

# 基于 Kaya 模型的高能耗 产业低碳发展研究

——以山西省为例

李志强 赵守艳

(山西大学 经济与工商管理学院,太原 030006)

**摘要:** 通过 Kaya 公式计算并描述了山西省 1994~2008 年工业中各行业的碳足迹,并界定了高能耗行业。通过分解模型定量分析了山西省 1998~2008 年高能耗行业碳足迹的影响因素贡献大小,计算结果表明经济增长对二氧化碳排放促进作用最大,技术引进对二氧化碳的抑制作用最大。由此提出山西省急需在提高能源使用效率的同时优化产业结构,以提高对二氧化碳排放的抑制作用的政策建议。

**关键词:** 高能耗行业; 结构效应; 规模效应; 技术效应; 低碳发展

中图分类号: F279.27

文献标识码: A

文章编号: 1004-972X(2011)08-0059-04

2003 年英国能源白皮书《我们能源的未来: 创建低碳经济》首次提出“低碳经济”,并催生了碳足迹、碳强度等概念。低碳经济是以低能耗、低污染、低排放为基础的经济模式,是人类社会继农业文明、工业文明之后的又一次重大革命。在全球气候变化和能源紧缺背景下,以低能耗、低污染、低排放为基础的低碳经济发展模式日益受到重视,谋求低碳发展渐成共识。我国从 2007 年开始重视低碳经济,国内学者也开始逐渐关注这一领域。但从国内外研究状况来看,学术界对低碳经济的研究主要停留在宏观层面,细致分析某个地区某个行业的碳足迹问题并不多见。

## 一、山西省 1994~2008 年工业碳足迹现状分析

山西省作为能源重化工业基地,到 2008 年,全省原煤产量达到 6.56 亿吨,占全国的 23.5%,是 1949 年的 245.6 倍;焦炭产量 8376.50 万吨,居全国第一位,比 1949 年增长 1109.9 倍;发电量 1797 亿千瓦时,比 1949 年增长 2851.3 倍。能源成为山西省经济发展的重要保障,在满足本地区不断增长的

能源需求以及社会生活需求的基础上,为全国的经济发展提供了源源不断的“动力”。

### (一) 碳足迹概念及公式

碳足迹(Carbon Footprint)是指特定活动、特定产业或特定地区的二氧化碳和其他温室气体(Greenhouse Gas)的总排放量。<sup>[1]</sup>小到每个人、每个企业,大到每个地区、每个国家都有自己的碳足迹,它是人类活动对于环境影响的一种量度,按其产生的温室气体排放量,以二氧化碳为标准计算。从概念可以看出,碳足迹在一定意义上就是指二氧化碳的排放量。<sup>[2-3]</sup>

碳足迹的基本公式为:

$$CFP = \sum_i C_i = \sum_i \frac{E_i}{E} \times \frac{C_i}{E_i} \times \frac{E}{Y} \times \frac{Y}{P} \times P \quad (1)$$

式中,CFP 为碳足迹, $C_i$  为  $i$  种能源的碳排放量, $E$  为一次能源的消费量, $E_i$  为第  $i$  种一次能源的消费量, $Y$  为国内生产总值(GDP), $P$  为人口。从公式揭示出碳排放的推动力主要是四个因素:(1) 人口越多,碳排放越多。(2) 单位 GDP 的能源用量,称

收稿日期: 2011-04-27

基金项目: 山西省发展和改革委员会“十二五”规划前期研究课题——山西省“十二五”低碳经济发展研究(1005913)

作者简介: 李志强(1963—),男,江苏丰县人,山西大学经济与工商管理学院院长,山西大学中国中部发展研究中心主任、教授,博士研究生导师。

“能源强度”(Energy Intensity),产业不同,如农业、工业、服务业,其能源强度不同;同一行业中,技术水平低则能源强度高,因此,提高能源效率和节约能源,就是降低能源强度,是减排的有效方向之一。(3) 由于各类能源碳排放强度  $C_i/E_i$ ,即消费单位  $i$  种能源的碳排放量是固定不变的,而能源种类不同,碳强度(Carbon Intensity,指单位能源用量的碳排放量)差异很大,因此,能源结构因素  $E_i/E$ ,即  $i$  种能源在一次能源消费中的份额是碳足迹的又一主要影响因素。发展低碳能源和可再生能源,实行能源结构多元化,是减轻碳足迹的有效手段。<sup>[4]</sup>

