

# 科研合作网络的知识扩散机理研究<sup>\*</sup>

巴志超 李 纲 朱世伟

**摘 要** 知识扩散是知识生产过程中的核心环节,对知识继承和知识创新具有重要作用。本文结合知识在科研合作网络中的流动特征,引入复杂网络理论,构建知识扩散模型,模拟知识在科研合作网络中的扩散过程。考虑不同个体的知识自我增长以及知识吸收能力,采用网络平均知识水平、知识扩散速率、知识均衡程度等作为衡量知识扩散效果的评价指标,探究不同合作网络结构、知识遗传继承和知识变异重组与知识扩散的动态关系。研究显示:知识在合作网络中的知识水平、扩散速率、分布均衡程度很大程度上取决于网络拓扑结构的动态变化,网络的随机化程度越大,知识扩散的速度越快,知识的分布越均匀;合作网络的规模越小,专家高知识溢出效应越显著,越能促进知识的有效扩散;知识继承吸收和知识自我创新对知识扩散的影响在某一时刻可达到最佳均衡状态。研究合作网络中各影响因素对知识扩散的震荡作用,有利于形成更稳健的合作模式,发挥科研合作的最大效能。图9。表1。参考文献22。

**关键词** 科研合作网络 知识扩散 扩散机理 小世界网络

**分类号** G302

## Knowledge Diffusion Mechanism of Scientific Cooperation Network

BA Zhichao, LI Gang & ZHU Shiwei

### ABSTRACT

The study on the mechanism of knowledge diffusion is playing an increasingly important role in communication and cooperation. Many efforts contribute noticeably to improving the understanding of knowledge diffusion in all sorts of networks. Researchers have concluded some key elements that affect knowledge diffusion, such as the absorptive capacity of receivers, the stickiness of knowledge and network topology structure for knowledge diffusion. Successful knowledge diffusion is difficult to achieve and some important features of real scientific collaboration network are unsuccessfully explained by simple model networks. Complex networks, which can well mimic the interactions between individuals in real systems, provide a substrate for the researchers to study many interesting dynamical processes.

Taking scale-free small-world network as basic model, this study presents a knowledge diffusion model by considering the differences of self-knowledge growth and knowledge absorption capacity  $\beta_i$ , where  $\beta_i$  is correlated with the knowledge stock of receivers, the knowledge spillover effects and the correlation intensity of both. Scientific research collaboration is a process of absorbing each other's knowledge and co-creating

<sup>\*</sup> 本文系国家自然科学基金项目“科研团队动态演化规律研究”(编号:71273196)的研究成果之一。(This article is an outcome of the project “Research on Dynamic Evolution Rule of Scientific Research Team” (No.71273196) supported by National Natural Science Foundation of China.)

通信作者:巴志超,Email:bazhichaoty@126.com,ORCID:0000-0001-5626-5604 (Correspondence should be addressed to BA Zhichao,Email:bazhichaoty@126.com,ORCID:0000-0001-5626-5604)

new knowledge, when knowledge overflow from the high knowledge level to the low, existing genetic inheritance of its original knowledge manifested as restorative combination of constitution elements and fixed structure, and abrupt variation of node represented as a critical behavior of thinking subjective initiative so as to realize the innovative elements reorganization or restructuring. Accordingly, applying the average knowledge level  $\mu(t)$ , the knowledge diffusion rate  $v(t)$ , the knowledge balance degree  $\sigma(t)$  and knowledge transient increment  $\rho(t)$  to measure the growth and diffusion of knowledge and combining with the sticky phenomenon of knowledge, we study numerically the dynamic relation of knowledge diffusion with network topology structures, knowledge genetic inheritance and abrupt variation, knowledge spillover effects of experts.

Results indicate the following conclusions. 1) The average knowledge level, diffusion rate and balance degree of knowledge in collaboration network depend on the dynamics network topology, the higher stochastic diffusion probability of the network is, the higher the diffusion rate is and the more the uniform distribution of knowledge stock has. Knowledge level has a rapid increase up to a maximum value in the earlier time based on random network and the diffusion advantage is no longer obvious following repeat exchange of knowledge in the network, yet the diffusion characteristics in the small-world network are more in line with the reality of scientific cooperation network. 2) The smaller the scale of the cooperation network is, the more significant the spillover effects of experts are, and the more effectively the knowledge diffusion is promoted. With the spreading of knowledge,  $v(t)$  increase first and then remain the same, ultimately which has nothing to do with the network scale. The standard deviation  $\sigma(t)$  of knowledge stock in different network scales obtain a single-peaked curve and the smallest network generates the uniform distribution of knowledge level. 3) Genetic inheritance and abrupt variation work on the performance of knowledge diffusion in some different degree and achieve a state of equilibrium at a certain moment, and when purely rely on one element to facilitate the knowledge diffusion, the growth of knowledge level is far less than that when the two exist together. Meanwhile, the genetic inheritance mainly affects the early evolution stage of knowledge diffusion and abrupt variation has a bigger stock in the later period.

Research on the influence factors of the cooperative network on knowledge diffusion, which is conducive to the formation of a more robust cooperation model, maximizes the effectiveness of scientific research cooperation. Through identifying the innovation tension and knowledge growth advantage in the process of scientific research cooperation to amplify the benign interaction between team members and separate the differences that hinder cooperation and exchange, more effective knowledge exchange strategy and innovation can be achieved. 9 figs. 1 tab. 22 refs.

## KEY WORDS

Scientific cooperation network. Knowledge diffusion. Diffusion mechanism. Small-world network.

## 0 引言

知识经济时代,对知识的获取、传播、整合、应用与创新等方面的动态有效管理已成为企

业、相关领域乃至国家制定创新决策、推动创新发展和提高创新绩效的重要保障。知识扩散作为知识生产过程中的必要条件和核心环节,对提升知识的运用效率、整体的知识水平和竞争力都具有重要作用。当前,针对知识扩散的定

义存在不同的认识。Andrew 等认为知识扩散是在特定的网络条件下组织内部的一种知识流动机制,其存在保证了相容知识结构、文化背景的组织成员之间的知识共享和组织认同感<sup>[1]</sup>。Davenport 等认为知识扩散是知识在个体与组织间传播的过程,是知识转移过程和知识吸收过程的有机统一<sup>[2]</sup>。Krogh 认为知识扩散是学习的过程,是对现有知识和信息的获取、整合和创造<sup>[3]</sup>。周素萍认为知识扩散是一个包括知识形成、知识溢出、知识吸收、知识再造和新知识形成的螺旋式上升循环过程<sup>[4]</sup>。知识扩散是个人、群体或组织间有用信息的流动,是创新知识在有效机制控制下的传递过程,相对于知识共享而言,其目的性、主动性以及可控性较弱,传播方式呈星状散播。另外,扩散过程受到原发体与接受体自身知识存量、知识势差、学习能力等多种因素的影响,其扩散的复杂性使得扩散过程和路径很难被清晰地认识,扩散规律很难被准确地把握,难以通过构造模型进行刻画。因此,探究影响知识扩散的要素以及要素的作用机理,对科研机构和科研工作者的合作交流和绩效的提高具有重要意义。

网络已成为知识创新和扩散的主要依托形式,已有的相关研究多是在复杂网络研究的基础上进行知识扩散机制的仿真分析。Cowan 等模拟知识在社会网络中的扩散过程,探究网络结构与知识扩散效果之间的关系,并指出当网络结构为小世界网络时,均衡网络知识水平能够达到最大值<sup>[5]</sup>。但该模型的“实物交换”传播机制存在明显的局限性,难以适用正式的知识合作所引起的知识扩散,且知识扩散并不一定是双向交互的过程,往往只是一个单向的扩散形式。Kim 等将知识创新引入知识传播过程中,研究规则网络、小世界网络、随机网络等不同网络结构对知识传播效果的影响<sup>[6]</sup>。Ozel 建立科研合作知识扩散模型,讨论科研合作网络的小世界特性及子群结构与知识扩散之间的关系<sup>[7]</sup>。Yang 等考虑优先扩散机制和知识吸收能力影响因素,提出一个基于随机超网络的知识

