

引用格式:王宪恩,段志远,王培博,等. 1990—2014年典型国家技术变革与结构调整的碳排放驱动效应测度[J]. 资源科学, 2018, 40(11): 2317-2327. [Wang X E, Duan Z Y, Wang P B, et al. Study on measurement of carbon-driving effects from technological change and structural adjustment in typical countries from 1990 to 2014[J]. *Resources Science*, 2018, 40(11): 2317-2327.] DOI :10.18402/resci.2018.11.17

1990—2014年典型国家技术变革与结构调整的碳排放驱动效应测度

王宪恩,段志远,王培博,宋俊年,王 硕,段海燕

(吉林大学 新能源与环境学院, 长春 130012)

摘要:全球碳减排背景下不同发展水平国家根据共同但有区别的原则,不断采取技术变革和结构调整等碳减排策略,以便达到追求经济发展与实现碳减排目标的良好契合。本文以1990—2014年间世界上34个不同收入水平的典型国家为例,在VAR模型基础上,利用脉冲响应及方差分解分析来探究以碳排放强度、能源强度表征的技术变革和以可再生能源占比、工业化率表征的结构调整对碳排放的驱动效应,以便为各国经济社会发展过程中的碳减排实践提供参考。结果表明,高收入国家技术变革和结构调整皆有促进碳减排作用,其中碳排放变动的贡献度受结构调整主导,平均贡献度为22.71%;而中高等收入国家和中低等收入国家的技术变革对碳排放的正负影响效果不一,工业化率绝大部分对碳排放具有促进作用,可再生能源占比除了OPEC国家皆具有明显减排效果,其中碳排放变动的贡献度受技术变革主导,平均贡献度分别为21.41%和25.60%。

关键词:碳排放;技术变革;结构调整;驱动效应

DOI :10.18402/resci.2018.11.17

1 引言

1992年通过的《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)^[1]提出到1990年代末发达国家温室气体的年排放量控制在1990年的水平,2005年生效的《京都议定书》^[2]首次以具有法定约束力的形式限制温室气体排放,2016年生效的《巴黎协定》^[3]作为第二份具有法律约束力的全球减排协议规划了2020年后的全球气候治理格局。随着应对气候变化行动的不断深入,不同发展水平的国家根据各自国情和能力提出了更为明确的二氧化碳减排行动方案,不断采取技术变革和结构调整等碳减排策略,以便达到追求经济发展与实现碳减排目标的良好契合。

技术变革和结构调整作为二氧化碳排放(以下简称“碳排放”)的主要影响因素一直是国内外研究

的重点,主要表现在两个方面:

一是研究内容方面,大多数研究都会针对部分国家(地区)的能源结构、产业结构或技术水平等方面进行碳排放的影响,但是由于研究对象、阶段和方法的不同,技术和结构因素发挥的作用往往具有差异性,如Karmellos等分析了2000—2012年期间欧盟各国发电碳排放的驱动因素,结果表明技术水平是主导性因素^[4],韩梦瑶等基于变系数面板数据分析了世界上10个主要国家产业结构、能源结构和碳排放强度对碳排放影响作用,结果显示结构因素是主要影响因素,且每个国家的影响强弱具有差异性^[5],梁大鹏等利用LMDI模型分析了1992—2012年金砖五国能源强度和能源消费结构等因素对碳排放成本的影响,结果表明能源强度下降能够显著

收稿日期:2018-03-02 修订日期:2018-09-04

基金项目:教育部人文社会科学重点研究基地项目(15JJD810010);国家自然科学基金项目(71503100);国家社科基金项目(15ZDA015)。

作者简介:王宪恩,男,吉林省吉林市人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为环境管理与环境经济。E-mail:wxen@jlu.edu.cn

通讯作者:段海燕,E-mail:duanhy1980@jlu.edu.cn

降低碳减排成本^[6], Wei J等基于IO-SDA方法分析了技术进步、产业结构等因素对2000-2010年间北京能源消费碳排放的影响,结果表明产业结构变动显著提升了碳排放^[7],此外,孙艳芝^[8]、原媛^[9]、Wang M^[10]、Shuai C^[11]、Wang C^[12]、Wang S^[13]等多位学者的碳排放研究中也包含了技术水平、产业结构及能源结构等因素,但是多数只是将其单纯作为影响碳排放的指标进行研究,缺少从统一视角出发来分析低碳技术进步、能源利用技术进步、产业结构调整、能源结构调整对碳排放的影响。

二是研究方法方面,多数研究集中使用STIRPAT模型(如蒋青嬗^[14]、王泳璇^[15]等),LMDI模型(如顾阿伦^[16]、董锋^[17]等)、SDA模型(如郭朝先^[18]等),也有部分学者使用计量经济学进行分析,如刘广为^[19]、Xu B^[20]等皆在VAR模型基础上进行脉冲响应和方差分解来进行碳排放驱动因素探究。综上所述,研究方法和结论对技术进步和结构调整对碳排放影响研究提供了有益借鉴,但是,文献显示目前尚没有学者将1990年以来,世界上不同发展水平国家技术变革和结构调整对碳排放的驱动方向和驱动程度在同一框架下进行比较分析,研究《联合国气候变化框架公约》框架下各国采取的技术手段、结构调整手段的二氧化碳减排成效,而这对于各个国家在全球碳减排目标下根据自身国情合理进行碳减排任务的调整具有重要的参考意义。基于此,本文

以1990年为起始年,运用计量经济学模型中的脉冲响应和方差分解法探究典型国家特定阶段技术变革和结构调整对碳排放的驱动方向和驱动程度,以便为各国经济社会发展过程中的碳减排实践提供参考。

2 研究范围与指标选取

2.1 研究范围确定

2.1.1 研究时间阶段的选择

选择1990年为起始年,研究1990年以来典型国家技术变革和结构调整对碳排放变动的影响。因世界银行数据库中部分国家的最新数据更新至2014年^[21],所以将研究时间阶段确定为1990—2014年。

