

中国科技创新效率测度及时空特征研究

杨丽萍

成都信息工程大学统计学院, 四川 成都

收稿日期: 2024年11月7日; 录用日期: 2024年12月3日; 发布日期: 2024年12月12日

摘要

高校作为科技创新的重要基地, 本文对2013~2022年的中国高校科技统计资料, 通过BCC-DEA模型并结合Malmquist指数对中国高校科技创新效率进行静态和动态测度, 同时综合各省市自治区地理空间关系, 建立空间杜宾模型探究其空间特征, 得出如下结论: 技术进步是推动科技创新综合效益提升的关键因素; 科技创新效率地区差异显著, DEA有效主要集中在北京、上海、江苏、浙江、陕西等经济基础雄厚和教育资源丰富地区; 中国高校科技创新效率存在负向的空间溢出效应。最后结合实际情况, 提出建议。

关键词

空间计量, BCC-DEA模型, Malmquist指数

Research on the Measurement and Spatial and Temporal Characteristics of China's Scientific and Technological Innovation Efficiency

Liping Yang

School of Statistics, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Nov. 7th, 2024; accepted: Dec. 3rd, 2024; published: Dec. 12th, 2024

Abstract

Universities are important bases for scientific and technological innovation. This article uses the BCC-DEA model and the Malmquist index to conduct static and dynamic measurements of the scientific and technological innovation efficiency of Chinese universities based on the scientific and technological statistics of Chinese universities from 2013 to 2022. At the same time, it combines the

geography of various provinces, municipalities and autonomous regions. Spatial relationship, a spatial Durbin model was established to explore its spatial characteristics, and the following conclusions were drawn: technological progress is a key factor in promoting the improvement of comprehensive benefits of scientific and technological innovation; regional differences in scientific and technological innovation efficiency are significant, and the effectiveness of DEA is mainly concentrated in Beijing, Shanghai, Jiangsu, In areas with strong economic foundations and rich educational resources such as Zhejiang and Shaanxi, there is a negative spatial spillover effect on the scientific and technological innovation efficiency of universities in China. Finally, suggestions are made based on the actual situation.

Keywords

Spatial Econometrics, BCC-DEA Model, Malmquist Index

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球化竞争日益激烈的背景下，提升中国高校科技创新效率及其空间效益成为推动国家创新驱动发展战略的关键。本研究旨在通过综合测度中国高校科技创新效率，并深入分析其空间分布与溢出效应，揭示影响效率的关键因素及区域差异。这不仅有助于优化资源配置，促进区域协同发展，还能为政策制定者提供科学依据，推动构建更加高效、协同的科技创新体系。

2. 文献综述

从已有的研究成果看，高校科技创新效率测度的方法主要是通过 DEA 模型、GS-SBM 模型、三阶段超效率 EBM-Windows 模型等方法进行测度。程刚，杨梦成，李旭辉(2022 年)运用 DEA-Malmquist 模型对中国科技创新效率进行静态和动态测度，并考察其时空演化格局进程[1]；马博、周睿(2023 年)利用 GS-SBM 模型测度长江经济带的科技创新效率，使用 Malmquist 指数、Dagum 基尼系数以及 Sigma 收敛、Beta 绝对(条件)收敛考察长江经济带科技创新效率的演变、空间差距和收敛性[2]。刘韬、吴梵、曲优(2022 年)运用超效率 DEA 模型 Malmquist 指数测度企业科技创新效率与全要素生产率[3]；张祥宇(2022 年)采用 DEA-Malmquist 模型和空间可视化方法剖析 2011~2020 年广东科技创新资源配置在时间和空间上的变异情况[4]。柯亮、姚聪莉(2021 年)建立 DEA 模型测算了不同地区的创新效率，并建立空间面板回归模型分析了“双一流”建设高校科技创新效率的影响因素[5]。

我国对高校科技创新的研究主要集中在创新效率测度、影响因素分析、提升路径研究等方面，而将科技创新效率测度与空间特征研究相结合的文章研究对象多为经济发达的城市、高技术产业等，将二者相结合研究的文章较少，因此本文选取 2013~2022 年中国高校科技统计数据构建测度指标体系，采用 DEA 模型、Malmquist 指数测算高校科技创新效率，使用空间计量方法研究其时空特征。