扩散模型,验证出不同的网络结构、网络规模和知识演化机制都不同程度地影响着知识扩散性能<sup>[8]</sup>。岳增慧等从全局、局部及个体三个层次入手,通过提取科研合作网络结构因子,采用知识负载、知识多样性及知识冗余度,衡量科研合作网络结构与知识扩散过程的关系,发现网络结构距离因子、聚集因子及模块化因子参数对不同指标存在着正向促进作用,影响着知识扩散的效果<sup>[9]</sup>。宋歌选取结构洞理论为学术创新实例,通过建立扩散时序网络,分析扩散曲线、路径与关键节点和学科分布与信息交互模式,采用包含时间维度的扩散理论和分析时间流的主路径分析方法,进行创新扩散实证研究<sup>[10]</sup>。李金华等将知识扩散所引起的知识增长当作一种知识产品的合作生产,引入柯布—道格拉斯生产函数,并考察个体在不进行知识自我增长和进行知识自我增长情况下的知识传播特征<sup>[11]</sup>,但构造的模型假定高知识水平溢出者的知识水平保持不变,且忽略其他外部因素对知识增长的影响。知识在由高知识水平溢出者扩散到低知识水平接收者时,既有对其原有知识的遗传继承,表现为对已有知识元素构成和固定结构进行复原性的组合,也存在知识节点的突变变异,表现为一种思维主观能动性的批判行为,从而实现创新性的元素重组或结构重组,在已知知识的基础上产生出再生性的新知识<sup>[12]</sup>。另外,在知识扩散的演化过程中,高知识水平者和低知识水平者都存在知识的自我增长,且知识溢出效应会受到两者之间的连接强度、沟通意愿、传播能力和知识吸收能力的影响。受这些因素的影响,知识在扩散过程中也会存在一定的耗损和粘滞。知识扩散也是一个循序渐进的过程,并不会一次性完成。

综合上述讨论,结合知识在科研合作网络中的扩散特征,本文在复杂网络理论的基础上构造一种知识扩散模型。考虑在合作网络中知识扩散时知识节点的继承和变异特点,引入节点自我进化和节点之间连接强度、沟通意愿、传播能力和知识吸收能力对知识溢出效应的作

用;同时,考虑知识在扩散过程中的粘滞现象,采用网络的平均知识水平、知识扩散速率、知识均衡程度等作为衡量知识扩散效果的评价指标,模拟知识在不同网络结构、学习能力等影响因素下的知识扩散效果,通过再现真实的网络组织知识传播行为,揭示网络结构特征对知识扩散的影响。

## 1 理论模型与指标

### 1.1 小世界网络及性质

网络  $G=[V, L, f]$  作为图论的概念是由点集  $V=\{1, 2, \dots, N\}$ 、相应的链路  $L=\{L(i), i \in V\}$  和映射函数  $f: L \rightarrow N \times N$  (将链路映射为节点对) 构成的三元组。1998 年, Watts 和 Strogatz 在规则网络和随机网络的基础上提出著名的 WS 小世

界网络<sup>[13]</sup>, 这是一种具有高聚类系数、相对较短的平均路径长度和可扩展熵的稀疏网络。其熵可使小世界网络从接近结构频谱的低熵结构化网络扩展到高熵的全随机网络, 熵值可通过选择 WS 模型的断链重连概率  $p$  或链路数(密度)加以调整。模型的构造算法是: 从一个含有  $N$  个节点的环状 2-规则网络开始, 每个节点向与它最近邻的  $n$  个节点连出  $n$  条链路, 并满足  $N > n > \ln(N) > 1$ ; 对每条链路  $L=1, 2, \dots, m$ , 以概率  $p$  按照随机规则(Math. random( $<p$ ))断开头  $\text{head}(L)$ , 重连到不同的随机选择的节点上, 并避免( $v_{\text{random}} = \text{head}(L)$ )和重复链路。这样可产生  $pNn/2$  条长程的链路将一个节点与其他节点相连, 通过改变  $p$  值可实现从规则网络( $p=0$ )向随机网络( $p=1$ )转变, 图 1 展示小世界网络的构造过程。

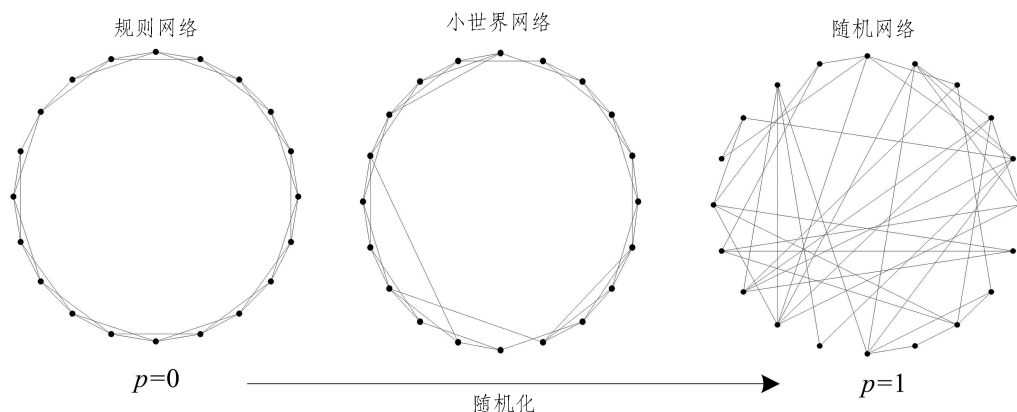


图 1 规则网络随机化过程<sup>①</sup>

可以看出, WS 模型的生成规则是在规则网络中随机加入少量的长程边, 这样得到的网络拓扑具有较大聚类系数和较短最短路径。对小世界现象形式化的表征, 可采用平均路径长度和聚类系数两个统计量刻画其性质。平均路径长度用于表示网络的全局特征, 定义为连接任何两个点之间最短途径的平均长度, 度量公式

如下:

$$L(p) = \frac{1}{N(N-1)/2} \sum_{i < j} l(i, j)$$

平均路径长度  $L(p)$  由网络节点总数  $N$  和断链重连概率  $p$  两个参数决定。当  $p=0$  时, 网络为规则网络,  $L(p) \sim N/2K$ ; 当  $0 < p < 1$  时,  $L(p) \sim \langle l_{\text{rand}} \rangle$ ; 当  $p=1$  时,  $L(p) \sim \ln(N)/\ln(K)$ , 即随

① 图中各网络的总节点  $N=20$ , 最近邻节点  $n=2$ , 小世界网络的断链重连概率  $p=0.1$ 。



着网络规模的扩大,平均路径长度随  $N$  呈对数增长。另外,参数聚类系数用于考察网络中邻居关系之间的社团特性,表示网络的局部特征信息。节点  $i$  的聚类系数  $C_i$  反映该节点邻点的联系程度。 $C_i$  越大,说明该点的邻接点之间联系越紧密,网络的聚类系数计算如下<sup>[14]</sup>:

$$C(p) = \frac{1}{N} \sum_{i \in V} \sum_{j, l \in L(i)} \frac{X(j, l)}{|L(i)|(|L(i)| - 1)/2}$$

如果  $j \in L(l)$ , 则  $X(j, l) = 1$ , 否则  $X(j, l) = 0$ 。当  $p = 0$  时,网络为规则网络,具有较大的聚类系数;当  $p = 1$  时,网络为随机网络,聚类系数很小,  $C(p) \approx p$ ; 当  $0 < p < 1$  时,网络呈现小世界特性。Watts 和 Strogatz<sup>[13]</sup> 考察了小世界网络中平均路径长度和聚类系数与  $p$  的关系,演示过程如图 2 所示。其中,实线表示  $L(p)/L(0)$ , 虚线表示  $C(p)/C(0)$ , 可以看出当  $p$  从 0 逐渐取值到 1 时,  $L(p)$  下降迅速,  $C(p)$  下降缓慢;  $p$  值越小,  $L(p)$  越小, 而  $C(p)$  越大, 表现出明显的小世界效应。

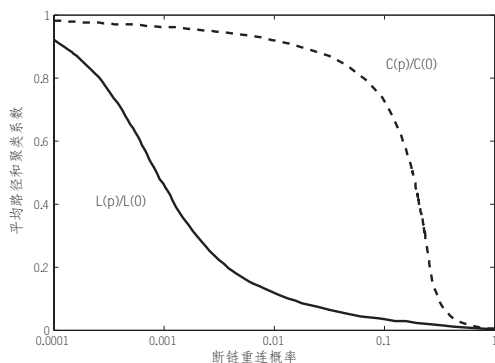


图 2 小世界网络性质

## 1.2 知识扩散机制

信息是客观世界中各种事物的状态和特征的反映,是与问题相关的数据,而知识是人类认识活动的成果,是人类以信息为对象进行思维加工后的产物。知识不是数据和信息的简单积累,是人们在改造世界的实践中所获得的认识和经验的总和。科研合作的目的是通过合作交流实现知识的增长和创新,将科研合作网络看

