

中国矿业全要素生产率及其影响因素研究

闻少博¹ 陈甲斌¹ 刘禹辰²¹

(1. 中国自然资源经济研究院, 北京 101149;

2. 中国华油集团有限公司, 北京 100007)

【摘要】: 提高矿产资源利用效率是破解环境约束与经济发展矛盾的迫切需要, 是促进人与自然和谐共生的必然要求。首先采用基于非期望产出的 Super-SBM 模型对我国 2007—2016 年 31 个省份的矿业全要素生产率 (TFP) 和投入产出情况进行了测度, 其次通过 Malmquist 指数对 TFP 的动态变化进行分析, 最后运用 Tobit 模型分析产业结构、能源结构、制度因素、环境因素等对区域 TFP 的影响, 以期为矿业高质量发展提供参考。结果表明: 中国矿业总体上 DEA 有效, 非期望产出过多是制约样本期内各地区 TFP 提高和 TFP 高波动地区效率值波动向下时的共有原因; 中国区域矿业 Malmquist 指数总体呈增长态势, 但区域间 TFP 发展不均衡; 产业结构、制度因素、能源结构对 TFP 影响显著为正, 且能源结构是对 TFP 影响最大的因素。

【关键词】: 环境成本 TFP Super-SBM 模型 Malmquist 指数 Tobit 模型

【中图分类号】: F426; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2022)09-087-08

1 文献综述

中国对矿产资源的需求量巨大, 但资源有限, 获取资源的环境成本和地缘政治风险不断增加, 提高矿业效率是实现经济可持续发展必选之策。效率, 在经济学中通常是指使用尽可能少的生产要素, 获得尽可能多的期望产出的能力^[1]。采矿业具有高污染、高能耗和高排放的特点^[2], 基于绿色发展的原则, 有必要将环境成本纳入矿业效率的计算范围^[3, 4]。在本文中, 矿业效率, 也叫全要素生产率 (total factor productivity, 简称 TFP), 定义为在生产要素合理投入的条件下, 以较低的环境成本 (非期望产出) 获得较高期望产出。

从研究尺度来看, 现有矿业 TFP 研究分为两类: 一类是在研究工业 TFP 时涉及矿业部门, 这类研究的重点放在提升生产率的轨迹精度和微观分解上, 仅将矿业作为工业体系的一部分^[5, 6, 7]。另一类是针对特定矿种 TFP 研究, 如能源矿产^[8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16]和非能源矿产^[17, 18, 19, 20]。现有研究缺少将矿业部门作为独立的主体又综合所有矿种的视角。这是一个重要的观察角度, 只有将矿业部门作为独立主体进行研究, 才能发现矿业部门不同于其他产业部门的生产规律, 只有将矿业部门内部各矿种作为整体研究, 才能发现不同矿种生产的共有规律, 为政策制定者和行业投资者提供决策参考。

从研究空间范围来看, 中国幅员辽阔, 省际经济社会发展状况各异, 区域间矿业效率存在显著差异^[21, 22]。鉴于此, 除了在全国范围内度量矿业效率外^[23, 24], 还要对各个省份的矿业效率进行度量。在此基础上, 扩大视域, 根据地理空间分布和经济发展程

作者简介: 闻少博, 博士, 助理研究员, 研究方向为矿产资源经济与政策。陈甲斌, 博士, 研究员, 研究方向为矿产资源形势分析与资源政策。E-mail: 9391999@qq.com

基金项目: 自然资源部部门预算项目“矿产品价格监测体系建设与矿业高质量发展跟踪预警研究” (121102000000180047)

度，将全国划分为东中西三大区域，研究不同区域矿业 TFP 的分布特征。地方政府可以据此制定相应的政策，促进本地区乃至全国范围内矿业效率水平提高。但是现有文献分省、分大区测算矿业 TFP 的研究却很少^[25]，本研究将对这种缺失进行丰富和补充。

从效率管理的角度来看，影响矿业 TFP 的因素包括内生因素和外生因素。内生因素是指计算矿业部门效率所选取的投入产出指标。外生因素是指没有纳入效率计算，但会对这些投入产出指标产生影响的因素，比如供给侧结构性改革^[26]、产业结构^[27]、矿业权设置^[28]、技术进步^[29]、环境因素^[30]、金融危机^[20]、财政政策和融资约束^[31]、研发投入^[32]等。在定量评估 TFP 外生因素影响时，现有研究通常只关注某一特定变量，难以做到在同一分析框架下对多个外生变量进行对比研究，导致无法在矿业效率管理中进行政策排序和选择。本文根据数据可得性，选择产业结构、能源结构、制度因素、环境因素作为影响矿业效率的外生因素展开研究。