### (二) 山西省工业分行业碳足迹现状分析

山西省能源工业在支援全国经济建设发展的同时,也极大地促进了山西省经济建设的发展。山西工业增加值(规模以上工业企业)中,能源工业贡献率巨大。2007年,能源工业完成工业增加值1665.58亿元,比1998年增长7.18倍,占整个工业增加值的59.24%。工业实现利税总额近六成来源于能源工业,2007年能源工业实现利税724.00亿元,比1998年增长11.58倍,占整个工业利税总额的61.96%。能源工业的发展带动了以能源、原材料为主体的工业产业的发展。1998年,山西省冶金工业、化学工业、建材工业总产值合计达到393.70亿元(现价),占全省工业产值的35.57%;2007年,三行业总产值达到2879.26亿元(现价),占全省工业产值的比重上升到36.59%。

根据山西省1994~2008年各行业的碳排放量,可以看到工业对山西省碳排放影响最大,工业碳排放占全省碳排放近80%,人民生活及其他的碳排放居第二位,交通运输业居第三位。

山西省作为全国的能源基地,煤炭、焦炭、冶金、电力四大支柱产业产值占到全省工业总产值的80%以上;2008年在规模以上工业中,煤炭、化工、焦炭、建材、冶金、电力六大支柱产业能耗总量为12606.67万吨标准煤(当量值),占规模以上工业能耗总量的比重为97.59%。

### (三) 山西省工业高能耗行业碳足迹分析

通过对山西省1994~2008年三次产业的能耗与工业增加值的比较分析发现,山西省主要的高能耗来源于工业领域。依据Kaya模型对山西省1994~2008年工业中各行业的碳排放量分析,得到100万吨以上的行业主要有黑色金属冶炼及压延加工业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,煤炭开采洗选业,化学原料及化学制品制造业,通用设备制造业,

非金属矿物制品业,电力、热力的生产和供应业七个行业,如图1所示。所以要实现山西省的低碳发展,只能从工业碳排放量居高的行业入手,寻找减排的路径与措施。通过研究高能耗产业的低碳发展可以为山西省适应中国低碳发展的大背景提供可靠的理论依据。

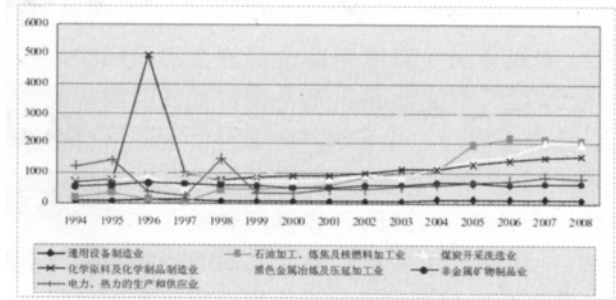


图1 1994~2008年山西省高能耗行业能源消费量

从图中我们可以看到,2000年以后石油加工、炼焦及核燃料加工业,煤炭开采洗选业,化学原料及化学制品制造业及黑色金属冶炼及压延加工业的能源消费量开始逐渐的增加,这是因为全国经济持续增长,能源消费总量也不断增加。与此同时,为实现到2020年国内生产总值比2000年“翻两番”的宏伟目标,我国能源领域再次面临“以能源翻一番确保经济产值翻两番”的严峻任务,山西省作为能源生产大省,在为经济增长做贡献的同时,其能源的消费也在不断增加,能源消费量的增长速度平均为13.3%。

### 二、山西省1998~2008年工业碳足迹影响因素分析

影响碳足迹的因素主要为能源结构变化、能源效率变化、经济结构变化以及经济发展规模和人口规模。要将碳足迹的变化量完全归入各种效应,需要处理分解余量(来自于各因素变化量的耦合)。

