

基于 EIO-LCA 模型的陕西省产业碳减排效应

袁长伟,白娟,芮晓丽,李若影

(长安大学 经济与管理学院,陕西 西安 710064)

摘要:为了从产业结构调整角度对陕西省碳减排政策设计提供决策依据,选择能源消费、产业链、消费需求视角,基于2007和2012年投入产出表,采用IPCC碳排放核算方法和EIO-LCA模型分别测算陕西省2007和2012年30个细分部门的直接碳排放和间接碳排放,构建碳减排效应模型分析各细分部门的2007和2012年的碳减排变化。结果表明,直接碳排放中,电力、热力的生产和供应业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,煤炭开采和洗选业等基础性能源部门的碳排放量较高;间接碳排放中,建筑业、其他服务业隐含碳排放量较高,而“流出”间接碳排放对最终需求引起的碳排放贡献最大;在碳减排政策设计中,上述部门应该成为碳减排的重点领域。

关键词:陕西省;碳减排;EIO-LCA模型;产业结构调整;投入产出分析

中图分类号:F205

文献标志码:A

文章编号:1671-6248(2016)04-0048-08

发展低碳经济是转变经济发展方式的内在要求,陕西作为能源生产和消费大省,发展绿色环保的低碳经济是必由之路。《国务院关于印发“十二五”控制温室气体排放工作方案的通知》中,陕西省的目标是单位GDP碳排放下降15%。陕西省目前处于工业化、城镇化快速发展期,经济发展与碳排放需求持续上升。为了在促进经济增长的同时降低碳排放,产业结构调整与升级是重要途径之一^[1-3]。因此,系统测算陕西具体产业部门的碳排放量,分析各部门的碳减排潜力,对于有针对性地设计碳减排方案具有重要的理论意义与现实意义。

目前关于碳排放的研究主要集中在碳排放测算、碳强度因素分析、碳排放格局及其与经济增长关系的研究。碳排放测算方面:一种是以生产者视角的碳排放清单核算框架为主,此方法主要是利用IPCC核算体系,对各部门的直接碳排放进行测算,

但这类方法存在“碳泄漏”及排放公平性问题^[4-5];另一种是基于需求者视角的隐含碳排放测算,主要利用投入产出法核算整个经济系统的直接和间接碳排放,即进行“碳足迹”追踪^[6]。国外学者运用碳足迹研究了中国^[7-8]、美国^[9]、澳大利亚^[10]等国家的国际贸易的隐含碳问题,Shui等^[11]利用经济投入产出生命周期评价软件计算了美国出口到中国的隐含碳排放量;国内学者计军平^[12]建立了EIO-LCA模型分析了温室气体排在部门间的分布结构;唐建荣等^[13]对江浙沪地区隐含碳排放进行了估算,石敏俊等^[14]应用2002年中国省区间投入产出模型,定量测算了各省区碳足迹。碳强度因素分析方面,徐国泉等^[15]采用对数平均权重 Divisia 分解法分析了1995~2004年间能源结构、能源效率和经济发展等因素的变化对中国人均碳排放的影响;崔佳^[16]运用LMDI法将中国碳排放强度的驱动因素分解为技术

收稿日期:2016-07-13

基金项目:国家自然科学基金项目(51278057);陕西省自然科学基金项目(2012JQ5013);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(310823151006)

作者简介:袁长伟(1981-),男,湖南邵阳人,教授,工学博士。

因素、能源消费结构因素、能源强度因素和产业结构因素,并结合相关数据对中国碳排放强度驱动效应进行测度;张旺等^[17]利用 LMDI 分解研究了北京能源消费排放增量增长的驱动因素;雷厉^[18]通过构建“LMDI 分解模型”,认为产业结构变化通过促进能源强度的增加,间接推动了碳排放量的增长。碳排放格局及其与经济增长关系方面,张雷等^[19]试图通过产业—能源关联和能源—碳排放关联两个基本评价模型,解析中国碳排放区域格局变化的原因;杜婷婷等^[20]以库兹涅茨环境曲线(EKC)及衍生曲线为依据,对中国 CO₂ 排放量与人均收入增长时序资料进行统计拟合得出中国经济发展与 CO₂ 排放的函数关系;赵爱文等^[21]选取 1953 ~ 2008 年中国碳排放量和经济增长数据,运用协整和误差修正模型及 Granger 因果关系,研究了碳排放与经济增长的关系。

