

大国博弈下国际合作网络对学者科研绩效的影响： 来自材料科学领域的经验证据

顾露露^{1,2}, 韦佳嘉¹

(1. 中南财经政法大学金融学院, 湖北 武汉 430073;

2. 中南财经政法大学国际投资研究所, 湖北 武汉 430073)

摘要:随着世界一体化进程的加快, 国家创新体系开始向国际化方向迈进。但在大国博弈背景下, 地缘政治开始向科技政治时代转变。基于 2012—2021 年学者—文献—年维度的合作网络数据, 运用文献计量法、社会网络分析方法等分析材料科学领域中国学者国际科研合作网络结构, 实证检验国际合作网络广度、深度及强度对中国材料科学领域学者科研绩效的影响, 讨论中国学者关系资本的强弱、合作双方多维邻近性等对科研绩效影响的差异。研究发现: 国际合作网络对中国学者的科研绩效形成倒 U 型影响, 即先促进后抑制; 相较于强关系, 由弱关系构成的国际合作网络对学者科研绩效的作用更明显; 与强国学者合作有利于提升科研绩效。进一步分析发现扩大国际科研合作网络圈子对一区论文和顶刊发表有负面影响。国际深度合作和小范围、多频次合作更能提升科研绩效, 也暗示着在高精尖核心科技领域中国学者应建立充分科研自信, 开展自主创新。

关键词: 国际合作网络; 科研绩效; 社会网络分析; 关系资本; 多维邻近性

中图分类号: G304

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2024)11-0023-12

Influence of international cooperation network on scholars' research performance under the Great Power Game: Empirical evidence from the field of materials science

GU Lulu^{1,2}, WEI Jiajia¹

(1. School of Finance, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China;

2. International investment research institute, Wuhan 430073, China)

Abstract: With the acceleration of the world integration process, the national innovation system has also begun to move towards the direction of internationalization. However, in the context of great power game, geopolitics began to shift to the era of science and technology politics. Based on the researcher-document-year cooperation network data from 2012 to 2021, this paper analyzes the structure of the international research cooperation network of Chinese scholars in the field of materials science by using the bibliometric method and social network analysis methods, and empirically tests the influence of the breadth, depth and intensity of the international cooperation network on the research performance of

收稿日期: 2024-05-03 修回日期: 2024-10-06

基金项目: 国家自然科学基金面上项目“中美科技战与企业创新研究: 基于被制裁企业的国内供应商视角”(72172158)。

作者简介: 顾露露(1972—), 女, 湖北黄石人, 中南财经政法大学金融学院教授, 博士, 研究方向为国际合作、投资与技术创新、公司金融。

Chinese scholars in the field of materials science. The differences of the influence of the relationship capital of Chinese scholars, the multi-dimensional proximity of the partners and the quality of the results of international research cooperation on research performance are discussed. This paper finds that the international cooperation network has an inverted U-shaped effect on the research performance of Chinese scholars, that is, it first promotes and then inhibits; Compared with the strong relationship, the international cooperation network composed of the weak relationship has a more obvious effect on the research performance of scholars. Cooperation with scholars from powerful countries is conducive to improving research performance. However, the expansion of the international scientific research cooperation network circle has a negative impact on the publication of papers and top journals in the first region, and in-depth international cooperation and small-scope and multi-frequency cooperation can better improve scientific research performance, which also implies that Chinese scholars should establish full confidence in scientific research and carry out independent innovation in advanced core science and technology fields.

Key words: international cooperation network; research performance; social network analysis; relational capital; multidimensional proximity

国际科研合作在全球气候环境研究、新冠疫苗开发研究等领域起到了重要作用^[1],成为推动前沿科学的主导力量^[2]。然而,开放科学系统和国际合作研究挑战了西方发达国家保留“科学财富”的核心利益。大国博弈背景下,国际科研合作的发展及绩效问题受到了中外学者的关注^[3-4]。本文研究中国材料科学领域国际科研合作对学者科研绩效的影响及机制,对应对硬科技领域科研合作“逆全球化”的紧张局势、贯彻党的“二十大”提出的“高水平对外开放”政策、提升中国新质生产力具有十分重要的现实意义。

对社会网络分析(SNA)的研究多聚焦于国际科研合作网络的形成及其机制^[5]。以法国邻近动力学派为代表的研究认为多维邻近性,如地理邻近性、经济邻近性以及制度邻近性等是影响合作网络的重要机制^[6]。学者们认为国际科研合作有利于构建全球范围内的知识网络,是推动创新要素在世界范围内加速活动的关键^[7]。还有学者发现在全球范围内,科研合作网络具有小世界性、核心—边缘性和等级层次性,呈现出强国集聚与小国分散的双重特征^[8]。

一方面,现有研究显示国际合作网络格局依旧受“中心—边缘”等级秩序的影响^[9];另一方面,随着信息通讯与交通技术的不断发展,国际科研合作呈现出多元化趋势,地理、语言、社会邻近性对科研合作的约束作用在逐渐减弱^[10],国际科研合作网络的等级层次性逐渐降低,新兴国

家的科研网络影响力不断增强。如“一带一路”国家凭借独特的学科专长,成为我国重要的国际科研合作伙伴^[11]。但是这些研究并未进一步探讨基于邻近性所形成的国际科研合作关系对科研绩效的影响,没有实证检验影响程度及其动态变化。

基于组织网络关系的研究认为跨国贸易、投资网络对于组织创新存在显著正向提升作用^[12]。而基于个体网络关系的研究从关系资本角度讨论业缘(同事)、学缘(同门、校友)、地缘关系(同乡)和学者资源(院士、长江学者头衔)等维度合作网络的形成及作用^[13-14]。有的学者发现关系资本与科研绩效之间存在着非线性关系^[15]。但跨国合作网络中各节点禀赋、多维距离和信息差更大,跨国科研合作对国际政治、国际关系变化敏感。现有研究缺乏对国际合作网络结构形成及其决定性因素的探讨,也未深入分析大国博弈背景下国际合作网络对中国学者科研绩效的影响。跨国科研合作研究是促进还是抑制创新,以及对高质量创新成果的贡献是本文研究焦点。

综上所述,本文运用合作创新和社会网络理论分析框架,通过自建材料科学领域中国学者个人信息数据库,运用文献计量法和社会网络分析(SNA)实证检验学者国际合作网络对科研绩效的影响;在机制研究部分,本文深入探讨关系资本和多维邻近性对学者国际合作网络结构的影响,并比较了国际科研合作对高水平论文发表以及不同

细分研究领域的差异性影响,对中国学者开展国际科研合作提出了针对性的意见和建议,具有较强的理论和现实意义。

本文的创新点之一在于从学者维度研究国际科研合作网络结构决定因素及其演变,以及对科研绩效的影响。现有研究多以国家或组织维度构建国际科研合作网络,缺乏学者基于个性特征形成的国际科研合作网络结构及其演变的微观分析;缺少学者维度国际合作网络对科研绩效,特别是顶刊和高水平学术成果发表的实证研究。本文的研究结果能为中国学者如何通过构建国际合作网络提高科研绩效提出针对性的建议与参考。

