文章编号: 1001-0920 (2013) 06-0909-06

再制造供应链的回收责任转移模型

程晋石[1,2], 李帮义[1], 龚本刚[2]

(1. 南京航空航天大学 经济与管理学院，南京 211100；2. 安徽工程大学 管理工程学院，安徽 芜湖 241000)

摘　要: 考虑由一个制造商 (M), 一个第三方回收商 (TPL) 组成的二级再制造供应链系统, 构建 TPL 通过转移支付将回收责任转移给 M 的 6 种模型, 得到各模型的均衡解, 并分析了各模型的环保效果和意义. 分析结果表明: 责任转移因子 k 的主导者不同和转移因子 k 的上限不同均会影响双方的博弈结果; 由 TPL 决定转移因子 k 时的回收效果较好; 权力极端化的两种模型 (T-T 模型和 M-M 模型) 下, M 起到的良性作用优于 TPL.

关键词: 再制造；闭环供应链；回收责任转移；环保意义

中图分类号: F253　　　　**文献标志码:** A

Recycle responsibility transfer model of remanufacturing supply chain

CHENG Jin-shi[1,2], *LI Bang-yi*[1], *GONG Ben-gang*[2]

(1. School of Economics and Management，Nanjing University of Aeronautics and Astronautics，Nanjing 211100，China; 2. School of Management Engineering，Anhui Polytechnic University，Wuhu 241000，China．Correspondent：CHENG Jin-shi，E-mail：cjs@ahpu.edu.cn)

Abstract: A two-stage remanufacturing reverse supply chain system composed of a manufacturer and a third-party collector is considered. By modeling a third-party recycler transfer responsibility to the manufacturer through payments transfer k, the equilibrium solution of the six models is studied. Finally, the environmental effects and the significance of every model are analyzed. The results show that the different decision maker of responsibility transfer factors k and the different upper limit of the transfer factor k will result in different game results in various market structures; the degree of recovery difficulty c affects the quantity of recovery; recovery performance is better when transfer factor k is determined by the third-party collector; the manufacturer plays a positive role better than third-party recyclers in the cases of the two extreme power models.

Key words: remanufacturing；closed-loop supply chain；recycle responsibility transfer；environmental significance

0 引　言

近年来, 由于环保的压力, 人们对可持续发展理念日益重视, 对回收品用于再制造的重要性认识也在加深. 2005 年欧盟颁布了废弃电子设备回收的 WEEE (waste electrical and electronic equipment) 法案, 迫使制造商承担起产品回收的责任[1]. 产品回收责任中一个重要的研究方向, 是关于回收渠道的选择问题, 许多学者对再制造闭环供应链的回收渠道问题进行了深入研究[2-6]. 文献 [2-6] 将闭环供应链的回收渠道分为集中联合回收零售商回收和第三方回收等形式, 同时认为, 无论回收渠道如何建立和选择, 担负着产品回收责任的企业必定付出相应的回收成本, 这对实施回收活动的企业而言是不经济的. 然而, 这种产生成本的产品回收行为若由企业的再制造行为所引发, 也可以作为企业自身的竞争战略[7], 例如 NIKE 等企业就将社会责任分担问题纳入到其公司竞争战略中[8].

当前, 由供应链成员间的竞合关系带来的整体益处已被各方所认识, 但带来的个体收益则无法准确预测. 所以, 在生产销售 (或回收再制造) 行为发生以前, 供应链各节点企业需要通过契约确定各自的正向 (逆向) 责任, 以保证自身利益最大化. 通常, 各成员在合作的基础上, 可能会采用合作前的谈判等一些隐蔽的竞争手段来进一步争取利益. 从社会责任的分担问题来看, 也是通过成本的转移来具体表现的. Ni 等[9]研

收稿日期: 2012-01-03；**修回日期:** 2012-06-15.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71171002, 71202142)；国家社会科学基金项目(10BGL010)；教育部人文社会科学基金项目 (09YJA630064)；教育部高等学校博士点基金项目(20113218110024)；江苏省普通高校研究生科研创新计划项目(CXLX12−0180).

作者简介: 程晋石(1978−), 男, 博士生, 从事供应链建模与优化、博弈论理论应用的研究；李帮义(1963−), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链建模与优化、委托-代理理论等研究.

究了供应商通过批发价将社会责任往销售商处转移的情形, 得到了各模型下最优均衡解, 并对各模型下转移因子的上限进行了讨论, 但未对逆向供应链的回收责任转移进行研究. 汪翼等[10]对闭环供应链的回收责任分担问题进行了研究, 指出需求弹性高的市场中, 回收责任承担者难以承受较高回收率的回收责任, 但未涉及回收责任通过契约进行动态转移的情形.

在上述研究的基础上, 本文对再制造背景下第三方回收商通过回收补贴中的转移因子来实现回收责任的转移问题进行了研究. 基于转移因子的不同主导者和不同市场结构下的6种模型, 对各模型下均衡解的决策意义和表现出的环保意义进行了深入分析.

