

DOI:10.13216/j.cnki.upcjess.2024.01.0003

我国“一带一路”节点城市全要素能源效率空间分异研究

王双英,魏 萍,华雅瑶

(青岛理工大学 商学院,山东 青岛 266555)

摘要:利用含非期望产出的 SUPER-SBM-DEA 模型测算 2005—2019 年我国“一带一路”17 个节点城市的全要素能源效率,并从时间和空间两个维度分别进行对比分析,借助 Tobit 模型探究其影响因素。研究表明:各节点城市全要素能源效率总体水平较低,城市间全要素能源效率差异较大,存在不平衡性;“一路”节点城市全要素能源效率始终高于“一带”节点城市,但两者均呈收敛之势;各节点城市 Malmquist 指数均大于 1,技术进步对“一带”节点城市能源效率增长贡献较“一路”节点城市更为显著,“一路”节点城市技术效率差异较大;生产要素比例、对外开放程度、科技研发和能源价格对节点城市全要素能源效率提高有积极影响,经济发展水平和工业污染则对其有消极影响;经济发展水平对“一带”节点城市能源效率的影响显著为正,生产要素比例、能源消费结构却抑制其发展,而这三个要素对“一路”节点城市能源效率的影响与之相反。

关键词:“一带一路”节点城市;全要素能源效率;SUPER-SBM-DEA 模型;Tobit 模型
中图分类号:F224;F426.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-5595(2024)01-0022-07

一、引言

“一带一路”倡议提出 10 年来,我国持续深化能源体制改革,不断促进国内外能源建设和利用等领域的友好合作,力图构建多元化、环保型的能源供应体系。^[1]截至 2022 年年底,我国约 75% 的石油进口来源于“一带一路”沿线国家和地区,煤炭、天然气在相关地区的进口量也急剧上升。^[2]随着能源消费量不断攀升,我国环境污染问题日益严峻,其中,“一带一路”地区工业废水排放量占全国比重从 2013 年的 46.49% 上升到 2020 年 49.53%,二氧化硫排放量占全国比重从 2013 年的 47.34% 上升到 2020 年 54.35%。^[1]也有专家研究发现,“一带一路”沿线地区发展受能源制约较强,全要素能源效率未见进步。^[3-4]城市作为一个地区能源消费、环境变化的主要载体,相对于国家维度,能更好地反映地区能源利用状况。^[5-6]城市能源效率的测度分析能够为地区能效标杆的确立及节能政策的制定提供参考依据,提高城市能源利

用效率,可有效减轻区域能源及环境压力。^[7]因此,研究我国“一带一路”节点城市能源效率及其影响因素,对全面促进我国城市绿色转型及区域高质量发展具有重要意义。

二、文献综述

“一带一路”倡议提出后,众多学者从不同层面对“一带一路”沿线区域能源效率进行研究。岳立等^[8]测度了 2006—2015 年“一带一路”沿线 55 个国家的全要素能源效率及其变动趋势,发现“一带一路”沿线国家绿色能源效率水平不高,国别差异较大,但近年来该差距存在缩小趋势。李晓菲^[9]利用我国 2003—2015 年“一带一路”沿线省份数据计算能源效率值,发现沿线省份的全要素能源效率不高且区域间的能源效率发展具有不平衡性和差异性。杨仲山等^[4]对“一带一路”重点地区全要素能源效率进行了量化分析,发现这些地区全要素能源效率未见进步。但也有专家研究发现,“一带一路”节点城市作为我国加大开放的前沿地区,推动了我

收稿日期:2023-03-06

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71774087)

作者简介:王双英(1981—),女,山东菏泽人,青岛理工大学商学院教授,博士,研究方向为能源消费与能源效率。

国的经济发展和能源转型。^[5]

早期,能源效率测算的框架大多为“单投入—单产出”形式,如采用能源强度或能源生产率来反映能源效率^[10-11],这两种方法虽然简单、方便,但忽略了其他要素的影响。在这种情况下,考虑劳动、资本投入及指标间关联作用的“多投入—单产出”测算框架得到拓展。Hu 等^[12]最早提出全要素能源效率概念,并研究了多元投入和国内生产总值之间的关系,有效避免了单一要素测度的偏差。后来,环境污染问题逐渐引起了人们的注意,包含工业废水、废气等非期望产出的“多投入—多产出”能源效率测算的框架开始被广泛应用。

