



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

全球创新网络中企业间知识扩散模式研究 ——基于无标度网络理论

储节旺 施点 杨子豪

安徽大学管理学院 合肥 230601

摘要: [目的/意义] 知识经济背景下,全球创新网络成为全球企业间知识流动的平台,通过构建企业间知识扩散模型,研究全球创新网络中企业间知识扩散模式,以促进全球创新网络的发展。[方法/过程] 研究主要基于无标度网络理论,建立有向网络模型并仿真,结合仿真结果以及知识密集型企业与劳动密集型企业的概念,探究了全球创新网络中两种企业知识扩散的模式。[局限] 模型的参数设置较为简单,难以模拟复杂的企业网络结构。[结果/结论] 根据建立的网络模型,分析得到全球创新网络中企业间知识扩散模式主要包括知识创造、知识密集型企业之间的协同创新、知识密集型企业与劳动密集型企业之间的知识扩散三个方面及其具体方式,为两种企业的知识管理提供了建议。

关键词: 全球创新网络; 知识扩散; 知识密集型企业; 劳动密集型企业; 无标度网络理论

中图分类号: G302

Research on the Model of Knowledge Diffusion among Enterprises in Global Innovation Networks: Based on Scale-Free Network Theory

CHU Jiewang SHI Dian YANG Zihao

School of Management, Anhui University, Hefei 230601, China

Abstract: [Objective/Significance] In the context of the knowledge economy, the global innovation network has become the platform for knowledge flow between global enterprises. This paper constructs an inter-enterprise knowledge diffusion model to study the modes of knowledge diffusion among enterprises in the global innovation network, promoting the development of the global innovation network. [Methods/Processes] The study is primarily based on scale-free network theory. A directed network model is established and simulated. Combining the simulation results with the concepts of knowledge-intensive enterprises and labor-intensive enterprises, the modes of knowledge diffusion between the two types of enterprises in the global innovation network are explored. [Limitations] The parameter settings of the model are relatively simple, making it difficult to simulate complex enterprise network structures. [Results/Conclusions] Based on the established network model, it is analyzed

基金项目 国家社科基金一般项目“数智创新生态系统知识生成动力、扩散逻辑与治理机制研究”(23BTQ055)。

作者简介 储节旺(1969-), 博士, 教授, 主要研究方向为知识管理; 施点(1999-), 硕士研究生, 主要研究方向为知识管理, E-mail: 1210768172@qq.com; 杨子豪(1998-), 硕士研究生, 主要研究方向为专利管理。

引用格式 储节旺, 施点, 杨子豪. 全球创新网络中企业间知识扩散模式研究——基于无标度网络理论[J]. 情报工程, 2024, 10(1): 3-16.

that the modes of knowledge diffusion among enterprises in the global innovation network mainly include knowledge creation, collaborative innovation between knowledge-intensive enterprises, and knowledge diffusion between knowledge-intensive and labor-intensive enterprises which provides suggestions for knowledge management of the two types of enterprises.

Keywords: Global Innovation Network; Knowledge Diffusion; Knowledge-Intensive Enterprises; Labor-Intensive Enterprises; Scale-free Network Theory

引言

在知识经济以及经济全球化的背景下,创新驱动发展已经成为全世界各家企业的基本战略。而在世界范围内的许多行业中,知识创新资源的来源和使用已经从单个企业转移到一群网络化的企业中^[1],全球创新网络就是这样一个在国际之间吸收、整合、发散知识创新资源以形成价值的网络形态^[2]。1991年,Freeman^[3]首次提出了“创新网络”的概念,这种整合了企业内外部知识创新资源的形式引起了国内外学者的广泛关注。Ernst^[4]在2009年首次提出全球创新网络(Global innovation network)的概念,并把全球创新网络定义为一种在跨组织、跨区域边界上整合产品研发活动的网络形态。此定义有三层含义,首先指出全球创新网络是一个跨组织跨区域的全球性结构,其组织结构包括但不限于各个国家的企业、科研机构、高校等,其次说明全球创新网络的基础是产品的开发研发与合作,最后点明了全球创新网络是一个网络性结构,符合网络结构的特征。学者们对于全球创新网络的探究包括企业的创新模式^[5-6],企业与外部知识的交互行为^[7],企业与全球创新网络之间的关系^[8-9],以及企业融入全球创新网络的途径^[10-11]。

而在全球创新网络中,由于企业与各组织之间存在着知识浓度差,各个组织之间会发生明显的知识扩散现象,因此对全球创新网络的

研究便集中在知识扩散的方面。在以往研究中,学者们对于知识扩散的探究主要集中在科研合作网络^[12-14],学科交叉^[15]以及产业创新网络^[16-17]三个方面。一众学者基于知识扩散的网络性特征,研究了知识扩散与网络结构的关系,例如将知识创新引入规则网络、网络、随机网络以及无标度网络等网络结构,探究在这些网络中知识扩散的规律,并且有学者发现,在无标度网络模型中知识的扩散效率最高^[18]。但是学者们对于企业之间知识扩散的研究仍有不足。首先,尽管学者们已将企业间知识扩散拓扑成无标度网络模型,但没有引入知识密集型企业的概念,用以定义网络中节点度明显高于其他节点的超级节点。其次,在以往研究中,学者们会通过收集企业的专利数据、创新活动等对企业的知识创新能力进行定性分析,但很少有学者为企业间知识扩散建立数学模型。最后,学者们对无标度网络模型的研究仍有不足,由于知识扩散的有向性,网络结构中节点与节点之间的连接应是有向的,而现有研究大多仅构建了无向的无标度网络模型,并且由于企业之间产生知识联系的概率并不完全依照于网络中的节点度,因此传统的BA模型并不适用于模拟企业间的知识扩散模式。

基于此,本文基于刘浩广等^[19]的理论,将全球创新网络中企业的拓扑结构抽象为优化过的有向无标度网络模型,即Poisson有向模型。

在全球创新网络中每一个与其他企业发生知识扩散现象的企业都是网络结构中的一个节点，企业之间的知识扩散视为节点之间的连接，并以此构建全球创新网络中企业之间知识扩散的模式。在研究中，本文将探索企业在全局创新网络中与其他企业的知识联系以及知识流动的模式。本文的研究目标主要包括：

