

中文引用格式:肖骅,谭满益,林勇,等.军队应急医疗物资生产能力储备激励研究[J].中国安全科学学报,2025,35(7):233-240.
英文引用格式:XIAO Hua, TAN Manyi, LIN Yong, et al. An incentive study on army's emergency medical material production capacity reserve[J]. China Safety Science Journal, 2025, 35(7): 233-240.

军队应急医疗物资生产能力储备激励研究*

肖骅¹副教授,谭满益²教授,林勇¹,唐国锋³副教授,罗国强¹,戴云云²

(1 联勤保障部队工程大学,重庆 401331;2 成都理工大学 管理科学学院,四川 成都 610059;
3 重庆工商大学 管理科学与工程学院,重庆 400067)

中图分类号:X913.1 文献标志码:A DOI: 10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.07.1241

基金项目:国家社会科学基金资助(2023SKJJJA001,21BGL220,19BGL290)。

【摘要】为实现军队快速反应的勤务保障能力,建立一定规模的应急医疗物资储备,针对应急医疗物资生产能力储备过程,军队与承储企业间努力水平信息不对称引发的道德风险问题展开研究,结合军队特点将军事代表中期监督制度引入储备激励机制设计,并构建两阶段激励模型,分析企业努力水平、军代表中期监督行为对激励效果的影响,并与无中期监督行为情形进行对比分析。结果表明:军事中期监督制度对承储企业具有显著激励作用,能有效抑制企业懒惰行为,提升应急物资保障效能,从而为不对称信息条件下军队生产能力储备的激励政策制定提供决策支持。

【关键词】 应急医疗物资; 生产能力储备; 储备激励; 军事中期监督; 委托代理

An incentive study on army's emergency medical material production capacity reserve

XIAO Hua¹, TAN Manyi², LIN Yong¹, TANG Guofeng³, LUO Guoqiang¹, DAI Yunyun²

(1 Engineering University of the PLA Joint Logistics Support Force, Chongqing 401331, China; 2 School of Management Science, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China;
3 College of Management Science and Engineering, Chongqing Gongshang University, Chongqing 400067, China)

Abstract: Emergency medical material reserve of a certain scale is established for the realization of the army's rapid response service guarantee capability. In order to study the moral risk caused by the asymmetry of information on the effort level between the army and the storage enterprises in the process of emergency medical material production capacity reserve, the military representative's mid-term supervision system was introduced into the design of the reserve incentive mechanism in combination with the characteristics of the army, and a two-stage incentive model was constructed to analyze the influence of the enterprise's effort level and the mid-term supervision of the military representative on the incentive effect, and to make a comparison with the situation of no mid-term supervision. The results show that the military medium-term supervision system has a significant incentive effect on the storage enterprises, can effectively inhibit the lazy behavior of the enterprises and enhance the effectiveness of emergency material protection, thus providing decision support for the formulation of incentive policies for the army production capacity

reserve under the condition of asymmetric information.

Keywords: emergency medical supplies; production capacity reserves; reserves incentive; military medium-term supervision; principal-agent theory

0 引言

为应对突发事件,实现快速反应与可持续的勤务保障,军队亟需建立一定规模的应急医疗物资生产能力储备,由于企业产能信息的不对称性,致使道德风险问题逐渐凸显。一旦企业在应急状况下未能按照预期顺利实施应急转产,极有可能导致应急医疗物资陷入“产不出、供不上”的困境,进而使救援行动的能力与效果大打折扣,无法满足应急救援的实际需求。针对生产能力储备中存在的不对称信息难题,当前主要存在 2 条解决路径。①派出军代表深入医疗物资产能储备企业开展中期专项监督工作,全面深入了解承储企业生产能力储备的真实状况,明确责任清单,监督企业备足生产原料,及时检修机器设备,确保在军队有需求时能够随时按需生产供应,如药品、口罩、防护服等应急医疗物资。②基于军队与企业之间的委托代理关系,借助激励手段促使企业积极履行生产能力储备的责任与义务。

近年来,学者们主要针对应急物资储备策略、激励机制设计、军地联合储备激励等方面展开研究。在应急物资储备策略方面,学者们主要围绕储备规模^[1]、轮换策略^[2]、供应商关系^[3]等开展研究,如魏洁等^[4]探讨了协议采购价格、政府补贴等因素对协议企业储备决策的影响。李晟等^[5]认为,确立合理的柔性合作可更好地调动供应商参与的积极性,提升储备库存和储备效率。GAO Xiaoning 等^[6]设计多期激励契约模型,为政府和企业带来长期合作提供理论依据。在激励机制设计方面,学者们主要围绕委托代理理论对激励应措施和努力水平开展研究,如 HOLMSTROM 等^[7]设计的线性激励机制为应对企业道德风险提供了开创性思路。MA Ruining 等^[8]分析了信息不对称条件下的最优激励机制和监督机制的替代关系。刘阳等^[9]引入声誉效应,从非物质激励角度提供了新的激励路径。在军地联合储备激励方面,学者们主要围绕合同补贴、期权激励开展研究,如王海兰等^[10]从合同补贴与期权激励角度对企业储备进行了激励研究,为军队生产能力储备激励机制设立提供了范例。龙绵伟等^[11]从资源配置角度提出生产能力储备的配比建议。已有研究为开展军队应急医疗物资生产能力储备激励奠定了

