

人口结构、城镇化与碳排放^{*}

——基于跨国面板数据的实证研究

王 芳 周 兴

【摘 要】文章基于美国、中国、日本、英国等 9 国 1961~2010 年的面板数据对人口年龄结构、城镇化与碳排放之间的关系进行实证分析。结果表明,人口规模、人均 GDP、二氧化碳排放强度、化石能源占能源消费总量的比重及人口结构与全球碳排放显著相关。此外,人口城镇化率与碳排放的关系呈倒 U 形,即在人口城镇化的早期会促进二氧化碳的排放,但随着城镇化的进一步扩大则会抑制碳排放;而人口的年龄结构,尤其是人口的老龄化程度对碳排放量的影响则具有 U 形的特点,即在人口老化的初期由于老年人群的消费模式会减少碳排放,但当人口老龄化进一步加剧后,老年人对医疗护理等方面的需求增多,以致需要更多的经济活动支持这部分开支,因而会造成碳排放的增加。

【关键词】人口结构 城镇化 人口老龄化 碳排放

【作 者】王 芳 南开大学经济学院,助理研究员;周 兴 南开大学经济学院,助理研究员。

一、引 言

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC,2007)的观测数据显示,1906~2005 年全球平均气温升高了 0.74℃,到 21 世纪末全球平均气温升高幅度可能为 1.8~4℃,而造成这一趋势的主要原因是温室气体的排放。专家们指出,若二氧化碳浓度以目前的趋势增加,各种气候灾害和极端天气发生的概率将大大增加。而大部分的发展中国家人口居住在易受到气候变化和极端天气事件影响的地区,在可预见的未来,发展中国家受气候变化影响的人口规模将不断扩大,而人口老龄化的加剧将进一步增加气候脆弱人群比例。中国作为世界上人口最多的发展中国家,正处于工业化的进程中,城市化进程的加快和经济的高速发展给中国的资源、环境带来很大压力,同时中国在应对全球气候变化、参与国际气候谈判中也面

^{*} 本文是教育部人文社会科学研究青年基金项目“国际气候变化博弈与我国对策研究”(11YJC790174)的阶段性成果。

面临着严峻的挑战。因此,在借鉴各国经验数据的基础上,针对人口结构转变和城市化对碳排放产生的影响进行研究,并据此制定相应的政策措施以实现减少二氧化碳排放量目标,对中国可持续发展的实践及应对国际气候谈判均具有重要意义。

从已有研究文献看,大多数的学者认同人口规模的扩张会造成碳排放量的增加(Karl等,1990;Birdsall,1992;Knapp等,1996);且城市化因素对平均气温升高有显著影响(Chung等,2004;任国玉等,2005;李楠等,2011)。同时,也有学者讨论了人口年龄结构对碳排放的影响(Dalton等,2007;宋杰鲲,2010)。然而,目前大多数的研究都假设人口的区域(城乡)结构、年龄结构等因素与碳排放只存在简单的线性关系,这显然是不符合现实的。且以往研究大多是对历史数据的经验分析,较少运用跨国数据,而其他发达国家或发展中国家的人口结构转变与城市化历程对其碳排放与气候变化产生的影响是非常值得借鉴的。因此,本文将在引入非线性回归分析的基础上,运用跨国面板数据对世界各国的人口结构转变、城市化与碳排放之间的关系进行综合比较分析。

二、数据描述与分析

本文的数据均来自世界银行公布的统计数据。其中二氧化碳排放量由美国田纳西州橡树岭国家实验室环境科学部二氧化碳信息分析中心提供;GDP、工业增加值等来自世界银行国民经济核算数据,以及经济合作与发展组织国民经济核算数据文件;能源使用、能源结构等由国际能源机构提供;人口数据来自联合国人口司、《世界人口展望(2008年修订本)》、纽约联合国经济和社会事务部,人口比例数据由世行人员根据普查报告、联合国人口司的《世界人口前景》、各国统计局、国家机构进行的住户调查及宏观国际等各方面的资料进行估算。为使实证研究更加客观、清晰,我们选取了1961~2010年不同地区、不同经济发展水平的9个国家数据:样本数据中高收入国家4个(美国、日本、英国、澳大利亚)、上中等收入国家3个(中国、巴西、罗马尼亚)、中下等收入国家2个(印度、埃及)。

