

## 信息不对称的收益共享寄售系统协调

李 丹<sup>1,2</sup>, 唐加福<sup>2</sup>

(1. 沈阳大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110041; 2. 东北大学 流程工业综合自动化教育部重点实验室, 辽宁 沈阳 110004)

**摘要:** 考虑了不对称信息下两级供应链中收益共享寄售系统的协调. 首先, 供应商向零售商谎报其生产成本; 零售商根据供应商报告的生产成本, 决定零售商的收益分配比例; 最后, 供应商决定零售价格和生产数量, 并且保持产品的所有权. 利用解析的方法得出一些理论结果: 1) 系统存在唯一的均衡解; 2) 系统效率只与需求价格弹性系数有关, 随需求价格弹性系数递减, 系统效率不低于 73.6%; 3) 生产成本信息不对称使系统效率和系统灵活性下降; 4) 从长远来看, 系统能够消除生产成本信息不对称带来的影响.

**关键词:** 谎报; 寄售系统; 收益共享; 供应链管理; 不对称信息; 动态博弈.

**中图分类号:** TP14      **文献标识码:** A

## Coordination of consignment system with revenue-sharing under information asymmetry

LI Dan<sup>1,2</sup>, TANG Jia-fu<sup>2</sup>

(1. School of Business Administration, Shenyang University, Shenyang Liaoning 100041, China;

2. Key Laboratory of Integrated Automation of Process Industry, Northeastern University, Shenyang Liaoning 110004, China)

**Abstract:** Coordination of consignment system with revenue-sharing is considered in a two-echelon supply chain under information asymmetry. The supplier misreports his manufacturing cost to the retailer; for each item sold, the retailer deducts a percentage from the selling price and remits the balance to the supplier according to the supplier's manufacturing cost reported. The supplier decides on the retail price and delivery quantity for his product, and retains ownership of the goods. Conclusions which can be drawn by analytical methods are: 1) there exists a unique analytic solution in equilibrium. 2). only the demand price elasticity index will affect the (expected) efficiency of the system; the (expected) efficiency of the system will decrease with the demand price elasticity index; the (expected) efficiency of the system can not be lower than 73.6%. 3). information asymmetry of manufacturing cost will lower the (expected) efficiency of the system and the flexibility of the system. 4). the system can remove the effect of information asymmetry of manufacturing cost over a long period of time.

**Key words:** misreporting; consignment system; revenue sharing; supply chain management; asymmetric information; dynamic game

### 1 引言(Introduction)

收益共享寄售是指在货物没有被零售商售出之前, 货物的所有权归供应商所有, 零售商只在售出货物时才按事先约定好的销售额比例向供应商支付费用. 亚马逊网站采用的亚马逊优势(Amazon advantage)销售渠道实质上就是收益共享寄售系统.

在寄售相关的文献中, 有一部分是关于寄售系统优势和缺陷的<sup>[1]</sup>. 其他学者通过寄售库存与其他库存比较说明寄售库存模式的存在原因<sup>[2,3]</sup>. 另一些学者研究了寄售库存协调供应链的作用<sup>[4~7]</sup>. 在这些文献中研究者大都假设信息对称的情形; 但是现实中存在信息不对称. 寄售库存可以减小信息不对称的影响<sup>[8]</sup>. 两级供应链的不对称信息问题可以

分为零售商具有信息优势<sup>[9,10]</sup>和供应商具有信息优势<sup>[11]</sup>两种. 有人研究了零售商具有销售量信息优势的寄售问题<sup>[12]</sup>.

文献[4]研究了以亚马逊网站为背景的收益共享寄售的协调问题; 研究表明零售商决定其最优策略之前要知道零售商成本比例, 而作为个人或者小型组织的供应商生产成本信息不对称. 由于亚马逊是上市公司, 其边际成本信息对称. 所以, 为了使模型更加贴近现实背景, 本文在文献[4]所建模型的基础上增加了供应商向零售商谎报其生产成本的环节. 在本文研究的问题中供应商具有生产成本信息优势. 零售商与供应商的博弈为三阶段动态博弈过程: 首先, 供应商向零售商谎报其生产成本; 零售商根据

