

研究论文

中美基础 Research 创新韧性的特征事实、地区差异及动态演进

马铭晨¹, 吕拉昌^{1,2*}

摘要 基于 2002—2022 年 Web of Science 论文数据, 界定基础研究创新韧性概念, 运用核心变量法测度中国和美国基础研究创新韧性, 并借助 Dagum 基尼系数和核密度分析探讨其特征、地区差异及动态演变。研究发现: 美国基础研究创新韧性呈下降趋势, 而中国相对平稳且总体更强; 在金融危机和新冠肺炎疫情冲击下, 美国各区域韧性分布较均衡, 中国区域差异较大, 且随时间推移, 美国抵抗力和恢复力均下降, 中国抵抗力上升但恢复力下降, 中国抵抗力与恢复力显著正相关, 美国则无明显相关性; 美国主要区域论文发表较均衡, 中国则呈极化趋势, 且在不同冲击下, 两国主要区域韧性表现各异; Dagum 基尼系数显示, 中美基础研究创新韧性综合差距扩大, 抵抗期主要源于国内差异, 恢复期则由中美间差异主导; Kernel 密度估计表明, 美国韧性降低且州间差异扩大, 抵抗期呈现两极分化趋势, 恢复期趋于一致但集中在低水平; 中国韧性高于美国, 省间差异减小, 低水平地区比例降低。

关键词 基础研究创新韧性; 特征事实; 地区差异; 动态演进

中国和美国竞争从贸易战转向科技战, 基础研究作为科技创新源头, 成为双方博弈关键, 对两国发展意义重大。关键技术受限, 让中国学界和产业界意识到强化基础研究的紧迫性与战略意义。当下, 中国全力推进基础研究, 争取突破关键领域, 降低技术依赖, 保障科技安全, 助力产业升级, 拓展国际话语权。美国凭借顶尖科研集群和高校体系, 构建强大的基础研究生态, 在前沿领域领先, 其成果推动经济与国防发展。基础研究在中美两国的国家发展、科技进步、产业革新和安全保障等关键领域均发挥基础性和引领性作用, 是争夺世界科技制高点的核心动力。

中国高度重视基础研究, 习近平总书记指出, “基

础研究是整个科学体系的源头, 是所有技术问题的总机关”^[1]。通过实施国家科技重大专项、重点研发计划、自然科学基金等科技计划, 以及优化国家科技创新基地、组建国家实验室等举措, 持续加大基础研究投入。自 2020 年起, 基础研究占全社会研发投入比例连续 4 年超 6%, 经费从 2022 年首次突破 2000 亿元人民币增至 2023 年的 2212 亿元人民币。为应对全球科技竞争, 中国出台《基础研究十年行动计划(2021—2030 年)》《国务院关于全面加强基础学科研究的意见》等政策, 系统部署基础研究发展。同时, 推进科研项目和资金管理改革, 赋予高校和研究所更多自主权, 完善科技评价和激励机制, 消除体制障碍, 释放基础研究潜力。美国作为科技强国, 同样高度重视基础研究, 通过增加国立科研机构拨款、引导企业投入等方式持续强化。其基础研究经费从 2020 年的

1. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048

2. 首都师范大学北京城市创新与发展研究中心, 北京 100048

收稿日期: 2024-03-04; 修回日期: 2025-04-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(41971201)

作者简介: 马铭晨, 博士研究生, 研究方向为创新地理和区域发展, 电子信箱: mmc13171314385@163.com; 吕拉昌(通信作者), 教授, 研究方向为创新地理、城市地理与区域发展, 电子信箱: lachanglu@163.com

引用格式: 马铭晨, 吕拉昌. 中美基础研究创新韧性的特征事实、地区差异及动态演进[J]. 科技导报, 2025, 43(8): 88-99; doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2024.04.00423

1086 亿美元增至 2021 年的 1182 亿美元, 2023 年达 1400 亿美元, 占研发投入比例超 14%^[2-3]。在新一轮全球科技竞争中, 美国试图通过基础研究优势保持领先地位。此前拜登政府通过《2021 美国创新和竞争力法案》《2022 美国竞争法案》等政策, 强调整合全创新链条, 将完善基础研究体系作为优先事项^[4-5]。在百年未有之大变局下, 中国和美国均面临复杂多变的国际环境, 不确定性和不可预测性显著增加, 给基础研究稳定性带来严峻挑战。新形势下, 国家发展对源头创新提出更高要求, 全面加强基础研究、提升原始创新能力, 是应对风险、构建长期发展优势的关键^[6]。因此, 如何应对外部冲击, 稳定基础研究创新生态系统, 保持可持续发展, 成为中国亟待解决的现实问题^[7]。

韧性研究为解决这一问题提供了新的视角。韧性理论强调系统抵御、平衡和优化外部冲击的能力, 促进系统进化^[8]。基础研究具有长期性和不确定性, 其可持续性关键在于创新系统在面临风险和不确定性冲击时的抵抗、恢复和演化能力, 这与韧性理论高度契合。因此, 引入基础研究创新韧性这一概念, 具有重要的理论和实践意义。学术界对基础研究创新韧性开展了大量研究。

一方面, 学者对基础研究、基础研究生态系统和韧性的内涵进行了深入探讨。基础研究是不受国家边界和现实应用干扰、以探索科学原理为目标的科研活动, 具有灵感突发、路径不确定和结果不可预测的特点, 是推动知识前沿和提升原始创新能力的关键^[9-10]。基础研究生态系统是由基础研究主体和相关环境要素组成的复杂开放系统, 具有复杂性、自组织演化、可控性和边界模糊性^[11]。韧性理论最初指材料的变形恢复能力, 后被引申为系统抵御和恢复外部冲击的能力, 广泛应用于生态学、社会系统等领域^[12-14]。Martin 等^[15]从抵抗力、恢复力、适应力和更新力 4 个方面对韧性进行了界定, 此后相关研究多围绕这 4 个方面展开。研究人员将韧性概念引入创新研究领域, 围绕“创新韧性”展开广泛探讨。梁林等^[16]指出, 创新系统在外冲击下通过自学习和自调整, 优化系统要素并提升创新投入产出比。胡甲滨等^[17]将其定义为创新系统抵御外部冲击并保持稳定、适应、恢复, 甚至进化的能力。范建红等^[18]强调创新韧性是动态演进和自我调整的过程, 需具备识别力、应对力、恢复力和

更新力。目前, 学术界尚未对基础研究创新韧性进行明确定义。借鉴相关研究, 将基础研究创新韧性定义为: 在一定时空范围内, 基础研究在面临外部各种不确定性、干扰、挑战和挫折时, 其创新主体(包括研究人员、研究机构等)能够借助创新环境(涵盖政策、资金、设施、学术氛围等要素)所提供的条件, 以适应性、灵活性和创造性的方式应对, 保持稳定运行, 并持续推进知识探索和科学原理发现的能力。基础研究创新韧性是动态属性, 受冲击时或冲击后才显现。外部冲击对创新系统影响有 3 种情况(图 1)。创新系统强大时, 冲击仅短期缓速, 对地区创新活力影响小, 韧性难显。系统脆弱时, 外部扰动会造成毁灭性打击, 大幅延缓创新。韧性良好地区受冲击后能找到更优新增长路径, 韧性差的地区则可能一蹶不振, 长期难寻新动力。

