

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2020.06.008

# 服装逆向物流双渠道回收模型分析

周超芳, 张国华

(湖南工业大学 商学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 服装作为一种特殊产品, 在回收中并不需要全部返回厂家, 有些只需要建立一个服装返品中心进行简单修补即可。为讨论是否需要建立返品中心这一问题, 以供应商利润最大为决策目标, 构建了有无返品中心的双渠道回收模型, 并通过分类模型求解以及运用大量数值模拟分析, 验证了该模型的可行性, 所提模型可为供应商的经营决策提供依据。

**关键词:** 物流工程; 服装逆向物流; 双渠道; 数学模型; 数值模拟

**中图分类号:** F252.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2020)06-0050-08

**引文格式:** 周超芳, 张国华. 服装逆向物流双渠道回收模型分析 [J]. 湖南工业大学学报, 2020, 34(6): 50-57.

## Model Analysis of Dual Channel Recycling of Garment Reverse Logistics

ZHOU Chaofang, ZHANG Guohua

(Business School, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** As a special kind of product, clothing does not need to be completely returned to the manufacturer during recycling, with a clothing return center set up for some simple repair. In view of the necessity verification of the establishment of a return product center, with the supplier's profit as the decision goal, a dual-channel recycling model has thus been constructed with or without a return product center. The feasibility of the proposed model is verified by solving the classification model and using a large number of numerical simulation analysis, thus providing a basis for the supplier's business decision.

**Keywords:** logistics engineering; clothing reverse logistics; dual channel; mathematical model; numerical simulation

### 1 研究背景

随着社会经济的高速发展, 人们生活品质逐步提高, 在解决了基本的温饱问题之后, 人们对各类产品质量的要求越来越严格。国家积极倡导绿色消费, 而且在越来越广泛地普及逆向物流知识, 大力支持投

入高新技术, 并且培养专业的人才来寻求技术创新, 以便迅速发展回收物流。服装类产品工艺虽然呈现出逐渐成熟的发展趋势, 但是仍然存在一些小瑕疵。伴随着人们环境保护意识和高质量要求的不断增强, 越来越多的人选择不购买、不理睬不满意的服装或者在购买后发现问题时直接扔掉, 这样反而造成了资源

收稿日期: 2020-05-07

作者简介: 周超芳(1997-), 女, 山西大同人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为物流信息化,

E-mail: 983681629@qq.com

通信作者: 张国华(1970-), 男, 湖南株洲人, 湖南工业大学副教授, 博士生, 硕士生导师, 主要从事物流信息化与大数据方面的教学与研究, E-mail: 9884188@qq.com

的浪费, 于是对服装的回收也被重视起来, 随之服装逆向物流也开始被人们关注。

服装具有季节性、样式及材料更新快等特点, 所以服装可选择双渠道模式进行销售与回收<sup>[1]</sup>。其中一条渠道是按照传统方式由供应商将服装发往零售商, 再通过零售商代为销售, 该方式下客户对服装的购买是在实体门店中进行的, 因此也可以称为线下渠道。另一条渠道是直接由供应商将服装销售给消费者, 消费者可以直接拿到供应商制成的服装成品, 减少了转手零售商造成服装破损的风险, 该方式下客户对服装的下单购买是在互联网上进行的, 所以称为线上渠道。当然, 线上销售模式因为未经过零售商, 所以其销售价格会低于线下销售的价格。无论是信息还是服务或是其他层面, 利用双渠道运营, 即可以结合两者的优势, 从而能充分发挥两种渠道自身的价值, 实现利益的最大化<sup>[2]</sup>。

对于服装逆向物流与双渠道回收模型, 已经有较多的学者做了相关的研究。如赵学娟<sup>[3]</sup>根据制造商、零售商、回收商之间的关系构建了3种模型, 并且利用这些模型对废弃电子产品的多渠道闭环供应链决策模型进行了研究。李亚萍等<sup>[4]</sup>以第三方物流企业为主体, 构建了一个混合整数规划数学模型, 并且采用CPLEX软件进行求解, 从而优化了整个逆向物流网络, 以此实现成本最低的运营目标。康晨阳<sup>[5]</sup>提出了在信息对称和信息不对称的情况下闭环供应链应如何定价, 并且分析了信息不对称是如何影响闭环供应链定价的。张金松<sup>[6]</sup>利用斯塔克伯格博弈模型, 通过对电子废弃物的正规和非正规两种回收渠道进行描述和分析, 建立了双通道逆向供应链系统, 最终得出了正规回收商应大力宣传自身产生的环境效益, 并且政府部门也应规范二手市场的结论。张璨璨<sup>[7]</sup>分析了逆向物流的含义和特征、分类等, 并且进一步讨论了服装逆向物流产生的效益, 在对服装逆向物流的现状进行阐述后, 提出了应增加信息透明度、加强培训员工技能、政府应起支持作用等建议。Liu H. H. 等<sup>[8]</sup>建立了一个在包括正式和非正式部门的双渠道环境中对于电子电器废弃物回收市场的基于质量的价格竞争模型, 并且通过对两种渠道的各种竞争情形的分析, 确定了产品质量是在回收市场中需要考虑的一个重要因素。B. C. Giri 等<sup>[9]</sup>讨论了正向双渠道和逆向双渠道两种渠道, 分析了集中式、分散式以及制造商主导、零售商主导和第三方主导的分散场景5种不同情况下的定价和退货策略, 最终得出零售商主导的去中心化的方案能提供更多利润的结论。Fang Q. 等<sup>[10]</sup>比较分析了集中式和分散式双渠道供应

