

文章编号: 1003-207(2007)04-0042-09

# 基于动态博弈的闭环供应链回收质量控制研究

熊中楷<sup>1</sup>, 曹俊<sup>1</sup>, 刘克俊<sup>2</sup>

(1. 重庆大学经济与工商管理学院, 重庆 400044;  
2. 苏州同和资源综合利用有限公司, 苏州 215129)

**摘要:** 本文采用三阶段的动态博弈模型, 研究了在单个制造商和单个销售商构成的分散式闭环供应链中, 占主导地位的制造商如何制定质量处罚比例和质量抽检比例, 从而对销售商回收的废旧产品数量和质量实施引导和控制。本文建立了相应的模型并给出了最优解, 并通过算例讨论了不同的废旧产品缺陷率和监督成本对双方决策的影响。

**关键词:** 动态博弈; 闭环供应链; 质量控制;

**中图分类号:** F253.4      **文献标识码:** A

## 1 引言

废旧产品是生产再制造件的原材料来源, 我国的回收业相当分散, 其中以个体从业人员走街穿巷回收为主, 还包括废旧物资回收和旧货经营企业直接回收, 生产厂家通过以旧换新回收, 环保部门从生活垃圾中回收等方式, 回收渠道和方式过多的问题无形中提高了制造企业再利用分拣、检验的成本。为了降低制造商的回收成本, 保证销售商回收废旧产品的质量, 制造商在废旧电子产品的回收过程中一般都设定诸如外观等检查指标, 并与产品的回收价格挂钩, 迫使销售商在回收过程中也进行一部分指标的检查任务; 同时也为了防止销售商存在投机行为, 回收不存在再利用价值或者再利用价值相对而言太低的旧产品“以次充好”, 因此制造商如何制定质量处罚比例和抽检比例, 对回收的旧产品实施差别定价, 激励销售商进行回收和质量检查就显得尤为重要。

Russell & Thomas<sup>[1]</sup> 运用模型分析了买方和卖方的行为通过质量保修合同如何影响产品的质量; Von Colane<sup>[2]</sup> 分析了零部件的抽样检查方案, 并

认为拒绝一个高质量的抽样成本和接受一个低质量的抽样成本是均衡的。Chew & Piano<sup>[3]</sup> 讨论了合同中的质量控制问题, 认为同较少的供应商签订长期供应合同可提高采购产品的质量。当终端产品包含供应商和采购商生产的零部件时, Kashi & Suresh<sup>[4]</sup> 基于对双方收入的检查和外部损失的信息, 采用质量保修合同研究了供应商就其产品质量存在道德风险, 或者供应商和采购商存在双重道德风险的情形。Reyniers<sup>[5]</sup> 运用博弈论研究了生产技术固定时, 供应商和制造商之间的质量策略; Reyniers 和 Tapiero<sup>[6]</sup> 考虑了供应商与生产商之间的一个完全信息的博弈, 在供应商技术(质量)一定时价格折扣和售后保证金等合同参数的效应, 并求解出博弈纳什均衡。Stanley Bauman<sup>[7]</sup> 等分析了供应商和制造商都是风险厌恶者时, 产品质量、质量成本和信息之间的关系, 并研究了供应商和制造商的最优化和次优化的条件和效用。Singer<sup>[8]</sup> 等研究了单一产品销售渠道中供应链联盟的质量策略, 得到了供应商和销售商互利转移合同的条件设计。Morris A. Cohen<sup>[8]</sup> 采用博弈理论研究了制造商和独立的服务商在竞争条件下, 均衡的产品定价、售后服务质量和售后服务定价。Petson<sup>[10]</sup> 研究了两级供应链中供应商和销售商如何进行质量和价格竞争; 当存在替代品时, 供应商和销售商的质量和价格竞争问题。李洪波<sup>[11]</sup> 研究了完全信息和不完全信息两种情况下, 供应商和制造商在供应链的产品质量控制中的博弈均衡, 得到质量合同的参数刻画以及两种信息状态下的合同参数的差异, 确定信息成

收稿日期: 2006-08-18; 修订日期: 2007-06-28

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(02CJ027); 国家自然科学基金资助项目(70571088); 重庆市自然科学基金资助项目(cstc 2006BB0188)

作者简介: 熊中楷(1948-), 男(汉族), 江西南昌人, 重庆大学经济与工商管理学院教授, 博士生导师, 研究方向: 物流与供应链管理。

本对合作策略和效率的影响。达庆利<sup>[12]</sup>指出当前仅限于独立的逆向物流系统的研究,而未将逆向物流系统与传统物流系统有机整合在一起,更未形成完整的理论体系,对系统的决策结构(包括决策机制、契约合同的订立、决策权力的调配以及利润的分配)则鲜有研究。最近,倾向于采用动态博弈方法研究物流和供应链管理中的协调问题。Albert<sup>[13]</sup>采用三阶段动态博弈模型对两级供应链中的价格和配送竞争做了研究。

以上文献主要关注的是前向供应链或逆向供应链中的质量问题,且大多数文献的目的在于研究还处于产品生命周期内的产品质量管理问题。R Canan Savaskan<sup>[14,15]</sup>研究了不同闭环供应链结构下,回收数量与批发价格和零售价格之间的关系,但是没有考虑回收的质量控制问题。而本文将从旧产品回收再利用的企业关注回收质量的角度出发,在 R Canan Savaskan<sup>[14]</sup>研究的基础上,借鉴 Petsong 和 Albert 的研究思路和方法,进一步对闭环供应链中销售商的回收数量、抽检比例同制造商的质量处罚比例与抽检比例的关系进行研究,并将探讨不同的废旧产品缺陷率和监督成本对双方决策的影响。

## 2 问题描述和条件假设

假设在一个单周期内(即一个循环周期),制造商在闭环供应链中占主导地位,其生产成本为  $c$ , 销售商以批发价格  $w$  从制造商处采购数量为  $q$  的新产

品,在市场上以零售价格  $r$  进行销售。在产品的生命周期末:

(1) 首先,制造商公布回收的旧产品若存在质量问题时的价格质量处罚比例  $\alpha$  (回收价格  $b$  为外生变量);

