

# 快递包装回收物流系统及其最优调运方案设计

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2018.04.011

李重莲<sup>1</sup> 范定祥<sup>2</sup>

1. 湖南工业大学  
商学院  
湖南 株洲 412007
2. 湖南工业大学  
经济与贸易学院  
湖南 株洲 412007

**摘要:** 针对快递包装回收成本较高、回收效率较低等问题,从快递包装回收物流系统主体要素和运作模式两个方面阐释了3类典型回收系统,分析了各系统的具体运作模式及流程。在此基础上,构建了快递包装回收物流系统最优调运方案的基本模型,运用表上作业法对多维中转运输问题进行求解。算例结果表明,通过归纳各类回收模式将现实问题进行模型化分析得出的最优调运方案,并与传统的调运方案相比,将快递包装经过有效中转,能较大降低快递包装回收物流系统的运输成本。

**关键词:** 快递包装; 回收物流系统; 多维中转运输; 最优调运方案

**中图分类号:** F252; F760.3; F713.2

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1674-7100(2018)04-0069-09

## 1 研究背景

在网购风靡的今天,我国快递业务量正呈爆发式增长。国家邮政局统计数据显示,2016年我国快递业共消耗了超过68亿个塑料袋、37亿个包装箱和32亿条编织袋([http://www.sohu.com/a/207414342\\_608776](http://www.sohu.com/a/207414342_608776))。这些庞大的数据表明消费者收到快递后,将有超过137亿个快递包装可能被随意丢弃或低效回收,从而导致严重的环境污染和资源浪费问题。因此,研究快递包装回收物流的有效模式及其影响因素,优化快递包装的调运方案,进而构建较为完善的快递包装回收体系已成为社会各界必须直面的现实课题。

近年来,国内外关于回收物流的相关研究主要围绕回收物流的网络结构与回收模式、回收物流的运输成本两个方面展开。

1) 回收物流网络结构与回收模式。一些国外学

者运用数学方法,如交叉对接中心法<sup>[1]</sup>、禁忌搜索启发函数法<sup>[2]</sup>、公理化设计法<sup>[3]</sup>,研究了不同环境下逆向物流回收系统的网络结构及分类。另有学者对回收物流模式的影响因素进行了探讨,如Liu T. T.等<sup>[4]</sup>采用生命周期评价法对手机回收模式进行了考察,并定量分析了环境因素对回收模式选择的影响。Z. Hanafi等<sup>[5]</sup>基于废纸回收模型的有效性、操作成本和环境影响的变化,研究了碳排放政策对废纸回收网络的影响。国内一些学者针对不同的回收物品,运用不同的分析方法对其回收物流网络进行了探讨,并构建了物品回收模式<sup>[6-7]</sup>。如陈超<sup>[8]</sup>对废旧家电回收物流网络结构进行了初步设计,并据此构建了循环经济下废旧家电回收体系模型。郑卫彦等<sup>[9]</sup>基于政府奖励机制和物流的负外部性,通过构建线性规划模型而设计出快递包装逆向物流模式。乐雄平<sup>[10]</sup>认为电商企业快递包装逆向物流回收模式可归结为3类,其中采取“自营物流”回收模式是电商企业参与快递

收稿日期: 2018-05-12

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金资助项目(18YJA630001)

作者简介: 李重莲(1995-),女,湖南邵阳人,湖南工业大学硕士生,主要研究方向为物流系统规划与设计技术,  
E-mail: 892100654@qq.com

通信作者: 范定祥(1968-),男,湖南茶陵人,湖南工业大学副教授,博士,硕士生导师,主要从事企业经济与战略管理方面的研究, E-mail: 153909399@qq.com

包装回收最有效的途径。

2) 回收物流的运输成本。国外学者主要从运输网络路径优化方面进行研讨,如 G. Liedtke 等<sup>[11]</sup>基于运输网络的可变性及其对平均成本的影响,构建了相应的货物运输模型; R. Derrouiche 等<sup>[12]</sup>考虑了车队规模和混合车辆路径问题,分析了货物运输网络的路径优化。国内学者主要从运输网络和运输成本优化方面进行研究,如韩世莲等<sup>[13]</sup>利用物流运输网络多目标集成方法和集成后目标函数求解的扩展标号法,通过模糊目标集成算子构建了相应的折衷规划模型;贺华<sup>[14]</sup>建立了物流运输各过程拆分成本计算模型,优化了快递企业的物流成本核算方法,并使成本信息更加准确。

然而,已有文献针对快递包装回收问题的研究相对较少,且鲜有研究从快递包装回收物流系统主体要素及回收物流流程两个方面对典型回收模式进行阐释,更缺乏对回收系统中各主体要素如何开展最优调运方面的深入探讨。在回收实践中,很多回收主体会基于“直线运输最短”的传统思维,采用“直达”的回收调运方式,却忽略了回收主体之间可通过中转调运的方式降低回收成本。鉴于此,本研究系统审视快递包装的回收结构体系,探讨快递包装回收物流的具体运作模式及其适用条件,并基于回收物流运输成本最小化视角,对快递包装典型回收模式中的最优调运方案进行剖析,以期降低快递包装回收成本,推动快递包装回收物流高效运行。

