

基于因素分解模型的二氧化碳排放影响因素分析

——以山西为例

李志强,王宝山

(山西大学 经济与工商管理学院,山西 太原 030006)

【摘要】 文章通过因素分解模型定量地计算了能源结构、能源效率、经济增长对山西 1990 年~2008 年 CO₂ 排放的贡献度。结果表明经济增长因素对山西人均碳排放的拉动作用呈指数增长。相较之,能源结构和能源效率在碳减排方面的抑制作用在不断弱化,难以抵消经济增长对碳排放增长的巨大拉动作用。因此,山西亟需提高能源使用效率的同时优化能源结构,增加其在碳减排上的抑制作用。

【关键词】 因素分解法;人均碳排放;能源结构;能源效率

【中图分类号】 F127.25;F124.5 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1004-2768(2010)12-0099-03

山西作为煤炭能源大省,在为中国经济发展提供能源保障的同时,也形成了山西经济发展以煤为主的惯性依赖,煤炭在其能源消费结构中占有很大的比重。长期以煤为主的能源结构以及煤炭能源的低效利用,使得山西省无论是 CO₂ 的总排放量,还是人均排放量和单位 GDP 排放量在全国都处于较高位置。因此,结合山西省情,系统分析碳排放影响因素、寻求减排之策显得尤为重要。

本文通过建立因素分解模型定量地计算了经济增长、能源结构以及能源效率对山西省 1990 年~2008 年 CO₂ 排放的贡献度,探讨山西省碳排放与其影响因素间的演化规律和可能态势,以便为山西可持续发展提供相应的理论支撑。

一、因素分解模型

CO₂ 排放的因素分解模型就是综合考虑一些相关因素,并将其纳入到同一框架之下,做定量地分析。CO₂ 排放的因素分解模型最早可以追溯至 20 世纪 70 年代,在 Ehrlich、Holdren 和 Commoner 关于人类活动对环境的影响因素的讨论中提出了 IPAT 方程,以此反映人类活动对环境的影响 I=PAT。其中 I(Impact)表示人口对环境的影响,P(Population)表示人口规模,A(Affluence)表示人均财富或人均产出,T(Technology)表示单位经济产出对环境的影响,由技术进步决定。

在 I=PAT 方程的基础上,Kaya(1990)在 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)研讨会上提出了 Kaya 恒等式:

$C = \frac{C}{E} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{GDP}{P} \times P$ 。其中 $\frac{C}{E}$ 表示能源的碳排放强度,

$\frac{E}{GDP}$ 表示 GDP 的能耗强度, $\frac{GDP}{P}$ 表示人均 GDP 或人均收入,P 表示人口规模。该恒等式通过简单的数学公式将人类活动产生的 CO₂ 与人口、人均 GDP、能耗强度等因子联系起来。Kaya 恒等式是 IPAT 方程的一个具体应用,它是通过构造链式乘积的形式分解出多个影响因素。

本文采用的碳排放基本公式:

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

其中 C 表示碳排放总量,C_i 为 i 种能源的碳排放量,E 表示为一次能源的消费量,E_i 为 i 种能源的消费量,Y 为国内生产总值(GDP),P 为人口规模。

经过定义,人均碳排放量可以写为: $A = \frac{C}{P} = \sum_i S_i F_i I R \quad (2)$

式(2)表示,人均碳排放量 A 的变化来自于 S_i(能源结构)的变化、F_i(能源排放强度)的变化、I(能源效率)的变化以及 R(经济规模)的变化。

人均碳排放变化量可以表示为:

$$\Delta A = A_1 - A_0 = \sum_i S_{i1} F_{i1} I_1 R_1 - \sum_i S_{i0} F_{i0} I_0 R_0 = \Delta A_s + \Delta A_f + \Delta A_1 + \Delta A_r + \Delta A_{rsd} \quad (3)$$

$$D = \frac{A_1}{A_0} = D_s D_f D_1 D_r D_{rsd} \quad (4)$$

其中 ΔA_s 、 D_s 为能源结构因素, ΔA_f 、 D_f 为能源排放强度因

【收稿日期】2010-06-16

【基金项目】山西省发改委“十二五”前期课题“山西省‘十二五’低碳经济发展研究”(1005913)

① $S_i = \frac{E_i}{E}$ 为能源结构因素,即 i 种能源在一次能源消费中的比重; $F_i = \frac{C_i}{E_i}$ 为能源排放强度,即消费一单位 i 中能源的碳排放量; $I = \frac{E}{Y}$ 为能源效率因素,即单位 GDP 的能源消耗量; $R = \frac{Y}{P}$ 为经济规模。

【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、博士生导师,研究方向:制度理论与经济发展;王宝山(1982-),男,山西大同人,山西大学经济与工商管理学院硕士研究生,研究方向:低碳发展与企业管理。

