

# 中国产业能源消费碳排放结构 及其减排敏感性分析

刘红光<sup>1,2</sup>, 刘卫东<sup>1</sup>, 唐志鹏<sup>1</sup>

(1. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘 要:**本文在非竞争型投入产出分析框架下,建立了区域碳排放的结构分析模型及其敏感性分析方法,并利用中国2007年非竞争型投入产出表,研究了中国产业能源消费碳排放根源以及由贸易产生的碳排放转移问题,并进一步对中国经济结构调整的排放敏感性进行了研究。研究结果表明,出口是中国碳排放总量迅速增加的主要推动力之一,2007年中国对外贸易导致的净出口碳占中国碳排放总量的29.1%。而国内建筑业的投资,机械交通电子设备的出口与投资,国内对食品、电力热力以及服务业的消费,化工金属等高耗能产品的出口等经济活动是我国碳排放的主要根源,也是排放敏感性较高的经济活动。因此,在调整产业结构,促进产业升级,优化出口结构,加快产能转移,抑制基础原材料工业产品的出口规模并逐步实施进口替代,提高出口层次和出口产品附加值的同时,重视提倡全民减排,积极建立节约型社会,特别是减少建筑业的浪费和服务业能耗,将是中国节能减排工作的重点任务。

**关 键 词:**碳排放;产业结构;非竞争型投入产出表

## 1 引言

近一个世纪,特别是近二三十年来,地球气候系统正经历着一次以变暖为主要特征显著变化<sup>[1]</sup>。越来越多的研究表明,随着全球经济的发展,人类产业活动对能源需求的不断增加而导致大气中CO<sub>2</sub>浓度不断升高很可能是全球气候变化的主要原因<sup>[2-3]</sup>,这种可能性在90%以上(IPCC, Fourth Assessment Report 2007)。因此,有关CO<sub>2</sub>减排的问题是当前各国政府、社会和学术界广泛关注的焦点之一,有关CO<sub>2</sub>减排责任的国际谈判也一直在激烈的进行。

随着中国经济的不断发展,能源开发和利用大幅度增长,CO<sub>2</sub>排放量也随着迅速增加。据美国橡树岭国家实验室的二氧化碳信息分析中心(CDIAC)的计算结果,2007年我国碳排放总量为18.02亿t碳,占全球排放总量的21.27%,第一次超过美国成为世界第一大碳排放国家。无论从可持续发展的角度出发,还是从应尽的国际义务出发,加强中国温室气体的排放控制是必须的<sup>[4]</sup>。但是从生产关系的角度讲,当碳排放作为一种外部成本没有体现在商

品价格中而最终由消费者来承担时,碳排放总量不能仅仅从生产排放的角度来衡量。这样不仅有失公允,而且容易引起对CO<sub>2</sub>历史排放必须承担减排责任的发达国家将高能耗产业转移到非必须承担减排责任的发展中国家,进而导致所谓“碳泄露”(Carbon Leakage)<sup>[5-7]</sup>,即全球碳排放总量并没有实质性减少的问题。在这种情况下,一些学者开始从区分生产和消费的角度利用Leontief<sup>[8]</sup>投入产出表模型来衡量一个国家的CO<sub>2</sub>排放责任<sup>[9-12]</sup>,我国学者对贸易产生的碳排放区位转移问题也有研究<sup>[13]</sup>,但是往往没有严格区分好出口和进口的关系。

由于非竞争型投入产出表将进口从中间使用和最终使用中分离出来,能够很好地处理出口和进口的关系。因此,本文试图在非竞争型投入产出表的分析框架下,从最终使用(消费、投资、出口)角度研究中国产业能源消费碳排放的本质结构,即消费、投资、出口3大经济活动对国内的最终碳载荷量,以及进口避免的碳排放,并对这种因最终使用引起的排放结构的敏感性进行分析,以期找出减排效果最佳的经济活动部门。并以我国2007年非竞争型投入产出表为例进行计算,最终为中国节能减排的产业结构调整政策选择提供参考意见。

收稿日期:2009-09; 修订日期:2010-05.

基金项目:国家科技攻关计划项目(2007BAC03A1104),科技基础性工作专项(2007FY140800-2).

