

## 带时间窗的蓄冷式多温共配冷链配送问题研究\*

戴夏静, 梁承姬

(上海海事大学 物流科学与工程研究院, 上海 201306)

**摘要:**【目的】随着社会货物多样性需求的增大,多温共配不断发展,而蓄冷式 MTJD 又是冷链物流行业中一个新型的概念。【方法】针对蓄冷式 MTJD 模式下的多温度需求货物的配送调度问题,考虑时间窗约束,建立了以总配送成本最小为目标的混合整数规划模型,其中总配送成本主要包括蓄冷箱成本、车辆运输成本和惩罚成本等。针对该模型,设计了适合求解蓄冷式 MTJD 模型的染色体编码方式以及遗传算子,对算例进行求解。并通过利用 Cplex 对算例重新编写代码、求解,验证了遗传算法的有效性。【结果】蓄冷式 MTJD 的各个区间的温度可以根据需求自由地设置,保温性能也明显优于机械式冷冻车厢区隔式 MTJD。【结论】蓄冷式 MTJD 在配送成本上相较于传统冷链配送模式以及机械式冷冻车厢区隔式 MTJD 具有明显优势,是一种值得推广的冷链物流配送模式。

**关键词:**蓄冷式多温共配;车辆路径问题;遗传算法;时间窗

**中图分类号:**O221.4;F252.3

**文献标志码:**A

**文章编号:**1672-6693(2017)05-0018-08

近些年来,冷链物流技术不断成熟,低温食物、酒类、药品和特殊化学用品等在运输过程中对温度的要求越来越高。多温共配(Multi-temperature joint delivery, MTJD)可以共同提供不同温度控制要求的货物,是目前冷链物流运输过程中亟待解决的问题。然而,多温共配中遇到的一个最重要的问题是,每个订单的货物,根据货物本身的特性和订购商的要求,都有不同的交货时间范围。这不仅限制了车队的运力,也影响运输服务的成本和质量。与普通商品相比,生鲜易腐货物由于产品特性,需要严格的温度控制并且应该尽可能减少运输过程中的时间。目前现有的 MTJD 模式主要还是机械式冷冻车厢区隔式 MTJD,即利用传统的冷藏车使用发动机和压缩机保持车厢温度,车厢的温度范围是固定的,且这样一来车辆燃料成本巨大,不符合低碳经济的要求。台湾工业技术研究院开发的蓄冷式 MTJD 系统可以在同一辆车上分配不同的温度区间,各个温度区间的温度可以根据配送货物的需求进行自主设置,动力机制主要为电力和可以循环使用的蓄冷液体,绿色环保。

国内外学者已经针对冷链物流和多温共配的配送调度作了一定的研究。王淑云等人<sup>[1-2]</sup>就运作机理和低碳经济研究蓄冷式冷链物流多温共配的动力机制,证明了蓄冷式配送的低碳性。王海丽等人<sup>[3]</sup>以包括制冷成本、车辆固定成本和运输成本在内的总成本最小为目标,建立了冷链物流配送模型,并构造了基于邻域搜索的节约算法。Hsu 等人<sup>[4]</sup>建立了一个随机的带时间窗的车辆路径问题(SVRPTW)模型,得到一个配送中心往多个配送点配送生鲜易腐货物的最优配送路线。普通货物的 VRP 问题<sup>[5-12]</sup>对于本研究同样具有借鉴意义。韩世莲<sup>[5]</sup>考虑生产、调度和车辆路径优化,提出一个带时间窗的多目标配送线路选择的目标规划模型。郎茂祥等人<sup>[6]</sup>研究带时间窗的车辆路径问题,利用禁忌搜索算法、遗传算法和蚁群算法<sup>[13-14]</sup>解决车辆负载、车队调度和发车时间等实际问题,并取得了良好的效果。

相较于以往的研究,本研究是在蓄冷式 MTJD 的模式下,研究多种类多温度需求货物的配送调度问题。在配送货车上,装载若干个设置好不同温度区间的蓄冷箱,可以同时装载不同种类、不同温度需求的货物。本研究考虑时间窗约束建立了包括蓄冷箱成本、车辆运输成本、惩罚成本等的总配送成本为最小的目标函数的混合整数规划模型。对该模型,设计了适合求解蓄冷式 MTJD 模型的染色体编码方式及遗传算子,对算例进行求解。

