

基于多因素分析的我国煤炭消费及 节能减排潜力预测

仓定帮^{1,2} 魏晓平¹ 曹明³

¹(中国矿业大学管理学院, 徐州 221008) ²(华北科技学院理学院, 北京 101601)

³(中国矿业大学公共管理学院, 徐州 221008)

〔摘要〕本文首先对1996~2015年我国煤炭消费量、经济增长、单位GDP能耗、环境规制强度、能源消费结构数据进行协整分析,发现存在长期均衡关系,并通过格兰杰检验发现经济增长、单位GDP能耗、环境规制强度、能源消费结构均是煤炭消费量的格兰杰成因。其次借助协整方程,对各参数设置了基准变化,给出了2016~2025年的煤炭消费预测。最后,在基准预测的基础上进行情景模拟,对煤炭消费量和节能减排潜力进行预测。

〔关键词〕煤炭消费 经济增长 环境规制 技术进步 协整分析 节能减排

DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2017.12.004

〔中图分类号〕F407 〔文献标识码〕A

引言

能源是国家经济发展的动力,是社会进步、实现可持续发展的重要物质基础。近年来我国经济发展取得了优异的成绩,经济增长速度令世界瞩目,年均增长速度维持了7%左右。经济的快速发展伴随着能源消费总量持续增加,煤炭作为主要能源投入,在能源消费结构中的比重近几年虽然有所下降,但是仍然达到了64%以上。一方面煤炭投入保证了我国经济持续发展,对保障我国能源安全有着举足轻重的作用;另一方面,煤炭的大量使用带来的环境负效应明显,特别是当下,社会对环境要求越来越高,环境规制强度越来越大的情形下,煤炭资源的投入遇到了多方面的约束。搞清楚影响煤炭消费的相关因素,对煤炭消费需求做出合理的预测,能够更好的理清经济发展态势,合理优化产业结构,促进资源优化配置。

系统研究能源消费、经济发展与环境污染之间的关系是近些年能源经济学研究的热点。很多学者利用计量方法对经济能源环境关系进行

实证研究,取得了丰富的成果。Ansgar Bekle 和 Frauke Dobnik 利用25个经合组织国家(OECD)1981~2007年度面板数据模型研究了能源消费和经济增长之间的关系,认为能源消费和经济增长存在双向因果关系^[1]。Mehmet Balcilar 利用1960~2006年间希腊能源消费与GDP时间序列数据建立了时间序列模型并进行了协整分析,认为能源消耗和GDP之间存在单一的因果关系^[2]。Apergis 和 Payne 利用美国6个中心地区的面板数据建立了面板数据协整及误差修正模型,结果显示存在能源到经济发展的单向因果关系^[3]。Paresh Kumar Narayan 利用1972~2002年G-7国家的面板数据研究能源与经济增长之间的关系,结论是能源消费与经济增长之间不存在因果关系^[4]。Soytas 研究了美国收入与碳排放之间的关系,得到的结论是碳排放与收入之间无格兰杰因果关系,但在长期中,能源消耗是碳排放的格兰杰成因^[5,6]。Halicioglu 研究了土耳其碳排放和收入之间的关系。发现无论在长期还是短期,在收入和碳排放之间存在双向的格兰杰因果关系^[7]。Song 利用中国的省际数据说明了人

收稿日期:2017-07-08

基金项目:国家社科基金重大资助项目“我国矿产资源跨期优化配置机制研究”(项目编号:11&ZD163);国家社科基金一般项目“矿产资源跨期优化配置的政策工具研究”(项目编号:15BGL175)。

作者简介:仓定帮,中国矿业大学管理学院博士研究生毕业。研究方向:资源优化配置。魏晓平,通讯作者,中国矿业大学管理学院教授,博导。研究方向:资源优化配置、数量经济学。曹明,中国矿业大学公共管理学院副教授。研究方向:资源优化配置。

