

文章编号:1674-8190(2022)04-065-08

# 航空装备军民协同保障策略选择的影响因素研究

方炜,冯启良

(西北工业大学 管理学院,西安 710129)

**摘要:** 现有航空装备保障研究缺乏对军民协同保障策略选择的影响因素探究。基于有限理性的条件,构建在装备发展部的参与下军地双方基于知识共享的协同保障演化博弈模型,分析在装备发展部的参与下军地双方对航空装备协同保障的策略选择,并在理论模型的基础上进行三方策略选择的数值仿真分析。结果表明:装备发展部参与的初始意愿度、政策制定、资金投入和军民双方在知识共享情境下进行协同保障的成本与收益系数、单方的机会收益以及违约惩罚力度大小对军民协同保障的策略选择具有重要影响。

**关键词:** 协同保障;装备保障;知识共享;演化博弈;航空装备

**中图分类号:** V219; V267

**DOI:** 10.16615/j.cnki.1674-8190.2022.04.07

**文献标识码:** A

**开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



## Research on Influencing Factors of Civil-military Cooperative Support Strategy Selection of Aviation Equipment

FANG Wei, FENG Qiliang

(School of Management, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710129, China)

**Abstract:** The existing research on aviation equipment support lacks the exploration of the influencing factors of military civilian cooperative support strategy selection. Based on the limited rationality, the evolutionary game model of cooperative support between local aviation enterprises (institutions) and military aviation equipment users based on knowledge sharing with the participation of the Equipment Development Department is constructed. With the participation of the Equipment Development Department, the strategy selection of aviation equipment cooperative support between the military and the civilian is analyzed, and the numerical simulation analysis of the tripartite strategy selection is carried out on the basis of the theoretical model. The results show that the initial willingness of the equipment development department, policy-making, capital investment, the cost and benefit coefficient of military and civilian cooperative support in the context of knowledge sharing, the opportunity benefit of one party and the degree of penalty for breach of contract have an important impact on the strategic choice of civil-military cooperative support.

**Key words:** cooperative support; aviation maintenance support; knowledge sharing; evolutionary game; aviation equipment

收稿日期:2021-07-21; 修回日期:2021-11-17

基金项目:国家社会科学基金(18BGL020);陕西软科学研究计划(2021KRM082)

通信作者:方炜, fwx1998@nwpu.edu.cn

引用格式:方炜,冯启良.航空装备军民协同保障策略选择的影响因素研究[J].航空工程进展,2022,13(4):65-72,82.

FANG Wei, FENG Qiliang. Research on influencing factors of civil-military cooperative support strategy selection of aviation equipment[J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2022, 13(4): 65-72, 82. (in Chinese)

## 0 引言

目前,我国航空装备维护保障模式主要施行三级维修体制,在基层级进行装备的基本维护,在中继级和基地级主要完成装备的专项检修、大修、抢修、延寿以及重大改装等任务。由于新时代新航空装备维护保障的技术含量高、质量标准高、经济成本高的特点,传统的三级维修体制难以适应新装备的保障需求<sup>[1]</sup>。因此,应对航空装备的快速发展和军事训练要求,亟需对传统的维修保障模式<sup>[2]</sup>进行深化改革,从而进一步提高保障能力<sup>[3]</sup>,夯实航空装备质量,提升航空装备的完好率和综合使用效益。

我国航空装备进行军民协同保障的发展还处于起步阶段,需要进一步探索军民协同保障模式的发展规律。目前,对装备进行军民协同保障的研究主要集中在顶层设计方面,大多研究分析了军民深度发展中装备协同保障的矛盾<sup>[4]</sup>,并从管理体制、运行机制等多方面提出了相应的对策,确保完善现有的保障体系<sup>[5]</sup>下建立军民信息共享机制<sup>[6]</sup>,完善军民航空装备协同保障的管理信息系统<sup>[7]</sup>,对航空装备维护保障走合同商保障之路<sup>[8]</sup>。现有的研究对航空装备军民协同发展具有一定的参考作用,但大多注重考虑顶层设计而忽视了微观层面的实践发展。军民关系上升为国家战略后,军民知识转移<sup>[9-11]</sup>、知识共享发展取得了一定成绩,但在知识共享的发展背景下对航空装备实施军民协同保障的策略,缺少知识共享的合作动力,缺乏合适的监督方,缺失有效的评价体系,导致部队航空装备军民协同保障这一策略难以继续推进。

航空装备军民协同保障的策略选择包含的活动主体较多,各主体均有不同的利益诉求,最终的合作策略选择需要在长期实践探索中形成。鉴于此,后疫情时代练兵备战力度加大,为了加快建设敏捷高效的航空装备军民协同保障体系,本文借助演化博弈的方法,通过构建中央军委装备发展部(以下简称装备发展部)、地方航空企(事)业单位和部队航空装备使用单位的三方演化博弈模型,分析在装备发展部参与引导下军民协同保障的创新机制,通过数值分析,探究影响军民协同保障策略选择的因素,以期为推动实施军民航空装备协同保障的策略提供理论依据。

