

“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

杨仲山,魏晓雪* (东北财经大学统计学院,辽宁 大连 116025)

摘要: 将“一带一路”国内重点地区作为研究对象,从“一带”和“一路”角度分析重点地区全要素能源效率.遵循测算、分解及影响因素分析的研究路径,考虑水体和大气污染两方面的三种非期望产出,采用超效率 SBM 模型测算重点地区 2005~2015 年的全要素能源效率,以 Malmquist 指数分解全要素能源效率变动,通过 Tobit 模型对 10 种影响因素进行回归分析.研究发现:2005~2015 年,“一带一路”重点地区全要素能源效率未见进步.以经济带划分的全要素能源效率存在差异,“一路”地区全要素能源效率最高,“一带一路”重点地区总体次之,“一带”地区最低,分别稳定在 0.96、0.82 和 0.76 的水平;大部分重点地区的 Malmquist 指数大于 1,显示生产效率进步,可能存在“回弹效应”;经济发展、产业结构、对外开放和能源价格可以促进重点地区全要素能源效率提高,研究开发、政府干预、生产要素比没有带来正面影响,工业污染显示显著负影响.最终.

关键词: “一带一路”倡议; 全要素能源效率; 超效率 SBM 模型; Malmquist 指数; 影响因素

中图分类号: X22 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-6923(2018)11-4384-09

Total factor energy efficiency of the regions along the belt and road: Measurement, decomposition and influence factors analysis. YANG Zhong-shan, WEI Xiao-xue* (School of Statistics, Dongbei University of Finance and Economics, Dalian 116025, China). *China Environmental Science*, 2018,38(11): 4384~4392

Abstract: The total factor energy efficiency (TFEE) of the Belt and Road (B&R) key regions in China are the research objectives. The research scheme consists: measurement, decomposition and influence factors analysis. Three kinds of undesirable outputs of air and water pollution is considered. Firstly, a super-efficiency SBM model was used to measure the TFEE of the key regions during 2005~2015. Then, a Malmquist index was applied to analyze the TFEE changes. Finally, a Tobit model was applied to analyze 10 influence factors. The results showed that, during 2005~2015, no significant progress is found in the TFEE of key regions; and there existed difference in the TFEE with different economic belts: “the road” key regions had the highest TFEE, followed by the whole key regions, and “the belt” key regions had the lowest TFEE. The TFEE of them are stabled at 0.96, 0.82 and 0.76 level. The Malmquist index of most of the key regions is larger than 1, indicating that the productivity has improved but there may be the rebound effect. In addition, we found that, economic development, industrial structure, opening-up and energy price were the major positive influence factors of TFEE; while research and development, government intervention, productive factor proportion and industrial pollution were the major negative influence factors of TFEE.

Key words: the belt and road initiative; total factor energy efficiency; super efficiency-SBM model; Malmquist index; influence factor.

2016年,中国以74.36万亿人民币的经济总量继续位居世界经济总量第二位^[1].然而,可观的经济总量背后隐含着庞大的能源消费.尽管2016年中国能源消费总量增长仅1.3%,中国仍是世界最大能源消费国^[2].以高能源消费带动经济发展的模式并非长远之计.首先,与发达国家相比,中国的能源强度偏高.2016年,在世界能源消费总量中,中国有着最高的煤炭消费量(50.6%),第二高的石油消费量(13.1%)和第三高的天然气消费量(5.9%);与此同时,美国、日本和德国一次能源消费总量分别为17.1%、3.4%和2.4%^[2].其次,中国对非清洁能源依赖严重.2016年,中国能源消费结构中煤炭和石油消费共占80.3%,清洁能源仅占19.7%,清洁能源的比重偏低^[3].最后,

大量非清洁能源消耗带来了严重的环境污染问题.如:2016年中国CO₂排放占据世界CO₂排放的27.3%,美国、日本和德国分别为17.5%、4%和2.6%^[2].因此,未来发展目标应当是在高质量经济增长基础上降低环境污染.“一带一路”是中国提出的双多边区域合作倡议,惠及范围广至亚、欧、非三个大陆^[4].其顶层设计中强调“促进基础设施互联互通”.沿线国家已陆续与国内相关地区开展电力资源开发、电网建设、油气管网建设等合作.因此,全面了解境内相关地区的能源效率有利于顺利实现能源规划目

收稿日期: 2018-04-08

基金项目: 国家社科基金重大项目(13&ZD171)

* 责任作者, 在读博士生, Xiaoxueweideufe@163.com

标.根据《推动共建丝绸之路经济带 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动》(愿景与行动)^[4]，“一带一路”在中国境内主要涉及 18 个重点省、市、自治区(简称为重点地区):内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、上海、浙江、福建、广东、广西、海南、重庆、云南、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆和西藏.2015 年,重点地区能源消费总量为 21.06 亿 t 标准煤,约占全国能源消费总量的 49%;工业废水排放量达到 75.51 亿 t,约占全国工业废水排放量的 10.27%;二氧化硫排放量达到 763.3 万 t,约占全国二氧化硫排放量的 41.06%;工业烟粉尘排放量达到 553.9 万 t,约占全国工业烟粉尘排放量的 36.02%;重点地区 GDP 之和达到 24.31 万亿人民币,约占全国 GDP 的 35.61%,2016 年该比例上升至 47.56%².因此,从能源消费、环境保护和经济发展三方面考虑,重点地区不容忽视.然而,从能源、环境和经济三方面考察,重点地区能源效率测算和比较研究相对较少.关注重点地区环境污染下的全要素能源效率,将有利于改善重点地区总体全要素能源效率,更好地参与“一带一路”能源互联网建设,促进与沿线国家在能源建设和利用方面互补互通.

