

# 不对称信息下供应商安全状态监控策略分析<sup>①</sup>

张煜<sup>1</sup>, 汪寿阳<sup>2</sup>

(1. 北京航空航天大学经济管理学院, 北京 100083)

2. 中国科学院数学与系统科学研究院, 北京 100080)

**摘要:** 供应商风险是供应链风险的主要来源之一。对于零售商来说, 如何采取策略应对供应商可能出现的风险至关重要, 然而使得策略有效的关键在于零售商及时获知供应商的安全状态信息。一方面这些安全状态信息是供应商自身的私有信息, 供应商比零售商更加容易了解风险发生的可能性; 另一方面, 即便是供应商自身的信息, 因为涉及到安全状况, 也需要不断地进行监控、评估、认证等方面的投资才能准确获得。针对以上情况, 研究了在零售商对供应商安全状态信息未知的情况下, 零售商如何向供应商提供的两种不同性质的契约: 奖励或惩罚, 根据利润最大化原则决策是否鼓励供应商进行自身安全状态监控投资, 并获得供应商的安全状态信息以确定最优订货量; 最后, 对比分析了两种契约形式的优劣。

**关键词:** 供应链; 安全状态; 奖励; 惩罚; 不对称信息

**中图分类号:** F270 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2011)05-0011-08

## 0 引言

供应链的不断延伸使过去盛行的“本地化”生产和营销策略转向“全球化”。目前, 通过远程采购、全球生产和装配, 供应链可以从地球的一端延伸至另一端, 整个链条环节增多, 联系日益紧密。这种新式的相互依存关系, 扩展供应链提高企业运作效率的同时, 使得供应链系统具有很大的脆弱性, 容易遭受各种风险的攻击, 任何一个环节发生问题都可能给整个供应链上的其他企业带来不利影响。其中, 供应商风险是供应链风险的主要来源之一, 当前全球经济环境复杂多变, 来自供应方的各种风险也逐渐增加, 如供应商破产、罢工、机器故障、产品质量问题等, 都会影响到整个供应链的正常运作。对于零售商来说, 如何应对供应商可能出现的种种问题至关重要。零售商可以采取多源供应、供应商状态筛选、惩罚杠杆等策略来应对风险, 然而使得策略有效的关键在于零售商及

时获知供应商的安全状态信息。供应商所处的安全状态信息即供应商是否可以安全、及时、有效地向下游企业提供合格产品。下游企业即零售商如果没有及时了解上游供应商所处的安全状态信息, 一旦风险发生必将会给整个供应链带来重大损失。可见, 下游企业如何感知供应商的风险, 即了解供应商的安全状态是一个很重要的问题<sup>[1]</sup>。

供应链风险管理一直是企业界和学术界的重要课题<sup>[2-3]</sup>, 其中对供应商的不确定性产出风险研究由来已久<sup>[4-7]</sup>, 文献[4]讨论了由于供应商产出的不确定性而采用两个供应商之间的订货量分配问题, 以及其对下游企业库存的影响。文献[5]认为两个供应商一定程度上优于单供应商, 并分别在 EOQ 库存模型和报童模型下进行了讨论, 最后给出了 EOQ 模型下的最佳订货数量和最小费用解。文献[6]给出了在不可靠供应网络中的多源供应策略。文献[7]则研究比较了供应商

① 收稿日期: 2010-09-14 修订日期: 2010-10-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70731003)。

作者简介: 张煜(1978-), 男, 山西人, 博士生, Email: zhangyu@sm.buaa.edu.cn

的不确定性产出下的五种风险共担契约. 然而以上研究均假定供应商与零售商对风险的状况享有同样的信息, 即假定零售商完全了解供应商的风险状况下给出的策略. 事实上, 供应链各节点上的不同企业属于不同的经济利益体, 都会追求自身的利益最大化, 一般情况下很难形成信息共享. 所以, 越来越多的学者把研究重点放在了不对称信息的情况下. 文献 [ 8 ] 研究了在不对称成本信息下, 供应商的最优数量折扣契约. 文献 [ 9 ] 研究了不对称信息下的随机库存模型. 文献 [ 10 ] 讨论了供应商不了解下游企业成本信息的情况下, 如何设计契约最大化其利润. 文献 [ 11 ] 和文献 [ 12 ] 给出了不同需求信息下的生产容量策略. 文献 [ 13 ] 研究了制造商如何设置契约参数使供应商采取备用供应措施. 国内学者也积极展开了供应商不确定性风险和不对称信息研究. 文献 [ 14 ] 分析含有交付时间不确定性的季节性供应链管理问题. 如果在供应链中共享供应商的交付时间不确定性信息, 零售商可以调整订货量, 减少销售损失, 就有可能提高供应链的整体利润. 文献 [ 15 ] 研究了在供应商的质量预防投入成本和零售商的质量评价投入成本均为不可观测的信息的情况下供应商和零售商都可能会发生签约后道德风险的问题. 文献 [ 16 ] 将供应商和零售商之间的委托代理关系转化为二层规划问题, 给出了不对称信息下的契约激励机制设计.

