基于技术势差视角的军民技术融合演化博弈研究

李婷婷

皖江工学院，安徽 马鞍山 243000

摘　　要： 如何促进军民技术融合是军民深度融合战略背景下军民双方亟需解决的重要问题。从技术势差视角出发，基于演化博弈的基本理论和方法，构建了共生型军民技术融合模式下民企、军企和政府的三方博弈模型。寻找出能使整个系统处于均衡状态的稳定策略，并利用数值仿真分析了模型参数对军民技术融合的影响。结果表明：军民双方技术势差、技术分享意愿、技术转化收益会促进双方技术融合；军民沟通成本会抑制这一行为；技术协同收益分配系数对技术融合行为的正向和负向影响与它的取值范围有关；政府应对积极参与军民融合的企业进行财政补贴。

关 键 词： 军民融合；技术势差；技术融合；演化博弈

Research on Evolutionary Game of Civil-Military Technology Integration Based on the Perspective of Technology Potential Difference

Li Tingting

Wanjiang University of Technology, Ma'anshan, Anhui 243000

Abstract: How to promote military–civilian technology integration is an important issue that needs to be solved urgently by both military and civilian under the background of civil–military deep integration strategy. From the perspective of technological potential difference, based on the basic theory and method of evolutionary game, a tripartite game model of private enterprises, military enterprises and the government under the symbiotic civil–military technology integration mode is constructed. Find out a stable strategy that can keep the whole system in equilibrium, and use numerical simulation to analyze the influence of model parameters on civil–military technology fusion. The results show that: the technical potential difference between the military and the civilians, the willingness to share technology, and the benefits of technology transformation will promote the technological integration of both parties; the cost of civil–military communication will inhibit this behavior; the positive and negative effects of the technology synergy benefit distribution coefficient on the technology integration behavior are related to its value range; the government should provide financial subsidies to enterprises that actively participate in civil–military integration.

Keywords: civil–military integration; technology potential difference; technology integration; evolutionary game

引言

长期以来，军工企业和民用企业处于相对独立的体系，这造成了资源的重复投入和浪费。军民技术融合是指军工企业和民用企业之间通过技术转移、技术合作创新等方式引入新技术并与自身领域结合从而创造新功能的过程[1]，它有助于促进军用技术和民用技术的良性循环，最终形成军民领域的通用技术并推动军民深度融合的发展。军民技术融合形成的重要原因之一是军工企业和民用企业的目标和分工不同，双方形成了各自的技术优势，且在不同领域的技术存量和技术体系方面存在较大差异，从而在二者之间形成了技术势差。技术势差是影响军民技术融合行为的重要因素。因此分析技术势差对军工企业和民用企业技术融合决策选择的影响，揭示军民技术融合主要影响因素及其影响机制，对促进军民技术融合具有重要意义。

目前，国内外的众多学者已对军民技术融合展开了研究。Guttierire 指出政府政策在促进军民信息通信技术融合扮演了重要角色[2]；Kulve 等通过分析与荷兰先进电池研发相关的军民技术合作的演变，提出了一种研发新技术的军民技术融合战略[3]；张姣芳等针对军民融合技术创新的市场制度和产权制度结构提出了一系列建议[4]；张近乐等探讨了从技术、资本、产业链等方面探讨了军民融合实施路径，并指出技术融合有助于产业转型[5]。

课题信息：皖江工学院校级科研项目《基于区块链技术的军民融合经济发展模式研究》课题编号：WG24028。

作者简介：李婷婷（1989.2–），女，回族，安徽省马鞍山市人，硕士，讲师，主要从事研究方向：经济学。

军民技术融合的主客体组织以自身利益最大化为目标进行决策，因此从演化博弈角度出发能更好地了解军工企业和民用企业的决策过程。目前也有一些学者研究了军民技术融合演化问题。赵黎明等引入奖惩机制构建了军民合作创新的演化博弈模型，并研究了促进军民合作创新的奖励金和惩罚金的合理范围[6]；梁工谦等发现了提高技术转化水平、降低技术转化成本和信息沟通成本等有助于军民实现技术转移[7]；韩国元对军企、民企和科技中介的三方动态演化过程进行建模，并发现科技中介有利于提升军民技术融合效率[8]。以上文献使用演化博弈的方法分析了成本、收益和政府奖励与惩罚等因素对军民合作创新或军民技术转移的影响，但是他们都忽略了技术势差在其中起到的作用。

