

基于产品回收吸引力指数的逆向物流渠道分析

王素娟^{1,2}

(1.上海大学 管理学院,上海 200444;2.山西大学 经济与工商管理学院,太原 030006)

摘要:文章定量分析了三种产品销售和回收模式。不同成员回收旧产品的成本不同,因此旧产品回收工作对成员的吸引力不同,因此我们引入产品回收吸引力指数进行分析、比较。分析表明:(1)当供应链成员旧产品回收吸引力指数不同时,应该权衡指数的关系,在模式 M 和 R 中选择合适的渠道模式。(2)当供应链成员旧产品回收吸引力指数相同时,相对于生产商回收模式,零售商回收模式能赢得更多的市场需求和利润。直接面对消费者销售和回收产品模式是最优模式。

关键词:供应链管理;逆向物流;模式选择;再制造

中图分类号:F276

文献标识码:A

文章编号:1002-6487(2009)19-0064-04

0 引言

随着电子信息时代的来临,节能、环保越来越被人们重视,废旧产品的回收和综合利用引起了全社会的高度关注,

基金项目:上海市教育委员会科研创新项目(09YS52)

政府相继颁布了一系列的“绿色”法令、法规。废旧产品的回收,一方面可以减少环境污染,另一方面能够促进资源的循环利用。

在实践中,产品的销售绝大多数是经过零售商进行销售,而为顾客提供回收服务的有的是零售商,有的是生产商,

表 3 数据

项目	原始数据						检验数据
	①	②	③	④	⑤	⑥	
编号							⑦
预测的不确定性 X_1	2	3	2	4	3	6	3
限量供应下的短缺博弈 X_2	3	4	5	2	1	3	3
提前期 X_3	1	1	2	2	1	2	1
批量订货 X_4	4	4	5	3	2	3	5
价格波动 X_5	6	3	5	4	5	4	4
时间延迟 X_6	3	4	4	2	4	2	3
牛鞭效应风险等级 Y	1	2	3	1	2	3	2

2.2 风险预测模型仿真

本模型算法的实施如下:

(1)根据已有的几组数据采用德尔菲法等方法推导出相应组数的六个影响因素的值及最终牛鞭效应风险对应的等级。

(2)将上一步求出的几组数值两两组合,每个组合中的两组数的风险等级需不同,将其中一组的 $f(x)$ 设为 1,另一组的 $f(x)$ 设为 -1,再将每组分别代入式(5),求出未知数后,将检测数据带入,根据 $f(x)$ 的符号,对与检验数据 $f(x)$ 相同的那一组所对应的 $\text{count}[i]$ 加 1。

(3)在计算结束后, $\text{count}[i]$ 最大的那一类所对应的 Y 值即为检验数据的牛鞭效应风险等级。由于给出的检验数据本身既有牛鞭效应等级数据,我们就可以根据这个数据和求出的是否相同,来判断该模型能否正常工作。

数值模拟如下:

根据计算, $\text{count}[1]=8$, $\text{count}[2]=16$, $\text{count}[3]=0$; 因此推出检测数据的风险效应等级为 2, 与已知等级相符, 据此可

以初步判断该模型有效。因为篇幅限制,在这里没有给出推导出六个变量的过程,也没有用更多更复杂的数据进行检验,因此在具体使用前还需进行模型的精确有效性的一步验证。

3 结论

本文通过分析牛鞭效应的形成原因,构建了其风险评价指标体系,并运用采用 SVM 的多类分类原理建立了供应链牛鞭效应风险预测模型,能够预测出各种主要的风险因素对牛鞭效应大小的影响情况。在此基础上,通过控制变量法,还可以分析出,各种因素各自对最终风险程度的影响情况,从而得到预防牛鞭效应和降低其不良影响的对策。最后,本文还进行了数值模拟,以对该模型的可行性和准确性进行检验。

参考文献:

- [1]潘意志. 牛鞭效应产生激励及其控制机制研究[D]贵州大学,2007.
- [2]宓燕. 供应链牛鞭及其对策研究[D]东南大学,2004.
- [3]万杰,李敏强,寇纪淞. 需求信息预测与处理中的牛鞭效应分析[J]. 管理工程学报,2003,(4).
- [4]范昕炜. 支持向量机算法的研究及其应用[D]. 浙江大学,2003.
- [5]齐永锋,火元莲. 支持向量机研究[J]. 甘肃联合大学学报(自然科学版),2005,(2).

