

# 我国矿业企业生态效率评价及影响因素研究<sup>①</sup>

李松青, 包春蕾, 刘顺翊  
(湖南农业大学 商学院, 湖南 长沙 410128)

**摘要:** 为探究近几年我国矿业企业的可持续发展现状, 采用考虑非期望产出的全局 SBM-DEA 模型和 GML 指数对 2012—2020 年我国矿业企业 11 个细分行业的生态效率进行静态和动态分析, 并结合 Tobit 模型对生态效率的影响因素进行回归检验。结果显示, 样本期内矿业企业生态效率总体呈波动上升态势, 且较有效前沿面存在一定差距, 不同行业之间差距显著; 技术进步是提升生态效率的主要驱动因素; 对外开放程度与矿业企业生态效率显著正相关, 环境规制与矿业企业生态效率呈显著负相关。最后, 从国家、矿业行业以及矿业企业三个视角给出提升矿业企业生态效率的政策建议。

**关键词:** 矿业企业; 生态效率; SBM 模型; GML 指数; Tobit 模型

中图分类号: F407

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.0253-6099.2023.02.036

文章编号: 0253-6099(2023)02-0164-07

## Ecological Efficiency Evaluation and Influencing Factors for Mining Enterprises in China

LI Songqing, BAO Chunlei, LIU Shunyi

(School of Business, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China)

**Abstract:** In order to explore the current status of sustainable development of mining enterprises in China in recent years, static and dynamic analysis was performed for ecological efficiency of mining enterprises in 11 different sub-sectors in China from 2012 to 2020, in which SBM-DEA model with undesirable output taken into consideration was adopted in combination with GML index. And regression testing was also conducted in combination with Tobit model for the influencing factors for ecological efficiency. Results show that during the sampling period, the ecological efficiency of mining enterprises was generally trending up, but there was some difference in the efficient frontier, and great difference between each sub-sector. It is found that the technological advancement is the main driving factor for improving ecological efficiency, which is also positively correlated with high degree of interaction with outside world, but negatively correlated with environmental regulations. At last, as for improving ecological efficiency of mining enterprises, some recommendations are proposed for the state, mining sector and mining enterprises.

**Key words:** mining enterprises; ecological efficiency; SBM model; GML index; Tobit model

我国作为矿产资源大国, 具有悠久的矿业开发历史, 已发展成为世界上最大的矿产品生产国、消费国与贸易国<sup>[1]</sup>, 矿业在国民经济中发挥着重要作用。但是单纯追求 GDP 增长、长期以能源消耗为主的粗放式经济发展模式严重破坏了生态环境; 资源无节制开采与严重浪费也使得我国矿产资源逐渐枯竭; 发展经济与保护自然严重脱钩, 尤其是在工矿业生产和成果转化过程中, 产生了大量污染物质, 导致环境质量日渐下滑。矿产资源的消耗虽然为经济增长提供了重要的物

质基础, 但矿产采矿、选矿、冶炼、加工又给生态环境造成了严重负担。党的十八大提出要大力推进生态文明建设, 近些年已取得了重大进展和积极成效。十九大报告中继续指出要推进绿色发展, 着力解决突出环境问题, 加大生态系统保护力度, 改革生态环境监管体制。《自然资源部关于全面开展矿产资源规划(2021—2025年)编制工作的通知》也明确指出要推进资源高效利用, 转变资源利用方式, 加快矿业绿色发展, 推动矿业产业转型升级, 这表明我国在由经济高速

① 收稿日期: 2022-11-09

作者简介: 李松青(1967—), 男, 湖南常宁人, 博士, 教授, 硕士研究生导师, 主要从事生态经济与管理研究。

通信作者: 包春蕾(1997—), 女, 内蒙古库伦旗人, 硕士研究生, 主要从事生态经济与管理研究。

增长阶段转向高质量发展阶段。为尽早实现生态、经济和社会的协调统一和“双碳”目标,就必然要求为经济发展提供保障的矿业同样实现高质量发展。矿业企业作为矿业行业的主要参与者,是环境污染和能源消费的重要主体,其履行社会责任的意义重大。因此,探究矿业企业生态效率的演变情况并辨析生态效率的影响因素,有助于矿业行业的高质量发展。

