

# 中国省域绿色创新效率测度、差异分析及影响因素

刘子豪, 王子涵, 师路路

(安阳工学院飞行学院, 河南 安阳 455000)

**摘要:** 绿色创新作为绿色发展和创新驱动战略的结合点,已成为全国绿色转型发展的重要战略目标。基于非期望产出的超效率 SBM(slack-based measure)模型,对 2012—2021 年中国省域绿色创新效率测度评价,结合 Dagum 基尼系数对绿色创新效率进行差异分析,最后使用 Tobit 回归模型进行影响因素分析。研究结果表明:中国整体的绿色创新效率逐渐提高,但总的基尼系数呈现“W”型趋势,经济发展水平、市场竞争强度、对外开发水平和政府扶持力度均可显著提高绿色创新效率。根据研究结果,为提升绿色创新效率、缩小地区差异性提出对策建议。

**关键词:** 省域绿色创新效率;超效率 SBM(slack-based measure);Tobit 模型;Dagum 基尼系数

**中图分类号:** F124 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)17-0063-06

绿色创新是解决中国高投入、低产出、高污染、高耗能、高排放问题的一剂良药。根据绿色创新理论,构建非期望产出超效率 SBM (slack-based measure)模型,测算全国的绿色创新效率,改善投入的人力、财力、能源等指标,并对其影响因素进行分析,提出针对区域性差异的相关政策建议,具有重要现实意义。

## 1 文献综述

绿色创新相关主题已受到学术界关注。绿色创新效率的测度和影响因素是学者们集中研究的方面。关于效率测度方法主要分为两大类:基于参数的随机前沿分析法,如肖黎明等<sup>[1]</sup>使用随机前沿分(stochastic frontier analysis,SFA)模型测算中国省际绿色创新效率等;基于非参数的数据包络分析方法,如傅骏和孙龙<sup>[2]</sup>使用随机非参数数据包络分析法(StoNED)模型对中国工业绿色创新发展效率进行测度,刘明广等<sup>[3]</sup>使用超效率 SBM 模型测算了粤港澳大湾区绿色创新效率。

关于绿色创新效率影响因素的研究,李健和刘晓芳<sup>[4]</sup>对京津冀城市创新效率的影响因素进行分析时使用了线性普通最小二乘(ordinary least squares,OLS)回归、空间滞后模型(spatial lag model,SLM)模型和空间误差模型(spatial error model,SEM)模型<sup>[4]</sup>;李根等<sup>[5]</sup>、马文斌和朱欢<sup>[6]</sup>使

用Tobit模型对绿色创新效率影响因素进行分析。关于差异化研究,张羽等<sup>[7]</sup>直接跟据绿色创新效率进行差异化分析;王金河和张玲梅<sup>[8]</sup>、黄杰和金华丽<sup>[9]</sup>进行了地区差异研究。

在测度方法上选择基于非期望产出的超效率 SBM 模型对全国 30 个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区)的绿色创新效率进行测度,能够将效率值达到有效的决策单元(DMU)进行排序评价,此外还将使用 Dagum 基尼系数进行差异分析。最后使用 Tobit 回归模型对中国省域的绿色创新效率的影响因素分析,以期为中国绿色创新能力的提升、效率的改进提供建议和参考。

## 2 研究方法的研究设计

### 2.1 非期望产出超效率 SBM 模型

为探究中国省域绿色创新效率,本文选取基于非期望产出的超效率 SBM 模型。和传统数据包络分析(data envelopment analysis,DEA)相比能够对效率达到有效率的 DMU 进行评价,计算公式如下:

$$\rho^* = \min \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{a_i}{x_{i0}}}{\frac{1}{n+k} \left( \sum_{r=1}^n \frac{b_r}{y_{r0}} + \sum_{l=1}^k \frac{c_l}{p_{l0}} \right)} \quad (1)$$

