

基于多主体博弈的区域军民科技协同创新生态系统演化研究

郭 韬 罗成飞 张洪宇

【摘 要】区域军民科技协同创新是推动军民深度融合发展的必然选择,亦是践行创新驱动发展战略的现实需求。本研究基于创新生态系统视角,剖析了区域军民科技协同创新生态系统的特征和演化机理,构建了以军工企业、民口企业和地方政府为关键创新主体的演化博弈模型,并以黑龙江省为例开展了数值仿真。研究表明:(1)合理的成本分担情况下,即使地方政府不直接介入协同创新,两者仍会选择继续合作开展科技协同创新。(2)公平的利益分配有利于促进军民企业协作,利益分配极端失衡的情况下,政府倾向于直接介入协同创新以维持系统稳定。(3)地方政府是否进行财政补贴以及补贴力度强弱不会对军民企业协同创新演化方向产生根本性影响,但适当的财政补贴有利于促进系统正向演化。本研究基于创新生态视角进一步丰富了军民融合创新理论,为地方政府深化军民协同体制机制改革、推动军民融合深度发展提供了参考借鉴。

【关键词】军民融合;军民科技协同创新;区域创新生态系统;演化博弈

【作者简介】郭韬(1972-),男(汉),黑龙江牡丹江人,哈尔滨工程大学经济管理学院教授,博士生导师,哈尔滨工程大学黑龙江区域创新驱动发展研究中心首席专家,研究方向:科技管理与创新管理、数字经济与商业模式、军民融合管理;罗成飞(通讯作者)(1995-),男(汉),河南南乐人,哈尔滨工程大学经济管理学院博士研究生,研究方向:科技管理与创新管理;张洪宇(1998-),男(土家),贵州思南人,哈尔滨工程大学经济管理学院(黑龙江 哈尔滨 150000),贵阳航发精密铸造有限公司,助理工程师,研究方向:军民融合管理(贵州 贵阳 550000)。

【原文出处】《科研管理》(京),2024.4.83~92

【基金项目】国家社会科学基金重点项目:“数字经济背景下技术创业企业商业模式创新驱动机制与实现路径研究”(20AGL009,2020.09-2023.06);黑龙江省自然科学基金“区域军民科技协同创新生态系统演化机制及对策研究:以黑龙江省为例”(LH2019G004);中央高校基本科研业务费项目:“数字经济时代中国企业商业模式创新研究”(3072022WK0901)。

0 引言

区域军民科技协同创新是在区域层面贯彻军民融合发展战略与创新驱动发展战略的关键点与突破口,也是提升国家创新体系整体效能与驱动区域创新发展的重要举措^[1]。然而,当前区域军民科技协同创新仍存在创新主体及其利益诉求多元化^[2]、成本分担与利益分配机制不健全、政府主导与市场机制双重作用下创新要素与环境之间的协同演化关系不明晰等问题,传统创新管理范式已难

以满足区域军民科技协同创新发展的现实需要^[3]。面向军民融合深度发展与区域协同创新的需要,引入创新生态视角破解区域军民科技协同创新障碍已迫在眉睫。

相较于以往创新系统理论,创新生态系统理论以更强的生物学隐喻开展各创新主体之间作用机制的动态演化分析^[4],为解决上述问题提供了更为契合的分析框架。因此,将创新生态系统理论引入区域军民科技协同创新研究,推动区域军民科技协

同创新研究范式由常规的“创新系统”向“创新‘生态’系统”过渡和演化,有助于更为深刻地揭示军民科技协同创新主体、要素与环境之间的复杂交互关系^[5]。

当前,军民科技协同创新的已有研究主要从军民科技协同创新体系建设、体制机制改革与企业军民科技协同创新研究等方面展开。在协同创新体系建设与体制机制改革方面,既有研究指出技术和制度的变革驱动国防科技创新向开放式创新模式转变,军民科技协同创新体系结构趋向于网络化^[6],以政府、军工企业、民用企业与科研院所为主的军民科技协同创新体系是介于“市场制”与“科层制”之间的多元异质性主体互利共生的网络合作组织^[7],通过利益驱动、竞争合作、影响扩散为主的自组织机制和政府主导的他组织机制共同驱动协同创新网络趋向动态平衡状态^[8]。在企业军民科技协同创新层面,已有研究利用案例研究法与实证研究方法论证了协同创新网络嵌入能够有效提升军民融合企业创新绩效^[9-10]。此外,有部分学者从区域层面对我国区域军民融合发展水平与军民协同创新绩效进行了研究,研究指出当前我国军民融合发展水平与协同创新效率仍相对较低^[11-12],构建合理高效的军民融合创新体系仍是促进军民融合深度发展的关键所在。上述研究有力的丰富与深化了军民融合创新理论,然而,区域层面的军民科技协同创新研究仍相对不足。尤其是区域军民科技协同创新生态系统的研究刚刚开始,仅有的少数研究仅仅涉及系统的内涵特征、构成要素、系统结构等问题^[2-3],且多采用理论分析与质性研究方法,而关于区域军民科技协同创新生态系统动态演化的研究远远不足。

鉴于此,本文在深入剖析区域军民科技协同创新生态系统的内涵、特征与动态演化机理的基础上,构建了区域军民科技协同创新演化博弈模型,并选取黑龙江省为典型样例进行了仿真分析。