2 研究方法和数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 Super-SBM 模型

数据包络分析法（DEA）模型可用于评价多投入、多产出具有复杂生产关系的决策单元（DMU）的效率。DEA 模型中包含了多种测算模型，大部分研究利用 CCR^[33]和 BCC^[34]的方法来测算效率。CCR 和 BCC 模型在规模报酬不变和可变的假设下测算 DMU 曲面和最佳生产前沿面的距离得出效率值，这种方法最大的不足在于没有对相关指标“松弛”变化的影响进行评价。Tone^[35]提出了 SBM 模型，可以克服“松弛偏差”，解决输入、输出冗余的问题。Tone^[36]对模型进一步改进，建立了 Super-SBM 新模型。该模型不仅能够测度不同样本的效率值，还能通过允许有效样本的效率值大于 1 来比较其效率高低。矿业每年投入产出变化不大，效率变化不明显，Super-SBM 克服传统 DEA 模型测度精度不高，效率值不大于 1 而无法对样本准确排序的问题。规模报酬可变假设下的 Super-SBM 的模型如下：

$$\begin{aligned} \min \theta = & \min_{\bar{x}, \bar{y}, \lambda} \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / x_{io}}{\frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \bar{y}_r / y_{ro}} \\ \text{s.t.} & \begin{cases} \bar{x} = \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_j + s_j^- \\ \bar{y} = \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j - s_j^+ \\ \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j = 1 \\ \bar{x} \geq x_o, \bar{y} \leq y_o, \bar{x} \geq 0, \bar{y} \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

式中： $x_o=(x_{io})$ 和 $y_o=(y_{ro})$ 分别表示第 i_o 个 DMU 投入资源向量和产出成果向量； $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 分别表示将 (x_o, y_o) 排除在 (x, y) 之外的投入与产出矩阵； s_j^- 和 s_j^+ 分别为投入和产出松弛变量，分别表示第 j 个 DMU 投入冗余和产出不足； λ_j 表示第 j 个 DMU 的权重系数；模型中的下标“o”表示被评价 DMU 对应的投入产出；目标函数 θ 是关于松弛变量 s^+ 和 s^- 严格递减的，并且 $\theta > 0$ 。对于某个 DMU，当 $\theta \geq 1$ 时说明绩效评价有效；当 $\theta < 1$ 时说明 DMU 无效，需要改进投入或产出。为了防止在概念上产生歧义和混乱，本文将目标函数 θ 称之为 TFP 值。

2.1.2 Malmquist 指数

利用 DEA 模型对 TFP 测算方法属于对不同时期面板数据的静态测度。Malmquist 指数法能够动态反映不同时间序列上样本数据的效率值的变动情况，这有助于进一步找出影响效率变化的因素^[37]。Malmquist 指数^[38, 39]，运用距离函数(distance function)来定义，是衡量单位生产活动在一定时间内总投入与总产量生产效率的指标^[40, 41]。从 t 时期到 $t+1$ 时期的 Malmquist 指数可以用两个时期的效率变化几何平均来定义：

$$M(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = (M^t \times M^{t+1})^{1/2} = \left[\frac{D^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D^t(x_t, y_t)} \times \frac{D^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Ray & Desli^[42]将 Malmquist 指数分解为纯技术效率指数 (PC)、技术进步指数 (TP) 和规模效率变化指数 (SC)，即：

$$M(y_{t+1}, x_{t+1}, y_t, x_t) = \frac{D_v^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_v^t(x_t, y_t)} \times \left[\frac{D_v^t(x_t, y_t)}{D_v^{t+1}(x_t, y_t)} \times \frac{D_v^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_v^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})} \right]^{1/2} \times \left[\frac{D_c^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) / D_v^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_c^t(x_t, y_t) / D_v^t(x_t, y_t)} \times \frac{D_c^t(x_{t+1}, y_{t+1}) / D_v^t(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_c^{t+1}(x_t, y_t) / D_v^{t+1}(x_t, y_t)} \right]^{1/2} = PC \times TP \times SC \quad (3)$$

式 (2) 和式 (3) 中：下角标 c 表示规模报酬不变， v 表示规模报酬可变， $D_c^t(x_{t+1}, y_{t+1})$ 表示在规模报酬不变情况下的距离函数， $D_v^t(x_t, y_t)$ 表示在规模报酬可变情况下的距离函数。如果 Malmquist 指数 >1 ，表示生产率比上一期有增加；如果 Malmquist 指数 $=1$ ，表示生产率与上一期相同；如果 Malmquist 指数 <1 ，表示生产率比上一期下降。为了表述的一致性，本文将 Malmquist 指数也称之为 TFP。

2.1.3 Tobit 模型

Tobit 模型常用来分析不连续和受已知上限或下限约束的因变量^[43]。TFP 数值是不连续的，因此本文采用 Tobit 模型来分析 TFP 的影响因素。影响 TFP 的因素是多方面的，根据目前的测算模型，难以准确测量某一因素对 TFP 的影响实际达到的程度，但是可以测算不同因素对 TFP 的影响方向。Tobit 模型的一般形式如下^[44]：

$$\begin{cases} y_i^* = \beta X_i + \mu_i \\ y_i = y_i^* & \text{if } y_i^* > 0 \\ y_i = 0 & \text{if } y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

式中： β 为潜变量， y_i 为观察到的因变量， X_i 为自变量向量， β 为相关系数向量，误差项 μ_i 独立且服从正态分布： $\mu_i \sim N(0, \sigma^2)$ ，因此 $y_i^* \sim N(X_i\beta, \sigma^2)$ ，为独立同分布。

