

# 非对称信息供应链质量信号传递博弈分析

朱立龙<sup>1,2</sup>, 尤建新<sup>1</sup>

(1. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092;

2. 伊利诺伊大学香槟分校商学院, 美国伊利诺伊州 61820)

**摘要:** 基于博弈论和委托代理理论, 研究了非对称信息条件下供应链节点企业间如何进行质量信号传递的问题。供应商对生产过程投资水平进行决策并采取质量预防策略, 为获得最优质量契约可将其生产过程水平类型以信号传递给生产商, 其对接收到的中间部件或原材料进行质量评价决策和加工处理决策。运用最优化原理, 构建了生产商产品质量决策控制模型, 并对生产商支付的“信息租金”进行了量化的描述并进行了仿真检验, 结果证明: 供应商有激励性动机将其生产过程水平类型以信号传递给生产商, 并提高中间部件或原材料质量水平; 当生产商观测到供应商所提供的产品质量信号后, 将降低其产品质量检验水平、提高加工处理水平, 增加向供应商的前向支付, 作为对供应商提高产品质量水平的质量奖励, 同时整个供应链的联合期望收益将显著增加, 并使生产商为获取供应商产品质量水平向其支付的“信息租金”减少。最后论证了供应商进行产品质量信号传递过程中“棘轮效应”的成因, 并给出了以上各结论相应的定量分析与证明。

**关键词:** 供应链; 委托代理关系; 质量水平; 信号传递; 棘轮效应

中图分类号: F253.4; C931 文献标识码: A

## 1 引言

供应链中的产品质量控制问题近年来已成为一个热点的研究领域(尤建新, 2008)<sup>[1]</sup>, 但在理论与实践的研究中普遍存在以下系统性困难: 供应链各节点企业之间的冲突与竞争; 多级供应链协调难以实现; 供应链企业间由于信息不对称所引致的逆向选择与道德风险问题; 供应链中难以形成长久的合作关系等。而这些问题和困难的产生主要是由于多级供应链各节点企业间信息的不对称造成的, 这也将是供应链产品质量研究中的重大课题(Juran, 2003)<sup>[2]</sup>。

在研究供应链质量控制策略、契约设计和质量信号传递的文献中, 主要有三个研究方向。第一个研究方向是对供应链中质量信号传递模型及各种信号传递工具对质量控制策略的影响, 这些研究主要基于各种质量信号传递模型的分析 and 信号传递工具

的有效性检验(主要的研究者有 Tirole, 1988<sup>[3]</sup>; Desai 和 Srinivasan, 1995<sup>[4]</sup>; Baiman 等, 2001<sup>[5]</sup>; Cachon, 2001<sup>[6]</sup>; Linnemer, 2002<sup>[7]</sup>; Stock 和 Balachander, 2005<sup>[8]</sup>; Erdem 等, 2008<sup>[9]</sup>; Li 等, 2009<sup>[10]</sup>)。Tirole (1988)<sup>[3]</sup> 较早研究了产品价格作为质量信号的传递工具; Desai 和 Srinivasan(1995)<sup>[4]</sup> 建立了线性和非线性质量契约模型, 并将产品需求作为质量信号传递工具; Baiman 等(2001)<sup>[5]</sup> 建立了供应商和购买商的信号传递博弈模型, 并论证了产品结构(可分离结构与不可分离结构)对供应链绩效的影响; Cachon (2001)<sup>[6]</sup> 研究了产品需求预测作为信号传递工具, 并设计了质量契约以使供应商提供固定支付并获取其私人信息; Linnemer(2002)<sup>[7]</sup> 研究了价格和广告策略作为信号传递工具, 并使顾客获得产品质量信息; Stock 和 Balachander(2005)<sup>[8]</sup> 研究了供应链中存在市场缺货及产品质量不合格时的信号传递策略; Erdem 等(2008)<sup>[9]</sup> 研究了价格和广告策略传递产品质量信息, 并建立了质量控制动态模型; Li 等(2009)<sup>[10]</sup> 研究了在互联网拍卖中产品质量如何作为信号传递工具。

第二个研究方向是对供应链中质量控制策略所引致的道德风险问题和质量风险如何分享进行的研究, 这些研究主要基于质量控制模型的分析 and 实证

收稿日期: 2010-06-27; 修订日期: 2010-12-05

基金项目: 国家自然科学基金重点项目资助(70832005); 上海市重点学科建设项目资助(B310)

作者简介: 朱立龙(1983-), 男(汉族), 山东日照人, 同济大学管理科学与工程专业, 博士研究生, 美国伊利诺伊大学香槟分校联合培养博士生, 研究方向: 供应链建模与质量管理。

的检验(主要的研究者有 Baiman 等, 2000<sup>[11]</sup>; Barucci 等, 2000<sup>[12]</sup>; Corbett, 2000<sup>[13]</sup>; Lim, 2001<sup>[14]</sup>; Starbird, 2003<sup>[15]</sup>; Singer 等, 2003<sup>[16]</sup>; Corbett 等, 2005<sup>[17]</sup>; Bernstein, 2005<sup>[18]</sup>; Ferguson 等, 2006<sup>[19]</sup>; Tapiero, 2007<sup>[20]</sup>, 2007<sup>[21]</sup>, 2009<sup>[22]</sup>; Yehezkel, 2008<sup>[23]</sup>; Yu, 2008<sup>[24]</sup>; Zhang, 2009<sup>[25]</sup>)。Baiman 等(2000)<sup>[11]</sup>研究了供应商的质量预防决策和购买商的质量检验决策, 分析供应链道德风险问题并建立了质量控制道德风险模型; Corbett (2000)<sup>[13]</sup>和 Lim(2001)<sup>[14]</sup>研究了供应链质量控制策略道德风险问题, 并进行了实证研究与仿真检验; Starbird (2003)<sup>[15]</sup>研究了制造商如何进行质量风险分享决策及确定产品质量水平, 并实证检验了零售商各种批量检验策略的影响; Bernstein(2005)<sup>[18]</sup>研究了需求不确定性条件下两级供应链中存在多个竞争零售商的质量控制契约道德风险问题; Tapiero(2007, 2007, 2009)<sup>[20-22]</sup>分别研究了竞争与合作供应链中质量契约设计时, 如何确定供应商风险、零售商风险和消费者风险; Yehezkel(2008)<sup>[23]</sup>研究了二级供应链中制造商与零售商如何确定质量控制契约, 并分析了单边道德风险问题和如何进行质量改进激励、设计产品召回契约; Yu (2008)<sup>[24]</sup>和 Zhang (2009)<sup>[25]</sup>研究了供应商如何确定质量控制契约, 并分析了信息非对称条件下如何降低产品质量分享的风险。

