



现货市场补充作用下基于总量折扣的 运输服务采购问题研究

闫芳, 张凤, 陈凯

引用本文:

闫芳, 张凤, 陈凯. 现货市场补充作用下基于总量折扣的 运输服务采购问题研究[J]. 控制与决策, 2021, 36(11): 2794–2802.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0274>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于鲁棒优化的云医疗资源配置问题

Robust optimization based medical resource allocation problem in cloud healthcare system

控制与决策. 2021, 36(2): 469–474 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2019.0455>

混合决策下考虑第三方偏好的远程医疗服务匹配方法

Matching method for telemedicine service considering third-party preferences in context of mixed decision-making

控制与决策. 2021, 36(11): 2803–2811 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0447>

基于时空聚类求解带容积约束的选址-路径问题

Time-space cluster based location-routing problem with capacitate constraints

控制与决策. 2021, 36(10): 2504–2510 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2020.0073>

考虑卸载顺序约束的成品油二次配送车辆路径问题

Vehicle routing problem of refined oil secondary distribution considering unloading sequence constraints

控制与决策. 2020, 35(12): 2999–3005 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1756>

基于前景理论和模糊理论的在线多属性采购拍卖 供应商选择决策

Decision method of supplier selection for online multi-attribute procurement auction based on prospect theory and fuzzy theory

控制与决策. 2020, 35(11): 2637–2645 <https://doi.org/10.13195/j.kzyjc.2018.1768>

现货市场补充作用下基于总量折扣的 运输服务采购问题研究

闫芳[†], 张凤, 陈凯

(重庆交通大学 经济与管理学院, 重庆 400074)

摘要: 产品需求的不确定性使得企业经常产生临时性或突发性的物流需求, 物流服务现货市场采购在应对上述物流需求时发挥了重要的作用. 在物流服务采购决策过程中, 长期合同采购所提供的价格折扣受采购量的影响, 因此对托运企业而言, 如何平衡长期合同采购以及现货市场采购, 从而在满足其物流需求的基础上使得总体采购成本最低, 成为一个需要解决的问题. 基于托运人的角度, 建立以最小化运输服务采购成本及最大化整体满意度为目标, 综合考虑承运双方偏好、承运方总量折扣及承运方运力接受范围等因素的运输服务混合采购决策模型, 并设计多目标粒子群算法对上述模型进行求解. 通过算例分析验证所提模型及算法的有效性, 算例结果表明, 所建立的模型可显著降低运输服务总采购成本, 并有效提升整体的满意度水平, 研究成果对于降低运输服务采购成本、促进承运双方的稳定合作具有一定的理论意义.

关键词: 运输服务采购; 多目标粒子群优化算法; 总量折扣; 现货市场

中图分类号: F252

文献标志码: A

DOI: 10.13195/j.kzyjc.2020.0274

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



引用格式: 闫芳, 张凤, 陈凯. 现货市场补充作用下基于总量折扣的运输服务采购问题研究[J]. 控制与决策, 2021, 36(11): 2794-2802.

Transportation service procurement based on total discount under complementary effect of spot market

YAN Fang[†], ZHANG Feng, CHEN Kai

(School of Economics and Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

Abstract: The uncertainty of product demand makes enterprises often have temporary or sudden logistics demands. The logistics services spot market plays an important role in responding to those logistics demands. In the logistics service purchasing process, the price discount provided by long-term procurement contract is affected by the purchase quantity, so for the shipping enterprise, how to balance the long-term procurement contract and spot market procurement to achieve minimum overall procurement cost on the basis of the logistics demand, is a problem needed to be solved. Based on the viewpoint of the shipper, this paper establishes a transport services hybrid procurement model which takes the minimum transportation service procurement cost and maximum overall satisfaction as the objectives considering the factors including carrier and shipper preference, carrier's total discount, and carrier's capacity acceptance range. Then we design a multi-objective particle swarm optimization (PSO) algorithm to solve the proposed model. In order to verify the effectiveness of the proposed model and algorithm, an example analysis is carried out, and the results show that the established model can significantly reduce the total procurement cost of transportation services and effectively improve the overall satisfaction level. Therefore, the research results have a certain theoretical significance on reducing the cost of transportation service procurement and promoting the stable cooperation between the carrier and shipper.

Keywords: procurement of transport services; multi-objective particle swarm optimization algorithm; total discount; spot market

0 引言

运输服务采购是企业根据自身的运输需求, 从外部市场获取运输服务的过程. 特别是对托运企业而

言, 通过运输服务采购可使企业将自身资源与精力集中于其优势领域, 从而创造更大的收益. 因此, 运输服务采购在现代社会中十分常见, 并且具有极其重要

收稿日期: 2020-03-12; 修回日期: 2020-07-07.

基金项目: 教育部人文社科项目(19YJC630198); 中国博士后科学基金(2019M653345); 重庆市研究生科研创新项目(CYS20286); 系统科学与企业发展研究中心重点项目(Xq20B07).

责任编辑: 徐泽水.

[†]通讯作者. E-mail: yanfang@cqjtu.edu.cn.

的作用^[1]. 运输服务采购一般有长期合同采购及短期现货市场采购两种方式, 长期合同采购由于稳定合作而具有成本优势, 而现货市场采购在应对突发性或临时性的物流需求方面具有重要作用. 在现实生活中, 市场需求的不确定性使得多数托运企业在采购物流服务时既存在长期合同采购又存在短期现货市场采购. 但若只在有临时物流需求时才考虑现货市场的补充作用, 则会由于临时决策而使得决策结果具有明显的短视性. 因此, 在长期合同采购提供价格折扣的情况下, 如何平衡两种采购方式, 使得企业在满足其物流服务需求的前提下最小化其采购成本, 是一个需要解决的问题.

