

陕西省 CO₂ 排放强度的变动趋势及影响因素分析

袁晓玲^a, 班 斓^a, 杨万平^{a,b}

(西安交通大学 a. 经济与金融学院; b. 公共政策与管理学院, 西安 710061)

摘要: 以中国首批低碳试点地区之一的陕西省为研究对象,在测算其历年碳排放量的基础上,分析了碳强度的变动趋势,发现 1978—2011 年间陕西省碳强度的变动趋势呈现“N”型曲线;对影响碳强度的因素进行研究,基于 Kaya 恒等式,采用对数均值迪氏指数法进行短期分析,基于 STIRPAT 模型,利用协整方程进行长期分析。结果表明,能源效率的提高是碳强度波动性下降的主要和直接决定因素,且能源结构的调整也有利于碳强度降低。

关键词: 碳排放强度;能源消费;对数均值迪氏指数法;陕西省

中图分类号: F062 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-2363(2013)04-0165-06

0 引言

改革开放以来中国经济持续、高速增长,GDP 增速保持在年均近 10%,但与此同时碳排放呈现迅猛增加的态势,使中国成为最大的碳排放国。这引起了国际社会的高度关注,并使中国受到了来自国际社会要求减排的巨大压力。中国作为一个负责任的发展中大国,也在积极主动地进行碳减排。中国政府在 2009 年 11 月提出了控制温室气体排放的目标,并作为约束性指标纳入国民经济和社会发展中长期规划;到 2020 年碳强度比 2005 年下降 40%~45%。中国在应对气候挑战上的表率作用不但赢得了国际社会的好评,而且以碳强度作为相对减排指标也充分考虑到了作为发展中国家的中国仍以发展为第一要务的国情,符合低碳经济的发展方向,有利于形成助推中国经济转型的倒逼机制和长效机制^[1]。

自减排目标被提出以来,如何实现这一目标成为学术研究的重大课题。中国的广阔地域导致了地区间经济发展水平和碳强度的巨大差异,故研究我国碳强度的变动趋势及其驱动因素,不能仅停留在国家层面,必须针对不同地区的实际情况进行深入研究,这样才有助于制定科学、合理的减排政策。因此,本研究以“十二五”规划的减排示范省——陕西省为研究对象,在测算其历年碳排放量的基础上,分析碳强度的变动趋势;对影响碳强度的因素进行研究,基于 Kaya 恒等式,采用对数均值迪氏指数法进行短期分析,基于 STIRPAT 模型,利用协整方程进行长期分析。探寻 1979—2011 年间陕西省碳强度的变化趋势与主要驱动因素,可以为决策者提供

信息支持和决策依据,有助于陕西省制订未来实施碳强度减排指标政策,并且可以给中西部地区乃至全国范围内的碳强度减排提供参考,从而对中国政府转变经济发展方式、发展低碳经济、完成哥本哈根气候大会提出的碳强度目标有着重要的理论和现实意义。

1 文献综述

目前关于碳强度的研究对象大都是发达国家,而针对发展中国家的研究很少。事实上,研究发展中国家碳强度的意义更大,通过分析研究可以为避免发达国家“先污染后治理”的发展道路、缓和全球气候变化等提供决策依据。

在中国的碳强度目标被提出以前,碳强度没有重要的政策含义,关注这一指标的文献比较少。对中国碳强度探究的文献,较早可追溯到 Shrestha 等^[2]对包括中国在内的亚洲十二国电力行业碳强度的研究。刘兰翠^[3]采用 AWD(adaptive weighting divisia)方法分析能源结构、能源强度等对中国初级能源利用以及物质生产部门终端能源利用的碳强度的影响,认为能源强度下降是推动其下降的主要原因。Fan 等^[4]利用 AWD 分解了 1980—2003 年中国碳强度的影响因素,发现碳强度的下降主要由能源强度下降所引起,能源结构变化的影响因素也很重要。Zhang^[5]将因素分解与投入产出技术相结合,从需求角度研究碳排放的影响因素,将碳强度分解为需求和生产技术两类因素,研究我国 1992—2006 年期间碳排放量以及强度的变化。岳超等^[6]对 1995—2007 年我国各省区市的碳强度进行了分析,认为应从调整产业结构、改革能源政策、发展可再生能源等方面确保碳强度目标的顺利实现。张友国^[7]基于投入产出结构分解方法实证分析了 1987—2007 年经济发展方式变化对中国 GDP 碳强度的影响,认为在经济发展方式变化的各构成因素中,生产部门能源强度的降低是导致中国碳强度下降的最主要因素,直接能源消费率的下降也对碳强度产生了明显的抑制作用,终端能源消费结构的变化使