\* 收稿日期:2017-03-20 修回日期:2017-04-14 网络出版时间:2017-05-16 11:26

资助项目:国家自然科学基金(No.71471110;No.61540045);上海市科委创新项目(No.14170501500;No.14DZ2280200;No.16DZ1201402);上海市重点学科资助项目(No.J50604);陕西省社会科学基金(No.2015D060)

第一作者简介:戴夏静,女,研究方向为物流系统运作计划与优化、冷链物流,E-mail:774080664@qq.com;通信作者:梁承姬,教授,E-mail:liangcj@shmtu.edu.cn

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20170516.1126.046.html>

结果表明蓄冷式 MTJD 能够有效地解决目前多温货物的配送问题且可以使配送的成本大大降低。为验证该遗传算法的有效性,又在 Matlab 环境下加载 YALMIP 优化工具箱,调用 Cplex 对算例模型重新求解,证明了遗传算法的有效性。

## 1 问题描述

蓄冷式 MTJD 系统主要是通过在一个普通货车车厢放置若干个蓄冷箱构成。这些蓄冷箱内安装有蓄冷板。蓄冷板由蓄冷液、蒸发器盘管集中降温进行蓄冷,储存冷能,维持各种货物所需的不同温度条件,从而实现有效的多温共配。各个蓄冷箱可以运送有不同温度要求的货物,并且在开门时不会改变,大大降低了冷链货物配送过程中的货损率。此外,蓄冷箱内的温度区间组合也可以很容易地改变,相比传统冷藏车更加灵活方便。本研究就是基于这种蓄冷式 MTJD 模型。蓄冷式 MTJD 系统结构如图 1 所示。其中,蓄冷板设置的位置和数量都是自由的。

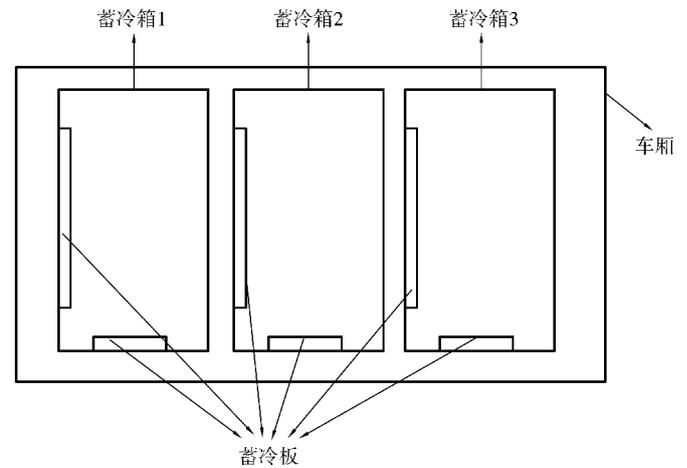


图 1 蓄冷式 MTJD 系统结构

Fig. 1 Cold storage type MTJD system structure

由于冷链物流的特殊性,在全程的运输过程中,需要严格的温度控制和时间把控,以保证运输货物的质量。所以,冷链运输过程中的时间窗约束是配送成本的关键。在配送问题的研究中,时间窗一般分为硬时间窗和软时间窗两种,硬时间窗即客户点的配送时间范围为硬性要求,配送服务必须要在该时间窗内完成,否则配送失败;软时间窗则加入惩罚因子,车辆可以不在规定的时间窗内完成配送,但必须给予一定的惩罚成本。

本研究引入带软时间窗的多温共配冷链物流配送问题,主要可描述为在标记为 0 的配送中心,由  $m$  辆经改装得到的运输车向  $n$  个客户点配送  $w$  类货物,每类货物存放在设置有不同温区的蓄冷箱内,即  $w$  个固定的温区,并且蓄冷箱容量恒大于各个客户点的需求量,保证一辆车可以完成每个客户点的配送任务。

