

油料调度保障问题的多目标优化方法*

舒勤, 谯露, 赵克全

(重庆师范大学 数学科学学院, 重庆 401331)

摘要:【目的】研究油料保障活动中的调度保障问题。【方法】综合多方面因素,构建了以调度效率最大化、系统调度成本最小化以及系统调度时间最小化为目标函数的多目标优化模型。【结果】利用多目标优化的主要目标法等标量化方法将问题转化为单目标优化模型,分析该模型解的性质并提出相应的遗传算法进行求解。【结论】提出的多目标优化方法能够在保障调度效率的同时获得相应较低的系统成本和相应较短的系统调度时间,可为油料调度保障问题提供决策参考。

关键词:多目标优化;油料调度;弱有效解;遗传算法

中图分类号:O221.2

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2023)01-0028-06

油料调度运输是油料保障系统中的重要环节,其中的油料调度运输路线选择是非常典型的运筹与最优化问题。运输分配问题最早由 Hlchcock 于 1941 年提出,由于该问题的重要性日益凸显,相关应用也十分广泛,因此该问题得到很多学者的高度重视。在油料调度保障运输中,问题规模的加大和复杂性的变高使得人们更加需要新的模型与方法进行求解。近些年来,对于油料运输保障问题的研究已有一些重要研究成果,例如:丁国勤^[1]根据战时油料保障的特点,对确定性油料调运模型进行了改进,建立了适应作战背景运输问题的模糊规划模型,给出了基于遗传算法的求解思路,从而实现油料调运路径的优化;熊彪等人^[2]构建了反映油料保障活动平、战时不同特性的效率优先网络拓扑模型和成本优先网络拓扑模型,并通过仿真模拟实验对模型的稳定性进行了分析。

油料调度保障问题可以看作供应链问题,而供应链问题在物流方面的研究更加深入。由于油料调度问题存在高度的不确定性、复杂性与紧迫性,因此与传统物流有一定的区别。近些年来,很多学者对应急物流问题有较为深入的研究。Gralla 等人^[3]采用专家评价的方法构建效用函数以讨论应急物流的目标重要性;Qin 等人^[4]采用基于遗传算法的模拟方法来解决应急物流;郑斌等人^[5]针对震后物流问题,构建了上层运输时间满意度最大化、下层物质分配公平性最大化的双层规划模型,且提出了一种混合遗传算法求解此双层规划模型;Setiawan 等人^[6]对于灾后物资分配问题和灾民疏散问题,构建了最小化未满足需求物资的分配模型、灾民痛苦最小化的疏散模型和最小化灾民痛苦的车辆分配模型。

随着多目标优化理论与算法研究的不断发展,多目标优化模型已被广泛应用于解决许多实际领域中的具体问题,如金融经济、物流规划、智能交通以及环境保护等。Marcenaro-Guti 等人^[7]基于数据的统计与经济分析构建多目标优化模型研究了西班牙劳动力市场中工人的满意度问题;Stepanov 等人^[8]通过建立多目标优化模型研究了交通网络中的最优疏散路径问题。在油料调度保障问题和应急物流问题中也能见到多目标优化模型的应用。郑冀等人^[9]为了追求科学合理的油料调拨运输,在保证运输安全的基础上,权衡运输时间和运输费用,以油料运输的安全性、及时性和低费用作为运输路线优选的目标,构造了一个多目标路线优选问题;Wang 等人^[10]针对多受灾点、多救助点、不完全供应和需求可拆分的救援物资的分配问题,构建最小化运输时间和运输成本和最大化路径可靠性的非线性整数规划模型。张甜甜^[11]对属地应急物流选址-路径-库存集成问题进行研究,以总应急响应时间最短和系统总成本最低为目标,综合考虑车辆容量限制、运输道路状态、集散点最大容量等约束,构建属地应急物流选址-路径-库存问题的多目标混合整数规划模型。

