

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2023.03.005

考虑政府奖励机制的集群企业隐性知识传播模型研究

钱梦迪, 王筱莉*

(上海工程技术大学管理学院, 上海 201620)

摘要: [目的] 隐性知识传播是企业获取隐性知识的有效途径, 其对于提高国民经济及其自身发展十分重要。[方法] 首先, 在均匀网络和非均匀网络中分别构建考虑政府奖励机制的集群企业隐性知识传播模型; 其次, 对模型的稳定性进行分析并求出传播阈值; 最后, 运用 Matlab 软件对模型参数进行数值仿真分析。[结论] 考虑政府奖励机制的传播率和初始传播者数量与隐性知识的传播成正比; 网络结构对集群企业间隐性知识传播有显著影响, 平均度越大的网络越有利于隐性知识的传播。

关键词: 隐性知识传播; 无标度网络; 政府奖励; 产业集群

中图分类号: G206; F276.44 文献标志码: A 文章编号: 1673-1891(2023)03-0029-05

Study on Tacit Knowledge Dissemination Model of Cluster Enterprises Considering Government Incentive Mechanism

QIAN Mengdi, WANG Xiaoli*

(School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract: [Purpose] The dissemination of tacit knowledge is an effective way for enterprises to acquire tacit knowledge, which is very important for improving the national economy and its own development. [Method] First, a tacit knowledge dissemination model of cluster enterprises considering government incentive mechanism is constructed in uniform network and non-uniform network respectively; second, the stability of the model is analyzed and the dissemination threshold is obtained; finally, Matlab software is used for the numerical simulation analysis of model parameters. [Conclusion] The research results show that the dissemination rate and the number of initial disseminators considering the government incentive mechanism are proportional to the dissemination of tacit knowledge; the network structure has a significant impact on the dissemination of tacit knowledge among cluster enterprises, and the greater the average degree, the better the network, which is conducive to the dissemination of tacit knowledge.

Keywords: tacit knowledge dissemination; scale-free network; government incentives; industrial clusters

0 引言

中小企业是国民经济和社会发展的主力军, 在保障我国经济稳步增长中发挥着重要作用^[1]。党中央、国务院高度重视中小企业的发展, 在 2019 年出台的《关于促进中小企业健康发展的指导意见》中提到要鼓励大企业向中小企业开放共享资源, 围绕创新链、产业链打造大中小企业协同发展的创新网络, 其中共享的资源即包含企业间知识的共享, 而

知识共享的过程中必然会存在知识传播。同时企业知识可分为显性知识和隐性知识, 在企业知识总量中隐性知识占据了绝大部分^[2], 是决定企业竞争力水平的关键, 如何促进企业隐性知识传播是管理者应重点关注的问题。而产业集群作为一种特殊的区域组织形式, 知识资源是其重要的竞争优势, 产业集群中的知识能否快速地积累、创新、转移等已成为判别其发展水平的重要指标^[3], 集群企业间有效的隐性知识传播有利于产业集群的发展。因

收稿日期: 2023-07-17

基金项目: 国家哲学社会科学基金一般项目(19BGL234); 上海哲学社会科学面上项目(2020BGL005); 上海哲学社会科学青年项目(2021EGL004)。

作者简介: 钱梦迪(1995—), 女, 黑龙江鸡西人, 硕士研究生, 主要研究方向: 知识管理、信息管理, e-mail: 15776588055@163.com。*通信作者: 王筱莉(1981—), 女, 山东临沂人, 副教授, 博士, 主要研究方向: 信息管理、舆情管理, e-mail: wxl-0539@163.com。