为研究能源效率的影响因素,屈小娥^[13]利用 Malmquist 指数分解省际能源效率后发现,技术进步明显促进能源效率提升,技术退步、纯技术效率和规模效率的下降则导致能源效率降低。杨恺钧等^[14]使用改进后的 GML 指数,对 2011—2016 年我国“一带一路”沿线省份的全要素能源效率进行效率分解,发现技术落后是导致沿线省份能源效率下降的主要原因。宫大鹏等^[15]发现产业结构对东部地区能源效率有积极影响,但对中部地区有消极影响。马晓君等^[16]则发现,在东北地区科研投入对能源效率有正影响,对产业结构有负影响。杨仲山等^[4]研究发现,经济发展、产业结构、对外开放和能源价格可以促进“一带一路”地区能源效率提高,而研究开发、政府干预、生产要素比则没有产生正面影响,工业污染则是显著负影响。

综上所述,现有文献对“一带一路”沿线地区能源效率研究结论不一,研究对象主要集中在国家和省份层面,城市层面能源效率的分析较少;此外,也缺少对“一带”“一路”节点城市能源效率及其影响因素的对比分析,不利于制定针对性的能源政策。故本文从能源、环境和经济三方面考虑,利用含非期望产出的 SUPER-SBM-DEA 模型,测算“一带一路”节点城市能源效率,对比“一带”“一路”节点城市能源效率水平及发展趋势,分析不同因素如经济发展水平、生产要素比例、能源结构等对“一带”“一路”节点城市能源效率影响的差异,探索适合“一带一路”节点城市能源效率提升的对策建议,促进“一带一路”节点城市绿色转型。

三、模型设定及指标选取

(一)含非期望产出的 SUPER-SBM-DEA 模型

简单的数据包络分析(DEA)无法处理生产过程中不可避免的产出不足和投入冗余等问题^[17],基于此 Tone^[18]构建了含非期望产出的 SBM-DEA 模

型。但是,该模型计算出的效率值只能保持在(0, 1] 区间内,而有效率的决策单元(DMU)取值均为 1,造成有效率 DMU 之间不能比较。故本文参考钱振华等^[19]的研究,使用含非期望产出的 SUPER-SBM-DEA 模型评估 DMU(x, y, z)。假设有 n 个 DMU,每一个 DMU 包含的投入、期望产出和非期望产出分别由三个向量 $X = [x_1 \cdots x_n] \in R^{m \times n}$, $Y = [y_1 \cdots y_n] \in R^{s_1 \times n}$, $Z = [z_1 \cdots z_n] \in R^{s_2 \times n}$ 表示,且 $X > 0$, $Y > 0$, $Z > 0$,在规模报酬不变(CRS)的前提下,三个向量组成的生产可能性集为 $P = \{ (x, y, z) | x \geq \lambda X, y \leq \lambda Y, z \geq \lambda Z, \lambda \geq 0 \}$,其中, $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \cdots, \lambda_n] \in R^n$ 表示权重系数向量。计算公式为

$$\begin{aligned} \rho = \min & \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^x}{x_{i0}}}{1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{k=1}^{s_1} \frac{s_k^y}{y_{k0}} + \sum_{l=1}^{s_2} \frac{s_l^z}{z_{l0}} \right)} \\ s. t. & x_{i0} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_{ij} - s_i^x, \quad \forall i; \\ & y_{k0} \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_{kj} + s_k^y, \quad \forall k; \\ & z_{l0} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j z_{lj} - s_l^z, \quad \forall l; \\ & 1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{k=1}^{s_1} \frac{s_k^y}{y_{k0}} + \sum_{l=1}^{s_2} \frac{s_l^z}{z_{l0}} \right) > 0; \\ & s_i^x \geq 0, s_k^y \geq 0, s_l^z \geq 0, \lambda_j \geq 0, \quad \forall i, j, k, l \end{aligned} \quad (1)$$

式(1) 满足规模报酬不变假设。如果在式

(1) 中添加约束 $\sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j = 1$,则公式满足规模报酬可变(VRS)情形。为得出所有 DMU 的可比值,本文采用含非期望产出的 SUPER-SBM-DEA 模型,以测算出更接近真实值的全要素能源效率。

(二) Malmquist 指数

在规模报酬不变的前提下, Malmquist 指数可分解为技术进步指数(TC)和技术效率变化指数(EC)两部分,其计算公式为

$$Mc = TC(CRS) \times EC(CRS) \quad (2)$$

$$Mc(x_{t+1}, y_{t+1}, x_t, y_t) =$$

$$\frac{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^t(x^t, y^t)} \sqrt{\frac{D_c^t(x^t, y^t)}{D_c^{t+1}(x^t, y^t)} \times \frac{D_c^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}}$$