(2) 然后,销售商对旧产品以  $I = C_L \tau^2$  (本文采用 R. Canan Savaskan<sup>[14][15]</sup> 等关于销售努力的函数  $\tau = \sqrt{I/C_L}$  刻画经销商的回收努力,其中  $\tau$  为回收比例,  $I$  为回收投资,  $C_L$  为规模参数。)成本按照  $\tau \in [0, 1]$  的比例进行回收,并对回收的产品按照  $y$  ( $y \in [0, 1]$  的比例进行质量检查,销售商的单位检查成本为  $I_r$ ;

(3) 最后,制造商按照  $x$  ( $x \in [0, 1]$ ) 的比例对销售商回收的产品进行再检查,单位检查成本为  $I_m$ ,对检出存在质量缺陷的旧产品实施处罚  $\alpha b$  ( $\alpha \in [0, 1]$ ),其他旧产品依旧执行回收价格  $b$  ( $b > I_r$ );制造商对旧产品进行加工后再销售,若消费者在使用过程中出现质量问题,制造商要承担一定的赔付  $\beta$  给消费者。

R. Canan Savaskan<sup>[14]</sup>分析了逆向物流的最优渠道结构问题,证明销售商负责逆向物流职能的渠道结构优于制造商负责逆向物流的渠道结构,甚至更优于将逆向物流职能外包给第三方物流提供商的渠道结构,本文也假定销售商在闭环供应链中承担旧产品的回收任务。博弈顺序如下图所示:

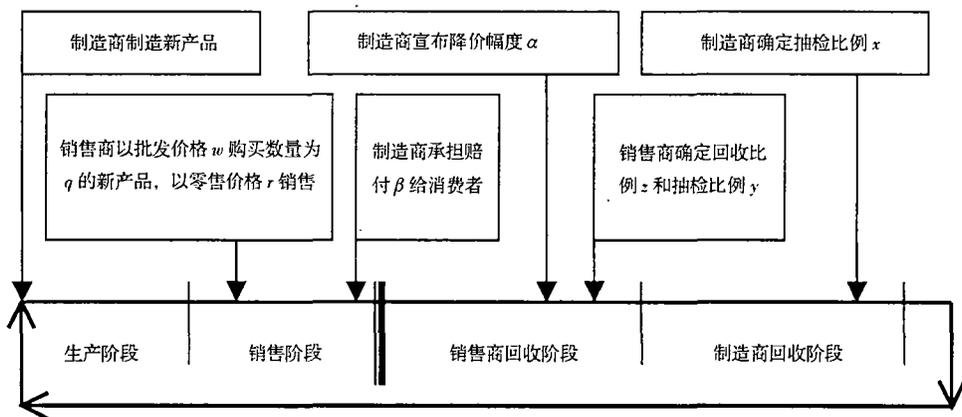


图 1 制造商和销售商的博弈顺序

本文假设旧产品的缺陷率  $p$  ( $0 \leq p \leq 1$ )、零售价格  $r$ , 批发价格  $w$ , 回收价格  $b$  均为外生变量; 本文首先研究  $I_r + p\beta > I_m > p\beta$  (即制造商的废旧零部件单位检查成本  $I_m$  大于销售商和制造商均不检时,因为质量问题给制造商造成的单位期望处罚成本  $p\beta$ , 而小于销售商的单位检查成本  $I_r$  与制造商承担

的单位期望处罚成本  $p\beta$  之和) 的情形,其他情形作为进一步的研究内容。

## 3 模型建立及求解

占主导地位的制造商和销售商之间的博弈是三阶段动态博弈,采用逆向求解的方法。当给定制造

商的质量处罚比例  $\alpha$ 、销售商的抽检比例  $y$  和回收比例  $\tau$  时, 制造商根据其利润最大化制定最优的检查比例  $x^*$ ; 销售商根据制造商的反应制定最优的抽检比例  $y^*$  和回收比例  $\tau^*$ ; 最后制造商又根据销售商的反应确定其最优的质量处罚比例  $\alpha^*$ 。

### 3 1 博弈的第三阶段

当给定制造商制定的质量处罚比例  $\alpha$ 、销售商的抽检比例  $y$  和回收比例  $\tau$  时, 制造商根据其自身的利润最大化确定其抽检比例  $x$ 。

制造商的利润函数为:

$$TM(x | y, \tau, \alpha) = (w - c)q + [c - b - xI_m + p(1 - y)x\alpha b - (1 - x)(1 - y)p\beta] \tau q \quad (1)$$

上式对其抽检比例求一阶导, 得:

$$\frac{\partial TM(x | y, \tau, \alpha)}{\partial x} = \{(1 - y)p\beta - [I_m - (1 - y)p\alpha b]\} \tau q \quad (2)$$

命题 1 当制造商不检时的单位期望成本  $(1 - y)p\beta$  大于制造商全检时的单位期望总成本  $(I_m - (1 - y)p\alpha b)$  时, 制造商的最优策略是全检  $x^* = 1$ ; 反之, 若  $(1 - y)p\beta < I_m - (1 - y)p\alpha b$ , 制造商的最优策略是不检  $x^* = 0$ ; 若  $(1 - y)p\beta = I_m - (1 - y)p\alpha b$ , 制造商可选择任一检查策略  $x^* \in [0, 1]$ 。

证明: 从上式(2) 很容易看出:

(1) 当  $(1 - y)p\beta > I_m - (1 - y)p\alpha b$ , 即消费者全检出销售商漏检  $(1 - y)$  且制造商不检的存在缺陷的旧产品, 由制造商支付的单位期望成本  $(1 - y)p\beta$  大于制造商全检的单位期望总成本  $(I_m - (1 - y)p\alpha b)$  时, 制造商的利润关于其抽检比例  $x$  单调递增, 因此制造商的最优策略是全检  $x^* = 1$ 。制造商全检的单位期望总成本为其全检的单位成本  $I_m$  减去其全检出销售商漏检  $(1 - y)$  的且存在缺陷的旧产品时, 对销售商的单位期望处罚收入  $(1 - y)p\alpha b$ 。简言之,  $(1 - y)p\beta$  是制造商不检时的单位期望成本,  $(I_m - (1 - y)p\alpha b)$  是制造商全检时的单位期望总成本。

(2) 反之, 若  $(1 - y)p\beta < I_m - (1 - y)p\alpha b$ , 制造商不检的单位期望成本小于制造商全检时的单位期望总成本时, 制造商的利润关于其抽检比例  $x$  单调递减, 因此制造商的最优策略是不检  $x^* = 0$ 。