链的均值方差最优解, 研究表明, 双渠道中零售商的价格与风险规避系数和市场需求波动的标准偏差成反比, 而与批发价格的变化成正比; 另外, 当市场需求大于某个临界值时, 分散式的双渠道供应链中的价格高于集中式的相应价格, 反之亦然; 此外, 当零售商处于一定的风险规避区间内时, 集中式供应链中整个系统的预期效用大于分散式的预期效用, 反之亦然。Wu D. 等<sup>[11]</sup>在集中与分散两种决策下, 运用Stackelberg博弈模型, 对具有第三方回收商和回收中心的双渠道逆向供应链进行了分析, 得出了最优决策和最大利润, 还构建了收益共享合同来优化分散决策下供应链各成员之间的收益, 最终得出随着消费者更偏向于线上渠道, 回收中心和供应链系统的利润会增加, 而第三方回收商的利润会减少的结论。

上述研究均科学地分析了逆向物流和某些产业在逆向物流中的应用, 虽然这些文献考虑并且研究了双渠道回收模型, 但是大多基于对电子废弃物、整个逆向物流网络和供应链或者定价策略的思考, 而服装逆向物流作为日常生活中最为常见的形式, 人们对它的研究却很少。所以本文拟针对服装逆向物流的供应链进行研究, 并且根据实际情况建立双渠道回收模型, 同时考虑了距离长短对货物运输费用的优惠, 加之所考虑的主体对象是供应商, 能在实际生活中帮助供应商解决应该选择有无返品中心的哪种模式更为合理的难题。

## 2 问题描述、符号解释和模型假设

### 2.1 问题描述

本研究考虑只有一个服装供应商、一个服装零售商、一类消费群体的供应链系统, 并且供应商选择双渠道销售和回收的方式<sup>[12]</sup>。消费者退回的服装分为两种, 分别是消费者退货且要求供应商退款的和对退回的服装进行简单修补调整并再次发回消费者手中但不要求退款的。对于双渠道回收方式有两种回收情况: 一种为直接返回供应商, 由供应商修补或重新制作并按要求决定是否返回货款; 另一种则是建立一个服装返品中心, 回收的服装集中在此地, 返品中心对无大问题的服装进行简单修补, 剩余的再统一发回给供应商重新制作, 供应商将后者的货款返还给消费者。因此, 需要供应商做出决策, 决定选择哪种回收方式会使自身的利益更大。

### 2.2 符号解释

本研究中涉及的模型相关符号及其解释具体如表1所示。

表1 模型相关符号与解释

Table 1 Model-related symbols with explanations

符号	说明
$p_1$	供应商线下销售给零售商的价格
$p_2$	供应商线上直接销售给消费者的价格
$Q_r$	供应商对零售商的线下销售量
$Q_c$	供应商对消费者的线上销售量
$M_1$	线下单件正向运输费用
$M_2$	线上单件正向运输费用
$R_{11}$	无返品中心线下单件逆向运输费用
$R_{12}$	无返品中心线上单件逆向运输费用
$R_{21}$	有返品中心线下单件逆向运输费用
$R_{22}$	有返品中心线上单件逆向运输费用
$R$	从返品中心退回至供应商的单件运输费用
$c$	供应商生产服装的生产成本
$c_1$	在供应商处修补的成本
$c_2$	在返品中心修补的成本
$\alpha$	售价对销量的影响系数
$\beta$	双渠道间的竞争系数
$\theta$	消费者对服装的返还率(包括修补和退货两种情况)
$\zeta$	返还的服装中只需要简单修补的比率

### 2.3 模型假设

本研究中给出如下模型假设:

- 1) 供应商承担销售与退货产生的所有费用。
- 2) 零售商销售给消费者或者消费者退回给零售商时均无运费产生。
- 3) 退货的服装相当于供应商损失了该件衣服卖出时全部的利润。
- 4) 供应商对服装进行简单包装修补时流程较为复杂,因此修补费用应该高于服装返品中心的修补费用,即  $c_1 > c_2$ 。
- 5) 对于逆向物流线下渠道来说,因零售商与返品中心之间的距离较短,所以服装被退回返品中心的运费  $R_{21}$  的优惠力度较线上直接由消费者退回到返品中心的运费  $R_{22}$  的优惠力度小,即  $R_{11} - R_{21} < R_{12} - R_{22}$ 。
- 6) 暂不考虑返品中心的建设成本、维护成本。
- 7) 正向单位运输费用和逆向单位退回费用均不随货物量的多少变动。

