

基于超效率SBM模型的安徽省工业绿色技术创新效率研究

郁绘敏,董洪光*,白 蒙

(安徽理工大学 经济与管理学院,安徽 淮南 232001)

摘要:为提升安徽省工业绿色技术创新效率,推动新质生产力发展,本研究运用非期望产出 Super-SBM 模型对 2018—2022 年安徽省工业绿色技术创新效率进行分析评价,采用 Malmquist 指数方法研究其动态变化趋势。研究表明,2022 年安徽省工业绿色技术创新效率均值为 0.816,黄山效率值最高(1.147),马鞍山效率值最低(0.237);从区域间对比来看,2022 年皖中地区工业绿色技术创新效率最优(1.059),皖北次之(0.829),皖南最差(0.643);从动态分析来看,2018—2022 年安徽省整体的工业绿色技术创新效率呈下降趋势,皖北地区效率的降低是出现这一现象的重要原因;安徽省工业绿色技术创新效率下降最主要的原因是纯技术效率的退步。建议实施推动安徽省工业绿色转型,加强区域协同创新合作,优化创新投入资源配置,提升科技研发水平,发挥政府引导作用,提升安徽省工业绿色技术创新效率。

关键词:安徽省;工业绿色技术创新效率;非期望产出 Super-SBM 模型;Malmquist 指数模型;新质生产力

中图分类号:X322;F273.1;F224 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-9659(2025)04-0064-08

2024年1月31日,习近平总书记在中共中央政治局第十一次集体学习时强调,要加快发展新质生产力,扎实推进中国经济高质量发展^[1]。工业是我国实体经济的核心产业,在供给侧结构性改革中发挥着举足轻重的作用,既是科技创新的主战场,又是完善现代化经济体系的重要组成部分^[2]。长江经济带是我国重要的经济发展区域,安徽省是长三角经济圈的重要组成部分,但其工业处于工业化中期前半段,在发展过程中所产生的粗放式增长模式还未得到根本性的改变,高耗能和高排放产业的比例依然较高^[3]。因此,提高安徽省工业绿色技术创新效率,对于加快长三角区域一体化发展具有现实意义。

1 文献综述

目前,有关运用DEA模型分析工业绿色技术创新效率的研究主要分为国家、区域以及省际三个层面。

国家层面,陈池^[4]运用三阶段DEA模型对我国不同所有制的工业企业的创新效率实况进行测算,发现环境因素和随机误差均会影响工业技术创新效率;张丽琨等人^[5]使用SBM模型对我国工业绿色创新效率进行实证研究,发现其在空间分布上呈现“东—中—西”递减的阶梯状结构;Lin等人^[6]利用DEA方法对我国工业绿色创新效率进行实证研究。

区域层面,张羽等人^[7]运用超效率SBM模型对长江经济带各个城市的绿色创新效率进行测算,发现其总体水平较低,各城市之间的差距较大;高峻^[8]运用SBM模型分析长江经济带的工业绿色技术创新效率,发现其初期在空间分布上呈现显著的“下游>中游>上游”依次递减特征;Yu^[9]运用非期望产出非径向DEA模型对我国工业园区的绿色发展效率进行研究分析,发现这些工业园区的绿色发展效率存在明显的时空异质性。

[收稿日期]2024-12-10

[修回日期]2025-01-20

[基金项目]安徽省哲学社会科学规划项目(AHSKY2021D138);安徽理工大学研究生创新基金项目(2023CX2166)。

[作者简介]郁绘敏(1999-),女,硕士研究生,主要从事工业效率评价方面研究,E-mail:Yuhuimin0611@163.com。

*[通讯作者]董洪光(1974-),男,副教授,主要从事工业效率评价方面研究,E-mail:12538448554@qq.com。

省际层面,闫星等人^[10]运用SBM模型评价陕西省制造业的发展效率,结果表明外部宏观环境要素在一定程度上减少资源投入的冗余现象,从而提升制造业高质量发展的效率;刘青利等人^[11]运用SBM模型研究分析河南省工业绿色发展效率,结果表明经济发展水平和产业结构能够促进河南省工业绿色发展,而能源消耗和城镇化水平则会阻碍其工业绿色发展;Tang等人^[12]采用非期望产出超效率SBM模型分析评价2008—2017年中国省域和综合经济区的全要素能源效率,研究发现环境规制、经济发展和技术创新三大要素均对全要素能源效率呈显著影响。

