



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

基于 SIPO 的中国人工智能领域专利合作网络演化研究

李艳¹ 先剑波² 白旭¹

1. 北京林业大学经济管理学院 北京 100083;

2. 北京林业大学信息学院 北京 100083

摘要: 人工智能进入大规模场景应用落地的黄金期, 本研究揭示了我国人工智能领域专利合作网络的演化过程, 为我国人工智能资源配置及相关政策的制定提供一定的参考。基于 2010-2018 年的我国人工智能领域 SIPO 合作申请专利数据, 本文使用社会网络分析技术, 分别对专利技术之间、专利申请人之间的专利合作网络的演化特征进行分析, 构建技术与关键专利申请者的二模网络以探讨二者之间的相互影响。本文研究发现, 2010-2018 年我国人工智能技术合作关系由孤立散乱到更为紧密集中。我国人工智能专利合作网络中研究机构间的信息交流逐渐密切, 且存在结构洞和小世界效应, 各研究机构间的独立性和异质性也有所增强。技术与关键研发者相互影响, 推动彼此占据合作网络中的优势位置。

关键词: 人工智能; 专利分析; 社会网络分析; 网络演化

中图分类号: G350

Research on the Evolution of Patent Cooperation Network in the Field of Artificial Intelligence in China Based on SIPO

LI Yan¹ XIAN Jianbo² BAI Xu¹

1. School of Economics and Management, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;

2. School of Information Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Artificial intelligence enters the prime period of large-scale application. This study reveals the evolution of patent cooperation network in the field of artificial intelligence in China, and provides certain decision support for the allocation of

作者简介: 李艳 (1971-), 博士, 教授, 硕士生导师, 研究方向: 竞争情报、知识管理、创新管理, E-mail: liyan88@bjfu.edu.cn; 先剑波 (1997-), 本科, 研究方向: 专利分析; 白旭 (1997-), 本科, 研究方向: 社会网络分析。

artificial intelligence resources and related policies in China. Based on the patent cooperation data from SIPO in the field of artificial intelligence in China from 2010 to 2018, this paper, using social network analysis method, analyzes the evolution characteristics of the patent cooperation network between AI technologies and patent applicants, and builds AI technologies and key patent applicants' two-mode networks to explore the interaction between them. This results show that China's artificial intelligence technology cooperation relationship has been scattered from isolation to closer concentration from 2010 to 2018. Computer vision and human-machine dialogue will probably be hot technology application in the next stage. The information exchange between research institutions in China's artificial intelligence patent cooperation network has gradually become closer. At the same time, independence and heterogeneity among research institutions have also increased. Technology and key developers interact to drive each other's dominant position in the cooperative network.

Keywords: Artificial intelligence; patent analysis; social network analysis; network evolution

引言

1956年,“人工智能(Artificial Intelligence,简称AI)”在达特茅斯会议上被正式提出^[1],此后,世界各国纷纷针对这一领域开展持续性研究,美国、欧盟和日本等国家和地区相继开启了人工智能国家创新计划,而我国也将人工智能提升为国家战略。2019年两会期间,李克强总理连续三次在政府工作报告中谈到人工智能产业的发展,并强调深化大数据、人工智能等领域的研发与应用。作为创新成果的表现形式,专利能够有效反应国家的科研发展现状。通过分析专利数据,可以深入挖掘人工智能领域专利合作网络的演化规律。

专利合作网络是高校、科研院所与企业之间通过联合申请等方式形成的复杂网络,是一种典型的社会关系网络^[2]。我国人工智能领域研究起步较晚,2013年才迎来专利申请量的增长高峰期^[3],专利数据基础不够充实,简单的统计分析方法难以有效挖掘合作网络中的复杂信息,而社会网络分析方法将每个个体作为一个节点,进而研究众多节点的互动和整体网络

的测度,相比于统计分析方法更具有优势。因此,本文通过社会网络分析的方法研究人工智能领域专利合作网络中的核心节点以及合作关系网络在各个阶段的演化进程。

1 研究综述

近年来,国内外有关人工智能专利分析的研究刚刚兴起。Fujii H, Managi S^[4]首次应用分解框架来研究人工智能技术发明的决定因素,研究结果表明不同国家和公司的人工智能技术专利特点不同。赵蓉英等^[5]从专利引证视角分析全球47个专利机构的专利信息,找出人工智能领域的核心专利并发现自然语言处理、语音识别和计算机视觉是人工智能核心技术的一部分。陈军等^[6]从PCT申请量、创新主体等方面对中美人工智能产业发展进行比较研究,发现中美两国在重点技术领域存在一定差异,在专利申请量方面,美国以企业为主导,而中国却以高校为主导,中国的技术创新若不能与市场有效结合,会对人工智能的产业化产生不利影响。吕文晶等^[7]运用文献计量法分析了2008-

2017年的国内人工智能研究文献,发现社会科学领域学者对人工智能的研究主要集中在宏观解读、战略研究等方面,对人工智能专利合作网络的研究较少。专利合作网络是指企业在研发合作、产学研合作、技术转移过程中通过合作申请专利、购买、转让或交叉许可专利而形成的复杂网络^[8]。现有研究主要关注区域专利合作和跨国专利合作的整体网络演化规律。唐恒等^[9]对京津冀地区专利合作网络的结构进行演化分析,结果表明电力等行业的专利合作模式随时间演化出星型网络结构。刘凤朝等^[10]发现中国“985高校”产学研合作网络演化具有明显的阶段性特征。张明倩等^[11]对“一带一路”跨国专利合作的研究表明,中国正成为越来越多国际专利合作的对象,其在合作网络中的影响力不断增强。

综上所述,人工智能领域专利分析的研究尚存在以下问题有待深入:(1)中国人工智能专利技术的演化研究。已有文献对世界人工智能领域的专利技术进行对比研究,但不同国家、不同时间区间专利技术的发展态势不完全一致,目前我国人工智能领域专利技术的演化特征尚不明晰。(2)中国人工智能专利合作网络的演化研究。已有研究主要关注区域或跨国的全行业专利合作网络的发展趋势,少有探讨中国人工智能领域专利合作网络的演化研究。(3)专利技术与专利申请人的合作网络演化研究。已有专利分析的研究大多单独以专利申请人或专利技术构建合作网络,缺少对合作专利申请人与热点技术的联系进行整体研究,使用二模网络可研究二者在关系网络中的互相关联和影响,以探讨不同技术与专利申请人网络位置和能力

的演变。

因此,本文聚焦中国人工智能领域并以其专利信息为研究对象,在对专利进行统计分析的基础上,利用自然语言处理等技术对专利数据进行文本抽取、社会网络分析等处理,绘制、挖掘和显示专利技术之间、专利申请人之间、技术与关键专利申请者之间在不同时期的合作网络。探讨我国人工智能领域专利合作网络的演化趋势,以发挥合作网络中关键节点的辐射带动作用,促进产学研一体化发展。

