

中国制造业全要素能源效率分析 ——基于地区和细分行业双重视角

陈亚¹, 张志强¹, 周志翔¹, 梁樑²

(1.合肥工业大学 经济学院, 安徽 合肥 230601; 2.合肥工业大学 管理学院, 安徽 合肥 230009)

摘要: 中国制造业的能源效率分析一直是近20年来研究的热点问题。考虑地区和细分行业的双重视角,运用数据包络分析(DEA)方法测度了2001—2011年中国9个省份19个制造业细分行业的全要素能源效率(TFEE)。选择包含非期望产出的松弛变量测度模型来计算能源效率,并讨论轻重工业之间的能源效率差异。研究发现:(1)制造业各行业的全要素能源效率均较低,且不同行业间差距较大。轻工业的全要素能源效率略高于重工业,但分区域来看,东部地区重工业总体的全要素能源效率明显高于轻工业,而中部和西部地区轻工业的全要素能源效率高于重工业。(2)各地区整体制造业能源效率偏低,东部地区全要素能源效率最高,中部和西部次之,但西部地区依然有能源效率较高的优势行业。(3)同一行业在不同地区的能源效率有较大差异,能源效率整体较高的行业在各地区发展不均衡,能源效率偏低的行业在各地区的能源效率都偏低。而同一地区内不同行业间的能源效率也存在较大差异,能源效率高的地区也存在效率较低的行业,能源效率偏低的地区并非所有行业的能源效率都低。

关键词: 数据包络分析(DEA); 全要素能源效率(TFEE); 中国制造业; 细分行业

中图分类号: F426; X24

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2019)02-0048-11

制造业是国民经济的主体,是立国之本、兴国之器、强国之基。改革开放40年来,中国制造业持续快速发展,但与世界先进水平相比依然大而不强,而资源利用效率低下是现阶段的突出问题之一。根据《BP世界能源统计年鉴2017年》报告,截至2016年,中国依然是世界上能源消费最多的国家,占全球能源消费量的23%,其中又以工业的能源消费最多,占比2/3^①。随着中国经济发展进入新常态,制造业发展面临新的挑战,资源和环境约束不断强化。面对资源稀缺的宏观环境,在资源利用过程中,如何合理度量和提高能源效率,是影响中国制造强国建设目标的重要因素。

基于9个省级19个制造业细分行业2001—2011年间的数,本文进一步分析了中国的区域能源效率和行业能源效率,这与现有文献仅从行业或区域角度的能源效率研究有较大不同,本文突破现有文献的研究视角,旨在从地区和细分行业的双重视角重新审视中国制造业的能源效率表现,以期为中国制造业未来发展献策献计。

一、文献综述

能源效率的度量方式通常有两种:一种是仅考虑单个产出和能源投入的关系,即能源强度,尽管该指标计算简单,但无法度量多投入、多产出情形下的能源效率。另一种是考虑多个产出与所有要素投入之间的关系,即全要素能源效率(Total Factor Energy Efficiency,TFEE),由于该指标考虑要素之间的替代作用^[1],能更加全面地测算能源效率,因而被广泛认可并使用。现有文献中关于全要素能源效率的测量大多采用数据包络分析(Data Envelopment Analysis,DEA)方法^{[2][3][4][16][56]}。本文的分析建立在全要素能源效率分析框架之下,并使用DEA方法来测度效率。

全要素能源效率最早由Hu和Wang^{[2][3][207]}提出,是指在单要素框架中加入资本、劳动、能源消耗等生产要

收稿日期:2018-07-09

基金项目:国家自然科学基金青年项目资助(71601064,71701059);国家自然科学基金面上项目资助(71471053,71871081);海外及港澳学者合作研究基金资助(71828101);安徽省自然科学基金青年项目资助(1708085QG161);中央高校基本科研业务费专项资金资助(JZ2017HG10184)

作者简介:陈亚(1988—),男,博士,副研究员,E-mail:yuchen@hfut.edu.cn

①根据《中国统计年鉴2017》计算,2015年我国工业消费能源占比约为68%。

素来更加合理地评估能源效率,代表文献有 Hu 和 Kao^[6]、Honma 和 Hu^[7-8]、Chang 和 Hu^[9]、Wang 等^[10]³²²、Zhou 等^[11]²⁴¹⁻²⁵⁶、王霄和屈小娥^[12]²⁰等。但是,这种全要素能源效率仅将能源消耗考虑其中,而企业在实际生产过程中不可避免地会带来环境污染,如废气、废水等。污染物作为经济发展的副产品(非期望产出),忽略对其的考虑会对能源效率的度量产生偏误。因此,有学者将非期望产出纳入分析,构建了全新的全要素能源效率框架,代表文献包括 Wu 等^[13]¹⁶⁵、Zhang 等^[14]、Wu 等^[15]²⁸²、Bi 等^[16]、Feng 和 Wang^[17]¹⁵³¹等。

对于中国全要素能源效率的分析,现有文献多从区域角度出发研究能源效率的差异变化。一些文献使用省份数据研究了各省份的能源效率。Hu 和 Wang^[23]²⁰⁶首次使用全要素能源效率框架研究了中国各个省份的能源效率,研究发现,中国区域间能源效率差异明显,表现为中部最差、西部次之、东部最好。魏楚和沈满洪^[18]研究了中国 29 个行政区在 1995—2004 年间的能源效率,发现省份的能源效率变化先上升后下降,且地区间差异明显,东北地区能源效率最高,其次是东部、中部、西部的排名。作为对全要素能源效率框架的拓展,Wang 等^[10]³²⁶⁻³²⁹将废水、废气和废渣等非期望产出加入指标体系,从静态和动态的角度对中国 30 个行政省的能源效率进行了分析,并讨论了能源效率动态演变的影响因素。Meng 等^[59-16]将 CO₂ 作为非期望产出,利用 4 种不同的模型评估了中国 30 个省份的地区能源效率,发现能源效率东部最高、中部最低。另外一些文献使用省份工业行业数据研究了各省份的整体工业行业能源效率。Wang 等^[41]¹⁵研究了中国 30 个省份的工业行业的能源效率表现,而 Wu 等^[13]¹⁶⁷⁻¹⁷¹重新测度了中国 28 个行政地区的工业静态能源效率和动态变化。Zhou 等^[11]²⁴¹⁻²⁵⁶讨论了存在拥堵生产技术情形下中国 30 个省份 2010—2012 年的工业行业能源效率变化。Wu 等^[19]将工业生产过程细分为两个阶段,利用两阶段 DEA 模型评估了中国 30 个省份 2006—2010 年的工业行业能源效率。