综上所述,数据包络分析方法被广泛运用于评价工业行业绿色技术创新效率中,国内外相关研究成果较为丰富,但仍存在不足之处。安徽省地处长江经济带重要位置,对推动长三角地区一体化发展具有重要意义,然而目前对安徽省工业绿色技术创新方面进行研究的成果较少,无法反映安徽省工业绿色技术创新效率现状。因此,文章以安徽省16个地级市作为研究对象,运用超效率SBM模型和Malmquist指数模型对安徽省2018—2022年工业绿色技术创新效率进行静态与动态两个维度的实证研究,分析其影响因素并给出相应的对策建议,为安徽省提升技术创新能力、加快实现工业绿色转型提供决策依据。

2 研究设计

2.1 效率评价模型的选择

2.1.1 评价模型的选择

数据包络分析方法(DEA)中传统的CCR和BCC模型在效率评价中均存在一定不足之处,当决策单元效率无效时,CCR模型对效率的估值会偏高,BCC模型无法考虑投入或产出的变化。相比之下,Super-SBM模型不仅能够考虑生产过程中非期望产出因素的影响,还解决了SBM模型中出现的无法继续评价和排序有效单元的问题,其结果更能体现效率评价的实质意义。由于在评价安徽省工业绿色技术创新效率时存在非期望产出指标(工业“三废”排放量),因此文章拟采用较为先进的基于非期望产出的Super-SBM模型进行系统研究。

2.1.2 评价模型的数学原理

基于非期望产出的Super-SBM模型数学原理如下

$$\rho = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \bar{x}_i / x_{i0}}{\frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \bar{y}_r^g / y_{r0}^g + \sum_{j=1}^{s_2} \bar{y}_j^b / j_{j0}^b \right)}$$

$$s.t. \begin{cases} x_0 = X\lambda + s^-, y_0 = Y^g\lambda - s^g, y_0^b = Y^b\lambda + s^b \\ \bar{x} \geq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j x_j, \bar{y}^g \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^g, \bar{y}^b \leq \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j y_j^b; \\ \bar{x} \geq x_0, \bar{y}^g \leq y_0^g, \bar{y}^b \geq y_0^b; \\ \sum_{j=1, \neq 0}^n \lambda_j = 1, s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \bar{y}^g \geq 0, \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, ρ 表示工业绿色技术创新效率值, ρ 的目标函数值可以大于1。当 $\rho \geq 1$ 时,说明被评价单元相对有效;当 $\rho < 1$ 时,说明被评价单元相对无效。 ρ 值越大,说明工业绿色技术创新效率越高^[13]。

2.2 效率动态分析模型的选择

2.2.1 研究模型的选择

全要素生产率指数(Malmquist index)最早于1953年由经济学家Stan Malmquist^[14]提出,之后Fare等^[15]学者开始将Malmquist指数与DEA模型结合,以便找出影响全要素生产率变化的真正要素,解决了相关的动态分析问题。文章拟运用Malmquist指数模型,对安徽省产业绿色技术创新效率的动态演变过程进行系统研究,并找出影响效率的关键要素。

2.2.2 研究模型的数学原理

Malmquist指数模型求解的总效率值MI具体的数学公式如下

$$\begin{aligned}
 MI &= M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) \\
 &= \left[\frac{d^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{d^t(x^t, y^t)} \times \frac{d^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= \frac{d^t(x^t, y^t)}{d^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \left[\frac{d^{t+1}(x^t, y^t)}{d^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{d^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{d^t(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= Effch \times Techch \\
 &= (Pech \times Sech) \times Techch
 \end{aligned} \tag{2}$$

其中, MI 表示绿色全要素生产率(TFP)的变动状况。若 $M > 1$, 说明在 $t+1$ 期间, 工业绿色技术创新效率比 t 期间高, 反之则说明工业绿色技术创新效率降低。若 $Pech > 1$, 说明在 t 至 $t+1$ 期间, 纯技术效率呈现上升趋势; 若 $Pech < 1$, 则表明其呈下降趋势; 若 $Pech = 1$, 说明纯技术效率在研究期间没有发生变化。 $Sech$ 、 $Techch$ 变化同上^[16]。