作者简介:刘红光(1982-),男,安徽濉溪县人,博士生,研究方向为区域经济与区域可持续发展。E-mail: liuhg.07b@igsrr.ac.cn

2 研究方法

2.1 排放结构分析

根据对进口商品的处理方法的不同,投入产出模型可以分为两种:竞争(进口)型投入产出模型和非竞争(进口)型投入产出模型。竞争型投入产出模型中,各生产部门消耗的中间投入部分没有区分哪些是本国生产的,哪些是进口的,无法反映各生产部门与进口商品之间的联系<sup>[14]</sup>。非竞争型投入产出模型的中间投入,则分为国内生产的中间投入和进口品中间投入两大部分,反映了二者的不完全替代性。许多学者利用非竞争型投入产出表作为工具分析了区域间经济联系<sup>[15]</sup>。一个国家或地区的非竞争型投入产出表模型框架如表 1 所示<sup>[16]</sup>。

由于进口非竞争型投入产出表将进口产品区分了出来,因此利用非竞争型投入产出表计算一个国家或地区由消费、投资、出口等经济活动而产生的碳排放可以有效区分消费和投资活动中国内产品和进口产品的部分,也可以避免产生出口又通过进口回流的问题。

非竞争型投入产出模型水平方向有两组均衡方程式,即国内产品生产与使用量相等的方程组和进口品生产与使用量相等的方程组:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^d + F_{Ci}^d + F_{Li}^d + F_{Ei} = X_i \quad (i=1,2,3 \cdots n) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^m + F_{Ci}^m + F_{Li}^m = M_i \quad (i=1,2,3 \cdots n) \quad (2)$$

对于方程式(1),令  $a_{ij}^d = x_{ij}^d / X_j$ , 即国内生产单位  $j$  部门产品对  $i$  部门国内产品的直接消耗系数,则(1)式可写为:  $\sum_{j=1}^n a_{ij}^d X_j + F_{Ci}^d + F_{Li}^d + F_{Ei} = X_i \quad (i=1,2,3 \cdots n) \quad (3)$

用矩阵表示为:  $X = (I - A^D)^{-1} (F_C^D + F_L^D + F_E)$  (4)

如果国内直接碳排放系数矩阵为  $S$ , 国内完全碳排放系数为  $S^{TD}$ , 则利用(4)式可以将国内碳排放总量写为:  $E = SX = S(I - A^D)^{-1} (F_C^D + F_L^D + F_E)$

$$= S(I - A^D)^{-1} F_C^D + S(I - A^D)^{-1} F_L^D + S(I - A^D)^{-1} F_E$$

$$= S^{TD} F_C^D + S^{TD} F_L^D + S^{TD} F_E \quad (5)$$

等式(5)右边的第一项即为在国内生产并在国内消费引起的碳排放量  $E_C^D$ ; 第二项即为国内生产并用于国内投资引起的碳排放量  $E_I^D$ ; 第三项即为出口引起的碳排放量  $E_E$ 。

另外,将方程式(1)和(2)相加,可得:

$$\sum_{j=1}^n (x_{ij}^d + x_{ij}^m) + F_{Ci}^d + F_{Li}^d + F_{Ei} + F_{Ci}^m + F_{Li}^m = X_i + M_i \quad (6)$$

令  $a_{ij} = (x_{ij}^d + x_{ij}^m) / (X_j + M_j)$ , 且  $A = |a_{ij}|$ , 则式(6)可

以变换为:  $X + M = (I - A)^{-1} (F_C^D + F_L^D + F_E + F_C^M + F_L^M)$  (7)

其中  $A$  表示国内竞争型直接消耗系数(包括进口产品)。则式(7)两边同乘以  $S$  可得:

$$S(X + M) = S[(I - A)^{-1} (F_C^D + F_L^D + F_E + F_C^M + F_L^M)] \quad (8)$$

将式(8)与(5)相减可得:

$$SM = S[(I - A)^{-1} - (I - A^D)^{-1}] F_C^D + S[(I - A)^{-1} - (I - A^D)^{-1}] F_L^D$$

$$+ S[(I - A)^{-1} - (I - A^D)^{-1}] F_E + S(I - A)^{-1} F_C^M + S(I - A)^{-1} F_L^M \quad (9)$$

等式(9)右边前 3 项表示国内进口中间投入引起的碳排放,其中第 1 项表示进口产品用于中间投入并生产出来的产品用于国内消费而避免国内的碳排放;第 2 项表示进口产品用于中间投入并生产出来的产品用于国内资本形成而避免国内的碳排放;第 3 项表示进口产品用于中间投入并生产出来的产品又出口到国外地区而避免国内的碳排放;第 4 项表示进口产品直接用于最终消费而避免国内的碳排放  $E_C^M$ ; 第 5 项表示进口产品直接用于资本投资而避免国内的碳排放  $E_I^M$ 。需要说明的是,在计算我国进口用于中间投入且其最终产品用于我国最终消费而避免国内的碳排放  $E_{IC}^M$  时,第 3 项不包括在内。至此我们便将一个国家或地区由于最终消费、资本形成、出口以及进口等经济活动产生或避免的碳排放分解清晰了。

