

· 环境经济与政策 ·

区域能源效率测算及影响分析

——基于三阶段 DEA 方法

王 萌¹, 徐湘博^{2,3}, 张 梅¹, 马 中¹, 何雷鸣¹, 徐 玮⁴

(1. 中国人民大学环境学院, 北京 100872;

2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 生态系统网络观测与模拟重点实验室,
CERN 综合研究中心, 北京 100101;

3. 联合国环境署国际生态系统管理伙伴计划, 北京 100101; 4. 科学经济与管理学院, 法国, 里尔)

摘 要: 文章运用三阶段 DEA 方法, 测算了 2010~2017 年间全国 30 个省、市能源效率, 并将剔除环境要素和随机扰动影响的效率值与传统 DEA 分析结果进行比较。结果显示, 剔除环境要素和随机扰动之前, 我国绝大多数省规模效率高于纯技术效率, 导致规模效率被高估, 存在投入不足的情况; 通过三阶段 DEA 结果, 中国地区间规模报酬都处于递增趋势, 说明企业规模大小是影响能源利用的规模不经济性的重要因素; 各地区之间效率程度和作用方向不同, 经济发达地区与经济欠发达地区的能源效率水平相差较大, 存在明显的经济不平衡现象。因此, 应加强地区之间管理与技术交流合作, 推进技术进步, 提高能源利用效率。

关键词: 能源效率; 三阶段 DEA; 环境因素; 随机扰动

中图分类号: X32

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2021.01.005

Calculation and Impact Analysis of Inter-provincial Energy Efficiency in China ——Based on Three Stage DEA Method

WANG Meng¹, XU Xiangbo^{2,3}, ZHANG Mei¹, MA Zhong¹, HE Leiming¹, XU Wei⁴

(1. School of Environmental and Natural Resources, Renmin University of China, Beijing 100872, China; 2. Key laboratory of ecosystem network observation and modeling, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. International Ecosystem Management Partnership, United Nations Environment Programme, Beijing 100101, China; 4. Ieseg School of Management, Lille, France)

Abstract: In this paper, the three-stage DEA method is used to measure the energy efficiency of 30 provinces and cities in China from 2010 to 2017, and the efficiency values without environmental factors and random disturbance influence are compared with the results analyzed by the traditional DEA method. The results show that before the removal of environmental factors and random disturbances, the scale efficiency of most provinces is higher than the pure technical efficiency, resulting in the overestimation of scale efficiency and the lack of investment. According to the results of three-stage DEA, China's regional scale returns show an increasing trend, thus indicating that the enterprises scale is an important factor affecting the scale diseconomy of the energy utilization. There are different efficiency degrees and function directions in different regions. The energy efficiency levels are quite different between economically developed areas and economically underdeveloped areas. The economic imbalance is obvious. Therefore, the management and technical communication and cooperation among different regions are necessary, thus promoting the technological development and improving the energy efficiency.

Keywords: Energy Efficiency; Three Stage DEA; Environmental Factors; Random Disturbance

CLC number: X32

收稿日期: 2020-08-12

基金项目: 国家社会科学基金项目(2010010016); 中国人民大学重大规划项目(16XNLG07)

作者简介: 王 萌(1992-), 男, 博士研究生。研究方向: 资源与环境经济学。E-mail: 1144796680@qq.com

通信作者: 何雷鸣(1995-), 男, 博士研究生。研究方向: 资源与环境经济政策。E-mail: 471836222@qq.com

引用格式: 王 萌, 徐湘博, 张 梅, 等. 区域能源效率测算及影响分析——基于三阶段 DEA 方法[J]. 环境保护科学, 2021, 47(1): 28-35.

