陕西省碳排放影响因素及其区域分异特征

栗新巧，张艳芳，刘宏宇

（陕西师范大学 旅游与环境学院，陕西 西安 710062）

摘　要：根据 1996—2010 年陕西省终端能源消费数据及 2010 年各市区单位 GDP 能耗数据，对陕西省碳排放量进行了核算，并基于 Kaya 恒等式，利用对数平均 Divisia 指数分解模型对陕西省碳排放的影响因素进行了分解分析。结果表明：(1) 陕西省碳排放总量、人均碳排放量在 1996—2000 年均为小幅度下降，此后大幅度增加，而碳排放强度总体呈现出下降趋势。从能源消费碳排放比例来看，煤炭消费碳排放量占绝对比重(70.47%)。(2) 陕西省各市区碳排放总量与碳排放强度表现出明显的区域分异特征。陕西省的碳排放总量关中最高，陕北次之，陕南最小；地级市区中：西安市、榆林市和渭南市排放量超过 5.00×10^6 t，杨凌区的碳排放量仅有 7.21×10^4 t；渭南市和榆林市碳排放强度较高，而商洛市和杨凌区碳排放强度较低。(3) 经济产出、产业结构及人口规模对陕西省碳排放量的增加表现为正效应，能源结构和能源强度对陕西省碳排放量的增加表现为负效应。其中经济增长是陕西省碳排放量增加的决定因素，而能源强度降低是碳排放量减少的决定因素。

关键词：碳排放；LMDI 模型；因素分解；区域分异；陕西省

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)04-0328-06　　**中图分类号**：F121.3，X24

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.077

Factors and Regional Characteristics of Carbon Emission in Shaanxi Province

LI Xin-qiao, ZHANG Yan-fang, LIU Hong-yu

(*Colledge of Tourism and Environment, Shaanxi Nomoral University, Xi'an, Shaanxi* 710062, *China*)

Abstract: Adopting the data about Shaanxi terminal energy consumption during 1996—2010 and energy consumption per unit of GDP for each city in Shaanxi Province in 2010, the total carbon emission, per capita carbon emission and carbon emission intensity were estimated, and the influence factors of carbon emission were analyzed by using LMDI (logarithmic mean divisia index) decomposition model based on the Kaya identity. The results show that: (1) The total carbon emission and per capita carbon emission of energy consumption were fallen slightly during 1996—2000, then showed a trend of increased volatility year by year during 2001—2010 in Shaanxi Province, while the carbon emission intensity presented a downward trend overall. According to the energy ratio of carbon emission, coal consumption accounted for absolute proportion(70.47%). (2) There were obvious differences of total carbon emission among each cities in Shaanxi Province, it was the highest in Guanzhong area, it was second in Northern Shaanxi Province, and it was the lowest in Southern Shaanxi Province; In the regional city: carbon emission were by more than 5.00×10^6 t in Yulin, Xi'an and Weinan City, but it was only 7.21×10^4 t in Yangling zone; The intensity was higher in Yulin and Weinan City, and was lower in Yangling zone and Shangluo City. (3) Economic output, industrial structure and population size showed a positive effect on carbon emission increasing during this period, while the energy intensity and energy structure showed a negative effect. Among all these influence factors, economic growth is the decisive factor for the carbon emission increasing, and the reduction of the energy intensity is a major determinant of carbon emission decreasing.

Keywords: carbon emission; LMDI model; factors decomposition; regional differentiation; Shaanxi Province

收稿日期：2013-09-04　　**修回日期**：2013-09-15

资助项目：教育部人文社会科学研究规划基金项目“区域土地利用的低碳效应与低碳经济发展模式研究：以西安市为例”(10XJA790011)；陕西师范大学中央高校基本科研业务费专项(GK201302031)；国家自然科学基金项目(41371523)