此本文在经典 SIR 模型基础上,考虑政府奖励机制来研究集群企业的隐性知识传播,这对于集群企业的健康发展有着重要意义。

国内外许多学者应用传染病模型进行知识传播的研究。如 Liao 等^[4]在传染病模型中加入知识库建立 SSIR 模型,并对稳定性进行分析。杨湘浩等^[5]在 SIR 传染病模型中增加遗忘机制,研究遗忘因素对其传播过程的影响。而随着网络科学的兴起和发展,基于复杂网络的传播动力学成为研究的热点之一。在复杂网络中进行研究更符合现实中的传播动力学规律,可解决一些实际的复杂问题。Min 等^[6]提出无标度网络更有利于知识的传播和创新。Kristina 等^[7]提出网络的度分布和认知距离会影响知识的传播效果。朱宏森等^[8]建立企业社交媒体与员工线下互动的双层耦合网络知识传播模型,提出增大初始时刻知识拥有者数量可以促进耦合网络中知识的传播。Liao 等^[9]在复杂网络的知识传播过程中加入知识持有者,提出扩大网络规模和增加网络连接有利于知识的转移。综上可知,网络结构会对知识的传播产生一定程度的影响。

以上学者对基于复杂网络的知识传播研究做出了重要贡献,但没有考虑隐性知识传播率的大小与其影响因素的一些相关关系。同时考虑网络结构与知识传播之间的相互影响,结合我国相关政策的扶持,本文将隐性知识传播率设置为与政府奖励强度、初始传播率等参数相关的函数,研究复杂网络中集群企业间的隐性知识传播模型。

1 集群企业隐性知识传播模型建立

1.1 集群企业隐性知识传播模型基本假设

传染病模型的研究已经成为数学知识应用的一个重要领域,结合企业间隐性知识传播的特点,本文提出以下假设:

假设 1:企业间隐性知识传播各类主体构成一个社会网络,每个企业视为一个节点,假设网络中有 N 个节点,隐性知识在 N 个节点间进行传播,节点间的边表示两个企业间存在隐性知识传播,同时假设网络是无向的。

假设 2:在经典 SIR 模型的基础上,将 N 个企业分为 4 类:尚未掌握隐性知识并有学习意愿的企业 S (无知者),已掌握隐性知识但没有传播意愿的企业 E (潜伏者),已掌握隐性知识同时愿意传播隐性知识的企业 I (传播者),已掌握隐性知识并随着知识的淘汰放弃对该隐性知识传播的企业 R (免疫者)。

假设 3:根据国家的相关政策,假设在奖励机制

下企业从无知状态 S 转化为传播状态 I 的概率为 $\sigma = 1 - (1 - \alpha)^{-\varepsilon(n_1 + n_2)}$,其中, α 为节点在无奖励机制时的传播率; ε 反映奖励强度, $\varepsilon \in (0, 1)$; n_1 为企业完成隐性知识传播的累计次数; n_2 为小企业周围所围绕的大企业个数。

假设 4:处于 S 态的企业在接收到隐性知识后,以 α 的概率转化为 E 态的潜伏者,或者以 σ 的概率转化为 I 态的传播者;处于 E 态的企业通过与 I 态的传播者接触,以 β 的概率转化为企业 I ;处于 I 态的企业通过与 E 、 I 、 R 态的企业接触,以概率 γ 转化为 R 态的免疫者,或因遗忘而以 δ 的概率转化为 R 态的免疫者。

1.2 集群企业隐性知识传播模型构建

根据以上假设,考虑政府奖励机制的集群企业隐性知识传播过程如图 1 所示。

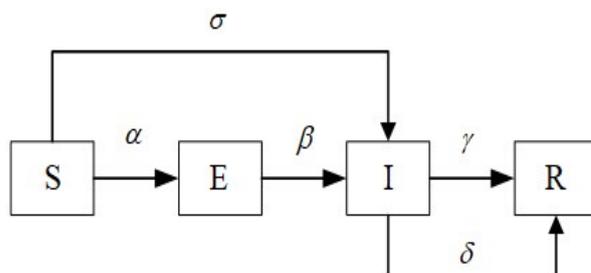


图 1 考虑政府奖励机制的集群企业隐性知识传播过程

1.2.1 均匀网络中集群企业隐性知识传播

均匀网络中度分布在 $\langle k \rangle$ 处达到峰值然后呈指数快速衰减。因此假设所有节点的度都是 $\langle k \rangle$, 设 $S(t)$ 、 $E(t)$ 、 $I(t)$ 、 $R(t)$ 分别表示在 t 时无知者、潜伏者、传播者、免疫者的密度,同时满足均一化条件 $S(t) + E(t) + I(t) + R(t) = 1$ 。

