

我国行业碳排放量测算及影响因素 的结构分解分析^{*}

李新运 吴学锰 马俏俏

内容提要: 系统的测算行业碳排放量,并筛选出其中的主要影响因素,对调整产业结构具有重要意义。本文运用 RAS 法更新了 2010 年投入产出表,基于投入产出的结构分解模型,采用两极分解平均法对 2007 - 2010 年行业碳排放量四个组成部分进行了因素分解。分解结果显示:产业结构调整应成为降低直接碳排放的有效途径;间接碳排放占我国碳排放总量的 80% 左右,且受碳排放强度变动的负向影响效应比较大;进出口结构调整将成为减少进出口产品碳排放的重要突破点。

关键词: 行业碳排放量; 组成部分; 影响因素; 投入产出; 结构分解

中图分类号: C812 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002 - 4565(2014) 01 - 0056 - 07

The Measure of China's Industry Carbon Emissions and the Structural Decomposition Analysis of Influencing Factors

Li Xinyun Wu Xuemeng Ma Qiaoqiao

Abstract: It is of great significance for adjusting the industrial structure to measure industry carbon emissions systematically and select the main influencing factors. This paper update Input-output table in 2010 using RAS, and adopt Polar decomposition average method to structural decompose four parts of industry carbon emissions in 2007 - 2010. The results show that industrial structure adjustment should be the effective way of reducing direct carbon emissions; indirect emissions account for about 80% of China's carbon emissions, impacted by carbon intensity changes largely; import and export structure adjustment will become important breakthrough to reduce import and export of products of carbon emissions. The research could provide methodological reference for the study of industry carbon emissions influencing factors, and the results have value for China's low carbon economy development.

Key words: Industry Carbon Emissions; Component; Influencing Factor; Input and Output; Structure Decomposition

^{*} 本文得到国家社会科学基金项目“碳排放约束下我国能源效率的区域差异及节能指标分解研究”(项目编号:12CJL066)和山东省自然科学基金项目“山东省低碳发展指标体系及评估方法研究”(项目编号:ZR2012DM012)的资助。

IFDI 统计的发展可能成为政府统计应对全球化挑战的重要突破口,因此,完善中国 IFDI 统计的工作应当受到中国政府管理部门、统计部门和学术研究者的充分重视,作为吸引 FDI 的世界大国,中国 IFDI 统计的研究和实践有可能成为中国政府管理能力提升,扩大其在世界经济中的发言权的一项基础性工作。本文的研究仅仅是一次探索性研究,关于中国 IFDI 统计提出的许多议题还需要进行深入研究。

参考文献

- [1] 高敏雪,谷泓. 外国直接投资统计基本定义剖析 [J]. 统计研究, 2005(4): 47 - 50.
- [2] OECD. OECD Benchmark Definition of Foreign Direct Investment (Fourth Edition) [EB/OL]. 2008. Paris: OECD.
- [3] OECD. OECD Benchmark Definition of Foreign Direct Investment (Third Edition) [EB/OL]. 1996. Reprinted 1999. Paris: OECD.
- [4] 商务部制定,国家统计局批准. 外商投资统计制度 [EB/OL]. 2013 年.
- [5] 潘塞梅,刘亦文. 中国统计 FDI 统计工作中的问题与对策建议 [J]. 统计与决策, 2010(16): 65 - 67.

一、引言

美国在《2013年国际能源展望》报告中指出,到2040年,全球能源消费总量将达到820千万亿英热单位,与2010年相比增长56%,届时全球与能源消费相关的二氧化碳排放量将达到450亿吨,与2010年相比增加46%。我国早在2007年就已成为世界第二大能源生产国和消费国,而且据英国丁铎尔气候变化研究中心的科研报告显示,我国是世界上碳排放最多的国家,但人均排放量仅为6.6吨,低于美国的17.2吨和欧盟的7.3吨《维持全球升温低于2℃的挑战》(2012)。作为制造业大国,我国碳排放总量中的20%~30%与为美国、欧洲和其他国家提供相关产品与服务有关。同时,要想实现2009年哥本哈根气候大会减排温室气体的承诺,还应着重从自身出发找出问题的根源。我国已进入工业化进程的中期阶段,资源在部门间流动不合理,单位资源的产出水平低,技术创新能力弱等一系列问题的存在,使我国经济发展的环境代价增大,碳排放强度远低于发达国家。当务之急是从多角度、多层次分析碳排放组成部分及其影响因素,为我国节能减排指明道路。