3. 模型构建与数据说明

3.1. 模型构建

本研究基于规模报酬可变的假设，将技术效率进行分解，建立 BCC-DEA 模型对中国高校科技创新

效率进行静态测算，同时结合 Malmquist 指数考察科技创新效率的动态变化情况。综合考量全国各省市基于地理上的邻近关系，构建空间杜宾模型测度其空间集聚效应，评估中国高校科技创新效率是否存在溢出效应以及一个省市的发展是否会对邻近省市产生显著影响。

3.2. 指标选取与数据来源

3.2.1. 指标选取

借鉴已有研究资料，并结合数据的可获得性，本研究建立如下指标体系(如表 1)：

Table 1. Measurement indicators of scientific and technological innovation efficiency of Chinese universities
表 1. 中国高校科技创新效率测度指标

一级指数	二级指数	单位
科技创新产出	发表学术论文数(X1)	篇
	实际技术转让收入(X2)	千元
	国际级项目验收数占比(X3)	%
	发明专利授权数(X4)	项
	实用新型专利授权量占比(X5)	%
	科技专著(X6)	项
	专利出售合同总金额(X7)	千元
科技创新投入	省部级奖励占比(X8)	%
	研发全时人员数(X9)	人年
	科学家和工程师人数占比(X10)	%
	科技经费总额(X11)	千元/年
	人均科技经费(X12)	元/人
	科技活动机构总数(X13)	个
	科技项目数(X14)	个
	国际学术会议出席交流论文(X15)	篇

3.2.2. 数据来源

本研究数据来源主要有：① 基础地理数据，来源于阿里云 DataV；② 科技统计数据，来源于教育部科技司编撰的《高等学校科技统计资料汇编》。数据均选取 2013~2022 年的指标，由于西藏缺失数据较多，因此样本量为我国 30 个省市自治区的高校。

4. 中国高校科技创新效率测度

4.1. 静态测度

本研究基于 BCC-DEA 模型，利用 DEAP2.1 软件对 2013~2022 年的中国 30 个省市的科技创新效率进行测算(图 1)。

从时间维度看，中国高校科技创新效率的年均静态效率连续 10 年未实现最优。规模效益值呈现波动上升趋势，技术效益值呈现波动下降趋势，说明高校在成果转化方面可能面临巨大挑战，如科研成果与