1 文献综述

能源效率早期研究主要采取“单投入-单产出”形式,忽略了其他要素的作用.因此,考虑资本和劳动投入的“多投入-单产出”的全要素能源效率测算框架得到发展.后来,伴随环境污染问题日益加剧,能源效率的研究框架向包含非期望产出的“多投入-多产出”模式演进.测算框架改进的同时,测算方法也在不断进步.数据包络分析^[5](Data envelope analysis, DEA)作为非参数、非随机方法,在能源效率分析中得到广泛应用.Anderson 等^[6]于 1993 年提出超效率 DEA 来为前沿决策单元(Decision-making unit, DMU)进行排序.韩一杰等^[7]应用超效率 DEA 分析中国地区钢铁行业的能源效率,但将 CO₂ 排放量处理为投入存在问题.为了更好处理非期望产出,Tone 提出包含非期望产出的 SBM 模型^[8](Slack-based measure model, SBM).Li 等^[9]和范丹等^[10]使用 SBM 考察了包含非期望产出的区域全要素能源效率,二者均发现不考虑环境污染会对高估能源效率.然而,SBM 模型的缺点在于无法处理前沿 DMU 的排

序问题.因此,出现了将超效率 DEA 和 SBM 模型结合的应用.Li 等^[11]、宫大鹏等^[12]均基于超效率 SBM 模型测算能源效率.超效率与 SBM 模型的结合既实现了对非期望产出的处理,又可对前沿 DMU 效率进行排序,然而以上研究局限于工业部门能源效率的测算.目前超效率 SBM 模型在区域能源效率测算的应用较少.

能源效率分析通常有两种路径:分解分析和回归分析.被广泛应用的分解方法是 Malmquist 指数,是 Malmquist 于 1953 年提出,由 Caves 等^[13]首次介绍的一种基于距离函数的生产效率分解指数.屈小娥^[14]应用 Malmquist 指数分解中国省际全要素能源效率,发现前沿地区能源效率提高主要由技术进步推动,能源效率低的地区主要受技术退步、纯技术效率和规模效率影响.Feng 等^[15]发现在技术进步驱动下能源效率有提高,地区间技术水平存在差距,规模效率变动显示下降.然而,指数分解不能解释全部能源效率变化.如:指数显示技术进步但能源效率显示降低^[16].并且 Malmquist 指数仅在截面维度解释能源效率变动.为补充其他因素影响和面板维度,还需要进行回归分析.Tobit 模型因其可以处理受限因变量问题,常被用于处理能源效率影响因素的回归分析.Li 等^[11]、宫大鹏等^[12]、马晓君等^[16]、刘丹丹等^[17]、Lv 等^[18]均通过 Tobit 模型对能源效率可能存在的影响因素进行了回归分析.刘丹丹等^[17]发现产业结构和技术进步对西部地区能源效率有正影响,能源价格和煤炭消费有负影响.Lv 等^[18]发现中国区域能源效率存在较大差异,能源消费结构和制度因素对地区能源效率起促进作用,产业结构对能源效率有负影响.宫大鹏等^[12]发现地区 GDP、产业结构、外商直接投资等对东部地区工业化石能源效率有正影响,产业结构对中部地区工业化石能源效率有负影响.马晓君等^[16]发现产业结构对东北地区城市能源效率有负影响,科研投入有正影响.

上述研究普遍存在的不足在于:研究视角上缺少对大型倡议合作项目的关注,尤其缺乏对“一带一路”境内重点地区全要素能源效率测算、分解和影

1.“一带一路”是“丝绸之路经济带”和“21 世纪海上丝绸之路”的简称,后文将:“丝绸之路经济带”简称“一带”,将“21 世纪海上丝绸之路”简称“一路”.

2. 2015 年数据来自《中国统计年鉴 2016》.2016 年重点地区占全国 GDP 比值为根据《中国统计年鉴 2017》数据计算.全国 GDP 并非为各地区 GDP 简单加总而来,该比值进行了简化处理.

响因素分析的研究.因此,本文关注“一带一路”重点地区能源效率,对其进行测算、分解和影响因素分析的研究.

2 研究方法

本文遵循“测算-分解-分析”的研究思路,采用“超效率 SBM-Malmquist-Tobit 模型”的方法路径.以下对上述方法路径涉及原理进行说明.

2.1 超效率 SBM 模型

Tone^[8]在传统 DEA 基础上提出 SBM 模型,并^[19]扩展了包含非期望产出的 SBM 模型.这种 SBM 模型基于非径向假设,可以分别处理投入和产出,不求投入产出要素同比例变化;同时,该模型可对期望产出和非期望产出进行区分,使得测算结果更加精确.根据 Tone^[19],假设有 n 个 DMUs,每个 DMU 拥有同样的投入要素、期望产出和非期望产出,分别由三个向量 $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$, $Y^g = [y_1^g, \dots, y_n^g] \in R^{s_1 \times n}$ 和 $Y^b = [y_1^b, \dots, y_n^b] \in R^{s_2 \times n}$ 表示,且 $X > 0, Y^g > 0, Y^b > 0$ 在规模报酬不变前提下, X, Y^g 和 Y^b 组成的生产可能集为: $P = \{(x, y^g, y^b) | x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \geq Y^b\lambda, \lambda \geq 0\}$, 其中, $\lambda \in R^n$ 是密度向量. Tone^[20]将超效率 DEA 和 SBM 模型结合到一起.应用超效率 SBM 模型时,需假设 DMU_o 存在,即存在有效 DMU. 根据上述研究,一个包含非期望产出的超效率 SBM 模型可以被表示为如下形式:

$$\rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{j=1}^{s_1} \frac{s_j^g}{y_{jo}^g} + \sum_{j=1}^{s_2} \frac{s_j^b}{y_{jo}^b} \right)} \quad (1)$$

$$s.t. \begin{cases} s_i^- \geq \sum_{j=1, j \neq o}^n x_{mj} \lambda_j \\ s_j^g \leq \sum_{j=1, j \neq o}^{s_1} y_{s_1j} \lambda_j \\ s_j^b \geq \sum_{j=1, j \neq o}^{s_2} y_{s_2j} \lambda_j \\ s^- \geq x_o, s^g \leq y_o^g, s^b \geq y_o^b, \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $s^- \in R^m, s^g \in R^{s_1}$ 和 $s^b \in R^{s_2}$ 代表投入,期望产出和非期望产出的松弛向量, ρ^* 关于 $s_i^- (i=1, \dots, m), s_j^g (j=1, \dots, s_1)$ 和 $s_j^b (j=1, \dots, s_2)$ 严格递减.

