

引用格式: 韩梦瑶, 刘卫东, 唐志鹏, 等. 世界主要国家碳排放影响因素分析——基于变系数面板模型[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2420-2429. [Han M Y, Liu W D, Tang Z P, et al. Carbon emission impact factor analysis of major countries based on varying coefficient panel modeling[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2420-2429.] DOI: 10.18402/resci.2017.12.20

# 世界主要国家碳排放影响因素分析 ——基于变系数面板模型

韩梦瑶<sup>1,2</sup>, 刘卫东<sup>1,2</sup>, 唐志鹏<sup>1,2</sup>, 夏炎<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 中国科学院区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101;

3. 中国科学院科技政策与管理科学研究所能源与环境政策研究中心, 北京 100190)

**摘要:** 碳减排不仅是中国政府面临的重要问题, 同时也是国际社会逐渐关注的热点话题。中国作为最大的温室气体排放国, 借鉴发达国家经济发展及碳排放演变过程, 有助于为自身碳减排打下坚实的基础。本文首先对比了不同国家碳排放及碳强度的变化趋势, 然后利用变系数面板模型, 从经济发展、产业结构、城镇化率、能源结构着手探究碳排放和碳强度的关键影响因素的作用规律, 分析中国与世界主要国家碳排放的影响因素的异同。整体来看, 美国、日本、英国、法国、意大利、加拿大等国家均已出现不同程度的碳排放总量拐点。对比2014年不同国家碳排放强度, 中国碳排放强度为1.24kg/美元, 远高于全球平均水平。不同影响因素对于不同国家碳排放影响程度各不相同, 其中城市化率、可再生能源占比等对于碳排放降低均有着显著的作用。综合分析结果, 从全球的角度对比不同国家经济增长、碳排放变化、产业结构变化、能源结构变化等规律, 对于中国应对全球气候变化、实现碳减排目标有着重要的借鉴性意义。

**关键词:** 碳排放强度; 全球化; 影响因素; 变系数; 面板模型

DOI: 10.18402/resci.2017.12.20

## 1 引言

气候变化已经成为影响人类可持续发展的关键问题<sup>[1]</sup>。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)在丹麦哥本哈根发布了IPCC第五次评估报告, 指出人类对气候系统的影响是明确的, 而且这种影响在不断增强<sup>[2]</sup>。作为最大的温室气体排放国, 中国的碳减排进程一直受到世界各国的广泛关注。为降低中国的温室气体排放, 温家宝总理在哥本哈根世界气候变化大会上宣布, 到2020年, 中国单位国内生产总值(GDP)的CO<sub>2</sub>排放量将比2005年下降40%~45%。而后, 中国在2015年“巴黎气候峰会”上正式承诺到2030年实现碳排放峰值目标<sup>[3]</sup>。

随着中国在全球范围内影响力逐渐扩大以及美国新政府对巴黎协定立场的转变, 中国在全球碳减排进程中的地位有所变化。实现上述碳减排目标不仅成为中国政府面临的重大问题, 也成为世界范围内碳减排的核心课题, 是全社会乃至国际社会关注的热点。

整体看, 一个国家或地区碳排放的影响因素众多, 包括经济发展水平、能源结构、技术进步、管理水平、进出口结构、减排政策等<sup>[4, 5]</sup>。IPCC 报告指出, 2000—2010年间, 人为温室气体排放量增加了100亿t CO<sub>2</sub>当量。其中, 47%直接来自能源供应部门, 30%来自工业, 11%来自交通业, 3%来自建筑业<sup>[2]</sup>。

收稿日期: 2017-09-07; 修订日期: 2017-11-14

基金项目: 中华人民共和国科学技术部国家重点研发计划项目(2016YFA0602804)。

作者简介: 韩梦瑶, 女, 河北沧州人, 助理研究员, 主要研究方向为经济地理与区域发展。E-mail: hanmy@igsnrr.ac.cn

通讯作者: 刘卫东, E-mail: liuwd@igsnrr.ac.cn

2017年12月

具体到产业与碳排放的关系,交通、电力、制造业等均被认为是碳排放增加的主要因素<sup>[6-9]</sup>。根据产业结构-能源消费、产业结构-单位能耗和能源结构-碳排放联动模型,张雷等发现产业结构的减排贡献高达60%,能源结构的贡献也达到10%<sup>[10]</sup>。近年来,不少学者对该问题进行了探讨,认为GDP增长、经济结构、产业结构、能源结构均对中国碳减排有着重要影响<sup>[11,12]</sup>。由于碳排放受到能源结构、技术进步、结构调整与减排管理等各方面的影响,相关领域的研究受到国内外学者的广泛关注<sup>[13-23]</sup>。

此外,部分研究针对碳排放强度及成本曲线展开了细化分析<sup>[24-26]</sup>。研究表明,中国在1980—2003年期间经历了高速的经济增长,同时与能源相关的碳排放呈现了明显的下降趋势<sup>[27]</sup>。生产部门能源强度的降低被认为是导致中国碳排放强度下降的主要因素<sup>[28]</sup>。而针对产业和行业碳排放强度变化的研究表明,工业总量增长引起的能源消耗上升已经成为导致碳排放总量迅速增长的直接原因,并且该效应已经抵消了能源强度效应对碳减排的贡献<sup>[29]</sup>。针对地区之间的碳转移,相关学者从国家及地区等不同尺度开展了不同类型的细化分析<sup>[19-23,30-33]</sup>,并且以此为基础对碳排放交易开展了讨论<sup>[34]</sup>。也有学者指出,由于各阶段各个因素的变化,不同发展阶段的碳排放与经济增长的协同关系有所差异,需要进一步细化分析<sup>[35]</sup>。