收稿日期: 2012-05-10; 修回日期: 2013-05-28
基金项目: 国家社会科学基金重点项目(11AZD001);教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-10-0683);国家社会科学基金青年项目(10CJL034);中国博士后基金面上项目(2012M521752);陕西省社会科学界重大理论与重大现实问题(2012C058)
作者简介: 袁晓玲(1964-),女,陕西周至县人,教授,博士,主要从事区域经济研究,(E-mail)xiaoling@mail.xjtu.edu.cn。

碳强度略有下降。朱聆等^[8]采用对数均值迪氏分解法对 1995—2008 年上海市碳强度进行分解分析。结果表明,产业部门能源强度的下降是上海市碳强度下降的主要原因。虞义华等^[9]利用我国 29 个省市自治区 1995—2007 年的面板数据,分析了碳强度同经济发展水平及产业结构之间的关系。陈诗一^[10]对改革开放以来中国工业 38 个行业碳强度变化的主要原因进行分解,发现能源强度降低或者能源生产率的提高,是其波动性下降的主要且直接的決定因素,能源结构和工业结构调整也有利于其降低。潘雄锋等^[11]运用因素分解法将我国 1996—2007 年的制造业碳强度变化分解为结构份额与效率份额。结果表明,我国制造业碳强度 1996—2007 年间整体呈现出下降的趋势,且其下降均是由效率引起的,而结构则引起了碳强度的提升。籍艳丽等^[12]运用基于投入产出模型的结构因素分解法对中国 1997—2007 年碳强度进行了因素分析,研究表明,生产模式的转变是碳强度降低的主要原因,尤其是能源强度。顾成军等^[13]用 LMDI 分解方法对新疆 1999—2009 年的碳排放进行研究。结果表明:能源结构和能源强度对新疆人均碳排放增长起抑制效应,且能源强度的抑制效应大于能源结构的抑制效应;产业规模和人口规模对新疆人均碳排放增长起拉动效应,且产业规模的拉动效应大于人口规模的拉动效应。

上述研究虽得出了中国或部分地區碳强度的影响因素,但存在以下两点问题:一是缺乏对西部地区的研究。由于西部处于经济发展起步阶段,与东部和国家整体状况都有很大的区别,分地区研究有利于针对各地区的特点制定适合各地区的减排政策。二是大部分研究仅仅运用分解方法进行了短期分析而没有进行长期分析。基于此,本研究以陕西省为研究对象,运用迪氏分解法和协整方法从短期与长期的视角对影响碳强度变动的主要因素进行研究。

2 CO₂ 排放强度的趋势分析

由于我国统计机构没有公布碳排放数据,本研究主要以煤炭、石油和天然气的消耗量为基准来核算陕西省的碳排放量。根据 2006 年联合国《联合国气候变化框架公约》及《京都协议书》所制定的《国家温室气体清单指南》第二卷(能源)第六章提供的参考方法,碳排放总量可以根据各种能源消费导致的碳排放估算量加和得到。具体公式如下:

$$C = \sum_{i=1}^3 C_i = \sum_{i=1}^3 E_i F_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$
$$F_i = 44 N_i \delta_i O_i \beta_i / 12 \quad (2)$$

式中: C 代表估算的 CO₂ 排放量; $i = 1, 2, 3$ 分别表示原煤、原油及天然气 3 种一次能源; C_i, E_i 分别代表相应能源的 CO₂ 排放量和消耗量; F_i 为本研究估算的 CO₂ 排放系数; N_i 为 2007 年《中国能源统计年鉴》附录 4 提供的中

