

# 我国能源消耗碳排放量测度及其趋势研究

孙 涛<sup>1</sup>, 赵天燕<sup>1,2</sup>

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院, 江苏 南京 211106; 2. 首都经济贸易大学 会计学院, 北京 100070)

**[摘要]**在深入分析相关文献以及考察当前我国能源消耗碳排放量现状的基础上,对我国经济增长中能源消耗产生的碳排放量进行测度,并根据有关历史数据以及预测的资料,就我国能源消耗过程中碳排放趋势进行检验,研究表明:我国经济增长中的人均C和CO<sub>2</sub>排放量均呈现弱“N”型变化趋势;政府与企业在环境治理上的投入不足,导致其没能有效解决由经济快速增长引起的能源消耗及碳排放量增加的问题。因此,相关部门需进一步增加环境污染治理投资,促进中国经济增长与能源消耗碳排放量之间的关系向着倒“U”趋势转化。

**[关键词]**碳排放测度;碳排放趋势;能源消耗;经济增长;环境经济学;环境治理;可持续发展

**[中图分类号]**F740 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1004-4833(2014)02-0104-08

## 一、引言

随着我国经济的快速发展以及市场改革的不断深化,经济快速增长所产生的碳排放量在一定程度上超过保持环境生态所要求的界限,造成了严重的环境污染,对经济作物以及人们的健康造成了威胁。造成环境污染的碳排放主要来源于能源消耗,特别是石化燃料的消耗。研究测度能源消耗所产生碳排放量的方法,并检验我国能源消耗碳排放变化的基本趋势,已经成为一项亟待解决的重要课题。在国外,自Grossman和Kurger提出环境库兹涅茨曲线以来,关于能源、环境与经济增长关系的研究文献不断增加<sup>[1]</sup>。从现有的研究文献来看,支持库兹涅茨曲线的研究居多。例如:Selden和Song研究了SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>和SPM的排放与人均收入之间的关系,验证了经济发展与废气排放量之间的倒“U”型关系<sup>[2]</sup>;Grossman和Krueger也研究证明,随着经济的发展,环境质量指标呈现出稳定改善的结果<sup>[3]</sup>;Ma和Stern利用中国1971—2003年的碳排放数据进行研究,发现“生物质能”占比下降对碳排放起到了抑制作用<sup>[4]</sup>;Zhang等研究认为中国碳排放增加的主要因素是经济的快速增长<sup>[5]</sup>。同时,也有一些研究成果表明库兹涅茨曲线并不存在或有差异。例如:Cole等研究证明,虽然人均CO<sub>2</sub>排放与人均产出呈现倒“U”型关系,但拐点出现的时期和大小存在差异<sup>[6]</sup>;Perman和Stern的研究表明环境库兹涅茨曲线并不存在<sup>[7]</sup>。

在国内,理论界对这一课题的研究多集中在引进国外的先进理论与方法以及学习国外的研究成果方面,研究内容以碳排放的影响因素以及经济增长与碳排放的关系为主。国内学者对碳排放影响因素的研究包括:徐玉高等研究了我国碳排放的影响因素,认为经济发展是产生碳排放的主要因素<sup>[8]</sup>;林伯强和刘希颖研究了城市化过程中碳排放的影响因素,并提出了具体的减排策略<sup>[9]</sup>。国内学者对经济增长与碳排放量关系的研究较多,如:徐国泉等利用我国1990—2004年的数据进行实证研究,证明人均碳排放的贡献率呈指数增长,能源效率和能源结构对抑制人均碳排放的贡献率都呈倒“U”型<sup>[10]</sup>;王雷等通过对我国历史数据进行拟合,发现存在环境EKC曲线<sup>[11]</sup>;许广月和宋德勇利用

**[收稿日期]**2013-12-06

**[基金项目]**教育部人文社会科学基金项目(2011YJA790133);江苏省社会科学基金重点项目(2012EYA001);中航集团广义虚拟经济研究专项(GX2012-1023(Y))

**[作者简介]**孙涛(1959—),男,山东泰安人,南京航空航天大学金融发展研究所所长,教授,博士生导师,博士,从事环境金融研究;赵天燕(1965—),女,江苏徐州人,南京航空航天大学经济与管理学院博士研究生,首都经济贸易大学会计学院副教授,从事环境会计研究。

省域面板数据以及数字化横断面图研究的方法证明我国不存在环境库兹涅茨曲线<sup>[12]</sup>。

我国是一个能源生产与消耗的大国,碳排放主要源于工业发展中化石燃料的消耗,两者一般呈现正相关的关系。2012年我国能源消耗总量为36.2亿吨,碳排放总量大约为23.63亿吨。由于能源消耗产生的碳排放量很难以C的形式独立存在,而多以CO<sub>2</sub>形式存在,因此本文所指的碳排放量以CO<sub>2</sub>的排放量为依据。限于篇幅,本文研究不考虑其他形式存在的能源消耗所排放的C排放量。

