



闭环供应链下汽车逆向物流网络设施选址

贾小龙¹, 付锐¹, 王雷²

1. 长安大学汽车学院, 西安 710064

2. 安徽交通职业技术学院汽车与机械工程系, 合肥 230051

摘要 随着中国汽车工业的快速发展, 汽车产量和保有量迅速增大, 报废汽车数量随之不断增长, 造成资源短缺、报废汽车遗留垃圾污染环境等问题。有效进行报废汽车回收, 尽可能提高其再利用率, 已成为汽车工业可持续发展的重要问题。研究了闭环供应链下汽车逆向物流网络设施选址问题。探讨了中国实施汽车逆向物流的对策、汽车逆向物流网络的构建。建立了汽车再制造逆向物流网络设施选址模型, 以确定网络中设施的数量、位置及规模, 并在由此构成的各条物流路径上合理分配物流量。利用 Lingo 软件对汽车逆向物流网络设施选址模型进行了解, 通过实际算例验证了模型的有效性。

关键词 报废汽车; 闭环供应链; 逆向物流网络; 设施选址模型

中图分类号 F062.2

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)12-0079-06

The Location Selection of Automobile Reverse Logistics Network within Closed-loop Supply Chains

JIA Xiaolong¹, FU Rui¹, WANG Lei²

1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China

2. Department of Automotive and Mechanical Engineering, Anhui Communications Vocational & Technical College, Hefei 230051, China

Abstract With the rapid development of China's automobile industry, the yield and the gross reserved number of automobiles rise rapidly and the number of the end-of-life vehicle grows at the same time. A range of issues such as shortage of resources, environmental pollution by garbage left over by waste automobiles will be put on the agenda inevitably. Therefore, the effective end-of-life vehicle recycling and the improvement of their utilization rate become an important issue for sustainable development of automobile industry. This paper discusses the location selection of automobile reverse logistics network within closed-loop supply chains. According to the functions, an implementation scheme of the automobile reverse logistics is put forward, together with a model for

design of automobile reverse logistics network. A model for automobile re-manufacturing reverse logistics network is developed. According to the model, the numbers, locations and capacities of various facilities and the allocation of corresponding goods flows in the network are determined. Through the Lingo software, the problem of location selection of automobile reverse logistics network is solved. The effectiveness of the model is verified through a practical example.

Keywords end-of-life vehicle; closed-loop supply chains; reverse logistics network; location model

20 世纪 60 年代以来, 随着人类工业化进程的加快, 环境问题日益加剧并逐渐受到各国政府的重视, 许多环保法律陆续出台。企业当前面临极其严酷的 3C (Customer, Competition, Change) 环境, 迫使企业为提高顾客满意度、获取竞争优势而承担起环境保护方面的社会责任^[1]。

目前在国外, 政府、企业、消费者和其他相关利益者, 十分关注退回商品、废旧物品、原材料、获救物品、废料及包装材料的回收, 力求使这些回收物品有新的用途或降低物料的处理费用, 这必然要求通过供应链对企业回收的物品进行综合管理, 从而构成逆向物流^[2]。

逆向物流不是简单的正向物流的翻版, 由于其具有数量、质量、时间等方面的不确定性, 相对于正向物流则更为复杂。因此, 有必要对逆向物流系统的规划设计进行专门研究。

收稿日期: 2009-03-03

作者简介: 贾小龙, 博士研究生, 研究方向为物流规划, 电子信箱: 51550520@qq.com; 付锐 (通信作者), 教授, 研究方向为交通安全, 电子信箱: furui@chd.edu.cn

