
生育政策调整是否会影响我国 “碳达峰”目标的实现？ ——基于 STIRPAT 和 Leslie 模型的实证研究

程婉静^{1,2} 莫东序³ 李俊杰⁴ 田亚峻⁵¹

(1. 中国社会科学院 数量经济与技术经济研究所, 北京 100732;

2. 国家能源集团新能源发展研究中心, 北京 100034;

3. 上海财经大学 统计与管理学院, 上海 200433;

4. 中国矿业大学(北京) 化学与环境工程学院, 北京 100083;

5. 中国科学院青岛生物能源与过程研究所, 山东 青岛 266101)

【摘要】: 以中国人口生育政策调整为研究背景, 基于 STIRPAT 模型和 Leslie 模型综合考察中国人口生育政策调整可能对实现“我国二氧化碳排放力争 2030 年前达到峰值”目标所带来的影响。结果表明, 除了经济发展水平、能源技术水平、能源消费结构等因素外, 人口年龄结构对人均碳排放也具有显著影响。在论文设置的四种生育率情景下, 人口总量峰值分别出现在 2025 年、2027 年、2031 年和 2027 年。若生育政策调整能够有效提高社会总和生育率, 人口规模和人口年龄结构的变化会使碳排放总量峰值推后出现。因此, 中国逐步放宽的人口生育政策可能会给实现碳达峰目标带来一定压力。

【关键词】: 生育政策 碳排放 STIRPAT 模型 Leslie 模型

【中图分类号】: F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)03-022-08

中国在改革开放后着力发展经济, 以牺牲生态环境为代价换来了经济的高速增长。但随着生态环境的恶化, 负外部性所带来的社会成本开始凸显, 环境和资源的制约使经济发展的脚步有所放缓。同时, 在经济水平发展到一定阶段时, 人们不再仅仅关注

作者简介: 程婉静, 博士, 研究员, 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所博士后, 研究方向为能源经济学、人口经济学。E-mail:chengwanjing2019@163.com; 莫东序, 博士, 统计师, 研究方向为经济统计。E-mail:statmdx@163.com

基金项目: 中国工程院中国科技知识中心项目“能源专业知识服务系统”(CKCEST-2021-1-15); 中国工程院咨询研究项目“宁东基地能源与生态环境、经济社会的高质量协同发展指数研究”(2020NXZD3)

温饱，也开始反思以往的粗放型经济增长模式的弊端。因此，自“十三五”以来，中国经济已由高速增长向高质量发展转变，经济结构逐步优化。2015年11月30日，习近平主席在巴黎气候变化大会提出中国将于2030年左右使二氧化碳排放达到峰值并争取尽早实现。2020年9月22日，习近平主席在第七十五届联合国大会一般性辩论会上再次郑重提出中国“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和”。近年来全球极端天气频发加剧了人们对全球气候变化的忧虑，全球年平均大气二氧化碳浓度再创新高，如何实现可持续性发展，做到经济社会发展不超越资源与环境的承载能力，真正将人类的当前利益与长远利益有机结合起来，是目前政府和人民关注的焦点。同时，中国人口政策正值调整的窗口期，2013年启动“单独二胎”政策，相隔不到一年，2015年就启动“全面二胎”政策。2021年5月31日，中共中央政治局召开会议，审议《关于优化生育政策促进人口长期均衡发展的决定》并指出，为进一步优化生育政策，实施一对夫妻可以生育三个子女政策及配套支持措施。2021年8月20日，全国人大常委会会议表决通过了《关于修改〈中华人民共和国人口与计划生育法〉的决定》，修改后的《人口与计划生育法》规定，国家提倡适龄婚育、优生优育，一对夫妻可以生育三个子女。为保证政策效果，各地政府陆续出台鼓励生育的落地政策，使生育率出现不同程度的波动，人口总量和人口结构发生变化。那么在人口生育政策频繁调整的情况下，2030年前中国碳排放达峰会如期而至吗？本文试图从人口与碳排放之间的关系角度回答这一问题。

1 文献综述

研究影响碳排放的文献中涉及的因素众多，最初主要集中于经济发展水平、能源强度、能源结构、产业结构、城市化率、居民消费水平以及技术进步等。苏泳娴等^[1]基于DMSP/OLS夜间灯光影像对中国碳排放情况进行估算，并提出GDP增长是决定二氧化碳排放总量增长的主导因素。湛莹和张捷^[2]将50个国家近30年的数据进行分组，不断增加各种影响因素作为自变量放入模型，得出结论认为经济增长对人均碳排放的影响相较于其他因素更加明显。除此之外，邱立新和徐海涛^[3]提出能耗结构、经济规模、第二产业比重、第三产业比重与碳排放具有显著的相关性。

此外，人口因素也被认为是影响碳排放的关键因素。Lantz&Feng^[4]认为人口总量、技术变革与碳排放满足倒“U”型曲线关系。李国志和李宗植^[5]提出人口因素对二氧化碳排放的影响呈现出明显的双向性，人口增长一方面对资源产生了压力，另一方面又会促进技术进步，减轻对环境的负面影响。除了人口总量因素，随着全球老龄化程度的加剧，越来越多的学者关注到了人口的年龄结构对碳排放的影响。比如，蒋来文^[6]认为，几乎所有的研究都仅将人口总量纳入碳排放模型中，这是不科学的，在人口对碳排放影响研究中应重视人口结构因素的作用。彭希哲和朱勤^[7]运用STIRPAT模型，研究了人口总量、年龄结构和技术水平对碳排放的影响，认为人口年龄结构对碳排放的影响超过了人口总量变化对碳排放的影响。

