

文章编号: 1000-5862(2018)01-0023-08

# 我国制造业升级对能源消费结构影响的实证研究 ——基于制造业30个行业面板数据的门槛模型分析

李 翠,王海静,徐 晔\*

(江西财经大学统计学院,江西 南昌 330013)

**摘要:** 选取制造业30个细分行业2005—2011年的数据,从制造业结构优度和价值链高度2个维度出发,构造产业结构升级指标,建立STIRPAT模型,并在此基础上分别以企业规模和人力资本为门槛变量,建立制造业升级与能源消费结构的动态面板门槛模型,深入探究二者之间的非线性关系。研究发现:制造业升级对能源消费结构的影响程度最大,并且二者之间存在显著的双重门槛效应。当企业规模小于14.292或大于17.353时,制造业升级能够显著改善能源消费结构,而当企业规模介于14.292~17.353时,制造业升级却增加了煤炭消费量,从而恶化了能源消费结构;当以人力资本为门槛变量时所测得的门槛值分别为0.015和0.070,并且企业人力资本投入力度越大,制造业升级对改善能源消费结构存在的积极作用越明显。最后,据此提出了加大产业技术投资比例,适度扩大企业规模及提高人力资本水平的政策建议。

**关键词:** 制造业升级; 能源消费结构; 门槛模型

**中图分类号:** F 224.0 **文献标志码:** A **DOI:** 10.16357/j.cnki.issn1000-5862.2018.01.05

## 0 引言

在经济发展新常态的背景下,我国的制造业成为经济增长和发展的引擎,对拉动国民整体经济水平具有不可忽视的作用。随着经济全球化的不断推进,我国积极吸收国外资金和技术,提高自主创新能力和技术进步水平,最终实现了向工业大国的转变,同时也成为了世界的“制造工厂”。从2005—2014年制造业增加值从60 118亿元增加到197 991亿元,大中型制造企业个数也从251 499个增加到363 515个。在2009年我国制造业增加值居世界第2,成为名副其实的制造大国。而制造业的发展却消耗了我国大量的能源,能源消费总量从137 140.3万t增加到201 403.4万t,制造业的能源消费量一直处于增长态势。我国“十三五”规划要求“推行节能低碳电力调度,推进能源综合梯级利用,能源消费总量控制在50亿t标准煤以内”。为了完成规划要求就必须重视产业经济发展与能源消耗的关系,推动能源结构优化升级,坚持制造业的绿色高效发展,通过促进劳动密集型和资本密集型制造业向技术密集型

制造业转变,加速制造业产业结构的低碳化升级,增加产业能源利用效率,降低高耗能高污染的产业比例,最终实现环境与经济协同友好发展,降低能源消费总量的目的。

目前关于产业结构与能源消费的研究有很多,且大多数文献集中于以工业产业为研究对象,研究工业产业结构与能源消费的关系,从制造业角度考察能源消费结构的研究并不多。主要有以下几个研究方向:1) 产业结构与能源消费。曾波等<sup>[1]</sup>通过灰色关联理论和面板数据分析了我国产业结构变动对能源消费的影响。结果表明:第2产业对能源消费的影响程度最强,且工业的能源消费因子最高。产业结构的变动,尤其是工业产业结构的内部变动是影响能源消费的重要因素<sup>[2-3]</sup>,Deng Shihuai等<sup>[4]</sup>利用1985—2007年在中国观测到的数据,建立岭回归模型分析能源消费、产业结构和家庭数量之间的关系。结果表明改变减少IGDP/GDP(工业增加值占国民生产总值的比例)或其相应的系数可以降低能源消耗。2) 产业结构与能源效率。通过DEA方法对工业行业能源效率进行测度,分析能源效率与产业内部

收稿日期: 2017-06-20

基金项目: 国家自然科学基金(71273122,71473109)和教育部人文社会科学课题(15YJA630079)资助项目。

通信作者: 徐 晔(1962-),女,江西南昌人,教授,博士生导师,主要从事数量经济研究。E-mail: xuye\_525@163.com

结构的深层次关系<sup>[5-7]</sup>. 江洪等<sup>[8]</sup>建立了向量自回归模型探究经济增长、产业结构与能源效率之间的非线性关系,发现经济增长与产业结构都对能源效率存在正向影响. 3) 经济增长与能源消费. 经济增长与能源消费之间存在双向因果关系<sup>[9-10]</sup>, R. Forslid 等<sup>[11]</sup>研究发现,经济增长与能源消费存在长期均衡关系. C. Magazzino<sup>[12]</sup>认为能源消费增加不利于经济增长,而 K. Saidi 等<sup>[13]</sup>的研究结果与之相反. 肖德等<sup>[14]</sup>研究了经济增长等因素对能源消费的非线性影响. 结果表明经济增长对能源消费强度存在持续的抑制作用. 4) 制造业升级与能源消费. 艾明晔等<sup>[15]</sup>对制造业的碳排放量和强度进行聚类,将制造业分为 3 个发展阶段,通过计算发现制造业各产业的碳排放负荷和经济贡献程度呈不均衡状态. 马珩<sup>[16]</sup>建立多元线性回归模型探讨了制造业高级化对区域能源消费强度的影响,结果显示:增加制造业高级化指数有利于降低区域能源强度水平. 有些学者通过测度制造业能源效率,考察了制造业能源效率的影响因素<sup>[17]</sup>.