本文的创新点之二在于深入研究材料科学领域的国际合作网络结构对科研绩效影响,以期对该领域创新和技术进步提供有价值的意见和建议。材料科学领域是目前面临“卡脖子”技术问题比较多的硬科技领域。如芯片、量子科技、火箭材料锻造、潜艇纳米涂料等领域,以编码化技术为主。但是现有研究缺乏对此类研究领域的国际合作与科研绩效的深入研究。深入开展材料科学领域国际合作网络及对科研绩效的影响相关研究是本文区别于其他文献的重要体现。

一、理论与研究假说

(一) 国际合作网络对科研绩效的影响

国际科研合作是中国学者与海外同行建立彼此信任、互惠互利的合作,有利于实现知识和技术的多元化和非线性跃升,从而提升科研绩效^[16]。有学者认为国际合作网络对科研绩效存在U型影响,当学者的国际科研合作网络资源较少时,关系网络的构建与维持可能会对科研绩效产生抑制作用,只有在国际合作网络资源达到一定水平后,才会对科研绩效产生促进作用^[17]。

也有研究者发现,科研合作网络强度与科研绩效和知识创造之间存在着倒U型关系^[18]。受制于文化、语言、习俗等差异,与国际学者保持长期的交流合作需要耗费更多时间和精力,随着国际合作网络的不断扩大,国际差异带来的阻碍越大,可能会对学者科研绩效产生挤出效应。即当学者的国际合作网络规模较小时,学者可以从中

获取知识外溢,从而提高科研绩效;当学者的国际合作网络扩大到一定规模时,国际化差异对科研绩效的阻碍随之增强,继而对科研绩效产生抑制作用。

合作创新鼓励科研合作、主张开放学习和交流,通过合作网络的技术溢出和协同效应取得多元化、高质量的创新成果^[19]。学者们利用外部创新资源,实现知识获取、整合和创新互动。通过知识多元化和技术溢出效应提高创新效率。但是合作创新支持研发去中心化,因而研发结构更松散,导致合作方之间的目标和利益不容易统一,资源配置和创新管理难度加大,随着国际合作程度加深,合作网络各方担心泄露自身核心技术,不利于保护自身知识产权和核心竞争力因而弱化了研发人员合力形成,导致科研合作绩效降低^[20]。

以往研究社会网络的文献大多基于国家、校际和组织维度开展分析,缺乏从学者个体视角探究国际合作网络其对科研绩效的影响。本文认为中国学者国际合作网络对科研绩效的影响可能不同于既往研究中的线性关系的结论,因而提出如下假设:

假设1a:学者的国际合作网络对科研绩效有着先抑后扬的U型作用。

假设1b:学者的国际合作网络对科研绩效有着先扬后抑的倒U型作用。

(二) 国际合作网络中的关系资本对科研绩效的影响

社会网络理论中强关系表现为互动频繁和长久的合作关系,反之则是弱关系^[21]。强关系优势理论认为“强关系”会形成关系资本,比如由职业或学业活动需要而结成的师徒、同门、同事关系称为“业缘”或“学缘”关系;以地理位置为连接纽带,在一定地理范围内共同生活、工作而交往形成的同乡、邻里关系称为“地缘”关系^[22]。拥有“强关系”的双方在文化理念和地理空间上具有相似性,因此各网络节点的知识结构、经验和背景相似性更高,更容易建立组织间信任与知识沟通桥梁,并正向影响知识的创造、获取和传递,从而推动合作关系的建立,提高沟通效率^[23]。

弱关系力量理论则强调资源差异化的重要性,认为强关系网络中信息资源的重复性较高,容易形成固化思维以及对网络外部事物的排斥,且个人受强关系情感干扰可能影响客观判断从而阻碍了集体发展^[24];而弱关系所形成的网络则更为广泛,能够加速科研合作网络中异质性知识的交互,从而触发创新资源的产生。Granovetter^[24]指出弱关系能够避免情绪、责任的过分投入,使合作网络形成一种高效的组织结构。已有文献中,边燕杰等^[25]对留美科学家的国内社会网络的研究发现,合作网络中的强关系往往带来人情资源,弱关系则能带来信息资源;Abbasi 等^[26]指出科学家与多样化的研究者合作可以有效改善论文数量和质量。

本文认为合作网络中的关系资本通过影响沟通意愿和合作效率影响学者科研绩效。一方面,作为新兴经济体国家,中国学者们的国际合作经验还不够丰富。在开展国际合作研究时,关系资本作用可能比发达经济体的学者更重要,强关系更能促成国际科研合作,提升科研绩效。另一方面,材料科学是硬科学领域,以编码化的知识传递为主,科研合作的沟通交流障碍较小,因而关系资本没有人文社科领域的国际合作那么重要,弱关系可能更促进信息叠加效应,提升科研绩效。基于以上分析,本文提出以下假设:

假设 2a:由强关系连结的国际合作网络对学者科研绩效的作用效果更显著。

假设 2b:由弱关系连接的国际合作网络对学者科研绩效的作用效果更显著。

(三) 国际合作网络中的多维邻近性对科研绩效的影响

学者们国际科研合作关系的建立和维护受到多种因素影响。学者们认为国际合作中地理邻近性、经济邻近性和认知邻近性能促进国际合作形成,提升合作创新效率^[27]。地理邻近性可以降低沟通中的时间和交通成本,有助于创新知识的流动和隐形知识的溢出^[28],是驱动合作网络形成、维持合作网络发展的主要因素之一;经济邻近性表明收入水平相似的国家之间往往具

有类似的科研发展水平,因此更容易产生合作关系^[29]。认知邻近可以为合作网络提供相似的知识信任基础,促使合作网络所产生的新知识受到统一知识的约束,从而更容易达到国际科研合作目标^[30]。

随着互联网和数字经济的快速发展,地理邻近性对合作网络的影响被削弱且逐渐被其他因素取代^[31]。经济不邻近的国家之间开展国际合作的概率也很高,经济发展水平较低国家常常向经济发展水平高的国家寻求合作机会,以期获得技术溢出效应和跨越式科技发展^[32]。比如中国学者国际科研合作对象多以欧美发达国家为主,虽然在国际科研合作中表现出较强的竞争潜能,但科研领导性依旧较低^[33]。此外,认知邻近性可能会提供重复的信息,而信息的过度重合可能导致“认知锁定”现象,从而削弱科研产出水平的提升^[34]。由此可以看出,虽然具有邻近性的国家之间更容易形成合作关系,但邻近性越象征两者的同质性越强,资源跨度越小,所获信息资源的异质性也越小,基于邻近性构成的科研合作网络可能难以产生创新性知识。另外,根据稀缺性原则,资源的获取难度越大往往意味着资源隐含着的价值更高,国际科研合作资源是关系资源与信息资源的体现,关系资源的差异性有助于提升学者的国际合作交流能力,信息资源的差异性有助于知识在不同区域的流动。基于以上分析,本文提出以下假设:

假设 3a:国际科研合作网络中合作国家多维度邻近性正向显著影响学者科研绩效。

假设 3b:国际科研合作网络中合作国家多维度邻近性负向显著影响学者科研绩效。

二、研究设计

(一) 变量选择和说明

1. 被解释变量:学者科研绩效

以往研究大多采用科研产出的数量(发文量)与质量(被引数)两个维度衡量学者的科研水平,本文参考张营营等^[35]的方法构建科研绩效指标 Science,同时兼顾了科研产出数量与质量。具体计算公式为:

$$IRP_{i,t} = Cited_{i,j} \times Paper_{j,t} \quad (1)$$

$$Science_{i,t} = \ln(IPR_{i,t}) \quad (2)$$

式(1)、式(2)中, $IRP_{i,t}$ 表示第 i 位学者第 t 年的科研生产力; $Cited_{i,j}$ 表示第 i 位学者的第 j 篇论文被引次数; $Paper_{i,t}$ 表示第 i 位学者第 t 年发表的论文数量。该指标同时兼顾了论文(专利)产出的数量和质量, 考虑到学者的国际合作关系对科研绩效发挥作用需要时间, 本文取后一年的科研绩效 $Science_{i,t+1}$ 作为主要被解释变量, 采用科研生产力的对数值, 并删除其中缺失值。

2. 核心解释变量

本文选取中国双一流材料科学领域高校教师合作网络作为研究对象, 从国际合作网络的广度、深度、强度 3 个维度出发^[36], 计算高校教师国际科研合作网络中心度。

(1) 学者国际合作网络广度(度中心性 degree): 衡量与中国学者有直接联系的国际合作者数量, 学者的度中心性越大表明其与越多的国际学者建立了直接合作关系, 即国际资源越丰富、关系越广。具体计算公式为:

$$Dw = \sum_j X_{i,j} / (g - 1) \quad (3)$$

式(3)中, i 代表中国学者; j 代表国际学者; X 表示中国学者与国际学者的连接数量; g 为中国学者的网络节点总数; $g - 1$ 用以消除规模差异。

(2) 学者国际网络深度(接近中心性 closeness)。用以衡量中国学者与国际网络中其他学者的距离, 计算出与中国学者关联的所有直接或间接国际合作者关系之和的倒数。学者接近中心性越大, 表明其与国际学者关系距离越短, 则学者具备越强的国际交流能力和获取资源能力。具体计算公式为:

$$Cw = \left(\sum_{j=1}^k d(i,j) \right) - 1 \quad (4)$$

式(4)中, $d(i,j)$ 表达两个节点 i 到 j 的最短距离长度。

(3) 学者国际网络强度(中介中心性 betweenness)。中介中心性衡量的是学者在国际合作中作为“中间人”的程度。学者中介中心性越大表明其帮助越多的国际学者建立了联系, 表明学者所掌握的国际资源越

多, 与国际学者的互动性越高。具体计算公式为:

$$Bw = \left(\sum_{i < k} g_{jk(ni)} / g_{jk} \right) / (g - 1)(g - 2) \quad (5)$$

式(5)中, g_{jk} 表示两个国际合作学者 j, k 之间经过的路径数; $g_{jk(ni)}$ 表示两个合作者 j, k 的网络联系中包含中国学者 i 的数量。

以上网络指标均通过 Ucinet 计算。

3. 控制变量

考虑到学者的合作者中可能同时包括了外国学者与中国学者, 本文将国内合作网络作为控制变量, 将是否是 C9、985 或者 211 高校作为学校等级层面控制变量; 学者的学术头衔、行政职务作为资源类控制变量; 将地区科研拨款作为地区层面控制变量。

(二) 基准模型

鉴于学者科研生产力为连续变量, 为了考察国际合作网络对科研生产力的 U 型作用, 本文构建如下模型:

$$Science_{i,t+1} = \alpha_0 + \alpha_1 Dw_{i,t} + \beta_1 Cw_{i,t} + \gamma_1 Bw_{i,t} + \alpha_2 Dw_{i,t}^2 + \beta_2 Cw_{i,t}^2 + \gamma_2 Bw_{i,t}^2 + \theta Controls_{i,t} + \sum Year_t + \sum College_t + \varepsilon_{i,t} \quad (6)$$

式(6)中, 鉴于学者的国际合作网络对科研绩效的促进作用存在滞后效应, 所以 $Science_{i,t+1}$ 表示学者 i 在第 $t + 1$ 年的科研绩效; $Dw_{i,t}$ 、 $Cw_{i,t}$ 、 $Bw_{i,t}$ 分别表示学者第 t 年国际合作网络的广度、深度、强度, $Dw_{i,t}^2$ 、 $Cw_{i,t}^2$ 、 $Bw_{i,t}^2$ 则分别表示广度、深度、强度的二次项; $Controls$ 表示一系列控制变量, 包括: Dn 、 Cn 、 Bn 分别表示学者第 t 年国内合作网络的广度、深度、强度, $Dn_{i,t}^2$ 、 $Cn_{i,t}^2$ 、 $Bn_{i,t}^2$ 则依次对应国内合作网络的二次项; $Admin$ 表示是否担任行政职务: 有则取 1 否则取 0; $Title$ 表示学术头衔: 获得国家自然科学基金委“国家杰出青年科学基金”的取 3、获得国家自然科学基金委“国家优秀青年科学基金”取 2、获得“长江学者奖励计划”的科研工作者取 1, 无则取 0; $Profund$ 表示 t 年各省科研事业费拨款取对数; $Year$ 表示年固定效应, $College$ 表示学校等级固定效应: C9 高校取 3, 非 C9 但是 985 高校取 2, 211 高校取 1。

(三) 数据样本

鉴于学者国际合作网络的研究议题, 本文采用英文论文作为科研绩效的测度指标, 并将研究

对象聚焦到材料科学领域。高校数据来源于 2022 年教育部最新公布的第二轮中国材料科学与工程 31 所“双一流”高校^①;论文数据来源于 Web of Science 数据库“材料科学”领域的核心合集,样本时间跨度为 2012 年 1 月—2021 年 12 月,总计 3 985 266 篇论文。其中,中国第一作者或通信作者的论文共计 774 539 篇,占比 19.4%;中国学者的国际合作论文数量和增速均呈上升趋势,直至 2019 年后增速减缓。以 2021 年为节点,我们发现

WoS 发文数量超过 2 000 篇的双一流高校有 8 所,依次为:中国科学院大学、中国科学技术大学、上海交通大学、清华大学、哈尔滨工业大学、天津大学、浙江大学和中南大学(见图 1a);与中国学者合作论文超过 100 篇的共有 23 个国家;按合作密切程度前 10 位的国家依此排序为美国、澳大利亚、英国、德国、新加坡、日本、加拿大、法国、巴基斯坦。中国材料科学的国际科研合作网络已初步形成,欧美国家是主要合作方(见图 1b)。