## 二、经济增长过程中能源消耗与碳排放量的关系

根据库兹涅茨理论,在社会经济增长的过程中,能源消耗会随之增加,能源消耗所产生的碳排放对环境的污染状况会呈现出先增后减的变化趋势。能源消耗所产生的碳排放量主要来源于石化燃料的燃烧,占到全部能源消耗所产生碳排放的95%以上。治理能源消耗的碳排放是一个相当长的过程。随着环境治理的人、财、物大量投入,科学的方法和技术的快速引入,能源消耗所产生的碳排放量就会先达到最高点后呈现持续下降的趋势,使得环境状况不断由环境退化向环境改善转移。

经济发展中能源消耗所产生的碳排放会转化为二氧化碳,而二氧化碳的过量排放会破坏生态环境。因此,测度经济增长中能源消耗的碳排放量及检验其趋势变化,对减少能源消耗的碳排放及环境污染损失有非常重要的意义。Kaya研究认为碳排放主要是由人口、经济水平、能源强度和碳排放强度决定,本文借鉴其理论进行模型构建<sup>[13]</sup>。如果用EN表示一次能源消耗总量,GDP表示国内生产总值,P表示国内总人口,则CO<sub>2</sub>的排放量可以表示为:

$$CO_2 = \frac{CO_2}{EN} \times \frac{EN}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P = C_i \times E_i \times Y_i \times P_i \quad (1)$$

式中: $C_i = CO_2/EN$ 表示二氧化碳排放强度,即单位能源消耗一次排放的CO<sub>2</sub>; $E_i = EN/GDP$ 表示单位GDP所消耗的一次能源量; $Y_i = GDP/P$ 表示人均GDP。本文对(1)式两边取对数得到:

$$\ln CO_2 = \ln C_i + \ln E_i + \ln Y_i + \ln P_i \quad (2)$$

令 $F(CO_2) = \ln CO_2$ , $C'_i = \ln C_i$ , $E'_i = \ln E_i$ , $Y'_i = \ln Y_i$ , $P'_i = \ln P_i$ ,则上式转化为以下多元线性方程:

$$F(CO_2) = C'_i + E'_i + Y'_i + P'_i \quad (3)$$

利用(3)式可以估计经济发展过程中能源消耗所产生的二氧化碳排放量,并可以利用相关的软件进行实证研究,检验方程和方程参数的状况以及实证结果的有效性。

## 三、经济增长中能源消耗产生碳排放量测度及其结果分析

### (一) 测度模型的构建

为实现对能源消耗中C排放量以及CO<sub>2</sub>排放量的合理、有效测度,本文根据不同能源燃烧化学结构及其原理,先将不同形式的能源消耗量折算为标准煤,然后利用排放因子、固碳率、碳氧化率等参数,测度能源消耗中的碳和二氧化碳的排放量。假设有n种不同形式的能源,每种能源的消耗量为 $X_i$ ,每种形式的能源具有m种状态,即有:生产量( $SQ_{ij}$ )、进口量( $JQ_{ij}$ )、出口量( $CQ_{ij}$ )、库存量增减( $KQ_{ij}$ )及其他(主要是海外加油)( $TQ_{ij}$ ),方向相反的能源形态用“-”表示,且在消耗总量中扣减,这样区域内总能源的消耗量可以表示为:

$$X_i = \sum_{j=1}^n (SQ_{ij} + JQ_{ij} \pm \Delta KQ_{ij} - CQ_{ij} \pm TQ_{ij}) \quad (4)$$

由于不同形式能源消耗的碳排放量存在很大差异,因此本文把不同能源形式折算为标准煤。如果用X表示折算后的标准煤总量,用 $\lambda_i$ 表示第i种燃料的标准煤折算系数,则有:

$$X = \sum_{i=1}^n [(SQ_{ij} + JQ_{ij} \pm \Delta KQ_{ij} - CQ_{ij} \pm TQ_{ij}) \times \lambda_i] \quad (5)$$

用PC表示碳排放量, $\varphi_i$ 为第i种能源单位标准热值中的碳含量,即潜在碳排放因子。 $\theta_i$ 为第i种燃料的固碳率, $k_i$ 为第i中能源燃烧的碳氧化率。由于能源消耗的实际碳排放量取决于碳的净排放量与

燃料燃烧过程中的碳氧化率,碳的净排放量等于能源消耗中的含碳量扣除固碳量后的差额。因此本文将能源燃烧的碳排放量表示为:

$$PC = \sum_{i=1}^n [k_i \times (\lambda_i \varphi_i - \theta_i) \times X_i] \quad (6)$$