第三个研究方向主要是关于在供应链中如何设计质量控制契约和建立质量激励机制的研究(主要的研究者有 Reyniers, 1995<sup>[26]</sup>, 1995<sup>[27]</sup>; Puelz, 1997<sup>[28]</sup>; Starbird, 2001<sup>[29]</sup>; Cachon, 2005<sup>[30]</sup>; Wang, 2007<sup>[31]</sup>; Chao 等 2009<sup>[32]</sup>)。Reyniers(1995, 1995)<sup>[26, 27]</sup>较早建立了质量控制契约模型, 并研究了供应商与生产商如何进行契约设计和质量控制的问题; Starbird (2001)<sup>[29]</sup>在研究供应链质量契约设计的过程中, 提出了如何设计供应链惩罚、奖励和检查策略, 并提出了相应的质量激励机制; Cachon(2005)<sup>[30]</sup>通过设计供应链契约给予供应商固定支付来获取其私人信息, 确定需求预测分享和收益分享契约, 以解决非对称信息条件下供应链中的供应商与销售商(制造商)之间如何协调的问题; Wang(2007)<sup>[31]</sup>研究了一个风险中性的制造商与一个风险厌恶的零售商之间, 如何设计分销渠道协调契约的问题, 并建立了相应的质量控制模型; Chao 等(2009)<sup>[32]</sup>在研究二级供应链中制造商与供应商质量控制问题时, 提出了如何进行质量改进激励和产品回购中的契约设计问

题。国内的学者如张翠华等(2004)<sup>[33]</sup>研究了非对称信息条件下如何进行供应链质量控制契约设计的问题; 李丽君等(2005)<sup>[34]</sup>研究了双边道德风险条件下如何确定供应链质量控制策略的问题; 张斌和华中生(2006)<sup>[35]</sup>研究了供应商与制造商之间如何进行抽样检验策略的设计, 分析了质量水平作为信号传递对供应链绩效的影响; 霍佳震等(2008)<sup>[36]</sup>则研究了非对称信息条件下供应链协调问题, 并运用委托代理理论构建了供应链质量控制模型, 并给出了量化的分析与描述; 朱立龙和尤建新(2009, 2010, 2010)<sup>[37-39]</sup>研究了当存在道德风险条件下, 如何进行供应链质量控制契约设计的问题, 并进行了仿真检验。但是由于信息的不对称, 供应链中的供应商和生产商会存在复杂的委托代理关系, 供应商在进行质量预防决策和生产商在进行质量评价决策和加工处理决策时, 供应商为获得最优质量契约, 可将其生产过程投资水平的类型以信号传递给生产商, 但以前的文献及研究者对供应链中供应商如何将产品质量以信号传递给生产商的问题, 生产商观测到供应商的质量信号后对其质量评价策略和加工处理决策的影响因素问题, 以及生产商如何确定支付“信息租金”的问题涉及的较少。

本文的研究主要有以下特点:

首先, 建立了供应商与生产商的期望收益函数模型, 考虑了当供应商提供的产品质量有缺陷时, 引致生产商内部损失成本和外部损失成本两种情况, 并在模型中引入了供应商的价格折扣、生产商外部损失成本分摊比例, 以及发生内部损失时的担保支付额和外部损失时的担保支付额四个参数, 以使模型更加符合企业的实际情况; 其次, 将证明生产过程投资水平能够作为一个战略性的信号传递工具以提高产品质量, 并分析了两种类型的道德风险问题: 供应商可能存在降低生产过程投资水平的道德风险, 而生产商可能存在夸大产品质量缺陷率和降低加工处理水平的道德风险, 并检验了道德风险的影响因素, 分析了如何设计相应的质量激励契约。最后, 构建了生产商产品质量决策控制模型, 运用博弈分析和委托代理理论对供应商如何进行产品质量信号传递进行了分析, 并运用最优化原理, 求解了生产商所支付的“信息租金”的值, 分析了质量信号传递博弈对供应商的质量预防策略、生产商的质量评价策略和加工处理决策的影响, 并论证了“棘轮效应”产生的原因, 给出了各结论的定量分析和证明。

## 2 模型假设与一般描述

我们构建的模型是在单阶段条件下由一个风险中性的供应商和一个风险中性的生产商组成的供应链系统。假定: (1) 当供应商提供的中间部件或原材料合格时, 生产商的质量检验过程将证实它; (2) 当供应商提供的中间部件或原材料质量有缺陷时, 如果生产商的质量检验系统发现后将拒收该产品, 将引致生产商的内部损失成本; (3) 当供应商提供的中间部件或原材料质量有缺陷时, 如果生产商的质量检验系统没有发现缺陷, 生产商将缺陷产品销售给顾客将引致外部损失成本; (4) 生产商的质量评价过程和加工处理过程不改变中间部件或原材料的质量水平; (5) 生产商仅对检验合格的中间部件或原材料才进行加工处理过程, 然后销售给顾客; (6) 供应商与生产商均追求期望收益最大化。

本文主要参数描述如下:

$P_{Sj}$  = 供应商的质量预防水平(即生产中间部件或原材料合格的概率),  $j \in \{L, H\}$ , 当供应商的生产过程为高水平类型时, 其质量预防水平为  $P_{SH}$ ; 当供应商的生产过程为低水平类型时, 其质量预防水平为  $P_{SL}$ , 由假设易得  $P_{SL} < P_{SH} \in [0, 1]$ 。

$C_s(P_{Sj}, \theta_s)$  = 供应商的质量预防成本,  $\theta_s$  为影响供应商产品质量的外生随机变量, 设  $\theta_s \sim N(\mu_s, \sigma_s^2)$ , 且假定  $C'_s(P_{Sj}) > 0$ ,  $C''_s(P_{Sj}) > 0$ , 当  $P_{Sj} > 0$  时, 且  $C_s(0) = C'_s(0) = 0$ ,  $C'_s(1) = \infty$ , 即供应商的质量预防成本函数为边际成本递增的凸函数。

$P_{Pj}$  = 生产商的质量检验水平(即检验出中间部件或原材料有缺陷的概率),  $j \in \{L, H\}$ 。

$C_P(P_{Pj}, \theta_P)$  = 生产商的质量检验成本,  $\theta_P$  为影响生产商质量检验的外生随机变量, 设  $\theta_P \sim N(\mu_P, \sigma_P^2)$ , 假定  $C'_P(P_{Pj}) > 0$ ,  $C''_P(P_{Pj}) > 0$ , 当  $P_{Pj} > 0$  时, 且  $C_P(0) = C'_P(0) = 0$ ,  $C'_P(1) = \infty$ , 即生产商的质量检验成本函数为边际成本递增的凸函数。