1 区域军民科技协同创新生态系统演化的理论分析

1.1 区域军民科技协同创新生态系统的内涵与特征

借鉴已有研究^[13-15],区域军民科技协同创新生

态系统可视为区域内各创新主体基于国防建设和自身发展需求,为实现军民科技创新的持续涌现,整合区域优势资源而形成的相互作用、共生竞合、动态演化的复杂网络系统,其构成要素包含区域内的地方政府、军民企业、学研机构、中介机构等军民科技协同创新主体、创新资源与创新环境^[16]。除具有系统性、共生性、多样性、动态性、自组织性等^[5,13]创新生态系统的共性特征外,该系统还具有以下几方面独有特征:

1.1.1 有限开放性

一方面,区域军民科技协同创新生态系统需与外界生态持续交换信息、物质、能量,通过集聚、培育、融合等方式提高系统内部创新物种的多样性,增强系统创新生态效应,才能满足系统内异质性创新主体的成长需求,进而促进系统的整体演化^[5,17]。但另一方面,国防和军队建设的特殊性决定,区域军民科技协同创新生态系统内的主体必须具备特定资质,系统内资源、技术、信息、成果等关键要素的流动和转化也无法完全开放共享。因此,区域军民科技协同创新生态系统边界并非零门槛或低门槛准入的高度开放,而是“半准半禁”的有限开放。

1.1.2 协同目标的多元化

区域军民科技协同创新生态系统是在强军和富国的双重需求牵引下构建、演化而来,系统目标与一般创新生态系统相比呈现出明显的多元化。其中,军方机构期望充分发挥民间创新资源与创新效率优势以满足其装备发展需求,满足国防和军队建设需要;军民企业期望通过先进军民两用技术双向转移转化开辟市场,提升企业自身创新能力和效益;地方政府则期望实现区域资源配置优化、产业结构升级和区域创新绩效提升^[1]。因此,除经济目标外,区域军民科技协同创新生态系统还具有更为多元化的重要目标。

1.1.3 国家主导与市场调节并存

一般的创新生态系统中,市场机制发挥主导作用;而区域军民科技协同创新生态系统具有统筹国防建设与经济发展的复合属性,在充分发挥市场机制作用的同时,更要坚持党的领导和强化国家主导。一方面,军民科技协同创新的方向和内容应由

国家主导,保证区域军民科技协同创新生态系统演化的正确方向;另一方面,也要进一步发挥市场机制对系统运行的自发调节作用,实现有序竞争和资源的有效配置,进而推动军民科技协同创新产业链的优化升级和区域创新驱动发展。

1.2 区域军民科技协同创新生态系统的演化机理

区域军民科技协同创新生态系统的形成与演化,是一个逐渐打破时空约束、从低水平创新到高层次创新、从低效构建阶段到高级成熟阶段的过程^[18]。在此过程中,创新物种的多样性与创新要素的异质性增强,不同生态位和生态势的创新主体通过资源供需匹配、迭代交互的方式联结形成创新生态网络^[19],系统内部种群更为丰富、创新生态环境更为适宜,创新生态机制逐渐完善,系统的创新生态效应不断增强,系统创新范式从线性范式、体系范式向生态范式演化。

区域军民科技协同创新生态系统演化的动力既来自创新种群内部,也来自创新种群和外部创新环境之间的相互作用和反馈循环。前者包括系统内主体的创新突破、创新种群内的主体更迭等。系统内各创新主体在创新活动中主动追求价值最大化和技术突破,系统则在协同创新关系的反复“破坏”与“重建”中实现螺旋式升级;同一创新种群内的自由竞争则导致了创新主体的新旧更迭与优胜劣汰,这种可替代的弱依赖关系强化了系统的自组织性^[5],为系统带来新的创新优势和活力

的同时推动着系统结构和知识体系的优化。后者则包括科技、经济、政策等创新环境的变革。当创新环境出现科技革命、经济模式转变等重大改变时,区域内市场状况、资源配置、技术需求、社会文化等都将发生相应变化,进而导致系统被动演化。此外,国家出台的特定政策也是系统演化的重要动力。

类似于自然生态系统,区域军民科技协同创新生态系统中的创新主体通过物种的遗传、变异、选择以及区域创新环境的优胜劣汰机制实现新旧更迭,系统内各创新种群并非单纯的合作或竞争关系,而是保持竞合的共生关系。即,在内外驱动力的作用下,创新种群内部、种群之间会进行反复博弈。种群内的博弈有益于该种群创新主体的吐故纳新、技术的突破创新以及创新能力的增强,种群之间的博弈则通过不同创新种群之间的连接、匹配、价值的共同创造与合理分配影响着系统的演化方向。

综上,可构建区域军民科技协同创新生态系统演化的理论模型,如图1所示。

2 区域军民科技协同创新生态系统的演化博弈模型分析

2.1 问题描述与基本假设

区域军民科技协同创新是系统内各创新主体依据协同创新成效及自身状态进行模仿与学习,不断调整决策的动态博弈过程。在诸多创新主体中,军工企业和民口企业在创新链中承担着军民技术创