由于 CO<sub>2</sub> 的分子量为 44,碳的分子量为 12,因此可以根据这一比率把能源消耗的 C 排放量换算为 CO<sub>2</sub> 排放量,β<sub>i</sub> 为修正系数,是第 i 种能源消耗产生的二氧化碳总量与全部二氧化碳总量的比率,用 PCO<sub>2</sub> 表示人均二氧化碳排放量,则有:

$$PCO_2 = \sum_{i=1}^n \beta_i [\lambda_i \varphi_i - \theta_i] \times X_i \times (44/12) \quad (7)$$

在进行能量转化计算中,本文使用统一的转换系数(每吨标准煤的发热量为 29307.6 兆焦耳,统一换算系数为 293.076TJ/10000tce)。借鉴其他学者的研究成果,并根据我国的实际情况,本文对部分内容进行了修正。能源单位标准热值中的碳含量使用政府

间气候变化专门委员会(IPCC)以及经济合作与发展组织(OECD)的标准。主要参数详见表 1。

表 1 能源消耗碳排放量测度模型参数表

燃料名	折算标准煤系数(λ <sub>i</sub> )	潜在碳排放因子(φ <sub>i</sub> )	固碳率(θ <sub>i</sub> )	碳氧化率(k <sub>i</sub> )
原煤	0.7143	27.30	0.30	0.980
洗精煤	0.9000	25.80	0.30	0.980
其他洗煤	0.5253	25.80	0.30	0.980
型煤	0.6068	25.80	0.30	0.980
焦煤	0.9714	29.50	0.30	0.980
原油	1.4286	29.50	0.80	0.990
汽油	1.4714	18.90	0.80	0.990
煤油	1.4714	19.60	0.75	0.990
柴油	1.4571	20.20	0.80	0.990
重油	1.4286	21.10	0.50	0.990
天然气	1.3300	15.30	0.33	0.995
焦炉煤气	6.1417	29.50	0.30	0.995
其他煤气	2.8758	29.50	0.30	0.995
炼厂干气	1.5714	20.00	0.50	0.995
液化石油气	1.7143	17.20	0.80	0.990
其他石油制品	1.3107	20.00	0.80	0.990
其他焦化产品	1.1540	25.80	0.30	0.980
其他能源	—	25.00	0.50	0.990

(二) 碳及二

表 2 我国主要燃料消耗排放 CO<sub>2</sub> 及 C 排放量计算结果统计表

氧化碳排放量的测度结果	年序(年)	全国能源消耗量(万吨)	碳排放总量(万吨)	CO <sub>2</sub> 排放总量(万吨)		
				公式(1)估计结果	公式(7)估计结果	平均估计结果
	1990	98725	67758.89	79616.70	81310.67	80463.69
	1991	103846	71424.59	83781.04	85638.08	84709.56
	1992	109286	75006.40	87907.50	89857.67	88882.59
	1993	116065	79286.80	92844.84	94906.30	93875.57
	1994	122747	83602.05	97814.40	99988.05	98901.23
	1995	131267	88968.99	104004.75	106317.94	105161.35
	1996	135284	94752.73	110671.19	113134.76	111902.98
	1997	135948	92696.77	108177.13	110587.25	109382.19
	1998	136258	87974.86	102578.69	104866.03	103722.36
	1999	140664	89343.43	104085.10	106408.03	105246.57
	2000	145574	91797.81	106852.65	109239.39	108046.02
	2001	150483	93554.00	108803.30	111235.71	110019.51
	2002	159464	99153.42	115216.27	117794.26	116505.27
	2003	167862	115870.38	134525.51	137538.14	136031.83
	2004	197059	134067.95	155250.69	159004.59	157127.64
	2005	222074	148593.96	171923.21	176083.84	174003.53
	2006	246059	162789.07	188184.16	192742.26	190463.21
	2007	265063	175263.82	202429.71	207337.10	204883.41
	2008	285027	185056.83	213555.58	218737.17	216146.38
	2009	310052	198018.78	228315.65	233860.18	231087.92
	2010	325019	210518.38	242517.17	248411.69	245464.43
	2011	348047	228736.14	263275.30	269679.91	266477.61
	2012	362305	236282.26	276536.21	278654.25	277595.23

适当的修正。在测度能源消耗的碳排放量时使用了(6)式,在测度能源消耗的 CO<sub>2</sub> 排放量时,使用了(1)式和(7)式。具体的测度方法是:首先分别利用各自模型公式进行预测,然后把两种模型测度结果的平均值作为最终的测算结果。具体结果详见表 2。

(三) 变量之间的关系及变化趋势分析

本文根据测度模型及有关资料计算得到我国经济增长过程中能源消耗所产生的碳排放量以及二氧化碳排放量的测度结果。该结果反映了我国经济增长过程中能源消耗与碳排放之间的关系。由测

度结果可以看出,利用不同测度方法得出的结果存在明显差异,但能源消耗量与碳排放量以及二氧化碳排放量之间存在着基本相同的变化趋势,其变化趋势相对稳定,它们之间的关系详见图 1。

