

国际养老新兴技术合作模式演化及影响因素研究

米 兰¹, 黄鲁成^{1,2}, 苗 红², 吴菲菲²

(1. 哈尔滨工程大学经济管理学院, 黑龙江 哈尔滨 150001;

2. 北京工业大学经济与管理学院, 北京 100124)

摘要: 为挖掘国际养老新兴技术合作网络的结构拓扑特征、合作模式演化及其影响因素, 基于复杂网络多尺度理论, 构建了养老新兴技术合作网络自宏观、中观到微观的多尺度分析方法, 包括复杂网络全局分析、合作模式演化分析及演化影响因素分析。研究结果表明: 宏观层面国际养老科技新兴技术合作网络演化呈现明显的阶段特征和复杂网络特征, 随着时间推移, 网络规模不断增大, 连通性增强, 但不同阶段合作网络结构存在较大的差异性; 中观层面合作网络核心由初期的个人逐渐过渡到产学研主体, 低广度-低深度型合作模式的绝对主导地位日益削弱, 高广度-高深度型模式迅速提升, 不同类型主体间合作模式呈现出不同的演化路径, 整体合作深度、广度在持续加深; 微观层面合作演化影响因素中, 技术创新能力始终无显著影响, 而地理邻近性有显著促进作用; 技术合作主体类型、合作广度、技术相似性的促进作用逐渐削弱, 技术互补性的抑制作用不断增强。最后, 结合研究结论, 对我国积极参与全球养老科技合作提出了针对性的建议。

关键词: 技术合作网络; 合作模式; 演化分析; 影响因素; 养老技术

中图分类号: G350

文献标识码: A

0 引言

从全球看, 2015年日本、德国、意大利、法国、英国、美国、瑞士、澳大利亚就已经进入老龄社会, 2017年全球老年人口已接近10亿。从我国最新统计年鉴看, 2019年我国65岁以上的老年人口已经超过1.76亿, 2020年我国60岁以上老年人口会增至2.55亿, 老年抚养比提高至28%左右^[1]。随着越来越多国家步入老龄社会, 如何应对老龄化所带来的一系列不利影响, 已成为当前世界各国普遍面临的问题。

为积极应对人口老龄化, 2019年11月中共中央、国务院印发了《国家积极应对人口老龄化中长期规划》^[2], 《规划》指出, “深入实施创新驱动发展战略, 把技术创新作为积极应对人口老龄化的第一动力和战略支撑,

全面提升国民经济产业体系智能化水平。提高老年服务科技化、信息化水平, 加大老年健康科技支撑力度, 加强老年辅助技术研发和应用”。依靠科技创新应对人口老龄化已成为创新驱动发展的重要内容, 并日益得到理论界与实践界的高度重视。如何落实“把技术创新作为应对人口老龄化的第一动力和战略支撑”, 2020年9月11日, 习近平总书记在科学家座谈会上的讲话中指出, “我们要更加主动地融入全球创新网络, 在开放中提升自身科技创新能力”。由于人口老龄化是全球趋势, 一些发达国家已经进入深度老龄化社会, 并且较早开展应对人口老龄化的科技创新活动。由于各国养老科技创新资源禀赋各异, 因此开展养老新兴技术国际合作研究具有重要现实意义。

关于养老技术(Gerontechnology)的含义, Thomas等^[3]提出它由gerontology(老年学)与technology(技术)两个词汇构成, 字面含义由对老龄化进行科学研究的老年学和对

收稿日期: 2020-08-15; 修回日期: 2021-02-04。

基金项目: 国家社会科学基金重大项目“依靠科技创新应对人口老龄化跨学科研究”(17ZDA119)。

作者简介: 米 兰(1990—), 女, 河北石家庄人, 博士研究生, 研究方向: 养老科技与产业创新管理。

黄鲁成(1956—), 男, 河北徐水人, 教授、博士生导师, 研究方向为: 科技与产业创新管理。

苗 红(1977—), 女, 吉林白城人, 副教授, 研究方向: 科技与产业创新管理。

吴菲菲(1962—), 女, 北京人, 教授, 研究方向: 研发合作与科技创新。

通信作者: 黄鲁成

产品、服务和方法进行研究、开发和设计的技术组成。Bjering 等^[4]认为养老技术直接针对老年人的需求和意愿,并通过切实可行的技术解决方案进行实现。

为全面梳理国内外养老技术合作研究现状,本文分别以检索表式 $TS = (((("aged" OR "ageing" OR "aging" OR "elder" OR "older" OR "senile" OR "senior") NEAR/0 ("people" OR "human" $ " OR "adult" $ " OR "person" $ " OR "citizen" $ " OR "individual" $ " OR "men" OR "women" OR "male" $ " OR "female" $ " OR "population" OR "patient" $ " OR "societ*")) OR ("population" OR "healthy" OR "societ*")) NEAR/0 ("ageing" OR "aging") OR "aged care" OR "old age" OR "age* - friendly" OR "late - life" OR "later life" OR "silver economy" OR "active ageing" OR geriatric* OR geronto* OR elderly) AND (technolog* OR Gerontechnolog*)) AND ("collabora*" OR "coopera*"))$ 和主题 $= (("养老科技" OR "老年人" OR "老龄社会" OR "老龄化" OR "福祉技术"))$ 并且 $("合作")$ 在 WoS 与 CNKI 数据库中进行检索,检索年限不限,检索日期为 2019 年 10 月 18 日,通过人工甄选,分别得到养老技术合作相关英文与文献 6 篇、1 篇。

国内研究中,仅黄鲁成等^[5]基于养老科技文献数据,利用合作中心度指标,测度各国的合作地位从而进行学术影响度评估;国外研究中,Hannah 等^[6]介绍了年龄友好型虚拟辅助技术及其对照看者日常生活的影响,强调了需要政府、教育机构、慈善机构、企业等团体共同合作从而确保老年人有能力适应技术主导的时代;Pilotto 等^[7]指出养老技术研发需要跨学科合作,将技术整合到现有卫生和社会服务系统中;Peek 等^[8]通过对利益相关者进行调查,分析了养老科技实施的目的及其成功实施的条件,强调了多方利益相关者合作的必要性;Rodríguez 等^[9]老年人远程治疗的交互模糊推理系统,并讨论了如何在协作的环境中有效地进行管理;Jackson 等^[10]从项目活动、协作和管理的角度提出了关于老龄化技术创新合作的展望;Yang 等^[11]介绍了跨学科协作和结构化问题解决能力对于养老科技的重要性。

现有研究充分肯定了合作创新对于养老技术创新的重要性,但仍存在以下不足:第一,现有研究聚焦于在理论上、定性阐述养老科技合作创新的必要性,定量方法模型十分匮乏,从网络视角进行养老科技合作的研究尚未见到,对合作网络特征与演化缺乏研究;第二,老龄化是全球性问题,现有研究对象多集中于特定的国家、区域,从国际视角进行合作的研究尚未见到;第三,现有研究中未能明确定义哪些属于应用于老龄社会的新兴技术,所以并未开展应对养老新兴技术的分析,缺乏应对人口老龄化的新兴技术的系统探讨。