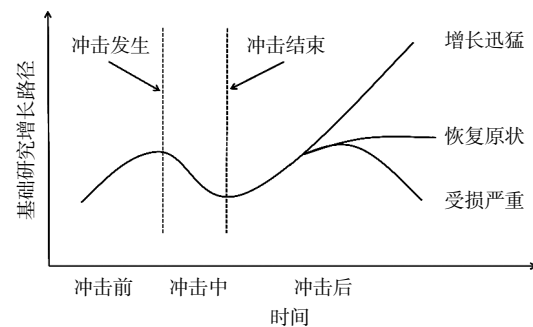


图 1 基础研究创新韧性增长路径

另一方面, 已有研究通过多种方法分析了中国和美国基础研究的差异, 揭示了两国在经费部门配置^[19]、高水平人才^[20]、基础研究研发经费^[21-22]方面的差距。研究发现, 美国基础研究经费部门配置呈现 σ 收敛特征, 不同部门间经费差异逐渐缩小, 而中国则不存在 σ 收敛, 部门间经费差异呈扩大趋势。在高水平人才方面, 2014—2019 年, 美国在交叉学科领域基础研究人才占比为 45.6%, 拥有 3973 位高水平人才, 而中国占比为 37.2%, 仅有 924 位, 差距明显。经费投入方面, 基于《中国科技统计年鉴》和美国国家科学基金会数据, 中国基础研究经费投入由 2012 年的 498.8 亿元人民币增至 2022 年的 1817 亿元人民币, 年均增长率达 13.41%; 美国由 2012 年的 734.1 亿美元增加至 2022 年的 1771.2 亿美元, 年均增长率为 9.17%, 但美国基础研究经费占研发投入比例高达 17.2%, 是中国的近 3 倍。此外, 美国企业在基础研究中的参与度较

高,而中国基础研究经费主要依赖中央财政,企业和社会资本投入不足。在基础研究资金来源上,美国构建了多元投入机制,联邦政府、企业、非营利组织和州政府投入稳定,私人非营利机构发挥独特作用^[23]。相比之下,中国基础研究经费来源单一且不均衡^[24]。这些研究为理解基础研究创新韧性提供了理论基础,也为分析中美基础研究差距提供了重要参考。

然而,现有研究仍存在一些不足。首先,基础研究创新韧性的内涵和测算方法仍在探索阶段,尚未形成统一的定义和科学的测度体系。其次,现有研究多聚焦于某一外部冲击对特定区域系统的影响,缺乏对国家整体基础研究创新韧性的长期分析,且宏观数据时间跨度较短,难以全面考察韧性的动态演进规律。此外,尽管已有研究揭示了中国和美国基础研究的多维差距,但尚未从韧性角度系统分析两国基础研究创新韧性的时空差异和动态演进特征,缺乏对国家层面基础研究创新韧性的比较分析。鉴于此,为系统研究中美基础研究创新韧性,弥补现有研究的不足,本文将厘清基础研究创新韧性的内涵,提出科学的测算方法,并以全球金融危机和新冠肺炎疫情为切入点,延长研究时间跨度至 20 年,全面分析中美基础研究创新韧性的抵抗力和恢复力,同时综合运用 Dagum 基尼系数、核密度分析等方法,对比分析中美基础研究创新韧性的时空差异和动态演进规律,为理解中美基础研究差距提供新的视角。

1 研究设计

1.1 基础研究创新韧性的测度

基础研究创新韧性的测量可借鉴经济韧性和创新韧性的方法。将中国和美国基础研究创新韧性归纳为抵抗力和恢复力^[25]。抵抗力指基础研究在面对内外部挑战时维持创新进程的能力,包括解决内部问题、应对外部干扰及保护创新成果。恢复力指基础研究在遭受重大挫折后迅速恢复,甚至超越原有水平的能力,包括资源重组、知识更新、团队协作调整和获取外部支持。学术界通常使用专利授权量、专利申请量、新产品销售收入、核心期刊论文数量等指标评估创新水平^[26]。然而,专利数量可能忽视成本和保密需求,且中美在衡量新产品销售收入的方法上存在差

异。因此,本研究参考柳卸林^[27]的研究,选择论文数量作为衡量指标,因其在评估基础研究创新能力方面重要且数据可得性高。在计量方法上,借鉴 Martin 等^[28]的思路构建反事实函数。

区域预期创新增量计算公式如下

$$(\Delta Y_i)^{\text{预期}} = \left(\frac{Y_r^{t+k} - Y_r^t}{Y_r^t} \right) \times Y_i^t \quad (1)$$

式中, $(\Delta Y_i)^{\text{预期}}$ 为区域 i 预期论文增量; Y_i^t 为区域 i 在 t 时间的实际论文总量; Y_r^t 与 Y_r^{t+k} 为国家 r 在时间 t 、 $t+k$ 的实际论文总量。

抵抗力指数计算公式如下

$$\text{resistance}_i = \frac{(\Delta Y_i^{\text{抵抗}}) - (\Delta Y_i^{\text{抵抗}})^{\text{预期}}}{|(\Delta Y_i^{\text{抵抗}})^{\text{预期}}|} \quad (2)$$

式中, resistance_i 为区域 i 的抵抗力指数; $\Delta Y_i^{\text{抵抗}}$ 为区域 i 在抵抗期内的实际论文增量; $(\Delta Y_i^{\text{抵抗}})^{\text{预期}}$ 为区域 i 在抵抗期内的预期论文增量。抵抗力指数大于 0, 表明区域在应对外部冲击时的抵抗能力高于国家整体水平; 抵抗力指数小于 0, 表明区域在应对外部冲击时的抵抗能力低于国家整体水平。

恢复力指数计算公式如下

$$\text{recoverability}_i = \frac{(\Delta Y_i^{\text{恢复}}) - (\Delta Y_i^{\text{恢复}})^{\text{预期}}}{|(\Delta Y_i^{\text{恢复}})^{\text{预期}}|} \quad (3)$$

式中, recoverability_i 为区域 i 的恢复力指数; $\Delta Y_i^{\text{恢复}}$ 为区域 i 在恢复期内的实际论文增量; $(\Delta Y_i^{\text{恢复}})^{\text{预期}}$ 为区域 i 在恢复期内的预期论文增量。恢复力指数大于 0, 表明冲击之后区域创新恢复能力高于国家整体水平; 恢复力指数小于 0, 表明冲击之后区域创新恢复能力低于国家整体水平。

1.2 基础研究创新波动周期的划分

为准确评估中美基础研究创新韧性, 首先需划定基础研究运行的周期边界, 以确定冲击影响下的抵抗和恢复区间。现有研究在抵抗期和恢复期的划分上缺乏统一标准, 多依据核心变量变化特征直接划分, 主观性较强^[29]。为避免因特定冲击导致区域韧性缺乏可比性, 以 2002—2022 年为研究区间, 基于中国和美国两国论文数及其相对变化率的年度数据, 采用峰值法划分 20 年间的创新周期性波动, 从而更准确地反映创新发展的长期扰动和韧性。

从图 2 可以看出, 近 20 年来, 中国和美国论文发表量均呈递增趋势, 但中国增速更快。2002 年美国论

文量是中国的 6 倍,中国于 2018 年首次超越美国,到 2022 年达到美国的 1.5 倍。从论文同比增速看,中国和美国自 2002 年以来均经历了 2 次较大幅度回落:第 1 次是 2007—2008 年全球金融危机导致科技投资和研发支出降低,抑制了创新发展;第 2 次是 2019 年新冠肺炎疫情暴发,许多研究机构暂停运营,影响论文产出周期。

