

省级区域生态效率评价及提升路径研究

——基于超效率 SBM 模型和 Tobit 回归

孙振清 鲁思思 刘保留¹

(天津科技大学 经济与管理学院, 天津 300222)

【摘要】: 以 2006—2017 年中国 30 个省份面板数据为分析单位, 运用超效率 SBM 模型测算省级区域生态效率, 利用 Tobit 回归模型揭示内部驱动因素, 为推进我国绿色区域协调发展提供借鉴与参考。研究表明: 省级区域生态效率整体水平不高, 低值占大多数, 增长较缓慢; 区域间差异化显著, 发展仍然存在不协调、多极化趋势; 从全局自相关来看, 莫兰指数均显著为正, 省级生态效率呈现正的空间相关性, 具有空间集聚特征; 回归分析结果显示产业结构、城镇化水平、经济水平是生态效率的主要影响因素, 且具有空间差异性。在此基础上针对省级生态效率发展不平衡、多极化趋势及其影响因素, 提出相关建议。

【关键词】: 生态效率 区域差异 超效率 SBM 模型 Tobit 模型

【中图分类号】: X196; F062.2 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1671-4407(2021)01-124-06

改革开放以来, 中国粗放式的经济增长方式带来巨大社会进步与经济红利的同时, 也导致资源消耗、环境污染与破坏等一系列问题^[1]。当前, 对能源资源需求的日益增加, 造成经济发展与资源矛盾日益显著, 区域发展不协调、多极化趋势明显, 协调经济发展、资源消耗与环境保护三者间的关系, 以最小的经济、资源投入, 赢得最优的经济产出, 从而提升地区生态效率, 成为推动我国走低碳、可持续发展道路的关键。在实现新型工业化、调整产业结构优化升级的背景下, 推进生态文明建设, 促进地区生态效率水平提升, 既符合“绿水青山就是金山银山”的发展理念, 又是建设美丽中国、进行生态文明体制改革的必经之路。而如何实现经济和环境的平衡发展, 以低能耗、低污染赢得高产出, 进而提高生态效率, 是我国经济发展在“新常态”和推进生态文明建设背景下面临的一个重要课题^[2]。因此, 考察区域生态效率, 深入分析地区生态效率动态演化的趋势和路径, 挖掘影响生态效率的作用机制, 可深化中国生态效率的研究, 对促进地区绿色、高质量发展可提供一定经验和参考。

生态环境是指满足人类生存的必要资源条件, 而生态效率是指在生产制造过程中投入与产出的比值。国外最早出现“生态效率”概念的是由 Schaltegger & Sturm^[3]于 1990 年第一次提出, 即经济活动产生的经济价值和环境污染的比值。生态效率不仅涉及国家层面的环境和经济, 在社会、区域等方面也存在一定的影响。对于生态效率的研究, 也主要集中在概念延伸和方法探讨方面展开。自 1998 年起, OECD 将生态效率的概念进行延伸, 逐渐扩展到政府、工业企业和其他组织中, 使得生态效率的应用范围更加广泛, 从企业^[4]逐步过渡到行业^[5]、区域^[6]层次。生态效率的指标体系建立和评价方法的发展也日趋成熟, 主要包括两大方面: 经济—环境(经济价值/环境影响)和投入—产出(包含非期望产出), 采用的方法大多数基于数据包络法、超效率 DEA、SBM 模型、三阶段 DEA、方向性距离函数等。

¹**作者简介:** 孙振清, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向为能源环境与应对气候变化战略政策。E-mail: sunzq@tust.edu.cn
基金项目: 国家社会科学基金重点项目“优化开发区域率先实现碳排放峰值目标路径研究”(16AGL002); 教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“可持续发展中的绿色设计研究”(16JZD014); 天津市高等学校创新团队培养计划“绿色发展理念与创新产品设计”(TD13-5012/5045)