## 2 模型

### 2.1 问题假设

由于现实问题的复杂性,为了便于问题求解和模型建立,现设定如下假设:1) 只考虑单一配送中心到多个客户点之间的配送,各个客户点的需求量、地理位置、时间窗约束均为已知;2) 配送车规格一定、数量不限,每个蓄冷箱的容量固定;3) 每辆车所装载的蓄冷箱设置的温区固定;4) 配送货物的重量和体积,加上蓄冷箱的重量和体积,不得超过配送车辆的载重量和体积的最大值;5) 不考虑货物的形状和尺寸;6) 每辆车仅调度 1 次,从配送中心出发,完成配送后返回配送中心,不考虑装卸货物的时间和配送中心整理货物的时间;7) 车辆由一个客户点出发至下个客户点,中间不改变线路去为别的客户点服务;8) 每个客户点都只能被配送车辆遍历 1 次。

### 2.2 模型分析

后面讨论中的各变量定义如下: $m$  表示配送车辆数, $k=1,2,\dots,m$ ;  $n$  表示接受配送的客户点数, $i=0,1,2,\dots,n$ ,  $j=0,1,2,\dots,n$ ,其中 0 表示配送中心; $w$  表示货物种类数, $t=1,2,\dots,w$ ,每类货物即表示不同温区的蓄冷箱; $a$  表示车辆配送货物每千米运输成本; $g$ : 蓄冷箱的固定成本; $d_{ij}$  表示客户点  $i$  到客户点  $j$  的距离; $p_t$  表示不同种类货物的价格; $Q_t$  表示每个蓄冷箱所能装载的货物容量; $q_{it}$  表示客户点  $i$  对第  $t$  类货物的需求量; $P_t$  表示储存温区为  $t$  的蓄冷箱单位时间所用电力成本; $\alpha$  表示提前配送的惩罚系数; $\beta$  表示延迟配送的惩罚系数; $S_i^k$  表示配送车辆到达客户点  $i$  的时间; $A_i^k$  表示等于最佳服务时间下限  $e_i$  减去配送车辆到达时间  $S_i^k$ ;  $D_i^k$  表示等于配送车辆到达时间  $S_i^k$  减去最佳服务时间上限  $l_i$ ;  $x_i^k$  表示整数变量,表示第  $k$  辆配送车辆内装载的第  $t$  类货物所使用的蓄冷箱数量;

本研究的决策变量为: $Z_{ij}^k$  表示当车辆  $k$  由客户点  $i$  驶向客户点  $j$  进行服务时, $Z_{ij}^k=1$ ,否则为 0; $Y_{it}^k$  表示当车辆  $k$  中的第  $t$  类货物的数量满足客户点  $i$  对此类货物的需求量时, $Y_{it}^k=1$ ,否则为 0。

本研究建立的是基于蓄冷式 MTJD 的多种类货物的配送模型,不同种类货物对温度有不同的要求,目标函数为最小化配送成本。由于蓄冷箱温度制定较为准确且保温效果较好,可忽略在蓄冷式 MTJD 中货物的腐败损失,所以这里的配送成本主要分为蓄冷箱成本、车辆运输成本和惩罚成本。

1) 蓄冷箱成本。本研究的最大特点就在于是基于蓄冷式 MTJD 的研究。每一辆配送车内有若干个蓄冷箱,每个蓄冷箱所设置的温区不一样,所耗费的电力成本、固定成本等也不一样。蓄冷箱的温度保持来自于内部安装的蓄冷板,蓄冷板由蓄冷液、蒸发器盘管集中降温进行蓄冷,储存冷能。蓄冷板的结构如图 2 所示。

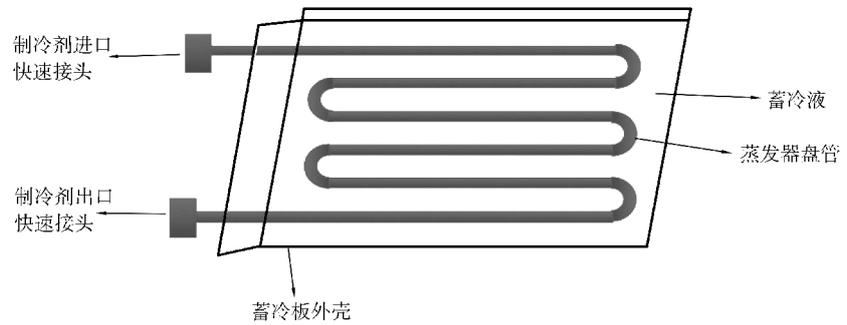


图 2 蓄冷板结构

Fig. 2 Cold storage plate structure

蓄冷箱成本表达如下式:

$$C_2 = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_i^k \left( P_t \frac{d_{ij}}{v_{ij}} + g \right) Z_{ij}^k Y_{ij}^k \quad (1)$$

