

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2022.05.010

基于超效率 SBM 模型的西部煤炭 采选业生态效率研究

赵 雪, 王向前

(安徽理工大学 经济管理学院, 安徽 淮南 232000)

摘 要: 为了解西部地区煤炭采选业的生态效率及变化趋势, 以 2011—2019 年西部地区煤炭采选业为研究对象, 运用非期望产出的超效率 SBM 和 Malmquist 指数模型从静态和动态两个方面对西部地区煤炭开采生态效率进行了测算。研究表明: 2011—2019 年期间, 我国西部地区煤炭开采业生态效率水平总体偏低, 不同省份之间的生态效率值差异较大, 结合自然断点法, 将效率值对应地区分为较低效率地区、中效率地区、较高效率地区 3 个等级; 研究期间全要素生产率呈逐步上升趋势, TFP 指数均值为 1.05, 说明西部地区煤炭开采生态效率年均增长率为 5%; 其中, 2018—2019 年达最大增幅, 为 24.7%。

关键词: 生态效率; 煤炭采选业; 超效率 SBM 模型; Malmquist 指数

中图分类号: F205; X826

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2022)05-0071-08

引文格式: 赵 雪, 王向前. 基于超效率 SBM 模型的西部煤炭采选业生态效率研究 [J]. 湖南工业大学学报, 2022, 36(5): 71-78.

An Ecological Efficiency Evaluation of Coal Mining and Processing Based on Super-Efficiency SBM Model: A Case Study of Western China

ZHAO Xue, WANG Xiangqian

(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232000, China)

Abstract: In view of an investigation of the ecological efficiency and change trend of coal mining and processing industry in Western China, taking the coal mining and processing industry in the western region from 2011 to 2019 as the research object, a calculation has thus been made of the ecological efficiency of coal mining in the targeted area from both static and dynamic aspects by using the super-efficiency SBM model of unexpected output and Malmquist index. The results show that the ecological efficiency of coal mining industry in Western China is generally maintained at a low level, with a great diversity in the ecological efficiency values among different provinces from 2011 to 2019, combined with the natural breakpoint method, the corresponding regions of efficiency value can be divided into three grades: low efficiency region, medium efficiency region and high efficiency region; during the study period, the total

收稿日期: 2021-09-23

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51874003); 安徽省自然科学基金资助项目 (1808085MG221)

作者简介: 赵 雪 (1998-), 女, 安徽阜阳人, 安徽理工大学硕士生, 主要研究方向为生态效率评价,

E-mail: 2501474905@qq.com

通信作者: 王向前 (1981-), 男, 安徽阜阳人, 安徽理工大学教授, 博士, 主要研究方向为信息管理, 电子商务及矿业系统工程,

E-mail: xqwaust@163.com

factor productivity shows a gradual upward trend, with an average TFP index of 1.05, indicating that the annual average growth rate of the ecological efficiency of coal mining in the western region is 5%, reaching a maximum growth rate of 24.7% from 2018 to 2019.

Keywords: ecological efficiency; coal mining; super efficiency SBM model; Malmquist index; Western China

0 引言

煤炭是我国的第一大能源,在能源结构中居主要地位,对国民经济的发展有着重大的推动作用。截至2020年底,全球已探明的煤炭储量约为1.07万亿t,中国占13.3%,排名第四;全球煤炭产量约为77.4亿t,中国占51%,排名第一。但与其他发达国家相比,中国在煤炭开采的过程中存在环境污染、生态破坏等一系列问题。而西部地区作为煤炭开发的重点地区,其生态环境问题更为显著。在国家大力提倡建设生态文明城市的背景下,煤炭开采与发展经济、保护生态之间的矛盾愈演愈烈,所以改变原有的粗放型煤炭开采模式刻不容缓。而生态效率是衡量经济效益和环境效益的重要环节,因此,科学地测度我国西部地区采煤业的生态效率对衡量煤炭产业效益具有重要意义。

“生态效率”是1990年由S. Schaltegger等^[1]最早提出,其基本思想是以最少的资源消耗和最低的环境污染实现最大的经济产出,即低投入、高产出。生态效率是通过对投入要素的高效合理利用,减少经济增长给环境带来的破坏,以期实现经济最大化增长和环境最小化破坏的理想状态。煤炭开采业的生态效率反映了采煤的经济产出与采煤资源投入、环境影响的比值,以及经济效益和环境效益的平衡关系。