近年来,国内外学者从区域、行业和企业角度对生态效率的内涵、评价方法以及影响因素进行了较为深入地分析和研究。一是区域层面:成金华等^[1]运用超效率 DEA 模型对中国 30 个省份的生态效率进行测算,并利用空间自相关分析方法分析了生态效率的空间演化格局,发现不同区域生态效率存在明显差异,并且呈现显著的空间集聚特征;张新林等^[6]基于 DEA 模型,以长三角地区生态效率为研究对象,证实了生态效率的空间溢出效应;杨勇和邓祥征^[7]采用 SFA 模型和 Kernel 密度函数对中国城市生态效率及其演变特征进行分析,发现不同等级城市生态效率的作用效果存在异质性。二是行业层面:李根等^[8]构建 SBM 模型和 Tobit 模型对中国制造业能源生态效率进行了实证分析,发现整体生态效率呈上升趋势,不同影响因素对制造业能源生态效率的影响效果也不相同;潘丹和应瑞瑶^[9]以中国农业生态效率为研究对象,发现中国 1998—2009 年农业生态效率整体处于较低水平;黄和平等^[10]基于超效率 SBM 模型,对中国城市工业用地生态效率进行了测算,发现 2000—2016 年中国城市工业用地呈现“先下降后上升”的趋势。三是企业层面:Ma 等^[11]以化工企业为研究对象,分析了资源效率和生态效率对工业新陈代谢的影响作用;Basset-Mens 等^[12]、Gómez-Limón 等^[13]则针对牧场和农场的生态效率进行了测度,以比较不同养育技术下资源利用率的差异性。也有部分学者集中分析驱动生态效率的影响因素,从社会、经济和环境等角度对提升生态效率的作用途径进行了阐述^[14-16]。

梳理近年来的研究文献,整体而言,基于生态效率视角的研究成果较为丰富,国内外学者主要通过研究不同区域或产业的发展特点,来评价生态效率的差异性,但是针对其空间分布上的研究以及影响生态效率的因素研究较少。因此,从考察生态效率的空间关联性视角出发,本文尝试以下几方面的创新:(1)考虑非期望产出的影响,运用超效率 SBM 模型测算地区生态效率,并进行分析。(2)运用莫兰指数对我国生态效率的空间相关性以及动态演化趋势进行评价,分析其区域异质性。(3)细化研究影响生态效率的作用因素,采用 Tobit 回归模型从经济、社会和环境角度,分析区域生态效率之间的作用关系及其影响因素,为我国加强区域合作,推进地区绿色、高质量发展提供一定经验和借鉴。

1 指标体系构建与数据说明

1.1 生态效率指标体系

结合以往研究,从投入—产出视角出发,构建生态效率评价指标体系(表 1)。污染物排放总指数[工业废水、工业二氧化硫及工业烟(粉)尘排放量]的测算方法借鉴沈坤荣等^[17]的研究,具体计算方法如下:

$$P_{total_i} = \frac{P_{v_{i1}} + P_{v_{i2}} + P_{v_{i3}}}{3}$$

$$P_{v_{ij}} = P_{ij} / \sum_i \frac{P_{ij}}{n}$$

(1)

式中: P_{ij} 表示第 i 个城市(共 n 个城市)污染物 j 的排放量, $P_{v_{ij}}$ 则是第 i 个城市污染物 j 相对全国平均水平的排放指数, $P_{v_{ij}}$ 数值越大,表示 i 城市污染物 j 的排放水平在全国范围内相对越高。

表 1 生态效率评价指标体系构建

指标	具体指标构成	指标说明	符号
投入指标	资本投入	固定资产投资额/万元	I_1
	资源投入	地区用水量/万吨	I_2
		城市建筑面积/平方千米	I_3
	劳动力投入	城市就业人数/万人	I_4

