

基于SBM模型的科技创新效率及影响因素研究

李 芸¹, 雷宏振¹, 张小筠²

(1. 陕西师范大学 国际商学院, 西安 710062; 2. 西安外国语大学 经济金融学院, 西安 710062)

摘 要: 本文利用全国30个省份2009—2017年相关数据测算了各省份(地区)科技创新效率、全要素生产率及其分解指标。结果表明: 整体科技创新全要素生产率变动主要来源于技术效率变化。东部省份(地区)全要素生产率提升主要来源于技术进步, 西部省份(地区)全要素生产率变动较大, 主要来源于技术效率变化。进一步通过Tobit回归显示政府支持、对外开放程度、产业结构、人力资本与全要素生产率显著相关, 最后本文提出了对策建议。

关键词: 科技创新; 效率; SBM模型; 影响因素; Tobit回归

中图分类号: F221 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002—980X(2020)5—0001—08

国与国之竞争, 有资源之争, 有贸易之争, 归根结底都是科技之争。马克思曾深刻地指出: 社会劳动生产力, 首先是科学的力量。我国改革开放之初, 邓小平同志就根据当代科学技术发展的现状与趋势, 明确地提出了“科学技术是第一生产力”的论断, 这一论断的提出既指出了现代科技发展的重要特点, 也明确了科技发展的必然结果。十九大报告提出, 创新是引领发展的第一动力, 是建设现代化经济体系的战略支撑, 是破解结构性矛盾的“金钥匙”。因此科技创新效率可以说是科技创新能力和动力的综合反映, 它可以用一定时期内科技创新产出与投入的比值来表示。根据国家知识产权局知识产权发展研究中心发布最新的《中国知识产权发展状况评价报告》数据显示: 党的“十八大”以来, 我国坚持创新驱动发展战略, 深入实施知识产权战略, 综合发展水平稳步提升, 然而知识产权状况依然呈现出东中西部递减的趋势, 为什么这种区域分布不平衡的现象依然存在? 经济新常态背景下, 如何在资源稀缺、财力有限的前提下提升各省份(地区)科技活动创新效率, 获取更高的研发产出依然值得关注。由此可见, 深入分析区域科技创新效率以及影响因素对于国家整体科技进步、技术创新、有针对性地制定科技发展、产业规划、资源配置等政策具有非常重要的意义。

一、文献综述及指标选取

科技创新效率是衡量国家创新状态的重要指标, 有关科技创新、研发等问题的研究, 以往文献主要集中在以下几方面: 一是高技术产业的研发效率相关研究: 大多数基于科布道格拉斯生产函数选取相应指标进行分析。其中朱有为和徐康宁^[1]借助 Battese 和 Coelli^[2]的技术效率模型, 对中国13个高技术行业10年的研发效率进行分析, 结果发现, 研发资本积累对新产品销售收入的产出弹性高于研发人员投入的产出弹性, 但研发活动处于规模不经济, 研发效率的行业差异逐渐缩小。李邃等^[3]对我国28个省份地区9年间的高技术产业研发效率和全要素生产率增长率进行研究, 结果发现东部省份地区的研发效率普遍高于中、西部省份地区; 研发活动的全要素生产率和技术进步都呈现增长, 但技术效率未明显变化; 对大多数省份地区的技术进步是促进全要素生产率增长的主要动力。王庆金等^[4]以2012—2016年中国东部地区9个省市高技术行业数据, 采用两阶段DEA模型和交叉DEA模型相结合的方法对高技术产业创新运营效率进行评价, 并结合自评效率和他评效率进行地区间效率、行业间效率比较。结果表明, 中国东部地区高技术产业整体效率仍然偏低, 但高技术产业区位优势明显, 技术开发阶段和经济转化阶段效率表现出差异化特征; 二是工业企业的研发效率相关研究: 王钦和张奎^[5]以中国工业企业技术创新40年为背景, 研究了工业企业技术创新四阶段中制度环境与企业行为的共同演进; 徐莉和方梓旭^[6]采用数据包络分析法测算中国规模以上工业企业R&D效率, 并考察了影响因素, 研究发现, 规模以上工业企业R&D效率总体不高, 地区之间差异明显; 企业盈利能力

收稿日期: 2019—12—05

基金项目: 陕西省软科学研究重点项目“发展高新技术产业、壮大战略性新兴产业的对策研究”(2019KRZ008)

作者简介: 李芸(1983—), 女, 陕西西安人, 陕西师范大学国际商学院博士研究生, 研究方向: 产业经济、技术创新; 雷宏振(1966—), 男, 陕西西安人, 博士, 陕西师范大学国际商学院院长, 教授, 研究方向: 技术创新, 产业经济; 张小筠(1986—), 女, 陕西西安人, 博士, 西安外国语大学经济金融学院讲师, 研究方向: 产业技术创新。