国 3 种一次能源的平均低位发热量(IPCC 也称为净发热值); δ_i 为联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的《国家温室气体清单指南》提供的碳排放系数,由于没有直接提供煤炭的排放系数,而我国原煤的结构多年来变化不大,一直以烟煤为主,占 75% ~ 80%,无烟煤仅占 20% 左右,故煤炭的碳排放系数可根据 IPCC 提供的烟煤和无烟煤的碳排放系数加权平均(80% 和 20%)得到; O_i 是碳氧化因子(本研究将煤炭设定为 0.99,原油和天然气为 1); β_i 为中国各能源折标准煤系数(数据来源于 2007 年《中国能源统计年鉴》),由于单位不统一,必须换算成我国能源度量的统一热量单位标准煤; 44 和 12 分别为 CO₂ 和碳的分子量。根据公式(2)计算得到陕西省煤炭、原油和天然气的 CO₂ 排放系数分别为 2.763, 2.145 和 1.642。

考虑到经济发展过程中的价格变化因素,以各年份的国内生产总值所计算出来的单位碳排放量不能进行对比,所以用以 2000 年为不变价的 GDP 平减指数对国内生产总值进行平减,得到以 2000 年为基准年的可比价,进而计算出陕西省历年的碳强度(图 1)。

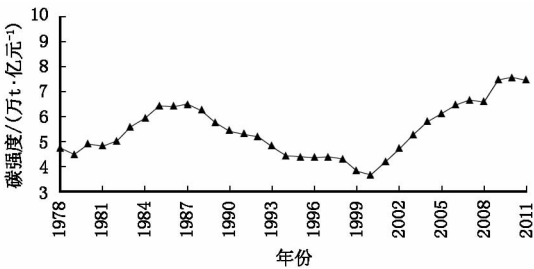


图 1 陕西省 1978—2011 年的碳强度趋势
Fig. 1 The intensity trend of changes in carbon dioxide emissions in Shaanxi Province during 1978—2011

3 CO₂ 排放强度变动的影响因素分析

3.1 CO₂ 排放强度变动的短期分解分析

本研究用 Yoichi Kaya^[14]在 IPCC 的研讨会上提出的 Kaya 恒等式分析陕西省碳强度的影响因素。改进的表达式为:

$$C^Y = C/Y = (C/E)(E/Y) \quad (3)$$

式中: C^Y, C, Y 和 E 分别表示碳排放强度、碳排放总量、生产总值(GDP) 和一次能源消费总量。

如果用 $I = E/Y$ 表示能源消耗强度因素,即单位 GDP 的能源消耗;用 $S_i = E_i/E$ 表示能源结构因素,即 i 种能源在一次消费中的份额;用 $F_i = C_i/E_i$ 表示各类能源碳排放强度,即每单位 i 种能源的碳排放量。那么,碳排放强度的计算公式可以改写为:

$$C^Y = C/Y = \sum_i I S_i F_i \quad (4)$$

由于各类能源的碳排放强度就是各类能源的碳排放系数,是不变的,则碳强度的变化可以分解为能源消

耗强度和能源结构这两个影响变量的贡献。

B. W. Ang 等^[15]对 IDA 的两类指数——拉氏指数和迪氏指数进行了系统的评价,认为对数平均迪式分解法(logarithmic mean divisia index, LMDI)是较优的指数分解方法。该方法不仅有效地解决了分解中的余项问题,而且能处理数据中的 0 值和负值,分解结果直观、易于解释。又根据 B. W. Ang(1998)提出的 LMDI,将时序内变量两个端点值的对数平均函数作为分解权重,具体定义为:

$$L(x,y)=(x-y)/(\ln x-\ln y)。(5)$$

根据上述定义,能源消耗强度变化产生的强度效应 ΔC^y_i ,能源消费结构调整引起的结构效应,其贡献率分别为 D^2_i,D^2_s ,则 $\Delta C^y_i,\Delta C^y_s$ 表示为:

$$\Delta C^y_i=L(C^y_i,C^y_0)\ln(I_i/I_0);$$
$$\Delta C^y_s=L(C^y_i,C^y_0)\ln(S_i/S_0)。(6)$$

