

# 基于 PVAR 模型的能源消费结构与能源效率的关系研究

毕神浩<sup>1,2</sup> 钟晓红<sup>2,3</sup> 来宇敏<sup>2</sup> 余泽骏<sup>2</sup>

<sup>1</sup> (北京航空航天大学经管学院, 北京 100191)

<sup>2</sup> (国网浙江杭州市萧山区供电有限公司, 杭州 311201)

<sup>3</sup> (厦门大学会计学院, 厦门 361000)

**〔摘要〕** 在能源、环境双重约束下, 优化能源消费结构及效率成为节能减排关注的焦点, 为探究两者的关系, 本文根据系统动力学理论, 阐释能源消费结构与能源消费的关联机制; 并以两者发展现状作为现实依据, 引入 PVAR 模型, 采用 2000~2019 年 31 个省域面板数据, 结合两者发展状态将其划分为东、西、中 3 个区域, 利用超效率 SBM-DEA 模型测算全要素能源效率, 通过熵值法测算能源消费结构均衡度, 以技术进步、环境规制、产业结构 3 个控制变量, 定量分析能源消费结构与能源效率的双向作用关系。结果表明, 各区域能源消费结构与能源效率均密切相关, 呈现东部>中部>西部的态势, 仅作用力度和方向存在差异; 能源消费结构对能源效率的影响, 在东、中部为正、西部为负, 而能源效率对能源效率结构的影响, 在东、中、西部均为正, 只是西部不显著, 据此, 需根据不同区域的能源消费及效率现状, 采取针对性的措施进行优化。

**〔关键词〕** 能源消费结构 全要素能源效率 均衡度演变 区域差异 技术进步 环境规制

DOI: 10.3969/j.issn.1004-910X.2021.07.009

〔中图分类号〕 F416.2; F206 〔文献标识码〕 A

## 引言

当前, 在国家能源安全战略的加速推进下, 调整能源消费结构, 对能源消费总量和能耗强度实施“双控”, 逐步推进节能减排目标实现, 成为贯穿社会经济全过程、各领域的首要任务。尤其在能源有限性、环境污染日益严重的双重压力下, 我国能源行业正进入转型发展的关键期, 且我国公布的《能源发展战略行动计划(2014~2020年)》, 明确了能源消费结构调整的目标, 即将能源消费中非化石能源比重调整至 2020 年的 15%、2030 年的 20%。在此目标驱动下, 能源消费将逐步由补充化石能源供应的阶段, 迈向大范围增量替代、区域性存量替代阶段, 据数据统计, 2009 年至今, 清洁能源消费比重已经由 12% 上升至 25.8%, 增速明显, 且优化调整后的能源消费结构, 将高污染、高能耗煤炭的消费量降至 60% 以内, 使得

节能降耗的成效逐渐凸显。根据 Patterson 所述: “能源效率是以最小的消耗获得最大的产出和服务”<sup>[1]</sup>, 清洁能源比值的上升将加速能源消费结构的调整, 使得各类能源的均衡度得以优化, 如此, 势必带动能源效率不断提升。可见, 能源革命的关键在于厘清能源消费结构与能源效率这两者的关系, 聚焦两者关联的源头、过程和结果, 以从整体上把控两者关联的方向和力度, 为产业经济发展提供能源消费支撑。

## 1 能源消费结构与能源效率的关联机制

能源消费结构与能源效率是能源系统中两个重要组成部分, 存在共同生存、协同演变的关系, 因影响两者的因素众多, 且有些与两者或其一存在线性或非线性关系, 为此, 两者的关联机制是一个复杂的系统。由麻省理工学院 Forrester 教授首次提出的系统动力学理论, 融合了系统、控制、

收稿日期: 2021-03-30

基金项目: 浙江省科技项目资助“基于投资效益评价模型的配网项目全过程管控研究”(项目编号: HDSQCG-201901-02)。

作者简介: 毕神浩, 北京航空航天大学经管学院博士, 国网浙江杭州市萧山区供电有限公司中级会计师。研究方向: 管理学、统计学、财会管理。钟晓红, 国网浙江杭州市萧山区供电有限公司正高级会计师, 厦门大学会计学院硕士。研究方向: 经济管理。来宇敏, 国网浙江杭州市萧山区供电公司高级会计师, 硕士。研究方向: 财会管理。余泽骏, 国网浙江杭州市萧山区供电公司中级会计师, 硕士。研究方向: 经济管理。

