

科技型创业企业创新模式选择的演化博弈仿真分析

——创新合作伙伴间技术差异的视角

郭韬¹² 丁小洲¹

1、哈尔滨工程大学经济管理学院，黑龙江 哈尔滨 150001；

2、黑龙江创新驱动发展研究中心，黑龙江 哈尔滨 150001；

摘要：以科技型创业企业为研究对象，将科技型创业企业的创新模式分自主创新和合作创新，运用演化博弈理论，基于创新合作伙伴间技术差异的视角，分别构建科技型创业企业创新模式选择的演化博弈模型，分析其演化路径、稳定均衡策略及其参数影响的作用机理，考虑企业间技术差异并对各参数变量的演化结果进行数值仿真。结果表明：科技型创业企业间合作收益、创新合作投入及收益比例均会对博弈双方创新模式的选择产生影响，企业间的合作风险系数也是影响科技型创业企业创新模式选择的关键因素。

关键词：创新模式；合作创新；自主创新；演化博弈

中图分类号： F275

文献标识码： A

1 引言

科技型创业企业作为新技术、新发明的重要载体，在推动我国经济从外生性增长向内生性增长转变中发挥着积极作用^{[1][2]}。技术创新是科技型创业企业成长的关键，企业创新模式的选择是科技型创业企业面临的首要问题^{[3][4]}。企业创新模式有多种划分方式，根据企业的创新来源，可将创新模式分为自主创新模式和合作创新模式^[5]。其中，自主创新是指科技型创业企业通过企业自身的研发储备和实力，开发出的所有新产品均由企业自身提供相应的技术支持和服务；合作创新是指科技型创业企业在进行新产品开发时，与例如科研机构、高校、技术服务供应商等企业外部的机构进行合作开发，相应技术部分共享或全部共享。

自主创新与合作创新均可可为科技型创业企业带来创新绩效^[6]。自主创新作为技术进步的主要来源，能够有效的促进科技型创业企业的成长；企业自主创新能力越强，越有利于提升企业绩效^[7]。但另一方面，自主创新涉及到研究开发、产业化应用和市场运作等诸多环节，成本高、周期长、不确定性强，企业自身技术水平和经济实力的限制了一部分创业企业的自主创新活动^{[8][9]}。随着创新成本的不断提升，促使一部分科技型创业企业开放边界、引入外部创新力量，选择合作创新模式^[10]。通过合作创新，科技型创业企业可以获取其他团体的资源、创造竞争优势，也可以维护自己有价值的资源、保护公司未来的竞争优势^[11]。

已有研究表明，科技型创业企业技术创新模式的选择受企业自身技术水平、学习能力、企业成长阶段、市场环境、合作风险等诸多因素的影响。Hull 等通过调查 119 家技术企业的发展现状，发现当技术水平与学习能力相匹配时，企业更倾向于选择内部创新；当企业的学习能力与技术水平不匹配时，企业倾向于合作创新模式^[12]。陈勇星等基于技术能力的提升对

基金项目：教育部人文社科规划基金项目（18YJA630031）；黑龙江省新型智库研究项目（18ZK006）；黑龙江省博士后科研启动金项目（一等）（LBH-Q18046）

企业创新模式的发展规律进行总结,认为企业创新模式沿着从模仿创新到合作创新再到自主创新的轨迹演进^[13]。苏先娜等认为,企业在与大学合作的净得益时决定企业合作创新策略的关键,当双方得益比例相等时,博弈双方选择合作的可行性最大,而当博弈双方得益比例相差悬殊时,博弈双方则选择不合作^[14]。只要企业选择合作创新模式,便会存在着相应的合作风险^[15]。Alice 认为技术变迁和环境变化在塑造组织创新和技术创新中的作用越来越重要,并认为不同环境下企业开展技术创新模式选择的前提不同^[16]。合作风险影响参与方的合作行为,影响合作契约的成败^[17]。因此,科技型创业企业的创新模式选择中必然面临对合作风险的判断、控制和规避。合作风险与创新合作伙伴之间技术差异性密切相关,较小的技术差异性往往伴生技术挪用行为,进而提高合作风险^{[18][19]}。目前,学界在这一领域的研究成果尚不够丰富。

科技型创业企业创新模式选择面临着高不确定性、高风险性,以及在资源结构、组合及配置方式上的差异性和复杂性,这决定了其创新模式的选择具有典型的有限理性特征^[20]。演化博弈论是基于有限理性假设的动态博弈理论方法,可有效刻画科技型创业企业创新模式选择的动态演化过程^{[21][22][23]}。本文从科技型创业企业创新模式选择的有限理性特征出发,基于创新合作伙伴间技术差异的视角,分别构建了两种不同技术差异情境下科技型创业企业创新模式选择的演化博弈模型并开展仿真分析,进一步丰富了科技型创业企业创新模式选择。

2 基本假设

较大技术差异情境下,科技型创业企业与其合作创新伙伴具有不同的技术类型和技术水平。此时,出于合作双方利益最大化的角度考虑,科技型创业企业往往更加倾向合作^[24]。综合考虑科技型创业企业在创新模式选择中重点考虑的合作风险因素和创新投入与收益因素,可提出如下假设:

假设一 将科技型创业企业划分为两类企业实力存在差异的企业群体 1 和企业群体 2 两个群体。为了便于分析,随机抽取企业群体中的企业 A、企业 B 作为参与博弈的主体。

假设二 存在一个技术创新项目,企业 A 和企业 B 投入的资金均为 T ,该项目产生的总收益为 M 。由于企业技术创新能力存在差异,当企业 A 的收益占总收益的比率为 λ 时,企业 B 的收益比率则为 $1-\lambda$ 。

假设三 当企业间选择合作时,则不与高校或科研院所合作,但需承担企业间的合作风险;当企业为规避与其他企业合作风险时,有技术合作需求的企业会选择与高校或科研院所进行合作,设定当选择与高校或科研院所合作的投资成本为 I ,收益为 R 。