2.2 指标体系构建及数据来源

参考现有的文献^[45, 46, 47]，根据数据可得性，确立中国矿业全要素生产率测算的投入指标包括劳动力人数、固定资产投入、资金投入和能源投入。期望产出指标包括矿产销售收入、增加值和利润，非期望产出指标包括废水、废气、固体废物排放量等。

根据以上指标体系对 2007—2016 年中国 31 个省份（港澳台地区除外）的矿业投入产出数据进行分析。这些数据主要来源于 2007—2016 年的《国土资源统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》以及各个地区的统计年鉴等官方统计数据。

3 结果分析

3.1 中国矿业 TFP 静态分析

基于 Super-SBM 模型分析得到 2007—2016 年我国矿业 TFP 值（图 1），除 2009 年外其余年份的 TFP 均大于 1，说明除 2009 年外，DEA 有效，其中 2016 年 TFP 值最大，2013 年 TFP 值最小。2016 年数据表明劳动力投入出现少量的冗余，利润出现了产出不足，污染物排放过多，非期望产出是制约 2016 年效率的主要因素。2014 年劳动力投入出现了少量冗余，增加值、利润、销售收入出现了产出不足，同时，在非期望产出中废水、化学需氧量、SO₂排放量较多。期望产出和非期望产出是导致该年份效率相对较低的主要因素。2009 年，在金融危机的背景下，TFP 小于 1，这一年矿业在劳动力、固定资本、资金、能源 4 个指标上均出现了投入冗余，在产出方面矿产品销售收入、增加值、利润出现了产出不足，在非期望产出中废水、化学需氧量、废气、SO₂、烟粉尘、固体废物等多项指标排放过多。

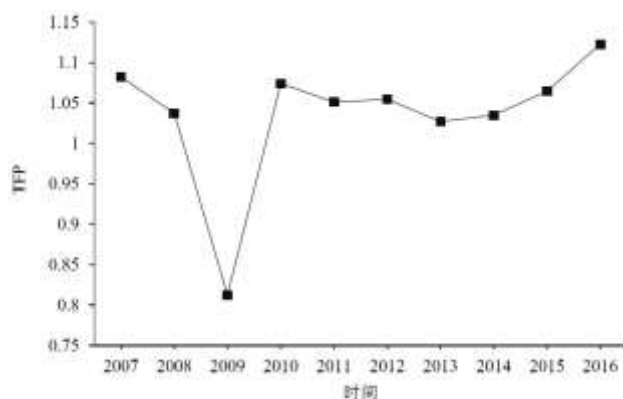


图 1 中国矿业 TFP 变化趋势

2010 年 TFP 从低点恢复，也是从这一年开始，自然资源部先后分 4 批确定了 661 家矿山企业作为国家级绿色矿山试点。废水排放量呈现逐渐下降的趋势，除 2012 年、2014 年出现反复，其余年份废水排放量没有出现过量排放。空气污染中，除 2015 年、2016 年烟粉尘和 SO₂两项指标排放量相对较高之外，其他年份均有所改善。在固体废物排放上，仅在 2016 年出现恶化。绿色矿山制度的实施和推广对矿业效率恢复和提升起到积极作用。

基于 Super-SBM 模型得到 2007—2016 年我国各区域矿业 TFP 值（图 2）。天津、上海、重庆、陕西、青海的 TFP 值波动较

大。江苏、山东、湖北、广东、西藏的 TFP 值出现先下降后上升的变化趋势。其余地区的 TFP 值在“1”附近上下浮动，这部分地区的矿业效率均趋于稳定。

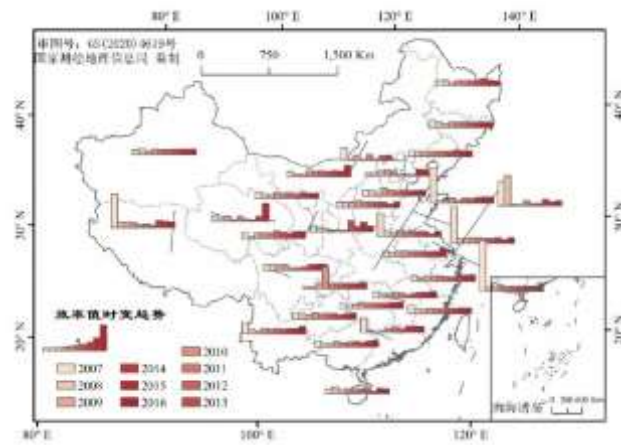


图 2 各区域矿业 TFP 值变化趋势

在 TFP 值波动较大的地区中，每当 TFP 值波动向下时常常伴随着污染物排放的增加。比如在天津，除 2007 年和 2011 年污染物排放较为合理，其余年份天津均出现污染物排放过量现象。在上海，导致 2009 年上海市 TFP 值出现大幅度下降的主要因素是期望产出不足，非期望产出中各项指标异常。在重庆，非期望产出中，除 SO₂ 和烟粉尘两项污染物排放较为合理，其他 5 项指标均存在一定程度的过度排放，导致 2009 年到 2010 年的 TFP 值出现了较大的波动。在陕西，除 2015 年，其余年份的污染物均存在过度排放的情况，尤其是 2010 年，污染物排放导致该年 TFP 值较低。在青海，除 2015 年，其余年份均出现污染物排放过量的情况。综上，可以看出，在各地区的矿业发展中，污染物不合理排放是制约各地区矿业效率提升的主要原因，也是矿业效率高波动地区，TFP 值波动向下的共有原因。