2.2 Malmquist 指数

Malmquist 指数是常用的效率和生产率分解指

数.规模报酬不变前提下,投入导向距离函数可被定义为: $d(x, y) = \max\{\rho: (x/\rho, y) \in P\}$, 其中各参数意义与 2.1 节相同.假设以 s 期技术作为参考,根据 Färe 等^[21],第 s 期和第 t 期的投入导向型 Malmquist 指数可被定义为式(3).若 DMUs 在第 s 期和第 t 期均有效,则相应的距离函数值等于 1,即 $d^s(y_s, x_s) = 1$ 及 $d^t(y_t, x_t) = 1$.

$$m^s(y_s, y_t, x_s, x_t) = \left(\frac{d^s(y_t, x_t)}{d^s(y_s, x_s)} \right) \quad (3)$$

$$m^t(y_s, y_t, x_s, x_t) = \left(\frac{d^t(y_t, x_t)}{d^t(y_s, x_s)} \right)$$

通过几何平均法可将 Malmquist 指数表达为式(4),进一步将 Malmquist 指数分解成两部分(式(5)):技术变动(式(6))和效率变动(式(7))^[21].其中,效率变动的含义为管理效率变动,在规模报酬可变前提下可被分解为规模效率变动和纯技术效率变动.根据 Grifell 等^[22],假设规模报酬可变时, Malmquist 指数不能正确测算生产效率变化.并且,本文在计算规模报酬可变下的 Malmquist 指数时出现线性规划无可行性解的情况,故本文未分解管理效率变动.

$$m(y_s, y_t, x_s, x_t) = [m^s(y_s, y_t, x_s, x_t) \times m^t(y_s, y_t, x_s, x_t)]^{1/2} \quad (4)$$

$$m(y_s, y_t, x_s, x_t) = \frac{d^s(y_s, x_s)}{d^t(y_t, x_t)} \left[\frac{d^t(y_t, x_t)}{d^s(y_t, x_t)} \times \frac{d^t(y_s, x_s)}{d^s(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$\text{技术变动} = \left[\frac{d^t(y_t, x_t)}{d^s(y_t, x_t)} \times \frac{d^t(y_s, x_s)}{d^s(y_s, x_s)} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$\text{效率变动} = \frac{d^s(y_s, x_s)}{d^t(y_t, x_t)} \quad (7)$$

2.3 Tobit 模型

为实现对影响因素的计量分析,文章采用 Tobit 模型^[23].Tobit 模型是因变量受限或存在阶段因变量时常用的回归方法.基于超效率 SBM 模型测算出的能源效率值符合 Tobit 模型应用要求.模型基本形式如下:

$$Y_i^* = x_i \beta + a \mu_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (8)$$

式中: Y_i^* 是潜在变量, a 是比例系数.被观察的因变量 Y_i 与潜在变量 Y_i^* 的关系为:

$$Y_i = \begin{cases} Y_i^* & Y_i^* > 0 \\ 0 & Y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (9)$$

式中: Y_i^* 的负值被定义为 0,即在 0 处进行左截取,避免直接将观测不到的 Y_i^* 的所有负值从样本中删掉带来的损失.

3 全要素能源效率测算

3.1 数据来源及指标说明

由于 2004 年之前各地区污染物指标的统计口径不一致,数据缺失严重,本文将研究区间定为 2005~2015 年.研究数据来自中国统计年鉴(2006~2016)^[24],各地区统计年鉴(2006~2016),中国能源统计年鉴(2006~2016)^[25],中国科技统计年鉴(2006~2016)^[26],新中国六十年统计资料汇编^[27]等.假设生产过程中的投入要素为资本、劳动力和能源,期望产出为 GDP(或称经济产出),非期望产出为工业污染物.为方便后续说明及分析并节约篇幅,实证部分均对全要素能源效率采取简称 TFEE.

3.1.1 资本投入 OECD《生产率测算手册》^[28]建议以资本服务测算效率与生产率.目前计算资本服务实行难度大,故与其他同类研究一致,以资本存量作为资本投入.本文采用 Goldsmith^[29]提出的永续盘存法计算资本存量,计算公式为:

$$K_{it} = (I_{it} - D_{it}) / P_{it} + K_{i,t-1} \quad (10)$$

式中: $K_{i,t-1}$ 是上年资本存量; I_{it} 是当年投资额; D_{it} 是当年固定资产折旧额; P_{it} 是固定资产投资价格指数.

本文采用修正增长率法^[30]确定基期资本存量;将固定资产折旧额作为可变折旧;根据张军等^[31],将固定资本形成总额作为当期投资.利用式(10)计算以 2005 年为基期的各地区资本存量.

3.1.2 劳动投入 与其他同类研究一致,选取全社会从业人员数作为劳动投入.

3.1.3 能源投入 与其他同类研究一致,选取能源消费总量作为能源投入.

3.1.4 期望产出 选取 GDP 作为期望产出,以 2005 年为基期进行价格缩减.

3.1.5 非期望产出 本文的非期望产出包含水体和大气污染带来的非期望产出.分别以工业废水排放总量¹,SO₂ 排放量和工业烟粉尘排放量² 作为代表.通过改进熵值法^[32]将 3 种污染物结合为一个综合指标作为非期望产出.

3.2 测算结果分析

3.2.1 TFEE 分析 根据“愿景与行动”^[4],参照杨玲^[33],将“一带一路”18 个重点地区作为研究对象(由于数据限制,本文分析未包括西藏自治区).各重点地区在“愿景与行动”中均被赋予独特定位,如:新

疆被定位为“丝绸之路经济带核心区”,福建则被定位为“21 世纪海上丝绸之路核心区”等.因此,本文便依据各重点地区定位,围绕两个核心区及“一带”和“一路”规划路线,从经济带规划和地理区位两方面考虑,将重点地区划分为“一带”地区和“一路”地区,从而达到细化分析研究结果的目的.划分方式如表 1 所示.

