

文章编号:2095-0365(2020)03-0008-09

基于网络超效率 EBM 模型的中国 省级煤炭产业生态绿色发展测度研究

张丹丹, 杨 力

(安徽理工大学 经济与管理学院, 安徽 淮南 232001)

摘 要:为促进矿产资源开发与环境保护的协调发展,实现社会生态文明建设,以考虑非期望产出的单阶段 EBM 模型为基础,构建网络超效率 EBM 模型。测度 2013—2017 年中国省级煤炭产业综合生态效率、生产阶段效率和环境治理阶段效率,并对其进行分析。结果表明:相较于考虑非期望产出的单阶段 EBM 模型,网络超效率 EBM 模型能更有效地处理内部系统问题;子阶段的效率对总效率的高低起着决定作用。2013—2017 年中国省级煤炭产业综合生态效率有所提高但仍表现为非 DEA 有效。在地区分布上北部沿海地区煤炭产业阶段效率和生态效率值明显高于其他地区,而东北地区煤炭产业生态绿色发展水平较低。最后根据分析结果为煤炭产业生态绿色发展提出对策建议。

关键词:网络超效率 EBM 模型;煤炭产业生态效率;生产阶段效率;环境治理阶段效率;绿色技术

中图分类号:TB115 **文献标识码:**A **DOI:**10.13319/j.cnki.sjztdxbskb.2020.03.02

一、引言

1990 年, Schaltegger 和 Sturm^[1]首次提出了生态效率的概念,即增加的价值与增加的环境影响的比值。1992 年可持续发展工商业联合会(WBCSD)^[2]在《改变航向:一个关于发展与环境的全球商业观点》解释了生态效率的含义:“通过提供具有价格优势的服务和商品,在满足人类高质量生活需求的同时,将整个生命周期中对环境的影响降到至少与地球的估计承载力一致的水平上,简单说来就是影响最小化,价值最大化。”2015 年,党的十八届五中全会将“绿色”写入了新发展理念。2019 年 3 月 5 日,第十三届全国人民代表大会第二次会议上提出加强污染防治和生态建设大力推动绿色发展的工作任务。显而易见,加强

生态文明建设、提高生态效率是解决环境问题的必由之路,而促进矿产资源开发与环境保护的协调发展是实现社会生态文明建设、提高生态效率的必要条件。这对我国煤炭产业环境效率测度准确性与评价科学性提出了更高的要求。

2003 年, Tone^[3]提出了可处理非期望产出的非角度非径向的拓展式 SBM 模型,虽与传统 DEA 相比可以更好地处理非期望产出和效率值等于 1 的问题,但这种模型不能处理投入和产出变量同时具有径向和非径向特征的情形^[4-7]。为解决此问题,同时包含径向和非径向两类距离函数的混合 EBM 模型应运而生^[8]。

国内许多学者尝试使用 EBM 模型测度效率^[9-11]。师博^[12]等通过构建能源、人力资本、资本存量和能源、劳动力、资本存量双指标体系,比较

收稿日期:2019-11-15

基金项目:国家自然科学基金项目(71971003)

作者简介:张丹丹(1994-),女,硕士研究生,研究方向:能源生态效率。

本文信息:张丹丹,杨力.基于网络超效率 EBM 模型的中国省级煤炭产业生态绿色发展测度研究[J].石家庄铁道大学学报:社会科学版,2020,14(3):8-16.

1952—2010 年 CRS、SBM、EBM(H)、EBM(L) 4 种模型对我国时序能源效率处理的结果,表明能源效率与城市化水平呈“U”型变动特征。俞会新^[13]等建立 EBM 超效率模型,采用 2013—2016 年的省级面板数据进行全面分析,显示京津冀的环境治理投资效率呈逐年递减趋势。王小艳^[14]等将 ENSBM 模型与窗口分析法结合,对 2005—2012 年中国各省生产系统效率、环境治理系统效率及综合效率进行评价。韩洁平^[15]等采用网络超效率 EBM 模型测度 2016 年 47 个重点城市的工业生态绿色发展水平,结果表明发展十分不均衡。

由于目前大多数学者倾向于构造考虑非期望产出的单阶段超效率 EBM 模型研究资源环境系统整体生态效率,鲜有文献采用网络超效率 EBM 模型测度资源环境系统及其内部结构的生态效率,因此将资源环境系统分为生产系统 and 环境治理分系统,利用网络超效率 EBM 模型测算我国各省煤炭产业 2013—2017 年的生产系统与环境治理系统的生态效率值及综合生态效率值并进行分析,最后有针对性地提出对策建议。

