

产业结构变迁对能源消费结构的影响

——基于能源品阶核算的视角

郭文

(南京财经大学会计学院 江苏南京 210023)

摘要: 区分各种能源的品阶,提出一种适用于不同品阶能源统计核算的等效电核算法;在此基础上,结合2005—2015年我国31个省份的面板数据,实证分析了产业结构变迁对能源消费结构的影响。结果显示,等效电核算法考虑了能源之间的品阶差异,能更准确地核算能源消费结构。产业结构变迁对能源消费结构具有显著影响,产业结构高级化和产业结构合理化都对能源结构清洁化具有显著的促进作用。控制变量中,区域整体技术进步有利于能源结构清洁化发展;清洁(非煤炭)能源价格的下降能够促进能源结构的清洁化;经济发展水平对能源消费结构的影响不显著。根据上述研究结论可知,能源平衡表的统计核算中可采用等效电核算法,产业结构的调整应更加注重区域产业结构的合理化发展,且应鼓励和加大技术创新的投入。

关键词: 等效电核算法;能源结构清洁化;产业结构高级化;产业结构合理化

中图分类号: F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-6049(2018)05-0090-08

一、引言与文献综述

作为经济生产活动的“源动力”,大量学者将能源视为经济生产系统的重要生产要素^[1-3]。随着经济发展水平的快速提升,我国对于能源资源的消费也在迅猛增加,并且,化石能源仍是我国能源消费的主要类型,由此造成了严重的环境污染问题^[4]。环境约束已经成为我国经济可持续发展的重要约束。目前,“积极发展清洁能源,优化能源消费结构”不仅是各界关注的解决经济发展与环境保护矛盾的一项重要措施,也是我国政府发展绿色经济的主要政策导向。因此,从产业结构变迁视角分析我国能源消费结构的演化具有重要意义。

目前,我国能源消费的统计核算方法主要有两种:一是发电煤耗算法,该方法将其他能源按当年平均火力发电煤耗换算成标准煤来进行核算;二是电热当量算法,该方法将其他能源按电的热功当量换算成标准煤。两种方法对水电、核电等新型能源的统计核算结果存在巨大差异, Li and Hu^[5]、郭文和孙涛^[6]、Zhou *et al.*^[7]、孙作人等^[8]及 Guo *et al.*^[9]在我国区域能源终端消费和能源消费碳排放的核算中采用了《中国统计年鉴》中公布的能源折标准煤参考系数,该参考系数分别采用了发电煤耗算法和电热当量算法两种能源转换方法,造成能源最终消费量统计结果的差异。再则,无论是发电煤耗算法,还是电热当量算法,都仅仅考虑了能源消费的“量”,而忽视了各种不同类型能源

收稿日期:2018-05-23;修回日期:2018-10-05

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71571099、71671080);国家自然科学基金青年项目(71602083);教育部人文社会科学研究青年基金项目(18YJC630042);全国统计科学研究重点项目(2016LZ36);江苏高校哲学社会科学研究基金项目(2017SJB0243);全国青年教师教育教学研究课题(2017QNJ031)

作者简介:郭文(1987—),男,江西新余人,南京财经大学会计学院讲师,博士,研究方向为能源经济、区域经济。

“质”的差异^[10]。举例而言,若采用电热当量计算法核算 1 MJ 发热量的天然气和原煤两种能源,两者折算成标准煤的数量是一致的,然而在实际生产过程中,使用 1 MJ 发热量的上述两种能源的平均发电量分别为 0.55 MJ 和 0.34 MJ。可见,各种能源的“质”存在显著差异,本文将这种差异定义为能源的“品阶”。忽视各种能源“品阶”的差异可能造成能源消费统计核算结果的偏差,不利于能源资源的优化配置。

早期的研究文献中,产业结构变迁仅指产业结构高级化,它是指主导产业从第一产业向第二产业转向,进而继续转向第三产业的产业结构变迁过程。张翠菊和张宗益^[11]认为,第一产业增加值在 GDP 中占比在时间序列中的下降趋势是产业结构高级化的重要标志,因此,建议选择第二、三产业增加值与当年 GDP 总值的比值作为衡量指标;而 Duarte and Restuccia^[12]、干春晖等^[13]则认为,第三产业增加值占比代表了第二阶段产业结构变迁的特点,更加适合于当前我国产业结构高级化指标的测算。关于产业结构高级化对能源消费结构的影响,学术界得出了一致结论,即产业结构高级化是影响区域能源结构变动的重要因素^[14],第三产业(服务业)增加值占当年 GDP 比重越大,清洁型能源的消费占比也越大。