以往的研究在分析宏观层面的产业结构变化带来的碳排放效应做出了卓有成效的工作,但在微观的具体行业部门的碳减排问题力有不逮。投入产出模型与生命周期理论相结合即经济投入产出生命周期评价(EIO-LCA)是分析计算微观部门生产全过程隐含碳排放的有效方法之一。本文拟运用 IPCC 碳排放核算办法及 EIO-LCA 模型,分别从消费、需求等角度对陕西省各细分部门的直接和隐含碳排放情况进行测算,并对比分析 2007 和 2012 年各部门碳排放的结构变化,构建碳减排效应模型对各部门的碳减排效应进行分析。研究结论为政府制定碳减排政策及产业发展政策提供了决策支持。

一、陕西省碳排放测算

(一) 测算方法

1. 直接碳排放测算

基于能源消费的直接碳排放计算一般采用 IPCC 碳排放核算办法,其中的标准量转换系数及碳排放系数采用《2009 中国可持续发展战略报告——探索中国特色的低碳道路》中相关数据。具体计算方法如下;

$$C = \sum (Q_{Ei} \times \gamma_i \times a_i) \tag{1}$$

式中: C 为能源消费碳排放量; Q_{Ei} 为第 i 类能源消费量; γ_i 为第 i 类能源标准煤折算系数; a_i 为第 i 类能源单位标准煤的碳排放系数。表 1 为各类能源的标准煤转换系数及碳排放系数。

表 1 各类能源的标准煤转换系数及碳排放系数

能源种类	标准煤转换系数 (kg 标煤/kg)	碳排放系数 (吨碳/吨)
原煤	0.714 3	0.747 6
焦炭	0.971 4	0.112 8
原油	1.428 6	0.585 4
汽油	1.471 4	0.553 2
煤油	1.471 4	0.341 6
柴油	1.457 1	0.591 3
燃料油	1.428 6	0.617 6
天然气	13.300 0	0.447 9
电力	1.229 0	2.213 0

2. 间接碳排放测算

本文基于 EIO-LCA 模型来对各部门的间接碳排放进行测算。EIO-LCA 模型是指利用经济投入产出模型与生命周期理论模型相结合而形成的投入产出生命周期模型,来计算各行业部门在生产链过程中的间接碳排放量。模型如下:

$$B = R(I - A)^{-1}Y \tag{2}$$

式中: B 为各部门的能源碳排放矩阵, R 为对角矩阵,表示各个部门的直接能源消费碳排放强度,对角元素为 R_i ; $(I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵,其中 I 为单位矩阵, A 为国内投入部分的直接消耗系数矩阵; Y 为对角矩阵,表示剔除进口部分的最终需求量(包括居民最终消费量、政府最终需求量、资本形成及流出量,其中流出量又包括省外流出和国外流出)。

(二) 数据来源

考虑到当前陕西省的碳排放主要源于一次性能源消费,本文仅以煤、石油、天然气、电力等能源计算碳排放。研究采用 2007 年和 2012 年陕西省统计数据,其中,各种能源消费数据来自于 2007 年和 2012 年《陕西省能源统计年鉴》,部门投入产出数据来自于 2007 年和 2012 年陕西省投入产出表。考虑投入产出表及分行业能源消费表中部门分类,调整合并部门分类,最后确定为农林牧渔、煤炭开采等 30 个部门。

(三) 测算过程

首先根据式(1)对各部门的直接碳排放进行测算,测算结果见表 2。

根据式(2)并运用 MATLAB 软件对各细分部门的间接碳排放进行计算,计算过程如下:

第一,计算各行业部门之间的直接消耗系数矩阵 A ,其元素为 a_{ij} , $a_{ij} = x_{ij}/X_j$,其中, x_{ij} 表示 j 产业在生产过程中对 i 产业产品的消耗量, X_j 表示 j 产业

