

中国省际创新要素流动对高技术产业创新效率的影响

梁宏玲, 王正明

江苏大学财经学院, 江苏 镇江

收稿日期: 2024年5月30日; 录用日期: 2024年6月27日; 发布日期: 2024年8月16日

摘要

为更好地推动经济发展由要素驱动转向创新驱动, 高技术产业创新效率的提升成为必由之路。揭示各省份高技术产业创新效率区域差异, 分析讨论创新要素流动对高技术产业创新效率的影响, 对各省份因地制宜制定有针对性的高技术产业区域协调发展策略具有重要的理论意义和参考价值。本文利用2000~2022年30个省市地区(除西藏)的面板数据, 选用数据包络分析法和引力模型对中国各省高技术产业创新效率及创新要素流动量进行测算, 采用面板计量模型和空间计量模型探究各省创新要素流动对中国高技术产业创新效率的影响。回归结果显示: 创新要素流动对各省高技术产业创新效率的提升具有显著促进作用, 且创新人才流动对高技术产业创新效率提升的贡献要高于创新资本流动的贡献。创新人才流动对高技术产业创新效应具有较强的正向空间溢出效应, 而创新资本流动的空间溢出效应不显著。

关键词

高技术产业, 创新效率, 创新要素流动, 数据包络分析法, 引力模型

The Influence of Interprovincial Innovation Factor Flow on Innovation Efficiency of High-Tech Industry in China

Hongling Liang, Zhengming Wang

School of Finance and Economics, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu

Received: May 30th, 2024; accepted: Jun. 27th, 2024; published: Aug. 16th, 2024

Abstract

In order to better promote economic development from factor driven to innovation-driven, the

文章引用: 梁宏玲, 王正明. 中国省际创新要素流动对高技术产业创新效率的影响[J]. 电子商务评论, 2024, 13(3): 7512-7528. DOI: 10.12677/ecl.2024.133923

improvement of innovation efficiency in high-tech industries has become the only way. It is of great theoretical significance and reference value to reveal regional differences in innovation efficiency of high-tech industries in different provinces, analyze and discuss the influence of innovation factor flow on innovation efficiency of high-tech industries, and formulate targeted regional coordinated development strategies for high-tech industries in different provinces. Based on the panel data of 30 provinces and cities (except Tibet) from 2000 to 2022, this paper uses data enveloping analysis and gravity model to measure the innovation efficiency and innovation factor flow of China's high-tech industries by provinces, and uses panel econometric model and spatial econometric model to explore the impact of innovation factor flow of provinces on the innovation efficiency of China's high-tech industries. The regression results show that the flow of innovation factors has a significant effect on the improvement of innovation efficiency of high-tech industries in each province, and the contribution of innovation talent flow to the improvement of innovation efficiency of high-tech industries is higher than that of innovation capital flow. The flow of innovative talents has a strong positive spatial spillover effect on the innovation effect of high-tech industry, but the spatial spillover effect of innovative capital flow is not significant.

Keywords

High-Tech Industry, Innovation Efficiency, Innovation Factor Flow, Data Envelopment Analysis, Gravity Model

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

我国当前正处在产业结构优化升级的关键阶段, 科技创新对于提高地区自主创新水平、掌控关键核心技术、推动经济社会的繁荣稳定发展至关重要。在“十四五规划”和 2035 年远景目标纲要中, 明确提出要把坚持创新放在我国现代化建设的核心位置。始终坚持科技创新驱动发展战略, 进一步提高劳动生产率、优化产业资源配置, 是提高我国竞争力, 打造经济增长点的强劲引擎。与其他产业相比, 以科技创新为主的高技术产业是技术创新成果最集中的产业, 不仅代表着现代科技的尖端水平, 而且能够通过持续的技术创新和强大的辐射能力, 有效地带动相关产业的发展, 是一个国家(或地区)科技发展的旗帜。世界各国均高度重视高技术产业的发展, 致力于通过建设高技术产业园区等方式, 培育和发展这一具有强大创新能力和市场竞争力的产业, 以增强在全球化经济中的实力。

高技术产业作为知识和技术高度密集型产业, 其发展已经越来越成为我国经济可持续发展的主要着力点。“九章”量子计算机原型、“天机”类脑芯片、“奋斗者”号全海深潜载人潜水器, “嫦娥六号”等, 科技创新实力不断增强, 标志着中国在科技领域取得了举世瞩目的成就, 这些成就不仅展示了中国在科技创新方面的实力, 也为中国在全球科技竞争中赢得了更多的话语权, 在国际竞争中逐步占领优势地位。2022 年, 我国高技术产业的企业数为 50,074 个, 同比增长率为 24.58%, 其中有研发机构的企业数达到 21,542 家, 占高技术产业企业数达到 43%。2022 年的高技术产业主营业务收入高达 22,3403.9 亿元, 较 2020 年增长 27.94%, 利润总额达到 15,589 亿元(注: 数据来自国家统计局)。高技术产业的快速发展带动我国科技水平提升, 推动我国经济高质量发展的同时, 也慢慢出现了一些问题, 如: 在初始阶段, 我国高技术产业在很大程度上依靠加大要素投入力度的方式来增加创新产出、提升创新能力, 但现阶段却导致了创新效率较低、区域发展不均衡的情况; 此外, 高技术产业研发产出质量较高、技术研发

能力较强,但创新成果难以转化为经济效益。基于经济可持续发展的视角,各地区高技术产业在提高整体创新能力的同时,应该更加重视技术创新效率的提升。而创新要素流动所衍生的技术转移、知识交换等溢出效应,会影响周边地区创新主体的经济活动。在国家政策的支持下,全国各区域间的创新要素流动更加频繁,流动规模逐渐加大。与传统生产要素如劳动力、土地和资本相比,创新要素拥有更为丰富的属性和更高的创新潜能。创新要素在地区间的流动一方面可使其在各省市区之间的分布更加合理,通过优化配置使创新要素和研发资源一一对应,提升研发资源利用率。另一方面还可以通过知识溢出效应、人才集聚的“马太效应”以及人才流动的“竞合效应”对地区内创新主体创新生产的效率水平产生影响。

基于上述的背景分析,提出本文的研究问题:高技术产业创新效率是否具有空间效应?创新要素流动如何影响中国高技术产业创新效率?分析研究上述问题,从而为各地区相关部门优化创新要素流动机制和布局、提升高技术产业创新效率、促进区域高技术产业均衡发展提供相应参考。