国内外学者从多个角度对行业碳排放影响因素进行了系统的研究。在方法选择上,由于因素分解法便于考察部门之间的联系、数据需求量小等特点而得到广泛的应用。Dietzenbacher和Los(2000)对结构分解分析的唯一性、变量的独立性问题进行了实证研究^[6]。同时,投入产出技术为行业碳排放的研究提供了数据支撑。在实际应用上,本文主要从以下几方面对行业碳排放研究做了文献总结:①能源消耗角度:Alcántara和Duarte(2004)利用投入产出数据研究行业能源强度的影响因素^[7]。刘起运^[8](2007)、郭朝先^[9](2010)、孟彦菊等^[10](2013)

均采用投入产出与SDA法,分别在因素选择、方法改进、碳排放系数设置等方面进行了调整,围绕能源强度与结构对碳排放影响因素进行分解。②进出口贸易角度;张友国(2010)运用单区域非竞争性投入产出表,对贸易的碳排放影响进行了结构分解^[11]。FREDRICH(2008)等对隐含碳和能源进行了研究^[12]。Shui&Harriss(2006)研究了中美贸易中的隐含碳,结果显示中国目前CO₂排放量中的7%~14%是由于向美国出口导致的^[13]。③单一产业或行业碳排放角度;张智慧等(2013)测算了建筑业及其他行业的直接、间接及关联碳排放^[14]。江旭(2012)对中国制造业碳排放强度的差异性进行了分析^[15]。李子豪等(2012)对工业行业 and 水泥行业进行了碳排放研究^[16]。④碳排放测算角度:陈红敏(2009)对利用投入产出方法计算隐含碳排放的框架进行了扩展,计算了各部门由能源消耗导致的隐含碳排放和由某些工业生产过程导致的隐含碳排放^[17]。何艳秋(2012)对行业碳排放进行了测量,认为行业碳排放包括消耗能源的直接排放、消耗中间投入品的间接排放及进出口产品产生的碳排放^[18]。

以上研究还存在一些不足:目前利用结构分解分析碳排放影响因素文献中,仅仅是对由能源消耗产生的直接碳排放部分进行因素分解,忽略了对行业间中间投入产品的碳排放及进出口产品的碳排放的影响因素分解研究;相关文献测量了行业完全碳排放量,但没有进行相应的影响因素分解。

本文参照相关研究成果对以上文献中存在的不足进行了弥补,借鉴何艳秋(2012)对行业完全碳排放的测量,利用结构分解分析模型,对行业碳排放量的四个组成部分——直接碳排放、间接碳排放、出口产品碳排放及进口产品碳排放分别进行了因素分解,并在影响因素的选择上做了相应的改进,再通过计算不同部分影响因素变动对碳排放变动的贡献值

[6] 国家统计局,中国统计年鉴(2011) [M/CD]. 北京:中国统计出版社,6-15.

[7] 高敏雪,刘晓静. 官方统计不同来源的验证与衔接——以中国FDI统计为例 [J]. 统计研究,2009(9):3-7.

[8] 高敏雪,刘晓静. 中国外商投资存量估算及扩展分析 [J]. 经济理论与经济管理,2009(6):11-16.

作者简介

许晓娟,女,30岁,贵州安顺人,2010年毕业于中国人民

大学统计学院,获经济学博士学位,现为对外经济贸易大学国际商学院讲师。研究方向为外国直接投资和对外贸易。

智冬晓,男,37岁,山西太原人,2010年毕业于中国人民大学统计学院,获经济学博士学位,现为北京交通大学中国产业安全研究中心博士后。研究方向为应用统计与风险管理。

(责任编辑:程 晔)

和贡献率来判定其影响程度,最后,分析了行业碳排放量四个组成部分变动的综合比例分布情况。

二、研究方法

本文运用基于投入产出技术的结构分解分析 (SDA) 模型,对我国行业碳排放四个组成部分—直接碳排放、间接碳排放、出口产品碳排放及进口产品碳排放的影响因素进行了分解。该模型的基本思想是通过将经济系统中某个因变量的变动分解为与之相关的各独立自变量变动的和,以测度其中每一个自变量变动对因变量变动贡献的大小^[4]。各影响因素汇总情况如表 1 所示。