基础,但针对军事监督制度展开的研究还较为鲜见。

鉴于此,笔者拟在信息不对称这一现实条件下,引入军事代表中期监督制度,构建军事中期监督制度下军队产能储备激励模型,并确定军队最优奖惩系数与企业最优努力水平。在此基础上,以无军事中期监督激励模型作为参照基准,比较分析军事中期监督制度模型与无军事中期监督制度模型下军队激励策略的主要差异,以期为制定军队应急医疗物资生产能力储备激励策略及科学决策提供一定的依据。

1 问题描述与模型假设

军队和生产能力储备企业之间既存在主从博弈关系和不对称信息下的委托代理关系。军队与企业双方的决策过程如图 1 所示。首先,军队与企业合作开展应急医疗物资生产能力储备,约定生产能力储备规模和交货周期,并向企业提供一次性补贴;然后,根据企业的努力情况结合企业本身具备生产能力可得预期减灾价值,并根据这个减灾价值分享收益;最后,在合同期内,若发生突发公共卫生事件,企业按照约定转产并在预设交货期内向军队提供应急医疗物资,若未发生突发公共卫生事件,企业也无法分享生产能力储备带来的减灾效益。此外,为实现生产能力储备预期,充分发挥军队传统监督制度优势,在生产能力储备合作中进行一次军事中期监督,即派出军代表深入医疗物资生产能力承储企业开展中期专项监督,该中期监督将储备周期分为阶段 1 与阶段 2,通过监督了解承储企业在阶段 1 的生产能力储备真实情况,掌握企业阶段 1 中的努力水平,并在合同期末基于阶段 1 的企业真实生产能力储备努力水平和阶段 2 的企业努力水平给出生产能力储备收益分享激励系数,该激励系数将分别影响企业中期监督制度下阶段 1 和阶段 2 的企业激励收益,并影响企业生产能力储备总收益。

为便于定量分析,作出如下假设:

假设 1:在委托代理关系中,在代理人风险承受能力不变的情况下,中等风险委托人较低风险委托人能获得更多收益,基于此考虑到最大化军事效益,假定军队作为应急医疗物资生产能力储备的委托人属于风险中性的,承储企业作为应急医疗物资生产

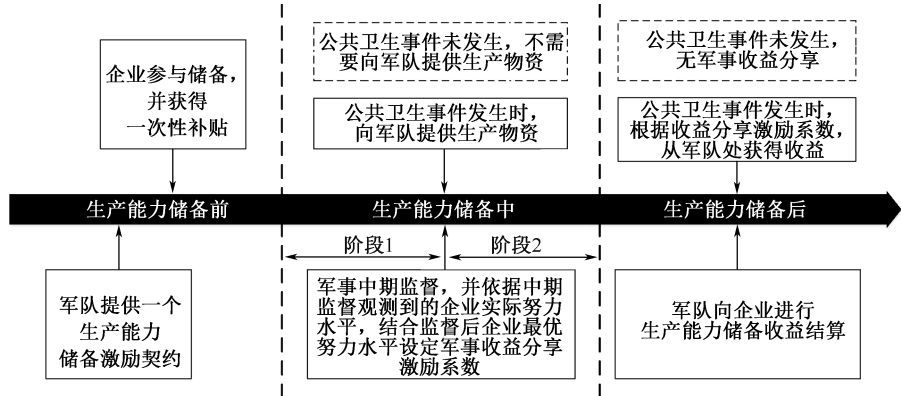


图 1 军队中期监督制度下生产能力储备激励决策过程

Fig. 1 Incentive decision of production capacity reserve under military mid-term supervision

能力储备的代理人是理性的、风险规避性的,假设承储企业效用函数可用 Pratt-Arrow 效用函数 $u(x)$ 表示为:

$$u(x) = -\exp(-rx) \tag{1}$$

式中: x 为企业收入; r 为企业风险规避系数^[1]。

假设 2: 军队和企业追求的目标不一致, 企业的目标是谋求自身利益最大化, 且期望收益高于自身保留效用, 军队的目标是实现产能储备带来的非战争军事行动减灾效益最大化。

假设 3: 企业生产能力储备努力水平属于企业拥有的私人信息, 军队难以完整地获取, 两者之间存在不对称信息。

假设 4: 无军事监督激励模型中企业努力水平为 e , 储备合作周期内任意时刻的努力水平为 e_0 , 根据企业为理性人的假设, 为获得最大储备收益, 企业将在储备周期的各个时刻保持最优努力水平以确保其收益, 由此可知: 合同期内企业在任意可分割时间内的努力水平一致, 即 $e_0 = e^*$ 。