(1) 对知识扩散、知识密集型企业、劳动密集型企业的概念进行辨析，并探究企业间知识扩散的特点与性质。

(2) 基于优化后的有向无标度网络理论模型建立企业间知识扩散数学模型并进行仿真，探究部分模型参数对全球创新网络的影响，分析全球创新网络中企业间知识扩散的模式。

(3) 分析知识密集型企业与劳动密集型企业在全局创新网络的知识扩散过程中扮演的角色，为两种类型的企业的知识管理提供策略与思路。

1 研究回顾

1.1 网络中的知识扩散

知识扩散是有用信息在个人、群体或组织之间的流动，是创新知识在有效机制控制下的传递过程^[14]。知识扩散是创新思想与技术在人與人之间、组织与组织之间传播的重要社会过程。思想的传播与疾病在人群中的传播在定性上有许多相似之处。受到流行病传播的启发，Bettencourt等^[20]将发表论文数量或发表作者数量的主题增长视为知识扩散的代理，并引入了流行模型来量化理论和实验物理中的知识传播。由于流行病传播网络与社交网络具有高度的相似性，许多学者利用复杂网络的模型来对知识

扩散的过程进行研究。Zhang等^[21]研究了四种拓扑结构，找出哪种拓扑结构更适合知识的扩散，并建立了一个新的知识扩散模型，其中考虑了学习与遗忘的机制，网络结构中的个体可以同时扮演传授者与学习者的角色。Guan等^[22]建立了单个出版物的详细网络，并证明了将扩散网络模型应用于研究传播的可行性。Zhang等^[23]基于技术专利引用量、科学期刊、科研人员合作等维度，建立了具有空间维度的知识流动网络。Qiao等^[24]考察了三种不同的知识角色：寻求者、贡献者和中间人。定义了三种类型的选择机制：客观选择机制、基于反馈的选择机制和随机选择机制，并通过对规则网络、随机网络、小世界网络和无标度网络四种典型网络进行基于智能体的知识扩散的过程仿真。Lei等^[25]着重于两个特征，即网络密度和项目角色，基于代理的建模方法来构建知识扩散的仿真模型并进行了模拟实验。

不难看出，目前学者们对知识扩散模式的探讨与复杂网络的模型紧紧关联，并且研究的方式主要围绕着如何建立更科学、可信的网络模型，来模拟知识扩散的过程。因此本研究将基于复杂网络中的无标度网络模型分析企业间知识扩散的模式演化。但由于企业间的知识扩散具有有向性的特征，且企业间产生知识联系的概率并不完全符合BA无标度网络模型，因此本研究将引入择优连接倾向系数的参数概念，建立有向网络模型，以此刻画全球创新网络中企业间知识扩散模式的特征。

1.2 知识密集型企业与劳动密集型企业

知识密集型企业 (Knowledge-Intensive En-

terprises, 简称 KIEs) 是指主要依靠知识、技术、创新等方面的投入来获得利润的企业; 劳动密集型企业 (Labor-Intensive Enterprises, 简称 LIEs) 是指依赖人力和物力资源进行生产的企业。知识密集型企业的员工通常具备高水平的专业技能和知识, 而劳动密集型企业的员工则通常以劳动力为主, 他们的技能和知识水平相对较低。因此学者们对企业知识管理的研究主要集中于知识密集型企业。同时国外也有学者从知识管理、金融、管理理论与实践、社交网络知识共享、开放式创新框架、业务流程管理、四螺旋模型等几个角度探讨了全球知识密集型企业 and 国际技术转移的热点问题^[26]。

在企业间知识扩散模型中, 知识密集型企业 (KIEs) 与劳动密集型企业 (LIEs) 之间很难定量地区分, 并且两者的概念可能随着演化的过程发生改变, 因此本研究仅将网络模型中节点度明显高于其余节点的企业认定为知识密集型企业。

从知识密集型企业与劳动密集型企业的概念中不难看出, 在全球创新网络中, 知识密集型企业通过产品分工与创新活动等方式, 总是作为知识输出的一方; 而劳动密集型企业由于知识储量不丰富, 通常作为输入知识的一方。研究将基于此, 对全球创新网络的参与者进行定性分析, 并对网络的初始状态进行设定。

2 全球创新网络中企业间知识扩散模型构建与仿真

2.1 模型构建理论

BA 无标度网络模型是一种常见的复杂网络

模型, 由 Barabási 和 Albert^[27] 于 1999 年提出。它是一种基于“优先连接”的网络生成算法, 可以用于模拟很多实际现象, 如互联网、社交网络、蛋白质相互作用网络等。BA 模型的一个重要特点是无标度性, 即节点的度数分布呈幂律分布。这意味着只有很少一部分节点的度数很大, 而大多数节点的度数很小。这种特殊的度数分布在很多实际网络中都得到了验证。在 BA 模型被提出之后, 研究人员陆续对其进行了许多研究和拓展。例如, 他们研究了网络的演化规律、拓扑结构和动力学性质等。

也有部分学者将无标度网络理论应用在现实的知识管理领域。有学者通过数值计算, 发现当有一定程度的局部知识存在时, BA 模型的全局属性, 如连通性分布和平均最短路径长度, 具有相当的鲁棒性。与此同时, 其他属性 (如聚类系数和度相关) 则趋近于真实网络的测量值^[28]。还有学者构建了一个医学知识网络, 并通过研究发现该医学知识网络具有小世界、无标度、分层的特点^[29]。还有学者从知识转移和知识溢出的角度研究无标度网络在知识管理领域的作用, 并且通过仿真实验得出结论: 无标度网络为知识转移与知识溢出提供了最优路径, 并且可以刺激研发活动, 促进经济增长^[18,30]。

全球创新网络具有企业数量众多、网络节点较为稠密、网络结构较为稳定等特点, 并且由于其具有一定数量的知识储量丰富、创新活动密集的知识密集型企业, 较为符合无标度网络的拓扑特征, 因此本研究选择全球创新网络作为研究对象, 并采用无标度网络理论对企业间的知识扩散模式进行分析。