部分文献从行业的角度出发研究了全要素能源效率,但多基于国家层面的数据开展分析。Wang 等^[20]将整个中国经济体分成五大行业,从这五大行业视角分析了各行业之间的差异。另一些文献针对工业细分行业开展分析,Li 和 Shi^[21]⁹⁸利用超效率 SBM 模型测度了中国工业 36 个细分行业的能源效率并分析了相关影响因素,发现工业行业整体能源效率提升不高,轻工业比重工业有更高的效率。Li 和 Lin^[22]⁸⁷⁻⁹⁰将工业行业区分成轻重行业,评估比较这两类行业的能源效率表现。林伯强和刘泓汛^[23]¹³¹考虑 CO₂ 这一非期望产出,测度了 23 个工业行业 2003—2012 年的能源效率,并讨论了对外贸易对各行业能源效率的影响机制。Kang 等^[24]⁵⁰¹则研究了 28 个制造业行业的能源环境表现和投资策略选择之间的关系,发现整体制造业效率样本期间是上升的,轻工业效率比重工业高,且轻工业比重工业的投资更有效。

由以上文献可以看出,关于中国能源效率的研究多从地区角度出发,部分研究从行业角度出发。地区角度的分析,多以中国的行政省份为研究对象,分析各个省份的能源效率或工业行业能源效率的省际差异、区域差异及动态变化。行业角度的研究,主要分析国家层面各行业间的能源效率差异及时间趋势。然而,现有文献缺乏从更微观视角(数据层面)来探讨中国能源效率的差异。此外,地区角度的能源效率分析可能忽略各细分行业之间的效率差异,行业角度的分析同样观察不到地区间能源效率的不同。考虑地区和细分行业视角的研究仅有 Zhao 等^[25]⁵³。虽然他们使用了中国 10 个省份的 25 个工业行业数据,但其分析依然还是从地区和行业的单一视角去考虑,且并未考虑非期望产出,研究重点也并不在省级细分行业能源效率分析。因此,本文在现有研究的基础上进一步从地区和行业的双重新视角考察了中国制造业的能效效率。具体而言,本文采用带有非期望产出的松弛变量测度(Slacks-Based Measure,SBM)数据包络模型来测算能源效率,将地区角度分析和行业角度分析结合起来,突出从地区的视角分析细分行业之间的差异,以及从行业的视角分析不同地区间的不同。研究发现,虽然轻工业的全要素能源效率高于重工业,但不同区域的表现不一样,东部地区重工业全要素能源效率高于轻工业,中西部地区则相反;同一行业在不同区域的全要素能源效率表现也不同;能源效率较高的地区依然存在全要素能源效率较低的行业,整体能源效率表现较差的地区依然会有全要素能源效率表现优异的行业。

二、方法及数据

(一)实证方法

考虑一个简单的生产过程,假设要评估 K 个决策单元(DMU)的相对效率,每个 DMU 投入生产要素 X 进行生产,产生产出 Y ,则定义生产可能集为

$$P=\{(x,y)|x \geq X\lambda, y \leq Y\lambda, \lambda \geq 0\} \tag{1}$$

每个 DMU 的相对效率用 DEA 方法表示为

$$\begin{aligned} \min \theta \\ \text{subject to } \theta x_o - X\lambda \geq 0 \\ Y\lambda \geq y_o \\ \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{2}$$

这种传统的评价方法属于径向 DEA 模型^[26-27], 径向 DEA 方法是基于同比例增加(或减少)产出(或投入)测度的, 与其相比, 松弛变量测度(SBM)模型可以直接度量出投入过剩的部分和产出不足的部分, 这部分称为松弛变量。SBM 方法将 DMU 投影到前沿面上的最远的点, 通过最大化松弛变量来获得最小的目标函数。径向 DEA 测度和 SBM 测度的区别如图 1 所示^{[28]200}。假设有两种投入 X (非能源投入)和 E (能源投入), 共同产生一种产出 Y 。所有在前沿面上的点都是技术有效的, 如点 B 和点 C ; 前沿面以内的点都是无效的, 因为它们投入更多的要素去生产同样的产出量, 如点 A 。径向方法只能将 A 点投影到 A' 点的有效位置, A 点效率值度量为“ OA'/OA ”。但是径向方法最主要的问题是它不可以计算某一特定的生产要素的单一效率, 即所有投入的效率都由“ OA'/OA ”度量。比如: 径向 DEA 度量的能源效率值为“ OF/OG ”, 实际等于“ OA'/OA ”。另一方面, SBM 作为一种非径向的方法则可以度量出投入过剩和产出不足的部分。

如图 1 所示, 假设前沿面上离 A 点最远的点是 B 点, 则 DG 就是能源投入的松弛变量, 度量了潜在的可节约的能源部分。因此, SBM 方法下 C 点的能源效率表示为“ OD/OG ”, 这个值比径向方法的能源效率“ OF/OG ”值更小。

通过图解非径向 DEA 方法的优势, 本文使用 SBM 方法进行全要素能源效率测度。具体的数学模型表达如下: 考虑资本(k)、劳动(l)和能源(e)为投入变量; 以行业总产值(y)为期望产出; 以经济活动的副产品——二氧化碳排放量(c)为非期望产出。参考 Meng 等^{[15]8}和 Choi 等^{[28]200}, 定义的生产可能集为^①

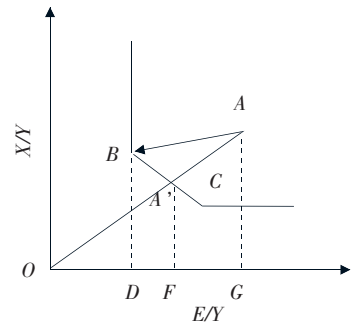


图 1 非径向 DEA 模型

$$P=\left\{ \begin{aligned} &(k, l, e, y, c) | K\lambda \leq k, L\lambda \leq l, \\ &E\lambda \leq e, \theta Y\lambda \geq y, \theta C\lambda = c, \lambda \geq 0 \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

则含有非期望产出的 SBM 模型表示为

$$\begin{aligned} \rho^* = \min & \frac{1 - \frac{1}{3} \left(\frac{S_o^k}{k_o} + \frac{S_o^l}{l_o} + \frac{S_o^e}{e_o} \right)}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{S_o^y}{y_o} + \frac{S_o^c}{c_o} \right)} \\ \text{subject to } & k_o = K\lambda + S_o^k \\ & l_o = L\lambda + S_o^l \\ & e_o = E\lambda + S_o^e \\ & y_o = \theta Y\lambda - S_o^y \\ & c_o = \theta C\lambda + S_o^c \\ & S_o^k, S_o^l, S_o^e, S_o^y, S_o^c \geq 0 \quad \lambda \geq 0 \end{aligned} \tag{4}$$

在规模报酬不变(CRS)假设下, Färe 和 Grosskopf^[29]指出, 以上 SBM 模型中的 θ 是不必要的, 其值可等于 1, 因此该模型可转化为如下省略形式