素, ΔA_s 、 D_s 为能源效率因素, ΔA_R 、 D_R 为经济规模因素, ΔA_{nd} 、 D_{nd} 为分解余量。

式(3)中的 ΔA_s 、 ΔA_F 、 ΔA_I 、 ΔA_R 分别为各因素变化对人均碳排放变化的贡献值, 它们是有单位的实值。而式(4)中的 D_s 、 D_F 、 D_I 、 D_R 分别为各因素对人均碳排放变化的贡献率。

对式(3)运用对数平均权重 Divisia 分解法(Logarithmic Mean Weight Divisia Method, LMD)进行分解, 各因素的分解结果如下:

$$\begin{aligned} \Delta A_s &= \sum_i W_i \ln \frac{S_{it}}{S_{i0}}; \Delta A_F = \sum_i W_i \ln \frac{F_{it}}{F_{i0}} \\ \Delta A_I &= \sum_i W_i \ln \frac{I_{it}}{I_{i0}}; \Delta A_R = \sum_i W_i \ln \frac{R_{it}}{R_{i0}} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{其中 } W_i = \frac{A_{it} - A_{i0}}{\ln(A_{it}/A_{i0})}$$

所以:

$$\Delta A_{nd} = \Delta A - (\Delta A_s + \Delta A_F + \Delta A_I + \Delta A_R)$$

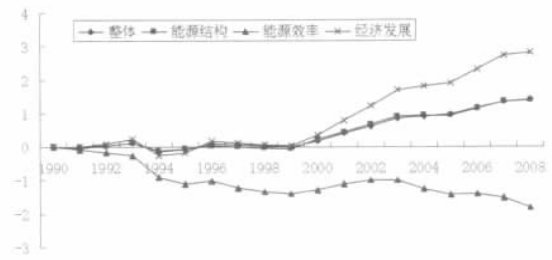


图1 1990年~2008年碳排放影响因素趋势图

表2 山西1990年~2008年的能源消费、人口、GDP以及碳排放

年份	山西 GDP (亿元)	人口 (万人)	能源消费量 (万吨标准煤)	煤炭消费量 (万吨标准煤)	石油消费量 (万吨标准煤)	天然气 (万吨标准煤)	碳排放量 (t碳)	人均碳排放 (t/人)
1990	429.2736	2898.96	4710.45	3885.179	198.781	626.490	3203.11	1.138
1991	468.51	2941.86	4802.33	3875.480	200.257	726.112	3265.58	1.134
1992	551.12	2979.31	5034.36	4096.962	217.484	719.410	3423.36	1.178
1993	680.41	3012.62	5472.54	4408.131	235.319	829.637	3721.33	1.262
1994	826.66	3045.21	4279.93	3740.659	256.368	282.475	4203.75	1.009
1995	1076.03	3077.28	4533.95	3968.566	257.982	307.402	3083.09	1.057
1996	1292.11	3109.26	5740.24	4083.033	258.311	1399.471	3903.36	1.230
1997	1476	3140.89	5678.36	3973.148	277.104	1428.675	3861.28	1.199
1998	1611.08	3175.5	6618.57	3922.114	275.293	1419.737	3820.47	1.173

从图2中可以看出,经济增长因素对于拉动山西人均碳排放量的贡献率呈现出指数增长的趋势,并且拉动因素的贡献率曲线明显大大高于抑制因素曲线,说明经济发展的拉动贡献率远大于抑制因素的抑制贡献率,从而成为导致山西人均碳排放量增长的主要因素。经济因素曲线的拐点出现在1999年,此后经济因素对山西人均碳排放的拉动作用的贡献率急剧上升,这也解释了从2000年开始,山西的碳排放量明显增高。

由于山西省在能源结构中以煤炭为主结构现状没有发生根本性改变,煤炭在山西省一次能源消费中比重接近60%,因此,山西省的能源消费结构对减少人均碳排放的贡献力不大,远小于经济发展带来的拉动效应,这一点与图1中人均碳排放量变化曲线与能源结构变化曲线相符,因此,山西省人均碳排放的抑制作用主要来自于一次能源效率的提高。但能源效率对降低山西省人均碳排放量的贡献率与经济增长对增加山西省人均碳排放量的贡献率相比,其增长趋势明显不足。这也导致近年来山西省在大力推进环境保护工作的过程中,人均碳排放量仍呈现持续增长的趋势。经济增长对山西人均碳排放的贡献率在不断增大,尤其是从1999年开始,基本保持指数增长的态势。这主要是由于到2000年,随着亚洲金融危机的结束,增加投资和扩大内需的宏观经济政策导致大批高能耗、重复性的基础设施项目和工业项目上马,使得山西的碳排放急速增长。

通过分析,山西人均碳排放的下降主要是能源使用效率的提高引起的。可是,随着山西经济的发展,经济因素的拉动作用越显突出,仅靠提高能源效率的抑制作用已明显不够,还需大力优化能源结构,充分发挥能源结构对人均碳排放增长的抑制作用。

三、结论及对策建议

(一)结论

(1)1990年~2008年,山西的人均碳排放量整体大幅提高,其中1990年~1999年增速缓慢,拐点出现在2000年,从2000年开始山西的人均碳排放量急速上升并呈指数增长趋势。