$$D^2_i=I_i/I_0,\quad D^2_s=S_i/S_0。(7)$$

从 0 年到 t 年的 CO₂ 排放强度的变化为总效应 ΔC^y ,其贡献率为 D^2 ,分解为能源强度效应和能源结构效应,可以表示为:

$$\Delta C^y=\Delta C^y_i+\Delta C^y_s;\quad D^2=D^2_iD^2_s。(8)$$

根据公式(6)~(8),计算能源消耗强度、能源结构及两者的总和所引起的各年相对于 1978 年人均碳强度的变化量(即贡献值),则得到 1979—2011 年两因素对陕西省碳强度变化的贡献值趋势(图 2)。

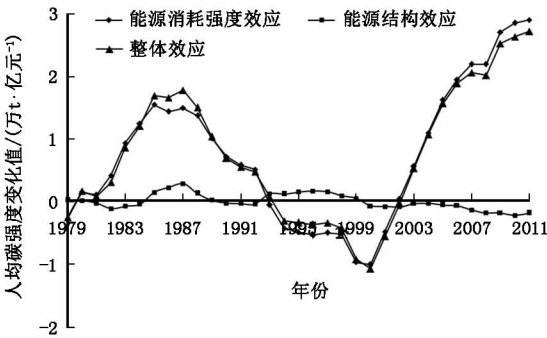


图 2 1979—2011 年能源消耗强度和能源结构对陕西省碳强度变化的贡献值

Fig. 2 The trend of two factors'

contribution to changes in annual carbon

emissions in Shaanxi Province during 1979—2011

图 2 表明,1987—2000 年陕西省碳强度处于下降阶段,其原因是能源消耗强度大幅的下降使碳排放量增速放缓或下降,而与此同时飞速发展的经济使 GDP 增速远高于碳排放量的增速。总体来看,能源消耗强度贡献值与碳强度变化基本一致,能源结构的贡献值在 0 附近来回波动,这表明能源消耗强度是陕西省碳强度变化的主要因素,能源结构的影响较小。在经济发展、人均收入增加的同时,降低碳强度最有效的方式是提高能源效率以降低能源消耗强度,因此,本研究接着对能源消耗强

度进行因素分解,找出其下降原因。

3.2 能源消耗强度因素分解分析

能源消耗强度可以分解为:

$$I=E/Y=\sum_i E_i/\sum_i Y_i$$
$$=\sum_i (E_i/Y_i)\left(Y_i/\sum_i Y_i\right)=\sum_i e_i y_i。(9)$$

式中: e_i 表示第 i 产业的能源消耗强度; y_i 表示第 i 产业增加值在国内生产总值中的比例。

仍采用 LMDI 分解法分解能源消耗强度,其增量可以分解为产业的强度效应 ΔI_e 和结构效应 ΔI_y ,公式如下:

$$\Delta I=\Delta I_e+\Delta I_y=\sum_i L(W_{it},W_{i0})\ln(e_{it}/e_{i0})+$$
$$\sum_i L(W_{it},W_{i0})\ln(y_{it}/y_{i0})。(10)$$

式中: $\Delta I_{e1},\Delta I_{e2},\Delta I_{e3},\Delta I_{y1},\Delta I_{y2},\Delta I_{y3}$ 分别表示一、二、三次产业的强度效应和结构效应; $W_i=e_i y_i$ 为计算权重的中间变量,无经济含义,则依据 LMDI 分解法, $L(W_{it},W_{i0})=(W_{it}-W_{i0})/(\ln W_{it}-\ln W_{i0})$ 。

1979—2011 年间,陕西省的能源消耗强度在 1.5 万~3 万 t/亿元之间,较全国来说,处于较低水平,但与美国、日本等发达国家差距很大,且这几年有上升趋势,因此,能源强度降低的空间非常大,可以通过进一步分析找出其变动的原因,寻求降低能源消耗的有效途径。由于陕西省工业和建筑业能源消耗量的部分数据不可获得性,为保持分析一致性,故以 1996 年为基年,运用 LM-DI 分解法,根据公式(10)计算就得到了 1997—2011 年陕西省能源消耗强度的因素分解图(图 3)。