目前, 国内外针对运输服务采购的研究主要集中在运输服务组合拍卖问题^[2-7]、考虑价格折扣的运输服务采购问题^[8-11]以及运输服务采购组合优化问题^[12]. 汪传旭等^[8]通过确定承运人的最优运输价格折扣以保证承运方与货主企业的长期合作关系; Yu等^[9]提出航空货运承运人在现货市场上的差别定价策略以真实反映出不同销售期货舱价格对不同需求的变化; Qiu等^[10]研究了由一个港口和多个托运人组成的系统中具有数量折扣的铁路运输定价问题; Yin等^[11]对航运公司集装箱运输服务的数量折扣定价策略进行研究, 以实现其预期利润的最大化; Basu等^[12]研究了在组合竞标中的承运人任务分配问题, 采用枚举法和启发式算法相结合的算法进行求解, 并从可持续发展的角度, 利用算例分析运输服务采购的可持续发展问题. 另外, 也有学者从货主的各种偏好、运输服务商的声望、需求不确定性、运输时间、军事运输服务采购等方面对运输服务采购问题进行了研究^[13], 如Hu等^[14]研究了运输服务采购中的运输时间问题.

上述研究大多仅以合同市场采购或仅以现货市场采购为背景, 对承运方的运输任务组合及价格折扣问题进行研究, 较少以现货市场及合同市场混合采购为背景, 在考虑承运方的价格折扣下对托运方的运输服务采购问题进行研究. 因此, 本文基于托运人视角, 综合考虑承托双方满意度、承运人总量折扣以及承运人可接受运量范围等因素, 对其运输服务采购决策问题进行研究.

1 模型建立

1.1 问题描述和基本假设

目前, 大量托运企业与承运人进行长期性的采购合作, 同时也与现货市场进行临时性采购合作以应对临时性或突发性的运输需求. 长期合同采购以价格及稳定性等因素成为企业进行物流服务采购的首

选项, 然而市场需求的不确定性使得托运企业无法完全依赖长期合同采购的方式来购买其所需的全部物流需求, 故往往需要综合采用长期合同采购以及临时现货市场采购两种方式来满足其全部的物流服务需求. 因此, 如何采购运输服务以实现运输服务采购费用最小化及整体满意度最大化, 成为托运企业需要解决的关键问题.

在决策过程中, 需考虑托运人和长期合作承运人的各自偏好、不同承运人的总量折扣以及可接受的运量范围等因素. 其中托运人的偏好指在不同运输线路上对长期合作承运人的选择偏好; 长期合作承运人的偏好指由于其运力有限而对不同运输线路的承运存在偏好; 总量折扣指承运人为承运更多的运输业务而制定的运价折扣, 同时不同承运人因其运力分配情况及业务侧重点的不同而具有不同的运价折扣方案.

综上所述, 本文基于托运人的角度, 在考虑托运人及承运人偏好、总量折扣以及满意度的基础上, 建立运输服务混合采购决策模型. 其模型假设如下:

- 1) 现货市场运输价格已知;
- 2) 托运人在每条线路的运量可拆分;
- 3) 各条线路上的运输服务现货供给充足;
- 4) 承运人运力有限, 故有其偏好的运输线路;
- 5) 各承运人于不同偏好线路上的总量折扣不同且折扣已知;
- 6) 托运人运输任务已知, 且在不同运输线路上有其偏好的承运人.

1.2 模型构建

基于以上假设, 为解决上述问题, 建立如下运输服务混合采购决策模型:

$$\min f_1 = \sum_{m \in N} E_m P_m + \sum_{k \in K} \sum_{m \in N} q_m^k (1 - d_m^k) P_m; \quad (1)$$

$$\max f_2 = \frac{1}{n} \sum_{k \in K} \left(\sum_{m \in B_k} h_m^k / b_k \right) + \frac{1}{w} \sum_{m \in N} \left(\left(\sum_{k \in A_m} \text{sign}(q_m^k) \right) / a_m \right). \quad (2)$$

$$\text{s.t. } q_m^k = \{0, [L_m^k, U_m^k]\}, \forall m \in N, k \in K; \quad (3)$$

$$E_m = Q_m - \sum_{k \in K} y_m^k q_m^k, \forall m \in N; \quad (4)$$

$$q_m^k \leq M \cdot y_m^k, \forall m \in N; \quad (5)$$

$$d_m^k = \begin{cases} \beta_m^{k_1}, & L_m^k \leq q_m^k < \bar{L}_m^k; \\ \beta_m^{k_2}, & \bar{L}_m^k \leq q_m^k < \bar{U}_m^k, \forall m \in N, k \in K; \\ \beta_m^{k_3}, & \bar{U}_m^k \leq q_m^k < U_m^k; \end{cases} \quad (6)$$

$$a_m \leq n, \forall m \in N; \quad (7)$$

$$h_m^k = \begin{cases} \frac{q_m^k - L_m^k}{\bar{L}_m^k - L_m^k}, & L_m^k \leq q_m^k < \bar{L}_m^k, \\ 1, & \bar{L}_m^k \leq q_m^k < \bar{U}_m^k, \\ \frac{U_m^k - q_m^k}{U_m^k - \bar{U}_m^k}, & \bar{U}_m^k \leq q_m^k < U_m^k, \\ 0, & q_m^k = 0, \end{cases}$$

$$\forall m \in N, k \in K; \quad (8)$$

$$y_m^k = \{0, 1\}, \forall m \in N, k \in K. \quad (9)$$

参数定义如下:

$N = \{1, 2, \dots, w\}$: 托运人需采购运输服务的线路集合;

$K = \{1, 2, \dots, n\}$: 长期合作的承运人集合;

Q_m : 托运人在第 m 条线路上需要采购运输服务的采购量;

$[L_m^k, \bar{L}_m^k, \bar{U}_m^k, U_m^k]$: 长期合作的承运人 k 在第 m 条线路上可接受的运力范围;

q_m^k : 托运人在第 m 条线路上向长期合作承运人 k 采购运输服务的采购量;

E_m : 托运人在第 m 条线路上向现货市场采购运输服务的采购量;

h_m^k : 长期合作承运人 k 在第 m 条线路上对所分配采购量的满意度函数;

P_m : 第 m 条线路在现货市场的单位运价;

A_m : 托运人在第 m 条线路上偏好的承运人集合;

B_m : 承运人 k 的偏好路线集合;

y_m^k : 二进制变量, 如果托运人的第 m 条线路在承运人 k 的偏好路线集合内, 则 $y_m^k = 1$, 否则 $y_m^k = 0$;

$\beta_m^{k_i}$: 长期合作的承运人 k 在第 m 条线路上向托运人提供位于区间 i 的价格折扣, $i = 1, 2, 3$;

d_m^k : 托运人在第 m 条线路上分配给长期合作的承运人 k 的运量为 q_m^k 时, 其向托运人提供的折扣;

w : 托运人需要采购运输服务的线路条数;

a_m : 托运人在第 m 条线路上偏好的承运人数;

b_k : 承运人 k 的偏好路线条数.