3 评价指标选取与数据来源

3.1 评价指标的选取

从近年来的研究来看, 学者们选用不同的投入和产出指标, 运用DEA模型测算工业绿色技术创新效率, 前期的研究成果为文章评价指标的选择提供了基础, 汇总其中的评价指标(表1)。

表1 效率评价指标建模统计表

作者	投入指标	期望产出指标	非期望产出指标
张丽琨等人 ^[5]	R&D人员全时当量、R&D经费内部支出存量、能源消耗总量、新产品开发经费支出	新产品销售收入	工业烟(粉)尘排放量、工业废水排放量、二氧化硫排放量、工业固体废物排放量
高峻嶒 ^[8]	R&D人员全时当量、研发资本存量、能源消耗量	新产品销售收入	二氧化硫排放量、二氧化碳排放量
闫星等人 ^[10]	R&D人员全时当量、R&D经费内部支出存量、能源消费量	新产品销售收入、利润总额	二氧化硫排放量、废水排放量、固体废物产生量、二氧化碳排放量
王菲等人 ^[17]	R&D人员、R&D经费内部支出、单位GDP能耗	新产品销售收入	工业固体废物产生量与GDP的比值
李昊等人 ^[18]	从业人员数、R&D经费、能源消耗、固定资产投资	地区生产总值、专利授权量	工业废水排放量、二氧化硫排放量、工业固体废物排放量

由表1可知, 学者们使用的投入指标分别是能源消耗、资本投入和人力投入, 产出指标大多是以经济指标为主的期望产出和工业污染物排放量的非期望产出。文章以前人的相关研究为基础, 综合考虑安徽省的资源供给, 并根据各个城市的工业绿色技术创新特点, 构建效率评价指标体系(表2)。

表2 工业绿色技术创新效率评价指标体系

一级指标	二级指标	内容	单位
投入指标	能源消耗	工业用电量	亿千瓦时
		工业用水量	亿立方米
	资本投入	R&D经费内部支出	万元
	人力投入	R&D人员全时当量	人年
	期望产出	工业增加值	亿元
产出指标	非期望产出	工业废水排放总量	万吨
		工业二氧化硫排放量	吨
		工业固体废物产生量	万吨

3.2 数据来源

本研究相关统计数据主要来自《安徽统计年鉴》以及国泰安数据库。为了确保数据的完整性、有效性以及和使用模型的匹配性,研究时间跨度选取2018—2022年。数据经整理后的具体描述值如表3所示。

表3 安徽省工业绿色技术创新效率相关指标数据描述性统计

指标	最大值	最小值	平均数	标准差
工业用电量/亿千瓦时	239.87	17.07	88.04	56.83
工业用水量/亿立方米	22.60	0.42	5.22	5.35
R&D经费内部支出/万元	2549784.00	55428.00	409128.89	633750.87
R&D人员全时当量/人年	92528.00	2029.00	12561.40	17376.91
工业增加值/亿元	2862.49	181.66	776.34	545.55
工业废水排放量/万吨	9690.03	527.76	2683.19	2066.93
工业二氧化硫排放量/吨	25032.00	489.74	7482.09	4836.25
工业固体废物产生量/万吨	2701.64	10.60	902.24	722.63

4 结果分析

4.1 静态角度分析

根据基于无导向的非期望产出 Super-SBM 模型的原理,运用 Matlab 软件对安徽省 16 个地级市 2018—2022 年的工业面板数据进行测算,最终得到 2018—2022 年各个城市工业绿色技术创新效率值,具体如表 4 所示。

表4 2018—2022年安徽省工业绿色技术创新效率值结果

城市/年份	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	均值	排名
合肥市	1.132	1.029	1.082	1.086	1.043	1.074	3
淮北市	1.055	0.584	0.613	0.684	1.007	0.789	12
亳州市	1.068	1.086	1.074	1.091	1.079	1.080	2
宿州市	1.101	1.065	1.112	1.015	0.666	0.992	8
蚌埠市	1.024	1.086	1.051	0.710	0.796	0.933	9
阜阳市	1.010	1.049	1.044	1.047	1.036	1.037	6
淮南市	0.355	0.417	0.381	0.364	0.390	0.381	14
滁州市	1.011	1.062	1.064	1.064	1.071	1.054	5
六安市	1.117	0.518	0.555	1.002	1.076	0.854	10
马鞍山市	0.242	0.248	0.221	0.238	0.237	0.237	16
芜湖市	1.034	1.019	1.001	1.013	1.008	1.015	7
宣城市	0.638	0.511	0.502	0.547	0.598	0.559	13
铜陵市	0.457	0.227	0.214	0.287	0.309	0.299	15
池州市	1.033	0.445	1.043	1.058	0.557	0.827	11
安庆市	1.084	1.021	1.061	1.064	1.044	1.055	4
黄山市	1.219	1.109	1.246	1.250	1.147	1.194	1
均值	0.911	0.780	0.829	0.845	0.816		