均排放和人均 GDP 之间有着长期的协整关系^[8]。Xing-Ping Zhang 利用 VAR 模型研究了中国能源消耗、碳排放、经济增长的关系,发现碳排放和能源消耗都不是经济增长的直接原因,从长期看能源保护和碳减排不会影响经济增长^[9]。Mohammad 通过 VAR 模型研究表明伊朗国内的化石能源的消耗不是经济增长的成因^[10]。Pao, H.-T 利用 VAR 和 ECM 模型研究 BRIC 四国的能源、经济、环境问题,结论是在长期中能源消费和碳排放、能源消费和产出都有着双向的因果关系^[11]。国内学者对这方面的内容也做了很多的研究^[12-19]。其中牟敦国研究发现中国当前的能源消费问题主要表现为经济增长拉动的能源消费增长,但对于煤炭、石油、天然气而言,它们与经济关系的因果关系并不一致^[12]。刘金全对我国 29 个省区 1989~2007 年废水、固体废弃物和废气 3 种环境污染人均指标与人均收入数据进行建模,分析我国环境污染与经济增长之间的关系。结果表明人均废水排放量随人均收入增加均呈现先上升后下降的变化趋势,而人均固体废弃物产生量和人均废气排放量随人均收入变化则呈现单调上升的趋势^[16]。邓明研究结果表明,经济增长结构与能源消费结构对能源消费量、经济增长量以及污染物排放有着重要影响,而能源消费对经济增长只具有短期影响^[17]。崔和瑞根据我国 1995~2006 年我国能源消费总量、GDP 和二氧化硫排放量的时间序列数据,通过建立我国能源-经济-环境的 VAR 模型,利用脉冲响应函数和方差分解对我国能源、经济和环境三者的动态关系进行了分析^[18]。专门研究煤炭消费预测的方法较多。王立杰等用灰色预测方法对我国煤炭需求进行了预测^[20]。徐欣等利用改进的 BP 神经网络进行煤炭需求预测^[21]。还有一些学者用组合预测方法对中国能源消费进行分析^[22]。

本文拟在相关文献的基础上对影响煤炭消费的因素进行分析,预测我国煤炭资源的需求,进而对煤炭节能潜力进行评估。

1 变量的选择及相关检验

1.1 协整检验

本文认为经济发展、环境规制、技术进步,新能源的不断发展等因素都会对煤炭需求产生影

响。用 Y_1 表示煤炭消费量, Y_2 为经济发展水平,用 GDP 表示; Y_3 为能源技术进步,用单位 GDP 的能耗表示; Y_4 为环境规制水平,考虑到煤炭资源的使用会带来大量的工业固体废弃物,用工业产值/工业固体排放量表示环境规制水平,并且鉴于环境政策有一定的滞后性^[19,20],因此引入环境规制滞后一期作为解释变量; Y_5 为能源消费结构,用煤炭资源在能源消费结构中的比例表示。本文拟建立如下的煤炭需求影响函数:

$$Y_1 = f(Y_2, Y_3(-1), Y_4, Y_5) \quad (1)$$

先做平稳性分析,各个变量的单位根检验(ADF)结果如表 1。

表 1 单位根检验

序列	ADF 检验值	1% 临界值	结论
$\ln Y_1$ 煤炭消费	-2.145932	-4.667883	不平稳
$\Delta \ln Y_1$	0.168074	-4.667883	不平稳
$\Delta^2 \ln Y_1$	-5.257683	-3.920350	平稳
$\ln Y_2$ gdp	-2.241694	-4.532598	不平稳
$\Delta \ln Y_2$	-2.759310	-4.571559	不平稳
$\Delta^2 \ln Y_2$	-6.373472	-3.886751	平稳
Y_3 环境规制(-1)	-0.150185	-4.728363	不平稳
ΔY_3	-0.024440	-4.800080	不平稳
$\Delta^2 Y_3$	-9.619768	-3.959148	平稳
Y_4 单位 gdp 能耗	-2.735664	-4.571559	不平稳
ΔY_4	-2.817276	-4.571559	不平稳
$\Delta^2 Y_4$	-4.127832	-3.886751	平稳
Y_5 煤炭消耗比例	-0.721556	-4.532598	不平稳
ΔY_5	-1.76732	-4.616209	不平稳
$\Delta^2 Y_5$	-9.355312	-4.616209	平稳

