

中国工业企业绿色技术创新效率的动态评价

林寿富¹,王 谦^{1,2},管河山²

(1.福建师范大学 经济学院,福州 350007;2.南华大学 经济管理与法学学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:文章沿着绿色技术创新效率初次测度—客观外生性因素剔除—真实绿色技术创新效率复测的分析思路,在剔除了空间异质性、外部环境与随机误差项后,基于改进的三阶段超效率SBM-DEA模型测算了2010—2021年我国30个省份工业企业的绿色技术创新效率值。运用因子分析法提取了最能影响绿色创新效率的综合创新投入指标,按照创新综合投入-效率的得分高低构造了创新生产模式组合象限图,并逐一分析了不同生产组合模式下的省份特征。

关键词:三阶段SBM-DEA模型;因子分析法;绿色技术创新

中图分类号:F224.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-6487(2023)16-0163-06

0 引言

绿色技术创新作为实现绿色转型的有力支撑,是当前中国缓解资源环境压力、实现“双碳”目标的关键手段。为此,国家发展改革委和科技部明确提出要基本建成市场导向的绿色技术创新体系,进一步强化企业的绿色技术创新主体地位,并出现一批龙头骨干企业。然而目前中国工业企业的绿色技术创新活动明显不够活跃,创新效率依然偏低。

绿色技术创新效率是衡量企业绿色技术创新水平的重要指标,对于精准把握企业自身绿色技术创新的投入-产出状况,明晰其与竞争对手在创新投入要素规模与资源利用上的现实差距,以及未来实现更高水平的突破具有重大意义。近年来,技术创新效率已成为学术界的研究热点。大多数学者进行分析时都借助了非参数方法如DEA和参数方法如SFA等效率评价方法^[1,2]。由于SFA需要提前确定生产前沿面的具体函数形式,因此DEA使用得更加广泛^[3,4]。目前,随着研究的不断深入,改进的两阶段DEA、三阶段DEA等模型也被逐渐用于技术创新效率的测度^[5,6]。但上述方法要么未将松弛变量和非期望产出纳入考察范围,要么无法同时消除外部环境和随机误差对效率的影响。此外,在企业绿色技术创新效率评价体系的构建中,已有研究对投入变量的考虑也不够全面。

鉴于此,在全面考察投入指标的前提下,有必要采用更准确、更合适的评价方法对企业绿色技术创新效率进行科学评价,精准把握当前我国工业企业绿色技术创新效率的特征和关键影响因素,为促进绿色技术创新效率的提升

提供有益借鉴。本文构建了更为全面的绿色技术创新效率评价指标体系,对2010—2021年我国30个省份工业企业绿色技术创新效率进行动态测算。本文的边际贡献在于:一是运用改进的三阶段SBM-DEA模型测算了更能体现各省份工业企业真实水平的绿色技术创新效率。在剔除环境因素后,清晰揭示了各省份在不同要素投入上的冗余和不足,显著提升了复次测算的准确性和评价结果的科学性,为绿色技术创新效率真实水平的测度提供了新视角。二是将人才、资金、资产和能源四项投入统一纳入投入变量指标体系的分析框架中,并采用因子分析法提取了最能影响绿色技术创新效率的综合投入指标,绘制了涵盖30个省份的绿色技术创新模式象限图,分别阐释了不同综合创新投入-效率组合模式的特征,更加明确地给出了各省份真实的绿色技术创新效率分布情况,为制定更有针对性的区域绿色创新效率提升策略提供参考。

1 研究方法、指标与数据

1.1 改进的三阶段SBM-DEA模型

本文采用非径向、非角度、全局参比的包含非期望产出的三阶段超效率SBM模型来测算企业绿色技术创新效率,并将环境污染指数纳入评价体系作为非期望产出来测评环境效率。采用三阶段模型具体的步骤如下。

第一步,在决策单元(DMU)处于单纯环境前沿的条件下,运用非径向、非角度、全局参比的超效率SBM模型对绿色技术创新效率进行第一阶段测算,同时可得到投入变量的实际松弛量。假设每个DMU有 m 个投入 $X=(x_1, x_2, \dots, x_m) \in R_m^+$ 和 S 个产出,其中,包括 S_1 个期望产出 $Y=$

基金项目:国家社会科学基金一般项目(20BJL139)