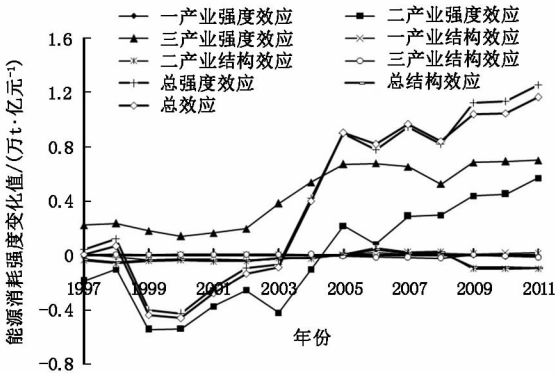


图 3 1997—2011 年陕西省能源消耗强度的因素分解

Fig. 3 Factor decomposition of energy consumption intensity in Shaanxi Province during 1997—2011

图 3 表明,三大产业的强度效应与能源消耗强度变化趋势基本一致,且影响最大的是第二产业,其次是第三产业,说明提高三大产业特别是第二产业的能源效率可以降低能源消耗强度;而 1997—2008 年三大产业的结构效应基本都在 0 附近波动,说明陕西省的产业结构调整在这些年起到抑制能源消耗增长的作用较小,而 2009—2011 年第二产业的结构效应明显为负,说明通过

产业政策调整产业结构、降低能耗较高的第二产业份额可以在很大程度上抑制能源消耗强度增长。

综上所述,降低第二产业的能源消耗强度可以显著降低能源消耗强度,故本研究进一步分析第二产业能耗的影响因素,仍用 LMDI 分解法,将其分解为工业和建筑业的强度效应和结构效应,经过计算就得到了 1997—2011 年陕西省第二产业能源消耗强度的因素分解图(图 4)。

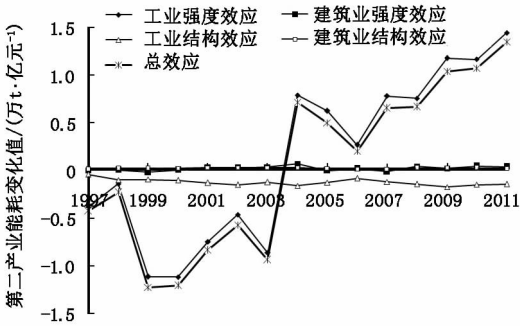


图 4 1997—2011 年陕西省工业能源消耗强度的因素分解

Fig. 4 Factor decomposition of industry energy consumption

intensity in Shaanxi Province during 1997—2011

从图 4 看出,建筑业的强度效应和结构效应基本在 0 附近波动,对第二产业能耗变化几乎没有影响;而工业强度效应趋势与第二产业能耗变化趋势一致,则陕西省第二产业能源消耗强度降低的主要原因是工业能耗的降低,同时其结构效应也起到一定抑制作用,即降低工业在第二产业中的比重,也可以降低第二产业的能源消耗强度。因此,陕西省要想通过降低能源消耗强度来降低碳强度,关键是降低工业能耗并降低工业的比重。

3.3 能源结构分析

能源结构也是影响碳强度的抑制因素之一,但陕西省能源结构 34 年来基本不变,未发挥作用,因此,需进一步分析,找出其主要影响因素,通过一定的政策,使其发挥抑制作用。能源结构主要指煤炭、石油、天然气在一次消费中的份额,由于陕西省以煤炭为主,其他能源比例很小,故研究煤炭消费比例。对比能源结构强度和煤炭比例趋势(图 5)发现:能源结构强度和煤炭消费比例走势基本一致,特别是 1995—2000 年间,二者几乎完全吻合,且煤炭比例在 5 年内迅速下降,此时碳排放也随之下降,说明煤炭比例的下降能够带动能源结构强度下降,也证实了降低煤炭消费比例能明显降低碳排放的增速。因此,降低碳强度的关键是调整能源结构,降低煤炭的比例,开发新能源,以通过降低能源结构强度达到减排。