表 2 各部门直接碳排放量及碳排放强度

序号	部门	直接碳排放量 (万吨)		直接碳排放强度 (吨/万元)	
		2007 年	2012 年	2007 年	2012 年
1	农林牧渔业	136.37	170.89	0.136 0	0.074 2
2	煤炭开采和洗选业	497.16	2 747.89	1.167 8	1.032 3
3	石油和天然气开采业	137.90	150.96	0.140 4	0.083 9
4	金属矿采选业	37.94	60.60	0.184 5	0.169 1
5	非金属矿及其他 矿采选业	3.40	23.36	0.392 8	0.201 3
6	食品制造及烟草加工业	91.98	161.65	0.191 3	0.087 1
7	纺织业	49.60	39.47	0.572 0	0.183 2
8	纺织服装鞋帽皮革 羽绒及其制品业	0.45	5.86	0.023 8	0.116 8
9	木材加工及家具制造业	2.33	15.00	0.125 1	0.259 5
10	造纸印刷及文教 体育用品制造业	57.61	43.29	0.434 3	0.218 4
11	石油加工、炼焦及 核燃料加工业	736.49	1 658.25	0.863 9	0.780 1
12	化学工业	594.31	964.85	1.097 6	0.658 3
13	非金属矿物制品业	380.85	690.70	2.462 1	0.770 7
14	金属冶炼及压延加工业	371.33	859.58	0.546 8	0.392 6
15	金属制品业	5.68	41.16	0.065 2	0.163 6
16	通用、专用设备制造业	44.00	79.44	0.088 9	0.078 0
17	交通运输设备制造业	53.65	72.20	0.078 7	0.004 4
18	电气机械及器材制造业	9.98	15.81	0.037 5	0.027 6
19	通信设备、计算机及 其他电子设备制造业	27.18	10.59	0.141 4	0.033 5
20	仪器仪表及文化办公用 机械制造业	3.41	3.99	0.047 5	0.023 8
21	工艺品及其他制造业	7.83	16.47	0.458 2	0.669 2
22	废品废料	0.08	0.41	0.020 0	0.049 5
23	金属制品、机械和 设备修理业	0.00	1.70	0.000 0	0.033 9
24	电力、热力的生产和 供应业	2 177.10	2 813.63	5.060 0	2.091 6
25	燃气生产和供应业	0.52	9.80	0.016 0	0.110 1
26	水的生产和供应业	5.07	15.30	0.239 0	0.893 7
27	建筑业	38.70	120.03	0.023 9	0.026 6
28	交通运输、仓储业及 邮政业	320.85	574.76	0.541 5	0.412 3
29	批发零售和住宿餐饮业	214.47	233.32	0.270 1	0.106 8
30	其他服务业	442.60	197.44	0.231 5	0.035 7

的总产出量。 a_{ij} 为 A 的元素,表示第 j 个部门增加一个单位的最终需求时所需要的 i 部门的产出。

第二,将直接消耗系数矩阵 A 、最终需求量矩阵 Y 及各部门的碳排放强度矩阵 R 依次导入到 MATLAB 中,并根据需要对变量进行重命名。

第三,在 MATLAB 中求出列昂惕夫逆矩阵 $(I - A)^{-1}$,后左乘直接碳排放强度 R ,右乘 Y 生成对角阵,即可得到各细分部门基于生产链视角的间接碳排放量。若分别右乘居民消费 Y_1 、政府消费 Y_2 、资本形成 Y_3 及流出 Y_4 生成的对角阵,得到的即为基于消费需求视角的碳排放量,测算结果见表 3。

二、模型测算结果及分析

(一) 直接碳排放

通过测算,陕西省 2007 和 2012 年的直接碳排放总量分别为 6 448.83 万吨、11 798.41 万吨,增长率达 45%。其中排名前四的部门分别是电力、热力的生产和供应业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学工业,煤炭开采和洗选业。其中,电力、热力的生产和供应业从 2007 年至 2012 年增长了 636.53 万吨,分别占总碳排放量的 34%、24%。从增长绝对值来看,煤炭开采和洗选业的能源消耗碳排放量增长最多,增长了 2 250.73 万吨,是 2007 年的 4.5 倍,上升为第二大碳排放部门。