(3) 若  $(1 - y)p\beta = I_m - (1 - y)p\alpha b$ , 制造商的抽检比例对其自身利润无影响, 因此制造商可以选择任一检查策略  $x^* \in [0, 1]$ 。即:

$$x^*(y, \tau, \alpha) =$$

$$\begin{cases} 1 & (1 - y)p\beta > I_m - (1 - y)p\alpha b \\ 0 & (1 - y)p\beta < I_m - (1 - y)p\alpha b \\ \in [0, 1] & (1 - y)p\beta = I_m - (1 - y)p\alpha b \end{cases}$$

(3) 得证。

### 3 2 博弈的第二阶段

当给定制造商制定的质量处罚比例  $\alpha$  时, 销售商根据制造商的反应  $x^*(y, \tau, \alpha)$ , 确定其抽检比例  $y^*$  和回收比例  $\tau^*$ 。

销售商利润函数:

$$TR(\tau, y | \alpha, x^*(y, \tau, \alpha)) = (r - w)q + [b - yI_r - p(1 - y)x^*(y, \tau, \alpha)\alpha b] \tau q - C_L \tau^2 \quad (4)$$

上式分别对回收比例  $\tau$  求一阶导和二阶导, 可得:

$$\begin{aligned} \frac{\partial TR(\tau, y | \alpha, x^*(y, \tau, \alpha))}{\partial \tau} &= [b - yI_r - p(1 - y)x^*(y, \tau, \alpha)\alpha b] q - 2C_L \tau \\ \frac{\partial^2 TR(\tau, y | \alpha, x^*(y, \tau, \alpha))}{\partial \tau^2} &= -2C_L < 0 \end{aligned}$$

令一阶导为 0, 可得:

$$\tau(y, \alpha) = \frac{[b - y(I_r - px^*(y, \tau, \alpha)\alpha b) - px^*(y, \tau, \alpha)\alpha b] q}{2C_L} \quad (5)$$

将上式(5) 代入销售商的利润函数, 得:

$$TR(y | \alpha, \tau(y, \alpha), x^*(y, \tau, \alpha)) = (r - w)q + \frac{[b - y(I_r - px^*(y, \tau, \alpha)\alpha b) - px^*(y, \tau, \alpha)\alpha b]^2 q^2}{4C_L} \quad (6)$$

命题 2 当销售商的单位检查成本  $I_r$  大于其在回收时不检而制造商全检时遭受的单位期望处罚  $x^*(y, \tau, \alpha)p\alpha b$  时, 销售商没有检查的动机  $y^* = 0$ ; 当销售商的单位检查成本  $I_r$  小于其在回收时不检而制造商全检时而遭受的单位期望处罚时  $x^*(y, \tau, \alpha)p\alpha b$  时, 则销售商有全检的动机  $y^* = 1$ ; 当销售商的单位检查成本  $I_r$  等于其在回收时不检而制造商全检时遭受的处罚时  $x^*(y, \tau, \alpha)p\alpha b$  可以选择任一抽检比例  $y^* \in [0, 1]$ 。

证明: 因为回收比例  $\tau \in [0, 1]$ , 由(5) 可知:  $[b - y(I_r - px^*(y, \tau, \alpha)\alpha b) - px^*(y, \tau, \alpha)\alpha b] \geq 0$ ;

并由(6) 可知, 销售商的利润随着  $[b - y(I_r - px^*(y, \tau, \alpha)\alpha b) - px^*(y, \tau, \alpha)\alpha b]$  的增大而增大, 因此:

(1) 若  $I_r - x^*(y, \tau, \alpha)p\alpha b > 0$ , 即当销售商的单位检查成本  $I_r$  大于其在回收时不检而制造商全检时遭受的单位期望处罚  $x^*(y, \tau, \alpha)p\alpha b$  时, 销售商的利润关于其抽检比例  $y$  呈递减趋势, 销售商没有

检查的动机  $y^* = 0$ , 此时  $\tau^*(y^*, \alpha) = \frac{(b - I_r)q}{2C_L}$ 。其中  $I_r$  为销售商的单位检查成本, 也为其全检成本;  $x^*(y, \tau, \alpha) p \alpha b$  为零售商不检而制造商以  $x^*(y, \tau, \alpha)$  的比例检查时的单位期望处罚成本。

(2) 若  $I_r - x^*(y, \tau, \alpha) p \alpha b < 0$ , 即当销售商的单位检查成本  $I_r$  小于其在回收时不检而制造商全检时遭受的单位期望处罚  $x^*(y, \tau, \alpha) p \alpha b$  时, 销售商的利润关于其抽检比例  $y$  呈递增趋势, 则销售商有全检的动机  $y^* = 1$ , 此时  $\tau^*(y^*, \alpha) = (y^*(\tau, \alpha), \tau^*(y^*, \alpha)) =$

$$\begin{cases} (1, \frac{(b - I_r)q}{2C_L}) & (I_r < x^*(y^*, \tau, \alpha) p \alpha b) \\ (0, \frac{[b - px^*(y^*, \tau, \alpha) \alpha b]q}{2C_L}) & (I_r > x^*(y^*, \tau, \alpha) p \alpha b) \\ (\in [0, 1], \frac{[b - y^*(I_r - px^*(y^*, \tau, \alpha) \alpha b) - px^*(y^*, \tau, \alpha) \alpha b]q}{2C_L}) & (I_r = x^*(y^*, \tau, \alpha) p \alpha b) \end{cases}$$

### 3.3 博弈的第一阶段

制造商根据销售商的反应  $(y^*(\tau^*, \alpha), \tau^*(y^*, \alpha))$ , 制定最优的质量处罚比例  $\alpha^*$ 。

3.3.1 首先探讨  $y^*(\tau^*, \alpha) = 0$  即  $I_r > x^*(y^*, \tau^*, \alpha) p \alpha b$  的条件下,  $p\beta < I_m - p\alpha b$  和  $p\beta = I_m - p\alpha b$  的情形。

命题 3 当制造商制定的最优质量处罚比例  $\alpha^* \in [0, \frac{I_m - p\beta}{pb}]$  时, 销售商的最优回收比例和检查比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{bq}{2C_L}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ , 则制造商的最优策略为不检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 0$ 。