收稿日期: 2024-04-26

基金项目: 安阳工学院 2023—2024 学年大学生科技创新项目

作者简介: 刘子豪(2002—),男,河南周口人,研究方向为交通运输;王子涵(2002—),女,山西临汾人,研究方向为交通运输;师路路(1990—),女,河南安阳人,硕士研究生,研究方向为物流管理、航空物流。

$$\text{s. t.} \begin{cases} a \geq \sum_{j=1}^J \lambda_j x_j \\ b \leq \sum_{j=1}^J \lambda_j y_j \\ c \geq \sum_{j=1}^J \lambda_j p_j \\ a \geq x_0, b \geq 0, b \leq y_0, c \geq p_0, \lambda_j \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: $m$ 为投入指标数量; $n$ 为期望产出指标数量; $k$ 为非期望产出指标数量; $x_{i0}$ 为投入值; $y_{r0}$ 为期望产出值; $p_{i0}$ 为非期望产出值; $j$ 为各省域; $a, b, c$ 均代表松弛变量; $\lambda$ 为权重向量; $\rho^*$ 为省域绿色创新效率值, $\rho^*$ 越大,说明绿色创新效率水平越高。

## 2.2 Dagum 基尼系数

Dagum 首次提出 Dagum 基尼系数,能够将样本的整体差异分解为组内差异、组间净差异和组间超变密度 3 个部分<sup>[10]</sup>。与传统基尼系数不同,Dagum 基尼系数通过引入一个参数来调整基尼系数的计算,变得更具有灵活性。具体公式为

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2\mu} \quad (3)$$

式中: $G$ 为总体基尼系数; $k$ 为地区分组数量,即 4 大区域; $n$ 为省份数量; $y_{ji}$ 和 $y_{hr}$ 分别为第 $j(h)$ 个地区内第 $i(r)$ 个省份绿色创新效率; $\mu$ 为 30 个省份绿色创新效率平均值。将 Dagum 基尼系数分解为组内差异( $G_w$ )、组间净差异( $G_{nb}$ )和组间超变密度( $G_t$ )3 部分,即

$$G = G_w + G_{nb} + G_t \quad (4)$$

## 2.3 Tobit 回归模型

为进一步探究中国省域的绿色创新效率的影响因素,需要构建以绿色创新效率值为因变量的回归模型,公式为

$$\rho_i^* = \alpha_0 + \sum \gamma_i X_i + \epsilon_i \quad (5)$$

式中: $\rho_i^*$ 为绿色创新效率; $\alpha_0$ 为截距项; $\gamma_i$ 为待估参数; $X_i$ 为影响因素; $\epsilon_i$ 为随机扰动项。

## 2.4 投入产出指标选取

建立指标体系时应符合中国的绿色创新环境,需从研究目的出发,充分考虑可操作性、目的性、完备性、独立性与显著性,参考李根等<sup>[5]</sup>、彭硕毅等<sup>[11]</sup>的研究,选取指标见表 1。

## 2.5 影响因素的指标选取

在参考相关文献后,结合王金河和张玲梅<sup>[8]</sup>、许玉洁和刘曙光<sup>[12]</sup>对绿色创新效率的影响因素的研究,筛选出指标见表 2。

表 1 全国省域绿色创新指标体系

| 目标层  | 变量名称  | 详细指标                     | 单位    |
|------|-------|--------------------------|-------|
| 投入指标 | 人力投入  | R&D 人员全时当量 <sup>b</sup>  | 人·年   |
|      | 资金投入  | R&D 经费支出 <sup>b</sup>    | 亿元    |
|      |       | 新产品研发经费 <sup>b</sup>     | 亿元    |
|      | 能源投入  | 能源消费总量 <sup>c</sup>      | 万吨标准煤 |
| 产出指标 | 期望产出  | 专利申请数 <sup>b</sup>       | 件     |
|      |       | 新产品销售收入 <sup>a</sup>     | 亿元    |
|      | 非期望产出 | 工业废水排放量 <sup>c</sup>     | 万 t   |
|      |       | 工业二氧化硫排放量 <sup>c</sup>   | 万 t   |
|      |       | 一般工业固体废物产生量 <sup>c</sup> | 万 t   |