二、研究方法 & 数据说明

(一) 网络超效率 EBM 模型

网络超效率 EBM 模型是考虑非期望产出的单阶段超效率 EBM 模型的改进模型,弥补了模型单层结构以及将其内部系统作为一个“黑箱”的缺点,实现更准确地测度和评价多阶段生产过程的各阶段效率的目标。

1. 考虑非期望产出的单阶段超效率 EBM 模型

基于非导向的非期望超效率 EBM 模型的公式如下

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{i0}$$

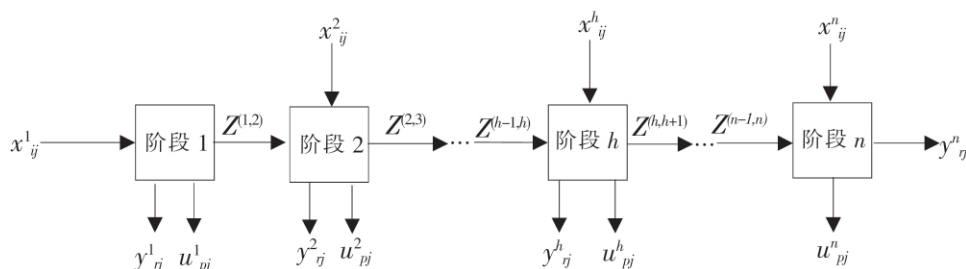


图 1 考虑非期望产出的多阶段生产过程 DMU 结构

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ &= \phi y_{r0} \\ \sum_{j=1}^n u_{pj} \lambda_j + s_p^- &= \phi u_{p0} \\ \lambda_j &\geq 0, s_i^-, s_r^+, s_p^- \geq 0 \\ \theta - \epsilon &= \min \frac{\sum_{i=1}^m \frac{\omega_i^- s_i^-}{x_{i0}}}{\phi + \epsilon^+ \left(\sum_{r=1}^s \frac{\omega_r^+ s_r^+}{y_{r0}} + \sum_{p=1}^q \frac{\omega_p^- s_p^-}{u_{p0}} \right)} \quad (1) \end{aligned}$$

式中, $i=1,2,\dots,m; r=1,2,\dots,s; p=1,2,\dots,q; r^*$ 表示 Super-EBM 模型测度的最优效率值; x_{i0} 、 y_{r0} 、 u_{p0} 分别为 DMU0 的投入、期望产出和非期望产出; s_i^- 、 s_r^+ 、 s_p^- 分别为投入松弛、期望产出松弛和非期望产出松弛; ω_i^- 、 ω_r^+ 、 ω_p^- 分别为各项投入指标、期望产出和非期望产出的权重,并且服从于 $\sum \omega_i^- = 1 (\omega_i^- \geq 0)$ 、 $\sum \omega_r^+ = 1 (\omega_r^+ \geq 0)$ 、 $\sum \omega_p^- = 1 (\omega_p^- \geq 0)$; θ 为通过计算得到的径向条件下的效率值; ϵ 为 Super-EBM 模型中代表非径向部分重要程度的核心参数,它的取值范围是 $[0, 1]$ 。当 $\epsilon=0$ 时, Super-EBM 模型与径向 CCR 模型相同;当 $\theta=\epsilon=1$ 时, Super-EBM 模型等于非径向 Super-SBM 模型。

2. 考虑非期望产出的多阶段超效率 EBM 模型(网络 EBM 模型)

对于一个考虑非期望产出且包含 n 个生产阶段的 Super-EBM 模型,用 $x_{ij}^k (i=1,2,\dots,m_k)$ 表示各个阶段投入(第二阶段及以后为追加投入),用 $y_{rj}^k (i=1,2,\dots,s_k)$ 表示期望产出,用 $u_{pj}^k (i=1,2,\dots,q_k)$ 表示非期望产出,用 $z_{dj}^{(k,h)} (d=1,2,\dots,Q^{k,h})$ 表示第 k 个阶段和第 h 个阶段的中间产出。第 k 个阶段相应的强度矢量为 $\lambda_j^k (j=1,2,\dots,n)$ 。

假设有 n 个待评价决策单元数,每个决策单元 DMU_j 含有 H 个阶段 ($h=1,2,\dots,H$),根据单阶段 EBM 模型构建的网络非期望 Super-EBM 模型示意图如图 1 所示。

在规模报酬不变情况下,可将被评价单元 DMU_0 的投入产出导向效率评价模型的分式规划形式表示为

$$\begin{aligned}
 r^* = \min & \frac{\theta - \varepsilon^- \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i^- s_i^-}{x_{i0}}}{\varphi + \varepsilon^+ \left(\sum_{r=1}^s \frac{\omega_r^+ s_r^+}{y_{r0}} + \sum_{p=1}^q \frac{\omega_p^{u-} s_p^{u-}}{u_{p0}} \right)} \\
 \text{s. t. } & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{i0} \\
 & \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi y_{r0} \\
 & \sum_{j=1}^n u_{pj} \lambda_j + s_p^- = \phi u_{p0} \\
 & z^{(k,h)} \lambda^h = z^{(k,h)} \lambda_k (\forall k, h) \\
 & \lambda_j \geq 0, s_i^-, s_r^+, s_p^- \geq 0
 \end{aligned} \quad (2)$$

