

文章编号: 1001-0920(2009)05-0711-06

逆向物流流量不确定闭环供应链鲁棒运作策略设计

朱云龙¹, 徐家旺^{1,2}, 黄小原³, 葛汝刚³

(1. 中国科学院 沈阳自动化研究所, 沈阳 110016; 2. 沈阳航空工业学院
经济管理学院, 沈阳 110136; 3. 东北大学 工商管理学院, 沈阳 110004)

摘要: 考虑一类同时具有再分销、再制造和再利用的闭环供应链在逆向物流流量不确定环境下的运作问题. 采用具有已知概率的离散情景描述逆向物流流量的不确定性, 利用基于情景分析的鲁棒线性优化方法建立该闭环供应链的多目标运作模型. 设计了一个数值算例, 其结果验证了运作策略的鲁棒性. 在该算例基础上, 分析了逆向物流流量的大小对闭环供应链系统运作性能的影响.

关键词: 闭环供应链; 逆向物流; 运作; 不确定性; 鲁棒性

中图分类号: F274 **文献标识码:** A

Robust operating strategy design for closed-loop supply chain with uncertain reverse logistics flow

ZHU Yun-long¹, XU Jia-wang^{1,2}, HUANG Xiao-yuan³, GE Ru-gang³

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China; 2. School of Economic and Management, Shenyang Aeronautical Engineering Institute, Shenyang 110136, China; 3. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: XU Jia-wang, E-mail: ccb867321@yahoo.com.cn)

Abstract: The operation for a class of closed-loop supply chain with re-distribution, remanufacturing and reuse under the environment of uncertain reverse logistics flow is considered. Uncertain reverse logistics flow is described as a scenario set with certain probability. A multi-objective operating model for this closed-loop supply chain is established by using the robust linear programming method based on scenario analysis. The results of a numerical example verified the robustness of the operating strategies. Based on the numerical example, the impacts of reverse logistics flow to the operating performance for closed-loop supply chain are analyzed.

Key words: Closed-loop supply chain; Reverse logistics; Operation; Uncertainty; Robustness

1 引言

逆向物流的概念是由 Stock 于 1992 年提出的, 他指出逆向物流是一种包含产品退回、物料替代、物品再利用、废弃处理、再处理、维修与再制造等流程的物流活动^[1]. 与正向物流相比, 逆向物流具有以下特性^[2]: 1) 不确定性, 难以确定消费者何时将产品退回; 2) 个性化, 产品的最终使用者希望将产品退回的方式是多变的; 3) 实时性, 厂商应能够快速提供适当的材料, 使顾客的产品能够得到处理; 4) 增值性, 通过逆向物流使产品的价值实现最大化; 5) 弹性, 由于产品退回等的不确定性, 逆向物流中的

设备及运输能力等必须具有弹性; 6) 合作性, 逆向物流中的主要困难之一是需要多伙伴的合作, 这样才能确保运作效率的最大化. 相对于正向物流, 上述特性使得逆向物流的规划和控制更为困难和复杂.

闭环供应链的概念是在逆向物流基础上产生的. 正向物流与逆向物流整合在一起, 形成一个封闭的供应链系统, 即为闭环供应链. 关于闭环供应链的理论研究, 大多应用微观经济学和对策论方法来构建并考察逆向物流中的决策问题, 主要从竞争、信息共享、职能整合、激励与协调等方面进行研究^[3-7]. 对于具有产品再制造的闭环供应链, 目前的研究大

收稿日期: 2008-05-05; 修回日期: 2008-06-23.

基金项目: 中国博士后科学基金项目(20080440170); 国家 863 计划项目(2007AA04A189); 国家自然科学基金项目(70702037).

作者简介: 朱云龙(1967—), 男, 江苏南通人, 研究员, 博士, 从事群体智能、无线射频、CIMS 等研究; 徐家旺(1966—), 男, 江西九江人, 副教授, 博士, 从事物流与供应链管理、电子商务等研究.

多独立地考虑逆向物流中的再利用、再制造、再分销及其他环节^[7-12].但在闭环供应链的实际运作中,各个节点企业都承担着不同的逆向物流活动.同时,与前向供应链一样,闭环供应链运作过程中也存在着大量的不确定性.因此,在市场不确定环境下,考虑闭环供应链各节点企业所承担的逆向物流活动是近年来学术界研究的一个热门课题^[13-16].