信息等多种理论为一体,可以用定性与定量分析方法探究信息反馈结构与行为<sup>[2]</sup>,为此,本文根据该理论阐释能源消费结构与能源效率的关联机制,从产业结构、环境规制、技术进步等层面,分析不同因素对两者的作用,以此绘制的系统动力学模型结构见图1。

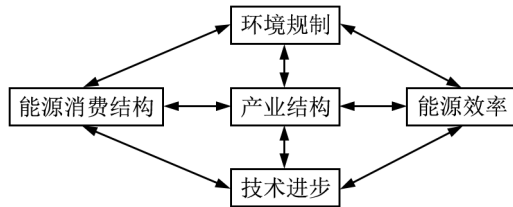


图1 系统动力学关联结构

结合图1,能源消费结构与能源效率在相互关联、互动中构成一个复杂系统,其影响因素众多,本文以产业结构作为“源头”,分析两者的关联过程及结果:产业结构中,工业经济的粗放发展带动了能源消耗总量的大幅提升,且在以化石能源为主的一次消费结构中,煤炭的消耗量居高不下,存在高能耗、高污染问题,引发严重的环境污染;此时,节能、减排的环境规制下,将驱动煤炭环保利用技术、清洁能源开发技术的发展,在此技术进步下,能源消费结构变得更加多元、均衡,这将在一定程度上影响能源效率,但该种影响的力度和方向与不同区域的资源禀赋、产业结构密切相关。据此,构建的系统动力学模型的因果回路如图2所示,其存在正反馈、负反馈两类因果回路,因此,能源消费结构与能源效率的关系呈现动态演变性。

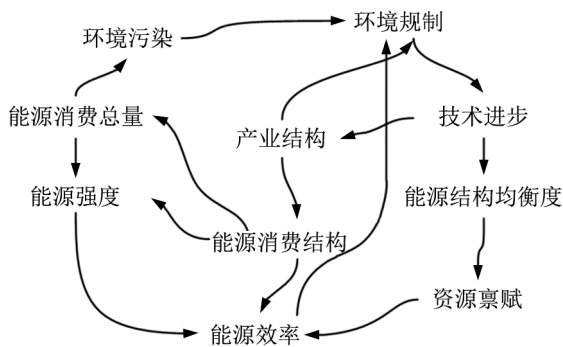


图2 各因素的因果回路关系

## 2 关联分析的变量选择及模型构建

### 2.1 变量选择及测算方法

#### 2.1.1 能源消费结构的测算

能源消费结构均衡度是表征各类能源消费占比的均衡程度,因不同能源的利用效率不同,各类能源的不同组合构成的能源消费结构各异,并

影响能源效率,为此,本文选用信息熵方法测算我国能源消费结构均衡度,且为规避一、二次能源消费的重复计算,仅列入包含煤炭、石油、天然气、电力等一次能源,进行均衡度测算<sup>[2]</sup>:

$$H = -\sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (1)$$

$$E = \frac{H}{H_{\max}} \quad (2)$$

上式中, $s$ 为所有一次能源类型数量,因本文所选一次能源有4类,故 $P_i$ 取值为 $1/4$ ,为各类一次能源在一次能源消费总量中所占比值, $H_{\max} = \ln s$ ,为 $H$ 的最大值,也即最大均衡条件下的能源多元性指数, $E$ 为能源消费结构均衡度,取值在 $[0,1]$ ,取值越趋近于1,表明能源消费结构越高<sup>[3]</sup>。