$q_j$  = 生产商的加工处理水平, 即生产商对通过检验的中间部件或原材料, 将对其进行加工处理过程, 再销售给顾客。

$C_q(q_j)$  = 生产商的加工处理成本, 其假设条件同前。

因此, 本文建立如下的供应商期望收益函数模型:

$$E\Pi_{Sj} = V_F - (1 - P_{Sj})P_{Pj}[(W_{Ij}^L + \Delta\pi) + (1 - q_j)\alpha W_E] - (1 - P_{Sj})(1 - P_{Pj})(W_{Ij}^E + \alpha W_E)$$

$$- P_{Sj}(1 - q_j)\alpha W_E - C_s(P_{Sj}, \theta_s), j \in \{L, H\} \quad (1)$$

其中,  $E\Pi_{Sj}$  为供应商的期望收益;  $V_F$  是生产商为获得中间部件或原材料而向供应商提供的前向支付;  $(1 - P_{Sj})(1 - P_{Pj})$  为生产商犯“第二类错误”的概率;  $W_{Ij}^L$  为生产商检验出产品缺陷而引致内部损失成本时, 供应商提供的内部损失担保支付;  $W_{Ij}^E$  为生产商没有检验出产品缺陷而将产品销售给顾客所引致外部损失成本时, 供应商提供的外部损失担保支付;  $W_E$  为当供应商本身提供的中间部件或原材料有缺陷, 但生产商又没有检验出时, 进行加工处理后将不合格产品销售给顾客造成的外部损失成本;  $\Delta\pi$  为供应商为弥补生产商的内部损失成本而对其提供的价格折扣;  $\alpha$  为生产商发生外部损失成本时, 其在供应商与生产商之间的分摊比例, 设  $\alpha \in [0, 1]$ 。

因此, 生产商的期望收益函数模型建立如下:

$$\begin{aligned} E\Pi_{Pj} = & P_{Sj}q_jR_{P1} + (1 - P_{Sj})P_{Pj}R_{P3} + (1 - P_{Sj})(1 - P_{Pj})q_jR_{P2} - (1 - \\ & P_{Sj})P_{Pj}[(W_I - \Delta\pi) + (1 - q_j)(1 - \\ & \alpha)W_E - W_{Ij}^L] - P_{Sj}(1 - q_j)(1 - \alpha)W_E - (1 - \\ & P_{Sj})(1 - P_{Pj})[(1 - \alpha)W_E - W_{Ij}^E] - V_F - C_P(P_{Pj}, \\ & \theta_P) - C_q(q_j), j \in \{L, H\} \end{aligned} \quad (2)$$

其中,  $E\Pi_{Pj}$  为生产商的期望收益;  $W_I$  为当生产商检验出供应商的中间部件或原材料有缺陷时, 所引致的内部损失成本;  $R_{P1}$  为生产商销售合格产品所获得的收益;  $R_{P2}$  为当供应商提供的中间部件或原材料有缺陷时, 生产商没有检验出缺陷产品而进行加工处理后将最终产品销售给顾客所获得的收益;  $R_{P3}$  为当供应商提供的中间部件或原材料有缺陷时, 生产商检验出产品缺陷且拒收该产品, 生产商因销量的下降所获得的收益。

生产商的外部损失成本为  $(R_{P1} - R_{P2})$ , 内部损失成本为  $(R_{P1} - R_{P3})$ , 当生产商发生外部损失成本时将导致声誉成本和机会成本会大于发生内部损失时的修理和契约成本, 即  $(R_{P1} - R_{P2}) > (R_{P1} - R_{P3})$ , 易得  $R_{P1} > R_{P3} > R_{P2}$ 。为使生产商有激励动机去实施质量评价策略和加工处理策略, 生产商发生内部损失成本时对供应商的惩罚额必小于其内部损失成本, 即  $(W_I - \Delta\pi) < (R_{P1} - R_{P3})$ , 生产商因销售缺陷产品而引发外部损失成本时对供应商的惩罚将大于其发生内部损失时的惩罚, 即  $(1 - \alpha)W_E > (W_I - \Delta\pi)$ , 否则, 生产商无激励动机去评价检验产品, 而其子博弈 Nash 均衡为总是退还或拒收产品。

### 3 非对称信息条件委托代理模型

在本文的分析中,假定供应商对其生产过程投资水平进行决策,即确定产品质量预防水平  $P_{Sj}$ ,  $j \in \{L, H\}$ , 供应商拥有产品质量水平的私人信息, 将其设为代理人; 而生产商观测供应商的产品质量预防水平类型, 对接收的供应商中间部件或原材料进行质量检验决策, 决定对该产品进行加工处理或拒收, 将其设为委托人。

因此, 生产商的产品质量决策控制模型建立如下:

$$P_{Sj}, q_j, \alpha \underset{V_F}{Max} E \Pi_{Pj}(P_{Sj}, q_j, \alpha) \quad (3)$$

$$s.t. (IR) E \Pi_{Sj}(P_{Sj}, \Delta \pi) \geq r_s \quad (4)$$

$$(IC) \{P_{Sj}^{NE}, \Delta \pi\} \in \arg \underset{0 < P_{Sj} \leq 1, 0 < q_j < 1}{Max} E \Pi_{Sj}(P_{Sj}, \Delta \pi),$$

$$j \in \{L, H\} \quad (5)$$

其中,  $r_s$  为供应商的保留效用; 第一个约束为供应商的个人理性约束 (Individual Rationality Constraint), 即供应商接受质量激励契约的收益不小于其保留效用; 第二个约束为供应商的激励相容约束 (Incentive Compatibility Constraint), 即在质量激励契约下, 供应商总是选择使自己期望收益最大的产品质量预防水平决策。

由(3)式分别对  $P_{Sj}$ ,  $q_j$  的求一阶偏导数, 得

$$(1 - P_{Sj})[(R_{P3} - q_j R_{P2}) + [q_j(1 - \alpha)W_E - (W_I - \Delta \pi)] - (W_{Rj}^E - W_{Rj}^L)] - C'_P(P_{Sj}, \theta_P) = 0 \quad (6)$$

即

$$(1 - P_{Sj})[(R_{P3} - q_j R_{P2}) + [q_j(1 - \alpha)W_E - (W_I - \Delta \pi)] - (W_{Rj}^E - W_{Rj}^L)] = C'_P(P_{Sj}^{NE}, \theta_P) \quad (7)$$

$$P_{Sj}[R_{P1} + (1 - \alpha)W_E] + (1 - P_{Sj})[(1 - P_{Sj})R_{P2} + P_{Sj}(1 - \alpha)W_E] - C'_q(q_j) = 0 \quad (8)$$

$$\text{即, } P_{Sj}[R_{P1} + (1 - \alpha)W_E] + (1 - P_{Sj})[(1 - P_{Sj})R_{P2} + P_{Sj}(1 - \alpha)W_E] = C'_q(q_j^{NE}) \quad (9)$$

