

论 坛

基于 RL-MIS 的废旧包装逆向回收过程的 DP 模型

张于贤, 王晓婷, 黄鑫
(桂林电子科技大学, 桂林 541004)

摘要: **目的** 研究动态回收环境下, 如何确定使利润最大化的废弃包装回收量和回收价格, 以及 RL-MIS 在废旧包装回收过程中的优化问题。 **方法** 以 RL-MIS 为基础, 从动态规划 (DP) 的角度研究回收量、回收价格与各参数之间的关系, 构建新的废旧包装动态回收过程 DP 模型; 根据 Database 提供的历史数据求得供给曲线方程作为验证方程, 检验该动态回收模型的运行结果。 **结果** 算例结果得到某种材料的废旧包装的每日最佳回收量为 263.7 t, 最佳回收价格为 590.8 元/t。 **结论** 结合动态模拟结果, 表明该模型可在动态回收环境下模拟获得废旧包装回收量与回收价格的最佳解集。说明合理运用该 DP 模型可以有效提高废旧包装回收收益, 并降低回收成本。

关键词: 废旧包装材料; 动态回收过程; 多目标动态规划; 利润最大化; 持续优化

中图分类号: TB485.3; TP315 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)05-0234-05

DP Model of Old Packaging Recycling Process Based on RL-MIS

ZHANG Yu-xian, WANG Xiao-ting, HUANG Xin
(Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

ABSTRACT: The work aims to study how to determine the recycling amount and price of discarded packages that could maximize the profits under the dynamic recycling environment, as well as the optimization of RL-MIS in the process of recycling discarded packages. Based on RL-MIS, the relationship between recycling amount, recycling price and each parameter was researched and the new DP model for the process of recycling discarded packages was constructed from the perspective of dynamic programming (DP). According to the historical data provided by Database, the supply curve equation obtained was used as a validation equation to test the operating results of the dynamic recycling model. The results obtained upon numerical examples showed that, the best daily recycling amount of discarded packages made of certain materials was 263.7 t and the best recycling price was 590.8 yuan/t. Combined with dynamic simulation results, it indicates that this model can obtain the optimal solution set of the recycling amount and price of the discarded packages through simulation under dynamic recycling environment. Results prove that using the DP model properly can effectively improve the earnings of discarded packages and reduce the recycling costs.

KEY WORDS: discarded packaging materials; dynamic recycling process; multi-objective dynamic programming; profit maximization; continual optimization

电商销售在我国的蓬勃发展使包装业、物流业都随之兴旺。商品的包装如塑料包装袋、纸箱等, 在消费者收件后都会丢弃于不同地点, 这些都是可回收再利用的。若通过逆向物流过程循环利用废旧包装品不仅可以降低企业二次生产成本, 也可以有效控制其污染环境。在中国, 逆向物流研究近些年才开展, 相对于已经开展了十几年逆向物流研究的国外而言, 这一

领域的研究还处于初期阶段。同时废旧品物流回收市场的不稳定性以及因素多变的复杂性等很多问题, 还有待更深入的研究^[1]。

在 Karina TS Dias 的关于零售商包装材料逆向回收的研究中, 观察到在逆向物流的实施过程中, 普通杂货部门主要是用纸板和塑料作为包装材料^[2]。Reinaldo Fagundes dos Santos 等^[3]运用 ICT 与互联网技术构建

收稿日期: 2016-09-25

基金项目: 国家自然科学基金(51461009); 桂林电子科技大学研究生科研创新项目(2016YJXC54、2016YJXC58)