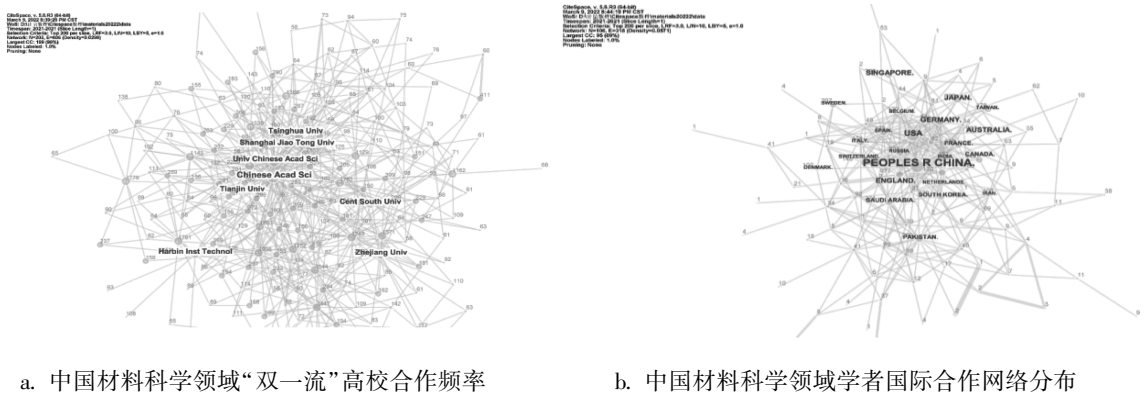


图 1 中国材料科学领域国际合作论文情况

数据来源:WoS 官网材料科学领域核心论文合集数据信息。

2012—2021 年中国学者以第一或者通信作者在英文核心期刊发表的论文共计 17 061 篇,其中一区(Q1)及以上期刊论文有 9 848 篇,占 57.72%,发表于顶刊论文有 1 433 篇,占 8.4%。本文根据 JCR 期刊评价系统对材料科学领域期刊的 17 种学科进行分类统计,发现中国学者在材料科学基础研究领域总体有可喜突破,表现在材料科学综合类顶刊发表论文占 13.68%;分学科中有突破的领域主要集中在物理学凝固态、生物材料和纳米科学和纳米技术 3 个学科,顶刊发表论文分别占总发表量的 38.11%、7.75% 和 5.48%。陶瓷、复合材料、涂层和薄膜、冶金和冶金工程 4 个领域的高质量论文数量占比分别为 84.75%、68.83%、64.05% 和 60.38%,但是目前顶刊发表还亟待突破(见表 1)。

在本文样本数据中,学者科研绩效 *Science* 的最大值为 13.364,最小值为 0.693,方差为 2.736,说明学者的科研绩效水平两极分化,不同学者的科

表 1 中国材料科学领域高质量论文发表情况

JCR 学科分类	总发表		一区及以上发表		顶刊发表	
	论文数量 /篇	占比 /%	论文数量 /篇	占比 /%	论文数量 /篇	占比 /%
材料科学,多学科	8 209	48.12	4 417	53.81	1 123	13.68
冶金与冶金工程	2 398	14.06	1 448	60.38	0	0
纳米科学与纳米技术	1 533	8.99	1 077	70.25	84	5.48
材料科学,陶瓷	1 441	8.45	1 221	84.73	0	0
材料科学,涂层和薄膜	904	5.3	579	64.05	0	0
材料科学,生物材料	516	3.02	242	46.9	40	7.75
物理学,凝聚态	488	2.86	177	36.27	186	38.11
材料科学,复合材料	369	2.16	254	68.83	0	0
工程,电气与电子	329	1.93	1	0.3	0	0
材料科学,表征与测试	226	1.32	119	52.65	0	0
建筑与建筑技术	150	0.8	98	65.33	0	0
高分子科学	150	0.88	44	29.33	0	0
晶体学	141	0.83	39	27.66	0	0
材料科学,纺织品	112	0.66	83	74.11	0	0
工程,制造业	91	0.53	46	50.55	0	0
材料科学,纸张和木材	4	0.02	3	75	0	0
总计	17 061	100	9 848	57.72	1 433	8.4

研绩效差距较大;均值为 6.59,表明大部分学者的科研绩效保持在较高水平。在 3 个主要解释变量中,国际网络广度 *Dw* 的最小值为 0,最大值为 5.579,差距最为明显,说明中国学者的国际科研合

① 鉴于官网数据的公开性和可得性,最终科研人员名单仅涵盖其中的 23 所材料科学双一流高校。

作网络差异主要体现在学者的国际网络广度上,且 Dw 、 Cw 、 Bw 的均值和方差都小于 1,说明中国学者国际合作网络资源不足。国内网络强度 Bn 的最小值为 0,最大值为 15.241,差距最明显,说明中国学

者的国内科研合作网络差异主要体现在国内网络强度上,且只有 Bn 的方差大于 1,不同学者的国内网络强度不同;无论从合作广度、深度和强度来看,中国学者的国内合作网络比国际合作网络更密集(见表 2)。

表 2 变量描述性统计

变量类型	变量名	变量含义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	<i>Science</i>	科研绩效	93 114	6.59	2.736	0.693	13.364
解释变量	Dw	国际合作网络广度	93 114	0.034	0.203	0	5.579
	Cw	国际合作网络深度	93 114	0.009	0.043	0	0.465
	Bw	国际合作网络强度	93 114	0	0.005	0	0.333
网络控制变量	Dn	国内合作网络广度	93 114	0.464	0.363	0	2.735
	Cn	国内合作网络深度	93 114	0.101	0.047	0	0.169
	Bn	国内合作网络强度	93 114	0.566	1.261	0	15.241
资源控制变量	<i>Admin</i>	是否担任行政职务	93 114	0.132	0.339	0	1
	<i>Title</i>	是否具有学术头衔	93 114	0.283	0.86	0	3
地区层面控制变量	<i>Profund</i>	地区科研拨款取对数(千元)	93 114	13.542	0.721	10.922	14.513
学校层面控制变量	<i>College</i>	学校类型	93 114	1.885	0.716	1	3

三、实证结果

(一) 基准回归

表 3 报告了本文基准回归结果,考虑到学者完整合作网络包含了国际合作网络与国内合作网络,为避免遗漏变量造成的误差,在第(1)列首先加入了中国学者的国内合作网络变量作为控制变量,在第(2)列增加了资源控制变量,在第(3)列加入了地区层面控制变量,均控制了年份、学校固定效应。考虑到科研生产力在个体维度可能存在不连续性,本文聚类到论文维度。初步验证了学者国际合作网络广度、深度、强度均对学者科研绩效具有倒 U 型作用,即随着国际合作广度、深度和强度的加强,学者科研绩效得到显著促进。但是学者过广、过深和过强的国际合作网络则降低了科研绩效。

