

# 中国发展低碳经济的影响因素研究

## ——基于扩展的 STIRPAT 模型分析

孙敬水, 陈稚蕊, 李志坚

(浙江工商大学 经济学院, 浙江 杭州 310018)

**[摘要]** 深入探讨发展低碳经济的主要影响因素, 对转变经济发展方式、建设资源节约型和环境友好型社会有着重要的理论和现实意义。因此, 基于扩展的 STIRPAT 模型, 利用 1990 年—2009 年统计数据, 对我国发展低碳经济的主要影响因素及其贡献率进行了实证研究。结果表明, 人均国内生产总值、人口规模、单位能耗碳排放量、能源消费结构等对碳排放量有显著的正向影响, 而产业结构、城市化水平、国际贸易分工对碳排放量影响不显著; 其中人均国内生产总值持续增长是碳排放量增加的最大正向影响因素, 且其贡献率也最大; 能源强度变动是碳排放量增加的最大负向影响因素, 其对碳排放量的增加具有一定的抑制作用。

**[关键词]** 低碳经济; 能源结构; 回归分析; 能源强度; STIRPAT 模型

**[中图分类号]** F062.9 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1004-4833(2011)04-0085-09

### 一、国内外研究现状

《联合国气候变化框架公约》、《京都议定书》、《巴厘岛路线图》、《哥本哈根协议》和坎昆气候变化大会达成的《议定书》等, 都是围绕温室气体减排义务分担等问题进行激烈的国际谈判后形成的约束性文件。中国作为发展中的温室气体排放大国, 正处于工业化、城市化快速发展的重要战略阶段。在这个阶段, 生产和生活能源消耗量必将不断增长, 且这种快速增长的趋势在短期内难以改变。另外, 我国以煤炭为主、多种能源互补的能源结构不利于碳排放量的降低, 从而使得碳排放呈现总量大、增长快的特点。事实上, 中国已经成为世界碳排放大国, 正面临着越来越大的国际经济和政治压力, 因此发展以低能耗、低污染、低排放为特征的低碳经济是落实科学发展观、转变经济发展方式、建设资源节约型和环境友好型社会的有效途径, 也是获得世界低碳革命的先发优势和国际话语权的必然选择。

低碳经济是指保持经济稳定增长的同时实现温室气体排放的低增长或负增长<sup>[1]</sup>。由此可以认为, 温室气体排放(本文主要指二氧化碳排放)是影响低碳经济发展的主要因素。围绕碳排放的影响因素及其贡献率问题, 国内外学者进行了富有成效的研究, 其中具有代表性的研究成果为基于 IPAT

**[收稿日期]** 2011-02-20

**[基金项目]** 浙江省哲学社会科学规划课题(10CGYD22YB)

**[作者简介]** 孙敬水(1958—), 男, 安徽蚌埠人, 浙江工商大学经济学院教授, 博士生导师, 浙江工商大学杂志社社长, 从事产业经济学研究; 陈稚蕊(1986—), 女, 安徽蚌埠人, 浙江工商大学经济学院硕士研究生, 从事产业经济学研究; 李志坚(1987—), 男, 湖南永州人, 浙江工商大学经济学院硕士研究生, 从事产业经济学研究。

方程的驱动力分析和基于 Kaya 模型的碳排放驱动因子分析。Ehrlich(艾利希)等提出了 IPAT 方程,认为碳排放的驱动力为人口规模、经济发展水平和科技进步等因素的综合作用<sup>[2]</sup>。日本学者 Kaya(卡亚)通过建立数学模型来反映人口、经济、能源等与人类活动产生的二氧化碳之间的数量关系。他认为一个地区的社会经济活动所产生的二氧化碳总量等于人口总量、人均国内生产总值、能源强度和单位能耗的碳排放量等因子的乘积<sup>[3]</sup>。Dietz(迭特滋)等在 Kaya 模型基础上建立了 IPAT 方程的随机模型——STIRPAT 模型。他将指数引入该模型使模型能用于分析人文因素对环境的非比例影响<sup>[4]</sup>。Wang(王)等采用对数均值迪氏分解法(LMDI)对碳排放的因素进行了分解,结果表明代表技术因素的能源强度是减少碳排放量的最重要的因素,而能源结构因素也起到一定的作用<sup>[5]</sup>。国内学者对碳排放的研究虽然起步较晚,但近几年进展较快,学者们对碳排放的影响因素及其贡献率也进行了富有成效的研究。庄贵阳提出影响碳排放的主要因素包括人口增长、工业化水平、国际贸易分工、技术进步和资源禀赋等<sup>[6]</sup>。胡初枝等通过对我国六部门能源消费的碳排放量进行因素分解,提出能源强度是最主要的影响因素,并且产业结构的变化对碳排放量的减少有一定影响<sup>[7]</sup>。中国科学院可持续发展战略研究组的研究结果表明,碳排放在不同阶段依靠的驱动力是不一样的<sup>[8]</sup>。宋德勇等认为,产出规模和能源效率是对碳排放量的增减起关键作用的变量<sup>[9]</sup>。王锋等采用对数平均 Divisia 指数分解法对中国能源消费的二氧化碳排放增长率进行了研究。他认为人均国内生产总值增长是碳排放量增加的最大影响因素,生产部门能源强度下降是抑制碳排放量增加的最重要因素<sup>[10]</sup>。

