价格折扣契约下应对突发事件下的闭环供应链协调策略*

王 旭[a], 张 男[b], 王银河[b]
(重庆大学 a. 科技处; b. 机械工程学院, 重庆 400030)

摘 要: 针对 MRCRM 模式下的闭环供应链,在考虑随机性基础上,分析了价格折扣契约对闭环供应链的协调作用,对于突发事件可能造成闭环供应链协调被打破的问题,提出了具有抗突发事件性的价格折扣契约,使之能实现对突发事件的协调应对,最后应用一个算例对比加以说明。

关键词: 闭环供应链; 突发事件应急管理; 价格折扣契约; 抗突发事件性
中图分类号: TP301.6 **文献标志码**: A **文章编号**: 1001-3695(2012)07-2450-04
doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.07.013

Coordination strategy for closed-loop supply chain with price-discount contract

WANG Xu[a], ZHANG Nan[b], WANG Yin-he[b]
(*a. Dept. of Science & Technology, b. College of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing* 400030, *China*)

Abstract: For a closed-loop supply chain according to the MRCRM model facing stochastic market demand, this paper analyzed the coordination function with price-discount contract. For the problem of the closed-loop supply chain coordination might be broken off by an emergent event, this paper put forward an price-discount contract which had anti-disruption-ability for closed-loop supply chain. Finally, it gave an application.

Key words: closed-loop supply chain; disruption management; price-discount contract; anti-disruption-ability

传统供应链是以整体利益最大化为目标,并没有考虑社会和环境效益,目前传统供应链中的成员企业也经常消极回收 EOL(end-of-life)产品,把逆向回收看做是一个可减少企业运营成本的独立活动。这样不仅失去了一部分有再制造价值的 EOL 产品,而且会加大供应链系统消费后的废弃物,使得生态环境恶化,加大了可持续发展的压力。因此实施对环境不利影响较小的闭环供应链显得尤为重要。

闭环供应链(closed-loop supply chains)是 2003 年提出的新物流概念,其研究属于供应链突发事件应急管理(supply chain management)的范畴。供应链突发事件应急管理首先由 Causen 等人[1]提出,在解决航空公司应对突发事件时得到了很好的应用[2,3];Qi 等人[4]对突发事件造成确定性需求变化进行了研究,提出了类似数量折扣契约来协调突发事件下的供应链;Xu 等人[5]对非线性需求函数的供应链应对突发事件协调问题进行了研究。

目前对闭环供应链的研究分为三个方面:

a)闭环供应链的定性方面。Fleischmann 等人[6]给出了产品回收网络的共同特性,并为产品回收网络分类:a)大规模循环网络;b)组装产品再制造网络;c)再使用产品网络。Guide 等人[7]从案例入手,研究了三种不同的闭环供应链与不同的生产计划间的关系。姚卫新[8]对电子环境下的闭环供应链进行了分类,分别为 MRCRM 模式、MRCTM 模式、MRCM 模式、MCTM 模式和 MCM 模式。

b)闭环供应链的数学模型方面。Gu 等人[9]运用博弈论研究闭环供应链的定价策略,并且研究了其中的协调机制。Savaskan 等人[10]定量研究了集成式闭环供应链下的回收模式和策略,给出了其中回收模式之间的协调原则。

c)闭环供应链应对突发事件的协调问题。对于这方面的研究较少,目前主要有用回购契约、数量折扣契约、收入共享契约来研究供应链的协调问题。王玉燕[11]研究了回购契约下闭环供应链对突发事件的协调应对;Ferguson 等人[12]研究了闭环供应链中错误回收报废产品的协调问题,提出了一种目标折扣契约;李新军等人[13]设计了闭环供应链中一种基于收入共享的联合契约;晏妮娜等人[14]设计了一种针对三级闭环供应链的目标奖惩契约。但是这些研究都没有考虑与商品零售价格变化实时相关的契约,没有把 EOL 产品的供给函数与正向供应链的产品分布函数结合起来。

借鉴供应链协调突发事件已有的研究成果,本文对闭环供应链最为常见的 MRCRM(零售商销售零售商回收)模式,试图站在闭环供应链的全局视野,利用价格折扣契约来研究闭环供应链对突发事件的协调策略。

