



科学学研究
Studies in Science of Science
ISSN 1003-2053, CN 11-1805/G3

《科学学研究》网络首发论文

题目： 创新主体在城市群知识网络中的角色——基于科学与技术关联视角
作者： 滕子优，朱雪忠，胡成，张萱
DOI： 10.16192/j.cnki.1003-2053.20230913.001
收稿日期： 2023-06-29
网络首发日期： 2023-09-15
引用格式： 滕子优，朱雪忠，胡成，张萱. 创新主体在城市群知识网络中的角色——基于科学与技术关联视角[J/OL]. 科学学研究.
<https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.20230913.001>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

创新主体在城市群知识网络中的角色——基于科学与技术关联视角

滕子优^{1,2}, 朱雪忠¹, 胡成¹, 张萱¹

(1. 同济大学上海国际知识产权学院, 上海 200092

2. 香港城市大学数据科学学院, 香港 999077)

摘要: 基于科学的创新逐渐成为新的创新范式, 促进从科学成果在技术创新中的应用有助于在新兴产业获得竞争优势。构建城市群科学到技术的知识流动网络, 分析网络中各创新主体的角色, 可以助力城市群优化创新主体定位与布局, 推进区域科技中心建设, 从而加速科学与技术融合, 实现区域高质量发展。分别收集京津冀、长三角和珠三角城市群 2001~2020 年组织参与的专利引用论文关系, 构建创新主体间知识网络。结合社会网络与相关性分析, 从整体网络和自我网络两个层面对比城市群知识网络中不同类型创新主体特征。结果发现:

(1) 本地大学同时承担重要的科学知识输出、输入和中介功能, 本地科研机构作用类似, 但规模较小。本地大中企业和小微企业多侧重知识吸收, 少量具备输出和中介能力; 整体上, 本地小微企业的知识输出、输入和中介能力最弱;

(2) 京津冀和长三角知识网络中, 本地大学知识输出、输入和中介能力相关性高, 本地大中企业和小微企业则缺少显著相关性。珠三角知识网络中, 本地大学多侧重于知识吸收或输出之一, 本地大中企业知识输出、输入和中介功能相关性高;(3) 京津冀和长三角网络中, 本地大学与外部主体交流最密切, 珠三角网络中本地大中企业与外部主体直接交流程度最高。研究结论为相关区域完善多主体共同参与的科技创新体系提供借鉴。

关键词: 科学—技术关联; 创新主体; 城市群; 知识网络; 专利引用论文

中图分类号: G306; F129.9 **文献标识码:** A

收稿日期: 2023-06-29; **修回日期:** 2023-09-04

基金项目: 国家社科基金重大项目“国家重大科技产业项目知识产权安全风险监测预警与防控体系”(19ZDA102)。

作者简介: 滕子优(1995-), 男, 博士研究生。朱雪忠(1962-), 男, 教授, 通讯作者, E-mail: xzzhu@tongji.edu.cn。胡成(1993-), 男, 博士研究生。张萱(1999-), 女, 硕士研究生。

The role of actors in the knowledge networks of city clusters: From the perspective of the linkage
between science and technology

TENG Ziyu^{1,2}, ZHU Xuezhong¹, HU Cheng¹, ZHANG Xuan¹

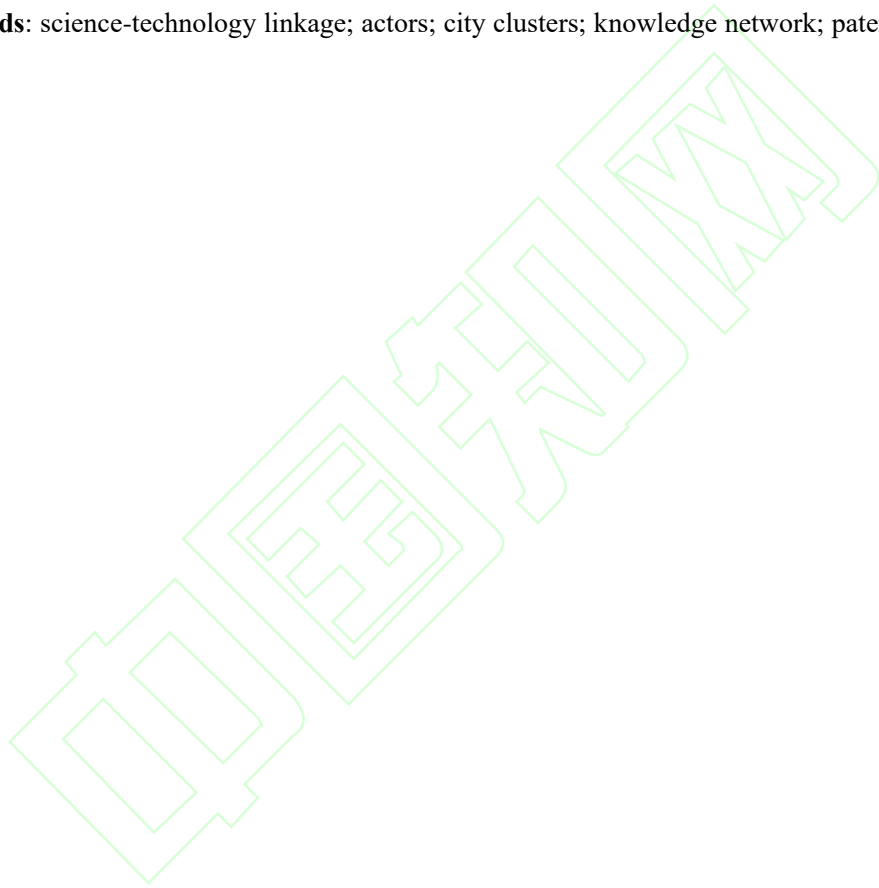
(1. Shanghai International College of Intellectual Property, Tongji University, Shanghai, 200092

