

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2022.05.002

# 创新生态系统主体技术策略研究<sup>①</sup>

## ——基于领先企业与跟随企业的演化博弈与仿真

谭劲松<sup>1,2</sup>, 赵晓阳<sup>3\*</sup>

(1. 加拿大约克大学舒立克商学院, 多伦多 M3J 1P3, 加拿大; 2. 天津大学管理与经济学部, 天津 300072; 3. 河海大学商学院, 南京 211100)

**摘要:** 创新生态系统内主体基于知识的博弈不仅关乎个体的生存和发展, 也影响创新生态系统的演进。文章从群体演化博弈视角, 研究了差异性环境下创新生态系统主体创新保护策略及跟随策略选择问题。先后构建非对称演化博弈模型和多智能体仿真模型, 分析了制度、生态、技术等因素对创新生态系统演化均衡稳定性及演化稳定策略的影响。研究发现: 专利运营及维权成本、救济力度、政府补贴、技术替代与模仿相对难度是影响系统演化均衡的关键因素; 基于上述因素形成的不同情境, 系统涌现四种均衡状态: (专利模仿)、(专利替代)、(技术秘密模仿)、主体策略规律性持续波动; 仿真模型呈现随机波动, 在趋势上符合演化稳定分析结果; 合作网络密集度高、学习搜索范围广时, 由于主体交互性增强, 决策不确定性下降、有效性提高, 各群体长期演化趋向于平均收益期望大的策略。信息模糊度高时, 决策不确定性及系统波动幅度增加, 群体间策略交互制约作用减弱, 系统长期演化偏离演化稳定分析结果。

**关键词:** 创新保护策略; 跟随策略; 演化博弈; 多智能体仿真

**中图分类号:** F204   **文献标识码:** A   **文章编号:** 1007-9807(2022)05-0013-16

## 0 引言

经济新常态下, 创新生态系统是支撑我国经济转型和高质量发展的重要力量。创新生态系统强调多元化生态位和种群间动态交互, 是自适应、自组织和自协调的协同演化复杂系统<sup>[1]</sup>。以种群区分, 创新生态系统可以看作领先企业种群和跟随企业种群的集合, 种群间相互影响、制约, 形成推动创新生态进化的核心动能<sup>[2]</sup>。领先企业作为自主创新的主体, 是生态进化的引导者和供给侧结构性改革的原动力<sup>[3]</sup>。跟随企业在平衡供需关系、生态位多元化、创新生态系统成长和进化等方面起关键作用, 是促进创新生态系统升级、产业发展完善的基石<sup>[4,5]</sup>。环境要素中的知识产权制

度构成平衡领先企业、跟随企业两股力量的制度框架, 是创新生态可持续发展的保障。对领先企业而言, 由于创新存在溢出风险<sup>[6]</sup>, 通常需要在专利与技术秘密间权衡<sup>[7-9]</sup>, 以保护创新、保持持续竞争力。跟随企业往往根据知识产权制度和技术环境认知收益和风险, 选择模仿或替代策略学习追赶<sup>[10,11]</sup>。领先企业创新保护策略和跟随企业跟随策略, 是在知识产权制度框架下创新生态主体间动态博弈的结果, 主体策略与环境的有机联系、动态反馈促进创新生态协同进化<sup>[12]</sup>。以智能手机创新生态系统为例, 苹果、高通等企业基于技术创新形成优势, 处于核心领先企业生态位, 三星、华为、中兴等公司处于跟随企业生态位。领先企业在以公开换专利制度保护和通过技术秘密维

① 收稿日期: 2019-04-12; 修订日期: 2021-02-21.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71732005; 72072124; 71672123); 国家社会科学基金资助项目(20BGL040).

通讯作者: 赵晓阳(1986—), 男, 吉林通化人, 博士, 讲师. Email: xyzhao@hhu.edu.cn

持领先优势间寻求平衡,有的侧重以专利保护创新,比如高通在无线通讯、芯片设计等领域构建的专利壁垒,有的采用技术秘密防止隐性知识溢出,比如苹果对 OS 操作系统的保护。三星等跟随企业向领先企业学习,有的选择模仿策略快速追赶,有的通过替代策略寻求差异化定位。基于知识的竞争是该创新生态系统中的主旋律,主体间的动态博弈推动了智能手机创新生态系统的发展。创新生态系统主体的技术策略选择,是理论与实践界普遍关心的问题,也是本文将要探讨的核心问题。

领先企业需要根据自身特点选择与其微观环境、中观环境和宏观环境匹配的创新保护策略<sup>[13]</sup>。微观层面,创新保护策略选择要考虑企业规模、性质、资源能力、创新特征、战略匹配等因素<sup>[14-16]</sup>。耶鲁调查、卡内基梅隆等调查问卷发现,无论对产品创新还是过程创新,技术秘密相对专利都更重要<sup>[17,18]</sup>。相对于过程创新,企业对产品创新更倾向于采取专利保护<sup>[19,20]</sup>。中观层面,领先企业嵌入中观社会网络中,创新保护策略受中观社会网络环境的影响<sup>[21,22]</sup>。行业技术复杂度影响专利和技术秘密的选择,相较于其他行业,制药和化学制品行业专利作用更加突出<sup>[23]</sup>。供求关系、产业竞争强度、竞争对手数量、替代品威胁、产业结构、产业生命周期等因素也影响企业的创新保护策略<sup>[24,25]</sup>。宏观层面,领先企业的创新保护策略受制度环境的制约<sup>[26]</sup>,制度环境通过理性选择、同质性压力和组织惯性三种机制塑造领先企业的创新保护策略<sup>[27]</sup>。领先企业对制度的感知形成其判断基准,在同质性压力下理性选择创新保护策略,由于路径依赖效应,其策略在一定范围和历史时期内保持稳定<sup>[28,29]</sup>。

由于知识易于溢出的特性,创新生态中处于后发位置的跟随企业可以通过专利、信息交互、人员流动、逆向工程等方式获取溢出的知识,对领先企业进行学习追赶<sup>[30]</sup>,一般来说跟随企业可以采取模仿和替代两种跟随策略<sup>[11]</sup>。前者主要通过仿造复制领先企业的技术路径,后者关注如何采用不同的技术路径达到与领先企业技术创新相似的功效。在强知识产权制度环境下,跟随企业为

了避免侵权诉讼的损失,更倾向于采用替代策略。反之,弱知识产权保护环境下,跟随企业更倾向于采用模仿策略<sup>[31]</sup>。领先企业对知识产权的保护策略对跟随企业的策略选择也有影响,当领先企业通过专利保护其创新并积极行使专利权时,跟随企业更倾向于采用替代策略<sup>[7]</sup>。跟随企业高管的认知也是其跟随策略选择的重要内因<sup>[6]</sup>。

考虑领先企业与跟随企业之间博弈的情况,领先企业选择以专利或技术秘密的形式保护创新,可以控制信息披露的方式和强度<sup>[32]</sup>。跟随企业考虑创新的价值、模仿的成本和侵权的风险,选择是否进行模仿。根据领先企业与跟随企业的选择形成的竞争态势,基于经济学的竞争模型(如古诺模型)计算收益,评估竞争者与模仿者的最优选择<sup>[33-35]</sup>。Mosel 发现,考虑到专利保护的成成本,企业对较小程度的创新采用技术秘密,对较大程度的创新采用专利保护<sup>[36]</sup>。Mihm 等采用仿真的方法研究了企业在创新竞赛的过程中创新保护策略选择,指出当两个领先企业间竞争时,专利策略对双方都更优。当领先企业与跟随企业竞争时,领先企业应采取技术秘密策略保护创新,跟随企业应采取专利策略进行专利布局<sup>[37]</sup>。

以往研究存在以下三点不足:第一,关注专利制度的信息公开和保护作用,忽略了专利申请补贴机制对企业创新保护策略的影响,这一不足在新兴经济体情境中尤其突显。第二,以往研究主要考虑个体间博弈,而创新生态系统中的主体策略是在群体生态中形成演化,且创新生态主体并非完全理性,已有研究对宏微观交互作用下创新生态系统种群中的有限理性主体技术策略形成机理研究不足;第三,以往研究主要关注领先企业的策略,忽视了跟随企业在创新生态中的策略选择机理及其对创新生态发展的影响。针对以上不足,本文结合演化博弈和仿真模拟方法,研究创新生态中主体技术策略,探索创新生态系统中领先企业与跟随企业间的博弈规律,以及创新保护策略、跟随策略的动态演化特征。

本文的创新之处在于:第一,结合中国知识产权制度背景和企业管理实践,整合专利制度公开、

保护、补贴等机制,分析创新生态系统不同种群主体技术策略形成机理。第二,引入种群演化理论和有限理性假设,分析创新生态系统中主体策略的动态演化,提出创新生态系统主体的技术策略是有限理性假设下企业相互间学习、竞争的结果,符合生态学种群与环境协同演化特征。第三,采用动态演化博弈和仿真模拟两种互补的研究方法,研究创新保护策略与跟随策略的博弈关系,丰富了创新生态系统主体技术策略形成演化机理研究,深化了跟随企业技术竞争相关理论。

## 1 模型建立

### 1.1 模型假设和描述

创新生态系统中处于核心位置的领先企业种群主导生态的发展,在技术创新、协调网络关系、知识外部性、生态系统进化等方面做出重要的贡献<sup>[3]</sup>。处于非核心位置的跟随企业种群处于从属和配套地位,通过技术模仿、互补和替代,与领先企业形成生态位差异,促进创新生态系统的规模效应和协同效应,进一步推动系统创新升级<sup>[38]</sup>。领先企业和跟随企业的动态竞合关系构成了生态系统变异、保存、可持续发展的根基<sup>[39]</sup>。以差异化种群生态为基础的创新生态系统观为解释企业技术策略提供了新视角。