随着研究的深入,部分学者认为产业结构高级化不能代表产业结构变迁的全部内容。干春晖和郑若谷^[15]、彭冲等^[16]、焦勇^[17]都认为产业结构变迁是通过优化资源配置,推动产业结构合理化发展,从而使产业结构由低级向高级变迁的过程。可见,产业结构变迁应当包含产业结构高级化和产业结构合理化两个维度。其中,产业结构合理化是指产业间的协调度以及生产系统投入和产出结构的耦合度,对于产业结构合理化的度量,目前使用较多的方法是干春晖和郑若谷^[15]的“泰尔指数”。关于产业结构合理化对能源消费结构的影响,笔者尚未发现相关的实证研究文献,这也是本文想要拓展的重要内容。

综上所述,目前国内外相关研究主要存在两方面的局限:其一,目前学术界采用能源消费量的统计核算方法忽视了各种能源的“品阶”,不能准确核算能源转换后的消费量,进而造成能源消费结构测算的偏差;其二,产业结构变迁包括产业结构高级化和产业结构合理化两方面的内容,而以往的研究文献大多仅考虑了产业结构高级化的指标。鉴于此,本文首先基于能源“品阶”核算的视角,采用等效电核算法测算各种能源转换成等效电的折算系数,从而更准确地获得区域能源消费结构;然后结合上述测算结果实证分析产业结构变迁(高级化、合理化)对能源消费结构的影响,以期拓展该领域的研究成果。

二、研究设计

(一) 能源消费结构指标核算方法——等效电核算法

如前文所述,现有的能源消费的统计核算方法忽略了各种能源“质”的差异,本文基于能源“品阶”核算的视角提出了一种新的能源统计核算方法——等效电核算法。其基本原理是:考虑到区域实际的经济生产活动中,几种主要的终端消费能源(煤炭类、天然气、石油、水力、核能、太阳能、风能等)都有被用于发电,因此,本文以电作为衡量其他能源品阶的基础,将其他形式能源折算为电能的折算系数定义为该能源的品阶,即等效电折算系数。根据上述等效电核算法,电能品阶为 1,其他能源的品阶可用等效电折算系数来指代,则其他形式能源折算为等效电的计算模型可表示如下:

$$EE_i = \gamma_i \times E_i \quad (1)$$

(1) 式中 i 表示其他能源类型(包括煤炭类、天然气、石油、水力、核能、太阳能、风能等); EE_i , γ_i , E_i 则分别表示单位能源对应的等效电、等效电折算系数和能源总量。对于其他能源的等效电折算系数,本文可以根据热力学第二定律给出如下折算模型:

$$\gamma_i = 1 - \frac{T_{i0}}{T_i - T_{i0}} \times \ln \frac{T_i}{T_{i0}} \quad (2)$$

(2) 式中 T_i , T_{i0} 分别表示能源 i 的完全燃烧温度以及该能源使用区域的室外平均温度。对于区域市政热力(热水、暖气)供应能源的等效电折算系数的计算,则需要对(2)式作如下变换:

$$\gamma_w = 1 - \frac{T_{u0}}{T_g - T_h} \times \ln \frac{T_g}{T_h}$$

$$\gamma_h = 1 - \frac{T_{h0}}{T_s}$$
(3)

(3) 式中 $\gamma_w, T_g, T_h, T_{u0}$ 分别表示市政热水供热的等效电折算系数、供水温度、回水温度和区域室外平均温度; γ_h, T_{h0}, T_s 分别表示市政供暖供热的等效电折算系数、区域室外平均温度和蒸汽压力对应的饱和温度。上述所有温度值指标均以热力学单位(K) 计量。

