

文章编号: 1001-0920(2011)01-0111-04

## 信息不对称时有损失厌恶型零售商参与的价格补贴契约设计

刘 珩, 潘景铭, 唐小我

(电子科技大学 经济与管理学院, 成都 610054)

**摘要:** 运用前景理论和委托代理理论, 探讨信息不对称时有损失厌恶型零售商和风险中性供应商参与的价格补贴契约设计问题. 通过对零售商订货行为和供应商定价策略的研究, 发现信息不对称时零售商的最优订货量小于系统的最优订货量, 因而价格补贴契约不能使整个供应链达到协调. 最后通过算例进行了验证.

**关键词:** 前景理论; 委托代理理论; 价格补贴契约; 信息不对称

中图分类号: F273

文献标识码: A

### Design for markdown money contract with a loss-averse retailer under asymmetric information

LIU Heng, PAN Jing-ming, TANG Xiao-wo

(School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China. Correspondent: LIU Heng, E-mail: liuheng73@163.com)

**Abstract:** Based on the prospect theory and principal-agent theory, this paper studies how to design the markdown money contract under asymmetric information when the supply chain is composed of a loss-averse retailer and a risk-neutral supplier. Through analyzing the order behavior of the retailer and the pricing strategy of the supplier, it is found that the order quality under asymmetric information is lower than the optimized quality of the centralized system. So the markdown money contract can not coordinate the supply chain under asymmetric information. Finally, a numerical analysis is given to prove the results.

**Key words:** prospect theory; principal-agent theory; markdown money contract; asymmetric information

## 1 引 言

随着企业界对供应链管理的重视, 供应链协调研究已成为近年来国内外研究的热点. 大多数研究者在设计供应链协作契约机制时, 通常假设参与者风险中性, 没有考虑合作伙伴的风险偏好. 然而, 决策者的决策常常受到其行为因素的影响. 金融理论中的均值方差<sup>[1]</sup>、风险价值<sup>[2]</sup>、条件风险价值<sup>[3]</sup>、前景理论<sup>[4]</sup>等被用来刻画供应链中参与者的风险偏好. 文献[5]用前景理论对利益共享契约和批量折扣契约下的风险厌恶零售商的订货行为进行了研究. [6]研究了下方风险厌恶零售商在回购契约和收益共享契约的订货行为, 指出风险中性供应商不能协调供应链. [7]基于条件风险值理论研究了收入共享契约下风险厌恶型零售商的订货行为和风险厌恶型供应商的定价策略. [8]基于均值方差法研究了回购契约下风险偏好销售商的订货行为和风险偏好制造商的定价策略. [9]研

究了有均值概率类型的风险厌恶零售商在柔性批发价全回购契约下的订货行为和风险中性供应商的定价策略. 以上文献解决了信息对称时有风险偏好决策者参与的契约设计, 但没有考虑信息不对称时有风险偏好决策者参与的契约设计.

在实际经营过程中, 供应链成员为追求自身利润最大化, 往往并不愿意透露自己的真实信息, 因此信息不对称是供应链成员决策时面临的一个常态. 有学者研究了信息不对称时有风险中性参与者的契约设计. 文献[10]研究了零售商销售成本信息不对称时的回购契约, 发现零售商的最优订货量低于系统的最优订货量, 供应链总利润和供应商利润降低, 零售商利润增加. [11]研究了零售商销售努力为零售商私有信息时的线性契约. [12]研究了零售商单位产品库存成本信息不对称及制造商生产率有限时的最优价格折扣契约. 以上文献解决了信息不对称时有风险中性决

收稿日期: 2009-10-30; 修回日期: 2010-03-30.

基金项目: 教育部科学技术研究重点项目(108112); 国家自然科学基金重点项目(70932005); 四川省软科学项目(2009ZR0064)

作者简介: 刘珩(1973—), 男, 博士生, 从事供应链管理的研究; 唐小我(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 从事管理经济分析、供应链管理等研究.

策者参与的契约设计,但仍没有考虑信息不对称时有风险偏好决策者参与的契约设计.

本文运用前景理论首先研究信息对称时基于价格补贴契约下损失厌恶零售商的订货行为和风险中性供应商的定价策略;然后在此基础上,用委托代理理论分析信息不对称时零售商的订货行为和供应商的定价策略,得到信息不对称时的价格补贴契约.

