

# 我国产业结构变动对碳排放强度影响的实证研究

仲伟周<sup>1</sup>, 姜 锋<sup>1</sup>, 万晓丽<sup>2</sup>

(1. 西安交通大学 经济与金融学院, 陕西 西安 710061; 2. 青岛光大银行开发区支行, 山东 青岛 266555)

**[摘 要]**通过建立模型,从横向和纵向两个角度分析了我国产业结构对碳排放强度的影响,实证结果表明:产业结构和能源消费结构对碳排放强度的变动有着较大影响;第二产业在经济结构中所占的比重高或煤炭消费占有较大比重的省区其碳排放强度较高,但通过调整和优化产业结构和能源消费结构可以有效达到降低碳排放强度的目的;第二产业对整个社会的碳排放强度的贡献率较大,其内部结构变化对碳排放强度变化有较大影响。因此,我国碳排放强度研究应该重点放在实行结构节能减排上,从调整产业结构、淘汰产能落后的行业、实施产业转移、改善能源利用结构等方面入手实现全国碳减排的目标。

**[关键词]**产业结构变动;碳排放强度;环境经济学;能源资源;碳减排;产业专业;能源经济学

**[中图分类号]**F062.2 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1672-8750(2015)06-0088-09

## 一、引言

改革开放以来,我国经济取得了快速发展,同时也消耗了大量的能源资源,造成 CO<sub>2</sub> 等温室气体排放量的增加,尤其是化石能源消费的快速增长对生存环境造成很大破坏。由于我国长期以来对第二产业(尤其是重工业)实行倾斜发展政策,加之 20 世纪 90 年代以来,工业化、城市化进程加快,使得能源消费急剧增长,高碳特征的产业结构和能源利用结构对经济社会的可持续发展造成阻碍<sup>[1]</sup>。我国 CO<sub>2</sub> 排放的增长速度一直居世界前列,据国际能源署(IEA)统计,我国在 2012 年的碳排放量达 80 多亿吨,已经超过美国成为全球最大碳排放国<sup>[2]</sup>,因此遭遇的国际压力也日益增大,解决环境问题的紧迫感日益明显。我国在哥本哈根世界气候大会上提出,到 2020 年碳排放强度比 2005 年下降 40%~45% 的目标。在外部压力和内部发展动力的双重作用下,我国亟须推行二氧化碳等温室气体减排。

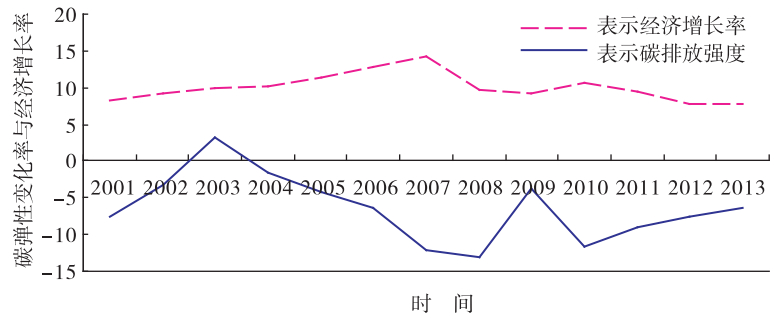
碳排放强度是指单位国内生产总值的 CO<sub>2</sub> 排放量,而 CO<sub>2</sub> 排放量一般用各种能源消费量与其碳排放系数的乘积之和来表示,所以碳排放强度的高低与经济增长水平和能源消费量直接相关。图 1 给出了 2001—2013 年我国经济增长率与碳排放强度变化率的对应关系。从图 1 中我们容易看出,2007 年之前我国经济增长率总体上保持持续上升的趋势,而 2008 年之后,受国际金融危机的影响,我国经济增长率逐步下降。从碳强度来看,2003 年之前,我国碳强度变化是逐步上升的。随着公众对环境污染关注度的提高,政府部门也加大了对二氧化碳排放的治理,并为此出台了一系列政策措施。因此,2003 年之后我国碳排放强度变化开始逐步下降。但是,随着 2008 年全球金融危机的爆发,为了保持经济的稳定增长,我国政府加大了对基础设施、工业部门的投入,这造成我国 2009 年碳

**[收稿日期]**2015-01-24

**[基金项目]**陕西省自然科学基金项目(2014KRM15);西安交通大学基本科研业务费国际合作项目(skzd11018)

**[作者简介]**仲伟周(1968—),男,江苏连云港人,西安交通大学经济与金融学院教授,博士生导师,从事产业经济学、宏观经济政策等研究;姜锋(1960—),男,陕西澄城人,西安交通大学经济与金融学院博士研究生,从事产业经济学、宏观经济政策等研究;万晓丽(1987—),女,山东济南人,硕士,青岛光大银行开发区支行职工,从事金融经济学、宏观经济政策等研究。