(二) 产业结构变迁指标测算

产业结构变迁包括产业结构高级化和产业结构合理化两项内容。对于产业结构高级化指标, 本文借鉴焦勇^[17]的成果, 采用第三产业增加值与第二产业增加值的比值来计算, 该值越大, 表示产业结构越高级化; 产业结构合理化指标则采用 Dono and Thompson^[18]使用的泰尔指数(泰尔熵) 来指代, 具体计算模型如下:

$$TL_{it} = \sum_{j=1}^n \left[\left(\frac{Y_{ij}}{Y_{it}} \right) \times \ln \left(\frac{Y_{ij}}{L_{ij}} / \frac{Y_{it}}{L_{it}} \right) \right]$$
(4)

(4) 式中 i, t, j 分别表示省份、时间期数和产业; Y_{ij}, Y_{it} 分别指代 i 省份 t 年 j 产业的增加值和 i 省份 t 年的总增加值; L_{ij}, L_{it} 分别指代 i 省份 t 年产业的就业人数和 i 省份 t 年的总就业人数。该指标是逆向指标, 数值越小表示产业结构越合理。

(三) 计量模型与数据说明

本文主要研究产业结构变迁对能源消费结构的影响, 具体的实证计量模型如下:

$$\ln(\text{energy}_{it}) = c + \alpha_1 \ln(\text{upgrade}_{it}) + \alpha_2 \ln(\text{rationalization}_{it}) + \beta_1 \ln(\text{technology}_{it}) + \beta_2 \ln(\text{price}_{it}) + \beta_3 \ln(\text{GDP}_{it}) + \varepsilon_{it}$$
(5)

(5) 式中 i, t 分别代表省份和时间期数; 与现有文献不同^[19-20], 本文因变量能源消费结构指标采用的是能源结构清洁化指标(energy_{it}), 计算值为非煤炭类能源消费占总能源消费的比重; 核心解释变量包括产业结构高级化(upgrade_{it}) 和产业结构合理化($\text{rationalization}_{it}$) 2 个指标; c 为模型常数项; ε_{it} 为随机扰动项。现有研究表明, 除产业结构外, 影响能源消费结构变动的因素还有很多, 包括技术进步、能源价格变动以及经济发展水平等等^[21-23]。因此, 本文选择技术进步(technology_{it})、能源价格(price_{it}) 和经济水平(GDP_{it}) 3 个指标作为回归模型的控制变量。(1) 技术进步指标采用发明专利授予量作为计量指标。专利包括发明专利、实用新型专利和外观设计专利 3 种, 本文认为仅有发明专利直接度量的是区域技术创新水平, 发明专利授予量能够反映区域技术进步水平。(2) 能源价格指标采用燃料、动力购进价格指数来计量。作为区域经济生产活动的重要生产要素, 能源的价格直接影响经济生产活动的成本, 进而影响经济生产活动对于能源消费类型的选择(即能源消费结构的选择)。(3) 经济水平指标采用人均 GDP 来计量。现有文献对于经济发展水平影响能源消费结构的研究并未得出一致结论, 一方面, 较高的经济发展水平能够促进风能、太阳能等清洁型能源的开发和利用, 从而促进能源消费结构的清洁化^[24]; 另一方面, 经济水平的过快增长同样会带来能源消费的回弹问题^[25-26], 在经济增速大于清洁能源供给增速的情况下, 经济增长反而不利于能源消费结构的清洁化。

本文重点考察的是区域产业结构变迁对区域能源消费结构的影响, 把区域能源消费结构作为研究对象, 选择 2005—2015 年我国大陆 30 个省份(直辖市、自治区)的面板数据为样本, 共计 330 组观察值。样本原始数据来源于 2006—2016 年《中国统计年鉴》、2006—2016 年《中国能源统计年鉴》以及 2006—2016 年《中国劳动力统计年鉴》, 其中人均 GDP 指标采用区域历年的居民消费价格指数平减至 2005 年为基期的标准值。

三、实证结果与分析

(一) 部分能源的等效电折算系数测算结果

根据《中国能源统计年鉴》地区能源平衡表中对我国区域能源终端消费实物量的统计结果, 结合

上述等效电核算法,本文选择了其中 20 种主要的终端能源消费类型来测算其转换为等效电的折算系数。以 2013 年北京为例,室外参考温度取全年室外平均温度 12.36 摄氏度,则其 20 种终端消费能源的等效电折算系数的计算结果如表 1 所示。

