

引用格式:尹伟华,张亚雄,李继峰,等.基于投入产出表的中国八大区域碳排放强度分析[J].资源科学,2017,39(12):2258-2264. [Yin W H, Zhang Y X, Li J F, et al. Decomposition of carbon emission intensity in China's eight regions according to CMRIO [J]. Resources Science, 2017, 39(12): 2258-2264.] DOI: 10.18402/resci.2017.12.05

# 基于投入产出表的中国八大区域碳排放强度分析

尹伟华<sup>1</sup>, 张亚雄<sup>1</sup>, 李继峰<sup>1</sup>, 徐丽萍<sup>2</sup>, 王 玢<sup>2</sup>

(1. 国家信息中心经济预测部, 北京 100045; 2. 北京城市系统工程研究中心, 北京 100089)

**摘要:**随着经济一体化程度不断加深,碳减排问题研究不能不考虑中国区域间经济关联。本文利用最新的区域间投入产出表和结构分解分析对2007—2012年中国区域碳排放强度进行了解析,据此判断中国各区域碳排放强度的变动趋势及影响因素。结果表明:①2007—2012年中国整体和八大区域的碳排放强度均出现了不同程度的下降趋势,其中,中部区域降幅最高,南部沿海区域降幅最低;②中国碳排放强度降幅较大的主要集中在经济发展相对欠发达区域,而碳排放强度降幅较小的主要集中在经济发展相对发达区域,碳排放强度下降具有收敛性;③得益于节能技术进步、自主创新能力提升、产业结构转型等,直接碳排放系数效应、增加值系数效应、中间投入技术结构效应导致中国碳排放强度降低,而最终需求总规模效应则抑制碳排放强度降低;④直接碳排放系数效应对碳排放强度降低的贡献最大,而增加值系数效应、中间投入技术结构效应的贡献却相对较小;⑤中国各区域碳排放强度的影响因素存在一定差异性。未来中国碳减排政策应避免“一刀切”,还要注重区域间横向联合减排,加强节能减排技术研发和产业投入,突破制约产业优化升级的核心技术,减少对高碳产品的依赖。

**关键词:**区域间投入产出表;碳排放强度;结构分解分析;直接碳排放系数效应;增加值系数效应;中间投入产出技术结构效应;最终需求总规模效应;中国

DOI: 10.18402/resci.2017.12.05

## 1 引言

中国作为世界第二大经济国和第一大货物贸易国,其碳排放量已达到世界第一,背负着来自国际社会、公众以及自身可持续发展的多重压力。碳排放已成为中国当前的经济发展中所急需应对的问题。根据统计资料显示,中国能源消费总量已由2000年的14.1亿t ec增加到2015年的40.2亿t 标煤,增长了近2.9倍,并由此导致了碳排放量的快速增长,2015年中国碳排放量高达91.5亿t,约占世界排放总量的27.3%<sup>[1]</sup>。面对当前严峻的碳排放形势,中国政府积极推进节能减排工作,并根据中国国情、发展阶段、可持续发展战略和国际责任,主动承诺碳排在2030年左右达到峰值、碳排放强度比

2005年下降60%~65%,非化石能源占一次能源消费比重达到20%左右。那么,中国各区域碳排放强度和差异究竟如何?哪些因素影响中国各区域碳排放强度的差异变化趋势等?这些问题都是实现碳排放承诺必须要回答和解决的。

在全球应对气候变化的大背景下,碳排放已成为全球共同面临的问题,并受到了国内外学者的广泛关注和研究。谭丹等、孙建卫等、李子豪等、杨骞等、刘广为等基于统计学的计量模型方法研究和分析了中国碳排放的变动趋势及其影响因素,据此发现能源强度、产业结构、技术进步、地区生产总值等对碳排放具有显著的影响<sup>[2-6]</sup>。Sánchez-Chóliz等、Haan、Zhang、郭朝先、蒋雪梅等、肖皓等、庄宗明等、

收稿日期:2017-09-07;修订日期:2017-11-05

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(2016YFA0602800);北京市财政专项项目(PXM 2016\_178215\_000014);国家自然科学基金面上项目(71573062)。

