

人口与资源环境

我国人口因素对二氧化碳排放的影响 ——基于 STIRPAT 模型的分析

马晓钰, 李强谊, 郭莹莹

(新疆大学 经济与管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 本文首先估算了 1999 ~ 2010 年我国 30 个省区的 CO₂ 排放量, 同时通过静态与动态面板数据模型相结合, 运用工具变量控制了这两种模型的内生性, 全面客观地对我国各省区人口规模、年龄结构、家庭规模、城市化水平与 CO₂ 排放量进行了检验。研究结果表明: 人口规模、城市化水平和年龄结构是推动我国 CO₂ 排放的主要人口因素, 而大的家庭规模可以抑制我国的 CO₂ 排放; 此外, 收入水平、能源消费结构、产业结构也是影响我国 CO₂ 排放的其他重要因素, 动态面板数据模型表明, 上一期 CO₂ 排放量对当期 CO₂ 排放量存在明显的正向关系。

关键词: STIRPAT 模型; 人口因素; 二氧化碳; 动态模型

中图分类号: C92 - 05 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4149 (2013) 01 - 0044 - 08

The Impact of Population on Carbon Dioxide Emissions in China: An Analysis Based on STIRPAT Model

MA Xiao-yu, LI Qiang-yi, GUO Ying-ying

(School of Economics & Management, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract: This paper estimates the CO₂ emissions of China's 30 provinces (municipalities) from 1999 to 2010, tests the relationship between population size, age structure, household size, urbanization and CO₂ emissions with the combination of static and dynamic panel data model. Meanwhile, we use the combination of static and dynamic panel data model. Meanwhile, the use of instrumental variables to control the endogeneity of the two models. The results show that population size, urbanization and age structure are the major factors promoting China's emissions, and large family size can curb CO₂ emissions. In addition, income levels, energy consumption structure,

收稿日期: 2012 - 08 - 03; 修订日期: 2012 - 11 - 17

基金项目: 教育部人文社会科学重点研究基地重大项目 (11JJD850005 - 2); 新疆创新管理研究中心基地项目 (010112B05); 新疆大学世川良一项目 (XJU-SYLLF11010)。

作者简介: 马晓钰 (1978 -), 女, 回族, 新疆巴州人, 新疆大学经济与管理学院副教授、新疆大学经济研究所副所长, 经济学博士。研究方向: 人口、资源与环境经济学。

industrial structure also affect CO₂ emissions. And the CO₂ emissions of last period have significant impact on the emissions of current period.

Keywords: STIRPAT model; population factors; carbon dioxide; dynamic model

一、引言

2009 年哥本哈根气候大会以及 2011 年南非德班气候大会都着重强调了低碳发展和低碳经济, 控制 CO₂ 排放的增长速度已经成为全球共识和世界各国关注的焦点。伴随着人类经济的发展以及能源消费的增加, 温室气体排放加剧所引发的“全球气候变暖”、“生态系统恶化”等问题正严重威胁着人类的生存与发展^[1]。目前中国是世界第一大温室气体排放国, 近年来成为国际减排会议讨论中重点关注的国家。2009 年 12 月我国在哥本哈根大会上做出承诺: 到 2020 年时单位 GDP 的 CO₂ 排放比 2005 年减少 40% ~ 45%, 中国将付出艰苦卓绝的努力实现这个目标。因此, 研究 CO₂ 排放的影响因素, 具有非常重要的现实意义。

影响 CO₂ 排放的因素很多, 国内外大部分学者的研究主要集中在经济增长、能源效率、贸易开放、能源消费结构、产业结构等方面。然而人类活动是影响 CO₂ 排放的一个非常重要的直接或者间接因素。近年来, 学者们开始注重研究人口因素对 CO₂ 排放的影响。中国作为一个发展中国家, 是世界上人口最多的国家, 随着城市化进程的加快, 很多人口问题表现的极为突出, 例如: 家庭规模小型化、人口老龄化、人口基数大、人口分布不均衡等。这些问题都直接或者间接地影响着我国经济的增长和 CO₂ 的排放, 而我国现阶段正面临着在节能减排约束下如何快速发展经济的问题。本文基于以上背景, 从人口因素(人口规模、家庭规模、人口年龄结构、人口城市化水平等)出发, 着重考察我国人口因素变动对 CO₂ 排放的影响, 以期相关部门提供政策性的建议。

