

中国工业绿色经济效率的测度及其影响因素研究

吕 品¹, 卢东子¹, 肖明月², 杨 君¹

(1. 浙江理工大学经济管理学院, 杭州 310018; 2. 浙江金融职业学院科研处, 杭州 310018)

摘 要: 使用 DEA 模型测度了 1999—2015 年中国工业分行业的绿色经济效率, 然后借助系统 GMM 方法实证分析工业绿色经济效率变动的影响因素, 主要结论有: 中国工业绿色经济效率变动整体上呈倒 N 型, 粗放型和周期性特征明显; 轻工业绿色经济效率一直高于重工业, 近两年则快速降至重工业之下; 经济发展水平与轻工业绿色经济效率之间呈倒 U 型关系, 与重工业之间呈正 U 型关系; 行业结构的影响在轻重工业间存在异质性; 行业规模产生负向影响, 电力能源占比有着促进作用。

关键词: 绿色经济效率; 工业; 转型发展; 影响因素

中图分类号: F223

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851 (2018) 12-0561-08

改革开放四十年来, 我国经济飞速发展, 在取得巨大成就的同时也遇到了严峻的环境问题。依赖高投入、高能耗的经济发展方式已对环境造成了严重的破坏, 无法适应经济绿色持续发展的要求。近年来中央政府更是提出了“绿水青山就是金山银山”的发展理念, 推动企业生产向更加集约、更加绿色的方式转变。工业作为中国主要的能源消耗和三废排放产业, 其绿色发展究竟处于何种水平? 推动或制约工业绿色经济效率提升的因素又有哪些? 对上述问题的回答, 不仅有助于促进中国工业生产的绿色升级, 还对我国经济转型发展有着重要的现实指导意义。

一、文献综述

关于经济效率测度的方法, 具有代表性的有数据包络分析法 (DEA)、随机前沿分析法 (SFA) 和 Malmquist 指数法等方法, 相关研究可见文献 [1-3]。但上述研究都没有将污染物这一非期望产出纳入效率评价体系。从能源投入和产出的经济效益角度出发, 加入“坏产出”使得测度结果能够更好地

反映经济发展的绿色生产效率, 也更具有现实意义。也有研究考虑了非期望产出, 如 Hailu 等^[4]把污染排放作为一项投入来计算, Scheel^[5]则把污染排放值的倒数作为非期望产出。魏楚等^[6]后期沿用了 Scheel^[5]的方法将 SO₂ 排放总量取一阶倒数用来衡量非期望产出, Seinfeld 等^[7]也使用上述方法做过类似研究。在非期望产出的变量选取方面, 陈诗一^[8]和林伯强等^[9]采用 CO₂ 的排放量来衡量非期望产出, 钱丽等^[10]和王兵等^[11]则选取废气、废水排放量等多个指标来衡量非期望产出, 胡晓珍等^[12]、李艳军^[13]则用熵值法将非期望产出拟合成一个综合污染指数。

影响绿色经济效率的因素众多, 已有研究主要从以下几方面入手: 一是经济发展水平。叶仁道等^[14]研究发现经济发展水平对绿色经济效率具有正向影响。随着经济发展水平的提升, 企业对绿色生产的投资会增加, 进而提升绿色经济效率^[15]。当然, 也有学者认为经济发展对绿色经济效率具有负向影响^[16]。二是产业结构。部分研究发现第二产业比重越大, 绿色经济效率值越低^[14, 17], 当前中国

收稿日期: 2018-07-26 网络出版日期: 2018-11-06

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (71772166); 教育部人文社科青年基金项目 (17YJC790062); 浙江省软科学研究计划项目 (2018C35037); 浙江省自然科学基金项目 (LY18G030037); 杭州市社科规划项目 (Z18JC109); 浙江省哲学社会科学重点研究基地浙江理工大学浙江省生态文明研究中心基地课题 (17STYB02)

作者简介: 吕 品 (1969—), 男, 山西大同人, 教授, 主要从事产业经济方面的研究。

产业结构不合理是阻碍绿色经济效率提升的重要因素^[18]。冉英启等^[19]、岳鸿飞等^[20]则从所有制视角分析了产业结构的影响,并分析了国有企业和非国有企业影响的差异性。三是行业规模。钱丽等^[10]认为规模效率低下是中国企业绿色经济效率较低的主要原因,过大的企业规模会导致管理机构冗杂,进而降低企业效率^[21]。四是能源消费结构。一般而言,使用水电、风电、核电等清洁能源会提高经济发展的绿色经济效率。该方面的研究主要是基于能源效率视角进行,分析绿色经济效率相对较少^[22-23]。五是其他因素。城镇化水平^[24-25]、教育资源丰裕程度^[14,20]、自主创新能力^[16]、金融发展水平和投资率^[15]等均对绿色经济效率有着一定影响。