市场需求脱节、科技资源分配不均的问题。

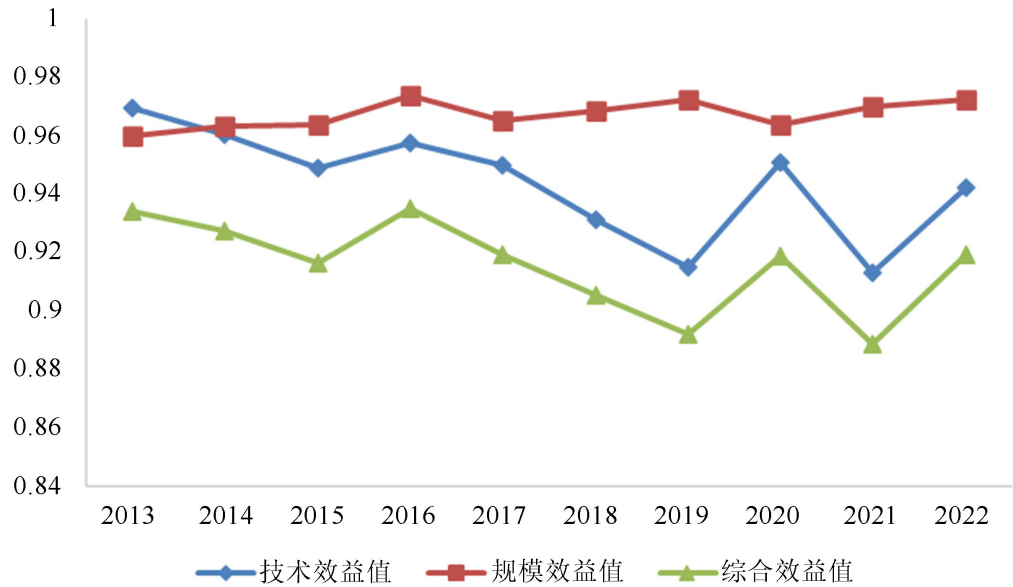


Figure 1. Annual average static measurement of scientific and technological innovation efficiency of Chinese universities
图 1. 中国高校科技创新效率年均静态测度

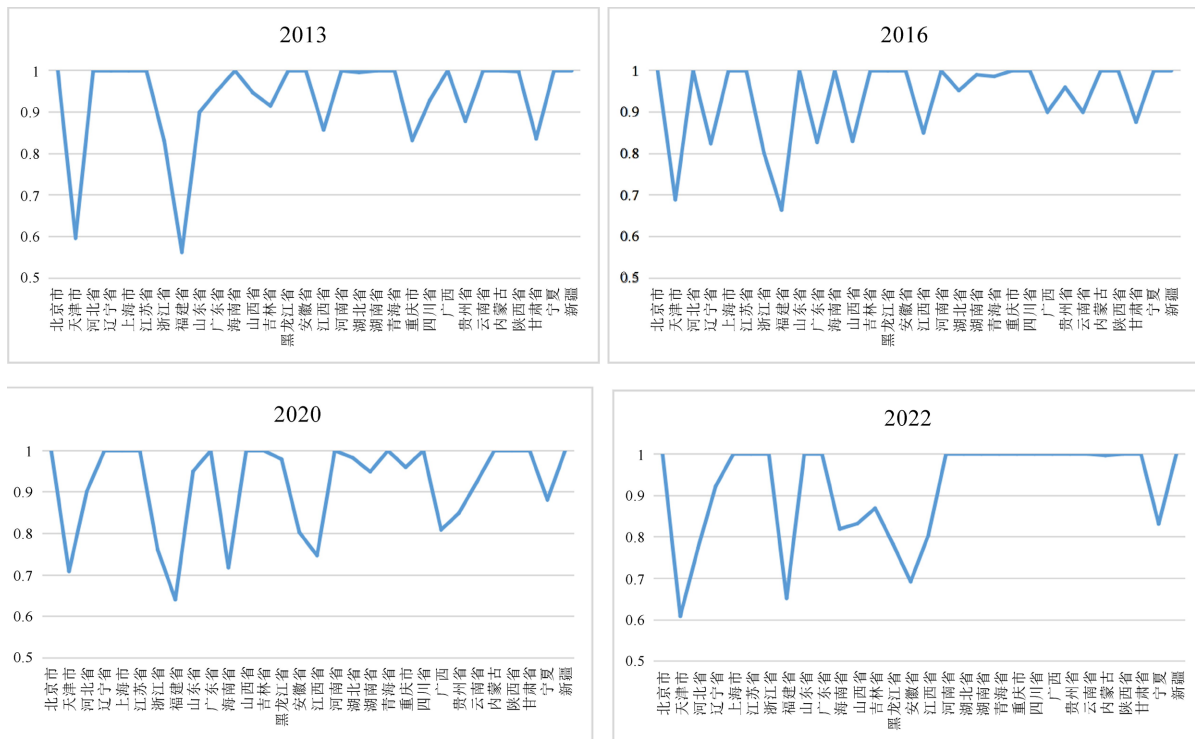


Figure 2. Comprehensive benefit value of scientific and technological innovation efficiency of Chinese universities
图 2. 中国高校科技创新效率综合效益值

如图 2，从我国 30 个省市自治区看，高校的科技创新效率综合效益差异明显。DEA 有效主要集中在北京、上海、江苏、浙江、陕西等地区，这些地区经济基础雄厚、教育资源丰富，更能够吸引和留住高水

