

# 人口、消费的规模与结构对碳排放的影响： 理论机制与实证分析

陈向阳\*

**摘要:**在实现碳达峰碳中和目标下,研究中国现实背景下人口、消费的规模与结构变化对碳排放的影响具有十分重要的理论和现实意义。本文把内生人口增长过程放入以能源为基础的经济增长模型来分析其对碳排放的动态影响,在技术水平不变的内生人口增长复杂动态系统中,存在几种类型稳定状态的可能性和相对于系统参数变化具有非同一般的比较静态均衡,把技术进步加入模型中时,经济系统中变量存在多条可持续增长路径。社会最优消费受到内生人口增长率的影响,意味着人口增长率影响着消费从而影响能源生产和消费,进而对碳排放量产生影响。实证研究结果表明:人口规模、消费规模与碳排放呈显著的正相关关系,但消费对碳排放影响的弹性系数要大于人口规模对碳排放影响的弹性系数;非食品烟酒消费支出的占比对碳排放有显著的正影响;人口城镇化对碳排放的影响弹性显著为正;劳动人口比率对碳排放的影响弹性显著为正;平均家庭规模对碳排放的影响弹性显著为负;人口教育结构的回归系数在1%水平下显著为正,但是影响弹性系数较小;用能源利用效率表示的技术弹性系数显著为正。本文建议要注意人口结构的变化对碳排放的影响,倡导低碳和绿色的消费模式。

**关键词:**人口;消费;碳排放;多条增长路径

## 一、引言

气候变化是影响全球各国经济长期增长的共同风险,近百年来导致气候变化的主要原因是人类排放大量的温室气体,因而应对气候变化需要主动控制由化石能源消耗产生的二氧化碳排放。中国作为全球第二大经济体和最大的碳排放国,十分重视节能减排工

---

\*陈向阳,广州大学经济与统计学院,邮政编码:510006,电子信箱:chenxy930@yeah.net。

本文系广东省哲学社会科学“十三五”规划一般项目“我国环境成本的区域特征及平衡机制研究”(GD17CLJ01)的阶段性成果。感谢匿名审稿人提出的宝贵意见。文责自负。

作,对外提交了《国家自主贡献预案》,并于2016年9月3日批准加入《巴黎协定》。我国基于新发展理念、新发展格局和新发展阶段,宣布到2030年前力争二氧化碳排放达到峰值,努力于2060年前实现碳中和,单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降到60%~65%。要实现碳中和目标,意味着生产和生活方式的转变,生产方式的转变必须用更绿色、更先进的技术去实现,但是要实现碳中和目标仅仅依靠生产方式的转变是不够的,反而有可能出现“杰文斯悖论”,更多地刺激生产和消费的扩张,最后不一定有利于减少碳排放量。人文因素的变化对碳排放具有重要的影响,实现碳中和目标必须伴随着生活方式的转变,单纯依靠技术创新去实现经济增长和资源消耗脱钩是不够的,必须实现消费方式和发展理念的转变。

近年来,人口规模的增长和人口结构的变化以及由此引起的消费规模与结构的变化对碳排放的影响成为学术界关注的问题。由于历史的原因,中国的计划生育政策导致人口增长率具有外生性的特征,人口的年龄结构、教育结构、职业结构和城乡结构正处于转型期。另外,由于“京都模式”是以生产者责任为原则确定的供给侧碳排放核算,没有考虑生产者与消费者之间责任的平衡问题,容易造成“碳泄漏”问题,弱化碳减排政策的效果,在此背景下,基于消费者责任的需求侧碳排放问题也引起学术界的关注。根据第七次全国人口普查的数据,全国人口总数为141178万人,与2010年的133972万人相比,增加了7206万人,增长5.38%。根据国家统计局的数据,2019年社会消费品零售总额411649亿元,相比上年名义增长8.0%,其中:餐饮收入46721亿元,相比上年增长9.4%;商品零售364928亿元,相比上年增长7.9%。目前我国消费者的消费倾向为70.15%,而农村居民的消费倾向高达83.19%,从长期的角度来看,我国消费市场将成为全球最大的国内市场。随着人口结构的演变,人们的生活方式、消费需求和行为态度也发生了很大的变化。目前我国居民生活能源碳排放仅次于工业部门,成为第二大碳排放来源,碳排放的重点逐渐由生产侧向消费侧过渡,人们消费碳排放渐渐成为碳排放的新增长点,而人类作为消费需求的主体,其本身的特征对碳排放量也有着不可忽视的影响。因而,人口和消费特征、能源消费以及它们与碳排放的关系成为认识碳达峰碳中和问题的一个重要视角。从理论与实证上研究中国现实背景下人口、消费的规模与结构变化对碳排放的影响,揭示人口与消费影响碳排放的特征和演进规律有着十分重要的理论和现实意义,对实现碳达峰碳中和的目标具有指导意义,并且可提供有价值的政策建议。

## 二、文献综述

20世纪70年代以来,由于人口规模的膨胀,发展中国家普遍实行在低技术水平上的赶超型经济增长模式,能源消费的扩大使经济与环境的可持续发展受到严重威胁,碳排放问

题受到人们的日益关注,对碳排放影响因素的研究也逐渐推进。在 Grossman 和 Krueger (1991)的开拓性研究中,认为影响碳排放的因素主要是能源强度、能源结构和技术水平。后来 Debruyne(1997)的研究却认为技术效应与能源结构对碳排放的影响极其有限。而影响碳排放存在空间差异的因素主要是:人口规模、能源价格、技术创新与政策等(Bernstein et al.,2003)。一个地区的经济状况、人口数量和技术发达程度等都对该区域的碳排放水平有着重要的影响,而人口因素是影响碳排放的重要因素之一,同时它通过对生产和消费等因素的间接作用而对碳排放发挥着复杂多样的影响。越来越多的研究主要集中在居民消费与人口规模方面,按研究方法可分为两类:一类是采用定性方法来研究人口与碳排放之间的作用机制与因果关系,如 Birdsall(1992)认为发展中国家的人口增长一方面增加了能源消耗,另一方面加快了森林砍伐,两者共同作用增加了碳排放;另一类是采用定量方法来估算人口因素对碳排放的影响,如 Knapp 和 Rajen(1996)采用格兰杰因果关系检验,利用 1880—1989 年全球年度数据,研究发现人口增长与碳排放之间并不存在长期的均衡关系,但存在短期的动态关系。彭希哲和朱勤(2010)就 30 年来我国人口规模和结构、消费方式、技术进步等因素对碳排放的影响进行实证研究,研究发现:相对于人口规模的单一影响,人口结构与居民消费对碳排放的影响更大,其中居民消费水平和模式与碳排放增长显著相关,人口城镇化率和家庭规模减少对碳排放有正的影响,人口老龄化对消费和碳排放尚没有显著的影响。王雅楠等(2019)的研究发现从全国层面来看,人均可支配收入和城镇人口规模显著促进了碳排放,而生活能源强度、生活能源消费结构、消费倾向对生活碳排放的增长起抑制作用。