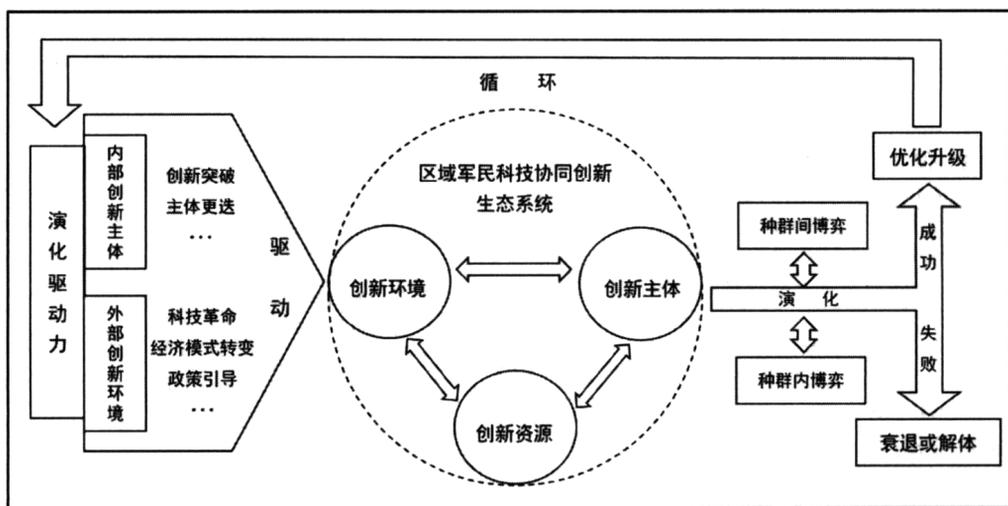


图1 区域军民科技协同创新生态系统演化的理论模型

新、成果转化与产业化的重要功能;地方政府则通过政策法规、财政补贴等宏观调控、引导协同创新,是系统关键的辅助主体。上述三者的决策选择直接影响到系统整体的结构变化与演化方向。据此,选取军工企业(军企)、民口企业(民企)和地方政府(政府)为博弈主体,构建三方演化博弈模型。借鉴已有研究^[20-21],提出如下假设:

假设1:博弈过程中信息不对称、资源禀赋差异等原因使创新主体难以掌握所有信息,因此,参与博弈的三方均为有限理性。设军企和民企在博弈时的策略选择集均为{继续合作,中途退出},选择“继续合作”策略的概率分别为 x, y ,选择“中途退出”策略的概率分别为 $1-x, 1-y$;政府在博弈过程的策略选择包括采取财政补贴、合作监管等具体措施直接介入军民科技协同创新,或政府仅在协同创新中进行方向引导与创新环境建设,不直接介入军民科技协同创新,协同创新过程中的资源配置优化主要依靠市场机制完成,将其策略选择集记为{介入,不介入},选择“介入”和“不介入”策略的概率分别为 z 和 $1-z$ 。 $x, y, z \in [0, 1]$ 。

假设2:设不论军企和民企是否选择继续协同创新,双方在其正常经营下,均能取得分别为 R_1, R_2 的基础利益;当双方选择继续合作时,因协同效应而产生的额外收益为 R ,收益分配系数分别为 $\alpha, 1-\alpha$ 。假设军、民企的独自经营成本不予考虑,双方进行协作时的共担成本为 C ,分担系数分别为 $\beta, 1-\beta$ 。 $\alpha, \beta \in [0, 1]$ 。

假设3:假设当其中一方选择中途退出时,先退出的一方具备相对主动性且存在技术吸收,可获得溢出效益,军企记为 K_1 ,民企记为 K_2 ;选择继续合作的一方处于被动,合作中断会使其产生额外损失 C' ;因退出一方违背了协作约定,需向另一方支付违约金 B ,且 $B > C'$;双方均退出则额外损失和违约金均不考虑。

假设4:设军民协同创新带来的区域创新效率提升、经济增长等社会总效益为 E ;军民双方不再继续协作或政府不作为时,社会总效益为 E' ,将社会总效益视为政府的收益,满足 $E > E'$ 。当政府选择介入策略时,除辅助性政策外,政府还会对继续合作一方给予财政补贴,包括资金补贴 rG 以及仅对民

企的税额补贴 rT , r 为财政补贴力度;同时为抑制背叛行为,对中途退出者处以一定罚金 P ,政府不介入时补贴和罚金都不存在。

2.2 模型构建

在上述假设条件下,构建系统内三方博弈的支付矩阵,如表1~表4所示。

表1 政府介入下三方博弈支付矩阵
(民企选择继续合作)

军企	民企(继续合作)		
	军企	民企	政府
继续合作	$R_1 + \alpha R + rG - \beta C$	$R_2 + (1 - \alpha) R + rG + rT - (1 - \beta) C$	$E - 2rG - rT$
中途退出	$R_1 + K_1 - B - P$	$R_2 + B + rG + rT - C'$	$E' + P - rG - rT$

表2 政府介入下三方博弈支付矩阵
(民企选择中途退出)

军企	民企(中途退出)		
	军企	民企	政府
继续合作	$R_1 + B + rG - C'$	$R_2 + K_2 - B - P$	$E' + P - rG$
中途退出	$R_1 - P$	$R_2 - P$	$E' + 2P$

表3 政府不介入下三方博弈支付矩阵
(民企选择继续合作)

军企	民企(继续合作)		
	军企	民企	政府
继续合作	$R_1 + \alpha R - \beta C$	$R_2 + (1 - \alpha) R - (1 - \beta) C$	E
中途退出	$R_1 + K_1 - B$	$R_2 + B - C'$	E'

表4 政府不介入下三方博弈支付矩阵
(民企选择中途退出)

军企	民企(中途退出)		
	军企	民企	政府
继续合作	$R_1 + B - C'$	$R_2 + K_2 - B$	E'
中途退出	R_1	R_2	E'

根据上述各支付矩阵,建立复制动态方程。对军企而言,选择继续合作、中途退出的期望收益以及平均收益分别为:

$$E_1^{(1)} = z[y(R_1 + \alpha R + rG - \beta C) + (1 - y)(R_1 + B + rG - C')] + (1 - z)[y(R_1 + \alpha R - \beta C) + (1 - y)(R_1 + B - C')] \quad (1)$$

$$E_1^{(2)} = z[y(R_1 + K_1 - B - P) + (1 - y)(R_1 - P)] + (1 - z)[y(R_1 + K_1 - B) + (1 - y)R_1] \quad (2)$$

$$\overline{E}_1 = xE_1^{(1)} + (1 - x)E_1^{(2)} \quad (3)$$

由此可得出, 军企选择继续合作的复制动态方程为:

$$F(x) = x(E_1^{(1)} - \overline{E}_1) = x(1 - x)(E_1^{(1)} - E_1^{(2)}) = x(1 - x)[y(\alpha R + C' - \beta C - K_1) + z(rG + P) + B - C'] \quad (4)$$