其中,  $d_{ij}$  为客户点  $i$  到客户点  $j$  的距离,  $\frac{d_{ij}}{v_{ij}}$  即为车辆运输时间。  $Z_{ij}^k$  为决策变量,当车辆  $k$  由客户点  $i$  到客户点  $j$  进行服务时,  $Z_{ij}^k = 1$ , 否则为 0。  $Y_{ij}^k$  也为决策变量,当车辆  $k$  中的第  $t$  类货物的数量满足客户点  $i$  对此类货物的需求量时,  $Y_{ij}^k = 1$ , 否则为 0。此处,蓄冷箱的个数必须为整数,以保证一个客户点的同一类货物装在同一个箱内,不足 1 个蓄冷箱的按 1 箱计。

2) 车辆运输成本。车辆运输成本即为车辆从配送中心到一个客户点或者从一个客户点到另一个客户点进行服务时所产生的运输成本。本研究的运输成本由车辆固定成本和车辆运输成本组成。固定成本主要包括驾驶员工资、车辆折旧费和车辆维护成本;运输成本和运输距离有关,  $C_{ij}^k$  为第  $k$  辆车在路径  $(v_i, v_j)$  上的运输成本,且  $(v_i, v_j) = (v_j, v_i)$ 。车辆运输成本为:

$$C_1 = \sum_{k=1}^m f_k + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m a d_{ij} Z_{ij}^k Y_{ij}^k \quad (2)$$

3) 惩罚成本。本研究考虑的是软时间窗。在现实问题中,虽然每个客户点对于接受服务都有一个指定的时间窗,但要做到符合每个客户点的要求几乎是不可能的,所以建立软时间窗,设定一个大于客户指定时间窗的可接受时间窗。惩罚成本表达为:

$$C_3 = \begin{cases} M, S_i^k \in [0, E_i) \\ \alpha(e_i - E_i), S_i^k \in [E_i, e_i) \\ 0, S_i^k \in [e_i, l_i) \\ \beta(L_i - l_i), S_i^k \in [l_i, L_i) \\ M, S_i^k \in [L_i, \infty) \end{cases} = \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m (\alpha A_i^k + \beta D_i^k) \quad (3)$$

其中,配送车辆对客户点的服务时间被分成 5 部分。当服务时间在客户点可接受时间窗  $[E_i, L_i]$  之外时,将被拒绝服务,此时的惩罚成本最大;当服务时间在区间  $[E_i, e_i]$  和  $[l_i, L_i]$  之内时,服务虽然可以被接受但会受到一定的惩罚;当服务时间在区间  $[e_i, l_i]$  之内,即客户点指定时间窗,此时不产生惩罚成本,服务最优。

### 2.3 建立模型

为解决蓄冷式 MTJD 的配送问题,本研究建立了如[M1]所示的数学模型。[M1]最小化配送成本,其中配送成本主要包括(4)式中的蓄冷箱成本  $C_1$ 、车辆运输成本  $C_2$  和惩罚成本  $C_3$ , (5)~(6)式表示配送车辆保证能服务每一个客户点;(7)式表示一个蓄冷箱的容量不小于这个蓄冷箱内存放的所有种类货物的总体积,即每个客户点的同一类货物装在同一个蓄冷箱内;(8)式表示各温区客户点有且只由一辆配送车辆服务;(9)~(10)式表示

