

# 浙江省进出口产品隐含碳的计算及其影响因素

黄敏, 沈月琴, 黄水灵

(浙江农林大学 经济管理学院, 杭州 311300)

**摘要:** 近年来, CO<sub>2</sub> 等温室气体的过多排放日益为世界各国所重视。文章对浙江省近年外贸中的 CO<sub>2</sub> 含量进行分析研究。内涵碳的净出口量与其占全省碳排放的比值都呈现增加的势头; 两个时期的进(出)口的规模变动效果全是正向; 两个时期的进(出)口结构变动效果有明显差异, 2005—2008 年期间, 出口的结构变动效果为  $7\ 201.89 \times 10^4$  t, 进口的结构变动效果综合后为  $-3\ 124.27 \times 10^4$  t; 在此阶段, 中间投入变动效果有明显的改善, 2002—2005 年进(出)口的中间投入变动效果是  $40.34 \times 10^4$  t ( $32.21 \times 10^4$  t), 2005—2008 年阶段是  $-3\ 428.33 \times 10^4$  t ( $-4\ 942.21 \times 10^4$  t); 单位 GDP 碳排放量变动效果也有明显改善, 并且两个时期单位 GDP 碳排放量变动效果主要是由单位 GDP 能耗变动效果所决定; 两个时期进(出)口单位能耗的碳排放量变动效果均非常小。

**关键词:** 国际贸易; 内涵碳; 结构分解分析; 混合单位投入产出

**中图分类号:** F752.7; X321 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3037(2011)11-1850-08

近年来 CO<sub>2</sub> 等温室气体的的过多排放日益为世界各国所重视, 而对外贸易所带来的排放转移问题也显得异常重要。浙江作为中国经济强省, 对外贸易发展也非常迅速, 作为全国生态省建设试点单位, 在国际国内低碳经济建设的大背景下, 浙江节能减排的任务显得艰巨和迫切。本文对浙江外贸内涵碳排放及其影响因素进行计算分析, 并提出相关政策建议。

国内外大量学者在经济、贸易及环境的相关性方面做了大量的研究<sup>[1]</sup>。近期, 越来越多的学者开始采用投入产出模型对贸易过程中的污染排放进行研究, 如 Ackerman 等<sup>[2]</sup>。Peters 等<sup>[3]</sup>使用全球贸易分析计划(GTAP)资料库, 运用投入产出理论, 测算了 2001 年 87 国贸易的内涵碳。结果显示, 附件 B 国家除俄罗斯等少数几个国家外皆为内涵碳净进口国, 而非附件 B 国家大多数(包括中国)为内涵碳净出口国。近期相关研究还有黄敏等<sup>[4]</sup>。

从上世纪 70 年代开始, 因素分解法被逐步应用及能源环境方面。Gould 等<sup>[5]</sup>认为不同的因素分解方法提供不同的思考模式, 研究者应依其研究主题及资料的可获得性选取合适的分解法, 其采用投入产出结构分解对能源消费情况进行了分析。投入产出结构拆解模型综合运用了分解理论和产业关联表, 使得分解更加全面准确。此后另外采用该方法进行研究分析的学者还有 Esteban 等<sup>[6]</sup>、黄敏等<sup>[7]</sup>。同时, 针对采用该方法进行分解会产生残差项和结果偏差的问题, 众多学者提出了完善的方法, 其中 Albrecht 等<sup>[8]</sup>提出的夏普瑞方法, 能

收稿日期: 2011-01-06; 修订日期: 2011-09-29。

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(10YJC790096); 浙江省自然科学基金项目(Y7100544); 杭州市哲学社会科学规划课题(A09YJ04); 浙江省教育厅课题(Y201017147)。

第一作者简介: 黄敏(1981-), 男, 浙江苍南人, 副教授, 博士, 主要研究资源与环境经济。E-mail: Vichuang0201@hotmail.com

致谢: 作者感谢两位匿名评审人的意见, 当然文责自负。

够较好地消除结果偏差和分解过程中产生的残差项。

本文以浙江外贸中内涵碳排放为研究对象,采用夏普瑞(Shapley)分解法有效地解决了残差问题。同时参考 Bullard 和 Herendeen<sup>[9]</sup>提出的混合单位投入产出分析(Hybrid-unit input output analysis)框架,区分能源行业及非能源行业,并结合陈锡康<sup>[10]</sup>提出的完全综合能耗计算方法,解决了能源消耗重复计算的问题。