表 1 20 种终端消费能源的等效电折算系数

能源类型	终端消费能源	折标准煤系数		能源品阶	折等效电系数
		发电煤耗计算法	电热当量计算法		
煤类	原煤	0.714 3(kgce/kg)	0.714 3(kgce/kg)	0.426 3	2.478 5(kWh/kg)
	洗精煤	0.900 0(kgce/kg)	0.900 0(kgce/kg)	0.426 3	3.122 9(kWh/kg)
	其他洗煤	0.285 0(kgce/kg)	0.285 0(kgce/kg)	0.426 3	0.991 5(kWh/kg)
	型煤	0.600 0(kgce/kg)	0.600 0(kgce/kg)	0.426 3	2.478 5(kWh/kg)
焦炭类	焦炭	0.971 4(kgce/kg)	0.971 4(kgce/kg)	0.480 3	3.797 7(kWh/kg)
	焦炉煤气	0.571 4(kgce/m ³)	0.571 4(kgce/m ³)	0.480 3	2.233 8(kWh/m ³)
	其他煤气	0.357 0(kgce/m ³)	0.357 0(kgce/m ³)	0.480 3	2.233 8(kWh/m ³)
	其他焦化产品	1.300 0(kgce/kg)	1.300 0(kgce/kg)	0.480 3	3.797 7(kWh/kg)
石油类	原油	1.428 6(kgce/kg)	1.428 6(kgce/kg)	0.641 7	7.461 7(kWh/kg)
	汽油	1.471 4(kgce/kg)	1.471 4(kgce/kg)	0.641 7	7.685 5(kWh/kg)
	煤油	1.471 4(kgce/kg)	1.471 4(kgce/kg)	0.641 7	7.685 5(kWh/kg)
	柴油	1.457 1(kgce/kg)	1.457 1(kgce/kg)	0.641 7	7.610 9(kWh/kg)
	燃料油	1.428 6(kgce/kg)	1.428 6(kgce/kg)	0.641 7	7.461 7(kWh/kg)
	液化石油气	1.714 3(kgce/kg)	1.714 3(kgce/kg)	0.641 7	8.460 4(kWh/kg)
	炼厂干气	1.571 4(kgce/kg)	1.571 4(kgce/kg)	0.641 7	8.207 9(kWh/kg)
	其他石油制品	1.200 0(kgce/kg)	1.200 0(kgce/kg)	0.641 7	8.460 4(kWh/kg)
天然气类	天然气	1.214 3(kgce/m ³)	1.214 3(kgce/m ³)	0.641 7	6.946 4(kWh/m ³)
热力类	热水	0.034 1(kgce/MJ)	0.034 1(kgce/MJ)	0.168 8	0.168 8(kWh/MJ)
	蒸汽	0.034 1(kgce/MJ)	0.034 1(kgce/MJ)	0.249 6	0.249 6(kWh/MJ)
电力类	电力	0.361 9(kgce/kWh)	0.122 9(kgce/kWh)	1.000 0	1.000 0(kWh/kWh)

根据表 1 的结果可知,在等效电核算法基础下,2013 年北京终端能源消费中品阶最高的能源是电力类能源,品阶为 1.000 0;其次分别是天然气类和石油类能源,其品阶都达到了 0.641 7;然后是焦炭类和煤类能源,其品阶分别为 0.480 3 和 0.426 3;品阶最低的能源是热力类能源,市政热水供热和市政蒸汽供热能源的品阶分别仅为 0.168 8 和 0.249 6。对比表 1 第三、四、五列的测算结果可知,等效电核算法与传统能源统计方法的计算结果存在较大差异。本文采用等效电核算法具有如下优势:(1)发电煤耗计算法和电热当量计算法都忽视了不同能源类型品阶的差异,在能源统计核算过程中容易高估低品阶能源;而等效电核算法则统一了各类能源的“质”和“量”两大要素,核算结果更为精确。(2)对于太阳能、风能等新型能源而言,采用等效电核算法不仅避免了将其转化为标准煤的复杂核算过程,而且由于目前这些新型能源的主要利用途径是发电,因此等效电核算法也符合新型能源的实际利用过程。

(二) 回归结果与分析

为避免虚假回归,本文首先选用了 Levin, Lin & Chut 检验、Fisher-ADF 检验以及 Im, Pesaran and Shin 检验对各变量进行单位根检验。结果表明,能源结构清洁化的对数指标零阶单整,低于产业结构高级化、产业结构合理化等所有解释变量的单整阶数(限于篇幅,本文不列示),由此说明该样本适合回归分析。