## 2 快递包装回收物流系统分析

### 2.1 结构要素分析

从整体看,快递包装回收物流系统的主体要素包括包装制造企业、快递企业、电商企业、区域预处理中心、回收站及消费者等6类。由这些要素组成的快递包装回收物流系统的运行体系如图1所示。

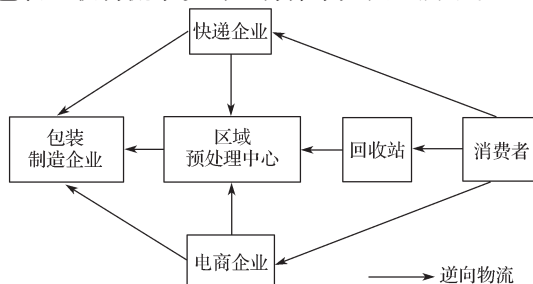


图1 快递包装回收物流系统运行体系

Fig. 1 Express package recycling logistics system

图1中,快递包装回收物流系统相关主体要素的职能界定如下。

1) 回收站。其直接从事快递包装的回收工作,并可视情况对回收物进行分类筛选或简单的加工处理。作为快递包装回收物流系统的主要参与者,回收站一般分布在消费者所在生活区域周围,它既可以是快递包装资源回收公司成立的专门收集快递包装的一个分支机构,也可以是专业的废弃物回收企业。回收站若超出自身回收能力范围,相互协作的回收站之间可进行转运。

2) 快递企业。它是由邮递功能的门对门物流活动所衍生出的,并通过铁路、公路和航空等运输方式,按照客户要求对其货物(质量通常在50 kg以下的小型物件,如生活用品、小型电子产品等)进行快速投递的一类服务型公司。如顺丰速递、申通快递、圆通快递等典型快递企业,均有专门的快递代理点,可利用现有的网络系统进行集中回收。

3) 电商企业。它是指在电子商务交易平台上,为消费者提供网上购物和在线电子支付等综合服务的一类新型的运营公司,如唯品会、京东、聚美优品等。电商企业通常拥有独立的仓储中心、物流设备、配送站点及配送人员等,因而其具备完善的自营物流体系。在快递包装回收过程中,应充分利用电商企业现有仓储中心、物流设备、配送站点和配送人员,拓展其横向业务,提高快递包装回收效率。

4) 区域预处理中心。它是指一类专门从事区域内快递包装的收集、分类筛选、初加工、存储和转运的规模化集中处理的企业,也是我国快递包装回收物流系统的重要参与者。区域预处理中心若超出自身处理能力范围,相互协作的区域预处理中心之间可进行转运。

5) 包装制造企业。它是利用包装原材料专业化生产制造快递包装的企业,该类企业也可以对回收的快递包装进行深加工处理,从而使其变废为宝,赋予快递包装新的功能和价值。包装制造企业若超出自身处理能力范围,相互协作的包装制造企业之间亦可进行转运。

快递包装回收物流系统通过收集、分类筛选、加工等环节,将包装废弃物转化成具有完整包装功能的新包装产品,并将其重新投入下一轮生产或消费过程中。根据快递包装回收物流系统所含的主体要素种类及数量差异,并考虑其物流流程的特点,可将

我国快递包装回收物流系统的运行结构概括为以下 9 种类型, 如图 2 所示。

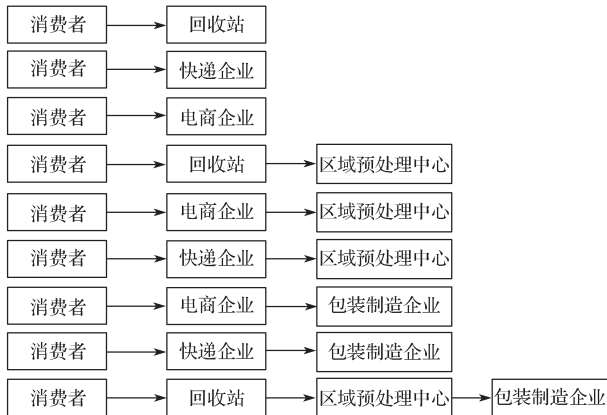


图 2 不同回收渠道下的快递包装回收物流系统结构

Fig. 2 The logistics structure of express packages in different recycling channels

## 2.2 运行模式分析

为深入了解快递包装回收物流系统的运行流程, 本节进一步分析由不同主体要素构成的快递包装回收物流系统的具体运行模式。

### 2.2.1 由二类主体要素构成的回收系统

这类回收系统表现为“消费者—回收站/快递企业/电商企业”的结构模式。该回收系统主要适用于某些损毁程度较低、只需做较简单处理即可再利用的普通快递包装。该回收系统的运作模式如图 3 所示。