2. School of Data Science, City University of Hong Kong, Hong Kong, 999077)

Abstract: Regional knowledge network is an important way to explain how innovation takes place in regions. There has been a large body of literature addressing the properties of scientific or technological collaboration networks in different regions. However, most of the studies treat science and technology separately and focus less on their interaction. A well-established stream of literature has demonstrated that science is a critical source of knowledge in the development of technology. Promoting the knowledge flow from science to technology helps gain competitive advantage in emerging industries. However, little evidence shows how science is transferred to technology through actors in regions. Therefore, this paper aims to identify the role of different local actors in regional knowledge network from the perspective of science-technology linkage. In this way, policy makers can optimize the layouts of entities and develop science and technology hubs in city clusters so that science and technology can be more deeply interacted, which contributes to high-quality regional development. Patent-to-paper citations are commonly interpreted as the knowledge diffusion from science to technology. Therefore, we collect patent-to-paper citations from 2001 to 2020, which involves the organizations located in the Beijing-Tianjin-Hebei, Yangtze River Delta, and Pearl River Delta regions respectively to establish the inter-organizational knowledge networks in the regions. The characteristics of local actors in the knowledge networks of three city clusters are compared at the level of the entire network and ego-network with the help of social network and correlation analysis. The results are: (1) Universities play a significant role as the knowledge producer, absorber and brokers. Research Institutions play a similar but less important role. Large and medium-sized enterprises and small and micro-enterprises focus more on knowledge absorption, with only a small portion as both the knowledge producer and broker. The ability of small and micro-enterprises in knowledge production, absorption and brokerage is weakest among all types of actors. (2) In the knowledge networks of the Beijing-Tianjin-Hebei region and the Yangtze River Delta, universities' ability in knowledge output, is in line with their capability in knowledge production, and brokerage. For large and medium-sized enterprises and small and micro-enterprises, the ability shows little correlation. In the Pearl River Delta knowledge network, universities mostly focus on either knowledge absorption or output, while the ability of enterprises in knowledge output, input, and brokerage is highly correlated. (3) In the Beijing-Tianjin-Hebei region and the Yangtze River Delta networks,

universities have the closest communication with external entities, while in the Pearl River Delta network, large and medium-sized enterprises have the highest level of direct communication with external entities. This paper contributes to the theoretical literature in two ways. First, we add the understanding of the role of different actors in regional knowledge networks. Specifically, our results reveal the heterogeneous characteristics of actors in their involvement in transferring knowledge from science to technology. Second, we provide a novel approach of assessment for the actors in regional innovation system based on social network analysis with patent-to-paper citations. Our findings have policy implications for improving regional innovation systems with various actors.

Key words: science-technology linkage; actors; city clusters; knowledge network; patent-to-paper citation



党的二十大报告强调要促进区域协调发展，构建高质量发展新格局。其中，科技创新是区域协调发展的关键支撑。

区域创新系统理论认为，不同创新主体之间并不是相互独立的，其可以在知识层面建立联系，进一步形成知识网络^[1]。创新主体既可以与区域内主体产生知识交流，也可以和区域外主体之间进行知识互换，以增加知识多样性^[2]。典型的创新主体包括企业、高校和科研机构等。不同创新主体在知识网络中的位置相异，对知识网络的影响力也存在区别^[3-8]。

现有聚焦区域知识网络中创新主体的研究主要通过论文和专利合作数据，相应地关注科学和技术知识协作生产^[5-7, 9-11]。一方面，研究通过度中心性、中介中心性、接近中心性等指标构建评价体系，探讨不同创新主体在网络中的位置和对网络结构的作用^[5-7, 9]。另一方面，关注创新主体在网络中的联系，分析联系的成因和对主体创新活动的影响^[10, 11]。近年来，相关研究逐渐从对单一区域的分析，演变为多区域对比性研究，以凸显区域间异同^[12]。

但是，上述研究也存在不足。在理论视角上，这些工作多将科学知识和技术知识作为两个相互独立的部分，忽略了两者之间的知识流动过程。事实上，基于科学的创新正在成为新兴产业中技术创新的新范式^[13-15]。科学知识对区域创新作用路径之一也是来自于其对本地技术发展的影响^[16]。然而现有文献尚未探讨科学向技术转化过程中不同类型创新主体的功能。从知识输出的角度看，虽然高校、科研院所等公共研究机构是科学研究的主体，但在人工智能、纳米技术等前沿领域，企业也发表了很多高质量科研成果^[17, 18]。此外，企业科研成果更容易吸引研发人员的注意^[19]。从知识输入的角度看，区域内企业的吸收能力可能和本地高校的研究存在脱节^[20, 21]。因此，不同类型创新主体在区域知识网络中的特征还有待探究。在方法上，合作网络虽然可以表现创新主体在知识上的联系，但由于其是无向网络，因此不便于探究网络中知识的流向，应用范围也受到限制^[22]。

城市群协调发展是中国现阶段的重要发展要求。因此，本文以城市群作为研究区域，针对上述研究不足，利用专利引用论文方法构建科学到技术的知识网络，试图回答以下问题：在科学到技术的知识流动过程中，城市群内不同类型创新主体扮演何种角色，其与区域内外主体之间的知识交流规模是否存在区别？在不同区域，创新主体的表现是否具有差异？本文选取我国京津冀、长三角与珠三角三个城市群进行比较研究。这有助于根据不同城市群特点，提出更有针对性的政策建议。

1 研究设计

1.1 样本选择与数据来源

本文采用专利引用论文方法建立科学与技术之间的关联。该方法是将专利作为技术创新的指标，而科学成果则用论文代理，通过专利对论文的引用体现科学到技术的知识流动^[23]。同时，由于专利引用的论文大多为专利申请人引证，这样可以减少因审查员引证带来的误差^[24]。

专利数据来源于中国申请人在美国专利商标局（USPTO）获得授权且未被撤销的专利。使用该数据库的原因在于：其一，中国申请人在 USPTO 申请的专利在一定程度上体现了申请人抢占国际市场的需求，因此专利价值较高，可以更好地体现高质量创新^[25]；其二，现有文献已经通过使用该数据库分析中国技术与科学的关联^[15, 26]；其三，USPTO 要求申请人在申请专利时提供现有技术来源，因此，该数据库中的专利科学引文数据更加完整。论文数据来源于微软学术图谱（Microsoft Academic Graph, MAG），其提供了大量论文元数据，应用广泛^[27]。专利对论文的引用来自于专利科学引文数据库，其既包括专利首页引用，也包括专利正文部分的引用，从而能更加全面地展现科学向技术的知识流动^[28, 19]。

