

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

张丽琨, 张亚萍, 梁远

(吉林农业大学 经济管理学院, 长春 130118)

摘要: 将绿色创新发展理念融入到工业企业技术活动中, 已经成为突破环境和资源约束、推动工业可持续发展的关键。本文将能源消耗量、三废排放量等纳入研究框架, 运用超效率网络SBM模型和Malmquist-Luenberger指数对中国各省份工业企业绿色技术创新效率进行测度与评价。结果表明: 在2013—2018年间, 工业企业绿色技术创新效率处于较低水平, 省域间存在较大差异, 但差异趋势逐渐缩小; 我国工业企业绿色技术创新效率呈现出“东-中-西”依次递减的阶梯式空间分布格局, 与东部地区工业企业绿色技术创新效率持上升的趋势相比, 中西部效率水平不仅存在绝对水平明显偏低的特征, 而且还表现出了增长幅度的差异; 成果转化期的效率值低于科技研发的效率值, 纯技术效率水平过低是造成两阶段效率不高的主要原因; 我国Malmquist-Luenberger指数均大于1, 整体发展态势良好, 其中技术效率变化指数的增长主要依赖于纯技术效率变化指数。从三大地区层面来看, 东部地区的ML(Malmquist-Luenberger)指数主要归结于技术进步(technological change, TC)指数的增长, 而中西部地区的ML指数则主要依赖于技术效率变化(technical efficiency change, EC)指数的增长。通过上述研究确定绿色技术创新效率损失的来源和真实原因, 为企业提升绿色技术创新水平提供有效路径。

关键词: 绿色技术创新效率; 网络SBM; 超效率; 工业企业

中图分类号: F424.3; F273.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2022)7-0013-10

一、引言

十三届全国人大四次会议指出, 技术创新是促进经济向高质量发展转型的关键推动力。2021年是“十四五”开局之年, 在着眼于新发展起点上, 科技和环境一直是关注的焦点, 几乎所有省份都将技术创新摆在首要位置。近年来, 工业企业不断增加研发投入, 试图以此提高技术创新水平, 其中研发资金投入从2011年的5993.81亿元增长至2020年的15271.29亿元, 年均增长11%, 但是企业在成果转化阶段的新产品销售收入却未显著提升, 所以增加投入只是进行研发活动和开展创新项目的必要条件之一(钱丽等, 2021)。此外, 企业开展绿色技术创新的成本高、风险大、动力不足, 这也是造成我国工业企业绿色创新能力不强的原因。所以只是一味增加创新投入, 而不注重绿色技术创新效率问题, 将会导致创新资源极度浪费。那么, 企业在开展创新过程中到底是在哪个环节出现了问题, 导致效率缺失的具体根源是哪些, 都值得探究。

技术创新和绿色发展是新常态下促进经济高质量发展的两大引擎, 企业应更加关注环境方面的技术创新。从现实情况来看, 传统技术创新在促进经济增长的同时所带来的能源消耗和环境污染问题日益凸显。2020年我国工业能源消耗占有所有行业总能耗的比重超过70%, CO₂、SO₂、PM_{2.5}等污染物排放量远远超过世界平均水平, 仅仅聚焦于技术创新并不能改善环境问题。中国科学院研究数据表明, 由于环境污染和生态破坏带来的经济损失已占到我国国民生产总值的15%。中央财经委员会第九次会议提出要实现碳达峰、碳中和, 需要解决的核心问题就是实现环境绿色可持续发展。依靠绿色技术创新能够促进创新效率、经济效率和环境效率形成良性互动与协调发展(张辽和黄蕾琼, 2020)。

目前, 对技术创新效率的研究较为普遍, 在测度和评价的理论及方法方面都有许多的研究成果涌现, 但对绿色创新效率尚未形成一套完整的理论体系。面对我国各地的经济、工业和技术发展水平不均衡, 测算各省份工业企业的绿色技术创新效率, 分析其发展水平及差异, 探究造成效率缺失和地区差异的具体原因, 不论是针对工业企业还是绿色技术创新效率评价研究都具有一定的理论价值, 有利于企业向绿色发展方式转变, 是对绿色技术创新理论的有益补充与深化。

收稿日期: 2021-11-03

基金项目: 吉林省教育厅十三五社会科学项目“新时代下提高企业创新能力的微观因素分析及其对策”(JJKH20190959SK)

作者简介: 张丽琨, 吉林大学工商管理专业博士, 吉林农业大学经济管理学院副教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 技术经济与管理、企业管理研究(企业技术创新与财务管理等); 张亚萍, 吉林农业大学经济管理学院硕士研究生, 研究方向: 技术经济与管理、技术创新管理; 梁远, 吉林农业大学经济管理学院博士研究生, 研究方向: 农业经济管理, 农业产业经济。

二、文献综述

关于绿色技术创新这一理念,是在国外环保进入困境迫切需要调整技术方向时应运而生。Shu et al (2016)提出绿色技术创新是依靠科技手段从环保角度升级改造工艺,进而促进可持续发展的绿色化过程。欧盟委员会将其定义为:依据经济发展规律和生态原理,使生态负效应“少公害化”甚至“无公害化”(Aguilera-Caracuel 和 Ortiz -De-Mandojana, 2013)。我国关于绿色技术创新的研究主要是在国外研究成果的基础上发展起来的。沈能和周晶晶(2018)认为绿色技术创新是一种拥有促进经济发展和提升生态环保两种优势的新型创新手段。袁润松等(2016)、孙丽文和陈继琳(2018)都认为在生态资源问题成为可持续发展的绊脚石的危机情况下,绿色创新变成评价国家是否能可持续发展的重要标志。对于绿色创新效率,当前大部分学者界定为在绿色创新活动中,投入要素与产出要素之间的效用比重。绿色技术创新效率追求经济、环境和社会可持续发展,有许多相似的理念,如生态效率、环境效率和可持续发展效率等,测度效率的本质在于衡量资源是否得到有效配置。

目前已有较多学者研究工业企业技术创新效率,但大多忽略了技术创新的环境效益和能耗效益。近年来随着环境问题的突出,少部分学者开始将资源消耗和由此带来的环境污染排放等指标纳入研究范围,从单纯的研究技术创新效率向着绿色技术创新效率方面倾斜。如李健等(2021)和杨浩昌等(2020)考虑到绿色技术创新过程中会产生环境污染物,选取废水排放量和二氧化碳排放量纳入绿色技术创新绩效的测度体系之中。王海龙等(2016)认为上述指标不能体现出开展绿色技术创新的直接效应,选取“污染物排放减少量”作为环境要素的代理变量。