## 1 演化博弈模型构建

### 1.1 演化博弈模型的基本假设

假设 1:在军民知识共享环境下航空装备使用单位的策略集为{共享信息资源,不共享信息资源},地方航空企(事)业单位的策略集为{共享信息资源,不共享信息资源},装备发展部的策略集为{参与,不参与}。其中地方航空企(事)业单位包括涉及航空装备的军工企业类、涉及航空装备的研究所以及相关高校;航空装备使用单位指航空部队基层实际航空装备使用方;装备发展部指主要履行全军装备发展规划计划、研发试验鉴定、采购管理、信息系统建设等职能,是全军装备发展的最高单位。尽管航空装备使用方与装备发展部对外统称军方,在实践与调研的基础上发现航空装备保障过程中两者也存在一定的独立性。

假设 2:装备发展部在引导、制定政策和监管的过程中投入的成本记为  $c_1$ ,装备发展部对部队航空装备建设投入的资金支持记为  $d_1$ 。装备发展部参与后会直接影响或带动其他的装备军民协同发展,装备发展部直接收益记为  $b_1$ ;若装备发展部不参与,而航空装备使用单位和地方航空企(事)业单位合作时也会间接带动其他装备发展,但收益较低,记为  $hb_1, 0 \leq h < 1$ 。

假设 3:航空装备使用单位和地方航空企(事)业单位基于信息资源共享的协同保障所付出的总成本记为  $c$ ,地方航空企(事)业单位的成本记为  $\lambda c$ ,航空装备使用单位的成本记为  $(1-\lambda)c$ 。装备发展部参与后,会提出相关政策或者提供很多便利,双方合作会减少一定的成本,记为  $c_2$ ,即总成本为  $c - c_2$ ,地方航空企(事)业单位的成本为  $\lambda(c - c_2)$ ,航空装备使用单位的成本为  $(1-\lambda)(c - c_2), 0 < \lambda < 1$ 。

假设 4:装备发展部不参与前,地方航空企(事)业单位的正常收益为  $b_2$ ,航空装备使用单位的收益为  $b_3$ 。当装备发展部参与知识共享后会给双方带来额外的收益  $b_4$ ,其中地方航空企(事)业单位的额外收益为  $\mu b_4$ ,航空装备使用单位的额外收益为  $(1-\mu)b_4, 0 < \mu < 1$ 。在装备发展部参与下,航空装备使用单位共享信息资源,而地方航空企(事)业单位不共享信息资源时,地方航空企(事)业单位会获得额外的收益  $b_5$ ;在装备发展部参与下,航空装备使用单位不共享信息资源,而地方航

空企(事)业单位共享信息资源时,航空装备使用单位会获得额外的收益  $b_6$ 。

假设 5:三方建立完善的合作机制时,合作过程中当地方航空企(事)业单位违约而终止知识共享,受到惩罚时需要补偿航空装备使用单位,记为  $z_1$ ;同理航空装备使用单位违约而停止知识共享,受到惩罚时也需要为地方航空企(事)业单位提供一定补偿,记为  $z_2$ 。

假设 6:模型中,三方均根据自己意愿进行策略选择。装备发展部愿意参与的概率为  $x$ ,不愿意参与的概率为  $1-x$ ;地方航空企(事)业单位愿意参与共享的概率为  $y$ ,不愿意共享的概率为  $1-y$ ;航空装备使用单位愿意参与共享的概率为  $z$ ,不愿意参与的概率为  $1-z$ 。

### 1.2 演化博弈的模型建立

根据 6 个假设,构造装备发展部、航空装备使用单位和地方航空企(事)业单位的三方演化博弈模型支付矩阵,如表 1 所示。

表 1 三方演化博弈收益矩阵

Table 1 Income matrix of tripartite evolutionary game

策略收益	航空装备使用单位 知识共享( $z$ )收益	航空装备使用单位 信息资源不共享 ( $1-z$ )收益	
航空装备发展部参与 ( $x$ )	地方航空企(事)业单位知识共享( $y$ )	$b_1 - c_1 - d_1$ $b_2 + \mu b_4 - \lambda(c - c_2) + d_1$	$b_1 - c_1$ $b_2 - \lambda(c - c_2) + z_2$ $b_3 - z_2 + b_6$
	地方航空企(事)业单位知识不共享( $1-y$ )	$b_1 - c_1 - d_1$ $b_2 + b_5 - z_1$ $b_3 - (1-\lambda)(c - c_2) + z_1 + d_1$	$b_1 - c_1$ $b_2$ $b_3$
	地方航空企(事)业单位知识共享( $y$ )	$hb_1$ $b_2 + \mu b_4 - \lambda c$ $b_3 + (1-\mu)b_4 - (1-\lambda)c$	$hb_1$ $b_2 - \lambda c + z_2$ $b_3 - z_2 + b_6$
	地方航空企(事)业单位知识不共享( $1-y$ )	$hb_1$ $b_2 - z_1 + b_5$ $b_3 - (1-\lambda)c + z_1$	$hb_1$ $b_2$ $b_3$