表 1 行业碳排放组成部分及其影响因素汇总

碳排放组成部分	影响因素
直接碳排放(C_1)	总产出(X) 能源结构(ES) 能源强度(EI) 产业结构(CS)
间接碳排放(C_2)	完全消耗系数(B) 部门产出(x) 碳排放强度(CI)
出口产品碳排放(C_3)	完全碳排放强度(TCI) 出口产品结构(EXS) 出口总额(TEX)
进口产品碳排放(C_4)	总碳排放强度(TCI) 进口产品结构(IMS) 进口总额(TIM)

行业碳排放量计算公式为:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 - C_4$$

(一) 直接碳排放结构分解分析

直接碳排放计算公式为 $C_{1(1 \times m)} = R_{1 \times m} \times E_{n \times m}$,

其中 $R_{1 \times m} = [r_1 r_2 \cdots r_m]$, r_i 表示 i 部门的碳排放系

数, n 为能源种类数(下同)。 $E_{n \times m} = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1m} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2m} \\ \cdots & & & \\ e_{n1} & e_{n2} & \cdots & e_{nm} \end{bmatrix}$, e_{ij}

表示第 j 部门第 i 种能源的消耗量, m 为部门个数(下同)。

本文假设碳排放系数不变,对能源消耗量矩阵进行了等价分解,公式如下:

$$E_{n \times m} = X \times ES_{n \times m} \times \hat{EI}_{n \times m} \times \hat{CS}_{m \times n}$$

其中 X 为投入产出表中各部门总产出之和; $ES_{n \times m}$ 为能源结构矩阵, es_{ij} 表示第 i 部门消耗第 j 种能源占该部门能源消耗总量的比重; $EI_{n \times m}$ 为能源

强度的对角矩阵, 对角元素 ei_{ii} 表示第 i 部门总产出与能源消耗总量的比值; $CS_{m \times n}$ 为产业结构的对角矩阵, 对角元素 cs_{ii} 表示第 i 部门总产出占 X 比重。

由于结构分解的形式并不唯一,本文借鉴国内外研究成果,最终采用基于极分解的平均值法,虽然计算过程相对比较粗糙,但与加权平均法(计算量比较大)结果比较接近。直接碳排放变动结构分解结果如下:

$$\begin{aligned} \Delta C_1 = & \frac{1}{2} \times R \times \Delta X \times (ES_0 \times \hat{EI}_0 \times \hat{CS}_0 + ES_1 \\ & \times \hat{EI}_1 \times \hat{CS}_1) + \frac{1}{2} \times R \times (X_1 \times \Delta ES \times \hat{EI}_0 \times \hat{CS}_0 + X_0 \\ & \times \Delta ES \times \hat{EI}_1 \times \hat{CS}_1) + \frac{1}{2} \times R \times (X_1 \times ES_1 \times \Delta \hat{EI} \times \hat{CS}_0 \\ & + X_0 \times ES_0 \times \Delta \hat{EI} \times \hat{CS}_1) + \frac{1}{2} \times R \times (X_0 \times ES_0 \times \hat{EI}_0 \\ & + X_1 \times ES_0 \times \hat{EI}_1) \times \Delta \hat{CS} \end{aligned}$$

其中,下标 0 和 1 分别表示基期和报告期(下同)。

(二) 间接碳排放结构分解分析

间接碳排放计算公式: $C_2 = B' \times \hat{X} \times CI$, 其中 B' 为投入产出表中完全消耗系数矩阵的转置; $\hat{X}$ 是对角元素为各部门总产出的对角矩阵; CI 是由各部门碳排放强度构成列向量, 列元素 $ci_i = \frac{C_{1i}}{x_i}$, 其中 C_{1i} 为第 i 个部门直接碳排放量, x_i 为第 i 个部门总产出。间接碳排放变动结构分解结果如下:

$$\begin{aligned} \Delta C_2 = & \frac{1}{2} \times \Delta B' \times (\hat{X}_1 \times CI_1 + \hat{X}_0 \times CI_0) + \frac{1}{2} \\ & \times (B_1' \times \Delta \hat{X} \times CI_0 + B_0' \times \Delta \hat{X} \times CI_1) + \frac{1}{2} \times (B_1' \\ & \times \hat{X}_1 + B_0' \times \hat{X}_0) \times \Delta CI \end{aligned}$$