本文从宏微观交互的动态视角剖析创新生态系统自组织进化中领先企业创新保护策略及跟随企业跟随策略选择的内在机理,分析领先企业创新保护策略、跟随企业跟随策略的形成及演化。创新保护策略和跟随策略是在双方博弈中产生的,其决策是一个不断调整的动态过程,表现出生态学种群演化特征<sup>[40]</sup>。据此,提出如下假设。

**假设1** 创新生态系统中存在由  $m$  个领先企业  $L_i (i=1, 2, 3, \dots, m)$  组成的领先企业种群,与  $n$  个跟随企业  $F_j (j=1, 2, 3, \dots, n)$  构成的跟随企业种群。  $m < n$ , 领先企业个数少于跟随企业。领先企业通过技术创新引领生态发展,跟随企业学习的同时参与市场竞争,种群间动态交互。

**假设2** 作为技术创新的主导者,领先企业具备知识和技术优势。为了引领生态发展,其既

希望通过知识扩散带来正外部性,使生态多元化、规模化。同时,为了保持竞争优势及对生态系统的领导力,要把握知识溢出的节奏和速度<sup>[41]</sup>。领先企业有两种创新保护策略: a) 专利; b) 技术秘密<sup>[42]</sup>。专利以公开换保护,使领先企业既能促进显性知识扩散,又能通过制度手段掌握扩散速度和扩散对象,把握创新生态的话语权和主动性,但难于监控和治理,依赖制度保护有效性。技术秘密优势在于保护隐性知识,保持技术独占优势,但存在溢出不易维权的风险。

**假设3** 跟随企业是创新生态系统发展的重要推动力,一定程度上从属领先企业,但也期望提高议价能力,甚至成为新的领先企业。与领先企业的博弈中,跟随企业有两种跟随策略: c) 模仿; d) 替代。模仿策略成本和难度低,但容易被制度约束。替代策略成本和难度高,但无侵权风险,也为其改变自身地位和议价能力带来机会<sup>[43]</sup>。

**假设4** 创新生态系统演化可以看作在一定的制度环境下,两个种群动态调整策略的过程。种群中个体的策略变化符合生物演化的复制动态方程,企业间竞争的同时相互学习,具备判断和改变策略的能力。根据自身和学习对象收益,个体策略不断调整,博弈周期为产品生命周期。

在以上假设的基础上,构建演化博弈收益函数。领先企业技术创新带来成本领先或差异化优势,引领创新生态系统演化,跟随企业将对领先企业的技术创新进行学习追赶,能生产与领先企业同质的产品;在一定的知识产权制度环境下,采用专利策略的领先企业可以通过专利许可、诉讼等方式,在创新生态系统中获取许可费用或者诉讼赔偿等收益,但也因合同、谈判、信息搜索而产生交易成本,同时降低了跟随企业的模仿、替代难度<sup>[44]</sup>。采用技术秘密策略的领先企业可以抑制知识的溢出,增加模仿和替代难度,但也存在丧失独占性的风险。另外,领先企业由于较早进入市场,得到时间、品牌和渠道等先发优势。因此,假设领先企业一个博弈周期内收益为  $R$ , 跟随企业收益为  $\delta R$ ,  $1 > \delta > 0$ 。双方博弈收益具体情况如下。

1) 当领先企业采用专利策略,跟随企业采取模仿策略时,领先企业收益为  $R + S - C_1 - C_2 +$

$\theta R - C_3$ .  $S$  为政府对专利的补贴;  $C_1$  为研发成本;  $C_2$  为申请和维护专利的成本;  $\theta$  代表专利保护强度,  $\theta R$  表示行使专利所得许可或侵权赔偿费用,  $C_3$  为行使专利的成本. 跟随企业收益为  $\delta R - \alpha C_1 - \theta R$ .  $\alpha$  为模仿难度带来的损失系数,  $\theta R$  为被行使专利权付出的许可或赔偿费用. 2) 当领先企业采取专利策略而跟随企业采取替代策略时, 领先企业的收益为  $R + S - C_1 - C_2$ . 跟随企业的

收益为  $\delta R - \beta C_1$ ,  $\beta$  为替代难度带来的损失系数. 3) 当领先企业采取技术秘密策略而跟随企业采取模仿策略时, 领先企业的收益为  $R - C_1$ , 跟随企业的收益为  $\delta R - \mu \alpha C_1$ ,  $\mu$  为无专利披露信息增加的学习(包括模仿和替代)难度系数<sup>[45]</sup>. 4) 当领先企业采取技术秘密策略, 跟随企业采取替代策略时, 领先企业收益为  $R - C_1$ , 跟随企业收益为  $\delta R - \mu \beta C_1$ . 四种局势下, 收益矩阵如下(表1).

表1 企业创新保护、跟随策略博弈收益矩阵

Table 1 The payoff matrix of the game between leading firms and following firms

	跟随企业	模仿	替代
领先企业			
专利		$R + S - C_1 - C_2 + \theta R - C_3, \delta R - \alpha C_1 - \theta R$	$R + S - C_1 - C_2, \delta R - \beta C_1$
技术秘密		$R - C_1, \delta R - \mu \alpha C_1$	$R - C_1, \delta R - \mu \beta C_1$

在现实情况下, 存在如下约束条件: ①  $C_1 > C_2$ , 研发成本大于专利成本. ②  $\mu > 1$ , 领先企业采用技术秘密时增加了跟随企业的学习难度和成本. ③  $\beta > \alpha$ , 替代难度大于模仿难度. ④  $\theta R \geq C_3$ , 领先企业获得专利许可或侵权赔偿费用大于等于其行使专利成本.

### 1.2 复制动态方程

在上述模型的演化博弈中, 假设  $t$  时刻领先企业群体中选择专利策略的企业所占比例为  $p$ , 跟随企业群体中选择模仿策略的企业所占比例为  $q$ . 根据复制动态连续确定性动力学方程, 一策略参与者的增长率等于该策略群体的适应度与总群体平均适应度的差<sup>[46, 47]</sup>. 其动力学方程表示为

$$\begin{cases} \frac{dp}{dt} = p(\varepsilon D_1 Q^T - P D_1 Q^T) \\ \frac{dq}{dt} = q(\varepsilon D_2 P^T - Q D_2 P^T) \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{dp}{dt} = p(1-p) \{ q [ (R+S-C_1-C_2+\theta R-C_3) - (R-C_1) ] + (1-q) [ (R+S-C_1-C_2) - (R-C_1) ] \} = F(p) \\ \frac{dq}{dt} = q(1-q) \{ p [ (\delta R - \alpha C_1 - \theta R) - (\delta R - \beta C_1) ] + (1-p) [ (\delta R - \mu \alpha C_1) - (\delta R - \mu \beta C_1) ] \} = F(q) \end{cases} \quad (2)$$

## 2 模型分析

### 2.1 均衡点稳定性分析

令  $\frac{dp}{dt} = 0$  且  $\frac{dq}{dt} = 0$ , 可得平面  $M = \{ (p, q) \mid 0 \leq p, q \leq 1 \}$  上复制动态方程的均衡点, 根据参

其中  $D_1 = \begin{bmatrix} R+S-C_1-C_2+\theta R-C_3 & R+S-C_1-C_2 \\ R-C_1 & R-C_1 \end{bmatrix}$ ,

$D_2 = \begin{bmatrix} \delta R - \alpha C_1 - \theta R & \delta R - \mu \alpha C_1 \\ \delta R - \beta C_1 & \delta R - \mu \beta C_1 \end{bmatrix}$ ,  $D_1$  为领先企业的收益矩阵,  $D_2$  为跟随企业的收益矩阵.  $\varepsilon = \{1, 0\}$  为单位向量;  $P = \{p, 1-p\}$  为领先企业专利策略和技术秘密策略的混合策略;  $Q = \{q, 1-q\}$  为跟随企业模仿策略和替代策略的混合策略.  $U_1 = \varepsilon D_1 Q^T$ ,  $\bar{U} = P D_1 Q^T$  分别表示领先企业群体中采取专利策略企业的适应度和群体平均适应度,  $V_1 = \varepsilon D_2 P^T$ ,  $\bar{V} = Q D_2 P^T$  分别表示跟随企业群体中采取模仿策略企业的适应度和群体平均适应度. 由此可得复制动态方程

数取值不同, 平衡点个数不同. 若满足:  $0 < p^* = \frac{(\beta - \alpha) \mu C_1}{\theta R + (\mu - 1)(\beta - \alpha) C_1}$ ,  $q^* = \frac{C_2 - S}{\theta R - C_3} < 1$  则存在五个均衡点:  $(0, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 0)$ ,  $(1, 1)$ ,  $(p^*, q^*)$ , 否则存在四个均衡点:  $(0, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 0)$ ,  $(1, 1)$ .