另外,一些学者针对2020年中国碳减排路径进行了系统分析<sup>[36]</sup>,认为GDP增长、经济结构、产业结构、能源结构均对中国碳减排有着重要影响<sup>[11,12]</sup>。同时,Cansino等基于计量经济学方法对中国2020年碳排放强度进行了预测,认为2020年的碳排放强度可能比2005年的碳排放强度降低50%,但2020年CO<sub>2</sub>排放总量将为2005年的七倍<sup>[37]</sup>。另外,刘卫东等研究了实现中国2020年单位GDP碳排放降低40%~45%目标的路径,并为《“十二五”规划纲要》的制定提供了科学的依据<sup>[17]</sup>。

尽管目前针对碳排放研究的成果层出不穷,但具体到2030年中国碳排放峰值的研究为数不多<sup>[38]</sup>。现有研究成果大多基于CGE等定量模型展开中国碳排放峰值的预测<sup>[39-41]</sup>。值得注意的是,不同学者得出的结论不尽相同。部分学者指出,碳排放峰值

提早出现将成为自然过程,并不会明显抑制经济发展<sup>[42]</sup>,尤其是Tollefson在Nature上发表论文,称中国将提前实现碳排放峰值<sup>[43]</sup>。同时,也有学者指出,为实现2030年碳排放峰值,中国需进一步调整与国家政策紧密相关的产业结构和能源结构<sup>[36,44-46]</sup>。而Niu等的模拟结果显示,中国于2030年前实现碳排放达峰,需要适当放缓经济增长速度<sup>[38]</sup>。整体来看,现有研究对中国2030年碳排放峰值的预测值大致在(92~154)亿t,且中国的人均CO<sub>2</sub>排放量的峰值预计为(6.8~8.5)t/人<sup>[36,45,47]</sup>。此外,部分研究对中国实现2030年碳排放峰值过程中新能源和可再生能源在一次能源供应总量中的比例进行了探究,并量化了碳排放强度年下降率<sup>[48]</sup>。

总体来看,碳排放量分析方法主要分为两大类。第一类是构建基于碳排放量与其影响因素的关系模型,如IPAT模型、STIRPAT模型、KAYA恒等式、IPAC模型、LEAP模型、Logistic模型、EKC方法、VAR模型、3E模型、面板模型等<sup>[49]</sup>。另一类是基于历史碳排放和碳排放现状的变化趋势对未来碳排放量进行分析,如GM(1,1)、ARIMA模型、神经网络模型、回归分析。鉴于不同国家、地区的碳排放及其决定因素的差异性,变系数模型可用于定量分析不同国家各个影响因素的差异性和趋同性,弥补了常参数计量经济研究的部分不足。基于中国各省(区市)面板数据,相关学者已经构建了变系数面板模型并检验了各省域碳排放的趋同性及决定性因素<sup>[50]</sup>。然而截至目前,基于变系数面板模型从全球角度开展系统、全面的碳排放的研究相对较少。

随着美国对巴黎协定立场的转变,以及中国对全球化发展影响的变化,从宏观尺度开展碳排放及碳强度的影响要素研究有了越发重要的意义。综合上述背景,本文将不同国家与中国的碳排放强度、经济增速和碳排放量开展对比分析,引入变系数面板数据计量经济模型,测算了世界主要国家碳排放、经济发展、产业结构、城市化率、能源结构的变化趋势,定量分析每个国家碳排放的差异性和趋同性,对比不同国家各影响因素的作用效应,结合不同阶段的碳排放及经济增长的变化趋势,从全球尺度为中国碳减排目标做出系统分析。

## 2 研究方法 with 数据来源

相比时间序列模型,面板模型能够结合数据的时间和空间特征,使模型在估计参数时具有较大的自由度和稳健性,在解释截面数据之间的异质性和解决模型变量之间的多重共线上有较好的优势。考虑到面板模型具有较好的经济揭示能力,可对不同时间序列的不同截面开展理论分析,本研究引入面板模型用于检验不同国家各碳排放影响因素之间的关联情况。

在面板分析前,本文对比了不同国家的碳排放变化趋势、碳排放峰值、经济发展水平等,对案例国家进行了分析。由于不同国家经济和社会的差异化发展,经济变量的个体之间会出现异质性特征,经典的面板模型并不适合分析类似问题,由此本文应用固定效应变系数面板数据模型来实证分析不同国家之间的经济水平、产业结构、城市化程度、能源结构和碳排放的作用关系,进而分析各个国家之间的差异性特征。基于数据稳健性的考虑,本研究仅选取了经济发展水平较高及经济体量与中国较相近的国家和地区,剔除了部分政权不连续的国家。本文选取的案例国家包括美国、日本、英国、法国、意大利、加拿大、中国、印度、澳大利亚、韩国等。全球不同国家分产业增加值数据、人口数据和碳排放数据分别来源于世界银行(World Bank, <http://data.worldbank.org/>)<sup>[51]</sup>及国际能源署(IEA, <http://www.iea.org/statistics/>)<sup>[52]</sup>,其中GDP为2010年美元不变价。本文以不同国家为研究单元,时间跨度为1995—2014年组成的面板数据为研究对象。

其一般表达式为:

$$y_{it} = \alpha_i + x_{it}\beta_i + \varepsilon_{it} \quad (i=1,2,\dots,n; t=1,2,\dots,T) \quad (1)$$

式中  $y_{it}$  为被解释变量;  $x_{it}$  为  $1 \times k$  维解释变量;  $n$  为个体截面的数量、 $t$  为时间跨度;  $k$  为解释变量的个数;参数  $\alpha_i$  为模型的常数项或截距项;  $\beta_i$  为对应于解释变量的系数向量;  $\varepsilon_{it}$  为随机误差项,可以发现面板数据模型中的系数可以随着个体  $i$  和时间  $t$  的不同而改变。