排放强度变化有了一个比较大的反弹,虽然2010年我国碳排放强度变化又回落到比较低水平,但是总体上看,随着经济增长压力的日趋增大,使得我国碳排放强度变化又有逐渐反弹的趋势。



## 二、文献综述及理论分析

图1 2001年~2013年我国碳弹性变化率与经济增长率变化图

资料来源:中国统计年鉴2014

碳排放强度直接决定于经济

增长水平和碳排放量,而碳排放受到产业结构变动、能源消费结构和数量、技术进步等各因素的影响,其中产业结构变动对碳排放强度有着根本性的影响,因为各产业对能源的需求量不同,如果能源需求量大的产业在国民经济中占有较大的比重并且上升较快,能源消费和碳排放量就会因此而增加。目前,国内外的许多学者就产业结构变动对能源消费和碳排放的影响做了很多研究。郭朝先运用LMDI分解法定量分析了产业结构变化对碳排放变动的贡献,并预测了2020年之前我国产业结构变化对碳减排的贡献,他认为产业结构的变化驱动了碳排放的增长,但是从长期来看,产业结构的变化将有助于减少二氧化碳排放<sup>[3]</sup>。李健、周慧认为产业结构调整与低碳经济发展是相互联系的,他运用灰色关联分析方法研究了我国三次产业之间的关联性,指出第二产业是影响地区碳排放强度的主要因素,在分析研究的基础上,他还探讨了未来我国产业结构调整对碳减排策略<sup>[4]</sup>。徐成龙、任建兰等运用LMDI分解法定量分析了山东省产业结构调整对碳排放的影响,并预测了产业结构调整对山东省碳排放的贡献,通过定量分析,与此前的产业结构调整与碳排放正相关的观点相反,他认为未来产业结构调整会有助于减少二氧化碳排放<sup>[5]</sup>。韩坚、盛培宏运用回归分析法对我国东部15个省的面板数据进行实证分析,研究了碳强度、碳排放总量、产业结构与技术创新之间的关系,他指出第二产业比重对碳强度与碳排放总量有正的影响,技术创新效率对碳强度与碳排放总量有负的影响,在研究的基础上他还提出了优化产业结构、提升技术创新效率的对策建议<sup>[6]</sup>。李宾、周俊等将我国经济结构分为44个行业,并将国外作为一个独立主体,从而分析了碳排放与产业结构变迁之间的关系,研究指出我国碳减排时应重点关注电力、交通运输、黑色金属冶炼、石油加工等四个行业,认为我国碳排放库茨涅茨曲线的拐点大致出现在2060年左右<sup>[7]</sup>。Jorgenson将产业结构用高级度、合理度、集中度等三个指数加以表示,利用协同思想构建能源管理效率与产业结构之间的耦合度模型,研究指出,能源效率与产业结构分布存在明显的地区差异性,各地方能源管理效率与产业结构耦合度存在明显的不对称性,两者耦合协调度与经济发展水平呈现空间对应性<sup>[8]</sup>。Philippsen运用至强有效前沿的最小距离法测算了中国碳排放效率,并运用空间面板数据模型实证分析了中国碳排放效率的影响因素,认为对外开放、企业所有制结构及政府干预对碳排放效率有正向影响,而产业结构对碳排放效率影响不显著<sup>[9]</sup>。从上述分析可以看出,产业结构与碳排放强度之间的关系还没有结论,产业结构变动对碳排放强度的影响还需要进一步来分析论证。

另外当前的研究主要集中在产业结构与能源结构的联系、能源结构优化与碳减排问题上。我国正处于工业化快速发展过程中,短期内工业的发展还将是引领我国经济稳定发展最重要的因素,而按照世界经济发展规律看,工业的发展都伴随着能源使用量呈几何级增长。同时,无论从我国经济发展阶段来看,还是从各地区发展经济的政策措施看,重工业都将占据十分重要的地位,因此短期内工业发展尤其是重工业发展还将在我国经济发展中扮演重要角色。而工业尤其是重工业发展会消耗大量的化石能源,这必然导致我国二氧化碳减排工作困难重重。从能源结构角度来看,我国是一个“多煤、贫油、少气”的国家,短期内我国