但在该研究领域所得到的结论存在明显差异。比如，Dalton等^[8]采用一般均衡方法分析人口年龄结构与碳排放的关系，认为人口老龄化对长期碳排放有抑制作用，在一定条件下，这种作用甚至会大于技术进步的影响。而杨金川^[9]提出中国劳动人口和老年人口的碳排放系数为正，即存在显著的促进作用。Yu等^[10]也得到了类似的结论，认为人口老龄化对碳排放增长有正向影响，通过灰色系统模型预测未来中国碳排放依旧有上升趋势。吴昊和车国庆^[11]的研究则发现在全国层面，少儿人口比例与碳排放存在负相关关系，劳动年龄人口和老年人口比例与碳排放存在正相关关系，但分地区层面来看，东、中、西部人口年龄结构及其变化对碳排放的影响略有差异，东部地区老年人口比重上升并未产生抑制碳排放增长的作用，说明东部地区减排形势严峻，而西部地区的人口老龄化已经达到了一定的程度，对碳排放具有显著的抑制作用，相比之下中部地区的碳排放受人口老龄化影响的显著性则比西部低。与这些研究不同的是，刘辉煌和李子豪^[12]、李飞越^[13]、Wang等^[14]均认为人口老龄化与碳排放呈现出非线性的倒“U”型关系，原因可能在于老年人的低碳生活方式在起初会造成碳排放的减少，但随着老龄人口的不断增加，医疗、护理等支出压力可能会使碳排放量增加。

以往研究中大多以碳排放总量为研究对象，虽然这样充分考虑了人口总量的影响，但却忽视了结构性因素对人均碳排放量的影响。Wang等^[14]就关注到了许多发展中国家人均碳排放增速快于碳排放总量的现象。当前，中国人口生育政策调整频繁，生育率出现阶段性波动，政策效果不明确，未来人口总量和人口结构更是存在变数，因此，我们在预测中国碳排放峰值时必须同时考虑人均碳排放量和人口结构、人口总量的发展趋势。本文首先构建模型对中国人均碳排放进行分析，再建立人口预测模型得到

在生育率多种假设情景下未来人口总量和结构的变动趋势，从而综合考察中国人口生育政策调整可能对实现“碳达峰”目标的影响，为能源、环境、人口政策制定提供科学依据。

2 模型方法和数据

2.1 扩展随机性环境影响评估模型

IPAT 恒等式是研究经济、能源、环境和人口之间关系的重要方程，由 Ehrlich&Holdren^[15]提出。该方程将环境影响和人口规模、经济发展水平和技术水平联系起来，如式（1）所示。

$$I=P \times A \times T \quad (1)$$

式中：I 表示环境负荷，P 代表人口规模，A 代表经济发展水平，T 代表技术水平，反映能源利用效率，用能源强度或碳排放强度等指标表示。

该模型可扩展性很强，可以根据实际情况对影响因素进行分解，但缺陷是各影响因素的波动只能同比例传递给环境压力，与现实情况不符。为了修正 IPAT 模型的不足，分析变量之间的非线性关系，York 等^[16]在 IPAT 模型的基础上建立了可拓展的随机性环境影响评估模型（stochastic impacts by regression on population, affluence, and technology, 简称 STIRPAT）模型，如式（2）所示。

$$I_i = a \times P^b \times A^c \times T^d \times e \quad (2)$$

式中：a、b、c、d 为参数，e 为误差项。该模型描述了环境、经济、能源和人口变量之间的非线性关系。做对数变换可得到其线性形式，如式（3）所示：

$$\ln I = \ln a + b \times \ln P + c \times \ln A + d \times \ln T + \ln e \quad (3)$$

式中：系数 b、c、d 均表示解释变量与被解释变量之间的弹性系数，即解释变量变动 1%，带动被解释变量变动的比率。为了考虑人口特征对人均碳排放量的影响，本文对 STIRPAT 模型进行扩展，首先对等式两边分别进行单位化处理，然后引入人口年龄结构变量，本文最终使用的扩展 STIRPAT 模型如式（4）所示：

$$\ln PCEM = \alpha + \beta_1 \ln PGDP + \beta_2 \ln PEG + \beta_3 \ln CC + \gamma \ln POP + \varepsilon \quad (4)$$

式中：POP 表示不同人口年龄结构的变量； γ 表示人口年龄结构变量对应的系数；PCEM 表示人均碳排放量；PGDP 表示人均 GDP 水平，反映经济发展水平；PEG 表示能源强度，反映能源技术水平；CC 表示煤炭占能源消费的比重，反映能源消费结构； α 表示截距； β 表示变量对应的系数； ε 表示误差项。