本文同时考虑具有再分销、再制造和再利用的闭环供应链,建立了该闭环供应链在逆向物流流量不确定情况下的运作模型.通过一个数值算例验证了运作策略的鲁棒性,并在数值算例的基础上对逆向物流流量不确定情况下的运作策略进行了设计.

2 闭环供应链结构设计

考虑一类具有产品再分销、再制造和再利用的多阶段闭环供应链.该供应链由1个制造商和1个供应商构成,供应商的产品作为制造商的生产原料;逆向物流(包括退货和回收的废旧产品,以下统称为回收品)的再处理均由制造商执行,且逆向物流的流量(在此用回收品的回收率表示)是不确定的.制造商根据回收品的新旧程度进行4种形式的处理,即维修、拆解、分解和废弃.

在每个具体阶段,制造商向顾客销售的产品来源于从供应商处订购生产原料所生产的新产品,经重新修理和再包装等处理后的回收品以及用部分回收品经拆解处理后所得到的生产原料生产的新产品.供应商根据制造商的订购情况组织原材料进行生产,其原材料来源于2个方面,即从原材料市场采购或从制造商处购买由制造商分解部分回收品所得到的原材料.闭环供应链的结构如图1所示.

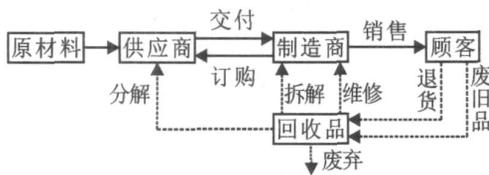


图1 闭环供应链结构

为了更加切合闭环供应链的运作实际,在进行运作策略设计之前首先给出如下6个假设:

假设1 t 阶段产品 j 的回收率 μ_j 是不确定的.假设此不确定性可以用 M 个具有已知概率的情景描述,情景 m 发生的概率用 p_m 表示,且 $\sum_{m=1}^M p_m = 1$,情景 m 的回收率用 μ_j^m 表示.现实生活中,消费市场的产品不可能全部被回收,因此在模型中有 $\mu_j^m < 1$.

假设2 回收品的再处理延时为 τ ,即 t 阶段回收的回收品经 τ 时间后才被再处理并重新进入市场或被再利用.

假设3 最终产品 j 的寿命为 N_j ,在阶段 t 废旧(或被退货)的概率为 f_{jt} ,当 $t < 1$ 或 $t > N_j$ 时 $f_{jt} = 0$,且 $\sum_{t=1}^{N_j} f_{jt} = 1, \forall j$.

假设4 回收品的维修率、拆解率和分解率分别为 $\frac{1}{\mu_j}, \frac{2}{\mu_j}$ 和 $\frac{3}{\mu_j}$.现实中的零部件及原材料不能无限次重复使用,因此有 $\frac{1}{\mu_j} + \frac{2}{\mu_j} + \frac{3}{\mu_j} < 1$.

假设5 回收品的单位平均回收成本为 w_{jt} ,单位维修成本、拆解成本和分解成本分别为 $\frac{1}{\mu_j}, \frac{2}{\mu_j}$ 和 $\frac{3}{\mu_j}$,且 $\frac{1}{\mu_j} < \frac{2}{\mu_j} < \frac{3}{\mu_j}$.制造商将回收品经分解处理后所得到的各种原材料以统一的平均价格 w_{jt} 销售给供应商.

假设6 为了方便建模,假设制造商在对回收品进行再处理时没有组件或物料的损失.比如在进行分解处理时,单位回收品所包含的所有原材料全部被回收且与单位新产品制造时所需原材料数量相等.

3 闭环供应链鲁棒运作模型

3.1 符号定义

模型涉及的决策变量和参数定义如下:

1) 下标: j 为最终产品, $j = 1, 2, \dots, J$; i 为制造商的原料, $i = 1, 2, \dots, I$; t 为阶段, $t = 1, 2, \dots, T$; h 为原材料, $h = 1, 2, \dots, H$.

2) 决策变量: v_{jt} 为最终产品 j 的销售量, z_{jt} 为最终产品 j 的生产量, z_{jt}^l 为最终产品 j 的库存, y_{it}^l 为制造商的原料 i 的库存, b_{it} 为制造商对原料 i 的订货量, l_{it} 为供应商对原料 i 的交付量, x_{it} 为供应商对原料 i 的生产量, x_{it}^l 为供应商对原料 i 的库存.