能源供给还将集中在煤炭方面,而煤炭在所有能源中碳排放系数最高,因此这必将导致我国二氧化碳排放量居高不下。随着我国能源供给多元化政策的实施,清洁能源在能源消耗中占比越来越高,这将有助于减少我国二氧化碳排放量。从经济发展的角度来说,我国沿海发达地区第三产业在经济总量中占比不断提高。同时,这些地区有充足的资金、技术储备、产业基础发展清洁能源、新能源,我们认为发达地区的碳强度相对于落后地区而言将更低。因此,我们认为经济发展初期,随着工业化进程的加快能源消耗量、碳排放强度会不断升高,但是从长远来看,经济发展将是解决环境问题,尤其是碳排放问题的最终手段。本研究应用面板数据模型和时间数列模型,分别从横向和纵向两个角度研究产业结构变动对碳排放强度的影响,从而有针对性地提出我国施行碳减排、降低碳排放强度的政策建议。

### 三、变量选择与模型设定

#### (一)变量的选择

大气中 CO<sub>2</sub> 浓度的不断上升是由于人类对化石能源的过度利用造成的,因此减少碳排放就要减少化石能源的消费,这要求人类必须转变已有的依赖碳能源而建立起来的经济体系<sup>[10]</sup>,采用一种新的经济发展方式,产业结构相应的也要随之作调整。由此,本文以我国 30 个省(区)的碳排放强度作为被解释变量,选择反映产业结构的第二产业增加值比重和第三产业增加值比重指标作为重点考虑的解釋变量,建立面板数据模型;在时间序列模型中,以我国碳排放强度作为被解释变量,选择工业占第二产业产值比重和重工业占工业总产值比重作为解释变量(见表 1)。这些指标的说明如下:(1)碳排放强度(CI),它简称为碳强度,是指单位国内生产总值的 CO<sub>2</sub> 排放量。该指标主要是用来衡量一国经济同碳排放量之间的关系,如果一国在经济增长的同时每单位国民生产总值所带来的 CO<sub>2</sub> 排放量下降,那么说明该国就实现了一个低碳的发展模式。碳强度的值越小,说明单位产出排放的二氧化碳量越少,其发展模式越趋于低碳经济。(2)产业结构。一个地区的产业结构通常用产值和从业人员数两个指标来衡量,从业人员数用来反映产业结构对就业和失业的影响,而产值指标主要反映经济结构,所以本文采用后者反映产业结构。对于产业结构的衡量,本文用各地区第二产业增加值比重(SIP)和第三产业增加值比重(TIP)这两个指标表征三次产业间的关系变动,用工业占第二产业产值比重和重工业占工业总产值比重表征产业内部(主要是第二产业)的关系变动。(3)经济发展水平(PC)。地区经济发展水平用人均地区生产总值表征,它对地区产业结构和能源利用都有一定的影响。一般认为,经济

表 1 回归模型中相关变量的定义及说明

变量名	变量定义	单位
碳排放强度(CI)	碳排放总量/GDP 总量	万 t 标准煤/万元
二产增加值比重(SIP)	第二产业增加值/地区生产总值	%
三产增加值比重(TIP)	第三产业增加值/地区生产总值	%
经济发展(PC)	地区生产总值/地区总人口	元/人
能源消费结构(EC)	煤炭消费量/能源消费总量	%
工业占第二产业产值比重(X <sub>1</sub> )	工业总产值/第二产业产值	%
重工业占工业总产值比重(X <sub>2</sub> )	重工业产值/工业总产值	%

发展水平高的地区,产业结构较合理,能源利用效率较高,其碳强度较低。(4)能源消费结构(EC)。用地区煤炭消费量占能源消费总量的比重来表示。需要说明的是,由于数据的可得性,本文用地区一次能源消费量而不是最终能源消费总量表示地区能源消费总量。但考虑到各种能源折算系数在地区间的差异不会很大,本文认为各地区一次能源消费量在很大程度上可以反映地区间最终能源消费总量的变化。

#### (二)模型构建

##### 1. 单位根检验

变量量纲的不同直接影响到对因变量的解释能力,因此,本文建模中使用的碳排放强度 CI、衡量

产业结构用的第二产业增加值比重  $SIP$  和第三产业增加值比重  $TIP$ 、经济发展水平  $PC$ 、能源消费结构  $EC$  等都是经过标准化处理后的数据。在面板数据中,如果截面单位数大于时期数,则数据的平稳性很可能存在问题<sup>[11]</sup>,而本文所使用的数据正好属于这种情况,因此需要采用面板协整方法进行处理,以避免估计结果出现偏差。本文首先对各个变量的平稳性进行检验,检验结果如表 2 所示,五个变量都在 5% 水平上显著。因此,本文选定的五个变量既不含普遍单位根也不含个别单位根,这五个变量都是平稳序列,可以用来建模。

表 2 单位根检验结果

变量(水平值)	Levin, Lin 和 Chu's t-test (假设普遍单位根过程)	ADF-Fisher Chi-square (假设个别单位根过程)	PP-Fisher Chi-square (假设个别单位根过程)
碳排放强度( $CI$ )	-5.689 **	137.261 **	144.924 **
第二产业增加值比重( $SIP$ )	-3.413 **	93.556 **	95.798 **
第三产业增加值比重( $TIP$ )	-3.697 **	129.589 **	107.596 **
经济发展水平( $PC$ )	-5.382 **	105.795 **	102.957 **
能源消费结构( $EC$ )	-4.414 **	113.826 **	117.835 **