总体来看,国内外学者的研究对进一步探讨低碳经济的影响因素具有一定的启发意义。但是,由于相关数据的缺乏,学者们采用计量经济模型分析方法进行实证研究的较少,且结论说服力也不强。目前对低碳经济影响因素的研究主要集中在人口规模、经济发展水平、能源强度、单位能耗碳排放量等方面,而从能源消费结构、产业结构、城市化水平、国际贸易分工等角度探讨碳排放的影响因素却较少。此外,现有对碳排放影响因素的研究大多是从总量角度来进行分析,而对人均碳排放量影响因素的探讨则较少。实证表明,不同的因素对碳排放的影响及贡献率是不一致的,因此有必要进一步探讨人均碳排放量的影响因素。针对以往研究的不足,本文对 STIRPAT 模型进行了扩展,并实证分析人口规模、经济发展水平、能源强度、单位能耗碳排放量、能源消费结构、产业结构、城市化水平、国际贸易分工等因素对碳排放总量和人均碳排放量的影响及其贡献率,探讨减少碳排放的重点领域,得出具有启发意义的研究结论。

## 二、变量、模型与数据

碳排放主要源于石化能源的消耗,但碳排放量的增减不能简单地归结于石化能源消耗,因为碳排放量的变化还受到人口规模、经济发展水平、能源强度、单位能耗碳排放量以及能源消费结构、产业结构、城市化水平、国际贸易分工等因素的影响。

### (一) 变量的选择

本文选择的被解释变量为碳排放总量、人均碳排放量,解释变量包括以下几个方面。

1. 人口规模(P)。一般来说,人口规模对碳排放量具有正向影响。首先,人口越多,使用和消耗的能源就越多,所产生的碳排放量也就越大。其次,人口增长不可避免地改变自然生态环境,增加了碳排放量。但也有例外,随着收入水平和技术水平的提高,人们对优质环境的需求增加,社会的环境保护意识以及减少碳排放和改善环境质量的能力也随之提升,这会使得人口规模对碳排放产生负向影响。

2. 经济发展水平(A)。经济发展离不开大量煤炭、石油等石化能源的投入和使用,而能源消费的增加必然会促进碳排放量的增加。我国目前刚进入工业化的中期阶段,处在能源消费需求快速增长时期,碳排放量在今后较长的一段时期内还会随着经济发展而增加。

3. 能源强度(T)。能源强度是以单位国内生产总值的能源消费量来表征能源系统的投入产出

特性,它反映了能源经济活动的整体效率。能源强度对碳排放的影响较大,能源强度越高,碳排放量就越大。

4. 单位能耗碳排放量(CT)。单位能耗碳排放量是衡量一个国家或地区是否实现低碳经济发展的主要指标。单位能耗碳排放量对碳排放总量具有直接影响。单位能耗碳排放量越大,碳排放总量就越大,反之碳排放总量则越小。单位能耗碳排放量主要是由碳排放系数、能源利用效率和碳捕获技术所决定的。

5. 能源消费结构(CS)。能源消费结构趋于低碳化将会减少碳排放量。多年来,我国能源消费结构以煤炭为主,这使得碳排放量逐年增加的状况在相当长的一段时期内不会发生根本的改变。要想改变这种状况,就必须优化能源结构,用低碳能源逐步替代煤炭等高碳能源。

6. 产业结构(S)。不同产业部门消耗的能源类型和结构是不同的,导致碳排放量也各不相同。由于第二产业终端能源消费占到全部终端能源消费的60%以上,因此第二产业在国民经济中比例的变化在一定程度上决定了碳排放量的变化。也就是说,第二产业所占比例越高,碳排放量就越大。

7. 城市化水平(U)。城市化水平是影响碳排放的重要因素之一。城市是人口、交通、工业等各种资源的集中地,也是能源消耗、碳排放的集中地。城市化水平越高,生产和生活所需的能源消耗越多,碳排放量也就越大。

8. 国际贸易分工(EX)。由于各国存在国际分工、资源禀赋、产业结构、能源利用效率等各方面的差异,这使得国际贸易中存在碳排放转移的问题,因此国际贸易分工也是影响碳排放的重要因素之一。国际贸易分工对碳排放具有双重作用:进口高耗能的资源密集型的产品则减少了本地区此类产品的生产,从而减少碳排放量;而出口高耗能的资源密集型产品则增加了本地区此类产品的生产,从而增加碳排放量。