注:<sup>a</sup>来自《中国统计年鉴》;<sup>b</sup>来自《中国科技统计年鉴》;<sup>c</sup>来自《中国环境统计年鉴》。

表 2 影响因素指标体系

| 影响因素   | 表征变量              | 数据来源       |
|--------|-------------------|------------|
| 环境规制   | 工业污染治理投资额占 GDP 比值 | 《中国环境统计年鉴》 |
| 经济发展水平 | 人均 GDP            | 《中国统计年鉴》   |
| 市场竞争强度 | 企业数               | 《中国工业统计年鉴》 |
| 对外开放程度 | 货物进出口占地方生产总值的比值   | 《中国统计年鉴》   |
| 政府扶持力度 | 政府财政支出占 GDP 比值    | 《中国统计年鉴》   |

## 3 实证分析

### 3.1 中国省域绿色创新效率评价结果分析

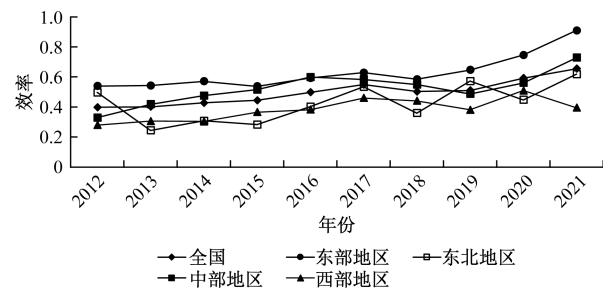
使用 Dearun 软件进行效率测度。根据表 3,从省份来看,全国效率均值排名前 5 的有浙江 0.977、天津 0.924、安徽 0.897、北京 0.813 和广东 0.755。其中 4 个是东部地区,这说明东部地区的这些省份的技术水平都比较发达,创新能力强,有区位优势,科研人员大多聚集于此,绿色创新要素配置效率较高。排名后 5 的省份有山西、云南、陕西、内蒙古、黑龙江,有 4 个为西部地区,这些省份基本地广人稀,经济发展水平较低,科研能力不足,但也呈现了上升的趋势,说明国家开始重视西部地区的发展,并在政策上鼓励创新发展,增加了对该地区的投入。说明西部地区的绿色创新活动的投入产出比需要进一步改进,也可以引进先进设备进行生产方式改进、战略转移等。

由图 1 可知,从全国层面来看,由 2012 年的 0.398 增长到 2021 年的 0.656,增长了 64.82%,总体上中国绿色创新效率呈上升趋势,说明国家近些年推行的绿色环保政策和鼓励创新方案对绿色创新效率的提高有实际促进作用,但 10 年效率均值为 0.498,整体上效率值不高;从地区来看,根据中国 4 大区域划分,绿色创新效率均值分别为:东部 0.630、东北 0.427、中部 0.525、西部 0.383,可见 4 大区域差异较大,东部第 1、中部第 2、东北第 3、西部最后,呈现出东高西低的发展态势,这与经济发展水平趋势一致。