式(1)表示托运人运输采购服务成本最小化; 式(2)表示托运人与承运人整体满意度最大化, 其中第1部分表示承运人满意度, 第2部分表示托运人满意度; 式(3)表示托运人在第 m 条线路上向承运人 k 采购运输服务的采购量范围; 式(4)表示托运人在第 m 条线路上向现货市场采购运输服务的采购量; 式(5)表示变量间的逻辑关系, 其中 M 为足够大的数; 式(6)表示承运人 k 在第 m 条线路上提供的价格折扣函数; 式(7)表示托运人在任意一条线路上偏好的承运人数

量不超过总的长期合作承运人数量; 式(8)表示长期合作的承运人 k 在第 m 条线路上的运量满意度函数; 式(9)表示二进制变量的取值范围.

2 算法设计

上述模型以最小化采购成本及最大化整体满意度为目标, 采购成本的减少会以牺牲整体满意度为代价, 而整体满意度的提升同样也会以更高采购成本为代价, 是典型冲突型的多目标优化问题. 目前解决多目标优化问题的常用算法有强帕累托进化算法、多目标微分进化算法和多目标遗传算法等, 但这些方法存在计算效率低和收敛速度较慢等缺点^[15]. 为此, 本文拟采用粒子群算法进行求解, 粒子群算法通过模拟自然界种群生物的群觅食行为中的相互合作机制找到最优解, 同时粒子群算法具有记忆性, 在每次迭代过程中通过追踪自身最优与种群最优进行搜索, 使得算法在求解过程中具有较好的收敛性. 此外, 粒子群算法结构简单、需要调节的参数较少、较容易实现, 已受到国内外大量研究人员的广泛关注, 并将它应用到了多目标优化问题中^[16-20].

上述研究结果均表明粒子群算法是解决复杂规划问题的有力工具之一, 且具有较好的表现. 此外, 鉴于以往的研究基础^[4,21-22] 和研究经验, 粒子群算法也具有较好的表现, 因此本文仍采用粒子群算法进行研究. 目前针对现货市场补充作用下基于总量折扣的运输服务采购问题的研究较少, 可借鉴的求解算法匮乏. 为保证本文算例结果的可行性与有效性, 本文基于多目标粒子群优化算法的求解思路, 对基本粒子群算法做出部分改进, 即在迭代过程中利用 Pareto 最优算法对每次迭代过程中的结果进行处理.

2.1 编码与解码

本文主要通过寻找最佳的运输服务采购方案以实现最小化采购成本及最大化托运人与承运人整体满意度的目标, 针对托运人运输服务采购问题, 设计表1所示的编码方案.

表1 托运人运输服务采购问题编码设计

	线路1	线路2	...	线路 N
第1行	0.20	0.78	...	0.91
第2行	0.68	0.31	...	0.69
...	...	...	...	...
第 K 行	0.89	0.52	...	0.43
第 $K+1$ 行	0.15	0.40	...	0.82

在表1的编码矩阵中, $K+1$ 行表示提供运输服务的对象, 即 K 个长期合作承运人和现货市场, N 列表示需要采购运输服务的线路. 根据该编码结构设

计相应的解码步骤如下。

step 1: 编码矩阵预处理;

step 2: 确定向长期合作承运人采购的运量;