2.2 企业间知识扩散模型建立

在研究中，全球创新的网络拓扑结构将被视为有向的无标度网络结构，每个节点为企业，节点间的边为企业之间的知识扩散（联合创新活动或产品分工等），边的存在取决于企业之间是否存在知识联系，处于知识联系中的企业有知识输入与输出两种模式。全球创新网络中企业间的知识扩散模式主要受到网络结构与企业决策等多种因素的影响。

本研究主要通过超级节点与普通节点度的演化与分布来体现其网络拓扑结构特性。并引入刘浩广等^[19]提出的 Poisson 有向无标度网络模型。首先根据无标度特性，全球创新网络企业间知识扩散的初始有向网络 $G(V)$ ，其中 V 以节点的形式表示全球创新网络中的所有企业，表示企业之间存在有向的知识联系，即节点间存在有向边联系。例如节点 a 与节点 b 是网络模型中的两个节点，即全球创新网络中的两个企业，若存在着 a 公司向 b 公司的知识扩散且没有存在 b 公司向 a 公司的知识扩散，也就是 a 公司存在着知识输出，且 b 公司存在着知识输入，即表示为 $e_{ab}=1$ 且 $e_{ba}=0$ 。若节点 a 作为始点，与 O_m 个节点相连，则认为 O_m 为节点 a 的出度；若节点 a 作为终点，与 I_n 个节点相连，则认为 I_n 为节点 a 的入度。

基于此，研究假设全球创新网络中有 m_0 个已经产生知识联系的企业，并且网络规模为 N ，即共存在着 N 个潜在的全球创新网络中的关联企业 ($m_0 < N$)。每过一个时间单位 T ，设置一个企业加入网络。后续的企业加入网络时，产生 m 条边，也就是与已在网络中的 m (mm_0)

个企业产生知识联系，其作为终点的概率为 P ，即知识输入概数，其作为始点的概率为 $1-P$ ，并且其入边数服从二项分布 $B(m, P)$ ，出边数服从二项分布 $B(m, 1-P)$ ，这里的 $P \in (0, 1)$ 。

并且后续加入的企业更倾向于与度值更大的企业产生知识联系，如果新节点是始点，则选择终点 i 的概率 Π 依赖于节点 i 的入度 I_i ，即满足关系式：

$$\Pi(I_i) = \frac{P_1 I_i + 1 - P_1}{\sum_j (P_1 I_j + 1 - P_1)} \quad (1)$$

如果新节点是终点则选择始点 i 的概率 Π 依赖于节点 i 的出度 O_i ，即满足关系式：

$$\Pi(O_i) = \frac{P_2 O_i + 1 - P_2}{\sum_j (P_2 O_j + 1 - P_2)} \quad (2)$$

其中， P_j 是选择网络中已有的节点进行择优连接的概率 (P_j 的取值范围为 0 至 1)，即择优连接倾向系数， $j = 1, 2$ 。当 $P_1 = 0$ 时，相当于入度没有择优；当 $P_2 = 0$ 时，相当于出度没有择优。

模型主要参数如下表：

表 1 知识扩散模型主要参数

参数	代表意义
N	全球创新网络规模
m_0	初始网络规模
m	新节点加入时产生连边数
P	知识输入概数
P_1	始点择优连接倾向系数
P_2	终点择优连接倾向系数
s	初始网络起点集
t	初始网络终点集
k	网络初始度值
T	时间单位

2.3 模型仿真

本实验使用 Python 编程语言实现企业间知识扩散模型的构建和演化。通过调用 NumPy 函数库，我们构建了一个三维矩阵来记录网络中的节点与连边情况，以矩阵的形式呈现了网络的结构。同时，我们还利用 Networkx 库构建了网络拓扑模型，以便更好地描述和分析知识扩散过程。此外，我们借助 Pandas 和 Matplotlib 库对数据进行收集、分析和可视化，从而更直观地展示知识扩散的效果。

实验首先进行初始参数设定，用以模拟企业网络的初始状态。通过修改参数并迭代仿真收集各个节点在网络演化过程中的度值数据，分析各个因素对模型演化的影响。以此探究全球创新网络中的两种企业间的知识扩散模式。

2.3.1 参数设定

在本项研究中，我们深入探讨了全球创新网络的拓扑结构并进行了深入的仿真研究。为了更准确地捕捉这一复杂网络的动态特性，我们引入了一系列关键参数，其中包括：调节参数 P 、 P_1 和 P_2 。这三个参数分别描述新进入的企业作为终点加入网络的概率以及在选择网络中现有节点作为起始点或终点时的择优连接倾向。这些参数为我们提供了一个机会，通过不同的设定来模拟和分析其对整体网络结构的影响。

此外，为了确保模型的稳定性并提供一个可比较的参考框架，我们也设定了几个固定的参数。这包括网络的规模 $N=102$ 、每次仿真的步长 $T=100$ 个时间单位、初始网络中的企业数量 $m_0=2$ 以及每一个新入驻的企业与已存在企业之间建立的知识联系数量 $m=2$ 。

为了使模型更为直观并确保其从一个明确的状态开始，我们设定网络的初始状态为节点 1 和节点 2 之间存在双向连接，即初始的起点集为 $s=[1,2]$ ，而初始的终点集为 $t=[2,1]$ 这种设定不仅简化了模型的起始条件，还为后续的仿真提供了一个明确的基准点。

图 1 展示了在 P 设为 0.7，以及 P_1 和 P_2 都设为 0.5 的条件下，一次仿真的结果，即网络的拓扑结构。而图 2 则进一步展示了在相同的参数条件下，经过 100 次迭代仿真后，各个节点的平均出入度情况。

2.3.2 知识输入概数对模型的影响

在图 3 中，通过将择优连接倾向系数 P_1 和 P_2 均设定为 0.7，并在三种不同的知识输入概数 P 值（0.2、0.5 和 0.8）下进行 100 次迭代仿真，我们得到了对知识密集型企业知识交互行为的深入洞察。

首先，图中明确显示，编号靠前的节点（即那些早期加入网络的节点）无论是在知识输入还是输出上，其度数都明显高于后来加入的节点。这在某种程度上反映了“先进者优势”在知识网络中的体现：早期的企业由于其其在网络中的历史地位，能够更广泛地与其他企业进行知识交互，从而积累更多的知识资源和合作关系。