1 问题描述

本文研究由一个制造商 (M) 和一个第三方回收商 (TPL) 组成的两级再制造供应链系统. TPL 负责为 M 实施产品的回收, M 利用回收品进行再制造. 假设 $\varDelta$ 为 M 通过再制造节约的单位成本, 即再制造行为带来的成本节约收益. 类似于广告学的成本表达式[11], 若 TPL 赋予产品回收的努力程度为 y (TPL 的决策变量), 则产生 $cy^2/2$ 的回收成本, 其中 c 为产品回收的难易系数. 假定 p (M 的决策变量) 为 M 在 TPL 实施回收行为前对消费市场公开的回收价格, 并且 M 付给 TPL 的回收补贴要根据 TPL 的努力程度 y 和由某方决定的转移因子 k (由两方中的一方决定) 来确定, 故回收补贴采取线性形式为 $p+ky$. 类似于文献 [10] 对 $k(k\in[0,\bar{k}])$ 的解释, k 越大, 表明 TPL 将自身的回收责任 (回收成本) 通过 $p+ky$ 往 M 方转移的强度越强, 这里 $\bar{k}$ 指 k 的上限. 同样, 回收需求采用 $a_0+ay+bp(a_0,a,b>0)$ 的形式[10]. 其中: a_0 为市场上的基本回收量, 即由一部分具有环保意识的消费者产生的固定回收量; a 和 b 分别为回收量对 y 和 p 的敏感程度, y 和 p 越大, 回收量越多. 图 1 表明了再制造逆向供应链中两主体之间的关系.

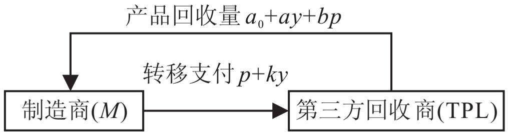

图 1　再制造供应链示意图

本文考虑 T-T, M-T, T-M, M-M, T-VN 和 M-VN 六种模型下的均衡解. 模型表达式第 1 个字母表示转移因子 k 的决定者, 第 2 个字母表示 Stackelberg 博弈的领导者 (VN 表示双方同时行动). 例如, M-T 表示由 M 决定 k, 但是市场由 TPL 领导, 其他模型的含义类似. 文中 π 的上标 M 和 T, 分别表示 M 和 TPL 的利润, 上标 * 和相应字母的结合表示各市场结构下的最优值, 用各模型标识的下标表示各决策变量和各最优利润所对应的模型. 对于 M 的利润, 本文只考虑其产品通过再制造行为所带来的成本节约收益. 综上, 两方的支付函数分别为

$$\pi^M=(\varDelta-p-ky)(a_0+ay+bp), \tag{1}$$

$$\pi^T=ky(a_0+ay+bp)-cy^2/2. \tag{2}$$

2 均衡分析

本节采用与文献 [10] 类似的方法, 研究产品回收再制造环境下, 转移因子 k 的主导者不同和不同市场结构下各模型的均衡解.为了保证后续的分析过程有意义, 假定 $bc>a^2$.

2.1 T-T 模型

首先由 TPL 决定 k 和 y, 然后 M 根据此值决定 p. 将式 (1) 对 p 求导并令结果为零, 求出 p 后代入式 (2), 再次对 y 求导并令其为零, 得到

$$y(k)=\frac{a_0k+b\varDelta k}{2(c-ak+bk^2)}. \tag{3}$$

为了研究谈判强度 k 对双方利润的影响, 将式 (3) 代入 (2) 并对 k 求导得到 $\dfrac{(a_0+b\varDelta)^2k(2c-ak)}{8(c+k(bk-a))^2}$. 可知, 当 $c+k(bk-a)\neq 0$, $k<2c/a$ 时, π^T 与 k 正相关, 其中 $k\in[0,\bar{k}]$. 若谈判强度最大值 $\bar{k}<2c/a$, 则此时 $k=\bar{k}$; 若 $\bar{k}\geqslant 2c/a$, 则 $k=2c/a$. 根据逆向归纳法得到命题 1.

命题 1　T-T 模型的最优解为:

1) 当 $0<\bar{k}<2c/a$ 时, 有

$$k^*_{T\text{-}T}=\bar{k},\ y^*_{T\text{-}T}=\frac{a_0\bar{k}+b\varDelta\bar{k}}{2(c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

$$p^*_{T\text{-}T}=\frac{a_0(\bar{k}(a-3b\bar{k})-2c)+b\varDelta(2c+\bar{k}(b\bar{k}-3a))}{4b(c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

$$\pi^{T*}_{T\text{-}T}=\frac{(a_0+b\varDelta)^2\bar{k}^2}{8(c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

$$\pi^{M*}_{T\text{-}T}=\frac{(a_0+b\varDelta)^2(2c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}{16b(c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}. \tag{4}$$

2) 当 $\bar{k}\geqslant 2c/a$ 时, 有

$$k^*_{T\text{-}T}=\frac{2c}{a},\ y^*_{T\text{-}T}=\frac{a(a_0+b\varDelta)}{4bc-a^2},$$

$$p^*_{T\text{-}T}=\frac{3ca_0+a^2\varDelta-bc\varDelta}{a^2-4bc},$$

$$\pi^{T*}_{T\text{-}T}=\frac{c(a_0+b\varDelta)^2}{2(4bc-a^2)},\ \pi^{M*}_{T\text{-}T}=\frac{bc^2(a_0+b\varDelta)^2}{(a^2-4bc)^2}. \tag{5}$$