假设 5: 军事中期监督在承储合同期中进行, 由此可将企业生产能力储备真实情况分为阶段 1 与阶段 2, 并对 2 个阶段分别实施激励。阶段 2 的初始产能储备能力为监督阶段 1 初始产能储备能力与阶段 1 企业努力水平之积, 即 $\alpha_2 = \alpha_1 e_1$ ^[12-13]。

假设 6: 研究储备对象为非耐用型应急医疗物资, 主要是试剂、防护服、护目镜、口罩等, 该类物资具有需求量大、生产周期短、储存周期短的特点, 比较适合生产能力储备。

2 军队产能储备激励模型构建

2.1 企业效用函数

应急医疗物资生产能力储备企业依据物资特

性、收益情况、自身能力水平等因素, 决定自身努力水平 e , 自身努力水平对储备带来的效果越强, 军队激励越能发挥效力。为提高努力水平, 企业将投入努力成本, 该成本与努力投入边际成本和努力水平有关, 由此可得承储企业努力成本函数为:

$$C(e) = \frac{1}{2} \varphi e^2 \tag{2}$$

式中 φ 为企业努力投入边际成本。

根据努力成本函数可得, 当 $e = 0$ 时, $C(e) = 0$, 表明企业没有为应急医疗物资生产能力储备进行努力时, 不产生努力成本; 此外, 同样努力水平下, 生产能力储备边际成本越大将导致企业努力成本越大。

根据军队协同生产能力储备决策过程, 首先, 军队给予企业一次性补贴, 随后医疗物资生产能力承储企业还能分享一定比例的军事效益, 该比例为军队收益分享激励系数。军事效益是指承储企业通过开展应急医疗物资生产能力储备, 在公共卫生事件发生时按约定顺利产出应急医疗物资, 助力军队遂行非战争军事救援活动, 进而实现突发事件损失最小化所带来的收益。军事效益不仅与企业承储物资类型、性质以及自身经营规模、经济状况、努力水平等因素有关, 也与军队参与救援的公共卫生事件特点、军事力量投入、应急救援组织指挥等因素有关。因此, 假设 $\zeta \sim N(0, \sigma^2)$, 由此军事效益为 $he + \zeta$, 根据收益分享约定企业获得激励收益为 $k(he + \zeta)$ 。根据线性激励机制的描述, 企业获得的报酬为 $\omega_0 + k(he + \zeta)$, 因其努力成本函数为 $C(e) = \frac{1}{2} \varphi e^2$, 因此, 企业收益函数为:

$$\pi_H = \omega_0 + k(he + \zeta) - \frac{1}{2} \varphi e^2 \tag{3}$$

式中: ω_0 为军队给予一次性生产能力储备补贴;

k 为军队收益分享激励系数, $0 \leq k \leq 1$; h 为军事效益转换系数, 与公共卫生事件特点、军事力量投入、应急救援指挥等因素有关, $h > 0$; ζ 为企业努力水平不相关的随机因子, $\zeta \sim N(0, \sigma^2)$, 故 $\pi_H \sim N(\omega_0 + khe - \frac{1}{2}\varphi e^2, k^2\sigma^2)$ 。

因为企业是风险规避的, 所以企业效用函数为

$$u(\pi_H) = -\exp(-r\pi_H) \quad (4)$$

其效用函数期望值为:

$$E[u(\pi_H)] = -\exp\left\{-r\left[E(\pi_H) - \frac{1}{2}r\text{Var}(\pi_H)\right]\right\} \quad (5)$$

便于模型求解, 企业效用函数期望值用确定性等价收入 (C_E) 表示, 则有 $E[u(\pi_H)] = u(C_E)$, 可得:

$$-\exp\left\{-r\left[E(\pi_H) - \frac{1}{2}r\text{Var}(\pi_H)\right]\right\} = -\exp[-r(C_E)] \quad (6)$$

因此, 有 $C_E = E(\pi_H) - \frac{1}{2}r\text{Var}(\pi_H)$, 则企业效用函数期望值的确定性等价收入为:

$$\Pi_H = \omega_0 + k(he + \alpha) - \frac{1}{2}\varphi e^2 - \frac{1}{2}rk^2\sigma^2 \quad (7)$$