#### (一) 分解模型<sup>[5]</sup>

de Bruyn分解模型<sup>[6]</sup>的基本公式为:

$$E_t = Y_t \sum_i s_{it} I_{it} \quad (2)$$

式中  $E_t$  为污染排放量,  $Y_t$  为GDP,  $s_{it}$  为工业行业  $i$  的GDP份额( $s_{it} = Y_{it}/Y_t$ ),  $I_{it}$  为工业行业  $i$  的污染排放强度( $I_{it} = E_{it}/Y_{it}$ )。式(2)表示污染排放的变化来自于  $Y_t$  的变化(规模变化)、 $s_{it}$  的变化(结构效应)和  $I_{it}$  的变化(技术效应)。 $I_{it}$  一方面决定于单位产出的污染产生量,另一方面决定于所产生污染量的排放比例。用  $\bar{E}_{it}$  表示工业行业  $i$  的污染产生量,并分别定义  $T_{it} = \bar{E}_{it}/Y_{it}$  为工业行业  $i$  的污染产生

率  $A_{it} = E_{it} / \bar{E}_{it}$  为工业行业  $i$  的污染排放率, 显然有:

$$I_{it} = T_{it} A_{it} \quad (3)$$

$T_{it}$  越低表示生产技术清洁度越高,  $A_{it}$  越低表示污染治理度越强。将式(3)代入式(2), 有:

$$E_t = Y_t \sum_i s_{it} T_{it} A_{it} \quad (4)$$

式(4)表示污染排放的变化来自于  $Y_t$  的变化(规模效应)、 $s_{it}$  的变化(结构效应)、 $T_{it}$  的变化(清洁技术效应)和  $A_{it}$  的变化(污染治理效应), 从而分离了清洁技术和污染治理对减少污染的贡献。

分层次分解方法以实现污染排放变化的完全分解, 该方法将式(4)看作三个层次的连续分解。由于采集数据的有限性, 本文只分解前两个层次: 第一个层次为  $E_t = Y_t I_t$ , 将污染排放总量分解为 GDP 和宏观污染强度; 第二个层次为  $I_t = \sum_i s_{it} I_{it}$ , 将宏观污染强度分解为工业行业构成和各工业行业污染强度。

$$G_{tot} = G_{sca} + G_{str} + G_{int} \quad (5)$$

$$G_{sca} = g_Y (1 + \frac{1}{2} g_I) \quad (6)$$

$$G_{str} = \sum_i e_{i0} g_{S_i} (1 + \frac{1}{2} g_{I_i}) (1 + \frac{1}{2} g_Y) \quad (7)$$

$$G_{int} = \sum_i e_{i0} g_{I_i} (1 + \frac{1}{2} g_{S_i}) (1 + \frac{1}{2} g_Y) \quad (8)$$

其中  $G_{tot} = (E_t - E_0) / E_0$  为相对于基年的污染变化率,  $G_{sca}$  为规模效应,  $G_{str}$  为结构效应,  $G_{int}$  为广义技术效应。

### (二) 数据搜集与估算

本研究数据来源于 1994 ~ 2009 年《山西省统计年鉴》中的能源最终消费量, 本文对山西省高能耗行业的二氧化碳排放量的变化量归于规模效应、结构效应及技术效应, 在计算各种效应时由于 1998 年以前的统计数据的口径与以后年份的不相同, 因此计算从 1998 年开始。规模效应是以总的能源消费量来计算, 故在分析时规模效应对各行业的影响相同。根据因素分解模型计算结果如表 1。

表 1 1999 ~ 2008 年山西省高能耗行业规模效应的贡献 (%)

年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
规模效应	1.28	20.84	33.06	52.33	82.59	119.52	151.34	179.58	227.70	288.40

从表 1 可以看出 1999 ~ 2008 年山西省高能耗行业规模效应的贡献为正值, 这表明山西省快速的经济增长导致了很大的规模效应, 经济增长倾向于增加二氧化碳的排放量, 而且是逐年递增的。到

