

我国工业企业绿色创新效率评价

——基于面板时变随机前沿模型的分析

李成顺

(电子科技大学 经济与管理学院, 成都 611731)

摘要:绿色创新有助于实现我国经济的可持续发展。作为经济发展的重要参与主体,工业企业绿色创新效率的提升,有助于实现我国工业的绿色转型。本文采用面板时变随机前沿模型测算了2013—2017年我国各省份工业企业的绿色创新效率。研究发现:自2013年以来,我国工业企业的绿色创新水平不断得到改善;创新效率呈现出时变特征,整体随时间变化而不断优化;分地区看,各省份存在经济发展与环境管理责任的相机决策;分区域看,东、中、西部地区间存在一定的创新差距,但呈现出收敛趋势。

关键词:工业企业;绿色创新;面板时变随机前沿模型;效率评价

中图分类号:F425 **文献标志码:**A **文章编号:**1002—980X(2020)9—0119—07

改革开放以来,我国经济取得40多年的持续高速增长,其中工业企业的发展贡献也不可或缺。然而,在经济发展取得显著成就的同时,以高投资、高消耗和高排放为特征的工业结构带来环境污染的加剧,最为典型的环境问题就是2013年全国发生的大面积雾霾污染。面对日益加重的环境污染,传统的发展模式已不可持续,在传统经济发展模式中重视环境约束因素已成为全社会的共识。2015年,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》提出五大发展理念,将绿色发展成为经济高质量发展中重要的一环。2016年7月,工业和信息化部制定并发布了《工业绿色发展规划(2016—2020)》,以便促进工业绿色发展。而工业企业作为我国经济发展的重要参与主体,其绿色创新水平的高低,会直接影响到我国经济发展绿色转型的成败。因此,对我国工业企业绿色创新水平的评估,有助于地区环境治理以及经济的高质量发展。

已有研究主要基于投入产出的效率视角,对我国工业企业的绿色创新水平进行评价,研究发现,样本期间我国工业企业整体绿色创新效率不高^[1-4]。但值得关注的是,这些研究均采用数据包络分析方法,忽略了创新效率随时间变化的事实。尤其近年来,随着绿色中国战略的实施,党和政府加大了对工业企业绿色创新活动的扶持,工业企业创新投入不断增加,创新技术水平得到有效提升。因此,有必要进一步探讨我国工业企业绿色创新的发展现状。本文通过构建面板时变随机前沿模型,测算了我国工业企业绿色创新效率水平,并提出相应的政策建议。

一、文献综述

(一)绿色创新(效率)的内涵

绿色创新(green innovation)作为实现一种保护环境的技术创新形式,是生态文明时代破解资源环境瓶颈、实现区域经济高质量发展的现实动力与重要手段。与传统创新只注重经济产出不同,绿色创新兼顾经济效益与环境效益^[4],不仅注重创新数量的增加,更注重创新质量的提升。印浩等^[5]认为绿色创新包括技术创新与制度创新两种类型,其不仅可以减少厂商内部成本,也可以降低外部环境成本。Chen等^[6]将“绿色创新”定义为与绿色产品或工艺相关的硬件或软件创新,包含与节能、污染预防、废物回收、绿色产品设计和企业环境管理等相关的技术创新。Schiederig等^[7]对已有绿色创新管理研究进行综述后发现,绿色创新、生态创新(eco/ecological innovation)、环境创新(environmental innovation)和可持续性创新(sustainable innovation)探讨了共同的主题,在很大程度上是同义的,也可以相互替换,但可持续性创新多包含了一个社会维度,仅在概念的描述精度上显示出细微的差异。他们认为,绿色创新包含产品、过程、服务和方法(如商业模式)等创新主题,主要目的是满足用户的需求或者帮助用户解决一个问题,但同时要尽最大努力降低对环境的负面影响。吴超等^[8]也认为,绿色创新概念是创新理论与生态观结合的产物,主要通过新知识、新技术降低环境污染的