对样本数据进行整理后得到各国的二氧化碳排放量、人口规模、GDP、能源消费总量及人口结构变化。大部分国家的碳排放总量呈现随时间而持续上升的态势(见图),美国与日本在近5年略有下降(美国的碳排放量峰值是2005年的55.95亿吨,日本的最大碳排放量是2004年的12.60亿吨)。英国与罗马尼亚则在20世纪后期达到峰值,随后呈现缓慢下降的趋势。由图可见,中国二氧化碳排放总量上升速率较快,虽然在1996年左右一度下降,但随后以更快的速度上升。进入21世纪后,另一个人口大国印度也超过了日本的二氧化碳排放总量。由1961年的初始值来看,美国远超过其他各国,且始终处于上升趋势,仅在2005年后略有下降。而日本的二氧化碳排放量则较为平稳,自1994年以来一直保持在12亿吨左右的水平,只在近年略微下降。而从人均碳排放量来看,美国仍然高于其他各国,澳大利亚、英国与日本等发达国家紧随其后;中国、巴西、埃及与印度等发展中国家则明显少于上述各国。由此可见,人均碳排放量与经济发展水平显然有很强的相关性,而碳排放总量则不

仅与经济总量极其相关，更与人口因素紧密相联。

从人口因素来看，各国的人口规模也主要呈逐渐扩张的态势。不同的是，罗马尼亚的人口峰值出现在 1990 年，此后一直处于负增长状态；日本的人口负增长出现在 2006 年，在 2005 年人口达到 1.28 亿之后，人口规模开始逐步缩小。人口区域结构方面，各国的人口城镇化率均不断上升，只有埃及与众不同，1980~1985 年连续 6 年达到 43.90% 之后，此后始终维持在 42%~43% 之间。各国的老年人口比重持续上升、少儿人口比重持续下降，可见，生育率下降与人口老龄化是普遍性的趋势。

从各国的碳排放总量与 GDP、人口规模及能源消耗总量看，各国 GDP 与人口规模的增长与碳排放总量的增长趋势相同，而碳排放总量与能源消费总量则高度一致（见表 1）。直观上来看，碳排放的重要来源仍然是对能源（尤其是碳排放强度高的化石能源）的消耗，减少碳排放的首要条件应该是要提高能源使用的效率，减少能源消费总量、尤其是要改善对化石能源的高依赖现状，鼓励优先使用清洁能源。

就样本数据中各国人口的区域结构、年龄结构与其碳排放的关系来看，各国的碳排放量增长趋势与其人口老龄化变化趋势较为一致，而人口城镇化率的提高趋势则显著高于其碳排放量增长的趋势。纵向来看，各发达国家的人口城镇化变化较小且初始值明显更高，说明与发展中国家相比，各发达国家更早实现了城镇化，而近年来碳排放量增速较快的中国与印度，其人口城镇化率的提高也更为迅速，可见与发达国家相比，发展中国家的碳排放与人口城镇化有更强的相关性。为进一步了解人口年龄结构、城镇化与碳排放的关系，下面将通过 KAYA 恒等式进行扩展建立理论模型，并在此基础上构建计量模型，以各国历年的数据为样本，对影响各国碳排放量的各宏观经济、人口等因素进行实证分析。

三、计量模型介绍

经过对各国数据的整理分析，本文以 KAYA 恒等式为基础，加入人口结构性变量进行扩展。KAYA 恒等式由日本学者 Kaya(1990)提出，用以表示碳排放与人口规模、GDP、能源消耗间的关系。具体可以表述为：

$$CO_2=POP\times\frac{GDP}{POP}\times\frac{PE}{GDP}\times\frac{CO_2}{PE}$$

(1)