不对称信息分别包括关于需求方和供应方的信息不对称. 以上关于不对称信息风险的研究大多是上游企业对下游企业的需求或者销售成本结构等相关信息未知的情况, 而很少讨论针对上游企业即供应方的信息不对称, 尤其是关于上游企业的安全状态信息方面. 针对以上情况, 主要内容将围绕对于供应商安全状态信息不对称的情况展开讨论. 实际中, 如企业财务状况、运作情况、可用资源等都是直接关系到供应商能否安全有效地生产并提供给下游零售商所需合格产品的安全状态信息. 一方面, 这些安全状态信息是上游企业的私有信息, 供应商通常比零售商更加容易获得并了解风险发生的可能性; 另一方面, 即便是上游企业自身信息, 也需要不断进行评估、审查、认证, 这方面的投资才能准确获得<sup>[17]</sup>. 例如, 目前流行的自愿安全认证, 供应商向零售商提供产品的同时, 会

提供评测认证机构的证明告知零售商其产品达到何种标准等<sup>[18]</sup>. 在零售商对供应商安全状态信息未知的情况下, 采用不对称信息博弈论<sup>[19]</sup>的理论框架, 研究零售商如何通过向供应商提供两种不同形式的契约: 奖励或惩罚, 以刺激供应商积极进行自身安全状态监控和评估, 并获得供应商所处的状态信息, 从而最大化其利润.

## 1 基本模型

模型基于单供应商单零售商供应链结构. 零售商向供应商提供订货合同, 由于零售商对供应商安全状态信息的不了解造成双方信息的不对称. 实际中, 供应商所处的环境复杂多变, 其自身经营和生产状况也随时可能发生变化, 这都是风险的来源, 其直接影响结果就是能否最终提供给符合零售商所需求的产品. 所以, 可以将安全状态信息理解为最终能提供符合要求产品的概率, 即由于风险因素的存在, 零售商事先对供应商最终能提供符合要求产品的概率未知. 不失一般性, 根据供应商安全状态等级的高低定义其有两种类型: 高安全性和低安全性; 安全性的高低对应着提供符合要求产品概率的高低. 供应商需要对自身安全状态进行监控和检查, 以评估其所处安全等级, 这需要投入一定费用. 通常情况下, 对于安全等级越高的供应商, 零售商订货越多. 假设市场需求是稳定的, 零售商采取两种性质的契约: 奖励或惩罚, 根据利润最大化原则来决定是否刺激供应商进行自身安全状态监控与评估, 并根据供应商对契约参数的选择获取其安全状态信息以决定最优订货量. 对参数假定如下

$c$ —— 供应商的单位生产成本;

$\omega$ —— 供应商的批发价格;

$p$ —— 零售商的销售价格;

$I$ —— 供应商监控与评估自身安全状态所需要的投资;

$Q$ —— 供应商的计划生产量;

$U$ —— 是一个随机变量, 也就是考虑到生产过程中的一系列风险因素后, 最终能提供给符合零售商要求的产品的概率. 设其分布函数为  $F_{\tau}(\mu)$ ,  $\tau \in (H, L)$  表示两种类型, 高安全性和低安全性, 安全性的高低对应着提供符合要求产品

概率的高低.

$\Upsilon$ —— 设  $\Upsilon \in UQ$  为供应商最终所提供符合要求商品的非负随机变量, 分布函数  $\Upsilon(x), \tau \in (H, L)$  表示两种类型, 高安全性和低安全性, 高安全性与低安全性都是相对于一般情况 (用  $M$  表示) 而言. 设高安全状态供应商的随机供给大于低安全状态供应商的供给, 即  $\Upsilon_H(x) \leq \Upsilon_L(x), \forall x \geq 0$  设  $\bar{\Upsilon}(x) = 1 - \Upsilon(x)$ .

$\lambda$ —— 由于供应商所处的状态是私有信息, 所以供应商也更容易监控自身的类型. 然而零售商对供应商的状态只有一个主观的评估, 这里设  $\lambda$  为零售商认为供应商处于高安全等级的概率, 则  $(1 - \lambda)$  为处于低安全等级的概率.

$\tau$ —— 奖励性质契约下, 单位供给的奖励金额,  $\tau \in (H, L)$ ; 在供应商供货的单位批发价格  $\omega$  上增加金额  $\tau$  以对供应商安全供应货物进行奖励.

$m_t$ —— 惩罚性质契约下, 未完成供给的单位惩罚,  $\tau \in (H, L)$ ; 对于供应商未按要求满足零售商所订货的数量差额给予单位  $m_t$  的罚款.

$\$(, t n)$ —— 在  $\eta$  契约下, 供应商的状态为  $t$  接受契约参数为  $n$  时的利润;  $\eta \in (r, m)$  (表示奖励契约,  $m$  表示惩罚契约);  $t, n \in (H, M, L)$ .