## 1 研究现状

现代化的生产方式大大提高了劳动生产率,但在绿色发展理念下,企业进行生产活动不仅要考虑期望产出,还需关注生产过程中产生的污染物即非期望产出,在考虑非期望产出的基础上测算到的生产效率即为生态效率<sup>[2]</sup>。生态效率反映经济-社会-自然三重系统的综合效率,突出环境保护与经济发展之间的相互协调,其优势在于可以定量分析企业的环境绩效,因此在区域、行业和企业的环境绩效评价方面得到广泛应用<sup>[3]</sup>。聚焦工业行业生态效率的研究,文献[4]对制造业企业进行了生态效率评价系统的设计,列出了环境绩效与经济绩效两类指标体系。文献[5]运用DEA-Malmquist指数模型对我国大中型钢铁企业的生态效率进行测度,并为中国钢铁企业的生态化发展提出建议。文献[6]采用非期望产出的SBM模型测算了我国工业能源的生态效率,运用核密度估计以及ESDA分析效率空间相关性、空间集聚特征,并运用空间杜宾模型对生态效率的影响因素进行考察。聚焦我国矿业行业的研究,文献[7]运用SBM窗口分析以及ML指数对2007—2016年中国采矿业生态效率进行了研究,结果显示采矿业整体生态效率较低,投入冗余率较高,生态效率在样本期内呈上升趋势。文献[8]采用SBM-Global Malmquist模型研究我国采矿业全要素生产率,结果表明样本期内整体采矿业全要素生产率均呈增长态势。文献[9]在深入总结与归纳我国矿业发展历程与不同主体的差异后,对新时期矿业绿色发展和矿业现代化建设提出政策建议。文献[10]通过建立DEA-Tobit模型测度我国矿业企业绿色技术创新效率并分析影响因素,结果显示考察期内矿业企业绿色技术创新效率呈波动上升,行业差距明显,认为矿业企业应加强研发投入和技术交流,完善相关政策体系。文献[11]基于相关理论建成了符合矿产资源流动规律和经济规律的层级绿色循环体系,致力于加大资源循环利用,提升矿区生态质量。

纵观以往文献,学者们大多集中于工业整体以及省市区域生态效率的测算,较少以矿业企业为研究对

象,且针对矿业企业生态效率的影响因素方面的探讨也有待深化。本文以矿业企业为研究对象,将与矿业相关的11个细分行业全部纳入研究范围,通过建立基于非期望产出的SBM-GML模型测度矿业企业2012—2020年的静态和动态生态效率,最后建立Tobit模型分析相关指标对矿业企业生态效率的影响程度,为矿业企业今后的发展建言献策。

## 2 研究方法

### 2.1 基于非期望产出的SBM-DEA模型

传统的DEA模型是一年一个前沿面,使得不同时期的效率值不具备可比性,本文引入全局DEA思想,以所有年份和所有行业的数据统一构成一个前沿面,更加清晰地看到每一个决策单元(DMU)的变动走向。其次,传统DEA模型是径向的,容易忽略松弛变量而高估效率水平,且难以处理过程中的非期望产出,于是Tone构建了基于非期望产出的SBM模型<sup>[12]</sup>。模型假设有 $n$ 个DMU,每一个DMU都包含3个要素:投入、期望产出和非期望产出,则:

$$E^G(x^t, y^t, z^t) = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^x}{x_{io}^t}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{k=1}^{s_1} \frac{s_k^y}{y_{ko}^t} + \sum_{l=1}^{s_2} \frac{s_l^z}{z_{lo}^t} \right)} \quad (1)$$

$$\text{s t} \begin{cases} x_{io}^t = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j^t + s_i^x, \forall i \\ y_{ko}^t = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j^t - s_k^y, \forall k \\ z_{lo}^t = \sum_{i=1}^T \sum_{j=1}^n \lambda_j z_j^t + s_l^z, \forall l \\ s_i^x \geq 0, s_k^y \geq 0, s_l^z \geq 0, \lambda_j \geq 0, \forall i, k, l, j \end{cases} \quad (2)$$

其中式(1)为目标函数, $E$ 为测算出的效率值, $G$ 代表全局, $t$ 代表某一时期, $o$ 代表该DMU, $x, y, z$ 分别代表投入向量、期望产出向量和非期望产出向量; $m, s$ 分别代表投入和产出的变量个数; $s^x, s^y, s^z$ 分别代表投入、期望产出和非期望产出的松弛变量; $i, k, l$ 分别表示投入、期望产出和非期望产出的个数。式(2)为约束条件, $T$ 代表全部时期, $n$ 代表所有行业的矿业企业, $j$ 代表某一行业的矿业企业。