根据 Friedman 提出的方法, 演化系统均衡

点的稳定性可由该系统的雅可比矩阵局部稳定性分析判断<sup>[40, 48]</sup>。上述模型的雅可比矩阵、矩阵行列式、迹和局部稳定性分析表(表 2)如下。

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(p)}{\partial p} & \frac{\partial F(p)}{\partial q} \\ \frac{\partial F(q)}{\partial p} & \frac{\partial F(q)}{\partial q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2p)[\theta R - C_3]q + S - C_2 & p(1-p)(\theta R - C_3) \\ q(1-q)[-(\mu-1)(\beta-\alpha)C_1 - \theta R] & (1-2q)\{(\beta-\alpha)\mu C_1 - [\theta R + (\mu-1)(\beta-\alpha)C_1]p\} \end{bmatrix} \quad (3)$$

其行列式

$$\det J = (1-2p)[\theta R - C_3]q + S - C_2 \{ (1-2q)\{(\beta-\alpha)\mu C_1 - [\theta R + (\mu-1)(\beta-\alpha)C_1]p\} - q(1-q)[-(\mu-1)(\beta-\alpha)C_1 - \theta R]p(1-p)(\theta R - C_3) \} \quad (4)$$

迹:

$$\text{tr } J = (1-2p)[\theta R - C_3]q + S - C_2 + (1-2q)\{(\beta-\alpha)\mu C_1 - [\theta R + (\mu-1)(\beta-\alpha)C_1]p\} \quad (5)$$

表 2 创新保护-跟随策略演化博弈局部稳定性分析表

Table 2 Stability analysis results of the evolutionary game between appropriability strategy and following strategy

平衡点	det J	tr J
O(0, 0)	$(S - C_2)(\beta - \alpha)\mu C_1$	$S - C_2 + (\beta - \alpha)\mu C_1$
A(0, 1)	$-(\theta R - C_3 + S - C_2)(\beta - \alpha)\mu C_1$	$\theta R - C_3 + S - C_2 - (\beta - \alpha)\mu C_1$
B(1, 0)	$-(S - C_2)[(\beta - \alpha)C_1 - \theta R]$	$[(\beta - \alpha)C_1 - \theta R] - (S - C_2)$
C(1, 1)	$(\theta R - C_3 + S - C_2)[(\beta - \alpha)C_1 - \theta R]$	$-(\theta R - C_3 + S - C_2) - [(\beta - \alpha)C_1 - \theta R]$
D(p*, q*)	$-q^*(1-q^*)[-(\mu-1)(\beta-\alpha)C_1 - \theta R]p^*(1-p^*)(\theta R - C_3)$	0

根据以上系统演化稳定性分析,通过不同的参数取值情况讨论系统演化稳定策略。

1) 当  $C_2 < S$  且  $\theta R < (\beta - \alpha)C_1$  时,有四个平衡点  $(0, 0)$   $(0, 1)$   $(1, 0)$   $(1, 1)$ 。其中  $C(1, 1)$  是局部渐进稳定点, (专利, 模仿) 是演化稳定策略(ESS), 局部稳定性分析如表 3 所示, 相位图如图 1 所示。专利运营成本小于政府补贴, 许可、侵权赔偿费用小于技术替代与模仿成本差时, 受到弱知识产权保护和强政策激励的影响, 领先企业与跟随企业的演化稳定策略是专利策略和模仿策略。

表 3 情形 1 平衡点的局部稳定性分析表

Table 3 Stability analysis of the equilibrium for case 1

平衡点	det J 符号	tr J 符号	局部稳定性
O(0, 0)	+	+	不稳定点
A(0, 1)	-	±	鞍点
B(1, 0)	-	±	鞍点
C(1, 1)	+	-	ESS

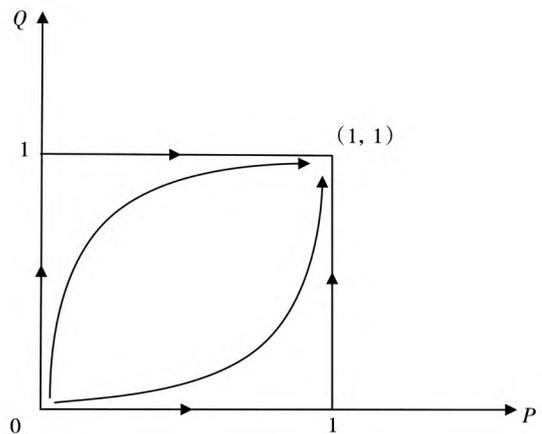


图 1 情形 1 演化相位图

Fig. 1 The replication dynamic phase for case 1

2) 当  $C_2 < S$  且  $\theta R > (\beta - \alpha)C_1$  时,有四个平衡点  $(0, 0)$   $(0, 1)$   $(1, 0)$   $(1, 1)$ 。其中  $B(1, 0)$  是局部渐进稳定点, (专利, 替代) 是演化稳定策略, 局部稳定性分析如表 4 所示, 相位图如图 2 所示。专利运营成本小于政府补贴, 许可、侵权赔偿费用大于技术替代与模仿成本差时, 受到较强知

识产权保护和强政策激励的影响,领先企业与跟随企业的演化稳定策略是专利策略和替代策略.

表4 情形2 平衡点的局部稳定性分析表

Table 4 Stability analysis of the equilibrium for case 2

平衡点	det $J$ 符号	tr $J$ 符号	局部稳定性
$O(0, 0)$	+	+	不稳定点
$A(0, 1)$	-	$\pm$	鞍点
$B(1, 0)$	+	-	ESS
$C(1, 1)$	-	$\pm$	鞍点

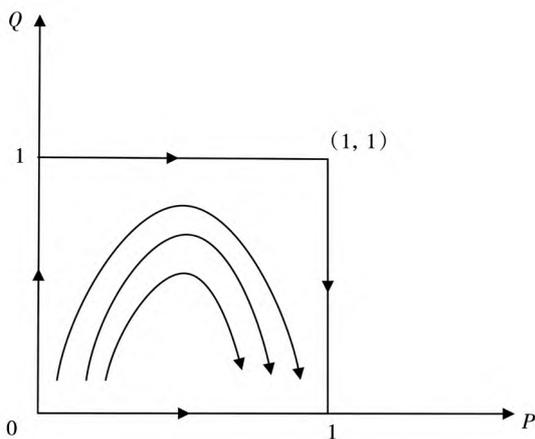


图2 情形2 演化相位图

Fig. 2 The replication dynamic phase for case 2

3) 当  $\theta R - C_3 + S > C_2 > S$  且  $(\beta - \alpha) C_1 > \theta R$  时,有四个平衡点  $(0, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 0)$ ,  $(1, 1)$ . 其中  $C(1, 1)$  是局部渐进稳定点, (专利, 模仿) 是演化稳定策略, 局部稳定性分析如表5所示, 相位图如图3所示. 专利运营成本大于政府补贴, 小于专利行使收益加政府补贴, 许可或侵权赔偿费用小于技术替代与模仿成本差时, 由于较高的替代难度, 跟随企业选择模仿策略. 知识产权保护和政策激励都较弱, 但行使专利权的成本也低, 领先企业采用专利策略.

表5 情形3 平衡点的局部稳定性分析表

Table 5 Stability analysis of the equilibrium for case 3

平衡点	det $J$ 符号	tr $J$ 符号	局部稳定性
$O(0, 0)$	-	$\pm$	鞍点
$A(0, 1)$	-	$\pm$	鞍点
$B(1, 0)$	+	+	不稳定点
$C(1, 1)$	+	-	ESS

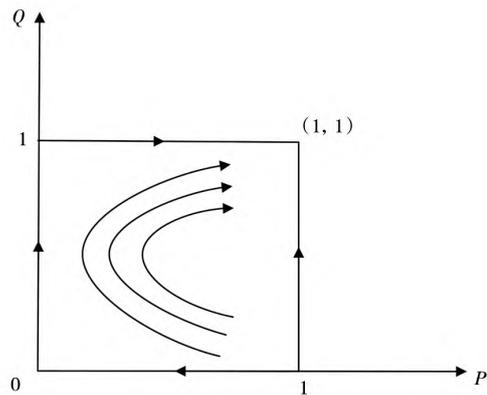


图3 情形3 演化相位图

Fig. 3 The replication dynamic phase for case 3

4) 当  $\theta R - C_3 + S > C_2 > S$  且  $\theta R > (\beta - \alpha) C_1$  时,有五个平衡点  $(0, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 0)$ ,  $(1, 1)$ ,  $(p^*, q^*)$ . 系统不存在演化稳定策略, 局部稳定性分析如表6所示, 相位图如图4所示. 专利运营成本大于政府补贴, 小于专利行使收益加政府补贴, 许可或侵权赔偿费用大于技术替代与模仿成本差时, 权衡知识产权保护成本和收益、替代难度和知识溢出可能, 系统中两种群没有演化稳定策略, 主体策略规律性持续波动.

表6 情形4 平衡点的局部稳定性分析表

Table 6 Stability analysis of the equilibrium for case 4

平衡点	det $J$ 符号	tr $J$ 符号	局部稳定性
$O(0, 0)$	-	$\pm$	鞍点
$A(0, 1)$	-	$\pm$	鞍点
$B(1, 0)$	-	$\pm$	鞍点
$C(1, 1)$	-	$\pm$	鞍点
$D(p^*, q^*)$	+	0	鞍点

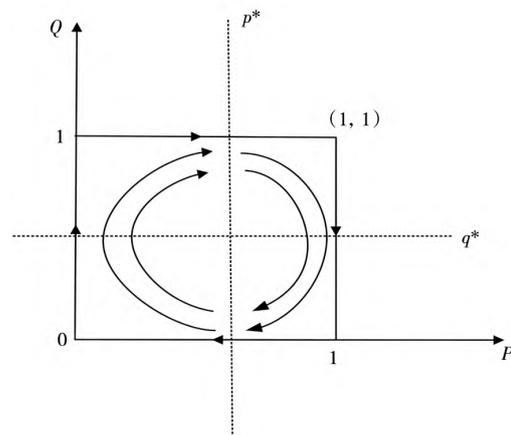


图4 情形4 演化相位图

Fig. 4 The replication dynamic phase for case 4

5) 当  $C_2 > \theta R - C_3 + S$  且  $\theta R < (\beta - \alpha) C_1$  时, 有四个平衡点  $(0, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 0)$ ,  $(1, 1)$ . 其中  $A(0, 1)$  是局部渐进稳定点 (技术秘密 模仿) 是演化稳定策略, 局部稳定性分析如表 7 所示. 相位图如图 5 所示. 专利运营成本大于专利行使收益加政府补贴, 许可、侵权赔偿费用小于技术替代与模仿成本差时, 高知识产权运营成本将促使领先企业采用技术秘密策略, 高替代难度使跟随企业采用模仿策略.