目前, 关于人口因素对 CO₂ 排放的影响, 可以归纳为四个方面。第一, 人口规模与 CO₂ 排放, 大部分学者的研究表明, 人口规模是影响 CO₂ 排放的重要人口因素, 并且研究基本证明人口规模加大 CO₂ 排放^[2~8]; 第二, 居民消费与 CO₂ 排放, 随着家庭能源消费需求的增加, 国内外学者开始认识到了居民消费是影响 CO₂ 排放的直接或者间接的重要因素^[9~11]; 第三, 人口结构、家庭规模与 CO₂ 排放^[12~14]; 第四, 城市化与 CO₂ 排放^[15~18]。从现有文献可以看出, 人口因素确实对 CO₂ 排放产生了一定的影响, 而且以往关于人口因素与 CO₂ 排放关系的研究基本围绕静态模型框架展开, 此外, 几乎很少有文献考虑到静态模型的内生性问题。与以往文献不同, 本文基于不同模型的设定(静态面板数据模型和动态面板数据模型), 以及不同工具变量的策略(滞后期工具变量和动态面板数据模型内部工具变量相结合), 可以有效地控制两种模型的内生性, 使得结论更加稳健。

二、CO₂ 排放的估算

CO₂ 排放量与工业三废污染物排放量等有所不同, 我国统计年鉴中没有直接公布 CO₂ 排放量数据, 因而我们必须运用相关的方法对我国 30 个省(区)的排放量进行估算^①。产生 CO₂ 的来源主要有两个: 其一, 是化石燃料燃烧的排放量; 其二, 是水泥生产过程中所产生的 CO₂。本文估算 CO₂ 排放量主要参考了联合国政府间气候变化专门委员会(简称 IPCC)和我国相关部门^②以及杜立民的研究方法^[20]。具体来讲, 则是计算了一次性能源消费过程中和水泥生产过程中所产生的 CO₂, 其中,

① 本研究不包括香港、澳门、台湾、西藏在内。

② 根据 IPCC 以及国家气候变化对策协调小组办公室和国家发展和改革委员会能源研究所的研究, 除化石能源燃烧外, 水泥、石灰在生产过程排放的 CO₂ 分别占 56.8%、33.7%, 而电石和钢铁合计约占 10%, 由于数据的可获得性, 本文只计算了水泥生产量过程中排放的 CO₂。具体参见: Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [EB/OL]. <http://www.ipcc.ch>, 2006-01-01; Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 [EB/OL]. <http://www.ipcc.ch>, 2008-03-01; 以及国家气候变化对策协调小组办公室, 国家发展和改革委员会能源研究所. 中国温室气体清单研究 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007。

一次能源包含了煤炭、石油、天然气^①。能源消费量的相关数据来源于历年《中国能源统计年鉴》，并且将所有的能源消费量数据都统一折算成万吨标准煤，折算方法参考《中国能源统计年鉴》附表中“各种能源折算成标准煤的参考系数”。水泥生产量数据来源于中宏数据库。

化石能源燃烧 CO₂ 排放量计算公式为：

$$EC = \sum_{i=1}^3 EC_i = \sum_{i=1}^3 E_i \times F_i \quad (1)$$

其中， EC 表示 CO₂ 排放总量； i 表示分别表示煤炭、石油、天然气； F_i 表示煤炭、石油、天然气 CO₂ 的排放系数。三者的排放系数分别为 2.7412、2.1358、1.6262（万吨/万吨标准煤）。

水泥生产过程中 CO₂ 排放量计算公式为：

$$CC = Q \times H \quad (2)$$

其中， CC 表示水泥生产过程中 CO₂ 排放总量； Q 表示水泥生产量；而 H 表示水泥生产过程中 CO₂ 的排放系数^②。

三、计量模型的设定

关于模型的设定方面，本文结合了以往的研究，同时考虑到不同模型的设定可能会导致不同的结论，本文同时报告静态面板数据模型和动态面板数据模型的估计结果，从而使得检验结果更加稳健。