作是一种知识网络,科研主体看作是知识节点,主体之间的合作看作是一种知识扩散行为、一种有用信息的流动。目标接受体在对高知识原发体原有知识的遗传继承基础上进行主观能动性的创新增长,会使目标接受体自身的知识存量得到增长,而不是信息得到增长,同时目标接受体通过自身努力学习也会引起知识的自我增长。知识分为显性知识和隐性知识。显性知识是指表述明确、易于文字记载且容易被其他组织学习和模仿的知识<sup>[15]</sup>,而隐性知识为组织内部成员个体拥有,难以被其他组织模仿和复制<sup>[16]</sup>,组织内拥有的大多为隐性知识。隐性知识需依赖于组织内部的关系网络,其扩散必须建立在某种接触性网络上,本文针对隐性知识选择小世界网络作为基础的知识扩散模型。在组织内部知识扩散的主要原因是由于个体之间知识水平的差异,每个个体的知识水平通过知识扩散都会随着时间的推进而演变,  $S_i(t) = \{S_{i,j}(t); j = 1, 2, \dots, K\}$  表示个体  $i$  在不同时刻  $t$  时的知识水平。由于知识计量不像文献计量、科学计量具有可以明确的知识载体,即通过将各类文献或知识产品作为计量单元,知识计量无法找到明确的计量单元,很难确定知识单元的数量、质量与价值,因此只能通过定量方式表示知识的相对高低。当知识由高知识水平溢出者扩散到低知识水平接收者时,接受者的知识会得到增长,知识水平会提高,其提高的幅度取决于接受者自我努力程度和知识吸收能力等。假设个体  $j$  表示知识溢出者,个体  $i$  表示知识接受者,当  $i$  与  $j$  进行交互合作时,  $t+1$  时刻接受者  $i$  的知识水平为:

$$S_i(t+1) = \begin{cases} S_i(t) + \beta_i |S_j(t+1) - S_i(t)| + \Delta S'_i(t+1), & S_j(t) > S_i(t) \\ S_i(t) & \end{cases}$$

式中:  $S_j(t+1) - S_i(t)$  表示接受者对高知识溢出者原有知识的遗传继承,而  $\Delta S'_i(t+1)$  表示接受者对溢出者原有知识的突变变异,为接受者一种思维主观能动性的自我创新引起的知识增长。另外,模型假设在科研合作网络中存在部分专家,其知识水平明显高于其他学者,且

在知识扩散过程中,其知识存量并不会完全被其他接受者继承,必然会存在知识的粘滞现象,造成一定知识的流失。因此,对于接受者继承的知识增量假定为两者知识势差的 $\beta_i$ 倍( $0 < \beta_i < 1$ ),而 $\beta_i$ 表示接受者 $i$ 对溢出者 $j$ 原有知识的吸收能力,假定其接受接受者 $i$ 的知识水平 $S_i(t)$ 、溢出者 $j$ 的知识传播能力以及两者之间初始连接强度 $L_0(i,j)$ 的影响,即认为 $i$ 的初始知识水平越高, $j$ 的知识传播能力越强,两者之间初始的连接越紧密,接受者 $i$ 吸收知识的能力 $\beta_i$ 就越大,而溢出者 $j$ 的知识传播能力又与 $j$ 的知识水平有关,因此,构造最终的 $\beta_i$ 计算公式表示如下:

$$\beta_i = \frac{1}{1 + L_0(i,j) - 1 + e^{-[S_i(t) + S_j(t)]}}$$

另外,接受者 $i$ 在继承溢出者 $j$ 原有知识的同时,还存在着知识的自我增长,即通过对遗传继承的知识单元的构成因素进行压缩、增减、延伸等方式,实现创新性的元素重组或结构重组,从而产生再生性新知识。本质是使知识单元可承接的结构发生质的变化,表现为一种主观能动性的创新增长,且这种创新增长发生在整个网络的演化过程中。个体知识的自我增长表示为:

$$\Delta S'_i(t+1) = S_i(t)(1 + \lambda_i)$$

其中, $0 < \lambda_i < 1$ ,表示个体 $i$ 自我创新能力。

### 1.3 基础测度指标

为考察不同科研合作网络结构下平均知识水平的高低、知识扩散速度的快慢和知识分布的均衡程度,采用网络平均知识水平、知识扩散速率、知识均衡程度等指标来反映知识在整个科研合作网络中的扩散状态。

(1) 平均知识水平 (Average Knowledge Stock Level): 对于个体 $i$ 的平均知识水平为 $\bar{\mu}_i(t) = \sum_k S_{i,j}(t)/K$ ,  $t$ 时刻整个科研合作网络的平均知识水平为:

$$\bar{\mu}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i \in S} \bar{\mu}_i(t)$$

其中, $N$ 表示科研合作网络的规模,即包含的个体数, $\bar{\mu}(t)$ 为 $t$ 时刻整个网络的平均知识水平。

(2) 知识扩散速率 (Knowledge Diffusion Rate): 整个网络在 $t$ 时刻的扩散速率与平均知识水平有关,即 $t$ 时刻网络平均知识水平的变化量,计算公式为:

$$v(t) = \frac{\bar{\mu}(t)}{\bar{\mu}(t-1)} - 1$$

其中, $\bar{\mu}(t-1)$ 为 $t-1$ 时刻整个网络的平均知识水平,通过计算该值也可反映整个网络的知识增长速度。

(3) 知识均衡程度 (Knowledge Balance Degree): 衡量知识扩散后知识分布的均衡程度。指标采用知识水平的标准差,计算公式为:

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i \in S} S_i^2(t) - \bar{\mu}_i^2(t)}$$

其中, $\sigma(t)$ 表示 $t$ 时刻整个网络的知识分布均匀程度,通过知识的扩散,以降低网络中不同个体之间知识水平的差距,实现网络知识分布的最优均衡。

(4) 知识瞬时增量 (Knowledge Transient Increment): 表示个体单位时间段内的知识增长量,计算公式为:

$$\rho(t) = \bar{\mu}_i(t+1) - \bar{\mu}_i(t)$$

## 2 仿真与结果

### 2.1 仿真设置

本文构建的知识扩散模型中,设定小世界网络的节点数 $N=900$ ,初始近邻数 $n=30$ ,每个个体初始的知识水平均匀分布在 $[0,1]$ 区间。为保证网络内知识的有效扩散,假定网络中存在专家的比例为 $r=5\%$ ,且拥有高知识水平为 $S_0=10$ ,专家为保证自身的竞争优势以及受其他扩散因素的影响,其知识并不会毫无保留地传播给其他个体,因此,经过若干期的知识扩散后,假定其他个体接收到某一位专家的知识达到专家初始水平的50%时,将不再从该专家获取知识。知识的扩散存在着知识的遗传继承和变异

重组,在知识继承时,假定连接强度  $L_0(i,j)$  取值为 0 或 0.1,在进行变异重组实现知识自我增长时,  $\lambda_i = 0.01$ ,且假定专家也存在着知识的自我增长。为分离出小世界现象,选取断链重连概率  $p$  从 0 到 1,步长 0.001 生成不同结构网络,最大演化时刻数  $T = 3\ 000$ ,确保每个个体都有机会被选中,以保证扩散的充分性。

## 2.2 网络结构与知识扩散

研究不同的科研合作网络结构与知识扩散之间的关系,在考虑个体知识遗传继承和变异重组引起知识自我增长的情况下,仿真平均知识水平、知识扩散速率等指标随断链重连概率  $p$  的变化而不断演化的过程,结果如图 3 所示。图 3(a) 表示网络平均知识水平随演化时刻的变化情况,可以看出在不同的断链重连概率  $p$  下,网络知识水平  $\bar{\mu}(t)$  随着时间的推进表现出不同的增长速度,且未表现出下降趋势,这与 Wang<sup>[17]</sup>、Luo<sup>[18]</sup> 等人在实验中假定不存在知识的自我增长而导致知识增长速度呈现逐渐下降趋势的结果不同,说明考虑个体的自我增长能够促进知识的被吸收,提高整个合作网络的知识水平。另外,在其他条件都相同的情况下,网络的断链重连概率  $p$  越大,  $\bar{\mu}(t)$  增长越快,网络中知识扩散的速度越快。图 3(b) 表示不同网络结构下对知识扩散引起的知识分布均衡状况具有不同的影响。知识水平标准差  $\sigma(t)$  呈现出单峰曲线形状,网络初始阶段由于各个体存在较大知识势差,  $\sigma(t)$  值逐渐增大,随着时间  $t$  的演化,网络中知识得到扩散,使各个体知识存量势差逐渐缩小,  $\sigma(t)$  值也逐渐降低,并最终趋近于 0 值。且从图中可以看出断链重连概率  $p$  越大,网络知识水平标准差下降速度越快,网络中知识分布越均匀。图 3(c) 表示不同网络的增长速度  $v(t)$  变化情况,从图中可以看出,当  $p = 0.001$  和  $p = 0.1$ ,即网络为规则网络和小世界网络时,网络知识的增长速度基本保持不变,而当  $p = 0.9$ ,即网络为随机网络时,网络的增长速度起初达到最大值,而随着时间  $t$  的推进,增长