作者简介:尹伟华,男,安徽合肥人,博士,助理研究员,研究方向为能源经济、全球价值链分析,R&D效率评价。

E-mail: yinwh@mx.cei.gov.cn

2017年12月

谭娟等利用投入产出模型测算碳排放,并在此基础上运用结构分解方法(SDA)进一步分析了影响碳排放变化的相关因素<sup>[7-14]</sup>。此外,庞军等、韦韬等从生产侧与消费侧角度研究了对外贸易中的隐含碳排放,发现中国生产侧碳排放增加显著高于消费侧,而发达国家消费侧碳排放增加明显高于生产侧<sup>[15]</sup>。综观上述文献,主要是基于计量模型分析方法或投入产出模型分析方法研究碳排放问题,进而分析出相应的碳排放变动趋势和影响因素等。计量模型分析方法虽然简单直观且灵活性强,但由于指标选取的差异往往导致研究结论不尽相同,同时计量模型分析方法也难以反映出区域间的经济联系影响。投入产出模型分析方法由于系统、全面地刻画了区域间的经济联系,考虑了区域间的产业结构和技术差异,在分析区域经济联系影响有着计量模型分析无法比拟的优势,因而成为目前区域碳排放研究的有力工具。然而,由于受制于投入产出数据的及时性和可得性,一些文献要么是投入产出表数据过于陈旧,无法反映国际金融危机大背景下引发的当前区域间经济联系和结构变化,要么是利用单国的投入产出数据或国际投入产出数据,难以辨别区域内部差异等。特别地,中国经济发展不平衡性,导致各区域碳排放存在较大的差异,同时,中国经济发展关联性,也导致各区域间存在碳关联。基于此背景下,本文利用最新发布的中国区域间投入产出表,通过构建相应的投入产出模型,据此试图较准确地对中国区域碳排放强度进行解析,以期为现有文献提供有益的补充。

## 2 研究方法和数据来源

### 2.1 研究方法

区域间投入产出模型(MRIO, Multiregional Input-Output Model)能够系统、全面地反映各区域之间和部门之间的经济联系,比较不同区域之间的产业结构和技术差异,因此被广泛应用于区域间的碳排放问题研究。根据MRIO模型中行平衡关系,可以测算出区域 $s$ 由最终需求诱发产生的增加值 $VA^s$ 计算方法如下:

$$VA^s = V^s \times (I - A)^{-1} \times F^s = V^s \times B \times F^s \quad (1)$$

式中 $V^s$ 为区域 $s$ 的增加值系数矩阵; $F^s$ 为区域 $s$ 提

供的最终使用矩阵; $B = (I - A)^{-1}$ 为完全消耗系数矩阵。

类似地,区域 $s$ 由最终需求所导致的碳排放量 $CA^s$ 计算公式如下:

$$CA^s = C^s \times (I - A)^{-1} \times F^s = C^s \times B \times F^s \quad (2)$$

式中 $C^s$ 为区域 $s$ 各产业部门的直接碳排放系数矩阵。

基于此,可以构建出区域 $s$ 的碳排放强度 $VC^s$ ,计算公式如下:

$$VC^s = VA^s / CA^s = V^s \times B \times F^s / C^s \times B \times F^s \quad (3)$$

结构分解分析方法(SDA)能够将某个因变量在不同时间或空间的变动分解为相关自变量变动之和,以此考察该因变量的影响因素。在碳排放强度测算的基础上,利用SDA可以将碳排放强度分解为直接碳排放系数效应( $VC\_C$ )、增加值系数效应( $VC\_V$ )、中间投入技术结构效应( $VC\_B$ )、最终需求总规模效应( $VC\_F$ )4个影响因素。若以1和0分别表示报告期和基期2个时间点,则区域 $s$ 碳排放强度的变动可以分解为:

$$\begin{aligned} \Delta VC &= VC^1 - VC^0 \\ &= \frac{C^1 \times B^1 \times F^1}{V^1 \times B^1 \times F^1} - \frac{C^0 \times B^0 \times F^0}{V^0 \times B^0 \times F^0} \\ &= \{VC\_C^{(0)}\} + \{VC\_V^{(0)}\} \\ &\quad + \{VC\_B^{(0)}\} + \{VC\_F^{(0)}\} \\ &= \left( \frac{C^1 \times B^1 \times F^1}{V^1 \times B^1 \times F^1} - \frac{C^0 \times B^1 \times F^1}{V^1 \times B^1 \times F^1} \right) \\ &\quad + \left( \frac{C^0 \times B^1 \times F^1}{V^1 \times B^1 \times F^1} - \frac{C^0 \times B^1 \times F^1}{V^0 \times B^1 \times F^1} \right) \\ &\quad + \left( \frac{C^0 \times B^1 \times F^1}{V^0 \times B^1 \times F^1} - \frac{C^0 \times B^0 \times F^1}{V^0 \times B^0 \times F^1} \right) \\ &\quad + \left( \frac{C^0 \times B^0 \times F^1}{V^0 \times B^0 \times F^1} - \frac{C^0 \times B^0 \times F^0}{V^0 \times B^0 \times F^0} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

式中 $V^1$ 为区域 $s$ 报告期的增加值系数矩阵; $V^0$ 为区域 $s$ 基期的增加值系数矩阵; $B^1$ 为报告期的完全消耗系数矩阵; $B^0$ 为基期的完全消耗系数矩阵; $F^1$ 为区域 $s$ 报告期的最终使用矩阵; $F^0$ 为区域 $s$ 基期的最终使用矩阵。

类似地,区域 $s$ 碳排放强度的变动还有另一种分解方式:

$$\begin{aligned}
\Delta VC &= VC^1 - VC^0 \\
&= \frac{C^1 \times B^1 \times F^1}{V^1 \times B^1 \times F^1} - \frac{C^0 \times B^0 \times F^0}{V^0 \times B^0 \times F^0} \\
&= \{VC\_C^{(1)}\} + \{VC\_V^{(1)}\} \\
&\quad + \{VC\_B^{(1)}\} + \{VC\_F^{(1)}\} \\
&= \left( \frac{C^1 \times B^0 \times F^0}{V^0 \times B^0 \times F^0} - \frac{C^0 \times B^0 \times F^0}{C^0 \times B^0 \times F^0} \right) \\
&\quad + \left( \frac{C^1 \times B^0 \times F^0}{V^1 \times B^0 \times F^0} - \frac{C^1 \times B^0 \times F^0}{C^0 \times B^0 \times F^0} \right) \\
&\quad + \left( \frac{C^1 \times B^1 \times F^0}{V^1 \times B^1 \times F^0} - \frac{C^1 \times B^0 \times F^0}{C^1 \times B^0 \times F^0} \right) \\
&\quad + \left( \frac{C^1 \times B^1 \times F^1}{V^1 \times B^1 \times F^1} - \frac{C^1 \times B^1 \times F^0}{C^1 \times B^1 \times F^0} \right)
\end{aligned} \quad (5)$$

由于SDA的结果存在“不唯一问题”,参照相关研究本文采用两极分解法并取上述两种分解形式的加权平均,作为各种影响因素的贡献测度。基于此:

$$VC\_C = \frac{1}{2} \{VC\_C^{(1)} + VC\_C^{(0)}\} \quad (6)$$

$$VC\_V = \frac{1}{2} \{VC\_V^{(1)} + VC\_V^{(0)}\} \quad (7)$$

$$VC\_B = \frac{1}{2} \{VC\_B^{(1)} + VC\_B^{(0)}\} \quad (8)$$

$$VC\_F = \frac{1}{2} \{VC\_F^{(1)} + VC\_F^{(0)}\} \quad (9)$$

## 2.2 数据来源

由于宏观数据限制,最新编制的中国区域间投入产出表(MRIO)为2012年。本文采用国家信息中心编制的2002年、2007年、2012年中国区域间投入产出表(CMRIO)。CMRIO共分为8个区域和17个产业部门。具体来说,8个区域分别为:东北地区(黑龙江、吉林、辽宁)、京津地区(北京、天津)、北部沿海(河北、山东)、东部沿海(上海、江苏、浙江)、南部沿海(福建、广东、海南)、中部地区(山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西)、西北地区(内蒙古、陕西、宁夏、甘肃、青海、新疆)、西南地区(四川、重庆、广西、云南、贵州、西藏)。17个产业部门分别为:农林牧渔业、采选业、食品制造及烟草加工业、纺织服装业、木材加工及家具制造业、造纸印刷及文教体育用品制造业、石化工业、非金属矿物制品业、金属冶炼及制品业、机械工业、交通运输设备制造业、电子电气设备制造业、其他制造业、电力煤气及水生产和供应业、建筑业、货物运输及仓储业、其他服务业。此外,各区域产业部门的碳排放系数主要参考