1. 静态面板数据模型

(1) STIRPAT 原始模型。 $I = PAT$ 原始等式是由埃利希（Ehrlich）和霍尔德里（Holdren）^[21] 提出的，最早是用来分析人口、经济对环境质量的影响，由于 $I = PAT$ 原始模型存在局限性，迪茨（Dietz）等^[22] 在原始模型的基础上提出了 STIRPAT 随机模型，其具体表达式如下：

$$I = aP^bA^cT^de \quad (3)$$

其中， I 、 P 、 A 、 T 分别表示生态环境压力、人口规模、富裕程度和技术水平； a 、 b 、 c 、 d 为模型估计参数； e 为随机误差项。在计算过程中，通常将等式两边同时取对数变成如下表达式：

$$\ln I = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P + \alpha_2 \ln A + \alpha_3 \ln T + e \quad (4)$$

其中， α_1 、 α_2 、 α_3 分别表示 P 、 A 、 T 的弹性。

(2) STIRPAT 扩展静态模型。从以往的研究可以发现，关于 STIRPAT 模型的研究主要用到静态面板数据模型。静态面板数据模型的优点在于能有效地控制样本中难以观测且不随时间变化的个体效应，对回归结果产生的偏差。本文将人口因素引入 STIRPAT 模型当中，重新对模型进行改造，在不考虑其他控制变量的情况下，构建基准模型（5）式：

$$\ln I_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \text{age1564} + \beta_3 \ln hs_{it} + \beta_4 \text{urban}_{it} + \beta_5 \ln y_{it} + \beta_6 T_{it} + \delta_t + \eta_i + e_{it} \quad (5)$$

考虑到除了以上因素会对二氧化碳排放造成影响以外，例如能源消费结构、产业结构、贸易开放也会对 CO₂ 排放造成影响，因此我们又构建了扩展模型（6）式：

$$\ln I_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \text{age1564} + \beta_3 \ln hs_{it} + \beta_4 \text{urban}_{it} + \beta_5 \ln y_{it} + \beta_6 T_{it} + \lambda X'_{it} + \delta_t + \eta_i + e_{it} \quad (6)$$

其中， i 表示省份； t 表示时间； I_{it} 表示 CO₂ 排放总量； P 表示人口规模； age1564 表示 15~64 岁人口占总人口比重； urban 表示城市化水平； hs 表示家庭规模； T 表示技术水平； y_{it} 表示各省人均实际 GDP，用以代表富裕程度； η_i 表示地区难以观测的效应； δ_t 表示时间难以观测的效应； e_{it} 表示随机扰动项； X'_{it} 表示控制变量，本文引入了能源结构、产业结构、开放程度和外商直接投资。

(3) 模型的内生性。不考虑模型内部的内生性问题，直接用（5）式和（6）式得到的回归结果将是有偏误的，因为解释变量存在内生性。本文中解释变量的内生性问题主要来源于两个方面。其

① 石油实际上细分为汽油、煤油、柴油、燃料油四种，煤炭大类则细分为煤和焦炭。

② 本文水泥生产过程中 CO₂ 的排放系数取 0.527，详细推导过程请参考：杜立民. 我国 CO₂ 排放的影响因素：基于省级面板数据的研究 [J]. 南方经济, 2010, (11)。

一, 变量的遗漏。因为影响 CO₂ 排放的因素很多, 本文涉及的解释变量只是其中的一部分, 由于有一些影响因素是难以观测的, 例如消费习惯、规制差别、排放模式等, 这些在现实生活中难以测量。其二, 解释变量与被解释变量相互影响。经济发展初期, 随着人均收入的提高, 污染物排放增加, 但是当人均收入水平达到一定阶段时, 人们对环境质量的要求也随之提高。政府会出台一些严格的环境规章制度来控制污染物的排放, 在技术水平一定的情况下, 更严格的环境规章制度会抑制经济增长。在处理模型内生性的问题上, 通常是寻找相应的工具变量来解决, 本文选取内生变量的滞后一期作为工具变量。