$E=1$ ,表示DMU有效,证明该行业的矿业企业生态效率达到有效前沿面; $E<1$ ,表示DMU无效,证明该行业的矿业企业生态效率非有效,存在改进空间。

### 2.2 GML(Global-Malmquist-Luenberger)指数

Malmquist指数本质上是2个距离函数值的比值,

发展至今衍生了许多类型的指数。文献[13]根据产出导向的方向距离函数在 Malmquist 指数的基础上推导出带有非期望产出的 Malmquist 指数并统一称为 ML 指数。传统的 ML 指数缺乏传递性与循环性,文献[14]

$$\begin{aligned} M^G(x^t, y^t, z^t, x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1}) &= \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})}{E^t(x^t, y^t, z^t)} \times \left[ \frac{E^G(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})} \times \frac{E^t(x^t, y^t, z^t)}{E^G(x^t, y^t, z^t)} \right] \\ &= \frac{TE^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})}{TE^t(x^t, y^t, z^t)} \times \left[ \frac{E^G(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})/E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})}{E^G(x^t, y^t, z^t)/E^t(x^t, y^t, z^t)} \right] \\ &= EC \times \frac{BPC^{G,t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, z^{t+1})}{BPG^{G,t}(x^t, y^t, z^t)} = EC \times BPC \end{aligned} \quad (3)$$

式中  $t$  表示当期,  $t+1$  表示下一时期。  $GML > 1$  表示  $t \sim t+1$  时期生态效率提高,反之则表示生态效率降低。  $EC$  代表  $t \sim t+1$  时期技术效率的变化,  $EC > 1$  表示技术效率上升并正向作用于生态效率;  $EC = 1$  表示技术效率对生态效率的增长无贡献;  $EC < 1$  表示技术效率下降并反向作用于生态效率。  $BPC$  代表  $t \sim t+1$  时期生产技术的变动情况,同理,  $BPC > 1$  表示技术进步并正向作用于生态效率;  $BPC = 1$  表示技术不变且无贡献于生态效率的增长;  $BPC < 1$  表示技术退步并反向作用于生态效率。

### 2.3 指标选取与数据来源

本文根据 SBM 模型和 GML 指数特点,选取合适的测度指标。将矿业企业中具有代表性的指标代入 SBM 模型和 GML 指数,通过基于非期望产出的 SBM 模型得到 2012—2020 年我国矿业企业生态效率的静态测算结果,再运用 GML 指数探究 2012—2020 年我国矿业企业生态效率的动态走向。

本文参考文献[16]的研究方案,在采掘业的基础上添加制造业中与矿业相关的部分行业,选取以上工业企业中与矿业相关的 11 个细分行业为研究对象,主要包括煤炭开采和洗选业( $K_1$ )、石油和天然气开采业( $K_2$ )、黑色金属矿采选业( $K_3$ )、有色金属矿采选业( $K_4$ )、非金属矿采选业( $K_5$ )、开采辅助活动( $K_6$ )、石油加工、炼焦和核燃料加工业( $K_7$ )、非金属矿物制品业( $K_8$ )、黑色金属冶炼和压延加工业( $K_9$ )、有色金属冶炼和压延加工业( $K_{10}$ )和金属制品业( $K_{11}$ )。由于其他采矿业的各项数据比值较小,与其他行业不具备可比性,剔除。对于部分缺失数据(2012 年从业人员人数和 2020 年能源消费总量),本文已采取线性插值法进行补充。指标选取参照文献[7]、文献[17-18],投入要素有:资本、劳动力和能源;由于《中国工业年鉴》的停更以及统计口径的改变,工业产值用主营业务收入指标作为期望产出;非期望产出为化学需氧量(COD)排放量以及

于 2005 年提出全局 Malmquist 指数,并分解为技术效率变动  $EC(TE)$  和技术差距变动  $BPC$ 。2010 年,文献[15]将考虑非期望产出的方向距离函数与全局生产可能集结合,构造了 GML 指数,模型如下:

二氧化硫( $SO_2$ )排放量。详见表 1。

表 1 矿业企业生态效率投入产出指标

一级指标	二级指标	三级指标	数据来源
投入指标	资本	固定资产投资(亿元)	《中国固定资产投资统计年鉴(2013—2018年)》《中国投资领域统计年鉴(2019—2021年)》
	劳动力	从业人员平均人数(万人)	《中国统计年鉴(2013—2021年)》
	能源	能源消费总量(万吨标准煤)	《中国统计年鉴(2013—2021年)》
产出指标	期望产出	主营业务收入(亿元)	《中国统计年鉴(2013—2021年)》
	非期望产出	COD 排放量(吨)	《中国环境统计年鉴(2013—2021年)》
		$SO_2$ 排放量(吨)	《中国环境统计年鉴(2013—2021年)》

注:《中国统计年鉴》来自国家统计局: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>;其他年鉴来自中国知网中国经济社会大数据研究平台: <https://data.cnki.net/Yearbook/Navi?type=type&code=A>。

