文章编号:1003 - 207(2009)05 - 0104 - 09

基于不同权力结构的废旧产品回收再制造决策分析

孙　浩,达庆利

(东南大学经济管理学院,江苏 南京　211189)

摘　要:本文研究了制造商主导、回收商主导、垂直纳什均衡以及集中式决策四种不同权力结构下的废旧产品回收再制造问题,给出并比较了四种结构下决策变量的最优解。研究表明:与集中式决策相比,三种分散式情形下的系统效益非最优;垂直纳什均衡时的系统效益严格优于制造商主导时;当回收商主导逆向供应链时,在某些条件下能够达到集中式决策的水平;相反,制造商主导和垂直纳什均衡时则无法达到。对制造商主导和回收商主导两种情形,利用费用共享契约和二部定价契约进行了协调。

关键词:逆向供应链;权力结构;协调;再制造;费用共享契约;二部定价契约

中图分类号:F252　　　**文献标识码**:A

1　引言

逆向供应链是近年来供应链研究的热点之一。制造商通过对废旧产品的回收再制造,不仅可以减少污染,保护环境,而且可以获取额外的利润。如柯达制造的再生循环照相机、惠普生产的可重复填充利用的打印机墨盒,已为其带来可观的经济效益。另外,由于再制造与传统的生产、分销活动联系紧密,所以在逆向供应链及其与正向供应链整合而成的闭环供应链中各渠道成员如何制定相应的回收价格、转移价格以及协调成员间的利润分配是其中重要的决策问题。

已有不少学者研究了逆向(或闭环)供应链的定价策略、利润分配、协调机制及激励机制。文献[1,2]应用博弈理论研究了由单一零售商和制造商构成的供应链、逆向供应链的定价策略,分别得到了合作博弈和非合作博弈下的均衡解。文献[3]提出制造商回收产品的模式可以分为三种:第三方负责回收、零售商负责回收、制造商负责回收,分别比较了三种模式下的最优价格、回收努力程度和系统利润。文献[4,5]分析了在零售商同时负责销售和回收的竞争环境下制造商和零售商的最优定价及利润分配问题。文献[6,8]利用改进的收入—费用共享契约对第三方负责回收和零售商负责回收两种情形下的闭环供应链进行了协调;文献[9]研究了如何实现废旧产品供给和再制造产品需求的匹配以使系统利润最大化。文献[10]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合同以激励零售商的回收努力,降低报废无用产品的回收费用、加工费用和提高净销售水平。文献[11]采用三阶段动态博弈模型研究了在单一制造商和零售商构成的分散式闭环供应链中制造商如何采取抽检和惩罚措施来控制废旧产品的质量。

以上文献均基于制造商主导供应链系统来研究相应的定价决策和协调机制。事实上,随着市场上各渠道成员力量的相对变化,市场支配者也在发生变化。以传统正向供应链为例,由于零售业合并并购趋势的加快以及巨型零售商等新的零售业态的出现,市场的支配力量从生产厂商逐步转移到零售企业。如文献[12 - 14]研究了正向供应链中制造商和零售商存在不同渠道权力下的定价策略及利润分配。同样,在逆向(或闭环)供应链中,由于制造商主要从事核心业务或新产品的研发,没有足够的精力和动力回收废旧产品,经常将此业务外包给第三方回收商(或零售商)。与此同时,市场上也的确存在一些专门从事废旧家电回收的第三方回收商,他们邻近市场,有更加稳定的回收网络,因而也拥有主导逆向供应链的能力。如文献[15]探讨了制造商领导

收稿日期:2008 - 09 - 23;**修订日期**:2009 - 09 - 15
基金项目:国家自然科学基金资助项目(70772059)
作者简介:孙浩(1981 -),男,(汉族),山东青岛人,东南大学经济管理学院博士研究生,研究方向:逆向供应链管理.

的 Stackelberg 博弈、回收商领导的 Stackelberg 博弈以及集中式决策三种渠道权力结构下逆向供应链的定价决策。文献[16,17]分别针对由一个制造商和一个零售商以及一个制造商和两个竞争零售商所组成的闭环供应链,研究和对比了不同市场力量结构下的渠道定价、回收率和成员利润。

本文以文献[15]为基础,完善了在回收商主导渠道结构下的均衡解,补充考虑了制造商制定转移价格的情况,并验证了其与回收商制定转移价格时所得均衡解的一致性;分析了制造商和零售商呈垂直纳什均衡状态下的最优决策,进而比较了在制造商主导、回收商主导、垂直纳什均衡以及集中式决策这四种渠道权力结构下回收商的最优回收量、制造商的最优销售量与系统利润;给出了协调该逆向供应链的费用共享契约和二部定价契约。其中,与传统的收益共享契约相比,费用共享契约是指双方共享回收商的回收费用,而不是销售收益,这是由双重边际效应的产生原因所决定的;另外,由于本文在各种参数组合下的决策变量均衡解不同,所以契约设计部分也需分情况讨论。

2　模型描述

考虑以下废旧产品回收再制造操作流程:回收商以回收价格 r 从终端用户处回收废旧产品;制造商以转移价格 w 从回收商处回购废旧产品,并可选择两种方式之一进行处理:①拆解后提取原材料在原材料市场销售获得净收益 s;②以成本 c 进行再制造后,以价格 p 在再制造产品市场上销售。回收量 $S(r)$ 是 r 的增函数:$S(r)=\alpha+\beta r$,其中 α 是社会基本回收量,β 为回收价格灵敏度,且满足 $\alpha,\beta\geq 0$;销售量 $D(p)$ 是 p 的减函数:$D(p)=a-bp$,其中 a 为再制造产品市场容量,β 为需求价格灵敏度,且满足 $a,b\geq 0$。r、w 及 p 均为回收商或制造商的决策变量。另外假设再制造产品与新产品同质而无差异,并均能被再制造。

3　四种不同权利结构下的博弈模型

假设信息对称,回收方和制造商均清楚对方的决策结果。下面分别讨论制造商主导、回收商主导、垂直纳什均衡以及集中式决策四种权力结构下的最优定价、相应的废旧产品回收量、再制造产品销售量及系统利润。以下变量加上标“MS”表示制造商主导,“CS”表示回收商主导,“VN”表示垂直纳什均衡,“I”表示集中式决策;下标代表相应的利益主体。