关注于技术势差方向的学者多研究了其对企业技术合作绩效的作用。Tanriverdi 等认为技术势差越小越有利于合作主体间的技术合作和技术转移绩效的提升，并对比进行了实证检验[9]；蔡建峰等通过结构方程模型进行实证分析后发现，技术势差对参军民企的技术转移效果的影响呈倒 U 型关系[10]。

通过文献梳理可以发现，国内外学者对军民技术融合问题有了较为深入的研究，但仍存在一些不足之处。首先，鲜少有文献研究技术势差对军民技术融合行为的影响，而且关于技术势差的影响研究大多从静态的角度出发，忽略了当军民双方技术融合决策随时间变化时，技术势差对于军民技术融合行为影响的动态演化过程。其次，军民技术融合的形式主要包含军工技术转民用技术，民用技术转军工技术以及军民合作开发新技术三种，关于共生型技术融合模式的动态演化研究屈指可数。本文从共生型军民技术融合模式切入，应用演化博弈方法研究技术势差对此种技术融合模式下军民技术融合决策行为动态演化的影响，并结合研究结论为促进军民技术融合行为提供一定的政策和建议。

一、军民技术融合演化博弈模型建立

在军民技术融合的过程中，军工企业和民用企业均是有限理性的，在博弈过程中通过不断试错和调整策略从而实现利益最大化，这使得军民技术融合包含多次的动态博弈过程。鉴于此，采用演化博弈方法对军民技术融合博弈问题进行研究是可行的。在博弈过程中，军工企业和民用企业均可使用技术融合和机会主义两种策略。通过对相关文献进行整理，本文提出以下研究假设：

假设1：军民双方在不进行技术融合时，可以通过自身现有的技术水平获取一定的收益，假设军工企业和民用企业在不参与技术融合的情况下基本收益分别为 R_M 和 R_C。

假设2：军民双方进行技术融合时，可获得的直接技术共享收益与技术势差 ΔT_{MC}（ΔT_{CM}）、技术共享意愿 η_M（η_C）以及技术转化收益系数 γ_M（γ_C）有关。其中 ΔT_{MC} 表示军工企业技术水平高于民用企业技术水平的部分，而 ΔT_{MC} 表示民用企业技术水平高于军工企业技术水平的部分，η_M 和 η_C 分别表示军企和民企的技术共享意愿系数，代表了军企和民企愿意解密并提供给对方的技术水平比例。γ_M 和 γ_C 分别表示军企和民企的技术转化收益系数，即本企业将从其他企业获得的技术进行吸收并转化为收益的能力，γ_M 和 γ_C 的大小与企业技术吸收能力和将吸收的技术转化为收益的能力有关。在军民双方进行技术融合的过程中，由于双方技术具有协同效应，军民双方能够在现有的技术水平上创造出新的技术，从而获得协同效益。ω 表示技术协同收益，α 表示技术协同收益分配系数，其大小取决于双方的贡献，谈判能力等因素。

假设3：军民双方在进行技术融合的过程中需要付出一定的技术融合沟通成本，主要包括员工技术交流、技术文档汇总等时间和物质成本，C_M 和 C_C 分别表示军方和民方在技术融合过程中付出的沟通成本。同时由于军民双方在技术标准、技术用途等方面存在差异，因此当双方进行技术融合时，需要将对方共享的技术进行二次转化以应用于各自的领域，军民双方需要支付技术转化成本，其中 δ_M 和 δ_C 分别表示军方和民方的技术转化成本系数。

假设4：军民双方在进行技术融合的过程中存在一定的风险，即其他企业可能将从某企业获得的技术挪作它用从而给某企业带来损失。ξ_M 和 ξ_C 分别表示军企和民企的技术融合风险系数，在风险系数一定的情形下，当共享的技术越多，所承担的风险成本越大。

假设5：政府机构为了鼓励军民双方积极实现技术融合，促进军民融合战略的实现，会对积极参与技术融合的企业进行财政补贴，θ_M 和 θ_C 分别表示政府对军方和民方的激励补贴系数。

假设6：当军民双方一方积极进行技术共享，另一方选择机会主义时，积极进行技术融合的一方会对不共享的一方收取技术转移支付费用。z_M 和 z_C 分别表示军方和民方的技术融合转移支付费用系数。