## 3 实证分析

### 3.1 矿业企业生态效率静态分析

基于非期望产出的 SBM-DEA 模型测度矿业企业在 2012—2020 年的生态效率,结果汇总于表 2 和图 1。由表 2 可知,2012—2020 年我国矿业企业生态效率均值为 0.652 1,距离有效前沿面还有一定距离。2012 年生态效率达到有效前沿面的行业有 2 个;到了 2020 年生态效率达到有效前沿面的行业有 6 个,表明近些年来我国矿业企业在发展过程中逐渐注重对环境的影响,从而促使生态效率的提升。除此之外,生态效率值在不同行业中表现出显著差距,从排名来看,石油加工、炼焦和核燃料加工业生态效率排名第一,在样本期内多年达到有效状态,其次是有色金属冶炼和压延加工业,效率值也达到了 0.88 以上,第三名为金属制品业,表明这三类行业的企业在发展过程中无论是在污染物减排还是在资

源利用率方面都体现出较高水平,投入要素、生产规模以及技术水平都实现了较优产出,去产能效果较好,实现了资源的高效利用。排名靠后的三类企业依次是煤炭开采和洗选业、非金属矿采选业和非金属矿物制品业,表明这三类行业的矿业企业生态效率较低,需要进一步重视环境问题,加快由粗放型向集约型方式转化,淘汰落后产能,提高技术水平和资源循环利用率。采掘行业的矿业企业生态效率水平明显较矿物制品行业的矿业企业生态效率低,可能由于采掘业对于矿山地理位置以及矿产资源的依赖度较高,实施转型升级难度较

大,尤其是煤炭行业长期都是粗放式开采,造成了大量的资源浪费和环境污染;非金属矿物制品业的效率值低可能由于企业规模普遍较小,行业集中度较低,资源难以整合与完善。从图1可见,我国矿业企业生态效率在2012—2020年总体呈波动上升态势,2018年呈显著下降,可能由于整体经济形势受周期性波动影响,但紧接着又快速回升,表明矿业企业积极响应国家出台的一系列关于环境保护与资源节约的政策,合理开发利用矿产资源,节能降耗,及时开展环境修复工作,并持续推进兼并重组与资源整合,努力实现产业转型升级。

表2 2012—2020年我国矿业企业生态效率

行业	生态效率										样本期均值	排名
	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年			
K <sub>1</sub>	0.420 8	0.405 2	0.428 5	0.393 2	0.426 8	0.689 9	0.583 3	0.446 0	0.414 5	0.467 6	9	
K <sub>2</sub>	0.667 4	0.631 1	0.582 2	0.308 5	0.382 6	0.495 7	0.649 5	0.620 6	0.529 1	0.540 8	8	
K <sub>3</sub>	0.748 8	1.000 0	0.814 3	0.675 1	1.000 0	0.623 1	0.486 2	0.627 5	1.000 0	0.775 0	4	
K <sub>4</sub>	0.528 5	0.560 3	0.580 8	0.594 8	1.000 0	0.910 9	0.585 0	0.415 2	0.425 1	0.622 3	7	
K <sub>5</sub>	0.400 1	0.425 0	0.433 9	0.474 9	0.521 4	0.498 3	0.396 4	0.426 0	0.446 5	0.446 9	10	
K <sub>6</sub>	0.469 5	0.412 7	0.514 5	0.473 5	1.000 0	0.548 7	0.591 5	1.000 0	1.000 0	0.667 8	6	
K <sub>7</sub>	1.000 0	0.926 2	0.765 4	1.000 0	0.559 6	0.725 3	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.886 3	1	
K <sub>8</sub>	0.265 2	0.265 2	0.289 3	0.449 3	0.343 2	0.363 6	0.300 1	0.341 2	0.496 6	0.346 0	11	
K <sub>9</sub>	0.393 1	0.410 9	0.415 7	0.383 8	0.619 2	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.691 4	5	
K <sub>10</sub>	0.739 5	0.769 7	1.000 0	0.673 7	1.000 0	1.000 0	0.740 4	1.000 0	1.000 0	0.880 4	2	
K <sub>11</sub>	1.000 0	0.651 0	0.699 5	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.616 3	0.669 0	1.000 0	0.848 4	3	
均值	0.603 0	0.587 0	0.593 1	0.584 2	0.713 9	0.714 1	0.631 7	0.685 9	0.755 6	0.652 1		