鉴于此,本文拟从三个方面进行创新:第一,以养老科技新兴技术为研究对象,系统梳理养老新兴技术领域并确定相关专利检索表达式;第二,从合作网络范式角度出发,

详细阐述养老新兴技术合作网络的结构特征与演化规律;第三,结合网络内生变量与外部变量,进一步揭示合作网络形成与演化的影响因素。

1 数据和方法

1.1 数据获取

2019 年美国白宫发布的《支撑老龄社会的新兴技术》报告中,首次提出了养老科技领域具有重大潜力的一系列新兴技术,为养老科技新兴技术的相关研究提供了数据支撑。通过报告专栏归纳分析与专家探讨,将养老新兴技术领域归纳为:独立生活能力、老年人认知、交流与社会连接、个人移动、交通运输、医疗保健条件 6 个领域,在此基础上梳理了各领域的技术与产品关键词,确定了“新兴技术”的检索表达式。

充分考察和比较不同类型检索策略的基础上,最终选择了“老年+新兴技术”的组合检索方法,以德温特专利库作为数据源,数据检索时间为 2019 年 8 月 28 日,初步获取 1979—2018 年专利 2922 项;通过数据筛选和清洗,对专利权人名称进行规范和统一,留下至少包含两个专利权人的合作专利,最终得到 2266 个专利作为研究样本。

1.2 研究方法

本文基于复杂网络多尺度理论和方法,构建宏观、中观和微观的养老科技新兴技术合作网络的多尺度分析方法^[12],包括宏观的复杂网络全局分析、中观的合作模式演化分析以及微观的演化影响因素分析,全面探索不同阶段、不同尺度的合作模式及演化特征,为我国积极参与国际养老科技领域合作提供针对性建议,具体研究框架如图 1 所示。

(1) 宏观合作网络全局分析 基于网络全局结构参数直观反映养老技术合作关系的强弱联系和均匀程度等宏观状态,通过节点数、边数、网络密度、集聚系数和平均路径长度等指标刻画国际养老新兴技术网络的宏观拓扑结构特征。

其中,节点数可反映网络中包含的全部主体的数目,指养老科技合作网络中节点数量,网络规模越大说明参与专利合作的主体越多;网络边数度量网络中节点间的连线总数,指网络中专利合作关系的总量,边数越多反映专利合作越频繁,表明达成养老技术合作创新的成本越低;网络密度指的是网络中实际关系系数与理论上可能存在的最大关系系数之比,密度越大表明网络中节点间的专利联系越紧密,用于测度合作网络中各节点合作的紧密程度;集聚系数代表网络中不同技术主体之间合作的密切程度;平均路径长度反映网络中各主体间最优路径长度的平均值,该指标越小说明养老技术创新传播效率更远。

(2) 中观合作主体间合作模式分析 基于合作深度 (TCD) 与合作广度 (TCB) 来进行合作模式的划分,其中合作深度:用合作创新能力表征专利合作的深度,某主体与其他主体专利合作数越多,合作创新指标数值越大,则合

作深度也越大^[13];点中心度表示与某主体直接相连的组织个数,度数越大代表与该主体合作的主体个数越多,该主体掌握的知识来源越广泛^[14],用来测度技术合作广度。

基于“广度-深度”二维矩阵,可以把养老科技合作模式分为四类:一是高广度-高深度(HH)类型,这类主体的专利合作个数较多,合作强度较高,即知识交流广泛且深度高,是合作网络中的核心结点;二是高广度-低深度(HL)类型,这类主体的合作个数较多,但合作强度较

低,即知识交流广泛但缺乏深度,是网络中的重要结点;三是低广度-高深度(LH)类型,这类创新主体的专利合作个数较少,但合作强度较高,即知识交流对象有限但交流深度较高,是网络中的一般结点;四是低广度-低深度(LL)类型,这类创新主体的合作个数较少,合作强度也较低,是网络中的边缘结点,在养老科技合作网络中发挥作用较小,具体示意图如图2所示。

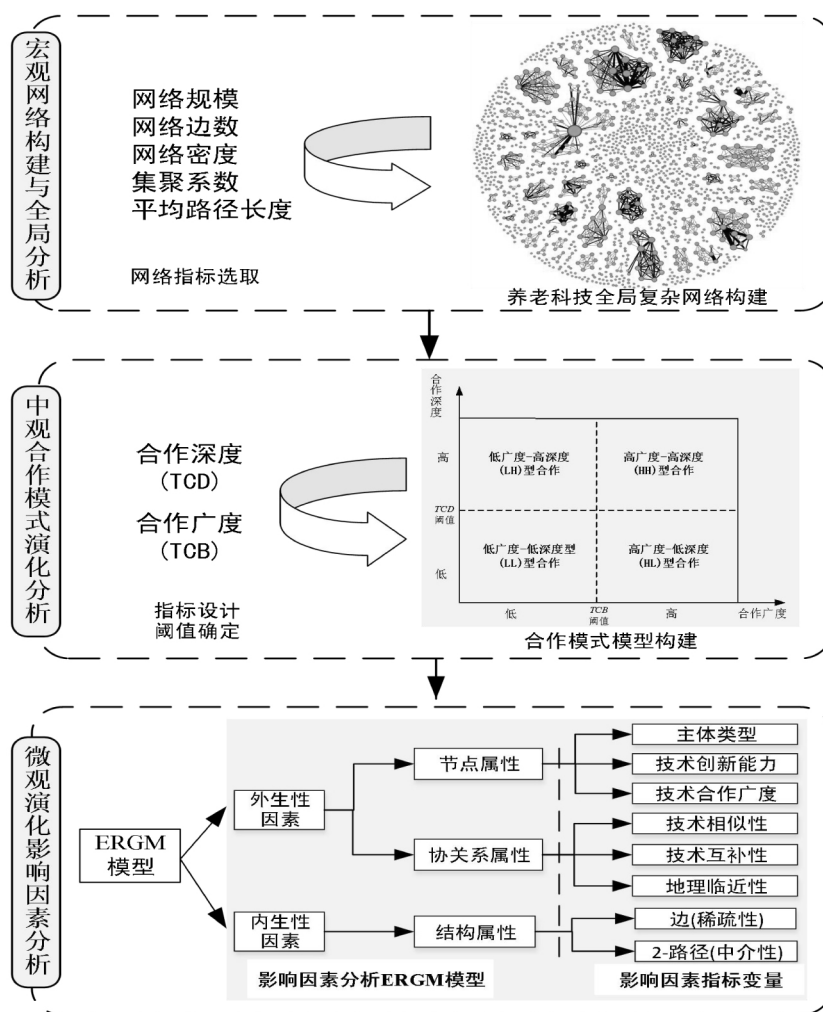


图1 养老新兴技术合作模式演化及其影响因素框架

Figure 1 Analysis framework for the evolution of emerging gerontechnology cooperation modes and their influencing factors

(3) 微观合作模式演化影响因素分析 合作网络影响因素的建模方法上, Logistic 等传统回归是普遍使用的方法, 该类网络建模以网络边的独立性为前提, 无法测度结构效应, 因为结构所隐含的内生自相关性违背了无关联性假设, 因此无法将网络构型变量纳入回归模型。