1 基准的闭环供应链价格折扣契约模型

研究一个短生命周期的闭环供应链,它只由一个制造商和一个零售商组成,在 MRCRM 模式下,制造商负责产品的销售加工,零售商从生产商取得商品后进行销售,并负责回收生命

收稿日期: 2012-01-12; **修回日期**: 2012-02-18 **基金项目**: 国家软科学研究计划资助项目(2009GXQ6D178);重庆市科技攻关计划重大资助项目(CSCT,2010AA2044)

作者简介:王旭(1963-),女,四川南充人,教授,博导,主要研究方向为物流与供应链管理;张男(1986-),男,浙江宁波人,硕士研究生,主要研究方向为物流与供应链管理(570678693@qq.com);王银河(1976-),男,河南周口人,博士研究生,主要研究方向为应急物流管理.

周期末并且具有一定再生价值的 EOL 产品转交生产商进行处理,使其形成与新产品无任何质量差异的再生产品,在下一个销售再次投入市场。这样产品从制造商出发,经过零售商、顾客、零售商又再次回到制造商那里,形成了一条完整的闭环供应链,如图 1 所示。

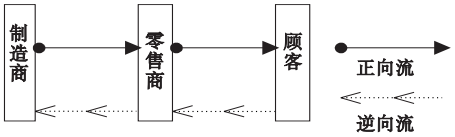

图1　典型的MRCRM闭环供应链结构

模型作如下假设:a)制造商和零售商是风险中性和完全理性的,即他们都根据各自期望最大化原则来进行决策;b)制造商和零售商之间信息是完全的,即制造商和零售商都知道自己与对方的成本结构,收益函数;c)制造商和零售商都能准确预测零售商所面临的需求函数以及闭环供应链的供给函数;d)制造商将回收的 EOL 产品(已达到一定的再生质量要求)全部加工成再生产品,即没有废弃处理。

符号说明如下:P 为零售商的零售价格;q 为零售商的订货量;w 为制造商给零售商的批发价格;b 为制造商对销售商单位产品的回购价格;b_r 为零售商从顾客手中回收 EOL 产品的单位回收价格;b_m 为制造商从零售商手中回收 EOL 产品的单位回收价格;c_m 为制造商生产新产品的单位生产成本;c_{mo} 为制造商将上次销售时期末回收的 EOL 产品加工成再生产品的边际单位加工成本;c_r 为零售商的边际单位成本;g_r 为由于零售商缺货而导致的零售商商誉单位惩罚成本;g_m 为由于零售商缺货而导致的制造商商誉单位惩罚成本;$c = c_m + c_r$,$g = g_m + g_r$;v 为零售商期末库存产品的单位残值;v_o 为制造商期末回收的 EOL 产品的单位再利用价值;D_o 为上个销售时期末回收的达到制造商的再生质量要求的 EOL 产品数量,为固定量。

D 为零售商面临的随机需求分布,设 D 的分布函数为 F,密度函数为 f,F 是可微的和严格递增的,且 $F(0)=0$,令 $u = E(D)$ 为期望需求,由此可得[15] 期望销售量为 $S(q) = q - \int_0^q F(x)\mathrm{d}x$;期末期望库存量为 $I(q) = q - S(q)$;期末没有满足的期望需求量为 $L(q) = u - S(q)$。$g(q)$ 为 EOL 产品的供给函数,ε 为 EOL 产品的回收率,即 $g(q) = \varepsilon S(q)$,$0 \leqslant \varepsilon \leqslant 1$。$\varepsilon$ 是回收价格的拟凹函数和连续可微函数。

在供应链中价格折扣契约是一种将上游企业的批发价格和回购价格与产品的零售价格的变化量保持预先约定的线性和非线性关系,闭环供应链的价格契约的相关参数为

$$w = w^o + (1-k)\Delta p, \Delta p = p - p^o$$

$$w^o = (1-k)p^o + kc - c_r, b = w - k(c-v) + c_r$$

其中:w^o 是制造商提供的基准批发价格;p^o 是参考值,它可以取上次销售周期的 p 值,但结合下面的分析,无论 p^o 取什么值都能保证供应链的协调,这就避免了零售商的零售价格偏离最优价格;k 为常量且 $0 < k < 1$。