一些文献分析了人口与消费对二氧化碳排放的动态影响。李国志和周明(2012)利用变参数模型来验证人口、消费与二氧化碳排放之间的关系,研究发现人口与碳排放以及消费与碳排放两者之间存在长期稳定的关系,人口对碳排放的影响弹性要大于消费,但是两者差距越来越小,说明消费对碳排放的影响力逐渐增加。另外有一些文献研究发现人口因素与碳排放之间呈现出非线性关系。如王芳和周兴(2012)利用美国、中国等 9 国 1961—2010 年的面板数据进行计量分析,研究发现:人口城镇化率与碳排放呈倒“U”型关系,人口年龄结构特别是人口老龄化与碳排放呈“U”型关系。张华明等(2021)研究发现产业集聚、城市人口规模与人均二氧化碳排放之间均呈倒“U”型关系。

关于居民消费对碳排放的影响研究,宋晓晖等(2012)的研究对象除了中国外,还加入了印度、德国、日本和美国 4 个国家,研究发现在 1978—2007 年间,中国和印度等人口基数大的发展中国家,其人口总量对碳排放的影响比人均 GDP 明显,而美国和日本则反之,表明发达国家财富消费是推进碳排放量的重要原因。彭水军等(2015)测算了中国 1995—2009 年的消费侧碳排放量,其从 1995 年的 2225.31MT 增加到 2009 年的 4746.74MT,增长 113.3%,并且绝大

部分属于国内排放。尹龙等(2021)通过预测认为我国居民消费的碳排放峰值将在2030—2033年出现,峰值约为53.1~61.4亿吨二氧化碳,占比大约在47%~51%,说明在居民消费部门存在环境库兹涅茨曲线效应。

近年来,在碳排放影响因素的相关研究中,人口结构变动的的影响越来越受到学者们的关注。郭文和孙涛(2017)利用2003—2012年省际面板数据实证分析发现,人口规模、居民消费和城镇化对碳排放的影响效应显著为正,居民消费对碳排放的影响效应最大,人口城镇化是引起碳排放变化的主要人口因素,人口年龄结构、教育结构和职业结构的变动抑制碳排放的增长,而性别结构对碳排放无显著影响。吴昊和车国庆(2018)构建动态空间STIRPAT模型并利用2004—2015年省际面板数据进行实证分析,结果表明儿童人口比例与碳排放显著负相关,而劳动年龄和老年人口比例与碳排放显著正相关,并且呈现区域差异性,东部地区老年人口上升没有抑制碳排放的增长,而中西部地区老年人口比重上升对碳排放产生显著的抑制作用,但是中部地区的显著性比西部地区要低。

通过对已有文献的梳理,不难发现,目前大多数文献主要是利用计量模型就人口、消费对碳排放的影响进行实证分析,缺乏对它们之间关系的理论机制推导,更没有分为外生人口增长率与内生人口增长率进行比较静态分析。与现有文献相比,本文的边际贡献主要有以下几方面:第一,区别于已有多数侧重于经验分析的相关研究,本文在借鉴国内外现有研究成果的基础上,对人口、消费与碳排放之间的关系进行理论模型分析,并分为外生人口增长率和内生人口增长率两种情况来讨论;第二,尽管现有文献考虑了人口城乡结构、人口年龄结构等多种人口结构变量对碳排放变动的的影响,但是仍不全面,忽视了人口职业结构、人口教育结构和家庭规模变动的的影响,本文的实证研究补充了这三方面的人口结构指标,并且增加消费规模和消费结构指标一起进行计量分析;第三,试图从人口与消费结构变动的角度来解释碳排放的变化趋势,从而为制定更为科学合理的消费碳排放减排政策提供理论基础与决策依据,为中国实现未来碳减排目标提供一种有效的途径。

### 三、人口与消费对碳排放影响的理论机制

碳排放主要来源于化石能源的消耗,能源又是基本的生产和消费原材料,因此碳排放分为生产侧碳排放和消费侧碳排放。消费侧碳排放是由产品和服务的消费引起的,是由一国最终需求造成的,最终需求规模对消费侧碳排放量具有正向影响,而人口规模与结构直接影响着最终需求的规模,同时,国内最终需求绝大部分是由国内生产来满足,因而最终需求规模的扩张也是促进生产侧碳排放增长的重要因素。生产是为了消费,这意味着消费对碳排放具有正影响,消费模式基于人们的性别、年龄、收入水平、心理等因素的不同而不同,不同的消费模式对碳排放的影响也不相同。因而,人口规模的增长会从人的最终需求方面增加碳排放量,

持续增加的需求会促使厂商扩大生产,最终人们通过消费来消耗已生产的产品,同时消费又会更进一步促进生产。人口与消费两者相互作用,尽管它们对碳排放影响的程度不相同,但是人口总量与消费规模的扩张必然会导致能源消耗和碳排放的增长,其中消费的模式还受各种复杂因素的影响。

