

# 中国碳排放影响因素分解及其周期性波动

宋德勇, 卢忠宝

(华中科技大学 经济学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 本文基于我国1990—2005年时间序列数据, 采用“两阶段”LMDI方法, 对能源消费产生的碳排放影响因素进行分解, 并对减少碳排放起关键作用的因子再次分解。通过研究找到产出规模和能源效率两个影响碳排放的主要因素, 界定了“高增长、高效率”、“低增长、低效率”、“低增长、高效率”和“高增长、低效率”四种不同的经济增长方式, 在此基础上, 对我国碳排放在不同时期的特征进行了分析。研究表明, 我国经济增长方式的差异是碳排放周期波动的重要原因, 特别是其中2000年以来“高投入、高排放、低效率”的经济增长方式直接导致了碳排放的显著增加。因此, 有效控制和减少碳排放的根本途径在于切实转变增长方式。

**关键词:** 二氧化碳; LMDI; 能源消费; 经济增长

**中图分类号:** F062.2

**文献标识码:** A

十七大报告指出中国要“加强应对气候变化能力建设, 为保护全球气候作出新贡献”, 这是中国作为负责任的大国、实现“又好又快”发展的应有之义。在当前的全球环境问题中, 控制和减少二氧化碳等温室气体排放是世界各国环境经济政策的重要导向, 2005年《京都议定书》的生效, 为世界解决温室气体建立了新的机制, 同时也给中国带来了非常现实的外部压力与挑战。中国改革三十年来, 随着经济的快速发展, 尤其是化石能源消费的快速增长, 中国CO<sub>2</sub>排放增长速度一直居世界前列, 有研究表明我国能源消费产生的CO<sub>2</sub>占我国排放总量的75%(Streets et al., 2001), 目前已位居世界第二(CDIAC, 2006); 预计到2030年, 我国CO<sub>2</sub>排放总量很可能超过美国, 居世界第一位(EIA, 2006)。能源消费产出的CO<sub>2</sub>排放代表了人类活动对环境的负面影响, 本身又是由产出规模、资源利用效率和经济结构变迁等因素共同作用的结果。因此, 它是衡量“又好又快”发展的重要指标, 对其影响因素的分解研究具有重要意义。

已有的结果表明, 经济增长会带来碳排放的增加, “又好又快”发展的目标要实现“可持续的增长”(sustainable growth)——在经济增长的同时带来环境质量的改善, 而不是限制经济增长, 因此, 找到能带来CO<sub>2</sub>排放量减少的关键因子尤为重要。本文沿着这样的思路, (1) 采用“两阶段”迪氏因素分解法(two-stage Divisia decomposition method), 依据我国1990—2005年时间序列数据, 先对影响能源消费产生的CO<sub>2</sub>排放相关因素进行分解, 再对能减少碳排放的关键因子作更进一步地分解; (2) 在“两阶段”因素分解的基础上, 将相关因素的长期累积效应与短期波动效应的分析结合起来, 以对CO<sub>2</sub>排放起主要作用的正、负向影响因子为依据, 分析我国自上世纪90年以来不同经济增长方式下CO<sub>2</sub>排放的阶段性特征。

本文的内容安排是这样的, 第一部分是文献综述, 第二部分是数据和方法说明, 第三部分是两阶段因素分解的主要结果及累积效应的分析, 第四部分是不同经济增长方式下CO<sub>2</sub>排放的阶段性特征分析, 第五部分是相关结论。

## 一、文献综述

近年来,对中国CO<sub>2</sub>排放的影响因素研究主流的方法是用各种因素分解法对年度时间序列数据进行分析,一般使用扩展的Kaya恒等式(Kaya identity)形式(Kaya, 1990),将影响因素分解为规模、结构和技术三类,下文中将详细叙述。其中有代表性的研究成果有:Wang等(2005)采用对数均值迪氏分解法(logarithmic mean Divisia index method,以下简称LMDI)对我国1957—2000年的CO<sub>2</sub>排放进行了分解,这可能是目前时间跨度最长的研究,结果表明代表技术因素的能源强度是减少碳排放的最重要的因素,而能源结构也起到一定的作用,经济增长带来碳排放的增加。Ma & Stern(2007)对我国1971—2003年的CO<sub>2</sub>也采用类似的方法进行了分解,其创新之处在于在能源结构中引进了生物质能,结果表明生物质能占比下降对碳排放减少产生了积极影响,其他结论与前文类似。Fan等(2007)采用适应性加权迪氏分解法(Adaptive Weighting Divisia,以下简称AWD)分解了1980—2003年碳排放强度(carbon intensity)的影响因素,发现尽管中国的CO<sub>2</sub>排放总量在上升,但是碳排放强度在下降,通过区分一次能源和终端能源消费的碳排放强度的影响因素,指出一次能源碳排放强度对能源强度变化有显著影响,因此碳减排的政策不能只关注能源强度这一个因素,能源结构变化的影响因素也很重要。徐国泉等(2006)采用简单平均的迪氏分解法对我国1995—2004年人均碳排放进行了分解。胡初枝等(2008)通过对我国六部门能源消费数据使用简单的碳排放公式<sup>1</sup>计算得到的1990—2005年CO<sub>2</sub>排放量进行了简单平均的因素分解,指出规模和能源强度是正负两类最主要的因素,并且指出不同产业碳排放差异较大,产业结构的变化对碳排放减少有一定影响。Wu(2005)没有使用我国官方能源及相关的CO<sub>2</sub>排放数据,而是采用由IPCC(1997)碳排放测算方法<sup>2</sup>,通过我国由省级分部门能源生产和消费数据计算加总得到的CO<sub>2</sub>排放数据,研究发现由能源消费与生产两种不同方法得到数据的存在差异,但是CO<sub>2</sub>排放时间序列的总体趋势相同。文章重点研究了1996—1999年我国这一时期CO<sub>2</sub>排放增长停滞的原因,能源强度以及由于国有企业产权改革带来的暂时工业企业平均劳动生产率下降是导致这一时期CO<sub>2</sub>排放下降的主因,并预测了后期CO<sub>2</sub>将继续呈现增长的趋势。上述的研究都得出基本相同结论,即能源强度和经济规模是主导因素。