在测度方法方面,早期研究大多运用传统DEA模型测度效率,只考虑初始投入和最后产出,忽略了工业企业创新活动在技术研发和成果转化阶段的情景差异,无法分析绿色创新生产过程中各子阶段对整体系统效率的影响。为探究决策单元的内部结构和测度真实生产效率,学者提出了网络DEA模型,将决策单元的整个过程分解成若干个阶段,各阶段之间通过中间指标关联。此外,传统DEA模型忽视了投入产出的松弛性。随后Tone(2001)提出了非径向、非角度的slack based measure(SBM)模型。于树江等(2021)运用非径向SBM模型测度高技术产业的技术创新效率。陈恒等(2018)用非径向的slack based measure-network data envelopment analysis(SBM-NDEA)对中国高专利密集产业技术创新效率进行研究。然而,SBM模型不能区分效率为1的决策单元,为此,Tone(2001)在先前研究的基础上提出了超效率SBM模型,可以对效率值进行更为清晰的排序。赖一飞等(2021)采用超效率SBM-Malmquist模型测算各省市科技创新效率。但闫华飞等(2020)认为超效率SBM模型也只能对静态效率进行测算,无法明晰动态演化趋势及通过效率分解以了解影响效率的具体根源,Malmquist模型弥补了这一缺陷。李影等(2020)运用超效率SBM模型从静态角度测算粤港澳工业科技创新效率,并从动态方面进行分析。钱丽等(2015)不仅采用两阶段DEA模型,并且还两阶段的效率进行分解,探究效率缺失的具体原因到底是技术无效还是规模无效。

通过文献梳理可以发现,目前对绿色技术创新效率的研究较为广泛,关于绿色创新理论基础的研究较为成熟,但在研究内容上,很少有直接指向测度绿色技术创新效率的议题,这方面的理论需要进一步探讨和研究,并且现有研究忽略了环境污染和资源消耗方面的问题,对考虑非期望产出的研究相对较少,并且很少有学者使用与绿色创新紧密相关的指标,指标选择差异较大,构建的绿色技术创新效率评价指标体系尚未形成广泛的共识。在研究方法上,现有研究采用的效率测度与评价模型,存在单阶段、无期望产出、径向等问题,多数仅对静态绿色效率进行测算,动态演化趋势分析相对缺乏,没有进一步分析绿色经济效率分解指标的特征。因此,如何测度和评价工业企业绿色技术创新成为值得关注的重点。

基于此,本文可能的边际贡献在于:第一,在以往研究的基础上,将环境因素作为一种非期望产出指标纳入到研究框架,并且针对目前对污染源界定不够系统的缺陷,本文全面涵盖了工业废气、废水、固体废弃物、二氧化硫、烟尘、粉尘等指标,进一步完善了技术创新效率评价体系。第二,运用创新价值链理论,分析绿色技术创新活动的内在关联结构,同时从静态和动态两个方面运用Network-Super-SBM模型测算两阶段分解效率值,突破了已有文献将创新过程视作“黑箱”的研究局限,测算出的结果更加客观,更加符合实际情况,可以准确把握绿色技术创新效率低下的具体环节,剖析效率缺失的真实来源,为制定有针对性的创新政策以提升绿色技术创新效率提供科学依据。第三,不再平面化比较各省份企业的绿色技术创新效率值,也关注到了工业企业绿色技术创新的东中西区域差异,可以全面把握中国工业企业绿色技术创新效率的发展特征,进一步丰富了绿色技术创新效率测算领域的研究成果。

三、研究设计

(一) 测度模型

1. SBM 网络 DEA 模型

网络 SBM (slack based measure) 模型打开了传统单阶段数据包络分析 (data envelopment analysis, DEA) 模型封装各个决策单元 (decision making unit, DMU) 的“黑箱”，测度多阶段生产过程的效率值，可以找出效率低下的具体原因。其表达具体如下：有 n 个 $DMU_j (j=1, 2, \dots, n, n=30)$ ，一个 DMU 有 K 个节点， m_k 和 r_k 分别对应节点 $k (k=1, 2, \dots, K, \text{本文 } K=2)$ 的投入指标数和产出指标数 ($m_1=3, m_2=4; r_1=3, r_2=5$ 。相关指标见表 1)， $X_j^1 = (X_{1j}^1, X_{2j}^1, \dots, X_{m_1j}^1)^T$ 代表第 j 个 DMU 在研发阶段的投入向量，研发期间的产出即中间变量为 $Z_j^{(1,2)} = (Z_{1j}^{(1,2)}, Z_{2j}^{(1,2)}, \dots, Z_{m_2j}^{(1,2)})$ ，成果转化时期的投入为 $X_j^2 = (X_{1j}^2, X_{2j}^2, \dots, X_{m_2j}^2)^T$ ， $Y_j^2 = (Y_{1j}^2, Y_{2j}^2, \dots, Y_{r_2j}^2)^T$ 代表第 j 个 DMU 在成果转化阶段的产出向量， W^k 是节点 k 的权重 ($W^1=W^2=0.5$)。

规模报酬不变 (constant returns to scale, CRS) 下技术研发阶段的生产可能集为

$$X^1 \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 x_j^1, \quad Z^{(1,2)} \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 z_j^{(1,2)}.$$

成果转化阶段的生产可能集为

$$X^2 \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 x_j^2, \quad Z^{(1,2)} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 z_j^{(1,2)}, \quad Y^2 \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 y_j^2.$$

对于规模报酬可变 (variable returns to scale, VRS) 情形，只要加入约束条件 $\sum_{j=1}^n \lambda_j^k = 1 (\lambda_j^k \geq 0, k = 1, 2, \dots, K)$ 即可。

因此，非导向下的网络 SBM 模型为

$$\rho^* = \min \frac{\sum_{k=1}^2 w^k \left(1 - \frac{1}{m_k} \sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_{i0}^{k-}}{x_{i0}^k} \right)}{\sum_{k=1}^2 w^k \left(1 + \frac{1}{r_k} \sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_{r0}^{k+}}{y_{r0}^k} \right)} \quad (1)$$

其中： ρ^* 为 DMU 的整体效率； $\rho^*=1$ 为 DMU 整体有效； $\rho^*<1$ 无效；每个 DMU 有 m 种投入和 r 种产出，记为 x_i 和 y_r ； S^{k-} 和 S^{k+} 分别是投入和产出的松弛变量， $S^{k-} \geq 0, S^{k+} \geq 0$ 。