作者简介:林寿富(1981—),男,福建连城人,教授,博士生导师,研究方向:环境经济、创新管理。

(通讯作者)王 谦(1990—),女,湖南长沙人,博士,讲师,研究方向:技术创新。

管河山(1981—),男,湖南祁东人,博士,副教授,研究方向:数据挖掘。

$(y_1, y_2, \dots, y_{s_1}) \in R_{s_1}^+$ 和 S_2 个非期望产出 $Z=(z_1, z_2, \dots, z_{s_2}) \in R_{s_2}^+$ 。则SBM模型具体如下:

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{S_1 + S_2} \left(\sum_{r=1}^{S_1} \frac{S_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{S_2} \frac{S_r^b}{y_{r0}^b} \right)} \quad (1)$$

$$\text{s.t. } x_0 = X\lambda + S^-, y_0^g = Y\lambda - S^g, y_0^b = Y\lambda + S^b, S^- \geq 0, S^g \geq 0, S^b \geq 0, \lambda \geq 0 \quad (2)$$

式(1)中, ρ 代表各省份DMU技术创新的效率值, S^- 和 S^b 分别表示投入松弛量和非期望产出松弛量, S^g 表示期望产出的不足, 而松弛量是指投入变量的真实值与期望值的差值, λ 为横截面观察值的权重向量。本文利用MaxDEA软件测算了第一阶段各省份绿色技术创新的效率值和投入松弛量。

第二步, 利用SFA模型得出各决策单元处于同一外部环境水平和随机情况下的调整后投入变量^[5]。为剥离环境因素和随机干扰因素对效率测度的影响, 利用SFA模型来调整投入水平, 将所有决策单元置于相同环境中^[6]。具体做法是先利用SFA模型对第一阶段的投入松弛量 and 环境变量进行拟合, 得出各环境变量与投入松弛量的拟合系数和复合误差项, 再从复合误差项中分离出随机干扰项和管理无效率项的误差值, 并计算出环境变量调整量、随机扰动项调整量, 最终得出DMU处于同一外部环境水平和随机情况下的调整后的投入变量^[7]。具体模型如下。

假设第 j 个决策单元在第 i 项投入上的松弛量 S_{ij} 受 K 个可观察环境变量 $(Z'_{ij} = [z'_{1j}, z'_{2j}, \dots, z'_{kj}], j=1, 2, \dots, n)$ 的影响。则设回归模型为:

$$S_{ij} = f(Z'_{ij}; \beta_i) + v_{ij} + \mu_{ij} \quad (3)$$

式(3)中, β_i 为待估参数向量, $(v_{ij} + \mu_{ij})$ 为混合误差项, $v_{ij} \sim N(0, \sigma_v^2)$ 为随机干扰项, μ_{ij} 为企业自身因素对 S_{ij} 的影响。用极大似然法ML进行估计后, 按照式(4)对初始投入数据进行调整。

$$x_{ij}^A = x_{ij} + [\max(z_j \hat{\beta}_i^-) - z_j \hat{\beta}_i^-] + [\max(\hat{v}_{ij}^-) - \hat{v}_{ij}^-] \quad (4)$$

其中, x_{ij}^A 为调整后的新投入变量, x_{ij} 为原投入变量。

第三步, 用调整后的新投入变量代替原投入变量后重新回到第一步进行复测, 即可得到剔除外部环境因素及随机误差项影响的真实绿色技术创新效率。

1.2 绿色技术创新效率评价指标体系

(1) 投入-产出变量

借鉴前人研究^[1,6,7], 本文考虑从人才投入、资金投入、资产投入和能源投入这四个方面来构建投入指标体系。借鉴李向东等(2011)^[8]的做法, R&D经费内部支出采用永续盘存法进行核算。特别地, 本文将能源投入纳入指标体系的原因在于, 能源投入是保障企业生产顺利进行的基

础, 也是影响区域绿色技术创新效率的重要指标。徐建中和赵亚楠(2021)^[7]认为绿色技术创新旨在降低能耗、提升能源利用效率, 同时减少环境污染, 这也是响应国家低碳发展, 实现“双碳”目标的必然要求。因此, 本文将能源投入统一纳入投入-产出变量指标体系的分析框架, 并采用能源消费总量来表示各地区的能源投入情况。具体做法是, 从终端能源消费角度出发, 选取各省份的能源消费量, 统一转换成标准煤后加总。

在期望产出指标的选择上, 用发表科技论文(含国外发表论文)数和专利申请数来表示科技产出, 用规模以上工业企业新产品销售收入来表示经济产出。另外, 采用规模以上工业企业的“三废”排放数据, 用熵值法计算后得出环境污染指数来表示非期望产出^[5]。需说明的是, 考虑到量纲的一致性和数据指标的综合性, 本文对工业污染排放水平的衡量参考前人的处理方法^[6]。因部分数据存在缺失, 故采用线性拟合方法来进行缺失数据的补齐。