车辆从配送中心出发,完成配送服务后返回配送中心;(11)式表示配送服务发生在客户点可接受的时间窗内;(12)和(13)式分别为提早和延迟配送服务时间;并且提早和延迟配送服务时间为非负,即客户点可接受时间窗存在,如(14)式所示。

$$[M1] \quad \min \quad LP = C_1 + C_2 + C_3 =$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m x_i^k \left( P_i \frac{d_{ij}}{v_{ij}} + g \right) Z_{ij}^k Y_{it}^k + \sum_{k=1}^m f_k + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m ad_{ij} Z_{ij}^k Y_{it}^k + \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m (\alpha A_i^k + \beta D_i^k) \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in n} \sum_{j \in n} \sum_{k \in m} Z_{ij}^k = 1, \quad (5)$$

$$\sum_{i \in n} Z_i^k - \sum_{j \in n} Z_j^k = 0, k \in m, \quad (6)$$

$$\sum_{i \in n} \sum_{t \in w} q_{it} \leq Q_t, \quad (7)$$

$$\sum_{i \in n \setminus \{0\}} (q_{it} \sum_{j \in n} Z_{ij}^k) - Q x_t^k \leq 0, \quad (8)$$

$$\sum_{j \in n \setminus \{0\}} \sum_{k \in m} Z_{0j}^k = 1, \quad (9)$$

$$\sum_{i \in n \setminus \{n+1\}} \sum_{k \in m} Z_{i,n+1,k} = 1, \quad (10)$$

$$E_i \leq S_i^k \leq L_i, i \in n, k \in m, \quad (11)$$

$$A_i^k \geq e_i - S_i^k, \quad (12)$$

$$D_i^k \geq S_i^k - l_i, \quad (13)$$

$$A_i^k \geq 0, D_i^k \geq 0, i \in n, k \in m. \quad (14)$$

### 3 算法

本研究采用遗传算法对该蓄冷式 MTJD 的配送问题进行求解,在目标优化的基础上,维持代与代之间的潜在解,组成种群,实现多向性和全局搜索,得到最优解,具体算法步骤如下。

#### 3.1 编码与解码方式的设计

本研究采用自然数编码法(图 3),随机生成 1~20 的自然数,作为客户点接受服务的顺序。根据单车容量约束进行解码,如果某一车辆从配送中心出发,车内各个温区的蓄冷箱容量可以满足第  $i$  到  $j$  个客户点的所有货物需求,那么这一车辆配送遍历的点就为  $i$  到  $j$ ,则从第  $j+1$  个客户点开始就要由另一辆车进行配送,以此类推,直到遍历所有的客户点。

#### 3.2 计算适应度函数

适应度函数在遗传算法中被用来表达个体和解的优劣性,一般随着适应度值的增大,个体被选到下一代的概率也会变高。本研究根据问题特点用总配送成本的倒数作为适应度函数,即  $F_i = \frac{1}{\min LP}$ 。

#### 3.3 选择操作

本研究采用竞标赛选择法。在  $m$  个个体中随机选择  $n$  ( $n < m$ ) 个个体,将这  $n$  个个体按适应值排序,选择其中最大的个体,遗传到下一代,依此类推,直到得到新的  $m$  个个体。

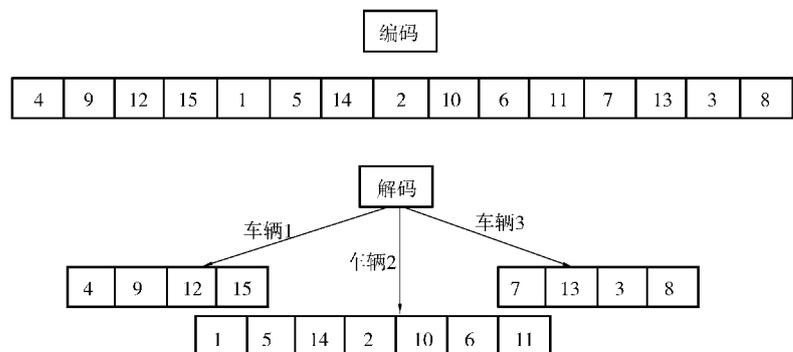


图 3 染色体编码及解码方式示意图

Fig. 3 Sketch map of chromosome encoding and decoding

3.4 交叉操作

本研究采用顺序交叉法(图 4)。首先,分别在两个父代染色体上随机选择好两个交叉点,保持这两个交叉点之间的基因不变;然后,比较父代 1 交叉点之外的基因和父代 2 已选定的交叉点之间的基因,把相同的基因删除以避免重复,父代 2 同理;最后,把父代 1 和 2 的剩余基因分别按顺序直接分配给父代 2 和 1,就得到两个完整的子代。

