

基于主成分分析与空间计量模型的中国高校 R&D 资源配置研究

THE ALLOCATION OF R&D RESOURCES IN CHINESE UNIVERSITIES

BASED ON PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND SPATIAL ECONOMETRIC MODELS

孙海东^{1*}, 朱轩²

Haidong Sun^{1*}, Xuan Zhu²

^{1,2}泰国商会大学泰-中国际管理学院

^{1,2}Thai-Chinese International School of Management (TCISM),

University of the Thai Chamber of Commerce, Thailand

Received: February 20, 2025 / Revised: June 18, 2025 / Accepted: July 9, 2025

摘要

在全球知识经济时代, 高校 R&D 资源的合理配置对于提升科技创新能力和区域经济发展具有重要意义。本文基于 2019-2023 年中国大陆省级行政区高校数据, 采用主成分分析法构建 R&D 投入指数 (RDI) 与产出指数 (RDO), 衡量高校科研资源配置与创新能力, 并结合空间计量模型分析其空间分布特征。研究发现, 东部地区高校普遍具有较高的 RDI 与 RDO, 西部地区则整体偏低, 区域间科技创新能力存在明显不均衡。空间自相关分析结果表明, 高校 R&D 资源未形成显著的空间集聚效应, Moran's I 统计量整体较低, 空间溢出效应有限; 但 OLS 回归结果显示, RDI 对 RDO 具有显著正向影响 (回归系数 > 0.92 , $p < 0.001$), 科研投入仍是推动创新产出的关键因素。部分省份 RDI 与 RDO 波动较大, 反映出科研投入不稳定与科技成果转化的周期性问题。研究建议通过区域协同创新优化高校 R&D 资源配置, 推动东部发达地区科技资源向西部地区有序扩散, 强化产学研合作, 以提升科研投入效益, 并为高等教育科研资源配置与区域创新政策提供理论支持与实证依据。

关键词: 高校 R&D 资源 主成分分析 (PCA) 空间计量模型 空间集聚效应 区域差异

*Corresponding Author: Haidong Sun
E-mail: 2210453100002@live4.utcc.ac.th

Abstract

In the era of the global knowledge economy, the rational allocation of university R&D resources is crucial for enhancing technological innovation and regional economic development. Based on provincial-level data of Chinese universities from 2019 to 2023, this study constructed a University R&D Input Index (RDI) and Output Index (RDO) using Principal Component Analysis (PCA) to evaluate the allocation of research resources and innovation capacity. In addition, spatial econometric models were employed to analyze the spatial distribution characteristics of R&D resources. The findings revealed that universities in eastern China generally exhibit higher RDI and RDO values, while those in western regions tend to have lower indices, indicating significant regional disparities in technological innovation capabilities. Spatial autocorrelation analysis shows that university R&D resources do not exhibit significant spatial agglomeration, with low overall Moran's I values suggesting limited spatial spillover effects. However, OLS regression results demonstrate a stable and significant positive relationship between RDI and RDO (regression coefficient > 0.92 , $p < 0.001$), indicating that R&D investment remains a key driver of innovation output. The considerable fluctuations in RDI and RDO observed in some provinces reflect the instability of research funding and the cyclical nature of innovation transformation. The study recommends enhancing regional collaborative innovation to optimize the allocation of university R&D resources, promoting the orderly diffusion of technological resources from the more developed eastern regions to the west, and strengthening university-industry-research collaboration to improve the efficiency of research investment. These findings provide theoretical support and empirical evidence for the formulation of higher education research resource allocation and regional innovation policies.

Keywords: University R&D Resources, Principal Component Analysis (PCA), Spatial Econometric Model, Spatial Agglomeration Effect, Regional Disparity

引言

在全球知识经济时代，高等院校不仅是人才培养的核心基地，更是技术创新和科研突破的重要驱动力。高校的研究与发展（以下简称 R&D）资源作为国家创新体系建设的重要组成部分，在推动基础研究、技术研发和成果转化方面发挥着不可替代的作用 (Tang et al., 2024)。合理配置 R&D 资源不仅影响高校的科研水平和学科竞争力，还直接关系到国家整体科技实力的提升、产业升级的推进以及国际竞争地位的巩固 (Cheng, 2023)。随着科技全球化和数字经济的快速发展，如何优化高校 R&D 资源配置，提高科研投入的产出效率，已成为推动高质量发展的重要课题。

全球范围内，众多学者已对高校 R&D 资源配置效率展开研究，但现有文献仍存在一定局限，主要表现为数据时间跨度较短且侧重于局部区域，未能全面揭示 R&D 资源配置的长期动态变化与空间分布特征 (He, 2023; Hu, 2023)。此外，国际研究虽然探讨了地理、规模与学科

结构等因素对 R&D 效率的影响，但缺乏空间计量分析的系统应用 (Wolszczak-Derlacz, 2017)。因此，现有研究亟需一种综合性方法，全面评估高校 R&D 资源配置的长期效率与空间效应。

基于此，本研究旨在结合主成分分析 (Principal Component Analysis, PCA) 与空间计量模型，系统评估中国大陆高校 R&D 资源的投入产出效率及其空间分布特征，填补现有文献在长期动态变化与空间效应分析方面的不足。通过这一方法，研究期望为高校 R&D 资源配置的优化及区域创新政策的制定提供理论支持和实证依据。

研究目的

本研究旨在通过主成分分析 (PCA) 与空间计量模型相结合，全面评估高校 R&D 资源的投入产出效率及其空间分布特征。具体研究目的如下：

1. 高校 R&D 投入与产出的综合测度：利用 PCA 提取高校 R&D 投入与产出的综合指标，探讨其在不同区域高校间的表现特征。
2. 高校 R&D 资源配置的空间集聚性：分析高校 R&D 资源在地理空间上的集聚现象，揭示不同区域高校在资源配置上的空间分布特征。
3. 高校 R&D 资源与创新产出的关联性：考察高校 R&D 资源的投入与创新产出之间的相关性，分析区域间 R&D 资源配置模式对高校创新能力的影响。

文献综述

1. 中国高校 R&D 资源配置研究现状

高校 R&D 资源配置效率是高等教育研究中的核心议题，近年来，随着“双一流”建设的推进，如何优化科技创新资源配置、提高投入产出效率成为学界关注的重点。研究表明，中国高校 R&D 资源配置在区域间存在显著差异，部分省份的资源配置结构不合理，导致科技创新效率受限 (Zhang et al., 2021)。此外，国家自然科学基金的分配呈现“金字塔结构”，985 高校在科研竞争力方面显著领先于其他高校，反映出高校间科研经费配置的不均衡 (Liu, 2022)。此外，有研究基于 DEA 模型对部分地区高校的 R&D 投入产出效率进行了实证测算，结果显示整体效率水平较低，主要受到技术效率和规模效率不足的双重影响，部分高校还存在投入冗余和产出不足等问题。相关研究进一步强调，应通过优化资源配置结构、提高资源使用效率以及完善绩效评估与管理机制，推动高校 R&D 活动的绩效提升和成果转化 (Gao & Lu, 2016)。

综合而言，现有研究主要采用数据包络分析 (DEA) 模型评估高校 R&D 资源的配置效率，并强调政策支持、社会资源整合及高校内部管理对提升效率的重要性。然而，对于 R&D 资源的空间集聚特征，相关研究仍较为有限。未来亟需结合空间计量模型，进一步探讨高校 R&D 资源在不同区域的空间分布特征及其对创新产出的影响，以推动高校科技创新资源的科学配置与优化。