3.2 中国矿业 TFP 动态变化特征分析

3.2.1 省际矿业 TFP 动态变化特征

本文通过 Malmquist 生产率指数测算中国矿业 TFP 动态变化特征，并把 TFP 分解为技术进步效率 (TP)、技术效率 (EC)、纯技术效率(PC)和规模效率(SC)。中国矿业 Malmquist 指数总体呈增长态势(图 3), 2007—2016 年 31 个省份 TFP 平均增长 25.6%。

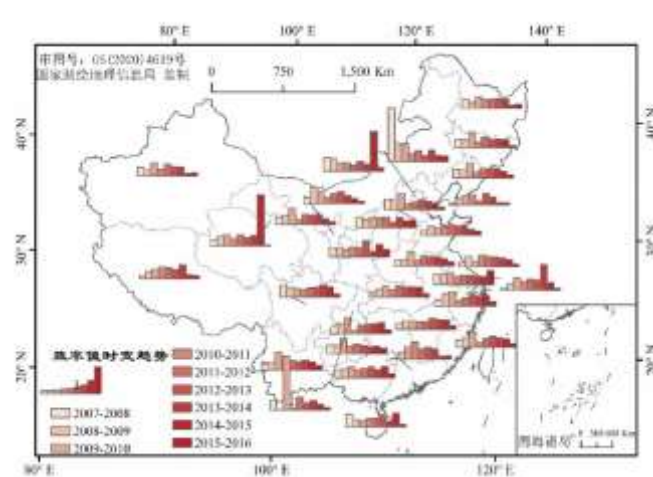


图 3 31 个省份 Malmquist 指数图

注：黑色直线为引导线；鉴于极端值的存在，本文在制图时将内蒙古 2007—2008 年 Malmquist 指数从 7.03 修改为 6，将重庆 2009—2010 年 Malmquist 指数 71.44 改为 6。

从 TFP 的增长来源看，EC 起到主要作用，平均增长 35.3%。各地区的 EC 值均高于 1，说明整体发展态势较好。EC 增长最快的是重庆市，2007—2016 年 EC 平均值为 5.969。EC 增长最慢的是吉林，2007—2016 年 EC 增长率为 3.2%。TP 平均增长 9.02%，仅有陕西、新疆的 TP 值小于 1，其余地区 TP 趋于稳定。其中，上海的平均 TP 值最高，为 1.234。上海平均 TP 增长率为 23.4%。新疆的平均 TP 值最低为 0.952，呈现下降趋势，平均下降 4.8%。从结果可以看出，总体上各区域矿业 EC 水平较高，EC 的主要驱动因素是 SC，平均增长 19.3%。SC 水平较高的原因是各区域矿业的规模结构较为合理，可以更好地利用各项投入指标。

从年度变化来看，年度之间的 Malmquist 指数（TFP）、TP 和 EC 的变动是不均匀的。受重庆 2009 年、2010 年资金投入和销售收入的影响，2009—2010 年各地区平均 Malmquist 指数为 3.62，说明 2010 年的 TFP 比 2009 年上升了 262%，成为 10 年间最大值。2008—2009 年各地区平均 Malmquist 指数为 0.97，2009 年的矿业 TFP 比 2008 年下降 3%。10 年间，仅 2008—2009 年、2010—2011 年、2015—2016 年各地区平均 Malmquist 指数小于 1，这三个时间段内中国各区域矿业效率出现了下降。

从各省份来看，各地区之间 TFP 发展不均衡。有 9 个地区 Malmquist 指数大于 1，年平均 TFP 最高的是重庆地区，其余 22 个地区 Malmquist 指数小于 1，年平均 TFP 最低的是天津市。根据 Malmquist 指数的分解情况，各地区的平均 EC 指数均大于 1。对 EC 进一步分解得出，山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、广东的 SC 出现了下降趋势。8 个地区的 PC 平均值小于 1，这些地区应该注重矿业技术的引进与创新。除陕西和新疆以外，其余地区的 TP 表现出良好的进步趋势。陕西、新疆地区应在参考和吸收各区域优秀成果的同时，因地制宜制订出符合当地区域矿业发展的方案和发展计划，避免不必要的资源的浪费。

3.2.2 东中西三大区域矿业 TFP 动态变化特征

将 31 个省份划分为东中西三大区域，东部包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南 11 个地区；中部包括吉林、黑龙江、河南、湖北、湖南、山西、江西、安徽 8 个地区；西部包括内蒙古、广西、陕西、新疆、甘肃、宁夏、青海、四川、重庆、云南、贵州、西藏 12 个地区。需要说明的是，在综合考虑了东北三省地理空间位置和地方经济发展的相似性以后，将吉林、黑龙江划归中部，将辽宁划归东部，应与传统意义的东中西区域划分相区别。三大区域各项效率值如图 4 所示。