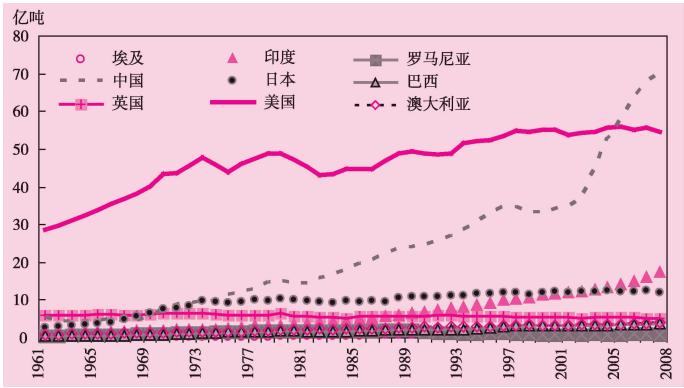


图 各国历年二氧化碳排放总量比较

资料来源：世界银行官网数据库 (<http://data.worldbank.org>)。

表 1 各国每十年平均值

类 别	时 间(年)				
	1961~1970	1971~1980	1981~1990	1991~2000	2001~2010
美国					
CO ₂ (亿吨)	35.076	46.563	46.019	52.713	55.020
GDP(亿美元)	7605.121	18233.400	43299.900	77055.500	126568.193
能源消耗(亿吨)	12.751	17.477	18.049	20.897	22.683
人口规模(亿人)	1.949	2.172	2.392	2.678	2.973
日本					
CO ₂ (亿吨)	4.543	9.498	9.978	11.675	12.307
GDP(亿美元)	2059.948	6271.639	19595.414	43471.866	45513.252
能源消耗(亿吨)	1.555	3.186	3.723	4.890	5.068
人口规模(亿人)	0.993	1.117	1.209	1.255	1.276
英国					
CO ₂ (亿吨)	6.117	6.224	5.607	5.645	5.384
GDP(亿美元)	1247.954	2693.783	6368.873	12361.053	21760.949
能源消耗(亿吨)	1.804	2.079	1.995	2.183	2.147
人口规模(亿人)	0.544	0.562	0.567	0.581	0.605
澳大利亚					
CO ₂ (亿吨)	1.191	1.819	2.490	3.154	3.608
GDP(亿美元)	325.947	971.401	2156.473	3721.815	6808.707
能源消耗(亿吨)	0.407	0.613	0.759	0.965	1.198
人口规模(亿人)	0.115	0.139	0.159	0.182	0.207
中国					
CO ₂ (亿吨)	5.116	11.841	19.998	31.518	53.779
GDP(亿美元)	663.323	1489.099	2768.486	7639.811	30254.843
能源消耗(亿吨)	—	4.988	7.149	10.146	16.750
人口规模(亿人)	7.301	9.182	10.620	12.096	13.064
巴西					
CO ₂ (亿吨)	0.658	1.515	1.899	2.777	3.506
GDP(亿美元)	272.503	1405.512	2960.680	6337.663	10946.129
能源消耗(亿吨)	—	0.930	1.289	1.659	2.175
人口规模(亿人)	0.855	1.097	1.374	1.632	1.865
罗马尼亚					
CO ₂ (亿吨)	0.848	1.656	1.978	1.157	0.962
GDP(亿美元)	—	—	395.605	331.228	1134.645
能源消耗(亿吨)	—	0.542	0.662	0.438	0.382
人口规模(亿人)	0.192	0.213	0.228	0.227	0.217
印度					
CO ₂ (亿吨)	1.662	2.710	5.190	9.570	14.162
GDP(亿美元)	79.760	373.160	908.169	1647.902	3686.531
能源消耗(亿吨)	—	1.801	2.618	3.908	5.494
人口规模(亿人)	4.943	6.219	7.748	9.408	11.021
埃及					
CO ₂ (亿吨)	0.221	0.329	0.664	1.033	1.680
GDP(亿美元)	53.963	131.009	336.679	658.906	1245.596
能源消耗(亿吨)	—	0.109	0.254	0.379	0.604
人口规模(亿人)	0.322	0.407	0.514	0.627	0.749

