

国家科技创新效率测算与国际比较

朱承亮^{1,2,3}

- (1. 中国社会科学院数量经济与技术经济研究所, 北京 100732;
2. 中国经济社会发展与智能治理实验室, 北京 100732;
3. 中国社会科学院项目评估与战略规划研究咨询中心, 北京 100732)

摘要:当前我国多个科技创新投入和产出指标位居世界前列,在此背景下如何客观衡量科技创新效率并进行国际比较尤为重要。通过建立科技创新投入产出指标体系,运用 Bootstrap-DEA 方法对 2009—2018 年包括中国在内的 36 个国家的科技创新效率进行测算分析。研究发现:传统的 BCC-DEA 模型在测算科技创新效率时存在一定偏误,经过 Bootstrap 方法修正后的效率值更加合理;各国科技创新效率存在显著差异,尤其是创新型国家科技创新效率内部分化明显,美国、英国、日本和德国科技创新效率显著领先于其他创新型国家;2018 年我国科技创新效率值为 0.848 2,国际排名第 13 位,属于高投入高效率国家类型;2014 年我国进入“新常态”后,国家科技创新力量布局显著推动了我国科技创新效率稳步提升,科技创新效率国际排名稳中有进,但仍落后于美国、英国、日本等世界主要创新型国家。

关键词:国家科技创新效率;国际比较;Bootstrap-DEA 模型

中图分类号:F062.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2023)01-0001-12

Calculation and international comparison of national S&T innovation efficiency

ZHU Chengliang^{1,2,3}

- (1. *Institute of Quantitative and Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing, 100732, China;*
2. *Laboratory of China's Economic and Social Development & Smart Governance, Beijing 100732, China;*
3. *Research and Consultation Center for Project Evaluation and Strategic Planning, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)*

Abstract: At present, many of China's S&T innovation input and output indicators rank among the top in the world. In this context, how to objectively measure S&T innovation efficiency and make international comparisons is particularly important. The paper uses the Bootstrap-DEA method to calculate and analyze S&T innovation efficiency in 36 countries, including China, from 2009 to 2018 by establishing S&T innovation input-output indicator system. The paper found that the traditional BCC-DEA model has certain errors in measuring S&T innovation efficiency, and the efficiency value after the Bootstrap method is more reasonable; There are significant differences in S&T innovation efficiency in various countries, especially the internal differentiation of S&T innovation efficiency in innovative countries, The United States, the United Kingdom, Japan, and Germany are significantly ahead of other innovative countries in terms of S&T

收稿日期:2022-05-10 修回日期:2022-12-04

基金项目:国家社会科学基金重大项目“建设人才强国背景下激发科技人才创新活力研究”(21ZDA014);中国社会科学院创新工程项目“新时代动能转换的机制与效果评价”;中国社会科学院登峰战略优势学科建设项目“技术经济学”。

作者简介:朱承亮(1985—),男,安徽太湖人,中国社会科学院数量经济与技术经济研究所副研究员、中国经济社会发展与智能治理实验室副研究员、中国社会科学院项目评估与战略规划研究咨询中心秘书长,博士,研究方向为科技创新与经济发展。

innovation efficiency; In 2018, China's S&T innovation efficiency value was 0.848 2, ranking 13th in the world, belonging to the category of high-input and high-efficiency countries; In 2014, China entered the New Normal, the national S&T innovation force layout has significantly promoted the steady improvement of China's S&T innovation efficiency. The international ranking of S&T innovation efficiency has made steady progress, but it still lags behind the world's major innovative countries such as the United States, the United Kingdom, and Japan.

Key words: national S&T innovation efficiency; international comparison; bootstrap-DEA model

当今世界正经历百年未有之大变局,我国发展面临的国内外环境发生深刻复杂变化,科技创新能力已成为衡量一个国家或地区核心竞争力的关键因素。中国经济进入“新常态”后,经济发展由高速增长阶段转向高质量发展阶段,科技创新成为转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力,建设现代化经济体系的重要战略支撑。2016年5月,国务院印发了《国家创新驱动发展战略纲要》,提出到2020年进入创新型国家行列、2030年跻身创新型国家前列、2050年建成世界科技强国“三步走”目标。在国家科技创新战略引导下,近年来我国科技创新投入产出水平取得突出成效,多个投入产出指标位于世界前列。2018年,我国R&D经费支出总额世界第二,R&D人员全时当量世界第一,科技期刊文章数量世界第一,PCT专利申请量世界第二。

党的二十大指出,加快实施创新驱动发展战略,提升科技投入效能。根据中国科学技术发展战略研究院发布的《国家创新指数报告2020》,在全球竞争背景下,我国国家创新指数国际排名上升至第14位,科技创新能力快速提升,与先进国家的差距正在缩小。此外,根据世界知识产权组织发布的《2020年全球创新指数报告》显示,在全球131个经济体中,我国全球创新指数全球排名第14位,处于中等偏上收入国家中第1位,但低于美国、英国等创新型国家。我国创新的优势在于创新要素规模巨大,而我国创新能力的提升空间和未来发展潜力来源于创新质量和创新效率的提升^[1],因此提高科技创新效率对进一步提升我国科技创新能力至关重要。科技创新效率在一定程度上反映了一个国家运用和整合科技创新资源的能力,现有研究更集中于对国家综合创新能力的评价,对于创新投入产出效率的分析尚不够系统。在当

前我国科技创新投入不断加大、很多科技创新产出指标也位居世界前列的背景下,如何客观衡量科技创新投入产出效率并进行国际比较尤为重要。科学合理地对科技创新效率进行测度,对认清我国科技创新效率国际现状,提高我国科技创新能力和国际综合竞争力具有重要意义。本文基于Bootstrap-DEA模型开展科技创新效率国际比较研究,分析我国科技创新效率在国际上的位势及存在的差距。

一、文献综述

所谓科技创新效率指的是在一定时期内,创新过程中科技创新投入与科技创新产出的转化比率,也即在一定的科技创新环境和创新资源配置条件下,单位科技创新投入获得的科技创新产出,或者单位科技创新产出消耗的科技创新投入,是反映特定区域配置和运营科技创新资源能力的重要指标^[2-3]。现有文献对我国省域科技创新效率问题进行了大量研究。陈银娥等^[4]对我国省域科技创新效率的影响因素及时空异质性进行了分析,发现我国科技创新主要呈现规模效率。杨骞等^[5]测算了重大国家战略区域的科技创新效率,发现5个重大国家战略区域的科技创新效率存在较大差距。随着我国创新水平的不断提升,一些文献对我国科技创新效率的国际比较问题进行了探讨。穆荣平等^[6]采用国家创新发展绩效格局二维分析方法,对2015年40个国家的国家创新发展指数和创新能力指数进行了研究,发现中国属于非常规创新追赶型国家,国家创新能力排名高于创新发展水平排名,创新发展水平具有较大提升潜力。