注:(1) \*\* 代表统计显著性为 5%;(2)零假设为  $CI$ 、 $SIP$ 、 $TIP$ 、 $PC$ 、 $EC$  含有单位根。

## 2. 模型选择

面板数据模型可以分为不变系数模型、变截距模型和变系数模型三种。我们根据协方差分析检验发现,  $F_2$  的数值大于 5% 显著性水平下的临界值,而  $F_1$  的数值小于 5% 显著性水平下的临界值,因此,本文选择采用变截距模型形式<sup>①</sup>。本文研究中所选用的面板数据截面单位(30 个)远远大于时序单元(13 个),因此,本文认为差异主要体现在横截面的不同个体之间。同时,本文通过冗余固定效应检验,发现横截面的  $F$  统计量(78.62)和 Chi-square 统计量(839.17)的相应概率远远小于 5% 的显著性水平,而时序的  $F$  统计量(14.81)和 Chi-square 统计量(181.29)的相应概率也小于 5% 的显著性水平,因此,本文选择截面和时序都固定的模型。

本文试图分析第二产业增加值比重、第三产业增加值比重、经济发展水平、能源消费结构对地区碳强度的影响,同时揭示不同地区碳强度的差异,因此设计如下线性面板数据模型:

$$CI_{it} = \beta_0 + \alpha_i + \gamma_t + \beta_{1t}SIP_{it} + \beta_{2t}TIP_{it} + \beta_{3t}EC_{it} + \beta_{4t}PC_{it} + \mu_{it} \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, 30; t = 1, 2, \dots, 12$$

式(1)中  $i$  表示截面个体,代表各个省区; $t$  表示时间,代表年份; $CI_{it}$  为被解释变量,表示碳排放强度; $SIP_{it}$ 、 $TIP_{it}$ 、 $EC_{it}$ 、 $PC_{it}$  为解释变量,分别代表第二产业增加值比重、第三产业增加值比重、能源消费结构、经济发展水平; $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$  为回归系数向量,分别代表第二产业增加值比重、第三产业增加值比重、能源消费结构、经济发展水平对碳排放强度的影响;截距项为  $\beta_0 + \alpha_i + \gamma_t$ ,其中  $\beta_0$  是常数项, $\alpha_i$  度量各地区个体之间的差异, $\gamma_t$  度量时序上的差异,随机误差项  $\mu_{it}$  代表模型中被忽略的随横截面变化而变化的因素的影响。

## 四、数据来源与说明

### (一)碳排放数据估算与整理

碳排放强度是指单位经济产出的  $CO_2$  排放量,通常用地区碳排放总量与地区生产总值的比值来

<sup>①</sup>基于不变系数模型、变截距模型、变系数模型的选择,得到相应的残差平方和  $S_3$ 、 $S_2$ 、 $S_1$ ,在此基础上本文计算  $F$  统计量:  $F_2 = \frac{(S_3 - S_1) / [(N - 1)(K + 1)]}{S_1 / [NT - N(K + 1)]}$ ;  $F_1 = \frac{(S_2 - S_1) / [(N - 1)K]}{S_1 / [NT - N(K + 1)]}$ ,其中  $N$  表示截面成员的个数, $T$  表示每个截面成员的观测时期总数, $K$  表示解释变量的个数。

表示。关于我国各省(区、市)的碳排放量,至今为止尚无权威部门公布的直接监测数据<sup>[12]</sup>,因此大多数的研究数据都是通过对能源消费量的测算得来的。一般的思路是:总排放量等于各种能源消费所产生的碳排放量之和。但在计算方法和因素的选择上存在着或大或小的区别,本文在阅读比较各种计算方法的基础上,选用被广泛认可的徐国泉等在分析碳排放影响因素时采用的估算公式<sup>[13]</sup>,估算公式如式(2)所示。

$$C = \sum_i E_i/E \times C_i/E_i \times E = \sum_i S_i \times F_i \times E \quad (2)$$

在式(2)中, $C$ 为碳排放量; $C_i$ 为*i*种能源的碳排放量; $E$ 为一次能源的消费总量; $E_i$ 为*i*种能源的消费量; $F_i$ 为*i*类能源的碳排放强度, $F_i = C_i/E_i$ ,即消费单位*i*种能源的碳排放量; $S_i$ 为*i*类能源在一次能源消费中的份额,表示能源结构因素  $F_i = E_i/E$ 。这里  $F_i$  的取值见表3。

