

# 中国省域科技创新效率测度、空间演化及驱动机制研究

文洪江<sup>1,2</sup>

(1. 苏州大学商学院, 江苏 苏州 215031; 2. 乌鲁木齐市技术创新研发与科技成果转化中心, 乌鲁木齐 830000)

**摘要:** 以2012—2021年全国30个省份(因数据缺失,未包含西藏地区和港、澳、台地区)面板数据样本为基础,运用三阶段数据包络分析(DEA)方法测度科技创新效率,并探究科技创新效率的空间相关性和驱动作用机制。结果显示,我国科技创新效率处于发展不平衡不充分状态,整体上呈现东部地区科技创新效率高于中部地区高于西部地区的态势。研究发现,环境影响因素和随机噪声对科技创新效率测度具有较大的影响和干扰。从空间关联性看,科技创新效率高的地区带动科技创新效率低的地区的整体局面还未形成。进一步分析表明,经济发展水平、科技人员专业素质、科研机构创新能力、技术输出对科技创新效率具有正向影响;科研经费支出、企业创新能力和技术吸纳对科技创新效率具有负向影响,以此为基础提出对策建议。

**关键词:** 科技创新效率; 三阶段DEA; 空间自相关; 驱动机制

**中图分类号:** G311 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2025)02-0346-10

近年来,新一轮科技革命、产业革命正在加速演进,国际关系在合作中存在对抗,我国持续了40余年的改革开放红利正在逐步缩减,面对这一系列的深刻变化,党中央适时作出“我国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期”的战略调整,并指出深入实施创新驱动发展战略是实现高质量发展的关键和核心。党的十八大以来,各级政府部门、企业、社会团体都将创新放在了十分重要的位置,不断加大R&D投入,建立了稳定的R&D投入增长机制,然而创新能力的提升不仅要看R&D投入的增加,还需关注科技创新效率的提升,在R&D投入持续增加的情况下,科技创新效率的提升显得尤为重要。科技创新效率是度量科技资源要素配置和利用能力的重要指标,科技创新效率的测度和研究分析对科学合理配置科技资源、提高使用效率,提升科技创新能力具有重要现实意义。

## 1 文献综述

近年来,科技创新效率相关研究受到学术界广泛关注,总体来看,既往研究主要围绕以下几个方面进行探索研究。

一是测度方法方面。科技创新效率的测度主要采用参数分析法和非参数分析法。参数分析法以随机前沿分析模型(stochastic frontier analysis,

SFA)为主<sup>[1]</sup>。该方法是一种多投入,单产出的效率测度方法,需要提前对生产函数进行设定,一般选用柯布-道格拉斯生产函数建立随机前沿模型,在此基础上进行效率测度。非参数分析法主要以数据包络分析方法(data envelopment analysis, DEA)为主。该方法是一种多投入、多产出的效率测度方法,不需要对生产函数进行设定,采用线性规划方法来建立观测数据的前沿面,然后相对于该前沿面来计算效率<sup>[2]</sup>。有学者使用超效率SBM(slacks-based measure)模型测度科技创新效率,它对投入产出同比变化进行了改进,同时又考虑了松弛变量问题,提高了前沿面评价单元的评价效率<sup>[3]</sup>;还有学者提出使用三阶段DEA方法<sup>[4]</sup>,通过剔除环境影响因素和随机噪声,能够对科技创新效率测度结果进行修正,使得测度精度更高。

二是指标选取方面。无论采用参数分析法还是非参数分析法都需要选取投入和产出指标,现有研究中,投入指标主要选取人力资源投入和资金投入,人力资源一般选取全时当量R&D人员数量、R&D人员数量;资源投入主要选取R&D资金投入、R&D投入强度、规上工业企业新产品开发经费。产出指标的差异性则更大,主要选取国内三种专利申请量(授权量)、论文发表数量、技术市场交易额、规上工业企业新产品销售收入等。遗憾的

**收稿日期:** 2024-03-06

**基金项目:** 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2022D01F79)

**作者简介:** 文洪江(1983—),男,新疆乌鲁木齐人,硕士,高级工程师,研究方向为科技咨询、科技评价、科技成果转化。

是,目前已有研究还未形成对投入产出指标的普遍认同,也造成研究指标的差异导致研究结论的差异。

三是研究对象方面。基于数据的可获得性,学者们以经济带、城市群、省域、市域等为研究对象研究分析区域科技创新效率一直是研究的热点问题,测度分析各区域的科技创新效率和分布规律。沙德林和王茂林<sup>[5]</sup>对黄河流域九省份创新效率进行了测度分析,结果表明,黄河流域创新效率总体呈上升趋势,但仍处于较低水平,区域间创新效率存在差异;程广斌等<sup>[6]</sup>对长江经济带 11 个省份创新效率进行了测度分析,结果表明:长江经济带科技创新效率总体上有所提升,但各省市之间存在显著差异,区域间差异随时间演进逐渐减少;彭晓静<sup>[7]</sup>、徐林<sup>[8]</sup>、朱丽霞等<sup>[9]</sup>对京津冀城市群、长三角城市群、长江中游城市群等城市群的总体和内部区域科技创新效率进行了测度和分析。张婷等<sup>[10]</sup>、肖慧<sup>[11]</sup>、陈红梅和宁云才<sup>[12]</sup>以省域为研究对象对科技创新效率进行了测度和分析,发现我国省域科技创新效率平均水平不高,但有显著的上升趋势,创新效率热点区主要位于东中部,冷点区主要位于西部地区,地区之间呈现“追赶效应”。