式中 α 为医疗物资储备企业生产能力, 与企业生产线、原料储备、生产技术储备水平等有关。

2.2 军队效用函数

军队的收益是由于其进行了应急医疗物资生产能力储备, 事前进行准备工作, 最小化突发公共卫生事件造成的损失, 则军队的收益函数:

$$\pi_M = (1 - k)(he + \zeta) - \omega_0 \quad (8)$$

因为军队作为应急医疗物资生产能力储备委托人为风险中性, 所以军队效用函数期望值 Π_M 等于其收益函数的期望值, 可表示为:

$$\Pi_M = (1 - k)(he + \alpha) - \omega_0 \quad (9)$$

2.3 无军事中期监督下激励模型

军队协同生产能力储备要解决的关键问题是: 为争取最大化军事效益, 如何设定合理的激励系数来提高促进企业提高努力水平。基于该目标, 构建军队协同应急医疗物资生产能力储备激励模型目标函数:

$$\max \Pi_M = (1 - k)(he + \alpha) - \omega_0 \quad (10)$$

企业努力成本所带来的自身保留效用函数为 $u(\pi'_H)$, 其中, 保留效用即企业机会收益, 可参照医疗物资生产企业平均利润设定。当机会收益大于企

业生产能力储备期望效用时, 表明企业将资源投入到生产能力储备中获得的期望收益低于其他经营活动, 故企业开展产能储备的积极性降低。因此, 军队对企业实施激励的前提是保证企业期望效用不低于其保留效用, 即企业参与约束条件为 $E[u(\pi_H)] \geq u(\pi'_H)$; 又因为 $E[u(\pi_H)] = u(C_E)$, 可知承储企业参与约束条件为应急医疗物资生产能力储备的确定性等价收入大于等于自身保留效用, 即:

$$\omega_0 + k(he + \alpha) - \frac{1}{2}\varphi e^2 - \frac{1}{2}rk^2\sigma^2 \geq \pi'_h \quad (11)$$

基于承储企业是理性的假设, 生产能力储备企业的目标为实现自身收益最大化, 可知企业激励相容约束条件为应急医疗物资生产能力储备最大化确定性等价收入, 即:

$$\max_e \Pi_H = \omega_0 + k(he + \alpha) - \frac{1}{2}\varphi e^2 - \frac{1}{2}rk^2\sigma^2 \quad (12)$$

综上所述, 构建无军事中期监督下应急医疗物资生产能力激励模型为:

$$\begin{aligned} \max_{k_1} \Pi_M &= (1 - k_1)(he + \alpha) - \omega_0 \quad (13) \\ \text{s. t. } \begin{cases} \omega_0 + k_1(he + \alpha) - \frac{1}{2}\varphi e^2 - \frac{1}{2}rk_1^2\sigma^2 \geq \pi'_h \\ \max_e \Pi_H = \omega_0 + k_1(he + \alpha) - \frac{1}{2}\varphi e^2 - \frac{1}{2}rk_1^2\sigma^2 \\ \omega_0 \geq 0, 0 \leq k_1 \leq 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (14)$$

式中 k_1 为无军事中期监督下军队对承储企业设定的收益分享激励系数, $0 \leq k_1 \leq 1$ 。求解无军事中期监督下应急医疗物资生产能力储备激励模型, 企业以最大化自身收益为前提选择最优的努力水平, 由于 $\frac{\partial \max \Pi_H}{\partial e} = k_1 h_1 - \varphi e$, $\frac{\partial^2 \max \Pi_H}{\partial e^2} = -\varphi < 0$, 因此,

$\max \Pi_H = \omega_0 + k_1(he + \alpha) - \frac{1}{2}\varphi e^2 - \frac{1}{2}rk_1^2\sigma^2$ 为关于努力水平的凹函数, 得承储企业最优努力水平为:

$$e^* = \frac{k_1 h}{\varphi}。$$

即在生产能力储备过程中, 企业会付出努力水平 e^* , 以满足自身收益最大化的目标。为求解军队收益分享激励系数, 基于模型构建拉格朗日函数 L :

$$\begin{aligned} L &= (1 - k_1)(he + \alpha) - \omega_0 + \lambda(\omega_0 + \\ &k_1(he + \alpha) - \frac{1}{2}\varphi e^2 - \frac{1}{2}rk_1^2\sigma^2 - \pi'_h) \end{aligned} \quad (15)$$

根据库恩-塔克条件可知: $\frac{\partial L}{\partial k_1} = 0$, 得 $\lambda = 1$, $\omega_0 + k_1(he + \alpha) - \frac{1}{2}\varphi e^2 - \frac{1}{2}rk_1^2\sigma^2 - \pi'_h = 0$, 由此可得生产能力储备企业的参与约束为紧约束。计算关于收益分享激励系数 k_1 的二阶导数, 得 $\frac{\partial^2 L}{\partial k_1^2} = -\frac{h^2 + \varphi r\sigma^2}{\varphi} < 0$, 则有拉格朗日函数 L 是关于军队激励系数 k_1 的凹函数, 因此, 求得无军事中期监督下最优军队激励系数表达式为:

$$k_1^* = \frac{h^2}{h^2 + \varphi r\sigma^2}$$

(16)

