

江西省有色金属行业生态效率测度与空间格局分析

颜晓燕^{a, b}, 姜沛哲^b, 钟 芹^b

(江西师范大学 a 管理科学与工程研究中心; b 财政金融学院, 江西 南昌 330022)

摘要: 采用非径向、非角度的超效率 SBM 模型测算 2009—2019 年间江西省有色金属行业的生态效率, 并利用 GeoDa 与 ArcGis 软件对江西各地级市有色金属行业的生态效率进行空间分异的动态分析。研究表明: 第一, 江西省 10 年内有色金属生态效率均值达到 0.95, 说明江西省有色金属行业基本达到了经济效益与生态保护的平衡; 第二, 对未达生态效率有效的各年度进行冗余分析, 发现投入端的冗余程度显著高于非期望产出, 这是由于技术人才培养与行业科技创新不足, 导致后期出现产量冗余; 第三, 运用 GeoDa 与 ArcGis 软件对江西省 11 个设区市分析, 发现江西省各个区域间的生态差距缩小, 有色金属生态效率空间溢出效应不断提升, 但空间格局分布依旧是以赣北与赣南为主的 LH 分布, 说明不仅需要适当限制赣北赣南高污染、高耗能行业, 还应要求具有高生态效率的城市发挥自身的“辐射”效应。

关键词: 生态效率; 有色金属; 超效率 SBM 模型; 空间分异动态分析

中图分类号: F426 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095 - 0098(2022) 06 - 0043 - 12

一、引言

回顾中国经济的发展历程, 尽管取得了多项傲人的成果, 但在推动经济发展的过程中, 以工业为主的实体企业发展模式依旧是“三高一低”(高投入、高消耗、高污染、低效益)的粗放模式。在 2021 年发布的《江西省“十四五”有色金属产业高质量发展规划》中明确提到江西的有色金属产业是我省重点培育的“万亿级”产业之一。但在生态环境部、国家统计局、农业农村部联合发布的《第二次全国污染源普查公报》中提到全国污染源头数量总计 358.32 万个, 其中工业污染源头 247.74 万个, 位居全国各类污染源头之最。因此, 如何紧密结合江西有色金属产业发展现状, 实现产业的绿色发展, 是个亟待解决的问题。借用习近平总书记在纳扎尔巴耶夫大学的发言“既要绿水青山, 也要金山银山”, 江西应发挥自身优势以生态文明建设为抓手走出一条具有江西特色的有色金属绿色发展之路。

通过对江西省有色金属行业进行研究, 分析其创造的经济效益与对环境影响之间的关系, 不断提升生态效率, 从而为绘制出绿色秀美江西探索出一条新路径。

二、文献综述

德国学者 Schaltegger & Sturm(1990) 首次提出生态效率(eco-efficient)这一概念^[1], 其含义为每一份生产物资上的投入与生产物资上的投入所产生的产成品和产出品对环境的所造成影响的对比较关系, 生态效率这一概念被提出后迅速成为国内外企业判断行业效益、衡量地区发展与生态环境保护之间效率的高效化的

收稿日期: 2022 - 02 - 30

基金项目: 江西省高校人文社会科学研究项目(GL20106)

作者简介: 颜晓燕(1975—), 女, 福建福清人, 博士研究生, 副教授, 研究方向为创新与发展管理。

标准之一^[2]。近年来,国内外对有色金属的研究已经取得了丰硕成果。首先,在测量方法上,王俊岭(2020)基于 DEA 模型在传统侧重于生态环境角度和效率评价相结合的生态效率理念下,对我国 2009—2016 年钢铁行业的生态效率总体趋势进行分析,得出中国钢铁工业近年来存在明显的投入冗余以及污染物过度排放的问题,在降低能源消耗以及减少污染物排放等方面仍存在较大的提升空间^[2]。Daria Benz(2021)则先运用定相关分析,证实了研究的基本假设,以工业生产增长率为回归变量,构建了配对回归模型,来对俄罗斯工业地区进行生态效率评价,来确定俄罗斯乌拉尔联邦地区最理想的工业增长率^[3]。孔佳南和邹晓明(2015)应用熵权法,对投入的数据进行了量纲化处理,选取 2003—2012 年江西省内规模以上有色金属企业数据,从投入与产出两个角度对江西省有色金属产业生态效率进行评价分析^[4]。田亚鹏和柳晓芝(2021)在使用超效率 SBM 模型测算绿色发展效率值时发现该模型只是对绿色发展的静态描述,而 Malmquist 模型是可以从动态上分析前后两年之间的效率值变化情况,是对 SBM 模型很好的补充^[5]。李影等(2020)同样是运用了动静相结合的方法,将粤港澳大湾区 10 个城市的工业企业视为研究对象,并且考虑到时空的滞后性,揭示了大湾区工业科技创新效率变动的深层原因,并利用 GIS 技术探究科技创新效率的空间演变规律^[6]。其次,在对投入端与产出端的数据选取中,Junya et al.(2019)把地区生产总值作为投入端,研究地区生产总值对城市生态环境的影响,对日本城市生态效率评价,侧重于日本的基本行政区,量化每个行政区划内的进程和社会经济活动的年度环境效率,将每个城市的评估结果在日本地图上可视化,以突出每个指标值的空间分布。以期望这项研究的结果可以帮助日本地方、区域和国家政府在不同空间层次上为环境政策设计和决策提供信息^[7]。孙燕铭等(2021)提出在绿色技术创新效率评价体系构建中,将工业固体废物综合利用率,生活垃圾无害化处理率作为期望产出中的环境效益,而过往的文献则依旧以企业生产过程中的经济效益与创新效益作为传统投入产出的固有流程,进而探讨了环境规制这一重要的政策驱动因素和对外开放这一重要的市场驱动因素对于绿色技术创新效率演化的驱动作用^[8]。李影等(2020)独居匠心提出将工业企业内部控制中所产生的经费和项目数量作为投入端,选取了 2011—2018 年除西藏自治区外共 30 个省份规模以上工业的相关数据作为研究对象,最终得到国内创新效率差异大、总体水平较低,但总体创新效率正增长等主要结论,并据此提出加强区域间及区域内合作、加强政府扶持力度以及督促政策落实的政策建议^[9]。