本文关注焦点为国内知识流动，因此我们结合 USPTO 专利数据库提供的申请人名称、地址和 MAG 数据库提供的作者单位，将施引专利限制为至少一个申请人来自中国并且引用中国论文的专利，所述被引中国论文指第一作者来自中国组织的论文，所述专利申请人为组织类型的申请人，因为组织类型的申请人往往是技术市场中的主体。本文将组织分为大学、科研机构、大中企业和小微企业和医院。其中，大中企业和小微企业的划分来自于天眼查数据库，其余类型主体划分依据其名称确定。采取第一作者单位地址作为科学知识来源的原因在于，第一作者和通讯作者是文章的最主要贡献者，而大部分第一作者和通讯作者所在单位均相同。本文并未区别不同顺序的专利申请人，其原因为专利权人不分顺序，均对专利具有财产权。

1.2 网络构建与分析指标

构建知识网络的步骤如下：以京津冀城市群为例，首先，在专利科学引文数据库中挑选出含有至少一个来自京津冀城市群专利申请人的施引专利及其引用的中国论文；第二，挑选出第一作者地址为京津冀城市群内组织的论文及施引这些论文并含有中国申请人的专利；第三，将二者合并去重，得到京津冀内组织参与的引用关系。由于本文关注重点在于不同组织间的知识流动，因此接

着删除同一组织间的引证。综上，形成得到 2001 年-2020 年引用关系 4325 条，其中共包括施引专利 2454 篇，被引论文 2702 篇。同理，可获得长三角城市群内组织参与的引用关系 3672 条，包括施引专利 2080 篇和被引论文 2646 篇。珠三角城市群内组织参与的引用关系 2661 条，包括施引专利 1752 篇和被引论文 2056 篇。以论文发表机构和专利申请人为节点，以专利对论文的引用边、引用数量为权重绘制城市群知识网络，箭头指向表征知识流向，节点大小表征该主体在网络中的度数中心性，即入度中心性与出度中心性之和，构建网络结构分析指标体系如表 1 所示。

表 1 京津冀、长三角和珠三角整体知识网络中创新主体重要性分析的指标体系
Table 1 Characters for analyzing the actors of the entire knowledge networks in Beijing-Tianjin-Hebei, Yangtze River Delta and Pearl River Delta

指标	含义	公式
入度中心性	主体的知识接收广度	$d_i^{in} = \sum_{j \neq i} x_{j,i}(e_{j,i} \in Ed)$
加权入度中心性	主体的知识接收活跃程度	$s_i^{in} = \sum_{j \neq i} w_{j,i}(e_{j,i} \in Ed)$
出度中心性	主体的知识输出广度	$d_i^{out} = \sum_{j \neq i} x_{i,j}(e_{i,j} \in Ed)$
加权出度中心性	主体的知识输出活跃程度	$s_i^{out} = \sum_{j \neq i} w_{i,j}(e_{i,j} \in Ed)$
中介中心性	主体的中介作用	$b_i = \sum_{j,g \neq i} \frac{n_{j,g}(i)}{n_{j,g}}, n_{j,g}$ <p>是节点 j 到 g 的最短路径数，$n_{j,g}(i)$ 节点从 j 到 g 且经过点 i 的最短路径数</p>

2 创新主体角色分析

2.1 整体网络分析

2.1.1 整体网络中创新主体重要性指标分析

图 1 为三个城市群整体知识网络图。可以看出，京津冀和长三角知识网络主体相对珠三角知识网络主体更多，因此规模更大。三个城市群知识网络中的参与主体都包括大学、科研机构、大中企业、小微企业和医院。在本地机构中，京津冀知识网络中本地小微企业占比最高，其后依次为本地大中企业、本地科研机构、本地大学和本地医院。与之不同的是，长三角和珠三角知识网络中，本地大学占比高于本地科研机构。京津冀和长三角知识网络中，核心节点以大学为主。珠三角知识网络中，核心节点则多为大学。

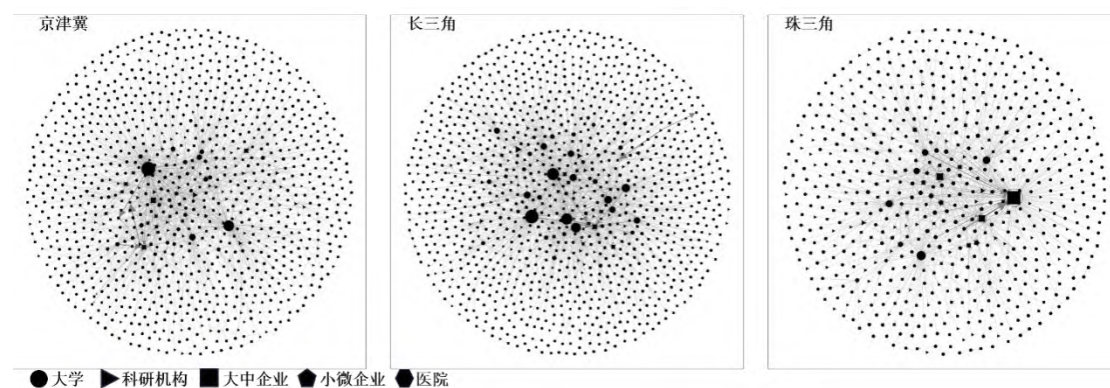


图 1 京津冀、长三角和珠三角整体知识网络图

Figure 1 Entire knowledge networks in Beijing-Tianjin-Hebei Region, Yangtze River Delta and Pearl River Delta

由于医院类型主体在三个网络中的数量均不足 1%，因此下文主要分析大学、科研机构、大中企业和小微企业在网络中的角色。分别计算不同类型本地主体在整体知识网络中的指标均值，如表 2 所示，研究整体知识网络微观结构，可得：

第一，在京津冀和长三角知识网络中，本地大学科学知识吸收广度更高，并且在知识接收上表现最为活跃。京津冀和长三角知识网络中，本地大学入度中心性和加权入度中心性均高于其余类型本地主体，说明其能从更多主体中获得更高层次的科学知识。在长三角知识网络中，本地科研机构的知识输入程度也较高，仅次于本地大学。而京津冀知识网络中，本地大中企业的入度中心度和加权入度中心度比本地科研机构更高。在珠三角网络中，知识吸收水平最高的是本地大中企业，其次是本地大学。这说明该网络中，本地大中企业知识吸收能力最强。在三个网络中，本地小微企业的入度中心性和加权入度中心性最低，知识吸收规模最小。