2. 动态面板数据模型——STIRPAT 扩展动态模型

上述静态面板数据模型说明解释变量和被解释变量之间不存在滞后效应, 然而, 任何经济因素变化都具有一定的惯性, 是一个动态调整的过程, 上一期的结果往往对下一期造成一定影响, 我国 CO₂ 排放很有可能具有滞后效应^①。动态面板数据模型的构建方面与静态面板数据模型一样, 同时构建动态面板数据基准模型 (7) 式和动态面板数据扩展模型 (8) 式, 动态面板数据模型如下:

$$\ln I_{it} = \gamma \ln I_{i,t-1} + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \text{age1564} + \beta_3 \ln hs_{it} + \beta_4 \text{urban}_{it} + \beta_5 \ln y_{it} + \beta_6 T_{it} + \delta_i + \eta_i + e_{it} \quad (7)$$

$$\ln I_{it} = \gamma \ln I_{i,t-1} + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \text{age1564} + \beta_3 \ln hs_{it} + \beta_4 \text{urban}_{it} + \beta_5 \ln y_{it} + \beta_6 T_{it} + \lambda X'_{it} + \delta_i + \eta_i + e_{it} \quad (8)$$

其中, $I_{i,t-1}$ 表示 CO₂ 排放量的滞后项, 其他变量跟静态面板数据模型解释相同。

上述动态面板数据模型通过引入被解释变量的滞后项作为解释变量, 这样就引起了模型的内生性问题, 如果我们继续采用传统的混合模型、固定效应模型或者随机效应模型估计都是有偏和不一致的, 不过可以通过有效的工具变量来解决这个问题。阿雷利亚诺 (Arellano) 和邦德 (Bond) 提出了差分 GMM 估计法, 其基本思路是: 通过对上述动态方程求一阶差分来消除个体效应, 之后再利用一组差分方程中相应变量的滞后项作为工具变量来进行估计^[24]。然而, 阿雷利亚诺等人和布伦德尔 (Blundell) 等人研究发现, 差分 GMM 估计法容易导致弱工具变量的情况, 进而导致差分矩估计出来的结果存在偏误和非一致^[25~26]。为了克服这一问题, 他们提出了系统 GMM 估计法。系统 GMM 估计法同时采用差分方程和水平方程构建工具变量, 因而系统矩估计有效地解决了弱工具变量的问题, 使得结果不再是有偏的, 且经验证明, 相比差分 GMM 估计法而言, 系统 GMM 估计法的结果更有效, 因此, 本文采用系统 GMM 估计法来进行估计。

3. 变量说明和数据来源

本文选取了二氧化碳排放量、人口因素 (人口规模、人口年龄结构、人口城市化、家庭规模)、人均收入水平、技术进步水平、产业结构、能源结构、外商直接投资水平、贸易开放程度等变量。

(1) 二氧化碳排放量 (用 I 表示)。本文选取了各省 1999 ~ 2010 年 CO₂ 排放量作为衡量环境质量的指标, 在估算过程中取其对数。

(2) 人口因素 (用 P 、 age1564 、 hs 、 urban 表示)。 P 表示各省人口规模, 在估算过程中取其对数; age1564 表示 15 ~ 64 岁人口占总人口比重; hs 表示户均人口数, 在估算过程中取其对数; urban 表示非农人口占总人口比值。

(3) 人均收入水平 (用 y 表示)。用各省人均实际 GDP 表示, 各省名义 GDP 数据来源于各省历年统计年鉴, 为了数据的可比性, 以 1999 年为基期, 利用各省 GDP 指数进行平减得到各省的实际 GDP。在估算过程中我们取其对数。

(4) 技术进步水平 (用 T 表示)。本文用研发强度来代表技术进步水平, 由各省区的研发经费支出占 GDP 的比重来衡量。

(5) 产业结构 (用 indstruc 表示)。用第二产业增加值占生产总值比重来表示。

① 李锴等人以及杜立民等人验证了二氧化碳排放存在滞后性。详见: 李锴, 齐绍洲. 贸易开放、经济增长与中国排放 [J]. 经济研究, 2011, (11); 杜立民. 我国 CO₂ 排放的影响因素: 基于省级面板数据的研究 [J]. 南方经济, 2010, (11)。

(6) 能源消费结构 (用 *energy* 表示)。用各省区煤炭消费量占该省区一次性能源消费总量的比重来表示。

(7) 外商直接投资水平 (用 *fdi* 表示)。用外商直接投资占 GDP 的比重来表示。

(8) 贸易开放水平 (用 *open* 表示)。用各省进出口总额占 GDP 比重来表示。

(9) 时间趋势项 (用 *t* 表示)。其中 $t = 1\ 2\ 3\cdots 12$, 主要衡量控制技术、政策等难以观测因素对各个省区 CO₂ 排放的影响, 在估算过程中取其自然对数。