证明: 当  $y^*(\tau^*, \alpha) = 0$  即  $I_r > x^*(y^*, \tau^*, \alpha) p \alpha b$  时, 由命题 1 和命题 2 知:

(a) 若  $p\beta < I_m - p\alpha b$ , 即制造商不检时支付的单位期望成本  $p\beta$  小于其全检时支付的单位期望总成本  $(I_m - p\alpha b)$ , 制造商不会抽查  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 0$ :

由(5)式可得  $\tau^*(y^*, \alpha) = \frac{bq}{2C_L}$ , 又  $\alpha < \frac{I_m - p\beta}{pb}$ ,  $\alpha \in [0, 1]$ , 则  $0 \leq \alpha < \frac{I_m - p\beta}{pb}$ ,  $\tau^*(y^*, \alpha) = \frac{bq}{2C_L}$ 。

将  $\tau^*(y^*, \alpha) = \frac{bq}{2C_L}$ ,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 0$ ,  $y^*(\tau^*, \alpha) = 0$  带入制造商的利润函数(1), 制造商

$$\frac{[b - px^*(y^*, \tau^*, \alpha) \alpha b]q}{2C_L}$$

(3) 若  $I_r - x^*(y, \tau, \alpha) p \alpha b = 0$ , 即当销售商的单位检查成本  $I_r$  等于其在回收时不检而制造商全检时而遭受的处罚  $x^*(y, \tau, \alpha) p \alpha b$  时, 则销售商的利润不受其自己的抽检比例的  $y$  影响, 因此可以任意选择抽检比例  $y^* \in [0, 1]$ , 则  $\tau^*(y^*, \alpha) = \frac{[b - y^*(I_r - px^*(y^*, \tau, \alpha) \alpha b) - px^*(y^*, \tau, \alpha) \alpha b]q}{2C_L}$ 。即

(7), 得证。

在第一阶段的决策为:  $\max TM = (w - c)q + (c - b - p\beta) \frac{bq^2}{2C_L}$ , 可见制造商的利润与质量处罚比例无关。所以当制造商制定的质量处罚比例满足  $0 \leq \alpha^* < \frac{I_m - p\beta}{pb}$  时,  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ ,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 0$ ,  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{bq}{2C_L}$ 。

(b) 若  $p\beta = I_m - p\alpha b$ , 即制造商不检时的单位期望处罚成本  $p\beta$  等于其全检时支付的单位期望总成本  $(I_m - p\alpha b)$ , 制造商可选择任一抽检比例  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) \in [0, 1]$ :

此时  $\alpha^* = \frac{I_m - p\beta}{pb}$ , 由(5)得:  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{[b - x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) (I_m - p\beta)]q}{2C_L}$ , 并带入制造商的利润函数式(1), 制造商在第一阶段的决策:  $\max TM(x^*) = (w - c)q + (c - b - p\beta) \frac{[b - x^*(y^*, \tau^*, \alpha) (I_m - p\beta)]q^2}{2C_L}$ , 由题设条件可知

$\alpha^* = \frac{I_m - p\beta}{pb} > 0$ , 可见制造商的利润关于其检查比例  $x^*$  呈递减趋势, 因此制造商最优策略是选择不检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 0$ , 此时  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{bq}{2C_L}$ 。

综上所述: 当制造商制定的质量处罚比例是  $\alpha^* \in [0, \frac{I_m - p\beta}{pb}]$  时, 销售商的最优回收比例和检查

比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{bq}{2C_L}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ , 制造商的最优策略是不检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 0$ 。制造商的利润函数为:  $TM_1 = (w - c)q + (c - b - p\beta) \frac{bq^2}{2C_L}$ , 销售商的利润函数为:  $TR_1 = (r - w)q + \frac{b^2q^2}{4C_L}$ 。得证。

3.3.2 其次探讨销售商不检 ( $y^*(\tau^*, \alpha) = 0$ ) 即  $I_r > x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pab$  时,  $p\beta > (I_m - pab)$  的情形:

命题 4 当制造商的最优质量处罚比例:

$$\alpha^* = \begin{cases} \frac{I_m - p\beta}{pb} + \varepsilon & (\frac{2b - c + I_m}{2pb} < \frac{I_m - p\beta}{pb}) \\ \frac{2b - c + I_m}{2pb} & (\frac{2b - c + I_m}{2pb} \in (\frac{I_m - p\beta}{pb}, \frac{I_r}{pb})) \\ \frac{I_r}{pb} - \varepsilon & (\frac{2b - c + I_m}{2pb} > \frac{I_r}{pb}) \end{cases}$$

(任意小正数  $\varepsilon \rightarrow 0$ ) 时, 销售商的最优回收比

例和抽检比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - p\alpha^*b)q}{2C_L}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ , 则制造商会全检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 1$ 。

证明: 在销售商不检 ( $y^*(\tau^*, \alpha) = 0$ ) 即  $I_r > x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pab$  的条件下, 若  $p\beta > (I_m - pab)$  成立, 即制造商不检时的单位期望处罚成本  $p\beta$  大于其全检时的单位期望总成本  $(I_m - pab)$ , 由命题 1 和命题 2 知: 制造商有全检的动机  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 1$ , 由 (5) 得:  $\tau^*(y^*, \alpha) = \frac{(b - pab)q}{2C_L}$ 。由  $p\beta > I_m - pab$ 、 $I_r > x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pab$  和  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 1$  可得  $\frac{I_m - p\beta}{pb} < \alpha < \frac{I_r}{pb}$ 。

将  $\tau^*(y^*, \alpha) = \frac{(b - pab)q}{2C_L}$ ,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 1$ , 代入制造商的利润函数式 (1), 制造商在第一阶段的决策为:  $\max TM(\alpha) = (w - c)q + [c - b - I_m + pab] \frac{(1 - p\alpha)bq^2}{2C_L}$ 。

上式分别对质量处罚比例  $\alpha$  求一阶导和二阶导, 可得:

$$\frac{dTM(\alpha)}{d\alpha} = (2b - 2bp\alpha - c + I_m) \frac{pbq^2}{2C_L},$$

$$\frac{d^2TM(\alpha)}{d\alpha^2} = -\frac{(pbq)^2}{C_L} < 0, \alpha = \frac{2b - c + I_m}{2pb}$$