由表4可知:

(1)从均值上看,2022年安徽省工业绿色技术创新效率均值为0.816,相对较高,但距离有效生产前沿面仍有18.4%的进步空间,还需加快构建绿色制造体系,促进工业低碳发展,不断提高安徽省整体工业绿色技术创新效率。

(2)从极值上看,2022年各市工业绿色技术创新效率差距较大,黄山市的效率值最高(1.147),马鞍山市的效率值最低(0.237),有9个城市(合肥市、淮北市、亳州市、阜阳市、滁州市、六安市、芜湖市、安庆市、黄山市)工业绿色技术创新效率达到有效生产前沿面,占总体比重的56.25%。大部分城市的经济基础较好,绿色技术创新效率与经济基础呈正相关关系。其余7个城市(宿州市、蚌埠市、淮南市、马鞍山市、宣城市、铜陵市、池州市)未达到有效生产前沿面,其主要原因在于这7个城市均为资源枯竭型城市,在资源、经济和社会方面均存在较大限制,在绿色技术创新方面存在落后现象。因此应结合地区工业发展实际,优化升级产业结构,推动工业绿色化转型。

(3)从整体发展趋势来看,2018—2022年安徽省整体工业绿色技术创新效率呈下降趋势,工业绿色技术创新效率值由0.911下降到0.816,这说明安徽省在此时期过度注重工业发展所产生的经济效益,而忽视了生产过程中的绿色创新发展,导致工业绿色技术创新效率水平呈下降趋势。

(4)从区域发展趋势来看,2018—2022年三大地区的工业绿色技术创新效率均呈下降趋势。其中,皖北地区工业绿色技术创新效率逐年下降,由0.936减少到0.829;皖中地区工业绿色技术创新效率虽然由1.086下降到1.059,但是降低程度较小且有三年均位于有效生产前沿面状态;皖南地区工业绿色技术创新效率总体呈“V”型变动态势,变化幅度最大。结果表明,这三个区域在工业绿色技术创新效率上存在较大差距,其中皖中的效率一直最高,该地区的合肥市为安徽省的省会,能够全面推进规划、建设、治理一体化,大力引导工业企业进行绿色转型(表5)。

表5 安徽省三大地区工业绿色技术创新效率平均值描述性统计

地区	所含城市	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年
皖北地区	宿州市、淮北市、蚌埠市、阜阳市、淮南市、亳州市	0.936	0.881	0.879	0.819	0.829
皖中地区	合肥市、六安市、滁州市、安庆市	1.086	0.908	0.941	1.054	1.059
皖南地区	黄山市、芜湖市、马鞍山市、铜陵市、宣城市、池州市	0.771	0.593	0.705	0.732	0.643

4.2 动态角度分析

基于Malmquist指数模型原理,利用Matlab软件计算得到安徽省年均工业绿色技术创新效率Malmquist指数及其相关分解值(表6)。

表6 2018—2022年安徽省年均工业绿色技术创新效率Malmquist指数测算

城市	技术效率 变化指数 (<i>Effch</i>)	技术进步 变化指数 (<i>Techch</i>)	纯技术效率 变化指数 (<i>Pech</i>)	规模效率 变化指数 (<i>Sech</i>)	绿色全要素生产率 变化指数 (<i>Tfpch</i>)
合肥市	0.980	1.016	0.983	0.996	0.995
淮北市	0.989	1.080	0.990	0.999	1.067
亳州市	1.003	1.007	1.014	0.989	1.009
宿州市	0.882	1.009	0.875	1.008	0.890
蚌埠市	0.939	1.075	0.942	0.997	1.010
阜阳市	1.006	1.005	1.009	0.997	1.011
淮南市	1.024	0.765	1.017	1.007	0.784
滁州市	1.014	1.013	1.032	0.983	1.028
六安市	0.991	1.215	0.951	1.042	1.204
马鞍山市	0.994	0.984	0.956	1.040	0.978
芜湖市	0.994	1.085	0.993	1.001	1.078
宣城市	0.984	1.046	0.983	1.001	1.029
铜陵市	0.907	1.045	0.883	1.027	0.948
池州市	0.857	1.143	0.984	0.871	0.980
安庆市	0.991	0.977	0.993	0.998	0.968
黄山市	0.969	1.026	0.973	0.996	0.995
均值	0.970	1.031	0.974	0.997	0.998