对于知识输入概数 P 的影响，实验观察到其在知识输入和输出上都起到了显著的作用。具体而言，当 P 值增加时，表示新加入的企业更可能作为知识的生产者。这导致知识密集型企业知识输入上呈现出增长的趋势。这是因为，这些企业作为知识的主要提供者，当网络中有更多的知识接收者时，它们的机会也随之增加，进而提高了其知识的传播和影响力。

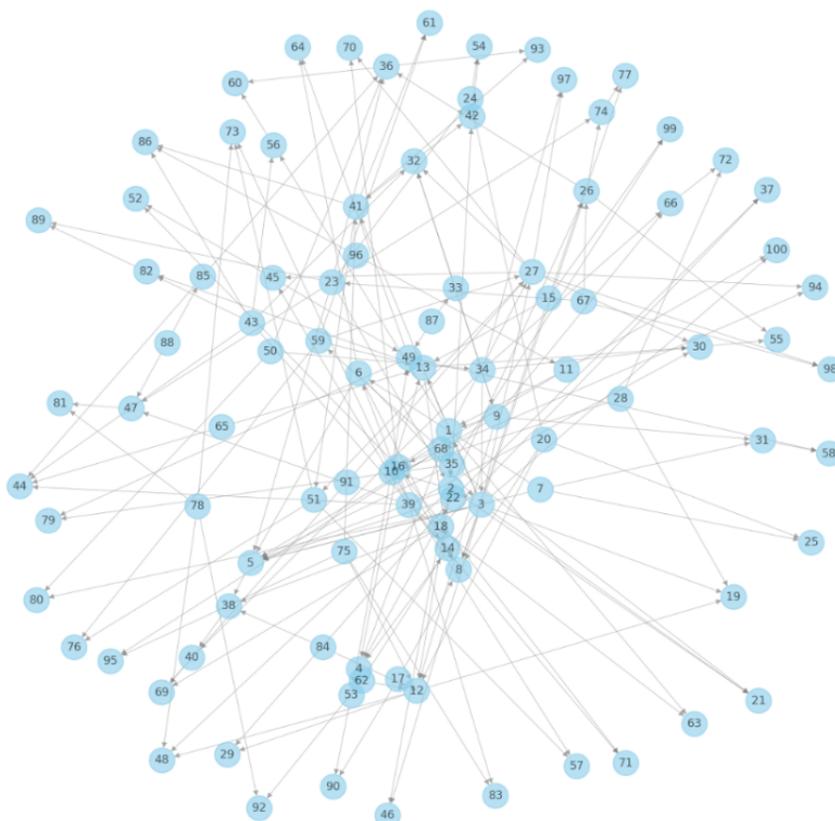


图 1 网络结构可视化

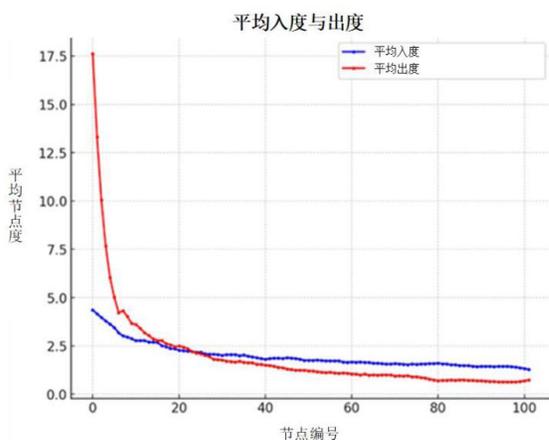


图 2 各节点度值情况

然而，从知识输出的角度来看，情况却恰恰相反。随着 P 值的增加，知识密集型企业的知识输出度数呈现下降趋势。原因在于，较高的 P 值意味着新加入的企业更倾向于作为知识

的接收者而非提供者。这进一步意味着，知识密集型企业寻找新的知识来源时所面临的选择和机会实际上是在减少的。

2.3.3 择优连接倾向系数对模型的影响

图 4 和图 5 呈现了始点和终点择优连接倾向系数如何影响模型中各节点的出入度分布。考虑到在真实的企业生态中，新进入的企业通常更多地扮演知识的接受者角色。基于这一观察，实验将知识输入概率 P 设为 0.7，以模拟这一现实情境。

在图 4 中，固定终点的择优连接倾向系数 P_2 为 0.5，并探讨了始点的择优连接倾向系数 P_1 在 0.2、0.5 和 0.8 三个不同值下的影响。经过 100 次的迭代仿真，实验得到了各节点的平均出入度情况。