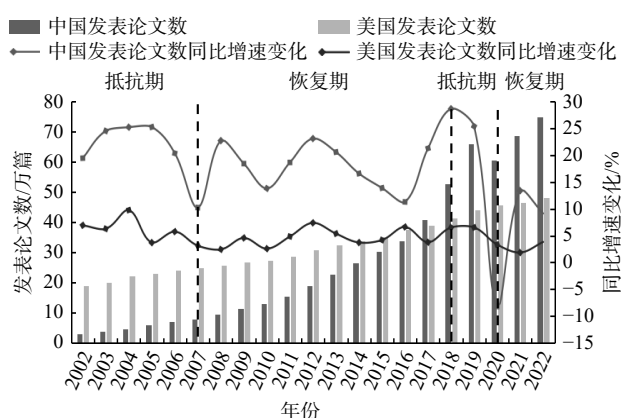


图2 2002—2022 年中国和美国论文数及相对变化率

基于上述分析,划定 2002—2018 年和 2018—2022 年为 2 个创新周期。其中,2002—2007 年为金融危机冲击的抵抗期,2007—2018 年为恢复期;2018—2020 年为新冠肺炎疫情冲击的抵抗期,2020—2021 年为恢复期,该划分方法与魏峰等^[30]的研究一致。

1.3 Dagum 基尼系数及其分解方法

Dagum 基尼系数在研究社会经济领域的不平等和不平衡方面具有明显的优势。与其他测量方法相比,Dagum 基尼系数不仅可以分解区域差异的来源,而且还可以解决区域间的样本交叉问题,能够准确地确定区域间差距对整体差距的贡献^[31]。因此,采用 Dagum 基尼系数刻画中美基础研究创新韧性的差距。Dagum 基尼系数定义如下

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2\mu} \quad (4)$$

式中, y_{ji} 是 j 国家内 i 省份(州)的创新韧性; y_{hr} 是 h 国家内 r 省份(州)的创新韧性; n 为省份(州)的个数; μ 为所有省份(州)创新韧性的平均值; k 为国家个数,本文为 2 个; n_j 是 j 国家内省份(州)个数; n_h 是 h 国家内省份(州)个数。

Dagum 基尼系数可以分解为 3 部分,分别是区域内贡献差别(G_w)、区域间贡献差别(G_{nb}),以及超变密度贡献(G_t),即 $G = G_w + G_{nb} + G_t$ 。

国家 j 内部的基础研究创新韧性差距(G_{jj})、区域内贡献差别(G_w)为

$$G_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}|}{2\mu_j n_j^2} \quad (5)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (6)$$

国家 j 和 h 之间的基础研究创新韧性差距(G_{jh})、区域间净差距的贡献(G_{nb})的公式为

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j n_h (\mu_i + \mu_h)} \quad (7)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (8)$$

超变密度的贡献(G_t)为

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (9)$$

式中, $p_j = n_j/n$, $s_j = n_j \mu_j / n \mu$, D_{jh} 为国家 j 和 h 之间创新韧性的相对影响。

1.4 Kernel 密度估计方法

Kernel 估计(Kernel density estimation)作为一种非参数估计方法,能够对样本数据进行拟合,用连续密度曲线描述研究对象属性值的分布位置、形态、延展性以及极化趋势,在应用过程中具有稳健性强和模型依赖性弱等优点,现已成为研究各地区发展非均衡分布问题的常规方法。假设随机变量 X 的密度函数为 $f(x)$,在点 x 的密度函数由式(10)进行估计。选择高斯核函数估计中美基础研究创新韧性的空间分布及动态演进,如式(11)所示

$$f(x) = \left(\frac{1}{Nh} \right) \sum_{i=1}^N K \left[\frac{(X_i - \bar{X})}{h} \right] \quad (10)$$

$$K(x) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right) \quad (11)$$

式中, N 为观察值个数, X_i 为独立同分布的观测值, $\bar{X}$ 为均值, h 为带宽, $K(\cdot)$ 为核函数。

1.5 样本与数据说明

Web of Science(WoS)收录了全球超过 13000 种

高影响力的学术期刊,涵盖 SCIE(科学引文索引)、SSCI(社会科学引文索引)和 A&HCI(艺术与人文科学引文索引)3 大引文数据库,是覆盖学科最多的综合性学术信息资源。其中,SCIE 收录的论文数量和质量常被用作衡量国家基础科学研究竞争力和地位的重要标准。选择 WoS 核心收录数据库,检索 2002 年初至 2022 年底中国和美国的论文数据。检索式为:(1)“Year of publication=2002—2022”;(2)“Address=Province/State Name”。数据收集截至 2023 年 6 月 1 日。删除中国和美国合著论文后,获得中国 5928391 条和美国 5623438 条有效数据。需要注意的是,这种检索方式可能存在局限性。部分期刊对作者地址信息的要求存在差异,可能导致省/州信息不完整,从而遗漏部分数据。然而,这并非作者的错误,而是数据库收录的问题。本研究的重点是比较中国和美国基础研究创新韧性的长期趋势和动态变化,而非精确计算某一年度的具体数值。因此,即使部分数据存在遗漏,也不会对整体趋势和相对比较结果产生实质性影响。此外,在韧性核算中可能出现负数,而本文仅研究相对韧性大小。因此,在计算 Dagum 基尼系数时,采取加正数并取对数的方式进行预处理,以确保数据的合理性和分析的准确性。

2 实证分析

本研究实证分析聚焦于 3 方面:一是基于创新周期划分,从国家尺度测算并比较中美基础研究创新韧性的均值、时间演变特征及其抵抗力与恢复力的相关性;二是从区域尺度对比中美主要区域的论文发表数量与基础研究创新韧性;三是运用 Dagum 基尼系数及其分解方法,细化分析国家间、国家内及超变密度的差异来源,提升测量的准确性和科学性;四是借助 Kernel 密度估计法定量测度中美基础研究创新韧性的绝对差异及动态演变,为相关研究提供经验证据。

2.1 基础研究创新韧性的特征事实

基于抵抗期与恢复期划分,运用式(2)和式(3)计算了 2002 年 1 月至 2022 年 12 月中美基础研究创新韧性。结果显示,美国的 50 个州在 4 个时期的韧性均值依次为 0.178、-0.083、-0.209 和 -2.426,呈大幅下滑趋势;而中国的 31 个省份在 4 个时期的韧性均