3.1　制造商主导的 Stackelberg 博弈模型(MS)

制造商主导再制造逆向供应链时 Stackelberg 博弈的决策顺序为:制造商首先确定转移价格 w 和再制造产品销售价格 p,回收商根据 w 确定废旧品的回收价格 $r(r\geq -\alpha/\beta)$(此处 $r<0$ 的情况是存在的,因为用户的废旧品可能含有害物质,需要支付给回收商一定的处理费用;则转移价格 $w<0$ 同样可能存在)。采用逆推法来确定双方的最优决策。

回收商的利润 π_C^{MS} 为

$$\max\quad \pi_C^{MS}=(w-r)(\alpha+\beta r) \tag{1}$$

易见 π_C^{MS} 是 r 的严格凹函数,故存在唯一的最大值,由 $\partial\pi_C^{MS}(r)/\partial r=0$ 得

$$r(w)=\frac{\beta w-\alpha}{2\beta} \tag{2}$$

由(2)式给定的回收商最优反应函数,制造商的利润 π_M^{MS} 可表示为

$$\max\quad \pi_M^{MS}=(a-bp)(p-s-c)+\frac{w\beta+\alpha}{2}(s-w) \tag{3}$$

$$a-bp\leq\frac{\beta w+\alpha}{2} \tag{4}$$

约束(4)限定了制造商销售的再制造产品数量不超过回购的废旧品数量,联立(3-4)式得

$$(w^{MS*},p^{MS*})=\begin{cases}\left(\dfrac{\beta a-\alpha(\beta+b)-\beta bc}{\beta(\beta+2b)},\dfrac{(4b+\beta)a-\alpha b+\beta bc}{2b(\beta+2b)}\right), & \phi^{MS}\geq 0\\[2ex] \left(\dfrac{\beta s-\alpha}{2\beta},\dfrac{b(s+c)+a}{2b}\right), & \phi^{MS}<0\end{cases} \tag{5}$$

其中 $\phi^{MS}=\dfrac{a-b(s+c)}{2}-\dfrac{\alpha+\beta s}{4}$。则相应的废旧产品回收量、再制造品销售量及双方的利润如式(6)-(7)所给出。

$$(S(r^{MS*}),D(p^{MS*}))=\begin{cases}\left(\dfrac{\beta a+b\alpha-\beta bc}{2(\beta+2b)},\dfrac{\beta a+b\alpha-\beta bc}{2(\beta+2b)}\right), & \phi^{MS}\geq 0\\[2ex] \left(\dfrac{\alpha+\beta s}{4},\dfrac{a-b(s+c)}{2}\right), & \phi^{MS}<0\end{cases} \tag{6}$$

$$(\pi_C^{MS*},\pi_M^{MS*})=\begin{cases}\left(\dfrac{(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4\beta(\beta+2b)^2},\dfrac{(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4\beta b(\beta+2b)}\right), & \phi^{MS}\geq 0\\[2ex] \left(\dfrac{(\alpha+\beta s)^2}{16\beta},\dfrac{((a-b(s+c))^2}{4b}+\dfrac{(\alpha+\beta s)^2}{8\beta}\right), & \phi^{MS}<0\end{cases} \tag{7}$$

3.2　回收商主导的 Stackelberg 博弈模型(CS)

在回收商主导再制造逆向供应链时,我们将其

分为回收商制定转移价格 w 和制造商制定转移价格 w 两种情况进行讨论,并验证两种情况的均衡解是一致的。

3.2.1 回收商制定 w 的情况

当由回收商制定 w 时,Stackelberg 博弈的决策顺序为:回收商首先确定转移价格 w,制造商根据 w 确定回购的废旧品数量、再制造和回收原材料的废旧品数量及销售价格 p。则在以下两种情况下制造商均会回购废旧品:①再制造废旧品的净利润非负,即 $p-w-c\geq 0$;②回收原材料的净利润非负,即 $s\geq w$。此时,制造商的利润 π_M^{CS} 为

$$\max\ \pi_M^{CS}=(p-w-c)(a-bp)+t(s-w)\qquad(8)$$

$$t+a-bp\leq S(w)\qquad(9)$$

$$t\geq 0\qquad(10)$$

约束(9)保证了制造商再制造和回收原材料的废旧品数量之和不超过从回收商处回购的数量,其中 t 表示制造商回收原材料的废旧品数量,$S(w)$ 表示对应于转移价格 w 的最优回收量。约束(10)是变量的非负约束。

易见 π_M^{CS} 是 p 的严格凹函数,且当 $w\leq s$ 和 $w>s$ 时 π_M^{CS} 分别是 $t(w)$ 非递减函数和减函数。则对应于 w 的再制造产品最优售价 $p(w)$ 和回收原材料的废旧品数量 $t(w)$ 分别为

$$(p(w),t(w))=\begin{cases}(\frac{b(w+c)+a}{2b},0) & w\geq s,\phi_1<0\\(\frac{a-S(w)}{b},0) & w\geq s,\phi_1\geq 0\\(\frac{b(s+c)+a}{2b},S(w)-\frac{a-b(s+c)}{2}) & w<s,\phi_2<0\\(\frac{a-S(w)}{b},0) & w<s,\phi_2\geq 0\end{cases}\qquad(11)$$

其中 $\phi_1=a-b(w+c)-2S(w)$,$\phi_2=a-b(s+c)-2S(w)$

此时,作为主导者的回收商利润 π_C^{CS} 为

$$\max\ \pi_C^{CS}=w(a-bp(w)+t(w))-r(\alpha+\beta r)\qquad(12)$$

$$a-bp(w)+t(w)\leq\alpha+\beta r\qquad(13)$$

同理易见 π_C^{CS} 是 r 的严格凹函数,则将式(11)中 $p(w)$ 和 $t(w)$ 代入等式(12),可得最优的回收价格 r^{CS*} 和转移价格 w^{CS*} 为