从上述文献可以看出,对于制造业升级与能源消费结构的相关研究并不多,且鲜有文献研究制造业升级对能源消费结构的门槛效应. 在数据的选取方面,有些是从省级面板角度进行分析,对制造业升级指标的构建,大多数学者用的是制造业增加值、区域单位资本利用效率,或是地区工业利用率. 这些指标不能完全体现制造业升级. 本文选取制造业 30 个细分行业 2005—2011 年的数据,从制造业结构优度和价值链高度 2 个维度构造产业结构升级指标,在 STIRPAT 模型的基础上建立动态面板门槛模型,实证研究了我国制造业升级与能源消费结构之间的非线性关系,获得确切的企业规模和人力资本门槛值,具体分析制造业升级对能源消费结构的贡献程度.

## 1 制造业升级对能源消费结构的影响路径分析

R. York<sup>[18]</sup>最早提出了 STIRPAT 模型,STIRPAT 模型是经典的 IPAT 等式改造而成的随机形式,即

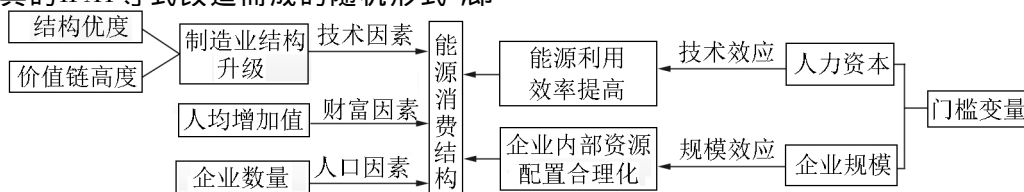


图1 制造业升级对能源消费结构的作用路径

可拓展的随机性环境影响模型,对人口、财产、技术 3 个自变量和环境变量之间的关系进行研究,模型具体形式如下:

$$I = aP^bA^cT^de,$$

其中  $I$ 、 $P$ 、 $A$ 、 $T$  分别表示环境影响、人口因素、财富因素和技术因素表征值. 对 STIRPAT 模型进行了扩展: (i) 环境因素.  $I$  为能源消费结构,即环境因素表征值,用碳排放量  $E_N$  表示. (ii) 人口因素. 将人口规模替换为企业个数,用  $P_L$  表示. (iii) 财富因素. 以制造业各产业的人均增加值作为解释变量,用  $P_{GDP}$  表示. (iv) 技术因素. 用制造业产业升级  $M_U$  来表示. 再引入外商直接投资  $F_{DI}$  作为控制变量,即

$$E_N = \beta_0 P_L^{\beta_1} P_{GDP}^{\beta_2} M_U^{\beta_3} F_{DI}^{\beta_4} e. \quad (1)$$

图 1 显示了上述模型中制造业升级这一核心变量和其他变量对能源消费结构的作用路径. 在制造业产业升级这一路径方面,从结构优度和价值链高度 2 个角度构造了制造业升级指数,制造业升级指数是影响能源消费结构的核心因素. 一方面,制造业结构优度的提升意味着企业增加了技术投资比例,淘汰了落后高耗能的生产设备,从而降低了煤炭消费量,优化了能源消费结构. 另一方面,企业价值链高度的提升,使得各产业部门向高附加值产业攀升,这些高端环节产业的重点在于研发和营销环节,价值链高度的提升提高了产业的技术创新能力,低碳技术得到发展,最终影响能源消费结构. 从人均增加值这一作用路径来看,在 STIRPAT 模型中,人均增加值是影响能源消费结构的财富因素,通过影响当前经济状况作用于能源消费结构. 企业数量是本文选取的代替人口因素的变量. 人力资本和企业规模为门槛变量,在制造业升级过程中,提高人力资本水平有助于提升企业的创新能力,通过技术效应提高能源利用效率,改善能源消费结构. 而扩大企业规模使得企业生产集约化,内部资源配置趋向更加合理化,也影响着能源消费结构. 因此,人力资本水平的提高对制造业升级所产生的技术效应和企业规模扩大所产生的规模效应都从不同程度、不同范围影响着能源消费结构.