速度  $v(t)$  值逐渐减小,最终也与其他两种网络维持几乎相同的增长速度。这说明当合作网络呈现随机网络时,最初在短时间内能够迅速促进知识的有效扩散,使整个网络达到较大的知识水平,而随着知识在网络中不断扩散传播,这种扩散优势变得不再明显。不同的合作网络结构表现出不同的知识扩散特征,主要是与网络的随机化程度相关。当知识扩散模型为规则网络时,表现为一种链路的经济性,网络中每个节点是以相对较小的跳数与其他节点可达。因此,合作网络中每个个体只能与其最邻近个体之间发生知识的扩散,这种低熵或零熵的拓扑结构严重限制了知识的有效扩散,知识很难被扩散到距离相对更远的其他个体。随着时间的不断演化,这会导致具有高知识水平的个体较少出现,从而使得整个科研合作网络的平均知识水平较低,这就是科研视域受限的缺陷。而在小世界网络结构中,会出现较长距离的知识扩散,这不仅能够缩短知识扩散的周期,同时也能增加距离相对更远的其他个体获得知识的机会,从而在一定程度上降低整个合作网络知识分布的差异性。然而在小世界网络中长距离知识扩散的概率仍然比较小,知识扩散也往往只发生于较短距离的个体之间。因此,这种小世界网络的知识扩散特性也更加符合现实的科研合作网络中由于受地域、视域等因素限制而无法实现知识传播的情景。而在随机网络中,这种局限性被完全打破,知识可通过相同的概率扩散到网络中任何个体,极大提高了整个网络的平均知识水平,降低了不同个体之间知识的差异性,正如图 3(b) 所显示,随机网络下知识扩散的标准差  $\sigma(t)$  最小。

为进一步探究不同的网络结构规模对知识扩散的影响,设定  $N = 600, 800, 1\ 000$  在  $p = 0.1$  的小世界网络下模拟知识扩散的过程,其他条件均保持不变,效果如图 4 所示。从图 4(a) 中可以看出,当  $N$  值越小,即科研合作网络的群体规模越小时,知识扩散的平均知识水平增长越快,这说明知识在小范围的群体内更容易得到

扩散。图 4(b) 显示出网络规模越小, 网络知识水平标准差下降速度越快, 网络中知识分布越均匀。图 4(c) 中显示在  $p=0.1$  的小世界网络情况下, 网络知识水平的增长速度  $v(t)$  都呈现先增长后维持不变的趋势, 且在网络的规模  $N$  越小时, 初始达到的增长速度越大。随着知识的不断扩散, 最终网络的增长速度与网络的规模无关, 基本维持在同一值, 但从图 4(a) 中平均知

识水平的增长趋势可以看出, 整个网络中仍然存在知识的增长。因此, 结合两者说明, 在知识演化的后期, 整个网络基本保持着较小幅度的匀速增长。然而, 这种较小幅度的增长是由于个体交互进行知识扩散时的知识吸收, 还是个体知识创新的自我增长, 需要探究知识遗传继承和变异重组对知识扩散的影响效果。

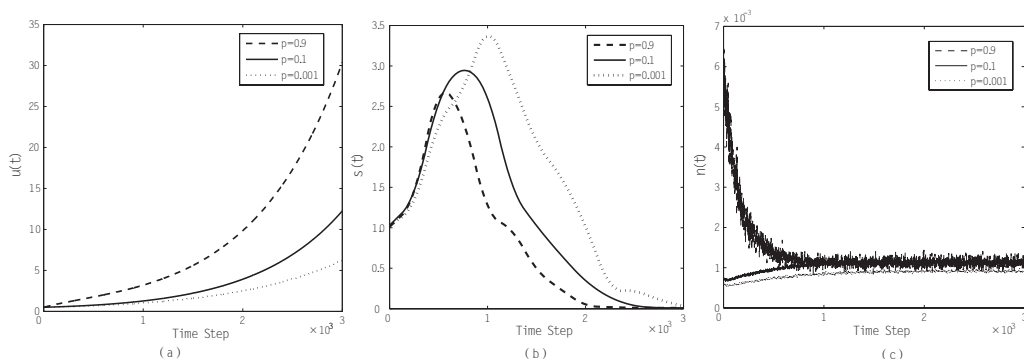


图 3 网络随机化程度对知识扩散的影响

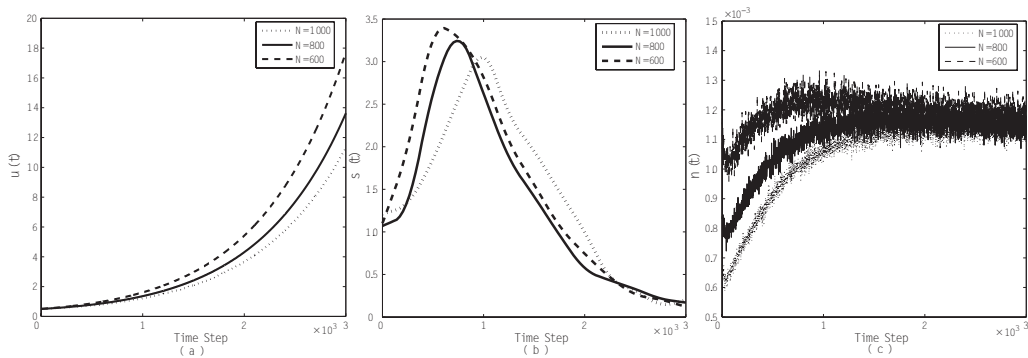


图 4 网络规模对知识扩散的影响

### 2.3 知识继承、变异与知识扩散

接受者在对高知识溢出者原有知识的遗传继承和变异重组都会引起接受者知识水平的增长, 从而会对整个科研合作网络的平均知识水平、知识扩散速率以及知识均衡程度产生影响, 那么两者对网络知识扩散的震荡作用哪个会更加显著, 对知识扩散的影响两者之间是否存在一种交互关系。因此, 首先设定  $p=0.1$ ,  $N=900$ ,  $T=3\ 000$ ,  $\beta_i=0.2$ , 分析不同  $\lambda_i$  对知识扩散

效果的影响。图 5(a)、5(b) 和 5(c) 分别表示由于变异重组引起的自我创新知识增长能力  $\lambda_i$  对网络的平均知识水平、知识扩散速率以及知识均衡程度随演化时刻的变化情况。从图 5(a) 中可以看出, 随着  $\lambda_i$  值的不断增大, 网络的平均知识水平增长越快, 当  $\lambda_i=0.02$  时, 经过  $T=3\ 000$  次演化,  $\bar{\mu}(t)$  值达到 270, 说明网络中个体的创新能力越强, 越容易促进整个网络知识的有效扩散。从图 5(b) 中看出, 当  $\lambda_i \geq 0.005$  时, 知识

水平标准差 $\sigma(t)$ 呈现出单峰曲线形状,说明 $\lambda_i$ 值越大,短时间内能够获得较大的知识水平标准差 $\sigma(t)$ 值,且网络知识水平标准差下降速度越快,网络中知识分布越均匀。而当 $\lambda_i < 0.005$ 时,经过 $T=3\,000$ 次演化 $\sigma(t)$ 未达到最大值,只呈现出增长的趋势,但经过实验发现,将 $T$ 设为 $9\,000$ 时,同样会表现出单峰形状先上升后下降的趋势。图5(c)中可以看出,当 $\lambda_i \geq 0.01$ 时,网络的知识水平的增长速度 $v(t)$ 呈现先增长后维持不变的趋势,且 $\lambda_i$ 值越大,增长速度越大,随着知识的不断扩散,最终网络的增长速度与 $\lambda_i$ 值也无关,基本维持在同一值。当 $\lambda_i < 0.01$ 时,网络增长速度呈现下降趋势,特别是当 $\lambda_i = 0$ 时,说明此时个体的知识增长只依赖知识的遗