式中, $i=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, s; p=1, 2, \dots, q$ 。被评价单元 DMU_0 的综合效率为 r^* 。被评价单元整体有效的条件为 $r^*=1$, h 阶段 DEA 有效的条件为 $r_h^*=1$ 。子阶段的效率为:

$$r_h^* = \min \frac{\omega_h \left(\theta - \varepsilon^- \sum_{i=1}^m \frac{\omega_i^- s_i^-}{x_{i0}} \right)}{\omega_h \left[\varphi + \varepsilon^+ \left(\sum_{r=1}^s \frac{\omega_r^+ s_r^+}{y_{r0}} + \sum_{p=1}^q \frac{\omega_p^{u-} s_p^{u-}}{u_{p0}} \right) \right]} \quad (3)$$

式中, ω_h 为第 h 阶段的权重,即子阶段 h 的效率相对决策单元整体效率值的重要程度,且 $\sum_{h=1}^H \omega_h = 1, \omega_h \geq 0 (\forall h)$ 。由式(2)可得,由于整体效率为各个子阶段效率的加权平均数,所以要使决策单元整体有效必须保证每个子阶段都有效。同理对于两阶段非期望 Super-EBM 来说,当且仅当两个子阶段都有效时决策单元才整体有效,若其中任何一个阶段为无效状态,都会造成 DMU 无效。

(二) 指标选取及构建

煤炭产业生产过程通过资源(能源)和资金的投入来获得期望产出(经济效益)以及不可避免的非期望产出。将煤炭生产治理过程分为两个阶段。第Ⅰ阶段:资源系统投入能源,经济系统投入资金,得到理想产出地区经济总量,非理想产出工业固体排放量和矿业开采累计占用损坏土地;第Ⅱ阶段:第Ⅰ阶段非理想产出作为第Ⅱ阶段投入(非理想产出为第Ⅰ、Ⅱ阶段的中间变量),引入矿山恢复治理投入环境治理系统产生最终的理想产出(工业固体废物综合利用量、矿山恢复面积)。具体生产治理过程见图2。

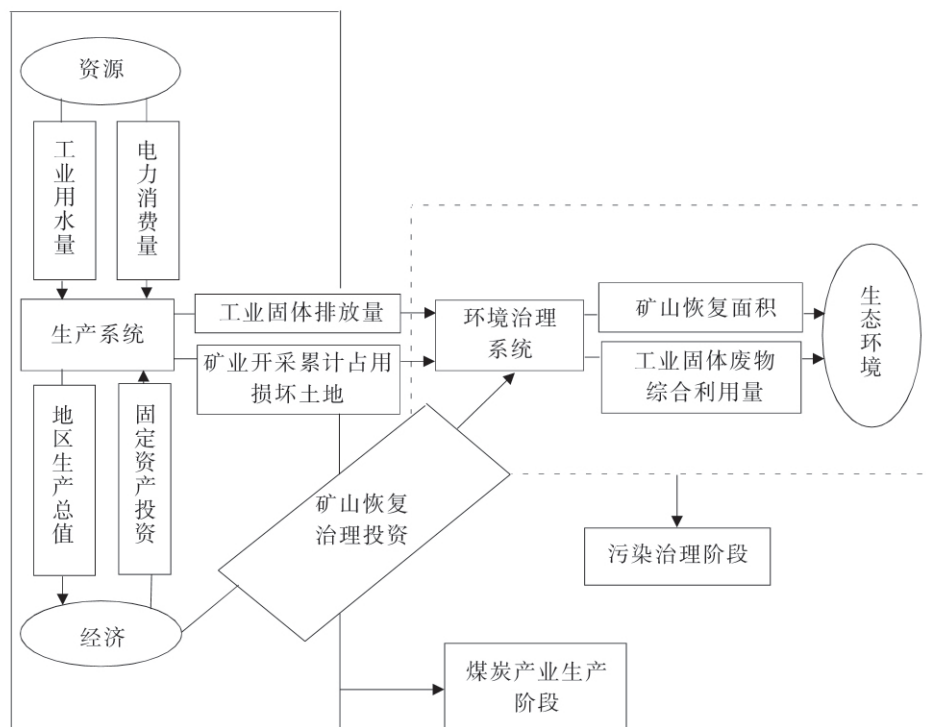


图2 煤炭产业生产治理两阶段过程模型

结合国内外对煤炭产业生态效率和工业生态效率的现有研究,基于数据的可获性,根据评价指标构建的系统性原则、典型性原则、动态性原则、简明科学性原则,减少人力资源投入、废气排放等