2.4 军事中期监督下激励契约模型

在应急医疗物资生产能力储备期内, 军队派出军代表对承储企业进行一次关于信息保密、原材料储备、生产线维护的军事中期监督。军事中期监督将承储企业努力水平分为 e_1 和 e_2 , 对应 2 阶段的初始产能储备能力为 α_1, α_2 , 由于监督行为发生于合作中期, 该监督成本仅与企业监督阶段 1 努力水平 e_1 和监督固定费用 b 相关, 可得 $M = b - \eta e_1$, 其中, η 为军事中期监督边际成本, 当 η 趋于 0 时, 军事中期监督流于形式。当企业监督阶段 1 努力水平上升时, 军事中期监督成本减小, 当企业监督阶段一努力水平下降时, 军事中期监督成本增大。故军事中期监督下军队效用函数期望值为:

$$\Pi_{M2} = (1 - k_2)[(\alpha_1 + he_1) + (\alpha_2 + he_2)] - \omega_0 - (b - \eta e_1)$$

(17)

因此, 军事中期监督激励契约模型可以表达为:

$$\max_{e_1, e_2} \Pi_{M2} = (1 - k_2)[(\alpha_1 + he_1) + (\alpha_2 + he_2)] - \omega_0 - (b - \eta e_1)$$

(18)

$$\text{s. t. } \begin{cases} \omega_0 + k_2[(\alpha_1 + he_1) + (\alpha_2 + he_2)] - \frac{1}{2}\varphi e_1^2 - \frac{1}{2}\varphi e_2^2 - \frac{1}{2}rk_2^2\sigma^2 \geq \pi'_h \\ \max \Pi_{H2} = \omega_0 + k_2[(\alpha_1 + he_1) + (\alpha_2 + he_2)] - \frac{1}{2}\varphi e_1^2 - \frac{1}{2}\varphi e_2^2 - \frac{1}{2}rk_2^2\sigma^2 \\ \omega_0, k_2 \geq 0 \end{cases}$$

(19)

式中 k_2 为军事中期监督制度下军队对承储企业设定的收益分享激励系数, $0 \leq k_2 \leq 1$ 。求解军事监督激励模型, 可得: $e_1^* = \frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi}, e_2^* = \frac{k_2 h}{\varphi}$ 。

现构建军事中期监督激励契约下的拉格朗日函数 L_2 , 求解军事中期监督制度下最优收益分享激励系数表达式。

$$L_2 = (1 - k_2)[(\alpha_1 + he_1) + (\alpha_2 + he_2)] - \omega_0 - (b - \eta e_1) + \lambda \{ \omega_0 + k_2[h(e_1 + e_2) + (\alpha_1 + \alpha_2)] - \frac{1}{2}\varphi e_1^2 - \frac{1}{2}\varphi e_2^2 - \frac{1}{2}rk_2^2\sigma^2 - \pi'_h \}$$

(20)

由 $\frac{\partial L_2}{\partial k_2} = 0$, 得 $\lambda = 1$, 根据库恩-塔克条件可知: 军事中期监督制度模型中约束为紧约束, 即有 $\omega_0 + k_2[(\alpha_1 + he_1) + (\alpha_2 + he_2)] - \frac{1}{2}\varphi e_1^2 - \frac{1}{2}\varphi e_2^2 - \frac{1}{2}rk_2^2\sigma^2 - \pi'_h = 0$ 。将 $e_1^*, e_2^*, \alpha_2 = \alpha_1 e_1$ 代入 $\frac{\partial L_2}{\partial k_2} = 0$ 得军事中期监督激励契约下军队最优收益分享激励系数:

$$k_2^* = \frac{h\eta + \eta\alpha_1 + 2h^2 + 2h\alpha_1 + \alpha_1^2}{\varphi r\sigma^2 + 2h^2 + 2h\alpha_1 + \alpha_1^2}$$

(21)

3 生产能力储备激励模型分析

结合以上激励无军事中期监督和有军事中期监督激励模型的求解过程, 分析军队激励模型的收益分享系数、企业努力水平、军事效益以及企业收益, 并对比分析 2 个模型的相关参数。

3.1 最优军队生产能力储备激励系数

命题 1: 军队激励力度与企业努力成本系数负相关。若 φ 增大, 军队激励系数下降; 若 φ 减小, 军队激励系数上升。

$$\text{证明: } \frac{\partial k_1^*}{\partial \varphi} = -\frac{h^2 r\sigma^2}{(h^2 + \varphi r\sigma^2)^2} < 0, \frac{\partial k_2^*}{\partial \varphi} = -\frac{(h\eta + \eta\alpha_1 + 2h^2 + 2h\alpha_1 + \alpha_1^2)r\sigma^2}{(\varphi r\sigma^2 + 2h^2 + 2h\alpha_1 + \alpha_1^2)^2} < 0, \text{证毕。}$$

命题 1 表明: 承储企业努力成本系数越大, 其投入努力带来的负效益越大, 表明企业生产能力储备边际成本上升, 在企业已经取得一次性补贴后, 企业可能不愿意付出更多的努力投入到产能储备中。同时, 军队在观测到通过收益分享激励无法促进提高努力水平愿意时, 军队也会降低该方法的激励力度; 从另一角度来看, 若能促进企业改善其生产管理水平, 降低企业努力边际成本, 企业能通过提高努力水平带来更大的经济收益, 此时企业愿意提高努力水平, 同时, 军队也会通过提高激励系数来刺激企业提高努力水平, 此时应急医疗物资生产能力储备将发