2.2 M-T 模型

首先由 TPL 决定回收努力程度, 然后 M 根据 y 决定 p 和 k. 此模型表示 M 在谈判能力上要强于 TPL, 但此时 TPL 还是 Stackelberg 博弈的领导者. 现实中, 若领导博弈的一方谈判人员能力欠缺, 则会发生这种情况. 此时, 若 TPL 令 $y=0$, 则 M 的利润只由 p 决定, 由逆向归纳法得到 $y^*_{M\text{-}T}=0$, $k^*_{M\text{-}T}$ 不存在, $p^*_{M\text{-}T}=$

$(-a_0+b\varDelta)/2b$, $\pi_{M\text{-}T}^{T*}=0$, $\pi_{M\text{-}T}^{M*}=(a_0+b\varDelta)^2/4b$. 若 TPL 令 $y>0$, 则 $\pi_{M\text{-}T}^{M}$ 与 k 反相关, M 必定令 $k=0$, 得到 $\pi_{M\text{-}T}^{T*}<0$, 故 TPL 的最佳反应为 $y=0$ 的情况.

命题 2　M-T 模型的最优解为

$$\begin{aligned}&y_{M\text{-}T}^*=0,\ k_{M\text{-}T}^*\text{不存在},\ \pi_{M\text{-}T}^{T*}=0,\\&p_{M\text{-}T}^*=\frac{-a_0+b\varDelta}{2b},\ \pi_{M\text{-}T}^{M*}=\frac{(a_0+b\varDelta)^2}{4b}.\end{aligned}\tag{6}$$

2.3　T-M 模型

首先由 M 决定 p, 然后 TPL 根据 p 决定 k 和 y. 若 $p=0$, 则表示回收价为零, 导致消费者收益为零(但此时回收量不一定为零). 同前述分析方法, 首先求出 TPL 的利润对 k 变化的反应 $a_0^2k(c-ak)/(c-2ak)^2$. 可知, 当 $c-2ak\neq0$ 且 $k<c/a$ 时, π^T 与 k 正相关. 由 $k\in[0,\bar{k}]$, 若 $\bar{k}<c/a$ 且 $c-2ak\neq0$, 则各最优值为

$$\begin{aligned}&k_{T\text{-}M}^*=\bar{k},\ p_{T\text{-}M}^*=0,\\&y_{T\text{-}M}^*=\frac{a_0\bar{k}}{c-2a\bar{k}},\ \pi_{T\text{-}M}^{T*}=\frac{a_0^2\bar{k}^2}{2c-4a\bar{k}},\\&\pi_{T\text{-}M}^{M*}=\Big(a_0+\frac{aa_0\bar{k}}{c-2a\bar{k}}\Big)\Big(\varDelta-\frac{a_0\bar{k}^2}{c-2a\bar{k}}\Big).\end{aligned}$$

再考虑 $\pi_{T\text{-}M}^{T*}$, 只有当 $\bar{k}<c/2a$时, 才有 $\pi_{T\text{-}M}^{T*}>0$. 若 $\bar{k}>c/a$, 则各最优值为 $k_{T\text{-}M}^*=c/a$, $y_{T\text{-}M}^*=0$, $p_{T\text{-}M}^*=0$, $\pi_{T\text{-}M}^{M*}=0$, $\pi_{T\text{-}M}^{T*}=0$. 所以, 当 $p=0$ 时, 若 $\bar{k}<c/2a$, 则 TPL 的最优选择为 $k_{T\text{-}M}^*=\bar{k}$ 的情况; 若 $\bar{k}\geqslant c/2a$, 则 TPL 会选择 $k_{T\text{-}M}^*=c/a$ 的情况. 同样可求得当 $p>0$ 时的各最优值, 并得到命题 3.

命题 3　T-M 模型的最优解为:

1) 当 $p=0$ 时, 若 $\bar{k}<c/2a$, 则各最优值为

$$\begin{aligned}&k_{T\text{-}M}^*=\bar{k},\ y_{T\text{-}M}^*=\frac{a_0\bar{k}}{c-2a\bar{k}},\ p_{T\text{-}M}^*=0,\\&\pi_{T\text{-}M}^{M*}=\Big(a_0+\frac{aa_0\bar{k}}{c-2a\bar{k}}\Big)\Big(\varDelta-\frac{a_0\bar{k}^2}{c-2a\bar{k}}\Big),\\&\pi_{T\text{-}M}^{T*}=\frac{a_0^2\bar{k}^2}{2c-4a\bar{k}}.\end{aligned}\tag{7}$$

若 $\bar{k}\geqslant c/2a$, 则最优值为

$$\begin{aligned}&k_{T\text{-}M}^*=c/a,\ y_{T\text{-}M}^*=0,\ p_{T\text{-}M}^*=0,\\&\pi_{T\text{-}M}^{M*}=0,\ \pi_{T\text{-}M}^{T*}=0.\end{aligned}\tag{8}$$