第二，本地大学承担着重要的科学知识输出角色，其次是本地科研机构。在三个知识网络中，本地大学的出度中心性和加权出度中心性最高。这体现了本地大学高广度与高强度的知识输出，其在网络中是主要的知识输出主体。本地大中企业略高于小微企业，但是和本地大学及科研机构具有较大差距，知识输出能力弱。这主要是由于相比于大学和科研机构而言，企业以论文形式披露其科学成果的数量较小。同一城市群中，本地大中企业和小微企业的出度中心度和加权出度中心度都相应地小于其入度中心度和加权入度中心度，说明本地企业更偏重于知识吸收。

第三，本地大学中介中心性最高，说明其承担着重要的知识网络中介角色。其在吸收和输出科学知识的过程中，也形成了知识的中转，为知识在没有直接

联系两个主体间流动创造了桥梁，所以其具有中介功能。本地科研机构在网络中也是重要的知识中介，但其中介能力低于大学。本地大中企业的中介中心性高于本地小微企业，但是远逊于本地大学和科研机构。

表 2 京津冀、长三角和珠三角整体知识网络中本地创新主体指标分析

Table2 Characters of local actors in the entire knowledge networks in Beijing-Tianjin-Hebei Region, Yangtze River Delta and Pearl River Delta

指标	本地主体	京津冀	长三角	珠三角
入度中心性	大学	4.113	4.110	5.565
	科研机构	2.062	3.167	4.176
	大中企业	3.512	2.183	6.803
	小微企业	1.739	1.939	2.407
加权入度中心性	大学	8.577	6.500	8.217
	科研机构	3.196	4.619	5.118
	大中企业	7.656	3.675	23.908
出度中心性	大学	10.380	10.410	10.261
	科研机构	3.464	4.048	1.706
	大中企业	0.544	0.168	0.211
加权出度中心性	大学	26.310	18.800	16.913
	科研机构	10.392	6.381	2.059
	大中企业	1.128	0.236	0.513
中介中心性	大学	3437.944	3440.164	1896.135
	科研机构	884.160	1372.386	466.673
	大中企业	61.116	17.374	8.605
	小微企业	2.275	14.528	0

2.1.2 整体网络中创新主体重要性指标相关性分析

利用 Pearson 相关系数计算三个城市群整体知识网络中本地各类型主体重要性指标之间的相关性，挖掘不同结构特征之间的关联，如表 3、表 4 和表 5 所示，可得，

根据表 3，京津冀整体知识网络的微观结构特点为：

第一，本地大学的各项指标之间显著正相关，并且相关系数均超过 0.85，说明本地大学的知识输出、输入和中介能力之间具有高度正向关联性，知识输出能力强的本地大学同时也大规模地吸收网络中其余主体的知识，并且也可以作为媒介为知识在无直接联系的两个主体间流动创造条件。

第二，本地科研机构的入度中心性、加权入度中心性和中介中心性之间相关系数高且显著，说明本地科研机构知识吸收程度越高，中介作用越大。在知识输出上，本地科研机构的知识输出广度越广，知识输出越活跃，并且其知识输出广度和中介能力之间也有较强的正相关性，这体现在出度中心性和加权出度中心性、中介中心性之间显著较高的相关系数上。

第三，本地大中企业的入度中心性和加权入度中心性之间、出度中心性和加权出度中心性之间存在显著且较强的相关性，说明整体网络中，本地大中企业的知识吸收广度与活跃程度之间、知识输出广度与活跃程度之间关联性较大。

第四，本地小微企业指标之间的高相关性主要体现在出度中心性和加权出度中心性之间，说明知识输出广的本地小微企业知识输出总量也较高。入度中心性和加权入度中心性之间相关系数较低，其中的主要原因是，一些本地小微企业虽然外部科学知识的提供者有限，但是他们从其中吸取了多项知识。此外，本地小微企业的入度中心性、加权出度中心性和出度中心性之间相关系数小于零，这也在一定程度上体现了吸收知识的本地小微企业并未将自身的科学知识转移到其余创新主体中。

表3 京津冀整体知识网络中本地创新主体重要性指标相关性
Table3 Correlation of characters of local actors in the entire knowledge network in Beijing-Tianjin-Hebei Region

本地主体	指标	入度中心性	加权入度中心性	出度中心性	加权出度中心性	中介中心性
大学	入度中心性	1	0.960***	0.929***	0.932***	0.954***
	加权入度中心性		1	0.858***	0.930***	0.876***
	出度中心性			1	0.905***	0.978***
	加权出度中心性				1	0.892***
	中介中心性					1
研究机构	入度中心性	1	0.917***	0.465***	0.120	0.813***
	加权入度中心性		1	0.405***	0.113	0.851***
	出度中心性			1	0.653***	0.617***
	加权出度中心性				1	0.205*
	中介中心性					1
大中企业	入度中心性	1	0.621***	0.079	-0.000	0.367***
	加权入度中心性		1	0.048	-0.003	0.325***
	出度中心性			1	0.919***	0.225*
	加权出度中心性				1	0.084
	中介中心性					1
小微企业	入度中心性	1	0.208*	-0.167*	-0.119	0.184*
	加权入度中心性		1	-0.037	-0.025	0.046
	出度中心性			1	0.788***	0.328***
	加权出度中心性				1	0.175*
	中介中心性					1

注：*在 0.05 水平（双侧）上显著相关；**在 0.01 水平（双侧）上显著相关；****在 0.001 水平（双侧）上显著相关，下同。相关系数（绝对值）强弱判断标准为 0.8 以上为极强相关，0.6-0.8 为强相关，0.4-0.6 为中等程度相关，0.2-0.4 为弱相关，0.2 以下且不为 0.0 为极弱相关，下同。

根据表 4，长三角整体知识网络的微观结构特点为：

第一，和京津冀整体知识网络类似，本地大学的各项指标均具有显著的正相关性。且相关系数都达到 0.70，说明在知识输出上表现活跃的本地大学往往也有着较强的知识吸收和中介能力。

第二，和本地大学类似，本地科研机构指标之间也显著正相关，且相关系数均在 0.76 以上，表明网络中本地科研机构的科学知识输出、吸收和中介能力三者之间紧密相关。

第三，本地大中企业与本地大学和科研机构表现出明显差异。本地大中企业的入度中心性和加权入度中心性之间相关系数达到 0.66，说明知识提供者多的本地大中企业知识吸收程度也高，但是这两个指标与出度中心性和加权出度中心性之间并不存在显著的相关关系，说明本地大中企业的知识吸收和输出能力之间无直接关联。本地大中企业的出度中心性和加权出度中心性之间存在显著的强相关关系，说明本地大中企业输出知识的广度越高，知识输出的总量越大。