根据表 1,装备发展部采取“参与”的收益

$E(x)$ 为

$$E(x) = yz(b_1 - c_1 - d_1) + y(1-z)(b_1 - c_1) + (1-y)z(b_1 - c_1 - d_1) + (1-y)(1-z)(b_1 - c_1) \quad (1)$$

装备发展部采取“不参与”的收益  $E(1-x)$ 为

$$E(1-x) = yzhb_1 + y(1-z)hb_1 + (1-y)(1-z)hb_1 + (1-y)zhb_1 \quad (2)$$

装备发展部的期望收益  $E(x)$ 为

$$E(x) = xE(x) + (1-x)E(1-x) \quad (3)$$

地方航空企(事)业单位采取“知识共享”的收益  $E(y)$ :

$$E(y) = xz[b_2 + \mu b_4 - \lambda(c - c_2)] + x(1-z)[b_2 - \lambda(c - c_2) + z_2] + (1-x)z(b_2 + \mu b_4 - \lambda c) + (1-x)(1-z)(b_2 - \lambda c + z_2) \quad (4)$$

地方航空企(事)业单位采取“信息资源不共享”的收益  $E(1-y)$ :

$$E(1-y) = xz(b_2 - z_1 + b_5) + x(1-z)b_2 + (1-x)z(b_2 - z_1 + b_5) + (1-x)(1-z)b_2 \quad (5)$$

地方航空企(事)业单位的期望收益  $E(y)$ 为

$$E(y) = yE(y) + (1-y)E(1-y) \quad (6)$$

航空装备使用单位采取“知识共享”的收益  $E(z)$ 为

$$E(z) = xy[b_3 + (1-\mu)b_4 - (1-\lambda)(c - c_2)] + x(1-y)[b_3 - (1-\lambda)(c - c_2) + z_1 + d_1] + (1-x)y[b_3 + (1-\mu)b_4 - (1-\lambda)c] + (1-x)(1-y)[b_3 - (1-\lambda)c + z_1] \quad (7)$$

航空装备使用单位采取“信息资源不共享”的收益  $E(1-z)$ 为

$$E(1-z) = xy(b_3 - z_2 + b_6) + x(1-y)b_3 + (1-x)y(b_3 - z_2 + b_6) + (1-x)(1-y)b_3 \quad (8)$$

航空装备使用单位的期望收益  $E(z)$ :

$$E(z) = zE(z) + (1-z)E(1-z) \quad (9)$$

根据上述求得的期望值与演化博弈的复制动态公式,可以获得三方的复制动态方程:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = x(1-x)[(1-h)b_1 - c_1 + zd_1] \\ \frac{dy}{dt} = y(1-y)[x\lambda c_2 - \lambda c + z(\mu b_4 + z_1 - b_5 - z_2) + z_2] \\ \frac{dz}{dt} = z(1-z)\{x[(1-\lambda)c_2 + d_1] + y[(1-\mu)b_4 + z_2 - b_6 - z_1] + z_1 - (1-\lambda)c\} \end{cases} \quad (10)$$

根据复制动态方程,令  $\frac{dx}{dt} = 0, \frac{dy}{dt} = 0, \frac{dz}{dt} = 0$ , 求得 8 个三种群纯策略均衡点, 5 个非纯策略点, 其中纯策略点分别为  $F_1(0, 0, 0)$ ,  $F_2(0, 0, 1)$ ,  $F_3(0, 1, 0)$ ,  $F_4(0, 1, 1)$ ,  $F_5(1, 0, 0)$ ,  $F_6(1, 0, 1)$ ,  $F_7(1, 1, 0)$ ,  $F_8(1, 1, 1)$ 。若演化博弈均衡点  $F$  是渐近稳定状态, 则必须满足该均衡是严格的纳什均

$J =$

$$\begin{bmatrix} (1-2x)[(1-h)b_1 - c_1 - zd_1] & 0 & -x(1-x)d_1 \\ y(1-y)\lambda c_2 & (1-2y)[\lambda x c_2 - \lambda c + z(\mu b_4 + z_1 - b_5 - z_2) + z_2] & y(1-y)(\mu b_4 + z_1 - b_5 - z_2) \\ z(1-z)[(1-\lambda)c_2 + d_1] & z(1-z)[(1-\mu)b_4 + z_2 - b_6 - z_1] & (1-2z)\{x[(1-\lambda)c_2 + d_1] + y[(1-\mu)b_4 + z_2 - b_6 - z_1] + z_1 - (1-\lambda)c\} \end{bmatrix}$$