#### 2.1.2 能源效率的测算

能源效率的测算存在单要素、全要素两类视角,前者未考量不同投入要素的替代关系,无法衡量潜在的能源技术效率,而后者基于“少投入—多产出”进行能源效率测算,可填补前者不足<sup>[4]</sup>;而且,根据1995年世界能源委员会出版的《应用高技术提高能效》:“能源效率是减少提供同等能源服务的能源投入”<sup>[5]</sup>,这预示能源利用效率及效益的提升需依赖于技术及管理的创新。综合比较,本文选用全要素能源效率,在其他投入要素固定、生产技术最优的条件下,以特定产出所需及实际投入能源量的比值,将期望产出GDP和非期望产出 $SO_2$ 、 $CO_2$ 等污染排放均纳入测算模型;而且,针对传统SBM-DEA模型在多个决策单位的效率值均等于1时,无法对决策单元进行准确排序的问题,参照以往研究的方法,提出了包含非期望产出的规模报酬可变的超效率SBM-DEA模型<sup>[6]</sup>:

$$En = \text{Min} En = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_{i0}}{\frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \bar{y}_{r0}} \quad (3)$$

$$\text{s.t. } x_{i0} \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j x_{ij}, \quad i=1, 2, \dots, m \quad (4)$$

$$y_{r0} \geq \sum_{j=1, j \neq 0}^n \lambda_j y_{rj}, \quad r=1, 2, \dots, s$$

$$x_{i0} > x_{i0}, \quad i=1, 2, \dots, m; \quad y_{r0} \leq y_{r0}, \quad r=1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j, y_{r0} \geq 0, \quad j=1, 2, \dots, n; \quad j \neq 0; \quad r=1, 2, \dots, s$$

式(3)、(4)中, $En$ 为全要素能源效率值, $x_{ij}$ 、 $y_{rj}$ 分别为第 $j$ 个决策单元DMU的第 $i$ 种类型

的投入总量、第  $r$  种类型的产出总量,  $m$ 、 $s$  分别为投入指标、产出指标类型数,  $\lambda_j$  为产出及投入指标的权重系数。

### 2.1.3 控制变量的测算

结合上述关联机制分析及以往研究, 将产业结构、环境规制、技术进步等作为控制变量。其中, 产业结构处于转型调整中, 演变过程中第一产业趋稳, 主要为二、三产业的变动, 为此, 本文以产业结构演变指数测定<sup>[7]</sup>:

$$IS_t = \frac{T_t}{S_t} \quad (5)$$

式中,  $S_{it}$ 、 $T_t$ 、 $S_t$  分别为  $t$  年产业结构演变指数、第三、二产业结构比。

环境规制: 将废水、废气、固体废物的治理投资完成额数据标准化进行加总, 以此测算不同区域的环境规制程度<sup>[8]</sup>:

$$ER_i = \sum_j \frac{E_{ij}}{\sum_i E_{ij}} \bigg/ \frac{Q_i}{\sum_i Q_i} \quad (j=1,2,3; i=1,2,3, \dots, n) \quad (6)$$

式中,  $E_{ij}$  为  $i$  省  $j$  污染物单位产值治理投资额,  $Q_i$  为  $i$  省的生产总值。

技术进步: 技术进步可实现化石能源的节能、减排, 并可开发更多清洁能源, 对于调整消费结构、提升能源利用效率具有积极影响, 本文采用 R&D 技术知识存量测算技术进步<sup>[9]</sup>:

$$T_t = R_{t-\theta} + (1-\delta+\gamma) \cdot T_{t-1} \quad (7)$$

式中,  $T_t$  为  $t$  期的技术知识存量,  $R_{t-\theta}$  为  $t$  期的技术知识流量, 等于第  $t-\theta$  期的经费支出额,  $\theta$  为研发周期,  $\delta$  为知识的陈腐化率,  $\gamma$  为技术溢出率。同时, 基期的 R&D 技术知识存量为:

$$T_0 = \frac{R_{t-\theta}}{r+\delta-\gamma} \quad (8)$$

式中,  $r$  为基准年后技术经费的平均增长率, 此处设定技术研发周期为 3 年, 知识溢出与陈腐化彼此抵消, 据此, 根据我国历年技术经费数据, 便可结合式 (7)、(8) 计算得出 2000~2019 年的技术知识存量。

## 2.2 模型构建及数据说明

### 2.2.1 模型构建

为定量分析能源消费结构与能源效率的关系, 本文引入兼容时序和面板数据的 PVAR 模型<sup>[10]</sup>, 将各变量视为内生变量, 采用 2000~2019 年 31