目前,我国生态文明建设面临“三期叠加”,资源与环境承载能力已经达到或接近上限,能源紧缺与环境问题依旧严峻。我国能源需求巨大,化石能源无法实现能源的可持续供给,能源消费、能源效率与经济增长之间存在相互依赖的关系^[1]。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年(2016—2020年)规划纲要》明确指出,要优化能源供给结构,提高能源利用效率。由此可见,提升能源效率对我国经济持续健康发展具有重要意义。

世界能源委员会对能源效率的定义为“减少提供同等份能源服务源的投入”,PATTERSON^[2]认为,能源效率是指利用较少的能源投入生产同样数量的服务或者有用产出。之后,将能源效率分为技术和经济上的能源效率,他认为技术上的能源效率是由于管理和技术进步的改变导致某些能源使用减少;经济上的能源效率则和 PATTERSON 观点一致。测算能源效率可以选取多种数量上的指标,考虑到单要素能源效率测算的局限性,学者对能源效率测算方法主要为全要素能源效率综合评价。张少华等^[3]认为,在全要素框架下对能源效率进行评价,本质上找出生产过程中要素投入量和产出量的关系,使用非参数前沿分析的 DEA 模型可以有效评价能源效率。近年来,国内许多学者使用 DEA 模型对全国省际之间各行业的能源效率评价,如王莉^[4]运用 SSBM-DEA 模型,对中国工业能源效率进行测算;王秋莲等^[5]运用 DEA 模型对制造业全要素能源效率进行评价;范秋芳等^[6]运用 DEA-BCC 模型;DEA-Malmquist 指数,分析了我国省际之间的能源效率差异;李双杰等^[7]通过修正后的 DEA 模型,测算全国 30 个省的工业全要素能源效率。DEA 模型虽然可以测算效率,但没有考虑生产过程中环境要素和随机扰动影响,测算的决策单元的效率值可能被高估。因此可以考虑 SFA 模型(随机前沿分析)和 DEA 模型相结合的方法,测算决策单元的真实效率值。FRIED et al^[8]基于传统 DEA 模型,提出了三阶段 DEA 方法,有效地排除了环境要素和随机扰动对生产单元效率的影响,从而测算其真实效率值。就研究文献而言,三阶段 DEA 模型已运用于国家或地区间大气^[9-12]、能源^[13-15]和水^[16-17]等各领域效率测算。

本文运用三阶段 DEA 模型,对 2010~2017 年

全国 30 个省、市(除西藏)能源效率进行评价,比较地区之间能源利用效率差异,以期为各地区更加高效能源利用和调整能源消费结构提供理论指导和实施路径。

1 研究方法 with 数据说明

1.1 研究方法

本研究采用三阶段 DEA 模型对我国省级层面能源效率展开测度。

第一阶段:传统 DEA 模型。用 DEA—CCR 模型评价相同部门间的相对有效性,CCR 模型是在规模报酬不变的情况下进行分析计算效率值,而实际情况下规模报酬不可能一直保持不变。针对这一问题本文又选取规模报酬可变的 BCC 模型对我国 30 个省市的投入和产出数据进行计算效率值。BCC 模型将 CCR 模型中综合效率(TE)分解为纯技术效率(PIE)和规模效率(SE),可以表示为 $TE=PIE*SE$,BBC 模型分为投入和产出 2 种导向型。在能源效率评价中,能源的投入量容易控制,可以在产出不变的情况下减少投入量来提高效率,符合投入导向型特征,因此本文选择投入导向型 BBC 模型测算决策单元效率值,模型见式(1)。

$$s.t. = \begin{cases} \sin\theta - \epsilon(\widehat{e^T} s^- + e^T S^+) \\ \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \lambda_j, S^+, S^- \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中: $j=1,2,\dots,n$ 表示决策单元, X,Y 分别是投入和产出要素,若则 $\theta=1,S^+=S^-=0$,则决策单元 DEA 有效;若 $\theta=1,S^+ \neq 0$,或 $S^- \neq 0$,则决策单元弱 DEA 有效;若 $\theta < 1$,则决策单元非 DEA 有效。

第二阶段:随机前沿分析(SFA)模型。由于第一阶段的效率值受到管理无效率、环境因素和随机扰动的影响,因此需要用 SFA 模型剔除这 3 种影响。假设可观测的外部环境因素有 R 个见式(2)。

$$S_{mi} = f(Z_i; \beta_n) + v_{mi} + \mu_{mi}; i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