上述文献对后者研究生态效率有着积极作用和贡献,但在梳理相关文献时发现,在与生态效率研究相关的文献中,对有色金属行业生态效率研究评价文献较少;并且现有文献中,即便是对生态效率进行了评价,很少有文献能结合动态的空间分布做进一步分析,做到数据与行业环境相匹配。因此,以江西省作为研究对象,通过构建科学的指标体系,对 2009—2019 年江西省有色金属行业生态效率进行分析及评价,之后通过 GeoDa 与 ArcGis 软件对江西省各市生态效率进行空间格局分析,以期望为有色金属行业的经济发展、环境保护、区域内资源合理分配的研究及分析提供合理的参考。

三、研究方法

(一) 模型选取

1. 包含非期望产出的超效率 SBM 模型。美籍运筹学家 Charnes 于 1978 年首次提出一种分析个体或单位的效率评价的非参数方法。基本原理就是保持决策单元的输入或者输出不变,从而借助线性规划和统计数据来确定相对有效的生产前沿面,通过比较决策单元偏离生产前沿面的程度来判断相对的有效性,这种方法被称为数据包络分析法(Data envelopment analysis, DEA)^[10]。数据包络分析法提出至今,在国内外学者的不懈努力下,取得了丰富的研究成果。由于学者在使用 DEA 模型时需要假定函数模型,这能有效避免人为确定权重而带有的主观误差。与传统的计量统计模型只适用于单一产出不同,DEA 模型适用于多投入与多产出。因此研究生态效率时,使用数据包络分析法是合适的。

在对生态效率评价的过程中,松弛性问题一直是难以避免的,而松弛性问题的产生,必然会导致得出的评价结果与实际情况存在一定的偏差。为了避免松弛性问题的产生,保证计算的结果与实际情况的一致,因

此可引入非径向、非角度的 SBM 模型。非径向、非角度的 SBM 模型中的非有效的决策单元(Decision Making Units, DMU)不必遵循射线方向进行同比例改进,同时又考虑了投入与产出可能存在的松弛性问题,以便最大化提高传统 DEA 模型对松弛性问题改善的程度。但使用传统 SBM 模型对生态效率进行测算时,通常考虑到投入与产出是否处于生态效率前沿线上即生态效率是否为“1”,但实际上即使达到了生态效率前沿线上,各生态效率也存在一定的区别,为了有效提升有效决策单元之间的可比性,本文使用超效率 SBM 模型进行研究,以更为准确地作出决策。

其相关公式如下:

$$\begin{aligned} \min \rho &= \alpha / \beta \\ \alpha &= 1 + 1/m \sum_{i=1}^m s_m^- / x_{io} \\ \beta &= 1 - 1/n_1 + n_2 \left[\sum_{r=1}^{n_1} s_n^+ / y_{io} + \sum_{r=1}^{n_2} s_n^- / z_{io} \right] \\ x_0 &= \lambda x + s_m^- \\ y_0 &= \lambda y + s_n^+ \\ z_0 &= \lambda z + s_n^- \\ s_m^- &\geq 0, s_n^+ \geq 0, s_n^- \geq 0, \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式(1)中: ρ 为有色金属行业生态效率值, α 为投入角度的超效率 SBM 模型, $1/\beta$ 为产出角度的超效率 SBM 模型,当搭建非角度的超效率 SBM 模型时公式时,将投入角度与产出角度的超效率 SBM 模型相乘,即可得出公式 $\min \rho = \alpha / \beta$ 。 x_{io} 、 y_{io} 、 z_{io} 为投入量、期望产出量与非期望产出量。 s_m^- 、 s_n^+ 、 s_n^- 分别为投入、期望产出与非期望产出的松弛量。 m 、 n_1 、 n_2 为投入与产出的总体个数。 x_0 、 y_0 、 z_0 、 λ 分别为投入所构成的矩阵、期望产出所构成的矩阵、非期望产出所构成的矩阵,以及矩阵的秩。当不存在松弛量即 $s_m^- = s_n^+ = s_n^- = 0$ 时 $\rho \geq 1$,此时代表 DMU 处于生态效率前沿线上,可以进一步观察各项决策单元有效的生态效率之间的区别。反之则代表 DMU 距离生态效率前沿线绝对距离大,生态效率低下。

2. 利用 Moran's I 的空间自相关分析

(1) 全局自相关分析。生态效率具有空间上的溢出效应,即当某市的生态效率发生变化时,可能会影响到周边地区的生态效率,也可能受到周边地区的生态效率影响。莫兰指数的全局自相关分析主要是用来描述所有的空间单元在整个区域上与周边地区的平均关联程度。全局自相关性的模型由聚集型、离散型与随机型三类模型构成,其表达公式如下:

$$I = n/s_0 \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y}) (y_j - \bar{y}) / \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (2)$$

式(2)中 $s_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$ 为空间单元的总个数, y_i 与 y_j 分别表示第 i 个空间单元与第 j 个空间单元的属性值, \bar{y} 为所有空间单元属性的均值, w_{ij} 为空间权重值。全局莫兰指数的取值区间为 $[-1, 1]$ 。

具体含义如表 1 所示:

表 1 全局自相关系数含义表

I 的范围	含义
$1 \geq I > 0$	表示所有地区的生态效率在空间上有正相关性,产生了聚集效应
$I = 0$	表示所有地区随机分布,无空间相关性
$-1 \leq I < 0$	表示所有地区的生态效率在空间上有负相关性,产生了离散效应

(2) 局部自相关分析。全局自相关分析在对生态效率测度只能表明是否在空间上存在相关性,但是并未对空间存在的自相关性的具体结构进行表现,所以继续探究江西省有色金属行业各地市存在的局部空间的

异质, 需要进一步采用局部 Moran's I 指数分析, 其表达公式如下:

$$I_i = Z_i / S^2 \cdot \sum_{j=1}^n w_{ij} Z_j \quad (3)$$

式(3)中 $Z_i = y_i - \bar{y}$, $Z_j = y_j - \bar{y}$, $S^2 = 1/n \sum (y - \bar{y})^2$, w_{ij} 为空间权重值, n 为研究区域上所有地区的总数, I_i 则代表第 i 个地区的局部莫兰指数。

具体含义如表 2 所示:

表 2 局部自相关系数含义表

Z_i	$\sum_{j=1}^n w_{ij} Z_j$	I_i	含义
> 0	> 0	> 0	第 i 的地区生态发展水平高 周围地区发展水平高
< 0	< 0	> 0	第 i 的地区生态发展水平低 周围地区发展水平低
< 0	> 0	< 0	第 i 的地区生态发展水平低 周围地区发展水平高
> 0	> 0	< 0	第 i 的地区生态发展水平高 周围地区发展水平低