以上各变量原始数据主要来源于: 《中国统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国人口与就业统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》相应各期。具体的变量统计描述见表 1。

表 1 变量的统计描述

变量符号	变量名称	单位	均值	标准差	最小值	最大值	备注
<i>I</i>	二氧化碳排放量	亿吨	1.765	1.352	0.100	8.273	各地区二氧化碳排放总量
<i>P</i>	人口规模	亿人	0.429	0.260	0.051	1.044	各地区年末人口总数
<i>age1564</i>	人口年龄结构	%	0.720	0.038	0.635	0.827	各地区 15~64 岁人口数占总人口比重
<i>hs</i>	家庭规模	人/户	3.345	0.449	2.453	8.332	各地区每户平均人口数
<i>urban</i>	城市化水平	%	0.336	0.151	0.135	0.890	各地区非农人口占总人口比重
<i>y</i>	人均收入水平	万元	1.618	1.856	0.118	6.031	各地区人均实际 GDP (以 1999 年为基期)
<i>T</i>	技术进步水平	%	0.011	0.010	0.001	0.063	各地区研发经费支出占 GDP 的比重
<i>indstruc</i>	产业结构	%	0.396	0.120	0.124	0.902	各地区第二产业增加值占 GDP 比重
<i>energy</i>	能源结构	%	0.798	0.128	0.297	0.974	各地区煤炭消费量占能源消费总量的比重
<i>fdi</i>	外商直接投资水平	%	0.033	0.028	0.001	0.146	各地区外商直接投资占 GDP 的比重
<i>open</i>	贸易开放水平	%	0.330	0.432	0.009	2.120	各地区进出口总额占 GDP 比重
<i>t</i>	时间趋势	-	6.500	3.457	1.000	12.000	-

四、回归结果分析

1. 静态面板数据模型回归结果分析

在静态回归模型中, 我们通过似然比检验和 Hausman 检验法检验了混合回归、固定效应和随机效应模型的拟合程度, 再根据检验结果选择相应的估计方法。运用计量软件 Stata10.0 得到回归结果详见表 2。本文直接利用基准模型 (5) 式进行回归得到模型 I, 从模型 I 中可以看出人口因素中人口规模、人口年龄结构和家庭规模在统计上都非常显著。首先, 人口规模对 CO₂ 排放影响程度很大, 当人口规模每提高一个百分点, CO₂ 排放量就随之提高 0.726 个百分点; 其次, 是人口年龄结构, 当人口年龄结构每提高一个百分点, CO₂ 排放量提高 0.017 个百分点; 最后, 大家庭规模抑制 CO₂ 排放, 这也说明了家庭小型化不利于减排。除了人口因素以外, 人均收入水平和技术水平也对 CO₂ 排放具有很大影响, 当人均收入和技术进步水平每提高 1%, CO₂ 排放量将分别提高 0.499% 和 8.170%。

为了检验模型 I 的稳健性, 借鉴前人的研究, 在模型 I 的基础上增加了产业结构、能源消费结构、贸易开放、外商直接投资四个控制变量得到模型 II。从模型 II 可以看出, 除了控制变量外, 其他的变量的显著程度和系数大小跟模型 I 没有很大的差别。人口规模、家庭规模、人均收入、技术进步水平依然是影响 CO₂ 排放的主要因素, 不过值得指出的是, 在模型 II 中城市化水平的系数显著为正, 这说明人口城市化确实加大了我国 CO₂ 排放。此外, 产业结构、能源消费结构系数在 1% 显著性水平下显著为正, 这说明它们之间的变动对我国 CO₂ 的排放具有显著的影响。当产业结构和能源消费结构每提高 1%, 各省区 CO₂ 的增长率将会分别提高 0.406% 和 1.505%。贸易开放和外商直接投资对我国 CO₂ 排放影响不明显。