近年来,随着可持续发展理念的普及,对生态效率的评价与研究已成为学者们关注的方向。目前,国内外对生态效率的测算方法主要有比值评价法、指标体系法、生态足迹法、能值分析法、物质流分析法、模型构建法等。刘明辉等^[2]基于比值评价法,选择“价值”和“影响”两方面构建了地铁车站生态效率评价指标体系,对北京地铁16号线某车站建设期生态效率进行了评估;黄娟等^[3]运用生态足迹法,从原料、能源、水、垃圾、建筑用地等方面测算了某造纸类企业的财务生态效率;王艳秋等^[4]从经济、技术、资源、环境、社会等方面构建了能值指标,利用能值分析法计算出可持续发展指数和生态效率指数,系统地反映了大庆石化企业的生态效率;郑德凤等^[5]利用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)模型中

考虑非期望产出和不考虑非期望产出对甘肃省农业生态效率进行了对比研究,得知考虑非期望产出的农业生态效率结果更能反映实际情况。其中,数据包络分析运用较为广泛,能够减小主观赋权引起的偏差。

生态效率的应用领域较广,目前涉及国家、区域、行业、企业及产品等。张杨等^[6]基于考虑共同前沿面和非期望产出的超效率SBM(slacks-based measurement)模型对68个国家的农业生态效率进行了比较研究,从而得出我国提高农业生态效率的途径;关伟等^[7]基于考虑非期望产出的SBM模型,从空间格局规模、格局强度与格局纹理3个方面对中国省际能源生态效率进行了测度与分析。周叶等^[8]运用超效率DEA方法对我国23个省域物流行业的生态效率进行了评价;周敏等^[9]利用SE-SBM模型对我国先进制造业及其17个细分行业的生态效率进行了静态分析;邹倩等^[10]通过构建CCR和BCC评价模型对我国石化企业生态效率展开了评价;史琛等^[11]运用DEA-SBM模型研究了我国水稻的生态效率及其时空演变。

具体到煤炭产业,也有不少学者对其生态效率进行了研究。李琰等^[12]通过超效率SBM和Malmquist模型,从横向角度对20多个煤炭省份进行了考虑非期望产出的产业效率分析;牛苗苗^[13]从纵向角度对2000—2010年煤炭产业的生态效率进行了分析。目前关于煤炭产业生态效率的研究已经取得了一定的成果,但具体针对西部地区的煤炭采选研究相对较少。本文拟结合超效率SBM模型和Malmquist指数模型,从西部地区的煤炭开采投入与产出的角度对煤炭开采生态效率进行测算,以评估其煤炭开采的生态经济发展情况,促进西部地区煤炭开发与生态环境的协调发展。

1 模型选择

1.1 超效率SBM模型

数据包络分析方法由Charnes、Cooper于1978年提出,是一种基于多项投入与多项产出的定量分析

方法,包括DEA模型及其衍生出的多种模型,自提出以来被各行业用于研究现实问题。Banker, Gifford & Bankeret 等人在CCR的基础上提出了超效率DEA模型,打破了投入产出比值小于或等于1的约束,进一步保障了决策单元(DMU)的有效程度。由于传统的DEA方法无法衡量全部松弛变量,不能精准地测算效率水平,在使用中存在一定的局限性。K.Tone^[14]提出的SBM模型,将松弛变量考虑到目标函数中。而超效率SBM模型弥补了超效率DEA和SBM模型的不足之处,既可以在处理中考虑非期望产出,又可以在有效的决策单元中进一步做出比较^[15]。已有的研究中对于存在非期望产出的处理方式,大多是把非期望产出转化为投入,这种方式可能会使结果出现一定的偏差。超效率SBM模型可以直接对非期望产出进行处理,同时对有效的决策单元可以通过效率值大小进行排序。

假设有 n 个 DMU, 每个 DMU 由 m 个投入指标, p_1 个期望产出和 p_2 个非期望产出 3 部分构成。

设 $x \in \mathbf{R}^m, y^d \in \mathbf{R}^{p_1}, y^u \in \mathbf{R}^{p_2}$,

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n] \in \mathbf{R}^{m \times n},$$

$$Y^d = [y_1^d, y_2^d, \dots, y_n^d] \in \mathbf{R}^{p_1 \times n},$$

$$Y^u = [y_1^u, y_2^u, \dots, y_n^u] \in \mathbf{R}^{p_2 \times n},$$

构建如下模型:

$$\rho = \min \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (s_i^- / x_{ik})}{1 - \frac{1}{(p_1 + p_2)} \left(\sum_{r=1}^{p_1} s_r^+ / y_{rk}^d + \sum_{t=1}^{p_2} s_t^{u-} / y_{tk}^u \right)}, \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik}; \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj}^d \lambda_j + s_r^+ \geq y_{rk}^d; \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{tj}^u \lambda_j - s_t^{u-} \leq y_{tk}^u; \\ 1 - \frac{1}{(p_1 + p_2)} \left(\sum_{r=1}^{p_1} s_r^+ / y_{rk}^d + \sum_{t=1}^{p_2} s_t^{u-} / y_{tk}^u \right) > 0; \\ \lambda_j, s_i^-, s_r^+, s_t^{u-} \geq 0; \\ i = 1, 2, \dots, m; \\ r = 1, 2, \dots, p_1; \\ t = 1, 2, \dots, p_2; \\ j = 1, 2, \dots, n (j \neq k). \end{cases}$$