和 R&D 效率呈不显著的正向关系,企业 R&D 重视程度、高校及科研机构数量和 R&D 效率呈显著的正向关系,政府支持对 R&D 效率呈不显著的负向关系。陈元志等^[7]对我国大中型工业企业 2001—2015 年的面板数据进行研究发现,中国大中型企业的综合技术效率在不断提高并且差距在不断缩小,不同类型企业之间的差距在不断缩小。中外合资经营企业和外资企业的综合技术效率长处于优势地位,内资企业的综合技术效率、纯技术效率和规模效率在绝大多数时间均处于追赶地位。陶爱萍等^[8]利用 2011—2016 年我国工业行业数据,实证检验了 R&D 资金投入结构对技术创新效率的影响,结果发现资金的不同来源渠道对技术创新效率的提升具有不同作用,技术引进和购买及行业竞争程度的提高不利于技术创新效率的提升,行业利润水平上升和国有企业占比升高有利于技术创新效率的提升;三是产学研协同创新效率的相关研究。姜彤彤^[9]基于 DEA-Malmquist 指数方法,对我国省际产学研合作全要素生产率及区域差异进行了研究,结果发现:整体上,我国产学研合作全要素生产率年均增长 1.6%,主要动力来自技术效率的增长,而技术进步率则出现下降趋势。董锋等^[10]在研究产学研协同创新发展的背景下,从人力、财力、科技和经济 4 个方面构建了产学研协同创新效率评价指标体系,并对全国 30 个省、市、自治区 2001—2014 年的产学研协同创新效率进行实证研究,结果发现全国产学研协同创新效率整体偏低,且呈现出东部高、中西部低的现象,同时发现各地区协同创新效率具有显著差异性。董菁菁^[11]在分析产学研协同创新内在机理的基础上,利用辽宁省的企业面板数据对产学研协同创新的效率及其影响因素进行研究。通过文献梳理发现,已有学者对科技创新效率的研究做出了许多有益的尝试,通常从高技术产业、规模以上工业企业等行业层面考察研发效率,但科技活动不仅存在于高校、科研机构和工业企业,还存在于其他类型的科技活动中,因此部分指标难以反映整体科技活动创新效率,为体现科技活动的整体性和全面性,本文采用 2009—2017 年我国 30 个省份(地区)(西藏地区和港澳台地区因数据缺失剔除)的科技活动整体数据分析科技活动创新效率及其影响因素。本文的理论贡献主要有以下几点:①采用产出导向的非径向的效率测度模型(slack-based measure,SBM)分析科技活动创新全要素生产率及其分解,避免了运用径向模型本身的测度缺陷^[12],更客观地反映了我国新常态下整体和区域科技活动的创新效率;②结合 Malmquist Index 深入分析我国整体和各省份的科技创新全要素生产率及其分解指标,就全要素生产率变动作为因变量来探讨影响因素,有别于大多数以综合效率也就是以技术效率为因变量来讨论影响因素;③进一步探讨了如何在有限的资源财力约束条件下,优化资源配置,提升科技投入产出效率,并为制定相关发展政策提供依据。

二、模型构建和变量选取

(一)研究方法:产出导向的 SBM 模型

Tone^[13]提出了一种基于松弛变量测度的非径向 DEA 模型,它避免了传统 DEA-BC²和 DEA-C²R 存在的投入产出的角度和径向的选择带来的偏差。可以在现有投入相对稳定的前提下扩大产出,使效率测算更为精确。

SBM 模型描述如下:假设有 n 个决策单元 DMU ,记为 $DMU_j(j=1,2,\cdots,n)$,每个决策单元 DMU 有 n 种投入要素,记为 $x_i(i=1,2,\cdots,m)$, m 种产出,记为 $y_r(r=1,2,\cdots,s)$,则

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{i0}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{r0}} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } x_{i0} = \sum_{j=1}^n \theta_j x_{ij} + s_i^- (i=1,2,\cdots,m) \quad (2)$$

$$y_{r0} = \sum_{j=1}^n \theta_j y_{rj} + s_r^+ (r=1,2,\cdots,s) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n \theta_j = 1; s_i^-; s_r^+ \geq 0 \quad (4)$$

其中: ρ 为效率评价指标; x_{ij} 为第 j 个 DMU 的第 i 个投入变量; y_{rj} 为第 j 个 DMU 的第 r 个产出变量; θ_j 为参照集中各要素的权重。本文使用 MaxDEA6.0 软件进行 SBM 模型分析。