	能源投入	能源消耗量/万吨标煤	I ₅
产出指标	期望产出	地区生产总值/亿元	O ₁
	非期望产出	污染排放总指数	O ₂

1.2 影响因素评价指标体系构建

考虑各区域发展方式的差异性以及资源禀赋等特点,在已有的研究基础上,结合物理—事理—人理系统方法,将影响生态效率水平的因素归纳为经济、技术、产业结构、城市化水平、环境水平。经济发展可以为加强区域环境保护、生态文明建设注入资金;产业结构代表区域资源分配、消耗状况;技术创新为节能减排汇入活力;城市化水平表明人口集聚情况,高质量人才集聚区域有利于先进技术的开发与使用,为清洁发展贡献力量;环境水平表示目前区域发展方式所带来的环境污染状况。因此,本文选取人均国内生产总值、科研经费内部支出、化石燃料燃烧二氧化碳排放量、第二产业产值占国内生产总值比值、城市化率来进行研究,具体指标见表2。考虑到数据的可得性和可比性,选取2006—2017年中国30个省份(除西藏、港澳台地区)的面板数据作为样本,具体数据来源于各省份统计年鉴、《中国统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》、《中国环境统计年鉴》和《中国工业统计年鉴》。

表2 影响因素的变量说明

解释变量	定义	符号
经济水平	人均国内生产总值/(万元/人)	PGDP
研发投入	科研经费内部支出/万元	RD
污染水平	化石燃料燃烧二氧化碳排放量/万吨	C
产业结构	第二产业产值占国内生产总值比值/%	SI
城市化水平	城市化率/%	UR

2 研究方法

2.1 生态效率测算——超效率 SBM 模型

Charnes^[18]提出数据包络法(DEA)来测算具有多输入输出要素之间的关系,之后有学者针对有效决策单元效率提出超效率 DEA 模型^[19],有助于解决连续时间内要素动态效率变化情况。然而,传统 DEA 模型主要基于径向角度考察,不能消除松弛变量的影响,结果可能存在误差,为了解决这一问题,本文参考 Tone^[20]的研究方法,提出基于非径向和非角度的 SBM 模型,并将超效率 DEA 和 SBM 模型进一步结合,建立如下模型:

$$\begin{aligned}
\min \rho &= \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\bar{x} / x_{ik})}{\frac{1}{r_1 + r_2} (\sum_{s=1}^{r_1} \bar{y}^d / y_{sk}^d + \sum_{q=1}^{r_2} \bar{y}^u / y_{qk}^u)} \\
\bar{x} &\geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j, i=1, 2, \dots, n \\
\bar{y}^d &\geq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{sj}^d \lambda_j, s=1, 2, \dots, r_1 \\
\bar{y}^u &\geq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{qj}^u \lambda_j, q=1, 2, \dots, r_2 \\
\lambda_j &\geq 0, j=1, 2, \dots, n \\
\bar{x} &\geq x_k, k=1, 2, \dots, n \\
\bar{y}^d &\leq y_k^d, q=1, 2, \dots, r_1 \\
\bar{y}^u &\leq y_k^u, u=1, 2, \dots, r^2
\end{aligned} \tag{2}$$

式中:n 表示决策单元个数;m 表示投入, r_1 、 r_2 表示期望和非期望产出; x 表示相应投入矩阵中的元素; y^d 和 y^u 表示相应的期望、非期望产出矩阵中的元素; ρ 为计算的生态效率值。

2.2 空间相关性分析

2.2.1 全局空间自相关——全局 Moran' sI 指数

全局 Moran' sI 指数从总体上验证生态效率是否存在空间相关性, 全局 Moran' sI 指数可定义为:

$$\text{Moran's } I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij})(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2)} \tag{3}$$

式中: x_i 和 x_j 表示地区 i 和 j 的生态效率值; $\bar{x}$ 表示生态效率平均值; w_{ij} 表示空间权重矩阵, 空间权重的选择采取 0-1 矩阵, 若 i 和 j 相邻, 则 $w_{ij}=1$, 若不相邻, 则为 0。全局 Moran' sI 指数介于-1 到 1 之间, 若 Moran' sI>0, 则表示空间正相关, 其值越大表明空间相关性越明显, 即生态效率水平较高(或较低)的区域在空间上趋于显著集聚;若 Moran' sI<0, 则表示空间负相关, 其值越小表明空间差异性越明显, 即生态效率水平在空间上随机分布;若 Moran' sI=0, 则表示空间不相关。判断 Moran' sI 指数的大小需要对 P 值和 Z 值进行分析, P 值小于 0.05, 即通过了 95%置信度检验, Z 值大于临界值 1.65。