二、绿色经济效率的测度

(一)绿色经济效率的测度方法

在测度效率方面,数据包络法已经成为一种常用的工具。本文采用 Tone^[26]提出的处理非期望产出的 DEA-SBM 模型来测度我国工业行业的绿色经济效率,该模型将每一个行业看成一个独立的生产决策单元(DMU),假设每个 DMU 都分别投入要素、得到好产出和坏产出,则每个 DMU 可以表示成 $\mathbf{X} \in \mathbf{R}^m, \mathbf{Y}^g \in \mathbf{R}^{s_1}$ 和 $\mathbf{Y}^b \in \mathbf{R}^{s_2}$,其经济含义分别为各行业经济活动的 m 种投入、 S_1 种期望产出以及 S_2 种非期望产出。定义矩阵 \mathbf{X}, \mathbf{Y}^g 和 \mathbf{Y}^b 如下: $\mathbf{X} = [X_1, X_2, \dots, X_n] \in \mathbf{R}^{m \times n}, \mathbf{Y}^g = [Y_1^g, Y_2^g, \dots, Y_n^g] \in \mathbf{R}^{s_1 \times n}$ 和 $\mathbf{Y}^b = [Y_1^b, Y_2^b, \dots, Y_n^b] \in \mathbf{R}^{s_2 \times n}$,其中 $X_i > 0, Y_i^g > 0, Y_i^b > 0$ 。

假设规模报酬不变,生产可能性集合表示为:

$$P = \{(x, y^g, y^b) | x \geq \mathbf{X}\lambda, y^g \geq \mathbf{Y}^g\lambda, y^b \geq \mathbf{Y}^b\lambda\},$$

其中: λ 为权重向量。因此对于 $DMU_0(x_0, y_0^g, y_0^b)$,若不存在向量 $(x_0, y_0^g, y_0^b) \in P$ 使得 $x_0 \geq x, y_0^g \geq y^g, y_0^b \geq y^b$ 至少一个不等号成立,则 $DMU_0(x_0, y_0^g, y_0^b)$ 在前沿上是有效率的。

处理非期望产出 ρ^* 的 SBM 模型可以表示为:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)},$$

s. t.

$$\begin{cases} x_0 = \mathbf{X}\lambda + s^- \\ y_0^g = \mathbf{Y}^g\lambda - s^g \\ y_0^b = \mathbf{Y}^b\lambda + s^b \\ s^- \geq 0, s^g \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases}$$

其中: s 表示投入以及期望和非期望产出的松弛量;

λ 是权重向量, ρ^* 是关于 s^-, s^g, s^b 严格递减的,并且 $0 \leq \rho^* \leq 1$ 。对于特定的单元,当且仅当 $\rho^* = 1$ 时,即 $s^- = 0, s^g = 0, s^b = 0$ 时,是有效率的;若 $\rho^* < 1$,则说明此单元效率为零,有必要对投入产出进行改进。上述模型属于非线性规划,可通过 Charnes 等^[27]提出的方法转化为线性规划问题(其中 Λ 是权重向量):

$$\tau^* = \min \left(t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}} \right),$$

s. t.

$$\begin{cases} 1 = t + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right) \\ x_0 t = \mathbf{X}\Lambda + s^- \\ y_0^g t = \mathbf{Y}^g\Lambda - s^g \\ y_0^b t = \mathbf{Y}^b\Lambda + s^b \\ s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \Lambda \geq 0 \\ t > 0 \end{cases}.$$