3.4 CO₂ 排放强度变动的长期分析

Dietz 等^[16]将 IPAT 模型转变为一种随机模型,提出人口、富裕和技术的随机回归影响模型(stochastic im-

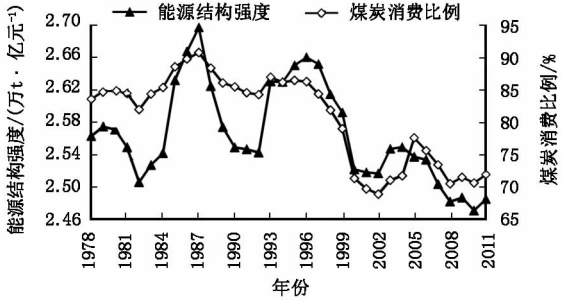


图 5 1978—2011 年陕西省能源结构强度和煤炭消费比例趋势

Fig. 5 The trend of changes of energy structure and the proportion of coal consumption in Shaanxi Province during 1978—2011

pacts by regression on population, affluence and technology, STIRPAT)。产业结构和能源消费结构这两个影响因素未包括到该模型中,故对模型进行修正,纳入产业结构和能源消费结构,并将总量分析改成人均分析,为了消除或减少异方差的影响,对原始序列取对数,模型两边同时减去 $\ln Y_t^P$, 整理可得:

$$\ln C_t^P - \ln Y_t^P = \ln (C_t^P / Y_t^P) = \ln [(C_t / P_t) / (Y_t / P_t)] = \ln (C_t / Y_t) = \ln C_t^Y$$

$= a + (b_1 - 1) \ln Y_t^P + b_2 \ln I_t + b_3 \ln S_t + b_4 \ln M_t + e_t$ 。(11)
式中: P 表示人口; C_t^P, Y_t^P 表示人均碳排放量和人均生产总值; M 表示产业结构,用第二产业增加值在 GDP 中的比例表示; $a, b_1 \sim b_4$ 表示回归方程的待估计系数; e_t 表示随机扰动项。本研究使用 ADF 检验进行单位根检验,最优滞后期用 AIC 最小准则确定,以保证残差非自相关。结果表明:所有变量的水平值均为非平稳序列;在 5% 的显著性水平下,它们的一阶差分均为平稳序列,因此,所有变量均为一阶单整序列, $I(1)$, 满足构造协整方程的必要条件。进一步的 Johansen 协整检验结果表明,在 1% 的显著性水平下,各变量之间存在惟一的协整关系为:

$$\ln C^Y = 0.2148 \ln Y^P + 1.1569 \ln I + 0.6673 \ln S - 0.8496 \ln M$$
。(12)

经检验,1% 置信水平下所有变量的系数 t 检验值均显著,且所有变量的系数符号均符合经济意义。

协整方程表明,长期来看,随着第二产业增加值占 GDP 的比重增加,会降低碳强度,这主要是因为第二产业增加使 GDP 总量的增长快于碳排放量的增加,使得碳强度降低。而能源消耗强度和能源结构是影响碳强度的主要抑制因素,因为这两个变量的增加不仅会增加碳排放量,还会由于其效率降低使 GDP 总量降低,从而使碳强度提高。因此,通过产业结构调整,提高能源利用效率以降低能源消耗强度,同时,通过降低煤炭消耗量提高低碳新能源的消费,改变能源结构,可以有效地减少碳排放,促进 GDP 增长,从而降低碳强度。

4 结论与政策建议

本研究以煤炭、石油和天然气的消耗量为基准核算了陕西省的碳排放量,用2000年为不变价的GDP指数对国内生产总值进行平减,进而计算出陕西省1978—2011年的碳强度;运用LMDI方法和协整方法分别研究了影响陕西省碳强度变化的短期与长期因素,得到以下基本结论:

1)1978—2011年间陕西省碳强度曲线呈“N”型:1978—1987年期间,陕西省碳强度逐步上升,1988年到2000年间碳强度逐步下降,而2000年以后急剧上升。