式中: X 、 Y^d 、 Y^u 分别为投入变量、期望产出变量和非期望产出变量;

ρ 为效率值;

i 为投入;

r 为期望产出;

t 为非期望产出;

j 为决策单元;

k 为被决策单元;

s_i^- 、 s_r^+ 、 s_t^{u-} 分别为投入、期望产出和非期望产出的松弛变量。

1.2 Malmquist 指数模型

Malmquist 指数最早由 S. Malmquist^[16] 于 1953 年提出,该指数可以对全要素生产率 (total factor productivity, TFP) 进行测算,具体分解为技术效率指数 (technical efficiency change, TEC) 和技术进步指数 (technological change, TC),其中技术效率指数又可以细分为纯技术效率指数 (pure efficiency change, PEC) 和规模效率指数 (scale efficiency change, SEC)。

本研究构建的模型公式如下:

$$I_{TFP} = \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{D^{t+1}(x^t, y^t)}{D^t(x^t, y^t)} \cdot \left[\frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} = I_{TEC} \times I_{TC} = I_{PEC} \times I_{SEC} \times I_{TC}$$

式中: I 为指数值;

$D^t(x^t, y^t)$ 、 $D^t(x^{t+1}, y^{t+1})$ 分别为 t 时期技术水平下的 t 、 $t+1$ 时期的投入产出向量的距离函数;

$D^{t+1}(x^t, y^t)$ 、 $D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ 分别为 $t+1$ 时期技术水平下的 t 、 $t+1$ 时期的投入产出向量的距离函数。

当 I_{TFP} 指数等于 1 时,全要素生产率保持不变; I_{TFP} 指数大于 1 时,全要素生产率提高; I_{TFP} 指数小于 1 时,全要素生产率衰退。且提高或衰退的比例取决于高于或低于 1 的比例大小。

2 指标确定与数据选取

基于数据获取的完整性和效率测算的有效性,从投入与产出角度出发,构建西部煤炭开采生态效率评价指标体系。

2.1 评价对象与指标

本文选取 2011—2019 年我国西部大部分地区 (由于西藏地区数据严重缺失,所以不予考虑) 的面板数据进行研究。具体包括内蒙古自治区、广西壮族自治区、重庆市、四川省、贵州省、云南省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区等 11 个省市自治区。根据生态效率的相关理论,

参考牛苗苗^[13]、尧志祥^[17]等在生态效率研究方面所选取的指标,本研究从资源消耗、生态环境、经济发展3个角度综合考虑西部地区煤炭开采涉及的指标,投入指标有煤炭开采固定资产投资、平均从业人员、能源消耗总量、工业用水量等,期望产出有原煤产量、主营业务收入等,非期望产出有水污染(工业废水排放量)、大气污染(二氧化硫排放量、烟尘排放量、煤层气排放量)、土壤污染(煤矸石等固体废弃物产

生量、土地损坏塌陷量)、其他污染(采矿事故率、开采噪声污染、水土流失、温室效应、生物多样性破坏等)。考虑到数据的可获取性与合理性,最终选取固定资产投资、平均从业人员、能源消耗总量、工业用水量为投入指标,原煤产量和主营业务收入为期望产出,工业废水排放量、工业二氧化硫排放量、工业固体废弃物产生量、开采累计损坏土地面积为非期望产出。投入产出具体见表1。

表1 投入产出指标统计表

Table 1 Statistical table of input-output indicators

| 指标类别 | 具体指标 | 指标含义 |
|------|--------------|--------------------------|
| 投入指标 | 平均从业人员 | 煤炭开采和洗选业全部从业人员平均人数 |
| | 煤炭开采固定资产投资 | 煤炭开采及洗选业固定资产投资(不含农户) |
| | 能源消耗总量 | 煤炭开采和洗选业能源消费总量 |
| | 工业用水量 | 工矿企业用水总量 |
| 产出指标 | 工业废水排放量 | 企业厂区所有排放口排到企业外部的工业废水量 |
| | 工业二氧化硫排放量 | 企业在燃料燃烧和生产工艺过程中的二氧化硫排放总量 |
| | 工业固体废弃物产生量 | 企业在生产过程中产生的废弃物总量 |
| | 矿业开采累计损坏土地面积 | 矿业开采累计占用、损坏土地面积 |
| 期望产出 | 主营业务收入 | 煤炭开采和洗选业主营业务收入 |
| | 原煤产量 | 原煤生产量 |