表 1 “一带一路”重点地区地理划分

Table 1 Geographical division of the B&R key regions

“一带”地区			“一路”地区
1 内蒙古	6 重庆	11 宁夏	13 上海
2 辽宁	7 云南	12 新疆	14 浙江
3 吉林	8 陕西		15 福建
4 黑龙江	9 甘肃		16 广东
5 广西	10 青海		17 海南

注:这种划分方式仅用于从多角度解释本文研究结果.

本节测算重点地区的 TFEE,并通过 K-均值聚类对各地区年均值进行聚类分析,将重点地区分为高效率、中效率和低效率 3 组,进而从地理区位和效率聚类两方面考察 17 个重点地区的 TFEE.结果如表 2 所示.(1)连续 11 年构成前沿的高效率组为:上海、广东和青海,其中上海和广东属于“一路”地区,青海属于“一带”地区;中效率组包括:内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、宁夏、浙江、福建和海南,其中仅浙江、福建和海南属于“一路”地区;低效率组包括:广西、重庆、云南、陕西、甘肃和新疆,均为“一带”地区.(2)“一路”地区总体 TFEE 均值较大多数“一带”地区高,差距在 0.17~0.37 之间.原因在于:上海和广东为前沿地区,历年 TFEE 均大于 1,在 17 个重点地区中效率居于前列.“一路”地区为“21 世纪海上丝绸之路”的必经之地,均为沿海地区.参照大多研究,沿海地区能源效率一般较内陆地区高,本文测算结果具有一定可信度.(3)尽管“一路”地区总体历年 TFEE 均值高于“一带”地区,但“一路”地区中海南和浙江的排序分别为 10 和 11 位,在 50%之后;而“一路”地区中的青海,内蒙古,宁夏,辽宁,吉林和黑龙江排名在 50%之前;说明不管是“一带”地区还是“一路”地

1. 工业废水排放总量指标已包含“化学需氧量”,“氨氮”等主要污染物,由于数量级较小,因此认为以工业废水排放总量可以作为水体污染的综合指标更为合适.

2. 由于 2011 年之前的工业废气污染对“氮氧化物”的统计不完全,因此本文的大气污染指标未包含“氮氧化物”.

区,地区 TFEE 差异不同程度存在,且在研究期间未 显示改善.

表 2 2005~2015 年重点地区 TFEE
Table 2 The TFEE of B & Rkey regions during 2005~2015

地区	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	均值	分组/排序
内蒙古	0.85	0.87	0.91	0.97	1.02	1.03	1.04	1.04	1.03	1.00	1.01	0.98	中 4
辽宁	0.78	0.79	0.79	0.82	0.84	0.86	0.86	0.86	0.86	0.85	0.84	0.83	中 7
吉林	0.79	0.79	0.80	0.85	0.86	0.89	0.90	0.93	0.91	0.90	0.88	0.86	中 6
黑龙江	0.79	0.77	0.76	0.77	0.79	0.78	0.79	0.80	0.80	0.79	0.78	0.78	中 9
广西	0.54	0.53	0.54	0.55	0.57	0.58	0.58	0.62	0.63	0.63	0.63	0.58	低 16
重庆	0.59	0.59	0.60	0.46	0.65	0.68	0.69	0.70	0.73	0.52	0.53	0.61	低 14
云南	0.46	0.45	0.44	0.45	0.45	0.45	0.46	0.47	0.49	0.49	0.49	0.46	低 17
陕西	0.53	0.53	0.54	0.56	0.59	0.60	0.62	0.64	0.67	0.68	0.68	0.60	低 15
甘肃	0.62	0.61	0.62	0.62	0.59	0.61	0.61	0.63	0.64	0.64	0.64	0.62	低 13
青海	1.09	1.13	1.12	1.10	1.15	1.11	1.20	1.15	1.11	1.12	1.13	1.13	高 3
宁夏	1.00	0.93	0.94	0.95	0.92	0.94	0.88	0.90	0.92	0.90	0.90	0.93	中 5
新疆	0.68	0.66	0.67	0.67	0.67	0.65	0.63	0.63	0.62	0.63	0.62	0.65	低 12
“一带”	0.73	0.72	0.73	0.73	0.76	0.76	0.77	0.78	0.78	0.76	0.76	—	—
上海	1.75	1.72	1.58	1.54	1.50	1.45	1.45	1.45	1.33	1.35	1.35	1.50	高 1
浙江	0.73	0.73	0.72	0.73	0.72	0.72	0.71	0.72	0.73	0.74	0.74	0.73	中 11
福建	0.79	0.78	0.78	0.81	0.81	0.82	0.80	0.81	0.84	0.84	0.83	0.81	中 8
广东	1.37	1.38	1.37	1.28	1.24	1.23	1.19	1.16	1.15	1.16	1.16	1.24	高 2
海南	0.82	0.80	0.80	0.79	0.80	0.79	0.75	0.75	0.74	0.71	0.70	0.77	中 10
“一路”	1.09	1.08	1.05	1.03	1.01	1.00	0.98	0.98	0.96	0.96	0.96	—	—