作者简介: 张于贤(1964—), 男, 博士, 桂林电子科技大学教授, 主要研究方向为管理科学与工程、工业工程。

了一套综合管理模型,最后通过发展门户网站确保模型的实用性。Araujo, Marcus Vinicius F. de 等^[4]提出了成本评估和使用射频识别技术(RFID)在逆向物流中处理电子垃圾,给巴西带来的好处。尽管他们做了不少关于成本核算的研究,但是对于收益这一块并没有过多的进行分析。我国目前关于包装物流的研究中,张军、梅仲豪^[5]解析了物联网技术在供应链系统中的应用与主要功能,提倡信息化及智能化发展;刘国秋、黄小勇^[6]等把循环共生经济理念嵌入到包装物逆向物流回收模式中,分析对比几种影响因素,确定回收模式;安美清、向万里^[7]针对消费领域产生的包装物,分析设计了逆向物流网络结构及其回收选择模式,并提出应实现包装生命周期的整体低碳化;王大威、郭彦峰^[8]采用离散事件动态系统理论和 Petri 网建模技术,从库存角度研究了包装物流系统建模仿真与优化。部分学者从经济效益的角度对逆向物流过程进行了研究,如葛晓梅等^[9]将其分为收集成本、检测/分类成本、再处理成本和废弃处理成本,建立逆向物流成本模型。通过定性的方式提出了成本日常控制方法。而杜艳香^[10]通过对“哥弟女装”企业进行的实证研究中,以定量的方式研究逆向物流会计成本。张劲松^[11]对假设回收的废旧品逆向物流的直接、间接成本效益进行了建模分析,运用成本-效益分析法力求成本最小。

综上所述,我国目前关于废旧包装材料回收的逆向物流研究仍处在研究初期,且尚未充分运用信息管理技术降低过程成本^[1,12]。故文中旨在构建一个新的包装废旧品逆向物流模型,以预测出不同回收环境下使得第三方回收过程收益最大化的回收量与回收价格组合对。

1 动态模型规划

1.1 模型理论基础

现有的包装材料主要有 4 种:纸质、塑料、玻璃、金属。在物流运输中,物流公司通常选用质感轻、抗震防摔低成本纸质或塑料的包装材料。据统计我国包装的总体回收利用利用率大约是 20%,远远低于世界平均水平的 50%,而纸质与塑料包装的回收率分别为 20% 和 10%^[14]。为了在一定程度上提高包装品回收率,文中主要针对纸质和塑料 2 种材料的包装回收处理的逆向物流过程进行建模。

RL-MIS 即逆向物流管理信息系统,它在物流管理信息系统的基础上,针对逆向流通的各类信息进行跟踪管理、对回流作业和产品再利用等进行模块化管理^[13]。废旧包装品的回收,实质可视为一次逆向物流的过程。废旧包装材料回收的逆向物流,就是指被废

弃的包装材料通过各类回收渠道集中到回收中心,再经过分类、二次销售、加工处理等回流作业的一个反向流动过程。动态回收环境是指,回收成本与收益随时可能发生变化的废旧包装回收市场。根据微观经济学原理,当边际利润(MI)等于边际成本(MC)时可获得最大利润。

对应的利润最大化一阶条件为:

$$MI(W)=MC(W) \quad (1)$$

利润最大化的二阶条件为:

$$MI'(W)=MC'(W) \quad (2)$$

将以上两式作为模型构建的验证标准,式中: W 为会收到的废旧包装总质量。将利用 RL-MIS 模拟动态回收环境,对废旧包装材料逆向回收过程中产生的各类成本、收益数据,废旧包装材料的回收量和回收价格等进行跟踪、记录、统筹规划和管理。模型中逆向物流成本主要包括:材料收集成本、检测/分类成本、再处理成本和整体运作产生成本^[15]。收益主要来自回收中心被支付的废品回收处理费用(主要来自国家环保政策补贴),在检测分类环节后直接销售给配送中心的包装材料的收入以及不可二次包装材料销售给再生处理厂商收入^[11]。

1.2 动态回收过程模型假设

该模型的目标函数为式(1)与式(2),消费者可根据回收价格决定是否卖废旧包装给回收中心。所有回收的包装材料基本实现可回收利用或二次销售,无废弃物。管理成本、运输成本和信息系统运营成本发生在整个逆向物流过程中。该模型中各种设施的处理能力与约束限制不会超过已知的约束范围。该模型中第 i 种材料回收单价、回收量为变量,其余各项成本、收益均为参数。对废旧包装品的逆向物流处理周期为 1 d(回收材料库存时间不超过 24 h);废旧品回收量随着回收价格和回收价格增量的提高而提高^[16]。废旧包装回收逆向物流过程见图 1。