通常而言,进行国际比较的前提是要对科技创新效率进行科学测算,现有文献主要基于两类方法对科技创新效率进行测算分析。一是参数方法,二是非参数方法。参数方法常用的模型是随机前沿分析模型(SFA),该类方法是一种多投入、

单产出的效率测算方法,需要事先对生产函数形式进行设定。Zhu 等^[7]运用 SFA 方法对 2008—2014 年世界主要创新型国家和金砖四国的创新效率进行了评价和比较,研究发现中国科技产出效率较高,而研发效率不高。徐坡岭等^[8]基于技术效率视角,采用 SFA 方法对 1993—2010 年中美俄三国的创新型国家建设效果进行了评价,研究发现基于三国经济发展阶段、所处国际分工环节和竞争地位的差异,中美俄技术效率也存在显著差异,但中国技术效率水平与美国十分接近,俄罗斯技术效率较低。

相比参数方法,国内学者关于科技创新效率国际比较问题研究更多采用的是非参数方法,常用的是数据包络分析方法(DEA),该类方法是一种多投入、多产出的效率测算方法,且不需要事先对生产函数形式进行设定。肖静等^[9]运用超效率 DEA 方法对 2002—2004 年期间我国、八国集团和韩国等 10 国的研发效率进行了比较分析,发现我国在投入产出方面虽取得了一定进步,但研发效率仍然处于较低水平,考察期内排在 10 国最后一位。王海峰等^[10]运用超效率 DEA 方法对 2005 年不同国家的研发创新效率进行了评价,发现我国研发总体效率不高,特别是三方专利效率极低,与德日韩等国家仍有较大差距。钟祖昌^[11]将 SBM 模型与三阶段 DEA 模型相结合,评估了 2001—2008 年 30 个 OECD 国家和中国的创新效率,研究结果显示我国创新效率仍处于较低水平,还有较大提升空间,但与 OECD 国家创新效率的差距有不断缩小的趋势。刘兰剑等^[12]运用 DEA 与 Malmquist 指数相结合的分析方法,对 2003—2016 年中国和 OECD 创新型国家的科技创新绩效进行了分析,发现世界创新活动的研发效率普遍下降,中国与创新型国家差距依然较大,但正在不断缩小。程时雄等^[13]采用超效率 DEA 模型和 Malmquist 指数方法测算并比较了 1996—2014 年我国与世界 36 个主要国家的研发效率,发现我国研发效率进步明显,但仍有较大改进空间。此外,崔维军等^[14]运用 DEA 方法从研究开发和商业化过程两个阶段分析了 58 个国家的创新绩效,发现我国在研究开发阶

段的创新绩效优势明显,高于美国、日本、欧盟等国家,但在商业化阶段的创新绩效较差,大大低于美国、日本和欧盟,也明显低于俄罗斯和巴西。

基于 DEA 方法的科技创新效率国际比较均发现,我国科技创新效率较低,与世界主要创新型国家具有显著差距,但这一差距呈现不断缩小的趋势。但是,也有研究发现我国科技创新效率较高,且明显高于美国、日本等国家。吴丹等^[15]采用 DEA-Malmquist 指数模型测算了 1991—2014 年中国与全球 10 个国家的科技创新效率,发现中国科技创新效率明显强于美国、日本等全球 10 个国家。易继承等^[16]采用三阶段 DEA 方法测算了 2010—2017 年 27 个国家的创新效率,发现在经过 SFA 调整后全球创新综合效率均值有所下降,从文章测算结果可以发现,我国创新效率明显优于美国、日本等国家,和新加坡、意大利、英国等国家一起处于前沿面上。

对基于 DEA 方法的科技创新效率国际比较文献的系统梳理发现(见表 1),导致研究结论有较大差异的原因包括研究方法、对标国家、研究时间段的差异,尤其是指标体系的差异。就具体 DEA 方法而言,涉及 CCR 模型、BCC 模型、超效率 DEA 模型、Malmquist 指数、三阶段 DEA 模型以及两种模型的结合。就对标国家而言,涉及八国集团、OECD 等典型创新型国家;就研究时间段而言,涉及单一年份的比较,但更多涉及连续多年的比较;就指标体系而言,均涉及投入指标和产出指标,虽然投入指标均是从人才和经费两个方面来衡量,但是在具体衡量指标的选择时差异较大,从人才投入指标来看,涉及科学家工程师全时当量、R&D 人员数量等指标;从经费投入指标来看,涉及研发投入规模、研发投入强度等指标。产出指标的具体衡量指标更具差异性,一些文献仅采用论文和专利指标衡量科技创新投入的知识产出,但更多文献还考虑了高技术产品出口额等表征科技成果产业化的指标。尽管如此,在选择具体产出衡量指标时差异也较大。比如,就专利产出指标而言,有的文献采用三方专利指标,有的文献采用专利申请量指标,还有的文献采用专利授权量指标。

表 1 基于 DEA 方法的创新效率国际比较文献

代表文献	指标体系		时间段	国家	主要结论	具体方法
	投入指标	产出指标				
肖静等 ^[9]	研发人员,研发经费	科技论文、三方专利	2002—2004 年	中国、八国集团、韩国	我国研发效率仍处于较低水平	超效率 DEA
王海峰等 ^[10]	科学家工程师全时当量,研发资金投入	三方专利,高质量科技论文,高技术产品出口额,高技术产品工业增加值	2005 年	包括中国在内的 31 个国家	我国研发效率不高,与德日韩等国仍有较大差距	超效率 DEA
钟祖昌 ^[11]	科学家工程师全时当量,研发资金投入	三方专利,高质量科技论文,高技术产品工业增加值	2001—2008 年	中国和 30 个 OECD 国家	我国创新效率处于较低水平,与 OECD 国家差距在缩小	SBM 模型与三阶段 DEA 模型相结合
崔维军等 ^[14]	R&D 人员,R&D 总支出	中间产出:专利,科技期刊文章,商标;最终产出:高校与企业 R&D 合作,高科技进口,人均 GDP,高技术产业比例	2009—2011 年	包括中国在内的 58 个国家	我国在研究开发阶段的创新绩效优势明显,但在商业化阶段的创新绩效较低	CCR 模型和 BCC 模型
吴丹等 ^[15]	R&D 人员,R&D 投入强度	科技期刊文章数,专利申请量,高科技产品出口额占制成品出口额比重	1991—2014 年	中国与美国、日本等 10 个国家	中国科技创新效率明显强于美日等国家	DEA-Malmquist 指数
程时雄等 ^[13]	人力资源,科技经费	专利,科技期刊文章,高技术产业出口额	1996—2014 年	包括中国在内的 36 个国家	我国研发效率进步明显,但仍有较大改进空间	超效率 DEA 和 Malmquist 指数
刘兰剑等 ^[12]	R&D 人员,R&D 经费	论文,专利	2003—2016 年	中国与 OECD 国家	中国与创新型国家差距正在缩小	DEA 与 Malmquist 指数相结合
易继承等 ^[16]	R&D 人员,R&D 经费内部支出存量	专利申请授权量,论文发表数量,高科技产品出口额	2010—2017 年	包括中国在内的 27 个国家	我国创新效率优于美日等国家	三阶段 DEA 方法