表 7 情形 5 平衡点的局部稳定性分析表  
Table 7 Stability analysis of the equilibrium for case 5

平衡点	det J 符号	tr J 符号	局部稳定性
$O(0, 0)$	-	$\pm$	鞍点
$A(0, 1)$	+	-	ESS
$B(1, 0)$	+	+	不稳定点
$C(1, 1)$	-	$\pm$	鞍点

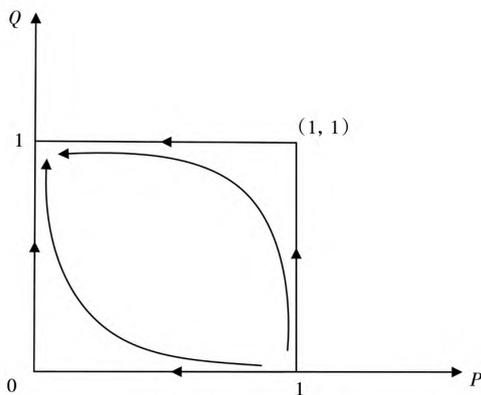


图 5 情形 5 演化相位图

Fig. 5 The replication dynamic phase for case 5

6) 当  $C_2 > \theta R - C_3 + S$  且  $\theta R > (\beta - \alpha) C_1$  时, 有四个平衡点  $(0, 0)$ ,  $(0, 1)$ ,  $(1, 0)$ ,  $(1, 1)$ . 其中  $A(0, 1)$  是局部渐进稳定点 (技术秘密 模仿) 是演化稳定策略, 局部稳定性分析如表 8 所示. 相位图如图 6 所示. 专利运营成本大于专利行使收益加政府补贴, 许可、侵权赔偿费用大于技术替代与模仿成本差时, 高知识产权运营成本使领先企业采用技术秘密策略. 无专利保护情况下, 跟随企业采用难度和成本较低的模仿策略.

表 8 情形 6 平衡点的局部稳定性分析表  
Table 8 Stability analysis of the equilibrium for case 6

平衡点	det J 符号	tr J 符号	局部稳定性
$O(0, 0)$	-	$\pm$	鞍点
$A(0, 1)$	+	-	ESS
$B(1, 0)$	-	$\pm$	鞍点
$C(1, 1)$	+	+	不稳定点

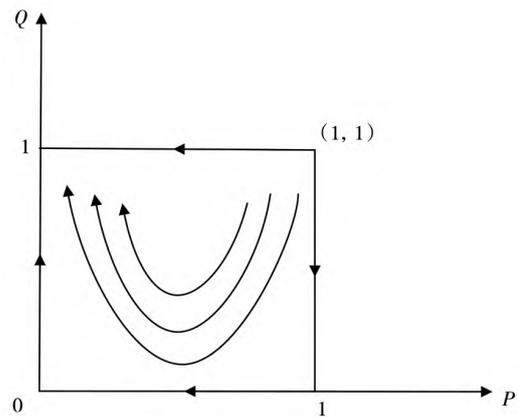


图 6 情形 6 演化相位图

Fig. 6 The replication dynamic phase for case 6

## 2.2 参数对演化稳定策略的影响

综合以上均衡点稳定性和演化稳定策略分析可以看出(见表 9), 在不同的情境下系统涌现四种演化状态: 1) 当  $C_2 < \theta R - C_3 + S$  且  $\theta R < (\beta - \alpha) C_1$  时, 即专利运营成本小于专利行使收益加政府补贴, 且许可、侵权赔偿费用小于技术替代与模仿成本差时, 知识产权运营成本较低, 技术替代难度高. 经过反复的博弈, 领先企业最终稳定于专利策略, 跟随企业最终稳定于模仿策略; 2) 当  $C_2 < S$  且  $\theta R > (\beta - \alpha) C_1$  时, 即专利运营成本小于政府补贴, 且许可或侵权赔偿费用大于技术替代与模仿成本差时, 知识产权保护较强, 政策激励较强. 经过反复博弈, 领先企业最终稳定于专利策略, 跟随企业最终稳定于替代策略; 3) 当  $C_2 > \theta R - C_3 + S$  时, 即专利运营成本大于专利行使收益加政府补贴时, 知识产权运营成本高、行使专利权难度大, 经过反复博弈, 领先企业最终稳定于技术秘密策略, 跟随企业最终稳定于模仿策略. 4) 当  $\theta R - C_3 + S > C_2 > S$  且  $\theta R > (\beta - \alpha) C_1$  时, 专利运营成本大于政府补贴、小于专利行使收益加政府补贴, 许可或侵权赔偿费用大于技术替代与模仿成本差时, 无演化稳定策略, 系统中主体策略规律性持续波动.

表 9 局部稳定性分析汇总表

Table 9 Stability analysis of the equilibrium for all cases

演化结果	参数范围	演化稳定点
1	$C_2 < \theta R - C_3 + S, \theta R < (\beta - \alpha) C_1$	$C(1, 1)$
2	$C_2 < S, \theta R > (\beta - \alpha) C_1$	$B(1, 0)$
3	$C_2 > \theta R - C_3 + S$	$A(0, 1)$
4	$\theta R - C_3 + S > C_2 > S, \theta R > (\beta - \alpha) C_1$	无

### 3 多主体建模与仿真模拟

#### 3.1 多主体建模与仿真

演化博弈复制动态方程的稳定策略为理解差异性环境下领先企业种群和跟随企业种群中完全理性主体技术策略的动态演化提供了思路。而现实中主体是有限理性的,环境中信息是不完全的,为进一步拓展理论模型的适用性和边界条件,本节采用仿真实验模拟创新生态系统主体的博弈过程,分析技术创新策略动态演化规律。基于多主体的建模仿真(Agent-based Modeling and Simulation, ABMS)是一种自下而上的建模方法,通过对个体、个体间交互、环境选择作用的刻画,描述复杂的自组织现象和规律涌现<sup>[49]</sup>。使用多主体仿真方法可以对领先企业和跟随企业间交互博弈和学习方式进行定义,模拟领先企业与跟随企业策略演化的过程,分析、揭示有限理性假设下企业创新保护策略和跟随策略的形成和演化机理<sup>[50, 51]</sup>。

#### 3.2 仿真设计

以演化博弈模型为理论基础,设定领先企业群体中主体有两种行为选择:专利策略和技术秘密策略,跟随企业群体内主体也有两种行为选择:模仿策略和替代策略。两类群体主体交互规则符合上节所述博弈收益矩阵。两群体内主体由于有限理性和短视,通过向邻居学习的方式更新其策略。仿真实验首先构建了两个群体,在创新生态系统中领先企业群体数量一般较少,设定该群体由 50 个主体构成,跟随企业数量较多,设定该群体由 1 000 个主体组成。每个领先企业与跟随企业群体中  $r$  个随机主体进行博弈,每个跟随企业与领先企业群体中  $k$  个随机主体进行博弈,博弈对象数量代表了领先企业对市场监控的水平 and 跟随企业学习搜索的范围,每个主体的博弈总收益  $f_i$  作为该主体的适应度标准。本文仿真模型中设定当市场监控水平高、学习搜索范围广时  $r=20, k=4$ ,当市场监控水平低、学习搜索范围窄时  $r=10, k=2$ 。每个主体与同群体  $g$  个随机个体比较收益并改变策略,比较对象集的个数表现了创新生态中企业间合作网络的密集程度,当合作网络密集时,个体获取信息渠道广,策略转变过程中比较集的对象更多,仿真模型中比较对象集数量同样设定高低两个水平  $g=10$  或  $2$ 。

群体中个体有 1% 的几率发生策略突变,模拟外部因素对系统内主体策略的随机影响。

$$f_i = \sum_{j=1}^n u(i, j), (n=r \text{ 或 } k) \quad (6)$$

其中  $u(i, j)$  为主体  $i$  与主体  $j$  博弈收益。

两个群体内每个主体在  $t=0$  时刻按初始比例  $p_0, q_0$  对每个主体随机分配策略,按如下规则进行策略状态转换:由于组织惯性及策略转变成本,主体策略转换的概率较低,本文仿真中设定每轮有随机 20% 的主体改变其策略。主体  $i$  采取主体  $j$  策略

$$p_{ij} = \frac{e^{\frac{f_j}{10^{noise}}}}{\sum_{l \in \Omega_i} e^{\frac{f_l}{10^{noise}}}}, \Omega_i \text{ 为主体 } i \text{ 的学习对象集}$$

合,噪声表现为特定制度环境下创新生态系统中信息模糊程度。当专利制度正式化程度高、规则清晰时,信息确定性高、噪声小。当专利制度正式化程度低、规则模糊时,信息确定性低、噪声大,信息噪声影响群体中主体的策略状态转换。本文仿真中设定低噪声状态  $noise=0.1$ ,高噪声状态  $noise=0.5$ 。