上述的研究各具特色,但也存在几个方面的局限:(1)数据来源不足造成因素不能完全分解的局限。对与能源相关的碳排放最为完成的分解形式是: $C = \sum_k \sum_j \sum_i C_{ijk}$ ,  $C_{ijk}$ 表示第k个区域、第j部门的第i种能源消费产生的碳排放,或者还可以更加复杂,引入不同能源利用方式产生的碳排放影响(Bruvoll & Medin, 2003)。我国能直接得到的官方数据仅有不同能源消费产生的CO<sub>2</sub>数据和总的排放数据,利用这些数据无法直接分解区域结构、产出结构以及能源利用方式等因素的影响。因此,已有的研究存在两难选择,如果采用国际机构和我国统计机构公布的官方数据,则在模型中仅考察产出规模、能源强度和能源消费结构,而无法考察产出结构变化的影响,如前面四个文献;如果综合考虑规模、结构和技术各种影响因素,则数据来源一般为自已测算的数据,其可靠性存在争议,如后面两个文献。(2)对时间序列数据的不同阶段的划分带有较大的随意性,如有采取以五年为一个阶段,有的以十年为一个阶段,尽管根据我国历年CO<sub>2</sub>排放数据走势特征,已有的研究对于1996—2000年“停滞增长”现象作了分析(如下图1所示),但是本文的研究发现在1996—2000年的停滞阶段背后有不同的原因,而这对于刻画中国经济增长的方式,定位我国CO<sub>2</sub>减排潜力有重大意义。(3)大多数文献关注各种因素累积影响效应,而对于跨年度短期波动关注不够,或者说对于长期趋势研究较多,而对于短期波动效应关注不多。

<sup>1</sup>  $C = \sum_i m_i \delta_i$ , C指碳排放量,  $m_i$ 指第i类能源消费标准量;  $\delta_i$ 为i类能源的碳排放系数,这种方法近似于IPCC指导目录的“reference approach”,但更为简单。

<sup>2</sup>IPCC(1997)公布了从能源的生产和消费两个方面测算CO<sub>2</sub>排放的指导文件,在前者是“reference approach”,后者是“sector approach”,从理论上讲两种方法测算的CO<sub>2</sub>应没有差别,但由于统计口径以及类似中国小煤窑违法乱采等现象,实际上存在差异。

基于上述的考虑，本文（1）在因素分解中采用的所有数据均为国际机构和国内权威统计机构公布的官方数据，借助两阶段迪氏分解法，第一阶段考虑各种能源排放强度、能源消费结构、能源强度、经济规模等因素对CO<sub>2</sub>排放的影响，第二阶段引入产出结构因素，对上述因素中的决定性因素——能源强度进行再分解分析。因素分解方法本身简单易行，多单独用于能源或环境经济学领域，但是将二者结合起来进行二次分解的尚不多见。（2）除了长期趋势以外，本文对碳排放短期波动给予更多的关注，通过更细致的考察被平滑了的短期波动得出更有意义的结果；（3）在时期的选择上，将起关键作用的正负向因子的相互关系作为不同阶段划分的标准，并以此定义不同的经济增长方式，进而对CO<sub>2</sub>阶段性特征作出分析。

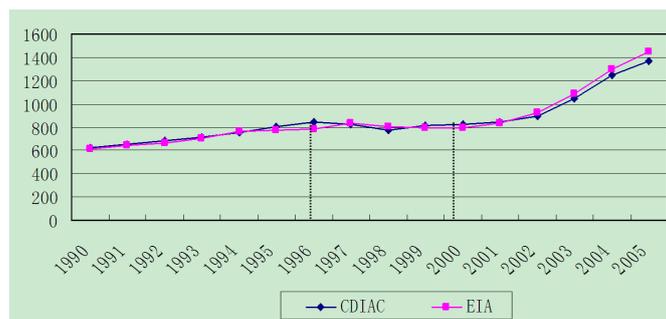


图 1 我国 1990—2005 年 CO<sub>2</sub> 排放量

注：CDIAC表示由国际组织二氧化碳信息分析中心公布的数据，EIA表示美国能源情报署公布的数据，单位为千吨等价碳

## 二、数据与方法

### 1.数据来源

（1）中国的二氧化碳排放数据。我国统计机构没有公布 CO<sub>2</sub> 排放数据，在文献中一般的来源有以下四类：二氧化碳信息分析中心（Carbon Dioxide Information Analysis Center, 简称 CDIAC）公布的年度数据；美国能源情报署(Energy Information Administration, 简称 EIA)，公布的年度数据；国际能源总署(International Energy Agency,简称 IEA)公布的数据，该数据仅有上世纪 90 年代后期以来的数据；根据 IPCC 指导目录和其他方法计算的数据。下图 1 是 CDIAC 和 EIA 最新公布的年度数据，通过对比发现，二者之间仅有细微的差别，由于本文仅考虑能源消费相关的 CO<sub>2</sub> 排放，选择 EIA 公布的数据，在 CDIAC 公布的数据中还包括其他人类活动产生的 CO<sub>2</sub>。EIA 还公布了煤、石油和天然气三种化石能源 CO<sub>2</sub> 排放分组数据（见图 2）。