(2)经济增长因素是山西人均碳排放量增长的主要拉动因素,且作用效应远远大于能源结构和能源效率的抑制作用。从图1也可看出,随着山西经济的快速发展,经济增长对山西碳排放的拉动作用将会逐步加大,使得山西将面临更加巨大的减排压力。

(3)能源效率对山西碳排放增长的抑制作用相对于能源结构来说较强,但整体波动较大,说明山西能源利用水平具有不稳定性,虽然近年来山西能源效率的抑制作用在不断增大,但还远远不能抵消经济增长的拉动作用。

(4)从图2也可看出能源结构贡献曲线在1990年~2008年期间基本保持平稳,也从侧面说明了山西以煤为主的能源结构一直以来没有发生根本改变,在抑制山西碳排放增长方面并没有发挥应有的作用。

(二)控制碳排放的对策建议

(1)大力发展节能减排技术,提高能源使用效率。构建综合的节能减排技术政策框架,形成节能减排技术研发、应用、推广的激励机制。加强煤炭的高效利用和清洁利用,加快火力发电的技术进步,淘汰落后的小火电机组,大力发展大型联合循环流化床机组^①等高效、洁净发电技术。扩大原煤洗选加工比重,发展动力煤洗选加工利用。着力推进热电、热电冷联供等多联产技术,在高碳行业推广余热余压利用技术,发展电机系统节能、能量系统优化以及工艺锅炉改造,提高煤炭能源转化效率。

从节能入手争取降低碳排放,从根本上改变高投入、高能耗、低效率的粗放式增长方式,并将其作为山西经济发展的长远战略方针。

(2)发展可再生能源和新能源,优化能源结构。推进能源体制改革,建立有助于实现能源结构调整和可持续发展的价格体系。推动可再生能源发展的机制建设,培育持续稳定增长的可再生能源市场,改善健全可再生能源发展的市场环境与创新。加强新能源的技术研发,增加对新能源的投资,促进新能源加快发展。增加天然气供应,加大天然气对煤炭和石油的替代,提高天然气在能源消费中的比例。加大利用煤层气、大力普及天然气、高效地利用焦炉煤气。大力发展煤基燃料、风能、太阳能、水电、生物质能等清洁能源,提高可再生资源的比例。积极开发新能源和可再生能源产品,如开发太阳能热水器、空气能热水器、沼气热水器和沼气灶具等。通过能源替代,逐步改变山西以煤为主的单一能源结构。

(3)加强碳减排等能源技术领域的研发力度与国际合作。开展清洁发展机制(CDM)能力建设,加强与发达国家的技术交流,引进消化先进的节能技术,提高能效和可再生能源利用的技术水平。由于技术和经济上的原因,山西能源结构调整的幅度和速度都难以有较大的突破。为此,山西必须通过加大对燃煤排放CO₂的捕获与埋存等能源减排技术的研发力度与国际合作,以此来减少煤炭对环境的影响,以确保煤炭继续成为山西能源的重要部分之一。

【参考文献】

- [1] Johan A, Delphine F, Koen S, A Shapley Decomposition of Carbon Emissions without Residuals[J]. Energy Policy, 2002, 30: 727-736.
- [2] Ang B W, Zhang F Q, Choi K H. Factorizing Changes in Energy and Environmental Indicators through Decomposition [J]. Energy, 1998, 23, (6): 489-495.
- [3] Roberta Quadrelli, Sierra Peterson. The energy climate challenge: Recent trends in CO₂ emissions from fuel combustion [J]. Energy Policy, 2007, 35 (35): 593-595.
- [4] 张坤民, 潘家华. 低碳经济论[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2008.
- [5] 李志强. 山西省“十二五”低碳经济发展研究报告[R]. 山西省“十二五”规划前期研究课题, 2010.
- [6] 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[A]. 2009年南昌大学中国中部经济发展研究中心学术年会暨“贯彻国务院《促进中部地区崛起规划》”研讨会论文集[C]. 南昌大学中国中部经济发展研究中心, 2009.
- [7] 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, 40(4): 561-568.
- [8] 彭水军, 包群. 经济增长与环境污染——环境库兹涅茨曲线假说的中国检验[J]. 财经问题研究, 2006(8).
- [9] 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, 16(6): 158-161.
- [10] 焦有梅, 白慧仁. 提升能源产业 建设新型能源基地 助推山西经济在中部崛起[J]. 山西能源与节能, 2007(2).
- [11] 胡初枝, 黄贤金. 中国碳排放特征及其动态演进分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(3): 83-87.
- [12] 王铮, 朱永彬. 我国各省区碳排放量状况及减排对策研究战略与决策研究, 2008, 23(2): 109-114.
- [13] 林伯强, 蒋竺均. 中国二氧化碳的环境库兹涅茨曲线预测及影响因素分析[J]. 管理世界, 2009(4): 27-36.

(责任编辑: X 校对: Z)

^①联合循环发电技术分为整体煤气化联合循环(IGCC)和增压流化床联合循环(PFBC-CC)两大类。