①当 $\chi^{CS}=a-bc-2\alpha\geq 0$ 时

$$(r^{CS*},w^{CS*})=\begin{cases}(\frac{a\beta-\alpha(4\beta+b)-b\beta c}{2\beta(2\beta+b)},\frac{(a-bc)(\beta+b)-\alpha b}{b(2\beta+b)}) & \phi_1^{CS}\geq 0\\(\frac{\beta s-\alpha}{2\beta},s) & \phi_1^{CS}<0\end{cases}\qquad(14)$$

其中 $\phi_1^{CS}=\beta(a-b(s+c))^2+2b(\alpha+\beta s)(a-b(s+c)-\alpha-\beta s)$,则相应的废旧产品回收量、再制造品销售量及双方的利润如式(15)-(16)所给出。

$$(S(r^{CS*}),D(p^{CS*}))=\begin{cases}(\frac{\beta a+b\alpha-\beta bc}{2(2\beta+b)},\frac{\beta a+b\alpha-\beta bc}{2(2\beta+b)}) & \phi_1^{CS}\geq 0\\(\frac{\alpha+\beta s}{2},\frac{a-b(s+c)}{2}) & \phi_1^{CS}<0\end{cases}\qquad(15)$$

$$(\pi_C^{CS*},\pi_M^{CS*})=\begin{cases}(\frac{(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4\beta b(2\beta+b)},\frac{(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4b(2\beta+b)^2}) & \phi_1^{CS}\geq 0\\(\frac{(\alpha+\beta s)^2}{4\beta},\frac{((a-b(s+c))^2}{4b}) & \phi_1^{CS}<0\end{cases}\qquad(16)$$

②当 $\chi^{CS}=a-bc-2\alpha<0$ 时,式(18)—(19)所给出。

$$(r^{CS*},w^{CS*})=\begin{cases}(-\frac{\alpha}{2\beta},\frac{a-bc}{2b}) & \phi_2^{CS}\geq 0\\(\frac{\beta s-\alpha}{2\beta},s) & \phi_2^{CS}<0\end{cases}\qquad(17)$$

其中 $\phi_2^{CS}=(a-bc)^2-2bs(2\alpha+\beta s)$,则相应的废旧产品回收量、再制造品销售量及双方的利润如

$$(S(r^{CS*}),D(p^{CS*}))=\begin{cases}(\frac{\alpha}{2},\frac{a-bc}{4}) & \phi_2^{CS}\geq 0\\(\frac{\alpha+\beta s}{2},\frac{a-b(s+c)}{2}) & \phi_2^{CS}<0\end{cases}\qquad(18)$$

$$(\pi_C^{CS*},\pi_M^{CS*})=$$

$$\begin{cases}\left(\dfrac{(a-bc)^2}{8b}+\dfrac{\alpha^2}{4\beta},\dfrac{(a-bc)^2}{16b}\right) & \varphi_2^{CS}\geq 0\\ \left(\dfrac{(\alpha+\beta s)^2}{4\beta},\dfrac{((a-b(s+c))^2}{4b}\right) & \varphi_2^{CS}<0\end{cases}\tag{19}$$

3.2.2　制造商制定 w 的情况

当由制造商制定 w 时,Stackelberg 博弈的决策顺序为:制造商首先确定转移价格 w,回收商决定所回收产品的单位预期收益 m [14],即 r 与 w 之间存在以下关系:

$$w=r+m\tag{20}$$

根据以上分析,如当 $w>s,\varphi_1\geq 0$ 时,$t(w)=0,p(w)=\dfrac{a-S(w)}{b}$。此时回收商的利润为

$$\max\ \pi_C^{CS}=w(a-bp(w))-r(\alpha+\beta r)=m\cdot(\alpha+\beta r)\tag{21}$$

且满足 $a-\dfrac{b(w+c)+a}{2b}\cdot b=\alpha+\beta r$,即

$$r=\frac{a-b(m+c)-2\alpha}{2\beta+b}\tag{22}$$

将式(22)代入式(21),可分别求出 m 和 r 的值。

$$(m^{CS*},r^{CS*})=\left(\frac{\beta a+\alpha b-\beta bc}{2\beta b},\frac{a\beta-\alpha(4\beta+b)-b\beta c}{2\beta(2\beta+b)}\right)\tag{23}$$

进而可求 w^{CS*}、p^{CS*}、π_C^{CS*} 及 π_M^{CS*}。同理还可验证其他情形时的均衡解。即在回收商主导的 Stackelberg 博弈模型下,无论是回收商制定 w 还是制造商制定 w,其结果是相同的。

3.3　垂直纳什均衡模型(VN)

垂直纳什均衡是介于制造商主导和回收商主导之间的一种情形,此时制造商和回收商同时进行决策,且均不能利用对方的反应函数。具体博弈如下:制造商根据回收商的回收价格 r 决定废旧品的转移价格 w 和再制造产品的销售价格 p,同时回收商根据转移价格 w 决定回收价格 r。回收商的利润函数由式(1)给出,制造商的利润函数为:

$$\max\ \pi_M^{MS}=(a-bp)(p-s-c)+(s-w)(\alpha+\beta r)\tag{24}$$

$$a-bp\leq\alpha+\beta r\tag{25}$$

将 $r=w-m$ 代入式(24—25)中,通过求函数一阶条件下的零解,得到均衡解如下:

$$(w^{MS*},p^{MS*})=\begin{cases}\left(\dfrac{2\beta a-2\alpha\beta-2\beta bc-b\alpha}{\beta(2\beta+3b)},\dfrac{(3b+\beta)a-\alpha b+\beta bc}{b(2\beta+3b)}\right) & \varphi^{VN}\geq 0\\ \left(\dfrac{2\beta s-\alpha}{3\beta},\dfrac{b(s+c)+a}{2b}\right) & \varphi^{VN}<0\end{cases}\tag{26}$$

