

【产业经济】

# 中国二氧化碳排放增长因素分析

——基于SDA分解技术

郭朝先

(中国社会科学院工业经济研究所, 北京 100836)

【摘要】 本文构建了一个扩展的(进口)竞争型经济—能源—碳排放投入产出模型,采用双层嵌套结构式的结构分解分析(SDA)方法,从经济整体、分产业、工业分行业三个角度对1992—2007年我国二氧化碳排放增长进行了分解。分析结果表明,能源消费强度效应始终是碳减排最主要的因素,最终需求的规模扩张效应和投入产出系数变动效应是促使碳排放增加的主要因素,相比之下,进口替代效应和能源消费结构变动效应一直比较小;在规模扩张诸因素中,出口和投资扩张效应越来越显著,而消费扩张效应重要性程度下降。本文研究还发现,2002—2007年二氧化碳排放增长较前期明显加速,表明新一轮工业化呈现“高碳化”趋势。在整个研究期间,投入产出系数变动效应越来越大,在工业领域尤其是能源工业中情况更是如此,表明“粗放式”经济增长方式不但得以延续而且变本加厉。

【关键词】 二氧化碳排放; SDA分解; 能源消费强度变动效应; 投入产出系数变动效应

【中图分类号】F124.6 【文献标识码】A 【文章编号】1006-480X(2010)12-0047-10

## 一、引言

当前我国正处于快速工业化进程中,二氧化碳排放仍保持快速增加态势,控制和削减二氧化碳排放形势十分严峻。改革开放以来,伴随经济快速增长,我国二氧化碳排放量呈逐步增长态势(见图1)。其中,在1996年之前增长相对平缓,1978年中国二氧化碳排放量为14亿吨,1996年达到35亿吨,1978—2006年年均增长约5%;受亚洲金融危机的影响,1997年之后的一段时间我国碳排放出现了负增长,2001年二氧化碳排放水平大致和1997年持平,均为34亿吨;2002年以后,我国二氧化碳排放出现了快速增长,2002年二氧化碳排放量为36亿吨,2008年高达68亿吨,2002—2008年年均增长率为11%,这个速度甚至高于同期经济增长速度。

到底是什么原因促进了我国碳排放持续快速增长,值得探讨。为深化我国碳排放增长路径的认识,推动我国经济发展方式的转变,有必要对驱动碳排放增长各个因素从总的效应中分离出来,单独计量其对总排放增长的贡献。通行的分解方法主要有两种,一种是指数分解方法IDA(Index

【收稿日期】 2010-11-08

【基金项目】 国家科技支撑计划课题“跨区域经济发展动态仿真模拟技术开发”(批准号2006BAC18B03);国家自然科学基金重大项目“产业竞争优势转型战略与全球分工模式的演变”(批准号09&ZD035)。

【作者简介】 郭朝先(1971—),男,江西鄱阳人,中国社会科学院工业经济研究所副研究员。

Decomposition Analysis),一种是结构分解方法 SDA(Structural Decomposition Analysis)。SDA 法与 IDA 法最大的区别在于前者基于投入产出表,而后者则只需使用部门加总数据。Hoekstra et al. (2003)对 SDA 法与 IDA 法在使用条件和使用方法上进行了比较,他们认为,相比于 IDA, SDA 对数据有着更高的要求,这是其主要劣势;但 SDA 的主要优势在于可凭借投入产出模型全面分析各种直接或间接的影响因素,特别是一部门需求变动给其他部门带来的间接影响,而这是 IDA 法所不具备的。本文采用 SDA 分解方法对我国碳排放增长进行因素分解。

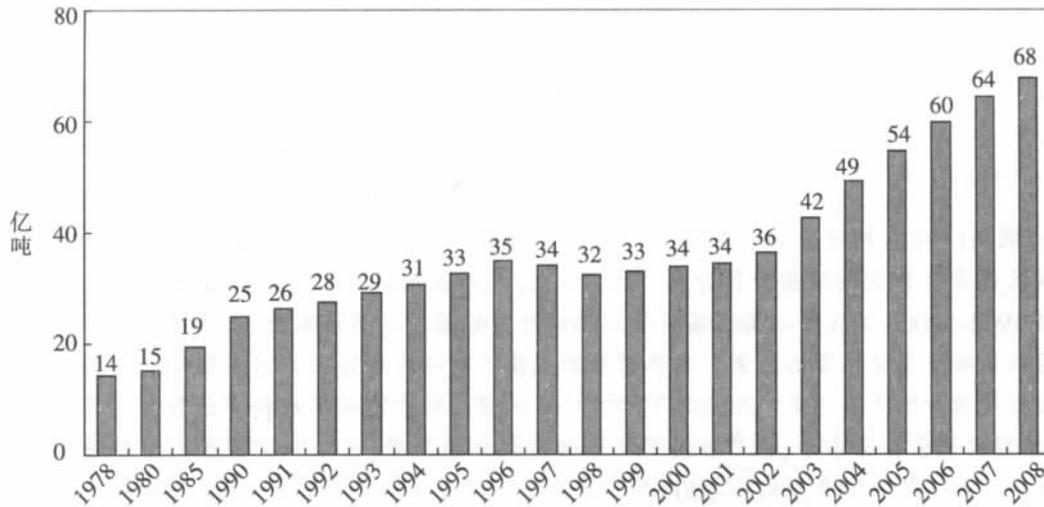


图 1 中国二氧化碳排放量变化

资料来源:根据历年分品种能源消耗及 IPCC(2006)提供的碳排放系数计算。

基于投入产出模型的结构分解方法(SDA)因具有理论基础明确、数据整齐、能分析各种直接因素和间接因素影响等特点,越来越成为经济、社会、资源环境领域中常用工具。仅以对中国问题的研究为例,许多学者采用这种方法分析各种因素对中国经济增长的影响(夏明,2006),能源消耗(李艳梅,张雷,2008;潘文卿,2010),能源强度(夏炎,杨翠红,陈锡康,2009),碳排放以及贸易含污量(张友国,2010)。