注：表中“—”为缺失值；表中数值根据世界银行公布的 1961~2010 年数据整理得到。

其中, CO_2 为二氧化碳排放总量, POP 为人口规模, GDP 为国内生产总值, PE 为一次能源消耗总量。 $\frac{GDP}{POP}$ 为人均国内生产总值, $\frac{PE}{GDP}$ 为创造一单位 GDP 所需要的一次能源消耗, 即单位 GDP 能源消耗, $\frac{CO_2}{PE}$ 为每单位能源的消耗所产生的碳排放量, 即二氧化碳排放强度。

为了更加明晰人口结构对碳排放量的影响, 本文将 KAYA 恒等式中 POP 扩展为人口年龄结构与人口区域结构的函数, 由于在前面的数据整理时发现各国历年的人口性别结构变化很小, 与碳排放没有明显的相关性, 因此不再将人口性别结构纳入研究。分解后的 KAYA 恒等式可表述为:

$$CO_2 = POP(age, urban) \times \frac{GDP}{POP(age, urban)} \times \frac{PE}{GDP} \times \frac{CO_2}{PE} \quad (2)$$

其中, $POP(age, urban)$ 中的 age 为各年龄人口比重, 包括 15~64 岁人口数占人口总数的比重、14 岁及以下少儿人口比重、65 岁及以上老年人口比重; $urban$ 为人口的区域结构, 即人口城镇化率和农村人口比重。以 $GDPP$ 代替 $\frac{GDP}{POP}$ 、以 $EGDP$ 代替 $\frac{PE}{GDP}$ 、以 CO_2Q 代替 $\frac{CO_2}{PE}$, 分别表示人均 GDP、单位 GDP 的能源消耗和二氧化碳排放强度。同时, 为缓解数据的异方差问题、消除变量中的波动趋势, 对各变量取对数, 得到弹性关系的等式:

$$\ln CO_2 = \ln POP(age, urban) + \ln GDPP + \ln EGDP + \ln CO_2Q \quad (3)$$

在此基础上, 可建立计量模型:

$$\ln CO_{2it} = f(P_i, G_i, E_i) + u_{it} \quad (4)$$

其中, P 为包括人口年龄结构、人口区域结构等在内的人口因素; G 为包括产业结构、国内生产总值、居民消费支出等在内的经济因素; E 为包括能源消费结构、能源消耗总量等在内的能源因素; u 为误差项; 下标 i 代表国家, t 代表年份。

具体而言, 本文选取碳排放的对数作为被解释变量, 以二氧化碳排放强度; 人均 GDP; 化石能源占能源消耗总量的比重; 工业增加值占 GDP 的比重、单位能源消耗所创造的 GDP (受数据限制, 取单位 GDP 的能源消耗的倒数为解释变量之一, 以下简称为单位能耗 GDP); 人口规模; 人口密度; 居民最终消费 (以现价美元计算) 以及城镇人口占人口总数的比重及其平方项; 14 岁以下的少儿人口占人口总数的比重及其平方项; 65 岁及以上的老年人口占人口总数的比重及其平方项作为解释变量。

下面将根据构建的计量模型以 Stata 软件对样本数据进行实证回归, 并就各变量对碳排放的影响力度与作用机制进行分析。

四、实证分析

为了对人口结构与碳排放之间的关系进行实证分析, 我们采用面板数据模型进行回归

估计,根据对个体特定效应的不同假设,分别用固定效应模型及随机效应模型对上面建立的计量模型(式(4))进行回归。这两种模型的区别在于,随机效应相对更有效,但要求外生变量和个体效应不相关,而固定效应并没有这样的要求,但会消耗更多的自由度。因此本文将结合 Hausman 检验在这两种估计方法之间进行选择,并对回归结果进行具体分析。之后对基本回归结果进行稳健性检验,主要采取消除内生性、删除异常样本值等方法后进行计量回归,以了解内生性及异常值对基本回归结果的影响,进一步验证基本回归结果的正确。