### 1.3 演化博弈模型均衡点的稳定性分析

根据李亚普洛夫稳定性理论, 矩阵的特征值能够判断系统平衡点的渐进稳定性, 即复制动态系统均衡点满足演化稳定策略 (Evolutionarily Stable Strategy: 简称 ESS) 的充要条件是雅克比矩阵

衡, 而严格纳什均衡是纯策略均衡<sup>[12]</sup>。因此, 为了分析复制动态方程平衡点的渐近稳定性, 只需讨论复制动态方程中 8 个三种群纯策略均衡点。为了判断各个均衡点的稳定性, 根据 D. Friedman<sup>[13]</sup> 提出的方法, 通过雅可比 (Jacobian) 矩阵的局部稳定分析导出。上述模型的雅可比矩阵为复制动态方程的雅克比矩阵  $J$  为

的所有特征值均为负值; 当矩阵有一个特征值  $\lambda > 0$  时, 那么该平衡点是不稳定的; 当矩阵特征值存在一正两负或一负两正时, 那么该平衡点是不稳定的, 即为鞍点<sup>[14]</sup>。将 8 个点分别代入雅克比矩阵, 判断矩阵特征值  $\xi_1, \xi_2$  和  $\xi_3$  的符号, 结果如表 2 所示。

表 2 各均衡点的雅克比矩阵的特征值

Table 2 Eigenvalues of Jacobian matrix at each equilibrium point

均衡点	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$
$F_1(0, 0, 0)$	$(1-h)b_1 - c_1$	$-\lambda c + z_2$	$-(1-\lambda)c + z_1$
$F_2(0, 0, 1)$	$(1-h)b_1 - c_1 - d_1$	$\mu b_4 + z_1 - b_5 - \lambda c$	$-[-(1-\lambda)c + z_1]$
$F_3(0, 1, 0)$	$(1-h)b_1 - c_1$	$-(-\lambda c + z_2)$	$(1-\mu)b_4 + z_2 - b_6 - (1-\lambda)c$
$F_4(0, 1, 1)$	$(1-h)b_1 - c_1 - d_1$	$-(\mu b_4 + z_1 - b_5 - \lambda c)$	$-[(1-\mu)b_4 + z_2 - b_6 - (1-\lambda)c]$
$F_5(1, 0, 0)$	$-[(1-h)b_1 - c_1]$	$-\lambda(c - c_2) + z_2$	$d_1 - (1-\lambda)(c - c_2) + z_1$
$F_6(1, 0, 1)$	$-[(1-h)b_1 - c_1 - d_1]$	$\mu b_4 + z_1 - b_5 - \lambda(c - c_2)$	$-[d_1 - (1-\lambda)(c - c_2) + z_1]$
$F_7(1, 1, 0)$	$-[(1-h)b_1 - c_1]$	$-[z_2 - \lambda(c - c_2)]$	$(1-\mu)b_4 + z_2 - b_6 + d_1 - (1-\lambda)(c - c_2)$
$F_8(1, 1, 1)$	$-[(1-h)b_1 - c_1 - d_1]$	$-[\mu b_4 + z_1 - b_5 - \lambda(c - c_2)]$	$-[(1-\mu)b_4 + z_2 - b_6 + d_1 - (1-\lambda)(c - c_2)]$

假设装备发展部参与地方航空企(事)业单位和航空装备使用单位进行知识共享所带来的净收益大于独立运作的净收益, 即  $(1-h)b_1 - c_1 - d_1 > 0$ ,  $\mu b_4 + z_1 - b_5 - \lambda c > 0$ ,  $(1-\mu)b_4 + z_2 - b_6 - (1-\lambda)c > 0$ 。由于模型中的参数较多且复杂, 需要对部分参数进行分析才能判定雅克比矩

阵特征值的符号。当  $d_1 - (1-\lambda)(c - c_2) + z_1 < 0$ , 且  $-\lambda(c - c_2) + z_2 < 0$  时, 即地方航空企(事)业单位选择独立运作对航空装备使用单位支付的惩罚小于航空装备使用单位在装备发展部参与知识共享时所付出的知识共享成本, 且航空装备使用单位选择独立运作对地方航空企(事)业单位支付

的惩罚小于地方航空企(事)业单位在装备发展部参与知识共享时所支付的成本。此时  $F_5(1,0,0)$ ,  $F_8(1,1,1)$  两个均衡点对应的特征值均为负值,可以判定此时  $F_5(1,0,0)$ ,  $F_8(1,1,1)$  两个均衡点是稳定的。演化策略分别为 {参与,不共享,不共享}, {参与,共享信息资源,共享信息资源}, 各点的稳定性如表3所示。同理,经过分析其他情况也可以判断出均衡点的稳定性,综合来看最终的稳定点为  $F_5(1,0,0)$  和  $F_8(1,1,1)$ 。