与本文较为密切的研究主要有廖明球(2009)对总产出的分解研究,潘文卿(2010)对能源消费变动的研究和张友国(2010)对碳排放分解的研究。本文借鉴了廖明球(2009)对总产出分解研究的成果,并把它整合到碳排放分解公式中。潘文卿(2010)对能源消费变动进行了 SDA 分解分析,本文借鉴采用其产业分类,将其运用到碳排放分解中。张友国(2010)也对碳排放进行了因素分解,该文是从各部门终端能源消费角度对碳排放进行分解,本文则从各部门的能源直接使用量(消费量)角度对碳排放进行分解,这不仅表现为观察问题的角度不同,而且数据质量也是不一样的。<sup>①</sup>不过,张友国(2010)的研究对本文的研究具有重要借鉴意义,并且,其研究结论也可与本文研究结论相印证。

对比其他文献研究,本文新颖之处主要有:一是采用双层嵌套结构式 SDA 对我国二氧化碳排放变动进行了分解,将碳排放变动分解为能源消费结构变动效应、能源消费强度变动效应、消费扩张效应、投资扩张效应、出口扩张效应、进口替代效应和投入产出系数变动效应等七种效应;二是采用了可比价投入产出表数据,消除价格因素的影响,从而研究方法更科学、计算结果更准确。三是分产业对分解结果进行了分析,不但分农业、工业、建筑业和服务业对不同效应在碳排放变动中发挥

<sup>①</sup> 在历年《中国能源统计年鉴》中,有比较全面的分产业部门分品种能源消费量统计数据,而只统计工业分行业终端能源消费量数据,因此,从各部门能源使用量角度出发分析问题有更好的数据基础,数据质量更高。

的作用进行了解,而且将工业进一步划分为能源工业、轻制造业、重制造业和其他工业,从而更加全面分析各种效应的贡献。

## 二、研究方法

本文的研究是建立在扩展的经济—能源—碳排放投入产出表基础之上的,表1是这种表式的简表。由于我国未单独编制国内和进口的投入产出表,这里假设进口品和国内生产的产品没有差别,因而采用(进口)竞争型经济—能源—碳排放投入产出表表式。

表1 (进口)竞争型经济—能源—碳排放产出

	中间使用	最终需求(Y)			进口	总产出
		消费	资本形成	出口		
中间投入	$AX$	$C$	$I$	$EX$	$IM$	$X$
增加值	$V$					
总投入	$X^T$					
能源消费	$E\hat{X}$					
能源结构	$F$					
碳排放量	$Q^T$					

注: $X^T, Q^T$ 分别是 $X, Q$ 的转置, $\hat{X}$ 表示 $X$ 的角阵。其中, $Q=\hat{S}\hat{E}X, S=c \times F, c$ 是碳排放系数向量。

表1中, $A$ 是投入产出直接消耗系数矩阵, $X$ 是总产出列向量,则 $X^T$ 是总投入行向量( $T$ 表示转置), $Y$ 是最终需求矩阵,包括三个部分,即消费向量( $C$ )、资本形成向量( $I$ )和出口向量( $EX$ ), $IM$ 是进口列向量。 $E$ 表示分产业部门的能源消费强度行向量, $E\hat{X}$ 表示分产业部门的能源消费量,其中 $\hat{X}$ 表示 $X$ 的角阵。 $F$ 表示能源结构矩阵(指煤炭、石油、天然气三者所占比重)。由此可知,碳排放总量 $Q=c\hat{E}X$ ,其中, $c$ 表示碳排放系数向量。进一步令 $S=cF$ ,并将 $S$ 写成角阵 $\hat{S}$ 的形式,则碳排放量 $Q$ 可写成向量形式: $Q=\hat{S}\hat{E}X$ 。<sup>①</sup>

由此, $\Delta Q=Q_1-Q_0=\hat{S}_1\hat{E}_1X_1-\hat{S}_0\hat{E}_0X_0$ 。其中,下标1,0分别表示变量在第1期(报告期)和第0期(基期)的取值; $\Delta$ 表示变量的变化。

结构分解分析模型通常有4种形式:①保留交叉项;②不保留交叉项,将其以不同权重方式分配给各自变量;③加权平均法;④两极分解法或中点权分解法。方法①中由于交叉影响的存在,因此无法说明某个自变量对因变量的全部影响;方法②在合并交叉项时,存在权重不匹配问题;方法③在理论上比较完善,但是计算量较大;方法④相对粗糙,但可为方法③的近似解,而且比较直观。Dietzenbacher & Los(1998)也指出结构分解的形式并不是唯一的,从不同的因素排列顺序进行分解,会得到不同的分解形式。如果一个变量的变化由 $n$ 个因素决定,那么该变量的结构分解形式共有 $n!$ 个。理论上,用这 $n!$ 个分解方程中每个因素的变动对应变量影响的平均值来衡量该因素的变动对应变量的影响是合理的,但实际计算操作会上相当复杂。不过,Dietzenbacher & Los(1998)进一步指出,如果变量过多,可采用两极分解方法作为替代,而所得到的结果却非常接近。<sup>②</sup>这里采用两极分解方法来进行因素分解。