3) 参数: p_{jt} 为最终产品 j 的价格, q_{it} 为原料 i 的价格, c_j^v 为最终产品 j 的可变单位制造成本, h_j^s 为最终产品 j 的单位库存成本, h_i^s 为原料 i 的单位库存成本, k_j 为最终产品 j 的生产能力消耗率, K^{\max} 为制造商可利用的最大生产能力, z_{j0}^l 为最终产品 j 的初始库存, o_j^s 为单位最终产品 j 所占的库存, z^L 为最终产品的总库存能力, s_{ij}^v 为最终产品 j 对原料 i 的BOM系数, y_{i0}^l 为原料 i 的初始库存, o_i^s 为每单位原料 i 在制造商处所占的库存, y^L 为原料总库存能力, r_{ht} 为 t 阶段原材料 h 的价格, c_i^s 为供应商生产原料 i 的单位可变成本, s_{hi}^l 为原料 i 对原材料 h 的BOM系数, h_i^s 为原料 i 的单位库存成本, ξ_i 为原料 i 的生产能力消耗率, G^{\max} 为供应商可利用的最大生产能力, x_{i0}^l 为原料 i 的初始库存, o_i^s 为单位原料 i 在供应商处所占的库存, x^L 为原料总库存能力, s_{ht} 为 t 阶段原材料市场原材料 h 的供应量, d_{jt} 为 t 阶段消费市场对于最终产品 j 的需求量.

3.2 模型

考虑图 1 所示的闭环供应链,将制造商在阶段 t 对最终产品 j 的生产量 z_{jt} 作为控制变量,即一旦逆向物流的流量大小被观测到,便可以进行相应调整,其他的决策变量是对所有回收情景均有效的设计变量.这样,对于每种回收情景 m ,制造商都有一个生产量 z_{jt}^m ,其他的参数在所有不同情景都是相同的.另外,引入 2 个参数 e_{jt}^m 和 l_{jt}^m 表示回收情景 m 下制造商在 t 阶段对最终产品 j 的不足(或过剩)生产量, l_{jt} 为对制造商生产量不足(或过剩)的单位处罚.在图 1 所示的闭环供应链中,考虑以下 3 个运作目标:

目标 1 在每个具体阶段,供应链的运作追求参与主体之间的协调性,即供应商的交付量等于制造商的订购量.可用如下目标规划模型表示:

$$\min_{t=1}^T \min_{i=1}^I (d_{it}^- + d_{it}^+),$$

$$-b_{it} + l_{it} + d_{it}^- - d_{it}^+ = 0, \quad \forall i, t. \quad (1)$$

其中: d_{it}^- 和 d_{it}^+ 分别为供应商在 t 阶段对制造商所需第 i 种原料的不足交付量和过剩交付量.

目标 2 制造商追求利润最大化,其目标规划模型为

$$\min d_p,$$

$$C^p + d_p - \bar{d}_p = M_p, \quad (2)$$

$$C^p - \sum_{m=1}^M p_m \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J (p_{jt} v_{jt} - c_j^z z_{jt}^m - h_{jt}^z z_{jt}^L - l_{jt}^m e_{jt}^m) - \sum_{i=1}^I (q_{it} b_{it} + h_{it}^y y_{it}^L) - \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K p_{mjk} f_{jk} v_{j,t-k} \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I (s_{ij}^y s_{it}^r) + \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K p_{mjk} f_{jk} v_{j,t-k} (c_{jk} + \frac{1}{jk} \frac{1}{jk} + \frac{2}{jk} \frac{2}{jk} + \frac{3}{jk} \frac{3}{jk}) \Big] \leq 0. \quad (3)$$

其中: M_p 为一给定的常数,是制造商的目标利润; d_p 和 \bar{d}_p 分别为制造商目标利润的未实现量和超过量; C^p 为制造商的实际利润.式(3)中:第 3 项为制造商出售回收品分解后所得原材料的收入,第 4 项为制造商再处理回收品的所有费用, l_{jt}^m 为对制造商生产量不足(或过剩)的惩罚.