为了验证不同因素对各国碳排放强度的影响,综合借鉴不同国家的实际情况,本文选取的解释变量包括人均地区生产总值(GDP),反映经济发展水

平;工业占地区生产总值比重(IND),反映产业结构变化;城市人口占总人口比重(POP),反映城市化水平;新能源消费占比(REW)等反映能源消费结构。

变系数模型分为固定效应变系数模型和随机效应变系数模型。通过Hausman检验可对面板数据模型进行模型设定检验。由于Hausman检验拒绝了随机效应变系数模型的原假设,故而本文选取固定效应模型开展分析。为避免模型设定的偏差,改进参数估计的有效性,需对模型设定的合理性进行检验。样本数据属于固定效应变截距模型还是属于混合估计模型,可以通过F检验完成。

检验主要基于如下原假设:

$$H1: b_1 = b_2 = \dots = b_N$$

$$H2: a_1 = a_2 = \dots = a_N, b_1 = b_2 = \dots = b_N$$

倘若接受原假设H2,则表明样本数据属于混合估计模型,无需进一步检验。如果拒绝假设H2,则需检验假设H1;如接受假设H1,则表明样本数据属于固定效应变截距模型,反之,则认为样本数据属于固定效应的变系数模型。

通过对不同模型的残差进行估计,具体结果如下:

$$S1 = 0.164\ 848 \quad N(T-K-1) = 10 \times 15 = 150$$

$$S2 = 0.940\ 244 \quad N(T-1)-K = 10 \times 19 - 4 = 186$$

$$S3 = 4.276\ 466 \quad NT-(K+1) = 200 - 5 = 195$$

$$\text{其中, } n = 10, K = 4, T = 20$$

$$\text{由此, } F1 = 19.598\ 8 \quad F(45, 150)1.32$$

$$F2 = 83.325\ 6 \quad F(36, 150)1.39$$

通过F检验,模型拒绝了假设2及假设1,由此模型采用模型1的形式,即为变系数面板模型。

## 3 结果及分析

### 3.1 主要国家碳排放历史趋势

在全球化的趋势下,中国碳减排需大力借鉴发达国家过去和目前的经济发展实践及其能源结构演变过程中的经验。目前,已有部分发达国家实现碳峰值(如果按人均量计,则有更多国家已经实现)。依据主要国家碳排放历史趋势,可对主要国家碳排放类型进行划分(见表1)。

为分析不同国家碳排放变化趋势,从经济增速与碳排放强度降速的角度着手,依据表1中的分类,



2017年12月

部分案例国家碳排放总量(亿t)、GDP增速(%)、碳排放强度下降效率(%)历史趋势的关系见图1。

表1 1960—2014年案例国家碳排放总量对比分析

Table 1 Distinguish of carbon emission amounts among case countries from 1960 to 2014

	年均排放量≥6亿t	年均排放量<6亿t
已出现拐点	美国、日本	英国、法国、意大利、加拿大
未出现拐点	中国、印度	澳大利亚、韩国

由图1可知,美国峰值出现在2005年,碳排放总量为57.95亿t,碳排放强度为0.40kg/美元,GDP增速为3.35%。日本峰值(暂时)出现在2004年,碳排放总量12.66亿t,碳排放强度0.24kg/美元,GDP增速2.36%。值得注意,此处提到的峰值有可能是阶段性的伪峰值,随着经济发展及技术变化,碳排放有可能出现新的峰值。由图1c及图1d可知,英国峰值出现在1971年,碳排放总量6.61亿t,碳排放