2.2 数据来源

为保证数据的真实有效性,数据主要来源于《中国统计年鉴》《中国工业统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国国土资源统计年鉴》,以及各省市自治区的统计年鉴。对于个别缺失数据,采用插值法的方法

进行补充。数据的描述性统计结果见表2。为消除价格因素对指标的影响,以2010年为基期的固定资产投资价格指数对煤炭开采固定投资进行价格平减,而以2010年为基期的工业品出厂价格指数对主营业务收入进行价格平减。

表2 变量的描述性统计分析结果

Table 2 Descriptive statistical analysis of variables

| 指标名称 | 最大值 | 最小值 | 均值 | 标准差 |
|----------------------------|------------|----------|-----------|-----------|
| 平均从业人员/万人 | 35.10 | 0.44 | 11.55 | 8.99 |
| 煤炭开采固定资产投资/亿元 | 863.77 | 0.72 | 189.49 | 189.60 |
| 能源消耗总量/(万t标准煤) | 25 346.00 | 3 189.00 | 11 211.80 | 5 245.83 |
| 工业用水量/亿m ³ | 64.60 | 2.40 | 23.01 | 16.72 |
| 工业废水排放量/万t | 110 671.00 | 1 556.00 | 29 962.50 | 21 081.90 |
| 工业二氧化硫排放量/万t | 125.02 | 4.03 | 42.19 | 30.06 |
| 工业固体废弃物产生量/万t | 42 671.00 | 2 004.00 | 10 852.77 | 7 177.87 |
| 矿业开采累计损坏土地/hm ² | 496 182.00 | 4 048.00 | 75 146.79 | 86 791.47 |
| 原煤产量/万t | 109 068.00 | 406.00 | 19 451.07 | 28 701.19 |
| 主营业务收入/亿元 | 4 149.75 | 22.74 | 854.5 | 1 057.25 |

3 实证结果分析

3.1 静态效率分析

运用MaxDEA软件中的考虑非期望产出的超效率SBM模型对数据进行处理,得到2011—2019年西部地区煤炭开采业的综合生态效率值及其分解效率值,处理结果见表3、表4。

由表3、表4可以得知,研究期间西部地区11

个省市自治区的生态效率平均水平较低,均值为0.613。从横向角度来看,各省份间的生态效率值差异较大,最高的是四川省,为1.507,最低的是广西壮族自治区,为0.114。从纵向角度来看,各年份间的生态效率值变动较小,总体呈现出“先下降后上升”的趋势,主要源于近年来国家对煤炭产业技术创新与结构性调整的重视。

表3 2011—2019年西部省市自治区的生态效率值

Table 3 Ecological efficiency values of provinces, municipalities and autonomous regions in Western China from 2011 to 2019

| 地区 | 年份 | | | | | | | | | 均值 |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | |
| 甘肃省 | 0.256 | 0.263 | 0.255 | 0.216 | 0.205 | 0.199 | 0.206 | 0.227 | 0.224 | 0.227 |
| 广西壮族自治区 | 0.131 | 0.118 | 0.111 | 0.104 | 0.122 | 0.107 | 0.095 | 0.117 | 0.128 | 0.114 |
| 贵州省 | 1.022 | 1.147 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 1.004 | 1.030 | 1.022 |
| 内蒙古自治区 | 1.459 | 1.380 | 1.267 | 1.376 | 1.478 | 1.498 | 1.581 | 1.518 | 1.823 | 1.480 |
| 宁夏回族自治区 | 1.985 | 0.419 | 0.398 | 0.364 | 0.369 | 0.367 | 0.341 | 0.443 | 0.620 | 0.486 |
| 青海省 | 1.206 | 1.180 | 1.192 | 1.147 | 1.170 | 1.203 | 1.235 | 1.250 | 1.239 | 1.202 |
| 陕西省 | 1.654 | 2.190 | 1.000 | 1.527 | 1.052 | 1.287 | 1.023 | 1.313 | 2.028 | 1.398 |
| 四川省 | 1.386 | 1.514 | 1.530 | 1.599 | 1.610 | 1.584 | 1.460 | 1.447 | 1.448 | 1.507 |
| 新疆维吾尔自治区 | 0.423 | 0.498 | 0.406 | 0.371 | 0.441 | 1.034 | 0.524 | 0.590 | 1.030 | 0.550 |
| 云南省 | 0.361 | 0.291 | 0.311 | 0.266 | 0.276 | 0.275 | 0.259 | 0.259 | 0.253 | 0.282 |
| 重庆市 | 0.352 | 0.426 | 0.357 | 0.353 | 0.484 | 1.022 | 1.072 | 1.064 | 1.126 | 0.612 |
| 均值 | 0.681 | 0.617 | 0.542 | 0.538 | 0.557 | 0.647 | 0.587 | 0.636 | 0.738 | 0.613 |