同理, 民企选择继续合作和中途退出的期望收益、平均收益以及选择继续合作的复制动态方程分别为:

$$E_2^{(1)} = z\{x[R_2 + (1 - \alpha)R + rG + rT - (1 - \beta)C] + (1 - x)(R_2 + B + rG + rT - C')\} + (1 - z)\{x[R_2 + (1 - \alpha)R - (1 - \beta)C] + (1 - x)(R_2 + B - C')\} \quad (5)$$

$$E_2^{(2)} = z[x(R_2 + K_2 - B - P) + (1 - x)(R_2 - P)] + (1 - z)[x(R_2 + K_2 - B) + (1 - x)R_2] \quad (6)$$

$$\overline{E}_2 = yE_2^{(1)} + (1 - y)E_2^{(2)} \quad (7)$$

$$F(y) = y(E_2^{(1)} - \overline{E}_2) = y(1 - y)(E_2^{(1)} - E_2^{(2)}) = y(1 - y)\{x[(1 - \alpha)R + C' - (1 - \beta)C - K_2] + z(rG + rT + P) + B - C'\} \quad (8)$$

政府选择介入和不介入的期望收益、平均收益以及选择介入的复制动态方程分别为:

$$E_3^{(1)} = x[y(E - 2rG - rT) + (1 - y)(E' + P - rG)] + (1 - x)[y(E' + P - rG - rT) + (1 - y)(E' + 2P)] \quad (9)$$

$$E_3^{(2)} = x[yE + (1 - y)E'] + (1 - x)[yE' + (1 - y)E'] \quad (10)$$

$$\overline{E}_3 = zE_3^{(1)} + (1 - z)E_3^{(2)} \quad (11)$$

$$F(z) = z(E_3^{(1)} - \overline{E}_3) = z(1 - z)(E_3^{(1)} - E_3^{(2)}) = z(1 - z)[-x(P + rG) - y(P + rG + rT) + 2P] \quad (12)$$

2.3 模型稳定性分析

联立式(4)、(8)、(12)建立如下复制动态方程组:

$$\begin{cases} F(x) = x(1 - x)[y(\alpha R + C' - \beta C - K_1) + z(rG + P) + B - C'] = 0 \\ F(y) = y(1 - y)\{x[(1 - \alpha)R + C' - (1 - \beta)C - K_2] + z(rG + rT + P) + B - C'\} = 0 \\ F(z) = z(1 - z)[-x(P + rG) - y(P + rG + rT) + 2P] = 0 \end{cases} \quad (13)$$

通过式(13)对 $x, y, z(x, y, z \in [0, 1])$ 进行求解, 可得到 9 个均衡点, 分别为 $S_0(x^*, y^*, z^*), S_1(0, 0, 0), S_2(1, 0, 0), S_3(1, 1, 0), S_4(0, 1, 0), S_5(1, 0, 1), S_6(1, 1, 1), S_7(0, 0, 1), S_8(0, 1, 1)$, 其中 x^*, y^*, z^* 满足下式(14):

$$\begin{cases} y(\alpha R + C' - \beta C - K_1) + z(rG + P) + B - C' = 0 \\ x[(1 - \alpha)R + C' - (1 - \beta)C - K_2] + z(rG + rT + P) + B - C' = 0 \\ -x(P + rG) - y(P + rG + rT) + 2P = 0 \end{cases} \quad (14)$$

根据稳定均衡解的性质可知, 当均衡点所对应的雅可比矩阵特征值均为负值时, 该均衡点为复制动态方程系统的演化稳定点(ESS), 由式(13)可得该系统的雅可比矩阵^①为(15):

$$J = \begin{bmatrix} \frac{dx/dt}{dx} & \frac{dx/dt}{dy} & \frac{dx/dt}{dz} \\ \frac{dy/dt}{dx} & \frac{dy/dt}{dy} & \frac{dy/dt}{dz} \\ \frac{dz/dt}{dx} & \frac{dz/dt}{dy} & \frac{dz/dt}{dz} \end{bmatrix} \quad (15)$$

代入各均衡点可得所对应的雅可比矩阵的特征值分别如表 5 所示, 由于均衡点 $S_0(x^*, y^*, z^*)$ 所对应的特征值过于复杂, 在此不展开讨论。

根据上述假设以及表 5 可知, 各参数的不同取值会使各均衡点的稳定性出现波动, 演化博弈模型的演化路径也随之发生相应改变。因此, 通过不同的条件限制从以下 8 种情形讨论系统稳定性。

情形 1: 当 $\alpha R - \beta C > K_1 - B, (1 - \alpha)R - (1 - \beta)C > K_2 - B, P > rG + rT$ 时。由表 6 可知, 此时, 仅 $S_3(1, 1, 0)$ 所对应的雅可比矩阵特征值均小于 0, 为演化稳定点, 对应的策略组合为 {继续合作, 继续合作, 不介入}。在此情形下, 政府虽未直接介入军、民企业协同创新, 但由于军民协作带来的可观利益和过高的违约成本, 军民协作得以延续, 区域军民科技协同创新生态系统得以维持发展。