其中,  $\{P_{Sj}^{NE}, q_j^{NE}\}$  分别为生产商追求期望收益最大化时的子博弈 Nash 均衡质量检验水平和加工处理水平。

命题 1: 在供应商(代理人)以其生产过程投资水平类型  $j \in \{L, H\}$  为私人信息的条件下, 供应商为获得最优质量契约可将其生产过程投资水平类型以质量信号传递给生产商(委托人), 此时生产商的质量检验水平  $P_{Pj}$  和加工处理水平  $q_j$  分别满足: (1)  $P_{PH} < P_{PL} \in [0, 1]$ ; (2)  $q_L < q_H \in [0, 1]$ 。

证明: 供应商(代理人)拥有其生产过程投资水平的私人信息  $j \in \{L, H\}$ , 供应商为获得最优质量

契约可将  $P_{Sj}$  以信号传递给生产商, 由题设可知, 当供应商的生产类型为  $H$  时  $P_{SH}$  显然大于其生产过程类型为  $L$  时  $P_{SL}$ , 即  $0 \leq P_{SL} < P_{SH} \leq 1$ 。当生产商(委托人)在观测到供应商的信号  $P_{Sj}$  时将根据(7)式和(9)式来确定  $P_{Pj}$  和  $q_j$ 。

$$\text{由(7)式, 得 } P_{Pj}^{NE} = P_{Pj}(P_{Sj}, q_j, \theta_P) \quad (10)$$

$$\text{由(9)式, 得 } q_j^{NE} = q_j(P_{Sj}, P_{Pj}) \quad (11)$$

根据 Stanley Baiman 在文献[5]中的假设, 当生产商发生外部损失成本时, 将导致声誉损失和机会成本(顾客购买其竞争对手的产品)大于其发生内部损失时的修理和契约成本, 即  $(1 - \alpha)W_E > (W_I - \Delta \pi)$ , 而生产商发生外部损失时的担保支付也将大于其发生内部损失时的担保支付, 即  $W_{Rj}^E > W_{Rj}^L$ 。

由(10)式和(11)式, 分别对  $P_{Sj}$  求偏导, 得

$$P'_{Pj}(P_{Sj}) < 0, q'_j(P_{Sj}) > 0$$

即分别为  $P_{Pj}$  和  $q_j$  的隐函数, 且  $P_{Pj}(P_{Sj})$  为单调递减的线性函数,  $q_j(P_{Sj})$  为单调递增的线性函数。

又因为,  $0 \leq P_{SL} < P_{SH} \leq 1$

所以,  $0 \leq P_{PH} < P_{PL} \leq 1, 0 \leq q_L < q_H \leq 1$ 。

命题 1 表明: 供应商将其生产过程水平类型(高水平类型或低水平类型)以产品质量信号传递给生产商时, 此时生产商可观测到供应商的产品质量预防水平, 当生产商确定供应商的生产过程为低水平类型时, 将选择较高的产品质量检验水平和较低的加工处理水平; 当生产商确定供应商的生产过程为高水平类型时, 将选择较低的产品质量检验水平和较高的加工处理水平。由命题 1, 我们可以得出以下推论。

推论 1.1: 如果供应商将其质量预防水平  $P_{Sj}$ ,  $j \in \{L, H\}$  以信号传递给生产商, 则生产商观测供应商为高生产投资水平类型时的前向支付将大于其为低生产投资水平类型时的前向支付, 即  $V_{F_H}^i > V_{F_L}^i, i \in \{I, E\}$ 。

证明: 由供应商的期望收益函数  $E \Pi_{Sj}$  分别对  $P_{Sj}$  和  $V_{Fj}$  的一阶最优化, 得

$$\frac{\partial E \Pi_{Sj}}{\partial P_{Sj}} = P_{Pj}[(W_{Rj}^L - W_{Rj}^E) - (q_j \alpha W_E - \Delta \pi)] + (W_{Rj}^E + q_j \alpha W_E) - C'_s(P_{Sj}^{NE}, \theta_s) = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial E \Pi_{Sj}}{\partial V_{Fj}} = 1 > 0 \quad (13)$$

其中,  $P_{Sj}^{NE}$  为无信号传递时(即  $P_{Sj}$  隐匿), 供应商的质量预防水平子博弈 Nash 均衡解。

由前述假设  $0 \leq P_{SL} < P_{SH} \leq 1$  和  $W_{RH}^E > W_{RL}^E$ , 以及命题 1 的证明  $P_{PH} < P_{PL}$  和  $q_L < q_H$ , 由式 (12) 易得,  $\frac{\partial^2 E\Pi_{sj}}{\partial P_{Sj} \partial P_{Pj}} < 0$ , 即  $E\Pi_{sj}(P_{Sj}, P_{Pj})$  为

质量检验水平  $P_{Pj}$  的线性减函数。而在其他条件不变的前提下, 由 (13) 式得  $E\Pi_{sj}(V_{Fj}) > 0$ , 即  $E\Pi_{sj}(P_{Sj}, V_{Fj})$  为  $V_{Fj}$  的线性增函数。

推论 1.1 表明: 当供应商将其生产过程投资水平类型以质量信号传递给生产商时, 如果生产商观测到供应商为高生产投资水平类型时, 生产商向其提供的前向支付将明显大于供应商为低水平类型时, 以作为对供应商提高产品质量水平的质量奖励。

推论 1.2: 供应商(代理人)选择高生产投资水平类型时的担保支付将大于其选择低水平生产类型时的担保支付, 即  $W_{RH}^i > W_{RL}^i = 0, i \in \{I, E\}$ 。

证明: 由命题 1 和推论 1.1 的证明过程, 我们明显可以得出  $W_{RH}^i > W_{RL}^i$ , 下面我们来证明  $W_{RL}^i = 0$ 。当供应商选择其生产投资类型为低水平时, 即  $P_{SL} < E(P_{Sj})$ , 此时生产商的内部损失成本 ( $W_I - \Delta\pi$ ) 和外部损失成本  $(1 - \alpha)W_E$  都将增大, 而作为委托人的生产商与作为代理人的供应商已失去信任, 相互之间的合作已变得不可行, 此时供应商的子博弈 Nash 均衡为不再提供任何担保支付, 即  $W_{RL}^i = 0$ 。

推论 1.2 表明: 只要供应商提供的中间部件或原材料质量有缺陷, 无论生产商的质量评价系统检测出缺陷还是没有检测出缺陷, 即不管是发生内部损失成本还是外部损失成本, 供应商高生产投资水平类型时所提供的担保支付将大于其为低水平类型时所提供的担保支付, 更有可能的是供应商不提供任何担保支付, 此时供应商与生产商之间将不再有合作的意向。

#### 4 供应商质量信号传递棘轮效应分析

供应商为获得生产商的最优质量契约, 可将其生产过程投资水平类型以信号传递给生产商, 而生产商在观测到质量预防水平  $P_{Sj}$  后, 确定质量检验水平  $P_{Pj}$  和加工处理水平  $q_j$ 。