表 1 一个国家的进口非竞争型投入产出表结构

Tab.1 The non-competition Input-Output table for a country

		产出		中间使用		最终使用		出 口	进 口	总 产 出
		投入		部门	最终消费支出	资本形成总额				
中间投入	国产品	部门	$x_{ij}^d$	$F_{Ci}^d$	$F_{Li}^d$	$F_{Ei}$	0	0	$X_i$	
	进口品	部门	$x_{ij}^m$	$F_{Ci}^m$	$F_{Li}^m$	0	0	0	$M_i$	$\cdots, X_n$
	增加值		$V_1, \cdots, V_n$							
总投入			$X_1, \cdots, X_n$							

注:其中  $X_i$  表示  $i$  部门的总产出,  $F_{Ei}$  表示  $i$  部门的出口量,表示  $i$  部门国内产品中用于固定资产投资的数量;表示  $i$  部门国内产品中用于最终消费支出的量,表示  $i$  部门国内产品中用于  $j$  部门中间使用的量,  $M_i$  表示  $i$  部门的进口量,表示  $i$  部门进口产品中用于固定资产投资的数量,表示  $i$  部门进口产品中用于最终消费支出的量,表示  $i$  部门进口产品中用于  $j$  部门中间使用的量,  $V_i$  表示  $j$  部门的增加值。

2.2 排放敏感性分析

排放敏感性分析即某一部门经济活动水平变化一个百分点时引起区域碳排放总量的变化程度。根据上述定义我们定义一个区域部门的消费(C)、投资(I)、出口(EX)活动的排放敏感性系数分别为:

$$\varepsilon_{C_i}^E=(\partial E/\partial C_i)/(E/C_i) \tag{10}$$

$$\varepsilon_{I_i}^E=(\partial E/\partial I_i)/(E/I_i) \tag{11}$$

$$\varepsilon_{EX_i}^E=(\partial E/\partial EX_i)/(E/EX_i) \tag{12}$$

由于  $E=S(I-A^D)^{-1}(C+I+EX)$  (13)

得:  $\partial E/\partial C_i=S(I-A^D)^{-1}(\partial C/\partial C_i)$  (14)

定义  $\partial E/\partial C_i=F^i$ , 则矩阵  $F^i$  为:  $F_r^i=\begin{cases} 1, r=i \\ 0, r\neq i \end{cases}$  (15)

因为  $S(I-A^D)^{-1}=S^{TD}$ , 则  $\partial E/\partial C_i=S^{TD}F^i$  (16)

由于为一个选择矩阵, 即选择其他矩阵行数等  
于的元素。于是可得  $\partial E/\partial C_i=S_i^{TD}$  (17)

将(17)代入(10), 可得  $\varepsilon_{C_i}^E=S_i^{TD}C_i/E$  (18)

从公式(18)可以发现, 部门最终消费的排放敏  
感性即为其完全排放量占总排放量的比重。同理我  
们可得投资、出口的排放敏感性。

$$\varepsilon_{I_i}^E=S_i^{TD}I_i/E \tag{19}$$

$$\varepsilon_{EX_i}^E=S_i^{TD}EX_i/E \tag{20}$$

3 数据来源与处理

3.1 分品种能源热值和潜在碳排放系数

分品种能源热值采用我国能源统计年鉴中规  
定的分品种能源平均低位热值, 我国能源统计年鉴  
中没有规定的采用 IPCC2006 指南<sup>[17]</sup>中默认热值。  
而潜在碳排放系数则采用 IPCC2006 指南中潜在排  
放系数的默认值。能源燃烧的氧化率一般取 1, 但  
考虑到我国能源运输、利用方式与效率等问题, 根  
据有关学者研究成果<sup>[18]</sup>, 取氧化率在 0.98~0.995 之  
间(表 2)。

3.2 部门划分

由于本研究需要利用 2007 年我国能源统计数  
据以及投入产出表数据, 因此有必要将各种数据的  
产业部门进行统一。根据我国《国民经济行业分类  
与代码》(GB/T4754)的部门划分, 结合能源统计年鉴  
和投入产出表部门划分方法, 综合考虑, 将我国国  
民经济系统共划分为 22 个行业(表 3)。