式中: Mc 为 CRS 条件下 Malmquist 指数,表示规模报酬不变时全要素能源效率(TFEE)的变化趋势,若 Mc 大于 1 意味着 TFEE 增长,小于 1 意味着 TFEE 减小,等于 1 意味着 TFEE 不变; EC 值大于 1 代表技术效率增大,小于 1 代表技术效率减小,等于 1 代表技术效率不变; TC 值大于 1 表示技术改善,小于

1 表示技术退步,等于 1 表示技术无变化。

在规模报酬可变的前提下,Malmquist 指数可分解为技术进步指数(TC)、纯技术效率指数(PEC)和规模效率指数(SEC)三部分,即

Mv=TC(VRS)×PEC(VRS)×SEC(VRS) (3)

$$Mv(x_{t+1},y_{t+1},x_t,y_t)=\frac{D_v^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_v^t(x^t,y^t)}\sqrt{\frac{D_v^t(x^t,y^t)}{D_v^{t+1}(x^t,y^t)}\times\frac{D_v^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_v^t(x^{t+1},y^{t+1})}}$$
$$\sqrt{\frac{D_v^t(x^{t+1},y^{t+1})/D_v^t(x^{t+1},y^{t+1})}{D_v^t(x^t,y^t)/D_v^t(x^t,y^t)}\times\frac{D_v^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})/D_v^{t+1}(x^{t+1},y^{t+1})}{D_v^{t+1}(x^t,y^t)/D_v^{t+1}(x^t,y^t)}}$$

式中:Mv 是 VRS 条件下 Malmquist 指数,表示规模报酬可变时全要素能源效率的变化趋势,PEC 通过比较同一生产前沿面上不同时期的管理和技术效率,反映管理和技术变化对 TFEE 的影响,SEC 则表示规模变化对 TFEE 的影响。

(三)指标选取与数据来源

本文选取 2005—2019 年“一带一路”17 个节点城市为样本,包括天津、上海、宁波、合肥、厦门、青岛、武汉、广州、深圳、重庆、湛江、汕头、成都、长沙、西安、兰州和西宁(由于关键统计数据缺失,故未选取其他节点城市)。投入要素包括劳动力、能源、资本,产出要素包括期望产出和非期望产出。研究所

需的数据来源于样本节点城市历年统计年鉴及统计局官网。具体的投入产出指标描述性统计数据如表 1 所示。

- (1)劳动力投入,本文选取 2005—2019 年各节点城市当年全社会从业人员数表示劳动力投入。
- (2)能源投入,用 2005—2019 年“一带一路”各节点城市当期的能源消费总量来表示。
- (3)资本投入,选取各节点城市历年资本存量来表示,一般用“永续盘存法”测算, $K_{i,t}=I_{i,t}+(1-\delta_i)K_{i,t-1}$ 。其中, $I_{i,t}$ 表示*i*市第*t*年全社会固定资产投资, $K_{i,t}$ 表示*i*市第*t*年的资本存量, δ_i 表示*i*市固定资产折旧率。本文基期资本存量是借鉴单豪杰^[20]的计算方法求出的 2005 年资本存量, $I_{i,t}$ 用沿线各节点城市历年统计年鉴列出的固定资产投资价格指数平减,固定资产折旧率取值均为 10.96%。
- (4)期望产出,以 2005 年为基期,用各节点城市历年实际 GDP 来表示。
- (5)非期望产出,能源消费会导致水体、大气等环境污染,故本文选取 2005—2019 年各节点城市工业二氧化硫、工业废水和工业烟粉尘排放量作为非期望产出。

表 1 投入和产出要素描述性统计

指标		样本数	均值	中位数	标准差	最小值	最大值
投入	劳动力/万人	255	595.54	504.9	385.13	115.40	1 668.16
	能源/万吨标准煤	255	3 277.86	1 857.69	2 982.87	458.41	11 696.50
	资本/亿元	255	17 399.82	10 771.68	17 095.00	493.78	98 946.84
期望产出	GDP/亿元	255	6 034.18	4 151.45	5 602.30	240.17	29 353.72
非期望产出	工业废弃物/万吨	255	15 038.75	10 522.62	13 928.34	1 460.55	85 957.09