(责任编辑/亦 民)

有的是生产商直接面对消费者销售和回收产品,当然还有第三方专业回收公司负责产品回收。本文考虑由生产商和零售商组成的二级供应链,对以上前三种模式进行分析和比较,由于篇幅关系第三方回收渠道另文研究。不同成员回收的成本不同,因此旧产品回收工作对成员的吸引力不同,因此我们引入产品回收吸引力指数,该指数是考虑了回收成本,产品回收对成本节约的影响,产品回收对需求的影响—综合指标,可帮助决策者简化决策考虑的因素。另外,作者认为,在供应链管理的理念中,包含了一重要思想:正确的事分配给正确的成员来完成。因此本文主要研究的问题是:就产品回收这一任务,基于供应链管理的角度,在本文所研究的二级简单供应链中,旧产品回收应该由谁承担,可使整个系统最优?

本文假设不同成员进行产品回收的成本是不同的,引入产品回收吸引力指数,主要从供应链成员最优任务分配角度,研究产品销售及回收的三种不同渠道模式下的成员决策,并比较不同情景下,供应链成员利润,及供应链的绩效。当成员回收成本不同时,零售商负责回收并非最优模式,这是本文的得到的与以往文献不同的结论。供应链成员应该权衡回收吸引力指数间的关系,进而确定最优的旧产品回收模式。

1 模型及均衡策略

本文研究的供应链具有一生产商和一个零售商,生产商生产一种产品,通过零售商进行销售或直销,生产商对销售出去的产品进行回收再制造。我们用模式 M 表示产品经由零售商销售,产品回收由生产商自己完成;用模式 R 表示表示产品经由零售商销售,同时零售商进行产品回收;用模式 C 表示表示生产商直接向消费者销售产品,并直接承担产品回收工作。如图 1 所示,系统地描述了三个模型及决策变量。在本文接下来的部分中,上标 R、M、C 分别代表不同的产品销售和回收模式情形,用下标 m、r、s 分别表示生产商、零售商、以及供应链系统。

我们引入如下记号:

- c_m : 生产商使用新原料生产新产品的单位成本;
- c_r : 生产商使用回收产品生产新产品的单位成本;
- $\Delta=c_m-c_r$: 使用回收产品生产新产品所节约的成本;
- θ : 回收努力系数,即所销售产品的回收比例;
- w : 生产商向零售商开出的批发价;
- p : 零售商向消费者开出的零售价。

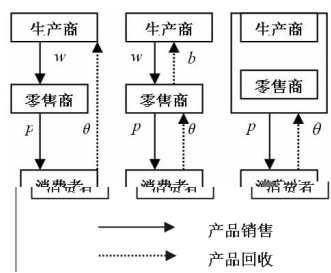


图 1 产品销售及回收渠道模式图

产品的需求函数是零售价的函数。关于需求函数中的基本“价格—服务水平—需求”关系,做如下假设: $D=D_0-\beta p$, D_0 表示潜在需求,或市场规模, β 是当零售价为零时的需求;表示需求对价格

的敏感系数。

旧产品回收成本,主要由两部分组成:一是为进行产品回收,需要组建团队,购买设备等进行投资,我们称其为产品回收所需投入的固定成本 $1/2k_i\theta^2$; 二是回收的单位旧产品的可变成本(付给消费者的回收价格), $A_i, i=r, m$ 。在实践运作中,生产商和零售商回收产品的成本是不同的,如此假设贴近实际。

