

## 逆向物流订单分配排序优化研究\*

姬淑珍, 高更君

(上海海事大学 物流研究中心, 上海 201306)

**摘要:**【目的】讨论了如何对订单合理分配实现货物的低成本及高效回收的问题,为作为闭环供应链逆向物流订单货物的高效回收提供可借鉴方法。【方法】通过对逆向物流车辆与货物订单分配问题的分析,利用现代排序论的思想和方法将逆向物流订单和车辆分别看作工件和机器,构建了逆向物流订单分配排序优化模型,设计了模型求解算法并做了算例模拟。【结果】算例模拟结果表明:所设计的模型及算法能够有效解决订单货物的高效回收。【结论】基于分支定界法的改进的FBLPT算法能够给出问题的最优解,对解决逆向物流订单分配排序优化问题有一定参考价值。

**关键词:**逆向物流;订单分配;排序;优化

**中图分类号:**O221.7

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2017)06-0021-04

现代物流的快速发展使供应链闭环管理视角下的逆向物流以它独特的经济价值逐渐被业界重点关注,并得到了政策大力支持。2017年1月国务院颁发了生产者责任延伸制度推行方案<sup>[1]</sup>,要求生产者对产品承担的资源环境责任从生产环节延伸到产品设计、流通消费、回收利用、废物处置等全生命周期,为逆向物流的研究指明了方向。逆向物流订单分配及排序优化问题是逆向物流领域中的重要研究内容之一,主要考虑的是用最少的车辆在最短时间内将各回收点的订单货物回收至逆向物流中心,旨在解决如何利用有限资源实现高效回收的问题,本质是路径优化问题的延伸。国内外学者对路径优化问题已有诸多研究<sup>[2-4]</sup>。例如,Balinski等人<sup>[2]</sup>最先建立最简单车辆路径优化模型;Eilon等人<sup>[3]</sup>用动态规划法解决固定车辆数路径问题。这些研究都是用不同方法来讨论车辆最优路径问题的,为解决路径优化问题提供了成熟的可借鉴经验。但他们主要考虑1个需求点只能被1辆车服务的情况,很少讨论1个需求点可以被多辆车服务的情况,更少运用排序论方法来解决此类问题。而在解决1个需求点可以被多次服务的路径优化问题时排序论有一定优势。因此,本文尝试利用排序论思维和方法解决逆向物流订单分配优化问题以期对相关研究提供参考。

### 1 逆向物流订单分配排序优化问题描述

逆向物流是为了恢复货物价值或处置合理而对原材料、在制品及成品从制造厂、配送站或消费点向回收处理点的流动而进行的规划、实施和控制过程<sup>[5]</sup>。逆向物流按照回收物品的渠道可分为退货逆向物流和回收逆向物流,本文研究的是生产报废品和副品通过再循环、再生产重新进入制造环节而得到再利用的回收逆向物流。在该系统中,顾客向逆向物流中心发出大量回收订单,逆向物流中心接收回收订单后对订单进行分批并配置资源将待回收产品运输到指定地点,从而实现整个回收流程。本文建立的模型解决的是一个逆向物流回收中心服务多个需求点且每个需求点回收量不一定相同的情况下的订单分批及排序问题,依托于传统的路径规划模型,在允许一个需求点可以被服务多次的前提下,考虑车载量限制及所需最少车辆数目等约束条件,实现使物流回收中心派出车辆最少并以最短的时间完成整个回收流程,即对充分利用有限资源进行高效回收的问题进行优化。

\* 收稿日期:2017-03-22 修回日期:2017-07-25 网络出版时间:2017-09-22 14:31

资助项目:国家自然科学基金(No.71601114);上海市科委工程中心能力提升项目(No.14DZ2280200);上海市科委重点项目(No.12510501600);重庆市教委科学技术研究项目(No.KJ1600326)

第一作者简介:姬淑珍,女,研究方向为物流管理与规划、供应链金融、物流战略与商业运作,E-mail:szj28@qq.com;通信作者:高更君,讲师,E-mail:gigao@shmtu.edu.cn