## (二) 扩展的 STIRPAT 模型

STIRPAT 模型是 IPAT 方程的随机形式。IPAT 方程是一个分析人文因素对环境影响的量化模型,其一般表示为: $I = P \times A \times T$ 。其中 I 为二氧化碳排放量,P 为人口总量,A 为人均国内生产总值,T 为单位国内生产总值产生的二氧化碳,即碳排放强度  $T = \text{二氧化碳排放量} / \text{国内生产总值}$ 。IPAT 方程结构简单、易于操作,已在能源与环境经济领域得到广泛应用,但它考察的变量数目有限,所能得到的研究结果基本限于二氧化碳排放与能源、经济及人口在宏观上的量化关系以及对因变量的等比例影响,这成为该方程的最大局限。

为了克服 IPAT 方程的不足,迭特滋等建立了 IPAT 方程的随机模型——STIRPAT 模型,其表示为: $I_t = aP_t^{\alpha_1}A_t^{\alpha_2}T_t^{\alpha_3}e^{\varepsilon_t}$ 。其中  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  分别表示人口总量、经济发展水平、碳排放强度的弹性系数, $\varepsilon$  为随机误差项。指数的引入使得该模型可用于分析人文因素对环境的非等比例影响。

除了上述变量外,本文引入单位能耗碳排放量、产业结构、能源消费结构、城市化水平、国际贸易分工等变量对 STIRPAT 模型进行扩展。扩展后的 STIRPAT 模型为:

$$I_t = aP_t^{\alpha_1}A_t^{\alpha_2}T_t^{\alpha_3}CT_t^{\alpha_4}S_t^{\alpha_5}CS_t^{\alpha_6}U_t^{\alpha_7}EX_t^{\alpha_8}e^{\varepsilon_t} \quad (1)$$

其中,I 为二氧化碳排放量,P 为人口总量,A 为人均国内生产总值,T 为能源强度,CT 为单位能耗碳排放量,S 为产业结构,CS 为能源消费结构,U 为城市化水平,EX 为国际贸易分工, $\varepsilon$  为随机误差项。其中  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \alpha_6, \alpha_7, \alpha_8$  分别表示人口总量、经济发展水平、能源强度、单位能耗碳排放量、产业结构、能源消费结构、城市化水平、国际贸易分工的弹性系数。与传统的 STIRPAT 模型相比,扩展后的模型更加符合实际情况。

(1) 式两边取自然对数,将该模型化为线性回归模型(这可以减弱各变量指标数据中存在的异方差现象)。考虑到能源强度与单位能耗碳排放量的交互作用、产业结构与城市化水平的交互作用对碳排放总量的影响,本文在模型中引入  $\ln T_t$  与  $\ln CT_t$  以及  $\ln S_t$  与  $\ln U_t$  的乘积,即:

$$\ln I_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_t + \alpha_2 \ln A_t + \alpha_3 \ln T_t + \alpha_4 \ln CT_t + \alpha_5 \ln T_t \times \ln CT_t + \alpha_6 \ln S_t + \alpha_7 \ln U_t + \alpha_8 \ln S_t \times \ln U_t + \alpha_9 \ln CS_t + \alpha_{10} \ln EX_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

$$\ln PI_t = \beta_0 + \beta_1 \ln A_t + \beta_2 \ln T_t + \beta_3 \ln CT_t + \beta_4 \ln T_t \times CT_t + \beta_5 \ln S_t + \beta_6 \ln U_t + \beta_7 \ln S_t \times \ln U_t + \beta_8 \ln CS_t + \beta_9 \ln EX_t + \varepsilon_t \quad (3)$$

(3)式为人均碳排放量的STIRPAT模型(各变量解释同上)。在用多元回归方程分析碳排放的主要影响因素时,由于解释变量或影响因素所用的单位不同,数据的大小差异往往很大,这不利于用同一标准进行比较。为了消除量纲不同和数量级的差异所带来的影响,本文将样本数据(对数形式)作标准化处理,即将每个变量(对数样本数据)减去各自的均值,然后除以其标准差,得到新的变量和新的模型,再用计量方法估计未知参数,求得标准化回归系数。有了标准化回归系数后变量的相对重要性就容易进行比较了。将(2)式和(3)式中每个变量标准化后(加上“\*”以示区别)就变为新的计量经济模型,即:

$$\ln I_t^* = \alpha_1 \ln P_t^* + \alpha_2 \ln A_t^* + \alpha_3 \ln T_t^* + \alpha_4 \ln CT_t^* + \alpha_5 \ln T_t^* \times \ln CT_t^* + \alpha_6 \ln S_t^* + \alpha_7 \ln U_t^* + \alpha_8 \ln S_t^* \times \ln U_t^* + \alpha_9 \ln CS_t^* + \alpha_{10} \ln EX_t^* + \varepsilon_t \quad (4)$$

$$\ln PI_t^* = \beta_1 \ln A_t^* + \beta_2 \ln T_t^* + \beta_3 \ln CT_t^* + \beta_4 \ln T_t^* \times \ln CT_t^* + \beta_5 \ln S_t^* + \beta_6 \ln U_t^* + \beta_7 \ln S_t^* \times \ln U_t^* + \beta_8 \ln CS_t^* + \beta_9 \ln EX_t^* + \varepsilon_t \quad (5)$$