(2) 环境变量

不同省份的环境差异对绿色技术创新可能产生直接或间接影响。在已有研究基础上, 本文从经济发展水平、工业化水平、对外开放水平、政府支持、信息基础设施这五个维度来考察各省份的环境状况。具体来看, 在中国创新驱动发展战略实践中, 企业已成为技术创新的主体, 贡献了超过70%的技术创新成果。理论上, 一个地区的创新能力与其经济发展水平紧密相关, 经济发达地区的工业生产率更高, 对外交往更频繁, 创新活动也应更为活跃^[9]。同时, 企业的创新活动离不开高技术人才的加入和风险资金的前期投入, 经济发展水平高的地区更容易吸引高层次人才和高科技企业集聚, 研发资金也相对更为充足。熊彼特创新理论认为, 资金的可获得性在技术创新中具有重要作用^[10]。地方政府对企业R&D活动的支持一方面直接减轻了企业的创新成本, 补偿了技术外溢的正外部性带来的私人收益损失, 大大激励了企业创新的意愿; 另一方面也向社会和公众释放了积极的信号, 有利于企业进一步提升知名度, 打造更负责任的正面形象, 为企业的后续健康发展提供了有利契机。此外, 信息基础设施作为技术创新的物质基础和信息保障, 是导致技术创新水平差异的重要因素。数字经济时代, 地区的信息化建设水平也决定了其知识溢出的效率^[9]。具体的测度指标及数据来源见下页表1。

1.3 数据处理

本文收集了2010—2021年中国30个省份(不含西藏和港澳台)的面板数据。为准确分析工业企业的创新特征, 在数据选取上尽可能地采用规模以上工业企业的数据, 在部分数据难以获取的情况下采用省份层面数据予以替换^①。数据处理和统计分析过程均由Stata 15.0软件完成。对于涉及金额的数据皆以2010年为基期进行了平减处理。为消除数据量纲、极端值和降低异方差等不利影响, 上述变量除百分比指标外均进行了对数化处理, 且对

①因企业创新占省份创新的比重较高, 所以也具有代表性。对所有省份都是采用的同一测度方法和统计尺度, 因此基本可忽略数据不同采集层面的差异。

表1 工业企业绿色技术创新效率评价指标体系

子系统	变量	符号	测度指标及数据来源	单位
投入变量	人才投入	I1	规模以上工业企业 R&D 人员全时当量 ^a	人·年
	资金投入	I2	R&D 经费内部支出 ^a	亿元
	资产投入	I3	规模以上企业资产总计 ^b	亿元
	能源投入	I4	能源消费量 ^c	万吨
产出指标	科技产出	O1	发表科技论文数(含国外发表论文) ^a	篇
		O2	专利申请数 ^a	件
	经济产出	O3	规模以上工业企业新产品销售收入 ^a	亿元
	非期望产出	OBAD	环境污染指数 ^d	万吨
环境变量	经济发展水平	pgdp	人均 GDP ^b	元/人
	工业化水平	ind	工业增加值与各地区 GDP 之比 ^b	%
	对外开放水平	open	对外贸易依存度 ^b	%
	政府支持	gov	政府资金资助研发经费占地区研发经费的比重 ^a	%
	信息基础设施	int	互联网普及率 ^b	%

注:a代表《中国科技统计年鉴》,b代表《中国统计年鉴》,c代表《中国能源统计年鉴》,d代表《中国环境统计年鉴》。

连续变量上下各 1% 的极端值做 Winsorize 缩尾处理。各变量描述性统计结果见表 2。

表2 各变量描述性统计结果

变量	平均值	标准差	最小值	最大值
I1	10.6010	1.3819	6.9527	13.5008
I2	5.5517	1.3483	1.9488	8.3331
I3	10.1346	0.9829	5.8469	11.9207
I4	9.4418	0.6504	7.2145	10.6411
O1	8.1521	0.8837	5.7038	11.1372
O2	10.7083	1.4662	6.4003	14.0543
O3	7.6799	1.6059	2.1478	11.0767
OBAD	7.9030	1.0588	4.2919	9.9661
pgdp	11.5904	6.6154	0.6672	79.8135
ind	34.2302	8.1947	10.0752	57.3781
open	26.6920	27.7261	0.6672	139.8135
gov	24.2451	13.6526	6.8700	60.2266
int	50.2976	13.4368	19.8000	81.5352