2. 主成分分析（PCA）在 R&D 资源配置研究中的应用

主成分分析（PCA）作为一种降维技术，近年来在 R&D 资源配置研究中得到了广泛应用 (Jolliffe & Cadima, 2016)。通过将高维数据转化为少数综合指标，PCA 减少数据冗余，提取关键特征，为分析与决策提供科学依据。

在 R&D 投入产出效率评估方面，PCA 可整合多个投入（如研发经费、人员数量）与产出（如专利数量、新产品销售额）指标，形成综合测度，提高效率评价的准确性 (Hall et al., 2010)。此外，PCA 用于 R&D 战略选择时，可识别技术领域间的相关性，助力企业精准制定研发投资方向。对于 R&D 项目组合优化，PCA 能分析不同项目间的关联性和风险，优化资源配置，降低投资不确定性 (Belu & Manescu, 2013)。在 R&D 能力评估上，PCA 被广泛用于衡量国家或地区的技术发展水平，构建综合评价体系，为政府科技政策和资源配置提供依据 (Salmenkaita & Salo, 2004)。

3. 空间计量模型及其在 R&D 资源配置研究中的应用

空间计量模型在 R&D 资源配置研究中发挥了重要作用，相较于传统计量经济学模型，它能够更精准地刻画 R&D 活动的空间依赖性和区域间的创新互动关系 (Anselin, 1988)。

近年来，研究者利用空间计量模型探讨了 R&D 活动的空间溢出效应。例如，基于中国 31 个地区 2006 年至 2015 年的面板数据，构建静态和动态空间计量模型，分析了区域创新绩效、产学研协同创新与空间关联之间的关系。结果表明，不同地区之间存在显著的正向溢出效应，区域间创新要素的动态流动有助于提升区域创新绩效 (Wang et al., 2018)。此外，在产业集群创新研究中，空间计量模型也发挥了重要作用。通过分析高技能劳动力流动网络，研究者揭示了高科技产业集聚的空间溢出效应，强调城市间高技能劳动力流动对高科技产业集聚的影响 (Wang et al., 2022)。

研究方法

1. 指标体系构建

在使用主成分分析（PCA）方法构建指标体系时，要求所选投入和产出指标能够充分代表研究领域的关键特征，并能够反映出数据中的主要信息。具体而言，投入指标应能够有效地反映资源配置的基础条件，而产出指标应能够准确体现研究对象的实际产出效能。这些指标在 PCA 的应用中，通过标准化处理和降维，提取出最能代表数据核心特征的主成分，从而避免冗余并提升数据的解释性 (Jolliffe & Cadima, 2016; Sanguansat, 2012)。

鉴于中国行政区划的特殊性，本研究选取中国大陆 31 个省级行政区的高校 R&D 活动作为研究对象，不包含香港、澳门和台湾地区。为科学衡量高校 R&D 资源配置情况，本文构建了 R&D 投入与产出的指标体系。R&D 投入指标包括高校数量（所）、R&D 机构数量（个）、

研究与发展人员数量（人）及 R&D 经费支出（千元），以反映各省高校的科技资源配置水平。R&D 产出指标则涵盖课题数量（项）、科技专著（部）、科技论文（篇）、科技成果转让当年实际收入（千元）及成果获奖数量（项），用于衡量高校科技创新的实际产出能力。

2. 数据资料来源

本研究所使用的数据来源于 2019-2023 年《高等学校科技统计资料汇编》，该资料由中华人民共和国教育部科学技术与信息化司编制。研究涵盖了 2019 年至 2023 年连续五年的统计数据，确保了数据的权威性与连续性。

3. 软件与计算过程

本研究采用 SPSS 23.0 进行主成分分析（PCA），构建高校 R&D 资源投入指数（Input Index）和产出指数（Output Index），并进一步引入空间计量学方法研究 R&D 资源配置的空间关系。

在数据处理过程中，所有变量均经过标准化，以消除不同指标的量纲影响，确保数据的可比性。随后，通过 PCA 降维提取关键主成分，并依据 Kaiser 标准（特征值 > 1 ）确定保留的主要成分数量。为提高主成分的可解释性，本研究采用 Varimax 旋转方法（Varimax Rotation），确保各主成分的独立性，并增强变量在主成分上的区分度。最终，利用回归法（Regression Method）计算因子得分，并选择解释方差贡献最高的第一主成分（PC1）作为投入指数（Input Index）和产出指数（Output Index），用于衡量各省高校 R&D 资源的配置和创新产出水平。

在此基础上，进一步引入空间计量学方法，分析 R&D 资源配置的空间关系。空间计量学作为研究地理现象空间分布及其相互作用的重要工具，能够揭示空间单元之间的依赖性和溢出效应 (Anselin, 1988; Arbia & Baltagi, 2009)。基于 Anselin (1988) 的理论框架，本研究利用 DataV.GeoAtlas 数据可视化平台获取全国省域空间地图资源，并借助 GeoDa 软件进行空间建模与可视化分析，以识别高校 R&D 资源投入与产出的空间集聚特征。通过 Moran's I 指数和普通最小二乘回归（OLS）进行空间自相关检验，以评估高校 R&D 资源的空间分布模式。若 Moran's I 结果显示显著的空间相关性，则表明 R&D 资源在地理空间上存在聚集或分散现象，需要进一步采用空间滞后模型（SAR）、空间误差模型（SEM）及空间杜宾模型（SDM）研究高校 R&D 资源配置对区域创新绩效的空间溢出效应。

研究结果

1. 各省高校 R&D 资源投入与产出的主成分分析结果

在前述研究设计的基础上，本章采用主成分分析（PCA）方法对高校 R&D 投入与产出相关指标进行降维处理，以提取关键信息并减少多重共线性影响。基于 PCA 计算结果，构建高校 R&D 投入指数（RDI）和高校 R&D 产出指数（RDO），分别衡量各省高校的 R&D 资源配置水平及其创新产出能力。具体分析结果详见表 1。

表1 各省高校 R&D 资源投入指数 (RDI) 与产出指数 (RDO) (2019-2023 年)