根据集群企业隐性知识传播规则,得到均匀网络中隐性知识传播的平均场方程:

$$\frac{dS(t)}{dt} = -(\alpha + \sigma) \langle k \rangle S(t)I(t) \quad (1)$$

$$\frac{dE(t)}{dt} = \alpha \langle k \rangle S(t)I(t) - \beta \langle k \rangle E(t)I(t) \quad (2)$$

$$\frac{dI(t)}{dt} = \sigma \langle k \rangle S(t)I(t) + \beta \langle k \rangle E(t)I(t) - \gamma \langle k \rangle I(t)[E(t) + I(t) + R(t)] - \delta I(t) \quad (3)$$

$$\frac{dR(t)}{dt} = \gamma \langle k \rangle I(t)[E(t) + I(t) + R(t)] + \delta I(t) \quad (4)$$

1.2.2 非均匀网络中集群企业隐性知识传播

大量研究表明许多实际网络的度分布与 Pois-

son 分布有所不同,即不是单一的均匀网络而是接近于具有更复杂拓扑结构的非均匀网络^[10]。特别地,许多网络的度分布更适合用幂律形式描述,由于这类网络节点的度没有明显的特征长度故称为无标度网络^[11]。因此为了更好地贴近现实中隐性知识的传播,本文在无标度网络中对隐性知识传播进行分析,设 $S_k(t)$ 、 $E_k(t)$ 、 $I_k(t)$ 、 $R_k(t)$ 分别表示在时间 t 具有度分布 k 的未知者、潜伏者、传播者、免疫者的密度,同时满足均一化条件 $S_k(t)+E_k(t)+I_k(t)+R_k(t)=1$ 。

根据集群企业隐性知识传播规则,得到无标度网络中隐性知识传播的平均场方程:

$$\frac{dS_k(t)}{dt} = -(\alpha + \sigma)kS_k(t) \sum_{k'} I_{k'}(t)P(k'/k) \quad (5)$$

$$\frac{dE_k(t)}{dt} = \alpha k S_k(t) \sum_{k'} I_{k'}(t)P(k'/k) - \beta k E_k(t) \sum_{k'} I_{k'}(t)P(k'/k) \quad (6)$$

$$\frac{dI_k(t)}{dt} = \sigma k S_k(t) \sum_{k'} I_{k'}(t)P(k'/k) + \beta k E_k(t) \sum_{k'} I_{k'}(t)P(k'/k) - \gamma k I(t) \sum_{k'} [E_{k'}(t) + I_{k'}(t) + R_{k'}(t)]P(k'/k) - \delta I(t) \quad (7)$$

$$\frac{dR_k(t)}{dt} = \gamma k I(t) \sum_{k'} [E_{k'}(t) + I_{k'}(t) + R_{k'}(t)]P(k'/k) + \delta I(t) \quad (8)$$

式中: $P(k'/k)$ 表示度为 k 的点与度为 k' 的点连接的概率; $\sum_{k'} I_{k'}(t)P(k'/k)$ 表示 t 时刻度为 k 的点的一条边连接到传播者的概率;类似地, $\sum_{k'} [E_{k'}(t) + I_{k'}(t) + R_{k'}(t)]P(k'/k)$ 表示 t 时刻度为 k 的顶点的一条边连接到潜伏者、传播者、免疫者的概率。