1 汽车逆向物流及网络的构建

汽车逆向物流是以满足顾客退货、废弃物处理的需求和保护环境为基本出发点,根据实际需要,对汽车产品实行从下游到上游的物流活动^[3]。

本研究以报废汽车为例,建立汽车逆向物流的网络结构。报废汽车的逆向物流网络结构如图 1^[1]所示。

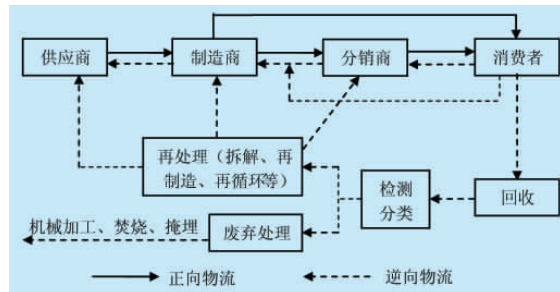


图 1 汽车逆向物流网络结构

Fig. 1 Network structure of automobile reverse logistics

2 汽车逆向物流网络设施选址模型

对汽车逆向物流网络设施选址,利用混合整数规划模型,结合汽车再制造工厂、再分销中心,构建了闭环供应链下逆向物流网络设施的选址模型。

2.1 问题描述

考虑构建一个多级正、逆向集成的逆向物流网络,包括回收中心、拆解中心、再制造工厂、再分销中心、消费区域、处理掩埋点。对报废汽车的零部件经过检测与分类后采取再制造和废弃处置两种方式。回收中心从消费者处收集报废汽车运往拆解中心进行拆卸、检测、分类等处理;不可再制造部分运往处理掩埋点,可再制造的产品送往工厂进行再制造;再制造产品通过再分销中心进行销售^[4]。

2.2 汽车逆向物流网络的组成

报废汽车回收逆向物流网络结构如图 2 所示,主要包括

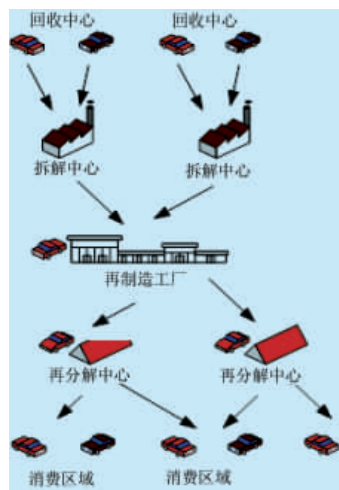


图 2 汽车回收逆向物流网络结构

Fig. 2 Network structures of automobile recycling reverse logistics

5 个部分:回收中心、拆解中心、再制造工厂、再分销中心和处理掩埋点。

2.3 汽车逆向物流网络模型的假设

为了便于分析和解决问题,对汽车逆向网络做如下假设。

1) 汽车逆向物流网络的收集点和销售点的位置已知,收集点的回收量和销售点的需求量已知,回收中心回收的报废汽车全部运往拆解中心(或集成的再分销/拆解中心),其可再制造率已知。

2) 处理掩埋点数量、位置和处理能力已知,仅在一些地理位置已知的备选点中考虑再制造工厂、再分销中心、拆解中心的选址,其处理能力、固定开设成本和单位运营成本已知。

3) 再制造工厂主要对废旧产品进行再制造,再制造产品都通过再分销中心(或集成的再分销/拆解中心)销售来满足市场需求,其单位售价与新产品相同。

4) 不考虑再制造过程中材料的损耗,即经拆解中心(或集成的再分销/拆解中心)检测、分类后的可再制造产品全部被制造。

5) 产品的单位运输成本已知,与运输量和运输距离呈正比,不考虑管理费用。

根据假设,汽车逆向物流网络具体结构如图 3 所示。

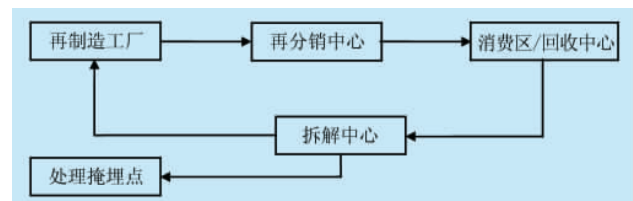


图 3 汽车逆向物流网络结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of network structure of automobile reverse logistics

2.4 模型建立

汽车逆向物流网络优化设计模型的目标是净收益最大,模型的成本主要为各节点的固定成本(如分销中心、拆解中心等设施的固定投资折合到每年的折旧等)、设施之间的运输成本、回收和再制造成本,模型的收益主要为再制造发动机的销售收入。其数学模型如下。