2. 包含非期望产出的 SBM 超效率模型

在 DEA 测算结果中被评价为有效的 DMU 往往会有很多，而超效率可将其进一步区分大小。此外，在实际能源使用过程中会出现污染物排放等非期望产出。传统 DEA 模型无法尽最大可能减少非期望产出达到经济最佳效率。基于非期望产出的超效率 SBM 模型很好地弥补了传统 DEA 的几点不足，公式如式 (2) 所示：

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{rk} + \sum_{i=1}^{q_2} s_i^b / b_{rk} \right)},$$

$$\text{s.t.} \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \lambda_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \lambda_j + s_r^+ \geq y_{rk} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n b_{rj} \lambda_j - s_r^b \leq b_{rk} \\ 1 - \frac{1}{q_1 + q_2} \left(\sum_{r=1}^{q_1} s_r^+ / y_{rk} + \sum_{i=1}^{q_2} s_i^b / b_{rk} \right) > 0 \\ \lambda \geq 0, \quad s^- \geq 0, \quad s^+ \geq 0 \\ i = 1, 2, \dots, m; \quad r = 1, 2, \dots, q; \quad j = 1, 2, \dots, n (j \neq k) \end{cases} \quad (2)$$

其中： ρ 为目标效率值，对于 $DMU_j(j=1, 2, \dots, n)$ ，每个 DMU 有 m 种投入，记为 $x_i(i=1, 2, \dots, m)$ ，能够同时生产出 q_1 种好产出，记为 $y_r(r=1, 2, \dots, q_1)$ 和 q_2 种坏产出，记为 $b_r(r=1, 2, \dots, q_2)$ ； x_{ij} 为第 j 个省份畜牧业生产的第 i 项投入要素； y_{rj} 为第 j 个省份畜牧业生产的第 r 项期望产出； b_{rj} 为第 j 个省份畜牧业生产的第 r 项非期望产出，期望产出越多越好，而非期望产出则相反； λ 为各 DMU 截面观察值的权重；下标 k 为被测算的 DMU ； s_i^- 、 s_r^+ 、 s_r^- 分别为投入冗余、期望产出不足和非期望产出冗余。

3. Malmquist-Luenberger 指数

网络 SBM 模型是对效率值的静态测算，而 Malmquist 指数则是对效率的动态分析，弥补了静态分析的不足，它表示 DMU 生产率从 t 到 $t+1$ 期的变化。可以说，基于非期望产出的 Malmquist 指数都可以称为 Malmquist-Luenberger 指数。它的参考集为

$$S^g = S^1 \cup S^2 \cup \dots \cup S^p = \{(x_j^1, y_j^1)\} \cup \{(x_j^2, y_j^2)\} \cup \dots \cup \{(x_j^p, y_j^p)\}.$$

可分解为技术效率变化(technical efficiency change, EC)和技术变化(technological change, TC)：

$$\begin{aligned} MI &= M_g(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) \\ &= \frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^g(x^t, y^t)} \\ &= \frac{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^t(x^t, y^t)} \left[\frac{E^g(x^{t+1}, y^{t+1})}{E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \frac{E^t(x^t, y^t)}{E^g(x^t, y^t)} \right] \\ &= EC \times TC_g \end{aligned} \tag{3}$$

其中： MI 为 Malmquist 指数(malmquist index)； g 为 Malmquist 模型是以所有各期共同构建的前沿作为参比前沿； x^t 和 x^{t+1} 分别为 t 和 $t+1$ 期的投入； y^t 和 y^{t+1} 为产出； $E^t(x^t, y^t)$ 为用 t 期技术为的 t 期技术效率水平； $E^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ 是用 $t+1$ 期技术为的 $t+1$ 期技术效率水平； $M > 1$ 表明绿色技术创新效率提高，反之降低； $EC > 1$ 表明技术效率改善，反之相反； $TC > 1$ 表明技术进步，反之退步。

(二) 指标选取

根据创新价值链理论，技术创新活动一般包括技术研发和成果转化两个阶段。综合张江雪和朱磊(2012)、罗良文和梁圣蓉(2016)等对相关指标的选取及数据的可获得性建立指标体系(表1)。

1. 绿色技术研发阶段投入产出指标

对于投入指标，考虑到当前还没有关于绿色创新人员和研发经费的统计指标，故参考肖仁桥等(2020)的文献，用传统的创新人员、研发经费来替代。这主要是由于将传统研究人员与绿色研究人员分开有一定困难，并且企业开展的许多普通技术创新项目也能同时促进经济与环境效益。除此之外，这一阶段的投入指标还包括新产品开发经费支出^①。

对于产出指标，选取专利申请数、有效发明专利和新产品开发项目数。自从专利出现以来，还没有找到其他更为合适的指标能很好地反映科研产出。另外，相比于其他专利，发明专利的技术含量也相对较高(钱丽等, 2015)。

2. 成果转化阶段投入产出指标

这一阶段的投入指标，即为技术研发阶段的产出。将专利和新产品开发项目当作中间指标，正好是为了检验其社会经济等效益转化程度。除此之外，将能源消费量作为第二阶段的投入，这是因为工业企业是能源消费主体，而且能源被消耗之后产生的污染物排放，一般被认为是坏产出的来源。在期望产出方面，以新产品销售收入衡量创新成果，用 2013 年不变价格工业生产者出厂价指数对其平减，将工业三废排放量等非期望产出作为环境污染产出的代理变量。

① 许多研究用当期 R&D 资金投入表示技术创新投入，但这一投入往往具有积累和时滞效应，创新产出还依赖于之前的投入。用永续盘存法来算存量： $K_{it} = (1 - \delta)K_{it-1} + I_{it}$ 。其中 K_{it} 、 K_{it-1} 分别表示 i 省份 t 和 $t-1$ 年的资本存量， δ 代表资本折旧率，本研究借鉴陈钰芬等(2020)、孙凤城和江永宏(2018)的研究，将其设定为 20.6%， I_{it} 表示 i 省份在第 t 年的 R&D 经费内部支出。选取基期为 2011 年，按照公式： $K_{i0} = I_{i0}/(g + \delta)$ ，计算各省份工业企业的初始资本存量。在算存量前采用侯建等(2020)计算研发价格指数方法：R&D 价格指数 = 0.55 × 居民消费价格指数 + 0.45 × 固定资产投资价格指数，对 R&D 经费支出和新产品开发经费进行平减。