为了方便后文分析,我们称 $a_i = \frac{\beta(\Delta-A_i)^2}{k_i}, i=r, m$ 为产品回收吸引力指数。显然 $\frac{\partial a_i}{\partial \beta} > 0, \frac{\partial a_i}{\partial \Delta} > 0, \frac{\partial a_i}{\partial k_i} < 0, \frac{\partial a_i}{\partial A_i} < 0$ 。a 的含义为:当顾客越是对价格敏感,进行旧产品回收的服务引力越大;使用回收产品生产所节约的成本越大,进行旧产品回收的吸引力越大;供应链成员进行产品回收的可变成本(回收价格)越低,回收动机越大;进行产品回收的固定成本越低,回收动机越大。因此 a 是综合了顾客对价格的敏感度,成本节约水平,即旧产品回收对需求的影响,以及旧产品回收所付出的成本的一参数指标。

1.1 模式 M: 生产商经由零售商销售产品,自己承担旧产品回收

在此情景中,产品经由零售商提供,旧产品回收由生产商完成。作为斯塔克伯格(Stackelberg)领导者的生产商独立地确定批发价和回收努力水平,接下来,零售商确定商品零售价。可对此市场类型下的企业决策进行建模,表示为:

$$\max_{w, \theta} \pi_m^M \Rightarrow \max_p \pi_r^M \quad (\text{模式 M})$$

即:

(1) 生产商确定商品的批发价 w , 以及回收努力水平 θ , 最大化自己的收益。

$$\max_{w, \theta} \pi_m^M = (w - c_m + \theta \Delta) D(p) - A_m \theta D(p) - k_m \theta^2 \quad (1)$$

(2) 零售商决定产品的零售价 p , 最大化自己的收益。

$$\max_p \pi_r^M = (p - w) D(p) \quad (2)$$

依据逆向归纳法的思想,我们将首先寻求第二阶段中零售商的最优行动——假定第一阶段的 w, θ 已知。此时, p 与 w, θ 有关,记作 $p(w, \theta) = \frac{D_0 + \beta w}{2\beta}$, 在生产商预期到零售商的可能行动的情况下,通过将 $p(w, \theta)$ 代入制造商利润函数可求得制造商的最优行动 w, θ 。进而可计算得知 p^* 的值。

当 $0 < a_m < 8$ 时,模型 M 下,成员决策存在最优策略:

$$\begin{cases} p^M = \frac{(8 - a_m)D_0 - 2D_0^*}{\beta(8 - a_m)} \\ \theta^M = \frac{a_m D_0^*}{\beta(8 - a_m)(\Delta - A_m)} \\ w^M = \frac{(8 - a_m)D_0 - 4D_0^*}{\beta(8 - a_m)} \end{cases} \quad (3)$$

其中, $D_0^* = D_0 - \beta c_m$ 表示当价格为 c_m 时的需求。在均衡策略下,市场需求,供应链成员生产商 m 与零售商 r 及系统 s 的利润分别为:

① $0 < a_m < 8$ 是模式 M 优化需要满足的二阶条件。

$$\begin{cases} \pi_m^M = \frac{D_0^{*2}}{\beta(8-am)} \\ \pi_r^M = \frac{4D_0^{*2}}{\beta(8-am)^2} \\ \pi_s^M = \frac{(12-am)D_0^*}{\beta(8-am)} \end{cases} \quad (4)$$

1.2 模型 R: 生产商经由零售商销售及回收旧产品

在此情景中,产品经由零售商销售,并由零售商进行旧产品回收。作为斯塔克伯格领导者的生产商独立地确定批发价,以及支付从零售商处买回其回收的旧产品,接下来,零售商确定商品零售价以及回收努力水平。决策可表示为:

$$\max_w \pi_m^M \Rightarrow \max_{p,\theta} \pi_r^M \quad (\text{模式 R})$$

即:

(1) 生产商确定批发价 w 以及转移价格,最大化自己的收益。

$$\max_w \pi_m^R = (w - cm + \vartheta \Delta)D(p) - b\theta D(p) \quad (5)$$

(2) 零售商决定产品的零售价 p 及回收努力水平 θ 。

$$\max_{p,\theta} \pi_r^R = (p - w)D(p) + (b - Ar)D(p) - k\theta^2 \quad (6)$$

同模式 M,依据逆向归纳法的思想,我们可得模式 R 下的均衡策略为:

当 $0 < a_i < 4$ ②时,模型 R 下,成员决策存在最优策略:

$$\begin{cases} p^R = \frac{(4-ar)D_0 - D_0^*}{\beta(4-ar)} \\ \theta^R = \frac{a_i D_0^*}{2\beta(4-ar)(\Delta - Ar)} \\ w^M = \frac{2D_0 - D_0^*}{2\beta} \\ b = \Delta \end{cases} \quad (7)$$

在均衡策略下,模式 M 的市场需求,供应链成员生产商 m 与零售商 r 及系统 s 的利润分别为:

$$\begin{cases} \pi_m^R = \frac{D_0^{*2}}{2\beta(4-ar)} \\ \pi_r^R = \frac{D_0^{*2}}{4\beta(4-ar)} \\ \pi_s^R = \frac{3D_0^{*2}}{4\beta(r-ar)} \end{cases} \quad (8)$$

1.3 模式 C: 集中决策供应链

信息技术的高度发达,以及在企业中的应用,迎来了电子商务时代。随即出现了与传统经销方式不同的经销模式。如 DELL 通过网络进行营销,直接面对消费者,为其提供产品。信息技术的应用使生产商直接面对消费者,为其提供产品和各项服务成为可能。模式 C,表示生产商直接面对消费者,提供产品并回收旧产品。供应链集中决策系统(Integrated SupplyChain,ISC)~可描述这一模式。其中,生产商和零售商之间是完全合作的,联合决策以使总体利润最优。即生产商同时决策价格和回收服务水平,使整个系统收益最大。可知系统的优化问题为:

$$\text{即: } \max_{p,\theta} \pi_m^C = (p - c_m + \vartheta \Delta)D(p) - Am\theta D(p) - km\theta^2 \quad (9)$$

由最优化条件可得:当 $a < a_m < 4$ ③时,模型 C 下,成员决策

② $0 < a_i < 4$ 是模式 R 优化需要满足的二阶条件。
③ $0 < a_m < 4$ 是模式 C 优化需要满足的二阶条件。

存在最优策略:

$$\begin{cases} p^C = \frac{a_m D_0^*}{2\beta(4-am)} \\ \theta^C = \frac{a_m D_0^*}{\beta(4-am)(\Delta - Am)} \end{cases} \quad (10)$$

在最优策略下,系统利润为:

$$\pi_s^M = \frac{4D_0^{*2}}{\beta(4-am)^2} \quad (11)$$

综合以上三种模式下的产品价格、回收努力水平、市场份额、各个成员的利润和系统利润如表 1 所示。

表 1 不同模式下的均衡结果

	M	R	C
P	$\frac{(8-a_m)D_0 - 2D_0^*}{\beta(8-a_m)}$	$\frac{(4-a_i)D_0 - 2D_0^*}{\beta(8-a_i)}$	$\frac{(4-a_m)D_0 - 2D_0^*}{\beta(4-a_m)}$
θ	$\frac{a_i D_0^*}{\beta(8-a_m)(\Delta - Am)}$	$\frac{a_i D_0^*}{2\beta(4-a_i)(\Delta - Ar)}$	$\frac{a_m D_0^*}{\beta(4-a_m)(\Delta - Am)}$
D	$\frac{2D_0}{8-a_m}$	$\frac{2D_0}{4-a_i}$	$\frac{2D_0}{4-a_m}$
π_m	$\frac{D_0^{*2}}{\beta(8-a_m)}$	$\frac{D_0^{*2}}{2\beta(4-a_i)}$	
π_r	$\frac{4D_0^{*2}}{\beta(8-a_m)^2}$	$\frac{4D_0^{*2}}{4\beta(8-a_i)^2}$	
π_s	$\frac{(12-a_m)D_0^*}{\beta(8-a_m)^2}$	$\frac{3D_0^{*2}}{4\beta(4-a_i)}$	$\frac{4D_0^{*2}}{\beta(4-a_m)^2}$

2 模式比较

从上一节的求解均衡策略时,最优化所满足的二阶条件,我们有如下结论。

定理 1 (1) 当 $0 < a_i \leq 4, i=r, m$ 时,即旧产品回收吸引力指数满足此条件时,产品销售、回收渠道模式 R、M、C 都可以选择;