注意到目前对调度运输问题的研究主要针对单一目标构建模型并受应急物流研究启发,本文综合考虑多方

* 收稿日期:2022-09-23 修回日期:2022-11-09 网络出版时间:2023-02-22 16:42

资助项目:国家自然科学基金(No. 11991024;No. 12171063);重庆市高校创新研究群体项目(No. CXQT20014);重庆市自然科学基金(No. cstc2022ycjh-bgzxm0114;No. cstc2021jcyj-msxmX0280);重庆市教育委员会科学技术研究项目(No. KJQN202100521)

第一作者简介:舒勤,男,研究方向为多目标优化理论与算法,E-mail:1831115696@qq.com;通信作者:赵克全,男,教授,博士,E-mail:kequanz@163.com.

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20230222.1202.008.html

面影响因素,构建了以调度效率最大化、系统总成本最小化和调度时间最小化为目标的多目标优化模型,对油料调度保障问题中的调度效率、成本和时间进行了系统综合研究。

1 预备知识

对于一般的多目标优化问题(MOP1):

$$\begin{aligned} \min f(x) &= (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)), \\ \text{s. t. } x &\in \Omega. \end{aligned}$$

其中: $f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)$ 为多目标优化模型的 n 个目标函数, Ω 为该多目标优化模型的可行域。下面给出多目标优化的一些解的概念:

定义 1^[12] 设 $x_0 \in \Omega$, 若不存在 $x \in \Omega$ 使得 $f_i(x) \leq f_i(x_0), i=1, \dots, m$, 且 $f_i(x) \neq f_i(x_0)$, 则称 x_0 为 (MOP1) 的 Pareto 有效解。

定义 2^[12] 设 $x_0 \in \Omega$, 若不存在 $x \in \Omega$ 使得 $f_i(x) < f_i(x_0), i=1, \dots, m$, 则称 x_0 为 (MOP1) 的 Pareto 弱有效解。

2 油料调度保障问题多目标优化建模

2.1 问题提出

油料调度运输作为油料保障系统的重要环节,不仅直接关系到油料系统持续保障能力的形成与释放,且对整体保障能力的形成与释放也将产生重大影响。因此,如何选择合理高效的调度方式对于油料保障系统来说极为重要。在此背景下,油料调度保障首先考虑效率性。在本文中,效率性主要体现于整个保障过程,且单位时间内提供的油料保障量越大表明调度效率越高。在保障效率的前提下,本文进一步考虑了调度成本、调度时间等目标,构建了同时考虑调度效率、经济性以及调度时间的油料调度保障的多目标优化模型。

2.2 问题假设

在解决上述问题前,本文首先做出以下假设:1) 保障区域内与道路网络状况均已知,各节点经过节线(边)与油料运输距离已知,且道路交通状态良好能够顺利通行;2) 各加油站的需求量已知;3) 供应库的库存量远大于加油站的需求量;4) 一个加油站仅由一个供应库为它供油;5) 有足够的运输车辆供使用,所有车辆类型相同。

2.3 符号说明

符号说明: $i \in \{1, 2, 3, \dots, m\} = I$ 为所有供应库构成的集合; $j \in \{1, 2, 3, \dots, n\} = J$ 为所有加油站所构成的集合; f_i 为供应库 i 在油料调度活动中的固定成本; d_{ij} 为供应库 i 到加油站 j 之间的距离; a_1 为供应库到加油站的单位运输成本; a_2 为单位油品成本; S_{ij} 为供应库 i 给加油站 j 的供油量; v 为运油车运输过程中平均速度; t_0 为除去运输时间其他时间总和,如装油时间、卸油时间等; C_i 为供应库 i 的容量上限; D_j 为加油站 j 的需求量; $Y_i \in \{0, 1\}$, 若供应库点在调度保障过程中被选中作为供应库使用,则 Y_i 的取值为 1, 否则为 0; $X_{ij} \in \{0, 1\}$, 若供应库 i 与加油站 j 之间存在供应活动,则 X_{ij} 的取值为 1, 否则为 0。