Province	2019		2020		2021		2022		2023	
	RDI	RDO								
安徽	0.199	-0.157	0.519	0.454	0.606	0.536	0.643	0.538	0.540	0.261
北京	0.690	0.619	-0.866	-0.795	-0.084	-0.183	-0.173	-0.371	-0.187	-0.422
重庆	-0.432	-0.664	-0.555	-0.697	-0.472	-0.682	-0.495	-0.777	-0.761	-0.771
福建	0.207	-0.436	-0.279	-0.579	-0.286	-0.395	0.307	-0.340	0.715	0.503
甘肃	-0.925	-0.830	-0.149	-0.006	-0.996	-0.891	-0.236	0.048	-1.152	-0.918
广东	-0.108	-0.220	-0.169	-0.430	0.661	1.205	0.677	1.076	0.544	1.161
广西	-0.308	-0.072	-0.594	-0.648	-0.588	-0.639	-0.584	-0.558	-0.613	-0.708
贵州	-0.897	-0.831	-0.869	-0.845	-0.171	0.054	-0.917	-0.848	-0.946	-0.850
海南	-1.296	-1.099	-1.271	-1.172	-1.327	-1.181	-1.351	-1.151	-0.699	-0.539
河北	2.173	1.019	2.104	1.012	1.327	0.946	2.161	1.307	2.120	1.297
黑龙江	-0.071	-0.071	-0.926	-0.838	-0.904	-0.840	-0.916	-0.983	-0.162	-0.260
河南	0.192	0.369	0.425	0.333	0.529	0.212	0.595	-0.168	1.938	2.339
湖北	0.288	0.872	0.488	0.994	0.380	1.021	0.500	0.874	0.439	0.957
湖南	0.560	0.487	0.308	0.230	0.468	0.622	0.398	0.077	-0.158	-0.450
内蒙古	-0.909	-0.851	2.298	2.459	1.848	2.307	1.828	2.601	-0.948	-0.837
江苏	2.108	2.125	2.093	2.502	2.083	2.211	1.994	2.145	0.553	0.119
江西	-0.315	-0.627	0.177	-0.430	0.246	-0.455	0.515	1.121	0.324	-0.222
吉林	-0.061	-0.284	-0.076	-0.227	-0.858	-0.944	-0.343	0.015	-0.330	0.009
辽宁	-0.638	-0.606	-0.370	0.063	-0.370	-0.057	-0.797	-0.712	-0.475	-0.597
宁夏	-1.259	-1.069	-1.267	-1.140	-1.321	-1.168	-1.329	-1.133	-1.374	-1.134
青海	-1.368	-1.155	-1.343	-1.241	-1.411	-1.266	-1.439	-1.239	-1.405	-1.231
陕西	0.616	0.863	0.620	0.963	0.463	0.948	-0.304	-0.511	0.710	1.267
山东	1.217	0.484	1.168	0.826	2.145	1.261	1.446	0.805	1.533	1.042
上海	0.905	1.374	0.782	1.140	0.808	1.004	-1.172	-0.976	0.689	0.867
山西	-0.600	-0.682	-0.578	-0.496	-0.524	-0.705	-0.418	-0.428	-0.504	-0.565
四川	0.402	0.161	0.333	-0.077	0.477	-0.013	0.419	0.250	0.404	-0.075
天津	-0.516	-0.450	-0.451	-0.527	-0.533	-0.657	-0.586	-0.490	-1.342	-1.121
西藏	-1.416	-1.176	-1.407	-1.261	-1.484	-1.312	-1.514	-1.282	-1.511	-1.295
新疆	-1.110	-0.984	-1.137	-1.043	-1.166	-1.035	0.760	1.294	1.814	2.445
云南	2.089	2.970	0.477	0.433	0.539	0.516	0.361	0.245	0.286	0.194
浙江	0.584	0.921	0.518	1.040	-0.084	-0.419	-0.032	-0.430	-0.041	-0.465

2. 各省高校 R&D 资源投入与创新产出指数的整体区域格局

根据表 1 的结果数据显示, 2019-2023 年间, 各省高校 R&D 资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 指数在全国范围内呈现出明显的区域性分布特征, 且整体趋势保持相对稳定。

从整体区域分布来看, 华东地区 (如江苏、山东) 和华中地区 (如湖北) 在 2019-2023 年间, 其 RDI 和 RDO 指数连续五年普遍保持正值, 表明这些地区的高校 R&D 资源投入和创新产出均高于全国平均水平, 展现出较强的科研实力和创新能力。

相较之下, 西部地区 (如西藏、青海、宁夏) 连续五年的 RDI 和 RDO 指数均为负值, 表明该区域高校的 R&D 资源投入和创新产出整体低于全国平均水平, 科研资源相对有限, 整体科研竞争力较弱, 可能受到经济发展水平、科研基础设施、人才吸引力等因素的影响。

此外, 部分地区的 RDI 和 RDO 指数也连续五年保持负值, 形成一定的例外情况, 如华北地区的天津、山西, 华南地区的海南, 以及西南地区的重庆和广西。这些地区的科研投入和创新产出水平同样低于全国平均水平, 可能与产业结构、科研资金分配、科技政策支持力度等因素相关, 表明其科技创新体系尚需进一步完善, 以提高科研资源的利用效率和创新产出能力。

3. 各省高校 R&D 资源投入与创新产出指数的区域分布与波动

根据表 1 的数据结果, 2019-2023 年间, 海南和新疆两省的高校 RDI 与 RDO 指数总体呈现上升态势, 其中新疆的增长幅度最为显著, 表明其科研投入强度和创新产出能力均得到显著提升。相较之下, 云南省的 RDI 与 RDO 指数在 2019 年达到峰值后逐年下降, 显示其科研投入结构与创新产出水平仍处于调整与再平衡阶段。具体来说新疆维吾尔自治区的 RDI 从 -1.110 (2019 年) 增长至 1.814 (2023 年), RDO 从 -0.984 (2019 年) 提升至 2.445 (2023 年), 表明该地区科研资源投入显著增加, 并成功转化为较高的创新产出。

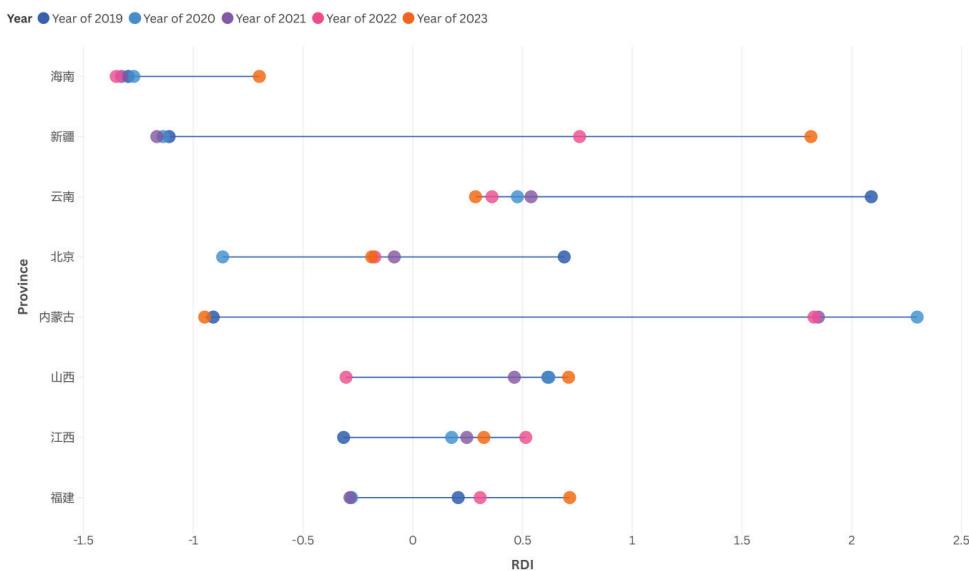


图 1 部分省份 RDI 波动变化图 (2019-2023 年)

从部分省份 RDI&RDO 指数的具体变化来看，2019-2023 年间，RDI 指数波动较大的省份主要包括北京、云南和内蒙古（见图 1）。其中，内蒙古的 RDI 指数从 -0.909（2019 年）大幅上升至 2.298（2020 年），随后逐步下降，到 2023 年回落至 -0.948。这种显著波动可能受到科研资金调整、重大科技项目投放、新兴产业变革及政策环境变化的影响，表明该地区的科研发展模式仍在调整，尚未形成稳定的增长趋势。

北京的 RDI 指数在 2019 年保持较高水平，但在 2021-2022 年出现一定波动，2023 年再度回升，说明科研资金投入受年度政策调整和项目周期性影响较大。此外，云南省的 RDI 指数在 2019 年达到 2.1，2020 年骤降至 0.4 左右，随后几年维持小幅波动，表明其科研投入经历了显著调整，可能受到高校科研经费配置、重点项目变化及科研结构优化的影响。