假设四 科技型创业企业创业技术储备量分别为 α_A 、 α_B 。 γ_A 、 γ_B 分别表示企业 A 和企业 B 的技术共享度,即科技型创业企业技术储备量中能够和合作企业分享的比例,且均为常数值

假设五 科技型创业企业在选择合作创新模式过程中,存在一定的风险,即一方可能将合作方的技术挪用,给其带来损失,这种行为将严重影响双方技术合作的积极性。其采取合作策略的风险系数为 χ_A 、 χ_B 。

3 研究设计

3.1 较小技术差异情境下科技型创业企业创新模式选择的演化博弈模型构建

若企业 A 和企业 B 选择合作创新,则对于创新的投入 T 二者共同承担,但是二者也将承担因彼此间合作带来的风险,则企业 A 的收益为 $\lambda(M-T)-\alpha_A\gamma_A\chi_A$, B 的收益为 $(1-\lambda)(M-T)-\alpha_B\gamma_B\chi_B$; 当企业 A 和企业 B 都选择自主创新时,则企业 A 和企业 B 独

自承担创新投入 T ，其收益为 $\lambda M - T$ ，企业 B 的收益为 $(1 - \lambda)M - T$ 。当企业 B 为规避合作风险而选择自主创新时，企业 A 若有合作创新意向，只能与高校或科研院所合作。这种情况下，企业 A 的技术创新力度高于自主创新的企业 B，可获取由技术优势带来的额外收益。若企业 A 因合作创新而从总收益中多获取的额外收益为 R ，记企业 A 与高校或科研院所合作创新需要的额外投入为 I ，则企业 A 的收益为 $\lambda M - T - I + R$ ，而企业 B 收益为 $(1 - \lambda)M - T + R$ 。同理：若企业 A 选择自主创新，企业 B 选择与高校或科研院所合作创新时，企业 A 的收益为 $\lambda M - T - R$ ，B 的收益为 $(1 - \lambda)M - T - I + R$ 。企业 A 选择合作创新的概率为 x ，选择自主创新的概率为 $1 - x$ ，其中 $x \in (0, 1)$ ；企业 B 选择合作创新的概率为 y ，选择自主创新的概率为 $1 - y$ ，其中 $y \in (0, 1)$ 。

因此，企业间选择合作创新的收益矩阵如表 1 所示。

表 1 企业间选择合作创新的收益矩阵

		企业 B	
		合作创新 (y)	自主创新 ($1 - y$)
企业 A	合作创新 (x)	$\lambda(M - T) - \alpha_A \gamma_A \chi_A$,	$\lambda M - T - I + R$,
	$(1 - \lambda)(M - T) - \alpha_B \gamma_B \chi_B$	$(1 - \lambda)M - T - R$	
自主创新 ($1 - x$)	$\lambda M - T - R$,	$\lambda M - T$,	
	$(1 - \lambda)M - T - I + R$	$(1 - \lambda)M - T$	

结合表 1 的收益矩阵，企业 A 选择合作创新收益、自主创新收益、期望收益分别为：

$$E_{11} = y[\lambda(M - T) - \alpha_A \gamma_A \chi_A] + (1 - y)[\lambda M - T - I + R] \quad (1)$$

$$E_{12} = y[\lambda M - T - R] + (1 - y)[\lambda M - T] \quad (2)$$

$$\bar{E}_1 = xE_{11} + (1 - x)E_{12} \quad (3)$$

企业 B 选择合作创新收益、自主创新收益、期望收益分别为：

$$E_{21} = x[(1 - \lambda)(M - T) - \alpha_B \gamma_B \chi_B] + (1 - x)[(1 - \lambda)M - T - R] \quad (4)$$

$$E_{22} = x[(1 - \lambda)M - T - I + R] + (1 - x)[(1 - \lambda)M - T] \quad (5)$$

$$\bar{E}_2 = yE_{21} + (1 - y)E_{22} \quad (6)$$

根据演化博弈的复制动态方程，企业 A、企业 B 的复制动态方程为：

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{11} - \bar{E}_1) = x(1 - x)\{y[(1 - \lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A] + R - I\} \quad (7)$$

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{21} - \bar{E}_2) = y(1 - y)[x(\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B) + R - I] \quad (8)$$

令 $F(x) = F(y) = 0$ ，得到 5 个演化博弈的均衡点，分别为：(0,0)、(0,1)、

$$(1,0)、(1,1)、\left(\frac{I - R}{\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B}, \frac{I - R}{(1 - \lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A}\right)。$$

3.2 稳定性分析

结合 Friedman 的研究方法^[23], 分析判断企业 A 和企业 B 复制方程所组成系统稳定性, 可得雅可比矩阵为:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1-2x)[(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A]y + R - I & x(1-x)[(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A] \\ y(1-y)(\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B) & (1-2y)[(\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B)x + R - I] \end{bmatrix}$$

在此模型中, 科技型创业企业创业技术储备量分别为 α_A 、 α_B , 企业 A 和企业 B 的技术共享度 γ_A 、 γ_B 均为常数。

分析市场实际情况, 两企业合作技术创新所引入的风险虽然具有一定的消极作用, 但相比产品创新投资成本 T 、同科研所合作创新成本 I 而言显然较小, 即可以认为:

$$\begin{cases} \lambda T - \alpha_B \gamma_B \chi_B > 0 \\ (1-\lambda)T - \alpha_A \gamma_A \chi_A > 0 \end{cases} \quad (9)$$

所以, $\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B > 0$, $(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A > 0$

同样由不等式组 (9), 有

$$\begin{cases} \lambda T - \alpha_B \gamma_B \chi_B > -R \\ (1-\lambda)T - \alpha_A \gamma_A \chi_A > -R \end{cases} \quad (10)$$

两边同时加 I , 有 $\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B > I - R$, $(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A > I - R$

所以, 当 $I - R > 0$, 有 $0 < \frac{I - R}{\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B} < 1$, $0 < \frac{I - R}{(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A} < 1$, 即

$\left(\frac{I - R}{\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B}, \frac{I - R}{(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A} \right)$ 点位于系统演化相位图之内; 当 $I - R < 0$,