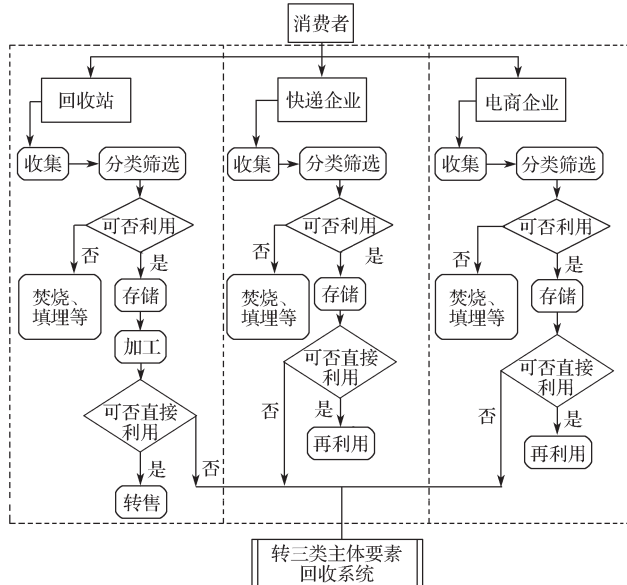


图 3 由二类主体要素构成的回收系统运作模式

Fig. 3 The operation mode of recycling system composed of two main elements

从图 3 可以看出, 由二类主体要素构成的回收系统的具体运行模式如下。

1) 在“消费者—回收站”环节中, 回收站主要对快递包装进行有偿回收, 并对回收的快递包装进行分类筛选、存储和加工处理。回收站将不可利用的快递包装作为垃圾进行降解、焚烧或填埋等处理; 将可直接再利用、破损程度低的快递包装进行简单加工处理, 作为包装新产品留存待售; 破损程度高需进一步加工的快递包装转至附近的区域预处理中心(具体分析见三类主体要素回收系统)。

2) 在“消费者—快递企业/电商企业”环节中, 快递企业和自营的电商企业可依托快递代理点、正向物流中的设施及现有的网络系统进行集中回收。其回收处理过程为回收、分类筛选、存储、再利用。当高效回收大量的快递包装后, 可分别利用配送点作为回收点, 仓储中心可以作为分类筛选点、存储点, 根据可否再利用分类筛选出需作垃圾处理 and 可回收利用的两类快递包装; 将简单加工后能直接使用的快递包装再利用, 不能直接使用的需转运至区域预处理中心进行深加工(具体分析见三类主体要素回收系统)。如唯品会或京东等电商企业可采用奖励金激励措施, 鼓励消费者积极参与快递包装回收行动, 或提高消费者主动退还快递包装的意识, 当配送员上门收货或送货时, 消费者可将自己闲置的快递包装交给配送员。快递企业亦可在快递代理点设置回收点, 采取激励措施鼓励消费者当即拆下快递包装。通过此种环节有利于提高快递包装的回收率、完好率和利用率, 提升企业配送站点和仓储中心的利用率, 能最大限度地节约回收成本, 从而获得更大收益。

### 2.2.2 由三类主体要素构成的回收系统

这类回收系统表现为“消费者—回收站/快递企业/电商企业—区域预处理回收中心”的结构模式。该回收系统主要适用于某些破损程度相对较大, 回收站/快递企业/电商企业无法直接处理或处理效率低, 需要区域处理中心进一步做规模化集中深加工的快递包装。该回收系统的运作模式如图 4 所示。

从图 4 可以看出, 在二类主体要素构成的回收系统运行模式的最后, 由于回收站、快递企业或电商企业对回收的快递包装加工修复处理能力较差, 只能做简单的初加工; 当回收的快递包装破损程度较高, 不能直接利用时, 此三类主体要素需将其运至附近区域预处理中心进行集中加工处理。区域预处理中心再经分类筛选, 将不具回收价值的快递包装作为垃圾处理, 而对于有回收价值的快递包装则做进一步加工处

理, 并得到两类不同加工程度的快递包装: 一类为在区域预处理中心加工处理能力范围内, 经深加工后可直接再利用的快递包装, 区域预处理中心可将此类快递包装转售, 从中获得销售收益; 二类为破损程度非常大、难以修复或经深加工后获得包装回收物原材料的快递包装, 区域预处理中心会将此类快递包装售给包装制造企业, 作为再生原料重新再制造快递包装 (具体分析见四类主体要素回收系统)。