(一)基本回归结果

具体回归结果如表2所示,回归方程1为基本估计,解释和控制变量仅为人口规模、人均GDP、单位能耗GDP及二氧化碳排放强度;回归方程2在方程1的基础上加入产业结构、化石能源消费比重、居民最终消费和人口密度等变量;回归方程3在方程2的基础上加入人口年龄结构、城乡结构及其平方项,以比较各变量对二氧化碳排放量的影响。

Hausman 检验的结果显示应选择固定效应模型,且回归方程3最优。加入人口结构性变量后,人口规模、人均GDP、单位能耗GDP对被解释变量的影响力度更大,R-squared 拟合优度更高。具体来看,各变量对碳排放的影响如下。

1. 人口规模对碳排放总量的线性正向影响

人口规模对碳排放量的影响是最大的,人口总量每增长1%会引起碳排放增加2.473%,但少儿人口与老年人口比重对碳排放的影响是负向的,弹性系数分别为-0.0361%、-0.0817%。中国作为世界人口最多的国家,1961~2010的碳排放量年均增长5.92%,总人口增长率平均为1.41%,城镇人口的年平均增长率为3.456%,而少儿人口比重年平均降低0.416%、老年人口比重则年平均提高0.087%。根据计量模型估计的系数,人口因素对中国二氧化碳排放量增长的贡献超过了62%。人口增长对二氧化碳排放量的促进作用得到了绝大多数的研究支持,随着社会发展和人们生活质量的不断改善,人均能源消费水平持续攀升,人均二氧化碳排放量也逐年递增,在这种情况下人口总量的增长必然会导致二氧化碳排放总量的增长,因而全球人口规模的扩张是导致全球二氧化碳排放量增加的主要因素之一的观点得到广泛认可。但值得注意的是,人口老龄化与城镇化对碳排放量的影响并不是线性和单一的,其平方项在统计上具有显著性,且系数估计符号与原变量相反,说明这两个变量对二氧化碳排放量的影响具有U形或倒U形的特征。

2. 人口区域结构对碳排放量的倒U形影响

人口城市化通常伴随着经济规模扩大、技术进步、信息传播以及能源使用效率,因而在城市化发展的初期必然具有工业化、高碳化的特点。随着农村人口城市化,居民的生活方式和消费模式也发生着转变,生产效率与收入水平随之提高,导致能源消费结构及能源消耗总量发生重要变化。一般认为一个国家城市化程度越发达,人均二氧化碳排放量就会越高,因此城市化进程无疑会促进碳排放量的增加。但城市化也为实现低碳式的高质量生活水平提供了可能,一些提高能源使用效率、促进清洁能源使用的新技术都是在城市中产生的,应

用清洁能源新技术的设备也是在城市中生产的,因而当城市化发展到某个阶段后,由于技术的进步、能源使用效率的提高、规模效应的增强,原本高碳化的发展模式会得到改变,逐步形成低碳、绿色、循环经济的发展模式,从而达到抑制碳排放的效果。

3. 人口的年龄结构对碳排放量的 U 形影响

人口年龄结构的变化会影响经济的发展与能源的消耗,而当

人口老龄化出现时,劳动年龄人口比重会相应减少,从而降低能源使用总量。由于老年人口的消费模式与劳动年龄人群、少儿人群不同,大部分的老年人会降低交通运输的需求,他们更愿意使用公共交通、更节约资源、也更注意保健,与其他劳动年龄人口相比,老年人的生活更倾向于低碳型。因而在人口老龄化的早期,老年人口比例的上升会在某种程度上减少二氧化碳的排放总量。然而,当老龄化程度加深,并持续发展 to 某个阶段后,老年人群由于面临更多的医疗、护理等支出,因而需要更多的经济活动来支持这一支出,从而最终造成碳排放量的进一步上升。