2.2.2 局部空间自相关——局部 Moran' sI 指数

基于空间联系的局部空间自相关检验, 是 Moran' sI 指数的局部形式, 它可以用来反映局部地区的集聚、离散效应, 更进一步展示局部空间单元和相邻单元的空间自相关程度。因此, 采用局部 Moran' sI 指数, 该指数定义如下:

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S} \sum_{j=1}^n w_{ij} (X_j - \bar{X}) \quad (4)$$

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (5)$$

对于公式结果,若局部 Moran' sI 指数为正,则表示该区域自身和周边区域高值与高值(或低值与低值)相邻,若局部 Moran' sI 指数为负,则表示高值与低值相邻。同时,采用莫兰散点图反映某一区域或地区与周边的扩散或极化作用是否显著存在^[21]。

2.3Tobit 回归模型

Tobit 回归模型是基于极大似然估计法建立的,可以较好地规避参数不一致、有偏等问题。因此,采用因变量受限的截断 Tobit 回归模型进行影响因素的分析,具体模型形式设定如下:

$$\begin{aligned} \rho_i^* &= \alpha_0 + \sum_{j=1}^l \alpha_j x_{ij} + \varepsilon_i \\ \rho_i &= \rho_i^*, 0 \leq \rho_i^* \leq 1 \\ \rho_i &= 0, \rho_i^* < 0 \\ \rho_i &= 1, \rho_i^* > 1 \end{aligned} \quad (6)$$

式中: ρ_i^* 表示潜变量; ρ_i 表示实际被解释变量; x_{ij} 表示解释变量; α_0 表示常数项; α_j 表示相关系数向量; ε_i 服从 $\varepsilon_i \sim N(0, \delta^2)$ 。

3 实证结果分析

3.1 区域生态效率测算及差异性分析

本文采用超效率 SBM 模型,对我国 30 个省份数据进行汇总计算,得到 2006—2017 年我国区域生态效率值的大小,并将测算结果进行东、西、中部划分,计算其均值分布情况,得到结果如图 1 所示。

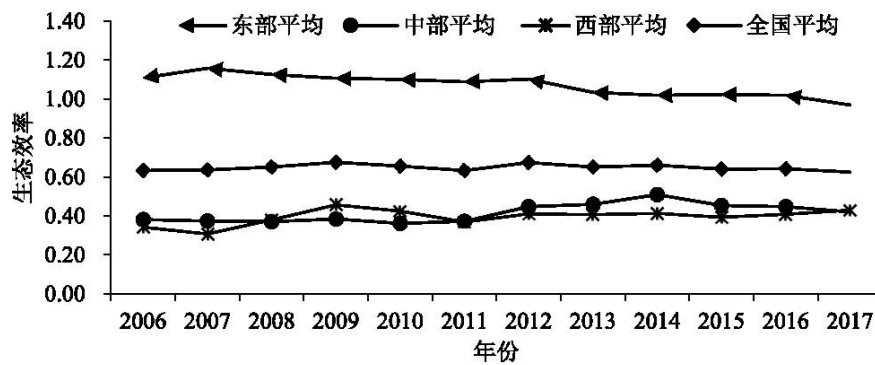


图 1 2006—2017 年中国区域生态效率变动趋势

从整体变动趋势来看,全国生态效率呈现先上升后下降的趋势,均值水平较为稳定。如图 1 所示,2006—2017 年全国平均生态效率水平较稳定,中部和西部地区在交织中逐渐上升,但仍低于 1,未达到有效生产前沿,东部地区虽然整体呈下降趋势,但仍高于全国平均水平。东部、中部、西部地区的平均生态效率分别为 1.07、0.41 和 0.39,表明三大区域生态效率水平差异性显著。根据三大经济带生态效率的变动趋势,可以将其具体划分为三个阶段:2006—2008 年,东部地区>中部地区>西部地区;2008—2011 年,东部地区>西部地区>中部地区;2011—2017 年,东部地区>中部地区>西部地区。