① 由于不同能源碳排放系数一般比较稳定,其在总效应中的贡献微乎其微。本文假定碳排放系数没有变动,没有进一步分离出碳排放系数变动效应。

② 所谓两极分解方法,就是将从第一个因素开始分解得到的各因素变化对应变量的影响值,以及从最后一个因素开始分解得到的各因素的影响值的平均值,确定为各因素对应变量的影响值。

首先,可将  $\Delta Q$  分解如下:  $\Delta Q = \Delta \hat{S} \hat{E}_0 X_0 + \hat{S}_1 \Delta \hat{E} X_0 + \hat{S}_1 \hat{E}_1 \Delta X$ 。

或者:  $\Delta Q = \Delta \hat{S} \hat{E}_1 X_1 + \hat{S}_0 \Delta \hat{E} X_1 + \hat{S}_0 \hat{E}_0 \Delta X$ 。

于是,  $\Delta Q = (\Delta \hat{S} \hat{E}_0 X_0 + \Delta \hat{S} \hat{E}_1 X_1) / 2 + (\hat{S}_1 \Delta \hat{E} X_0 + \hat{S}_0 \Delta \hat{E} X_1) / 2 + (\hat{S}_0 \hat{E}_0 \Delta X + \hat{S}_1 \hat{E}_1 \Delta X) / 2$ 。

根据投入产出平衡关系式,经济规模的变化  $\Delta X$  还可以进一步分解为国内需求变动效应(进一步可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、技术变动效应。将  $\Delta X$  进行进一步分解后代入  $\Delta Q$  分解的表达式中就可形成“双层嵌套式”的结构分解表达式。

由于下述恒等式成立: 总产品=国内生产国内使用的中间产品+国内生产国内使用的最终需求产品+出口产品,则有:

$$X_0 = \hat{U}_0 A_0 X_0 + \hat{U}_0 (C_0 + I_0) + EX_0; \text{ 以及 } X_1 = \hat{U}_1 A_1 X_1 + \hat{U}_1 (C_1 + I_1) + EX_1。$$

式中:  $A$  为直接消耗系数矩阵,  $\hat{U}$  为国内供给比率的对角矩阵, 其对角元素  $u_i$  为各部门产品的国内供给比率。计算公式是:  $u_i = \frac{x_i - e_i}{x_i - e_i + m_i}$ , 其中,  $m_i, e_i, x_i$  分别为进口列向量  $IM$ 、出口列向量  $EX$ 、总产出列向量  $X$  相应的元素。

根据以上假定条件, 可以进一步对经济规模变化量  $\Delta X$  进行因素分解。为记述方便, 令  $R_0 = (I - \hat{U}_0 A_0)^{-1}$ ,  $R_1 = (I - \hat{U}_1 A_1)^{-1}$  (廖明球, 2009)。则:

$$\begin{aligned} \Delta X = & \frac{1}{2} (R_0 \hat{U}_0 + R_1 \hat{U}_1) \Delta C + \frac{1}{2} (R_0 \hat{U}_0 + R_1 \hat{U}_1) \Delta I + \frac{1}{2} (R_0 + R_1) \Delta EX \\ & + \frac{1}{2} [R_0 \Delta \hat{U} (A_1 X_1 + C_1 + I_1) + R_1 \Delta \hat{U} (A_0 X_0 + C_0 + I_0)] + \frac{1}{2} (R_0 \hat{U}_0 \Delta A X_1 + R_1 \hat{U}_1 \Delta A X_0) \end{aligned}$$

将上式代入前述  $\Delta Q$  表达式中, 并令  $k = (\hat{S}_1 \hat{E}_1 + \hat{S}_0 \hat{E}_0) / 2$ , 可得:

$$\begin{aligned} \Delta Q = & (\Delta \hat{S} \hat{E}_0 X_0 + \Delta \hat{S} \hat{E}_1 X_1) / 2 \cdots \cdots \text{能源消费结构变动效应} \\ & + (\hat{S}_1 \Delta \hat{E} X_0 + \hat{S}_0 \Delta \hat{E} X_1) / 2 \cdots \cdots \text{能源消费强度变动效应} \\ & + k (R_0 \hat{U}_0 + R_1 \hat{U}_1) \Delta C / 2 \cdots \cdots \text{消费扩张效应} \\ & + k (R_0 \hat{U}_0 + R_1 \hat{U}_1) \Delta I / 2 \cdots \cdots \text{投资扩张效应} \\ & + k (R_0 + R_1) \Delta EX / 2 \cdots \cdots \text{出口扩张效应} \\ & + k [R_0 \Delta \hat{U} (A_1 X_1 + C_1 + I_1) + R_1 \Delta \hat{U} (A_0 X_0 + C_0 + I_0)] / 2 \cdots \cdots \text{进口替代效应} \\ & + k (R_0 \hat{U}_0 \Delta A X_1 + R_1 \hat{U}_1 \Delta A X_0) / 2 \cdots \cdots \text{投入产出系数变动效应} \end{aligned}$$