的利润函数关于  $\alpha$  为凹函数, 又因为  $\frac{I_m - p\beta}{pb} < \alpha <$

$\frac{I_r}{pb}$ , 则:

(a) 当  $\alpha = \frac{2b - c + I_m}{2pb} < \frac{I_m - p\beta}{pb}$  时,  $\alpha^* = \frac{I_m - p\beta}{pb} + \varepsilon$  (任意小正数  $\varepsilon \rightarrow 0$ ),  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ ,

$\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - p\alpha^*b)q}{2C_L}$ ,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 1$ ;

(b) 当  $\alpha = \frac{2b - c + I_m}{2pb} \in (\frac{I_m - p\beta}{pb}, \frac{I_r}{pb})$  时,  $\alpha^* = \frac{2b - c + I_m}{2pb}$ ,  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ ,  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - p\alpha^*b)q}{2C_L}$ ,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 1$ ;

(c) 当  $\alpha = \frac{2b - c + I_m}{2pb} > \frac{I_r}{pb}$  时,  $\alpha^* = \frac{I_r}{pb} - \varepsilon$  (任意小正数  $\varepsilon \rightarrow 0$ ),  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ ,  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - p\alpha^*b)q}{2C_L}$ ,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 1$ 。得证。

所以, 此时制造商的利润函数为:  $TM_2 = (w - c)q + (c - b - I_m + p\alpha^*b) \frac{(1 - p\alpha^*)bq^2}{2C_L}$ ; 销售商的利润函数为:  $TR_2 = (r - w)q + \frac{(b - p\alpha^*b)^2q^2}{4C_L}$ 。

3.3.3 然后探讨  $I_r = x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pab$  时的各种情形:

命题 5 当制造商制定的最优质量处罚比例是

$\alpha^* = \frac{I_r}{pb}$  时, 销售商的最优回收比例和检查比例分

别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - I_r)q}{2C_L}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ , 则制造商的最优策略为全检  $x^*(\alpha^*, y^*, \tau^*) = 1$ ; 而当制造商制定的最优质量处罚比例是  $\alpha^* = 1$  时, 销售商的最优回收比例和检查比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - I_r)q}{2C_L}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1 - \frac{I_m}{p(b + \beta)}$ , 制造

商的最优抽检比例为  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = \frac{I_r}{pb}$ 。

证明: 若  $I_r = x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pab$ , 即当销售商的单位检查成本  $I_r$  等于其在回收时不检而制造商全检时所遭受的处罚  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pab$  时, 由命题 1 和命题 2 知: 销售商的利润不受其自己的抽检比例影响, 因此可以任意选择抽检比例  $y^*(\tau^*, \alpha) \in [0, 1]$ 。此时,  $\alpha b = \frac{I_r}{px^*(y^*, \tau^*, \alpha)}$ ; 由 (5) 得  $\tau^*(y^*, \alpha) = \frac{(b - I_r)q}{2C_L}$ 。

(a) 当  $(1 - y^*)(\tau^*, \alpha)p\beta < I_m - (1 - y^*(\tau^*, \alpha))pab$ , 即  $(1 - y^*(\tau^*, \alpha))p(\frac{I_r}{px} + \beta) < I_m$  时,

$x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 0$ 。而当  $x^* = 0$  时,  $I_r - x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb = 0$  矛盾, 故舍去。

(b) 当  $(1 - y^*(\tau^*, \alpha))p\beta < I_m - (1 - y^*(\tau^*, \alpha))pacb$ , 即  $(1 - y(\tau^*, \alpha))p(\frac{I_r}{px} + \beta) > I_m$  时,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 1$ 。因为  $I_r - x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb = 0$ , 则  $\alpha^* = \frac{I_r}{pb}, y^*(\tau^*, \alpha) < 1 - \frac{I_m}{I_r + p\beta}$ 。

此时制造商的利润函数为:  $TM(\alpha) = (w - c)q + [c - b - I_m + (1 - y^*(\tau^*, \alpha))I_r] \frac{(b - I_r)q^2}{2CL}$ , 可见制造商的利润关于销售商的检查比例  $y^*$  单调递减, 而当  $y^*(\tau^*, \alpha) \in [0, 1 - \frac{I_m}{I_r + p\beta}]$  时, 销售商的利润不受影响, 因此为了以后的长期合作或者取悦于制造商, 理性的销售商的最优策略是采取不检策略  $y^*(\tau^*, \alpha) = 0$ 。

所以当制造商制定处罚  $\alpha^* = \frac{I_r}{pb}$  时, 销售商的最优回收比例和检查比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - I_r)q}{2CL}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ , 则制造商的最优策略是全检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 1$ 。此时, 制造商和销售商的利润函数分别为:  $TM_3 = (w - c)q + (c - b - I_m + I_r) \frac{(b - I_r)q^2}{2CL}, TR_3 = (r - w)q + \frac{(b - I_r)^2 q^2}{4CL}$ 。

(c) 当  $(1 - y^*(\tau^*, \alpha))p\beta = I_m - (1 - y^*(\tau^*, \alpha))pacb$ , 即  $\alpha b = \frac{I_m}{p(1 - y)} - \beta$  时,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) \in [0, 1]$ 。

将  $I_r - x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb = 0$  带入制造商的利润函数式(1) 可得制造商在第一阶段的决策:

$$\max \pi_m(\alpha) = (w - c)q + [c - b - x^*(y^*, \tau^*, \alpha) \cdot I_m + (1 - y^*(\tau^*, \alpha))I_r - (1 - x^*(y^*, \tau^*, \alpha))(1 - y^*(\tau^*, \alpha))p\beta] \frac{(b - I_r)q^2}{2CL}$$

上式对检查比例  $x$  求一阶导, 且  $(1 - y^*(\tau^*, \alpha))p(\alpha b + \beta) = I_m$ , 可得:

$$\frac{d\pi_m(\alpha)}{dx} = - (1 - y^*(\tau^*, \alpha))pacb \frac{(b - I_r)q^2}{2CL} < 0$$

可知, 制造商的利润关于其检查比例  $x$  单调递减, 因此制造商的抽检比例为任意最小正数  $x^* \rightarrow 0$ 。由于  $\alpha \in [0, 1], I_r - x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb = 0$ , 当  $x^* \rightarrow 0, \alpha^* = 1$ , 则  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = \frac{I_r}{pb}, y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1$