①关于模型中非期望产出的处理, 采用了弱可处置性^{[4]116-118[13]16[9]28[200]30}, 并且, Meng 等^{[15]8}在进行相关文献综述时指出, 现有对非期望产出处理的文献中, 70%都是采用弱可处置性处理。

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{3} \left(\frac{S_o^k}{k_o} + \frac{S_o^l}{l_o} + \frac{S_o^e}{e_o} \right)}{1 + \frac{1}{2} \left(\frac{S_o^y}{y_o} + \frac{S_o^c}{c_o} \right)}$$

subject to

$$\begin{aligned} k_o &= K\lambda + S_o^k \\ l_o &= L\lambda + S_o^l \\ e_o &= E\lambda + S_o^e \\ y_o &= Y\lambda - S_o^y \\ c_o &= C\lambda + S_o^c \end{aligned}$$

$$S_o^k, S_o^l, S_o^e, S_o^y, S_o^c \geq 0 \quad \lambda \geq 0$$
(5)

值得注意的是,SBM模型采用的是包络形式,而包络形式的DEA模型刻画了效率的投影或测度方式(径向或非径向),目标函数中投入产出多项式前的系数反映了SBM能源效率是非径向的,而通常投入产出的权重由其对偶的乘数模型来反映。其中, S_o^y 代表期望产出 y 的松弛变量; $S_o^k, S_o^l, S_o^e, S_o^c$ 则分别代表 k, l, e, c 的松弛变量;下标“ o ”代表需要度量的DMU。根据式(5)可以得到某个DMU的全要素能源效率

$$TFEE = \sum_{i=1}^n \frac{e_o - S_o^e}{e_o} \quad (6)$$

其中,TFEE值介于0~1之间,若一个DMU的能源投入的松弛变量越大,表示该DMU离前沿面越远,也即它的能源效率越小;若 $S_o^e = 0$,表示该DMU位于前沿面上,也即它的全要素能源效率为1,不存在潜在的能源节约空间。

(二)数据

本文以地区和细分行业双重视角为切入点,拟收集各个制造业行业的分省份数据,但限于各个省份统计口径的不一致,很多省份并未统计各个行业的能源消耗数据及相关的工业总产值信息,最终只收集了9个省份的所需数据。这9个省份分属中国三大区域:东部(北京、天津和辽宁)、中部(湖南和吉林)、西部(内蒙古、甘肃、新疆和重庆^①)。同时,根据中国国家统计局给出的二分位国民经济行业分类编码选择了属于制造业的19个行业,并将19个制造业行业划分成轻重工业^②两类。限于数据的可得性,本文研究期间为2001—2011年。

关于投入产出指标,现有关于能源效率的度量都使用了资本、劳动和能源3种投入。在劳动投入的选择上,大部分文献都以全部从业人员年均人数来表示^{[5]9[15]286[21]100}。在能源投入中,多以一个行业(或部门)总的能源消耗量来表示^{[24]506[25]55}。关于资本的度量,部分文献通过获取数据,利用永续盘存法进行资本存量的计算^{[13]167[22]86[31]}。但该方法一方面要确定基期的资本存量,另外一方面要选定合理的折旧率,还有部分文献以固定资产净值年均余额代替资本的度量^{[15]286[21]100[25]55},限于数据的易获得性,本文选择固定资产净值来代表资本投入。在产出的选择上,大部分文献以工业总产值作为决策单元的期望产出,以CO₂排放量作为计算能源效率的非期望产出^{[18]128[28]202[32-33]},本文同样选择这两种作为产出指标。资本、劳动和工业总产值的获取主要来源于《中国工业经济统计年鉴(2002—2012)》,能源消耗量主要收集于各样本省市的统计年鉴和相关计算得到。CO₂排放量根据IPCC(2006)计算得到,原始所需数据来源于各省市统计年鉴。另外,将资本和工业总产值进行了价格平减,平减到1990年水平。相关指标及描述性统计分析如表1所示。

表1表明,各变量的标准差都很大,反映了不同省份不同行业之间的数值差异较大。这在能源消耗量和

^①区域划分方法参考Wu等^{[13]68}、Wang和He^{[34]30}。

^②根据《中国统计年鉴》对轻重工业的划分,轻工业包括:1.农副食品加工业,2.食品制造业,3.饮料制造业,4.烟草制品业,5.纺织业,6.造纸及纸制品业,9.医药制造业,10.化学纤维制造业;重工业包括:7.石油加工、炼焦及核燃料加工业,8.化学原料及化学制品制造业,11.非金属矿物制品业,12.黑色金属冶炼及压延加工业,13.有色金属冶炼及压延加工业,14.金属制品业,15.通用设备制造业,16.专用设备制造业,17.交通运输设备制造业,18.电气机械及器材制造业,19.通信设备、计算机及其他电子设备制造业。

CO₂排放量上的体现更明显,不同省份不同行业的污染排放的最大值和最小值之间相差巨大,这不仅体现了不同细分行业的差异,也反映了不同地区带来的差别。因此,合理区分地区和细分行业的不同,可以更清晰地看到制造业内部的绩效差异。

表1 投入产出指标的描述性统计

指标	单位	观测数	均值	标准差	最大值	最小值
固定资产净值	亿元	1 860	87.20	141.38	1 888.18	0.01
全部从业人员平均人数	万人	1 860	4.86	5.82	45.60	0.01
能源消耗量	万吨标准煤	1 860	205.09	606.92	8 390.67	0.11
工业总产值	亿元	1 860	309.20	546.68	4 889.29	0.07
CO ₂ 排放量	万吨	1 860	568.63	1 740.43	17 437.80	0.05

三、实证结果分析

根据上述研究方法和数据,本文利用式(4)、式(5)测度了每个DMU的能源效率值,并做了相应的汇总。

(一)制造业分行业的全要素能源效率分析

基于本文数据的计算结果,按行业对9个省份的效率值进行平均,得到2001—2011年各细分行业的TFEE均值,合并后的结果如表2所示。

样本期间平均能源效率最高的行业是烟草制品业(0.602);TFEE平均值高于0.5的行业较少,除了电气机械及器材制造业(0.520)和通信设备、计算机及其他电子设备制造业(0.561),其他行业都低于0.5。表明大多数制造业行业能源效率较低,其能源减排能力都有很大提升空间。此外,根据轻重工业的分类,可以发现,TFEE均值高于0.5的3个行业中,烟草制品业是轻工业,而电气机械及器材制造业和通信设备、计算机及其他电子设备制造业则是重工业。由表2所示,轻工业中烟草制品业有着平均最高的TFEE,其次是农副产品业,而造纸和化学纤维的TFEE较低。对于重工业而言,通信业是重工业中平均效率最高的行业,其次是电器机械业,而非金属和化学原料的TFEE最低。