(二)指标选取及数据处理

本文选取 1999—2015 年中国工业 27 个行业的年度数据计算工业的绿色经济效率,具体的指标选取及数据来源如下:

a) 资本投入。资本投入使用资本存量来衡量,可通过永续存盘法来计算,具体方法为:

$$K_t = K_{t-1}(1 - \delta_t) + I_t,$$

其中: K_t 为第 t 年的固定资本存量, δ_t 为第 t 年的折旧率, I_t 为第 t 年的新增投资额。折旧率 δ_t 用第 t 年的累计折旧与 $(t-1)$ 年的累计折旧之差比上第 t 年的固定资产原价,其中第 t 年的累积折旧用当年的固定资产原值减去当年固定资产净值得出。最后根据 PPI(生产者价格指数)对计算出的固定资本存量进行平减,将数据转化为以 1999 年为基期的固定资本存量。

b) 劳动投入。采用第 t 年各行业规模以上工业企业的年平均就业人数。

c) 能源投入。采用各行业能源消耗总量来衡量能源投入。

d) 期望产出与非期望产出。采用各行业的工业总产值衡量期望产出,并以 1999 年为基期进行平减。关于非期望产出,在 DEA 模型中,计算结果对投入产出的指标数量较为敏感,过多的指标会降低计算效率。因此,本文用熵值法将工业三废这三类污染指标拟合成一个综合污染指数,将此作为测度各行业的绿色经济效率的非期望产出。假设存在 m 个行业, n 项污染物,则可形成数据矩阵 $\mathbf{X} = (x_{ij})_{m \times n}$ 。然后用熵值法将其进行拟合,具体步骤如下:

a) 将指标统一度量, 计算 i 省第 j 个指标占该指标总和的比重: $P_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$;

b) 计算指标 j 的熵值 $e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}$;

c) 计算各项指标的不同系数 $g_j = 1 - e_j$;

d) 计算权重 $a_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j$;

e) 计算 i 省的综合污染指数 $v_i = a_j \sum_{j=1}^n P_{ij}$, 即为综合污染指数。

本文数据均来源于历年的《中国工业统计年鉴》《中国统计年鉴》《环境统计公报》和《中国环境统计年鉴》。

(三) 绿色经济效率的测度结果分析

本文使用 DEA Solver Pro5.0 软件对数据进行处理, 借鉴 Tone^[26] 提出的超效率 SBM (Super-SBM) 模型, 并根据工业行业的生产特点, 在规模报酬可变的条件下使用当期 DEA 测度方法计算绿色

经济效率。

表 1 显示了 1999—2015 年中国工业分行业的绿色经济效率。由表 1 可知, 中国工业大部分行业的绿色经济效率值较低, 粗放式发展特别明显。其中绿色经济效率最低的是非金属冶炼业, 平均值只有 0.40, 这主要是因为玻璃、陶瓷等非金属冶炼产品的生产过程需要消耗大量能源, 其行业生产工艺一直以来就具有高能耗、高污染的特点。烟草制品业、文体教育行业和通讯设备制造业的绿色经济效率一直处于较高水平, 这主要是因为烟草制品业和文体教育业属于低能耗行业, 其生产过程中的废弃物排放相对较少, 而通讯设备制造业属于技术密集型行业, 其产品生产的技术工艺较为先进, 且近年来该行业的商品销售中技术服务占据了较大比重, 而技术服务则多属于低污染甚至无污染的, 因此该行业的绿色经济效率能够长期维持较高水平, 这也应是中国工业转型升级的方向所在。