$\varphi^{VN}=\dfrac{a-b(s+c)}{2}-\dfrac{\alpha+\beta s}{3}$。相应的废旧产品最优回收量、再制造品最优销售量及双方的利润如式(27)-(28)所给出。

$$(S(r^{VN*}),D(p^{VN*}))=\begin{cases}\left(\dfrac{\beta a+b\alpha-\beta bc}{2\beta+3b},\dfrac{\beta a+b\alpha-\beta bc}{2\beta+3b}\right) & \varphi^{VN}\geq 0\\ \left(\dfrac{\alpha+\beta s}{3},\dfrac{a-b(s+c)}{2}\right) & \varphi^{VN}<0\end{cases}\tag{27}$$

$$(\pi_C^{VN*},\pi_M^{VN*})=\begin{cases}\left(\dfrac{(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{\beta(2\beta+3b)^2},\dfrac{(\beta+b)(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{\beta b(2\beta+3b)^2}\right) & \varphi^{MS}\geq 0\\ \left(\dfrac{(\alpha+\beta s)^2}{9\beta},\dfrac{((a-b(s+c))^2}{4b}+\dfrac{(\alpha+\beta s)^2}{9\beta}\right) & \varphi^{MS}<0\end{cases}\tag{28}$$

3.4　集中式决策

集中式决策下的再制造逆向供应链实际上是一个理想化的"超组织",此时优化问题为:

$$\max\ \pi^I=(p-s-c)(a-bp)+(s-r)(\alpha+\beta r)\tag{29}$$

$$a-bp\leq\alpha+\beta r\tag{30}$$

易见 π^I 是 r,p 的联合凹函数,则 π^I 的一阶条件零解即对应 r^I,p^I 的最优值。

$$(r^{I*},p^{I*})=\begin{cases}\left(\dfrac{a-\alpha-bc}{2(\beta+b)}-\dfrac{\alpha}{2\beta},\dfrac{a-\alpha+\beta c}{2(\beta+b)}+\dfrac{a}{2b}\right) & \varphi^I\geq 0\\ \left(\dfrac{\beta s-\alpha}{2\beta},\dfrac{a+b(s+c)}{2b}\right) & \varphi^I<0\end{cases}\tag{31}$$

其中 $\varphi^I=\dfrac{(a-b(s+c))-(\alpha+\beta s)}{2}$,则相应的废旧产品最优回收量、再制造品最优销售量及系统最优利润如式(32)-(33)所给出。

$$(S(r^{I*}),D(p^{I*}))=$$

$$
\begin{cases}
\left(\frac{\beta a + b\alpha - \beta bc}{2(\beta + b)}, \frac{\beta a + b\alpha - \beta bc}{2(\beta + b)}\right) & \phi^I \geq 0 \\
\left(\frac{\alpha + \beta s}{2}, \frac{a - b(s + c)}{2}\right) & \phi^I < 0
\end{cases}
\tag{32}
$$

$$
\pi^I(w^{I*}, p^{I*}) =
\begin{cases}
\frac{(\beta a + b\alpha - \beta bc)^2}{4\beta b(\beta + b)} & \phi^I \geq 0 \\
\frac{(a - b(s + c))^2}{4b} + \frac{(\alpha + \beta s)^2}{4\beta} & \phi^I < 0
\end{cases}
\tag{33}
$$

从以上四种权力结构下回收量的表达式，我们可以得到如下命题 1：

命题 1：各种结构下的回收量均随参数 a, α, β 的增大而增大，随参数 b 的增大而减少。

证明：如在 VN 结构下，当 $\phi^{VN} > 0$ 时，分别对参数 a, b, α, β 求一阶导数：

$$\frac{d(S(r^{VN*}))}{d(a)} = \frac{\beta}{2\beta + 3b} > 0,$$

$$\frac{d(S(r^{VN*}))}{d(\alpha)} = \frac{b}{2\beta + 3b} > 0。$$

$$\frac{d(S(r^{VN*}))}{d(b)} = \frac{-\beta(3a + 2\beta c - 2\alpha)}{(2\beta + 3b)^2} < 0,$$

$$\frac{d(S(r^{VN*}))}{d(\beta)} = \frac{b(3a - 3bc - 2\alpha)}{(2\beta + 3b)^2} > 0。$$

其余的情况也可进行类似的证明。

4 四种不同权力结构的比较

由四种结构下价格及利润的表达式知，回收价 $r^{n|\phi^n}$ ($n \in \{I, MS, CS, VN\}$，ϕ^n 是其满足的条件) 的排列顺序与 $S(r)^{n|\phi^n}$ 的排列顺序一致，价格 $p^{n|\phi^n}$ 的排列顺序与 $D(p)^{n|\phi^n}$ 相反。当 $S(r)^{n|\phi^n}$ 或 $D(p)^{n|\phi^n}$ 达到集中式决策的数量时，$r^{n|\phi^n}$ 或 $p^{n|\phi^n}$ 也可达到集中式决策的价格；但只有 $S(r)^{n|\phi^n}$ 及 $D(p)^{n|\phi^n}$ 均达到集中式决策的数量，$\pi^{n|\phi^n}$ 才能达到集中式决策的利润，所以本节只对 $S(r)^{n|\phi^n}$ 和 $D(p)^{n|\phi^n}$ 进行比较。为表示方便，令 $x = a - b(s + c)$，$z = \alpha + \beta s$。根据各参数的不同数值所导致判别式 ϕ^n 的正负，需分以下 11 种情况进行讨论。

(1) 若 $\phi^{MS} < 0$ 且 $\phi_1^{CS} < 0 (\chi^{CS} \geq 0)$ 或 $\phi_2^{CS} < 0 (\chi^{CS} < 0)$

$\phi^{MS} < 0 \Rightarrow (\phi^{VN} < 0, \phi^I < 0)$,

$$S(r)^{I|\phi^I<0} = S(r)^{CS|\phi^{CS}<0} = \frac{z}{2} > S(r)^{VN|\phi^{VN}<0} = \frac{z}{3} > S(r)^{MS|\phi^{MS}<0} = \frac{z}{4},$$

$$D(p)^{I|\phi^I<0} = D(p)^{CS|\phi^{CS}<0} = D(p)^{VN|\phi^{VN}<0} = D(p)^{MS|\phi^{MS}<0} = \frac{x}{2}。$$