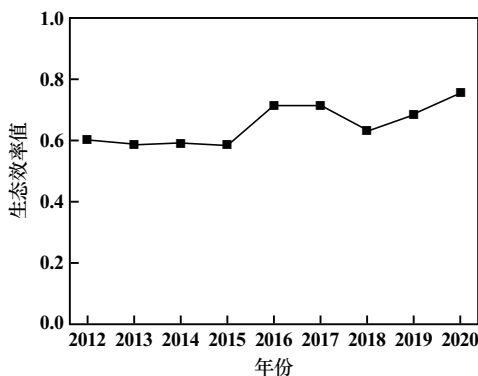


图1 2012—2020年我国矿业企业整体生态效率变化趋势

### 3.2 矿业企业生态效率动态分析

基于GML指数测算2012—2020年我国矿业企业生态效率的变动情况及效率分解,结果见表3和表4,其中GML代表生态效率动态变化指数,EC代表技术效率变化指数,BPC代表技术进步变化指数。由表3可知,2012—2020年我国矿业企业的生态效率以每年10.6%的速度增长,表明样本期内矿业企业的投入产出组合取得了可观成果,技术效率与技术进步都对生态效率增长起到了促进作用,分别为1.6%和9.0%,可见生态效率提升主要归功于矿业企业生产技术改进。

GML指数除2017—2018年是负增长外,其他年份均为正向增长,增长幅度也有细微差异;2015—2016年增长幅度最大,实现了33.4%的同比增长率,这主要归因于同年我国进入供给侧结构性改革时期,国家加大对矿业行业科研资金的投入力度,助力创新驱动发展战略实施,这一年技术进步指数增长率达到了33.8%,大大拉动了生态效率提升。进入“十三五”时期以后,矿业企业技术效率呈现下降趋势,可能由于矿业企业生产成本较高,部分行业出现固定资产投资下降的情况,导致资源配置效率与管理效率的增长速度放缓。由表4可知,11个细分行业的生态效率在2012—2020年间均处于增长态势,其中技术进步均起到了不同程度的拉动作用,表明矿业企业在经济高质量发展的“新常态”下,注重对开采及加工技术的研发与改进。非金属矿物制品业、开采辅助活动和黑色金属冶炼和压延加工业排名位于前3位,表明这三类矿业企业的生态效率增长速度较快,企业能够主动承担社会责任,提升资源能源的利用效率;金属制品业和石油加工、炼焦和核燃料加工业排名靠后,表明这两类矿业企业的生态效率增长速度较慢,且采掘业中部分行业的技术效率对生态效率起到了阻碍作用,表明采掘业矿业企业的

环境修复治理和产业结构调整等工作可能受交通、技术和人才等因素制约,面临多重困境,资源整合周期较长,管理效率提升速度慢。

表3 2012—2020年我国矿业企业生态效率 GML 指数及其分解

年份	GML	EC	BPC
2012—2013	1.009	1.067	0.946
2013—2014	1.037	1.008	1.029
2014—2015	1.090	1.181	0.920
2015—2016	1.334	0.997	1.338
2016—2017	1.097	1.039	1.056
2017—2018	0.944	0.906	1.042
2018—2019	1.133	0.917	1.236
2019—2020	1.153	1.002	1.151
均值	1.106	1.016	1.090

表4 2012—2020年我国矿业企业分行业生态效率 GML 指数及其分解

行业	GML	EC	BPC	排名
K <sub>1</sub>	1.071	0.954	1.123	8
K <sub>2</sub>	1.058	0.976	1.084	9
K <sub>3</sub>	1.105	1.027	1.076	5
K <sub>4</sub>	1.072	1.002	1.070	7
K <sub>5</sub>	1.108	1.042	1.063	4
K <sub>6</sub>	1.184	1.000	1.184	2
K <sub>7</sub>	1.037	1.000	1.037	11
K <sub>8</sub>	1.253	1.159	1.081	1
K <sub>9</sub>	1.151	1.000	1.151	3
K <sub>10</sub>	1.074	1.000	1.074	6
K <sub>11</sub>	1.044	1.000	1.044	10

## 4 矿业企业生态效率的影响因素分析

以测算出的矿业企业生态效率值作为因变量,建立计量模型考察各个影响因素对生态效率的影响。采用 SBM 模型测算出的效率值处于 0~1 之间,且为离散值,属于受限因变量类型数据,使用最小二乘法可能会导致参数估计有偏,所以采用面板 Tobit 模型进行影响因素的回归分析。