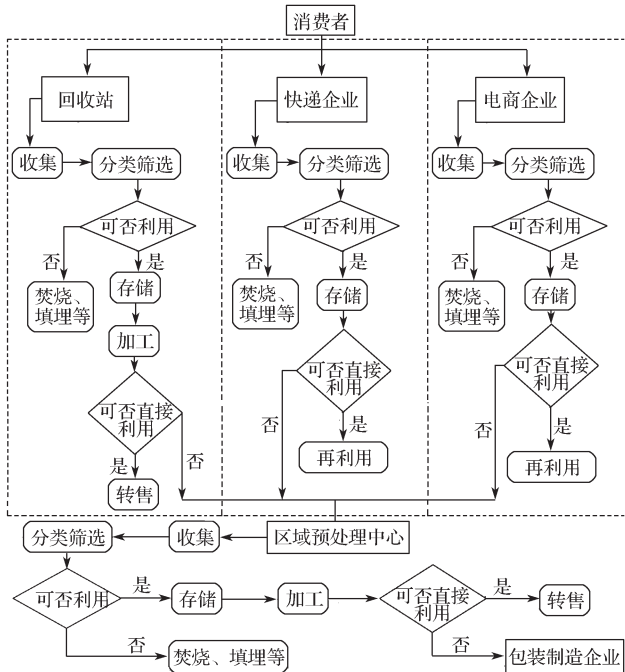


图4 由三类主体要素构成的回收系统运作模式

Fig. 4 The operation mode of recycling system composed of three main elements

### 2.2.3 由四类主体要素构成的回收系统

这类回收系统表现为“消费者—回收站—区域预处理中心—包装制造企业”的结构模式。该回收系统主要适用于数量较多但单位价值较低、破损程度非常大难以修复的普通快递包装。该回收系统的运作模式如图5所示。

从图5可以看出, 在三类回收主体要素构成的回收系统运行模式的最后, 区域预处理中心将破损程度非常大的快递包装及经过加工处理得到的包装回收物原材料转售给包装制造企业。包装制造企业会根据回收的快递包装加工难度进行分类: 对加工难度相对较低的快递包装经深加工即得到可再利用的新快递包装; 对加工难度比较大的快递包装则要重新制造, 从而得到新快递包装。此类回收系统针对性较强, 修复加工能力最强, 回收后二次利用率水平较高, 最终

会重新生产得到新的快递包装。

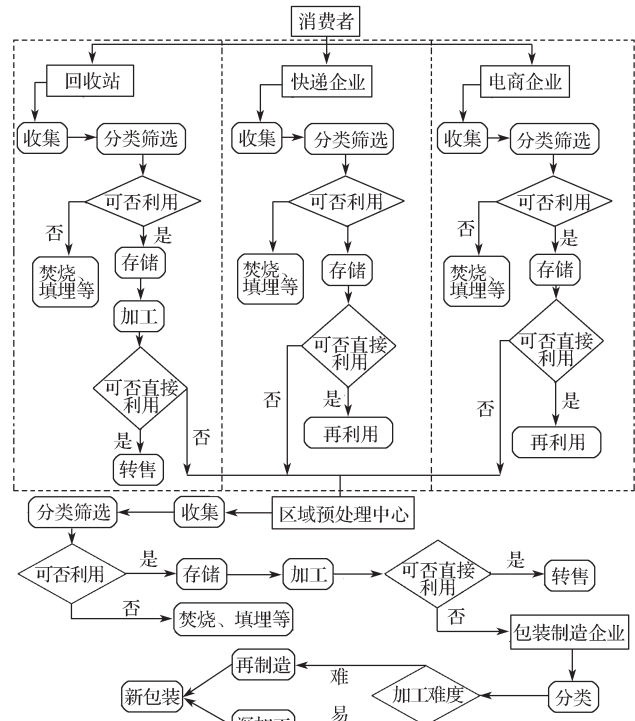


图5 由四类主体要素构成的回收系统运作模式

Fig. 5 The operation mode of recycling system composed of four main elements

考虑到当前快递企业、电商企业这两类主体要素对快递包装回收的主动性和积极性偏低, 而快递包装回收由回收站、区域预处理中心和包装制造企业这几个主体要素进行专业化和规模化的收集处理更能凸显成本效率, 因此, “消费者—回收站—区域预处理中心—包装制造企业”这一回收系统已成为我国快递包装回收物流的主模式。为了进一步解决我国当前快递包装回收成本较高、效率较低等问题, 本研究基于该快递包装回收物流的主模式进行模型分析。

## 3 快递包装回收物流系统最优调运方案模型

目前, 快递包装回收物流系统呈现多而杂的现象, 回收站、区域预处理中心、包装制造企业等回收主体要素可能因其空间分布不科学, 或运输能力与加工能力不吻合, 从而导致快递包装在回收过程中的调运效率极低、运输成本居高不下。

快递包装回收物流系统的回收效率与其运行成本密切相关。回收系统的运行成本包括运输成本、筛选成本、加工成本、搬运成本、仓储成本、物流信息技术相关成本及管理成本等, 其主要成本是运输成

本。在快递包装回收物流系统的主模式（即消费者—回收站—区域预处理中心—包装制造企业）中，因回收站大多分布在离消费者很近的区域，所以从消费者到回收站的运输成本基本可忽略不计，这样一来，从快递包装收集地（回收站）到处理地（区域预处理中心或包装制造企业）的运输成本就是回收系统运输成本的焦点所在。

以下基于运输成本最小化原则，探讨快递包装回收物流系统主模式中发送快递包装回收物的地点（以下简称发送地）和接收快递包装回收物的地点（以下简称接收地）之间，通过有效中转调运的方式合理优化运输路线及运量（即调运方案），降低运输成本。