式(2)中: S_{mi} 为第 i 个决策单元第 n 项投入的松弛变量; Z_i 为环境变量, β_n 是 Z_i 的待估参数; $v_{mi} + \mu_{mi}$ 为混合误差项, v_{mi} 表示随机干扰项, μ_{mi} 表示管理无效率,假设服从截断正态分布 $\mu \sim N^+(0, \sigma_\mu^2)$,

v_{ni} 和 μ_{ni} 相互独立且不相关。

根据 JONDROW^[18] 通过分离管理无效率, 得出分离公式为: $\gamma = \frac{\sigma_{\mu}^2 + \sigma_v^2}{\sigma_{\mu}^2}$ (3) 式中 γ 值越接近 0, 则随机误差影响越大, 若 γ 值越接近于 1, 则管理无效率影响越大。然后运用 SFA 回归结果对决策单元投入变量进行调整, 剔除环境因素和随机扰动的影响, 得出调整见式(4)。

$$O_{ni}^A = O_{ni} + [\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)] + [\max(v_{ni}) - v_{ni}]; i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

式(4)中: O_{ni}^A , O_{ni} 是决策单元 i 第 n 项投入调整和初始值, $\hat{\beta}_n$ 表示环境变量估计值。

第三阶段: 调整后的 DEA 模型。将第二阶段调整后的投入值代替第一阶段原始投入值, 其他变量保持不变, 运用第一阶段方法重新测算效率值, 得出的结果是剔除环境因素和随机扰动影响之后的真实能源效率值。

1.2 变量选取

投入变量选取。依据传统的宏观经济学理论, 测算能源效率的投入变量一般选取能源、劳动和资本 3 项。(1)能源投入。本文选取了全国各省市 2010~2017 年能源消费总量作为能源投入数据;(2)劳动投入。本文选取全国各省市 2010~2017 年年末从业人员数作为劳动投入数据。(3)资本投入。本文以全国各省市资本存量作为资本投入数据。在我国许多关于资本投入的研究文献中, 一般以资本存量作为资本投入指标。但在《中国统计年鉴》以及政府官方发布的统计数据中并没有资本存量数据, 本文借鉴了李珂、范巧等对中国 2000~2015

年省际之间资本存量算法, 以 2009 年为基期, 运用永续盘存法得出中国 2010~2017 年省际之间资本存量^[19-20]。

产出变量选取。能源的投入带来的产出分为期望产出和非期望产出, 因本文只做能源效率测算, 所以变量选取期望产出中的地区生产总值和工业总产值作为产出数据。文章从《中国统计年鉴》中获得 2010~2017 年省、直辖市、自治区地区生产总值核工业总产值, 以 2009 年为基期, 通过地区生产总指数以及工业总指数计算实际地区生产总值和工业总产值。

环境变量选取。环境变量需要达到“分离假设”要求, 一般选取范围是能够对能源效率有影响的因素, 学者在能源效率测算中普遍将生产技术水平、经济发展水平、产业结构、科技发展水平等作为环境变量。生产技术水平表现为能源强度, 在能源转换利用方面, 能源强度是衡量能源利用效率的指标, 生产技术水平的提高可以减少单位产品的能耗。经济发展水平一般以实际人均 GDP 指标来表征, 本文以各省市 2009 年为基期年进行 CPI 计算得出 2010~2017 年实际人均 GDP。按产业分, 工业生产在能源消费方面占比最大, 中国省际之间工业发展直接关系到能源消费情况, 产业结构指标本文则以工业占总产值比重来表征。科技发展水平可表现为技术进步, 提高能源转换技术可以降低能源消耗, 目前不少国家加大对科研的资金支持, 开发新能源和提高能源转换技术, 本文选取 R&D 费用占地区 GDP 比例作为科技发展水平指标, 见表 1。

表 1 能源效率投入产出指标体系及解释

	选取变量	指标名称	变量解释
投入变量	能源	能源消费量	全年能源消费总量/万吨标煤
	劳动	劳动力	年末从业人员数/人
	资本	资本存量	以2009年为基期年计算/亿元
产出变量	经济产出	地区生产总值	单位: 亿元
		工业总产值	单位: 亿元
环境变量	生产技术水平	单位GDP能耗	万元GDP能源消费量/万吨/万元
	经济发展水平	实际人均GDP	地区人均GDP/元
	产业结构	工业占比	工业占总产值比重/%
	科技发展水平	技术进步	R&D支出费用占地区生产总值比重/%

1.3 数据来源

由于《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》以及《西藏统计年鉴》中没有统计西藏能源消费数据, 鉴于数据的完整性和可得性, 文章选取国内 30 个省(直辖市、自治区)2010~2017 年统计数据, 没有把西藏纳入测算对象。文章能源数据来自《2011~2017 年中国能源统计年鉴》, 2018 年数据来自中国统计年鉴和部分省际统计年鉴; 劳动、资本、地区生产总值、工业总产值以及环境指标数据