分析安徽省2018—2022年工业绿色技术创新效率的Malmquist指数变动态势,创建变化趋势(图1)。

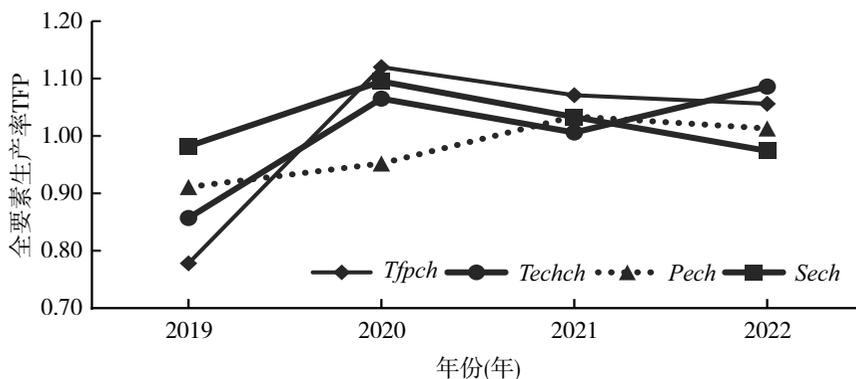


图1 安徽省工业绿色技术创新效率的Malmquist指数变化趋势

由图1可知:

(1)从总体变化趋势上看,安徽省在2018—2022年的工业绿色技术创新效率整体呈下降趋势($Tfpch = 0.998 < 1$),但降幅并不大。

(2)从安徽省绿色全要素生产率的分解指数来看,导致工业绿色技术创新效率下降的主要原因是技术效率变化指数(0.970)的降低;其中 $Effch = Pech * Sech$ ^[16],究其根本原因是纯技术效率和规模效率的共同退化导致安徽省绿色全要素生产率降低,尤其是纯技术效率的下降。因此,为提高安徽省工业绿色技术创新效率,必须增加研发投入,提升科技创新能力,推动工业绿色技术转型。

(3)从区域变化趋势来看,皖南和皖中的全要素生产率指数均在1以上,而皖北地区却低于1,指数从小到大排列依次为:皖北地区(0.962) < 皖南地区(1.001) < 皖中地区(1.049)。这主要是因为与皖中、皖南地区相比,皖北地区经济发展相对落后,拥有的自然资源日渐衰竭,加上技术创新能力较为落后,因此其工业绿色技术创新效率呈下滑态势。

(4)从安徽省三个地区的工业绿色全要素生产率分解指数来看,皖北的绿色全要素生产率(0.962)小于1,导致这一现象的重要因素是技术进步的滞后和纯技术效率的降低;皖中的绿色全要素生产率增长受技术进步和规模效率的提高两因素的影响,其中技术进步发挥更大作用;皖南的绿色全要素生产率提高的主要驱动力为技术进步,并且纯技术效率以及规模效率双重退步的消极影响都被技术进步的增长作用抵消(表7)。

表7 安徽省三大地区工业绿色技术创新效率全要素生产率对比

地区	综合效率 变化指数 (<i>Effch</i>)	技术进步 变化指数 (<i>Techch</i>)	纯技术效率 变化指数 (<i>Pech</i>)	规模效率 变化指数 (<i>Sech</i>)	全要素生产率 变化指数 (<i>Tfpch</i>)
皖北地区	0.974	0.990	0.974	1.000	0.962
皖中地区	0.994	1.055	0.990	1.005	1.049
皖南地区	0.951	1.055	0.962	0.989	1.001

5 结论与建议

5.1 结论

文章采用基于非期望产出的Super-SBM模型和Malmquist指数模型,对2018—2022年安徽省16个地级市的工业绿色技术创新效率进行实证分析,得出以下结论:

(1)安徽省2022年工业绿色技术创新效率值相对较高(0.816),但距离有效前沿面还有18.4%的进步空间。其中,马鞍山市工业绿色技术创新效率值最低(0.237),黄山市最高(1.147),各城市的工业绿色技术创新效率差距较大。

(2)2022年安徽省合肥市、芜湖市、安庆市、黄山市、淮北市、亳州市、阜阳市、滁州市、六安市共9个城市

的工业绿色技术创新效率有效,占总体比重的56.25%,其余7个城市(宿州市、蚌埠市、淮南市、马鞍山市、宣城市、铜陵市、池州市)未达到有效水平,占总体比重的43.75%,效率未达到有效水平的城市数量占比四成以上。

(3)2022年安徽省区域间的工业绿色技术创新效率存在显著差异,其中皖中地区的效率最高(1.059),皖北地区次之(0.829),皖南地区最低(0.643)。

(4)2018—2022年安徽省整体的工业绿色技术创新效率呈下滑态势,其中皖中地区和皖南地区的工业绿色技术创新效率均呈增长态势,而皖北则呈下滑趋势,说明安徽省工业绿色技术创新效率降低的主要原因是皖北地区效率下降。

(5)纯技术效率降低与规模效率退化是导致安徽省2018—2022年间整体的工业绿色技术创新效率下滑的双重负向要素,而纯技术效率降低则是造成其效率低下的主要因素。因此,必须增加研发投入,强化科技创新能力,推动安徽省工业绿色技术转型。

5.2 对策建议

(1)推动安徽省工业绿色转型。安徽省整体工业绿色技术创新效率水平有一定的提升空间,应通过数字化及科技化转型推动生产方式转变,推广应用减少环境污染的绿色末端处理技术和新一代信息技术,如工业互联网、大数据、5G等,通过自动控制、人机交互和循环发展等方式,进一步提高能源、资源和环境管理水平,推动工业信息化、绿色化生产。

(2)加强区域协同创新合作。皖中地区绿色技术创新效率值最高,且在研究期间呈上升趋势,工业绿色创新发展水平最高。因此,皖中地区在获取周边地区资金和高素质劳动力资源的同时,也要加强对周边地区的“反哺”,提高地区之间发展要素的流动性,并促进绿色技术创新成果实现全域共享,实现优势互补,提高整体绿色技术创新能力。

(3)优化创新投入资源配置。规模效率降低是导致安徽省绿色全要素生产率下降的原因之一,各工业企业应提高组织管理水平。根据市场需求和自身生产规模现状,将企业内部资源进行整合,集群式发展,其中注重优化人力、资本和能源消耗三大投入的配比,发挥创新投入资源的最大效益,以达到工业绿色技术创新效率最优。

(4)提升科技研发水平。纯技术效率低是安徽省绿色全要素生产率下降最主要的抑制因素。各工业企业应加大科研投入,建立科技创新基地,积极推进与高校和科研院所的协同技术创新合作,引导科研院校的研究成果向工业企业聚集靠拢,提高科技成果的市场转化率,促进行业内资源共享,从而加快发展企业新质生产力。

(5)发挥政府积极引导作用。相关部门应完善绿色技术产权服务保护制度并设立绿色信贷、绿色债券等专项引导基金,加大科研经费投入,以此激发企业进行绿色技术创新研发工作的活力;同时建立奖惩机制,引导企业树立在提高绿色技术创新能力的同时落实节能节水、促进污染物的绿色转换与重复使用的环保意识。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平在中共中央政治局第十一次集体学习时强调:加快发展新质生产力 扎实推进高质量发展[EB/OL]. https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202402/content_6929446.htm. 2024-02-01/2024-03-15.
- [2] 张志强,李涵,陈蔓. 产品质量监管与工业转型升级——基于门槛效应和技术创新中介效应的实证分析[J]. 宏观质量研究, 2023, 11(01): 1-14.
- [3] 周开乐,于俊卿,杨善林. 安徽制造业绿色发展评价——基于用电数据分析[J]. 华东经济管理, 2018, 32(09): 15-21.
- [4] 陈池. 工业企业创新效率的所有制差异性实证研究——基于三阶段DEA模型[J]. 科学决策, 2023, (05): 201-212.
- [5] 张丽琨,张亚萍,梁远. 中国工业企业绿色技术创新效率的测度与评价——基于超效率网络SBM-Malmquist模型分析[J]. 技术经济, 2022, 41(07): 13-22.
- [6] LIN S, SUN J, MARINOVA D, et al. Evaluation of the Green Technology Innovation Efficiency of China's Manufacturing Industries: Dea Window Analysis with Ideal Window Width[J]. Technol Anal Strateg Manag, 2018, 30(10): 1166-1181.
- [7] 张羽,蔡茜,焦柳丹,等. 绿色技术创新效率及其时空差异——基于长江经济带74个城市的实证研究[J]. 生态经济, 2024, 40(04): 63-69.