供应商报告的生产成本信息决定零售商的收益分配比例; 最后, 供应商决定零售价格和生产数量。

本文主要解决以下几个问题: 1) 考虑系统如何运作; 2) 动态博弈能否达到均衡; 3) 如果可以实现均衡, 考虑系统能否协调; 如果无法协调, 考虑系统的协调效率, 影响协调效率的系统参数以及这些系统参数如何影响协调效率; 4) 生产成本信息不对称对系统协调效率的影响。

首先对系统的动态博弈过程进行建模; 然后, 用逆向归纳法求出问题的解析解, 最后, 探讨影响系统效率的系统参数。

## 2 标准价格弹性模型与集中决策(Iso-price-elastic model and centralized decision)

### 2.1 标准价格弹性模型(Iso-price-elastic model)

假设在单一供应商向单一零售商在单一销售季节销售单一产品的供应链中, 需求具有不确定性和价格敏感。假设需求  $D$  具有相乘的函数形式:

$$D(p) = y(p) \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

这里:  $y(p)$  确定并且随销售价格  $p$  递减, 设  $F, f$  分别为扰动项  $\varepsilon$  的分布函数和密度函数,  $\mu$  为扰动项  $\varepsilon$  的平均值。假设概率分布函数定义在  $[A, B]$  上, 并且有  $B > A \geq 0$ , 所以有  $\mu > 0$ 。设  $h(x) \equiv \frac{f(x)}{1 - F(x)}$  表示需求分布的不足率(failure rate)函数。设

$$y(p) = ap^{-b}, \quad a > 0, \quad b > 1. \quad (2)$$

在式(2)中:  $a$  为固定常数,  $b$  为需求价格弹性系数,  $b$  的值越大表示需求对价格变化越敏感。设供应商单位产品的生产成本为  $c_M$ , 零售商拥有单位产品的边际成本为  $c_R$  (包括订单处理, 货架空间的使用等成本), 则  $c = c_M + c_R$  为单位产品的总渠道成本, 则  $\alpha = c_R/c$  为零售商占总成本的比例,  $1 - \alpha = c_M/c$  为供应商占总成本的比例。假设在销售季节末既不会产生残值也不会产生处理成本。缺货时也不会产生任何缺货成本或销售机会损失成本, 本假设符合季节性和产品生命周期很短的产品。

### 2.2 集中决策渠道的最优策略(Optimal decision in centralized channel)

集中决策以优化供应链系统为目标。设  $\pi_c(p, z)$  为零售价格为  $p$  和生产数量为  $q$  时系统的利润, 则有

$$\begin{aligned} \pi_c(p, z) &= pE[\min\{q, D\}] - cz y(p) = \\ &= pE[\min\{q, y(p)\varepsilon\}] - cz y(p). \end{aligned} \quad (3)$$

设库存因子为  $z = q/y(p)$ , 问题从决定  $p$  和  $q$  转化为决定  $p$  和  $z$ 。根据文献[4]有定理1成立。

**定理 1** 对于任何  $z, A \leq z \leq B$ , 存在唯一的优化价格  $p_c^*(z_c^*)$  使  $\pi_c(p, z)$  达到最优化, 并且可以由

下式给出:

$$p_c^*(z_c^*) = \frac{bc}{b-1} \cdot \frac{z_c^*}{z_c^* - I(z_c^*)}, \quad (4)$$

而且, 如果

$$\frac{d[xh(x)]}{dx} = h(x) + x \frac{dh(x)}{dx} > 0,$$

使  $\pi(p_c^*(z), z)$  取极大值点的  $z = z_c^*$  由下式唯一确定:

$$F(z_c^*) = \frac{z_c^* + (b-1)I(z_c^*)}{bz_c^*}. \quad (5)$$

定义  $\pi_c^*$  为系统达到最优时的利润, 把式(4)和式(5)代入式(3)可得

$$\pi_c^* = \frac{ac}{b-1} (p_c^*)^{-b} z_c^*. \quad (6)$$

## 3 收益共享寄售系统的三阶段动态博弈 (Three stages dynamic game under consignment system with revenue sharing)

在收益共享的寄售系统下, 零售商不拥有产品的所有权, 而是在产品售出后按销售额的一定比例来赚取利润, 剩下的部分销售额交给供应商。设  $\lambda$  为供应商的谎报因子, 供应商谎报其生产成本为  $\lambda c_M$ 。  $\lambda$  表示谎报程度, 谎报程度越高  $\lambda$  越大。本文研究的问题是一个三阶段的动态博弈问题。阶段1: 供应商向零售商谎报生产成本为  $\lambda c_M$ , 供应商决定  $\lambda$ 。阶段2: 面对供应商谎报的生产成本  $\lambda c_M$ , 零售商确定利润分配比例  $r$ 。阶段3: 根据零售商给定的  $r$ , 供应商确定零售价格  $p$ , 生产数量  $q$ 。

### 3.1 供应商在阶段3面临的问题(Supplier's problem in stage 3)

供应商的利润函数定义为  $\pi_{d,M}(p, z)$ , 可得下式:

$$\begin{aligned} \pi_{d,M}(p, z) &= \\ &= (1-r)pE[\min\{q, D\}] - (1-\alpha)cq = \\ &= y(p)\{(1-r)p[z - I(z)] - (1-\alpha)cz\}. \end{aligned} \quad (7)$$

这里:  $y(p) = ap^{-b}$  并且  $I(z) = \int_A^z (z-x)f(x)dx$  供应商以利润最大化为目标进行决策。设  $(p_d, z_d)$  为使  $\pi_{d,M}(p, z)$  取极大值的最优解。根据文献[4]可得引理1。

**引理 1** 对于任何  $z, A \leq z \leq B$ , 唯一的优化价格  $p_d(z)$  存在并由下式给出:

$$p_d(z) = \frac{bc}{b-1} \cdot \frac{z}{z - I(z)} \frac{1-\alpha}{1-r}, \quad (8)$$

而且, 如果  $\frac{d[xh(x)]}{dx} = h(x) + x \frac{dh(x)}{dx} > 0$ , 可以使  $\pi_{d,M}(p_d(z), z)$  取极大值点的  $z = z_d$  由下式唯一确定:

$$F(z_d) = \frac{z_d + (b-1)I(z_d)}{bz_d}. \quad (9)$$

### 3.2 零售商的决策(Retailer's decision)

设 $(p_d^l, z_d^l)$ 为零售商得到供应商谎报信息后判定供应商的最优策略, 设 $c^l, \alpha^l$ 分别为零售商得到供应商谎报信息后认定的渠道成本和零售商所占的成本比例, 有

$$\begin{cases} p_d^l(z_d^l) = \frac{bc^l}{b-1} \cdot \frac{z_d^l}{z_d^l - I(z_d^l)} \cdot \frac{1-\alpha^l}{1-r}, \\ c^l = c\alpha + \lambda(1-\alpha)c, \\ \alpha^l = \frac{\alpha c}{\lambda(1-\alpha)c + \alpha c} = \frac{\alpha}{\lambda - \lambda\alpha + \alpha}, \end{cases} \quad (10)$$

$$F(z_d^l) = \frac{z_d^l + (b-1)I(z_d^l)}{bz_d^l}. \quad (11)$$

根据式(9)(11)有 $z_d^l = z_d$ . 把 $c^l = c\alpha + \lambda(1-\alpha)c$ 和 $\alpha^l = \frac{\alpha}{\lambda - \lambda\alpha + \alpha}$ 代入式(10)有 $p_d^l(z_d) = \lambda p_d(z_d)$ . 设零售商的利润为 $\pi_{d,R}^l(r)$ , 则有

$$\pi_{d,R}^l(r) = r p_d^l E[\min\{q_d^l, D\}] - \alpha^l c^l q_d^l. \quad (12)$$

以零售商利润最大化为目标进行决策, 根据文献[4], 有引理2成立.