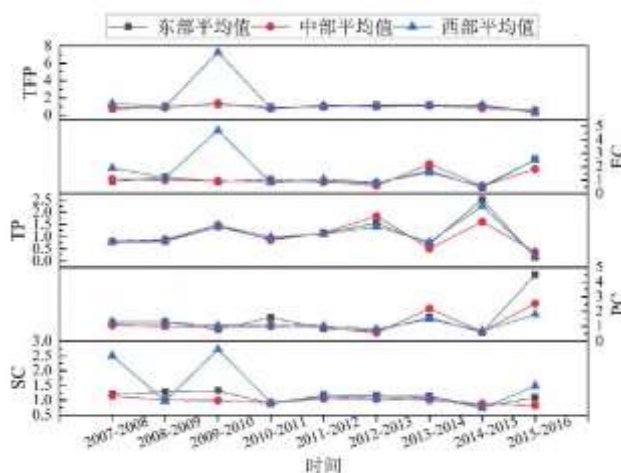


图 4 三大区域各项效率值变化趋势

如 4 所示，2007—2016 年，三大区域平均 TFP 分别为 0.975、0.954、1.716，西部的 TFP 明显高于东部和中部的 TFP。三大区域 TFP 在 2009—2010 年均出现上升趋势，在 2014—2015 年东西区域出现小幅上升，在 2010 年、2011 年和 2015—2016 年出现了下降趋势。三大区域 TFP 呈现较为同步的发展趋势。

2007—2016 年，三大区域平均 EC 分别为 1.160、1.119、1.687，区域间 EC 变化存在较大差距，尤其在 2007—2008 年和 2009—2010 年三大区域间的差距较大。如图 4 所示，2007—2012 年三大区域的 EC 变化趋势不同步，西部呈现先下降后上升再下降的趋势，东部呈现先上升后下降再上升的趋势，中部比较稳定没有太大的波动。2012—2016 年三大区域 EC 呈现出同增长同下降同步发展趋势。

2007—2016 年，三大区域平均 TP 分别为 1.109、1.060、1.093，区域间 TP 相近。在 2012 年之前三个区域的 TP 基本重合，在 2012 年之后出现较大差异，但发展趋势相同。其中，东部 TP 最高，说明东部技术进步较快，这得益于该区域高水平的经济发展和优越的地理位置。

2007—2016 年，三大区域平均 PC 分别为 1.054、1.143、1.152。2010—2011、2013—2014、2015—2016 年三个时间段中三个区域 PC 呈现上升趋势，其中东部在 2015—2016 年的 PC 较高，其他年份的 PC 发展水平相对平稳。

2007—2016 年，三大区域平均 SC 分别为 1.116、0.986、1.402，区域间差距较大。尤其在 2007—2011 年三大区域间 SC 差距较大。东部 SC 在 2009—2010 年也出现了明显上升。2012 年以后三大区域 SC 呈现较为平稳的发展趋势。

通过对 2007—2016 年三大区域的各项效率值的分析可以看出，西部的各项效率值均表现出较好的发展态势，各项效率值均大于 1。但是，不论时间角度还是区域角度都存在发展不均衡的问题。鉴于此，西部在保持整体良好发展态势的同时要注重发展的均衡问题，做好区域内资源、技术的交流和共享。中部虽然各项效率发展较为平稳，但效率值偏低，TFP 和 SC 均小于 1，需要进一步提升。鉴于此，中部应抓住中部崛起的政策优势，吸引资金，加大创新、提高管理水平、整合小散矿企，同时也要加强区域间管理和技术交流。东部具有天然的地理优势，经济和科技发展水平较高，应继续加大产学研的结合力度科研投入，带动中西部 TP 的发展。

3.3 中国矿业 TFP 影响因素分析

3.3.1 变量选取及模型设定

本文选择了产业结构、能源结构、制度因素作为区域矿业 TFP 的影响因素。本文产业结构用工业对地区生产总值增长的贡献（不变价）表示。能源结构用煤炭消费占总能源消费的比重（换算为标准煤）比重来表示。用国有控股工业企业工业销售产值占工业企业工业销售产值的比重作为各地区制度因素的指标。数据来源于 2007—2016 年《国土资源统计年鉴》和各地方统计年鉴。

设各地区各因素对 TFP 影响的 Tobit 模型为：

$$TFP_{it} = \alpha_1 \ln ind_{it} + \alpha_2 \ln ene_{it} + \alpha_3 \ln mar_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

设各地区各因素对 EC 影响的 Tobit 模型为：

$$EC_{it} = \beta_1 \ln ind_{it} + \beta_2 \ln ene_{it} + \beta_3 \ln mar_{it} + \mu_{it} \quad (6)$$

设各地区各因素对 TP 影响的 Tobit 模型为：

$$TP_{it} = \delta_1 \ln ind_{it} + \delta_2 \ln ene_{it} + \delta_3 \ln mar_{it} + \omega_{it} \quad (7)$$