2.1.2 国家的选择及碳排放现状

根据世界银行数据库的统计数据,如表1所示,2014年全球有碳排放统计数据国家和地区共计203个(包括12个地区),碳排放总量为338.01亿t。按照世界银行标准,这203个国家和地区可分分为高收入国家和地区(人均国民年收入高于12 736美元)、中高等收入国家和地区(人均国民年收入在4126~12 735美元之间)、中低等收入国家和地区(人均国民年收入在1046~4125美元之间)和低收入国家和地区(人均国民年收入低于1045美元)四类^[21],其中高收入及中高等收入国家和地区碳排放总量为293.49亿t,占有所有国家和地区碳排放总量的87%,是全球碳排放的主要贡献者。碳排放水平碳

表1 2014年203个不同收入国家和地区碳排放量及国家数量

Table 1 Carbon emissions and country volumes of 203 different income countries and regions in 2014

碳排放水平/亿t		高收入国家	中高等收入国家	中低等收入国家	低收入国家	合计
>10	碳排放量/亿t	64.68	119.97	22.38	0	207.03
	占比/%	19	35	7	0	61
	国家数/个	2	2	1	0	5
1~10	碳排放量/亿t	48.56	40.06	14.37	0	102.99
	占比/%	14	12	4	0	30
	国家数/个	13	12	7	0	32
0.1~1	碳排放量/亿t	11.92	6.86	5.28	0.76	24.82
	占比/%	4	2	2	0	7
	国家数/个	24	15	17	4	60
<0.1	碳排放量/亿t	0.64	0.79	0.94	0.78	3.16
	占比/%	0	0	0	0	1
	国家数/个	27	26	26	27	106
合计	碳排放量/亿t	125.81	67.68	42.98	1.54	338.01
	占比/%	37	50	13	0	100
	国家数/个	66	55	51	31	203

2018年11月

排放量达到10亿t以上的国家有5个,排放量由大到小依次是中国、美国、印度、俄罗斯和日本;碳排放量在1~10亿t范围内的国家有32个,其中以高收入、中高等收入国家为主;碳排放量在1亿t以下的国家和地区有166个,占有所有国家和地区碳排放总量的8%。可知,碳排放量在1亿t以上的37个国家碳排放总量达310.02亿t,占有所有国家和地区碳排放总量的92%。37个国家中,有沙特阿拉伯、阿拉伯联合酋长国及卡塔尔3个OPEC国家的数据在各自收入水平的国家中具有特殊性,其特点是可再生能源占比极小,除委内瑞拉外几乎都不到1%,且工业化率、碳排放强度和能源强度水平相对较高。考虑到3个国家数据本身的特殊性,本文将其从37个国家中剔除,确定美国、日本等34个国家为研究对象。

2.2 指标选取

本文主要研究技术变革与结构调整对碳排放量变动的贡献度,根据刘广为^[19]、Zhifu Mi^[22]等研究,技术变革表征技术进步,分低碳技术变革(碳排放强度变化)与能源利用技术变革(能源强度变化),结构调整分为产业结构调整与能源结构调整。因此,本文选取了包括碳排放量(CE)、表征低碳技术的碳排放强度(CI)和表征能源利用技术的能源强度(EI)、表征能源消费结构的可再生能源消费占比(RN)及表征产业结构的工业化率(IND)5个指标。

3 研究方法与数据来源

3.1 研究方法

本文旨在利用计量经济学中的方差分解法来探究典型国家能源结构与产业结构变化、技术变革因素对碳排放变动的贡献度,因为方差分解具有动态且直观反映内生变量间相互影响程度的优点。方差分解是建立在向量自回归模型(Vector Autoregression model,简称VAR)基础之上的,需要在保证时间序列协整性和模型稳定性的前提下构建VAR模型。数据处理中,为了消除时间序列存在的异方差,将变量数据进行对数化处理。

3.1.1 ADF单位根检验

本文采用ADF(Augment Dickey-Fuller)单位根检验验证时间序列的平稳性,若存在单位根则表示为非平稳时间序列,就会使回归分析中存在伪回归的风险。34个国家时间序列单位根检验结果显示,

有些变量符合原序列平稳,有些变量属于一阶平稳,所以本文统一使用一阶差分后的平稳序列进行分析。

3.1.2 Johansen 协整检验

Johansen 协整检验可用于检验多个变量之间是否存在协整关系,协整关系的判别与确定是进行变量间回归分析的重要前提。Johansen 协整检验结果表明,34个国家皆在5%的显著性水平上拒绝“无协整”的原假设,显示变量之间存在协整关系,即存在长期均衡关系。

3.1.3 VAR 模型构建

VAR模型是包含多个方程的非结构化模型,以此来估计全部内生变量之间的动态关系。参考王亮^[23]等研究构建如下VAR模型:

$$Y_t = A_0 + A_1 Y_{t-1} + \cdots + A_p Y_{t-p} + \delta_t \quad (1)$$

$$Y_t = \{\ln CE_t, \ln CI_t, \ln EI_t, \ln RN_t, \ln IND_t\} \quad (2)$$

式中 Y_t 为非平稳序列; A_0, A_1, \cdots, A_p 为 n 阶系数矩阵; δ_t 为随机干扰项。

针对模型系统进行平稳性检验,AR特征多项式逆根图显示34个国家VAR模型的全部特征根皆小于1,表明VAR模型估算系统是一个平稳系统,可在此基础上进行脉冲响应和方差分解分析。脉冲响应是指在随机误差项上施加一个标准差大小的冲击后对内生变量当期值和未来值所产生的动态影响,即4个影响变量对碳排放的冲击和碳排放的响应情况,分析4个变量对碳排放变化的驱动方向。根据公式(1)可获得脉冲响应函数:

$$\Gamma_n(\gamma_{ik,n}) = \sum_{j=1}^n \Gamma_{n-j} A_j \quad (3)$$

式中 $\gamma_{ik,n}$ 为变量 Y_t 对内生变量的一个初始波动在 n 期前的反应。

方差分解分析是在VAR模型中研究预测各变量的冲击对所有内生变量的方差贡献的方法,可以解释变量的变化在多大程度上是自身因素引起的、多大程度上是系统中其他因素的冲击造成的。