(二)曼奎斯特指数(Malmquist index)模型

全要素生产率(total factor productivity,TFP)由索洛提出,是指生产活动在一定时间内的效率,是衡量单

位总投入和总产出的生产率指标,一般定义为人力、物力、财力开发利用的效率。这里的“全”并非指所有要素带来的增长,而是指不能归因于劳动、资本等有形要素的增长部分,其来源往往包括有3个来源:一是效率的改善;二是技术进步;三是规模效应。因此全要素生产率的增长率常常被看作是科技进步的指标。

全要素生产率的度量通常有参数法和非参数法两种,参数法有索洛残差法;生产函数法,主要适用于多投入单产出的情况;非参数法包括代数指数法、TFP指数法、曼奎斯特指数模型和数据包络分析法。本文选取 Farrell 等^[14]构建的基于 DEA 的曼奎斯特指数法,因其避免了使用参数法设定函数不当导致的结果误差,其次不需要假设,且计算简便易行,能够对多个对象多个指标进行计算。兼具了 DEA 分析法的特点并且有自身优势。

曼奎斯特生产率指数变动值即全要素生产率(TFP)变动值。*TFP*可以分解为技术效率变化指数(*effch*)和技术进步指数(*techch*)两项。技术效率变化指数是处于规模报酬不变且要素自由处置条件下的效率变化指数,它度量的是从 t 时期到 $t+1$ 时期生产决策单元到最佳生产可能性边界的追赶程度,也被称为“追赶效应”。技术进步指数度量的是技术边界从 t 时期到 $t+1$ 时期的移动情况,也被称为“增长效应”。效率变化指数又可以被分解为纯技术效率变化指数(*pech*)和规模效率变化指数(*sech*),若 $TFP > 1$,说明从第 t 期到 $t+1$ 期的全要素生产率呈增长状态,反之亦然。若 $sech > 1$,表明相对于 t 期,第 $t+1$ 期的规模效率更接近固定规模报酬;若 $pech > 1$,表明规模报酬可变的条件下,纯技术效率有所改善;前两者的乘积构成技术效率, $effch > 1$,表明决策单元向技术有效前沿面趋近,相对技术效率有所提高;若 $techch > 1$,则说明技术出现了进步或创新,即生产可能性边界向外移动。

(三) Tobit 模型

Tobit 模型是由美国经济学家 Tobin^[15]在 1958 年提出来的, Tobit 模型的标准形式如下:

$$y_i^* = x_i \beta + \epsilon_i \quad (5)$$

$$y_i = \begin{cases} y_i^*, & y_i^* \geq 0 \\ 0, & y_i^* < 0 \end{cases} \quad (6)$$

其中: y_i 为潜在因变量向量; x_i 为自变量向量; β 为系数向量; ϵ_i 为误差项, $\epsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ 。

(四) 变量选取和数据来源

为确保选取指标的科学性、准确性和有效性,本文所有数据均来源于《中国科技数据库》《中国高技术产业统计年鉴》和《中国统计年鉴》选取我国 30 个省级行政区域的相关数据分析,其中西藏地区和港澳台地区因数据缺失剔除。参考国内外学者对指标体系的相关研究,根据柯布道格拉斯生产函数中涉及变量,选取相应指标见表 1。

表 1 指标选取及说明

指标	指标说明
人力投入	科技活动总体研发人员当量
财力投入	科技活动总体研发内部经费支出
物力投入	高技术产业研发项目经费、固定资产投资额
研发产出	专利申请量
经济效益产出	技术合同成交额、新产品销售收入

通常创新投入要转化成产出存在一定的时间滞后,本文参照陈光华等^[16]、董菁菁^[17]的观点,设定创新滞后期为 1 年。由于研发经费内部支出、新产品销售收入、技术市场成交额这 3 项指标均与物价变动相关,本文按照朱平芳和徐伟民^[18]的方法对这些指标以 2008 年为基期进行平减处理。其中,固定资产投资价格指数、消费物价指数、工业品出厂价格指数的相关数据来源于国家统计局网站。为了消除模型回归中可能出现的异方差情况,最大程度减少数据的波动,本文在实证分析前对所有数据进行了对数化处理。

三、实证结果及分析

基于本文模型构建和变量选取,接下来从静态的技术效率和动态的生产率变动^[19]对观察期间内的科技创新效率进行深入剖析。技术效率的概念最早由 Farrell^[14]提出,认为技术效率反映厂商给定投入集获得的最大产出能力,Leibenstein^[20]从产出角度对技术效率进行了阐释,认为技术效率反映了实际产出与市场价格一定、投入规模比例相同的相似环境下最优理想产出的比率,如果这个比率小于 1,意味着生产单位存在效率损失。本文应用 SBM 模型测算出的技术效率可以分解为纯技术效率和规模效率,而衡量动态生产率的变动情况则用 Malmquist 全要素生产率指数测算,可以分解为技术效率变动和技术进步变动。