## 1 方法及数据

### 1.1 内涵碳计算

$$EC^{EX} = T_1 EX_1 + T_2 EX_2 = \sum_{j=1}^k ex_j t_j + \sum_{j=k+1}^n ex_j t_j \quad (1)$$

$$EC^{IM} = T_1 IM_1 + T_2 IM_2 = \sum_{j=1}^k im_j t_j + \sum_{j=k+1}^n im_j t_j \quad (2)$$

其中: $EC^{EX}$ 表示产业内涵碳出口总量; $EC^{IM}$ 表示产业内涵碳进口总量; $t_j$ 表示第 $j$ 行业的完全 $CO_2$ 排放系数, $T_1 = (t_1, t_2, \dots, t_k)$ 、 $T_2 = (t_{k+1}, t_{k+2}, \dots, t_n)$ 依次表示非能源行业和能源行业的 $CO_2$ 排放系数矩阵; $EX_1 = (ex_1, ex_2, \dots, ex_k)^{-1}$ 、 $IM_1 = (im_1, im_2, \dots, im_k)^{-1}$ 表示非能源行业出口和进口矩阵; $EX_2 = (ex_{k+1}, ex_{k+2}, \dots, ex_n)^{-1}$ 、 $IM_2 = (im_{k+1}, im_{k+2}, \dots, im_n)^{-1}$ 表示能源行业出口和进口矩阵。

### 1.2 影响因素结构分解

以出口为例,应用投入产出结构分解法分析影响各行业出口内涵碳的关键因素,则有:

$$EC^{EX} = T_1 EX_1 + T_2 EX_2 = \overset{\Delta \Delta}{\theta FRB}_{21} EX_1 + \overset{\Delta \Delta}{\theta FRB}_{22} EX_2 = f(E, U, B, EX) \quad (3)$$

根据结构分解法,前后两期的 $CO_2$ 排放总量可以表示为①~⑥项加总:①规模变动效果 $f(E_0, U_0, B_0, EX_t) - f(E_0, U_0, B_0, EX_{t(0)})$ ,②结构变动效果 $f(E_0, U_0, B_0, EX_{t(0)}) - f(E_0, U_0, B_0, EX_0)$ ,③中间投入变动效果 $f(E_0, U_0, B_t, EX_0) - f(E_0, U_0, B_0, EX_0)$ ,④单位GDP能耗变动效果 $f(E_t, U_0, B_0, EX_0) - f(E_0, U_0, B_0, EX_0)$ ,⑤单位能耗的 $CO_2$ 排放变动效果 $f(E_0, U_t, B_t, EX_0) - f(E_0, U_0, B_0, EX_0)$ ,⑥残差项。

式(3)中: $E = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ 表示各行业能源直接消耗系数矩阵; $U$ 为 $n$ 阶对角矩阵,其对角线上元素 $u_i (i=1, 2, \dots, n)$ 表示第 $i$ 行业单位能耗的 $CO_2$ 排放量; $B$ 即矩阵 $(B_{21} B_{22})$ 由直接消耗系数矩阵计算获得, $EX$ 为国内最终出口向量( $n \times 1$ );“0”表示基期,“ $t$ ”表示比较期。另外,定义 $EX_{t(0)} = EX_t (EX_0 \times K) / (EX_t \times K)$ ,其中 $K$ 为 $1 \times n$ 行矩阵, $k_i (i=1, 2, \dots, n) = 1$ , $EX_{t(0)}$ 表示各行业最终出口结构维持在“ $t$ ”期,但最终出口总量与“0”期相同。

### 1.3 数据来源及处理

依据“中国能源平衡表”和“工业分行业终端能源消耗量”数据,并结合“浙江能源平衡表”对各年数量型投入产出表进行调整处理,编制量值混合投入产出表。2008年数量型投入产出表由2007年的数据采用RAS改进算法来获得。为了能更有效准确地对影响因素进行分解,本文以2002年为基年对相关数据进行标准化处理。

由于各数据统计的口径不一样,本文对行业进行调整,重新调整行业使得各数据口径相同,各行业编号依据2007年浙江42行业投入产出表进行划分,其中行业27包括邮政业及交通运输仓储业,行业28包括住宿和餐饮业及批发和零售业,行业29包括计算机服务及软件业、金融保险业、信息传输计算机服务及软件业、租赁业及商务服务业、房地产业、水利环境及公共设施管理业、研究及试验发展业、公共管理及社会组织、综合技术服务业、教育卫生