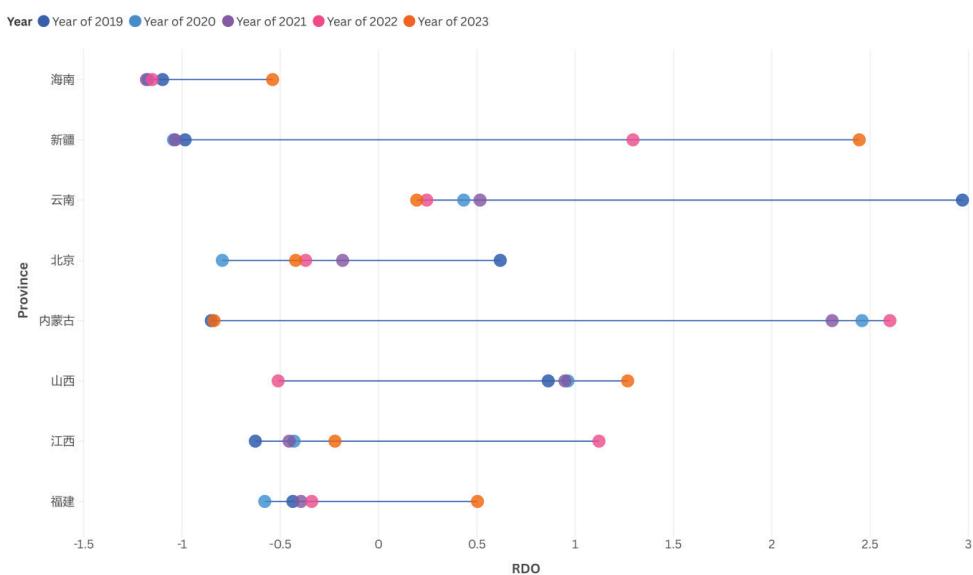


图 2 部分省份 RDO 波动变化图 (2019-2023 年)

从图2可见，2019-2023年间，各省高校R&D资源产出指数（RDO）波动特征明显，部分省份创新产出能力持续增长，而部分省份经历较大起伏。

云南省的 RDO 2019 年达 2.97, 2020 年骤降至 0.43, 随后维持低水平, 表明 2020 年后创新产出能力显著下降, 可能受科研资金投放调整、产业转型及技术创新瓶颈影响。

江西省 RDO 2019-2021 年持续为负 (-0.627、-0.430、-0.455)，2022 年跃升至 1.121，2023 年回落至 -0.222，显示 2022 年创新产出短期激增，但增长趋势未能持续，可能受政策支持、科研项目集中突破影响，但科技成果产业化仍面临挑战。

此外，在 2019-2023 年间，没有省份的 RDI 和 RDO 指数连续六年呈现递减趋势。尽管部分省份在个别年份出现下降，但整体上仍处于动态调整阶段。这表明，全国范围内的科

研资源投入与创新产出仍在不断优化，各省正通过政策引导、科研资源配置调整及产业创新机制完善来优化自身的科技发展路径，以应对科技创新竞争和产业升级的需求。

4. 各省高校 R&D 资源投入与创新产出指数的空间分析结果

在构建空间权重矩阵时，为准确刻画中国大陆 31 个省份高校 R&D 资源的空间流动模式，本文对比了邻接权重（Contiguity Weight）和距离权重（Distance-based Weight）的适用性。结果表明，基于地理距离的权重设定未能有效捕捉 R&D 资源的扩散模式，而邻接权重在 BiLISA 统计分析与 Moran's I 空间自相关性检验中表现更为合理，能够更好地反映 R&D 资源在相邻省份间的空间关联性。因此，本文最终采用 Queen Contiguity（皇后邻接权重），邻接阶数（Order = 1）作为空间权重矩阵的设定方式，以提高空间分析的科学性和稳健性。

4.1 2019 年各省 R&D 资源投入与产出指数的空间分析

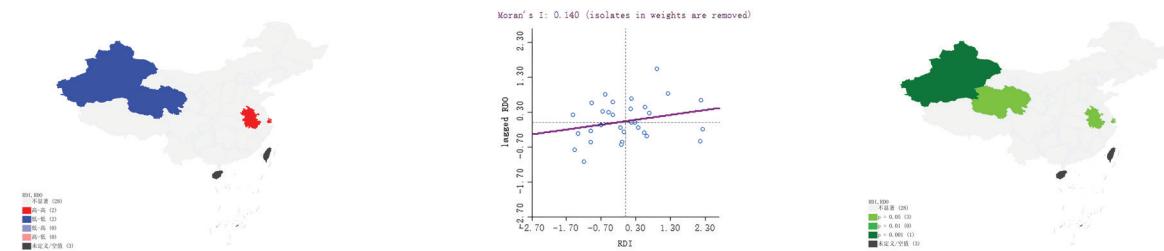


图 3 2019 年高校资源投入（RDI）与创新产出（RDO）的空间关联性分析

2019 年高校资源投入（RDI）与创新产出（RDO）的空间关联性分析结果图 3 显示，Moran's I 统计量（0.140）表明 RDI 与 RDO 之间存在一定的空间相关性，但相关性较弱，且未达到统计显著水平，这说明各省份高校 R&D 资源投入对创新产出的空间扩散效应较为有限。从显著性检验来看，仅部分省份的 RDI 与 RDO 关系达到统计显著性，而大多数地区未表现出明显的空间聚集特征。BiLISA 聚类分析结果表明，2019 年 RDI 与 RDO 主要呈现两类聚类模式：高—高（High-High）集聚区域集中在上海和安徽，表明这些地区 R&D 资源投入较高，并带动了较高的创新产出；低—低（Low-Low）集聚区域主要分布在新疆、青海等地，说明这些地区 R&D 资源投入较低，创新产出水平也相对较弱。整体来看，2019 年中国高校 R&D 资源的空间溢出效应较为分散，尚未形成大范围的空间集聚格局。

表 2 高校资源投入 (RDI) 对创新产出 (RDO) 的 OLS 回归结果 (2019 年)

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	-2.720	0.063	0	1
RDI	0.925	0.067	13.748	<0.001

尽管全国范围内尚未形成明显的空间集聚格局, 但如表 2 OLS 回归分析结果表明, 高校 R&D 资源投入 (RDI) 对创新产出 (RDO) 具有显著的正向影响 (回归系数 = 0.925, $p < 0.001$)。这一结果说明, RDI 的增加能够有效促进 RDO 的提升, 体现出 R&D 资源对科技创新产出的驱动作用。常数项不显著 ($p = 1$), 表明在 RDI 为 0 的情况下, RDO 水平无特殊影响。模型整体拟合度较高 ($R^2 = 0.855$, 调整后 $R^2 = 0.851$), 表明回归方程对变量间关系的解释力较强。此外, 回归模型通过 F 检验 ($F = 189.019$, $p < 0.001$), 进一步验证了模型的统计显著性。这一结果进一步印证了 R&D 资源投入在推动高校科技创新产出中的关键作用, 即使在空间分布上未表现出显著的聚集模式, 其影响仍然在统计意义上显著成立。