2 数据来源与研究方法

本文借鉴世界知识产权组织(World Intellectual Property Organization, WIPO)于2019年发布的人工智能领域专利报告中采用的分类^[12],并结合国际计算机协会(Association for Computing Machinery, ACM)于2012年更新的计算分类系统(ACM Computing Classification System, CCS)^[13],最终采用的一种如图1所示的人工智能技术关键字分类方法,该分类方法共包含64个关键字。分类方法将人工智能领域专利关键字分为两个主要部分:(1)人工智能技术。包括逻辑编程、机器学习等人工智能基础理论。(2)人工智能功能应用。例如语音识别、自动驾驶等可以利用多种人工智能技术实现的功能应用。人工智能技术或者功能可以应用的领域,例如教育、医学科学、军事等。本文假设以标题和摘要包含该分类方法中64个关键字的专利视为人工智能领域专利,同时将申请人中含有大学、公司、研究院等两个关键字及以上的专利视为合作专利。

移动互联网时代产生大量数据以及计算机性能大幅提升的背景下,学术界与工业界纷纷对深度学习、人工智能技术注入了更多的关注和期待,人工智能产业也逐渐上升到国家战略层面。可以看出,2010-2018年中国人工智能合作专利

申请量总体上呈持续增长趋势,其中2014年和2016年经历了两次陡增。因此本文以这两个时间作为分割点,从2010-2014年、2015-2016年、2017-2018年三个阶段对专利合作网络的演化进行探究。

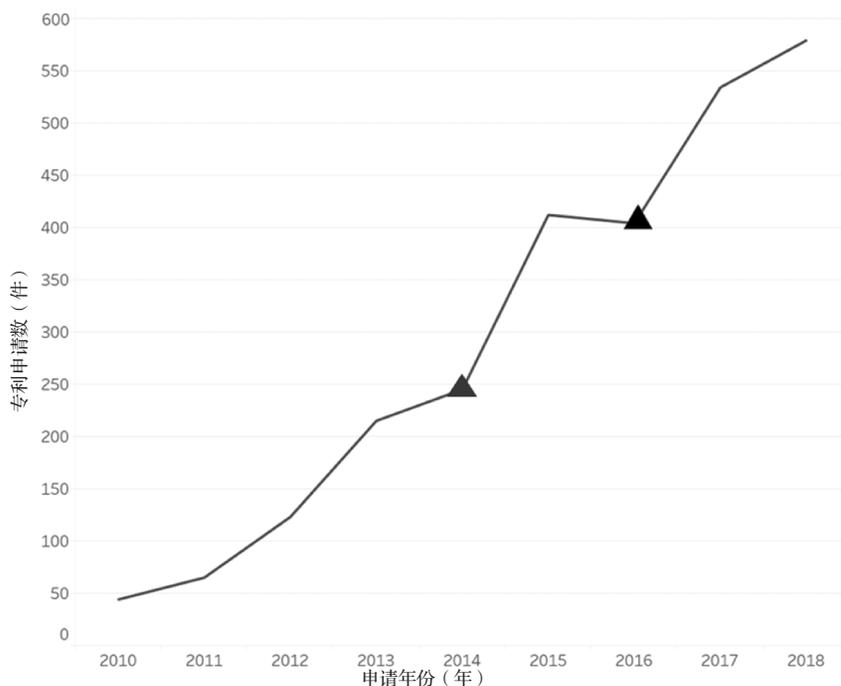


图2 2010-2018年中国人工智能合作专利申请量

本文采用 Python 环境下的中文分词工具 Jieba 对人工智能合作专利数据的标题、摘要进行文本分词,并实现词频统计与共词矩阵算法。关键词词频反映了该领域的研究热度和水平,共词矩阵揭示关键字之间研究的关联程度。利用 VOSviewer、Gephi 和 Pajek 软件对数据进行挖掘提取,构建热力图、共现网络图和二模网络图进行可视化展示,进一步深入挖掘、识别和分析我国人工智能专利合作网络演化特点。

3 我国人工智能合作专利技术演化研究

3.1 合作申请专利的热点技术识别

某一领域研究文献中关键词的出现频次高低代表了其对应内容的研究热度^[16]。本文首先对2010-2018年人工智能合作申请专利的摘要和标题的文本数据进行分词处理,选取图1中人工智能技术的关键字,对同义词进行合并处理,例如,SVM、支持向量机合并为支持向量机。

并进行关键词词频统计，根据词频绘制人工智能领域关键词词云。

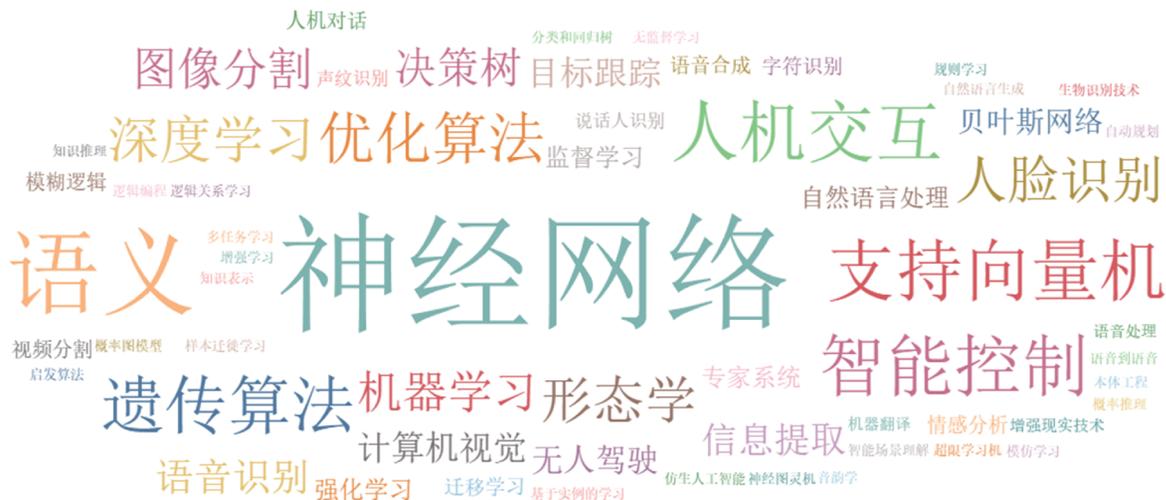


图3 人工智能专利关键词词云

高频关键词的选取借鉴了齐普夫定律，在考虑到同频词理论时，即高频词的词频都是不重复的，低频词的词频会出现重复^[17]。经过分析得出，高频词有神经网络、语义，中频词有人机交互、支持向量机、智能控制、遗传算法、深度学习、优化算法、语音识别和人脸识别。依据图1所示分类方法对上述关键词进行分类可知，在人工智能技术部分，神经网络、支持向量机、遗传算法、深度学习和优化算法属于机器学习技术子类别。在人工智能基础应用部分，计算机视觉包括人脸识别，自然语言处理包括语义，语音处理包括语音识别，智能控制和人机交互为主要人工智能应用领域。