四是影响因素方面。当前科技创新效率的研究由测度、时空格局向影响因素分析转变,试图从投入和产出的关系中挖掘出科技创新效率的内在作用机制。樊华和周德群<sup>[13]</sup>通过采用 Tobit 模型,以 2000—2007 年我国省域科技创新效率为被解释变量实证分析结果表明,工业结构、对外开放度、高等教育发展水平对科技创新效率具有正影响效应,而政府影响力具有负向作用。陈银娥等<sup>[14]</sup>利用 DEA 测度 2008—2018 年我国 31 个省份的科技创新效率;再运用时空地理加权回归模型(geographically and temporally weighted regression, GTWR 模型),以时间、空间和属性三个维度的变量作为我国科技创新发展的影响因素,实证分析发现,增加教育经费投入能够有效促进我国科技创新效率,而财政支出占 GDP 比例却抑制科技创新效率。城镇化率、交通便利程度对中东部地区科技创新效率有促进作用,人均 GDP 的提高和人才聚集对西部地区的科技创新效率有促进作用。

总体来看,我国学者对区域科技创新效率进行了大量深入细致的研究,随着时间的推移,实证方法更加科学准确;投入产出指标的选取范围在逐步缩小;研究对象逐步从省域向市域、县域、企业延伸,趋于微观;科技创新效率的影响因素也得到了

相互印证。

基于已有研究成果,本文贡献在于:一是以全国 30 省份为研究对象,通过三阶段 DEA 方法,剥离基础条件、政府支持、人才条件、企业条件等环境影响因素与随机干扰因素,测度的科技创新效率更符合真实情况;二是考虑了科技创新效率的空间异质性,分析全国科技创新效率的空间分布及演化规律;三是利用 Tobit 模型,分析与科技创新相关的影响因素对科技创新效率的影响,揭示了科技创新效率的内在作用机制。

## 2 研究方法

本文主要采用三阶段 DEA 方法测度创新效率。Fried 等<sup>[15]</sup>认为传统 DEA 效率分析受到管理无效率、环境因素和随机扰动三种因素的影响,在剔除这三种因素后,决策单元将被置于相同环境下进行分析,实证结果更具备比较价值,更贴近真实水平。研究中剔除 DEA 第一阶段中的环境因素、随机误差、管理无效率项所采用的方法主要参考罗登跃<sup>[16]</sup>和陈巍巍等<sup>[17]</sup>的方法,这里就不再赘述。

(1)第一阶段:采用(Banker-Charnes-Cooper) BCC 模型作为三阶段 DEA 实证分析的基础模型,对 30 个省份(因数据缺失,未包含西藏和港、澳、台地区)2012—2021 年的创新效率进行初步评价。

(2)第二阶段:按照投入导向,利用随机前沿分析(stochastic frontier analysis, SFA)回归模型剔除基础模型分析所得的随机扰动和环境因素对投入因素的干扰。

(3)第三阶段:使用调整后的创新投入数据,再次运用 DEA 中的 BCC 模型测度 30 个省份的创新效率。

## 3 指标选取和数据来源

### 3.1 指标选取

通过借鉴前人研究成果,发现影响科技创新活动的主要要素是智力资源和研发投入,按照三阶段 DEA 模型的需要,以及结合创新链的客观规律,本文采用创新投入、产出和环境三个维度,构建科技创新效率测度指标体系。如表 1 所示。

在科技创新投入的维度中,创新主体主要由高校、科研机构、企业等组成,在科技创新投入中主要以 R&D 人员投入和研发经费投入为主。

在科技创新产出的维度中,主要由科技成果数量与科技成果的经济效益来反映。在科技成果数量主要采用国内三项专利授权数和科技论文发表数量进行表征。国内三项专利授权数主要用来

表征企业的科技创新产出,科技论文发表数量主要用来表征高校和科研院所的科技创新产出。同时,科技论文发表数和国内三项专利授权数都有规范的统计来源。科技成果的经济效益主要采用技术市场成交额来表征,能够反映出科技成果的经济价值。

在创新环境维度中,重点考虑基础条件、政府支持、人才条件和企业条件四方面的影响。基础条件是组织开展科技创新活动的基础保障,体现社会基础;政府支持是政府对科技创新投入情况,体现了政府对科技创新工作的重视程度;人才条件是科技创新的核心力量;企业是科技创新的主体,区域内高新技术企业情况是影响科技创新的重要因素。如表 2 所示。

### 3.2 数据来源

本文的原始数据来源于《中国统计年鉴》《中国

表 1 创新效率投入产出指标

一级指标	二级指标	三级指标
科技创新投入	科技创新资金投入	R&D 经费内部支出/亿元
	科技创新人员投入	R&D 人员全时当量/(人·年 <sup>-1</sup> )
科技创新产出	科技创新技术产出	三类专利授权量/件
	科技创新科学产出	科技论文发表数/篇
	科技创新经济产出	技术市场成交额/亿元

表 2 创新效率环境变量指标

一级指标	二级指标	单位
基础条件	人均地区生产总值	万元/人
	城镇化率	%
政府支持	科学技术财政支出占一般财政支出比例	%
人才条件	硕士以上 RD 全时人员占常住人口比例	人/万人
企业基础	高新技术产值占地方生产总值比重	%

表 4 第一阶段 DEA 模型测度结果

省份	综合效率	纯技术效率	规模效率	地区	综合效率	纯技术效率	规模效率
北京	1.000 0	1.000 0	1.000 0	湖北	0.725 3	0.938 7	0.776 4
天津	0.711 0	0.730 0	0.976 3	湖南	0.554 9	0.696 0	0.797 2
河北	0.598 6	0.677 8	0.884 9	广东	0.790 5	0.884 8	0.900 2
山西	0.516 7	0.548 1	0.951 0	广西	0.796 3	0.928 5	0.859 1
内蒙古	0.505 1	0.516 8	0.979 2	海南	0.994 4	0.998 9	0.995 5
辽宁	0.670 0	0.834 5	0.803 9	重庆	0.829 4	0.883 0	0.926 9
吉林	0.840 6	0.985 0	0.851 9	四川	0.847 9	0.982 4	0.861 0
黑龙江	0.891 3	1.000 0	0.891 3	贵州	0.972 8	0.984 6	0.986 0
上海	0.742 0	0.859 0	0.869 8	云南	0.761 3	0.838 1	0.904 2
江苏	0.771 6	0.959 0	0.804 6	陕西	0.902 7	0.976 6	0.924 0
浙江	0.952 7	0.999 3	0.953 2	甘肃	0.974 2	0.989 5	0.984 6
安徽	0.750 3	0.816 3	0.919 8	青海	0.954 5	1.000 0	0.954 5
福建	0.719 7	0.760 0	0.950 8	宁夏	0.751 0	0.808 2	0.932 5
江西	0.838 8	0.897 9	0.930 1	新疆	0.993 0	0.993 1	0.999 9
山东	0.589 5	0.661 5	0.902 5	全国	0.784 2	0.863 6	0.907 6
河南	0.577 4	0.761 7	0.758 0				