## 3 模型建立与求解

### 3.1 模型建立

因为利用双渠道销售服装时两者之间存在竞争和冲突的关系,所以供应商在定制销售价格时,需要考虑两种渠道的定价不同,而且按照实际情况,利用互联网线上直接销售的服装价格应低于通过零售商线下销售的服装价格,因此两个价格之间存在如下的比例关系:

$$p_2 = \sigma p_1 \quad (0 < \sigma < 1)。$$

除此之外,某一渠道的销售量不仅会受到该渠道自身定价的影响,还会受到另一渠道定价的影响,若某渠道的定价较高,则消费者更愿意选择另一个渠道去购买服装。因此销售量与自身销售价格成反比,而与存在竞争关系的另一渠道的销售价格成正比。而因为  $p_2$  是小于  $p_1$  的,所以  $p_2$  相对较小时就可以选择线下渠道。于是为简化模型,可以假设全部货物初始量集中于某一渠道,对于线下销售渠道本身来说,由价格需求函数可得  $Q_r = -\alpha p_1 + A$ ,  $Q_c = \beta p_2 + B$  ( $A > 0$ ,  $B < 0$ ),式中  $\alpha$ 、 $\beta$  均为大于 0 的实数。当  $p_1 \rightarrow 0$  时,线下渠道的优势大于线上渠道的,因此所有客户资源均在线下,其销售量趋近于整个供应商的所有服装量  $A$ ;而当  $p_1$  趋于某一较大值时,则  $p_2$  的相对值较小,服装直接销售给消费者的这一方式更具有优势,线下渠道的所有客户资源都被吸引至线上,线上渠道的销售量(即线下渠道亏损量)为整个供应商的所有服装数量  $B$ ,所以可知  $A$  与  $B$  值相同,因此线下通过零售商销售的销售量可以只考虑量与价格间的关系,而不考虑常数项,即

$$Q_r = -\alpha p_1 + \beta p_2;$$

同理,供应商线上直接销售给消费者的销售量为

$$Q_c = -\alpha p_2 + \beta p_1。$$

情况一 无返品中心,其销售与退货流程如图 1 所示。

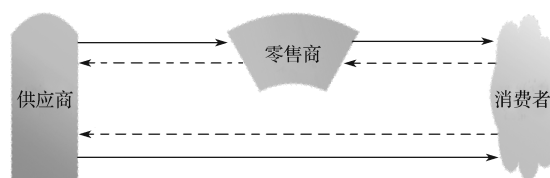


图1 无返品中心时销售与退货流程示意图

Fig. 1 Schematic diagram of sales and return process without a return center

1) 正向销售时,供应商在正向系统中所获得的利润,为销售服装所获得的盈利(即售价与成本的差额与销售量的乘积)与所承担的正向运输费用之和(对供应商而言,收入为正值,支出为负值):

$$\pi_{11} = (p_{11} - c)Q_r + (p_{12} - c)Q_c - M_1Q_r - M_2Q_c。$$

2) 逆向回收时,支出的费用仍然均由供应商承担,且简单修补后还要发回给消费者,因此对于线下回收渠道,供应商的利润为从零售商退回服装到供应商的运费、供应商因退回的商品中有需要退款的部分所损失的盈利(此时销售价格为  $p_{11}$ )、退回的服装中部分只需要供应商简单修补的费用与将修补后的服装返回至零售商的运费之和:

$$\pi_{121} = -R_{11}\theta Q_r - (1-\xi)\theta Q_r(p_{11}-c) - \xi\theta Q_r c_1 - \xi\theta Q_r M_1 \circ$$

对于线上回收渠道, 供应商的利润为从消费者直接退回到供应商的运费、供应商因退回的商品中有需要退款的部分所损失的盈利(此时销售价格为  $p_{12}$ )、退到供应商的服装中存在的只需简单修补部分的修补成本, 以及将该类服装重新发回给消费者的运费之和, 可得利润表达式如下:

$$\pi_{122} = -R_{12}\theta Q_c - (1-\xi)\theta Q_c(p_{12}-c) - \xi\theta Q_c c_1 - \xi\theta Q_c M_2 \circ$$

所以在逆向系统中的利润为

$$\begin{aligned} \pi_{12} = \pi_{121} + \pi_{122} = & -R_{11}\theta Q_r - R_{12}\theta Q_c - \\ & (1-\xi)\theta Q_r(p_{11}-c) - (1-\xi)\theta Q_c(p_{12}-c) - \\ & \xi\theta Q_r c_1 - \xi\theta Q_r M_1 - \xi\theta Q_c c_1 - \xi\theta Q_c M_2 \circ \end{aligned}$$

3) 基于上述分析, 可知在整个无返品中心时的销售与退货系统中, 供应商的利润为

$$\begin{aligned} \pi_1 = \pi_{11} + \pi_{12} = & (p_{11}-c)Q_r + (p_{12}-c)Q_c - M_1Q_r - M_2Q_c - \\ & (1-\xi)\theta Q_r(p_{11}-c) - (1-\xi)\theta Q_c(p_{12}-c) - \\ & R_{11}\theta Q_r - R_{12}\theta Q_c - \xi\theta Q_r c_1 - \xi\theta Q_r M_1 - \\ & \xi\theta Q_c c_1 - \xi\theta Q_c M_2 \circ \end{aligned} \quad (1)$$

情况二 有返品中心, 其销售与退货流程如图 2 所示。

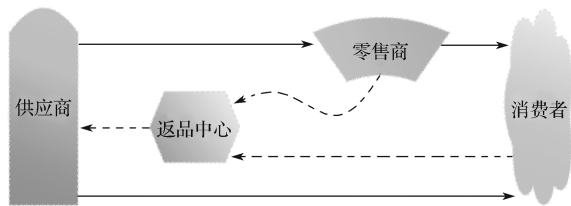


图 2 有返品中心时销售与退货流程示意图  
Fig. 2 Schematic diagram of sales and return process with a return center