情形 2: 当 $\alpha R - \beta C > K_1 - B, (1 - \alpha)R - (1 - \beta)C > K_2 - B, P < rG$ 时。此时, 演化稳定点为 $S_3(1, 1, 0)$, 与情形 1 相似, 军、民企业均在利益驱动下倾向于选择继续合作, 随着系统内部创新主体之间协同创新关系的匹配、联结与强化, 驱动系统逐渐向更高等

表 5 各平衡点所对应雅可比矩阵的特征值

均衡点	特征值 λ_1	特征值 λ_2	特征值 λ_3
$S_1(0,0,0)$	$B-C'$	$B-C'$	$2P$
$S_2(1,0,0)$	$C'-B$	$(1-\alpha)R-(1-\beta)C-K_2+B$	$P-rG$
$S_3(1,1,0)$	$-\alpha R+\beta C+K_1-B$	$-(1-\alpha)R+(1-\beta)C+K_2-B$	$-2rG-rT$
$S_4(0,1,0)$	$\alpha R-\beta C-K_1+B$	$C'-B$	$P-rG-rT$
$S_5(1,0,1)$	$-rG-P+B+C'$	$(1-\alpha)R+rG+rT-(1-\beta)C-K_2+P+B$	$rG-P$
$S_6(1,1,1)$	$-\alpha R-rG+\beta C+K_1-P-B$	$-(1-\alpha)R-rG-rT+(1-\beta)C+K_2-P-B$	$2rG+rT$
$S_7(0,0,1)$	$rG+P+B-C'$	$rG+rT+P+B-C'$	$-2P$
$S_8(0,1,1)$	$\alpha R+rG-\beta C-K_1+P+B$	$-rG-rT-P+B+C'$	$rG+rT-P$

表 6 各均衡点对应雅可比矩阵特征值的符号判断

均衡点	情形 1	情形 2	情形 3	情形 4	情形 5	情形 6	情形 7	情形 8
	$\lambda_1\lambda_2\lambda_3$							
$S_1(0,0,0)$	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
$S_2(1,0,0)$	--+	--+	--+	---	--+	--+	---	---
$S_3(1,1,0)$	---	---	--+	--+	---	--+	--+	--+
$S_4(0,1,0)$	--+	--+	--+	--+	---	---	--+	---
$S_5(1,0,1)$	--+	--+	---	---	--+	--+	---	--+
$S_6(1,1,1)$	---	---	--+	--+	--+	--+	+++	+++
$S_7(0,0,1)$	--+	--+	--+	--+	--+	--+	--+	--+
$S_8(0,1,1)$	--+	--+	--+	--+	---	--+	---	--+

级演化发展。

情形 3: 当 $\alpha R-\beta C>K_1-B, (1-\alpha)R+rG+rT-(1-\beta)C<K_2-B-P, P>rG+rT$ 时。此时, $S_5(1,0,1)$ 为演化稳定点, 在军民融合战略和利益驱动下, 军企选择继续合作, 政府也倾向于采取财政措施介入军民协作, 但民企因协作收益较低且财政补贴力度不大, 选择中途退出。因作为军民科技协同创新核心主体的民企选择退出, 系统物种多样性减弱、创新资源的数量与异质性降低, 系统演化趋向于衰退。

情形 4: 当 $\alpha R-\beta C>K_1-B, (1-\alpha)R+rG+rT-(1-\beta)C<K_2-B-P, P<rG$ 时。此时, $S_2(1,0,0)$ 为演化稳定点, 政府因高额补贴却得不到相应的社会收益

选择不介入策略, 民企也因无法获得期望收益而中途退出, 系统因民企的退出呈现衰退的趋势。

情形 5: 当 $\alpha R+rG-\beta C<K_1-B-P, (1-\alpha)R-(1-\beta)C>K_2-B, P>rG+rT$ 时。此时, 演化稳定点为 $S_8(0,1,1)$, 军企因参与协同创新的效益较低, 选择中途退出, 政府则基于客观的社会期望收益选择介入策略, 民企在利益驱动下选择继续合作。但因作为军民科技协同创新的需求者和主导者的军企的退出, 系统结构、功能与反馈机制趋于混乱无序, 系统快速衰退且面临解体危机。

情形 6: 当 $\alpha R+rG-\beta C<K_1-B-P, (1-\alpha)R-(1-\beta)C>K_2-B, P<rG$ 时。此时, $S_4(0,1,0)$ 为演化稳定

点,军企和政府因得不到期望的收益,分别选择中途退出和不介入策略,仅民企为了期望的利益诉求选择继续合作,系统演化趋势与情形5相似。

情形7:当 $\alpha R+rG-\beta C < K_1-B-P$, $(1-\alpha)R+rG+rT-(1-\beta)C < K_2-B-P$, $P > rG+rT$ 时, $S_5(1,0,1)$ 和 $S_8(0,1,1)$ 为此时的演化稳定点,在此情形下,军企和民企均无法通过军民科技协同创新获得可观的收益,虽然政府始终选择介入策略,但军、民企并未同时选择继续合作,系统逐渐衰退。

情形8:当 $\alpha R+rG-\beta C < K_1-B-P$, $(1-\alpha)R+rG+rT-(1-\beta)C < K_2-B-P$, $P < rG$ 时, $S_2(1,0,0)$ 和 $S_4(0,1,0)$ 为此时的演化稳定点,系统演化与情形7相似,但因军、民企的协作状况和创新环境均不理想,系统极不稳定并快速衰退。