注: Δ 表示一阶差分, Δ^2 为二阶差分。

从平稳性检验的结果看,5 个变量都是二阶单整,满足协整检验的前提。协整检验结果如下表 2。

表 2 协整检验结果

假定 CE 数量	特征值	Trace 统计量	5% 临界值	概率
无*	0.996	210.397	76.972	0.000
至多 1 个*	0.966	110.373	54.079	0.000
至多 2 个*	0.735	49.438	35.193	0.001
至多 3 个*	0.599	25.555	20.262	0.009
至多 4 个	0.396	9.087	9.164	0.0517

注: * 表示已 5% 的显著性水平拒绝原假设。

以上协整检验结果显示, 5 个变量存在协整关系, 给出结合变量实际意义, 给出如下协整方程:

$$Y_1 = 1.039715 * \ln Y_2 - 0.019944 * Y_3 + 0.917744 * Y_4 + 1.498217 * Y_5 - 2.513375 \quad (2)$$

(0.0052) (0.0229) (0.0145) (0.0971) (0.0730)

括号中为 t 统计量标准误。从上面的标准化方程看, 煤炭资源的消费与选取的 4 个因素存在长期的均衡关系, 并且与经济增长、能源消费比例、能源技术进步存在正相关的关系, 而环境规制的滞后一期对煤炭消费有着抑制作用。从协整

方程看, 能源技术进步没有对煤炭消费产生抑制作用, 反而促进了煤炭资源的消费。

1.2 格兰杰因果关系检验

利用格兰杰因果检验, 进一步的研究煤炭需求与相关影响因素之间的因果关系, 结果如表 3。

表 3 格兰杰因果关系检验

原假设	Chi-sq 统计量	概率	结论	因果关系
Y ₂ 不是 Y ₁ 的格兰杰原因	99.027	0.000	拒绝	存在
Y ₁ 不是 Y ₂ 的格兰杰原因	0.590	0.745	接受	不存在
Y ₃ 不是 Y ₁ 的格兰杰原因	5.221	0.074	拒绝	存在
Y ₁ 不是 Y ₃ 的格兰杰原因	2.156	0.340	接受	不存在
Y ₄ 不是 Y ₁ 的格兰杰原因	118.708	0.000	拒绝	存在
Y ₁ 不是 Y ₄ 的格兰杰原因	2.756	0.252	接受	不存在
Y ₅ 不是 Y ₁ 的格兰杰原因	8.817	0.012	拒绝	存在
Y ₁ 不是 Y ₅ 的格兰杰原因	0.196	0.907	接受	不存在

结果显示, GDP、能源技术进步、能源消费结构、环境规制与煤炭消费量之间均存在单向因果关系。GDP、能源技术进步、能源消费结构、环境规制等因素引起了煤炭消费的变动, 而煤炭消费不是引起经济增长、能源技术进步、环境规制、能源消费结构变动的成因。因此, 积极优化能源消费结构, 进一步降低煤炭资源的消费总量, 不会损害我国的经济增长。

2 煤炭需求预测及减排潜力分析

在上文分析基础上, 进一步对十三五、十四五期间我国煤炭资源的消费做预测。首先利用 1996~2015 年之间的数据对协整方程的预测效果进行检验, 结果发现协整方程得到的预测值与实际值之间的平均相对误差仅为 0.556%, 十二五期间的预测相对误差降为 0.389%, 说明协整方程的预测效果比较好。下文利用 Lin Boqiang 提出的计算节能潜力的方法——多因素分析情景模拟法^[22], 将预测值与基准值的差值作为节能潜力。所谓的基准值是根据各个变量的历史变化, 给出各个变量将来的变化趋势, 以此作为参考, 进行基准预测。各变量基准设定如下:

十二五期间, 我国经济社会处于新的转型时

期, 经济增长速度逐渐放缓, 平均增长速度为 7%, 2016 年经济增长速度为 6.7%。随着经济结构的调整, 在经济增长放缓成为新常态的情况下, 假设十三五期间我国经济增长的速度为 6.7%, 而十四五的经济增长速度为 7%。