综上所述,现有文献采用参数方法或非参数方法对科技创新效率的测算和国际比较问题进行了大量分析。从研究方法视角来讲,这两类研究方法及相关模型有待进一步修正。比如,由于各国科技创新环境存在显著差异,以 SFA 模型为代表的参数方法受环境影响容易产生较大偏误,而传统 DEA 方法大都又面临着样本大小敏感性和极端值影响的问题。因此,采用这两类研究方法测算科技创新效率得到的研究结论有待进一步深入探讨。本文采用 Bootstrap-DEA 方法对各国科技创新效率进行测算,该方法不仅能解决样本扰动问题,纠正传统 DEA 方法的偏误,还能提供相应置信区间,能客观科学地对科技创新效率进行测算分析与国际比较。

近年来,一些文献运用 Bootstrap-DEA 模型对科技创新效率问题开展了研究。Kontolaimou 等^[17]从早期创业角度分析了 28 个欧洲国家的创新效率,认为经过 Bootstrap 方法修正后的创新效率值相比传统 DEA 模型更加可靠。陈国生等^[18]对我国科技资源配置效率空间差异进行了实证分析,结果显示 Bootstrap 纠偏后的区域科技资源配

置效率有所下降。韩兆洲等^[19]基于专利产出为创新产出的视角,运用 DEA、SFA 以及 Bootstrap-DEA 模型测度了 2007—2016 年我国省域创新效率,认为基于 Bootstrap-DEA 模型测算的创新效率值具有更小的偏误。此外,钟卫等^[20]采用该方法测算了 2010—2012 年国内 50 所高校的科技成果转化效率,发现高校科技成果转化绩效整体水平不高,科研实力强、拥有医学院、首批加入国家大学科技园的高校科技成果转化绩效较好。范硕等^[21]采用该方法测算了 89 个国家高新区 2011—2015 年的创新效率,发现高新区创新效率存在东西部地区高于中部地区的不平衡特征。杨骞等^[22]采用该方法测算了 2001—2016 年我国区域创新效率,发现区域创新效率总体呈现南高北低、南快北慢、南北差距持续扩大的特征。

此外,现有文献针对中国科技创新效率国际比较的研究大多集中在 2014 年之前,没有对我国经济社会发展进入“新常态”前后,科技创新效率在国际上的位势和差距进行对比分析。原有时代背景下得到的研究结论难以为新时代科技创新工作提供理论指导。新时代背景下,特别是在当前

我国多个科技创新投入和产出指标位居世界前列的现状下,亟待客观衡量科技创新效率并进行国际比较,科学分析我国科技创新效率在国际上的位势及存在的差距。

二、研究方法 with 变量说明

(一) 研究方法

数据包络分析法是由运筹学家 Charnes 等^[23]于 1978 年以“相对效率”的概念为基础提出的一种非参数效率评估方法,广泛用于各种系统的效率评价中。数据包络分析模型包含两种基本假定模型。一是在规模报酬不变假定基础上的 CCR-DEA 模型,其简化式为:

$$\min \theta$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j + s^+ = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j - s^- = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ s^+ \geq 0, s^- \leq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中, θ 为决策单元 DMU 固定规模报酬假设的效率值, θ 取值范围为 $0 \leq \theta \leq 1$, s^+ 和 s^- 为松弛变量和剩余变量,运用式(1)的最优解即可判断决策单元的有效性情况。在 CCR-DEA 模型基础上增加凸性假设条件 $\sum \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0$,即可得到在规模报酬可变假定基础上的 BCC-DEA 模型。

然而传统 DEA 模型存在一定不足,一是在观测样本有限的情况下,传统 DEA 方法容易受到随机因素的干扰;二是传统 DEA 模型估计忽略了统计推断问题,存在小样本有偏的问题,使效率评价容易出现偏差。Bootstrap 方法最早由斯坦福教授 Efron 于 1979 年提出,它是基于原始样本进行抽样以获得新样本及统计量的非参数统计方法。为解决传统 DEA 模型存在的不足,Simar^[24]从数据生成过程出发,将 Bootstrap 引入传统 DEA 模型,对传统模型进行纠偏并给出置信区间。

Bootstrap-DEA 方法的基本思想是对原始样本数据进行数值模拟,从而得到原始估计量的近似

样本分布,进一步对总体的特征进行统计推断。具体步骤如下:

第一,利用传统 DEA 方法计算原始样本的效率得分。

$$\hat{\theta} = \{\hat{\theta}_k | k = 1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

第二,基于 $\hat{\theta}$ 样本进行有放回抽样,抽取一个样本量相同的 Naive Bootstrap 样本,式(3)中的 b 表示使用 Bootstrap 方法的第 b 次重复抽样。

$$\hat{\theta}_b^* = \{\hat{\theta}_{bk}^* | k = 1, 2, \dots, n\} \quad b = 1, 2, \dots, B \quad (3)$$

第三,实证分布是总体密度函数的一致估计,对上述 Naive Bootstrap 样本进行平滑处理,得到平滑样本。

$$\bar{\theta}_b^* = \{\bar{\theta}_{bk}^* | k = 1, 2, \dots, n\} \quad b = 1, 2, \dots, B \quad (4)$$

第四,利用平滑样本 $\bar{\theta}_b^*$ 对原始样本 $\hat{\theta}$ 的投入数据进行调整,得到调整后的投入数据。

$$x_{bk}^* = (\hat{\theta}_k / \bar{\theta}_{bk}^*) x_k \quad (5)$$

第五,继续利用 DEA 模型对调整后的投入数据与初始产出数据进行效率计算,得到模拟样本的效率得分。

$$\tilde{\theta}_b^* = \{\tilde{\theta}_{bk}^* | k = 1, 2, \dots, n\} \quad b = 1, 2, \dots, B \quad (6)$$

重复以上步骤 B 次,计算出每个决策单元初始效率的偏差、修正效率值和置信区间,具体为:

$$bi \hat{a} s_k = B^{-1} \sum_{b=1}^B \tilde{\theta}_b^* - \hat{\theta}_k \quad (7)$$

$$\hat{\theta}_k^{adj} = \hat{\theta}_k - bi \hat{a} s_k \quad (8)$$

$$\hat{\theta}_k + b_{\alpha/2}^* \leq \theta_k \leq \hat{\theta}_k + a_{\alpha/2}^* \quad (9)$$

其中,式(7)和式(8)为效率的偏差和修正效率值;式(8)利用了 $B \rightarrow \infty$ 时,样本参数与总体参数偏差分布近似于 Naive Bootstrap 样本参数与样本参数偏差分布这一渐进性质; $b_{\alpha/2}^*$ 和 $a_{\alpha/2}^*$ 分别为 Naive Bootstrap 样本参数与样本参数偏差的 $\frac{\alpha}{2} \times 100$ 分位

