

文章编号: 1001-0920(2009)06-0879-06

基于创新努力决策柔性的军品供应商培植激励研究

马洪江^{1,2}, 唐小我¹, 潘景铭¹

(1. 电子科技大学 经济与管理学院, 成都 610054; 2. 西南电子设备研究所 物资保障部, 成都 610036)

摘要: 研究军事装备制造对元器件供应商培植激励过程中供应商的协同创新努力决策柔性问题. 首先通过对努力决策柔性的价值分析, 给出了供应商进行创新努力的最优柔性决策规则; 然后得到在考虑创新努力决策柔性的条件下供应商创新努力所需要的门阈价格大于不考虑创新努力决策柔性时所需要的门阈价格, 而且门阈价格随着波动率的增大(减小)而增大(减小); 最后建立了供应商创新努力决策柔性条件下的制造商最优决策模型, 给出了最优培植激励合约的设计规则.

关键词: 军事装备供应链; 供应商; 培植; 柔性; 激励

中图分类号: F274; E8

文献标识码: A

Research on incentive of military supplier implantation based on flexibility of innovation effort decision

MA Hong-jiang^{1,2}, TANG Xiaowo¹, PAN Jing-ming¹

(1. School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China; 2. Department of Purchasing, Southwest Research Institute of Electronic Equipment, Chengdu 610036, China. Correspondent: MA Hong-jiang, E-mail: mahj2920@163.com)

Abstract: The flexible efforts decision-making problems under supplier collaborative innovation during the process of military manufacturer's implantation to the components supplier are studied. Through analyzing the value of flexible effort decision, some optimal flexible decision-making rules of supplier's innovation efforts are given. The threshold price considering the condition of flexible effort decision is higher than that without considering it. And the threshold price will increase (or decrease) with the increasing (or decreasing) of market fluctuation rate. Finally, manufacturer's optimal decision-making model is built under the condition of supplier's flexible effort decision, and the optimal design rules of inspiring contract are proposed.

Key words: Military equipment supply chain; Supplier; Implantation; Flexibility; Inspiring

1 引言

供应链的竞争已成为企业运作的常态. 随着从常规战争到高科技战争的转变, 战争爆发的突发性特点越来越强, 这就要求军事供应链必须具备高的稳定性和可靠性, 也意味着军事装备供应链上下游企业间必须建立一种紧密的、长期的战略性伙伴关系. 由于过去受“重装备, 轻器件”等思想的影响, 我国军事装备制造拥有较雄厚的实力, 而元器件供应商的科研和生产实力则相对较弱. 为了提高装备的性能, 很多装备制造倾向于选择进口元器件, 但这势必影响装备的大规模应用进程. 而且面对国外武器禁运的压力, 常常造成受制于人的被动局面. 尤

其是当处于某种战争状态下, 供应链将面临严重崩溃的风险, 从而使我军丧失战斗力. 因此, 对于军事装备供应链, 装备制造和元器件供应商应站在国家安全的角度上, 建立长期稳定的战略伙伴关系.

目前, 供应商关系管理方面的研究主要集中在采购管理^[1,2]、供应商评价与选择^[3-5]以及战略合作伙伴关系管理^[6-8]. 而对于制造商对供应商进行培植激励方面的研究相对较少. 文献[9]从制造商的角度研究了对供应商进行培植投资决策中的柔性决策问题, 并给出了制造商的最优决策规则, 但没有考虑供应商的决策柔性问题. 本文将基于供应链环境, 从供应商参与协同创新努力决策柔性的角度出发, 研究

收稿日期: 2008-05-30; 修回日期: 2008-07-26.

基金项目: 国防科研基金项目(0704 GK0045); 教育部重点项目(105149).

作者简介: 马洪江(1969—), 男, 四川南部人, 高级工程师, 博士, 从事军事供应链管理的研究; 唐小我(1955—), 男, 成都人, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理、管理经济等研究.

军事装备制造对元器件供应商进行培植过程中的激励问题.

2 供应商创新努力决策的一般分析

军事装备制造与核心元器件供应商在元器件采购方面签订了一种长期供应合同. 为了保持装备销售的竞争力, 从装备到元器件都需要持续的技术更新, 这就要求双方都要加强技术创新的投入, 即协同创新. 但是, 我国军用元器件供应商的经济实力相对较弱, 技术创新投入不足, 这就制约了装备能力的提高, 这是目前很多装备制造所面临的现实问题. 为有效解决元器件供应商创新不足的问题, 一方面国家加大对元器件研制费用的投入; 另一方面, 部分装备制造采取扶持其核心元器件供应商发展的策略, 即给予技术创新培植, 以弥补国家投入有限的问题. 为了有效激励供应商的协同创新的参与性, 装备制造需要设计一种激励合约, 以防止由于信息不对称所造成的“道德风险”问题. 通常装备制造会将这种激励与供应商的创新能力结合起来. 这里, 假定合同由两部分组成: 第 1 部分为固定部分, 为了保证供应的稳定性, 元器件的单位采购价格长期固定不变, 设为 P_r ; 第 2 部分为变动部分, 与制造商的销售量有关 (因为装备的销量体现了协同创新成果: 创新能力差, 则销量就低; 创新能力强, 则销量就高), 即装备制造将一定比例的销售收入给元器件供应商, 作为其参与协同创新的激励. 假定该比例为 α , 将该合同称为“采购价格加收入分成合同”.

