

# 双边道德风险条件下供应链的质量控制策略

李丽君, 黄小原, 庄新田

(东北大学工商管理学院, 沈阳 110004)

**摘要:** 运用委托代理理论方法探讨了双边道德风险条件下供应链的质量控制策略. 在供应商的质量预防投入成本和销售商的质量评价投入成本均为不可观测的信息的情况下, 供应商和销售商都可能会发生签约后的道德风险问题. 为了减少由此产生的双边道德风险, 将供应商提供不合格产品而销售商未能检测出时对供应商的惩罚, 及销售商检测出供应商的产品有缺陷时对其施以的惩罚作为激励措施. 在考虑了双方的收益目标后, 建立了双边道德风险条件下的质量控制模型. 运用进化规划算法对模型作了仿真计算.

**关键词:** 双边道德风险; 非对称信息; 委托代理理论; 供应链; 质量控制

**中图分类号:** F224.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1007-9807(2005)01-0042-06

## 0 引言

供应链中的产品质量控制问题已经受到人们的关注. 当委托代理理论在经济、金融、会计、市场营销和供应链管理等领域得到应用之后<sup>[1]</sup>, 人们已开始研究非对称信息条件下的产品质量、质量控制和签约问题<sup>[2-5]</sup>.

道德风险是委托代理理论中的一个重要概念, 起源于保险领域(即被保险人由于受到保护的原因而不努力避免损失的倾向), 后来很自然地扩展到交易合约的签订问题中<sup>[6]</sup>. 交易中, 形成委托代理关系的双方分别称为委托人和代理人. 通常将拥有私有信息或具有相对信息优势的一方称为委托人, 将不拥有私有信息或具有相对信息劣势的一方称为代理人<sup>[7]</sup>. 委托人和代理人的地位并不是一成不变的, 一项交易中一方参与人在某些信息方面具有优势, 此时他处于代理人的地位, 但当他另一些信息处于劣势时则可能变为委托人.

单边道德风险问题通常是指由于发生在交易之后的信息不对称引起的代理人单方的败德行为, 此时假设委托人没有隐藏的行为信息. 已有文

献对单边道德风险问题做了广泛的探讨. 最初对单边道德风险问题做出正式模型分析的学者是 Zeckhauser<sup>[8]</sup>. 文献[9]在理论和实证方面研究了单边道德风险条件下最优契约的设计问题, Mirrlees以一个更普遍的形式对引起道德风险的不可观测行为进行了严密的分析<sup>[10]</sup>. 让·雅克·拉丰将道德风险问题作为委托代理模型的一个重要部分做了系统的阐述<sup>[11]</sup>. 尽管单边道德风险问题普遍存在, 但有些情况下, 由于各种不确定因素的影响, 委托人和代理人各自的努力不能被对方观测时, 两方都可能会出现败德行为, 这时就出现了“双边道德风险”问题. 关于双边道德风险问题的探讨是近年才进行的. 文献[12]对经销方面存在的双边道德风险问题作了实证分析, 指出了该问题的意义. 文献[13]分析了双边道德风险情况下最优契约的特征. 文献[14]系统地分析了供应商的质量预防行为信息和销售商的质量评价行为信息的可观测性对签约行为的影响, 明确提出了供应商和销售商之间的双边道德风险问题. 而文献[15]研究了双边道德风险下企业主和工人之间的契约选择问题.

收稿日期: 2003-03-21; 修订日期: 2004-05-11.

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目(9910200208); 中国博士后科学基金资助项目(2002031148).

作者简介: 李丽君(1972—), 女, 内蒙古满洲里人, 博士生.