来自于《2011~2018 年中国统计年鉴》。

2 实证结果与分析

2.1 第一阶段 DEA 结果分析

第一阶段结果选取投入导向的 BBC 模型, 在不考虑外部环境因素和随机扰动情况下, 运用 DEAP2.1 软件对全国 30 各省市 2010~2017 年能源效率进行测算, 限于篇幅仅列出 2010、2014、2017 年结果, 见表 2。

表 2 我国 30 个省能源效率结果 (第一阶段 DEA 结果: 2010、2014、2017 a)

地区	2010 a				2014 a				2017 a				8年平均		
	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE
北京	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1
天津	0.971	1	0.971	irs	1	1	1	-	1	1	1	-	0.996	1	0.996
河北	0.556	0.561	0.991	irs	0.578	0.574	0.986	drs	0.519	0.522	0.994	irs	0.551	0.561	0.983
山西	0.642	0.689	0.931	irs	0.516	0.658	0.932	irs	0.472	0.511	0.923	irs	0.523	0.564	0.926
内蒙古	0.668	0.723	0.925	irs	0.726	0.791	0.987	irs	0.532	0.576	0.923	irs	0.711	0.732	0.969
辽宁	0.627	0.65	0.965	drs	0.741	0.757	0.89	drs	0.532	0.539	0.986	drs	0.663	0.724	0.923
吉林	0.604	0.677	0.893	irs	0.819	0.704	0.911	irs	0.699	0.867	0.806	irs	0.721	0.823	0.879
黑龙江	0.545	0.619	0.88	irs	0.527	0.649	0.886	irs	0.403	0.478	0.845	irs	0.503	0.567	0.886
上海	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1
江苏	0.981	1	0.981	drs	1	1	1	-	1	1	1	-	0.996	1	0.996
浙江	0.986	1	0.986	irs	0.938	1	0.986	irs	0.872	0.893	0.976	irs	0.944	0.959	0.984
安徽	0.694	0.732	0.948	irs	0.752	0.786	0.934	irs	0.74	0.827	0.895	irs	0.729	0.799	0.913
福建	0.867	0.903	0.96	irs	0.819	0.912	0.95	irs	0.893	0.974	0.917	irs	0.860	0.919	0.937
江西	0.814	0.893	0.912	irs	0.818	0.974	0.889	irs	0.773	0.906	0.853	irs	0.815	0.928	0.878
山东	0.685	0.739	0.927	drs	0.738	0.796	0.997	irs	0.687	0.691	0.994	irs	0.731	0.740	0.989
河南	0.767	0.787	0.974	irs	0.677	0.787	0.976	irs	0.724	0.758	0.955	irs	0.721	0.748	0.964
湖北	0.548	0.567	0.967	irs	0.681	0.591	0.958	irs	0.712	0.748	0.951	irs	0.646	0.675	0.957
湖南	0.567	0.591	0.959	irs	0.718	0.603	0.956	irs	0.711	0.748	0.95	irs	0.663	0.693	0.957
广东	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1
广西	0.617	0.665	0.928	irs	0.66	0.71	0.912	irs	0.576	0.653	0.883	irs	0.640	0.708	0.905
海南	0.656	1	0.656	irs	0.597	1	0.597	irs	0.535	1	0.535	irs	0.585	1	0.585
重庆	0.538	0.627	0.857	irs	0.625	0.638	0.863	irs	0.647	0.741	0.874	irs	0.606	0.697	0.869
四川	0.494	0.508	0.971	irs	0.598	0.527	0.962	irs	0.565	0.582	0.971	irs	0.552	0.572	0.965
贵州	0.529	0.692	0.765	irs	0.408	0.662	0.742	irs	0.396	0.531	0.745	irs	0.441	0.592	0.743
云南	0.443	0.501	0.884	irs	0.45	0.517	0.86	irs	0.418	0.483	0.865	irs	0.441	0.508	0.869

