

中国工业燃烧能源导致碳排放的因素分解

刘红光, 刘卫东

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要:在碳排放的分解方面,方法日渐成熟,包括 Laspeyres 指数法、简单平均分解法(SAD)、自适应权重分解法(AWD)等。许多学者也做过大量实证研究,但基本都用到碳排放强度或者能源消费强度这一因子并且认为其占有绝对地位,缺乏进一步的分解。本文通过对碳排放计算公式的深入分解,将工业燃烧能源导致的碳排放量分解为 6 个因素,即能源消费总量、能源消费结构、技术因素、中间投入量、产业结构以及工业总量。并借助 LMDI 分解方法,分析了我国 1992~2005 年工业燃烧能源导致碳排放的影响因素。结果显示我国经济总量的增长、能源利用效率低以及以煤为主的能源消费结构是导致我国碳排放大量增加的主要原因。而技术(中间投入比重)、行业产值结构、能源结构等因素的变化对碳减排的作用并不明显。因此,加快技术进步、调整产业结构和能源结构、发展清洁能源发电,以提高能源利用效率、转变能源消费结构,可以有效减少工业碳排放量。

关 键 词:碳排放;能源;因素分解;中国

1 引言

近一个世纪,特别是近二三十年以来,地球气候系统正经历着一次以变暖为主要特征的显著变化^[1]。全球气候变化已经引起世界各国政府、社会和学术界的广泛关注。IPCC 第四次报告得出结论,认为人类活动引起的大规模能源消费导致的大气中 CO₂ 含量迅速升高很可能是全球气候变化最主要的原因,这种可能性在 90%以上(IPCC, Fourth Assessment Report 2007)。人类活动通过化石燃料的燃烧以及将森林、草原转换成农业或其他低生物量的生态系统,将岩石、有机体以及土壤中的有机碳以 CO₂ 的形式释放到大气中,从而增加大气中 CO₂ 的含量^[2]。20 世纪 80~90 年代,南极 Vostok 站小组人员通过测量南极地下冰芯中气泡 CO₂ 含量的方法测算了距今 42 万年以来 4 个冰期-间冰期大气中的 CO₂ 含量,发现其一直在 170~300ppm 波动,而且这种波动与南极地区冰期-间冰期的气候温度波动十分吻合^[3]。同时,一组澳大利亚和法国的研究者在南极大陆的 Law dome 实验站进行了冰芯试验,测出了近 1000 年空气中 CO₂ 的含量,显示从 1750 年左右开始 CO₂ 浓度便直线上升,而这个时

候也是人类进入工业化的开始。另据位于美国夏威夷岛的 Mauna Loa 天文台的测量数据,从 1958 年起到现在,大气中的 CO₂ 含量呈现持续上升趋势。

我国作为发展中国家,虽然没有承担《联合国气候变化框架公约》中要求的减排义务。但是随着我国经济的高速发展和人口增加,能源开发和利用必将大幅度增长,碳的排放量也必将增加。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,加强我国温室气体的排放控制是必须的^[4]。据有关测算,我国 1992、1996 年因化石燃料燃烧产生的 CO₂ 排放量分别为 6.55 亿 t 和 8.05 亿 t,仅次于美国,位居世界第二^[5,6]。根据 1994 年气候变化初始国家信息通报,我国工业活动引起的直接 CO₂ 排放占总排放量的 90%以上^[7]。而工业活动引起的直接 CO₂ 排放量的 90%来源于工业燃烧的能源。因此,研究工业燃烧能源导致的碳排放问题对于减排政策的制定具有重要的意义。

2 研究综述

随着全球环境问题的日益突出,全球生态系统碳循环研究成为 20 世纪 90 年代兴起的跨学科、综

收稿日期:2008-09;修订日期:2008-12.

基金项目:国家科技攻关计划(2007BAC03A1104)。

作者简介:刘红光(1982-),男,博士研究生。研究方向为区域经济与区域可持续发展。E-mail: liuhg.07b@igsnrr.ac.cn

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net
285~292 页

合性的、规模较大的国际合作研究的热点^[8]。碳排放问题是其中重要的研究分支。对于碳排放的研究主要集中在碳排放与气候变化、排放量的计算、排放因素的分解、排放预测等方面。

碳排放或者能源消费的因素分解研究自 20 世纪 80 年代以来一直是国际能源问题研究的热点问题。而指标分解分析(Index decomposition analysis)也是国际上能源与环境问题的政策制定中被广泛接受的一种方法^[9]。指标分解分析方法其实质就是将碳排放的计算公式表示为几个因素指标的乘积,并根据不同的确定权重的方法进行分解,以确定各个指标的增量份额。我们可以将不同的分解方法主要分为 Laspeyres 指数法、简单平均分解法、自适应权重分解法 3 类。