表1 绿色技术创新效率指标体系

阶段	指标分类	指标名称	指标描述
技术研发阶段	人力投入	R&D人员全时当量 X_1^1	人
	资本投入	R&D经费 X_2^1	R&D经费内部支出存量(万元)
		新产品开发经费支出 X_3^1	用研发价格指数对其存量指标平减(万元)
	中间指标	R&D专利申请数 Y_1^1 或 X_1^2	件
		R&D有效发明专利数 Y_2^1 或 X_2^2	件
成果转化阶段		新产品开发项目数 Y_3^1 或 X_3^2	项
	能源投入	能源消耗总量 X_4^2	万吨标准煤
	期望产出	新产品销售收入 Y_1^2	用工业品出厂价格指数对其平减(万元)
	非期望产出		工业废水排放量(万吨)
			工业二氧化硫排放量(吨)
		工业烟(粉)尘排放量(吨)	
		工业固体废物产生量(万吨)	

注:表中 X_1^1 、 Y_1^1 和 X_1^2 、 Y_1^2 分别表示科技研发和成果转化阶段的投入、产出指标;由于中间指标同时是第一阶段产出和第二阶段的投入。因此有两种标示。

(三) 样本选择和数据来源

选取30个省(自治区、直辖市)(因数据缺失,不含西藏地区和港澳台地区)的工业企业作为研究对象。由于目前相关数据统计的大多数是规模以上工业企业^②,为了使研究数据保持一致,所以选取规模以上工业企业,一定规模以上的企业对DEA模型指标的选取也具有典型性。以“十二五”规划开局之年——2011年为起点,由于2019年各省(自治区、直辖市)污染物排放相关数据还没公布,所以样本期为2011—2018年。鉴于投入转化为产出具有时滞性,借鉴肖权和赵路(2020)的研究成果将滞后期定为2年,所以科技研发投入、中间产出与成果转化投入及成果转化产出的数据年份分别为2011—2016年、2012—2017年、2013—2018年。本研究的数据主要来源于国泰安数据库和EPS数据平台,通过《中国城市统计年鉴》、各省(自治区、直辖市)统计年鉴和统计局进行补充。对于部分省(自治区、直辖市)部分年份工业废水排放量统计不完善的,按照工业废水占废水排放总量比重的加权平均值进行推算。

四、实证分析

运用包含非期望产出的超效率网络SBM-Malmquist模型,使用MAXDEAUltra8.0软件,测算我国30个省(自治区、直辖市)规模以上工业企业绿色技术创新效率值。

(一) 绿色技术创新静态效率

为了分析我国规模以上工业企业绿色技术创新效率特征及变化趋势,基于面板数据测算的结果见表2。从全国绿色技术创新效率均值来看,在2013—2018年,我国工业企业效率呈现出较小幅度的上升趋势,由2013年的0.3260上升到2018年的0.3915,均值为0.3543,在0.5以下,低于全国均值的地区个数大于高于全国均值的地区个数,表明我国整体绿色技术创新处于较低水平,省际差异很大,发展很不平衡,未来还有很大的提升空间。

不同省份之间效率差异显著,绿色技术创新效率均值最高的地区是浙江(0.8303)和北京(0.8046),其中浙江省绿色技术创新效率在2013—2018年略微有所下降,说明投入和产出的结构虽已逐渐趋于合理,但仍需往稳步提升效率值的方向发展。北京由2013年的0.6205上升到2018年的0.8730,说明在考察期内能较好地利用资源,不断朝着实现经济和环境协调发展的方向努力,并且北京作为中国首都,技术开发配套设施完善、市场化程度高,在科技研发投入规模和产出方面都处于全国前列。其次是广东、安徽、重庆和上海,可以得知这些省市的技术和管理水平较高,其中广东和上海经济发达,是人才科技的集中地区,并且相关管理制度完善,创新环境和市场化进程也不断加快,促使绿色技术创新效率处于较优水平。重庆虽然地处内陆地区,但在技术创新过程中,科技发展态势良好,取得了较好的环境效益和经济效益,只是其对周边效率相对较差的省份并没有出现带动效果,未来的任务就是在保持自身优势的同时,带动周边西部地区绿色技术创新发

② 中国工业企业数据的样本范围为全部国有企业及规模以上非国有工业企业,“工业”统计口径包括国民经济行业分类中的“采掘业”“制造业”以及“电力、燃气以及水的生产和供应业”三个门类,“规模以上”指年营业收入2000万元以上。

展。排名最低的青海省和内蒙古,效率不足 10%,这是由于这两个地区地广人稀,加上地理位置较偏,工业基础和技术水平薄弱,科技投入带来的边际产出比较少。此外,还可以看出考察期内低效率省份的绿色技术创新效率值总体表现出上升趋势,省份之间的差异正在逐渐缩小。

表 2 2013—2018 年我国 30 个省(自治区、直辖市)规模以上工业企业绿色技术创新效率

地区	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	均值	排名	地区	2013年	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	均值	排名
北京	0.6205	0.867	0.8261	0.8169	0.8234	0.8730	0.8046	2	江西	0.2658	0.2474	0.2668	0.3405	0.3650	0.4835	0.3282	14
天津	0.5997	0.5662	0.6450	0.6478	0.4088	0.3919	0.5432	8	河南	0.2307	0.2393	0.2497	0.2541	0.2733	0.2828	0.2550	18
河北	0.1938	0.1802	0.1894	0.1851	0.1818	0.1972	0.1879	23	湖北	0.2330	0.2511	0.2549	0.3073	0.3194	0.4852	0.3085	16
辽宁	0.1265	0.1313	0.1188	0.1179	0.1442	0.1844	0.1372	26	湖南	0.3262	0.3454	0.3760	0.4284	0.4204	0.3725	0.3781	10
上海	0.4201	0.4452	0.4217	0.5189	0.7254	0.7394	0.5451	7	广西	0.1961	0.1703	0.1886	0.2207	0.2267	0.1955	0.1996	21
江苏	0.4145	0.4295	0.4747	0.5310	0.5366	0.5048	0.4819	9	中部	0.2226	0.2671	0.2550	0.3088	0.3374	0.3343	0.2876	
浙江	1.0043	0.7572	0.6854	0.8623	0.7738	0.8986	0.8303	1	重庆	0.4019	0.4491	0.5182	1.0106	0.5318	0.3664	0.5463	6
福建	0.2698	0.3106	0.3175	0.3429	0.3746	0.3706	0.3310	13	四川	0.3874	0.3149	0.3236	0.3407	0.3406	0.3997	0.3512	12
山东	0.2807	0.2697	0.2548	0.2612	0.2724	0.2414	0.2634	17	贵州	0.1929	0.1982	0.2104	0.2409	0.2968	0.2830	0.2370	19
广东	0.4584	0.4831	0.5352	0.6644	1.0020	1.4695	0.7687	3	云南	0.1820	0.2031	0.1923	0.2159	0.2750	0.2477	0.2194	20
海南	0.3061	0.3003	1.0689	0.2567	1.0278	0.3239	0.5473	5	陕西	0.2244	0.2157	0.1882	0.1507	0.1752	0.1939	0.1914	22
东部	0.4268	0.4309	0.5034	0.4732	0.5701	0.5632	0.4946		甘肃	0.2285	0.1992	0.1823	0.1304	0.1499	0.1511	0.1736	24
山西	0.0888	0.0999	0.0938	0.0980	0.1396	0.1741	0.1157	28	青海	0.0652	0.0407	0.0680	0.0640	0.1238	0.1837	0.0909	30
内蒙古	0.0923	0.0940	0.0899	0.0870	0.1114	0.1138	0.0981	29	宁夏	1.0540	0.2232	0.2337	0.1989	0.2307	0.2412	0.3636	11
吉林	0.1712	0.5454	0.2464	0.3959	0.3538	0.1537	0.3111	15	新疆	0.1239	0.1472	0.1424	0.1424	0.1459	0.1414	0.1405	25
黑龙江	0.1194	0.1199	0.1317	0.1124	0.1354	0.1635	0.1304	27	西部	0.3178	0.2213	0.2288	0.2772	0.2522	0.2453	0.2571	
安徽	0.5029	0.5585	0.6522	0.8435	1.0288	0.9186	0.7508	4	均值	0.3260	0.3134	0.3382	0.3596	0.3971	0.3915	0.3543	