2) 当 $p>0$ 时, 各最优值为

$$\begin{aligned}&k_{T\text{-}M}^*=\bar{k},\ y_{T\text{-}M}^*=\frac{(a_0+b\varDelta)\bar{k}}{2(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},\\&p_{T\text{-}M}^*=\frac{b\varDelta(c-2a\bar{k})-a_0(c-2a\bar{k}+2b\bar{k}^2)}{2b(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},\\&\pi_{T\text{-}M}^{M*}=\frac{(a_0+b\varDelta)^2(c-a\bar{k})}{4b(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},\\&\pi_{T\text{-}M}^{T*}=\frac{(a_0+b\varDelta)^2\bar{k}^2(c-a\bar{k})}{8(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}.\end{aligned}\tag{9}$$

2.4　M-M 模型

首先由 M 决定 k 和 p, 然后 TPL 根据此值决定自身的回收努力程度 y. 同前述方法, 首先求得 M 的利润对 k 变化的反应为

$$\frac{(a_0+b\varDelta)^2(ac+abk^2-2bck)}{4b(c-2ak+bk^2)^2}.$$

若令

$$\frac{(a_0+b\varDelta)^2(ac+abk^2-2bck)}{4b(c-2ak+bk^2)^2}>0,$$

则要求 $ac+abk^2-2bck>0$. 令 $H=\sqrt{\dfrac{bc^2-a^2c}{a^2b}}$, 易证得 $c/a-H>0$, 当 $0<k<c/a-H$, $k>c/a+H$ 时, M 的利润与 k 正相关, 得到命题 4.

命题 3　M-M 模型下各方最优值为:

1) 若 $0<\bar{k}<c/a-H$, 则各方最优值为

$$\begin{aligned}&k_{M\text{-}M}^*=\bar{k},\ y_{M\text{-}M}^*=\frac{(a_0+b\varDelta)\bar{k}}{2(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},\\&p_{M\text{-}M}^*=\frac{b\varDelta(c-2a\bar{k})-a_0(c-2a\bar{k}+2b\bar{k}^2)}{2b(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},\\&\pi_{M\text{-}M}^{M*}=\frac{(a_0+b\varDelta)^2(c-a\bar{k})}{4b(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},\\&\pi_{M\text{-}M}^{T*}=\frac{(a_0+b\varDelta)^2\bar{k}^2(c-a\bar{k})}{8(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}.\end{aligned}\tag{10}$$

2) 若 $c/a-H\leqslant\bar{k}<c/a+H$, 则各方最优值为

$$\begin{aligned}&k_{M\text{-}M}^*=\frac{c}{a}-H,\ y_{M\text{-}M}^*=\frac{a(a_0+b\varDelta)}{4(bc-a^2)},\\&p_{M\text{-}M}^*=\\&\frac{4a_0bc^2-4aa_0bcH+2a^3H(a_0-b\varDelta)+a^2(bc\varDelta-3a_0c)}{4b(bc-a^2)(aH-c)},\\&\pi_{M\text{-}M}^{M*}=\frac{a^3(a_0+b\varDelta)^2H}{8b(a^2-bc)(aH-c)},\\&\pi_{M\text{-}M}^{T*}=\frac{a^2c(a_0+b\varDelta)^2(5a^2c-6bc^2-2a^3H+6abcH)}{32b(a^2-bc)^2(c-aH)^2}.\end{aligned}\tag{11}$$

3) 若 $c/a-H<\bar{k}\leqslant c/a+H$, 则各方最优值为

$$\begin{aligned}&k_{M\text{-}M}^*=\frac{c}{a}+H,\ y_{M\text{-}M}^*=\frac{a(a_0+b\varDelta)}{4(bc-a^2)},\\&p_{M\text{-}M}^*=\\&\frac{4a_0bc^2+4aa_0bcH-2a^3H(a_0-b\varDelta)-a^2c(3a_0-b\varDelta)}{4b(a^2-bc)(aH+c)},\\&\pi_{M\text{-}M}^{M*}=\frac{a^3(a_0+b\varDelta)^2H}{8b(a^2-bc)(aH-c)},\\&\pi_{M\text{-}M}^{T*}=\frac{a^2c(a_0+b\varDelta)^2(5a^2c-6bc^2-2a^3H+6abcH)}{32b(a^2-bc)^2(c+aH)^2}.\end{aligned}\tag{12}$$

4) 若 $\bar{k}>c/a+H$, 则各最优值为

$$k_{M\text{-}M}^*=\bar{k},\ y_{M\text{-}M}^*=\frac{(a_0+b\varDelta)\bar{k}}{2(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

$$p^*_{M\text{-}M} = \frac{b\Delta(c-2a\bar{k}) - a_0(c-2a\bar{k}+2b\bar{k}^2)}{2b(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

$$\pi^{M*}_{M\text{-}M} = \frac{(a_0+b\Delta)^2(c-a\bar{k})}{4b(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

$$\pi^{T*}_{M\text{-}M} = \frac{(a_0+b\Delta)^2\bar{k}^2(c-a\bar{k})}{8(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}. \quad (13)$$