3 演化仿真分析

3.1 仿真实例选取

黑龙江省是军工大省,自军民融合上升为国家战略以来较早成立了省级军民融合领导和办事机构,制定和出台了一系列政策,推动成立了黑龙江军民融合产业联盟、专业化的军工科技成果转化服务平台和军民融合公共服务平台,在多个领域实现了一大批科技成果的转化,逐渐形成了独具地方特色的区域军民科技协同创新生态系统。因此,黑龙江省军民科技协同创新具有较好的典型性和代表性,是开展区域军民科技协同创新生态系统演化仿真的理想样例。本文借鉴已有文献^[22-24]与黑龙江省的实际情况对各参数进行初步赋值并通过问卷和专家访谈结果进行参数修正,结合模型分析借助 Python3.6 对区域军民科技协同创新生态系统演化过程进行数值仿真,分析关键参数变动对主体决策选择和系统演化结果的影响。

3.2 成本分担系数对系统演化的影响

由图2a可知,当军企承担绝大部分的协作成本($\beta=0.9$)时,前期军企倾向于继续合作,但后期趋向于选择中途退出;在其他情况下,军企的演化稳定策略向继续合作进行演化,且成本分担系数越小演化速度越快。这表明,相对于民企而言,虽然军企往往具有规模、技术、创新资源与能力等方面的比较优势,且作为军民协作的发起方愿意承担更

多的成本激励民企参与军民科技协同创新,但也无法接受承担绝大部分的成本使民企“坐享其成”。由图2b可知,与军企相似,当民企承担绝大部分协作成本($\beta=0.1$)时,民企作为以经济利益为首要目标的社会主体,前期在高成本低利润下倾向于选择继续合作以期达成未来可能的长期合作,但若一直无法获得期望的收益,便逐渐失去协同创新积极性,倾向于选择中途退出策略;在其他成本分担机制下,民企均趋向于选择继续合作策略。由图2c可知,不管军、民企业间对协作成本如何分担,政府均表现为开始略倾向于选择介入策略,但随着时间的推移会放弃介入策略转向不介入策略。综合仿真结果可得,除军、民企业其中一方承担绝大部分协作成本外,其他成本分担情况均能使军、民企业具有较高的合作积极性,对应的演化稳定策略组合为{继续合作,继续合作,不介入},此时随着系统内部大量军、民企业协同创新、迭代交互关系的涌现,系统创新生态效应逐渐显现,推动系统向更高能级演化发展。

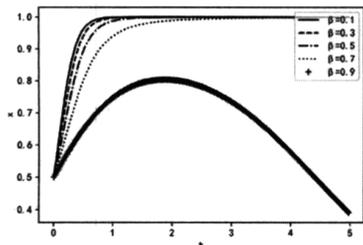


图2a 不同成本分担系数下军工企业行为的演化路径图

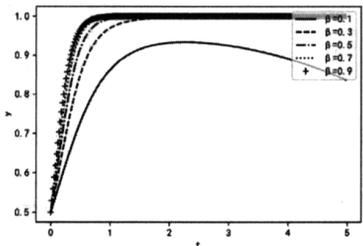


图2b 不同成本分担系数下民口企业行为的演化路径图

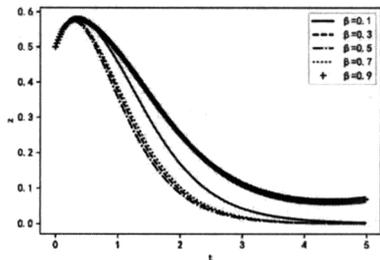


图2c 不同成本分担系数下地方政府行为的演化路径图

3.3 利益分配系数对系统演化的影响

由图 3a 可知,当利益分配系数较低时,军企通过协同创新所获得的额外利益较低,倾向于选择中途退出;当利益分配系数不小于 0.5 时,军企转向继续合作的方向演化,且系数越高演化速度越快。结果表明,军企同样具有追求利益的经济属性,只有当额外利益进行较为公平的分配时才会选择继续开展军民协作。由图 3b 可知,民企所对应的利益分配系数对其策略选择的影响与军工企业相似,当民企能够获得较高的协作利益时倾向于选择继续合作,反之选择中途退出。当民企对应的分配系数为 0.3 时,虽然前中期基于长远发展的战略目标会倾向于继续合作,但长期利益分配不公平会大大打击其积极性,并逐渐向中途退出方向演化。由图 3c 可知,当军企获得绝大部分协作利益或民企获得绝大部分协作利益时,政府最终会选择介入军民协同创新,其他情况下则倾向于选择不介入策略。换言之,当军、民企业具有意愿进行军民

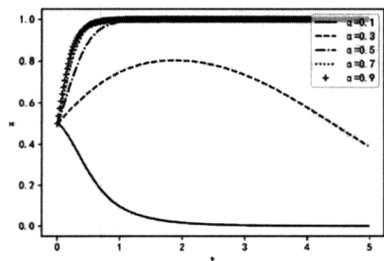


图 3a 不同利益分配系数下军工企业行为的演化路径图

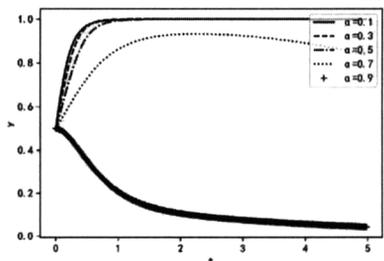


图 3b 不同利益分配系数下民口企业行为的演化路径图

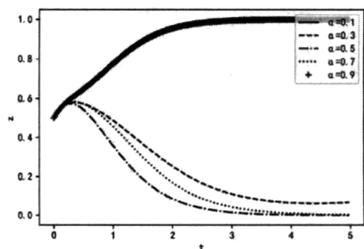


图 3c 不同利益分配系数下地方政府行为的演化路径图

协同创新且利益分配较不均衡时,考虑到军民协作可能带来的社会效益,政府倾向于选择介入策略进行适当激励,进而促进军、民双方协同创新关系的联结与发展。综合仿真结果可得,当军、民企业协作利益的分配更趋向于均衡时,军、民企选择继续合作的概率越大,整体的协同创新水平越高,此时,所对应的演化稳定策略组合为{继续合作,继续合作,不介入},虽然政府最终转向不介入策略,但军、民企业仍倾向于选择继续开展协同创新活动,进而推动系统的正向演化。