3.2 合作申请专利的技术演化分析

从合作专利申请总量上分析，神经网络、支持向量机、遗传算法和深度学习为热点技

术，语义、人机交互和智能控制为主要应用。为进一步研究技术热点的时间演化特征，本文按2010-2014年、2015-2016年和2017-2018年三个阶段为对象，选取图1所示关键词，经Ochia系数将共词矩阵转化为相似矩阵，利用VOSviewer绘制密度视图。红色区域表示该处聚集的技术很多，在技术发展过程中的影响力较大，黄色、绿色、蓝色依次表示技术影响力的递减趋势。

由合作专利技术热图可知，各主题聚类由散乱分布状态逐渐靠近，最终形成以神经网络和深度学习两大聚类团为核心的分布状态。从2010-2018年，热点技术明显增多，神经网络一直为主题聚类的核心，其与支持向量机、深度学习和遗传算法等技术关联更为密切。热图中显示了一些边缘标签如字符识别、语音识别和强化学习等，由于关联度高的技术太少，未能形成有效聚类。

分析图 5 到图 6 的变化，发现语音识别由单独标签变成与迁移学习、深度学习技术紧密相关的聚类团，这两项技术可能对语音识别的发展具有推动作用。由此可知，我国人工智能技术间的关联

逐渐增多，中国大学又拥有世界上大部分的深度学习技术专利组合^[16]，机器学习技术的主导优势和技术间合作可能是推动我国人工智能领域合作专利增长的原因之一。

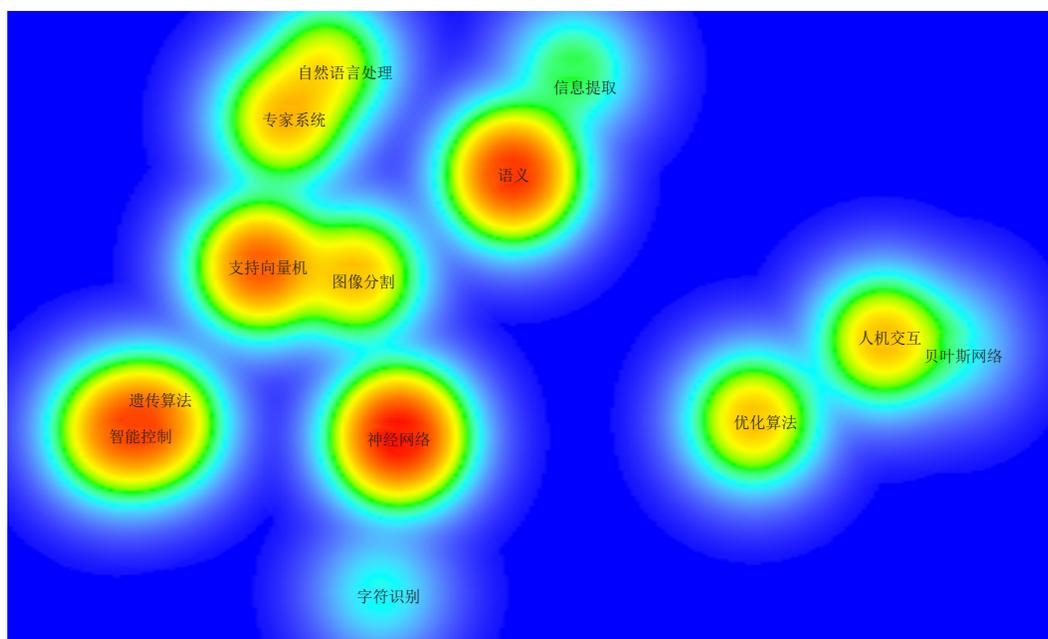


图 4 2010-2014 年合作专利技术热图

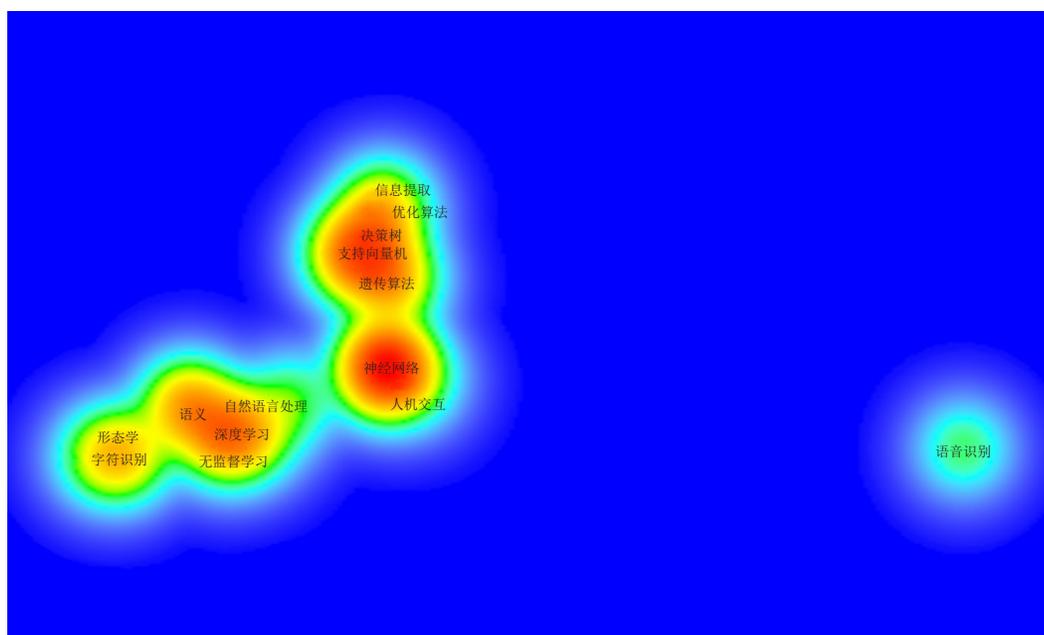


图 5 2015-2016 年合作专利技术热图

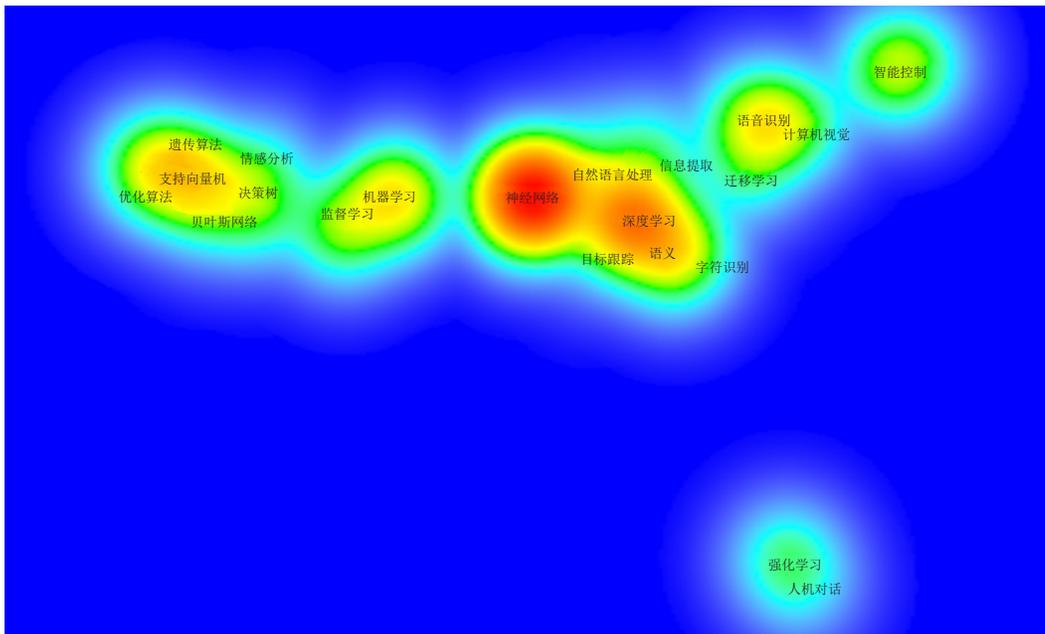


图 6 2017-2018 年合作专利技术热图

4 我国人工智能专利合作网络演化研究

《全国专利事业发展战略（2011-2020 年）》指出，全面深化专利的国际交流与合作，创新合作方式，丰富合作手段，拓展合作领域。已有研究结果指出合作是提高专利质量最关键的影响因素之一^[18]，因此，本文选图 1 中人工智能技术、人工智能功能应用两个方面的关键词，通过构建共词矩阵，本文将专利权人之间的合作关系以可视化图谱展示。

4.1 专利合作网络的关键节点识别

在企业与高校通过专利合作申请而形成的社会网络关系中，点和无向关系线条会形成一个复杂的关系网络，其中少数重要性较强、影

响力较高的节点称为关键节点^[19]。考虑到合作网络的全局信息，为了观察节点对信息的传递或控制^[20]，本文选择中间中心度作为关键节点识别方法。节点 v 的中间中心度 $C_g(v)$ 的定义如下：

$$C_B(v) = \sum_{s < t} \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}$$

其中 σ_{st} 表示节点 s 和 t 之间的最短路径的数量，而 $\sigma_{st}(v)$ 是最短路径中经过节点 v 的数量。当某个节点处于众多其他节点对之间的最短途径上时，则该节点就具有较高的中间中心度。中间中心度越高就证明节点对网络内其他节点间的信息传递和控制的影响越大^[21]。根据经济交易的行为特征和社会网络特征，节点的中心度会呈现离散的幂律分布^[22]，因此，研究关键节点会更有意义。

表 1 专利合作网络中间中心度演化