指数随机图模型(ERGM exponential random graph model) 克服了上述不足, 与传统的回归模型相比, 它能够整合网

络的内生结构和外生变量^[15], 能够较为全面地揭示网络生成与演化的影响因素, 可以使研究人员获得对网络合作关系演化动因的更为全面的理解。ERGM 基于随机统计理论, 以多元线性回归为思想, 以依赖性假设为条件, 来解释网络本身的结构特征、网络成员属性特征及成员间关系对于合作网络形成与演化的影响。基于先前研究成果^[16-17], 综合选取网络内生结构属性、节点属性和关系协变量 3 类变量来刻画合作

模式演化的影响因素,各类变量说明如下:

内生结构属性变量:边数(Edges)是ERGM最主要的内生结构变量,它类似于回归分析中的截距项,表示建立基本合作创新关系的随机性^[18]。此外,Degree常用来分析网络演化的扩张性趋势,因此,本文选取Edges与Degree作为内生结构变量。

节点属性变量:包括各网络成员的节点类型、创新能力与合作广度。其中,创新能力用该领域的授权专利数量来衡量;合作广度用在该领域合作伙伴的个数来测度;节点类型分为个人、企业、高校和机关团体四种类型。

关系协变量:包括网络成员间的技术相似性、技术互补性、地理临近。其中,相似性通过相同4位IPC分类号的重叠程度来测度,反映相同的专利类别下使用相似技术知识进行技术开发的程度;互补性则通过不同专利IPC专利分类号进行测度;邻近性通过主体所属国别邻近性测度,同属一个国家为1,否则为0。

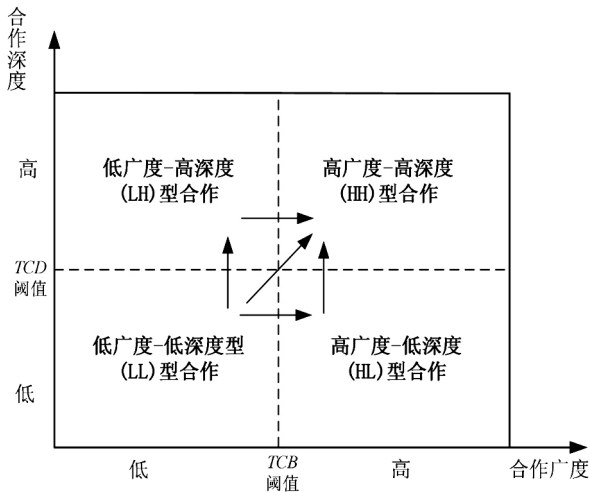


图2 基于广度-深度二维模型的合作模式划分示意图

Figure 2 Diagram for the classification of cooperation modes based on the width - depth two - dimensional model

2 实证分析

2.1 养老新兴技术合作网络阶段划分

养老科技的新兴技术专利授权数量时序图如图3所示,由图可知,随着全球老龄化程度不断加深,人们开始养老新兴技术的发展,该领域专利数量整体呈增加趋势,当前正处于技术快速发展阶段。按照时间细分为来看,最早的专利出现在1975年,有关于老年人的浴室辅助设备。1975—1999年为萌芽发展期,该阶段专利数量较少,且增长率波动较大,处于初期探索阶段。2000—2010年为平稳增长期,该阶段专利的累计授权数量正处于稳定的上升中,期间虽有小幅下降,但不影响整体上升趋势,反映出该养老科技新兴技术领域已逐步成为研究热点。2011—2018年为快速增长期,专利数量迎来井喷式爆发,且增长速度还在不断加快,反映出新兴养老科技开始走向大规模多领域的应用。

图4展示了1987—2018年该领域合作专利数量变化的时序图;对比由图3、图4可知,样本区间内专利总量和合作量的发展趋势与阶段划分大体一致:1975—1999年间,年均专利合作申请量仅为3.1件,该时期内专利合作申请能力相对较弱;2000—2010年间,累计专利合作量整体上呈缓慢增长趋势,从2004年的10件增长到2010年的63件,2006年合作专利数与占比均达到最大值60与58.3%,但受国际金融危机影响,2007年后合作专利增长率明显下降;2011—2018年,累计合作授权量呈现快速增长趋势,合作比例呈现出先稳步发展后逐渐下降的趋势,与前一阶段相比,该时期内专利合作具有较高的增速。

综上所述,新兴养老科技发展成效显著,各国知识产权保护意识不断强化,越来越多的主体通过专利申请保障自身权益,且随着时间推移,领域创新主体更加注重协同创新,技术交融的深度和广度不断扩大,大量创新主体加入协同创新网络之中^[19]。从总体来看,新兴养老科技领域技术发展和合作特征具有明显的阶段性特征,可划分为1975—1999年、2000—2010年和2011—2018年三个阶段。

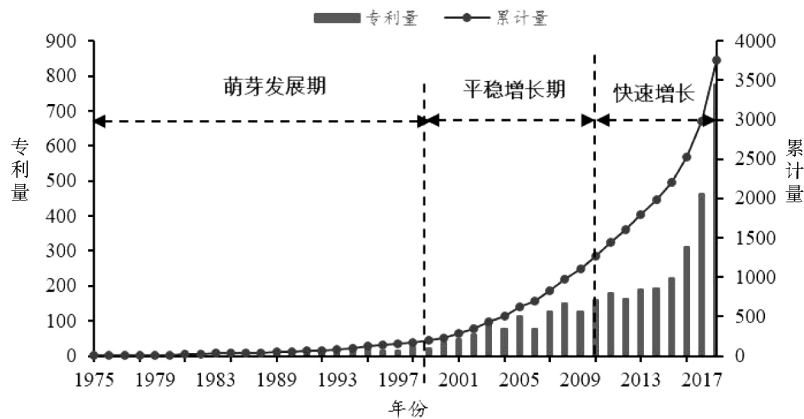


图3 养老新兴技术领域专利授权时序图

Figure 3 Diagram for the timing of granted patents in emerging gerontechnology

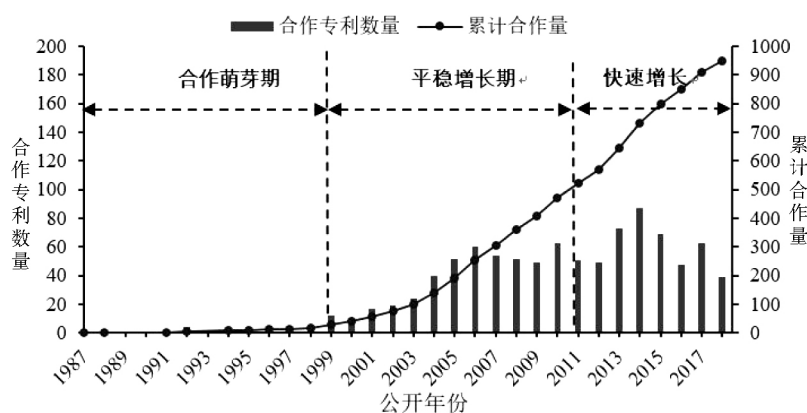


图4 养老新兴技术领域合作专利授权时序图

Figure 4 Diagram for the timing of cooperative granted patents in emerging gerontechnology