目标函数为

$$\begin{aligned} \max R = & \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{jk}^{sp} x_{jk}^{uz} - \left[\sum_{i=1}^I f_i^p y_i^p + \sum_{j=1}^J f_j^{wv} y_j^{wv} + \sum_{l=1}^L f_l^t y_l^t - \sum_{n=1}^N f_n^s y_n^s \right] - \\ & \left[\sum_{l=1}^L c_l^{in} \sum_{k=1}^K x_{kl}^{st} + \sum_{i=1}^I c_i^{pr} \sum_{l=1}^L x_{il}^{dp} \right] - \left[\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij}^{pw} L_{ij}^{pw} x_{ij}^{pw} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{jk}^{uz} L_{jk}^{uz} x_{jk}^{uz} + \right. \\ & \left. \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L c_{kl}^{st} L_{kl}^{st} x_{kl}^{st} + \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I c_{li}^{dp} L_{li}^{dp} x_{li}^{dp} + \sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M c_{lm}^{td} L_{lm}^{td} x_{lm}^{td} \right] + \\ & \left[\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{kn}^{zs} L_{kn}^{zs} x_{kn}^{zs} + \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I c_{ni}^{sp} L_{ni}^{sp} x_{ni}^{sp} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

约束条件为

$$\sum_{j=1}^J x_{jk}^{uz} = d_k \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{kl}^{zl} = r_k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{kl}^{zl} = \sum_{i=1}^I x_{li}^{ip} + \sum_{m=1}^M x_{lm}^{ld} \quad (4)$$

$$(1-\omega_l) \sum_{k=1}^K x_{kl}^{zl} = \sum_{m=1}^M x_{lm}^{ld} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{ij}^{pw} = \sum_{k=1}^K x_{jk}^{uz} \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{li}^{ip} \leq \omega_l \sum_{k=1}^K x_{kl}^{zl} \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{kn}^{zs} \leq \sum_{j=1}^J x_{jk}^{uz} \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{kn}^{zs} \leq \sum_{l=1}^L x_{kl}^{zl} \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{ni}^{pw} \leq \sum_{j=1}^J x_{ij}^{pw} \quad (10)$$

$$\sum_{n=1}^N x_{ni}^{pw} \leq \sum_{l=1}^L x_{li}^{ip} \quad (11)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij}^{pw} \leq A_i^p y_i^p \quad (12)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{jk}^{uz} \leq A_j^u y_j^u \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^I x_{li}^{ip} + \sum_{m=1}^M x_{lm}^{ld} \leq A_l^d y_l^d \quad (14)$$

$$y_i^p, y_j^u, y_l^d, y_n^s \in (0, 1) \quad (15)$$

上述公式组中, i 为再制造工厂备选地点, 上标 p 表示再制造工厂, $i \in [1, 2, \dots, I]$; j 为再分销中心备选地点, 上标 w 表示再分销中心, $j \in [1, 2, \dots, J]$; k 为已知消费区域, 上标 z 表示消费区域, $k \in [1, 2, \dots, K]$; l 为拆解中心备选地点, 上标 t 表示拆解中心, $l \in [1, 2, \dots, L]$; m 为已知处理掩埋点, 上标 d 表示处理掩埋点, $m \in [1, 2, \dots, M]$; n 为可能开设再分销/拆解中心的集成点, 上标 s 表示再分销/拆解中心集成点, $n \in \{1, 2, \dots, N\} = \{1, 2, \dots, N, N+1, \dots, J\} \cap \{1, 2, \dots, N, N+1, \dots, L\}$ 。

式中 $y_i^p, y_j^u, y_l^d, y_n^s$ 均为 0-1 变量, y_i^p 表示是否在第 i 地开设再制造工厂, y_j^u 表示是否在第 j 地开设再分销中心, y_l^d 表示是否在第 l 地开设拆解中心, y_n^s 表示是否在第 n 地开设集成的再分销/拆解中心。

式中 x_{ij}^{pw} 为再制造工厂 i 运往再分销中心 j 的再制造产品的数量; x_{jk}^{uz} 为再分销中心 j 运往消费区域 k 的再制造产品的数量; x_{kl}^{zl} 为消费区域 k 运往拆解中心 l 的报废汽车的数量; x_{li}^{ip} 为回收中心 l 运往再制造中心 i 的可再制造产品的数量; x_{lm}^{ld} 为拆解中心 l 运往处理掩埋点 m 的不可再制造废旧品的数量; x_{kn}^{zs} 为消费区域 k 的报废汽车回收量中利用, 向路径 nk 的配送车辆回程运往集成的再分销/拆解中心 n 的数量; x_{ni}^{pw} 为再