本文将人口年龄结构划分为五组，分别为 0~14 岁、15~29 岁、30~44 岁、45~64 岁、65 岁及以上人口比例。该人口年龄

结构划分,除了按照国际标准划分的 0~14 岁少儿人口,65 岁及以上老年人口外,15~64 岁劳动力内部结构划分为:15~29 岁年轻劳动力,30~44 岁壮年劳动力,45~64 岁年长劳动力。

2.2 生育政策调整下的中国人口预测模型

本文使用 Leslie 模型对中国人口规模和人口结构进行预测。我们首先做出如下假设:(1)假设没有重大的自然灾害,政府的政策没有重大的变化以及医疗水平基本保持不变,即年龄别存活率保持不变。这一点假设基本符合事实,“二战”后人类死亡率逐渐稳定,而且在未来 50 年应该不会因为发生战争或医疗水平的重大进展而有大的改变。(2)所研究的人口没有太大的迁入与迁出,且基本相等,即不考虑人口迁移。这一点也符合中国的基本情况,中国是管理移民最严格的国家之一。而中国移民到国外的人口相较总人口来说量级很小,每年基本维持在 10 万人以内。(3)中国人口数量主要取决于出生率与死亡率两个因素。(4)短期内人口的生育率与死亡率的总体水平可以视为常数。但在预测的过程中会对生育率做不同的假定,设置多种情况。(5)新生儿性别比例不变^[17]。

第 t 年 k 年龄的人活到第 $t+1$ 年成为 $k+1$ 年龄的人口数量为:

$$x_{k+1}(t+1)=s_k x_k(t); k=0, \dots, 98 \quad (5)$$

假设 100 岁以上存活下来的人仍然属于 100 岁以上年龄,因此第 $t+1$ 年 100 岁以上人口数量为:

$$x_{100}(t+1)=s_{100}x_{100}(t)+s_{99}x_{99}(t) \quad (6)$$

第 t 年的婴儿成活人口数量为:

$$x_0(t)=s_{00} \sum_{k=i_1}^{i_2} a b_k c_k(t) x_k(t) \quad (7)$$

式中: s_{00} 为婴儿的成活率, a 为预期总和生育率, $[i_1, i_2]$ 为育龄区间。

引入向量 $X(t+1)=[x_1(t), \dots, x_{100}(t)]^T$, 令 $B_k=s_0 s_{00} a b_k c_k(t)$, 则由式 (5)~(7) 可得:

$$X(t+1)=L(t)X(t)+B(t)X(t)$$

其中:

$$\begin{aligned}
L(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ s_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & s_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & s_{99} & s_{100} \end{bmatrix} \\
B(t) &= \begin{bmatrix} 0 & \cdots & 0 & B_{i_1} & \cdots & B_{i_2} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{8}$$

2.3 数据选择与来源

本文的模型包括扩展 STIRPAT 模型和人口 Leslie 预测模型。在扩展 STIRPAT 模型中，被解释变量为中国人均碳排放量，解释变量包括人均 GDP 水平（GDP/总人口），能源强度（能源消费总量/GDP），能源消费结构（煤炭消费总量/能源消费总量），人口年龄结构（0~14 岁、15~29 岁、30~44 岁、45~64 岁、65 岁及以上人口比例）等。人口 Leslie 预测模型中用到的数据包括生育率、死亡率、性别比等数据。以上数据来源于相关年份《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《BP 世界能源统计年鉴》等，以及基于原始数据的计算。样本区间是 1995—2018 年，样本周期为年度数据。细分的人口年龄结构数据是在中国人口普查和全国 1% 人口抽样调查结果基础上的推算^[18]。计算各能源碳排放所用的排放系数来自政府间气候变化专门委员会（intergovernmental panel on climate change，简称 IPCC）^[19]。各类能源折算为标煤的系数来自中国能源统计年鉴。

3 实证和预测结果

3.1 实证模型结果讨论

基于以上扩展 STIRPAT 理论模型进行实证分析。首先对人口年龄结构按照国际标准划分为 0~14 岁少儿人口、15~64 岁劳动力人口以及 65 岁及以上老年人口，为克服共线性问题，模型中选择两个代表人口结构的变量，设置模型为：

$$\begin{aligned}
\ln PCEM = & \alpha + \beta_1 \ln PGDP + \beta_2 \ln PEG + \beta_3 \ln CC + \\
& \gamma_1 \ln AGE_{1564} + \gamma_2 \ln AGE_{65} + \varepsilon
\end{aligned} \tag{9}$$

为进一步探讨不同年龄结构对人均碳排放的影响，在保留经济发展水平、能源技术水平和能源消费结构指标的基础性上，依次将刻画不同年龄结构的变量引入扩展 STIRPAT 模型，得到如下三个子模型：

$$\ln PCEM = \alpha + \beta_1 \ln PGDP + \beta_2 \ln PEG + \beta_3 \ln CC + \gamma_1 \ln AGE_{014} + \varepsilon \quad (10)$$

$$\ln PCEM = \alpha + \beta_1 \ln PGDP + \beta_2 \ln PEG + \beta_3 \ln CC + \gamma_1 \ln AGE_{1564} + \varepsilon \quad (11)$$

$$\ln PCEM = \alpha + \beta_1 \ln PGDP + \beta_2 \ln PEG + \beta_3 \ln CC + \gamma_1 \ln AGE_{65} + \varepsilon \quad (12)$$