即在这种情况下，CS 结构下回收量最多，且与集中式决策下的结果相同，其次是 VN 结构，MS 结构最低；且三种分散结构下销售量均达到集中式决策时的水平。

(2) 若 $\phi^{MS} < 0$ 且 $\phi_1^{CS} \geq 0 (\chi^{CS} \geq 0)$

由 $2x - z < 0$ 知，$0 \leq \beta x^2 + 2bxz - 2bz^2 \leq \beta(\frac{z}{2})^2 + 2b \cdot \frac{z}{2} \cdot z - 2bz^2 = (\frac{\beta}{4} - b)z^2 \Rightarrow \beta > 4b$,

$$S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0} - S(r)^{MS|\phi^{MS}<0} = \frac{\beta x + bz}{2(2\beta + b)} - \frac{z}{4} = \frac{2\beta x + bz - 2\beta z}{4(2\beta + b)} < \frac{(b - \beta)z}{4(2\beta + b)} < 0,$$

$$D(p)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0} - D(p)^{MS|\phi^{MS}<0} = \frac{\beta x + bz}{2(2\beta + b)} - \frac{x}{2} = \frac{bz - \beta x - bx}{2(2\beta + b)} < \frac{(b - \beta)z}{4(2\beta + b)} < 0。$$

则 $S(r)^{VN|\phi^{VN}<0} > S(r)^{MS|\phi^{MS}<0} > S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0}$ 及 $D(p)^{VN|\phi^{VN}<0} > D(p)^{MS|\phi^{MS}<0} > D(p)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0}$。即 MS 及 VN 结构下回收量和销售量均大于 CS 时，且只有 CS 结构下的销售量未达到集中式决策的水平。

(3) 若 $\phi^{MS} < 0$ 且 $\phi_2^{CS} \geq 0 (\chi^{CS} < 0)$

由 $\chi^{CS} < 0$ 及 $\phi_2^{CS} \geq 0$ 可推出 $2bs - (a - bc) < 0$ 及 $\alpha > bs$。

$$S(r)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} - S(r)^{MS|\phi^{MS}<0} = \frac{\alpha}{2} - \frac{z}{4} = \frac{\alpha - \beta s}{4} > \frac{(b - \beta)s}{4},$$

$$S(r)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} - S(r)^{VN|\phi^{VN}<0} = \frac{\alpha}{2} - \frac{z}{3} = \frac{\alpha - 2\beta s}{6} > \frac{(b - 2\beta)s}{6}。$$

即 $b \geq \beta$ 和 $b \geq 2\beta$ 分别是 $S(r)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} > S(r)^{MS|\phi^{MS}<0}$ 和 $S(r)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} > S(r)^{VN|\phi^{VN}<0}$ 的充分条件。在这种情况下，三种分散式结构下的回收量均未达到集中式决策的水平。

$$D(p)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} - D(p)^{MS|\phi^{MS}<0} = \frac{a - bc}{4} - \frac{x}{2} = \frac{2bs - (a - bc)}{4} < 0。$$

则 $D(p)^I = D(p)^{VN|\phi^{VN}<0} = D(p)^{MS|\phi^{MS}<0} > D(p)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0}$。即 CS 结构下销售量小于 MS 和 VN 时，且 VN 与 MS 结构下的销售量达到了集中式决策的水平

(4) 若 $\phi^{MS} \geq 0$、$\phi^{VN} < 0$ 且 $\phi_1^{CS} < 0 (\chi^{CS} \geq 0)$ 或 $\phi_2^{CS} < 0 (\chi^{CS} < 0)$

$$S(r)^{VN|\phi^{VN}<0} - S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} = \frac{z}{3} - \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} = \frac{2\beta z + bz - 3\beta x}{6(\beta+2b)} > 0,$$

$$D(p)^{VN|\phi^{VN}<0} - D(p)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} = \frac{x}{2} - \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} = \frac{2bx - bz}{2(2\beta+b)} > 0。$$

则 $S(r)^{I} = S(r)^{CS|\phi^{CS}<0} > S(r)^{VN|\phi^{VN}<0} > S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0}$,即在这种情况下,CS结构下回收的废旧产品数量最多,且与集中式决策下的结果相同,其次是VN结构,MS结构最低;$D(p)^{I} = D(p)^{CS|\phi^{CS}<0} = D(p)^{VN|\phi^{VN}<0} > D(p)^{MS|\phi^{MS}\geq 0}$,即CS与VN结构下的销售量达到了集中式决策的水平,均大于MS结构。

(5)若 $\phi^{MS}\geq 0$、$\phi^{VN}<0$ 且 $\phi_1^{CS}\geq 0(\chi^{CS}\geq 0)$

$$S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0} - S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} = \frac{\beta x + bz}{2(2\beta+b)} - \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} = \frac{(b-\beta)(\beta x + bz)}{2(\beta+2b)(2\beta+b)},$$

则当 $\beta\geq b$ 时,回收量与销售量分别满足关系 $S(r)^{VN|\phi^{VN}<0} > S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} \geq S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0}$,$D(p)^{VN|\phi^{VN}<0} > D(p)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} \geq D(p)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0}$;当 $\beta < b$ 时,满足 $S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} < S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0}$ 及 $D(p)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} < D(p)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0}$。三种分散结构下的回收量均未达到集中式决策的水平,只有VN结构下的销售量达到了集中式决策的水平。

(6)若 $\phi^{MS}\geq 0$、$\phi^{VN}<0$ 且 $\phi_2^{CS}\geq 0(\chi^{CS}<0)$

$$S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} - S(r)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} = \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} - \frac{\alpha}{2} = \frac{\beta a - c\beta - b\alpha - \beta bc}{2(\beta+2b)} < \frac{(\beta-b)\alpha}{2(\beta+2b)},$$

$$D(p)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} - D(p)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} = \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} - \frac{a-bc}{4} = \frac{\beta(a-bc) + 2b(2\alpha - a - bc)}{4(\beta+2b)} > 0。$$

则 $\beta > b$ 是 $S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} > S(r)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0}$ 的必要条件,且 $S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} > S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0}$。$D(p)^{VN|\phi^{VN}<0} > D(p)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} > D(p)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0}$。即三种分散结构下的回收量均未达到集中式决策的水平,只有VN结构下的销售量达到了集中式决策的水平。