1) 在有返品中心的情况下, 正向销售过程中供应商所获得的利润与第一种情况下的相同, 即

$$\pi_{21} = \pi_{11} = (p_{11}-c)Q_r + (p_{12}-c)Q_c - M_1Q_r - M_2Q_c \circ$$

2) 逆向回收时产生的费用仍然是由供应商承担的, 供应商的利润为退货运费、返品中心的简单修补费用以及发回给消费者的费用、确认退货退款的服装由返品中心统一运回至供应商的费用之和, 利润表达式基本与情况一的不同, 只是将在没有返品中心的情况下的单位退货运费  $R_{11}$ 、 $R_{12}$  转变为了由零售商和消费者分别将需要退回的服装运送到返品中心的单件退货费用  $R_{21}$ 、 $R_{22}$ , 且增加了从返品中心到供应商的单件逆向运费  $R$ , 并且将服装的修补费用由  $c_1$  转变为  $c_2$ , 因此线下渠道的利润为

$$\begin{aligned} \pi_{221} = & -R_{21}\theta Q_r - (1-\xi)\theta Q_r(p_{21}-c) - \\ & \xi\theta Q_r c_2 - \xi\theta Q_r M_1 - (1-\xi)\theta Q_r R, \end{aligned}$$

同理, 线上渠道供应商的利润为

$$\begin{aligned} \pi_{222} = & -R_{22}\theta Q_c - (1-\xi)\theta Q_c(p_{22}-c) - \\ & \xi\theta Q_c c_2 - \xi\theta Q_c M_2 - (1-\xi)\theta Q_c R, \end{aligned}$$

所以在逆向回收过程中, 供应商的利润为

$$\begin{aligned} \pi_{22} = \pi_{221} + \pi_{222} = & -R_{21}\theta Q_r - R_{22}\theta Q_c - (1-\xi)\theta Q_r(p_{21}-c) - \\ & (1-\xi)\theta Q_c(p_{22}-c) - \xi\theta Q_r c_2 - \xi\theta Q_c c_2 - \\ & \xi\theta Q_r M_1 - \xi\theta Q_c M_2 - (1-\xi)\theta(Q_r + Q_c)R \circ \end{aligned}$$

因此, 在整个有返品中心的正逆向系统中, 供应商获得的利润为

$$\begin{aligned} \pi_2 = \pi_{21} + \pi_{22} = & (p_{11}-c)Q_r + (p_{12}-c)Q_c - M_1Q_r - M_2Q_c - \\ & (1-\xi)\theta Q_r(p_{21}-c) - (1-\xi)\theta Q_c(p_{22}-c) - R_{21}\theta Q_r - \\ & R_{22}\theta Q_c - \xi\theta Q_r c_2 - \xi\theta Q_c c_2 - \xi\theta Q_r M_1 - \\ & \xi\theta Q_c M_2 - (1-\xi)\theta(Q_r + Q_c)R \circ \end{aligned} \quad (2)$$

### 3.2 模型求解

很显然, 求解上述问题的模型较为复杂, 所以应化简式子为只有一个变量的函数, 并且求出函数最优解以及它所对应的自变量值, 然后对比在有返品中心这两种情况下最优解的大小关系并计算, 同时说明在何种条件下两者最优解的关系成立, 据此可以得出以下求解过程。

#### 3.2.1 针对情况一

将  $Q_r = -ap_{11} + \beta p_{12}$ ,  $Q_c = -ap_{12} + \beta p_{11}$  代入式(1)中, 可得

$$\begin{aligned} \pi_1 = & -(\alpha - \theta\alpha + \xi\theta\alpha)p_{11}^2 - (c\beta - c\alpha - M_1\alpha + \\ & M_2\beta - R_{11}\theta\alpha + R_{12}\theta\beta + c\theta\alpha - \xi c\theta\alpha - \\ & c\theta\beta + \xi c\theta\beta - \xi\theta c_1\alpha - \xi\theta M_1\alpha + \xi\theta c_1\beta + \\ & \xi\theta M_2\beta)p_{11} - (\alpha - \theta\alpha + \xi\theta\alpha)p_{12}^2 - \\ & (c\beta - c\alpha - M_2\alpha + M_1\beta + R_{11}\theta\beta - \\ & R_{12}\theta\alpha - c\theta\beta + \xi c\theta\beta + c\theta\alpha - \xi c\theta\alpha + \\ & \xi\theta c_1\beta + \xi\theta M_1\beta - \xi\theta c_1\alpha - \xi\theta M_2\alpha)p_{12} + \\ & 2\beta p_{11}p_{12} - 2(1-\xi)\theta\beta p_{11}p_{12} \circ \end{aligned}$$

又因为  $p_{12} = \sigma p_{11}$ , 于是上述表达式可转化为如下只有  $p_{11}$  的式子:

$$\begin{aligned} \pi_1 = & \left[ \alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta \right] (\theta - \xi\theta - 1)p_{11}^2 + \\ & \left[ (1+\sigma)(c\alpha - c\beta + (1-\xi)c\theta\beta - \right. \\ & (1-\xi)c\theta\alpha - \xi\theta c_1\beta + \xi\theta c_1\alpha) - (R_{11}\sigma + R_{12})\theta\beta - \\ & (\beta + \xi\theta\beta)(M_1\sigma + M_2) + (R_{11} + R_{12}\sigma)\theta\alpha + \\ & \left. (\alpha + \xi\theta\alpha)(M_1 + M_2\sigma) \right] p_{11} \circ \end{aligned} \quad (3)$$