这就是碳排放的“双层嵌套式”的结构分解表达式, 运用这个公式可对不同时间段的碳排放变动进行因素分析, 分解出能源消费结构变动效应、能源消费强度变化效应、消费扩张效应、投资扩张效应、出口扩张效应、进口替代效应和投入产出系数变动效应等七种效应。<sup>①</sup>

### 三、数据来源及处理

根据数据可获得性和匹配原则, 本文采用年度数据分别是 1992 年、1997 年、2002 年和 2007 年。采用的产业部门数是 29 个, 其中农业部门 1 个, 工业部门 24 个, 建筑业部门 1 个, 服务业部门 3 个。1992 年、1997 年、2002 年可比价投入产出表来源于刘起运、彭志龙主编的《中国 1992—2005

① 由于  $S=cF$ , 假定碳排放系数  $c$  保持不变, 则  $S$  的变动是由能源消费结构变量  $F$  的变动引起的, 故  $S$  的变动效应就是能源消费结构变动效应。

年可比价投入产出序列表及分析》,2007年可比价投入产出表根据2007年中国投入产出表(现价)提供的初始数据,仿照可比价投入产出表编制方法(刘起运等,2010)由本文作者编制而成。分产业部门的能源采用一次能源(煤炭、石油、天然气)数据,原始数据来自历年《中国能源统计年鉴》和《中国统计年鉴》,根据匹配的原则,将耗能产业部门数调整为29个产业部门。不同能源的碳排放系数数据来自于气候变化专门委员会(IPCC)编制的《2006年IPCC国家温室气体清单指南》提供的默认值。

## 四、实证分析

我们从整体状况、分产业(农业、工业、建筑业和服务业)、工业分行业(能源工业、轻制造业、重制造业和其他工业)三个层面对1992—2007年我国碳排放变动进行SDA分解。

### 1. 整体状况分解结果

表2显示了1992—2007年分阶段各因素对中国碳排放增长的贡献,结果表明:

(1)1992—2007年中国二氧化碳排放增长34.2亿吨,其中,能源消费强度变动效应始终保持负值,为中国减少碳排放发挥着积极作用,累计减排二氧化碳103.86亿吨。与此相反,消费、资本形成、出口等规模增长因素始终是驱使中国碳排放强力增长的主要因素,1992—2007年三者累计增加碳排放105.05亿吨,分别为25.60亿吨、39.62亿吨和39.83亿吨。表征广义技术进步(包括科学技术进步、管理集约化、产业结构变动等)的投入产出系数变动效应也始终是正值,且越来越大,1992—2007年投入产出系数变动效应累计增加碳排放32.10亿吨,这说明,1992年以来我国经济发展呈现日益“粗放型”增长态势,经济增长对物质资源特别是能源资源消耗的依赖程度加大,这与“低碳化”发展方向是背道而驰的。在此期间,能源结构变动效应不明显,1992—2007年累计值仅减排0.36亿吨,说明中国能源结构多年来一直保持着一种稳定的状态。进口替代效应则从负数转变为正数,1992—2007年累计增加碳排放1.27亿吨,说明从碳排放的角度看,我国进口结构也处于一种“劣化”的过程中。

(2)从消费、投资、出口三者对中国碳排放增长的贡献来看,1992—1997年增长最多的是投资扩张效应,1997—2002年、2002—2007年增长最多的是出口扩张效应,1992—2007年累计效果则更明显,消费、投资、出口扩张效应分别为25.60亿吨、39.62亿吨和39.83亿吨,表明出口和投资超过消费,成为碳排放增长的主要贡献源泉。

(3)2002年开始的新一轮以重化工业为主的经济增长,使我国二氧化碳排放呈现急剧增长的态势。1992—2007年碳排放增长34.19亿吨中,2002—2007年碳排放增长占其中的80%,达27.24亿吨。尽管这一时期我国大力推进节能减排工作,能源消耗强度变动效应为-26.06亿吨,但经济规模的扩张使碳排放增长29.81亿吨(消费、投资和出口三者扩张效应之和),尤其是投入产出系数变动使碳排放量大大地增加了,该效应达到20.86亿吨,这是一个令人担忧的现象。从“低碳化”角度

表2 1992—2007年中国碳排放变化结构分解

	碳排放增长(亿吨)				贡献(%)			
	1992—1997	1997—2002	2002—2007	1992—2007	1992—1997	1997—2002	2002—2007	1992—2007
能源结构变动效应	0.02	-0.59	-0.06	-0.36	0.41	-19.25	-0.22	-1.07
能源强度变动效应	-15.49	-12.28	-26.06	-103.86	-401.88	-397.39	-95.65	-303.81
消费扩张效应	6.17	4.61	6.83	25.60	160.21	149.12	25.06	74.88
投资扩张效应	7.73	4.54	11.04	39.62	200.50	146.79	40.51	115.88
出口扩张效应	5.49	4.64	11.94	39.83	142.41	150.22	43.84	116.50
进口替代效应	-0.41	-1.23	2.70	1.27	-10.61	-39.96	9.91	3.72
投入产出系数变动效应	0.35	3.41	20.86	32.10	8.96	110.47	76.56	93.89
合计	3.85	3.09	27.24	34.19	100	100	100	100