传继承获得。而在图5(f)中,当 $\beta_i = 0$ 时,即只依赖知识变异创新时,知识的增长速度 $v(t)$ 反而呈现出上升的趋势,这说明在知识扩散的演化后期,变异重组引起的知识自我增长对知识扩散的震荡作用更大,更能有效地促进整个合作网络知识的扩散。另外,随着 $\beta_i$ 值的不断增大,演化初期网络的知识增长速度越快,且明显大于图5(c)中当 $\beta_i = 0.2$ 时不同 $\lambda_i$ 取值的初始知识增长速度,这说明基于知识的遗传继承对合作网络初期的知识扩散效果作用更大,而随着时间的不断演化,遗传继承引起的知识增长对知识扩散的作用效果将逐渐降低,如图5(f)所示。

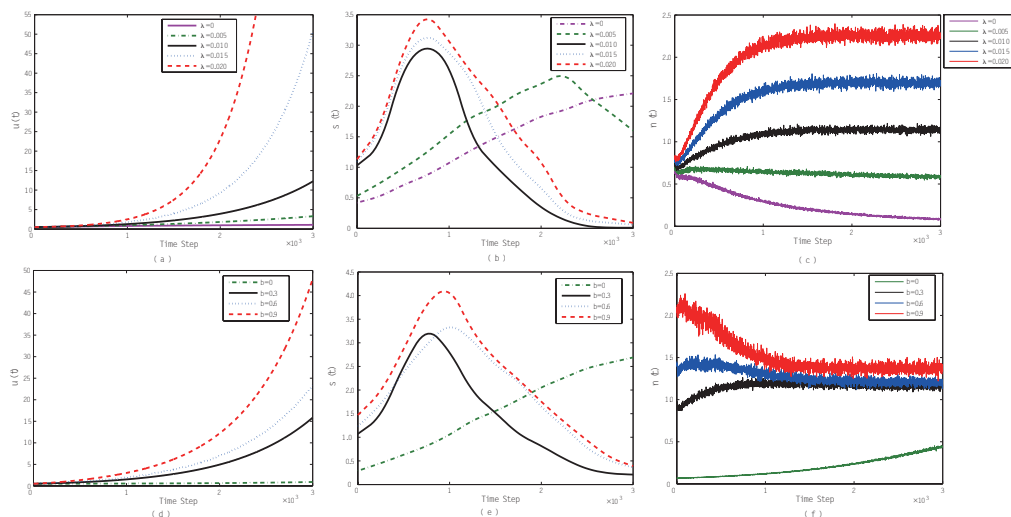


图5 知识遗传、变异对知识扩散的影响

图5(d)、5(e)、5(f)显示当 $p=0.1$ 、 $N=900$ 、 $T=3\,000$ 、 $\lambda_i=0.01$ 时,不同 $\beta_i$ 对知识扩散效果的影响。从图5(d)看出,当 $\beta_i$ 值越大时,网络的平均知识水平增长越快,说明专家高知识溢出效应越显著,个体知识吸收能力越强,越能促进网络知识的扩散。而当 $\beta_i=0.9$ 时,该模型最终经过 $T=3\,000$ 次演化后网络的平均知识水平为 $48.01$ ,远小于在 $\lambda_i=0.02$ 时,经过 $T=3\,000$ 次演化,  $\bar{\mu}(t)$  值达到 $270$ ,这同样说明变异重组引起

的知识自我增长对知识扩散的后期震荡作用更大。图5(e)表明 $\beta_i$ 值越大,网络知识水平标准差下降速度越快,网络中知识分布越均匀。而在 $\beta_i=0$ 时,经过 $T=3\,000$ 次演化 $\sigma(t)$ 仍未达到最大值,只呈现出增长的趋势,结合图5(b)说明,单纯地依赖于知识的遗传继承或知识变异重组,并不能促进知识的有效扩散,只有在两种知识增长方式同时存在的情况下才能达到合作网络知识扩散效能的最大化。



为进一步验证两者之间对知识扩散的交互作用,测试经过  $T=2\,000$  次演化时刻在只有参数  $\beta_i$  或  $\lambda_i$  作用下网络的平均知识水平变化情况(见图6)。从图中可以看出单纯地通过知识遗传继承进行知识吸收或通过知识变异重组实现知识增长时,整个科研合作网络的平均知识水平  $\bar{\mu}(t)_{\max}=1.680$ ,远远小于两者共同存在时的扩散效果。这说明两种知识增长方式共同作用于网络的知识扩散,且在  $\beta_i=1$ 、 $\lambda_i=0.02$  时两者的作用效果达到均衡。另外,从该图中也可以看出,在知识扩散演化前期,知识吸收引起的知识扩散大于知识创新的作用效果。

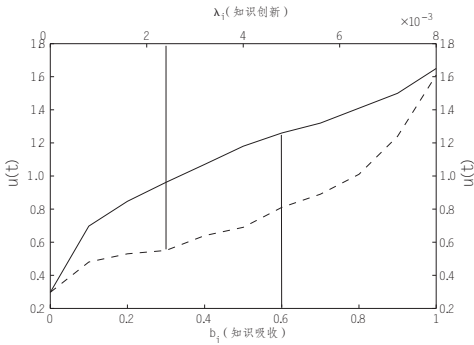


图6 创新、吸收对知识扩散的交互作用

#### 2.4 专家知识溢出效应与知识扩散

物理学认为,世间所有物质或非物质的传导、扩散都是由于势差引起的,并总是从高势能

向低势能扩散<sup>[19]</sup>;在生物学中,扩散被定义为群体因密度效应或因觅食、求偶等原因由源地向周边转移、分散的过程<sup>[20]</sup>。知识扩散也具有类似性质。在合作网络中不同个体之间存在着知识水平的差异,而正是这种差异性才会促进网络中知识的有效流动。为进一步探究不同的知识势差是否会对知识扩散速率产生影响,建模过程中通过设定模型中的专家比例和专家的初始知识水平,分析合作网络中专家的知识溢出效应对网络知识扩散的影响,并通过设定  $N=300$ ,  $n=10$ ,来检验专家在小范围科研合作网络中的作用。表1显示在  $p=0.1$ 、 $T=3000$ ,  $\lambda_i=0.01$ 、 $\beta_i=0.2$  网络中,不同专家比例  $r$  和初始知识水平值  $S_0$  状态下,整个网络的平均知识水平情况。从表中行数据可以看出,随着网络中专家比例的增加,网络中平均知识水平逐渐增加,说明知识越容易在网络中得到扩散。网络中较多专家的加入,由于知识存量的差异会发生知识的溢出,在交流过程中导致专家的知识和技术等发生转移,从而使其邻近个体的知识水平得到提高。从表中的列数据可以看出,专家的初始知识水平  $S_0$  越高,与其他个体之间的知识势差就会越大,就越容易促进知识的有效转移。当  $S_0=20$ ,专家比例  $r=2\%$  时,其他个体(除专家以外)的平均知识水平为10.06,而在  $r=16\%$  时,其他个体(除专家以外)的平均知识水平为19.12。

表1 专家知识溢出效应对知识扩散的影响

| $S_0$ | $r$   |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 2%    | 4%    | 6%    | 8%    | 10%   | 12%   | 14%   | 16%   |
| 0     | 8.40  | 8.42  | 8.43  | 8.45  | 8.45  | 8.47  | 8.49  | 8.49  |
| 5     | 8.67  | 9.16  | 9.62  | 10.29 | 11.66 | 12.54 | 13.19 | 14.56 |
| 10    | 9.75  | 10.30 | 11.24 | 13.61 | 13.81 | 14.28 | 15.67 | 15.89 |
| 15    | 10.38 | 10.96 | 12.90 | 13.45 | 13.69 | 15.42 | 15.56 | 16.13 |
| 20    | 11.24 | 12.63 | 14.82 | 15.37 | 16.25 | 17.46 | 18.03 | 22.62 |

图7显示不同专家与普通个体之间在演化过程中知识水平的变化情况。在模型中假定专家也存在着由于知识创新引起的知识自我增长。从图中可以看出不同专家的知识溢出能力以及不同个体的知识吸收能力不同,领域专家A明显要比领域专家B交互活跃,前期两者的知识水平变化不大,都只存在小幅度的知识自我增长,当 $T=2\ 000$ 时刻,领域专家A与其他专家直接进行交互,从其他专家吸收了一定的知识,使自身的知识水平得到较大幅度的提升。在整个演化过程中,领域专家A的最大知识瞬时增量 $\rho(t)_{\max}=4.00$ ,其知识水平共增长13次,而领域专家B的最大知识瞬时增量为 $\rho(t)_{\max}=1.76$ ,其知识水平共增长10次。从知识水平增长的幅度看,普通个体A的吸收能力明显要大于普通个体B,普通个体A的最大知识瞬时增量为 $\rho(t)_{\max}=4.23$ ,共发生18次知识增长,而普通个体B的最大知识瞬时增量为 $\rho(t)_{\max}=3.88$ ,共发生13次知识增长。由于不同个体之间的知识吸收能力和知识增长概率都不同,通过该模型能较好地模拟并总结现实的知识扩散现象和科研合作网络行为特征。