人口对碳排放的影响主要通过它对生产和消费的作用表现出来,人口和消费对碳排放的影响效应有规模效应和结构效应。一是规模效应。人口总量的增长一方面会引起消费规模的增加。从而对能源产生越来越多的需求,在以煤炭为主的高碳能源结构和电力系统下,意味着能源消费产生的二氧化碳排放量会越来越多,其传导机制为:人口规模增长→消费总量增长→能源需求增长→碳排放增长。另一方面,人口的快速增长会导致对森林等自然环境的破坏,改变土地利用方式,降低了温室气体的吸收能力,进而增加了二氧化碳排放量。人口规模增长使人口流向城市,造成城市人口密度增加,对交通基础设施形成压力,交通拥堵的现象更加普遍,拥挤效应带来的重复建设、过度竞争以及结构同化对能源消耗和二氧化碳的排放造成了不利的影晌。二是结构效应。除了人口总量外,人口年龄结构、教育结构和城镇化水平等因素对碳排放也产生影响,人口结构的变化引起消费结构的变化,消费结构的变化导致产业结构的变化,陈向阳(2017)认为产业结构决定污染物产生的质量和数量,由产业结构产生的环境污染是一种结构性污染。因而人口结构影响碳排放的传导机制为:人口结构→消费结构→产业结构→能源需求结构→碳排放。随着人口城镇化、人口年龄结构和产业结构的不断变化,居民消费能力在提升、消费结构在改变,在消费型能源方面的需求增加,导致碳排放量的增加。因此,为研究人口、消费对碳排放的影响,必须探讨人口、消费与能源消耗之间的内在机制,以下在经典的拉姆齐增长模型基础上,通过引入能源部门构建理论模型来分析(布兰查德、费希尔,1994)。

### (一)理论模型:技术水平不变时

考虑一个简单的一般均衡经济,在此经济中消费者从每一期的能源存量中消耗一定的能源  $E$ ,且由于能源开发,能源存量可增长,能源变化的微分方程为:

$$\frac{dE}{dt} = G(E, L) - bE \quad (1)$$

$G(E, L)$  是能源的瞬时增长函数,实际上也是以能源为基础的经济的总产出或总实际收入,  $L$  是能源生产的劳动投入量,  $b$  是外生的能源耗费系数,由于新能源的开发和管理活动增加了产量,所以能源生产可以呈现出无限大。与拉姆齐经济增长理论相符,  $G(E, L)$  假设是线性齐次的、二阶连续可微的,即  $G_{SL} \geq 0$ ;  $G_E > 0$ ,  $G_{EE} < 0$ ;  $G_L > 0$ ,  $G_{LL} < 0$ , 以及二阶条件  $G_{EE}G_{LL} > G_{SL}^2$ 。这些假设条件意味着  $G(E, L) - bE$  是严格凹的,同时假设  $G(0, L) = 0$  和

$G(E, 0) > 0$ , 对于  $E \in [0, E^+)$ ,  $G(E, L_0) - bE > 0$ , 其中  $E^+$  定义为  $G(E^+, L_0) - bE^+ = 0$  的解,  $L_0$  是最初投入能源生产的劳动量。假设消费与能源之间的系数为 1, 考虑到能源消费, 式(1)可修改为:

$$\frac{dE}{dt} = G(E, L) - bE - C \quad (2)$$

在经典的拉姆齐增长模型中假设人口规模等于劳动力数量, 这里我们假定人口规模和劳动数量的比例按以下公式演化:

$$dL/dt = n[g(e)]L \quad (3)$$

在式(3)中,  $n$  表示人口增长比率, 它依赖于  $g(e) = G(E, L)/L$ , 这里  $e = E/L$  是人均能源量, 说明人口增长率与瞬时人均能源增长率有关。一个代表性消费者具有效用函数  $U(c)$ , 这里  $c = C/L$  是人均消费, 效用函数假设满足以下特征:  $U_c > 0$ ,  $U_{cc} < 0$ ,  $\lim_{c \rightarrow 0}(U_c) = \infty$ ,  $\lim_{c \rightarrow \infty}(U_c) = 0$ 。给定一个外生的社会时间偏好系数  $\rho$  即贴现率, 则代表性个体求解下列最优问题:

$$\max \int_0^{\infty} U(c)e^{-\rho t} dt, \text{ 其中 } c = C/L \quad (4)$$

$$\text{s.t. } \frac{dE}{dt} = G(E, L) - bE - cL$$

$$\frac{dL}{dt} = n[g(E/L)] \cdot L$$

$$E(0) > 0, L(0) > 0$$

在这个最优控制问题中, 控制变量是  $c$ , 状态变量是  $E$  和  $L$ , 如果把状态变量转化为人均值, 那么此最优控制问题可转化为只有一个状态变量  $e = E/L$  的简化问题来分析, 利用函数  $G(\cdot)$  是线性齐次的假设, 则:

$$\max \int_0^{\infty} U(c)e^{-\rho t} dt \quad (5)$$

$$\text{s.t. } \frac{de}{dt} = g(e) - [b + n(g(e))]e - c$$

$$e(0) > 0$$

该最优控制问题的现值汉密尔顿函数为:

$$H = U(c) + \lambda(g(e) - [ng(e) + \delta]e - c) \quad (6)$$

式(6)中,  $\lambda$  是人均能源的现值影子价格, 这样得到最优条件为:

$$\frac{\partial H}{\partial c} = U'(c) - \lambda = 0 \Rightarrow \lambda = U_c \quad (7)$$

$$\dot{\lambda} = \rho\lambda - \frac{\partial H}{\partial e} \Rightarrow \dot{\lambda} = \lambda(\rho + b + n + en_g \cdot g_e - g_e) \quad (8)$$

横截条件为:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} [e^{-\rho t} \lambda(t) e(t)] = 0 \quad (9)$$

把式(7)求导得  $\dot{\lambda} = U_{cc}$  并将式(7)代入式(8),可把欧拉方程式(8)变为:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{U_c}{U_{cc}} (\rho + b + n + e n_g \cdot g_e - g_e) \quad (10)$$

式(10)和式(5)中的  $de/dt$  给出了人均能源  $e$  和消费  $c$  的最优时间路径。从动态上来看,消费的增长与人口增长、人均能源消费呈正相关关系,表明人口规模增长→消费总量增长→能源需求增长→碳排放增长。

### (二)动态特征与稳态

在上述经济系统中是否存在一个或多个稳态,首先令式(5)中的  $de/dt$  和式(10)的  $dc/dt$  等于0得到:

$$c = g - (b + n)e \quad (11)$$

$$\rho = g_e - (b + n) - e n_g g_e \quad (12)$$

由式(11)和式(12)组成方程组的解可确定消费  $c$  和能源  $e$  的稳态,在式(12)中包含  $-e n_g g_e$  项和两个方程中  $n$  依赖于  $g(e)$ ,这说明社会最优消费受到内生人口增长率的影响,意味着人口增长率影响着消费从而影响能源的生产和消费,进而影响碳排放量。式(12)的右边等于式(11)的  $dc/de$ ,即由式(11)决定了对  $e$  进行二阶微分  $ee$  中心曲线的斜率,这样只要式