2.5 T-VN 模型

首先由TPL决定k, 双方同时作出决策. 计算步骤为首先得到TPL的利润对k变化的反应, 然后将不同k值得出的y与由M的利润对p_0一阶导数进行联立求出两个值, 求出双方的最优利润值, 得到:

1) 若$\bar{k} < c/a$, 则有

$$k^*_{T\text{-}VN} = \bar{k},\ y^*_{T\text{-}VN} = \frac{a_0\bar{k}+b\Delta\bar{k}}{2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2},$$

$$p^*_{T\text{-}VN} = \frac{a_0c+bc\Delta+aa_0\bar{k}-2ab\Delta\bar{k}-a_0b\bar{k}^2}{b(2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

$$\pi^{T*}_{T\text{-}VN} = \frac{(a_0+b\Delta)^2\bar{k}^2(c-2a\bar{k})}{2(2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2},$$

$$\pi^{M*}_{T\text{-}VN} = \frac{(a_0+b\Delta)^2(c-a\bar{k})^2}{b(2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}. \quad (14)$$

2) 若$\bar{k} \geqslant c/a$, 则有

$$y^*_{T\text{-}VN} = \frac{a(a_0+b\Delta)}{bc-a^2},\ p^*_{T\text{-}VN} = \frac{a_0c+a^2\Delta}{a^2-bc},$$

$$\pi^{T*}_{T\text{-}VN} = -\frac{(a_0+b\Delta)^2a^2c}{2(a^2-bc)^2},\ \pi^{M*}_{T\text{-}VN} = 0. \quad (15)$$

进行比较得到, 若$k=\bar{k}<c/a$, 则$\pi^{T*}_{T\text{-}VN}$大于零或者小于零, 且$\pi^{M*}_{T\text{-}VN} \geqslant 0$; 若$k=c/a$, 则$\pi^{T*}_{T\text{-}VN} \leqslant 0$, $\pi^{M*}_{T\text{-}VN}=0$. 所以, $\bar{k}<c/a$的情况为T-VN的最优解.

命题 5 T-VN模型的各方最优值为

$$k^*_{T\text{-}VN} = \bar{k} < c/a,\ y^*_{T\text{-}VN} = \frac{a_0\bar{k}+b\Delta\bar{k}}{2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2},$$

$$p^*_{T\text{-}VN} = \frac{a_0c+bc\Delta+aa_0\bar{k}-2ab\Delta\bar{k}-a_0b\bar{k}^2}{b(2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

$$\pi^{T*}_{T\text{-}VN} = \frac{(a_0+b\Delta)^2\bar{k}^2(c-2a\bar{k})}{2(2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2},$$

$$\pi^{M*}_{T\text{-}VN} = \frac{(a_0+b\Delta)^2(c-a\bar{k})^2}{b(2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}. \quad (16)$$

2.6 M-VN 模型

k由M决定, 双方同时作出决策. 若TPL令$y=0$, 则

$$\pi^{T*}_{M\text{-}VN}=0,\ p^*_{T\text{-}VN}=\frac{b\Delta-a_0}{2b},\ \pi^{M*}_{M\text{-}VN}=\frac{(a_0+b\Delta)^2}{4b};$$

若TPL令$y>0$, 则M必要求$k=0$, 此时$\pi^{T*}_{M\text{-}VN}<0$. 所以TPL选择$y=0$时的情形, 由此得到命题6.

命题 6 M-VN模型的各方最优值为

$$y^*_{M\text{-}VN}=0,\ k^*_{M\text{-}VN}\text{不存在},\ \pi^{T*}_{M\text{-}VN}=0,$$

$$p^*_{T\text{-}VN}=\frac{b\Delta-a_0}{2b},\ \pi^{M*}_{M\text{-}VN}=\frac{(a_0+b\Delta)^2}{4b}. \quad (17)$$

3 各模型结果的综合分析

因为现实供应链中企业实行的集中决策过于理想化, 所以本文不考虑集中决策的情况. 由上述的分析可知, Δ与两方利润正相关, 说明Δ起到M向TPL传递积极(或者消极)合作信号的作用. 下面对各模型中两企业的决策行为进行综合分析.

3.1 M-T和M-VN

由命题2和命题6可知, 当由M确定k时, 无论TPL先行决策还是双方同时决策, 市场的最终结果均是TPL的回收努力为零(合作契约不存在), 即若M掌控k值, 则可以阻止TPL通过k将回收责任转移给自身(即k不存在), 此时无论为何种市场结构(决策次序), TPL都无回收动力, 即使TPL领导市场, 结果也相同. 这验证了物流学上的一个共识, 即物流量是TPL企业生存的基础. 而且, 只有M有再制造意图时, 才有物流量的产生, TPL才可以将回收努力和责任进行转移. 所以, M应该使TPL拥有一定限度的k的支配权才可能促进双方合作. 另外, 两个命题中M的利润都大于零, 表明M自身所建立的回收渠道此时发挥了基本的回收功能, 即使TPL不实施回收行为, M的自营回收行为也可以带来利润.