式（5）～式（7）中：i 表示某个地区，t 代表时间；TFP 是全要素生产率，TP 是技术进步增长率，EC 是技术效率增长率。Ind 代表产业结构， $\ln ind$ 是工业生产总产值占地区生产总值的比重的对数；ene 代表能源结构，用地区工业消耗的能源量占地区能源消耗总量的比重来表示， $\ln ene$ 是工业消耗的能源量占地区能源消耗总量的比重的对数；mar 代表制度因素，用国有控股工业企业工业销售产值占工业企业工业销售产值的比重表示， $\ln mar$ 是国有控股工业企业工业销售产值占工业企业工业销售产值的比重对数。

3.3.2 Tobit 结果与分析

以 2007—2016 年 31 个省份的数据为基础，运用 Tobit 模型测算了产业结构、能源结构、制度因素对全要素生产率、技术进步和技术效率的影响，结果表明：

（1）产业结构对 TFP、TP 和 EC 的影响显著为正，说明工业对地区生产总值增长的贡献增加，有利于 TFP、TP 和 EC 的提高。工业是三次产业中与矿业联系最紧密的部门，工业对区域经济增长的贡献的增加经常伴随着矿业管理水平的提升和规模效益的扩大。中国矿业呈现出多、小、散的分布特点，产业结构存在一定程度的不合理。但随着矿产资源开发整合成为了中国矿产资源开发秩序治理整顿的主要内容。工业对区域经济增长的贡献的增加也可以促进矿产开发产业结构不断优化。

（2）能源结构的变化显著影响 TFP、TP 和 EC，且系数为正，说明煤炭消耗占能源消耗比重的提高，促进了 TFP、TP 和 EC 的提高。煤炭是我国能源消费的主要形式，且主要由国内矿山提供，煤炭消费比重提升会繁荣地区的矿业发展，在煤炭行业的带领下和环境保护政策的约束下，矿业企业会加快完成转型升级，并通过矿业自身科技创新，不断开发引进先进的工艺流程等技术，推进绿色矿山建设，实现中国矿业的绿色转型升级，进而促进了 TFP、TP 和 EC 的提高。能源结构的变化显著影响 TFP、TP 和 EC。

（3）制度因素对 TFP、TP 和 EC 的影响显著为正，说明了制度因素的完善对矿业 TP 的提升具有正向影响。近年来，相关部门发布和制定了《关于全面开展矿山储量动态监督管理的通知》《关于逐步建立矿山环境治理和生态恢复责任机制的指导意见》《矿山地质环境保护规定》等矿业相关政策，不断完善了矿业的相关制度，为我国的矿业发展提供越来越透明公正的政策环境，国有控股工业企业的发展促进了这些政策的落实，为矿业的健康、稳步发展提供了保障与支持。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文首先采用基于非期望产出的 Super-SBM 模型对中国 31 个省份的矿业 TFP 和投入产出情况进行了测度，然后通过 Malmquist 指数模型，对 TFP 的动态变化进行分析，最后根据不同区域矿业的资源禀赋和发展现状，运用 Tobit 模型分析产业结构、能源结构、制度因素、环境因素等对区域矿业 TFP 的影响，主要结论如下：

（1）除 2009 年外，我国矿业 TFP 均大于 1，说明除 2009 年外，矿业 DEA 有效。2009 年，受国际金融危机的影响，矿业出现

了严重的投入冗余和产出不足，导致 DEA 无效。但是 2010 年，TFP 迅速恢复，此时点与绿色矿山制度推广时点高度耦合。非期望产出过多是制约各时期 TFP 提高的共有原因。在分区域分析中，TFP 波动较大的五个省份效率值波动原因各不相同，但呈现出共同的特征，效率值向下波动总是伴随着非期望产出增加。

(2) 中国矿业 Malmquist 生产指数总体呈增长态势，2007—2016 年各地区平均增长 25.6%，但区域间 TFP 发展不均衡，仅有 9 个地区的 Malmquist 指数大于 1。从全国矿业 TFP 增长来源看，EC 起到主要作用，平均增长率为 35.3%。各地区的 EC 均高于 1，整体态势发展良好，各区域 EC 的主要驱动因素是 SC，平均增长 19.3%。

从大区域的视角，将 31 个省份整合为东中西三大区域。2007—2016 年，东中西三大区域平均 Malmquist 生产率指数分别为 0.975、0.954、1.716，西部的 TFP 明显高于东部和中部的 TFP，但是，不论从时间序列角度还是区域角度看西部都存在发展不均衡的问题。中部地区各项效率发展较为平稳，但各项效率需要进一步提升。中部地区的各项效率值偏低，TFP 和 SC 均小于 1。东部地区 TP 最高，技术进步较快，这与该地区的经济发展水平、地理位置、技术创新能力较强是密不可分的。