2. 国内外研究现状

创新要素流动会带动创新知识和技术的流动,进而对各地区的创新资源进行重新分配,对各地区的创新活动产生一定的影响。所以,创新要素的合理配置能够使资源得到更有效的利用,从而推动创新活动的顺利进行,并提升创新生产效率。Kang 和 Park 实证分析研发人员与外部创新主体的交流时发现[1],白俊红重点研究创新人才和创新资本时,发现资本的流动对提升区域创新效率的贡献程度要大于人才的流动[2]。Faggian 等通过实证分析发现创新人才的自由流动能够提高该地区创新主体的研发水平和创新效率,同时,创新效率的提高还能够促进创新环境的改善,进一步吸引和留住创新人才,形成人才集聚的良性循环[3]。白俊红等运用空间计量模型进行实证检验,结果表明不同研发要素流动对高技术产业创新效率的提升具有不同影响,研发资本的流动对创新效率的提升效果非常显著,而研发人员的区际流动对创新效率的影响则相反[2]。

关于创新要素与高技术产业创新发展的研究,在国内外已经积累了较为丰富的研究成果。学者们主要从创新要素投入和创新要素集聚两个视角,深入分析了这些要素对中国高技术产业创新发展的影响。曹莉莉等研究高技术产业的创新产出时发现,创新人员投入和资金投入都对其创新产出有着正向的推动作用,投入产出效率高,创新发展快[4]。李培楠等学者的研究揭示了在高技术产业发展的不同阶段,研发人员具有不同的影响作用,在技术开发阶段,研发人员对高技术产业发展的促进作用明显,但在成果转化阶段,研发人员的促进作用减弱,明显低于当期研发人员的促进作用[5]。戚湧等指出各地区高技术产业的高质量发展需要创新要素有效供给[6]。于树江等对京津冀高技术产业创新效率进行实证研究时发现,科技研发阶段高技术产业的创新资本和有效发明专利数对其创新效率影响较大;产品开发阶段创新人员投入对高技术产业创新效率的影响较大[7]。史安娜等以长江经济带 11 个省市高技术产业为研究对象,分析发现创新要素集聚对高技术产业发展的促进作用最为显著,引导创新要素流向中西部地区,优化产业创新环境,可以提高其高技术产业的发展[8]。于潇华的研究也得出相同的结论[9]。田喜洲等研究发现创新人才集聚对地区内高技术产业创新能力的提升具有促进作用,而创新资本集聚对高技术产业创新转化具有逆向作用[10]。吴菲菲等实证研究发现,创新要素间的联动与协同作用对推动地区高技术产业的创新发展具有显著促进作用[11]。

本文对相关文献进行归纳总结,探究创新要素流动如何影响中国高技术产业创新效率及其影响机制。归纳分析发现:现有文献大多研究了高技术产业内创新要素投入及创新要素集聚对高技术产业创新发展的影响,缺少从空间流动的视角研究分析创新要素流动对高技术产业创新效率的影响。基于此,本文从省际流动视角切入,基于我国 30 个省份的创新要素流动量及高技术产业创新效率相关数据,探讨创新要素流动对中国高技术产业创新效率的影响机制,为各地区高技术产业创新效率的提升、各区域高技术产

业的均衡发展提出相应的对策建议。

3. 高技术产业创新现状及创新效率分析

3.1. 创新效率测算及结果分析

3.1.1. 研究方法介绍

通过对高技术产业创新效率相关文献的梳理,学者们采用的测算方法主要为随机前沿模型(SFA)和数据包络分析模型(DEA),包括传统的CCR模型、BCC模型、SBM模型、超效率模型、三阶段DEA模型及四阶段DEA模型等。DEA模型属于非参数方法,以相对效率为基础,在多投入多产出模型的效率测算中具有独特优势。基于此,本文选择传统DEA-BCC模型测算我国各省高技术产业创新效率水平。

3.1.2. 指标选取及数据处理

本文以高技术产业的技术创新生产活动为研究对象,从技术创新的人力投入和经费投入两个指标综合考虑投入指标,分别选取研发人员折合全时当量和研发经费内部支出作为衡量指标;在创新效率产出方面,选取新产品销售收入和专利申请量来衡量创新成果转化和创新技术研发阶段的创新产出。数据选取2000~2022年中国除西藏、港澳台地区以外的30个省(自治区、直辖市)的数据,数据主要来源于《统计年鉴》及《中国高技术产业统计年鉴》。指标体系如表1所示。

3.1.3. 创新效率测算结果分析

根据对高技术产业创新效率的测算,分析图1可知,2000~2022年中国各省高技术产业创新效率明

Table 1. Innovation efficiency index system of high-tech industry

表 1. 高技术产业创新效率指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标解释
投入指标	人力投入	研发人员	R&D 人员折合全时当量(人年)
	经费投入	内部研发	R&D 经费内部支出(万元)
产出指标	效益产出	经济效益	新产品销售收入(万元)
	知识产出	产出数量	专利申请量(件)
		产出质量	有效发明专利数(件)

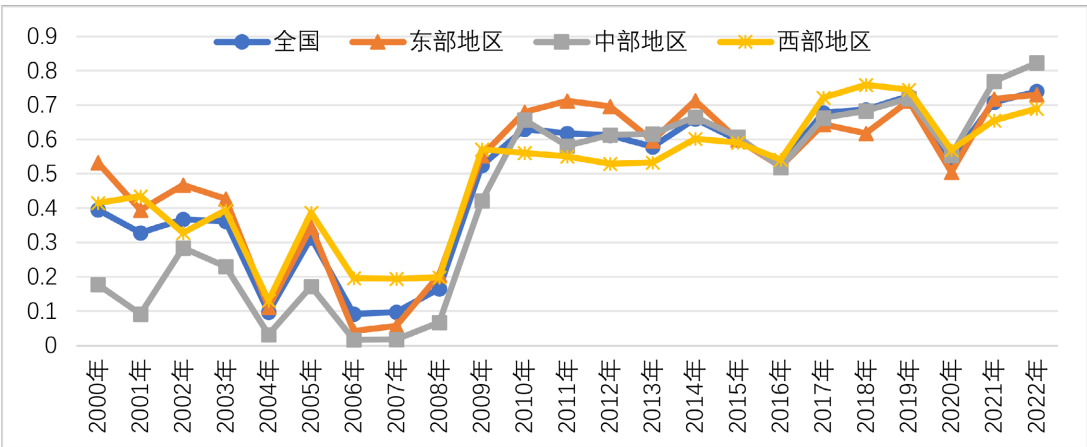


Figure 1. Innovation efficiency of China's high-tech industries
图 1. 中国高技术产业创新效率

显提升，由 2000 年的 0.39 提升至 2022 年的 0.74，增长 90%，但整体效率水平不高，效率值一直在 0.6 左右波动，且整体表现为低于东部地区高技术产业创新效率平均值的特征。从不同区域看，东中西部地区呈现出明显的区域异质性特征。2000~2008 年西部地区创新效率均值大于全国均值及其他地区均值，西部地区上升趋势与全国水平类似，表明西部大开发战略在推动该地区创新发展方面取得了显著成效。中部地区在 2010 年之前的高技术产业创新效率的均值始终是全国最低水平，表明地区高技术产业创新遇到瓶颈期，创新效率低，2010 年之后中部地区高技术产业创新效率快速提升。2013 年之后全国及各地区高技术产业创新效率均值水平基本保持一致，区域之间创新要素合作，信息共享，提升了创新效率，提高了创新质量。