## 2 信息对称的情况

为了确立比较标准, 首先考虑信息对称的情况. 这种情形相当于集中式供应链模式, 供应商与零售商完全信息对称. 在这种集中供应链模式下, 如果不区分供应商所处的状态, 也就是不投资监控供应商的风险状况, 此时, 整个系统的期望利润为

$$\Pi_M(Q_M) = PE \text{ in}(Q_M, Y_M) - c_M \quad (1)$$

从而可得最优定货量  $Q_M$ . 另一方面, 如果考虑到供应商可能处于不同的安全状态和投资监控, 综合后整个系统的期望利润为

$$\Pi_I(Q_H, Q_L) = \lambda [PE \text{ in}(Q_H, Y_H) - c_H] + (1 - \lambda) [PE \text{ in}(Q_L, Y_L) - c_L] \quad (2)$$

从而可得最优定货量  $Q_H, Q_L$ . 不难理解, 投资监控区分供应商安全状态信息时确定的最优订货量, 由于考虑了具体风险状况, 更切合实际, 系统的期

望利润一定大于简单地认为供应商处于单一状态的情况, 因此有  $\Pi_I(Q_H, Q_L) \geq \Pi_M(Q_M)$ . 同时, 系统用于投资监控供应商安全状态信息的费用不能超过一定范围. 这是因为, 考虑到风险监控投资的费用, 设  $\hat{I} = \Pi_I(Q_H, Q_L) - \Pi_M(Q_M)$ , 只有当  $\hat{I} > \hat{I}$  时, 才应根据供应商所处的状态信息确定最优定货量, 否则系统投资监控获得的收益还不足以弥补监控的费用, 则不应进行风险监控投资.

## 3 信息不对称的情况

信息不对称的情况相当于分散式供应链的情形, 零售商和供应商处于不同的利益体, 都根据自己的情况最大化利润. 供应商的安全状态信息是其私有信息, 一方面由于信息不透明, 零售商很难获得; 另一方面, 即便是供应商本身的信息, 也需要其自身投入一定费用监控, 评估才能得到, 即信息的获得是需要成本的. 站在零售商的角度, 考虑向供应商提供两种性质的契约: 奖励或者惩罚, 并分别讨论了零售商在这两种性质的契约下为了最大化其利润, 是否鼓励供应商进行安全状态监控投资, 并给出了最优契约参数.

### 3.1 奖励性质契约

在奖励性质契约框架下, 零售商通过支付供应商安全供给量单位批发价  $\omega$  的基础上再给予供应商单位奖励  $\tau$ . 根据利润最大化原则, 零售商可以鼓励或者不鼓励供应商对自身安全状态进行监控, 以下分两种情况进行分析.

#### 3.1.1 零售商不鼓励供应商进行安全状态监控投资

此种情况下, 零售商把供应商的安全状态统一视为  $M$  (介于  $H, L$  之间), 提供给供应商单一契约参数  $(Q_M, \tau_M)$ .

供应商的期望利润在奖励契约下的一般表达式为

$$S(, t n) = (\omega + \tau) E \text{ in}(Q, Y_t) - c_t \quad (3)$$

如果零售商不鼓励供应商进行安全状态监控投资, 那么它将无视供应商所处的状态, 提供单一契约参数  $(Q_M, \tau_M)$ . 对于供应商来说, 只有当在此契约下它的利润大于其保留利润 (为便于研究, 假设保留利润为 0), 供应商将接受这个契约.

如果供应商进行安全状态监控, 则其期望利

润为

$$\lambda \max_{Q_M} S(H, M, 0) + (1-\lambda) \max_{L, M} S(L, M, 0) - I \quad (4)$$

零售商在契约参数  $(Q_M, K_M)$  下最大化其利润, 同时因为不鼓励供应商进行安全状态监控投资, 应满足供应商不投资监控的利润大于投资时所得的利润, 供应商才会接受此契约. 零售商无需鼓励供应商投资的奖励契约目标函数如下

$$\max_{Q_M, K_M} \{ (P - \omega - K_M) E \min(Q_M, Y_M) \} \quad (5)$$

约束条件为

$$S(M, M) \geq \lambda \max_{Q_M} S(H, M, 0) + (1-\lambda) \max_{L, M} S(L, M, 0) - I \quad (6)$$

$$S(M, M) \geq 0 \quad (7)$$

激励相容条件 (6) 保证了在单一契约下供应商不进行安全监控投资的利润大于区分安全状态信息后的期望利润. 个人理性条件 (7) 保证了供应商的参加契约选择, 在满足条件的情况下接受该契约. 目标函数 (5) 为零售商选择契约参数  $(Q_M, K_M)$  最大化其利润.

定理 1 奖励契约下, 当零售商不需要供应商进行风险监控投资区分所处的安全状态时的最优契约数为

$$(Q_M^*, K_M^*) = \begin{cases} (Q^*, 0) & K \leq \Gamma(Q^*) \\ (\Gamma^{-1}(I), 0) & K \in (\Gamma(Q^*), \Gamma(Q_M^*)) \\ (Q_M^*, 0) & K \geq \Gamma(Q_M^*) \end{cases} \quad (8)$$

其中  $\Gamma(Q) = (1-\lambda) P \int_0^Q [\bar{Y}_M(x) - \bar{Y}(x)] dx$ ,  $Q_M^*$

$Q^*$  分别为与  $Y_M$  和  $Y_L$  相对应的最优订货数量.