尽管制造商有了对元器件供应商技术创新投入的激励, 但技术创新成功与否, 取决于供应商参与该协同创新的努力程度. 假定供应商的努力程度有两种水平, 即努力和 not 努力. 如果努力, 即供应商积极参与元器件的创新, 则会产生相应的努力成本, 设为 c_e ; 如果不努力, 则没有额外投入, 即努力成本为 0. 同时假定, 由于供应商的创新努力, 元器件性能得到提高, 从而使得装备的性能得到提高, 导致订单数量增加, 该状态下的销售量为 q_e ; 如果不努力, 装备的销售量为 q_0 . 同时, 假定装备的销售价格的演进服从几何布朗运动, 即

$$dP_r = \mu P_r dt + \sigma P_r dz. \quad (1)$$

其中: $\mu > 0$ 为 P_r 的期望增长率; $\sigma > 0$ 为 P_r 的波动率; dz 为维纳过程的增量, 且 $E(dz) = 0$, $\text{Var}(dz) = 1$; $P_r(0) = P_0 > 0$. 因此, 根据上述假定, 当供应商努力时, 其每期获得的收入为 $V_e(t) = P_s q_e + q_e P_r(t)$; 当供应商不努力时, 其每期获得的收入为 $V_0(t) = P_s q_0 + q_0 P_r(t)$.

根据 ITO 定理可知

$$dV_e = P_s q_e + q_e dP_r =$$

$$P_s q_e + q_e P_r dt + q_e P_r dz, \quad (2)$$

$$dV_0 = P_s q_0 + q_0 dP_r =$$

$$P_s q_0 + q_0 P_r dt + q_0 P_r dz. \quad (3)$$

如果不考虑供应商的创新努力决策柔性, 则当供应商努力时, 其期望收入净现值为

$$NPV_e =$$

$$E \int_0^{\infty} (V_e(t) - c_e) e^{-\rho t} dt =$$

$$q_e E \int_0^{\infty} P_r(t) e^{-\rho t} dt + \frac{P_s q_e - c_e}{\rho} =$$

$$\frac{P_0 q_e}{\rho} + \frac{P_s q_e - c_e}{\rho}. \quad (4)$$

当供应商不努力时, 其期望收入净现值为

$$NPV_0 =$$

$$E \int_0^{\infty} V_0(t) e^{-\rho t} dt =$$

$$q_0 E \int_0^{\infty} P_r(t) e^{-\rho t} dt + \frac{P_s q_0}{\rho} =$$

$$\frac{P_0 q_0}{\rho} + \frac{P_s q_0}{\rho}. \quad (5)$$

其中: $E(\cdot)$ 为期望算子, ρ 为贴现率且 $\rho > 0$.

由式(4)和(5)可知

$$NPV_e - NPV_0 =$$

$$\frac{(q_e - q_0) P_0}{\rho} + \frac{(q_e - q_0) P_s}{\rho} - \frac{c_e}{\rho}. \quad (6)$$

由式(6)可知, 如果不考虑供应商的创新努力决策的柔性, 则供应商努力的条件是 $NPV_e > NPV_0$, 即

$$\frac{(q_e - q_0) P_0}{\rho} + \frac{(q_e - q_0) P_s}{\rho} > \frac{c_e}{\rho}. \quad (7)$$

3 供应商的创新努力柔性决策分析

尽管装备制造承诺给予一定的创新资金, 但元器件的技术创新仍需要供应商投入相当多的人力和物力. 由于技术创新的风险性, 供应商会考虑是否接受这种协同创新, 以及何时进行这种协同创新. 同时, 由于装备制造和元器件供应商之间签订的是一种长期供货合同, 元器件供应商便获得了是否接受协同创新以及何时进行创新的决策灵活性, 即供应商创新努力的柔性. 另外, 供应商和制造商之间签订的是一种采购价格加收入分成的销售合同, 这样, 供应商便可根据观察到的市场状况来预测自身收益, 从而决定是否努力. 为便于分析, 假定一旦供应商作出努力的决定, 制造商就会知道 (比如驻厂代表), 并且这种努力是不可逆转的, 这类类似于柔性条件下的投资决策.