表4 西部地区生态效率分解表

Table 4 Illustration table of ecological efficiency in Western China

| 地区 | 综合技术效率 | 纯技术效率 | 规模效率 |
|----------|--------|-------|-------|
| 甘肃省 | 0.227 | 1.166 | 0.195 |
| 广西壮族自治区 | 0.114 | 2.866 | 0.040 |
| 贵州省 | 1.022 | 1.172 | 0.872 |
| 内蒙古自治区 | 1.480 | 1.197 | 1.236 |
| 宁夏回族自治区 | 0.486 | 1.989 | 0.245 |
| 青海省 | 1.202 | 6.073 | 0.198 |
| 陕西省 | 1.398 | 1.202 | 1.163 |
| 四川省 | 1.507 | 1.195 | 1.261 |
| 新疆维吾尔自治区 | 0.550 | 1.079 | 0.510 |
| 云南省 | 0.282 | 0.761 | 0.370 |
| 重庆市 | 0.612 | 1.296 | 0.472 |
| 均值 | 0.613 | 1.500 | 0.408 |

超效率SBM模型相比于传统DEA模型,存在大于1的情况,方便了各决策单元的排序比较,解决了多个决策单元为1的问题。根据各地区SBM生态效率值,结合自然断点法,把各省市自治区煤炭采选业生态效率水平大致分为3级,具体见表5。

表5 西部地区煤炭开采地区分类表

Table 5 Classification of coal mining areas in Western China

| 分类级别 | 地区名称 |
|------------------------------|--|
| 第一级 (0.114 000~0.282 000) | 广西壮族自治区(0.114)、甘肃省(0.227)、云南省(0.282) |
| 第二级 (0.282 001~0.612 000) | 宁夏回族自治区(0.486)、新疆维吾尔自治区(0.55)、重庆市(0.612) |
| 第三级 (0.612 001~1.507 000) | 贵州省(1.002)、青海省(1.202)、陕西省(1.398)、内蒙古自治区(1.48)、四川省(1.507) |

由表5可知,第一级是较低效率地区,生态效率值范围为0.114 000~0.282 000,包括广西壮族自治区、甘肃省、云南省3个地区。结合表4可知,广西壮族自治区综合效率最低,具体表现为高纯技术效率、低

规模技术效率,煤炭资源分布较为零散,缺少大型煤矿,所以规模效率较低。甘肃省同样是由于低规模效率导致的整体生态效率低,主要是中小型企业较多,缺乏先进工艺技术,同时较大的能源消费量和高工业排放给生态环境带来了更大的压力。云南省煤炭以小型、乡镇煤矿为主,煤炭资源条件和开采条件限制了大型煤矿的修建,且需求与供给矛盾明显,开采过程中重视度不足,存在不合理的开采行为,给环境带来了一些负面影响,综合导致生态效率低下。

第二级是中效率地区,生态效率值的范围划定为0.282 001~0.612 000,主要是宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区和重庆市。三地存在同样的问题,都是纯技术效率高但规模效率低。宁夏回族自治区小黑煤矿较多,行业竞争大,不易形成产业集群。新疆维吾尔自治区虽然煤炭量大但分布极不均匀。重庆市主要是由于产能过剩导致的效率低,在政府加快推进淘汰落后产能后得到了有效改善。中效率地区应该根据地区煤炭资源分布情况,适度调整煤炭产业结构,改进生产方式,退出落后不合理产能,优化产业规模,实现规模效率。

第三级是较高效率地区,生态效率值范围为0.612 001~1.507 000,依次为贵州省、青海省、陕西省、内蒙古自治区和四川省。其中,四川省、陕西省和内蒙古自治区三地的纯技术效率和规模效率均有效,源于四川省经济发展水平较高,对环境保护和资源有效利用的关注度较高;山西省和内蒙古自治区煤炭资源丰富,国家及政府的重视度较高,积极投资煤炭采选业、引进专业人才和先进技术。而贵州省和青海省两地的规模效率均无效,源于两地产能落后以及严重产能过剩,对于先进技术的普及还没有实现规模效益,需要进一步推进开采机械化程度,调整产业结构,

因地制宜合理开采煤炭。

3.2 动态效率分析

考虑到静态生态效率值无法反映出年份之间的效率动态变化及趋势,故运用MaxDEA软件中的Malmquist指数模型对2010—2019年西部地区各省市自治区的煤炭开采生态效率进行动态分析,测算结果见表6,TFP、TEC、TC的变化曲线见图1。