表 1 中国工业绿色经济效率的测度结果

行业		年份								
		1999	2001	2003	2005	2007	2009	2011	2013	2015
轻工业	食品加工	0.70	0.67	0.58	0.54	0.51	0.48	0.49	0.48	0.43
	食品制造	0.50	0.54	0.47	0.50	0.53	0.53	0.49	0.44	0.43
	饮料制造	0.44	0.41	0.35	0.39	0.45	0.49	0.52	0.50	0.48
	烟草制品	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	纺织业	0.78	0.55	0.39	0.40	0.41	0.44	0.37	0.39	0.37
	纺织服装	1.00	0.96	0.80	0.79	0.77	0.82	0.75	0.68	0.59
	皮革制品	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.90	0.83	0.76
	木材加工	0.52	0.51	0.50	0.61	0.68	0.73	0.71	0.66	0.61
	家具制造	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.73
	造纸制品	0.38	0.33	0.31	0.35	0.42	0.45	0.52	0.48	0.49
	印刷业	0.46	0.37	0.37	0.40	0.43	0.46	0.52	0.53	0.54
	文教体育	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
重工业	石油加工	1.00	1.00	0.85	0.83	0.76	0.71	0.65	0.58	0.59
	化学原料	0.84	0.63	0.44	0.45	0.54	0.62	0.68	0.71	0.72
	医药制造	0.55	0.55	0.43	0.42	0.48	0.54	0.59	0.61	0.61
	化学纤维	0.50	0.42	0.49	0.50	0.57	0.53	0.52	0.51	0.58
	橡胶制品	0.53	0.49	0.42	0.38	0.41	0.44	0.41	0.41	0.43
	非金属	0.58	0.41	0.29	0.26	0.33	0.41	0.49	0.50	0.48
	黑色金属	0.70	0.56	0.48	0.62	0.76	0.84	0.83	0.81	0.75
	有色金属	0.45	0.41	0.41	0.48	0.55	0.63	0.63	0.67	0.71
	金属制品	0.68	0.66	0.64	0.59	0.62	0.56	0.51	0.50	0.48
	通用设备	0.48	0.51	0.49	0.54	0.58	0.56	0.58	0.50	0.51
	专用设备	0.51	0.52	0.45	0.48	0.52	0.54	0.56	0.54	0.51
	交通运输	0.80	0.67	0.61	0.58	0.75	0.87	0.93	0.88	0.84
	电气机械	0.73	0.80	0.73	0.74	0.75	0.74	0.62	0.61	0.60
	通信设备	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	仪器仪表	0.78	0.82	0.82	0.98	1.00	0.97	0.97	0.99	0.97

注: 因篇幅所限, 部分年份测度结果未报告。

各行业的绿色经济效率变动大体上可以分为三类。第一类是绿色经济效率值一直呈下降趋势的行业,如纺织服装行业、食品加工业和金属制品业,前两者均属劳动密集型行业,技术提升空间不大,而金属制品业绿色经济效率下降,一方面是因其对矿产资源消耗较大,另一方面也说明该行业生产工艺和技术的变动背离了绿色发展方向。第二类是绿色经济效率一直呈上升趋势的行业,如有色金属行业。第三类行业的绿色经济效率呈先下降、再上升、最后又下降的趋势,如黑色金属业、饮料制造业、交通运输业等行业,出现这一变动的可能原因是与中国的经济周期和政策变动有关。

图1是1999—2015年中国工业总体、重工业和轻工业平均绿色经济效率变动情况。从图1来看,中国重工业和轻工业绿色经济效率变化均呈倒N型,周期性特征明显。重工业和轻工业都在2003年之前均呈快速下降态势,这与许可瑞琳^[21]测度出的结果一致,之后则开始上升,在2010年绿色经济效率达到高峰,随后再次出现快速下降状态,袁建明^[30]的研究也得出类似的结论。出现这一变动趋势的可能原因是,2003年之前中国各地政府以GDP增长为主要政策目标,环境保护政策相对宽松,且中央对地方政府的考核也以经济增长为主,因此中国工业发展总体上以粗放型为主,依赖高投入实现高增长,导致绿色经济效率持续下降。2003年中国颁布一系列新的环保政策,加强了对企业废弃物排放的监管力度,且随后的“十一五”规划还正式提出了节能减排政策,在政策倒逼下,工业绿色经济效率逐步提升。随着2008年全球金融危机的爆发,“稳增长”再次成了各地经济发展的重要目标,而为了推动经济增长,多地环境保护力度也随之出现下降。另外,金融危机期间,“稳增长”政策进一步助推了粗放型发展模式,大量资金投入均为了追求产出增加,忽视了产出的绿色经济效率增长。

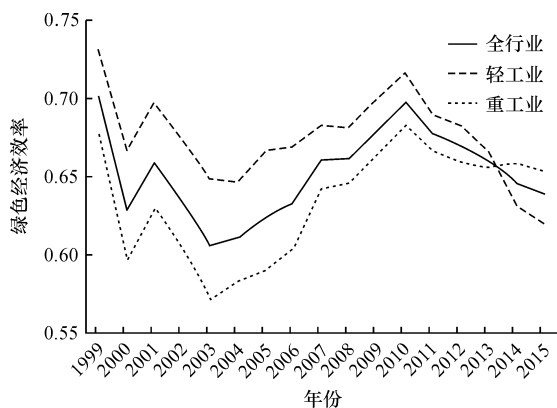


图1 1999—2015年中国工业绿色经济效率变动情况

1999—2012年,重工业的绿色经济效率明显低于轻工业,但在2013年之后,重工业的绿色经济效率开始高于轻工业。这是由于2013年以来,政府部门对重工业的环境监管趋紧,另外随着重工业原有老旧生产设备的逐步淘汰,高新技术设备投入的作用逐渐呈现,且新设备带来生产技术和工艺的革新,同时降低了企业对劳动力和能源的投入,因此在工业总体绿色经济效率不断下降的情况下,重工业绿色经济效率的下降速度明显低于轻工业。