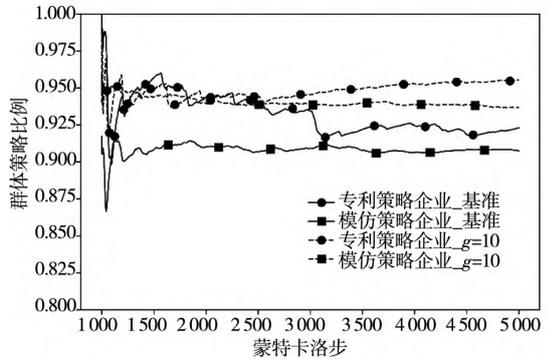
根据以上仿真模型设计,在 Netlogo(版本号: 6.0.2) 环境中进行仿真程序开发。

#### 3.3 仿真结果与分析

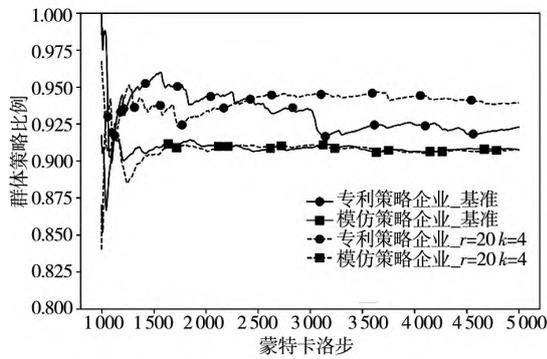
在上述仿真模型中,按四种演化状态设定参数  $(R, \theta, S, C_1, C_2, C_3, \alpha, \beta, \mu, \delta)$ ,并修改相关环境参数变量  $(r, k, g, noise)$  进行仿真,模拟不同创新生态环境下系统演化状态变化。为了方便讨论,以低水平参数为基准,一次改变一类参数进行比较。以现实情况为参照,不失一般性地,设初始状态下,领先企业选择专利策略的初始比例为 0.1,跟随企业选择模仿策略的初始比值为 0.9。结果中,横坐标表示仿真时间步数,纵坐标表示群体策略所占比例。在引入有限理性假设的多智能体仿真模型中,系统呈现随机波动。为了理解两群体长期的行为变化,每次仿真进行 5 000 蒙特卡洛步,从 1 000 步开始计算群体随时间平均策略变化,以比较参数对系统长期演化的影响。

**仿真 1**  $R=10, \theta=0.04, S=1, C_1=5, C_2=1, C_3=0.2, \alpha=0.8, \beta=0.9, \mu=1.2, \delta=0.8$  输入仿真模型。符合  $C_2 < \theta R - C_3 + S$  且  $\theta R < (\beta - \alpha) C_1$  条件,专利策略与模仿策略是演化稳定策略。不同环境参数水平下系统演化过程与基准模型的对比见图 7。当合作网络密集度高  $g=10$  时,系统长期平均演化结果更接近演化稳定策略,如图 7(a)。当

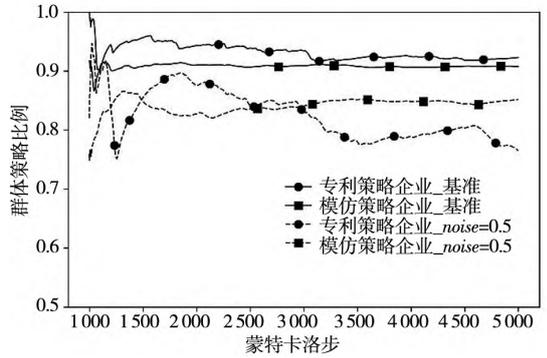
市场监控水平高、学习搜索范围广  $r = 10, k = 5$  时 领先企业群体平均策略更接近演化稳定策略 跟随企业群体长期平均策略变化不显著 如图 7(b). 高系统噪声状态  $noise = 0.5$  时 系统波动幅度增强 两群体长期平均演化策略偏离演化稳定策略 总体比例上仍符合演化稳定分析结果 如图 7(c).



(a) (基准模型 vs 比较集  $g = 10$ )



(b) (基准模型 vs 博弈集  $r = 20, k = 4$ )



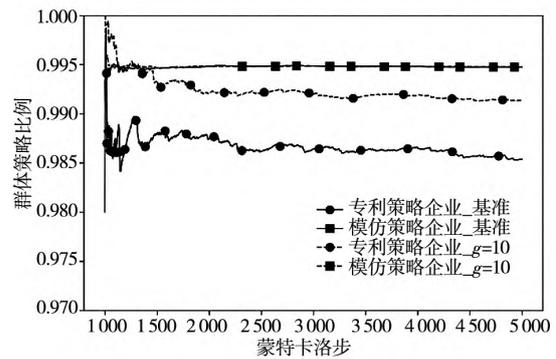
(c) (基准模型 vs 噪音  $noise = 0.5$ )

图 7  $R = 10 \theta = 0.04 S = 1 C_1 = 5 C_2 = 1 C_3 = 0.2, \alpha = 0.8 \beta = 0.9 \mu = 1.2 \delta = 0.8$  仿真 1 结果

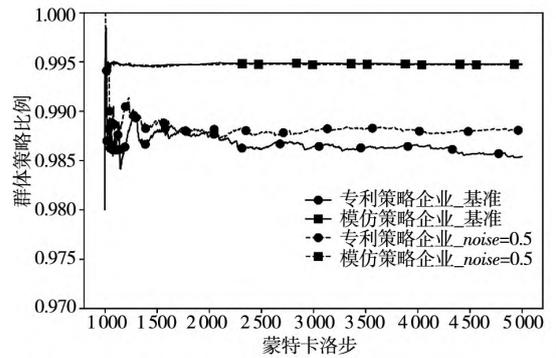
Fig. 7 The results for simulation-1 when  $R = 10 \theta = 0.04 S = 1, C_1 = 5 C_2 = 1 C_3 = 0.2 \alpha = 0.8 \beta = 0.9 \mu = 1.2 \delta = 0.8$

仿真 2  $R = 10 \theta = 0.5 S = 2 C_1 = 5 C_2 = 1, C_3 = 0.2 \alpha = 0.8 \beta = 0.9 \mu = 1.2 \delta = 0.8$  输入仿真模型 符合  $C_2 < S$  且  $\theta R > (\beta - \alpha) C_1$ , 专利策略

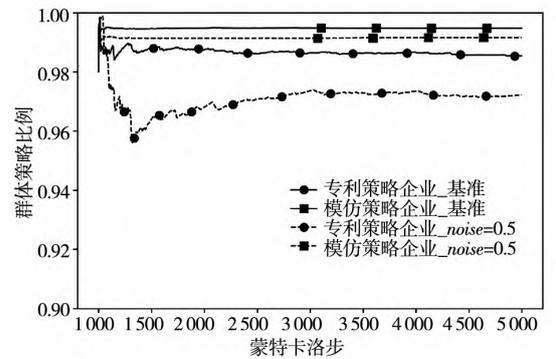
与替代策略是演化稳定策略. 在不同环境参数水平下系统演化过程与基准模型的对比见图 8. 当合作网络密集度高  $g = 10$  时 领先企业群体长期平均演化结果更接近演化稳定策略 跟随企业群体长期平均策略比例变化不显著 如图 8(a). 当市场监控水平高、学习搜索范围广  $r = 10, k = 5$  时 领先企业群体长期平均策略更接近演化稳定策略 跟随企业群体长期平均策略变化不显著 如图 8(b). 高系统噪声状态  $noise = 0.5$  时 系统波动幅度增强 两群体长期平均演化策略偏离演化稳定策略 总体比例上仍符合演化稳定分析结果 如图 8(c).



(a) (基准模型 vs 比较集  $g = 10$ )



(b) (基准模型 vs 博弈集  $r = 20, k = 4$ )

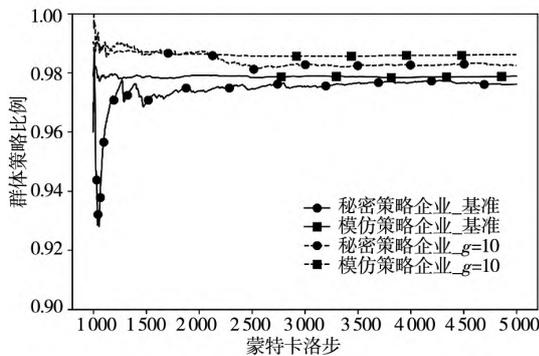


(c) (基准模型 vs 噪音  $noise = 0.5$ )

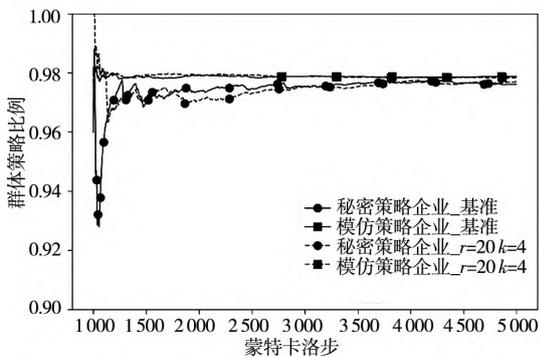
图 8  $R = 10 \theta = 0.5 S = 2 C_1 = 5 C_2 = 1 C_3 = 0.2 \alpha = 0.8, \beta = 0.9 \mu = 1.2 \delta = 0.8$  仿真 2 结果

Fig. 8 The results for simulation-2 when  $R = 10 \theta = 0.5 S = 2, C_1 = 5 C_2 = 1 C_3 = 0.2 \alpha = 0.8 \beta = 0.9 \mu = 1.2 \delta = 0.8$

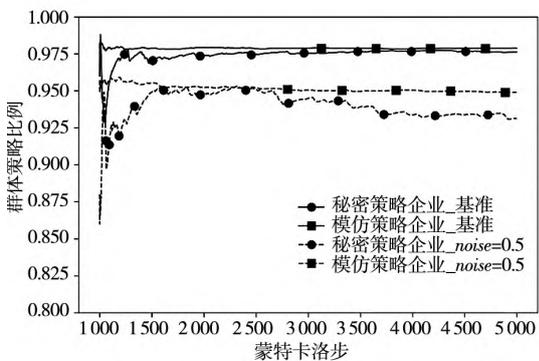
**仿真3**  $R=10 \theta=0.02 S=0.5 C_1=5 C_2=1, C_3=0.2 \alpha=0.8 \beta=0.9 \mu=1.2 \delta=0.8$  输入仿真模型 符合  $C_2 > \theta R - C_3 + S$  秘密策略与模仿策略是演化稳定策略. 在不同环境参数水平下系统演化过程与基准模型的对比见图9. 当合作网络密集  $g=10$  时, 系统长期平均演化结果更接近演化稳定策略 (如图9(a)). 当市场监控水平高、学习搜索范围广  $r=20, k=4$  时, 系统长期平均演化结果更接近演化稳定策略, 但差异不显著 (如图9(b)).



