

文章编号: 1674-8085(2018)03-0038-07

不确定条件下多产品第四方物流闭环网络鲁棒优化研究

*郭海峰, 林 群

(沈阳理工大学自动化与电气工程学院, 辽宁, 沈阳 110159)

摘 要: 在不确定条件下, 构建了一个包括生产商、集中退货中心、消费区/初始退货点、维修处理中心、分销中心和废弃处置中心的单周期多产品第四方物流闭环网络选址模型。在销售量和退货率均不确定的情况下, 用鲁棒优化的方法进行优化, 目标是使总成本最小。通过 lingo 10 对具体算例进行求解。结果验证了该模型的鲁棒性。

关键词: 第四方物流; 鲁棒优化; 区间分析; 非概率情景分析; 选址-路径问题

中图分类号: TH16; F252

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1674-8085.2018.03.009

ROBUST OPTIMIZATION ON CLOSED-LOOP NETWORK OF MULTI-PRODUCT FOURTH PARTY LOGISTICS UNDER UNCERTAINTY

*GUO Hai-feng, LIN Qun

(College of Automation and Electrical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

Abstract: One single-period multi-product fourth party logistics closed-loop network location model, which including the manufactory, the distribution centre, the consumption area, the collection centre, the re-manufactory and the landfill, is presented. In the uncertain condition of recovery rate, remanufacturing rate and renewable rate, the model is solved with the robust optimization method. The objective is to minimize the total cost. Lingo 10 is to solve the model combining with specific examples. The result verified the robustness of the model.

Key words: fourth party logistics; robust optimization; interval analysis; on-probabilistic scenarios analysis; location-routing problem

第四方物流是一个供应链的集成商, 它对公司内部和具有互补性的服务供应商所拥有不同资源、能力和技术进行整合和管理, 以提供一整套供应链解决方案^[1]。而目前的第四方物流是由因消费者个性化的需求导致产品多样性形成的正向物流和又因无缺陷退换货、退货以及因环保法规和降低成本的要求导致企业对已售出产品的回收再制造形成的逆向物流组成, 两者相互交织形成

复杂的供应链物流复杂闭环网络。而这种网络存在诸多不确定性, 使得这种物流网络的选址-路径优化问题变得越来越复杂。

目前, 关于第四方物流路径问题的研究都是基于多重图建立模型, 重点都集中于对求解算法的改进。文献[1]基于多重图建立模型, 并提出一种简化多重图的方法。文献[2]从多目标的角度对第四方物流路径问题进行研究, 基于多重图建立

收稿日期: 2018-02-25; 修改日期: 2018-03-17

作者简介: *郭海峰(1970-), 男, 山东莱芜人, 教授, 博士, 硕士生导师, 主要从事系统工程与供应链管理、鲁棒控制理论与应用方面的研究(E-mail: ghf_1970@163.com);

林 群(1985-), 女, 辽宁本溪人, 硕士, 主要从事系统工程与供应链管理、鲁棒控制理论与应用方面的研究(E-mail: linqun85@163.com).

模型, 并采用动态调整选址策略的改进蚁群算法进行求解。基于多重图建模方法, 对于物流网络多种不确定条件下的优化效果不明显。文献[3-4]对于突发事件如蓄意攻击等不确定性研究第四方物流网络的弹性设计。文献[5]考虑了模糊需求下的第四方物流网络路径优化。对于处理不确定性条件下的优化问题, 鲁棒优化方法是个很好的选择^[6]。鲁棒优化方法应用于供应链和逆向物流选址与路径问题的研究有很多报道^[6,7-10]。文献[7]为研究不确定环境下的物流中心选址与分配问题, 建立了一个鲁棒优化模型。文献[8]建立了回收再制造的鲁棒优化模型, 但是并没有考虑新产品的制造和需求。文献[9]在需求不确定的情况下, 运用鲁棒优化方法动态分配应急响应、疏散交通流量。文献[10]为研究成本参数与需求不确定情况下的多产品多周期的供应链问题, 建立了一个鲁棒的多目标混合整数非线性规划模型。而鲁棒优化在第四方物流应用还鲜有报道。