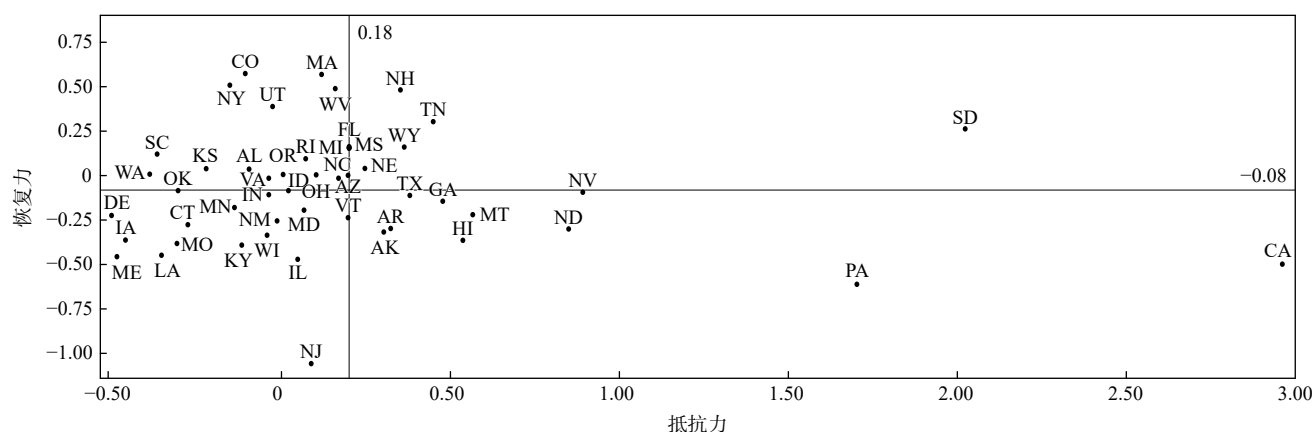
值分别为 0.644、0.808、0.822 和 0.400,仅在第 4 个时期(2020—2022 年)出现下滑,且研究期内均值均大于 0。这表明中国基础研究创新韧性整体发展平稳,稳定性较高,且平均水平高于美国。结合两国当前的经济形势、政策举措、科研管理体制及人才流动等背景,上述数据反映出以下现实问题:美国方面,金融危机期间,金融动荡导致企业与私人投资者大幅削减基础研究资助,尤其回避长期、高风险项目。政府也因财政压力减少经费支持^[32],部分高校和科研机构因资金不足暂停或延缓前沿课题研究。恢复期虽有政府刺激经济和扶持基础研究的举措,但企业对基础研究投入依然谨慎,偏向短期收益的应用研究,导致净投资率下滑,技术扩散放缓^[33]。新冠肺炎疫情进一步冲击了科研人员的工作环境,实验室关停、项目停摆或延迟,企业盈利下滑导致投入减少,政府虽增加公共卫生研究投入,但整体支持力度不足。恢复期,防疫政策与居民行为变化加剧了疫情对劳动力和经济的冲击,企业对基础研究投入依旧谨慎,政府支持面临困境,新冠肺炎疫情累积的项目积压和人才流失问题,进一步削弱了基础研究的恢复力。总体来看,美国基础研究创新面临资金投入波动剧烈、科研机构协同松散、人才流失严重、政策制定与实施迟滞且精准性和实效性不足等困境。

反观中国,国际金融危机后,中国经济迅速崛起^[34],政府积极施策稳经济、夯基础研究。政府增加科研经费、推出创新激励政策,强力支持研究推进^[35]。国家自然科学基金资助加码,企业也加大研发投入,华为技术有限公司、阿里巴巴集团控股有限公司等企业在信息技术、人工智能等领域深耕基础研究,携手高校、科研机构共促创新。恢复力层面,经济回暖之际,政府优化科技投入架构,提升基础研究占比,强化基础研究平台建设,产学研合作升温,加速成果转化落地。新冠肺炎疫情抵抗期,中国迅速聚集科研力量攻坚抗疫基础研究,政府紧急启动系列项目,科研人员在病毒溯源、疫苗研发、药物筛选等领域取得显著成果,其他领域如量子信息、新材料等基础研究稳步推进。新冠肺炎疫情恢复期,疫情虽得到控制,但经济形势仍复杂,基础研究面临资金增速放缓、人才竞争激化等挑战。总体来看,中国基础研究在危机中展现出较强韧性,但资金、人才难题亟待破解。

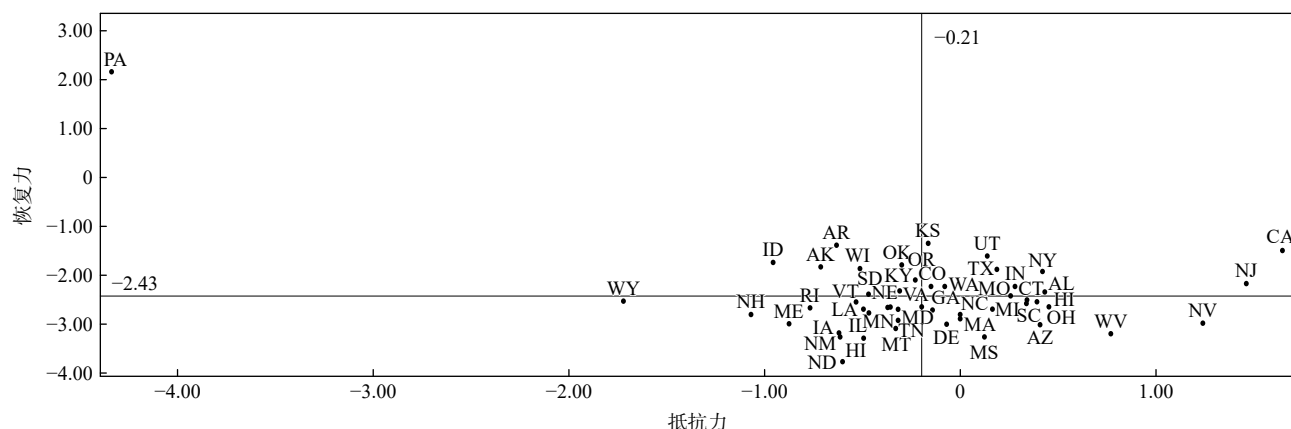
绘制两国基础研究创新韧性在 2 个周期内散点图,分析其时间演变特征。图 3 中,水平和垂直的实线分别代表抵抗力和恢复力平均水平,将图划分为 4 个区域。美国在第 1 个周期内,位于第 1 象限(高抵抗力和高恢复力)的区域有 7 个,占比 14%;到第 2 个周期,增加到 10 个,占比 20%。在其他象限中,具有较强抵抗力(第 4 象限)的区域从 16 个(32%)减少到 9 个(18%),而具有较强恢复力(第 2 象限)的区域从 10 个(20%)增加到 15 个(30%)。2 个周期内这 2 类区域总数量均为 25 个,占比 50%。此外,低韧性区域(第 3 象限)在第 1 个周期有 18 个(36%),在第 2 个周期减少到 15 个(30%)。从指数看,美国在第 1 个周期的抵抗力和恢复力均值分别为 0.18 和 -0.08,到第 2 个周期分别下降至 -0.21 和 -2.43,表明其抵抗力和恢复力在第 2 个周期显著减弱。中国在第 2 个周期内高韧性区域有 6 个,占比 19%,到第 2 个周期增加至 11 个,占比 35%。仅表现出较强抵抗力的区域从第 1 个周期的 6 个(19%)增加到第 2 个周期的 8 个

(26%)。仅具有较强恢复力的区域从第 1 个周期的 5 个(16%)大幅减少到第 2 个周期的 2 个(6%)。低韧性区域从第 1 个周期的 14 个(45%)减少到第 2 个周期的 10 个(32%)。对比 2 个周期均值,中国抵抗力从 0.64 上升至 0.82,但恢复力从 0.81 下降至 0.40。

相比较而言,在 2 个周期内,美国基础研究创新韧性在 4 个象限内分布较为均衡,第 1 象限区域占比相对较少,反映出其在重大危机面前缺乏足够数量的高韧性核心区域来引领整体发展。相比之下,中国的基础研究创新韧性集中分布于第 1 和第 3 象限,且第 3 象限占比较大,显示出显著的区域差异。第 1 象限的区域展现出强大的抵抗力和恢复力,为国家基础研究提供了重要支撑;而第 3 象限的区域则面临较大挑战,亟需加大投入与支持力度以提升基础研究实力。从时间演变来看,美国第 1 和第 2 象限区域占比提升,第 3 和第 4 象限区域占比下降,但其抵抗力和恢复力均值整体呈下降趋势,这种变化可能不足以扭转其基础研究创新面临的困境。而中国抵抗力均值上