4.2 2020 年各省 R&D 资源投入与产出指数的空间分析

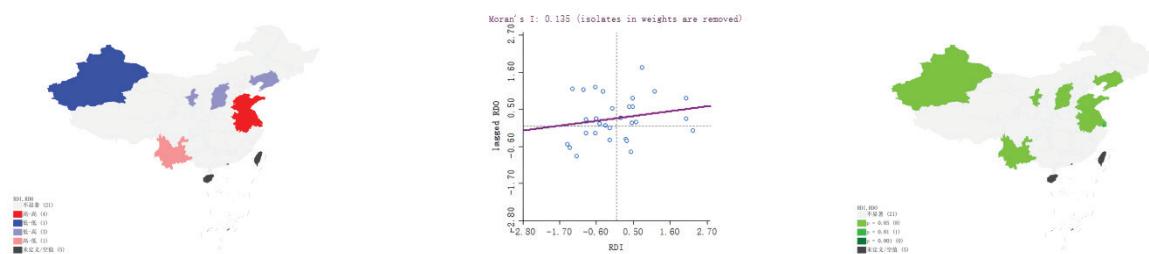


图 4 2020 年高校资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 的空间关联性分析

2020 年高校资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 的空间关联性分析结果图 4 显示, 高校 R&D 资源投入与创新产出之间存在一定的空间相关性, 但相关程度较弱 ($Moran's I = 0.135$), 未达到统计显著水平, 表明整体上 R&D 资源的空间溢出效应有限。从 BiLISA 聚类分析来看, 2020 年呈现出四类主要的空间集聚模式: (1) 高—高 (High-High) 集聚区域集中在山东、江苏、安徽和上海, 表明这些省份高校 R&D 投入较高, 并带动了较高的创新产出; (2) 低—低 (Low-Low) 集聚区域主要分布在新疆, 表明其 R&D 资源投入和创新产出均处于较低水平; (3) 高—低 (High-Low) 集聚区域位于云南, 表明其周边地区 R&D 资源较高, 但本地创新产出较低; (4) 低—高 (Low-High) 集聚区域出现在宁夏、山西和辽宁吉林, 表明这些地区的 R&D 投入较少, 但可能受周边高投入地区的溢出效应影响, 创新产出较高。整体来看, 2020 年中国高校 R&D 资源的空间集聚效应较 2019 年有所增强, 但仍未形成大范围、持续性的空间溢出格局。

表 3 高校资源投入 (RDI) 对创新产出 (RDO) 的 OLS 回归结果 (2020 年)

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	0	0.06	-0.003	0.997
RDI	0.944	0.061	15.461	<0.001

尽管 2020 年高校 R&D 资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 在全国范围内未形成显著的空间集聚格局, 但表 3 OLS 回归结果表明, RDI 对 RDO 仍然具有显著的正向影响 (回归系数 = 0.944, $p < 0.001$), 说明高校 R&D 资源的增加能够有效促进科技创新产出。常数项不显著 ($p = 0.997$), 表明在 RDI 为 0 的情况下, RDO 的水平无特殊影响。整体模型拟合度较高 ($R^2 = 0.892$, 调整后 $R^2 = 0.888$), 表明回归方程对变量间关系的解释力较强。回归模型通过 F 检验 ($F = 239.058$, $p < 0.001$), 进一步验证了模型的统计显著性。由此可见, 尽管空间分析未能发现广泛的集聚效应, 但 RDI 依然是影响 RDO 的关键因素, 表明高校 R&D 资源在区域创新体系中发挥了重要作用。

4.3 2021 年各省 R&D 资源投入与产出指数的空间分析

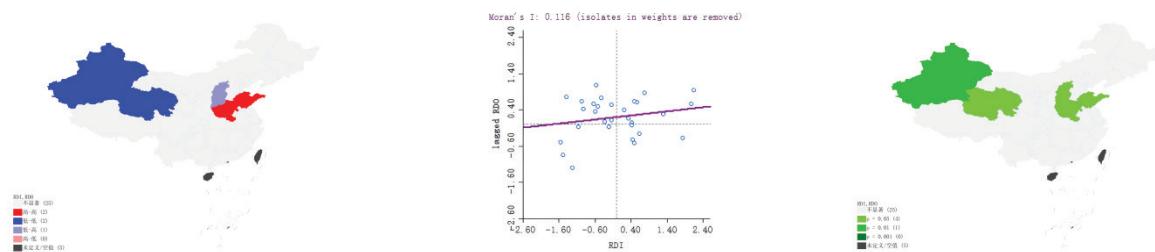


图 5 2021 年高校资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 的空间关联性分析

2021 年高校资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 的空间关联性分析结果图 4 显示, RDI 与 RDO 之间的 Moran's I 指数为 0.116, 虽然存在一定的空间相关性, 但相关程度较低, 且未达到统计显著水平。这表明高校 R&D 资源投入对创新产出的空间扩散效应较为有限, RDI 在全国范围内未表现出显著的空间集聚特征。从 BiLISA 聚类分析来看, 2021 年 RDI 与 RDO 主要呈现两类空间集聚模式: 高——高 (High-High) 集聚区域主要集中在山东和河南, 表明这些地区 R&D 资源投入较高, 且创新产出水平较高; 低——低 (Low-Low) 集聚区域则分布在新疆、青海等西部地区, 表明这些地区 R&D 资源投入相对较少, 且创新产出水平较低。此外, 部分地区表现出低——高 (Low-High) 模式, 例如山西, 说明在部分 RDI 较低的地区, RDO 仍然保持较高水平, 可能受到周边高 RDI 地区的辐射带动作用。总体来看, 2021 年高校 R&D 资源的空间溢出效应依然较为局限, 未形成大规模的集聚效应。

表 4 高校资源投入 (RDI) 对创新产出 (RDO) 的 OLS 回归结果 (2021 年)

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	1.883	0.062	3.059	1
RDI	0.942	0.062	15.051	< 0.001

尽管 2021 年高校 R&D 资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 在空间上未表现出显著的集聚特征, 表 4 OLS 回归结果进一步验证了两者之间的紧密关系。回归分析表明, RDI 对 RDO 具有显著的正向影响 (回归系数 = 0.942, $p < 0.001$), 说明 RDI 的增加能够有效促进 RDO 的提升。常数项不显著 ($p = 1.000$), 表明在 RDI 为 0 的情况下, RDO 水平无特殊影响。整体模型拟合度较高 ($R^2 = 0.887$, 调整后 $R^2 = 0.883$), 表明回归方程对变量间关系的解释力较强。回归模型通过 F 检验 ($F = 226.542$, $p < 0.001$), 进一步验证了模型的统计显著性。这一结果表明, 尽管空间扩散效应较弱, 但高校 R&D 资源投入仍然是影响区域创新产出的核心因素。