本文的主要工作是: 应用鲁棒优化方法综合考虑销售量和退货率均不确定的前提下, 对集中退货中心、维修处理中心和分销中心进行选址, 确定最优路径以及运输量, 以达到总成本最小的目的, 并通过算例对其进行验证。

1 购买-退货第四方物流网络模型

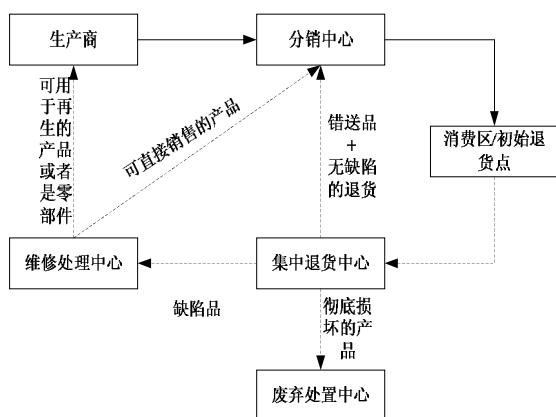


图1 第四方闭环物流网络结构图

Fig.1 Structure diagram of the fourth party closed loop logistics network

如图1所示构建一个第四方物流闭环网络结构, 包括生产商、分销中心、消费区/初始退货点、集中退货中心、维修处理中心和废弃处置中心。所有的退货首先从消费区/初始退货点运到集中退货中心, 在集中退货中心进行检测和分类处理; 对于在装卸、运输过程中损坏和由于生产原因造成的有缺陷的退货以及保修期内的产品, 运到维修处理中心, 在经过必要的维修处理后, 恢复自身功能的商品运到分销中心进行再次销售, 而没有恢复自身功能即损伤比较严重的商品运到原生产商进行再生产以恢复其应有功能, 然后再运到分销中心等待再次销售; 由于运输、包装、装卸等原因产生的错送品直接运到分销中心等待再次销售, 同时要换成正确的商品, 重新运送给顾客; 由于客户个人偏好等原因造成的无缺陷退货则直接运往分销中心, 通过简单的清洁、保养、重新包装等操作, 继续在市场进行销售; 在集中退货中心经检测为不具备应有功能的废弃品则运往废弃处置中心进行填埋处理。

为了便于分析, 给出以下假设和说明:

(1)模型仅针对上一个销售期多种已售产品中退货品处理的可计量的经济成本, 不考虑时间成本、社会效益等;

(2)消费者只能通过初始退货点进行退货, 消费区与初始退货点合二为一;

(3)消费区/初始退货点、废弃处置中心、生产商位置已知, 初始退货点的退货必须全部送至集中退货中心, 集中退货中心容量足够大且能及时回收所有退货品并对其及时地筛选处理, 可以选择在原有的分销中心候选地上扩建或新建; 新建维修处理中心只负责退货品的维修处理, 其地址候选; 废弃处置中心没有容量限制, 不考虑初始退货点和维修处理中心的废弃产品;

(4)产品上一周期的销售量在可预测的区间范围内; 退货率不确定, 但可以预测几种可能的情况;

(5)模型以年为时间单位, 当年的运输费用、集中退货中心、维修处理中心的固定投资费用及单位处理费用均已知, 所有的检测和维修设备等

固定设备设施都按一定的年限进行平均折旧;

(6) 运输费用与运输量(或运输距离)成正比, 退货品集中检测、维修处理和废弃处置费用与处理量成正比。

符号说明:

$m \in \{1, 2, \dots, M\}$: 已知的生产商厂址集合;

$i \in \{1, 2, \dots, I\}$: 集中退货中心备选地集合;

$j \in \{1, 2, \dots, J\}$: 维修处理中心备选地集合;

$k \in \{1, 2, \dots, K\}$: 已知的废弃处置中心集合;