### 3.1 模型的相关假设

优化调运方案的核心问题是通过降低运输成本提高回收物流效率，即降本增效。本研究为得到优化调运方案，建立了基本模型，为使模型有解，还需做如下假设：

1) 因自身加工能力的制约，每个包装制造企业都有一个最大接收量，且整个接收量都必须由回收站的发出量来满足；

2) 区域预处理中心所处理的全部快递包装都需要再运到包装制造企业，并由后者进行检验和深加工，且区域预处理中心对包装废弃物的销毁量极少（视为0），将其视为纯粹的中转站；

3) 回收的快递包装经由一个发送地到任何一个接收地所产生的运输成本和所运送快递包装的数量成线性关系，即两地间的运输成本等于运输单价乘以所运送快递包装的数量；

4) 上述原因所导致的回收问题最终均会使得运输成本增加，假设增加的运输成本均可分摊在各回收运输路线上。

### 3.2 基础模型

在快递包装回收物流系统中，可采用中转运输和直达运输两种方式。因此，回收站向外调出的快递包装既可以直接运送到包装制造企业，也可以经其他回收站、区域预处理中心、包装制造企业中转；同样，包装制造企业所处理的快递包装，既可以从回收站直接得到，也可以由区域预处理中心、其他包装制造企业得到。

现将回收站、区域预处理中心，包装制造企业统一编号。假设某地区有  $s$  个回收站  $A_1, A_2, \dots, A_s$ ， $q$  个区域预处理中心  $T_1, T_2, \dots, T_q$  和  $t$  个包装制造企业

$B_1, B_2, \dots, B_t$ ，且回收站、区域预处理中心、包装制造企业也均有“中转站”功能。设  $s+q=m, t+q=n$ ；从而回收快递包装的发送地和接收地都有  $m+n$  个。快递包装回收物流系统基本模型的多维中转调运示意图如图 6 所示。

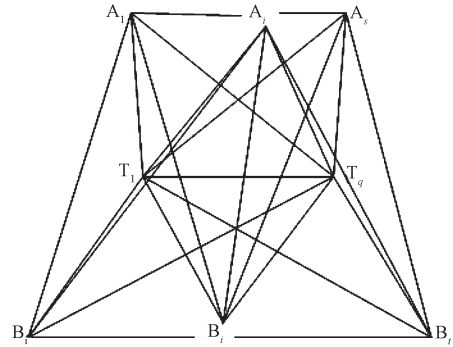


图 6 多维中转调运系统示意图

Fig. 6 Multi-transferring system

为建立数学模型，令： $a_i$  为第  $i$  个回收站的发送量 ( $i=1, 2, \dots, m$ )； $b_j$  为第  $j$  个包装制造企业的接收量 ( $j=1, 2, \dots, n$ )； $x_{ij}$  为由第  $i$  个发送地运到第  $j$  个接收地的快递包装数量； $c_{ij}$  为由第  $i$  个发送地运到第  $j$  个接收地的运输单价； $t_i$  为第  $i$  个地点转运快递包装的数量； $c_i$  为第  $i$  个地点转运快递包装的运输单价； $F$  为模型中的运输成本。

假设各回收站的总发送量和各包装制造企业的总接收量（处理量）达到平衡，即

$$\sum_{i=1}^s a_i = \sum_{j=1}^t b_j = Q.$$

根据上述假设与分析，可得出模型运输成本  $F$  最小化的约束方程：

$$\min F = \sum_{i=1}^{m+n} \sum_{j=1}^{m+n} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^{m+n} c_i t_i,$$

$$\begin{cases} x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{i,m+n} = a_i + t_i, & i = 1, 2, \dots, s; \\ x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{i,m+n} = t_i, & i = s+1, s+2, \dots, s+n; \\ x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{m+n,j} = t_j, & j = 1, 2, \dots, m; \\ x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{m+n,j} = b_j + t_j, & j = m+1, m+2, \dots, m+t; \\ x_{ij}, & i, j = 1, 2, \dots, m+n (i \neq j). \end{cases}$$

在上式各约束方程中，令： $x_{ii}=Q-t_i$  或  $x_{jj}=Q-t_j$ ，将上式各约束方程中的  $t_i$  或  $t_j$  移到等式左侧，然后等式两侧分别加上  $Q$ ，得到多维中转运输方程：

$$\min F = \sum_{i=1}^{m+n} \sum_{j=1}^{m+n} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^{m+n} c_i Q,$$

$$\begin{cases} x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{i,m+n} = a_i + Q, i = 1, 2, \dots, s; \\ x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{i,m+n} = Q, i = s+1, s+2, \dots, s+n; \\ x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{m+n,j} = Q, j = 1, 2, \dots, m; \\ x_{1j} + x_{2j} + \dots + x_{m+n,j} = b_j + Q, j = m+1, m+2, \dots, m+t; \\ x_{ij}, i, j = 1, 2, \dots, m+n (i \neq j). \end{cases}$$