4. 其他变量与碳排放的线性关系

人均 GDP、二氧化碳排放强度及化石能源比重每变动 1%,将会分别引起二氧化碳排放量同方向变动 0.351%、0.434%、0.005%。这与以往的研究结论相类似,也符合预期。同时,单位能耗 GDP、居民最终消费则与碳排放量负相关,估计系数分别为 -0.413、-0.153。可见,提

表 2 面板回归估计结果

解释变量	方程 1		方程 2		方程 3	
	固定效应	随机效应	固定效应	随机效应	固定效应	随机效应
人口规模	1.850***	1.023***	1.894***	0.247*	2.473***	0.954***
人均 GDP	0.265***	0.434***	0.379***	-0.136	0.351***	0.341***
单位能耗创造 GDP	-0.269***	-0.326***	-0.161***	-0.560***	-0.413***	-0.437***
二氧化碳排放强度	1.384***	1.755***	0.539***	1.435***	0.434***	1.368***
工业增加值比重			0.008***	0.0132***	0.001	-0.006***
化石能源比重			0.013***	0.002	0.005*	-0.001
居民最终消费			-0.143	0.807**	-0.153*	0.093
人口密度			0.000	-0.001***	0.000	-0.001***
城镇人口比重					0.058***	0.043***
城镇人口比重平方					-0.001***	-0.000***
少儿人口比重					-0.036**	0.167***
少儿人口比重平方					0.000	-0.002***
老年人口比重					-0.082**	0.224***
老年人口比重平方					0.003***	-0.005***
常数项	-24.416***	-10.621***	-25.713***	-10.621***	-35.203***	-13.656***
观测数	254	254	251	254	251	251
Prob>F	0.000		0.000		0.000	
Prob>chi2		0.000		0.000		0.000
R-sq:						
within	0.920	0.878	0.953	0.810	0.979	0.899
between	0.658	0.918	0.668	0.992	0.603	0.999
overall	0.642	0.913	0.648	0.984	0.577	0.994
Hausman 检验	chi2(4)=91.80		chi2(8)=428.45		chi2(13)=41.05	
	Prob>chi2=0.000		Prob>chi2=0.000		Prob>chi2=0.000	

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

高能源的使用效率、使单位能源的消耗能够创造出更多的 GDP 对减少二氧化碳的排放有非常显著的抑制作用。

与其他变量相比,居民最终消费对碳排放的促进作用较小。影响温室气体排放的关键因素是消费者数量的增加及其消费方式,而不是人口数量本身。一般认为高收入、高消费家庭与较低收入人群相比,其消费方式是高碳的。正如 Satterhwaite(2011)所说,世界上 20%消费水平最高的人口要为 80%以上的温室气体排放量负责,如果计算历史累积的影响,甚至要承担更高的比例。从表 2 可以看出,样本数据中居民最终消费的增长与二氧化碳的排放总量负相关,这说明消费的增长主要反映了低碳消费的增长,或者可以认为是较低收入人群的消费增长,由于低收入人群的消费方式与高收入人群相比更倾向于低碳型,因此提高这部分人群的消费有利于居民最终消费结构的低碳化,从而抑制碳排放量的上升。

此外,工业增加值占 GDP 的比重与人口密度变量的系数估计为正值、但不具有统计显著性,因而我们认为在本文的模型中,这两个变量对碳排放量的影响不明显,另一个可能的原因是产业结构的变化对二氧化碳排放量产生的影响具有一定的滞后性,即当期的产业结构变化会引起未来的碳排放变化、但不会对当期的碳排放量产生显著的影响。