三、绿色经济效率的影响因素分析

(一)模型构建与数据来源

上文分析了中国工业绿色经济效率的变动情况,本部分进一步对工业绿色经济效率变动的影响因素进行研究。借鉴王兵等^[28]和袁鹏等^[29]的研究,本文构建的实证模型如下:

$$\ln Green_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln eco_{it} + \alpha_2 (\ln eco_{it})^2 + \alpha_3 ener_{it} + \alpha_4 heter_{it} + \alpha_5 scal_{it} + \epsilon$$

其中: $Green$ 为工业分行业的绿色经济效率, α_0 为常数项, ϵ 为残差项。变量的具体含义为:

a) 经济发展水平(eco):用各行业的工业总产值的对数来表示。为了检验绿色经济效率和经济发展水平之间是否存在倒U型的关系,本文还将工业总产值的平方纳入到回归方程。

b) 能源消耗结构($ener$):用电力消耗占全部能源消耗的比重来衡量。根据能源使用对环境造成的影响,可以将能源分为清洁能源和非清洁能源,因此能源使用种类的不同,往往对绿色经济效率有着较大影响。

c) 行业结构($heter$):用国有企业占总企业数量的比重来衡量。通常,国有企业相比民营企业拥有资源优势 and 更大的市场份额^[18],因此在设备的更新换代上更有优势,绿色经济效率会随之上升。

d) 行业平均规模($scal$):用行业的工业总产值与相应的企业数量的比重来衡量。随着行业规模扩大,生产效率会因规模效应而得到提高,但如果制度和管理不合理,规模大扩张也可能带来规模不经济,进而导致效率下降。

(二)实证结果分析

表2报告了中国工业绿色经济效率的影响因素的实证分析结果。从表2可见,经济发展水平对轻工业绿色经济效率的回归系数显著为正,而经济发展水平的平方项则对绿色经济效率有着明显的负效应。这说明经济发展水平与绿色经济效率之间存在

倒 U 型关系,即绿色经济效率随经济发展水平提升呈现出先上升后下降的状态。出现这一结果的可能原因是,在经济发展水平较低的时期,经济发展能够提升轻工业生产技术水平,绿色经济效率也因此不断提升。由于轻工业的行业性质所限,其绿色技术水平持续提升的空间有限,因此在经济发展到较高水平后,绿色经济效率提升较为困难。比如,在饮料制造业中,一些大型厂商几乎垄断整个行业三分之

二以上的市场份额,并且较早拥有较为完备的生产线,所以其绿色经济效率波动较小,对整体工业绿色经济效率变化的影响较小。另外,部分轻工业如服装、纺织等行业的生产并不需要大型机械设备,且家庭作坊式生产也较为普遍,该类作坊式生产的环境监管成本会随着经济增长而不断提高,因此持续减排困难重重,进而导致绿色经济效率下降^[29]。

表2 中国工业绿色经济效率的影响因素

变量	类型								
	全行业				轻工业			重工业	
<i>l.Green</i>	0.326*** (0.017)	0.369** (0.047)	0.285*** (0.072)	0.470*** (0.066)	0.325*** (0.098)	0.351*** (0.105)	0.266*** (0.014)	0.158*** (0.036)	0.131*** (0.044)
<i>eco</i>	0.228*** (0.051)	0.373** (0.159)	0.649*** (0.184)	0.564*** (0.067)	0.859*** (0.271)	1.744*** (0.385)	-0.263** (0.125)	-0.795*** (0.186)	-0.733** (0.335)
<i>eco2</i>	-0.009*** (0.002)	-0.024** (0.008)	-0.034*** (0.010)	-0.034*** (0.004)	-0.054*** (0.017)	-0.104*** (0.022)	0.016** (0.006)	0.039*** (0.010)	0.039** (0.018)
<i>heter</i>	-0.010*** (0.002)	-0.032** (0.016)	-0.029* (0.017)	-0.013 (0.008)	-0.018 (0.023)	-0.022 (0.023)	-0.047*** (0.017)	-0.067*** (0.008)	-0.055*** (0.019)
<i>ener</i>	—	0.374*** (0.065)	0.542*** (0.125)	—	0.361*** (0.062)	0.338*** (0.112)	—	0.537*** (0.082)	0.686*** (0.143)
<i>scal</i>	—	—	-0.119*** (0.040)	—	—	-0.076*** (0.012)	—	—	-0.118*** (0.038)
<i>Obs.</i>	405	405	405	180	180	180	225	225	225
<i>AR(2)</i>	0.067	0.063	0.615	0.079	0.247	0.431	0.18	0.213	0.532
<i>Hansen</i>	0.762	0.060	0.061	0.999	0.607	0.556	0.346	0.415	0.284