表3 各个均衡点的稳定性判别

Table 3 Stability discrimination of each equilibrium point

均衡点	$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	稳定性
$F_1(0,0,0)$	+	-	+或-	不稳定
$F_2(0,0,1)$	+	+	+或-	鞍点
$F_3(0,1,0)$	+	+	+	鞍点
$F_4(0,1,1)$	+	-	-	不稳定
$F_5(1,0,0)$	-	-	-	ESS
$F_6(1,0,1)$	-	+	+	不稳定
$F_7(1,1,0)$	-	+	+	不稳定
$F_8(1,1,1)$	-	-	-	ESS

## 2 演化博弈模型数值仿真分析

装备发展部参与地方航空企(事)业单位和部队航空装备使用单位基于知识共享协同保障时,为了进一步分析各参数对演化结果的影响,通过以下假设数值进行仿真分析。对支付矩阵中的参数初始值给出如下假设,统一单位为百万元。假设装备发展部参与地方企(事)业和部队航空装备使用方进行知识共享协同保障装备时,装备发展部的收益为  $b_1=40$ ,装备发展部制定政策,对双方合作进行监管所付出的成本为  $c_1=5$ ,装备发展部对航空装备建设额外投入资金为  $d_1=2$ ,装备发展部参与时可以为双方合作的成本减少  $c_2=10$ 。若装备发展部不参与,但地方参与方和航空装备使用方进行知识共享协同保障时,装备发展部也会获得  $hb_1$  的收益,初始假定  $h=0.5$ 。当装备发展部参与地方企业和航空装备使用方协同保障时双方共获得的收益为  $b_4=100$ ,且企业的分摊比为  $\mu=0.6$ ,双方付出的总成本为  $c=40$ ,且企业付出的成本分摊比为  $\lambda=0.6$ 。当地方航空企(事)业单位和航空装备使用单位选择单方运作的收益分别

为  $b_5=35$  和  $b_6=30$ 。当双方进行合作,一方中途退出合作时,地方企(事)业单位和航空装备使用方均会受到相应的惩罚,惩罚分别为  $z_1=8$ ,  $z_2=6$ 。假设装备发展部、地方企(事)业单位和航空装备使用方的初始意愿  $x=y=z=0.5$ 。通过初始值的设定,利用MATLAB软件得出三方博弈策略演化图,如图1所示,分别进行50次仿真,最终得到稳定策略点。两个稳定策略点为  $(1,0,0)$  和  $(1,1,1)$ ,演化策略分别是 {参与,不共享信息资源,不共享信息资源}, {参与,共享信息资源,共享信息资源}。

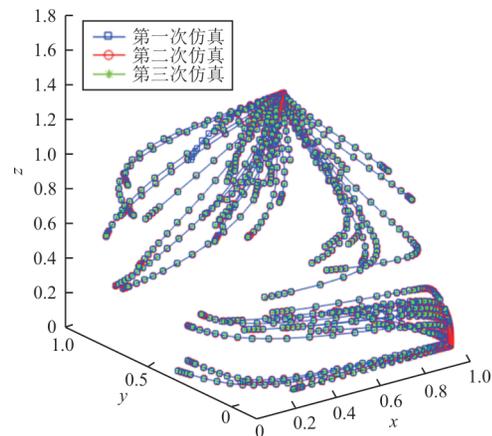


图1 初始状态下三方的演化博弈途径图  
Fig. 1 Evolutionary game path of three parties in initial state

### 2.1 初始意愿对三方策略演化的影响

在其他参数不变的情况下,装备发展部参与军民双方知识共享协同保障时的初始意愿变化对演化策略影响的仿真结果如图2所示,假设装备发展部、地方企业和装备使用方三方的初始意愿相同,即  $x=y=z$ ,可以看出:当地方企(事)业单位和装备使用方的愿意度低于0.15时,  $y, z$  将会收敛于0,最终的演化策略为 {参与,不共享,不共享};当地方企业和装备使用方的愿意度高于0.15时,  $y, z$  将会收敛于1,最终的演化策略为 {参与,共享信息资源,共享信息资源};当三方的初始意愿都处于中上等水平时,三方选择知识共享的协同保障策略的愿意度也在迅速上升,而且随着装备发展部的参与愿意度不断上升,地方航空企(事)业单位和装备使用方协同保障的愿意度上升的更迅速。地方航空企(事)业单位和航空装备使用单位进行知识共享协同保障的愿意度受装备发展部参与度