## 2 实证分析

### 2.1 面板门槛模型的设定

在 STIRPAT 模型的基础上,对(1)式两边取对数得到

$$\ln E_{Nit} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_{Lit} + \alpha_2 \ln P_{GDPit} + \alpha_3 \ln M_{Uit} + \alpha_4 \ln F_{Dlit} + u_i + \varepsilon_{it}, \quad (2)$$

(2)式表示制造业升级对能源消费结构的线性影响模型,其中在制造业升级过程中企业规模的变化通过规模效应,以及人力资本通过技术效应对制造业升级存在关键影响,并且可能存在非线性影响关系。而对于变量间非线性关系的研究,选取动态面板门槛模型比较合适。因为面板门槛模型能够得出确切的门槛值,确定门槛变量的置信区间,得到企业规模和人力资本在每个量化区间对能源消费结构的正负向影响关系。因此,将模型(2)进一步拓展为动态面板门槛模型,分别以企业规模和人力资本作为门槛变量研究制造业升级对能源消费结构的影响。模型形式如下:

1) 以企业规模变量  $G_p$  为门槛变量,分析制造业升级与能源消费结构之间的门槛效应。模型为

$$\ln E_{Nit} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_{Lit} + \alpha_2 \ln P_{GDPit} + \alpha_3 \ln F_{Dlit} + \beta_1 M_U(\ln G_p \leq \gamma) + \beta_2 M_U(\ln G_p > \gamma) + u_i + \varepsilon_{it},$$

2) 以人力资本  $H_{UM}$  为门槛变量,门槛模型为

$$\ln E_{Nit} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_{Lit} + \alpha_2 \ln P_{GDPit} + \alpha_3 \ln F_{Dlit} + \beta_1 M_U(\ln H_{UM} \leq \gamma) + \beta_2 M_U(\ln H_{UM} > \gamma) + u_i + \varepsilon_{it},$$

其中门槛模型的构建是根据 1999 年 B. Hansen<sup>[19]</sup>提出的面板门槛模型,根据样本数据自身特点内生的给定门槛值,研究不同区间内被研究对象之间的非线性关系。模型的基本形式如下:

$$y_{it} = u_i + x_{it}'\beta_1 I(q_{it} \leq \gamma) + x_{it}'\beta_2 I(q_{it} > \gamma) + \varepsilon_{it},$$

其中  $i(i = 1, 2, \dots, N)$  表示个体,  $t(t = 1, 2, \dots, T)$  表示时间,  $q_{it}$  表示门槛变量,  $\gamma_{it}$  为门槛值,  $I(\cdot)$  为一

指示函数,  $\varepsilon_{it}$  为随机干扰项。

通过 OLS 估计求得  $\gamma$  残差平方和  $S_1(\gamma)$  的最小值,得到门槛值  $\gamma$ ,再检验  $\gamma$  值的显著性。首先检验是否存在门槛效应,原假设为  $H_0: \beta_1 = \beta_2$ ,备择假设为  $H_1: \beta_1 \neq \beta_2$ ,检验统计量为

$$F_1 = (S_0 - S_1(\hat{\gamma})) / \hat{\sigma}^2.$$

B. Hansen<sup>[19]</sup>建议采用自抽样法(Bootstrap)获得  $F_1$  的渐进分布来检验  $\gamma$  是否显著。然后确定门槛模型的具体形式,对模型进行估计。经过门槛检验结果可以得到门槛值的个数。

### 2.2 能源消费结构与制造业升级指数的测算

2.2.1 能源消费结构的测算 能源消费结构是能源系统工程研究的重要内容,对国民经济各部门选择终端能源利用方式意义重大,并且对人民生活水平具有一定的影响力。关于能源消费结构这一指标的衡量,大多数方法是采用煤炭消费量占总能源消费量的比例表示,或者一次能源消费量占总能源消费量的比例表示。本文采用碳排放量占总能源消费量的比例表示能源消费结构,用  $E_N$  表示。由于各类能源燃烧后产生的二氧化碳量不同,因此碳排放量需要通过计算获得,学者们通常采用 IPCC<sup>[20]</sup>提供的碳排放量计算方法。本文借鉴该方法来计算碳排放量

$$C = \sum_{i=1}^n m_i \delta_i,$$

其中  $C$  为碳排放量(万 t 标准煤),  $i$  为能源种类数,  $m_i$  为第  $i$  类能源的消费量,  $\delta_i$  为第  $i$  种能源的碳排放系数。

各类能源的 t 标准煤折算系数和碳排放系数基于 IPCC《国家温室气体排放清单指南》,如表 1 所示。由于每年的碳排放系数变化不大,且碳排放系数的测度较繁琐,所以本文假设每年的碳排放系数不变。各类能源消费量的数据来源于《中国经济与社会发展统计数据库》。

表 1 t 标准煤折算系数和碳排放系数

能源种类	折算系数	碳排放系数	能源种类	折算系数	碳排放系数
原煤	0.714 3	0.755 9	柴油	1.457 1	0.591 9
焦炭	0.971 4	0.885 0	燃料油	1.428 6	0.618 5
原油	1.428 6	0.585 7	液化石油气	1.714 3	0.504 2
汽油	1.471 4	0.553 8	液化天然气	1.757 2	0.448 3
煤油	1.471 4	0.571 4			

注:1 kg 液化天然气=1.38 m<sup>3</sup> 天然气;1 m<sup>3</sup> 天然气=0.725 6 kg 液化天然气。各类能源的碳排放系数单位为 t 标准煤。

2.2.2 制造业升级指数的测算 有关产业升级指标的构造,较传统的方法是用 3 次产业比例表示,干

春晖等<sup>[21]</sup>用产业结构高级化和合理化表示产业结构升级,得到大多数学者的认同。而构造制造业升级

指数定量分析制造业升级的研究并不多,在制造业升级指标的构造上,大多数学者用制造业增加值、区域单位资本利用效率或地区工业利用率来衡量制造业升级.本文借鉴马珩<sup>[16]</sup>的做法,从制造业结构优度( $E$ )和价值链高度( $H$ )2个角度构造制造业升级指数( $M_U$ ),这能够体现制造业的升级目标.