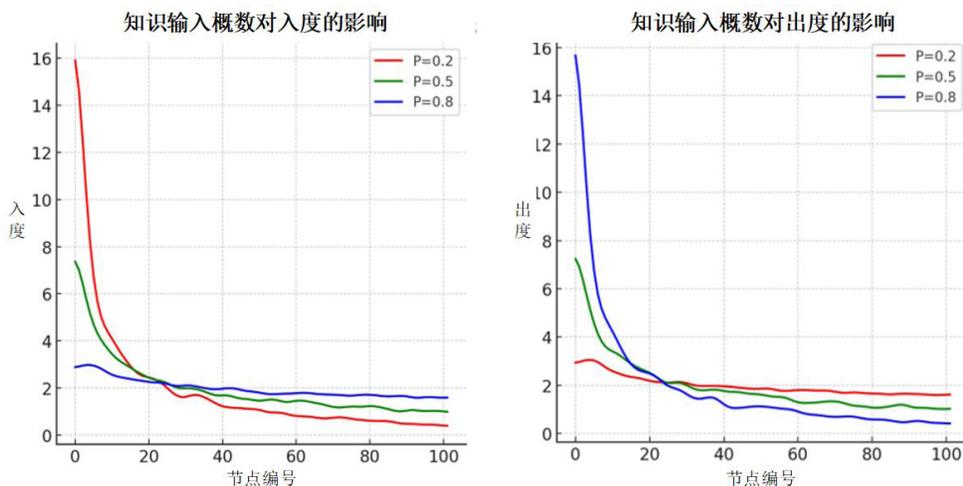


图3 知识输入概数对节点度影响

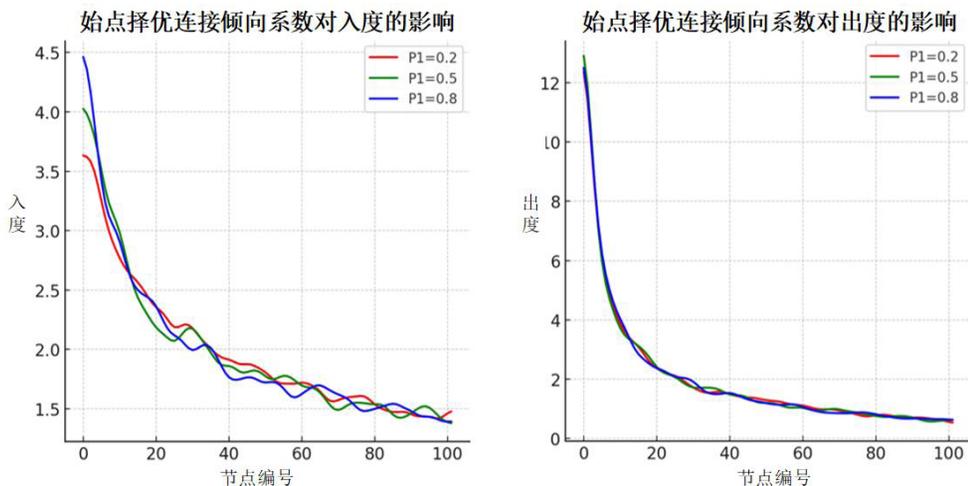


图4 始点择优连接倾向系数对节点度影响

观察结果显示，改变 P_1 的值对各节点的出度分布并没有产生显著的影响。这表明在知识传播过程中，知识的提供者（即出度）的选择并不受到 P_1 的显著影响。然而，对于入度，情况则明显不同。后期加入的节点由于其在网络中的相对年轻地位，其总度值较小，因此 P_1 对其入度的影响也相对较小。但对于较早加入网络的节点，尤其是编号靠前的节点，其入度受 P_1 影响显著。随着 P_1 的增加，新进入网络的企业在选择知识来源时，更倾向于与那些已经拥有较高知识吸纳能力

的企业建立联系。这导致编号靠前的节点的入度显著增加。

图5为固定始点择优连接倾向系数 P_1 为0.5，设置终点择优连接倾向系数 P_2 为0.2、0.5、0.8，迭代仿真100次的各节点出入度平均结果。同理，知识接收者（即入度）的选择不受 P_2 的显著影响，但对于出度， P_2 越大，后续加入网络的企业更倾向从知识输出能力高的企业处获取知识，因此编号靠前的企业的出度越大。而 P_2 越小，这种倾向就越小，编号靠前的节点入度也就越小。

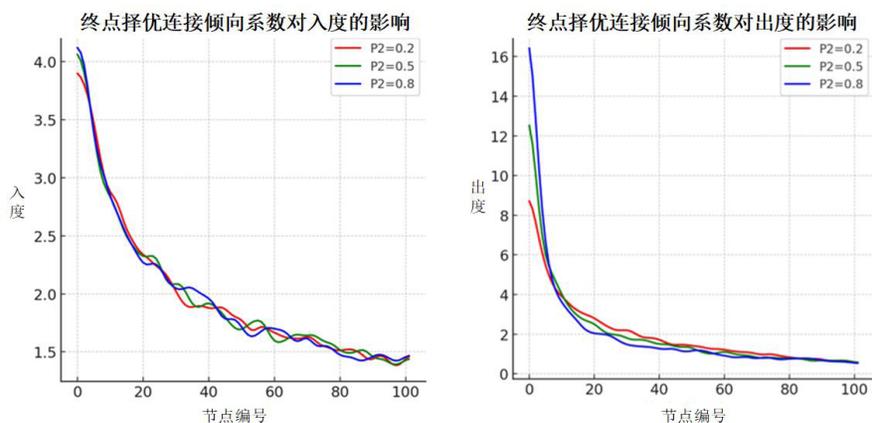


图5 终点择优连接倾向系数对节点度影响

2.3.4 仿真结论

在仿真实验中，我们首先进行了部分参数设定并构建了全球创新网络模型的可视化图片，并展示了在该参数设定下各企业知识输入与输出情况。其后探讨了知识输入概率 P 、始点择优连接倾向系数 P_1 以及终点择优连接倾向系数 P_2 对各企业知识输入与输出的影响。实验发现知识输入概率 P 的增加导致新入驻的企业更多地扮演知识的接受者角色，从而刺激知识密集型企业的知识输出。而始点择优连接倾向系数 P_1 和终点择优连接倾向系数 P_2 的变化则影响了企业与哪些其他企业建立连接，显著影响知识密集型企业的知识输入与输出策略。

在对全球创新网络模型进行深入的研究与分析后，可以观察到企业间知识扩散的两种主要方式：KIEs 间的协同创新和 KIEs 与 LIEs 之间的知识扩散。

KIEs 间的协同创新是这个网络中的一个核心驱动力。这种协同作用主要起源于网络的初始设定。在网络演化的早期阶段，初始的参与者往往具有较高的知识积累和协作能力，使它们逐渐演化为知识的中心节点或所谓的知识密集型企业。这些企业倾向于相互之间建立更紧

密的合作关系，共同探索和创新，从而形成一个强大的协同创新的生态。

随着时间的推移和新企业的不断加入，一个明显的趋势是这些新入驻的企业，尤其是那些知识资源相对较少的 LIEs，更加倾向于与已有的 KIEs 建立联系。这是因为 KIEs 通常具有丰富的知识和经验，而 LIEs 则渴望获取这些知识以增强自身的竞争力。这种机制促进了 KIEs 与 LIEs 之间的知识扩散，确保了知识在整个网络中的广泛传播。

3 全球创新网络中企业间的知识扩散模式

3.1 知识创造

在本研究中建立的企业间知识扩散模型中，节点直接连接代表了企业之间产生了知识扩散的现象，但全球创新网络中的知识不是凭空产生的，而是通过企业或其他组织（高校、研究所等）进行知识创造而产生的。

