
江苏省碳排放的因素分解模型及实证分析

温景光

(东南大学 经济管理学院,江苏 南京 211189)

[摘要]目前,我国的碳排放主要源于能源消费。近年来随着人口增长和经济发展,能源消费的剧增以及严重倚靠煤炭的不合理能源结构短期内难以改变,导致了江苏省碳排放的不断增加。文章在运用碳排放量基本等式计算江苏省碳排放量的基础上,采用对数平均权重Divisia分解法(Logarithmic mean weight Divisia method, LMD),建立江苏省人均碳排放的因素分解模型,对1996-2007年间,经济发展、能源结构和能源效率这三个主要因素对江苏人均碳排放的影响进行定量分析,结论是经济发展对促进江苏人均碳排放的贡献率呈指数增长,然而能源结构和能源效率对抑制江苏人均碳排放的贡献率并不显著,且难以抵销由经济发展拉动的江苏省碳排放量增长。2005年以来江苏碳排放增速下降,这说明尽管碳减排目标尚未实现,但江苏省的节能减排工作已取得初步成效。

[关键词]碳排放;因素分解;能源效率;能源结构

[中图分类号]F120 **[文献标志码]**A **[文章编号]**1007-5097(2010)02-0029-04

Decomposition Model and Empirical Study of Carbon Emissions for Jiangsu Province

WEN Jing-guang

(School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: Nowadays, carbon emissions mainly caused by energy consumption in China. These years with the population growing and economy expanding, the sharply rising consumption of energy and the severe coal-focused energy structure are very difficult to change in short-term, causes the carbon emissions of Jiangsu Province increase continued. A decomposition model of carbon emissions per capita for Jiangsu Province is setup by adopting Logarithmic Mean Weight Divisia (LMD) method based on the identity of carbon emissions. The model is adopted to analyze the influence of economic development, energy structure and energy efficiency to carbon emissions per capita in Jiangsu from 1996 to 2007. The results show that the contribution rate of economic development to carbon emissions per capita is exponential growth, however, the contribution rate of energy structure and energy efficiency restraining to carbon emissions per capita is still unapparent, which cannot offset the driving force of economic development to carbon emissions. The speed of carbon emission increasing has been decreased since 2005, which demonstrates that although the target of emission abatement has not been coming true, the efforts on energy conservation and pollution reduction in Jiangsu have achieved initial results.

Key words: carbon emissions; decomposition analysis; energy efficiency; energy structure

[收稿日期]20100128

[作者简介]温景光(1985),男,宁夏银川人,硕士研究生,研究方向:国民经济。

一、引言

近 200 年来,随着人口持续增长及工业化、城市化进程的加快,世界能源消费剧增,生态环境不断恶化,特别是气候变暖已严重威胁到人类的可持续发展,应对气候变化成为全球共同面临的重大挑战。而温室气体是全球气候变暖的元凶。根据 2007 年 IPCC 第四次评估报告,温室气体增加的主要来源是化石燃料燃烧,其导致的二氧化碳排放放在 2004 年占总碳排放将近 9513% (不包括森林采伐及生物量减少所造成的二氧化碳增加)。目前,我国的二氧化碳排放量仅次于美国,居世界第二位。中国能源报告(2008)的数据显示,2005 年,江苏省二氧化碳排放量紧随山东省、河北省和广东省之后,居全国第四位[1]。近年来,江苏的碳排放量仍在持续增长。因此,如何控制和减少碳排放已成为一项日益紧迫的重大课题。

安本华(Ang BW)等人在 1998 年提出了对数平均权重 Divisia 分解法[2](Logarithmic mean weight Divisia method ,LMD),这是一种针对一段时期内能源需求或气体排放的因素分解方法,在其论文中,分别使用新加坡、中国和韩国的数据,与现存的三种其他分解方法进行比较,得出对数平均权重 Divisia 分解法较其他三种方法更加优越,并有助于能源和环境因素分解研究的结论。徐国泉等[3]运用对数平均权重 Divisia 分解法,定量分析了 1995)2004 年间,能源结构、能源效率和经济发展等因素的变化对中国人均碳排放的影响,得出经济发展对拉动中国人均碳排放的贡献率成指数增长,而能源效率和能源结构对抑制中国人均碳排放的贡献率都呈倒/U0 型曲线关系的结论。