为了使式子直观而且计算方便, 可以将上式中  $p_{11}$  的系数设为  $A_1$ , 欲求取最值, 则应对上式进行求导, 可得:

$$\frac{d\pi}{dp_{11}} = 2[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)p_{11} + \Delta_1,$$

再令

$$\frac{d\pi}{dp_{11}} = 0 \Rightarrow p_{11} = -\frac{\Delta_1}{2[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)},$$

将所得的最优解  $p_{11}$  的表达式代入式 (3), 则在该情况下整个系统中供应商获得的利润值为

$$\pi_1^* = \frac{\Delta_1^2}{4[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)} - \frac{\Delta_1^2}{2[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)} = \frac{\Delta_1^2}{4[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)}.$$

因为当供应商的利润不为负值时, 供应商才可以维持正常运营, 而且分母不为 0, 于是有

$$[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1) < 0 \Rightarrow \alpha\sigma^2 - 2\sigma\beta + \alpha > 0,$$

可以将该不等式看作是关于  $\sigma$  的一元二次不等式, 只要保证最小值大于 0 即可, 所以有

$$\frac{\alpha^2 - \beta^2}{\alpha} > 0 \Rightarrow \alpha > \beta.$$

故当  $\alpha > \beta$  时,  $\pi_1^*$  为供应商利润的最大值。

### 3.2.2 针对情况二

将  $Q_r = -ap_{21} + \beta p_{22}$ ,  $Q_c = -ap_{22} + \beta p_{21}$  代入式 (2) 中, 可以得出此时供应商利润如下:

$$\begin{aligned} \pi_2 = & -(\alpha - \theta\alpha + \xi\theta\alpha)p_{21}^2 - (c\beta - c\alpha - M_1\alpha + \\ & M_2\beta - R_{21}\theta\alpha + R_{22}\theta\beta + c\theta\alpha - \xi c\theta\alpha - c\theta\beta + \\ & \xi c\theta\beta - \xi\theta c_2\alpha - \xi\theta M_1\alpha + \xi\theta c_2\beta + \xi\theta M_2\beta)p_{21} - \\ & (\alpha - \theta\alpha + \xi\theta\alpha)p_{22}^2 - (c\beta - c\alpha - M_2\alpha + \\ & M_1\beta + R_{21}\theta\beta - R_{22}\theta\alpha - c\theta\beta + \xi c\theta\beta + c\theta\alpha - \\ & \xi c\theta\alpha + \xi\theta c_2\beta + \xi\theta M_1\beta - \xi\theta c_2\alpha - \xi\theta M_2\alpha)p_{22} + \\ & 2\beta p_{21}p_{22} - 2(1-\xi)\theta\beta p_{21}p_{22} + \\ & (1-\xi)\theta R(\alpha - \beta)(p_{21} + p_{22}). \end{aligned}$$

又已知  $p_{22} = \sigma p_{21}$  ( $0 < \sigma < 1$ ), 于是可以得出只有  $p_{21}$  的利润表达式如下:

$$R > \frac{[(R_{21} - R_{11})\sigma + (R_{22} - R_{12})]\beta - [(R_{22} - R_{12})\sigma + (R_{21} - R_{11})]\alpha + \xi(c_1 - c_2)(1+\sigma)(\alpha - \beta)}{(1-\xi)(1+\sigma)(\alpha - \beta)},$$

要保证  $R > 0$ , 可得

$$\beta < \frac{R_{21} - R_{11} + \sigma(R_{22} - R_{12}) - (1+\sigma)\xi(c_1 - c_2)}{R_{22} - R_{12} + \sigma(R_{21} - R_{11}) - (1+\sigma)\xi(c_1 - c_2)} \alpha.$$

很显然  $\alpha$  前面的系数是大于 0 的, 且可以运用反证法证明其系数小于 1。

$$\begin{aligned} \pi_2 = & [\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)p_{21}^2 + \\ & [(1+\sigma)(c\alpha - c\beta + (1-\xi)c\theta\beta - \\ & (1-\xi)c\theta\alpha - \xi\theta c_2\beta + \xi\theta c_2\alpha) - \\ & (\beta + \xi\theta\beta)(M_1\sigma + M_2) + \\ & (\alpha + \xi\theta\alpha)(M_1 + M_2\sigma) + \\ & (R_{21} + R_{22}\sigma)\theta\alpha - (R_{21}\sigma + R_{22})\theta\beta + \\ & (1-\xi)\theta R(\alpha - \beta)(1+\sigma)]p_{21}^2. \end{aligned} \quad (4)$$

同样地, 为计算方便, 设式 (4) 中  $p_{21}$  的系数为  $\Delta_2$ , 对上式进行求导, 可得:

$$\frac{d\pi_2}{dp_{21}} = 2[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)p_{21} + \Delta_2.$$

$$\frac{d\pi_2}{dp_{21}} = 0 \Rightarrow p_{21} = -\frac{\Delta_2}{2[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)}.$$

将已得出的最优解  $p_{21}$  的表达式代入式 (4) 中, 可求出供应商的总利润最大值, 为

$$\pi_2^* = \frac{\Delta_2^2}{4[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)} - \frac{\Delta_2^2}{2[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)} = \frac{\Delta_2^2}{4[\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](\theta - \xi\theta - 1)}.$$