4.4 2022 年各省 R&D 资源投入与产出指数的空间分析

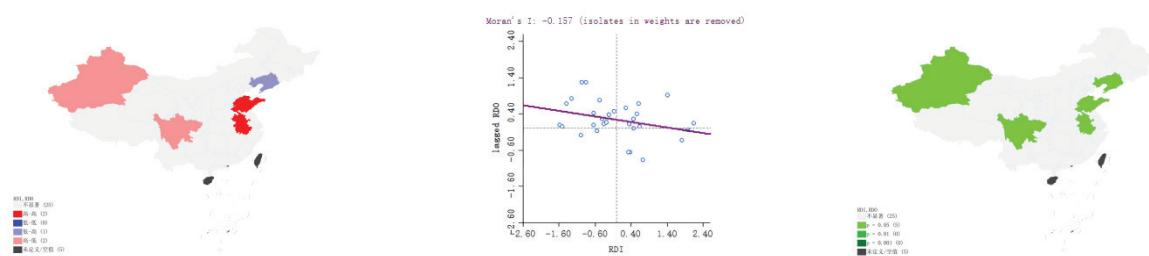


图 6 2022 年高校资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 的空间关联性分析

2022 年高校 R&D 资源投入 (RDI) 与创新产出 (RDO) 的双变量空间分析结果表明, 其空间相关性仍较为有限。Moran's I 统计量为 -0.157, 未达到统计显著水平, 表明整体上 RDI 对 RDO 的空间扩散效应并不明显。从 BiLISA 聚类分析来看, 2022 年 RDI 与 RDO 主要呈现“高—高” (High-High) 和“高—低” (High-Low) 两种集聚模式。“高—高” 集聚区域集中在山东和安徽, 表明这些地区 R&D 资源投入较高, 且促进了较高的创新产出; “高—低” 区域则位于四川和新疆, 说明这些地区尽管 R&D 投入较高, 但创新产出水平较低。此外, 显著性检验结果显示, 仅有少数省份的 RDI 与 RDO 关系达到统计显著水平, 大部分省份并未表现出空间聚集特征, 表明中国高校 R&D 资源的空间溢出效应仍然较为分散。

表 5 高校资源投入 (RDI) 对创新产出 (RDO) 的 (OLS) 回归结果 (2022 年)

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	2.727	0.07	0	1
RDI	0.923	0.072	12.893	<0.001

在2022年高校R&D资源投入(RDI)与创新产出(RDO)的空间分析结果表明整体上未形成显著的空间集聚格局的基础上,表5 OLS回归进一步验证了RDI对RDO的影响。回归结果显示,高校R&D资源投入对创新产出具有显著的正向作用(回归系数=0.923, $p < 0.001$),表明RDI的增加能够有效促进RDO的提升。常数项不显著($p = 1.000$),说明在RDI为0的情况下,RDO的水平无特殊影响。模型拟合度较高($R^2 = 0.851$, 调整后 $R^2 = 0.846$),表明回归方程能够较好地解释变量间的关系,并通过F检验($F = 166.231$, $p < 0.001$),进一步验证了模型的统计显著性。这一结果表明,尽管RDI与RDO在空间分布上未形成广泛的集聚效应,但从整体回归分析来看,高校R&D资源投入依然是推动创新产出的重要因素。

4.5 2023年各省R&D资源投入与产出指数的空间分析

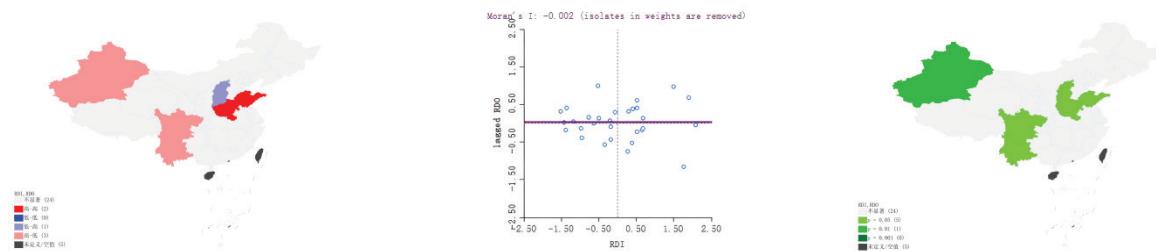


图7 2023年高校资源投入(RDI)与创新产出(RDO)的空间关联性分析

在2023年的高校R&D资源投入(RDI)与创新产出(RDO)空间分析中, Moran's I统计量为-0.002, 表明整体空间相关性极弱, 未能体现显著的空间集聚或扩散效应。从显著性检验来看, 仅部分省份RDI与RDO之间的关系具有统计意义, 大多数地区未呈现显著的空间自相关特征。此外, BiLISA聚类分析结果显示, 2023年RDI与RDO主要形成三种空间聚类模式: 一是高——高(High-High)集聚区, 集中在山东和河南, 表明这些地区的R&D资源投入较高, 并且对应的创新产出水平也较高; 二是低——高(Low-High)集聚区, 仅出现在山西, 表明该地区R&D资源投入较低, 但受到了周边高RDI省份的溢出效应; 三是高——低(High-Low)集聚区, 包括新疆、四川和云南, 表明这些地区尽管R&D资源投入较高, 但创新产出水平相对较低。整体来看, 2023年高校R&D资源的空间溢出效应仍未形成稳定的全国性集聚格局, 仅在部分区域显现出较为显著的空间效应。

表6 高校资源投入(RDI)对创新产出(RDO)的OLS回归结果(2023年)

Variable	Coefficient	Std.Error	t-Statistic	Probability
CONSTANT	2.196	0.066	3.319	1
RDI	0.932	0.067	13.859	< 0.001

表 6 OLS 结果显示高校 R&D 资源投入 (RDI) 对创新产出 (RDO) 具有显著的正向影响 (回归系数 = 0.932, $p < 0.001$), 表明 RDI 的增加能够有效推动 RDO 的提升。常数项不显著 ($p = 1.000$), 意味着在 RDI 为 0 的情况下, RDO 的水平无特殊影响。整体模型的拟合度较高 ($R^2 = 0.869$, 调整后 $R^2 = 0.864$), 说明回归方程能够较好地解释变量之间的关系。回归模型通过 F 检验 ($F = 192.079$, $p < 0.001$), 进一步验证了模型的统计显著性。这一结果与前述空间分析相结合, 表明尽管全国范围内尚未形成广泛的空间集聚效应, 但 RDI 仍是影响 RDO 的核心变量, 高校 R&D 资源的投入在局部区域内发挥了积极作用。

为检验高校 R&D 资源投入对创新产出的空间效应, 研究采用 Lagrange Multiplier (LM) 检验, 包括 LM (Lag) 与 LM (Error) 两类空间效应检验, 并进一步使用 Robust LM (Lag) 与 Robust LM (Error) 进行稳健性分析。结果显示, 2019-2023 年连续五年的检验结果均未达到统计显著性水平, 表明在本研究所构建的模型中, RDI 对 RDO 的空间滞后与空间误差效应均不显著。因此, 在未引入其他控制变量的前提下, 空间计量模型 (如 SAR、SEM 或 SDM) 并未显示出统计必要性, 普通最小二乘回归 (OLS) 已能较为充分地解释 RDI 对 RDO 的影响。基于模型稳健性和简约性原则, 本文未进一步拓展空间计量模型的估计分析。

讨论

1. 区域创新能力的不均衡性与政策导向

从 2019-2023 年连续五年的主成分分析结果来看, 中国高校 R&D 资源投入与创新产出 (RDI-RDO) 在区域分布上存在显著的不均衡性。东部地区高校的 RDI 和 RDO 指数普遍为正值, 表明该区域的高校在 R&D 资源投入和创新产出方面均处于较高水平; 而西部地区高校的两项指数普遍为负值, 显示其 R&D 资源投入不足, 创新产出水平相对较低。与此同时, 空间分析结果进一步证实了这一区域差异: 东部地区主要表现为高——高 (High-High) 集聚模式, 即 R&D 资源投入较高的省份往往也具有较高的创新产出, 而西部地区则主要呈现低——低 (Low-Low) 集聚特征, 表明 R&D 资源投入较低的省份其创新产出也相对较弱。