表 3 2012—2021 年全国省域绿色创新效率值及排序

| 省份  | 2012 年 | 2013 年 | 2014 年 | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 | 2018 年 | 2019 年 | 2020 年 | 2021 年 | 均值    | 排序 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----|
| 北京  | 1.013  | 0.529  | 1.001  | 0.540  | 0.593  | 0.572  | 0.732  | 0.784  | 1.022  | 1.344  | 0.813 | 4  |
| 天津  | 0.643  | 1.015  | 0.919  | 0.909  | 1.019  | 1.013  | 0.684  | 1.003  | 1.022  | 1.011  | 0.924 | 2  |
| 河北  | 0.304  | 0.320  | 0.319  | 0.313  | 0.342  | 0.359  | 0.398  | 0.435  | 0.444  | 0.593  | 0.383 | 19 |
| 山西  | 0.202  | 0.227  | 0.201  | 0.228  | 0.291  | 0.348  | 0.346  | 0.346  | 0.416  | 0.452  | 0.306 | 26 |
| 内蒙古 | 0.179  | 0.174  | 0.149  | 0.176  | 0.192  | 0.316  | 0.304  | 0.317  | 0.316  | 0.377  | 0.250 | 29 |
| 辽宁  | 0.295  | 0.342  | 0.344  | 0.347  | 0.362  | 0.341  | 0.436  | 0.393  | 0.400  | 0.426  | 0.369 | 22 |
| 吉林  | 1.031  | 0.208  | 0.408  | 0.323  | 0.645  | 1.033  | 0.394  | 1.033  | 0.575  | 1.031  | 0.668 | 6  |
| 黑龙江 | 0.163  | 0.182  | 0.173  | 0.180  | 0.198  | 0.229  | 0.248  | 0.290  | 0.368  | 0.400  | 0.243 | 30 |
| 上海  | 0.536  | 0.514  | 0.525  | 0.474  | 0.568  | 0.748  | 0.620  | 0.657  | 0.679  | 0.633  | 0.595 | 9  |
| 江苏  | 0.449  | 0.449  | 0.556  | 0.558  | 0.599  | 0.567  | 0.579  | 0.579  | 1.001  | 1.000  | 0.634 | 8  |
| 浙江  | 1.002  | 1.021  | 0.838  | 1.014  | 1.018  | 0.892  | 1.006  | 0.906  | 1.021  | 1.050  | 0.977 | 1  |
| 安徽  | 0.500  | 0.634  | 1.001  | 1.013  | 1.012  | 1.016  | 1.009  | 0.760  | 1.005  | 1.019  | 0.897 | 3  |
| 福建  | 0.326  | 0.347  | 0.363  | 0.404  | 0.419  | 0.384  | 0.346  | 0.354  | 0.378  | 0.375  | 0.370 | 21 |
| 江西  | 0.264  | 0.369  | 0.334  | 0.362  | 0.427  | 0.484  | 0.478  | 0.478  | 0.527  | 0.738  | 0.446 | 15 |
| 山东  | 0.387  | 0.412  | 0.397  | 0.386  | 0.407  | 0.445  | 0.412  | 0.434  | 0.489  | 1.000  | 0.477 | 12 |
| 河南  | 0.238  | 0.371  | 0.367  | 0.393  | 0.401  | 0.457  | 0.481  | 0.374  | 0.453  | 0.496  | 0.403 | 18 |
| 湖北  | 0.292  | 0.370  | 0.377  | 0.400  | 0.444  | 0.507  | 0.514  | 0.508  | 0.510  | 0.660  | 0.458 | 14 |
| 湖南  | 0.481  | 0.537  | 0.577  | 0.696  | 1.021  | 0.691  | 0.465  | 0.459  | 0.452  | 1.004  | 0.638 | 7  |
| 广东  | 0.408  | 0.467  | 0.501  | 0.539  | 0.673  | 1.006  | 0.810  | 1.003  | 1.056  | 1.085  | 0.755 | 5  |
| 广西  | 0.300  | 0.427  | 0.369  | 0.463  | 1.002  | 0.810  | 0.496  | 0.357  | 0.442  | 0.472  | 0.514 | 11 |
| 海南  | 0.329  | 0.352  | 0.291  | 0.242  | 0.291  | 0.303  | 0.258  | 0.315  | 0.353  | 1.001  | 0.373 | 20 |
| 重庆  | 0.544  | 0.548  | 0.597  | 1.028  | 0.640  | 0.588  | 0.421  | 0.386  | 0.489  | 0.500  | 0.574 | 10 |
| 四川  | 0.377  | 0.384  | 0.431  | 0.494  | 0.444  | 0.475  | 0.378  | 0.412  | 0.420  | 0.457  | 0.427 | 17 |
| 贵州  | 0.287  | 0.310  | 0.348  | 0.307  | 0.313  | 0.338  | 0.329  | 0.330  | 0.321  | 0.334  | 0.322 | 25 |
| 云南  | 0.259  | 0.243  | 0.243  | 0.239  | 0.262  | 0.254  | 0.272  | 0.278  | 0.361  | 0.311  | 0.272 | 27 |
| 陕西  | 0.189  | 0.199  | 0.193  | 0.199  | 0.210  | 0.260  | 0.291  | 0.334  | 0.319  | 0.333  | 0.253 | 28 |
| 甘肃  | 0.323  | 0.323  | 0.317  | 0.285  | 0.229  | 0.310  | 0.316  | 0.356  | 0.415  | 0.410  | 0.328 | 24 |
| 青海  | 0.083  | 0.109  | 0.089  | 0.151  | 0.294  | 0.352  | 0.570  | 0.453  | 1.051  | 0.474  | 0.363 | 23 |
| 宁夏  | 0.281  | 0.364  | 0.248  | 0.334  | 0.310  | 1.004  | 1.004  | 0.356  | 0.405  | 0.336  | 0.464 | 13 |
| 新疆  | 0.253  | 0.288  | 0.364  | 0.347  | 0.311  | 0.358  | 0.475  | 0.616  | 1.057  | 0.343  | 0.441 | 16 |