表2 分行业的全要素能源效率

行业	类型	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	均值	排名
1	轻	0.399	0.418	0.449	0.448	0.465	0.455	0.464	0.496	0.506	0.544	0.556	0.473	5
2	轻	0.379	0.388	0.392	0.402	0.391	0.394	0.407	0.409	0.442	0.462	0.460	0.411	10
3	轻	0.370	0.375	0.378	0.373	0.376	0.378	0.384	0.392	0.414	0.432	0.438	0.392	12
4	轻	0.435	0.453	0.480	0.555	0.550	0.545	0.588	0.688	0.727	0.785	0.861	0.606	1
5	轻	0.365	0.367	0.368	0.370	0.376	0.378	0.387	0.396	0.417	0.433	0.435	0.390	13
6	轻	0.357	0.352	0.350	0.353	0.355	0.359	0.364	0.365	0.373	0.374	0.381	0.362	16
7	重	0.352	0.366	0.367	0.362	0.382	0.366	0.363	0.367	0.363	0.385	0.425	0.373	14
8	重	0.341	0.344	0.343	0.344	0.346	0.347	0.347	0.349	0.353	0.355	0.358	0.348	18
9	轻	0.387	0.395	0.393	0.397	0.399	0.405	0.413	0.417	0.437	0.451	0.460	0.414	9
10	轻	0.342	0.341	0.346	0.357	0.381	0.360	0.368	0.368	0.390	0.377	0.422	0.368	15
11	重	0.342	0.343	0.343	0.343	0.343	0.344	0.346	0.349	0.351	0.356	0.357	0.347	19
12	重	0.342	0.342	0.344	0.346	0.346	0.346	0.346	0.350	0.348	0.387	0.365	0.351	17
13	重	0.353	0.355	0.362	0.378	0.395	0.407	0.418	0.416	0.408	0.450	0.451	0.399	11
14	重	0.392	0.391	0.397	0.411	0.417	0.426	0.431	0.448	0.456	0.466	0.446	0.425	8
15	重	0.372	0.383	0.390	0.410	0.422	0.424	0.453	0.457	0.454	0.487	0.465	0.429	7
16	重	0.394	0.405	0.400	0.416	0.424	0.428	0.450	0.467	0.497	0.531	0.495	0.446	6
17	重	0.402	0.434	0.441	0.448	0.457	0.462	0.507	0.499	0.525	0.598	0.591	0.488	4
18	重	0.394	0.421	0.432	0.455	0.466	0.462	0.519	0.517	0.631	0.698	0.724	0.520	3
19	重	0.496	0.494	0.522	0.532	0.615	0.576	0.590	0.580	0.595	0.587	0.583	0.561	2

注:1.农副产品加工业,2.食品制造业,3.饮料制造业,4.烟草制品业,5.纺织业,6.造纸及纸制品业,7.石油加工、炼焦及核燃料加工业,8.化学原料及化学制品制造业,9.医药制造业,10.化学纤维制造业,11.非金属矿物制品业,12.黑色金属冶炼及压延加工业,13.有色金属冶炼及压延加工业,14.金属制品业,15.通用设备制造业,16.专用设备制造业,17.交通运输设备制造业,18.电气机械及器材制造业,19.通信设备、计算机及其他电子设备制造业。

该结果与 Li 和 Shi^{[21]01} 的研究结果相似,他们发现大部分的工业行业能源效率都在 10%~50%之间,且轻工业中烟草制品业有着较高的能源效率,造纸的能源效率较低,而重工业中电气机械的能源效率较高,非金属的能源效率较低。如图 2 所示,整体来看,轻重工业之间的 TFEE 差距不大,轻工业略高于重工业,但整体都呈现出一种随时间缓慢上升的趋势。

整体上看,制造业的 TFEE 在样本期间还处于较低的水平^{[22]93[35]},大部分工业部门的能源效率在 0.1~0.5 之间^{[21]01},但制造业整体的能源效率变化趋势是上升的,且各行业间差异明显^{[12]25[18]139}。研究还发现,虽然轻工业略高于重工业,但轻、重工业之间的能源效率差异不大。Li 和 Shi^{[21]01} 以及 Li 和 Lin^{[22]91} 在研究整个工业能源效率和工业生态能源效率时也发现轻工业的能源效率高于重工业,但差距不大。中国是低端制造大国,轻工业较多是集约发展,较少依赖资源,能更高效地利用技术;而重工业大多属于高进入壁垒和技术密集型行业,且能源消耗量大,如石油加工、金属冶炼等行业,技术水平占优势,但技术利用不如轻工业有效^{[24]808}。尽管本文结论是基于省级行业平均的结果,但本文的发现进一步证实了现有的研究结论,表明制造业各行业在能源利用效率上还有很大改善空间。

(二) 制造业分区域的全要素能源效率分析

同样,本文将计算结果按省份对 19 个行业的效率值进行平均,得到如表 3 所示 2001—2011 年各省份的 TFEE 均值,同时得到如图 3 所示的中、东、西三大区域的 TFEE 年度趋势图,进而从地区的角度分析能源效率变化。

如表 3 所示,9 个样本省份的能源利用效率都不超过 0.5,说明各个省份的制造业能源效率都偏低,对能源减耗和环境减排的技术提高空间还很大。其中,TFEE 天津最高(0.476)、新疆最低(0.377)。北京的整体制造业在研究期间的 TFEE 均值为 0.460,表明通过提高能源效率可以减少 54%的能源消耗。由图 3 还可以看出,东部地区 TFEE 最高,中部和西部地区 TFEE 次之,且各区域都呈现增长的趋势。

表 3 分地区的全要素能源效率

地区	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	均值
北京	0.406	0.403	0.414	0.447	0.462	0.465	0.483	0.475	0.481	0.528	0.496	0.460
天津	0.403	0.420	0.433	0.440	0.471	0.474	0.505	0.501	0.493	0.532	0.567	0.476
辽宁	0.383	0.397	0.406	0.415	0.431	0.431	0.454	0.459	0.485	0.513	0.520	0.445
吉林	0.370	0.377	0.378	0.374	0.382	0.388	0.407	0.410	0.434	0.449	0.443	0.401
湖南	0.389	0.393	0.410	0.424	0.421	0.415	0.430	0.454	0.485	0.522	0.505	0.441
内蒙古	0.360	0.371	0.370	0.385	0.404	0.369	0.389	0.424	0.447	0.468	0.475	0.406
重庆	0.395	0.392	0.406	0.440	0.442	0.446	0.449	0.446	0.464	0.498	0.525	0.446
甘肃	0.357	0.376	0.365	0.364	0.366	0.372	0.374	0.397	0.419	0.421	0.449	0.387
新疆	0.353	0.358	0.356	0.361	0.364	0.364	0.368	0.383	0.410	0.413	0.416	0.377
均值	0.379	0.388	0.393	0.405	0.416	0.414	0.429	0.439	0.458	0.483	0.488	0.427