2010-2014年		2015-2016年		2017-2018年	
国家电网公司	2858.68	国家电网公司	3664.83	国家电网公司	6176.34
清华大学	1458.30	上海交通大学	1111.44	华南理工大学	1817.49
腾讯公司	606.40	清华大学	992.42	清华大学	1627.79
北京大学	425.70	腾讯公司	534.25	腾讯公司	1144.00
重庆大学	304.20	武汉大学	438.84	武汉大学	836.84
东南大学	252.75	中国电科院公司	418.39	天津大学	778.91
华中科技大学	231.30	东南大学	365.20	西安交通大学	662.56
中国电科院公司	220.00	华南理工大学	337.27	中国电科院公司	659.09
武汉大学	192.22	北京大学	318.50	上海交通大学	537.57
上海交通大学	88.00	华为公司	269.53	东南大学	516.97
华为公司	82.40	西南交通大学	215.50	浙江大学	472.64
华北电力大学	12.08	青海电力公司	106.90	南瑞公司	443.82
广东工业大学	4.00	浙江电力公司	91.07	华南师范大学	440.00
北大方正公司	1.50	四川大学	8.00	河海大学	378.14
河海大学	0.00	河海大学	1.65	中国电科院公司	350.09
-	-	北大方正公司	0.50	合肥工业大学	268.09
-	-	-	-	华为公司	7.61
-	-	-	-	思必驰公司	0.00

注：华为公司即华为技术有限公司；腾讯公司即腾讯科技（深圳）有限公司；思必驰公司即苏州思必驰信息科技有限公司；中国电科院公司即中国电力科学研究院有限公司；北大方正公司即北大方正集团有限公司；青海电力公司即国网青海省电力公司；浙江电力公司即国网浙江省电力公司；南瑞公司即南京南瑞集团公司。

具有较高中间中心度的研发者处整体网络的上信息和知识流动的中心位置，可以从整体网络中吸收大量知识和信息，进而越有可能催生有应用价值的创新产出^[23]。由表 1 可知，国家电网公司、清华大学和腾讯科技（深圳）有限公司在三个阶段的中间中心度都较高，稳居前五。说明这三者把握着强大的信息资源，是整体网络上信息通道的控制中心，拥有大量的合作伙伴，这两者的合作行为和研究动向会影响其他节点。武汉大学和华南理工大学的中间中心度增加，掌控资源的能力逐渐增强。在第二阶段，上海交通大学上升至第二，但其中间

中心度在第三阶段却大幅下降。经过分析，第三阶段中上海交通大学与苏州思必驰信息科技有限公司合作申请的专利数远多于其他合作对象，可能形成小范围聚集现象。为了加强高校间和企业间合作程度以及信息资源的传播效率，需要关注中间中心度上升的高校和企业以及小范围聚集现象。

4.2 专利申请人合作网络演化分析

本文将共同申请专利的机构作为网络的节点，把机构之间共同申请专利的关系作为节点之间的联系，进而得到专利合作网络。本研究

中不考虑申请人的署名顺序，合作申请人的贡献度均等，两节点之间的连线是无向的，节点的大小代表了连入度，连线的粗细代表合作专利数。本文选取合作申请专利数为三个及以上

的专利数据，使用基于模块度优化的算法进行社区识别^[24]，以不同颜色代表了典型社区，从2010-2014年、2015-2016年、2017-2018年三个时间段进行网络演化分析。