##### 4.1 供应链最优合同设计

我们在求解供应链节点企业间质量控制问题

$$P_{Sj}^* = \frac{P_{Bj}[(W_I - q_j W_E) - (R_{P3} - q_j R_{P2})] + q_j(R_{P1} - R_{P2} + W_E)}{K_S \theta_S^2} \quad (18)$$

由式 (12) 得

时, 不仅要考虑供应商期望收益最大和生产商期望收益最大, 而我们还要追求由供应商和生产商组成的供应链联合期望收益最大。

由式 (1) 和式 (2) 对供应商和生产商期望收益函数的假设, 建立如下供应链联合期望收益函数模型:

$$E\Pi_{SP} = P_{Sj}q_j R_{P1} + (1 - P_{Sj})P_{Pj}R_{P3} + (1 - P_{Sj})(1 - P_{Pj})q_j R_{P2} - (1 - P_{Sj})P_{Pj}[W_I + (1 - q_j)W_E] - (1 - P_{Sj})(1 - P_{Pj})W_E - P_{Sj}(1 - q_j)W_E - C_S(P_{Sj}, \theta_S) - C_P(P_{Pj}, \theta_P) - C_q(q_j), j \in \{L, H\} \quad (14)$$

式 (14) 分别对  $P_{Sj}$ 、 $P_{Pj}$  和  $q_j$  求一阶偏导数

$$P_{Bj}[(W_I - q_j W_E) - (R_{P3} - q_j R_{P2})] + q_j(R_{P1} - R_{P2} + W_E) - C'_S(P_{Sj}, \theta_S) = 0$$

$$\text{即, } P_{Pj}[(W_I - q_j W_E) - (R_{P3} - q_j R_{P2})] + q_j(R_{P1} - R_{P2} + W_E) = C'_S(P_{Sj}^*, \theta_S) \quad (15)$$

$$(1 - P_{Sj})[(R_{P3} - q_j R_{P2}) + [(q_j - P_{Sj})W_E - W_I]] - C'_P(P_{Pj}, \theta_P) = 0$$

$$\text{即, } (1 - P_{Sj})[(R_{P3} - q_j R_{P2}) + [(q_j - P_{Sj})W_E - W_I]] = C'_P(P_{Pj}^*, \theta_P) \quad (16)$$

$$P_{Sj}(R_{P1} + W_E) + (1 - P_{Sj})[(1 - P_{Pj})R_{P2} + P_{Pj}W_E] - C'_q(q_j) = 0$$

$$\text{即, } P_{Sj}(R_{P1} + W_E) + (1 - P_{Sj})[(1 - P_{Pj})R_{P2} + P_{Pj}W_E] = C'_q(q_j^*) \quad (17)$$

其中,  $\{P_{Sj}^*, P_{Pj}^*, q_j^*\}$  分别为完全信息条件下供应商最优质量预防水平、生产商最优质量检验水平和最优加工处理水平。

命题 2: 如果供应商在与生产商签约之前, 无激励动机进行产品质量信号传递(即  $P_{Sj}$  隐匿), 则生产商为激励供应商选择最优的质量预防水平, 将向供应商支付信息激励成本为  $\Delta E\Pi_{Sj}^S > 0$ (即“信息租金”), 此时供应商的质量预防水平将满足:  $P_{Sj}^* > P_{Sj}^{NF}$ (即供应商存在降低生产过程投资水平的道德风险)。

证明: 根据 Baiman 在文献[5]中的假设, 本文

$$\text{假定: } C_S(P_{Sj}, \theta_S) = \frac{1}{2}K_S P_{Sj}^2 \theta_S^2, C_P(P_{Pj}, \theta_P) =$$

$$\frac{1}{2}K_P P_{Pj}^2 \theta_P^2, C_q(q_j) = \frac{1}{2}K_q q_j^2, \text{其中 } K_S、K_P、K_q$$

是待定系数(设  $K_S > 0, K_P > 0, K_q > 0$ )。由式 (15) 得

$$P_{S_j}^{NE} = \frac{P_{P_j} [(W_{R_j}^L - W_{R_j}^E) - (q_j \alpha W_E - \Delta \pi)] + (W_{R_j}^E + q_j \alpha W_E)}{K s \theta_s^2} \quad (19)$$

因此,  $\Delta P_{S_j} = P_{S_j}^* - P_{S_j}^{NE} = \frac{P_{P_j} [(W_I - q_j W_E) + (W_{R_j}^E - W_{R_j}^L)] + (q_j \alpha W_E - \Delta \pi) - (R_{P3} - q_j R_{P2})}{K s \theta_s^2}$

$$+ \frac{q_j (R_{P1} - R_{P2} + W_E) - (W_{R_j}^E + q_j \alpha W_E)}{K s \theta_s^2} \quad (20)$$

由本文前述假设可知,  $R_{P1} > R_{P3} > R_{P2}$ 、 $(1 - \alpha) W_E > (W_I - \Delta \pi)$  和  $W_{R_j}^E > W_{R_j}^L$ ,

因此, 易得  $\Delta P_{S_j} > 0$ , 即  $P_{S_j}^* > P_{S_j}^{NE}$ 。

因此,  $\Delta E \Pi_{P_j} = E \Pi_{P_j} (P_{S_j}^*) - E \Pi_{P_j} (P_{S_j}^{NE}) =$

$$\frac{[P_{P_j} [(W_I - q_j W_E) + (W_{R_j}^E - W_{R_j}^L)] + (q_j \alpha W_E - \Delta \pi) - (R_{P3} - q_j R_{P2})] + [q_j (R_{P1} - R_{P2} + W_E) - (W_{R_j}^E + q_j \alpha W_E)]^2}{K s \theta_s^2}$$

$> 0$  (21)

因此,  $E \Pi_{P_j} (P_{S_j}^{NE}) < E \Pi_{P_j} (P_{S_j}^*)$ 。

其中,  $\Delta E \Pi_{P_j}$  为生产商的信息激励成本 (即“信息租金”)。

命题 2 表明: 生产商为激励供应商选择高生产投资水平类型并提高其产品质量预防水平, 将以“信息租金”的形式向供应商提供补偿支付, 以消除其降低质量预防水平的道德风险, 且支付的“信息租金”与生产商的质量检验水平和加工处理水平成正比, 即随着生产商质量检验水平和加工处理水平的提高, 其支付给供应商的“信息租金”也将增加, 此时生产商期望收益将减少, 供应商有激励性动机提高其产品质量预防水平, 并使整个供应链的联合期望收益增加。