近年来, 国家积极调整能源消费战略, 大力发展可再生能源, 煤炭资源在能源消费结构中的比例整体逐年降低。《能源发展战略行动计划 (2014~2020 年)》对优化能源结构提出了明确的要求, 积极发展天然气、核电、可再生能源等清洁能源, 进一步降低煤炭消费比重, 推动能源结构持续优化, 到 2020 年, 煤炭消费比例要降低到 62% 以下。十二五期间, 煤炭消费比例年均下降 2.3%, 假设在十三五期间煤炭消费比例的降低速度仍然维持在 2.3%, 而在十四五期间, 随着新能源技术的不断进步, 能源替代空间和规模得到进一步提升, 煤炭消费比例年均下降 3%。十二五期间, 单位 GDP 能耗年均下降 6.8%, 假设这十三五期间单位 GDP 能耗维持这一降幅不变, 十四五期间年均降幅达到 7%。环境规制强度在十二五期间从以年均 4.1% 增加, 假设十三五期间维持这个增加比例, 十四五期间年均以 4.5% 速度提升。

对于基准情景,就相关因素未来变化设置了 费预测及节能潜力预测如表 5~6。
3 个情景发展模式,如表 4。对应情景的煤炭消

表 4 煤炭预测情景设置

影响因素	基准情景	情景一 (环境规制)	情景二 (能源结构)	情景三 (情景一+情景二)	情景四 (情景三+经济下行)
经济发展 (GDP 增长)	十三五 6.7% 十四五 7%	十三五 6.7% 十四五 7%	十三五 6.7% 十四五 7%	十三五 6.7% 十四五 7%	十三五 6.5% 十四五 6.3%
环境规制强度 (环境规制强度增加)	十三五 4.1% 十四五 4.5%	十三五 4.5% 十四五 5%	十三五 4.1% 十四五 4.5%	十三五 4.5% 十四五 5%	十三五 4.5% 十四五 5%
能源技术进步 (单位 GDP 能耗降低)	十三五 6.8% 十四五 7%	十三五 6.8% 十四五 7%	十三五 6.8% 十四五 7%	十三五 6.8% 十四五 7%	十三五 6.8% 十四五 7%
能源消费结构 (煤炭消费比例降低)	十三五 2.3% 十四五 2.5%	十三五 2.3% 十四五 2.5%	十三五 2.5% 十四五 3%	十三五 2.5% 十四五 3%	十三五 2.5% 十四五 3%

表 5 煤炭消费预测结果(万吨)

时间	基准情景	情景一			情景二		
		消费量	节能	累计节能	消费量	节能	累计节能
2016	434610.3	434585.8	24.5	24.5	433777.6	832.7	832.7
2017	438381.9	438330.4	51.5	76	436744	1637.9	2470.6
2018	443498.1	443416.5	81.6	157.6	441074.3	2423.8	4894.4
2019	449923.3	449808.1	115.2	272.8	446726	3197.3	8091.7
2020	457634.5	457481.9	152.6	425.4	453670.1	3964.4	12056.1
2021	466774.4	466570.7	203.7	629.1	460880.4	5894	17950.1
2022	477284.1	477022.4	261.7	890.8	469479.5	7804.6	25754.7
2023	489171.8	488844.2	327.6	1218.4	479461.7	9710.1	35464.8
2024	502455.7	502053	402.7	1621.1	490832.9	11622.8	47087.6
2025	517162.9	516674.7	488.2	2109.3	503608.7	13554.2	60641.8

表 6 煤炭消费预测结果(万吨)

时间	情景三			情景四		
	消费量	节能	累计节能	消费量	节能	累计节能
2016	433753.1	857.2	857.2	432907.8	1702.411	1702.411
2017	436692.6	1689.3	2546.5	434992.2	3389.713	5092.124
2018	440993.1	2505	5051.5	438419.9	5078.202	10170.33
2019	446611.6	3311.7	8363.2	443140.4	6782.858	16953.18
2020	453518.7	4115.8	12479	449116.9	8517.676	25470.86
2021	460679.3	6095.1	18574.1	453105.3	13669.13	39139.99
2022	469222.1	8062	26636.1	458368.9	18915.15	58055.14
2023	479140.6	10031.2	36667.3	464874.8	24296.99	82352.13
2024	490439.5	12016.2	48683.5	472601.1	29854.59	112206.7
2025	503133.3	14029.6	62713.1	481535.8	35627.14	147833.9