为了更充分地证实国际合作网络与科研绩效的倒 U 型关系,本文在表 3 第(3)列的基准回归基础上进行 U 检验。三类国际合作网络关系指标的极值均在有效区间内,证明 U 检验通过,且倒 U 型关系成立(见表 4)。说明国际合作网络广度、深度和强度在到达阈值之前,中国学者加强国际合作可以显著提升科研产出质量;但超过阈值后,维系国际合作网络可能会对学者的科研精力产生“挤出效应”,从而导致学者科研产出质量下降。假设 1a 不成立,假设 1b 得以验证。

表 3 基准回归结果

变量	(1)	(2)	(3)
	<i>Science</i>	<i>Science</i>	<i>Science</i>
Dw	0.906 1 ** (0.398)	0.818 7 ** (0.397)	0.675 8 * (0.403)
Dw^2	-0.295 3 *** (-0.114)	-0.277 6 ** (-0.118)	-0.210 4 * (-0.124)
Cw	13.273 6 *** (1.703)	13.645 7 *** (1.701)	14.072 6 *** (1.707)
Cw^2	-21.709 2 *** (3.37)	-22.143 4 *** (3.387)	-23.355 0 *** (3.416)
Bw	18.432 0 ** (9.021)	19.763 7 ** (9.073)	20.455 4 ** (9.204)
Bw^2	-32.314 1 (34.532)	-36.349 4 (34.955)	-50.021 7 (36.021)
Dn	4.044 7 *** (0.235)	4.000 8 *** (0.235)	4.041 9 *** (0.232)
Dn^2	-0.588 8 *** (0.142)	-0.601 6 *** (0.141)	-0.638 4 *** (0.139)
Cn	12.451 5 *** (3.453)	13.672 6 *** (3.456)	13.490 9 *** (3.436)
Cn^2	-75.588 2 *** (19.655)	-82.341 5 *** (19.68)	-82.090 6 *** (19.578)
Bn	-0.077 6 (0.057)	-0.066 5 (0.056)	-0.064 7 (0.056)
Bn^2	-0.024 0 *** (0.007)	-0.024 8 *** (0.007)	-0.024 7 *** (0.007)
<i>Admin</i>	—	0.549 2 *** (0.073)	0.564 6 *** (0.073)
<i>Title</i>	—	0.138 0 *** (0.029)	0.139 6 *** (0.029)
<i>Profund</i>	—	—	0.363 6 *** (0.04)
$_cons$	4.357 9 *** (0.127)	4.216 6 *** (0.126)	-0.691 (0.553)
<i>Year</i>	是	是	是
<i>College</i>	是	是	是
<i>N</i>	61 235	61 235	61 235
R^2	0.177	0.184	0.19

说明:***、**、* 分别表示在 $p < 0.01$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.1$ 时有统计学意义。括号内为聚类至个体层面的标准误。下同。

表 4 U 检验结果

变量	极值	斜度		最大值	最小值	U 检验
		下界	上界			
Dw	1.606	0.676	-1.671	5.579	0	Inverse U shape
Cw	0.301	14.073	-7.648	0.465	0	Inverse U shape
Bw	0.204	20.455	-12.859	0.333	0	Inverse U shape

(二)稳健性检验

为增强本文基准回归结果的可信度,本文从以下几个方面进行稳健性检验。其结果见表 5。

表 5 稳健性检验

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	Science	Science	Science	Science_JIF
Dw	0.675 8 * (0.403)	0.717 7 * (0.415)	0.701 4 * (0.417)	1.264 4 *** (0.352)
Dw ²	-0.210 4 * (0.124)	-0.247 6 * (0.141)	-0.245 6 * (0.14)	-0.393 9 *** (0.122)
Cw	14.072 6 *** (1.707)	14.681 3 *** (1.717)	14.155 0 *** (1.702)	12.527 3 *** (1.971)
Cw ²	-23.355 0 *** (3.416)	-24.580 8 *** (3.47)	-23.629 0 *** (3.44)	-22.200 6 *** (3.916)
Bw	20.455 4 ** (9.204)	21.062 8 ** (9.576)	21.045 3 ** (9.622)	36.640 8 *** (11.175)
Bw ²	-50.021 7 (36.021)	-43.597 4 (39.003)	-44.139 2 (38.962)	-81.044 1 * (43.047)
acade_resource	—	1.847 1 *** (0.154)	1.857 8 *** (0.154)	—
Inco_part	—	—	0.145 1 (-0.097)	—
_cons	-0.691 (0.553)	0.311 1 (0.547)	0.314 1 (0.547)	-3.033 5 *** (1.138)
Controls	是	是	是	是
Year	是	是	是	是
College	是	是	是	是
N	61 235	61 235	61 235	93 114
R ²	0.19	0.205	0.206	0.549

(1)调整聚类标准误。考虑到变量可能在个体维度上更容易相关,本文把聚类调整为论文-时间维度。

(2)排除遗漏变量干扰。本文在学者的资源控制变量中,除了行政资源与学术头衔外,还进一步考虑了学术资源(acade_resource),即学者是否担任实验室或研究所管理职务,有则取1,否则取0。

(3)增加控制变量。考虑到学者国际合作与科研绩效与国际论文发表能力相关,本文在回归模型中进一步加入科研层面控制变量,即学者每年在WoS上发表的国际合作论文占比(Inco_part)。

(4)缓解测量偏误。为缓解模型可能存在的测量偏误,本文构建 Science_JIF 指标,并采取加1取对数的形式重新测算学者科研绩效。具体计算公式为:

$$Science_JIF_{i,t} = \sum_{j=1}^n Factor_{i,j} \times Paper_{i,t}$$
。式

中,Factor_{*i,j*}表示第*i*位学者的第*j*篇论文所属期刊的影响因子;Paper_{*i,t*}表示第*i*位学者第*t*年发表的论文数量;*n*表示第*i*位学者发表论文的总数。考虑到 WoS 官网每年公布的影响因子都是根据期刊前两年发表论文质量计算,包含了一定的滞后效应,所以本文采用当期变量计算。

(5)Tobit 截断回归。由于本文的被解释变量科研绩效 Science 为大于 0 的截断变量,考虑到 3 个维度的国际合作网络指标可能存在一定的相关性,采用 Tobit 截断模型,依次在模型中单独加入广度、深度、强度,以此验证 3 个网络指标的倒 U 关系。结果显示,国际合作网络 3 个维度与学者科研绩效之间均存在显著的倒 U 关系(篇幅原因,结果备索)。综上所述,上述稳定性检验结果均获得类似的实证结果,表明中国材料科学领域学者的国际合作网络对科研绩效具有倒 U 型作用的结论是稳健的。

(三)内生性检验

1. Heckman 两步法

本文采用 Heckman 两阶段回归模型以排除样本自选择导致的内生性问题。在第一阶段模型中,我们首先建立决定学者是否开展国际合作(Inco_Dum)的 probit 模型。第二阶段选用国际合作的样本进行 OLS 回归,并将第一阶段的逆米尔斯比率(Imr)作为缓解内生性的代理变量加入到第二阶段回归模型中,结果显示逆米尔斯比率系数均在 1% 水平上显著,表明存在样本选择性偏差;在控制了样本选择偏差引起的内生性问题后,结论依然成立。