个省域的面板数据进行动态关系检验, 构建模型如下:

$$En_{it} = \alpha + \sum_{k=1}^n \alpha_{nk} Y_{i,t-p} + \sum_{k=1}^n \beta_{nk} H_{i,t-p} + \sum_{k=1}^n \chi_{nk} X_{i,t-p} + \eta f_i + \zeta_i + \mu_{it} \quad (9)$$

式中,  $Y_{it}$  为能源效率,  $Y_{i,t-p}$  为能源效率滞后  $P$  阶的因变量,  $H_{i,t-p}$  为能源消费结构均衡度,  $X_{i,t-p}$  为控制变量组,  $\alpha$  为截距常系数向量,  $\alpha_{nk}$ 、 $\beta_{nk}$ 、 $\chi_{nk}$  均为模型各变量的系数矩阵,  $\eta f_i$ 、 $\zeta_i$  分别为个体效应向量、时间效应向量,  $\mu_{it}$  为白噪声扰动项。

### 2.2.2 数据来源

为避免数据的异方差及多重共线性问题, 保证其时序性质, 使其趋势线性化, 可对各变量取对数 ( $\ln En$ 、 $\ln H$ 、 $\ln ER$ 、 $\ln T$ 、 $\ln IS$ ), 采用 Stata16.0 对模型进行固定及随机效用面板估计<sup>[11]</sup>。变量数据来源于《新中国 60 年统计年鉴》、历年《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》、国家统计局等, 数据缺失的年份, 以前后 2 年的均值替代。数据缺失的省份或年份, 则采用 SPSS21.0 软件通过不同计算方式, 予以补足。为分析能源消费结构与能源效率的区域差异, 参照《中国统计年鉴》标准, 将全国样本划分为东、中、西部三大区域, 样本划分如表 1 所示 (基于数据的可获得性, 港、澳、台地区未包括在内)。

表 1 样本区域划分

区域	省域数量 (个)	省域名称
东部	11	辽宁、北京、天津、河北、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南
中部	8	吉林、黑龙江、山西、安徽、江西、河南、湖北、湖南
西部	12	内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆

## 3 实证分析

### 3.1 平稳性检验

为规避伪回归问题, 本文采用 LLC、IPS 方法对同质及异质的单位根进行平稳性检验<sup>[12]</sup>, 检验所得结果如表 2 所示, 可见, 各变量的原始数据均平稳, 可继续进行后续分析。

表2 各变量数据的平稳性检验

	LLC 检验		IPS 检验	
	T-star	P 值	W[t-nar]	P 值
lnEn	-1.15	0.000	-1.48	0.000
lnH	-0.32	0.000	-0.28	0.000
lnER	-0.45	0.000	-0.65	0.000
lnER	-0.68	0.000	-0.75	0.000
LNIS	-1.21	0.000	-1.25	0.000

准则进行计算<sup>[13]</sup>, 为便于区域间比较, 且较小滞后后期可规避样本自由度损耗, 故而, 将全国及各区域的样本滞后期数均确定为2期, 如表3所示。

表3 滞后阶数的确定

滞后阶数	AIC	BIC	HQIC
滞后1阶	-5.301	-3.825	-4.712
滞后2阶	-6.112*	-4.226*	-5.351*
滞后3阶	-4.501	-2.011	-3.519

注: \*为确定的最优滞后阶数。

### 3.2 滞后阶数的确定

因能源消费结构与能源效率的关联机制较为复杂, 所选面板数据可能存在时间效应、个体固定效应, 为此, 在进行GMM估计前, 将采用向前均值差分法来剔除面板数据中的时间效应、个体固定效应, 以确保滞后变量与转换后的变量正交形成有效的工具变量, 并运用AIC、BIC、HQIC信息