2.1 Laspeyres 指数法

Laspeyres 指数是 1864 年由德国的 E. Laspeyres 提出来的,它是以基期的数量指标作为权重的加权综合指数,同度量因素固定在基期。在具体应用中,如果需要考察某一个变量因素的贡献时,只需保持其他变量不变。Laspeyres 指数法在 20 世纪 80-90 年代比较盛行,比较著名也是被相关学者引用最多的是 Park 的文章,他对这种方法进行了很好的总结^[10]。同时许多学者也运用了这种方法对美国以及其他一些 OECD 国家的能源消费进行了研究^[11-16]。后来发展中国家也有学者应用 Laspeyres 指数法对能源问题进行研究^[17]。

2.2 简单平均分解法 (Sample average division , SAD)

这种方法一般采用始年和末年相应参数的某种平均值作为因子权重,根据计算平均值方法的不同,可以分为很多种。Boyd 等提出的分解方法采用始年和末年能源消费量的平均值作为权重,并采用

对数方法计算相应因素的增量^[18]。这种方法应用的最为广泛,虽然当数据中有零存在时会出现计算问题;Ang B W 和 Lee S Y 提出的分解方法采用 2 个年份相应参数的简单算术平均值作为因子权重^[19]。这种方法不会产生很大的余值,且即使数据中包含零也不会出现计算问题,但是这种方法应用的却很少。后来 Ang 等人比较了之前的几种分解方法,在此基础上提出了对数平均权重分解法(logarithmic mean weight division index method, LMDI)^[20],采用一个对数平均公式,替换了之前的简单算术平均权重计算方法。这一方法的优点是可不产生余值,且允许数据中包含零。Ang 等应用该方法对包括中国在内的 3 个国家进行了实证分析;韩国学者 Hyun-Sik Chung 和 Hae-Chun Rhee 提出了平均增长率指数法(mean rate-of-change index (MRCI)),引入所有系数的平均增长率的平均值作为权重因子的重要组成部分,允许存在一个自由的余值,且重要的是允许数据出现负值。作者认为这种方法比 Ang 等人提出的方法更加科学合理^[21]。如果我们将能源消费总量视为总产值、行业产值结构和能源消费强度三个因子的乘积,即,能源消费增量为,根据 Laspeyres 指数法和以上 4 种 SAD 方法的不同思想,我们可以将总产值、行业产值结构和能源消费强度引起的能源消费增量分别表示为表 1 的形式,其中 SAD1 是 Boyd 提出的方法,SAD2 是 Ang 等提出的方法。

以上 4 种平均分解法当中,以 Boyd 提出的方法^[18]应用较多。当 Ang 等提出 LMDI 方法^[19,20]以后,LMDI 方法成为应用最为广泛的方法。比如,Greening et al. 以及 Greening 利用 LMDI 方法,分别分析了 OECD10 个国家的制造业、运输业、居住和私人交通等部门的碳排放强度分解^[22-25];Bhattacharyya 等分析泰国 1981-2000 年间能源消费的

表 1 碳排放增量的不同分解方法的表达式
Tab.1 Comparision of five different decomposition methods for CO₂ emission

方法	产值变量/ ΔE_{pdr}	结构变量/ ΔE_{str}	强度变量/ ΔE_{int}
Laspeyres	$\sum_i Y_T S_{i0} I_{i0} - E_0$	$\sum_i Y_0 S_{iT} I_{i0} - E_0$	$\sum_i Y_0 S_{iT} I_{iT} - E_0$
SAD1	$0.5 \sum_i (E_{iT} + E_{i0}) \ln(Y_T/Y_0)$	$0.5 \sum_i (E_{iT} + E_{i0}) \ln(S_{iT}/S_{i0})$	$0.5 \sum_i (E_{iT} + E_{i0}) \ln(I_{iT}/I_{i0})$
SAD2	$0.5 \sum_i (I_0 + I_T)(Y_T - Y_0)$	$0.5 \sum_i (I_{i0} Y_0 + I_{iT} Y_T)(S_{iT} - S_{i0})$	$0.5 \sum_i (S_{i0} Y_0 + S_{iT} Y_T)(I_{iT} - I_{i0})$
LMDI	$\sum_i L(E_{iT}, E_{i0}) \ln(Y_T/Y_0)$	$\sum_i L(E_{iT}, E_{i0}) \ln(S_{iT}/S_{i0})$	$\sum_i L(E_{iT}, E_{i0}) \ln(I_{iT}/I_{i0})$
MRCI	$\sum_j M_{ij}(*) (1/\bar{y})(y_i - y_0)$	$\sum_j M_{ij}(*) (1/\bar{S})(S_{iT} - S_{i0})$	$\sum_j M_{ij}(*) (1/\bar{I})(I_{iT} - I_{i0})$