模型中各变量含义及其描述性统计如表1所示。

表1 模型中各变量描述性统计

变量	符号	含义	均值	标准差	最大值	最小值
碳排放量(万吨)	I	二氧化碳排放总量	135673.2	52340.73	248270.7	80610.9
人口规模(万人)	P	人口总量	125301.2	5952.8	133474	114333
人均碳排放量(吨)	PI	碳排放量与人口总量之比	1.07	0.37	1.86	0.71
人均实际国内生产总值(元)	A	人均国内生产总值/物价指数	4626.87	2635.39	10638.33	1632.76
能源强度	T	单位国内生产总值能耗	3.28	0.93	5.29	2.16
单位能耗碳排放量	CT	碳排放量与能源消费之比	0.81	0.01	0.82	0.77
产业结构(%)	S	第二产业增加值占国内生产总值比重	46.09	2.03	48.7	41.3
能源消费结构(%)	CS	煤炭消费占能源消费比重	71.09	3.39	76.2	66.3
城市化率(%)	U	城镇人口占总人口比重	35.33	7.27	46.60	26.40
国际贸易分工(%)	EX	出口额占国内生产总值比重	23.31	7.10	36.61	14.96

注:数据来源于历年《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》,下同。

### (三) 数据来源

由于石化能源消耗所产生的二氧化碳量在很大程度上代表了一个国家或地区的碳排放总量,因此本文选取碳足迹测量法对石化能源消耗直接排放的二氧化碳量进行计算。我们将消费的能源分为煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油和天然气八类,根据全国历年各类能源消耗量和各能源的碳排放系数计算出历年的碳排放量。为了消除物价水平对实际国内生产总值和人均实际国内生产总值的影响,本文以1990年为基期,用国内生产总值缩减指数计算实际国内生产总值和人均实际国内生产总值;鉴于长期以来我国的能源结构以煤炭为主,石油和天然气及其他新能源使用比例较小,本文中的能源消费结构用煤炭消费占能源消费比重表示;产业结构用第二产业增加值占国内生产总值的比重表示;城市化水平用城镇人口占总人口比重表示;国际贸易分工用出口额占国内生产总值比重表示。本文所采用的数据均来自历年《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》等。

## 三、实证分析

1990年—2009年我国能源消费总量和碳排放总量不断增加。图1显示能源消费总量由1990年的98703万吨标准煤增加到2009年的306647万吨标准煤,增加了2.11倍,年均增长6.25%;碳排放

总量由1990年的80611万吨增加到2009年的248271万吨,增加了2.08倍,年均增长6.23%。能源消费总量和碳排放总量在20年间变化几乎一致,其平均增长率仅相差0.02%,且两者在2001年后都呈现快速上升的趋势。

1990年—2009年我国人均能源消费量和人均碳排放量也在不断增加。图2显示,人均能源消费量由1990年的0.863吨标准煤增加到2009年的2.297吨标准煤,增加了1.67倍,年均增长5.4%;人均碳排放量由1990年的0.705吨增加到2009年的1.860吨,增加了1.64倍,年均增长5.37%。人均能源消费量和人均碳排放量在20年间变化趋势也几乎一致,其平均增长率仅相差0.03%,2001年后两者也都显现快速上升的趋势。

图3显示,碳排放总量增长率与经济增长率走势基本保持一致。1990年—2009年国内生产总值年均增长11.3%、人均国内生产总值年均增长10.4%,均快于碳排放总量增长率

与人均碳排放量增长率,这说明能源强度不断减弱,使碳排放量在一定程度上得到了控制。不过国内生产总值变化趋势与碳排放总量变化趋势几乎一致,表明两者之间具有很强的正向相关性。同时,单位能源消耗碳排放量与碳排放总量之间存在较强正向相关关系,但由于控制碳排放的相关技术在一定时期内是不变的,因此单位能耗碳排放量增长率也几乎不变。在国际贸易方面,净出口增长率变化波动大于碳排放总量增长率变化波动且两种之间存在微弱的反向作用;在城市化水平方面,城市化水平与碳排放总量呈一定的正相关关系,但城市化增长率与碳排放总量增长率之间的相关关系不明显。

### (一) 碳排放总量和人均碳排放量的计量模型分析

由于对非平稳数据变量直接建立模型会产生虚假回归,本文将对时间序列进行平稳性检验,若为非平稳的同阶单整时间序列,则需要进一步检验变量间是否存在长期协整关系。经验证,各变量时间序列(对数形式)为非平稳、一阶单整序列,因此需进一步检验变量之间的协整关系。根据前面所述的(4)式和(5)式,我们利用各变量数据和EViews6.0软件,得到回归结果(见下页表2)。表2中的模型1至模型4中残差为平稳序列,即各变量之间存在协整关系。