就东部、中部、西部三大地区对比而言,2013—2018年,东部地区工业企业绿色技术创新效率均值为 0.4946,高于中部地区(0.2876)和西部地区(0.2571),表明我国工业企业绿色技术创新效率呈现出“东-中-西”依次递减的阶梯式空间分布格局。从三大地区工业企业绿色技术创新效率的演化趋势来看(图 1),东部和中部地区工业企业绿色技术创新效率变化趋势基本一致,两者总体上均呈现出波浪式缓慢上升的特征,西部地区经历了先快速下降到缓慢上升的过程,然后在缓慢下降的趋势,绿色技术创新效率不是很稳定,是未来政策需要关注的重点区域。与东部地区工业企业绿色技术创新效率持上升的趋势相比,中西部效率水平不仅存在绝对水平明显偏低特征,而且还表现出了增长幅度的差异。其中,中西部地区以 2014 年为分水岭,2014 年之后,中部地区的绿色技术创新效率值一直高于西部地区,说明随着中部崛起、长江中游城市群战略的实施,中部地区的绿色技术创新效率不断上升。

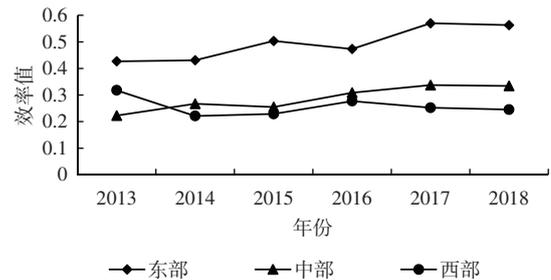


图 1 2013—2018 年三大地区工业企业绿色技术创新效率演变

根据效率测算结果,将各省份效率值划分成不同等级:低效率(小于 0.4),中低效率(0.4≤绿色技术创新效率<0.6),中高效率(0.6≤绿色技术创新效率<0.8)和高效率(大于 0.8)。见表 3,在样本期内,高效率省份个数有所增加,其中浙江省在考察期内始终居于高效率行列,北京由中高效率上升至高效率。属于中低效率的省份个数随时间变化较大,由 6 个减少到 3 个,其中安徽和广东由中低效率提升到高效率,上海由中低效率提高到中高效率。属于低效率的省份个数变化不大,主要来自西部和中部欠发达地区,其中山西一直处于低效率地区,这是因为山西是中国重要的煤炭省份,资源和能源十分丰富,但经济发展模式是粗放型发展模式。东北地区的内蒙古和黑吉辽也一直处于低效率等级,且效率远低于全国平均水平,这是由于与其他地区相比,东北地区更加重视农业发展,忽视了对工业企业技术创新的投入和支持,加上地广人稀,创新型人才大量流失,该地区应该在国家振兴东北老工业基地战略政策的支持下,大力推进技术创新,实现质的飞跃。总之,由于中国地域跨度较大,很多省市之间发展不平衡,地理因素和环境因素衍生出各区域经济环境、政治环境、市场环境和企业内部环境等方面的差异,使得各地的绿色技术创新效率也产生差异,且局部地区较强的技术创新能力未能带动落后地区的发展,需要加快区域协同发展,缩小地区差异。

表3 绿色技术创新效率等级分布

年份	高效率	中高效率	中低效率	低效率
2013	浙江,宁夏	北京	天津、上海、江苏、安徽、广东、重庆	河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、福建、江西、山东、河南、湖南、湖北、广西、海南、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、新疆
2018	北京、浙江、安徽、广东	上海	江苏、江西、湖北	天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、福建、山东、河南、湖南、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆

各阶段效率可分解为纯技术效率(pure technical efficiency, PTE)和规模效率(scale efficiency, SE)。通过比较表4可以发现,两阶段的SE都大于PTE,而 $TE=PTE \times SE$,说明工业企业绿色技术创新效率比较依赖于规模水平,而纯技术效率水平低是造成两阶段绿色技术创新效率不高的主要原因。因此需要减少对规模水平的依赖,不能单纯依靠加大研发投入,而是应大力提升技术水平,着重提高创新资源的利用和管理。此外,由图2可以看出,2013—2018年各阶段效率均值总体上呈波动增长趋势。科技研发阶段呈现“V”型变化趋势,效率值在2016年降至最低值,随后呈现上升趋势,且上升速度大于2016年之前的下降速度,出现向好的增长趋势。成果转化效率除在2016年出现略微小幅度下降之外,整体呈现持续上涨趋势,且上涨速度越来越快。整体绿色创新效率在2014—2017年的变化趋势与成果转化阶段相似,呈现稳步提升态势,但2014年和2018年这两个年份,相比上一年出现小幅度下降。技术研发时期和成果转化时期对整体创新效率的影响有所不同,相比于科技研发阶段,成果转化阶段效率水平整体偏低,说明我国工业企业在成果转化方面还处于一个上升较为艰难的阶段,导致整体绿色技术创新效率偏低,这就需要企业更加关注经济效益转化方面,促进新产品销售收入的增长。