世界制造业结构调整的主流是增加技术密集型部门的投资,发达国家制造业结构的转变显示出部门结构从劳动密集型向技术密集型转变的规律. S. C. Poon<sup>[22]</sup>认为产业结构升级是要素投入从劳动密集型到资本密集型,最后转变为技术密集型的过程.关于制造业升级与生产性服务业间的关系,盛丰<sup>[23]</sup>、刘明宇等<sup>[24]</sup>研究了生产性服务价值链的嵌入促进了制造业升级过程,这说明生产性服务业集聚提高了资本密集型和技术密集型制造业的发展效率,从而促进制造业升级过程,同时带动了周边产业的发展.因此技术密集型产业的增加能够显示出制造业内部结构的优化,是衡量制造业升级的重要指标.

设制造业结构为  $a(L)$ 、 $a(C)$ 、 $a(T)$ .  $a(L)$  表示制造业细分行业的劳动投入占总投入比例;  $a(C)$  表示资本投入占总投入比例;  $a(T)$  表示技术投入占总投入比例. 并且  $0 \leq a(L) + a(C) + a(T) \leq 1$ . 设3种制造业经典结构为  $a_i(L) (1 \ 0 \ 0)$ 、 $a_i(C) (0 \ 1 \ 0)$ 、 $a_i(T) (0 \ 0 \ 1)$ , 用欧氏距离构造制造业实际结构与经典结构之间的距离,距离越小说明制造业实际结构越接近经典结构,即

$(a(T) - a_i(T))^2)^{1/2} / \sqrt{2}$ , 制造业结构优度为

$$E = \beta_L r_L + \beta_C r_C + \beta_T r_T,$$

其中  $r_L$  表示实际制造业投资与典型制造业劳动投资之间的距离,  $r_C$  表示实际制造业投资与典型制造业资本投资之间的距离,  $r_T$  表示实际制造业投资与制造业技术投资之间的距离, 且  $\beta_L < \beta_C < \beta_T$ . 本文把  $\beta_L$ 、 $\beta_C$  和  $\beta_T$  分别取1、2和3, 对  $\beta_T$  赋予权重最大是因为  $\beta_T$  越大, 制造业在技术方面投入比例就越多, 制造业结构优度越高.

G. Gereffi 等<sup>[25]</sup>从全球价值链的角度研究了制造业产业结构升级, 这表明全球价值链下的制造业是一个国家或地区的经济体在从事经济活动中, 从低价值状态向高价值状态转变, 并获得增加值的过程. 波特最早对企业价值链进行了研究, 价值链分为3大环节: 第1环节是研发创意等技术环节, 第2环节是生产环节, 第3环节是营销环节. 这3个环节呈现“U”型关系, 在曲线两端的技术和营销环节附加值最高, 中间的生产环节价值最低, 因此选取 R&D 投入、专利申请数、专利授权数比例表示技术研发能力, 选取新产品销售率表示营销能力, 构造价值链高度指标  $H$ . 其值表示为  $H_j = \sum_{i=1}^4 \omega_i X_{ij}$ , 其中  $X$  表示 R&D 投入、专利申请数、专利授权数和新产品销售率, 权重分别为0.3、0.1、0.1和0.5. 令  $M_{Uj} = \omega_E E_j + \omega_H H_j$ , 其中  $E$  表示制造业结构优度,  $H$  表示制造业价值链高度, 通过主成分分析得到  $E$  和  $H$  的权重  $\omega_E = 0.7255$ ,  $\omega_H = 0.2745$ . 利用 Spss19.0 软件做主成分分析, 通过计算得到的制造业升级指数  $M_U$  如表2所示.

