸易过程中出现的CO<sub>2</sub>转移排放量,对其1997—2002年、2002—2007年增长的出口贸易隐含碳排放量进行结构分解分析,获得的结论以及启示主要有:

1. 出口贸易隐含碳排放量模型的构建。设定了进口系数,真实反映生产经营过程中部门间省份内部产品的生产投入量,扣除进口产生的中间投入。结果显示1997—2002年间江苏省的出口贸易隐含碳

增长相对稳定,增长过程比较缓慢(5 703.442万吨增长至7 138.181万吨),累计增长25.16%,但在2002—2007年间出现较为明显的转折——江苏省出口贸易隐含碳排放量从2002年的7 138.181万吨增至2007年的34 370.21万吨,累计增长381.50%。

2. 通过出口贸易隐含碳排放增长的结构分解分析得出结论,1997—2007年间,江苏省能源消费强度变动效应与进口替代效应始终为负值,而消费扩张、投资扩张、出口规模扩张等规模增长因素和出口结构变动效应始终是驱动江苏省出口贸易隐含碳排放强力增长的核心因素,同时样本期间出口结构变动效应始终为正值,且绝对值非常大,构成了拉动出口贸易隐含碳排放增长的另一个增长极,表明对外贸易中出口产品结构的严重劣化,劳动密集型、低附加值、低技术含量的产品占据的江苏省

出口贸易中的比重越来越大。分时段分析发现,2002—2007年较1997—2002年出现了飞跃式增长,表明自2002年开始的新一轮经济增长伴随着“高能耗”“高碳化”,节能减排刻不容缓。从分产业分析结果来看,工业占据了绝对的主导地位,出口贸易隐含碳的减排,势必主要从工业入手。

3. 江苏省须继续强化能源消费结构调整、提高能源生产、转化和利用效率,同时,产业升级、产业结构调整亦刻不容缓。此外,可利用经济手段逐步改变“碳转移”格局,如建立健全资源定价机制和产权的有偿使用制度,充分应用金融市场,利用金融手段来控制碳排放的平衡等。

#### 参考文献:

- [1] 廖华,魏一鸣. “十二五”中国能源和碳排放预测与展望[J]. 中国科学院院刊,2011(2):150-153.
- [2] Glen P Peters. From production-based to consumption-based national emission inventories [J]. *Ecological Economics*,2008(65):13-23.
- [3] Glen P Peters,Edger G Hertwich. Post-Kyoto greenhouse gas inventories:production versus consumption[J]. *Climate Change*,2008,(86):51-66.
- [4] 刘强,庄幸,姜克隽,等. 中国出口贸易中的载能量及碳排放量分析[J]. 中国工业经济,2008(8):46-55.
- [5] Richard Wood. Structural decomposition analysis of Australia's greenhouse gas emissions[J]. *Energy Policy*,2009(37):4943-4948.
- [6] Dong Y,Ishikawa M,Liu X,et al. An analysis of the driving forces of CO<sub>2</sub> emissions embodied in Japan-China trade[J]. *Energy Policy*,2010,38(11):6784-6792.
- [7] 赵玉焕,李洁超. 基于技术异质性的中美贸易隐含碳问题研究[J]. 中国人口·资源与环境,2013(12):28-34.
- [8] 尚红云,蒋萍. 中国能源消耗变动影响因素的结构分解[J]. 资源科学,2009(2):214-223.
- [9] Zhang Y G. Structural decomposition analysis of sources of decarbonizing economic development in China:1992—2006 [J]. *Ecological Economic*,2009,68:2399-2405.
- [10] 郭朝先. 中国 CO<sub>2</sub> 排放增长因素分析——基于 SDA 分解分析[J]. 中国工业经济,2010(12):47-56.
- [11] 李艳梅,付加锋. 中国出口贸易中隐含碳排放增长的结构分解分析[J]. 中国人口·资源与环境,2010(8):53-57.
- [12] 黄敏,刘剑锋. 外贸隐含碳排放变化的驱动因素研究——基于 I-O SDA 模型的研究[J]. 国际贸易研究,2011(4):94-103.
- [13] 杜运苏,张为付. 中国出口贸易隐含碳排放增长及其驱动因素研究[J]. 国际贸易问题,2012(3):97-107.
- [14] Su B,Ang B W,Melissa Low. Input-output analysis of CO<sub>2</sub> emissions embodied in trade and the driving forces:processing and normal exports[J]. *Ecological Economics*,2013(88):119-125.
- [15] Rtuger Hoekstra,Jeroen J. C. J. M. van der Bergh. Comparing structural and index decomposition analysis[J]. *Energy Economic*,2003(25):39-64.
- [16] 余慧超,王礼茂. 中美商品贸易的碳排放转移研究[J]. 自然资源学报,2009,24(10):1837-1846.
- [17] Erik Dietzenbacher,Bart Los. Structural decomposition techniques:sense and sensitivity[J]. *Economic Systems Research*,1998(4):307-323.
- [18] 李景华. SDA 模型的加权平均分解法及在中国第三产业经济发展分析中的应用[J]. 系统工程,2004,22(9):69-73.
- [19] 刘起运,彭志龙. 中国 1992—2005 年可比价投入产出序列表及分析[M]. 北京:中国统计出版社,2010.
- [20] 刘起运. 关于投入产出系数结构分析方法的研究[J]. 统计研究,2002(2):40-42.

## A Model for the Driving Factors behind the Carbon Dioxide Emissions Embodied in Export and Its Application

FAN Liwei<sup>1</sup>, PAN Chen<sup>2</sup>, ZHAO Xibo<sup>2</sup>

(1. Business School,Hehai University,Nanjing 211102,China;

2. School of Economics and Management,Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,Nanjing 211106,China)

**Abstract:** In recent years, climate change problems such as the greenhouse effect caused by carbon dioxide emissions seem to be more and more concerned by communities. In this paper, carbon embodied in export trade of a region and the driving factors are studied. A nested structural decomposition analysis model based on input-output table was constructed to study the driving factors, including energy consumption structure, energy consumption intensity, adjusted Leontief inverse matrix, export structure, consumption expansion, investment expansion, export scale expansion, import substitution and technical factors. Also, a case study on Jiangsu province was conducted with the proposed models. The result showed that Jiangsu province's carbon emissions embodied in export trade during 2002—2007 grew rapidly compared with that of 1997—2002. The change of export structure, final demand expansion and export scale expansion are the main factors for the increase of the embodied carbon emissions. And energy efficiency improvement is the main reason for the decrease of the carbon emissions embodied in export trade.

**Key words:** export trade; embodied carbon; driving factor; input-output; structural decomposition analysis

[责任编辑:宋宏]