(三) 进出口产品碳排放结构分解分析

1. 出口产品碳排放计算公式: $C_3 = \hat{TCI} \times EXS \times TEX$, 其中 $\hat{TCI}$ 是对角元素为各部门完全碳排放强度的对角矩阵, 对角元素 $tci_i = \frac{C_{1i} + C_{2i}}{x_i}$, C_{2i} 为第 i 个部门间接碳排放量, 其他符号含义同上; EXS 是出口产品结构列向量, 列元素 exs_i 为第 i 个部门产品出口额占出口总额的比重; TEX 是出口总额。出口碳排放变动结构分解结果如下:

$$\Delta C_3 = \frac{1}{2} \times \Delta \hat{TCI} \times (EXS_0 \times TEX_0 + EXS_1$$

$$\times TEX_1) + \frac{1}{2} \times (\hat{TCI}_1 \times \Delta EXS \times TEX_0 + \hat{TCI}_0 \times \Delta EXS \times TEX_1) + \frac{1}{2} \times (\hat{TCI}_1 \times EXS_1 + \hat{TCI}_0 \times EXS_0) \times \Delta TEX$$

2. 进口产品碳排放计算公式: $C_4 = \hat{TCI} \times IMS \times TIM$, 其中 $\hat{TCI}$ 含义同出口产品计算公式, IMS 是进口产品结构列向量, 列元素 ims_i 为第 i 个部门产品进口额占进口总额的比重; TIM 是进口总额。进口碳排放变动结构分解结果如下:

$$\Delta C_4 = \frac{1}{2} \times \Delta \hat{TCI} \times (IMS_0 \times TIM_0 + IMS_1 \times TIM_1) + \frac{1}{2} \times (\hat{TCI}_1 \times \Delta IMS \times TIM_0 + \hat{TCI}_0 \times \Delta IMS \times TIM_1) + \frac{1}{2} \times (\hat{TCI}_1 \times IMS_1 + \hat{TCI}_0 \times IMS_0) \times \Delta TIM$$

三、数据来源与处理

本文利用 2007—2010 年投入产出及能源数据对行业碳排放量进行测算与因素分解, 基础数据来源于 2008 年和 2011 年《中国统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》。在原始数据的基础上做了相应的处理, 处理过程如下。

1. 参照《国民经济行业分类》标准, 笔者对 42 部门投入产出表和能源统计年鉴分行业能源消费表中的行业划分进行了整合, 最后确定为 27 个行业。其中, 第一产业划分为 1 个行业, 第二产业 23 个行业, 第三产业 3 个行业。依据能源统计年鉴上能源种类的划分, 本文划分为 9 种能源, 分别为煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气及电力。

2. 本文运用 RAS 法^[3] (比例平衡法) 对 2007 年投入产出表进行了更新, 得到 2010 年 27 部门投入产出表的直接消耗系数矩阵, 再计算得到完全消耗系数矩阵。由于投入产出表的部门为纯部门, 而统计资料的部门为产业部门, 笔者对各部门总产出、增加值、进出口总额等数据做了相应的比例调整。值得注意的是, 虽然 RAS 法存在替代乘数和制造乘数在部门间具有一致性的假设与现实不符、误差偏大等缺点, 但是许健^[3] (2008) 采用不同的误差估计方法研究证实 RAS 更新结果蕴含相对可靠的信息。本文利用相同方法以 2005 年为基期更新了 2007 年 27 部门直接消耗系数表, 再将 2007 年拟合值与实际值运用以下指标做误差分析, 以此来判断 RAS 法的可靠性。结果如表 2 所示。

表 2 RAS 法可靠性评估指标及结果汇总

指标名称	计算公式	结果(%)
STPE	$\frac{\sum \sum \alpha_{ij} - \alpha_{ij}^U }{\sum \sum \alpha_{ij}} \times 100\%$	19.77
Theil's U	$\sqrt{\frac{\sum \sum (\alpha_{ij} - \alpha_{ij}^U)^2}{\sum \sum (\alpha_{ij})^2}} \times 100\%$	23.06
RMSE	$\frac{\sqrt{\sum \sum (\alpha_{ij} - \alpha_{ij}^U)^2}}{m^2} \times 100\%$	0.0539
WAD	$\frac{\sum \sum [(\alpha_{ij} + \alpha_{ij}^U) \mid \alpha_{ij} = \alpha_{ij}^U]}{\sum \sum (\alpha_{ij} + \alpha_{ij}^U)} \times 100\%$	0.1609