$\left(\frac{I - R}{\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B}, \frac{I - R}{(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A} \right)$ 点位于系统演化相位图之外。

因此分两种情况对企业间存在合作创新模式的演化稳定结果进行分析:

(1) 当 $I - R > 0$ 时

$I - R > 0$ 即科技型创业企业在选择与高校或科研院所合作时收益小于其相应的投资成本。此时位于演化相位图中的均衡点有五个, 其演化稳定状态如表 2 所示。

表 2 $I - R > 0$ 演化稳定均衡点

均衡点	$DetJ$	TrJ	稳定性
A (0,0)	+	-	稳定
D (0,1)	+	+	不稳定
B (1,0)	+	+	不稳定
C (1,1)	+	-	稳定
$O \left(\frac{I - R}{\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B}, \frac{I - R}{(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A} \right)$	-	0	鞍点

此条件下系统的演化相位图如图 1 所示, 当企业与高校或科研院所所合作收益不足以抵消支出时, 双方长期博弈结果具有两种稳定均衡状态, 即双方都合作或双方都不合作。实际

上, 当企业与高校或科研院所合作收益低于支出时, [合作, 自主]、[自主, 合作]策略不具备吸引力。所以决策稳态为另外两种模式, 即 [合作, 合作], 或 [自主, 自主]。具体而言, 折线 BOD 是双方选择合作创新模式长期博弈收敛于不同状态的临界线。当初始状态落在 I 区域 (四边形 $ABOD$) 时, 系统将收敛于 $A(0,0)$ 点, 博弈企业双方选择自主创新模式。当初始状态落在 II 区域 (四边形 $BCDO$) 时, 系统将收敛于 $C(1,1)$ 点, 双方企业选择合作创新模式, 这是演化的理想状态, 有助于分散技术创新风险。

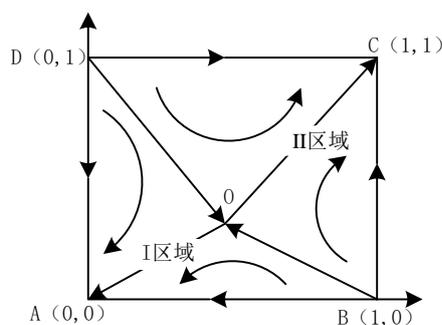


图 1 $I - R > 0$ 时系统演化相位图

(2) 当 $I - R < 0$ 时

$I - R < 0$ 即科技型创业企业在选择与高校或科研院所合作时的收益高于其相应的投资成本。此时位于演化相位图中的均衡点有四个, 其演化稳定状态如表 3 所示。

表 3 $I - R < 0$ 演化稳定状态

均衡点	$DetJ$	TrJ	稳定性
A (0,0)	+	+	不稳定
D (0,1)	-	+	鞍点
B (1,0)	-	+	鞍点
C (1,1)	+	-	稳定

此条件下系统的演化相位图如图 2 所示, 企业在选择创新模式时, 最终会趋向于相互合作模式。实际上, 由不等式组 (2) 可知, 当企业 B 选择合作创新时, 企业 A 选择合作创新收益与选择自主创新收益的差值 $(1-\lambda)T - \alpha_A \gamma_A \chi_A + R > 0$; 当企业 B 选择自主创新时, 企业 A 选择合作创新收益与选择自主创新收益的差值 $I - R < 0$ 。所以, 当与高校或科研院所合作的收益高于投资时, 不论企业 B 选择合作创新还是自主创新, 企业 A 均会选择利润更高的合作创新策略。企业 B 同理。所以决策稳态为 [合作创新, 合作创新]。

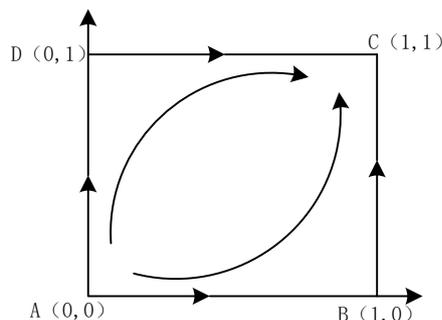


图 2 $I - R < 0$ 时系统演化相位图

3.3 相关参数变化对博弈策略的影响分析

如图 2 所示, 当 $I - R < 0$ 时, 不论起始博弈状态位于相位图何处, 均会趋向于相互合作的技术创新模式。但当 $I - R > 0$ 时, 系统博弈稳态出现两种不同可能, 且出现两种可能性的概率受系统参数影响。所以, 本节仅对 $I - R > 0$ 情况展开进一步分析研究。

博弈双方企业 A 和企业 B 最终演化的稳定策略是同时选择合作或者同时选择不合作, 即[合作创新, 合作创新]或[自主创新, 自主创新], 这取决于图 1 中 $S_I(ABOD)$ 和 $S_{II}(BCDO)$ 的面积大小, 若 $S_I(ABOD)$ 的面积越大, 则双方选择自主创新模式的可能性就越大, 若 $S_{II}(BCDO)$ 的面积越大, 则双方选择合作创新模式的可能性就越大。

结论一: 已知鞍点 O 的坐标为 $\left(\frac{I - R}{\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B}, \frac{I - R}{(1 - \lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A}\right)$, 由图 1 可

知 $S_I(ABOD)$ 的面积:

$$S_I = \frac{I - R}{2} \left[\frac{1}{\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B} + \frac{1}{(1 - \lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A} \right] \quad (11)$$

$$\therefore \frac{\partial S_I}{\partial R} = -\frac{1}{2} \left[\frac{1}{\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B} + \frac{1}{(1 - \lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A} \right]$$

因 $I - R > 0$, 所以由不等式组 (1), 得 $\frac{\partial S_I}{\partial R} < 0$ 。

因 S_I 是 R 的单调减函数, 当 R 增加时, S_I 的面积减小, 鞍点 O 向 A 点移动, S_{II} 的面积增加, 即博弈双方选择[合作创新, 合作创新]的策略增加。当 R 减小时, S_I 的面积增加, 鞍点 O 向 C 点移动, S_{II} 的面积减小, 即博弈双方选择[自主创新, 自主创新]的策略增加。因此, 当企业与高校或科研院所合作创新的收益增加时, 企业选择合作创新模式的概率增加; 反之, 当企业与高校或科研院所合作创新的收益减小时, 企业选择自主创新模式的概率增加。