(二)其他数据来源

本文样本期为2001年至2013年,共13年;研究区域主要是我国大陆除西藏自治区以外的30个省区,同时中国香港、澳门和台湾地区也不包括在内。文中涉及的变量主要有我国大陆地区30个省区(不包括西藏自治区)的能源消耗碳排放量(万t)、第二产业增加值占地区生产总值的比重(%)、第三产业增加值占地区生产总值的比重(%)、人均地区生产总值(元,以2001年为基期)、煤炭消费量占能源消费总量的比重(%)及我国工业占第二产业产值比重(%)和重工业占工业总产值比重(%)。除碳排放以外的所有数据均来自历年的《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》和《新中国六十年统计资料汇编》。由于西藏自治区的能源消费量的数据缺省过多,且其产业结构不具有代表性,所以本文没有把西藏包括在内。

表3 各类能源的碳排放系数

项目	煤炭	石油	天然气	水电、核电
$F_i$ (t碳/万t标准煤)	0.7476	0.5825	0.4435	0.0

资料来源:国家发展和改革委员会能源研究所.中国可持续发展能源暨可持续发展情景分析[R].2003.

五、计算结果和分析

(一)面板数据模型分析

本文采用Eviews 6.0建模进行实证分析。固定效应变截距面板数据回归结果如表4、表5、表6所示。从表中我们可以看出,回归方程的调整的拟合优度  $\bar{R}^2$  (0.962822) 比较大,  $F$  统计量的  $P$  值 (0.000000) 比较小,各解释变量的  $t$  统计量比较大,由此可见方程的拟合程度比较好。

从表4看,2001—2012年间,产业结构因素和能源利用结构因素对碳强度的影响很大。各省第二产业增加值比重变动对碳强度的弹性系数为0.328,即第二产业增加值每升高1%,碳强度增长0.328%;能源结构每变动1%,碳排放增加0.663%,能源结构变动对碳排放的弹性系数为0.663。注意到第三产业增加值比重的系数为负值,这说明第三产业的发展有利于降低碳排放强度。而各省区间经济发展水平的不同造成的碳排放差异较小,人均经济增长1%,碳排放减少0.284%。碳排放强度与第二产业增加值比重和煤炭比重成正比,与第三产业增加值和地区人均生产水平成反比,碳排放强度有随三次产业增加值比重和人均GDP增加而减少的趋势。但从各影响系数看,能源利用结构、产业结构和经济发展的影响逐次递减,也就是说改善以煤为主的能源利用结构可以大大降低碳排放。应该认识到的是,能源消费结构在一定程度上是由我国长

表4 碳排放强度固定效应模型回归结果

被解释变量: 碳排放强度(CI)			
变量	系数	t 统计量	相依概率
常数( $\beta_0$ )	-1.10731	-1.69006	0.009328
第二产业占比(SIP)	0.328984	2.463368	0.014644
第三产业占比(TIP)	-0.04514	-4.43727	0.048746
能源消费结构(EC)	0.662983	10.52147	0
经济发展水平(PC)	-0.28385	-14.7882	0
调整拟合优度 = 0.962822		DW 统计量	0.684468
$F$ 统计量	432.0936	$F$ 统计量相依概率	0.000000

期以来的产业结构导致的,调整产业结构在有效地降低碳排放的同时,也可以通过能源消费结构的作用间接对碳排放产生影响。

我国的碳排放存在空间上的差异,碳排放强度也体现出空间格局的差异。表 5 给出了模型回归出来的各省区的个体截距项,这些个体截距项表示个体对总体均值的偏离度,即各省区碳排放强度对平均碳强度的偏离,可以用来反映各省区的碳排放强度差异。我们通过个体截距项与总体平均值的比较发现,偏离度最大的是山西省,其次是宁夏、贵州和内蒙古等省区。这些省区产业结构相对落后,第二产业在整个经济中占比

表 5 30 个地区对总体平均截距的偏离值( $\alpha_i$ )

省(市、区)	数值	省(市、区)	数值	省(市、区)	数值
北京	-0.1690	浙江	-0.4668	海南	0.1018
天津	0.0787	安徽	-0.3189	重庆	-0.3045
河北	-0.0201	福建	-0.6723	四川	-0.1853
山西	1.3525	江西	-0.5167	贵州	0.7532
内蒙古	0.5158	山东	-0.2976	云南	-0.1098
辽宁	0.1362	河南	-0.3038	陕西	-0.0902
吉林	0.3223	湖北	-0.1725	甘肃	0.1661
黑龙江	0.1198	湖南	-0.4269	青海	0.5657
上海	0.0175	广东	-0.4821	宁夏	0.8856