从我国各省 2000~2022 年高技术产业创新效率测算值来看(表 2)，2000 年天津、福建、宁夏和新疆处于创新效率完全有效阶段，北京和四川省处于高技术产业创新效率相对有效阶段($X > 0.7$)，其他省份的高技术产业创新效率值较低，其中吉林、内蒙古、山西、安徽、湖北、湖南、江西、陕西处于投入产出相对无效阶段；到 2005 年，各省高技术产业创新效率平均水平降低，北京、河北、江苏、浙江、福建、河南、四川等地创新效率水平大幅下降，青海和云南省的创新效率提升较快。到 2022 年，高技术产业创新效率平均水平由 2000 年 0.395 增加到 0.74，是 2000 年的 1.87 倍，全国 57%的省份高技术产业创新效率值在 0.7 以上，处于相对有效(天津、吉林、上海、江苏、浙江、福建、江西、海南、湖北、广东、四川、宁夏)或完全有效阶段(北京、山西、安徽、广西、青海)。高技术产业创新效率高低差值由 2000 年(最小值-0.046——陕西省) 0.954 缩小到 2022 年(最小值-0.369——海南省)的 0.631，23 年时间缩小了 33.9%，说明各省高技术产业创新效率水平差距不断缩小。可见，与 2000 年相比，中国各省高技术产业创新效率明显提升，但部分省份仍处于投入产出比的相对无效阶段，创新效率提升有很大的提升空间。

Table 2. Innovation efficiency of high-tech industries in China by province during 2000~2022
表 2. 2000~2022 年中国各省高技术产业创新效率

年度	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年	2022 年	平均值
北京	0.764	0.227	1.000	0.939	0.708	1.000	0.670
天津	1.000	1.000	1.000	0.523	0.531	0.709	0.726
河北	0.222	0.076	0.396	0.281	0.412	0.639	0.304
山西	0.183	0.255	0.896	0.502	0.524	1.000	0.463
内蒙古	0.137	0.225	0.606	0.36	0.422	0.641	0.438
辽宁	0.327	0.174	0.483	0.594	0.399	0.569	0.394
吉林	0.101	0.302	0.628	0.402	0.441	0.788	0.383
黑龙江	0.363	0.171	0.198	0.41	0.544	0.637	0.285
上海	0.484	0.791	0.616	0.664	0.601	0.71	0.572
江苏	0.679	0.141	0.61	0.695	0.507	0.758	0.545
浙江	0.506	0.142	0.701	0.587	0.506	0.916	0.450
安徽	0.073	0.188	0.815	0.904	0.617	1.000	0.554
福建	1.000	0.448	0.578	0.515	0.514	0.72	0.529
江西	0.067	0.098	0.37	0.623	0.544	0.908	0.405
山东	0.448	0.374	0.635	0.634	0.467	0.678	0.449
河南	0.435	0.159	1.000	1.000	0.706	0.897	0.610

续表

湖北	0.066	0.103	0.488	0.471	0.649	0.755	0.344
湖南	0.136	0.103	0.859	0.546	0.408	0.6	0.429
广东	0.298	0.284	0.818	0.705	0.655	0.966	0.531
广西	0.204	0.154	0.607	0.508	0.807	1.000	0.515
海南	0.136	0.134	0.627	0.457	0.249	0.369	0.370
重庆	0.142	0.21	0.725	1.000	0.556	0.685	0.551
四川	0.846	0.205	0.642	0.904	0.602	0.749	0.545
贵州	0.11	0.109	0.571	0.526	0.396	0.602	0.365
云南	0.606	1.000	0.669	0.365	0.628	0.448	0.473
陕西	0.046	0.089	0.307	0.26	0.326	0.519	0.205
甘肃	0.261	0.171	0.486	0.538	0.317	0.546	0.351
青海	0.213	1.000	0.486	0.628	1.000	1.000	0.664
宁夏	1.000	0.092	0.603	0.411	0.602	0.795	0.479
新疆	1.000	1.000	0.473	1.000	0.608	0.599	0.818
平均值	0.3951	0.314	0.630	0.598	0.542	0.740	0.480

为进一步明确中国各省高技术产业创新效率的动态变化趋势, 本文采用核密度估计法绘制出 2000 年、2010 年及 2022 年的创新效率动态演进趋势图。如图 2 所示, 中国高技术产业创新效率核密度曲线明显出现了右移的趋势, 且变化区间缩小, 峰尖由[0, 0.4]偏移至[0.6, 0.8], 表明中国各省高技术产业创新效率水平不断提高。2000~2022 年, 峰值上升, 且首尾不断缩短, 说明中国各省高技术产业创新效率水平差距逐渐缩小。同时, 2022 年曲线与 2000 年和 2010 年相比明显抬升, 曲线饱和度减小, 说明高技术产业创新效率值在 0.6 以上的省份比重增加, 但大部分省份仍处于中等创新效率水平, 提升空间大。