### 3.3 GMM估计

对PVAR模型进行GMM估计, 本文选用Stata 16.0软件通过300次Monte-Carlo模拟, 获得模型的GMM估计结果, 如表4所示。

表4 PVAR模型GMM估计结果

变量	东部		中部		西部	
	lnH	lnEn	lnH	lnEn	lnH	lnEn
L1hlnH	0.110 (0.151)	1.150** (0.686)	0.182* (0.116)	0.345** (0.198)	0.045 (0.099)	-0.112 (0.211)
L2hlnH	0.025 (0.098)	1.030** (0.540)	0.008 (0.125)	0.826*** (0.252)	0.035 (0.091)	0.201 (0.196)
L1hlnEn	0.022 (0.035)	-0.392** (0.215)	0.095** (0.052)	-0.085 (0.126)	0.050 (0.065)	0.220** (0.116)
L2hlnEn	0.068** (0.035)	-0.015 (0.116)	0.140*** (0.056)	0.142 (0.135)	0.142* (0.081)	0.059 (0.121)

注: \*\*、\*、\*各表示1%、5%、10%水平上显著, h为各变量经过了前向差分处理, 级L1、L2各为滞后1期和滞后2期变量。括号内为伴随的t检验值。

从各区域来看, 以能源效率为被解释变量, 滞后1期能源效率对自身影响仅中部区域显著为正, 可见, 我国能源效率存在区域差异, 东部区域能源效率因风、水、核电等清洁能源开发技术发展较快, 促进了能源消费结构的均衡化发展, 但随着东部煤炭、石油能耗需求量和规模较大, 一定程度上拉低了能源效率的均衡度, 为此, 后续增速呈现部分回调状态; 西部地区因能源禀赋、开发技术滞后及节能环保意识差, 一定程度上抑制了能源效率的持续提升, 中部因能源丰富、节能减排理念及技术不断更新、国家政策规制, 能源效率得到了有效提升。能源效率滞后2期对自身影响在东、中、西部3个区域均不显著。滞后

1期能源消费结构在中部地区对能源效率影响显著为正, 滞后2期能源消费结构对能源消费影响在各区域均显著为正, 可知, 能源消费结构的均衡性发展对能源效率的优化有长期促进效用。

以能源消费结构为被解释变量, 东部滞后2期、中部滞后1、2期能源消费结构发展的影响均显著为正, 中东部能源消费结构推动了能源效率提升, 西部地区滞后1、2期能源效率对能源消费结构的影响均不显著, 这与西部新能源开发、节能减排技术发展滞后相关。

### 3.4 脉冲响应分析

脉冲响应函数可衡量内生变量对自身及其他变量的动态冲击影响, 为此, 本文通过Monte-Carlo

模拟 200 次, 得出能源消费结构与能源效率的脉冲响应结果如图 3 所示。

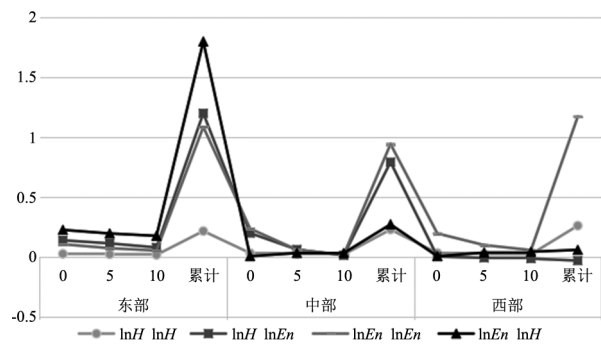


图3 能源消费结构与能源效率的脉冲响应分析结果

从图 3 可知, 各区域能源消费结构、能源效率在各个响应期对自身的冲击均为正, 表明其对自身具有反馈效应。西部地区, 能源效率对能源消费结构的冲击响应为负, 表明能源消费结构均衡度调节在一定程度上抑制了能源效率提升, 这是因为西部地区资源禀赋以油气资源为主, 具有能源效率优势, 此时以煤炭来调节能源消费结构, 反而会降低能源效率。中部地区, 能源效率对能源消费结构的冲击为正响应, 这是因为中部地区煤炭资源异常丰富, 能源消费结构中煤炭占据主导地位, 引致能源效率偏低, 而如若提升能源消费结构的均衡度, 则将在很大程度上促进能源效率的快速提升。东部地区, 能源效率对能源消费结构的冲击为显著的正响应, 这是因为东部地区能源开发、利用技术发展较快, 节能减排效果显著, 此时, 能源消费结构的均衡发展创造的边际收益就会更大, 将进一步驱动能源效率提升。可见, 因不同区域能源禀赋、开发及利用技术、环保规制措施各异, 能源消费结构与能源效率的关系表现出不同特征。