## 2 供应链的决策模型

考虑由一个风险中性供应商和一个损失厌恶零售商组成的市场供应链.假设市场信息为零售商和供应商的共同信息.市场需求  $X$  是一个非负的、连续的随机变量,均值为  $\mu$ ,其累计分布函数为  $F(x)$ ,概率密度函数为  $f(x)$ ,  $F^{-1}(x)$  为随机需求的累计分布函数的逆函数.供应商根据零售商的订货以成本  $s$  组织生产,以批发价格  $w$  向零售商供货.商品市场销售价格为  $p$ ,零售商的销售成本为  $c$ .销售季节中,若零售商有缺货,则零售商缺货损失为  $g$ .在销售季节末,对零售商销售剩余的产品,供应商以价格补贴  $m$  支付给零售商.零售商对销售的剩余商品按残值  $v$  进行处理.用  $\Pi$  表示利润,  $\pi$  表示期望利润,  $U$  表示效用函数.零售商效用是销售成本的单调函数.

上标  $c$  表示集中化供应链,  $r$  表示零售商,  $s$  表示供应商,  $sc$  表示整个供应链,  $*$  表示商家的最优决策,  $\wedge$  表示虚假信息.对于产品的销售价格、批发价格、生产成本和残值,有  $p > w + c$ ,  $w > s > v > 0$ .  $w > m + v$  表示零售商在价格补贴契约下积极销售产品.

### 2.1 集中化供应链的决策

集中化供应链订货量为  $q$  时的利润为

$$\Pi^c(q) = \begin{cases} px + v(q-x) - (c+s)q, & x \leq q; \\ pq - g(x-q) - (c+s)q, & x > q. \end{cases} \quad (1)$$

供应链的期望利润为

$$\pi^c(q) = \int_0^q [px + v(q-x) - (c+s)q]f(x)dx + \int_q^{+\infty} [pq - g(x-q) - (c+s)q]f(x)dx. \quad (2)$$

容易证明  $\pi^c$  为凹函数.集中化供应链的最优订货量为

$$q^{c*} = F^{-1}\left(\frac{p+g-c-s}{p+g-v}\right). \quad (3)$$

容易证明式(3)中  $q^{c*}$  是  $c$  的减函数,即随着零售商销售成本的增加,集中化供应链的最优订货量减少.

### 2.2 分散化供应链的决策

当供应商和零售商是决策权独立的两个实体时,供应链是一个分布式决策系统.

运用前景理论中的 loss-averse 模型刻画零售商的风险偏好<sup>[4]</sup>.对于零售商有

$$U^r(\Pi^r) = \begin{cases} \Pi^r, & \Pi^r \geq 0; \\ \lambda \Pi^r, & \Pi^r < 0. \end{cases} \quad (4)$$

其中:  $\lambda$  为零售商损失厌恶系数,  $\lambda \geq 1$ .  $\lambda = 1$  表示风险中性,  $\lambda > 1$  表示损失厌恶型.  $\lambda$  越大表示零售商越害怕利润损失.对于风险中性供应商,有

$$U^s(\Pi^s) = \Pi^s, \quad E(U^s(\Pi^s)) = \pi^s.$$

对于供应链,有

$$\pi^{sc}(q) = \pi^s(w, m) + \pi^r(q).$$

#### 2.2.1 信息对称时基于价格补贴契约的零售商和供应商决策

信息对称时,零售商报告真实销售成本  $c$ , 供应商向零售商提供价格补贴契约  $(w, m)$  和零售商订货量  $q$ .

设零售商利润盈亏均衡点对应的市场需求为  $x^r$ , 零售商的利润分为两种情况.

情况1: 若  $x \leq q$ , 则零售商利润为

$$\Pi^r(q) = (p-m-v)x - (w+c-m-v)q.$$

令  $\Pi^r(q) = 0$ , 得到  $x^r = \frac{w+c-m-v}{p-m-v}q$ . 令  $q_1(q) = x^r$ , 当  $x < q_1(q)$  时,  $\Pi^r(q) < 0$ ; 当  $q_1(q) \leq x \leq q$  时,  $\Pi^r(q) \geq 0$ .

情况2: 若  $x > q$ , 则零售商利润为

$$\Pi^r(q) = (p+g-w-c)q - gx.$$

令  $\Pi^r(q) = 0$ , 得到  $x^r = \frac{p+g-w-c}{g}q$ . 令  $q_2(q) = x^r$ , 当  $q < x \leq q_2(q)$  时,  $\Pi^r(q) \geq 0$ ; 当  $x > q_2(q)$  时,  $\Pi^r(q) < 0$ .