(二) Malmquist-Luenberger 指数动态分析

Malmquist-Luenberger 指数代表了绿色技术创新的动态变化值,可分解为技术效率变化指数和技术进步指数。我国工业企业绿色技术创新效率变化指数及其分解值见表5。从总体上来看,我国ML指数的平均值达到1.0974,年均增长约9.74%。在考察期内,有24个省份的ML指数大于1,所占比重为80%,大于均值的省份有9个,占比仅为30%,由此可以看出我国绿色技术创新效率整体发展态势良好,但是由于各省份技术条件、管理制度和经济发展水平不同,使得绿色技术创新效率存在显著差异。技术效率变化指数平均增长率达12.44%,大于1的省份有23个,技术进步指数大于1的省份仅有16个,总体呈2.4%的下降趋势。

绿色技术创新效率变化指数增长较为显著的地区包括海南、青海和吉林,表明这三个地区对于绿色创新资源配置效率及在人员管理水平方面有所优化改进。其次广东省指数增长高达27%,说明该省的总体发展趋势向好,可能的原因是广东位于东南沿海地区,所处的地理位置比较优越,近年来迅速成为金融、科技和人才的集中地,未来应继续保持又快又稳的高质量发展趋势。湖北、山西、安徽、江西和上海的ML指数也达到了10%以上,说明这些地区的科技管理体制变革成效显著,其中,湖北和江西的技术进步指数小于1,上海的技术效率变化指数小于1,所以在向好发展趋势的基础上,应该使技术投入产出结构的安排更加合理,并且持续强化技术创新,促进技术进步,山西和安徽技术效率和技术进步指数的增长比较平衡。需要指出的是浙江、陕西、山东、天津、甘肃和宁夏这6个省份的ML小于1,原因如下:浙江的TC为0.9906,宁夏的TC为0.6575,ML指数主要归因于技术进步的负面影响;陕西EC为0.9305,山东EC为0.9469,天津的EC值为0.8804,技术进步的提高被技术效率衰退所影响;甘肃的两个分解值都低于1,技术效率和技术进步同时对ML指数的提升起负向作用。

表4 两阶段绿色技术创新效率及其分解

年份	科技研发阶段			成果转化阶段		
	TE	PTE	SE	TE	PTE	SE
2013	0.5661	0.5996	0.9441	0.4128	0.4569	0.9035
2014	0.5709	0.5959	0.9581	0.4359	0.4948	0.8810
2015	0.5480	0.5768	0.9500	0.4466	0.4847	0.9214
2016	0.4915	0.5163	0.9520	0.4371	0.4718	0.9265
2017	0.5788	0.6004	0.9640	0.5188	0.5325	0.9743
2018	0.6218	0.6487	0.9585	0.5524	0.5896	0.9369
均值	0.5629	0.5896	0.9547	0.4673	0.5051	0.9252

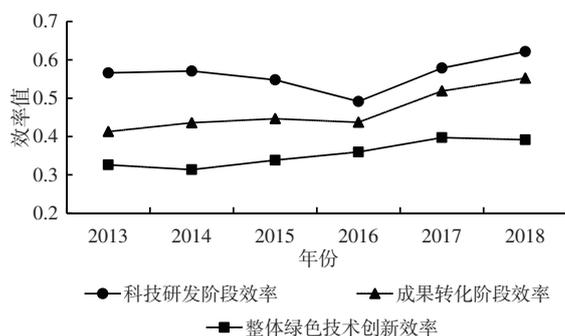


图2 各阶段绿色技术创新效率变化趋势

表 5 2013—2018 年我国各省(自治区、直辖市)Malmquist-Luenberger 指数及其分解

省份	ML	排名	EC	排名	TC	排名	省份	ML	排名	EC	排名	TC	排名
北京	1.0815	13	1.0043	22	1.0769	7	江西	1.1364	8	1.3341	3	0.8518	26
天津	0.9355	28	0.8804	29	1.0626	8	河南	1.0418	19	1.0450	15	0.9969	18
河北	1.0051	24	1.0323	18	0.9736	25	湖北	1.1714	5	1.1757	7	0.9963	19
辽宁	1.0874	10	1.0649	12	1.0211	12	湖南	1.0309	20	1.0032	23	1.0276	10
上海	1.1309	9	0.9941	24	1.1376	4	广西	1.0072	23	1.0112	20	0.9960	21
江苏	1.0423	18	0.9669	25	1.0780	6	中部	1.1085		1.1328		0.9785	
浙江	0.9952	25	1.0046	21	0.9906	22	重庆	1.0873	11	0.8597	30	1.2647	2
福建	1.0671	16	1.0490	14	1.0172	13	四川	1.0133	22	1.3063	5	0.7757	28
山东	0.9719	27	0.9469	26	1.0264	11	贵州	1.0839	12	1.0729	10	1.0102	14
广东	1.2756	4	1.0434	16	1.2225	3	云南	1.0720	15	1.0851	9	0.9879	23
海南	1.8199	1	1.2849	6	1.4164	1	陕西	0.9808	26	0.9305	28	1.0540	9
东部	1.1091		1.0205		1.0868		甘肃	0.9319	29	0.9334	27	0.9985	17
山西	1.1562	6	1.1500	8	1.0054	16	青海	1.3306	2	2.4792	1	0.5367	30
内蒙古	1.0488	17	1.0673	11	0.9827	24	宁夏	0.8630	30	1.3126	4	0.6575	29
吉林	1.3144	3	1.5827	2	0.8305	27	新疆	1.0298	21	1.0339	17	0.9961	20
黑龙江	1.0737	14	1.0630	13	1.0100	15	西部	1.0367		1.1606		0.8933	
安徽	1.1368	7	1.0137	19	1.1215	5	均值	1.0974		1.1244		0.9760	

图 3 给出了三大地区工业企业的 Malmquist-Luenberger 指数及其分解值。可以看出,东部地区的 ML 指数主要归结于技术进步 (TC) 指数的增长,说明东部地区工业企业的自主创新能力相对较强,技术水平提升速度快。而中西部地区的 ML 指数则主要依赖于技术效率变化 (EC) 指数的增长,原因可能是,近年来,随着产业结构调整加速,工业大规模地由东部地区转移到中西部地区,产业集聚效应使得中西部地区工业企业的技术效率变化指数大大提高。从三大区域层面来看,总体而言,ML 指数和 TC 指数均呈现出东中西依次递减的特征,EC 指数则是西部地区大于中部地区,中部地区大于东部地区。