续表 2

地区	2010 a				2014 a				2017 a				8年平均		
	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE
陕西	0.619	0.682	0.907	irs	0.703	0.727	0.887	irs	0.629	0.727	0.866	irs	0.652	0.732	0.891
甘肃	0.452	0.623	0.726	irs	0.364	0.617	0.705	irs	0.3	0.487	0.616	irs	0.370	0.551	0.668
青海	0.488	1	0.488	irs	0.469	1	0.493	irs	0.355	1	0.355	irs	0.450	1	0.450
宁夏	0.44	0.992	0.444	irs	0.435	0.97	0.443	irs	0.432	1	0.432	irs	0.429	0.964	0.445
新疆	0.599	0.717	0.835	irs	0.447	0.669	0.819	irs	0.372	0.486	0.765	irs	0.458	0.576	0.793
均值	0.68	0.77	0.8		0.693	0.787	0.884		0.65	0.758	0.862		0.637	0.905	0.706

其中 TE、PIE、SE、RTS 分别代表综合效率、纯技术效率、规模效率和规模报酬。从全国范围来看, 2010~2017 年间各省每年规模效率均超过 0.8, 综合效率均值除了 2010~2012 年上下波动, 从 2013 年开始综合效率平均水平每年呈下降趋势。从省级层面来看, 8 年时间里全国有 24 个省平均综合效率达到 0.5 以上, 其中北京、上海和广东始终位于效率前沿面, 平均综合效率为 1, 其次是天津、江苏和浙江平均综合效率高于 0.9。有 6 省平均综合效率均为 0.5 以下, 分别是新疆、青海、云南、贵州、宁夏和甘肃, 其中甘肃省全国最低。全国有 18 个省平均规模效率达到 0.9 以上, 其他省份均有不同程度的处于无效率状态, 其中青海、宁夏两省平均规模效率低于 0.5。在纯技术效率方面, 原本平均综合效率较低的海南、青海两省, 平均纯技术效率为 1, 宁夏次之为 0.964, 说明海南、青海处于

技术前沿面上。在规模效率方面, 绝大多数省份规模效率均高于纯技术效率, 这表明综合无效的结果来自于纯技术无效, 并不是受规模无效影响。

此外, 每年能达到效率前沿面的省份数量仅为 4~6 个, 其余省份均未达到效率前沿面, 存在投入不足情况。但是, 此结果没有剔除环境要素和随机扰动等因素, 并不是真实能源效率, 所以需要进一步测算。

2.2 第二阶段 SFA 回归结果分析

第二阶段 SFA 回归结果是将第一阶段能源、劳动和资本投入的松弛变量作为因变量, 将经济发展水平、产业结构、生产技术和科技发展水平等 4 个环境变量作为自变量, 运用 Frontier4.1 软件, 得出 SFA 回归结果, 且所有年份均通过 LR 单边检验。由于篇幅限制, 表 3 仅列出 2017 年回归结果, 表中括号里数据代表 T 值。

表 3 SFA 回归结果

	能源投入	劳动投入	资本投入
常数项	839.70796 (1.5434887)	1278.6523*** (63.105256)	19687.681*** (60.043179)
经济发展水平	-0.037883043 (-5.3853882)	-0.029020631*** (-783.24828)	-0.58851163 (-7.4254123)
产业结构	-3988.7525 (-16.487895)	-103.07872 (-2.3776411)	50781.222*** (684.02122)
生产技术水平	690.30888 (3.6195511)	-162.62104*** (-380.37949)	-14217.895 (-13.706612)
科技投入水平	152397.44*** (29826.245)	38293.189*** (30053.639)	754695.98*** (41627.8)
sigma-squared	30976410*** (30958197)	1020307.2*** (1016508.6)	524580870*** (524501450)
gamma	0.9913916*** (90.333667)	0.99999999*** (16096987)	0.89563086 (8.0257542)

注: ***表示1%水平下显著, **表示5%水平下显著, *表示10%水平下显著。

从经济发展水平来看, 经济发展水平对能源、劳动和资本的投入松弛变量的影响均为负值, 与劳动投入松弛变量的回归系数在 1% 水平下显著。说明实际人均 GDP 的增加导致能源、劳动和资本的投入松弛变量减少, 且回归结果显示劳动的投入冗