3.3 分部门碳排放系数

由于投入产出模型已经包含了各部门的投入  
产出关系, 因此为了真实反映各部门的直接碳排放  
量, 我们只计算各部门消耗的含碳能源总量, 不包  
括电力热力等非含碳能源。能源消费数据采用中国  
能源统计年鉴分行业分品种能源消费数据, 根据  
IPCC2006 指南中的方法计算各产业能源消费导致  
的碳排放总量。然后利用 2007 年投入产出表中各  
部门总产出数据便可以得到 2007 年分部门的碳排  
放系数。

表 2 分品种能源热值、潜在排放系数及氧化率

Tab.2 Caloric values, potential emission factors and  
oxidation ratefor various energy sources

序号	能源品种	潜在排放 系数/TC/TJ	平均低位 热值/TJ	氧化率/%
1	原煤/万 t	25.800	20.908	0.980
2	洗精煤/万 t	25.800	26.344	0.980
3	其他洗煤/万 t	25.800	9.409	0.980
4	型煤/万 t	25.800	16.800	0.980
5	焦炭/万 t	29.200	28.435	0.980
6	焦炉煤气/亿 m <sup>3</sup>	12.100	173.500	0.995
7	其他煤气/亿 m <sup>3</sup>	12.100	182.700	0.995
8	其他焦化产品/万 t	29.200	28.200	0.980
9	原油/万 t	20.000	41.816	0.990
10	汽油/万 t	18.900	43.070	0.990
11	煤油/万 t	19.500	43.070	0.990
12	柴油/万 t	20.200	42.625	0.990
13	燃料油/万 t	21.100	41.816	0.990
14	液化石油气/万 t	17.200	50.179	0.995
15	炼厂干气/万 t	15.700	46.055	0.995
16	其他石油制品/万 t	20.000	40.190	0.990
17	天然气/亿 m <sup>3</sup>	15.300	389.310	0.995

注: 由于洗精煤、其他洗煤及型煤不区分煤的品种, 因此潜在碳排放  
系数均采用 IPCC 烟煤的数据。

表 3 研究部门划分

Tab.3 Research sectors

代码	部门	代码	部门
1	农业	12	化学工业
2	煤炭采选业	13	非金属矿物制品业
3	石油和天然气开采业	14	金属冶炼及压延加工 工业
4	金属采矿业	15	金属制品业
5	非金属矿开采业	16	机械、交通、电气、电 子设备制造
6	食品制造和烟草加工业	17	其他工业
7	纺织业	18	电力及蒸汽、热水生产 和供应业
8	服装皮革羽绒及其制 品业	19	建筑业
9	木材加工及家具制造业	20	交通运输、仓储和邮政业
10	造纸印刷及文教用品 制造业	21	批发、零售业和住宿、 餐饮业
11	石油加工、炼焦及燃料 加工业	22	其他部门

3.4 进口非竞争型投入产出表

由于我国目前还没有公布过 2007 年进口非竞争型投入产出表模型,因此我们借助相关研究手段在 2007 年投入产出表和进出口数据以及生产者价格还原系数的基础上进行了估算。然后根据本研究的部门划分,将编制好的非竞争型投入产出表进行合并,最终得到适合本研究的 2007 年进口非竞争型投入产出表模型。

4 结果分析

4.1 排放的对外联系

根据中国消费、投资、出口活动的完全排放量和进口避免的碳排放计算结果,可以得出中国产业能源消费碳排放的对外联系图谱(图 1)。从图 1 可以看出,2007 年我国最终消费、资本形成、出口三大经济活动引起的碳排放量分别占当年产业能源消费直接排放总量的 31.9%、38.3%、34.3%(其中有-4.5%的误差),基本各占 1/3。从消费角度看,2007 年我国消费(最终使用)引起的碳排放总量为 9.92 亿 t 碳,远低于生产排放 13.6 亿 t 碳,而且主要来自于国内投资和国内消费。2007 年我国因进口而避免的碳排放仅为 0.84 亿 t 碳,即我国 2007 年净出口 4.7 亿 t 碳,占当年产业能源消费直接排