2.4 模型建立

2.4.1 调度效率最大化 由于调度问题的紧迫性,本文首先需要保证的调度的效率性。由于随着时间的推移,受影响的地点将会增多,可能会导致问题变得更加复杂,所以需要在尽可能短的时间将油料运输到各加油站。同时,每个加油站的需求量和紧迫性都不一样,且需求量越高的加油站往往紧迫性就越高。本文将单位时间内加油站接受到的油料量总和作为调度效率指标,单位时间内所有加油站接受到的油料量总和越多表明整体调度效率越高。调度效率目标为 $f_1 = \sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j v}{d_{ij} X_{ij}} \right)$ 。

2.4.2 系统总成本最小化 在执行调度决策时,经济成本也是需要考虑的目标,在保障调度效率的情况下,进一步缩小调度的经济成本。本文考虑潜在供应库点将进行调拨使用作为供应库使用的点,它的开设运营成本表示

为 $Z_1 = \sum_{i=1}^m Y_i f_i$ 。关于调度运输过程中产生的运输相关成本主要是从供应库到加油站的运输费用,可表示为

$Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_1 d_{ij} X_{ij} S_{ij}$ 。油料本身的成本为 $Z_3 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_2 X_{ij} S_{ij}$ 。油料调度保障过程中的总成本可表示为:

$$f_2 = \sum_{i=1}^m Y_i f_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_1 d_{ij} X_{ij} S_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_2 X_{ij} S_{ij}.$$

2.4.3 运输时间最小化 由于运输路径不同,供应关系不同,加油站得到油料的时间也将会不同,配送时间最小化包括运输时间和装卸时间等,因此可表示为 $f_3 = t_0 + \frac{d_{ij} X_{ij}}{v}$ 。

关于油料调度保障问题的约束条件,本文主要考虑供应库容量、加油站需求等因素:1) 受供应库容量和加油站需求量的限制,油料调度量不能超过供应库总容量的上限,也不能超过加油站实际需求量,即:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij} X_{ij} \leq C_i, \forall i \in I, \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij} X_{ij} \leq D_j, \forall j \in J.$$

2) 每一个加油站需要与一个供应库建立连接关系且只与一个供应库建立连接关系,即: $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij} = 1$ 。3) 只有开设使用的供应库才能进行调度保障活动,即: $Y_i \geq X_{ij}, i \in I, j \in J$ 。4) 变量取值约束,即 $X_{ij}, Y_i \in \{0, 1\}, i \in I, j \in J$ 。

基于以上分析,本文建立油料调度的如下多目标优化模型(MOP2):

$$\min f_1 = - \sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j v}{d_{ij} X_{ij}} \right),$$

$$\min f_2 = \sum_{i=1}^m Y_i f_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_1 d_{ij} X_{ij} S_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_2 X_{ij} S_{ij},$$

$$\min f_3 = t_0 + \frac{d_{ij} X_{ij}}{v},$$

$$\text{s. t. } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij} X_{ij} \leq C_i, \forall i \in I, \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^m S_{ij} X_{ij} \leq D_j, \forall j \in J, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij} = 1, \quad (3)$$

$$Y_i \geq X_{ij}, i \in I, j \in J, \quad (4)$$

$$X_{ij}, Y_i \in \{0, 1\}, i \in I, j \in J, \quad (5)$$

其中:(1)式代表每个供应库的输出量必须小于自身容量;(2)式表示每个加油站所接受油量必须不大于自身需求量;(3)式代表 1 个加油站仅由 1 个供应库进行供油;(4)式表示只有被选中的供应库才能进行调度保障活动;(5)式表示 0-1 决策变量。(MOP2)同时以调度效率最大化,系统成本最小化和调度时间最小化为目标。调度效率最大化转化为单位时间内调度油量的最大化,系统成本最小化包括供应库开设成本、调度运输成本和油料本身成本之和最小,调度保障时间最小化为系统调度运输时间和保障过程中其余时间之和达到最小。