2.2 宏观养老新兴技术合作网络构建及全局分析

基于全球养老新兴技术专利申请量与合作量的变化趋势,通过处理工具提取1975—1999年、2000—2010年、2011—2018年3个阶段专利申请人合作关系矩阵,利用社会网络分析软件Gephi绘制出以专利权人为节点,共同申请专利为边,构建专利技术合作无向合作网络(图5)。网络中结点越大表示与其合作主体的数量越多,连线越粗表示结点间合作次数越多,不同类型主体用不同颜色表示(表1)。

整体来看,网络包括节点1689个,边2899条,网络密度(0.002)偏低,说明当前养老科技合作网络是稀疏网络,各主体间的合作并不紧密;结合模块化水平和平均集聚系数(0.957)发现网络具有较强的社团特征,反映主体间技术合作存在小团体性;平均路径长度为1,表明存在

较大的合作增长潜力,各子阶段数据图示与阐述如下。

表1 创新主体类型划分与表示
Table 1 Classification and representation of the types of innovation entities

创新主体类型	创新主体中包含字段
个人	- Individual
企业	- INC, - CORP, - CO LTD, - C, - LLC, - LTD, - KK
高校	- College, UNIV - , - School
机关团体	Hospital, Prefecture, Lab, Center, Found

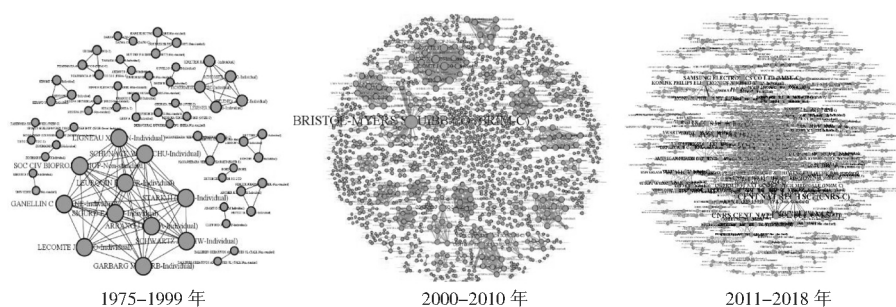


图5 分阶段养老科技新兴技术合作网络图

Figure 5 Phrased cooperative network for emerging gerontechnology

从网络规模来看,1975—1999年间养老科技合作网络中节点和边数量都较少,合作规模较小,这表明该阶段国际养老科技进行专利联合申请的个人、企业、高校、机关团体数量均较少,合作次数也较少;随着时间的推移,2000—2010年,合作网络中专利主体的数量和合作次数均显著有所增加,合作网络中节点数、节点间的边数激增,合作网络的规模更加庞大,网络变得更加稠密,主体间养

老科技合作更加频繁与紧密。

从集聚程度来看,运用网络密度和聚类系数联合刻画合作网络群聚性演化特点^[20],分析可知,合作网络密度呈不规则变化,但各阶段合作网络的网络密度整体偏低,国际养老科技领域专利合作关系均比较稀疏;平均聚类系数有所下降,表明合作网络成员间合作不够广泛,网络集聚程度较低,网络成员联系不紧密,合作范围高度集中在既

有合作机构间,即发生专利联合申请的机构比较单一、集中^[21]。不同类型主体间合作的积极性未被充分调动;平均路径长度在1.000~1.385之间,处于较低水平,表明各主体通过较短的路径就可以与其他主体取得联系并建立合作关系,可见养老科技合作网络蕴藏着较大的合作潜力^[22]。

从合作主体类型来看,第一阶段各类主体数量都较少,其中个人联合申请专利活动最为频繁,个人与其他类型专利权人均有技术合作行为,处于网络的核心位置;随着时间推移,企业从第二阶段开始占据合作网络的核心位置,个人在网络中的重要性逐渐减弱,此外高校从开始的边缘位置逐步走向重要位置,在合作网络的重要性不断增加,机关团体的在合作网络中重要性整体上也得到加强,具体见图6中各类专利权人占比分布图。

表2 分阶段与整体网络特征汇总
Table 2 Summary of the phased and overall characteristics of the network

网络特征	分阶段网络			整体网络
	1975—1999年	2000—2010年	2011—2018年	1975—2018年
网络节点	66	1689	758	1689
网络边数	99	1929	908	2899
平均度	3.000	2.284	2.396	3.421
图密度	0.046	0.001	0.003	0.002
平均聚类系数	1.000	0.971	0.961	0.957
网络平均路径长度	1.000	1.385	1.216	1.499

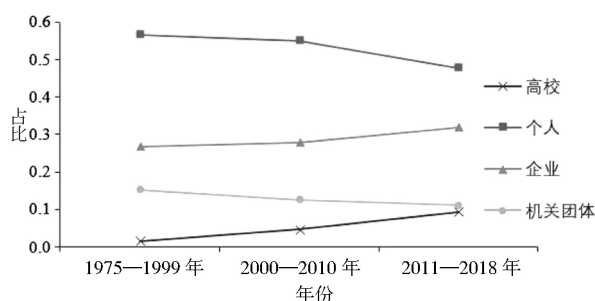


图6 各类型专利权人占比分布情况
Figure 6 The proportion distribution of different types of patentees

从个人层面看,在养老科技发展萌芽期,个人联合专利申请占比高达56.5%,说明养老科技发展初期技术门槛较低,即使没有昂贵的研发设备和大量资源储备,仅依靠个人也能取得技术成果。随着时间推移,个人联合申请活动不断减少,在2011—2018年占比下降至47.8%,究其原因,养老科技的技术门槛提高、技术难度加大,对研发设备和技术储备的日益提升。

从企业层面看,企业专利申请数量在2000—2010年间增速平稳(1.01%),2010年后增速较快(4.11%),由此可知,2000年后特别是2010年之后,养老科技行业利润率较高,吸引了以利润最大化为目标的企业的进入,而高校与机关团体的数量较少,说明技术应用研究领先于理论研究。

从高校层面看,高校专利申请占比呈快速增长趋势,且增速明显大于其他类型申请人。从第一阶段的占比1.51%迅速增长到第三阶段的9.23%,表明养老科技领域尚待解决的理论问题不断浮现且日趋增加,此外,企业技术实践也带动了该领域学术理论的发展。

从机关团体层面看,机关团体是专门进行养老科技产业或特定养老产品与技术研究的机构,主要包括研究中心、行业协会、医疗保健单位与实验室等。整体来看,机关团体的专利占比呈缓慢下降趋势,表明养老科技尚未受到研究机构的普遍重视,该行业尚缺乏基础性、长期性的研发与规划。