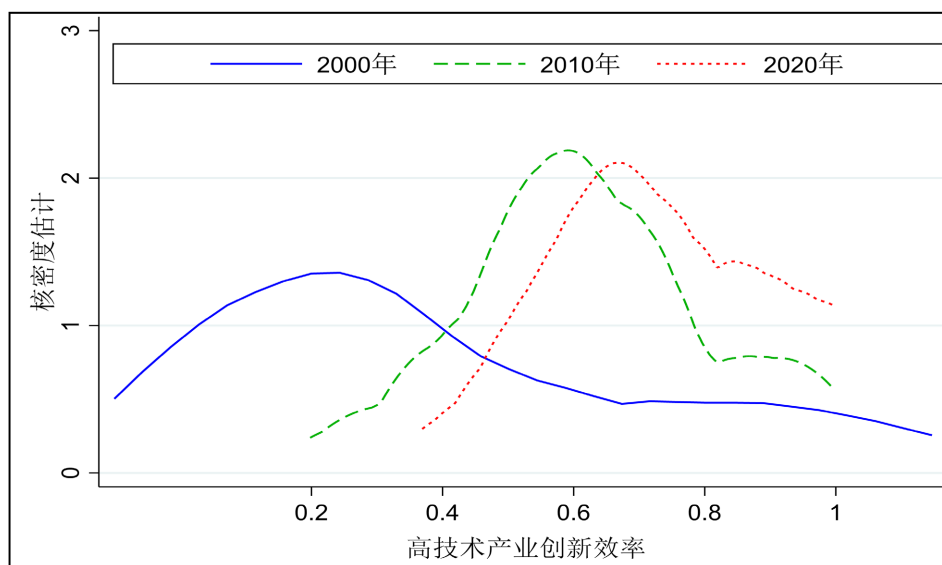
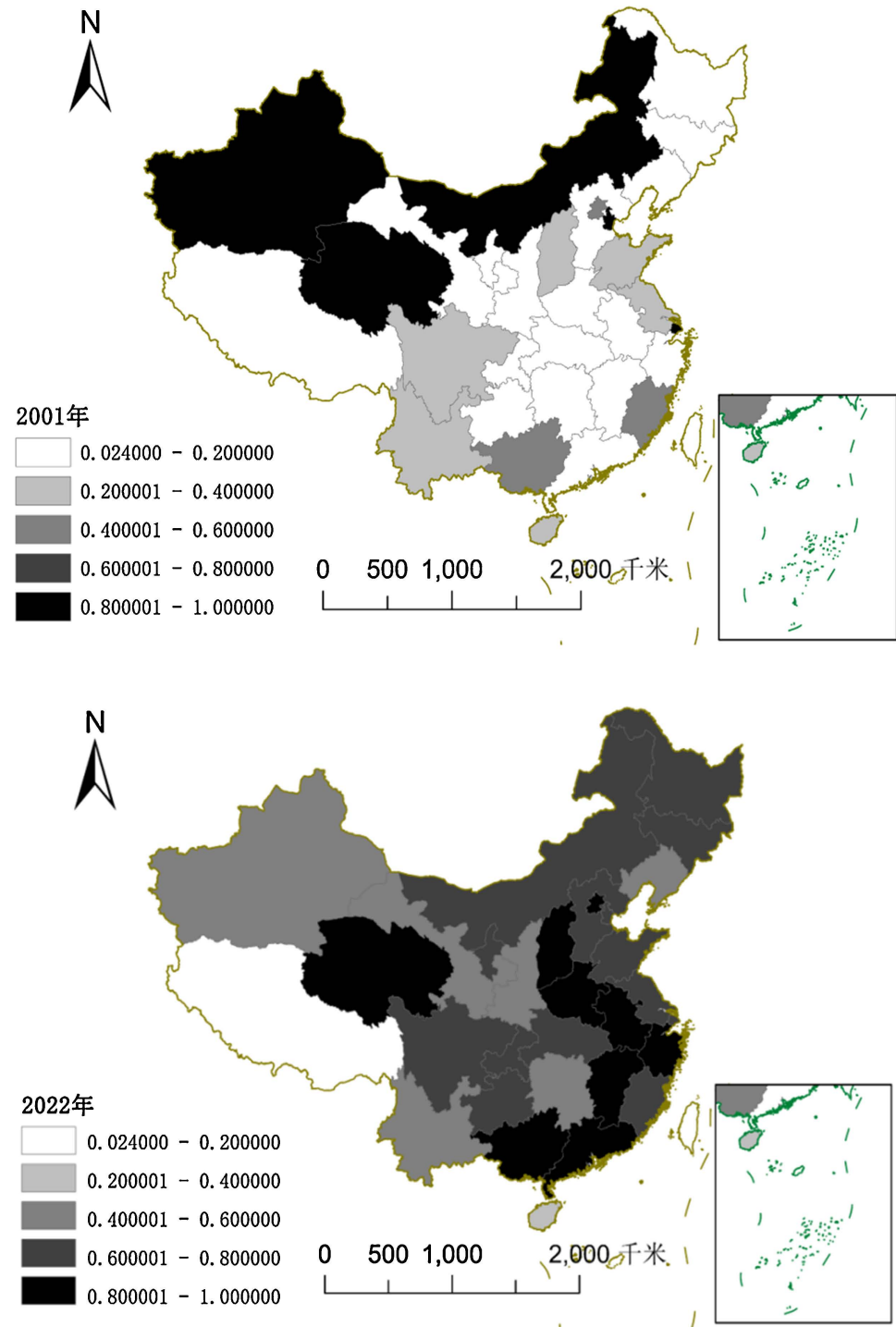


Figure 2. Kernel density estimate of innovation efficiency in China's high-tech industries

图 2. 中国高技术产业创新效率核密度估计图

3.1.4. 高技术产业创新效率的空间演化特征

基于中国高技术产业创新效率数据, 运用 ArcGIS10.0 软件对中国各省高技术产业创新效率的空间特征进行分析, 限于篇幅, 仅以 2001 年和 2022 年进行对比分析。由图 3 可知, 中国高技术产业创新效率



注: 该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS (2023) 2763 号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 3. Spatial variation of innovation efficiency of China's high-tech industries
图 3. 中国高技术产业创新效率空间变化图

空间格局存在以下三方面的特征：第一，创新效率值在 0.6 以下的省份由 2001 年的 17 个减少到 2022 年的 0 个(西藏除外)，创新效率值在 0.8 以上的省份由 2001 年的 5 个增加到 2022 年的 9 个，说明 2001 年中国高技术产业创新效率普遍较低，经过二十多年的努力，创新效率整体水平明显提升。第二，2001 年全国各省高技术产业创新效率高低相差较大，东中西部省际差距大；到 2022 年，全国各省高技术产业创新效率高低相差较小，东中西部地区创新效率差距缩小。第三，2001 年，中国各省高技术产业创新效率水平西部地区 > 东部地区 > 中部地区，发展到 2022 年，呈现出明显的东、中、西依次递减的态势，东部沿海地区集聚态势明显。2001 年全国高技术产业创新效率都低的情况下，西部地区的新疆、青海和内蒙古及东部地区的天津和上海的创新能力处于全国领先水平。到 2022 年，东部地区借助其区位优势，全面覆盖的水陆空交通网、稳固的产业基础和政府的扶持政策，为其高技术产业的创新发展提供了良好的外界条件，并充分发挥其辐射带动作用，形成了以东部地区为中心的高技术产业高效率集群。在西部地区，新疆和四川地区的高技术产业创新效率明显下降，青海和广西地区的创新效率明显提升，并形成了以青海为中心的高效率集聚区。