分销/拆解中心的可再制造产品利用正向路径 in 的配送车辆回程运往再制造工厂 i 的数量。

式中 f_i^p 为在 i 地开设再制造中心的固定成本; f_j^u 为在 j 地开设再分销中心的固定成本; f_l^d 为在 l 地开设回收中心的固定成本; f_n^s 为在 n 地开设集成的再分销/拆解中心的固定成本; c_l^{zn} 为拆解中心 l 回收单位报废汽车的回收处理成本; c_i^{pw} 为再制造工厂 i 的单位再制造产品的运营成本; c_k^{zp} 为再制造产品在区域 k 的单位售价; c_{ij}^{pw} 为再制造产品由再制造工厂 i 运往再分销中心 j 的单位距离运输成本; c_{jk}^{uz} 为再制造产品由再分销中心 j 运往消费区域 k 的单位距离运输成本; c_{kl}^{zl} 为报废汽车由消费区域 k 运往拆解中心 l 的单位距离运输成本; c_{li}^{ip} 为可再制造的产品由拆解中心 l 运往再制造工厂 i 的单位距离运输成本; c_{lm}^{ld} 为不可再制造的废旧产品由拆解中心 l 运往其他处理掩埋点 m 的单位距离运输成本; c_{kn}^{zs} 为消费区域 k 回收的报废汽车利用正向路径 nk 的配送车辆回程运往集成的再分销/回收拆解中心 n 所节约的单位距离运输成本; c_n^{pw} 为集成的再分销/拆解中心 n 的可再制造产品利用正向路径 in 的配送车辆回程运往再制造工厂 i 所节约的单位距离运输成本。

式中 L_{ij}^{pw} 为再制造工厂 i 到再分销中心 j 的距离; L_{jk}^{uz} 为再分销中心 j 到消费区域 k 的距离; L_{kl}^{zl} 为消费区域 k 到拆解中心 l 的距离; L_{li}^{ip} 为拆解中心 l 到再制造工厂 i 的距离; L_{lm}^{ld} 为拆解中心 l 到其他处理掩埋点 m 的距离; L_{kn}^{zs} 为消费区域 k 到集成的分销/拆解中心 n 的距离; L_n^{pw} 为集成的分销/拆解中心 n 到再制造工厂 i 距离, L_n^{pw} 等于 L_{ni}^{pw} ; d_k 为消费区 k 的再制造产品的需求量; r_k 为消费区 k 的报废汽车的数量; A_i^p 为再制造工厂 i 的最大产生能力; A_j^u 为再分销中心 j 的最大服务能力; A_l^d 为拆解中心 l 的最大处理能力; A_m^d 为其他处理点 m 的最大处理能力; ω_l 为报废汽车的零部件经拆解中心 l 处理后的最大可再制造率。

其中, 式(1)表示该逆向物流网络的净收益最大; 式(2)表示每个消费区再制造产品的需求量均得到满足; 式(3)表示每个消费区可被回收的报废汽车均被回收; 式(4)、式(5)描述了每个拆解中心的物流量守恒; 式(6)描述了每个再分销中心的物流量守恒; 式(7)规定了报废汽车零部件的平均可再制造率, 且可再制造零部件均被送到再制造工厂进行再制造; 式(8)~(11)表示集成的再分销/拆解中心存在的运输的优化集成; 式(12)~(14)表示再制造工厂、再分销中心、拆解中心、其他处理点等网络设施的处理量不大于其最大服务能力; 式(15)规定了参数为 0-1 变量。

该模型是一个混合整数线性规划模型 (MILP), 可利用 Lingo 8.0 软件包求解, 确定逆向物流网络设施的数量和位置, 得到布局合理的逆向物流网络^[5]。

3 汽车逆向物流网络设施选址算例

3.1 算例基本情况

汽车逆向物流网络是为某个区域范围服务的网络, 本算例选取的范围是陕西省, 以城市为具体研究对象, 主要对各

城市的报废轿车进行回收。算例中以报废汽车发动机为再制造产品。再制造工厂先对可再制造的报废汽车发动机进行再制造,然后由再分销中心进行配送,满足消费区的需求。其他前提假设如下。