余影响较大, 这一现象也说明了人均实际 GDP 更多是由劳动投入作用的。因此, 实际人均 GDP 的增加减少了能源、劳动和资本的投入, 从而产生节约现象。

产业结构。回归结果显示, 产业结构对能源、

劳动的投入松弛变量的影响为负数,对资本投入的松弛变量的影响为正数,且资本投入松弛变量在1%水平下显著。结果说明,当回归系数为负时,第二产业的增加将会减少能源和劳动的投入冗余;原因是二产占总产比值增加,势必会增加能源和劳动的投入量,比较符合我国第二产业中能源和劳动力占主导地位的情况。当回归结果为正时,第二产业的增加将会导致资本投入的浪费;原因是我国技术创新能力不高,资本投入的利用效率较低,二产的比重增加势必会影响能源利用效率。

生产技术水平。回归结果显示,能源投入随机变量的影响为正数,劳动和资本投入随机变量的影响为负数,且劳动投入随机变量在1%水平下显著。结果说明,当回归系数为正数时,单位GDP能耗的增加会导致能源的投入浪费;原因是能源投入的利用水平较低,增加单位GDP能耗增加,势必会造成资源的浪费。相反,当回归系数为负数时,将会减少劳动和资本投入的冗余。

科技投入水平。回归结果显示,从2014年开始科技投入水平与能源、劳动和资本投入松弛变量的影响均为正数,且3个结果均在1%水平下显著,这说明生产水平的提高无法实现能源效率的提高。原因是随着R&D经费支出增加,对提高企业能源效率有很大的作用,但当技术进步到一定水平后,科技投入的增加会导致资源的浪费。

基于上述分析,由于环境变量和随机扰动对不同地区的影响存在差异,会导致不同程度外部环境下的地区效率表现出现较大偏差。因此,需要对原阶段的投入变量进行调整,使得各地区具有相同的外部环境,从而测算出真实能源效率。

2.3 第三阶段 DEA 结果分析

此阶段是剔除我国30个省、直辖市、自治区的环境因素和随机扰动影响后的能源效率值,将调整后的投变量和原始产出变量代入公式(1)中,再次运用DEAP2.1软件,限于篇幅仅列出2010、2014、2017年结果,见表4。

表4 我国30个省能源效率比较(第三阶段DEA结果:2010、2014、2017a)

地区	2010 a				2014 a				2017 a				8年平均		
	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE
北京	0.708	0.9	0.787	irs	1	1	1	-	1	1	1	-	0.922	0.980	0.938
天津	0.618	1	0.618	irs	0.785	0.959	0.819	irs	0.63	0.858	0.735	irs	0.677	0.940	0.720
河北	0.64	0.741	0.863	irs	0.679	0.775	0.877	irs	0.592	0.735	0.806	irs	0.641	0.756	0.848
山西	0.629	0.928	0.678	irs	0.556	0.846	0.657	irs	0.476	0.881	0.541	irs	0.544	0.871	0.623
内蒙古	0.637	0.917	0.695	irs	0.602	0.807	0.746	irs	0.463	0.761	0.608	irs	0.601	0.860	0.696
辽宁	0.825	0.991	0.833	irs	0.805	0.917	0.877	irs	0.626	0.848	0.739	irs	0.767	0.926	0.825
吉林	0.597	0.945	0.632	irs	0.784	1	0.784	irs	0.554	0.905	0.612	irs	0.653	0.974	0.669
黑龙江	0.607	0.879	0.69	irs	0.569	0.831	0.685	irs	0.483	0.899	0.537	irs	0.558	0.882	0.634
上海	0.922	1	0.922	irs	0.839	0.984	0.853	irs	0.821	1	0.821	irs	0.835	0.988	0.846
江苏	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1
浙江	0.935	1	0.935	irs	0.926	0.969	0.955	irs	0.873	0.923	0.946	irs	0.916	0.972	0.943
安徽	0.709	0.88	0.806	irs	0.758	0.881	0.861	irs	0.762	0.956	0.797	irs	0.720	0.882	0.818
福建	0.803	1	0.803	irs	0.828	0.935	0.886	irs	0.805	0.963	0.836	irs	0.812	0.960	0.846
江西	0.748	1	0.748	irs	0.831	1	0.831	irs	0.723	0.992	0.729	irs	0.765	0.986	0.776
山东	0.8	0.81	0.989	irs	0.794	0.809	0.981	irs	0.773	0.8	0.965	irs	0.797	0.814	0.979
河南	0.813	0.882	0.922	irs	0.687	0.761	0.903	irs	0.715	0.788	0.907	irs	0.745	0.826	0.902