注：因数据缺失，未包含西藏地区和港澳台地区。



因数据缺失，未包含西藏地区和港澳台地区

图 1 2012—2021 年全国及 4 大区域绿色创新效率趋势

3.2 区域差异分析

使用 MATLAB 软件中 Dagum 基尼系数法对绿色创新效率总体差异进行分解,并将其总体差异分解为区域间差异和区域内差异(表 4)。根据图 2 可知,总体基尼系数呈现先下降后上升再下降再上升的“W”型趋势。可以看出,2012—2013 年和 2015—2018 年呈现下降趋势,2012—2013 年总体的基尼系数分别从 0.3 下降到 0.257,下降了

14.33%,和 2015—2018 年 0.291 下降到 0.229,下降了 21.3%。说明该时期中国省域的绿色创新效率的总体差异在不断缩小,原因有国家正在逐步推出绿色创新的政策,并重视了区域协调发展战略,在政策的促进下,偏远地区的绿色创新效率得到了较大的提升,从而缩小了整体的区域差异;2013—2015 年和 2018—2021 年呈现上升趋势,2013—2015 年总体基尼系数从 0.257 上升到 0.291,上升了 13.22% 和 2018—2021 年从 0.229 上升到 0.253,上升了 10.48%。

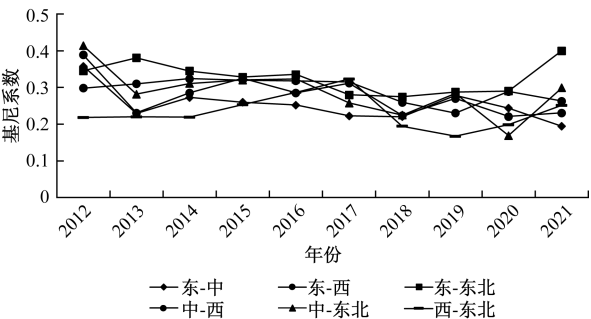
从贡献率来看,4 大区域间的贡献率高于区域内的省份差异,样本期内,4 个区域之间的差异对总体差异的贡献率平均值约为 46.9%,区域内差异和超变密度平均贡献率为 24.3%和 28.7%。可见中国不同区域间绿色创新效率的差异是造成总体差异的主要原因,减少 4 大区域间的差异是解决中国绿色创新效率发展空间不均衡的首要措施。