平科研人才。科技创新效率综合效益值低于 0.8 的地区主要是天津、福建、海南、河南、黑龙江，这些地区经济发展水平相对较低，甚至部分地区的教育资源分配不均，导致科研环境受到限制。

4.2. Malmquist 指数动态分析

Table 2. Dynamic efficiency of scientific and technological innovation efficiency of Chinese universities from 2013 to 2022
表 2. 2013~2022 年中国高校科技创新效率的动态效率

year	effch	techch	pech	sech	tfpch
2013~2014	1.004	0.637	1.003	1.002	0.639
2014~2015	0.989	0.877	0.998	0.991	0.868
2015~2016	1.008	1.06	1.001	1.007	1.068
2016~2017	1.003	1.112	0.999	1.004	1.116
2017~2018	0.998	0.975	0.998	1	0.973
2018~2019	1	1.061	1	1	1.06
2019~2020	1.001	0.827	1.001	1	0.828
2020~2021	1.001	1.212	1.001	1	1.213
2021~2022	0.992	0.909	0.994	0.998	0.902
mean	1	0.948	1	1	0.948

Table 3. New Malmquist total factor productivity of scientific and technological innovation of Chinese universities
表 3. 中国高校科技创新新 Malmquist 全要素生产率

firm	effch	techch	pech	sech	tfpch
北京市	1	0.892	1	1	0.892
天津市	0.981	0.983	0.982	0.999	0.964
河北省	1.001	1.002	1	1.001	1.004
辽宁省	1	1.006	1	1	1.006
上海市	1	0.885	1	1	0.885
江苏省	1	0.917	1	1	0.917
浙江省	1	0.839	1	1	0.839
福建省	0.999	0.918	1.002	0.997	0.917
山东省	1	0.878	1	1	0.878
广东省	1	0.828	1	1	0.828
海南省	1	1.276	1	1	1.276
山西省	1	1.003	1	1	1.003
吉林省	1	0.996	1	1	0.996
黑龙江省	1	1.049	1	1	1.049
安徽省	1.006	0.914	1.002	1.003	0.919
江西省	1.002	0.976	1	1.002	0.978
河南省	1	1.02	1	1	1.02
湖北省	1	0.959	1	1	0.959
湖南省	1	1.002	1	1	1.002
青海省	1	0.925	1	1	0.925
重庆市	1	0.833	1	1	0.833
四川省	1	0.977	1	1	0.977

续表

广西壮族自治区	1	0.94	1	1	0.94
贵州省	1	0.932	1	1	0.932
云南省	1	0.919	1	1	0.919
内蒙古自治区	1	0.984	1	1	0.984
陕西省	1	0.842	1	1	0.842
甘肃省	1	0.937	1	1	0.937
宁夏回族自治区	1	1.027	1	1	1.027
新疆维吾尔自治区	1	0.899	1	1	0.899
mean	1	0.948	1	1	0.948

从时间维度看(见表 2),中国科技创新效率的提升并不稳定,且大部分时间处于下降状态。2013~2022 年我国科技创新效率生产率指数均值为 0.948, Malmquist 生产率下降 5.2%。由于全要素生产率指数 $tfpch = 技术效率指数\ effch * 技术进步指数\ techch$, 因此高校全要素生产率指数变化主要受到技术进步指数影响,其中仅 4 年全要素生产率大于 1, 这种波动性可能源于政策调整、市场环境变化、科研资源分配不均等多种因素。

从地区看(见表 3),中国各省市自治区在科技创新效率方面存在显著的区域差异。2013~2022 年间中国 30 个省市自治区中仅有 8 个省市科技创新全要素生产率大于 1, 占比 26.67%, 这些省市自治区多为经济发达地区或沿海地区, 其中, 海南省科技创新生产率提升最快, 增长 27.6%, 这是由于海南省作为中国的经济特区和自由贸易试验区, 享有独特的政策优势和发展机遇, 为科技创新提供了良好的环境和条件。而重庆市科技创新生产率最低, 降低 16.7%, 呈现衰退趋势, 这一结果与许多学者结论一致[6]。