四、实证分析

(一)全要素能源效率测算

依据我国的地区定位,结合“一带一路”的路线规划,从所处地理位置、区域经济发展、国家政策等方面考虑,将 17 个样本城市划分为“一带”节点城市 and “一路”节点城市,其中,合肥、武汉、重庆、成都、长沙、西安、兰州、西宁为“一带”节点城市,天津、上海、宁波、厦门、青岛、广州、深圳、湛江、汕头为“一路”节点城市。本文运用 Matlab 软件测算了节点城市的全要素能源效率,结果如表 2 所示。

由表 2 可知,“一带一路”节点城市全要素能源效率平均水平处于 0.200~1.449 之间,在 2005—2019 年,节点城市能源效率均值达到 DEA 有效的仅有深圳和长沙 2 个城市,其余 15 个节点城市全要素能源效率均未达到有效状态,其中西宁的全要素能源效率均值仅为 0.200。对比“一

带”“一路”节点城市各年 TFEE 均值,2005—2019 年“一路”节点城市全要素能源效率始终高于“一带”节点城市,这与部分学者得出的沿海地区能源效率比内陆地区略高的研究结论一致^[21-24]。同时发现,2005—2019 年,“一带”节点城市全要素能源效率提高了 9.8%,“一路”节点城市提高了 14.7%,两者差距在逐渐缩小。从区域角度看,不同城市全要素能源效率存在较大差异。连续 15 年构成前沿的高效率组为深圳和长沙,其中深圳属于“一路”节点城市,长沙属于“一带”节点城市;中效率组包括上海、青岛、广州和成都,其中仅成都属于“一带”地区;低效率组包括天津、宁波、厦门、湛江、汕头、合肥、武汉、重庆、西安、兰州、西宁,前 5 个城市为“一路”地区,后 6 个城市为“一带”地区。三组城市的全要素能源效率值差距较大,表明区域间能源效率发展并不均衡。

表 2 “一带”“一路”节点城市 2005—2019 年全要素能源效率

地区	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
天津	0.404	0.387	0.377	0.363	0.355	0.342	0.367	0.388	0.411
上海	1.062	1.061	1.065	1.026	1.019	1.018	1.027	1.028	1.023
宁波	0.302	0.290	0.294	0.296	0.290	0.283	0.299	0.316	0.330
厦门	0.444	0.428	0.445	0.433	0.407	0.407	0.360	0.361	0.369
青岛	0.302	0.304	0.333	0.352	0.347	0.348	0.378	0.406	0.435
广州	0.649	0.643	0.733	1.004	1.006	1.011	1.012	1.022	1.036
深圳	1.430	1.449	1.380	1.507	1.486	1.463	1.448	1.434	1.395
湛江	0.365	0.345	0.335	0.319	0.299	0.317	0.327	0.323	0.335
汕头	0.439	0.405	0.389	0.357	0.336	0.324	0.330	0.341	0.343
“一路”	0.600	0.590	0.595	0.629	0.616	0.613	0.617	0.624	0.631
合肥	0.264	0.267	0.269	0.308	0.314	0.277	0.239	0.254	0.260
武汉	0.414	0.387	0.398	0.410	0.414	0.417	0.438	0.495	0.476
重庆	0.233	0.223	0.220	0.223	0.225	0.229	0.251	0.272	0.264
成都	0.559	0.530	0.557	0.580	0.582	0.686	0.707	1.008	1.032
长沙	1.209	1.170	1.152	1.203	1.243	1.178	1.212	1.268	1.241
西安	0.336	0.318	0.319	0.338	0.311	0.335	0.378	0.392	0.377
兰州	0.236	0.233	0.228	0.220	0.216	0.213	0.220	0.231	0.254
西宁	0.186	0.171	0.168	0.162	0.157	0.161	0.168	0.185	0.199
“一带”	0.430	0.412	0.414	0.431	0.433	0.437	0.452	0.513	0.513
地区	2014	2015	2016	2017	2018	2019	均值	排序	分组
天津	0.417	0.436	0.409	0.381	0.371	0.368	0.385	10	低
上海	0.669	0.708	1.008	1.027	1.052	1.059	0.990	3	中
宁波	0.355	0.377	0.347	0.340	0.330	0.318	0.318	12	低
厦门	0.376	0.384	0.367	0.351	0.353	0.356	0.389	9	低
青岛	0.488	0.548	0.643	1.014	1.023	1.023	0.530	6	中
广州	1.072	1.088	1.035	1.019	1.002	1.006	0.956	4	中
深圳	1.381	1.416	1.434	1.484	1.516	1.513	1.449	1	高
湛江	0.339	0.299	0.262	0.236	0.231	0.229	0.304	13	低
汕头	0.346	0.346	0.319	0.309	0.305	0.316	0.347	11	低
“一路”	0.605	0.623	0.647	0.684	0.687	0.688	0.630	—	—
合肥	0.266	0.309	0.276	0.272	0.267	0.271	0.274	14	低
武汉	0.491	0.543	0.540	0.541	0.492	0.487	0.463	7	低
重庆	0.275	0.290	0.305	0.312	0.302	0.301	0.262	15	低
成都	0.737	0.734	0.694	1.004	1.049	1.033	0.766	5	中
长沙	1.242	1.256	1.268	1.262	1.277	1.347	1.235	2	高
西安	0.477	0.560	0.584	0.468	0.479	0.540	0.414	8	低
兰州	0.269	0.294	0.274	0.230	0.229	0.234	0.239	16	低
西宁	0.221	0.245	0.237	0.234	0.247	0.256	0.200	17	低
“一带”	0.497	0.529	0.522	0.540	0.543	0.559	0.482	—	—