表6 2011—2019年西部地区煤炭开采生态效率及分解指数

Table 6 Ecological efficiency and factoization index of coal mining in Western China from 2011 to 2019

| 时间段 | 纯技术效率(PEC) | 规模技术效率(SEC) | 技术效率(TEC) | 技术进步效率(TC) | 全要素生产率(TFP) |
|-----------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|
| 2011—2012 | 1.040 | 0.872 | 0.906 | 0.999 | 0.905 |
| 2012—2013 | 0.888 | 0.988 | 0.877 | 1.069 | 0.938 |
| 2013—2014 | 1.028 | 0.966 | 0.993 | 0.976 | 0.969 |
| 2014—2015 | 1.045 | 0.991 | 1.035 | 0.944 | 0.978 |
| 2015—2016 | 1.032 | 1.126 | 1.162 | 1.013 | 1.177 |
| 2016—2017 | 0.903 | 1.004 | 0.907 | 1.210 | 1.098 |
| 2017—2018 | 0.991 | 1.095 | 1.085 | 1.053 | 1.142 |
| 2018—2019 | 0.947 | 1.225 | 1.160 | 1.075 | 1.247 |
| 均值 | 0.982 | 1.028 | 1.010 | 1.040 | 1.050 |

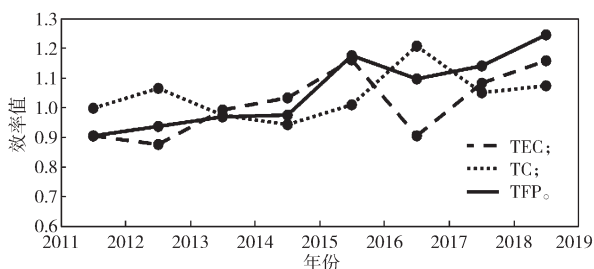


图1 2011—2019年西部地区煤碳开采TEC、TC、TFP的变化趋势曲线

Fig. 1 Change trend curves of TEC, TC and TFP of coal mining in Western China from 2011 to 2019

由图1可知,研究期间全要素生产率大体呈逐步上升趋势,且规模效率指数变化与全要素生产率指数的变动情况基本一致,说明规模效率与地区煤炭采选业生态效率成正相关。从时间变化趋势看,2011—

表6中显示,研究期间西部地区煤炭开采TFP指数均值为1.050,说明在研究期间西部地区煤炭开采生态效率年均增长率为5%,分解到技术效率和技术进步效率,分别为1.01和1.04,可见这9年间技术效率和技术进步效率同时促进了西部地区煤炭开采的绿色生态效率。

2015年,TFP指数小于1,处于下降趋势,但从图中可以看出TFP指数是逐年递增的,说明西部地区煤炭采选业的生态效率逐步改善;2015—2019年,TFP指数大于1,处于上升趋势,年均增幅为16.5%,且在2019年达最大增幅,为24.7%。2015年为“十二五”收官和“十三五”规划的交替之年,可见“十二五”关于煤炭产业结构调整与科技创新发展等措施起到了显著成效。在2016—2017年,TFP指数短暂下降,主要是由于2016年在《国务院关于煤炭行业化解过剩产能实现脱困发展的意见》中提出了淘汰落后及过剩产能、控制过度生产、促进产业转型调整等策略,对煤炭产业的规模效率带来了一定冲击,但在调整适应后仍呈直线上升趋势,西部地区煤炭开采生态效率及指数分解值为表7所示。

表7 西部地区煤炭开采生态效率及分解指数

Table 7 Ecological efficiency and decomposition index of coal mining in Western China

| 地区 | 纯技术效率(PEC) | 规模技术效率(SEC) | 技术效率(TEC) | 技术进步效率(TC) | 全要素生产率(TFP) |
|----------|------------|-------------|-----------|------------|-------------|
| 甘肃省 | 1.004 | 0.979 | 0.983 | 1.008 | 0.992 |
| 广西壮族自治区 | 0.965 | 1.034 | 0.997 | 1.022 | 1.019 |
| 贵州省 | 1.001 | 1.000 | 1.001 | 1.078 | 1.079 |
| 内蒙古自治区 | 1.008 | 1.020 | 1.028 | 1.013 | 1.041 |
| 宁夏回族自治区 | 0.905 | 0.955 | 0.865 | 1.110 | 0.960 |
| 青海省 | 1.046 | 0.960 | 1.003 | 1.048 | 1.052 |
| 陕西省 | 0.975 | 1.052 | 1.026 | 0.994 | 1.020 |
| 四川省 | 1.037 | 0.970 | 1.005 | 1.012 | 1.017 |
| 新疆维吾尔自治区 | 1.007 | 1.110 | 1.118 | 1.179 | 1.317 |
| 云南省 | 0.857 | 1.116 | 0.957 | 1.016 | 0.972 |
| 重庆市 | 1.018 | 1.136 | 1.157 | 0.974 | 1.126 |
| 均值 | 0.982 | 1.028 | 1.010 | 1.040 | 1.050 |