注: *、**和***分别表示在10%、5%和1%水平上显著,括号内为标准差;AR(2)和 Hansen 为 p 值。下同。

重工业的绿色经济效率与经济发展水平之间呈 U 型关系,即绿色经济效率随经济发展水平的上升,呈现出先下降后上升的趋势。在经济发展水平较低的时期,政府往往采用增加投资等高投入的方法来刺激经济发展,特别是对重工业的投入。此时,为了推动经济增长,政府和民众的环境保护和资源节约的意识普遍不强,粗放型发展特征十分明显,因此经济发展水平提升会导致重工业绿色经济效率下降。在经济发展到一定程度之后,政府和民众对健康和绿色产品的需求不断提升,环境和资源的保护意识与政策也逐渐增强,进而倒逼企业向更加集约、更加绿色的方向转型升级,因此绿色经济效率获得提升。另外在经济发展水平较高的情况下,居民对于绿色产品的需求也在不断提升,企业也有着充足的资金对生产设备和技术进行更新换代,因此绿色

经济效率会不断上升。

行业结构对绿色经济效率的影响存在行业差异,轻工业的行业结构对绿色经济效率的影响不显著,重工业的行业结构则有着显著的负向影响。这可能是因为轻工业的行业结构以非国有企业为主,国有企业占比相对较低,因此行业结构变动对轻工业绿色经济效率影响不显著。重工业,中国有企业则占据了较大比重,相比民营企业,国有企业的创新活跃度和创新效率相对较低,因此其绿色技术进步的概率较低^[20]。另外,重工业,特别是其中的国有企业,仍承担着重要的社会责任和维持经济稳增长的任务,特别是在经济紧缩期,保持就业稳定与扩大投资水平等任务均会导致其绿色经济效率下降。

行业规模对于绿色经济效率具有显著的负效应,即工业绿色经济效率存在着规模不经济。首先,

过大的企业规模会带来复杂的组织层级结构,出现管理效率低下、生产浪费等现象,进而导致绿色经济效率下降。其次,较大规模企业获得银行贷款的难度与成本一般比较小企业要低,且获得政府支持的可能性也更大,而较低的扩张成本容易导致大企业倾向于粗放型发展,进而不利于绿色经济效率的提升。另外,地方政府为了促进经济增长,还有可能放松对大企业的环境监管,行业规模扩张进而降低了绿色经济效率。

能源结构的回归系数均显著为正数,这说明电

力能源所占比重越大,行业的绿色经济效率越高。这是因为相较使用煤炭等传统能源的企业,使用电力等清洁能源的企业污染物排放量更小,因而其绿色经济效率更高。

(三)稳健性检验

为了确保回归结果的稳健性,本文进一步使用工具面板分析方法对上述数据进行了实证分析,即基于 2SLS 方法的面板数据工具变量法。同时,使用差分 GMM 方法进行了稳健性检验,并报告了检验结果(表 3)。