- [8] 高峻嶒. 基于SBM-DEA模型的长江经济带工业绿色技术创新效率研究[J]. 现代商业, 2022, (12):28-30.
- [9] YU X. An Assessment of the Green Development Efficiency of Industrial Parks in China: based on Non-desired Output and Non-radial DEA Model[J]. Structural Change and Economic Dynamics, 2023, 66:81-88.
- [10] 闫星, 罗义, 赵芹, 等. 基于SBM-DEA的陕西省制造业高质量发展效率评价及对策研究[J]. 科技管理研究, 2022, 42(01):44-50.
- [11] 刘青利, 夏彩瑞, 张曼. 河南省工业绿色发展效率测算及影响因素研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2021, 34(03):394-400.
- [12] TANG Y L, DING H, SHAN X, et al. Application of the Novel Three-stage DEA Model to Evaluate Total-factor Energy Efficiency: A Case Study based on 30 Provinces and 8 Comprehensive Economic Zones of China[J]. Results in Engineering, 2023, 20:101417.
- [13] 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, 40(01):100-111.
- [14] MALMQUIST S. Index Numbers and Indifference Surfaces[J]. Trabajos De Estada, 1953, 4(02):209-242.
- [15] FARE R, GROSSKOPF S, NORRIS M, et al. Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries[J]. American Economic Review, 1994, 84(01):66-83.
- [16] 冯露. 资源型城市生态效率时空演变及影响因素研究——以黑龙江省为例[J]. 生态经济, 2024, 40(04):87-93, 121.
- [17] 王菲, 杨运, 刘晨, 等. 郑州市科技创新的效率测度——基于非期望产出的超效率SBM-Malmquist模型分析[J]. 中州大学学报, 2023, 40(05):19-26.
- [18] 李昊, 范德成, 张书华, 等. 我国区域绿色技术创新效率的分类测度和提升模式研究——基于非期望产出的SBM-SupSBM模型[J]. 运筹与管理, 2022, 31(04):184-189, 203.

Efficiency Studies of Industrial Green Technology Innovation in Anhui Province based on Super Efficiency SBM Model

YU Hui-min, DONG Hong-guang*, BAI Meng

(School of Economics and Management, Anhui University of Science and Technology, Huainan, Anhui, 232001, China)

Abstract: In order to improve the efficiency of industrial green technology innovation in Anhui Province and promote the development of new quality productivity, the undesired output Super-SBM model was used to analyze and evaluate the innovation efficiency of industrial green technology in Anhui Province in 2018—2022, and the Malmquist index method was used to study its dynamic change trend. The results show that, in 2022, the average efficiency of industrial green technology innovation in Anhui Province is 0.816, with the highest efficiency value in Huangshan (1.147) and the lowest efficiency value in Ma'an Shan (0.237). From the perspective of inter-regional comparison, the industrial green technology innovation efficiency in central Anhui region is the best (1.059), followed by northern Anhui (0.829), and the worst in southern Anhui (0.643) in 2022; And from the perspective of inter-regional comparison, the industrial green technology innovation efficiency in central Anhui region is the best (1.059), followed by northern Anhui (0.829), and the worst in southern Anhui (0.643) in 2022; The main reason for the decline in the innovation efficiency of industrial green technology in Anhui Province is the regression of pure technical efficiency. It is proposed to implement measures to promote the green transformation of Anhui industry, strengthen regional collaborative innovation cooperation, optimize the allocation of innovation investment resources, improve the level of scientific and technological research and development, and the government plays an active guiding role to improve the efficiency of industrial green technology innovation in Anhui Province.

Keywords: Anhui Province; Industrial green technology innovation efficiency; Super-SBM model of undesired output; Malmquist exponential model; New quality productive forces