4. 创新要素流动的测算

4.1. 创新要素流动引力模型构建及测量

随着学科融合趋势的不断发展，将物理学中的引力模型引入到经济学研究领域，特别是用于测度区域空间联系和创新要素流动的测算，已成为一种重要的研究方法。经过学者们的不断尝试、研究和完善，目前已成为创新要素流动量测算的常用方法之一。本文将创新人才和创新资本作为创新要素流动的核心变量，采用引力模型对中国创新要素的流动量进行测算。引力模型表达式如下所示：

$$F_{ij} = G_{ij} \times R_i^{\alpha^i} \times R_j^{\alpha^j} \times D_{ij}^{-b} \quad (1)$$

在式(1)中， F_{ij} 为 i 地区对 j 地区的吸引力； G_{ij} 为两地之间的引力系数，一般取值为 1； R_i 和 R_j 分别为创新人才和创新资本两种要素的测算； α^i 和 α^j 为引力系数，一般取 1； D_{ij} 为两地之间的距离； b 为距离衰减指数，通常取 2。

4.1.1. 创新人才空间流动量测算

本文在构建创新人才流动量引力模型时，选取各省已有的研发人员数量作为创新人才流动的推力因素，某一地区的研发人员数量过多时，就业市场竞争激烈，推动更多的人流动到其他具有吸引力的地区寻找就业机会；选取城镇单位就业人员平均工资和住宅房屋平均销售价格作为创新人才流动的吸引力因素，地区的城镇单位就业人员平均工资值越大、住宅房屋平均销售价格越低，对创新人才的吸引力越大。基于此，构建如下创新人才流动引力模型：

$$Pfl_{ij} = M_i \times (Wage_j / Wage_i) \times (House_i / House_j) R_{ij}^{-2} \quad (2)$$

Pfl_{ij} 表示 i 地区流动到 j 地区的研发人员数量，该值越大，说明从一地区流动到另一地区的创新人才量越大； M 为研发人员数量，用地区 R&D 人员全时当量¹进行表示； $Wage$ 为城镇就业人员平均工资； $House$ 为住宅房屋平均销售价格。

借鉴吕海萍[12]的研究，对于任意区域 j ，估算出流入到该区域的创新人才总量 Pfl_j ，作为本文的主要研究对象。该值的大小，反映了 j 区域对其他区域创新人才的吸引能力的强弱。计算公式如下：

$$Pfl_j = \sum_{i=1}^n Pfl_{ij} \quad (n = 29) \quad (3)$$

¹R&D 人员全时当量指全时人员数加非全时人员按工作量折算为全时人员数的总和。例如：有两个全时人员和三个非全时人员(工作时间分别为 20%、30%和 70%)，则全时当量为 $2 + 0.2 + 0.3 + 0.7 = 3.2$ 人年。为国际上比较科技人力投入而制定的可比指标。

4.1.2. 创新资本空间流动量测算

参考创新人才流动量引力模型的构建, 本文选取创新资本要素质量作为创新资本流动的推力因素, 主要反映创新资本要素的存量大小, 存量越大, 对创新资本的推力也就相对越大; 选取研发投入强度和规模以上企业利润率作为创新资本流动的吸引力因素, 地区研发投入强度越强、规模以上企业利润率越高, 对其他地区创新资本的吸引力越强。基于此, 本文构建如下创新资本流动引力模型:

$$Cfl_{ij} = M_i \times (Strength_j / Strength_i) \times (Profit_j / Profit_i) R_{ij}^{-2} \quad (4)$$

其中: Cfl_{ij} 表示 i 地区流动到 j 地区的创新资金数量, 该值越大, 说明从一地区流动到另一地区的创新资本量越大; M 为创新资金要素质量, 用研发资本存量来反映; $Strength$ 为研发投入强度, 用 R&D 经费内部支出与 GDP 的比值进行衡量; $Profit$ 为规模以上企业利润率水平, 用规模以上企业利润总额与营业收入的比值进行衡量。其中, 由于国内尚未进行有关研发资本存量的统计, 因此本文拟采用研发资本存量的主流估算方法-永续盘存法进行计算, 公式如下:

$$K_{it} = (1 - \delta) K_{i(t-1)} + E_{it} / P_{it} \quad (5)$$

其中 K_{it} 表示地区 i 在 t 时期的研发资本存量; δ 为折旧率, 国内外学者通常将其取值为 15%; E_{it} 为地区 i 当期的研发资本实际支出, 本文用 R&D 经费内部支出来衡量; P_{it} 为 i 地区当期的研发资本支出价格指数, 本文借鉴白俊红等学者的研究成果, 将 R&D 资本支出价格指数构造为固定资产投资价格指数与消费价格指数的加权平均值, 固定资产投资价格指数的权重为 45%, 消费价格指数的权重为 55%。

关于基期研发资本 K_0 , 本文用研发经费内部支出 E 的平均增长率来替代研发资本存量 K 的平均增长率, 基期的研发资本存量计算公式如下:

$$K_{i0} = E_{i0} / (g + \delta) \quad (6)$$

上式中, K_{i0} 为基期的研发资本存量, E_{i0} 为基期的实际研发经费内部支出, g 为实际研发经费内部支出的几何平均增长率, δ 为折旧率 15%。

与创新人才流动量的做法相同, 对于任意省份 j , 估算出流入到该区域的创新资本总量, 定义为 Cfl_j , 作为本文的主要研究对象。该值的大小, 反映了 j 区域与其他区域的创新资金之间空间流动吸引能力的强弱。计算公式如下:

$$Cfl_j = \sum_{i=1}^n Cfl_{ij} \quad (7)$$

用于测算创新人才流动和创新资本流动量的原始数据均来自 2000~2022 年《中国统计年鉴》和《中国科技统计年鉴》。

5. 创新要素省际流动影响高技术产业创新效率的实证分析

基于数据包络分析模型, 测算出各省高技术产业创新效率值, 发现各地区之间的创新效率存在明显差异, 其东部地区各省创新效率大于中西部地区的空间分布格局与创新人才流动和创新资本流动的分布格局相似, 为探究中国省际创新要素流动对高技术产业创新效率的影响, 本文利用面板计量模型和空间计量模型对 2000~2022 年对各省间创新要素流动数据及各省高技术产业创新效率进行实证分析。