$-\frac{I_m}{p(b + \beta)}$ 。所以:  $\alpha^* = 1, y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1 - \frac{I_m}{p(b + \beta)}, \tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - I_r)q}{2CL}, x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = \frac{I_r}{pb}$ 。

此时, 制造商的利润函数为:  $TM_4 = (w - c)q + [c - b - \frac{I_m\beta}{(b + \beta)}] \frac{(b - I_r)q^2}{2CL}$ ; 销售商的利润函数为:  $TR_4 = (r - w)q + \frac{(b - I_r)^2 q^2}{4CL}$ 。

综上所述: 当制造商制定的质量处罚比例是  $\alpha^* = \frac{I_r}{pb}$  时, 销售商的最优回收比例和检查比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - I_r)q}{2CL}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 0$ , 制造商的最优策略为全检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 1$ ; 而当制造商制定的质量处罚比例是  $\alpha^* = 1$  时, 销售商的最优回收比例和检查比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - I_r)q}{2CL}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1 - \frac{I_m}{p(b + \beta)}$ , 制造商的最优策略是  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = \frac{I_r}{pb}$ 。得证。

3.3.4 最后探讨  $I_r < x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb$  时的各种情形:

命题 6 当制造商制定较高的质量处罚比例  $\alpha^* \in (\frac{I_r}{pb}, 1)$ , 并采取措施使得其威胁(销售商回收时不检而制造商全检时而遭受的处罚  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb$  大于销售商的单位检查成本  $I_r$ ) 具有可观察性和不可逆转性时, 销售商的最优回收比例和检查比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - I_r)q}{2CL}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1$ , 制造商的最优策略是不检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 0$ 。

证明: 由(6)知: 若  $I_r < x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb$ , 即当销售商的单位检查成本  $I_r$  小于其在回收时不检而制造商全检时遭受的处罚  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb$  时, 销售商的利润关于其抽检比例  $y$  递增, 则销售商有全检的动机  $y^*(\tau^*, \alpha) = 1$ 。而当  $y^*(\tau^*, \alpha) = 1$ , 由  $(1 - y^*(\tau^*, \alpha))p(\alpha b + \beta) < I_m$  知,  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 0$ ; 反之, 当  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha) = 0$  时,  $I_r - x^*(y^*, \tau^*, \alpha)pacb < 0$  不成立。

从经济上可解释为: 当制造商对销售商回收的废旧产品质量严格把关, 一旦发现质量问题, 处于重罚  $\alpha^* \in (\frac{I_r}{pb}, 1)$ , 并威胁销售商将对销售商回收的

废旧产品进行检验  $x^*$ ，且满足  $I_r - x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*)p\alpha^*b < 0$  (即单位期望处罚大于销售商单位检查成本) 时，销售商采取全检策略  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1$ ；而一旦制造商知道销售商全检  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1$  时， $(1 - y^*(\tau^*, \alpha^*))p(\alpha b + \beta) < I_m$  成立，制造商的最优策略是不检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 0$ 。

同时，销售商根据  $(1 - y^*(\tau^*, \alpha^*))p(\alpha b + \beta) < I_m$  也知道：制造商制定较高的质量处罚比例，目的就是迫使自己全检。如果销售商全检  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1$ ，则制造商的策略是不检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 0$ ；而当制造商不检时，因为  $I_r > x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*)p\alpha^*b$ ，销售商最优的策略也是不检。因此销售商可能存在 (采取一定的措施造成全检的假相迷惑制造商) 不检查的动机。

(a) 销售商认为制造商的威胁是可置信的

制造商先行动，公布较高的质量处罚比例  $\alpha^* \in (\frac{I_r}{pb}, 1)$ ；其次销售商行动，如果销售商全检 ( $y^* = 1$ )，则制造商不检 ( $x^* = 0$ ) 时，销售商的利润为： $TR(y^* = 1, x^* = 0) = (r - w)q + \frac{(b - I_r)^2 q^2}{4C_L}$ ；制造商的利润为： $TM(y^* = 1, x^* = 0) = (w - c)q + (c - b)\frac{(b - I_r)q^2}{2C_L}$ 。

(b) 销售商认为制造商的威胁是不可置信的

销售商存在侥幸心理，而不检查 ( $y^* = 0$ )，可能的后果为：

① 销售商采取不检查的行动被制造商发现后，制造商进行全检 ( $x^* = 1$ )：

销售商的利润为： $TR(y^* = 0, x^* = 1) = (r - w)q + \frac{(b - p\alpha b)^2 q^2}{4C_L}$ ；

制造商的利润为： $TM(y^* = 0, x^* = 1) = (w - c)q + [c - b - I_m + p\alpha^*b]\frac{(b - p\alpha^*b)q^2}{2C_L}$ 。

② 销售商采取不检查的行动未被制造商发现，也就是制造商也未检查 ( $x^* = 0$ )，则：

销售商的利润为： $TR(y^* = 0, x^* = 0) = (r - w)q + \frac{b^2 q^2}{4C_L}$ ；

制造商的利润为  $TM(y^* = 0, x^* = 0) = (w - c)q + (c - b - p\beta)\frac{(b - I_r)q^2}{2C_L}$ 。

由于  $TR(y^* = 0, x^* = 0) > \max\{TR(y^* = 0, x^* = 1), TR(y^* = 1, x^* = 0)\}$ ，因此在单周期

合作中，销售商完全存在投机的可能——采取一定的措施 (忽略其采取迷惑措施的成本) 造成全检的假相迷惑制造商。

对于制造商而言，由于  $TM(y^* = 1, x^* = 0)$  严格大于  $TM(y^* = 0, x^* = 0)$ ，因此制造商针对这类情形，存在激励采取一定的策略使得其威胁 ( $I_r < x^*(y^*, \tau^*, \alpha)p\alpha^*b$ ) 能够被销售商所观察，例如向销售商派驻质量监督员 (假设其单位监督成本为  $T$ ，监督员与销售商合谋的成本非常高)，监督其质量检查；并且使得造成的后果具有不可逆性，如一旦发现销售商没有检查，则拒绝接收销售商已经回收的废旧产品，并取消销售商继续合作的资格<sup>[16]</sup>。比较  $TM_1, TM_5$  知，当废旧产品的缺陷率  $p > \frac{T(b - I_r) + (c - b)I_r}{\beta b}$  时，应该派驻质量监督员，防止出现销售商和制造商均不检的情形出现。