2 集群企业隐性知识传播的稳定性分析

隐性知识传播之初掌握知识的人很少,所以假设初始时刻只有一个传播者,其余都是无知者^[12],即 $S(0) = \frac{N-1}{N}$, $I(0) = \frac{1}{N}$, $E(0) = R(0) = 0$ 。之后隐性知识传播者的数量先增加到峰值然后减少直到下降为 0,此时隐性知识传播消失系统达到稳定状态。最终平衡状态只有无知者和免疫者,因此分析免疫者 R 的最终大小,可以衡量隐性知识传播的影响程度。

在非均匀网络中,度关系可以表示为 $P(k'/k) = k'P(k')/\langle k \rangle = q(k')$,其中 $\langle k \rangle$ 表示网络的平均度。

同时设 $I_k(0)=I_0$,不失一般性令 $I_0=1$ 。对等式(5)两边直接积分得到:

$$S_k(t) = e^{-k(\alpha + \sigma)\varphi(t)} \quad (9)$$

在此处引入了辅助函数:

$$\varphi(t) = \int_0^t \sum_k q(k)I_k(t')dt' = \int_0^t \langle\langle I_k(t') \rangle\rangle dt' \quad (10)$$

同时为了计算方便引入缩写标志: $\langle\langle O(k) \rangle\rangle = \sum_k O(k)q(k)$ 。

为了得到 R 的表达式需计算出 φ_∞ , $\varphi_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} \varphi(t)$,通过将式(7)乘以 $q(k)$,对 k 求和并进行积分得到以下推导:

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi(t)}{dt} &= \frac{\sigma}{\alpha + \sigma} [1 - \langle\langle e^{-k(\alpha + \sigma)\varphi(t)} \rangle\rangle] - \\ &\gamma \int_0^t \langle\langle kI_k(t') \rangle\rangle [1 - \langle\langle e^{-k'\varphi(t')(\alpha + \sigma)} \rangle\rangle] dt' - \\ &\delta\varphi(t) \end{aligned} \quad (11)$$

当接近传播阈值时 $\varphi(t)$ 和 φ_∞ 非常小,设 $\varphi(t) = \varphi_\infty f(t)$,其中 $f(t)$ 是一个有限函数。在 φ_∞ 处泰勒展开得到:

$$\begin{aligned} I_k(t) &= \sigma \int_0^t e^{-k(\alpha + \sigma)\varphi(t')} \sum_{k'} q(k')I_{k'}(t')dt' - \\ \delta \int_0^t I_k(t')dt' + o(\gamma) &= \frac{\sigma}{\alpha + \sigma} k\varphi_\infty [(\alpha + \sigma)f(t) - \\ \delta \int_0^t (\alpha + \sigma) f(t')e^{\delta(t'-t)} dt'] &+ o(\varphi_\infty^2) + o(\alpha) \end{aligned} \quad (12)$$

当 $t \rightarrow \infty$, $\frac{d\varphi}{dt} = 0$,可得到:

$$0 = \frac{\sigma}{\alpha + \sigma} [1 - \langle\langle e^{-k(\alpha + \sigma)\varphi_\infty} \rangle\rangle] - \gamma \int_0^\infty \langle\langle kI_k(t') \rangle\rangle [1 - \langle\langle e^{-k'\varphi(t')(\alpha + \sigma)} \rangle\rangle] dt' - \delta\varphi(t) \quad (13)$$

将式(12)带入到式(13)中得到:

$$\begin{aligned} \varphi_\infty \{ \sigma \langle\langle k \rangle\rangle - \delta - \sigma\varphi_\infty \langle\langle k^2 \rangle\rangle [\frac{\sigma + \alpha}{2} + \\ \gamma \langle\langle k \rangle\rangle T] \} + o(\varphi_\infty^3) + o(\alpha^2) = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

式中:

$T = \int_0^\infty [f(t) - \delta \int_0^\infty (\alpha + \sigma) f(t')e^{\delta(t'-t)} dt'] f(t) dt$ 是一个有限的正定积分。由等式(14)易得 $\varphi_\infty = 0$ 是一个解,而另一个非零解为:

$$\varphi_\infty = \frac{\sigma \langle\langle k \rangle\rangle - \delta}{\sigma \langle\langle k^2 \rangle\rangle (\frac{\alpha + \sigma}{2} + \gamma \langle\langle k \rangle\rangle T)} \quad (15)$$

其中 $\langle\langle k \rangle\rangle = \frac{\langle k^2 \rangle}{\langle k \rangle}$, $\langle\langle k^2 \rangle\rangle = \frac{\langle k^3 \rangle}{\langle k \rangle}$ 。由 $\varphi_\infty \geq 0$, 有 $\sigma \langle\langle k \rangle\rangle - \delta = \sigma \frac{\langle k^2 \rangle}{\langle k \rangle} - \delta > 0$, 即 $\sigma > \frac{\langle k \rangle}{\langle k^2 \rangle} \delta$,

因此 $\sigma_c = \frac{\langle k \rangle}{\langle k^2 \rangle} \delta$ 为该模型在异质网络中的传播阈值。同理可得均匀网络中的传播阈值为 $\sigma_c > \frac{\delta}{\langle K \rangle} - \alpha$ 。

3 集群企业隐性知识传播数值仿真分析

3.1 政府奖励机制的传播率仿真分析

将初始传播率 α 设置为 0.3, ε 分别取 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9, 政府奖励强度对传播率 σ 的影响结果如图 2 所示, 可以看出 n 越大传播率 σ 越大, 奖励强度 ε 越大传播率 σ 增长越快。同时当政府奖励强度为 0.1 时, 无论 n 多大传播率 σ 都无法为 1。此图将为后续参数设置提供依据。

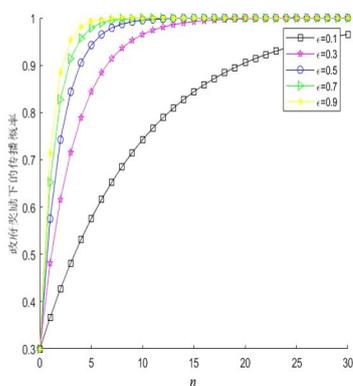


图 2 政府奖励强度对传播率 σ 的影响

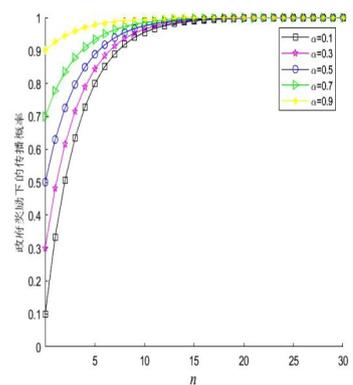


图 3 初始传播率对传播率 σ 的影响

将政府奖励强度 ε 设置为 0.3, α 分别取 0.1、0.3、0.5、0.7、0.9, 结果如图 3 所示。由图 3 可知随着 n 的增大传播率 σ 也增大, 同时初始传播率 α 越大传播率 σ 越大, 随着 n 不断增大最后传播率将达到 1, 由此可知初始传播率 α 对政府奖励机制的初始值影响较大。

3.2 无标度网络中隐性知识传播数值仿真分析

本文使用 Matlab 软件对建立的数学模型进行数值仿真分析。首先构造一个具有 1 000 个节点且平均度 $\langle k \rangle = 10$ 的无标度网络, $I_0 = 1, t = 10$, 以此为基础进行仿真研究。采用有限差分法求解平均场方程得出各个时间节点度为 k 的各类企业密度。另外由于无标度网络中节点度的差异性很大, 不同的初始传播企业对传播者密度变化有较大影响。为不失一般性, 随机选取 50 次不同初始传播者, 并对所得结果取平均值。