(a) (基准模型 vs 比较集  $g=10$ )



(b) (基准模型 vs 博弈集  $r=20, k=4$ )



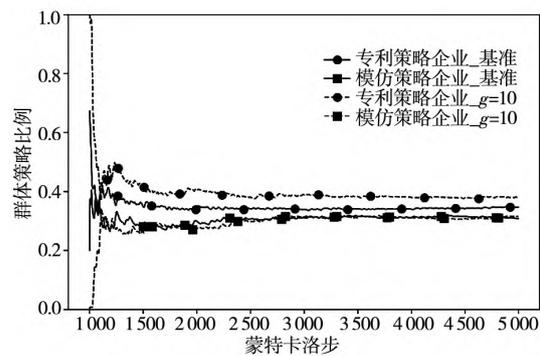
(c) (基准模型 vs 噪音  $noise=0.5$ )

**图9**  $R=10 \theta=0.02 S=0.5 C_1=5 C_2=1 C_3=0.2, \alpha=0.8 \beta=0.9 \mu=1.2 \delta=0.8$  仿真3结果

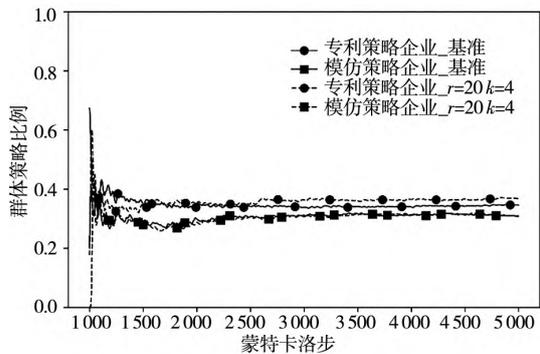
Fig.9 The results for simulation-3 when  $R=10 \theta=0.02 S=0.5, C_1=5 C_2=1 C_3=0.2 \alpha=0.8 \beta=0.9 \mu=1.2 \delta=0.8$

高系统噪声状态  $noise=0.5$  时 系统波动幅度增强, 两群体长期平均演化策略偏离演化稳定策略, 总体比例上仍符合演化稳定分析结果 (如图9(c)).

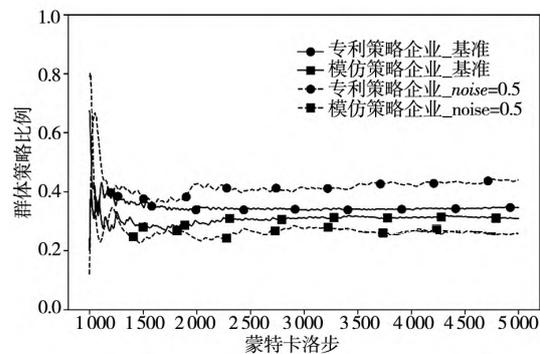
**仿真4**  $R=10 \theta=0.2 S=0.5 C_1=5, C_2=1 C_3=0.2 \alpha=0.8 \beta=0.9 \mu=1.2 \delta=0.8$  输入仿真模型 符合  $\theta R - C_3 + S > C_2 > S, \theta R > (\beta - \alpha) C_1$  无演化稳定策略. 在基准模型中, 两群体策略呈现周期性波动, 领先企业群体专利策略长期平均比例 35% 跟随企业模仿策略长期平均比例 31%. 在不同环境参数水平下系统演化过程与基准模型的对比见图10. 当合作网络密



(a) (基准模型 vs 比较集  $g=10$ )



(b) (基准模型 vs 博弈集  $r=20, k=4$ )



(c) (基准模型 vs 噪音  $noise=0.5$ )

**图10**  $R=10 \theta=0.2 S=0.5 C_1=5 C_2=1 C_3=0.2, \alpha=0.8 \beta=0.9 \mu=1.2 \delta=0.8$  仿真4结果

Fig.10 The results for simulation-4 when  $R=10 \theta=0.2 S=0.5, C_1=5 C_2=1 C_3=0.2 \alpha=0.8 \beta=0.9 \mu=1.2 \delta=0.8$

集  $g = 10$ , 市场监控水平高、学习搜索范围广  $r = 20$ ,  $k = 4$  时, 领先企业群体专利策略长期平均比例增加, 跟随企业群体长期平均策略变化不显著, 如图 10(a)、10(b)。高系统噪声状态  $noise = 0.5$  时, 领先企业群体专利策略长期平均比例增加, 跟随企业群体模仿策略长期平均比例减少, 如图 10(c)。

综合以上仿真结果, 由于有限理性和外生环境影响, 系统呈现随机波动性, 仿真模型结果总体趋势上基本符合动态复制方程的稳定分析, 企业群体经过一段时间的博弈和相互学习, 都趋于演化稳定分析结果。通过基准模型与调整参数的模型对比发现, 当合作网络密集时, 由于个体获取信息渠道广, 策略转变过程中比较集的对象更多, 有限理性主体决策的有效性增加, 系统长期平均演化结果趋向平均收益期望大的策略, 对小规模群体的影响更加显著。市场监控、学习搜索范围更广时, 群体间交互作用增强, 主体的平均收益的波动减小, 不确定性因素影响减弱, 系统长期平均演化结果趋向平均收益期望大的策略, 对小规模群体的影响更加显著。当信息模糊度高时, 由于环境不确定性影响加强, 系统波动幅度增加, 群体间策略交互制约作用减弱, 系统长期平均演化偏离于演化稳定分析结果。

### 3.4 模型与仿真比较分析

对比模型演化稳定策略分析与多主体仿真模拟结果发现, 模型演化稳定策略分析中的领先企业与跟随企业群体总是稳定于规律性策略。而在多主体仿真模拟中, 引入有限理性、信息不完全、外生冲击等因素, 领先企业与跟随企业群体演化策略趋势受到环境和主体决策不确定性影响, 群体策略比例呈现随机波动状态, 但仿真结果总体趋势上符合动态复制方程的稳定分析结果。仿真模拟进一步揭示了市场监控、学习搜索范围、市场信息模糊度等因素对系统演化的影响, 当企业主体更关注群体间竞争博弈, 外向性竞争导向强时, 系统中两个群体间博弈更加频繁, 不确定性因素影响减弱, 各群体长期平均演化趋向于平均收益期望大的策略; 当企业主体更关注群体内合作, 内向性资源能力导向强时, 合作网络更加密集, 有限

理性的主体决策有效性增加, 各群体长期平均演化趋向于平均收益期望大的策略。当市场信息模糊程度高时, 由于环境不确定性影响加强, 系统波动幅度增加, 企业主体决策效率降低, 群体间策略交互制约作用减弱, 系统长期平均演化结果偏离于演化稳定策略。

## 4 结束语

创新生态系统进化是领先企业与跟随企业动态博弈演化的结果, 本文研究创新生态系统内主体的技术策略选择。首先, 采用演化博弈理论对领先企业与跟随企业间的动态博弈进行理论分析, 得到博弈的收益矩阵与系统演化稳定策略, 揭示生态学视角下创新生态主体的技术策略演化过程。进一步引入有限理性和不完全信息假设<sup>[52]</sup>, 通过仿真模拟对演化博弈分析的影响因素和边界条件进行拓展, 分析不同社会网络和制度环境下创新生态中主体策略的形成与演化。基于理论和仿真模拟分析, 得出以下结论。

1) 理论分析得出, 基于不同知识产权制度和制度逻辑和企业间博弈态势不同, 企业经过反复博弈后稳定于不同策略, 涌现四种典型状态: 第一, 当专利运营成本小于专利行使收益加政府补贴, 且专利许可或侵权赔偿费用小于技术替代与模仿成本差时, 领先企业稳定于专利策略, 跟随企业稳定于模仿策略; 第二, 当专利运营成本小于政府补贴, 且专利许可或侵权赔偿大于技术替代与模仿成本差时, 领先企业稳定于专利策略, 跟随企业稳定于替代策略; 第三, 当专利运营成本大于专利行使收益加政府补贴时, 领先企业稳定于技术秘密策略, 跟随企业稳定于模仿策略。第四, 专利运营成本大于政府补贴、小于专利行使收益加政府补贴, 许可或侵权赔偿费用大于技术替代与模仿成本差时, 系统中领先企业和跟随企业的策略规律性持续波动, 无演化稳定策略。