证明 设  $\pi_M = S(M, M)$

则

$$S(H, M) = \pi_M + (\omega + K_M) \int_0^{Q_M} (\bar{Y}_H(x) - \bar{Y}_M(x)) dx \quad (9)$$

$$S(L, M) = \pi_M - (\omega + K_M) \int_0^{Q_M} (\bar{Y}_M(x) - \bar{Y}_L(x)) dx \quad (10)$$

目标函数变为

$$\max_{Q_M, K_M} P \int_0^{Q_M} \bar{Y}_M(x) dx - c_{Q_M} - \pi_M$$

约束条件

$$(1-\lambda) \max_{Q_M} \{ \pi_M - (\omega + K_M) \times \int_0^{Q_M} (\bar{Y}_M(x) - \bar{Y}_L(x)) dx \} - I \leq 0 \quad (11)$$

$$\pi_M \geq 0 \quad (12)$$

因为约束条件 (11) 是  $K_M$  的减函数, 所以最优解为  $K_M^* = 0$  同样, 目标函数是  $\pi_M$  的减函数, 所以

$$\pi_M = \max_{Q_M} P \int_0^{Q_M} (\bar{Y}_M(x) - \bar{Y}_L(x)) dx - I(1-\lambda), 0$$

目标函数变为

$$\max_{Q_M} P \int_0^{Q_M} \bar{Y}_M(x) dx - c_{Q_M} - \max_{Q_M} P \int_0^{Q_M} (\bar{Y}_M(x) - \bar{Y}_L(x)) dx - I(1-\lambda), 0$$

解之定理得证.

证毕.

从定理 1 可以看出, 如果零售商提供一个正的奖励参数, 那么将刺激供应商进行安全状态监控投资, 因为这样可以更好地获得自身安全信息从而决定是否接受契约; 如果不需要进行风险状态监控最好设置  $K_M = 0$

从条件 (6) 不等式右端可以看出, 当投资费用增加, 约束条件放松. 当增加到  $K \geq \Gamma(Q_M^*)$ , 零售商的最优订货量就是系统的最优订货量, 同时零售商获得全部的系统利润. 然而, 随着投资费用的降低, 较高的订货数量将使得供应商进行安全监控投资获得的利润增加, 所以若零售商选择不鼓励供应商进行安全监控, 应降低订货的数量, 因为  $\Gamma^{-1}(I)$  随着  $K$  的降低而降低. 从供应商的角度来说, 在投资费用较低的情况下 ( $K \leq \Gamma(Q^*)$ ), 不需要监控安全信息仍可获得正的收益 ( $S(M, M) = P \int_0^{Q^*} (\bar{Y}_M(x) - \bar{Y}_L(x)) dx - I(1-\lambda) \geq 0$ ). 综上所述, 如果零售商为了获得最大利润, 而不鼓励供应商进行安全监控投资只需要满足条件  $K_M \leq K^*$  即降低订货量即可.

### 3.1.2 零售商鼓励供应商进行安全状态监控投资

若零售商鼓励供应商进行安全状态监控投资, 针对供应商所处的状态  $\{H, L\}$ , 零售商提供两种参数的契约  $\{(Q_H, K_H), (Q_L, K_L)\}$ , 通过供应商对契约的选择以了解供应商所处的状态, 则零售商的利润函数为

$$\max_{Q_H, K_H, Q_L, K_L} \lambda (P - \omega - K_H) E \min(Q_H, Y_H) + (1-\lambda) (P - \omega - K_L) E \min(Q_L, Y_L) \quad (13)$$

约束条件

$$S(H, H) \geq S(H, L) \quad (14)$$

$$S(L, L) \geq S(L, H) \quad (15)$$

$$S(H, H) \geq 0 \quad (16)$$

$$S(L, L) \geq 0 \quad (17)$$

$$\lambda S(H, H) + (1-\lambda) S(L, L) - I \geq S(M, H) \quad (18)$$

$$\lambda S(H, H) + (1-\lambda) S(L, L) - I \geq S(M, L) \quad (19)$$

$$\lambda S(H, H) + (1-\lambda) S(L, L) - I \geq 0 \quad (20)$$

其中, 前四个约束条件保证在零售商提供给供应商可选择的契约参数鼓励其对自身安全状态监控后, 供应商根据自身实际的安全状态信息选择对应的契约参数. 式 (14) 和式 (15) 是激励相容约束, 保证供应商根据自己实际状态选择对应契约参数, 式 (16) 和式 (17) 是个人理性约束, 保证供应商投资于安全状态监控并选择相应契约. 后三个约束保证供应商投资于安全状态监控的收益大于不投资的情况. 式 (18) 和式 (19) 保证供应商投资并选择对应契约的利润大于不投资而选择任意契约, 最后一个约束式 (20) 确保了供应商接受并选择对应契约.

**定理 2** 奖励契约下, 当零售商需要供应商进行风险监控投资区分所处的安全状态时的最优契约参数为

$$(\bar{q}, \bar{t}) = (\arg \max_p \int_0^q (\bar{Y}_L(x) - \lambda \bar{Y}_H(x)) dx - (1-\lambda) c_L, 0);$$

$$(\bar{q}_H, \bar{t}_H) = (\bar{q}_H, I\lambda(1-\lambda)\Delta(\bar{q}_H))$$

**证明** 由于  $S(N, L) \geq S(L, L)$  所以式 (17) 和式 (19) 包含着条件式 (20). 又因为  $S(H, L) \geq S(L, L)$ , 所以式 (14) 和式 (17) 包含着式 (16). 由于有

$$S(t, q) = \lambda S(H, q) + (1-\lambda) S(L, q) \in \{H, L\}$$

变换得出  $S(M, H) = \lambda S(H, H) + (1-\lambda) S(L, H)$ , 这样由式 (18) 可推出式 (15); 同样, 由式 (19) 可推出式 (14). 去除以上冗余约束后, 目标函数变为

$$\max \lambda (P - \omega - t_H) E \min(q_H, Y_H) + (1-\lambda) (P - \omega - t_L) E \min(q_L, Y_L) \quad (21)$$