2. PSM 匹配

运用经典的倾向配比得分方法(PSM),将开展国际合作样本作为处理组,未开展国际合作样本作为控制组,进行 1:1 无放回近邻匹配,以解决样本带来的内生性问题。依次加入国内网络、学者资源以及地区层面控制变量,且均控制了年份与学校固定效应;其结果依然显著(篇幅原因,结果备索)。

(四)机制分析

1. 关系资本强弱对科研绩效的影响

本文认为若国际合作者所属科研单位与中国

学者海外经历涉及科研单位相同,则存在由学缘或业缘连接的强关系;若国际合作者所属国家与中国学者海外经历所涉及国家相同,则认为国际合作存在由地缘连接的强关系。同一科研机构的学者一定具有相同的国家经历,但在同一国家有过相似经历的学者不一定隶属于同一科研机构。因此,本文将院校一致的合作关系定义为“强关系”组;院校不一致但国家一致的合作关系定义为“次强关系”组;若国际合作者所属国家与中国学者海外经历涉及国家不一致,两者的科研单位也必定不一致,则定义为“弱关系”组。依次按照合作关系的强弱顺序进行分组回归,以检验强弱关系的异质性(见表6)。

在“强关系组”中,国际合作网络系数基本不显著;在“次强关系组”与“弱关系组”中,国际网络系数均显著,且显著性逐渐增大。由此表明,随着关系程度依次减弱,国际合作网络对科研绩效的倒U型作用越来越显著;且在弱关系中,国际合作网络各项指标的系数都大于基准回归中的系数,倒U曲线更陡峭,说明在到达拐点前,国际合作网络对科研绩效的促进作用显著加大,拐点后国际合作网络对科研绩效的抑制作用也更大。假设2a不成立,假设2b得以验证。

表6 强弱关系异质性分析

变量	强关系	次强关系	弱关系
	(1)	(2)	(3)
	Science	Science	Science
Dw	-0.683 4 (0.844)	1.6415 * (0.932)	2.078 8 *** (0.581)
Dw^2	0.115 8 (0.301)	-0.906 6 *** (0.329)	-0.699 5 *** (0.131)
Cw	11.031 7 ** (4.655)	-5.332 5 (4.663)	16.018 4 *** (2.419)
Cw^2	-12.340 8 (8.52)	18.777 8 ** (9.53)	-32.724 0 *** (5.138)
Bw	23.483 6 * (13.326)	112.963 7 *** (38.56)	112.940 9 *** (42.433)
Bw^2	-83.474 2 (79.477)	-1113.874 2 *** (423.622)	-697.944 5 * (385.849)
$_{-cons}$	-5.912 0 *** (2.137)	1.008 3 (2.557)	-1.01 (0.698)
Controls	是	是	是
Year	是	是	是
College	是	是	是
N	3 918	6 410	40 333
R^2	0.358	0.237	0.208

2. 国际合作者多维邻近性对科研绩效的影响

首先,若合作者国别为亚洲国家定义为“地理邻近组”,若合作者国别为亚洲以外国家则为“地理不邻近组”。其次,借鉴蔡若楠等^[37]的方法,参照世界银行(WBO)将各国的人均国民收入水平划分为高、中高、中低、低4类。将高收入水平国家定义为“经济不邻近”组,将中高、中低收入水平国家定义为“经济邻近”组。鉴于本文样本的国际合作者大多来自高、中高或中低收入水平国家,因此排除低收入水平国家。最后,本文以两国知识共享的程度衡量认知邻近性,专利审查高速路(PPH)协议可以加快各经济体之间的专利申请速度,促进两国专利合作的达成与知识技术的传递,因此本文将中国 PPH 协议签订国家作为“认知邻近”组,否则为“认知不邻近”组(见表7)。

“地理邻近组”的国际合作网络深度呈现U型效应,“地理不邻近”组的国际网络深度则呈现倒U效应;“经济邻近组”的国际合作网络深度呈现U型效应,“经济不邻近组”组的国际网络深度则呈现相反的倒U效应;“认知邻近组”的国际合作网络虽部分不显著但依然可以看出倒U效应,并且国际合作网络强度的倒U作用更明显,而“认知不邻近组”系数均不显著。由此说明,地理因素和认知因素依然在 international 科研合作中发挥着重要作用。同时,与地理、经济水平不邻近的国家合作有助于促进差异化知识的传递,推动不同国家学科知识的相互借鉴,加强国际科研网络的深度。

与全样本回归相比,国际合作网络作用系数显著性均有所减弱,且系数绝对值减小,说明作用效果减弱,造成这一结果的原因可能是:不同国家有着不同的资源优势和科研优势,过于单一化的国际合作网络可能无法发挥出预期效果,只有多元化的国际科研合作网络才能最大限度地发挥出对科研绩效的作用。假设3b不成立,假设3a得以部分验证。

(五) 异质性分析

1. 论文质量异质性

本文根据 WoS 官网公布的期刊分区信息,将Q1区的期刊论文归为高质量论文,其余则归为非高质量组进行分组回归并对比结果。再者,本文根

表 7 国际合作多维邻近性对科研绩效的影响

变量	地理邻近	地理不邻近	经济邻近	经济不邻近	认知邻近	认知不邻近
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	Science	Science	Science	Science	Science	Science
Dw	0.692 5 (0.883)	0.738 6 (0.472)	-0.305 1 (1.41)	0.347 4 (0.371)	0.586 9 (0.404)	0.044 4 (1.834)
Dw^2	-0.672 9 ** (0.326)	-0.078 7 (0.105)	0.166 1 (0.417)	-0.053 2 (0.095)	-0.179 9 (0.118)	0.312 6 (0.941)
Cw	-5.443 2 (4.52)	8.118 1 *** (3.145)	-20.775 3 (12.698)	8.927 0 *** (2.699)	3.179 4 (2.404)	9.208 6 (7.25)
Cw^2	9.146 8 (8.464)	-11.362 2 ** (5.714)	69.453 7 ** (29.383)	-13.108 6 *** (4.84)	-1.450 3 (4.553)	-20.507 (14.263)
Bw	173.783 3 *** (47.942)	9.088 (8.221)	307.204 2 (219.297)	21.153 8 *** (7.698)	22.856 1 *** (8.419)	433.429 3 (272.116)
Bw^2	-2 105.744 9 ** (940.658)	-52.155 3 * (29.074)	-19 958.99 (18 472.853)	-81.975 6 *** (28.936)	-67.954 1 ** (33.761)	-12 400.69 (26 197.99)
$_{-cons}$	3.436 3 (2.283)	3.163 5 ** (1.543)	-17.376 1 *** (5.001)	4.009 6 *** (1.388)	2.079 4 ** (1.034)	4.766 3 (3.723)
$Controls$	是	是	是	是	是	是
$Year$	是	是	是	是	是	是
$College$	是	是	是	是	是	是
N	7 132	8 001	861	10 786	22 597	1 136
R^2	0.343	0.163	0.836	0.186	0.182	0.341