企业的知识创造通过两种方式实现：企业内部的知识创造以及跨企业间的知识创造。企业内部的知识创造主要体现在员工与企业

之间显性知识与隐性知识的持续相互作用的过程中^[32]。而跨企业间的知识创造则是环境的影响促使企业产生知识需求,知识创造的过程就是知识受到环境的影响,在不同组织之间的转移和扩散^[33]。

在模型中,知识创造的过程体现在模型内与模型外。在模型中,企业之间知识扩散的过程是知识创造的重要方式,在节点的互相连接的过程中,全球创新网络会源源不断地产生新知识。而在模型之外,知识创造的过程包括了企业内部的研发、企业与其他组织之间的知识转移以及其他多种方式。其中以下几种方式均可以促进企业内部的知識创造:技术人员的研发、员工间的知识共享、企业的创新文化以及企业内部组建的创新团队。

3.2 KIEs之间的协同创新模式

由于本研究建立的企业间知识扩散网络模型具有明显的无标度性质,在模型演化的过程中会出现一些度值较高的节点,本研究将其定性分类为知识密集型企业。通过分析模型可知,模型中一些超级节点的入度较高,另一部分超级节点的出度较高,即一部分知识密集型企业展现了较高的知识吸收能力,另一部分展现了较高的知识输出能力。模型中KIEs之间的相互连接即为KIEs之间的协同创新,这种模式也是全球创新网络中知识创造的重要方式。

知识密集型企业间的协同创新则是一种基于知识的协作模式,旨在共同开发新产品、新服务或新技术。这种模式的基本理念是,通过将不同的技能、知识和资源整合在一起,企业

可以加速创新过程,并获得更好的创新结果。在这种协同创新模式中,企业之间共享知识和技能,互相学习和支持,以共同实现创新目标。企业可以通过共享知识和技术,节省时间和资源,并加快创新速度。此外,企业间的协作也可以促进不同领域的跨界创新,进一步推动全球创新网络的发展。

知识密集型企业之间的协同创新主要包括以下方式:

(1) 研究合作: KIEs可以通过与其他企业或研究机构合作,共同进行研究和开发项目。这种合作通常是针对某个特定领域或技术开展的,旨在共同解决技术难题,推动技术进步。

(2) 专利授权: KIEs可以通过与其他企业或机构签订专利授权协议,共享自己的专利或获得他人的专利使用权。这种合作有助于企业在技术领域中获得更大的优势,提高创新速度和效率。

(3) 技术许可: KIEs可以通过与其他企业或机构签订技术许可协议,共享自己的技术或获得他人的技术使用权。这种合作有助于企业在技术领域中实现更大的发展和创新。

(4) 供应链合作: KIEs可以通过与供应链上的其他企业或机构合作,共同提高供应链的效率和竞争力。这种合作可以涵盖从原材料采购到产品销售的整个供应链,从而帮助企业降低成本、提高质量和创新能力。

(5) 联合销售: KIEs可以与其他企业或机构联合销售产品或服务。这种合作可以扩大企业的市场规模,提高销售业绩和品牌知名度。

(6) 联合投资: KIEs可以与其他企业或机构共同投资某个项目或企业。这种合作可以

共同分担风险，实现资源共享，共同实现创新和商业目标。

全球创新网络中 KIEs 之间的协同创新模式见图 6。

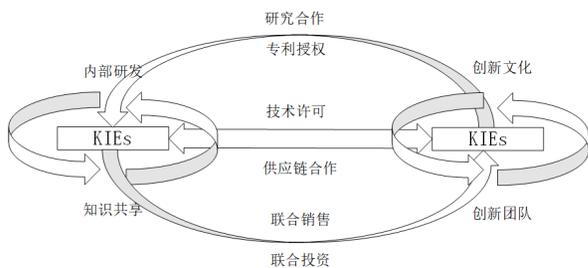


图 6 全球创新网络中 KIEs 之间的协同创新模式

3.3 KIEs 与 LIEs 之间的知识扩散模式

在本研究中建立的企业间知识扩散模型中，KIEs 与 LIEs 之间的知识扩散也承担了一部分的知识创造，其扩散的过程体现在新企业加入全球创新网络时与超级节点的连接。根据模型，LIEs 在加入全球创新网络时，更倾向于同 KIEs 产生知识联系，其倾向的强弱取决于始点和终点择优连接倾向系数 P_1 和 P_2 。

而 KIEs 与 LIEs 之间的知识扩散模式是一个复杂的过程，涉及技术扩散、知识溢出、知识转移等多个方面：

(1) 技术扩散：KIEs 通常是技术创新的主要源头，LIEs 通常通过购买许可证、技术合作等方式获取新技术，从而提高生产效率和产品质量。同时 KIEs 可以从 LIEs 获取新技术产品或知识产品，以提高创新能力与创新效率。

(2) 知识溢出：知识溢出是指 KIEs 的技术、经验和知识在生产过程中不可避免地传递给 LIEs。例如，KIEs 的员工可能会离开企业，到 LIEs 工作，将他们在原企业获得的技术和经验带到新的工作场所。此外，KIEs 在与 LIEs

的合作中，也会向 LIEs 分享技术和经验，这有助于 LIEs 提高其生产效率和产品质量。

(3) 知识转移：知识转移是指 KIEs 和 LIEs 之间有目的的知识传递的过程。KIEs 可能会主动向 LIEs 提供培训和指导，以帮助它们掌握新的技术和工作方法。另外，KIEs 也可能会为 LIEs 提供技术支持和技术服务，以确保它们在生产过程中顺利地应用新技术。

此外，KIEs 与 LIEs 之间并非是定量区分的。在模型中，当一个 LIEs 在输入或输出大量知识后，其概念会发生改变，即产生了企业转型。LIEs 在转型为 KIEs 时，可以为企业带来诸多好处：提高企业竞争力、提高生产效率、提高产品附加价值、扩大市场份额以及提高员工素质。