来看,这一时期技术水平和产业结构出现了明显“倒退”,粗放型经济增长方式得以强化。

## 2. 分产业分解结果

表3显示了分产业分解的结果。数据显示,在1992—2007年总的碳排放增长中(341869万吨),农业、工业、建筑业和服务业分别为1134万吨、344211万吨、204万吨和-3680万吨,对排放增长的贡献率分别为0.3%、100.7%、0.06%和-1.1%。可见,工业领域碳排放具有决定的作用,工业碳排放量超过全部碳排放增长量,而服务业碳排放则呈绝对减少态势。

分产业看,1992—2007年能源消费强度变动效应都是碳排放减少的主要因素,消费、投资和出口一般是碳排放增加的主要因素,但在不同产业作用不一样。在农业和服务业中,消费扩张效应比出口扩张效应、投资扩张效应都要大一些;在工业中,出口扩张效应比投资扩张效应、消费扩张效应要大一些;在建筑业中,占主导地位的是投资扩张效应,消费扩张效应和出口扩张效应则非常微小。在不同产业中,1992—2007年能源消费结构变动效应也是碳排放减少的一个因素,但效果很微弱,服务业中的能源消费结构变动效应相对大一些,但也只占26.3%。和其他产业投入产出系数变动效应为负值不同,工业的投入产出系数变动效应是323528万吨,对碳排放增长的贡献为正的94%。

表3 1992—2007年中国分产业碳排放变动结构分解

		碳排放变动(万吨)				贡献(%)			
		农业	工业	建筑业	服务业	农业	工业	建筑业	服务业
1992— 1997	能源结构变动效应	0	262	14	-119	0.0	0.6	-7.3	3.6
	能源强度变动效应	-1095	-146222	-716	-6835	-340	-350.3	371.1	204.7
	消费扩张效应	1129	58488	10	2112	350.1	140.1	-5.1	-63.3
	投资扩张效应	34	75328	503	1399	10.7	180.4	-260.9	-41.9
	出口扩张效应	327	53129	6	1418	101.5	127.3	-2.9	-42.5
	进口替代效应	-18	-3931	-3	-137	-5.7	-9.4	1.8	4.1
	投入产出系数效应	-55	4691	-6	-1176	-17.0	11.2	3.3	35.2
	合计	322	41745	-193	-3339	100	100	100	100
1997— 2002	能源结构变动效应	0	-5784	-8	-158	0.0	-18.1	-2.3	20.1
	能源强度变动效应	-1019	-117454	-151	-4174	169.9	-367.8	-42.6	530.1
	消费扩张效应	104	44487	13	1477	-17.3	139.3	3.6	-187.6
	投资扩张效应	152	44234	463	508	-25.4	138.5	130.3	-64.6
	出口扩张效应	29	45431	8	952	-4.9	142.3	2.2	-120.9
	进口替代效应	-16	-12191	0	-139	2.7	-38.2	-0.1	17.6
	投入产出系数效应	150	33210	31	746	-25.0	104.0	8.8	-94.7
	合计	-600	31933	355	-787	100	100	100	100
2002— 2007	能源结构变动效应	0	-92	-16	-504	0.0	0.0	-39.3	-113.1
	能源强度变动效应	338	-258491	-550	-1892	23.9	-95.5	-1334	-424.2
	消费扩张效应	291	66565	36	1387	20.6	24.6	87.6	311.0
	投资扩张效应	380	108485	596	902	26.9	40.1	1445.5	202.3
	出口扩张效应	373	117981	13	1080	26.4	43.6	32.1	242.2
	进口替代效应	-17	26903	0	99	-1.2	9.9	-0.5	22.2
	投入产出系数效应	47	209182	-38	-627	3.3	77.3	-91.6	-140.5
	合计	1411	270533	41	446	100	100	100	100
1992— 2007	能源结构变动效应	0	-2668	-7	-966	0.0	-0.8	-3.4	26.3
	能源强度变动效应	-2171	-1013482	-2159	-20827	-191.5	-294.4	-1060	565.9
	消费扩张效应	1703	245084	81	9120	150.2	71.2	40.0	-247.8
	投资扩张效应	653	388165	2273	5079	57.6	112.8	1115.8	-138.0
	出口扩张效应	1058	390227	39	6942	93.4	113.4	19.2	-188.6
	进口替代效应	-77	13359	-8	-544	-6.8	3.9	-4.0	14.8
	投入产出系数效应	-32	323528	-16	-2483	-2.8	94.0	-7.8	67.5
	合计	1134	344211	204	-3680	100	100	100	100

1992—2007年,在所有产业中进口替代效应都不明显,所不同的是,工业的进口替代效应为正,而其他产业的进口替代效应为负。

在不同时间段各种效应在不同产业中发挥的作用是不一样的(见图2)。在农业和工业中,消费扩张效应呈逐步缩小趋势,而投资扩张效应和出口扩张效应则呈逐步增大趋势。在农业和服务业中能源消费强度效应有缩小的趋势(指贡献幅度,而非贡献率),而在工业中该效应有增大趋势。与其他产业碳排放增长(减少)相对缓慢相比,工业碳排放增长在2002—2007年出现了显著增长,尤其值得注意的是,其中的投入产出系数变动效应增长最多,该效应在工业碳排放增长中呈不断增长态势,而在其他产业中,其作用是不确定的。