从变动趋势上来看,东部地区生态效率呈逐渐下降趋势,但是生态效率仍处于较高水平;中部和西部地区生态效率的变动趋势和全国变动趋势基本一致;同时,西部地区的生态效率处于较低水平,这也与我国的经济现状相符合。东部区域属于我国经济发展水平较高的地区,拥有优越的地理位置,容易吸引投资、先进技术,从而可以降低制造生产过程中的能源消耗以及减少污染排放;中部地区是我国能源供应和制造集群式基地,拥有大量的能源和环境密集型产业,能源消耗和污染排放大,生态效率较差^[22];西部地区是我国三大地区转型条件、通信网络、能源基础设施最差的欠发达地区,且西部地区仍处于工业化中期^[23],经济发展仍为区域发展首要任务。同时,同一区域内各省份之间也存在较大的差异,以中部地区为例,生态效率平均值最高的河南省为 0.6058,最低的山西仅为 0.2583。然而,仅从全国、东部中部和西部地区划分来分析生态效率的变动趋势,无法深入研究各省份间生态效率的关联性,因此需要更进一步从空间上分析区域内生态效率的相互作用关系。

3.2 区域生态效率差异的空间分析

3.2.1 全局空间自相关性分析

通过计算全局 Moran' sI 指数,所得结果见表 3。由表 3 检验结果可知,全局 Moran' sI 指数均大于 0,且至少通过 5%显著性水平检验,Z 值均大于 1.65,说明生态效率区域间存在显著的空间正相关性。生态效率空间集聚特征显著,其原因可能在于相邻省份之间优越的地理位置便于加强交流合作、技术扩散、人员流动等,加强经济合作的同时强化了生态效率的空间关联性。由此可见,将空间相关性引入生态效率研究中是必要的。

表 3 全局 Moran' sI 及检验值

年份	Moran' sI 指数	P 值	Z 值	年份	Moran' sI 指数	P 值	Z 值
2006	0.390	0.000	3.535	2012	0.296	0.003	2.752
2007	0.332	0.001	3.171	2013	0.302	0.003	2.772
2008	0.278	0.004	2.678	2014	0.273	0.006	2.522
2009	0.242	0.010	2.315	2015	0.291	0.004	2.686
2010	0.253	0.008	2.389	2016	0.263	0.007	2.442
2011	0.261	0.007	2.482	2017	0.220	0.018	2.087

接着计算局部 Moran' sI 指数,得到莫兰散点图。图 2 为 2006 年和 2017 年局部莫兰散点图,散点图共四个象限,从第一到第四象限分别表示高值与高值、低值与高值、低值与低值、高值与低值集聚。第一象限表示区域自身和周边地区的生态效率水平较高,二者空间差异程度较小。第二象限表示区域自身生态效率较低,周边地区较高,二者空间差异程度较大。第三象限表示区域自身和周边地区的生态效率水平较低,二者空间差异程度较小。第四象限表示区域自身生态效率较高,周边地区较低,二者空间差异程度较大。