(11)是严格凹的,系统中就只有一个稳态点,当  $g_{ee} < \frac{2n_g g_e + e n_{gg} \cdot g_e^2}{1 - n_g e}$  时,式(11)是严格凹的。

因此,假定人口增长率是外生的即人口增长率等于常数,是只有一个稳态点的充分条件,这时  $n_g = n_{gg} = 0$ ,  $g_{ee} < 0$ 。当以上条件不满足时,系统就有一个或多个稳态点,人口理论认为人口增长与人均收入呈现倒“U”型曲线,人口增长率一开始随人均收入的增长而增长,当人均收入增长高于一定点时人口增长率递减,因而经济系统存在一个或多个稳态点。计算由式(10)和式(5)中的  $de/dt$  组成方程组的雅可比矩阵得到:  $J_{11} = 0$ ,  $J_{12} = U_c/U_{cc} [2n_g g_e + e(n_{gg} g_e^2 + n_g g_{ee}) - g_{ee}]$ ,  $J_{21} = -1$  和  $J_{22} = \rho > 0$ ,因此,当  $J_{12} < 0$  时,经济系统的稳态才是鞍点路径。

### (三)比较静态分析

当经济系统的外生变量社会贴现率  $\rho$  和能源耗费系数  $b$  变化时,模型中变量  $c$  和  $e$  的比较静态分析结果如表1,分为外生人口增长率和内生人口增长率两种情况来讨论。

以上分析结果说明了人口和消费因素对碳排放的动态变化关系,较多的人口增长会产生越来越多的能源需求。2019年,我国煤电在电力总装机的比重为52%(张贤等,2021),仍然占重要地位,因而,人口增长促进了消费增长,消费带动了能源消费以及对高碳消费品的需求,

对二氧化碳排放会产生重要影响。

表1 比较静态分析结果

	外生人口增长率		内生人口增长率	
在鞍点附近 ( $J_{12} < 0$ )				
消费	$\partial c/\partial b < 0$	$\partial c/\partial \rho < 0$	$\partial c/\partial b < 0$	$\partial c/\partial \rho < 0$
能源	$\partial e/\partial b < 0$	$\partial e/\partial \rho < 0$	$\partial e/\partial b < 0$	$\partial e/\partial \rho < 0$
在其他稳定节点附近 ( $J_{12} > 0$ )				
消费	NA	NA	$\partial c/\partial b < 0$ 或 $> 0$	$\partial c/\partial \rho > 0$
能源	NA	NA	$\partial e/\partial b > 0$	$\partial e/\partial \rho > 0$

注:NA表示不明确。

#### (四) 考虑技术进步

在以上的模型中也可以引入技术进步,引入技术进步后能源生产消费方程可修改为:

$$\frac{dE}{dt} = G(E, AL) - bE - C \quad (13)$$

式(13)中  $A$  是外生给定的技术进步率,以上函数形式相当于假定技术进步增加了劳动的“有效”供给,可以解释为每单位劳动的“有效单位”数量,假定技术以外生的比率  $\gamma$  增长:

$$dA/dt = \gamma A$$

在考虑技术进步时,假定人口以  $n[G(E, AL)/AL]$  增长,即一个无限生存的代表性经济个体,求解以下最优问题:

$$\max \int_0^{\infty} U(c)e^{-\rho t} dt, \text{ 其中 } c = C/L \quad (14)$$

$$\text{s.t. } \frac{dE}{dt} = G(E, AL) - bE - cL$$

$$\frac{dL}{dt} = n[G(E, AL)/AL] \cdot L$$

$$\frac{dA}{dt} = \gamma A$$

$$E(0) > 0, L(0) > 0, A(0) > 0; \forall t$$

令  $x = E/AL$  为单位有效劳动的能源资本,  $y = C/AL$  为单位有效劳动的消费,则式(14)可转化为只有一个状态变量  $x$  和一个控制变量  $y$  的最优控制问题:

$$\max \int_0^{\infty} U(y)e^{-\rho t} dt \quad (15)$$

$$\text{s.t. } \frac{dx}{dt} = g(x) - [n(g(x)) + b + \gamma]x - y$$

$$x(t) > 0$$



式(15)中  $g(x) \equiv G(E/AL, 1)$  为能源的有效劳动增长函数,式(15)和式(5)的数学结构是相似的,这一模型与没有技术进步的情形几乎是一样的,这样可以仿照以上的方法求出最优解。给定技术进步在均衡解  $x^*$  和  $y^*$  对应着在  $c-e$  系统中有多条增长路径,  $x^*$  和  $y^*$  稳态意味着在  $c-e$  系统中可能有多条非收敛的平衡增长路径,因而具有相同参数的经济系统从不同的能源与人口初始条件开始可能会不收敛于相同平衡增长路径,这一结果不同于外生人口增长新古典模型,其具有一个平衡增长路径结果。

以上分析表明依靠科技进步可实现绿色低碳增长,利用科技创新实现能源体系的“非碳化”和产业体系的“去碳化”,是经济增长方式实现绿色低碳转型的必由之路。我国要实现2060年碳中和目标,需要实现整个经济活动的源汇相抵,需要能源供给侧和消费侧部门互相配合。无论是重构负碳电力系统和建立零碳能源体系,还是重塑近零排放工业流程都亟需科技创新作为支撑,必须把促进应对气候变化的科技创新作为支持碳达峰碳中和目标实现的重要组成部分。

以上理论模型从总量上论证了人口、消费与碳排放之间的内在逻辑关系,与现有文献相比这是本文理论上的边际贡献。为了方便求解理论模型,其中没有考虑人口结构和消费结构因素,要考察人口结构与消费结构对碳排放的影响,下文构建计量模型进行实证分析。