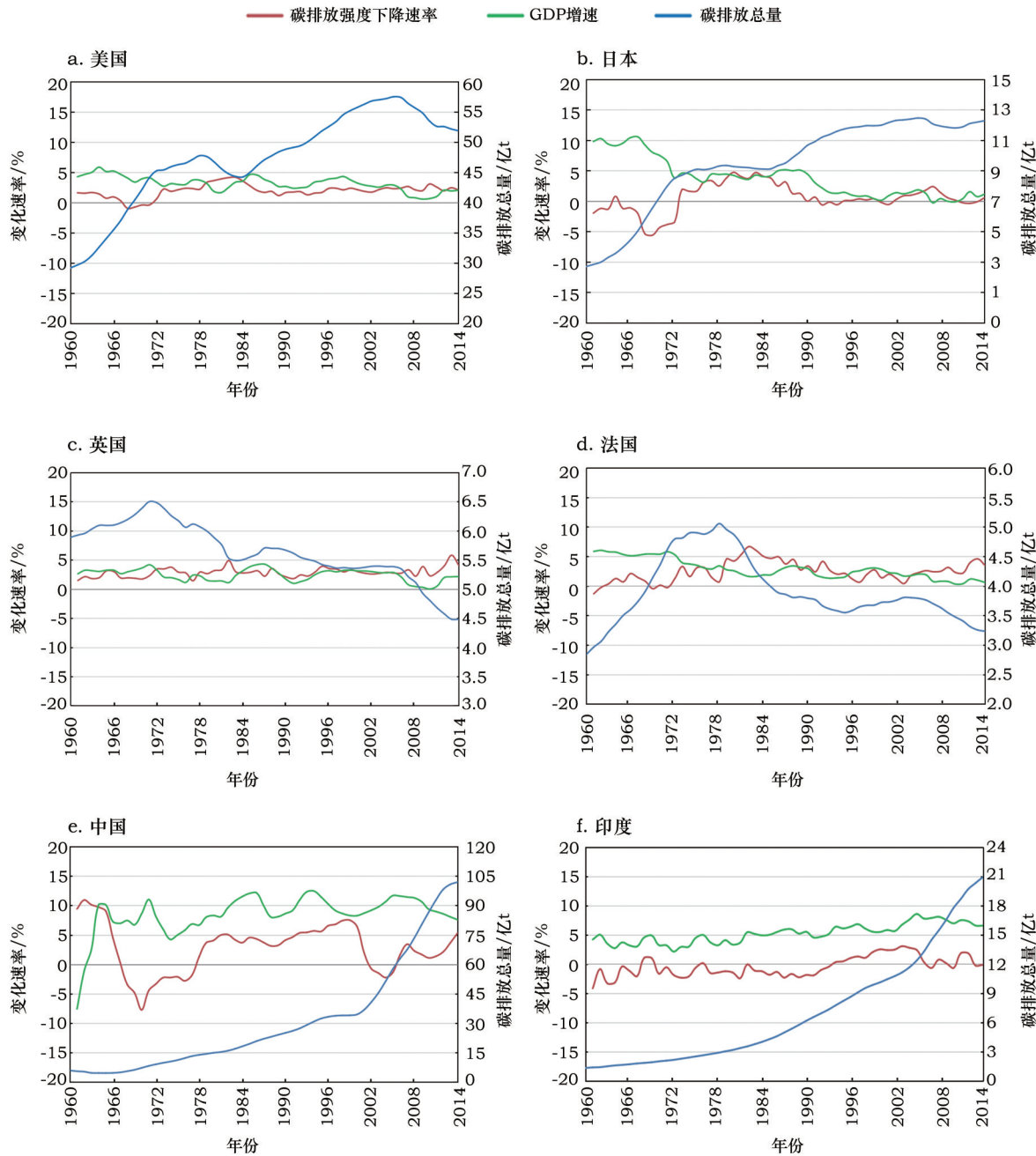


图1 1960—2014年世界主要国家经济发展与碳排放变化关系

Figure 1 Relationship of economic development and carbon emissions in major countries from 1960 to 2014

强度0.65kg/美元,GDP增速3.48%。相对比,法国峰值出现在1979年,碳排放总量5.29亿t,碳排放强度0.36kg/美元,GDP增速3.56%。

由图1e及图1f可以看出,截至目前,中国和印度均未出现碳排放峰值。整体来看,中国碳排放强度下降速率一直处于波动状态。1998年中国曾经出现过碳排放总量下降的情况,当时碳排放强度下降速度超过了GDP增速。2001年后,两者差距拉大,中国碳排放总量迅速增长。2014年,中国碳排放为102.92亿t,碳排放强度为1.24kg/美元,碳排放强度下降速率为6.49%。全球主要国家碳排放强度变化情况如图2所示。对比不同国家碳排放强度变化趋势,2014年,中国碳排放强度为1.24kg/美元,世界均值约为0.50kg/美元,OECD为0.26kg/美元,欧盟为0.19kg/美元,中国碳排放强度与全球平均水平仍有一定的差距。对照中国目前GDP增速,若以维持碳峰值为前提,可大致估算碳排放强度降速范围

为:若GDP增速维持在6.0%,碳排放强度降速至少达到5.6%;若GDP增速维持在6.5%,碳排放强度降速至少达到6.0%。

3.2 各国碳排放强度影响因素分析

本文将各国家碳排放强度的影响因素进一步进行变系数估计,得到表2的检验结果。基于变系数面板模型的回归拟合较好,拟合优度为99.28%,由统计量T值及其伴随概率P值可以看出,不同国家之间的差异对模型的设定有着显著影响。

参照表1对各个国家的分类,表2对不同国家的估计结果进行了展示,各因素对碳排放影响的具体分析如下。GDP是影响不同国家碳排放的显著因素。GDP的回归系数均为正,说明GDP增加对于碳排放有着显著的促进作用。随着经济的发展和国内生产总值的提高,碳排放量会随之增加。弹性系数越大,说明GDP增加会引起碳排放量的增加。从模型解释变量的弹性系数看,除了意大利的