然后对 15~64 岁劳动力人口进一步细分为 15~29 岁、30~44 岁、45~64 岁劳动力，可以更为深入地探讨劳动力内部年龄结构对人均碳排放的影响。15~29 岁代表年轻劳动力，30~44 岁代表壮年劳动力，45~64 岁代表年长劳动力。模型可以设置为：

$$\ln PCEM = \alpha + \beta_1 \ln PGDP + \beta_2 \ln PEG + \beta_3 \ln CC + \gamma_1 \ln AGE_{014} + \gamma_2 \ln AGE_{1529} + \gamma_3 \ln AGE_{3044} + \gamma_4 \ln AGE_{65} + \varepsilon \quad (13)$$

拟合上述五个模型，由于 45~64 岁劳动力人口比重的变量并不显著，在实证模型中没有包含，同时也可避免多重共线性问题的出现。本文以公式（13）为最终选择的实证模型。

3.2 人口预测结果

以中国第六次人口普查数据作为人口预测的原始数据，通过改变对社会总和生育率的设定进行未来中国人口年龄结构和人口总量的预测。情景分析法可以反映未来人口发展的可能轨迹，更有利于政策的选择和制定，情景设置越精细，预测结果就会越准确。因此，本文参照文献对社会总和生育率按照高、中、低以及先低后高四种情景进行设定^[20, 21]，分别为：

情景 1: TFR=1.5；情景 2: TFR=1.7；情景 3: TFR=1.94；情景 4: 总和生育率逐渐从 1.6 升高至 1.94。

首先，以第六次人口普查数据进行推算，如果不改变生育政策，即不推行全面二孩和全面三孩政策的情况下，得到 2050 年前中国人口和劳动力内部的年龄结构。中国的人口年龄结构和劳动力年龄结构会继续加速恶化。

其次，在改变生育政策后，预计未来总和生育率会小幅上升，我们按照四种情况分别进行预测。在四种假设情境下，人口总量的峰值出现在 2025 年、2027 年、2031 年和 2027 年（第四种情景是总和生育率逐渐从 1.6 升高至 1.94，人口总量峰值预测结果为 2027 年，从 2028 年开始下降），分别为 14.144 亿、14.464 亿、14.904 亿和 14.303 亿。由于总和生育率总是低于世代交替的 2.1 水平，因此，人口总量会在 2025—2031 年到达峰值后开始下降。

总和生育率越高，到 2050 年，0~14 岁少儿人口和 15~44 岁劳动力人口比重越大，而 45~64 岁劳动力人口和 65 岁及以上老年人口比重越小。但是，我们可以看到，生育率变化带来的人口年龄结构的差异主要体现在各年龄段比重的差异，但各年龄段比重趋势的变化并没有明显差异，这从图 1 可以看出。四种情景中，0~14 岁少儿人口比重都会持续下降，65 岁及以上老年人口比重持续上升，只是下降和上升的速度不尽相同，但这些生育率水平都无法扭转长期的人口年龄结构发展趋势。

4 讨论与分析

4.1 人口变量与碳排放的关系和原因分析

碳排放与社会所处发展阶段特征紧密相连,除了经济发展水平、能源利用技术和能源消费结构等因素外,人口结构也是一个重要的因素。人口结构对碳排放的影响主要体现在两方面,一是通过影响未来人口总量而影响未来的能源需求总量和碳排放路径。二是不同年龄段人口对产品消费的异质性使得全社会消费品结构随人口结构的变化而变化,同时,由于产品能源含量的异质性,使得人口结构的变化会影响未来的人均能源消费和碳排放量。人口会通过生产和消费环节直接影响碳排放。在生产环节,劳动力人口参与生产活动直接产生碳排放,在消费环节,每个年龄段的人口都会通过消费行为直接或间接产生碳排放。

首先,人均碳排放对 65 岁及以上人口比重的弹性系数为 1.01,即表示 65 岁及以上人口比重增长 1%时,会使人均碳排放增长 1.01%,对碳排放有较大的促进作用。老年人口本身几乎不参与劳动就业,不会直接从生产端影响人均碳排放水平,但有研究表明,人口老龄化引起总储蓄率下降,造成人均资本和消费增高,进而可以转化为更高的碳排放^[22]。Menz&Welsch^[23]利用 25 个 OECD 国家 1970—2000 年的面板数据对人口年龄结构与碳排放的关系进行分析,表明年轻人口和老年人比重的提高增加了二氧化碳排放。尹向飞^[24]基于湖南省 1985—2007 年的数据,利用 STIRPAT 模型的实证研究表明,老龄化是碳排放增加的主要驱动因素。