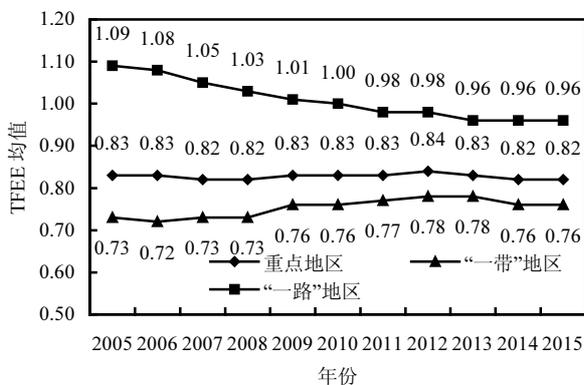


图 1 TFEE 年均值图

Fig.1 The line chart of the annual mean of TFEE

为具体分析重点地区 TFEE 变动,绘制重点地区总体与“一带”地区和“一路”地区的 TFEE 均值折线图(图 1)。(1)图 1 中,3 条曲线相互靠近。“一路”地区 TFEE 最高,重点地区次之,“一带”地区最低。(2)重点地区总体 TFEE 均值较为稳定,在 0.82~0.84 之间,研究期间没有 TFEE 改善。(3)“一带”地区在 2006~2013 年间增长到 0.78,其后保持在 0.76 左右。“一带”地区 TFEE 较低,在薄弱基础上的增长较为有限。“一带”地区资源大省多,仍保持着“高耗能-高排放”的发展方式。如:2015 年,工业废气污染物排放靠前的地区为内

蒙古、辽宁、新疆和陕西等,其中辽宁、内蒙古和新疆的能源消费总量位居重点地区前 5,上述地区的 TFEE 在研究后期呈规模报酬递减趋势。(4)“一路”地区的 TFEE 逐年递减,从 2005 年平均 1.09 降低至 2013 年的平均 0.96,即“一路”地区 TFEE 早期逐年降低,后趋于平稳。尤其,浙江和海南两省与前沿地区比还有很大差距,“一路”地区内部存在较大差异。同时,根据本文测算结果显示,“一路”地区早期显示大多处于规模报酬递增阶段,后期多在规模报酬递减阶段。

3.2.2 TFEE 分解 为讨论重点地区 TFEE 变动,本文对 TFEE 进行了 Malmquist 指数分解,结果见表 3 所示。表 3 中,TFEE 变动为当年 TFEE 与上年 TFEE 比值,Malmquist 指数为效率变动与技术变动的乘积,此处未列出。(1)TFEE 变动。“一带”地区 11 年间平均提高 0.77%,在各年变动中,2005~2006,2013~2014 和 2014~2015 年间均小于 1,TFEE 下降。“一路”地区 TFEE 则平均下降 0.92%,仅 2013~2014 年变动大于 1,其余年份变动均小于 1。“一路”地区整体呈下降趋势,与图 1 一致。同时,“一带”地区提升较为有限。(2)效率变动。“一带”地区有 3 个时间段 TFEE 变动指数分别为 0.9935,0.9999,0.9999,其余年份 TFEE 变动大于 1。即“一带”地区管理效率提升幅度不大。“一路”地区

在 5 个时间段的 TFEE 变动小于 1,其中 2005~2006, 2010~2011,2012~2013 和 2014~2015 年间,管理效率降低的同时 TFEE 也在降低,在此期间管理效率对 TFEE 降低可能存在影响。(3)技术变动.技术变动均大于 1,2008~2009 年技术进步最大.即便存在技术进步,重点地区 TFEE 未见明显增长,可能存在“回弹效应”.与本文一致,庞军等^[34]的研究表明中国存在能源回弹效应.技术进步可以促进生产率提高,也带来更多能源消耗,使能源效率降低,难以准确估计技术进步作用^[35]。(4)Malmquist 变动.重庆在 2006~2007, 2007~2008,2009~2010 年间,陕西在 2012~2013 年间以及海南在 2005~2006 年间的 Malmquist 指数略小于 1,最大差距仅为 0.0414.其余均大于 1,说明生产效率进步没有带来 TFEE 的有效增长,可能存在其他因素的影响。

表 3 2005~2015 年重点地区 TFEE 变动及分解

Table 3 The changes and decompositions of TFEE of B & R key regions during 2005~2015

年份	“一带”地区			“一路”地区		
	TFEE 变动	效率变动	技术变动	TFEE 变动	效率变动	技术变动
2005~2006	0.9909	0.9935	1.0900	0.9932	0.9800	1.0832
2006~2007	1.0085	1.0069	1.0729	0.9785	1.0026	1.0685
2007~2008	1.0029	1.0185	1.0392	0.9856	1.0220	1.0392
2008~2009	1.0465	1.0098	1.1223	0.9907	1.0089	1.1147
2009~2010	1.0104	1.0081	1.0498	0.9903	1.0085	1.0470
2010~2011	1.0078	0.9999	1.0704	0.9791	0.9859	1.0710
2011~2012	1.0161	1.0154	1.0854	0.9996	1.0138	1.0777
2012~2013	1.0094	1.0165	1.0432	0.9851	0.9968	1.0472
2013~2014	0.9716	1.0051	1.0550	1.0031	0.9801	1.0504
2014~2015	0.9979	0.9999	1.0739	0.9937	0.9890	1.0659
2005~2015	1.0077	1.0090	1.0677	0.9908	1.0004	1.0644

由上述可知,部分年份管理效率降低抑制 TFEE 增长,这在“一路”地区中的反映较为明显.尽管一直存在技术进步,但未带动所有年份 TFEE 增长,要考虑“回弹效应”的存在.此外,还存在以 Malmquist 指数分解难以解释的 TFEE 变动,需考虑其他因素影响。

4 影响因素计量分析

4.1 影响因素说明

本节将进行除规模效率和技术进步以外的影响因素计量分析.根据国内外研究成果,影响因素主要有:经济发展^[36-40]、产业结构^[9,39-41]、煤炭消

费^[17]、能源价格^[17,42]、对外开放^[16-17,39-40]、研究开发^[9,16]、生产要素^[36,39-40]、政府干预^[9,16-17]和环境污染^[39,43]等。