(二) 指标选取

在追求经济效益的同时, 确保环境得到有效保护, 达到既要金山银山又要绿水青山的目标, 需要考虑到实际生产中有色金属行业消耗的各项资源与期望得到的产出与非期望产出。基于此, 在构建有色金属行业指标体系时, 需要考虑到以下几个方面^[11]:

1. 客观性, 选取的指标应该是客观、科学且没有偏向性的, 应当与有色金属行业有着紧密的关联。
2. 可获取性, 用来评价的指标是不是真实的, 能不能通过直接或间接手段获取到足够且相关的数据资料, 同时获取指标的难度和获取后的处理加工是否对构建指标与评价有意义。
3. 可理解性, 选取的指标是不是清晰的、有意义且可以理解的, 并且在数据本身上应该是有侧重的, 以方便理解投入使用。

在考虑上述原则的基础上, 构建了以下评价指标体系(见表 3)。值得注意的是, 在评价生态效率时, 因投入的决策单元而导致非期望产出值较大, 则说明生态效率值低下, 相反当非期望产出值较小, 而投入的决策单元的数值较大时, 则代表生态效率较高, 决策单元的有效性也就越强。

表 3 生态效率评价所选指标^[12-16]

类型	指标名称	单位	指标说明
投入端	煤炭消耗	万吨	一定期间内, 生产有色金属所耗费的原煤
	电力消耗	亿千瓦/小时	一定期间内, 生产有色金属所需要的电力
	有色金属就业人数	万吨	一定期间内, 生产有色金属行业总计用工人数
	有色金属固定资产投资	亿元	一定期间内, 企业为生产经营发展所投入的资金
期望产出	十种有色金属产量	万吨	一定期间内, 企业生产出有色金属总量
	人均实现利润	亿元	一定期间内, 企业生产经营成果分摊到企业内外部人员上的评价效益
产出端	工业废水排放量	万吨	一定期间内, 行业所生产的有色金属必然会导致的工业废水总量
	非期望产出 工业固体废弃物排放量	吨	一定期间内, 行业所生产的有色金属必然会产生固体废弃物总量
	碳排放	百万吨	一定期间内, 行业所生产的有色金属必然会产生碳排放量

(三) 数据来源

为观察并分析江西有色金属行业的总体发展趋势, 选取了 2008—2019 年江西省规模以上有色金属企业部分数据, 以此为依据测算江西省有色金属行业的生态效率并分析其变化情况, 数据主要来源于 2009—2020 年度江西省统计局所公示的《江西省统计年鉴》。其中, 为了方便决策单元的计算, 所有数值保留两位

有效数字,对于缺失值,用上下两年数据取均值进行填补。

四、实证分析

(一) 有色金属生态效率分析

利用 DEA-SOLVER Pro 5.0 分别计算江西省 2009—2019 年的生态效率值,详情见图 1。

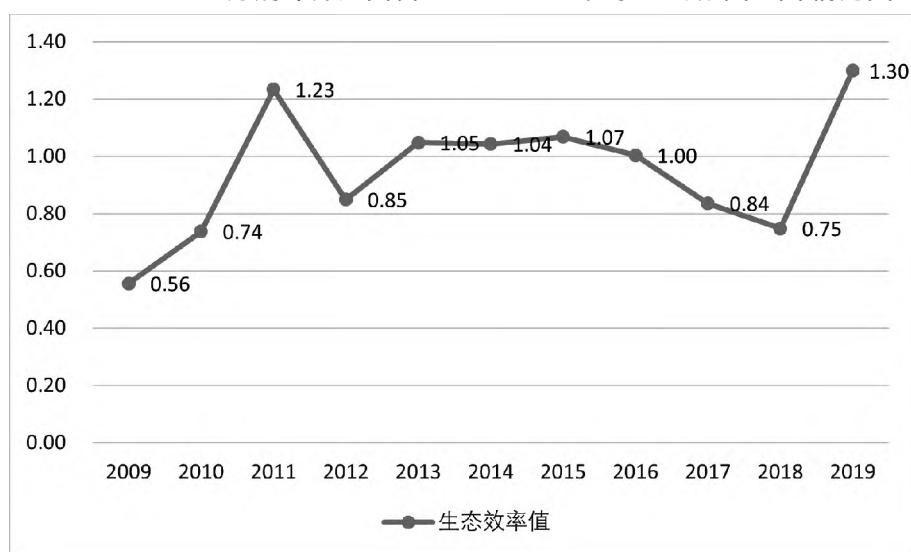


图1 2009—2019 江西省有色金属行业生态效率折线图

根据 2009—2019 年生态效率趋势图可知,2009 年江西省有色金属生态效率处于低水平的状态,此后两年生态效率大幅度提升,在 2011 年迅速达到了生态效率有效,但在 2012 年又跌落至生态效率无效点,2013 年迅速回升至生态效率前沿线上且 2013—2016 年都达到有效,至 2018 年生态效率都大幅度降低,于 2019 年又达到最高值。整体来看,江西省有色金属生态效率均值达到 0.95 且非常接近生态效率有效。呈现此特征的原因在于:2008 年美国爆发次贷危机,随后演化成为金融危机席卷全球,实体行业布局发生翻转性改变,江西省政府为应对全球金融危机,于 2008 年 4 月发布《江西省产业经济“十百千亿工程”实施意见》,将有色金属行业确认为我省工业支柱产业,从而使得有色金属行业在江西省政府的大力支持下发展迅速,同年在《江西省人民政府关于继续实施山江湖工程推进绿色生态江西建设的若干意见》中提到“要在 2010 年前实现“一流的水质、一流的空气、一流的生态环境、一流的人居环境、一流的绿色生态保护和建设机制”,率先在全国建设绿色生态大省,结合生态效率来看,2009—2011 年正好处于生态效率从无效到有效的巨大飞跃,并且在 2011 年生态效率达到 10 年内生态效率前沿线的高峰之一。2012 年全球金融危机步入尾声,各方经济开始回暖,江西省政府开始大力推动经济建设,根据同年《江西省人民政府办公厅关于印发深入实施工业强省战略加速推进新型工业化八个配套文件的通知》,可以看出 2012 年政府重心向经济建设偏移,而对环境保护的监管力度有所降低,中共十八大后,江西省政府紧密结合会议主旨,发布《以生态文明建设为抓手走出一条具有江西特色的崛起之路》,2013—2016 年江西省在发展经济效益的同时重视环境保护,生态效率建设稳中向好。但由于过于依赖有色金属所带来的经济建设对于江西省有色金属行业产业调整就略显缓慢,同时有色金属对资源的汲取与产出量都已陷入瓶颈的情况下,对环境的污染严重影响到了生态效率,具体表现为 2017—2018 年生态效率跌落生态效率有效值,2018 年在《中华人民共和国国民经济和社会发展规划第十三个五年规划纲要》的思想指导下江西省出台了《江西省工业企业技术改造三年行动计划(2018—2020 年)》,在确保经济发展同时同步推进了环境治理,2019 年江西省生态效率达到了最高峰值。