5.1. 变量选取及模型构建

5.1.1. 变量选取及数据来源

被解释变量: 高技术产业创新效率(Y)。基于数据包络分析中的 BCC 模型, 以新产品销售收入、专

利申请量、有效发明专利数来衡量创新产出。以 R&D 人员折合全时当量和 R&D 经费内部支出来衡量创新在人力和资金两方面的投入, 通过测算得到各省高技术产业创新效率。

解释变量 1: 创新人才流动量(Pfl): 本文选取引力模型对省际创新人才流动量进行测算, 选取的影响因素是城镇就业人员平均工资、住宅房屋平均销售价格、研发人员全时当量。

解释变量 2: 创新资本流动量(Cfl): 同创新人才流动量的测算, 选取引力模型, 影响因素为研发投入强度、规模以上企业利润率水平、研发资本存量。

控制变量: (1) 产业结构($grade$): 反映地区的经济发展特征, 产业结构越高级, 地区产业发展水平越高, 越有利于高技术产业的发展。本文用第三产业增加值与 GDP 的比值来衡量产业结构。(2) 人均 GDP ($pgdp$): 反映地区的经济发展水平, 经济发展水平越高的地区, 创新资源越丰富, 产业规模大, 越有利于高技术产业的创新发展。(3) 对外开放程度($open$): 对外开放程度越高, 越有利于创新要素的流动。用进出口总额与 GDP 的比值来衡量。(4) 高技术产业企业数(hum): 反映地区高技术产业发展规模和基础状况。(5) 高技术产业从业人员年平均人数($people$): 反映地区高技术产业劳动力投入状况和地区从事创新型工作的人员数量。

基于数据的完整性、统计口径的一致性和可获得性原则, 本文以 2000~2022 年全国 30 个省市为研究对象进行数据收集和处理。数据来源于 2001~2023 年《中国统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国高技术产业统计年鉴》、各省市《统计年鉴》和国家统计局。部分缺失数据采用线性插值法和均值填充的方式进行填补。

5.1.2. 模型构建

本文实证分析首先选用传统面板模型进行检验, 初步分析创新要素流动对各地区高技术产业创新效率的影响, 然后选用空间计量模型, 从空间角度分析创新要素流动对高技术产业创新效率的影响。

计量模型设定如下:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 Pfl_{it} + \beta_2 Cfl_{it} + \beta_3 gov_{it} + \beta_4 open_{it} + \mu_i + \tau_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

其中 Y_{it} 代表 i 省 t 年的高技术产业创新效率; Pfl_{it} 代表 i 省 t 年的创新人才流动总量; Cfl_{it} 代表 i 省 t 年的创新资本流动总量; gov_{it} 和 $open_{it}$ 分别代表控制变量政府公共支出和对外开放程度。

5.2. 面板计量模型回归分析

本文以中国 30 个省市地区(西藏除外)为样本, 选取的是 2000~2022 年的长面板数据, 这符合固定效应的应用要求。另外, 本文进行了 Hausman 检验, 最终结果 P 值为 $\text{Prob} > \chi^2 = 0.0001$, 小于 0.05, 固选择固定效应模型进行实证分析。

5.2.1. 基准效应回归

分析主效应回归结果(表 3)。首先将创新人才流动规模和创新资本流动规模分别加入模型进行回归, 然后将两个变量一起加入模型进行回归, 综合考察创新人才流动和创新资本流动对高技术产业创新效率的影响。创新人才流动量的系数为正, 说明创新人才流动规模的大小与高技术产业创新效率水平的高低存在正相关关系, 某省份创新人才流动规模越大, 该省份的高技术产业创新效率就越高, 假设 A 得到验证。创新资本流动量的系数为正, 表明创新资本流动规模与高技术产业创新效率水平高低存在正相关关系, 某省份创新资本流动规模越大, 该省份高技术产业创新效率水平越高, 假设 B 得到验证。创新人才流动和创新资本流动同时作用于某个省份时, 其系数都为正, 说明创新要素流动规模与高技术产业创新效率之间存在正相关关系, 创新要素流动规模越大, 高技术产业创新效率越高, 假设 C 得到验证。

Table 3. Regression results of baseline effect
表 3. 基准效应回归结果

变量	高技术产业创新效率			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Cfl	3.914*** (0.903)		3.602*** (0.943)	
Pfl		9.772*** (4.206)	4.973* (4.347)	
Cfl*Pfl				4.151*** (1.012)
grade	3.688 (22.999)	11.285 (23.216)	5.111 (23.027)	3.497 (23.040)
pgdp	-0.033*** (0.009)	-0.021** (0.009)	-0.034*** (0.010)	-0.032*** (0.009)
open	7.7246 (8.221)	7.942 (8.476)	5.705 (8.407)	8.636 (8.213)
hum	0.172 (0.207)	0.243 (0.208)	0.159 (0.207)	0.184 (0.207)
people	1.231** (0.555)	0.973* (0.562)	1.167** (0.558)	1.237** (0.556)
_cons	0.341*** (0.099)	-0.1321 (0.217)	0.112 (0.223)	0.348*** (0.100)
id	Yes	Yes	Yes	Yes
year	Yes	Yes	Yes	Yes
r2	0.564	0.555	0.565	0.562
r2_a	0.524	0.514	0.525	0.523
F	29.173	28.109	28.226	29.018
N	690	690	690	690

Standard errors in parentheses * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$ (下同)。

5.2.2. 稳健性检验

为保证上文所述实证分析的稳定性，本文采用以下多种方式对本文的计量模型实证分析进行稳健性检验。

(1) 更改核心解释变量的测算方法。前文的实证分析模型中高技术产业创新效率采用 DEA-BCC 模型进行测算，在稳健性检验分析中，采用非导向的 SBM 模型。稳健性回归分析结果如表 4 所示：创新人才流动量的系数为正，假设 A 得到验证。创新资本流动量的系数为正，假设 B 得到验证。创新人才流动和创新资本流动同时作用于某个省份时，均推动了高技术产业创新效率的提升。综上所述，该结果与上文实证分析结果基本一致，进一步表明了研究结论的可靠性。