数和 $(1 - \frac{\alpha}{2}) \times 100$ 分位数, α 一般取 0.01、0.05、

0.1,本文 α 值设置为0.05。

(二) 变量说明及数据来源

1. 变量说明

按照美籍奥地利经济学家约瑟夫·熊彼特的观点,创新是建立一种新的生产函数,把一种生产要素和生产条件的新组合引入生产体系,也即创新是新工具或新方法的应用,从而创造出新的价值。可见,创新是一个经济概念,而不是一个科学概念或技术概念。根据创新的这一经济内涵,科技创新可以界定为将科学发现和技术发明应用到生产体系从而创造新价值的过程。可见,没有实现市场价值或者不强调市场价值实现的科学发现和技术发明,只能称之为科技进步,而不是科技创新^[25]。根据科技创新的内涵,结合现有科技创新效率测算的相关文献,本文选取 R&D 经费支出额(按现价美元计算)、R&D 人员全时当量(人年)作为科技创新投入指标,选取科技期刊文章数量^①(篇)、专利申请量^②(件)、高科技产品出口额(按现价美元计算)作为科技创新产出指标。其中,科技期刊文章数量体现科学发现的成果,专利申请量体现技术发明的成果,高科技产品出口额体现市场价值实现的成果。

由于研发投入具有滞后效应,科技创新投入与产出之间存在一定的延迟,借鉴类似文献处理方法^[10-11,26],本文使用科技创新产出前 5 年的投入数据平均值作为科技创新投入,即第 t 年的科技创新产出数据对应的投入数据为第 $t-5$ 年至 $t-1$ 年投入数据的平均值。

2. 数据来源

基于数据可得性,本文选取了 2009—2018 年 OECD 中 32 个国家^③及中国、罗马尼亚、俄罗斯、新加坡共 36 个国家作为观测样本进行科技创新效率测算分析。基础数据来源于 WorldBank 数据库、OECD 数据库、联合国教科文组织 Unesco 数据库、联合国商品贸易统计 Comtrade 数据库等。表 2 给

出了 2018 年 36 国科技创新投入产出指标的描述性统计。从表 2 可见各国在投入产出指标方面差距明显。

表 2 2018 年 36 国科技创新投入产出指标描述性统计

指标		最小值	最大值	平均数	标准差
投入指标	R&D 经费支出额(现价美元)	284.99	501 403.80	44 623.76	103 309.98
	R&D 人员全时当量(人年)	1 947.20	1 611 993.14	184 419.28	354 693.55
产出指标	专利申请数(件)	175.00	1 460 246.00	93 004.25	267 780.75
	科技期刊文章数(篇)	681.00	528 263.00	55 700.00	112 506.49
	高科技产品出口额(现价美元)	0.02	7 318.91	621.06	1 287.02

三、科技创新效率测算与分析

本文主要利用 R 语言中 Benchmarking 包和 FEAR 3.1 包进行科技创新效率测算。由于观测样本各国创新环境、科技政策等条件存在一定差异,在传统 DEA 模型的设定上,本文选择了 BCC-DEA 模型,即假定规模报酬可变。关于 Bootstrap-DEA 模型的参数设定,本文测算过程中将迭代次数设置为 2 000 次(为保证模拟结果的真实性,迭代次数一般至少为 2 000 次),置信水平设置为 95%。

表 3 给出了基于传统 DEA 和 Bootstrap-DEA 的 36 国科技创新效率测算值及排名情况。结果显示,基于 Bootstrap-DEA 模型测算结果与基于传统 DEA 模型测算结果的偏差值均为正数,这意味着通过 Bootstrap-DEA 模型修正后,样本国科技创新效率值均有不同程度下降。以中国为例,基于 BCC-DEA 模型测算的 2018 年科技创新效率值为 1,而基于 Bootstrap-DEA 模型测算的结果为 0.848 2,偏差为 0.151 8,传统 BCC-DEA 模型在一定程度上高估了科技创新效率。由此可见,采用 Bootstrap-DEA 模型能够解决传统 DEA 模型对较少量样本的数据敏感度较强以及不能较好地反映非参数计算优势的问题,使测算结果更为准确。

① 指在下述领域出版的科学和工程类文章:物理、生物、化学、数学、临床医学、生物医学研究、工程和技术以及地球和空间科学。
② 指在世界范围通过《专利合作条约》程序或向国家专利部门提交的专利申请。
③ 由于数据缺失,OECD 成员国的瑞士、澳大利亚、新西兰、以色列、哥伦比亚、哥斯达黎加未纳入观测样本。

表3 基于传统DEA及Bootstrap-DEA的
36国科技创新效率测算值

国家	2018 年效率值				2009—2018 年平均效率值		
	传统 DEA	B-DEA	偏差	B-DEA 排名	传统 DEA	B-DEA	B-DEA 排名
奥地利	0.558 5	0.515 7	0.042 9	36	0.609 4	0.565 2	34
比利时	0.628 6	0.586 0	0.042 6	28	0.707 5	0.653 2	27
加拿大	0.864 5	0.798 6	0.065 9	21	0.816 5	0.750 1	24
智利	1.000 0	0.850 8	0.149 2	12	1.000 0	0.865 0	8
捷克	0.854 5	0.785 7	0.068 7	22	0.888 3	0.822 2	21
丹麦	0.629 1	0.584 8	0.044 3	29	0.675 7	0.632 4	31
爱沙尼亚	0.793 0	0.721 2	0.071 8	25	0.907 4	0.814 3	22
芬兰	0.580 3	0.533 5	0.046 8	35	0.588 3	0.545 9	35
法国	0.593 3	0.537 5	0.055 8	33	0.721 8	0.657 1	26
德国	0.940 2	0.851 9	0.088 4	11	0.970 9	0.863 5	9
希腊	0.784 8	0.720 3	0.064 5	26	0.918 6	0.835 0	20
匈牙利	0.585 8	0.534 2	0.051 5	34	0.710 1	0.650 1	28
冰岛	1.000 0	0.847 6	0.152 4	14	1.000 0	0.856 1	15
爱尔兰	0.962 3	0.878 7	0.083 6	5	0.944 1	0.861 3	11
意大利	1.000 0	0.860 0	0.140 0	10	1.000 0	0.859 5	14
日本	0.945 5	0.860 3	0.085 2	8	0.978 5	0.861 5	10
韩国	0.948 9	0.860 1	0.088 8	9	0.984 7	0.865 9	6
拉脱维亚	1.000 0	0.845 4	0.154 6	17	1.000 0	0.853 5	16
立陶宛	1.000 0	0.884 3	0.115 7	4	0.997 0	0.886 6	1
卢森堡	1.000 0	0.846 8	0.153 2	15	1.000 0	0.851 6	18
墨西哥	0.835 7	0.755 5	0.080 2	23	0.738 5	0.673 8	25
荷兰	0.886 4	0.810 8	0.075 6	20	0.980 1	0.865 1	7
挪威	0.627 8	0.579 2	0.048 6	30	0.634 4	0.589 1	33
波兰	1.000 0	0.862 6	0.137 4	7	1.000 0	0.859 7	13
葡萄牙	0.808 4	0.740 1	0.068 3	24	0.663 3	0.610 8	32
斯洛伐克	0.905 7	0.828 4	0.077 3	19	0.969 5	0.860 5	12
斯洛文尼亚	0.599 7	0.547 3	0.052 4	32	0.694 1	0.637 9	30
西班牙	1.000 0	0.914 4	0.085 6	1	0.937 6	0.868 5	4
瑞典	0.622 8	0.570 5	0.052 3	31	0.703 4	0.648 8	29
土耳其	0.675 4	0.620 1	0.055 4	27	0.835 0	0.762 8	23
英国	1.000 0	0.885 0	0.115 0	3	1.000 0	0.877 1	3
美国	1.000 0	0.904 9	0.095 1	2	1.000 0	0.866 0	5
中国	1.000 0	0.848 2	0.151 8	13	1.000 0	0.852 7	17
罗马尼亚	1.000 0	0.874 1	0.125 9	6	1.000 0	0.882 0	2
俄罗斯	0.915 0	0.844 0	0.071 0	18	0.532 2	0.488 7	36
新加坡	1.000 0	0.846 6	0.153 4	16	1.000 0	0.851 4	19