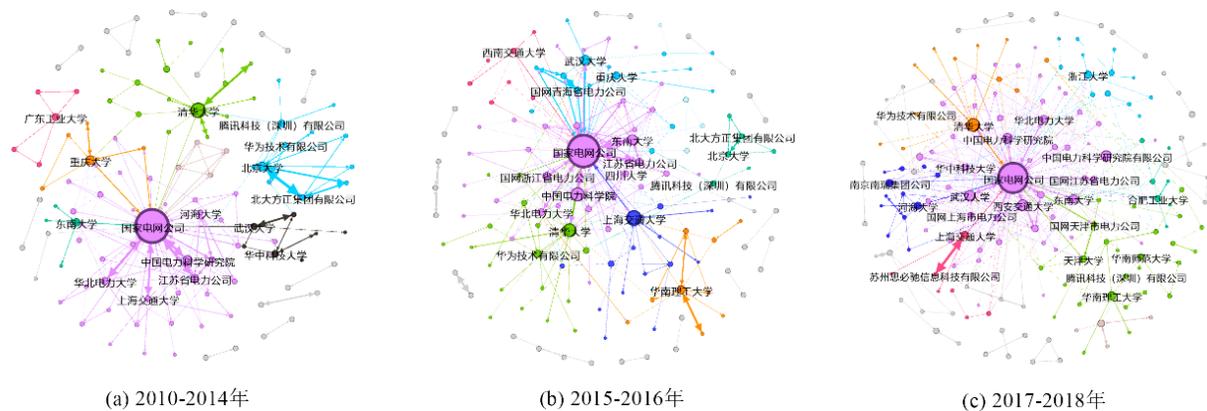


图7 三阶段专利合作网络图

表2 专利合作网络结构特征

阶段	平均聚类系数	平均路径长度	节点数	模块度	社区数
2010-2014年	0.619	3.033	138	0.634	20
2015-2016年	0.532	2.989	151	0.511	22
2017-2018年	0.467	3.485	197	0.503	24

分析专利合作网络图可知，国内人工智能领域的专利合作网络的节点个数、节点间连线都明显增加，但网络并非完全连通，形成了许多社区。三个阶段中清华大学和国家电网公司始终作为社区中的关键角色，上海交通大学在第二阶段一跃成为社区领导者，却在第三阶段缩小合作范围，与企业建立更为密切的合作关系。从第二阶段到第三阶段，华南理工大学占据社区关键位置且其合作范围愈加广泛。

4.2.1 “结构洞”理论

根据 BURT 的“结构洞”理论，能够唯一地实现两个关系网络之间连接的关键位置上的

节点，拥有对两个不同网络中信息交换的控制优势^[25]。分析图7可知，在前两个阶段中，腾讯科技（深圳）有限公司可称为结构洞。在第一阶段，该公司唯一地连接了清华大学所在社区和北京大学所在社区。在第二阶段，该公司唯一地连接了上海交通大学所在社区和北京大学所在社区。已有研究指出网络中结构洞的数量对关键研发者的创造力有显著的正向影响^[23]。占据结构洞位置的企业拥有“信息优势”和“控制优势”^[26]，关键研发机构可以通过腾讯科技（深圳）有限公司更新知识，并对自我中心网络中的知识保持较高的独立性，避免陷入同质化的

困境。

4.2.2 小世界网络效应

小世界理论由 Milgram 提出,也称为六度分割理论。如果一个网络有平均路径长度小于 10 而聚集系数大于 0.1 时,该网络就具有小世界网络效应^[27]。用 Gephi 计算出的平均聚类系数和平均路径长度如表 2 所示。在三个阶段中,这两个指标均符合小世界网络特征,整体网络呈现出小世界效应,便于关键研发机构搜索新知识并对知识群体中的信息和知识进行整合。我国人工智能专利合作网络的平均聚类系数具有随时间而减少的趋势,已有研究指出当前合作关系网络的网络聚集系数越小,关键研发者的创造力越高^[28]。较小的聚集系数可以保证不同知识群体中的个体在交流中存在一定的阻力,在创新过程中保持信息与知识的多样性和异质性。

4.2.3 专利合作模式

在社会网络的视角下,存在亲缘型、地缘型、业缘型三种专利合作模式^[29]。国家电网与其分公司、北京大学与北大方正有限集团公司的合

作模式都是亲缘型合作模式,在人工智能领域专利研究前期,这种合作关系可以协调专利合作者之间的利益关系,但不利于更大范围内的知识共享。华南理工大学与华南师范大学的合作模式、河海大学与南京南瑞集团的合作模式都是地缘型合作模式,同一地区的科研人员交往较为方便,地理距离越近,沟通成本越低,但这种合作模式也可能限制合作者的知识交流范围。上海交通大学与苏州思必驰信息科技有限公司的合作关系是典型的业缘型合作模式,这种合作关系网络可以在同一行业内部或相似行业之间无限拓展,对于人工智能技术如何应用在不同领域有着超过前两种合作模式的优势,但合作者之间存在较强的竞争关系。拥有互补性专利技术的高校和企业协同创新,合理解决利益冲突,可以获得理想专利投资价值。

为进一步探讨高校与企业和合作情况,本文根据中国知识产权大数据与智慧服务系统(DI Inspiro)对申请人类型的划分标准,统计了不同类型专利申请人的合作申请专利数,如表 3 所示。

表 3 专利申请人的合作申请专利数

阶段	大专院校-工矿企业	大专院校-机关团体	大专院校-科研单位	工矿企业-机关团体	工矿企业-科研单位
2010-2014年	643	0	28	0	28
2015-2016年	733	0	42	0	42
2017-2018年	964	4	25	4	26

由表 3 可知,大专院校与工矿企业的合作程度逐渐加深,合作专利数迅速增长。第三阶段中,机关团体开始重视与大专院校和工矿企业的合作。公司和大学或政府机构合作时,双方都能从中受益,企业可以深入接触学术界前

沿研究成果,大学研究人员可以获得更多的数据,找到技术实际应用场景,政府可采取包括补贴、政府投资、优惠税法以及知识产权保护等在内的多种措施来支持人工智能产业的发展,最终促进实体经济的发展。

5 我国人工智能合作专利的二模网络分析

本研究使用自然语言处理技术挖掘合作申请专利的热点技术，并分析了我国人工智能合作专利技术的演化趋势，使用中间中心度识别出了专利合作网络中的关键节点并对专利申请人合作网络进行演化分析。为进一步探究技术趋势对专利申请人合作关系演化的影响，本文使用 Pajek 软件分别建立 2010-2014 年、2015-2016 年、2017-2018 年三个时间段的人工智能技术（图 7）和关键研发机构（表 1）的二模关系网络。二模网络的节点由两种不同类型的节点组成，通过某种联系而连接^[30]。可以避免单模网络中信息丢失的问题，以研究不同类型的

节点在关系网络中的相互影响。图 8 中黄色节点代表关键研发机构，绿色节点代表人工智能技术，机构与技术之间的连线代表该机构的申请专利中使用了此技术。表 1 列出了相应阶段人工智能专利合作网络的整体结构特征。由表 1 可知，随着网络规模扩大，网络连接次数迅速增加，但网络密度变化不明显。由此可知，虽然合作网络规模不断扩张，节点之间的联系却没有明显变化。

表 4 2010-2018 年人工智能专利合作网络整体结构特征

阶段	网络规模	网络连接次数	网络密度
2010-2014年	40	109	0.2838
2015-2016年	51	163	0.2744
2017-2018年	58	226	0.2807