其中, α_{ij} 为实际矩阵数据, α_{ij}^U 为更新矩阵数据, m 为部门个数。检验结果显示, 总误差率用 STPE 和 Theil's U 指标来衡量, 且估计值优于许健 (2002) 所研究结果 23.95。平均误差率用 RMSE 和 WAD 来衡量, 结果在可接受的范围内。所以本文采用 RAS2010 年直接消耗系数具有可靠性。

3. 为了避免价格因素的影响, 本文采用指数缩减法利用分部门价格指数对每个部门投入产出值以 2010 年不变价格进行处理^[4]。

4. 笔者对各部门能源消费量进行了处理, 首先采用折标煤系数, 将不同种类的能源转换成可比较的标准煤, 再乘以相应的碳排放系数, 得到各部门直接碳排放量。值得一提的是, 笔者对电力碳排放系数计算进行了创新。计算公式如下。

$$r_e = (\sum e_{ij} \times f_i) / (\sum e_{ij}) \times 12/44 \quad i = 1, 2, \dots, 7$$

其中 r_e 为电力碳排放系数, f_i 为第 i 个区域 (华北、东北、华东、华中、西北、南方及海南省等七个区域) 二氧化碳排放因子 (KgCO_2/KWh), e_{ij} 为第 i 个区域第 j 个地区的电力消耗量。各种能源折标煤系数和碳排放系数见表 3。

电力碳排放系数单位为 kg-c/kWh , 其他均为 kg-c/kg 。

四、实证分析

根据上文构建的 SDA 模型, 通过静态的投入产出方法, 对 2007—2010 年直接碳排放的差值 ΔC_1 、间接碳排放量的差值 ΔC_2 、出口碳排放量的差值 ΔC_3 及进口碳排放量的差值 ΔC_4 进行了分部门的结构分解, 分别计算了各影响因素变动对四类碳排放变动的贡献值和贡献率。下面将从整体和部门角度展开分析。

(一) 直接碳排放影响因素分析

从整体角度分析, 2010 年直接碳排放比 2007 年增加了 39713.6 万吨, 增长了 17.5%。其中, 总产

表 3

能源折标煤系数和他排放系数

	煤炭	焦炭	原油	汽油	煤油	柴油	燃料油	天然气	电力
折标煤系数	0.7143	0.9714	1.4286	1.4714	1.4714	1.4571	1.4286	1.33	0.1229
碳排放系数	0.7559	0.8556	0.586	0.5538	0.5743	0.5919	0.6185	0.4483	0.2678

注: 天然气折标煤系数单位为 kgce/m^3 , 电力为 kgce/kWh , 其他均为 kgce/kg 。
电力碳排放系数单位为 $\text{kg-c}/\text{kWh}$, 其他均为 $\text{kg-c}/\text{kg}$ 。

出(各部门产出之和)变动对直接碳排放变动有正向效应,贡献率达到了 279.7%;能源结构变动、能源强度变动及产业结构变动则有负向效应,贡献率分别为 -6.96%、-129.7%、-43.1%。可看出,总产出的变动是直接碳排放增加的主要原因,能源强度增长的抑制作用最明显,产业结构次之,能源结构的负向作用不是很显著。这表明:我国以化石能源为主的能源结构并没有得到改观,调整能源结构仍是减少碳排放的当务之急;随着技术的不断进步,能源利用率的提高对减少碳排放起到了至关重要的作用;产业结构的调整成为减少直接碳排放的重要突破点。具体数值如表 4 所示。

表 4 直接碳排放影响因素变动的贡献值及贡献率

影响因素	贡献值(万吨碳)	贡献率(%)
总产出效应(ΔTO)	111107.11	279.7
能源结构效应(ΔES)	-2765.9	-6.96
能源强度效应(ΔEI)	-51509.96	-129.7
产业结构效应(ΔCS)	-17117.14	-43.1
直接碳排放变动(ΔC_1)	39713.58	1