1. 初步回归分析。回归结果(表 2)显示,模型(I)—模型(IV)中,产业结构高级化和产业结构合

理化的回归系数稳定性较强,说明模型的回归结果具有较强的可靠性。模型(I)一模型(IV)的 Hausman 检验统计量的伴随概率分别为 0.421 8、0.214 7、0.190 7 和 0.218 3,说明随机效应模型的回归结果更适合本文样本,下文的分析以随机效应模型的回归结果为基础。首先,产业结构变迁对区域能源结构清洁化具有显著的影响,即产业结构高级化和产业结构合理化指标都对能源结构清洁化产生显著的正向影响。模型(II)显示,产业结构高级化的回归系数为 0.086 1,且在 5% 的水平下显著,表明区域产业结构高级化每提高 1% 将会带来区域能源结构清洁化提高 0.086 1%;产业结构合理化的回归系数为 0.120 9,且在 5% 的水平下显著,表明区域产业结构合理化每提高 1 个百分点,区域能源结构清洁化提高 0.120 9 个百分点。同时,我们发现产业结构合理化的影响系数高于产业结构高级化,表明产业结构的合理化发展以及产业链的优化建设在区域能源结构调整中的作用更大。其次,技术进步对区域能源结构清洁化具有显著的正效应,区域技术进步指标每上升 1 个百分点,区域能源结构清洁化提高 0.172 4 个百分点。一方面,清洁能源生产技术的进步促进了清洁能源的消费比重;另一方面,非能源类的技术进步也能通过提升清洁能源利用效率来间接优化能源消费结构,推动能源消费清洁化。能源价格变动对区域能源结构清洁化的作用是反向的,其回归系数为 -0.220 8,且通过了 10% 的显著性检验,说明能源价格的下降有利于能源结构清洁化的提高。进一步分析发现,2005—2015 年间,我国煤炭类能源价格在政府补贴的前提下基本保持稳定,能源整体价格的变动主要来自清洁能源价格的波动,因此我们认为清洁能源价格的下降有利于能源结构清洁化的提高。样本期间内,经济发展水平对能源结构清洁化指标的影响不显著,这也从侧面验证了邵帅等^[26]的研究结论,能源回弹效应能够削弱乃至抵消经济发展水平提升对能源结构清洁化的积极影响。

表 2 产业结构变迁对能源消费结构的影响

变量	(I)		(II)		(III)		(IV)	
	固定效应	随机效应	固定效应	随机效应	固定效应	随机效应	固定效应	随机效应
<i>c</i>	-0.232 4	-0.217 4	-0.324 7	-0.299 5	-0.314 6	-0.300 7	-0.327 0	-0.303 4
<i>upgrade_{it}</i>	0.094 0** (2.039 5)	0.105 8** (1.962 7)	0.075 4** (2.370 8)	0.086 1** (2.120 8)	0.076 2** (2.289 4)	0.085 3** (2.192 4)		
<i>rationalization_{it}</i>	0.170 6* (1.720 6)	0.162 7* (1.700 7)	0.142 9** (2.211 4)	0.120 9** (2.081 2)			0.145 9* (1.790 8)	0.122 3* (1.680 6)
<i>technology_{it}</i>			0.150 7** (1.982 7)	0.172 4** (2.087 7)	0.152 7*** (3.211 4)	0.173 8*** (2.897 4)	0.155 5** (2.356 2)	0.178 3** (2.170 9)
<i>price_{it}</i>			-0.243 8* (1.748 7)	-0.220 8* (1.632 9)	-0.247 1* (1.774 0)	-0.225 8* (1.706 7)	-0.252 9* (1.741 2)	-0.229 7** (1.690 5)
<i>GDP_P_{it}</i>			0.079 1 (1.406 1)	0.061 5 (1.210 9)	0.079 8 (0.804 3)	0.060 4 (0.742 6)	0.079 1 (1.152 4)	0.061 0 (1.082 5)
<i>F</i>	27.304 6***	24.091 7***	34.253 4***	25.190 6***	41.230 7***	34.006 9***	35.016 8***	29.872 9***
<i>Adj-R²</i>	0.234 2	0.209 4	0.392 7	0.321 1	0.375 2	0.336 4	0.352 4	0.301 9
<i>Hausman Test</i>		3.732 4 (0.421 8)		2.352 6 (0.214 7)		4.067 4 (0.190 7)		3.837 6 (0.218 3)