表2 制造业30个行业升级指数

类型	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
农副食品加工业	2.796 6	2.871 3	2.921 6	2.966 8	3.015 8	3.068 2	3.187 3
食品制造业	2.853 3	2.900 9	2.928 9	2.956 0	3.029 4	3.066 1	3.154 0
饮料制造业	2.936 0	2.942 3	2.994 1	3.011 2	3.053 5	3.088 0	3.174 3
烟草制品业	2.861 3	2.785 6	2.890 0	2.906 2	2.911 5	2.976 0	3.007 2
纺织业	2.934 2	2.986 0	3.032 1	3.083 4	3.108 9	3.150 5	3.211 4
纺织服装、鞋帽制造业	2.836 0	2.849 8	2.878 9	2.893 2	2.937 1	2.949 9	3.059 0
皮革、毛皮、羽毛(绒)及其制品业	2.670 4	2.733 7	2.801 3	2.841 7	2.860 3	2.902 9	2.982 7
木材加工及木、竹、藤、棕、草制品业	2.524 1	2.569 5	2.612 6	2.629 6	2.655 2	2.385 8	2.700 0
家具制造业	2.669 0	2.751 3	2.837 1	2.822 8	2.852 9	2.847 2	2.976 3
造纸及纸制品业	2.7376	2.761 4	2.814 7	2.899 4	2.949 2	2.994 6	3.064 6
印刷业和记录媒介的复制	2.602 2	2.641 6	2.742 5	2.731 0	2.830 6	2.863 0	2.973 5
文教体育用品制造业	2.835 1	2.850 8	2.873 0	2.920 6	2.970 1	2.963 3	3.041 6
石油加工、炼焦及核燃料加工业	2.862 2	2.941 2	2.910 4	2.941 5	2.967 9	3.029 5	3.095 7
化学原料及化学制品制造业	3.134 2	3.149 1	3.197 1	3.208 4	3.248 0	3.279 5	3.415 1
医药制造业	3.137 0	3.167 2	3.235 7	3.252 7	3.281 7	3.309 6	3.411 4

表 2( 续)

类型	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
化学纤维制造业	2. 777 2	2. 894 0	2. 899 2	2. 929 1	3. 032 6	3. 077 5	3. 098 4
橡胶制品业	2. 810 0	2. 845 5	2. 935 3	2. 948 1	3. 024 7	3. 071 9	3. 124 3
塑料制品业	2. 852 4	2. 901 6	2. 924 0	2. 983 4	3. 030 6	3. 075 0	3. 197 6
非金属矿物制品业	2. 953 2	2. 985 3	3. 012 4	3. 058 8	3. 148 5	3. 179 3	3. 247 1
黑色金属冶炼及压延加工业	3. 088 7	3. 167 1	3. 251 9	3. 285 3	3. 291 8	3. 375 3	3. 464 6
有色金属冶炼及压延加工业	3. 033 3	3. 101 5	3. 146 3	3. 171 0	3. 196 4	3. 207 8	3. 293 1
金属制品业	2. 920 2	2. 986 8	3. 046 6	3. 077 8	3. 086 4	3. 139 2	3. 250 2
通用设备制造业	3. 171 7	3. 220 9	3. 260 6	3. 284 9	3. 303 7	3. 333 9	3. 441 9
专用设备制造业	3. 183 4	3. 228 1	3. 262 5	3. 305 6	3. 334 9	3. 366 5	3. 471 3
交通运输设备制造业	3. 284 5	3. 334 9	3. 425 0	3. 429 2	3. 437 8	3. 481 1	3. 563 6
电气机械及器材制造业	3. 368 3	3. 427 6	3. 453 7	3. 444 2	3. 463 7	3. 484 3	3. 532 6
通信设备、计算机及其他电子设备制造业	3. 219 1	3. 295 2	3. 312 9	3. 367 0	3. 432 0	3. 463 8	3. 541 6
仪器仪表及文化、办公用机械制造业	3. 009 8	3. 042 6	3. 174 0	3. 139 5	3. 204 0	3. 217 9	3. 376 8
工艺品及其他制造业	2. 777 5	2. 873 5	2. 909 2	2. 915 0	2. 953 7	2. 989 8	3. 075 8
废弃资源和废旧材料回收加工业	2. 348 3	2. 299 5	2. 273 5	2. 126 3	2. 285 8	2. 515 3	2. 679 6

注: 行业是根据 GB/T 4754—2011 划分规则, 将制造业分成 30 个大类。数据来源于《中国经济与社会发展统计数据库》。

2.3 其他变量说明与描述性统计

2.3.1 门槛变量 以企业规模变量  $G_p$  为门槛变量, 企业规模参照李宇等<sup>[26]</sup>的做法, 用企业营业收入表示。企业规模的变化会影响制造业升级对能源消费结构的作用。

以人力资本  $H_{UM}$  为门槛变量, A. Kaasa 认为人力资本变量能够间接地影响企业获得专利强度, 许多学者用 R&D 人数与总人数的比值表示人力资本, 本文也借鉴此方法来衡量企业的人力资本。

2.3.2 控制变量 人均增加值( $P_{GDP}$ )、外商直接投

资( $F_{DI}$ ) 和企业数量( $P_L$ ) 数据直接来自《中国经济与社会发展统计数据库》, 对各变量进行对数处理。

由于在统计年鉴中 2011 年之后制造业细分行业的某些数据不存在, 所以数据只更新到 2011 年。因此本文只选取了制造业各行业 2005—2011 年的数据。数据来自《中国经济与社会发展统计数据库》、《中国科技统计年鉴》和《中国工业统计年鉴》。