为分析江苏省碳排放的现状 & 影响因素,本文采用上述方法,定量分析经济发展、能源结构和能源效率等因素各自对江苏省人均碳排放的影响,并提出相应对策。

二、分解模型

目前,江苏省还没有碳排放量的直接监测数据,因此大部分研究都是基于对能源消费量的测算得来。其中通过能源消费量计算碳排放量是较为可行的,基本公式为[4]:

$$C = \sum_i C_i = \sum_i \frac{E_i}{E} \times \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E}{Y} \times \frac{Y}{P} \times P \quad (1)$$

其中, C 为碳排放量; C_i 为 i 种能源的碳排放量; E 为一次能源消费量; E_i 为 i 种能源消费量; Y 代表国内生产总值(GDP); P 为人口数。

人均碳排放量可表示为:

$$A = \frac{C}{P} = \sum_i \frac{E_i}{E} \times \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E}{Y} \times \frac{Y}{P} \quad (2)$$

之后定义:能源结构因素 $S_i = \frac{E_i}{E}$ 即 i 种能源在一次能源消费中所占比例;各类能源排放强度 $F_i = \frac{C_i}{E_i}$ 即消费单位 i 种能源的碳

排放量;能源效率因素 $I = \frac{E}{Y}$, 即单位 GDP 能耗;经济发展因素 $R = \frac{Y}{P}$ 。由此,人均碳排放量可表示为:

$$A = \frac{C}{P} = \sum_i S_i F_i I R \quad (3)$$

式(3)说明了引起人均碳排放量 A 变化的四方面因素: S_i (能源消费结构)、 F_i (能源排放强度)、I (能源使用效率)以及 R (经济发展水平)。第 t 期相对于基期的人均碳排放量的变化可分别表示为/和 0 的形式和/积 0 的形式,具体

如下:

$$\begin{aligned}\Delta A &= A' - A^0 = \sum_i S_i^t F_i^t I_i^t R^t - \sum_i S_i^0 F_i^0 I_i^0 R^0 \\ &= \Delta A_S + \Delta A_F + \Delta A_I + \Delta A_R + A_{res}\end{aligned}\quad (4)$$

$$D = \frac{A^t}{A^0} = D_S D_F D_I D_R D_{res}\quad (5)$$

这里, ΔA_S 、 D_S 为能源结构因素, ΔA_F 、 D_F 为能源排放强度因素, ΔA_I 、 D_I 为能源效率因素, ΔA_R 、 D_R 为经济发展因素, ΔA_{res} 、 D_{res} 为分解余量。式 (4) 中的 ΔA_S 、 ΔA_F 、 ΔA_I 、 ΔA_R 代表了各因素变化对人均碳排放变化的贡献值, 式 (5) 中的 D_S 、 D_F 、 D_I 、 D_R 代表了各因素变化对人均碳排放变化的贡献率。基于式 (4), 我们按照对数平均权重 Divisia 分解法 [2] (Logarithmic mean weight Divisia method, LMD) 进行分析, 分解结果为:

$$\begin{aligned}\Delta A_S &= \sum_i W'_i \ln \frac{S_i^t}{S_i^0}; \quad \Delta A_F = \sum_i W'_i \ln \frac{F_i^t}{F_i^0}; \\ \Delta A_I &= \sum_i W'_i \ln \frac{I_i^t}{I_i^0}; \quad \Delta A_R = \sum_i W'_i \ln \frac{R_i^t}{R_i^0}\end{aligned}\quad (6)$$

$$\text{其中 } W'_i = \frac{A_i^t - A_i^0}{\ln(A_i^t/A_i^0)}$$

因而:

$$\begin{aligned}\Delta A_{res} &= \Delta A - (\Delta A_S + \Delta A_F + \Delta A_I + \Delta A_R) \\ &= A^t - A^0 - \sum_i W'_i \left(\ln \frac{S_i^t}{S_i^0} + \ln \frac{F_i^t}{F_i^0} + \ln \frac{I_i^t}{I_i^0} + \ln \frac{R_i^t}{R_i^0} \right) \\ &= A^t - A^0 - \sum_i W'_i \ln \frac{A_i^t}{A_i^0}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}&= A^t - A^0 - \sum_i (A_i^t - A_i^0) \\ &= 0\end{aligned}$$

