

基于STIRPAT模型的 陕西省碳排放影响因素分析

赵选民^{1,2}(教授), 段晓琛²

【摘要】 本文在假设经济增长与碳排放量存在EKC曲线的基础上构造了STIRPAT随机模型,利用岭回归分析法对陕西省2000~2014年的相关数据进行分析,以探讨人口、经济发展水平、能源强度、城市化水平和能源消费结构五个因素对碳排放量的影响。研究表明,五种因素与碳排放量均呈正相关关系,经济增长与碳排放量之间不存在EKC曲线,陕西省的碳排放量在将来依然会随人均GDP稳步增长。最后根据陕西省现状提出了针对性的政策建议,以期为各省市的低碳经济提供参考。

【关键词】 碳排放; 影响因素; EKC曲线; STIRPAT模型; 岭回归分析

【中图分类号】 F062.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1004-0994(2016)12-0031-4

一、引言

随着臭氧层空洞等气候灾难的不断上演,“温室气体已经并将继续给地球和人类带来灾难”。1997年,《京都议定书》中明确了包括CO₂在内的六种温室气体。2007年,联合国政府间气候变化专门委员会研究发现,CO₂约占人为气体总排放量的76.7%,是温室气体最主要的组成部分。因此,减少温室气体排放的关键在于减少CO₂的排放。

为了缓解经济发展与气候灾难之间的矛盾,低碳经济的发展理念应运而生。“低碳经济”由英国政府在其题为《我们未来的能源:创建低碳经济》能源白皮书中首次提出,其实质是要求社会和政府关注能源的使用效率和消耗结构,倡导“三低一高”(低能耗、低污染、低排放、高增长)的新型经济发展模式,以实现经济和资源环境的可持续发展。

目前中国正处在工业化、城市化发展的中后期,能源需求量大,碳排放现状堪忧。中国的平均能耗效率只占发达国家的70%左右,碳排放强度却远高于其他国家,大约是日本的9倍,世界平均水平的3倍。为此,中国政府在哥本哈根气候变化峰会等国际会议上向世界承诺碳减排目标,且在国家发展规划中进一步将其细化,启动了“五省八市”低碳省及低碳城市试点,陕西省就是试点省份之一。

陕西省作为西部能源型省份,矿产资源富集,是国家重要的能源接续地和能源输出大省,且目前处于由西部欠发达

省向中等发达地区迈进的关键时期,其经济发展过程中的主要碳排放来自化石能源燃烧和工业生产。可见,以陕西省为研究对象进行碳排放影响因素分析具有一定的代表性,相关研究结论能够为各省市开展碳减排工作提供参考。

二、文献综述

由碳排放引起的环境退化、生态破坏等现象,使得学者们倾向于研究和分析导致该现象的驱动因素,从而为制定相关政策措施、缓解经济增长与资源环境之间的矛盾提供前提和基础。目前,学术界关于碳排放驱动因素的研究主要集中于两个方面。

一方面,是研究经济增长与碳排放之间的“环境库兹涅茨曲线(EKC)”。该方面的研究由Grossman和Krueger(1991)在北美自由贸易区环境评估报告中率先提出;Selden和Song(1994)研究认为,经济增长与碳排放之间存在EKC曲线;Galeotti(2005)基于不同的视角证实了EKC的存在;但Richmond和Kaufmaji(2006)的研究没有发现碳排放和经济增长之间存在EKC曲线。许广月和宋德勇(2010)通过实证研究证明了经济增长与碳排放之间的“倒U型”关系是存在的;韩玉军和陆旸(2009)认为,不同国家碳排放与经济增长的EKC曲线存在差异性,分别呈“倒U型”、“微弱的倒U型”、“N型”、线性增长等;何小钢和张耀辉(2012)研究发现,中国工业碳排放并不存在EKC曲线,而是呈“N型”趋势。

【基金项目】 国家社会科学基金西部项目“西部资源型产业碳排放问题研究”(项目编号:11XJY004); 陕西省高校哲学社会科学重点研究基地项目“上市公司碳信息披露质量评价与影响因素研究”(项目编号:14JZ033); 西安石油大学全日制硕士研究生创新基金项目“陕西省碳排放影响因素研究”(项目编号:2015cx140942)