$l \in \{1, 2, \dots, L\}$: 已知的消费区/初始退货点集

合;

$v \in \{1, 2, \dots, V\}$: 分销中心备选地集合;

$s \in \{1, 2, \dots, S\}$: 可以通过历史数据挖掘得到的退货率的组合;

F_i : 在 i 地新建集中退货中心的固定成本;

F_j : 在 j 地新建维修处理中心的固定成本;

F_v : 在 v 地新建分销中心的固定成本;

T_i : 集中退货中心 i 的使用年限;

T_j : 维修处理中心 j 的使用年限;

T_v : 分销中心 v 的使用年限;

O_s^* : s 情景在确定性环境下的最优目标函数值;

R_s : 不确定情景下的鲁棒目标函数值;

U_{ie} : 新建集中退货中心 i 对产品 e 的最大处理能力;

U_{je} : 新建维修处理中心 j 对产品 e 的最大处理能力;

U_{ve} : 分销中心 v 对产品 e 的最大处理能力;

C_{ie} : 扩建或新建集中退货中心 i 对产品 e 的单位处理成本;

C_{je} : 新建维修处理中心 j 对产品 e 的单位维修处理成本;

C_{ke} : 废弃处置中心 k 对产品 e 的单位处置成本;

C_{ve} : 分销中心 v 对产品 e 的单位处理成本;

C_{le} : 产品 e 在初始退货点 l 的单位退货成本;

C_{lie} : 产品 e 从消费区/初始退货点 l 到集中退货中心 i 的单位运输成本;

C_{ije} : 产品 e 从集中退货中心 i 到维修处理中心 j 的单位运输成本;

C_{ike} : 产品 e 从集中退货中心 i 到废弃处置中心 k 的单位运输成本;

C_{ive} : 产品 e 从集中退货中心 i 到分销中心 v 的单位运输成本;

C_{jve} : 产品 e 从维修处理中心 j 到分销中心 v 的单位运输成本;

C_{jme} : 产品 e 从维修处理中心 j 到生产商 m 的单位运输成本;

C_{mve} : 产品 e 从生产商 m 到分销中心 v 的单位运输成本;

C_{vle} : 产品 e 从分销中心 v 到消费区/初始退货点 l 的单位运输成本;

d_{li} : 从消费区/初始退货点 l 到集中退货中心 i 的距离;

d_{ij} : 从集中退货中心 i 到维修处理中心 j 的距离;

d_{ik} : 从集中退货中心 i 到废弃处置中心 k 的距离;

d_{iv} : 从集中退货中心 i 到分销中心 v 的距离;

d_{jv} : 从维修处理中心 j 到分销中心 v 的距离;

d_{jm} : 从维修处理中心 j 到生产商 m 的距离;

C_{mve} : 从生产商 m 到分销中心 v 的距离;

d_{vl} : 从分销中心 v 到消费区/初始退货点 l 的距离;

CSP_{me} : 生产商 m 利用单位再生产品 e 节省的原材料购买成本;

CSP_{je} : 维修处理中心 j 利用单位再维修品 e

节省的原材料购买成本;

$D_{le} \in [D_{le}^1, D_{le}^2]$: 上一销售期, 产品 e 在消费

区 l 的销售量;

β_e : 产品 e 由于生产原因造成缺陷率;

γ_e : 产品 e 因运输、装卸等原因中途损坏造成缺陷率;

μ_e : 产品 e 错送率;

η_e : 产品 e 没有质量问题, 因顾客喜好问题而退货率;

θ_e : 产品 e 经维修处理中心处理后, 运往分销中心可直接投入销售的概率。

X_{slie} : S 情景下, 从初始退货点 l 运往集中退货中心 i 的产品 e 的数量;

X_{sije} : S 情景下, 从集中退货中心 i 运往维修处理中心 j 的产品 e 的数量;

X_{sike} : S 情景下, 从集中退货中心 i 运往废弃处置中心 k 的废弃品数量;