1) 研究对象为陕西省的 10 个城市:西安、宝鸡、咸阳、渭南、延安、榆林、铜川、汉中、安康和商洛,各城市具体位置如图 4 所示(图中 1 为杨凌区)。



图 4 陕西省各城市位置

Fig. 4 Map of location of the cities in Shaanxi Province

2) 在各个城市利用已有回收站、维修中心等设施建立报废汽车回收中心,回收中心的建设成本和运营成本不予考虑。

3) 若拆解中心和再分销中心选择在同一个城市,就建立集成的再分销/拆解中心。

4) 待选拆解中心在西安、榆林、渭南、宝鸡、汉中 5 个城市中选择,待选再制造工厂在西安、延安、汉中 3 个城市中选择,待选再分销中心在西安、榆林、渭南、安康 4 个城市中选择,咸阳、汉中为其他处理点。设施的数量待定,目标是运营期内净收益最大。

5) 各城市回收中心回收的报废汽车配送到拆解中心进行拆解、检验,检验后可再制造的发动机配送到再制造工厂进行再制造,再制造的发动机由再分销中心配送到各城市进行销售,网络中的车辆由拆解中心和再分销中心统一调度。

3.2 基础数据

报废汽车逆向物流网络设施选址的混合整数规划模型需要以下数据:① 各城市间的实际公路里程;② 各城市回收中心每年回收报废汽车的数量;③ 按照距离和重量标准制定的不同运输费率;④ 回收拆解的发动机可再制造率;⑤ 各拆解中心、再制造工厂、再分销中心运营建设相关费用等。

3.2.1 各城市间距离

根据网络 Google 地图测距,得到各城市之间的具体距离如表 1 所示。

表 1 各城市之间的距离(单位:km)
Table 1 Distance between cities (Unit: km)

	西安	榆林	延安	铜川	咸阳	渭南	宝鸡	商洛	汉中	安康
西安	0									
榆林	644	0								
延安	338	306	0							
铜川	89	570	172	0						
咸阳	28	650	344	89	0					
渭南	61	683	377	141	89	0				
宝鸡	177	805	499	225	155	238	0			
商洛	131	758	452	230	159	163	308	0		
汉中	367	999	693	254	349	428	263	498	0	
安康	372	1 016	710	26	400	432	549	360	274	0

3.2.2 各城市汽车保有量和报废量

各城市汽车保有量、轿车总量、报废量和需求量见表 2^[6]。

3.2.3 运输费率

运输企业在制定运价方面会根据不同的标准定价,其中最常见运价结构与运量、运距和需求有关。本研究采用了 2008 年 6 月份全国公路货物运输市场价格^[7],使用整车运输,运输费用为 0.252 CNY/(t·km),具体数据见表 3 和表 4。

3.2.4 各设施运营建设相关费用

1) 拆解中心建设费用。包括土地使用费用、拆解中心房

屋建设费用、设备设施购置费用等。由于地理位置和规模不同,在各城市的建设费用也不同,具体数据见表 5,预计使用寿命均为 20 a。

2) 拆解中心的运营成本。包括拆卸中心管理费用、回收报废汽车的费用、车辆拆卸机器折旧成本、人员工资等。根据报废汽车的质量和 2008 年 3、4 月钢材的价格,每辆报废汽车的平均运营成本大约为 3 500 元/辆。

3) 再制造工厂的建设费用。同拆解中心建设费用,具体数据见表 6,预计使用寿命为 20 a。算例中规定再制造发动机的售价

表 2 各城市汽车保有量、报废量和需求量 (单位:辆)
Table 2 Total number of cars, the number of end-of-life cars and the demand of cars in the cities (Unit: car)

城市	总保有量	轿车总量	轿车报废量	需求量
西安	651 859	258 081	5 605	4 484
铜川	36 552	15 804	314	251
宝鸡	71 359	50 611	613	490
咸阳	231 647	100 327	1 992	1 539
渭南	166 042	68 370	1 427	1 141
延安	181 867	80 898	1 564	1 251
汉中	96 204	40 180	827	661
榆林	179 998	73 038	1 547	1 237
安康	55 913	24 165	480	384
商洛	46 591	21 609	400	320

与新发动机价格一样,平均价格为 13 000 元/台,发动机的再制造成本只是新产品的 50%,每台的再制造费用平均为 6 500 元。

表 3 2008 年 5、6 月份公路货物运输
市场价格 (Yuan/(t·km))
Table 3 Market price of road freight transportation in
May and June of 2008 (Yuan/(t·km))