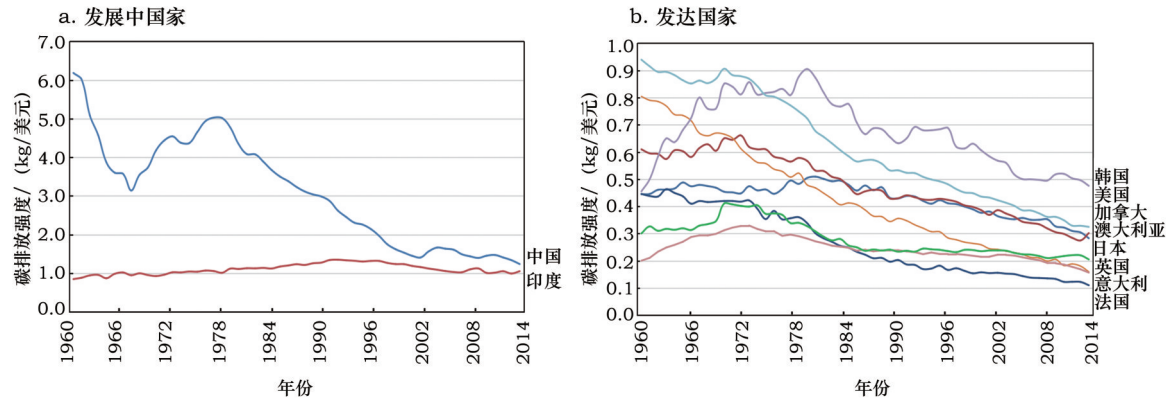


图2 1960—2014年主要国家碳排放强度变化对比

Figure 2 Carbon intensity changes of main countries from 1960 to 2014

表2 固定效应变系数面板模型的估计结果

Table 2 Estimated results of fixed-effect varying coefficient model

碳排放指标	国家分类	GDP系数	T值	IND系数	T值	POP系数	T值	REW系数	T值
1	美国	145.10	6.06	-1.80E+04	-0.45	-32.72E+04	-2.37	-10.06E+04	-2.77
	日本	42.42	9.42	-1.31E+04	-2.64	-1.68E+04	-5.23	-1.08E+04	-0.99
2	法国	6.69	2.11	-1.73E+04	-2.56	-3.55E+04	-3.03	-0.58E+04	-1.94
	英国	3.97	2.68	0.61E+04	2.64	1.01E+04	1.49	-3.02E+04	-7.91
	意大利	5.36	0.04	-14.43E+04	-0.67	-67.30E+04	-0.93	13.33E+04	0.93
	加拿大	14.47	2.38	0.74E+04	2.17	-3.81E+04	-1.70	-0.06E+04	-0.05
3	中国	2 116.51	18.22	16.50E+04	4.32	-15.61E+04	-4.92	-12.55E+04	-4.19
	印度	729.40	2.84	-1.00E+04	-2.48	-1.97E+04	-0.54	-4.31E+04	-5.04
4	澳大利亚	13.12	5.11	0.34E+04	2.95	-3.84E+04	-2.88	0.03E+04	0.20
	韩国	35.06	9.69	0.55E+04	1.65	-4.98E+04	-4.82	-1.66E+04	-1.17

2017年12月

回归系数不显著外,其余变量的回归系数的统计量 $T$ 值及其概率 $P$ 值均呈现显著。GDP对于碳排放的影响对于不同国家出现了明显的差异。尤其对于中国和印度,单位人均GDP的增长对于碳排放的变化有着较大的影响。而对于英国,单位人均GDP的增长对于碳排放的变化有着相对较小的影响。

产业结构是影响碳排放的另外一个重要因素。然而,对于不同发展阶段的国家,工业增加值占比的影响各有不同。工业化程度的回归系数为正,说明工业化程度增加对于碳排放有着显著的促进作用,工业化程度的回归系数为负,说明工业化程度增加对于碳排放有着一定程度的抑制作用。对比来看,对于美国、意大利和韩国,工业化程度对于碳排放的影响并不显著。对于中国、英国、加拿大、澳大利亚,单位工业增加值占比的提升增加了碳排放。对于法国、日本和印度,单位工业增加值占比的提升降低了碳排放。

城市化率同样对不同国家的碳排放变化有着重要的影响。从单个解释变量的显著性看,变量在加拿大、英国、意大利、印度并不显著。整体来看,城市化率对于碳排放降低有着一定的促进作用,这主要因为城市化使产业组织结构、技术结构、产业结构得到更合理的调整,资源得到更合理的利用。城市高度集中的人口和经济活动行程规模效应,进而降低碳排放。对比来看,中国和美国对于单位城

市化率变化较为敏感,然而对于日本,单位城市变化率对碳排放的影响相对较小。

对于可再生能源,除去不显著的变量,可再生能源占比对于不同国家的碳排放均有着下降的作用。随着可再生能源占比的不断提升,碳排放会随之降低。弹性系数越大,说明可再生能源占比的增大会引起碳排放的相应降低。对比来看,中国和美国的可再生能源占比提升对于碳减排有着显著的作用。相反,法国可再生能源占比的提升对于碳减排的影响相对较小。

综合主要国家碳排放历史趋势可以看出,不同国家碳排放影响因素的作用效果各不相同。对比来看,加拿大(阶段性)峰值出现在2003年,日本峰值出现在2004年,意大利峰值出现在2004年,美国峰值出现在2005年,澳大利亚峰值出现在2009年。通过与不同国家相对比,可以看出,各案例国家碳排放强度的平均下降速率及影响因素趋势对比如图3所示。

由图3可以看出,中国碳排放强度的下降速率一直处于波动状态,1995年后约为68.91%。与其他国家相对比,中国的碳排放强度降速高于英国之外的大部分案例国家,这主要得益于中国近年来快速增长的GDP。对于中国来说,GDP的增长及工业增加值占比的增加对于碳排放增加有着重要的影响,而城市化率及可再生能源占比对于碳排放有着一

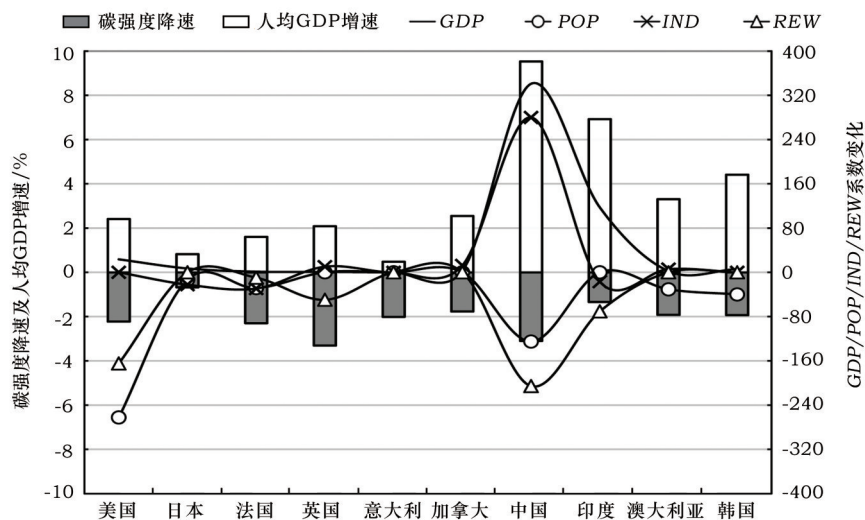


图3 不同国家碳排放变化速率及其影响因素对比

Figure 3 Comparisons of carbon emission change rates and indicators in different countries

定的抑制作用。对比处于不同碳排放阶段的国家,印度的情况与中国较为类似。对于美国、澳大利亚和韩国,城市化率对于碳排放降低的作用较为明显。对于英国,可再生能源占比增加对于碳排放降低有着重要的作用。值得注意的是,经济增长对于部分达峰国家来说没有明显的拉动作用。