结论二: 由公式 (9) 得,

$$\therefore \frac{\partial S_I}{\partial I} = \frac{1}{2} \left[\frac{\lambda T + R - \alpha_B \gamma_B \chi_B}{(\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B)^2} + \frac{(1 - \lambda)T + R - \alpha_A \gamma_A \chi_A}{[(1 - \lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A]^2} \right]$$

所以由不等式组 (2), 有 $\frac{\partial S_I}{\partial I} > 0$ 。

因 S_I 是 I 的单调增函数, S_I 随着 I 的增加而增加, 则企业选[自主创新, 自主创新]的概率增加。因此, 当企业与高校或科研院所合作时的投入增加时, 企业会选择自主创新的模式。

结论三: 由公式 (9) 得,

$$\frac{\partial S_I}{\partial T} = -\frac{I - R}{2} \left[\frac{1 - \lambda}{[(1 - \lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A]^2} + \frac{\lambda}{(\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B)^2} \right]$$

所以由 $I - R > 0$, $0 < \lambda < 1$, 得 $\frac{\partial S_I}{\partial T} < 0$, 即 S_I 是 T 的单调减函数。 S_I 随着 T 的增大而减小, 故博弈双方选择[合作创新, 合作创新]的概率增大; S_{II} 随着 T 的减小而增大, 故博

弈双方选择[自主创新, 自主创新]的概率增大。因此, 当企业对于创新项目的投资增加时, 企业会选择合作创新的模式, 当企业对于创新项目的投资减小时, 企业会选择自主创新的模式。

结论四: 由公式(9)得,

$$\frac{\partial S_I}{\partial \lambda} = \frac{(I-R)T}{2} \left[\frac{1}{[(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A]^2} - \frac{1}{(\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B)^2} \right]$$

这里我们考虑博弈双方在采取合作策略的风险项 $\alpha_A \gamma_A \chi_A$ 和 $\alpha_B \gamma_B \chi_B$ 相等,

$$\text{令 } \frac{\partial S_I}{\partial \lambda} = 0, \text{ 则 } \lambda = \frac{1}{2}$$

$$\frac{\partial^2 S_I}{\partial \lambda^2} = (I-R)T^2 \left[\frac{1}{[(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A]^3} + \frac{1}{(\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B)^3} \right]$$

所以由 $I-R > 0$ 和不等式组(1), 得 $\frac{\partial^2 S_I}{\partial \lambda^2} > 0$,

因此, 当 $\lambda = \frac{1}{2}$ 时, S_I 取极小值, 博弈双方采取[合作创新, 合作创新]的概率最大;

当 $\lambda \in (0, \frac{1}{2})$ 时, $\frac{\partial S_I}{\partial \lambda} < 0$, 则 S_I 是 λ 的单调减函数。 S_I 随着 λ 的增大而减小, 故博弈双方选择[合作创新, 合作创新]的概率增大; S_I 随着 λ 的减小而增大, 故博弈双方选择[自主创新, 自主创新]的概率增大;

当 $\lambda \in (\frac{1}{2}, 1)$ 时, $\frac{\partial S_I}{\partial \lambda} > 0$, 则 S_I 是 λ 的单调增函数。 S_I 随着 λ 的增大而增大, 故博弈双方选择[自主创新, 自主创新]的概率增大; S_I 随着 λ 的减小而减小, 故博弈双方选择[合作创新, 合作创新]的概率增大;

因此, 当收益比 $\lambda = \frac{1}{2}$ 时, 博弈双方选择合作创新的概率增加; 当收益比 $\lambda \in (0, \frac{1}{2})$ 时,

随着 λ 的减小, 博弈双方选择自主创新的概率增加; 当收益比 $\lambda \in (\frac{1}{2}, 1)$ 时, 随着 λ 的增加, 博弈双方选择自主创新的概率增加。

结论五: 由面积(9)公式可得:

$$\frac{\partial S_I}{\partial \chi_B} = \frac{I-R}{2} \left[\frac{\alpha_B \gamma_B}{(\lambda T + I - \alpha_B \gamma_B \chi_B)^2} \right]$$

$$\frac{\partial S_I}{\partial \chi_A} = \frac{I-R}{2} \left[\frac{\alpha_A \gamma_A}{[(1-\lambda)T + I - \alpha_A \gamma_A \chi_A]^2} \right]$$

即企业选择合作创新模式投入成本大于收益, S_I 是 χ_B 、 χ_A 的单调增函数, S_I 随着 χ_B 、 χ_A 的增加而增加, 即企业选择合作的风险增加时, 博弈双方选择[自主创新, 自主创新]模式的概率增大;

3.4 较小技术差异情境下科技型创业企业创新模式选择的演化博弈

(1) 模型的建立

较小技术差异情境下,科技型创业企业与其合作创新伙伴具有相近的技术类型和技术水平。此时,出于规避风险的考虑,科技型创业企业往往更加倾向于尽量避免与同行业的企业进行合作,而选择与高校或科研院所进行合作。综合考虑科技型创业企业在创新模式选择中重点考虑的合作风险因素和创新投入与收益因素,企业选择合作创新的博弈矩阵如表 4 所示。相较于表 1 博弈矩阵,双方在选择与高校或科研院所进行合作时的总收益 M 不变。由于两企业均采取合作创新策略,企业也不会获取合作额外的收益 R 。但是会增加与高校或科研院所合作的成本 I ,因此企业 A 的收益为 $\lambda M - T - I$,企业 B 的收益为 $(1 - \lambda)M - T - I$ 。其余三种情况与企业选择企业间合作创新模式的收益不变。