对于任意时刻 $T > 0$, 如果供应商在时刻 T 决定努力, 则努力成本现值为 c_e / ρ . 如果 $t < T$, 供应商不进行创新努力, 则其每期获得收入为 V_0 ; 如果 $t = T$, 供应商进行创新努力, 则供应商每期获得的收入

为 V_e . 因此, 考虑供应商创新努力决策柔性条件下的期望收入净现值为

$$V_F = E_T \left[\int_0^T V_0(t) e^{-t} dt + \left[\int_T V_e(t) e^{-(t-T)} dt - \frac{C_e}{r} \right] e^{-T} \right] = E_T \left[\int_0^T V_0(t) e^{-t} dt + \left[\int_T (V_e(t) - V_0(t)) e^{-(t-T)} dt - \frac{C_e}{r} \right] e^{-T} \right]. \quad (8)$$

根据式(5), 有

$$E \left[\int_0^T V_0(t) e^{-t} dt \right] = \frac{P_{00} q_0}{r} + \frac{P_{s0} q_0}{r}.$$

将其代入式(8) 可得

$$V_F = \frac{P_{00} q_0}{r} + \frac{P_{s0} q_0}{r} + E_T \left[\left[\int_T (V_e(t) - V_0(t)) e^{-(t-T)} dt - \frac{C_e}{r} \right] e^{-T} \right]. \quad (9)$$

其中: P_{00} 为装备第 0 期的价格, $\frac{P_{00} q_0}{r} + \frac{P_{s0} q_0}{r}$ 为常数. 因此, 供应商进行创新努力的决策可表示为

$$\max_T E_T \left[\left[\int_T (V_e(t) - V_0(t)) e^{-(t-T)} dt - \frac{C_e}{r} \right] e^{-T} \right]. \quad (10)$$

式(10) 的含义是, 供应商进行创新努力的决策将会根据其观察到的收入变化, 选择使其期望净现值最大化的时刻 T 作为其最佳努力时刻.

因为 $V_e - V_0 = P_s(q_e - q_0) + (q_e - q_0) P_r$, 将其带入式(10), 可得

$$\max_T E_T \left[\left[\int_T (q_e - q_0) P_r(t) e^{-(t-T)} dt + \frac{P_s(q_e - q_0) - C_e}{r} \right] e^{-T} \right]. \quad (11)$$

令 $V = (q_e - q_0) P_r$, 因为 P_r 为几何布朗运动, 所以

$$dV = (q_e - q_0) P_r dt + (q_e - q_0) P_r dz = V dt + V dz. \quad (12)$$

令 $C = (C_e - P_s(q_e - q_0)) / r$, 记最大化问题(11) 的值函数为 $F(V)$, 则

$$F(V) = \max_T E_T \left[\left[\int_T V(t) e^{-(t-T)} dt - C \right] e^{-T} \right]. \quad (13)$$

由式(13) 可知, 对于给定时刻 T 和相应供应商的收入状态 $V(T)$ (根据销售价格的状态 $P_r(T)$ 来确定), 元器件供应商能够确定时刻 T 进行创新努力的价值, 从而最优停止决策能够实现. 即在可行的期间内权衡时刻 T 进行创新努力的价值和努力成本, 以决定是否在该时刻进行创新努力.

假设供应商在时刻 t 时没有努力, 如果他继续

等待 dt , 则努力机会 (权利) 的价值将随着供应商收入状态的演进而增加 dF . 由 ITO 引理可知

$$dF = \frac{\partial F}{\partial t} dt + \frac{\partial F}{\partial V} dV + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} (dV)^2. \quad (14)$$

根据式(12) 有

$$(dV)^2 = \sigma^2 V^2 (dt)^2 + 2 \sigma V^2 (dt)^{3/2} + \sigma^2 V^2 dt.$$

式中 $(dt)^{3/2}$ 和 $(dt)^2$ 是 dt 的高阶无穷小量, 忽略这些项, 可得

$$(dV)^2 = \sigma^2 V^2 dt. \quad (15)$$

将式(12) 和(15) 代入(14), 可得

$$dF = \left[\frac{\partial F}{\partial t} + V \frac{\partial F}{\partial V} + \frac{1}{2} \sigma^2 V^2 \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} \right] dt + V \frac{\partial F}{\partial V} dz.$$

由于 $\partial F / \partial t = 0$ 和 $E(dz) = 0$, 等待 dt 将会使得该努力机会价值增加的期望为

$$E(dF) = \left(\frac{1}{2} \sigma^2 V^2 \frac{\partial^2 F}{\partial V^2} + V \frac{\partial F}{\partial V} \right) dt = \left(\frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F(V) + V F(V) \right) dt. \quad (16)$$