考虑到数据可获得性,选取来自上述 8 个方面的 10 个影响因素。(1)经济发展(JF):以不变价人均 GDP 对数表示经济发展水平。(2)产业结构:选取第二产业增加值占 GDP 份额(EC)和第三产业增加值占 GDP 份额(SC)表示产业结构变量。(3)对外开放(KF):以各地区进出口总额占 GDP 份额表示。(4)研究开发(YK):以各地区研究与开发内部经费支出的对数作为研究开发变量。(5)政府干预(ZF):以地方公共财政支出经费衡量政府影响程度。(6)能源因素:将煤炭消费占能源消费总量份额(MT)作为煤炭消费变量;将原材料、燃料、动力购进价格指数作为能源价格变量(JG),将基期调整为 2005 年。(7)生产要素比例(YS):将资本投入和劳动投入的比例作为生产要素比例。(8)工业污染(WR):将第 3 节计算的污染物综合指标作为工业污染变量.数据来自各地区统计年鉴,中国能源统计年鉴和中国科技统计年鉴。

4.2 计量模型

本文的模型同时具有时间和空间两种特性,采用面板数据进行回归.以 Tobit 模型处理受限因变量,基于 4.1 中的变量解释,构建如下模型:

$$EE_{i,t} = c + \beta_1 JF_{i,t} + \beta_2 EC_{i,t} + \beta_3 SC_{i,t} + \beta_4 KF_{i,t} + \beta_5 RD_{i,t} + \beta_6 ZF_{i,t} + \beta_7 MT_{i,t} + \beta_8 JG_{i,t} + \beta_9 YS_{i,t} + \beta_{10} WR_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (11)$$

式中: i 表示地区; t 表示时期; $\varepsilon_{i,t}$ 为随机误差项.以 Eviews8.0 软件对模型(11)进行回归.为多次验证影响因素的作用,分别对重点地区总体、“一带”和“一路”地区进行三次回归,以回归一、二、三表示.Tobit 模型估计结果如表 4 所示。

4.3 计量结果讨论

由表 4 可知,回归一、二和三中,分别有 9,8 和 6 个变量显著,变量选择效果较好,个别影响因素在不同方程显示不同作用方向.原因有:(1)地区差异.不同地区的 TFEE 变动趋势不一致,反映影响因素作用程度方向不一。(2)样本数量差异.回归一、二和三的样本量分别为 187,132 和 55 个,数据量分为 2057,1452 和 605 个.因此,仅对影响因素的作用方向进行讨论,不对 3 次回归各系数大小进行

比较.

表4 回归模型估计结果

Table 4 The regression analysis results

变量	回归一	回归二	回归三
C	1.3996***	1.8071***	0.5252
JF	0.1142**	0.0847	-0.3071***
EC	0.3938***	0.1012	0.2312
SC	0.1934**	-0.5344**	0.1093
KF	0.3513***	0.6195***	-0.4436**
YK	-0.1039***	-0.1023***	0.0975**
ZF	-0.2901***	-0.2328**	0.5119
MT	-0.0190	0.0905**	0.0532
EP	0.1242***	0.1416***	0.1805***
YS	-0.1913***	-0.1682***	0.3581***
WR	-0.2413***	-0.3110***	-0.2120*

注:***,**,*分别表示显著性水平为1%,5%和10%.

(1)经济发展.JF在回归一、三中呈显著负影响,在回归二中不显著.“一路”地区TFEE逐渐降低,而“一路”地区人均GDP逐年增加,与其TFEE变动相反.如:“一路”地区中,研究后期多数地区的TFEE显示规模报酬递减.尽管“一路”地区GDP水平偏高,其背后能源的大量消耗也反映在TFEE中.

(2)产业结构.EC对重点地区显示1%水平上的正影响,在其余回归中不显著.近年来的产业结构改革使各地区第二产业占比降低,但第二产业仍是许多地区的支柱产业.如:2015年,内蒙古、陕西等地区,第二产业占比仍超过50%,当地经济的贡献较大.SC在回归一、二中均在5%水平上显著,该变量对重点地区有正影响,对“一带”地区有负影响.第三产业多为服务业,可通过少量能源投入创造更多增加值,产生更少工业污染.但产业结构的变化也应当考虑到地区差异,“一带”地区的资源大省,如内蒙古,黑龙江,陕西等,其资源优势适合优先发展重工业,其服务业受季节因素影响较大.而“一路”地区服务业发展受季节因素影响相对较小.

(3)对外开放.KF在三个回归方程中均显著,在回归一、二中为正影响,回归三中为负影响.该指标增加既反映经济发展水平提高,又反映国际交流程度加深.“一带”地区中,对外开放的提升较为明显.一方面,“一带”地区经济发展水平提高对TFEE有正影响;另一方面,该地区进出口总额较“一路”地区低,获取先进生产经验和产品交流机会较“一路”地区少,对外开放带来的正面技术影响相对大.“一路”地区

近年来多处于规模报酬递减阶段,历年TFEE基础较“一路”地区高,对外开放对其TFEE带动作用偏小.因此,“一带一路”政策将是“一带”地区加深与其他国家进行产品和技术上的交流的绝佳机会,同时也会分担“一路”地区部分进出口贸易,届时“一路”地区对外开放的负影响可能会有所改善.

(4)研究开发.YK在三次回归中均显著,在回归一、二中为负影响,回归三中为正影响.负影响原因在于:该指标的初始数据不仅包含工业企业用于提高生产技术的研发支出,还包含其他科研单位的研发支出,但现有统计体系并未单独分列;研究开发支出中真正用于节能减排的部分难以确定,以总经费代替仅可以从宏观上研发支出对TFEE的作用.

(5)政府干预.ZF在回归一、二呈显著负影响,在回归三中不显著.与马晓君等^[16],刘丹丹等^[17]一致,政府干预未带来预期的正影响.一方面,与研究开发内部经费支出类似,政府财政支出中环境保护支出数据在2007年之前未单独分列,之后也存在部分地区未单独分列情况;另一方面,政府干预对部分企业自由发展和创新可能起到抑制作用.