2 中国工业企业绿色技术创新效率测算

2.1 第一阶段:初次测算

利用 MaxDEA 软件进行第一阶段效率测算后发现:第一,从时间层面上看,我国区域绿色技术创新效率整体上保持稳中有进的趋势。其中,广西、海南、河北等省份在研究期间呈现明显的上升趋势,大部分东部经济发达省份基于良好的经济条件、人才条件和区位优势,长期保持处于绿色技术创新效率的前沿面。但甘肃、湖南等省份因自身资源禀赋不足,创新先发优势尚不明显,也可能受地区重大事件或政策影响从而导致其在某些年份效率值出现了剧烈波动。限于篇幅,仅展示各省份 2010—2021 年的绿色技术创新效率均值,结果见表 3。

表3 第一阶段各省份 2010—2021 年的绿色技术创新效率均值

地区	均值	地区	均值	地区	均值	地区	均值	地区	均值
安徽	0.89	海南	0.94	江苏	0.91	山西	0.81	浙江	0.89
北京	1.00	河北	0.80	江西	0.87	陕西	0.86	重庆	0.87
福建	0.84	河南	0.85	辽宁	0.88	上海	0.99	东部地区	0.94
甘肃	0.86	黑龙江	0.80	内蒙古	0.73	四川	0.86	中部地区	0.90
广东	0.91	湖北	0.91	宁夏	0.71	天津	0.90	西部地区	0.84
广西	0.87	湖南	0.87	青海	0.76	新疆	0.85	东北地区	0.90
贵州	0.79	吉林	0.94	山东	0.87	云南	0.80	全国	0.89

2.2 第二阶段:基于 SFA 模型的投入松弛量调整

本阶段利用 SFA 模型来调整投入产出变量,可达到剥离环境因素和随机干扰因素对效率测度影响的目标^[7]。将第一阶段得出的各投入松弛量作为被解释变量,选择前文环境变量作为解释变量,使用 Frontier 4.1 软件进行 SFA 分析,结果如表 4 所示。投入松弛量是决策单元实际投入与目标投入之间的差额,投入松弛量的减少会提高决策单元的运行效率^[11]。当环境变量对投入松弛量的回归系数为正时,说明对应的环境变量增加将导致非期望产出的增加和投入冗余的加剧,即投入资源的浪费;当回归系数为负时,增加环境变量将减少投入冗余或降低非期望产出,即能避免资源的浪费和实现增产。由表 4 可知,混合误差项 sigma-squared 均不为 0 且通过 1% 水平的显著性检验,说明模型具有很好的拟合度。投入松弛量的单边误差检验 LR 值均通过 1% 水平的显著性检验,环境变量较好地解释了投入松弛量,说明模型构建是合理的。

表4 随机前沿分析(SFA)回归结果

	(1)人才投入 松弛量		(2)资金投入 松弛量		(3)资产投入 松弛量		(4)能源投入 松弛量	
	系数	t 值	系数	t 值	系数	t 值	系数	t 值
常数	0.47***	8.64	0.04***	3.52	5.31***	2.67	1.11***	34.03
pgdp	0.10	0.58	0.24	0.96	9.11	0.61	0.32	0.33
ind	-0.66***	-10.04	0.04	0.72	2.20***	3.66	-0.72***	-4.32
open	-0.21***	-9.01	0.02	0.39	2.48***	5.05	1.34***	11.44
gov	0.84***	12.64	-0.13***	-6.50	0.25	0.67	0.05	0.50
int	-0.20***	-5.33	-0.00	-0.28	1.74***	3.62	0.48***	7.10
sigma-squared	0.10***	10.93	0.01***	9.11	2.13***	12.88	0.25***	13.38
gamma	0.02***	3.66	0.01***	2.89	0.00	1.72	0.00	1.32
Log-L	-71.26		307.48		-592.66		-216.63	
LR 单边误差检验	249.39		17.59		88.83		111.93	

注:*, **, *** 分别表示在 10%、5%、1% 水平上通过显著性检验。

(1)经济发展水平在不同的要素投入松弛中系数都为正,但未明显表现出统计上的显著性。这表明区域经济发展状况越好,越有可能降低创新投入要素的使用效率。在我国,部分区域经济仍由传统的“三高”企业所驱动的局面尚未彻底转变,产业结构也仍以重工业为主,而工业经济的发展可能会带来更为严重的投入资源浪费以及环境污染,最终将不利于绿色技术创新效率的提升。