价格折扣契约函数值可简化为

$$w = (1-k)p + kc - c_r, b = (1-k)p + kv$$

与其他契约相比,在价格折扣契约下,闭环供应链中的产品的批发价格和回购价格皆可通过商品的市场售价来实时确定,这就保证了契约的合理性;在面对产品的市场售价在一定范围内波动时,闭环供应链系统不需要制定新的契约,只需在原契约上制定新的批发价格和回购价格,这就保证了闭环供应链应对产品售价变化的及时性。

令闭环供应链中的价格折扣契约为

$$T(p,q,k) = wq - bI(q) - b_m g(q) = [(1-k)p + kc - c_r]q - [(1-k)p + kv]I(q) - b_m g(q)$$

则零售商的期望利润函数为

$$\pi_r = ps(q) - c_r q - g_r L(q) - T(p,q,k) - b_r g(q) = (kp - kv + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r)s(q) - (kc - kv)q - ug_r$$

制造商的期望利润函数为

$$\pi_m = (p - v + kv - kp + g_m + \varepsilon v_o - \varepsilon b_m)s(q) + (kc - kv - c_r + v)q - c_m(q - D_o) - c_{mo}D_o - ug_m$$

闭环供应链的利润为

$$\pi = \pi_r + \pi_m = (p - v + g + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r)s(q) - (c - v)q - ug + (c_m - c_{mo})D_o$$

从现实问题出发,假设模型中的参数满足 $0 < b_r < b_m < b_m + c_{mo} < v_o < v < w < p$。下面来证明利用该价格折扣契约能协调上面的闭环供应链系统,本文参考 Xiao 等人[16] 对关于协调供应链的定义来定义协调闭环供应链。

定义 1　一个闭环供应链如果在一个协约机制下是协调的,那么通过这个协约使得闭环供应链的最优解是闭环供应链的组成企业决策的 Nash 均衡点,即在制造商和零售商通过追求自身收益最大化过程中,同时使得闭环供应链的收益最大化,并且双方都不能在侵蚀对方利益下获得更多的利益。

由 $F(x)$ 可微和严格递增可得

$$\pi'_r(q) = (kp - kv + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r)[1 - F(q)] - kc + kv \text{ 且}$$

$$\pi_r^*(q) = -(kp - kv + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r)f(q) < 0$$

设 q_r^* 为零售商的最优订货量,q^* 为闭环供应链的最优订货量,由 $\pi'_r(q) = 0$ 可得

$$q_r^* = F^{-1}\left(\frac{kp - kc + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r}{kp - kv + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r}\right) \tag{1}$$

同理　$\pi'(q) = (p - v + g + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r)[1 - F(q)] - c + v$ 且

$$\pi'(q) = -(p - v + g + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r)f(q) < 0$$

$$q^* = F^{-1}\left(\frac{p - c + g + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r}{p - v + g + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r}\right) \tag{2}$$

在供应链协调的情况下应有 $q_r^* = q^*$,又因 $F(x)$ 为单调增函数,所以由式(1)(2)可得

$$\frac{kp - kc + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r}{kp - kv + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r} = \frac{p - c + g_r + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r}{p - v + g_r + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r}$$

即存在 $\lambda(0 < \lambda < 1)$,使得

$$\begin{cases} kp - kc + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r = \lambda(p - c + g + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r) \\ kp - kv + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r = \lambda(p - v + g + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r) \end{cases} \tag{3}$$

由上两式相减得 $kc - kv = \lambda(c - v)$,所以

$$\pi_r = (kp - kv + g_r + \varepsilon b_m - \varepsilon b_r)s(q) - (kc - kv)q - ug_r = \lambda[(p - v + g + \varepsilon v_o - \varepsilon b_r)s(q) - (c - v)q - ug + (c_m - c_{mo})D_o] + \lambda ug - ug_r - \lambda(c_m - c_{mo})D_o = \lambda\pi + u(\lambda g - g_r) - \lambda(c_m - c_{mo})D_o$$

即零售商的利润在该价格折扣契约下是整个闭环供应链收益函数的仿射函数,所以零售商的最优订货量也是系统的最优订货量,可以通过参数 λ 来任意分配整个闭环供应链的利润,故整个供应链达到协调。

2　突发事件对闭环供应链的影响

制造商通过需求预测获得最优订货量 q^*,安排生产计划。突发事件发生时,零售商面临的需求分布 F 发生了变化,突发可能造成市场需求增加或减少。设新的需求分布函数为