3.2 T-M和T-VN

这两种模型均由TPL决定k值. 从TPL的支付函数来看, 其希望k尽可能大. 由两个模型的最优解可知, $\bar{k}$值是决定所有最优值大小的关键因素. 由$\pi^{T*}_{T\text{-}M}$和$\pi^{T*}_{T\text{-}VN}$可知, 分子和分母中$\bar{k}$值越小, 其利润值越大, 说明若想增加TPL希望与M合作成功的概率, 则必须考虑将契约报价的最大值尽可能地降低(即在签订合同时TPL回收服务的报价上限不能太高). 其隐含意义同前述观点: 只有双方进行合作才会有物流量的产生, 才会有TPL的利润. 另外, 从$\pi^{M*}_{T\text{-}M}$和$\pi^{M*}_{T\text{-}VN}$看,也是$\bar{k}$越低其利润越高. 在现实中, 要求$\bar{k}$处于比较适中的值, 使M从TPL决定的y值可以判断出有利可图(或者由M提出的p引出的高回收量会让TPL感觉有利可图), 才能促使两方合作并达到双赢的效果.

3.3 T-T和M-M

这两种模型属于较极端的情况. T-T模型中的TPL拥有k的决定权, 它希望k尽可能地大. 但是, 式(4)中$\pi^{T*}_{T\text{-}T}$对$\bar{k}$求导得到

$$\frac{(a_0+b\Delta)^2\bar{k}(2c-a\bar{k})}{8(c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2},$$

由于$\bar{k}<2c/a$, 得到$\bar{k}$的最大值只能设置为$2c/a$, 再增加$\bar{k}$只会降低TPL的利润. 表明受到M的决策变

量 p 的制约, TPL 不可能无限制地增加 k 的上界, 否则会使双方谈判终止. M-M 模型中, 制造商具有谈判强势和市场先动优势. 将式 (12) 中 $\pi_{M\text{-}M}^{M*}$ 对 $\bar{k}$ 求导, 得到

$$\frac{(a_0+b\varDelta)^2(-2bc\bar{k}+ac+ab\bar{k}^2)}{4b(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2},$$

代入 $\bar{k}=c/a$ 可得到

$$\frac{(a_0+b\varDelta)^2(-2bc\bar{k}+ac+ab\bar{k}^2)}{4b(c-2a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}<0,$$

这也表明 $\bar{k}$ 不能无限增加, 即 TPL 不能无限制地要求 M 对其进行让利, 否则会导致 M 不与 TPL 进行合作. 命题 4 中其他情况类似.

4　各模型的环保意义分析

本节从各模型最大回收量的角度对模型的整体环保意义进行分析, 研究各模型中转移契约的变动对回收量 ($Q=a_0+ay+bp$) 的影响, 以及如何实现最大回收量的条件, 最后对各模型的最大回收量进行比较分析. 回收量 Q 下标的意义不变, 上标注明了 $\bar{k}$ 的取值范围以示区别.

4.1　T-T 模型

当 $0<\bar{k}<2c/a$ 时, 回收量为

$$Q_{T\text{-}T}^{0<\bar{k}<2c/a}(\bar{k})=\frac{(a_0+b\varDelta)(2c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)}{4(c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)},$$

则有

$$Q_{T\text{-}T}^{0<\bar{k}<(2c/a)'}(\bar{k})=\frac{c(a_0+b\varDelta)(a-2b\bar{k})}{4(c-a\bar{k}+b\bar{k}^2)^2}.$$

由 $Q_{T\text{-}T}^{0<\bar{k}<(2c/a)'}(\bar{k})=0$, 得到 $\bar{k}_{T-T}^{0<\bar{k}<(2c/a)^*}=a/2b$, 且 $Q_{T\text{-}T}^{0<\bar{k}<(2c/a)''}(\bar{k}^*)<0$, 所以

$$Q_{T\text{-}T}^{0<\bar{k}<2c/a}(\bar{k}^*)=\frac{(a_0+b\varDelta)(a^2-8bc)}{4(a^2-4bc)}$$

为此时的最大回收量.

当 $\bar{k}\geqslant 2c/a$ 时, 回收量为

$$Q_{T\text{-}T}^{\bar{k}>2c/a}\left(\frac{2c}{a}\right)=\frac{bc(a_0+b\varDelta)}{4bc-a^2}.$$

由

$$Q_{T\text{-}T}^{0<\bar{k}<2c/a}(\bar{k}^*)-Q_{T\text{-}T}^{\bar{k}>2c/a}\left(\frac{2c}{a}\right)=\frac{a_0+b\varDelta}{4}>0,$$

可得知在 T-T 模型中, 当转移因子 $k=a/2b$ 时, 回收量最大. 所以, 只有当 $k=a/2b$ 时, 才会达到最佳环保效果. 由 $0<\bar{k}<2c/a$ 可知, 即使 TPL 拥有了转移因子的决定权和市场先进优势, 也不代表可以通过 k 无限制地转移通过自己回收努力带来的成本. 若 $\bar{k}$ 超过该范围, TPL 与 M 的谈判则会破裂, 所以在 T-T 模型下, TPL 在对契约的报价进行前期设计时, 应考虑到条件 $0<\bar{k}<2c/a$ 在谈判中所起的制约作用.