5. 中国高校科技创新效率时空特征分析

5.1. 中国高校科技创新效率空间关联性

Table 4. Global Moran's I

表 4. 全局 Moran's I

Variables	I	E(I)	sd(I)	z	p-value*
Y	-0.08	-0.003	0.033	-2.302	0.021

由上表 4 可知, 全局莫兰指数显示($I = -0.08$, $P = 0.021 < 0.05$)中国高校科技创新效率存在显著的空间积聚效应。

5.2. 中国高校科技创新效率空间效应性分析

Table 5. Spatial econometric model test

表 5. 空间计量模型检验

空间面板模型检验		Value	P-Value
LM 检验	Moran's I	1.35	0.177
	LM-erro	0.90	0.343
	Robust-LM-erro	18.52***	0.000
	LM-lag	1.91	0.167
	Robust-LM-lag	19.534***	0.000

续表

LR 检验	LR-SDM/SEM	118.31***	0.000
	LR-SDM/SAR	113.41***	0.000
Wald 检验	Wald-SDM/SEM	335.84***	0.000
	Wald-SDM/SAR	332.00***	0.000
时空—时间固定效应检验	LR-both/ind	25.62	0.694
	LR-both/time	168.25***	0.000

注：***、**、*分别表示在 1%、5%和 10%水平上显著。

为确保计量结果的准确性，本文初步选择空间杜宾模型[7]，检验其是否会退化成空间误差模型或者空间自回归模型，同时考虑到固定效应、随机效应以及混合效应。

综合上述检验结果(见表 5)，本文选择时间—时空双固定效应的空间杜宾模型进行分析更有效。

Table 6. Spatial Durbin model estimation with time-space dual fixed effects

表 6. 时间—时空双固定效应的空间杜宾模型估计

Y	Coefficient	std. err.	z	P > z	[95% conf. interval]
Spatial					
rho	-0.2223481	0.1114151	-2	0.046	-0.4407176 -0.0039786

由上述结果可知(见表 6)，空间自相关系数 $\rho = -0.222$ ， $P > Z = 0.046 < 0.1$ ，说明中国高校科技创新效率存在负向的空间溢出效应，可能由多种因素导致，例如资源竞争、人才流动、政策影响等。

Table 7. Estimation of direct, indirect and total effects of the spatial Durbin model of scientific and technological innovation efficiency of Chinese universities

表 7. 中国高校科技创新效率空间杜宾模型直接效应、间接效应和总效应估计

变量	LR_Direct	LR_Indirect	LR_Total
X1	0.00000676***	3.9E - 06	0.0000107**
X2	0.000000277***	-0.000000219*	5.81E - 08
X3	0.0055236	-0.0198915	-0.014368
X4	-1.88E - 06	-0.0000082**	-0.0000101***
X5	0.0025565***	-0.0010563	0.0015002
X6	0.000107***	0.0001335	0.0002406**
X7	-1.28E - 08	4.08E - 08	2.8E - 08
X8	0.0001516	0.0009281	0.0010798
X9	0.00000773***	5.18E - 06	0.0000129**
X10	-0.0020535**	-0.0010179	-0.0030714**
X11	-0.0000000121**	-0.0000000273*	-0.0000000394***
X12	4.59E - 05	0.0001233	0.0001692
X13	0.0000985*	-0.0004512*	-0.0003527
X14	-0.00000549***	0.0000147***	9.17E - 06
X15	-0.0000138***	-0.000013*	-0.0000268***

注：***、**、*分别表示在 1%、5%和 10%水平上显著。

变量中(见表 7), 发表学术论文、实用新型专利授权量占比、科技专著和研发全时人员数的影响显著为正, 科技项目数的影响系数显著为负, 科技活动机构数、科技经费总额、实际技术转让收入、发明专利授权数和国际学术会议出席交流论文对本省和周边省市的影响效果相反, 国际级项目验收数、专利出售合同总金额、省部级奖励占比和人均科技经费对高校科技创新效率影响不显著。