基于上述假设，本文探讨军企和民企在4种策略组合下的收益，最终构建军民双方收益支付矩阵如表所示。

表1-1 军民博弈双方支付矩阵

		民用企业	
		技术融合(y)	机会主义($1-y$)
军工企业	技术融合(x)	$R_M+\alpha\omega+(\gamma_M-\delta_M)\eta_C\Delta T_{CM}+(\theta_M-\xi_M)\eta_M\Delta T_{MC}-C_M$，$R_C+(1-\alpha)\omega+(\gamma_C-\delta_C)\eta_M\Delta T_{MC}+(\theta_C-\xi_C)\eta_C\Delta T_{CM}-C_C$	$R_M+(\theta_M-\xi_M)\eta_M\Delta T_{MC}+z_C\eta_M\Delta T_{MC}-C_M$，$R_C+(\gamma_C-\delta_C)\eta_M\Delta T_{MC}-z_C\eta_M\Delta T_{MC}$
	机会主义($1-x$)	$R_M+(\gamma_M-\delta_M)\eta_C\Delta T_{CM}-z_M\eta_C\Delta T_{CM}$，$R_C+(\theta_C-\xi_C)\eta_C\Delta T_{CM}+z_M\eta_C\Delta T_{CM}-C_C$	R_M，R_C

二、军民技术融合演化博弈模型求解

假设军企和民企在合作中选择“技术融合”策略的比例分别是 x 和 y，选择“机会主义”策略的比例分别是1-x，$1-y$。因此根据上文博弈过程分析可知军企在“技术融合”和“机会主义”策略下的期望收益分别为 E_{11} 和 E_{12}：

$$E_{11}=y\begin{pmatrix}R_M+\alpha\omega+\gamma_M\eta_C\Delta T_{CM}+\theta_M\eta_M\Delta T_{MC}\\-\delta_M\eta_C\Delta T_{CM}-\xi_M\eta_M\Delta T_{MC}-C_M\end{pmatrix}+(1-y)\begin{pmatrix}R_M-\xi_M\eta_M\Delta T_{MC}+\theta_M\eta_M\Delta T_{MC}\\+z_C\eta_M\Delta T_{MC}-C_M\end{pmatrix}$$

$$E_{12}=y\left(R_M+\gamma_M\eta_C\Delta T_{CM}-\delta_M\eta_C\Delta T_{CM}-z_M\eta_C\Delta T_{CM}\right)+(1-y)$$

此时，军企的期望收益为

$$E_1=xE_{11}+(1-x)E_{12}$$

同理可知，民企在“技术融合”和“机会主义”策略下的期望收益分别为 E_{21} 和 E_{22}：

$$E_{21}=x\begin{pmatrix}R_C+(1-\alpha)\omega+\gamma_C\eta_M\Delta T_{MC}+\theta_C\eta_C\Delta T_{CM}\\-\delta_C\eta_M\Delta T_{MC}-\xi_C\eta_C\Delta T_{CM}-C_C\end{pmatrix}+(1-x)\begin{pmatrix}R_C-\xi_C\eta_C\Delta T_{CM}+\theta_C\eta_C\Delta T_{CM}\\+z_M\eta_C\Delta T_{CM}-C_C\end{pmatrix}$$

$$E_{22}=x\left(R_C+\gamma_C\eta_M\Delta T_{MC}-\delta_C\eta_M\Delta T_{MC}-z_C\eta_M\Delta T_{MC}\right)+(1-x)R_C$$

则民企的期望收益为

$$E_2=yE_{21}+(1-y)E_{22}$$

因此根据演化博弈模型的复制动态方程计算公式，可以得到军方群体和民方群体的复制动态方程分别为 $f(x,y)$ 和 $g(x,y)$：

$$f(x,y)=dx/dt=x(E_{11}-E_1)=x(1-x)\begin{bmatrix}\eta_M\Delta T_{MC}(z_C+\theta_M-\xi_M)-C_M\\-y\left(-z_M\eta_C\Delta T_{CM}-\alpha\omega+z_C\eta_M\Delta T_{MC}\right)\end{bmatrix}$$

$$g(x,y)=dy/dt=y(E_{21}-E_2)=y(1-y)\begin{Bmatrix}\eta_C\Delta T_{CM}(\theta_C+z_M-\xi_C)-C_C\\-x\left[z_M\eta_C\Delta T_{CM}-(1-\alpha)\omega-z_C\eta_M\Delta T_{MC}\right]\end{Bmatrix}$$