约束条件

$$S(L, L) \geq 0 \quad (22)$$

$$(1-\lambda) S(L, L) - I \geq (1-\lambda) S(L, H) \quad (23)$$

$$\lambda S(H, H) - I \geq \lambda S(H, L) \quad (24)$$

如果式 (17) 不成立, 那么目标函数中  $(\omega + t_H) E \min(q_H, Y_H)$  和  $(\omega + t_L) E \min(q_L, Y_L)$  的减小都会引起目标函数的增大; 同样, 如果式 (19) 不成立, 那么  $(\omega + t_H) E \min(q_H, Y_H)$  的减小也会引起目标函数增大, 都不会违反约束条件. 由此可得

$$(\omega + t_L) E \min(q_L, Y_L) = c_L \quad (25)$$

$$(\omega + t_H) E \min(q_H, Y_H) = c_H + I\lambda + (\omega + t_L)\Delta(q_L) \quad (26)$$

其中  $\Delta(q) = E[\min(q, Y_H) - \min(q, Y_L)]$ . 利用式 (25) 和式 (26) 进一步简化目标函数可得

$$\max \lambda [E \min(q_H, Y_H) - c_H - I\lambda - (\omega + t_L)\Delta(q_L)] + (1-\lambda) [E \min(q_L, Y_L) - c_L] \quad (27)$$

约束条件

$$(\omega + t_H)\Delta(q_H) - (\omega + t_L)\Delta(q_L) \geq I\lambda(1-\lambda) \quad (28)$$

目标函数随着  $t$  的减小而增加, 设  $t = 0$ .  $t_H$  没有出现在目标函数中, 所以设  $t_H$  为足够大满足条件式 (18) 要求. 因此, 无约束的目标函数为

$$\max \lambda [E \min(q_H, Y_H) - c_H] + \omega E[\min(q_L, Y_L) - \lambda \min(q_H, Y_H)] - (1-\lambda) c_L - I \quad (29)$$

解之定理得证.

证毕.

由供应商的期望利润

$$\lambda S(H, H) + (1-\lambda) S(L, L) - I = \lambda \omega \Delta(\bar{q}_L) \quad (30)$$

可以看出尽管其大于零, 但这种契约显然是奖励安全性高的供应商, 惩罚安全性低的供应商. 前者得到的期望利润为  $(\omega + t_L)\Delta(\bar{q}_L) + (1-\lambda)I\lambda$ , 而后的利润为  $-I$ . 对于安全性低的供应商来说, 契约的订货量  $\bar{q}_L$  低于  $\bar{q}_H$  的, 而安全性高的供应商的最优契约参数  $\bar{q}_H = \bar{q}_L$ .

信息收益是由于不对称信息存在, 契约双方中一方相对于另一方利用占有信息优势获得的收益. 可以从式  $\lambda S(H, H) + (1-\lambda) S(L, L) - I = \lambda S(H, L) = S(M, L)$  看出, 处于  $\{H, M\}$  状态的供应商任何时候选择为  $\{L\}$  状态设计的契约参数都能获得正的期望利润, 所以供应商利润来源于契约参数对供应商的分类. 另外, 由式 (30) 可以看出供应商的利润与投资费用  $I$  无关, 其完全由零售商承担.

### 3.1.3 是否鼓励供应商进行安全状态监控投资

零售商鼓励供应商进行安全状态监控时的利润函数为

$$M_1 = \lambda [PE \text{ m in}(q_H, Y_H) - c_H - \omega \Delta(q)] + (1-\lambda) [PE \text{ m in}(q_L, Y_L) - c_L] - I \quad (31)$$

零售商不鼓励供应商进行安全状态监控时的利润函数为

$$M_2 = \begin{cases} (P-\omega) E \text{ m in}(q_H, Y_H) & \leq \Gamma(q) \\ (P-\omega) E \text{ m in}(\Gamma^{-1}(I), Y_M) & \in (\Gamma(q_L), \Gamma(q_M)) \\ (P-\omega) E \text{ m in}(q_L, Y_L) & \geq \Gamma(q) \end{cases} \quad (32)$$

当且仅当  $M_1 \geq M_2$  时, 零售商才会提供契约鼓励供应商进行安全状态监控. 当  $I$  增加时,  $M_1$  减小,  $M_2$  增加, 且  $M_2 \geq M_1 (I=0)$ , 所以存在一个门槛值  $I^* \geq 0$  当且仅当  $I < I^*$  有  $M_1 > M_2$ . 由此可见, 在奖励契约框架下, 当安全监控费用低于一定值时, 零售商应可以提供一个包含有两种状态的契约参数鼓励供应商进行安全监控; 而当投资费用较高时, 零售商只需要提供一种契约参数.

通过上述分析可见, 通过奖励契约, 零售商可以鼓励供应商进行安全状态监控. 对供应商来说, 由于自身状况的不同, 监控所需的费用也不相同. 当投资费用低于一定水平 ( $\leq \Gamma(q)$ ) 时, 供应商将处于有利位置, 因其不需要监控安全信息仍可获得正的收益, 则有可能不接受契约, 所以此时即便零售商鼓励供应商进行安全监控也起不到相应的效果. 安全监控费用作为成本的一项内容虽然越小越好, 但当对于零售商来说鼓励供应商投资安全监控为最优策略时, 并不需要供应商努力去减少其费用, 因为此时根据式 (30), 监控费用由零售商承担. 而当投资费用较高时, 零售商将不会鼓励其投资安全监控.