同理可得, 当  $\alpha > \beta$  时,  $\pi_2^*$  为第二种情况下供应商获得的最大利润。

在得出两种情况下的最大利润后, 现比较选择哪种模式更为合适。可以将两种情况下所求出的利润相减, 因为

$$\begin{aligned} p_{21} > 0, p_{11} > 0, [\alpha(1+\sigma^2) - 2\sigma\beta](1-\theta + \xi\theta) < 0, \\ \text{所以有 } \Delta_1 > 0, \Delta_2 > 0, \text{ 而通过观察, 可知 } \pi_2^* - \pi_1^* \text{ 与 0 的} \\ \text{比较可由 } \Delta_2 - \Delta_1 \text{ 与 0 的比较表示, 所以有} \\ \Delta_2 - \Delta_1 = & (1+\sigma)\theta(\alpha - \beta)[\xi(c_2 - c_1) + (1-\xi)R] + \\ & (R_{21} - R_{11} + \sigma R_{22} - \sigma R_{12})\theta\alpha - (R_{22} - R_{12} + \sigma R_{21} - \sigma R_{11})\theta\beta. \end{aligned}$$

若  $\Delta_2 - \Delta_1 > 0$ , 且因为  $(1-\xi)(1+\sigma)(\alpha - \beta) > 0$ , 则

假设  $\alpha$  前面的系数大于 1, 即可以转化为

$$R_{21} - R_{11} + \sigma(R_{22} - R_{12}) < R_{22} - R_{12} + \sigma(R_{21} - R_{11}) < 0,$$

因为  $R_{11} - R_{21} < R_{12} - R_{22}$ , 所以有

$$R_{21} - R_{11} - (R_{22} - R_{12}) < \sigma[R_{21} - R_{11} - (R_{22} - R_{12})] \Rightarrow \sigma > 1,$$

此时不符合  $0 < \sigma < 1$  的条件, 所以  $\alpha$  的系数小于 1。与

$\alpha > \beta$  综合考虑, 可得

$$\beta < \frac{R_{21} - R_{11} + \sigma(R_{22} - R_{12}) - (1 + \sigma)\xi(c_1 - c_2)}{R_{22} - R_{12} + \sigma(R_{21} - R_{11}) - (1 + \sigma)\xi(c_1 - c_2)} \alpha < \alpha_0$$

$$R < \frac{[(R_{21} - R_{11})\sigma + (R_{22} - R_{12})]\beta - [(R_{22} - R_{12})\sigma + (R_{21} - R_{11})]\alpha + \xi(c_1 - c_2)(1 + \sigma)(\alpha - \beta)}{(1 - \xi)(1 + \sigma)(\alpha - \beta)}$$

其中

$$\beta < \frac{R_{21} - R_{11} + \sigma(R_{22} - R_{12}) - (1 + \sigma)\xi(c_1 - c_2)}{R_{22} - R_{12} + \sigma(R_{21} - R_{11}) - (1 + \sigma)\xi(c_1 - c_2)} \alpha_0$$

$$R = \frac{[(R_{21} - R_{11})\sigma + (R_{22} - R_{12})]\beta - [(R_{22} - R_{12})\sigma + (R_{21} - R_{11})]\alpha + \xi(c_1 - c_2)(1 + \sigma)(\alpha - \beta)}{(1 - \xi)(1 + \sigma)(\alpha - \beta)}$$

其中  $\beta < \frac{R_{21} - R_{11} + \sigma(R_{22} - R_{12}) - (1 + \sigma)\xi(c_1 - c_2)}{R_{22} - R_{12} + \sigma(R_{21} - R_{11}) - (1 + \sigma)\xi(c_1 - c_2)} \alpha$ ,

即  $\Delta_2 - \Delta_1 = 0$ , 供应商选择任意一种模式均可。

### 4 数值模拟

为了确定上述供应商选择何种模式更为有利的结论的有效性和所建模型的通用性, 可以给模型中相关的参数赋值, 并进行大量的数值模拟实验研究。首先, 可以给其中某些具有实际意义的参数设置固定的数值: 如  $p_1=50, M_1=5, M_2=6, R_{11}=3, R_{12}=4, R_{21}=2.5, R_{22}=3, c=10, c_1=8, c_2=7^{[13]}$ ; 其余参数可以设置为随机数值, 并且随着计算机每一次运行, 都会产生不同的数据, 以此实现做大量数值模拟实验研究的目标。从求解出的模型可以得知, 验证该模型的有效性可以从  $R$  和  $\alpha$  分别与供应商利润之间的关系这两个角度进行分析。

#### 1) 判断 $R$ 与 $\pi$ 之间的关系是否正确

利用 python 中 random 函数, 为参数  $\sigma, \xi, \theta, \alpha$  赋随机数值, 然后通过  $\alpha$  与  $\beta$  的关系得出  $\beta$  对应范围内的随机数, 自变量  $R$  为随机实数, 其取值范围为  $[0, 10]$ 。最后通过求解得出两种情况下自变量  $R$  与因变量  $\pi$  之间的关系。所得有无返品中心  $R$  与  $\pi$  之间的关系曲线如图 3 所示。

由图 3 可以得知: 在满足基本条件的前提下, 当  $R$  等于某一临界值时, 两种情况下服装供应商所得到的利润是相同的; 当  $R$  小于临界值时, 供应商应选择没有返品中心的模式进行销售与回收; 当  $R$  大于临界值时, 有返品中心的模式所获利润更高。该结论与模型在由参数表示的情况下得出的结论相同, 从而可以得知所建立的模型是通用有效的, 依其得出的结论是正确可靠的。