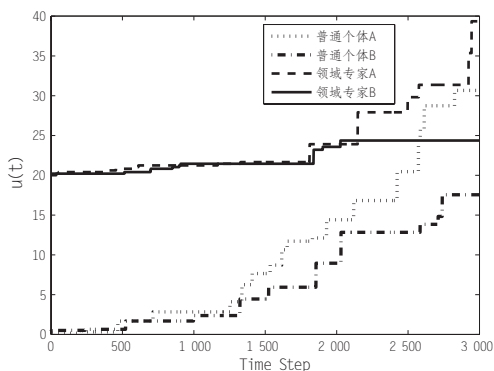


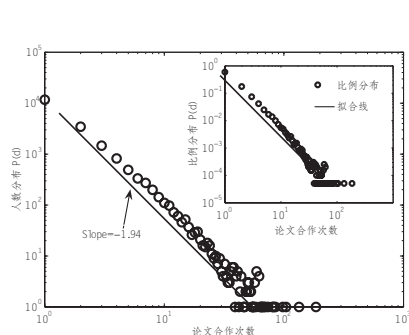
图7 专家、个体知识水平随时间演化情况

## 2.5 知识扩散与科研合作行为

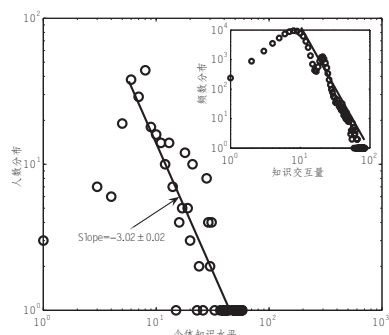
科研合作是理性的科研人员为实现知识自我增长、追求利益最大化而选择的一种科学研

究方式,归根结底都是科研人员之间的群体或个体科研合作行为。对科研合作行为的研究属于人类行为动力学的研究范畴,一直也是社会学研究的重要内容。以往的研究通常是将人类行为泛化为一种可以使用泊松过程描述的稳态随机过程,即假定人类相邻行为的时间间隔是均匀分布的,较大时间间隔所占比重较小<sup>[21]</sup>。然而随着大规模数据采集技术的不断发展,大量的实证数据统计显示,人类相邻行为的时间间隔特征呈现非泊松分布现象,其中涉及在线电影点播、网站搜索和访问、计算机指令的使用行为、电子邮件接收与回复、图书借阅记录等。而科研合作行为同样满足这种具有反比幂函数的胖尾特征,且在群体水平与个体水平上服从不同的幂律分布<sup>[22]</sup>。图8(a)显示我国在2005年1月至2014年12月十年期间图书情报研究领域的科研合作人数分布情况,可以看出其符合幂律分布特征,表现出明显的单峰指数衰减函数,后端呈现胖尾现象,幂指数 $\gamma=1.94$ 。通过实证数据也得出,在学科领域、期刊以及单个作者不同层次上的科研合作分布都满足幂律特征,呈现出不同的衰减速度。

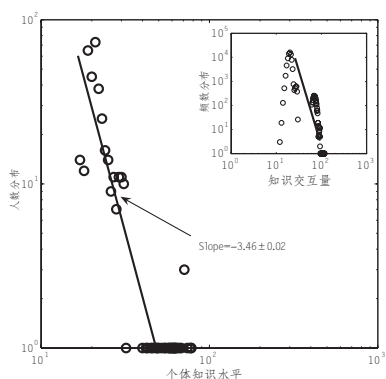
为检验基于该模型知识扩散后形成的科研合作网络是否会表现出这种幂律特性,对经过 $T=3\ 000$ 次演化后的网络结构特征进行统计分析。由于该知识扩散模型是建立在小世界网络的基础上,模型中的科研合作个体规模、度分布都是确定的,因此,需要分析网络中个体的知识水平分布以及个体之间的知识交互量分布是否满足幂律特征。由于不同个体的知识吸收能力是不同的,其表现出来的科研合作行为特征也必然不同,需要探讨不同个体的这种知识吸收能力是否与群集行为特征满足的幂律分布指数存在相关关系。为便于统计最终各个体的知识水平值,对各数值进行取整后绘制在双对数坐标下的分布图。



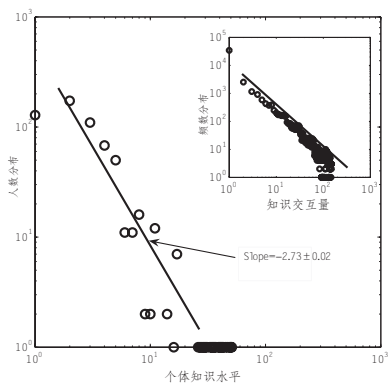
(a) 图书情报研究领域的科研合作人数分布



(b)  $p=0.1$  小世界网络知识扩散下的科研合作分布



(c)  $p=0.9$  随机网络知识扩散下的科研合作分布



(d)  $p=0.001$  规则网络知识扩散下的科研合作分布

图 8 科研合作行为分布特征图

图 8(b)、8(c)、8(d) 分别表示在  $p=0.1$  的小世界网络、 $p=0.9$  的随机网络以及  $p=0.001$  的规则网络知识扩散条件下的科研合作行为分布特征。从图中可以看出,在不同类型的合作网络下知识扩散后的个体知识水平、知识交互量分布特征均满足具有胖尾过程的幂律分布,呈现出不同的衰减速度。通过在设定断链重连概率  $p$  从  $0 \rightarrow 1$  逐渐变化时,个体知识水平、知识交互量分布的幂指数  $\gamma$  的取值范围均在  $[1.93 \pm 0.02, 3.52 \pm 0.02]$  之间,且幂指数  $\gamma$  与断链重连概率  $p$  并未表现出明显的线性关系,说明知识扩散时的不同网络结构与形成的科研合作行为分布特征并不存在必然的关系。另外,通过实验也证明在不同的个体知识吸收能力  $\beta_i$  下,群集行为特征满足的幂律分布指数与不同个体的这种知识吸收能力不存在直接的线性关系。个体知

识水平满足的这种分布特性,体现了知识扩散后科研合作网络结构中仍然存在着知识的极大不均匀性,网络中部分个体具有极高的知识水平,而大量的节点知识水平仍较低,即存在“富者愈富”的马太效应。而这种不均匀性是由于不同个体之间的知识吸收能力和连接强度等因素的不同,导致不同个体之间知识的交互量存在不同,最终引起知识水平发生较大差异。

图 9 为模型在设定  $N=300$ 、 $n=10$ 、 $p=0.1$ 、 $\lambda_i=0.01$  及  $\beta_i=0.5$ , 经过  $T=3\ 000$  次演化后的合作网络知识扩散结构图,图中只显示个体之间累积知识交互量大于 50 的连接关系,并根据中心性分析的度中心性和凝聚子群进行分析。从图中可以看出,该合作网络可大致分为 7 个科研小团体,每个小团体都围绕一到两个专家实现知识的有效扩散。计算得到该网络的平均点度

中心度为 134.08, 而专家 78 在该合作网络的点度中心度最大, 说明他对该网络的知识扩散作用最大, 其次分别为专家 16、专家 165、专家 77 以及专家 113。在一个科研合作网络中由于研究知识的多样性, 往往有多个专家, 且不同专家都有自己的研究团队, 而团队之间也并不是孤立存在的。由于研究内容的交叉性及现实的人际关系等往往会产生合作关系, 如以专家 78 为

中心的团队与以专家 165 为中心的团队之间存在多个关系, 但团队内部的知识扩散相对于团队之间, 交互更为频繁。另外, 研究方向独特或新组建的研究团队, 与其他团队交互较少或孤立地存在, 如专家 54 组建的团队, 根据知识扩散的方向性, 只与个体 60 和个体 64 产生过合作关系。通过该演化模型能较好地模拟现实科研合作网络中的知识扩散过程。