(一) 技术效率测算

运用 MAXDEA6.0 软件,计算 2009—2017 年我国 30 个省(市、自治区)科技创新的技术效率指标,具体指标见表 2。

表 2 2009—2017 年我国省际科技创新技术效率值

省份	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	均值
安徽	0.238	1	1	1	1	0.410	0.375	1	0.793	0.782
北京	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
福建	1	0.675	1	1	0.908	0.733	0.710	0.718	0.334	0.808
甘肃	0.258	0.465	0.428	1	0.438	0.517	0.387	0.789	1	0.628
广东	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
广西	0.103	0.213	0.227	0.129	0.513	1	1	1	1	0.531
贵州	0.540	0.580	0.741	0.367	1	1	1	1	1	0.759
海南	1	1	1	1	1	1	0.245	0.219	1	0.846
河北	0.185	0.375	0.275	0.244	0.221	0.319	0.255	0.213	0.429	0.276
河南	0.130	0.204	0.227	0.109	1	1	1	1	1	0.578
黑龙江	0.160	0.146	0.201	0.190	0.217	0.254	0.273	0.416	0.313	0.236
湖北	0.385	0.490	0.322	0.187	0.300	0.407	0.384	0.445	0.570	0.368
湖南	0.169	0.266	0.239	0.118	0.306	0.321	0.326	0.183	0.358	0.240
吉林	0.1996	0.231	0.275	0.179	0.193	0.241	0.198	0.207	0.407	0.231
江苏	1	1	1	1	1	1	0.662	1	0.579	0.924
江西	0.150	0.259	0.287	0.153	0.424	0.373	0.385	1	1	0.418
辽宁	0.225	0.543	1	0.348	0.392	0.338	0.296	0.373	0.770	0.463
内蒙古	0.235	1	1	0.602	0.254	0.206	0.305	0.277	0.427	0.491
宁夏	0.352	0.626	0.716	0.691	0.564	0.519	1	1	0.924	0.708
青海	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
山东	0.204	0.382	0.442	0.147	0.254	0.340	0.337	0.320	0.431	0.300
山西	0.372	0.503	0.577	1	0.292	0.321	0.238	0.402	0.771	0.548
陕西	0.149	0.315	0.409	0.321	0.484	0.364	0.338	0.389	0.495	0.359
上海市	1	1	0.753	0.450	0.607	0.495	0.572	0.437	0.597	0.636
四川	0.313	0.271	0.407	0.268	0.642	0.586	0.4801	0.796	1	0.503
天津市	1	1	1	1	1	1	1	0.756	0.722	0.948
新疆	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
云南	0.370	0.594	0.561	0.492	0.456	0.417	0.589	0.537	0.834	0.534
浙江	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
重庆	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
均值	0.525	0.638	0.670	0.60	0.649	0.639	0.612	0.683	0.758	0.637

从表 2 可以看出:全国 2009—2017 年技术效率均值为 0.637,表明总体科技创新技术效率不高,2009 年全国平均技术效率为 0.525,2017 年这一均值上升为 0.758,技术效率近 10 年间得到明显提升;综合各个省份的数据显示:技术效率值达到最优的省份有北京、广东、浙江、重庆、青海和新疆,大部分为东部发达省份,全国有 15 个地区技术效率高于全国平均水平,其中技术效率较高(高于 0.8)的地区有 10 个,除青海、海南和新疆外,都是东部城市或直辖市,说明技术效率所反映的对现有技术利用、管理水平与经济发达程度呈正相关关系,技术创新效率的区域不平衡现象依然存在。

(二)基于 Malmquist 指数模型的效率分解

本文通过 SBM 模型测算了我国各省份(地区)的技术效率,系统分析了各个地区技术效率变化过程,探讨了观察期间内我国科技创新静态效率情况^[21]。为进一步探讨科技创新效率的动态变化情况,在此基础上,选取 Malmquist 指数测算全国及各省份科技创新全要素生产率变动指数,深入分析引起全要素生产率变动的技术效率变化和技术进步变化情况,若全要素生产率指数及其分解项技术效率变动和技术进步变动大于 1 的话,则意味着全要素生产率指数、技术效率和技术进步是改善的、增长的、进步的,反之则是倒退的、恶化的和退步的。具体结果见表 3。