#### 4.2 棘轮效应分析

信号传递模型是解决逆向选择问题的一种有效方法, 但在供应商进行产品质量信号传递的过程中, 可能会出现“棘轮效应”, 下面我们将对此问题展开研究。

命题 3 (棘轮效应): 供应商为提高其生产过程中间部件或原材料的质量水平, 可选择提高质量预防水平  $P_{S_j}$ , 如果生产商在发生内部损失时边际担保支付成本大于其发生外部损失时边际担保支付成本, 则生产商在观测到  $P_{S_j}$  后, 不但不会降低其质量检验水平  $P_{P_j}$ , 反而会提高  $P_{P_j}$ , 产生“棘轮效应”。

证明: 由命题 1 和命题 2 的分析, 易得供应商的目标函数为:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{P_{S_j}} V_F - (1 - P_{S_j}) P_{P_j} (W_{R_j}^L - \Delta \pi) - (1 \\ - P_{S_j}) (1 - P_{P_j}) W_{R_j}^E \end{aligned} \quad (22)$$

生产商的目标函数为:

$$\text{Max}_{P_{P_j}} (1 - P_{S_j}) P_{P_j} [(W_{R_j}^L - (W_I - \Delta \pi))] + (1$$

其中,  $\Delta P_{S_j}$  为供应商存在降低生产过程投资水平的道德风险值。

将 (18) 式和 (19) 式分别代入 (2) 式, 得

$$- P_{S_j}) (1 - P_{P_j}) [W_{R_j}^E - (1 - \alpha) W_E] \quad (23)$$

由式 (22) 和 (23) 分别对  $P_{S_j}$ 、 $P_{P_j}$  求一阶偏导数, 得

$$P_{P_j} (W_{R_j}^L - \Delta \pi) + (1 - P_{P_j}) W_{R_j}^E = 0 \quad (24)$$

$$(1 - P_{S_j}) [W_{R_j}^L - (W_I - \Delta \pi)] - (1 - P_{S_j}) [W_{R_j}^E - (1 - \alpha) W_E] = 0 \quad (25)$$

由题设条件和推论 1.2 的结论  $0 \leq P_{S_j} \leq 1$ ,  $(1 - \alpha) W_E > (W_I - \Delta \pi)$  和  $(W_{R_j}^L - \Delta \pi) < 0$ ,  $j \in \{L, H\}$ , 由 (25) 式可得  $W_{R_j}^E > W_{R_j}^L$

由 (24) 式可得

$$P_{P_j} = \frac{W_{R_j}^E}{W_{R_j}^E - (W_{R_j}^L - \Delta \pi)} = \frac{1}{1 - \frac{W_{R_j}^L - \Delta \pi}{W_{R_j}^E}} \quad (26)$$

当供应商提高其质量预防水平  $P_{S_j}$  时, 设  $\Delta W_{R_j}^L$ 、 $\Delta W_{R_j}^E$  分别为生产商发生内部损失时边际担保支付成本和其发生外部损失时边际担保支付成本, 在其他条件不变的情况下, 由题设条件、推论 1.2 和命题 2 的结论, 易得  $\Delta W_{R_j}^L > \Delta W_{R_j}^E$ 。

设  $\tilde{P}_{P_j} =$

$$\frac{(W_{R_j}^E + \Delta W_{R_j}^E)}{(W_{R_j}^E + \Delta W_{R_j}^E) - [(W_{R_j}^L - \Delta \pi) + \Delta W_{R_j}^L]} \quad (27)$$

将 (24) 式代入 (27) 式比较, 易得  $\tilde{P}_{P_j} > P_{P_j}$ 。

命题 3 表明: 在供应商将其生产过程投资水平类型以信号传递给生产商的过程中, 当生产商观测到供应商的质量预防水平较高时, 如果生产商在发生内部损失时边际担保支付成本大于其发生外部损失时边际担保支付成本, 生产商可能并不会降低其产品质量检验水平, 反而会强化质量评价策略, 提高质量检验水平, 这种标准随业绩提高的趋向在实际

企业中也是普遍存在的。

### 5 数值分析

假设供应商 S 公司销售一种产品部件给生产商 P 公司, 当 S 公司提供的产品部件合格时, P 公司加工处理后销售给最终顾客所获得收益为 400 元/件; 当 S 公司提供的部件有缺陷, 如果 P 公司的质量评价过程检测出缺陷, 所获得收益为 200 元/件; 当 S 公司提供的部件有缺陷, 但 P 公司没有检测出缺陷而加工处理后销售给顾客, 所获得收益为 150 元/件, P 公司为获得该部件需向 S 公司提供的前向支付为 300 元/件, 供应商 S 公司的质量预防成本系数为 110 元/件, 生产商 P 公司的质量检验成本系数为 110 元/件, 加工处理成本系数为 120 元/件, 不考虑外部随机因素的影响。内部损失成本及引致的担保支付分别为 50 元/件和 10 元/件, 外部损失成本及引致的担保支付分别为 120 元/件和 60 元/件, 当发生内部损失时 S 公司提供的价格折扣为 10 元/件, 分摊比例  $\alpha$  为 0.5, 分析: 当供应商 S 公司产品质量预防水平隐匿情况下或者进行信号传递过程中, 生产商 P 公司产品质量检验水平、所支付的信息租金和供应商的道德风险值, 以及两者期望收益的变化?

我们根据文中式 (1) 和式 (2) 分别对供应商和生产商期望收益函数的假设, 以及式 (14) 式对供应链联合期望收益函数的假设, (7) 式和 (16) 式分别求解无信号传递时生产商质量检验水平和存在信号传递时生产商质量检验水平, 式 (20) 和 (21) 分别求解供应商的道德风险值和生产商支付的信息租金, 我们应用 MATLAB 7.0 进行仿真计算, 结果如表 1~ 2, 图 1~ 2 所示。

表 1 供应商选择进行质量信号传递时决策影响 ( $q_j = 0.5$ )

$P_{Sj}$	$P_{Sj}^E$	$P_{Sj}^F$	$E\Pi_{Sj}$ (元)	$E\Pi_{Pj}$ (元)	$E\Pi_{SP}$ (元)
0.000	0.591	1.000	221.364	-220.795	0.568
0.100	0.532	0.989	221.955	-208.944	13.010
0.200	0.473	0.807	222.273	-196.709	25.564
0.300	0.414	0.630	222.318	-184.090	38.228
0.400	0.355	0.475	222.091	-171.086	51.005
0.500	0.295	0.341	221.591	-157.699	63.892
0.600	0.236	0.229	220.818	-143.927	76.891
0.700	0.177	0.139	219.773	-129.772	90.001
0.800	0.118	0.071	218.455	-115.232	103.223
0.900	0.059	0.025	216.864	-100.308	116.556
1.000	0.000	0.000	215.000	-85.000	130.000

表 2 供应商选择进行质量信号传递时决策影响 ( $q_j = 1.0$ )