综合情况1和情况2, 得到零售商订货量为  $q$  时, 零售商期望效用为

$$E(U^r(\Pi^r(q))) = \lambda \int_0^{q_1(q)} \Pi^r(q)f(x)dx + \int_{q_1(q)}^q \Pi^r(q)f(x)dx + \int_q^{q_2(q)} \Pi^r(q)f(x)dx + \lambda \int_{q_2(q)}^{+\infty} \Pi^r(q)f(x)dx. \quad (5)$$

$$\pi^r(q) = \int_0^q \Pi^r(q)f(x)dx + \int_q^{+\infty} \Pi^r(q)f(x)dx,$$

$$L^r(q) = (\lambda-1) \left( \int_0^{q_1(q)} \Pi^r(q)f(x)dx + \int_{q_2(q)}^{+\infty} \Pi^r(q)f(x)dx \right).$$

则式(5)改写为

$$E(U^r(\Pi^r(q))) = \pi^r(q) + L^r(q). \quad (6)$$

其中:  $\pi^r(q)$  为风险中性零售商订货量为  $q$  时的期望利润,  $L^r(q)$  为损失厌恶型零售商订货量为  $q$  时的期望效用损失.

零售商订货量为  $q$  时, 供应商利润为

$$\Pi^s(w, m) = \begin{cases} (w - s)q - m(q - x), & x \leq q; \\ (w - s)q, & x > q. \end{cases} \quad (7)$$

供应商期望效用为

$$E(U^s(\Pi^s(w, m))) = \pi^s(w, m) = (w - s)q - m \int_0^q (q - x)dx. \quad (8)$$

供应链期望效用为

$$E(U^{sc}(q)) = E(U^r(\Pi^r(q))) + E(U^s(\Pi^s(w, m))) = \pi^{sc}(q) + L^r(q). \quad (9)$$

式(6)中, 将  $E(U^r(\Pi^r(q)))$  对  $q$  求一阶导数, 并令  $E(U^r(\Pi^r(q)))/\partial q = 0$ , 得到零售商的最优订货量  $q^*$  需要满足

$$(p + g - w - c)[\bar{F}(q^*) + (\lambda - 1)\bar{F}(q_2(q^*))] - (w + c - m - v)[F(q^*) + (\lambda - 1)F(q_1(q^*))] = 0. \quad (10)$$

委托代理理论下, 供应商设计价格补贴契约时的问题为

$$\max_{w, m} \pi^s(w, m), \quad (11)$$

$$\text{s.t. (IR)} E(U^r(\Pi^r(q))) \geq U_{\min}^r. \quad (12)$$

其中  $U_{\min}^r$  是零售商的保留效用. 式(12)表示零售商在价格补贴契约中获取的期望效用不低于其最低效用  $U_{\min}^r$ .

价格补贴契约可以使零售商在获取保留效用时选择系统的最优订货量, 同时供应商期望效用极大. 具体方法为: 首先令式(10)中  $q^* = q^c$ , 解得  $m(w)$ ; 然后将  $q^* = q^c$  和  $m(w)$  代入式(6), 在式(12)IR 约束下, 令  $E(U^r(\Pi^r(q))) = U_{\min}^r$ , 可解得  $w^*$  和  $m^*$ .

### 2.2.2 信息不对称时基于价格补贴契约的零售商和供应商决策

信息不对称时, 供应商无法观测到真实的零售商销售成本, 但可根据历史交易数据确定概率累计分布函数  $H(c)$  和概率密度函数  $h(c)$ ,  $c \in [c_L, c_H]$ . 假设  $H(c)/h(c)$  是  $c$  的增函数<sup>[13-15]</sup>. 如果供应商提供一组价格补贴契约菜单供零售商选择, 则零售商进行菜单选择时根据销售成本来确定最优订货量. 由于最优订货量是销售成本的函数, 零售商的菜单选择就向供应商传递了销售成本. 零售商从自身效用最大化出发, 可能向供应商传递虚假销售成本.

根据显示原理, 供应商可以设计一个最优机制使得零售商传递真实的销售成本. 为简化表示, 用  $E(U^r(q(c)))$  代替  $E(U^r(\Pi^r(q(c))))$ .

委托代理理论下, 供应商设计价格补贴契约时的问题为

$$\max_{w(c), m(c)} \int_{c_L}^{c_H} \pi^s(w(c), m(c))dc. \quad (13)$$

$$\text{s.t. (IC)} E(U^r(q(c))) = \max E(U^r(q(c, \hat{c}))),$$

$$c_L \leq c \leq c_H, c_L \leq \hat{c} \leq c_H; \quad (14)$$

$$\text{(IR)} E(U^r(q(c))) \geq U_{\min}^r, c_L \leq c \leq c_H. \quad (15)$$

其中:  $E(U^r(q(c)))$  表示零售商选择  $(w(c), m(c))$  对应订货量  $q(c)$  的期望效用, 传递真实销售成本  $c$ ;  $E(U^r(q(c, \hat{c})))$  表示零售商选择  $(w(\hat{c}), m(\hat{c}))$  对应订货量  $q(\hat{c})$  时的期望效用, 传递虚假销售成本  $\hat{c}$ .