在进行门槛模型分析前, 有必要了解样本数据的基本信息。应用 Stata11 软件对各样本进行描述性统计分析, 结果如表 3 所示。

表 3 各变量描述性统计分析

变量名	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
$E_N$	210	0. 429 5	0. 358 2	0. 062 5	1. 998 4
$M_U$	210	3. 032 1	0. 256 5	2. 126 3	3. 563 6
$G_p$	210	14. 995 9	1. 965 3	1. 000 0	18. 598 7
$H_{UM}$	210	0. 028 7	0. 023 2	0. 000 3	0. 179 8
$\ln P_{GDP}$	210	15. 898 0	0. 948 9	13. 080 1	18. 691 0
$\ln F_{DI}$	210	15. 864 7	1. 789 5	10. 454 5	19. 614 9
$\ln P_L$	210	8. 563 7	1. 374 5	4. 127 1	11. 399 8

3 实证结果

在进行门槛模型回归分析前, 首先要检验模型是否存在门槛效应并确定门槛值的个数, 然后分别求得门槛值, 再根据合适的模型进行门槛回归分析。接下来以企业规模和人力资本分别为门槛变量, 进

行门槛效应检验以及模型回归分析。

3.1 门槛效应检验

对 2 个模型进行单一门槛、双重门槛和三重门槛检验, 获得  $F$  值, 并用 Bootstrap 方法得到  $P$  值, 然后进一步得到门槛估计值和门槛置信区间。如表 4 和表 5 所示。

表4 门槛效应检验结果

门槛变量	门槛个数	$F$ 值	$P$ 值	1%	5%	10%
企业规模	单一门槛	7.425 <sup>*</sup>	0.090	19.608	10.838	7.003
	双重门槛	13.480 <sup>***</sup>	0.003	11.664	7.106	3.384
	三重门槛	8.702 <sup>**</sup>	0.047	13.788	8.045	5.259
人力资本	单一门槛	11.823 <sup>*</sup>	0.087	25.874	15.509	10.287
	双重门槛	14.912 <sup>**</sup>	0.013	18.626	11.337	9.237
	三重门槛	7.480 <sup>**</sup>	0.033	13.705	5.751	4.366

注:  $P$  值和临界值均为采用 Bootstrap 方法反复抽样 500 次得到的结果; \*\*\*、\*\* 和\* 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著。

表5 门槛值估计

回归模型	指标	门槛值 $\gamma_1$		门槛值 $\gamma_2$	
		估计值	95% 的置信区间	估计值	95% 的置信区间
(i)	企业规模	14.292	[13.155, 15.504]	17.353	[14.292, 17.512]
(ii)	人力资本	0.015	[0.011, 0.017]	0.070	[0.068, 0.098]

由表4和表5可以看出,模型(i)和模型(ii)的双重门槛效应显著,以企业规模为门槛变量的模型的第1个门槛值为14.292,第2个门槛值为17.353。以人力资本为门槛变量的模型第1个门槛值为0.015,第2个门槛值为0.070。

### 3.2 门槛模型估计结果

由门槛效应检验和门槛值估计后得到模型的双重门槛特征和门槛值。对模型进行估计,结果如表6所示。

表6 门槛模型回归结果

系数	企业规模	人力资本
$\ln P_{GDP}$	-0.007 088 8 <sup>**</sup> (-0.73)	-0.037 823 5 <sup>***</sup> (-3.96)
$\ln F_{DI}$	0.019 283 5 <sup>*</sup> (1.49)	0.038 159 1 <sup>*</sup> (2.86)
$\ln P_L$	-0.009 172 3 <sup>***</sup> (-1.74)	-0.008 952 6 <sup>**</sup> (-1.70)
$M_{U1}$	-0.096 529 3 <sup>***</sup> (-1.63)	-0.099 604 3 <sup>**</sup> (-1.73)
$M_{U2}$	0.113 283 4 <sup>***</sup> (1.94)	-0.114 208 0 <sup>***</sup> (-2.01)
$M_{U3}$	-0.122 404 0 <sup>***</sup> (-2.12)	-0.128 501 5 <sup>**</sup> (-2.26)
常数	0.660 254 6 <sup>***</sup> (4.70)	0.836 445 5 <sup>***</sup> (6.92)

注: 括号内为各系数所对应的  $t$  统计量; \*\*\*、\*\* 和\* 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著。

实证结果显示,制造业升级指数  $M_U$  的系数最大,制造业升级对改善能源消费结构的贡献最大。衡量经济状况的指标人均增加值  $P_{GDP}$  在模型(i)中并没有通过显著性检验,而在模型(ii)中的系数都较

为显著,但系数并不大,这说明人均增加值对企业规模的影响并不大,但能够在一定程度上影响人力资本的变化,降低煤炭消费量,改善能源消费结构;外商直接投资  $F_{DI}$  对能源消费结构存在正向影响,  $F_{DI}$  的增加导致我国能源消费量增加,但并不十分显著,原因可能是外商直接投资是否会影响到我国的能源消费结构,与我国的环境政策有关,宽松的环境政策有利于吸引更多的外商直接投资,Xing Yuqing 认为跨国公司为了降低成本,保持国际竞争力,会选择环境政策较为宽松的国家进行投资;对于企业数量  $P_L$  这一经济指标,与人均增加值的解释相似,经济发展水平的提高能够促进企业淘汰不经济的煤炭使用,更多的使用电力能源,从而改善能源消费结构。