表 4 企业不选择企业间合作创新模式的博弈矩阵

		企业 B	
		合作创新 (y)	自主创新 ($1-y$)
企业 A	合作创新 (x)	$\lambda M - T - I, (1 - \lambda)M - T - I$	$\lambda M - T - I + R, (1 - \lambda)M - T - R$
	自主创新 ($1-x$)	$\lambda M - T - R, (1 - \lambda)M - T - I + R$	$\lambda M - T, (1 - \lambda)M - T$

(2) 博弈均衡点的稳定性分析

结合表 2 的收益矩阵,企业 A 选择合作创新收益、自主创新收益、期望收益分别为:

$$E_{31} = y[\lambda M - T - I] + (1 - y)[\lambda M - T - I + R] \quad (12)$$

$$E_{32} = y[\lambda M - T - R] + (1 - y)[\lambda M - T] \quad (13)$$

$$\bar{E}_3 = xE_{31} + (1 - x)E_{32} \quad (14)$$

企业 B 选择合作创新收益、自主创新收益、期望收益分别为:

$$E_{41} = x[(1 - \lambda)M - T - I] + (1 - x)[(1 - \lambda)M - T - R] \quad (15)$$

$$E_{42} = x[(1 - \lambda)M - T - I + R] + (1 - x)[(1 - \lambda)M - T] \quad (16)$$

$$\bar{E}_4 = yE_{41} + (1 - y)E_{42} \quad (17)$$

企业 A 和企业 B 的复制动态方程分别为:

$$F(x) = \frac{dx}{dt} = x(E_{31} - \bar{E}_3) = x(1 - x)(R - I) \quad (18)$$

$$F(y) = \frac{dy}{dt} = y(E_{41} - \bar{E}_4) = y(1 - y)(R - I) \quad (19)$$

令 $F(x) = F(y) = 0$, 得到 4 个演化博弈的均衡点, 分别为: $(0,0)$ 、 $(0,1)$ 、 $(1,0)$ 、 $(1,1)$ 。

$$\text{雅可比矩阵为: } J = \begin{bmatrix} \frac{\partial F(x)}{\partial x} & \frac{\partial F(x)}{\partial y} \\ \frac{\partial F(y)}{\partial x} & \frac{\partial F(y)}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1 - 2x)(R - I) & 0 \\ 0 & (1 - 2y)(R - I) \end{bmatrix}$$

当 $I - R < 0$ 时，其演化稳定状态如表 5 所示

表 5 当 $I - R < 0$ 时演化稳定结果

均衡点	$DetJ$	TrJ	稳定性
A (0,0)	+	+	不稳定
D (0,1)	-	0	鞍点
B (1,0)	-	0	鞍点
C (1,1)	+	-	稳定

当 $I - R < 0$ 时的演化相位图如图 3 所示

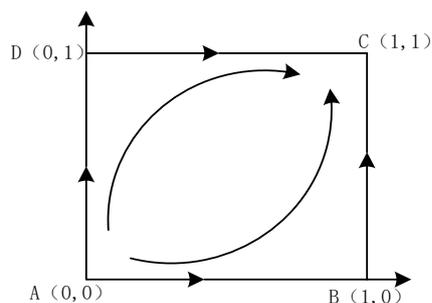


图 3 $I - R < 0$ 时的演化相位图

分析可知，当 $I - R < 0$ 时，企业与高校或科研院所进行合作创新的收益大于支付成本，结合图 3 的动态演化轨迹，无论从哪一点出发，博弈双方的演化稳定策略都是趋向于 C (1,1) 点，即当企业选择与高校或科研院所进行合作创新时，可以获取更多的收益，因此博弈双方的博弈结果是趋向于与相应的高校或科研院所进行合作，演化到 C (1,1) 点。

当 $I - R > 0$ ，其演化稳定状态如表 6 所示

表 6 当 $I - R > 0$ 时演化稳定结果

均衡点	$DetJ$	TrJ	稳定性
A (0,0)	+	-	稳定
D (0,1)	-	0	鞍点
B (1,0)	-	0	鞍点
C (1,1)	+	+	不稳定

当 $I - R > 0$ 时的演化相位图如图 4 所示

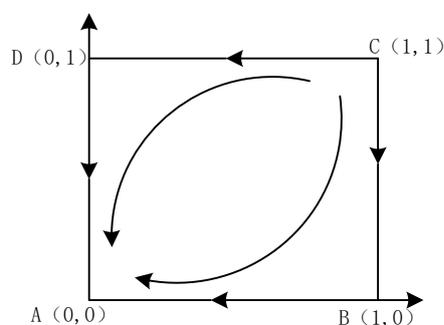


图 4 $I - R > 0$ 时的演化相位图

分析可知，当 $I - R > 0$ 时，企业与高校或科研院所进行合作创新的收益小于支付成本，结合图 4 的动态演化轨迹，无论从哪一点出发，博弈双方的演化稳定策略都趋向于 A (0,0)

点, 即当企业选择与高校或科研院所进行合作创新时, 无法获取相应的利润反而会给企业带来损失, 企业为保护自身利益, 不会选择与高校或科研院所进行合作创新的模式而选择自主创新, 因此博弈双方的博弈结果是趋向于自主创新模式, 演化到 A (0,0) 点。

4 仿真分析

运用 MATLAB R2017b 对科技型创业企业之间创新模式选择的动态演化行为进行数值仿真。为验证科技型创业企业选择企业间合作创新模式的博弈各演化博弈模型构建的正确性, 借鉴殷辉的相关研究, 在相位图中均匀选取 11 行 11 列博弈初始状态点, 依据公式 (7) 和公式 (8) 计算各点演化方向^[25]。

4.1 不同创新模式选择演化路径的仿真分析

为验证科技型创业企业在选择与高校或科研院所合作时收益小于其相应的投资成本, 企业投资 T 为 5, 项目总收益 M 为 10, 企业 A 收益比 λ 为 0.5。企业与高校或科研院所合作投资成本 I 为 2, 收益 R 为 1。企业 A 和企业 B 的创业技术储备量 α_A 、 α_B 均为 2.5, 技术共享度 γ_A 、 γ_B 均为 1, 采取合作策略的风险系数 χ_A 、 χ_B 均为 0.5。各博弈初始点演化方向仿真结果如图 5 所示,