(二) 有色金属行业冗余分析

为了进一步研究江西省有色金属行业生态效率的波动情况,对未达到生态效率有效的部分年份进行冗余分析,未达生态效率有效说明投入与产出的指标中存在一定的冗余^[8],这些冗余量表示现有的投入导致产出变量与生态效率前沿线具有相当的距离,通过改变资源投入和产出能够有效提高生态效率值以期望能

够达到生态效率前沿线上^[17]。

其中,投入端的冗余量表示能够通过减少一定投入,来提高造有色金属行业生态效率,投入指标的冗余程度越高代表该省的资源节省空间越大;期望产出冗余量表示能够通过一系列措施提升有色金属行业生态效率,期望产出指标的冗余程度越高,代表有色金属产能提升空间越大;非期望产出冗余量表示通过减少环境污染程度来提高有色金属行业生态效率,非期望产出指标的改善潜力越高,代表有色金属行业减少对环境破坏的空间越大。

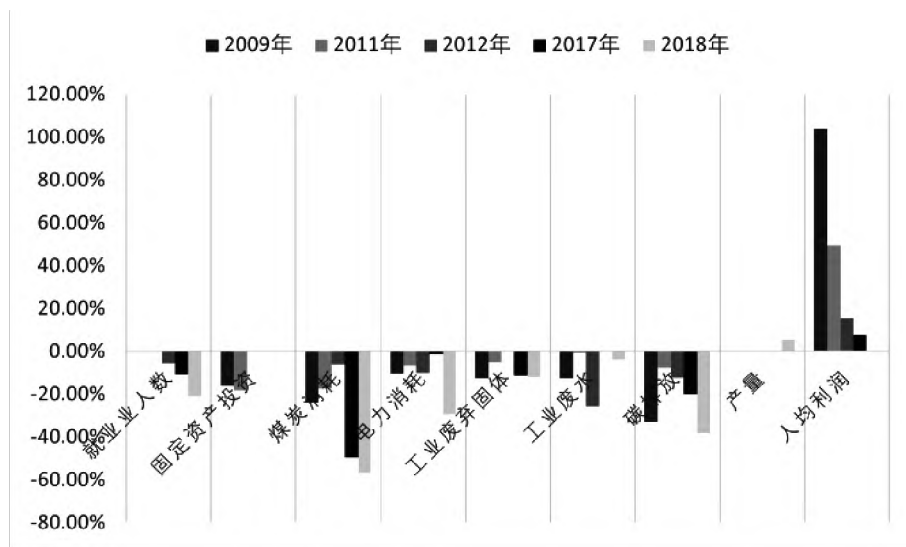


图2 江西省有色金属行业投入与产出端冗余率

根据上文所计算得出各年的有色金属生态效率并结合生态效率无效年份绘制出图2,从投入端分析其冗余程度,发现电力消耗与煤炭消耗每一年都存在一定程度的冗余,其中电力消耗平均冗余值为11.53%,总体呈现出一个先下降后上升的“v”型变化趋势,表明电力投入在一段时间内有得到改善,但后期为了经济收益放弃了节约电力且行业并未推广或应用可以改善效率的科技成果;煤炭消耗的平均冗余值为30.75%,属于严重浪费煤炭资源;固定资产投资的冗余只在2009年与2010年之后三个时点不存在冗余,这说明企业的资金战略部署具有明显成效,同时产业结构也趋向合理;就业人数则是在2012年、2017年、2018年存在冗余,这说明企业内部人员结构具有一定的调整空间,企业的内部控制存在一定缺陷。从非期望产出端角度看,碳排放量的平均冗余值高达22.29%;而工业固体废弃物排放量的平均冗余值也达到了8.21%;工业废水排放量的平均冗余值达到8.58%,这表明在追求经济效益的过程中有色金属行业对环境造成了较为严重的破坏并且碳排放对环境造成的污染破坏程度与跨度远远超过了工业废水与工业固体废弃物。综合投入角度与非期望产出角度来看对期望产出的冗余影响,由于过去投入端的冗余程度显著高于非期望产出,巨额资源浪费掩盖了技术人才培养与行业科技创新的缺失导致后期出现产量的冗余,人均利润的冗余程度与就业人数的冗余有直接关联,由于前期的人均利润冗余程度高导致企业为了追求经济收益,出现了能源与人力资源等能源浪费以及企业内部人员结构管理的缺失,同时也就导致了非期望产出的冗余。因此要对生态效率进行优化,需要调整投入端各个决策单元的投入,从而减少非期望产出。

(三) 有色金属生态效率动态空间分析

1. 有色金属生态效率空间格局变化趋势。利用 ArcGIS 10.2 软件,绘制出各设区市生态效率分布图。如图3,从左往右、从上到下依次是2009年、2012年、2015年以及2019年江西省有色金属生态效率分布图,此四张图揭示了生态效率空间上的动态演变过程,从2009年江西省有色金属生态效率分布看,江西省从南向北生态效率逐渐降低,尤其是江西的西北地区生态效率最为低下。依托南昌、赣州地区的中部城市生态效率大致都处于生态效率前沿线上,2012年生态效率低下区域减少,同时各设区市的生态效率逐步提高,2013年江西省大部分区域生态效率值有效,尤其以南昌以南的区域为代表,相比于2015年,2019年江西南部地区生态效率大幅降低,但北部地区生态效率大幅提升。