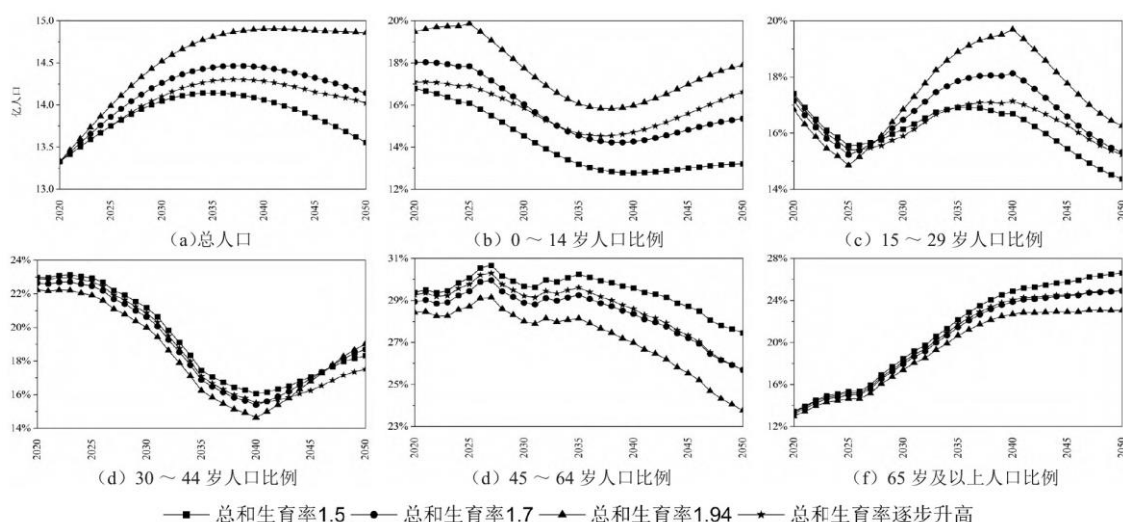


图 1 各生育率情景下我国人口年龄结构变化的趋势图

其次,人均碳排放对 0~14 岁少儿人口比重的弹性系数仅为 0.21,说明少儿人口比重虽然对碳排放具有促进作用,但影响比较有限。少儿人口不会参与生产经营活动,不会从生产端直接产生碳排放。少儿人口本身的消费主要集中在教育、医疗等非实物消费方面,少儿人口对实物商品的消费规模显然小于其他年龄段人口的消费规模,因此使得少儿人口的增加对碳排放的促进作用比较有限。

然后,对于劳动力内部年龄结构来说,15~29 岁以及 30~44 岁劳动力属于年轻和壮年劳动力,从生产的角度,这两个年龄段的劳动力约占劳动力总量的 2/3,15~29 岁劳动力是第三产业的就业主力军,而 30~44 岁劳动力是第二产业的就业主力军,这两个年龄段的劳动力与一国经济发展的关系更加密切^[17]。因此,15~44 岁劳动力人口整体而言对碳排放的累积影响非常显著,当 15~44 岁人口比重增长 1%时,人均碳排放会增长 1.5%,超过了其他人口结构的影响程度。

根据 Modigliani 的生命周期假说,家庭收入会随着年龄的增长呈现出驼峰形态,这在美国和意大利等国家中都得到了验证。美国数据显示无论是家庭可支配收入还是家庭消费支出都在 45~55 岁达到峰值^[25],意大利数据显示家庭可支配收入和消费支出都是在 45~50 岁这一年龄阶段达到峰值^[26]。根据中国国家统计局发布的 2013 年中国家庭收入项目调查 CHIP 数据,将所有观测

值的劳动收入和年龄分布绘制出总体的年龄—收入曲线，可以看出，调查样本个人劳动收入呈现出倒“U”型曲线特征，这一结果契合生命周期假说的预期，其中可支配收入和工资性收入的峰值与美国和意大利等国家不同，都出现在 30 岁，如图 2 所示。根据 2013 年中国家庭收入项目调查 CHIP 数据计算可知，平均工资性收入水平最高的是 30~44 岁劳动力，为 45493 元/年，然后是 15~29 岁劳动力，为 43936 元/年，最低的是 45~64 岁劳动力，工资收入只有 28990 元/年。劳动收入多产生于生产劳动过程，劳动收入相对较高的年龄段人口群体会在生产环节对碳排放带来促进作用。综上可知，在生产端，30~44 岁和 15~29 岁劳动力比重对碳排放的促进作用较大。

人口获得收入的同时参与消费活动，又会通过消费支出促进碳排放。我们依然可以从中国家庭收入项目调查 CHIP 数据结果中得到验证，消费支出水平与年龄分布曲线如图 3 所示。中国人口消费支出峰值出现在 33 岁，且在 29~44 岁之间消费水平较高，随年龄呈现倒“U”型特征。由此可见，29~44 岁劳动力人口不管是从工资性收入、可支配收入还是从消费支出，都处于较高水平，从而对碳排放产生最大的促进作用。