社会保障及社会福利业、居民服务及另外服务业、文化体育及娱乐业,其中行业1—26不变,行业编码引自2007年的投入产出表,详见参考文献[7]。

## 2 计算结果分析

### 2.1 内涵碳排放量及相关经济指标

如图1示,2002、2005及2008年三个年度,内涵碳的出口 $EC^{EX}$ (及占当年浙江省 $CO_2$ 总排放 $TC$ 之比)依次是 $8\,484.45 \times 10^4$  t (39.99%)、 $16\,526.67 \times 10^4$  t (53.59%)、 $29\,260.48 \times 10^4$  t (79.64%) ;内涵碳的进口依次是 $EC^{IM}$ 依次是 $4\,976.95 \times 10^4$  t (23.46%)、 $9\,276.21 \times 10^4$  t (30.08%)、 $12\,534.92 \times 10^4$  t (34.12%) ;内涵碳的净出口 $EC^{NE}$ 依次是 $3\,507.49 \times 10^4$  t (16.53%)、 $7\,250.46 \times 10^4$  t (23.51%)、 $16\,725.56 \times 10^4$  t (45.52%)。在此时期,出口贸易中内涵碳排放量的增长大大超过了进口,使得内涵碳净出口也快速增长,即浙江贸易顺差不断扩大的同时向国外转移了大量 $CO_2$ 。

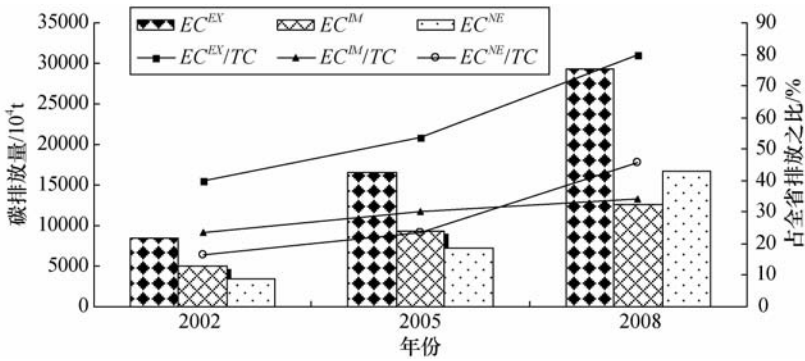


图1 浙江省各年内涵碳排放量及占比

Fig. 1 The emissions and proportion of embodied carbon in Zhejiang foreign trade

如图2所示,历年出口耗碳强度 $\rho^{EX}$ 和进口节碳强度 $\rho^{IM}$ 都呈递减趋势, $CO_2$ 贸易条件在此时期却呈上升趋势,表明在此时期 $\rho^{EX}$ 降低的速率比 $\rho^{IM}$ 降低的速率小。

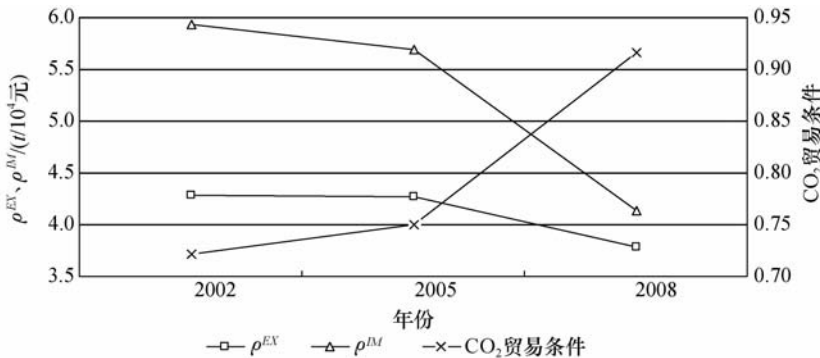


图2 出口耗碳强度和进口节碳强度

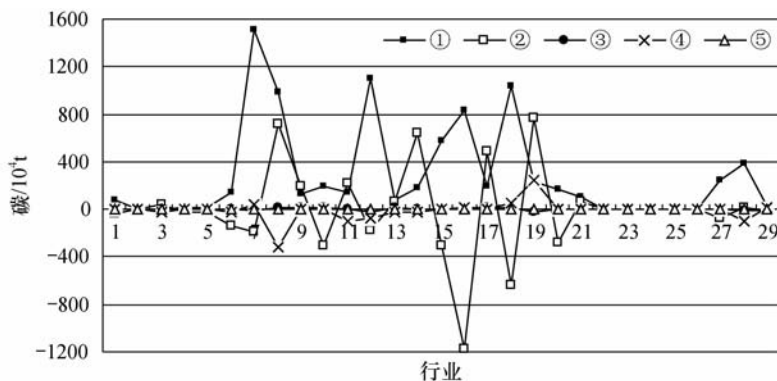
Fig. 2 The intensity of consuming carbon of exports and saving carbon of imports