所以, 当满足上述条件时, 供应商适合采用有返品中心的模式, 以获得最大利润。

若  $\Delta_2 - \Delta_1 < 0$ , 则

当满足以上条件时, 供应商适合采用无返品中心的模式以获得最大利润。

相同地, 当

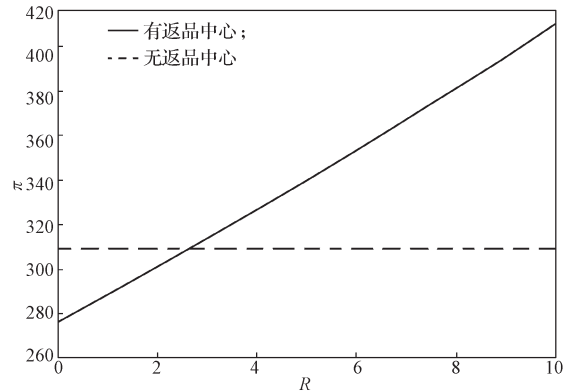
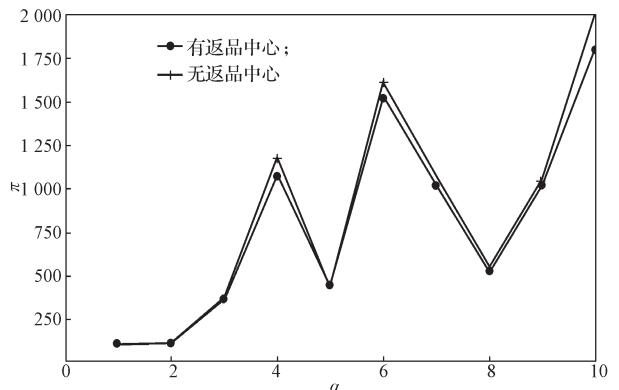


图 3 有返品中心  $R$  与  $\pi$  间的关系曲线

Fig. 3 Relationship curves between  $R$  and  $\pi$  with or without a product return center

#### 2) 判断 $\alpha$ 与 $\pi$ 之间的关系是否正确

利用 python 中 random 函数为  $\xi, \theta$  赋随机数值, 再通过  $\alpha$  与  $\beta$  的关系得出  $\beta$  对应范围内的随机数,  $R$  的取值则应满足模型所求出的范围要求, 自变量  $\alpha$  为随机实数, 其取值范围为  $[1, 10]$ , 通过求解并分别考虑  $R$  小于和大于临界值的条件, 得出有无返品中心这两种情况下自变量  $\alpha$  与因变量  $\pi$  之间的关系曲线, 如图 4 所示。



a)  $R$  小于临界值

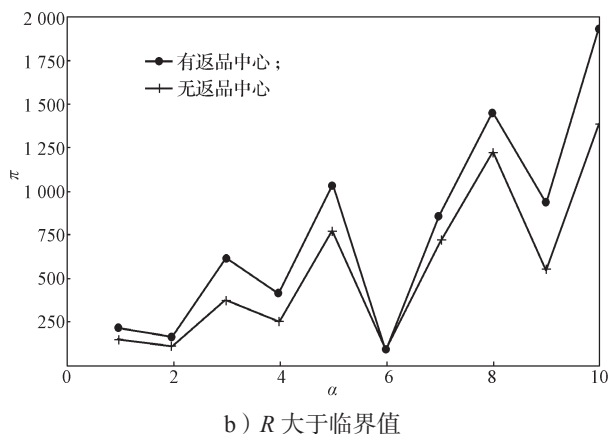


图4 有无返品中心  $\alpha$  与  $\pi$  间的关系曲线

Fig. 4 Relationship curves between  $\alpha$  and  $\pi$  with or without a product return center

由图4a可以得知,当 $R$ 小于某一特定值(临界值)时, $\alpha$ 、 $\beta$ 的取值无论为多少,没有返品中心的回收模式所获得的利润均大于设置返品中心的回收模式下所获得的利润。而图4b表示当 $R$ 大于某一特定值(临界值)时, $\alpha$ 、 $\beta$ 的任何取值都不会影响最终结果:对于供应商而言,有返品中心的回收模式比没有返品中心的更合适。很显然,这一结论可以证明上文建立的模型是有效可靠的。

## 5 结论

本文根据服装在线上、线下两种运营渠道下销售与回收的情形,建立了双渠道回收模型,供应商可以根据计算在有无返品中心这两种情况下的利润决定选择哪种方式更为合适。通过对模型进行求导、作差等求解,再利用计算机软件以产生大量随机数据进行数值模拟分析,可以得知对于从返品中心退货到供应商的运费 $R$ 存在一个临界值,其使得供应商在两种情况下的利润大小发生改变,即 $R$ 的值影响着供应商的选择,最终结合模拟得到的相关曲线图和所得出的结论确定了模型的通用性和可靠性。通过分析,可得出如下启示:

1) 在互联网蓬勃发展的今天,供应链中销售与回收建立线上线下双渠道是十分有必要的<sup>[14]</sup>,线下渠道可以满足顾客的场景体验感,可以使部分看重实际品质的消费者得到良好的服务;而线上渠道较节约时间、操作方便、价格低廉,两种渠道相结合可以吸引更多的客户。

2) 在服装逆向物流中,由于服装产品的特殊性、日常性,因此建立双渠道的同时考虑建立返品中心也是必要的,这样既能缓解供应商的生产(包括制造与修补)压力,而且在适当条件下,返品中心起着减