将企业与高校或科研院所合作投资成本 I 换为 1, 收益 R 换为 2, 其余参数与图 5 中参数一致。各博弈初始点演化方向仿真结果如图 6 所示, 显然与图 2 一致。

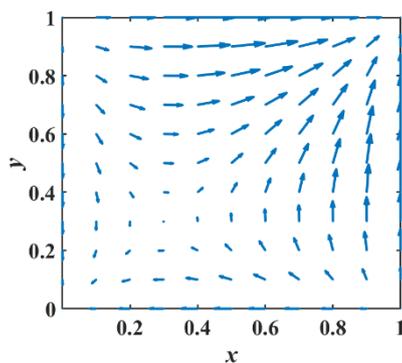


图 5 相位图 1 仿真结果

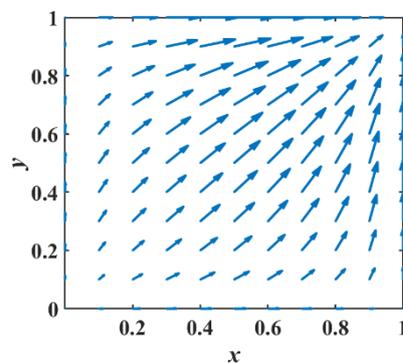


图 6 相位图 2 仿真结果

去掉 α_A 、 α_B 、 γ_A 、 χ_A 、 χ_B , 且将企业与高校或科研院所合作投资成本 I 换为 1, 收益 R 换为 2, 其余参数与图 5 的参数一致。各博弈初始点演化方向仿真结果如图 7 所示, 显然与图 3 一致。将企业与高校或科研院所合作投资成本 I 换为 2, 收益 R 换为 1, 其余参数不变。各博弈初始点演化方向仿真结果如图 8 所示, 显然与图 4 一致。

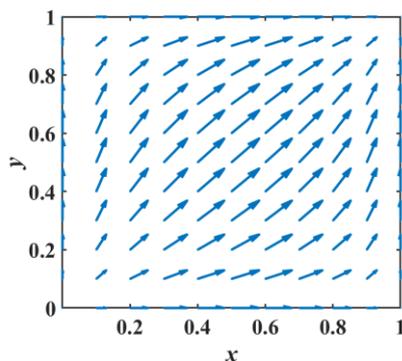


图7 相位图3 仿真结果

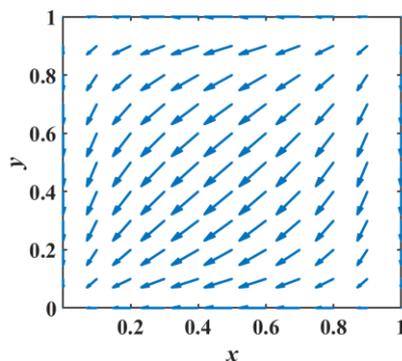


图8 相位图4 仿真结果

4.2 各个参数对博弈结果影响分析结论仿真实验验证

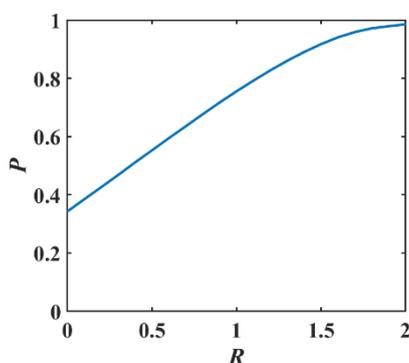
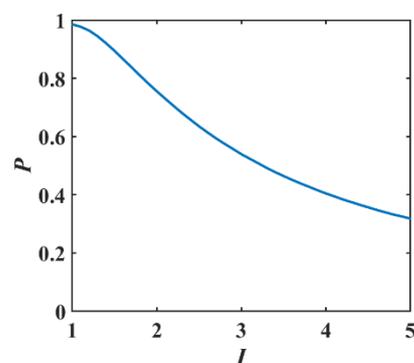
为分析博弈双方趋向共同合作稳态的概率，在相位图中均匀选取 11 行 11 列博弈初始状态作为采样点，依据公式 (7)，(8) 不断更新各点位置。统计最终演化至 [合作创新，合作创新] 稳态的采样点个数占总采样点百分比 P 。以此 P 值作为系统趋向共同合作的标尺，可分析系统各个参数发生改变时，对博弈稳态的影响。

(1) 结论 1 验证

本次仿真中，企业投资 T 为 5，项目总收益 M 为 10，企业 A 收益比 λ 为 0.5。企业与高校或科研院所合作投资成本 I 为 2，收益 R 在 0 至 2 间等间隔取值（由 $I - R > 0$ 知 R 最大为 2）。企业 A 和企业 B 的创业技术储备量 α_A 、 α_B 均为 2.5，技术共享度 γ_A 、 γ_B 均为 1，采取合作策略的风险系数 χ_A 、 χ_B 均为 0.5。 P 值随 R 变化趋势仿真结果如图 9 所示，当企业与高校或科研院所合作创新的收益增加时，企业选择合作创新模式的概率增加；反之，当企业与高校或科研院所合作创新的收益减小时，企业选择自主创新模式的概率增加，与结论一致。

(2) 结论 2 验证

本次仿真中，各参数与 (1) 大致相同，仅固定 R 为 1， I 在 1 至 5 间等间隔取值（因 $I - R > 0$ 知 I 最小为 1，且企业与科研院所合作成本一般会低于企业投资 T ）。 P 值随 I 变化趋势仿真结果如图 10 所示，即当企业与高校或科研院所合作时的投入增加时，企业会选择自主创新的模式。

图9 R 变化对演化结果的影响图10 I 变化对演化结果的影响

(3) 结论 3 验证

本次仿真中，各参数与（1）大致相同，仅固定 R 为1， T 在2.5至10间等间隔取值（由不等式组（1）得 T 最小为2.5，且企业投资 T 低于项目总收益 M ）。 P 值随 T 变化趋势仿真结果如图11所示，当企业对于创新项目的投资增加时，企业会选择合作创新的模式，当企业对于创新项目的投资减小时，企业会选择自主创新的模式。