### 2.2 2002—2005年出口内涵碳及进口内涵碳排放变化的影响因素

2002—2005年,浙江省内涵碳的出口增长 $8\,042.22 \times 10^4$  t(7个行业减少,17个行业增

长,行业 22、23、24、25、26 进出口数据为零,以下均不讨论),进口增长了  $4\,299.26 \times 10^4$  t (5 个行业减少,19 个行业增长),净出口增长  $3\,742.96 \times 10^4$  t。进口及出口的内涵碳排放变化分解为:进(出)口的总变动效果、中间投入的变动效果及单位 GDP 碳排放量的变动效果,大小依次是: $4\,461.52 \times 10^4$  t ( $8\,217.45 \times 10^4$  t)、 $32.21 \times 10^4$  t ( $40.34 \times 10^4$  t) 及  $-194.47 \times 10^4$  t ( $-215.57 \times 10^4$  t)。

除行业 2、4、5、10、16、20 以外,另外行业出口总变动效果全是正向,同时除行业 5、8、9、13、29 以外,另外行业进口总变动效果也全是正向(图 3、图 4)。各行业中间投入的变动效果存在明显不同:有 13 个行业进(出)口内涵碳中间投入的变动效果为正向,有 11 个行业进(出)口内涵碳的中间投入变动效果是负向。同样,单位 GDP 碳排放量变动效果也明显不同:有 14 个行业进(出)口内涵碳的单位 GDP 碳排放量变动效果为正向,有 10 个行业进(出)口内涵碳的单位 GDP 碳排放量变动效果是负向,但各行业综合后,其总变动效果是负向。



注: ①、②、③、④、⑤表示CO<sub>2</sub>排放总量的各分项, 见1.2节。下同。

图 3 2002—2005 年出口内涵碳变化变动效果分解

Fig. 3 The influencing factors of embodied carbon in Zhejiang's exports during 2002 - 2005

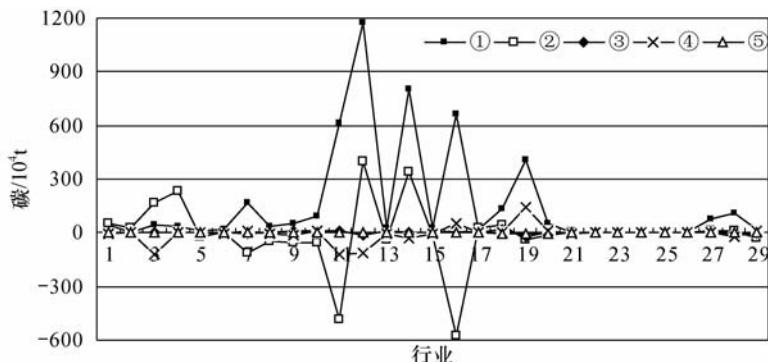


图 4 2002—2005 年进口内涵碳变化变动效果分解

Fig. 4 The influencing factors of embodied carbon in Zhejiang's imports during 2002 - 2005

进(出)口总变动效果可继续分解为进(出)口的规模变动效果及进(出)口结构变动效果,大小依次是: $8\,379.58 \times 10^4$  t ( $4\,616.14 \times 10^4$  t) 及  $-162.13 \times 10^4$  t ( $-154.62 \times 10^4$  t)。

各行业内涵碳进(出)口的规模变动效果全是正向。而结构变动效果存在明显差异:有 10 行业内涵碳出口结构变动效果为正向,有 14 行业内涵碳出口结构变动效果是负向;同时

有 12 行业内涵碳进口结构变动效果为正向,有 12 行业内涵碳进口结构变动效果是负向。所有行业综合后,出口及进口结构变动效果均是负向。

进(出)口单位 GDP 碳排放量变动效果可继续分解为单位 GDP 能耗变动效果及单位能耗的碳排放量变动效果,大小依次是  $-220.14 \times 10^4 \text{ t}$  ( $-197.31 \times 10^4 \text{ t}$ ) 及  $4.57 \times 10^4 \text{ t}$  ( $2.84 \times 10^4 \text{ t}$ )。