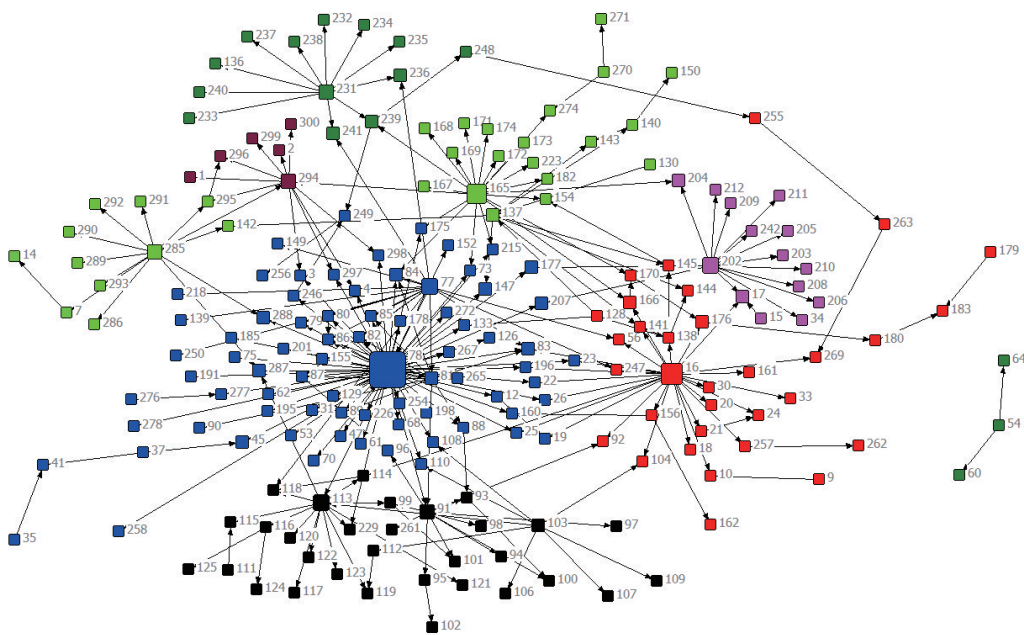


图9 科研合作网络知识扩散结构图

### 3 研究结论

本文根据知识流在科研合作网络中的扩散过程, 致力于在小世界网络的基础上构建更加符合现实的知识扩散模型, 通过再现真实的网络组织知识传播行为, 揭示科研合作网络中不同的网络结构特征、专家知识溢出效应、知识扩散途径以及扩散过程中的科研合作行为特征与知识扩散的动态关系, 通过数值模拟和实证分析, 总结出以下特征。

(1) 不同科研合作网络结构下表现出的知

识扩散特征存在明显差异。网络的随机化程度越大、网络规模越小, 知识扩散的速度就越快、知识的分布越均匀。规则网络中链路的经济性和规则性严重制约着知识的有效扩散, 在整个演化过程中演化周期最长、知识扩散频率最低; 在随机网络中知识扩散效能达到最大化, 知识会以同等概率扩散到整个网络中的任何个体, 整个网络知识水平最高、知识分布最均衡。然而规则网络的视域局限性以及随机网络的连接不择性不符合现实的科研合作行为模式, 小世界网络这种从接近结构化可扩展到全随机网络的特性更加符合真实的知识扩散模型。另外,

知识在小范围的科研合作网络中更容易得到扩散。合作网络的规模越小,个体在相同的演化时段内获得知识扩散的机会就越大,整个网络的平均知识水平就越高。然而网络规模对合作网络知识扩散的震荡幅度要小于网络随机化程度对知识扩散的影响。网络的规模越小,在演化初期达到的增长速度也会越大,随着时间的演化,知识在不同个体之间被不断扩散传播,最终知识扩散的增长速度与网络规模无关。

(2) 知识的遗传继承与知识变异重组不同程度地促进知识的有效扩散。个体通过遗传继承实现的知识吸收能力越强,以及通过变异重组引起的自我创新知识增长能力越强,知识扩散的速度越快,整个网络的平均知识水平就越高。两者共同作用于知识的有效扩散,当单纯只依赖某一要素作用于知识扩散时,知识水平的增长幅度要远远小于两者共同存在时的扩散效果。且遗传继承主要作用于知识扩散演化前期,而变异重组对知识扩散的后期震荡作用更大。其主要原因是:在知识演化前期,由于大多数普通个体自身知识水平较低,知识扩散的主要方式是以普通个体有意识、有目的、主动地向领域专家学习并实现知识的吸收为主。此时的知识扩散是一种典型的知识溢出方式,即由于知识存量势差而导致的交往活动中知识和技术的转移过程,表现为知识或技术交换中信息的占有,更多的是与知识原发体的知识传播能力、知识接受体的知识吸收能力以及两者之间的关联强度有关,即知识扩散主要受到模型中 $\beta_i$ 参数的影响。随着时间的演化,普通个体的知识水平不断提高,与领域专家之间的这种知识差距也不断缩小,由知识势差引起的知识扩散变得不再显著。同时,普通个体在前期知识吸收的过程中,会对从专家遗传继承的知识产生一种主观能动性的批判行为,从而实现创新性的元素重组或结构重组,在已知知识的基础上产生出再生性的新知识。因此,演化后期个体知识的增长主要是以自身的知识创新为主。但两种知识增长方式是缺一不可的,知识的变异重

组更多的是建立在对专家原有知识遗传继承的基础之上,通过在特定目标的指引下,来寻求知识单元间新的内在关系和未来动向,实现知识的重组。

(3) 科研网络中专家高知识溢出效应越显著,越能促进知识的有效扩散。网络中专家的知识水平越高、专家比例越大,扩散后网络的平均知识水平就越高。通过知识扩散并不会造成专家知识的减少,相反专家在演化过程中也会因知识创新引起知识自我增长。由于不同专家之间的知识水平、传播能力以及交互活跃程度不同,接受体从不同专家获取的累积知识交互量也存在较大差异。研究也发现普通个体从知识水平越高、合作交互更为活跃的专家那里能获得更大的知识交互量。

(4) 科研合作行为满足具有反比幂函数的胖尾特征,且在群体水平与个体水平上服从不同的幂律分布。知识扩散后的不同个体知识水平、知识交互量分布特征,均满足具有胖尾过程的幂律分布,呈现出不同的衰减速度。合作网络的这种分布特性体现出网络知识分布结构的极大不均匀性,说明通过知识扩散后网络中部分个体会具有极高的知识水平,而大量的个体知识水平仍较低,即存在“富者愈富”的马太效应。而这种不均匀性是由于不同个体之间的知识吸收能力和连接强度等因素不同,导致不同个体之间知识的交互量存在不同,最终引起知识水平发生较大差异。

本文通过在预设合作网络知识扩散演化规则的前提下,构建演化模型并通过数值模拟和计算机仿真方法得出普适性的结论,比较符合现实世界中知识扩散的演化过程。通过考察不同驱动因素下的知识扩散特征和相应的优化方案,能够帮助发现科研合作网络中知识扩散发挥最大化效能的策略,确保外部影响因素的震荡作用朝着积极方向发展,从而形成更稳健的合作模式,发挥科研合作过程中的创新张力和知识优势,放大团队成员的良性互动,分离阻碍合作的知识差异,并有效地实现知识互惠互通



策略和重组创新。

#### 4 研究展望

本文较系统地分析了科研合作网络知识扩散演化过程中影响知识扩散的要素以及各要素的作用机理,得出了一系列结论。但是知识扩散过程具有复杂性、不可控性、个体差异等特点,它更倾向于是一种客观现象,而不是一种完全主观的行为理念,各种影响因素使得知识扩散过程和规律很难被准确地把握,一些研究内容需要进一步深入分析。首先,本文的知识扩散模型是建立在小世界网络基础上,尽管小世界网络比较符合现实世界的科研合作网络,然而该模型在演化过程中是假定科研合作个体规模、度分布都是确定的,而在知识扩散的不同阶段都会有新个体的加入和旧个体的退出,科研团队并非一成不变而是不断动态变化的。随着互联网技术的发展,科研合作也不再仅仅局限于小视域范围内,网络中个体的不同增长函数

和边连接机制是否与知识扩散存在关系;同时,演化过程也伴随对团队外部更多专业复杂的碎片化知识的吸收,从而实现优势互补或资源共享,团队在嵌入外部知识的过程中所产生的内外隐交互行为会对网络中知识扩散产生怎样的影响;这些都需要进一步去探讨。其次,科研合作的主体已逐渐从个体层次向团队层次、机构层次以及国家层次转变,而不同群体的成员所拥有的知识类型、范围、层次等不同,不同类型的差异和冲突会对知识扩散产生不同程度的双重作用,且差异和冲突并不会始终以同等程度影响合作,而是随着时间的改变而改变。需要分析知识扩散在不同集群之间的机理特征,探究不同群体的知识分布结构、知识差异性等对知识扩散的影响。最后,有必要深入、系统分析新的科研环境下影响知识扩散的主要因素,探究个体的联接程度、稳定性以及团队的知识多样性、知识负载以及知识冗余度与知识扩散的关系,以提出组建高效的科研团队和促进知识有效扩散的方案和措施。