$P_{Sj}$	$P_{Sj}^E$	$P_{Sj}^F$	$E\Pi_{Sj}$ (元)	$E\Pi_{Pj}$ (元)	$E\Pi_{SP}$ (元)
0.000	0.182	1.000	198.182	-208.182	-10.000
0.100	0.164	0.884	206.177	-183.527	22.650
0.200	0.145	0.698	213.436	-158.836	54.600
0.300	0.127	0.535	219.959	-134.109	85.850
0.400	0.109	0.393	225.745	-109.345	116.400
0.500	0.091	0.273	230.795	-84.545	146.250
0.600	0.073	0.175	235.109	-59.709	175.400
0.700	0.055	0.098	238.686	-34.836	203.850
0.800	0.036	0.044	241.527	-9.927	231.600
0.900	0.018	0.011	243.632	15.018	258.650
1.000	0.000	0.000	245.000	40.000	285.000

由表 1 和表 2 可得: 随着供应商产品质量预防水平的提高, 生产商的质量检验水平将呈下降趋势; 但当供应商选择较高的质量预防水平 ( $> 0.500, q_j = 0.5$  或者  $> 0.800, q_j = 1.0$ ), 其进行产品质量信号传递时所引致的生产商质量检验水平将明显小于无信号传递时所引致的生产商质量检验水平; 两种情况下, 生产商的期望收益将增加, 整个供应链的联合期望收益也将增加, 这与实际情况是吻合的。

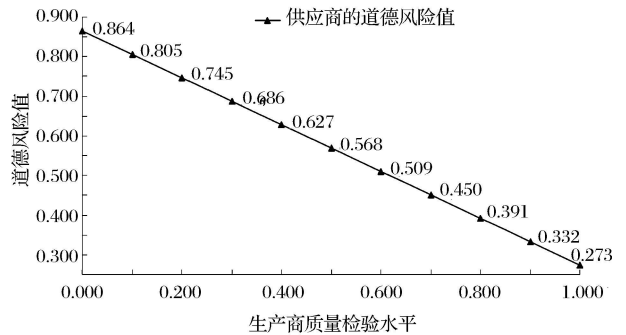


图 1 供应商的道德风险值

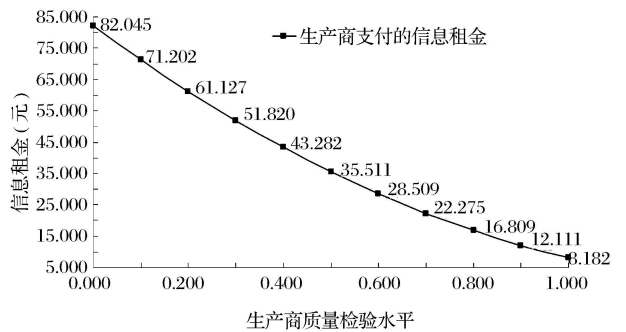


图 2 生产商支付的信息租金

由图 1 和图 2 可得: 当生产商决定提高其产品质量检验水平时, 虽然供应商存在降低生产过程投资水平的道德风险, 但所引致的道德风险值呈下降趋势; 此时, 生产商为激励供应商提高生产过程投资水平, 将支付额外的信息激励成本 (即“信息租金”),

但所支付的“信息租金”将呈下降趋势,这与实际情况也是吻合的。

## 6 结语

针对非对称信息条件下供应商与生产商之间的质量控制问题,我们分析了供应商进行生产过程投资水平决策,进而决定其产品质量预防策略,而生产商对接收的中间部件或原材料进行质量评价决策和加工处理决策,然后再将产品销售给顾客。供应商为获得最优质量契约可将其生产过程投资水平类型以信号传递给生产商,生产商依据观测到的供应商质量预防水平进而确定其产品质量检验水平和加工处理水平。本文构建了供应商产品质量信号传递博弈模型,通过对该模型的分析,可以证明:供应商有激励动机将其生产过程投资水平类型以产品质量信号传递给生产商,并提高其生产的中间部件或原材料的质量水平;当供应商选择生产过程为高水平类型时,生产商将选择较低的产品质量检验水平和较高的加工处理水平,且其提供的前向支付将增加,以作为对供应商提高产品质量水平的质量奖励;当供应商选择生产过程为高水平类型时,无论是引致内部损失成本还是外部损失成本,供应商所提供的担保支付都将增加。

生产商为激励供应商选择高生产投资水平类型并提高其产品质量水平,将向供应商支付“信息租金”,随着生产商质量检验水平和加工处理水平的提高,其支付给供应商的“信息租金”也将增加,此时供应商有激励性动机提高其产品质量预防水平,降低道德风险值,整个供应链的联合期望收益也将增加。本文还分析了“棘轮效应”的影响因素,解释了“棘轮效应”的成因,对实践中企业的产品质量决策具有一定的指导意义。

通过仿真计算,我们可以得出:随着供应商产品质量预防水平的提高,生产商的质量检验水平将呈下降趋势;但当供应商选择较高的质量预防水平,其进行产品质量信号传递时所引致的生产商质量检验水平将明显小于无信号传递时所引致的生产商质量检验水平;两种情况下,生产商的期望收益将增加,整个供应链的联合期望收益也将增加;当生产商决定提高其产品质量检验水平时,虽然供应商存在降低生产过程投资水平的道德风险,但所引致的道德风险值呈下降趋势;此时,生产商为激励供应商提高生产过程投资水平,将支付“信息租金”,这与实际情况是吻合的,也为该模型在实践企业中的具体应用

指明了方向。由于建立的模型仅是供应链中单个供应商和单个生产商之间的博弈,且为单阶段静态博弈形式,进一步的研究中,将尝试建立供应链中一个供应商与多个生产商之间或者多个供应商与多个生产商之间的博弈,建立多阶段、动态、不完全信息的重复博弈模型,并将考虑生产投资水平的类型以及产品价格、广告策略等作为信号传递工具时对产品质量控制策略的影响,这也将是我们进一步的研究方向。

## 参考文献:

- [1] 尤建新, 张建同, 杜学美. 质量管理学(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 21-30.
- [2] 约瑟夫·朱兰, 布兰顿·戈弗雷. 朱兰质量管理手册(第五版)[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2003: 396-415.
- [3] Tirole, J.. The Theory of Industrial Organization[M]. Cambridge: MIT Press, 1988.
- [4] Desai, P., Srinivasan, K.. Demand signaling under unobservable effort in franchising: linear and nonlinear contracts [J]. Management Science, 1995, 41(10): 1608-1623.
- [5] Baiman, S., Fischer, P. E., Rajan, M. V.. Performance measurement and design in supply chains[J]. Management Science, 2001, 47(1): 173-188.
- [6] 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.
- [7] Linnemer, L.. Price and advertising as signals of quality when some consumers are informed [J]. International Journal of Industrial Organization, 2002, 20: 931-947.
- [8] Stock, A., Balachander, S.. The making of 'hot product': a signaling explanation of marketers' scarcity strategy[J]. Management Science, 2005, 51(8): 1181-1192.
- [9] Erdem, T., Keane, M. P., Sun, B.. A dynamic model of brand choice when price and advertising signal product quality [J]. Marketing Science, 2008, 27(6): 1111-1125.
- [10] Li, S., Srinivasan, K., Sun, B.. Internet auction features as quality signals [J]. Journal of Marketing, 2009, 73(1): 75-92.
- [11] Baiman, S., Fischer, P. E., Rajan, M. V.. Information, contracts, and quality costs [J]. Management Science, 2000, 46(6): 776-789.