### 4.1 变量选取

借鉴文献[3]和[10]以及数据的可获得性,本文选取 4 个变量作为生态效率的影响因素:企业规模(SCA)用行业总资产与企业单位数之比表示,不同规模的企业在技术创新、结构调整以及资源整合等方面具有较大的差异,规模越大的企业可能由于积极履行社会责任而取得较好的环境绩效;资产负债率(LEV)用负债占总资产的比值表示,资产负债率综合反映了企业的偿债能力以及进行经营活动的能力,企业可能会定期披露环境信息来向外界展示其对于环境问题的

应对能力;对外开放程度(OPEN)用外商投资和港澳台商投资占总资产的比值表示,对外开放程度高的企业可能由于引进技术加快产业升级从而提升企业生态效率;环境规制(ER)用一般工业固体废物综合利用率表示,环境规制力度越强,企业的环境重视度可能越高,从而促进生态效率的提高。以上数据来源于《中国统计年鉴(2013—2021年)》《中国环境统计年鉴(2013—2021年)》。

### 4.2 模型构建

Tobit 模型表达式为:

$$Y_i^* = \alpha + \sum \beta_i X_i + \varepsilon \quad (4)$$

$$\begin{cases} Y_i = Y_i^*, Y_i^* > 0 \\ Y_i = 0, Y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

式中  $Y_i$  和  $Y_i^*$  为因变量,即矿业企业生态效率值; $X_i$  为自变量,指生态效率的各个影响因素; $\alpha$  为常数向量; $\beta_i$  为系数向量; $\varepsilon$  为随机误差项。将影响因素代入式(4)可得:

$$Y^* = \alpha + \beta_1 X_{SCA} + \beta_2 X_{LEV} + \beta_3 X_{OPEN} + \beta_4 X_{ER} + \varepsilon \quad (6)$$

运用 Stata15.0 对式(6)进行回归分析,结果见表 5。

由表 5 可知:① 企业规模对矿业企业生态效率的回归系数为 0,且没有通过显著性检验,表明企业规模正向影响生态效率但效果不明显。规模大的企业融资能力强,更有能力通过兼并重组来实现产业结构的调整和升级,加大研发投入创新开采和制造技术,且企业规模越大,资金实力较雄厚,可以负担生产过程中的环境成本,并为树立自身良好形象而注重对环境的治理和保护,这有利于企业生态效率的提升。② 资产负债率对矿业企业生态效率的回归系数为 0.888,且没有通过显著性检验,表明资产负债率也是正向影响生态效率但效果不明显,表明企业更有可能迫于政府监管以及舆论的压力而对产生的环境问题采取措施,而非迫于债权人或其他相关利益者的压力。③ 对外开放程度对矿业企业生态效率的回归系数为 2.301,且在 1%的水平下通过显著性检验,表明对外开放程度显著正向影响企业的生态效率。根据以往“污染天堂”的假说,通常认为外商企业会将环境成本较高的落后产能通过投资转移到他国,然而结果表明在对外开放的过程中会产生正向的溢出效应,通过引进国外先进的技术和管理经验,推动企业技术革新,从而降低单位产出的能耗和污染物的排放,促进企业生态效率的提升。④ 环境规制对矿业企业生态效率的回归系数为 -0.422,且在 1%的水平下通过显著性检验,表明环境规制显著负向影响矿业企业的生态效率,并未带来生态效率的提升。

一般认为环境规制可能会引起企业对环境问题的重视,但环境规制对绿色发展的影响具有长期性,短期的环境规制会加重企业的治污负担,过度的环境规制也会增加企业的管理难度,这对一些小规模企业的生产活动起到阻碍作用,超过其承受能力,甚至会导致生存威胁。

表5 矿业企业生态效率影响因素 Tobit 回归结果

变量	回归系数	标准误差	P 值	Sig
SCA	0	0.001	0.763	
LEV	0.888	0.608	0.147	
OPEN	2.301	0.791	0.005	***
ER	-0.422	0.155	0.008	***
Constant	0.061	0.312	0.483	

注:\*\*\*, \*\*和\*分别表示1%,5%和10%的显著性水平。

## 5 结论及建议

以工业行业中规模以上的矿业企业为研究对象,采用考虑非期望产出的SBM模型、GML指数以及Tobit模型对2012—2020年矿业企业的生态效率进行静态、动态分析以及影响因素的回归检验,主要结论如下:

1) 样本期内,整体矿业企业的生态效率均值为0.6521,距离有效前沿面还有一定差距。不同行业间的差距较大,石油加工、炼焦和核燃料加工业以及有色金属冶炼和压延加工业的生态效率值较高,达到0.88以上。

2) 从动态效率的测算结果来看,矿业企业的生态效率以每年10.6%的速度增长,技术进步的促进作用大于技术效率的推动作用。增长速度较快的行业有非金属矿物制品业、开采辅助活动以及黑色金属冶炼和压延加工业。