**引理 2** 零售商的最优收益分配比例 $r$ 由下式唯一确定:

$$r^* = \frac{\alpha^l(b-2) + 1}{b - \alpha^l}. \quad (13)$$

### 3.3 供应商在阶段1面临的问题(Supplier's problem in stage 1)

把 $p_d^l(z_d) = \lambda p_d(z_d)$ , 式(6)和 $z_d = z_d^l$ 代入式(7), 可得

$$\pi_{d,M}(\lambda) = \pi_c^* \lambda^{-b} (\lambda b - b + 1) \left(\frac{1-\alpha}{1-r}\right)^{-b} (1-\alpha). \quad (14)$$

把 $\alpha^l = \frac{\alpha}{\lambda - \lambda\alpha + \alpha}$ 代入式(13), 可得

$$r^* = \frac{b^2\alpha - 2b\alpha + b + \alpha}{b^2}, \quad (15)$$

把式(15)代入式(14)可得

$$\begin{aligned} \pi_{d,M}(\lambda) = & \pi_c^* (\lambda b - b + 1) \left(\frac{b(1-\alpha)\lambda + (b-1)\alpha}{b-1}\right)^{-b} (1-\alpha). \end{aligned} \quad (16)$$

供应商以利润最大化为目标进行决策有引理3成立.

**引理 3**  $\pi_{d,M}(\lambda)$ 为关于 $\lambda$ 的严格凹函数, 供应商的最优谎报因子 $\lambda^*$ 由下式唯一确定:

$$\lambda^* = \frac{b(1-\alpha) + \alpha}{b(1-\alpha)}. \quad (17)$$

**证** 对 $\pi_{d,M}(\lambda)$ 求一阶导数, 得

$$\frac{\partial \pi_{d,M}^l(\lambda)}{\partial \lambda} =$$

$$(b-1)^{b+1} [b(1-\alpha)\lambda + (b-1)\alpha]^{-b-1} \cdot$$

$$[b(1-\alpha)(1-\lambda) + \alpha] (1-\alpha) \pi_c^* b.$$

很明显 $[b(1-\alpha)\lambda + (b-1)\alpha]^{-b-1}$ 随 $\lambda$ 递减,  $b(1-\alpha)(1-\lambda) + \alpha$ 也随 $\lambda$ 递减, 所以,  $\pi_{d,M}(\lambda)$ 为关于 $\lambda$ 的严格凹函数, 即 $\lambda^*$ 存在且唯一, 对 $\pi_{d,M}(\lambda)$ 求一阶导数为0得

$$\begin{aligned} (1-\alpha) \pi_c^* b (b-1) \left[\frac{b}{b-1} (1-\alpha)\lambda + \alpha\right]^{-b} \cdot \\ \frac{b(1-\alpha)(1-\lambda) + \alpha}{b(1-\alpha)\lambda + (b-1)\alpha} = 0, \end{aligned}$$

所以有 $\lambda^* = \frac{b(1-\alpha) + \alpha}{b(1-\alpha)}$ . 证毕.

把式(17)代入 $\alpha^l = \frac{\alpha}{\lambda - \lambda\alpha + \alpha}$ , 可得

$$\alpha^l = \frac{b\alpha}{b + \alpha}. \quad (18)$$

根据式(18)可得 $\alpha = \frac{b\alpha^l}{b - \alpha^l}$ , 所以, 当第二次交易时, 零售商可以获悉真实的成本信息, 即从长远来看, 系统能够消除生产成本信息不对称带来的影响.

**定理 2** 当进行2次及2次以上交易时, 零售商可以获悉供应商真实的成本信息.

### 4 系统的协调效率(System efficiency)

把式(17)代入 $c^l = c\alpha + \lambda(1-\alpha)c$ , 可得

$$c^l = \frac{c(b + \alpha)}{b}. \quad (19)$$

**定理 3** 生产成本信息不对称的收益共享寄售系统中的零售价格大于集中决策下的零售价格, 生产数量小于集中决策下的生产数量. 系统无法实现完全协调.

**证** 根据式(5)和式(11)可知 $z_d^l = z_c^*$ . 把式(15)(17)代入

$$p_d^l(z_d) = \frac{bc}{b-1} \cdot \frac{z_d}{z_d - I(z_d)} \cdot \frac{\lambda(1-\alpha)}{1-r},$$

可得

$$p_d^l(z_d) = \frac{cz_d}{z_d - I(z_d)} \cdot \left(\frac{b}{b-1}\right)^2. \quad (20)$$