(2)工业化水平能改善人才投入冗余的状况,同时也能明显优化能源消费冗余。本文用工业增加值与地区 GDP 之比来表征工业化水平,该值越大,说明该地区第二产业得到了越充分的发展,也就意味着在单位能耗不变的情况下,第二产业能源投入的资源配置效率进一步提升,工业企业能源要素错配的现象和非期望产出增多的趋势得到进一步遏制。另外,工业化水平的优化升级可能会加剧资金和资产投入的冗余,但影响效果尚不显著。

(3)对外开放水平与资产和能源投入松弛量显著正相关,与人才投入松弛量显著负相关,这说明对外开放水平提高会加剧企业资产和能源消费的冗余,但对人才资源投入过多的情况有所改善。考虑到外资向国内产业转移过

程中可能将承接地作为潜在的污染避难所^[12],因此“以市场换技术”的发展模式可能给当地低碳发展和绿色创新带来巨大环境压力。

(4)政府支持作为创新资金的关键来源,对资金投入松弛量有积极显著的改善作用。政府提供的资金有利于解决企业自主创新的后顾之忧,是创新资金链中的关键一环。但政府研发资金支持力度的加大反而不利于人才投入松弛量的改善,人才资源投入过多将无法带来更高的创新边际产出,创新激励效果将大打折扣。因此,可考虑适时调整与人才相关的创新激励政策,优化人才资源配置,切实做到物尽其用、人尽其才。而政府支持可能加剧资产和能源投入的松弛影响,但统计上也不显著。

(5)互联网普及率作为创新基础设施跟对外开放水平一样都属于创新的重要环境支撑,对不同投入松弛量的影响效果也基本类似,有助于改善人才和资金冗余状况,但会明显加剧资产投入冗余和能源投入冗余。

2.3 第三阶段:调整后的真实绿色技术创新效率

第三阶段是将调整后的投入变量替代原始投入变量进行复测,最终可得到剥离环境变量影响后的真实绿色技术创新效率,揭示了决策单元在创新安排上纯管理效率的差异,具体的真实创新效率变动趋势见图1。

近年来绿色技术创新效率均值最大的仍是北京,达到1.0007,而最小的是宁夏,仅为0.7351。从增幅来看,研究期间单个DMU真实创新效率绝大部分实现了增长,仅有湖南和吉林有所下降,分别减少了0.1615、0.0632;同时,效率值波动最大的是海南(0.0548),波动最小的是北京(0.0065),这一结果与第一阶段测算的效率基本一致,也从侧面反映了SBM测算方法的稳健性。对比两次测算结

果发现:与第一阶段对比,效率下降的省份仅有海南、青海、江西和北京,分别下降了0.0827、0.0073、0.0062和0.0003。北京总体表现非常平稳,下降可忽略不计;海南整体下降明显,下降幅度最大,应明确下降原因(前期效率值高主要依赖于经济发展环境和政府的优惠政策,而自身的创新意愿和创新内驱力相对不足),对症下药,大力提升创新投入-产出效率;青海、江西较小程度的下滑要引起相应的重视,同时也表明这类省份在第一阶段中所表现出的技术创新高效率基本上是由外部环境所主导。从区域来看,全国、东、中、西部和东北地区的绿色技术创新效率均值分别为0.89、0.94、0.90、0.84和0.90,仍呈现突出的区域阶梯分布格局。

由下页图2可知,大部分DMU均实现了效率均值的整体提升。按提升幅度排序居于前五名的为江苏、广东、河北、浙江、山东,提升幅度分别为0.0718、0.0682、0.0629、0.0627和0.0611,说明这些省份第一阶段较低的绿色技术创新效率水平并不完全是由其工业企业自身原因所造成的,而是较大程度上受到了外部环境因素的不利影响。

3 工业企业绿色技术创新模式分析

为了直观展示各省份在创新综合投入和创新效率方面的分布格局,本文从创新综合投入提取的视角来探讨各省份的绿色技术创新生产模式,以明晰各省份在绿色创新综合投入与产出上的有效性和具体分布格局,为各省份向更具效率的生产模式进阶提供量化参考。