从预测的结果看,情景一模拟结果发现,节能效果不是很好,到十四五末期,累计节能2109.3万吨。情景二的模拟中,能源消费结构中,煤炭消费比例降低较快,到十四五末期基本降低到50%以下,相比较基准情景,累计节能近6.1亿吨。环境规制与能源消费结构优化的综合作用,累计节能约6.27亿吨,相当于我国2015年煤炭消费量的15.8%。情景四模拟了经济持续下行的情况,十三五的增速为6.5%,而十四五的增速降为6.3%,累计节能约14.78亿吨。据IPCC的碳排放系数,煤炭碳排放系数约为1.9,据此计算得到减排潜力如表7。

表7 减排潜力预测(万吨)

时间	情景一	情景二	情景三	情景四
2016	12.89	438.26	451.16	896.01
2017	40.00	1300.32	1340.26	2680.07
2018	82.95	2576.00	2658.68	5352.81
2019	143.58	4258.79	4401.68	8922.73
2020	223.89	6345.32	6567.89	13405.72
2021	331.11	9447.42	9775.84	20599.99
2022	468.84	13555.11	14019.00	30555.34
2023	641.26	18665.68	19298.58	43343.23
2024	853.21	24782.95	25622.89	59056.16
2025	1110.16	31916.74	33006.89	77807.32

从减排预测结果看,情景三累计减排CO₂约3.3亿吨CO₂。情景4累计减排达到了近7.8亿吨,大约是我国2015年CO₂排放量的8.1%。

3 结论

本文利用协整技术研究了煤炭消费与经济增长、环境规制、能源技术进步及能源消费结构之间的关系,并对煤炭消费和节能减排潜力进行了预测。结果显示,煤炭消费与经济增长、环境规制、能源技术进步及能源消费结构之间存在长期稳定的关系,在我国现有的经济结构下,未来煤炭的需求还将维持在一个较高的水平上。如何尽可能的控制煤炭消费总量,减缓煤炭消费对经济增长速度和环境的影响,是现阶段政府必须重视的问题。

(1) 经济增长与煤炭消费存在单向的因果关系,以降低煤炭消费的能源政策不会影响经济增长。

(2) 煤炭的节能减排空间较大,经济增长速度和能源消费结构对煤炭消费具有显著影响,适当放缓经济增长速度、大力发展新能源可以明显降低煤炭消费,减少温室气体的排放。

(3) 未来对煤炭的需求仍会维持在一个较高的水平,对煤炭总量控制的政策会带来严峻的考验,要进一步优化产业结构,加快能源替代的步伐。

(4) 环境规制强度对煤炭消费影响较小,这表明我国的环境政策对节能的效果并不明显,环境政策的导向未能及时引导节能。出现这种结果的原因一是本文的环境规制度量不够完善,利用工业废固进行度量,没有将工业废水、工业废气排放等因素考虑在内,可能造成结果的偏差;二是本文主要考虑的环境规制的直接效用,没有将环境规制的间接效用^[20]考虑在内。这些都是以后进一步的研究方向。

参 考 文 献

- [1] Belle A, Dobnik F, Dreger C. Energy Consumption and Economic Growth: New Insights into the Cointegration Relationship [J]. Energy Economics, 2011, 33 (5): 782 ~ 789.
- [2] Balcilar M, Ozdemir Z A, Arslanturk Y. Economic Growth and Energy Consumption Causal Nexus Viewd Through a Bootstrap Rolling Window [J]. Energy Economics, 2010, 32 (6): 1398 ~ 1410.
- [3] Apergis N, Payne J E. Renewable Energy Consumption and Economic Growth: Evidence from a Panel of OECD Countries [J]. Energy Policy, 2010, 38 (1): 656 ~ 660.
- [4] Narayan P K, Smyth R, Prasad A. Electricity Consumption in G7 Countries: A Panel Cointegration Analysis of Residential Demand Elasticizes [J]. Energy Policy, 2007, 35 (9): 4485 ~ 4494.
- [5] Soytas, U. Sari, R. Ewing, B.T. Energy Consumption, Income, and Carbon Emissions in the United States [J]. Ecological Economics, 2007, (62): 482 ~ 489.
- [6] Soytas, U. Sari, R. Energy Consumption, Economic Growth, and Carbon Emissions: Challenges faced by an EU Candidate Member [J]. Ecological Economics, 2009, (68): 1667 ~ 1675.
- [7] Halicioglu, F. An Econometric Study of CO2 Emissions, Energy