因素^[26];吴立波分析我国 1980–2002 年间能源消费导致碳排放的驱动因素^[27];王灿分析了我国 1957–2000 年间的碳排放的变化因素,认为从 1957 年到 2000 年碳排放理论上减少了约 24.66 亿 t,其中的 95% 归功于碳排放强度的降低^[28]。魏一明等对 1998–2005 年我国工业最终消费能源导致的 CO₂ 排放量变化因子分析,同样认为对碳排放减少贡献最大的是能源强度,而碳排放系数以及能源结构和产业结构转变贡献很小^[29]。徐国泉等认为能源效率对抑制我国碳排放的作用正在减弱^[30]。

2.3 自适应权重分解法(Adaptive-Weighting Division-AWD)

AWD 分解方法是由新加坡学者 Liu 和 Ang 等在 1992 年首先提出来的^[31]。它是一个先求微分再求积分的过程,并假设各参数为单调函数并最终求解各单项积分作为碳排放各因子变化率的权重。由于它利用了一个时间段内的函数微分,而非简单的求平均值,因此这一方法得出的结果相比于其他的方法余值最小,最接近于现实^[32]。但是由于这种方法计算过程相当复杂,在实际应用中并不如 LMDI 方法广泛。法国学者 Lee Schipper 采用 AWD (Adaptive-Weighting-Division)方法对 13 个 IEA 国家的 CO₂ 排放趋势进行了因素分解,认为对于大多数国家来讲,能源强度和能源消费结构可以解释大部分的碳排放强度变化,而产出结构和排放系数的贡献作用不大^[33]。魏一明等采用 AWD 方法对我国 1980–2003 年间的能源消费引起的碳排放强度和原材料部门的最终能源消费引起的碳排放强度进行了实证分析,结果认为我国碳排放强度下降的原因很大一部分来自于实际能源强度的下降(考虑到价格因素),同时能源消费结构的改变也可以对碳排放强度产生很大的影响,且第二产业是国家和区域政策应该关注的重点^[34]。

另外,投入产出表在深入分析一个国家或地区的碳排放因素时具有很重要的作用。许多学者利用投入产出表对碳排放的驱动因素进行了研究^[21,35–38]。他们一般将碳排放分解为产业部门的排放系数、投入产出系数、最终消费比例以及总产值等因子的乘积,然后计算技术因子(投入产出系数)和消费对碳排放的影响。

总之,目前对碳排放分解的研究日趋成熟,研究方法日趋合理,对于碳减排政策的制定起到了重要作用。但是上述研究中都用到了碳排放强度或者

能源消费强度这一因子,在众多研究中都得出一致结论,认为这一因子在碳减排或者抵消能源消费增长中起到了绝对重要的作用,而这一因子又是什么因素驱动的却未见研究。因此本文在前人研究的基础上,结合碳排放量计算方法和投入产出表,将碳排放分解为多个因子的复杂公式,并采用目前最为常用的 LMDI 分解方法对其进行分解,以求更加深入地探讨碳排放的驱动因素。

3 研究方法

3.1 计算方法

根据 IPCC 手册(2006)提出的碳排放计算的详细步骤,结合投入产出表,将一个国家或地区的碳排放计算公式推导表示为:

$$E_A = \sum_j x_j * y_j * P_A; x_j = E_j / g_j$$

式中: E_A 为 A 年碳排放总量; E_j 为 j 行业碳排放量; x_j 为 j 行业单位生产总值碳排放量; g_j 为 j 行业生产总值 $E_j = Q_A * e_j$ 。

根据投入产出表,可得:

$$g_j = m_j / (1 - \sum k a_{kj}) = m_j / n_j$$

综上可得:

$$E_A = \sum Q_A * e_j * n_j * (1/m_j) * y_j * P_A \quad (1)$$

式中: E_A 为 A 年碳排放总量; Q_A 为当年能源消费总量(热值); e_j 相当于 j 行业的碳排放系数,且 $e_j =$

$\sum_i f_i * c_{ji}$ 。 f_i 为 i 种类能源的排放系数(包含氧化率), c_{ji} 为 j 行业消耗 i 种类能源热值占当年消耗能源总热值的比重。因此, e_j 反应能源消费结构;

n_j 表示 j 行业中间投入量比重,即 $n_j = \sum_k a_{kj} \circ a_{kj}$ 为 j 行业对 k 行业的直接消耗系数; m_j 表示 j 行业中间投入量合计; y_j 为 j 行业总产出占工业总产出的比重,及产业产值结构; P_A 为当年工业总产出。