2)短期来看,1987—2000年间陕西省碳强度处于下降阶段,其原因是能源消耗强度大幅下降。且能源消耗强度贡献值与碳强度变化基本一致,能源结构的贡献值在0附近来回波动。能源消耗强度是陕西省碳强度变化的主要因素,而能源结构的影响较小。三大产业的强度效应与能源消耗强度变化趋势基本一致,且影响最大的是第二产业,其次是第三产业;1997—2008年间三大产业的结构效应基本都在0附近波动,陕西省的产业结构调整政策在这些年起到抑制能源消耗增长的作用较小。2009—2011年间第二产业的结构效应明显为负,通过产业政策调整产业结构,降低能耗较高的第二产业份额,可以在很大程度上抑制能源消耗强度增长。建筑业的强度效应和结构效应基本在0附近波动,对第二产业能耗变化几乎没有影响;而工业强度效应趋势与第二产业能耗变化趋势一致。陕西省第二产业能源消耗强度降低的主要原因是工业能耗的降低,同时其结构效应也起到一定抑制作用。

3)长期来看,随着第二产业结构的增加,会降低碳强度,而能源消耗强度和能源结构是影响碳强度的主要抑制因素,其次是人均收入。

陕西省经济在未来较长时期内仍将以较快速度增长,经济增长与能源环境之间的矛盾将加剧。陕西省若要完成减排目标,必须加快产业结构调整,促进耗能低的第三产业和新兴产业的发展,减少高碳、高耗能的第二产业以提高能源利用效率,降低能源消耗强度,特别是降低工业能耗,同时,通过降低煤炭消耗量、提高低碳的新能源的消费来改变能源结构,从而达到减排的目的。

参考文献:

[1] 陈诗一.“低碳转型”会导致经济减速吗?[N].解放日

报,2010-07-26(13).

[2] Shrestha R M, Timilsina G R. Factors Affecting CO₂ Intensities of Power Sector in Asia: A Divisia Decomposition Analysis[J]. Energy Economics, 1996, 18(4): 283 - 293.

[3] 刘兰翠.我国二氧化碳减排问题的政策建模与实证研究[D].合肥:中国科学技术大学,2006: 59 - 72.

[4] Fan Y, Liu L C, Wu G, et al. Changes in Carbon Intensity in China Empirical Findings during 1980—2003[J]. Ecological Economics, 2007, 62(3-4): 683 - 691.

[5] Zhang Y G. Structural Decomposition Analysis of Sources of Decarbonizing Economic Development in China: 1992—2006[J]. Ecological Economics, 2009, 68(8-9): 2399 - 2045.

[6] 岳超,胡雪洋,贺灿飞,等.1995—2007年我国省区碳排放及碳强度的分析——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.

[7] 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.

[8] 朱聆,张真.上海市碳排放强度的影响因素解析[J].环境科学研究,2011,24(1): 20 - 26.

[9] 虞义华,郑新业,张莉.经济发展水平、产业结构与碳排放强度[J].经济理论与经济管理,2011(3): 72 - 81.

[10] 陈诗一.中国碳排放强度的波动下降模式及经济解释[J].世界经济,2011(4): 124 - 143.

[11] 潘雄锋,舒涛,徐大伟.中国制造业碳排放强度变动及其因素分解[J].中国人口·资源与环境,2011,21(5): 101 - 105.

[12] 籍艳丽,郜元兴.二氧化碳排放强度的实证研究[J].统计研究,2011,28(7): 37 - 44.

[13] 顾成军,龚新蜀.1999—2009年新疆能源消费碳排放的因素分解及实证研究[J].地域研究与开发,2012,31(3): 140 - 144.

[14] Yoichi Kaya. Impact of Carbon Dioxide Emission on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios, Presentation to the Energy and Industry Subgroup [Z]. Paris: Response Strategies Working Group, IPCC, 1989.

[15] Ang B W, Liu F L. Decomposition Analysis for Policy Making in Energy: Which is the Preferred Method? [J]. Energy Policy, 2004, 32(9): 1131 - 1139.

[16] Dietz T, Rosa E A. Rethinking the Environmental Impacts of Population, Affluence, and Technology[J]. Human Ecology Review, 1994(1): 277 - 300.

Key words: environmental Kuznets curve; pollution heaven; FDI; opening; Hunan Province