注:最后一行中括号内数字表示伴随概率,其余行括号内数字表示相应变量的 *t* 统计量;***,**, * 分别表示通过 1%、5%、10% 的显著性检验。

2. 稳健性分析。为了分析产业结构变迁影响能源消费结构的稳健性,本文选择我国区域水电、核电、风电等清洁能源类型发电量在区域电力生产总量的占比作为能源结构清洁化指标进行回归分析。表 3 所示的结果表明:(1)产业结构高级化、产业结构合理化和技术进步指标都对清洁能源发电量比重具有显著的正效应。模型(VI)中,其回归系数分别为 0.043 4 和 0.060 9,表明产业结构高级化、产业结构合理化和技术进步每提高 1 个百分点,将带来清洁能源发电量比重分别增加 0.043 4 个百分点和 0.060 9 个百分点。(2)能源价格变动指标的回归系数都为负数,且通过了 10% 的显著性检验,

说明样本期间内,能源价格的下降有利于提高清洁能源的利用比重。(3)经济水平指标对清洁能源发电量比重不存在显著的影响。可见,模型(V)一模型(VIII)回归系数的显著性检验结果和符号与模型(I)一模型(IV)一致,表明上述实证分析结果的稳健性较强。

四、结论与政策建议

本文首先基于能源“品阶”视角给出了能源统计核算的等效电核算法,将各种能源的“量”和“质”统一于能源统计核算的方法中。然后,利用上述能源消费核算结果计算能源消费结构,结合2005—2015年我国31个省份的实际经济生产活动数据,实证分析了区域

产业结构变迁对能源消费结构的影响。最后得出以下主要结论:

(1)我国能源终端消费中,煤炭类、石油类、天然气类、热力类和电力类等5种能源的品阶存在显著差异,其能源品阶由高至低分别为电力类、天然气类、石油类、煤炭类和热力类能源。传统的发电煤耗计算法和电热当量计算法都忽视了不同能源类型品阶的差异,通常在能源统计核算过程中高估了低品阶能源。

(2)区域产业结构高级化和区域产业结构合理化都对区域能源结构清洁化具有显著、稳定的正向影响,其中区域产业结构合理化的促进作用更大,该指标每增加1%就能使区域能源结构清洁化上升0.1209%。同时区域产业结构高级化和区域产业结构合理化也能够促进区域新型能源(水电、核电、风电、太阳能发电等)消费占比的提升,两者指标值每增加1%,就能够分别提高区域0.0434%和0.0609%的新型能源的消费比重。

(3)控制变量中,区域整体技术进步对区域能源结构清洁化和区域新型能源消费占比都具有显著、稳定的正向影响。清洁能源价格变动对能源消费结构两个计量指标的影响方向则相反,即清洁能源价格的下降有利于能源结构清洁化和新型能源消费比重的提升。最后,样本期间内,区域经济发展水平对能源消费结构没有显著的影响。

基于上述研究结论,本文提出以下政策建议:

(1)计算各类能源的品阶系数,制作基于“等效电”方法的能源平衡表。本文提出的能源统计核算的“等效电”方法综合考虑了各类能源的品阶,综合考虑了能源消费的量 and 质,能够体现不同类型能源的作用。建议政府有关部门在进行能源生产、能源消费等相关统计核算工作中采用该方法,在考虑各类能源品阶的基础上准确制作区域能源平衡表。同时,也进一步发现和规避“高品阶能源低品阶使用”的不合理利用方式,更好地匹配能源供给方与能源需求方。

(2)更加注重区域产业结构的合理化发展。产业结构合理化对区域能源结构清洁化发展的显著正效应高于产业结构高级化,因此,在我国产业结构升级加速的经济环境下,政府部门对于区域产业结构的调整不能盲目追求产业结构高级化,应更加重视产业结构的合理化发展。即要以区域主导产业为基础,调配区域内的优势资源,加强区域主导产业优化升级以及产业链上下游产业的配套升级,