(a) 抵抗期(2002—2007年)、恢复期(2007—2018年)



(b) 抵抗期(2018—2020年)、恢复期(2020—2022年)

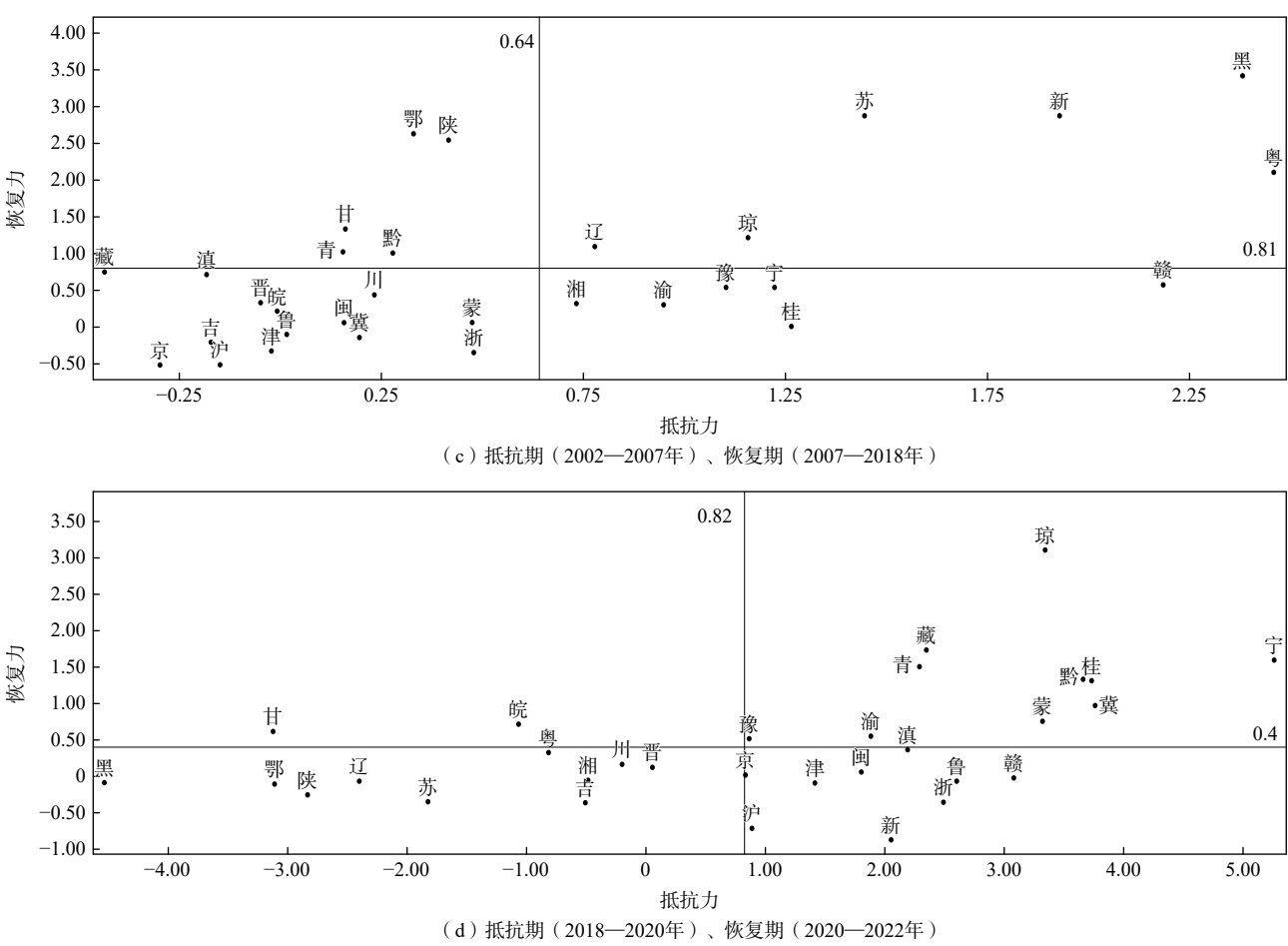


图3 2002—2022年2个周期的中国和美国创新抵抗力和恢复力(续图)

图中美国的50个州的英文缩写如下:亚拉巴马州(AL);阿拉斯加州(AK);亚利桑那州(AZ);阿肯色州(AR);加利福尼亚州(CA);科罗拉多州(CO);康涅狄格州(CT);特拉华州(DE);佛罗里达州(FL);佐治亚州(GA);夏威夷州(HI);爱达荷州(ID);伊利诺伊州(IL);印第安纳州(IN);艾奥瓦州(IA);堪萨斯州(KS);肯塔基州(KY);路易斯安那州(LA);缅因州(ME);马里兰州(MD);马萨诸塞州(MA);密歇根州(MI);明尼苏达州(MN);密西西比州(MS);密苏里州(MO);蒙大拿州(MT);内布拉斯加州(NE);内华达州(NV);新罕布什尔州(NH);新泽西州(NJ);新墨西哥州(NM);纽约州(NY);北卡罗来纳州(NC);北达科他州(ND);俄亥俄州(OH);俄克拉何马州(OK);俄勒冈州(OR);宾夕法尼亚州(PA);罗德岛州(RI);南卡罗来纳州(SC);南达科他州(SD);田纳西州(TN);得克萨斯州(TX);犹他州(UT);佛蒙特州(VT);弗吉尼亚州(VA);华盛顿州(WA);西弗吉尼亚州(WV);威斯康星州(WI);怀俄明州(WY)。中国的31个省级行政区的简称如下:北京市(京);天津市(津);河北省(冀);山西省(晋);内蒙古自治区(蒙);辽宁省(辽);吉林省(吉);黑龙江省(黑);上海市(沪);江苏省(苏);浙江省(浙);安徽省(皖);福建省(闽);江西省(赣);山东省(鲁);河南省(豫);湖北省(鄂);湖南省(湘);广东省(粤);广西壮族自治区(桂);海南省(琼);重庆市(渝);四川省(川);贵州省(黔);云南省(滇);西藏自治区(藏);陕西省(陕);甘肃省(甘);青海省(青);宁夏回族自治区(宁);新疆维吾尔自治区(新)

升,恢复力均值下降,第1和第4象限区域占比提升,第2和第3象限区域占比下降,整体发展趋势向好,但仍需关注第3象限占比较大的问题。

剖析两国基础研究创新韧性中抵抗力与恢复力的相关性(表1),结果显示:在2个周期内,美国基础研究创新韧性中抵抗力与恢复力的相关性不显著(表2),表明其基础研究创新体系内在连贯性与协同性不足。危机时,区域抵抗难以转化为恢复力,根源

在于其基础研究创新体系的结构性弊病,如区域科研资源分配不均、合作机制欠妥、政策执行不一等。这导致美国基础研究在应对危机时难以构建整体有效策略,各区域各自为政,无法实现资源优化配置与协同共进。相比之下,中国基础研究抵抗力与恢复力呈显著正相关。抵抗力强的区域在恢复期发展更佳,而抵抗力弱的区域恢复力也较弱。这一结果彰显了中国基础研究创新体系的内在活力与适应性。中国在基础

表 1 中国和美国抵抗力与恢复力的相关性

	2002—2007年抵抗力	2007—2018年恢复力	2018—2020年抵抗力	2020—2022年恢复力
2002—2007年抵抗力	1	—	—	—
2007—2018年恢复力	0.584 ^{**} (CN) -0.072(US)	1	—	—
2018—2020年抵抗力	-0.071(CN) -0.095(US)	-0.551 ^{**} (CN) 0.107(US)	1	—
2020—2022年恢复力	-0.041(CN) 0.310 [*] (US)	-0.106(CN) -0.486 ^{**} (US)	0.484 ^{**} (CN) -0.192(US)	1