在以企业规模为门槛变量的模型中,当企业规模小于第1个门槛值14.292时,制造业升级对能源消费的影响系数约为-0.0965;当企业规模介于第1个门槛值14.292与第2个门槛值17.353之间时,系数约为0.1132;当企业规模大于17.353时,系数约为-0.1224。这说明企业规模并不是越大越有利于制造业能源消费结构的优化。在企业规模小于14.292时,制造业升级能够显著改善能源消费结构,而当企业规模介于14.292~17.353时,制造业升级反而增加了煤炭消费量,恶化了能源消费结构。这意味着企业规模增加到一定程度,企业生产所消耗的煤炭比例上升,在此区间内,制造业各行业企业利润的增加以环境污染为代价。当企业规模增加到17.353时,制造业升级显著降低了能源消费量,且系数较大。一方面,当企业规模扩大到一定程度时,可以使资源配置更合理,要素利用更集约化,制造业产业结构更合理,能源消费量就如同其他要素使用

一样,产生规模收益。另一方面,企业规模扩大,企业之间的竞争同时增强,这种竞争机制的存在促使企业更加注重对技术的要求,加强企业的研发投入,加快制造业升级速度,从而使得产业生产效率提高,能源利用效率同时得到提高,资源的配置更合理化,也就降低了能源消费量。

在以人力资本为门槛变量的模型中,当人力资本变量小于第1个门槛值0.015时,回归系数约为-0.0996;当人力资本变量介于0.015~0.070时,系数约为-0.1142;当人力资本变量大于0.070时,系数约为-0.1285。这说明企业人力资本投入力度越大,制造业升级对改善能源消费结构存在的积极作用越明显。人力资本水平高意味着企业注重创新要素的投入,制造业企业的创新能力得到提升,从而促进产业升级。而且创新能力高的企业能够使用较为先进的设备,注重能源利用效率,改善能源消费结构,对节能减排也产生了积极作用。

## 4 结论与建议

本文选取我国制造业30个细分行业2005—2011年的数据,从制造业结构优度和价值链高度2个维度构造产业结构升级指标,以企业规模和人力资本为门槛变量,在可拓展的随机性环境影响模型(STIRPAT模型)的基础上,建立动态面板门槛模型,实证获得确切的企业规模和人力资本门槛值,具体分析制造业升级对能源消费结构的贡献程度以及2者之间的非线性关系,得出如下一些结论:

1) 制造业升级对能源消费结构的贡献度最大;

2) 制造业升级与能源消费结构之间存在显著的双重门槛效应,以企业规模作为门槛变量的门槛值为14.292和17.353,以人力资本作为门槛变量的门槛值为0.015和0.070;

3) 在以企业规模为门槛变量的模型中,当企业规模低于第1个门槛值和高于第2个门槛值时,制造业升级对能源消费结构存在积极影响,当介于2个门槛值之间时,制造业升级并不利于改善能源消费结构;

4) 在以人力资本为门槛变量的模型中,人力资本越大,制造业升级对能源消费结构的贡献越大。

鉴于本文的研究结论提出如下几点建议:

1) 制造业升级是节能减排、改善能源消费结构的关键,要加大产业的技术投资比例,提高研发强度和高附加值产品比例,从根本上提升制造业结构优

度和价值链高度;

2) 企业规模的扩大要适度,企业规模过小或者过大都不利于改善能源消费结构,各产业要根据自身的发展状况确定合适的企业规模;

3) 提高人力资本水平,人力资本水平对促进产业创新具有重大意义,而产业的创新水平是制造业升级的关键。

## 5 参考文献

- [1] 曾波,苏晓燕. 中国产业结构变动的能源消费影响: 基于灰色关联理论和面板数据计量分析[J]. 资源与产业,2006,8(3):109-112.
- [2] 史丹. 结构变动是影响我国能源消费的主要因素[J]. 中国工业经济,1999(11):38-43.
- [3] 高志刚,韩宇. 资源型省区产业结构调整对能源消费影响的计量分析: 以新疆为例[J]. 甘肃社会科学,2014(2):181-183.
- [4] Deng Shihuai, Zhang Jing, Shen Fei, et al. The relationship between industry structure, household-number and energy consumption in China[J]. Energy Sources Part B Economics Planning and Policy, 2014, 9(4):325-333.
- [5] 王秋彬. 工业行业能源效率与工业结构优化升级: 基于2000—2006年省际面板数据的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究,2010(10):49-63.
- [6] 王强,郑颖,伍世代,等. 能源效率对产业结构及能源消费结构演变的响应[J]. 地理学报,2011,66(6):741-749.
- [7] 唐玲,杨正林. 能源效率与工业经济转型: 基于中国1998—2007年行业数据的实证分析[J]. 数量经济技术经济研究,2009(10):34-48.
- [8] 江洪,赵宝福. 低碳视角下能源效率变动与产业结构演进非线性动态关系: 基于1990—2012年面板数据[J]. 经济问题探索,2015(7):68-76.
- [9] Dogan E, Turkekul B. CO<sub>2</sub> emissions, real output, energy consumption, trade, urbanization and financial development: testing the EKC hypothesis for the USA[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(2):1203-1213.
- [10] Saidi K, Hammami S. Economic growth, energy consumption and carbone dioxide emissions: recent evidence from panel data analysis for 58 countries[J]. Quality and Quantity, 2016, 50(1):361-383.
- [11] Forslid R, Ottaviano G I P. An analytically solvable core-periphery model[J]. Journal of Economic Geography, 2015, 3(3):229-240.
- [12] Magazzino C. Energy consumption and GDP in Italy: cointegration and causality analysis[J]. Environment De-