表7中可以得知,从TFP指数角度把结果分为TFP指数大于1和TFP指数小于1两种类型,即煤炭开采生态效率值表现为上升的地区和下降的地区。TFP指数小于1的地区有甘肃省、宁夏回族自治区和云南省,主要是受到TEC的抑制作用,可见煤炭产业的有效管理也是影响生态效率的重要因素;TFP指数大于1的地区有广西壮族自治区、贵州省、内蒙古自治区、青海省、陕西省、四川省、新疆维吾尔自治区、重庆市等8个地区。其中陕西省和重庆市两地的技术进步处于下降状态,可见两地的技术创新水平仍有待提高。广西壮族自治区的技术效率处于下降状态,源于煤矿储量少且较为分散,不易管理。青海省和四川省技术进步指数和技术效率指数虽大于1,但是分解到规模效率却出现小于1的情况,说明两地的生产规模没有实现最优,需要对产业结构进一步优化调整。贵州省、内蒙古自治区、新疆维吾尔自治区的各项指数均大于1,说明这3地的煤炭开采技术水平和煤炭产业管理水平都处于有效状态。

4 结论与建议

本文通过对西部11个省市自治区2011—2019年煤炭开采生态效率的静态分析和动态分析,可得出以下结论:

1) 由静态效率可得,2011—2019年间,我国西部地区煤炭开采业生态效率水平总体偏低,不同地区之间的生态效率值差异较大,不同年份之间的波动较为稳定。根据效率值将11个地区划分为有效生态地区、一般无效生态地区和明显无效生态地区。

2) 由动态分析可得,研究期间西部地区煤炭开采TFP指数均值为1.05,说明在研究期间西部地区煤炭开采生态效率年均增长率为5%。全要素生产率呈逐步上升趋势,2018—2019年达最大增幅,为24.7%,可见西部地区煤炭采选业绿色生态效率提升加快。

本研究通过对西部地区煤炭采选业生态效率的研究,有助于相关部门有针对性地对西部各省市自治区进行治理,从而促进当地整体生态效率提高。根据上述研究结论,提出以下建议:

1) 培养高技术人才,提高劳动力水平。煤炭开采企业可通过与高校合作的方式实行产学研一体化,在高校设置对口专业,实现人才的专业化培养与对接。政府可通过人才引进政策引进发达地区的人才,协调东西部地区均衡发展。

2) 注重科技创新发展。加强对先进技术的研究,

比如沉陷区生态修复技术、露天矿排土场和采掘场生态重建与修复技术、保水采煤技术、煤矸石综合利用技术、低浓度和乏风瓦斯综合利用技术等,促进煤炭采选行业绿色高效发展。

3) 合理布局产业规模,提高规模效率。由于煤炭企业规模的迅速扩大与煤炭需求的缩小,导致产能过剩问题显著。所以要适当清退不合格煤炭企业,提高煤炭整体质量。同时,设置煤炭企业准入门槛,严格要求煤炭开采技术和煤炭废弃物排放水平,保证煤炭产业整体的规模效率。

4) 减少煤炭开采非期望产出,加大控制污染物的排放与污染防治。一方面政府通过出台相关法规要求控制污染物的最高排放量,并且加强监管;另一方面,加强对地面塌陷、水土流失等生态环境问题进行治理与修复,扩大土地复垦面积,努力把西部地区打造成资源节约型、环境友好型地区。

本文对西部地区煤炭采选业的研究仍存在一定的局限性。首先,在指标的选取方面,由于数据的可获得性,甲烷排放量、噪声污染、水土流失等因素都不得被剔除,最终构建的评价体系较为简单;其次,对于社会方面的影响因素考虑较少,且环境排放指标未具体统计到煤炭采选业;最后,文章仅研究了西部地区的煤炭采选业,研究范围有待扩充。在今后的研究中会对以上问题逐个破解,以对煤炭采选业的生态效率有更进一步的研究。

参考文献:

- [1] SCHALTEGGER S, STURM A. Ökologische Rationalität[J]. Die Unternehmung, 1990(4): 273-290.
- [2] 刘明辉,李馨,刘莹,等.基于价值影响比值法的北京地铁车站建设期生态效率评估[J].建设科技, 2018(13): 75-81, 89.
LIU Minghui, LI Pan, LIU Xuan, et al. Ecological Efficiency Assessment at Construction Period of Metro Station in Beijing Based on the Value Influence Ratio Method[J]. Construction Science and Technology, 2018(13): 75-81, 89.
- [3] 黄娟,冯旷.生态足迹法在上市公司财务生态效率评价中的应用研究[J].财会通讯, 2010(11): 156-157.
HUANG Juan, FENG Kuang. Application of Ecological Footprint Method in Financial Ecological Efficiency Evaluation of Listed Companies[J]. Communication of Finance and Accounting, 2010(11): 156-157.
- [4] 王艳秋,赵天明.基于能值分析法的大庆石化企业生态效率研究[J].经济研究导刊, 2018(22): 13-17.