放量的 29.1%。这与我国对外贸易的迅速增加和较大规模的贸易顺差以及不合理的出口结构具有很大关系,从改革开放初期的 1980 年到 2007 年,我国进出口额从 378 亿美元迅速增加到 21737 亿美元,同时我国对外贸易依存度也由 1980 年的 13% 上升到 2007 年的 66%。2007 年我国贸易总量占世界贸易总量的比例达 7.7%。因此,出口是引起我国碳排放的主要因素之一。

4.2 排放结构分析

根据上述研究方法,计算出了我国 2007 年分行业的直接碳排放量和完全碳排放量,以及消费、投资、出口活动分别所占比重(图 2)。

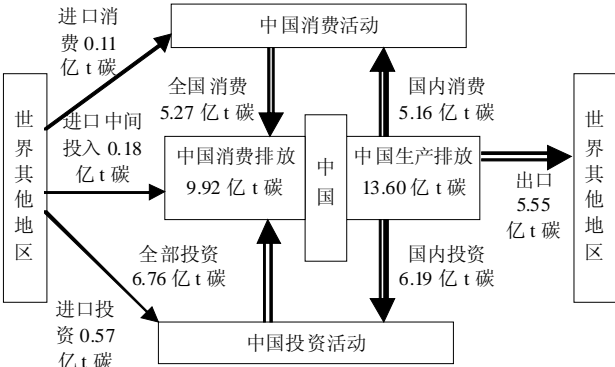


图 1 中国 2007 年产业能源消费碳排放的区域联系图谱  
Fig.1 The relationship of CO<sub>2</sub> emissions between China and the rest of the world

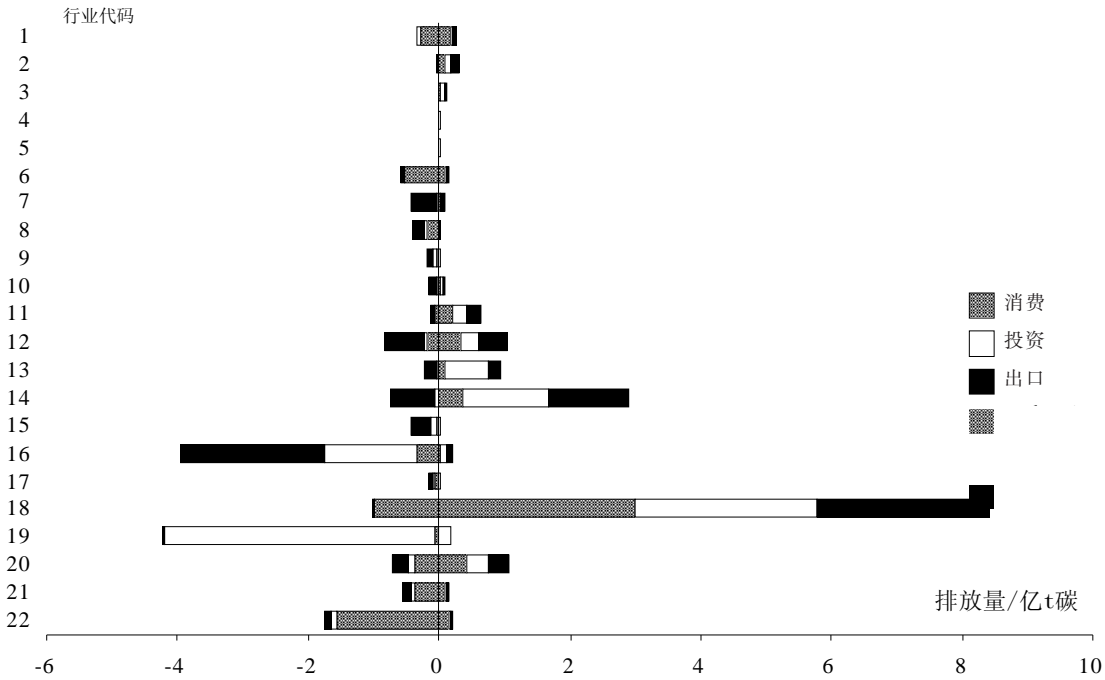


图 2 2007 年中国产业能源消费碳排放的结构分析(行业代码同表 3)  
Fig.2 The origins of CO<sub>2</sub> emissions induced by fossil fuel using industries in China in 2007