□ 改革与发展

另一方面,是在研究碳排放与经济增长关系的基础上增加了其他驱动因素。如 Ehrlich(1970)的研究表明,人口、富裕度和技术是环境影响的主要驱动力。Schulze(2002)认为人类的行为选择会对环境产生一定的影响;Waggoner(2002)等认为人类对环境的影响结果是人口、富裕度、使用强度和效率等综合作用的结果。佟新华(2012)研究发现,影响中国工业碳排放的主要因素有经济增长、产业结构变化和人口增长。王世进和周敏(2013)通过对我国不同区域的碳排放影响因素进行研究发现,人均国民生产总值、产业结构、城市化率、能源消费结构等在各影响因素中占据主导,且在不同区域中各因素产生的效果具有差异性。林伯强和刘希颖(2010)在碳排放影响因素的研究中加入了城市化,认为低碳经济应当在保证经济增长的基础上,通过控制城市化进程、降低碳排放强度和调整能源结构来实现。

通过对相关文献的梳理我们发现,学者们更多关注某个国家或者地区的经济增长与碳排放的关系,而针对某个省份的文献研究较少,且对碳排放的影响因素研究差异性较大。在经济增长与碳排放关系的研究中,对两者之间是否存在 EKC 曲线并没有达成一致意见。因此,本文拟在前人研究的基础上,通过采用 STIRPAT 随机模型,结合陕西省的相关信息背景,加入一些可能对碳排放产生影响的因素,进行实证研究。一方面,验证碳排放与经济增长之间是否存在“倒 U 型”曲线;另一方面,研究各驱动因素对碳排放的影响程度,为陕西省的低碳经济发展提供有针对性的政策建议。

三、理论分析与模型构建

(一) STIRPAT 模型

自 20 世纪 70 年代以来,学者们一般通过各种模型研究人类行为对环境的作用。其中,最早、最具影响力的是 Ehrlich 等提出的 IPAT($I=P \times A \times T$) 方程。该方程认为环境影响是人口总量、人均富裕水平和技术三者相乘的结果。之后的模型基本都是在此基础上的扩展。如 IPBAT($I=P \times B \times A \times T$) 模型在其基础上加入了人类行为选择因素;ImpACT($I=m \times P \times A \times C \times T$) 模型则增加了使用强度和效率两个因素。

以上模型简洁易懂,得到了学术界的广泛认可和运用,但它们均建立在各变量间同比例变动的假设条件下,说明模型本身就存在缺陷,即只能在假定其他因素不变的情况下对其中的一个因素进行分析,且不能对模型变量以外的因素进行假设检验,更不能对各驱动因素间函数关系的显著性进行反映,这显然与实际不符。基于此,Dietz 等提出的 STIRPAT($I=aP^bA^cT^d\delta$) 随机模型应运而生。其中 a 为常数项,b、c、d 为驱动力指数,为方便计算,通常对模型两边取自然对数,得到如下表达式:

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln \delta \quad (1)$$

(二) 模型扩展及变量说明

本文在研究人口、经济发展水平和技术因素对陕西省碳

排放量影响的基础上,在 STIRPAT 模型中加入了城市化水平和能源消费结构。人口因素对碳排放的驱动作用已经得到了学术界的一致认可,城市化水平作为重要的人口特征,其对碳排放必然存在一定的影响。如 Poumanyong(2010)通过对 99 个国家 1975~2005 年的面板数据进行实证研究,结果表明城市化水平与碳排放正相关;刘华军(2012)采用多种模型和数据全面揭示了城市化水平与碳排放之间的关系。陕西省每年的煤炭消耗比例占到了总能源消耗比例的 71% 以上,故在模型中加入城市化水平和能源消费结构具有一定的合理性。在构造本文的 STIRPAT 模型时假设经济增长与碳排放之间存在 EKC 曲线,则表达式为:

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c_1 \ln A + c_2 (\ln A)^2 + d \ln T + e \ln U + f \ln M + \theta \quad (2)$$