根据式(4)可知 $p_d^l = p^* \frac{b}{b-1}$ . 显然, 对于 $b > 1$ , 有 $p_d^l > p^*$ . 由于 $q = y(p)z$ ,  $y(p)$ 是关于 $p$ 的减函数,  $z_d^l = z^*$ , 所以有 $q_d^l < q^*$ . 如果系统可以得到和集中决策时相同的利润, 则称系统完全协调. 根据定理1可知系统的最优化策略只有产品价格和库存因子. 因为 $p_d^l > p^*$ , 所以, 系统无法实现完全协调. 得证. 虽然系统无法实现完全协调, 但是可以讨论系统与集中决策相比在多大程度上实现利润目标, 影响利润目标实现的系统参数有哪些, 这些系统参数又是如何影响利润目标实现的. 本章将讨论这些问题.

把式(17)代入式(16)可得

$$\pi_{d,M}^l = \pi_c^* \left(\frac{b-1}{b}\right)^b. \quad (21)$$

把式(15)(18)(19)(20)代入式(12)可得

$$\pi_{d,R}^l = \pi_c^* \left(\frac{b-1}{b}\right)^{b-1}. \quad (22)$$

用 $\pi_d^l$ 表示系统利润, 可得

$$\pi_d^l = \pi_{d,M}^l + \pi_{d,R}^l = \pi_c^* \left(\frac{b-1}{b}\right)^b \frac{2b-1}{b-1}. \quad (23)$$

定义 $E_d$ 为系统效率, 有

$$E_d = \frac{\pi_d^l}{\pi_c^*} = \left(\frac{b-1}{b}\right)^b \frac{2b-1}{b-1}. \quad (24)$$

**定理 4** 供应商生产成本信息不对称下系统效率 $E_d$ :

- 1) 对任意 $b > 1$ , 只与 $b$ 有关, 并随 $b$ 递减;
- 2)  $\lim_{b \rightarrow 1} E_d = 1, \lim_{b \rightarrow \infty} E_d = \frac{2}{e} \approx 73.6\%$ .

**证**  $E_d$ 的表达式与文献[4]中信息对称并且 $\alpha = 0$ 时系统效率相一致. 根据文献[4]可知式(1)(2)成立, 得证.

**推论 1** 供应商生产成本信息不对称下系统的利润不低于集中决策时系统利润的73.6%.

**证** 根据定理4可知 $E_d \geq 73.6\%$ , 得证.

设 $E_c = \frac{\pi_d}{\pi_c^*}$ 为信息对称时系统的效率(设 $\pi_d$ 为信息对称时系统的利润), 根据文献[4]有下式成立:

$$E_c = \left(\frac{b-1}{b-\alpha}\right)^b \frac{(2-\alpha)b-1}{b-1}. \quad (25)$$

图1表示信息对称并且 $\alpha$ 取不同数值时系统效率的函数, 图2表示信息不对称并且 $\alpha$ 取不同数值时系统效率的函数. 根据图1和图2可知: 信息不对称时的曲线与信息对称时 $\alpha = 0$ 的曲线重合.

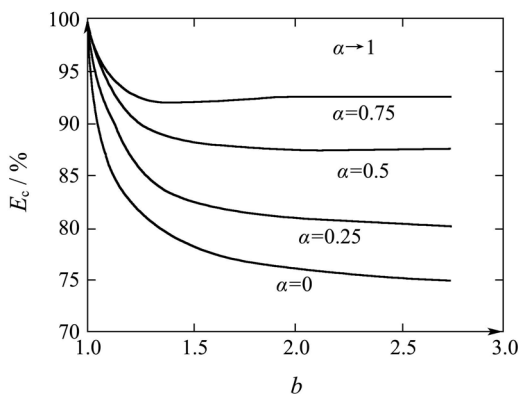


图 1 信息对称时的系统效率函数

Fig. 1 System efficiency function under information symmetry

根据图2可知, 信息不对称时系统效率只与 $b$ 有

关. 图1表明信息对称时系统效率随着 $\alpha$ 的增加而增加, 当 $b$ 一定并且 $\alpha = 0$ 时协调效率最低, 可见信息不对称使系统效率下降. 如果通过调整系统参数可以提高系统效率, 就说系统具有灵活性. 在信息对称时可以通过调整系统参数 $\alpha$ 来提高系统的协调效率, 而当信息不对称时, 无论怎样调整系统参数都不能调整系统协调效率, 即不对称信息使系统灵活性下降. 根据图1和图2可以直观的看出系统效率不小于73.6%并随 $b$ 递减, 这说明系统适合 $b$ 较低的产品.