则根据 LMDI 方法,碳排放增量可记为:

$$\Delta E_{tot} = E_T - E_0 = \Delta E_q + \Delta E_e + \Delta E_n + \Delta E_m + \Delta E_y + \Delta E_p$$

$$+\sum_j L(E_{j,T}, E_{j,0})\ln(n_{j,T}, n_{j,0})+\sum_j L(E_{j,T}, E_{j,0})\ln(m_{j,0}/m_{j,T})$$
$$+\sum_j L(E_{j,T}, E_{j,0})\ln(y_{j,T}/y_{j,0})+\sum_j L(E_{j,T}, E_{j,0})\ln(P_T/P_0) \quad (2)$$
$$L(E_{j,T}, E_{j,0})=(E_{j,T}-E_{j,0})/\ln(E_{j,T}/E_{j,0}) \quad (3)$$

式中： ΔE_q 表示能源消费总量引起的增量； ΔE_e 表示能源消费结构引起的增量； ΔE_n 表示技术因素（直接消耗系数）引起的增量； ΔE_m 表示中间投入（实际包括投入总量和投入结构的变化）引起的增量； ΔE_y 表示行业产值结构引起的增量； ΔE_p 表示生产总量引起的增量； $\Delta E_{j,T}$ 表示 j 行业 T 时期碳排放总量； $\Delta E_{j,0}$ 表示 j 行业 0 时期碳排放总量。

3.2 数据来源

由于数据涉及到能源消费和投入产出两个方面，本文选取 1992–1997 年、1997–2002 年、2002–2005 年 3 个时间段的历史数据进行计算。原始数据主要来源于中国能源统计年鉴（1992，1997，2003，2006）、中国投入产出表（1992，1997，2002，2005 延长表）以及相应年份中国统计年鉴。

数据处理方面，需要说明以下几点：

(1)能源消费数据采用分行业终端能源消费量（实物量），其中电力、热力的生产和供应业采用分品种能源消费总量（实物量）。这样不仅能够反映工业燃烧能源排放碳的实际总量，而且能够更直接反映工业行业直接碳排放量。

(2)为统一数据来源，增加可比性，行业总产出采用投入产出表中总产出一栏的数据，且考虑价格因素，根据中国统计年鉴 1998 年、2003 年分行业工

业品出厂价格指数，以及 2006 年按工业行业分工业品出厂价格指数，以 1992 年价格水平为 100，统一价格指数。

(4)为了统一，对工业行业划分进行了适当的调整，将工业划分为 19 个行业。对 1992 年的投入产出表进行了部分调整。例如将煤气及煤制品业从炼焦、煤气及煤制品业分离出来并与燃气生产和供应业对应，炼焦业与石油加工业合并为石油加工、炼焦及核燃料加工业；将自来水生产与供应业从食品制造业分离出来单列。

4 结果与分析

4.1 计算结果

根据上述计算方法，将原始数据进行整理，可得到 1992、1997、2002、2005 年 4 个年份的碳排放总量（表 2）以及相应 3 个历史时段我国工业燃烧能源导致碳排放增量的因素分解模型（表 3）。

如果我们将正负因素分开，并各自计算百分比，可得：

表 2 1992、1997、2002、2005 年份我国工业燃烧能源导致的碳排放总量（单位：10⁴t 碳）

Tab.2 The gross emission of energy-induced carbon by manufacture of China in 1992, 1997, 2002 and 2005 (unit/10⁴ ton C)

年份	1992	1997	2002	2005
碳排放总量	49353.75	67828.18	70639.01	113228.26

表 3 1992–2005 年间中国工业燃烧能源导致碳排放增量的因素分解（单位：10⁴t 碳）

Tab.3 Decomposition of energy-induced carbon emission increment in manufacture of China between 1992–2005 (unit/10⁴ ton C)

因素	ΔE_q	ΔE_e	ΔE_n	ΔE_m	ΔE_y	ΔE_p	合计
1992-1997 年	19778.27	-1303.84	3062.06	-26066.85	-12165.11	35169.91	18474.43
1997-2002 年	2722.43	88.41	-4650.70	-29188.52	2762.33	31076.89	2810.84
2002-2005 年	41360.50	1228.74	15067.68	-72414.37	3265.87	54080.83	42589.24

表 4 1992–2005 年间中国工业燃烧能源导致碳排放增量的因素分解（%）

Tab.4 Decomposition of energy-induced carbon emission increment in manufacture of China between 1992–2005(%)

因素	能源消费总量	能源结构	技术因素	中间投入	产值结构	生产总量
1992-1997 年	34.09	-3.30	5.28	-65.93	-30.77	60.63
1997-2002 年	7.43	0.24	-13.74	-86.26	7.54	84.79
2002-2005 年	35.96	1.67	13.10	-100.06	2.84	47.03