相对较高,同时这些省区都处于高速发展过程中,特别是工业部门发展较为迅速,工业产值比重相对较高。在国家“西电东输”的国家战略下,这些地区普遍煤炭产量比较高,因此这些地区电力生产、电力外输也相对较多,这造成地区二氧化碳排放增长很快。因此,碳排放强度大的省区一般是第二产业在经济结构中所占的比重高或是煤炭消费占有较大比重的省区。各省由于长期的发展,其经济发展水平、产业结构状况和能源利用结构等的现状有很大不同,导致其碳排放强度的差异,而这种差别不是短期之内可以缩小的。所以我国要实现碳减排的整体目标,应该在对各省、各区域现状和发展基础进行合理分析的情况下,从调整产业结构特别是工业部门的行业结构和优化能源结构入手,制定科学合理和有针对性的政策措施,而不能采取“一刀切”的方式盲目进行结构的改革。

由以上分析可知,第二产业对碳排放强度有着较大的影响。由于产业结构除了各产业之间比例关系还包括产业内部的构成,所以有必要就第二产业内部的行业结构变动对碳排放强度的影响进行分析。接下来本文构建碳排放强度与工业占第二产业产值比重和重工业占工业总产值比重之间数量关系的时间序列模型。

从表 6 中可

表 6 2001—2013 年对总体平均项的偏离值( $\gamma_t$ )

时间	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
$\gamma_t$	0.21042	0.18123	0.20964	0.19584	0.15925	0.10685	0.01248
时间	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
$\gamma_t$	-0.07700	-0.09895	-0.16632	-0.21235	-0.24677	-0.27433	

以看出,在所研究的时间跨度内,我国碳排放强度总体上处于不断下降的状态;2003 年之前下降的速度比较慢,而 2003—2008 年我国碳强度加速下降,2009 年我国碳强度下降过程又有所迟滞,2010 年之后我国碳强度下降速度又有所加快。究其原因,我国在 20 世纪 90 年代中后期对国有企业“抓大放小”,关闭了一大批高耗能、高污染的中小企业,淘汰落后产能,导致碳排放强度不断下降。特别是 2003 年之后,社会公众对碳排放问题的关注度越来越高,政府也更加重视经济发展中环境污染问题,因此 2008 年之前,我国碳排放强度总体上呈加速下降的趋势。但是 2008 年金融危机以来,政府为了稳定经济发展,推出了“四万亿”计划,大力投资基础设施及工业生产。在此背景下,地方政府为了稳定本地区经济发展,在“GDP 增长率考核模式”下取得较好的执政业绩,同时也为了增加地方财政收入,地方政府进一步加大项目审批、建设力度,金融系统也逐步放松信贷审核,对政府重点支持的项目、特别是一些国有大型项目加大资金投入比重,因此一批高耗能、高排放的重工业项目得到了充足的资金来源,加快了建设速度,故虽然 2008 年之后,我国碳排放强度还呈总体下降的趋势,但是下降的速度相对比较慢。目前在国际经济复苏乏力,国内经济进入新常态的背景下,我国碳减排压力空前的加大。如何在保持经济稳定的前提下,完成国家制定的碳减排目标,

政府需要认真落实并进一步推出新的减排措施。

### 2. 时间序列模型分析

本文利用 2001—2013 年的我国碳排放强度 (CI)、工业占第二产业产值比重 ( $X_1$ ) 和重工业占工业总产值比重 ( $X_2$ ) 数据, 建立如下一般的时间序列模型:

$$CI = c + \gamma X_1 + \delta X_2 + v \quad (3)$$

经过 Eviews6.0 计量统计软件分析, 得出回归结果如表 7 所示。

由表 7 可以发现, 工业占第二产业产值比重对碳排放强度具有很大的影响, 特别是采矿业、制造业、电力行业、钢铁产业、水泥产业等对我国碳排放的影响最为明显, 一般来

变量	系数	标准差	t-统计量	P 值
常数项	-3.372015	0.783362	-4.252836	0.0027
工业占第二产业产值比重	5.152368	1.470933	3.566175	0.0083
重工业占工业总产值比重	0.374952	0.736513	5.327597	0.0111
调整拟合优度	0.9612543		DW 统计量	2.214582
F 统计量	123.2457		F 统计量相依概率	0.000001

说这些产业部门耗能在我国总的能源消费中占有较大的比重, 直接影响到我国能源消耗的总量, 从而影响到我国二氧化碳的排放。因此, 降低工业比重, 尤其是采矿业、制造业、电力行业、钢铁行业等高耗能产业的比重可以很大程度上降低我国的碳排放强度; 重工业一般是高耗能、高污染的行业, 所以重工业也对碳排放强度具有较大贡献。工业对碳排放强度具有正的效应, 说明降低工业特别是重工业的比重对碳排放强度的减小有较大作用。模型回归出来的统计量结果检验了方程的拟合程度和显著性。由表 7 的结果看到, 模型调整后的  $R_2$  值都在 0.96 以上,  $D.W.$  值和  $F$  统计量、 $T$  统计量均通过检验, 模型显示出较好的拟合程度。残差平方和仅为 0.007456, 说明估计值和实际值之间几乎没有差别。模型较好地说明了工业占第二产业产值比重和重工业占工业总产值比重对碳排放强度影响的数量关系。