收稿日期:2020—06—18

作者简介:李成顺,男,山东日照人,电子科技大学经济与管理学院,研究方向:创新创业。

同时,获得经济效益最大化的一种创新形式,因此也被称为生态创新或环境创新。从绿色创新的类别看,一般可将绿色技术创新划分为绿色工艺创新(green process innovation)与绿色产品创新(green product innovation)^[9],其中绿色工艺创新旨在减少在生产工艺或将废物转化为有价值产品过程中的能源消耗;绿色产品创新旨在通过在生产过程中使用无毒化合物或可生物降解材料来改变或修改产品设计,以减少对环境的处置影响并提高能源效率^[10]。Liao^[11]也认为,绿色创新更多地意味着拥有绿色创新技术,生产出低污染或无污染的产品以及通过环境规制降低污染物的排放,具体可分为绿色产品创新和绿色工艺创新两种类型。

综上,本文认为绿色创新是指通过新知识、新技术的应用以及最低程度的能源消耗来获得经济收益以及最大程度降低环境负面影响的创新活动。此外,技术创新效率作为创新活动的技术效率^[12],是对决策单位间基于一定投入产出的相对效率的测量。基于此,绿色创新效率无疑是绿色创新活动的一种相对效率的一种有效衡量;通常意义上,绿色创新效率越高意味着一个企业绿色创新能力越强。

(二)绿色创新效率的评估研究

作为一种保护环境的创新方式,绿色创新能够实现环境与经济的协调可持续发展。已有研究主要通过绿色创新效率衡量绿色创新水平,学者们分别采用不同方法与指标体系对绿色创新效率从不同层面进行了评估研究。例如,张江雪和朱磊^[1]分别以工业企业 R&D 人员与经费内部支出作为人力和资金投入,新产品产值、综合能耗产出率、工业废气排放量作为产出,运用四阶段 DEA 模型测算了 2009 年我国 30 个省区工业企业的绿色创新效率,研究发现各地区在创新环境、纯技术效率和规模效率方面存在明显区别。钱丽等^[13]从投入、中间产出和绿色创新产出 3 个方面选取了 10 个指标,并基于共享投入关联两阶段 DEA 模型测算发现,2008—2015 年间我国工业企业绿色研发效率整体偏低,绿色成果转化效率较优,而东部与中西部差异明显。吴旭晓^[14]以研发人员、研发资金和电力消费量为投入,科技产出、技术价值和市场价值为期望产出以及环境污染指数为非期望产出,通过采用非期望 Minds 模型测算我国 30 个省区 2012—2017 年的绿色创新效率,结果发现各省区的绿色创新效率存在较大改进空间,区域差异明显。Luo 等^[12]运用 Malmquist 指数和数据包络分析方法对中国的战略新兴产业的绿色技术创新效率进行了评价,研究发现中国技术效率的提高是纯技术效率提高(0.1%)和规模效率提高(0.2%)共同作用的结果。Li 和 Zeng^[4]基于 Super-SBM 模型测算了 2011—2015 年中国密集型污染产业的绿色创新效率,研究发现前 4 年密集型污染产业的效率值在 0.67 左右波动,2015 年上升到 0.78,未达到 DEA 有效水平,且行业间存在显著差异。

可以看出,已有对绿色创新效率的评价研究,主要从省级、产业和企业等宏观层面进行。从工业企业绿色创新效率看,已有研究结论不一致。部分研究认为我国工业企业绿色创新效率不断得到改善^[12];另一部分学者认为我国绿色创新效率未达到 DEA 有效水平^[4]。从评价方法选择看,已有研究主要以非参数方法为主。其中,最为典型的是 DEA 方法的运用,该方法是评价技术创新效率和衡量生产率提高潜力的有效方法,但 DEA 方法存在计算结果稳定性差、易受异常值影响,以及忽略随机因素对产出影响的缺陷^[15]。考虑到近年来我国各地区不断加大对绿色创新的投入,以及更加注重环境管理的事实,有必要进一步探讨我国绿色创新效率的现状以及时间变化模式。由于 SFA 方法设定具体的函数形式,能够控制那些影响产出的随机因素,所估算效率结果比较准确。因此,本文采用面板随机前沿模型测算我国各区域工业企业的绿色创新效率。