4.2 结果分析

(1)经济增长周期的波动和工业生产总量的增加是碳排放迅速增加的主要原因。

1992-2005 年间我国工业燃烧能源导致的碳排放增量增加迅速,尤以2002-2005 年为重。1992 年,我国工业燃烧能源共排放4.94 亿 t 碳。在1992-2005 年之间增加了6.39 亿 t 碳,2005 年达到11.32 亿 t 碳。分时段来看,2002-2005 年间增加最多,仅用3 年的时间增量便占13 年碳排放总增量的2/3。其次是1992-1997 年间,增量最少的是1997-2002 年,这与当时东南亚金融危机,我国经济增长速度放缓等因素有很大关系。

从图1 中可以看出,我国碳排放增量与我国经济周期以及工业所占 GDP 比重具有一定的一致性。改革开放以来,我国经济主要经历了3 次高速增长时期,第一次是20 世纪80 年代初期,以满足我国广大人民物质生活为主的轻纺工业的快速增长带动了我国经济的第一次高速增长;第二次是90 年代初期,快速城市化带来的基础设施大规模建设和人民生活水平的提高带来的家电行业(彩电、洗衣机、冰箱等)快速发展;第三次是2001 年之后,通讯、汽车、住宅等新兴产业高速增长以及区域基础设施大规模建设,并带动了钢铁、机械、建材、化工等基础行业的高速发展。与经济周期相适应,我国GDP 以及工业增加值在1992-1997 年、1997-2002 年、2002-2005 年3 个历史时期的平均增长速率均经历了先减小后增大的过程,同时历年工业增加值占全部 GDP 的比重也经历了1992-1997 年的上升期之后进入了1997-2002 年下滑期,而后从2002 年开始上升并在2005 年再次达到峰值。因此,我国经济总量的增加或者说工业总产量的增加是碳排放增加的主要因素。由表3 可以看出,3 个历史时期因工业总产量增加带来的碳增量均在3 亿 t 以上,其中2002-2005 年间增量达5.4 亿 t。

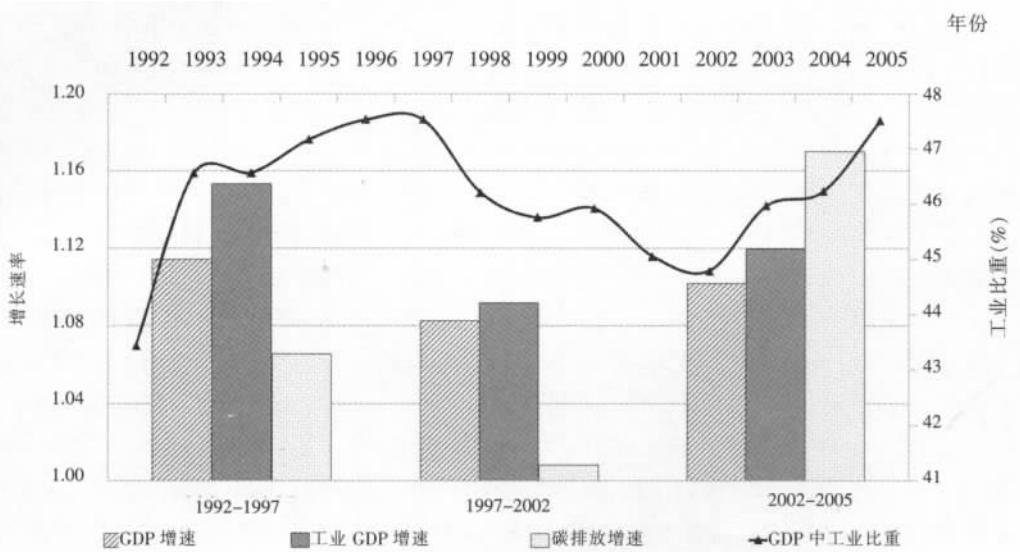


图1 中国碳排放增速与经济增长速度比较图

Fig.1 Comparison between carbon emission increment and economic development in China

(2)能源利用效率增加不明显是碳排放增加的直接因素。如果随着生产总量的增加,能源消耗总量也同步增加,则说明单位产值的能耗下降不明显。虽然我国单位 GDP 的可比能耗由1992 年的4.05 t 标煤/万元 GDP 下降到2005 年的2.44 t 标煤/万元 GDP,但是能源消耗总量的增加依然是碳排放增加的直接原因,这反映了我国以煤为主要能源的基本国情,同时也反映了我国能源利用效率的低下。从表3、表4 可以看出,在1997-2002 年间,能源消费总量导致的碳排放量所占比重远远小于其他两个时段。这一时期我国工业生产总产值增加了77%,而能源消费总量(热值)仅增加了4%。这主要是因为我国政府这一时期加强了节能减排的工作力度。包括关停能耗高、污染大、效率低的“十五小”的法规以及《节能法》的颁布实施,对于当时的区域间低水平重复建设和盲目投资起到了抑制作用,而清洁能源利用技术的发展对于碳排放增速降低起到了重要推动作用。虽然受到了东南亚金融危机的影响,我国通过采取一系列宏观政策既保证了8%左右的平均经济增长率,同时也提高了能源利用效率,可比价格 GDP 每万元能耗从1997 年的2.98t 标准煤下降到2002 年的2.2t 标准煤。