2004 年以后数值超过了 100, 这表明经济的增长对二氧化碳的排放量的影响是成倍的增加。

从表 2 可以看出, 1999 ~ 2008 年煤炭开采洗选业、黑色金属冶炼及压延加工业、石油加工、炼焦及核燃料加工业的结构效应总的趋势是递增的, 且 2002 年以后数值为正值, 这表明山西省经济结构的变化倾向于增加二氧化碳排放量, 其贡献在不断增加。电力、热力的生产和供应业 1999 ~ 2008 年结构效应的数值总体为较小的正值, 说明该行业的结构效应贡献不大。化学原料及化学制品制造业、非金属矿物制品业及通用设备制造业在 1999 ~ 2008 年的结构效应基本上为数值较小的负值, 表明这些行业的结构变化对二氧化碳排放量起到抑制作用, 但贡献不是很大。

表 2 1999 ~ 2008 年山西省高能耗行业结构效应的贡献 (%)

年份	煤炭开采洗选业	黑色金属冶炼及压延加工业	石油加工、炼焦及核燃料加工业	电力、热力的生产和供应业	化学原料及化学制品制造业	非金属矿物制品业	通用设备制造业
1999	-1.29	-0.21	-1.04	0.28	0.35	-0.19	-0.12
2000	-3.27	-1.84	-2.77	-0.53	-3.59	-1.44	-0.37
2001	-2.08	0.73	-2.84	1.35	-4.22	-1.72	-0.28
2002	-0.39	4.33	-0.14	2.38	-2.08	-1.40	-0.29
2003	2.12	14.84	6.56	3.45	-4.10	-2.07	-0.14
2004	8.71	21.58	14.28	2.90	-1.83	-1.31	0.39
2005	16.06	21.59	19.25	3.84	-3.07	-5.39	0.45
2006	20.71	23.99	20.66	8.03	-2.28	-4.52	-0.19
2007	26.78	34.22	26.94	7.68	1.95	-4.71	0.05
2008	49.80	19.60	40.29	-8.82	-3.96	-4.93	-0.32

从表 3 可以看出, 山西省高能耗行业从 1999 ~ 2008 年的广义的技术效应的贡献总的趋势是递减的。煤炭开采洗选业 2000 年以前广义的技术效应数值为较小的正值, 这表明技术的引进或者改造倾向于增加二氧化碳的排放量, 但其贡献不大。2000 年以后广义的技术效应数值为负值, 且其绝对值在逐渐增大, 这表明技术的引进或者改造倾向于减少二氧化碳的排放量, 其减少二氧化碳排放量的贡献也在逐渐增大。黑色金属冶炼及压延加工业在 2004 年以前技术的引进或者改造倾向于增加二氧化碳排放量; 从 2004 年以后广义的技术改变对二氧化碳排放起到抑制作用, 且在逐年递增。石油加工、炼焦及核燃料加工业和通用设备制造业在 2002 年以前技术的引进或者改造倾向于增加二氧化碳排放量, 但其贡献不是很大; 从 2002 年以后广义的技术改变对二氧化碳排放起到抑制作用, 且在逐年递增。电力、热力的生产和供应业和非金属矿物制品业的广义技术效应数值均为负值, 且其绝对值在逐年的增加, 这表明技术的引进或者改造倾向于减少二氧化碳排放量, 且贡献在不断增加。

表3 1999~2008年山西省高能耗行业广义的技术效应的贡献 (%)

年份	煤炭开采洗选业	黑色金属冶炼及压延加工业	石油加工、炼焦及核燃料加工业	电力、热力的生产和供应业	化学原料及化学制品制造业	非金属矿物制品业	通用设备制造业
1999	1.92	1.17	1.41	-27.25	1.12	-0.21	0.29
2000	1.57	3.25	2.09	-29.51	2.46	-2.56	0.28
2001	-0.40	11.98	2.45	-33.05	1.84	-3.17	0.09
2002	-2.05	13.66	2.17	-36.75	-0.97	-4.13	0.07
2003	-8.38	4.55	-5.08	-42.60	-0.62	-5.69	-0.24
2004	-14.91	-6.60	-14.47	-48.51	-7.30	-8.62	-0.29
2005	-22.38	-16.05	-11.17	-54.93	-7.64	-7.15	-0.60
2006	-27.77	-18.96	-12.36	-63.95	-9.90	-11.16	-0.21
2007	-33.87	-33.66	-22.70	-72.79	-18.76	-14.50	-0.99
2008	-64.05	-29.57	-41.10	-70.55	-19.49	-20.29	-1.47