本文采用因子分析法将创新人才投入、研发资金投入、企业资产投入和能源要素投入进行降维处理,并通过

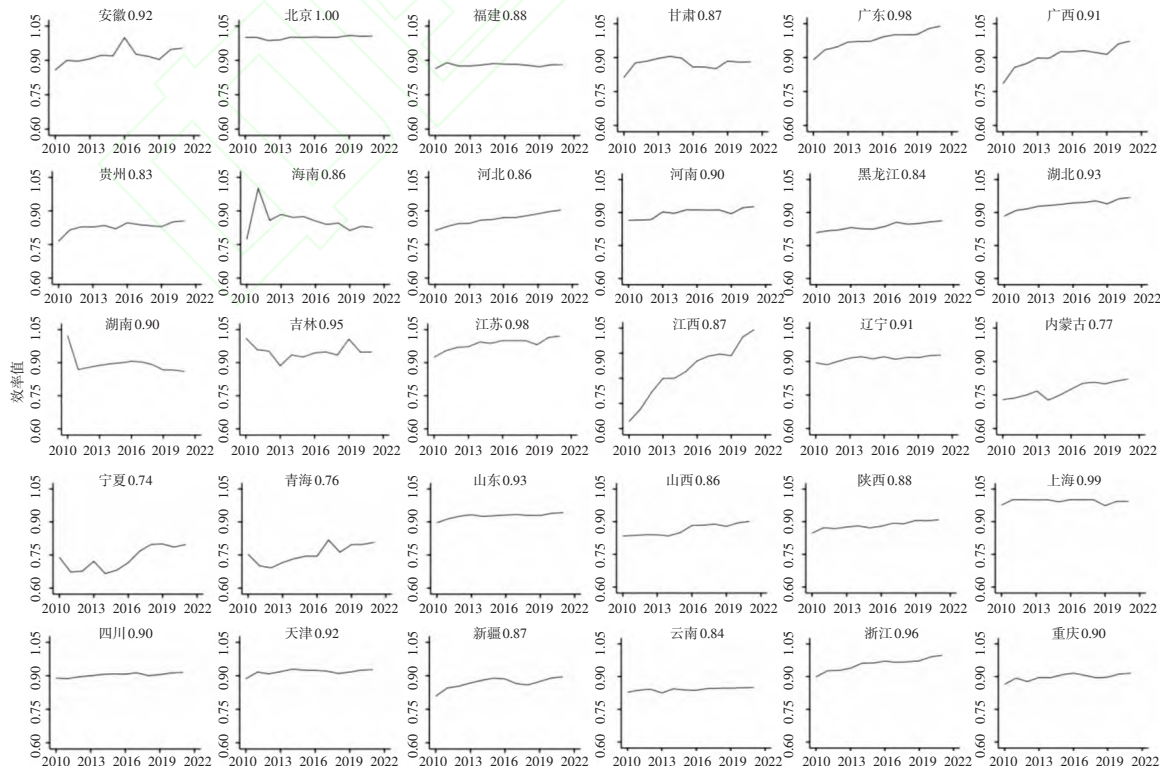


图1 2010—2021年各省份真实绿色技术创新效率趋势图

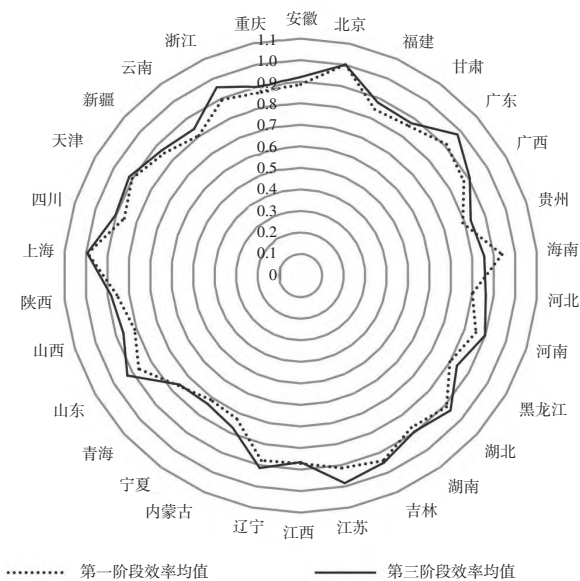


图2 第一阶段和第三阶段绿色技术创新效率对比图

了 KMO 测度和 Bartlett 检验,结果显示:KMO 测度为 0.632,满足进行因子分析的前提假设,且仅有一个公共因子特征根大于 1,其对总体方差的解释能力为 67.66%,由此可进一步计算出创新综合投入的得分作为各省份的综合创新投入指标。以创新综合投入为横轴,以真实绿色技术创新效率值为纵轴,绘制出 2010—2021 年 30 个省份的创新综合投入与效率均值的散点图;再以各组数据的均值作为横纵坐标(7.3158,0.8902),以该点为界可将所有样本点划分为四个象限,如图 3 所示。