(二)稳健性分析

为验证以上计量模型,下面将分别采取消除内生性及删除异常样本值的方法对上文得

表 3 各变量的滞后一期项与滞后二期项回归结果

解释变量	当期项	滞后一期项	滞后二期项
人口规模	2.473***	2.330***	2.146***
人均 GDP	0.351***	0.426***	0.407***
单位能耗创造的 GDP	-0.413***	-0.300***	-0.183***
二氧化碳排放强度	0.434***	0.223**	0.203*
工业增加值比重	0.001	0.002	0.004**
化石能源比重	0.005*	0.006**	0.005*
居民最终消费	-0.153*	-0.277***	-0.302***
人口密度	0.000	-0.000	-0.000
城镇人口比重	0.058***	0.049***	0.038***
城镇人口比的平方	-0.000***	-0.000***	-0.000***
少儿人口比重	-0.036**	-0.023*	-0.009
少儿人口比重的平方	0.000	-0.000	-0.000
老年人口比重	-0.082**	-0.051*	-0.008
老年人口比重的平方	0.003***	0.002*	0.001
常数项	-35.203***	-32.217***	-28.667***
观测数	251	242	233
R-squared	0.979	0.973	0.962
国家数	9	9	9

注：*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

到的基本回归结果进行稳健性分析,以检验计量结果的客观与准确。

1. 消除内生性

要得到稳健的回归结果,必须考虑变量的内生性问题,内生性问题的产生,可能是由于解释变量与残差项相关,严重的内生性将使得模型的估计系数有偏和非一致。为进一步检验稳健性,本文取各解释变量的滞后一期项与滞后二期项替代当期项,再次对二氧化碳排放量进行回归方程 3 的固定效应模型回归,结果如表 3 所示。

表 3 显示各解释变量依然具有统计显著性。变量的滞后一期、滞后二期项与当期项均存在较高的相关性,且能有效地避免当期变量与当期残差项相关所产生的内生性问题,因此表 2 中的系数估计结果仍然可信,表明回归方程

3 的固定效应模型比较稳健。

回归结果中滞后一期项与滞后二期项的估计系数仅略小于当期项(但误差项大于当期项),表明各解释变量对二氧化碳排放量的影响不会在当期结束,而会持续影响未来的碳排放、但影响力度逐步减弱,而变量的当期值对因变量更具解释力。其中人口年龄结构变量的显著性只在当期项与滞后一期项中存在,滞后二期时对当期的二氧化碳排放量已没有明显影响,但人口的城乡结构直至滞后二期时对碳排放的影响依然显著,且符号一致,可见人口的区域结构比年龄结构对碳排放量更有影响力。

值得注意的是,产业结构变量在滞后二期时具有统计显著性,说明产业结构对碳排放量的影响具有明显的滞后性;居民最终消费变量的估计系数在滞后二期与滞后一期时比当期更大,说明该变量的影响也具有一定的滞后性。

2. 删除异常样本值

为了减少异常值对回归结果的影响,下面将剔除二氧化碳排放量最多、最少的国家(美国和埃及)与数据分析中各变量的变化趋势与其他国家明显不同的国家(罗马尼亚),以检验上面得到的主要估计结果是否受这些异常样本的影响。表 4 中的回归方程 4 为剔除了美国与埃及后的计量结果、回归方程 5 为进一步剔除了罗马尼亚后的计量结果。回归结果表明各解释变量仍然具有统计上的显著性,只是系数估计略小一些。不过,需要注意的是,与回归方程 3 的结果不同的是,在剔除异常样本之后变量人口密度具有了统计显著性,说明人口密度的增加在某种程度上确实会促进二氧化碳的排放。