注: B-DEA 为 Bootstrap-DEA 的简写。

(一) 科技创新效率测算结果

各国科技创新效率存在明显差异。从2018年科技创新效率值分布情况来看,科技创新效率值在0.8以上的国家共有20个,这一区间的国家位于第一梯队,占比55.56%,包括美国、中国、英国、爱尔兰、日本、韩国、德国、新加坡、俄罗斯、西班牙、荷兰等国家。科技创新效率值位于0.7~0.8区间的国家共有6个,这一区间的国家位于第二梯队,占比16.67%,包括加拿大、捷克、墨西哥、葡萄牙、希腊和爱沙尼亚等国家。科技创新效率值位于0.6~0.7区间的只有土耳其1个国家,这一区间的国家位于第三梯队,占比2.77%。科技创新效率值低于0.6的国家共有9个,这一区间的国家

位于第四梯队,占比25.00%,包括法国、比利时、丹麦、挪威、瑞典、斯洛文尼亚、匈牙利、芬兰和奥地利等国家。从2009—2018年各国科技创新效率均值来看,高于0.8的国家有22个,位于0.7~0.8区间的国家有2个,位于0.6~0.7区间的国家有8个,低于0.6的国家有4个。

创新型国家科技创新效率内部分化问题严重。创新型国家的关键特征体现在主要依靠知识创造、传播和应用为标志的创新活动来驱动社会经济和财富增长。当前,公认的创新型国家主要有美国、丹麦、日本、德国、英国、新加坡、爱尔兰、荷兰等近20个国家^[1]。从2018年测算结果来看,创新型国家的科技创新效率分化明显,一部分创新型国家的科技创新效率值高于0.8,远超样本平均水平,包括美国、英国、日本、德国、爱尔兰等国家。而一些创新型国家的科技创新效率值却低于0.6,处于样本靠后的位置,如芬兰(0.533 5)、奥地利(0.515 7)、挪威(0.579 2)。从2009—2018年各国科技创新效率均值来看,创新型国家科技创新效率内部分化问题依然存在。英国(0.877 1)、美国(0.866 0)、德国(0.863 5)的科技创新效率均值都在0.8以上,但芬兰(0.545 9)、奥地利(0.565 2)、挪威(0.589 1)的科技创新效率均值依然低于0.6。

需要说明的是,本文测算的立陶宛等非创新型国家的科技创新效率偏高,而瑞典等创新型国家的科技创新效率偏低,这与本文的研究视角和指标设计有关。立陶宛国家规模较小,相对于创新型国家来说其投入和产出指标规模极小。比如,2015年,立陶宛的R&D研发支出仅为美国的0.15%,立陶宛的高科技期刊文章数量仅为美国的0.6%。但从投入产出比角度看,2015年,立陶宛单位R&D研发支出所产生的高科技期刊文章数量高于美国等创新型国家,这意味着对于投入产出规模较大的创新型国家来说,立陶宛投入和产出的变动对效率影响更敏感。与此类似的年份还有2014年、2017年等,这导致立陶宛的科技创新平均效率排名靠前,但实际上其投入产出高效率与综合创新能力并不完全匹配。近年来,荷兰科技创新效率保持在较高水平,而具有类似投入

规模的瑞典却排名靠后。通过数据对比发现,荷兰单位 R&D 研发支出所产生的专利产出和科技期刊论文数量均高于瑞典 20% 以上,特别是在高科技产品出口额指标方面,荷兰是瑞典的 4 倍左右,这意味着对比同等水平的创新型国家而言,老牌创新型国家瑞典在高科技产品出口等方面逐渐失去优势,限制了其科技创新效率的提高。

(二) 科技创新效率国际比较分析

1. 科技创新效率空间差异分析

各国科技创新效率差异显著,相比世界主要创新型国家,我国科技创新效率仍有待进一步提高。2018 年,科技创新效率排名前三位的国家分别是西班牙、美国和英国,排名后三位的国家分别是匈牙利、芬兰和奥地利。2018 年,中国科技创新效率值为 0.848 2,在 36 国中排名第 13 位,处于中等偏上水平。为进一步分析中国同世界主要创新型国家在科技创新效率方面的差异,本文选取中国、美国、日本、韩国、英国、法国、德国、俄罗斯 8 个主要经济体作进一步比较分析。2018 年中国科技创新效率值为 0.848 2,对比世界其他主要经济体,高于法国(0.537 5)和俄罗斯(0.844 0),但低于美国(0.904 7)、英国(0.885 0)、日本(0.860 3)、韩国(0.860 1)和德国(0.851 9),仍处于较靠后位置。

当前中国属于高投入高效率国家类型。根据 2018 年各国科技创新效率与 R&D 强度的散点分布图(以 36 国 R&D 强度均值 1.82% 和科技创新效率均值 0.75 为分界点),我们可以将 36 国分为四类:一是高投入低效率国家(R&D 强度 > 1.82%,科技创新效率 < 0.75),此类国家持续的高科技创新投入并未带来高水平的科技创新产出,从而导致科技创新效率偏低,包括瑞典、法国、丹麦、比利时、挪威、芬兰、奥地利、斯洛文尼亚 8 个国家。二是高投入高效率国家(R&D 强度 > 1.82%,科技创新效率 > 0.75),此类国家持续的高科技创新投入产生了高水平的科技创新产出,从而导致科技创新效率也较高,包括美国、中国、