2.3 中观养老新兴技术合作主体间合作模式演化分析

基于所构建专利合作广度和深度对合作网络进行二元结构划分,经测算知,1689个创新主体共计合作专利数为2299个,以平均合作专利量1.36作为合作深度(TCD)基值,高于该值的企业所构成的网络为强深度合作网络,反之为弱深度合作网络;此外,1689个创新主体的平均度为3.421,以此作为网络的平均合作广度(TCB),大于平均广度的主体所组成的网络为强广度型合作网络,反之则为弱广度型合作网络。

基于所构建“广度—深度”模型,将3个阶段各类型主体间共申请的专利投影到二维坐标系上,判断各类主体在不同阶段的合作模式及整体演化情况(图7)。分析可知,养老科技萌芽阶段,该领域整体合作强度很低,双高HH型合作模式极其匮乏,双低LL型模式占据绝对主导地位;随着时间推移,LL型模式的主导位置逐渐减弱,企业与高校逐渐向双高型合作模式过渡,并在第二阶段占据了HH型模式的主导位置;而后个人、机关团体HH型合作模式也逐渐增加,整个领域的合作不断深化和加强,各类合作模式演化趋势如图8所示。

随着时间推移,双低LL型合作模式显著减少,由第一阶段59.09%下降至第三阶段的50.51%,但该合作模式仍处于主导地位;HL型与LH型合作模式总体处于下降趋势,双高HH型模式呈快速增长态势,由1.52%增加至13.08%。由此可知,养老科技合作网络模式存在着LL型、HL型、LH型向双高HH型模式逐步转变的趋势,但转化路径是沿着“LL型—HL型、LH型—双高HH型”过渡转变,还是“LL型—双高HH型”的突进式转变仍需进一步的研究。总体来看,养老科技领域双高HH型合作模式快速增长,整体合作深度、广度在持续加深,知识交流与资源共享不断深入。

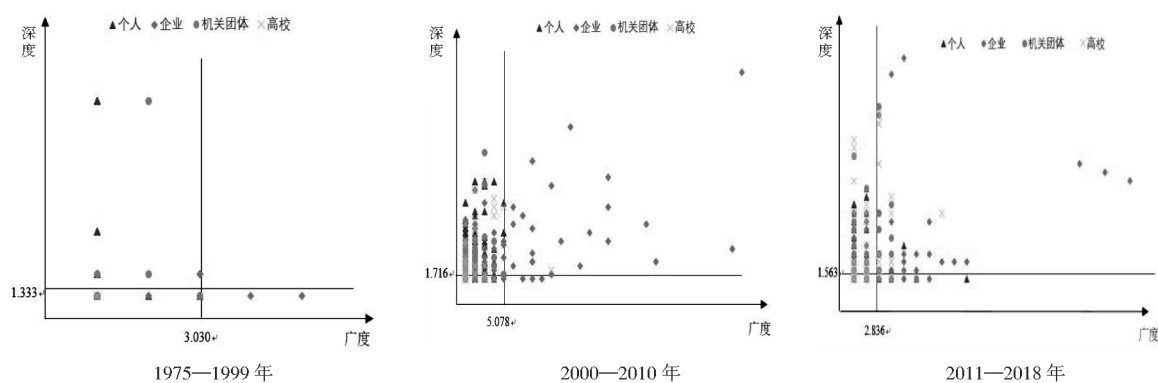


图7 分阶段国际养老科技新兴技术合作网络模式

Figure 7 Phased international cooperation network of the emerging gerontechnology

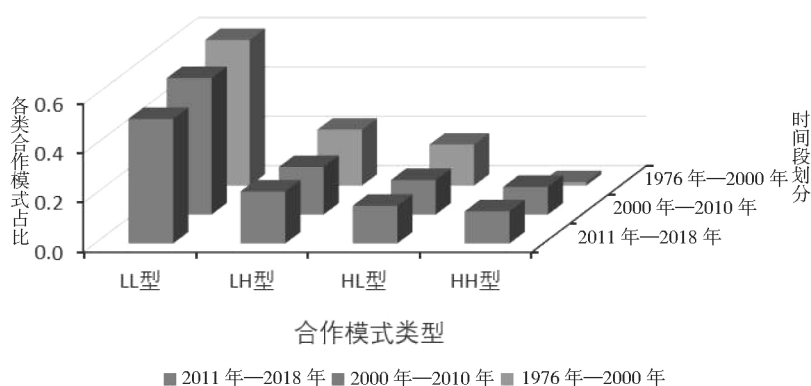


图8 各类合作模式演化趋势分析

Figure 8 An analysis of evolution trend of the cooperation modes of the emerging gerontechnology

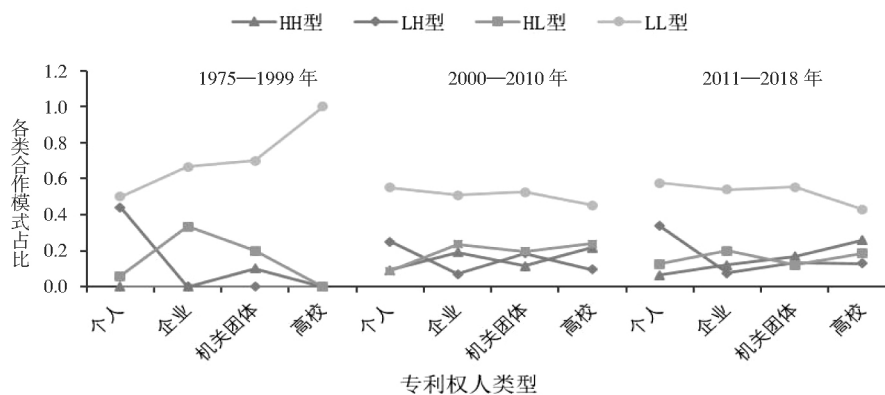


图9 “合作主体-合作模式”演化趋势分析

Figure 9 An analysis of evolution trend of the "cooperation subject - cooperation mode" for the emerging gerontechnology

从“合作主体-合作模式”二维演变角度来看,随着时间推移,个人主体在 LL 型模式占据主导位置,其他类型主体在该模式占比均有较快的下降趋势,即网络中的边缘节点个人主体占比较多;在 LH 型模式中,个人主体仍处于主导位置,远远领先于其他主体,占据合作网络较多的一般节点;在 HL 与 HH 型模式中,个人占比最少,高校占据绝对优势,而企业与机关团体也有较高的占比,表明网络中的核心节点与重要节点多为高校、企业与机关团体,这类节点间合作强度和效率远高于个人,因此核心技

术更多掌握在产学研机构中。由此可表明养老科技的技术门槛逐步提升,创新成本与风险日益加大,更系统、专业的产学研机构共同合作更有助于核心技术的研发。

2.4 微观养老新兴技术合作模式演化的影响因素分析

为分析养老科技网络演化的扩张性趋势,选取 degree(2)、degree(3)、degree(4)、degree(5) 组合构建 ERGM 模型,发现模型不拟合,单纯考虑 degree(2) 时收敛,故选取 degree(2) 衡量网络扩张性。为衡量模型变量间相关性,借助 cross-correlations 矩阵进行分析,结果见表 3。

表 3 变量间的 cross-correlations 矩阵
Table 3 The matrix of cross-correlations among variables