作者简介：栗新巧(1986—)，女(汉族)，河北省邯郸市人，硕士研究生，研究方向为水土资源评价与规划。E-mail:06xinqiao@163.com。

通信作者：张艳芳(1969—)，女(汉族)，陕西省榆林市人，博士，副教授，主要从事水土资源评价、生态安全与 GIS 应用研究。E-mail:zhangyf@snnu.edu.cn。

全球气候变化带来的环境问题引起世界各国的广泛关注,以化石能源为主的能源消费活动是导致温室气体上升的主要来源[1],全球 CO_2 排放量在 2007—2008 年增加了 0.4 Gt,增长率为 1.5%[2]。中国作为世界上的碳排放大国,2006 年碳排放量超过美国[3],这对我国的生态环境和节能减排造成了极大的压力。目前国内外学者关于碳排放的研究已经展开了深入的分析,Ugur 等[4]运用格兰杰因果关系分析美国收入、能源消耗和碳排放关系的研究表明,从长远来看,收入格兰杰不会导致碳排放,能源消耗会导致碳排放;Luciano 等[5]基于对数平均指数的 LMDI 模型分析了巴西经济增长与碳排放脱钩关系的研究表明,碳排放强度和能源结构是巴西减排的主要决定因素;Inmaculada 等[6]采用 STIRPAT 模型分析了发展中国家城市化对碳排放的影响,指出城市化和碳排放之间存在倒 U 型的关系。李健等[7]运用灰色关联法分析了中国的碳排放强度与产业结构之间的关系指出,全国有 16 个地区第二产业与碳排放强度的关联最大;刘定惠等[8]运用 LMDI 模型分析了甘肃省碳排放的影响因素指出,经济规模的持续扩大是甘肃省碳排放持续增加的决定性因素。此外,众多学者[9-15]在碳排放测算与因素分解、碳排放驱动因子、经济发展与能源消费碳排放关系方面展开研究,研究发现,国内碳排放研究主要集中在宏观尺度如国家层面或大区域层面,而忽视了省级区域的差异,对于较小的省级尺度并结合地方特色的研究较少[16]。因此,本研究以我国西部地区经济发展水平较高,工业发展速度较快的陕西省为研究对象,分析 1996—2010 年陕西碳排放变化特征、区域分异特征,并对碳排放变化的影响因素进行分解分析,为陕西省发展低碳经济提供科学依据和对策。

1　研究区域与研究方法

1.1　研究区域

陕西省位于东经 105°29′—111°15′,北纬 31°42′—39°35′之间,面积 2.06×10^5 km^2。该省设 10 个省辖市和杨凌农业高新区,2011 年总人口 3 742.6 万,生产总值 12 512.3 亿元,比上年增长 24.0%,处于西北 5 省前列。目前,陕西省正处于工业化中后期发展阶段,在工业结构中重工业占到 78.1%,终端能源消费以年均 9.6%的速度上升。由于其经济增长是建立在资源的大量消费特别是煤炭消费的基础之上,碳排放将会以较高的增长率上升,这对陕西省节能减排提出了严峻挑战。

1.2　研究方法

陕西省能源消费以一次燃烧化石能源为主,故本研究的碳排放是一次燃烧化石能源中煤炭、石油、天然气 3 种能源的碳排放。碳排放计算与分析中所用的终端能源消费数据来自历年《中国能源统计年鉴》,人口和经济等相关数据来自历年《陕西省统计年鉴》。碳排放系数采用中国发改委能源研究所的碳排放系数,煤炭、石油和天然气的碳排放系数分别为 0.747 6,0.582 5,0.443 5[17]。

碳排放总量的计算是利用标准煤消费数据乘以碳排放系数来估算,具体的计算公式为:

$$C=\sum Q_i\cdot F_i \tag{1}$$

式中:C——碳排放总量;Q_i——第 i 类化石能源(煤炭、石油、天然气)折算为标准煤的消费量;F_i——第 i 类化石能源的碳排放系数。人均碳排放量是碳排放总量与人口总数的比值。碳排放强度是用来衡量能源利用效率的指标,是碳排放总量与 GDP 的比值,碳排放强度越大则表示能源利用率越低。