#### 四、我国能源消耗碳排放量变化趋势及其实证检验

##### (一) 实证研究数据的收集与确定

由于经济增长过程中能源消耗的实际碳排放量无法统计,且在实务中取得的碳排放量并不是经济增长中的实际排放量,因此本文试图利用测度方法估算能源消耗的碳排放量,基础数据详见表 3。

表 3 我国经济增长与碳排放相关数据统计表

年序 (年)	我国总人口 (万人)	我国 GDP (亿元)	人均 GDP (万元/人)	人均能源消耗 (万吨/人)	人均碳排放量 (吨/人)	人均 CO <sub>2</sub> 排放量 (吨/人)
1990	114333	18667.82	0.16328	0.86349	0.59265	0.70377
1991	115823	21781.50	0.18806	0.89659	0.61667	0.73137
1992	117171	26923.48	0.22978	0.93271	0.64014	0.75857
1993	118517	35333.92	0.29813	0.97931	0.66899	0.79209
1994	119850	48197.86	0.40215	1.02417	0.69756	0.82521
1995	121121	60793.73	0.50193	1.08377	0.73455	0.86823
1996	122389	71176.59	0.58156	1.10536	0.77419	0.91432
1997	123626	78973.04	0.63881	1.09967	0.74982	0.88478
1998	124810	84402.28	0.67625	1.09172	0.70487	0.83104
1999	125909	89677.05	0.71224	1.11719	0.70959	0.83589
2000	126742	99214.55	0.78281	1.14859	0.72429	0.85249
2001	127627	109655.17	0.85918	1.17908	0.73303	0.86204
2002	128453	120332.69	0.93678	1.24142	0.77190	0.90699
2003	129227	135822.76	1.05104	1.29897	0.89664	1.05266
2004	129988	159878.34	1.22995	1.51598	1.03139	1.20879
2005	130756	184937.37	1.41437	1.69838	1.13642	1.33075
2006	131448	216314.43	1.64563	1.87191	1.23843	1.44896
2007	132129	265810.31	2.01175	2.00609	1.32646	1.55063
2008	132802	314045.43	2.36476	2.14626	1.39348	1.62758
2009	133474	340902.81	2.55408	2.32294	1.48358	1.73133
2010	133973	397983.15	2.97062	2.42600	1.57135	1.83219
2011	134735	471564	3.49994	2.58320	1.69767	1.97779
2012	135404	519322	3.83535	2.67573	1.74502	2.05013

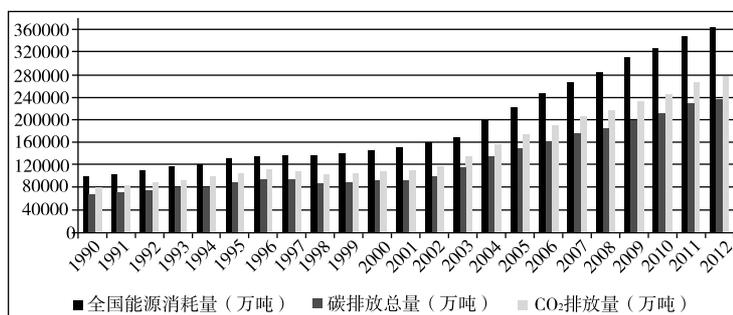


图 1 能源消耗量、碳排放量及二氧化碳排放量之间的关系图

能源消耗是产生碳及二氧化碳排放的主要来源,随着 GDP 的增长而增长。根据统计结果,人均 GDP、人均能源消耗量、人均碳排放量以及人均 CO<sub>2</sub> 之间关系详见下页图 2。

从图 2 可以看出:我国经济增长过程中人均碳排放量和人均 CO<sub>2</sub> 排放量的增长速度在 1990—1996 年期间呈现慢速增长的趋势,人均碳排放量由 0.59265 吨增长到 0.77419 吨,人均二氧化碳排放量由 0.70377 吨增长到 0.91432 吨;在 1996—2000 年期间人均碳排放量和人均 CO<sub>2</sub> 排放量下降的趋势比较明显,1998 年人均碳排放量为 0.70487 吨,人均 CO<sub>2</sub> 排放量为 0.83104 吨。2002 年开始我国人均 GDP 出现明显加速,其增长速度超过了人均 CO<sub>2</sub> 排放量和人均能源消耗。随着我国人均 GDP 的快速增长,人均能源消耗、人均碳排放量和人均 CO<sub>2</sub> 的增长速度出现相对 GDP 而言的减缓。2012 年我国人均 GDP 达到 3.83535 万元,人均碳排放量为 1.74502 吨,人均 CO<sub>2</sub> 排放量为 2.05013 吨。过多的 CO<sub>2</sub> 排放严重污染了人们的生存环境,对人们的健康成了威胁。图 2 弱“N”的变化趋势可能有