为了解决模型内生性问题, 我们在模型 I 和模型 II 的基础上采用内生变量的滞后一期作为当期值

表 2 被解释变量为 CO₂ 排放总量的自然对数的回归结果

解释变量	模型 I (RE)	模型 II (RE)	模型 III (RE + IV)	模型 IV (RE + IV)	模型 V (Sys-GMM)	模型 VI (Sys-GMM)
<i>L</i> (<i>lnI</i>)					0. 819 *** (0. 024)	0. 739 *** (0. 034)
<i>lnp</i>	0. 726 *** (0. 076)	0. 7164 *** (0. 057)	0. 680 *** (0. 078)	0. 677 *** (0. 057)	0. 155 *** (0. 021)	0. 180 *** (0. 032)
<i>age1564</i>	0. 017 *** (0. 006)	0. 013 ** (0. 006)	0. 023 *** (0. 006)	0. 015 ** (0. 007)	0. 009 *** (0. 002)	0. 004 (0. 003)
<i>lnhs</i>	-0. 343 ** (0. 142)	-0. 320 ** (0. 133)	-0. 308 ** (0. 131)	-0. 273 ** (0. 123)	-0. 070 * (0. 040)	-0. 098 (0. 062)
<i>urban</i>	0. 113 (0. 206)	0. 719 *** (0. 209)	-0. 375 (0. 215)	0. 411 * (0. 290)	-0. 023 (0. 085)	0. 219 * (0. 116)
<i>lny</i>	0. 499 *** (0. 033)	0. 474 *** (0. 031)	0. 384 *** (0. 042)	0. 338 *** (0. 036)	0. 036 * (0. 0190)	0. 046 ** (0. 021)
<i>T</i>	-8. 170 *** (2. 963)	-7. 624 ** (2. 989)	-13. 728 ** (0. 042)	-1. 699 (5. 342)	-1. 299 (1. 805)	-4. 169 ** (2. 014)
<i>indstruc</i>		0. 406 *** (0. 125)		0. 562 *** (0. 159)		0. 132 * (0. 073)
<i>energy</i>		1. 505 *** (0. 212)		1. 423 *** (0. 238)		0. 537 *** (0. 101)
<i>fdi</i>		0. 153 (0. 601)		0. 797 (0. 917)		0. 200 (0. 324)
<i>open</i>		-0. 041 (0. 053)		-0. 135 (0. 199)		0. 069 (0. 016)
<i>lnI</i>	0. 139 *** (0. 022)	0. 134 *** (0. 021)	0. 306 *** (0. 031)	0. 284 *** (0. 027)	0. 071 *** (0. 007)	0. 109 *** (0. 012)
<i>c</i>	2. 543 (0. 732)	1. 362 ** (0. 659)	2. 387 *** (0. 734)	1. 249 ** (0. 701)	-0. 131 (0. 157)	0. 155 (0. 349)
Within-R ²	0. 881	0. 897	0. 893	0. 907		
AR (1)					-3. 090	-3. 090
检验 (p)					(0. 002)	(0. 002)
AR (2)					0. 290	0. 270
检验 (p)					(0. 773)	(0. 784)
Hansen					25. 480	24. 310
检验 (p)					(0. 653)	(0. 713)
观测值	360	360	330	330	330	330

注：括号中是稳健标准误，***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 水平上显著，动态面板数据模型估计结果运用了鲁德曼 (Roodman) 提供的 xtabond2 程序^[27]进行估计。

的工具变量得到模型 III 和模型 IV^①。从模型 III 和模型 IV 的回归结果可以看出，各变量的估计系数和显著程度和模型 I 与模型 II 差别不是很大，人口因素、人均收入、产业结构和能源消费结构依然是影响 CO₂ 排放的主要因素。

2. 动态面板数据模型回归结果分析

模型 V 和模型 VI 估计了动态面板数据基准模型 (7) 式和扩展模型 (8) 式。在不考虑控制变量的情况下，我们对上述动态面板基准模型 (7) 式进行估计得到模型 V。在模型 V 中，运用差分滞后项和水平变量作为其工具变量，人均收入水平和技术进步作为内生变量。模型 VI 中加入控制变量，其中认为产业结构、能源消费结构是严格外生变量，模型 VI 在模型 V 的基础上把贸易开放度和外商投资