从全局层面看,城市化率和可再生能源占比均对碳排放有着重要的影响。对于发展中国家如中国和印度,经济增长仍对碳排放有着显著的影响。具体来看,中国承诺到2020年单位国内生产总值(GDP)的CO<sub>2</sub>排放量比2005年下降40%~45%,并设定了2030年非化石能源占比达到20%的目标。考虑到中国长时期以煤炭为主的现状,在未来相当长一段时期内,煤炭、石油、天然气等化石能源仍将在中国能源消费结构中占据重要地位。由此,积极调整能源结构,增加可再生能源比例有着重要的意义。此外,碳排放量的变化同样来自于产业结构调整以及宏观政策调控。在中国逐渐依靠市场化手段促进节能减排的大背景下,结构调整和优化对中国碳排放变化的影响密切。目前中国的直接碳排放仍主要集中在工业部门,尤其是电力、钢铁、有色金属、水泥以及建筑和交通运输等行业。通过发展低碳产业和改造传统高碳产业,实现从源头上降低能耗,是中国碳减排的必经之路。

## 4 结论及展望

通过对比不同国家的碳排放历史变化规律,本研究旨在分析经济发展、产业结构、城市化率、能源结构等对碳排放的作用影响,致力于为中国碳排放长期趋势和影响要素做出科学判断。对比不同国家碳排放趋势,美国、日本、英国、法国、意大利、加拿大已出现阶段性峰值。对比来看,碳排放峰值一般出现在0.50kg/美元以下。具体到各影响因素,GDP的增长及可再生能源占比增加对于中国碳排放有着重要的影响,而城市化率及结构调整对于中国碳排放影响相对较小。然而,值得注意的是,对于美国、法国、澳大利亚、韩国等发达国家,城市化率对于碳排放降低的作用较为明显。对于英国,可再生能源占比对于碳排放降低有着重要的作用。

整体来看,中国碳排放强度的下降速率一直处于波动状态。与其他国家相对比,中国的碳排放强

度相对较高,仍有很大的下降空间。对于中国现阶段的碳减排,调整产业结构以及提高城镇化率均有着较为显著的作用,能源消费规模及其结构调整对于降低总体的能源碳强度同样具有重要意义。此外,通过发展低碳产业和改造传统高碳产业,推广新能源技术,实现从源头上降低碳排放是实现2030年碳峰值的必经之路。目前,部分发达国家已经达到阶段性碳峰值,借鉴发达国家的经济发展及碳排放演变过程,对比中国与主要国家碳排放变化的差别,可以对中国2030年实现碳排放峰值目标起到借鉴性意义。通过梳理世界主要国家的碳排放及经济发展历史趋势,从全球的角度对比不同国家经济发展、碳排放量、产业结构、城镇化率、能源结构变化等的规律对于中国应对全球气候变化有着借鉴性意义。

## 参考文献(References):

- [1] Aden N. The Roads to Decoupling: 21 Countries Are Reducing Carbon Emissions While Growing GDP[EB/OL]. (2016-04-05) [2017-11-13]. <http://www.wri.org/blog/2016/04/roads-decoupling-21-countries-are-reducing-carbon-emissions-while-growing-gdp/>.
- [2] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. New York: Cambridge University Press, 2013.
- [3] 中国能源研究会. 中国能源展望2030[M]. 北京: 经济管理出版社, 2016. [China Energy Research Society. China Energy Outlook 2030[M]. Beijing: Economy & Management Publishing House, 2016.]
- [4] 李小平, 卢现祥. 国际贸易, 污染产业转移和中国工业CO<sub>2</sub>排放[J]. 经济研究, 2010, (1): 15-26. [Li X P, Lu X X. International trade, pollution industry transfer and Chinese industries' CO<sub>2</sub> emissions[J]. *Economic Research Journal*, 2010, (1): 15-26.]
- [5] Zhang Y J, Wei Y M. An overview of current research on EU ETS: evidence from its operating mechanism and economic effect[J]. *Applied Energy*, 2010, 87(6): 1804-1814.
- [6] Rehan R, Nehdi M. Carbon dioxide emissions and climate change: policy implications for the cement industry[J]. *Environmental Science & Policy*, 2005, 8(2): 105-114.
- [7] Schipper L, Murtishaw S, Khrushch M, et al. Carbon emissions from manufacturing energy use in 13 IEA countries: long-term trends through 1995[J]. *Energy Policy*, 2001, 29(9): 667-688.