Table 4. Regression results of robustness test
表 4. 稳健性检验回归结果

变量	高新技术产业创新效率			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Cfl	13.701*** (4.505)		11.858*** (4.690)	
Pfl		4.544*** (2.077)	3.141* (2.154)	
Cfl*Pfl				1.416*** (5.046)
grade	-1.011 (1.147)	-7.733 (1.150)	-9.345 (1.148)	-1.011 (1.149)
pgdp	-0.060 (0.047)	-0.023 (0.045)	-0.065 (0.047)	-0.053 (0.047)
open	1.386*** (0.410)	1.337*** (0.420)	1.262*** (0.419)	1.421*** (0.410)
hum	0.700 (1.030)	0.901 (1.030)	0.1621 (1.031)	0.751 (1.031)
people	2.858 (2.771)	1.816 (2.784)	2.455 (2.783)	2.865 (2.775)
_cons	-3.246*** (0.495)	-5.405*** (1.067)	-4.629*** (1.106)	-3.233*** (0.497)
id	Yes	Yes	Yes	Yes
year	Yes	Yes	Yes	Yes
r2	0.677	0.675	0.678	0.676
r2_a	0.648	0.645	0.648	0.647
F	47.313	46.826	45.815	47.162
N	690	690	690	690

(2) 剔除经济危机影响。2008 年全球金融危机以及 2019 年新型冠状病毒对全球经济及中国产业发展造成了巨大的影响, 故剔除中国 30 个省市 2008、2009、2020 及 2021 年数据进行主效应回归。估计结果如表 5 所示, 在剔除了部分年份后, 核心解释变量创新要素流动规模的大小与高新技术产业创新效率水平的高低存在正相关关系, 与基准回归结果基本保持一致, 表明本文基准回归结果的稳健性。

5.3. 创新要素流动对高新技术产业创新效率的空间溢出效应

5.3.1. 空间自相关检验

在检验分析创新要素流动对高新技术产业的创新效率的空间溢出效应时, 必须保证变量具有显著的空间相关性。本文选用邻接矩阵计算各变量的莫兰指数, 对其空间相关性进行检验。具体莫兰指数如表 6 所示:

Table 5. Results of robust regression
表 5. 稳健性回归结果

变量	高新技术产业创新效率		
	(8)	(9)	(10)
Cfl	4.501*** (1.049)		3.932*** (1.113)
Pfl		13.511*** (4.750)	7.544* (4.993)
grade	6.264 (25.126)	11.500 (25.343)	6.933 (25.099)
pgdp	-0.038*** (0.011)	-0.026** (0.010)	-0.039*** (0.011)
open	0.047 (0.093)	0.027 (0.096)	0.016 (0.095)
hum	0.237 (0.258)	0.331 (0.259)	0.224 (0.258)
people	1.057* (0.616)	0.695 (0.623)	0.943 (0.620)
_cons	0.341*** (0.108)	-0.287 (0.239)	-0.001 (0.250)
id	Yes	Yes	Yes
year	Yes	Yes	Yes
r2	0.558	0.549	0.560
r2_a	0.512	0.503	0.514
F	27.119	26.180	26.191
N	570	570	570

Table 6. Global Moreland Index 2000~2022
表 6. 2000~2022 年全球莫兰指数

年份	创新人才流动		创新资本流动		年份	创新人才流动		创新资本流动	
	I	z	I	z		I	z	I	z
2000	0.390***	4.061	0.088***	2.864	2012	0.453***	4.600	0.163***	3.375
2001	0.399***	4.123	0.094***	2.855	2013	0.442***	4.557	0.174***	3.3
2002	0.348***	3.787	0.087***	2.708	2014	0.437***	4.521	0.173***	3.276
2003	0.351***	3.818	0.087***	2.721	2015	0.436***	4.554	0.167***	3.238
2004	0.248***	3.468	0.099***	2.917	2016	0.445***	4.642	0.183***	3.228
2005	0.294***	3.533	0.108***	3.085	2017	0.443***	4.701	0.144***	2.839
2006	0.338***	3.771	0.120***	3.201	2018	0.459***	4.786	0.173***	2.911

续表

2007	0.386***	4.048	0.120***	3.163	2019	0.450***	4.697	0.165***	3.007
2008	0.408***	4.198	0.142***	3.092	2020	0.465***	4.797	0.158***	2.796
2009	0.417***	4.296	0.131***	3.017	2021	0.478***	4.960	0.11***	2.74
2010	0.428***	4.435	0.148***	3.343	2022	0.471***	4.914	0.092***	2.679
2011	0.436***	4.440	0.161***	3.340					

观察表中创新人才流动和创新资本流动莫兰指数和显著性水平可知, 2000~2022 年创新人才流动和创新资本流动均在 1%的显著性水平下通过检验, 且系数均为正, 说明创新人才流动和创新资本流动存在显著的空间正相关关系。

5.3.2. 空间计量模型的选择

空间计量模型常见的主要有三种: 空间自回归模型 SAR、空间误差模型 SEM、空间杜宾模型 SDM。本文采用 LM 检验方法, 对选用何种空间计量模型进行分析。如表 7 所示, LM-Error 和 LM-Lag 均在 1%的显著性水平下通过了检验, 拒绝原假设, 选用包含 SAR 和 AEM 的空间杜宾模型(SDM)进行实证分析。

Table 7. LM test results

表 7. LM 检验结果

	LM 检验	统计值	自由度	P 值
Error	Moran's I	6.580***	1	0.000
	LM	742.394***	1	0.000
	Robust LM	76.902***	1	0.000
Lag	LM	727.326***	1	0.000
	Robust LM	61.825***	1	0.000

5.3.3. 空间效应分析

首先本文进行了 Hausman 检验, 最终结果 P 值为 $\text{Prob} > \chi^2 = 0.00$, 选择固定效应模型。分析邻接矩阵下的空间杜宾模型回归结果, 如表 8 所示: 高技术产业创新效率的空间自相关系数为正, 说明高技术产业创新效率有正向的空间溢出效应, 本地区的高技术产业创新效率会提高相邻地区的高技术产业创新效率。这是因为创新要素的流动会形成知识、技术等资源的流动和共享, 研发的新产品、新技术容易扩散到相邻地区, 带动相邻地区高技术产业创新效率的提升。从创新要素流动对高技术产业创新效率的空间影响来看, 创新人才的流动不仅能提高本地区高技术产业创新效率的提升, 同时也能提升相邻地区高技术产业创新效率的提升, 而创新资本只能提升本地区的高技术产业创新效率, 对相邻地区的高技术产业创新效率没有正向的空间溢出效应。

5.3.4. 空间效应分解分析

为进一步准确估计创新要素流动对高技术产业创新效率的空间溢出效应, 本文将其分解为直接效应、间接效应和总效应。直接效应指地区内创新要素流动对本地区高技术产业创新效率的影响; 间接效应指创新要素流动对周围地区高技术产业创新效率的影响; 总效应指所以地区创新要素流动量对本地区高技术产业创新效率的影响。如表 9 所示: 创新人才流动对高技术产业创新效率的直接效应大于其空间溢出