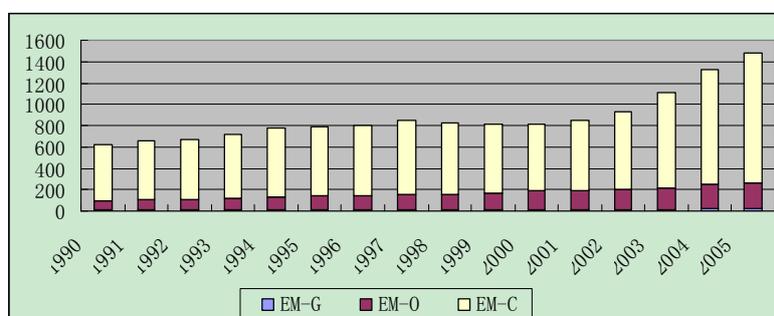


图 2 我国 1990—2005 年煤、石油和天然气燃烧碳排放量

注：EM-G、EM-O、EM-C 分别表示天然气、石油和煤碳燃烧的产生的碳排放量

(2) 能源消费数据。本文在分解过程中采用三种化石能源煤、石油和天然气消费量以及能源消费总量数据来自历年的《中国能源年鉴》、《中国统计年鉴》和中国国家统计局官方网站。具体情况见图 3。

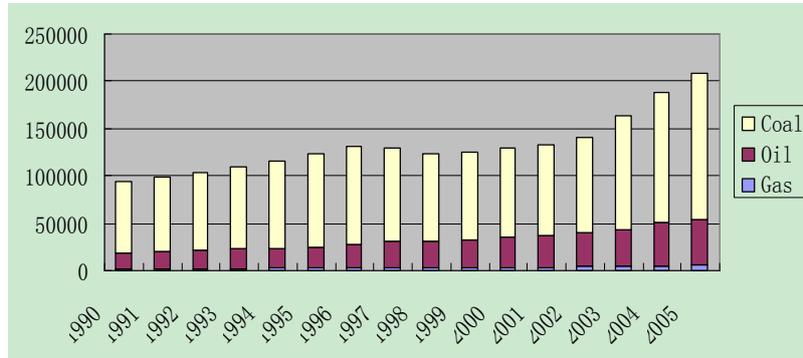


图 3 我国 1990—2005 年煤、石油和天然气消费量

(3) 国内生产总值及历年人口数据，均来自历年统计年鉴，值得说明的是 GDP 采用了以 1978 年为基期的不变价格计算，以剔除价格波动的影响。

(4) 六部门能源消费及产业增加值，本文采用通行的分类方法，将产业部门分为六类：农林牧渔（以第一产业数据代替）、工业、建筑业、交通运输、批发零售餐饮业和其他服务业，各产业增加值及能源消费情况见图 4、图 5。

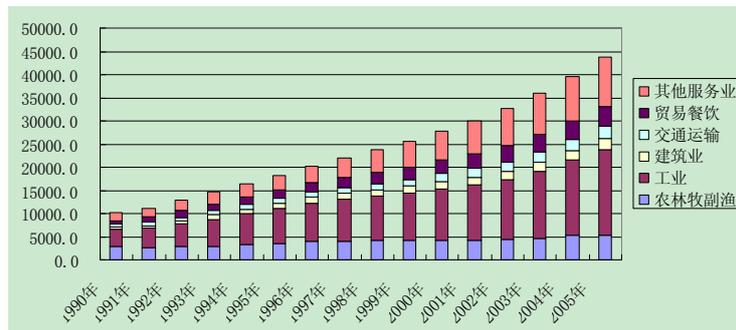


图 4 我国 1990—2005 六部门产业增加值

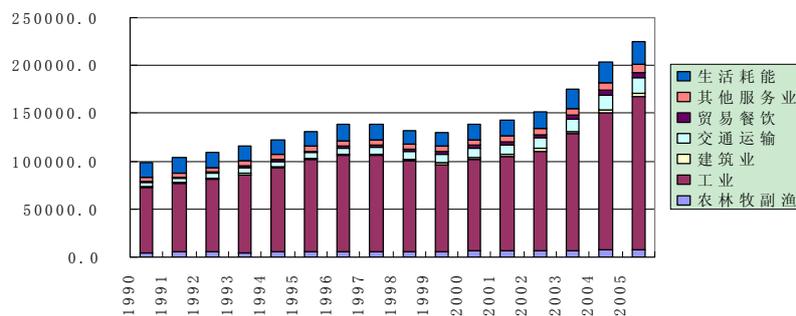


图 5 我国六部门及生活能源消费

## 2. 因素分解方法

在环境和能源经济学常用的因素分解法，大体上分为两类，一类是基于投入产出表的所谓结构性因素分解方法 (Structrual Decomposition Analysis, 简称 SDA)，一类是所谓的指数因素分解方法 (Index Decomposition Analysis, 简称 IDA)。后者更为简单易行，在上世

纪 70—80 年代，以拉氏分解 (Laspeyres index) 是主流，在上世纪 90 年代以来，以迪氏分解 (Divisia index) 占主导。综合起来看，指数因素分解基本形式如下 (Ang, 2004, 2005; li u 2005; et al. ):

$V = \sum X_1 X_2 \dots X_n$ ，其中  $V$  表示被分解的对象，如碳排放量、能源消费量或能源强度等指标； $X_1, X_2, \dots, X_n$  则表示对  $V$  有影响的  $n$  种因素， $i$  则是表示不同产业门类、不同能源品种或不同地域的指标。