2017年12月

- [8] Shrestha R M, Timilsina G R. Factors affecting CO<sub>2</sub> intensities of power sector in Asia: a Divisia decomposition analysis[J]. *Energy Economics*, 1996, 18(4): 283-293.
- [9] Wang W W, Zhang M, Zhou M. Using LMDI method to analyze transport sector CO<sub>2</sub> emissions in China[J]. *Energy*, 2011, 36(10): 5909-5915.
- [10] 张雷, 李艳梅, 黄园渐, 等. 中国结构节能减排的潜力分析[J]. 中国软科学, 2011, (2): 42-51. [Zhang L, Li Y M, Huang Y X, et al. Analysis on character and potential of energy saving and carbon reducing by structure evolution in China[J]. *China Soft Science*, 2011, (2): 42-51.]
- [11] 彭斯震, 张九天. 中国2020年碳减排目标下若干关键经济指标研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(5): 27-31. [Peng S Z, Zhang J T. Study on key macro-economic factors and indexes in context of China's goal of carbon intensity reduction [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(5): 27-31.]
- [12] Yi B W, Xu J H, Fan Y. Determining factors and diverse scenarios of CO<sub>2</sub> emissions intensity reduction to achieve the 40-45% target by 2020 in China: a historical and prospective analysis for the period 2005-2020[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 122: 87-101.
- [13] 曹俊文. 江西省产业部门碳排放特征及减排途径-基于1992-2007年投入产出分析[J]. 经济地理, 2011, 31(12): 2111-2115. [Cao J W. Characteristics of Jiangxi's industrial sector carbon emissions intensity and carbon reduction approach-input-output analysis based on the 1992 to 2007[J]. *Economic Geography*, 2011, 31(12): 2111-2115.]
- [14] 董军, 张旭. 中国工业部门能耗碳排放分解与低碳策略研究[J]. 资源科学, 2010, 32(10): 1856-1862. [Dong J, Zhang X. Decomposition of carbon emissions and low carbon strategies for industrial sector energy consumption in China[J]. *Resources Science*, 2010, 32(10): 1856-1862.]
- [15] 李方一, 刘卫东, 唐志鹏. 中国区域间隐含污染转移研究[J]. 地理学报, 2013, 68(6): 791-801. [Li F Y, Liu W D, Tang Z P. Study on inter-regional transfer of embodied pollution in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(6): 791-801.]
- [16] 刘红光, 刘卫东, 唐志鹏. 中国产业能源消费碳排放结构及其减排敏感性分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(6): 670-676. [Liu H G, Liu W D, Tang Z P. The origin source and its elasticity analysis of the CO<sub>2</sub> emission induced by fossil fuel using industrial activities in China[J]. *Progress in Geography*, 2010, 29(6): 670-676.]
- [17] 刘卫东, 张雷, 王礼茂, 等. 我国低碳经济发展框架初步研究[J]. 地理研究, 2010, 29(5): 778-788. [Liu W D, Zhang L, Wang L M, et al. A sketch map of low-carbon economic development in China[J]. *Geographical Research*, 2010, 29(5): 778-788.]
- [18] 吕可文, 苗长虹, 尚文英. 工业能源消耗碳排放行业差异研究-以河南省为例[J]. 经济地理, 2012, 32(12): 15-20. [Lv K W, Miao C H, Shang W Y. Sectoral difference in carbon emission of industrial energy consumption: a case study of Henan Province [J]. *Economic Geography*, 2012, 32(12): 15-20.]
- [19] Feng K S, Davis S J, Li X, et al. Outsourcing CO<sub>2</sub> within China [J]. *PNAS*, 2013, 110(28): 11654-11659.
- [20] Liu H G, Liu W D, Fan X M, et al. Carbon emissions embodied in value added chains in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 103: 362-370.
- [21] Liu H G, Liu W D, Fan X M, et al. Carbon emissions embodied in demand-supply chains in China[J]. *Energy Economics*, 2015, 50: 294-305.
- [22] Liu W D, Li X, Liu H, et al. Estimating inter-regional trade flows in China: a sector-specific statistical model[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(10): 1247-1263.
- [23] Liu Z, Guan D, Wei W, et al. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China[J]. *Nature*, 2015, 524(7565): 335-338.
- [24] 徐大丰. 碳生产率的动态变化、最终需求与中国完全碳排放[J]. 上海经济研究, 2013, (11): 47-54. [Xu D F. The dynamic of carbon productivity, final demand and China's complete carbon emission[J]. *Shanghai Journal of Economics*, 2013, (11): 47-54.]
- [25] Carson R T. The environmental Kuznets Curve: seeking empirical regularity and theoretical structure[J]. *Review of Environmental Economics and Policy*, 2010, 4(1): 3-23.
- [26] 夏炎, 范英. 基于减排成本曲线演化的碳减排策略研究[J]. 中国软科学, 2012, (3): 12-22. [Xia Y, Fan Y. Study on emission reduction strategy based on evaluative CO<sub>2</sub> abatement cost value [J]. *China Soft Science*, 2012, (3): 12-22.]
- [27] Fan Y, Liu L C, Wu G, et al. Changes in carbon intensity in China: empirical findings from 1980-2003[J]. *Ecological Economics*, 2007, 62(3): 683-691.
- [28] 张友国. 经济发展方式变化对中国碳排放强度的影响[J]. 经济研究, 2010, (4): 120-133. [Zhang Y G. Economic development pattern change impact on China's carbon intensity[J]. *Economic Research Journal*, 2010, (4): 120-133.]
- [29] 岳超, 胡雪洋, 贺灿飞, 等. 1995-2007年我国省区碳排放及碳排放强度的分析-碳排放与社会发展III[J]. 北京大学学报: 自然科学版, 2010, 46(4): 510-516. [Yue C, Hu X Y, He C F, et al. Provincial carbon emissions and carbon intensity in China from 1995 to 2007 (carbon emissions and social development, III)[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2010, 46(4): 510-516.]
- [30] 刘强, 庄幸, 姜克隽. 中国出口贸易中的载能量及碳排放量分析[J]. 中国工业经济, 2008, (8): 46-55. [Liu Q, Zhuang X, Jiang K J. Energy and carbon embodied in main exporting goods