X_{sive} : S 情景下, 从集中退货中心 i 运往分销中心 v 的可直接销售的产品 e 的数量;

X_{sjve} : S 情景下, 从维修处理中心 j 运往分销中心 v 的已修复产品 e 的数量;

X_{sjme} : S 情景下, 从维修处理中心 j 运往生产商 m 的未修复产品 e 的数量;

X_{smve} : S 情景下, 从生产商 m 运往分销中心 v 的可销售产品 e 的数量;

X_{svle} : S 情景下, 从分销中心 v 到消费区/初始退货点 l 的可销售产品 e 的数量;

α_{se} : S 情景下, 产品 e 的退货率, 即消费区/初始退货点 l 的退货品占总销售量的比率;

y_i : 0-1 变量, 表示是否在 i 地建集中退货中心, 是取 1, 否取 0;

y_j : 0-1 变量, 表示是否在 j 地建维修处理中心, 是取 1, 否取 0;

y_v : 0-1 变量, 表示是否在 v 地建分销中心, 是取 1, 否取 0;

则鲁棒优化模型如下:

目标函数:

$$\min \left\{ \max_{s \in S} (R_s - O_s^*) \right\}$$

其中,

$$\begin{aligned} R_s = & \sum_{v=1}^V F_v \cdot y_v / T_v + \sum_{i=1}^I F_i \cdot y_i / T_i + \sum_{j=1}^J F_j \cdot y_j / T_j + \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E X_{slie} \cdot C_{lie} \cdot d_{li} + \\ & \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E X_{sije} \cdot C_{ije} \cdot d_{ij} + \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V \sum_{e=1}^E X_{sive} \cdot C_{ive} \cdot d_{iv} + \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{e=1}^E X_{sike} \cdot C_{ike} \cdot d_{ik} + \\ & \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V \sum_{e=1}^E X_{sjve} \cdot C_{jve} \cdot d_{jv} + \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{e=1}^E X_{sjme} \cdot C_{jme} \cdot d_{jm} + \sum_{m=1}^M \sum_{v=1}^V \sum_{e=1}^E X_{smve} \cdot C_{mve} \cdot d_{mv} + \\ & \sum_{v=1}^V \sum_{l=1}^L \sum_{e=1}^E X_{svle} \cdot C_{vle} \cdot d_{vl} + \sum_{v=1}^V \sum_{l=1}^L \sum_{e=1}^E X_{svle} \cdot C_{ve} + \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E X_{slie} \cdot C_{ie} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E X_{sije} \cdot C_{je} + \\ & \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K \sum_{e=1}^E X_{sike} \cdot C_{ke} + \sum_{l=1}^L \sum_{i=1}^I \sum_{e=1}^E X_{slie} \cdot C_{le} - \sum_{j=1}^J \sum_{m=1}^M \sum_{e=1}^E X_{sjme} \cdot CSP_{me} - \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{e=1}^E X_{sije} \cdot CSP_{je} \end{aligned}$$

约束条件:

$$\sum_{i=1}^I X_{slie} = D_{le} \cdot \alpha_{se} \quad \forall s, l, e \quad (1)$$

$$\sum_{l=1}^L X_{slie} = \sum_{j=1}^J X_{sije} + \sum_{v=1}^V X_{sive} + \sum_{k=1}^K X_{sike} \quad \forall s, i, e \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{sije} = \sum_{m=1}^M X_{sjme} + \sum_{v=1}^V X_{sjve} \quad \forall s, j, e \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{sjme} = \sum_{v=1}^V X_{smve} \quad \forall s, m, e \quad (4)$$

$$\sum_{l=1}^L X_{svle} = \sum_{m=1}^M X_{smve} + \sum_{j=1}^J X_{sjve} \quad \forall s, v, e \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^J X_{sjie} = (\beta_e + \gamma_e) \cdot \sum_{l=1}^L X_{slie} \quad \forall s, i, e \quad (6)$$