1) 传播率 σ 对隐性知识传播的影响

图 4 展示了当 $\alpha = 0.3, \beta = 0.3, \gamma = 0.1, \delta = 0.05$, 而 $\sigma = 0.5, 0.7, 0.9$ 时, 节点密度随时间 t 的变化趋势。由图 4a 可知, 传播者密度的峰值随 σ 的增大而增大, 同时达到峰值的时间缩减, 即提高传播率 σ 能促进隐性知识传播范围并减少传播时间。由图 4b 可知, 免疫者的密度随传播率 σ 的增大稳定时的密度也有所提高, 即提高传播率 σ 能促进集群企业隐性知识的传播范围。这是由于传播率是影响隐性知识传播的直接因素, 在相同条件下传播率越高学习隐性知识的效率也就越高, 传播者和免疫者密度也就相对较高。

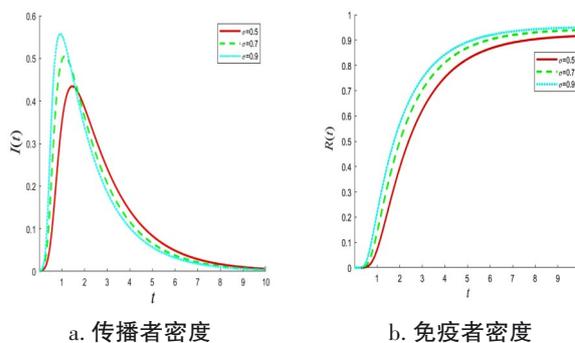


图 4 σ 变化对节点密度的影响

2) 初始传播者 I_0 对集群企业隐性知识传播的影响

图 5 展示了当 $\alpha = 0.3, \beta = 0.3, \sigma = 0.7, \gamma = 0.1, \delta = 0.05$ 时, 不同 I_0 下节点密度随时间 t 的变化趋势。由图 5a 可知, 随着 I_0 的增加传播者达到峰值的密度也将增大, 而传播时间缩减。由图 5b 可知, I_0 的增加会使最终稳定的传播密度增大, 即提高初始传播者数量有助于提高隐性知识传播时间, 同时扩大传播的范围。这是由于初始传播者数量决定了隐性知识传播范围, 传播者越多越有利于其在企业中快速地传播。

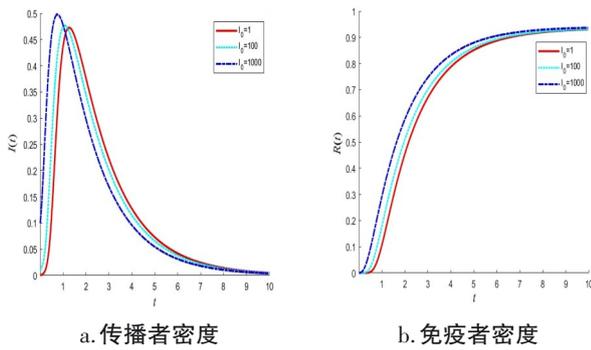


图 5 I_0 变化对节点密度的影响

3) 网络结构对集群企业隐性知识传播的影响

图 6 展示了当 k 取不同值, $\alpha=0.3, \beta=0.3, \sigma=0.7, \gamma=0.1, \delta=0.05$ 时节点密度的变化情况。由图 6a 可知传播者密度的峰值随平均度 $\langle k \rangle$ 的增大而增大,同时平均度 $\langle k \rangle$ 越大达到峰值的时间也越短,由图 6b 可知随着平均度 $\langle k \rangle$ 的增大,免疫者达到稳定的时间更短且密度更大,意味着隐性知识传播的规模也将变大,即提高平均度能促进集群企业隐性知识传播的速度和规模,这是由于平均度越大企业与企业之间的联系越紧密,越容易促进隐性知识传播。