1.3 系统参数标准化

回收中心 A 回收第 $i(i=1$ 表示纸质包装材料; $i=2$ 表示塑料包装材料)种废旧包装材料总质量为 W_i ,回收单价为 P_i ;接着废旧包装被运输(运输成本 C_{vi1})到检测/分类成本中心 B,分类检测单位成本为 C_d ;检测出的不可二次使用的废旧包装(占总质量 W_i 的百分比为 δ_1)经分类后被运到再处理中心 C(运输成本 C_{vi3}),C 处单位再处理成本 C_r ;可进行二次包装的材料(占总质量 W_i 的百分比 $\delta_2=1-\delta_1$)运输到配送中心 D(运输成本 C_{vi2});另设整个逆向物流过程为 E, E 的成本包括运输成本 C_v 、管理成本^[9] C_m 和信息系统维护成本 C_f 。成本核算过程见下文。若有 n 个逆向物流管理信息系统,则第 j 个 RL-MIS 的动态规划模型构建见式(3)。

用目标函数式(2)进行验证,若满足 $\frac{d^2(I_{Tj})}{dW_{\theta ij}^2}<\frac{d^2(C_{Tj})}{dW_{\theta ij}^2}$,

说明求得的 $W'_{\theta ij}$ 是符合题设的最优解,再利用 $W'_{\theta ij}$ 求出对应的单价 $P'_{\theta ij}$,两者皆为最终的多目标最优解。对应于多个 RL-MIS,也必然有多组最优解:

$$\begin{cases} W_{\theta ij}' \\ P_{\theta ij}' \end{cases}, (j=1, \dots, n)$$

2 算例分析

2.1 背景材料

某废旧包装材料回收物流公司,在某区域有一废旧包装材料回收中心 A,其检测/分类中心点设为 B,包装材料再处理中心为 C 点,将其公司的配送中心设为 D 点。其中废弃包装由检测/分类中心到再处理中心的概率^[14] $\delta_1=0.6$ 。故可推算出由检测/分类中心到配送中心的概率 $\delta_2=1-\delta_1=0.4$ 。此处设信息系统每天的维护成本为 $C_{\theta j}=2$ 元/d。据市场调查,我们设运输成本为: A 到 B 处运输成本 $C_{vi1}=110$ 元/t, B 到 C 处运输成本 $C_{vi2}=200$ 元/t, B 到 D 处的运输成本 $C_{vi3}=120$ 元/t。另,各类单位成本^[14]为:检测单位成本(C_{di})45 元/t,再造单位成本(C_{ri})65 元/t,单位管理成本(C_{mi})36 元/t。

又有每单位质量某种包装材料再处理收益^[11]为 1800 元/t,根据市场调查假设该种材料在回收中心获得的单位重量处理收益与可二次利用的包装材料单位售出价格分别为单位补贴收益($I_{d\theta i}$)80 元/t,单位再处理收益($I_{r\theta i}$)1800 元/t,二次销售收益($I_{s\theta i}$)2000 元/t。通过不定期市场调查获得第 i 种材料在该 RL-MIS 中共 N 天的回收量 $W_{\theta i}$ 与回收价格 $P_{\theta i}$ 见表 1。

表 1 第 i 种材料回收价格、回收量
Tab.1 The amount and price table of the kind of material i

N/d	$W_{\theta i}/t$	$P_{\theta i}/t$
1	210	400
2	230	500
3	310	800
4	320	800
5	350	900
6	310	700
7	300	700
8	390	1100

2.2 计算过程与结果

将表 1 的数据输入到 SPSS 21.0 进行回归分析,常数项与 $P_{\theta i}$ 的 t 显著性检验值均小于 0.05。且决定系数 R 方为 0.974,说明回归拟合效果较好,回收单价的变化可以较好地解释回收量的变动。由系数表可

知 $\alpha=108.192, \beta=0.263$ 。将 α 与 β 代入式(10)计算得 $\varphi=-411.4, \gamma=3.8$,故供给曲线方程为:

$$P_{\theta i}=-411.4+3.8W_{\theta i} \tag{13}$$

再将所有成本与收益的参数数据通过 SPSS 软件进行数据处理,代入式(3)—(8)得:

$$\text{总成本: } C_T=367W_{\theta i}+P_{\theta i}W_{\theta i}+2 \tag{14}$$

$$\text{总收益: } I_T=1960W_{\theta i} \tag{15}$$

将函数式(13)带入(14)得:

$$C_T=367W_{\theta i}+3.8W_{\theta i}^2-411.4W_{\theta i}+2 \tag{16}$$

通过目标函数式(1)将(14)与(15)表达成:

$$MI_T(W_{\theta i})=MC_T(W_{\theta i})$$

$$(1960W_{\theta i})'=(367W_{\theta i}+3.8W_{\theta i}^2-411.4W_{\theta i}+2)'$$

整理得:

$$7.6W_{\theta i}=2004.4 \rightarrow W_{\theta i}'=263.7t$$

又 $MC'(W_{\theta i})=7.6, MI'(W_{\theta i})=0$,满足二阶条件(2) $MI'(W) < MC'(W)$ 。可验证由目标函数(1)推出的 $W'_{\theta i}$ 即为第 i 种包装材料最优回收量,对应的回收价格 $P'_{\theta i}$ 为 590.8 元/t。