$$\sum_{v=1}^V X_{sive} = (\mu_e + \eta_e) \cdot \sum_{l=1}^L X_{slie} \quad \forall s, i, e \quad (7)$$

$$\sum_{v=1}^V X_{sjve} = \theta_e \cdot \sum_{i=1}^I X_{sjie} \quad \forall s, j, e \quad (8)$$

$$\sum_{l=1}^L X_{slie} \leq U_{ie} \cdot y_i \quad \forall s, i, e \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{sjie} \leq U_{je} \cdot y_j \quad \forall s, j, e \quad (10)$$

$$\sum_{l=1}^L X_{svle} \leq U_{ve} \cdot y_v \quad \forall s, v, e \quad (11)$$

$$X_{slie} \leq w \cdot y_i \quad \forall s, i, l, e \quad (12)$$

$$X_{sjie} \leq w \cdot y_i \quad \forall s, i, j, e \quad (13)$$

$$X_{sive} \leq w \cdot y_i \quad \forall s, i, v, e \quad (14)$$

$$X_{sike} \leq w \cdot y_i \quad \forall s, i, k, e \quad (15)$$

$$X_{sjie} \leq w \cdot y_j \quad \forall s, i, j, e \quad (16)$$

$$X_{sjme} \leq w \cdot y_j \quad \forall s, j, m, e \quad (17)$$

$$X_{sjve} \leq w \cdot y_j \quad \forall s, j, v, e \quad (18)$$

$$X_{smve} \leq w \cdot y_v \quad \forall s, m, v, e \quad (19)$$

$$X_{sjve} \leq w \cdot y_v \quad \forall s, j, v, e \quad (20)$$

$$X_{sive} \leq w \cdot y_v \quad \forall s, i, v, e \quad (21)$$

$$X_{svle} \leq w \cdot y_v \quad \forall s, v, l, e \quad (22)$$

$$X_{slie}, X_{sjie}, X_{sive}, X_{sike}, X_{sjme}, X_{sjve}, X_{smve}, X_{svle} \quad \forall s, l, i, j, k, m, v, e \quad (23)$$

其中, 约束(1)~(8)表示物流守恒, 即各设施的流入量等于流出量; 约束(9)~(11)表示各设施的最大能力限制; 约束(12)~(22)表示只有当设施被选中时才有与其相关的物流量, w 代表无穷大的数; 约束(23)限定了决策变量的取值范围。

2 算例仿真与分析

应用上述鲁棒模型, 构建某一个大型家电企业的第四方物流闭环网络的选址-路径。这里考虑对两种产品的购买-退货情况进行分析。如表1所示, L_1 代表消费区/初始退货点编号, C_{le} (元/吨)为单位退货成本, D_{le} (吨)为上一期销售量。

表1 消费区/初始退货点相关数据

Table 1 Relevant data of consumption area / initial return point

L_l	位置坐标	C_{le}	D_{le}
L_1	(185,65)	75/70	[800,1200]/[700,1250]
L_2	(125,80)	60/55	[850,1200]/[900,1200]
L_3	(148,85)	48/42	[700,900]/[800,900]
L_4	(110,70)	80/76	[1100,1300]/[1200,1500]

为了便于分析, 不考虑其他退货行为(如产品季节性退货、零售商存货清理退货和制造商产品召回退货等)。根据市场消费情况, 通常情况下, 主要家电的退货率在4.5%左右, 而其零部件的退回率在产品的生命周期内则可能会高得多(10%-25%之间)。本算例中假设商品1的退货率有两种可能的情景0.025和0.04, 商品2的退货率也有两种可能的情景0.03和0.04, 则总共有四种组合情景, 如表2所示。

表2 组合情景

Table 2 Combination scenario

情景 S	商品1的退货率	商品2的退货率
1	0.025	0.03
2	0.025	0.04
3	0.04	0.03
4	0.04	0.04

集中退货中心、分销中心和维修处理中心的布局规划是购买-退货第四方物流网络规划的核心内容, 其备选地点的确定不是任意的, 必须遵循适应性、协调性、经济性、战略性等原则以选择适宜的地址作为候选地点。经综合评价, 选择 I_1 、 I_2 、 I_3 、 I_4 作为新建集中退货中心的候选地点, V_1 、 V_2 、 V_3 为新建分销中心的候选地点, 而考虑到技术、资源等因素只选择在 J_2 、 J_2 、 J_3 新建维修处理中心如表3所示。