从碳排放强度看,电力、热力的生产和供应业、非金属矿物制品业、煤炭开采和洗选业位居前三,其值在 2007 年分别为 5.06 吨/万元、2.46 吨/万元和 1.17 吨/万元,到 2012 年电力、热力的生产和供应业降为 2.09 吨/万元,煤炭开采业小幅下降到 1.03 吨/万元,非金属矿物制品业下降到 0.77 吨/万元。但是另一方面,水的生产和供应业、工艺品及其他制造业、木材加工及家具制造业的碳排放强度不降反增,值得关注。

(二) 间接碳排放

1. 基于生产链视角

从生产链视角来看,2007 年间接碳排放量为 19 596.7 万吨,排名前三的部门分是建筑业、其他服务业、通用专用设备制造业,分别占总体碳排放的 27.68%、9.96% 和 7.05%。到了 2012 年,间接碳排放达 38 490.35 万吨,排名前三的部门变为建筑业、其他服务业、煤炭开采和洗选业,建筑业的碳排放占比上升到 30.96%,煤炭开采和洗选业上升为第三大间接碳排放部门。排名前五的部门间接排放量占到总量的近 60%,表 4 是细分部门间接碳排放排序。

作为间接碳排放量最大的建筑业,其最终需求引起的碳排放中 97.5% 以上产生于其他部门。生产链中排放量最大的电力业、非金属矿物制品业、金

表 3 各部门间接碳排放量 万吨

序号	部门	居民消费		政府消费		资本形成		流出		间接碳排放合计	
		2007 年	2012 年	2007 年	2012 年	2007 年	2012 年	2007 年	2012 年	2007 年	2012 年
1	农林牧渔业	109.78	182.05	6.55	2.24	187.96	6.73	434.46	572.81	738.75	763.83
2	煤炭开采和洗选业	54.29	15.21	0.00	0.00	8.17	13.88	147.78	2 986.13	210.24	3 015.23
3	石油和天然气开采业	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.28	0.15	563.80	500.94	559.52	501.08
4	金属矿采选业	0.00	0.00	0.00	0.00	21.07	6.27	137.02	208.55	158.10	214.82
5	非金属矿及其他矿采选业	0.00	0.00	0.00	0.00	2.52	3.24	2.31	82.27	4.83	85.51
6	食品制造及烟草加工业	483.40	342.08	0.00	0.00	40.88	5.40	361.71	645.56	885.99	993.04
7	纺织业	117.47	63.96	0.00	0.00	-7.89	1.92	159.64	198.13	269.22	264.02
8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	159.86	219.54	0.00	0.00	9.08	1.50	28.39	132.39	197.33	353.44
9	木材加工及家具制造业	26.32	45.19	0.00	0.00	196.69	20.82	2.66	104.39	225.66	170.41
10	造纸印刷及文教体育用品制造业	60.98	119.86	0.00	0.00	3.90	17.22	56.73	137.38	121.61	274.45
11	石油加工、炼焦及核燃料加工业	5.05	73.90	0.00	0.00	10.59	22.62	911.89	1 917.68	927.53	2 014.20
12	化学工业	291.03	367.71	0.00	0.00	6.42	19.46	882.08	1 150.74	1 179.54	1 537.90
13	非金属矿物制品业	64.56	39.82	0.00	0.00	145.61	32.02	363.94	642.77	574.11	714.61
14	金属冶炼及压延加工业	0.00	0.00	0.00	0.00	37.74	48.45	1 121.41	2 679.02	1 159.15	2 727.47
15	金属制品业	30.34	7.90	0.00	0.00	98.42	88.28	13.51	258.20	142.28	354.38
16	通用、专用设备制造业	6.28	8.68	0.00	0.00	986.92	733.85	388.51	888.56	1 381.71	1 631.09
17	交通运输设备制造业	33.47	82.37	0.00	0.00	203.21	417.10	579.00	1 380.54	815.68	1 880.02
18	电气机械及器材制造业	68.67	60.67	0.00	0.00	175.78	112.98	259.53	474.29	503.98	647.94
19	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	104.08	76.59	0.00	0.00	78.19	76.39	184.93	1 309.05	367.20	1 462.03
20	仪器仪表及文化办公用机械制造业	7.05	2.14	0.00	0.00	22.38	12.38	4.79	149.88	34.22	164.39
21	工艺品及其他制造业	6.77	8.60	0.00	0.00	-0.19	231.38	7.11	58.88	13.70	298.86
22	废品废料	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.40	2.26	0.40	2.32
23	金属制品、机械和设备修理业	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.72	0.00	4.72
24	电力、热力的生产和供应业	348.75	632.57	0.00	0.00	0.00	79.79	20.82	623.44	369.57	1 335.80
25	燃气生产和供应业	19.46	24.55	0.00	0.00	-0.06	0.00	20.39	56.36	39.79	80.92
26	水的生产和供应业	21.31	36.76	0.00	0.00	0.09	0.00	0.12	140.66	21.52	177.42
27	建筑业	19.35	59.44	0.00	0.00	3 289.40	8 226.67	2 115.15	3 631.41	5 423.89	11 917.52
28	交通运输、仓储业及邮政业	62.56	149.28	58.31	161.73	21.42	29.31	449.32	715.67	591.61	1 055.99
29	批发零售和住宿餐饮业	149.96	213.19	0.00	0.00	32.44	27.09	547.84	487.32	730.24	727.61
30	其他服务业	543.57	827.29	392.42	955.16	116.54	295.26	899.22	1 041.65	1 951.75	3 119.35
合计		2 794.36	3 659.35	457.28	1 119.13	5 683.01	10 530.22	10 664.46	23 181.66	19 599.11	38 490.35