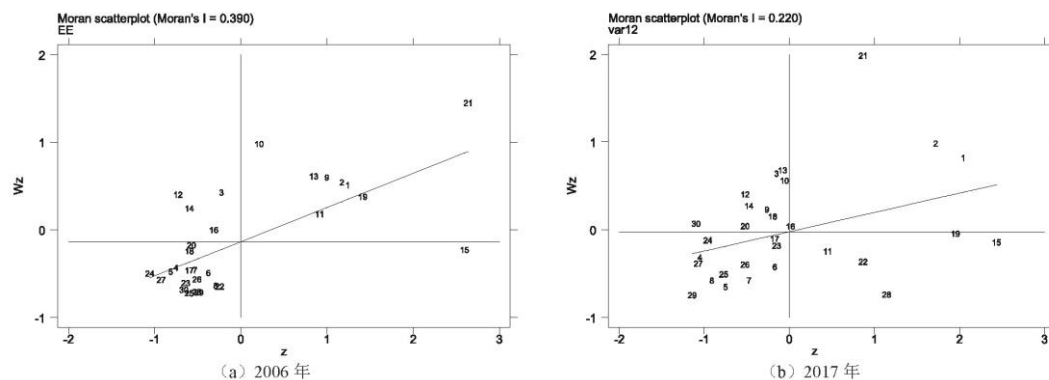


图 2 2006 年和 2017 年生态效率局部莫兰散点图

表 4 为 2006 年、2010 年、2014 年、2017 年各省份落于散点图上的位置。从表 4 中可得, 落于第一、第三象限最少的年份省份有 16 个, 占到所有省份的 53.3%, 进一步验证了我国省级生态效率具有空间集聚性特征。其中北京、天津(第一象限), 河北、安徽(第二象限), 山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、湖北、四川、贵州、云南、陕西、甘肃(第三象限), 山东(第四象限)在研究范围内未发生迁移, 其余省份均发生不同程度的波动。且相对发达地区生态效率水平较高, 可能原因在于地区经济实力优势带动生态文明建设。在研究范围内, 绝大多数省份处于第三象限, 表明我国省级生态效率低值现象普遍, 生态文明建设仍需加强。

表 4 中国各省份生态效率演化路径

年份	第一象限	第二象限	第三象限	第四象限
2006	京、津、闽、浙、粤、 苏、琼、沪	冀、皖、赣、豫	晋、蒙、辽、吉、黑、鄂、湘、桂、渝、川、黔、 滇、陕、甘、青、宁、新	鲁
2010	京、津、沪、苏、浙、 粤、琼	冀、皖、闽、赣、豫、新	晋、蒙、辽、吉、黑、鄂、湘、桂、渝、川、黔、 滇、陕、甘、青、宁	鲁、青、宁
2014	京、津、苏、浙、赣、 豫、粤、琼	冀、沪、皖、闽、湘、新	晋、蒙、辽、吉、黑、鄂、桂、渝、川、黔、滇、 陕、甘、宁	鲁、青
2017	京、津、豫	冀、沪、苏、皖、闽、赣、 湘、桂、新	晋、蒙、辽、吉、黑、鄂、琼、川、黔、滇、陕、 甘、宁	浙、鲁、粤、 渝、青

3.2.2 Tobit 回归结果分析

运用 stata14.0 软件, 采用面板 Tobit 模型对我国及东、西、中部区域省级生态效率影响因素进行分析, 得到回归结果见表 5。

表 5 Tobit 面板回归结果

解释变量	全国	东部	中部	西部
------	----	----	----	----

PGDP	0.2216*** (0.002)	0.4656*** (0.002)	0.0109** (0.031)	0.0442 (0.741)
SI	0.6370*** (0.000)	0.5338*** (0.006)	0.4411*** (0.000)	0.6468** (0.030)
UR	0.9581 (0.598)	-0.5765 (0.118)	-0.2829* (0.057)	0.2116 (0.538)
C	-0.1840*** (0.000)	-1.5003** (0.010)	-0.0873* (0.077)	-0.3106*** (0.000)
RD	-0.1037** (0.012)	-0.2332*** (0.006)	0.0933*** (0.001)	0.0699* (0.085)

(1) 人均 GDP 对全国及三大区域生态效率的影响呈现正相关,符合现实情境,除西部地区外均通过至少 5%显著性水平检验。经济发展水平显示出对生态效率的积极效应,经济发展水平的提高会带来技术、资本的大量投入,带来产业结构的升级,为提高区域环境水平、促进经济可持续发展注入活力。各区域应平衡经济发展和环境保护之间的关系,在不损害生态效益的基础上发展经济,进一步提升区域内生态效率水平。