指数分解一般是以时间序列数据为对象，考察不同期变量变化背后的影响因素，如  $V^0 = \sum X_1^0 X_2^0 \dots X_n^0$  表示基期的值，而  $V^t = \sum X_1^t X_2^t \dots X_n^t$  表示  $t$  期的值。

对于目标  $V$  一般有两种分解方式，一是乘法形式，一种是加法形式，分别如下：

$$(1) D_{tot} = V^t / V^0 = D_{X1} D_{X2} \dots D_{Xn} \cdot RD$$

$$(2) \Delta V_{tot} = V^t - V^0 = \Delta V_{X1} + \Delta V_{X2} + \dots + \Delta V_{Xn} + RD$$

其中  $D$  和  $\Delta V$  分别表示变量从 0 期到第  $t$  期的变化值， $RD$  表示分解的残差。

由于残差是无法解释的部分，因此在应用过程中发展起来的各种分解方法，通过附加一定的权重而将  $RD$  再次分解，以尽可能性消除不可解释因素的影响。不同分解方法附加的权重不同，因此计算  $D$  和  $\Delta V$  的方式也不同。

根据不同学者实证研究的结果表明，不同方法得出的结论十分类似，而 Ang(2004) 提出了选择不同的四条准则：有理论基础、适用性、运用简单和容易理解。基于这样的考虑，本文采用了较为通行的 LMDI 方法，此法还有一个优点是，乘法形式和加法形式易于转换，因此选择任何一种都是无差异的，从易于理解的角度本文采用乘法形式。其具体形式如下：

加权的权重为： $L(V_i^t, V_i^0) / L(V^t, V^0)$

$$\text{总效应: } D_{tot} = V^t / V^0 = D_{X1} D_{X2} \dots D_{Xn} \quad (1)$$

$$\text{各具体效应计算公式: } D_{Xk} = \exp \left[ \sum_{i=1}^n \frac{V_i^t / V_i^0 - V_i^t / V_i^0}{V_i^t / V_i^0 + V_i^t / V_i^0} \ln \left( \frac{V_i^t / V_i^0}{V_i^t / V_i^0} \right) \right] \quad (2)$$

其中：当  $a \neq b$  时， $L(a, b) = (a - b) / (\ln a - \ln b)$ ；当  $a = b$  时， $L(a, b) = a$

### 三、我国 CO2 排放的“两阶段”LMDI 因素分解

对我国 CO2 作“两阶段”LMDI 因素分解，步骤如下：首先，根据已有的数据，将对 CO2 有影响且能引入的因素进行分解；其次，判断哪些是正向的、哪些是负向的，哪些是显著的，哪些是不显著的；最后再对主要负向影响因子再次分解。

(1) 第一阶段 LMDI 分解，综合考虑能源排放强度、能源结构、能源强度和产出规模四个要素，具体形式如下：

$$C = \sum C_i = \sum \frac{C_i}{FE_i} \frac{FE_i}{E_i} \frac{E_i}{Y} \frac{Y}{N} \quad (3)$$

各指标的含义和各因素的定义如下表所示，其中  $i=1, 2, 3$  分别表示煤炭、石油和天然气：

表 1 CO2 排放 LMDI 分解各参数及指标定义

$C_i$	表示第 $i$ 种化石能源燃烧产生的 CO2
$FE_i$	表示第 $i$ 种化石能源消费量

TE	表示能源消费总量
Y	表示国内生产总值
N	表示人口
$EMI = C_i / FE_i$	表示不同化石能源的排放强度，代表环保技术效应
$ES = FE_i / TE$	表示不同化石能源占总能源消费的比重，代表能源结构效应
$EI = TE / Y$	表示能源强度，其导数即能源效率，代表技术效应
$Y = Y / N \cdot N$	即年度 GDP，代表产出规模效应

根据公式（1）—（3），第一阶段 LMDI 分解的结果如下图所示：

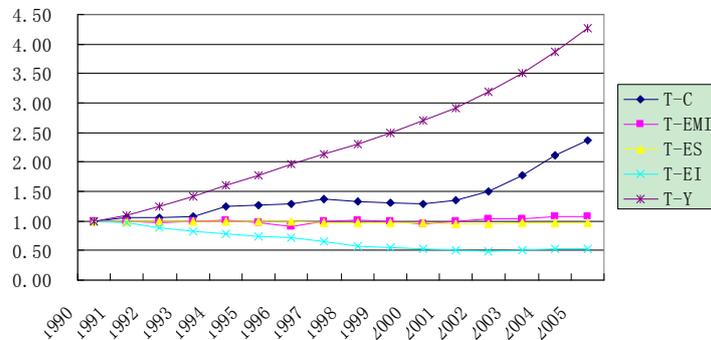


图 6 中国 CO<sub>2</sub> 排放及相关影响因素的累积效应

注：T-C 表示碳排放累积变化，T-EMI 表示化石能源碳排放强度变化的累积技术效应，T-ES 表示能源消费构成的累积结构效应，T-EI 表示能源强度变化的累积技术效应，T-Y 表示经济增长的累积规模效应

1990—2005 年我国 CO<sub>2</sub> 排放总体上呈上升趋势，上升了 137%，年均增长 8.6%，从以 1990 为基期的累计效应看，具体呈现三个阶段：（1）在 1990—1996 年不断增长，但增长率先快后慢，共增长 29%，年均增长 4%；（2）在 1996—2000 年较为平缓，增长率保持稳定，共增长 1%，年均增长不到 0.2%；（3）在 2000—2005 年，再次出现加速增长的趋势，共增长 83%，年均增长不到 13.8%。总体上看，对碳排放增加最重要的影响因素是产出规模（T-C），对碳排放减少最重要的影响因素是能源强度（T-EI），碳排放强度的影响存在波动，能耗结构效应较为稳定，这二者总体影响较小，在不同阶段有重要影响。具体结果如下表所示：