续表 4

地区	2010 a				2014 a				2017 a				8 年平均		
	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE	RTE	TE	PTE	SE
湖北	0.575	0.717	0.802	irs	0.698	0.812	0.86	irs	0.722	0.817	0.884	irs	0.660	0.795	0.830
湖南	0.575	0.705	0.816	irs	0.734	0.865	0.848	irs	0.749	0.862	0.869	irs	0.682	0.827	0.825
广东	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1	-	1	1	1
广西	0.597	0.853	0.699	irs	0.679	0.906	0.75	irs	0.573	0.889	0.644	irs	0.629	0.911	0.691
海南	0.24	0.978	0.245	irs	0.385	1	0.385	irs	0.401	1	0.401	irs	0.345	0.989	0.347
重庆	0.551	0.928	0.594	irs	0.641	0.91	0.704	irs	0.672	0.974	0.69	irs	0.614	0.939	0.653
四川	0.535	0.636	0.841	irs	0.617	0.768	0.804	irs	0.621	0.74	0.839	irs	0.592	0.731	0.812
贵州	0.309	0.7	0.441	irs	0.402	0.89	0.451	irs	0.412	0.976	0.422	irs	0.359	0.865	0.416
云南	0.442	0.723	0.611	irs	0.485	0.867	0.559	irs	0.486	0.914	0.531	irs	0.463	0.848	0.549
陕西	0.622	0.9	0.691	irs	0.699	0.918	0.761	irs	0.576	0.866	0.665	irs	0.634	0.911	0.696
甘肃	0.375	0.852	0.44	irs	0.375	0.867	0.433	irs	0.354	0.987	0.359	irs	0.356	0.922	0.388
青海	0.195	1	0.195	irs	0.247	1	0.247	irs	0.171	1	0.171	irs	0.206	1	0.206
宁夏	0.205	0.941	0.217	irs	0.235	0.92	0.255	irs	0.215	1	0.215	irs	0.209	0.931	0.225
新疆	0.493	0.954	0.517	irs	0.434	0.808	0.537	irs	0.362	0.807	0.448	irs	0.420	0.866	0.485
均值	0.623	0.892	0.701		0.669	0.9	0.744		0.62	0.905	0.691		0.922	0.980	0.938

对比第三与第一阶段 DEA 结果分析如下。

从全国来看。8 年间平均综合效率整体出现先增后降趋势,在 2015 年最高为 0.669。纯技术效率方面,8 年间调整后的全国平均纯技术效率均有较大提高,且自 2013 年开始,全国平均技术效率均在 0.9 以上。规模效率方面,八年间平均规模效率值在 0.6~0.7 之间,出现这种现象说明,规模不经济性是造成能源效率低下的原因,不是由于纯技术无效决定的。

从省份来看。综合效率方面,8 年间只有江苏和广东综合效率值为 1,北京自 2014 年之后综合效率值也达到 1,上海、天津、内蒙、海南、宁夏和青海平均综合效率有较大幅度下降,山东、辽宁、河南、湖南、湖北、河北、重庆、四川、黑龙江、山西和云南共 11 个省平均综合效率均有不同程度的提高;结果说明,全国只有江苏和广东两省八年里始终位于效率前沿面,其它省、市均未达到前沿面,且具有较大程度的提升空间。纯技术效率方面,8 年间除了江苏和广东两省外,有北京、天津、上海、海南和宁夏 5 个省份平均纯技术效率略微降低,其余

23 个省份的平均纯技术效率均有不同程度的提升,其中山西、黑龙江、甘肃提高了 0.3 以上。大部分地区规模效率相对小于同时期的纯技术效率,表明企业认识到能源利用的重要性,提高了能源效率。当前中国能源紧缺的现状下,企业规模经济的高低直接影响经济的发展。

3 结论

1)各年份调整后的平均综合效率和规模效率均低于调整前的水平,其中规模效率下降幅度较大;纯技术效率在不同时期存在轻微的波动,但整体水平很高。说明能源综合效率不高受规模效率影响,各省大多数企业的管理水平比较成熟,但企业规模小,能源利用重视程度不足导致规模效率低下。