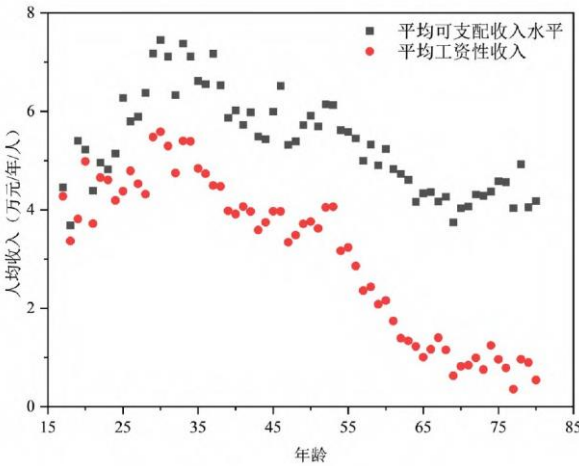


图 2 中国家庭收入项目调查 CHIP 样本平均可支配收入、工资性收入与年龄关系图

除了人口年龄结构外，反映经济水平的人均 GDP、反映能源技术水平的能源强度，以及反映能源消费结构的煤炭消费比重等因素都对人均碳排放量具有显著影响。其中人均 GDP 增长 1%，会使人均碳排放增长 0.97%；能源强度增长 1%，会使人均碳排放增长 0.95%；煤炭消费比重增长 1%，会使人均碳排放增长 0.86%。随着人均 GDP 的提高，人们的消费水平也会提高，对能源消耗的需求也随之增加，带来人均碳排放的增加。能源技术水平提高，能源强度下降，会有效降低碳排放。中国能源结构决定了煤炭是主要的能源消费种类，而煤炭相比其他能源种类来说，它的使用会产生大量碳排放，因此煤炭消费比重的下降，也会有效抑制碳排放，这也是中国推动能源革命、实现碳排放早日达峰承诺、改善能源消费结构、控制煤炭消费比重的原因所在。以上实证结果的系数符号均符合经济意义。

4.2 中国人均碳排放量与碳排放总量峰值的预测

基于扩展 STIRPAT 实证模型和人口 Leslie 模型，预测在中国生育政策频繁调整的情况下，未来人均碳排放量和碳排放总量的变化趋势。模型中用到的中国 GDP 增速、能源消费总量、煤炭消费比重的预测数据来自其他研究成果^[27]。由于除人口特征外的变量不是本文的研究重点，因此预测时不对其他变量做不同情景的设置。

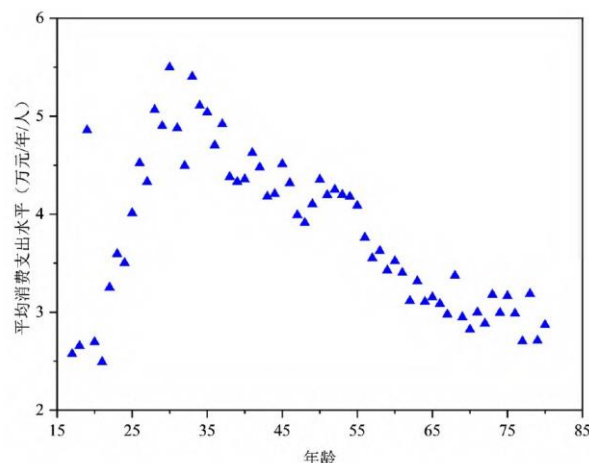


图 3 中国家庭收入项目调查 CHIP 样本的消费支出水平与年龄的关系图

首先，我们得到在不同生育率情景下 2025—2050 年中国人均碳排放变化曲线，如图 4 所示。我们可以看到，当生育率发生变化，人口规模和人口结构也随之改变。若生育率维持在 1.18 的水平时，即使经济水平持续增长，能源消费结构持续优化，能源利用效率持续提高，由于人口增长较慢，使得人均碳排放峰值最快出现在 2031 年，约为 9.5 吨/(人·年)，之后进入下降通道；当生育率提高至 1.5 时，人均碳排放峰值出现在 2031 年或 2033 年，约为 9 吨/(人·年)；当生育率乐观估计提高至 1.94 时，0~14 岁少儿人口，以及 15~29 岁和 30~44 岁人口比重增长较快，65 岁及以上老年人口比重虽然仍持续增长，但是增长速度趋缓，在人口年龄结构的综合作用下，人均碳排放峰值略晚出现在 2033 年，达到 8.6 吨/(人·年)。若生育率逐渐提高，人均碳排放峰值会出现在 2031—2033 年，峰值水平约为 8.7 吨/(人·年)。由此可见，根据对各变量的估计以及各生育率情景设置的预测，人均碳排放峰值出现在 2030 年左右的可能性较大，但生育政策的调整若能够有效提高了生育率，0~14 岁人口和 15~29 岁人口比重提高明显，这种人口年龄结构的变化会使人均碳排放峰值推后 1~3 年出现，生育率水平越高，人均碳排放峰值水平越低。不同情景下的人均碳排放量变化趋势的差异是生育率不同导致人口年龄结构因素变化所带来的。尤其需要提到的是 2026 年左右拐点出现的原因是本文人口预测是以中国第六次人口普查为基础，在改变生育率水平后，2026 年左右，0~14 岁和 29~44 岁人口比重的变化趋势中出现了拐点。

随着经济水平的提高，大多数发达国家的人均碳排放量虽然已经处于缓慢下降的阶段，但峰值水平都较高。其中，美国在 2000 年达到人均碳排放峰值，高达 20.3 吨/(人·年)；加拿大在 2003 年达到人均碳排放峰值，为 17.2 吨/(人·年)。即使是 90% 的电力产能依赖低碳排放技术的法国，其峰值水平虽然最低，但也达到了 9.24 吨/(人·年)。而中国在 2018 年人均碳排放量为 7.24 吨/(人·年)，2019 年继续下降至 7.2 吨/(人·年)。因此，依据中国一定时期内仍以煤为主要品种的能源消费结构，以及发展经济，提升国民经济水平，直至进入发达国家行列，这些都决定了中国人均碳排放量的上涨趋势在短期内不会发生根本改变。