对式 (5) 两边对数化:

$$\ln D = \ln D_S + \ln D_F + \ln D_I + \ln D_R + \ln D_{res}\quad (7)$$

对照式 (4) 和 (7), 不妨设各项相应成比例, 即:

$$\frac{\ln D}{\Delta A} = \frac{\ln D_S}{\Delta A_S} = \frac{\ln D_F}{\Delta A_F} = \frac{\ln D_I}{\Delta A_I} = \frac{\ln D_R}{\Delta A_R} = \frac{\ln D_{res}}{\Delta A_{res}} \quad (\text{假设 } \frac{0}{0} \text{ 可以为任意常数})$$

设 $\frac{\ln D}{\Delta A} = \frac{\ln A^t - \ln A^0}{A^t - A^0} = W$, 因而:

$$D_S = \exp(W \Delta A_S), D_F = \exp(W \Delta A_F)$$

$$D_I = \exp(W \Delta A_I), D_R = \exp(W \Delta A_R), D_{red} = 1 \quad (8)$$

人均碳排放分解的各个因素贡献公式(6)和(8)表示了从基期以来人均碳排放量变化总量中,能源结构、能源排放强度、能源效率、和经济发展因素的贡献值。

三、江苏省碳排放的因素分析

(一)数据收集、估算与整理

采用下式估算江苏省总体碳排放量:

$$C = \sum_i \frac{E_i}{E} \times \frac{C_i}{E_i} \times E = \sum_i S_i \times F_i \times E$$

其中, E 代表江苏省一次能源的消费量, Fi 代表 i 类能源的碳排放强度, Si 代表 i 类能源在总能源所占的比例。这里 Fi 的取值见表 1。

表 1 不同能源的碳排放系数				
项目	煤炭	石油	天然气	水电、核电
$F_i(t(C)/t)$	0.747 6	0.582 5	0.443 5	0.0

资料来源: 国家发展和改革委员会能源研究所, 中国可持续发展能源暨碳排放情景分析 (2003)。

计算整理后,可以得到江苏省碳排放因素分析的基本数据(见表 2)。

(二)因素分析

由于单位能源的碳排放量较为稳定,因而固定,即能源结构、能源效率和经济发展三者的变化决定了江苏省的人均碳排放指标。因此, AF=0, DF=1, 以 1995 年为基年,根据公式(6)和(8)可算出其它三个因素的影响效果,见表 3 和图 1。

从图 1 和表 3 中可以看出, 12 年来江苏省人均碳排放总量持续上升。1996)2001 年期间数值较为平稳,无明显趋势,但自 2001 年后持续快速增长,在 2005 年增速达到峰值(25.3%),之后有明显减缓的趋势。

由图 1 可知,经济发展对江苏人均碳排放的贡献值连年增加,自 2002 年起更是呈现出指数增长的趋势。因此,经济发展是造成江苏省人均碳排放量快速增长的最主要因素。此外,江苏省能源消费结构的变化对减少人均碳排放量的贡献值虽然有所增加,

但程度不大。这是由于江苏省能源结构比较单一,大量依赖煤炭,占一次能源消费量的近 80%,且短期内难以改变。

由此,我们推测抑制江苏省人均碳排放的因素主要是能源效率的变化。图 1 的形态有力的证明了上述的推断:1996-2003 年,能源效率的提高对碳排放的抑制作用不断增强,但之后出现了正/UO 形态,在 2003)2005 年出现反弹,随后反转向下。尽管如此,能源效率对降低江苏省人均碳排放的贡献值与经济发展对增加江苏人均碳排放的贡献值相比,作用极为有限,因而无法阻止近年来江苏人均碳排放急剧增长的态势。