$G(y)$,密度函数为 $g(y)$,同样满足 G 是可微且严格递增的,$G(0)=0$,此时零售商的期望销售量 $s_G(q)=q-\int_0^q G(y)\mathrm{d}y$,期末期望剩余库存量 $I_G(q)=q-s_G(q)$,期末没有满足的期望销售量 $L_G(q)=u_G-s_G(q)$,其中 u_G 为期望需求。于是,突发事件发生后闭环供应链中各成员和整个供应链的系统的收益函数可求出,零售商的利润函数为

$$\pi_{rG}=ps_G(q)-c_rq-g_rL_G(q)-T(p,q,k)-b_rg_G(q)=$$
$$(kp-kv+g_r+\varepsilon b_m-\varepsilon b_r)s_G(q)-(kc-kv)q-u_Gg_r$$

制造商的利润函数为

$$\pi_{mG}=(p-v+kv-kp+g_m+\varepsilon v_o-\varepsilon b_m)s_G(q)+(kc-kv-c_r+v)q-$$
$$c_m(q-D_o)-c_{mo}D_o-u_Gg_m-\lambda_1(q-q^*)^+-\lambda_2(q^*-q)^+$$

闭环供应链的利润为

$$\pi_G=\pi_{rG}+\pi_{mG}=(p-v+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r)s_G(q)-(c-v)q-u_Gg+$$
$$(c_m-c_{mo})D_o-\lambda_1(q-q^*)^+-\lambda_2(q^*-q)^+ \tag{4}$$

设突发事件发生后供应链最优订货量为$\bar{q}$,那么$\bar{q}=\arg\max\limits_{q\geqslant 0}\pi_G$。如果突发事件发生后的$\bar{q}$不是原计划的 q^*,当$\bar{q}>q^*$时,由于打破原有的生产计划,对于增加的产品$\bar{q}-q^*$需要增加新的生产成本 λ_1;当$\bar{q}<q^*$时,由于打破原有的销售计划,对于剩余的产品 $q^*-\bar{q}$会有另外的处理成本 λ_2。其中 $\lambda_1,\lambda_2>0$,$(x)^+=\max\{0,x\}$。

引理 1 如果突发事件造成市场需求增大,即 $G(q)\leqslant F(q)$,对于任意$q\geqslant 0$,则$\bar{q}\geqslant q^*$;如果突发事件造成市场需求减少,即 $G(q)\geqslant F(q)$,对于任意 $q\geqslant 0$,则$\bar{q}\leqslant q^*$。

定理 1 突发事件造成零售商面临的市场需求增加或减少时,闭环供应链的最优订货量为

$$\bar{q}=\begin{cases}q_1 & q_1>q^*\\ q_2 & q_2<q^*\\ q^* & \text{其他}\end{cases}$$

其中:

$$q_1=G^{-1}\left(\frac{p-c+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r-\lambda_1}{p-v+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r}\right)$$
$$q_2=G^{-1}\left(\frac{p-c+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r+\lambda_2}{p-v+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r}\right)$$

证明 当突发事件造成市场需求增大时,由引理 1,有 $q_1\geqslant q^*$,于是 q_1 为式(4)的最优解的充要条件是 $q_1=\arg\max\limits_{q\geqslant q^*}\pi_G$,由 $\pi_G''=-(p-v+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r)f(q)<0$,可知 $\pi_G=(p-v+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r)s_G(q)-(c-v)q-u_Gg+(c_m-c_{mo})D_o-\lambda_1(q-q^*)$为严格凹函数。

令 $\pi'_G=(p-v+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r)[1-G(q)]-(c-v)-\lambda_1$ 可得 $q_1=G^{-1}\left(\frac{p-c+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r-\lambda_1}{p-v+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r}\right)$,同理可得 $q_2=G^{-1}\left(\frac{p-c+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r+\lambda_2}{p-v+g+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r}\right)$。