从部门角度分析,总产出变动的贡献率相对比较大,且均为正向效应,达到 50% 左右,仪器仪表及文化办公用机械制造业最大为 78%,废品废料业最小为 23%,这表明经济产出的增加势必会造成更多能源的消耗,产生更多的碳排放。能源结构变动的负向效应贡献率普遍比较小,介于 -1% ~ -10% 之间,金属制品业负向效应最为显著,达到了 -11%,这与该行业在“十一五”期间技术改造力度大,工艺装备水平进步明显有着密切的联系。能源强度变动的负向效应比较显著,化学工业最大为 -45%,交通运输、仓储和邮政业最小为 -1%,这与行业技术发展速度与能源消耗类别差异比较大有关。产业结构变动出现正负向效应共存的局面,石油和天然气开采业负向效应最大为 -42%,废品废料业正向效应最大为 40%,这表明我国短期内产业调整不够合理,这与上述整体分析结果一致。

(二) 间接碳排放影响因素分析

从整体角度分析,2010 年间接碳排放比 2007

年增加了 245716.4 万吨,增长了 26.9%。其中,完全消耗系数变动、各部门产出变动对间接碳排放变动有正向效应,贡献率分别为 35.5% 和 164.6%,碳排放强度(由直接碳排放计算所得)变动产生了负向效应,贡献率为 -100.1%。可看出,各部门产出变动和碳排放强度变动是造成间接碳排放增减的主要原因,部门间产品流向比例的变动影响比较小,但在总量增加情况下,如何调节部门间产品的流向,提高产品利用合理性,必将成为控制间接碳排放增加的必经之路。结果也表明,直接碳排放通过影响各部门的碳排放强度对间接碳排放产生一定的负向影响,即能源结构和能源强度产生了间接的抑制作用。具体数值如表 5 所示。

表 5 间接碳排放影响因素变动的贡献值及贡献率

影响因素	贡献值(万吨碳)	贡献率(%)
部门产出效应(ΔDTO)	404408.5	164.6
完全消耗系数效应(ΔB)	87272.8	35.5
碳排放强度效应(ΔCI)	-245965	-100.1
间接碳排放变动(ΔC_2)	245716.4	1

从部门角度分析,完全消耗系数变动普遍存在正向效应,仅石油和天然气开采业和交通运输、仓储和邮政业存在比较显著的负向效应,达到 -47% 和 -28%,这表明产品在部门间流动效率没有得到明显的改善,政府宏观调控的力度有待进一步加强。各部门产出变动仍存在比较大的正向效应,介于 20% ~ 60% 之间,上文已做过分析,这里就不再赘述。直接碳排放强度变动有很强的负向效应,达到 30% 左右,且比较均衡,这是我国能源与产业结构调整、技术进步及发展观念改变的综合体现。

(三) 进出口产品碳排放影响因素分析

从出口产品碳排放整体角度分析,2010 年出口产品碳排放比 2007 年减少了 35556.6 万吨,下降 22.6%,表明我国的“碳泄漏”问题有所改善。其中,完全碳排放强度(由直接和间接碳排放计算所得)变动、出口结构变动对出口碳排放的减少有正向效应,贡献率分别为 108.3% 和 36.8%,出口总额产生了负向效应,贡献率为 -45%。可看出,完全碳

排放强度的提高是出口碳排放减少的主要原因,出口结构的影响力比较小,而出口总额的增加势必会造成出口碳排放的增加。出口结构的调整将成为控制出口碳排放的关键因素,虽取得一定的效果,但与发达国家相比仍存在不合理的地方。

从出口产品碳排放部门角度分析,如上述整体分析,各部门完全碳排放强度变动的负向效应的贡献率也比较大,非金属矿物制品业最大为-65%,原因不再赘述。总出口额变动的贡献率均为正值,出口产品结构的局部调整有利于贡献率的下降。第一产业出口结构变动对出口产品碳排放变动的贡献率高达-64%,这表明我国农业现代化建设初见成效,有机产品出口比重大幅提升。能源工业(煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业、石油加工、炼焦及核燃料加工业及电力、煤气及水生产和供应业,下同)平均贡献率为-28%,虽不显著,但说明我国能源外流的局面得到控制,同时,我国对国外能源的依赖程度有所提高,使我国在国际战略处于劣势。制造业除少数部门外贡献率均为正值,介于10%~60%,我国作为“世界工厂”的地位仍没有摆脱。