这一区域创新能力的不均衡性可能受多重因素影响, 包括区域经济基础、政府政策支持、高校科研资源配置、企业研发投入强度等 (Lü et al., 2017)。东部地区高校在 R&D 资源投入和创新产出方面的优势, 可能得益于较为成熟的科技创新体系、完善的产业链协同效应以及较强的政府与市场支持。而西部地区在经济发展水平、科研资源积累、企业创新能力等方面相对滞后, 使得其 R&D 资源利用效率和创新产出能力受到一定制约 (Zhou et al., 2019)。因此, 如何通过政策干预优化西部地区高校的 R&D 资源配置, 提升区域创新能力, 是值得深入探讨的问题。

2. R&D 资源的空间扩散效应及溢出机制

基于 2019-2023 年 Moran's I 指数分析, 全国范围内尚未形成强烈的 R&D 资源空间集

聚效应，而 OLS 回归分析表明，RDI 对 RDO 具有显著的正向影响。这一结果表明，尽管高校 R&D 资源投入能够有效促进创新产出，但其外溢效应可能受到多重因素的制约，如高校间协同创新不足、地方政府政策壁垒以及科技成果转化渠道不畅等 (Jiao & Chen, 2018; Ma et al., 2015; Zhang & Gao, 2019)。

根据创新扩散理论，技术创新的传播依赖于区域间的知识流动、技术交流以及合作网络的构建。研究表明，创新资源的流动性直接影响区域经济增长和技术扩散的效率，而产业集群的知识协同创新网络可以促进技术创新的扩散，并在区域和集群内推动知识和信息的交流 (Ru, 2016)。此外，创新扩散通常受到技术合作网络的结构和互动机制影响，特别是合作密度、开放性和网络强度对区域创新能力的提升具有显著作用 (Zhao & Li, 2022)。知识转移和技术扩散过程也受到创新主体间的协作模式和地理位置的影响，不同区域的知识交流模式对创新绩效具有不同程度的影响 (Robertson & Jacobson, 2011)。企业、大学和研究机构的跨区域技术合作是促进知识流动和创新扩散的关键，尤其是在知识网络较为分散的情况下，合作网络的优化有助于提高创新资源的流动性，并增强技术扩散的广度和深度 (Papazoglou & Spanos, 2018)。

3. 高校 R&D 资源投入的稳定性与创新产出波动

在 2019-2023 年间，云南、内蒙古、新疆和北京等地区的高校 R&D 资源投入指数 (RDI) 和产出指数 (RDO) 波动较大，反映出科研资源投入与产出尚未形成稳定增长模式。这一不稳定性主要受到政府财政拨款波动、高校科研管理机制差异以及企业合作研发投入不稳定的影响。

地方财政收入波动直接影响高校 R&D 资金的稳定性，使其难以制定长期科研规划 (Sun & Hou, 2019)。当财政拨款减少时，高校科研项目容易受到影响。此外，科研管理体制的僵化和科研经费分配的不均衡限制了跨学科合作与创新，影响资源配置效率。为此，应建立灵活的科研组织模式，优化绩效考核机制，并完善学术资源共享平台，以提升科研管理的科学性和稳定性 (Zhao et al., 2024)。

此外，企业 R&D 投入的不稳定性同样影响高校科研合作与成果转化。市场环境的不确定性使企业在科研合作上较为谨慎，影响高校的长期资金支持。研究表明，中小型企业往往比大企业更有利于高校科研成果的商业化，而大企业合作的不确定性较高，可能会影响成果转化 (Aksoy, 2019)。在技术转移方面，研究发现，高校与企业的合作仍然面临诸多组织性障碍，特别是企业对 R&D 资金的投资不稳定，影响了长期合作的可持续性以及科技成果的市场化应用 (Chais et al., 2018)。此外，企业与高校的 R&D 合作对创新转移和初创企业的发展至关重要，但企业资金投入的波动性可能对创新成果的有效转化产生负面影响 (Kuzior et al., 2024)。

总结

1. 高校 RDI 与 RDO 之间存在显著且稳定的正相关关系

从空间相关分析和回归结果来看, 高校 R&D 资源投入 (RDI) 对创新产出 (RDO) 具有稳定的正向影响, 这表明 RDI 的增加能够有效提升 RDO。充足的 R&D 资金投入不仅能提高专利、论文和技术转移等创新产出, 还能增强高校的科研竞争力, 并促进区域经济的创新能力。然而, 仅依赖资金投入并不能完全保证科技成果的有效转化, 因此, 应在提高 R&D 资金总量的同时, 优化资源配置, 提升资金使用效率。

2. 高校 RDI 和 RDO 在东西部地区存在显著区域差异

本文的研究发现, 中国东部地区高校普遍呈现高投入、高产出的特征, 而西部地区则表现出低投入、低产出的状态。这一显著的区域分异反映了东西部地区在创新资源配置、科研环境、人才积累和产业基础上的差距。东部地区由于经济发达、政策支持和科研资源丰富, 能够形成良性创新循环, 而西部地区由于财政投入不足、科技基础薄弱, 导致创新产出能力较低。

3. 部分省份高校 RDI 和 RDO 呈现明显的年度波动性

部分省份的 RDI 和 RDO 发展存在较大波动, 未形成稳定的增长格局。这种波动可能源于地方财政收入的不稳定、科研管理体制的差异、以及科技资源分配的不确定性 (Zhao & Li, 2022)。研究发现, 某些年份 RDI 资金投入增加, 但 RDO 并未同步提升, 表明资金使用效率不高, 或科研产出周期较长, 导致成果积累存在滞后效应 (Robertson & Jacobson, 2011)。

建议

1. 完善科研投入绩效机制, 提升资源配置效率

为有效发挥高校 R&D 投入对创新产出的促进作用, 应建立科研资金绩效评估机制, 确保资源合理分配, 并支持跨学科协同研究, 以促进 R&D 资源的高效利用。此外, 加强产学研合作, 鼓励企业深度参与高校研发, 推动科技成果市场化, 从而进一步放大 RDI 对 RDO 的促进作用。

2. 推动区域协调发展, 促进科技资源合理流动

为缩小高校 RDI 和 RDO 的区域发展差距, 建议国家加大对西部地区高校的科研经费支持, 优化区域间科技合作, 促进东部发达地区的科技资源向西部扩散。例如, 构建跨区域联合创新中心, 推动高校与科研院所共享科技资源, 并通过政策引导企业投资西部地区的科技项目。同时, 西部地区高校应加强与本地产业的结合, 提升科技成果的转化率, 以形成长期可持续的科技创新能力。

3. 稳定科研投入预期, 优化管理机制应对波动性

针对部分地区高校 RDI 与 RDO 存在年度波动的问题, 建议政府加强科研资金的长期

规划，避免因地方财政收入变化导致的资金投入不稳定。此外，高校应建立更为灵活的科研管理机制，优化资源分配，提高资金的使用效率。建议实施基于稳定绩效的科研经费拨款制度，确保R&D资金能够持续支持高价值研究。同时，可引导高校与企业建立长期合作关系，以增强科技成果的市场化能力，降低创新产出的不确定性 (Papazoglou & Spanos, 2018)。