## 四、实证分析

### (一)变量与数据来源

由于2017年以及2005年前部分省市的相关数据不完整,西藏的能源消耗量数据未公布,故选用2005—2016年我国30个省市的面板数据进行计量分析,数据主要来源于《中国统计年鉴》(2006—2017)以及《中国能源统计年鉴》(2006—2017)。由于没有直接的二氧化碳排放量数据,暂无权威的碳排放数据可以引用。目前国际温室气体评估的通用方法是用化石能源燃烧产生的二氧化碳排放量来衡量,因此本文根据一次能源消耗量按相应的排放系数进行测算,主要选取煤炭、原油和天然气三类能源消耗量来测算,根据已有研究成果,测算公式如下:

$$C_t = \sum_i Q_{it} \times K_i \times \delta_i \quad (16)$$

式(16)中  $C_t$  为第  $t$  年碳排放总量,  $i$  为能源种类,  $Q_{it}$  为第  $t$  年  $i$  类能源消耗占总能源消耗的比重,  $K_i$  为第  $t$  年一次能源消耗总量,  $\delta_i$  为第  $i$  种能源的碳排放系数。碳排放系数来自2012年国家统计局公布的数据,三大能源的碳排放系数分别为:原煤 2.091 tCO<sub>2</sub>/t,原油 3.02 tCO<sub>2</sub>/t,天然气 21.6 tCO<sub>2</sub>/万 NM<sup>3</sup>。

人口规模用年末地区常住人口总量( $P$ )来反映。尽管现有文献考虑了人口城乡结构、人

口年龄结构等多种人口结构变量对碳排放变动的影响,但是仍不全面,忽视了人口职业结构、人口教育结构和家庭规模变动的影响,本文选取反映人口结构的变量有:用城镇人口比重( $P_c$ )来表示城镇化、用劳动人口比率( $Lab$ )来反映人口年龄结构、用家庭规模( $Ph$ )表示平均家庭人数、教育水平( $Edu$ )用6岁及6岁以上人口中大专及以上学历人数比例来指代。消费规模用人均消费水平( $Ac$ )来表示;消费结构( $Sh$ )用非食品烟酒消费支出的占比来描述,我国对消费结构的统计涵盖食品烟酒、医疗保健、交通通信、教育文化娱乐四大方面,但各省区除食品烟酒的统计数据外,其他统计数据在2010年前后均有多个缺失,故选取除食品烟酒支出之外的其余支出占消费支出的比重来代表消费结构。能源利用效率( $T$ )用能源消耗量与国内生产总值之间的比值来描述。

## (二) 计量模型

本文使用环境压力模型:

$$I = PAT \quad (17)$$

式(17)中  $I$  表示环境影响,  $P$  表示人口规模,  $A$  表示人均财富值,  $T$  表示技术水平,后来修正成STIRPAT随机模型,表示为:

$$I = \alpha P^{\beta_1} A^{\beta_2} T^{\beta_3} \varepsilon \quad (18)$$

式(18)中  $\alpha$  为常数项,  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$  为驱动力指数,  $\varepsilon$  为模型误差项,为了方便进行计量分析,降低异方差,通常对上式取对数形式,具体形式为:

$$\ln I = \ln \alpha + \beta_1 \ln P + \beta_2 \ln A + \beta_3 \ln T + \ln \varepsilon \quad (19)$$

在对数形式下,各驱动力系数反映的是自变量与因变量之间的弹性系数,说明各因素对环境压力变化的影响。此模型在我国得到广泛的运用并且拟合度好,吴昊和车国庆(2018)、田成诗和郝艳(2016)、李国志和周明(2012)、朱勤等(2010)等都利用扩展的STIRPAT模型来计量分析人口、消费的规模与结构及技术因素对碳排放的影响,认为此模型对中国国情有较高的解释力。

本文需要检验人口、消费的规模和结构对碳排放的影响,故采用的计量分析模型如下:

$$\ln C_{it} = \alpha + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 \ln Pc_{it} + \beta_3 \ln Lab_{it} + \beta_4 \ln Ph_{it} + \beta_5 \ln Edu_{it} + \beta_6 \ln Ac_{it} + \beta_7 \ln Sh_{it} + \beta_8 \ln T_{it} + \mu \quad (20)$$

## (三) 回归结果与分析

通过检验可得误差项之间存在异方差以及序列相关问题,故在回归过程中应该对传统固定效应模型进行改进,本文采用协方差矩阵估计法,以消除面板异方差、序列相关和截面对结果的影响。先对人口规模、人均消费水平和技术水平进行实证分析,以检验基础的STIRPAT模型,同时也为新构建模型提供对比,再逐步将人口结构和消费结构的变量纳入模型进行检验,将城镇化和家庭规模代入得到模型(2);再讨论劳动人口比率的影响得到模型(3);对

人口结构中社会教育水平进行检验得到模型(4);最后加入消费结构的变量得到最终的研究模型(5)。计量结果如下表2所示。

表2 回归结果

变量	模型(1)		模型(2)		模型(3)		模型(4)		模型(5)	
<i>P</i>	0.1852* (1.72)	0.9214** (26.94)	0.1748* (1.88)	0.9685*** (31.05)	0.2088** (2.50)	0.9687*** (30.56)	0.2493** (2.63)	0.9718*** (30.45)	0.2324** (2.23)	0.9674*** (29.84)
<i>Ac</i>	0.8514*** (21.32)	0.8697*** (41.06)	0.7233*** (21.31)	0.7599*** (27.47)	0.6962*** (21.13)	0.7412*** (27.20)	0.6906*** (19.44)	0.7260*** (26.68)	0.7197*** (18.58)	0.7302*** (22.62)
<i>T</i>	0.6952*** (8.89)	0.8015*** (27.13)	0.6918*** (10.14)	0.8350*** (29.78)	0.6703*** (9.49)	0.8117*** (28.63)	0.6722*** (9.65)	0.8068*** (28.76)	0.6602*** (9.07)	0.8010*** (28.31)
<i>Pc</i>			0.4297*** (7.62)	0.5083*** (5.34)	0.4234*** (5.90)	0.4775*** (4.94)	0.3777*** (5.52)	0.4100*** (4.17)	0.3377*** (6.29)	0.3647*** (3.64)
<i>Ph</i>			-0.7005*** (-4.64)	-0.3425*** (-2.71)	-0.4834*** (-4.29)	-0.148 (-1.12)	-0.4628*** (-3.91)	-0.1479 (-1.13)	-0.5765*** (-4.19)	-0.2270* (-1.70)
<i>Lab</i>					1.1514*** (4.24)	0.9499*** (3.61)	1.1205*** (4.03)	0.9209*** (3.56)	1.0442*** (3.84)	0.8329*** (3.15)
<i>Edu</i>							0.0256*** (5.27)	0.0456*** (3.31)	0.0334*** (4.41)	0.0618*** (3.86)
<i>Sh</i>									0.2808** (2.35)	0.0623* (0.48)
<i>W/W</i>	是	—	是	—	是	—	是	—	是	—
常数项	7.7934*** (8.47)	0.4892* (1.60)	7.968*** (8.82)	0.8098** (2.50)	7.8522*** (9.59)	0.9174*** (2.80)	7.518*** (8.33)	0.9638*** (2.95)	7.8478*** (7.74)	1.099*** (3.30)
样本数	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360
模型设定	FE	RE	FE	RE	FE	RE	FE	RE	FE	RE
R <sup>2</sup>	0.8787	—	0.8912	—	0.8982	—	0.8995	—	0.9005	—
Hausman	固定效应		固定效应		固定效应		固定效应		固定效应	