3.2 数据来源

34个国家的1990—2014年二氧化碳排放量、碳排放强度、能源强度、可再生能源占比和工业化率5个变量的时间序列数据均来自来源于“世界银行(WB)”数据库^[21]。

4 结果分析

4.1 1990—2014年典型国家技术变革与结构调整对碳排放驱动方向分析

本文对34个国家进行了脉冲响应分析,分析每个国家默认为10期的碳排放强度、能源强度、可再生能源占比和工业化率变量对碳排放的驱动方向,因数据量较大,本文将每个国家4个变量10期的碳排放驱动效应进行累积,以便分析其存在的长期影响效应,结果如图1所示。

(1)高收入国家的技术变革和结构调整对碳排放均有不同程度的抑制作用,即高收入国家的低碳技术和能源利用技术进步、能源结构和产业结构调整有效地降低了碳排放量,这主要因为高收入国家已经进入后工业化阶段,表现为产业结构已经转变为以高附加值、低能耗、低排放的第三产业为主,能源利用效率及清洁能源利用率处于领先地位,环境保护工作在资金和技术的强有力支持下有序推动,碳排放已处于达峰后的下降阶段,随着低碳技术进一步提高和应用,碳排放强度与能源强度不断下降,能源与产业结构的优化升级也对碳减排起到了重要作用。

(2)中高等收入国家的技术变革与结构调整对

碳排放影响特征与高收入国家完全不同,俄罗斯和南非的4个变量对碳排放均呈负向驱动,伊拉克和阿尔及利亚的技术进步和结构调整对碳排放均呈正向驱动,其他10个国家的4个变量对碳排放呈不同方向的驱动,这说明中高等收入国家技术和结构因素对碳排放的驱动较为复杂,除结构因素中可再生能源占比对碳排放负向驱动外,碳排放强度、能源强度和工业化率均不同程度正向驱动,说明中高等收入国家仍重点关注国内的经济社会发展,低碳技术、洁煤技术水平相对不高,除中国、俄罗斯、南非、墨西哥、土耳其、哈萨克斯坦、阿根廷外,其他国家由于技术进步不显著甚至由于国内外的不安定因素而出现倒退,技术变革均未表现出碳减排作用;而像除了俄罗斯、巴西、南非、土耳其外的中国、伊朗等10个国家均处于快速工业化进程中,工业化率的增加不同程度地正向驱动本国碳排放的增加。

(3)中低收入国家技术变革和结构调整对碳排放整体上处于负向驱动状态,可再生能源占比对碳排放均处于负向驱动状态,碳排放强度对碳排放的驱动中除了印度尼西亚、埃及、越南是正向驱动外,其他国家均处于负向驱动状态,能源强度对碳排放的驱动中只有埃及和巴基斯坦呈正向驱动,其他国

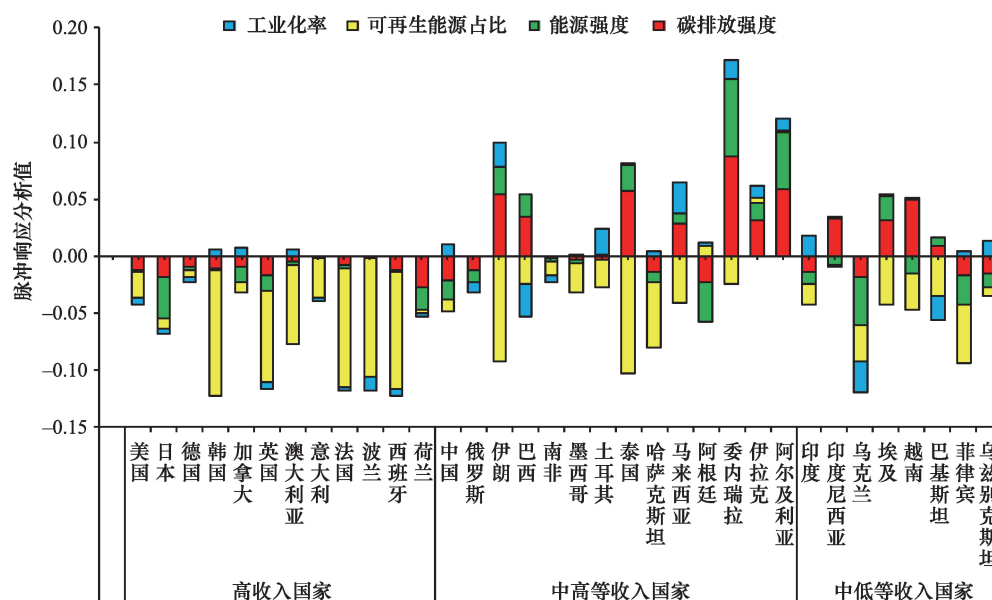


图1 典型国家技术变革与结构调整对碳排放驱动方向(脉冲响应分析10期累积效应结果)

Figure 1 Carbon-driven effects from technological change and structural adjustment in typical countries (10 cumulative effect results of impulse response analysis)

2018年11月

家均呈负向驱动,与以上3个因素不同,工业化率在大多数国家中为正向驱动因素,这一特征与中高等收入国家一致,反映出中低收入国家也处于快速工业化发展阶段,以此提高国家的经济水平。