所以当制造商制定较高的质量处罚比例  $\alpha^* \in (\frac{I_r}{pb}, 1)$ ，并采取措施使得其威胁 ( $I_r < x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*)p\alpha^*b$ ) 具有可观察性和不可逆性时，并派驻监督员后，销售商的最优回收比例和检查比例分别为  $\tau^*(y^*, \alpha^*) = \frac{(b - I_r)q}{2C_L}$  和  $y^*(\tau^*, \alpha^*) = 1$ ，制造商的最优策略就是不检  $x^*(y^*, \tau^*, \alpha^*) = 0$ ，在这种情形下，制造商的利润函数为： $TM_5 = (w - c)q + (c - b - T)\frac{(b - I_r)q^2}{2C_L}$ ，销售商的利润函数为： $TR_5 = (r - w)q + \frac{(b - I_r)^2 q^2}{4C_L}$ 。得证。

通过命题 3、4、5 和命题 6 的证明，很容易就能得出制造商在各个质量处罚比例区间的利润，从而确定制造商的全局最优质量处罚比例  $\alpha^{**}$ 、选择该比例的临界条件和质量检查比例  $x^{**}$ ，以及在该策略下销售商的废旧产品回收比例  $\tau^{**}$  和质量检查比例  $y^{**}$ 。

#### 4 算例分析

假定制造商的生产成本为  $c = 420$ ，单位监督成本为  $T = 5$ ，销售商以批发价格  $w = 800$  从制造商处采购  $q = 1000$  数量的新产品，在市场上以零售价格  $r = 1200$  进行销售。在回收阶段，销售商的单位检查成本为  $I_r = 50$ ，制造商的单位检查成本为  $I_m = 65$ ，不存在缺陷的旧产品回收价格  $b = 210$ ；制造商支付的赔付  $\beta = 150$ ，旧产品的缺陷率为  $p = 0.42$ ，销售商回收旧产品的规模参数为  $C_L = 200000$ 。运用

Matlab 6 1 编程, 在计算机上模拟得到的结果如下:

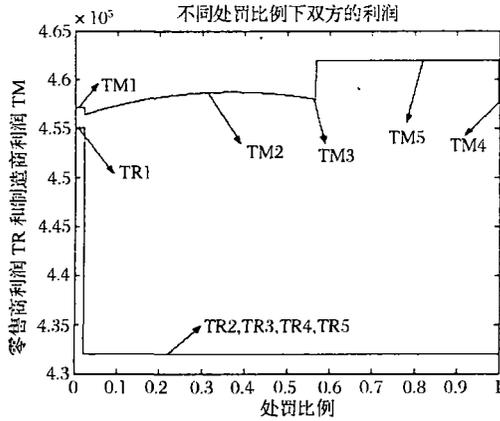


图 2 不同质量处罚比例  $\alpha$  下双方的利润( $p = 0.42$ )

利润最大。

(3) 比较图 2 和图 3, 缺陷率对制造商的决策影响较大。当废旧产品的缺陷率较高( $p = 0.42$ )时, 制造商倾向于制定较高的质量处罚比例  $\alpha^* \in (0.5669, 1)$ , 并派驻质量监督员。但是从图 2 和图 3 均可以看出, 当制造商制定的质量处罚比例上升为  $\alpha^* = 1$  时, 制造商的利润反而下降。从  $TM_4$  和  $TM_5$  很容易得出原因, 当制造商的监督成本与其单位检查成本的关系满足  $T < \beta I_m / (b + \beta)$  时, 制造商通过派驻质量监督员和提高质量处罚比例, 将检查任务全部转移给销售商; 若制造商的监督成本过高  $T > \beta I_m / (b + \beta)$  时, 制造商应该只需向销售商转移部分检查任务  $1 - \frac{I_m}{p(b + \beta)}$  即可。

### 5 结论及进一步的研究

本文采用三阶段的动态博弈模型, 研究了单周期下, 在单个制造商和单个销售商构成的分散式闭环供应链中, 占主导地位的制造商如何制定质量处罚比例和质量抽检比例, 从而对销售商回收的废旧产品数量和质量实施引导和控制, 本文还讨论了不同的废旧产品缺陷率和监督成本对双方决策的影响。

研究表明, 当制造商制定的质量处罚比例  $\alpha^* \leq (I_m - p\beta) / pb$  时, 销售商的回收比例达到最大; 随着质量处罚比例的上升, 销售商的回收比例将下降。当质量处罚比例大于  $\alpha^* > I_m / pb$  时, 销售商的回收比例达到稳定值  $(b - I_r)q / (2C_L)$ 。因此在废旧产品回收的生产者责任制下, 从社会责任角度出发, 制造商倾向于制定较低的质量处罚比例。

从前面的研究可以看出, 只有当制造商制定的质量处罚比例为  $\alpha^* = 1$  时, 销售商才不会产生投机行为, 而自觉承担起一定的检查任务。其他任何质量处罚比例均不能刺激销售商在第一步回收过程中自觉进行检查。

若废旧产品的缺陷率较高, 制造商应制定较高的质量处罚比例  $\alpha^* \in (I_r / pb, 1)$ , 但若不同时采取监督措施, 销售商将存在完全不检的投机行为。因此制造商在制定质量处罚比例的同时, 应该采取一定的威胁措施, 并且使得其威胁(销售商回收时不检而制造商全检时, 其遭受的处罚大于销售商的单位检查成本)具有可观察性和不可逆性。比较  $TM_4$  和  $TM_5$  可知, 当监督成本  $T > \beta I_m / (b + \beta)$  时, 销售商不用派驻质量监督员, 只用将质量处罚比例调整为

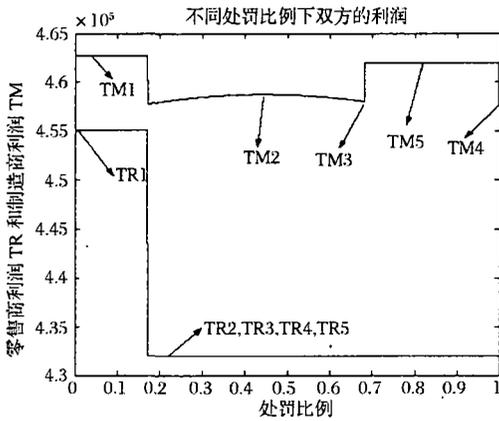


图 3 不同质量处罚比例  $\alpha$  下双方的利润( $p = 0.35$ )