一定的经济性,但与人们期望的生态环境目标相背离。现有的环境治理措施已经不能满足经济快速增长中控制碳排量的要求,倒“U”趋势则才是我国经济增长过程中环境污染治理的必然趋势。

(二) 实证研究模型的确定

从图2可以看出,我国人均GDP、人均能源消耗、人均C排放量以及人均CO<sub>2</sub>排放量的变化趋势随着GDP以及能源消耗量的快速增长而增长,C排放量和CO<sub>2</sub>排放量具有相对GDP而言的增速下降趋势,这主要是由于我国环境治理投入不足所致。

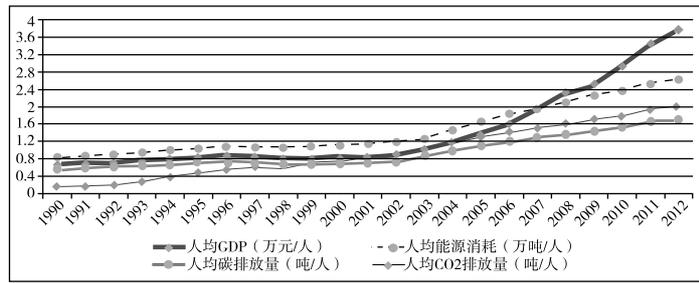


图2 我国人均GDP与碳排放状况的关系图

为探索我国经济增长对能源消耗中碳排量的影响,本文分别选择人均C排放量和人均CO<sub>2</sub>排放量作为因变量,用Y表示,选择人均GDP作为自变量,用AG表示,借用环境库兹涅茨研究模型,建立两者之间的一元三次非线性回归模型如下。

$$Y = \gamma_0 + \gamma_1 AG + \gamma_2 AG^2 + \gamma_3 AG^3 + \varepsilon \quad (8)$$

式中: $\gamma_i$ 为模型参数, $\varepsilon$ 为随机误差。模型的参数对碳排放趋势具有重要的影响,根据统计学理论,人均碳排放量或人均CO<sub>2</sub>排放量与人均GDP之间的关系主要有以下几种结果。

1. 具有线性的变化关系。若上述回归模型中的系数存在: $\gamma_1 \neq 0, \gamma_2 = \gamma_3 = 0$ ,则说明自变量与因变量之间存在着线性关系。公式(8)可转变为  $ACO_2 = \gamma_0 + \gamma_1 AG + \varepsilon$ 。
2. 具有倒“U”的变化关系。若上述回归模型中系数存在: $\gamma_1 > 0, \gamma_2 < 0, \gamma_3 = 0$ ,则自变量与因变量之间呈现倒“U”型关系,即实证结果符合环境库兹涅茨曲线(EKC),表明对我国研究的结果与国外相同。在这种状态下,公式(8)可转变为  $ACO_2 = \gamma_0 + \gamma_1 AG + \gamma_2 AG^2 + \varepsilon$ ,这说明能源消耗的碳排放量与人均GDP呈现上突抛物线关系,被称为倒“U”型变化趋势。
3. 具有“U”型变化关系。若上述回归模型中系数存在: $\gamma_1 < 0, \gamma_2 > 0, \gamma_3 = 0$ ,则自变量与因变量之间的变化与环境库兹涅茨曲线(EKC)变化趋势相反。 $ACO_2 = \gamma_0 - \gamma_1 AG + \gamma_2 AG^2 + \varepsilon$ ,这是一个下突的抛物线方程,在现实中这种变化趋势一般不会存在。
4. 具有“N”型变化关系。若上述回归模型中系数存在且均不等于零,则自变量与因变量之间属于三次非线性关系,被称为“N”型关系。在实务中,“N”型变化趋势可以被区分为“强N型”和“弱N型”两种形式。

(三) 实证变量检验

根据以上研究结果,我国人均GDP长期处于快速增长态势,能源消耗排放的C和CO<sub>2</sub>数量随着经济的快速增长也呈现增长的态势,但其增长速度慢于人均GDP的增长速度,特别是人均C排量的增长变化趋势较为缓慢。为确定我国人均GDP增长对能源消耗碳排放量的影响,本文采用扩展的Dickey-Fuller(ADF)单位根检验方法,获得变量单位根的属性,利用表3中人均碳排放量与人均GDP的历史资料,对两者的关系进行实证研究,并根据检验结果确定模型的参数。其ADF检验结果详见表4。

为了检验人均碳排放量与人均GDP之间所具有的变化趋势以及确保检验结果的可靠性,下面我们对我国人均碳排放量进行ADF检验,具体的检验结果见表5。我们对人均CO<sub>2</sub>排放量与人均GDP之间作同样的处理,得到下页表6。

表4 人均GDP的ADF检验及结果表

TMull Hypothesis LOG X has a unit root		
Exogenous Constant		
Lag Length:4 (Automatic based on SIC, MAX LAG = 7)		
	t-Statistic	Prob. *
Augmented Dickey-Fuller test statistic	0.8825	0.92862
Test critical valves:	1% level	-2.6754
	5% level	-2.1753
	10% level	-1.7963