## 六、结论和政策建议

### (一) 主要结论

我们可从前面的分析中得到以下基本结论: (1) 产业结构变动对碳强度有较大影响, 第二产业在经济结构中所占比重高的省份其碳排放强度一般较大 (如陕西省), 同时第二产业增加值比重变动与碳排放强度的变动呈现出正相关关系, 第二产业产值增加会引起碳排放较大幅度的增加, 从而会使得碳排放强度升高。从第二产业内部结构来看, 采矿业、制造业、钢铁产业、水泥产业等重工业比重较高的地区碳强度也相对较大。特别是对于中西部省份来说, 正处于经济赶超阶段, 普遍存在工业比重高且工业发展相对较快的阶段, 因此短期内碳强度会持续升高。对一些产煤大省来说, 电力行业是本地区支柱性产业, 而电力行业又是煤炭使用最高的产业, 因此, 从短期内来看, 产煤大省将是未来我国能源消耗、碳排放的增长最快的地区。(2) 第三产业的发展可以降低碳排放强度。这是因为第三产业对能源的消耗量较小, 其单位产出的碳排放量也就较小。当其值小于各产业产出的单位碳排放量时, 就会拉低该省的碳排放强度值。因此, 调整产业结构, 适当地推进第三产业的发展, 可以有效地降低各省区的碳排放强度, 从而达到整体上降低我国碳排放强度的目的。(3) 与产业结构密切相关的能源消费结构对碳排放具有直接的影响, 其对碳排放强度的影响也最大。我国是以消费煤炭为主的国家, 而煤炭的碳排放系数远大于其他能源, 这导致我国的碳排放长期居高不下, 并且远远大于世界上相同经济发展水平的其他国家。对各省区的分析可知, 煤炭消费所占比重大的省其碳排放强度明显高于其他省区 (如山西、内蒙古等)。(4) 经济发展水平越高的地区碳弹性相对越小, 反之碳弹性越大, 也就是说大力发展地方经济, 提高地区人民生活水平可以有助于减少本地区碳排放。因此, 对我国来说, 短期内大力发展经济不但不会增加碳排放, 反而有利于碳减排。长期来看, 发展经济是碳减

排的有效途径。(5)工业占第二产业产值比重、重工业占工业总产值比重与碳弹性成正相关,也就是说工业比重提高,特别是重工业比重的提高会产生较多的二氧化碳。因此,在发展经济的过程中,政府要提高服务业、高科技产业的比重,减少重工业的比重,也特别是对钢铁、水泥、重化工等高碳产业应该有所限制,从而优化经济发展中的产业结构。

## (二)政策建议

调整产业结构、实施节能减排,是我国有效降低碳排放强度的基本路径选择,其中产业结构和能源消费结构的改善尤其重要。我国要走上低排放、低能耗、高增长的可持续发展模式必须调整产业结构和能源利用结构。

首先,调整产业结构,加快产业结构升级。由于第二产业对碳排放的贡献值很大而第三产业贡献值较小,所以我国应大力发展第三产业,加快产业结构调整的力度与步伐。根据当前的国情,政府抓住契机,合理选择主导产业,加快产业结构升级,实现低碳经济的发展模式。另外,政府应大力调整工业部门的行业结构,逐步降低高能耗行业占工业总产出的比例,适当倾向轻工业的发展,以改变工业占国民经济的比重。政府应着眼于全球价值链的高度,培育有竞争力且门类齐全、独立完整的工业体系。在政策上对产业结构调整进行引导,我国可以借鉴日本、欧美等国家的经验,通过法律、税收等手段引导和约束相关产业的发展方向,对低能耗、高效率的产业进行鼓励和扶持,鼓励企业使用节能型设备,并适当限制高能耗非支柱性产业的发展规模。政府通过优化产业结构,为我国经济又好又快发展提供坚实的产业基础。

其次,优化能源消费结构,大力发展清洁能源。短期内我国“多煤、贫油、少气”的能源供给结构很难改变,但是在能源消费中,我国应该增加清洁能源的比重,特别是大力发展水能、核能等清洁能源,通过科技研发,提高清洁能源消费比例。同时基于我国能源供给现实,我国应该增加天然气进口,虽然天然气也属于化石能源,使用中也会向大气中排放一定量的二氧化碳,但是相对煤炭来说,天然气还是相对比较清洁的。因此,我国应该创新或引进先进的开采技术,大力开发天然气资源,同时通过外交途径,鼓励大型能源企业走出去,购买国外的天然气矿产资源,增加天然气进口。政府可以通过实现能源进口多元化,来提高我国清洁能源保障能力,减少二氧化碳排放。