从直接排放来看,电力热力、金属冶炼两大行业是最大的直接排放部门,其直接排放量分别占当年碳排放总量的 48.5%和 17.1%。而在电力热力行业的直接排放中有 38.1%的部分是由于最终消费引起的,35.5%的部分由于资本形成引起的,33.7%的部分由于出口引起的(存在-7.3%的误差,因此合计不为 100%);而金属冶炼行业的直接碳排放则主要是由投资和出口活动引起的。除此之外,交通运输、化工、非金属制品、石油加工等行业也是主要的碳排放部门,除了非金属行业主要是由投资引起的以外,其他行业中消费、投资、出口基本各占 1/3。因此,从直接排放看,电力热力、金属冶炼、石油化工等能源原材料及交通运输业是主要的碳排放部门。

从完全排放来看,建筑业、机械交通电器设备制造以及其他部门(金融保险、房地产、文教体卫、科研机关、公共管理等其他服务业)是主要的完全排放部门,其完全排放量分别占当年排放总量的 26.5%、24.7%以及 11.0%。而且建筑业的完全排放主要是因为国内投资引起的,机械制造业的完全排放则主要是由于出口和国内投资活动引起的,而其他部门主要是由于国内消费引起的。随着我国经济发展水平和人们生活水平的提高,与基础设施、住宅、厂房等紧密相连的建筑业发展迅速,建筑业投资规模巨大,2007 年我国房屋建筑施工面积 48.2 亿 m<sup>3</sup>,是 2002 年的 2.2 倍;公路里程新增 13 万 km,是 2002 年的 1.86 倍,而建筑业是水泥石灰等非金属产品、钢铁铝材等金属材料以及塑钢等化工产品的最终使用大户,建筑业投资的增加必然间接引起这些行业碳排放的增加。机械运输设备制造业不仅在投资过程中需要消耗大量金属能源产品,而且在生产过程中也需要大量钢铁、化工等高耗能原材料作为中间投入,而我国又是机械产品的出口大国,2007 年机械运输设备的出口总额达 5770 亿美元,是 2002 年的 4.54 倍,机械制造业行业的出口占整个行业的 56%,最终导致机械制造业成为完全排放的主要行业。除建筑和机械行业之外,化工、纺织服装、金属、电力热力、交通运输仓储邮政、批发零售住宿餐饮等行业也是完全排放量较大的部门,且食品、电力热力与服务行业主要是由国内消费引起的,而化工、金属、服装等行业的完全排放量则主要是由出口活动引起的。2002 年我国加入 WTO 以后,伴随着出口规模整体的增加,金属化工等高能耗和高碳强度而低附加值的产品和行业出口也在

增加<sup>[19]</sup>,中国也成为世界上主要的钢材、焦炭、水泥、玻璃等产品的主要出口国之一,其中钢材在 2002 年以后一直是世界第一大出口国,2007 年中国钢材出口量达 6265 万 t,是 1997 年出口量的 13.5 倍,占中国当年钢材生产总量的 11.1%。因此,从完全排放角度来看,国内建筑业的投资,机械交通电子设备的出口与投资,国内对食品、电力热力以及服务业的消费,化工金属等高耗能产品的出口等经济活动是我国碳排放的主要根源。

4.3 排放敏感性分析

根据敏感性计算公式,利用 2007 年非竞争型投入产出表和分行业碳排放系数,可以得出我国分行业最终使用结构调整的排放敏感性系数(表 4)。从表中可以发现,建筑业的投资是排放敏感性最高的部门,在技术水平和能源消费结构不变的情况下,建筑业投资活动水平每变化一个百分点全国碳排放总量将变化 0.255 个百分点,据有关专家测算,我国现在每年新建的房屋面积占到世界总量的 50%,因此建筑业应该成为节能减排工作的重点内容之一;其次机械交通电气设备制造业的出口和投资也是排放敏感性较高的经济活动,在其他情况不变的情况下,机械设备制造业出口和投资活动水平

表 4 我国分行业最终使用结构调整的排放敏感性系数  
Tab.4 CO<sub>2</sub> emission elasticity caused by final uses by sectors