step 3: 确定向现货市场采购的运量。

下面以4个承运人和6条运输线路为例,阐述具体的解码过程,如图1和图2所示。

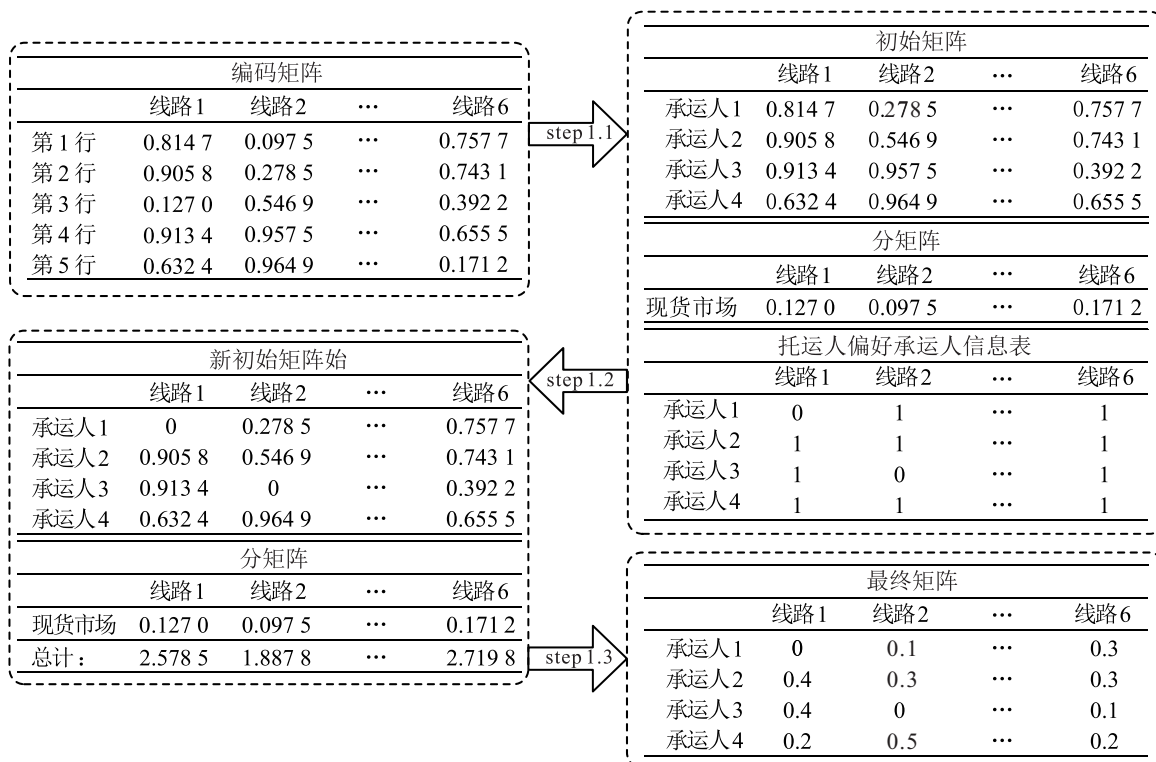


图1 编码矩阵预处理过程

step 1: 编码矩阵预处理,具体过程如图1所示。

step 1.1: 将编码矩阵中每一列的最小数字提出组成1行 K 列的分矩阵,并将每一列中最小数字在编码矩阵中删除形成初始矩阵,目的是为保证尽可能多地向长期合作承运人采购运力,使采购的大部分运力享受长期合作采购的价格折扣优势。在初始矩阵中,从第1行开始到第 K 行依次表示承运人1到承运人 K ,而矩阵中的数据表示托运人向某承运人在某线路所采购的运力比例。在分矩阵中,每一个数字代表托运人向现货市场采购的运力比例。

step 1.2: 根据承运人偏好线路表,将初始矩阵中向每个承运人非偏好路线所采购的运力比例归0,该操作考虑的前提是承运人非偏好线路将不参与运输服务采购范畴;此外,因承运人非偏好线路的价格折扣低、满意度低等原因导致托运人在对该线路后续的选择中,倾向于将承运人非偏好线路所采购的运力比例趋于0。因此,解码步骤中需将承运人非偏好路线所采购的运力比例归0,以提高求解效率。即,若线路 j 是承运人 i 的非偏好路线,则将初始矩阵中第 i 行 j 列的数字归0,得到新初始矩阵。

step 1.3: 将初始矩阵按列归一得到最终矩阵。

step 2: 确定向长期合作承运人采购的运量,具体过程见图2。

step 2.1: 根据托运人线路运量表,按照最终矩阵中托运人向每个承运人在各条线路上所采购的运力比例,确定托运人向所有承运人采购的初始运力,得到托运人初始运力采购矩阵。

step 2.2: 对初始运力采购矩阵中每一列数据依次进行操作:首先,将该列数据从大到小排序,并依次分析;然后,依据长期合作承运人可容忍的运力范围表以及长期合作承运人喜欢的运力范围表进行分析,保证向承运人采购的运力满足模型中所有约束条件。具体分析过程如下:

- 1) 若 $q_m^k < L_m^k$, 则 $q_m^k = 0$;
- 2) 若 $L_m^k \leq q_m^k < \bar{L}_m^k$ 且 $\bar{L}_m^k \leq S_m$, 则 $q_m^k = q_m^k$;
- 3) 若 $L_m^k \leq q_m^k < \bar{L}_m^k$ 且 $\bar{L}_m^k > S_m$, 则 $q_m^k = S_m$;
- 4) 若 $\bar{L}_m^k \leq q_m^k < \bar{U}_m^k$ 且 $\bar{U}_m^k < S_m$, 则 $q_m^k = q_m^k$;
- 5) 若 $\bar{L}_m^k \leq q_m^k < \bar{U}_m^k$ 且 $\bar{U}_m^k > S_m$, 则 $q_m^k = S_m$;
- 6) 若 $\bar{U}_m^k \leq q_m^k < U_m^k$ 且 $U_m^k < S_m$, 则 $q_m^k = q_m^k$;
- 7) 若 $\bar{U}_m^k \leq q_m^k < U_m^k$ 且 $U_m^k > S_m$, 则 $q_m^k = S_m$;
- 8) 若 $U_m^k < q_m^k$ 且 $U_m^k \leq S_m$, 则 $q_m^k = U_m^k$;
- 9) 若 $U_m^k < q_m^k$ 且 $U_m^k > S_m$, 则 $q_m^k = S_m$ 。