根据表 3 科技活动全要素生产率指数及其分解结果来看:①Malmquist 生产率指数均值为 1.178,表明我国省际整体科技活动全要素生产率呈增长态势,从全要素生产率的分解项来看,技术效率增长 20.4%,技术进步增长 7.0%,进一步对技术效率变化进行分解,我国科技创新整体纯技术效率增长 10.6%,而规模效率增长 12.4%,由此可见,我国整体科技活动全要素生产率的提升主要是由技术效率变化引起的,而技术效率的提升主要由规模效率变化引起的;②从 TFP 的两个分解项看,技术效率变化和技术进步变化总体是大于 1 的,但在观察周期内呈现出明显的波动增长特征。进一步分析各省份(地区)科技活动全要素生产率指数及其分解项,其结果见表 4。

由表4可看出,全国除5个省份的TFP值变动略有下降外,其余省份均有不同程度的增长。传统经济发达的东部省份(地区),例如北京、广东、上海、浙江、江苏等地区技术进步变动大于技术效率变动。在一些经济欠发达的中西部省份(地区),例如河南、广西、江西、安徽等地区技术效率变化大于技术进步变化,这一点与全国TFP值分解指标一致。可见,中西部省份的科技创新活动对我国整体科技活动创新效率有重要影响。

综合表2、表3和表4可以看出:技术效率反映的是在现有技术进步和创新条件下,对现有技术更充分、更有效的利用能力,因此管理水平提升、生产经验累积是实现技术效率提高的主要途径;而技术进步变化指数在研究中通常反映了实际中技术引进或技术创新的结果,而技术进步变化会引起可能性生产边外向移动,从而形成技术进步,继而提升全要素生产率的提升^[22]。通过以上分析反映出东部地区创新基础资源好,比如经费投入力度大、人力资本丰裕,技术进步变动表现优秀,说明这些地区技术引进或者技术创新能力强于中西部欠发达地区;而西部地区经费投入与人力资本差距明显差距很大,但是近10年数据表明,这些地区也在不断进行追赶,表现在技术效率变化幅度大于技术进步变化幅度,说明对现有资源有效利用能力不断增强。综上所述,不管创新基础如何,都需要重视资源优化配置,加大技术创新力度,才能进一步提高科技活动创新效率。

(三)影响因素分析

通过分析显示我国科技创新效率整体水平得到较大幅度提升,但仍表现出较为明显的地区差异,有必要进一步探讨这些差异是由哪些因素所致。新古典增长理论认为,各经济体的发展不仅受初期水平的影响,还会受到诸如资源禀赋、产业结构、人口、技术水平等因素的影响,因此,为了探究差异性的根源,建立Tobit回归模型对科技创新活动影响因素(表5)进行分析。

1. 影响因素变量选择

(1)政府支持。科技活动人力、物力、财力丰裕的地区,能够为科技创新活动提供优良的土壤,因此政府对科技创新活动的支持力度越大,地区创新活动越活跃,就越有可能通过竞争、合作不断提高创新效率。

(2)对外开放。绝对优势理论认为对外开放有利于区域经济增长。对外开放程度的提升能够扩大并加深科技活动的竞争与合作,有助于创新要素集中和优化配置,有利于地区和地区间的技术创新合作和技术进步,对科技创新活动带来强有力的刺激,不断促进创新效率的提升。

(3)产业结构。所谓产业结构是指各产业间的相互联系和比例关系。在经济发展不同阶段,各产业间占

表3 2009—2017年各年份科技创新Malmquist生产率指数及其分解

年份	<i>effch</i>	<i>techch</i>	<i>pech</i>	<i>sech</i>	<i>TFP</i>
2009—2010	1.544	0.661	1.0260	1.596	0.961
2010—2011	1.087	1.599	1.120	0.981	1.718
2011—2012	0.862	1.531	0.995	0.856	1.166
2012—2013	1.596	0.787	1.230	1.1898	1.212
2013—2014	1.030	0.928	1.116	1.005	0.950
2014—2015	0.985	1.238	0.984	1.084	1.202
2015—2016	1.196	0.956	1.275	1.077	1.096
2016—2017	1.328	0.859	1.099	1.204	1.123
均值	1.204	1.070	1.106	1.124	1.178