目标 3 供应商同样追求利润的最大化,用目标规划模型表示为

$$\min d_s;$$

$$C^s + d_s - \bar{d}_s = M_s, \quad (4)$$

$$C^s - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I [q_{it} l_{it} - h_{it}^x x_{it}^L - (c_{it}^x + \sum_{h=1}^H r_{ht} s_{it}^r) x_{it}] +$$

$$\sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K w_{jt} \left[\sum_{jk}^m f_{jk} v_{j,t-k} \sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^I (s_{ij}^y s_{it}^r) \right] \leq 0. \quad (5)$$

其中: M_s 为供应商的目标利润,是一个给定的常数; d_s 和 \bar{d}_s 分别为供应商目标利润的未达量和超过量; C^s 为供应商的实际利润.式(5)中的第 2 项为供应商从制造商处购买回收品分解后所得原材料的费用.

综合考虑以上 3 个目标,则图 1 所示闭环供应链运作模型的目标函数可写为

$$\min_{t=1}^T \min_{i=1}^I (d_{it}^- + d_{it}^+) + G_p d_p + G_s d_s,$$

其中 G_T, G_p 和 G_s 分别为 3 个运作目标的优先因子,均为足够大的常数.

除以上目标约束(1)~(5)外,其他约束条件还包括:

1) 制造商各阶段生产能力约束

$$\sum_{j=1}^J z_{jt}^m \leq K^{\max}, \quad \forall t, m. \quad (6)$$

2) 制造商各阶段的最终产品库存约束

$$z_{jt}^L = z_{j,t-1}^L + z_{jt}^m + e_{jt}^m - v_{jt} + \sum_{k=1}^K [\sum_{jk}^m f_{jk} v_{j,t-k}], \quad \forall j, t, m; \quad (7)$$

$$z_{j0}^L = z_{j0}^L, \quad \forall j; \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^J o_j^z z_{jt}^L \leq z^{\max}, \quad \forall t. \quad (9)$$

3) 制造商原料库存约束

$$y_{it}^L = y_{i,t-1}^L + b_{it} + \sum_{j=1}^J s_{ij}^y [- (z_{jt}^m + e_{jt}^m) + \sum_{k=1}^K (\sum_{jk}^m f_{jk} v_{j,t-k})], \quad \forall i, t, m; \quad (10)$$

$$y_{i0}^L = y_{i0}^L, \quad \forall i; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^I o_i^y y_{it}^L \leq y^{\max}, \quad \forall t. \quad (12)$$

4) 制造商实际销售约束

$$v_{jt} \leq d_{jt}, \quad \forall j, t. \quad (13)$$

5) 供应商生产能力约束

$$\sum_{i=1}^I x_{it} \leq G^{\max}, \quad \forall t. \quad (14)$$

6) 供应商产品的库存约束

$$x_{it}^L = x_{i,t-1}^L + x_{it} - l_{it}, \quad \forall i, t; \quad (15)$$

$$x_{i0}^L = x_{i0}^L, \quad \forall i; \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^I o_i^x x_{it}^L \leq x^{\max}, \quad \forall t. \quad (17)$$

7) 供应商原材料供应约束

$$\sum_{i=1}^I s_{it}^r [x_{it} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K s_{ij}^y (\sum_{jk}^m f_{jk} v_{j,t-k})] \leq s_{it},$$

$$\forall h, t, m. \quad (18)$$

模型中所有变量均取非负值.

4 数值算例及分析

4.1 数值算例

假设有两种最终产品, 制造商制造最终产品时需要 2 种原料, 供应商生产中间产品需要 2 种原材料, 共有 4 个运作阶段、3 种回收情景. 有关参数如下: $K^{\max} = 500, G^{\max} = 550; z^L_{\max} = 50, y^L_{\max} = 50, x^L_{\max} = 50; c^x_1 = 10, c^x_2 = 9, c^z_1 = 15, c^z_2 = 17; s^r_{11} = 0.6, s^r_{21} = 0.4, s^r_{12} = 0.7, s^r_{22} = 0.3; s^y_{11} = 0.4, s^y_{21} = 0.6, s^y_{12} = 0.6, s^y_{22} = 0.4; h^x_i = 1, h^y_i = 1, h^z_j = 2; z^L_{j0} = 0, y^L_{j0} = 0, x^L_{j0} = 0, \forall i, j; \xi_i = 1, \eta_j = 1, \alpha_i = 1, \beta_j = 1, \omega_j = 1, \forall i, j.$

优先因子 G_r, G_p, G_s 分别取 10000, 100, 1, 制造商和供应商的期望利润 M_p 和 M_s 均取为 1×10^6 . 顾客对最终产品的需求, 回收品的回收情景以及每种情景发生的概率如表 1 所示.