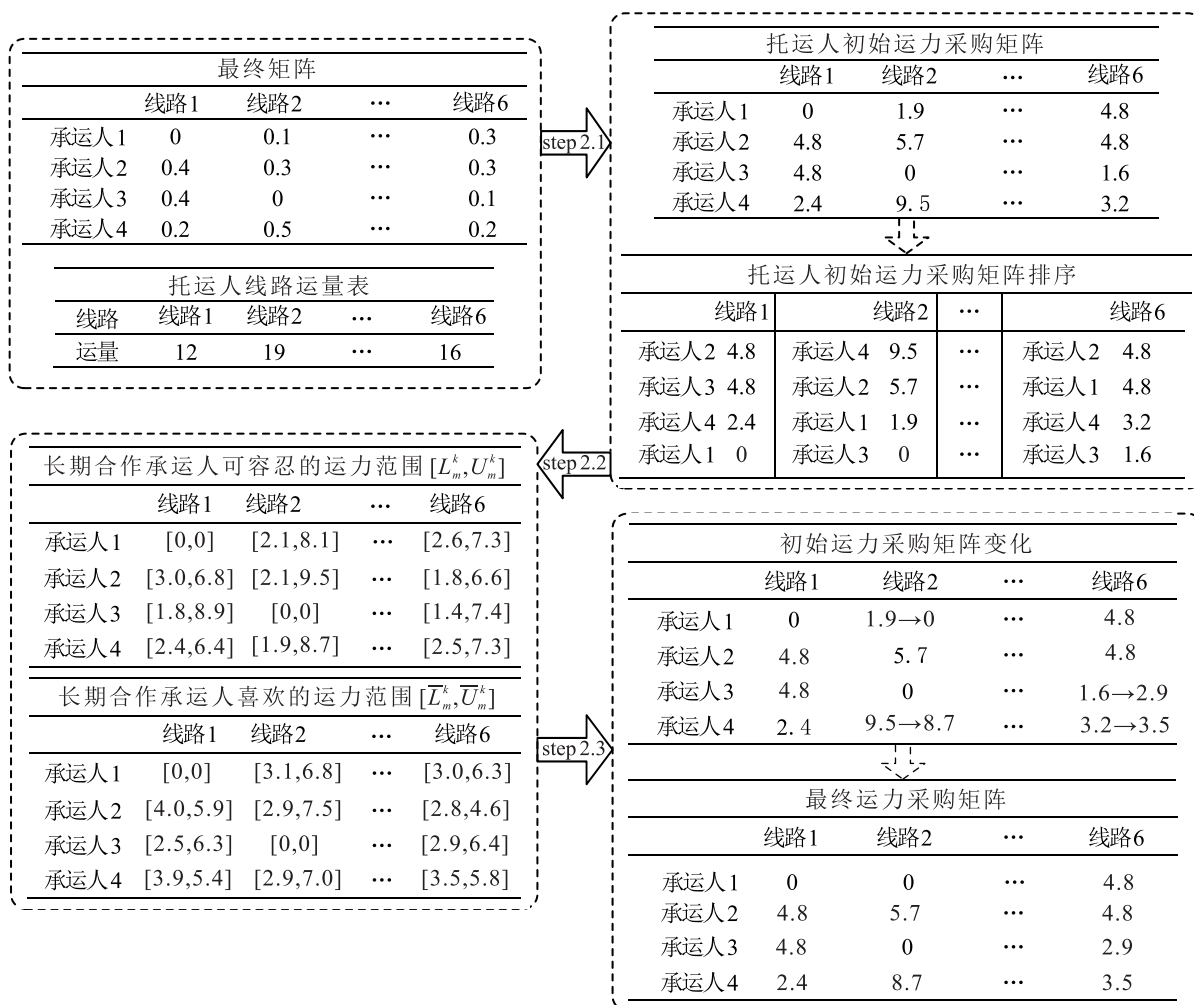


图2 确定向承运人采购运力过程

step 2.3: 根据 step 2.2 的步骤确定托运人最终运力采购矩阵。

step 3: 确定向现货市场采购的运量。根据托运人最终运力采购矩阵,将每一列数据汇总即可确定托运人在每条线路上向所有长期合作承运人采购的运力总和,若托运人每条线路的运量还有剩余,则剩余量为向现货市场采购的运量。

2.2 算法流程

基本粒子群算法首先初始化一群随机粒子,然后所有粒子根据个体极值 (pbest) 和群体极值 (gbest) 来更新自身速度与位置,最后按照如下的更新方式在搜索空间中找到最优解:

$$V_{i+1}(t+1) = \omega V_i(t) + c_1 r_1 (pbest_i(t) - X_i(t)) + c_2 r_2 (gbest - X_i(t)), \quad (10)$$

$$X_{i+1}(t+1) = X_i(t) + V_{i+1}(t+1). \quad (11)$$

其中: ω 为惯性权重系数, c_1 、 c_2 为算法的学习因子, r_1 、 r_2 为介于 $[0, 1]$ 之间的随机数。

本文将在粒子群算法基础上采用 Pareto 最优原

理解决多目标优化问题。由于多目标优化问题各个目标之间的度量标准不一,而且彼此之间可能相互冲突,即一般情况下一个目标的改善会以其他目标的恶化为代价,从而导致很难找到使所有目标同时达到最优的全局最优解,因此多目标优化问题一般不存在唯一的最优解,而是以 Pareto 解集的方式给出一系列 Pareto 最优解。故, Pareto 最优集中的所有解彼此之间各有优劣,很难有统一的判断和评价标准。在实际应用中,决策者需根据实际对问题的了解程度和个人偏好,人为地从 Pareto 解集中选择一个较满意解以保证后续分析的顺利进行^[23-24]。鉴于此,综合考虑本文所建模型是以最小化采购成本及最大化整体满意度为目标,且采购成本的减少会以牺牲整体满意度为代价,而整体满意度的提升同样也会以更高采购成本为代价,因此两个目标之间存在显著的冲突。故,本文模型求解结果不存在唯一最优解。

本文基于 Pareto 最优理论对粒子群算法做部分改进,具体算法流程如图 3 所示。

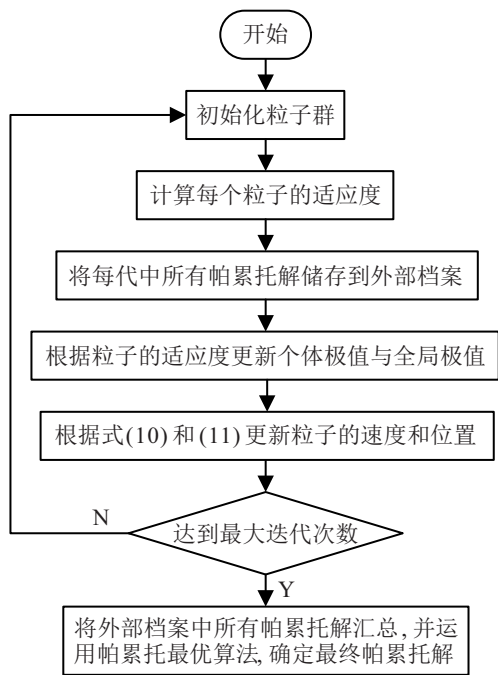


图 3 算法流程

3 算例测试及结果分析

由于不同文献假设条件不尽相同,且缺乏针对本文所研究问题的通用或标准测试算例,本文随机生成由 5 个承运人、6 条线路组成的数值算例。

3.1 系统运算环境及参数设置

本文基于 Pareto 最优理论的粒子群优化算法采用 Matlab 9.1 软件求解,其中算法涉及的主要参数如下:种群规模为 40,最大迭代次数为 30,学习因子 $c_1 = 1.2$,学习因子 $c_2 = 1.2$ 。

3.2 结果分析

本文按照图 3 所示算法流程对托运人运输服务采购问题进行求解,并从采购成本最小化及满意度最大化角度对最终 Pareto 解对应的目标函数值展开分析,其中表 2 为最终 Pareto 解对应的目标函数值。

表 2 最终 Pareto 解对应的目标函数值

最终 Pareto 解	解 1	解 2	解 3
整体满意度	1.956 7	1.644 4	1.636 7
运输服务采购成本	8 726.98	8 674.39	8 633.81