行业	代码	消费	投资	出口	总误差
农业	1	0.018	0.003	0.001	0.004
煤炭采选业	2	0.001	0.000	0.001	-0.001
石油和天然气开采业	3	0.000	0.000	0.001	0.000
金属采矿业	4	0.000	0.000	0.000	0.000
非金属矿采选业	5	0.000	0.000	0.001	0.000
食品制造和烟草加工业	6	<b>0.032</b>	0.002	0.004	0.003
纺织业	7	0.001	0.000	<b>0.025</b>	-0.002
服装皮革羽绒及其制品业	8	0.012	0.000	0.013	0.002
木材加工及家具制造业	9	0.001	0.004	0.007	-0.001
造纸印刷及文教用品制造业	10	0.001	0.000	0.008	-0.001
石油加工、炼焦及燃料加工业	11	0.005	0.000	0.003	-0.003
化学工业	12	0.011	0.002	<b>0.037</b>	-0.002
非金属矿物制品业	13	0.002	0.000	0.011	-0.004
金属冶炼及压延加工业	14	0.000	0.005	<b>0.040</b>	-0.014
金属制品业	15	0.002	0.006	0.019	-0.003
机械交通电气设备制造业	16	0.020	<b>0.088</b>	<b>0.136</b>	0.002
其他工业	17	0.004	0.002	0.003	0.001
电力及热力生产和供应业	18	<b>0.061</b>	0.000	0.002	-0.032
建筑业	19	0.004	<b>0.255</b>	0.002	0.003
交通运输、仓储和邮政业	20	<b>0.023</b>	0.005	0.015	0.001
批发零售和住宿餐饮业	21	<b>0.023</b>	0.003	0.008	0.001
其他部门	22	<b>0.096</b>	0.006	0.007	0.001

注:位于前十位的敏感性系数加黑以突出显示。

每变化一个百分点,碳排放量总量将分别变化 0.136 和 0.088 个百分点;另外服务业、电力热力、食品等产业的最终消费以及金属、化工、纺织等产业的出口也是排放敏感性相对较高的经济活动。

## 5 结论

本文在 2007 年非竞争型投入产出表的基础上,区分了我国产业能源消费碳排放根源以及由贸易产生的碳排放转移问题,并进一步对我国经济结构调整的排放敏感性进行了研究。结论认为:

(1) 出口是中国碳排放总量迅速增加的主要推动力之一。2007 年中国对外贸易导致的净出口碳占中国碳排放总量的 29.1%。中国基础性原材料出口的增加以及机械设备、家电、服装等商品的大规模出口对基础原材料的大量间接需求,最终导致中国在对外贸易中流失了大量 CO<sub>2</sub>。

(2) 建筑业和机械设备制造业是中国碳排放最主要的根源,也是排放敏感性最高的 2 个部门。2007 年这两个行业引起的碳排放占当年全部排放量的 51.2%。其中建筑业排放主要由投资引起,而机械设备制造业则主要由出口和投资引起的。

(3) 中国国内对服务业和电力热力的最终消费也是碳排放的主要根源之一。2007 年服务业和电力热力两个行业的完全排放量占当年总排放量的 22.1%,其中主要是由于居民消费引起的。

因此,在不影响经济发展水平的情况下,通过以下途径可以有效减缓我国碳排放的增长:①通过提高建筑物的质量、延长建筑物的使用寿命、减少建筑业的浪费可以有效避免碳排放的增长。大力发展小户型住宅,抑制大规模基础设施特别是高速公路的盲目建设,提高城市的紧凑型对我国的节能减排具有重要意义;②积极调整产业结构,提高机械运输电气设备制造业的技术水平,对金属、化工等高耗能原材料实施进口替代战略,发展高附加值产业同样可以显著减少我国碳排放增长;③对金属、化工、纺织、非金属等高耗能产品的出口进行严格限制也是减缓我国碳排放增加的有效途径之一;第四,提倡全民减排、建立节约型社会,特别是做好服务业节能工作,也应该成为我国节能减排工作的主要内容之一。

总之,中国节能减排工作应加强 2 个方面的工

作,①调整产业结构,促进产业升级,优化出口结构,加快产能转移,抑制基础原材料工业产品的出口规模并逐步实施进口替代,提高出口层次和出口产品附加值;②重视提倡全民减排,积极建立节约型社会,特别是减少建筑业的浪费和服务业能耗。