- WANG Yanqiu, ZHAO Tianming. Evaluation of Ecological Efficiency of Daqing Petrochemical Enterprises Based on Emery Analytic Approach[J]. Economic Research Guide, 2018(22): 13-17.
- [5] 郑德凤, 郝帅, 孙才志. 基于DEA-ESDA的农业生态效率评价及时空分异研究[J]. 地理科学, 2018, 38(3): 419-427.
- ZHENG Defeng, HAO Shuai, SUN Caizhi. Evaluation of Agricultural Ecological Efficiency and Its Spatial-Temporal Differentiation Based on DEA-ESDA[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(3): 419-427.
- [6] 张杨, 陈娟娟. 农业生态效率的国际比较及中国的定位研究[J]. 中国软科学, 2019(10): 165-172.
- ZHANG Yang, CHEN Juanjuan. International Comparison of Agroecological Efficiency and China's Positioning Study[J]. China Soft Science, 2019(10): 165-172.
- [7] 关伟, 许淑婷. 中国能源生态效率的空间格局与空间效应[J]. 地理学报, 2015, 70(6): 980-992.
- GUAN Wei, XU Shuting. Study on Spatial Pattern and Spatial Effect of Energy Eco-Efficiency in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(6): 980-992.
- [8] 周叶, 张孟晓, 杨洁. 基于SE-DEA的省域物流行业生态效率研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2015, 14(4): 99-106.
- ZHOU Ye, ZHANG Mengxiao, YANG Jie. A Study on the Eco-Efficiency of Logistics Industry in Provincial Domain Based on SE-DEA Method[J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2015, 14(4): 99-106.
- [9] 周敏, 吴玉. 基于SE-SBM模型的中国先进制造业生态效率评价研究[J]. 生态经济, 2020, 36(10): 63-69.
- ZHOU Min, WU Yu. Research on Eco-Efficiency Evaluation of Advanced Manufacturing Industry in China Based on SE-SBM Model[J]. Ecological Economy, 2020, 36(10): 63-69.
- [10] 邹倩, 朱兆阁, 王艳秋. 石化企业生态效率评价[J]. 生态经济, 2018, 34(8): 70-74.
- ZOU Qian, ZHU Zhaohe, WANG Yanqiu. Evaluation on Ecological Efficiency of Petrochemical Enterprises[J]. Ecological Economy, 2018, 34(8): 70-74.
- [11] 史琛, 金涛, 李在军, 等. 我国粳稻生态效率的演变与区域差异研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 9(2): 1-10.
- SHI Chen, JIN Tao, LI Zaijun, et al. The Evolution and Regional Difference of Eco-Efficiency of China's Japonica Rice Production[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 9(2): 1-10.
- [12] 李琰, 崔欣. 考虑非期望产出的我国区域煤炭产业效率分析[J]. 煤炭工程, 2019, 51(12): 186-190.
- LI Yan, CUI Xin. Efficiency Analysis of China's Regional Coal Industry Considering Undesirable Output[J]. Coal Engineering, 2019, 51(12): 186-190.
- [13] 牛苗苗. 中国煤炭产业的生态效率研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2012.
- NIU Miaomiao. Research on the Eco-Efficiency of Coal Industry in China[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2012.
- [14] TONE K. A Slacks-Based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [15] 孙秀梅, 张慧, 王格. 基于超效率SBM模型的区域碳排放效率研究: 以山东省17个地级市为例[J]. 生态经济, 2016, 32(5): 68-73.
- SUN Xiumei, ZHANG Hui, WANG Ge. Evaluation of Regional Carbon Emissions Performance Based on SE-SBM Model: Taking Shandong Province as an Example[J]. Ecological Economy, 2016, 32(5): 68-73.
- [16] MALMQUIST S. Index Numbers and Indifference Surfaces[J]. Trabajos De Estadística, 1953, 4(2): 209-242.
- [17] 尧志祥. 江西省矿产资源开发生态效率评价研究[D]. 抚州: 东华理工大学, 2018.
- YAO Zhixiang. Research on Ecological Efficiency Evaluation of Mineral Resources Exploitation in Jiangxi Province[D]. Fuzhou: East China Institute of Technology, 2018.

(责任编辑: 姜利民)