的影响较大。

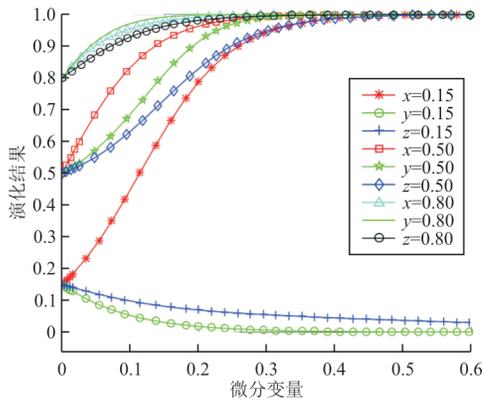


图2 不同的初始意愿下的演化结果

Fig. 2 Evolution results under different initial intentions

装备发展部参与度的变化对演化结果的影响如图3所示。

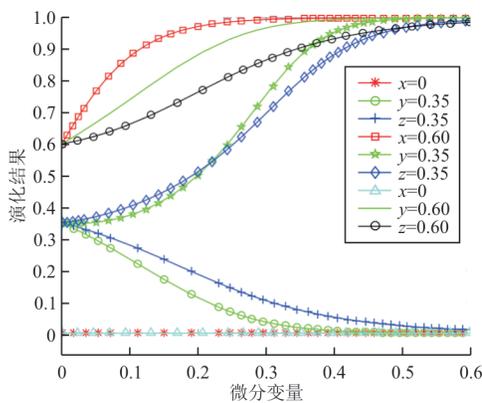


图3 装备发展部参与度的变化对演化结果的影响

Fig. 3 Impact of changes in the participation of the equipment development department on the evolution results

从图3可以看出:装备发展部在演化初期扮演着重要的角色。在演化初期,当装备发展部的参与度为0,航空装备使用单位和地方航空单位的参与度较低时,演化结束时 $y, z$ 将会收敛于0,最终的演化策略为{参与,不共享,不共享}。随着三方不断地选择、改进和策略调整,最终发现当地方企业和航空装备使用单位的愿意度提高时,装备发展部的参与度不会影响军民双方选择知识共享协同保障的策略,最终的稳定策略为{不参与,共享,共享}。

## 2.2 装备发展部的资金投入和政策支持对演化结果的影响

在初期,航空装备使用单位和地方航空企

(事)业单位的参与度较低,为了推动双方采取协同保障航空装备的策略,装备发展部的资金投入对演化结果有着重要的影响,如图4所示。演化初期,军民双方的参与度很低,需要装备发展部的积极引导,随着装备发展部不断提高资金投入来建设航空装备,演化结束时 $y, z$ 将会收敛于1,最终三方的演化策略为{参与,共享,共享}。

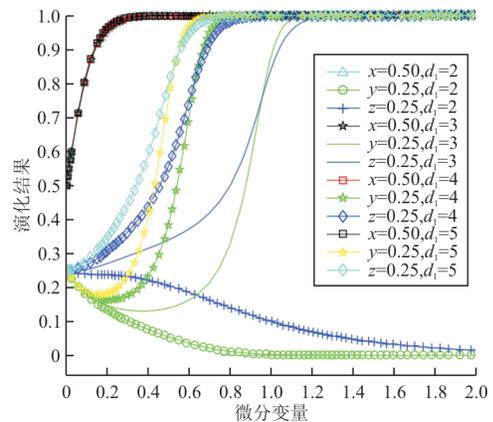


图4 在初期装备发展部的资金投入对演化结果的影响

Fig. 4 Impact of capital investment of equipment development department on evolution results in the initial stage

在演化初期,为了推动双方的策略选择,装备发展部会制定一系列的合作政策,有利于减少双方的合作成本,装备发展部参与后减少的合作成本对演化结果的影响如图5所示,可以看出:随着装备发展部的参与,政策的支持力度越大,减少的合作成本越多,军民双方越趋于选择协同保障的策略。

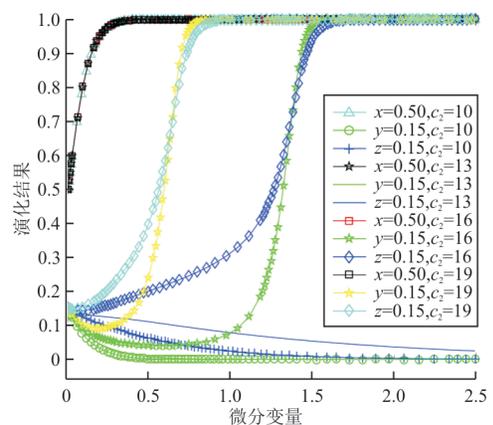


图5 装备发展部参与后减少的合作成本对演化结果的影响

Fig. 5 Impact of reduced cooperation cost after the participation of equipment development department on evolution results