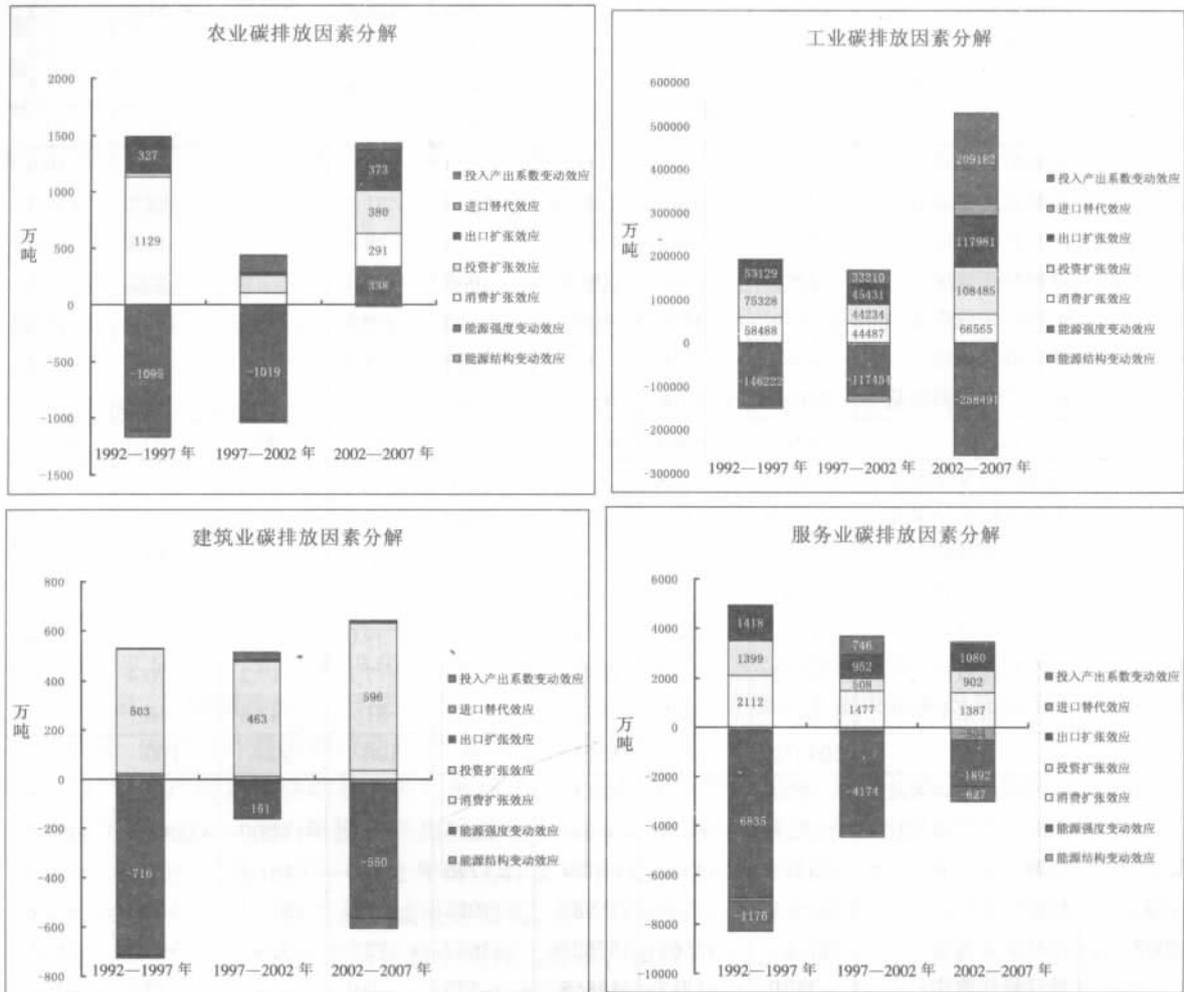


图2 1992—2007年分产业碳排放因素贡献变化

### 3. 工业分行业分解结果

鉴于工业碳排放增长的绝对地位,有必要对工业碳排放增长进行进一步分解,不妨将工业划分为能源工业、轻制造业、重制造业和其他工业四个行业,四个工业分行业分解结果如表4所示。<sup>①</sup>

① 能源工业包括煤炭开采和洗选业、石油和天然气开采业、石油加工炼焦及核燃料加工业、电力热力的生产和供应业、燃气生产和供应业等5个行业;轻制造业包括食品制造及烟草加工业、纺织业、纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业、木材加工及家具制造业、造纸印刷及文教体育用品制造业5个行业;重制造业包括化学工业、非金属矿物制品业、金属冶炼及压延加工业、金属制品业、通用专用设备制造业、交通运输设备制造业、电气机械及器材制造业、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等9个行业;其他工业包括金属矿采选业、非金属矿及其他矿采选业、工艺品及其他制造业、废品废料、水的生产和供应业等5个行业。