(7)若 $\phi^{VN}\geq 0$、$\phi^{I}<0$ 且 $\phi_1^{CS}<0(\chi^{CS}\geq 0)$ 或 $\phi_2^{CS}<0(\chi^{CS}<0)$

$$S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} - S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} = \frac{\beta x + bz}{2\beta+3b} - \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} = \frac{b(\beta x + bz)}{2(\beta+2b)(2\beta+3b)} > 0,$$

$$S(r)^{CS|\phi^{CS}<0} - S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} = \frac{z}{2} - \frac{\beta x + bz}{2\beta+3b} = \frac{2\beta(z-x) + bz}{2(2\beta+3b)} > 0,$$

$$D(p)^{CS|\phi^{CS}<0} - D(p)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} = \frac{x}{2} - \frac{\beta x + bz}{2\beta+3b} = \frac{\beta x + b(3x-z)}{2(2\beta+3b)} > 0。$$

则 $S(r)^{I} = S(r)^{CS|\phi^{CS}<0} > S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} > S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0}$,即在这种情况下,CS结构下回收量最多,且与集中式决策下的结果相同,其次是VN结构,MS结构最低;$D(p)$ 的排列顺序与 $S(r)$ 一致,且只有在CS结构下达到了集中式决策的水平。

(8)若 $\phi^{VN}\geq 0$、$\phi^{I}<0$ 且 $\phi_1^{CS}\geq 0(\chi^{CS}\geq 0)$

$$S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0} - S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} = \frac{\beta x + bz}{2(2\beta+b)} - \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} = \frac{(b-\beta)(\beta x + bz)}{2(\beta+2b)(2\beta+b)},$$

$$S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} - S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0} = \frac{\beta x + bz}{2\beta+3b} - \frac{\beta x + bz}{2(2\beta+b)} = \frac{(2\beta-b)(\beta x + bz)}{2(2\beta+b)(2\beta+3b)}。$$

当 $b > 2\beta$ 时,$S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0} > S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} > S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0}$;当 $\beta\leq b\leq 2\beta$ 时,$S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} \geq S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0} \geq S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0}$;当 $\beta > b$ 时,$S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} > S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} > S(r)^{CS|\phi_1^{CS}\geq 0}$。

$D(p)$ 的大小排序与 $S(r)$ 一致。且三者无论是回收量还是销售量均未达到集中式决策时的水平。

(9)若 $\phi^{VN}\geq 0$、$\phi^{I}<0$ 且 $\phi_2^{CS}\geq 0(\chi^{CS}<0)$

$$S(r)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} - S(r)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} = \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} = \frac{c\beta + b\alpha - \beta a + \beta bc}{2(\beta+2b)} > \frac{(b-\beta)\alpha}{2(\beta+2b)},$$

$$D(p)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} - D(p)^{MS|\phi^{MS}\geq 0} = \frac{a-bc}{4} - \frac{\beta x + bz}{2(\beta+2b)} = \frac{(2b-\beta)(a-bc) - 2b\alpha}{4(\beta+2b)} < \frac{(b-\beta)\alpha}{2(\beta+2b)},$$

$$S(r)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} - S(r)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} = \frac{\alpha}{2} - \frac{\beta x + bz}{2\beta+3b} = \frac{b\alpha + 2\beta\alpha + 2\beta bc - 2c\beta}{2(\beta+2b)} > \frac{(b-2\beta)\alpha}{2(2\beta+3b)},$$

$$D(p)^{CS|\phi_2^{CS}\geq 0} - D(p)^{VN|\phi^{VN}\geq 0} = \frac{a-bc}{4} - \frac{\beta x + bz}{2\beta+3b} = \frac{2b(a-bc-2\alpha) + (b-2\beta)(a-bc)}{4(2\beta+3b)} < \frac{(b-2\beta)\alpha}{2(2\beta+3b)}。$$

所以，$b > \beta$ 是 $S(r)^{CS|\phi_2^{CS} \geq 0} > S(r)^{MS|\phi^{MS} \geq 0}$ 的充分条件，是 $D(p)^{CS|\phi_2^{CS} \geq 0} > D(p)^{MS|\phi^{MS} \geq 0}$ 的必要条件；$b > 2\beta$ 是 $S(r)^{CS|\phi_2^{CS} \geq 0} > S(r)^{VN|\phi^{VN} \geq 0}$ 的充分条件，是 $D(p)^{CS|\phi_2^{CS} \geq 0} > D(p)^{VN|\phi^{VN} \geq 0}$ 的必要条件；且三者无论是回收量还是销售量均未达到集中式决策时的水平。

(10) 若 $\phi^I \geq 0$ 且 $\phi_1^{CS} \geq 0$ ($\chi^{CS} \geq 0$)

$\phi^I > 0 \Rightarrow \phi^{MS} > 0, \phi^{VN} > 0, \phi_1^{CS} > 0$。

通过对 $S(r)^{n|\phi^n}$ 和 $D(p)^{n|\phi^n}$ 表达式的简单比较，I 结构下的废旧产品回收量及再制造产品的销售量均严格优于 MS，VN 及 CS 时的情形；其余三种分散式结构的比较可参照(8)。

(11) 若 $\phi^I \geq 0$ 且 $\phi_2^{CS} \geq 0$ ($\chi^{CS} < 0$)

由 $\phi^I \geq 0 \Rightarrow a - bc > \alpha + (\beta + b)s$，可知 $\phi_2^{CS} > 0$。

$$S(r)^{I|\phi^I \geq 0} - S(r)^{CS|\phi_2^{CS} \geq 0} = \frac{\beta x + bz}{2(\beta + b)} - \frac{\alpha}{2} = \frac{\beta(a - \alpha - bc)}{2(\beta + b)} > 0,$$

$$D(r)^{I|\phi^I \geq 0} - D(r)^{CS|\phi_2^{CS} \geq 0} = \frac{\beta x + bz}{2(\beta + b)} - \frac{a - bc}{4} = \frac{\beta(a - bc) + b(2\alpha - a - bc)}{4(\beta + b)} > 0。$$