二、研究方法 with 指标选择

(一)面板时变随机前沿方法介绍

随机前沿分析是测算效率的有效方法,可以有效避免随机误差对效率项的影响。总体来说,依据效率是否随时间变化的假设不同,面板随机前沿模型可分为效率不随时间变化的 SFA 模型与效率可随时间变化的 SFA 模型两种类型^[16]。其中,由于效率不随时间变化的 SFA 模型假定决策单元的效率在一定时间内保持不变,或者所要求的时间跨度较短($T < 3$),因此,假设过于严格,很难保证效率估算的适用条件。基于此,本研究采用效率可随时间变化的 SFA 模型测算区域工业企业的绿色创新效率。

效率作为一种投入产出比,是一个相对的概念,而从产出导向看,是决策单元实际产出与有效前沿产出的比值。效率不随时间变化的面板 SFA 模型的一般形式为

$$\begin{cases} y_{it} = \alpha + X'_{it}\beta + \varepsilon_{it}; i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T_i \\ \varepsilon_{it} = v_{it} - u_i \\ v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2) \\ u_i \sim N^+(0, \sigma_u^2) \end{cases} \quad (1)$$

由于绿色创新也具有一般创新的“S型曲线”扩散规律^[5],以及技术发展的非线性进步等特点,创新效率不是一成不变的,而是会随着时间而变动。因此,放松式(1)中效率不随时间变化的假设,能得到更可靠的估算结果。Kumbhakar^[17]首次提出了时变随机前沿模型的最大似然估计法。作为一种时变SFA模型,该方法假设效率随时间变化,具体为

$$u_i = \gamma(t)\tau_i \quad (2)$$

其中: $\gamma(t)$ 是关于 t 的一个已定义函数; τ_i 是时不变的但随不同决策单元而不同。进一步地,假定 τ_i 是随机的、服从正态分布 $N(0, \sigma_\tau^2)$, $\tau_i \leq 0$ 。最后,非效率中的解释变量可用时间虚拟变量的多项式表示,具体如下:

$$\gamma(t) = [1 + \exp(bt + ct^2)]^{-1} \quad (3)$$

其中: $\gamma(t)$ 可以是单调递增(递减)或者具有凹性(凸性)特征,取决于 b 、 c 的符号和大小。如果效率不随时间变化,那么 $b=c=0$ 。

(二) 面板SFA模型设定

为了对区域工业企业的绿色生产效率进行评估,本文设定如下的科布·道格拉斯型创新生产函数:

$$\ln IO_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln L_{it} + \alpha_2 \ln K_{it} + \alpha_3 \ln E_{it} + \gamma(t)\tau_i + v_{it} \quad (4)$$

其中: IO 为区域工业企业的绿色创新产出; L 、 K 、 E 分别为劳动、资本和能源投入; i 为特定区域; t 为时间变量。

(三) 指标选择及数据来源

1. 产出指标

绿色创新产出具体可分为经济与环境产出两类。李玉婷和祝志勇^[18]认为环境产出是污染成本的减少,因此采用新产出销售收入扣除环境污染成本测量绿色创新产出。王彩明和李健^[3]对绿色创新产出的经济效益采用发明专利数、新产品销售收入和工业增加值3个指标测量;对环境效益采用工业废水、废气、固体废弃物排放量3个指标测量。Li和Zeng^[4]以每亿元主营业务收入的有效发明专利衡量创新经济产出,以工业固体废弃物的综合利用率、每单位工业增加值的二氧化碳排放量、污染排放指数测量环境负产出。综上,本文采用各地区工业企业新产品销售收入减去三废换算的环境污染负产出后的结果进行测量。非期望产出主要选取废气、废水和工业固废的货币化成本。参考李玉婷和祝志勇^[18]的研究,废水治理成本3元/吨,废气中二氧化硫、氮氧化物的治理成本分别为1112元/吨、4013元/吨,固废中一般固废处置成本30元/吨,将这些折算的非期望产出从期望产出中扣除,得到绿色创新产出。