如表 6 所示,在 2013—2018 年,全国 ML 指数和 EC 指数均大于 1,其中 ML 指数在 2014—2015 年增长率达到 10%,2016—2017 年增长速度最快,达到 21.59%,其他年份增长幅度较为平缓,不足 10%,2017—2018 年增长速度最慢,总体来看,ML 指数变化波动比较大,不是很稳定。2013—2014 年、2014—2015 年、2017—2018 年技术效率变化指数都大于 1,并且技术进步指数都小于 1,其中 2014—2015 年的技术进步指数虽然小于 1,但 ML 指数相比上年还是有所增长,这主要是因为技术效率的增长作用抵消了技术衰退的负面影响,说明技术进步水平还有待提高。2015—2016 年尽管 EC 指数和 TC 指数都大于 1,但是技术效率的拉动作用较弱,使得 ML 指数虽大于 1 但是仍没有超过上年的增长率。2016—2017 年 ML 指数最高,归因于两个指数的共同推动,并且这一年的技术进步指数增长最快,说明技术进步的提高促进了 ML 指数提高。ML 指数增长在 2017—2018 年最慢,主要是受制于技术进步的拉低,技术进步的衰退超过了技术效率提升带来的积极影响。为了探究绿色技术创新效率变动显著的具体原因,进一步将技术效率变化指数分解为纯技术效率变化指数 (pure technical efficiency change, PEC) 指数和规模效率变化 (scale efficiency change, SEC) 指数。除 2015—2016 年的 EC 指数主要 SEC 指数的影响较大之外,在其他年份的 EC 指数受 PEC 指数和 SEC 指数两者共同作用。PEC 指数除 2014—2015 年之外都大于 SEC 指数,说明 EC 指数的增长主要依赖于 PEC 指数。2016—2017 年的 EC 指数最低,这是因为尽管 PEC 指数和 SEC 指数都大于 1,但是两者对整体的拉动作用极低,没有使得技术效率得到有效提升。

各指数变化趋势如图 4 所示。在考察期内,ML 指数波动变化较大,在 2016—2017 年变化指数达到最大值。EC 指数呈跌宕波动增长趋势,在 2017—2018 年变化指数达到 1.3215,整体年均增长率为 12.44%。TC 指数在 2013—2017 年呈稳步上升趋势,由 0.9544 提高到 1.1962,但 2017—2018 年突现下降,这种变化需要引起重视,这一年的技术进步指数下降直接导致了绿色技术创新效率指数的降低,未来应该找准发展方向,继续

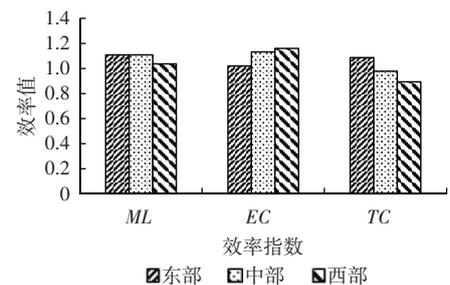


图 3 三大地区工业企业 Malmquist-Luenberger 指数及其分解值

表 6 2013—2018 年 Malmquist-Luenberger 指数动态效率及其分解

年份	ML	EC	TC	PEC	SEC
2013—2014	1.0552	1.1056	0.9544	1.0699	1.0334
2014—2015	1.1082	1.1261	0.9841	1.0460	1.0765
2015—2016	1.0771	1.0523	1.0236	1.1117	0.9466
2016—2017	1.2159	1.0164	1.1962	1.0089	1.0074
2017—2018	1.0307	1.3215	0.7800	1.2508	1.0565
均值	1.0974	1.1244	0.9760	1.0975	1.0245

强化绿色技术创新,逐步实现快速平稳发展,从总体上来看,TC指数呈现年均2.4%的下降趋势。ML指数大体与TC指数变动趋势同步,说明受技术水平变化的影响更大。PEC指数和SEC指数2015—2016年和2017—2018年差异较大,但二者的不同的是,2015—2016年SEC的负向作用削弱了PEC对EC的拉动作用,而2017—2018年PEC的增长作用明显,使得EC大于PEC并且在考察期内达到最大值,在其他年份,PEC和SEC差异不是很明显,整体技术效率变化指数受两者共同拉动影响。

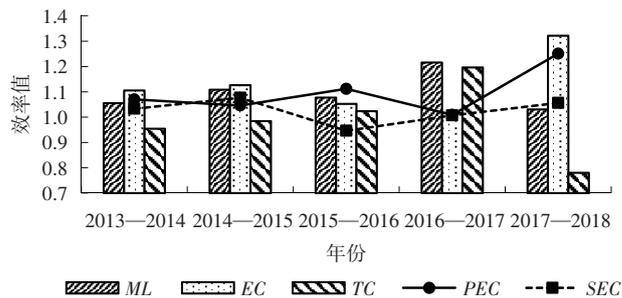


图4 2013—2018年Malmquist-Luenberger指数及其分解值变化趋势

五、结论与建议

运用超效率网络SBM模型和Malmquist-Luenberger指数测算各省(自治区、直辖市)工业企业绿色技术创新效率,分析其发展水平及差异,探究造成效率缺失和地区差异的具体原因,最终得到如下研究结论。

(1)中国工业企业绿色技术创新效率处在一个比较低的水平上,呈现出较小幅度的上升趋势;绿色技术创新效率省际差异较大;我国工业企业绿色技术创新效率呈现出“东-中-西”依次递减的阶梯式空间分布格局,与东部地区工业企业绿色技术创新效率持上升的趋势相比,中西部效率水平不仅存在绝对水平明显偏低特征,而且还表现出了增长幅度的差异;在绿色技术成果的转化期,效率值低于科技研发的效率值,存在较大提升空间,说明我国在提高技术水平的同时,也得注重保护环境,并且也需要进一步注重科研成果的产出和转化。

(2)工业企业纯技术效率远远小于规模效率,纯技术效率低是造成整体效率较低的关键原因。

(3)在考察期内,全国绿色技术创新效率的ML指数均大于1,整体发展态势良好。技术效率变化指数受PEC和SEC共同影响,但其增长主要依赖于纯技术效率指数变化。从三大地区层面来看,东部地区的ML指数主要归结于技术进步指数的增长,而中西部地区的ML指数则主要依赖于技术效率变化指数的增长。

针对上述研究结论,为提高我国工业企业绿色技术创新效率,提出如下对策建议。

(1)我国应根据各省份效率缺失具体根源采取相应措施。中国地域广阔,各省份经济和文化存在着较大差异,应加快各个地区技术经济均衡发展,制定对中西部地区倾斜的政策,制定相关优惠政策吸引资金及高素质科技人才,促进绿色技术创新水平的提高。

(2)工业企业应该提高创新管理水平,增强绿色技术创新意识。鼓励和引导科技研发人员基于绿色增长来提升创新能力促进绿色创新改造升级。此外,企业需要不断调整自身投资方向、研究方向及成果转化方向,积极应对不断变化的市场需求。应积极推动产学研一体化。加强与科研单位及高等院校的交流,同时强化与中介机构合作,中介机构以各种创新平台为主,拥有创新资源,能够促进科技成果转化的应用。