即 I 结构下的废旧产品回收量及再制造产品的销售量均严格优于 MS，VN 及 CS 时的情形；其余三种分散式结构的比较可参照(9)。

通过在以上四种结构下 $S(r)^{n|\phi^n}$ 与 $D(p)^{n|\phi^n}$ 的比较，我们可以得到如下命题 2：

命题 2：a) 除 $\phi^{VN} < 0$ 的情形(此时 VN 结构下的销售量等于 MS 结构)，VN 结构下的回收量及销售量均大于 MS 结构；b) CS 结构与 VN，MS 结构下回收量、销售量的大小关系依赖于参数变化，如 CS 结构与 MS 结构比较时通常需讨论 b 与 β 的关系，CS 结构与 VN 结构比较时需讨论 b 与 2β 的关系等；c) 当 $\phi_1^{CS} < 0$ 或 $\phi_2^{CS} < 0$ 时 CS 结构的回收量、销售量及系统利润均能够达到集中式决策时的水平，而 VN 及 MS 结构则始终无法达到。

5 协调机制

除 $\phi_1^{CS} < 0$ 或 $\phi_2^{CS} < 0$ 外，其他 Stackelberg 博弈及垂直纳什均衡情形下废旧产品的回收量均小于集中式决策的水平，从而导致系统效益非最优。为了能达到协调的状态，在此提出 2 种契约协调机制：费用共享契约和二部定价契约。

5.1 费用共享契约(Expense Sharing Contract)

协调传统供应链的收入共享契约强调制造商和零售商分别以比例 $(1 - \lambda)$ 和 λ 来共同分享销售收入，并取得了很好的效果。但在本文所研究的逆向供应链中，主导方为使本方利润最大化，在回收端通过设定转移价格 w 或决定边际预期收益 m 来引导对方的决策，由此产生了双重边际效应；而在销售端，制造商直接销售再制造产品，无双重边际效应产生。所以，我们采用一种改进的费用共享契约来协调该逆向供应链。其实施方法如下：制造商和回收商分别以 $(1 - \lambda)$ 和 λ 比例分摊回收费用。且由于回收价格不是常量，需分情况讨论。

如在 MS 情形下，若 $\phi^{MS} < 0$，则 $\phi^I < 0$，$\pi^I - (\pi_C^{MS} + \pi_M^{MS}) = (\alpha + \beta s)^2 / 16\beta$，未达到集中式决策的水平，则在费用共享契约下回收商和制造商的问题如式(34) - (35)所示：

$$\pi'_M = (a - bp)(p - s - c) - (1 - \lambda) r'(\alpha + \beta r') - w'(\alpha + \beta r') \quad (34)$$

$$\pi'_C = w'(\alpha + \beta r') - \lambda r'(\alpha + \beta r') \quad (35)$$

要达到协调状态，需使 $r'^{*} = r^{I*}$，将式(35)对 r' 求导并联立式(40)，得 $w'^{*} = \lambda s$。同理可计算出其他情况下的最优转移价格 w'^{*}。契约中 λ 值的确定依赖于制造商和回收商的讨价还价能力，但需满足双方的理性约束 $E[\pi'_C] \geq E[\pi_C^*]$ 和 $E[\pi'_M] \geq E[\pi_M^*]$。

5.2 二部定价契约(Two-Tariff Contract)

传统的二部定价契约是指由制造商选择边际成本定价 w，同时向零售商收取一个固定费用 F [18-20]。固定费用的大小由双方讨价还价决定，此时可以完全协调传统供应链。由于文中回收价格不是常量，所以需分情况讨论。

(1) 同样在 MS 情形下，且满足 $\phi^{MS} < 0, \phi^I < 0$，其在二部定价契约下回收商和制造商的问题如式(36) - (38)所示：

$$\max \ \pi'_M = (a - bp')(p' - s - c) - \frac{w\beta + \alpha}{2}(s - w') + F' \quad (36)$$

$$(w' - r')(\alpha + \beta r') - F' \geq \pi_C^{MS*} \quad (37)$$

$$(a - bp')(p' - s - c) - \frac{w\beta + \alpha}{2}(s - w') + F' \geq \pi_M^{MS*} \quad (38)$$

约束(37) - (38)保证了在二部定价契约下回收商和制造商的利润不小于 Stackelberg 博弈下的保留利润，求解上述最优化问题可得 $w'^{*} = s, F'^{*} = 3(\alpha + \beta s)^2 / 16\beta$。同理可计算出其他情况下的最优

转移价格 w'^{*} 及固定费用 F'^{*} ,具体如表 1 所示。

表 1　MS 及 CS 结构下二部定价契约的协调结果

权力结构名称	判别式条件	w'^{*}	F'^{*}
制造商主导(MS)	$\phi^{MS} < 0 \rightarrow \phi^{I} < 0$	s	$\frac{3(\alpha+\beta s)^2}{16\beta}$
	$\phi^{MS} \geq 0, \phi^{I} \geq 0$	$\frac{a-\alpha-bc}{\beta+b}$	$\frac{(2\beta b+3b^2)(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4\beta(\beta+b)^2(\beta+2b)^2}$
	$\phi^{MS} \geq 0, \phi^{I} < 0$	s	$\frac{(\alpha+\beta s)^2}{4\beta} - \frac{(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4\beta b(\beta+2b)^2}$
回收商主导(CS)	$\chi^{CS} \geq 0, \phi_1^{CS} < 0 \rightarrow \phi^{I} < 0$	s	0
	$\chi^{CS} \geq 0, \phi_1^{CS} \geq 0, \phi^{I} \geq 0$	$\frac{a-\alpha-bc}{\beta+b}$	$\frac{(2\beta b+3\beta^2)(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4b(\beta+b)^2(b+2\beta)^2}$
	$\chi^{CS} \geq 0, \phi_1^{CS} \geq 0, \phi^{I} < 0$	s	$\frac{(a-b(s+c))^2}{4b} - \frac{(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4b(2\beta+b)^2}$
	$\chi^{CS} < 0, \phi_2^{CS} < 0 \rightarrow \phi^{I} < 0$	s	0
	$\chi^{CS} < 0, \phi_2^{CS} \geq 0, \phi^{I} \geq 0$	$\frac{a-\alpha-bc}{\beta+b}$	$\frac{(\beta a+b\alpha-\beta bc)^2}{4b(\beta+b)^2} - \frac{(a-bc)^2}{16b}$
	$\chi^{CS} < 0, \phi_2^{CS} \geq 0, \phi^{I} < 0$	s	$\frac{(a-b(s+c))^2}{4b} - \frac{(a-bc)^2}{16b}$