指标,增加矿业开采累计占用损坏土地(公顷)、矿山恢复治理投资(万元)、矿山恢复面积(公顷)指标,重新构建中国省级煤炭产业生态效率评价指标体系,如表1所示。

表1 中国省级煤炭产业生态效率评价指标体系

一级指标	二级指标	基础指标
第一阶段	经济投入	固定资产净值(亿元)
	能源消耗	工业用水量(亿 m ³) 电力消费量(亿 kW·h)
	期望产出	地区生产总值(亿元)
中间变量	非期望产出	矿业开采累计占用损坏土地(公顷) 工业固体排放量(万 t)
第二阶段	环境治理投入指标	矿山恢复治理投资(万元)
	期望产出	工业固体废物综合利用量(万 t) 矿山恢复面积(公顷)

(三)数据来源与处理

考虑到相关数据的可得性,选取除上海、西藏、青海、宁夏外中国大陆 27 个省区 2013—2017 年数据。固定资产净值、工业用水量、电力消费量、地区生产总值和工业固体废物综合利用量基础指标数据来自各年份《中国统计年鉴(2014—2018)》,矿业开采累计占用损坏土地、矿山恢复治理投资、矿山恢复面积基础指标数据来源于各年份《中国能源统计年鉴(2014—2018)》,工业固体排放量基础指标数据来自各年份《中国环境统计年鉴(2014—2018)》。在数据处理方面,各地区固

定资产投资总额、地区生产总值以及矿山恢复治理投资均以 2010 年为基期,折算成不变价。

三、实证研究

(一)分省测算结果

2013—2017 年,除上海、西藏、青海、宁夏外中国大陆 27 个省区的煤炭产业综合生态效率值、生产阶段效率值、治理阶段效率值及其平均值测算结果见表 2、表 3 和表 4。整理出 2013—2017 年中国省级煤炭产业的总效率平均值走向和两个子阶段效率的平均值走向展示如图 3。

表2 2013—2017 年中国省级煤炭产业网络超效率 EBM 模型综合生态效率值

省(区)	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	平均值	排名
北京	0.358 9	0.626 3	0.437 1	1.807 6	0.349 4	0.715 9	9
天津	0.985 7	1.116 1	0.989 3	2.762 0	1.016 2	1.373 8	1
河北	0.999 7	0.687 5	0.751 5	0.779 7	0.690 5	0.781 8	7
山东	0.995 4	0.934 7	0.919 9	0.924 4	0.806 6	0.916 2	3
江苏	0.854 0	0.946 4	0.728 0	0.750 8	0.826 1	0.821 0	6
浙江	0.680 5	0.610 3	0.633 0	0.563 9	0.582 9	0.614 1	12
福建	2.089 2	0.845 9	0.480 9	0.854 9	0.347 7	0.923 7	2
广东	0.544 0	0.637 2	0.699 9	0.614 9	0.533 1	0.605 8	14
海南	0.648 7	0.629 1	0.493 2	0.456 7	0.152 5	0.476 0	22
辽宁	0.444 7	0.310 1	0.303 9	0.936 7	0.521 4	0.503 3	19
吉林	0.869 7	0.642 8	0.765 0	0.410 2	0.267 9	0.591 1	15
黑龙江	0.460 2	0.383 6	0.225 4	0.225 5	0.192 7	0.297 5	27
湖北	0.617 4	0.615 9	0.469 0	0.496 0	0.420 4	0.523 7	18
湖南	0.439 4	0.462 3	0.460 1	0.452 9	0.543 7	0.471 7	24
江西	0.872 9	0.681 7	0.534 1	0.534 1	0.409 1	0.606 4	13

续表 2

省(区)	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	平均值	排名
安徽	0.825 8	0.828 7	0.886 9	0.821 5	0.864 1	0.845 4	5
陕西	0.360 8	0.914 6	0.349 4	0.862 8	0.385 9	0.574 7	16
山西	0.843 6	0.968 6	0.754 1	0.929 1	0.864 9	0.872 1	4
河南	0.756 8	0.847 6	0.730 7	0.635 5	0.570 9	0.708 3	10
内蒙古	0.339 2	0.761 5	0.852 8	0.640 5	0.853 4	0.689 5	11
云南	0.674 0	0.395 7	0.461 6	0.434 9	0.397 0	0.472 6	23
贵州	0.397 6	0.437 3	0.472 3	0.574 5	0.598 8	0.496 1	20
四川	0.913 3	0.828 3	0.563 3	0.525 5	0.787 1	0.723 5	8
重庆	0.854 4	0.613 8	0.308 2	0.611 2	0.410 7	0.559 7	17
广西	0.516 8	0.638 3	0.403 4	0.381 1	0.379 6	0.463 8	25
甘肃	0.361 4	0.347 9	0.646 1	0.646 1	0.436 2	0.487 5	21
新疆	0.470 4	0.412 1	0.407 1	0.429 2	0.569 4	0.457 6	26
平均值	0.710 2	0.671 3	0.582 4	0.743 0	0.547 4	0.650 9	—