通过以上对变量内生性与样本异常值的处理后,检验表明回归方程 3 的固定效应回归模型估计结果是稳健的,因此可以认为该计量模式与回归结果客观、有效。

表 4 剔除异常值后的回归结果

解释变量	方程 3	方程 4	方程 5
人口规模	2.473***	2.147***	1.854***
人均 GDP	0.351***	0.295***	0.232**
单位能耗创造的 GDP	-0.413***	-0.358***	-0.244***
二氧化碳排放强度	0.434***	0.389***	0.795***
工业增加值比重	0.000	-0.002	-0.001
化石能源比重	0.005*	0.010**	0.004*
居民最终消费	-0.153*	-0.153*	-0.133*
人口密度	0.000	0.002***	0.002***
城镇人口比重	0.058**	0.055***	0.041***
城镇人口比的平方	-0.000***	-0.000***	-0.000**
少年人口比重	-0.036*	-0.089***	-0.117***
少年人口比的平方	0.000	0.001	0.002
老年人口比重	-0.082**	-0.078*	-0.055*
老年人口比的平方	0.003***	0.002*	0.001*
常数项	-35.203***	-29.128***	-22.597***
观测数	251	193	174
R-squared	0.979	0.979	0.985
国家数	9	7	6

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%水平上显著。

五、结 语

根据对美国、中国、印度、埃及等 9 国 50 年(1961~2010 年)的数据整理及计量回归结果表明,人均 GDP、二氧化碳排放强度、化石能源占能源消费总量的比重及人口密度会促进

二氧化碳的排放总量,居民最终消费所产生的碳排放相对于投资和生产性中间投入的碳排放较小,而单位能耗 GDP 的提高则会抑制碳排放。与这些因素相比,人口因素对碳排放的影响最大,其中人口规模与碳排放正向线性相关,而人口年龄结构与区域结构则与碳排放非线性相关。具体而言,人口城镇化率与碳排放的关系呈倒 U 形,而人口的年龄结构、特别是人口的老龄化程度对碳排放量的影响则具有 U 形的特点。这是由于城市化的初期会增加二氧化碳的排放,而持续的城市化则会因规模效应和技术进步最终减少碳排放总量;老年人口比重对碳排放的影响则与之相反,在人口老龄化的早期,由于老年人口的消费模式与生活模式不同会抑制二氧化碳的排放,但当人口老龄化达到某个程度后,因老年人的对医疗等方面的支出增加,需要更多的经济活动以支持这一支出,从而增加碳排放总量。

基于上述分析,我们建议政府从调整产业结构、以低碳模式实现人口城市化发展等几个方面入手,制定相应的政策措施,减少高能源消耗产业的比重,促进清洁能源产业的发展,同时倡导低碳、节能、适度的生活方式和消费模式,以减少人类活动导致的二氧化碳排放量,减缓全球气候变化。

参考文献:

1. 李楠等(2011):《中国人口结构对碳排放量影响研究》,《中国人口资源与环境》,第6期。
2. 任国玉等(2005):《中国气温变化研究最新进展》,《气候与环境研究》,第4期。
3. 宋杰鲲(2010):《我国二氧化碳排放量的影响因素及减排对策分析》,《价格理论与实践》,第1期。
4. David Satterthwaite(2011):《你与全球气候变化——全球二十余位顶尖专家学者谈人类活动与全球气候变化的关系:人口增长和城市化对气候变化的影响》,《人口与计划生育》,第2期。
5. IPCC(2007):《气候变化 2007——综合报告》,联合国政府间气候变化专门委员会出版。
6. Birdsall N.(1992), Another Look at Population and Global Warming: Population, Health and Nutrition Policy Research. Working Paper, Washington, D.C.: World Bank, WPS 1020.
7. Chung U., Choi J., Yun J. I.(2004), Urbanization Effect on the Observed Change in Mean Monthly Temperatures between 1951-1980 and 1971-2000 in Korea. *Climate Change*. 66:127-136.
8. Dalton, Michael, Brian C., O'Neill, et al.(2008): Population Aging and Future Carbon Emissions in the United States. *Energy Economics*. 30: 642-675.
9. Karl T. R. and Jones P. D.(1990), Comments on "Urban Bias in Area Averaged Surface Air Temperature Trends" Reply to GM Cohen. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 71: 571-574.
10. Kaya Yoichi(1990), Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios. Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, Paris.
11. Knapp T. and R. Mookerjee(1996), Population Growth and Global CO₂ Emissions. *Energy Policy*. 24: 31-37.

(责任编辑:朱 犁)