表 4

1992—2007 年工业分行业碳排放因素分解

		碳排放变动(万吨)				贡献(%)			
		能源工业	轻制造业	重制造业	其他工业	能源工业	轻制造业	重制造业	其他工业
1992— 1997	能源结构变动效应	4740	5	-3925	-558	-30.4	1.1	-7.6	-10.2
	能源强度变动效应	-108066	-6721	-35981	4546	692.9	-1442.0	-70.0	82.9
	消费扩张效应	36681	3265	17661	881	-235.2	700.4	34.4	16.1
	投资扩张效应	32933	1237	40789	370	-211.2	265.3	79.4	6.7
	出口扩张效应	24390	1729	26213	796	-156.4	371.0	51.0	14.5
	进口替代效应	-3336	-7	-446	-142	21.4	-1.4	-0.9	-2.6
	投入产出系数效应	-2937	958	7079	-409	18.8	205.5	13.8	-7.5
	合计	-15595	466	51390	5485	100	100	100	100
1997— 2002	能源结构变动效应	-7438	-2	1117	539	-7.0	0.0	-1.7	-10.6
	能源强度变动效应	22691	-10837	-122436	-6873	21.3	235.6	188.2	135.3
	消费扩张效应	30247	2402	11605	233	28.4	-52.2	-17.8	-4.6
	投资扩张效应	22871	404	20054	905	21.4	-8.8	-30.8	-17.8
	出口扩张效应	21579	2546	20791	515	20.2	-55.4	-32.0	-10.1
	进口替代效应	-4967	70	-7122	-173	-4.7	-1.5	10.9	3.4
	投入产出系数效应	21696	816	10926	-227	20.3	-17.7	-16.8	4.5
	合计	106679	-4600	-65065	-5081	100	100	100	100
2002— 2007	能源结构变动效应	489	-33	-575	26	0.2	-0.5	-1.1	3.7
	能源强度变动效应	-188909	-5516	-63026	-1040	-90.0	-82.2	-118.6	-148.9
	消费扩张效应	55795	3243	7292	235	26.6	48.3	13.7	33.6
	投资扩张效应	74792	1451	31548	694	35.6	21.6	59.4	99.4
	出口扩张效应	81966	3562	31947	505	39.0	53.1	60.1	72.4
	进口替代效应	14900	1157	10830	16	7.1	17.2	20.4	2.2
	投入产出系数效应	170945	2847	35127	262	81.4	42.4	66.1	37.5
	合计	209978	6711	53145	699	100	100	100	100
1992— 2007	能源结构变动效应	-220	-37	-2433	21	-0.1	-1.4	-6.2	1.9
	能源强度变动效应	-527221	-36671	-446375	-3216	-175.1	-1423.0	-11301.0	-291.7
	消费扩张效应	183238	11890	49179	776	60.9	461.4	124.6	70.4
	投资扩张效应	203513	5749	176988	1914	67.6	223.1	448.4	173.6
	出口扩张效应	217453	13563	157523	1687	72.2	526.3	399.1	153.0
	进口替代效应	-2701	1717	14865	-522	-0.9	66.6	37.7	-47.3
	投入产出系数效应	227000	6365	89722	442	75.4	247.0	227.3	40.1
	合计	301062	2577	39470	1102	100	100	100	100

数据显示,在 1992—2007 年工业碳排放增长 344211 万吨中,能源工业、轻制造业、重制造业和其他工业碳排放分别增长 301062 万吨、2577 万吨、39470 万吨和 1102 万吨,对工业排放增长的贡献率分别为 87.5%、0.7%、11.5%和 0.3%。可见,能源工业是碳排放最重要的部门,重工业碳排放也具有重要地位,轻制造业和其他工业的碳排放量则相对较少,两者碳排放增长对工业碳排放增长的贡献率仅为 1%。

从工业分行业情况看,1992—2007 年能源消费强度变动效应始终是促使碳排放减少的主要因素。消费、投资和出口等最终需求扩张是促使碳排放增加的主要因素,在能源工业和轻制造业中出

口扩张效应是其中最大的,在重制造业和其他工业中,投资扩张效应是最大的。除此之外,投入产出系数变动效应则是各个部门中促使碳排放增长的又一个重要因素。这意味着整个生产部门的技术变化产生了更多的碳密集型中间投入需求,工业发展日益依赖对物质资源特别是能源资源的投入。一般地,进口替代效应都不明显,所不同的是,能源工业和其他工业的进口替代效应为负,而轻制造业和重制造业的进口替代效应为正。

在不同时间段各种效应在工业分行业中发挥的作用是不一样的(见表4)。在能源工业中,与其他时间段相比,2002—2007年各种效应变化是最大的,不但消费、投资和出口等规模扩张效应出现大幅度增加外,反映广义技术进步的投入产出系数变动效应也出现大幅度上升,这是导致工业乃至整个经济碳排放增长的一个重要因素。同时,在轻制造业、重制造业和其他工业中,投入产出系数变动效应也出现上升或由负转正,这反映近年来工业结构变动和技术水平变动出现了“高耗能、高排放”的不利形势。在具有最大排放贡献的能源工业和重制造业中,投资扩张效应和出口扩张效应倾向于超过消费扩张效应,而在轻制造业和其他工业中,这种趋势不明显。

## 五、基本结论

本文通过编制扩展的(进口)竞争型经济—能源—碳排放投入产出表,采用可比价投入产出表数据,利用双层嵌套结构式SDA分解方法,从经济整体、分产业、工业分行业等不同维度对不同年份碳排放增长进行了结构分解,主要发现:

(1)能源消费强度效应是碳减排最主要的因素,最终需求的规模扩张效应和投入产出系数变动效应是促使碳排放增加的主要因素。我国碳排放伴随着经济增长而增加,1992—2007年全国碳排放增长34.2亿吨,其中,能源消费强度变动效应减少碳排放103.86亿吨,但消费、资本形成、出口等规模扩张效应增加碳排放105.07亿吨,投入产出系数变动效应累计增加碳排放32.10亿吨。