注:①括号内为t值;②\*\*\*表示在1%置信水平下显著,\*\*表示在5%置信水平下显著,\*表示在10%置信水平下显著;③W/W检验表示异方差和序列相关检验,异方差使用Wald test,序列相关使用Wooldridge test,Hausman表示的是豪斯曼检验所选择的模型;④“FE”表示固定效应模型,“RE”表示随机效应模型;⑤由于随机效应模型使用GLS估计方法,其拟合优度R<sup>2</sup>无常规上的意义,故未将随机效应R<sup>2</sup>写入报告。

由表2可见,人口规模、消费规模与碳排放呈现出显著的正相关关系,但消费规模对碳排放的影响弹性要大于人口规模,说明人均消费水平变化对我国现阶段碳排放增长的解释力要大于人口规模。消费对碳排放的影响来源于两方面:一是居民消费对能源消耗产生的直接碳排放;二是居民消费需求对生产的规模与结构发展所引致的能源消耗产生的间接碳排放。事实上,人口规模和结构变化对碳排放的影响在一定程度上是以消费规模与结构的变化为载体产生作用的,因此,消费对碳排放增长的驱动弹性要大于人口规模。人口规模对碳排放增长

有显著的正影响,这一点与国内外其他研究者的结论是一致的,人口增长对碳排放的影响是双向的,一方面人口增长直接导致能源消耗和碳排放量的迅速增加;另一方面人口增长会促进低碳技术创新,这样会减少碳排放量,人口规模对碳排放的影响弹性系数为正,说明人口增长对低碳技术进步的促进作用不明显,碳减排效果比较差。

据国家统计局数据,2005—2016年,我国人均消费性支出得到快速的增长,从2005年7942元增长到2016年的23079元,人均可支配收入的增长刺激了人们的消费欲望,消费的增长带动了能源消耗的增长,对碳排放的增长产生直接的推动作用。另一方面,需要重视消费结构的变化对碳排放的影响,从回归结果来看,非食品烟酒消费支出的占比对碳排放有显著的正向影响,表明以食品等货物为主的日常消费占比在逐渐降低,以服务为主的交通通信、居住和教育文化以及医疗保健消费占比逐渐上升,居民消费呈现出重碳化趋势,直接导致能源消耗和碳排放的增长。目前我国交通部门能源消费占全国总终端能源消费的比重约为10%,而住房建设产生的碳排放,主要来源于水泥、玻璃、钢铁等建筑材料的生产 and 运输,以及现场施工过程,另外,住房在使用过程中也产生碳排放。有研究认为,我国建筑产生的碳排放量约占全球总排放量的11%,住房使用产生的碳排放量约占全国总排放量的20%(彭希哲、朱勤,2010)。因此,交通和住房消费比重的提升引起碳排放的增长。

相比于单一的人口规模,人口结构有更多的研究空间,人文因素对碳排放有重要的影响,而人口结构的变化是一个动态过程,更能解释碳排放的变化。城镇化率作为一个表征人口城乡结构的变量,主要通过居民消费模式的变化来反映人口结构对碳排放的影响,人口城镇化对碳排放的影响弹性显著为正,说明我国城镇化率的提高增加了碳排放量。2005—2016年,我国城镇人口占总人口比重由42.99%上升至57.36%,平均每年增长1.31个百分点<sup>①</sup>,城镇化主要通过三条途径影响碳排放:一是人口城镇化带来居民消费水平的提高和消费模式的转换,直接或间接增加了消费侧的能源需求,在以化石能源为主的能源结构下,人口城镇化直接增加了碳排放;二是人口城镇化增加了对城市住房以及公共基础设施的需求,同时拉动了水泥行业的快速发展,由此产生大量的碳排放量;三是城镇化减少了森林等生态系统碳汇,导致碳排放相应地增加。另外,人口城镇化滞后不仅会提高本地区的碳排放水平,还会通过空间溢出效应提高周边地区的碳排放水平(田建国、王玉海,2019)。

人口年龄结构主要通过生产侧和消费侧两方面对碳排放产生间接的影响,回归结果发现劳动人口比率对碳排放的影响弹性显著为正。据国家统计局分布数据,我国16~60周岁的劳动年龄人口在2011年达到峰值9.25亿人,占人口比重为74.4%,从2012年起数量与比重连续出现双降,2018年末16~60周岁人口为89729万人,占比64.3%,而老年人口比重持续上升,

<sup>①</sup>数据来源于国家统计局网站<http://www.stats.gov.cn/tjsj/>。

2005年60岁以上人口比重为11.3%,2018年末上升至17.9%。劳动年龄人口的下降是中国经济发展过程中必须要面对的现实,随着我国人口红利逐年减退,通过不断优化人口结构,提高人口素质,发展低碳经济、提高经济增长质量,可推动碳排放的减少。总体上来看,人口年龄结构的变化对生产侧碳排放的影响要大于消费侧,近年来我国人口年龄结构变化主要通过生产领域劳动年龄人口的丰富与素质提高间接影响碳排放。