由表2中模型1和模型2的回归结果可知, $\ln P^*$ 、 $\ln A^*$ 、 $\ln T^*$ 、 $\ln CT^*$ 、 $\ln T^* \times \ln CT^*$ 、 $\ln S^* \times \ln U^*$ 、 $\ln CS^*$ 对 $\ln I^*$ 有显著影响,其他变量不显著。模型2的回归结果最好,各回归系数均显著,拟合优度非常高,模型不存在异方差性和自相关性,解释变量之间不存在多重共线性,达到了比较理想的效果。由表2中模型3和模型4的回归结果可知, $\ln A^*$ 、 $\ln T^*$ 、 $\ln CT^*$ 、 $\ln U^*$ 、 $\ln EX^*$ 对 $\ln PI^*$ 有显著影响,其中模型4的回归结果最好。

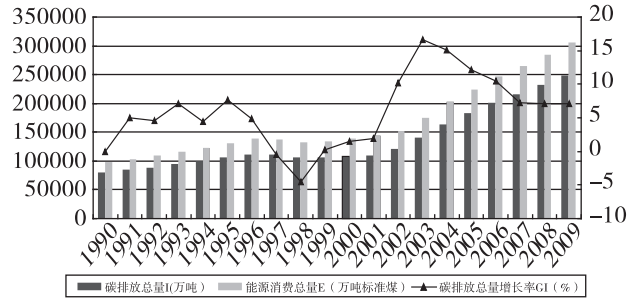


图1 碳排放总量、能源消费总量与碳排放总量增长率

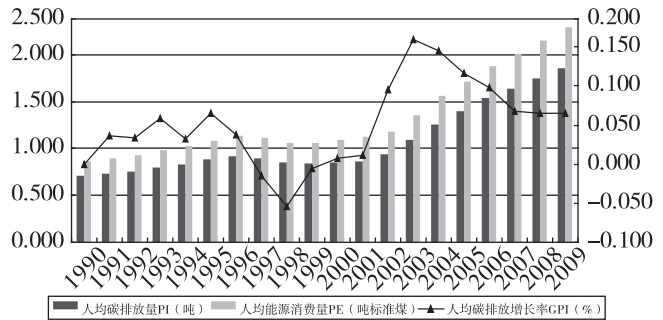


图2 人均碳排放量、人均能源消费量与人均碳排放量增长率

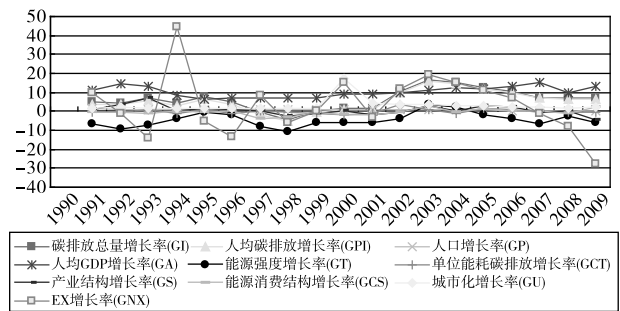


图3 碳排放及其影响因素增长率

表 2 碳排放总量、人均碳排放量各影响因素的回归结果

解释变量	碳排放总量(对数形式 lnI*)				人均碳排放量(对数形式 lnPI*)			
	模型 1		模型 2		模型 3		模型 4	
	Coefficient	t-Prob	Coefficient	t-Prob	Coefficient	t-Prob	Coefficient	t-Prob
lnP*	0.136704	0.0000	0.136727	0.0000				
lnA*	1.571421	0.0000	1.571395	0.0000	1.785804	0.0000	1.785866	0.0000
lnT*	0.772815	0.0000	0.772815	0.0000	0.878311	0.0000	0.878303	0.0000
lnCT*	0.045839	0.0000	0.045840	0.0000	0.052022	0.0000	0.052081	0.0000
lnT* × lnCT*	2.27E-05	0.0123	1.99E-05	0.0051	1.99E-08	0.0167	2.66E-08	0.0002
lnS*	5.13E-06	0.3536			1.00E-08	0.0645		
lnU*	1.26E-05	0.5431			3.40E-07	0.0000	3.41E-07	0.0000
lnS* × lnU*	8.77E-06	0.0321	8.16E-06	0.0119	4.27E-09	0.2880		
lnCS*	3.30E-05	0.0331	4.24E-05	0.0031	1.47E-09	0.8985		
lnEX*	2.29E-06	0.7946			2.35E-08	0.0013	2.01E-08	0.0005
Adjusted-R <sup>2</sup>	1.000000		0.999998		1.000000		0.999106	
DW	2.052516		1.683785		2.650377		2.375955	

从表 2 可以看出,人口规模、经济发展水平、能源强度、单位能耗碳排放量、能源消费结构、能源强度与单位能耗碳排放量的交互作用、产业结构与城市化水平的交互作用对碳排放总量有显著正向影响,而产业结构、城市化水平和国际贸易分工则对碳排放总量影响不显著。从模型 2 的回归系数来看,人均国内生产总值弹性、能源强度弹性、人口规模弹性、单位能耗碳排放量弹性,从大到小排列依次为 1.571395,0.772815,0.136727 和 0.04584,即实际人均国内生产总值、能源强度、人口规模、单位能耗碳排放量每提高 1% 时,碳排放总量增长率将依次为 1.5714%、0.7728%、0.1367%、0.0458%,而其他变量弹性非常小,可以忽略不计。因此,在对碳排放总量正向影响的因素中,经济发展水平影响最大,能源强度影响较大,人口规模影响较小,单位能耗碳排放量影响最小。