同时, 也可得环境规制、技术进步、产业结构等控制变量对能源消费结构与能源效率冲击的脉冲响应, 如图 4 所示。技术进步分别在滞后 5、3 期开始对能源消费结构、能源效率产生正向冲击, 并分别在 7、4 期达到最高点, 而后呈现稳步增长状态; 产业结构分别在滞后 2、4 期对能源消费结构、能源效率产生正向冲击, 并各在 4、5 期达到最高点, 而后稳步增长。可见, 通过能源开发、利用技术的变革, 产业结构转型升级, 可推进能源消费结构与能源效率的提升。环境规制对能源消费结构、能源效率分别在 4、2 期开始产生正向冲击效应, 并各在 5、4 期达到最高点, 而后

呈动态波动性, 可见, 通过节能环保政策、法规制度的有效约束, 可促进能源消费结构及能源效率的加速优化。

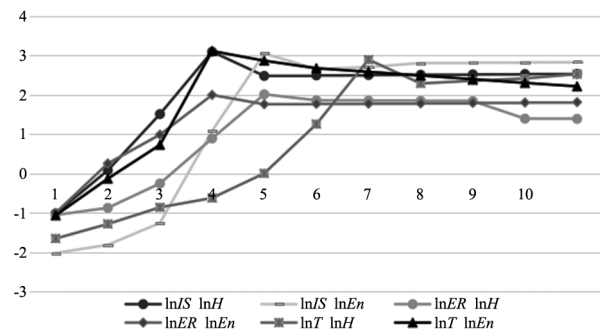


图4 控制变量对能源消费、能源效率的脉冲响应

### 3.5 方差分解

为进一步测度消费能源结构与消费效率之间的关系, 本文通过 500 次的 Monte-Carlo 模拟对上述变量预测误差进行方差分解, 所得结果如表 5 所示。

表5 方差分解结果

变量	预测期	东部		中部		西部	
		lnH	lnEn	lnH	lnEn	lnH	lnEn
lnH	1	1.000	0.035	1.000	0.028	1.000	0.016
lnEn	1	0.901	0.682	0.825	0.512	0.035	0.498
lnH	10	0.962	0.045	0.919	0.246	0.936	0.190
lnEn	10	0.925	0.899	0.911	0.728	0.056	0.705
lnH	20	0.962	0.151	0.916	0.286	0.935	0.260
lnEn	20	0.931	0.938	0.928	0.859	0.079	0.811
lnH	30	0.962	0.162	0.915	0.312	0.935	0.350
lnEn	30	0.962	0.978	0.935	0.911	0.095	0.882

由表 5 可知, 预测 20 期、30 期的方差分解结果差异较小, 表明至 20 期各变量的波动趋向稳定, 据此, 能源消费结构与能源效率的关系, 从各区域来看, 在能源消费结构误差项的分解中, 东、中、西部各区域能源消费结构对自身贡献解释能力较大, 而能源效率对自身贡献的解释能力较小, 表明各区域消费能源结构依赖于自身惯性。而且, 东部地区能源消费结构对能源效率在滞后 10、20、30 期分别贡献 4.5%、15.1%、16.2% 的解释能力, 中部地区能源消费结构贡献度分别为 24.6%、29.6%、31.2%, 西部地区能源消费结构贡献度分别为 1.9%、2.6%、3.5%, 可见, 东、中部能源消费结构对能源效率的促进效应随时间持续上升, 而西部地区因新能源开发技术、产业结

构等相对滞后,能源消费结构还有待优化。在能源效率误差项的分解中,西部地区滞后10、20期能源效率对能源消费结构贡献度的解释能力均不足10%,能源效率驱动能源消费结构改革的效用并不明显,究其原因,是因为西部地区产业结构布设不合理,尚处于工业中高速发展阶段,且技术滞后、环境规制不成熟,存在高能耗的问题,能源效率较低;而东中部滞后10、20期,能源效率对能源消费结构的贡献解释能力均在90%以上,因中东部正在加速调整产业结构,能源消费结构趋向多元化,且新能源开发、节能利用技术发展较快,能源利用效率较高,促进了新能源的引入、旧能源的淘汰,对能源消费结构的驱动效应较为明显。