从进口产品碳排放整体角度分析,假设出口产品与进口产品没有差别,2010年进口碳排放比2007年减少了9482.9万吨,同比下降了6.7%。这表明我国碳排放因进口国外产品所减少的量有所下降,数据分析得出以下结论:碳排放强度(同出口)变动、进口结构变动对进口碳排放的减少有正向效应,贡献率分别为378%、83.3%。进口总额产生了负向效应,贡献率为-361.3%。虽然进口总额的增加使进口碳排放大幅增加,但受到碳排放强度的提高、进口结构的合理化的影响,进口碳排放还是产生小幅的下降。

从进口产品碳排放部门角度分析,由于上述假设,完全碳排放强度变动的贡献率误差比较大,不再分部门分析。农林牧渔业的进口总额变动的贡献率为67%,进口总额变动的贡献率均为正值,对我国

碳排放有部分替代作用,但其增长率仍低于国民需求增长率。第一产业的进口产品结构的变动对进口产品碳排放的变动贡献率为29%。制造业的情况比较复杂,产品技术含量较高的部门,如仪器仪表及文化办公用机械制造业,贡献率为-47%,与居民生活密切相关的制造业,如纺织、食品等,贡献率则为33%。

(四) 行业碳排放各组成部分比例分析

间接碳排放变动量占碳排放总量的80%,能源工业自身消耗其他部门产品所产生的碳排放比较少,石油加工、炼焦及核燃料加工业的比例为23%,电力、煤气及水生产和供应业占的比例稍大一些为66%,甚至石油和天然气开采业出现负增长。其他行业各有不同,其中,以建筑业间接碳排放变动所占比例最高,达到97%,不难理解建筑业消耗的绝大部分材料来源于其他部门,该研究结果与纪建悦(2012)研究结果基本一致。直接碳排放变动所占比例比较大的主要是重工业,如金属冶炼及压延加工业达到37%,特别值得注意的是,能源部门在提供能源过程中消耗部分化石燃料,如电力、煤气及水生产和供应业比重为33%,当然这与我国火电比重高有关。出口产品碳排放变动所占比例较小,以通信设备、计算机及其他电子设备制造业,仪器仪表及文化办公用机械制造业,批发、零售业和住宿、餐饮业三个部门比例最大,分别为-32%、-49%和-44%。不难看出,近年来我国出口结构发生变化,精密产品的比重在上升,批发零售的小产品比重居高不下。虽然我国进口产品碳排放的总体替代效应不是很显著,但仍有部分行业因进口致使碳排放大幅减少,如石油和天然气开采业、金属矿采选业分别达到-53%、-33%,这从侧面反映我国对国外的能源依赖性增强。

五、总结

本文首先对行业碳排放量的测量进行了定义,

表 6 进出口产品碳排放影响因素变动的贡献值及贡献率

出口产品碳排放			进口产品碳排放		
影响因素	贡献值 (万吨碳)	贡献率 (%)	影响因素	贡献值 (万吨碳)	贡献率 (%)
碳排放强度效应(ΔCI)	-38499.5	108.3	碳排放强度效应(ΔCI)	-35848.1	378
出口产品结构(ΔEXS)	-13073.4	36.8	进口产品结构(ΔIMS)	-7895.5	83.3
出口总额效应(ΔTEX)	16016.4	-45	进口总额效应(ΔTIM)	34260.3	-361.3
出口碳排放变动(ΔC ₃)	-35556.6	1	进口碳排放变动(ΔC ₄)	-9482.9	1

即 $C_{\text{完全}} = C_{\text{直接}} + C_{\text{间接}} + C_{\text{出口}} - C_{\text{进口}}$; 再运用 RAS 法更新了 2010 年投入产出表, 采用可比价投入产出数据, 利用 SDA 分解方法对行业碳排放每个组成部分的影响因素进行了解析, 得到以下结论:

(1) 总产出的变动是促使直接碳排放增加的主要原因, 而提高能源利用率则应成为碳减排主要途径。值得注意的是, 调整产业结构的作用日渐显现, 使 1997—2010 年碳排放累计减少 17117.14 万吨。