### 3.2 惩罚性质契约

在惩罚性质契约框架下, 零售商对供应商未满足零售商订货要求的部分处以单位  $m_1$  惩罚. 根据利润最大化原则, 零售商可以鼓励或者不鼓励供应商对自身安全状态进行监控, 同样分两种情况进行分析.

#### 3.2.1 零售商不鼓励供应商进行安全状态监控投资

在惩罚性质契约框架下, 供应商的期望利

润为

$$S^i(t, n) = \omega E \text{ m in}(q, Y_i) - m_1 \times E \text{ m ax}(q - Y_i, 0) - c_i \quad (33)$$

同样, 零售商将供应商的安全状态统一视为  $M$  提供给供应商单一契约参数  $(q, m_1)$ . 可以看出, 如果惩罚  $m_1 = I$  时, 零售商得到了因供应商无法安全提供商品的全部补偿, 所以这个时候不鼓励供应商区分安全状态. 因为无论供应商处于何种安全状态, 只要零售商按最优的系统订货数量提供契约, 都能保证获得最大的期望利润, 这种情况下不必考虑鼓励供应商进行安全监控投资.

#### 3.2.2 零售商鼓励供应商进行安全状态监控投资

在惩罚契约下, 同样根据供应商的状态  $\{H, L\}$ , 零售商向供应商提供两种形式的契约参数  $\{(q_H, m_H), (q_L, m_L)\}$  选择, 则零售商的利润函数为

$$\max_{(q_H, m_H), (q_L, m_L)} \{ \lambda [ (P-\omega) E \text{ m in}(q_H, Y_H) + m_H E \text{ m ax}(q_H - Y_H, 0) ] + (1-\lambda) [ (P-\omega) E \text{ m in}(q_L, Y_L) + m_L E \text{ m ax}(q_L - Y_L, 0) ] \} \quad (34)$$

其约束条件同式 (14) ~ 式 (20).

简化得到

$$\max_{(q_H, m_H), (q_L, m_L)} \{ \lambda [ (PE \text{ m in}(q_H, Y_H) - I\lambda - c_H - \omega \Delta(q) + m_1 \Delta'(q) ] + (1-\lambda) [ (PE \text{ m in}(q_L, Y_L) - c_L) ] \} \quad (35)$$

其中, 约束条件

$$[\omega \Delta(q_H) - m_1 \Delta'(q_H)] - [\omega \Delta(q_L) - m_1 \Delta'(q_L)] \geq I\lambda (1-\lambda) \quad (36)$$

因为当  $m_H$  减小或  $m_L$  增大时, 目标函数增大, 同时约束条件放松, 所以最优解满足  $m_L = I$  和  $m_H = 0$  代入约束条件式 (36) 就得到了一个对  $L$  状态下的无约束条件和对  $H$  状态下有约束条件的最优化问题.

定理 3 在惩罚契约下, 零售商鼓励供应商进行安全状态监控投资的最优契约参数为

$$(q_L^*, m_L^*) = (q_H^*, P) \\ (q_H^*, m_H^*) = (\max(q_H^*, \Gamma^{-1}(k)), 0)$$

在惩罚契约下, 为了鼓励供应商进行安全状态监控, 零售商提供两个极端的惩罚契约参数: 完全不惩罚和全额赔偿.

证明 目标函数

$$\begin{aligned} & \max_{(q_H^*, m_H^*), (q_L^*, m_L^*)} \{ \lambda [ (P-\omega) E \max(q_H, Y_H) + \\ & m_H E \max(q_H - Y_H, 0) ] + \\ & (1-\lambda) [ (P-\omega) E \max(q_L, Y_L) + \\ & m_L E \max(q_L - Y_L, 0) ] \} \end{aligned}$$

约束条件

$$\begin{aligned} & S^m(I, L) \geq 0 \\ & (1-\lambda) S^m(I, L) - \Delta \geq (1-\lambda) S^m(I, H) \\ & \lambda S^m(H, H) - \Delta \geq \lambda S^m(H, L) \end{aligned}$$

为了得到最优解

$$\begin{aligned} & \omega E \max(q_L, Y_L) - m_L E \max(q_L - Y_L, 0) = c_L q_L \\ & \omega E \max(q_H, Y_H) - m_H E \max(q_H - Y_H, 0) = \\ & c_H + I\lambda + \omega\Delta(q_L) - m_L\Delta'(q_L) \end{aligned}$$

其中

$$\Delta'(q_L) = E [ \max(q - Y_L, 0) - \max(q - Y_H, 0) ]$$

得到

$$\begin{aligned} & \max_{(q_H^*, m_H^*), (q_L^*, m_L^*)} \{ \lambda [ E \max(q_H, Y_H) - I\lambda - c_H q_H - \\ & \omega\Delta(q_L) + m_L\Delta'(q_L) ] + \\ & (1-\lambda) [ P E \max(q_L, Y_L) - c_L q_L ] \} \end{aligned}$$

约束条件

$$\begin{aligned} & [ \omega\Delta(q_H) - m_H\Delta'(q_H) ] - [ \omega\Delta(q_L) - \\ & m_L\Delta'(q_L) ] \geq I\lambda(1-\lambda) \end{aligned}$$