2)从第三阶段 DEA 结果显示,全国各地区每年规模报酬都处于递增趋势,这说明全国各地区中小企业发展中,只关注经济效益,并不重视能源利用效率,导致能源利用的规模不经济。因此,企业规模大小是影响能源利用的规模不经济性的重要

因素,我国中小企业还应加大能源投入量,从而实现能源利用的规模经济性。

3)从省份上看,北京、上海、江苏、广东和浙江等经济发达省份能源效率比较高,说明这些省份人才集聚、新技术开发能力强;青海、宁夏、甘肃、新疆、贵州和海南等经济欠发达地区,能源效率较低,这与经济发达地区产业结构有很大关系。经济发达省份第三产业占比较高,在相同地区生产总值不变情况下,第三产业占比越高,能源效率也会越高。由于北京、上海地区与其它省份产业发展定位不同,经济欠发达地区短期内无法实现产业结构较大调整。因此,经济欠发达地区应加强地区合作,学习和借鉴发达地区先进管理经验和先进技术,不断推进技术进步,提高能源利用效率。

参考文献

- [1] 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.
- [2] PATTERSON M G. What is energy efficiency?[J]. *Energy Policy*, 1996, 24(5): 377-390.
- [3] 张少华,蒋伟杰. 能源效率测度方法: 演变、争议与未来[J]. 数量经济技术经济研究, 2016, 33(7): 3-24.
- [4] 王莉. 基于SSBM-DEA模型的工业能源效率测算及分析[J]. 经济体制改革, 2019(2): 128-133.
- [5] 王秋莲,黄愿. 基于DEA的制造系统全要素能源效率评价与优化[J]. 工业工程, 2019, 22(5): 19-24.
- [6] 李双杰,李春琦. 全要素能源效率测度方法的修正设计与应用[J]. 数量经济技术经济研究, 2018, 35(9): 110-125.
- [7] 范秋芳,王丽洋. 中国全要素能源效率及区域差异研究——基于BCC和Malmquist模型[J]. *工业技术经济*, 2018, 37(12): 61-69.
- [8] FRIED H O, LOVELL C A K, SCHMIDT S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 17(1-2): 157-174.
- [9] 蒋姝睿,谭雪,石磊,等. 京津冀大气污染传输通道城市的工业大气污染排放效率分析-基于三阶段DEA方法[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(6): 141-149.
- [10] 汪克亮,孟祥瑞,杨力,等. 我国主要工业省区大气污染排放效率的地区差异、变化趋势与成因分解[J]. *中国环境科学*, 2017, 37(3): 888-898.
- [11] 王奇,李明全. 基于DEA方法的我国大气污染治理效率评价[J]. *中国环境科学*, 2012, 32(5): 942-946.
- [12] 郑石明,罗凯方. 大气污染治理效率与环境政策工具选择——基于29个省市的经验证据[J]. *中国软科学*, 2017(9): 184-192.
- [13] 黄德春,董宇怡,刘炳胜. 基于三阶段DEA模型中国区域能源效率分析[J]. *资源科学*, 2012, 34(4): 688-695.
- [14] 江洪,赵宝福. 碳排放约束下中国区域能源效率测度与解构——基于三阶段DEA方法[J]. *价格理论与实践*, 2015(1): 103-105.
- [15] 徐志强,吕斌,戴岳. 基于三阶段DEA模型的中国地区能源效率评价[J]. *中国矿业*, 2013, 22(5): 44-48.
- [16] XIANG Z, CHEN X H, LIAN Y Q. Quantifying the vulnerability of surface water environment in humid areas base on DEA method[J]. *Water Resources Management*, 2016, 30(14): 1-12.
- [17] 买亚宗,孙福丽,石磊,等. 基于DEA的中国工业水资源利用效率评价研究[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(11): 42-47.
- [18] JONDROW J, LOVELL K C A, MATEROV I S, et al. On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model[J]. *Journal of Econometrics*, 1982, 19(2-3): 233-238.
- [19] 李珂,杨洋. 我国省际资本存量与资本回报率的估算: 2000—2015[J]. *天津商业大学学报*, 2018, 38(6): 27-33.
- [20] 范巧. 永续盘存法细节设定与中国资本存量估算: 1952—2009年[J]. *云南财经大学学报*, 2012, 28(3): 42-50.