如果供应商在时间段 dt 的初期出售这一权力, 则获得 $F(V)$ 并将之投入资本市场, 从而获得投资收益 $F(V) dt$. 因此, 根据无套利均衡思想, 在连续时间段的贝尔曼方程为

$$F(V) dt = E[dF(V)]. \quad (17)$$

将式(16) 代入(17), 则贝尔曼方程变为

$$\frac{1}{2} \sigma^2 V^2 F(V) + V F(V) - F(V) = 0. \quad (18)$$

式(18) 是一个二阶齐次线性方程式, 其解为任意两个相互独立的解的线性组合, 即

$$F(V) = A_1 V^{\lambda_1} + A_2 V^{\lambda_2}. \quad (19)$$

其中: A_1 和 A_2 为待定常数; λ_1 和 λ_2 分别为式(18) 的特征二次方程

$$\frac{1}{2} \sigma^2 (\lambda - 1) + \lambda - 1 = 0 \quad (20)$$

的正根和负根, 即

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\sigma^2} \right)^2 + \frac{2}{\sigma^2}} > 1, \quad \lambda_2 = \frac{1}{2} - \frac{1}{\sigma^2} - \sqrt{\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\sigma^2} \right)^2 + \frac{2}{\sigma^2}} < 0.$$

如果供应商决定创新努力, 则其在时刻 T 的期望收入净现值为

$$E_T \left[\int_T V(t) e^{-t} dt - C \right] = \frac{V(T)}{r} - C.$$

假设供应商最优停止的临界值为 V^* , 首次达到该临界值时刻为 $T^* = \inf\{t / V(t) = V^*\}$, 则对于任意 V , 供应商进行创新努力决策柔性的价值可表示为

$$F(V) = \begin{cases} A_1 V^{\lambda_1} + A_2 V^{\lambda_2}, & V < V^*; \\ \frac{V}{r} - C, & V \geq V^*. \end{cases} \quad (21)$$

同时, $F(V)$ 还必须满足如下边界条件:

$$F(0) = 0, \quad (22)$$

$$A_1 (V^*)^{-1} + A_2 (V^*)^{-2} = \frac{V^*}{-} - C, \quad (23)$$

$$F(V^*) = \frac{1}{-}. \quad (24)$$

其中:条件(22)来源于如下事实:因为 $V = 0$ 是市场演进的一个绝对吸收壁,所以不会出现正的效用,从而该机会的价值为 0;条件(23)为价值匹配条件,它表明在 $V = V^*$ 时,努力与等待无差异;条件(24)为平滑粘贴条件,它表明在 $V = V^*$ 时,该机会价值函数在等待区域一侧和努力区域一侧的斜率相等,否则存在套利机会^[10].

联立求解方程组(22) ~ (24),可得

$$V^* = \frac{1(-)C}{1-1}, \quad (25)$$

$$A_1 = \frac{(1-1)^{1-1}}{[1(-)]^1 C^{1-1}}, \quad (26)$$

$$A_2 = 0. \quad (27)$$

因此,供应商创新努力决策柔性的价值为

$$F(V) = \begin{cases} \frac{(1-1)^{1-1}}{[1(-)]^1 C^{1-1}} V^1, & V < \frac{1(-)C}{1-1}; \\ \frac{V}{-} - C, & V \geq \frac{1(-)C}{1-1}. \end{cases} \quad (28)$$

将 $V = (q_e - q_0) P_r$ 代入上式,可得

$$F(V) = \begin{cases} \frac{(1-1)^{1-1}}{[1(-)]^1 C^{1-1}} [(q_e - q_0) P_r]^1, & P_r < \frac{1(-)C}{(1-1)(q_e - q_0)}; \\ \frac{(q_e - q_0) P_r}{-} - C, & P_r \geq \frac{1(-)C}{(1-1)(q_e - q_0)}. \end{cases} \quad (29)$$

归纳起来,可以给出供应商进行创新努力的最优柔性决策规则如下:

命题 1 供应商进行协同创新努力决策时,最优努力的时机为:当 $P_r < \frac{1(-)C}{(1-1)(q_e - q_0)}$ 时等

待;当 $P_r \geq \frac{1(-)C}{(1-1)(q_e - q_0)}$ 时开始努力;努力的机会价值由式(29)确定.

4 比较静态分析

命题 2 在考虑创新努力决策柔性条件下供应商创新努力所需要的门阙价格大于不考虑创新努力决策柔性时所需要的门阙价格.