3 求解算法

依据本文构建的多目标优化模型,利用多目标优化问题的主要目标法等标量化方法将它转化为成本最小化的单目标优化问题(SOP),将调度效率和调度时间两个目标函数转化为约束条件:

$$\min f_2 = \sum_{i=1}^m Y_i f_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_1 d_{ij} X_{ij} S_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_2 X_{ij} S_{ij},$$

$$\text{s. t. } - \sum_{j=1}^n \left(\frac{D_j v}{d_{ij} X_{ij}} \right) \leq \epsilon,$$

$$t_0 + \frac{d_{ij} X_{ij}}{v} \leq \bar{\epsilon},$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n S_{ij} X_{ij} \leq C_i, \forall i \in I,$$

$$\sum_{i=1}^m S_{ij} X_{ij} \leq D_j, \forall j \in J,$$

$$\begin{aligned} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij} &= 1, \\ Y_i &\geq X_{ij}, i \in I, j \in J, \\ X_{ij}, Y_i &\in \{0, 1\}, i \in I, j \in J, \end{aligned}$$

其中: ϵ 和 $\bar{\epsilon}$ 为这两个目标的决策者预期值。

定理 1 (SOP)的最优解一定是(MOP2)的弱有效解。

证明 设此问题的可行域为 Ω , 且 $(X_0, Y_0) \in \Omega$ 为此(SOP)的最优解, 假设 (X_0, Y_0) 不是原(MOP2)的弱有效解, 则存在 $(\bar{X}_0, \bar{Y}_0) \in \Omega$, 使得 $f_n(\bar{X}_0, \bar{Y}_0) < f_n(X_0, Y_0)$ 对 $n=1, 2, 3$ 成立。特别地, 当 $n=2$ 时, 有 $f_2(\bar{X}_0, \bar{Y}_0) < f_2(X_0, Y_0)$ 。因为 $f_n(\bar{X}_0, \bar{Y}_0) < f_n(X_0, Y_0) \leq \epsilon_n$ 对 $n \neq 2$ 时均成立, 则 (\bar{X}_0, \bar{Y}_0) 是(SOP)的可行解, 且 $f_2(\bar{X}_0, \bar{Y}_0) < f_2(X_0, Y_0)$, 这与 (X_0, Y_0) 是(SOP)的最优解矛盾, 所以假设不成立, 则 (X_0, Y_0) 是(MOP2)的弱有效解。证毕

由定理 1 可知, 求解(MOP2)的弱有效解可转化为求解(SOP)的最优解。本文采取遗传算法求解此问题。具体算法步骤如下:

步骤 1, 编码, 将所有加油站和供给点按照互不重复的自然数组成染色体的组成元素, 算例中存在 30 个加油站, 然后从中选择多个位置的加油站作为供应库使用。因此染色体的长度为 30。设 $L = \{1, 2, 3, \dots, 30\}$, 再用 P_i 代表每个点 i 的优先权。因此可以编码为 $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_{30}\}$, 优先级处于前段的可作为供应库。

步骤 2, 适应度函数, 通过适应度函数可以比较染色体之间的差距, 由此差距进行后面的操作。计算每一代中的每个染色体的最小系统调度成本 Z_i , Z_{\max} 和 Z_{\min} 代表每代中的最大值和最小值。然后从小到大进行排序, Z_i 代表第 i 条染色体的最小系统成本, N 作为此问题的种群规模。 $D(i) = \frac{Z_{\max} - Z_i}{Z_{\max} - Z_{\min}} (N - Z_i)$ 作为适应度函数。