式(14)说明, 对于价格补贴契约菜单, 零售商传递真实销售成本比传递虚假销售成本所获得的期望效用更大, 因此理性零售商不会选择传递虚假销售成本, 供应商通过零售商菜单选择便能知道零售商的真实销售成本. 式(15)说明, 零售商的菜单选择所获取的期望效用不低于其最低效用  $U_{\min}^r$ .

零售商传递虚假销售成本时, 零售商期望效用为

$$E(U^r(q(c, \hat{c}))) = E(U^r(q(\hat{c}))) + (\hat{c} - c)q(\hat{c}). \quad (16)$$

$\hat{c}$  需要满足  $\partial E(U^r(q(c, \hat{c})))/\partial \hat{c} = 0$ , 即

$$\partial E(U^r(q(c, \hat{c})))/\partial \hat{c} =$$

$$\partial E(U^r(q(\hat{c})))/\partial \hat{c} + q(\hat{c}) + (\hat{c} - c)\partial q(\hat{c})/\partial \hat{c} = 0.$$

根据显示原理, 在式(14)IC 约束下, 令  $\hat{c} = c$ , 则有

$$\partial E(U^r(q(c)))/\partial c = -q(c). \quad (17)$$

式(17)说明零售商根据真实的销售成本进行订货. 由于  $q(c) > 0$ ,  $E(U^r(q(c)))$  是  $c$  的减函数. 在式(15)IR 约束下, 令  $E(U^r(q(c_H))) = U_{\min}^r$ , 式(17)左右两边同时积分, 得到零售商期望效用为

$$E(U^r(q(c))) = U_{\min}^r + \int_c^{c_H} q(z)dz. \quad (18)$$

由式(9), (13), (18)得到

$$\int_{c_L}^{c_H} [\pi^s(w(c), m(c)) - L^r(q(c))]h(c)dc + U_{\min}^r = \int_{c_L}^{c_H} \left[ \pi^{sc}(q(c)) - \frac{H(c)}{h(c)}q(c) \right] h(c)dc. \quad (19)$$

由于式(19)右边积分号内的表达式相当于零售商销售成本为  $c + H(c)/h(c)$  时供应链的期望利润, 由式(3)可得到系统的最优订货量为

$$q_{AI}^* = F^{-1} \left( \frac{p + g - c - H(c)/h(c) - s}{p + g - v} \right). \quad (20)$$

供应链期望利润为  $\pi^{sc}(q_{AI}^*) = \pi^c(q_{AI}^*)$ .

由式(10)和(19)得到价格补贴契约  $(w_{AI}^*, m_{AI}^*)$  同时满足以下方程组:

$$(p + g - w_{AI}^* - c)[\bar{F}(q_{AI}^*) + (\lambda - 1)\bar{F}(q_2(q_{AI}^*))] - (w_{AI}^* + c - m_{AI}^* - v)[F(q_{AI}^*) + (\lambda - 1)F(q_1(q_{AI}^*))] = 0, \quad (21)$$

$$\int_{c_L}^{c_H} [\pi^s(w_{AI}^*, m_{AI}^*) - L^r(q_{AI}^*)]h(c)dc = \int_{c_L}^{c_H} \left[ \pi^c(q_{AI}^*) - \frac{H(c)}{h(c)}q_{AI}^* \right] h(c)dc - U_{\min}^r \quad (22)$$

因为  $F^{-1}(x)$  为增函数, 且  $H(c)/h(c) > 0$ , 对比式 (3) 和 (20) 得到  $q_{AI}^* < q^{c*}$ , 即信息不对称时零售商的最优订货量小于集中化供应链的最优订货量, 价格补贴契约不能使整个供应链达到协调. 由此得到以下命题.

**命题 1** 零售商销售成本信息不对称时, 零售商的最优订货量小于集中化供应链的最优订货量, 价格补贴契约不能使整个供应链达到协调.

### 2.3 数值分析

为了方便计算, 设  $U_{\min}^r = 0$ , 市场需求为正态分布  $x \sim N(10^3, 100^2)$ , 供应商成本  $s = 3$ , 零售价格  $p = 10$ , 零售商缺货损失  $g = 15$ , 商品剩余价值  $v = 0.5$ , 零售商损失厌恶系数  $\lambda = 2$ ,  $c \sim U[1, 3]$ . 零售商的销售成本  $c$  分别为 1.1, 1.5, 2, 2.3, 2.5.