表 2 我国基于能源消费的 CO<sub>2</sub> 排放各影响因素

	碳排放量		碳排放强度		能源结构		能源强度		产出规模	
	累计变化	年均变化	累计变化	年均变化	累计变化	年均变化	累计变化	年均变化	累计变化	年均变化
1990-1996	0.285	0.041	-0.081	-0.012	-0.006	-0.001	-0.282	-0.040	0.961	0.137
1996-200	0.009	0.002	0.042	0.008	-0.029	-0.006	-0.274	-0.055	0.374	0.075

0										
2000-2005	0.830	0.138	0.127	0.021	0.001	0.000	0.026	0.004	0.580	0.097
1990-2005	1.373	0.086	0.080	0.005	-0.034	-0.002	-0.465	-0.029	3.258	0.204

将前面的分析判断作以简化，得到如下矩阵：

**表 3 我国碳排放两阶段因素分解的判断矩阵**

时期	影响因子				
	碳排放趋势	产出规模	能源强度	碳排放强度	能源结构
1990-1996	↑	+	-	-	-
1996-2000	--	+	-	+	-
2000-2005	↑	+	+	+	+
1990-2005	↑	+	-	+	-
是否显著		显著	显著	不显著	不显著

注：“↑”表示增加，“--”表示稳定，“+”表示该因子带来碳排放增加，即有正影响；“-”表示该因子带来碳排放减少，即有负向影响。

**(2) 第二阶段 LMDI 分解：**通过前面的分析找到影响碳排放的减少关键因素——能源强度，引入产出结构因素对其作分解，其形式如下：

$$\text{由能耗消费的恒等式： } E = \sum E_j = \sum \frac{L_j}{Y} \frac{Y_j}{Y} Y \quad (4)$$

$$\text{由上式两边同除以 } Y, \text{ 得到能源强度， } EI = \frac{E}{Y} = \sum EI_j = \sum \frac{L_j}{Y} \frac{Y_j}{Y} \quad (5)$$

其中  $j=1, 2, \dots, 6$ ，分别代表农林牧副渔（第一产业）、工业、建筑业、交通运输仓储邮政、批发零售住宿餐饮和其他服务业。各指标的含义和相关影响影响的定义如下表所示：

**表 4 能源强度 LMDI 分解各参数及指标定义**

$EI$	表示能源强度
$E_j$	表示部门 j 的能源消费总量
$Y_j$	表示部门 j 的产出
$I_j = E_j / Y_j$	表示部门 j 的能耗强度，代表技术效应
$S_j = Y_j / Y$	表示部门 j 的产出份额，代表产出的结构效应

通过对比 LMDI 分解中的能源强度（附加了对数均值，代表对碳排放的影响）和实际计算的能源强度，发现二者仅有细微的差别(见下图)，因此，也说明第二阶段的分解是有效的。

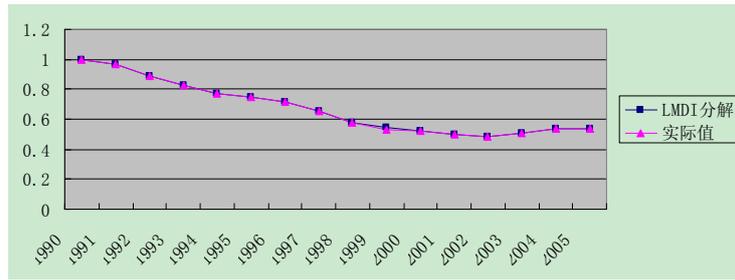


图 7 附加对数均值的 EI 与实际 EI 对比

根据公式（1）、（2）和（5），第二阶段 LMDI 分解的结果如下图所示：

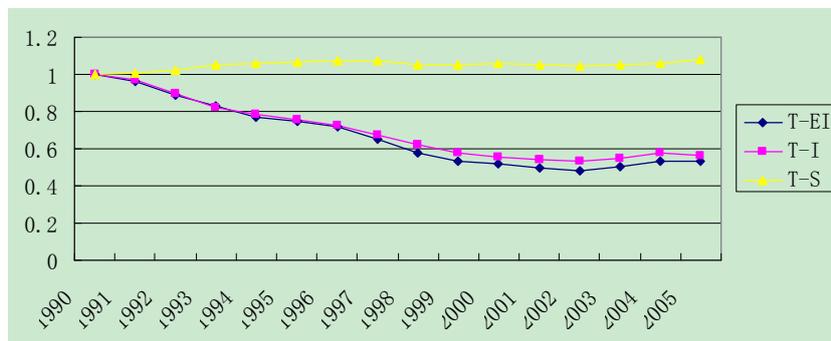


图 8 我国能源强度及相关影响因素的累计效应

1990—2005 年我国能源强度累计下降 46.5%，具体又呈现两个阶段：（1）在 2003 年之前，每年 4% 的速度下降；（2）在 2003 年以后由负转正，能源强度年均增加 1.9%。通过对能源强度的分解累积效应来看，影响能源强度变化的最主要因素是部门的能源强度变化，而产出结构因素影响是微弱的且是正的（具体结果如表 5 所示）。基于这样的结果，以下对 CO<sub>2</sub> 排放的分析将部门能源强度作为能源效率的主要指标。