注：***、**、* 分别表示在1%、5%、10%的水平上显著，CN表示中国，US表示美国。

研究创新规划和管理机制方面相对完善,能够高效协调区域间资源分配与合作。强抵抗力区域在危机中积累经验、汇聚资源,为后续恢复筑牢根基;弱抵抗力区域也能得到及时帮扶引导,提升创新与恢复能力。

由表 2 可知两国主要区域论文数与基础研究创新韧性对比情况。在美国,纽约州以 65.59 万篇发表量居首,占全美 9.69%,华盛顿州以 61.89 万篇、占比 9.14% 次之,前 5 个州发文量占全国 37.26%。美国主

要区域在 2 个周期内均表现为强抵抗力、弱恢复力,且第 2 周期创新韧性优于第 1 周期。在中国,北京市在过去 20 年以 130.35 万篇、占比 22.28% 领跑论文发表量,上海市以 72.31 万篇、占比 12.36% 居次,前 5 个省(市)贡献全国论文总数的 54.75%。中国主要区域在第 1 周期抵抗力与恢复力俱佳,但在第 2 周期显著下滑。

表 2 中国和美国主要区域基础研究创新韧性比较

中国 (省/市)	论文总量/ 万篇	比例/%	第1个周期		第2个周期		美国 (州)	论文总量/ 万篇	比例/%	第1个周期		第2个周期	
			抵抗力	恢复力	抵抗力	恢复力				抵抗力	恢复力	抵抗力	恢复力
北京市	130.35	22.28	-0.30	-0.51	0.83	0.02	纽约	65.59	9.69	-0.16	0.15	0.41	-1.92
上海市	72.31	12.36	-0.15	-0.51	0.89	-0.70	华盛顿	61.89	9.14	-0.39	0.01	-0.09	-2.25
江苏省	46.19	7.89	1.44	2.88	-1.83	-0.35	德克萨斯	60.08	8.87	0.35	-0.11	0.18	-1.90
广东省	35.78	6.12	2.46	2.11	-0.82	0.32	密歇根	33.34	4.92	0.21	0.09	0.16	-2.71
浙江省	35.68	6.10	0.48	-0.34	2.49	-0.35	佛罗里达	31.37	4.63	0.18	0.16	0.39	-2.56
基础研究创新韧性均值			0.79	0.73	-0.13	-0.21	基础研究创新韧性均值			0.46	0.06	0.74	-2.27

从论文发表均衡性看,美国相对均衡,而中国呈极化趋势。北京市的论文发表量不仅超过纽约州,占比还高出 12.59 个百分点。在第 1 周期,中国主要区域基础研究创新韧性优于美国,受金融危机冲击较小;第 2 周期,尽管美国主要区域抵抗力更强,但中国

恢复迅速,基础研究创新韧性仍不容小觑。

2.2 基础研究创新韧性的地区差异

对两国各区域的抵抗力指数与恢复力指数进行归一化处理,并计算 Dagum 指数(表 3)。基础研究创新韧性差距可分解为国家内部、国家间韧性差距及贡

表 3 中国和美国基础研究创新韧性基尼系数

时间段	指标	总体	国家内差距		国家间差距	贡献率/%		
			中国	美国		国家内	国家间	超变密度
2002—2018年	抵抗力	0.029	0.034	0.023	0.032	47.305	28.960	23.735
	恢复力	0.033	0.044	0.017	0.041	39.867	50.201	9.932
2018—2022年	抵抗力	0.090	0.129	0.045	0.112	40.449	14.992	44.558
	恢复力	0.129	0.036	0.080	0.196	25.055	73.696	1.249

献度 3 个方面。从时间趋势看,两国基础研究创新韧性综合差距持续增大。

在国家内部差距方面,美国 2 个周期内抵抗力基尼系数从 0.023 升至 0.045,恢复力基尼系数从 0.017 升至 0.080,其国内区域间抵抗力与恢复力差距显著扩大,且恢复力成为主导差异因素。中国在第 1 个周期,抵抗力和恢复力基尼系数分别为 0.034 和 0.044,恢复力差异更突出;进入第 2 个周期,抵抗力基尼系数升至 0.129,恢复力基尼系数降至 0.036,区域差异。

研究期内,两国国家间基础研究创新韧性差距从 0.032 扩大至 0.196,对国际科技格局影响深远。中国基础研究创新能力的提升使其在国际科技舞台上地位愈发重要。在抵抗期,两国差距主要源于国家内部差距,反映出两国应对危机时基础研究创新生态系统的稳定性和适应性存在差异。中国政府在抵抗期能迅速制定政策、协调资源,而美国因内部协调不足导致韧性差异较大。在恢复期,差距主要由国家间韧性差异导致,两国恢复能力与策略不同。中国通过加大投入、优化资源配置迅速恢复基础研究创新能力,而美国因政策调整滞后恢复较慢。超变密度对总效率差距的贡献度在抵抗期较大、恢复期较小且不稳定,介于 1%~24%。

2.3 基础研究创新韧性的动态演进

采用高斯核密度函数的非参数核密度法,选取 2 个周期的数据作为观测值,可估计两国基础研究创新韧性的动态演进轨迹、分布特征及地区绝对差异,其 Kernel 密度如图 4 所示。

图 4(b)展示了美国基础研究创新韧性的核密度。美国基础研究创新韧性均值较低,波峰效率值在 0 附近集聚,核密度函数整体呈现大幅左移趋势,尤其自 2018 年起更为明显,表明美国整体基础研究韧性水平下降,新冠肺炎疫情对其韧性水平产生冲击,恶化了总体韧性。从分布形态来看,主峰峰值先升后降,峰值宽度增加,显示美国各州基础研究创新韧性的绝对差异扩大。分布曲线存在拖尾现象,延展性先收敛后发散,2002—2007 年和 2020—2022 年有右拖尾,2018—2020 年有左拖尾,整体以“单峰”为主。在抵抗期呈现“多峰”分布,侧峰峰值较低;恢复期则为“单峰”分布,说明美国各州基础研究创新韧性在抵抗期两极分化,恢复期趋于一致且集中在低值附近。