表5 人均C排放的ADF检验及结果表

Mull Hypothesis LOG X has a unit root		
Exogenous Constant		
Lag Length:4 (Automatic based on SIC, MAX LAG = 7)		
	t-Statistic	Prob. *
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.7154	0.9645
Test critical valves:	1% level	-2.9562
	5% level	-2.3964
	10% level	-2.1456

(四) 实证结果及检验

根据以上检验结果可知,我国人均碳排放量与人均 GDP 之间的关系以及人均 CO<sub>2</sub> 排放量与人均 GDP 之间的关系均具有同阶的非平稳序列。为进行变化趋势的检验,本文利用模型(8)对以上两种关系分别进行回归检验并确定检验方程的参数以及检验结果。

1. 人均碳排放量变化趋势的检验。为了验证人均碳排放量与人均 GDP 之间是否具有动态的均衡关系,就需要检验两者之间是否存在基本相同的变化趋势,具体可以利用协整检验的方法来实现。本文使用 Engle-Granger 检验方法进行实证检验,并分别采用二次和三次的回归模型,通过检验方程系数来判断人均碳排放量与人均 GDP 之间的相关性,具体检验结果详见表 7。

表 6 人均 CO<sub>2</sub> 排放的 ADF 检验及结果表

Null Hypothesis LOG X has a unit root		
Exogenous Constant		
Lag Length:4( Automatic based on SIC, MAX LAG = 7)		
	t-Statistic	Prob. *
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-0.7653	0.9784
Test critical valves:	1% level	-3.1651
	5% level	-2.6146
	10% level	-2.5156

本文应用 EVIEWS6.0 软件对我国人均 C 排放量与人均 GDP 之间的关系进行了实证检验,根据估计的模型参数确定二次回归模型表达式为:  $AC = 0.4850 + 0.4539AGDP - 0.0302AGDP^2$ ,其残差平稳性检验结果表明人均 C 排放量和人

表 7 实证模型参数检验结果表

参数	0	1	2	3	(T)
二次曲线	0.4850	0.4539	-0.0302		23.0621
	T=0.9256	1.5526	2.0481		
		R <sup>2</sup> =0.4981	A-R <sup>2</sup> =0.6185	F=68.84	
三次曲线	0.5647	0.2058	0.1378	-0.0295	3.0843
	T=3.2248	2.8424	2.6752	2.4325	
	R <sup>2</sup> =0.9673	A-R <sup>2</sup> =0.8974	F=126.21		

均 GDP 之间存在协整关系,当  $\alpha=0.05$  时,检验结果存在,接受  $H_0: \gamma_i = 0$ ,即参数估计值不显著,说明我国人均 C 排放量与人均 GDP 之间不存在“U”型关系。根据以上本文对三次回归模型参数的估计及其检验结果可知,存在:  $|t| < t_{\alpha}/2$ ,拒绝  $H_0$  假设,即  $\gamma_i \neq 0$ ,三次回归模型参数估计值非常显著。残差平稳性检验结果表明:我国人均 C 排放量与人均 GDP 之间存在协整关系,故本文确定三次回归模型的具体形式为:  $AC = 0.5674 + 0.2058AGDP + 0.1378AGDP^2 - 0.0295AGDP^3$ ,由于方程中的系数均不等于零,表明检验结果显著且拟合度较高。根据检验结果以及变化趋势,本文确定我国能源消耗 C 排放量与人均 GDP 之间存在明显的弱“N”型变化趋势,这与国外的“U”型变化趋势不同。

2. 人均 CO<sub>2</sub> 变化趋势的检验。为了检验人均 CO<sub>2</sub> 排放量与人均 GDP 之间的关系,本文同样利用协整检验的方法,即使用 Engle-Granger 检验方法进行实证检验,并分别采用二次和三次的回归模型,通过检验方程系数来判断人均 CO<sub>2</sub> 排

表 8 实证模型参数检验结果表

参数	0	1	2	3	(T)
二次曲线	0.5813	0.5178	-0.0328		372.001
	T=0.9256	1.5526	2.0481		
	R <sup>2</sup> =0.4565	A-R <sup>2</sup> =0.5275	F=27.84		
三次曲线	0.6708	0.2391	0.1560	-0.0332	4.1365
	T=4.0258	3.7416	3.5217	3.3328	
	R <sup>2</sup> =0.9805	A-R <sup>2</sup> =0.9165	F=141.31		