各阶段原材料的供应量和价格, 最终产品的价格以及制造商所需要的生产原料(即供应商生产的产品)价格如表 2 所示.

制造商各阶段两种产品生产量不足的单位处罚

均为 $\mu_j = 60, \forall j, t$; 回收品的再处理延时均取为 $\tau_j = 1$; 最终产品的寿命均取为 $N_j = 3, \forall j$; 两种产品废旧(包括退货)的概率均取为 $f(0.1, 0.3, 0.6)$; 回收品的维修率、拆解率和分解率分别为 $\lambda^1_{jt} = 20\%, \lambda^2_{jt} = 30\%, \lambda^3_{jt} = 30\%, \forall j, t$; 回收品的单位平均回收成本为 $\mu_{jt} = 8, \forall j, t$; 回收品的单位维修成本、拆解成本和分解成本分别为 $\lambda^1_{jt} = 3, \lambda^2_{jt} = 8, \lambda^3_{jt} = 15, \forall j, t$; 回收品 j 经分解处理后所得的原材料卖给供应商的统一平均价格 $w_{jt} = 25, \forall j, t$. 根据以上数据, 利用 Lingo 8.0 软件对逆向物流流量不确定情况下的模型进行运算, 供应链的最优运作策略如表 3 所示.

4.2 运作策略设计

从表 3 可以看出: 每个具体阶段供应商的交付量与制造商的订购量相等; 对于制造商而言, 除第 1 阶段外, 每个阶段的生产量都比产品的销售量小, 而且二者的差距逐渐扩大, 向供应商订购的原料数量也远比生产所需要的原料数量小, 这说明逆向物流的流量随着时间的推移逐渐增大, 回收品处理后所得到的产品数量、拆解所得原料数量以及分解所得原材料的数量也在增加. 另外, 根据以上所给参数

表 1 顾客需求、回收品的回收情景及发生的概率

情景	情景概率	阶段 1		阶段 2		阶段 3		阶段 4	
		产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2
1	0.5	0.60	0.55	0.65	0.60	0.70	0.56	0.65	0.62
2	0.3	0.55	0.60	0.60	0.56	0.68	0.50	0.70	0.55
3	0.2	0.57	0.57	0.70	0.55	0.65	0.60	0.60	0.53
平均情景	1	0.579	0.569	0.645	0.578	0.684	0.55	0.655	0.581
顾客需求		350	97	398	116	367	151	386	133

表 2 原材料供应量及各种价格

阶段	原材料供应量		原材料价格		最终产品价格		制造商生产原料价格	
	原材料 1	原材料 2	原材料 1	原材料 2	原材料 1	原材料 2	原材料 1	原材料 2
1	300	240	40	30	100	115	70	60
2	330	260	45	32	105	120	75	65
3	260	260	45	32	110	125	75	65
4	240	200	40	35	100	125	70	60

表 3 逆向物流流量不确定情况下供应链最优运作策略

阶段	制造商(利润:44845.3)								供应商(利润:29680.8)							
	产品生产		产品销售		产品库存		原料库存		原料订购		原料交付		原料生产		原料库存	
	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	产品 1	产品 2	原料 1	原料 2	原料 1	原料 2	原料 1	原料 2	原料 1	原料 2	原料 1	原料 2
1	350.0	105.6	350.0	97.0	0	8.6	10.7	0	214.1	252.3	214.1	252.3	214.1	245.1	0	0
2	393.8	106.2	398.0	116.0	0	0	0	0	207.1	274.4	207.1	274.4	207.1	301.0	0	26.6
3	347.8	146.2	367.0	151.0	0	0	0	0	211.4	274.2	211.4	274.2	211.4	220.6	0	0
4	336.7	120.5	386.0	133.0	0	0	0	0	166.3	198.5	166.3	198.5	166.3	198.5	0	0

值,对于不同的回收情景实现以及回收率取平均值等情况分别进行仿真计算,不同情况下供应链各成员利润和整个供应链的总利润以及它们与回收率不确定情况下的对比分析如表 4 所示.