根据 Pareto 最优理论,Pareto 最优解集应至少包括仅考虑采购成本的最小解及仅考虑满意度的最大解。对表 2 中所得结果分析可发现,解 1 为具有最大整体满意度的 Pareto 解,解 3 为具有最小运输服务采购成本的 Pareto 解。从运输服务采购成本及整体满意度角度,将表 2 中所有 Pareto 解分别与解 1、解 3 进行对比,结果如表 3 所示。

表 3 最终 Pareto 解目标函数值对比表

比较对象	比较属性	目标函数值	与解 1 对比结果 / %	与解 3 对比结果 / %
解 1 (Pareto 解集中满意度最大解)	满意度	1.956 7	0	+19.55
	运输服务采购成本	8 726.98	0	+1.08
解 2	满意度	1.644 4	-15.96	+0.47
	运输服务采购成本	8 674.39	-0.6	+0.47
解 3 (Pareto 解集中成本最小解)	满意度	1.636 7	-16.35	0
	运输服务采购成本	8 633.81	-1.07	0

由表 3 可知,3 个 Pareto 解在与 Pareto 解集中满意度最大解(解 1)进行对比时,解 2 和解 3 在满意度上分别减少了 15.96 %、16.35 %,同时运输服务采购成本分别减少了 0.6 %、1.07 %。因此,与解 2、解 3 相比,Pareto 解集中满意度最大解(解 1)以低比例采购成本的增长换取高比例满意度的提升。

3 个 Pareto 解在与 Pareto 解集中采购成本最小解(解 3)进行对比时,解 1 和解 2 在运输服务采购成本上分别增加了 1.08 %、0.47 %,同时满意度分别增加了 19.55 %、0.47 %。因此,与解 3 相比,解 1 以低比例采购成本的增长换取了高比例满意度的提升,解 2 以同等比例采购成本增长换取了同等比例满意度的提升。

综上,上述 3 个 Pareto 解之间在满意度及运输服

务采购成本上各有优势,尽管解 1 较解 2 和解 3 在满意度上具有较大优势,但也不可忽视运输服务采购成本的重要程度。此外,仅通过相对变化比作为满意解的选择标准可能过于单一,因而对上述 3 个 Pareto 解的选择标准将由决策者根据实际问题拟定^[23-24]。因此,多目标优化可为决策者提供更多选择空间,让其根据实际情况及个人偏好的改变,及时调整对满意解的选择标准,极大程度地提高了解的选择灵活性。

3.2.1 改进粒子群算法与多目标遗传算法求解结果对比分析

多目标遗传算法是求解多目标优化问题应用最广泛的算法之一^[25-27],因此,为探讨本文所提算法求解结果的有效性,现使用 Matlab 中基于遗传算法的

多目标优化函数 gamultiobj 求解本文所提多目标优化问题. 表4为多目标遗传算法求解所得 Pareto 解对应的目标函数值.

表4 遗传算法所得 Pareto 解对应的目标函数值

最终 Pareto 解	解1	解2	解3
整体满意度	1.653 4	1.644 3	1.616 3
运输服务采购成本	9 461.07	9 459.65	9 432.89

将上述结果与改进粒子群算法的所得结果进行对比,如图4所示.

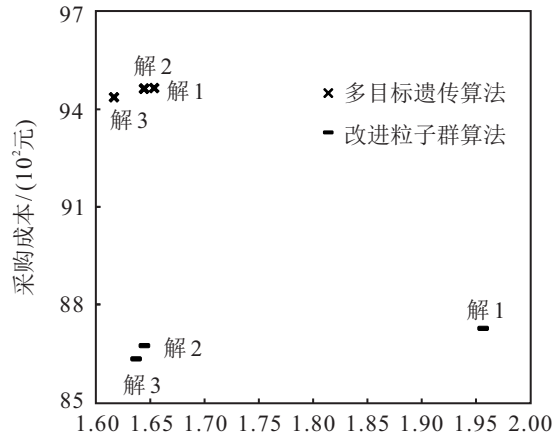


图4 多目标遗传算法与改进粒子群算法对比

从图4可明显看出,改进粒子群算法所求 Pareto 解均占优于多目标遗传算法所求 Pareto 解. 此外,为进一步论证本文所提改进粒子群算法求解结果的有效性,现从运输服务采购成本及满意度的角度,分别对两种算法求解结果中具有最小运输服务采购成本的 Pareto 解及具有最大满意度的 Pareto 解进行对比分析,结果如表5和表6所示.

表5 算法结果分析
(针对具有最小运输服务采购成本的 Pareto 解)

方案对比	采购成本/元	满意度		
		整体	承运人	托运人
多目标遗传算法	9 432.89	1.616 3	0.616 3	1
改进粒子群算法	8 633.81	1.636 7	0.72	0.916 7
变化比例/%	-8.47	+1.26	+16.83	-8

表6 算法结果分析
(针对具有最大满意度的 Pareto 解)

方案对比	采购成本/元	满意度		
		整体	承运人	托运人
多目标遗传算法	9 461.07	1.654 3	0.654 3	1
改进粒子群算法	8 726.98	1.956 7	0.956 7	1
变化比例/%	-7.76	+18.28	+46.22	0

表5和表6的变化比例为改进粒子群算法与多目标遗传算法所对应方案的采购成本及满意度之

比. 从表5和表6的对比结果可明显看出,无论是针对具有最小运输服务采购成本的 Pareto 解,还是针对具有最大满意度的 Pareto 解的算法结果对比,改进粒子群算法在求解质量上均具有较大优势. 正如表5中,改进粒子群算法与多目标遗传算法相比,运输服务采购成本减少了8.47%,整体满意度提升了1.26%;而表6中,改进粒子群算法与多目标遗传算法相比,运输服务采购成本减少了7.76%,整体满意度提升了18.28%.

由以上数据可知:将具有最小运输服务采购成本的 Pareto 解作为比较对象时,多目标遗传算法虽与改进粒子群算法在整体满意度上差异较小,但在采购成本上具有较大差异;将具有最大满意度的 Pareto 解作为比较对象时,多目标遗传算法与改进粒子群算法在整体满意度上存在明显差距.