	2008 年 5 月份均价	2008 年 6 月份均价
整车运输	0.242	0.252
零担重货	0.355	0.386
零担轻货	0.116	0.127

4) 分销中心的建设费用。同拆解中建设费用,具体数据见表 7。

5) 其他处理点的处理能力。对不能再制造,没有利用价值的零部件全部运往其他处理点进行处理,由于中国目前废弃物的处理费用不是很高,本算例根据当地汽车保有量及相应经济能力规定了咸阳市和汉中市的最大处理能力分别为 6 万辆和 5 万辆。

表 4 各城市间的运输费用 (CNY/t·km))
Table 4 Transport costs between the cities (CNY/t·km)

费用	西安	榆林	延安	铜川	咸阳	渭南	宝鸡	商洛	汉中	安康
西安	0									
榆林	166.3	0								
延安	85.2	77.1	0							
铜川	22.4	143.6	43.3	0						
咸阳	7.1	163.8	86.7	22.4	0					
渭南	15.4	172.1	95.0	35.532	22.4	0				
宝鸡	44.6	202.9	125.7	56.7	39.1	60.0	0			
商洛	33.0	191.0	113.9	58.0	40.1	41.1	77.6	0		
汉中	92.5	251.7	174.6	64.0	87.9	107.9	66.3	125.5	0	
安康	93.7	256.0	178.9	6.6	100.8	108.9	138.3	90.7	69.0	0

表 5 拆解中心 l 的固定成本 f_l 及其
最大处理能力 A_l
Table 5 Fixed costs of the dismantling center and
its greatest capacity A_l

	西安	榆林	渭南	宝鸡	汉中
f_l /万元	3 000	2 800	2 900	2 700	2 900
A_l /万辆	1.2	1.0	1.1	0.9	1.1

表 6 再制造中心 i 的固定成本 f_i 及其
最大处理能力 A_i
Table 6 Fixed costs of re-manufacturing center i (10^4
CNY) and its greatest capacity A_i (10^4 cars)

	西安	延安	汉中
f_i /万元	5 000	4 600	4 800
A_i /万辆	2	1.5	1.8

表 7 再分销中心 j 的固定成本 f_j 及其
最大处理能力 A_j
Table 7 Fixed costs f_j of distribution center j
and its greatest capacity A_j

	西安	榆林	渭南	安康
f_j /万元	1 800	1 700	1 650	1 750
A_j /万辆	0.5	0.4	0.36	0.38

3.2.5 可再制造率和汽车、发动机重量

1) 可再制造率。回收汽车材料的可利用率达到 80% 以上,而中国的再制造技术处于发展阶段,不够成熟。拆解中心对发动机进行初步检测挑选,对回收来的所有报废汽车,发动机的可再制造率为 80%。

2) 汽车、发动机重量。一个发动机的平均质量为 0.2 t,报废轿车的平均重量为 1.5 t,平均报废质量为 1 t。

3.3 混合整数规划模型选址结果与分析

根据上述数据,利用 Lingo 8.0 软件包进行求解,得出汽车逆向物流网络年最大收益值为 1 986.8 万元,并分别得到拆解中心、再制造工厂和分销中心的最佳分布位置(图 5),其他决策变量的部分最优解如表 8~表 12 所示。

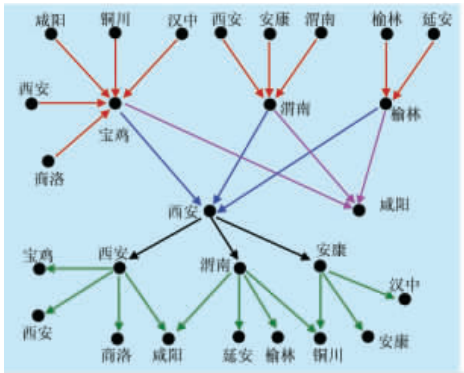


图 5 选址布局
Fig. 5 Layout of locations

表 8 逆向物流网络再分销中心配送到消费区 x_{jk}^{wz} 的最优解
Table 8 Optimal solution of re-distribution centers in reverse logistics network to consumption areas x_{jk}^{wz}

x_{11}^{wz}	x_{12}^{wz}	x_{13}^{wz}	x_{110}^{wz}	x_{33}^{wz}	x_{34}^{wz}
4 484	490	526	320	1 013	1 141
x_{35}^{wz}	x_{37}^{wz}	x_{47}^{wz}	x_{48}^{wz}	x_{49}^{wz}	
1 251	8	243	661	384	