2. 投入指标

绿色创新的投入一般包括劳动、资本和能源投入3部分^[8]。其中,人员与资本投入分别用研发人员全时当量、研发经费内部支出衡量;能源投入用能源消费量(万吨标煤)来测量。

3. 数据来源

2012年以来,环境质量的下降引起大范围雾霾污染的发生,对环境污染治理已成为党和政府重点关注的议题之一^[19]。由于工业发展对环境治理具有重要影响,因此工业企业已成为政府环境规制的重点对象,工业绿色转型已成为绿色发展的重要抓手。基于此,本文以2013—2017年我国30个省(市、区)的工业企业为研究样本,数据来源于《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国环境统计年鉴》、EPS数据库等,对部分缺失数据,参照吴超等^[8],采用数据比例、插值法、趋势线等进行补齐。限于数据的可得性,本文数据不包含港澳台和西藏地区。

三、评价结果分析

(一) 回归结果分析

借助Stata15.0软件对模型(4)进行实证分析,得到表1的估计结果。从表1可以看到,各地区工业企业得研发人员、资本投入对绿色创新产出的影响为正,且通过1%水平的显著性检验,说明工业企业绿色创新生产中应进一步加大研发人员与资本的投入规模。而能源消耗对工业企业绿色创新产出具有负向影响,且在1%水平下拒绝原假设,表明能源消耗量的增加不利于绿色创新产出的取得。陈关聚^[20]采用SFA模型回归发现,煤

炭消费量与产出具有负向关系,虽然具有统计意义,但无法做出合理的经济学解释。与此不同,本研究的产出变量为绿色创新产出,而能源消费量在创新生产中,能源投入量越大,所获得的非期望产出数量就越多,进而对绿色创新产出产生负向影响。 b 与 c 的系数分别在10%与1%水平下显著不为0,说明创新效率具有时变特征,采用面板时变随机前沿方法是合理的。

(二)效率时变模式分析

图1绘制了2013—2017年我国工业企业绿色创新效率的频数分布图。由图1可知,我国工业企业绿色创新具有右偏特征,表明我国工业发展模式正在向更加绿色化转型,能源资源利用率更高,环境负产出在经济总产出中所占比重逐步下降,整体绿色创新效率不断得到提升。从整体分布看,多数工业企业的绿色创新效率值分布在0.8左右,整体水平良好。但也有部分处于0.6以下,这表明我国各区域工业企业绿色创新效率水平存在一定的区域差异,层次不齐。

图2是我国工业企业绿色创新效率随时间变化的趋势图。可以看出,我国最有效率地区工业企业的效率值呈缓慢递增趋势,接近最优水平;而创新效率最低地区工业企业的效率增幅较大,尤其在2015年以后,保持了较快的增长。平均而言,创新效率值随时间变化逐步递增,表明我国工业企业的绿色创新效率随时间变化而得到不断优化。可以发现,处于不同创新水平的工业企业创新效率的时间变化模式是不同的,这再次说明放松效率不随时间变化假定的重要性。

(三)分省区分析

我国各省区工业企业绿色创新效率变化情况如图3所示。由图3可知,2013—2017年间我国各省区工业企业绿色创新效率整体呈上升态势,但仍存在显著的创新水平差异。其中,天津、河北、浙江、上海、江苏、辽宁、北京等省市区工业企业绿色创新效率上升幅度较小,可能的原因在于:这些省份均是我国高GDP地区,传统追求高增长的经济发展模式存在一定的惯性,具体表现为工业企业的专有投资规模大,绿色转型难度高;同时各地区又面临发展经济的责任,因而在对工业企业环境规制政策的适用与执行方面仍保留一定的可操作空间与弹性,使得污染现象不能“断崖式”下降,往往产生一个缓慢的动态调整过程。政府兼顾经济发展与环境治理也是合理的。Feng和Li^[21]评估了我国的环境规制效率,结果发现我国各地区的环境规制效率具有显著差异,且主要来源于纯技术效率,这也说明环境规制政策合理执行的重要性。此外,山西、内蒙古、黑龙江、福建、云南、陕西、青海等省区绿色创新效率上升幅度较大,主要原因是:这些地区整体经济发展水平较低,环境往往成为经济发展的牺牲品,环境管制政策执行力度低,往往成为污染密集型产业的“污染避难所”。沈坤荣等^[22]研究发现,污染迁出地的环境规制导致污染迁入地的产业结构污染程度的加深。然而,随着2015年“十三五”规划的通过,绿色发展成为五大发展理念之首,各地区主体功能区的定位更加清晰,绿色发展战略的实施使得工业企业创新效率快速攀升。