科技统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》和 EPS (economy prediction system) 数据库,研究对象为 30 个省份(西藏地区及港澳台地区由于数据不全,分析中未予考虑)。因科技创新全过程(包括研发、生产、销售)存在时滞效应,故本文考虑 1 年时滞影响,即研究 2012—2021 年创新效率,投入变量和环境变量使用 2011—2020 年数据,产出变量使用 2012—2021 年数据,据此测度得出相应结果。

## 4 实证分析

基于上述方法和数据,采用 spssau、DEAP2. 1、Frontier4. 1 软件,采用三阶段 DEA 方法测度剔除环境因素和随机干扰因素后的 30 个省份科技创新效率,从总体和个体角度分别对比分析第一阶段 DEA 测度的科技创新效率和第三阶段 DEA 测度的科技创新效率,揭示其特征规律。

### 4.1 基于三阶段 DEA 模型的实证分析

运用 DEA 方法进行测量需要确保投入产出变量具有同向性,使用 spssau 软件分析得出样本数据的 Pearson 相关系数,结果如表 3 所示,投入和产出变量之间存在显著的正相关关系,符合模型要求。

#### 4.1.1 第一阶段 DEA

如表 4 所示,在不考虑外部环境影响条件下,

表 3 科技创新效率投入产出变量的 Pearson 相关系数

变量	三类专利授权数/件	科技论文发表数/篇	技术市场成交额/亿元
R&D 人员全时当量/(人·年 <sup>-1</sup> )	0.931**	0.720**	0.524**
R&D 经费内部支出/亿元	0.902**	0.820**	0.707**

注:\*\*表示 5% 的显著性水平。

2012—2021年30个省份科技创新综合效率平均值为0.7842。其中,北京、浙江、海南、贵州、陕西、甘肃、青海、新疆的科技创新效率平均值超过0.9,说明上述地区的科技创新投入和产出处于较为均衡,科技资源配置合理;天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、上海、江苏、安徽、福建、山东、河南、湖北、湖南、云南的科技创新效率均低于全国平均值,说明上述地区科技创新投入产出效果不佳,科技资源配置尚需优化。通过对比纯技术效率和规模效率可以发现,我国科技创新规模效率总体平均水平比纯技术效率总体平均水平高。因此,纯技术效率是造成科技创新效率低下的主要原因。

#### 4.1.2 第二阶段 SFA

由于我国国土辽阔,东西南北中在区位特点、人文环境、资源禀赋、经济基础等方面都存在较大差异,环境变量会造成科技创新效率存在差异。由于第一阶段DEA测度过程中没有排除环境影响因素和随机干扰因素对科技创新效率的影响。因此,在第二阶段DEA中,基于SFA模型进行随机前沿分析环境影响因素和随机干扰因素对科技创新效率的影响(表5)。

(1)基础条件。人均地区生产总值与科技创新投入指标松弛值的回归系数均为正数,与理论预期相同,表明经济条件是科技创新的基础和前提。城镇化率与R&D人员投入松弛值为正值,与理论预

表5 第二阶段 SFA 回归结果

指标	R&D经费内部支出松弛值	R&D人员全时当量松弛值
常数项	-7 955.261 8*** (-255.531)	-162.159 0*** (-2.422)
人均地区生产总值	3 585.270 1*** (4.101)	11.251 8** (2.155)
城镇化率	-95.515 4 (-1.509)	2.090 6 (1.512)
科学技术财政支出占一般财政支出比例	-513.644 8*** (-18.632)	-19.607 9** (-2.329)
硕士以上RD全时人员占常住人口比例	-453.788 2*** (-3.951)	-1.833 6** (-2.566)
高新技术产业占地方生产总值比例	395.955 6*** (2.717 946 4)	2.828 4*** (2.715 079 5)
sigma-squared	1 334 001 500 (1 333 997 200)	34 328.663 0 (10 052.495)
gamma	0.664 3 (25.008)	0.809 3 (50.312)
log likelihood function	3 458.180	1 779.230
LR test of the one-sided error	114.960	220.130

注:括号内为t值;\*,\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%、1%的显著性水平。

期相同,表明城镇化率高的地区对高素质人员更具吸引力;城镇化率与R&D经费投入松弛值的回归系数为负值,表明伴随着城镇化率的提高,R&D经费投入会逐步降低。

(2)政府支持。政府支持在这里表现为地方政府对科技创新的重视程度,政府支持对科技创新投入指标松弛值的回归系数均为负值,说明地方政府支持能够降低R&D经费投入和人员投入,提高创新效率。

(3)人才条件。硕士以上RD全时人员占常住人口比例对科技创新投入指标松弛值的回归系数均为负数,说明高素质人才能够降低R&D经费投入和人员投入,使得科技资源配置更加高效合理,加快科技成果研发和转化进程,提升科技创新效率。

(4)企业基础。高新技术产业占地方生产总值比例对科技创新投入指标松弛值的回归系数均为正数,这说明高新技术产业的发展,驱动了R&D经费投入,吸引了更多的科技创新人才,对区域科技资源要素具有集聚效应。