解之定理得证。

证毕。

由定理 3 可见, 对于低安全性的供应商最佳订货量为  $q_L = q_L^*$ ,  $q_L^*$  为当供应商为低安全状态时的最优订货量; 对于高安全性的供应商最佳订货量  $q_H \geq q_H^*$ , 高于在供应商为高安全性时的系统最优订货量, 并且当投资费用增大到  $\Delta > \Gamma(q_H^*)$  时, 若鼓励供应商进行安全状态监控须提高订货量到  $q_H \geq q_H^*$ 。

3.2.3 是否鼓励供应商进行安全状态监控投资

为获取供应商的安全状态信息, 是否需要提供不同的惩罚契约参数同样取决于鼓励供应商进行安全状态监控的费用是否低于一个门槛值。为此, 给出如下定理:

定理 4 在惩罚性质契约下, 当  $K < I$  时, 鼓励供应商进行安全状态监控,  $(q_L^* \geq m_L^*) = (q_L^* < P)$ ,  $(q_H^*, m_H^*) = (q_H^*, 0)$ ; 否则, 采取单一契约  $(q_L^*, P)$ , 不鼓励供应商进行安全状态监控。

证明 在最优惩罚契约下, 根据定理 3 当供应商处于低安全性 L 状态时, 有  $q_L^* \geq q_L^*$  相当于

集中式供应链的情形, 零售商获得了整个系统的利润; 而当供应商处于高安全性状态 H 时,  $q_H^* = \max(q_H^*, \Gamma^{-1}(K))$ , 根据第三节分析, 系统能承受的最高投资费用的门槛值为  $I$ , 而

$$\begin{aligned} & \Gamma(q_H^*) = \lambda(1-\lambda)P \int_0^{q_H^*} [ \bar{Y}_H(x) - \bar{Y}_L(x) ] dx \\ & \geq \lambda(1-\lambda)P \int_0^{q_H^*} [ \bar{Y}_H(x) - \bar{Y}_L(x) ] dx \\ & = \lambda [ \Pi_I(q_H^*, q_L^*) - \Pi_M(q_H^*) ] + \\ & (1-\lambda) [ \Pi_I(q_H^*, q_L^*) - \Pi_M(q_L^*) ] \\ & \geq \lambda [ \Pi_I(q_H^*, q_L^*) - \Pi_M(q_H^*) ] + \\ & (1-\lambda) [ \Pi_I(q_H^*, q_L^*) - \Pi_M(q_L^*) ] \\ & = \Pi_I(q_H^*, q_L^*) - \Pi_M(q_H^*) = I \end{aligned}$$

所以有  $q_H^* = q_H^*$  即当投资费用小于系统费用门槛值  $I$  时, 零售商可以提供全额赔偿或者完全不惩罚契约参数去鼓励供应商监控安全状态, 而当投资费用大于门槛值时, 由于  $q_H^*, q_L^*$  也相当于集中式供应链中的情形, 零售商仅提供全额赔偿参数就能获得整个系统期望利润, 证毕。从定理 4 也可以看出, 在任何情况下, 由于零售商都可以获得系统期望利润, 所以从零售商的角度看, 惩罚契约是优于奖励契约的。

## 4 结束语

研究了由于信息的不对称, 零售商无法确知供应商的安全状态信息而采取的两种契约形式的措施: 奖励和惩罚。奖励性质契约对于鼓励供应商投资监控与评估自己的安全状态有着积极作用, 高安全性供应商可以通过获得大量订单获得高的期望利润, 反之期望利润则降低, 所以安全性的高低对于供应商是非常重要的。然而, 奖励契约在选择供应商, 即区分供应商不同的安全状态方面有效性不强。这是由于供应商的利润源于信息收益 (即处于信息优势状态相对于信息劣势状态产生正的利润), 而与是否投资于安全状态监控与评估无关。

对比而言, 惩罚性质契约可以非常有效地区分不同安全状态的供应商。由于惩罚对于未按要求提供货物有补偿作用, 当投资费用高时, 零售商并不需要准确了解供应商的安全信息其利润也能