图2为美国10期的脉冲响应函数结果。受碳排放强度的冲击,碳排在初期无响应,到第2期便负向增加到-0.0063,表明随着碳排放强度的降低可促进碳排放的下降,之后上升到第4期的0.0045,又下降到第6期的-0.0036,并在正负交替中趋于平稳,10期的累积效应为-0.0123,表明其碳排放强度具有长期碳减排作用,因为当经济发展到一定水平时,会更加注重低碳技术的开发和利用,以实现社会经济与生态环境的可持续发展。受能源强度的冲击,碳排放响应在前2期基本表现为0,但在第3期时便负向增加到第4期的-0.0018,之后在一段小幅度的变化中达到平稳趋势,10期的累积效应为-0.0007,显示出了科学技术水平提升和能源利用效率改善的长期减排效果。受可再生能源占比的冲击,碳排放响应10期的累积效应为-0.0227,可再

生能源占比对碳排放具有长期的减排效果。受工业化率的冲击,碳排放的响应从初期负向增加到第2期的-0.0035,虽然呈现出缓慢波动变化的态势,整体表现为负向响应,10期的累积效应为-0.0073,表明工业化率的下降对碳排放具有减排效果,前5期的累积效应为-0.0062,后5期为-0.0012,工业化率在前期减排效果要高于后期,这也与美国产业结构优化进程相符合。

4.2 1990—2014年典型国家技术进步与结构调整对碳排放驱动程度分析

本文在VAR模型基础上对34个国家的相关变量进行了方差分析,以解释碳排放量的变化在多大程度上是自身经济等因素引起的(即自身贡献度)、多大程度上是系统中技术变革和结构调整的冲击造成的。结果显示,高收入国家由碳排放自身导致碳排放变动的贡献度大部分集中在60%~80%,平均贡献度为66.25%;中高等收入国家的贡献度大部分集中在60%~90%,平均贡献度为71.55%;中低收入国家的贡献度大部分集中在50%~70%,平均贡献

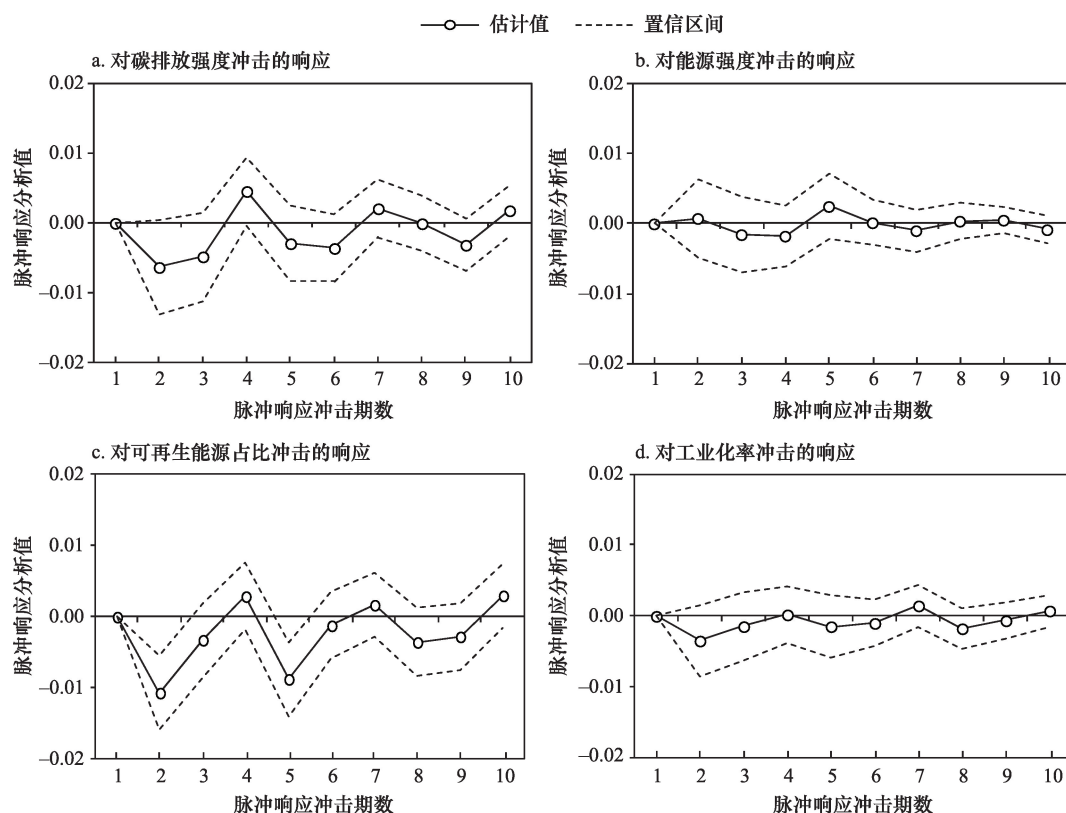


图2 美国碳排放对技术变革与结构调整10期冲击的响应

Figure 2 Response of carbon emissions to phase 10 impact from technological change and structural adjustment in USA

度为60.14%,如表2所示。总体来看,由经济发展影响的碳排放自身贡献度由小到大依次为中低收入国家、高收入国家、中高等收入国家。此结果与3个水平收入国家的实际发展情况相符合,中低收入国家经济发展水平最低且较为稳定,所以对碳排放自身变动的平均贡献度最低;高收入国家已经进入后工业化阶段,经济发展虽然稳定,但是发展水平最高,其对于碳排放变动贡献度要高于中低

等收入国家;中高等收入国家经济发展水平普遍高于中低收入国家,且发展速度又快于高收入国家,处于工业化中后期阶段,其对碳排放变动的贡献度高于高收入国家。

4.2.1 不同收入国家技术变革和结构调整的驱动程度分析

(1)高收入国家。12个高收入国家皆为发达国家,除了韩国之外都已经在历史发展阶段达到了碳

表2 不同国家碳排放变动的各因素贡献度

Table 2 Contributions of various factors in carbon emissions changes in different countries (%)