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20170922.1431.002.html>

## 2 逆向物流订单分配排序优化模型建立

### 2.1 排序论概述

排序论是研究对资源和任务分配组合优化,以实现一个复杂系统中众多对象按照优化排序有序高效执行的一种方法<sup>[6]</sup>。现代排序论作为经典排序论的延伸理论,将任务看作工件,将资源看作机器,研究的是如何在不同系统中利用有限的资源更好地完成任务实现某些目标最优化,主要包括可控排序、成组分批排序、在线排序、同时加工排序、准时排序、窗时排序、不同时开工排序、资源受限排序等 10 余种理论。其中在成组分批排序理论应用环境下,若干个工件可以在同一批中进行加工且加工过程中不允许中断,在考虑到同机器运行和工件加工顺序不相同同时每个工件的就绪时间也不同的情况下将工件划分成不同批次,并对每批中不同工件在机器上的加工顺序进行排列,以实现资源最优调配,与本文研究的逆向物流订单分配排序优化问题具有较强的耦合性。针对本文研究的问题,将逆向物流订单取货点的每单位货物看作一个工件,将车辆看作机器,将车辆行驶时间看作工件的就绪时间,将车辆在逆向物流订单取货点进行装货的时间看作工件的加工时间,将车辆从最后一个逆向物流订单取货点返回到逆向物流中心的行驶时间看作每批工件的最终安装时间,以总完工效率最高作为目标建立优化模型。

### 2.2 模型假设及参数设定

2.2.1 模型假设 1) 一个逆向物流中心和多个逆向物流订单取货点(下文简称回收点)的位置已知。2) 所有货物的密度较大且相同,各回收点的货物重量已知且货物量超过 1/2 车载量的回收点占多数。3) 逆向物流中心的车辆型号相同且数目充足,有载重量限制。4) 车辆在顺畅条件下匀速行驶,在各个回收点无等待。5) 车辆必须从逆向物流中心出发并最终返回到逆向物流中心。6) 一辆车可服务多个订单,一个订单可以被多次服务。

2.2.2 参数设定 为了便于表述及建模需要,对模型涉及的参数设定如下。 $I$  表示逆向物流中心和回收点编号, $I=0,1,2,\dots,n$ ,其中 0 为逆向物流中心,其余表示  $n$  个回收点; $Q$  表示车辆载重限制; $B$  表示所需车辆总数; $b$  表示订单分批数量, $b=1,2,\dots,B$ ;  $d_{ij}^b$  表示在第  $b$  批中从回收点  $i$  到回收点  $j$  的距离, $i=0,1,2,\dots,n,j=0,1,2,\dots,n$ ;  $q_i$  表示第  $i$  个回收点的货物量, $i=0,1,2,\dots,n$ ,其中  $i=0$  时回收中心的货物量定为 0;  $q_i^b$  表示在第  $b$  批中车辆到回收点的取货量; $\alpha$  表示车辆匀速行驶速度; $\beta$  表示装卸效率; $A_i^b = \begin{cases} 1, & \text{回收点 } i \text{ 在第 } b \text{ 批被回收} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$ ,其中  $i \in I, b \in B$ ;  $B_{ij}^b = \begin{cases} 1, & \text{在第 } b \text{ 批回收路线中, } i \text{ 点回收完到 } j \text{ 点回收} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$ ,其中  $i, j \in I, b \in B$ 。

2.3 模型建立

根据问题描述,基于模型假设和参数设定,构建如下数学模型。

$$\min Z = \sum_{b \in B} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \left( \frac{1}{\alpha} d_{ij}^b B_{ij}^b \right) + \sum_{i \in I} (\beta q_i), \quad (1)$$

$$\text{s.t. } B = \left\lceil \frac{\sum_{i \in I} q_i}{Q} + 1 \right\rceil, \quad (2)$$

$$\left\lceil \frac{\sum_{i \in I} q_i - \sum_{b \in m} q_i^b}{Q} + 1 \right\rceil = B - m, m \in B, \quad (3)$$

$$A_i^b q_i^b \leq Q, i \in I, b \in B, \quad (4)$$

$$q_i = \sum_{b \in B} q_i^b, i \in I, \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} B_{ij}^b = B_j^b, j \in I, b \in B, \quad (6)$$

$$\sum_{j \in I} B_{ij}^b = B_i^b, i \in I, b \in B, \quad (7)$$

$$\sum_{i, j \in S} B_{ij}^b = |S|, i \neq j, S \subset I. \quad (8)$$

(1)式是回收总时间最短的目标函数,  $\sum_{b \in B} \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} \left( \frac{1}{\alpha} d_{ij}^b B_{ij}^b \right)$  表示车辆行驶的总时间,即所有工件的就绪时间和