当 $f(x,y)=dx/dt=0$ 且 $g(x,y)=dy/dt=0$ 时，可以认为博弈双方经过长时间试错后达到了博弈纳什均衡点。因此可推出该模型的纳什均衡点分别为 $(0,0),(0,1),(1,0),(1,1),(x^*,y^*)$。其中：

$$x^*=\frac{\eta_C\Delta T_{CM}(\theta_C+z_M-\xi_C)-C_C}{z_M\eta_C\Delta T_{CM}-z_C\eta_M\Delta T_{MC}-(1-\alpha)\omega}$$

$$y^*=\frac{\eta_M\Delta T_{MC}(z_C+\theta_M-\xi_M)-C_M}{z_C\eta_M\Delta T_{MC}-z_M\eta_C\Delta T_{CM}-\alpha\omega}$$

接下来，使用雅可比矩阵判断和分析均衡点的稳定性，该博弈系统的雅可比矩阵为

$$J=\begin{bmatrix}\partial f(x,y)/\partial x & \partial f(x,y)/\partial y\\ \partial g(x,y)/\partial x & \partial g(x,y)/\partial y\end{bmatrix}$$

$$=\begin{bmatrix}(2x-1)\begin{bmatrix}-\eta_M(-yz_C-\xi_M+z_C+\theta_M)\Delta T_{MC}\\+y\left(-z_M\eta_C\Delta T_{CM}-\alpha\omega\right)+C_M\end{bmatrix} & x(1-x)\begin{pmatrix}z_M\eta_C\Delta T_{CM}-z_C\eta_M\Delta T_{MC}\\+\alpha\omega\end{pmatrix}\\ y(1-y)\begin{pmatrix}z_C\eta_M\Delta T_{MC}-z_M\eta_C\Delta T_{CM}\\-\alpha\omega+\omega\end{pmatrix} & (2y-1)\begin{Bmatrix}\begin{bmatrix}z_M\eta_C\Delta T_{CM}-(1-\alpha)\omega\\-z_C\eta_M\Delta T_{MC}\end{bmatrix}x\\-\Delta T_{CM}\eta_C(\theta_C+z_M-\xi_C)+C_C\end{Bmatrix}\end{bmatrix}$$

因此可推出雅可比矩阵行列式的值和行列式的迹分别为 $\det J$ 和 trJ：

$$\det J=\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\frac{\partial g(x,y)}{\partial y}-\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\frac{\partial g(x,y)}{\partial x}$$

$$trJ=\partial f(x,y)/\partial x+\partial g(x,y)/\partial y$$

将5个演化博弈均衡点代入 $\det J$ 和 trJ 中，得出个平衡点的局部稳定性分析的情况，总结如表1-2所示。定义四个多项式：

$$a=\eta_M\Delta T_{MC}(\theta_M+z_C-\xi_M)-C_M$$

$$b=\Delta T_{CM}\eta_C(\theta_C+z_M-\xi_C)-C_C$$

$$c=z_M\eta_C\Delta T_{CM}+\alpha\omega-\eta_M\Delta T_{MC}(\xi_M-\theta_M)-C_M$$

$$d=z_C\eta_M\Delta T_{MC}+(1-\alpha)\omega-\eta_C\Delta T_{CM}(\xi_C-\theta_C)-C_C$$

其中 a 表示当军企采取技术融合策略，而民企采取机会主义策略时，军企通过民企技术转移支付费用和政府补贴获得的技术转移收益，减去军企由于技术转移导致的风险成本。$a>0$ 表明当民企采取机会主义策略时，军企采取技术融合策略仍旧是有利可图的。原因是此时军企由于技术转移得到的转移支付费用和政府补贴足够大。b 的含义与 a 的含义类似。c 表示当民企采取技术融合行为时，军企选择技术融合行为获得的协同分配收益、政府补贴收益与风险成本的差值减去军企选择机会主义行为获得的技术协同收益与转移支付费用之间的差值。$c>0$ 表示军企选择技术融合行为可以获得足够多的收益，从而避免军企机会主义行为的发生。d 的含义与 c 类似。

表1-2 各平衡点的局部稳定性分析

演化均衡点	$\det J$	trJ
$(0,0)$	ab	$a+b$
$(0,1)$	$-bc$	$c-b$
$(1,0)$	$-ad$	$d-a$
$(1,1)$	cd	$-c-d$
(x^*,y^*)	$-\frac{-(\eta\Delta T(\alpha-1)\gamma+\eta\beta\Delta T+C_2)(\Delta T\alpha\eta\gamma-\Delta T\delta\eta-C_1)}{(c-a)(d-b)}abcd$	0