各行业进(出)口单位能耗的碳排放量变动效果都非常小,单位 GDP 碳排放量变动效果主要是由单位 GDP 能耗变动效果决定,且各行业两种变动效果方向完全相同,有 10 个行业为正向,有 14 个行业是负向。

### 2.3 2005—2008 年各行业内碳出口及进口排放变化的影响因素分解

2005—2008 年,浙江内涵碳的出口增长了  $12\,733.78 \times 10^4 \text{ t}$  (其中 18 个行业增长,6 个行业减少),进口增长了  $3\,258.72 \times 10^4 \text{ t}$  (17 个行业增长,7 个行业减少),净出口增长  $9\,475.06 \times 10^4 \text{ t}$ 。同样先将进(出)口内涵碳排放变化分解为:进(出)口总变动效果、中间投入变动效果及单位 GDP 碳排放量变动效果,大小依次是:  $25\,477.24 \times 10^4 \text{ t}$  ( $16\,453.24 \times 10^4 \text{ t}$ )、 $-3\,428.33 \times 10^4 \text{ t}$  ( $-4\,942.21 \times 10^4 \text{ t}$ ) 及  $-9\,315.13 \times 10^4 \text{ t}$  ( $-8\,252.31 \times 10^4 \text{ t}$ )。

除行业 1、8、11、19、28 以外,另外行业出口总变动效果全是正向,同时除 1、2、14、17、19 以外,另外所有行业进口总变动效果全是正向(图 5、图 6)。各行业中间投入变动效果及 2002—2005 年有明显不同:有 19 个行业进(出)口内涵碳中间投入变动效果是负向,只有 5 个行业进(出)口内涵碳的中间投入变动效果为正向。同样单位 GDP 碳排放量变动效果及 2002—2005 年时期有明显不同:有 20 个行业出(进)口内涵碳的单位 GDP 碳排放量变动效果是负向,只有 4 个行业出(进)口内涵碳的单位 GDP 碳排放量变动效果为正向。

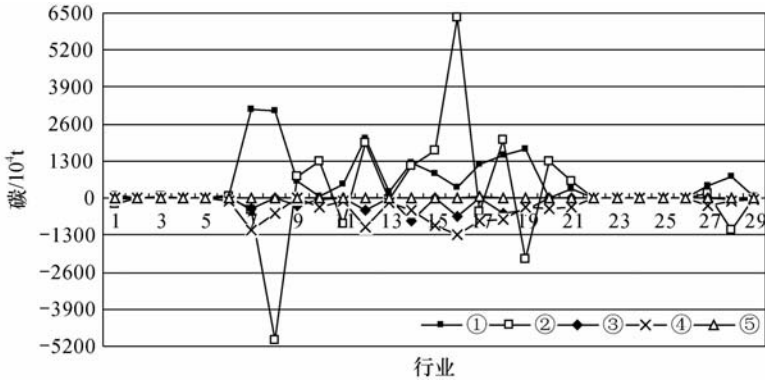


图 5 2005—2008 年出口内涵碳变化变动效果分解

Fig. 5 The influencing factors of embodied carbon in Zhejiang's exports during 2005 - 2008

进(出)口总变动效果可继续分解为进(出)口的规模变动效果及进(出)口的结构变动效果,大小依次是:  $19\,577.51 \times 10^4 \text{ t}$  ( $18\,275.35 \times 10^4 \text{ t}$ ) 及  $-3\,124.27 \times 10^4 \text{ t}$  ( $7\,201.89 \times 10^4 \text{ t}$ )。

各行业内碳的进(出)口的规模变动效果全是正向。而各行业结构变动效果也同样存在明显不同:有 16 行业内碳的出口结构变动效果为正向,有 8 行业内碳的出口结构变动效果是负向;有 14 行业内碳的进口结构变动效果为正向,有 10 行业内碳的进口结构变动效果是负向。