#### 4.1.3 第三阶段 DEA

为了排除环境影响因素和随机干扰因素,依据第二阶段SFA模型回归结果调整科技创新投入变量。运用调整后投入量和原有产出数据,再次使用BCC-DAE模型进行测度。调整后的科技创新效率如表6所示。第三阶段DEA测度出全国30省份科技创新效率、纯技术效率和规模效率的总平均值分别对应0.7545、0.9638和0.7846。对比第一阶段的0.7842、0.8636和0.9076。综合效率变化不大,变化幅度约4%。纯技术效率和规模效率有明显的差异,纯技术效率平均值约上升了12%;规模效率平均值约下降了14%。这一结果表明,与第一阶段测度出来的结果技术效率低下是造成科技创新效率低下的主要原因截然不同,第三阶段测度出的规模效率较低才是造成科技创新效率低下的主要原因。

#### 4.1.4 对比分析

如图1所示,第一阶段DEA和第三阶段DEA测度出的纯技术效率总体变化不大,发生变化的省份基本呈现上升趋势,其中明显提升的有天津、山西、湖南、内蒙古和宁夏,变化幅度均超过了20%。

如图2所示,第一阶段DEA和第三阶段DEA测度出的规模效率具有明显变化,发生变化的省份有升有降。其中明显下降的省份有内蒙古、海南、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏和新疆,变化幅度均超

表 6 调整后第三阶段 DEA 测度结果

省份	综合效率	纯技术效率	规模效率	省份	综合效率	纯技术效率	规模效率
北京	1.000 0	1.000 0	1.000 0	湖北	0.972 0	0.984 2	0.987 6
天津	0.754 4	0.966 0	0.781 1	湖南	0.869 9	0.935 1	0.930 6
河北	0.707 1	0.869 9	0.813 9	广东	0.893 4	0.912 4	0.975 5
山西	0.605 1	0.935 4	0.644 1	广西	0.808 8	0.988 4	0.817 4
内蒙古	0.488 0	0.967 5	0.504 4	海南	0.273 1	1.000 0	0.273 1
辽宁	0.889 8	0.971 9	0.916 2	重庆	0.826 2	0.959 9	0.860 9
吉林	0.922 3	0.999 4	0.922 8	四川	0.966 0	0.982 5	0.983 2
黑龙江	0.960 5	0.998 1	0.962 3	贵州	0.636 3	0.995 6	0.639 5
上海	0.910 6	0.964 0	0.943 9	云南	0.624 8	0.908 7	0.688 5
江苏	0.993 7	1.000 0	0.993 7	陕西	0.967 3	0.999 9	0.967 4
浙江	0.956 6	0.988 8	0.966 8	甘肃	0.630 4	0.996 4	0.632 9
安徽	0.920 0	0.987 0	0.930 9	青海	0.137 4	1.000 0	0.137 4
福建	0.720 0	0.878 6	0.820 6	宁夏	0.245 7	0.980 5	0.250 7
江西	0.751 0	0.980 7	0.766 6	新疆	0.538 2	0.997 8	0.539 2
山东	0.786 3	0.839 0	0.935 1	全国	0.754 5	0.963 8	0.784 6
河南	0.881 1	0.925 7	0.951 7				

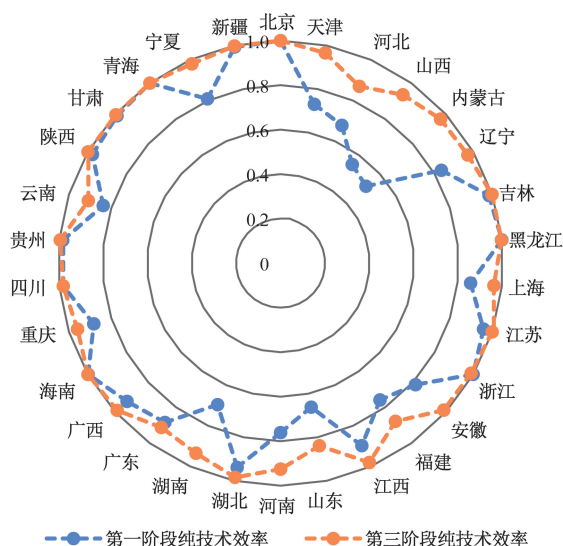


图 1 第一阶段和第三阶段纯技术效率对比

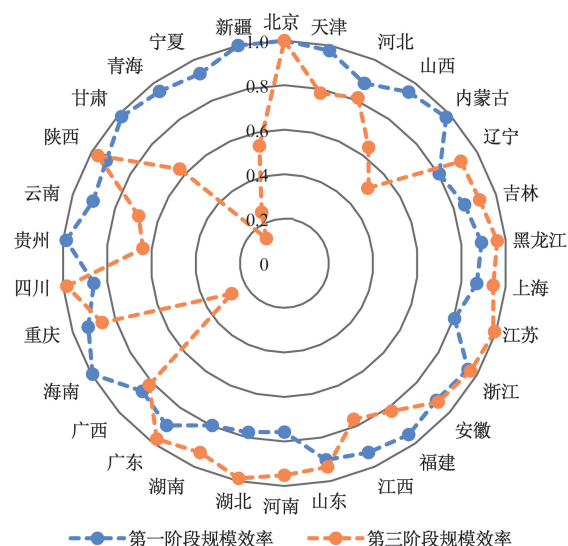


图 2 第一阶段和第三阶段规模效率对比

过了 20%。上升的省份有辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、河南、湖北、湖南、广东、四川和陕西的规模效率得到不同幅度的提升。

如图 3 所示,第一阶段 DEA 和第三阶段 DEA 测度出的综合效率也有明显的变化,发生变化的区域同样有升有降。其中,下降的省份有海南、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏和新疆;明显上升的省份有辽宁、上海、江苏、安徽、山东、河南、湖北和湖南,这一现象说明这些区域科技创新效率受环境因素影响较大,导致测度结果失真。经过剔除环境影响因素,分析结果更加贴合真实情况。