刘红光等<sup>[17,18]</sup>、王向阳等<sup>[19]</sup>研究,根据《中国能源统计年鉴》<sup>[20]</sup>和CMRIO整理出8个区域各产业部门能源分品种消费量、碳排放系数、总产出并计算出相应的直接碳排放系数。

需要说明的是,由于数据获取困难,本次研究不包括香港、台湾和澳门。

## 3 结果及分析

### 3.1 中国区域碳排放强度分析

首先根据中国区域间投入产出表和结构分解模型,测算出2007—2012年中国各区域碳排放强度及变动趋势,并据此解析影响中国区域碳排放强度的影响因素。2007年、2012年中国8个区域的碳排放强度如表1所示。

由表1可知,2007—2012年中国整体和8个区域的碳排放强度均出现了不同程度的下降趋势。总体来说,2007年、2012年中国的碳排放强度分别为3.1050 t/万元和2.2331 t/万元,期间下降了0.8719 t/万元。其中,中部区域的碳排放强度下降的幅度最高,2007年、2012年碳排放强度分别为4.1179 t/万元和2.5207 t/万元,期间下降了1.5972 t/万元;其次为西南区域和东北区域,期间分别下降了1.3192 t/万元和1.1125 t/万元。碳排放强度下降幅度较低的分别是南部沿海区域、京津区域、东部沿海区域,2007年和2012年的碳排放强度分别为1.8230 t/万元、1.3994 t/万元、2.1280 t/万元和1.2163 t/万元、0.7732 t/万元、1.4535 t/万元,期间分别下降了0.6066 t/万元、0.6262 t/万元、0.6744 t/万元。可以看出,中国碳排放下降幅度较大的主要集中在经济

表1 2007—2012年中国8大区域碳排放强度及变化量

区域	from 2007 to 2012		(t/万元)
	2007年	2012年	
东北区域	3.943 2	2.830 8	-1.112 5
京津区域	1.399 4	0.773 2	-0.626 2
北部沿海区域	3.750 9	2.777 5	-0.973 4
东部沿海区域	2.128 0	1.453 5	-0.674 4
南部沿海区域	1.823 0	1.216 3	-0.606 6
中部区域	4.117 9	2.520 7	-1.597 2
西北区域	5.495 0	4.736 6	-0.758 4
西南区域	3.616 4	2.297 3	-1.319 2
全国	3.105 0	2.233 1	-0.871 9

注:  $\Delta VC$  = 2012年碳排放强度 - 2007年碳排放强度。



2017年12月

发展相对欠发达区域,而碳排放强度下降幅度较小的主要集中在经济发展相对发达区域,这些意味着相对发达区域的碳排放强度下降幅度要明显慢于欠发达区域。同时,根据非参数相关系数检验,2007年初始碳排放强度与其变化量的Spearman's rho相关系数分别为-0.683,且在5%的显著性水平通过检验,这表明中国区域的碳排放强度下降具有一定的收敛性,即初始碳排放强度高的区域下降的幅度也相对较高<sup>1)</sup>。

### 3.2 中国区域碳排放强度变化的结构分解分析

根据结构分解模型,可将中国区域碳排放强度变动的影响因素分解为碳排放系数效应、增加值系数效应、中间投入技术结构效应、最终需求规模效应四类,如果效应值为正则表明该影响因素抑制碳排放强度的降低,与此相反则促进碳排放强度的降低。具体因素分解结果如表2所示。

由表2可知,2007—2012年中国整体的碳排放强度降低主要是由直接碳排放系数效应、增加值系数效应、中间投入技术结构效应共同作用的结果。具体来说,报告期内,直接碳排放系数效应对碳排放强度降低的贡献是最大的,其效应值高达-0.9955 t/万元,这主要是受益于节能减排政策的有效实施和节能减排技术的研发,积极推动了中国节能技术