回归结果显示,平均家庭规模对碳排放的影响弹性系数显著为负。家庭规模主要通过消费侧对碳排放产生影响,由于以家庭为主的消费需求包含诸多,如汽车和住房等具有共享性质的消费,家庭平均规模的减少意味着家庭消费的规模效应在递减,导致人均消费支出实际上的增加。90年代以来我国生育率的下降导致家庭规模的趋小化,平均家庭规模由1982年每户4.41人缩减至2014年的2.97人,随着生育政策转变,从2015年开始家庭平均人口数量开始有所回升,但是受婚育观念转变和生育率长期低水平趋势等因素影响,我国家庭规模微型化短期难以改变。与此对应的是家庭户数量持续增长,根据国家统计局的抽样数据,我国家庭户数量已于2017年超过4.4亿户,比1982年增加了2倍左右,其中2010—2017年我国家庭户数增速降至1.4%,远低于1982—1990年的2.9%,尽管如此,家庭户数的增长速度仍然远高于人口增长。家庭规模微型化和家庭户数量持续增长,一方面带来住房和小汽车等物质消费的增加,另一方面家庭消费对服务和文化消费品的需求显著增加。因此,家庭化消费更加个性化和多元化的特征直接推动了总消费需求的扩张,导致碳排放间接增加,其对碳排放增长的影响弹性也大于人口规模的影响。

人口教育结构的回归系数在1%水平下显著为正,但是影响弹性系数较小。人口教育结构主要通过能源利用技术进步和人们消费观念转变分别影响生产侧和消费侧碳排放的变化。根据2016年全国人口变动情况抽样调查数据,6岁及以上人口中大专以上学历人数比例为7.3%,大学本科占5.8%,研究生占0.6%,总体上我国人口受教育程度低,高学历人数不多。人口学历提高对能源利用技术进步推动作用和居民消费观念的转变没有显现出来,需要优化人口教育结构,提高人口素质,为产业结构转型升级、发展低碳环保的技术密集产业提供人力资本支持。

用能源利用效率表示的技术弹性系数显著为正,其虽然比消费的弹性系数小但是远大于人口规模的弹性系数,说明技术进步可以较大程度上抑制碳排放的增长,通过低碳技术创新抑制单位GDP所产生的碳排放,是解决碳排放问题的有效途径。

## 五、结论与政策建议

现有的在考虑环境因素的新古典增长模型中假定人口增长率是恒定的,这样就产生了指

变的动态经济系统中可能存在几种类型的关于能源消费和能源存量的多个稳态点,表现出非寻常的相对静态效应,社会最优消费量受到内生人口增长率的影响,意味着人口增长率影响着消费,而消费又影响能源的生产和消耗,最后影响着碳排放量。在考虑技术进步的模型中,可能存在多条关于消费与能源的平衡增长路径,这意味着单一无限制的市场活动不能把经济引入具有持续高福利水平的增长路径,必需依靠政府支持科技进步来实现绿色低碳增长。在一个复杂的动态系统中,多个稳态的存在导致经济增长存在路径依赖,以能源为基础的经济要达到稳态或最优增长路径依赖于初始的能源水平和人口存量,两个地区如果初始的人口或能源资源条件不同,不管自由市场或技术贸易怎么发展,都会存在长期上的福利差异和最优消费水平的差异,导致两个地区在碳排放量上的不同。

实证研究利用改进的STIRPAT模型建立计量模型,利用2005—2016年我国30个省市的面板数据检验人口、消费的规模和结构对碳排放的影响。回归结果表明:人口规模、消费规模与碳排放呈现出显著的正相关关系,但消费对碳排放的影响弹性系数要大于人口规模,说明人均消费水平变化对我国现阶段碳排放增长的解释力要大于人口规模;非食品烟酒消费支出的占比对碳排放有显著的正影响;人口城镇化对碳排放的影响弹性显著为正,说明我国城镇化率的提高增加了碳排放量;劳动人口比率对碳排放的影响弹性显著为正;家庭规模对碳排放的影响弹性显著为负;人口教育水平的回归系数在1%水平下显著为正,但是影响弹性系数较小,人口学历提高对能源利用技术进步的推动作用和居民消费观念的转变没有显现出来,需要优化人口教育结构,提高人口素质,为产业结构转型升级、发展低碳环保的技术密集产业提供人力资本支持;用能源利用效率表示的技术弹性系数显著为正,说明技术进步可以较大程度上抑制碳排放的增长。

基于以上理论与实证研究结论,提出以下政策建议:

第一,要注意人口结构的变化对碳排放的影响,积极推广有利于创新与绿色发展的人口结构模式。人口规模对碳排放量存在着显著影响,在稳定人口增长速度的前提下,单一控制人口规模并不是控制碳排放的最佳途径,必须尊重人口发展的内在规律,找到平衡点实现人与环境的协调发展。优化人口结构,要从人口年龄结构和家庭规模的视角制定碳减排措施,围绕家庭消费和家庭养老功能等低碳发展路径的制度设计不应忽视人口结构因素的影响。在人口规模基本稳定的背景下,由于人口老龄化带来的劳动年龄人口减少,人口红利逐渐消失,需要优化人口教育结构,提高人口素质和人力资本价值,同时实现人力资本数量与质量的提高,着重于人力资本的结构优化,引导人力资本向能源研究和低碳技术领域合理流动,以此带动产业结构和消费结构的“绿色化”,发挥“结构红利效应”。

第二,控制城镇化过程中的碳排放。城镇化对碳排放的影响弹性显著为正,是影响碳排放的重要因素,因而在城镇化过程中要将低碳理念贯彻到城市规划、建设和管理的每一

个环节,鼓励城市制定低碳发展规划,明确能源、产业、交通、公共设施、建筑等领域的低碳发展路径和措施;推动城市低碳化建设和管理,建设节能低碳的城市基础设施,积极发展建筑节能和绿色建筑,强化办公楼和商业广场等公共建筑低碳化运营管理和城市照明绿色化管理。

第三,倡导低碳和绿色的消费模式,使消费者对低碳和绿色消费形成稳定偏好,缓解消费侧碳排放。普及低碳消费理念,形成良好的生态价值观,引导公众消费模式向低碳出行与生活方式转变,促进消费从非持续性特征的传统消费向清洁、绿色和合理的可持续消费转变。例如,参加消费碳减排活动就可获得相应的消费金币,而消费金币可以进行兑换或在市场上流通,把个人低碳消费行为和消费信用结合起来,引导全社会建立起可持续发展的低碳消费模式。政府可以通过碳普惠制和碳标签等措施来鼓励消费者消费低碳产品,促进消费结构的优化,通过消费结构的优化促进产业结构的低碳化,实现结构性减排,在兼顾产业之间的经济联系与碳排放联系以及消费需求的基础上,实施差异化的产业政策,制定高碳产业与化石能源产业退出的支持政策,同时实现结构减排与保增长双重目标。