2) 仿真模型进一步发现, 合作网络密集时, 个体获取信息更全面, 策略转变过程中比较集的

对象更多,有限理性的主体决策有效性提高,各群体长期平均演化趋向于平均收益期望大的策略<sup>[53]</sup>。市场监控、学习搜索范围更广时,平均收益差异随机性减小,策略转换的稳定性增加,各群体长期平均演化趋向于平均收益期望大的策略<sup>[54]</sup>。当信息模糊度高时,环境不确定性影响增强,系统波动幅度增加<sup>[55]</sup>,企业主体决策效率低,群体间策略交互制约作用减弱,系统长期平均演化结果偏离演化稳定状态。

本文研究结果理论贡献如下。第一,分析了专利政策补贴机制对企业创新保护策略的影响,发现专利政策补贴在创新生态系统主体技术策略博弈中起重要调控作用,平衡了专利产生的交易成本和专利侵权救济之间的关系。第二,从生态演化视角扩展了已有的研究思路,创新生态系统主体技术策略博弈以竞合网络为交互载体<sup>[56]</sup>,受知识产权激励政策、知识产权保护制度、知识产权市场化水平、技术特征等因素综合作用影响,其形成过程呈现种群生态演化特征。第三,本文对跟随企业追赶策略的研究,弥补了以往研究的不足,提出跟随策略与领先企业创新保护策略相互制约,从技术、制度、战略交互等多方面,揭示了模仿和替代策略的选择机理<sup>[57]</sup>。

基于以上理论和仿真分析结果,本文为优化创新生态系统主体技术策略,促进创新生态良性发展,提出以下研究启示。

1) 创新生态系统中处于核心位置的领先企业作为引导者,在创新生态系统发展的不同阶段应采取适当战略,在独占与共享、规模与利润、短期与长期、个体与网络之间平衡,最大化自身利益,巩固核心定位和话语权的同时,从系统观、整

体观出发,促进创新生态发展与转型<sup>[58]</sup>。需要综合考虑知识产权保护强度、纠纷救济成本、产业环境、技术特点,平衡知识优势和知识溢出之间的关系,构建共生、协同发展的生态环境。创新生态发展初期,适度的知识溢出和共享是生态规模成长、生态位多元化的基础。生态发展中期,通过有效的网络治理手段优化生态系统的良性竞争合作关系,避免机会主义行为,是生态稳定的保障。生态发展后期,开放包容、尊重知识产权、积极进取的创新生态环境是生态进化的关键<sup>[59]</sup>。

2) 理论中,跟随企业在创新生态系统中的作用及其策略往往被忽视。事实上,跟随企业在创新生态系统的规模化、多元化、进化的过程中起着不可替代的作用<sup>[60]</sup>。跟随企业应该注重对核心企业的依赖和自身差异性、独立性间的平衡,通过模仿加速追赶,通过替代形成鲜明的定位,才能在生态发展中掌握一定主动权,在生态进化中把握成为核心企业的机会。从社会层面,应在制度和意识层面给予跟随企业更多支持,激励跟随企业通过模仿促进生态成长,通过替代增加社会总体知识产出,激发创新创业活力,提升企业自主创新能力<sup>[61,62]</sup>。

本研究通过演化博弈理论和仿真模拟分析了创新生态系统领先企业和跟随企业种群主体技术策略的演化稳定策略,探索了创新生态系统内企业基于知识的博弈策略演化规律。但本文仅考虑了两个同质群体纯策略演化博弈分析,今后的研究中将丰富的主体类型和策略选择,并进一步验证企业异质性对创新保护策略的影响及多种发明混合创新保护策略下企业创新保护策略,以增进结论的有效性和解释力。

## 参考文献:

- [1] 曾国屏, 苟尤钊, 刘磊. 从“创新系统”到“创新生态系统”[J]. 科学学研究, 2013, 31(1): 4-12.  
Zeng Guoping, Gou Youzhao, Liu Lei. From innovation system to innovation ecosystem[J]. Studies in Science of Science, 2013, 31(1): 4-12. (in Chinese)
- [2] Adner R, Kapoor R. Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations[J]. Strategic Management Journal, 2010, 31(3): 306-333.
- [3] 王伟光, 冯荣凯, 尹博. 产业创新网络中核心企业控制力能够促进知识溢出吗?[J]. 管理世界, 2015, (6): 99

- 109.

Wang Weiguang, Feng Rongkai, Yin Bo. Does control power of core enterprises in an industrial innovation network promote knowledge spillover? [J]. *Management World*, 2015, (6): 99 - 109. (in Chinese)

[4] Adner R. Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy [J]. *Journal of Management*, 2017, 43(1): 39 - 58.

[5] 谭劲松, 何 铮. 集群研究文献综述及发展趋势 [J]. *管理世界*, 2007, (12): 140 - 147.

Tan Justin, He Zheng. Literature review and development trend of cluster research [J]. *Management World*, 2007, (12): 140 - 147. (in Chinese)

[6] Somaya D. Patent strategy and management: An integrative review and research agenda [J]. *Journal of Management*, 2012, 38(4): 1084 - 1114.

[7] Granstrand O. *The Economics and Management of Intellectual Property: Towards Intellectual Capitalism* [M]. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 1999.

[8] Kwon I. Patent races with secrecy [J]. *Journal of Industrial Economics*, 2012, 60(3): 499 - 516.

[9] Schneider C. Fences and competition in patent races [J]. *International Journal of Industrial Organization*, 2008, 26(6): 1348 - 1364.

[10] Droege S B, Dong L C. Strategic entrepreneurship: Imitation versus substitution [J]. *Journal of Small Business Strategy*, 2008, 19(1): 69 - 80.

[11] McEvily S K, Das S, McCabe K. Avoiding competence substitution through knowledge sharing [J]. *Academy of Management Review*, 2000, 25(2): 294 - 311.

[12] Tan J, Tan D. Environment-strategy co-evolution and co-alignment: A staged model of Chinese SOEs under transition [J]. *Strategic Management Journal*, 2005, 26(2): 141 - 157.

[13] 何 铮, 谭劲松, 陆园园. 组织环境与组织战略关系的文献综述及最新研究动态 [J]. *管理世界*, 2006, 11: 144 - 151.

He Zheng, Tan Justin, Lu Yuanyuan. A literature review on the relationship between organizational environment and organizational strategy [J]. *Management World*, 2006, 11: 144 - 151. (in Chinese)

[14] 赵皎卉, 蔡 虹. 产品创新专有化手段的有效性——基于中国制造业企业的经验数据 [J]. *经济管理*, 2013, 8: 144 - 152.

Zhao Jiaohui, Cai Hong. A study on the effectiveness of the product innovation appropriability methods [J]. *Economic Management Journal*, 2013, 8: 144 - 152. (in Chinese)

[15] Cho Y, Kirkwood S, Daim T U. Managing strategic intellectual property assets in the fuzzy front end of new product development process [J]. *R & D Management*, 2018, 48(3): 354 - 374.

[16] Holgersson M. Patent management in entrepreneurial SMEs: A literature review and an empirical study of innovation appropriation, patent propensity, and motives [J]. *R&D Management*, 2013, 43(1): 21 - 36.

[17] Cohen W M, Nelson R R, Walsh J P. Protecting their intellectual assets: Appropriability conditions and why US manufacturing firms patent (or not) [R]. *National Bureau of Economic Research*, 2000.

[18] Levin R C, Klevorick A K, Nelson R R, et al. Appropriating the returns from industrial research and development [J]. *Brookings Papers on Economic Activity*, 1987, (3): 783 - 831.

[19] Brouwer E, Kleinknecht A. Innovative output, and a firm's propensity to patent: An exploration of CIS micro data [J]. *Research Policy*, 1999, 28(6): 615 - 624.

[20] Hall B, Helmers C, Rogers M, et al. The choice between formal and informal intellectual property: A review [J]. *Journal of Economic Literature*, 2014, 52(2): 375 - 423.

[21] 张米尔, 国 伟, 李海鹏. 专利诉讼的网络分析及主体类型研究 [J]. *科研管理*, 2016, 37(6): 127 - 133.

Zhang Mier, Guo Wei, Li Haipeng. Network analysis and subject type study of patent litigations [J]. *Science Research Management*, 2016, 37(6): 127 - 133. (in Chinese)