## 参考文献

- [1] 秦大河. 气候变化科学的最新进展. 科技导报, 2008(7): 1.
- [2] Petit J R, Jouzel J, Raynaud D. Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 1999, 399(3): 429-436.
- [3] IPCC 2007. IPCC Fourth Assessment Report /Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007.
- [4] 郎一环, 王礼茂, 王冬梅. 能源合理利用与 CO<sub>2</sub> 减排的国际经验及其对我国的启示. 地理科学进展, 2004, 23(4): 28-34.
- [5] Wyckoff A W, Roop J M. The embodiment of carbon in imports of manufactured products. *Energy Policy*, 1994, 22(3): 187-194.
- [6] Schaeffer R, Leal de Sa' A. The embodiment of carbon associated with Brazilian imports and exports. *Energy Conversion and Management*, 1996, 37(6-8): 955-960.
- [7] Kondo Y, Moriguchi Y, Shimizu H. CO<sub>2</sub> emissions in Japan: Influences of imports and exports. *Applied Energy*, 1998, 59(23): 163-174.
- [8] Leontief W. *Input-Output Economics*. Oxford: Oxford University Press, 1996.
- [9] Hetherington R. An input-output analysis of Carbon Dioxide emissions for the UK. *Energy Conversion and Management*, 1996, 37(6-8): 979-984.
- [10] Munksgaard J, Pedersen K A. CO<sub>2</sub> accounts for open economies: Producer or consumer responsibility? *Energy Policy*, 2001, 29: 327-334.
- [11] Rhee H C, Chung H S. Change in CO<sub>2</sub> emission and its transmissions between Korea and Japan using international input-output analysis. *Ecological Economics*, 2006, 58(4): 788-800.
- [12] Tunç Gİ, Türüt-Aşık S, Akbostanci E. CO<sub>2</sub> emissions vs. CO<sub>2</sub> responsibility: An input-output approach for the Turkish economy. *Energy Policy*, 2007, 35(2): 855-868.
- [13] 张晓平. 中国对外贸易产生的 CO<sub>2</sub> 排放区位转移分析. 地理学报, 2009, 64(2): 234-242.
- [14] Lawrence J L, 陈锡康, 杨翠红, 等. 非竞争型投入占用产出模型及其应用: 中美贸易顺差透视. 中国社会科学, 2007(5): 91-103.
- [15] Hummels D, Ishii J, Yi K M. The nature and growth of

vertical specialization in world trade. *Journal of International Economics*, 2001, 54(1): 75–96.

[16] 齐舒畅, 王飞, 张亚雄. 我国非竞争型投入产出表编制及其应用分析. *统计研究*, 2008, 25(5): 79–83.

[17] IPCC/OECD. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories//Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, et al. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. Japan, IGES. 2006.

[18] Fan Y, Liang Q M, Okada N. A model for China’s energy requirements and CO<sub>2</sub> emissions analysis. *Environmental Modelling & Software*, 2007, 22(3): 378–393.

[19] Liu W D, Clifton W P, Liu H G. The Global Economic Crisis and China’s Foreign Trade. *Eurasian Geography and Economics*, 2009, 50(5): 497–512.

# The Origin Source and Its Elasticity Analysis of the CO<sub>2</sub> Emission Induced by Fossil Fuel Using Industrial Activities in China

LIU Hongguang<sup>1,2</sup>, LIU Weidong<sup>1</sup>, TANG Zhipeng<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The study on relationship between trade and CO<sub>2</sub> emission will make the origin sources of CO<sub>2</sub> emission more distinct and will be helpful to policy making of CO<sub>2</sub> emissions reduction and replying the global climate change problem. By mean of the framework of non-competitive input-output models, this article sets up a relationship model for CO<sub>2</sub> emissions of anthrop industrial activities between two regions by the way of decomposing the economy activities into exporting, importing, consumption and investment combined with a sensitivity analysis. Then the authors calculate the CO<sub>2</sub> emissions induced by consumption, investment, export and import in 2007 in China respectively. A sensitivity analysis is also carried out. The conclusion is that the augment of export and the improper of export structure is the main reason for the rapid increase of CO<sub>2</sub> emission gross in China. Especially, in the year of 2007, the CO<sub>2</sub> emission induced by net export accounting for 29.1% of Chinese gross CO<sub>2</sub> emissions. And the huge investment in domestic building, a great deal export and investment in mahinery, transport and electronics equipment, the domestic consumption of service, electric and heat power, eating, the large amount export of metal and chemical products are the main origin sources and highest emission elasticity economic activities in the perspective of complete consumption.

So it is an efficient way as well as a key task to change the export structure, expedite the international transfer of high energy-using industries, and promote the industrial technology and add-value of export products. At the same time, advocating civil emission reduction, and making great effort to build a conservation-minded society, especially cutting down the waste from building industries and service energy uses are also important measures for the energy saving and emission reduction in China.

**Key words:** CO<sub>2</sub> emission; industrial structures; non-competition input-output table

本文引用格式:  
刘红光,刘卫东,唐志鹏. 中国产业能源消费碳排放结构及其减排敏感性分析. *地理科学进展*, 2010, 29(6): 670–676.