模型的求解原则是将上述中转运输模型转化为运量表（见表1，运价表同理分布）。为使运量表的表述更直观，表1中用 $x_{A_1A_1}$ 代表方程中的 $x_{11}$ ，依次类推；将中转运输模型转化为经典的运输问题进行求解，具体求解过程见算例分析。

表1 多维中转运输问题的运量表  
Table 1 Transportation scale for transit shipping

发送地	接收地										发送量 /t
	回收站			区域预处理中心			包装制造企业				
	A <sub>1</sub>	...	A <sub>s</sub>	T <sub>1</sub>	...	T <sub>q</sub>	B <sub>1</sub>	...	B <sub>t</sub>		
回收站	A <sub>1</sub>	$x_{A_1A_1}$	...	$x_{A_1A_s}$	$x_{A_1T_1}$	...	$x_{A_1T_q}$	$x_{A_1B_1}$	...	$x_{A_1B_t}$	$Q+a_1$
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
区域预处理中心	A <sub>s</sub>	$x_{A_sA_1}$	...	$x_{A_sA_s}$	$x_{A_sT_1}$	...	$x_{A_sT_q}$	$x_{A_sB_1}$	...	$x_{A_sB_t}$	$Q+a_s$
	T <sub>1</sub>	$x_{T_1A_1}$	...	$x_{T_1A_s}$	$x_{T_1T_1}$	...	$x_{T_1T_q}$	$x_{T_1B_1}$	...	$x_{T_1B_t}$	Q
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
包装制造企业	T <sub>q</sub>	$x_{T_qA_1}$	...	$x_{T_qA_s}$	$x_{T_qT_1}$	...	$x_{T_qT_q}$	$x_{T_qB_1}$	...	$x_{T_qB_t}$	Q
	B <sub>1</sub>	$x_{B_1A_1}$	...	$x_{B_1A_s}$	$x_{B_1T_1}$	...	$x_{B_1T_q}$	$x_{B_1B_1}$	...	$x_{B_1B_t}$	Q
	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
接收量 /t	B <sub>t</sub>	$x_{B_tA_1}$	...	$x_{B_tA_s}$	$x_{B_tT_1}$	...	$x_{B_tT_q}$	$x_{B_tB_1}$	...	$x_{B_tB_t}$	Q
		Q	...	Q	Q	...	Q	Q+b <sub>1</sub>	...	Q+b <sub>t</sub>	

#### 4 算例分析

为求解快递包装回收物流系统主模式中的最优调运方案，本节基于以上模型进行算例分析。

以3个回收站、2个区域预处理中心、3个包装

制造企业为例，在已知每年各回收站的预计发送量、各包装制造企业的最大接收量，以及发送地和接收地之间的运输单价（见表2，单位：元）的条件下，利用表上作业法<sup>[15]</sup>（用列表的方法求解线性规划问题中运输模型的一种计算方法）求解模型的最优调运方案。

表2 发送地、接收地及中转站的运输单价及运量  
Table 2 Freight rates and transportation scale of dispatch, destination and transfer stations

发送地	接收地									发送量 /t
	回收站			区域预处理中心		包装制造企业				
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>		
回收站	A <sub>1</sub>	800	600	200		400	1 000	800	30	
	A <sub>2</sub>	800		500	100	300	900	500	900	10
	A <sub>3</sub>	600	500		400	200	200	800	700	20
区域预处理中心	T <sub>1</sub>	200	100	400			400	600	300	
	T <sub>2</sub>		300	200	800		200	300	200	
包装制造企业	B <sub>1</sub>	400	900	200	400	200			500	
	B <sub>2</sub>	1 000	500	800	600	300			400	
	B <sub>3</sub>	800	900	700	300	200	500	400		
接收量 /t						15	35	10		

求解最优调运方案的基本思路是：先将表2中各运输单价转化为平衡转运表（见表3），然后根据表上作业法求解最优调运方案。在转化过程中，还应注意以下问题：

1) 对调运方案建立运输单价表。其中，若发送

地与接收地之间没有运输路线的，其运价取任意大的正数M；对于A<sub>i</sub>地运至A<sub>i</sub>地、T<sub>i</sub>地运至T<sub>i</sub>地、B<sub>i</sub>地运至B<sub>i</sub>地的运输，即无运输，其运价为0，如表3中对角线数值。

2) 所有的区域预处理中心的接收量等于转运量，

即流入量等于流出量。由于事先无法知道该数据的准确值, 因此, 可以将调运总量 (即总接收量) 作为该数值的上界。本研究中的调运总量为 60 t, 故视区域预处理中心  $T_1, T_2$  的转运量均为 60 t。

3) 已知本研究中调运总量为 60 t, 根据前文基础模型中关于发送地和接收地的数量假设, 3 个回收站的发送量分别为 90, 70, 80 t; 区域预处理中心的转运量均为 60 t; 3 个包装制造企业的接收量分别为

75, 95, 70 t。

通过上述方法将快递包装回收物流系统中非平衡转运问题转化为平衡转运问题, 这样一来, 可以进一步运用表上作业法求解出最优方案 (见表 4)。表 4 中,  $\circ$  内数值表示最优运输量 (单位: t),  $\circ$  内以外的数值 (除去发送量、接收量对应数值) 表示运输单价 (单位: 元/t)。