安装时间之和,  $\sum_{i \in I} (\beta q_i)$  表示车辆在所有回收点装货的总时间,即工件的加工时间之和,最优目标即实现总运作效率最高;(2) 式是供给约束,表示在满足所有回收点的待收货量的前提下派出的最少车辆数目,即机器数量;(3) 式是供给约束,表示预计暂未开始取货的车辆可以满足暂未被服务的回收点的全部需求,即机器的数量限制;(4) 式是能力约束,表示每批回收的待取货物总量不超过车的载重量限制,即机器的加工容量限制;(5) 式是需求约束,表示每个回收点的待取货量等于每批经过该回收点的取货数之和,即工件的数量限制;(6),(7) 式是加工约束,表示每一批订单中每个回收点的车辆到达次数等于车辆离开的次数,即每个机器和工件的加工活动具有相互性;约束式(6),(7),(8) 式是路径约束,表示每一批订单中车辆必须只经过每个回收点一次且从逆向物流中心出发并最终返回逆向物流中心构成哈密顿回路,即每批中每个工件只能在一个机器上加工一次且均有最终安装时间。

### 3 模型算法设计

为了求解本文模型,将每个订单的货物量分解成单位货物,车辆载重量也以相同单位(例如:t)计数。将每单位货物看作同种工件,每个工件的加工时间相同,将车辆从逆向物流中心到订单需求点的时间看作工件的最初就绪时间,将车辆从一个订单需求点到另一个订单需求点的时间看作工件的实际就绪时间,每个工件的就绪时间不同。然后根据基于分支定界法的改进的 FBLPT 算法进行求解,算法思路如下:

1) 将工件按最初就绪时间非减的次序编号,使  $(t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_m)$ ,其中  $t = \frac{d_{i0}}{\alpha}, m = \sum_{i \in I} (q_i)$ 。

2) 按编号顺序依次取各工件并分成  $b$  个批次,加工到工件  $i$  的累计加工量为  $U_i$ 。其中  $b = \left\lceil \frac{m}{Q} + 1 \right\rceil$ ,  $Q - (bQ - m) \leq U_i \leq Q$ 。

3) 步骤 2) 中形成的第  $b$  批工件加工的最优顺序为  $\pi$ ,计算所得时间为  $D(\pi)$ ,采取二交换方法对每批的工件  $i$  和工件  $j$  的顺序进行交换,改变后的订单排列顺序记为  $\pi'$ ,回收时间记为  $D(\pi')$ ,若  $D(\pi') > D(\pi)$ ,则重复上述操作直到各批次中不存在这样的工件  $i$  和  $j$  从而得到该批工件的最优加工顺序。

4) 根据步骤 3) 中的最优顺序计算每个工件的实际就绪时间和每批最终安装时间并求和得到加工总时间,记为  $S$ ,将  $S$  定为最优解的上界。

5) 返回步骤 2),改变工件组合分批后重复步骤 3) 和 4),将  $S_i$  与  $S$  进行比较,若  $S_i < S$ ,则令  $S = S_i$ ,否则,最优解上界不变。

6) 重复步骤 2) 至 5),当穷尽各工件分批方案时所得到的最优解的上界即为实际的全部工件最短完工总时间。根据此算法可通过 LINGO 编程求解得出结果。

### 4 算例模拟

为验证模型和算法的有效性,假设一个逆向物流中心负责同时完成 6 个回收订单,逆向物流中心派出型号相同且限重 8 t 的车辆提供服务,车辆行驶速度为  $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ,每吨货物装车时间为 10 min,逆向物流中心和各个回收点的坐标及待收取订单货物量如表 1 所示。其中,逆向物流中心编号为 1,其余为待回收点,逆向物流中心和待取货点的距离为两点之间的直线距离,通过合理安排订单分批和排序实现回收总效率最高。

运用 LINGO 11 编程求解,在 win8 64(Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU@2.20 GHz 处理器)系统下运行得到车辆运行最短总距离为 580.5 km,最优订单分批排序方案见图 1 所示。

从图 1 可以看出逆向物流中心需要派出 4 辆车提供服务,计算得回收作业总时间为:  $580.5/100 + (6 + 5 + 3 + 4 + 5 + 6) \times 10/60 = 10.64 \text{ h}$ 。

若假设一个订单只能被服务一次,结合已有的成果研究<sup>[7]</sup>,将本文案例数据带入后计算结果为逆向物流中心需要派出 5 辆车进行提供服务,车辆总行驶距离为 540.5 km,计算得整个回收流程总时间为:  $540.5/100 + (6 + 5 + 3 + 4 + 5 + 6) \times 10/60 = 10.24 \text{ h}$ 。虽然服务总时间有所节省,但多派一辆车意味着人工、车损及油耗等费用增加,所以

表 1 逆向物流中心和回收点的坐标及待回收货物量一览表

Tab.1 The coordinates of the reverse logistics center and the recovery point and the quantity of the goods to be recovered