综上,本文所提算法在求解质量上具有明显优势,进一步验证了所提算法求解结果的可行性.

3.2.2 考虑现货市场与不考虑现货市场情境下结果对比分析

为探讨考虑现货市场与不考虑现货市场情境下采购成本及满意度的变化,现从运输服务采购成本及满意度角度,对上述两种情境下具有最小运输服务采购成本的 Pareto 解及具有最大满意度的 Pareto 解对应结果分别作对比分析,结果如表7和表8所示.

表7 考虑现货市场与未考虑现货市场情境下
采购成本最小解结果对比

方案对比	采购成本/元	满意度		
		整体	承运人	托运人
考虑现货市场	8 633.81	1.636 7	0.72	0.916 7
未考虑现货市场	8 781.37	1.545 6	0.628 9	0.916 7
变化比例/%	+1.71	-5.57	-12.65	0

表8 考虑现货市场与未考虑现货市场情境下
整体满意度最大解结果对比

方案对比	采购成本/元	满意度		
		整体	承运人	托运人
考虑现货市场	8 726.98	1.956 7	0.956 7	1
未考虑现货市场	8 843.09	1.773 9	0.773 9	1
变化比例/%	+1.33	-9.34	-19.11	0

表7和表8的变化比例为未考虑现货市场与考虑现货市场所对应方案的采购成本及满意度之比. 从表7及表8可知,无论以采购成本最小 Pareto 解为对比角度,或以满意度最大 Pareto 解为对比角度,考虑现货市场情境下的整体满意度与采购成本较不考虑现货市场情境下的整体满意度及采购成本具有

较大优势。

此外,从上述两对比结果中可明显看出,无论从运输服务采购成本角度还是满意度角度,考虑现货市场与不考虑现货市场情境下托运人满意度均保持不变,而整体满意度及承运人满意度均产生较为明显的变化。在不考虑现货市场情境下,托运人在保证自身满意度不受影响的同时,为满足其运输需求,将无法顾及及长期合作伙伴的偏好而进行运输服务采购,故其决策结果导致承运人满意度显著降低,分别约14.49%、19.11%,同时整体满意度分别降低约5.57%、9.34%,不利于双方合作的稳定性;与此同时,运输服务采购成本也分别上涨1.71%、1.33%,不利于托运方实现物流费用节省的目的。

综上,托运人在进行物流服务采购决策时应考虑现货市场的补充作用,尽可能避免短视性应急采购决策,既可最大限度地节省采购成本,也可提升整体满意度。

3.2.3 仅考虑采购成本与仅考虑满意度情境下结果对比分析

根据帕累托最优理论,Pareto最优解集应至少包括仅考虑采购成本最小解及仅考虑满意度最大解,因此,仅考虑采购成本与仅考虑满意度情境下的结果对比分析即为运输服务采购成本最小Pareto解(解3)与满意度最大Pareto解(解1)结果对比分析。根据本文所求结果即表2所示,可发现,解3为仅考虑采购成本的最小解,解1为仅考虑满意度的最大解,将其对应结果进行对比,结果如表9所示。

表9 仅考虑满意度与仅考虑采购成本情境下结果对比

方案对比	采购成本/元	满意度		
		整体	承运人	托运人
仅考虑采购成本	8 633.81	1.636 7	0.720 0	0.916 7
仅考虑满意度	8 726.98	1.956 7	0.956 7	1
变化比例/%	+1.08	+19.55	+32.88	+2.09

表9的变化比例为仅考虑满意度与仅考虑采购成本所对应方案的采购成本、整体满意度、承运人满意度、托运人满意度之比。从表9结果的对比可看出,在仅考虑满意度的情况下,托运人以增加1.08%的采购成本换取托运双方及整体满意度的显著提升,其中托运人满意度提升2.09%,承运人满意度提升32.88%,整体满意度提升19.55%。

综上,考虑承运人及托运人偏好后进行的采购决策,尽管采购成本较不考虑双方偏好略有增加,但不论是承运人还是托运人,其满意程度均显著提升。故,采用本文所提的模型,考虑双方偏好之后,有助于买

卖双方形成较为满意的合作关系。

4 结 论

本文对考虑长期合同采购及现货市场采购两种方式的运输服务混合采购决策问题进行研究,综合考虑承运人线路偏好及价格折扣、托运人决策偏好等因素,以最小化采购成本及最大化总体满意度为决策目标,建立了多目标规划模型,并设计了多目标粒子群算法进行模型求解。算例结果表明,本文提出的模型和算法能有效解决混合采购决策问题,且在采购决策时考虑现货市场的补充作用能够在一定程度上克服临时决策带来的短视性缺点,并从整体上提升承托双方的满意程度。

参考文献(References)

- [1] 闫芳. 运输服务采购多目标决策模型及应用[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 2016.
(Yan F. Multi-objective decision model and application of transportation service procurement[M]. Chengdu: Southwest Jiao Tong University Press, 2016.)
- [2] Lee C G, Kwon R H, Ma Z. A carrier's optimal bid generation problem in combinatorial auctions for transportation procurement[J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2007, 43(2): 173-191.
- [3] Sheffi Y. Combinatorial auctions in the procurement of transportation services[J]. Interfaces, 2004, 34(4): 245-252.
- [4] 闫芳, 王媛媛. 基于二层规划的运输服务投标报价策略研究[J]. 工业工程与管理, 2018, 23(6): 43-50.
(Yan F, Wang Y Y. Study on the bidding strategy of transportation service based on the second-floor planning[J]. Industrial Engineering and Management, 2018, 23(6): 43-50.)
- [5] Ueasangkomsate P, Lohatepanont M. Bidding strategies for carrier in combinatorial transportation auction[J]. International Journal of Business Research and Management, 2012, 3(1): 1-17.
- [6] Kuyzu G, Akyol C G, Ergun O, et al. Bid price optimization for truckload carriers in simultaneous transportation procurement auctions[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2015, 73: 34-58.
- [7] Xu S X, Huang G Q. Transportation Service Procurement in periodic sealed double auctions with stochastic demand and supply[J]. Transportation Research Part B: Methodological, 2013, 56: 136-160.
- [8] 汪传旭, 蒋良奎. 运输服务供应链协调的承运人运输价格折扣策略[J]. 上海海事大学学报, 2010, 31(3): 63-67.
(Wang C X, Jiang L K. Carrier transportation price discount policy for transportation service supply chain coordination[J]. Journal Shanghai Maritime University, 2010, 31(3): 63-67.)