（4）结论4验证

本次仿真中，各参数与（1）大致相同，仅固定 R 为1， λ 在0.25至0.75间等间隔取值（由不等式组（1）得 λ 最小为0.25，最大为0.75）。 P 值随 λ 变化趋势仿真结果如图12所示，当收益比 $\lambda = \frac{1}{2}$ 时，博弈双方选择合作创新的概率增加；当收益比 $\lambda \in (0, \frac{1}{2})$ 时，随着 λ 的减小，博弈双方选择自主创新的概率增加；当收益比 $\lambda \in (\frac{1}{2}, 1)$ 时，随着 λ 的增加，博弈双方选择自主创新的概率增加。

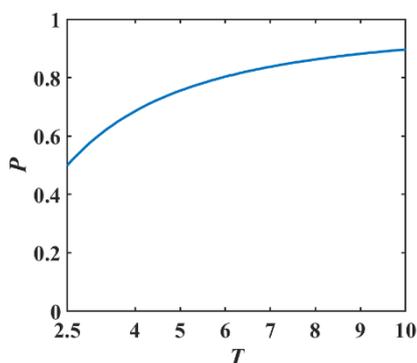


图11 T 变化对演化结果的影响

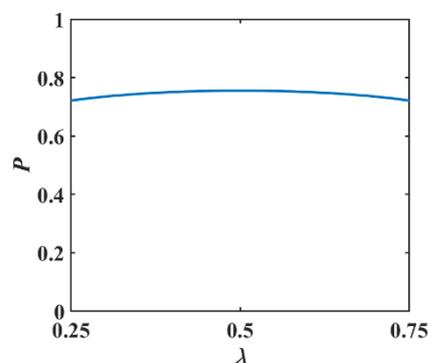


图12 λ 变化对演化结果的影响

（5）结论5验证

本次仿真中，本次仿真中，各参数与（1）大致相同，仅固定 R 为1， χ_A 在0至1间等间隔取值（由不等式组（1）得 λ 最大为1）。 P 值随 χ_A 变化趋势仿真结果如图13所示。同理，固定 χ_A ，令 χ_B 在0至1间等间隔取值。 P 值随 χ_B 变化趋势仿真结果如图14所示。综上，即企业选择合作的风险增加时，博弈双方选择[自主创新，自主创新]模式的概率增大。

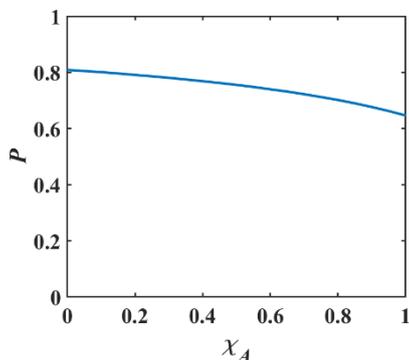


图13 χ_A 变化对演化结果的影响

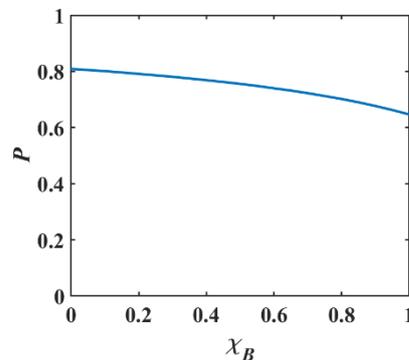


图14 χ_B 变化对演化结果的影响

5 结论与启示

基于创新合作伙伴间技术差异的视角,考虑企业间合作风险、创新投入与收益,构建科技型创业企业创新模式选择的演化博弈模型。通过对模型的解析和数值仿真,能够得出的如下结论:

(1) 在合作伙伴间存在较小技术差异时,科技型创业企业重点关注的是合作风险,因此更加倾向于避免选择企业作为合作创新伙伴,而尽量选择高校和科研院所开展合作创新。当科技型创业企业选择与高校或科研院所进行合作创新时,如果企业预期难以获得满意的收益,则企业为保护自身利益而放弃合作,选择自主创新模式。

(2) 在合作伙伴间存在较大技术差异时,科技型创业企业更加倾向于首先考虑合作创新模式,选择过程中更加侧重考虑合作创新的收益比率以及投资成本。在合作创新模式选择决策中:

当合作双方预期的收益比 $\lambda = \frac{1}{2}$ 时,博弈双方选择合作创新的概率增加;当预期收益比 $\lambda \in (0, \frac{1}{2})$ 时,随着 λ 的减小,博弈双方选择自主创新的概率增加;当预期收益比 $\lambda \in (\frac{1}{2}, 1)$ 时,随着 λ 的增加,博弈双方选择自主创新的概率增加。

当企业投资成本小于其所获的收益时,企业选择与高校或科研院所进行合作创新可以获取更多的收益,此时企业考虑与科研院所进行合作;当企业投资成本大于其所获的收益时,企业与高校或科研院所进行合作创新的收益小于其支付成本,企业无法获取相应的利润。尽管企业进行自主创新模式存在一定的风险,但在企业看来这种风险远小于因合作带来的风险,因此企业为保护自身利益,放弃与其他组织的合作而选择自主创新模式。

基于以上的结论,可得到如下启示:

(1) 在合作伙伴间技术背景差异较小的情境下,科技型创业企业在创新合作伙伴选择中,要首先考虑企业间的合作风险因素。因此,要设置更为完善的合作契约,避免企业间合作时所产生的技术剽窃、抄袭而使企业造成严重的损失。如果科技型创业企业有技术合作需求而选择与高校或科研院所合作时,可以通过制定与科研院间的相关合作的契约,确保合作能够以提高合作高效、有序、无风险的开展。

(2) 在合作伙伴间技术背景差异较大的情境下,科技型创业企业的合作创新要重点考虑企业间的投资分配系数,在确保合作顺利进行的情况下实现双赢。同时,要结合企业的实际情况制定合理的收益分配比例,以保证企业间的合作能够顺利开展。