新加坡、德国、日本、韩国等 9 个国家。三是低投入高效率国家(R&D 强度 < 1.82%,科技创新效率 > 0.75),此类国家虽然科技创新投入不高,但产生了高水平的科技创新产出,从而导致科技创新效率也较高,包括俄罗斯、加拿大、英国、意大利、西班牙等 13 个国家。四是低投入低效率国家(R&D 强度 < 1.82%,科技创新效率 < 0.75),此类国家不仅科技创新投入偏低,且科技创新产出水平也不高,从而导致科技创新效率偏低,包括匈牙利、土耳其、爱沙尼亚、希腊、葡萄牙、墨西哥 6 个国家。

2018 年,中国 R&D 强度为 2.19%,科技创新效率值为 0.848 2,属于高投入高效率国家,表明近年来我国科技创新投入和产出水平均取得了明显进步,科技创新效率得到显著提升。但是,与世界主要创新型国家相比还有一定差距,如美国的 R&D 强度为 2.83%,科技创新效率值为 0.904 9;德国的 R&D 强度为 3.13%,科技创新效率值为 0.851 9;日本的 R&D 强度为 3.28%,科技创新效率值为 0.860 3。美国、德国和日本的 R&D 强度和科技创新效率均高于我国。

2. 科技创新效率时间差异分析

考察期内各国科技创新效率发展趋势并不相同,上升与下滑互现,我国科技创新效率保持基本稳定。通过计算 2009—2018 年间各国科技创新效率值平均增速发现,法国、荷兰、希腊、土耳其、斯洛文尼亚和匈牙利等 16 个国家的科技创新效率值呈现下滑态势;美国、日本、俄罗斯、瑞典、西班牙、加拿大、葡萄牙、芬兰、墨西哥、捷克和立陶宛等 11 个国家的科技创新效率值呈现上升态势;中国、英国、德国、韩国、新加坡、意大利、爱尔兰、波兰和卢森堡等 9 个国家的科技创新效率值保持基本稳定^④。

(三) 八大经济体科技创新效率比较分析

本文提取中国、美国、英国、法国、德国、俄罗斯、日本、韩国八大经济体进行科技创新效率对比分析(见图 1)。2009—2018 年间,中国、美国、英国、德国、日本以及韩国的科技创新效率未发生较

^④ 此处平均增速波动幅度在 -0.1% ~ 0.1% 之间认为是基本稳定,0.1% 以上为上升,-0.1% 以下为下滑。

大变化,整体在 0.8~0.9 区间内波动,基本保持稳定。在此期间,我国科技创新效率国际排名呈波动上升态势,从 2009 年的第 22 位提升至 2018 年的第 13 位。但整体而言,我国科技创新效率与主要创新型国家相比还存在一定差距,科技创新效率国际排名还有进一步前移的空间。但与其他国家不同的是,考察期内俄罗斯科技创新效率呈现明显上升态势,而法国科技创新效率呈现明显下滑态势。

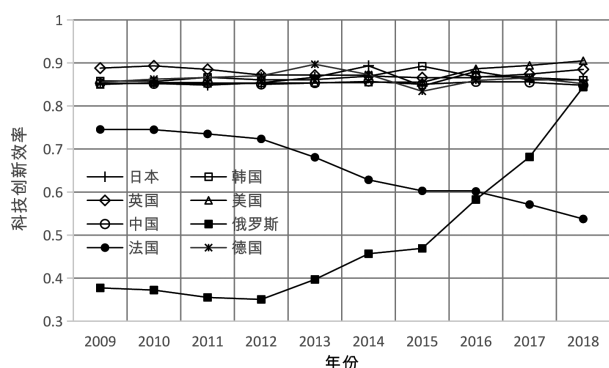


图 1 2009—2018 年八大主要经济体科技创新效率值演变情况

俄罗斯科技创新效率明显提高。自 20 世纪 90 年代以来,随着苏联解体,社会系统经历从计划经济向市场经济的巨大转变,俄罗斯减少了科技领域投资力度,科研人员工资大幅降低,导致科研人员数量和质量逐年下降,加之西方国家以良好工作环境和优厚福利待遇不断吸引人才,致使俄罗斯科技人才外流严重^[27]。数据显示,俄罗斯 R&D 人员全时当量从 2009 年的 465 374 人年下降到了 2018 年的 434 825 人年,10 年累积减少了 30 549 人年。为了复兴在国际上的霸主地位,俄罗斯大力实施《俄罗斯联邦科技发展战略》和《俄罗斯联邦科技发展战略实施计划》,通过加大科技创新投入力度、提高科研人员工作待遇、制定青年科技人才激励政策、吸引顶尖科学家进行科学研究等系列举措,充分发掘人才智力资源,拓展科学家和工程师队伍,引导青年从事科技创新,激发科技人才创新活力,科研实力 and 创新能力不断增强。2009—2018 年,俄罗斯 R&D 经费支出一直处于增长态势,从 22 913 美元增长至 39 776 美元,

增长了 1.7 倍,科技期刊文章数量从 32 521 篇增长到 81 579 篇,增长了 2.5 倍,人均科技期刊文章数量从 0.07 篇/人年提高到 0.19 篇/人年,提高了 2.7 倍。在一定的科技经费投入情况下,科技期刊文章数量等产出指标大幅提升,促使俄罗斯科技创新效率大幅提高。2009—2018 年,俄罗斯科技创新效率从 0.377 4 提升至 0.844 0,提高了一倍有余。

法国科技创新效率明显下滑。20 世纪末,为早日扭转经济不景气状态,法国政府自上而下进行了一次国家体制改革,尤其是在 2008 年国际金融危机之后,为重塑国家经济增长动力,2009 年法国实施了《国家研究与创新战略(2009—2014 年)》。科技创新体制改革在一定程度上激发了各创新主体的创新活力,但是法国的创新能力依然不适应科技快速发展的需求,尤其是科研资源存在分配不均衡问题。根据 OECD 发布的《经合组织的创新政策评估:法国》^[28] 报告显示,科研资源分配不均造成法国创新能力不适应科技发展需求的关键因素。在科技创新投入方面,法国存在科研经费流向两级分化的问题,相对于中型企业而言,政府对大型企业和初创企业的资助力度更大,对中小企业成长的关注度不高。在科技创新产出方面,高质量的科研成果主要集中在医药卫生、信息通信技术等领域,基础研究整体水平不高。数据显示,法国科技期刊文章数量从 2009 年的 68 274 篇增长到 2013 年 73 632 篇之后逐年下滑,2018 年下滑至 66 352 篇,低于 2009 年发文数量;专利申请数从 2009 年的 60 908 件增长至 2015 年 72 549 件之后,也呈现逐年回落态势,2018 年下滑至 69 144 件,回到 6 年前水平。在科技人才和科技经费稳步增长的同时,科技期刊文章数量和专利申请数出现明显下滑,导致法国科技创新效率大幅下降。2009—2018 年,法国科技创新效率从 0.745 5 下降至 0.537 5。