本文研究的是双边道德风险条件下如何提高产品质量的问题。为说明方便,考虑一个供应商(即生产商)和一个销售商交换中间产品的情况。由于产品的质量不仅依赖于供应商的行为,也依赖于最终的销售商的行为,因此供应商和销售商都应采取措施进行质量控制。供应商应采取质量预防行为,销售商应采取质量评价行为。当双方采取的都是影响最终结果的不可观测行为时,双边道德风险问题就产生了。

在供应链管理中的质量管理方面,传统的方法往往是运用统计控制技术进行的,忽略了供应商和销售商的行为动机。然而,产品质量的好坏除了受自然和随机因素影响外,还与供应商和销售商的主观因素有关。一些研究供应链质量管理的学者重视行为动机对质量的影响作用,并且现代合同物流管理正是从行为动机出发进行质量管理和风险控制的<sup>[16]</sup>,可以看出,从行为动机出发研究供应链管理中的质量控制问题具有理论和现实的意义。

本文的研究借鉴了文献[14]的研究思路,但有三点不同:第一,文献[14]的研究中将供应商的质量改进水平(即运送到销售商处的产品质量合格的概率),及销售商采取质量评价行为后发现产品不合格的概率作为决策变量,本文将供应商的质量改进努力(为了改进质量而投入的成本)和销售商的质量评价努力(销售商为了评价产品付出的成本)作为决策变量,运送到销售商处的产品质量合格及销售商采取质量评价行为之后发现产品不合格的概率分别是这两个决策行为的函数。从契约理论和委托代理理论出发,对供应商和销售商的道德风险行为的控制必须通过合约的签订来进行。在本文的环境中,供应商和销售商在合约签订和执行中的决策地位是不同的,销售商处于设计合约的地位,供应商则处于接受并执行合约的地位,二者之间的委托代理关系可通过合约中的决策变量发生作用。一旦签订了合约,即确定了合约决策变量,供应商和销售商的行为动机会随之发生变化,因此合约中决策变量的选择是否适当对合约的执行效果有重大的影响。本文分别将供应商在质量预防和销售商在质量评价方面投入的成本作为双方的决策变量,更能体现决策变量的可控性,而文献[14]中将概率作为决策变量,这种

变量的可控性较差。

第二,本文将供应商提供不合格产品而销售商未能检测出时对供应商的惩罚,及销售商检测出供应商的产品有缺陷时对其施以的惩罚作为激励措施,通过确定这两种惩罚数额来减少双方的道德风险。根据委托代理理论,理性的供应商和销售商所做的任何决策都是以自己效用最大化为前提的,在双方的决策行为都不能被对方观测到的情况下,往往会产生双边的道德风险行为,而这些行为最终影响了产品的质量。为了控制产品质量,必须对双方的道德风险行为进行惩罚,其中,供应商的道德风险行为体现为减少产品质量预防方面的投入,销售商的道德风险行为则体现为减少产品质量评价方面的投入,尽管两方的投入成本是不可观测的,但可以根据考虑了外生因素影响的行为的结果来实施控制。

第三,应用进化计算中的进化规划算法对建立的模型进行仿真计算。对模型的仿真计算使模型的应用更具现实意义,并且从仿真计算得出的结果看出模型建立的合理性。通常的仿真计算采用传统的优化方法,而本文的问题用这些方法求解比较困难,因此文中应用了一种智能计算方法,而将智能算法用于双边道德风险条件下供应链质量控制问题上的研究却很少见。

## 1 收益函数的确定

一个风险中性的供应商和一个风险中性的销售商签订合约,由供应商为销售商生产某种产品。为了保证产品的质量,供应商应采取质量预防措施,而销售商在收到产品后要对产品的质量进行评价,并且根据评价结果决定接受或拒绝产品。

无论供应商的质量预防措施还是销售商的质量评价措施都不能保证最终销售给顾客的产品质量一定是合格的,用  $P_S$  表示供应商提供给销售商的产品质量合格的概率。当供应商提供的是合格产品时,销售商的检测结果也一定是合格的,如果供应商提供的产品有缺陷,则用  $P_B$  表示销售商检测出产品有缺陷的概率。由于供应商采取的质量预防措施和销售商采取的质量评价措施都会产生相应的成本,在双方采取的措施不被对方了解的情况下,就可能存在道德风险。