(2) 产业结构对生态效率的影响系数显著为正,除西部地区通过 5%显著性水平检验,其余均通过 1%显著性水平检验。这与中国近年来坚持走新型工业化道路,不断优化产业结构,通过法律法规等手段减少产业生产制造过程的资源消耗、降低污染物产生和排放、大力发展循环经济密不可分。未来应继续走新兴工业化道路,坚持清洁发展方式,在产业价值增长的前提下优化区域生态环境。

(3) 城市化水平对全国、西部的生态效率呈现正向作用,对东部和中部地区呈现负向作用,且对中部地区的作用更显著。西部区域可能因其相对落后,城市化水平不高未显示出提升生态效率的作用。对东、中部区域而言,城市化进程的快速推进加重各种资源(土地、水、能源)的压力,大量人口的转移造成的污水、垃圾、尾气等污染,使得区域生态环境恶化,导致生态效率的降低,造成城市化水平的负效应。

(4) 众所周知,二氧化碳是温室气体的主要来源,是导致环境恶化的罪魁祸首。回归结果显示二氧化碳排放量与生态效率呈负相关,且均通过显著性检验,表明减少二氧化碳排放量可以改善生态环境。其中东部地区的影响系数最大,这与东部区域的现实状况相符。东部区域是我国相对发达区域,以往粗犷的经济发展方式——“先发展、后治理”,不可避免造成环境污染问题。因此应对区域内高排放、高污染的行业企业加强监督,鼓励其转变经济发展方式,从源头上减少碳排放量,进而提升生态效率水平。

(5) 研发投入水平的影响系数有正有负,表明影响生态效率因素的空间差异性,相比其他影响因素,其影响系数较小,表明虽然研发投入对生态效率有影响,但大部分区域的研发投入水平不足以改变区域生态效率水平。

4 结论与政策建议

以我国 30 个省份面板数据为研究对象,运用超效率 SBM 模型测算生态效率,用莫兰指数、Tobit 回归检验了其内部驱动因素,结果发现整体来看我国生态效率水平趋势稳定,区域来看生态效率从高到低依次是东部、中部、西部,西部地区可能因其处于工业化中期,经济发展仍为首要任务,忽视了生态建设。从局部空间来看,北京、天津、山东生态效率较好,原因可能与其地理位置、经济水平密不可分。省级生态效率增长较缓慢,区域间差异化显著,区域发展仍然存在不协调、多极化趋势。生态效率在空间上呈现正相关,省份间相互作用。我国省级生态效率水平低值占绝大部分,生态效率水平仍有待提高。驱动因素结果表明,经济发展水平、产业结构对区域生态效率呈正向促进,环境水平对区域生态效率呈负面影响,城市化水平、研发投入对生态效率的影响存在空间差异,城市化水平制约生态效率的影响不太显著。可见,除了经济发展水平、产业结构、环境水平外,其他因素对区域生态效率的影响效应存在差异。

为了实现区域协调发展,逐步缩小区域差异及促进我国生态文明建设,提出以下建议:第一,继续大力推进生态文明建设,加大国家监督力度,构建以政府为主导、企业为主体、社会广泛参与的生态文明治理体系。继续推进生态文明体制改革,落实创新、协调、绿色、开放、共享五大发展理念,最终实现人和社会的和谐发展,并且针对各省份不同发展情况制定不同政策,做到因地制宜。第二,转变经济发展方式,倡导低碳节能。近年来我国实行的节能减排政策显示出一定的成效,但为提高我国生态效率水平,还需更严苛的管理政策。通过政府的积极引导、深化体制改革、优化产业结构、加快技术研发、加强污染排放监管,进而实现经济和生态文明的和谐发展。第三,加强区域合作,共同探索发展新渠道。加强区域间的经济、资源关联,寻求节约资源、保护环境、经济增长的发展途径,发挥各区域的主动性和创造性,共同促进经济增长和生态文明建设。第四,规范企业生产制造过程,减少污染排放,落实责任体系。党的十九大报告明确提出污染防治为决胜全面建成小康社会的三大攻坚战之一,为此,应加强对社会企业的监督,规范企业生产过程,限制企业排污,使政府和企业实现协同可持续发展,进而推进生态文明建设。