(四) 各国科技创新效率阶段性特征分析——以 2014 年为界

2014 年我国经济社会发展进入“新常态”,国际科技创新格局也发生了重大变化,全球科技创

新呈现出多极化趋势。一方面,随着俄罗斯等新兴经济体研发支出快速增长和技术产出能力不断提高,其比较优势逐步向以知识和技术密集为特征的新优势转换,这导致了发达国家科技创新领先优势相对下降^[29]。另一方面,以中国、日本、韩国主导的亚洲创新中心正在崛起,逐渐成为全球高端生产要素和创新要素转移的重要目的地,这进一步冲击了原来以欧美发达国家为重心的全球创新格局。本文以 2014 年为分界点,重点考察我国进入“新常态”前后,因国家科技创新力量布局变化导致的国家科技创新效率排名变化。

根据 2014 年前后 5 年(2009—2013 年、2014—2018 年)科技创新效率对比结果发现,在世界主要经济体中,西班牙科技创新效率排名提升幅度最大,提升了 21 名。然而根据《2020 年全球创新指数》,西班牙的创新能力表现一般,全球排名第 30 名,在欧盟 28 国中倒数第一,创新能力远低于国家总体实力。但是,本文测算的西班牙科技创新效率表现抢眼,排名提升幅度最大,2018 年排名第一,这与本文研究视角和指标设计息息相关。从创新投入来看,西班牙 R&D 经费支出自 2008 年金融危机以来一直呈现下降趋势,直到 2015 年才出现拐点,到 2018 年才恢复到 2009 年的水平,而这一时期创新型国家 R&D 经费支出大都实现了高速增长。此外,西班牙还存在相当一部分具有高级专业技术的研发人员大量外流现象。从创新产出来看,西班牙研究人员超过 60% 在公共部门工作(韩国为 17%,日本为 25%)^[30],且其高端人才在国际出版物及专利申请方面具有显著优势,这使得西班牙科研产出保持了基本稳定。因此,在创新投入减少、创新产出不变或增加的情况下,西班牙属于典型的低投入高产出的“高效率”国家。

美国科技创新效率从 2009—2013 年的 0.852 9 提高到了 2014—2018 年的 0.879 1,排名提升了 15 名。考察期内美国科技创新效率一直处于 0.85 以上的高水平状态,且呈现稳步提升趋势。这与美国高度重视并积极部署创新战略是息息相关的。美国政府分别于 2009 年、2012 年和 2015 年发布了结合时代背景的《美国创新战略》。需要指

出的是,美国能够根据外部环境变化及时制修订新时期创新战略。比如,在世界各国不断承诺增加科技创新投入的情况下,为保持全球创新领导地位,美国于 2015 年 10 月及时发布了新版的《美国创新战略》,旨在通过实施政府投资创新基础、带动私营部门创新活力、建立创新者国家 3 个基础工程,不断强化科技创新战略,这也是导致 2016 年美国科技创新效率从 0.85 跃升至 0.88 的重要原因。通过及时实施创新战略,美国持续加大科技创新投入力度,不断激发创新主体活力,科技创新产出实现了蓬勃发展,科技创新效率得到不断提升。

日本和韩国的科技创新效率排名提升也非常抢眼,分别提升了 8 名和 5 名。其中,日本科技创新效率从 2009—2013 年的 0.854 8 提高到了 2014—2018 年的 0.868 2,韩国科技创新效率从 2009—2013 年的 0.860 7 提高到了 2014—2018 年的 0.871 0。考察期内日本和韩国的科技创新效率也一直处于 0.85 左右的高水平状态,这是两国不断布局科技创新战略、不断提升科技创新能力的结果。为建成最适宜创新的国家,日本连续出台《科学技术基本计划》和《科学技术创新综合战略》,通过加强人才培养、优化国家创新体系等方式,积极推进“科技创新立国”战略实施。在系列举措之下,日本科技创新效率得到显著提升。比如,2014 年日本研发人员虽下降至 655 010 人年,但研发人员创新创造活力得到有效激发,其专利申请数依然保持高位水平,达到了 465 971 件,使得该年日本科技创新效率达到近年最高峰值(0.893 2)。同样地,为促进自主创新增长,韩国相继发布了《创造型经济落实计划》《第六次产业技术创新计划(2014—2018)》等,通过创新发展模式、激发创新主体活力、促进技术转移等方式,积极推进“创造经济”创新战略实施,提高科技创新效率。

我国科技创新效率排名提升了 7 名,从 2009—2013 年的第 20 名提升至 2014—2018 年的第 13 名。科技创新效率排名大幅提高与我国高度重视科技创新工作是密不可分的。我国经济发展进入“新常态”以来,以习近平同志为核心的党中央提出创新是引领发展的第一动力,坚持把科技创新

摆在国家发展全局的核心位置,相继印发了《国家创新驱动发展战略纲要》《“十三五”国家科技创新规划》等创新战略和规划文件,全面实施创新驱动发展战略,建设世界科技强国,实现科技自立自强。在国家科技创新战略以及一系列法规政策的指引下,我国科技创新投入和产出水平不断提升,科技创新水平实现了量质齐升,创新型国家建设取得重大进展,尤其是在面临着一些国家科技创新效率不断下降的情况下,我国科技创新效率依然保持基本稳定,整体排名不断提高,科技实力和创新能力的提升,实现了历史性、整体性、格局性变化。

四、结论与建议

本文利用 Bootstrap-DEA 方法对 2009—2018 年包括中国在内的 36 个国家的科技创新效率进行了测算分析。研究发现:①传统的 DEA 模型在一定程度上高估了科技创新效率值,经过 Bootstrap-DEA 方法修正的科技创新效率值偏误更小,更能准确刻画我国科技创新效率变动趋势及国际排名变化。②各国科技创新效率差异明显,尤其是创新型国家科技创新效率内部分化显著,美国、英国、日本和德国等国科技创新效率显著领先于其他创新型国家。③2018 年我国科技创新效率测算效率值为 0.848 2,属于高投入高效率类型国家,样本排名第 13 位,为近年来最高位次。④近年来我国科技创新效率保持基本稳定,排名波动上升,以中国经济进入“新常态”为界,2014 年前后 5 年我国科技创新平均效率排名上升了 7 个位次,一系列科技创新战略的部署和实施对提升科技创新效率作用明显,但目前我国科技创新效率仍落后于德国、日本、美国等世界主要创新型国家,与世界第二大经济体的地位不相称。

当前,我国科技创新效率提升明显,但一些关键问题还严重制约着科技创新效率的进一步提高,部分体制机制障碍依然束缚着科技创新发展,导致我国科技创新效率仍落后于美国等世界主要创新型国家。本文研究对我国具有以下政策启示。