- of China[J]. *China Industrial Economics*, 2008, (8): 46-55.]
- [31] Peters G P, Hertwich E G. CO<sub>2</sub> embodied in international trade with implications for global climate policy[J]. *Environmental Science & Technology*, 2008, 42(5): 1401-1407.
- [32] Xu X, Zhao T, Liu N, *et al.* Changes of energy-related GHG emissions in China: an empirical analysis from sectoral perspective[J]. *Applied Energy*, 2014, 132(11): 298-307.
- [33] Zhang B, Chen Z M, Xia X H, *et al.* The impact of domestic trade on China's regional energy uses: a multi-regional input-output modeling[J]. *Energy Policy*, 2013, 63: 1169-1181.
- [34] Han M Y, Ji X. Alternative industrial carbon emissions benchmark based on input-output analysis[J]. *Frontiers of Earth Science*, 2015, 10(4): 731-739.
- [35] 刘慧, 成升魁, 张雷. 人类经济活动影响碳排放的国际研究动态[J]. *地理科学进展*, 2002, 21(5): 420-429. [Liu H, Cheng S K, Zhang L. The international latest research of the impacts of human activities on carbon emissions[J]. *Progress in Geography*, 2002, 21(5): 420-429.]
- [36] Elzen M D, Fekete H, Höhne N, *et al.* Greenhouse gas emissions from current and enhanced policies of China until 2030: can emissions peak before 2030? [J]. *Energy Policy*, 2016, 89: 224-236.
- [37] Cansino J M, Roma'n R, Rueda-Cantuche J M. Will China comply with its 2020 carbon intensity commitment?[J]. *Environmental Science & Policy*, 2015, 47: 108-117.
- [38] Niu S, Liu Y, Ding Y, *et al.* China's energy systems transformation and emissions peak[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 58: 782-795.
- [39] 林伯强, 李江龙. 环境治理约束下的中国能源结构转变-基于煤炭和CO<sub>2</sub>峰值的分析[J]. *中国社会科学*, 2015, (9): 84-107. [Lin P Q, Li J L. Transformation of China's energy structure under environmental governance constraints: a peak value analysis of coal and carbon dioxide[J]. *Social Sciences in China*, 2015, (9): 84-107.]
- [40] 林伯强, 孙传旺. 如何在保障中国经济增长前提下完成碳减排目标[J]. *中国社会科学*, 2011, (1): 64-76. [Lin B Q, Sun C W. How can China achieve its carbon emission reduction target while sustaining economic growth?[J]. *Social Sciences in China*, 2011, (1): 64-76.]
- [41] 杨翱, 刘纪显, 吴兴奔. 基于DSGE模型的碳减排目标和碳排放政策效应研究[J]. *资源科学*, 2014, 36(7): 1452-1461. [Yang A, Liu J X, Wu X Y. Carbon reduction targets and effects of emissions policy based on DSGE modeling[J]. *Resources Science*, 2014, 36(7): 1452-1461.]
- [42] Zhang X L, Karplus V J, Qi T Y, *et al.* Carbon emissions in China: how far can new efforts bend the curve?[J]. *Energy Economics*, 2016, 54: 388-395.
- [43] Tollefson J. China's carbon emissions could peak sooner than forecast[J]. *Nature*, 2016, 531(7595): 425-426.
- [44] 程路, 邢璐. 2030年碳排放达到峰值对电力发展的要求及影响分析[J]. *中国电力*, 2016, 49(1): 174-177. [Cheng L, Xing L. Analysis of requirement and impact of power development under the peak carbon emissions in 2030[J]. *Electric Power*, 2016, 49(1): 174-177.]
- [45] 柴麒麟, 徐华清. 基于IAMC模型的中国碳排放峰值目标实现路径[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(6): 37-46. [Chai Q M, Xu H Q. Modeling carbon emission peaking pathways in China based on integrated assessment model IAMC[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(6): 37-46.]
- [46] Chai Q M, Xu H Q. Modeling an emissions peak in China around 2030: Synergies or trade-offs between economy, energy and climate security[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2014, 5(4): 169-180.
- [47] Yuan J H, Xu Y, Hu Z, *et al.* Peak energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions in China[J]. *Energy Policy*, 2014, 68(2): 508-523.
- [48] He J K. An analysis of China's CO<sub>2</sub> emission peaking target and pathways[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2014, 5(4): 155-161.
- [49] 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.
- [50] 吴玉鸣. 中国省域碳排放异质性趋同及其决定因素研究-基于变参数面板数据计量经济模型的实证[J]. *商业经济与管理*, 2015, (8): 66-74. [Wu Y M. Study on heterogeneous convergence and determinants of carbon dioxide emissions: based on positive study of varying parameter panel data model[J]. *Journal of Business Economics*, 2015, (8): 66-74.]
- [51] International Energy Agency. IEA Energy Atlas[EB/OL]. (2017-10-01)[2017-11-13]. <http://www.iea.org/statistics/>.
- [52] World Bank. Featured Indicators[EB/OL]. (2017-10-30)[2017-11-13]. <https://data.worldbank.org/indicator/>.

## Carbon emission impact factor analysis of major countries based on varying coefficient panel modeling

HAN Mengyao<sup>1,2</sup>, LIU Weidong<sup>1,2</sup>, TANG Zhipeng<sup>1,2</sup>, XIA Yan<sup>3</sup>

*(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

*2. Key Laboratory of Regional Sustainable Development Modeling, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

*3. Center for Energy and Environmental Policy research, Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)*

**Abstract:** China's carbon emission reduction is an essential issue for the Chinese government and also of international concern. Since China has become the largest carbon emitter, analyzing the evolution of economic development and carbon emissions of developed countries as well as carrying out detailed analyses on China's carbon emission and carbon intensity changes will be an essential reference for China's carbon reduction process. Through detailed analysis of trends in carbon emissions and carbon intensities in different countries, we applied the variable coefficient panel model to assess key factors including the industrial structure, energy structure, urbanization rate and economic development. Based on the above-mentioned results, we compared differences in carbon emissions and carbon intensities between China and major countries in the world with different influence of basic impact factors taken into consideration. Overall, the United States, Japan, United Kingdom, France, Italy and Canada have reached a carbon emission peak to varying degrees. In contrast to carbon intensities in different countries, China's intensity is quantified as 1.24kg/USD, which is still much higher than the global average. Overall, different factors have different degrees of influence on countries, but the urbanization rate and renewable energy ratio contribute significantly to carbon emission reduction when compared with others. Comparing the economic growth, carbon emissions, industrial structure and energy structure of different countries will lay a solid foundation for China and provide an essential support for the Chinese government to deal with global climate change and achieve carbon emission reduction targets at a macro scale.

**Key words:** carbon intensity; globalization; impact factor; variable coefficient; panel model