挥更大的作用,带来更大的军事效益。

命题2:无军事中期监督军队最优收益分享激励系数小于军事中期监督下的最优收益分享激励系数。

证明:对比无军事中期监督和有军事中期监督激励模型中最优收益分享激励系数,可得 $k_2^* - k_1^* = \frac{[\eta h^2 + h\varphi r\sigma^2 + \varphi r\sigma^2(\eta + \alpha_1)](h + \alpha_1)}{(\varphi r\sigma^2 + 2h^2 + 2h\alpha_1 + \alpha_1^2)(\varphi r\sigma^2 + h^2)} > 0$,证毕。

命题2表明:军事中期监督制度下最优收益分享激励系数大于无军事中期监督制度最优激励系数。表明军事中期监督制度降低了企业信息隐藏程度,有利于减少企业投机行为,提高努力水平,与此同时,军队需要通过提高收益分享激励系数以刺激企业参与生产能力储备的积极性。

3.2 企业最优努力水平

命题3:军事中期监督下的企业最优努力水平大于无军事中期监督情形。

证明:由于无军事监督激励模型中,企业最优努力水平为其合同期内任意时刻努力水平相同,则有无军事监督制度下2阶段企业最优努力水平均可表示为 e_0^* ,则有 $e_0^* = e^*$,可得: $e_0^* = \frac{h^3}{(\varphi r\sigma^2 + h^2)\varphi}$, $e_2^* - e_0^* > 0$, $e_1^* - e_0^* > 0$,证毕。

命题3表明:军事中期监督制度下,监督阶段1和阶段2企业努力水平均高于同时段中的无军事监督制度下企业努力水平,由此可知:军事监督制度的引入起到了正向积极作用,有助于促进企业提高整个产能储备周期期内的努力水平。此外,观测无军事中期监督与军事中期监督制度下承储企业最优努力水平,军队收益分享激励系数与生产能力储备企业努力水平具有显著相关性,但固定补贴与企业努力水平无关。因此,在军队生产能力储备中,可通过降低固定补贴费用,提高军队收益分享激励系数来促进企业提高努力水平,进而提高合作的激励效果,以确保军事效益最大化。

3.3 产能储备的减灾价值

命题4:无军事中期监督下储备减灾价值小于有军事监督情形。

证明:无军事中期监督产能储备减灾价值为: $v_1 = he + \alpha + \varepsilon$,代入 $e^* = \frac{k_1 h}{\varphi}$,可得: $v_1^* = \frac{k_1 h^2}{\varphi} + \alpha + \varepsilon$ 。军事中期监督制度下产能储备减灾价值为: $v_2 =$

$(\alpha_1 + he_1) + (\alpha_2 + he_2) + \varepsilon$,将 $e_1^* = \frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi}$,

$e_2^* = \frac{k_2 h}{\varphi}$, $\alpha_2 = \alpha_1 e_1$ 代入可得: $v_2^* =$

$h\left(\frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi} + \frac{k_2 h}{\varphi}\right) + \left(\alpha_1 + \alpha_1 \frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi}\right) + \varepsilon$ 。

可知: $v_2^* - v_1^* = h\left(\frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi} + \frac{k_2 h}{\varphi}\right) +$

$\left(\alpha_1 + \alpha_1 \frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi}\right) + \varepsilon - \left(\frac{k_1 h^2}{\varphi} + \alpha + \varepsilon\right)$ 。且无

军事中期监督和军事中期监督制度中企业初始生产能力一致,即 $\alpha = \alpha_1$,可得: $v_2^* - v_1^* =$

$h\left(\frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi} + \frac{k_2 h}{\varphi}\right) + \left(\alpha_1 + \alpha_1 \frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi}\right) + \varepsilon -$

$\left(\frac{k_1 h^2}{\varphi} + \alpha_1 + \varepsilon\right) = h\left[\frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi} + \frac{k_2 h}{\varphi}\right] +$

$\left[\alpha_1 \frac{k_2(h + \alpha_1)}{\varphi}\right] - \frac{k_1 h^2}{\varphi}$,由于 $k_2^* - k_1^* > 0$,则有:

$v_2^* - v_1^* > 0$ 。证毕。

命题4表明:在最优努力水平下,军事中期监督制度下的最优激励系数高于无军事监督情形,基于此,在军事中期监督制度下军队能获得的减灾价值高于无军事监督情形;通过军事代表中期监督制度,将储备周期一分为二,并对2个阶段实施激励,该制度中企业努力水平更高,军队获得的减灾价值也更高,因此,应充分发挥军事监督制度,能带来更大的储备减灾价值和军事效益。