(3) 产业结构的变化，工业对地区生产总值增长的贡献增加有助于矿业规模效应的实现，促进 TFP、TP 和 EC 提高。制度因素对 TFP、TP 和 EC 的影响显著为正，国有控股企业效率的提升有助于矿业 TP 的提升。能源结构中煤炭消耗比重的提高，有利于 TFP、EC 和 TP 的提高，能源结构是三个因素中对矿业效率提升影响最大的因素，这体现了矿业“在发展中改善”的行业特征。

4.2 讨论

矿业 TFP 度量矿产资源投入产出效率和由此产生的环境成本，是考察矿业经济是否满足高质量发展的重要指标。矿业 TFP 越高则表示矿业经济发展与环境越协调，资源利用水平越高。近年来，中国获取矿产资源的外部风险和环境约束不断增加，要实现可持续发展，中国必须依靠矿业效率的提高。通过对中国 TFP 及其影响因素研究分析，能够客观评价 31 个省份的效率差异，对于促进中国矿业可持续发展具有重要的现实意义。基于本文分析，针对中国矿业 TFP 发展存在的问题提出如下对策建议：

(1) 我国矿业 TFP 发展缓慢，阻碍其进一步发展的关键因素是环境问题。十九届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出，“十四五”时期要“推动绿色发展，促进人与自然和谐共生”，强调“全面提高资源利用效率”。这既是破解保护与发展突出矛盾的迫切需要、促进人与自然和谐共生的必然要求，也是进一步提高矿业生产效率、促进矿业高质量的发展必选之策。

(2) 中国矿业 TFP 在时间序列角度和区域角度都存在发展不均衡的问题。因此，要做好区域内部和区域之间资源、技术的交流和共享。在各地区推广产学研合作，充分利用学校、企业、科研单位等多种教学环境和资源以及在人才培养方面的优势，促进面向矿企的科技创新，最终达到矿业高效率地区带动低效率地区共同发展的目的。

(3) 产业结构的升级有利于矿业效率水平的提高，关停并转小而散的矿业主体，整合矿产资源，提高管理能力，激发矿业规模效益。此外，制度的完善对矿业效率水平提升具有正向影响。完善我国矿产资源领域制度建设，为矿业发展提供更加透明公正的政策环境。能源结构中主要能源比重的增加，对整个矿业的发展具有带动作用，矿业发展是矿业绿色转型的基础。

本文尚存在如下不足：首先，受到数据可获得性的限制，本文只选取 31 个省份 2007—2016 年的指标数据作为研究对象，研究结果不能反映 2016 年以后矿业效率的发展变化。其次，本文未对矿业 TFP 变化和绿色矿山发展之间的耦合关系进行定量分析，有待在未来研究中进一步完善。

参考文献：

-
- [1]Debreu G.The coefficient of resource utilization[J].Econometrica,1951,19(3):273-292.
- [2]Zhu X,Chen Y,Feng C.Green total factor productivity of China' s mining and quarrying industry:A global data envelopment analysis[J].Resources Policy,2018,57:1-9.
- [3]Burchart-Korol D,Fugiel A,Czaplicka-Kolarz K,et al.Model of environmental life cycle assessment for coal mining operations[J].Science of The Total Environment,2016,562:61-72.
- [4]Pell R,Tijsseling L,Palmer L W,et al.Environmental optimisation of mine scheduling through life cycle assessment integration[J].Resources,Conservation and Recycling,2019,142:267-276.
- [5]向小东,林健.中国工业企业创新全要素生产率评价——基于双前沿面网络DEA-Malmquist指数模型[J].工业技术经济,2017(9):93-103.
- [6]杨茜琳.我国工业分行业全要素生产率估计[J].商业经济研究,2013(16):115-117.
- [7]张豪,张一弛,张建华.中国行业间全要素生产率的溢出效应与增长源泉——基于10大行业的经验研究[J].华东经济管理,2017(4):89-96.
- [8]Sueyoshi T,Goto M.DEA approach for unified efficiency measurement:Assessment of Japanese fossil fuel power generation[J].Energy Economics,2011,33(2):292-303.
- [9]Zhou P,Ang B W,Wang H.Energy and CO2 emission performance in electricity generation:A non-radial directional distance function approach[J].European Journal of Operational Research,2012,221(3):625-635.
- [10]Zhou Y,Xing X,Fang K,et al.Environmental efficiency analysis of power industry in China based on an entropy SBM model[J].Energy Policy,2013,57:68-75.
- [11]Zhang N,Choi Y.Total-factor carbon emission performance of fossil fuel power plants in China:A metafrontier non-radial Malmquist index analysis[J].Energy Economics,2013,40:549-559.
- [12]Zhang N,Choi Y.A comparative study of dynamic changes in CO2 emission performance of fossil fuel power plants in China and Korea[J].Energy Policy,2013,62:324-332.
- [13]Zhang N,Kong F,Choi Y,et al.The effect of size-control policy on unified energy and carbon efficiency for Chinese fossil fuel power plants[J].Energy Policy,2014,70:193-200.
- [14]Munisamy S,Arabi B.Eco-efficiency change in power plants:Using a slacks-based measure for the meta-frontier MalmquistLuenberger productivity index[J].Journal of Cleaner Production,2015,105:218-232.
- [15]Li A,Zhang A,Huang H,et al.Measuring unified efficiency of fossil fuel power plants across provinces in China:An analysis based on non-radial directional distance functions[J].Energy,2018,152:549-561.