4.2　M-M 模型

由命题 4 可知, 根据 $\bar{k}$ 处于的不同区间, 有 4 种可能的最优解. 首先由式 (10) 和 (13) 得到 $k=\bar{k}$ 时的回收量

$$Q_{M\text{-}M}^{0<\bar{k}<c/a-H}(\bar{k})=Q_{M\text{-}M}^{\bar{k}<c/a+H}(\bar{k})=\frac{(c-a\bar{k})(a_0+b\varDelta)}{2(c+\bar{k}(-2a+b\bar{k}))}.$$

对回收量进行求导得到

$$\frac{(-2bc\bar{k}+a(c+b\bar{k}^2))(a_0+b\varDelta)}{2(c+\bar{k}(-2a+b\bar{k}))^2},$$

可求得当 $k=\bar{k}=(bc-\sqrt{b^2c^2-a^2bc})/ab$ 时, 最大回收量为

$$Q_{M-M}^{0<\bar{k}<c/a-H^*}(\bar{k}^*)=Q_{M-M}^{\bar{k}>c/a+H^*}(\bar{k}^*)=\frac{a^2(a_0+b\varDelta)}{4(a^2-bc+\sqrt{b^2c^2-a^2bc})}.$$

同理, 由式 (11) 和 (12) 比较得到两情形中的最佳回收量为

$$Q_{M\text{-}M}^{c/a-H\leqslant\bar{k}<c/a+H^*}\left(k^*=\frac{c}{a}-H\right)=\frac{a^3(a_0+b\varDelta)H}{4(a^2-bc)(aH-c)}.$$

进而得到

$$Q_{M\text{-}M}^{0<\bar{k}<c/a-H^*}(\bar{k}^*)=Q_{M\text{-}M}^{\bar{k}>c/a+H^*}(\bar{k}^*)=Q_{M\text{-}M}^{c/a-H\leqslant\bar{k}<c/a+H^*}(k^*),$$

即 M-M 模型的最优回收量为

$$\frac{a^2(a_0+b\varDelta)}{4(a^2-bc+\sqrt{b^2c^2-a^2bc})}.$$

由分析得知, M 可选择的 $\bar{k}$ 区间范围较多, 即在区间 $0<\bar{k}<c/a-H$, $c/a-H\leqslant\bar{k}<c/a+H$ 和 $\bar{k}>c/a+H$ 中, 均各自存在一个 $\bar{k}$ 以保证最优回收量的实现, 表明 M-M 模型中的 M 在整个回收链中主导作用较大. 所以, 当外部力量 (或 M 自身) 对 M 有环保要求时, M 可根据自身的实际情况来选择合适的谈判值区间, 在保证自身再制造收益的同时也能兼顾环保要求.

4.3　T-M 模型

由式 (7) 和 (8) 可知, 当 $p_0=0$ 时, 回收量为 $a_0+aa_0\bar{k}/(c-aa\bar{k})$, 对其求导得到 $aa_0c/(c-2a\bar{k})^2$, 从表达式上看, 此处讨论 $\bar{k}$ 对回收量的影响无意义; 当 $p_0>0$ 时, 求得最大回收量为

$$Q_{T\text{-}M}\left(\bar{k}^*=\frac{bc-\sqrt{b^2c^2-a^2bc}}{ab}\right)=\frac{a^2(a_0+b\varDelta)}{4(a^2-bc+\sqrt{b^2c^2-a^2bc})};$$

当 $p=0$ 时, 由于没有 TPL 的参与, 即使回收量不为零, 对双方契约而言也是无意义的, 所以, M 完全履行回收责任必然不利于达到供应链最大回收量的环保目标. 从长远看, 若考虑到企业的环保要求, 将回收业务外包给 TPL 进行实施则是 M 的最佳选择.

4.4　T-VN 模型

由命题 5 可知, 此时最佳回收量为

$$Q_{T\text{-}VN}^*(\bar{k}^*)=\frac{(a_0+b\varDelta)(c-a\bar{k})}{2c-3a\bar{k}+b\bar{k}^2}.$$

同前述方法, 易得到

$$Q^*_{T\text{-}VN}\Big(k^*=\frac{bc-\sqrt{b^2c^2-a^2bc}}{ab}\Big)=\frac{a^2(a_0+b\Delta)\sqrt{b^2c^2-a^2bc}}{2bc(bc-\sqrt{b^2c^2-a^2bc})+a^2(-2bc+3\sqrt{b^2c^2-a^2bc})},\quad bc>9a^2/8;$$

$$Q^*_{T\text{-}VN}\Big(k^*=\frac{bc+\sqrt{b^2c^2-a^2bc}}{ab}\Big)=\frac{a^2(a_0+b\Delta)\sqrt{b^2c^2-a^2bc}}{2bc(bc+\sqrt{b^2c^2-a^2bc})-a^2(2bc+3\sqrt{b^2c^2-a^2bc})},\quad a^2<bc<9a^2/8;$$

$$Q^*_{T\text{-}VN}\text{无意义},\ bc=9a^2/8. \tag{18}$$

所以, 在这种模型下若考虑最佳回收量, 会有两种情况出现. 当TPL在决策时拥有谈判的主动权时, 若外部力量对供应链有环保要求, 则TPL必定要考虑如何在这两个区间内选择合适的k^*, 以协调供应链回收量要求与自身利益的矛盾.