得到保障,所以零售商鼓励供应商投资监控与评估安全状态的效果不佳。

在实际应用中,零售商可以根据情况选取相

应的契约类型获得供应商的安全信息以提高订货的可靠性.同时,如何结合两种契约,合理设计参数是我们进一步的研究内容。

## 参考文献:

- [1] 吴萍, 刘馨, 张波. 供应链下游企业对供应商的风险感知研究[J]. 科技情报开发与经济, 2008, 18(28): 101—103  
Wu Ping, Liu Xin, Zhang Bo. Research on supplier risk perception from downstream firms in supply chain[J]. Sci-Tech Information Development & Economy, 2008, 18(28): 101—103 (in Chinese)
- [2] 吴军, 李健, 汪寿阳. 供应链风险管理中的几个重要问题[J]. 管理科学学报, 2006, 9(6): 1—12  
Wu Jun, Li Jian, Wang Shouyang. Some key problems in supply chain risk management[J]. Journal of Management Sciences in China, 2006, 9(6): 1—12 (in Chinese)
- [3] 周艳菊, 邱莞华, 王宗润. 供应链风险管理研究进展的综述与分析[J]. 系统工程, 2006, 24(03): 1—7  
Zhou Yanju, Qiu Wanhua, Wang Zongrun. A review on supply chain risk management[J]. Journal of Systems Engineering, 2006, 24(3): 1—7 (in Chinese)
- [4] Anupindi R, Akella R. Diversification under supply uncertainty[J]. Management Science, 1993, 39(8): 944—963
- [5] Parlar M, Wang D. Diversification under yield randomness in inventory models[J]. European Journal of Operational Research, 1993, 66(1): 52—64
- [6] Tomlin B, Wang Y. On the value of mix flexibility and dual sourcing in unreliable newsvendor networks[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2005, 7(1): 37—57.
- [7] He Y, Zhang J. Random yield risk sharing in a two-level supply chain[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 112(2): 769—781.
- [8] Corbett C, De Groot X. A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information[J]. Management Science, 2000, 46(3): 444—450.
- [9] Corbett C. 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.
- [10] Ha A. Supplier-buyer contracting: Asymmetric information and cutoff level policy for buyer participation[J]. Naval Research Logistics, 2001, 48(1): 41—64.
- [11] Cachon G P, Lariviere M A. Contracting to assure supply: How to share demand forecasts in a supply chain[J]. Management Science, 2001, 47(5): 629—646.
- [12] Ozer O, Wei W. Strategic commitment for optimal capacity decision under asymmetric forecast information[J]. Management Science, 2006, 52(8): 1238—1257.
- [13] Yang Z B, Aydin G, Babich V, et al. Supply disruptions, asymmetric information and a backup production option[J]. Management Science, 2009, 55(2): 192—209.
- [14] 鲁其辉, 朱道立. 含交付时间不确定性的供应链协调策略研究[J]. 管理科学学报, 2008, 11(2): 50—60  
Lu Qihui, Zhu Dao li. Research on coordination contracts in supply chains with uncertainty of delivery lead time[J]. Journal of Management Sciences in China, 2008, 11(2): 50—60 (in Chinese)
- [15] 李丽君, 黄小原, 庄新田. 双边道德风险条件下供应链的质量控制策略[J]. 管理科学学报, 2005, 8(1): 42—47.  
Li Lijun, Huang Xiaoyuan, Zhuang Xintian. Strategy of quality control in supply chain under double moral hazard condition[J]. Journal of Management Sciences in China, 2005, 8(1): 42—47. (in Chinese)
- [16] 徐庆, 朱道立. 不对称信息下供应链最优激励契约的设计[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(4): 27—33  
Xu Qing, Zhu Dao li. The supply chain optimal contract design under asymmetrical information[J]. Systems Engineering Theory & Practice, 2007, 27(4): 27—33 (in Chinese)

(下转第 42 页)

根据 (B3)、(B4) 和 (B5) 得到可用品实际库存  $ANVS_1$  在时域中的终值

$$\begin{aligned} \lim_{t \rightarrow \infty} ANVS_1(t) &\stackrel{\text{变换}}{=} \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) ANVS_1(z) = \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \cdot \left[ \frac{f_d(z)}{F_d(z)} \cdot d(z) + \frac{f_1(z)}{F_1(z)} \cdot r_m(z) - \frac{f_2(z)}{F_2(z)} \cdot r_m(z) \right] \\ &= \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \cdot [k_1 d(z) + (L_p+1) \cdot r_m(z) - (L_p+1) r_m(z)] \\ &= \lim_{z \rightarrow 1} (z-1) \cdot k_1 d(z) \stackrel{\text{反变换}}{=} \lim_{t \rightarrow \infty} k_1 d(t) \end{aligned}$$

综上所述得证  $\lim_{t \rightarrow \infty} ANVS_1(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} k_1 d(t)$ .

同理可证  $\lim_{t \rightarrow \infty} Q_2(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} Q_1(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} [d(t) - r_m(t)]$   
 $\lim_{t \rightarrow \infty} ANVS_2(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} k_2 Q_1(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} k_2 [d(t) - r_m(t)]$

证毕.

(上接第 18 页)

[17] Albano G, Lizzeri A. Strategic certification and provision of quality [J]. International Economic Review, 2001, 42(1): 267-83

[18] Lizzeri A. Information revelation and certification intermediaries [J]. RAND Journal of Economics, 1999, 30(2): 214-231

[19] Myerson R. Incentive compatibility and the bargaining problem [J]. Econometrica, 1979, 47(1): 61-74

### Analysis of supplier's security state inspection strategy under asymmetric information

ZHANG Yu, WANG Shouyang

1. School of Economics and Management, Beihang University, Beijing 100083, China,
2. Academy of Mathematics and Systems Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China

**Abstract:** The supplier's risk is one of the main risk sources in supply chain. To a retailer it is important to know how to use strategies to deal with the risk and the key point to make the strategy effective is to get the supplier's security state information. On the one hand it is easier for the supplier to know the possible risk because the supplier's security state information is privately owned, on the other hand when involved with security state the supplier need to invest in inspection, evaluation or certification to get the information accurately. Under the asymmetric information that the supplier's security state is unknown, this paper studied the retailer based on the profit maximization principle how to present two kinds of contracts: reward or penalty to encourage the supplier to invest in inspection or not and get the supplier's security state information. Finally, the paper assessed the advantages and disadvantages of the two kinds of contracts.

**Key words:** supply chain; security state; reward; penalty; asymmetric information