-
- [16]赵萌.中国煤炭企业的全要素生产率增长[J].统计研究,2021(8):55-62.
- [17]郝荣.中国有色金属工业全要素生产率评价研究[D].北京:北京科技大学,2017.
- [18]杨丽,曹慧敏.中国有色金属产业全要素生产率区域差异及影响因素研究[J].未来与发展,2019(8):8.
- [19]王莉娜,童星,孙笑明.基于 DEA-Malmquist 指数法的我国钢铁产业全要素生产率测度分析[J].西北工业大学学报(社会科学版),2016,36(2):6.
- [20]吴一丁,黄智勇.金融危机后有色金属矿采选业经营效率研究[J].财会通讯,2015(29):38-41.
- [21]Battese G E,Rao D S,O' donnell C J.A metafrontier production function for estimation of technical efficiencies and technology gaps for firms operating under different technologies[J].Journal of Productivity Analysis,2004,21(1):91-103.
- [22]Yao X,Zhou H,Zhang A,et al.Regional energy efficiency,carbon emission performance and technology gaps in China:A meta-frontier non-radial directional distance function analysis[J].Energy Policy,2015,84:142-154.
- [23]于立宏,王艳,陈家宜.考虑环境和代际负外部性的中国采矿业绿色全要素生产率[J].资源科学,2019,41(12):2155-2171.
- [24]吴青.考虑碳排放的我国矿业全要素生产率及其影响因素研究[D].北京:中国地质大学(北京),2017.
- [25]赵俊.我国资源型城市全要素生产率变动的实证研究[D].南京:南京航空航天大学,2010.
- [26]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(9):59-67.
- [27]周业静.我国产业结构变动对全要素生产率的影响研究[D].北京:中国社会科学院研究生院,2018.
- [28]王忠,揭俐,曾伟.矿业权重叠对我国煤炭产业全要素生产率的非线性影响[J].中南财经政法大学学报,2017(5):59-68.
- [29]董直庆,徐晓莉.技术进步方向及其对全要素生产率的作用效应检验[J].东南大学学报(哲学社会科学版),2016,18(2):83-93.
- [30]Yang Z,Wei X.The measurement and influences of China' s urban total factor energy efficiency under environmental pollution:Based on the game cross-efficiency DEA[J].Journal of Cleaner Production,2019,209:439-450.
- [31]任曙明,魏梦茹.财政政策、融资约束与全要素生产率[J].现代财经:天津财经大学学报,2015(6):28-42.
- [32]刘建翠,郑世林.研发投入对中国区域全要素生产率的影响研究——基于 DEA-Tobit 模型[J].城市与环境研究,2018(4):17-37.

-
- [33]Charnes A,Cooper W W,Rhodes E.Measuring the efficiency of decision making units[J].European Journal of Operational Research,1978,2(6):429-444.
- [34]Banker R D,Charnes A,Cooper W W.Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J].Management Science,1984,30(9):1078-1092.
- [35]Tone K.A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2001,130(3):498-509.
- [36]Tone K.A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J].European Journal of Operational Research,2002,143(1):32-41.
- [37]王琼,耿成轩.江苏省战略性新兴产业上市公司融资效率研究——基于 2009—2014 年面板数据[J].华东经济管理,2016(7):14-20.
- [38]Malmquist S.Index numbers and indifference surfaces[J].Trabajos De Estadistica,1953,4(2):209-242.
- [39]Caves D W,Christensen L R,Diewert W E.The economic theory of index numbers and the measurement of input, output, and productivity[J].Econometrica:Journal of the Econometric Society,1982:1393-1414.
- [40]Farrell M J.The measurement of productive efficiency[J].Journal of the Royal Statistical Society:Series A(General),1957,120(3):253-281.
- [41]Chung Y H,Färe R,Grosskopf S.Productivity and undesirable outputs:a directional distance function approach[J].Journal of Environmental Management,1997,51(3):229-240.
- [42]Ray S C,Desli E.Productivity growth,technical progress,and efficiency change in industrialized countries:Comment[J].The American Economic Review,1997,87(5):1033-1039.
- [43]Tobin J.Estimation of relationships for limited dependent variables[J].Econometrica:Journal of the Econometric Society,1958:24-36.
- [44]汪杰,李姣,周翠烟,等.基于 DEA-Tobit 模型的湖南省环洞庭湖地区农业生产效率研究[J].天津农业科学,2019(12):48-55.
- [45]Lin B,Tan R.Ecological total-factor energy efficiency of China's energy intensive industries[J].Ecological Indicators,2016,70:480-497.
- [46]Yue S,Yang Y,Pu Z.Total-factor ecology efficiency of regions in China[J].Ecological Indicators,2017,73:284-292.
- [47]Guo P,Qi X,Zhou X,et al.Total-factor energy efficiency of coal consumption:An empirical analysis of China's energy intensive industries[J].Journal of Cleaner Production,2018,172:2618-2624.