值得注意的是在2002-2005 年之间,能源消耗总量的增加导致的碳增量达4.14 亿 t,其与生产增加导致的碳增量之比为0.77,均远远高于其他两个时段,这说明在这期间我国能源利用效率很差。按可比价格计算,我国每万元 GDP 平均能耗在

2002–2005 年间不降反升,从 2.2t 标准煤上升到 2.4,也说明了这一问题。这种现象一方面与我国的经济增长速度有关,2003–2005 年三年的 GDP 增长速度均在 10%以上。另一方面也与我国高耗能产业的快速发展对能源需求的井喷式增长以及能源质量下降有关。进入 21 世纪,随着国际经济形势的转好以及 2001 年末我国加入 WTO,我国经济快速增长。汽车、通讯、住宅等产业的高速发展增加了对钢铁、水泥等原材料的需求。对这些基础性产业的过热投资增加了对能源的需求。再加上当时全球经济的复苏以及全球能源危机的出现,电荒、煤荒困扰全国,煤炭行业的平均利润远远高于其他行业,私人煤矿和小煤窑的大量崛起。虽然满足了能源的需求,但同时也导致了能源(主要是煤炭、焦炭)质量的下降。以上种种原因导致我国能源使用效率不升反降,也加速了这一时期碳排放的大量增加。

(3) 能源结构总体没有得到很大的改善是碳排放迅速增加的根本原因。由于各种能源的碳排放系数相差很大,能源结构的彻底改变可以从根本上改变一个国家或地区的碳排放总量。从表 3、表 4 可以看出,能源结构并没有对我国碳减排起到很大的正面作用。只有在 1992–1997 年间能源结构的改善对我国碳减排起到了 3.3%的正面作用,这是因为从 1993 年起我国开始成为石油产品净进口国。煤炭在一次能源消费结构中的比重从 1992 年的 75.7%下降到 1997 年 71.7%,相应地,石油的比重从 17.5%上升至 20.4%。另外,1991 年秦山核电站 I 期和 1993 年大亚湾核电站的建成运行,使核能首次出现在中国的一次能源结构中。这些因素都使得 1992–1997 年间能源结构的改善抑制了部分碳排放总量。而进入 2002 年以后,煤炭比重的重新回升以及石油比重的下降也是 2002–2005 年间碳排放增加的主要原因之一。发展清洁能源,优化能源结构是我国未来关于碳减排的一个重要政策取向。

(4) 技术因素和行业产值结构的变化并没有很大程度地抑制碳排放的增加。

一般来说,随着技术的进步,投入产出的水平和效率会提高,中间投入在总产出中所占的比重会下降。从表 3、表 4 可以看出,由中间投入所代表的技术因素对于我国的碳减排并没有起到很好的作用。仅在 1997–2002 年之间产生了 13.74%的减排作用,这是由于中间投入占总产出比重由 1997 年的 62.12%下降到 2002 年的 61.12%,而 2005 年中

间投入占总产出的比重上升到 65.9%也是导致这一时期碳排放大幅增加的主要原因之一。由于我国正处于发展阶段,经济的增长大部分是依靠对基础设施、房地产等基础部门的投资和原材料工业的出口来拉动的,再加上技术效应的滞后性等因素,技术因素对我国碳减排的作用目前并不明显,依然存在很大潜力。产业结构的变化对碳减排的作用同样不十分明显。只是在 1992–1997 年间起到了一定的减排作用,这与我国当时以满足人民物质生活为主的轻纺、服装、家电等相对低能耗轻工业产业的迅速发展有关。1992 年我国轻工业占整个工业的比重为 44%,而后这个比重逐渐下降,到 2005 年下降为 32.44%。这与我国依靠基础部门投资拉动经济增长有一定关系,同时也说明了我国工业化中期重工业化的阶段特征。因此,通过调整产业结构,发展低能耗产业是减少碳排放的有效途径之一。

(5) 中间投入量的变化对碳减排产生了明显的抑制作用。它可能表现在中间投入结构和投入总量的变化两个方面,由于公式本身和数据的限制,在这里无法区分。但我们可以认为我国工业不同部门之间的投入结构的变化抵消了很大一部分由生产总量增加引起的碳排放增加。

(6) 另外分行业来看,电力热力、金属冶炼、化工、采掘等基础部门是引起碳排放增加的主要部门,特别是电力行业为最主要的来源。因此通过发展清洁能源发电、节约用电等措施可以对减少碳排放起到很好的作用。