(二) Malmquist 指数分解

1. 时间维度分析

表 3 给出了我国“一带”“一路”节点城市 2005—2019 年 Malmquist 指数变化及其分解结果。结果显示,“一路”节点城市全要素能源效率提升较为明显,平均提高 9.7%,“一带”节点城市全要素能源效率平均提高 8%,其中,技术进步对“一路”地区节点城市能源效率增长的贡献较“一带”地区更为显著。

2005—2019 年,“一带”“一路”节点城市技术效率指数值分别为 1.012 和 1.009。从其分解结果来看,“一带”节点城市纯技术效率上升了 0.9%,规模效率上升了 0.7%;“一路”节点城市纯技术效率上升了 0.5%,规模效率上升了 0.5%。2015—2016 年“一路”节点城市技术进步最大,增长了 17.8%,

全要素能源效率也最高,增长了 20%;“一带”节点城市部分年份存在技术进步增长率大于全要素能源效率增长率的情况。

此外,部分节点城市技术进步指数在多个年份大幅低于平均值,反映出 2005—2019 年技术进步对城市能源效率提升作用不足,纯技术效率和规模效率的贡献较小。

2. 空间维度分析

由表 4 可知,“一带一路”节点城市全要素能源效率呈现程度不一的上升趋势。其中,湛江增长幅度最小为 1.8%,广州增长幅度最大为 23.2%,说明区域能源利用效率差异较大。

17 个节点城市的技术进步指数均大于 1,其中,宁波、青岛、广州、合肥、武汉、重庆、成都、长沙、兰州、西宁属于“双高型”,SEC 和 TEC 均大于或等于

1,说明这些城市在能源技术革新、能源项目建设等方面是有效率的。上海、厦门属于“高低型”,规模效率指数大而纯技术效率指数小,因此,今后这些城市发展的重点是改善纯技术效率,需要提高这些地区的资源配置效率,加快技术革新。深圳和西安属于“低高型”,规模效率指数小于1,但纯技术效率指

数大于或等于1,这两个城市需要扩大城市能源项目建设规模。天津、湛江、汕头属于“双低型”,两个指数均小于1,说明这几个城市资源配置效率需提高,能源技术革新需加大力度且能源项目建设规模也需扩大。

表 3 2005—2019 年“一带”“一路”节点城市 Malmquist 指数变化及分解

年份	“一带”地区					“一路”地区				
	EC	TC	TEC	SEC	TFEE	EC	TC	TEC	SEC	TFEE
2005—2006	0.954	1.086	0.996	0.959	1.037	0.973	1.163	0.995	0.979	1.134
2006—2007	0.999	1.067	1.019	0.981	1.066	1.017	1.104	1.028	0.989	1.122
2007—2008	1.026	1.137	1.132	0.906	1.168	1.032	1.095	1.050	0.982	1.135
2008—2009	0.984	1.087	0.976	1.014	1.071	0.972	1.133	0.985	0.986	1.103
2009—2010	1.017	1.057	1.007	1.010	1.075	0.995	1.117	1.015	0.978	1.112
2010—2011	1.031	1.016	0.938	1.099	1.049	1.016	1.017	1.008	1.008	1.033
2011—2012	1.101	1.037	1.005	1.101	1.147	1.024	1.040	0.993	1.041	1.063
2012—2013	0.995	1.041	0.991	1.006	1.037	1.025	1.046	1.022	1.004	1.071
2013—2014	1.012	1.021	1.003	1.008	1.034	0.992	1.025	0.976	1.017	1.016
2014—2015	1.048	1.018	0.986	1.064	1.067	1.026	1.023	1.026	1.000	1.049
2015—2016	0.967	1.177	1.001	0.966	1.139	1.019	1.178	1.033	0.986	1.200
2016—2017	1.015	1.076	1.099	0.928	1.097	1.039	1.105	1.023	1.015	1.149
2017—2018	0.989	1.095	0.914	1.082	1.084	0.995	1.097	0.935	1.065	1.093
2018—2019	1.024	1.021	1.056	0.970	1.045	1.000	1.078	0.979	1.021	1.078
平均	1.012	1.067	1.009	1.007	1.080	1.009	1.087	1.005	1.005	1.097