- [22] Yue X P. Behavior of inter-enterprises patent portfolio for different market structure [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2017, 120: 24 – 31.
- [23] Mansfield E, Schwartz M, Wagner S. Imitation costs and patents: An empirical study [J]. *The Economic Journal*, 1981, 91(364): 907 – 918.
- [24] Bekkers R, Duysters G, Verspagen B. Intellectual property rights, strategic technology agreements and market structure: The case of GSM [J]. *Research Policy*, 2002, 31(7): 1141 – 1161.
- [25] Hill C W L. Strategies for exploiting technological innovations: When and when not to license [J]. *Organization Science*, 1992, 3(3): 428 – 441.
- [26] Ahuja G, Yayavaram S. Perspective—Explaining influence rents: The case for an institutions-based view of strategy [J]. *Organization Science*, 2011, 22(6): 1631 – 1652.
- [27] Peng M W, Sun S L, Pinkham B, et al. The institution-based view as a third leg for a strategy tripod [J]. *Academy of Management Perspectives*, 2009, 23(4): 63 – 81.
- [28] Holgersson M, Granstrand O, Bogers M. The evolution of intellectual property strategy in innovation ecosystems: Uncovering complementary and substitute appropriability regimes [J]. *Long Range Planning*, 2018, 51(2): 303 – 319.
- [29] Kultti K, Takalo T, Toikka J. Secrecy versus patenting [J]. *The Rand Journal of Economics*, 2007, 38(1): 22 – 42.
- [30] 田志龙, 李春荣, 蒋倩, 等. 中国汽车市场弱势后入者的经营战略——基于对吉利、奇瑞、华晨、比亚迪和哈飞等华系汽车的案例分析 [J]. *管理世界*, 2010, 8: 139 – 152 + 188.  
Tian Zhilong, Li Chunrong, Jiang Qian, et al. The operation strategy of the weak late comers in China's auto markets: A study based on the cases of China's auto companies such as Jili, Qirui, Huachen, BYD and Hafei [J]. *Management World*, 2010, 8: 139 – 152 + 188. (in Chinese)
- [31] Guennif S, Ramani S V. Explaining divergence in catching-up in pharma between India and Brazil using the NSI framework [J]. *Research Policy*, 2012, 41(2): 430 – 441.
- [32] Horstmann I, Macdonald G M, Slivinski A. Patents as information transfer mechanisms: To patent or (maybe) not to patent [J]. *Journal of Political Economy*, 1985, 93(5): 837 – 858.
- [33] 高山行. 企业专利竞赛理论及策略 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.  
Gao Shanxing. *Theory and Strategies of Enterprises' Patent Competition* [M]. Beijing: Science Publication, 2005. (in Chinese)
- [34] Alexandra K, Zaby. Losing the lead: The patenting decision in the light of the disclosure requirement [J]. *Economics of Innovation & New Technology*, 2010, 19(2): 147 – 164.
- [35] Anton J J, Yao D A. Little patents and big secrets: Managing intellectual property [J]. *RAND Journal of Economics*, 2004, 35(2): 1 – 22.
- [36] Mosel M. Big Patents, Small Secrets: How Firms Protect Inventions when R & D Outcome is Heterogeneous [Z]. *Bavarian Graduate Program in Economics Discussion Paper*, 2011.
- [37] Mihm J, Sting F J, Wang T. On the effectiveness of patenting strategies in innovation races [J]. *Management Science*, 2015, 61(11): 2662 – 2684.
- [38] Mantovani A, Ruiz-Aliseda F. Equilibrium innovation ecosystems: The dark side of collaborating with complementors [J]. *Management Science*, 2016, 62(2): 534 – 549.
- [39] Adner R. Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy [J]. *Journal of Management*, 2017, 43(1): 39 – 58.
- [40] Friedman D. Evolutionary games in economics [J]. *Econometrica*, 1991, 59(3): 637 – 666.
- [41] 张华. 合作稳定性、参与动机与创新生态系统自组织进化 [J]. *外国经济与管理*, 2016, 38(12): 59 – 73 + 128.  
Zhang Hua. Cooperative stability, participation motivation and self-organized evolution of innovation ecosystem [J]. *Foreign Economics & Management*, 2016, 38(12): 59 – 73 + 128. (in Chinese)

- [42] Holgersson M, Granstrand O. Patenting motives, technology strategies, and open innovation [J]. *Management Decision*, 2017, 55(6): 1265–1284.
- [43] Wang L, Wu B, Pechmann C, et al. The performance effects of creative imitation on original products: Evidence from lab and field experiments [J]. *Strategic Management Journal*, 2019, <https://doi.org/10.1002/smj.3120>.
- [44] 陆园园, 谭劲松, 薛红志. “引进—模仿—改进—创新”模型与韩国企业技术学习的演进过程 [J]. *南开管理评论*, 2006, 9(5): 74–82.  
Lu Yuanyuan, Tan Justin, Xue Hongzhi. A 4I model of technological learning process: Theoretical relevance and empirical evidence from South Korean experience [J]. *Nankai Business Review*, 2006, 9(5): 74–82. (in Chinese)
- [45] Holgersson M, Wallin M W. The patent management trichotomy: Patenting, publishing, and secrecy [J]. *Management Decision*, 2017, 55(6): 1087–1099.
- [46] Taylor P D, Jonker L B. Evolutionarily stable strategies and game dynamics [J]. *Mathematical Biosciences*, 1978, 40(1): 145–156.
- [47] Friedman D. On economic applications of evolutionary game theory [J]. *Journal of Evolutionary Economics*, 1998, 8(1): 15–43.
- [48] Yi Y, Yang H. Wholesale pricing and evolutionary stable strategies of retailers under network externality [J]. *European Journal of Operational Research*, 2017, 259(1): 37–47.
- [49] Tan J, Zhang H, Wang L. Network closure or structural hole? The conditioning effects of network-level social capital on innovation performance [J]. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 2015, 39(5): 1189–1212.
- [50] 谭劲松. 关于管理研究及其理论和方法的讨论 [J]. *管理科学学报*, 2008, 11(2): 145–152.  
Tan Justin. Reflection on management research: Theory and methods [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2008, 4: 145–152. (in Chinese)
- [51] 安同良. 中国企业的技术选择 [J]. *经济研究*, 2003, (7): 76–84+92.  
An Tongliang. The technology choice of Chinese enterprises [J]. *Economic Research Journal*, 2003, (7): 76–84+92. (in Chinese)
- [52] 曹麒麟, 王文轲. 基于有限理性和技术战略的风险投资决策研究 [J]. *管理科学学报*, 2015, 18(11): 25–34.  
Cao Qilin, Wang Wenke. Venture capital dynamic decision based on limited ratiion and different technology strategies [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2015, 18(11): 25–34. (in Chinese)
- [53] Eisenhardt K M, Zbaracki M J. Strategic decision making [J]. *Strategic Management Journal*, 1992, 13(S2): 17–37.
- [54] George G. Learning to be capable: Patenting and licensing at the Wisconsin Alumni Research Foundation 1925–2002 [J]. *Industrial and Corporate Change*, 2005, 14(1): 119–151.
- [55] Tan J, Litsschert R J. Environment–strategy relationship and its performance implications: An empirical study of the Chinese electronics industry [J]. *Strategic Management Journal*, 1994, 15(1): 1–20.
- [56] 谭劲松, 张红娟, 林润辉. 产业创新网络动态演进机制模拟与实例分析 [J]. *管理科学学报*, 2019, 22(12): 1–14.  
Tan Justin, Zhang Hongjuan, Lin Runhui. Modeling and analyzing the evolution mechanism of industrial innovation network [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(12): 1–14. (in Chinese)
- [57] Posen H E, Yi S, Lee J. A contingency perspective on imitation strategies: When is “benchmarking” ineffective? [J]. *Strategic Management Journal*, 2020, 41(2): 198–221.
- [58] 黄河, 曾能民, 徐鸿雁. 独占、授权还是共享? ——存在随机产出风险的高技术企业专利运作战略研究 [J]. *管理科学学报*, 2020, 23(6): 1–17.  
Huang He, Zeng Nengmin, Xu Hongyan. Monopoly, licensing or sharing: Patent operation strategy for high-tech firms with random yield [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(6): 1–17. (in Chinese)
- [59] Zobel A K, Balsmeier B, Chesbrough H. Does patenting help or hinder open innovation? Evidence from new entrants in the

solar industry [J]. *Industrial and Corporate Change*, 2016, 25(2): 307–331.

[60] 庄子银. 知识产权、市场结构、模仿和创新[J]. *经济研究*, 2009, 44(11): 95–104.

Zhuang Ziyin. Intellectual property rights, market structure, imitation and innovation [J]. *Economic Research Journal*, 2009, 44(11): 95–104. (in Chinese)

[61] 孔祥俊. 我国知识产权保护的反思与展望——基于制度和理念的若干思考[J]. *知识产权*, 2018, 211(9): 37–49.

Kong Xiangjun. Reflections and prospects on intellectual property protection in China: Thoughts based on institutions and concepts [J]. *Intellectual Property*, 2018, 211(9): 37–49. (in Chinese)

[62] Tan D, Tan J. Far from the tree? Do private entrepreneurs agglomerate public sector incumbents during economic transition? [J]. *Organization Science*, 2017, 28(1): 113–132.

## Firms' technological strategies in an innovation ecosystem: A dynamic interaction between leading firms and following firms based on evolutionary game theory and multi-agent simulation

TAN Justin<sup>1,2</sup>, ZHAO Xiao-yang<sup>3\*</sup>

1. Schulich School of Business, York University, Toronto M3J 1P3, Canada;

2. College of Management and Economics, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

3. Business School, Hohai University, Nanjing 211100, China

**Abstract:** The knowledge-based competition between agents in an innovation ecosystem not only impacts the survival and development of individuals but also affects the evolution of the innovation ecosystem. From the evolutionary game perspective, this paper explores agents' choice of appropriability strategies and following strategies in an innovation ecosystem under different environments. An asymmetric evolutionary game model and a multi-agent simulation model are constructed successively to analyze the influence of institutional, ecological, and technological factors on the evolutionary equilibrium stability and evolutionary stable strategies of an innovation ecosystem. It is found that the key factors affecting the equilibrium of system evolution are costs of patent operation and protection, the degree of relief on patent disputes, government subsidies, and the relative technical difficulty between substitution and imitation. Based on different situations formed by the above factors, there are four evolutionary stable states: (patenting, imitation), (patenting, substitution), (secret, imitation), and continuous fluctuation of strategies. The outcomes of simulation models which show random fluctuations are consistent with the results of evolutionary stability analysis in the trend. When a cooperation network is dense or a search scope is wide, the long-term evolution of each group tends to be strategies with large average income expectation due to the increase of interaction, the decrease of decision uncertainty, and the improvement of decision effectiveness. Meanwhile, the uncertainty of decision-making increases, and the system fluctuates more violently when information fuzziness is high. Moreover, the strategic interaction between groups is weakened, and the long-term evolution of the system deviates from the results of evolutionary stability analysis when information fuzziness is high.

**Key words:** appropriability strategy; following strategy; evolutionary game; multi-agent simulation.