表 3 新建集中退货中心、分销中心和维修处理中心的相关数据

Table 3 Relevant data of new centralized return center, distribution center and maintenance processing center

备选设施编号 I_i, V_i, J_j	备选设施位置坐标	新建设施固定费用 F_i, F_v, F_j (万元)	单位处理成本 C_{ie}, C_{ve}, C_{je} (元/吨)	最大处理能力 U_{ie}, U_{ve}, U_{je} (吨)
I_1	(100,40)	25.5	100/110	500/550
I_2	(120,70)	30	120/110	500/540
I_3	(165,75)	25	150/135	500/491
I_4	(125,90)	20	125/110	500/470
V_1	(125,115)	15	80/75	700/700
V_2	(145,130)	15	75/70	710/700
V_3	(160,100)	18	82/80	700/700
J_1	(120,100)	30	150/145	400/350
J_2	(150,105)	38.8	140/142	400/350
J_3	(140,120)	25	150/140	400/350

备选维修处理中心利用两种单位可维修商品平均节约成本分别为 110,120,130 和 145,150,160。已知生产商的位置坐标、利用单位再生商品平均节约成本如表 4 所示。已知废弃处置中心的位置坐标、单位处理成本如表 5 所示。

表 4 已知生产商的相关数据

Table 4 Relative data of known manufacturers

生产商编号	位置坐标	CSP_{me} (元/吨)
M_1	(125,130)	100/150
M_2	(155,125)	120/160

表 5 已知废弃处置中心的相关数据

Table 5 Related data of known waste disposal centers

废弃处置中心	位置坐标	C_{ke} (元/吨)
K_1	(130,75)	80/90
K_2	(155,75)	90/105

由于退货原因不同导致退率存在一定差别，由于生产缺陷导致的退货率 $\beta_e=0.15/0.1$ ，由于损坏缺陷导致的退货率 $\gamma_e=0.1/0.11$ ，由于错送导致退货率 $\mu_e=0.05/0.04$ ，无缺陷的退货率 $\eta_e=0.65/0.73$ ，经维修处理中心处理后可直接投入销售的概率 $\theta_e=0.5/0.45$ 。

运输方式选择公路回程运输，各设施间的商品单位运输成本与各设施间的距离成正比的关系，两种商品的单位运输成本分别为 $C_{j1}=0.8*d_{ij}$ 和 $C_{j2}=0.7*d_{ij}$ ，运输距离采用平面坐标上的欧几里德距离 (Euclidean distance) 表示，即

$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$ ，则各设施间的距离如表 6 所示。求解文中所建模型，得出最优值为 $z^* = 11628.$ ，分销中心在 1、3 号备选地址建厂，集中退货中心在 3、4 号备选地址建厂，维修处理中心在 1 号备选地址建厂。表 7 给出确定性环境和不确定性环境下网络的总成本的对比，可以看出，鲁棒优化模型求得的不确定环境下的最优成本与确定环境下的最优成本的差均在 6%之内，二者的差是很微小的，这表明了鲁棒优化模型已经能比较理想地控制所建模型的销售量和退货率的不确定性，使得该购买-退货第四方物流网络具有较好地可行性和鲁棒性。另外，从运行结果还可以看出，不管是确定环境还是不确定环境，对设施的选址和数量是不变的，改变的仅仅是设施间的路径和物流量，从而改变了总成本。

表 6 各设施间的距离（千米）

Table 6 The distance between the facilities (km)