的快速进步,进而促进了碳减排强度的大幅下降。增加值系数效应对碳排放强度降低的贡献相对较小,其效应值为-0.0433 t/万元,这主要是因为一方面由于中国坚持把加强自主创新和技术进步作为关键环节,努力突破制约产业优化升级的关键核心技术,促进由价值链低端向高端跃升,另一方面国际金融危机后,反全球化和贸易保护主义抬头,一些区域甚至推行“再工业化”、“制造业回流”等政策,严重破坏全球价值链的分工和合作,进而使得增加值系数提升抑制了碳排放强度的降低<sup>[21,22]</sup>。中间投入技术结构效应对碳排放强度降低的贡献相对最小,其效应值为-0.0273 t/万元,这主要是由于中国正处于结构转型期,中间投入品中减少了对资源性或高碳性产品的依赖,使其对碳排放强度的上升起到了抑制作用<sup>[12]</sup>。与此相反,最终需求总规模效应对碳排放强度的影响为正,促进了碳排放强度的上升,其效应值为0.1942 t/万元,这主要是由于最终需求总规模越来越大的原因。

中国各区域碳排放强度的影响因素存在一定的差异。报告期内,直接碳排放系数效应对中国各区域碳排放强度影响都是最大的,显著促进了碳排放强度的降低。其中,中部区域、西南区域、西北区域、北部沿海区域的直接碳排放系数效应相对较

表2 2007—2012年中国8个区域碳排放强度结构分解效应

Table 2 Structure decomposition of carbon emission intensity in China's 8 regions

区域	from 2007 to 2012				
	$\Delta VC$	$\Delta VC_C$	$\Delta VC_V$	$\Delta VC_B$	$\Delta VC_F$
东北区域	-1.112 5	-0.762 8	0.010 6	0.015 8	-0.376 1
京津区域	-0.626 2	-0.668 4	-0.005 3	-0.066 5	0.114 1
北部沿海区域	-0.973 4	-1.146 9	-0.106 8	0.110 8	0.169 5
东部沿海区域	-0.674 4	-0.542 3	-0.041 9	-0.181 0	0.090 8
南部沿海区域	-0.606 6	-0.365 5	0.023 3	-0.383 3	0.118 8
中部区域	-1.597 2	-1.756 4	-0.060 7	0.068 3	0.151 6
西北区域	-0.758 4	-1.186 9	0.074 5	-0.030 3	0.384 2
西南区域	-1.319 2	-1.552 7	-0.183 0	0.274 7	0.141 9
全国	-0.871 9	-0.995 5	-0.043 3	-0.027 3	0.194 2

注:  $\Delta VC$  = 2012年碳排放强度 - 2007年碳排放强度;  $\Delta VC_C$  表示直接碳排放系数效应;  $\Delta VC_V$  表示增加值系数效应;  $\Delta VC_B$  表示中间投入技术结构效应;  $\Delta VC_F$  表示最终需求总规模效应。

1) Spearman's rho相关系数是测定两变量相关程度的重要指标,计算公式为  $R = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$ , 式中  $d_i$  为两变量相应秩的差;  $n$  为样本容量。 $R$  取值范围在 $[-1, 1]$ 之间,  $R > 0$ 表示正相关,  $R < 0$ 表示负相关,  $|R|$ 越接近1表示两变量相关程度越高。

大,其效应值分别为-1.7564 t/万元、-1.5527 t/万元、-1.1869 t/万元、-1.1469 t/万元,而南部沿海区域、东部沿海区域、京津区域、东部区域的直接碳排放系数效应相对较小,其效应值分别为-0.3655 t/万元、-0.5423 t/万元、-0.6684 t/万元、-0.7628 t/万元。增加值系数效应、中间投入技术结构效应表现不一,且影响程度也相对较小。其中,京津区域、北部沿海区域、东部沿海区域、中部区域、西南区域的增加值系数促进了碳排放强度的降低,其效应值分别为-0.0053 t/万元、-0.1068 t/万元、-0.0419 t/万元、-0.0607 t/万元、-0.1830 t/万元,而东北区域、南部沿海区域、西北区域的增加值系数抑制了碳排放强度的降低,其效应值分别为0.0106 t/万元、0.0233 t/万元、0.0745 t/万元;京津区域、东部沿海区域、南部沿海区域、西北区域的中间投入技术结构效应促进了碳排放强度降低,其效应值分别为-0.0665 t/万元、-0.1810 t/万元、-0.3833 t/万元、-0.0303 t/万元,而东部区域、北部沿海区域、中部区域、西南区域的中间投入技术结构效应抑制了碳排放强度降低,其效应值分别为0.0158 t/万元、0.1108 t/万元、0.0683 t/万元、0.2747 t/万元。最终需求总规模除了东北区域的效应为负外,其余各区域的最终需求总规模效应都为正,即这些区域的最终需求规模的变动抑制了碳排放强度的降低。东北区域的最终需求总规模效应为负,这是与当前东北区域经济增长速度和经济效益出现明显下降的事实是相一致的。