表 4 2012—2021 年 Dagum 基尼系数

| 年份   | 基尼系数  | 组间差异  |       |       |       |       |       | 组内差异  |       |       |       | 贡献率   |          |       |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|
|      |       | 东-中   | 东-西   | 东-东北  | 中-西   | 中-东北  | 西-东北  | 东     | 中     | 西     | 东北    | $G_w$ | $G_{nb}$ | $G_t$ |
| 2012 | 0.300 | 0.358 | 0.298 | 0.345 | 0.389 | 0.414 | 0.218 | 0.244 | 0.389 | 0.189 | 0.214 | 0.227 | 0.521    | 0.252 |
| 2013 | 0.257 | 0.229 | 0.310 | 0.381 | 0.231 | 0.282 | 0.220 | 0.225 | 0.169 | 0.218 | 0.146 | 0.250 | 0.593    | 0.157 |
| 2014 | 0.289 | 0.273 | 0.324 | 0.345 | 0.285 | 0.311 | 0.219 | 0.236 | 0.276 | 0.169 | 0.246 | 0.250 | 0.516    | 0.234 |
| 2015 | 0.291 | 0.260 | 0.320 | 0.329 | 0.325 | 0.320 | 0.253 | 0.232 | 0.266 | 0.304 | 0.131 | 0.268 | 0.384    | 0.348 |
| 2016 | 0.287 | 0.252 | 0.318 | 0.336 | 0.285 | 0.323 | 0.287 | 0.255 | 0.222 | 0.247 | 0.282 | 0.253 | 0.371    | 0.375 |
| 2017 | 0.263 | 0.223 | 0.315 | 0.280 | 0.312 | 0.258 | 0.323 | 0.229 | 0.193 | 0.334 | 0.256 | 0.264 | 0.274    | 0.461 |
| 2018 | 0.229 | 0.221 | 0.259 | 0.275 | 0.223 | 0.225 | 0.194 | 0.214 | 0.175 | 0.216 | 0.116 | 0.270 | 0.366    | 0.364 |
| 2019 | 0.230 | 0.279 | 0.230 | 0.288 | 0.270 | 0.284 | 0.167 | 0.220 | 0.288 | 0.142 | 0.112 | 0.222 | 0.530    | 0.249 |
| 2020 | 0.241 | 0.244 | 0.289 | 0.290 | 0.221 | 0.169 | 0.198 | 0.209 | 0.160 | 0.237 | 0.102 | 0.264 | 0.419    | 0.317 |
| 2021 | 0.253 | 0.195 | 0.263 | 0.400 | 0.231 | 0.299 | 0.251 | 0.157 | 0.169 | 0.226 | 0.094 | 0.164 | 0.720    | 0.116 |

从区域内部差异来看,10 年间总体上东部、中部和东北地区组内绿色创新效率的基尼系数呈现波动下降的趋势,说明在该各地区组内的省域的绿色创新效率的差异在降低;而西部地区则整体呈现波动上升趋势,差异的增加可能由于西部省域拥有的资源不同而发展不均衡。10 年间 4 个地区的基尼系数均值由低到高为中部地区 0.231、西部地区 0.228、东部地区 0.222、东北地区 0.170。

由图 2 可知,从区域之间的差异来看,总体上除了东部和东北地区的组间差异呈现波动先下降后上升的趋势,其他地区的组间差异整体都呈现波动下降趋势。组间基尼系数均值从小到大有西部和东北 0.233。东部和中部 0.253、中部和西部 0.277、中部和东北 0.288、东部和西部 0.293、东部和东北 0.327,东北地区是以前的旧工业区,环境污染比较严重,需要技术创新和产业结构升级;西部地区则资源比较匮乏、技术落后所以西部和东北地区的组间差异较小;东部地区是发达城市的聚集地,拥有着高精尖技术和大量财力人力,和西部地区、东北地区有较大的组间基尼系数差异;中部地区的经济水平和产业结构都趋中,和其他地区差异不是很大。