在分析了1999~2008年山西省高能耗行业的各种效应的贡献之后,其贡献的作用力方向、大小均不同,因此其总的贡献也不相同,如图2所示。

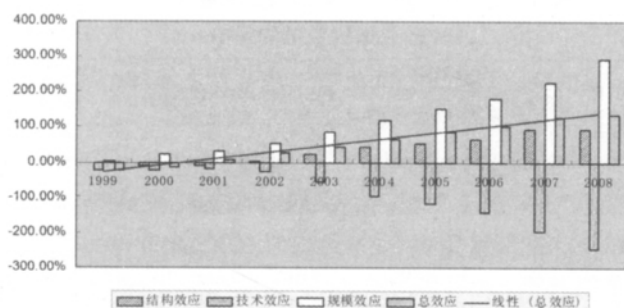


图2 1999~2008年山西省高能耗行业各效应比较

从图2可以看出,1999~2008年山西省七大高能耗行业广义的技术改变对增加碳排放贡献总的趋势是递减的,对二氧化碳的排放起到抑制作用;结构变化和规模变化对二氧化碳排放起到促进作用。规模变化对二氧化碳排放的促进作用明显高于技术改变的抑制作用,技术效应的抑制作用与结构效应和规模效应的促进作用抵消以后,其总效应对二氧化碳的排放仍起到促进作用,从总效应的趋势线看其促进作用仍在增大。因此,控制二氧化碳的排放量需减少规模效应和结构效应的贡献,增加技术效应的贡献,从而达到控制二氧化碳排放的目标。

### 三、结论及政策建议

本文在根据1998~2008年的能源统计数据估算出山西省高能耗行业的碳足迹之后,对山西省高能耗行业的碳足迹影响因素进行了分析,计算出山西省高能耗行业的碳足迹变化中的规模效应、结构效应、广义的技术效应。

(1) 1998~2008年,山西省高能耗行业的规模变化对减少二氧化碳排放量的贡献在逐年的减少,且成倍的减少;七大高能耗行业广义的技术改变对

减少二氧化碳排放量的贡献总的趋势是增加的;七大高能耗行业总的结构变化对减少二氧化碳排放量在不同程度上起到抑制作用。

(2) 1998~2008年,山西省七大高能耗行业广义的技术改变对增加碳排放贡献总的趋势是递减的,对二氧化碳的排放起到抑制作用,而结构和规模的变化对二氧化碳排放起到促进作用,技术效应的抑制作用小于结构效应和规模效应的促进作用。

(3) 技术效应的抑制作用小于结构效应和规模效应的促进作用,结构效应促进作用远小于规模效应,且结构效应的贡献有减小的趋势,因此,控制二氧化碳排放量应在提高技术效用的同时减小结构效应,以及大幅度地减少规模效应。

(4) 山西省要实现高能耗产业低碳发展,控制二氧化碳的排放量需从以下两方面着手:在结构效应不变的情况下,减小规模效应的贡献,增加技术效应的贡献。即在不改变产业结构的情况下,要在保证经济增长的同时,引进先进技术,改造现有技术;在三种效应均改变的情况下,应减小规模效应及结构效应的贡献,增加技术效应的贡献。即在保证经济增长的同时,优化产业结构,引进先进技术、改造现有技术。因此,实现低碳发展要减少能源的使用即减少碳排放量,同时引进节能减排技术提高能源使用效率,加强煤炭的高效利用和清洁利用,发展可再生能源和清洁能源,加强碳减排等能源技术领域的研发力度。