(2)在规模扩张诸因素中,出口和投资扩张效应越来越显著,而消费扩张效应重要性程度下降。从消费、投资、出口三者对中国碳排放增长的贡献来看,1992—2007年效果最显著的是出口扩张效应和投资扩张效应,分别为39.62亿吨和39.83亿吨,相比之下,消费扩张效应要小很多,只有25.60亿吨。因此,从碳减排角度,转变经济发展方式,实现中国经济增长由主要依靠投资和出口拉动向消费与投资、内需与外需协调拉动转变,在当前显得尤为迫切。

(3)投入产出系数变动效应发挥着越来越大的作用,“粗放式”经济增长方式不但得以维持而且变本加厉。1992—2007年投入产出系数变动效应累计导致碳排放增加32.10亿吨,其中,1992—1997年为0.35亿吨,1997—2002年为3.41亿吨,2002—2007年猛然增加到20.86亿吨。这个效应在工业领域,尤其是能源工业领域更是如此。投入产出系数变动效应越来越大意味着整个生产部门的技术变化产生了更多的碳密集型中间投入需求,“粗放式”经济增长方式有越演越烈的趋势。

(4)2002—2007年碳排放增长最为迅速,新一轮工业化呈现“高碳化”趋势。相比前面几个阶段,2002年以来我国碳排放出现了迅猛增长,年均增长率达11%,高于同期经济增长速度。这一时期是我国新一轮重化工业快速推进时期,由于发展阶段、技术水平、体制机制、国际分工等多种因素制约,使我国重化工业发展难以摆脱“高投入、高消耗、高排放”的窠臼,新一轮工业化呈现“高碳化”趋势。这种状况十分令人担忧。

(5)工业是我国碳排放增长最重要的部门,其中最突出的是能源工业和重制造业。工业始终是我国碳排放最重要的领域,由于服务业碳排放有所减少,1992—2007年工业领域碳排放增长甚至超过同期中国总排放量的增长,对中国碳排放增长的贡献率达100.7%。在工业内部,能源工业和重制造业又是最重要的排放部门,1992—2007年两者对工业排放增长的贡献率达99%,而轻制造业和其他工业对工业碳排放增长仅为1%。可见,调整产业结构,大力发展服务业,以及调整工业结构,降低能源工业和重制造业在工业中的比重,对于减少碳排放将是有益的。

(6)进口替代效应和能源结构变动效应一直都很小,或许成为未来碳减排的新增长点。与出口扩张效应越来越显著相比,进口替代效应变动相对较小。1992—1997年、1997—2002年进口替代效应还是负值,但2002—2007年该效应转为正值,从碳排放角度看,进口结构呈“劣化”的趋势。但未来随着中国经济结构调整和发展方式转变,进口结构有可能优化,从而为碳减排做出积极贡献。与此同时,能源结构变动效应普遍较小,揭示我国产业用能结构相对稳定的特点。这也说明,要在传统能源内部调整结构从而达到碳减排的目的是很难的。在我国,发展新能源和可再生能源,才是优化能源结构、减少碳排放的根本途径。

#### [参考文献]

- [1]Dietzenbacher,E. & Los,B. Structural Decomposition Technique: Sense and Sensitivity [J]. Economic Systems Research, 1998,(10).
- [2]Hoekstra, R., van den Bergh, J.C.J.M. Comparing Structural and Index Decomposition Analysis [J]. Energy Economics,2003,(25).
- [3]潘文卿. 中国生产用能源消费变动因素分析[J]. 载刘起运,彭志龙主编. 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.
- [4]张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究, 2010,(4).
- [5]廖明球. 投入产出及其扩展分析[M]. 北京:首都经济贸易大学出版社,2009.
- [6]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.
- [7]夏明. 投入产出体系与经济结构变迁[M]. 北京:中国经济出版社,2006.
- [8]李景华. 中国第三产业投入产出分析:1987—1995——归因矩阵方法与SDA模型研究[J]. 载中国投入产出分析应用论文精粹[M]. 北京:中国统计出版社,2004.
- [9]李艳梅,张雷. 中国居民间接生活能源消费的结构分解分析[J]. 资源科学, 2008,(6).
- [10]夏炎,杨翠红,陈锡康. 基于可比价投入产出表分解我国能源强度影响因素[J]. 系统工程理论与实践,2009,(10).

## An Analysis of the Increase of CO<sub>2</sub> Emission in China ——Based on SDA Technique

GUO Chao-xian

(Institute of Industrial Economics CASS, Beijing 100836, China)

**Abstract:** This paper design an extension model of import-competition economy-energy-environment input-output system, using two-level nested method of Structural Decomposition Analysis to decompose 1992—2007 CO<sub>2</sub> emission in China. The conclusions are as follows: The dominant factor to reduce CO<sub>2</sub> emission is the effect of the change of energy consumption intensity; The main factors to increase CO<sub>2</sub> emission are the effect of final demand expansion and the effect of the change of input-output coefficient; Whereas, the effect of the change of import substitution and the effect of the change of energy consumption structure are indistinctive. In the effect of final demand expansion, export-expansion and investment-expansion become more and more important, while consumption-expansion is less important one. The amount of CO<sub>2</sub> emission increased rapidly in 2002—2007 reveals the characteristics of industrialization with high-carbon in the new stage. The effect of the change of input-output coefficient became greater and greater especially in the energy industry reveals that the tradition extensive-industrialization road still continue and maybe become worsen.

**Key Words:** CO<sub>2</sub> emission; structural decomposition analysis (SDA); the effect of the change of energy consumption intensity; the effect of the change of input-output coefficient

[责任编辑:高粮]