供应商提供给销售商的产品质量合格的概率  $P_S$  可以写作

$$P_S = P_S(I_S, s) \tag{1}$$

其中:  $I_S$  是供应商在产品的质量预防方面投入的成本;  $s$  是均值为  $\mu_s$ 、方差为  $s^2$  的正态分布随机变量,代表外生的不确定因素对供应商产品质量的影响。

销售商检测出产品有缺陷的概率  $P_B$  可以写作

$$P_B = P_B(I_B, B) \tag{2}$$

其中:  $I_B$  是销售商在产品的质量评价方面投入的成本;  $B$  是均值为  $\mu_B$ 、方差为  $B^2$  的正态分布随机变量,代表外生的不确定因素对销售商检测结果的影响。

销售给顾客的产品质量主要取决于供应商的质量预防行为,为了控制产品的质量,销售商需要激励供应商在产品质量预防方面进行更多的投入.因此,根据文献[14],销售商除了付给供应商固定的价格之外,当销售商检测出供应商的产品有缺陷时要对其施以数额为  $W$  的惩罚,并且当供应商提供的产品不合格而销售商未能检测出时,也要对供应商进行惩罚,设惩罚数额为  $X$ .

在上述分析的基础上,建立如下的供应商的收益函数

$$s = T - (1 - P_S) P_B W - (1 - P_S) (1 - P_B) X - I_S \tag{3}$$

其中:  $s$  是供应商的收益;  $T$  是销售商对供应商的转移支付。

销售商在对供应商提供的产品进行评价后决定拒绝或接受产品.当供应商提供的产品合格时,无论销售商采取何种检测行为都会接受该产品,此时设销售商销售该批产品获得的收益为  $1$ .当供应商提供的产品有缺陷时,如销售商未能检测出存在的缺陷而将产品销售给顾客,则销售商会因负担信誉成本和契约成本而使自己的收益减少,设此时销售商可获得的收益为  $2$ .销售商检测出存在的缺陷,则会拒绝接受产品,而销售商的收益也会因可销售产品数量的减少而减少,设此时销售商的收益为  $3$ <sup>[14]</sup>.销售商的收益函数建立如下

$$B = P_S 1 + (1 - P_S) (1 - P_B) 2 + (1 - P_S) P_B 3 - I_B - T + (1 - P_S) \times P_B W + (1 - P_S) (1 - P_B) X \tag{4}$$

## 2 质量控制模型

存在道德风险情况下,供应商的问题是如何确定质量预防行为水平  $I_S$ ,使自己的期望收益达到最大,即

$$\max_{I_S} E\{T - (1 - P_S) P_B W - (1 - P_S) (1 - P_B) X - I_S\} \tag{5}$$

根据文献[15]计算  $I_S$  的一阶条件,有

$$E\{P_S P_B (W - X) + P_S X - 1\} = 0 \tag{6}$$

其中,  $P_S$  是  $P_S$  对  $I_S$  的一阶导数。

由式(6),可得

$$I_S^* = I_S(W, X, I_B^*) \tag{7}$$

存在双边道德风险条件下,销售商在投入质量评价成本时也会考虑自己期望收益最大化的问题,因此,根据文献[15]计算  $I_B$  的一阶条件后,有

$$I_B^* = I_B(W, X, I_S^*) \tag{8}$$

由式(7)和式(8)可得出双边道德风险条件下供应商最优的质量预防投入  $I_S^*$  和销售商的最优质量评价投入  $I_B^*$ 。

考虑双边道德风险条件后,销售商的契约设计问题可用如下优化问题描述

$$\max_{W, X} E\{P_S^* 1 + (1 - P_S^*) \times (1 - P_B^*) (2 + X) + (1 - P_S^*) P_B^* \times (3 + W) - I_B - T\} \tag{9}$$

$$\text{s.t. } E\{s} \geq \bar{s}, E\{B} \geq \bar{B} \tag{10}$$

$$W \geq 0, X \geq 0 \tag{11}$$

$$P_S^* = P_S(I_S^*, s) \tag{12}$$

$$P_B^* = P_B(I_B, B) \tag{13}$$

其中,  $\bar{s}$  和  $\bar{B}$  分别为供应商和销售商的保留期望收益。

通过对上述模型求解,销售商可确定其最优惩罚水平  $W$  和  $X$ .在双边道德风险情况下,这一契约设计方式可激励供应商和销售商付出相应的预防和评价努力,达到双边道德风险条件下质量收益的最大化。