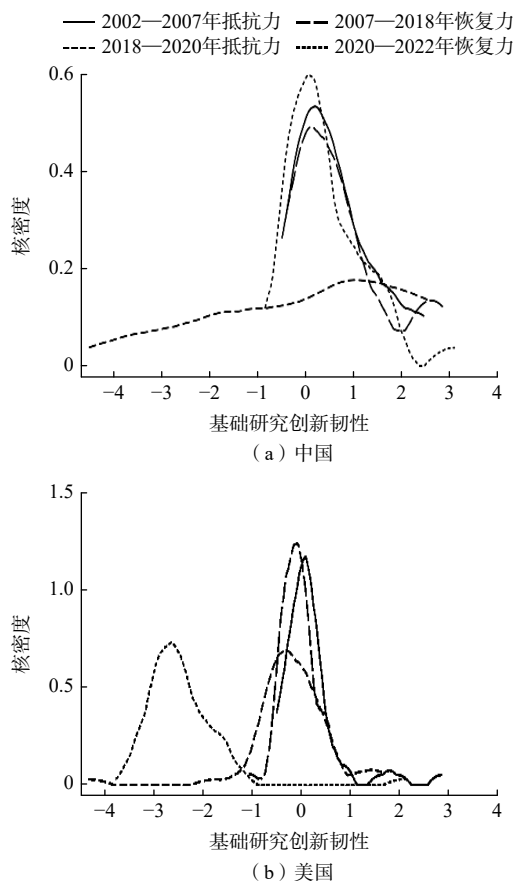


图 4 中国和美国基础研究创新韧性核密度图

这一变化受政策、经济、社会多因素驱动。政策层面,联邦政策的阶段导向差异与各州地方政策自主性,致使抵抗期基础研究创新资源分配失衡,部分州获援多、部分州匮乏,两极分化显著;恢复期政策倾向整体平衡,推动各州创新趋同。经济维度,抵抗期产业结构与发展水平不均,高科技、传统产业主导州的创新韧性差别大;恢复期经济变化引致企业调整投资,整体创新生态向低值靠拢。社会视角下,抵抗期人才流动聚集、文化差异与政治极化加剧各州创新差异;恢复期社会环境改善,人才分布均衡、合作文化兴起、政治极化影响弱化,协同促使各州基础研究创新韧性向低值趋同发展。根据图 4(a),在样本期内,中国基础研究创新韧性均值较高,波峰效率值均大于 0。与美国类似,核密度曲线整体稍向左移,但 2018—2020 年波峰对应的基础研究创新韧性水平显著增大,表明中国在新冠肺炎疫情冲击下展现出强大抵抗能力。从垂直方向看,峰值呈“下降—上升”趋势,波峰高度增加、宽度减少,意味着各省份基础研究创新韧性水平差异减小。中国核密度曲线多数年份呈右拖

尾特征,仅2018—2020年抵抗期出现左拖尾,右侧上浮,表明低水平韧性地区占比下降,整体韧性提升。这一现象可归因于多维度因素。政策层面,国家将基础研究纳入创新驱动发展战略,出台区域协调发展政策,各省份积极响应并制定支持政策,推动基础研究创新与合作。经济方面,中国经济持续增长提供物质支撑,经济结构调整促使各省份重视基础研究,区域协同发展促进资源流动共享。社会因素中,教育水平提升培育大量人才,社会创新氛围激励各省份积极创新,国际合作加强提升基础研究水平。这些因素共同推动中国基础研究创新韧性持续增强。综合图4(a)和(b)可见,美国基础研究创新韧性均值较低且呈下降趋势,而中国均值较高且韧性较强,中美基础研究创新韧性差异在扩大,与前述结论一致。

3 研究结论

以中国和美国为研究对象,基于2002—2022年Web of Science数据库的论文发表数,将研究期划分为金融危机抵抗期、金融危机恢复期、新冠肺炎疫情抵抗期和新冠肺炎疫情恢复期,利用反事实函数测度两国基础研究创新韧性,并采用Dagum基尼系数和核密度分析对其现实特征、地区差异和动态演变进行比较分析,主要结论如下。

1) 基础研究创新韧性概念界定。基础研究创新韧性是指在一定时空范围内,基础研究在面临外部各种不确定性、干扰、挑战和挫折时,其创新主体(研究人员、研究机构等)能够借助创新环境(政策、资金、设施、学术氛围等要素)所提供的条件,以适应性、灵活性和创造性的方式应对,保持稳定运行,并持续推进知识探索和科学原理发现的能力。本文采用基于创新周期的核心变量法,考察两国基础研究的增长路径及韧性表现,使基础研究创新韧性测度成为可能。

2) 国家尺度分析,两国基础研究创新韧性整体差异显著。美国基础研究创新韧性均值较低,多数年份呈负数且有较大幅度下滑;中国则均值大于0且发展相对平稳。在金融危机和新冠肺炎疫情冲击下,美国各区域韧性等级分布相对均衡,而中国主要集中在强抵抗力强恢复力和弱抵抗力弱恢复力区域。从时间演变来看,美国的抵抗力和恢复力均值呈下降趋势,

第1和第2象限区域占比增加,第3和第4象限区域占比减少;中国抵抗力均值上升,恢复力均值下降,第1和第4象限区域占比增加,第2和第3象限区域占比减少。中国在2个周期内韧性更强,尤其在恢复力方面。美国各区域的抵抗力与恢复力相关性不显著,而中国两者呈显著正相关。

3) 主要区域分析。美国主要区域论文发表相对均衡,而中国主要区域论文发表呈现极化趋势,前5个省份贡献全国论文总数的1/2。在金融危机期间,中国主要区域韧性明显强于美国;在新冠肺炎疫情期间,美国主要区域抵抗力更强,但中国主要区域恢复迅速,韧性不容小觑。

4) Dagum基尼系数分析。两国国家间基础研究创新韧性综合差距逐渐扩大。抵抗期差距主要源自国家内部韧性差异,恢复期则主要由国家间韧性差异导致。

5) Kernel密度估计。美国基础研究创新韧性降低,各州绝对差异扩大,抵抗期呈现两极分化,恢复期趋于一致且集中在低值附近。中国基础研究创新韧性总体均值高于美国,各省份韧性水平差异减小,抵抗期与恢复期低水平地区比例减少。

4 政策建议

针对中国基础研究创新韧性“恢复力较强但区域差异显著”的特征,结合研究结论与创新生态规律,从区域协同、应急响应、资源配置和生态构建4个维度提出以下政策建议。

1) 区域协同创新与均衡发展。制定差异化区域创新规划,明确东部为“创新极核”,中部为“创新枢纽”,西部为“特色增长极”,立足资源与地域特色开展创新活动。依托城市群搭建“跨区域韧性创新共同体”,构建从研发、转化到应用的完整链条式合作模式,促进区域间创新要素的流动与整合;大力推进全国科研基础设施与数据要素共享。搭建统一的共享平台,构建跨区域科研数据库,打破数据孤岛,消除省际数据流通障碍,为基于区域特色的跨学科研究提供有力数据支撑,逐步弥合硬件设施与数据资源方面的区域差距。

2) 应急与长期韧性支撑体系构建。设立专门的

应急预研专项, 汇聚各领域核心科学家团队, 聚焦自然灾害、公共卫生危机等可能冲击基础研究的关键领域, 提前开展风险预判与前瞻性研究, 形成常态化的风险预警能力。一旦突发危机, 迅速启用快速响应通道, 简化项目申报、审批流程, 确保科研资源能够在第一时间调配到位, 最大程度保障科研工作的即时响应效率。此外, 设立灾后科研重建基金, 对遭受严重冲击地区的科研团队与机构提供过渡性补贴, 主要用于补偿因危机导致的研究中断所产生的设备损耗、人员流失等损失, 助力其尽快恢复科研能力。

3) 资源配置效率优化。整合政府财政资金、社会资本、企业投入等多元资源, 设立专项资金, 重点扶持具有特色与发展潜力的学科建设。在资金使用方面, 允许一定比例的资金用于科研团队建设, 包括人才引进、团队培训等, 同时支持国际合作交流活动, 拓宽科研人员的国际视野, 提升科研团队的国际化水平。适当延长资助周期, 给予科研项目充足的时间沉淀, 保障研究工作的稳定性与持续性。

4) 适应性创新生态营造与全球协作网络搭建。科学布局“学科交叉韧性研究中心”, 以应对气候变化、公共卫生安全等复杂挑战, 鼓励多学科的深度融合。在成果评估中, 突出解决区域实际问题的基础理论突破, 引导科研工作紧密围绕区域发展需求开展, 提升基础研究对区域发展的实际贡献; 积极拓展国际合作网络, 与其他国家共建联合实验室。通过分享中国在跨区域科研协同方面的成功经验, 提升中国在国际基础研究领域的影响力, 将国际先进经验与做法转化为优化中国基础研究政策的参考依据, 推动中国基础研究创新韧性持续提升。