## 4 结论和建议

### 4.1 结论

本文利用最新发布的中国区域间投入产出表(CMRIO)和结构分解分析(SDA),对2007—2012年中国区域碳排放强度进行了解析,并据此判断中国碳排放强度的变动趋势和影响因素。研究结果表明:

(1)2007—2012年中国整体和8个区域的碳排放强度均出现了不同程度的下降趋势。其中,中部区域的碳排放强度下降的幅度最高,期间下降了1.5972 t/万元;南部沿海区域的碳排放强度下降的幅度最低,期间下降了0.6066 t/万元。

(2)中国碳排放下降幅度较大的地区主要集中在经济相对欠发达区域,而碳排放强度下降幅度较

小的地区主要集中在经济相对发达区域。同时,中国区域的碳排放强度下降具有一定的收敛性,即初始碳排放强度高的区域下降的幅度也相对较高。

(3)中国碳排放强度降低主要是由直接碳排放系数效应、增加值系数效应、中间投入技术结构效应共同作用的结果。其中,直接碳排放系数效应对碳排放强度降低的贡献是最大的,其效应值高达-0.9955 t/万元,这主要是受益于节能减排政策的有效实施和节能减排技术的研发,积极推动了中国节能较技术的快速进步,进而促进了碳减排强度的大幅下降。

(5)增加值系数效应、中间投入技术结构效应对碳排放强度降低的贡献相对较小,其效应值分别为-0.0433 t/万元、-0.0273 t/万元,这主要是由于中国正处于结构转型期,始终坚持把加强自主创新和技术进步作为关键环节,努力突破制约产业优化升级的关键核心技术,中间投入品中减少了对资源性或高碳性产品的依赖等,进而使其对碳排放强度的上升起到了抑制作用。

(6)最终需求总规模效应对碳排放强度的影响为正,促进了碳排放强度的上升,其效应值为0.1942 t/万元,这主要是由于最终需求总规模越来越大的原因。

(7)中国各区域碳排放强度的影响因素存在一定的差异。直接碳排放系数效应对中国各区域碳排放强度影响都是最大的,显著促进了碳排放强度的降低。增加值系数效应、中间投入技术结构效应表现不一,且影响程度也相对较小。最终需求总规模效益除了东部区域为负影响,促进了碳排放强度的降低外,其余各区域的最终需求总规模效应都是抑制了碳排放的降低。东北区域的最终需求总规模效应为正,这是与当前东北区域经济增长速度和经济效益出现明显下降的事实相一致的。

### 4.2 建议

上述结论为国家制定减排的相关政策提供了一定的借鉴。现有的碳减排政策纵向层次明显,主要是将碳减排任务从国家分解至地方,然而由于各区域间经济发展存在密切关联性,碳减排政策更应该注重区域间横向联合减排,避免产生不合理碳转移、碳泄漏等现象,进而影响全国整体的碳减排效