5 结论

总之,在碳排放分解方面许多学者做了大量研究,但基本都用到碳排放强度或者能源消费强度这一因子并且认为其占有绝对地位,缺乏进一步的分解。本文通过对碳排放计算公式的深入分解,将工业燃烧能源导致的碳排放量分解为 6 个因素,即能源消费总量、能源消费结构、技术因素、中间投入量、行业产值结构以及工业总量。并借助 LMDI 分解方法,分析了我国 1992–2005 年工业燃烧能源导致碳排放的影响因素。结果显示,我国经济总量的增长、能源利用效率低以及以煤为主的能源消费结构是导致我国碳排放大量增加的主要原因。而技术(中间投入比重)、行业产值结构、能源结构等因素的变化对碳减排的作用并不明显。尤其是在 2002–

2005 年之间,中间投入比重的升高、产业结构的进一步重化工化以及能源结构中煤炭比重的增加,再加上工业经济总量的快速增长,导致这一时期能源利用效率不升反降,碳排放量急速增加。因此,加快技术进步、调整产业结构和能源结构、发展清洁能源发电,以提高能源利用效率、转变能源消费结构,可以有效减少工业碳排放量。但由于本文碳排放计算公式、分解方法以及数据来源等的不完善性,对一些隐含因素还不能做出完好的解释,仍需要相关研究者做进一步的探讨和研究。

参考文献

- [1] 秦大河. 气候变化科学的最新进展. 科技导报, 2008, (07).
- [2] 刘慧, 成升魁, 张雷. 人类经济活动影响碳排放的国际研究动态. 地理科学进展, 2002, 21(5): 420~428.
- [3] 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: 429~436.
- [4] 郎一环, 王礼茂, 王冬梅. 能源合理利用与 CO₂ 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] Siddiqi T A. 亚洲化石燃料利用所产生的二氧化碳排放: 总的看法. *AMBIO(中文版)*, 1996, 25(4): 228~231.
- [6] Siddiqi T A. The Asia financial crisis: Is it good for the global environment? *Global Environmental Change*, 2000, 10: 127.
- [7] 中华人民共和国气候变化初始国家信息通报. 国家计划出版社. 北京, 2004, 16.
- [8] 刘纪远, 于贵瑞等. 陆地生态系统碳循环及其机理研究的地球信息科学方法初探. 地理研究, 2003, 22(4): 397~405.
- [9] Ang B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: What is preferred method? *Energy Policy*, 2004, 32(9): 1131~1139.
- [10] Park S H. Decomposition of industrial energy consumption: An alternative method. *Energy Economics*, 1992, 14(4): 265~270.
- [11] Schipper L, Howarth R B, Geller H. United States energy use from 1973 to 1987: The impacts of improved efficiency. *Annual Review of Energy*, 1990, 15: 455~504.
- [12] Schipper L, Howarth R B, Carlesarle E. Energy intensity, sectoral activity, and structural change in the Norwegian economy energy. *The International Journal*, 1992, 17(3): 215~233.
- [13] Schipper L, Howarth R B, Andersson B. Energy use in Denmark: An international perspective. *Natural Resources Forum*, 1993, 17(2): 83~103.
- [14] Howarth R B. Energy use in U.S. manufacturing: The impacts of the energy shocks on sectoral output, industry structure, and energy intensity. *Journal of Energy and Development*, 1989, 14(2): 175~191.
- [15] Howarth R B, Schipper L. Manufacturing energy use in eight OECD countries: Trends through 1988. *Energy Journal*, 1991, 12(4): 15~40.
- [16] Howarth R B, Schipper L, Duerr P A, et al. Manufacturing energy use in eight OECD countries. *Energy Economics*, 1991, 13(2): 135~142.
- [17] Zhang Zhongxiang. Why did the energy intensity fall in China's industrial sector in the 1990s? The relative importance of structural change and intensity change. *Energy Economics*, 2003, 25: 625~638.
- [18] Boyd G A, Hanson D A, Sterner T. Decomposition of changes in energy intensity: A comparison of the Divisia index and other methods. *Energy Economics*, 1988, 10(4): 309~312.
- [19] Ang B W, Lee S Y. Decomposition of industrial energy consumption: Some methodological and application issues. *Energy Economics*, 1994, 16(2): 83~92.
- [20] Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing changes in energy and environmental indicators through decomposition. *Energy*, 1998, 23(6): 489~495.
- [21] Hyun -Sik Chung, Hae -Chun Rhee. A residual -free decomposition of the sources of carbon dioxide emissions: A case of the Korean industries. *Energy*, 2001, 26: 15~30.
- [22] Greening L A. Effects of human behavior on aggregate carbon intensity of personal transportation: Comparison of 10 OECD countries for the period 1970 -1993. *Energy Economics*, 2004, 26(1): 1~30.
- [23] Greening L A, Davis W B, Schipper L. Decomposition of aggregate carbon intensity for the manufacturing sector: Comparison of declining trends from 10 OECD countries for the period 1971 -1991. *Energy Economics*, 1998, 20(1): 43~65.
- [24] Greening L A, Ting M, Davis W B. Decomposition of aggregate carbon intensity for freight: Trends from 10 OECD countries for the period 1971 -1993. *Energy Economics*, 1999, 21(4): 331~361.
- [25] Greening L A, Ting M, Krackler T J. Effects of changes in residential end -uses and behavior on aggregate carbon intensity: Comparison of 10 OECD countries for the period 1970 through 1993. *Energy Economics*, 2001, 23(2): 153~178.
- [26] Bhattacharyya S C, Ussanarassamee A. Decomposition of energy and CO₂ intensities of Thai industry between 1981 and 2000. *Energy Economics*, 2004, 26(5): 765~781.
- [27] Wu L, Kaneko S, Matsuoka S. Dynamics of energy-related CO₂ emissions in China during 1980 to 2002: The relative importance of energy supply -side and demand -side effects. *Energy Policy*, 2006, 34: 3549~3572.
- [28] Wang C, Chen J, Zou J. Decomposition of energy-related CO₂ emissions in China: 1957 -2000. *Energy*, 2005, 30: 73~80.
- [29] Liu Lancui, Fan Ying, Wei Yiming. Using LMDI method to analyze the change of China's industrial CO₂ emissions