表 4 “一带一路”节点城市 Malmquist 指数变化及分解

地区	SE	TC	TEC	SEC	TFEE
天津	0.994	1.073	0.995	0.999	1.064
上海	1.011	1.142	0.994	1.017	1.153
宁波	1.005	1.057	1.003	1.003	1.060
厦门	0.985	1.052	0.952	1.045	1.037
青岛	1.099	1.109	1.082	1.024	1.219
广州	1.036	1.188	1.033	1.002	1.232
深圳	1.005	1.061	1.009	0.996	1.067
湛江	0.969	1.052	0.983	0.985	1.018
汕头	0.978	1.049	0.994	0.984	1.024
合肥	1.005	1.071	1.004	1.001	1.076
武汉	1.013	1.077	1.014	1.000	1.089
重庆	1.019	1.057	1.017	1.002	1.077
成都	1.060	1.102	1.009	1.056	1.167
长沙	1.008	1.057	1.020	1.002	1.066
西安	1.041	1.079	1.071	0.986	1.121
兰州	1.002	1.053	1.001	1.001	1.053
西宁	1.025	1.053	1.001	1.001	1.078
平均值	1.015	1.078	1.011	1.007	1.094

(三) 基于 Tobit 模型的全要素能源效率影响因素分析

1. 影响因素说明

由于全要素能源效率影响因素众多,且各因素之间的作用尚不明确。在综合考虑前人研究的基础上,基于数据科学性、合理性和可获得性,本文选择经济发展水平(JF)、生产要素比例(YS)、能源消费结构(NY)、对外开放程度(KF)、科技研发(KJ)、能

源价格(JG)和工业污染(WR)作为“一带一路”节点城市全要素能源效率的影响因素。经济发展水平用不变价人均 GDP 的对数表示;生产要素比例用资本投入和劳动投入的比例表示;鉴于煤炭是“一带一路”节点城市主要的能源消费品种,所以能源消费结构用煤炭耗费量和能源消费总量的比值来表示;对外开放程度用各地区实际利用外资占国内生产总值的比值来表示;科技研发用专利申请受理量来表示;能源价格用原材料、动力、燃料购进价格指数来表示,并将其基期调整为 2005 年;工业污染用工业二氧化硫排放量来表示。

2. 回归分析

本文利用 Tobit 模型对考察期内各节点城市的面板数据进行回归分析。基于上述影响因素说明,构建模型为

$$EE_{it}^* = C + \beta_1 JF_{it} + \beta_2 YS_{it} + \beta_3 NY_{it} + \beta_4 KF_{it} + \beta_5 KJ_{it} + \beta_6 JG_{it} + \beta_7 WR_{it} + \varepsilon_{it}$$

(4)

式中: i 为地区, t 为时期, ε_{it} 为随机误差项。本文分别对“一带一路”节点城市、“一带”节点城市和“一路”节点城市进行了分析,结果如表 5 所示。

从表 5 可以看出,经济发展水平对“一路”节点城市的全要素能源效率影响系数显著为负,说明尽管“一路”节点城市经济发展较好,但其背后大量的能源消耗也体现在全要素能源效率中。生

产要素比例对“一带”节点城市全要素能源效率有显著抑制效应,对“一路”节点城市则有显著提升效应。我国煤炭消耗量占能源消费总量比重偏大对能源效率的提升产生了阻碍,需对我国当前的能源消费结构进行合理调整,逐步降低煤炭消耗占总能耗的比重。对外开放程度对沿线各节点城市全要素能源效率均存在显著正向影响,所以积极吸引外商投资、增大各地区实际利用外资额可以显著提升区域能源利用效率。科技研发对“一带一路”各节点城市能源效率提升有显著促进作用。能源价格上涨可以相对抑制能源消费,提高能源的利用效率,但影响程度有限。工业污染在三个回归中均显著为负,说明其不同程度地抑制了能源效率的提高,环境治理刻不容缓。