第四，本地小微企业的入度中心性和加权入度中心性相关系数值较大且显著，说明对于知识获取活跃的本地小微企业，其知识来源也相对多元。本地小微企业的中介中心性与出度中心性和加权出度中心性显著强正相关，说明该网络中知识输出能力强的本地小微企业也具有较较强的中介作用。

表 4 长三角整体知识网络中本地创新主体重要性指标相关性

Table4 Correlation of characters of local actors in the entire knowledge network in Yangtze River

		Delta				
本地主体	指标	入度中心性	加权入度中心性	出度中心性	加权出度中心性	中介中心性
大学	入度中心性	1	0.982***	0.789***	0.745***	0.938***
	加权入度中心性		1	0.745***	0.696***	0.905***
	出度中心性			1	0.987***	0.903***
	加权出度中心性				1	0.881***
研究机构	中介中心性					1
	入度中心性	1	0.963***	0.824***	0.840***	0.801***
	加权入度中心性		1	0.836***	0.851***	0.766***
	出度中心性			1	0.988***	0.911***
大中企业	加权出度中心性				1	0.926***
	中介中心性					1
	入度中心性	1	0.665***	-0.088	-0.089	0.152*
	加权入度中心性		1	-0.089	-0.079	0.045
	出度中心性			1	0.894***	0.285***
	加权出度中心性				1	0.164*

本地主体	指标	入度中心性	加权入度中心性	出度中心性	加权出度中心性	中介中心性
	中介中心性					1
小微企业	入度中心性	1	0.822***	-0.012	-0.022	0.101
	加权入度中心性		1	-0.048	-0.054	0.029
	出度中心性			1	0.986***	0.860***
	加权出度中心性				1	0.824***
	中介中心性					1

根据表 5，珠三角整体知识网络的微观结构特点为：

第一，本地大学的加权入度中心性与其出度中心性、加权出度中心性之间没有显著的相关性，表明该网络中本地大学的知识吸收活跃程度和其输出能力之间缺少关联，这与长三角和京津冀知识网络中的本地大学存在差异。整体网络中，本地大学的入度中心性与加权入度中心性、中介中心性两两之间相关系数都超过 0.82，说明知识吸收广度大的大学在网络中知识输入总量更多，且有着更好的中介能力。类似地，本地大学的出度中心性与中介中心性和加权入度中心性之间的相关系数不低于 0.85，说明知识吸收广度大的大学在网络中知识输出总量更多，可以作为知识流动的有效中介。

第二，本地科研机构的入度中心性与加权入度中心性、中介中心性的相关系数高且显著，体现知识来源越广的本地科研机构，知识输入程度越高，作为知识流动的媒介功能越强。此外，本地科研机构加权入度中心性和出度中心性和加权出度中心性之间也存在强相关关系，这体现了本地科研机构知识吸收活跃程度与其知识输出能力之间的一致性。本地科研机构出度中心性、加权出度中心性、中介中心性两两之间的相关性也很强，说明向更多机构提供知识的本地科研机构，知识输出总量也更多，中介能力越大。

第三，与京津冀和长三角整体知识网络不同，珠三角整体网络中的本地大中企业的入度中心性和其出度中心性、加权出度中心性之间相关系数分别达到 0.52 和 0.79，加权入度中心性和出度中心性、加权出度中心性之间的相关系数分别达到 0.60 和 0.84，且上述指标均与中介中心性之间相关性也均达到 0.73，说明网络中，本地大中企业的知识输出、输入和中介能力之间存在高度关联，即知识接收能力强的本地大中企业知识输出规模也高，同时，其也在网络中承担“桥梁”作用，为不同创新主体之间形成知识联系提供媒介。

第四，本地小微企业指标之间的相关性体现在入度中心性和加权入度中心性上，吸收知识广的小微企业接收知识输入的程度也较高。

表 5 珠三角整体知识网络中本地创新主体重要性指标相关性

Table5 Correlation of characters of local actors in the entire knowledge network in Pearl River Delta

本地主体	指标	入度中心性	加权入度中心性	出度中心性	加权出度中心性	中介中心性
大学	入度中心性	1	0.914***	0.506*	0.504*	0.820***
	加权入度中心性		1	0.385	0.349	0.689***
	出度中心性			1	0.958***	0.856***
研究机构	加权出度中心性				1	0.820***
	中介中心性					1
	入度中心性	1	0.973***	0.590*	0.596*	0.706**
大中企业	加权入度中心性		1	0.686**	0.693**	0.808***
	出度中心性			1	0.998***	0.886***
	加权出度中心性				1	0.892***
小微企业	中介中心性					1
	入度中心性	1	0.941***	0.522***	0.789***	0.767***
	加权入度中心性		1	0.598***	0.836***	0.846***
小微企业	出度中心性			1	0.774***	0.726***
	加权出度中心性				1	0.774***
	中介中心性					1
小微企业	入度中心性	1	0.927***	ns	ns	ns
	加权入度中心性		1	ns	ns	ns
	出度中心性			1	ns	ns
小微企业	加权出度中心性				1	ns
	中介中心性					ns

注：ns 表示缺少足够的计算该指标。

2.2 自我网络分析

图 2 为三个城市群中本地大学、科研机构、大中企业和小微企业的自我网络图。从中分析不同主体的知识交流特点，可得，京津冀和长三角城市群中，本地大学自我网络的规模最大；珠三角城市群中，规模最大的则为本地大中企业的自我网络。京津冀本地大学的自我网络中包括了该城市群整体知识网络中的 52.2%的主体，长三角则为 64.7%，这体现了本地大学在两个城市群知识流动网络中广泛的影响力。珠三角城市群中，本地大学自我网络只包括了 40.3%的主体，而本地大中企业的自我网络中则涵盖了 52.1%的主体，这表明该城市群中本地大中企业具有知识联系更广。虽然参与三个城市群知识网络的本地小微企业在数量上较多，但是其网络规模却并不与其数量完全对应，这表明与本地小微企业之间存在知识流动关系的主体不多。