① 本文在选取内生变量的时候，参考了包群等人和李锴等人的研究：在模型 III 中选取了人均收入、技术水平作为内生变量，在模型 IV 用人均收入、技术水平、贸易开放和外商直接投资水平作为内生变量。参见：包群，彭水军. 经济增长与环境污染：基于面板数据的联立方程估计 [J]. 世界经济，2006，(11)；以及李锴，齐绍洲. 贸易开放、经济增长与中国 CO₂ 排放 [J]. 经济研究，2011，(11)。

水平作为内生变量,阿雷利亚诺等人和布伦德尔对于 GMM 估计结果的有效性提出了一个重要的前提条件:一次差分后的扰动项不存在二阶序列相关,而一阶序列相关是可以的^[28~29]。从表 2 中我们可以看出,模型 V 和模型 VI 的 AR(2) 二阶序列相关检验表明,各个模型接受原假设,即都不存在二阶随机误差项自相关。这说明模型 V 和模型 VI 的回归的结果都是无偏和一致的。同时,为了考察模型 V 和模型 VI 中工具变量是否存在过度识别,我们通过 Hansen Test 值来检验,表 2 结果显示,每个模型都接受原假设,即各模型中所选的工具变量都是有效的,不存在过度识别的情况,因此,系统 GMM 方法的估计结果都是有效的。

从模型 V 和模型 VI 可以看出上一期 CO₂ 的排放量对当期 CO₂ 排放量具有正效应,上一期 CO₂ 的排放量每提高一个百分点,会使当期 CO₂ 排放增加 0.739%~0.819%。这说明了 CO₂ 的排放是一个连续、积累的动态调整过程。不过值得指出的是在动态面板数据模型中,由于加入了 CO₂ 的滞后项,人口规模、人口年龄结构、家庭规模、人均收入水平、技术进步水平、产业结构、能源结构的系数都有所变小,甚至个别的变量变得不显著,产生这种情况的原因可能是由于这些因素的影响已经体现在动态滞后项中。

五、结论和建议

本文首先估算了 1999~2010 年中国 30 个省区(直辖市)的 CO₂ 的排放量,并且运用静态与动态面板数据模型,全面客观地考察了人口因素对我国 CO₂ 排放的内在关系。

静态和动态面板数据模型估计结果表明:第一,人口因素对 CO₂ 排放影响很大,从影响程度大小来看,人口规模对 CO₂ 排放影响程度最大,其次是城市化水平和家庭规模,最后是人口年龄结构;从对 CO₂ 排放效应来看,人口规模、城市化水平和人口年龄结构都促进我国 CO₂ 的排放,而大家庭规模可以抑制我国 CO₂ 排放。第二,人均收入水平提高促进我国 CO₂ 排放,并且其影响程度仅次于人口因素中的人口规模,技术进步水平提升可以抑制 CO₂ 排放,然而有些模型中不是那么显著,我们可以认为技术进步水平提升在一定程度上有利于减排。第三,控制变量中,产业结构和能源消费结构变动加大了我国 CO₂ 的排放,并且影响程度很大。而贸易开放水平和外商直接投资水平对我国 CO₂ 排放的作用不明显。第四,动态面板数据模型表明,上一期 CO₂ 排放量的大小对当期 CO₂ 排放量具有正效应。

针对以上结论,本文提出如下政策建议。其一,政府在进行节能减排政策制定时,应该充分考虑到人口因素的影响,从本文结论可知,人口因素对碳排放的影响很大,政府应该充分协调好人口政策和节能减排政策。具体来说,应该继续实施计划生育政策,控制人口增长速度,同时优化人口结构,提高人口素质。其二,本研究发现,能源结构、产业结构对促进碳排放影响很大,因此,加快产业结构升级,提高技术水平,逐渐淘汰一些高耗能、高排放的产业极为紧迫。同时,政府部门应该多鼓励投资一些绿色环保产业,通过这些途径降低能源消耗,从而减少我国的碳排放。其三,解决环境问题还应该同政府治理结构改革相联系,应当鼓励公众参与环境保护治理方案的调整,加强公众教育和环保意识宣传工作,使得人们积极参与到减排目标中,增强全社会应对气候变化的意识,加快形成低碳绿色的生活方式和消费模式。其四,有效引进、消化、吸收国外先进的低碳和气候友好技术,提高我国应对气候变化的能力。

参考文献:

- [1] 杨子晖. 经济增长、能源消费与 CO₂ 排放的动态关系研究 [J]. 世界经济, 2011, (6).
- [2] York, R., E. A. Rosa and T. Dietz. Footprints on the Earth: The Environmental Consequences of Modernity [J]. American Sociological Review, 2003, (68).
- [3] Cole, M. A. and E. Neumayer. Examining the Impact of Demographic Factors on Air Pollution [J]. Population and Environment, 2004, (26).