因数据缺失,未包含西藏地区和港澳台地区  
图 2 2012—2021 年全国省域绿色创新效率  
区域间基尼系数

3.3 Tobit 回归模型结果与分析

使用 Stata 的 Tobit 模型对中国省域的绿色创新效率进行回归分析,结果见表 5。

(1)环境规制对省域绿色创新效率的提高有抑制作用,并且显著。说明对工业污染治理投资额的增加,虽然能一定程度上提升了当地的绿色发展水平,但是可能由于当前对污染物的处理技术水平不高,依靠高资金投入来解决污染问题,会给一些企业造成过多的人员和资金消耗,占用了过多的资源,不利于企业其他方面的发展,反而抑制了绿色创新效率的提升。

(2)经济发展水平对省域绿色创新效率的提高有促进作用,并且相对显著。说明经济增长将会提高绿色创新效率,原因是一个地方的经济水平发达资金充裕,会更加重视绿色发展和创新,合理的分配资金注重环境高质量发展的同时,也会加大在绿色创新领域的研发投入,从而提高绿色创新效率。

(3)市场竞争强度对省域绿色创新效率的提高有促进作用,并且比较显著。说明市场竞争强度越强,企业之间就会不断竞争,竞争对手的技术水平不断提高,会迫使企业不得不发展自发创新技术,追求更高的效率,在竞争中取得优势。

表 5 Tobit 回归结果

| 解释变量   | 系数估计值  | 标准差   | Z     | P     |
|--------|--------|-------|-------|-------|
| 环境规制   | -7.737 | 4.042 | -1.91 | 0.056 |
| 经济发展水平 | 0.023  | 0.012 | 2.00  | 0.046 |
| 市场竞争强度 | 0.010  | 0.003 | 3.60  | 0.000 |
| 对外开放程度 | 0.179  | 0.104 | 1.72  | 0.085 |
| 政府扶持力度 | 0.791  | 0.340 | 2.33  | 0.020 |

(4)对外开放对省域绿色创新效率的提高有促进作用,并且显著。与预期结果一样,对外开放程度的提高,通过吸收外资、引入外部技术推动地区的创新活动,从而提高创新效率。

(5)政府扶持力度对省域绿色创新效率的提高有促进作用,并且相对显著。政府能够为企业直接提供资金、技术、人力等资源的支持,是企业绿色创新活动的重要资金来源,并且也可以发布一些政策鼓励推动绿色创新,充分调动企业提高绿色创新效率的积极性,最终提高省域的绿色创新效率。

#### 4 结论和建议

使用非期望产出的超效率 SBM 模型,考虑到了环境因素的影响测度中国绿色创新效率,运用了 Dagum 基尼系数进行差异性研究,最后使用 Tobit 回归分析了其影响因素。结果表明,中国整体的绿色创新效率呈现波动上升趋势。从区域效率来看东部最高、中部其次、东北再后、西部最低;减少 4 大区域间的差异是解决中国绿色创新效率发展空间不均衡的首要措施;经济发展水平、市场竞争强度、对外开放水平和政府扶持力度均可显著提高绿色创新效率。基于研究结论,为提升中国绿色创新效率、缩小地区差异性提出如下建议。

(1)充分发挥政府的调控作用。政府是政策的制定者,对于不同的省份,所拥有的资源情况、研发人才、经济水平、技术水平等各不同,应该充分了解省域的发展情况,对症下药,提供符合各省实际情况的政策方针,加强绿色产业发展的制度供给,完善制度、细化措施、统一标准、健全机制,以市场为导向,以法律为保障,根据绿色产业发展的现状、问题和趋势,制定更加合理的、更具有针对性的绿色产业发展制度体系,推荐省域进行绿色发展转型。鼓励创新发展,营造良好的创新环境,让企业能够在这份土地了不断创新、不断发展。

(2)加强对科技人才的培养。应重视对科技人才的政策执行情况,提高政策服务水平,改善政策环境,确保科技人才得到应有的政策支持,并建立和完善科技人才的培养体系,加强科技人才培养规范化,改进培养机制。引导科技人才全面发展,以学习创新为基础,以创新实践为核心,让科技人才在创新中突破自我。通过多方合作建立科技人才的联合培养体系,充分利用企业、高校等多方优势资源,增强科技人才创新能力,为国家的经济社会发