#### 4.1.5 总体分析

剔除环境影响因素和随机干扰因素得到全国各区域科技创新效率最终测度值,通过对 2012—

2021 年 30 个省份科技创新综合效率比较发现,北京的科技创新综合效率为 1.0,科技创新综合效率处于生产前沿面;吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、安徽、湖北、四川和陕西科技创新综合效率在 0.9 以上,科技创新投入合理,产出适度,科技资源利用率比较高效;辽宁、湖南、河南、广东、广西和重庆科技创新综合效率高于全国平均值,保持在 0.8~0.9,科技创新投入还有待优化,取得的产出效果也有限。天津、河北、福建、江西、山西、山东、云南、贵州和甘肃科技创新综合效率值在 0.6~0.8,科技创新投入产出转化过程中存在一些堵点和问题,需要尽快调整,以实现科技资源的优化配置。内蒙古、海南、青海、宁夏和新疆科技创新综合效率值低于 0.6,与其他地区存在较大差距,科技资源配置中还

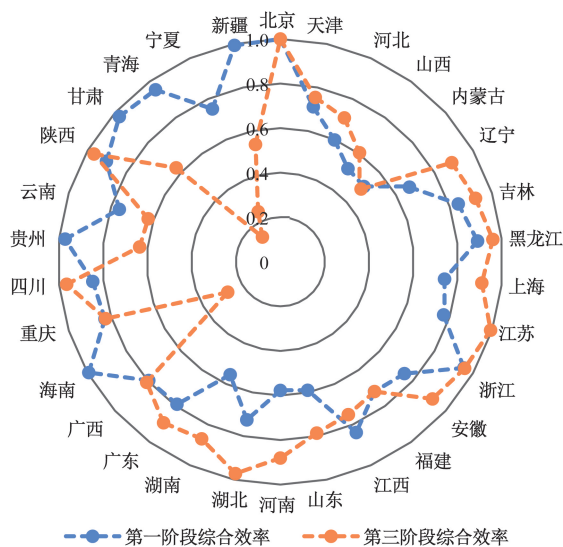


图3 第一阶段和第三阶段综合效率对比

存在一些深层次的问题,科技创新效率还有较大的提高空间。

通过对2012—2021年30个省份科技创新纯技术效率和规模效率进行比较发现,全国科技创新纯技术效率值基本维持在较高水平;科技创新规模效率较低的省份有山西、内蒙古、江西、海南、贵州、云南、甘肃、青海、宁夏和新疆等老少边穷地区,这和当地的发展程度密切相关,科技创新规模效率不高是制约这些省份科技创新效率的主要原因。

#### 4.2 基于 Moran's I 指数的空间自相关分析

已有研究表明,区域间存在知识溢出效应,并且从创新产出和投入的动态关系视角看,知识创新具有双向的溢出效应<sup>[18]</sup>。

利用 Stata 软件对2012—2021年30个省份的科技创新效率的全局莫兰指数进行测度,以验证区域间科技创新效率是否存在空间关联性。如表7所示,2012—2021年,科技创新效率全局莫兰指数均大于0,2012—2017年和2021年的 Moran's I 检验统计量  $P$  均没有通过10%的显著性水平检验,接受了空间不相关的原假设,2018—2020年的 Moran's I 的检验统计量  $P$  均通过了10%的显著性水平检验,拒绝了空间不相关的原假设。从图4可以看出,2017—2021年科技创新效率的全局莫兰指数波动比较大,空间关联强度总体上呈现增强的趋势,即2017—2020年快速提升,2020—2021年大幅下降,可能是受疫情影响,影响了跨区域的科技交流合作。总体来看,全国科技创新效率的空间关联性呈现增强趋势。

表7 科技创新效率 Moran's I 指数

年份	Moran's I	P	年份	Moran's I	P
2012	0.123	0.195	2017	0.113	0.217
2013	0.136	0.159	2018	0.184*	0.067
2014	0.144	0.137	2019	0.259**	0.014
2015	0.162	0.100	2020	0.266**	0.012
2016	0.131	0.162	2021	0.145	0.127

注: \*、\*\* 分别表示10%、5%的显著性水平。

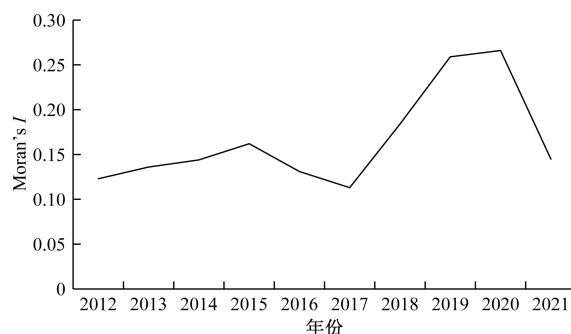


图4 2012—2021年科技创新效率莫兰全局指数趋势

使用 geoda 软件分别对2012年、2015年、2018年、2020年30省份科技创新效率的局部莫兰指数进行测度分析,为提升趋势变化观察效果,这里将显著性值提升至0.2水平。根据分析得出,2012年低低集聚出现在新疆、甘肃;高高集聚出现在上海、江苏、浙江、安徽、湖北、重庆。2015年,低低集聚新增了宁夏和内蒙古;高高集聚新增了山东。2018年,低低集聚新增了青海,减少了内蒙古;高高集聚新增了江西和福建,减少了山东。2020年,低低集聚没有发生变化;高高集聚新增了山东和河南,减少了福建。总体而言,全国科技创新效率存在明显的两极分化现象,低低集聚主要分布在西部地区,高高集聚主要分布在以长江流域为轴线的中部和东部地区,呈现“T”字形分布,大部分地区没有形成空间集聚效应。从2012年、2015年、2018年和2020年四个阶段演变情况来看,低低集聚基本没有太大变化,说明西部地区科技创新效率较低的情况并没有得到改善;高高集聚地区从6个省份增加到9个省份,说明长江沿线区域科技创新效率总体在逐渐增强,空间上邻近的区域之间表现出了正向的溢出效应和带动效应。表明随着国家区域协同发展战略和长三角一体化发展战略的实施,空间格局锁定特征正在不断弱化,区域间科技交流合作正在日益加强,知识和技术的溢出效应有助于缩小区域科技创新效率的现有差距。