- [4] Shi, A. The Impact of Population Pressure on Global Carbon Dioxide Emissions, 1975 ~ 1996: Evidence from Pooled Cross-country Data [J]. Ecological Economics, 2003, (44).
- [5] Michael D., B. O'Neill, P. Alexiar, etc. Population Aging and Future Carbon Emissions in the United States [J]. Energy Economics, 2008, (30).
- [6] 李国志, 李宗植. 人口、经济和技术对二氧化碳排放的影响分析——基于动态面板模型 [J]. 人口研究, 2010, (3).
- [7] 肖周燕. 我国家庭动态变化对二氧化碳排放的影响分析 [J]. 人口研究, 2012, (1).
- [8] 曲如晓, 江铨. 人口规模、结构对区域碳排放的影响研究——基于中国省级面板数据的经验分析 [J]. 人口与经济, 2012, (2).
- [9] Lenzen, M. Primary Energy and Greenhouse Gases Embodied in Australian Final Consumption: An Input-output Analysis [J]. Energy Policy, 1998, 26 (6).
- [10] 魏一鸣, 刘兰翠, 范英等. 中国能源报告 (2008): 碳排放研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2008: 35 - 58.
- [11] 彭希哲, 朱勤. 我国人口态势与消费模式对碳排放的影响分析 [J]. 人口研究, 2010, (1).
- [12] O'Neill, B. C. and B. S. Chen. Demographic Determinants of Household Energy Use in the United States [J]. Population and Development Review, 2002, (28).
- [13] 陈佳瑛, 彭希哲, 朱勤. 家庭模式对碳排放影响的宏观实证分析 [J]. 中国人口科学, 2009, (5).
- [14] 蒋未文. 人口变动对气候变化的影响 [J]. 人口研究, 2010, (1).
- [15] Liu, Y. B. Exploring the Relationship between Urbanization and Energy Consumption in China Using ARDL and FDM [J]. Energy, 2009, 34 (11).
- [16] Jones, D. W. Urbanization and Energy Use in Economic Development [J]. The Energy Journal, 1989, 10 (4).
- [17] 许浚, 周少甫. 我国城市化与碳排放的实证研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2011, (11).
- [18] 肖周燕. 中国城市化发展阶段与 CO₂ 排放的关系研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, (12).
- [19] 李锴, 齐绍洲. 贸易开放、经济增长与中国 CO₂ 排放 [J]. 经济研究, 2011, (11).
- [20] 杜立民. 我国 CO₂ 排放的影响因素: 基于省级面板数据的研究 [J]. 南方经济, 2010, (11).
- [21] Waggoner P. E., J. H. Ausubel. A Framework for Sustainability Science: A Renovated IPAT Identity [C]. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002.
- [22] Dietz T., E. A. Rosa. Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence, and Technology [J]. Human Ecology Review, 1994, (1).
- [23] Haberl H., F. Krausmann. Changes in Population, Affluence, Environmental Pressures during Industrialization: The Case of Austria 1830 - 1995 [J]. Population and Environment, 2001, 23 (1).
- [24] Arellano, M. and S. Bond. Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations [J]. Review of Economic Studies, 1991, 58 (2).
- [25] Arellano, M. and O. Bover. Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error-components Models [J]. Journal of Econometrics, 1995, (68).
- [26] Blundell, R. and S. Bond. Initial Conditions and Moment Restrictions in Dynamic Panel Data Models [J]. Journal of Econometrics, 1998, (87).
- [27] Roodman, D. How to Do Xtabond2: An Introduction to Difference and System GMM in Stata [R]. Washington: Center for Global Development, 2006.
- [28] 同 [24].
- [29] 同 [26].

[责任编辑 冯 乐]