3.4 财政补贴力度对系统演化的影响

由图 4a、4b 可知,政府财政补贴力度对军、民企双方策略选择的演化方向均无影响。由图 4a 可知,不管政府是否进行补贴、补贴力度大小如何,军企均倾向于选择继续合作。其原因在于,军企对政府财政补贴的依赖较低,且借助民企创新资源与效率优势满足自身的国防科技创新需求、技术转移转化需求已成为其发展的必然选择。由图 4b 可知,民企对于财政补贴力度的敏感性要略大于军企,财政补贴对民企选择继续合作有着正向的促进作用,补贴力度越大其演化速度则越快。这是因为大部分民企资金与规模远小于军企,面对不确定的协作收益更需要财政补贴来降低其风险支撑其发展。由图 4c 可知,当政府不提供实际的财政补贴时,系

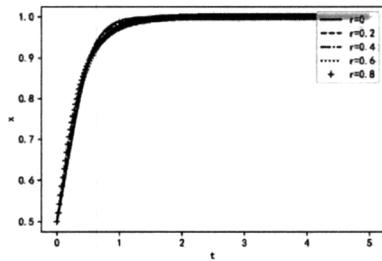


图 4a 不同财政补贴下军工企业行为的演化路径图

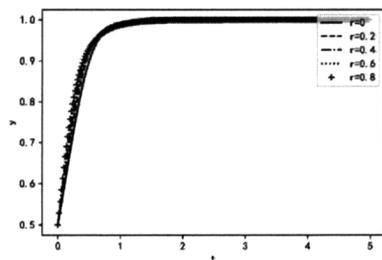


图 4b 不同财政补贴下民口企业行为的演化路径图

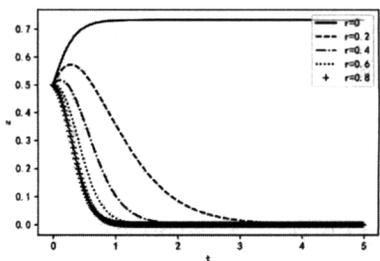


图 4c 不同财政补贴下地方政府行为的演化路径图

统最终的演化稳定策略组合为 { 继续合作, 继续合作, 介入 }。此时, 政府虽并未提供直接的资金补贴, 但恰当的政策法规建设及其支持态度仍可以为军民科技协同创新提供良好的创新生态环境, 利于军、民企业协同创新关系的联结与强化, 推动系统健康发展。当政府选择提供财政补贴时, 政府选择介入策略的概率呈现先增强后减弱的趋势, 最终倾向于选择不介入, 且财政补贴力度越大, 政府倾向于不介入策略的演化收敛速度越快。原因在于, 在军民协作前期, 适当力度的财政补贴能够表明政府政策风向的同时, 激励民企积极参与军民科技协同创新, 促进军民双方协同创新关系的联结与强化, 但长期、高力度的财政补贴会导致政府管理成本的增加, 因此随着系统内部自组织机制、交互反馈机制的成熟与稳定, 政府逐渐倾向于采取不介入策略。

4 主要研究结论与政策建议

4.1 研究结论

本文聚焦于区域层面的军民科技协同创新, 基于创新生态系统理论深入剖析了区域军民科技协同创新生态系统的内涵、特征与演化机理, 选择军工企业、民口企业和地方政府为关键主体构建了三方演化博弈模型, 探讨了不同情形下区域军民科技协同创新生态系统的演化方向, 并以黑龙江省为例开展了仿真分析。研究表明:

(1) 合理的成本分担情况下, 即使地方政府不直接介入军民科技协同创新, 军、民企仍会选择继续合作开展协同创新, 系统亦可向生态系统的高级阶段持续演化。合理的成本分担范围内, 军、民企业各自所承担的协作成本越低, 其向继续合作的演化速度则越快; 成本分担系数的大小, 对地方政府的策略演化方向无显著影响, 随着系统的演化发

展, 地方政府最终均会选择直接介入军民协同创新。

(2) 公平的协作利益分配有利于军民协作, 使系统得以实现正向演化。军、民企对利益分配系数的敏感性分析结果表明: 合理的利益分配能促进军、民企业选择继续合作的稳定策略, 与之相对应的利益分配系数越高, 其向继续合作演化的速度便越快; 利益分配失衡的情况下, 获得利益较少的一方倾向于选择中途退出策略, 系统演化趋向于解体, 在协作利益分配极端失衡的情况下, 政府趋向于采取直接介入策略维持系统稳定。

(3) 地方政府是否进行财政补贴以及补贴力度强弱如何均不会对军、民企的协同策略演化方向产生根本性影响。民口企业对财政补贴的敏感性强于军工企业, 适当的财政补贴有利于推动系统的正向演化。演化初期, 政府倾向于采取直接介入策略推动系统协同创新关系的形成与发展; 随着区域军民科技协同创新生态系统的演化, 地方政府逐渐倾向于选择不介入策略, 且政府倾向于不介入策略的演化收敛速度随着补贴力度的增强而加快。

本研究一定程度上弥补了已有研究对于区域层面军民科技协同创新研究不足的缺陷; 同时也可作为区域内军民科技协同创新主体科学选择协同创新策略, 促进军民融合深度发展提供借鉴。