虽然样本省份只有 9 个,但该结果与 Wang 等^{[10]327} 和 Wang 等^{[4]120} 在研究中国分地区工业行业全要素能源效率时得到的结果一致,都是东部地区能源效率最高,西部最低,中部排名居中。而造成这种现象的原因主要是因为三大地区的经济发展和技术水平不一样。自改革开放以来,东部地区通过鼓励对外贸易和投资,积极引进国外先进的能源技术、设备和管理经验,在获得经济高速增长的同时,还加大了对高新技术产业的研发和对环

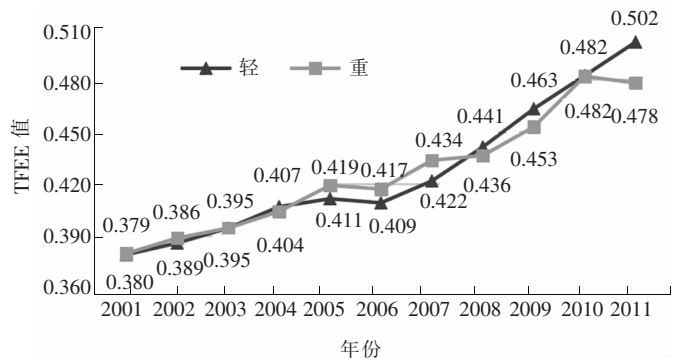


图 2 轻重工业的 TFEE 均值变化

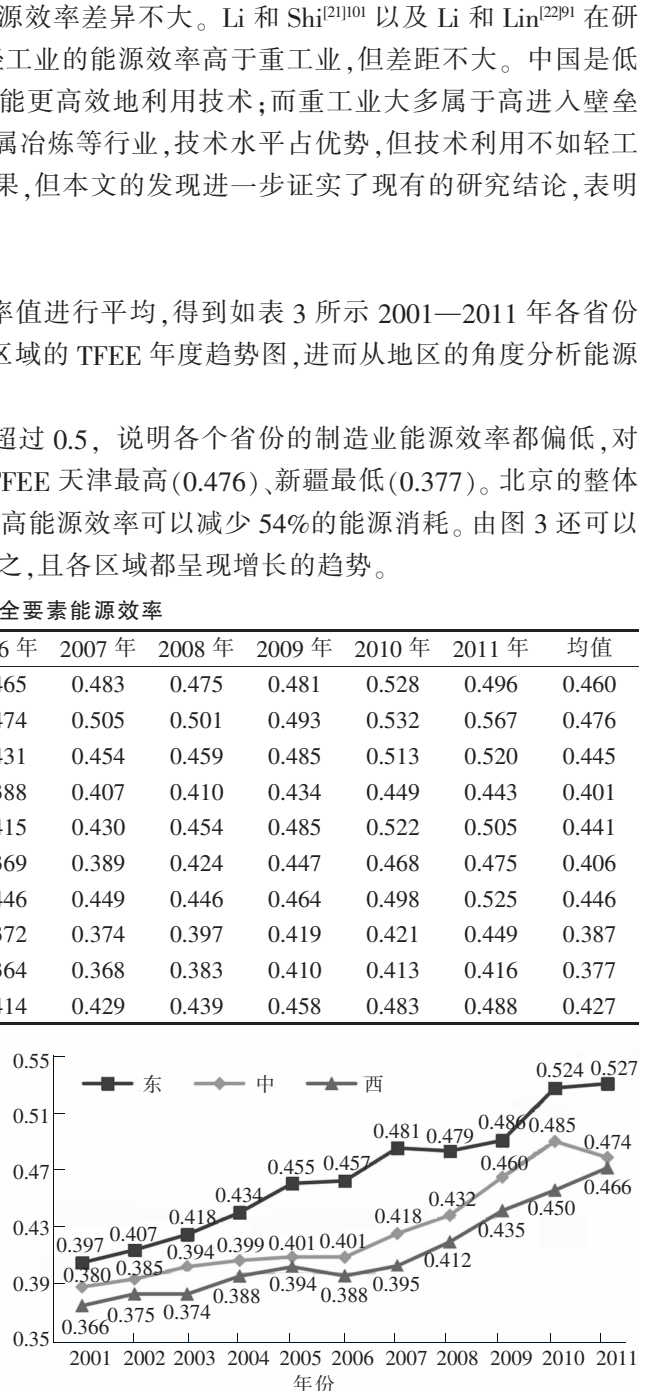


图 3 不同区域制造业的 TFEE

境治理的大量投资^{[10]327}。因此,东部地区的能源效率处于较高的水平,如北京和天津,可以吸收较多的国外资金与技术,快速提高其能源利用技术水平,因而能源效率较高。相反,西部地区在改革开放进程中,接受到的技术和投资较少,因此,西部地区的能源技术更新较慢,能源效率较低,如新疆和甘肃,处于西部地区,是中国最为贫穷的几个省份,很难有国外资本渗透,因而能源利用技术水平较低。中部地区的能源效率则处于东部和西部之间的水平。

总的来说,各地区的制造业能源效率都偏低,但在样本期间逐年增长。东部地区省份的TFEE明显高于中部和西部地区,表示东部地区的能源无效程度最低,中部和西部的能源减排潜力依次递增^{[17]1539[34]426-435}。以上结果表明,中国各地区制造业的能源浪费和环境污染的状况较为严重,但各地区已尝试做出改变,能源利用效率不断提高。

(三)行业—地区双重视角下的全要素能源效率分析

以上从行业角度和地区角度分析了制造业的TFEE,由分析可知,本文基于省级行业数据的分析结果和现有文献的结论基本一致,说明本文的数据样本具有一定的代表性,平均结果也较为可信。以下将从行业和地区双重视角对制造业TFEE的差异开展分析,图4和图5中分轻重工业展示了各省市的制造业细分行业的TFEE均值分布情况。