(2) 当 $a \leq a_i, 8$ 时,只有模式 M 可以选择;

(3) 当 $8 \leq a_i$ 时,模式均不可行。

以上定理表明,当回收吸引力指数在相对低的范围内时,四种产品销售、回收渠道方式都有可能被选择。当回收吸引力指数处于 $4 \leq a_i < 8$ 时,只有模式 M 可以选择,即经零售商销售,而回收服务由生产商直接完成。从一定程度上揭示了为什么市场上,上游生产商回收模式比较常见的理由。如汽车市场,旧产品的回收一般是由厂商提供的。原因可能是,顾客相对于价格的敏感性会很高,回收服务吸引力指数相对较高。此时,只有模式 M 可行。当时,即回收服务吸引力指数很高,可能是由于产品回收再利用价值很大,但回收价格却很低,此时顾客会继续使用。

定理 2 在模型 R、M、C 中,以下均成立:回收努力水平,市场需求,系统成员生产商、零售商、及系统的利润均 a_i 的增函数;而产品的价格是 a_i 的减函数。

以上定理表明,随着回收动机指数增加,回收努力水平也增加,带来更多的成本降低,因此产品的价格降低,进而带来了更多的市场需求,获得更多的利润。当服务动机指数小时,回收努力水平也低,可能是由于进行产品回收所需要的成本比较大。

在本节接下来的部分中,我们将在三种模式的都有效的

范围内,即 $0 < a_i \leq 4, i=r, m$ 时,对不同模式下回收努力水平、产品销售价格、成员利润、系统绩效进行比较,进而得出最优的模式选择。

3 模式选择

假定 $0 < a_i \leq 4$ 时,我们首先对模式 M 和 R 进行分析,则有下列定理成立。

定理 3 当 $0 < a_i \leq 4, i=4, m$ 时:

- (1) 当 $\frac{a_m}{a_r} < 1 + \frac{a_m}{16-a_m}$ 时, $\pi_m^M < \pi_m^R$ 及 $\pi_r^M < \pi_r^R$
- (2) 当 $1 + \frac{a_m}{16-a_m} \leq \frac{a_m}{a_r} \leq 2$ 时, $\pi_m^M \leq \pi_m^R$ 及 $\pi_r^M \geq \pi_r^R$
- (3) 当 $\frac{a_m}{a_r} > 2$ 时, $\pi_m^M > \pi_m^R$ 及 $\pi_r^M > \pi_r^R$

当 $0 < a < 2$ 时, $\pi_r^{R^*} > \pi_r^{M^*}$ 及 $\pi_m^{R^*} > \pi_m^{M^*}$

以上定理表明,生产商和零售商回收旧产品的成本不同时,进而进行旧产品回收的动机是不同的,当 $\frac{a_m}{a_r} < 1 + \frac{a_m}{16-a_m}$ 时,系统的两个成员,更愿意让零售商进行回收。当 $\frac{a_m}{a_r} > 2$ 时,如果旧产品回收由生产提供,双方都将获得更多的利润。当 $\frac{a_m}{16-a_m} \leq \frac{a_m}{a_r} \leq 2$ 时,系统的每个成员更愿意让对方来提供服务。因此,应当在系统成员中正确的分配任务,以提高供应链系统及系统成员的绩效。

推论 1: 当 $0 < a_m = a_r = a \leq 4$ 时, $\pi_m^M > \pi_m^R$ 及 $\pi_r^M > \pi_r^R$

此推论表明,供应链成员回收旧产品成本相同时,即回收吸引力指数相同,使用模式 R,由直接面对市场的零售商来回收产品,会供给供应链系统及系统成员带来更高的收益。

推论 2: 当 $0 < a_m = a_r = a \leq 4$ 时, $\pi_s^M < \pi_s^R < \pi_s^C$

以上定理表明,当回收产品的吸引力对系统成员相同时,直接面对消费者的模式 C 获得了最大的系统利润,值得注意的是模式 R 比模式 M 赢得更好的系统利润。在模型 R 中,零售商决定 p, θ 而生产商决策批发价。这两个变量决定了成本的节约,决定市场的需求,均被零售商控制。在模式 M 中,生产商能直接的控制成本节约的变量 θ ,而只能通过自己的批发价间接的影响,这样生产商在模式 M 中不能直接控制两个变量故导致了较低的系统利润。