步骤 3, 遗传操作, 适应度较高的个体遗传到下一代的概率更高。采用轮盘赌选择法, 由步骤 2 得知同一代中第 i 条染色体的适应值 $D(i)$ 和种群规模 N , 则第 i 条染色体被选择的概率为 $P(i) = \frac{D(i)}{\sum_{i=1}^N D(i)}$ 。然后进行交叉和变异操作。

步骤 4, 终止条件, 当迭代次数达到最大迭代次数或者适应度值持续保持不变时, 则终止循环, 经解码后得出最优解。

4 数值实验

某地至北向南 400 km, 至西向东 450 km, 现随机生成 30 个坐标代表可以作为加油站使用的地点位置。用 1~30 号代表这 30 个随机选择作为加油站的位置, 它们的位置和需求量表如表 1 所示。

选择多个点作为供应库使用。每当一个位置成为供应库使用时, 该供应库的建设成本为 50 万元。假设汽车在运输过程中以 $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度匀速行驶, 油料单位运输成本为 $10 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$, 油品价格为 $5000 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$ 。种群规模为 50, 进化代数为 150, 交叉概率为 0.5, 变异概率为 0.1, 供应库数量为 6。根据上述算法步骤, 并通过 MATLAB R2018a 进行求解。从图 1 可知, 随着迭代次数增加, 目标函数的适应度值逐渐降低, 大概在 46 代的时候适应度值趋于稳定, 达到最优解。

图 2~4 是当选择供应库个数为 5、6、7 时的调度方案。当选择供应库数量较少时, 运输距离将会变大, 调度效率也会降低; 当选择供应库的个数较多时, 供应库开设成本将会增加。所以选择供应库个数为 6 时有较好的结果。当选择供应库个数为 6 时(图 3), 将编号为 5、9、12、18、25、26 这 6 个位置的加油站作为供应库使用, 其中: 编号为 5 的供应库负责编号为 2、7 和 15 号加油站的调度保障活动; 编号为 9 的供应库负责编号为 8、10 和 11 号加油站的调度保障活动; 编号为 12 的供应库负责编号为 4、6 和 28 号加油站的调度保障活动; 编号为 18 的供应库负责编号为 3、16、17、19、20、23 和 29 号加油站的调度保障活动; 编号为 25 的供应库负责编号为 1、14、22 和 24 号加油站的调度保障活动; 编号为 26 的供应库负责编号为 13、21、27 和 30 号加油站的调度保障活动。调度效率为每单位时间内调度量为 1285.81 m^3 , 调度响应时间为 5.1162 h, 系统总成本为 371.46 万元。

表 1 各加油站位置及需求量

Tab. 1 Location and demand of each gas station

编号	坐标(x,y)/km	需求量/m ³	编号	坐标(x,y)/km	需求量/m ³	编号	坐标(x,y)/km	需求量/m ³
1	(59.3,327.2)	40	11	(396.7,101.3)	50	21	(248.5,245.7)	30
2	(78.4,136.9)	45	12	(248.9,177.3)	30	22	(131.2,302.5)	35
3	(316.7,241.6)	20	13	(308.4,353.0)	35	23	(338.6,190.8)	30
4	(269.1,138.2)	30	14	(88.1,277.6)	30	24	(143.5,236.6)	20
5	(202.4,149.6)	35	15	(129.7,72.8)	20	25	(142.4,259.3)	15
6	(327.9,154.7)	20	16	(369.5,172.8)	40	26	(239.9,292.1)	20
7	(123.3,124.7)	40	17	(317.3,222.9)	50	27	(236.5,324.0)	40
8	(420.3,98.6)	20	18	(396.1,235.5)	25	28	(282.9,150.6)	20
9	(433.1,82.3)	40	19	(382.9,199.0)	35	29	(401.7,279.8)	30
10	(433.6,62.1)	35	20	(367.6,257.8)	25	30	(283.8,274.9)	20