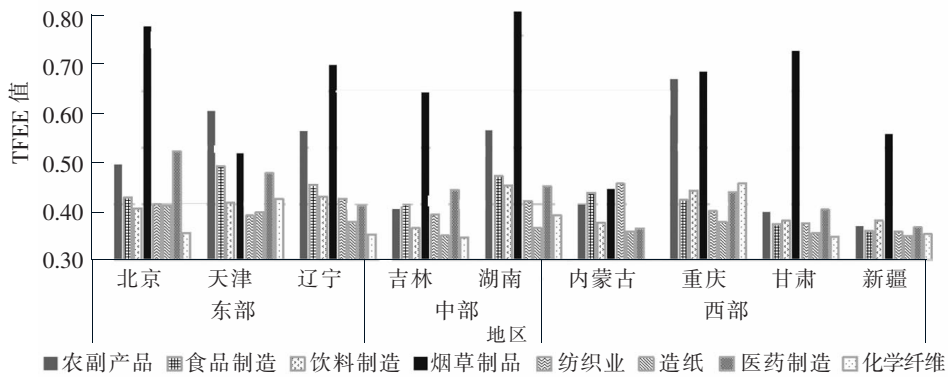


图4 各地区轻工业行业的TFEE

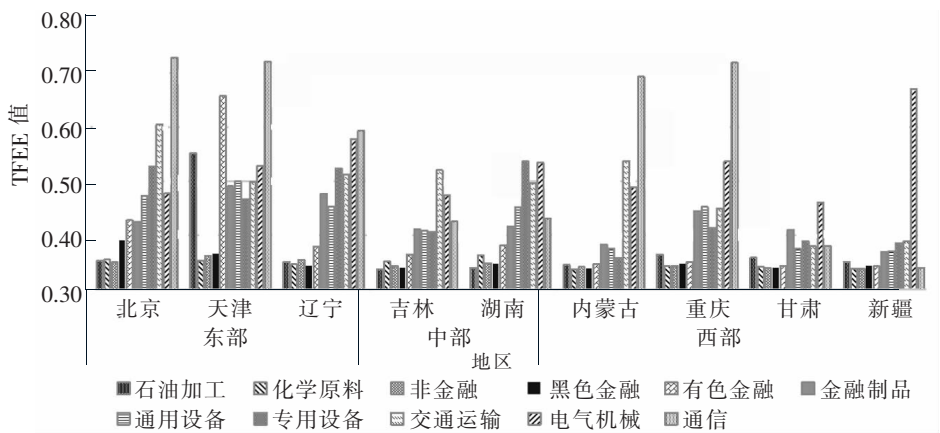


图5 各地区重工业行业的TFEE

首先,从行业的角度去观察地区之间的差异。TFEE 较低的行业基本在各个地区的表现都不理想,说明这些行业整体的能源减耗与减排技术水平较低;TFEE 高的行业并不一定在各个地区效率都高,有的地区该行业技术水平也可能较低,反映出制造业部分行业在不同地区的能源利用效率发展不平衡。具体从图4来看,除天津和内蒙古外,各省市的烟草制品业的TFEE在所有轻工业中都是最高的;天津、辽宁、湖南和重庆的农副产品业的TFEE虽然呈现较高的水平,但吉林、甘肃和新疆的农副产品TFEE较低;样本中各省市的造纸业和化学纤维业的TFEE值大都在0.4以下,处于较低的水平。如表2所示,对于重工业而言,通信业是重工业中平均效率最高的行业,而非金属和化学原料的TFEE最低。进一步从图5中来看,通信业TFEE水平在半数以上的省市中都较高;而化学原料、非金属和黑色金属的TFEE在各个省市都较低,都在0.4以下。

为进一步说明行业 TFEE 的地区差异,本文绘制了制造业各行业 TFEE 的地区分布箱线图,如图 6 所示。可以发现,制造业各个行业在能源利用方面的技术水平不同,烟草制品业、通信业的整体能源利用效率较高,通信业在各地发展水平差距较大,化学原料、非金属、黑色金属和造纸业等大多数行业的整体能源效率相近且低下。具体来看,烟草制品业的整体箱体最高,中位数最高,反映出烟草制品业的平均 TFEE 最高。通信业的箱体最长,最大值和最小值之间差距最大,中位数次高,表明各地区通信业的平均 TFEE 次高,但 TFEE 分布分散。还有一部分行业的 TFEE 偏低,如化学原料、非金属、黑色金属和造纸等行业。这些行业的箱体比较扁,箱体靠下,且上下限之间差距较小,说明这些行业的能源利用水平相近且低下,这些行业还处于一种粗犷的发展模式,在生产过程中对能源消耗的缩减空间还很大。

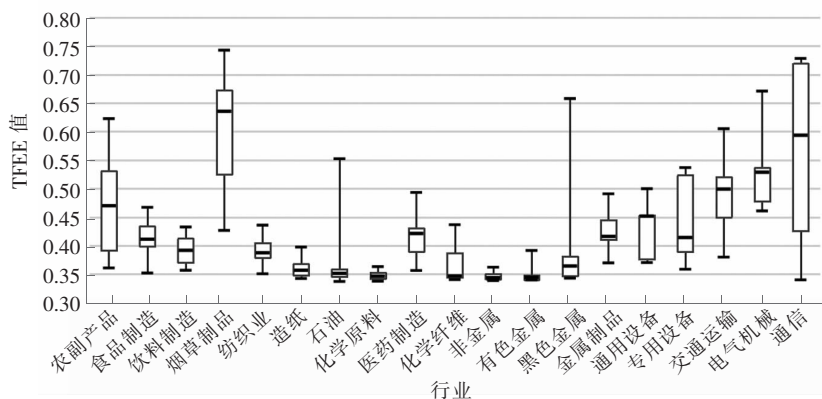


图6 制造业各行业的地区 TFEE 分布箱线图

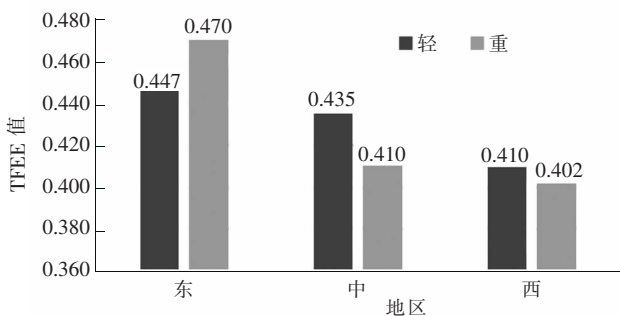


图7 不同区域分轻重行业的 TFEE

根据制造业的分类,本文进一步观察轻重行业各个区域的能源利用状态,如图 7 所示。结果显示,东部地区重工业总体的能源效率明显高于轻工业,而中部和西部地区轻工业的 TFEE 高于重工业,这也很好地解释了图 2 中轻重工业之间差距不明显的原因。由此可见,重工业的能源利用效率不一定就比轻工业低。其原因可能是在东部经济发展水平较高的地区,政府较为关注环境问题,对污染严重的重工业的污染物排放较为严格,从而导致重工业在此区域比较注重环境问题而减少污染物排放,从而提高了能源效率。以《中国经济统计年鉴 2012》为例,2011 年北京的万元工业增加值能耗下降了 18.5%,而新疆反而上升了 9.28%,且明显呈现一种从东向西逐渐上升的趋势,说明东部地区对工业能源消耗及污染排放的控制较为严格。相似地,Li 和 Lin^{[22]91-93} 在研究中国工业行业的生态全要素能源效率时也发现,政府刺激引发的扩张在促进重工业的技术进步方面比轻工业明显。