表1 面板随机前沿生产函数的估计结果

变量	系数	标准差	P
lnL	0.4418	0.1721	0.010
lnK	0.7122	0.1866	0.000
lnE	-0.3238	0.1037	0.002
常数项	5.3539	1.0369	0.000
b	-0.4426	0.2511	0.078
c	0.1596	0.0546	0.003
σ_u^2	2.1479	0.8469	0.011
σ_v^2	0.0836	0.0108	0.000
Wald值	772.78		
Obs	150		

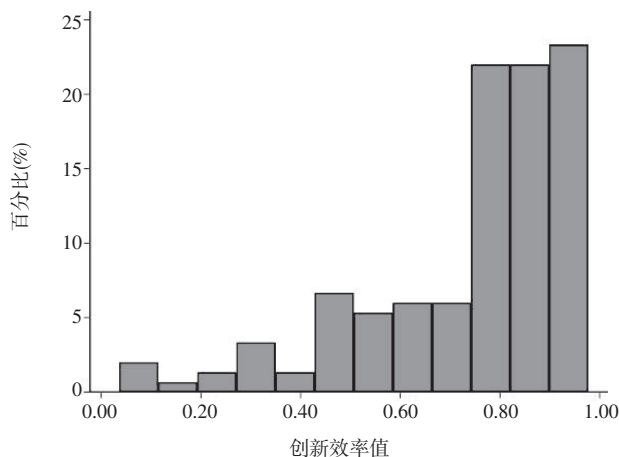


图1 我国工业企业绿色创新效率的频数分布图

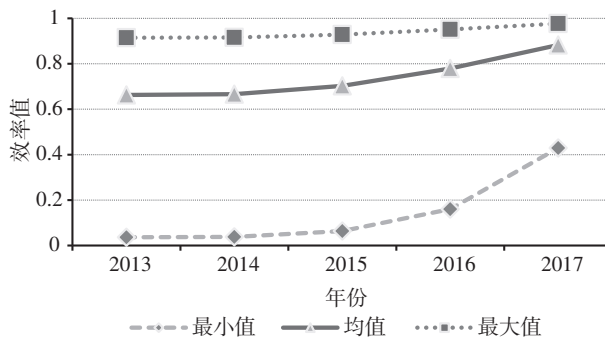


图2 各年份我国工业企业绿色创新效率的变化趋势

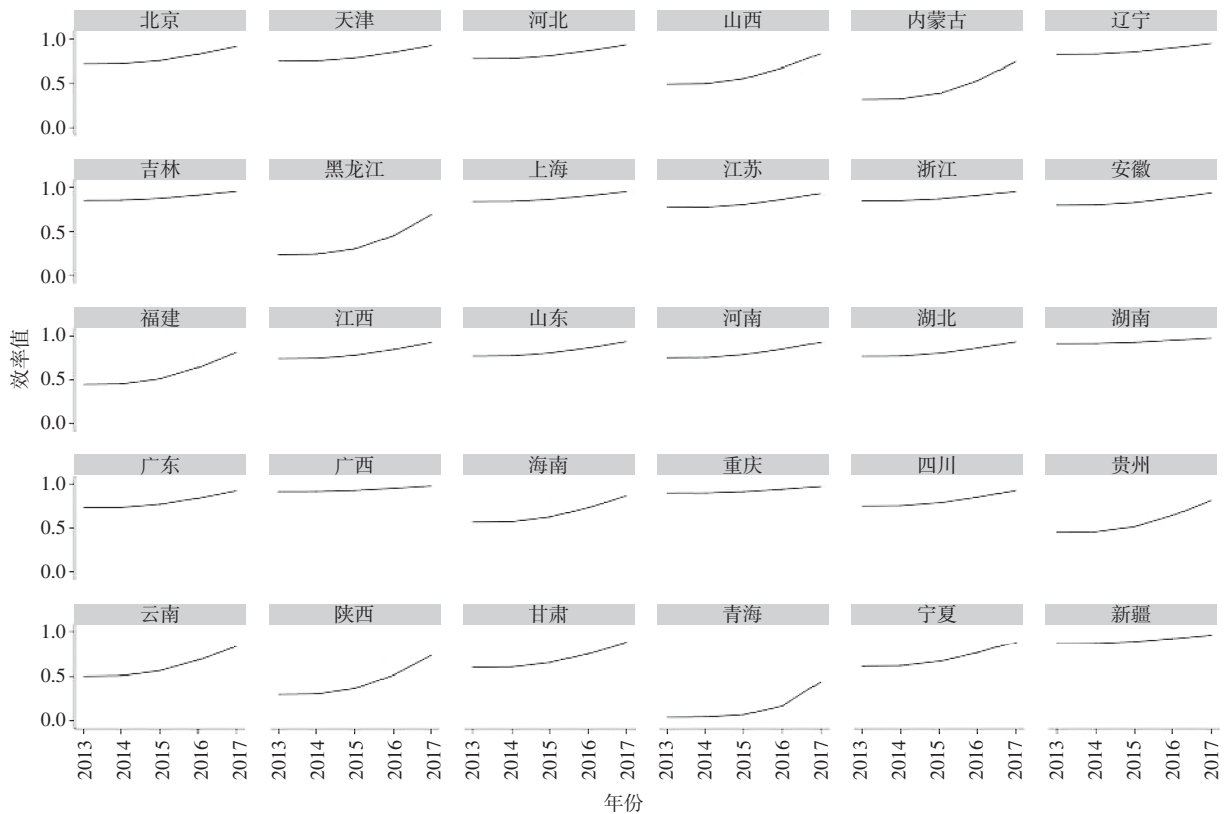


图3 我国各省区工业企业绿色创新效率趋势图

(四) 区域异质性分析