表 4 细部门间接碳排放排序

排 序	2007 年				2012 年			
	部门	间接碳排放/万吨	各部门占比/%	累计占比/%	部门	间接碳排放/万吨	各部门占比/%	累计占比/%
1	建筑业	5 424.1	27.68	27.68	建筑业	11 917.52	30.96	30.96
2	其他服务业	1 951.5	9.96	37.64	其他服务业	3 119.35	8.10	39.07
3	通用、专用设备制造业	1 381.6	7.05	44.69	煤炭开采和洗选业	3 015.23	7.83	46.90
4	化学工业	1 179.6	6.02	50.71	金属冶炼及压延加工业	2 727.47	7.09	53.99
5	金属冶炼及压延加工业	1 159.1	5.91	56.62	石油加工、炼焦及核燃料加工业	2 014.20	5.23	59.22

属冶炼及压延加工业以及煤炭开采和洗选业等 4 个部门产生的碳排放量占建筑业间接碳排放量的 72% 以上。因此,控制建筑业最终需求引起的碳排放,一是提高建筑业原材料使用效率,在需求不变的情况下减少原材料的使用量;二是加大生产链中的电力、非金属矿物制品等 4 个主要的排放部门的技术升级,降低这些部门在生产中的直接碳排放。

2. 基于消费需求视角

消费需求视角主要从居民消费需求、政府消费需求、资本形成、流出需求这 4 个方面对陕西省产生的间接碳排放进行分析,表 5 是 4 种需求下的碳排放占比。

表 5 4 种需求下的碳排放占比 %

年份	居民消费	政府消费	资本形成	流出
2007	14.26	2.33	29.00	54.41
2012	9.51	2.91	27.36	60.23

2007 年、2012 年陕西省各部门最终需求引起的总体碳排放分别为 19 599.11 万吨、38 490.35 万吨,流出间接碳排放在各个部门消费碳排放中所占比例都较大,2007 年为 54.41%,2012 年上升为 60.23%。其中煤炭开采和洗选业流出引起的碳排放量大幅增加,成为第二大出口间接碳排放量贡献部门。

表 6 不同视角下碳排放前五部门汇总

排序	直接碳排放		间接碳排放		碳排放总量(直接+间接)	
	2007 年	2012 年	2007 年	2012 年	2007 年	2012 年
1	电力、热力的生产和供应业	电力、热力的生产和供应业	建筑业	建筑业	建筑业	建筑业
2	石油加工、炼焦及核燃料加工业	煤炭开采和洗选业	其他服务业	其他服务业	电力、热力的生产和供应业	煤炭开采和洗选业
3	化学工业	石油加工、炼焦及核燃料加工业	通用、专用设备制造业	煤炭开采和洗选业	其他服务业	电力、热力的生产和供应业
4	煤炭开采和洗选业	化学工业	化学工业	金属冶炼及压延加工业	化学工业	石油加工、炼焦及核燃料加工业
5	其他服务业	金属冶炼及压延加工业	金属冶炼及压延加工业	石油加工、炼焦及核燃料加工业	石油加工、炼焦及核燃料加工业	金属冶炼及压延加工业