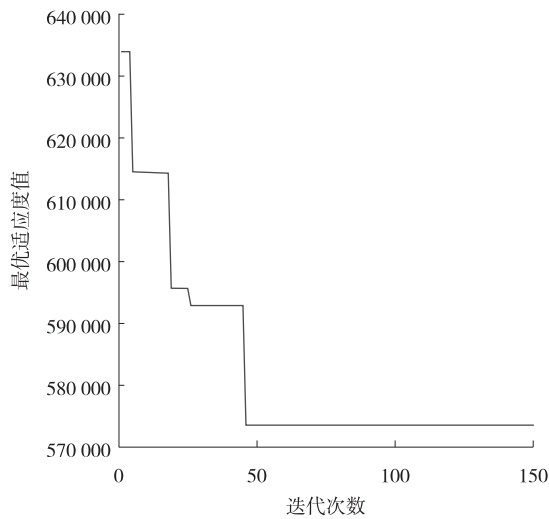
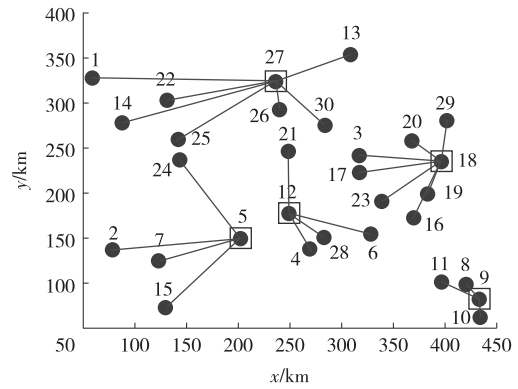


图 1 遗传算法优化过程

Fig. 1 Genetic algorithm optimization process



注:有方框的黑色圆点为供应库,无方框的黑色圆点为加油站,圆点旁的数字为供应库或加油站的编号,下同

图 2 供应库与加油站之间的调度方案 1

Fig. 2 Scheduling scheme 1 between supply depot and gas station

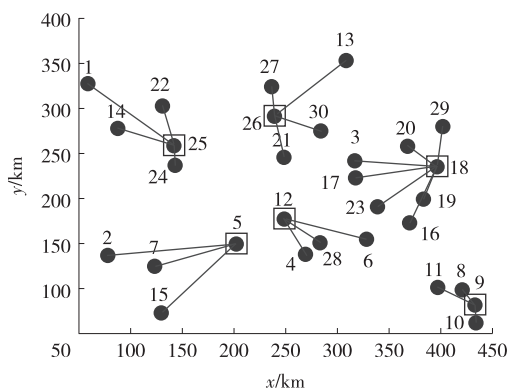


图 3 供应库与加油站之间的调度方案 2

Fig. 3 Scheduling scheme 2 between supply depot and gas station

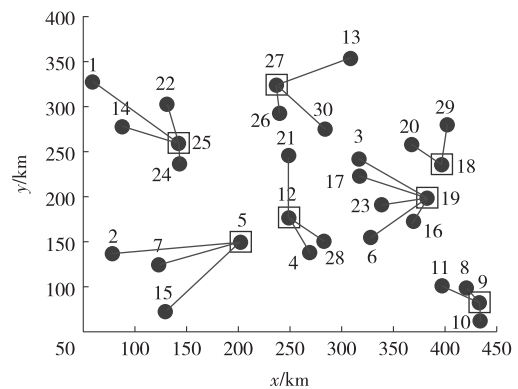


图 4 供应库与加油站之间的调度方案 3

Fig. 4 Scheduling scheme 3 between supply depot and gas station

5 结论

本文针对油料的调度保障问题,建立了调度效率最大、系统总成本最小和系统调度总时间最小为目标的多

目标优化模型,分析了模型解的性质,提出求解模型的遗传算法并进行了数值实验。数值实验表明:本文提出的多目标优化方法能够为解决油料调度问题提供科学的决策方法。值得注意的是,道路或者加油站点的损坏等复杂因素将会对结果产生重要影响,因此如何在更复杂环境和条件下构建新的多目标优化模型、设计高效算法并进一步优化调度方法将是非常有意义的研究课题。