表 5 Tobit 模型回归结果

变量	“一带一路” 节点城市	“一带”节 点城市	“一路”节 点城市
常数项 C	0.435 4***	0.329 1***	0.629 1***
经济发展水平 JF	-0.084 9*	0.097 9**	-0.204 7***
生产要素比例 YS	0.002 3**	-0.002 5**	0.005 7***
能源消费结构 NY	-0.024 7	-0.019 6*	0.115 1
对外开放程度 KF	1.620 3***	1.385 6***	1.726 5*
科技研发 KJ	1.110 9**	7.603 2	9.131 6
能源价格 JG	0.001 1**	0.000 7	0.0011 *
工业污染 WR	-0.029 2**	-0.039 2***	-0.035 4*

注:***、**和*分别表示显著性水平为 1%、5%和 10%。

五、结论与建议

(一) 结论

(1)2005—2019 年“一带一路”17 个节点城市的全要素能源效率水平总体较低,虽有所上升,但上升幅度较小,区域能源利用低效现象普遍存在。“一路”节点城市全要素能源效率均值比“一带”节点城市高,但差距有逐渐缩小之势。各城市能源效率发展不均衡,形成了能源效率高中低不同等级区域群。

(2)技术进步是提升沿线各节点城市能源效率的关键因素,但部分城市技术相对落后,能源效率不高,与发展较好的城市差距较大,规模效率、纯技术效率在不同城市表现不同。

(3)生产要素比例、对外开放程度、科技研发和能源价格对“一带一路”节点城市全要素能源效率提高有积极影响,经济发展水平和工业污染则对其有显著的消极影响。经济发展水平对“一带”节点城市能源效率影响显著为正,但生产要素比例、能源消费结构却对其负向影响。经济发展水平对“一路”节点城市能源效率影响显著为负,但生产要素

比例、能源消费结构却对其起促进作用。
(二) 建议
在我国能源供需缺口日益扩大、环境规制力度越来越大等情况下,综合上述分析,为提高我国“一带一路”节点城市全要素能源效率,共建绿色“一带一路”,可以从以下几个方面着手。

(1)加快“一带一路”沿线地区市场化改革,合理制定能源建设帮扶政策,进一步提高各地区的市场接近度,以促进能源技术扩散、资源合理配置,逐步实现各地区全要素能源效率趋同。

(2)技术进步显著提升“一带一路”节点城市能源效率,故中央及地方政府应持续加大技术与科研投入,加大节能技术研发力度,发展新能源技术,完善能源技术创新与开发、应用等政策保障体系。

(3)在“一带”节点城市及区域发展过程中,生产要素比例及能源消费结构抑制了全要素能源效率的提高。因此,后续“一带”节点城市及区域全面发展过程中,应重点关注生产要素结构优化,调整产业结构,发展绿色产业以及改善能源消费结构,减少工业废弃物的排放。

(4)扩大对外开放,加强与“一带一路”沿线各国的全方位交流与合作,建设分散多元的能源贸易通道,吸引优质外资投资,提高利用外资效率,加大清洁能源的合作力度,推动节能技术的推广与应用;学习“一带一路”倡议合作国家的低碳发展经验与技术,提高我国各节点城市处理工业污染的能力。

参考文献:

[1] 国家发展改革委,外交部,商务部. 推动共建丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动[N]. 人民日报,2015-03-29(4).

[2] 李娣,何少华,王莹. 论“一带一路”倡议对国家能源安全的保障作用[J]. 新西部,2019(30):50-51.

[3] 于静,屈国强. 中国区域生态能源效率与节能减排潜力研究[J]. 统计与决策,2021,37(12):66-69.

[4] 杨仲山,魏晓雪. “一带一路”重点地区全要素能源效率测算、分解及影响因素分析[J]. 中国环境科学,2018(11):4384-4392.

[5] 王双英,陈海宁,魏萍. 中国“一带一路”沿线城市能源消费影响因素研究——基于双向固定效应模型[J]. 中国石油大学学报(社会科学版),2022,38(2):19-26.

[6] Yan D, Kong Y, Ye B, et al. Spatial Variation of Energy Efficiency based on a Super-Slack-Based Measure: Evidence from 104 Resource-based Cities[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 240:117669.