表3 中国工业绿色经济效率的影响因素稳健性检验

变量	工具面板			差分 GMM		
	全行业	轻工业	重工业	全行业	轻工业	重工业
<i>l. green</i>	0.796*** (0.026)	0.762*** (0.035)	0.693*** (0.061)	0.389*** (0.071)	0.404*** (0.061)	0.891 (0.839)
<i>eco</i>	0.253*** (0.054)	0.215*** (0.053)	-1.391*** (0.436)	0.287** (0.152)	0.444** (0.156)	-6.563** (0.152)
<i>eco2</i>	-0.011 (0.002)	-0.010*** (0.002)	0.072*** (0.022)	-0.016** (0.008)	-0.026*** (0.008)	0.340** (0.152)
<i>heter</i>	0.011** (0.005)	0.010** (0.005)	-0.072** (0.030)	-0.003 (0.010)	-0.003 (0.011)	-0.075 (0.116)
<i>ener</i>	-0.086** (0.037)	-0.076* (0.044)	0.269** (0.115)	0.137*** (0.052)	0.148** (0.063)	0.334* (0.483)
<i>scla</i>	-0.001 (0.005)	-0.001 (0.005)	-0.023 (0.022)	-0.012 (0.023)	-0.025 (0.020)	-0.062 (0.052)
<i>Obs.</i>	432	288	144	432	288	144
<i>AR(2)</i>	—	—	—	0.092	0.071	0.217
<i>Hansen</i>	—	—	—	0.052	0.217	0.999

四、结论与政策建议

本文采用 Tone^[26]提出的处理非期望产出的 DEA-SBM 模型测度了 1999—2005 年中国 27 个工业分行业的绿色经济效率水平,并借助系统 GMM 方法实证分析了影响绿色经济效率变化的因素,得出的主要结论有:

a)中国工业绿色经济效率变动总体呈倒 N 型,粗放性和周期性特征明显。中国工业大部分行业的绿色经济效率较低,行业粗放式发展特征明显。从时间上看,有三个明显的周期性特征,一是 1999—2003 年的下行期,二是 2004—2010 年的上行期,三

是 2011—2015 年的下行期。分轻重工业看,重工业的绿色经济效率在大部分年份均低于轻工业,但随着轻工业绿色经济效率的快速下滑,2013 年之后重工业的绿色经济效率已明显高于轻工业。

b)经济发展水平与轻工业绿色经济效率之间呈倒 U 型关系,与重工业绿色经济效率呈正 U 型关系。在经济发展水平较低时,经济发展能够促进轻工业绿色技术进步,但由于轻工业行业性质所限,其技术水平持续提升的空间有限,而部分轻工业存在的家庭作坊式的分散生产特征,又使得监管成本随经济发展水平提升而不断增长,因此绿色经济效率会出现下降。对于重工业而言,在经济发展初

期,其粗放型发展特征较为明显,因此绿色经济效率会出现持续下降状态,但在经济发展到一定程度之后,人们对绿色产品需求的提升以及环保政策加强均会倒逼产业转型升级,进而促进绿色经济效率提升。

c)行业结构对绿色经济效率的影响存在行业异质性。轻工业的行业结构对绿色经济效率的影响不显著,重工业的行业结构则有着负向影响。行业规模对工业绿色经济效率有着不利影响,能源结构则对绿色经济效率有着促进作用。

当前中国工业绿色经济效率水平仍较为低下,因此未来工业发展应切实注重绿色生产工艺与技术的提升,减少工业发展对环境的负面影响,进而为中国经济转型发展以及增长质量提高提供新型动力支撑。此外,增加国有企业经营独立性、改善能源结构以及合理控制行业规模均是提升工业绿色经济效率的重要方向。

参考文献:

- [1] Hu J L, Wang S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. Energy Policy, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [2] 魏楚, 沈满洪. 能源效率及其影响因素: 基于 DEA 的实证分析[J]. 管理世界, 2007(8): 66-76.
- [3] 林伯强, 杜克锐. 要素市场扭曲对能源效率的影响[J]. 经济研究, 2013, 48(9): 125-136.
- [4] Hailu A, Veeman T S. Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: An application to the Canadian pulp and paper industry[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2001, 83(3): 605-616.
- [5] Scheel H. Undesirable outputs in efficiency valuations [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 132(2): 400-410.
- [6] 魏楚, 杜立民, 沈满洪. 中国能否实现节能减排目标: 基于 DEA 方法的评价与模拟[J]. 世界经济, 2010, 3(1): 21.
- [7] Seiford L M, Zhu J. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 142(1): 16-20.
- [8] 陈诗一. 能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J]. 经济研究, 2009, 44(4): 41-55.
- [9] 林伯强, 刘泓汛. 对外贸易是否有利于提高能源环境效率: 以中国工业行业为例[J]. 经济研究, 2015, 50(9): 127-141.
- [10] 钱丽, 肖仁桥, 陈忠卫. 我国工业企业绿色技术创新效率及其区域差异研究: 基于共同前沿理论和 DEA 模型[J]. 经济理论与经济管理, 2015(1): 26-43.
- [11] 王兵, 侯冰清. 中国区域绿色发展绩效实证研究: 1998-2013: 基于全局非径向方向性距离函数[J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2017, 17(6): 24-40.
- [12] 胡晓珍, 杨龙. 中国区域绿色全要素生产率增长差异及收敛分析[J]. 财经研究, 2011, 37(4): 123-134.
- [13] 李艳军. 贸易开放与我国经济增长的绿色效率: 1986-2010[D]. 济南: 山东大学, 2013: 17.
- [14] 叶仁道, 张勇, 罗堃. 中国绿色经济效率的测算及影响因素: 基于偏正态面板数据模型[J]. 技术经济, 2017, 36(11): 79-85.
- [15] 李艳军, 华民. 中国城市经济的绿色效率及其影响因素研究[J]. 城市与环境研究, 2014, 1(2): 36-52.
- [16] 吴齐, 杨桂元. 我国区域绿色经济效率的评价与分析[J]. 统计与决策, 2017(17): 67-71.
- [17] 钱争鸣, 刘晓晨. 中国绿色经济效率的区域差异与影响因素分析[J]. 中国人口资源与环境, 2013, 23(7): 104-109.
- [18] 李晓阳, 赵宏磊, 林恬竹. 中国工业的绿色创新效率[J]. 首都经济贸易大学学报, 2018, 20(3): 41-49.
- [19] 冉启英, 陈荣翼. 所有制结构对全要素能源效率的影响研究[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2015, 36(5): 112-117.
- [20] 岳鸿飞, 杨晓华, 张志丹. 绿色产业在落实 2030 年可持续发展议程中的作用分析[J]. 城市与环境研究, 2018(1): 78-87.
- [21] 许可瑞琳. 中国工业行业全要素绿色能源效率的测算及影响因素研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2016: 37.
- [22] 魏楚, 沈满洪. 结构调整能否改善能源效率: 基于中国省级数据的研究[J]. 世界经济, 2008(11): 77-85.
- [23] 张兵兵. 碳排放约束下中国全要素能源效率及其影响因素研究[J]. 当代财经, 2014(6): 13-22.
- [24] 任阳军, 汪传旭. 中国城镇化对区域绿色经济效率影响的实证研究[J]. 技术经济, 2017, 36(12): 72-78.
- [25] 王亚平, 任建兰, 程钰. 科技创新对绿色发展的影响机制与区域创新体系构建[J]. 山东师范大学学报(人文社会科学版), 2017, 62(4): 68-76.
- [26] Tone K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-Based Measure (SBM) Approach[R]. GRIPS research report series, 2003.
- [27] Charnes A, Cooper W W. Programming with linear fractional functionals [J]. Naval Research Logistics Quarterly, 1962, 9(3/4): 181-186.
- [28] 王兵, 吴延瑞, 颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. 经济研究, 2010(5): 95-109.
- [29] 袁鹏, 程施. 中国工业环境效率的库兹涅茨曲线检验[J]. 中国工业经济, 2011(2): 79-88.
- [30] 袁建明, 朱丽丽. 工业行业绿色发展效率测度[C]//第十届(2015)中国管理学年会论文集, 2015: 796-799.

Research on measurement of industrial green economic efficiency and its influencing factors in China

LÜ Pin¹, LU Dongzi¹, XIAO Mingyue², YANG Jun¹

(1. School of Economics and Management, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Department of Scientific Research, Zhejiang Financial College, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In this paper, the DEA model was used to measure the green economic efficiency of China's industry from 1999 to 2015, and then the GMM method was applied to empirically analyze the influencing factors of changes in industrial green economic efficiency. The main conclusions are as follows: the changes of industrial green economic efficiency in China present generally "inverse-N type", and extensive and periodic characteristics are obvious; green economic efficiency of light industry has always been higher than that of heavy industry, and it rapidly fell below heavy industry in the past two years; economic development level shows "inverse-U" relationship with green economic efficiency of light industry, and shows "U-type" relationship with heavy industry; the influence of industrial structure is heterogeneous among light and heavy industries; the scale of industry has a negative impact, and the proportion of energy power has a positive effect.

Key words: green economic efficiency; industry; transformational development; influencing factors

(责任编辑: 陈丽琼)