三、陕西省产业碳减排效应分析

衡量一个部门的碳减排效应大小不应只考虑到碳排放量的绝对变化,还跟该部门产值变动有关。一般来说,在碳排放强度不变的情况下,产值增加会造成碳排放量的增加。因此,应同时从产值及碳排放量的变动情况出发来衡量一个部门的碳减排效应的大小。本文将碳减排效应 M_{CRE} 定义为:

$$M_{CRE} = \frac{(\Delta C_{id} + \Delta C_{ii}) / (C_{id} + C_{ii})}{\Delta X_i / X_i}$$

$(i = 1, 2, \cdots, n)$

(3)

式中, ΔC_{id} 表示 i 部门的直接碳排放量变化, ΔC_{ii} 表示部门 i 的间接碳排放量变化, ΔX_i 表示 i 部门的总产值变化, n 为部门总数。

若 M_{CRE} 值为大于 1 的正值,表示碳排放的增长速度大于该部门产值增长速度,则该部门的碳减排效应相对较差;若为小于 1 的正值,则表示碳排放的增长速度小于部门产值的增长速度,则该部门的碳减排效应好;若出现负值,需对分子分母变动情况做进一步讨论,若是分子为负值表示随着产值的增加碳排放量反而减少了,则可以说明碳减排效应较好;若是分母为负值引起的,说明碳减排效应差。

运用式(3)对陕西省 2007、2012 年 30 个部门的碳减排效应进行测算,表 7 是各部门的碳减排效应值。

从表 7 可看出,水的生产和供应业的碳减排效应呈负值,该部门的总产值下降而碳排放总量却上升,因此,可以判断该部门在 2007 ~ 2012 年间的碳减排效应比较差。工艺品及其他制造业的碳减排效应值呈现正值,且远远高于其他产业部门,说明该部门的碳减排效应较差。这是因为该部门在 2007 ~ 2012 年期间,产值增加了 0.44 倍,但碳排放总量却增加了近 14 倍。按此分析,将 30 个部门的碳减排效应按一定的区间分为高减排效应和低减排效应两大类,分类情况如表 8 所示。

对于煤炭开采和洗选业等低减排效应部门,一方面应鼓励这些部门推动技术进步,增加产品附加值来进一步降低碳排放强度;另一方面则应加快推进陕西省产业结构调整与优化,从而进一步降低陕西国民经济整体碳排放强度水平。

表 7 各部门的碳减排效应值

序号	部门	M_{CRE} 值
1	农林牧渔业	0.05
2	煤炭开采和洗选业	1.36
3	石油和天然气开采业	-0.08
4	金属矿采选业	0.55
5	非金属矿及其他矿采选业	1.02
6	食品制造及烟草加工业	0.06
7	纺织业	-0.03
8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	0.50
9	木材加工及家具制造业	-0.09
10	造纸印刷及文教体育用品制造业	1.57
11	石油加工、炼焦及核燃料加工业	0.81
12	化学工业	0.24
13	非金属矿物制品业	0.10
14	金属冶炼及压延加工业	0.60
15	金属制品业	0.89
16	通用、专用设备制造业	0.19
17	交通运输设备制造业	0.05
18	电气机械及器材制造业	0.25
19	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	4.25
20	仪器仪表及文化办公用机械制造业	2.63
21	工艺品及其他制造业	31.10
22	废品废料	4.53
23	金属制品、机械和设备修理业	—
24	电力、热力的生产和供应业	0.30
25	燃气生产和供应业	0.72
26	水的生产和供应业	-32.34
27	建筑业	0.67
28	交通运输、仓储业及邮政业	0.58
29	批发零售和住宿餐饮业	0.01
30	其他服务业	0.20