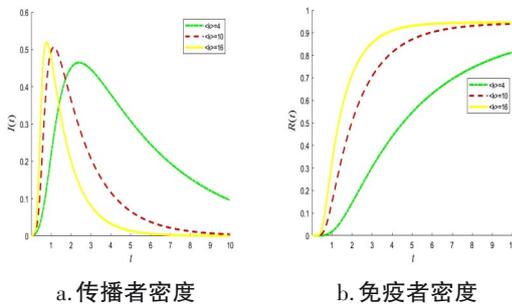


图 6 不同 $\langle k \rangle$ 值对节点密度的影响

3.3 均匀网络与非均匀网络中隐性知识传播数值仿真对比分析

在相同条件下设置参数 $\alpha=0.3, \beta=0.3, \sigma=0.7, \gamma=$

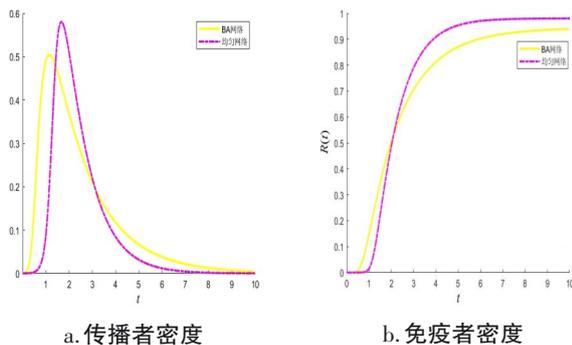


图 7 均匀网络与非均匀网络的节点密度变化

$0.1, \delta=0.05$, 对比传播模型在 2 种网络中的动态特征。从图 7a 可知,无标度网络中隐性知识传播更容易,但传播者的最大影响力较小。由图 7b 可知,无标度网络中的免疫者密度在初始阶段比均匀网络增长快,但最终达到稳定时的密度却低于均匀网络。这是由于无标度网络中存在连接度较大的 Hub 节点,如果这种节点接触到隐性知识就会使其更易传播,即加快隐性知识传播过程,但同时也会使隐性知识集中到某些网络传播不开,降低隐性知识的最大影响力。

4 结论与建议

本文以经典的 SIR 传染病模型为基础,依据相关政策提出考虑政府奖励机制的集群企业隐性知识传播模型,并在无标度网络中进行隐性知识的动态传播仿真,通过调整不同参数研究不同因素对集群企业隐性知识传播的影响,得出以下结论及建议:

1) 政府奖励机制下的传播率 σ 对集群企业隐性知识传播有显著影响。传播者密度的峰值和隐性知识传播规模均与政府奖励机制下的传播率 σ 成正比,提高政府奖励强度、企业累计完成传播次数等可促进集群企业的隐性知识传播。因此政府应适当提高奖励强度,设立完善的奖励机制,如根据企业累计完成传播次数设置不同的奖励强度,提高企业传播隐性知识的热情。

2) 初始传播者数量对集群企业隐性知识的传播有正向影响。在无标度网络中增加初始传播者数量可提高集群企业隐性知识的传播速度同时扩大传播规模,进而促进大企业同中小企业的资源共享。因此企业应营造具有良好学习氛围的企业文化,加强培养自主学习和传播能力,同时加大政府相关政策的宣传力度。

3) 网络结构会对集群企业隐性知识传播产生影响,平均度越大的网络越有利于隐性知识传播,均匀网络与非均匀网络传播规律不同。从隐性知识传播的全过程来看,传播初期拥有连接度比较大的 hub 节点和异质网络结构更有利于隐性知识的传播,但随着时间推移企业间关系的均衡发展更有利于后期隐性知识传播。因此产业集群应多组织团建活动增加企业交流机会以促进隐性知识传播,并将集群网络调整为异质和适度均匀的结构。

本文在生成的无标度网络中进行隐性知识传播的模拟,与均匀网络相比虽然更贴近真实的隐性知识传