证明 由式(7)可知,在不考虑决策柔性的情

况下,供应商创新努力决策的最佳时机为

$$P_r^* = \frac{1(-)[c_e - P_s(q_e - q_0)]}{(q_e - q_0)}.$$

由式(29)可知,如果考虑决策柔性,则供应商创新努力决策的最佳时机为

$$P_{Fr}^* = \frac{1(-)C}{(1-1)(q_e - q_0)} = \frac{1(-)[c_e - P_s(q_e - q_0)]}{(1-1)(q_e - q_0)},$$

因此

$$P_{Fr}^* - P_r^* = \frac{1(-)[c_e - P_s(q_e - q_0)]}{(1-1)(q_e - q_0)}. \quad (30)$$

由 $1 > 1$ 可得 $1 - 1 > 0$. 另外, $P_s(q_e - q_0)$ 为供应商因技术创新而增加的销售收入,由于 P_s 为供应商参加创新前与装备制造制造商签订采购合同时所确定的固定采购价格,而技术创新通常需要供应商投入较大的成本,一般情况下 $P_s(q_e - q_0) < c_e$. 因此 $P_{Fr}^* > P_r^*$.

命题 2 反映了在考虑创新努力决策柔性的条件下,供应商努力所要求的市场条件(市场价格)比不考虑创新努力决策柔性时所要求的市场条件苛刻.

命题 3 在考虑创新努力决策柔性的条件下,供应商创新努力所需要的门阙价格 P_{Fr}^* ,随着波动率的增大(减小)而增大(减小).

证明 根据 $P_{Fr}^* = \frac{1(-)C}{(1-1)(q_e - q_0)}$,可得

$$\frac{\partial P_{Fr}^*}{\partial 1} = - \frac{1(-)C}{(1-1)^2(q_e - q_0)} < 0, \quad (31)$$

根据式(20),可得 $1^2 = \frac{2(1-1)}{1(1-1)}$ 和 $1 > 0$,所以有

$$\frac{\partial^2}{\partial 1^2} = \frac{2 \cdot 1^2 - 2(2 \cdot 1 - 1)}{1^2(1-1)^2} < \frac{2 \cdot 1^2 - 2 \cdot 1(2 \cdot 1 - 1)}{1^2(1-1)^2} = \frac{2 \cdot 1(1-1)}{1^2(1-1)^2}.$$

因为 $1 > 1$,所以 $\partial^2 / \partial 1 < 0$,进而有 $\partial 1 / \partial 1^2 < 0$. 因此结合式(31),可得 $\partial P_{Fr}^* / \partial 1^2 > 0$.

命题 3 反映了市场价格的演进变化对供应商创新努力决策的影响,较高的市场价格波动率(较大)会使得供应商创新努力决策的时机延迟.

命题 2 和命题 3 也同时反映了供应商创新努力不足的原因.从 $P_{Fr}^* = \frac{1(-)C}{(1-1)(q_e - q_0)}$ 可知,供应商创新努力所要求的门阙市场价格 P_{Fr}^* 是 的减函数.因此,要想降低供应商创新努力所要求的门阙市场价格,供应合同中的比例 必须增加.由此可见,导致供应商创新努力不足的主要原因除努力成本之外,还与创新努力决策柔性有关.

5 装备制造商的决策分析

装备制造商在选择元器件供应商时,与其签订采购合同,此时装备的市场销售价格为 P_0 . 下面分两种情况讨论.

1) 如果 $P_0 > P_{Fr}^*$, 根据命题 1, 则供应商会立即决定进行创新努力, 装备制造商的销售量为 q_e . 此时, 装备制造商的期望收入可表示为

$$V_m = E\left[\int_0^{T^*} (1 - \alpha) q_e P_r(t) - P_s q_e\right] e^{-\rho t} dt = \frac{(1 - \alpha) q_e P_0}{\rho} - \frac{P_s q_e}{\rho}$$

而供应商的期望收入可表示为

$$V_s = \frac{q_e P_0}{\rho} + \frac{P_s q_e - c_e}{\rho}$$

根据委托代理理论, 制造商和供应商要保持一种长期稳定的合作关系, 其决策应满足以下关系:

$$\max\left\{\frac{(1 - \alpha) q_e P_0}{\rho} - \frac{P_s q_e}{\rho}\right\}, \quad (32)$$

$$\text{s. t. } \frac{q_e P_0}{\rho} + \frac{P_s q_e - c_e}{\rho} \geq \omega, \quad (33)$$

$$P_0 \geq \frac{(1 - \alpha) C}{(\rho - 1)(q_e - \varphi)}. \quad (34)$$

其中: ω 是供应商的保留效用, 即其努力的外在机会成本; 式(34) 是由(29) 得来的.