如果突发事件造成市场需求变化不大,即 $G\to F$,则$\bar{q}=q^*$。从实际情况来看突发事件发生后只考虑了制造商的额外成本,对于零售商而言并没有直接的额外成本,零售商会根据现实需求和制造商提供的价格折扣契约来选择订货量。如果当突发事件造成零售商面临的需求分布减少为 0 时,即需求以概率为 1 取 0 值,闭环供应链的最优订货量$\bar{q}=0$,此时闭环供应链的收益为 $\pi_G=-\lambda_2q^*$,此时闭环供应链破裂,制造商的损失为 λ_2q^*。

命题 1 当发生突发事件造成市场需求变化较大时,若仍然采用原价格折扣契约,则闭环供应链的协调将被打破。

证明 突发事件发生后还采用原价格折扣契约,则

$$\pi_{rG}=ps_G(q)-c_rq-g_rL_G(q)-T(p,q,k)-b_rg_G(q)=$$
$$(kp-kv+g_r+\varepsilon b_m-\varepsilon b_r)s_G(q)-(kc-kv)q-u_Gg_r=$$
$$\lambda(p-v+g_r+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r)s_G(q)-\lambda(c-v)-u_Gg_r=\lambda\pi_G+u_G$$
$$(\lambda g-g_r)-\lambda(c_m-c_{mo})D_o+\lambda[\lambda_1(q-q^*)^++\lambda_2(q^*-q)^+] \tag{5}$$

当突发事件使得市场需求分布较大时 $q_1>q^*$ 或 $q_2<q^*$,零售商不再是闭环供应链的线性函数,供应链不再协调。

3 闭环供应链的应对策略

由命题 1 可知,当突发事件造成的需求变化较大时,原协调的闭环供应链不再协调,下面给出具有抗突发事件性的价格折扣契约。令新价格折扣契约为

$$T_{\text{anti}}(p,q,k)=w_{\text{anti}}q-bI(q)-b_mg(q)$$
$$w_{\text{anti}}=(1-k)p+kc-c_r+X$$

其中 $X=\frac{\lambda}{q}[\lambda_1(q-q^*)^++\lambda_2(q^*-q)^+]$。

命题 2 调整过的价格折扣契约能够实现闭环供应链的协调。

证明 突发事件发生后,在新的价格折扣契约下,

$$\pi_{rG}=ps_G(q)-c_rq-g_rL_G(q)-T_{\text{anti}}(p,q,k)-b_rg_G(q)=$$
$$(kp-kv+g_r+\varepsilon b_m-\varepsilon b_r)s_G(q)-(kc-kv)q-u_Gg_r-$$
$$\lambda[\lambda_1(q-q^*)^++\lambda_2(q^*-q)^+]=$$
$$\lambda(p-v+g_r+\varepsilon v_o-\varepsilon b_r)s_G(q)-\lambda(c-v)-u_Gg_r-$$
$$\lambda[\lambda_1(q-q^*)^++\lambda_2(q^*-q)^+]=$$
$$\lambda\pi_G+u_G(\lambda g-g_r)-\lambda(c_m-c_{mo})D_o$$

即零售商的收益为闭环供应链总收益的仿射函数,闭环供应链实现协调应对突发事件。

4 算例分析验证

价格折扣契约能有效面对产品市场售价变化的情况,调整后的契约也能有效地面对产品的市场需求急剧变化的情况。设制造商 A 在地区 C 的电器 B 需求在正常情况下,市场需求满足 $x\sim U[1000,2000]$的均匀分布,$p=65$,$c_m=45$,$c_r=5$,$b_r=5$,$b_m=10$,$v=25$,$g_r=2$,$g_m=2$,$\varepsilon=0.4$,$k=0.4$,$D_o=500$,$v_o=20$,$c_{mo}=8$,$\lambda_1=5$,$\lambda_2=5$,显见这些数据符合现实情况,即满足 $0<b_r<b_m<b_m+c_{mo}<v_o<v<w<p$ 的模型要求,而且符合式(3)的要求,可求得 $\lambda=0.4$。突发事件 P(政府激励政策)的发生使得该电器的市场需求变为 $x\sim U[1400,2400]$的均匀分布,则可得到表 1。

表 1 突发事件发生前后的不同契约和不同订购量的各参数比较

比较项	批发价格 w	回购价格 b	订货批量 q	销售商利润	制造商利润	系统利润
正常情况下采用价格折扣契约	54	49	1 500	9 500	34 250	43 750
突发事件后采用原最优批量	54	49	1 500	11 100	33 850	44 950
突发事件后采用新最优批量	54	49	1 800	12 600	37 800	50 400
突发事件后采用新价格折扣契约	54.33	49	1 800	12 000	38 400	50 400