收入水平		碳排放量	碳排放强度	能源强度	可再生能源占比	工业化率
高收入国家	美国	65.14	6.40	6.59	9.59	12.28
	日本	70.58	2.25	8.83	3.57	14.77
	德国	66.57	0.61	11.03	21.17	0.63
	韩国	87.79	1.25	2.12	1.74	7.11
	加拿大	80.73	2.60	2.43	7.21	7.04
	英国	72.62	3.18	9.83	10.52	3.85
	澳大利亚	77.92	15.27	0.16	4.24	2.41
	意大利	62.16	6.54	2.12	9.81	19.36
	法国	57.36	11.90	8.49	10.14	12.11
	波兰	29.68	10.01	40.25	11.10	8.95
	西班牙	62.29	3.54	2.35	13.18	18.65
	荷兰	62.23	7.53	2.43	9.14	18.66
中高等收入国家	中国	68.29	14.16	5.47	7.90	4.17
	俄罗斯联邦	53.53	18.36	10.76	3.74	13.61
	伊朗	80.60	5.83	8.20	1.06	4.30
	巴西	80.96	7.72	4.63	2.88	3.81
	南非	47.97	19.95	13.60	5.68	12.80
	墨西哥	56.81	20.00	11.87	2.65	8.66
	土耳其	80.01	4.73	9.04	4.93	1.29
	泰国	67.40	3.14	22.03	6.20	1.23
	哈萨克斯坦	47.51	11.23	19.50	14.95	6.80
	马来西亚	82.55	7.58	4.84	3.43	1.59
	阿根廷	76.08	4.06	10.44	1.52	7.90
	委内瑞拉	82.62	8.60	1.51	3.01	4.27
	伊拉克	58.92	13.18	19.91	2.23	5.77
	阿尔及利亚	70.77	7.00	12.38	6.90	2.95
中低收入国家	印度	66.62	10.96	9.59	7.54	5.28
	印度尼西亚	59.63	15.53	11.32	3.14	10.39
	乌克兰	58.61	12.72	9.49	2.76	16.43
	埃及	53.68	22.54	14.46	3.94	5.38
	越南	58.56	14.12	4.13	10.57	12.62
	巴基斯坦	58.47	7.67	19.60	10.68	3.59
	菲律宾	65.57	14.26	6.96	10.35	2.86
	乌兹别克斯坦	60.01	17.59	13.83	2.11	6.44

2018年11月

排放峰值,每个国家的碳排放强度、能源强度和工业化率呈现出不同程度下降,可再生能源占比呈现不同程度上升,说明低碳技术、能源效率的提升和产业结构、能源结构的改善都能够促进碳减排。由图3a可知,有包括美国、日本等在内的7个国家碳排放变动的贡献度受工业化率主导,平均贡献度为14.71%,有包括德国、加拿大及英国在内的3个国家受可再生能源占比主导,平均贡献度为12.97%,可见能源和产业结构优化在高收入国家中的碳减排作用十分显著;与此同时,除波兰以外,贡献度最小的集中在碳排放强度或者能源强度,平均贡献度分别为2.74%与3.00%。因为这些国家已经迈入后工业化阶段,渡过了以牺牲环境为代价来换取经济增长的阶段,产业结构已经转变为以高附加值、低能耗、低排放的第三产业为主,其工业化率基本已维持在30%以内,在国际化石能源短缺的潜在危机和国内低碳可持续发展的形势下,也不断提升清洁能源在能源消费结构中的比重。除此之外,由表3可知,高收入国家的碳排放强度和能源强度历史均值分别为0.33和0.14,年均变化率分别为-2.01%和-1.75%,低强度背后说明这些国家科技水平和能源

利用效率已经发展到相对较高水平,且现有技术的升级和新技术的出现在时间层面上也有周期性,所以在强度因素本身较低的前提下进一步减排的空间相对有限,表现为对碳排放变动的贡献度偏小。

(2)中高等收入国家。14个中高等收入国家都属于发展中国家,碳排放量整体都处于不同程度的上升阶段,就各因素对碳排放变动的贡献度来看,由图3b可知,包括中国、俄罗斯等在内的7个国家碳排放变动的贡献度受碳排放强度的主导,平均贡献度为13.77%;包括伊朗、泰国等在内的7个国家受能源强度的主导,平均贡献度为14.50%;除委内瑞拉以外,贡献度最小的集中在可再生能源占比和工业化率,平均贡献度分别为2.82%和3.01%。由于发展中国家仍以追求经济发展总量为主,在产业结构方面以能源密集型的高耗能、高排放的第二产业为主,工业化率为37%左右,能源结构以成本相较于可再生能源的开发和利用更为低廉的化石能源为主,为了保障经济稳定发展,产业结构和能源结构不会出现较大变动,但是环境质量随着经济总量的发展不断恶化,这就要求这些国家在经济发展过程中提升技术水平和能源利用效率来实现总量的

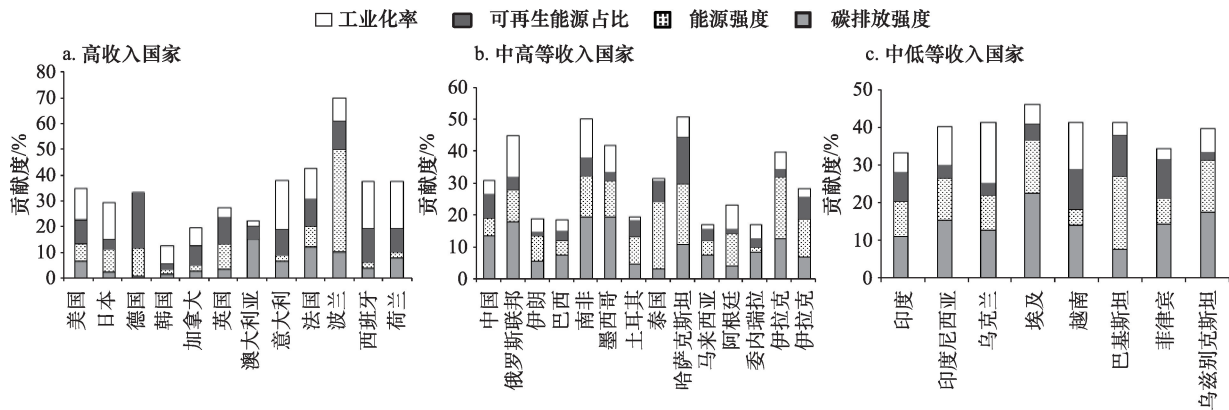


图3 不同收入国家各因素对碳排放变动贡献度

Figure 3 Contribution of various factors in different income countries to changes in carbon emissions