综上所述,装备部在演化初期发挥的作用意义重大,应加大对航空装备建设的资金投入,充分利用第三方的监管身份,制定合理政策进行有效监督和管控。在演化趋于成熟时,军地双方参与积极性到达一定程度后,航空装备军地协同保障在受到航空装备发展部总体规则的控制下,保持原有状态不需要进一步引导与干预亦可以推动军地达成一致进行合作,逐渐打破了军地的信息壁垒,从而降低了保障成本。而应对市场失灵和规则失灵的情况,装备发展部仍需要建立科学、合理的运行机制,采取有效的手段进行干预和修正。

### 2.3 惩罚力度对演化结果的影响

在其他参数不变的情况下,地方航空企(事)业单位和航空装备使用方的违约惩罚  $z_1, z_2$  变化对双方策略选择影响的仿真结果如图 6~图 7 所示。

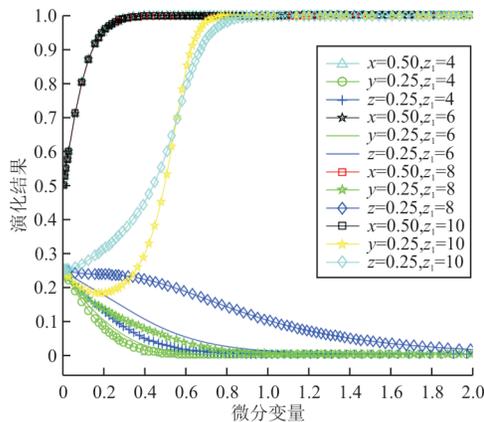


图 6 地方航空单位的惩罚力度对演化结果的影响  
Fig. 6 Impact of punishment intensity of local aviation units on evolution results

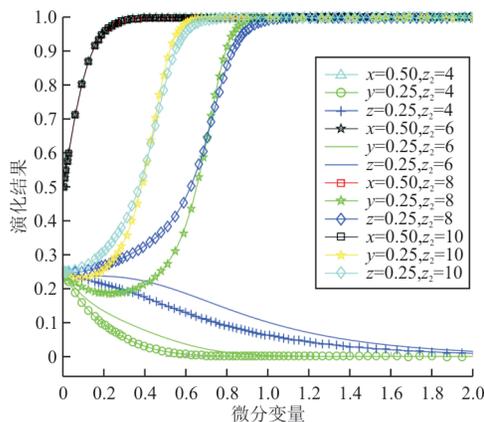


图 7 航空装备使用方的惩罚力度对演化结果的影响  
Fig. 7 Influence of punishment intensity of aviation equipment user on evolution results

从图 6~图 7 可以看出:由于在初期地方参与部队航空装备协同保障的壁垒较高,信息沟通不对称等诸多原因导致军民双方的参与度均较低。在演化初期,为了避免或减少某一方搭乘“顺风车”而获取机会收益的情况,只有不断加大对双方违约的惩罚力度才能使双方按照默认规则选择协同保障策略。也可以看出:地方航空企(事)业单位对惩罚力度的变化较为敏感,表示在合作过程里最容易受到波动,需要采取措施挖掘与控制地方航空企(事)业单位敏感变化的影响因素,来保持军地双方稳定合作。军队航空装备使用单位的敏感度较低的原因主要是现阶段练兵备战力度加大,航空装备协同保障的短期目标在于航空装备的保障质量与保障效益,部队并非看中现实的收益大小,对虚拟惩罚大小没有直观反应。因此,装备发展部应组织多种正式与非正式的沟通渠道,不断加强军地在航空装备知识共享、技术研发、保障策略等诸多方面的合作,逐渐完善信任机制,才能进一步破除信息壁垒,缓解信息不对称的问题。

### 2.4 军地协同保障成本比例系数与收益分配比值对演化结果的影响

地方航空企(事)业单位与部队航空装备使用单位对于军地协同保障成本比例系数  $\xi$  敏感程度的仿真结果如图 8 所示。

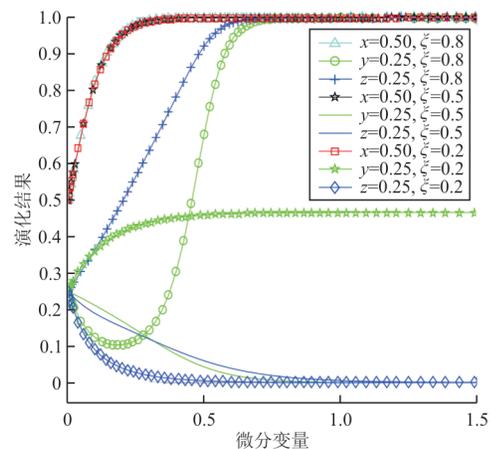


图 8 军地协同保障成本系数对演化结果的影响  
Fig. 8 Influence of military civilian cooperative support cost coefficient on evolution results