- [9] Yu S N, Yang Z Z, Zhang W. Differential pricing strategies of air freight transport carriers in the spot market[J]. *Journal of Air Transport Management*, 2019, 75: 9-15.
- [10] Qiu X, Lee C Y. Quantity discount pricing for rail transport in a dry port system[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 122: 563-580.
- [11] Yin M, Kim K H. Quantity discount pricing for container transportation services by shipping lines[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2012, 63(1): 313-322.
- [12] Basu R J, Bai R B, Palaniappan P K. A strategic approach to improve sustainability in transportation service procurement[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2015, 74: 152-168.
- [13] 吕瑞明. 考虑总量折扣的运输服务采购问题研究[D]. 南京: 南京大学工程管理学院, 2018.
(Lv R M. Study on the procurement of transportation service considering the total volume discount[D]. Nanjing: School of Engineering Management, Nanjing University, 2018.)
- [14] Hu Q, Zhang Z Z, Lim A. Transportation service procurement problem with transit time[J]. *Transportation Research Part B: Methodological*, 2016, 86: 19-36.
- [15] 吴小刚, 刘宗歧, 田立亭, 等. 基于改进多目标粒子群算法的配电网储能选址定容[J]. *电网技术*, 2014, 38(12): 3405-3411.
(Wu X G, Liu Z Q, Tian L T, et al. Energy storage device locating and sizing for distribution network based on improved multi-objective particle swarm optimizer[J]. *Power System Technology*, 2014, 38(12): 3405-3411.)
- [16] Kennedy J. Particle swarm optimization[M]. *Encyclopedia of Machine Learning and Data Mining*. Boston: Springer, 2010: 760-766.
- [17] Zhang Y, Gong D W, Geng N. Multi-objective optimization problems using cooperative evolution particle swarm optimizer[J]. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 2013, 10(3): 655-663.
- [18] Elloumi W, Baklouti N, Abraham A, et al. The multiobjective hybridization of particle swarm optimization and fuzzy ant colony optimization[J]. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 2014, 27(1): 515-525.
- [19] 胡旺, Yen G G, 张鑫. 基于Pareto熵的多目标粒子群优化算法[J]. *软件学报*, 2014, 25(5): 1025-1050.
(Hu W, Yen G G, Zhang X. Multi-objective particle swarm optimization algorithm based on pareto entropy[J]. *Journal of Software*, 2014, 25(5): 1025-1050.)
- [20] 李笠, 王万良, 徐新黎, 等. 基于网格排序的多目标粒子群优化算法[J]. *计算机研究与发展*, 2017, 54(5): 1012-1023.
(Li L, Wang W L, Xu X L, et al. Multi-objective particle swarm optimization algorithm based on grid sorting[J]. *Journal of Computer Research and Development*, 2017, 54(5): 1012-1023.)
- [21] Yan F, Xu M J, Ma Y F, et al. Price optimization for transportation service procurement with fuzzy random shipments: from shipper's perspective[J]. *Transportation Letters*, 2017, 9(5): 258-275.
- [22] 马艳芳, 闫芳, 康凯, 等. 不确定同时取送货车辆路径问题及粒子群算法研究[J]. *运筹与管理*, 2018, 27(12): 73-83.
(Ma Y F, Yan F, Kang K, et al. An improved particle swarm optimization for simultaneous pickup and delivery vehicle routing problems with time windows under a fuzzy random environment[J]. *Operations Research and Management Science*, 2018, 27(12): 73-83.)
- [23] 马清亮, 胡昌华. 进化多目标优化设计满意解的模糊决策[J]. *计算机工程与应用*, 2003, 39(23): 22-23.
(Ma Q L, Hu C H. Fuzzy decision making for satisfying solution in evolutionary multi-objective optimization design[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2003, 39(23): 22-23.)
- [24] 唐正茂, 马士虎, 解德. 基于外部存档的并行遗传算法在水轮机调速器参数优化中的应用[J]. *中国电机工程学报*, 2012, 32(28): 90-96.
(Tang Z M, Ma S H, Xie D. Optimization of hydro-turbine governor parameters based on parallel genetic algorithm with exterior archive method[J]. *Proceedings of The Chinese Society for Electrical Engineering*, 2012, 32(28): 90-96.)
- [25] 牟健慧, 郭前建, 高亮, 等. 基于混合的多目标遗传算法的多目标流水车间逆调度问题求解方法[J]. *机械工程学报*, 2016, 52(22): 186-197.
(Mu J H, Guo Q J, Gao L, et al. Multi-objective genetic algorithm for solving multi-objective flow-shop inverse scheduling problems[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2016, 52(22): 186-197.)
- [26] 王瑞琪, 张承慧, 李珂. 基于改进混沌优化的多目标遗传算法[J]. *控制与决策*, 2011, 26(9): 1391-1397.
(Wang R Q, Zhang C H, Li K. Multi-objective genetic algorithm based on improved chaos optimization[J]. *Control and Decision*, 2011, 26(9): 1391-1397.)
- [27] 赖红松, 董品杰, 祝国瑞. 求解多目标规划问题的Pareto多目标遗传算法[J]. *系统工程*, 2003, 21(5): 24-28.
(Lai H S, Dong P J, Zhu G R. A Pareto multi-objective genetic algorithm for solving multi-objective programming problem[J]. *Systems Engineering*, 2003, 21(5): 24-28.)

作者简介

闫芳(1985—), 女, 副教授, 博士, 从事运输配送及物流系统优化等研究, E-mail: yanfang@cqjtu.edu.cn;

张凤(1995—), 女, 硕士生, 从事运输配送及物流系统优化的研究, E-mail: 592080303@qq.com;

陈凯(1994—), 男, 硕士生, 从事运输配送及物流系统优化的研究, E-mail: 763872787@qq.com.

(责任编辑: 齐 霖)