4 激励效果算例分析

为更加直观地呈现军事中期监督制度下激励效果,模拟各变量之间的关系,结合近年“军-企”协同储备应用实际情况并参照以往研究和专家意见,相应调整仿真数据,具体数值表示各参数之间的相对大小,对以上各因子取以下参考值设定算例分析条件为: $\omega_0 = 1, h = 5, r = 10, \sigma^2 = 1, \varphi = 2, \alpha = 2, \alpha_1 = 2, \eta = 1, b = 0.2$ 。

图2为应急医疗物资生产能力储备企业最优努力水平随着生产能力储备随机因子方差变化趋势。从图2可以看出,由公共卫生事件特点、军事力量投入、应急救援组织指挥等不确定性增加引起随机因子的增加,使得生产能力储备企业容易出现消极怠工情绪,这将致使无军事中期监督和有军事中期监督的承储企业降低自身努力水平。随机因子与军队收益关系如图3所示,由图3可知:军队收益随着企

业产能不确定性的增加呈先快速上升而后减少的趋势,随着不确定性风险的增加,导致企业收益分享占比迅速降低,此时的军事收益因为占比分配原因呈现上升趋势,当不确定因素达到一定程度时,企业努力水平也降低到较低的状态,此时无论军队还是企业的收益都将下降。

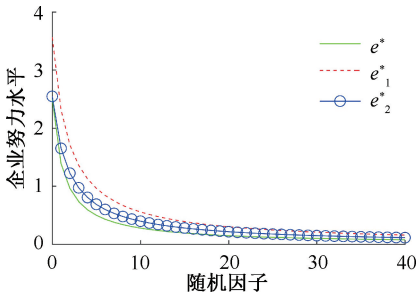


图 2 随机因子与企业努力水平关系

Fig. 2 Random factors and the effort level

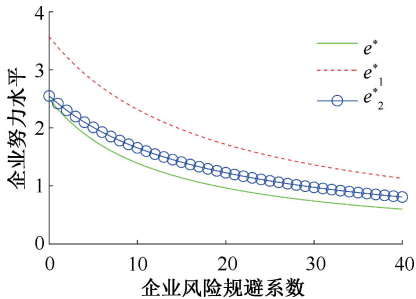


图 3 随机因子与军队收益关系

Fig. 3 Random factors and the military's revenue

图 4 为应急医疗物资生产能力储备企业最优努力水平随着承储企业风险规避系数变化而变化的趋势,从中可以看出,军事中期监督制度在激励契约中展现出显著的优势。在军事中期监督下,企业无论是在阶段 1 还是阶段 2 的努力水平都明显高于无军事中期监督的情况。这表明军事中期监督能够有效推动企业积极参与应急医疗物资生产能力储备工作,提升整体努力水平。同时,在企业风险可控的前提下,军事中期监督激励契约中的军队收益也将高于无军事中期监督的情况。这进一步证明了军事中期监督制度在提升军队收益方面的有效性。因此,在制定激励契约时,军队应充分考虑引入军事中期监督制度,以充分发挥其鞭策作用,实现军队和企业共赢的局面。

中期监督边际成本与企业努力水平关系如图 5 所示,由图 5 可知:在监督力度较小时,无军事中期监督的契约中,企业最优努力水平可能高于军事中

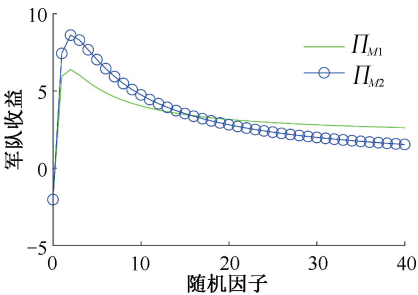


图 4 企业风险规避系数与企业努力水平关系

Fig. 4 Risk aversion coefficient and effort level

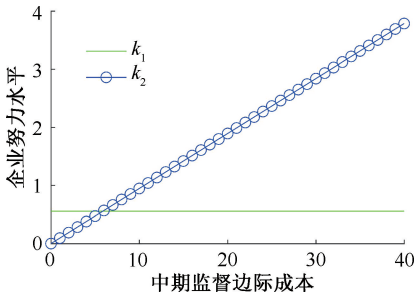


图 5 中期监督边际成本与企业努力水平关系

Fig. 5 Marginal cost and the enterprise's effort level

期监督制度下的努力水平,但随着军事中期监督力度的加强,企业努力水平逐渐上升,且存在当中期监督力度超过某一阈值时,企业努力水平会随着军事中期监督效果的体现而超越无军事中期监督情形,同时也能获得更高的军事效益。因此,在采用军事中期监督制度时,监督力度需要达到一定强度,若监督力度过小,企业努力水平反而更低,那么需要增加监督力度超过阈值,以确保监督制度有助于帮助承储企业提高业务水平,长期来看,高于阈值的监督力度对企业和军队都是有益的。