表3 产业结构变迁影响能源消费结构的稳健性分析

变量	(V) 随机效应	(VI) 随机效应	(VII) 随机效应	(VIII) 随机效应
<i>c</i>	-0.3207	-0.3712	-0.3419	-0.3547
<i>upgrade_{it}</i>	0.0523** (2.1058)	0.0434** (2.2287)	0.0411** (2.3527)	
<i>rationalization_{it}</i>	0.0804* (1.7274)	0.0609** (1.9049)		0.0603* (1.7098)
<i>technology_{it}</i>		0.0873** (2.5130)	0.0840*** (3.0923)	0.0883*** (3.5718)
<i>price_{it}</i>		-0.1116* (-1.7130)	-0.1090* (-1.7876)	-0.1137* (-1.6498)
<i>GDP_P_{it}</i>		0.0309 (0.6145)	0.0290 (0.6192)	0.0300 (0.7814)
<i>F</i>	32.8188***	34.3158***	46.3257***	40.6942***
<i>Adj-R²</i>	0.2317	0.3024	0.3648	0.3936

注:最后一行中括号内数字表示伴随概率,其余行括号内数字表示相应变量的*t*统计量;***,**, * 分别表示通过1%,5%,10%的显著性检验。Hausman检验结果表明随机效应模型更适合该样本,限于篇幅,本文仅列出随机效应模型的回归结果。

实现产业结构升级的可持续性。以山西省为例,短期内其主导产业依然为煤炭、焦炭、电力等能源产业,建议该区域的产业结构升级应以其能源产业的集约化、能源生产技术的低端化为重点,而非过度追求金融业、高端服务业等高附加值产业的快速增长,这样更有利于该区域能源结构的清洁化。

(3) 政府部门应鼓励和加大技术创新投入。一方面,在税收优惠、财政补贴、银行贷款等直接政策上偏向符合绿色生产技术理念的建设项目;另一方面,在制定节能减排目标规划过程中,将减排目标分配到具体的行业和企业层面,倒逼行业内各大企业进行节能减排技术的更新升级,进而促进绿色生产技术的整体发展。同时,积极采用能源价格补贴等措施降低企业能源消费价格,而且价格补贴政策应偏向于高品阶和清洁型能源,以促进能源结构的清洁化发展。

参考文献:

- [1]ZHANG N ,CHOI Y. Total-factor carbon emission performance of fossil fuel power plants in China: a meta-frontier non-radial Malmquist index analysis[J]. *Energy economics* ,2013 ,40(2) : 549 – 559.
- [2]ZHANG N ,ZHOU P ,CHOI Y. Energy efficiency ,CO₂ emission performance and technology gaps in fossil fuel electricity generation in Korea: a meta-frontier non-radial directional distance function analysis[J]. *Energy policy* ,2013 ,56(2) : 653 – 662.
- [3]SONG M L ,ZHOU Y X. Analysis of carbon emissions and their influence factors based on data from Anhui of China[J]. *Computational economics* ,2014 ,46(3) : 359 – 374.
- [4]ZHOU Y ,XING X ,FANG K , et al. Environmental efficiency analysis of power industry in China based on an entropy SBM model[J]. *Energy policy* ,2013 ,57(10) : 68 – 75.
- [5]LI L B ,HU J L. Ecological total-factor energy efficiency of regions in China[J]. *Energy policy* ,2012 ,46(1) : 216 – 224.
- [6]郭文,孙涛. 中国工业行业生态全要素能源效率研究[J]. *管理学报* 2013(11) : 1690 – 1695.
- [7]ZHOU P ,ZHANG L ,ZHOU D Q , et al. Modeling economic performance of interprovincial CO₂ ,emission reduction quota trading in China[J]. *Applied energy* ,2013 ,112(16) : 1518 – 1528.
- [8]孙作人,周德群,周鹏,等. 结构变动与二氧化碳排放库兹涅茨曲线特征研究——基于分位数回归与指数分解相结合的方法[J]. *数理统计与管理* 2015(1) : 59 – 74.
- [9]GUO W ,SUN T ,DAI H. Effect of population structure change on carbon emission in China[J]. *Sustainability* ,2016 ,8(3) : 225 – 244.
- [10]江亿,刘兰斌,杨秀. 能源统计中不同类型能源核算方法的探讨[J]. *中国能源* 2006(6) : 5 – 8.
- [11]张翠菊,张宗益. 中国省域产业结构升级影响因素的空间计量分析[J]. *统计研究* 2015(10) : 32 – 37.
- [12]DUARTE M ,RESTUCCIA D. The role of the structural transformation in aggregate productivity[J]. *Quarterly journal of economics* ,2010 ,125(1) : 129 – 173.
- [13]干春晖,郑若谷,余典范. 中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J]. *经济研究* 2011(5) : 4 – 16.
- [14]刘佳骏,董锁成,李宇. 产业结构对区域能源效率贡献的空间分析——以中国大陆 31 省(市、自治区)为例[J]. *自然资源学报* 2011(12) : 1999 – 2011.
- [15]干春晖,郑若谷. 改革开放以来产业结构演进与生产率增长研究——对中国 1978—2007 年“结构红利假说”的检验[J]. *中国工业经济* 2009(2) : 55 – 65.
- [16]彭冲,李春风,李玉双. 产业结构变迁对经济波动的动态影响研究[J]. *产业经济研究* 2013(3) : 91 – 100.
- [17]焦勇. 生产要素地理集聚会影响产业结构变迁吗[J]. *统计研究* 2015(8) : 54 – 61.
- [18]DONO G ,THOMPSON G. Explaining changes in Italian consumption of meat: parametric and non-parametric analysis[J]. *European review of agricultural economics* ,1994 ,21(2) : 175 – 98.
- [19]WANG C ,WANG A ,WANG C. Analyze the relationship between energy consumption and economic growth in China[J]. *Energy procedia* ,2011 ,5(22) : 974 – 979.