故,本例得到的最优解为:

$$\begin{cases} W'_{\theta ij}=263.7t \\ P'_{\theta ij}=590.8 \text{ 元/t} \end{cases}, (j=1 \dots n)$$

将上述算例中各参数值视为初始值,控制某一个或几个参数进行变动模拟动态环境,观察得到的最佳回收量与回收价格解集,部分参数变动后得到的解集可见表 2。

表 2 部分参数变动及其最优解集
Tab.2 Part of parameters' changes and theirs optimal solution sets

部分参数	数值变动情况	最佳回收量/t	最佳回收价格/(元·t ⁻¹)
无	各参数均不变	263.7	590.8
C_{vi2}	由 200 元/t 减少到 180 元/t	265.3	596.8
C_{mi}	由 36 元/t 增加到 46 元/t	262.4	585.8
$I_{r\theta i}$	由 1800 元/t 增加到 1900 元/t	271.6	620.8
$C_{vi2}, C_{mi}, I_{r\theta i}$	以上 3 种变动情况综合	271.9	621.8

2.3 结果分析

该算例结果表明,在参数确定时,可算得该第三方物流企业的第 i 种废旧包装材料的最佳回收量与最佳回收价格。这同时说明了在成本、收益各项参数值不断变动的情况下,根据信息系统记录的历史回收价格和回收量拟合获得供给曲线后,只要及时将数据录入系统就可通过动态规划模型计算出某种材料的每日最佳回收量,及其对应的最优回收价格,且根据凸集理论可知当任何参数发生合理的变动,在其可行域内都可获得唯一最优解。在面对 n 个该类型 RL-MIS 时,可通过计算机运算得到多组最优解,从而借助该

模型的计算结果作出一系列优化改进决策。

3 结语

研究主要针对废旧包装材料的逆向回收,期望通过构建 DP 模型并不断优化,以及动态地研究不同回收参数组合成的回收环境下,最优回收量和回收价格。力求在 RL-MIS 的管理下,以高效率、高利润为目标,形成一套完整的逆向回收体系。就研究前景而言,可根据文中构建的动态规划模型算出不同时期、不同地区回收废旧包装材料中纸质与塑料所占总质量的百分比,以及算出一定时期内不可二次包装材料与可二次包装材料比例的大致范围,获得满足各个研究目的所需的指标。第三方物流公司可在某地区设置多个同类型回收中心,将废旧包装材料的回收数据集合到一个数据库,进行大数据分析从而获得更多的信息,从全局出发降低成本,也可以很好地帮助地方改善垃圾分类,进行环境保护等。通过控制二次利用和再处理材料的比例,提高材料再生制作工艺、再处理产出率等来降低成本,减少原材料使用量,最终达到优化资源配置,清洁环保,降低整个产业链生产成本的最终目的。

参考文献:

- [1] 孙华丽, 吕帅儿, 薛耀锋. 逆向物流研究现状综述与展望[J]. 科技管理研究, 2011, 31(2): 127—129.
SUN Hua-li, LYU Shuai-er, XUE Yao-feng. Reverse Logistics Summarized Research Status Quo and Prospect[J]. Science and Technology Management Research, 2011, 31(2): 127—129.
- [2] DIAS K T, JUNIOR S S B. The Use of Reverse Logistics for Waste Management in a Brazilian Grocery Retailer[J]. Waste Management & Research, 2015, 34(1): 22—29.
- [3] SANTOS R F D, MARINS F A S. Integrated Model for Reverse Logistics Management of Electronic Products and Components[J]. Procedia Computer Science, 2015, 55: 575—585.
- [4] ARAUJO, DE M V F, OLIVEIRA, et al. Cost Assessment and Benefits of Using RFID in Reverse Logistics of Waste Electrical & Electronic Equipment (WEEE)[J]. Procedia Computer Science, 2015, 55: 688—697.
- [5] 张军, 梅仲豪. 基于物联网技术的物流包装及其应用研究[J]. 包装工程, 2014, 35(17): 135—139.
ZHANG Jun, MEI Zhong-hao. Logistics Packaging and Its Application Research Based on the Technology of Internet of Things[J]. Journal of Packaging Engineering, 2014, 35(17): 135—139.
- [6] 刘国秋, 黄小勇, 贾扬蕾. 循环共生经济下包装物逆向物流回收模式研究[J]. 企业经济, 2014(4): 23—27.
LIU Guo-qiu, HUANG Xiao-yong, JIA Yang-lei. Under the Circulation Economic Symbiosis Model Packaging Reverse Logistics Research[J]. Journal of Business, 2014(4): 23—27.
- [7] 安美清, 向万里. 低碳经济下包装物逆向物流回收模式分析[J]. 综合运输, 2012(9): 43—45.
AN Mei-qing, XIANG Wan-li. Packaging Recycling Reverse Logistics Mode Under Low Carbon Economy Analysis[J]. Journal of Comprehensive Transportation, 2012(9): 43—45.
- [8] 王大威, 郭彦峰. 基于 Petri 网的包装物流系统建模仿真与优化[J]. 包装工程, 2008, 29(12): 137—140.
WANG Da-wei, GUO Yan-feng. Packaging Logistics System Based on Petri Net Modeling and Simulation and Optimization[J]. Journal of Packaging Engineering, 2008, 29(12): 137—140.
- [9] 葛晓梅, 孟宪磊. 制造型企业逆向物流成本研究[J]. 商业时代, 2012, 19(18): 44—45.
GE Xiao-mei, MENG Xian-lei. Manufacturing Enterprise Reverse Logistics Cost Research[J]. Journal of Commercial Age, 2012, 19(18): 44—45.
- [10] 杜艳香. 企业逆向物流在电商背景下的会计成本核算及控制[J]. 中国商贸, 2015(15): 94—96.
DU Yan-xiang. Under the Background of Enterprise Reverse Logistics in the Electricity Business Accounting Cost Accounting and Control[J]. China Business Theory, 2015(15): 94—96.
- [11] 张劲松. 逆向物流成本收益优化研究[J]. 会计之友, 2012(15): 4—8.
ZHANG Jin-song. Reverse Logistics Cost Benefit Optimization Study[J]. Friends of the Accounting, 2012(15): 4—8.
- [12] 周垂日, 梁樑, 许传永, 等. 逆向物流研究的新进展: 文献综述[J]. 科研管理, 2007, 28(3): 123—132.
ZHOU Chui-ri, LIANG Liang, XU Chuan-yong, et al. The New Progress in the Study of Reverse Logistics: Literature Review[J]. Journal of Scientific Research Management, 2007, 28(3): 123—132.
- [13] 贺超, 庄玉良, 王建军. 基于物联网的煤矿逆向物流管理信息系统研究[J]. 科技管理研究, 2013, 33(10): 171—174.
HE Chao, ZHUANG Yu-liang, WANG Jian-jun. Reverse Logistics Management Information System of Coal Mine Based on the Internet of Things Study[J]. Science and Technology Management Research, 2013, 33(10): 171—174.
- [14] 邹彩梅. 包装废弃物逆向物流网络规划及运行保障措施研究[D]. 赣州: 江西理工大学, 2012.
ZOU Cai-mei. Packaging Waste Reverse Logistics Network Planning and Operation Safeguards Research [D]. Ganzhou: Jiangxi University of Science and Technology, 2012.
- [15] 孟健, 周寅, 方芳. 逆向物流作业环节的优化研究[J]. 电子商务, 2009, 11(4): 39—40.
MENG Jian, ZHOU Yin, FANG Fang. In the Link of the reverse Logistics Operation Optimization Research[J]. Journal of Electronic Commerce, 2009, 11(4): 39—40.
- [16] 徐家旺, 朱云龙. 制造/再制造系统中废旧品回收的动态定价策略分析[C]// 智能信息技术应用学会, 2010(3): 382—385.
XU Jia-wang, ZHU Yun-long. Manufacturing/remanufacturing System Dynamic Pricing Strategy Analysis of Waste Product Recycling[C]// Proceedings of 2010 International Conference on Management Science and Engineering, 2010(3): 382—385.