## 4 结论及建议

### 4.1 研究结论

本文结合31个省域2000~2019年的面板数据,使用PVAR模型测度能源消费结构与能源效率的关系及区域差异,得出如下结论:

PVAR模型的估计结果显示:中部能源效率和西部能源消费结构存在自身惯性依赖,能源效率对能源消费结构的促进效用在东、中部明显,在西部地区并不显著,能源消费结构对能源效率的促进效用在中部地区显著,在东、西部地区仅在滞后2期显著。

脉冲响应分析结果显示:各区域能源消费结构自身惯性发展趋势随时间推移而下降,能源效率则呈现“先降→后升”的反弹趋势,从各区域来看,能源消费结构对能源效率的影响在东、中部均显著为正,但在西部存在一定的负向影响,而能源效率对能源消费结构的影响在东、中、西部均为正,只是西部不显著。同时,产业结构、环境规制、技术进步对能源消费结构、能源效率均有正向冲击性,在未来发展中,需着力关注、利用这些因素的积极效用。

方差分解结果显示:东、中部能源消费结构对能源效率的促进效应随时间持续上升,能源效率对能源消费结构的促进效应呈现“东、中高—西低”的态势,西部地区能源效率对能源消费结构的调整效应还有待加强。

### 4.2 发展建议

结合上述分析,31个省域的能源消费结构及能源效率的发展存在区域差异,为此,需要因地

制宜进行优化推进,具体建议如下:

西部地区:该地区能源消费结构存在自身惯性特征,与能源效率的相互作用性不显著,这是因为西藏、青海、新疆等地区太阳能、天然气、风能资源丰富,资源禀赋性强,一定程度上促进了能源消费结构的多样化发展,但是因为产能及技术落后,环境规制制度不完善,致使能源效率低下,无力调整能源消费结构。为此,未来应依托于西部能源优势,加速推进新能源开发、利用技术发展,并以国家能源发展战略为引领,促成可再生能源的规模化开发和利用,以此打造能源替代的“先行区”,而后,基于“以能促产”的发展机制,驱动产业结构的优化布局,并在用能规范、技术标准不断优化下,实现能源效率的提升,进而建构能源消费结构与能源效率的互动机制。

中部地区:该地区能源效率存在自身惯性依赖,与能源消费结构的关联性较强,吉林、黑龙江、山西、河南等工业化进程较早的区域,产业结构失衡,对于煤炭、石油等能源依赖性较强,能源消费结构均衡度较差,且在粗放开发、利用下,能源供需矛盾凸显,这成为驱动能源效率提升的内生动力。故而,在节能环保大趋势下,中部地区首要的任务就是加速完善环境规制制度,制定严格的用能标准和规范,更新能源利用设备、工艺和方法,以此提升能源效率;同时,深化调整产业结构,着力发展高技术、高附加值、低能耗的新型战略产业,降低工业经济比重,进而“以产带消”,调控能源配置,促进能源消费结构的优化发展。如此,通过供给侧的能源效率提升,需求侧的能源消费结构调优,利用供需两端的关联互动性,构造能源消费示范区。

东部地区:北京、天津、广东、海南等属于政治、经济发展较为发达的区域,能源丰富多样且开发、利用技术先进,节能环保制度发展、运行较为成熟,且产业结构持续性转型升级,服务、信息技术等第三产业发展迅速,促进了能源消费结构调整、能源利用效率提升。但也面临能源消费总量大、存储供给能力势弱的问题,且环境规制力度较大,所以该区域应借助自身技术、制度及资金优势,深度挖掘风、水、生物质、海洋能等可再生能源,推动这些能源在多领域的替代作用和高效利用,通过能源消费结构、利用效率的提升来实现基本的自给,并可与其他区域能