(2) 间接碳排放 2007 年和 2010 年分别是直接碳排放的 4.03 倍和 4.35 倍, 研究间接碳排放的影响因素意义重大。碳排放强度变动的负向效应最为显著。产品部门间流通(完全消耗系数)效率成为碳减排的重要突破点。

(3) 对进出口产品碳排放分解表明, 进出口结构变动的负向效应贡献率相对其他影响因素还很小, 分别为 83.3% 和 36.8%。出口产品层次低、自主品牌少、价格低廉等因素使我国出口环境代价比较大。进口产品受国外贸易壁垒的限制, 碳排放替代效应明显不足。应通过大力发展服务贸易, 促进加工贸易转型, 加大工业制成品进口, 改善进出口产品碳排放现有局面。

(4) 从各组成部分变动量占行业碳排放变动量的比例来看, 间接碳排放占到 80% 以上; 不能以消耗能源的多少来判定某部门对环境的破坏程度。

本文在研究过程中还存在一些不足, 第一, 更新得到的 2010 年投入产出数据, 存在一定的误差; 第二, 受文章篇幅限制, 分解碳排放四个组成部分时, 影响因素有待进一步的细化; 第三, 受国外数据比较匮乏的影响, 对进口产品碳排放的研究比较粗糙。

参考文献

- [1] Dietzenbacher E, Los B. Structural decomposition analyses with dependent determinants [J]. *Economic Systems Research*, 2000, 12(4): 497—514.
- [2] Lin X N, Polenske K R. Input-output anatomy of China's energy use change in the 1980s [J]. *Economic Systems Research*, 1995, 7(1): 67—83.
- [3] Richard F G, Mun S H, Dale W J. Why has the energy-output ratio fallen in China? [J]. *The Energy Journal*, 1999, 20(3): 63—92.
- [4] Alcántara V, Duarte R. Comparison of energy intensities in European Union countries. Results of a structural decomposition analysis [J]. *Energy Policy*, 2004, 32: 177—189.
- [5] 刘起运, 夏明, 张红霞. 基于投入产出技术分析我国能耗阶段性变动的原因 [J]. *经济理论与经济管理*, 2007(7): 5—10.
- [6] 张友国. 中国贸易含碳量及其影响因素——基于(进口)非竞争型投入产出表的分析 [J]. *经济学(季刊)*, 2010, 9(4): 1287—1310.
- [7] 郭朝先. 中国二氧化碳排放增长因素分析——基于 SDA 分解技术 [J]. *中国工业经济*, 2010(12): 47—56.
- [8] 孟彦菊, 成蓉华, 黑韶敏. 碳排放的结构影响与效应分解 [J]. *统计研究*, 2013, 30(4): 76—82.
- [9] FREDRICH K, DAVID R. Energy and exports in China [J]. *China Economic Review*, 2008, 19(4): 649—658.
- [10] PETERS G, HERTWICH E. Pollution embodied in trade: the norwegian case [J]. *Energy Policy*, 2006, 34(1): 379—387.
- [11] Shui B, Harriss RC. The role of CO₂ embodiment in US-China trade [J]. *Energy Policy*, 2006(34): 4063—4068.
- [12] 陈红敏. 包含工业生产过程碳排放的产业部门隐含碳研究 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2009, 19(3): 25—30.
- [13] 何艳秋. 行业完全碳排放的测算及应用 [J]. *统计研究*, 2012, 29(3): 67—72.
- [14] 张智慧, 刘睿劼. 基于投入产出分析的建筑业碳排放核算 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2013, 53(1): 53—57.
- [15] 陈锡康, 杨翠红. 投入产出技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2011: 365—377, 107—121.
- [16] 刘起运, 刘志龙. 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: 3—8.
- [17] 纪建悦, 姜兴坤. 我国建筑业碳排放预测研究 [J]. *中国海洋大学学报(社会科学版)*, 2012(1): 53—57.

作者简介

李新运, 男, 1960 年生, 山东菏泽人, 工学博士, 现为山东财经大学管理科学与工程学院教授, 博士生导师。研究方向为管理科学方法。

吴学猛, 男, 1988 年生, 山东滨州人, 现为山东财经大学管理科学与工程学院硕士研究生。研究方向为区域经济发展分析。

马俏俏, 女, 1988 年生, 山东临沂人, 现为山东财经大学管理科学与工程学院硕士研究生。研究方向为计量经济。

(责任编辑: 晨 晓)