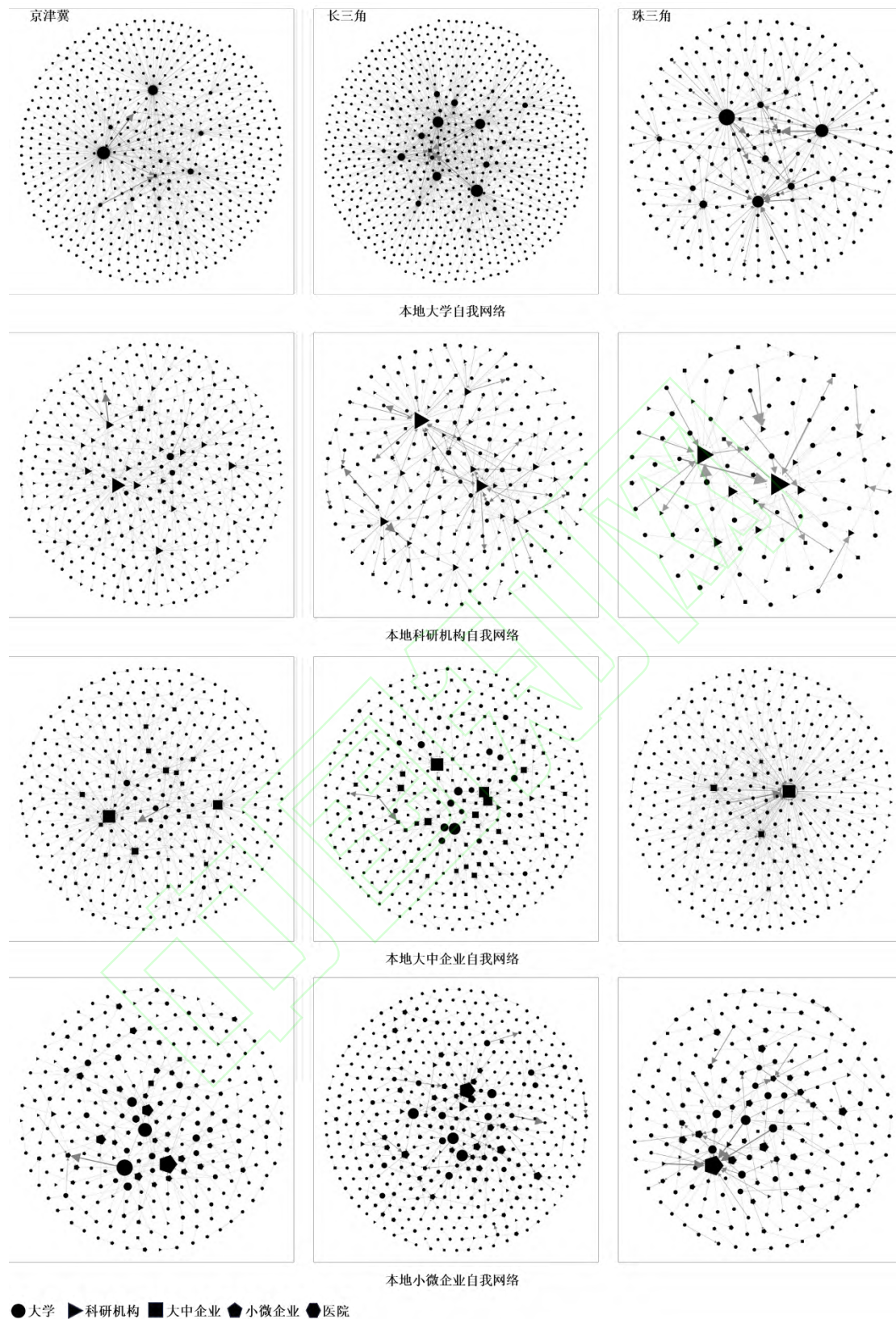


图2 京津冀、长三角和珠三角本地不同类型创新主体自我网络

Figure 2 Ego-networks of local actors in Beijing-Tianjin-Hebei Region, Yangtze River Delta and Pearl River Delta

进一步地，按与本地主体进行知识交流的主体是否处于同一城市群，将各本地主体的自我网络分解成区域内知识与跨区域知识网络。图 3 展示了各类本地主体自我网络中，本地主体和区域外主体的连接占整体自我知识网络中边规模的比例。从图中可知，区域外主体进行知识交流是组成知识网络的主要部分。各类型本地主体与区域外主体进行知识交流的规模均超过其与区域内主体的知识联系。这在一定程度上体现了公开的科学知识可以减少地理距离的限制。各类型主体之间也存在差异。京津冀和长三角城市群中，本地大学与区域外主体的连接占比最高，这体现了本地大学与区域外主体之间的高度联系，表明本地大学是两个城市群中区域内外知识交流的重要渠道。珠三角城市群中则是本地大中企业最高，表明本地大中企业则是珠三角地区进行跨区域知识交流的最重要成员，这些企业从区域外主体中获得了更多的知识。特别地，和京津冀与长三角城市群相比，珠三角城市群各主体自我知识网络中区域外节点的相对规模和跨区域知识联系程度最大，表明珠三角城市群中跨区域知识交流更为活跃。

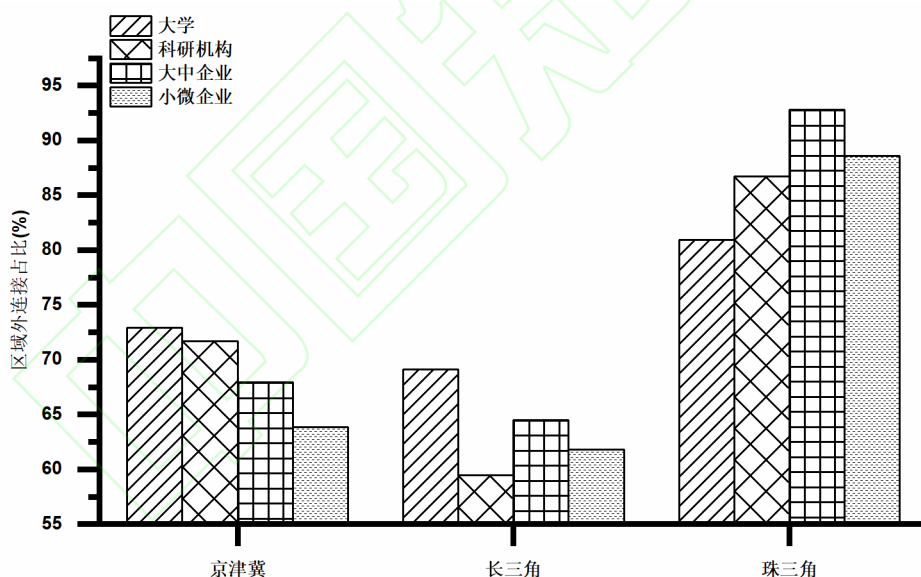


图 3 本地创新主体自我网络中跨区域知识交流占比

Figure 3 Percentage of inter-regional knowledge flow in the ego-networks of local actors