参考文献:

- [1] 丁国勤. 军队油料保障指挥决策模型研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
DING G Q. Study of military POL service command decision model[D]. Chongqing:Chongqing University,2008.
- [2] 熊彪,周庆忠. 动态演化油料保障网络运行可靠性仿真分析[J]. 军事运筹与系统工程,2013,27(3):42-47.
XIONG B,ZHOU Q Z. Simulation analysis of operational reliability of dynamically evolving oil support network[J]. Military Operations Research and System Engineering,2013,27(3):42-47.
- [3] GRALLA E,GOENTZEL J,FINE C. Assessing trade-offs among multiple objectives for humanitarian aid delivery using expert preferences[J]. Production and Operations Management,2014,23(6):978-989.
- [4] QIN J C,XING Y T,WANG S,et al. An inter-temporal resource emergency management model[J]. Computers & Operations Research,2012,39(8):1909-1918.
- [5] 郑斌,马祖军,周愉峰. 震后应急物流动态选址-联运问题的双层规划模型[J]. 系统管理学报,2017,26(2):326-337.
ZHENG B, MA Z J, ZHOU Y F. Bio-level model for dynamic location-transportation problem for post-earthquake relief distribution[J]. Journal of Systems & Management,2017,26(2):326-337.
- [6] SETIAWAN E, LIU J Y, FRENCH A. Resource location for relief distribution and victim evacuation after a sudden-onset disaster[J]. IIE Transactions,2019,51(8):830-846.
- [7] MARCENARO-GUTI O D, LUQUE M, RUIZ F. An application of multi-objective program-ming to the study of workers' satisfaction in the Spanish labour market[J]. European Journal of Operational Research,2010,203(2):430-443.
- [8] STEPANOV A, SMITH J M. Multi-objective evacuation routing in transportation networks[J]. European Journal of Operational Research,2009,198(2):435-446.
- [9] 郑冀,周庆忠,李必鑫. 基于多目标决策的油料运输路线选取研究[J]. 中国储运,2007(4):101-103.
ZHENG J,ZHOU Q Z,LI B X. Research on oil transportation route selection based on multi-objective decision making[J]. China Storage & Transport,2007(4):101-103.
- [10] WANG H J,DU L J,MA S H. Multi-objective open location-routing model with split delivery for optimized relief distribution in postearthquake[J]. Transportation Research Part E:Logistics and Transportation Review,2014,69:160-179.
- [11] 张甜甜. 属地应急物流选址-路径-库存集成优化研究[D]. 北京:北京交通大学,2019.
ZHANG T T. Research on integrated optimization for location-routing-inventory problem of local emergency logistics[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University,2019.
- [12] EHRGOTT M. Multicriteria optimization[M]. 2nd edition. Heidelberg:Springer,2005.

Operations Research and Cybernetics

Multi-Objective Optimization Method for Oil Scheduling Problem

SHU Qin, QIAO Lu, ZHAO Kequan

(School of Mathematical Sciences, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: [Purposes]To study the scheduling support problem in oil supply support activities. [Methods]Combining various factors, a multi-objective optimization model was established with the objective function of maximizing scheduling efficiency, minimizing system scheduling cost and minimizing system scheduling time. [Findings]The main objective method of multi-objective optimization was used to transform the problem into a single objective optimization model. The properties of the solution were analyzed and the genetic algorithm was proposed to solve the problem. [Conclusions]The proposed multi-objective optimization method can not only guarantee the dispatching efficiency, but also obtain the corresponding low system cost and corresponding short system dispatching time, which can provide a reference for the decision-making of oil dispatching guarantee problem.

Keywords: multi-objective optimization; oil scheduling; weakly efficient solution; genetic algorithm

(责任编辑 方兴)