对于确定的零售商销售成本, 首先由式 (3) 得到集中化供应链的最优订货量  $q^{c*}$ , 由式 (20) 得到信息不对称时的零售商最优订货量  $q_{AI}^*$ , 见图 1. 然后由式 (21) 和 (22) 得到对应的价格补贴策略  $(w_{AI}^*, m_{AI}^*)$ , 见图 2.

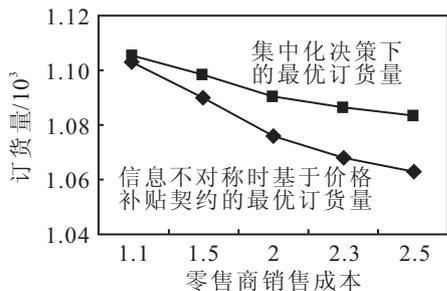


图 1 零售商销售成本与零售商的最优订货量的关系

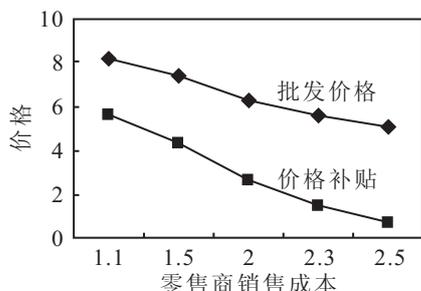


图 2 信息不对称时基于价格补贴下零售商销售成本与批发价格、价格补贴的关系

图 1 表明, 零售商销售成本信息不对称时, 零售商基于价格补贴契约下的最优订货量小于集中化供应链的最优订货量. 图 2 表明, 零售商销售成本信息不对称时, 批发价格和价格补贴都随着零售商销售成本的增加而减少.

### 3 结 论

本文用前景理论和委托代理理论对零售商销售成本信息不对称时有损失厌恶型零售商和风险中性供应商参与的价格补贴契约进行了设计. 研究发现: 当零售商销售成本信息对称时, 零售商的最优订货量等于集中化供应链的最优订货量, 整个供应链达到协调; 当零售商销售成本信息不对称时, 零售商的最优订货量小于集中化供应链的最优订货量, 价格补贴契约不能使整个供应链达到协调.

进一步需研究的问题有: 信息不对称下有损失厌恶型供应商参与的供应链协作契约设计; 信息不对称下供应商与零售商均为损失厌恶型的供应链协作契约设计.

### 参考文献(References)

- [1] Choi T M, Li D, Yan H. Mean-variance analysis of a single supplier and retailer supply chain under a returns policy[J]. European J of Operational Research, 2008, 184(1): 356-376.
- [2] Jacobson T, Roszbach K. Bank lending policy, credit scoring and value-at-risk[J]. J of Banking and Finance, 2003, 27(4): 615-633.
- [3] Wu J, Yue W, Yamamoto Y, et al. Risk analysis of a pay to delay capacity reservation contract[J]. Optimization Methods and Software, 2006, 21(4): 635-651.
- [4] Daniel K, Amos T. Prospect theory: An analysis of decisions under risk[J]. Econometrica, 1979, 47(2): 263-292.
- [5] 索寒生, 储洪胜, 金以慧. 带有风险规避型销售商的供应链协调[J]. 控制与决策, 2004, 19(9): 1042-1049. (Suo H S, Chu H S, Jin Y H. Supply chain coordination with risk aversion retailers[J]. Control and Decision, 2004, 19(9): 1042-1049.)
- [6] Gan X, Sethi S P, Yan H. Channel coordination with a risk-neutral supplier and a downside-risk-averse retailer[J]. Production and Operations Management, 2005, 14(1): 80-89.
- [7] 于春云, 赵希男, 彭艳东, 等. 基于条件风险值理论的供应链优化与协调模型研究[J]. 中国管理科学, 2007, 15(3): 31-39. (Yu C Y, Zhao X N, Peng Y D, et al. Study of supply chains optimization and coordination model based on conditional value-at-risk[J]. Chinese J of Management Science, 2007, 15(3): 31-39.)
- [8] Choi T M, Li D, Yan H M, et al. Channel coordination in supply chains with agents having mean-variance objectives[J]. Omega, 2008, 36(4): 565-576.