表 2 显示,经济发展水平、能源强度、单位能耗碳排放量、城市化水平、国际贸易分工、能源强度与单位能耗碳排放量的交互作用对人均碳排放量有显著正向影响,而产业结构、能源消费结构、产业结构与城市化水平的交互作用对人均碳排放量影响不显著。从模型 4 的回归系数看来,人均国内生产总值弹性、能源强度弹性、单位能耗碳排放量弹性,从大到小排列依次为 1.785866,0.878303 和 0.052081,即实际人均国内生产总值、能源强度、单位能耗碳排放量每提高 1% 时,人均碳排放量的增长率将依次为 1.7859%、0.8783% 和 0.0521%,而其他变量弹性非常小,可以忽略不计。因此,在对人均碳排放量正向影响的因素中,人均国内生产总值影响最大,能源强度影响较大,单位能耗碳排放量影响最小。

(二) 各影响因素对碳排放总量和人均碳排放量的贡献率分析

由表 2 中的模型 2 可知,对碳排放总量正向影响较大的解释变量的回归系数为: $\hat{\alpha}_1 = 0.136727$ , $\hat{\alpha}_2 = 1.571395$ , $\hat{\alpha}_3 = 0.772815$ , $\hat{\alpha}_4 = 0.045840$ ;由模型 4 可知,对人均碳排放量正向影响较大的解释变量的回归系数为: $\hat{\beta}_1 = 1.785866$ , $\hat{\beta}_2 = 0.878303$ , $\hat{\beta}_3 = 0.052081$ 。将模型 2 和模型 4 的回归系数做归一化处理,处理后的系数为: $\delta_i = \hat{\alpha}_i / \sum \hat{\alpha}_i (i = 1, 2, 3, 4)$ , $\gamma_j = \hat{\beta}_j / \sum \hat{\beta}_j (j = 1, 2, 3)$ ,有  $\sum \delta_i = 1$ ,  $\sum \gamma_j = 1$ 。各影响因素变动对碳排放总量变动和人均碳排放量变动的贡献率分别为  $\delta_i G_i / GI (i = 1, 2, 3, 4)$  和  $\gamma_j G_j / GPI (j = 1, 2, 3)$ 。其中  $G_i$  为各影响因素增长率, $GI$  为碳排放总量增长率, $GPI$  为人均碳排放量增长率。各影响因素对碳排放总量和人均碳排放量贡献率的计算结果见下页表 3。

由表 3 可知,1990 年—2009 年碳排放总量年均增长 6.23%,分解后的各影响因素中,人口规模、人均国内生产总值对碳排放总量的影响表现为正效应,其贡献率分别为 1.10% 和 152.49%;而能源

强度、单位能耗碳排放量变动对碳排放总量的影响则表现为负效应,其平均贡献率依次为-36.62%和-0.63%。

1990年—2009年人均碳排放量平均增长5.37%,分解后的各影响因素中,人均国内生产总值对人均碳排放量的影响表现为正效应,平均贡献率为98.15%;而能源强度和单位能耗碳排放量变动对人均碳排放量的影响则表现为负效应,平均贡献率分别为-9.60%和-0.24%。

造成上述情况的主要原因在于:1990年—2009年人均实际国内生产总值年均增长率达到10.4%。人均国内生产总值持续增长是现阶段碳排放总量增加、人均碳排放量增加的主导因素,其贡献率最大。人口规模对现阶段碳排放总量的增加也具有正向影响,但由于人口年均增长率(0.82%)较小,因此人口年均增长率对碳排放总量的贡献率较小。1990年—2009年我国能源强度有较大幅度的下降,年均下降4.54%,其对碳排放总量变动与人均碳排放量变动负向驱动的贡献率最大,而单位能耗碳排放量变动较小,对碳排放总量变动与人均碳排放量变动负向驱动的贡献率较小。尽管单位能耗碳排放量变动对碳排放总量变动表现为微弱负效应,但也表明我国能源结构优化成效初步显现。

一般来说,能源强度与产业结构、能源消费结构及技术进步等多种因素密切相关。根据以上分析,我国现阶段产业结构与能源消费结构变动对碳减排的贡献有限,因此能源效率的提高更多地来自技术进步。换言之,技术进步是导致能源强度和单位能耗碳排放量降低、能源利用效率提高的主要动力。