1.3　LMDI 研究模型

根据扩展的 Kaya 恒等式[18]对陕西省碳排放总量进行分解,运用 Ang[19-20]提出的对数平均 Divisia 指数(LMDI)分解模型将能源消费碳排放的影响因素分解为:排放因子、能源结构、能源强度、产业结构、产出规模和人口规模。Kaya 恒等式扩展模型和 LMDI 具体分解模型分别为:

(1) Kaya 恒等式扩展模型。表达式为:

$$C=\sum_i\sum_j\left(\frac{C_{ij}}{\mathrm{EM}_{ij}}\cdot\frac{\mathrm{EM}_{ij}}{\mathrm{EM}_i}\cdot\frac{\mathrm{EM}_i}{\mathrm{GDP}_i}\cdot\frac{\mathrm{GDP}_i}{\mathrm{GDP}}\cdot\frac{\mathrm{GDP}}{P}\cdot P\right)$$

式中:i——产业类型;j——能源类型;C——碳排放量;EM——能源消费量;GDP——国内生产总值;P——总人口数。

另,$F_{ij}=\dfrac{C_{ij}}{\mathrm{EM}_{ij}}$,$S_{ij}=\dfrac{\mathrm{EM}_{ij}}{\mathrm{EM}_i}$,$I_i=\dfrac{\mathrm{EM}_i}{\mathrm{GDP}i}$,

$U_i=\dfrac{\mathrm{GDP}_i}{\mathrm{GDP}}$,$G=\dfrac{\mathrm{GDP}}{P}$,$P=P$

则 Kaya 扩展模型表述为:

$$C=(F_{ij}\cdot S_{ij}\cdot I_i\cdot U_i\cdot G\cdot P) \tag{2}$$

式中:F_{ij}——不同能源类型的单位碳排放量,即不同产业中不同能源的碳排放系数;S_{ij}——不同能源类型在不同产业中的比重;I_i——第 i 产业单位 GDP 能源消费量,即第 i 产业的能源强度;U_j——第 i 产业 GDP 所占百分比;G——人均 GDP;P——人口数。则公式(2)将碳排放分解为经济产出效应(G)、产业结构效应(U_j)、能源强度效应(I_i)、能源结构效应(S_{ij})人口规模效应(P)、排放因子效应(F_{ij})。

(2) LMDI 因素分解模型。将上述 6 种因素分

解，设 C^0，C^t 分别为基期碳排放总量和 t 期碳排放总量，碳排放总的变化用下标 C_{tot} 表示。根据 LMDI 分解法，各分解因素贡献值的表达式分别为：

$$\Delta C_{tot}=C^t-C^0=\Delta C_F+\Delta C_S+\Delta C_I+\Delta C_U+\Delta C_G+\Delta C_P \quad (3)$$

排放因子效应：

$$\Delta C_F=\sum_i\sum_j\left[\frac{C_{ij}^t-C_{ij}^0}{\ln(C_{ij}^t/C_{ij}^0)}\times\ln\frac{F_{ij}^t}{F_{ij}^0}\right] \quad (4)$$

经济产出效应：

$$\Delta C_G=\sum_i\sum_j\left[\frac{C_{ij}^t-C_{ij}^0}{\ln(C_{ij}^t/C_{ij}^0)}\times\ln\frac{G'}{G^0}\right] \quad (5)$$

产业结构效应：

$$\Delta C_U=\sum_i\sum_j\left[\frac{C_{ij}^t-C_{ij}^0}{\ln(C_{ij}^t/C_{ij}^0)}\times\ln\frac{U_i^t}{U_i^0}\right] \quad (6)$$

能源结构效应：

$$\Delta C_S=\sum_i\sum_j\left[\frac{C_{ij}^t-C_{ij}^0}{\ln(C_{ij}^t/C_{ij}^0)}\times\ln\frac{S_{ij}^t}{S_{ij}^0}\right] \quad (7)$$