3 主要研究结论与启示

3.1 研究结论

本文通过专利及其科学引文，分别在组织尺度上构建了京津冀、长三角和珠三角城市群知识网络，从整体网络和自我网络两个维度对创新主体的角色进行了研究和对比，主要结论为：

第一，本地机构中，大学、科研机构、大中企业和小微企业是知识网络中主要参与者，他们的角色存在差异性。本地大学既是科学知识的主要输出者，也是关键接收者，还在网络中承担中介功能。本地科研机构在网络中也同时具有知识输出、输入和中介作用，但总体水平低于本地大学。而本地大中企业和本地小微企业则更侧重于吸收外部科学知识，只有少量本地企业可以作为网络中其他创新主体的知识来源或中介。本地小微企业的平均知识输出、输入与中介的程度最小。

第二，在京津冀和长三角知识网络中，本地大学的知识输出、输入和中介功能具有同一性。即知识输出能力强的本地大学同时也大量地将外部科学知识转化为技术创造。本地大中企业和小微企业的知识输出、输入和中介能力之间并没有显著相关性，吸收知识多的企业缺少知识的输出。珠三角知识网络中，知识输入程度高的本地大学知识输出规模并不一定大，而知识吸收能力强的本地大中企业也通过披露其科学研究成果促进了其他主体的技术发明。同时，其也是知识的中转站，是维系网络间接联系的重要成员。

第三，跨区域知识流动是构成城市群知识网络的重要组成部分。京津冀和长三角网络中，与外部主体往来最为密切的是本地大学，而珠三角城市群中，本地大中企业与外部产生直接知识交流的比重最高。

本文的边际贡献在于，一是丰富了对区域创新系统中创新主体作用的理解^[3-8]，增加了对科学知识向技术知识转化过程的微观认知^[16]。二是采用了专利引用论文的研究方法表示主体间科学知识与技术知识的关联，相较于使用大学合作专利的研究^[7]，可以更为全面地展现科学发展对技术创新的作用。其原因为，首先，大学合作专利虽然很多也是基于科学研究而来，但仍侧重于技术知识层面，不易直接体现科学到技术的转化过程。其次，合作侧重于创新者在发明过程中的隐形知识交互，而专利对论文的引用可以表示技术创新主体对公开知识的学习。这是一种显性的知识流动，在一定程度上可以减少地理距离等客观因素的限制。

3.2 启示与建议

对于京津冀和长三角城市群而言，本地大学在知识输入和知识输出上均承担重要作用。因此建议首先要增加企业对本地大学科研成果的了解，通过组织会议、实地参访等形式打破地理和组织边界，增加大学、科研院所和企业等不同类型主体的接触，让企业可以从高校和科研院所中获取创新所需的科学知识。其次，本地大学和科研机构也有知识吸收功能，因此可以通过建立科技中介平台，向企业许可或转让相关专利，使其更好地在市场上发挥价值。此外，考虑到本地企业知识输入和输出能力不匹配，其中的原因可能是知识输入多的企业对外部科学知识比较依赖，内部研发投入不够。因此要促进企业进行科学研究，提升企业吸收能力。一方面，可以鼓励企业设立研究院，对获得重大科学研究成果的企业进行一定程度的奖励。另一方面，要建立合理的人员流通机制，鼓励企业吸收高校科研人才，提高企业的研发水平，为企业技术创新赋能。

对于珠三角城市群而言，本地企业在知识网络中占据重要位置，并且其从区域外吸收知识的程度高，因此，政策侧重点可以在于增加本地科研资源，减少本地企业知识吸收成本。首先，大力建设本地高校和科研机构，增加区域内的科研投入，吸引高水平科研人才，提升本区域科研能力。其次，要打破行政壁垒，积极引入区域外科研资源。一方面，可以发挥邻近港澳的区位优势，增加对国际科研人才的吸引。另一方面，考虑到本地企业科研实力强的优势，可以结合珠三角城市群优质的科技服务能力和良好的营商环境，联合政府、区域内企业和区域外高水平高校、科研院所等共建研发机构，增进不同主体的资源互补，促进科研成果的高质量转化。同时，这也可以吸引更多资金与人才，为技术的突破升级提供条件。

本文的不足在于，利用专利引用论文建立的科学与技术之间的知识流动可能存在如下缺陷：首先，相关文献可能未被专利引用，或者引用的论文可能仅为技术背景。未来可以通过文本分析建立科学与技术之间的联系。其次，一些企业可能不会以论文的形式公开其科学研究成果，因此可能会在一定程度上低估企业的知识输出。第三，使用 USPTO 的专利虽然具有引文数据完整、低质量创新干预小的益处，但由于专利申请人存在本国申请的偏好，可能在一定程度上低估知识网络的规模，因此未来可以结合中国国家知识产权局的专利数据做进一步研究。