References

- Aksoy, A. (2019). *The effects of exclusivity and company size on university research commercialisation*. Semanticscholar. <https://url.in.th/dZpOW>
- Anselin, L. (1988). *Spatial econometrics: Methods and models*. Springer Netherlands. <https://books.google.co.th/books?id=3dPIXClv4YYC>
- Arbia, G., & Baltagi, B. H. (2009). *Spatial econometrics: Methods and applications*. Physica-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-7908-2070-6>
- Belu, C., & Manescu, C. (2013). Strategic corporate social responsibility and economic performance. *Applied Economics*, 45(19), 2751-2764. <https://doi.org/10.1080/00036846.2012.676734>
- Chais, C., Ganzer, P. P., & Olea, P. M. (2018). Technology transfer between universities and companies: Two cases of Brazilian universities. *Innovation & Management Review*, 15(1), 20-38. <https://doi.org/10.1108/INMR-02-2018-002>
- Cheng, J. (2023). Technological progress, higher education quality and China's industrial upgrading: An empirical study based on the spatial Dubin Model. In *Proceedings of the 2023 4th International Conference on Education, Knowledge and Information Management (ICEKIM 2023)* (pp. 312-320). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-172-2_34
- Gao, L., & Lu, Y. (2016). Performance evaluation and countermeasure research on R&D input-output in universities based on DEA method: A case study of 29 universities in Hebei Province. *Economics and Management*, 30(2), 37-42. [in Chinese]
- Hall, B. H., Mairesse, J., & Mohnen, P. (2010). Chapter 24—Measuring the returns to R&D. *Handbook of the Economics of Innovation*, 2, 1033-1082. [https://doi.org/10.1016/S0169-7218\(10\)02008-3](https://doi.org/10.1016/S0169-7218(10)02008-3)
- He, X. -Y. (2023). R&D input-output efficiency of colleges and universities: Analysis based on two-stage DEA-VRS model and super efficiency model. *Journal of Wuhan University of Technology (Social Science Edition)*, 36(5), 136-145. [in Chinese]
- Hu, T. (2023). Research on R&D activities of colleges and universities—Based on statistical analysis of data from 2013 to 2021. *Henan Science and Technology*, 42(22), 153-158. [in Chinese]
- Jiao, C. H., & Chen, Y. F. (2018). R&D resource allocation, spatial correlation, and the improvement of regional total factor productivity. *Studies in Science of Science*, 36(1), 81-92. <https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.2018.01.010>
- Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: A review and recent developments. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 374(2065), 20150202. <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

- Kuzior, A., Samoilikova, A., Valúch, M., & Bába, É. B. (2024). Impact of university-industry R&D collaboration on innovation transfer and startup performance. *Journal of International Studies*, 17(3), 164-181. <https://doi.org/10.14254/2071-8330.2024/17-3/9>
- Liu, X. (2022). Research on the inter-university differences in the allocation of competitive research funding in China: An analysis based on the national natural science foundation data. *Advances in Education*, 12(10), 3732-3738. <https://doi.org/10.12677/AE.2022.1210570> [in Chinese]
- Lü, H., Chi, R., & Hua, X. (2017). Spatial linkage of innovation resources and regional economic growth: An empirical analysis based on provincial data in China. *Geographical Science*, 37(11), 1649-1658. <https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2017.11.006> [in Chinese]
- Ma, S. Z., Li, Y. J., & Wu, G. J. (2015). Analysis of factors affecting the flow of technological innovation resources in China based on spatial autocorrelation. *Economist*, 11, 15-25. <https://doi.org/10.16158/j.cnki.51-1312/f.2015.11.003> [in Chinese]
- Papazoglou, M. E., & Spanos, Y. E. (2018). Bridging distant technological domains: A longitudinal study of the determinants of breadth of innovation diffusion. *Research Policy*, 47(9), 1713-1728. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.06.006>
- Robertson, P., & Jacobson, D. (2011). *Knowledge transfer and technology diffusion*. Edward Elgar Publishing.
- Ru, C. (2016). Construction of industrial clusters knowledge collaborative innovation network. *Information Sciences*, 2016, 226. [in Chinese]
- Salmenkaita, J. -P., & Salo, A. (2004). Emergent foresight processes: Industrial activities in wireless communications. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(9), 897-912. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2003.09.001>
- Sanguansat, P. (2012). *Principal component analysis*. IntechOpen.
- Sun, Z., & Hou, Y. (2019). A multi-perspective observation and policy response to China's regional imbalanced development. *Management World*, 35(8), 1-8. <https://doi.org/10.19744/j.cnki.11-1235/f.2019.0101> [in Chinese]
- Tang, M., Zeng, Z., & Lan, Q. (2024). Research on allocation efficiency of higher education resources in China. *Journal of Research in Vocational Education*, 6(8), 1-5. [https://doi.org/10.53469/jrve.2024.06\(08\).01](https://doi.org/10.53469/jrve.2024.06(08).01)
- Wang, C., Wang, L., Xue, Y., & Li, R. (2022). Revealing spatial spillover effect in high-tech industry agglomeration from a high-skilled labor flow network perspective. *Journal of Systems Science and Complexity*, 35(3), 839-859. <https://doi.org/10.1007/s11424-022-1056-1>
- Wang, X., Fang, H., Zhang, F., & Fang, S. (2018). The spatial analysis of regional innovation performance and industry-university-research institution collaborative innovation—An empirical study of Chinese provincial data. *Sustainability*, 10(4), 1243. <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/4/1243>

- Wolszczak-Derlacz, J. (2017). An evaluation and explanation of (in) efficiency in higher education institutions in Europe and the U.S. with the application of two-stage semi-parametric DEA. *Research Policy*, 46(9), 1595-1605. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2017.07.010>
- Zhang, H., Guo, D., & Zhang, H. (2021). Research on the efficiency of scientific and technological innovation resource allocation in universities under the background of “Double First-Class” initiative. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 23(1), 171-179. <https://doi.org/10.15918/j.jbitss1009-3370.2021.2457> [in Chinese]
- Zhang, Y. Y., & Gao, Y. (2019). Can the flow of innovation elements promote the optimization of regional manufacturing structure?—Theoretical analysis and empirical test. *Modern Finance & Economics (Journal of Tianjin University of Finance and Economics)*, 39(6), 98-113. <https://doi.org/10.19559/j.cnki.12-1387.2019.06.007> [in Chinese]
- Zhao, L., Zhu, B., & Gao, D. (2024). Organized scientific research in universities: Connotation, challenges, and solutions. *Science and Technology Progress and Policy*, 41(16), 150-160. <https://url.in.th/GtzGX> [in Chinese]
- Zhao, S., & Li, J. (2022). Impact of innovation network on regional innovation performance: Do network density, network openness and network strength have any influence? *Journal of Science and Technology Policy Management*, 14(5), 982-995. <https://doi.org/10.1108/jstpm-05-2022-0084>
- Zhou, M., Ma, S., & Kou, Z. (2019). R&D expenditure, spillover pool, and patent applications: An empirical study based on Chinese industrial listed companies. *R&D Management*, 31(2), 121-132. <https://doi.org/10.13581/j.cnki.rdm.2019.02.012> [in Chinese]



Name and Surname: Haidong Sun

Highest Education: Doctoral Candidate

Affiliation: Thai-Chinese International School of Management (TCISM),
University of the Thai Chamber of Commerce, Thailand

Field of Expertise: Leadership Science and Organizational Behavior



Name and Surname: Xuan Zhu

Highest Education: Doctoral Candidate

Affiliation: Thai-Chinese International School of Management (TCISM),
University of the Thai Chamber of Commerce, Thailand

Field of Expertise: Education Management and Vocational Education