## 3 仿真计算

供应商提供给销售商的产品质量合格的概率

$P_S$  是供应商的质量预防投入成本  $I_S$  的增函数. 销售商检测出产品有缺陷的概率  $P_B$  是其质量评价投入成本  $I_B$  的增函数. 根据文献 [17], 并将  $s$  和  $B$  考虑为乘积关系的风险因素<sup>[15]</sup>, 有

$$P_S = (1 + b^I s) S \quad (14)$$

$$P_B = (1 + cd^I B) B \quad (15)$$

其中, 系数  $s$ 、 $b$ 、 $c$  和  $d$  ( $s < 0, b > 0, d < 1$ ) 为待定的常数, 可根据统计数据得出. 为了问题处理方便, 假设  $s$  和  $B$  都是均值为 0、方差为 1 的标准正态分布随机变量, 并且为了保持  $P_S$  的经济意义, 令  $s, B \in [0, 1]$ .

假设  $a = -0.6, b = 0.9, c = -0.5, d = 0.8$ , 并且,  $I_1 = 200$  万元,  $I_2 = 100$  万元,  $I_3 = 30$  万元,  $T = 400$  万元,  $I_S = 30$  万元,  $I_B = 30$  万元.

供应商的期望收益

$$E_S = A(1 - K_S - K_B + K_S K_B) \times (W - X) + B(2 - K_S - K_B) X - X - B(1 - K_S) W + 400 - I_S \quad (16)$$

销售商的期望收益

$$E_B = 200B(1 - K_S) - B(100 + X) \times (2 - K_S - K_B) + B(30 + W) \times (1 - K_B) + A(1 - K_S) \times (1 - K_B) \times (X - W + 70) + X - I_B - 300 \quad (17)$$

式中:  $K_S = 0.6 \cdot 0.9^I s$ ;  $K_B = 0.5 \cdot 0.8^I B$ ;  $A = 0.58327$ ;  $B = 0.15697$  (为表述方便, 仿真计算中, 数值结果保留到小数点后五位).

由式(16)和(17)的一阶条件, 并考虑质量预防投入和质量评价投入数额的经济意义, 有

$$I_S^* = -0.10536 / \ln(1 - 0.01844X - RZ) + \ln S \quad (18)$$

$$I_B^* = 0.22314 \ln[0.07809SR(W - X - 70)] - 0.22314 \ln[M + \sqrt{M^2 + 0.15618SR(X - W + 70)}] \quad (19)$$

其中

$$Z = \frac{M + \sqrt{M^2 + 0.15618SR(X - W + 70)}}{0.07809SR(W - X - 70)}$$

$$M = 29.84093 - 0.4263(W - X) - 0.03905(X - W + 70) \cdot (1 - 0.01844X) S$$

$$S = \frac{1}{(0.00144W - 0.00105X) \cdot (X - W + 70)}$$

$$R = 0.00042W(X - W + 70) - 0.55018X + 0.00786X(W - X)$$

销售商的契约设计问题可表示为

$$\max_{W, X} E_B^*$$

$$\text{s.t. } E_S^* \geq 30, E_B^* \geq 30$$

$$W \geq 0, X \geq 0$$

其中

$$E_S^* = A(1 - K_S^* - K_B^* + K_S^* K_B^*) \times (W - X) + B(2 - K_S^* - K_B^*) X - X - B(1 - K_S^*) W + 400 - I_S^*$$

$$E_B^* = 200B(1 - K_S^*) - B(100 + X) \times (2 - K_S^* - K_B^*) + B(30 + W) \times (1 - K_B^*) + A(1 - K_S^*) \times (1 - K_B^*) \times (X - W + 70) + X - I_B^* - 300$$

$$K_S^* = 0.6 \cdot 0.9^I s^*, K_B^* = 0.5 \cdot 0.8^I B^*$$

$I_S^*$  和  $I_B^*$  的值由式(18)和(19)确定.