根据式(33), 可得

$$\frac{(\omega + c_e - P_s q_e)(\rho - 1)}{q_e P_0}$$

根据式(34), 可得

$$\frac{(1 - \alpha) C}{P_0(\rho - 1)(q_e - \varphi)}$$

再根据式(32) 可知, 目标函数是 P_0 的减函数, 这说明装备制造商的最优决策应取 P_0 的最小值. 因此

$$P_0^* = \max\left\{\frac{(1 - \alpha) C}{P_0(\rho - 1)(q_e - \varphi)}, \frac{(\omega + c_e - P_s q_e)(\rho - 1)}{q_e P_0}\right\}. \quad (35)$$

2) 如果 $P_0 < P_{Fr}^*$, 根据命题 1, 则供应商不会立即决定进行创新努力, 他会等待并观察市场价格的变化. 当在时刻 T^* 出现 $P_{rT} = P_{Fr}^*$ 时, 制造商才会进行创新努力, 此时, 装备制造商的期望收入可表示为

$$V_m = E\left[\int_0^{T^*} [(1 - \alpha) q_e P_r(t) - P_s q_e] e^{-\rho t} dt + \int_{T^*}^{\infty} [(1 - \alpha) q_e P_r(t) - P_s q_e] e^{-\rho t} dt\right] =$$

$$E\left[\int_0^{T^*} [(1 - \alpha) q_e P_r(t) - P_s q_e] e^{-\rho t} dt + \int_{T^*}^{\infty} [(1 - \alpha) q_e P_r(t) - P_s q_e] e^{-\rho t} dt\right]$$

$$\int_0^{T^*} [(1 - \alpha) q_e P_r(t) - P_s q_e] e^{-\rho t} dt + E_{T^*} \left[\frac{(1 - \alpha) q_e P_0}{\rho} - \frac{P_s q_e}{\rho} + \frac{P_s(q_e - \varphi) e^{-\rho T^*}}{\rho} \right]. \quad (36)$$

因为 T^* 是投入比例为 α 时供应商观测到的市场价格首次到达 P_{Fr}^* 的时刻, 所以 $P_r(T^*) = P_{Fr}^*$. 将其代入式(36) 可得

$$V_m = \frac{(1 - \alpha) q_e P_0}{\rho} - \frac{P_s q_e}{\rho} + E_{T^*} \left[\frac{(1 - \alpha) C e^{-\rho T^*}}{(\rho - 1)} - \frac{P_s(q_e - \varphi) e^{-\rho T^*}}{\rho} \right]. \quad (37)$$

此时, 根据式(9) 和命题 1, 供应商的期望收入可表示为

$$V_s = \frac{q_0 P_0}{\rho} + \frac{P_s q_0}{\rho} + \frac{(1 - \alpha)^{\rho - 1}}{[\rho(1 - \alpha)]^{\rho - 1} C^{\rho - 1}} [(q_e - \varphi) P_0]^{\rho - 1}.$$

根据委托代理理论, 制造商和供应商要保持一种长期稳定的合作关系, 其决策应满足以下关系:

$$\max\left\{\frac{(1 - \alpha) q_e P_0}{\rho} - \frac{P_s q_e}{\rho}, E_{T^*} \left[\frac{(1 - \alpha) C e^{-\rho T^*}}{(\rho - 1)} - \frac{P_s(q_e - \varphi) e^{-\rho T^*}}{\rho} \right]\right\}, \quad (38)$$

$$\text{s. t. } \frac{q_0 P_0}{\rho} + \frac{P_s q_0}{\rho} + \frac{(1 - \alpha)^{\rho - 1}}{[\rho(1 - \alpha)]^{\rho - 1} C^{\rho - 1}} \times [(q_e - \varphi) P_0]^{\rho - 1} \geq \omega, \quad (39)$$

$$0 < P_0 \leq \frac{(1 - \alpha) C}{(\rho - 1)(q_e - \varphi)}. \quad (40)$$

其中: ω 是供应商的保留效用, 即其创新努力的外在机会成本; 式(40) 是由(29) 得来的; T^* 的概率分布函数为^[11]

$$p\{T^* = t\} = \begin{cases} \left(\frac{-\ln P_{Fr}^*/P_0 + (\rho - 2/2)t}{\sqrt{t}}\right) + \left(\frac{P_{Fr}^*}{P_0}\right)^{\frac{2(\rho - 2/2)}{2}} \left(\frac{-\ln P_{Fr}^*/P_0 - (\rho - 2/2)t}{\sqrt{t}}\right), & t > 0; \\ 0, & t < 0. \end{cases} \quad (41)$$

这里 $\Phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数.

令式(39) 取等号可知, 存在一个使该等式成立的 P_0 , 从而约束条件(39) 等价于 $P_0 = P_0^*$. 同时, 由式

$$(40) \text{ 可知, } \frac{1}{P_{r0}(1-\alpha)(q_e - q_0)} C. \text{ 因此得到}$$

$$\left[\frac{1}{P_{r0}(1-\alpha)(q_e - q_0)} C \right]. \quad (42)$$

将式(41)代入目标函数(38),可以证明该优化问题的目标函数在可行域(42)上连续,因此该优化问题的最优解是存在的.