由图4可知,我国东、中、西部地区工业企业的绿色创新效率均具有上升趋势,且由5年前低于0.75上升至0.84以上,整体创新效率处于较高水平。其中,东部地区的创新效率由2013年的0.73上升到2017年的0.92,整体处于较优水平。东部地区的经济基础、市场化水平、教育水平、环境管理意识、产业体系、绿色创新技术等在全国均保持先进地位,绿色创新活动投入产出结构合理,良好的创新资源配置水平促进了工业企业较高水平的绿色创新效率。中部地区2013年的效率值为0.65,而2017上升到0.88,上升速度较快;西部地区的创新效率从2013年的0.59增加到2017年的0.84,提升幅度最大。中、西部地区由于经济发展较为落后,往往更加重视经济发展,因此对高污染、高能耗和高成本产业的环境容忍度较高,造成绿色创新技术的发展滞后。可以看出,三大地区工业企业绿色创新效率绝对值的排序依次为东部、中部和西部;从效率提升幅度看,依次为西部、中部和东部,整体呈收敛态势,不同区域间工业企业的绿色创新差距不断缩小。吕岩威等^[23]也发现,我国区域绿色创新效率整体呈上升态势,但存在显著的区域差异,并条件收敛于各自的稳态。不过,从效率收敛趋势看,自2015年以来,东部与中西部地区的绿色创新水平差距已大幅缩小,效率不均衡状况有所改善。