一是优化科技创新投入结构,提高资源配置

效率。法国科技创新效率不断下滑的案例分析表明,优化科技资源配置效率至关重要。虽然当前我国科技人才投入规模世界第一,科技经费投入规模世界第二,但存在投入结构有待优化问题。我国应在不断增加科技创新投入规模的同时,将更多的科技经费投入到 R&D 领域,鼓励有能力的企业加大科技创新投入,提高高端科技人才引培力度,不断优化科技创新投入结构。基于问题导向和市场需求,实现关键核心技术自主可控,不断提高科技创新产出质量。加大金融对科技成果产业化的支持力度,提高科技成果转化率。

二是深化科技体制改革,激发创新主体活力。俄罗斯科技创新效率不断提升的案例分析表明,实施科技体制改革、激发科技人才创新活力是提高科技创新效率的关键一招。我国亟待深入实施科技体制改革三年攻坚方案,加快推进科技成果评价改革试点、人才评价改革试点,扩大高校院所自主权改革试点,深化产学研合作,激发各类创新主体活力,推动科技体制改革向提升体系化能力、增强体制应变能力转变。完善优化科技创新生态,加强作风学风建设,形成扎实的科研作风,重视青年科技人才成长,发挥科技人才创新才能。

三是把握科技创新发展趋势,深入实施创新驱动发展战略。当前全球科技创新进入空前密集活跃期,新一轮科技革命和产业变革加速演进,科技创新的扩散性、颠覆性和渗透性特征正在深刻改变人类社会的生产生活方式,重塑经济发展方式。美国、日本、韩国等国家都在积极布局并深入实施创新战略,并且取得了显著效果。我国需要深刻把握科技创新发展趋势,根据国内外形势变化及时修制定创新战略和政策,深入实施创新驱动发展战略,巩固壮大实体经济根基,推进科技政策扎实落地,依靠创新提高发展质量。

参考文献:

- [1] 中国科学技术发展战略研究院. 国家创新指数报告(2020)[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2021: 1-68.
- [2] 刘凤朝, 潘雄锋. 基于 Malmquist 指数法的我国科技创新效率评价[J]. 科学学研究, 2007(5): 986-990.
- [3] 樊华, 周德群. 中国省域科技创新效率演化及其影响

- 因素研究[J]. 科研管理, 2012, 33(1): 10-18.
- [4] 陈银娥, 李鑫, 李汶. 中国省域科技效率的影响因素及时空异质性分析[J]. 中国软科学, 2021(4): 137-149.
- [5] 杨骞, 刘鑫鹏, 孙淑惠. 中国科技创新效率的时空格局及收敛性检验[J]. 数量经济技术经济研究, 2021(12): 105-123.
- [6] 穆荣平, 张婧婧, 陈凯华. 国家创新发展绩效格局分析方法与实证研究[J]. 科研管理, 2020, 41(1): 12-21.
- [7] ZHU S, QI Y. A comparative study of national innovation efficiency based on SFA [C] // Second international conference on economic and business management (FEBM 2017). Paris, Atlantis Press, 2017: 610-615.
- [8] 徐坡岭, 刘畅. 中美俄三国创新型国家战略选择与效果比较——基于技术效率的随机前沿分析[J]. 经济社会体制比较, 2015(6): 18-29.
- [9] 肖静, 程如烟, 姜桂兴. 基于超效率 DEA 方法的研发效率国际比较研究[J]. 情报杂志, 2009, 28(6): 89-92.
- [10] 王海峰, 罗亚非, 范小阳. 基于超效率 DEA 和 Malmquist 指数的研发创新评价国际比较[J]. 科学学与科学技术管理, 2010, 31(4): 42-49.
- [11] 钟祖昌. 研发创新 SBM 效率的国际比较研究——基于 OECD 国家和中国的实证分析[J]. 财经研究, 2011, 37(9): 80-90.
- [12] 刘兰剑, 滕颖. 提高科技创新水平依靠技术效率还是规模效应? ——来自中国与 OECD 国家的测度研究[J]. 科学学与科学技术管理, 2020, 41(7): 50-61.
- [13] 程时雄, 董籽珍. 中国与世界主要国家研发效率的测度与比较[J]. 统计与信息论坛, 2019, 34(3): 31-42.
- [14] 崔维军, 陈凤, 罗玉. 中国与主要创新经济体创新绩效的国际比较——两阶段创新模型的实证分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2014, 35(12): 10-18.
- [15] 吴丹, 胡晶. 国家科技创新能力时空差异性评价——中国与全球十国对比分析[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(20): 128-136.
- [16] 易继承, 张璐. 基于三阶段 DEA 模型的创新型国家创新效率测度[J]. 统计与决策, 2021, 37(8): 81-85.
- [17] KONTOLAIMOU A, GIOTOPOULOS I, TSAKANIKAS A. A typology of european countries based on innovation efficiency and technology gaps: the role of early-stage entrepreneurship [J]. Economic modelling, 2016, 52(2): 477-484.
- [18] 陈国生, 杨凤鸣, 陈晓亮, 等. 基于 Bootstrap-DEA 方法的中国科技资源配置效率空间差异研究[J]. 经济地理, 2014, 34(11): 36-42.
- [19] 韩兆洲, 程学伟. 中国省域 R&D 投入及创新效率测度分析[J]. 数量经济技术经济研究, 2020(5): 98-117.
- [20] 钟卫, 陈宝明. 中国高校科技成果转化绩效评价研究[J]. 中国科技论坛, 2018(4): 41-49.
- [21] 范硕, 何彬. 创新激励政策是否能提升高新区的创新效率[J]. 中国科技论坛, 2018(7): 45-55.
- [22] 杨骞, 刘鑫鹏. 中国区域创新效率的南北差异格局: 2001—2016[J]. 中国软科学, 2021(12): 92-100.
- [23] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units [J]. European journal of operational research, 1978, 2(6): 429-444.
- [24] SIMAR L, WILSON P W. A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models [J]. Journal of applied statistics, 2000, 27(6): 779-802.
- [25] 张来武. 科技创新驱动经济发展方式转变[J]. 中国软科学, 2011(12): 1-5.
- [26] GRAVES S B, LANGOWITZ N S. R&D productivity: a global multi-industry comparison [J]. Technological forecasting & social change, 1996, 53(2): 125-137.
- [27] 柴丽平. 俄罗斯科技人才队伍现状及政策研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2014, 29(4): 40-45.
- [28] GUELLEC D, VINCENT-LANCRIN S, LLERENA P, et al. Examens de l'OCDE des politiques d'innovation: France 2014 [M]. Paris: OCDE, 2014: 1-23.
- [29] 马名杰, 戴建军, 熊鸿儒, 等. 全球科技创新趋势的研判与应对[N]. 经济日报, 2021-01-22(10).
- [30] MELIÁ J M. La innovación y la i + d españolas en 2018 y su comparación internacional [R]. Madrid: FEDEA, 2020: 1-19.

(本文责编: 辛 城)