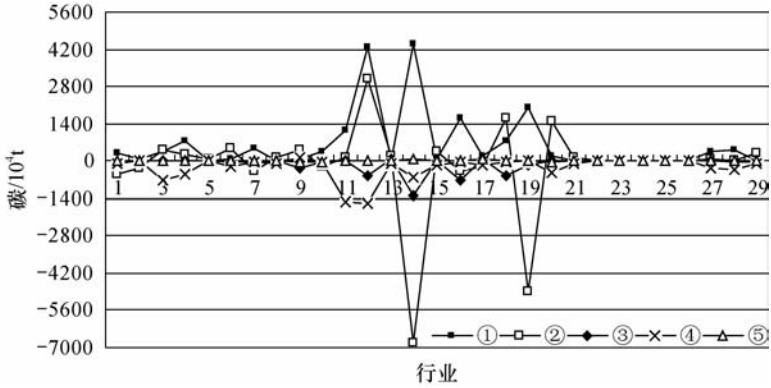


图 6 2005—2008 年进口内涵碳变化变动效果分解

Fig. 6 The influencing factors of embodied carbon in Zhejiang's imports during 2005 - 2008

进(出)口的单位 GDP 碳排放量变动效果可继续分解为单位 GDP 能耗变动效果及单位能耗的碳排放量变动效果,大小依次是  $-8\ 368.47 \times 10^4\ \text{t}$  ( $-9\ 408.73 \times 10^4\ \text{t}$ ) 及  $116.15 \times 10^4\ \text{t}$  ( $93.61 \times 10^4\ \text{t}$ )。

同之前一样,各行业进(出)口单位能耗的碳排放量变动效果都很小,单位 GDP 碳排放量变动效果主要是由单位 GDP 能耗变动效果决定,并且各行业两种变动效果方向完全一样,除行业 9 以外,另外所有行业进(出)口单位 GDP 碳排放量变动效果皆是负向。

### 3 结论及启示

浙江省对外贸易内涵着大量的  $\text{CO}_2$  排放,2002—2008 年,出口、进口的内涵碳排放总量及占当年全省排放量的比值均呈现上升势头。又由于出口内涵碳排放的增长速度快于进口,使得内涵碳净出口值及其占当年全省排放总量之比呈现更快的增长趋势。同时各行业较大的间接  $\text{CO}_2$  排放比值表明判断一产业是否低碳更重要的是看其完全碳排放系数而非直接碳排放系数。三个年度的进口节碳强度均大于出口耗碳强度即  $\text{CO}_2$  的贸易条件都小于 1,但在此时期其数值呈上升趋势,表明  $\text{CO}_2$  的贸易条件是恶化的。

从影响因素的分解来看,对贸易内涵碳变化产生最大影响的是进(出)口总变动效果,同时又可将其分解成规模变动效果和结构变动效果,其中进(出)口的规模变动效果在两个时期全是正向,但两个时期的结构变动效果有明显的不同,2005—2008 年,出口结构变动效果综合后为  $7\ 201.89 \times 10^4\ \text{t}$ ,而进口结构变动效果综合后为  $-3\ 124.27 \times 10^4\ \text{t}$ 。在此时期,中间投入变动效果有明显改善,2002—2005 年进(出)口中间投入变动效果为  $40.34 \times 10^4\ \text{t}$  ( $32.21 \times 10^4\ \text{t}$ ),而在 2005—2008 年为  $-3\ 428.33 \times 10^4\ \text{t}$  ( $-4\ 942.21 \times 10^4\ \text{t}$ ),同时变动效果是负向的行业个数也从 10 增长到 18。单位 GDP 碳排放量变动效果也有明显的好转,且两个时期单位 GDP 碳排放量变动效果主要是由单位 GDP 能耗变动效果决定(且各行业两种变动效果方向完全相同),2002—2005 年进(出)口单位 GDP 碳排放量变动效果为  $-215.57 \times 10^4\ \text{t}$  ( $-194.47 \times 10^4\ \text{t}$ ),2005—2008 年为  $-9\ 315.13 \times 10^4\ \text{t}$  ( $-8\ 252.31 \times 10^4\ \text{t}$ ),2005—2008 年变动效果为正向的只有“行业 9”一个,而 2002—2005 年为 10 个。两个时期进(出)口单位能耗的碳排放量变动效果都很小,2002—2005 年为  $4.57 \times 10^4\ \text{t}$  ( $2.84 \times 10^4\ \text{t}$ ),2005—2008 年为  $93.61 \times 10^4\ \text{t}$  ( $116.15 \times 10^4\ \text{t}$ ),这表明在此时期浙江省消耗的高碳排放能源比重在增长。