KIEs 与 LIEs 之间的知识扩散模式见图 7。

3.4 基于 KIEs 和 LIEs 的全球创新网络中企业间知识扩散模式

研究基于知识密集型企业与劳动密集型企业概念来探究全球创新网络中企业间的知识扩散模式。根据本研究建立的模型，企业间知识扩散的模式分为知识创造、KIEs 之间的协同创新、KIEs 与 LIEs 之间的知识扩散三个部分。根据本部分的概述，全球创新网络中企业间知识扩散模式见图 8。

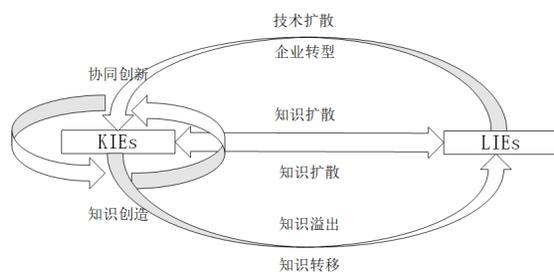


图 7 全球创新网络中 KIEs 与 LIEs 之间的知识扩散模式

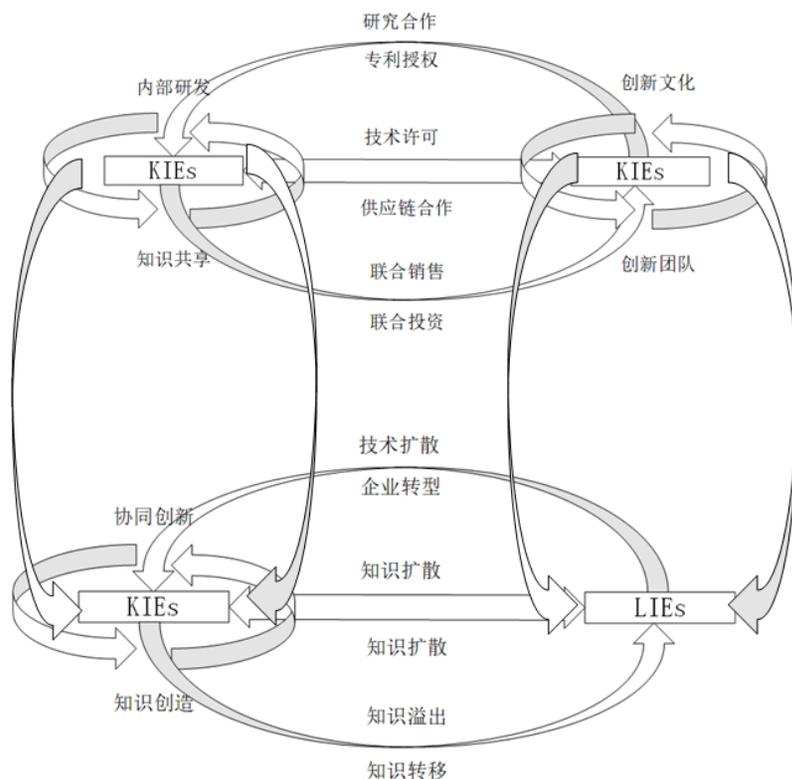


图8 全球创新网络中企业间知识扩散模式

4 研究总结

4.1 研究结论

企业之间的知识扩散本质上是知识在载体之间的一种流动过程^[34]，而全球创新网络使这种知识的流动形成了一个系统，任何加入全球创新网络的企业均可输入或输出知识。在以往研究中，学者们通常会建立多种复杂网络模型来探究企业网络中的知识扩散过程，但实验中往往考虑不到知识扩散的有向性，以及企业的策略对网络演化的影响，导致对企业间知识扩散的模式的研究稍显不足。

相较于以往实验，本研究引入了参数知识输入概数 P 、择优连接倾向系数 P_1 、 P_2 以及初始网络起点集 s ，终点集 t ，建立了全球创新网

络中企业间知识扩散模型并进行仿真，通过仿真实验发现，当企业加入全球创新网络中时，其决策与 P 、 P_1 、 P_2 相关，并且其决策决定了该企业是作为知识输入者或输出者，以及其更倾向于同何种企业产生知识联系。

此外，本研究对模型中的企业进行了定性分类，将产生知识联系较多的企业分类为知识密集型企业，将产生知识联系较少的企业分类为劳动密集型企业。并根据模型发现，全球创新网络中企业间知识扩散模式主要分为知识创造、知识密集型企业之间的协同创新、知识密集型企业与劳动密集型企业之间的知识扩散三个部分。其中知识创造包括企业内部的知识创造以及跨企业间的知识创造，知识密集型企业之间的协同创新主要通过研究合作、专利授权等方式实现，知识密集型企业与劳动密集型企业

业之间的知识扩散包括了技术扩散、知识转移以及知识溢出等方面。并且在全球创新网络的不断演化中,某些劳动密集型企业也可能会朝着知识密集型企业产生企业转型,并创造更高的企业利益。

4.2 研究建议

不论是对于知识密集型企业还是劳动密集型企业而言,知识永远是企业收益与发展的最大活力源泉。然而仅靠企业内部的研发,远远不能达到提高企业竞争力的目的,因此促进企业之间的知识传递,积极地参与全球创新网络中的知识流动,便注定成为企业获取知识和收益的最佳选择。

对于知识密集型企业来说,由于很难从劳动密集型企业接受知识,因此需要更加积极地以开展内部研发工作为基础,同时扩展与其他企业的知识交流。例如企业可以开展联合研发项目,共同研究、开发和验证新技术、新产品或新服务。还可以开展专利授权或许可活动,让其他企业使用自己的专利技术,或者购买或交换其他企业的专利技术,并且可以与其他企业共同申请和拥有专利,共同享有专利权利和利益。另外,还可以与供应链上的其他企业共同进行研发、设计、制造、销售和服务等活动。除此之外,知识密集型企业还可以通过出售知识产品的方式来主动输出知识,并以此扩大自身收益。

对于劳动密集型企业来说,最有效的策略是积极地融入全球创新网络以获取知识,尤其是中小型的劳动密集型企业。由于知识密集型企业拥有更高的知识储量或更高的知识输出能力,劳动密集型企业应积极与知识更为密集的