表3 不同国家强度因素年均变化率

Table 3 The annual average change rate of intensity factors in different countries

收入水平	碳排放强度		能源强度	
	历史均值/(kg/美元)	年均变化率/%	历史均值/(kgoe/美元)	年均变化率/%
高收入国家	0.33	-2.01	0.14	-1.75
中高等收入国家	0.96	-1.25	0.33	-1.31
中低收入国家	1.61	-2.21	0.71	-2.22

注:美元以2010年不变价核算。

相对减排,而在科学技术水平相对薄弱的情况下,发展低碳技术并实行节能减排的效果相对就越显著,虽然尚难以达到发达国家水平,但是相对于较高强度的现实情况下,其贡献度还是较为突出。由表3可知,中高等收入国家碳排放强度和能源强度的历史均值分别为0.96和0.33,皆高于高收入国家,但是-1.25%和-1.31%的年均变化率却低于高收入国家,除此之外,中高等收入国家的碳排放量当前全球占比最高,在短期内仍可以通过技术革新等方式获得较大的减排空间。

(3)中低等收入国家。8个中低等收入国家也都属于发展中国家,碳排放量随着社会经济不断发展都处于不断上升阶段,除了乌克兰的碳排放呈现不断下降趋势,归因于其历史变革和国际关系等综合因素所导致的国内经济发展低迷。各因素对碳排放变动的贡献度与中高等收入国家具有较高一致性,由图3c可知,有包括印度、埃及等在内的6个国家碳排放变动的贡献度受碳排放强度主导,平均贡献度为15.83%,巴基斯坦受能源强度的主导,除越南外,贡献度最小的因素也集中在了可再生能源占比和工业化率,平均贡献度分别为-2.99%与-3.91%,可见能源结构和产业结构的稳定是发展中国家较长时间内保障经济发展的重要前提,以乌克兰为例,其碳排放变动的主导因素是工业化率,不合理的结构调整变动虽然起到了减排的效果,但是却不利于经济发展保持的稳态性,缺乏经济基础的前提下也无法进一步通过提升科技水平来促进低耗高产发展方式的实现。由表3可知,中低等收入国家的碳排放强度和能源强度的历史均值分别为1.61和0.71,普遍高于中高等收入国家水平,符合其发展阶段所表现出的环境外部性特征,但是其-2.21%和-2.22%的年均变化率却是三种收入水平国家中最大的,这也契合了方差分解中中低等收入国家碳排放在技

术变革驱动下所呈现的较高弹性变动,在普遍低于国际技术水平状况下,伴随着经济社会的进一步发展,也具有较大的减排潜力。

综上所述,从不同收入国家各因素对于碳排放变动的影响来看,除了经济发展及其他因素导致的碳排放自身影响外,高收入国家碳排放变动的主导因素为结构因素,中高等和中低等收入国家为技术因素。造成此现象的根本原因在于国家经济社会发展阶段的不同,高收入国家已经可以在不影响经济发展的前提下通过结构调整来促进碳减排,其背后有较为强大的技术和经济支撑,低碳技术的运用又反过来促进了绿色经济发展,逐渐形成良性循环;中等收入国家绝大部分正处于经济发展的快速阶段,由于发展模式的限制,导致其结构因素较为固定,在成本约束下短期内无法进行较大规模的结构变动,然而其技术进步的空间较大,无论是通过国际协议引入先进技术,还是在经济发展同时加大科技研究投入,在其他具有潜在减排措施尚未推广情况下,节能减排技术和能源利用效率的提高无疑将有效实现碳排放总量的相对减排,随着技术、结构协同优化提升,最终实现碳排放总量的绝对减排。

4.2.2 不同因素对碳排放的驱动程度分析

技术因素的影响包括碳排放强度和能源强度,代表着低碳技术和能源利用技术变化对碳排放的驱动程度;结构因素的影响包括可再生能源占比和工业化率,代表着能源结构和产业结构调整对碳排放的驱动程度。表4显示,高收入国家技术和结构因素对碳排放变动的贡献度主要集中在20%~40%,其中技术因素的贡献度主要集中在10%~20%,平均贡献度为13.98%,结构因素的贡献度主要集中在20%~30%,平均贡献度为22.17%;中高等收入国家强度和结构因素对碳排放变动的贡献度主要集中在10%~40%,其中技术因素的贡献度主要集中在

表4 碳排放变动贡献度

Table 4 Contribution of changes in carbon emissions

(%)

	碳排放量		技术因素		结构因素	
	分布区间	平均值	分布区间	平均值	分布区间	平均值
高收入国家	60~80	66.25	10~20	13.98	20~30	22.17
中高等收入国家	60~90	71.55	10~30	21.41	0~10	10.45
中低等收入国家	50~70	60.14	20~30	25.60	10~20	14.26

2018年11月

10%~30%,平均贡献度为21.41%,结构因素的贡献度主要集中在0%~10%,平均贡献度为10.45%;中低等收入国家技术和结构因素对碳排放变动的贡献度主要集中在30%~50%,其中技术因素的贡献度主要集中在20%~30%,平均贡献度为25.60%,结构因素的贡献度主要集中在10%~20%,平均贡献度为14.26%。总体来看,技术因素对碳排放变动贡献度由小到大依次为高收入国家、中高等收入国家、中低等收入国家,结构因素对碳排放变动贡献度由小到大依次为中高等收入国家、中低等收入国家、高收入国家。