表4 2009—2017年按地区科技创新Malmquist生产率指数及其分解

省份	<i>effch</i>	<i>techch</i>	<i>pech</i>	<i>sech</i>	<i>TFP</i>
安徽	1.498	1.1002	1.099	1.266	1.433
北京	1	0.996	1	1	0.996
福建	0.915	0.984	0.944	0.959	0.928
甘肃	1.342	0.943	1.437	1.074	1.151
广东	1	1.001	1	1	1.001
广西	1.577	1.199	1.297	1.169	1.547
贵州	1.1966	1.131	1.127	1.036	1.135
海南	1.339	0.994	1.092	1.316	1.305
河北	1.205	1.033	1.083	1.107	1.116
河南	2.040	1.012	1.350	1.303	1.986
黑龙江	1.112	0.963	1.094	1.036	1.063
湖北	1.107	1.077	0.977	1.249	1.034
湖南	1.268	1.050	1.059	1.176	1.122
吉林	1.145	1.140	1.086	1.206	1.239
江苏	0.969	1.032	1	0.969	0.949
江西	1.457	1.138	1.249	1.140	1.330
辽宁	1.349	1.111	1.188	1.113	1.263
内蒙古	1.379	1.080	0.950	1.556	1.099
宁夏	1.185	0.954	1.192	1.050	1.113
青海	1	2.051	1	1	2.051
山东	1.214	1.068	1.017	1.169	1.090
山西	1.246	0.901	1.528	1.432	1.023
陕西	1.227	1.025	1.182	1.144	1.146
上海	0.975	1.073	0.958	1.027	0.982
四川	1.258	1.131	1.137	1.146	1.289
天津	0.964	1.002	0.963	1.001	0.968
新疆	1	0.873	1	1	0.873
云南	1.143	0.912	1.160	1.073	1.002
浙江	1	1.032	1	1	1.032
重庆	1	1.090	1	1	1.090

经济总量比重大不一样,产业间合理的构成比例和相互关系能够通过关联效应促进科技创新活动效率的提升,已有文献中一般选取第二产业增加值占 GDP 比重衡量。

(4)人力资本。内生增长理论^[23]认为,人力资本的累积能够对技术创新水平高低产生重要影响。通常,高水平的人力资本存量意味着地区劳动力整体素质较高,这些劳动力则蕴含着丰富的知识储备和劳动技能,能够为创新活动提供人才保障。

(5)信息化水平。科技创新活动离不开各种知识、信息、要素的流动,而信息化是利用信息技术、促进信息交流和知识共享的重要手段,可见信息化建设是开展科技创新活动的基础设施环境的重要方面,能够为创新活动提供重要的支撑。

表 5 影响因素变量描述

影响因素	衡量指标	文献来源
政府支持	研发投入经费占地区国内生产总值比重	程广斌和张雅琴 ^[23]
对外开放	进出口额(按当年汇率折算成人民币)占地区国内生产总值的比重	吴传清和邓明亮 ^[24]
产业结构	工业增加值占地区国内生产总值的比重	朱天星等 ^[25]
人力资本	每十万人高等学校在校生数	彭国华 ^[26]
信息化水平	区域互联网宽带接入端口数	习明明 ^[27]

注:资料为作者整理。

2. 回归分析

本文构建我国科技活动效率影响因素 Tobit 回归模型如下:

$$TFP_{i,t} = \beta_0 + \beta_1 G_{i,t} + \beta_2 O_{i,t} + \beta_3 S_{i,t} + \beta_4 H_{i,t} + \beta_5 I_{i,t} + u_{i,t} \quad (7)$$

其中: β_0 为常数项; β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 、 β_5 为各自变量的回归系数; i 和 t 分别表示地区和时间; $u_{i,t}$ 表示随机干扰项; G 代表政府支持; O 代表对外开放; S 代表产业结构; H 代表人力资本; I 代表信息环境。为消除异方差,对所有解释变量取对数。各变量描述性统计结果见表 6。

本文利用 Stata15.0 软件进行 Tobit 回归分析,在回归中加入了年份和地区的虚拟变量以控制其他因素的影响,回归结果见表 7。

结果表明,政府支持对 TFP 的影响在 5% 水平上通过了显著性检验,系数为 0.295,说明政府支持每提高 1%, TFP 提高 0.295%,意味着政府对地区科技活动越重视,支持力度越大,财政科技支出资金会进一步倾斜给科技创新活动,进而促进地区 TFP 提升。对外开放程度对 TFP 的影响在 1% 水平上通过了显著性检验,系数为 0.427,说明对外开放程度每提高 1%, TFP 相应提高 0.427%,意味着对外开放力度大的地区,科技创新活动实体间的竞争与合作越全面,创新活动将更活跃,对地区科技创新效率越能产生积极影响。而产业结构在 10% 水平上通过了显著性检验,系数为 -0.490,可能意味着地区的产业结构仍存在不合理的地方;人力资本对 TFP 的影响在 1% 水平上通过了显著性检验,系数为 1.628,说明人力资本每提高 1%, TFP 相应提高 1.628%,意味着地区高素质人才越集中,对当地科技创新活动效率将产生显著的推动力,当前经济发达省份依然占据了良好的人才优势,这是导致科技创新活动效率不均衡的重要方面;信息化程度对 TFP 的影响在近似在 10% 水平上通过了显著性检验,系数为 0.253,说明信息化水平每提高 1%, TFP 提高 0.253%,表明地区信息化水平对科技创新活动效率影响较大。