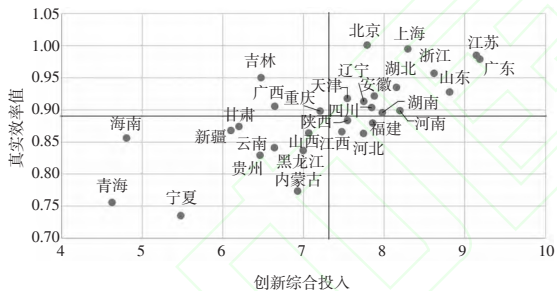


图3 各省份绿色技术创新模式象限图

位于第一象限的省份处于“高投入高效率”生产模式。该象限包括北京、上海、江苏、广东、浙江、山东、湖北、安徽、湖南、河南、天津、辽宁和四川共 13 个省份,该象限所占比例最大,这说明中国绿色创新效率逐步改善,创新资源配置水平进一步提高。这些省份经济相对发达,拥有更多的知识和技术密集型产业、高等院校与科研机构,尤其是北京、上海、江苏、广东等省份都接近或位于技术前沿面上。“高投入高效率”同时表明这些省份的创新投入已稳步转化为高质量技术成果和可观的经济效益。

位于第二象限的省份处于“低投入高效率”生产模式。该象限包括吉林、广西和重庆共3个省份,虽然表面上看其综合创新投入体量规模不大,但其优质的管理效率使要素得到充分利用,开创了绿色技术创新效率高企的有利局面,接下来应考虑重点增加创新综合投入,进一步发掘本区域绿色创新潜力。

位于第三象限的省份为“低投入低效率”生产模式。该象限包括宁夏、青海、内蒙古、贵州、云南、黑龙江、甘肃、新疆、海南和山西共 10 个省份。与“高投入高效率”生产模式区间形成了绿色创新效率两极化发展格局。经济基础中的不利条件为地区绿色技术创新带来了重重阻碍,考虑到该区域创新制度尚不完善和创新管理水平较低,政府应发挥其引导作用和服务职能,在优惠政策、配套服务上提供更多便利措施助力和扶持高新技术企业的发展。

位于第四象限的省份为“高投入低效率”生产模式。该象限包括陕西、福建、江西和河北共4个省份。这些省份的绿色创新投入规模较大,但创新产出并不理想,资源配置和利用效率较低,创新面临着低质低效的困境。因此应作为重点改进对象,科学严格地控制好创新投入规模,加强对创新投入的过程管理,优化生产流程,对创新投入资源进行合理化配置,最终实现绿色创新绩效的提升。

4 结论和建议

4.1 结论

本文基于2010—2021年我国30个省份的面板数据,采用改进的三阶段SBM-DEA模型对中国工业企业的绿色技术创新效率进行了测算。利用因子分析法对真实技术创新效率的生产组合模式进行了象限分类,将30个省份分为“高投入高效率”“低投入高效率”“低投入低效率”和“高投入低效率”四种不同生产模式类型。研究结果显示:

首先,从全国来看,近年来各省份绿色技术创新效率显著提高且分布趋于集中,省份间效率差距有所减小,高强度的研发投入带来了明显的效率提振效果。相较于第一阶段效率测算结果而言,大部分省份的创新效率在剔除环境变量的干预和随机误差项扰动后呈现稳步上升趋势,但仍然无法摆脱阶梯状非均衡的分布格局,区域经济发展的不平衡也可直接导致创新效率分布的不平衡,这也进一步佐证了中国工业企业创新效率与经济发展水平之间具有高度一致性的结论,中西部地区创新效率仍有较大提升空间。其次,外部环境因素对创新的影响不可忽视,且不同环境因素带来的影响具有异质性。这意味着在实施不同政策时应考虑政策之间的相互作用,以免政策激励效果不佳,政策效应被稀释或抵消。最后,由生产模式分类可知,一半以上的省份处于“高投入高效率”和“低投入高效率”生产模式,这说明中国绿色创新效率整体上逐步改善,创新资源配置水平进一步提高。但仍有14个省份处于无论采用高投入还是低投入的生产模式,其绿色创新产出效率依然低质低效的局面,且大部分位于中西部地区。

4.2 建议

针对以上研究结论,本文提出如下建议:第一,应持续加大政府对绿色技术创新的支持力度,逐步构建有效的创新型金融体系,努力打破由区域经济发展不平衡所导致的技术创新效率不均衡的桎梏。一方面,政府作为创新系统