能源强度效应：

$$\Delta C_I=\sum_i\sum_j\left[\frac{C_{ij}^t-C_{ij}^0}{\ln(C_{ij}^t/C_{ij}^0)}\times\ln\frac{I_i^t}{I_i^0}\right] \quad (8)$$

人口规模效应：

$$\Delta C_P=\sum_i\sum_j\left[\frac{C_{ij}^t-C_{ij}^0}{\ln(C_{ij}^t/C_{ij}^0)}\times\ln\frac{P^t}{P^0}\right] \quad (9)$$

由于能源的碳排放系数在实际应用中为常量，因此进行因素分析时不作为考虑因素。故计算公式简化为：

$$\Delta C_{tot}=C^t-C^0=\Delta C_S+\Delta C_I+\Delta C_U+\Delta C_G+\Delta C_P \quad (10)$$

2 结果分析

2.1 陕西省碳排放变化特征

由图 1 可以看出，陕西省碳排放总量在 1996—2000 年表现为小幅下降，由 1996 年的 1.56×10^7 t 下降到 2000 年的 9.68×10^6 t，碳排放量下降了 38.06%。下降的主要原因与陕西省实施能源结构改造工程，即煤改天然气工程以及国家在 1996 年出台的关于关闭或停产高耗能、高污染、低效率的工业项目法规有关。2001 年起碳排放总量以 12.18%的年均增长率快速上升至 2010 年的 3.43×10^7 t。人均碳排放与碳排放总量变化特征相似，1996 年为 0.44 t/人，2010 年增加至 0.92 t/人。2000 年国家实施西部大开发战略以来，陕西省经济快速发展，工业化和城市化过程中能源消耗不断增加，尤其是“十一五”以来，经济进入快速增长阶段，在城市化、工业化等一系列因素推动下，经济的快速增长带来能源消耗的不断增加，导致碳排放相关指标值的快速上升。

从能源消费的碳排放结构来看，煤炭消费碳排放量最高，石油碳排放量次之，天然气碳排放量最小。煤炭所占比例累计达到 70.47%，石油为 22.68%，天然气为 6.85%，其中第二产业碳排放中煤炭所占比例为 83.82%。可知陕西省煤炭消费 CO_2 排放量占绝对比重，以煤炭为主的能源消费结构对碳排放量的贡献值较高，能源消费结构需要进一步优化。由图 2 可以看出，1996—2010 年陕西省碳排放强度总体呈下降趋势。从 1996 年的 1.29 t/万元持续下降到 2010 年的 0.34 t/万元。