变量	边	扩张性	技术创新能力	技术合作广度	技术合作主体类型	技术相似性	技术互补性	技术合作临近性
边	1							
扩张性	-0.123 8	1						
技术创新能力	0.615 9	-0.119 7	1					
技术合作广度	0.750 4	-0.025 8	0.761 1	1				
技术合作主体类型	0.810 6	-0.122 7	0.367 7	0.565 7	1			
技术相似性	-0.127 0	-0.101 2	-0.223 1	-0.456 4	-0.043 4	1		
技术互补性	0.204 4	-0.022 2	-0.020 0	0.075 5	0.217 4	0.350 2	1	
技术合作临近性	0.942 0	-0.146 6	0.625 3	0.744 7	0.741 0	-0.226 9	0.154 9	1

从表 3 结果来看,尽管个别变量间相关性较高,但整体相关性趋于均衡,该变量组合是可行的,基于上文 2.2 中 3 类不同类型变量进行随机组合获取七组模型,借助 R 语言进行模型计算与参数估计,通过拟合优度检验模型拟

合效果,结果见表 4。AIC 与 BIC 值越小时,表示观测网络的拟合效果越好,模型可解释性越强。与前面几组模型相比,Model6、Model7 的拟合效果较接近,相对而言 Model7 综合了所有的变量,且拟合效果更佳。

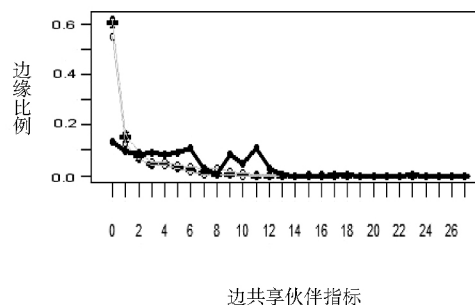
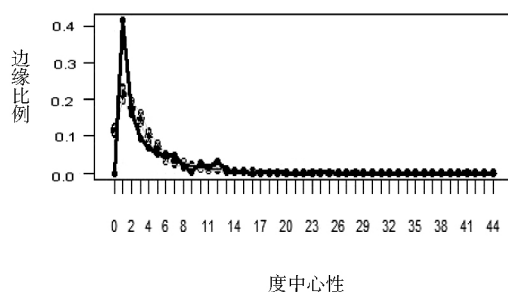


图 10 度中心性与边共享伙伴指标的拟合效果评估

Figure 10 Evaluation of the fitting effect of degree centrality and edge-wise shared partner indicators

为了更直观反映模型的拟合效果,本文选取度中心性与边共享伙伴两个典型指标对 Model7 进行拟合优度检验,其中横轴为网络节点,纵轴为节点属性,黑线表示模型拟合的指标情况,各节点的长方形表示拟合区间,正方形中的横线表示真实网络的节点属性。当黑线落在长方形

内时,表示网络拟合效果较好。由拟合效果图(图 10)可知,尽管部分节点拟合效果不佳,但整体拟合效果可以接受。因此,采用 Model7 来分析不同阶段合作模式演化的影响因素,结果如表 5。

表 4 多组指数随机图模型结果
Table 4 Results of multiple exponential random graph models (ERGM)

变量	Model1	Model2	Model3	Model4	Model5	Model6	Model7
边	-6.229 6*** (0.021 9)	-7.576 2*** (0.038 8)	-8.504 6*** (0.064 6)	-7.603 3*** (0.040 6)	-8.481 6*** (0.070 9)	-9.815 6*** (0.079 0)	-9.775 8*** (0.096 1)
扩张性	-0.194 4** (0.070 0)			-0.313 5*** (0.066 4)	-0.205 8** (0.067 1)		-0.114 6 (0.074 4)
技术创新能力		-0.024 4*** (0.004 4)		-0.024 6*** (0.004 8)		0.015 6*** (0.004 2)	0.013 6* (0.006 1)
技术合作广度		0.081 2*** (0.001 5)		0.081 5*** (0.001 6)		0.077 7*** (0.001 8)	0.078 1*** (0.002 5)
技术合作主体类型		0.973 6*** (0.039 1)		0.972 5*** (0.040 3)		0.827 8*** (0.049 7)	0.814 1*** (0.066 6)
技术相似性			7.191 3*** (0.069 8)		6.923 0*** (0.131 6)	7.215 5*** (0.073 3)	7.427 7*** (0.222 0)
技术互补性			-1.949 0*** (0.103 0)		-1.885 9** (0.109 9)	-2.782 2*** (0.118 5)	-2.844 8*** (0.143 0)
技术合作临近性			3.310 4*** (0.067 2)		3.276 7*** (0.075 8)	3.163 4*** (0.068 9)	3.145 6*** (0.084 3)
AIC	41 599	38 175	21 826	38 152	21 821	19 566	19 558
BIC	41 623	38 224	21 875	38 213	21 882	19 657	19 656

注:***、**、* 分别代表在 0.1%、1%、5%、10%统计水平上显著 表格中的格式:括号中为参数估计量的标准差。

表 5 各阶段随机指数图模型结果
Table 5 Results of phased ERGM

变量	1976—2000	2001—2010	2011—2018
边	-7.454 9*** (0.679 4)	-6.950 1*** (0.066 7)	-7.640 6*** (0.121 1)
扩张性	0.740 2* (0.317 9)	-0.324 3** (0.099 8)	-0.246 4** (0.093 8)
技术创新能力	0.146 4 (0.146 8)	-0.010 9 (0.008 4)	-0.001 1 (0.016 3)
技术合作广度	0.241 0*** (0.028 1)	0.086 1*** (0.001 7)	-0.002 2 (0.007 6)
技术合作主体类型	1.561 4*** (0.311 5)	0.765 0*** (0.048 5)	0.076 2 (0.072 0)
技术相似性	2.841 6*** (0.453 0)	0.005 5 (0.022 5)	2.816 9*** (0.169 4)
技术互补性	-0.550 1 (0.303 1)	-0.005 8 (0.207 3)	-0.284 0*** (0.070 3)
技术合作临近性	2.052 0*** (0.274 3)	0.005 5*** (0.022 5)	3.402 2*** (0.104 1)
AIC	451.2	22 541.0	10 049.0
BIC	496.6	22 629.0	10 134.0

注:***、**、* 分别代表在 0.1%、1%、5%、10%统计水平上显著。

分析表 5 结果可知:第一,各阶段回归结果中边的系数均显著为负,表明国际养老新兴技术合作网络并非完全随机形成。因此,探寻影响网络合作关系的影响因素是有意义的;第二,扩张性对网络演化的负向影响不断增加,表明合作主体相对集中于少数主体间,且封闭性较强,如果加强网络的连通性和扩散性,则未来合作模式将具有更高的开放性;第三,在各阶段主体技术创新能力对网络并没有都明显影响,表明该领域技术合作并不存在“马太效应”,合作关系达成更多可能是以技术供需或者合作便