综合 $P_{r0} > P_{Fr}^*$ 和 $P_{r0} < P_{Fr}^*$ 两种情况的分析结果,有如下结论:

命题 4 在考虑供应商创新努力决策柔性的条件下,对装备制造制造商而言,存在一种最优的供应商培植激励合约,该合约为“采购价格加收入分成合同”,即在固定的单位采购价格之上,再根据制造商的实际销售量给予一定比例的创新资金投入,其最优投入比例由式(35)(当 $P_{r0} > P_{Fr}^*$ 时)和(42)(当 $P_{r0} < P_{Fr}^*$ 时)确定.

6 算 例

假设某军事装备制造制造商和某关键元器件供应商签订长期采购合同,合同期为 100 年.各参数分别为 $\alpha = 0.01$, $\beta = 0.01$, $P_s = 0.1$, $q_0 = 100$, $q_e = 120$, $c_e = 30$. 当制造商返还给供应商用于创新投入的资金比例 α 已知时,根据式(7)和(29),可分别计算出不考虑和考虑决策柔性条件下的供应商进行创新努力的市场条件.

若 $\alpha = 0.1$,则不考虑决策柔性条件下供应商进行创新努力的最优市场条件为 $P_{r0}^* = 4.5$;考虑决策柔性条件下供应商进行创新努力的市场最优条件为 $P_{Fr}^* = 5.02$.由此可见,在考虑创新努力决策柔性的条件下,供应商创新努力所要求的市场条件(市场价格)比不考虑创新努力决策柔性时所要求的市场条件苛刻.

根据制造商的决策来确定最优的返还比例 α^* .假设 $T^* \in [0, 100]$ (即供应商进行创新努力决策的最大等待时间为 100 年),初期观测到的市场价格 $P_{r0} = 1$, 供应商的保留效用 $\omega = 1$, 则根据问题(38),并利用数学工具 Mathematica 编程可以计算出最优的返还比例 $\alpha^* = 0.0333713$,此时制造商相应的最大收入为 91305.

7 结 论

本文运用实物期权方法,通过对军用元器件供应商创新努力决策柔性的价值分析,给出了供应商进行创新努力的最优柔性决策规则;阐明了决策柔性也是导致供应商创新努力不足的主要原因之一,进而给出从制造商的角度进行培植激励的最优合约设计规则;并通过算例对模型的可行性进行了检验.本文研究成果对于指导军事装备制造制造商实施供应商

培植激励和加强供应商关系管理,具有重要的理论和实践指导意义.

在实际中,供应商的协同创新努力会受到很多因素的影响,供应商还可以根据实际情况适时选择努力或不努力,并且可能会有多次机会.而本文假设供应商只有一次机会.因此,进一步放松假设条件使其更加符合实际是需要进一步研究的工作.

参考文献(References)

- [1] Wen-li L, Humphreys P, Chan L Y, et al. Predicting purchasing performance: The role of supplier development programs [J]. J of Materials Processing Technology, 2003, 138 (1-3): 243-249.
- [2] Monczka R M, Trent R J, Handfield R B. Purchasing and Supply Chain Management [M]. Beijing: Citic Publishing House, 2004.
- [3] Yahya S, Kingsman B. Vendor rating for an entrepreneur development program: A case study using the analytic hierarchy process method [J]. J of Operational Research Society, 1999, 50(9): 916-930.
- [4] 李力, 陈宏, 王进发. 基于模糊层次分析法的军品供应商选择体系研究[J]. 管理学报, 2007, 4(1): 40-47. (Li L, Chen H, Wang J F. The research on military products supplier selection architecture based on fuzzy AHP[J]. Chinese J of Management, 2007, 4(1): 40-47.)
- [5] 张学志, 陈功玉. 电子行业的供应商评价与选择策略 [J]. 经济与管理, 2005, 19(9): 103-106. (Zhang X Z, Chen G Y. The strategy of vender evaluation and selection in electronic industry [J]. Economy and Management, 2005, 19(9): 103-106.)
- [6] 钱碧波, 潘晓弘, 程耀东. 敏捷虚拟企业合作伙伴选择评价体系研究[J]. 中国机械工程, 2000, 11(4): 397-401. (Qian B B, Pan X H, Chen Y D. Evaluation system of partner selection in agile virtual enterprise [J]. China Mechanical Engineering, 2000, 11(4): 397-401.)
- [7] 唐宏祥, 何建敏, 刘春林. 基于交易成本的供应链战略伙伴关系量化[J]. 系统工程理论方法与应用, 2004, 13(2): 138-141. (Tang H X, He J M, Liu C L. A research of supply chain strategic partnership based on transaction cost[J]. Systems Engineering-Theory and Practice, 2004, 13(2): 138-141.)
- [8] 夏敬华, 高仕理, 唐中泉. 军事物流中供应商管理对策研究[J]. 物流技术, 2004, (2): 72-74. (Xia J H, Gao S L, Tang Z Q. Research on suppliers management in military logistics [J]. Logistics Technology, 2004, (2): 72-74.)