(3) 科技型创业企业的技术储备是企业之间合作的基础。当科技型创业企业技术差异较小时,技术储备雄厚的企业为规避合作风险,既有可能倾向于选择自主创新模式,也有可能选择技术封锁。为避免企业的技术封锁行为,政府管理部门应采取有力措施提高科技型创业企业进行技术创新的积极性。

参考文献

- [1] 胡望斌,张玉利,杨俊. 同质性还是异质性:创业导向对技术创业团队与新企业绩效关系的调节作用研究[J]. 管理世界, 2014, (6): 92-109.
- [2] 郭韬,王广益,吴叶,丁小洲. 企业家背景特征对科技型创业企业绩效的影响——一个有中介的调节模型[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(14): 65-72.
- [3] 吕东,云乐鑫,范雅楠. 科技型创业企业商业模式创新与适应性成长研究[J]. 2015, 36(11): 132-144.
- [4] Colombo S., Grilli L, Rossi-Lamastra C. Network externalities, incumbent's competitive advantage and the degree of openness of software start-ups[J]. Computational Economics,

- 2013, 44(2):175-200.
- [5] Chesbrough, H. Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology [M]. Boston: Harvard Business School Press, 2003.
- [6] Negassi S, Hung T Y. The nature of market competition and innovation: Does competition improve innovation output? [J]. Economics of Innovation and New Technology, 2014, 23(1):63-91.
- [7] 刘莹, 廖貅武, 李新明. 开源对软件厂商创新模式选择和 R&D 投入的影响[J]. 科研管理, 2018, 39(07):9-16.
- [8] 付明卫, 叶静怡, 孟保希, 雷震. 国产化率保护对自主创新的影响——来自中国风电制造业的证据[J]. 经济研究, 2015, 50(02):118-131.
- [9] Lin, C., Lin, P., Song, F., M., Li C.. Managerial incentives, CEO Characteristics and Corporate Innovation in China's Private Sector. Journal of Comparative Economics, 2011, 39(2):176-190.
- [10] 盛光华, 张志远. 补贴方式对创新模式选择影响的演化博弈研究[J]. 管理科学学报, 2015, 18(09):34-45
- [11] 张延锋. 战略联盟中合作风险与信任、控制间关系的实证研究[J]. 研究与发展管理, 2006(05):29-35.
- [12] Hull C E, Covin J G. Learning Capability, Technological Parity, and Innovation Mode Use[J]. Journal of Product Innovation Management, 2010, 27(1):97-114.
- [13] 陈勇星, 屠文娟, 杨晶照. 基于技术能力的企业技术创新模式选择及其演进研究[J]. 科技进步与对策, 2012, 29(14):83-89.
- [14] 苏先娜, 谢富纪. 企业技术创新合作策略选择的演化博弈研究[J]. 研究与发展管理, 2016, 28(1):132-140.
- [15] Andrea Capotorti, Eva Barbanera. Credit scoring analysis using a fuzzy probabilistic rough set model[J]. Computational Statistics and Data Analysis, 2012, (56):981-994.
- [16] Alice Lam. Organizational Complexity and Innovation: Developing and Testing Multiple Contingency Models[J]. Management Science, 2004, 42(5):693-716.
- [17] 刘和东, 潘博筠. 合作开发过程中的风险治理机制研究[J]. 财会通讯, 2017(05):116-120.
- [18] 林向红, 王龙伟, 陈浩然. 企业家导向、外部知识获取与自主创新关系研究——基于两种技术差异情景的比较分析[J]. 科学学与科学技术管理, 2008(10):64-67+133.
- [19] 李垣, 陈浩然, 赵文红. 组织间学习、控制方式与自主创新关系研究——基于两种技术差异情景的比较分析[J]. 科学学研究, 2008(01):199-204.
- [20] Esteve Almirall, Open Versus Closed Innovation: A Model of Discovery and Divergence[J]. Academy of Management Review, 2010, 35(1):27-47.
- [21] 张春辉, 陈继祥. 创新模式选择演化博弈分析——吸收能力的视角[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(12):1657-1660+1664.
- [22] 于斌斌. 演化经济学理论体系的建构与发展: 一个文献综述[J]. 经济评论, 2013(5):139-146.
- [23] Friedman, D. On economic applications of evolutionary game theory[J]. Journal of Evolutionary Economics, 1998, 8(1):15-43.
- [24] 于斌斌, 余雷. 基于演化博弈的集群企业创新模式选择研究[J]. 科研管理, 2015, 36(4):30-38.
- [25] 殷辉, 陈劲, 谢芳. 开放式创新下产学合作的演化博弈分析[J]. 情报杂志, 2012, 31(9):185-190.

Research on the Innovation Model Choice in Evolutionary Game for Science and Technology Entrepreneurial Firms ——The perspective of technological differences between innovation partners

Guo Tao¹², Ding Xiaozhou¹

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

2. Heilongjiang Regional Innovation Driven Development Research Center, Harbin 150001, China;

Abstract: Taking science and technology start-ups as the research object, this paper divides the innovation models of science and technology start-ups into innovation models with cooperation or without cooperation among enterprises. By using evolutionary game theory, Under the condition of different technological differences, the innovation partners are constructed, we construct evolutionary game models under different conditions. The mechanism of its evolutionary path, stable equilibrium strategy and its influence on parameters are analyzed. The risk of technological coincidence degree between enterprises is considered, and the numerical simulation of the evolution of each parameter variable is carried out. The results show that: the cooperation income of science and technology start-ups, innovation cooperation with scientific research institutions, innovation input income and income ratio all have an impact on the choice of innovation modes of the two sides of the game, and the cooperation risk coefficient between enterprises also affects the choice of cooperation strategy the key factor.

Keywords: Innovation Model; Cooperative Innovation; Independent Innovation; Evolutionary Game.

作者简介（可选）：

郭韬（1972—），男，黑龙江牡丹江人，哈尔滨工程大学经济管理学院教授，博士，博士生导师，黑龙江创新驱动发展研究中心执行副主任。研究方向：科技管理与创新管理。