(6)能源因素.MT变量仅在回归二中为显著正影响.“一带”地区包含了几个煤炭消费大省.如:内蒙古,宁夏,陕西,吉林,黑龙江等,其经济增长主要由能源消费带动,因此表现为煤炭消费促进TFEE增长,但持续的煤炭消费将加剧工业污染.EP在3个回归中均呈显著正影响.能源价格提高将带来生产成本提高,企业为降低生产成本将尽可能地有效利用资源,最终呈现出TFEE提高的结果.

(7)生产要素比例.根据王兵等^[44]研究,本文以资本劳动比作为生产要素比例.YS在3个回归中均显著,对回归一、二有负影响,对回归三有正影响.资本劳动比上升,说明当地产业结构从劳动密集型向资本密集型转化,而资本密集型产业则更倾向于重污染产业^[45].因此,该变量的提高对重点地区和“一带”地区显示负影响.而“一路”地区中除上海在全部年份及浙江和海南在部分年份的资本劳动比明显高于大多“一带”地区外,其余地区的资本劳动比并无明显差距.但从从业人数上,广东和浙江具有明显优势,劳动密集型企业倾向大,拉平了资本劳动比不平衡的负影响.

(8)工业污染.WR在三次回归中均呈显著负影

响,说明工业污染对 TFEE 确实存在抑制作用.一方面,工业污染排放作为非期望产出,使 TFEE 降低.另一方面,工业生产过程必然伴随工业污染排放,尽管各地区发展模式和能源效率存在差异,工业污染亟待治理的情况在重点地区中不同程度存在.

5 政策建议

5.1 构建合作交流框架,缩小 TFEE 差距.首先,通过合作机制将前沿地区先进节能减排技术与管理经验进行传递.广东省的能源利用更加有效与清洁^[46],广东省可以作为模范地区供其他地区效仿.此外,生产单位需要在提高管理效率的同时控制技术进步带来的“回弹效应”.

5.2 优化产业结构,降低能源强度.经济发展水平偏低的“一带”地区在提高经济水平同时控制高耗能产业带来的环境污染.产业结构方面,一些资源大省:内蒙古、陕西、黑龙江、吉林和辽宁等可通过碳减排来优化产业结构,实现可持续发展.此外,可根据地区特色丰富第三产业形式,如:发展健康、旅游休闲和互联网金融等新兴行业,形成区域特色产业集群.

5.3 扩大对外开放水平,促进国际能源合作.重点地区已成为对外开放新枢纽,未来需注重与沿线国家的技术交流,学习先进的节能减排技术.同时,与沿线各国达成税收、贸易和能源等方面互惠互利政策,积极推进重点地区自由贸易试验区构建.

5.4 高效利用科研经费,重视节能环保研究.细化研究与开发支出,注重节能减排和能源创新性研究,提高该部分科研经费.同时,依托本地优质高校资源,通过产学研结合促进研究成果落实.

5.5 能源消费结构清洁化,能源生产消费机制市场化.重点地区的风能、太阳能和水能资源丰富,通过对清洁能源进行财政补贴使能源消费结构向清洁能源倾斜.煤炭洁净和转化等技术可减少 CO₂ 排放.另外可通过对煤炭消费征收环境税费等方式降低煤依赖^[47],推动能源生产和消费更加市场化.

5.6 改进生产要素比例,合理分配生产要素.投入要素间存在替代效应,要素投入结构的调整可以实现更多对能源的替代.以高能源效率地区为范例,优化生产要素比例,合理分配生产资源,引导资本密集型产业与劳动密集型产业均衡发展.

5.7 环保政策多元化,生产过程低碳化.政府可通过

增加环境保护财政支出、对节能减排企业给予税收或财政奖励、限制高耗能高污染能源使用,制定碳排放总量减排政策^[48]等方式促进生产部门节能减排.

6 结论

6.1 TFEE 测算结果显示:(1)高 TFEE 地区为:上海、广东和青海,连续 11 年均构成生产前沿,且超效率 TFEE 值大于 1;中 TFEE 地区有内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、宁夏、浙江、福建和海南,其 TFEE 年均值在(0.70,1.00)之间;低 TFEE 地区为:广西、重庆、云南、陕西、甘肃和新疆,其 TFEE 年均值低于 0.70.(2)“一路”地区 TFEE 最高,但逐年降低;重点地区 TFEE 居中且保持平稳;“一带”地区 TFEE 较低,在 2009~2013 年有小幅增长.(3)部分年份管理效率降低,影响 TFEE 增长;技术进步并未带来显著 TFEE 增长,可能存在“回弹效应”.

6.2 回归分析结果显示各影响因素对不同地区的影响存在差异.(1)重点地区:经济发展、产业结构、对外开放和能源价格对 TFEE 存在正影响,研究开发、煤炭消费、生产要素比例和环境污染对 TFEE 存在负影响.(2)“一带”地区:对外开放和能源因素对 TFEE 存在正影响,第三产业、研究开发、政府影响、生产要素比例和环境污染对 TFEE 存在负影响,经济发展和第二产业作用不显著;(3)“一路”地区:研究开发、能源价格和生产要素比例对 TFEE 存在正影响,经济发展和环境污染对 TFEE 存在负影响,产业结构、政府影响和煤炭消费作用不显著.

参考文献:

- [1] 国家统计局关于 2016 年国内生产总值(GDP)最终核实的公告,Http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201801/t20180105_1569933.html [EB/OL]. 2018-01-08.
- [2] BP 世界能源统计年鉴 [EB/OL]. https://www.bp.com/zhcn/china/reports-and-publications/_bp_2017-.html, 2017.
- [3] 中华人民共和国 2016 年国民经济和社会发展统计公报, Http://www.stats.gov.cn/tjsj/zxfb/201702/t20170228_1467424.html [EB/OL]. 2017-02-28.
- [4] 国家发展改革委,外交部,商务部.推动共建丝绸之路经济带 21 世纪海上丝绸之路的愿景与行动 [N]. 人民日报, 2015-03-29(4).
- [5] Charles A, Cooper W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978, 2(6):429-444.
- [6] Andersen P, Petersen N. A procedure for ranking efficient unites in data envelopment analysis [J]. Management Science, 1993,39:1261-1264.