由于目标函数是非线性的, 约束条件中也包含非线性条件, 这样的问题用传统的方法求解比较困难, 本文用一种进化计算方法——进化规划<sup>[18]</sup>来计算该问题的近似解.

仿真计算中直接将目标函数, 即销售商的期望收益  $E_B^*$  作为适应度函数, 决策变量  $W$  和  $X$  随机产生. 在进化计算中, 根据文献 [18] 产生规模为 60 的初始种群, 迭代终止代数 50 代. 采用高斯变异算子进行变异操作, 对于某一个体中的组成元素  $x_i$ , 子代个体的组成元素  $x_i = x_i + N_i(0, 1)$ , 其中  $N_i = \sqrt{iF(X) + \epsilon}$ ,  $N_i$  是均值为 0、方差为 1 的正态分布的随机变量, 变异操作时的参数初始设定  $\epsilon = [0.01, \dots, 0.01]$ ,  $\epsilon = [0, \dots, 0]$ .

仿真计算是在 P 计算机上完成的, 内存 128 M, 采用 Matlab 语言, 计算时间为 13 min. 由仿真结果, 使销售商期望收益最大,  $W = 280$  万元,  $X = 384$  万元. 仿真计算过程中, 销售商的期望收益一直呈上升的状态, 到第 16 代稳定在 80.64 万元, 供应商的期望收益到第 16 代稳定在 30.81 万元. 此时, 供应商选择的质量预防投入水平  $I_S^* = 4.08$  万元, 而销售商选择的质量评价投入水平  $I_B^* = 1.05$  万元.

由计算结果可知,  $X > W$ , 即当供应商提供不

合格产品而销售商未能检测出时,对供应商的惩罚,大于销售商检测出供应商的产品有缺陷时对其施以的惩罚,这样会促使供应商加大在产品质量预防方面的投入成本,减少对销售商质量评价行为的依赖,达到激励供应商的目的,减少供应商的道德风险行为.同时,当销售商检测出供应商的产品有缺陷时,对其施以适当数额的惩罚,也会激励销售商投入适当数额的评价成本,在一定程度上也减少了销售商的道德风险.

#### 4 结束语

本文研究了一个供应商和一个销售商之间交换中间产品的情况.尽管最终产品的质量既与供应商采取的质量预防行为有关,也与销售商采取的质量评价行为有关,但无论是供应商的质量预防措施

还是销售商的质量评价措施,都不能保证最终销售给顾客的产品质量一定是合格的.本文的研究中将供应商提供给销售商的产品质量合格的概率设定为供应商的质量预防投入成本和外界不确定因素的函数,将销售商检测出产品有缺陷的概率设定为销售商的质量评价投入成本和外界不确定因素的函数,并以此为基础建立了供应商和销售商的收益函数.由于供应商采取的质量预防措施和销售商采取的质量评价措施都会产生相应的成本,在信息不对称的情况下,就会出现双边的道德风险问题.为了减少这种道德风险,提高产品质量,在设计契约时需要考虑双方的激励问题.本文将供应商提供不合格产品而销售商未能检测出时对供应商的惩罚,及销售商检测出供应商的产品有缺陷时对其施以的惩罚作为激励措施,并应用进化规划算法确定了这两种惩罚的数额.