表 3 带有中转站的“产”“销”平衡转运表  
Table 3 Balance delivery table with a transfer station

发送地	接收地									发送量 /t
	回收站			区域预处理中心		包装制造企业				
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$T_1$	$T_2$	$B_1$	$B_2$	$B_3$		
回收站	$A_1$	0	800	600	200	$M$	400	1 000	800	90
	$A_2$	800	0	500	100	300	900	500	900	70
	$A_3$	600	500	0	400	200	200	800	700	80
区域预处理中心	$T_1$	200	100	400	0	800	400	600	300	60
	$T_2$	$M$	300	200	800	0	200	300	200	60
包装制造企业	$B_1$	400	900	200	400	200	0	$M$	500	60
	$B_2$	1 000	500	800	600	300	$M$	0	400	60
	$B_3$	800	900	700	300	200	500	400	0	60
接收量 /t	60	60	60	60	60	75	95	70		

表 4 基于运输成本最小化的最优调运方案展示表  
Table 4 A list of optimal transport schemes based on minimum transport cost

发送地	接收地									发送量 /t
	回收站			区域预处理中心		包装制造企业				
	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$T_1$	$T_2$	$B_1$	$B_2$	$B_3$		
回收站	$A_1$	0 $\circ$ (60)	800	600	200(15)	$M$	400(15)	1 000	800	90
	$A_2$	800	0 $\circ$ (55)	500	100	300	900	500(15)	900	70
	$A_3$	600	500	0 $\circ$ (60)	400	200(20)	200	800	700	80
区域预处理中心	$T_1$	200	100(5)	400	0(45)	800	400	600	300(10)	60
	$T_2$	$M$	300	200	800	0(40)	200	300(20)	200	60
包装制造企业	$B_1$	400	900	200	400	200	0(60)	$M$	500	60
	$B_2$	1 000	500	800	600	300	$M$	0(60)	400	60
	$B_3$	800	900	700	300	200	500	400	0(60)	60
接收量 /t	60	60	60	60	60	75	95	70		

分析表 4 可以得知, 快递包装从  $A_1$  直接运到  $B_2$ , 运输单价为 1 000 元/t, 如果从  $A_1$  经  $A_3$  运往  $B_2$ , 运输单价为 600+800=1 400 元/t, 从  $A_1$  经  $A_2$  运往  $B_2$ , 运输单价为 800+500=1 300 元/t, 而从  $A_1$  经  $T_1$  运往  $B_2$ , 运输单价为 200+600=800 元/t, 因此从  $A_1$  到  $B_2$  运输成本最少的路径显然是从  $A_1$  经  $T_1$  运往  $B_2$ 。综上, 通过将现实问题进行模型化分析, 得出的最优调运方案可有效降低回收运输成本。

因此, 本算例中的最优调运方案为: 回收站  $A_1$  各运送 15 t 快递包装至区域预处理中心  $T_1$  和包装制

造企业  $B_1, T_1$  将 5 t 运至  $A_2$  和运 10 t 至  $B_3$ ; 而回收站  $A_2$  将 15 t 运至  $B_2$ ;  $A_3$  运 20 t 至  $T_2$ ,  $T_2$  再将 20 t 运至  $B_2$ 。该回收系统的最小调运总成本数值运算为:

$$\min F = 200 \times 15 + 400 \times 15 + 500 \times 15 + 200 \times 20 + 100 \times 5 + 300 \times 10 + 300 \times 20 = 30\ 000。$$

以上算例结果表明, 在快递包装回收过程中, “直线运输最短” 但运输成本未必最小。若要使调运成本最小化, 则需将快递包装经过有效中转以获得最优调运方案。因此, 在快递包装的回收过程中, 回收机构需综合各方面回收成本要素, 进行最优调运方案设

计, 协作分工, 才能有效降低回收成本。

## 5 结语

本文阐释了快递包装回收物流系统存在的主体要素, 并从物流路径及系统主体要素的空间分布两个方面分析了快递包装回收物流系统的结构。在此基础上, 通过具体考察由各类主体要素构成的快递包装回收物流系统的回收模式, 明确了我国快递包装回收物流系统的主模式。为提升快递包装回收物流系统的运行效率, 本研究还就系统主体要素之间的调运问题建立了基础模型, 并运用表上作业法进行算例分析, 求解了回收物流主模式的最优调运方案。上述研究对相关企业合理选择快递包装的回收物流模式, 并促使系统内相关主体要素对快递包装进行合理调运, 从而降低其回收成本, 对推动我国快递包装回收物流的高效运行有着重要意义。