[7] 范丽伟,张露平,张慧,等. 基于异质性环境生产技术的我国城市能源效率测度研究[J]. 中国石油大学学报(社会科学版),2022,38(1):1-8.

[8] 岳立,杨玉春.“一带一路”沿线国家绿色全要素能源效率的时空分异研究——基于超效率 DEA 模型和 GML 指数法[J]. 经济问题探索,2019(6):111-119.

[9] 李晓菲.“一带一路”相关省份全要素能源效率影响因素研究[J]. 调研世界,2021(3):49-57.

[10] 屈小娥,袁晓玲. 中国地区能源强度差异及影响因素分析[J]. 经济学家,2009(9):68-74.

[11] Celil Aydin, Omer Esen. Does the Level of Energy Intensity Matter in the Effect of Energy Consumption on the Growth of Transition Economies? Evidence from Dynamic Panel Threshold Analysis[J]. Energy Economics,2018,69:185-195.

[12] Hu J L, Wang S C. Total-factor Energy Efficiency of Regions in China [J]. Energy Policy, 2006, 34 (17): 3206-3217.

[13] 屈小娥. 中国省际全要素能源效率变动分解——基于 Malmquist 指数的实证研究[J]. 数量经济技术经济研究,2009,26(8):29-43.

[14] 杨恺钧,闵崇智. 高质量发展要求下工业绿色全要素能源效率——基于中国“一带一路”沿线省份的实证[J]. 管理现代化,2019,39(4):114-117.

[15] 官大鹏,赵涛,慈兆程,等. 基于超效率 SBM 的中国省际工业化能源效率评价及影响因素分析[J]. 环境科学学报,2015,35(2):585-595.

[16] 马晓君,魏晓雪,刘超,等. 东北三省全要素能源效率测算及影响因素分析[J]. 中国环境科学,2017,37(2):777-785.

[17] 魏楚,沈满洪. 能源效率研究发展及趋势:一个综述[J]. 浙江大学学报(人文社会科学版),2009,39(3):55-63.

[18] Tone K. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: a Slacks-Based Measure(SBM) Approach[R]. Tokyo: National Graduate Institute for Policy Studies,2003.

[19] 钱振华,成刚. 数据包络分析 SBM 超效率模型无可行解问题的两阶段求解法[J]. 数学的实践与认识,2013,43(5):171-178.

[20] 单豪杰. 中国资本存量 K 的再估算:1952—2006 年[J]. 数量经济技术经济研究,2008(10):17-31.

[21] 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,2010,45(5):95-109.

[22] 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.

[23] 张志雯,王子龙. 技术异质与雾霾约束下能源效率空间分异测度研究[J]. 华东经济管理,2018,32(7):65-74.

[24] 张志辉. 中国区域能源效率演变及其影响因素[J]. 数量经济技术经济研究,2015,32(8):73-88.

责任编辑:曲 红

Study on the Spatial Differentiation of Total Factor Energy Efficiency of the "Belt and Road" Node Cities in China

WANG Shuangying, WEI Ping, HUA Yayao

(Business School, Qingdao University of Technology, Qingdao 266555, Shandong, China)

Abstract: The total factor energy efficiency of 17 cities along the Belt and Road from 2005 to 2019 is calculated by using SUPER-SBM-DEA models with unintended outputs, and the comparative anilysis is carried out from two dimensions of time and space, the influencing factors are explored with the help of Tobit model. Results display that the total factor energy efficiency of 17 cities is inefficient. The total factor energy efficiency between cities is varied and imbalanced. The total factor energy efficiency of the "Road" cities is always higher than that of the "Belt" cities. The Malmquist index of all cities along the Belt and Road is greater than 1. The contribution of technological progress to the growth of energy efficiency of the "Belt" node cities is more significant than that of the "Road" node cities. The technological efficiencies of the "Road" node cities are quite different. The proportion of production factors, the opening degree, the research and development of technology and the price of energy have positive effects on the total factor energy efficiency, while the economic development and the industrial pollution have negative effects. The level of economic development has a significant positive impact on the energy efficiency of the "Belt" node cities, while the proportion of production elements and energy consumption structure repress its development. Conversely, these three factors have negative impacts on the energy efficiency of the "Road" node cities.

Key words: the "Belt and Road" node cities; total factor energy efficiency; unintended outputs; SUPER-SBM-DEA model; Tobit model

英文编校:马志强