表 3 2013—2017 年中国省级煤炭产业网络超效率 EBM 模型生产阶段效率值

省(区)	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	平均值	排名
北京	0.806 5	0.295 1	0.205 4	0.900 0	0.159 5	0.473 3	23
天津	0.971 4	0.998 6	0.978 6	0.920 2	0.992 4	0.972 2	1
河北	0.999 3	0.996 4	0.999 7	0.904 0	0.938 9	0.967 7	2
山东	0.990 7	0.869 3	0.839 7	0.848 8	0.715 7	0.852 9	6
江苏	1.000 0	0.906 6	0.549 2	0.988 4	0.652 1	0.819 3	8
浙江	0.394 4	0.311 6	0.302 9	0.262 1	0.274 1	0.309 0	26
福建	0.956 6	0.691 9	0.418 8	0.709 9	0.412 0	0.637 8	16
广东	0.288 2	0.463 7	0.475 1	0.430 9	0.228 7	0.377 3	25
海南	0.297 4	0.258 1	0.254 0	0.263 8	0.255 6	0.265 8	27
辽宁	0.994 5	0.769 6	0.756 8	0.987 1	0.974 9	0.896 6	4
吉林	0.847 7	0.481 2	0.564 2	0.565 1	0.454 6	0.582 5	19
黑龙江	0.725 0	0.807 7	0.612 1	0.613 3	0.515 7	0.654 8	13
湖北	0.760 6	0.757 1	0.657 3	0.401 7	0.564 2	0.628 2	17
湖南	0.725 4	0.658 6	0.582 9	0.442 7	0.347 2	0.551 4	21
江西	1.000 0	0.734 8	0.582 2	0.624 8	0.612 7	0.710 9	10
安徽	0.847 0	0.783 1	0.773 8	0.743 7	0.728 2	0.775 1	9
陕西	0.513 3	0.829 3	0.693 0	0.725 7	0.498 5	0.651 9	14
山西	0.977 5	0.937 2	0.982 4	0.894 5	0.999 9	0.958 3	3
河南	0.652 2	0.695 1	0.474 0	0.500 3	0.449 8	0.554 3	20
内蒙古	0.730 4	0.979 5	0.705 7	0.990 1	0.706 9	0.822 5	7
云南	0.613 4	0.891 6	0.775 2	0.560 6	0.465 2	0.661 2	12
贵州	0.971 1	0.878 5	0.870 6	0.589 1	0.983 4	0.858 5	5
四川	0.969 7	0.656 6	0.479 9	0.344 8	0.780 5	0.646 3	15
重庆	0.708 8	0.957 6	0.873 0	0.615 7	0.250 0	0.681 0	11
广西	0.664 9	0.735 7	0.631 6	0.583 4	0.491 8	0.621 5	18
甘肃	0.583 3	0.340 4	0.292 1	0.292 1	0.522 6	0.406 1	24
新疆	0.479 1	0.523 6	0.549 2	0.488 8	0.467 8	0.501 7	22
平均值	0.758 1	0.711 4	0.625 2	0.636 7	0.572 0	0.660 7	—