#### 4.3 基于 Tobit 模型的科技创新效率影响因素实证分析

##### 4.3.1 Tobit 模型

Tobit 模型最初由经济学家 Tobin(1958)提出,

用于研究被解释变量具有的上、下限和极值问题,由于各区域的科技创新效率值均介于 0~1,数据被截断,需要建立截断因变量模型,故采用 Tobit 模型来实证科技创新效率的影响因素。模型构建如下。

$$TE = C + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \epsilon_{it} \quad (1)$$

$$SE = C + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \epsilon_{it} \quad (2)$$

$$PTE = C + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_4 X_4 + \beta_5 X_5 + \beta_6 X_6 + \beta_7 X_7 + \beta_8 X_8 + \epsilon_{it} \quad (3)$$

式中: $C$ 为截距项; $\beta$ 为一系列相关系数; $\epsilon$ 为随机扰动项。

#### 4.3.2 Tobit 回归结果分析

根据上述模型设定,运用 Stata18 软件进行回归,为确保模型结果的稳健性,对所有连续变量在 0.01 水平上进行缩尾处理,结果如表 8 所示。

本文将第三阶段 DEA 测度得出的科技创新效率值作为被解释变量,引入经济发展水平(用地区 GDP 产值表征)、科研经费投入(用 R&D 投入强度表征)、政府支持力度(用地方财政科技投入占财政总支出比重表征)、企业创新能力(用高新技术产业产值占地方 GDP 比重表征)、科技人才专业素质(用 R&D 人员中硕士以上学历占比表征)、科研机构创新能力(用科研机构 and 高校平均发表论文数表征)、技术输出(用输出技术成交金额表征)和技术吸纳(用吸纳技术成交金额表征)等 8 个影响因素作为解释变量,探究影响科技创新效率的影响因素。

(1)经济发展水平的影响。地方经济水平与科技创新综合效率在 1%水平上呈正相关关系,表明地方经济水平越高越能够有效提升科技创新综合效率。

(2)科研经费投入的影响。科研经费投入与科技创新综合效率在 1%水平上呈负相关关系,这说明当前科技资源配置不合理,科技支出与科技创新不相适应,造成科技投入冗余和资源浪费,研发投入不利于科技创新效率提升。

(3)政府支持力度的影响。政府支持力度与科技创新综合效率呈不显著的正相关关系,这可能是由于目前大部分地区科技财政支出过低,也没有发挥好引导和放大作用,对全社会科技创新效率影响十分微弱,这点由回归模型的系数也可以看出。

(4)企业创新能力的影响。高新技术企业作为参与科技创新的主体,其产值占地方 GDP 比例能够反映当地企业开展科技创新的情况。高新技术产业规模与科技创新综合效率在 1%水平上呈负相关关系,说明高新技术产业规模会抑制科技创新效率。这主要是由于当前高新技术企业的科技创新能力和水平普遍不高,拖累了整体的科技创新效率。在现实中表现为企业科技资源要素投入过多,而产出较低,造成科技创新效率不高。

(5)科技人员专业素质的影响。科技人员专业素质与科技创新综合效率在 1%水平上呈正相关关系,表明硕士以上学历科研人员作为科技创新的核心力量,发挥了数量无法替代的作用,能够为科技创新活动提供强有力的智力支持,有效促进了科技创新效率提升。

(6)科研机构创新能力的影响。科研机构创新能力与科技创新综合效率在 1%水平上呈正相关关系,表明科研机构 and 高校还是科技创新的核心力量,其研发能力越强,同等条件下,投入产出比越大,科技创新效率越高。

(7)输出技术的影响。输出技术与科技创新综

表 8 环境因素对科技创新效率的 Tobit 回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	综合效率(TE)	纯技术效率(PTE)	规模效率(SE)
地区 GDP( $X_1$ )	0.027*** (3.51)	0.007(1.59)	0.021*** (3.56)
R&D 投入强度( $X_2$ )	-0.052*** (-5.25)	-0.009(-1.64)	-0.460*** (-5.89)
地方财政科技投入占财政支出占比( $X_3$ )	0.001(0.19)	0.018*** (4.28)	-0.014*** (-2.52)
高新技术产业产值占地方生产总值占比( $X_4$ )	-0.003*** (-3.90)	-0.001*** (-3.44)	-0.002* (-2.76)
硕士以上 R&D 人员数量合计( $X_5$ )	0.221*** (19.88)	-0.039*** (-6.21)	0.255*** (28.85)
平均科研机构 and 高校发表论文数( $X_6$ )	0.089*** (4.65)	0.046*** (4.26)	0.051*** (3.43)
输出技术成交金额( $X_7$ )	0.036*** (5.33)	0.012*** (2.99)	0.028*** (5.21)
吸纳技术成交金额( $X_8$ )	-0.072*** (-6.82)	-0.005(-0.91)	-0.065*** (-7.13)
常数项(C)	-1.878*** (-15.59)	1.017*** (14.91)	-1.930*** (-20.07)
缩尾前 Log likelihood	293.997	471.518	361.525
缩尾后 Log likelihood	294.459	475.214	362.354