注:2007 年金属制品、机械和设备修理业没有单独统计的产值,因此不对其进行讨论。

表 8 各细分部门碳减排效应分类

碳减排效应	M_{CRE} 区间	部门
高减排效应	$\Delta C < 0$ 或(0,1)	农林牧渔业,石油和天然气开采业,金属矿采选业,食品制造及烟草加工业,纺织业,纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业,木材加工及家具制造业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学工业,非金属矿物制品业,金属冶炼及压延加工业,金属制品业,通用、专用设备制造业,交通运输设备制造业,电气机械及器材制造业,电力、热力的生产和供应业,燃气生产和供应业,建筑业,交通运输、仓储业及邮政业,批发零售和住宿餐饮业,其他服务业

低减排效应	$(1, +\infty)$	煤炭开采和洗选业,非金属矿及其他矿采选业,造纸印刷及文教体育用品制造业,通信设备、计算机及其他电子设备制造业,仪器仪表及文化办公用机械制造业,工艺品及其他制造业,废品废料,水的生产和供应业
-------	----------------	--

四、政策建议

论文采用 IPCC 碳排放核算方法和 EIO-LCA 模型分别测算陕西省 2007、2012 年 30 个细分部门的直接碳排放和间接碳排放,最后分析各部门碳减排效应,主要结论如下:

第一,陕西省直接碳排放中,排放总量及排放强度排名靠前的部门均是电力、热力的生产和供应业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,煤炭开采和洗选业等基础性能源部门。对于陕西省未来碳减排而言,应重点关注电力、热力的生产和供应业,石油加工、炼焦及核燃料加工业及煤炭开采和洗选业等部门,升级碳排技术,提高资源利用效率,降低碳排放强度。同时,要调整以煤炭为主的能源利用结构,大力发展太阳能、核能、风能等新能源和清洁能源。

第二,陕西省间接碳排放中,建筑业、其他服务业间接碳排放量最高。排名前五名的部门间接排放占到总量的近 60%。但间接碳排放前五名的部门发生了变化,煤炭开采和洗选业,通信设备、计算机及其他电子设备制造,电力、热力的生产和供应业等成为隐含碳排量偏高的部门。因此应重点针对碳排放排名靠前部门的最终需求制定减排政策,深入开展绿色建筑行动,努力全面执行绿色建筑标准,并合理控制煤炭开采产量,提高能源利用效率,关闭生产效率较低的煤窑,淘汰高耗能的落后工艺、技术和设备等。

第三,从消费需求视角的间接碳排放看,流出间接碳排放在各个部门消费碳排放中所占比例都较大。从碳减排的角度看,陕西省的经济增长需要向依靠消费、投资、出口协调拉动转变。同时,陕西省应积极调整对外贸易结构,在对外贸易过程中,积极引进先进低碳技术。

第四,陕西省碳排放总量排名靠前的为建筑业、煤炭开采和洗选业,电力、热力的生产和供应业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,这些应该成为碳减排的重点行业部门。在政府制定碳减排政策中,需要对上述部门进行有针对性的政策设计。

第五,构建碳减排效应模型,对各部门 2007 和 2012 年碳减排效应进行测算,陕西煤炭开采和洗选业、非金属矿及其他矿采选业等行业部门的碳减排效应较差,因此未来应加快降低这几个部门的碳排放强度。

五、结语

低碳发展之路任重道远,如何在保持经济高速增长的同时降低碳排放,是陕西省乃至全社会面临的重要课题。本文通过对陕西省具体行业部门的碳排放问题的研究,力图从产业结构调整角度为陕西省的低碳经济发展之路提供一些政策建议。而国民经济各产业部门之间联系密切,如何从产业联系角度出发,来更好地判断产业结构调整的碳减排效应值得进一步研究。

参考文献:

[1] 刘卫东,张雷,王礼茂,等. 我国低碳经济发展框架初步研究[J]. 地理研究,2010,29(5):778-788.

[2] 邓晓兰,陈宝东. 碳减排约束下我国产业结构变迁路径选择[J]. 北京理工大学学报:社会科学版,2014,16(6):1-6.

[3] 郭军洋,郑绸,曲建升. 高碳排放强度地区的减排压力与减排路径分析——以甘肃省为例[J]. 开发研究,2014(3):101-104.