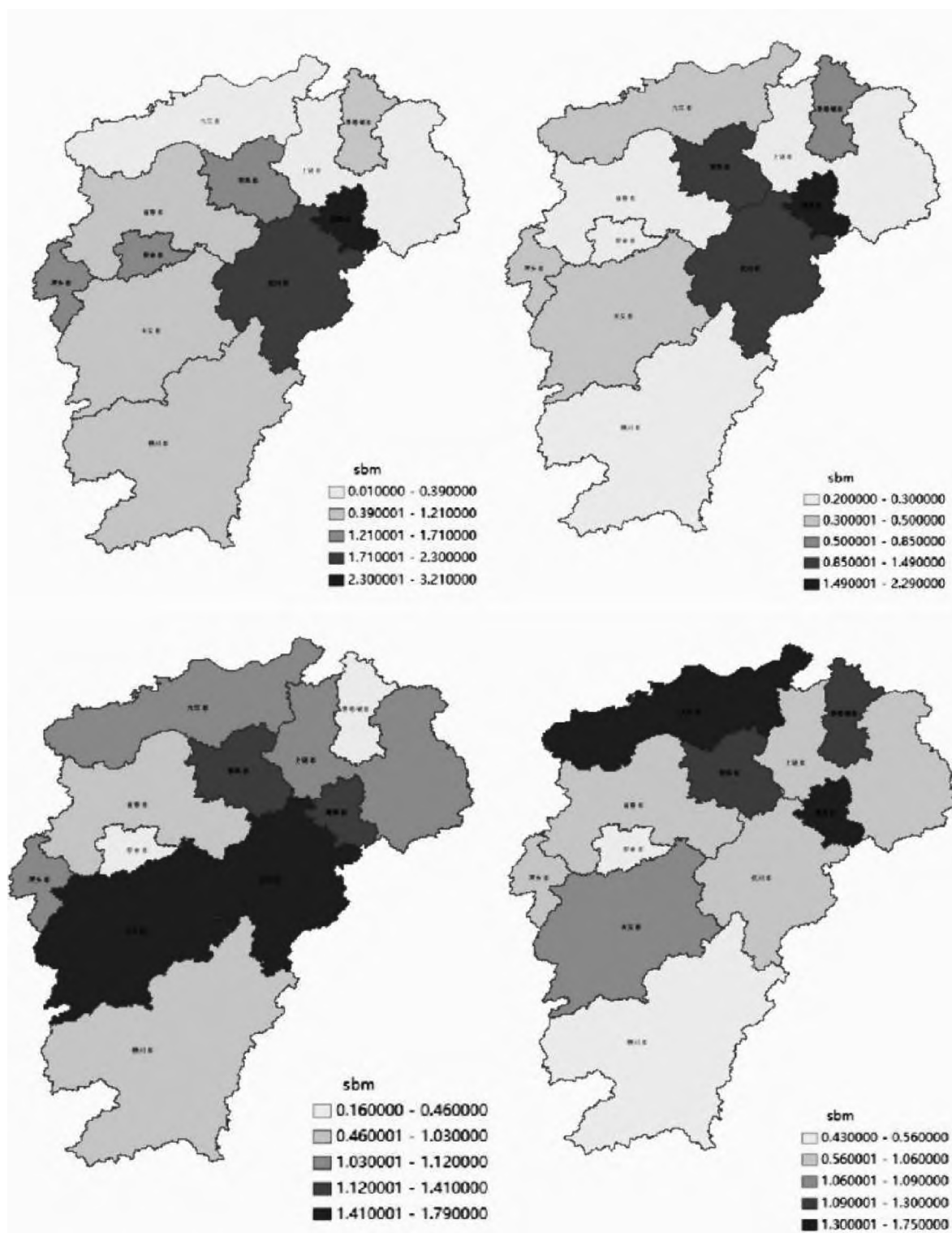


图3 江西省各地级市有色金属行业生态效率分布图

综合以上分析,针对各设区市为何出现生态效率波动趋势做一些简要分析:

首先,江西地处华东地区,四面环山,森林资源丰富,这也导致江西省的生态效率在总体上处于较高的水平。2012年6月在《国务院关于支持赣南等原中央苏区振兴发展的若干意见》中正式提出,以江西省为代表的革命老区在利用有色金属等天然矿产资源时存在的不合理、管理模式粗放落,导致生态环境被破坏。由此江西省生态效率的改革期正式到来,在国家给予的战略支持下,江西省在平衡经济发展与生态环境保护的过

程中,力求达到生态效益最大化。结合超效率 SBM 模型的分析结果来看,2014 年后江西省有色金属行业生态效率一路走高。

其次,南昌、鹰潭、抚州有色金属行业生态效率一直保持在生态效率前沿线上,其中南昌作为江西省会,在经济和政治上对整个江西发展的趋势上具有扩散效应,需要保持生态效率一直处于生态效率前沿线上,从而对其他地级市保持“辐射”作用。抚州一直提倡发展科技,提升经济,当地政府为了吸引科技型企业入驻,对高污染、高耗能的产业的生产制定了一系列的限制措施,这促成了抚州有色金属行业生态效率达到了有效。鹰潭市与抚州、南昌相邻,得益于生态效率较高城市的“辐射作用”,在发展生态与经济方面,鹰潭地方政府也达到了一定的平衡。

景德镇、萍乡、吉安、宜春大部分时间都达到了生态效率有效,但都存在一定的波动,这表明当地生态文明建设存在一定的滞后性,政府应该起到相应的引导作用。从超效率 SBM 模型的分析结果看,景德镇、萍乡、吉安、宜春对产业的投入力度过大,而对未重视工业产生的污染治理,这导致景德镇、萍乡、吉安、宜春四个设区市的生态效率存在一定的波动。

九江、宜春、新余、上饶四市在全省 11 个设区市中生态效率处于靠后的状态,拥有较大提升空间。主要是由于这些地区更加临近周边其他经济发达省市,这对年轻人的吸引力过大,导致这些地区的人口年龄结构不合理,与此同时有色金属的开采与冶炼模式相对落后,城市发展主要依赖于工业产业发展,尤其是有色金属为代表的重工业,由于高污染行业的管理模式较为粗犷,效率低下,对能源需求过高。因此,这些地级市需要适当限制高污染、高耗能行业,达到“既要金山银山也要绿水青山”的生态文明建设目标。

2. 有色金属生态效率全局空间格局特征分析。根据上述所收集的数据,借助 GeoDa 软件,选取 2009 年、2012 年、2015 年和 2019 年绘制出江西省各设区市生态效率散点图(图 4)。通过全局莫兰指数分析其有色金属生态效率在空间上的存在的变化趋势,以此为依据揭示江西省有色金属行业生态效率格局变化趋势。

根据图 4 可以看出,在 2009 年江西省地级有色金属行业生态效率中仅有一个处于第一象限(HH 分布),其余大部分都在第四象限(HL 分布)而二、三象限(LH、LL 分布)在分布上数量是一致的,这说明整体上江西省生态效率发展并不平衡,绝大多数设区市处于生态效率较低的水平,但是依据趋势线整体向上的走势可以看出,尽管 2009 年江西省存在整体生态效率偏低的情况,但此后各个市的空间差异将会逐步缩小。