Table 8. Regression results of spatial effects
表 8. 空间效应回归结果

变量	X	WX
Pfl	4.049*** (1.195)	3.680** (1.947)
Cfl	12.284** (4.994)	-11.737 (7.918)
grade	1.924 (23.395)	-28.485 (50.892)
pgdp	-0.032*** (0.011)	-0.058*** (0.020)
open	0.080 (0.087)	-0.187 (0.137)
hum	0.023 (0.020)	-0.043** (0.021)
people	0.011** (0.005)	0.006 (0.006)
rho		0.045* (0.059)
N	690	690

Table 9. Regression results of spatial effect decomposition
表 9. 空间效应分解回归结果

变量	直接效应	间接效应	总效应
Pfl	4.054*** (1.236)	3.277** (1.893)	7.332*** (1.619)
Cfl	12.161*** (4.904)	-11.053 (7.733)	1.108 (7.729)
grade	4.684 (22.477)	-0.251 (0.491)	-0.203 (0.524)
pgdp	-0.313*** (0.104)	-0.055*** (0.018)	-0.086*** (0.019)
open	0.083 (0.085)	-0.179 (0.138)	-0.096 (0.129)
hum	0.024 (0.019)	-0.043** (0.021)	-0.018 (0.030)
people	0.010* (0.005)	0.006 (0.006)	0.016* (0.009)
rho		0.045* (0.059)	
N	690	690	690

效应, 而创新资本流动对高技术产业创新效率具有显著的直接效应, 对周边地区没有空间溢出效应, 空间抑制效应不显著。这是因为高技术产业创新活动的开展和创新技术的发明需要相邻地区技术的支持和资源的共享, 创新人才的流动可以带动这些技术和资源的共享, 而创新资本只能在研发投入强度方面提高高技术产业创新效率, 因而创新人才的流动对周边地区高技术产业创新效率具有较强的空间溢出作用。

6. 结论及政策建议

高技术产业在我国经济发展中的地位越来越重要, 而创新更是发展的核心所在。本文测算了2000~2022年中国30个省份的创新要素流动数据和高技术产业创新效率数据, 引入计量模型, 就创新要素流动对高技术产业创新效率的影响展开研究。主要得出以下结论: (1) 中国高技术产业创新效率水平提升明显, 东中西地区差距虽有缩小趋势, 但整体效率水平不高, 地区差距仍然较大。(2) 创新要素流动对各省高技术产业创新效率的提升具有明显的促进作用, 且创新人才流动对高技术产业创新效率提升的贡献要高于创新资本流动的贡献。(3) 高技术产业创新效率有正向的空间溢出效应, 创新人才流动对高技术产业创新效率的直接效应大于其空间溢出效应, 而创新资本流动对高技术产业创新效率具有显著的直接效应, 对周边地区没有空间溢出效应。

针对上述结论, 本文提出如下政策建议: 首先, 破除地区间制度壁垒, 激发市场合理分配资源的主导作用, 积极发挥政府创新活动中的激励引导作用, 针对不同创新要素, 采取不同政策措施, 充分发挥创新要素流动对高技术产业创新效率的正向影响作用。针对创新人才: 要推动户籍制度改革、改善薪酬福利待遇、优化创新工作环境, 在引进高层次人才的同时, 要加大力度解决人才的住房、户籍、医疗等刚性需求, 增强经济发展程度不高、创新发展能力不足地区高技术产业对创新人才的吸纳能力。针对创新资本: 要加快金融体制改革、拓宽高技术产业资本融资渠道、健全金融与科技创新合作体系, 优化创新资本的资金配置效率, 最大程度地发挥创新资本流动对高技术产业创新效率的提升作用。其次, 充分利用空间溢出效应, 统筹区域创新空间发展战略。一方面, 各地区高技术产业在增加创新知识和资源积累、不断提升创新效率的同时, 要加强与周边地区的创新信息共享, 搭建技术研究平台、信息共享平台等创新型的合作平台, 推动创新要素流动, 提升高技术产业创新效率。另一方面, 高技术产业创新效率较高的地区要充分发挥龙头作用, 与周边地区积极开展创新合作, 促进创新人才的流动, 辐射带动周边地区高技术产业创新效率的提升, 更好的实现创新人才流动和高技术产业的空间溢出效应, 推动区域创新协调发展。

参考文献

- [1] Kang, K.N. and Park, H. (2012) Influence of Government R&D Support and Inter-Firm Collaborations on Innovation in Korean Biotechnology SMEs. *Technovation*, 32, 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2011.08.004>
- [2] 白俊红, 王钺. 研发要素的区际流动是否促进了创新效率的提升[J]. 中国科技论坛, 2015(12): 27-32.
- [3] Faggian, A. and McCann, P. (2008) Human Capital, Graduate Migration and Innovation in British Regions. *Cambridge Journal of Economics*, 33, 317-333. <https://doi.org/10.1093/cje/ben042>
- [4] 曹莉莉, 陈向东, 邓恒. 区域创新要素配置的结构性特点分析——高技术产业的创新投入产出再分析[J]. 科学学研究, 2008, 26(S1): 234-241.
- [5] 李培楠, 赵兰香, 万劲波, 王鑫. 研发投入对企业基础研究和产业发展的阶段影响[J]. 科学学研究, 2019, 37(1): 36-44.
- [6] 戚湧, 张洪瑜. 基于 PSR 模型的区域高技术产业创新要素供给评价[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(22): 55-64.
- [7] 于树江, 王云胜, 曾建丽, 赵玉帛. 创新价值链下京津冀高技术产业技术创新效率及驱动要素研究[J]. 科学决策, 2021(7): 77-90.
- [8] 史安娜, 王绕娟, 张鑒依. 长江经济带高技术产业创新要素集聚的空间溢出效应[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2021(4): 1-6.

学版), 2018, 20(1): 62-67+91-92.

- [9] 于潇华. 创新要素集聚对高技术产业发展的影响机制研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 青岛科技大学, 2022: 78.
- [10] 田喜洲, 郭新宇, 杨光坤. 要素集聚对高技术产业创新能力发展的影响研究[J]. 科研管理, 2021, 42(9): 61-70.
- [11] 吴菲菲, 童奕铭, 黄鲁成. 组态视角下四螺旋创新驱动要素作用机制研究——基于中国 30 省高技术产业的模糊集定性比较分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2020, 41(7): 62-77.
- [12] 吕海萍. 创新要素空间流动及其对区域创新绩效的影响研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江工业大学, 2019.