2017年12月

果。同时,要攻克制约产业优化升级的核心技术,加强节能减排技术的研发和推广,减少中间投入中高碳性或资源性产品的依赖,进而对碳排放强度的上升起到抑制作用。

## 参考文献(References):

- [1] 英国石油公司. BP世界能源统计年鉴[EB/OL]. (2016-09-05) [2017-11-01]. [https://www. bp. com/zh\\_cn/china/reports- and- publications/ bp\\_2016](https://www.bp.com/zh_cn/china/reports-and-publications/bp_2016). [BP. BP World Energy Statistics Yearbook 2016 [EB/OL]. (2016-09-05) [2017-11-01]. [https://www. bp. com /zh\\_cn/china/reports-and-publications/bp\\_2016](https://www.bp.com/zh_cn/china/reports-and-publications/bp_2016).]
- [2] 谭丹,黄贤金. 我国东、中、西部地区经济发展与碳排放的关联分析及比较[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(3): 54-57. [Tan D, Huang X J. Correlation analysis and comparison of the economic development and carbon emissions in the Eastern, Central and Western part of China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2008, 18(3): 54-57.]
- [3] 孙建卫,赵荣钦,黄贤金,等. 1995-2005中国碳排放核算及其因素分解研究[J]. 自然科学学报, 2010, 25(8): 1284-1295. [Sun J W, Zhao R Q, Huang X J, *et al*. Research on carbon emission estimation and factor decomposition of China from 1995 to 2005[J]. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(8): 1284-1295.]
- [4] 李子豪,刘辉煌. 外商直接投资、技术进步和二氧化碳排放-基于中国省际数据的研究[J]. 科学学研究, 2011, 29(10): 1495-1503. [Li Z H, Liu H H. FDI, technology progress and emission of CO<sub>2</sub>: evidence from Chinese provincial data[J]. *Studies in Science of Science*, 2011, 29(10): 1495-1503.]
- [5] 杨骞,刘华军. 中国二氧化碳排放的区域差异及影响因素[J]. 数量经济技术经济研究, 2012, (5): 36-49. [Yang Q, Liu H J. Regional difference decomposition and influence factors of China's carbon dioxide emissions[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2012, (5): 36-49.]
- [6] 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 W G, Zhao T. Influencing factors and dynamic effect analysis of China's carbon emission intensity[J]. *Resources Science*, 2012, 34(11): 2106-2114.]
- [7] Sánchez-Chóliz J, Duarte R. CO<sub>2</sub> emissions embodied in international trade: evidence for Spain[J]. *Energy Policy*, 2004, 32(18): 1999-2005.
- [8] Haan M D. A structural decomposition analysis of pollution in the Netherlands[J]. *Economic Systems Research*, 2001, 13(2): 181-196.
- [9] Zhang Y. Structural decomposition analysis of sources of decarbonizing economic development in China: 1992-2006[J]. *Eco-logical Economics*, 2009, 68(8): 2399-2405.
- [10] 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 CO<sub>2</sub> emission in China-based on SDA technique[J]. *China Industrial Economics*, 2010, (12): 47-56.]
- [11] 蒋雪梅,刘轶芳. 全球贸易隐含碳排放格局的变动及其影响因素[J]. 统计研究, 2013, 30(9): 29-36. [Jiang X M, Liu Y F. Research on the pattern change of carbon emission embodied in international trade and its determinants[J]. *Statistical Research*, 2013, 30(9): 29-36.]
- [12] 肖皓,杨佳衡,蒋雪梅. 最终需求的完全碳排放强度变动及其影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(10): 48-56. [Xiao H, Yang J H, Jiang X M. Analysis of change of complete carbon intensity and its determinants from the perspective of final demand[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(10): 48-56.]
- [13] 庄宗明,卫瑞. 中国碳排放变动趋势及其影响因素-基于(进口)非竞争型投入产出表的分析[J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2014, (5): 107-116. [Zhuang Z M, Wei R. China's carbon emission trend and its influential factors: an analysis based on non- competitive (import) input- output tables[J]. *Journal of Xiamen University (Arts & Social Sciences)*, 2014, (5): 107-116.]
- [14] 谭娟,陈鸣. 基于多区域投入产出模型的中欧贸易隐含碳测算及分析[J]. 经济学家, 2015, (2): 72-81. [Tan J, Chen M. Analysis of carbon emission embodied in China- EU trade: Based on multi-region input-output model[J]. *Economist*, 2015, (2): 72-81.]
- [15] 庞军,张浚哲. 中欧贸易隐含碳排放及其影响因素-基于MRIO模型和LMDI方法的分析[J]. 国际经贸探索, 2014, 30(11): 51-65. [Pang J, Zhang J Z. Carbon emissions embodied in Sino-EU trade and the influence factors: an analysis based on MRIO and LMDI methods[J]. *International Economics and Trade Research*, 2014, 30(11): 51-65.]
- [16] 韦韬,彭水军. 基于多区域投入产出模型的国际贸易隐含能源及碳排放转移研究[J]. 资源科学, 2017, 39(1): 94-104. [Wei T, Peng S J. Embodied energy and carbon emissions transferred in international trade using a MRIO model[J]. *Resources Science*, 2017, 39(1): 94-104.]
- [17] 刘红光,刘卫东,唐志鹏,等. 中国区域产业结构调整对CO<sub>2</sub>减排效果分析-基于区域间投入产出表的分析[J]. 地域研究与开发, 2010, 29(3): 129-135. [Liu H G, Liu W D, Tang Z P, *et al*. The effect analysis of regional industry structure adjustment for CO<sub>2</sub> emission reduction in China: on the base of inter-regional input-output method[J]. *Areal Research and Development*, 2010, 29(3): 129-135.]