据 Justscience 官网公布的材料科学领域期刊排名,将排名前 18 位的期刊作为顶刊,建立顶刊论文组,其余则作为非顶刊对照组进行分组回归,检验学者国际合作网络对顶刊发表的影响(见表 8)。

表 8 材料科学领域国际合作网络对高质量论文发表的影响

变量	Q1	非 Q1	顶刊	非顶刊
	(1)	(2)	(3)	(4)
	Science	Science	Science	Science
Dw	0.046 3 (0.43)	3.835 9 *** (0.914)	-2.114 4 ** (0.852)	0.902 0 ** (0.407)
Dw^2	-0.063 (0.121)	-0.986 0 ** (0.495)	0.26 (0.243)	-0.138 2 (0.113)
Cw	12.355 8 *** (2)	9.379 8 *** (2.945)	9.073 7 (5.84)	13.553 6 *** (1.685)
Cw^2	-17.812 5 *** (3.971)	-23.768 7 *** (6.002)	-2.418 6 (13.805)	-24.767 7 *** (3.389)
Bw	24.483 1 *** (9)	-36.691 7 (80.106)	85.807 3 *** (29.746)	11.830 7 (9.18)
Bw^2	-79.292 3 ** (34.16)	505.282 4 (934.028)	-501.325 1 *** (188.037)	-44.392 2 (33.789)
$_{-cons}$	-0.542 7 (0.702)	-5.753 7 (4.097)	-25.842 3 ** (10.849)	0.646 (2.757)
$Controls$	是	是	是	是
$Year$	是	是	是	是
$College$	是	是	是	是
N	42 618	18 617	6 477	54 758
R^2	0.19	0.186	0.227	0.204

在“Q1 组”和“顶刊组”中,国际科研合作网络的强度具有显著的倒 U 作用;但国际合作网络广度均没有体现出正向作用,甚至在“顶刊”组中暗示着国际合作越广泛,负面效应越强;在“顶刊组”中深度的国际合作网络也不再具有显著作用。“非 Q1 组”和“非顶刊组”的国际合作网络广度与深度

对科研绩效的倒 U 作用比较显著。

这一实证结果说明:国际合作网络强度对高质量论文和顶刊发表论文的影响仍然是倒 U 关系,但是学者的国际合作网络广度不利于高质量论文和顶刊论文的发表。中国学者在国际科研合作中更应该从小圈子合作着手,适当加大国际合作深度和强度,不宜过度拓展合作范围,从而能有效降低沟通成本,提高知识交互的关注度,从国际合作网络中汲取有用的学科知识,以此促进高质量科研成果的产出。

2. 细分学科领域异质性

本文根据 WoS 官网所公布的材料科学领域杂志所对应的学科领域,将论文数据按所属期刊学科分为材料科学、工程、化学、临床医学、地球科学五类。在工程领域,学者的国际合作网络广度的倒 U 作用显著;在材料科学、临床医学和地球科学领域,学者国际合作网络深度的倒 U 作用显著;在化学和地球科学两个理论性较强的领域,学者的国际合作网络强度对科研生产力均呈现出显著的倒 U 作用。说明在材料科学领域,各学科的国际发展状况不统一,有可能出现极端不平衡现象。

四、结论与启示

(一) 结论

本文基于中国材料科学领域双一流高校教师数据,采用文献计量法和社会网络分析法,从国际合作网络的广度、深度、强度 3 个维度深入探讨了中国学者国际合作网络对科研绩效影响,并从关

系资本和多维邻近性角度解释国际合作网络对科研绩效的影响。本文针对是否高水平成果和不同细分领域的异质性影响进行了深度挖掘。

第一,学者的国际合作网络广度、深度、强度对科研绩效均存在倒U型作用,国际合作网络关系在合理范围内对学者的科研绩效有着显著的促进作用,但过泛的国际合作网络会提升学者维系合作的成本,反而导致了科研绩效下降。原因可能在于国际差异带来的阻碍作用对学者的科研绩效产生挤出效应、学者们维系国际合作网络会蚕食深度学术研究的时间和精力以及合作存在博弈和搭便车问题,对科研产出和绩效形成损耗。

第二,在异质性分析发现,在高水平论文和顶刊发表领域,国际合作网络广度并没有发挥预期的作用。即中国学者更应该关注深度国际合作、小范围高强度合作,而且高科技领域的核心技术是学不来、买不来的,高精尖科技更应该依赖自主创新。

第三,相较于由学缘、业缘或地缘关系连接而成的强关系合作网络,基于弱关系形成的国际科研合作网络对科研绩效的作用效果更明显。材料科学以编码化技术为主,基于信任、文化理念和地理空间相似性的合作对于科研绩效的正向提升作用有限,而弱关系合作带来更丰富的信息资源,异质性的知识交互更能触发创新思想,提升科研创新数量和质量。

第四,上行合作能显著促进中国材料科学领域学者科研绩效的提升。即材料科学领域的国际科研合作仍具有核心—边缘性和等级层次性特征,与核心国家和高级别的外国学者合作对科研绩效提升作用显著。与认知邻近、地理不邻近的学者合作的科研绩效提升显著。认知不邻近妨碍沟通合作和知识交互。而随着通信技术不断发展,交通设施更加便利,地理距离对国际合作的影响力度减弱。

(二) 启示

根据以上分析,本文对未来中国学者开展国际合作研究提出以下政策建议。

第一,鼓励学者构建国际合作网络,提高科研产出质量。各高校应重视学者国际合作关系的培养,为学者搭建多种交流形式的国际合作平台,提供更多的国际交流机会,促进合作网络联系的紧密度与信任度。减少中国学者与外国学者之间的合作障碍,全方位提升中国学者国际网络的广度、

深度和强度。注重提升中国学者的科研实力与科研底气,进一步支撑科技高质量发展。

第二,突破固有社交网络,提升国际科研合作效率。随着中国国际科研实力的不断提升,中国学者在国际合作网络中的话语权进一步加强,中国学者要敢于并善于主动打破科研学术中的“人际关系”藩篱,不再受制于“人情网络”的影响,积极寻找具有相同科研目标的“新”合作伙伴,提高学术合作的纯粹性与一致性,构建具有“同好共鸣”的学术网络,提升中国学者在国际科研领域的自主权与积极性。

第三,聚焦科研资源优势国家,促进国际合作效率。针对国际合作的核心—边缘性和等级层次性特征,有科研资源优势的发达国家在合作中具有一定的控制力和影响力。与这类国家构建科研合作关系有利于中国学者汲取先进的文化知识、拓宽国际研究视野、丰富科研思维与学术视角。因此,中国学者应重点关注焦点国家的研究动态,把握科研创新趋势,积极与科研能力领先的国家建立紧密的合作关系,形成以强带弱、以点带面的多元化合作模式,进而提升国际合作质量。