第四,制定针对消费者行为失灵和市场失灵的政策。消费碳减排不仅需要居民的消费行为改变,更需要政府制定相关的管制标准、激励机制、信息计划以及补贴政策来实现,例如,制定交通工具、家用电器和住房的能源效率标准。为规避消费者行为失灵和市场失灵的问题,需要合理运用经济激励、信息计划与政府管制等多种政策工具组合,提升政策实施效果,实现减排目标。

由于受制于数据的可获得性,本文只选取除食品烟酒支出之外的其余支出占消费支出的比重来代表消费结构,消费结构的统计涵盖食品烟酒、医疗保健、交通通信、教育文化娱乐四大方面,本文没有对消费结构进一步具体细分,以分析它们对碳排放的影响;另外,碳排放量采用的是总量,而没有区分生产侧与消费侧的碳排放,这是本文研究的不足也是今后进一步研究的方向。

## 参考文献:

- [1] 奥利维尔·琼·布兰查德,斯坦利·费希尔. 宏观经济学[M]. 北京:经济科学出版社,1994.
- [2] 陈向阳. 环境成本内部化下的经济增长研究[M]. 北京:社会科学文献出版社,2017.
- [3] 郭文,孙涛. 人口结构变动对中国能源消费碳排放的影响——基于城镇化和居民消费视角[J]. 数理统计与管理,2017,36(2): 295 – 312.
- [4] 李国志,周明. 人口与消费对二氧化碳排放的动态影响——基于变参数模型的实证分析[J]. 人口研究,2012,(1):63–72.
- [5] 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):48–56.
- [6] 彭水军,张文城,孙传旺. 中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究[J]. 经济研究,2015,(1): 168–182.

- [7] 宋晓晖,张裕芬,汪艺梅,冯银厂. 基于IPAT扩展模型分析人口因素对碳排放的影响[J]. 环境科学研究,2012,(1):110-114.
- [8] 田成诗,郝艳. 人口年龄结构影响了中国碳排放吗?——基于30~49岁人口的实证研究[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2016,16(5):42-51.
- [9] 田建国,王玉海. 中国人口城镇化滞后对碳排放的影响[J]. 环境经济研究,2019,(1):8-21.
- [10] 吴昊,车国庆. 中国人口年龄结构如何影响了地区碳排放?——基于动态空间STIRPAT模型的分析[J]. 吉林大学社会科学学报,2018,58(3):67-77.
- [11] 王芳,周兴. 人口结构、城镇化与碳排放——基于跨国面板数据的实证研究[J]. 中国人口科学,2012,(2):47-56.
- [12] 王雅楠,谢艳琦,谢丽琴,陈伟. 基于LMDI模型和Q型聚类的中国城镇生活碳排放因素分解分析[J]. 环境科学研究,2019,32(4):539-546.
- [13] 尹龙,杨亚男,章刘成. 中国居民消费碳排放峰值预测与分析[J]. 新疆社会科学,2021,(4):43-50.
- [14] 张华明,元鹏飞,朱治双. 中国城市人口规模、产业集聚与碳排放[J]. 中国环境科学,2021,41(5):2459-2470.
- [15] 张贤,郭偲悦,孔慧,赵伟辰,贾莉. 碳中和愿景的科技需求与技术路径[J]. 中国环境管理,2021,(1):65-70.
- [16] 朱勤,彭希哲,陆志明,于娟. 人口与消费对碳排放影响的分析模型与实证[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(2):98-102.
- [17] Grossman, G. and A. Krueger. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement[R]. 1991.
- [18] Debruyne, S. M. Explaining the Environmental Kuznets Curve: Structural Change and International Agreements in Reducing Sulphur Emission[J]. Environment and Development Economics, 1997, (2): 485-503.
- [19] Bernstein, M. A., K. Fonkych, S. Loeb, and D. S. Loughran. State-Level Changes in Energy Intensity and Their National Implications[J]. Science and Technology, 2003, (5): 1616-1621.
- [20] Birdsall, N. Another Look at Population and Global Warming[R]. 1992.
- [21] Knapp, T. and M. Rajen. Population Growth and Global CO<sub>2</sub> Emissions: A Secular Perspective[J]. Energy Policy, 1996, (1): 31-37.

## The Impact of Population and Consumption Scale and Structure on Carbon Emissions: Theoretical Mechanism and Empirical Analysis

Chen Xiangyang

(Economics and Statistics School of Guangzhou University)

**Abstract:** In order to achieve the goal of carbon peak and carbon neutrality, it is of great theoretical and practical significance to study the impact of population and consumption scale and structure change on carbon emissions in



China. This paper evaluates the dynamic effects of adding an endogenous process for human population growth into a energy-based economic growth model. Endogenizing human population growth in a static, constant technology form of the model gives rise to the possibility of multiple steady states of several types, and unusual comparative static responses to changes in the system's parameters. Adding technological progress to the model gives rise to the possibility of multiple sustainable paths for the variables in the system. Society's optimal consumption policy takes the effects of endogenous human population growth into account. Consumption can have an effect of energy consumption and carbon emissions. The results of empirical analysis are as follows: population size, consumption scale and carbon emissions are significantly positively correlated, but the impact of consumption on carbon emissions is greater than that of population size. The proportion of non-food tobacco and alcohol consumption expenditures has a significant positive impact on carbon emissions. The impact of urbanization and labor ratio on carbon emissions is significantly positive, while the impact of average household size on carbon emissions is significantly negative. The regression coefficient of the educational structure of population is significantly positive at the 1% level, but the coefficient of elasticity of influence is small. The coefficient of elasticity of technology expressed by energy use efficiency is significantly positive. We should pay attention to the impact of demographic changes on carbon emissions and advocate low-carbon and green consumption patterns.

**Keywords:** Population; Consumption; Carbon Emissions; Multiple Growth Paths

**JEL Classification:** C33, C61, J00

(责任编辑:朱静静)