企业产生知识联系,并获取所需要的知识,可以采取参与或投资合作研发项目等方式,以达到促进技术创新和产业升级的目的。此外,劳动密集型企业通常拥有较高的生产技术,此类企业也可以通过技术扩散的方式进行知识输出,并获得企业收益。

参考文献

- [1] PERKS H, JEFFERY R. Global network configuration for innovation: a study of international fibre innovation[J]. R&D Management, 2006, 36(1): 67-83.
- [2] BINZ C, TRUFFER B. Global Innovation Systems—A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts[J]. Research Policy, 2017, 46(7): 1284-1298.
- [3] FREEMAN C. Networks of innovators: a synthesis of research issues[J]. Research Policy, 1991, 20(5): 499-514.
- [4] ERNST D. A New Geography of Knowledge in the Electronics Industry? Asia's Role in Global Innovation Networks[J]. Policy Studies, 2009(54): 1.
- [5] DURMUSOGLU S S. Open innovation: the new imperative for creating and profiting from technology[J]. European Journal of Innovation Management, 2004, 7(4): 325-326.
- [6] 全自强,李鹏翔,杨磊. 二元性创新、全球创新网络与企业逆向创新研究——基于领先企业和后发企业的多案例比较研究[J]. 科技管理研究, 2020, 40(14): 10-19.
- [7] 马琳,吴金希. 全球创新网络相关理论回顾及研究前瞻[J]. 自然辩证法研究, 2011, 27(1): 109-114.
- [8] NEPELSKI D, DE PRATO G. The structure and evolution of ICT global innovation network[J]. Industry and Innovation, 2018, 25(10): 940-965.
- [9] 甘志霞,娜孜木·叶鲁拜,唐文慧. 全球创新网络环境下我国低碳技术创新的模式研究[J]. 产业经济评论, 2015(3): 107-114.
- [10] 亨利·切萨布鲁夫,维姆·范哈佛贝克,乔·韦斯特. 开放创新的新范式[M]. 陈劲,李王芳,谢芳,等,译. 北京:科学出版社, 2010: 129-135.
- [11] 陈志明. 中国企业融入全球创新网络的路径——

- 知识获取与产品内分工整合的视角[J]. 科技管理研究, 2022, 42(14): 1-7.
- [12] OZEL B. 科学合作网络: 土耳其管理学术界的知识传播与碎片化[D]. 伊斯坦布尔: 伊斯坦布尔比尔基大学, 2010.
- [13] 岳增慧, 许海云, 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.
- [14] 巴志超, 李纲, 朱世伟. 科研合作网络的知识扩散机理研究[J]. 中国图书馆学报, 2016, 42(5): 68-84.
- [15] 王静静, 叶鹰. 国际数字人文研究中的跨学科知识扩散探析[J]. 大学图书馆学报, 2021, 39(2): 45-51, 61.
- [16] 黄玮强, 庄新田, 姚爽. 基于创新合作网络的产业集群知识扩散研究[J]. 管理科学, 2012, 25(2): 13-23.
- [17] 孔晓丹, 张丹. 面向集群创新网络异质企业的知识扩散建模及仿真研究[J]. 运筹与管理, 2020, 29(10): 173-182.
- [18] LIN M, LI N. Scale-free network provides an optimal pattern for knowledge transfer[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2010, 389(3): 473-480.
- [19] 刘浩广, 蔡绍洪, 张玉强. 无标度网络模型研究进展[J]. 大学物理, 2008(4): 43-47.
- [20] BETTENCOURT L M A, CINTRÓN-ARIAS A, KAISER D I, et al. The power of a good idea: Quantitative modeling of the spread of ideas from epidemiological models[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2006, 364: 513-536.
- [21] ZHANG Y, LI X, AZIZ - ALAOU I M A, et al. Knowledge diffusion in complex networks[J]. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 2017, 29(3): e3791.
- [22] GAO X, GUAN J. Network model of knowledge diffusion[J]. *Scientometrics*, 2012, 90(3): 749-762.
- [23] ZHANG G, LIU L, WEI F. Key nodes mining in the inventor-author knowledge diffusion network[J]. *Scientometrics*, 2019, 118: 721-735.
- [24] QIAO T, SHAN W, ZHANG M, et al. How to facilitate knowledge diffusion in complex networks: The roles of network structure, knowledge role distribution and selection rule[J]. *International Journal of Information Management*, 2019, 47: 152-167.
- [25] XU L, DING R, WANG L. How to facilitate knowledge diffusion in collaborative innovation projects by adjusting network density and project roles[J]. *Scientometrics*, 2022, 127(3): 1353-1379.
- [26] DEL GIUDICE M, CARAYANNIS E G, MAGGIONI V. Global knowledge intensive enterprises and international technology transfer: emerging perspectives from a quadruple helix environment[J]. *The Journal of Technology Transfer*, 2017, 42: 229-235.
- [27] BARABÁSI A L, ALBERT R. Emergence of scaling in random networks[J]. *Science*, 1999, 286(5439): 509-512.
- [28] GOMEZ-GARDENES J, MORENO Y. Local versus global knowledge in the Barabási-Albert scale-free network model[J]. *Physical Review E*, 2004, 69(3): 037103.
- [29] TACHIMORI Y, IWANAGA H, TAHARA T. The networks from medical knowledge and clinical practice have small-world, scale-free, and hierarchical features[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2013, 392(23): 6084-6089.
- [30] KONNO T. Network effect of knowledge spillover: scale-free networks stimulate R&D activities and accelerate economic growth[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2016, 458: 157-167.
- [31] BARABÁSI A L. Network science[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 2013, 371(1987): 20120375.
- [32] NONAKA I, TOYAMA R, KONNO N. SECI, Ba and leadership: a unified model of dynamic knowledge creation[J]. *Long range Planning*, 2000, 33(1): 5-34.
- [33] MAIER R, SCHMIDT A. Explaining organizational knowledge creation with a knowledge maturing model[J]. *Knowledge Management Research & Practice*, 2015, 13: 361-381.
- [34] ZHAO J, XI X, LI B, et al. Research on radical innovation implementation through knowledge reuse based on knowledge flow: A case study on academic teams[J]. *Information Management*, 2019, 57(8): 103260-103260.