(下转第 888 页)

表 1 重复精度测试数据

Order	x/ mm	y/ mm	z/ mm
1	750.332	49.029	- 120.005
2	750.342	49.022	- 119.987
3	750.335	49.013	- 119.963
4	750.325	49.023	- 119.969
5	750.318	48.962	- 119.976
6	750.311	49.026	- 119.964
7	750.309	48.998	- 119.951
8	750.303	49.021	- 119.956
9	750.298	48.996	- 119.962
10	750.349	49.025	- 120.015
3	0.052	0.063	0.064

表 2 绝对精度测试数据

距离	真值	测量值	误差
d_1	20.342	20.434	0.092
d_2	26.573	26.473	- 0.100
d_3	30.375	30.268	- 0.107
d_4	33.457	33.542	0.085
d_5	40.584	40.681	0.097
d_6	55.351	55.479	0.128
RMS error			0.1024

5 结 论

将线结构光测头安装在六自由度机器人的末端,构成自由曲面非接触测量系统,建立了系统的几何模型.利用平面作为标靶,建立了基于二维测量数据的手眼方程.整个标定过程简单,便于实际应用.实验结果表明,算法具有较高的求解精度.由于测量数据和机器人的末端位姿不可避免地存在偏差,这些误差势必对系统的精度产生影响.如何将这些误差反映到标定过程并加以修正,是下一步有待解决的问题.

参考文献(References)

[1] Yang R, Cheng S, Yang W, et al. Robust and accurate surface measurement using structured light [J]. IEEE

Trans on Instrumentation and Measurement, 2008, 57 (6): 1275-1280.

[2] Philippe Lavoie, Dan Ionescu, Emil M Petriu. 3-D object model recovery from 2-D images using structured light [J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 2004, 53(2): 437-443.

[3] Michael Demeyere, D Rurimunzu, Christian Eugène. Diameter measurement of spherical objects by laser triangulation in an ambulatory context [J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 2007, 56(3): 867-872.

[4] Ma Z, Xu H P, Hu Y, et al. Artificial neural network for model reconstruction in reverse engineering [C]. Proc of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian: IEEE, 2006: 9073-9078.

[5] Chen C H, Kak A C. Modeling and calibration of a structured light scanner for 3-D robot vision [C]. Proc of IEEE Int Conf Robot and Automation. Raleigh: IEEE, 1987: 807-815.

[6] Shiu Y C, Ahmad S. Calibration of wrist mounted robotic sensors by solving homogeneous transform equations of the form $AX = XB$ [J]. IEEE Trans on Robotics and Automation, 1989, 5(1): 16-27.

[7] Park F, Martin B. Robot sensor calibration: Solving $AX = XB$ on the Euclidean group [J]. IEEE Trans on Robotics and Automation, 1994, 10(5): 717-721.

[8] Wang C C. Extrinsic calibration of a robot sensor mounted on a robot [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 1992, 8(4): 161-175.

[9] Wei G Q, Hirzinger G. Active self-calibration of hand-mounted laser range finders [J]. IEEE Trans on Robotics and Automation, 1998, 14(3): 493-497.

[10] 王胜华, 都东, 张文增, 等. 机器人定点变位姿手眼标定方法 [J]. 清华大学学报, 2007, 47(2): 165-168.

(Wang S H, Du D, Zhang W Z, et al. Hand-eye calibration for the robot by measuring a fixed point from different poses [J]. J of Tsinghua University, 2007, 47(2): 165-168.)

(上接第 884 页)

[9] 马洪江, 赵和义, 潘景铭, 等. 基于实物期权的军品供应商培植柔性决策研究 [J]. 军事运筹与系统工程, 2007, 21(2): 41-45.

(Ma H J, Zhao H Y, Pan J M, et al. A study on the flexibility decision of military supplier implantation based on real option [J]. Military Operations Research and

Systems Engineering, 2007, 21(2): 41-45.)

[10] Dixit A K, Pindyck R S. Investment under uncertainty [M]. Princeton: Princeton University Press, 1994.

[11] Grenadier S R. The strategic exercise of options: Development cascades and overbuilding in real estate markets [J]. J of Finance, 1996, 51(5): 1653-1679.