放量与人均 GDP 之间的相关性。根据检验结果,发现我国人均 CO<sub>2</sub> 排放量与人均 C 排放量的变化趋势基本相同。具体检验结果详见表 8。

根据估计的模型参数确定二次回归模型表达式为:  $ACO_2 = 0.5813 + 0.5178AGDP - 0.0328AGDP^2$ ,其残差平稳性检验结果表明人均 CO<sub>2</sub> 排放量和人均 GDP 之间存在协整关系。当  $\alpha=0.05$  时,检验结果存在  $|t| < t_{\alpha}/2$ ,接受  $H_0: \gamma_i = 0$ ,参数估计值不显著,说明我国人均 CO<sub>2</sub> 排放量与人均 GDP 之间既不存在“U”型关系,也不存在倒“U”型关系。同理,根据模型参数估计的结果确定三次回归模型的具体形式为:  $ACO_2 = 0.6708 + 0.2391AGDP + 0.156AGDP^2 - 0.0332AGDP^3$ ,由于方程中的系数均不等于零,说明检验结果显著且拟合度较高。根据检验结果以及变化趋势,本文确定我国能源消耗 CO<sub>2</sub> 排放量与人均 GDP 之间存在明显的弱“N”型变化趋势。我国自 2010 年开始加大环境治

理投资的力度,根据这种投入趋势,我国将会在十二五期间形成环境污染增长趋势的“头部”。随着我国经济的进一步增长以及环境治理投资力度的加大,C 排放量和 CO<sub>2</sub> 排放量均会呈现下降趋势,从而诱发我国环境污染的倒“U”趋势逐步形成。

(五) 实证结果的分析与论证

以上的实证研究结果证明了我国经济发展过程中能源消耗的人均 C 排放和人均 CO<sub>2</sub> 均呈现出弱“N”的变化趋势。根据发达国家的研 究结果,随着经济的增长,能源消耗的人均 C 排放和人均 CO<sub>2</sub> 最优的变化趋势是倒“U”,而

表9 我国经济增长中碳排放与环境污染治理投资关系

年序(年)	我国 GDP (亿元)	全国 C 排放量 (万吨)	全国 CO <sub>2</sub> 排放量 (吨/人)	环境治理投资(亿元)	人均环境治理投资(万元)	环境治理投资占 GDP 比重(%)
2000	99214.55	67758.89	80463.69	1010.3	79.7131	1.0183
2001	109655.17	71424.59	84709.56	1106.6	86.7058	1.0092
2002	120332.69	75006.40	88882.59	1367.2	106.4358	1.1362
2003	135822.76	79286.80	93875.57	1627.7	125.9566	1.1984
2004	159878.34	83602.05	98901.23	1909.8	146.9213	1.1945
2005	184937.37	88968.99	105161.35	2388	182.6302	1.2912
2006	216314.43	94752.73	111902.98	2566	195.2103	1.1862
2007	265810.31	92696.77	109382.19	3387.3	256.3631	1.2743
2008	314045.43	87974.86	103722.36	4490.3	338.1199	1.4298
2009	340902.81	89343.43	105246.57	4525.3	339.0398	1.3274
2010	397983.15	91797.81	108046.02	6654.2	496.6822	1.672
2011	471564	93554.00	110019.51	6592.8	489.3161	1.3981
2012	519322	99153.42	116505.27	8253.6	609.5536	1.59%

形成倒“U”趋势的先决条件是不断加强环境污染治理。我国经济增长中 C 及 CO<sub>2</sub> 排放量与环境治理投资之间的关系详见表 9。从表 9 可以明显地看出,随着经济的增长,我国能源消耗的 C 和 CO<sub>2</sub> 排放量都有明显的加速迹象,环境治理投资的增长速度也比较快,但环境治理投资占 GDP 的比重基本保持不变,2000—2012 年的平均占比为 1.166%。这一比例与发达国家相比还有相当大的差距,发达国家环境治理投资占 GDP 的比重保持在 3%—5% 之间。

经济增长过程中 C 和 CO<sub>2</sub> 排放量的倒“U”趋势与我国生态文明区域、生态文明国家的建设目标相一致,也是我国今后一个相当长时期内环境治理的奋斗目标,不过倒“U”趋势在我国的经济增长过程中是否是最优状态还需要根据我国的实际情况进一步进行分析与论证。

五、结论与建议

国内外的研究证明,能源消耗是产生 C 和 CO<sub>2</sub> 排放的主要原因。从环境污染治理投资方面来看,2012 年国家投资于环境治理项目的资金高达 8253.6 亿元,但同年度这一数额占 GDP 的比例仅为 1.5893%,显然环境治理投资的程度太低。本文以上实证研究的结果证明:我国经济增长过程中,能源消耗使得人均 C 排放量和人均 CO<sub>2</sub> 排放量都呈现出急剧增加的趋势,虽然相对于经济增长速度而言,我国人均 C 排放量和人均 CO<sub>2</sub> 排放量都呈现出增速减缓的趋势,但并没有达到比较理想的控制程度,我国经济增长中的人均 C 排放量以及人均 CO<sub>2</sub> 排放量均呈现出弱“N”型的趋势,这种趋势说明环境遭到破坏,CO<sub>2</sub> 排放量还在不断增加,这与我国的生态文明建设目标不相适应,也反映出我国环境治理投资不足,未来环境治理的任务还十分艰巨。