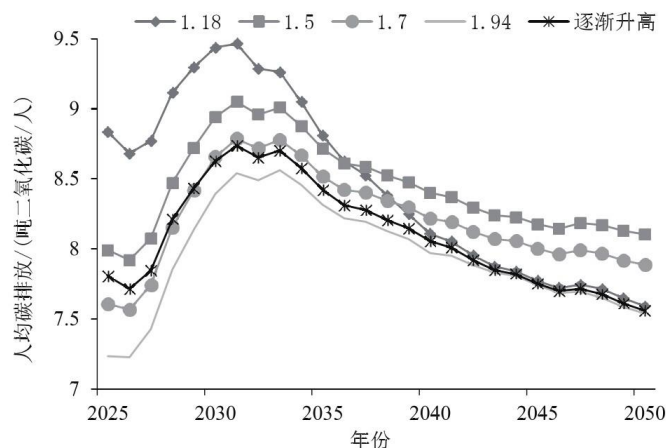


图4 2025—2050年中国人均碳排放在不同生育率情景下的变化趋势

然后，在人均碳排放峰值预测的基础上，结合人口总量预测结果，计算得到中国碳排放总量的变化趋势，如图5所示。若生育率维持在1.18，在人口规模持续下降和人口结构变化的双重影响下，中国碳排放峰值依旧最快出现在2030年，峰值水平约为12370百万吨，然后进入下降通道；当生育率提高至1.5时，人口总量规模峰值出现在2025年，中国碳排放总量峰值出现在2031年，峰值水平约为12700百万吨；当生育率可以提高至1.94时，人口规模峰值出现在2031年，中国碳排放总量峰值出现在2033年，峰值水平最高，为12750百万吨，这是由于在高生育率水平下，0~14岁人口和15~44岁人口比重较大，人口总量规模也更大，综合作用下，使碳排放总量峰值水平最高。若生育率逐渐提高，人口规模峰值出现在2027年左右，中国碳排放总量峰值出现在2031年，峰值水平约为12460百万吨，仅略高于生育率维持在1.18时的情况。由此可见，生育政策改变若能够有效提高社会总和生育率，人口总量和人口年龄结构的变化会使中国碳排放总量峰值推后出现，生育率水平越高，碳排放总量峰值越高，因此近年来中国逐步放宽的人口生育政策若能有效提高生育率水平，可能会给实现“碳达峰”目标带来一定压力。

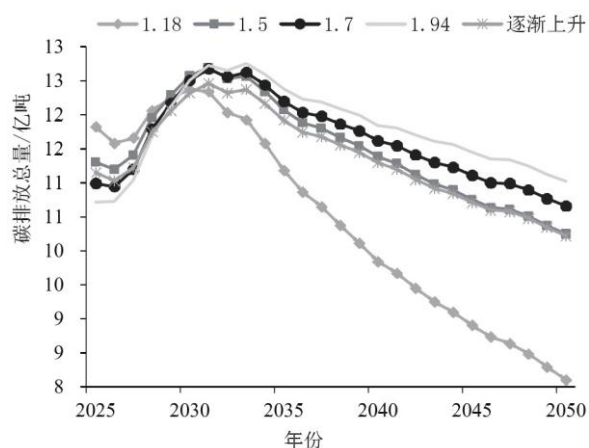


图5 2025—2050年中国碳排放总量在不同生育率情景下的变化趋势

5 结论与建议

本文以中国人口生育政策调整为研究背景，基于扩展STIRPAT理论模型和人口预测Leslie模型综合考察中国人口生育政策调整对实现“碳达峰”目标的影响。结果表明，除了经济发展水平、能源技术水平、能源消费结构等因素外，人口年龄结构对人均碳排放也具有显著影响，按照影响大小排序，依次是65岁及以上老年人口比重(1.01)，15~29岁劳动力人口比重(0.81)，30~

44岁劳动力人口比重(0.78),0~14岁少儿人口比重(0.21)。在本文设置的四种生育率情景下,人口总量的峰值分别出现在2025年、2027年、2031年和2027年。根据对各变量的估计以及不同生育率情景设置的预测,中国人均碳排放峰值出现在2030年左右的可能性较大。但是,生育政策的调整若能够有效提高社会总和生育率,会显著提高0~14岁人口和15~29岁人口比重,而65岁及以上老人比重仍然会持续上升,但上升速度趋缓,综合作用下会使人均碳排放峰值略推后1~3年出现,社会总和生育率水平越高,人均碳排放峰值水平越低。生育政策改变若能够有效提高实际生育率,人口规模和人口年龄结构的变化也会使碳排放总量峰值推后出现。实际生育率水平越高,0~14岁人口比重和15~44岁人口比重越大,人口总量规模也越大,综合作用下会使碳排放总量峰值水平最高。因此,近年来中国逐步放宽的人口生育政策,若能带动生育率水平有效提升,可能会给实现“二氧化碳排放力争于2030年前达到峰值”目标带来一定压力。