表 9 逆向物流网络再制造工厂配送到再分销中心 x_{ij}^{pw} 的最优解
Table 9 Optimal solution of re-manufacturing in reverse logistics network to re-distribution centers x_{ij}^{pw}

x_{11}^{pw}	x_{13}^{pw}	x_{14}^{pw}
5 820	4 650	1 288

表 10 逆向物流网络回收中心运往拆解中心 x_{ij}^{rd} 的最优解
Table 10 Optimal solution of recycling center in reverse logistics network to dismantling centers x_{ij}^{rd}

x_{14}^{rd}	x_{15}^{rd}	x_{25}^{rd}	x_{35}^{rd}	x_{44}^{rd}	x_{53}^{rd}
5 093	512	613	1 992	1 427	1 564
x_{63}^{rd}	x_{75}^{rd}	x_{85}^{rd}	x_{94}^{rd}	x_{105}^{rd}	
1 547	314	82	480	400	

表 11 逆向物流网络拆解中心配送到再制造工厂 x_{ij}^p 的最优解
Table 11 Optimal solution of dismantling centers in reverse logistics network to re-manufacturing plants x_{ij}^p

x_{13}^p	x_{14}^p	x_{15}^p
2 488	5 600	3 726

表 12 结构变量的最优解
Table 12 Optimal solution of structure variables

y_1^p	y_1^r	y_3^r	y_4^r	y_3^d	y_4^d	y_5^d	y_3^s
1	1	1	1	1	1	1	1

根据计算结果,在再制造工厂备选点西安建立再制造工厂,在再分销中心备选点西安、渭南、安康建立再分销中心,在拆解中心备选点宝鸡、渭南、榆林建立拆解中心,同时,在渭南建立再分销/拆解中心,并按表 8~表 11 计算结果分配再制造发动机、报废汽车的物流量。

4 结论

通过建立混合整数优化模型,从系统论角度分析了影响汽车逆向物流成本的各项因素,为汽车物流企业提供了可靠的决策辅助手段。结合实际算例分析,得出科学合理的结果,验证了该方法的可行性,同时也为提高顾客价值、增强竞争优势、降低物料成本、增加企业效益、改善环境行为、塑造企业形象等起到显性和隐性作用。

参考文献 (References)

[1] 孙明贵. 回收物流管理[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2005.
Sun Minggui. Recycling logistics management [M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2005.

[2] Bloomberg D J, Lemay S, Hanna J B. 综合物流管理入门 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
Bloomberg D J, Lemay S, Hanna J B. Introduction to general logistics management[M]. Beijing: China Machine Press, 2003.

[3] 阮承健. 浅析汽车逆向物流[J]. 汽车工业研究, 2005(12): 34-37.
Ruan Chengjian. Automotive Industry Research, 2005(12): 34-37.

[4] 吴立清. 基于循环经济的汽车逆向物流研究 [D]. 西安: 长安大学汽车学院, 2006.
Wu Liqing. Study on reverse logistics vehicle based on circular economy [D]. Xi'an: School of Automobile, Chang'an University, 2006.

[5] Fleischmann M, Krikke H R, Dekker R, et al. A characterization of logistics network for Product recovery [J]. The International Journal of Management Science, 2000, 28: 653-666.

[6] 陕西省统计局, 国家统计局陕西调查总队. 陕西统计年鉴 2007[M]. 北京: 中国统计出版社, 2007.
Shaanxi Provincial Bureau of Statistics, National Bureau of Statistics Survey Organization in Shaanxi Province. Shaanxi statistical yearbook 2007[M]. Beijing: China Statistics Press, 2007.

[7] 2008 年 6 月份公路货物运输市场价格[EB/OL]. [2009-03-31]. <http://www.transdata.com.cn/info/infocontent.aspx?infoid=8148>.
Market price of road freight transport in June 2008[EB/OL]. [2009-03-31]. <http://www.transdata.com.cn/info/infocontent.aspx?infoid=8148>.

(责任编辑 赵佳)