为更加明确地了解三个主要因素对江苏人均碳排放的贡献程度,我们将其划分为两类:正向因素(经济发展)和反向因素(能源效率和能源结构)。方便比较起见,不妨将反向因素对江苏人均碳排放增加的贡献率(<1)取倒数,成为对江苏人均碳排放降低的贡献率,然后比较反向因素对抑制江苏人均碳排放的贡献率以及正向因素对拉动江苏人均碳排放的贡献率的变化趋势(见图 2)。

表 2 江苏省 1995—2007 年的能源、人口、GDP 以及碳排放

年份	消费总量	煤炭	比例	石油	比例	天然气	比例	水电	比例	人口	GDP	碳排放	人均
	10 ⁴ t	10 ⁴ t	%	10 ⁴ t	%	10 ⁴ t	%	10 ⁴ t	%	10 ⁴	亿元	10 ⁴ t	t/人
1995	7829.40	6382.63	0.8152	1444.03	0.1844	2.307	0.000294	0.431	0.000055	7066.02	5155.25	5613.83	0.7945
1996	7805.97	6309.41	0.8083	1494.26	0.1914	1.700	0.000217	0.602	0.000077	7110.16	5784.19	5588.08	0.7859
1997	7648.48	6065.12	0.793	1581.33	0.2068	1.457	0.000191	0.565	0.000074	7147.86	6478.29	5456.06	0.7633
1998	7734.03	6122.27	0.7916	1609.35	0.2081	2.064	0.000267	0.356	0.000046	7182.46	7190.91	5515.37	0.7679
1999	7918.48	6224.41	0.7861	1691.35	0.2136	2.671	0.000337	0.049	6.21E-06	7213.13	7917.19	5639.76	0.7819
2000	8234.17	6264.41	0.7608	1966.68	0.2388	2.914	0.000354	0.160	0.000019	7327.24	8756.41	5830.16	0.7957
2001	8287.65	6402.27	0.7725	1882.34	0.2271	2.793	0.000337	0.246	0.000030	7354.92	9649.56	5884.04	0.8000
2002	8926.82	6902.28	0.7732	2011.01	0.2253	12.264	0.001374	1.266	0.000142	7380.97	10778.56	6337.00	0.8586
2003	10211.28	7749.44	0.7589	2449.39	0.2399	7.529	0.000737	4.916	0.000481	7405.82	12244.45	7223.59	0.9754
2004	12201.24	9480.25	0.7770	2679.18	0.2196	38.129	0.003125	3.687	0.000302	7432.5	14056.62	8664.97	1.1658
2005	15389.03	11984.93	0.7788	3235.44	0.2102	165.388	0.010747	3.269	0.000212	7474.5	16094.83	10917.93	1.4607
2006	16836.35	13162.89	0.7818	3289.64	0.1954	380.076	0.022575	3.748	0.000223	7549.5	18492.96	11925.36	1.5796
2007	18302.32	14251.57	0.7787	3505.78	0.1915	541.335	0.029577	3.626	0.000198	7624.5	21248.42	12936.68	1.6967

注:表中消费总量及各类能源数据均折合成标准煤,其中 1t 原煤 = 0.7143t 标煤,1t 原油 = 1.4286t 标煤,108m³ 天然气 = 12.143 万吨标煤,1 万千瓦时水电 = 1.229 吨标煤。GDP 按 1995 年不变价格计算。

资料来源:能源数据来自中国能源统计年鉴(1997-1999、2000-2002、2003、2004、2005、2006、2007、2008)^[M]。北京:中国统计出版社;人口与 GDP 数据来自江苏省统计局, <http://www.jssb.gov.cn>。