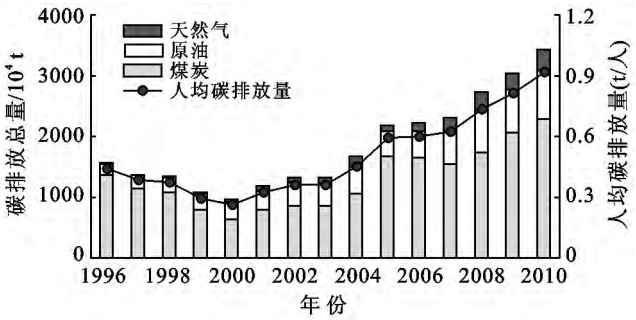


图 1 陕西省 1996－2010 年碳排放量

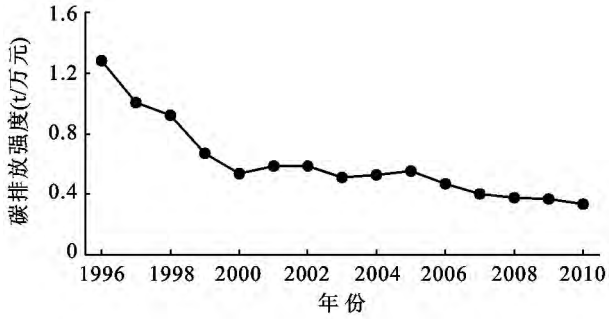


图 2 陕西省 1996－2010 年碳排放强度

2.2 陕西省碳排放区域差异

由图 3 的测算结果可以看出，陕西省各市区碳排放总量与碳排放强度表现出明显的区域分异特征。陕西省 3 大地区碳排放总量中关中最高，陕北次之，陕南最小。关中总碳排放量达到 2.08×10^7 t，陕北碳排放量为 9.02×10^6 t，陕南碳排放量为 4.01×10^6 t。关中碳排放量较高的原因在于该地区经济发展速度较快，工业化、城市化水平较高，整体经济实力高于陕北和陕南地区，经济增长需要的能源消耗较高。陕南以绿色产业为主，经济发展落后于关中和陕北，是陕西省经济发展的薄弱区域，能源消耗较少。陕北地区资源丰富，经济发展水平高于陕南地区，碳排放量稍高于陕南。

由陕西省各地级市区碳排放总量分析可知（图 3），西安市、榆林市和渭南市排放量超过 5.00×10^6 t；而杨陵区、商洛市、安康市碳排放总量较低，其中杨凌区碳排放量只有 7.21×10^4 t。在 11 个市区（图 4）

中,渭南市和铜川市的碳排放强度较高,分别为 0.67 和 0.64 t/万元;西安市、商洛市、杨陵区碳排放强度则较低,都在 0.24 t/万元以下;其它市区碳排放强度则介于 0.26～0.44 t/万元之间。陕西省各市区碳排放量存在区域差异的原因与各市区的经济发展水平、人口规模和产业结构特征有关。西安市经济发展水平较高,人口规模较大,GDP 总量、人口规模都居于全省之首,这些因素与碳排放有着较高的正相关性,故碳排放量较高。但高新技术产业对于西安市的经济增长也有不小的贡献,因此碳排放强度较低;榆林市、渭南市作为国家能源化工基地,碳排放量居于陕西省前列。但榆林市注重提高能源的利用率使得碳排放强度较低,渭南市能源消费较多而利用率低,故其碳排放强度最高;商洛市和杨凌区碳排放量和碳排放强度都较低,主要原因在于商洛市和杨凌区以旅游服务业和农业等低碳行业为主导产业。

2.3　陕西省碳排放影响因素分解分析

根据分解公式对陕西省各影响因素进行 LMDI 分解。由表 1 可以看出,经济产出效应、产业结构效应及人口规模效应对陕西省碳排放的增加表现为正效应,而能源结构效应和能源强度效应对陕西省碳排放的增加表现为负效应。各分解因素对陕西省能源消费碳排放的贡献率不同,各因素按贡献率的绝对值大小依次是经济产出效应,能源强度效应,产业结构效应,能源结构效应和人口规模效应。可以看出,经济增长是陕西省碳排放增加的决定因素,而能源强度降低是碳排放减少的决定因素。