从图 8 可以看出:在合作早期尽管装备发展部积极参与,当成本比例系数  $\xi=0.2$  时,由于此时部

队付出较大的成本,部队航空装备使用单位由于迟迟不能决定最终策略,在此情境下地方参与方的参与成本虽小但也不会选择进行协同保障的策略;当成本比例系数 $\xi=0.5$ 时,随着比例系数的提高,成本逐渐趋于均衡,受到参与度较低的影响,军地双方仍然会选择放弃合作;当成本比例系数逐渐提高,部队合作意愿度会大幅提高。地方参与意愿度会受到成本系数提升的影响先降低而后持续上升达到稳定合作,主要原因在于随着前期磨合后,各方意愿度都有一定的提升,第三方装备发展部的参与后进行资金投入和政策支持隐形减少了双方的合作成本。

当三方的参与意愿度均达到一定程度后,军地双方的策略选择还会受到收益分配比的影响。军地协同保障收益系数 $m$ 对演化结果的影响如图9所示。

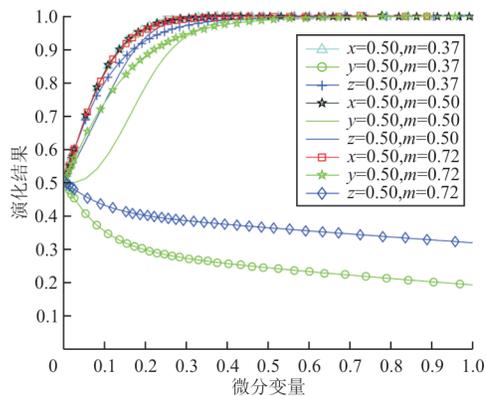


图9 军地协同保障收益系数对演化结果的影响

Fig. 9 Impact of revenue coefficient of military civilian cooperative support on evolution results

从图9可以看出:收益系数的大小不同于成本系数的变化,军地双方都比较看重各自的收益,当收益系数小于0.37时,地方企(事)业单位不能达成合作策略;而当收益系数大于0.72时,此时地方参与会获得较多的收益,部队航空装备使用单位将不会达成一致进行合作,而在这一过程里装备发展部始终都是愿意参与其中,主要是装备发展部统筹全军装备发展,在协同保障过程里还会带动相应武器装备的协同发展。

### 3 结论

(1) 装备发展部在合作初期扮演着重要的角

色,注重政策引导、资金扶持从而提高军地合作意愿度。

(2) 为了避免或减少某一方搭乘“顺风车”而获取机会收益的情况,合作过程中应控制好违约处罚力度。

(3) 地方单位参与意愿度受到成本系数提升的影响先降低而后持续上升从而达到稳定合作状态,军地收益系数应当控制在0.37~0.72的范围里,才有利于各方协同保障的策略选择。

### 参考文献

- [1] 郭之俊,王瑛,孙贇,等. 基于MDP-GERT的航空装备维修保障流程优化研究[J]. 航空工程进展, 2019, 10(6): 787-793.  
GUO Zhijun, WANG Ying, SUN Yun, et al. Research on optimization of maintenance support process of aviation equipment based on MDP-GERT [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2019, 10(6): 787-793. (in Chinese)
- [2] 谢汶殊,贾丽,唐雷,等. 装备军民融合式保障机制的探讨与实践[J]. 导弹与航天运载技术, 2016(6): 45-50.  
XIE Wenshu, JIA Li, TANG Lei, et al. Research and practice on the mode of civil-military inosulation integrated logistics support [J]. Missile and Space Vehicles, 2016(6): 45-50. (in Chinese)
- [3] 王莹,马小骏. 军民融合视角下民用飞机维修体系建设及其在国防装备保障领域的应用[J]. 航空工程进展, 2018, 9(4): 483-488.  
WANG Ying, MA Xiaojun. Commercial aircraft maintenance system construction and its application in defense equipment logistic support domain from civil-military integration point of view [J]. Advances in Aeronautical Science and Engineering, 2018, 9(4): 483-488. (in Chinese)
- [4] 姚俊金,程中华,张雪胭. 推进装备保障军民融合深度发展的几点思考[J]. 装备学院学报, 2015, 26(6): 13-16.  
YAO Junjin, CHENG Zhonghua, ZHANG Xueyan. Thoughts on facilitating deeper development of civil-military integration of equipment support [J]. Journal of Equipment Academy, 2015, 26(6): 13-16. (in Chinese)
- [5] 邵世纲,杨泽莹,崔文星,等. 新形势下武器装备军民融合保障机制探索研究[J]. 军民两用技术与产品, 2018(13): 31-34.  
SHAO Shigang, YANG Zexuan, CUI Wenxing, et al. Exploration and research on civil-military integration support mechanism of weapons and equipment under the new situation [J]. Dual Use Technologies & Products, 2018(13): 31-34. (in Chinese)
- [6] 王楠,种煜. 航空装备基地级维修军民融合发展的思考[J]. 科技与创新, 2020(7): 95-96, 98.

(下转第82页)