表 4 2013—2017 年中国省级煤炭产业网络超效率 EBM 模型环境污染治理阶段效率值

省(区)	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	平均值	排名
北京	0.384 2	0.957	4 0.699 0	2.137 3	0.572 6	0.950 1	5
天津	1.000 0	1.159 6	1.000 0	3.513 6	1.026 7	1.540 0	1
河北	1.026 0	0.595 2	0.693 4	0.772 5	0.620 4	0.741 5	12
山东	1.000 0	1.000 0	1.000 0	1.000 0	0.940 2	0.988 0	3
江苏	0.836 1	0.986 1	0.937 6	0.755 2	1.000 0	0.903 0	7
浙江	0.966 5	0.922 2	0.963 8	0.885 1	0.902 2	0.928 0	6
福建	2.430 3	1.000 0	0.634 2	1.000 0	0.405 8	1.094 1	2
广东	0.834 1	0.850 0	0.945 3	0.846 6	0.860 1	0.867 2	9
海南	1.000 0	1.000 0	0.758 1	0.690 4	0.157 2	0.721 1	13
辽宁	0.261 6	0.196 6	0.188 3	0.940 0	0.528 1	0.422 9	25
吉林	0.941 4	0.854 0	0.973 3	0.419 3	0.257 6	0.689 1	14
黑龙江	0.434 4	0.392 2	0.279 6	0.279 5	0.247 8	0.326 7	27
湖北	0.640 1	0.628 6	0.457 3	0.658 9	0.435 7	0.564 1	20
湖南	0.390 1	0.443 9	0.486 9	0.562 3	0.774 7	0.531 6	22
江西	0.830 5	0.728 3	0.604 0	0.575 9	0.391 9	0.626 1	19
安徽	0.885 7	0.929 5	1.000 0	0.942 2	1.000 0	0.951 5	4
陕西	0.466 5	1.000 0	0.412 7	1.000 0	0.418 4	0.659 5	17
山西	0.827 9	1.000 0	0.708 3	0.974 9	0.819 9	0.866 2	10
河南	0.916 1	1.000 0	0.991 5	0.816 6	0.748 6	0.894 6	8
内蒙古	0.229 4	0.678 1	1.000 0	0.525 7	1.000 0	0.686 6	15
云南	0.803 8	0.256 6	0.386 0	0.462 4	0.455 4	0.472 8	24
贵州	0.208 2	0.321 7	0.353 7	0.661 6	0.473 2	0.403 7	26
四川	0.903 7	1.000 0	0.716 2	0.749 4	0.851 6	0.844 2	11
重庆	1.000 0	0.627 1	0.329 1	0.756 6	0.628 5	0.668 3	16
广西	0.612 6	0.673 8	0.450 1	0.445 3	0.413 0	0.518 9	23
甘肃	0.333 8	0.449 1	1.000 0	1.000 0	0.484 5	0.653 5	18
新疆	0.565 8	0.445 7	0.423 3	0.493 3	0.733 3	0.532 3	21
平均值	0.767 7	0.744 3	0.681 2	0.883 9	0.635 1	0.742 4	—

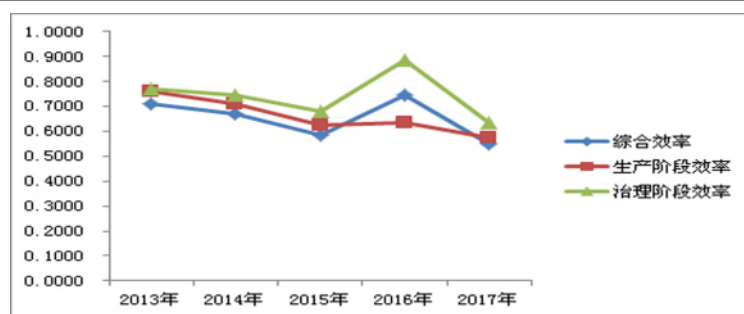


图 3 2013—2017 年中国省级煤炭产业总生态效率和子阶段效率的平均值

综合表 2、表 3、表 4 和图 3 可知,从总效率值来看中国省级煤炭产业 2013—2016 年生态效率平均值整体呈上升趋势,说明煤炭产业所造成的环境污染问题有所改善但仍表现为非 DEA 有效;子阶段的效率对总效率的高低起着决定作用,2016—2017 年有所下降是由于治理阶段的效率偏低,说明治理力度不够。其中从表 2 可以看出,2013—2017 年天津的煤炭产业总生态效率平均值最高且高于样本平均水平,在全国范围内起到模范作用。

(二)八大区域差异分析

根据煤炭资源的分布属性以及相关数据的可得性,采用国务院发展研究中心的八大区域

划分法把除上海、西藏、青海、宁夏外中国大陆 27 个省区划分为北部沿海地区(北京、天津、河北、山东)、东部沿海地区(江苏、浙江)、南部沿海地区(福建、广东、海南)、东北地区(辽宁、吉林、黑龙江)、长江中游地区(湖北、湖南、江西、安徽)、黄河中游地区(陕西、山西、河南、内蒙古)、西南地区(云南、贵州、四川、重庆、广西)、西北地区(甘肃、新疆),使用 MaxDEA 专业版软件测算 2013—2017 年除上海、西藏、青海、宁夏外中国大陆 27 个省区的煤炭产业综合生态效率数据,并整理出 2013—2017 年中国八大区域煤炭产业的总生态效率平均值,比较其地区差异,见表 5、表 6 和表 7。