- [20] CHEN L, LIU M, SHI P, et al. The characteristics of CO₂ emission based on the structure of energy consumption: a case study in Ningbo, China [J]. Research journal of environmental & earth sciences, 2011, 3(14): 2928 – 2935.
- [21] LIU W, LI H. Improving energy consumption structure: a comprehensive assessment of fossil energy subsidies reform in China [J]. Energy policy, 2011, 39(7): 4134 – 4143.
- [22] 范德成, 王韶华, 张伟. 低碳经济目标下一次能源消费结构影响因素分析 [J]. 资源科学 2012(4): 696 – 703.
- [23] LIU J, CHEN S, WANG H, et al. Evolution of China's urban energy consumption structure: a case study in Beijing [J]. Energy procedia, 2016, 88: 88 – 93.
- [24] 曾胜, 郑贤贵, 饶呈祥. 我国能源消费结构与经济增长的关联关系分析 [J]. 软科学 2009(8): 65 – 68.
- [25] 查冬兰, 周德群. 基于 CGE 模型的中国能源效率回弹效应研究 [J]. 数量经济技术经济研究 2010(12): 39 – 53.
- [26] 邵帅, 杨莉莉, 黄涛. 能源回弹效应的理论模型与中国经验 [J]. 经济研究 2013(2): 96 – 109.

(责任编辑: 康兰媛; 英文校对: 陈芙蓉)

Impact of Industrial Structure Change on Energy Consumption Structure: Based on the Perspective of Energy Grade Calculation

GUO Wen

(School of Accounting, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210023, China)

Abstract: Based on differentiating grade of all kinds of energy, we put forward an equivalent electric calculation method (EECM), which adapts to the statistical calculation of various energy with different grade. On this basis, we empirically analyzed the influence of industrial structure change on energy consumption structure by combining the panel data of China's 31 provinces from 2005 to 2015. Results showed that: the calculated result of EECM was more accurate because it considered the difference of grade between various energy sources. Industrial structure change had significant impact on energy consumption structure. The influence of industrial structure upgrade and the significance of industrial structure rationalization on energy structure cleaning were positive. In addition, the whole region technological progress was conducive to the clean development of energy structure, the decrease of clean energy price promoted the energy structure cleaning, and the impact of economic level on energy consumption structure was not significant. The policy implication of this paper is that: firstly, EECM should be used in the statistical calculation of energy balance table. Secondly, the adjustment of regional industrial structure should pay more attention to its rational development. Thirdly, the government should encourage and increase the investment in technological innovation.

Key words: equivalent electric calculation method; energy structure cleaning; industrial structure upgrade; industrial structure rationalization