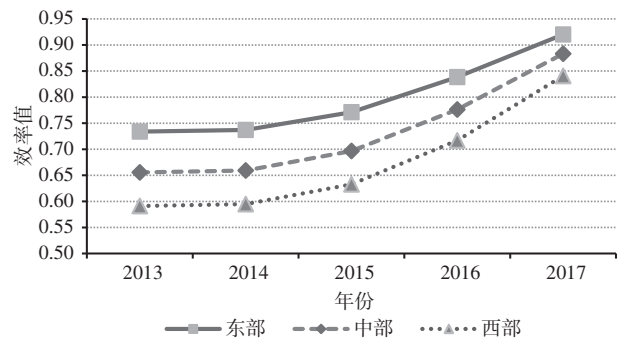


图4 2013—2017年我国三大地区的绿色创新效率变化

四、结论及政策启示

(一) 研究结论

本文采用面板时变随机前沿方法测算了2013—2017年我国工业企业的绿色创新效率,并分析了绿色创新效率的时变模式以及地区异质性。主要结论如下。

(1)考察期内,我国工业企业绿色创新效率均值为0.74,2017年达到0.88,虽然存在一定的改进空间,但

整体创新水平得到不断改进。

(2)从绿色创新的时变模式看,近年来我国工业企业的创新效率值随时间变化而不断提升,但不同创新水平地区的时变模式不同。其中,创新水平较低地区的效率值提升幅度最为明显。

(3)考虑地区异质性,分省来看,高 GDP 省区的绿色创新效率值增长缓慢,低 GDP 省区增长幅度较大,主要原因在于各省区经济发展与环境管理责任的动态调整状况不同。分区域看,工业企业绿色创新水平最高的地区分别为东部地区>中部地区>西部地区,但从提升幅度看,结果正相反,表明我国区域绿色创新水平仍存在较为明显的差异,但这种状况却在不断改善。

(二)政策建议

为发展资源节约型、环境友好型的新型工业,实现工业绿色转型,需要进一步调整产业结构,统筹区域经济发展与环境保护,以及提升我国工业企业的绿色创新效率。本文提出以下政策建议:

(1)政府应进一步加大对绿色创新技术和项目的资金支持。由创新的时变模式可知,绿色创新技术在一定时期内的进步是创新效率提升不可忽略的重要因素。因此,政府对于创新水平高、风险大、市场应用前景广的研发项目应增加财政资金支持力度,并加强创新项目的监管。同时,应进一步增加绿色金融信贷,拓宽工业企业绿色项目的融资渠道,加强项目的事前、事中考核评估,保证绿色资金运用到工业绿色转型之中。

(2)考虑到区域间绿色创新效率存在较为明显的差距,应加大创新资源的流动与创新成果的扩散。各地区应进一步扩大对外开放水平,进一步吸引国际资本参与到辖区工业绿色转型中来,获取更多的绿色技术溢出。同时,完善区域间绿色资源的共享机制,进一步整合创新资源,如可通过创新能力较强的大企业并购等方式整合或重构区域内的绿色创新资源。

(3)加深对环境管理与经济发展间关系的认识,实行区域有别、因地制宜的绿色创新。我国各地区的绿色创新实际各不相同,其中,东部地区创新效率水平最高,中西部次之;高、低 GDP 地区绿色创新能力与动力也具有异质性。纵观各地区发展实际,均面临发展经济与保护环境的双重压力。但“绿水青山就是金山银山”,各地区应坚定保护环境的信念,向绿水青山要发展,才能实现经济的可持续发展。此外,政府应加强环境规制,在工业企业生产的前中期加强环境管理,变被动管制为主动引导。