5 结论与建议

5.1 结论

本文选取全球碳排放量1亿t以上的34个不同收入国家,在验证时间序列平稳性和协整性的前提下,通过利用脉冲响应和方差分解探究各个国家1990—2014年间碳排放强度、能源强度、可再生能源占比及工业化率对碳排放变动的驱动效应,结论如下:

(1)高收入国家碳排放强度、能源强度、可再生能源占比和工业化率因素皆有促进碳减排的作用,而中高等收入国家和中低等收入国家具有相似性,工业化率绝大部分对碳排放具有促进作用;可再生能源具有明显减排效果,除了OPEC国家由于可再生能源消费占比极低,碳减排效果不显著;碳排放强度和能源强度对碳排放的影响效果不一,在有些国家起到了碳减排作用,而在有些国家并未起到碳减排作用,主要考虑发展过程中是否加强对技术环境的改善与能源利用效率的提升。

(2)由经济社会发展导致的碳排放自身对碳排放变动贡献度由小到大依次为中低等收入国家、高收入国家、中高等收入国家,强度因素对碳排放变动贡献度由小到大依次为高收入国家、中高等收入国家、中低等收入国家,结构因素对碳排放变动贡献度由小到大依次为中高等收入国家、中低等收入国家、高收入国家。

(3)高收入国家中有7个国家碳排放变动的贡献度受工业化率主导,平均贡献度为14.71%,3个国家受可再生能源占比主导,平均贡献度为12.97%,除了波兰以外,贡献度最小的集中体现在了碳排放

强度或者能源强度,平均贡献度分别为2.74%与3.00%。中高等收入国家中有7个国家的碳排放变动的贡献度受到碳排放强度的主导,平均贡献度为13.77%,7个国家受到能源强度的主导,平均贡献度为14.50%,除了委内瑞拉之外,贡献度最小的集中在可再生能源占比和工业化率,平均贡献度分别为2.82%和3.01%。中低等收入国家中有6个国家碳排放变动的贡献度受碳排放强度主导,平均贡献度为15.83%,除了越南以外,贡献度最小的因素也集中在了可再生能源占比和工业化率,平均贡献度分别为2.99%与3.91%。

5.2 建议

(1)推动低碳技术变革,有效提升能源利用效率。34个国家的研究结果表明,中等收入国家群体的技术变革对碳减排贡献度高于结构调整,达到了20%以上,可以发展促进煤、油等清洁利用等减碳技术,其重点在于快速发展经济同时降低当前能耗和碳排放,从量的层面实现减排;而高收入国家由于低碳技术及能源利用水平已经相对发达,其重点在于低碳技术的进一步研发以及在全球范围内提供必要的技术支持,从质的层面实现突破。

(2)加快产业结构调整,合理优化第二产业布局。结果表明,多数高收入国家产业结构调整对碳减排具有14.74%的较高贡献度,基于此,高收入国家在提高第三产业发展质量的同时,也要在产业转移过程中考虑承接国家的生态环境状况;中等收入国家产业结构调整对碳减排贡献度较小,只有3%左右,所以要在保障经济平稳发展的同时合理调整产业结构,逐渐淘汰高耗能、高排放、低附加值的行业企业。

(3)优化能源消费结构,加快提升可再生能源占比。研究表明,高收入国家能源结构调整对碳减排具有12.97%的较高贡献度,而以化石能源为主的中等收入国家贡献度不到3%。基于此,中等收入国家在保障能源安全的前提下降低煤炭消费比重,提升油气消费占比,并逐步降低化石能源消费总量,因地制宜发展适合本地区的可再生能源;高收入国家应进一步提高可再生能源利用率,以技术创新推动能源转型进程。

参考文献(References):