表 4 不同情形利润及与不确定情形的差异对比 %

	情景 1	情景 2	情景 3	平均情形	不确定情形
制造商利润	44 884.3	43 404.4	44 716.5	44 406.8	44 845.3
相对差	0.09	3.21	0.29	0.98	—
供应商利润	29 665.2	29 964.9	29 731.5	29 768.3	29 680.6
相对差	0.05	0.96	0.17	0.30	—
系统总利润	74 549.5	73 369.3	74 448.0	74 175.1	74 525.9
相对差	0.03	1.55	0.10	0.47	—

从表 4 可以看出,逆向物流流量不确定情况下,无论制造商利润、供应商利润还是供应链整体利润,与各个情景实现及回收率取平均值情况下对应值的相对差均不超过 3.21%. 数值算例的计算结果表明,逆向物流流量不确定情形下的利润与各情景实现及回收率取平均值情形的相差很小,因此可以证明不确定情形下的运作策略是解鲁棒的. 将以上不确定情况下的最优运作策略带入各回收情景实现的模型中,可以验证该运作策略是各情景实现模型的一个可行解. 因此,所求得的最优运作策略是模型鲁棒的.

另外,利用所建模型,在逆向物流流量取平均值情形基础上,对于所有产品各阶段的回收率增加 1%, 2%, ..., 10% 等 10 种情况下,对制造商、供应商

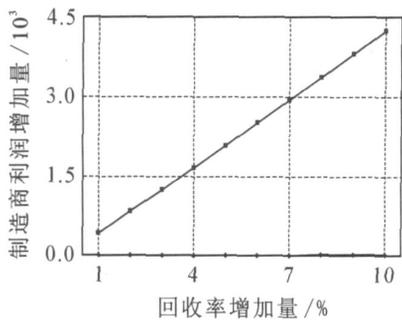


图 2 制造商利润变化趋势

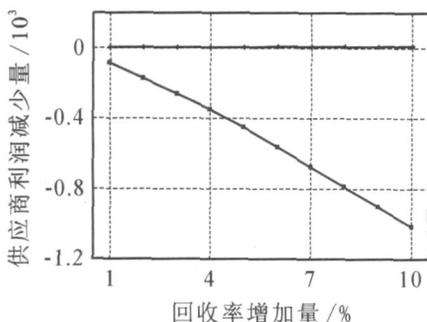


图 3 供应商利润变化趋势

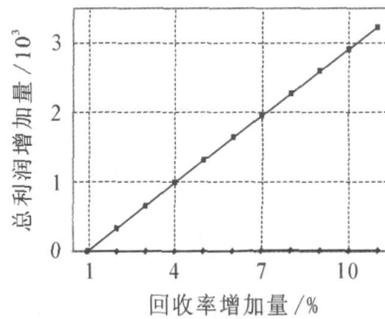


图 4 系统总利润变化趋势

和系统总利润进行计算,与平均情形的利润相比较的变化趋势分别如图 2 ~ 图 4 所示.

从图 2 ~ 图 4 可以看出,制造商的利润随着逆向物流流量的增大而逐渐增加,供应商的利润随着逆向物流流量的增大反而逐渐减少,但供应链的总利润却在增大. 导致此结果的原因在于废旧产品的回收使得制造商向供应商订购的原料减少,供应商的生产必然减少,而制造商则可以从逆向物流的再利用中获利,同时也能增加整个供应链的运作效益. 当然,随着逆向物流流量的增加,为回收所做的努力也将增加,这在运作模型中未予考虑.

5 结 论

本文采用具有已知概率的离散情景描述逆向物流流量的不确定性,运用基于情景分析的鲁棒线性优化方法建立了一类具有产品再制造的闭环供应链在逆向物流流量不确定环境下运作的鲁棒优化模型. 设计了一个数值算例,其结果验证了运作策略的解鲁棒性和模型鲁棒性. 在此基础上,计算了不同的逆向物流流量对制造商、供应商和供应链系统的运作效率的影响. 计算结果表明,在不考虑为增加逆向物流流量而付出努力的情况下,逆向物流流量的增加能够为制造商和供应链系统带来收益. 但本文所设计的数值算例仅是理论上的,在实际的生产运作过程中模型是否有效还有待进一步的实证研究. 另外,在闭环供应链的实际运作过程中,除逆向物流的流量可能是不确定的之外,原材料的供应、产品及原材料的市场价格及顾客的需求等因素都可能是不确定的. 因此,如何研究不确定环境下闭环供应链系统的鲁棒运作问题还存在很大空间.

参考文献(References)

[1] Stock J R. Reverse logistics [M]. Oak Brook Illinois, IL: Council of Logistics Management, 1992: 1-10.

[2] Blumberg F R. Strategic examination of reverse logistics & repair service requirement, needs, market size and opportunities[J]. J of Business Logistics, 1999, 20(2): 141-159.