### 参考文献:

- [1] KHEIRKHAH A, REZAEI S. Using Cross-Docking Operations in a Reverse Logistics Network Design: A New Approach[J]. *Production Engineering*, 2016, 10(2): 175-184.
- [2] ESKANDARPOUR M, MASEHIAN E, SOLTANI R, et al. A Reverse Logistics Network for Recovery Systems and a Robust Metaheuristic Solution Approach[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, 74(9/10/11/12): 1393-1406.
- [3] CINAR D, TEMUR G T, TOPCU Y I. An Axiomatic Design Approach to the Classification of Reverse Logistics Network Design Studies Under Fuzziness[M]//KAHRAMAN C, ÖZTAYŞI B. *Supply Chain Management Under Fuzziness*. Berlin: Springer, 2014: 591-606.
- [4] LIU T T, MAHDI M, YAO L M. Life Cycle Assessment of Waste Mobile Phone Recycling: A Case Study in China[C]//*Proceedings of the Eleventh International Conference on Management Science and Engineering Management*. Berlin: Springer, 2018: 1351-1360.
- [5] HANAFI Z, LI D, CHENG S. Reverse Logistics Network Design for Paper Recycling[C]//*Regional Conference on Science, Technology and Social Sciences (RCSTSS 2014)*. Singapore: Springer, 2016: 621-630.
- [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 Guoqiu, HUANG Xiaoyong, JIA Yanglei. Research on Reverse Logistics Recycling Model of Packaging Under Cyclic Symbiosis Economy[J]. *Enterprise Economy*, 2014(4): 23-27.
- [7] 梁碧云, 丁宝红, 施俊才. 废旧汽车逆向物流回收模式决策分析 [J]. *物流技术*, 2013, 32(11): 199-202.
- LIANG Biyun, DING Baohong, SHI Juncai. Analysis of Decision-Making in Waste Car Reverse Logistics and Recycling Model[J]. *Logistics Technology*, 2013, 32(11): 199-202.
- [8] 陈超. 基于循环经济视角的废旧家电回收体系构建研究 [D]. 南昌: 南昌大学, 2014.
- CHEN Chao. The Research of Constructing Waste Household Appliances Recycling System Based on Circular Economy[D]. Nanchang: Nanchang University, 2014.
- [9] 郑卫彦, 孟燕萍. 政府引导下绿色逆向物流网络线性规划模型: 以快递包装为例 [J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 51(4): 518-525.
- ZHENG Weiyan, MENG Yanping. The Linear Programming Model of Green Reverse Logistics Network Under the Guidance of the Government: Taking Express Packaging as an Example[J]. *Journal of Central China Normal University (Natural Sciences)*, 2017, 51(4): 518-525.
- [10] 乐雄平. 电商企业包装物逆向物流回收模式研究 [J]. *商业经济研究*, 2016(14): 73-74.
- LE Xiongping. Research on Reverse Logistics Recycling Model of E-Commerce Enterprise Packaging[J]. *Journal of Commercial Economics*, 2016(14): 73-74.
- [11] LIEDTKE G, FRIEDRICH H. Generation of Logistics Networks in Freight Transportation Models[J]. *Transportation*, 2012, 39(6): 1335-1351.
- [12] DERROUCHE R, MOUTAOUKIL A, NEUBERT G. Integration of Social Concerns in Collaborative Logistics and Transportation Networks[C]//*Collaborative Systems for Smart Networked Environments*. Berlin: Springer, 2014: 730-738.
- [13] 韩世莲, 刘新旺. 物流运输网络多目标最短路问题的模糊满意解 [J]. *运筹与管理*, 2014, 23(5): 55-61.
- HAN Shilian, LIU Xinwang. Fuzzy Optimal Solutions for Multiobjective Shortest Path Problems in the Logistics Transportation Network[J]. *Operations Research and Management Science*, 2014, 23(5): 55-61.
- [14] 贺华. 基于动因视角的物流运输成本计算 [J]. *财会通讯*, 2015(4): 39-41.
- HE Hua. Logistics Transportation Cost Calculation Based on Motivation Perspective[J]. *Communication of Finance*



and Accounting, 2015 (4): 39-41.

[15] 吴振奎, 王全文. 运筹学 [M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2006: 164-175.

WU Zhenkui, WANG Quanwen. Operations Research[M]. Beijing: China Renmin University Press, 2006: 164-175.

## Express Packaging Recycling Logistics System and the Optimal Transportation Scheme Design

LI Chonglian<sup>1</sup>, FAN Dingxiang<sup>2</sup>

(1. School of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. College of Economics & Trade, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China )

**Abstract:** Aimed at the issues of high recovery cost and low efficiency in express package recycling, from the aspects of the main elements of the express packaging recycling logistics system and the operation mode, three typical recycling systems were explained, with the specific operation mode and process of each system analyzed. On this basis, the optimal transportation of the express packaging recycling logistics system was constructed. Table dispatching method was used to solve the multi-dimensional transit transportation in the basic model. The results showed that the actual problems could be modeled and analyzed by summarizing various recycling modes, and achieve the optimal transportation plan of the system. Compared with the traditional transportation plan, the express packages were effectively transferred in the optimal transportation plan, which could greatly reduce the transportation cost in the recycling logistics system.

**Keywords:** express delivery packaging; recycling logistics system; multi-dimensional transit transportation; optimal transportation plan