(3)政府应制定绿色科技型企业标准。作为调节企业创新系统的主体,政府应从技术创新投入、能耗强度、污染物排放和创新成果转化应用着手。实施奖励和惩罚机制,对达标企业给予税收减免政策优惠和研发补助;对高污染的企业采取惩罚措施,实施排污权市场交易机制。

参考文献

- [1] 陈恒,何平,林超然,等,2018.基于SBM-NDEA模型的我国高专利密集度产业技术创新效率研究[J].运筹与管理,27(3):191-199.
- [2] 陈钰芬,侯睿婕,吴诗莹,2020.不同活动类型研发资本存量的估算:2009—2016[J].科学学研究,38(6):1028-1037.
- [3] 侯建,王刚,陈建成,2020.外部知识源化、知识积累与中国工业绿色增长——动态异质门槛效应研究[J].科研管理,41(3):91-100.
- [4] 赖一飞,谢潘佳,叶丽婷,等,2021.我国区域科技创新效率测评及影响因素研究——基于超效率SBM-Malmquist-Tobit模型[J].科技进步与对策,38(13):37-45.
- [5] 李健,李宁宁,苑清敏,2021.高新技术产业绿色创新效率时空分异及影响因素研究[J].中国科技论坛,(4):92-101.
- [6] 李影,张鹏,曾永泉,2020.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,39(8):21-27.
- [7] 罗良文,梁圣蓉,2016.中国区域工业企业绿色技术创新效率及因素分解[J].中国人口·资源与环境,26(9):149-157.

- [8] 钱丽, 王文平, 肖仁桥, 2021. 高质量发展视域下中国企业绿色创新效率及其技术差距[J]. 管理工程学报, 35(6): 97-114.
- [9] 钱丽, 肖仁桥, 陈忠卫, 2015. 我国工业企业绿色技术创新效率及其区域差异研究——基于共同前沿理论和DEA模型[J]. 经济理论与经济管理, (1): 26-43.
- [10] 沈能, 周晶晶, 2018. 技术异质性视角下的我国绿色创新效率及关键因素作用机制研究: 基于Hybrid DEA和结构化方程模型[J]. 管理工程学报, 32(4): 46-53.
- [11] 孙凤娥, 江永宏, 2018. 我国地区R&D资本存量测算: 1978—2015年[J]. 统计研究, 35(2): 99-108.
- [12] 孙丽文, 陈继琳, 2018. 基于经济-环境-社会协调发展的绿色创新绩效评价——以环渤海经济带为例[J]. 科技管理研究, 38(8): 87-93.
- [13] 王海龙, 连晓宇, 林德明, 2016. 绿色技术创新效率对区域绿色增长绩效的影响实证分析[J]. 科学学与科学技术管理, 37(6): 80-87.
- [14] 肖权, 赵路, 2020. 异质性环境规制、FDI与中国绿色技术创新效率[J]. 现代经济探讨, (4): 29-40.
- [15] 肖仁桥, 沈路, 钱丽, 2020. “一带一路”沿线省份工业企业绿色创新效率及其影响因素研究[J]. 软科学, 34(8): 37-43.
- [16] 闫华飞, 肖静, 冯兵, 2020. 长江经济带工业绿色技术创新效率的时空分异研究[J]. 重庆社会科学, (3): 6-17.
- [17] 杨浩昌, 李廉水, 张发明, 2020. 高技术产业集聚与绿色技术创新绩效[J]. 科研管理, 41(9): 99-112.
- [18] 于树江, 王云胜, 曾建丽, 等, 2021. 创新价值链下京津冀高技术产业技术创新效率及驱动要素研究[J]. 科学决策, (7): 77-90.
- [19] 袁润松, 丰超, 王苗, 等, 2016. 技术创新、技术差距与中国区域绿色发展[J]. 科学学研究, 34(10): 1593-1600.
- [20] 张江雪, 朱磊, 2012. 基于绿色增长的我国各地区工业企业技术创新效率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 29(2): 113-125.
- [21] 张辽, 黄蕾琼, 2020. 中国工业企业绿色技术创新效率的测度及其时空分异特征——基于改进的三阶段SBM-DEA模型分析[J]. 统计与信息论坛, 35(12): 50-61.
- [22] AGUILERA-CARACUEL J, ORTIZ-DE-MANDOJANA N, 2013. Green innovation and financial performance [J]. *Organization & Environment*, 26(4): 365-385.
- [23] SHU C, ZHOU K Z, XIAO Y, et al, 2016. How green management influences product innovation in China: The role of institutional benefits[J]. *Journal of Business Ethics*, 133(3): 471-485.
- [24] TONE K, 2001. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 130(3): 498-509.

The Measurement and Evaluation of Green Technology Innovation Efficiency of Industrial Enterprises in China: Analysis Based on Network Super SBM-Malmquist Model

Zhang Likun, Zhang Yaping, Liang Yuan

(School of Economics and Management, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: Integrating the green innovation and development concept into the technical activities of industrial enterprise has become the key to breaking through the shackles of environment and resources, promoting sustainable industrial development. Energy consumption and three waste emissions were included in the research framework, and the super-efficient network slack based measure (SBM) model and Malmquist-Luenberger index were used to measure and evaluate green technology innovation efficiency of industrial enterprises in various provinces in China. The results show that in 2013—2018, green technology innovation efficiency in industrial enterprises is relatively low. There are bigger differences between different provinces, but as time changes, provincial differences gradually narrowed. The green technology innovation efficiency of China's industrial enterprises presents a stepwise spatial distribution pattern of "east-middle-west" decreasing. Compared with the upward trend of green technology innovation efficiency of industrial enterprises in the eastern region, the efficiency level in the central and western regions not only has the characteristics of obviously low absolute level, but also shows differences in growth rates. The efficiency of achievements transformation period below the efficiency of scientific and technological research and development, and the low level pure technical efficiency is the main cause for the low efficiency of the two stages. The Malmquist-Luenberger index is greater than 1, overall development situation is good, but the growth of technical efficiency change index is mainly depends on the pure technical efficiency change index. At the three regional levels, the ML index in the eastern region is mainly due to the growth of the technology progress index, while the ML index in the central and western regions is mainly dependent on the growth of the technological efficiency change index. Through the above research, the source and real cause of the efficiency loss of green technology innovation are determined, and an effective path is provided for enterprises to improve the level of green technology innovation.

Keywords: green technology innovation efficiency; network slack based measure (SBM); super efficiency; industrial enterprises