#### 参考文献

- [1] Andrew C I, Adva D. Knowledge management processes and international joint ventures[J]. *Organization Science*, 1998, 9(4): 454-468.
- [2] Davenport T H, Philip K. Managing customer support knowledge[J]. *California Management Review*, 1998, 40(3): 195-208.
- [3] Krogh V. Carein knowledge creation[J]. *California Management Review*, 1998, 40(3): 133-153.
- [4] 周素萍. 高科技中小企业集群知识扩散模型构建及阶段分析[J]. *企业经济*, 2013(1): 77-80. (Zhou Suping. Modeling and phase analysis of knowledge diffusion in high-tech small and medium-sized enterprises cluster[J]. *Enterprise Economy*, 2013(1): 77-80.)
- [5] Cowan R, Jonard N. Network structure and the diffusion of knowledge[J]. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 2004, 28(8): 1557-1575.
- [6] Kim H, Park Y. Stuctural effects of R&D collaboration network on knowledge diffusion performance[J]. *Expert Systems with Application*, 2009, 36(5): 8986-8992.
- [7] Ozel B. Scientific collaboration networks: knowledge diffusion and fragmentation in Turkish Management Academia [D]. Istanbul: Istanbul Bilgi University, 2010.
- [8] Yang G Y, Hu Z L, Liu J G. Knowledge diffusion in the collaboration hypernetwork[J]. *Physica A: Statistical Me-*

- chanics & Its Applications, 2015, 419: 429–436.
- [ 9 ] 岳增慧, 徐海云, 方曙. 基于结构参数的科研合作网络知识扩散建模研究[J]. 情报学报, 2015, 34(5): 471–483. (Yue Zenghui, Xu Haiyun, Fang Shu. Modeling knowledge diffusion in scientific collaboration network based on structural parameters[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2015, 34(5): 471–483.)
- [ 10 ] 宋歌. 学术创新的扩散过程研究[J]. 中国图书馆学报, 2015, 41(1): 62–75. (Song Ge. The diffusion process of academic innovation[J]. Journal of Library Science in China, 2015, 41(1): 62–75.)
- [ 11 ] 李金华, 孙东川. 复杂网络上的知识传播模型[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2006, 34(6): 99–102 (Li Jinhua, Sun Dongchuan. Knowledge propagation model in complex networks[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2006, 34(6): 99–102.)
- [ 12 ] 赵蓉英, 张洋, 邱均平. 知识网络研究(Ⅲ)——知识网络的特性探析[J]. 情报学报, 2007, 26(4): 583–587. (Zhao Rongying, Zhang Yang, Qiu Junping. Study on knowledge network (Part Ⅲ): analysis of the characteristics of knowledge network [J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2007, 26(4): 583–587.)
- [ 13 ] Watts D J, Strogatz S H. Collective dynamics of ‘small-world’ network[J]. Nature, 1998, 393(6684): 440–442.
- [ 14 ] 胡峰, 张黎. 知识扩散网络模型及其启示[J]. 情报学报, 2006, 25(1): 109–114. (Hu Feng, Zhang Li. A network model of knowledge diffusion and its implications[J]. Journal of the China Society for Scientific and Technical Information, 2006, 25(1): 109–114.)
- [ 15 ] 于同洋, 肖人彬, 龚晓光. 组织网络隐性知识扩散及学习策略分析[J]. 管理科学, 2009, 22(6): 21–28. (Yu Tongyang, Xiao Renbin, Gong Xiaoguang. Tacit knowledge diffusion in organizational networks and the analysis of learning strategies[J]. Journal of Management Science, 2009, 22(6): 21–28.)
- [ 16 ] Berman S L, Down J, Charles W L. Tacit knowledge as a source of competitive advantage in the National Basketball Association[J]. The Academy of Management Journal, 2002, 45(1): 13–31.
- [ 17 ] Wang J P, Guo Q, Yang G Y, et al. Improved knowledge diffusion model based on the collaboration hypernetwork [J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2015: 250–256, 428.
- [ 18 ] Luo S L, Du Y Y, Liu P, et al. A study on coevolutionary dynamics of knowledge diffusion and social network structure[J]. Physica A: Statistical Mechanics & Its Applications, 2015, 42: 3619–3633.
- [ 19 ] 仰艳平, 孟彦军. 基于知识差距的科研团队知识扩散研究[J]. 企业科技与发展, 2012(3): 48–49. (Yang Yanping, Meng Yanjun. Study on knowledge diffusion within R&D team based on the knowledge gap[J]. Enterprise Science and Technology & Development, 2012(3): 48–49.)
- [ 20 ] 万青, 陈万明, 胡恩华. 知识扩散与知识共享的涵义及其关系研究[J]. 图书情报工作, 2011, 55(12): 92–95. (Wan Qing, Chen Wanming, Hu Enhua. Study on the connotations and relationship between knowledge diffusion and knowledge innovation[J]. Library and Information Service, 2011, 55(12): 92–95.)
- [ 21 ] 周涛, 韩筱璞, 闫小勇, 等. 人类行为时空特性的统计力学[J]. 电子科技大学学报, 2013, 42(4): 481–540. (Zhou Tao, Han Xiaopu, Yan Xiaoyong, et al. Statistical mechanics on temproal and spatial activities of human [J]. Journal of University of Electronic Science and Technology of China, 2013, 42(4): 481–540.)

## 《中国图书馆学报》第二届青年学术论坛召开

2016年8月17日至19日,《中国图书馆学报》第二届青年学术论坛在贵州省贵阳市如期举行。此次论坛秉承“鼓励原创,拓宽视野,培养跨界、跨代学术新人”的既定宗旨。

会议由《中国图书馆学报》常务副主编卓连营主持,南京大学信息管理学院教授叶鹰担任点评专家,国家图书馆出版社金丽萍主任也应邀与会。美国佛罗里达州立大学信息学院博士生俞碧颀、上海图书馆系统网络中心高级研发工程师夏翠娟、西北师范大学商学院副教授周文杰、中国人民大学信息资源管理学院副教授闫慧、南京理工大学信息管理系教授章成志、华东师范大学信息管理系研究员赵星、武汉大学信息管理学院副教授杨思洛、中国科学院大学经济管理学院岗位教授顾立平等青年学者与会并报告各自选题。

分别为:俞碧颀等《北美图书馆情报学研究生教育的质量控制与专业化》,夏翠娟《中国历史地理数据的开放利用》,周文杰《信息减贫语境中的公共图书馆职能转型:经验证据与实践启示》,闫慧《中国农民数字化贫困的根源:兼论数字时代的结构化贫困》,章成志《在线社交网络中基于用户的知识组织模式研究》,赵星《学术文献用量级数据 Usage 的测度特性研究》,杨思洛《中美学者发表国际学术论文的影响力比较研究》,顾立平《开放科学环境中的知识服务变革》。

各位报告人依次介绍了各自的学术背景、选题思路及研究进展。选题从国外到国内,从理论到实践,从学科教育到图书馆事业,从科学计量到技术应用,从微观到宏观,充分展现了青年学者视域宽广、思维敏锐以及跨学科研究的鲜明特征。点评专家叶鹰教授针对各个选题逐一点评,既对研究的规范性和学术性给予了充分的肯定,也围绕选题研究提出了一些建设性意见,并对后期研究的开展和学术论文的写作和完善进行了指导。

与会学者交流充分、互动热烈、研讨深入,论坛自始至终洋溢着自由、愉快、纯粹的学术气氛。

(《中国图书馆学报》编辑部)

- 
- [22] 胡枫,赵海兴,马秀娟.一种超网络演化模型构建及特性分析[J].中国科学:物理学 力学 天文学,2013,43(1):16-22.(Hu Feng,Zhao Haixing,Ma Xiujuan. An evolving hypernetwork model and its properties[J]. SCIENTIA SINICA Physica, Mechanica & Astronomica, 2013, 43(1): 16-22.)
- 

**巴志超** 武汉大学信息管理学院博士研究生。湖北 武汉 430072。

**李 纲** 武汉大学信息资源研究中心副主任,珞珈特聘教授,博士生导师。湖北 武汉 430072。

**朱世伟** 山东省科学院情报研究所助理研究员。山东 济南 250014。

(收稿日期:2016-06-02;修回日期:2016-07-19)