表 3 1996—2007 年人均碳排放增速及三因素对江苏省人均碳排放的影响效果

年份	人均碳排放较前一年增速	人均排放		能源结构		能源效率		经济发展	
		ΔA	D	ΔA_s	D_s	ΔA_e	D_e	ΔA_R	D_R
1996	-1%	-0.009	0.990	-0.042	0.940	0.207	1.360	-0.174	0.853
1997	-3%	-0.031	0.961	-0.048	0.930	0.076	1.121	-0.059	0.948
1998	0.6%	-0.026	0.967	-0.049	0.929	-0.009	0.987	0.031	1.028
1999	1.8%	-0.013	0.984	-0.052	0.926	-0.078	0.890	0.117	1.113
2000	1.7%	0.001	1.002	-0.063	0.911	-0.147	0.805	0.212	1.215
2001	0.5%	0.006	1.007	-0.058	0.918	-0.226	0.717	0.290	1.306
2002	7.3%	0.064	1.081	-0.060	0.918	-0.268	0.684	0.393	1.454
2003	13.6%	0.181	1.228	-0.071	0.910	-0.286	0.685	0.538	1.726
2004	19.5%	0.371	1.467	-0.068	0.921	-0.258	0.734	0.698	2.171
2005	25.3%	0.666	1.839	-0.076	0.923	-0.169	0.837	0.911	3.112
2006	8.1%	0.785	1.988	-0.077	0.926	-0.236	0.788	1.098	4.157
2007	7.4%	0.902	2.136	-0.081	0.925	-0.321	0.733	1.304	5.788

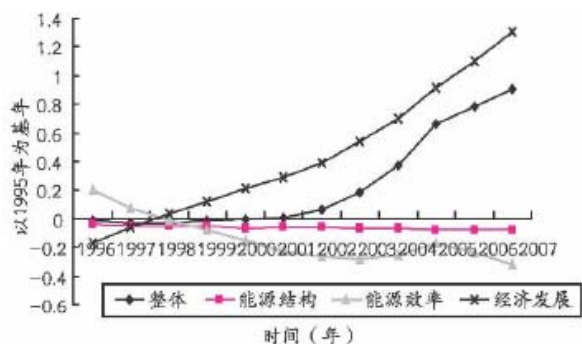


图 1 1996—2007年三因素对江苏省人均碳排放的贡献值趋势图

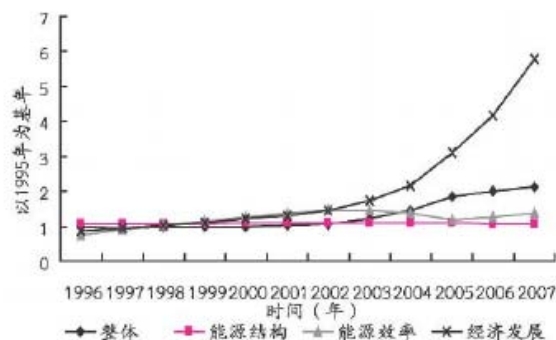


图 2 1996—2007年三因素对江苏人均碳排放变化的贡献率趋势图

从图 2 我们可以很明显的看出,作为正向因素的经济对促进江苏人均碳排放的贡献率呈指数增长,尤其自 2002 年之后,正向因素每年的贡献率都要大于反向因素对抑制江苏人均碳排放的贡献率,从而造成了江苏省人均碳排放的增加。而反向因素(能源结构和能源效率)对抑制江苏人均碳排放的贡献率作用并不显著。

尤其是表征能源结构贡献率的曲线接近水平,说明近年来江苏省的能源结构并没有得到明显优化。而能源效率在 1996—2005 年间呈倒“U”形态,之后缓慢上升,说明 12 年来能源效率对碳排放的作用依次呈现“增强)减弱)增强”的态势。1998—2002 年能源效率的抑制贡献率与经济发展的拉动贡献率之间的差距极小,随后逐渐扩大,使得江苏人均碳排放量在此期间不断增加,而自 2005 年之后形态趋缓。