注:在 VN 情形下,双方均没有主导对方的权力,所以以上的费用共享契约及二部定价契约无法有效协调逆向供应链,此时双方可以进行合作、协商或依赖第三方权威机构进行协调。

6　结语

本文研究了制造商主导、回收商主导、垂直纳什均衡以及集中式决策四种权力结构下的废旧产品回收再制造问题,对不同权力结构下的最优决策进行了比较分析,并提出了协调该逆向供应链的费用共享契约和二部定价契约,得到如下结论:

(1) 在 CS 结构下,无论是制造商制定转移价格 w 还是零售商制定转移价格 w ,各决策变量的均衡解是一致的;

(2) 无论是何种权力结构,其最优回收量均随参数 a,α,β 的增大而增大,随参数 b 的增大而减少;无论在何种参数条件下,VN 结构下的系统效益均优于 MS 结构,CS 结构与 MS、VN 结构的比较需讨论 b 与 β 的关系;在某些条件成立时,CS 结构下的系统效率能够达到集中式决策的水平,而 MS 及 VN 结构则始终不能达到。所以,制造商和回收商应根据具体的参数制定相应的最优决策。

(3) 通过制定费用共享契约和二部定价契约,可使 MS 和 CS 两种 Stackelberg 主从博弈下的最优决策达到集中式决策的水平,而 VN 结构下的协调需制造商和回收商进行协商、合作或依靠第三方权威机构的干预,但前提是不损害任何一方的利益。

本文所建立的不同权力结构下废旧产品回收再制造优化模型及其均衡解的比较只适用于价格线性依赖、确定性回收量和销售量的情况。然而在实际中,废旧产品的数量、质量以及再制造产品的需求均存在不确定性因素,如何设计契约来有效协调需求量和回收量均为不确定情况下的逆向供应链是未来的研究方向。

参考文献:

[1] 王玉燕,李帮义,申亮. 供应链、逆向供应链系统的定价策略模型[J]. 中国管理科学,2006,14(4):40 - 45.

[2] 顾巧论,高铁杠,石连栓. 基于博弈论的逆向供应链定价策略分析[J]. 系统工程理论与实践,2005,25(3):20 - 25.

[3] Savaskan, R. C., Bhattacharya, S., Wassenhove, L. N. V.. Closed-Loop supply chain models with product remanufacturing [J]. Management Science, 2004, 50 (2): 239 - 252.

[4] Savaskan, R. C., Wassenhove, L. N. V.. Reverse channel design: The case of competing retailers[J]. Management Science, 2006, 52 (1): 1 - 14.

[5] 孙国华,陈秋双,徐海涛,孙晓晨. 再制造/制造集成系统中的制造商—零售商协调决策问题[J]. 计算机集成制造系统,2006,12(1):127 - 132.

[6] 郭亚军,李少江,赵礼强. 基于第三方的一类闭环供应链协调问题研究[J]. 工业工程与管理,2007,12(5):18 - 22.

[7] 郭亚军,赵礼强,李绍江. 随机需求下闭环供应链协调的收入费用共享契约研究[J]. 运筹与管理,2007,16(6):15 - 20.

[8] 葛静燕,黄培清. 基于博弈论的闭环供应链定价策略分析[J]. 系统工程学报,2008,23(1):111 - 115.

[9] Guide Jr., V. D. R., Teunter, R. H., Van Wassenhove, L. N.. Matching demand and supply to maximize profits from remanufacturing [J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2003, 5 (24): 303 - 316.

[10] Ferguson, M., Guide Jr, V. D. R., Souza, G. C., Supply chain coordination for false failure returns[J]. Manufacturing & Service Operations Management, 2006, 8 (4): 376 - 393.

[11] 熊中楷,曹俊,刘克波. 基于动态博弈的闭环供应链回收质量控制研究[J]. 中国管理科学,2007,15 (4):42 - 50.

[12] Chan, C. S.. Price competition in a channel structure with a common retailer[J]. Marketing Science, 1991, 10(4):271 - 296.

[13] Chan, C. S.. Price competition in a duopoly common retailer channel [J]. Journal of Retailer, 1996, 72(2): 117 - 134.

[14] 范小军,陈宏民. 零售商差异条件下的渠道价格决策研究[J]. 中国管理科学,2008,16(2):97 - 103.

[15] Karakayali, I., Emir-Farinas, H., Akcali, E.. An analysis of decentralized collection and processing of end-of-life products[J]. Journal of Operations Management, 2007, 25(6): 1161 - 1183.

[16] 易余胤. 不同市场力量下的再制造闭环供应链决策研究[J]. 商业经济与管理,2008,7(1):24 - 30.

[17] 易余胤. 基于再制造的闭环供应链博弈模型[J]. 系统工程理论与实践,2009,29(8):28 - 35.

[18] 泰勒尔. 产业组织理论[M]. 北京:中国人民大学出版社,1997.

[19] Moorthy, K. S.. Managing channel profits: Comment [J]. Marketing Science, 1987, 6(4): 375 - 379.

[20] Corbett, C. J., Zhou, D., Tang, C. S.. Designing supply contracts: contract type and information asymmetry[J]. Management Science, 2004, 50(4): 550 - 559.

Decision Analysis on Collection and Remanufacturing of Used Products Based on Different Power Structures

SUN Hao, DA Qing-li

(School of Economics and Management, Southeast University, Nanjing 211189, China)

Abstract: This paper studies decision-making on collection and remanufacturing of used products with four different power structures, including Manufacturer-leading, Collector-leading, Vertical Nash equilibrium and Centralized decision. The optimal solutions of decision variables are given and compared among these four power structures. The research shows that the system benefits under three decentralized cases are not optimal, compared with centralized decision. The system benefit under Vertical Nash equilibrium is strictly super to that of Manufacturer-leading. When the collector leads in the reverse supply chain, the system benefits can achieve the level of the centralized decision in some conditions. In contrast, in the cases of Manufacturer-leading and Vertical Nash equilibrium, the system benefits can never achieve it. Expense sharing contract and two-tariff contract are used to coordinate the reverse supply chain under the structure of Manufacturer-leading and Collector-leading, respectively.

Key words: reverse supply chain; power structure; coordination; remanufacturing; expense sharing contract; two-tariff contract