- Consumption, Income and Foreign Trade in Turkey [J]. Energy Policy, 2009, (37): 1156~1164.
- [8] Song, T. Zheng, T.G. Tong, L.J. An Empirical Test of the Environmental Kuznets Curve in China: a Panel Cointegration Approach [J]. China Economic Review, 2008, 19: 381~392.
- [9] Xing-Ping Zhang, Xiao-Mei Cheng. Energy Consumption, Carbon Emissions, and Economic Growth in China [J]. Ecological Economics, 2009, (68): 2706~2712.
- [10] Mohammad Reza Lotfalipour, Mohammad Ali Falahi, Malihe Ashena. Economic Growth, CO₂ Emissions, and Fossil Fuels Consumption in Iran [J]. Energy, 2010, (35): 5115~5120.
- [11] Pao, H.-T. Tsai, C.-M. CO₂ Emissions, Energy Consumption and Economic Growth in BRIC Countries [J]. Energy Policy, 2010, (38): 7850~7860.
- [12] 韩智勇, 魏一鸣, 焦建玲, 等. 中国能源消费与经济增长的协整性与因果关系分析 [J]. 系统工程, 2004, (12): 17~21.
- [13] 王海鹏, 田澎, 靳萍. 基于变参数模型的中国能源消费与经济增长关系研究 [J]. 数理统计与管理, 2006, (3): 253~258.
- [14] 王火根, 沈利生. 中国经济增长与能源消费空间面板分析 [J]. 数量经济技术经济研究, 2007, (12): 98~108.
- [15] 牟敦国. 中国能源消费与经济增长的因果关系研究 [J]. 厦门大学学报(哲学社会科学版), 2008, (2): 100~107.
- [16] 刘金全, 郑挺国, 宋涛. 中国环境污染与经济增长之间的相关性研究 [J]. 中国软科学, 2009, (2): 98~106.
- [17] 邓明, 钱争鸣. 能源消费、污染物排放与中国经济增长 [J]. 山西财经大学学报, 2010, (11): 42~49.
- [18] 崔和瑞, 王娣. 基于VAR模型的我国能源-经济-环境系统研究 [J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2010, (2): 23~28.
- [19] 范秋芳, 崔珊, 刘兰廷. 基于Granger检验的能源消费与经济增长区域差异性研究 [J]. 工业技术经济, 2015, 34(03): 44~48.
- [20] 尤济红, 高志刚. 政府环境规制对能源效率影响的实证研究——以新疆为例 [J]. 资源科学, 2013, 35(6): 1211~1219.
- [21] 周肖肖, 丰超, 胡莹, 等. 环境规制与化石能源消耗——基于技术进步和结构变迁视角 [J]. 中国人口资源与环境, 2015, 25(12): 35~44.
- [22] BOQIANG L, YAW, LI Z. Estimates of the Potential for Energy Conservation in the Chinese Steel Industry [J]. Energy Policy, 2011, 39(4): 360~368.

Foresting of Coal Consumpiton and Energy Saving and Emissions Reduction Potential Based on the Multiple Factors

Cang Dingbang^{1,2} Wei Xiaoping¹ Cao Ming³

(1.School of Management, China University of Mine and Technology, Xuzhou 221008, China;
2. College of Science, North China Institute of Science and Technology, Beijing 101601, China;
3.School of Public Policy & Management, China University of Mine and Technology, Xuzhou 221008, China)

[Abstract] First, by the data of coal consumption and economic growth, energy consumption per unit GDP, environmental regulation intensity, energy consumption structure from 1996~2015, the cointegration test shows that there exists long-term equilibrium relationship and the granger test tells that economic growth, energy consumption per unit GDP, environmental regulation intensity, and energy consumption structure is the granger cause of coal consumption. Then, by cointegration equation and setting the benchmark value of parameters, the forecasting of coal consumption between 2016~2025 are given. Last, by scenario analysis, the saving and emissions reduction potential are assessed.

[Key words] coal consumption; economic growth; environmental regulation; technology progress; cointegration; energy saving and emissions reduction

(责任编辑:王平)