编号	坐标	待回收货物量/t
1	(0,0)	0
2	(200,200)	6
3	(500,600)	5
4	(-300,300)	3
5	(-100,500)	4
6	(-200,-400)	5
7	(300,-300)	6

本文研究的考虑一个订单可被服务多次的方案整体更优。

## 5 结论

逆向物流领域中的订单分配优化问题一直是研究的重点和难点,通过本文的研究,在考虑逆向物流运作过程的基础上,在允许一个需求点可被多辆车服务的前提下,建立了使逆向物流中心回收作业效率最高的逆向物流订单分配排序优化模型,设计了模型求解算法,并通过算例验证了模型和算法的有效性和合理性,结果表明所建模型和算法对解决此问题具有可行性,以期对今后逆向物流的研究提供新思路。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院办公厅.关于印发生产者责任延伸制度推行方案的通知[EB/OL].(2017-01-03).[http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/03/content\\_5156043.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/03/content_5156043.htm).  
General Office of the State Council of the People's Republic of China. Notice of the implementation of the proposal on the extension of producer responsibility extension system[EB/OL].(2017-01-03).[http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/03/content\\_5156043.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2017-01/03/content_5156043.htm).
- [2] BALINSKI M, QUAND R. On a integer program for a delivery problem[J]. *Operations Research*, 1962, 12: 300-304.
- [3] EILON S, WATSON-GANDY C D T, CHRISTOFIDES N. *distribution management; mathematical modeling and practical analysis*[M]. London: Griffin, 1971.
- [4] 郝皓, 邹星根, 唐国春. 基于服务外包的汽保售后服务商逆向物流协同及实证研究[J]. *重庆师范大学学报(自然科学版)*, 2013, 30(5): 11-17.
- HAO H, WU X G, TANG G C. On reverse logistics collab-

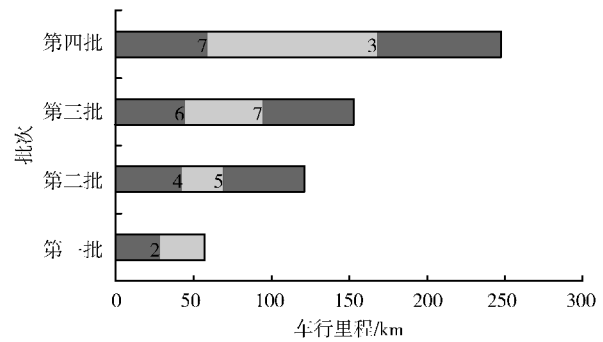


图1 订单分批方案

Fig.1 Order of the batch program

- oration of auto maintenance after-sale service supplier based on service outsourcing & empirical study[J]. *Journal of Chongqing Normal University(Natural Science)*, 2013, 30(5): 11-17.
- [5] 甘卫华. 逆向物流[M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.  
GAN W H. *Reverse logistics*[M]. Peking: Peking University Press, 2012.
- [6] 唐国春, 张峰, 罗守成, 等. 现代排序论[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2003.  
TANG G C, ZHANG F, LUO S C, et al. *Modern sorting theory*[M]. Shanghai: Shanghai Science Popularization Publishing House, 2003.
- [7] 曹平方, 李灵, 李诗珍. 基于分支定界的VRP模型精确算法研究及应用[J]. *包装工程*, 2014(17): 97-101.  
CAO P F, LI L, LI S Z. Research and application of the accurate algorithm of VRP model based on branch and bound method[J]. *Packaging Engineering*, 2014(17): 97-101.

## Operations Research and Cybernetics

### Research on Sorting Optimization of Reverse Logistics Order Assignment

JI Shuzhen, GAO Gengjun

(Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** [Purposes] As an integral part of the closed-loop supply chain, reverse logistics has been paid more and more attention by the industry, and the efficient recovery of its order has become one of the hot issues. The problem to be solved here is how to rationally allocate the order to realize the low cost and efficient recovery of the goods. [Methods] It analyzes the problems of reverse distribution of logistics vehicles and goods, and uses the ideas and methods of modern sorting to solve the problem. It will reverse the logistics orders and vehicles as the workpiece and the machine, first constructed a reverse logistics order allocation sort optimization model, and then designed the model to solve the algorithm, and finally made a case study. [Findings] The simulation results show that the model and algorithm designed here can effectively solve the efficient recovery of order goods. [Conclusions] The improved FBLPT algorithm based on branch and bound method can give the optimal solution of the problem, so as to provide theoretical reference and practical guidance for solving the problem of sorting optimization of reverse logistics order allocation.

**Keywords:** reverse logistics; order assignment; sorting; optimization

(责任编辑 黄颖)