少成本、提升供应商利润、提高客户满意度等作用,但是不可盲目地建立返品中心,必须考虑服装的回收率、修补率、修补成本的差异、所在地区的运输费用政策等因素。

为了减少模型的复杂程度,本研究中仅考虑了各环节均只有一个主体的供应链系统,然而在某些情况中,可能会出现系统中有很多零售商且各零售商之间存在一定的竞争的情况,还会有突发事件或全球性变动等使得市场发生大波动的情况,它们都会影响双渠道回收模型<sup>[15]</sup>。因此,可以在将来的研究中考虑这些因素,优化现有模型。

## 参考文献:

- [1] 李冉. 服装企业退货管理的逆向物流分析[J]. 物流科技, 2011, 34(9): 86-88.  
LI Ran. Analysis of the Returns Management in Reverse Logistics for Garment Industry[J]. Logistic Sci-Tech, 2011, 34(9): 86-88.
- [2] 谢文谦. 面向全渠道的化妆品企业物流配送中心选址研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.  
XIE Wenqian. Research on Location of Logistics Distribution Center Based on O2O Cosmetics Industry[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017.
- [3] 赵学娟. 信息不对称下多渠道闭环供应链的决策模型研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2017.  
ZHAO Xuejuan. Decision-Making Models of Multi-Channel Closed-Loop Supply Chain Under Asymmetric Information[D]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2017.
- [4] 李亚萍, 张思, 朱荷英, 等. 第三方物流企业线上线下服装逆向物流网络优化[J]. 物流技术, 2018, 37(12): 115-122.  
LI Yaping, ZHANG Si, ZHU Heying, et al. Optimization of O2O Clothing Reverse Logistics Network for Third-Party Logistics Enterprises[J]. Logistics Technology, 2018, 37(12): 115-122.
- [5] 康晨阳. 信息不对称时双渠道销售和不同回收模式下闭环供应链的定价策略[D]. 青岛: 青岛大学, 2019.  
KANG Chenyang. Pricing Strategy of Closed-Loop Supply Chain Under Dual Channel Sales and Different Recycling Modes when Information Is Asymmetric[D]. Qingdao: Qingdao University, 2019.
- [6] 张金松. 政府规制下的双渠道逆向供应链的治理机制[J]. 价值工程, 2019, 38(3): 74-76.  
ZHANG Jinsong. Governance Mechanism of Dual-Channel Reverse Supply Chain Under Government Regulation[J]. Value Engineering, 2019, 38(3): 74-76.

- [7] 张璨璨. 服装业逆向物流的现状及其对策分析[J]. 商场现代化, 2019(10): 55-56.  
ZHANG Cancan. Current Situation and Countermeasure Analysis of Reverse Logistics in Garment Industry[J]. Market Modernization, 2019(10): 55-56.
- [8] LIU H H, LEI M, DENG H H, et al. A Dual Channel, Quality-Based Price Competition Model for the WEEE Recycling Market with Government Subsidy[J]. Omega, 2016, 59: 290-302.
- [9] GIRI B C, CHAKRABORTY A, MAITI T. Pricing and Return Product Collection Decisions in a Closed-Loop Supply Chain with Dual-Channel in Both Forward and Reverse Logistics[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2017, 42: 104-123.
- [10] FANG Q, TONG Z P, REN L, et al. Research on the Maritime Logistics Pricing Model of Risk-Averse Retailer-Dominated Dual-Channel Supply Chain[J]. Polish Maritime Research, 2018, 25(S2): 107-116.
- [11] WU D, CHEN J H, LI P, et al. Contract Coordination of Dual Channel Reverse Supply Chain Considering Service Level[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 260: 121071.
- [12] 路应金, 徐雪枫, 艾兴政. 第三方规模效应下闭环供应链双渠道回收决策研究[J]. 管理工程学报, 2018, 32(2): 207-217.  
LU Yingjin, XU Xuefeng, AI Xingzheng. Collective Decision-Making of a Closed-Loop Supply Chain Dual-Channel Model Under the Third-Party Economies of Scale[J]. Journal of Industrial Engineering Management, 2018, 32(2): 207-217.
- [13] 杨丹, 薛立玮. 双渠道零售商主导的双回收闭环供应链利益协调[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2019, 43(6): 1140-1146.  
YANG Dan, XUE Liwei. Interest Coordination of Dual-Recovery Closed-Loop Supply Chains Dominated by Dual-Channels Retailers[J]. Journal of Wuhan University of Technology(Transportation Science&Engineering), 2019, 43(6): 1140-1146.
- [14] 郝新军. 双渠道销售与回收的闭环供应链协调机制研究[J]. 统计与信息论坛, 2015, 30(6): 87-92.  
HAO Xinjun. Coordination Research on Closed-Loop Supply Chain with Dual-Channel Sale and Dual-Channel Recovery[J]. Statistics & Information Forum, 2015, 30(6): 87-92.
- [15] 经有国, 刘震, 秦开大. 考虑市场波动的制造商双渠道三级供应链系统协调[J]. 系统科学学报, 2020(3): 96-100.  
JING Youguo, LIU Zhen, QIN Kaida. Research on Coordination of Dual-Channel Three-Level Supply Chains of Manufacturers Considering Market Fluctuation[J]. Journal of Systems Science, 2020(3): 96-100.

(责任编辑: 廖友媛)