3) 影响因素的回归结果显示,对外开放程度显著正向影响矿业企业生态效率,环境规制与矿业企业生态效率呈显著负相关。企业规模和资产负债率对生态效率的影响为正,但不显著。

基于上述研究结论,从3个视角给出未来提升矿业企业生态效率的政策建议:

1) 国家层面:应继续深化国有矿业企业改革,扩大国有矿业企业的规模效应,助力其成为矿业技术研制的主体,带动矿业行业整体提升技术水平,同时应加大对非国有矿业企业的扶持,放宽市场准入限制,在用地、金融及财税等政策上给予倾斜,支持中小矿业企业的技术升级和改造工作,引导中小矿业企业提升自主

创新能力,激发矿业市场活力。在对外开放方面,坚持“引进来、走出去”的发展理念,当前矿业全球化的形势下,矿产资源、人才和技术在市场规律的支配下在全球范围内循环与流动,应鼓励矿业企业抓住机遇,引进低能耗、低污染的高端技术项目和污染物处理设备,同时推动外资进入中国,刺激矿业企业进行技术升级,提高市场竞争力,完善矿业绿色发展体系。最后,在环境规制方面,政府及相关部门应当选择适宜有效的规制途径,合理的环境规制政策和执行标准,督促矿业企业和相关管理部门落实责任,有效推动矿业企业生态效率的提升。

2) 行业层面:作为重污染行业,矿业企业更应积极主动履行社会责任。生态效率在不同行业间的差距较大,因此矿业企业之间应当打破孤立现状,重视区域差异,鼓励区域协同发展,在产业布局、结构优化和污染物联防联控等方面加强合作,在技术研发与应用等方面实现优势互补,缩小行业差距,共同推动矿业经济均衡发展。

3) 企业层面:技术进步是当前推动矿业企业生态效率提升的主要动力,因此,矿业企业应当在继续保持低能耗的前提下,加大科技投入,充分挖掘先进的新能源技术,淘汰或改造落后的生产设备和制造工艺,提高信息化、自动化和智能化水平;人才也是不可忽视的一部分,矿业企业应当加强与高校、科研院所之间的交流,依托国家技术研发中心、重点实验室及科技创新平台,建立人才基地,培养自主创新能力。

### 参考文献:

- [1] 鞠建华. 绿色发展引领中国矿业进入新发展阶段[J]. 中国矿业, 2021, 30(1): 1-4.
- [2] 邱兆林. 长江经济带与黄河流域生态效率差异及影响因素分析[J]. 当代经济管理, 2022(6): 39-49.
- [3] 徐莉萍, 戴薇. 企业生态效率及其影响因素的实证检验——基于DEA-Tobit两步法的分析[J]. 财会月刊, 2016(24): 85-90.
- [4] 张亚连, 张卫枚, 孙凤英. 生态经济效率评价系统设计——以制造业企业为例[J]. 系统工程, 2011, 29(8): 91-95.
- [5] 孔海宁. 中国钢铁企业生态效率研究[J]. 经济与管理研究, 2016, 37(9): 88-95.
- [6] 赵艳敏, 董会忠. 中国工业能源生态效率时空演变特征及影响因素分析[J]. 软科学, 2022(6): 48-55.
- [7] 王向前, 夏咏秋, 李慧宗, 等. 中国矿业能源生态效率差异及动态演进[J]. 技术经济, 2020, 39(9): 110-118.
- [8] 夏咏秋, 王向前, 李慧宗. 采矿业全要素生产率的实证研究——基于供给侧改革视角[J]. 数学的实践与认识, 2020, 50(9): 59-67.
- [9] 强海洋. 中国矿业绿色发展的实践逻辑与理论反思[J]. 化工矿物与加工, 2022(1): 1-6.
- [10] 郭浩然, 李松青. 矿业企业绿色技术创新效率及影响因素分析[J].