参考文献 (References)

- [1] 李仙娥, 李志成. 习近平关于科技创新重要论述的基本内容[J]. 党的文献, 2022(4): 43-50.
- [2] 王炼. 美国企业基础研究投入情况分析[J]. 全球科技经济瞭望, 2018, 33(增刊1): 59-64.
- [3] 金观平. 加大基础研究经费投入[N]. 经济日报, 2024-08-23(001).
- [4] US Government Publishing Office. United States innovation and competition act of 2021[EB/OL]. [2024-02-02]. <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/senate-bill/3548/text>.
- [5] The House Committee on Science, Space and Technology. The America COMPETES act of 2022 [EB/OL]. [2024-02-02]. <https://science.house.gov/americancompetes>.
- [6] 吕拉昌, 赵彩云, 冉丹, 等. 中国综合性国家科学中心研究进展与展望[J]. 科学管理研究, 2023, 41(1): 9-16.
- [7] 窦贤康. 推动基础研究高质量发展 为建设世界科技强国夯实根基[J]. 中国科学基金, 2023, 37(5): 709-712.
- [8] 李连刚, 张平宇, 谭俊涛, 等. 韧性概念演变与区域经济韧性研究进展[J]. 人文地理, 2019, 34(2): 1-7, 151.
- [9] Calvert L. 告别蓝色天空: 基础研究概念及其角色演变[M]. 冯艳飞, 译. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2007.
- [10] 李静海. 抓住机遇推进基础研究高质量发展[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(5): 586-596.
- [11] 周茜. 基础研究生态系统的概念、结构、特征与运行[J]. 中国科技论坛, 2022(2): 59-67.
- [12] Rice J B, Caniato F. Building a secure and resilience supply chain[J]. Supply Chain Management Review, 2003, 5(9): 22-30.
- [13] Holling C. Resilience and stability of ecological systems (1973)[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1973, 4(1): 1-23.
- [14] Adger W N. Social and ecological resilience: Are they related?[J]. Progress in Human Geography, 2000, 24(3): 347-364.
- [15] Martin R, Sunley P. On the notion of regional economic resilience: Conceptualization and explanation[J]. Journal of Economic Geography, 2015, 15(1): 1-42.
- [16] 梁林, 赵玉帛, 刘兵. 国家级新区创新生态系统韧性监测与预警研究[J]. 中国软科学, 2020(7): 92-111.
- [17] 胡甲滨, 俞立平, 洪金珠. 双循环背景下创新韧性对高技术产业发展影响研究[J]. 科研管理, 2023, 44(6): 51-61.
- [18] 范建红, 王冰, 闫乐, 等. 数字普惠金融对高技术制造业创新韧性的影响: 基于系统GMM与门槛效应的检验[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(17): 51-61.
- [19] 孟巧爽, 张博, 孙玉涛. 基础研究经费部门配置的收敛性: 中美比较[J]. 科学学研究, 2024, 42(8): 1666-1674.
- [20] 王超, 马铭, 许海云, 等. 中美高水平基础研究人才对比研究: 基于ESI高被引科学家数据分析[J]. 中国科技论坛, 2021(12): 169-181.
- [21] 康飞, 石义菲, 张涵, 等. 中美科技论文比较及资助研究[J]. 科技和产业, 2024, 24(14): 238-246.
- [22] 张乾, 王龙龙, 李士杰, 等. 中国基础研究投入现状研究[J]. 科技与创新, 2024(2): 167-170.
- [23] 张耘. 发达国家基础研究管理机制研究及启示[J]. 竞争情报, 2023, 19(5): 52-60.
- [24] 王海燕, 徐君言, 李玲娟. 基础研究经费投入现状与统计口径研究[J]. 科学学研究, 2023, 41(10): 1812-1821, 1832.

- [25] 杨珂凡, 李亨, 王志章. 产业多样化、技术创新与区域韧性[J]. 科学管理研究, 2024, 42(4): 53–63.
- [26] 胡甲滨, 俞立平. 创新韧性对高技术产业创新的影响机制与特征研究[J]. 科技进步与对策, 2022, 39(2): 49–59.
- [27] 柳卸林. 大企业如何通过基础研究实现突破性创新[J]. 人民论坛·学术前沿, 2023(9): 44–51.
- [28] Martin R, Sunley P, Gardiner B, et al. How regions react to recessions: Resilience and the role of economic structure[J]. *Regional Studies*, 2016, 50(4): 561–585.
- [29] Du Z W, Zhang H O, Ye Y Y, et al. Urban shrinkage and growth: Measurement and determinants of economic resilience in the Pearl River Delta[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(8): 1331–1345.
- [30] 魏峰, 殷文星. 中国经济韧性水平测度、时空演化与区域差异[J]. 统计与决策, 2023, 39(16): 85–90.
- [31] Dagum C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio[J]. *Empirical Economics*, 1997, 22(4): 515–531.
- [32] 范旭, 李瑞娇. 美国基础研究的特点分析及其对中国的启示[J]. 世界科技研究与发展, 2019, 41(6): 634–648.
- [33] 董昀, 张明, 郭强. 美国技术扩散速度放缓: 表现、成因及经济后果[J]. 经济学家, 2020(7): 119–128.
- [34] 肖鸢飞. 国际金融危机对中国的影响[J]. 理论视野, 2018(9): 38–41.
- [35] 姜群. 支持基础研究的财政政策: 实证分析与政策优化[D]. 南昌: 江西财经大学, 2019.

Characteristics, regional differences, and dynamic evolution of basic research innovation resilience in China and the United States

MA Mingchen¹, LÜ Lachang^{1,2*}

1. College of Resource Environment and Tourism, Capital Normal University, Beijing 100048, China

2. Beijing Research Center for Urban Innovation and Development, Capital Normal University, Beijing 100048, China

Abstract Amidst complex and severe internal and external shocks, China and the US have both recognized the importance of enhancing the resilience of basic research innovation. This paper defines the concept of resilience in basic research innovation and measures it for China and the US using the core variable method, based on Web of Science publication data from 2002 to 2022. It further explores the characteristics, regional differences, and dynamic evolution of this resilience using the Dagum Gini coefficient and kernel density analysis. Key findings include: the US experiencing a downward trend in resilience, while China's resilience remains relatively stable and stronger overall; the US showing a more balanced regional distribution of resilience under financial and pandemic shocks, whereas China exhibits greater regional disparities; the US witnessing declines in both resistance and recovery capabilities over time, while China sees an increase in resistance but a decrease in recovery capabilities, with a significant positive correlation between resistance and recovery in China, unlike in the US. Additionally, the US has a more balanced distribution of published papers across major regions, while China shows a polarized trend. The resilience performance of major regions in both countries varies under different shocks. The Dagum Gini coefficient indicates that the overall gap in resilience between China and the US is widening, driven by domestic differences during the resistance period and by inter-country differences during the recovery period. Kernel density estimates reveal that the US has declining resilience with increasing inter-state differences, polarization during the resistance period, and convergence towards lower levels during the recovery period. In contrast, China has higher resilience with decreasing inter-provincial differences and a reduced proportion of low-level regions.

Keywords innovation resilience of basic research; characteristic facts; regional differences; dynamic evolution ●



(责任编辑 王微)