参考文献

- [1] Doloreux D. What we should know about regional systems of innovation[J]. *Technology in Society*. 2002, 24(3): 243-263.
- [2] Boschma R A, ter Wal A L J. Knowledge networks and innovative performance in an industrial district: The case of a footwear district in the south of Italy[J]. *Industry and Innovation*. 2007, 14(2): 177-199.
- [3] Tsouri M, Pegoretti G. Structure and resilience of local knowledge networks: The case of the ICT network in Trentino[J]. *Industry and Innovation*. 2021, 28(7): 860-879.
- [4] Kauffeld-Monz M, Fritsch M. Who are the knowledge brokers in regional systems of innovation? A multi-actor network analysis[J]. *Regional Studies*. 2013, 47(5): 669-685.
- [5] 温珂, 刘意, 潘韬, 等. 公立科研机构在国家创新系统中的角色研究[J]. *科学学研究*. 2023, 41(2): 348-355. Wen K, Liu Y, Pan T, et al. The role of public research institutes in national innovation system[J]. *Studies in Science of Science*. 2023, 41(2): 348-355.
- [6] 戴勇, 王诗卉. 创新网络守门人区域比较研究:以电信领域为例[J]. *科研管理*. 2019, 40(7): 106-118. Dai Y, Wang S H. A comparative study of the area of innovation network gatekeeper: Taking the field of telecommunications as an example[J]. *Science Research Management*. 2019, 40(7): 106-118.
- [7] 解志韬, 孔繁肿, 谢楠. 长三角“双一流”高校协同创新时空演进——基于合作授权专利的社会网络分析[J]. *研究与发展管理*. 2021, 33(5): 149-160. Xie Z T, Kong F C, Xie N. Spatio-temporal evolution of collaborative innovation in “Double First-Class” universities in Yangtze River Delta—A social network analysis based on cooperatively authorized patents[J]. *R&D Management*. 2021, 33(5): 149-160.
- [8] 何喜军, 吴爽爽, 武玉英, 等. 专利转让网络中结构洞占据者识别及角色演化——粤港澳大湾区的实证研究[J]. *科学学与科学技术管理*. 2022, 43(4): 75-94. He X J, Wu S S, Wu Y Y, et al. Identification of structural hole spanners and its role evolution in patent transfer networks: An empirical study on the China Greater Bay Area[J]. *Science of Science and Management of S.&T*. 2022, 43(4): 75-94.
- [9] Zhao Y, Li D, Han M, et al. Characteristics of research collaboration in biotechnology in China: Evidence from publications indexed in the SCIE[J]. *Scientometrics*. 2016, 107(3): 1373-1387.
- [10] 陈强, 刘笑. 上海高校创新合作演化路径分析——基于论文合作的角度[J]. *同济大学学报(社会科学版)*. 2016, 27(5): 109-116. Chen Q, Liu X. On the evolutionary path of the research of university innovation cooperation in Shanghai — An empirical research based on paper data[J]. *Tongji University Journal Social Science Section*. 2016, 27(5): 109-116.
- [11] 王黎莹, 吴瑛, 朱子钦, 等. 专利合作网络影响科技型中小企业创新绩效的机理研究[J]. *科研管理*. 2021, 42(1): 57-66. Wang L Y, Wu Y, Zhu Z Q, et al. A research on the influence mechanism of patent cooperation networks on innovation performance of technology-based SMEs[J]. *Science Research Management*. 2021, 42(1): 57-66.
- [12] 何喜军, 吴爽爽, 才久然, 等. 中美湾区科技主体间专利转让网络结构演化对比研究[J]. *科学学与科学技术管理*. 2021, 42(11): 77-95. He X J, Wu S S, Cai J R, et al. A comparative study on the structural evolution of patent transfer network among subjects in the China and the U.S. Bay Area[J]. *Science of Science and Management of S.&T*. 2021, 42(11): 77-95.

- [13] 陈劲, 赵晓婷, 梁靓. 基于科学的创新[J]. 科学学与科学技术管理. 2013, 34(6): 3-7.
Chen J, Zhao X T, Liang L. Science-based Innovation[J]. Science of Science and Management of S.&T. 2013, 34(6): 3-7.
- [14] Ke Q. An analysis of the evolution of science-technology linkage in biomedicine[J]. Journal of Informetrics. 2020, 14(4): 101074.
- [15] Wang G, Guan J. Measuring science-technology interactions using patent citations and author-inventor links: An exploration analysis from Chinese nanotechnology[J]. Journal of Nanoparticle Research. 2011, 13(12): 6245-6262.
- [16] Balland P, Boschma R. Do scientific capabilities in specific domains matter for technological diversification in European regions?[J]. Research Policy. 2022, 51(10): 104594.
- [17] Ahmed N, Wahed M, Thompson N C. The growing influence of industry in AI research[J]. Science. 2023, 379(6635): 884-886.
- [18] Youtie J, Ward R, Shapira P, et al. Corporate engagement with nanotechnology through research publications[J]. Journal of Nanoparticle Research. 2021, 23(4): 85.
- [19] Bikard M. Made in academia: The effect of institutional origin on inventors' attention to science[J]. Organization Science. 2018, 29(5): 818-836.
- [20] Bonaccorsi A. Addressing the disenchantment: Universities and regional development in peripheral regions[J]. Journal of Economic Policy Reform. 2017, 20(4): 293-320.
- [21] 张杰, 白铠瑞. 中国高校基础研究与企业创新[J]. 经济研究. 2022, 57(12): 124-142. Zhang J, Bai K R. Basic research in Chinese universities and enterprise innovation[J]. Economic Research Journal. 2022, 57(12): 124-142.
- [22] Yang W, Yu X, Wang D, et al. Spatio-temporal evolution of technology flows in China: Patent licensing networks 2000 - 2017[J]. The Journal of Technology Transfer. 2021, 46(5): 1674-1703.
- [23] Narin F, Hamilton K S, Olivastro D. The increasing linkage between U.S. technology and public science[J]. Research Policy. 1997, 26(3): 317-330.
- [24] Lemley M A, Sampat B. Examiner characteristics and patent office outcomes[J]. The Review of Economics and Statistics. 2012, 94(3): 817-827.
- [25] 张晓京, 于渤. 开放经济条件下基于NTB指数的中国专利质量研究[J]. 财经研究. 2012, 32(12): 108-119. Zhang X J, Yu B. A study of China's patent quality under open economy based on NTB Index[J]. Journal of Finance and Economics. 2012, 32(12): 108-119.
- [26] Guan J, He Y. Patent-bibliometric analysis on the Chinese science-technology linkages[J]. Scientometrics. 2007, 72(3): 403-425.
- [27] Sinha A, Shen Z, Song Y, et al. An overview of Microsoft academic service (MAS) and applications[C]// Proceedings of the 24th International Conference on World Wide Web. New York: ACM Press, 2015: 243-246.
- [28] Marx M, Fuegi A. Reliance on science: Worldwide front - page patent citations to scientific articles[J]. Strategic Management Journal. 2020, 41(9): 1572-1594.
- [29] Marx M, Fuegi A. Reliance on science by inventors: Hybrid extraction of in-text patent-to-article citations[J]. Journal of Economics & Management Strategy. 2022, 31(2): 369-392.