展贡献力量。合理地分配人才能够有效改善落后地区人才稀少的现状。

(3)坚持创新绿色协调发展。创新是推动经济发展的第一生产力,创新可以推动经济增长和社会进步,将创新摆在国家发展全局的核心位置,解决发展动力问题;国家建立和完善有利于绿色发展的体制机制,提高环保技术的应用水平,加强重点领域的技术攻关,推进传统产业的转型升级,改善工业过程、提高能源利用率、减少能源消耗等方法控制工业、交通、农业等行业的污染排放,实现创新和绿色发展的有机结合,促进省域的绿色创新协调发展。

#### 参考文献

- [1] 肖黎明,高军峰,韩彬. 中国省际绿色创新效率的空间溢出效应:同质性和异质性检验[J]. 工业技术经济, 2018(4): 30-38.
- [2] 傅骏,孙龙. 中国工业绿色创新发展效率及协同效应研究[J]. 技术经济与管理研究, 2023(12): 49-53.
- [3] 刘明广,黄彦婷,许培涵,等. 粤港澳大湾区绿色创新效率时空演化与影响因素研究[J]. 生态经济, 2024, 40(4): 70-76.
- [4] 李健,马晓芳. 京津冀城市绿色创新效率时空差异及影响因素分析[J]. 系统工程, 2019, 37(5): 51-61.
- [5] 李根,张学思,田爱瑞,等. 基于超效率 SBM-ESDA 与 Tobit 模型的制造业绿色创新效率时空分异研究:以长江经济带为例[J/OL]. 生态经济: 1-25[2024-04-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/53.1193.F.20231102.1132.002.html>.
- [6] 马文斌,朱欢. 绿色低碳企业创新效率测度及影响因素研究:基于三阶段 DEA 与 Tobit 模型[J/OL]. 软科学: 1-12[2024-05-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1268.G3.20230920.1418.012.html>.
- [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(4): 63-69.
- [8] 王金河,张玲梅. 中国绿色创新效率的地区差异及空间收敛性研究[J]. 生态经济, 2023, 39(1): 81-86, 100.
- [9] 黄杰,金华丽. 中国绿色创新效率的区域差异及其动态演进[J]. 统计与决策, 2021(21): 67-71.
- [10] DAGUM C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio [J], Empirical Economics, 1997, 22(4): 515-531.
- [11] 彭硕毅,张营营,何爱平. 中国真实绿色创新效率的测算及空间特征分析[J]. 统计与决策, 2022, 38(18): 108-113.
- [12] 许玉洁,刘曙光. 黄河流域绿色创新效率空间格局演化及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2022, 37(3): 627-644.

## Measurement, Difference Analysis and Influencing Factors of Provincial Green Innovation Efficiency in China

LIU Zihao, WANG Zihan, SHI Lulu

(School of Flight, Anyang Institute of Technology, Anyang 455000, Henan, China)

**Abstract:** As the combination of green development and innovation-driven strategies, green innovation has become an important strategic goal of China's green transformation and development. Based on the super-efficiency SBM(slack-based measure) model of undesired output, the measurement and evaluation of China's provincial green innovation efficiency from 2012 to 2021 is evaluated, the Dagum Gini coefficient is used to analyze the difference of China's green innovation efficiency, and the Tobit regression model is used to analyze the influencing factors. The results show that China's overall green innovation efficiency is gradually improving, but the overall Gini coefficient shows a "W-shaped" trend, and the level of economic development, market competition intensity, foreign development level and government support can significantly improve China's green innovation efficiency. According to the research results, countermeasures and suggestions are put forward to improve the efficiency of green innovation and reduce regional differences in China.

**Keywords:** provincial green innovation efficiency; super-efficiency SBM(slack-based measure); Tobit model; Dagum Gini coefficient