通过上述计算可得到:与 2009 年相比 2012 年全省有色金属生态效率有一定提升,但仍未达到生态效率有效,通过全局莫兰指数分析可以看出,2012 年江西省各设区市有色金属生态效率呈现出负相关,其中第三象限(LL 分布)散点远超于其他分布,对应上述生态效率图(图 1)也正说明 2012 年江西省生态效率由生态效率有效变为无效。虽然 2015 年仍存在一定的空间负相关,但是通过散点图可以看出第一象限(HH 分布)散点数量高于第三象限(LL 分布),表明生态效率高位省份发挥出一定的空间同质化,但对比 2012 年第二象限的散点数也出现大幅度上升,这表明空间同质化效应未完全释放。2019 年可以看出整体上呈现出空间正相关,第一、三象限散点数量高于第二、四象限,表明在地理空间上江西省有色金属生态效率空间溢出效应不断提升。整体来看,通过 Moran's I 散点分布特征可以看出第二、三、四(LH 分布、LL 分布、HL 分布)是散点主要分布区域,且可以表明发挥出空间同质化的第一、三象限(HH 分布、LL 分布)在 2009 年、2012 年、2015 年、2019 年分别为 4、6、4、7,这显著低于第二、第四象限(LH 分布、HL 分布),这表明即使全省整体生态效率达到有效,但仍存在生态效率较高的地市并未完全发挥其“辐射”作用来提升周边地市的生态效率。但从趋势看,HH 分布、LL 分布呈现出向上的“w”型趋势,表明区域间的生态差距减少,有色金属生态效率空间溢出效应不断提升。

3. 有色金属生态效率局部空间格局分布特征分析。由于全局莫兰指数只能反映区域总体的空间聚合分布,无法考察有色金属生态效率在局部空间的分布特征。因此需要借助局部莫兰指数分析,绘制出 2009 年、2012 年、2015 年、2019 年 LISA 聚集图(图 5):

HH 分布主要分布在赣东地区的抚州,原因在于 2015 年抚州市政府出台了《关于进一步提升企业科技含量、增强企业竞争力的实施意见》。在财力比较紧张的情况下,抚州市仍逐年加大财政投入力度,支持企业科技创新,促进企业做大做强。此时经济结构也开始调整,由传统的资源开发型转变为科技创新型,这带

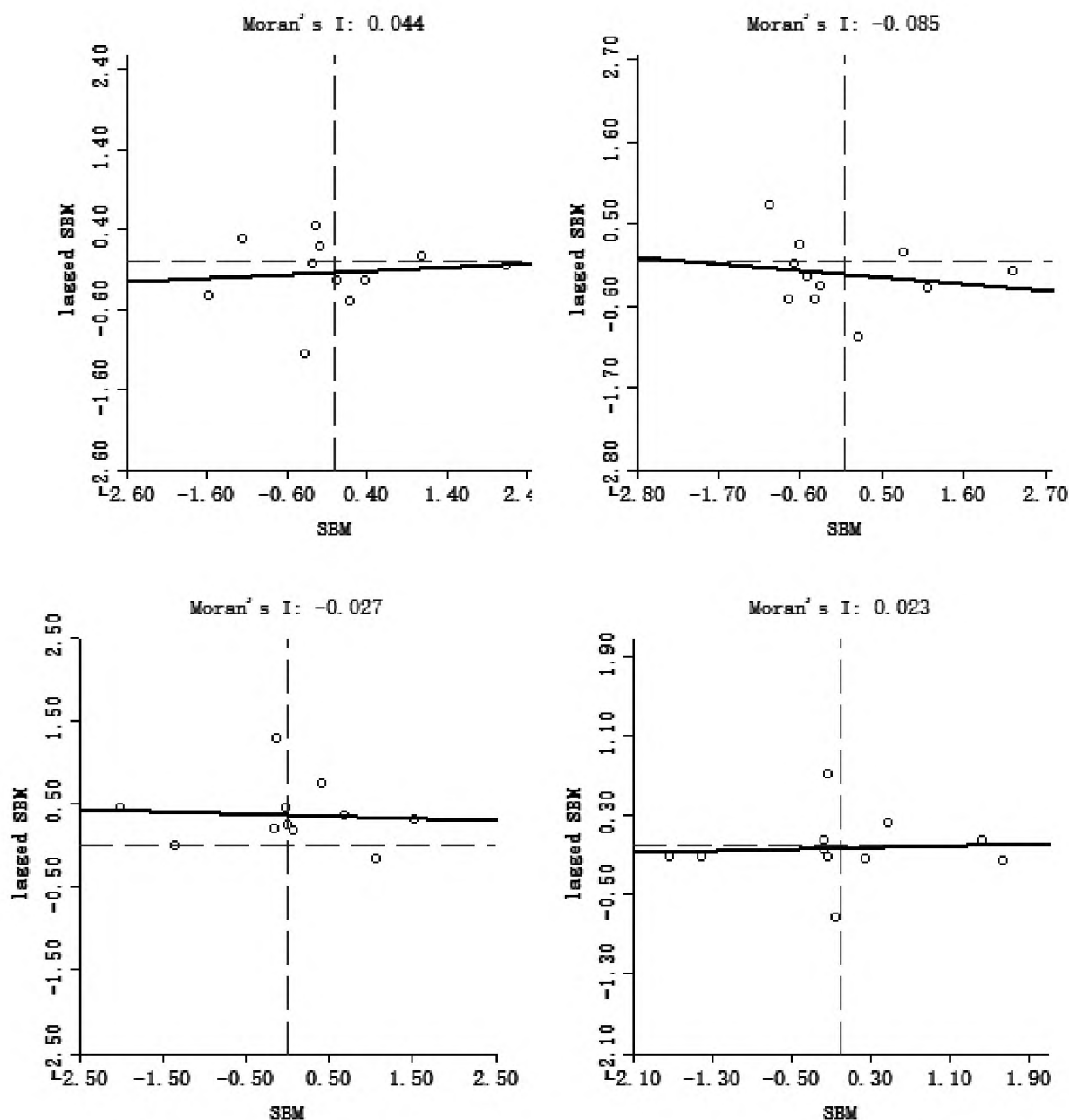


图4 江西省各地级市有色金属行业生态效率散点图

动了周围设区市的产业升级,共同达到生态效率有效。

LH 分布位于赣北的上饶与赣南的赣州,赣州与上饶一直属于资源开采大型地市,其中赣州的有色金属产业体系健全,是江西省内经济与人口大省,且与抚州接壤,整体上受到一部分空间溢出效应的影响,生态效率具有被带动作用。上饶则长期处于低高分布,主要原因是该地区生产模式与技术革新进程缓慢,在追求经济效益的过程中忽略了环境因素,同时省会南昌也未产生“辐射”效应来带动周边地区发展生态效率。