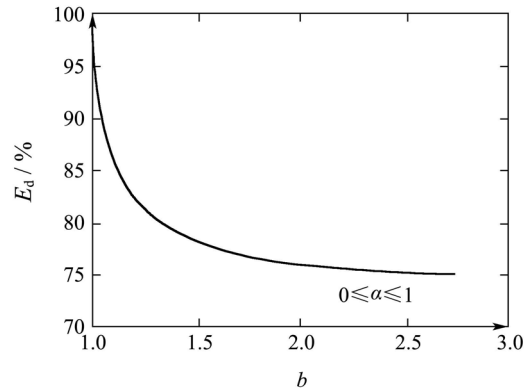


图 2 信息不对称时的系统效率函数

Fig. 2 System efficiency function under information asymmetry

## 5 结语(Conclusion)

本文考虑了生产成本信息不对称下的收益共享寄售系统的协调问题. 利用解析的方法得出一些理论结果:

- 1) 系统存在唯一的均衡解;
- 2) 系统效率只与需求价格弹性系数有关, 随需求价格弹性系数递减, 系统效率不低于73.6%;
- 3) 生产成本信息不对称使系统效率和系统灵活性下降;
- 4) 从长远来看, 系统能够消除生产成本信息不对称带来的影响.

## 参考文献(References):

- [1] VALENTINI G, ZAVANELLA L. The consignment stock of inventories: industrial case and performance analysis[J]. *International Journal of Production Economics*, 2003, 81(11): 215 - 224.
- [2] WILLIAMS M K. Making consignment-and vendor-managed inventory work for you[J]. *Hospital Materiel Management Quarterly*, 2000, 21(4): 59 - 63.
- [3] BRAGLIA M, ZAVANELLA L. Modeling an industrial strategy for inventory management in supply chain: the "consignment stock" case[J]. *International Journal of Production Research*, 2003, 41(16): 3793 - 3808.
- [4] WANG Y, JIANG L, SHEN Z. Channel performance under consignment contract with revenue sharing[J]. *Management Science*, 2004, 50(1): 34 - 47.

- [5] LI S, HUA Z. A note on channel performance under consignment contract with revenue sharing[J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 184(2): 793 – 796.
- [6] RU J, WANG Y. Consignment contracting: who should control inventory in the supply chain?[J] *European Journal of Operational Research*, 2010, 201(3): 760 – 769.
- [7] ZAVANELLA L, ZANONI S. A one-vendor multi-retailer integrated production-inventory model: the “consignment Stock” case[J]. *International Journal of Production Economics*, 2009, 118(1): 225 – 232.
- [8] CORBETT C J. Stochastic inventory systems in a supply chain with asymmetric information: cycle stocks, safety stocks, and consignment stock[J]. *Operations Research*, 2001, 49(4): 487 – 500.
- [9] HA AY. Supplier-retailer contracting: asymmetric cost information and cutoff level policy for retailer participation[J]. *Naval Research Logistics*, 2001, 48(1): 41 – 64.
- [10] LAU A H L, LAU H S. Some two-echelon style-goods inventory models with asymmetric information[J]. *European Journal of Operation Research*, 2001, 134(1): 29 – 42.
- [11] LAU A H L, LAU H S, ZHOU Y W. Considering asymmetrical manufacturing cost information in a two-echelon system that uses price-only contracts[J]. *IIE Transactions*, 2006, 38(3): 253 – 271.
- [12] GERCHAK Y, KHMELNITSKY E. A consignment system where suppliers cannot verify retailer’s sale reports[J]. *International Journal of Production Economics*, 2003, 83(1): 37 – 43.

#### 作者简介:

李丹 (1979—), 女, 讲师, 博士, 从事库存系统优化与供应链协调的研究, E-mail: li.dan561@sohu.com;

唐加福 (1965—), 男, 教授, 博士, 博士生导师, 从事供应链计划与物流运作优化、商业与服务系统运作优化与决策的研究, E-mail: jftang@mail.neu.edu.cn.