值得注意的是,从图 1 和图 2 中可以发现自 2005 年江苏省出现碳排放增速下降,这说明江苏省按照“十一五规划纲要”精神大力实施的节能减排工作已经取得了初步成效。

四、结论及对策

(一) 结论

1. 过去 12 年中,江苏省人均碳排放量由相对平稳转为加速上升趋势,其转变点出现在 2002 年,但 2005 年之后增速放缓,说明江苏省节能减排工作已取得初步成效,但这仅仅是实现了/碳减速 0,还远未实现/碳减排 0。

2. 近年来,能源效率的提高成为抑制江苏人均碳排放的唯一因素,而能源结构的优化并没有取得理想效果,对江苏人均碳排放的抑制效果不显著。

3. 近年以来,能源效率对碳排放的抑制作用在经历了轻微波动后开始初步显现,能源需求依然严重倚靠煤炭。目前,能源效率和能源结构的抑制作用尚不足以抵消由江苏经济快速增长带来的人均碳排放量增长。

(二) 对策

综上所述,走低碳经济道路,实现清洁发展已成为江苏省科学发展的当务之急,大致需要这样一个必经的漫长过程:碳排放增速减缓)碳减排)零排放)负排放。目前可以采取以下措施:

1. 大力调整能源结构。目前江苏省能源消费的基本格局是:以煤为主,油气资源贫乏,核能的开发利用正在建设之中[5]。严

重依赖煤炭,而煤炭由于其 CO₂ 排放强度较高,致使江苏省在经济发展过程中/高碳 0 特征非常明显。表 2 中,12 年来煤炭在一次化石能源中的比重不降反增,占到了近 80%。为此,江苏省的能源政策应由重点优化发展火电,有序开发水电,积极推进核电建设,大力发展可再生能源向积极推进电力工业上大压小,加速淘汰落后产能,积极推进水电开发,大力发展核电,加快风电、太阳能发电和热电联产等清洁高效能源的建设的转变。

2. 提高能源效率是节能减排最为有效的方式[6]。目前,江苏省沿用的传统粗放式发展模式还未根本改变,普遍存在着能源效率低,浪费大的问题。在节约能源、提高能效方面,有着巨大的潜力。提高能源效率应该从微观主体入手,充分利用市场机制,适度提高能源价格,加之使用补贴、税收等手段,达到中央政府、地方政府、企业和个人的激励相容,形成节能减排的利益认同和一致行动。

3. 调整产业结构,促进低碳绿色产业发展。一方面,政府应当利用经济手段和行政手段,限制高碳产业的发展,如完善主要工业耗能设备、家用电器、照明器具、机动车能效标准和强制淘汰落后产能等;另一方面,运用适当的财政政策引导、鼓励和扶持低碳产业的发展和绿色产品的开发,如信息产业、生态旅游、生态农业、会展业、创意产业、新能源开发等产业。促进产业竞争力的提高,减轻传统产业的锁定效应。

4. 继续开展清洁发展机制(CDM)能力建设,更深层次、更大范围地参与清洁发展机制合作。加强与发达国家的技术交流合作,引进消化先进的节能技术、提高能效的技术和可再生能源技术。加快消耗江苏省的碳减排潜力,为此,需要以引进先进的节能减排技术为重点,发展清洁发展机制,从而不断增强江苏省碳减排的技术支撑能力,为今后全面、深入开展碳减排工作提供技术基础。

[参考文献]

[1]魏一鸣,刘兰翠,范英,等.中国能源报告(2008):碳排放研究[R].北京:科学出版社,2008.

[2] Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition[J]. Energy, 1998, 23(6): 489-495.

[3]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 [J].中国人口#资源与环境,2006,16(6): 158-161.

[4] Johan A, Delphine F, Koen S. A Shapley Decomposition of Carbon Emissions without Residuals [J]. Energy Policy, 2002, 30: 727-736.

[5]孙爱民.天然气对江苏能源结构和环境保护的影响[J].中国工程咨询,2007,(5): 23-24.

[6]潘家华.怎样发展中国的低碳经济[J].绿叶,2007,(5).