- from final fuel use: An empirical analysis. *Energy Policy*, 2007, 35: 5892~5900.
- [30] 徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析: 1995~2004. *中国人口资源与环境*, 2006, 16(6): 158~161.
- [31] Liu X Q, Ang B W, Ong H L. The application of Divisia index to the decomposition of changes in industrial energy consumption. *The Energy Journal*, 1992, 13(4): 161~177.
- [32] Lorna A G, William B D, Schipper L. Comparison of six decomposition methods: Application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries. *Energy Economics*, 1997, 19: 375~390.
- [33] Schipper L, Murtishaw S, Khrushch M. Carbon emissions from manufacturing energy use in 13 IEA countries: Long-term trends through 1995. *Energy Policy*, 2001, 29: 667~688.
- [34] Fan Ying, Liu Langui, Wei Yiming, et al. Changes in carbon intensity in China: Empirical findings from 1980~2003. *Ecological Economics*, 2007, 62: 683~691.
- [35] Chang Y F, Sue J L. Structural decomposition of industrial CO₂ emission in Taiwan: An input-output approach. *Energy Policy*, 1998, 26(1): 5~12.
- [36] Rhee Hae-Chun, Chung Hyun-Sik. Change in CO₂ emission and its transmissions between Korea and Japan using international input-output analysis. *Ecological Economics*, 2006, 58: 788~800.
- [37] Miguel Angel Tarancón Morán, Pablo del Río González. A combined input-output and sensitivity analysis approach to analyse sector linkages and CO₂ emissions. *Energy Economics*, 2007, 29: 578~597.
- [38] Nobuko Yabe. An analysis of CO₂ emissions of Japanese industries during the period between 1985 and 1995. *Energy Policy*, 2004, 32: 595~610.

Decomposition of Energy-induced CO₂ Emissions in Industry of China

LIU Hongguang, LIU Weidong

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: There are many articles in the field of CO₂ emission decomposition and the methods including Laspeyres index, Sample Average Division and Adaptive-Weighting Division are more scientific now, but many researchers just focused on one factor of carbon emission intensity or energy consumption intensity and lacked further decomposition. This paper presents a complex formula to calculate carbon emission, then examines the factors, including total energy consumption, energy mix, technology, inter-input, industrial structure and total industrial production, which have effects on CO₂ emission from industrial energy during the period 1992~2005 by the decomposition method of LMDI proposed by Ang et al. The results show that the gross emission of CO₂ induced by the energy consumption of manufacture in China increased rapidly during the period of 1992~2005, especially in 2002~2005 coherent with the economic development path. And the increase is mostly derived from the augment of total industrial production with the characteristics of heavy industrialization, low efficiency of energy consumption and the mix of primary energy with high proportion of coal. Beyond our expectation, the factors of technology (proportion of inter-input) and industrial structure do not have a big reduction of CO₂ emission because of the economic development mainly driven by huge investment of infrastructure such as transportation, housing construction and primary manufacture such as steel, cement, chemistry and so on. But the quantity change of inter-input including other unaccounted factors is the primary contributor. The results indicate that accelerating technology upgrade, regulating industrial structure and energy mix, and developing CMD (Clean Development Mechanism) project are the efficient ways to reduce CO₂ emissions.

Key words: CO₂ emission; energy; decomposition; China