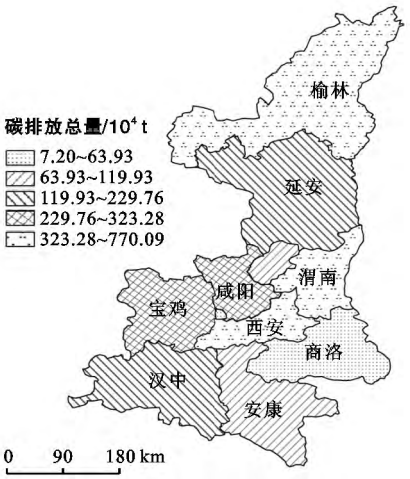


图 3　陕西省 2010 年各市区碳排放量

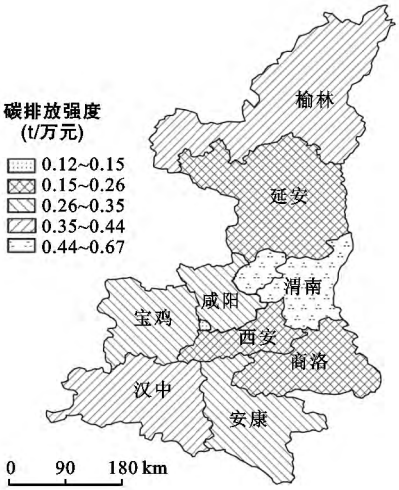


图 4　陕西省 2010 年各市区碳排放强度

表 1　陕西省 1996－2010 年碳排放影响因素分解结果(以 1996 年为基期)　　10^4 t

年份	经济产出效应 ΔC_G	产业结构效应 ΔC_U	能源结构效应 ΔC_S	能源强度效应 ΔC_I	人口规模效应 ΔC_P	总效应 ΔC_{tot}
1997	156.13	9.50	－17.35	－381.94	11.11	－222.55
1998	240.04	13.44	－32.97	－492.76	21.42	－250.83
1999	318.94	45.95	－61.77	－1 146.04	26.96	－815.96
2000	440.20	58.95	－115.95	－1 225.64	33.83	－808.61
2001	618.65	73.91	－120.52	－1 282.25	40.34	－669.87
2002	801.29	94.44	－139.51	－1 348.49	45.65	－546.62
2003	986.52	133.16	－157.64	－1 564.17	49.12	－553.01
2004	1 392.20	169.11	－175.28	－1 363.93	57.98	80.09
2005	2 047.42	210.94	－124.90	－1 554.01	73.71	653.17
2006	2 390.94	234.07	－115.25	－1 851.37	78.45	736.83
2007	2 711.30	248.42	－150.78	－2 025.26	82.10	865.78
2008	3 441.82	276.61	－166.38	－2 520.58	94.97	1 126.43
2009	3 943.37	295.42	－154.62	－2 727.76	107.65	1 464.05
2010	4 673.40	333.89	－166.35	－3 381.58	119.66	1 579.03

注:根据历年《陕西统计年鉴》和《中国能源统计年鉴》整理计算。

经济的高速增长是陕西省 1996—2010 年碳排放增加的主导因素。2010 年陕西省 GDP 是 1996 年的 8.33 倍，同期第一产业 GDP 比例从 1996 年的20.6%下降到 2010 年的 9.76%，第二产业由 42.3%波动上升到 53.8%，第三产业从 37.1%波动下降到36.4%。根据陕西省目前的经济和产业发展特征，经济的发展必然与能源的消费相关联，故陕西省经济产出与碳排放有着较高的正相关性。

人口规模对于陕西省碳排放的增加表现为微弱的正效应，由于陕西省自 1996 年以来人口年均净增长较小，故人口规模对于碳排放的影响较小。产业结构对陕西省碳排放的影响高于人口规模。图 5 显示，1996—2010 年陕西省第二产业碳排放量比重从 1996 年的 70.3%波动下降到 2010 年的 64.7%，第一产业碳排放比重在 1.5%之间波动，第三产业碳排放则从 1996 年的 28.0%波动上升到 2010 年的 33.8%。虽然第二产业碳排放量比重由所下降，但绝对比重较大，第二产业碳排放量在三大产业比重中始终占主导地位，产业结构变化对陕西省碳排放增长没有出现负效应，表明陕西省产业结构仍处于不太理想状态，需要进一步实施产业结构优化调整。