由图1-1可知，系统是否收敛于均衡点 $(1,1)$ 与区域 ADCE 的面积 S 有关。S 越大，系统收敛于稳定均衡点的 $(1,1)$ 概率越大，即军民双方达成技术融合的概率越大，具体地，S 的建模公式如下：

$$S=1-\frac{1}{2}\left(\frac{\eta_C\Delta T_{CM}(\theta_C+z_M-\xi_C)}{z_M\eta_C\Delta T_{CM}-z_C\eta_M\Delta T_{MC}-(1-\alpha)\omega}+\frac{\eta_M\Delta T_{MC}(z_C+\theta_M-\xi_M)}{z_C\eta_M\Delta T_{MC}-z_M\eta_C\Delta T_{CM}-\alpha\omega}\right)$$

通过观察式 (18) 可知，军民双方技术转化收益系数和技术转化成本系数均不会对博弈系统的演化稳定均衡状态产生影响，仅会影响军民双方技术融合最终收益，而技术势差、技术共享意愿系数、政府补贴系数、风险系数、协同收益、协同收益分配系数、技术转移支付费用、沟通成本均会影响 S 大小，进一步对博弈系统最终的演化稳定状态产生影响。

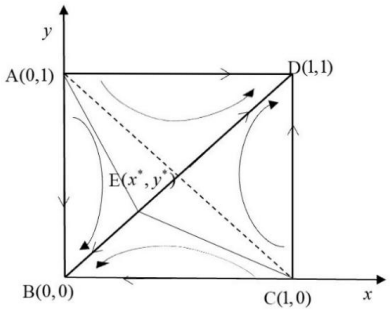

图2-1 军民技术融合双方博弈的动态演化相图

三、总结

本文根据军民技术融合的特点，从技术势差视角出发，建立了共生型军民技术融合模式下的军工企业和民用企业的技术融合演化博弈模型，并通过仿真实验分析了模型中各参数对于军工企业和民用企业合作策略演化的影响，结果发现：军民双方技术势差、技术分享意愿、技术转化收益系数、技术协同收益、政府补贴系数对军民双方技术融合行为具有正向影响，其值越大越容易促成军民技术融合行为；技术转移风险系数，军民沟通成本会负向影响军民技术融合行为；技术协同收益分配系数需保持在一定范围内才会促进军民技术融合行为的实现。因此为了促进军民技

术融合行为，军民双方之间应积极进行沟通，营造良好的共享氛围、增强双方信任度，这样有利于增强双方技术融合意愿，加大军民技术融合力度，形成稳定的合作关系，进一步提高技术融合产生的协同收益。同时应建立风险评估机制，避免由于一方违约而对积极参与技术融合的一方造成损失，也应合理分配技术协同收益，避免由于利润分配不合理而导致军民技术融合合作破裂。另外政府应积极承担起在军民技术融合合作过程中的责任，对积极参与军民融合的企业进行财政补贴。

参考文献

[1]Song C H, Elvers D, Leker J. Anticipation of converging technology areas — A refined approach for the identification of attractive fields of innovation[J].Technological Forecasting and Social Change, 2017.

[2]Guttieri K R. Governance, Innovation, and Information and Communications Technology for Civil-Military Interactions[J].Stability International Journal of Security and Development,2014,3(1).

[3]Kulve H T, Smit W A. Civilian - military co-operation strategies in developing new technologies[J].2003, 32(6):0-970.

[4] 张姣芳，陈晓和 . 军民结合技术创新的制度结构分析 [J]. 南京社会科学 ,2011(05):15-19+61.

[5] 张近乐，尚涛，蔡晨雨 . 国防科技产业军民深度融合模式与路径研究 [J]. 科技进步与对策 ,2017,34(23):133-137.

[6] 赵黎明，孙健慧，张海波 . 军民融合技术协同创新行为分析 [J]. 科技进步与对策 ,2015,32(13):111-117.

[7] 梁工谦，唐松祥，王晗 . 军民技术转移复杂网络演化博弈分析 [J]. 科技管理研究 ,2018,38(20):143-151.

[8] 韩国元，武红玉，孔令凯，邹思玥 . 科技中介参与下军民技术融合行为的演化博弈研究 [J]. 运筹与管理 ,2020,29(11):1-10.

[9]H ü seyin Tanriverdi. Information Technology Relatedness, Knowledge Management Capability, and Performance of Multibusiness Firms[J]. Mis Quarterly, 2005, 29(2):311-334.

[10] 蔡建峰，张芳 . 参军民企技术转移影响因素及内部机理研究 [J]. 科研管理 ,2021,42(02):30-39.