利性为首要考虑依据;第四,技术合作主体类型、技术相似性与合作广度对网络演化促进作用不断削弱,表明领域合作创新在逐渐打破稳定性,对不同类型主体的辐射作用逐渐增强;第五,地理邻近性系数在各阶段显著为正,表明基于国家协同的合作模式是当前养老科技合作网络的重要模式;第六,技术互补性逐渐表现出趋异性,其对网络演化的抑制作用不断增强,表明养老新兴技术的互补性对知识溢出的抑制作用逐渐大于对研发的促进作用。

3 主要研究结论与建议

3.1 结论

本文构建了养老科技新兴技术宏观、中观和微观的合作网络,进行了宏观的复杂网络全局分析、中观的合作模式分析以及微观的网络影响因素分析,全面探索了不同阶段、不同尺度的合作模式及其演化与影响因素,主要结论如下:

第一,从网络规模来看,国际养老新兴技术合作网络具有明显的阶段性和复杂网络特征,不同阶段合作网络结构间存在较大的差异性。整体来看,2000年以前合作网络关系较松散,个人专利权人占比处于绝对优势,随着时间推移,合作主体呈多元化均衡发展,合作关系由点对点向复杂网络演进,网络规模不断增大,技术主体的数量和合作次数均显著有所增加,合作网络中节点数、节点间的边数激增,合作网络的规模更加庞大,网络变得更加稠密,国际养老科技合作更加频繁与紧密。

第二,从网络核心来看,养老科技发展初期,技术门槛较低,联合申请多发生于个人之间,个人占据合作网络核心;随着时间推移,养老科技领域技术门槛提高、技术难度加大,产学研主体间的合作逐步占据网络核心位置,但总体看,该领域技术应用研究领先于理论研究。此外,当前养老科技尚未受到研究机构的普遍重视,该行业尚缺乏基础性、长期性的研发与规划。整体而言,国际养老新兴技术产学研合作尚未形成优势互补的协同创新效应,仍蕴含着较大的合作效率提升空间。

第三,从合作模式来看,不同类型主体间的合作模式呈现出不同的演化路径。在萌芽阶段,该领域整体合作强度较低,双低 LL 型模式占据网络主导位置,双高 HH 型模式极其匮乏;随着时间推移,LL 型模式的主导位置逐渐减弱,企业与高校逐渐向双高型合作模式过渡,并在第二阶段占据了 HH 型模式的主导位置;此后个人、机关团体在 HH 型模式的占比也逐渐增多,整体合作深度、广度在持续加深,知识交流与资源共享不断深入;养老科技合作网络模式存在 LL 型/HL 型/LH 型—双高 HH 型模式转变的趋势,但转化路径渐进式转变还是突进式转变仍需进一步研究。

第四,养老科技合作网络演化的影响因素分析表明,养老技术合作网络并非完全随机形成,且网络不具有较强的连通性与扩散性。技术创新能力对网络演化没有明显影响,表明该领域技术合作并不存在马太效应;地理邻近性系数在各阶段显著为正,表明基于国家协同的合作模式是当前养老科技合作网络的重要模式;技术合作主体类型、地理邻近性、技术相似性与合作广度对网络演化促进作用不断削弱,表明该领域合作创新在逐渐打破稳定性;此外,技术互补性对网络演化的抑制作用不断增强,表明养老新兴技术的互补性对知识溢出的抑制作用逐渐大于对研发的促进作用。

3.2 建议

结合上述研究结论,本文对我国积极参与国际养老科技合作提出以下建议:

第一,当前养老科技理论研究相对落后,尚待解决的理论问题凸显,且行业尚缺乏基础性、长期性研发与规划,我国在养老科技创新布局上应未雨绸缪,在创新驱动发展战略与政策上加强面向老龄社会的前瞻性理论研究^[23]。

第二,双高 HH 型合作网络对企业的创新合作提升最为明显,我国养老技术不同主体间应深化合作范围,提升对不同主体类型的辐射作用,充分发挥地理接近性和技术接近性对合作的正向影响,此外,还要避免该领域合作的邻近“锁定”效应,探索跨国技术合作网络相关机制,找准邻近性与开放性、稳定性与多元性之间的平衡点。

第三,改善我国在合作网络中的嵌入特征,增强在国际合作中的影响力度,可积极参与养老科技相关国际标准的制定,抢占国际标准话语权与国际市场控制权;此外,开拓国际合作的渠道、扩大国际合作规模、提高国际合作效率,尤其是与核心、重要节点的合作范围。

本研究仍存在一定局限性:基于专利数据虽然可以刻画养老科技合作网络的形成与发展,但是只能反映合作创新活动的一个方面,后续有必要把文献数据与市场数据等多源数据整合进来,综合考察养老科技合作活动的演变及其动因。

参考文献:

- [1] 国务院. 国务院关于印发“十三五”国家老龄事业发展和养老体系建设规划的通知[EB/OL]. 2017: 北京. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-03/06/content_5173930.htm.
The State Council. The State Council on the issuance of "13th Five-Year" national undertakings for the development of the elderly and pension system construction planning [EB/OL]. 2017: Beijing. http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-03/06/content_5173930.htm.
- [2] 国务院. 中共中央、国务院印发《国家积极应对人口老龄化中长期规划》[EB/OL]. 2019: 北京. http://www.gov.cn/zhengce/2019-11/21/content_5454347.htm.
The State Council. The Central Committee of the Communist Party of China, and the State Council issued "the National Medium and Long Term Plan for Actively Coping with the Aging of Population" [EB/OL]. 2019: Beijing. http://www.gov.cn/zhengce/2019-11/21/content_5454347.htm.
- [3] THOMOS L H, MARCIA K H. Gerontechnology: Why and how [M]. Eindhoven, the Netherlands: Herman Bouma Foundation for Gerontechnology, 2000: 1-2.
- [4] BJERING H, CURRY J, MAEDER A. Gerontechnology: The importance of user participation in ICT development for older adults [J]. Studies in Health Technology & Informatics, 2014, 204: 07-12.