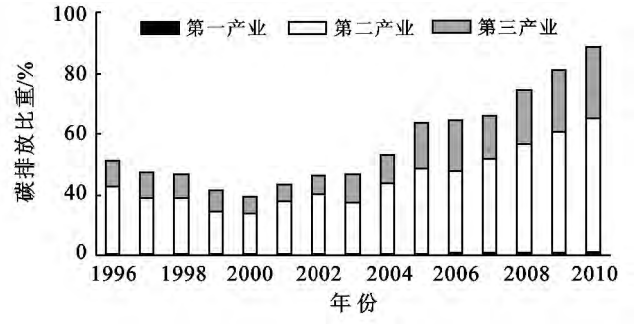


图 5 陕西省 1996－2010 年各产业结构碳排放比重

能源结构对碳排放影响呈现出负效应。由表 1 可以看出，能源结构变化对陕西省碳排放的增加所表现的负效应较小，这与陕西省能源结构的特点有关。陕西省以煤炭消费为主，各产业中尤其是第二产业，煤炭消耗量较大。从 1996—2010 年陕西省各类产业中的能源结构碳排放来看，第二产业中的煤炭碳排放量高达 68%以上，煤炭能源消费的绝对比重始终较高。第三产业的能源结构变化稍大，煤炭碳排放下降了 42.95%，石油和天然气碳排放比重分别上升了 28.28%和 14.67%。但从整体来看，以煤炭为主要的能源结构并没有改变，所以其负效应较小。

能源强度对陕西省碳排放的影响较大。表 1 显示，它对碳排放的增加呈现出显著的负效应。能源强度可以衡量产业部门的能源利用效率以及技术水平。陕西省 1996—2010 年各产业能源强度都呈现出大幅度的下降(图 6)。第一产业能源强度(折算为标准煤)从 1996 年的 0.45 t/万元下降到 2010 年的 0.26 t/万元，降幅达 53.08%，第二产业能源强度从 1996 年的 4.54 t/万元下降到 2010 年的 0.91 t/万元，降幅高达 79.77%，第三产业能源强度从 1996 年的 1.99 t/万元下降到 2010 年的 0.55 t/万元，降幅为 72.53%，2010 年全行业的能源强度降低到0.71 t/万元，降幅达 74.18%。这表明陕西省减排技术水平有了一定进步，能源利用效率有了较大提高。但是，相对于庞大的碳排放量来说，陕西省能源利用效率还应进一步提高，技术水平还有很大的提升空间。

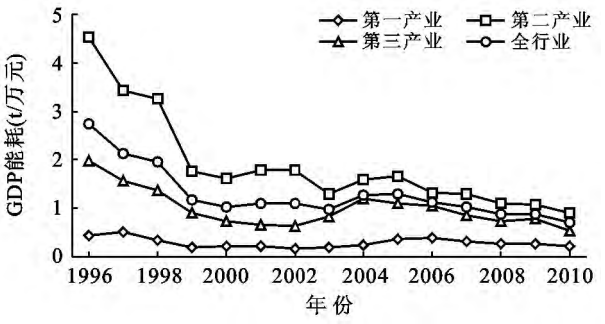


图 6 陕西省 1996－2010 年各产业能源强度

3 陕西省节能减排的对策建议

(1) 调整能源结构，提高能源利用效率。陕西省煤炭消耗在总能源消耗中所占比重较大，以煤炭为主的能源结构是造成碳排放增加的重要因素，因此应优化能源结构，适当的降低煤炭消耗比重，增加天然气等清洁能源的比重。同时应提高科技水平，降低碳排放强度，提高能源利用效率。

(2) 优化产业结构，扩大低碳产业结构比重。1996—2010 年陕西省第二产业碳排放占到全行业的 70.47%以上，且在第二产业中以高排放的煤炭为主(83.82%)，应合理的缩小第二产业规模，适当减少高耗能工业的发展，加快第三产业的发展，比如旅游业和文化产业的发展。

(3) 建立和完善低碳经济体制。政府积极提倡低碳理念和低碳示范工程，引导人们自觉向低碳生活转变，同时建立企业和政府联合开发机制，鼓励开发新能源和可再生能源的使用。

(4) 加强区域合作和国际合作。陕西省应该与其它区域以及国际社会共同合作，研发新的节能减排技术，借助国外资金、技术和经验，减少碳排放，完成减排目标。

4 结 论

(1) 1996—2010 年陕西省碳排放量、人均碳排放总体呈现出波动增加的趋势,碳排放强度呈现出下降的趋势。在历年累计碳排放结构中,煤炭消费碳排放量最高,石油碳排放量次之,天然气碳排放量最小,煤炭消费造成的碳排放量占了绝对比重(70.47%)。