由表 1 可以看出,在市场需求增大的情况下:a)若突发事件下销售商仍订购原批量,那么整个系统的利润会下降,且会更大地损害制造商的利润,应促使零售商订购新最优批量;b)在旧的价格折扣契约下,零售商会占去系统新增收益的大部分,且由式(5)可得闭环供应链系统不能实现协调,应采用新

的价格折扣契约重新分配利润,实现供应链的协调。

5　结束语

本文针对市场需求随机的情况,对利用价格折扣契约协调的闭环供应链如何应对突发事件的问题进行了研究,得出以下结论:

a)闭环供应链中的价格折扣契约能通过产品的市场价格来确定契约的批发价格和回购价格,与其他契约相比,其契约能有效应对市场波动中产品价格变化的情况。

b)价格折扣契约下的闭环供应链具有一定的鲁棒性,命题 1 表明,当需求变化微小时,制造商不需要改变生产计划,这也符合企业实际制定生产计划的原则。

c)证明了当需求变化足够大时,利用原价格折扣契约不能实现闭环供应链的协调,但是调整后的价格折扣契约能实现闭环供应链对突发事件的协调应对,且调整后的价格折扣契约具有抗突发事件性。

d)制造商对突发事件的影响往往更大,所以制造企业要加强对突发事件的认识,及时评估突发事件对闭环供应链的影响,及时作出应对。

参考文献:

[1] CAUSEN J, HANSEN J, LARSEN J, *et al*. Disruption management [J]. OR/MS Today,2001,28(5):40-43.

[2] YU Gang, ARGUELLO M, SONG Gao, *et al*. A new era for crew recovery at continental airline [J]. Interfaces,2003,33(1):5-22.

[3] YU Gang, YANG Jian. Optimization application in the airline industury[R]//DU Ding-zhu, PARDALOS P M. Handbook of Combinatorial Optimization. Berlin:Springer,1997:635-726.

[4] QI Xiang-tong,BARD J F, YU Gang. Supply chain coordination with demand disruptions[J]. Omega,2004,32(4):301-312.

[5] XU Ming-hui, QI Xiang-tong, YU Gang, *et al*. The demand disruption management problem for a supply chain system with nonlinear demand functions[J]. Journal of System Science and Systems Engineering,2003,12(1):82-97.

[6] FLEISCHMANN M, KRIKKE H R, DEKKER R, *et al*. A characterization of logistics networks for product recovery[J]. Omega,2000,28(6):653-666.

[7] GUIDE V D R, JAYARAMAN V, LINTON J D. Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery[J]. Journal of Operations Management,2003,21(3):259-279.

[8] 姚卫新. 电子商务环境下闭环供应链原子模型研究[J]. 管理科学,2003,16(1):65-68

[9] 顾巧论,季建华,高铁杠,等. 有固定需求底线的逆向供应链定价策略研究[J]. 计算机集成制造系统,2005,11(12):1751-1757.

[10] SAVASKAN R C, BHATTACHARYA S, Van WASSENHOVE L N. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing[J]. Management Science,2004,50(2):239 -252.

[11] 王玉燕. 回购契约下闭环供应链对突发事件的协调应对[J]. 运维与管理,2009,18(6):46-52.

[12] FERGUSON M,GUIDE V D R,SOUZAG C. Supply chain coordination for false failure returns[J]. Manufacturing Service Operations Management,2006,8(4):376-393.

[13] 李新军,林欣怡,达庆利. 闭环供应链的收入共享契约[J]. 东南大学学报:自然科学版,2008,38(3):535-539.

[14] 晏妮娜,黄小原. 基于第三方逆向物流的闭环供应链模型及应用[J]. 管理科学学报,2008,11(4):83-93.

[15] CACHON G P. Supply chain coordination with contracts[R]. Philadelphia:University of Pennsylvania. 2002.

[16] XIAO Tang, YU Giao-jun, SHENG Zhao-han, *et al*. Coordination of a supply chain with one-manufacturer and two-retailers under demand promotion and disruption management decisions[J]. Annals of Operations Research,2005,135(1):872109.