其中,a 为常数项, θ 为随机误差项,b、 c_1 、 c_2 、d、e、f 为模型系数。

各变量的选择及定义详见表 1。各变量的数据来源于 2001~2015 年的《陕西统计年鉴》,能源排放系数采用《中国可持续发展能源暨碳排放情景分析》中的研究成果。

表 1 变量选择及定义

变量	定义
能源碳排放量(I)	能源碳排放量= \sum (能源消费量 \times 能源排放系数)(单位:吨)
人口(P)	《陕西统计年鉴》中当年年底的总人口数(单位:万人)
经济发展水平(A)	以人均 GDP 代表
能源强度(T)	能源强度=能源消费总量/GDP
城市化水平(U)	城市化水平=城市人口数/总人口数(当年年底的总人口及城市人口数)
能源消费结构(M)	能源消费结构=煤炭消费量/总能源消费量

四 实证结果分析

(一) 普通最小二乘法回归结果分析

根据表 1 中的变量选择及定义对相关数据进行整理,运用 SPSS 20.0 软件,采用普通最小二乘法对模型进行回归分析,回归结果见表 2:

表 2 普通最小二乘法回归结果

变量	模型回归系数	标准误差	t	Sig.	容差	VIF
(常量)	-4.445	6.652	-0.668	0.016		
LnP	0.410	0.810	0.507	0.014	0.004	262.193
LnA	0.990	0.010	103.203	0.015	0.006	181.702
(LnA) ²	0.057	0.347	95.983	0.001	0.004	34.248
LnT	1.045	0.011	0.347	0.000	0.029	20456.315
LnU	0.152	0.062	2.459	0.218	0.003	320.256
LnM	0.214	0.018	11.672	0.001	0.013	2.060

F=168037.934;R²= 1.000;调整的 R²= 1.000;Sig.F=0.000

由回归分析的结果可知,F值为168037.934,对应的Sig.F值为0.000,说明总体回归方程显著,即碳排放量与人口、经济发展水平、能源强度、城市化水平及能源消费结构的关系具有显著性,回归模型显著成立。此外, R^2 及调整的 R^2 均接近1,表明样本全部被回归方程解释,回归模型的拟合优度较高,模型设定合理。由模型的t检验可知,除人口和城市化水平外,其他变量均通过检验,但t值不太理想。通过观察模型的VIF值可知,除能源消费结构外,其他变量之间存在严重的多重共线性,需要采用特殊方法对模型重新进行回归,梳理出变量间的关系。

(二)岭回归结果分析

1. 岭回归分析法。在不对解释变量进行剔除的情况下消除多重共线性的思路就是对普通最小二乘法进行改进,目前主要的改进方法有四种:岭回归分析法、修正Frisch法(逐步回归法)、偏最小二乘法和主成分分析法。其中,岭回归分析法是最具影响的分析方法。岭回归分析法最初是由Hoed和Kennard(1970)提出的,该方法首先对各自变量进行标准化处理,然后将非负K值引入其标准化矩阵,以消除变量间的多重共线性。

岭回归分析法是一种有偏估计方法,需要放弃部分精度来得到更贴近实际、更可靠的回归分析结果。相较普通最小二乘法,它具有灵活、稳定、精度高以及对病态数据耐受性强等优点,在解决多重共线性方面具有独特优势。因此,文章采用岭回归分析法再次对模型进行分析,设定K的取值范围为(0,1),步长为0.01。从岭迹图可知,当 $K=0.18$ 时,各参数的岭迹开始趋于平稳,且调整的 R^2 开始缓慢下降,此时的F值为53.267,对应的Sig.F值为0.000,说明总体回归方程显著;调整的 R^2 值为0.988,说明样本只有1.2%的数据没有被回归方程解释,模型的拟合优度较高;模型的所有变量均通过t检验,说明模型在5%的水平下,各变量系数均显著。因此,本文选取 $K=0.18$ 时的回归分析结果,具体表达式为:

$$\ln I = -77.756 + 10.342 \ln P + 0.147 \ln A + 0.007 (\ln A)^2 + 0.076 \ln T + 0.601 \ln U + 1.251 \ln M \quad (3)$$

具体岭回归分析结果详见表3所示:

变量	模型回归系数	标准误差	标准化回归系数	t	Sig.
(常量)	-77.756	10.148	0.000	-7.662	0.000
LnP	10.342	1.226	0.226	8.437	0.000
LnA	0.147	0.013	0.226	11.223	0.000
(LnA) ²	0.007	0.001	0.204	13.297	0.000
LnT	0.076	0.076	0.045	2.005	0.344
LnU	0.601	0.065	0.189	9.290	0.000
LnM	1.251	0.607	0.107	2.060	0.073