参考文献:

- [1]成金华,孙琼,郭明晶,等.中国生态效率的区域差异及动态演化研究[J].中国人口·资源与环境,2014(1):47-54.
- [2]罗能生,李佳佳,罗富政.中国城市化进程与区域生态效率关系的实证研究[J].中国人口·资源与环境,2013(11):53-60.
- [3]Schaltegger S,Sturm A.Ökologische Rationalität[J].Die Unternehmung,1990(4):273-290.
- [4]Evert N,Geert W,Corjan B,et al. Supply curves for eco-efficiency environmental improvements using different weighting methods[J].Journal of Industrial Ecology,2005,9(4):85-96.
- [5]Dominique M,Michele M,Yves A. Development of eco-efficiency indicators for the Canadian food and beverage industry[J]. Journal of Cleaner Production,2006,14(6-7):636-648.
- [6]张新林,仇方道,王长建,等.长三角城市群工业生态效率空间溢出效应及其影响因素[J].长江流域资源与环境,2019(8):1791-1800.
- [7]杨勇,邓祥征.中国城市生态效率时空演变及影响因素的区域差异[J].地理科学,2019(7):1111-1118.
- [8]李根,刘家国,李天琦.考虑非期望产出的制造业能源生态效率地区差异研究——基于SBM和Tobit模型的两阶段分析[J].中国管理科学,2019(11):76-87.
- [9]潘丹,应瑞瑶.中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的SBM模型分析[J].生态学报,2013(12):3837-3845.
- [10]黄和平,李亚丽,王智鹏.基于Super-SBM模型的中国省域城市工业用地生态效率时空演变及影响因素研究[J].生态学报,2020(1):1-12.
- [11]Ma S,Hu S,Chen D,et al.A case study of a phosphorus chemical firm's application of resource efficiency and eco-efficiency in industrial metabolism under circular economy[J].Journal of Cleaner Production,2015,87:839-849.
- [12]Basset-Mens C,Ledgard S,Boyes M.Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New

Zealand[J]. *Ecological Economics*, 2009, 68(6):1615-1625.

[13]Gómez-Limón J A, Picazo-Tadeo A, Reig-Martínez E. Eco-efficiency assessment of olive farms in Andalusia[J]. *Land Use Policy*, 2012, 29(2):395-406.

[14]任胜钢, 蒋婷婷, 李晓磊, 等. 中国环境规制类型对区域生态效率影响的差异化机制研究[J]. *经济管理*, 2016(1):157-165.

[15]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.

[16]侯孟阳, 姚顺波. 中国城市生态效率测定及其时空动态演变[J]. *中国人口·资源与环境*, 2018(3):13-21.

[17]沈坤荣, 金刚, 方娴. 环境规制引起了污染就近转移吗?[J]. *经济研究*, 2017(5):44-59.

[18]Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European Journal Operational Research*, 1978, 2(6):429-444.

[19]Anderson D. Energy efficiency and the economists: The case for a policy based on economic principles[J]. *Annual Review of Energy and the Environment*, 1995, 20(1):495-511.

[20]Tone K. A salcks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3):498-509.

[21]吴玉鸣, 徐建华. 中国区域经济增长集聚的空间统计分析[J]. *地理科学*, 2004(6):654-659.

[22]Li Y, Wang K L, Geng J C. China's regional ecological energy efficiency and energy saving and pollution abatement potentials: An empirical analysis using epsilon-based measure model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 194:300-308.

[23]黄群慧, 李芳芳. 中国工业化进程报告(1995—2015年)[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2017.