- [1] 联合国. 联合国气候变化框架公约[R]. 里约热内卢: 联合国环境与发展大会, 1992. [United Nations. United Nations Framework Convention on Climate Change [R]. Rio de Janeiro: United Nations Conference on Environment and Development, 1992.]
- [2] 联合国. 《联合国气候变化框架公约》京都议定书[EB/OL]. (1997-12-11)[2018-03-02]. <https://baike.baidu.com/item/《联合国气候变化框架公约》京都议定书/22283205?fr=aladdin>. [United Nations. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change[EB/OL]. (1997-12-11)[2018-03-02]. <https://baike.baidu.com/item/《联合国气候变化框架公约》京都议定书/22283205?fr=aladdin>.]
- [3] 黄宏纯. 巴黎气候大会开启气候治理新时代[J]. 生态经济, 2016, 32(2): 2-5. [Huang H C. The Paris Climate Conference opens a new era of climate governance [J]. *Eco-Economy*, 2016, 32(2): 2-5.]
- [4] Karmellos M, Kopidou D, Diakoulaki D. A decomposition analysis of the driving factors of CO₂ (Carbon dioxide) emissions from the power sector in the European Union countries[J]. *Energy*, 2016, 94(9): 680-692.
- [5] 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.]
- [6] 梁大鹏, 刘天森, 李一军. 基于LMDI模型的金砖五国二氧化碳排放成本及其影响因素比较研究[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2319-2329. [Liang D P, Liu T S, Li Y J. Comparative study of BRICS' CO₂ emission cost and its influential factors based on LMDI model [J]. *Resources Science*, 2015, 37(12): 2319-2329.]
- [7] Wei J, Huang K, Yang S, *et al.* Driving forces analysis of energy-related carbon dioxide (CO₂) emissions in Beijing: an input-output structural decomposition analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 163(10): 58-68.
- [8] 孙艳芝, 沈镭, 钟帅, 等. 中国碳排放变化的驱动力效应分析[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2265-2274. [Sun Y Z, Shen L, Zhong S, *et al.* Driving force analysis of carbon emission changes in China [J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2265-2274.]
- [9] 原嫒, 席强敏, 孙铁山, 等. 产业结构对区域碳排放的影响-基于多国数据的实证分析[J]. 地理研究, 2016, 35(1): 82-94. [Yuan Y, Xi Q M, Sun T S, *et al.* The impact of the industrial structure on regional carbon emissions-empirical evidence across countries [J]. *Geographical Research*, 2016, 35(1): 82-94.]
- [10] Wang M, Feng C. Decomposition of energy-related CO₂ emissions in China: an empirical analysis based on provincial panel data of three sectors[J]. *Applied Energy*, 2017, 190: 772-787.
- [11] Shuai C, Shen L, Jiao L, *et al.* Identifying key impact factors on carbon emission: evidences from panel and time-series data of 125 countries from 1990 to 2011[J]. *Applied Energy*, 2017, 187: 310-325.
- [12] Wang C, Wang F, Zhang X, *et al.* Examining the driving factors of energy related carbon emissions using the extended STIRPAT model based on IPAT identity in Xinjiang[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2017, 67: 51-61.
- [13] Wang S, Fang C, Wang Y. Spatiotemporal variations of energy-related CO₂ emissions in China and its influencing factors: an empirical analysis based on provincial panel data[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2016, 55: 505-515.
- [14] 蒋青燮, 韩兆洲. 面板半参数空间自回归模型的变量选择-基于STIRPAT模型的碳排放影响因素分析[J]. 数理统计与管理, 2017, 36(5): 821-832. [Jiang Q S, Han Z Z. The variable selection for panel semiparametric spatial autoregressive model-the analysis for carbon emissions based on STIRPAT model[J]. *Mathematical Statistics and Management*, 2017, 36(5): 821-832.]
- [15] 王泳璇, 王宪恩, 史记, 等. 典型国家特定碳排放阶段影响因素研究[J]. 资源科学, 2013, 35(10): 1945-1952. [Wang Y X, Wang X E, Shi J, *et al.* Impact factors in the specific stage of carbon emissions of typical countries[J]. *Resources Science*, 2013, 35(10): 1945-1952.]
- [16] 顾阿伦, 何崇恺, 吕志强. 基于LMDI方法分析中国产业结构变动对碳排放的影响[J]. 资源科学, 2016, 38(10): 1861-1870. [Gu A L, He C K, Lu Z Q. Industrial structure changes impacts on carbon emissions in China based on LMDI method[J]. *Resources Science*, 2016, 38(10): 1861-1870.]
- [17] 董锋, 杨庆亮, 龙如银, 等. 中国碳排放分解与动态模拟[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(4): 1-8. [Dong F, Yang Q L, Long R Y, *et al.* Factor decomposition and dynamic simulation of China's carbon emissions[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(4): 1-8.]
- [18] 郭朝先. 中国二氧化碳排放增长因素分析-基于SDA分解技术[J]. 中国工业经济, 2010, (12): 47-56. [Guo C X. An analysis of the increase of CO₂ emission in China-based on SDA technique [J]. *China Industrial Economics*, 2010, (12): 47-56.]
- [19] 刘广为, 赵涛. 中国碳排放强度影响因素的动态效应分析[J]. 资源科学, 2012, 34(11): 2106-2114. [Liu G W, Zhao T. Influencing factors and dynamic effect analysis of China's carbon emission intensity[J]. *Resources Science*, 2012, 34(11): 2106-2114.]
- [20] Xu B, Lin B. Carbon dioxide emissions reduction in China's transport sector: a dynamic VAR (vector autoregression) approach[J]. *Energy*, 2015, 83: 486-495.
- [21] World Bank Open Data [EB/OL] (2017-08-15) [2017-12-28]. <https://data.worldbank.org.cn>.
- [22] Mi Z F, Wei Y M, Wang B, *et al.* Socioeconomic impact assessment of China's CO₂ emissions peak prior to 2030[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 142: 2227-2236.
- [23] 王亮, 赵涛. 中国可再生能源消费、经济增长与碳排放的动态关系[J]. 技术经济, 2013, 32(11): 99-104. [Wang L, Zhao T. Dynamic relationship between renewable energy consumption, economic growth and carbon emissions in China [J]. *Technical Economy*, 2013, 32(11): 99-104.]

Study on measurement of carbon-driving effects from technological change and structural adjustment in typical countries from 1990 to 2014

WANG Xianen, DUAN Zhiyuan, WANG Peibo, SONG Junnian, WANG Shuo, DUAN Haiyan

(College of New Energy and Environment, Jilin University, Changchun 130012, China)

Abstract: In the context of global carbon emission reduction, countries with different levels of development, based on the principle of common but differentiated responsibility (CBDR), continue to adopt carbon emission reduction strategies such as technological change and structural adjustment in order to achieve a good fit between pursuing economic development and achieving carbon emission reduction targets. Taking 34 typical countries in the world with different income levels from 1990 to 2014 as an example, this study implemented an impulse response analysis and variance decomposition analysis to explore the driving effect of technological changes characterized by carbon intensity and energy intensity, structural adjustment characterized by proportion of renewable energy and industrialization rate on carbon emissions based on VAR model, in order to provide a reference for the practice of carbon emission reduction in the economic and social development in various countries. The results demonstrated that technological change and structural adjustment in high-income countries all play a major role in promoting carbon emission reduction. The contribution of carbon emission changes is dominated by structural adjustment with an average contribution of 22.71%, while technological changes in upper-middle-income countries and lower-middle-income countries have different effects on the carbon emissions. The vast majority of industrialization rate plays a most important role in promoting carbon emissions. The proportion of renewable energy except for OPEC countries have significant emission reduction effects, of which the contribution of changes in carbon emissions dominated by technological change, with an average contribution of 21.41% and 25.60%, respectively. According to the actual situation of different income countries, this study puts forward relevant countermeasures and suggestions from the aspects of energy structure, industrial structure and technology.

Key words: carbon emissions; technological change; structural adjustment; drive effect