- [7] 韩一杰,刘秀丽.基于超效率 DEA 模型的中国各地区钢铁行业能源效率及节能减排潜力分析 [J]. 系统科学与数学, 2011,31(3): 287-298.
- [8] Tone K. Dealing with undesirable outputs in DEA: a slacks-based measure approach [R]. Research Report Series, 2003.
- [9] Li L B, Hu J L. Ecological total-factor energy efficiency of regions in China. *Energy Policy*, 2012,46:216-224
- [10] 范丹,王维国.中国区域全要素能源效率及节能减排潜力分析——基于非期望产出的 SBM 模型 [J]. 数学的实践与认识, 2013,43(7): 12-21.
- [11] Li H, Shi J F. Energy efficiency analysis on Chinese industrial sectors: an improved Super-SBM model with undesirable outputs [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014,65(4):97-107.
- [12] 宫大鹏,赵涛,慈兆程.基于超效率 SBM 的中国省际工业化化石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.
- [13] Caves D W, Christensen L R, Diewert W E. Multilateral comparisons of output, input, and productivity using superlative index numbers [J]. *Economic Journal*, 1982,92(365):73-86.
- [14] 屈小娥.中国省际能源效率差异及其影响因素分析 [J]. 经济理论与经济管理, 2009,(2):46-52.
- [15] 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.
- [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] 刘丹丹,赵颂扬,郭耀.全要素视角下中国西部地区能源效率及影响因素 [J]. 中国环境科学, 2015,35(6):1911-1920.
- [18] Lv W, Hong X, Fang K. Chinese regional energy efficiency change and its determinants analysis: Malmquist index and Tobit model [J]. *Annals of Operations Research*, 2015,228(1):1-14.
- [19] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2001,130(3): 498-509.
- [20] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2002,143(1):32-41.
- [21] Färe R, Grosskopf S, Lovell A K. *Production frontiers* [M]. Cambridge University Press, 1994.
- [22] Grifell-Tatjé E, Lovell A K. A note on the Malmquist productivity index [J]. *Economics Letters*, 1995,47:169-175.
- [23] Tobin J. Estimation of relationships for limited dependent variables [J]. *Econometrica*, 1958,26(1):24-36.
- [24] 国家统计局.中国统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社, 2006-2018.
- [25] 国家统计局.中国能源统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社, 2006-2017.
- [26] 国家统计局.中国科技统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社, 2006-2017.
- [27] 国家统计局.新中国六十年统计资料汇编 [M]. 北京:中国统计出版社, 2010.
- [28] Measuring capital-OECD manual 2009: Second edition complete edition [M]. OECD, 2009.
- [29] Goldsmith R W. A perpetual inventory of national wealth [M]. National Bureau of Economic Research, 1951.
- [30] Reinsdorf M, Cover M. Measurement of capital stocks, consumption of fixed capital and capital services [R]. Report on a Presentation to the Central American AD Hoc Group on National Accounts, 2005.
- [31] 张军,吴桂英,张吉鹏.中国省际物质资本存量估算:1952-2000 [J]. 经济研究, 2004,(10):35-44.
- [32] 袁晓玲,张宝山,杨万平.基于环境污染的中国全要素能源效率研究 [J]. 中国工业经济, 2009,26(2):76-86.
- [33] 杨玲.生产性服务进口复杂度及其对制造业增加值率影响研究——基于“一带一路”18省份区域异质性比较分析 [J]. 数量经济技术经济研究, 2016(2):3-20.
- [34] 庞军,龚亚珍,石媛昌,等.中国的能源回弹效应及其对实现“十三五”节能目标的影响 [J]. 中国环境科学, 2018,8(5):1979-1989.
- [35] Khazzoom J D. Economic implications of mandated efficiency in standards for household appliances [J]. *The Energy Journal*, 1980,1(4): 21-40.
- [36] 史丹,吴利学,傅晓霞.中国能源效率地区差异及其成因研究——基于随机前沿生产函数的方差分解 [J]. 管理世界, 2008,(2):35-43.
- [37] 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.
- [38] 张伟,吴文元.基于环境绩效的长三角都市圈全要素能源效率研究 [J]. 经济研究, 2011,76(10):95-109.
- [39] 王腾,严良,何建华,等.环境规制影响全要素能源效率的实证研究——基于波特假说的分解验证 [J]. 中国环境科学, 2017,37(4): 1571-1578.
- [40] 潘雄峰,彭晓雪,李斌.市场扭曲、技术进步与能源效率:基于省际异质性的政策选择 [J]. 世界经济, 2017,40(1):91-115.
- [41] 于斌斌.产业结构调整如何提高地区能源效率?——基于幅度与质量双维度的实证考察 [J]. 财经研究, 2017,43(1):86-97.
- [42] 关爱萍,师军,张强.中国西部地区省际全要素能源效率研究——基于超效率 DEA 模型和 Malmquist 指数 [J]. 工业技术经济, 2014,(2):32-40.
- [43] 张兵兵,田曦,朱晶.环境污染治理、市场化与能源效率:理论与实证分析 [J]. 南京社会科学, 2017,(2):39-46.
- [44] 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.
- [45] 涂正革.环境、资源与工业增长的协调性 [J]. 经济研究, 2008,(2): 93-105.
- [46] 陈磊,徐琳瑜.基于行业关联研究的广东省能源消费分析 [J]. 中国环境科学, 2017,37(10):3972-3980.
- [47] 秦昌波,葛察忠,刘倩倩,等.中国煤炭环境成本内部化的经济影响分析 [J]. 中国环境科学, 2018,38(2):745-754.
- [48] 张同斌,刘琳.中国碳减排政策效应的模拟分析与对比研究——兼论如何平衡经济增长与碳强度下降的双重目标 [J]. 中国环境科学, 2017,37(9):3591-3600.

作者简介: 杨仲山(1971-),男,陕西汉中,教授,博士,主要从事国民经济核算与宏观经济统计研究,发表论文 30 余篇。