(2) 陕西省各市区碳排放总量与碳排放强度表现出明显的区域分异特征。碳排放总量中关中最高,陕北次之,陕南最小。在各地级市区中:西安市、榆林市和渭南市排放量超过 5.00×10^6 t,而杨凌区的碳排放量只有 7.21×10^4 t。以能源化工产业为主导产业的渭南和榆林等市碳排放强度较高,而商洛市和杨凌区以旅游服务业和农业高新技术产业等低碳行业为主导产业,碳排放强度较低。

(3) 经济产出、产业结构及人口规模对陕西省碳排放的增加表现为正效应,而能源强度和能源结构对陕西省碳排放的增加表现为负效应。各因素对陕西省能源消费碳排放的贡献率绝对值大小依次为:经济产出效应>能源强度效应>产业结构效应>能源结构效应>人口规模效应。经济增长是陕西省碳排放增加的决定因素,而能源强度降低是碳排放减少的决定因素。

[参 考 文 献]

[1] IPCC. IPCC Fourth Assessment Report [EB/OL]. (2009-03-05)[2013-06-18]. http://www.ipccch/ipccreports/ar4w-g3.html.

[2] IEA. CO_2 emissions from fuel combustion(2008 edition)[R]. International Energy Agency(IEA), Head of Communication and Information Office, 2009.

[3] Boden T A, Marland G, Andres R J. Global, regional, and national fossil-fuel CO_2 emissions[R]. Oak Ridge Tenn, USA: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US Department of Ene-Rgy, 2009.

[4] Ugur S, Ramazan S, Bradley T E. Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States[J]. Ecological Economics, 2007,62(5):482-489.

[5] Luciano C de F, Shinji K. Decomposing the decoupling of CO_2 emissions and economic growth in Brazil[J]. Ecological Economics, 2011, 70(6):1459-1469.

[6] Inmaculada M Z, Antonello M. The impact of urbanization on CO_2 emissions: Evide-nce from developing countries[J]. Ecological Economics, 2011, 70(5): 1344-1353.

[7] 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,2012,22(1):7-14.

[8] 刘定惠,杨永春. 甘肃省碳排放变化的因素分解及实证分析[J]. 干旱区研究,2012,29(3):510-516.

[9] 蒋金荷. 中国碳排放测算及影响因素分解[J]. 资源科学,2011,33(4):597-604.

[10] Tol R S J, Pacala S W, Socolow R H. Understanding long-term energy use and carbon dioxide emissions in the USA[J]. Journal of Policy Modeling, 2009,31(3): 425-445.

[11] Nader S. Pathway to low-carbon economy: The Masder example[J]. Energy Procedia, 2009, 38(1): 3951-3958.

[12] Wang Can, Chen Jining, Zou Ji. Decomposition of energy-related CO_2 emission in China: 1957—2000[J]. Energy, 2005, 30(1):73-83.

[13] 徐国泉,刘泽渊,姜兆华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995—2004 年[J]. 中国人口·资源与环境, 2006, 16(6): 158-161.

[14] 朱勤,彭希哲,陆志明,等. 中国能源消费碳排放变化的因素分解及实证分析[J]. 资源科学,2009,31(12): 2072-2079.

[15] 李艳梅,张雷,程晓凌. 中国碳排放变化的因素分解与减排途径分析[J]. 资源科学,2010,32(2): 218-222.

[16] 苏雅丽,张艳芳. 陕西省土地利用变化的碳排放效应研究[J]. 水土保持学报,2011,25(1):152-156.

[17] 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碳排放情景分析[R]. 北京:国家发展和改革委员会能源研究所, 2003.

[18] Kaya Yoichi. Impact of carbon dioxide emission on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios[R]. Paris: Presentation to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, IPCC, 1989.

[19] Ang B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method [J]. Energy Policy, 2004, 32(9): 1131-1139.

[20] Lin Boqiang, Du Kerui. Decomposing energy intensity change: A combination of index decomposition analysis and production-theoretical decomposition analysis [J]. Applied Energy, 2014,129(9):158-165.