其次,从地区的角度去观察行业之间的差异。某个省份的 TFEE 水平较高并不代表该省份内每个行业都有较高的能源利用效率,同一地区不同行业在能源使用效率方面存在较大差异,区域内部各子行业之间发展不均衡。具体来说,如表 3 所示,在 9 个省市中,北京和天津有较高的 TFEE 水平,甘肃和新疆有较低的 TFEE 水平,反映出制造业整体效率呈现由东向西递减的态势。但图 4 和图 5 显示,并非北京和天津所有行业的 TFEE 都比新疆和甘肃的高,轻工业中重庆和甘肃的烟草制品业的 TFEE 比天津要高,重工业中新疆的电气机械业 TFEE 领先于东部和中部地区。同样,东中部地区也有能源效率偏低的行业,如吉林和湖南的石油加工业、北京的电气机械业、天津的烟草制品业、吉林的饮料制造业和造纸及纸制品业等。可能是东中部经济发展水平较高的地区,部分行业内企业数量比较多,竞争比较大,导致企业由于管理或者经营无效而降低了整体地区的能源效率。以 2011 年电气机械制造业为例,北京和天津分别有 270 家和 332 家企业,亏损企业数达到 47 家和 50 家,而新疆有 30 家企业,亏损只有 1 家^①。

如表 3 所示,重庆市 TFEE 高于部分中部地区,而重庆之所以在西部省份遥遥领先,是因为重庆的某些行业的竞争力很强,如农副产品业、化学纤维制造业和通讯业等。从图 4 和图 5 可以看出,这些行业的 TFEE 远超中部省份,甚至领先所选样本的 9 个省份,这可能是因为重庆作为中国四大直辖市之一所拥有的政策和产业优势导致各行业能源使用效率较高,从而导致重庆整体制造业能源效率较高。这说明,虽然西部地区整体制造业能源效率最低,但部分省份的部分行业仍然拥有较高的能源效率。还有类似的例子如内蒙古和

①数据来源:中国工业经济统计年鉴。

新疆,内蒙古的纺织业和新疆的电气机械及器材制造业在9个省份中TFEE都最高。这些都说明不同行业在同一地区的能源效率存在差异。

四、结论及政策建议

本文选用包含非期望产出的非径向SBM模型去测度能源效率,通过收集各个行业不同省份的数据开展实证分析。分别从行业和地区角度,以及行业和地区双重视角分析了中国能源效率的差异,同时讨论了轻重工业的TFEE差异。研究发现:

1.从分行业角度来看,发现制造业各细分行业的TFEE较低,轻工业的TFEE略高于重工业且均随时间呈缓慢上升趋势,这与现有研究结论一致。进一步发现,不同地区轻重工业的能源效率不同,东部地区重工业总体的能源效率明显高于轻工业,而中部和西部地区轻工业的TFEE高于重工业。

2.从分区域角度来看,发现各地区的整体制造业能源效率偏低,东部地区TFEE最高,然后是中部和西部,这与现有研究结论一致。但并非西部地区各制造业细分行业效率都偏低,如重庆的农副产品和通信业,新疆的机械制品业等,部分行业有着很高的能源效率。

3.从行业和地区双重视角来看,能源效率整体较高的行业在各地区存在较大差异,如烟草制品业,但能源效率偏低的行业在各地区的能源利用技术水平都偏低,如化学原料业,表明制造业行业在地区间的发展不均衡,同一行业在不同地区的能源利用技术水平有较大差异。能源效率高的地区也存在效率较低的行业,能源效率偏低的地区并非所有行业的能源效率都低,这表明同一地区内不同行业间的能源效率也存在较大差异。

针对以上结论,本文给出相关的政策建议:

1.国家应进一步加大监管力度,督促企业节能减排,提高能源利用效率。要关注整体能源效率低的行业,如化学原料、非金属、黑色金属和造纸业等,这些行业的能源效率提升空间很大,应制定措施约束这些行业的能源消耗和污染排放问题,提高该行业对能源的利用水平,从而有效地提高制造业整体能源效率。同时,政府也要给予相关企业技术支持,促进企业积极进行技术创新,革新生产过程的能源利用技术,促进行业绿色发展。

2.合理规划东部、中部和西部不同地区的轻重工业发展,东部地区在控制重工业污染排放的同时,政府同样需要关注轻工业的能源消耗及污染排放问题,提高轻工业的能源效率。西部地区则可以学习东部地区先进的管理政策,在经济发展的同时需合理约束重工业的能源消耗和污染排放,共同提高轻工业和重工业的能源效率。

3.提高区域内各行业的能源效率,促进区域间的行业流动和协同发展。第一,关注能源效率偏低的中西部省份,从源头上提高中西部省份的能源效率,如加强对清洁能源的使用,充分发挥中西部省份区域能源储备的优势,提高诸如太阳能、风能等新能源的使用规模,调整各行业的能源消费结构。在给予地方企业资金与技术支持的同时,也要鼓励西部地区的优势产业走出去,如重庆的农副产品和通信业、新疆的电气机械业,将企业优势的管理经验交流到东中部同行业企业中,带动其他区域共同发展。第二,对于东部地区来说,重点要进行产业结构调整,对高耗能高污染产业进行转移,着重发展高新技术产业和清洁无污染行业,进一步提高区域能源效率。第三,促进东部地区能源效率较高的医药制造、专用设备等行业向中西部发展,带动中西部该行业的技术进步,减少能源消耗和污染排放,从而达到提高能源效率、保护环境的目的。