F=53.267; $R^2=0.976$; 调整的 $R^2=0.957$; Sig.F=0.000

2. 岭回归结果分析。对岭回归结果进行深入分析,可得如下研究结论:

(1)各驱动因素与能源碳排放量的弹性关系。由岭回归结果的表达式(3)可知,人口因素、经济发展水平、能源强度、城市化水平及能源消费结构5个驱动因素与陕西省的能源碳排放量之间均为正相关关系。

其中,陕西省年末总人口(P)每增加1%,将促使能源碳排放量增加10.342%;陕西省人均GDP(A)每增加1%,将促使能源碳排放量增加(0.147+0.007LnA)%;陕西省单位GDP的能源消费总量(T)每增加1%,将促使能源碳排放量增加0.076%;陕西省城市人口占总人口的比重(U)每增加1%,将促使能源碳排放量增加0.601%;煤炭的消费量占陕西省能源消费总量的比重(M)每增加1%,将促使能源碳排放量增加1.251%。

(2)各驱动因素及能源碳排放量的年均变化率水平。通过计算五种驱动因素及能源碳排放量的年均变化率,发现2000~2014年间,陕西省能源碳排放量的年均增长率为10.570%,碳减排压力较大。陕西省总人口(P)的年均增长率为0.223%,而城市人口占总人口的比重(U)平均每年增加1.36%,城市化水平由2000年的32.272%增长到2014年的52.583%,说明大量农村人口涌入城市对能源碳排放量产生了较大影响。

陕西省人均GDP(A)的年均增长率为3.67%。单位GDP的能源消费总量(T)年均每年下降0.00513%,几乎没有波动,说明陕西省的GDP增长是建立在能源消费总量增加的基础上,对陕西省的碳减排形势非常不利。

煤炭的消费量占陕西省能源消费总量的比重(M)平均每年增加0.00361%,稳定在71%左右,说明陕西省的煤炭消耗比例几乎没有变化,且常年居高不下,不利于陕西省碳减排目标的实现。

标准化回归系数在多元回归中常被用来比较各变量间的相对重要性,对表3中的标准化回归系数值进行排序可以得出五种驱动因素在影响能源碳排放量方面的相对重要性水平,由高到低为:人口、能源消费结构、城市化水平、经济发展水平和能源强度。

(3)由岭回归分析结果的表达式可知,人均GDP(A)及其平方项的系数为正,陕西省的经济发展水平和能源碳排放量之间的EKC曲线不存在。

根据模型的表达式(3)可以计算出人均GDP(A)对陕西省能源碳排放量的弹性系数。计算结果表明,伴随着人均GDP(A)水平的稳步增长,其对能源碳排放量的弹性系数由2000年的0.207上升到2014年的0.222,即人均GDP(A)对陕西省能源碳排放量的影响逐渐增大,目前还未到达EKC曲线的拐点,尚处于其左侧。由此可以预测,陕西省的能源碳排放量在未来一段时期内仍然会随着人均GDP(A)的增长而增

□ 改革与发展

加,直至到达拐点,才会出现下降趋势。若陕西省不采取有效措施尽早到达拐点值或降低拐点值,陕西省的碳减排形势将愈加严峻。

五、政策建议

随着国家“西部大开发战略”的大力实施,陕西省作为西部大开发的重点省份,其丰富的煤炭、石油、天然气以及水电等资源在助力西部地区经济腾飞方面发挥着不可替代的作用。但经济的增长、能源的消耗以及城市化水平的提高必然会带来碳排放量的增加,这无疑给西部地区脆弱的生态环境带来了巨大的挑战。

基于上述研究结论,结合陕西省的地方特色,本文提出如下政策建议:

1. 控制总人口数量,平稳提升城市化水平,倡导全民低碳生活理念。本文研究发现,人口规模对能源碳排放量所产生的影响最为显著,因此对陕西省总人口数量的控制就显得十分必要。未来,陕西省的碳排放量与人口、资源以及环境的矛盾依然十分尖锐。陕西省应当在调整人口结构方面加大力度,而不是单纯地采取计划生育政策控制总人口数量。另外,随着城市化水平的不断提升,大量农村适龄劳动力陆续涌入城市,将会给陕西省的低碳经济发展带来新的挑战。针对这种情况,陕西省应当注重人口结构的优化,提升人口的受教育水平,增强公众的节能减排意识,积极倡导绿色能源消费理念,在不显著增加人口总量的基础上,通过人口结构的优化,达到城市化水平逐步推进、低碳发展人人参与的良好发展形势。

2. 推进产业结构优化调整。陕西省目前的经济发展模式仍然比较粗放,“高污染、高排放、高消耗、低经济增长”现象依然存在。因此,陕西省应根据区域特色,逐渐形成以“关中先进制造、陕北能源化工、陕南绿色产业”为主导的区域产业格局。不断改善三大产业结构,适时降低第一产业占比;充分发挥能源、资源优势,继续提升第二产业占比;稳步提升第三产业,提高第三产业增加值在经济总量中的比例。均衡产业结构,倡导节能化产业发展,通过高新技术的引进以及服务业的发展拉动陕西省的产业结构调整,降低能源消耗强度。

3. 优化能源消费结构,鼓励新能源的开发和使用。陕西省作为我国少有的能源富集省份,依托丰富的资源储量形成了以煤炭、石油等化石能源为主的能源消费结构,这必然会导致碳排放水平高的后果。针对当前陕西省的能源消费结构,提高化石能源利用率、实施清洁化生产成为降低碳排放水平的必然选择。同时,可提升水电、风电、天然气及可再生能源的消费比重,多管齐下,逐步降低碳排放水平。

4. 积极推进技术进步,依靠创新科技成果发展低碳经济。科学技术是第一生产力,是实现碳减排的重要手段。应加

大对创新技术的资金、政策及人才支持力度,鼓励节能减排技术的自主研发,并积极推广,缩短其进入企业发挥作用的时间,加强与低碳经济发展良好地区的交流与合作,不断发现并调整自身存在的问题,通过多方面努力达到碳减排的目标。

主要参考文献:

Almulalia U., Fereidounia H. G., Lee J. Y. M., et al. Exploring the Relationship Between Urbanization, Energy Consumption and CO₂ emission in MENA countries [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013(23).

Selden. T. M., D. Song. Environmental Quality and Development: Is there a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions [J]. Environmental Economics and Management, 1994 (9).

Galeotti. M., A. Lanza. Desperately Seeking Environmental Kuanets [J]. Environmental Modelling & Softure, 2005(11).

许广月,宋德勇. 中国碳排放环境库兹涅茨曲线的实证研究——基于省域面板数据 [J]. 中国工业经济, 2010(5).

韩玉军,陆旸. 经济增长与环境的关系——基于对CO₂环境库兹涅茨曲线的实证研究 [J]. 经济理论与经济管理, 2009(9).

何小钢,张耀辉. 中国工业碳排放影响因素与CKC重组效应——基于STIRPAT模型的分行业动态面板数据实证研究 [J]. 中国工业经济, 2012(1).

Ehrlich P. R., Ehrlich A. H. Population, Resources, Environment: Issues in Human Ecology [M]. San Francisco: Freeman, 1970.

佟新华. 中国工业燃烧能源碳排放影响因素分解研究 [J]. 吉林大学社会科学学报, 2012(4).

王世进,周敏. 我国碳排放影响因素的区域差异研究 [J]. 统计与决策, 2013(12).

林伯强,刘希颖. 中国城市化阶段的碳排放:影响因素和减排策略 [J]. 经济研究, 2010(8).

York R., Rosa E A., Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: Analytic tools for Unpacking the Driving Forces OfenVironmentalimpacts [J]. Ecological Economics, 2003(4).

刘华军. 城市化对二氧化碳排放的影响——来自中国时间序列和省际面板数据的经验数据 [J]. 上海经济研究, 2012 (5).

何秀丽. 多元线性模型与岭回归分析 [D]. 武汉:华中科技大学, 2005(14).

作者单位:1.西安石油大学油气资源经济管理研究中心,西安 710065; 2.西安石油大学经济管理学院,西安 710065