表 5 2013—2017 年八大区域煤炭产业网络超效率 EBM 模型综合生态效率值

区域	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	均值	均值排名
北部沿海	0.834 9	0.841 1	0.774 4	1.568 4	0.715 7	0.946 9	1
东部沿海	0.767 2	0.778 3	0.680 5	0.657 4	0.704 5	0.717 6	2
南部沿海	1.094 0	0.704 1	0.558 0	0.642 2	0.344 5	0.668 5	4
东北地区	0.591 5	0.445 5	0.431 4	0.524 1	0.327 4	0.464 0	8
长江中游地区	0.688 9	0.647 2	0.587 5	0.576 1	0.559 3	0.611 8	5
黄河中游地区	0.575 1	0.873 1	0.671 8	0.767 0	0.668 8	0.711 1	3
西南地区	0.671 2	0.582 7	0.441 8	0.505 4	0.514 6	0.543 1	6
西北地区	0.415 9	0.380 0	0.526 6	0.537 6	0.502 8	0.472 6	7
全国	0.710 2	0.671 3	0.582 4	0.743 0	0.547 4	0.650 9	—

表 6 2013—2017 年八大区域煤炭产业网络超效率 EBM 模型生产阶段效率值

区域	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	均值	均值排名
北部沿海	0.942 0	0.789 9	0.755 8	0.893 2	0.701 6	0.816 5	1
东部沿海	0.697 2	0.609 1	0.426 1	0.625 2	0.463 1	0.564 1	6
南部沿海	0.514 0	0.471 2	0.382 6	0.468 2	0.298 8	0.427 0	8
东北地区	0.855 7	0.686 2	0.644 4	0.721 8	0.648 4	0.711 3	3
长江中游地区	0.833 2	0.733 4	0.649 0	0.553 2	0.563 1	0.666 4	5
黄河中游地区	0.718 3	0.860 3	0.713 8	0.777 6	0.663 8	0.746 8	2
西南地区	0.785 6	0.824 0	0.726 1	0.538 7	0.594 2	0.693 7	4
西北地区	0.531 2	0.432 0	0.420 6	0.390 5	0.495 2	0.453 9	7
全国	0.758 1	0.711 4	0.625 2	0.636 7	0.572 0	0.660 7	—

表 7 2013—2017 年八大区域煤炭产业网络超效率 EBM 模型环境污染治理阶段效率值

区域	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	均值	均值排名
北部沿海	0.852 6	0.928 0	0.848 1	1.855 9	0.790 0	1.054 9	1
东部沿海	0.901 3	0.954 1	0.950 7	0.820 2	0.951 1	0.915 5	2
南部沿海	1.421 5	0.950 0	0.779 2	0.845 6	0.474 4	0.894 1	3
东北地区	0.545 8	0.480 9	0.480 4	0.546 3	0.344 5	0.479 6	8
长江中游地区	0.686 6	0.682 6	0.637 0	0.684 8	0.650 6	0.668 3	5
黄河中游地区	0.610 0	0.919 5	0.778 1	0.829 3	0.746 7	0.776 7	4
西南地区	0.705 6	0.575 9	0.447 0	0.615 1	0.564 4	0.581 6	7
西北地区	0.449 8	0.447 4	0.711 7	0.746 7	0.608 9	0.592 9	6
全国	0.767 7	0.744 3	0.681 2	0.883 9	0.635 1	0.742 4	—

由表 5、表 6 和表 7 可得,以高新技术研发为主的北部沿海地区煤炭产业综合生态效率均值(0.946 9)、生产阶段效率均值(0.816 5)以及环境污染治理阶段效率均值(1.054 9)都排名第一;东部沿海地区煤炭产业综合生态效率均值(0.717 6)排名第二,生产阶段效率均值(0.564 1)排名第六,环境污染治理阶段效率均值(0.915 5)排名第二,表明东部沿海地区生产阶段效率需要提高,加大生产创新力度;重工业煤炭开采和煤炭深加工基地的东北地区煤炭产业综合生态效率均值(0.464 0)排名第八,生产阶段效率均值(0.711 3)排名第三,环境污染治理阶段效率均值(0.479 6)排名第八,对此地区的建议是加强对环境治理阶段的投入。

四、结语

通过运用网络超效率 EBM 模型将矿山开采累计占用损坏土地和工业固体排放量作为中国省级煤炭产业生产阶段非期望产出进行考虑,对中国省级 2013—2017 年煤炭产业生态效率进行测度并分析其结果,主要得到以下结论:

(1)用网络超效率 EBM 模型评价中国省级煤炭产业生态效率时能有效解决考虑非期望产出

的单阶段超效率 EBM 模型将决策单元内部当作“黑箱”处理的问题。有助于更精确地测算出整体效率值和子流程的效率值,分析出影响整体效率的子流程。

(2)在研究期间内,煤炭产业生产阶段效率平均值相较于综合生态效率平均值较低,而由于加大环境污染治理导致综合生态效率平均值有所提高,但仍表现为非 DEA 有效需要进一步改善。在以后的发展过程中应积极引导工业企业节能减排,提高能源利用率,将资源—产品—废物的资源利用模式转变为资源—产品—废物—再生资源,发展生态绿色产业;引进先进的科学技术,建立发展绿色经济的技术支撑体系,推进精准开采、清洁生产、废弃物处理、洁净煤等先进智能技术,走高效利用生产要素、改革重组经营要素,依靠科技创新来推动长远发展的集约化道路,实现煤炭资源开采与生态环境协调发展,促进煤炭行业生态效率稳步提升。

(3)中国煤炭产业生态效率地区差异明显,其提升的重点应放在煤炭产业基地的东北地区,建议加大对面临矿产严重衰竭问题的传统煤炭资源型省区的产业结构调整投入力度,大力推广和普及合理利用能源资源理念。

参考文献:

- [1] Willard B. The sustainability advantages: seven business case benefits of a triple bottom line[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002.
- [2] BP. Statistical review of world energy 2014[EB/OL]. (2014-06-18). <http://www.bp.com/statisticalreview>.
- [3] Stephan. Schmidheiny and the Business Council for Sustainable Development. Changing Course: A global Business Perspective on Development and the Environment[M]. Massachusetts: MIT Press, 1992.
- [4] 汪克亮, 杨宝臣, 杨力. 中国省际能源利用的环境效率测度模型与实证研究[J]. 系统工程, 2011, 29(01):

- 8-15.
- [5] 左中梅, 杨力. 基于 SBM 模型的中国省级全要素能源效率分析[J]. 统计与决策, 2011, 34(20): 105-107.
- [6] 汪克亮, 杨宝臣, 杨力. 中国全要素能源效率与能源技术的区域差异[J]. 科研管理, 2012, 33(05): 56-63.
- [7] 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.
- [8] Yongbo Li, Amir-Reza Abtahi, Mahya Seyedan. Supply chain performance evaluation using fuzzy network data envelopment analysis: a case study in automotive industry[J]. Annals of Operations Research, 2019, 275(2): 461-484.
- [9] 田泽, 严铭, 顾欣. 碳约束下长江经济带区域节能减排效率时空分异研究[J]. 软科学, 2016, 30(12): 38-42.
- [10] 范建平, 肖慧, 樊晓宏. 考虑非期望产出的改进 EBM-DEA 三阶段模型: 基于中国省际物流业效率的实证分析[J]. 中国管理科学, 2017, 25(8): 166-174.
- [11] 程序. 长三角城市群工业生态绿色发展水平测度研究[D]. 长春: 东北电力大学, 2019.
- [12] 师博, 沈坤荣. 城市化、产业集聚与 EBM 能源效率[J]. 产业经济研究, 2016, 61(6): 10-17.
- [13] 俞会新, 林晓彤. 基于 EBM 超效率模型的京津冀环境污染治理投资效率分析[J]. 河北工业大学学报: 社会科学版, 2018, 10(1): 9-16.
- [14] 王小艳, 陈文婕, 陈晓春. 基于 E-NSBM 模型的中国省际资源环境效率动态评价[J]. 湖南大学学报: 社会科学版, 2016, 30(3): 101-107.
- [15] 韩洁平, 程序, 闫晶, 等. 基于网络超效率 EBM 模型的城市工业生态绿色发展测度研究: 以三区十群 47 个重点城市为例[J]. 科技管理研究, 2019, 39(5): 228-236.

Research on Ecological Green Development Measurement of China's Provincial Coal Industry Based on Network Super-efficiency EBM Model

Zhang Dandan, Yang Li

(College of Economy and Management, Anhui University of Science & Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: In order to promote the coordinated development of mineral resources development and environmental protection and realize the construction of social ecological civilization. Based on the single-stage EBM model considering unexpected output, a network super-efficiency EBM model is constructed to measure and analyze the comprehensive ecological efficiency, production stage efficiency and environmental governance stage efficiency of China's provincial coal industry from 2013 to 2017. The results show that the network super-efficiency EBM model can deal with internal system problems more effectively than the single-stage EBM model considering unexpected output. The sub-stage efficiency plays a decisive role in the overall efficiency. From 2013 to 2017, the comprehensive ecological efficiency of China's provincial coal industry has improved, but it is still non-DEA efficient. In terms of regional distribution, the stage efficiency and ecological efficiency of the coal industry in the northern coastal area are significantly higher than those in other areas, while the ecological green development level of the coal industry in the northeast area is relatively low. Finally, according to the analysis results, some countermeasures and suggestions are put forward for the ecological, green and healthy development of the coal industry.

Key words: EBM model of network super-efficiency; ecological efficiency of coal industry; production stage efficiency; efficiency of environmental governance stage; green technology