- [18] 刘红光, 范晓梅. 中国区域间隐含碳排放转移[J]. 生态学报, 2014, 34(11): 3016-3024. [Liu H G, Fang X M. CO<sub>2</sub> emission transfer embedded in inter-regional trade in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(11): 3016-3024.]
- [19] 王向阳, 杨五三, 张艳菊. 中国区域间碳排放转移的趋势分析[J]. 辽宁工程技术大学学报(社会科学版), 2016, 18(6): 835-839. [Wang X Y, Yang W S, Zhang Y J. Analysis on China's inter regional transfer of carbon emissions[J]. *Journal of Liaoning Technical University (Social Science Edition)*, 2016, 18(6): 835-839.]
- [20] 中华人民共和国国家统计局. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008-2013. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Energy Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008-2013.]
- [21] 尹伟华. 中国制造业参与全球价值链的程度与地位-基于世界投入产出表的分析[J]. 经济与管理研究, 2015, (8): 12-20. [Yin W H. The levels and ways of participation in global value chain of Chinese manufacturing-based on world input-output tables[J]. *Research on Economics and Management*, 2015, (8): 12-20.]
- [22] 尹伟华. 中日制造业参与全球价值链分工模式及地位分析-基于世界投入产出表[J]. 经济理论与经济管理, 2016, 36(5): 100-112. [Yin W H. The participation mode and position in global value chain of China and Japan's manufacturing industry-based on world input-output tables[J]. *Economic Theory and Business Management*, 2016, 36(5): 100-112.]

## Decomposition of carbon emission intensity in China's eight regions according to CMRIO

YIN Weihua<sup>1</sup>, ZHANG Yaxiong<sup>1</sup>, LI Jifeng<sup>1</sup>, XU Liping<sup>2</sup>, WANG Bin<sup>2</sup>

(1. Economic Forecasting Department, State Information Center, Beijing 100045, China;

2. Beijing Research Center of Urban Systems Engineering, Beijing 100089, China)

**Abstract:** With the development of economic integration, the study of carbon emission reduction should take into account the relationships between regions. We analyzed carbon emission intensity and influence factors for China's eight regions from 2007 to 2012 based on China multi-regional input-output modeling(CMRIO) and structural decomposition analysis (SDA). We found that carbon emission intensity in the eight regions shows a steady downward trend, the central is the highest and the southern coast is the lowest. Carbon emission intensity of developed regions decreased less, while carbon emission intensity of the undeveloped regions decreased more. This means that carbon emission intensity of regions shows convergence. Due to improvements in energy-saving technology, capacity for independent innovation and adjustment of industrial structure, the effect of direct carbon emission coefficient, added value coefficient and intermediate inputs structure lead to a reduction in carbon emission intensity, while the effect of total final demand leads to an increment in carbon intensity. The contribution of the direct carbon emission coefficient to carbon emission intensity is the largest, while the contribution of the added value coefficient and intermediate inputs are lower. There are some differences in factors affecting carbon emission intensity in these regions. Policy should pay attention to the relationship between regions, strengthen carbon-reduction technology and research investment, breakthrough core technology restricting adjustments in industrial structure, and reduce dependence on high-carbon products.

**Key words:** multi-regional input-output model; carbon emission intensity; structural decomposition analysis; direct carbon emission coefficient effect; added value coefficient effect; intermediate input-output structure effect; total final demand effect; China