LL 分布位于赣东南的吉安,工业企业尤其是有色金属工业从业人数投入高于其他设区市,与此同时有色金属产量过于低下,因此呈现出低低分布,这表明附着在 LH 地区附近生态效率高的设区市没有发挥出应有的辐射效应。

HL 分布位于赣北的景德镇,高低分布一方面表明景德镇表现出出色的平衡经济效益的能力,但并未产生空间溢出效应,未带动周围设区市生态效率的提升。

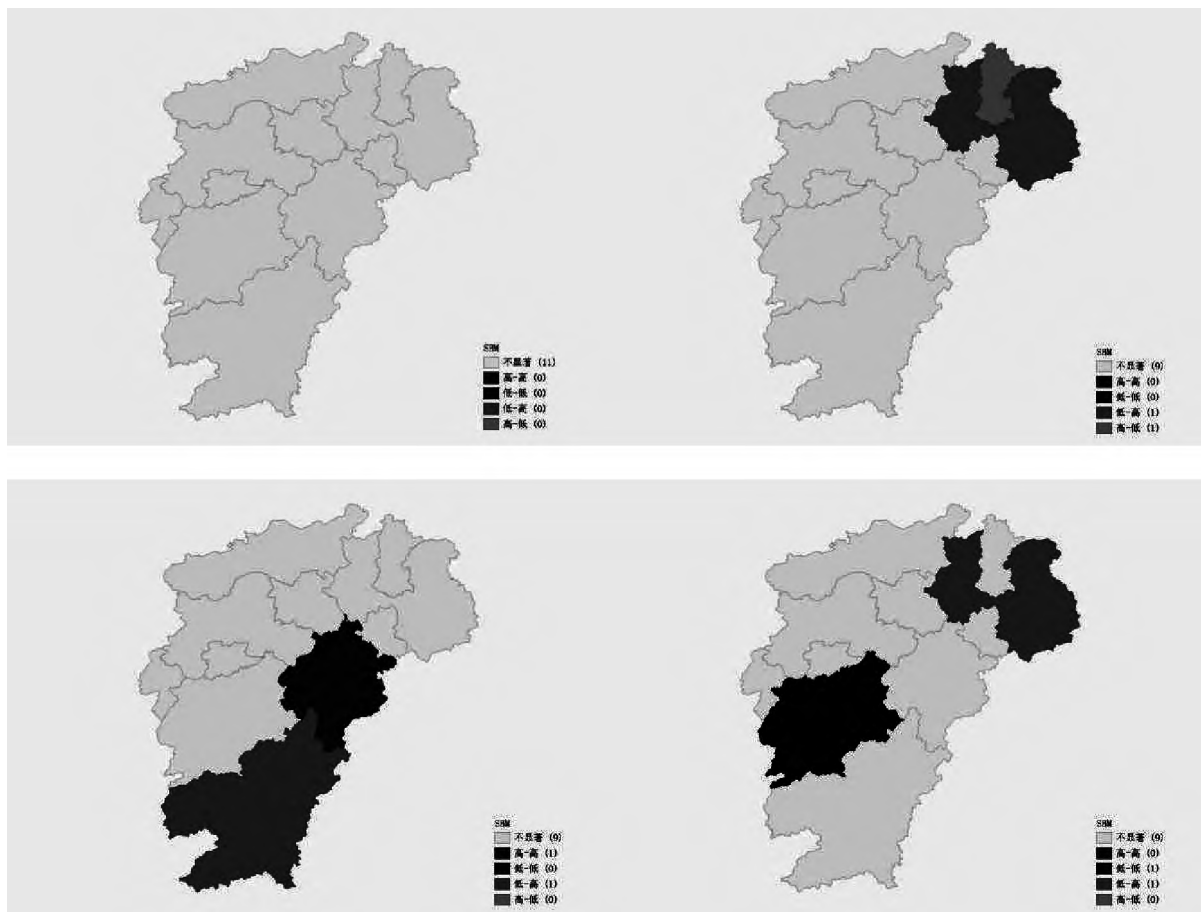


图5 江西省有色金属生态效率 LISA 聚集图

从江西省生态效率看,全省生态效率大部分时间处于生态效率有效阶段,但从局部空间看,大部分时间依旧是以赣北和赣南为主的 LH 分布,需要适当限制赣北赣南高污染、高耗能行业的发展,同时应要求具有高生态效率的城市发挥自身的“辐射”效应,不断提升生态效率,共同达到“既要金山银山也要绿水青山”的生态文明建设目标。

五、结论及对策

(一) 结论

通过超效率 SBM 对省域层面的江西省有色金属生态效率先进行测算分析后,运用 GeoDa 与 ArcGis 对江西省各设区市数据进行全局空间自相关分析,同时借助局部莫兰指数考察局部空间的分布特征,得出如下结论:

1. 在测算江西省 2009—2019 年的生态效率时,结合有色金属行业特性,建立了科学的指标体系,通过分析得出江西省有色金属行业大部分时间里都达到了生态效率有效,10 年内有色金属生态效率均值为 0.95,说明从省级层面看有色金属行业基本达到了经济效益与生态保护的平衡。

2. 2009 年、2010 年、2012 年、2017 年、2018 年江西省生态效率未达到有效,对这 5 年进行冗余分析,对生态效率无效根本原因进行追本溯源。通过分析发现投入端的冗余程度显著高于非期望产出,巨量资源的浪费,掩盖了技术人才培养与行业科技创新的缺失导致后期出现的产量冗余。

3. 使用 GeoDa 与 ArcGis 来进行全局空间自相关性分析,绘制出 Moran's I 散点图发现,即使全省整体生态效率达到有效,但仍存在生态效率高的地市并未完全发挥其“辐射”作用,未提升周边地市的生态效率。从趋势图来看,HH 分布、LL 分布呈现出向上的“w”型趋势,表明区域间的生态差距逐渐缩小,有色金属生态效率空间溢出效应不断提升。