### 参考文献:

- [1] Anon. Practices Urged to Lighten Carbon Footprint [J]. British Dental Journal 2008 (9): 483.
- [2] 张坤民等. 低碳经济论[M]. 北京: 中国环境科学出版社 2007. 677.
- [3] 张坤民等. 低碳发展论(上、下) [M]. 北京: 中国环境科学出版社 2009. 202-205.
- [4] 李志强, 刘春梅. 碳足迹及其影响因素分析——基于中部六省的实证[J]. 中国中部经济发展研究 2009 (2): 115-127.
- [5] 陈六君, 王大辉, 方福康. 中国污染变化的主要因素——分解模型与实证分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版) 2004 (4): 561-568.
- [6] De Bruyn SM. Explaining the Environmental Kuznets Curve: Structural Change and International Agreements in Reducing Sulphur Emissions [J]. Environment and Development Economics, 1997, 2(4): 485.

(下转第68页)

相匹配。财务人员的整合是财务整合中关键的一环,参与跨国并购的应是复合型财务人员,能掌握不同经济、金融体制下的财务管理知识和不同文化的沟通技巧,可以在跨国并购实施后使财务管理的职能得到充分发挥。跨国并购时有必要对各国的会计准则差异进行比较,依法按照国际惯例来规范公司的财务制度等。

参考文献:

- [1] 赵保国,李卫卫. 中国企业海外并购面临的财务风险及对策研究[J]. 中央财经大学学报, 2008 (1): 75-79.  
[2] 彭家寅. 财务评估权数结构的模糊层次分析[J]. 经济问题探索, 2001 (5): 102-104.

- [3] 孟岩. 中国石油企业海外并购定价风险及其防范[J]. 油气田地面工程, 2010 (7): 86-87.  
[4] 韩利梅, 强陆玉梅, 等. AHP模糊综合评价方法的分析与研究[J]. 中国安全科学学报, 2004 (14): 86-89.  
[5] Bengt Holmstrom, Jean Tirole. Liquidity and Risk Management [R]. Journal of Money, Credit & Banking, 2000, 59-64.  
[6] 李敏杰. 海外石油投资经济评价指标浅析[J]. 西安财经学院学报, 2007 (1): 76-79.  
[7] 朱宝宪. 我国企业并购过程中的风险分析[J]. 商业研究, 2003 (9): 93-96.

## Study on Financial Risk Assessment of Chinese Petrochemical Enterprises' Across-border Merger and Acquisition

PANG Ming

(College of Economics and Management, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** The dissertation is based on the deep research of Chinese petrochemical enterprises' across-border merger and acquisition cases during the past 10 years. According to the analysis of qualitative and quantitative with the hierarchy process and questionnaire, the result shows that the pricing risk of the target enterprise is higher, the financing channel is narrow, the payment method is limited, and the post merger finance integration is the main source of financial risk, especially post merger financial integration risks always neglected. Furthermore the hierarchy analysis could conduct more objectively and directed post merger financial risk evaluation, provide the reliable basis, and make accurately decision for enterprise merger.

**Key words:** petrochemical enterprise; across-border merger and acquisition; financial risk; analytic hierarchy process (AHP)

(责任编辑: 杨国玉)

(上接第62页)

## Low-carbon Development of Energy-intensive Industries Based on Kaya Model

——Take as Shanxi Province

LI Zhi-qiang, ZHAO Shou-yan

(School of Economics and Business Administration, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

**Abstract:** This paper calculated Shanxi industry carbon footprint of the industry by Kaya, and defined the high-energy consumption industries. Analysis of the decomposition model by high energy carbon footprint of the industry factor contribution in quantitative. The results show that the promotion of economic growth on the role of the largest carbon dioxide emissions, technology transfer to the maximum inhibitory effect of carbon dioxide. Then proposed that in the future Shanxi urgent need for increase energy efficiency while optimizing the industrial structure, in order to increase the inhibition in decrease carbon dioxide.

**Key words:** high-energy consumption industries; structure effect; scale; technical effect; low-carbon development

(责任编辑: 杨国玉)