顶层设计的主体,是引领创新战略和塑造创新环境的主导力量。另一方面,各省份应立足本区域创新资源禀赋,形成有效支撑创新的金融机制,通过相关激励和引导政策如税收优惠、专项补贴、低息贷款、知识产权保护政策等,共建共享合作机制和科技创新平台,促进创新成果的孵化和转化。第二,加快完善信息基础设施建设,提供培育创新的良好硬件环境。互联网等信息基础设施作为知识、信息、大数据平台的基础载体和重要依托,对加快现代信息网络建设和支撑绿色技术创新治理决策具有关键作用。第三,组合使用不同政策工具,打出一套绿色创新政策组合拳。考虑到不同环境因素的作用,一方面,充分利用创新市场环境对人才投入冗余量的吸收和优化作用,另一方面,大力激发经济发展水平、工业化水平和对外开放水平对企业绿色创新的正面助推作用。第四,深刻把握绿色技术创新的规律,具体考虑不同区域差异化政策的协同需求,优化绿色创新资源配置效率,对不同生产组合模式的省份要针对性地给出不同解决方案。如对“高投入低效率”省份,在准确把握不同区域实际情况的基础上,适当控制过高投入区域的创新投入规模,合理配置创新资源;而对于“低投入低效率”的省份,因受困于制度因素和管理水平,政府可对投入明显不足的区域给予适当的政策倾斜,加大扶持力度,给予企业更多自主创新的活动空间,最终实现本区域绿色创新水平提升。

参考文献:

- [1]张燕,盛妮,蓝裕平.粤港澳大湾区可持续发展效率研究——基于三阶段SBM-DEA模型[J].技术经济与管理研究,2020,(11).
- [2]邹龙,张永安.基于SFA的区域战略性新兴产业创新效率分析——以北京医药和信息技术产业为例[J].科学与科学技术管理,2013,34(10).
- [3]Ye Q, Cheng C. Green Technological Innovation Efficiency and Financial Ecological Environment [J].Open Journal of Social Sciences,2019,7(12).
- [4]Liu Y, Zhu J, Li E Y, et al. Environmental Regulation, Green Technological Innovation, and Eco-efficiency: The Case of Yangtze River Economic Belt in China [J].Technological Forecasting and Social Change,2020,(155).
- [5]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).
- [6]杨树旺,吴婷,李梓博.长江经济带绿色创新效率的时空分异及影响因素研究[J].宏观经济研究,2018,(6).
- [7]徐建中,赵亚楠.基于J-SBM三阶段DEA模型的区域低碳创新网络效率研究[J].管理评论,2021,33(2).
- [8]李向东,李南,白俊红,等.高技术产业研发创新效率分析[J].中国软科学,2011,(2).
- [9]孙瑜康,吕爽,崔丹.区域知识基础理论及其对中国区域创新的启示[J].科学学研究,2022,40(2).
- [10]徐佳,崔静波.低碳城市和企业绿色技术创新[J].中国工业经济,2020,(12).
- [11]赵玉田,刘晓伟.创新投入对高技术产业创新效率影响的实证研究——基于三阶段DEA模型[J].太原理工大学学报(社会科学版),2017,35(6).
- [12]闫华飞,肖静,冯兵.长江经济带工业绿色技术创新效率评价及其影响因素分析[J].统计与决策,2022,(12).

(责任编辑/方 思)

Dynamic Evaluation on Green Technology Innovation Efficiency of Chinese Industrial Enterprises

Lin Shoufu¹, Wang Qian^{1,2}, Guan Heshan²

(1.School of Economics, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

2.School of Economics, Management and Law, University of South China, Hengyang Hunan 421001, China)

Abstract: This paper follows the evolutionary logic of the first measurement of green technology innovation efficiency (GTIE)—objective exogenous factor elimination—real GTIE re-measurement. After excluding the impact of spatial heterogeneity, external environment and random errors, the paper dynamically calculates the GTIE of industrial enterprises in 30 provinces of China from 2010 to 2021 based on the improved three-stage SBM-DEA model. Factor analysis is adopted to extract the comprehensive innovation input index that can most affect the efficiency of green innovation. According to the score of comprehensive innovation input-efficiency, the innovation production mode combination quadrant graph is constructed, and the characteristics of provinces under different production combination modes are analyzed.

Key words: three-stage SBM-DEA model; factor analysis; green technology innovation