注:括号内为  $t$  值;\*、\*\*、\*\*\* 分别表示 10%、5%、1% 的显著性水平。

合效率在1%水平上呈正相关关系,表明输出技术能够提升科技创新效率。输出技术规模越大,科技创新能力越强,科技产出越丰富,技术市场越成熟,输出技术通过市场更优化的配置科技资源要素来推动科技创新效率提升。

(8)吸纳技术的影响。吸纳技术与科技创新综合效率在1%水平上呈负相关关系。表明吸纳技术会抑制科技创新效率。吸纳技术规模越大,科技产出无法满足市场需要,本地的科技供给无法匹配科技需求,无论是因为当地科技创新能力不足,还是科技创新规模不足,都会制约科技创新效率。

总体来看,由表6列(1)~列(3)结果可知,科研机构创新能力和输出技术显著正向影响科技创新技术效率、规模效率和纯技术效率,这表明科研机构创新能力和输出技术主要通过规模效率和纯技术效率共同驱动科技创新效率提升。经济发展水平、科技人员素质显著正向影响科技创新技术效率与规模效率,这表明经济发展水平和科技人员素质主要通过规模效率驱动科技创新效率提升。企业创新能力负向影响科技创新技术效率、规模效率和纯技术效率,这表明企业创新能力通过规模效率和纯技术效率共同抑制了科技创新效率。当前,各级部门对高新技术产业非常重视,出台了一系列优惠政策,推动了高新技术企业数量的快速增长,然而这种野蛮式增长也造成了高新技术企业良莠不齐,一些纯商贸、建筑类等非高新技术产业的企业也浑水摸鱼地加入高新技术企业行列,拉低了高新技术产业整体的科技创新效率。同时,作为创新主体的企业还没有建立完善规范的创新体系,高层次创新人才匮乏、创新基础条件薄弱、科研经费使用不合理等现实情况也造成了企业的纯技术效率不高,限制了科技创新效率提升。政府科技补助有利于缓解了高校、科研院所、企业等创新主体在购买研发设备、技术交易、引进高素质人才等方面的资金压力,提高科技资源要素集聚能力和研发实力,从而提升纯技术效率和科技创新效率,然而政府科技投入毕竟是引导资金,在全社会研发投入中所占比例较小,因此无法对科技创新的规模效率造成显著影响。

进一步分析表明:经济发展水平、科技人员专业素质、科研机构创新能力、技术输出对科技创新效率有促进作用,其影响程度排序对应为科技人员专业素质>科研机构创新能力>技术输出>经济发展水平,说明科技人员专业素质是影响科技创新

效率的首要因素,再次印证了党的二十大报告提出的“科技是第一生产力、人才是第一资源”的观点;其次是科研机构创新能力,虽然从2012年《关于深化科技体制改革加快国家创新体系建设的意见》首次提出确立企业在技术创新中的主体地位,到2023年十四届全国人大一次会议提出企业是科技创新主体,但就目前实际情况来看,高校和科研院所仍是科技创新的主力军,企业作为科技创新的主体地位还名不副实;最后是技术输出和经济发展水平,二者相差不大。经济水平越高的地区,拥有更加优渥的基础条件,对高素质人才也具有更大吸引力,高素质人才的集聚有助于科研机构创新能力的提升,创造更多更高质量的科技成果,通过技术市场实现经济收益,从而实现良性的技术产业循环,不断促进科技创新效率提升。

## 5 结论和建议

### 5.1 结论

本文对30个省份2012—2021年的科技创新效率及其影响因素、空间演化加以分析,研究得出以下结论。

(1)环境因素对科技创新效率测度具有较大影响。通过对比第一阶段DEA和第三阶段DEA测度结果,投入调整前后,西部地区科技创新综合效率大幅度下调,东部地区科技创新综合效率大幅度提升,超过12个省份变化幅度超过20%,表明环境影响因素和随机噪声对科技创新效率测度具有较大的影响和干扰。

(2)科技创新效率总体水平还有较大提升空间。虽然我国目前大部分地区科技创新效率都处于较高水平,但平均综合效率只有0.7842,还有20%多的提升空间,从全国整体来看,科技创新效率处于发展不平衡不充分状态,东部地区科技创新效率高于中部地区高于西部地区。总体来看,纯技术效率普遍较高,规模效率无法与之相匹配是造成综合效率不高的主要原因。

(3)科技创新效率的空间关联性有待提升。2012—2017年间科技创新效率在10%的显著性水平上表现为空间不相关,且保持着较为稳定的状态,2017—2020年科技创新效率的空间关联性快速增强,并在10%的显著性水平上表现为空间存在关联性,2020—2021年科技创新效率的空间关联性又表现为空间不相关,可能是疫情原因影响了区域间的科技交流与合作,且空间关联性也还处于较低水平。区域协调发展虽然早在2002年就提出了,但是

由于地理距离、行政壁垒、产学研合作不顺畅、技术产业化程度不高、没有形成全国性的创新分工等原因导致全国各区域科技交流合作还不够紧密,科技资源要素流动还无法实现自由流动,科技创新发展好的地区带动科技创新发展不好的地区的局面还未普遍形成。

(4)Tobit 回归分析表明,经济发展水平、科技人员专业素质、科研机构创新能力、技术输出对科技创新效率具有正向影响;科研经费支出、企业创新能力和技术吸纳对科技创新效率具有负向影响;政府支持力度对科技创新效率的影响不显著。高素质人才和科研机构创新能力是影响科技创新效率的主要因素。

## 5.2 建议

根据以上研究结论,提出以下对策建议。

(1)加强顶层设计,做好整体设计和布局。科技创新效率的提升应树立全国一盘棋的思想,从战略全局上统筹谋划和推动工作,一是推动《科技进步法》和《促进科技成果转化法》尽快发挥实效,建立监督考核机制,强化落实力度;二是以产业为导向,加快布局建设国家实验室,发挥国家实验室在科技创新中的引领作用;三是以全国统一大市场建设为契机,由国家主导建设全国性的科技成果数据库,完成国家-区域-地方三级国家技术转移体系的布局和建设,破解行政和信息壁垒,提高科技成果转化效率。