[4] Lin B Q, Sun C W. Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China[J]. Energy Policy,2010,38(1):613-621.

[5] Muradian R, Connor O M, Martinez A J. Embodied pollution in trade: estimating the ‘environmental load displacement’ of industrialised countries [J]. Ecological Economics,2002,41(1):51-67.

[6] 孙建卫,陈志刚,赵荣钦,等. 基于投入产出分析的中国碳排放足迹研究[J]. 中国人口·资源与环境,2010,20(5):28-34.

[7] Chen G Q, Zhang B. Greenhouse gas emissions in China 2007: inventory and input-output analysis [J]. Energy Policy,2010,38(10):80-93.

[8] Chen G Q, Chen Z M. Carbon emissions and resources use by Chinese economy[J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation,2010,15(11):647-732.

[9] Weber C L, Matthews H S. Quantifying the global and distributional aspects of American household carbon footprint[J]. Ecological Economics,2008,6(23):79-91.

- [10] Wood R, Dey C J. Australia's carbon footprint[J]. *Economic Systems Research*, 2009, 21(3): 243-66.
- [11] Shui B, Harriss R C. The role of embodiment in US-China trade[J]. *Energy Policy*, 2006, 34(18): 4063-4068.
- [12] 计军平. 基于模型的中国部门温室气体排放结构研究[J]. *北京大学学报: 自然科学版*, 2011, 47(4): 741-749.
- [13] 唐建荣, 李焯嘯. 基于 EIO-LCA 的隐含碳排放估算及地区差异化研究: 江浙沪地区隐含碳排放构成与差异[J]. *工业技术经济*, 2013, 234(4): 125-135.
- [14] 石敏俊, 王妍, 张卓颖, 等. 中国各省区碳足迹与碳排放空间转移[J]. *地理学报*, 2012, 67(10): 1327-1338.
- [15] 徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 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, 6(16): 158-161.
- [16] 崔佳. 中国碳排放强度驱动因素与空间驱动类型研究[D]. 长春: 吉林大学, 2015.
- [17] 张旺, 周跃云. 北京能源消费排放增量的分解研究: 基于 IDA 法的 LMDI 技术分析[J]. *地理科学进展*, 2013, 32(4): 514-521.
- [18] 雷厉. 中国区域碳排放的因素分解模型及实证分析[J]. *当代经济科学*, 2011, 33(5): 59-65.
- [19] 张雷, 黄园渐, 李艳梅, 等. 中国碳排放区域格局变化与减排途径分析[J]. *资源科学*, 2010, 32(2): 211-217.
- [20] 杜婷婷, 毛锋, 罗锐. 中国经济增长与 CO₂ 排放演化探析[J]. *中国人口·资与环境*, 2007, 17(2): 94-99.
- [21] 赵爱文, 李东. 中国碳排放与经济增长的协整与因果关系分析[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(11): 1298-1303.

Carbon reduction effect of industries in Shaanxi province: based on EIO-LCA model

YUAN Chang-wei, BAI Juan, RUI Xiao-li, LI Ruo-ying

(School of Economics and Management, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to provide decision-making basis for the carbon reduction policy design in Shaanxi province from the perspective of industrial structure adjustment, this paper chose energy consumption, production chain and consumer demand as perspectives, and used the IPCC carbon accounting methods and EIO-LCA model to estimate the direct carbon emissions and indirect carbon emissions of 30 segment departments respectively in Shaanxi province during 2007 and 2012 on the basis of the input-output table in 2007 and 2012. Finally, this paper creates carbon reduction effect model to analyze the carbon emissions changes of each department during 2007 and 2012. The results show that on the view of direct emissions, the carbon emissions of basic energy sectors such as electric power industry, petrochemical industry, coal mining and washing industry are higher; On the view of indirect carbon emissions, the carbon emissions of construction industry and other services are higher, and the "flow" indirect emissions caused the largest contribution to the carbon emissions on final demand. On the design of carbon emission reduction policy, these departments should be the key areas of carbon abatement.

Key words: Shaanxi province; carbon reduction; EIO-LCA model; industrial structure adjustment; input and output analysis