- velopment and Sustainability 2015 ,17( 1) : 137-153.
- [13] Saidi K , Mbarek M B , Amamri M. Causal dynamics between energy consumption , ICT , FDI , and economic growth: case study of 13 MENA countries [J]. Journal of the Knowledge Economy , 2015 , 6( 28) : 1-11.
- [14] 肖德 , 魏文婉. 经济增长、城市化与技术进步对能源消费的非线性影响效应研究 [J]. 经济经纬 , 2015( 5) : 126-131.
- [15] 艾明晔 , 毕克新 , 李婉红. 我国制造业发展模式动态演进及产业结构优化研究: 基于 1993—2009 年的碳排放 [J]. 经济问题探索 , 2012( 1) : 48-54.
- [16] 马珩. 制造业高级化对能源强度的影响研究: 来自制造业强省的经验证据 [J]. 江苏社会科学 , 2015( 3) : 32-38.
- [17] 陈关聚. 中国制造业全要素能源效率及影响因素研究: 基于面板数据的随机前沿分析 [J]. 中国软科学 , 2014( 1) : 180-192.
- [18] York R , Rosa E A , Dietz T. STIRPAT , IPAT and IMPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts [J]. Ecological Economics , 2003 , 46( 3) : 351-365.
- [19] Hansen B. Threshold effects in non-dynamic panels: estimation , testing and inference [J]. Journal of Econometrics , 1999 , 93( 2) : 345-368.
- [20] IPCC/IGES. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [R]. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change , Institute for Global Environmental Strategies , 2006.
- [21] 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 , 31.
- [22] Poon S C. Beyond the global production networks: a case of further upgrading of Taiwans information technology industry [J]. International Journal of Technology and Globalisation , 2004 , 1( 1) : 130-144.
- [23] 盛丰. 生产性服务业集聚与制造业升级: 机制与经验: 来自 230 个城市数据的空间计量分析 [J]. 产业经济研究 , 2014( 2) : 32-39.
- [24] 刘明宇 , 芮明杰 , 姚凯. 生产性服务价值链嵌入与制造业升级的协同演进关系研究 [J]. 中国工业经济 , 2010( 8) : 66-75.
- [25] Gereffi G , Humphrey J , Sturgeon T. The governance of global value chains [J]. Review of International Political Economy , 2005 , 12( 1) : 78-104.
- [26] 李宇 , 张瑶. 制造业产业创新的企业规模门槛效应研究: 基于门槛面板数据模型 [J]. 宏观经济研究 , 2014 ( 11) : 96-106.

## The Empirical Study about the Impact of the China's Manufacturing Industry Upgrading on the Energy Consumption Structure ——The Threshold Model Based on 30 Manufacturing Industry's Panel Data

LI Cui , WANG Haijing , XU Ye\*

( School of Statistics , Jiangxi University of Finance and Economics , Nanchang Jiangxi 330013 , China)

**Abstract:** By using the data of 30 manufacturing industry segments during 2005—2011 year , the industrial structure upgrading index is constructed and the STIRPAT model from the perspective of the manufacturing industry structure and the value chain are established. Then a dynamic panel threshold model is made about the manufacturing industry upgrading and energy consumption structure with the scale of the enterprise and human capital as the threshold variable , further researching the nonlinear relationship between of them. The study finds that the upgrading of the manufacturing industry has the greatest impact on the energy consumption structure , and there is a significant double threshold effect between of them. When the enterprise scale is smaller than 14.292 or greater than 17.353 , manufacturing industry upgrade can significantly improve the energy consumption structure , and when the enterprise scale ranged from 14.292 ~ 17.353 , the upgrading of the manufacturing industry increases the coal consumption unexpectedly , then worsening the energy consumption structure. Taking human capital as the threshold variable , the threshold values are 0.015 and 0.070 , enterprise human capital investment is larger , the impact of the manufacturing industry upgrading on improve the energy consumption structure is more obvious. Finally , some relative policy recommendations , such as increasing the proportion of industrial technology investment , appropriately expanding the scale of enterprises and improving the level of human capital , are put forward according to our research results.

**Key words:** manufacturing industry upgrading; energy consumption structure; threshold model

( 责任编辑: 曾剑锋)