设施编号	I_1	I_2	I_3	I_4	M_1	M_2	V_1	V_2	V_3
L_1	I_2	I_3	22.36	65	—	—	78.10	76.32	43.01
L_2	65	11.18	60.21	10	—	—	35	53.85	40.31
L_3	65.80	31.76	19.72	23.54	—	—	37.80	45.10	19.21
L_4	100	10	55.23	25	—	—	47.43	69.46	58.31
J_1	20	30	51.48	15	30.41	43.01	15.81	39.05	40
J_2	82.01	46.10	33.54	27.39	35.36	20.62	26.93	25.50	11.18
J_3	89.44	53.85	51.48	32.02	18.03	15.81	15.81	11.18	28.28
K_1	46.10	15	35	15.81	—	—	—	—	—
K_2	65.19	35.36	10	33.54	—	—	—	—	—
V_1	79.06	45.28	56.57	25	15	31.62	—	—	—
V_2	100.62	65	58.52	44.72	20	11.18	—	—	—
V_3	84.85	50	25.50	36.40	46.10	25.50	—	—	—

表 7 鲁棒优化模型与确定模型的优化结果比较

Table 7 Comparison of the optimization results between the robust optimization model and the determined model

S	R_S (元)	O_s^* (元)	$(R_S - O_s^*)/O_s^*(\%)$
1	350832.5	348729.5	5.99
2	404453.5	402338.2	5.23
3	439674.2	428046.2	5.54
4	493295.2	490389.7	5.89

3 结束语

第四方物流是电子商务的基础,而在电子商务环境下消费者需求的多样性导致退换货物流管理成为第四方物流网络实施的关键因素。本文在综述现有文献报道的基础上,调研一个高科技电子企业,构建了比较贴近实际的购买-退货第四方物流选址-路径鲁棒模型,并采用区间描述销售量和退货率的不确定性。最后,通过一个算例使用区间分析和情景分析相结合的方法进行该模型的优化求解,得出了最优的选址策略、路径以及物流量结果,数值结果验证了模型及其解的鲁棒性。这种方法具有一定的理论和实践价值,为高科技电子产品的购买-退货第四方物流网络的优化研究提供了指导。

参考文献:

- [1] Zhang H, Li X, Liu W H. A Method of Network Simplification in a 4PL System[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2005, 28(10): 279-288.
- [2] 任亮. 第四方物流多目标路径问题的建模与优化[D]. 沈阳:东北大学, 2009.
- [3] 李锐, 黄敏, 张瑞友, 等. 考虑蓄意攻击的第四方物流弹性网络设计模型[J]. 系统工程学报, 2016, 31(05): 657-665.
- [4] 李锐, 孙福明, 佟玉军. 第四方物流多到多弹复性网络设计[J]. 计算机工程, 2017, 43(04): 228-233.
- [5] 崔妍, 黄敏, 张欣, 等. 基于模糊需求的第四方物流路径问题优化[J]. 控制工程, 2017, 24(08): 1662-1665.
- [6] 桂云苗, 龚本刚, 程幼明. 不确定条件下供应链网络鲁棒优化与算法[J]. 统计与决策, 2011, 23(8): 172-174.
- [7] WANG Baohua, Shiwei H E. Robust Optimization Model and Algorithm for Logistics Center Location and Allocation under Uncertain Environment[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2009, 9(2): 69-74.
- [8] Mir Saman Pishvaei, Masoud Rabbani, Seyed Ali Torabi. A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty[J]. Applied Mathematical Modelling, 2011, 35(2): 637-649.
- [9] Aharon Ben-Tal, Byung Do Chung, Supreet Reddy Mandala, et al. Robust Optimization for Emergency Logistics Planning: Risk Mitigation in Humanitarian Relief Supply Chains[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2011, 45 (8): 1177-1189.
- [10] S.M.J. Mirzapour Al-e-hashem, H. Malekly, M.B. Aryanezhad. A Multi-objective Robust Optimization Model for Multi-product Multi-site Aggregate Production Planning In A Supply Chain Under Uncertainty[J]. Int. J. Production Economics, 2011, 34(1): 28-42.