环境污染治理是一个长期的系统工程,解决我国环境污染问题应从战略上考虑,除了进行科学地规划、采用先进的技术与工艺、制定完整有效的治理制度以外,还应充分考虑环境变化对 C 排放量的影响,根据环境变化及时调整相应的对策,特别是加强对人均 C 排放量和人均 CO<sub>2</sub> 排放量的控制以及加大环境污染治理。本文认为可以从以下方面入手。

(1) 开发与利用洁净能源减少碳排放。我国经济增长过程中的碳排放主要来自石化能源消耗,开发与利用洁净能源可以从根本上减少能源消耗的碳排放量,促进倒“U”趋势形成。(2) 调整产业结构减少污染产业。我国现有产业中的耗能产业较多,促进“绿色产业”的形成要先从减少污染产业

开始,通过合理、有效的产业结构调整,最大限度地增加环保产业,实现节能减排。(3)研发与利用新技术,从而提高能源利用效率。技术进步是促进环境治理质量提高的关键,通过研发与利用先进的技术,可以大大提高环境治理的效果与效率,促进环境治理目标的实现。(4)完善环境保护政策和制度。环境保护政策和制度是促进环境治理效果提高的保障。环境保护政策包括:财政补贴政策、金融支持政策、税收优惠政策、产业发展政策等;环境保护制度包括:规章制度、管理制度、财务制度、监督制度、排污权交易制度等。(5)建立与完善环境污染保护机制。环境机制是环境保护系统的构造及动作原理,反映构成要素之间相互联系、作用的关系及其功能。环境保护机制是多方面的,有关部门应主要建立与完善环境保护的考评机制、支持机制、生态补偿机制等。

#### 参考文献:

- [1] Grossman G M, Krueger A B. Environmental impacts of a North American free trade agreement [R]. NBER Working paper, 1991.
- [2] Seldon T M, Song D. Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions? [J]. Journal of Environmental Economics and Management, 1994, 27(2): 147-162.
- [3] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and environment [J]. Quarterly Journal of Economics, 1995, 110(2): 353-377.
- [4] Ma C and D I Stem. China's Carbon Emissions 1971—2003 [Z]. Rensselaer Working Papers in Economics 2007, Nurnberg 0706.
- [5] Zhang Ming, Mu Hailin, NING Yadong, et al. Decomposition of energy-related CO<sub>2</sub> emission over 1991—2006 in China [J]. Ecological Economics, 2009, 68(7): 2122-2128.
- [6] Cole M A, Rayner A J, Bates J M. The environmental Kuznets curve: an empirical analysis [J]. Environment and Development Economics, 1997(2): 401-416.
- [7] Perman R, Stern D. Evidence from panel unit root and co integration tests that the Environmental Kuznets Curve does not exist [J]. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 2003, 47(3): 325-348.
- [8] 徐玉高, 郭元, 吴宗鑫. 经济发展、碳排放和经济演化 [J]. 环境科学进展, 1999(2): 54-65.
- [9] 林伯强, 刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放: 影响因素和减排策略 [J]. 经济研究. 2010(08): 64-78.
- [10] 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(6): 158-161.
- [11] 王雷, 黄聪. 我国环境规制对不同来源国 FDI 的影响 [J]. 南京审计学院学报, 2012(6): 63-70.
- [12] 许广月, 宋德勇. 中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究—基于省城面板数据 [J]. 中国工业经济, 2010(5): 37-47.
- [13] Kaya Y. Input of carbon dioxide emission control on GNP growth: interpretation of proposed scenarios [R]. Intergovernment Panel on Climate Change response strategies working group, 1989.

[责任编辑:杨志辉]

## Measurement and Trends of Carbon Emission in China's Energy Consumption

Sun Tao<sup>1</sup>, Zhao Tianyan<sup>1,2</sup>

(College of Economics and Management of NUAA, Nanjing, Jiangsu 211106, China)

**Abstract:** To explore the effective way of energy conservation and emission reduction in our country, this paper used the material of yearbook to measure carbon emission in energy consumption of economic growth of our country based on the literature review, analysis of the present situation and building of the model. And then tested the trends of carbon emission based on the historical data and predicted data, the study showed that per capita per capita C and CO<sub>2</sub> emission all had weak “N” type change tendency in China, it indicated that investment of environmental governance was not enough with rapid development of the economy in our country, increasing of the carbon emission caused by increasing of energy consumption did not be solved. Therefore, the important problem hindered development of China's economy was the increasing of investment of environmental governance, and promoted the tendency between China's economic growth and carbon emission to turn to inverted “U”.

**Key Words:** carbon emission measurement; trends of carbon emission; energy consumption; economic growth; environment economics; environment governance; sustainable development