5 结 论

- 1) 军队制定激励机制应参考企业初始生产能力,优先选择实力强的企业合作,并协助降低市场风险,增强企业储备积极性。
- 2) 鉴于军事中期监督后企业可能懈怠,建议军队在合作期末再次检查,并要求企业阶段 2 努力水平不低于阶段 1,保障储备效益。
- 3) 监督力度对企业努力水平影响显著,力度过小难以激发企业动力,军队需适当加大监督力度,使其超过关键阈值,如此才能提升企业业务水平,实现更高军事与社会效益,保障应急医疗物资储备工作顺利开展。

参 考 文 献

[1] 王伟,宋月,陈志松,等. 防汛物资应急储备管理博弈决策模型[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(5): 191-198.
WANG Wei, SONG Yue, CHEN Zhisong, et al. Game decision model of emergency reserve management of flood control materials [J]. China Safety Science Journal, 2023, 33(5): 191-198.

[2] 郭影,张祯,孟一凡. 代储协议下应急救援物资的轮储策略研究[J/OL]. 系统工程: 1-22. [2024-10-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1115.n.20240821.1821.010.html>.
GUO Ying, ZHANG Zhen, MENG Yifan. Research on decision-making of rotation strategy for relief materials under agent storage agreements[J/OL]. Systems Engineering: 1-22. [2024-10-22]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1115.n.20240821.1821.010.html>.

[3] 扈表权,郭珂欣,徐金鹏,等. 协议企业储备模式下应急物资储备策略及供应链协调研究[J]. 系统工程理论与实践, 2024, 44(5): 1 589-1 602.
HU Zhongquan, GUO Kexin, XU Jinpeng, et al. Research on emergency material reserve strategy and supply chain coordination under agreement enterprise reserve model [J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2024, 44(5): 1 589-1 602.

[4] 魏洁,郑迎迎,刘畅,等. 政府补贴下应急医疗物资政企协议储备决策研究[J]. 中国管理科学, 2023, 31(11): 1-11.
WEI Jie, ZHENG Yingying, LIU Chang, et al. Research on the decision-making of emergency medical supplies under government-subsidized government-enterprise agreement reserve [J]. Chinese Journal of Management Science, 2023, 31(11): 1-11.

[5] 李晟,丰景春,吴凯丽,等. 政企联合储备应急物资的激励决策[J]. 系统管理学报, 2022, 31(5): 840-850.
LI Sheng, FENG Jingchun, WU Kaili, et al. Incentive decision of government-enterprise joint reserve of emergency supplies [J]. Journal of Systems and Management, 2022, 31(5): 840-850.

[6] GAO Xiaoning, TIAN Jun. Multi-period incentive contract design in the agent emergency supplies reservation strategy with asymmetric information [J]. Computers & Industrial Engineering, 2018, 120: 94-102.

[7] HOLMSTROM B, MILGROM P. Aggregation and linearity in the provision of intertemporal incentives [J]. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1985, 55: 303-328.

[8] MA Ruining, LIU Jida, AN Shi. Early warning response to rainstorm: designing a model with incentive and supervision mechanisms based on the principal-agent theory [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2024, 111: DOI: 10.1016/j.ijdrr.2024.104683.

[9] 刘阳,田军,冯耕中,等. 考虑声誉效应的应急物资储备系统动态激励模型[J]. 系统管理学报, 2022, 31(1): 1-15.
LIU Yang, TIAN Jun, FENG Gengzhong, et al. A dynamic incentive model for the prepositioning system of relief supplies based on reputation effect [J]. Journal of Systems and Management, 2022, 31(1): 1-15.

[10] 王海兰,赵道致. 基于期权合约的战备物资储备激励机制研究[J]. 工业工程与管理, 2015, 20(1): 154-158.
WANG Hailan, ZHAO Daozhi. Study of incentive mechanism for war material option reserve [J]. Industrial Engineering and Management, 2015, 20(1): 154-158.

[11] 龙绵伟,苟焱,陈新民. 基于合同储备的军地物资联储经济分析[J]. 军事交通学院学报, 2014, 16(6): 55-58.
LONG Mianwei, XUN Ye, CHEN Xinmin. Economic analysis of military and civilian material joint reserve based on contract reserve [J]. Journal of Military Transportation University, 2014, 16(6): 55-58.

[12] 徐鹏,伏红勇,王磊,等. 农产品供应链金融中银行对 3PL 的激励监督机制研究[J]. 管理评论, 2018, 30(10): 26-39.
XU Peng, FU Hongyong, WANG Lei, et al. Incentive and supervisory contract between banks and 3PLs in supply chain finance of agricultural product [J]. Management Review, 2018, 30(10): 26-39.

[13] TAYLOR T. Supply chain coordination under channel rebates with sales effort effects [J]. Management Science, 2002, 48(8): 992-1 007.

作者简介: 肖 骅 (1987—),男,重庆人,博士,副教授,主要从事军事物流、应急管理、无人化运输投送等方面的研究。E-mail:459882520@qq.com。