从总效应来看, 发表学术论文、科技专著、研发全时人员数的变动对所有省市高校科技创新效率的平均影响显著为正; 发明专利授权数、科学家和工程师人数占比、科技经费总额、科技活动机构总数和国际学术会议出席交流论文的变动对所有省市高校科技创新效率的平均影响显著为负。

6. 结论与建议

本文旨在研究中国高校科技创新效率, 从创新投入和创新产出两方面出发构建指标体系, 结合 DEA-Malmquist 指数与空间计量的研究方法进行实证分析得出如下结论: 中国高校科技创新静态效率已连续十年未达最优, 技术进步是提升综合效益的核心驱动力。地区间科技创新效率差异明显, 高效能(基于 DEA 评估)主要集中在北京、上海、江苏、浙江、陕西等经济发达、教育资源丰沛的地区, 且全要素生产率超 1 的省市自治区多为经济或沿海发达地区。中国科技创新效率提升波动大, 总体呈下降趋势, 2013 至 2022 年间平均生产率指数为 0.948, Malmquist 生产率下滑 5.2%。此外, 高校科技创新效率存在负面空间溢出效应, 即科技活动机构数量、科技经费、技术转让收入、发明专利授权及国际学术会议论文交流等变量, 对本地及周边省市产生相反影响。

究其原因, 一是资源分配不均。部分高校由于地理位置、政策倾斜或历史积累等原因, 能够获得更多的资源支持, 而一些相对弱势的高校则面临资源匮乏的问题。二是不同区域间的高校在科技创新上存在着复杂的竞争与溢出效应。区域内的资源竞争可能导致资源利用效率下降; 另一方面, 区域间的溢出效应未能充分发挥, 使得一些创新成果未能有效扩散和转化, 从而降低了整体的创新效率。三是科研管理机制不完善, 部分高校的科研管理机制尚不健全, 存在项目管理不善、经费使用效率不高等问题。四是成果转化能力不足, 这可能是由于缺乏有效的产学研合作机制、成果转化渠道不畅或市场需求对接不精准等原因导致的。五是人才流失与培养不足。目前部分高校面临着人才流失的严峻挑战, 同时在新兴领域和交叉学科的人才培养方面也存在不足。

由此, 政府应建立公平的资源分配机制, 实施差异化支持政策, 推动区域间资源共享。根据不同高校的实际情况和发展需求, 对于具有发展潜力但资源匮乏的高校给予更多倾斜, 如加大对中西部和东北地区高校的支持力度。加强区域合作, 优化区域创新生态。政府应出台相关政策, 促进区域内产学研深度融合, 构建开放协同的创新生态系统。加强产学研合作, 完善创新成果转化机制。高校应积极与企业、科研院所等建立紧密的合作关系, 建立高效的科技成果转化平台, 为高校科研成果的商业化应用提供便利和支持。完善科研管理制度, 优化评价机制。加大人才引进力度, 完善人才培养体系。通过提供优厚的待遇和良好的工作环境, 吸引更多优秀人才加盟, 同时建立健全的人才培养体系, 注重培养学生的创新精神和实践能力。

参考文献

- [1] 程刚, 杨梦成, 李旭辉. 中国科技创新效率测度及时空演化研究——基于省域和四大板块区域视角[J]. 大连大学学报, 2022, 43(1): 96-105.
- [2] 马博, 周睿. 长江经济带科技创新效率的时空格局及收敛性分析[J]. 中国软科学, 2024(S1): 401-413.
- [3] 刘韬, 吴梵, 曲优. 企业科技创新效率时空差异与演变特征[J]. 统计与决策, 2022, 38(7): 175-179.
- [4] 张祥宇. 广东省科技创新资源配置时空变异测度[J]. 科技管理研究, 2022, 42(12): 59-64.

-
- [5] 柯亮, 姚聪莉. “双一流”建设高校科技创新效率及时空分布特征研究[J]. 自然辩证法通讯, 2021, 43(5): 102-110.
 - [6] 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, 38(12): 105-123.
 - [7] 孙中瑞, 樊杰, 孙勇, 等. 中国绿色科技创新效率空间关联网络结构特征及影响因素[J]. 经济地理, 2022, 42(3): 33-43.