表 5 我国能源强度及各影响因素

	能源强度		部门能源强度		产出结构效应	
	累积变化	年均变化	累积变化	年均变化	累积变化	年均变化
1990—2002	-0.517	-0.040	-0.469	-0.036	0.043	0.003
2003—2005	0.056	0.019	0.032	0.011	0.026	0.009
1990—2005	-0.465	-0.031	-0.434	-0.029	0.082	0.005

#### 四、不同经济增长方式下的 CO<sub>2</sub> 排放特征分析

上述两阶段的 LMDI 分解给出了我国 1990—2005 年 CO<sub>2</sub> 排放的总体趋势及各种影响因素的贡献大小，尽管从累积变化趋势来看，在 1996—2000 年前后呈现“增长——停滞——增长”三个阶段，但是本文发现以某一年为基期的累积效应平滑了各种因素短期变动效应，无法细致考察年度数据环比数据反映出的细节问题。因此，在所述“两阶段”因素分解的基

基础上，本文通过对比分析各影响因素的短期波动趋势，以对碳排放起正、负向影响的关键因子为依据定义我国不同时期经济增长方式，划分不同的周期，在此基础上考察 CO<sub>2</sub> 排放的阶段特征。碳排放及各影响因素的短期波动趋势如图 9 所示：

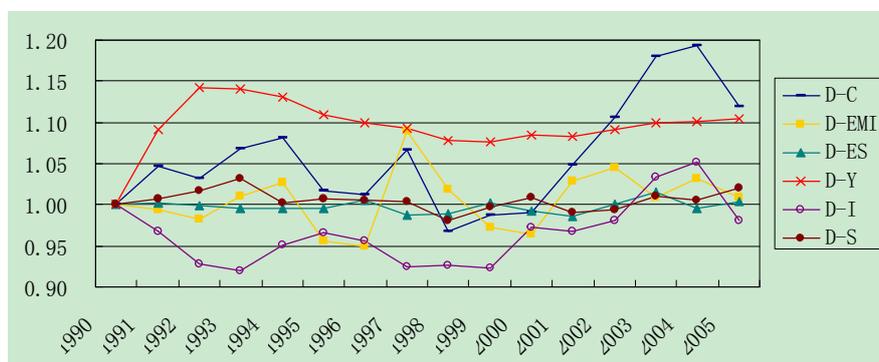


图 9 中国 CO<sub>2</sub> 排放及相关影响因素的年度变化效应

注：D-C 表示碳排放年度变化，D-EMI 表示化石能源碳排放强度变化的技术效应，D-ES 表示能源消费构成的结构效应，D-I 表示部门能源强度变化的技术效应，D-S 表示产出结构变动的结构效应，D-Y 表示经济增长的规模效应

根据两阶段 LMDI 因素分解，得到各年份影响 CO<sub>2</sub> 排放的各影响因子的变化趋势。对比能源强度的变化率与产出规模变化率对碳排放影响之间关系，发现结果：1990—1992 产出规模对碳正向影响增强的同时能源效率负向影响也增强；1993—1995 年产出规模对碳正向影响减弱的同时能源效率负向影响也减弱；1995—1998 产出规模对碳正向影响减弱的同时能源效率负向影响增强；2000—2004 年产出规模对碳正向影响再次增强的同时能源效率负向影响减弱；而 1992-1993、1998-2000 年这两个阶段是明显的转折期，二者出现不规则的变化。

根据这四个阶段的变化趋势，以对碳排放的影响为主要标志，以经济增长的规模效应和能源利用效率的技术效应为关键指标定义四种增长方式，见下表 6，其中第 I 种和第 II 种情形是值得肯定的，增长的同时效率得到改进，第 III 种情形代表“高投入、低效率”的增长，第 IV 种情形是最差的，增长放缓的同时效率下降。

表 6 四种增长方式的定义及特征

		减小碳排放的因素（能源效率）	
		增强	减弱
增加 碳排 放的 因素 (产出规模)	增强	I 高增长+高效率 1990-1992	III 高增长+低效率 2000-2004
	减弱	II 低增长+高效率 1995-1998	IV 低增长+低效率 1993-1995

根据上述的研究结果，在这一时期的划分为五个阶段，对我国不同经济增长方式下的CO<sub>2</sub>排放影响因素及特征分析如下：

**表 7 我国不同阶段碳排放及相关影响因子的变动趋势**

	C	EMI	ES	EI	Y	I	S
1990-1993	0.154	-0.014	-0.004	-0.173	0.422	-0.175	0.055
1993-1995	0.100	-0.019	-0.008	-0.098	0.254	-0.081	0.009
1995-1998	0.043	0.055	-0.019	-0.222	0.296	-0.181	-0.010
1998-2000	-0.021	-0.062	-0.005	-0.102	0.166	-0.101	0.005
2000-2004	0.634	0.118	-0.003	0.025	0.431	0.033	0.000

(1) 1990—1993年“高增长、高效率”阶段。这一时期我国打破国际上的封锁，全面改革开放，增长速度不断加快，并在1992年达到顶峰。随着经济持续快速发展，中国的能源需求在强劲攀升，同时非公有制企业的快速发展，带来了能源效率的提高，呈现短暂的高增长、高效率特征，但是经济中也存在过热的成分，随着国家对通货膨胀的治理，经济增长速度开始放慢。这一时期，各类因素共同作用促使碳排放增长15%，能源强度促进碳排放减少17%，而同时产出带来碳排放增长42%，能源结构与排放强度都起到微弱的负向影响，但是产出结构影响为正，主要因素是工业产出份额增加。