- 矿业研究与开发, 2022, 42(4):187-192.
- [11] 任一鑫, 苏海洋. 矿区资源循环绿色体系构建[J]. 矿冶工程, 2021, 41(2):138-142.
- [12] Kaoru Tone. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3):498-509.
- [13] Chung Y, Fare R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach[J]. Journal of Environmental Management, 1997(3):229-240.
- [14] Pastor J T, Knox Lovell C A. A global malmquist productivity index[J]. Economics Letters, 2005, 88(2):266-271.
- [15] Dong-hyun Oh. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. Journal of Productivity Analysis, 2010, 34(3):183-197.
- [16] 任思达. 中国矿业经济绿色发展研究[D]. 武汉:中国地质大学(武汉)经济管理学院, 2019.
- [17] 王问芳, 时培豪, 黄庆华. 成渝地区双城经济圈绿色创新效率、演变趋势与影响因素研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(3):172-182.
- [18] 闫军印, 齐中芳, 冯兰刚. 基于 DEA 和 Malmquist 指数的钢铁企业生态效率研究——以河北钢铁股份有限公司为例[J]. 石家庄经济学院学报, 2014, 37(5):40-45.
- 引用本文: 李松青, 包春蕾, 刘顺翔. 我国矿业企业生态效率评价及影响因素研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2):164-170.

(上接第 163 页)

### 参考文献:

- [1] Clarkson P M, Li Y, Richardson G D, et al. Does It Really Pay to Be Green? Determinants and Consequences of Proactive Environmental Strategies[J]. Journal of Accounting and Public Policy, 2011(2):122-144.
- [2] 张亚连, 刘巧. 企业碳绩效指标体系构建及测算[J]. 统计与决策, 2020(12):166-169.
- [3] 何玉, 唐清亮, 王开田. 碳绩效与财务绩效[J]. 会计研究, 2017(2):76-82.
- [4] Haque F. The effects of board characteristics and sustainable compensation policy on carbon performance of UK firms[J]. The British Accounting Review, 2017(3):347-364.
- [5] Alsaifi K. Carbon disclosure and carbon performance: Evidence from the UK's listed companies[J]. Management Science Letters, 2021(1):117-128.
- [6] 沈洪涛, 周艳坤. 环境执法监督与企业环境绩效: 来自环保约谈的准自然实验证据[J]. 南开管理评论, 2017(6):73-82.
- [7] Ashraf N, Comyns B, Tariq S, et al. Carbon performance of firms in developing countries: The role of financial slack, carbon prices and dense network[J]. Journal of Cleaner Production, 2020:253.
- [8] 林柯宇. 基于 DEA 的采掘业企业碳绩效评价研究[D]. 南京:南京理工大学经济管理学院, 2016.
- [9] 陈星. 中国有色金属工业全要素碳排放效率与碳排放绩效研究[D]. 厦门:厦门大学经济学院, 2017.
- [10] 陈有真, 刘颖. 中国工业碳排放绩效及其影响因素研究[C]//环境工程 2018 年全国学术年会论文集(下册), 2018:1011-1015.
- [11] 项英辉, 张豪华. 环境规制提高建筑业碳生产率了吗? ——基于空间计量和门槛效应的实证分析[J]. 生态经济, 2020, 36(1):34-39.
- [12] 王少剑, 王泽宏, 方创琳. 中国城市碳排放绩效的演变特征及驱动因素[J]. 中国科学:地球科学, 2022, 52(8):1613-1626.
- [13] 蓝虹, 王柳元. 绿色发展下的区域碳排放绩效及环境规制的门槛效应研究——基于 SE-SBM 与双门槛面板模型[J]. 软科学, 2019, 33(8):73-77.
- [14] 李凯凤, 倪静池, 张卓. 三大经济圈内部碳排放绩效的影响因素分析——基于外资转移视角[J]. 武汉金融, 2018(3):50-55.
- [15] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 省级温室气体清单编制指南(试行)[EB/OL]. 2011.
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 32150—2015 工业企业温室气体排放核算和报告通则[S]. 北京:中国标准出版社, 2015.
- [17] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 国家发展改革委办公厅关于印发第三批 10 个行业企业温室气体核算方法与报告指南(试行)的通知[EB/OL]. [https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcflb/tz/201511/t20151111\\_963496.html](https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcflb/tz/201511/t20151111_963496.html).
- [18] 湖南省统计局. 湖南统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2011—2021.
- [19] 中国建筑材料工业年鉴编辑部. 中国建筑材料工业年鉴[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011—2021.
- [20] 林秀群, 张杨杨, 唐向阳. 工业行业单要素和全要素碳排放效率的比较研究——以云南省为例[J]. 生态经济, 2019, 35(8):20-27.
- [21] 陈德桂. 重污染行业碳生产率动态演进路径及驱动机制研究[D]. 西安:西安科技大学管理学院, 2021.
- [22] 蔡林美, 郭佐宁, 张金锁. 中国煤炭行业绿色全要素生产率研究[J]. 中国矿业大学学报(社会科学版), 2023, 25(1):161-180.
- 引用本文: 彭亚辉, 彭述权. 湖南矿业碳绩效影响因素研究[J]. 矿冶工程, 2023, 43(2):160-163.