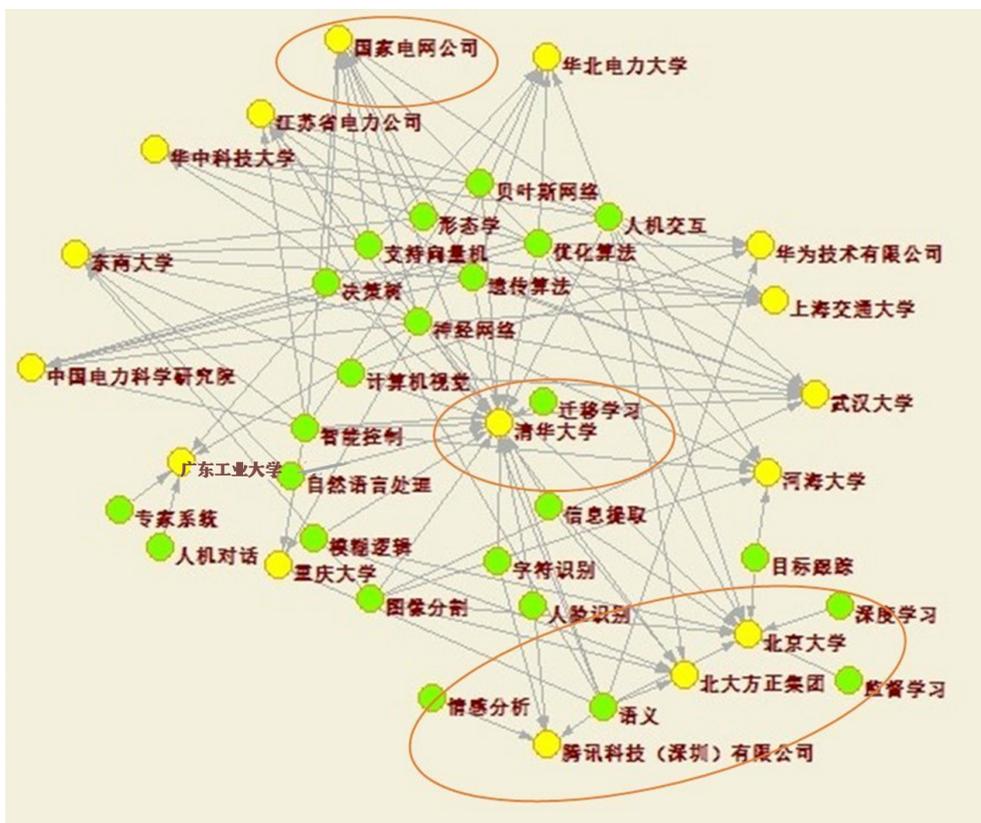


图 8 2010-2014 年二模网络图

由图 8 可知，国家电网公司、清华大学和北京大学的合作申请专利涉及的技术范围较广，北京大学在合作申请专利中首先使用了深度学习技术。语义节点连接了腾讯科技（深

圳）有限公司、华为技术有限公司、北大方正集团、北京大学和清华大学等机构，是这些高校和企业建立合作关系（图 7 所示）的技术应用之一。

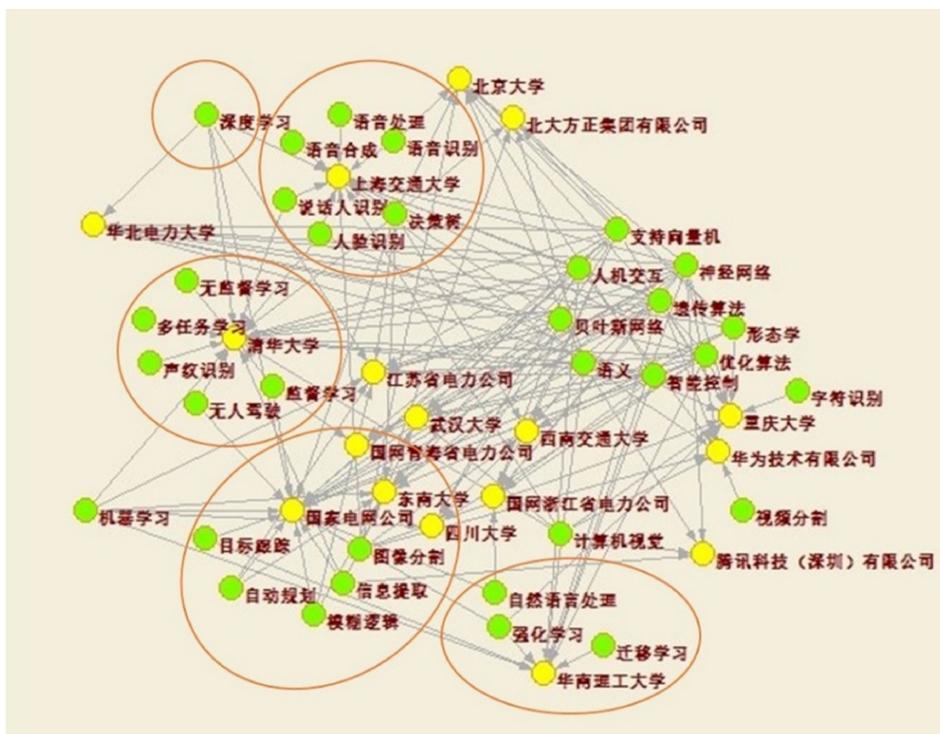


图 9 2015-2016 年二模网络图

2015-2016 年，上海交通大学、华南理工大学与技术节点的连接明显增多。上海交通大学开始关注语音处理、语音识别等技术的研发应用，形成了小范围的网络团。这也为语音处理技术在第三阶段的迅速发展提供了高校支持（见图 6）。无监督学习、多任务学习和声纹识别等技术节点单独与清华大学相连接，这说明清华大学尝试拓展其技术研发范围，合作内容逐渐丰富。机器学习和深度学习节点连接了国家电网公司、清华大学、华南理工大学和上海交通大学，同时这些机构也成为了社区内的关键节点（见图 7）。技术与关键研发者相互影响，

推动彼此占据合作网络中的优势位置。

分析图 10 可以发现，上海交通大学与苏州思必驰信息科技有限公司的技术网络图有重叠部分，二者在语音识别、声纹识别等技术方面合作更加密切，上海交通大学的技术合作趋于稳定，可能会在原有专利合作网络中建立基于语音处理相关技术的新网络，占据优势地位。网络中的大部分关键研发者与深度学习和机器学习相连接，机器学习技术是推动产学研一体化的优势技术资源。人机对话目前只是技术热力图中的一个标签（图 6），处于边缘位置，但国家电网公司、上海