4.2 政策启示

本研究提出如下政策启示。

(1) 政府应积极完善相关政策法规, 坚持国家主导作用的同时, 把握好体制机制改革与系统自组织演化的平衡。在系统发展初期, 政府应通过对民企等民参军主体进行适当的财政补贴政策倾斜, 助力军民持续协作与共生演化。同时应建立恰当的监管预警机制, 在市场机制失灵时, 及时采取措施, 调控、维持系统的稳定发展。

(2) 军、民企业应建立合理的成本分担与利益分配机制, 在坚持国家主导的同时, 进一步发挥市场机制在军民科技协同创新资源配置中的作用, 有效保障协作公平性与创新主体参与协同的积极性, 满足参与协同创新各方的差异性目标诉求, 促进系

统内部自发性协同创新活动的涌现。

(3)政府应统筹各方资源优势,搭建军民科技协同创新综合服务平台,促进区域内军民协同双方创新资源集聚与共享,降低信息不对称性,消除国防科技创新体系与民用科技创新体系之间的信息壁垒与技术标准壁垒,进而推动军民协同创新关系的联结与强化,充分发挥系统的生态化效应。

本文的主要局限在于:限于篇幅仅仅反映了军工企业、民口企业和地方政府之间的博弈关系,尚未充分讨论高校、科研机构、中介机构和金融机构等在区域军民科技协同创新生态系统中的作用,未来将对此开展持续研究。此外,军民科技协同创新收益与成本是诸多因素共同作用下的结果,后续研究将进一步考察市场需求、资源配置和技术壁垒等因素对军民科技协同创新效益和区域军民科技协同创新生态系统演化的影响。

注释:

①因篇幅所限,雅可比矩阵元素表达式不再展开汇报,留存备案。

参考文献:

[1]王欣亮,兰宇杰,刘飞.军民融合能否撬动区域创新绩效提升?[J].科学学研究,2020,38(3):555-565.

[2]王强,王庆金.军民融合创新生态系统:内涵、演化与构建策略[J].科学管理研究,2022,40(1):18-23.

[3]王一伊,曾立,刘庆龄.区域军民科技协同创新生态系统研究:以湖南省为例[J].科技进步与对策,2023,40(21):34-44.

[4]李万,常静,王敏杰,等.创新3.0与创新生态系统[J].科学学研究,2014,32(12):1761-1770.

[5]杨博旭,柳卸林,吉晓慧.区域创新生态系统:知识基础与理论框架[J].科技进步与对策,2023,40(13):152-160.

[6]LAZARIC N, MÉRINDOL, VALÉRIE, et al. Changes in the French defence innovation system: New roles and capabilities for the government agency for defence[J]. Industry & Innovation, 2011, 5(18):509-530.

[7]高杰,丁云龙.军民融合产业联盟的新生境构成、组织形态与治理结构走向研究[J].公共管理学报,2019,16(4):119-131,174.

[8]赵泽斌,韩楚翘,王璐琪.国防科技产业联盟协同创新

网络:结构与演化[J].公共管理学报,2019,16(4):156-167,176.

[9]闫佳祺,罗瑾琰,钟竞,等.军民融合企业二元创新的实现模式:一项双案例研究[J].管理评论,2023,35(2):340-352.

[10]彭本红,王雪娇.网络嵌入、架构创新与军民融合协同创新绩效[J].科研管理,2021,42(7):116-125.

[11]陈晓和,周可.中国军民融合区域创新效率及影响因素分析:基于民参军角度的随机前沿面板数据模型[J].上海经济研究,2019(9):69-79.

[12]秦宇远,张雯,闵超.区域协调战略背景下重点区域军民融合发展评估与对策研究[J].现代情报,2022,42(9):103-113.

[13]黄鲁成.区域技术创新生态系统的特征[J].中国科技论坛,2003(1):23-26.

[14] IANSITI M, LEVIEN R. Strategy as ecology [J]. Harvard Business Review, 2004a, 82(3):68-78.

[15]徐辉,许嵩.军民融合深度发展的科技协同创新体系研究[J].科技进步与对策,2015,32(18):104-108.

[16]曹路苹,李峰,滕响林,等.区域军民科技协同创新生态系统的构成及优化对策研究[J].军民两用技术与产品,2020(8):9-15.

[17]解学梅,余佳惠,唐海燕.创新生态系统种群丰富度对创新生态效应影响机理研究[J].科研管理,2022,43(6):9-21.

[18]杨柏,陈银忠,李海燕.数字化转型下创新生态系统演进的驱动机制[J].科研管理,2023,44(5):62-69.

[19]KAPOOR R, AGARWAL S. Sustaining superior performance in business ecosystems: Evidence from application software developers in the IOS and android smartphone ecosystems[J]. Organization Science, 2017, (28):531-551.

[20]吴洁,车晓静,盛永祥,等.基于三方演化博弈的政产学研协同创新机制研究[J].中国管理科学,2019,27(1):162-173.

[21]张芳,蔡建峰.基于政府支持的军民合作技术创新演化博弈研究[J].运筹与管理,2021,30(2):8-15.

[22]方炜,王婵,李正锋.演化博弈视角下军民融合协同创新合作稳定性分析[J].运筹与管理,2019,28(9):15-26.

[23]曹霞,杨笑君,张路蓬.技术融合壁垒视角下我国军民技术融合模式及演化分析[J].管理评论,2021,33(3):96-106.

[24]卢艳秋,廖爱红.基于三方演化博弈的新创科技型产业集群网络嵌入机制研究[J].中国管理科学,2022,30(2):276-286.