(2)科学合理利用科技创新资源要素。对科技创新综合效率高的地区,注意规模效率和技术资源的匹配度,杜绝盲目发展,造成财力浪费。对纯技术效率高,而规模效率不高的地区加大科技创新投入,提升科技创新规模,避免造成科技资源要素的冗余和闲置。对科技创新综合效率低的地区,摸清家底,按实际需要建立逐步增长的科技投入机制,大力培育高新技术企业等创新主体,加大人才引进力度,完善科技创新激励机制,增加科技成果产出,提升科技创新效率和质量,缩小区域差距。

(3)健全完善企业科技创新体系。一是为科技人员松绑,在全国大力推广高校、科研院所科技人员兼职兼薪,柔性工作机制,缓解企业高素质人才匮乏的现实情况;二是鼓励具备条件的企业建立专业研发机构,探索企业主导的专业化科技创新机制和模式;三是支持高校、科研院所与企业联合建立新型研发机构,按照多元化投入、专业化管理、市场化运作的模式,开展科技创新和成果转化;四是制

定出台企业科技创新工作指南,指导企业科学合理规范开展科技创新工作。

(4)加强科技交流合作。全国各区域有效发挥自身比较优势,加强科技交流与合作,优化配置科技资源和要素,合理分工,有序开展科技创新,推动形成优势互补、错位发展的区域科技创新格局,避免重复研发和同质化竞争造成的科技资源浪费。

## 参考文献

- [1] DENNIS A, KNOX L, PETER S. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models [J]. *Journal of Econometrics*, 1977(6): 21-37.
- [2] CHARNES A, COOPER W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1978(2): 429-444.
- [3] 张婷,王玮蓉,姚昀辰. 中国 31 个省(区、市)及重点省域科技创新效率评价研究——基于超效率 SBM-Malmquist 模型[J]. *科技管理研究*, 2023, 43(3): 87-95.
- [4] 陈升,扶雪琴. “一带一路”沿线科技创新效率区域差异及影响因素分析——基于三阶段 DEA 和 Tobit 模型[J]. *重庆大学学报(社会科学版)*, 2022, 28(1): 154-169.
- [5] 沙德春,王茂林. 黄河流域九省区创新效率评价[J]. *科技管理研究*, 2022, 42(6): 43-50.
- [6] 程广斌,吴家庆,孙雪英. 长江经济带科技创新效率及影响因素研究[J]. *科技管理研究*, 2022, 42(3): 57-65.
- [7] 彭晓静. 京津冀城市群创新效率及影响因素研究[J]. *技术与经济*, 2021(2): 118-122.
- [8] 徐林. 长三角城市群创新效率测度[J]. *统计与决策*, 2021, 37(2): 84-87.
- [9] 朱丽霞,贺容,郑文升,等. 长江中游城市群城市创新效率的时空格局及其驱动因素[J]. *长江流域资源与环境*, 2019, 28(10): 2279-2288.
- [10] 张婷,王玮蓉,姚昀辰. 中国 31 个省(区、市)及重点省域科技创新效率评价研究——基于超效率 SBM-Malmquist 模型[J]. *科技管理研究*, 2023, 43(3): 87-95.
- [11] 肖慧. 中国省域创新效率测度及其时空演化[J]. *经济研究导刊*, 2019(30): 48-49.
- [12] 陈红梅,宁云才. 中国省域技术创新效率评价及比较研究[J]. *经济问题探索*, 2011(8): 66-70.
- [13] 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.
- [14] 陈银娥,李鑫,李汶. 中国省域科技创新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.
- [15] FRIED H O, LOVELL C A K, SCHMIDT S S. Accounting for Environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2002, 17: 157-174.
- [16] 罗登跃. 三阶段 DEA 模型管理无效率估计注记[J]. *统计研究*, 2012, 29(4): 104-107.

[17] 陈巍巍, 张雷, 马铁虎, 等. 关于三阶段 DEA 模型的几点研究[J]. 系统工程, 2014, 32(9): 144-149.

[18] 程叶青, 王哲野, 马靖. 中国区域创新的时空动态分析[J]. 地理学报, 2014, 69(12): 1779-1789.

## Research on the Efficiency Measurement, Spatial Evolution and Driving Mechanism of Provincial Science and Technology Innovation in China

WEN Hongjiang<sup>1,2</sup>

(1. School of Business, Suzhou University, Suzhou 215031, Jiangsu, China; 2. Urumqi Technology Innovation R&D and Transformation Center of Scientific and Technological Achievements, Urumqi 830000, China)

**Abstract:** Based on the panel data samples of 30 provinces (due to the lack of data, the statistical data mentioned here do not include the Tibet Autonomous Region, the Hong Kong Special Administrative Region, the Macao Special Administrative Region and Taiwan Province) in China from 2012 to 2021, the three-stage DEA was used to measure S&T innovation efficiency, explored its spatial autocorrelation and the driving mechanism of S&T innovation efficiency. The results show that China's S&T innovation efficiency is in an unbalanced and insufficient state, and on the whole, the S&T innovation efficiency in the eastern region is higher than that in the central region, which is higher than that in the western region. It is found that environmental factors and random noise have a significant impact and interference on the measurement of S&T innovation efficiency. From the perspective of spatial correlation, regions with high S&T innovation efficiency have not driven the overall situation of regions with low S&T innovation efficiency. Further analysis shows that the level of economic development, professional quality S&T personnel, innovation ability of scientific research institutions and technology export have a positive impact on S&T innovation efficiency. It is also found that expenditure, enterprise innovation ability and technology absorption have a negative impact on S&T innovation efficiency. Based on this, countermeasures and suggestions are proposed.

**Keywords:** S&T innovation efficiency; the three-stage DEA; spatial autocorrelation; driving mechanism