在每种模式内部利润如何分配? 我们可得如下定理:

定理 4 $0 < a_i \leq 4, i=4, m$ 时, (1) 在模式 R 中, $\pi_m^R = 2\pi_r^R$;

(2) 在模式 M 中, $2\pi_r^M > \pi_m^M > \pi_r^M$ 且 $\frac{\partial(\pi_m^M - \pi_r^M)}{\partial a} < 0$

以上定理表明当采用模式 R 时,生产上获得的利润是零售商的两倍。但是在模式 M 中,生产商直接回收旧产品,但却不能直接控制市场需求,因此无法获得像在模式 R 中一样是零售商利润两倍。生产商获得的利润与零售商获得利润的差距,随产品回收吸引力指数,增大而减小。不管是在模式 M, 还是 R 中,生产商都获得利润均比零售商大,既生产商存在先动优势。

定理 5 当 $0 < a_m = a_r = a \leq 4$ 时, $\theta^C > \theta^R > \theta^M, D^C > D^R > D^M, p^C < p^R < p^M$

以上定理表明,若某行业产品销售及提供服务的三种模式都可行时,集中决策的系统模式提供最优回收努力水平,最低的市场价格,因而获得了最大的市场份额。模式 R 相对于模式 M 来说,提供较优的回收努力水平,和较低的市场价格,获得较多的市场份额。这和推论 2 是一致的。

4 总结

本文基于再制造的闭环供应链,研究分析了产品销售和旧产品回收不同渠道模式。主要考虑三种模式,生产商经由零售商销售产品,自身承担旧产品回收;生产商完全通过零售商销售产品和回收旧产品;生产商直接面对消费者提供产品和回收服务。由于不同成员提供回收服务的成本不同,因此成员回收旧产品的吸引力也不同,因此引入是服务吸引力指数进行分析、比较参数。分析表明,当供应链成员旧产品回收吸引力指数不同时,应该权衡指数的关系,在模式 M 和 R 中选择合适的渠道模式。当供应链成员旧产品回收吸引力指数相同时,相对于生产商回收模式,零售商回收模式能赢得更多的市场需求和利润。

在供应链管理的研究中,系统协调是一重要的研究方向,在接下来的研究中,我们将考虑模型 M 和模式 R 的协调问题的研究。另外引入第三方回收模式,分析最优的回收渠道是我们进一步研究的问题。

参考文献:

- [1] Nagurney A, Toyasaki F. Reverse Supply Chain Management and Electronic Waste Recycling: a Multitiered Network Equilibrium Framework for E-cycling[J]. Transportation Research, 2005, 41(1).
- [2] Thierry M, Salomon M, Nunen J.V, Van L. Strategic Issues in Product Recovery Management [J]. California Management Review, 1995, 37(2).
- [3] Jayaraman V, Guide VDR, Srivastava R. A Closed-loop Logistics Model for Remanufacturing[J]. Journal of the Operational Research Society, 1999, 50.
- [4] 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(1).
- [5] 范体军, 陈荣秋. 绿色再制造运作模式分析[J]. 管理学报, 2005, 2(5).
- [6] Savaskan R C, Bhattacharya S, Wassenhove L N V. Closed-loop Supply Chain Models with Product Remanufacturing[J]. Management Science, 2004, 50(2).
- [7] Savaskan R C and Wassenhove L N V: Reverse Channel Design: The Case of Competing Retailers [J]. Management Science, 2006, 52(1).
- [8] 王发鸿. 达庆利电子行业再制造逆向物流模式选择决策分析[J]. 中国管理科学, 2006, 14(6).
- [9] 黄祖庆, 达庆利. 直线型再制造供应链结构的效率分析[J]. 管理科学学报, 2006, 9(4).
- [10] 魏洁, 李军. ERP 下的逆向物流回收模式选择研究[J]. 中国管理科学, 2005, 13(6).

(责任编辑/浩天)