4.5 M-T模型和M-VN模型

这两种模型的最优回收量均为$(a_0+b\Delta)/2$, 说明只要M能决定k, 无论是TPL领导市场还是两方同时行动, 都不会对所要达到的环保要求构成影响, 即TPL回收责任转移意图的实现必须以M的回收再制造行为为条件.

4.6 环保意义的综合分析

综合以上分析并使用Mathematics 7.0对上述各模型的最优回收量进行比较, 得到命题7.

命题7 各模型的最佳回收量排序为

$$Q^*_{M\text{-}T}=Q^*_{M\text{-}VN}<Q^*_{T\text{-}T}<Q^*_{T\text{-}VN}<Q^*_{M\text{-}M}=Q^*_{T\text{-}M},\ bc>9a^2/8;$$

$$Q^*_{M\text{-}T}=Q^*_{M\text{-}VN}<Q^*_{T\text{-}T}<Q^*_{M\text{-}M}=Q^*_{T\text{-}M}<Q^*_{T\text{-}VN},\ a^2<bc<9a^2/8;$$

$$Q^*\text{无意义},\ bc=9a^2/8. \tag{19}$$

由命题7可知, a, b, c的取值会对回收量产生影响. 当$bc>9a^2/8$时, M-M和T-M模型的回收量最大且相同, 表明当回收难度较大时, 若要达到最佳回收量则必须要求M成为市场领导者: 当$a^2<bc<9a^2/8$时, T-VN模型的回收量最大, 表明当c较小或b较小时, TPL掌握k的决策权会导致回收量增加, 但也会因为过高的$p+ky$导致M放弃合作, 所以此时只有双方同时行动, 才会取得较好的回收效果.

由$a^2<bc<9a^2/8$条件下的$Q^*_{T\text{-}M}<Q^*_{T\text{-}VN}$可知, TPL掌握了服务价格的谈判优势后, M即使先行决策, 也可能不会取得较好的回收效果. 因为T-M模型下, M虽然领导市场, 但会预判到TPL将通过提高k进而提高$p+ky$, 此时M必然通过降低p值来应对, 从而使回收量较二者同时行动时小. 但综合来看, 无论$bc>9a^2/8$或$a^2<bc<9a^2/8$, T-M模型均是一种较为环保的市场结构(回收量均较大), 因为当M先行决策时, 让TPL来决定k会起到平衡作用, 从而保证回收量处于较高的水平. 同时, 由命题7可知, M-T和M-VN是最不环保的两种模型. 这表明当M决定k时, 若TPL拥有先动决策权, 则完全会因为先动权或同时行动权而选择逃避可能带来的低利润, 导致回收效果较差. 有意思的是, M-M模型的回收量高于M-T模型且处于较高的水平, 这似乎与第2.1节的结论相悖, 但却表达了另一层现实意义: M-M模型代表了一种制造商在市场上处于绝对优势的情形, TPL在没有任何谈判和先动的优势时, 必须依托于M的回收再制造意愿产生回收量, 使企业生存下去. 所以, 这也表现了在供应链中, M总体上是处于强势地位的.

5 结 论

本文针对不同市场结构和不同转移因子k的决定者所组合成的6种模型进行了分析, 得到了各模型下的均衡解, 并对各模型的回收量和环保意义进行了分析. 具体结论为: 无论在何种模型的市场结构下, 只要Δ足够大, 双方的合作机率就越大. 转移因子的上限$\bar{k}$对各模型下最优值的确定具有关键性作用, 无论是由M还是由TPL决定$\bar{k}$, 其值均不能过大, 否则会影响双方合作. 当M决定k时, 应给予TPL一定的支配权, 使TPL的回收责任有一定程度上的转移, 才可能合作成功. 当TPL决定k时, $\bar{k}$越小, 双方合作的可能性越大, 且回收效果越好, 回收难度越大, 双方合作的可能性也越大. 综合来看, 制造商在供应链中的地位优于第三方回收商, 但不代表制造商的垄断行为可以促进双方的长期合作. 对于双向社会责任的转移问题, 是下一步的研究内容.

参考文献(References)

[1] Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment[EB/OL]. [2003-02-13]. http://eur-lex. europa. eu/LexUriServ/LexUriServ. do? uri = CELEX: 32002 L0095:EN:HTML.

[2] Savaskan R C, Bhattacharya S, Van Wassenhove L. Closed-loop supply chain models with product remanufacturing[J]. Management Science, 2004, 50(2): 239-253.

[3] Savaskan R C, Van Wassenhove L. Reverse channe design: The case of competing retailers[J]. Management Science, 2006, 52(1): 1-14.

(下转第919页)