因此,为了应对人口生育政策变化可能带来的人口总量和结构变化,确保实现“碳达峰”目标,中国必须在提高能源利用效率、推进节能减排、改善能源消费结构、发展可再生能源和核电、加强碳捕获和存储技术,以及推行低碳生活方式等方面做好文章,广泛形成绿色的生产生活方式,在目前预测值基础上进一步降低能源强度和煤炭消费比重。当然还存在另一种可能的情况,即中国的人口生育政策调整的效果不达预期。据国家统计局发布的《中国统计年鉴2021》数据显示,中国2020年的人口出生率只有8.52%,首次跌破10%,人口的自然增长率仅为1.45%^[28],社会总和生育率下滑至1.3,距离《“十三五”卫生与健康规划》中提出的到2020年中国总和生育率回升至1.8左右的目标相差甚远。若实际的社会总和生育率维持在较低水平,中国碳排放峰值在2030年之前实现的可能性很大。已有学者证明除了人口规模外,人口年龄结构也是影响碳排放量的重要因素,因此在对碳排放总量进行估算时,若能够更准确地估计不同年龄段人口的人均碳排放量水平,在此基础上结合人口年龄结构和人口总量数据得到碳排放总量会更具科学性,这是未来研究中可以改进的方向。

参考文献:

- [1] 苏泳娴,陈修治,叶玉瑶,等.基于夜间灯光数据的中国能源消费碳排放特征及机理[J].地理学报,2013(11):1513-1526.
- [2] 湛莹,张捷.碳排放峰值与能耗峰值及其影响因素——跨国及中国的实证研究[J].国际贸易问题,2015(6):92-100.
- [3] 邱立新,徐海涛.中国城市群碳排放时空演变及影响因素分析[J].软科学,2018(1):109-113.
- [4] Lantz V, Feng Q. Assessing income, population, and technology impacts on CO₂ emissions in Canada: Where's the EKC? [J]. Ecological Economics, 2005, 57(2): 229-238.
- [5] 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):32-39.
- [6] 蒋未文.人口变动对气候变化的影响[J].人口研究,2010(1):59-69.
- [7] 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):48-58.
- [8] Dalton M, O'Neill B, Prskawetz A, et al. Population aging and future carbon emissions in the United States [J]. Energy Economics, 2006, 30(2): 642-675.
- [9] 杨金川.基于空间模型的我国人口年龄结构对碳排放的影响[D].大连:东北财经大学,2016.
- [10] Yu Y, Deng Y R, Chen F F. Impact of population aging and industrial structure on CO₂ emissions and emissions trend prediction in China [J]. Atmospheric Pollution Research, 2018, 3(9): 446-454.

-
- [11]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(3):67-77.
- [12]刘辉煌, 李子豪. 中国人口老龄化与碳排放的关系——基于因素分解和动态面板的实证分析[J]. 山西财经大学学报, 2012(1):1-8.
- [13]李飞越. 中国人口老龄化、城镇化与碳排放的关系[D]. 广州: 暨南大学, 2016.
- [14]Wang J F, Wu Y Q, Zhao Y, et al. The population structural transition effect on rising per capita CO₂ emissions: Evidence from China, *Climate Policy*, 2019, 19(10):1250-1269.
- [15]Ehrlich P R, Holdren J P. Impact of population growth[J]. *Science*, 1971, 171(3977):1212-1217.
- [16]York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and Impact: Analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. *Ecological Economics*, 2003, 46(3):351-365.
- [17]韩晓庆. 基于 Leslie 模型中国未来人口策略模拟研究[D]. 大连: 东北财经大学, 2012.
- [18]张琼. 基于韦伯与正态分布非线性估计的我国人口死亡年龄分布[J]. 保险研究, 2010(8):3-9.
- [19]IPCC. IPCC third assessment report: Climate change 2006[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.
- [20]蔡昉. 人口与劳动绿皮书: 中国人口与劳动问题报告 No. 16[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2016.
- [21]曾毅, 顾宝昌, 梁建章, 等. 生育政策调整与中国发展[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2013.
- [22]Cutler D M, Katz L F. Rising inequality? Changes in the distribution of income and consumption in the 1980's[J]. *American Economic Review*, 1992, 82(2):546-551.
- [23]Menz T, Welsch H. Population aging and carbon emissions in OECD countries: Accounting for life-cycle and cohort effects[J]. *Energy Economics*, 2012, 34(3):842-849.
- [24]尹向飞. 人口、消费、年龄结构与产业结构对湖南碳排放的影响及其演进分析——基于 STIRPAT 模型[J]. 西北人口, 2011(2):65-69.
- [25]Attanasio O P, Banks J, Meghir C, et al. Humps and bumps in lifetime consumption[J]. *Journal of Business & Economic Statistics*, 1999, 17(1):22-35.
- [26]Pagano J M. Personal saving in Italy[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1994.
- [27]清华大学国情研究院课题组, 胡鞍钢, 刘生龙. 中国经济增长前景及动力分析 (2015-2050) [J]. 国家治理, 2017(45):2-8.

[28]国家统计局. 中国统计年鉴 2021[M]. 北京: 中国统计出版社, 2021.