表3 各影响因素对碳排放总量和人均碳排放量的贡献率

年份	对碳排放总量变动的贡献率(%)				对人均碳排放量变动的贡献率(%)		
	人口规模变动 P <sub>c</sub>	人均实际国内生产总值变动 A <sub>c</sub>	能源强度变动 T <sub>c</sub>	单位能耗碳排放量变动 CT <sub>c</sub>	人均实际国内生产总值变动 A <sub>ac</sub>	能源强度变动 T <sub>ac</sub>	单位能耗碳排放量变动 CT <sub>ac</sub>
1990	-	-	-	-	-	-	-
1991	1.42	142.59	-41.99	-0.06	207.02	-60.96	-0.09
1992	1.39	203.45	-63.75	-0.25	292.72	-91.73	-0.36
1993	0.87	114.61	-30.68	0.21	146.19	-39.11	0.27
1994	1.37	121.52	-25.66	-0.53	173.86	-36.71	-0.75
1995	0.75	53.42	-3.11	0.17	66.23	-3.85	0.22
1996	1.16	89.05	-12.65	-0.37	121.11	-17.20	-0.50
1997	-10.54	-821.40	478.49	-1.09	-297.50	173.31	-0.39
1998	-1.09	-92.11	73.36	0.21	-81.81	65.16	0.19
1999	18.48	1778.88	-771.17	-7.32	-784.83	340.24	3.23
2000	2.67	377.80	-120.06	-2.26	794.77	-252.56	-4.75
2001	2.04	302.65	-96.52	-1.43	517.51	-165.04	-2.44
2002	0.34	60.61	-12.56	0.70	68.88	-14.27	0.80
2003	0.20	40.54	6.16	0.13	44.73	6.80	0.14
2004	0.21	51.89	5.07	-0.10	57.41	5.61	-0.11
2005	0.26	60.63	-4.48	0.22	67.76	-5.01	0.25
2006	0.27	79.72	-11.20	0.13	89.26	-12.54	0.14
2007	0.38	129.95	-28.97	-0.12	148.64	-33.13	-0.14
2008	0.39	85.69	-11.83	-0.05	98.08	-13.55	-0.06
2009	0.39	117.84	-24.33	-0.11	134.80	-27.84	-0.13
均值	1.10	152.49	-36.62	-0.63	98.15	-9.60	-0.24

注:P<sub>c</sub>、A<sub>c</sub>、T<sub>c</sub>、CT<sub>c</sub>依次表示人口规模变动、人均实际国内生产总值变动、能源强度变动、单位能耗碳排放量变动对碳排放总量变动的贡献率;A<sub>ac</sub>、T<sub>ac</sub>、CT<sub>ac</sub>依次表示人均实际国内生产总值变动、能源强度变动、单位能耗碳排放量变动对人均碳排放量变动的贡献率。

## 四、结论与建议

本文鉴于影响低碳经济发展的主要因素,对 STIRPAT 模型进行了扩展,实证研究了人口规模、经济发展水平、能源强度、单位能耗碳排放量、能源消费结构、产业结构、城市化水平、国际贸易分工等因素对碳排放总量和人均碳排放量的影响及其贡献率,得到以下主要结论:

第一,经济发展水平、人口规模、单位能耗碳排放量、能源消费结构、能源强度与单位能耗碳排放量的交互作用、产业结构与城市化水平的交互作用对碳排放总量有显著正向影响;而产业结构、城市化水平和国际贸易分工则对碳排放总量影响不显著。

第二,人均国内生产总值的提高与碳排放总量的增加存在正向相关关系,且两者之间的相关系数接近于 1;人口规模与碳排放总量有显著的正相关作用,但人口总量的增加对碳排放总量增加只有较弱的推动作用;能源强度与单位能耗碳排放量的变动对碳排放总量增加的贡献率为负,这说明能源强度的变动与单位能耗碳排放量的变动对碳排放总量的增加具有抑制作用。

第三,从影响程度上来讲。经济发展水平对碳排放总量正向影响最大,即国内生产总值、人均国内生产总值增长是碳排放总量和人均碳排放量增加的最大正向影响因素;能源强度的变动对碳排放总量和人均碳排放量增加的负向影响最大,即可以通过改变能源强度来抑制碳排放总量的增加。

总之,碳排放与经济发展水平密切相关,经济发展水平或人均国内生产总值的持续增长是碳排放总量增加的主导因素。中国作为发展中国家,人均国内生产总值的增长是满足国民生存与发展基本需求的必要条件,能源消费作为维持经济系统运行的一项基本投入,在一定程度上反映了国民经济活动的强度和满足国民生活需要的能力,其所导致的碳排放量的增加也是在所难免的。在目前经济发展模式下,如果要大幅减少碳排放量,势必会影响经济发展和国民生活水平。因此,我国必须权衡碳减排与经济发展的关系,在确保经济发展不受影响的条件下,显著减少碳排放,实现经济发展与碳减排的双赢。

笔者认为,我国要减少碳排放、向低碳经济转型,应实行以下政策:

第一,优化能源结构,大力发展低碳能源。首先要改善能源生产和消费结构,降低煤炭、石油等石化能源的消费比例;其次要改变能源结构相对单一的局面,积极发展新能源和可再生能源,如风能、水能、太阳能、核能、潮汐能和生物质能等,加快以石化能源为主向以清洁能源和可再生能源为主的结构转变。