- [12] Barucci, E., Gozz, F., Swiech, A.. Incentive compatibility constraints and dynamic programming in continuous time [J]. *Journal of Mathematical Economics*, 2000, 34 (4): 471– 508
- [13] Gorbet, C. J., de Groote, X.. A supplier optimal quantity discount policy under asymmetric information [J]. *Management Science*, 2000, 46 (3): 444– 450
- [14] Lim, W. S.. Producer-supplier contracts with incomplete information [J]. *Management Science*, 2001, 47 (5): 709– 715
- [15] Starbird, S. A.. Effect of coordinated replenishment policies on quality [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2003, 54 (1): 32– 39
- [16] Singer, M., Donoso, P., Traverso, P.. Quality improvement incentives and product recall cost share contracts [J]. *The International Journal of Management Science*, 2003, 31: 499– 509
- [17] Corbett, C. J., Decroix, G. A., Ha, A. Y.. Optimal shared-savings contracts in supply chains: linear contracts and double moral hazard [J]. *European Journal of Operational Research*, 2005, 163 (3): 653– 667.
- [18] Berstain, F., Federgruen, A.. Decentralized supply chain with competing retailers under demand uncertainty [J]. *Management Science*, 2005, 51 (1), 18– 29
- [19] Ferguson, M., Gude, Jr V. D. R., Souza, G. C.. Supply chain coordination for false failure returns [J]. *Manufacturing and Service Operations Management*, 2006, 8 (4): 376– 393.
- [20] Tapiero, C. S.. Consumer risk and quality control in a collaborative supply chain [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 182: 683– 694
- [21] Tapiero, C. S., Kogan, K.. Risk and quality control in supply chain: competitive and collaborative approaches [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2007, 58 (11): 1440– 1448
- [22] Tapiero, C. S., Kogan, K.. Risk-averse order policies with random prices in complete market and retailers' private information [J]. *European Journal of Operational Research*, 2009, 196: 594– 599.
- [23] Yehekel, Y.. Retailer's choice of product variety and exclusive dealing under asymmetric information [J]. *RAND Journal of Economics*, 2008, 39 (1): 115– 143.
- [24] Yu, H. F., Yu, W. C.. The optimal production and quality policy for the vendor in a trade [J]. *International Journal of Production Research*, 2008, 46 (15): 4135– 4153
- [25] Zhang, C., Yu, H., Huang, X. Y.. Quality control strategy in supply chain under asymmetric information [J]. *International Journal of Operational Research*, 2009, 4(1): 97– 116
- [26] Reybiers, D. J., Tapiero, C. S.. The delivery and control of quality in supplier-producer contracts [J]. *Management Science*, 1995, 41(10), 1581– 1589
- [27] Reybiers, D. J., Tapiero, C. S.. Contract design and the control of quality in a conflictual environment [J]. *European Journal of Operational Research*, 1995, 82: 373– 382
- [28] Puelz, R., Snow, A.. Optimal incentive contracting with ex ante and ex post moral hazard: Theory and evidence [J]. *Journal of Risk and Uncertainty*, 1997, 14 (2): 169– 188
- [29] Starbird, S. A.. Penalties, rewards, and inspection: provisions for quality in supply chain contracts [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2001, 52 (1): 109– 115
- [30] Cachon, G. P., Lariviere, M. A.. Supply chain coordination with revenue sharing contracts: Strengths and limitations [J]. *Management Science*, 2005, 51 (1): 30 – 44
- [31] Wang, C. X., Webster, S.. Channel coordination for a supply chain with a risk neutral Producer and a loss-averse retailer [J]. *Decision Sciences*, 2007, 38 (3): 361 – 389
- [32] Chao, G. H., Irawani, S. M. R., Savaskan, R. C.. Quality improvement incentives and product recall cost sharing contracts [J]. *Management Science*, 2009, 55 (7): 1122– 1138
- [33] 张翠华, 黄小原. 非对称信息下业务外包中的质量评价决策 [J]. *中国管理科学*, 2004, 12 (1): 46– 50
- [34] 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.
- [35] 张斌, 华中生. 供应链质量管理中抽样检验决策的非合作博弈分析 [J]. *中国管理科学*, 2006, 14 (3): 27– 31.
- [36] 霍佳震, 张建军, 赵晋. 长期合作期望下的供应链非对称信息甄别研究 [J]. *管理科学学报*, 2008, 11 (3): 88– 95.
- [37] 朱立龙, 尤建新. 供应链节点企业间产品质量控制策略研究 [J]. *中国管理科学*, 2009, 17: 336– 342
- [38] 尤建新, 朱立龙. 存在道德风险条件下供应链质量控制策略研究 [J]. *同济大学学报 (自然科学版)*, 2010, 38 (7): 1092– 1098
- [39] 朱立龙, 尤建新. 非对称信息供应链道德风险策略研究 [J]. *计算机集成制造系统*, 2010, 16 (11): 2503–

## Quality Signaling Game in Supply Chain under the Conditions of Asymmetric Information

ZHU Li-long<sup>1,2</sup>, YOU Jian-xin<sup>1</sup>

(1 School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2 College of Business, University of Illinois at Urbana-Champaign, IL 61820, USA )

**Abstract:** Based on the game theory and principal-agent theory, this paper studies the problem of how to signal product quality in supply chain under the conditions of asymmetric information. The supplier makes the decision of production process investment level and determines quality prevention strategy, who may signal the type of the production process investment level to the producer in order to obtain the optimal incentive contract, and then the producer makes the quality appraisal decision and processing decision when it receives the intermediate components. We use the optimal theory to establish producer's quality decision control model and describe the information rents. The simulation results will show that the supplier has incentive to signal the type of production process investment level to the producer, and improve its product quality level. When the producer observes the signal of product quality, it will reduce the quality inspection level, improve the processing level and increase the forward payments, which will be as supplier's quality rewards. Meanwhile the whole supply chain's joint expected profits will increase, and then the producer will reduce information rents. Finally, we investigate the causes of ratchet effects and provide corresponding quantitative descriptions and proofs respectively.

**Key words:** supply chain; principal-agent relationship; quality level; signaling game; ratchet effects