- [5] 黄鲁成,张璐,吴菲菲,等. 老年福祉技术研究的国际比较[J]. 情报杂志, 2015(10): 22-27.
HUANG Lucheng, ZHANG Lu, WU Feifei, et al. International comparison of research on gerontechnology [J]. Journal of Intelligence, 2015(10): 22-27.
- [6] HANNAH R M, JULIE S. A review of age friendly virtual assistive technologies and their effect on daily living for carers and dependent adults [J]. Healthcare, 2019(7): 49.
- [7] PILOTTO A, BOI R, PETERMANS J. Technology in geriatrics [J]. Age & Ageing, 2018, (47): 771-774.
- [8] PEEK STM, WOUTERS E J, LUIJKX K G, et al. What it takes to successfully implement technology for aging in place: Focus groups with stakeholders [J]. Journal of Medical Internet Research, 2016, 18(5): 98.
- [9] RODRIGUEZ A C, RODA C, MONTERO F, et al. An interactive fuzzy inference system for teletherapy of older people [J]. Cognitive Computation, 2016, 8(2): 318-335.
- [10] JANKSON P, SIXSMITH J, MIHAILIDIS A, et al. Perspectives on collaboration in technology innovation for ageing [M]// Inclusive Smart Cities and e-Health. 2015.
- [11] YANG H I, MARTIN P, SATTERFIELD D, et al. A novel interdisciplinary course in gerontechnology for disseminating computational thinking [C]// Frontiers in Education Conference. IEEE, 2011.
- [12] 刘亮, 罗天, 曹吉鸣. 基于复杂网络多尺度的科研合作模式研究方法[J]. 科研管理, 2019, 40(1): 193-200.
LIU Liang, LUO Tian, CAO Jiming. A study of the multi-scale scientific collaboration patterns based on complex networks [J]. Science Research Management, 2019, 40(1): 193-200.
- [13] 王黎莹, 张迪. 不同模式科技型中小企业专利合作网络构建及影响因素研究[J]. 科研管理, 2019, 40(4): 203-212.
WANG Liying, ZHANG Di. A research on the construction of patent cooperation network of different models of technology-based SMEs and their influencing factors [J]. Science Research Management, 2019, 40(4): 203-212.
- [14] 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.
LIU Fengchao, MA Rongkang, JIANG Nan. Research on evolutionary paths of industry-university-research institute networks of patent collaboration based on the "985 universities" [J]. China Soft Science, 2011(7): 178-192.
- [15] ROSE Kim J Y, HOWARD M, COX Pahnke E, et al. Understanding network formation in strategy research: Exponential random graph models [J]. Strategic Management Journal, 2016, 37(1): 22-44.
- [16] 段庆锋, 冯珍. 基于指数随机图模型的学术社交网络形成机制研究[J]. 情报科学, 2019, 37(7): 84-89+145.
DUAN Qingfeng, FENG Zhen. Mechanisms of academic social networking based on ERGM [J]. Information Science, 2019, 37(7): 84-89+145.
- [17] 何喜军, 董艳波, 武玉英, 等. 基于 ERGM 的科技主体间专利技术交易机会实证研究[J]. 中国软科学, 2018(3): 184-192.
HE Xijun, DONG Yanbo, WU Yuying, et al. Empirical research of patent technology trade between technology entities based on ERGM [J]. China Soft Science, 2018(3): 184-192.
- [18] LIU X, DERUDDER B E N, LIU Y. Regional geographies of intercity corporate networks: The use of exponential random graph models to assess regional network-formation [J]. Papers in Regional Science, 2013, 94(1): 109-126.
- [19] 孙天阳, 成丽红. 中国协同创新网络的结构特征及格局演化研究[J]. 科学学研究, 2019, 37(8): 1498-1505.
SUN Tianyang, CHENG Lihong. Research on the structure characteristics and evolutionary pattern collaborative innovation network in China [J]. Studies in Science of Science, 2019, 37(8): 1498-1505.
- [20] 袁剑锋, 许治. 中国产学研合作网络结构特性及演化研究[J]. 管理学报, 2017, 14(7): 1024-1032.
YUAN Jianfeng, XU Zhi. Research on the structural characteristics and evolution of industry-university-research cooperation networks in China [J]. Chinese Journal of Management, 2017, 14(7): 1024-1032.
- [21] 高霞, 陈凯华. 基于 SIPO 专利的产学研合作模式及其合作网络结构演化研究—以 ICT 产业为例[J]. 科学学与科学技术管理, 2016, 37(11): 34-43.
GAO Xia, CHEN Kaihua. Analysis on the evolution of patterns and network structure for industry-university research institute cooperation in the Chinese ICT industry based on SIPO patents [J]. Science of Science and Management of S. & T., 2016, 37(11): 34-43.
- [22] 陈欣. “一带一路”沿线国家科技合作网络比较研究[J]. 科研管理, 2019, 40(7): 22-32.
CHEN Xin. A comparative study of the S&T collaboration networks in countries along the Belt and Road [J]. Science Research Management, 2019, 40(7): 22-32.
- [23] 黄鲁成, 刘春文, 苗红, 等. 开展依靠科技创新应对人口老龄化研究的思考[J]. 中国软科学, 2019, 34(5): 06-15.
HUANG Lucheng, LIU Chunwen, MIAO Hong, et al. Thoughts on population aging based on innovation [J]. China Soft Science, 2019, 34(5): 06-15.

A research on the evolution characteristics and influencing factors of the cooperation mode of the international emerging gerontechnology

Mi Lan¹, Huang Lucheng^{1,2}, Miao Hong², Wu Feifei²

(1. School of Economics and Management, Harbin Engineering University, Harbin 150001, Heilongjiang, China;

2. School of Economics and Management, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: Population ageing is widely seen as a major challenge that drives the future of science and technology (S&T) policy and management in industrialized societies. Under the realistic background of rapid development of population aging, increasing attention is paid to the role of innovation in supporting the aging society. Science, technology and innovation are widely perceived to provide a means for solving the grand challenge of population ageing. Innovations for the elderly are usually referred to as gerontechnologies, which has been acclaimed to be the solution to the problems associated with demographic change. In addition, the acceleration of the global aging population and the highlighting of S&T globalization effectively spurred the demand for international gerontechnological cooperation, and it is urgent to explore the characteristics and influencing factors of the cooperation network.

Given that, this paper constructs the international emerging gerontechnology cooperation network based on international patents data mining. In addition, this paper analyzes the topological characteristics, evolution trends and influencing factors of the cooperation networks based on the multi-scale theory of complex networks, which includes the analysis of the overall situation of complex networks, the evolution of cooperation models, and the factors affecting cooperation.

The results show that cooperation network presents obvious stage and complex network characteristics at the macro level, the network scale is constantly increasing, the connectivity is enhanced, and there are large differences in the network structure at different stages. As a whole, the cooperative entities develop in a diversified and balanced way, and the cooperative relationships evolve from point-to-point to complex networks. The network size keeps increasing, and the number of nodes and times of cooperation significantly increase, international cooperation in the field of emerging gerontechnology has become more frequent and closer. From the meso-level, the center of the cooperation network gradually transitioned from the initial individual to the main body of Industry-University-Research, and the absolute dominance of the low breadth-low depth cooperation model has gradually weakened, the high breadth-high depth cooperation model has rapidly increased. In addition, cooperation modes between different types of patentees present different evolutionary paths, but the overall cooperation depth and breadth continue to deepen. At the micro level, among the influencing factors of the cooperation network formation, technological innovation ability has no significant influence all the time, while geographical proximity has a significant promotion effect. In addition, the promotion effect of patentee type, cooperation breadth and technology similarity is gradually weakened, while the inhibition effect of technology complementarity is continuously enhanced. Finally, combined with the research conclusions, we put forward some specific suggestions for China's active participation in global gerontechnological cooperation.

The innovation of our paper is to construct the international emerging gerontechnology cooperation network based on patents data mining, including institution cooperation network, technology co-occurrence network, and country-technology two-mode network, and systematically analyzes the overall structural characteristics and formation mechanism. This paper contributes to our understanding of the characteristics and affecting factors of the international gerontechnology cooperation, as well as the decision reference for the R&D innovation of the aging society.

Key words: technology cooperation network, collaboration patterns, evolution analysis, influencing factors, gerontechnology