#### 参 考 文 献:

- [1] Ann V A. The Principal/ agent paradigm: Its relevance to various functional fields[J]. *European Journal of Operational Research*, 1993, 70(1): 83—103.
- [2] Wei S L. Producer-supplier contracts with incomplete information[J]. *Management Science*, 2001, 47(5): 709—715.
- [3] Starbird S. Penalties, rewards and inspection: Provisions for quality in supply chain contracts[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2001, 52(2): 109—115.
- [4] Reyniers D, Tapiero C. The delivery and control of quality in supplier-producer contracts[J]. *Management Science*, 1995, 41(1): 1581—1589.
- [5] Starbird S. The effect of acceptance sampling and risk aversion on the quality delivered by suppliers[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 1994, 45(2): 309—320.
- [6] Ryan P J. Financial incentives for cost control under moral hazard[J]. *OMEGA International Journal of Management Science*, 1986, 14(3): 221—231.
- [7] 张维迎. 博弈论与信息经济学[M]. 上海: 上海人民出版社, 1996. 397—538.  
Zhang Wei-ying. *Game Theory and Information Economics*[M]. Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 1996. 397—538. (in Chinese)
- [8] Zeckhauser R. Medical insurance: A case study of the tradeoff between risk spreading and appropriate incentives[J]. *Bell Journal of Economics*, 1970, 6(6): 552—579.
- [9] Puelz R. 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.
- [10] Mirrlees J A. The theory of moral hazard and unobservable behavior: Part I[J]. *Review of Economic Studies*, 1999, 66(1): 3—21.
- [11] 让·雅克·拉丰, 大卫·马赫蒂摩. 激励理论(第1卷): 委托代理模型[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2002. 110—233.  
Laffont J J, David M. *The Theory of Incentives (Volume 1): The Principal-Agent Model*[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2002. 110—233. (in Chinese)
- [12] Lafontaine F. Agency theory and franchising: Some empirical results[J]. *Rand Journal of Economics*, 1992, 23(3): 263—283.

- [13] Kim S K, Wang S S. Linear contracts and the double moral-hazard[J]. *Journal of Economic Theory*, 1998, 82(3): 342—378.
- [14] Baiman S, Fischer P E, Rajan M V. Information, contracting, and quality costs[J]. *Management Science*, 2000, 45(6): 776—789.
- [15] Agrawal P. Double moral hazard, monitoring, and the nature of contracts[J]. *Journal of Economics*, 2002, 75(1): 33—61.
- [16] 陈祥锋, 朱道立. 合同管理中二层谈判策略[J]. *管理科学学报*, 2002, 5(3): 17—22.  
Chen Xiangfeng, Zhu Daoli. Bi-level decision in supply contract management [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2002, 5(3): 17—22. (in Chinese)
- [17] 冯忠铨. 经济预测与决策[M]. 北京: 中国财政经济出版社, 1995. 142—157.  
Feng Zhongquan. *Forecast and Decision in Economics*[M]. Beijing: China Financial and Economic Publishing House, 1995. 142—157. (in Chinese)
- [18] 周明, 孙树林. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 172—175.  
Zhou Ming, Sun Shulin. *Genetic Algorithms: Theory and Application*[M]. Beijing: Publishing House of Defense Industry, 1999. 172—175. (in Chinese)

## Strategy of quality control in supply chain under double moral hazard condition

LI Li-jun, HUANG Xiao-yuan, ZHUANG Xin-tian

School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110004, China

**Abstract:** On the basis of principal-agent theory, strategy of quality control in supply chain under double moral hazard condition is discussed. When the supplier's costs which are invested in products' quality prevention and seller's costs which are invested in products' quality appraisal both are unobservable information, the supplier and seller may incur moral hazard after contracting. In order to reduce the double moral hazard, the incentive measurements are given: one is the penalty to supplier when supplier provides defective product to seller and doesn't be found, and the other is the penalty to supplier when supplier provides defective product to seller and seller finds the defective products. The quality control model under double moral hazard condition is given after the supplier's revenue and seller's revenue are considered, respectively. And the evolutionary programming algorithm is used to do the simulation.

**Key words:** double moral hazard; asymmetric information; principal-agent theory; supply chain; quality control