表 6 描述性统计结果

变量	均值	标准差	最小值	最大值
TFP	0.641	0.331	0.103	1
$\ln G$	-4.140	0.578	-5.550	-2.630
$\ln O$	-1.754	0.953	-3.445	0.437
$\ln S$	-0.953	0.264	-2.128	-0.634
$\ln H$	7.743	0.336	6.876	8.817
$\ln I$	6.569	1.044	3.243	8.782

表 7 Tobit 回归结果

解释变量	系数	标准差	T 统计量	p	年份	地区	样本数	卡方统计量
$\ln G$	0.295**	0.116	2.53	0.012	控制	控制	270	367.91***
$\ln O$	0.427***	0.111	3.84	0.000				
$\ln S$	-0.490*	0.277	-1.77	0.078				
$\ln H$	1.682***	0.324	5.19	0.000				
$\ln I$	0.253	0.162	1.56	0.119				
常数项	-11.765***	2.348	-5.01	0.000				

注:*, **, *** 分别表示在 10%、5%、1% 水平上显著。

四、结论与建议

本文采用曼奎斯特生产率指数方法测算了我国科技活动全要素生产率及其分解指标,对各省份(地区)科技活动的技术效率和全要素生产率动态变化进行了比较分析,并基于面板 Tobit 模型对科技活动全要素生产率的影响因素进行了实证分析,主要得到以下结论。

(1)在研究期间整体科技活动全要素生产率有所增长,主要来源于技术效率变化。东部省份(地区)全要素生产效率提升主要来源于技术进步,西部省份(地区)全要素生产率变动较大,主要来源于技术效率变化。

(2)研究期间整体技术效率均值为0.637,表明总体资源配置效率不高,而从2009年与2017年的技术效率均值来看,提升幅度较大,表明资源配置效率在提升;并进一步发现,资源配置效率跟经济发达程度正相关。

(3)政府支持、对外开放、人力资本对科技创新效率具有显著正影响,产业结构对科技创新效率有显著负影响,信息化水平对科技创新效率具有正影响。

因此,为更好地提升我国整体科技创新效率,聚集创新要素,优化资源配置,提出如下建议。

(1)从创新要素管理上入手。政府应高度重视科技创新活动对地区经济发展和竞争力的推动作用,在客观资源约束条件下从单纯的投入管理到效率管理转变,改革科技管理政策,有效匹配科技活动所需人财物的数量和质量,实现资源优化配置,提供良好的配套,增强科技创新对地区经济发展的支撑作用,推动地区经济实现高质量发展。

(2)从改善科技创新环境上入手。利用各异资源禀赋和地区优势增强科技实力,研究表明^[28-29]基础设施建设和经济环境对区域创新效率的作用较为显著,改善基础环境,发挥市场作用,搭建创新平台,促进产学研合作创新及成果转化。

(3)从创新激励机制上入手。政府提供良好的配套措施,建立相应的支持政策和人才激励机制,设置研发项目和人才类计划,扩充区域整体科技投入规模^[30],完善各类科技资金的管理与监督措施,激活科技活动人员活力,提升科技资本投入的绩效。

需要指出的是,科技创新活动整体效率的提升离不开各部分效率提升的共同作用,因此各地区在实际发展中应该根据本省份的科技创新发展的实际情况,合理配置各种创新要素,并努力协调科技劳动、科技资本和技术之间的关系,提升我国整体科技创新效率。