源互补、技术共享,来调整能源供需格局,缔造能源节能提效的示范区,辐射和带动其他区域能源消费结构及效率的双向互促发展。

#### 参 考 文 献

- [1] 汪克亮, 杨力, 杨宝臣, 等. 能源经济效率、能源环境绩效与区域经济增长 [J]. 管理科学, 2013, 26 (3): 86~99.
- [2] 吴利学, 王蕾中. 中国能源消费与能源效率波动及其影响因素研究 [J]. 城市与环境研究, 2019, (3): 55~71.
- [3] 周四军, 孔晓琳. 能源消费结构影响能源效率的面板分位回归研究 [J]. 工业技术经济, 2018, 37 (6): 145~153.
- [4] 王锋, 冯根福. 优化能源结构对实现中国碳强度目标的贡献潜力评估 [J]. 中国工业经济, 2011, (4): 127~137.
- [5] 范丹. 中国能源消费碳排放变化的驱动因素研究——基于 LM-DI-PDA 分解法 [J]. 中国环境科学, 2013, 33 (9): 1705~1713.
- [6] 王谦, 于楠楠. 基于超效率 SBM-DEA 模型的山东省财政环境保护支出效率评价 [J/OL]. 经济与管理评论, 2020, (2): 113~122. 2020-04-09.
- [7] 李霞, 文琦, 杨瑞兰. 能源开发区产业结构演变的环境效应分析——以榆林市为例 [J]. 经济地理, 2016, 36 (8): 127~133, 141.
- [8] 原毅军, 谢荣辉. 环境规制的产业结构调整效应研究——基于中国省际面板数据的实证检验 [J]. 中国工业经济, 2014, (8): 57~69.
- [9] 徐蔼婷, 连港慧. 面向知识经济的五大行业 R&D 资本存量测算研究 [J]. 现代经济探讨, 2019, (10): 9~18.
- [10] 汪行, 范中启, 张瑞. 基于 VAR 的我国能源效率与能源结构关系的实证分析 [J]. 工业技术经济, 2016, 35 (9): 128~134.
- [11] 赵楠, 王辛睿, 朱文娟. 中国省际能源利用效率收敛性研究 [J]. 统计研究, 2015, 32 (3): 29~35.
- [12] 周四军, 许伊婷. 中国能源利用效率的结构异质性研究 [J]. 统计与信息论坛, 2015, 30 (2): 28~34.
- [13] 王韶华, 于维洋, 张伟. 我国能源结构对低碳经济的作用关系及作用机理探讨 [J]. 中国科技论坛, 2015, (1): 119~124.
- [14] 李金昌, 杨松, 赵楠. 中国能源强度影响因素分析——基于分位数回归法 [J]. 商业经济与管理, 2014, (12): 73~80.

## Research on the Relationship Between Energy Consumption Structure and Energy Efficiency Based on PVAR Model

Bi Shenhao<sup>1,2</sup> Zhong Xiaohong<sup>2,3</sup> Lai Yumin<sup>2</sup> Yu Zeqin<sup>2</sup>

(1. School of Economics and Management, Beihang University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China;

2. Hangzhou Xiaoshan Power Supply Co., Ltd., Hangzhou 311201, China;

3. School of Accounting, Xiamen University, Xiamen 361000, China)

[ **Abstract** ] Under the dual constraints of energy and environment, optimizing energy consumption structure and efficiency has become the focus of energy conservation and emission reduction. In order to explore the relationship between the two, this paper explains the correlation mechanism between energy consumption structure and energy consumption based on the theory of system dynamics; and based on the development status of the two, introduces the PVAR model, uses 31 provincial panel data from 2000 to 2019, and combined with their development status, the provinces are divided into three regions: east, west and middle. The super efficiency SBM-DEA model is used to calculate the total factor energy efficiency, the entropy method is used to calculate the equilibrium degree of energy consumption structure, and the two-way relationship between energy consumption structure and energy efficiency is quantitatively analyzed with three control variables, i. e. technological progress, environmental regulation and industrial structure. The results show that the energy consumption structure of each region is closely related to energy efficiency, showing a trend of “east>middle>west”, with only differences in strength and direction; the influence of energy consumption structure on energy efficiency is positive in the east and middle, negative in the west, and positive in the east, middle and west, but not significant in the west. Therefore, it needs to be based on different factors regional energy consumption and efficiency status, take targeted measures to optimize.

[ **Key words** ] energy consumption structure; total factor energy efficiency; equilibrium evolution; regional differences; technological progress; environmental regulation

[ **Jel classification** ] Q41; R19

(责任编辑: 张舒逸)