(2) 1993—1995年“低增长、低效率”阶段。由于经济明显过热，1992年有确立社会主义市场经济经济的目标后，包括国有企业产权制度改革在内的五大改革同时启动，但是经济增长的惯性作用，经济继续保持10%以上的增长速度，但增速已经开始放慢。这期间，在1993年起中国开始成为石油产品净进口国，石油在能源结构中占比在逐年增加（见图2、3），在一次能源消费结构中，煤的比重从1991年77.2%下降到1995年75.8%，相应地，石油的比重从16.9%上升至17.5%，能源结构对碳减排的效应有所增强。这期间碳排放增加10%，产出和能源效率的影响都减弱，但效率减少更快。

(3) 1995—1998年“低增长、高效率”的阶段。这一时期，由于改革的不断深化，出现所谓的“阵痛”，国有企业产权改革带来短暂的工业产出增速放缓，尤其是国内下大力气对之前的经济过热和低水平重复建设进行治理，关停高能耗、高污染、低效率的“十五小”，能源结构和产出结构效应在这一时期达到最大，能源强度出现最大幅度的下降，这一时期尽管经济增长对碳排放正向影响达30%，但总的碳排放仅增加4%，在经济增长的同时效率显著提高。

(4) 1998—2000年经济低谷时期。这一时期国内遭遇百年不遇的洪水，国际上1997年东南亚金融危机爆发对我国出口需求下降的影响开始显现，与之相伴随的是工业经济增长速度有所放缓，工业部门的能源消耗经历了短暂的下滑（见图3、4）。这一时期，经济增长速度下滑在10%以下运行，并在1999年跌到谷底，规模因素和能源效率对CO<sub>2</sub>排放增量的影响都下降到历史最低水平，同期煤炭、炼油相关行业经历一系列调整，煤炭市场出现供大求的局面，煤炭生产者不断改善煤炭质量，如增加洗选煤比重等，煤品种结构也不断改善。这些措施促进了能源结构的改善，最终导致CO<sub>2</sub>排放历史性地减少2%。另外，1998年《节能法》正式实施，都在短期内促进了能源利用效率的提高。

(5) 2000—2004年“高增长、低效率”的时期。随着国际经济形势的好转和2001

年末中国加入 WTO，外部需求迅猛增加，国内在之前实施的积极财政和货币政策的效果开始显现，中国的经济重新开始加速增长，2002 年以来经济一直以 10% 以上的速度增长。尤其是近年来钢铁、水泥、电解铝等领域固定投资的大幅增加，这些基础产业部门的过热增加了对能源的需求。而作为碳排放减少最重要的影响因素——能源强度在 2003 年以后由负变正，通过进一步分析各个部门的能源强度，发现工业和交通运输业能源强度的下降是最主要的因素，在 2002—2004 年工业和交通运输业能源强度的上升导致总能源强度再次抬头。致 CO<sub>2</sub> 排放减少。经济强劲增长，对能源的需求增加较快，煤的比重在 2001 后又开始增加，而同期石油占比下降，天然气占比基本保持不变，这样一种变化造成能源结构对 CO<sub>2</sub> 排放的效应由负转正。尽管这一时期国家积极实施能源低碳化的战略，水电、核电和可再生能源占比上升，2005 年还出台了《可再生能源法》，但是清洁能源、可再生能源增长较为缓慢、且占比重小，无法抵消煤比重上升带来的碳排放增加，因此，总体上结构效应为正。从产业结构来看，我国产业结构的变动符合钱纳里、克拉克和库兹涅茨提示的规律，第一产业占比不断下降、工业经历较快增长时期后保持高的比例，服务业尤其是现代服务业的占比不断上升。我国处在工业化关键时期，重工业比重在 1990 年以来占比整体在增加，而重工业能源强度要远高于其他部门，因此总体上产出结构效应对碳排放的影响也是正向的。值得一提的是尽管一般认为服务业比重增加将带来环境影响下降，但是我国现阶段现代服务能源强度与国际水平相比仍然较高，对碳排放减少的效应并不明显。综合来看，这一时期碳年均增长 16%，其中产出带来的增长达到 10% 以上，除了能源结构十分微弱的负向影响之外，其他技术结构效应全部由负转正，“粗放型、低效率”的特征十分鲜明。

## 五、结论

本文通过“两阶段”迪氏因素分解法对我国 1990—2005 年与能源消费相关的 CO<sub>2</sub> 排放的相关因素进行了较完整的分解。从以 1990 年为基期的累积效应来看，中国能源消费产生的 CO<sub>2</sub> 主要受产出规模和能源强度的影响，而关键的能源强度又主要受到部门能源强度的影响。代表能源利用效率或环保技术水平的碳排放强度具有不确定性，在个别年份政策的强化使这一因素对碳排放的减少具有积极作用。能源结构变化总体上影响不显著，反映出我国以煤为主体的资源禀赋特征，也说明我国低碳能源、清洁能源、可再生能源替代战略的目前还未显现出效果。产出结构的影响总体也是正向的，并且不显著，这背后受我国工业化进程中重工业化程度加深影响。

在累积效应分析的基础上，本文以对碳排放起正、负向影响的关键因子为依据，定义我国不同时期经济增长方式，细致地考察能源消费产生的 CO<sub>2</sub> 排放在不同经济增长方式下的特征。自上世纪 90 年全面建设社会主义市场经济以来，我国经济增长方式的四个阶段性特征——“高增长、高效率”、“低增长、低效率”、“低增长、高效率”和“高增长、低效率”，与之相对应的是 CO<sub>2</sub> 排放周期性波动，其中 2000 年—2004 年“粗放型、高投入、高增长、低效率”的特征十分明显，这是 2000 年以来碳排放显著增加的重要原因。