[3] Savaskan R C, Wassenhove V L N. Reverse channel

- design: The case of competing retailers [J]. *Management Science*, 2006, 52(1): 1-14.
- [4] Dobos I. Optimal production-inventory strategies for a HMMs-type reverse logistics systems [J]. *Int J of Production Economics*, 2003, 81-82(1): 351-360.
- [5] Choia T M, Yan D L H, Chiu C H. Channel coordination in supply chains with agents having near-variance objectives[J]. *Omega*, 2008, 36(4): 565-576.
- [6] Lee C H, Rhee B D. Channel coordination using product returns for a supply chain with stochastic salvage capacity[J]. *European J of Operational Research*, 2007, 177(1): 214-238.
- [7] 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.
- [8] Ferrer G, Swaminathan J M. Managing new and remanufactured products [J]. *Management Science*, 2006, 54(1): 15-26.
- [9] DeCroix G A. Optimal policy for a multiechelon inventory system with remanufacturing[J]. *Operations Research*, 2006, 54(3): 532-543.
- [10] Nakashimay K. Optimal control for a remanufacturing system[J]. *Int J of Production Research*, 2004, 42(17): 3619-3625.
- [11] Guide V D R, Vaiay J, Jonathan D L. Building contingency planning for closed-loop supply chains with product recovery [J]. *J of Operations Management*, 2003, 21(3): 259-279.
- [12] Dimitrios V, Patroklos G, Eleftherios I. A system dynamics model for dynamic capacity planning of remanufacturing in closed-loop supply chains [J]. *Computers & Operations Research*, 2007, 34(2): 367-394.
- [13] Guide V D R, Harrison T P, Wassenhove L N V. The challenge of closed-loop supply chain [J]. *Interface*, 2003, 33(6): 3-6.
- [14] 徐家旺, 黄小原, 邱若臻. 需求不确定环境下闭环供应链的鲁棒运作策略设计[J]. *中国管理科学*, 2007, 15(6): 111-117.
(Xu J W, Huang X Y, Qiu R Z. Robust operating strategy design for closed-loop supply chain with uncertain demands [J]. *China J of Management Science*, 2007, 15(6): 111-117.)
- [15] Lau A H L, Lau H S, Wang J C. Pricing and volume discounting for a dominant retailer with uncertain manufacturing cost information [J]. *European J of Operational Research*, 2007, 183(2): 848-870.
- [16] Lieckens K, Vandaele N. Reverse logistics network design with stochastic lead times [J]. *Computers & Operations Research*, 2007, 34(2): 395-416.

(上接第 710 页)

- [6] 周永务, 杨善林. Newsboy 型商品最优广告费用与订货策略的联合确定[J]. *系统工程理论与实践*, 2002, 22(11): 59-63.
(Zhou Y W, Yang S L. Joint determination of optimal advertisement cost and order policy for Newsboy-type product [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2002, 22(11): 59-63.)
- [7] Khouja M, Robbins S S. Linking advertising and quantity decisions in the single-period inventory model [J]. *Int J of Production Economics*, 2003, 86(2): 93-105.
- [8] Lau A, Lau H, Wang J C. Designing a quantity discount scheme for a newsvendor-type product with numerous heterogeneous retailers [J]. *European J of Operational Research*, 2007, 180(2): 585-600.
- [9] Hunter N, King R E, Nuttle H L W. Evaluation of traditional and quick response retailing procedures using stochastic simulation model [J]. *J of Textile Institute*, 1996, 87(1): 42-55.
- [10] Weng Z K. Coordinating order quantities between the manufacturer and the buyer: A generalized newsvendor model [J]. *European J of Operational Research*, 2004, 156(1): 148-161.
- [11] Lau H S, Lau A H. Reordering strategies for a newsboy-type product [J]. *European J of Operational Research*, 1997, 103(3): 557-572.
- [12] Lau A H, Lau H S. Decision models for single-period products with two ordering opportunities [J]. *Int J of Production Economics*, 1998, 55(1): 57-70.
- [13] 侯云章, 戴更新, 于庆东. 二次订货策略在单周期产品逆向供应链中的应用 [J]. *系统工程理论与实践*, 2005, 25(11): 35-40.
(Hou Y Z, Dai G X, Yu Q D. The application of two ordering opportunities in single-period products of reverse supply chain management [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2005, 25(11): 35-40.)