参考文献

- [1] 张江雪,朱磊.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,2012,29(2):113-125.
- [2] 袁茜,吴利华,张平.绿色增长下我国大型制造企业创新效率提升路径研究[J].科技进步与对策,2017,34(22):85-92.
- [3] 王彩明,李健.中国区域绿色创新绩效评价及其时空差异分析——基于2005—2015年的省际工业企业面板数据[J].科研管理,2019,40(6):29-42.
- [4] LI D, ZENG T. Are China's intensive pollution industries greening? An analysis based on green innovation efficiency[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 259: 120901.
- [5] 印浩,田贵良,钱晓燕.绿色工艺创新扩散波动对经济增长的冲击[J].技术经济,2019,38(11):109-116.
- [6] CHEN Y, LAI S, WEN C. The Influence of green innovation performance on corporate advantage in Taiwan[J]. Journal of Business Ethics, 2006, 67: 331-339.
- [7] SCHIEDERIG T, TIETZE F, HERSTATT C. Green innovation in technology and innovation management-an exploratory literature review[J]. R&D Management, 2012, 42(2): 180-192.
- [8] 吴超,杨树旺,唐鹏程,等.中国重污染行业绿色创新效率提升模式构建[J].中国人口·资源与环境,2018,28(5):40-48.
- [9] XIE X, HUO J, ZOU H. Green process innovation, green product innovation, and corporate financial performance: A content analysis method[J]. Journal of Business Research, 2019, 101: 697-706.
- [10] LIN R, TAN K, GENG Y. Market demand, green product innovation, and firm performance: Evidence from Vietnam motorcycle industry[J]. Journal of Cleaner Production, 2013, 40: 101-107.
- [11] LIAO Z. Temporal cognition, environmental innovation, and the competitive advantage of enterprises[J]. Journal of Cleaner Production, 2016, 135(1): 1045-1053.
- [12] LUO Q, MIAO C, SUN L, et al. Efficiency evaluation of green technology innovation of China's strategic emerging industries: An empirical analysis based on Malmquist-data envelopment analysis index[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 238: 1-10.
- [13] 钱丽,王文平,肖仁桥.共享投入关联视角下中国区域工业企业绿色创新效率差异研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(5):27-39.

- [14] 吴旭晓. 中国区域绿色创新效率演进轨迹及形成机理研究[J]. 科技进步与对策, 2019, 36(23): 36-43.
- [15] 李双杰, 范超. 随机前沿分析与数据包络分析方法的评析与比较[J]. 统计与决策, 2009(7): 25-28.
- [16] 边文龙, 王向楠. 面板数据随机前沿分析的研究综述[J]. 统计研究, 2016, 33(6): 13-20.
- [17] KUMBHAKAR S C. Production frontiers, panel data, and time-varying technical inefficiency[J]. Journal of Econometrics, 1990, 46: 201-211.
- [18] 李玉婷, 祝志勇. 制度供给与中国地区绿色创新效率[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2019, 21(1): 50-58.
- [19] 陈诗一, 陈登科. 雾霾污染、政府治理与经济高质量发展[J]. 经济研究, 2018, 53(2): 20-34.
- [20] 陈关聚. 中国制造业全要素能源效率及影响因素研究——基于面板数据的随机前沿分析[J]. 中国软科学, 2014(1): 180-192.
- [21] FENG M, LI X. Evaluating the efficiency of industrial environmental regulation in China: A three-stage data envelopment analysis approach[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 242: 1-13.
- [22] 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, 52(5): 44-59.
- [23] 吕岩威, 谢雁翔, 楼贤骏. 中国区域绿色创新效率收敛性研究[J]. 科技进步与对策, 2019, 36(15): 37-42.

Evaluation of Green Innovation Efficiency of Industrial Enterprises in China: Analysis of Stochastic Frontier Model Based on Panel Time-varying

Li Chengshun

(School of Economics and Management, University of Electronic Science and Technology, Chengdu 610000, China)

Abstract: Green innovation is conducive to the sustainable development of China's economy. As an important participant in economic development, the improvement of green innovation efficiency of industrial enterprises was conducive to the realization of green transformation of China's industry. The panel time-varying stochastic frontier model was used to measure the green innovation efficiency of industrial enterprises in China from 2013 to 2017. The results show as follows. Since 2013, the green innovation level of industrial enterprises in China has been improved continuously. The innovation efficiency shows time-varying characteristics, and the whole is continuously optimized with the change of time. From the perspective of regions, there are camera decisions of economic development and environmental management responsibility in each province. From the perspective of regions, there is a certain innovation gap between the East, the West and the East, but there is a convergence trend.

Keywords: industrial enterprises; green innovation; panel time-varying stochastic frontier model; efficiency evaluation