4. 为了弥补全局空间自相关性分析无法考察有色金属生态效率在局部空间的分布特征的缺陷,结合上文数据使用 GeoDa 绘制出 LISA 分布图,发现大部分时间仍是以赣北与赣南为主的 LH 分布,这一现象代表着具有高生态效率的城市并未发挥自身的“辐射”效应。

(二) 建议

1. 针对 5 年未达到生态效率冗余,首先需要减少投入端煤炭消耗的投入,过量的煤炭消耗说明江西省有色金属行业在对有色金属进行选采冶炼、加工的过程中,部分有色金属企业存在产能落后,管理效率低下的问题,非期望产出中碳排放过量也是造成生态效率无效的关键因素。因此,一方面,企业需要加快技术创新与人才的培养,在有效带动整个行业的技术水平上升的同时,减少对煤炭消耗的投入,产生更多的期望产出。另一方面,完善生态产品价值可实现的交易机制,推进碳排放权交易市场,自然资源使用有偿化。

2. 基于 GeoDa、ArcGis 软件分析得到的江西省有色金属生态效率全局空间分布,可以发现以省会南昌为中心的城市生态建设的辐射效应没有得到完全的释放,以南昌、赣州为首的江西省内一线城市,应该更好地发挥自身在经济与政治上的优越性,向周边设区市扩散更有效的生态效益治理成效,促进有色金属行业的全生态绿色转型。

3. 各设区市自身应该加快引进自然资源依赖程度小的支柱型企业,制定鼓励高新技术发展的优惠政策,比如财政补贴、税务低洼、人才吸引战略等。吸引更多高端企业与人才的流入,同时对高污染高耗能企业进行生产限制,加强有关可持续发展、生态文明建设的宣传,提高公众对生态效益的要求,从而全面促进生态效率的提高。

参考文献:

- [1] Schaltegger S, Burritt R. Contemporary environmental accounting: Issues, concepts and practice [M]. Sheffield: Greenleaf Pubns, 2000.
- [2] 钟成林,柯艳梅,肖文静. 环鄱阳湖生态城市群城市建设用地碳排放生态效率研究[J]. 金融教育研究, 2021(3): 42-55.
- [3] 王俊岭,徐丹宁,刘辰玥. 基于 DEA 方法的中国钢铁工业生态效率分析[J]. 生态经济, 2020(1): 63-68.
- [4] 孔佳南,邹晓明. 基于 DEA 的有色金属行业生态效率评价研究——以江西省为例[J]. 江西理工大学学报, 2015(6): 41-45.
- [5] 田亚鹏,柳晓艺. 基于超效率 SBM-DEA 和空间分析的区域绿色发展效率评价[J]. 统计与信息论坛, 2021(8): 56-65.
- [6] 李影,张鹏,曾永泉. 粤港澳大湾区工业科技创新效率及其时空演变研究[J]. 工业技术经济, 2020(8): 21-27.
- [7] Junya Y., Toshiharu I., Norihiro I. Eco-Efficiency Assessment of Japanese Municipalities Based on Environmental Impacts and Gross Regional Product [J]. Sustainability, 2019(15): 40-45.
- [8] 孙燕铭,湛思邈. 长三角区域绿色技术创新效率的时空演化格局及驱动因素[J]. 地理研究, 2021(10): 2743-2759.
- [9] 李影,张鹏,曾永泉. 粤港澳大湾区工业科技创新效率及其时空演变研究[J]. 工业技术经济, 2020(8): 21-27.
- [10] Charnes A, Cooper W. W., Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European Journal of Operational Research, 1978(6): 429-444.
- [11] 张亚连,杨芷菁,刘巧. 企业碳绩效评价研究综述[J]. 湖南财政经济学院学报, 2021(1): 55-61.
- [12] 田时中,赵鹏大. 煤炭消耗、污染排放与区域经济增长[J]. 经济问题探索, 2017(3): 170-177.
- [13] 孙爱军,方先明. 工业化必然加剧电力消耗与环境污染吗——来自 2000~2009 年中国省际面板数据的经验研究[J]. 山西财经大学学报, 2012(7): 46-54.
- [14] 乔彬. 环境规制、就业再配置与社会福利[J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2021(5): 76-86.

- [15] 张新林, 仇方道, 谭俊涛, 等. 中国工业生态效率时空分异特征及其影响因素解析 [J]. 地理科学, 2020 (3): 335 – 343.
- [16] Xu Bin, Lin Boqiang. Can Expanding Natural Gas Consumption Reduce China's CO₂ Emissions? [J]. Energy Economics, 2019(7): 393 – 407.
- [17] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率测度及时空差异研究 [J]. 中国人口·资源与环境, 2016(6): 11 – 19.

Ecological Efficiency Measurement and Spatial Pattern Analysis of Nonferrous Metal Industry in Jiangxi Province

YAN Xiaoyan^{a, b}, JIANG Peizhe^b, ZHONG Qin^b

(a. Management Science and Engineering Research Center;

b. School of Finance, Jiangxi Normal University, Nanchang, Jiangxi 330022, China)

Abstract: This paper uses the non radial and non angular super efficiency SBM model to calculate the ecological efficiency of Jiangxi nonferrous metal industry from 2009 to 2019, and uses Geoda and ArcGis software to make a dynamic analysis of the spatial differentiation of the ecological efficiency of nonferrous metal industry in Jiangxi Province. The research shows that: 1. The average ecological efficiency of non-ferrous metals in Jiangxi Province has reached 0.95 in 10 years, indicating that the non-ferrous metal industry in Jiangxi Province has basically reached the balance of economic benefits and ecological protection; 2. Through the redundancy analysis of each year that fails to reach the effective ecological efficiency, it is found that the degree of redundancy at the input end is significantly higher than the unexpected output, which is due to the lack of technical personnel training and industrial scientific and technological innovation, resulting in output redundancy in the later stage; 3. Using Geoda and ArcGis software to analyze 11 prefecture level cities in Jiangxi Province, it is found that the ecological gap between various regions in Jiangxi Province has narrowed and the spatial spillover effect of non-ferrous metal ecological efficiency has been continuously improved, but the spatial pattern distribution is still dominated by LH distribution in northern and southern Jiangxi, indicating that it is not only necessary to appropriately limit the high pollution and high energy consumption industries in northern and southern Jiangxi, but also require cities with high ecological efficiency to give full play to their “radiation” effect.

Key words: Ecological efficiency; Non-ferrous metals; Super efficiency SBM model; Dynamic analysis of spatial differentiation

(责任编辑: 沈 五)