限于数据的可得性,本文存在一定的不足。第一,本文只考虑了9个省份19个制造业行业的能源效率,一定程度上影响了本文的结论的一般性。第二,本文的样本期仅考虑到2011年,无法反应当前最新的制造业能源效率现状。因此,将更多的省份和行业、最新年份的数据纳入分析将是本文进一步研究的潜在改进方向。第三,尽管本文从地区和细分行业视角重新审视了中国制造业能源效率,但是本文忽视了行业和地区之间可能存在的技术异质性问题,因而进一步研究可以在考虑行业和地区异质性前提下分析相关行业和地区能源效率的技术差距。此外,通过本文的分析,可以度量能源无效的程度并据此提出相关建议,但论文并未严格分析各区域或行业能源无效的原因,而相关能源效率的影响因素分析也值得今后进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] HU J L, WANG S C. Total-factor energy efficiency of regions in China[J]. Energy Policy, 2006, 34(17): 3206-3217.
- [3] CHANG Y T, ZHANG N, DANA O D, et al. Environmental efficiency analysis of transportation system in China: a non-radial DEA approach[J]. Energy Policy, 2013, 58: 277-283.
- [4] WANG Z H, ZENG H L, WEI Y M, et al. Regional total factor energy efficiency: an empirical analysis of industrial sector in China[J]. Applied Energy, 2012, 97: 115-123.
- [5] MENG F, SU B, THOMSON E, et al. Measuring China's regional energy and carbon emission efficiency with DEA models: a survey[J]. Applied Energy, 2016, 183: 1-21.
- [6] HU J L, KAO C H. Efficient energy-saving targets for APEC economies[J]. Energy Policy, 2007, 35(1): 373-382.
- [7] HONMA S, HU J L. Total-factor energy efficiency of regions in Japan[J]. Energy Policy, 2008, 36(2): 821-833.
- [8] HONMA S, HU J L. Total-factor energy productivity growth of regions in Japan[J]. Energy Policy, 2009, 37(10): 3941-3950.
- [9] CHANG T P, HU J L. Total-factor energy productivity growth, technical progress, and efficiency change: an empirical study of China[J]. Applied Energy, 2010, 87(10): 3262-3270.
- [10] WANG Z, FENG C, ZHANG B. An empirical analysis of China's energy efficiency from both static and dynamic perspectives[J]. Energy, 2014, 74: 322-330.
- [11] ZHOU P, WU F, ZHOU D Q. Total-factor energy efficiency with congestion[J]. Annals of Operations Research, 2017, 255(1-2): 241-256.
- [12] 王霄, 屈小娥. 中国制造业全要素能源效率研究——基于制造业 28 个行业的实证分析[J]. 当代经济科学, 2010, 32(2): 20-25, 124-125.
- [13] WU F, FAN L W, ZHOU P, et al. Industrial energy efficiency with CO₂ emissions in China: a nonparametric analysis[J]. Energy Policy, 2012, 49: 164-172.
- [14] 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: 653-662.
- [15] WU J, ZHU Q, LIANG L. CO₂ emissions and energy intensity reduction allocation over provincial industrial sectors in China[J]. Applied Energy, 2016, 166: 282-291.
- [16] BI G B, SONG W, ZHOU P, et al. Does environmental regulation affect energy efficiency in China's thermal power generation? empirical evidence from a slacks-based DEA model[J]. Energy Policy, 2014, 66: 537-546.
- [17] FENG C, WANG M. Analysis of energy efficiency and energy savings potential in China's provincial industrial sectors[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 164: 1531-1541.
- [18] 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.
- [19] WU J, XIONG B, AN Q, et al. Total-factor energy efficiency evaluation of Chinese industry by using two-stage DEA model with shared inputs[J]. Annals of Operations Research, 2017, 255(1-2): 257-276.
- [20] WANG H, ANG B W, WANG Q W, et al. Measuring energy performance with sectoral heterogeneity: a non-parametric frontier approach[J]. Energy Economics, 2017, 62: 70-78.
- [21] LI H, SHI J. Energy efficiency analysis on Chinese industrial sectors: an improved super-SBM model with undesirable outputs[J]. Journal of Cleaner Production, 2014, 65: 97-107.
- [22] LI J, LIN B. Ecological total-factor energy efficiency of China's heavy and light industries: which performs better? [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, 72: 83-94.
- [23] 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.
- [24] KANG Y Q, XIE B C, WANG J, et al. Environmental assessment and investment strategy for China's manufacturing industry: a non-radial DEA based analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2018, 175: 501-511.
- [25] ZHAO X, RUI Y, QIAN M. China's total factor energy efficiency of provincial industrial sectors[J]. Energy, 2014, 65: 52-61.
- [26] COOPER W W, SEIFORD L M, TONE K. Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references[J/OL]. Interfaces, (2006)[2018-06-22]. http://xueshu.baidu.com/usercenter/paper/show?paperid=6af1886401264ec71fb65005ddc64a3b&site=xueshu_se.
- [27] SHI G M, BI J, WANG J N. Chinese regional industrial energy efficiency evaluation based on a DEA model of fixing non-energy inputs[J]. Energy policy, 2010, 38(10): 6172-6179.
- [28] CHOI Y, ZHANG N, ZHOU P. Efficiency and abatement costs of energy-related CO₂ emissions in China: a slacks-based efficiency measure[J]. Applied Energy, 2012, 98: 198-208.

- [29] FARE R, GROSSKOPF S. A comment on weak disposability in nonparametric production analysis[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2009, 91(2): 535–538.
- [30] ZHOU P, SUN Z R, ZHOU D Q. Optimal path for controlling CO₂ emissions in China: a perspective of efficiency analysis[J]. *Energy Economics*, 2014, 45: 99–110.
- [31] 杨恺钧, 毛博伟, 胡茵. 长江经济带物流业全要素能源效率——基于包含碳排放的 SBM 与 GML 指数模型[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2016(6): 54–62.
- [32] 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: 653–662.
- [33] 冯博, 王雪青. 中国建筑业的能源经济效率与能源环境效率研究——基于 SBM 模型和面板 Tobit 模型的两阶段分析[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2015(1): 14–22.
- [34] WANG Z, HE W. Regional energy intensity reduction potential in China: a non-parametric analysis approach[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 149: 426–435.
- [35] 张兵兵, 朱晶. 出口对全要素能源效率的影响研究——基于中国 37 个工业行业视角的经验分析[J]. *国际贸易问题*, 2015(4): 56–65.

Analysis of Total Factor Energy Efficiency in Chinese Manufacturing Industry

—A Dual Perspective from Region and Sub-sector

CHEN Ya¹, ZHANG Zhiqiang¹, ZHOU Zhixiang¹, LIANG Liang²

(1.School of Economics, Hefei University of Technology, Hefei Anhui 230601, China;

2.School of Management, Hefei University of Technology, Hefei Anhui 230009, China)

Abstract: Energy efficiency analysis on Chinese manufacturing industry has gained much interest in the past two decades. By fully considering the difference between regional and subdivided industries, this paper examines the total factor energy efficiency (TFEE) of nineteen Chinese manufacturing sub-sectors from nine provinces during 2001–2011 by using data envelopment analysis (DEA). The TFEE was calculated by an undesirable slacks-based measure (SBM) model, and the energy efficiency differences between light and heavy industries were discussed. The main findings of this study are as follows: (1) The TFEE of the manufacturing sub-sectors is low, and the difference between the sub-sectors is significant. The average TFEE of light industries is slightly higher than that of heavy industries. But in terms of regions, the TFEE of heavy industries in the eastern region is significantly higher than that of light industries, while the TFEE of light industries in the central and western regions is higher than that of heavy industries. (2) The TFEE of the manufacturing industry in each region is low. The highest TFEE is in the east, followed by the central and western regions. Nevertheless, there are some advantaged manufacturing sub-sectors with a high TFEE in the western region. (3) There is a clear distinction for different regional energy efficiencies in the same industry. The development is unbalanced in different regions for the manufacturing sub-sectors with a high TFEE. The TFEE is low in each region for the manufacturing sub-sectors with a low TFEE. There is a big gap between different industrial energy efficiencies in the same region. There exist less efficient sub-sectors in the regions with a high TFEE, while not all sub-sectors suffer from low efficiency in the regions with a low TFEE.

Key words: data envelopment analysis (DEA); total factor energy efficiency (TFEE); Chinese manufacturing industry; sub-sector

[责任编辑:孟青]