表 1 制造商制定的不同质量处罚比例  $\alpha^*$  时, 双方的最优决策和利润( $p = 0.42$ )

	制造商决策	销售商决策	销售商决策	制造商决策	销售商利润	制造商利润
$i$	$\alpha^*$	$\tau^*$	$y^*$	$x^*$	$TR_i$	$TM_i$
1	[0, 0.227]	0.525	0	0	455125	457175
2	0.3685	0.444	0	1	432000	458770
3	0.5669	0.400	0.01	432000	458000	
4	1	0.400	0.5701	0.5669	432000	453170
5	(0.5669, 1)	0.400	1	0	432000	462000

(1) 由命题 3、4 和 5 及图 2 可知, 当制造商制定的质量处罚比例  $\alpha^* \in [0, 0.227]$  时, 销售商的回收比例达到最大  $\tau^* = 0.525$ , 利润也达到最大; 而当制造商制定的质量处罚比例  $\alpha^* \in (0.5669, 1]$  时, 销售商的回收比例下降为  $\tau^* = 0.400$ , 其利润也相应下降, 但在  $\alpha^* \in (0.5669, 1]$  内, 销售商的利润不受处罚比例的影响。

(2) 由命题 4、5 及图 2 可知, 当制造商制定的质量处罚比例  $\alpha^* \in (0.227, 0.5669]$  时, 制造商才会全检( $x^* = 1$ ); 且存在唯一最优的  $\alpha^*$  使得制造商的

$\alpha^* = 1$ , 向销售商转移部分检查任务即可。

由于废旧产品的回收还涉及到社会和环境因素, 因此企业在具体做决策的时候除了要综合比较各个质量处罚比例区间的利润大小确定全局最优策略外, 还要兼顾社会和环境因素。我国政府和相关企业在资源的节约和综合利用方面日益重视, 因此本文的研究对于企业在闭环供应链中如何控制回收数量和质量具有一定的现实指导意义。

本文只研究了  $I_r + p\beta > I_m > p\beta$  及销售商和制造商的检查成本均为固定成本的情形, 其他情形可以作为进一步的研究问题; 还可以进一步考虑多个销售商竞争以及随机需求条件下各个决策变量之间的关系。

参考文献:

[ 1 ] Russell Cooper and Thomas W. Ross. Product warranties and double moral hazard[J]. Rand Journal of Economics, 1985, 16 ( 1 ): 103- 113.

[ 2 ] Von Colane, E. Economic product control by routine testing of small samples[ J ]. The Statistician, 1988, 37: 333 - 341.

[ 3 ] Chew, W.B. and G P. Piano. Vertical integration, long term contracts, and cost of Quality[ Z ]. Harvard Business School Working Paper, 1990.

[ 4 ] Balachandran, Kashi R. Radhakrishnan, Suresh. Quality implications of warranties in a supply chain[ J ]. Management Science, 2005, 51( 8 ): 1266- 1277.

[ 5 ] Reyniers. D. J. . Supplier customer interaction in quality control[ J ]. Annals of Operations Research, 1992, 34:

307- 330.

[ 6 ] Diane J. Reyniers, Charles S. Tapiero. The delivery and control of quality in supplier producer contracts [ J ]. Management Science, 1995, 41 ( 10 ): 1581- 1589.

[ 7 ] Stanley Bauman, Paul E. Fischer, Madhya V Rajah. Information, Contracting, and Quality Costs[ J ]. Management Science, 2000, 46( 6 ): 776- 789.

[ 8 ] Marcos Singer, Patricio Donoso, Pedro Traverso. Quality strategies in supply chain alliances of disposable items[ J ]. Omega, 2003, 31( 6 ): 499.

[ 9 ] Morris A. Cohen, Seungjin Whang. Competing in Product and Service: A Product Life Cycle Model[ J ]. Management Science, 1997, 43( 4 ): 535- 545.

[ 10 ] Panida Petsong. The Effects Of Quality And Substitutability On Price Competition In Supply Chains [ D ]. PhD Dissertation. Case Western Reserve University, 2001.

[ 11 ] 李洪波. 二级生产供应链中的革新及质量控制合作机制研究[ D ]. 重庆大学, 2005.

[ 12 ] 达庆利, 黄祖庆, 张钦. 逆向物流系统结构研究的现状及展望[ J ]. 中国管理科学, 2004, 12( 2 ): 131- 138.

[ 13 ] Albert Y. Ha, Lode Li, Shu Ming Ng. Price and Delivery Logistics Competition in a Supply Chain[ J ]. Management Science, 2003: 1139.

[ 14 ] R. Canan Savaskan. closed loop supply chain models with product remanufacturing [ J ]. Management Science, 2004, 2: 239- 252.

[ 15 ] R. Canan Savaskan, Luk N. Van Wassenhove. Reverse Channel Design: The Case of Competing Retailers [ J ]. Management Science, 2006, 52( 1 ): 1- 14.

[ 16 ] 王则柯, 李杰. 博弈论教程[ M ]. 中国人民大学出版社, 2004: 241- 242.

Study On the Quality Control Policy in the Closed-loop Supply Chain Based on the Dynamic Game Theory

XIONG Zhong kai<sup>1</sup>, CAO Jun<sup>1</sup>, LIU Ke jun<sup>2</sup>

( 1 College of Economy and Business Administration, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

( 2 Dowa Environmental Management Co., Ltd., Suzhou 215129, China )

**Abstract:** This papers mainly study the quality control policy in the single period decentralized closed loop supply chain composed by a manufacturer and a retailer. Based on the three stage. dynamic game theory, we consider the retailer, which as a leader in the game, how decides the penalty rate of defectively used products and the inspection rate on incoming items from retailer, and the retailer how decides the return rate of used products and the inspection rate on incoming items from consumer. In addition, we build the model to solve this problem and discuss the cost of supervising and the impact of different defective rate of used products on the decision-makings of both the manufacturer and the retailer by mathematics example.

**Key words:** dynamic game; closed loop supply chain; quality control