当前，我国遭遇到全球性经济危机，出口需求、增长速度放缓可能带来能源需求的下降，将促进碳排放的减少，但同时国家 4 万亿国债的经济刺激计划极有可能延续粗放型、高投入、低效率的路线，能源效率大幅提高不容乐观。但同时，通过与国际间的对比发现，我国未来节能减排的潜力还十分巨大，而且中国在世界经济格局中的地位也越来越重要，从内部可持续发展的需要和国际外部压力来看，我国都应以更积极的姿态应对全球温室气体排放问题，采取更有效的措施控制和减少 CO<sub>2</sub> 排放，切实转变经济增长方式。

## 参考文献

- [1]冯相昭,王雪臣,陈红枫,2008:《1971—2005年中国CO<sub>2</sub>排放影响因素分析》[J],《气候变化研究进展》,第4期,第42-47页.
- [2]韩智勇,魏一鸣,范英,2004:《中国能源强度与经济结构变化特征研究》[J],《数理统计与管理》,第11期,第1-6页
- [3]胡初枝,黄贤金,钟太洋,谭丹,2008:《中国碳排放特征及其动态演进分析》[J],《中国人口资源环境》第3期,第38-42页
- [4]吴巧生,成金华,2006:《中国能源消耗强度变动及因素分解:1980—2004》[J],《经济理论与经济管理》,第10期,第34-40页
- [5]徐国泉,刘则渊,姜照华,2006:《中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995-2004》[J],《中国人口资源环境》,第6期,第15-161页
- [6]周鸿,林凌,2005:《中国工业能耗变动因素分析:1993—2002》[J],《产业经济研究》,第18期,第13-18页
- [7]张坤民,2008:《低碳世界的中国:地位、挑战与战略》[J],《中国人口资源环境》第3期,第1-7页
- [8]主春杰,马忠玉,王灿,刘子刚,2006:《中国能源消费导致的CO<sub>2</sub>排放量的差异特征分析》[J],《生态环境》第15期,第1029-1034页
- [9]IPCC,2007:气候变化2007:综合报告.政府间气候变化专门委员会第四次评估报告第一、第二和第三工作组的报告[R][核心撰写组、Pachauri, R.K和Reisinger, A.(编辑)].IPCC,瑞士,日内瓦,第1-104页
- [10]Ang, B.W., 2004, Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? Energy Policy 32, 1131-1139 ,
- [11]Ang, B.W., 2005, The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. Energy Policy 33, 867-871 ,
- [12]Brock, W.A. and Taylor, M.S., 2004, "Economic Growth and the Environment: a Review of Theory and Empirics." NBER Working Paper 10854.
- [13]Bruvoll, Annegerte and Medin, Hege., 2003, Factors Behind the Environmental Kuznets Curve: A Decomposition of the Changes in Air Pollution. Environmental and Resource Economics, 24: 27-48.
- [14]CDIAC, 2006, National CO<sub>2</sub> Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2005. Carbon Dioxide Information Analysis Center.
- [15]EIA, Energy Information Administration, 2007, International Energy Annual, 2006 & International Energy Outlook.
- [16]IPCC, 1997, Intergovernmental Panel on Climate Change, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories
- [17]Kaya, Y., 1990, Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios. Paper presented at the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris, France.
- [18]Liu, Chun-Chu, 2005, An Overview for Decomposition of Industry Energy Consumption ,

American Journal of Applied Science 2 (7): 1166-1168

[19]Ma, C. and D. I. Stern, 2007, China's Carbon Emissions 1971-2003, Rensselaer Working Papers in Economics, Number 0706.

[20]Streets, D.G., Jiang, K.J., Hu, X.L., Sinton, J.E., Zhang, X.Q., Xu, D.Y., 2001, Jacobson, M.Z., Hansen, J.E.. Recent reductions in China's greenhouse gas emissions. Science 294, 1835-1837.

[21]Wang, Can, Chen, Jining, Zou, Ji. 2005, Decomposition of energy-related CO2 emission in China: 1957-2000. Energy 30, 73-83.

[22]Wu, Libo, Kaneko, Shinji, Matsuoka, Shunji. 2005, Driving forces behind the stagnancy of China's energy-related CO2 emissions from 1996 to 1999: the relative importance of structural change, intensity change and scale change. Energy Policy 33, 319-335.

[23]Ying Fan, Lan-Cui Liu, Gang Wu, Hsien-Tang Tsai, Yi-Ming Wei, 2007, Changes in carbon intensity in China: Empirical findings from 1980-2003, Ecological Economics, 62, 683 - 691.

## **The Factor Decomposition and Periodic Fluctuations of Carbon Emission in China**

Song De-yong, Lu Zhong-bao

(School of Economics, Huazhong University of Science and Technology, 430074)

**Abstract:** Adopting a two-stage LMDI model and 1990 to 2005 time series data of China, this article decomposes the factors that influence the carbon dioxide emission coming from the energy consumption in the first place, and then decomposes the driving factor which has decrement effect to carbon emission. We have found out the most important forces influencing carbon emission, the scale effect of production and the efficiency of energy using, based on the result of which, we have defined the following four economic growth mode, i.e. the "high growth with high efficiency", "low growth with low efficiency", "low growth with high efficiency", and "high growth with low efficiency". On a basis of the result above, we analyse the Character of Carbon Emission in different periods. The result shows the difference of economic growth mode to be the prime factor which causes the fluctuation of carbon emission, especially, the "high input, high emission and low efficiency" economic growth since 2000, resulting in the rapid growth of the carbon emission. Thus effective abatement on carbon dioxide emission renders it imperative for China to change its economic growth mode.

**Keywords:** Carbon dioxide emission; LMDI; energy consumption; economic growth

收稿日期: 2009-04-25;