参考文献

- [1] 朱有为,徐康宁.中国高技术产业研发效率的实证研究[J].中国工业经济,2006(11):38-45.
- [2] BATTESE G E, COELLI T J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data[J]. Empirical Economics, 1995, 20(2): 325-332.
- [3] 李邃,江可申,郑兵云,等.高技术产业研发创新效率与全要素生产率增长[J].科学学与科学技理,2010,31(11):169-175.
- [4] 王庆金,王强,周雪,等.区域高技术产业研发活动效率评价及影响因素研究[J].科技进步与对策,2018(12):59-65.
- [5] 王钦,张奎.中国工业企业技术创新40年:制度环境与企业行为的共同演进[J].经济管理,2018(11):5-20.
- [6] 徐莉,方梓旭.中国规模以上工业企业R&D效率:评价、影响因素及策略[J].中国科技论坛,2018(3):66-72.
- [7] 陈元志,陈劲,吉超.中国不同类型企业技术创新效率的趋势与比较[J].科研管理,2018(5):1-10.
- [8] 陶爱萍,马金龙,蒯鹏.R&D资金投入结构对技术创新效率的影响研究——基于中国工业行业的实证分析[J].华东经济管理,2019(5):83-90.
- [9] 姜彤彤.协同创新视角下产学研合作全要素生产率研究[J].科技进步与对策,2015(9):150-154.
- [10] 董锋,树琳,李靖云,等.产学研协同创新效率及提升路径研究[J].运筹与管理,2018(10):185-192.
- [11] 董菁菁.产学研协同创新效率及其影响因素研究[J].软科学,2017(5):38-42.
- [12] 成刚.数据包络分析方法与MaxDEA软件[M].北京:知识产权出版社,2014:62-64.
- [13] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research, 2001, 130(3): 498-509.
- [14] FARRELL M J. The measurement of productive efficiency[J]. Journal of the Royal Statistical Society, 1957, 120: 253-290.
- [15] TOBIN J. Estimation of relationships for limited dependent variables[J]. Econometrica, 1958, 26(1): 24-36.
- [16] 陈光华,王建冬,杨国梁.产学研合作创新效率分析及其影响因素研究[J].科学管理研究,2014,32(2):9-12.
- [17] 黄菁菁.产学研协同创新效率及其影响因素研究[J].软科学,2017,31(5):38-42.
- [18] 朱平芳,徐伟民.政府的科技激励政策对大中型工业企业R&D投入及其专利产出的影响——上海市的实证研究[J].经济研究,2003(6):45-53,94.
- [19] 李平.环境技术效率、绿色生产率与可持续发展:长三角与珠三角城市群的比较[J].数量经济技术经济研究,2017,34(11):3-23.
- [20] LEIBENSTEIN H. Allocative efficiency vs. X-efficiency[J]. American Economic Review, 1966, 56(3): 392-415.

- [21] 周江, 胡静锋, 王波. 中国能源产业效率测量及比较分析[J]. 经济问题, 2018(8): 60-65.
- [22] 冯诗媛. 产业集聚对我国高技术产业技术创新效率的影响研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2017.
- [23] 程广斌, 张雅琴. 丝绸之路经济带沿线省份科技创新效率及其影响因素[J]. 地域研究与开发, 2017(4): 17-23.
- [24] 吴传清, 邓明亮. 科技创新、对外开放与长江经济带高质量发展[J]. 科技进步与对策, 2019(2): 33-41.
- [25] 朱天星, 陈晨, 于鑫洋, 等. 亚洲一带一路国家科技研发效率及其影响因素研究——基于 DEA 累积 TFP 指数[J]. 工业技术经济, 2017(12): 148-154.
- [26] 彭国华. 我国地区全要素生产率与人力资本构成[J]. 中国工业经济, 2007(2): 52-59.
- [27] 习明明. 长江经济带创新环境对科技创新效率影响的实证研究[J]. 江西财经大学学报, 2019(3): 19-29.
- [28] 王鹏, 曾坤. 创新环境因素对区域创新效率影响的空间计量研究[J]. 贵州财经大学学报, 2015(2): 74-83.
- [29] 王圣云, 林玉娟, 罗玉婷. 长江经济带科技创新效率变化的指数分解及聚类分析[J]. 华东经济管理, 2018(9): 66-72.
- [30] 吴传清, 黄磊, 文传浩. 长江经济带技术创新效率及其影响因素研究[J]. 中国软科学, 2017(5): 160-170.

Research on Science and Technology Innovation Efficiency Based on SBM Model and Influencing Factors

Li Yun¹, Lei Hongzhen¹, Zhang Xiaoyun²

(1. International Business School, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;

2. Economics and Finance School, Xi'an International Studies University, Xi'an 710128, China)

Abstract: This paper calculates the inter-provincial science and technology innovation capital efficiency, total factor productivity and its decomposition index by using relevant data of 30 provinces in China from 2009 to 2017. The results show that the total factor productivity growth of national science and technology innovation mainly comes from the change of technological efficiency. The efficiency of resource allocation in the eastern region is high, and the improvement of total factor productivity mainly comes from technological progress, the increase of total factor productivity in the western region is large, and the change of technological efficiency is the main driving force. Further, Tobit regression shows that government support, openness, industrial structure, human capital and total factor productivity are significantly related. Finally, this paper puts forward some countermeasures and suggestions.

Keywords: scientific and technological innovation; efficiency; SBM model; influencing factors; Tobit regression