最后,大力发展经济,提高经济增长的效率。我国还处于工业化的中后期阶段,一定时期内我国还属于发展中国家,因此无论从提高人民生活水平的角度来说,还是保护环境、改善人民生活条件的角度,都需要大力发展经济。但是,经过改革开放30多年的发展,我国不可能持续保持原来那么高的经济发展速度,目前我国已经进入经济发展的新常态,因此,我国应尽量发挥自身优势,尽量发掘自身经济增长潜力,实现经济稳定增长。在发展经济过程中,我国需要进一步改革开放,尽量融入国际市场,通过技术创新、自主研发,提高企业市场竞争力,在保持经济稳定增长的前提下,尽量发展第三产业、高科技产业,优化产业结构,提升在国际分工产业链中的层次地位。政策上通过税收减免、资金支持等方法鼓励企业引进新能源设备、高效节能设备等,实现节能技术的更新与改造。同时政府应提高自主创新能力,发展低能耗、高附加值高新技术产业,推动企业积极完成节能降耗目标。

## 参考文献:

- [1] Budzianowski W M. Modelling of CO<sub>2</sub> content in the atmosphere until 2300: influence of energy intensity of gross domestic product and carbon intensity of energy[J]. International Journal of Global Warming, 2013, 5(1): 1-17.
- [2] Ramaswami A, Chavez A. What metrics best reflect the energy and carbon intensity of cities? Insights from theory and modeling of 20 US cities[J]. Environmental Research Letters, 2013, 8(3): 3-11.
- [3] 郭朝先. 产业结构变动对中国碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境, 2012(7): 15-20.
- [4] 李健, 周慧. 中国碳排放强度与产业结构的关联分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2012(1): 7-14.



- [5]徐成龙,任建兰,巩灿娟. 产业结构调整对山东省碳排放的影响[J]. 自然资源学报,2014(2):201-210.
- [6]韩坚,盛培宏. 产业结构、技术创新与碳排放实证研究——基于我国东部15个省(市)面板数据[J]. 上海经济研究,2014(8):67-74.
- [7]李宾,周俊,田银华. 全球外部性视角下的碳排放与产业结构变迁[J]. 资源科学,2014(12):2483-2490.
- [8]Jorgenson A K. Economic development and the carbon intensity of human well-being[J]. Nature Climate Change, 2014, 4(3): 186-189.
- [9]Philippsen A, Wild P, Rowe A. Energy input, carbon intensity and cost for ethanol produced from farmed seaweed[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014,38(2): 609-623.
- [10]武晓霞,梁崎. 集聚经济的空间演变及产业结构升级效应[J]. 南京审计学院学报,2014(5):14-22.
- [11]Novy D. Gravity redux: measuring international trade costs with panel data[J]. Economic Inquiry, 2013, 51(1): 101-121.
- [12]陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究,2009(4):41-55.
- [13]徐国泉等. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995—2004[J]. 中国人口·资源与环境,2006(16):158-161.

[责任编辑:杨志辉]

## The Empirical Study on the Impact of Industrial Structure Changes on the Carbon Intensity in China

ZHONG Weizhou<sup>1</sup>, JIANG Feng<sup>1</sup>, WAN Xiaoli<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Finance of Xi'an Jiaotong University, Xi'an710061, China)

(2. Development Zone Branch of Qingdao Everbright Bank, Qingdao 266555, China)

**Abstract:** The paper analyzes the impact of industrial structure on carbon intensity, by modeling from the perspective of both horizontally and vertically. The empirical results show that the industrial structure and energy consumption structure have a greater impact on the changes of carbon emissions; The provinces, whose proportion of secondary industry in the economy is high or coal consumption accounts for a large proportion, usually have a higher carbon intensity, and by adjusting and optimizing industrial structure and energy consumption structure, it could reduce the carbon intensity effectively; The second industry has big contributions to the whole community's carbon intensity, and changes in the internal structure of the second industry that has a greater impact on carbon intensity. Therefore, this paper points out that our research on the carbon intensity should focus on the implementation of structural energy saving, from adjusting industrial structure, eliminating backward production capacity of the industry, actively carrying out industrial transfer, and improving the energy structure in order to achieve national objectives of carbon emission reduction.

**Key Words:** industrial structure changes; carbon emission intensity; environmental economics; energy resources; carbon emission reduction; industry specialty; energy economics