第二,加强低碳技术创新,降低能源强度。低碳经济的实质在于提升能效技术、节能技术、可再生能源技术和温室气体减排技术。因此,我国要逐步建立清洁能源、可再生能源以及自然碳汇等多元化的低碳技术体系;要加大能源科技投入,加快技术升级,改进生产工艺,减少能源在生产、转换、运输及消费过程中的损失,实现技术节能;构建有利于低碳技术发展的制度框架,通过税收减免、资金支持等办法鼓励企业引进高效节能设备,实现低碳技术的更新。

第三,加快发展低碳产业,优化产业结构。实证研究显示,碳排放主要来自第二产业,特别是高耗能、高污染的工业企业。我国正处于工业化中期阶段,如果能够采取调整产业结构的措施,加快第三产业的发展,产业结构的优化对减少碳排放量的贡献率就会进一步提高。因此,在不影响经济发展的前提下,我国一方面要采取行政手段和经济手段,提高高碳产业进入的门槛,限制其发展,同时利用低碳技术改造传统制造业,使高碳产业低碳化;另一方面要引导、鼓励和扶持低碳产业的发展,提高现代服务业为代表的第三产业在产业结构中的比重,培育发展新兴产业、高技术产业和节能环保产业,增强低碳产业的竞争力,从而实现产业结构的优化和升级。

第四,控制人口规模,提高公众低碳意识。实证研究显示,人口规模对碳排放量的增加具有正向作用,人口增加不仅造成生存空间的挤压,而且加大了对资源和环境的压力。随着人口城镇化率的逐年提高,居民人均能源消费水平相应提高,这将给碳减排带来新的压力。因此,我国要实现节能减排



目标,就必须继续实行计划生育,减慢人口增长速度,控制人口规模,注重优化人口结构与人口素质;同时政府要注重提高公众的低碳意识,加强对低碳经济的宣传力度,大力倡导低碳消费、绿色消费的理念,引导居民消费模式向可持续的低碳消费方向发展。

#### 参考文献:

- [1]孙桂娟,殷晓彦,孙相云,等. 低碳经济概论[M]. 济南:山东人民出版社,2010:26-27.
- [2]Ehrlich P R, Ehrlich A H. Population, resources, environment: issues in human ecology[M]. San Francisco: Freeman, 1970:89-157.
- [3]Kaya Y. Impact of carbon dioxide emission on GNP growth: interrelation of proposed Scenarios[R]. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989:1-25.
- [4]Dietz T, Rosa E A. Rethinking the environmental impacts of population, affluence, and technology [J]. Human Ecology Review, 1994(1):277-300.
- [5]Wang Can, Chen Jining, Zou Ji. Decomposition of energy-related CO<sub>2</sub> emission in China: 1957—2000[J]. Energy, 2005(30):73-83.
- [6]庄贵阳. 低碳经济:气候变化背景下中国的发展之路[M]. 北京:气象出版社,2007:24-67.
- [7]胡初枝,贤金,钟太洋. 中国碳排放特征及其动态演进分析[J]. 中国人口·资源与环境,2008,18(3):38-42.
- [8]中国科学院可持续发展战略研究组. 2009年中国可持续发展战略报告:探索中国特色的低碳道路[M]. 北京:科学出版社,2009:53-73.
- [9]宋德勇,卢忠宝. 碳排放影响因素分解及其周期性波动研究[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(3):18-24.
- [10]王锋,吴丽华,杨超. 中国经济发展中碳排放增长的驱动因素研究[J]. 经济研究,2010(2):123-136.

[责任编辑:杨志辉,陆惠敏]

## A Research on Influencing Factors of Low-Carbon Economy Development in China: An Analysis Based on the Extended STIRPAT Model

SUN Jingshui, CHEN Zhirui, LI Zhijian

(School of Economics, Zhejiang Industry and Business University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Profound discussion on the main factors affecting low-carbon economic development has an important theoretical and practical significance on changing developmental patterns and building a resource-saving and environment-friendly society. From aspects of the population, economic development level, energy intensity, energy consumption per unit of carbon emission, energy consumption structure, industrial structure, urbanization and division of labor factors in international trade, this paper discusses the main factors affecting low-economic development. And by using China's provincial panel data from 1995 to 2009, this paper extends STIRPAT model and conducts an empirical study on the main factors and contribution rate affecting low-carbon economy development. The results show that: GDP per capita, energy intensity, population, energy consumption per unit of carbon emissions has a significant positive effect on carbon emission. The industrial structure, urbanization level and the international trade division has a very small impact on carbon emission; continued growth in GDP per capita is the largest positive contribution on the growth of carbon; while change in energy intensity has an inhibition in the growth of carbon emission. According to the above empirical results, this paper presents a policy recommendation to maximize the existing energy structure, industry structure, develop more low-carbon industry and its technological innovation, and control the population size and public awareness in this regard simultaneously.

**Key Words:** low-carbon economy; energy structure; regression analysis; energy intensity; STIRPAT model