基于对外贸易使得本土的 CO<sub>2</sub> 排放大量增长的事实,一方面,我们在参与国际谈判中应高度重视该转移排放问题,争取有利条件。同时也应注重自身结构及技术的改善,首先需要重视改善生产技术,在单位 GDP 能耗降低的同时要重视中间投入变动效果的改善,注重各行业投入与产出之间的关系,提升各行业中间投入的效率;要重视优化进出口贸易的结构,争取降低碳排放比例较高行业的出口所占份额,提升其进口所占份额,而对碳排放比例较低的行业刚好与此相反。当然单位能耗的碳排放量也是迫切需要改善的,清洁能源的研究开发和利用也应引起重视。

### 参考文献 (References):

- [1] Wiedmann T, Minx J. A definition of “Carbon Footprint” [R]. ISAUK Research Report 07-01, 2008.
- [2] Ackerman F, Ishikawa M, Suga M. The carbon content of Japan - US trade [J]. *Energy Policy*, 2007, 35(9): 4455-4462.
- [3] Peters G P, Hertwich E G. CO<sub>2</sub> embodied in international trade with implications for global climate policy [J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(5): 1401-1407.
- [4] 黄敏,蒋琴儿. 外贸中内涵碳的计算及其变化的因素分解[J]. 上海经济研究, 2010(3): 68-76. [HUANG Min, JIANG Qin-er. Accounting embodied carbon in foreign trade and the analysis of influential factors. *Shanghai Journal of Economics*, 2010(3): 68-76.]
- [5] Gould B W, Kulshreshtha S N. An interindustry analysis of structural change and energy use linkage in the Saskatchewan economy [J]. *Energy Economics*, 1986, 8: 186-196.
- [6] Esteban Fernández Vázquez, Bart Los, Carmen Ramos Carvajal. Path based shift-share analysis—Using additional information in decomposing regional economic changes [R]. ERSA conference papers ersa05p465, European Regional Science Association, 2005.
- [7] 黄敏,刘剑锋. 外贸内涵碳排放变化的驱动因素研究——基于 I-O SDA 模型的分析[J]. 国际贸易问题, 2011(4): 94-103. [HUANG Min, LIU Jian-feng. Driving factors analysis on changes of the embodied carbon emission in foreign trade. *Journal of International Trade*, 2011(4): 94-103.]
- [8] Albrecht J, Francois D, Schoors K. A Shapley decomposition of carbon emission without residuals [J]. *Energy Policy*, 2002, 30(9): 727-736.
- [9] Bullard C, Herendeen R. The energy costs of goods and services [J]. *Energy Policy*, 1975, 3(4): 268-278.
- [10] 陈锡康. 完全综合能耗分析[J]. 系统科学及数学, 1981(1): 69-76. [CHEN Xi-kang. Total synthetic analysis of energy input. *Journal of Systems Science and Complexity*, 1981(1): 69-76.]

## Calculation and Impact Factors of Embodied Carbon in Zhejiang Province's Foreign Trade

HUANG Min, SHEN Yue-qin, HUANG Shui-ling

(School of Economy and Management, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Hangzhou 311300, China)

**Abstract:** CO<sub>2</sub> emissions increased by about 80% from 1991 to 2001, with industrial sectors accounting for 55% of the increased amount. Among all the industrial sectors, iron & steel, petrochemicals, electronics, textiles, pulp & paper and cement account for approximately three quarters of the total industrial CO<sub>2</sub> emissions. As a result, understanding driving factors behind increasing CO<sub>2</sub> emissions in the six sectors is valuable to related policy formation. This paper applies two-tier input-output structural decomposition analysis (I-O) to analyze the sources of change of energy intensive industries' CO<sub>2</sub> emissions from 2002 to 2008. The result shows that: The net export of embodied carbon and the proportion of total domestic emissions are both increased; the export (import) scale effect of the two stages is both positive; the export (import) structure effect of the two stages is quite different. During the period 2005 to 2008, total export structure effect is 72.02 million tons, while total import structure effect is -31.24 million tons; effect of intermediate inputs has greatly improved. The export (import) intermediate inputs effect is -34.28 (-49.42) million tons during the period 2005 to 2008, while it is 0.40 (0.32) million tons during the period 2002 to 2005; the effect of carbon emissions per unit output value is also significantly improved, and decided mainly by the energy consumption per unit output value effect; effects of export(import) carbon emissions per unit of energy during the two stages are very small.

**Key words:** foreign trade; embodied carbon; SDA; hybrid-units I-O