第四,中国学者应培养国际科研思维,树立科技自强理念。在国际科研合作中鼓励深度合作、小范围多频次合作,有效提升国际合作效率。当前国际形势复杂多变,西方发达国家对中国高新技术实施封锁,中国的国际科研合作受到了诸多阻碍。中国学者需要有计划、有策略地发展自己的国际合作网络,多元化国际合作伙伴关系,特别需要注重提升科研自信,加强自身独立科研能力,为巩固科研合作主导能力建立良好基础。

参考文献:

- [1] 姜天海,张增一. 破与立:重构开放式科学系统[J]. 科学学研究,2023,41(8):1354-1363.
- [2] 刘承良,桂钦昌,段德忠,等. 全球科研论文合作网络的结构异质性及其邻近性机理[J]. 地理学报,2017,72(4):737-752.
- [3] WANG Q, REN F, LI R R. Assessing the impact of geopolitics on international scientific cooperation-the case of US-China marine pollution research[J]. Marine policy,2023,155:105723.
- [4] 刘建兵,柳卸林. 企业研究与开发的外部化及对中国的启示[J]. 科学学研究,2005(3):366-371.
- [5] 赵毅,章成志,习海旭. 影响不同子领域国际合作的距

离因素相同吗:来自计算机科学学科的证据[J]. 情报学报, 2023, 42(12):1458-1476.

[6] HOEKMAN J, FRENKEN K, TIJSEN R J W. Research collaboration at a distance: changing spatial patterns of scientific collaboration within Europe[J]. Research policy, 2010, 39(5):662-673.

[7] 陈凯华, 赵彬彬, 张超. 全球科研人员百年跨国流动规律、格局与势差效应:基于 Scopus 科学文献数据的实证研究[J]. 管理世界, 2024, 40(2):1-31, 100.

[8] 廖青云, 朱东华, 汪雪锋, 等. 科研团队的多样性对团队绩效的影响研究[J]. 科学学研究, 2021, 39(6):1074-1083.

[9] 桂钦昌, 杜德斌, 刘承良. 全球科研合作网络的动态演化及其驱动机制[J]. 地理学报, 2023, 78(2):423-442.

[10] BALLAND P A, DE V M, BOSCHMA R. The dynamics of interfirm networks along the industry life cycle: the case of the global video game industry, 1987-2007[J]. Journal of economic geography, 2013, 13(5):741-765.

[11] 顾伟男, 刘慧, 王亮. “一带一路”沿线国家科研合作网络的多元结构及形成机制[J]. 地理研究, 2020, 39(5):1070-1087.

[12] 刘慧, 綦建红. FTA 网络的企业创新效应:从被动嵌入到主动利用[J]. 世界经济, 2021, 44(3):3-31.

[13] 申宇, 赵玲, 吴风云. 创新的母校印记:基于校友圈与专利申请的证据[J]. 中国工业经济, 2017(8):156-173.

[14] 戴亦一, 肖金利, 潘越. “乡音”能否降低公司代理成本:基于方言视角的研究[J]. 经济研究, 2016, 51(12):147-160, 186.

[15] WANG J. Knowledge creation in collaboration networks: effects of tie configuration[J]. Research policy, 2016, 45(1):68-80.

[16] 邱均平, 曾倩. 国际合作是否能提高科研影响力:以计算机科学为例[J]. 情报理论与实践, 2013, 36(10):1-5.

[17] 许福志, 徐蔼婷. 中国创新两阶段效率及影响因素:基于社会资本理论视角[J]. 经济学家, 2019(4):71-79.

[18] WALTER J, LECHNER C, KELLERMANN F W. Knowledge transfer between and within alliance partners: Private versus collective benefits of social capital[J]. Journal of business research, 2007, 60(7):698-710.

[19] KELD L, AMMON J S. The paradox of openness: appropriability, external search and collaboration[J]. Research policy, 2014, 43(5):867-878.

[20] 高良谋, 马文甲. 开放式创新:内涵、框架与中国情境[J]. 管理世界, 2014(6):157-169.

[21] GRANOVETTER M S. The strength of weak ties[J]. American journal of sociology, 1973, 78(6):1360-1380.

[22] 刘虹, 李煜. 国际学术社交网络领域的科研合作态势

与研究向度分析[J]. 情报科学, 2023, 41(3):9-126, 144.

[23] 刘学元, 丁雯婧, 赵先德. 企业创新网络中关系强度、吸收能力与创新绩效的关系研究[J]. 南开管理评论, 2016, 19(1):30-42.

[24] GRANOVETTER M S. Economic action and social structure: the problem of embeddedness[J]. American journal of sociology, 1985, 91(3):481-510.

[25] 边燕杰, 张文宏, 程诚. 求职过程的社会网络模型:检验关系效应假设[J]. 社会, 2012, 32(3):24-37.

[26] ABBASI A, CHUNG K S K, HOSSAIN L. Egocentric analysis of co-authors hip network structure, position and performance[J]. Information processing & management, 2012, 48(4):671-679.

[27] 贺灿飞, 李文韬. 中国国际科研合作网络的时空演化特征与驱动力[J]. 中国软科学, 2022(7):70-81.

[28] HOU L, PAN Y L, ZHU J J H. Impact of scientific, economic, geopolitical, and cultural factors on international research collaboration[J]. Journal of informetrics, 2021, 15(3):1011-1194.

[29] NI P, AN X Y. Relationship between international collaboration papers and their citations from an economic perspective[J]. Scientometrics, 2018, 116(2):863-877.

[30] 贺灿飞, 郭佳宏, 谢玉欢. 基于认知邻近性的进口溢出效应对区域出口产业重构的影响[J]. 地理学报, 2023, 78(6):1323-1338.

[31] LESZCZYNSKA D, KHACHLOUF N. How proximity matters in interactive learning and innovation: a study of the Venetian glass industry[J]. Industry and innovation, 2018, 25(9):1-23.

[32] LUO Y D, TUNG R L. International expansion of emerging market enterprises: a springboard perspective[J]. Journal of international business studies, 2007, 38(4):481-498.

[33] 王玉奇, 陈悦, 宋超, 等. 基于合作位态的国家科研实力测度:以 ESI 高被引论文为例[J]. 中国科技论坛, 2022(10):14-24.

[34] ROMERO C C. Personal and business networks within Chilean biotech[J]. Industry and innovation, 2018, 25(3):1-33.

[35] 张营营, 协天紫光, 张雪凯. 长江学者提高高校科研创新效率了吗:基于 42 所世界一流大学建设高校的实证检验[J]. 高校教育管理, 2019, 13(4):80-90.

[36] 申宇, 赵静梅, 何欣. 校友关系网络、基金投资业绩与“小圈子”效应[J]. 经济学(季刊), 2015, 15(1):403-428.

[37] 蔡若楠, 田文灿, 胡志刚. 国际科研合作网络中的主导关系生成机制研究[J]. 中国科技论坛, 2023(4):25-33.

(本文责编:润 泽)