交通大学等关键研发者已经与该技术节点建立起连接。同样，计算机视觉也连接了武汉大学、华中科技大学和浙江大学三个关键研

发者，借鉴上一阶段中对语音识别等技术快速发展的潜在原因分析，计算机视觉可能会是下一阶段的热点技术应用。

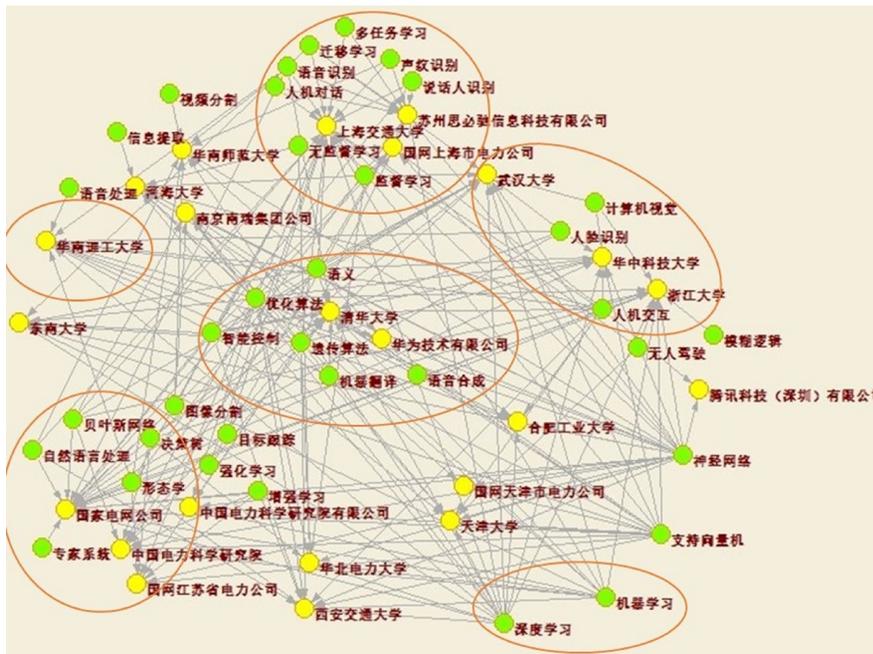


图 10 2017-2018 年二模网络图

中心度可以反映节点在社会网络中的位置重要性，以及不同节点之间在网络结构中的作用信息，包括中间中心度 (betweenness centrality)、接近中心度 (closeness centrality) 和特征向量中心度 (eigenvector centrality)^[31]。中间中心度用于测

度个体对资源信息的控制程度，接近中心度主要度量节点之间的接近度，特征向量中心度可以反映特定节点与处于中心位置的其他节点之间的连接程度^[32]。为方便不同指标间的比较，经过标准化的 3 个指标如表 5 所示。

表 5 二模网络中关键研发机构的中心度 (部分)

机构	中间中心度			接近中心度			特征向量中心度		
	2010-2014	2015-2016	2017-2018	2010-2014	2015-2016	2017-2018	2010-2014	2015-2016	2017-2018
清华大学	0.314	0.206	0.094	0.574	0.527	0.479	1.000	0.864	0.715
国家电网公司	0.078	0.187	0.130	0.476	0.551	0.533	0.767	1.000	0.873
上海交通大学	0.006	0.152	0.175	0.406	0.495	0.553	0.514	0.772	0.881
华为公司	0.008	0.046	0.001	0.390	0.419	0.404	0.329	0.383	0.289
腾讯公司	0.057	0.003	0.000	0.342	0.398	0.393	0.113	0.232	0.135
思必驰公司	-	-	0.037	-	-	0.449	-	-	0.378

注：华为公司代表华为技术有限公司，腾讯公司代表腾讯科技（深圳）有限公司，思必驰公司代表苏州思必驰信息科技有限公司。

从关键研发机构的整体中心度来看，多数机构的中间中心度有所下降，机构对资源和信息的控制能力减弱，可能是由于新加入的机构冲淡了其他机构的中介作用。大部分机构的接近中心度在第二阶段有小幅增长，说明在这一阶段，机构在信息发布和接收的过程中，对其他机构的依赖性增强^[33]。三个阶段中，特征向量中心度最大值的机构由清华大学、国家电网公司到上海交通大学，这反映了机构及其相连接的节点在整体网络中影响力的变化。从关键研发机构的个体中心度来看，上海交通大学的三个中心度指标均有上升趋势，逐渐占据网络的核心位置。在 2017-2018 年阶段，思必驰公司在三个指标方面均超过了华为公司和腾讯公司，占据了掌控信息资源的优势，与其合作的高校也可能获得技术研发优势。

6 结论与建议

通过上述分析，本研究得到结论如下：

第一，我国人工智能技术合作关系由孤立散乱到更为紧密集中。经过三个阶段的演化，我国人工智能专利技术热图形成了以神经网络和深度学习两大聚类团为核心的分布状态。其中，神经网络一直占据技术合作网络的关键位置，深度学习发展势头较足，而与深度学习技术紧密连接的语音识别由单独标签变成聚类团。可见，我国人工智能领域的技术合作可能会对新兴技术的发展具有推动作用。

第二，我国人工智能专利合作网络中研究机构间的信息交流逐渐密切，同时各研究机构间的独立性和异质性也有所增强。在三个阶段

中，有部分机构持续占据整体网络上信息通道的核心位置，把握着强大的信息资源，拥有大量的合作伙伴。大专院校与工矿企业的合作程度加深，占据社区关键位置的大学明显增多，部分机构的中间中心度增加，掌控资源的能力逐渐增强。整体网络在三个阶段都呈现出小世界效应，其平均聚类系数具有随时间而减少的趋势。关键研发机构可以搜索创新知识并对知识群体中的信息和知识进行整合，同时不同知识群体中的个体在交流中存在一定的阻力，有利于提高关键研发者的创造力。在前两个阶段中，本研究在专利合作网络中发现了占据结构洞位置的企业，关键研发机构可以通过该企业更新知识，并在自我中心网络中保持知识独立性。由此可知，我国人工智能领域的专利合作程度逐渐加深，但是结构洞和小世界效应的存在可以在一定程度上避免同质化现象。

第三，技术与关键研发者相互影响，推动彼此占据合作网络中的优势位置。关键研发者最早采用了机器学习技术，技术优势帮助关键研发者占据网络中资源控制优势。语音处理技术受到研发机构关注并投入创新应用，由边缘技术变成了与机器学习技术紧密相关核心技术之一，同时这些机构也成为了社区内的关键节点(见图7)。从关键研发机构的整体中心度来看，多数机构的中间中心度有所下降，说明机构对资源和信息的控制能力减弱，技术节点的影响力可能有所增强。大部分机构的接近中心度在第二阶段有小幅增长，说明在该阶段研发机构对其他技术和机构的依赖性增强。由于计算机视觉连接了三个关键研发机构，占据了结构洞的位置，拥有对不同机构技术合作网络中信息

交换的控制优势, 计算机视觉将可能是下一阶段的热点技术应用。

当前, 我国人工智能领域专利合作网络还处于初级阶段, 基于上述结论, 提出如下建议:

第一, 政府应在支持人工智能产业发展中发挥重要作用, 制定合理的科技政策, 为产业发展提供更好的制度环境。公司和大学或政府机构合作可以获得更多高质量的专利成果产出。企业可以了解人工智能技术前沿, 大学研究人员可以获得更多的数据, 政府可以出台更多政策来支持人工智能的发展, 包括资本, 知识产权保护等, 把人工智能整合到实体经济中, 推进科技成果转化。

第二, 科研机构和企业应在前沿技术领域开展合作, 获取专利合作网络中的竞争优势。专利合作网络中技术与关键研发者推动彼此占据合作网络中的优势位置, 对于提升人工智能产业的整体创新能力起着主导作用。本文已挖掘出了一些关键研发机构和热点技术, 科研机构和企业可以进一步预测技术发展趋势, 加强在前沿技术、产业应用等方面的合作。

本研究对我国人工智能领域专利合作网络的演化进行了初步研究和探讨。然而, 专利合作只是众多创新合作模式中的一种, 后续研究考虑结合科学论文、人工智能产品等数据, 构建人工智能领域知识图谱以全面反映我国人工智能领域的产学研合作情况。

参考文献

- [1] Brunette E S, Flemmer R C, Flemmer C L. A review of artificial intelligence[C]. International Conference on Autonomous Robots & Agents. IEEE, 2009.
- [2] 温芳芳. 基于社会网络分析的专利合作模式研究[J]. 情报杂志, 2013, 32(7):119-123.
- [3] 罗梓超. 基于论文专利视角下世界人工智能发展研究[A]. 北京科学技术情报学会, 2018年北京科学技术情报学会学术年会—智慧科技发展情报服务先行论坛论文集[C]. 北京科学技术情报学会: 北京科学技术情报学会, 2018:11.
- [4] Fujii H, Managi S. Trends and priority shifts in artificial intelligence technology invention: A global patent analysis[J]. Economic Analysis and Policy, 2018:S0313592617302539.
- [5] 赵蓉英, 李新来, 李丹阳. 专利引证视角下的核心专利研究——以人工智能领域为例[J/OL]. 情报理论与实践, 2019:1-11.
- [6] 陈军, 张韵君, 王健. 基于专利分析的中美人工智能产业发展比较研究[J]. 情报杂志, 2019, 38(1):41-47.
- [7] 吕文晶, 徐丽, 刘进, 等. 中国人工智能研究的十年回顾——基于2008—2017年间文献计量和知识图谱分析[J]. 技术经济, 2018, 37(10):73-78+116.
- [8] 王黎莹, 池仁勇. 专利合作网络研究前沿探析与展望[J]. 科学学研究, 2015, 33(1):55-61+145.
- [9] 唐恒, 高粱洲, 刘桂锋. 京津冀产学研专利合作网络时空演化研究[J]. 情报杂志, 2017, 36(10):130-136.
- [10] 刘凤朝, 马荣康, 姜楠. 基于“985高校”的产学研专利合作网络演化路径研究[J]. 中国软科学, 2011(7):178-192.
- [11] 张明倩, 柯莉. “一带一路”跨国专利合作网络及影响因素研究[J]. 软科学, 2018, 32(6):21-25+29.
- [12] WIPO (2019). WIPO Technology Trends 2019: Artificial Intelligence. Geneva: World Intellectual Property Organization.
- [13] ACM. The 2012 Version of the ACM Computing Classification System (CCS) [DB/OL]. [2019-02-28]. https://dl.acm.org/ccs/ccs_flat.cfm#10010147.
- [14] Geoffrey Hinton, Li Deng, Dong Yu, et al. Deep Neural Networks for Acoustic Modeling in Speech Recognition: The Shared Views of Four Research Groups[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2012, 29(6):82-97.
- [15] Hinton G E, Krizhevsky A, Sutskever I. Imagenet

- classification with deep convolutional neural networks[J]. *Advances in neural information processing systems*, 2012(25): 1106-1114.
- [16] 马费成, 张勤. 国内外知识管理研究热点 -- 基于词频的统计分析 [J]. *情报学报*, 2006, 25(2):163-171.
- [17] 叶飞, 宋志强. 一种基于齐普夫定律的确定语料中高低词频分界点的新方法 —— 以科学计量研究为例 [J]. *情报学报*, 2013, 32(11):1196-1203.
- [18] 邱均平, 余凡. 中国专利授权的影响因素分析 [J]. *情报科学*, 2013, 31(2):3-6.
- [19] 彭丽徽, 李贺, 张艳丰. 基于 SNA 与模糊 TOPSIS 的网络舆情关键节点识别分类模型研究 [J]. *现代情报*, 2017, 37(8):17-25.
- [20] 陈思菁, 李纲, 毛进, 等. 突发事件信息传播网络中的关键节点动态识别研究 [J]. *情报学报*, 2019, 38(2):178-190.
- [21] Wasserman S, Faust K. *Social Network Analysis*[J]. *Encyclopedia of Social Network Analysis & Mining*, 2011(22):109-127.
- [22] 陈远, 刘福珍, 吴江. 基于二模复杂网络的共享经济平台用户交互行为研究 [J]. *数据分析与知识发现*, 2017, 1(6):72-82.
- [23] 孙笑明, 崔文田, 崔芳, 等. 当前合作网络结构对关键研发者创造力的影响 [J]. *管理工程学报*, 2014, 28(1):48-55.
- [24] Girvan M, Newman M E J. Community structure in social and biological networks[J]. *Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America*, 2001, 99(12):7821-7826.
- [25] Burt R S. Secondhand Brokerage: Evidence on the Importance of Local Structure for Managers, Bankers, and Analysts[J]. *The Academy of Management Journal*, 2007, 50(1):119-148.
- [26] 迟嘉昱, 孙翎, 杨晓华. 网络结构、地理接近性对企业专利合作的影响机制研究 [J]. *科技管理研究*, 2018, 38(16):144-149.
- [27] Milgram S. The small world problem[J]. *Psychology Today*, 1967, 2(1):60-67.
- [28] 汤小莉, 孙笑明, 田高良, 等. 小世界网络的动态性对企业关键研发者创造力的影响 [J]. *管理工程学报*, 2018, 32(4):54-62.
- [29] 温芳芳. 基于社会网络分析的专利合作模式研究 [J]. *情报杂志*, 2013, 32(7):119-123.
- [30] Borgatti S P, Mehra A, Brass D J, et al. Network Analysis in the Social Sciences[J]. *Science*, 2009, 323(5916): 892-895.
- [31] Freeman L C. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification[J]. *Social Networks*, 1978-1979, 1(3): 215-239.
- [32] Freeman L C. A Set of Measures of Centrality Based on Betweenness[J]. *Sociometry*, 1977, 40(1):35-41.
- [33] 饶元. 舆情计算方法与技术 [M]. 北京: 中信工业出版社, 2016:23-24.