3.5 变异操作

本研究采用逆转变异法(图 5),提高局部搜索能力,保持群体的多样性,避免早熟。在父代染色体中,随机选择两个基因位上的基因,将这两个基因互换,就得到子代。

4 实验分析

本研究设定由 1 个配送中心向 20 个客户点配送 3 类储存在不同温区内的 5 种货物,验证模型[M1]的实用性。下面说明本算例的已知数据:配送车辆运输成本为  $2.5 \text{ 元} \cdot \text{km}^{-1}$ ;

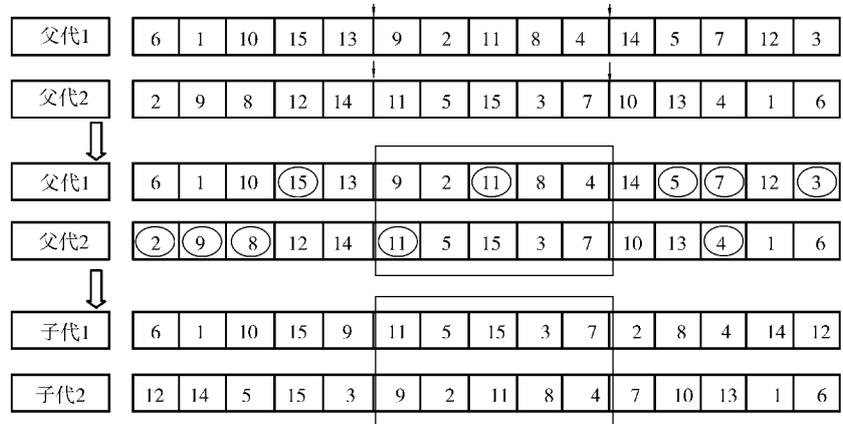


图 4 交叉操作示意图

Fig. 4 Schematic diagram of crossover operation

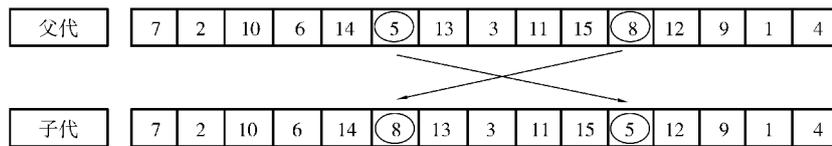


图 5 变异操作示意图

Fig. 5 Schematic diagram of variation operation

平均行驶速度为  $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$  ( $0.5 \text{ km} \cdot \text{min}^{-1}$ );提前配送的惩罚系数为 0.5;延迟配送的惩罚系数为 1.0;设定配送车辆 6:00 从配送中心出发;蓄冷箱固定成本为 250 元;每个配送车辆内有 3 个不同温区的蓄冷箱,每个蓄冷箱容量为 1.2 t。3 个温区的基本信息如表 1 所示;5 种配送货物的基本信息如表 2 所示,一个蓄冷箱可以存放的最大份数由计算得出;设定客户点 0 为配送中心,1~20 为 20 个客户点,客户点的基本信息如表 3 所示。

用遗传算法对以上实例进行求解。其中,种群规模设置为 50,最大迭代次数为 500,交叉概率取值 0.5,变异概率取值 0.1。多次运行该算法,得到的最优解都为 3 200.07。初始最优路径如表 4 所示。最优车辆路径如图 6 所示。

相较于传统的冷链配送模式和机械式冷冻车厢区隔式 MTJD,蓄冷式 MTJD 在所需的车型和车辆数上有明显优势。传统的冷链配送模式中,配送这 3 种温层的货物需要有 3 种类型的车辆来实现,其中常温、冷藏、冷冻车都为 3 辆,总成本共计 6 709.75 元;

表 1 温区基本信息

Tab. 1 Basic information of temperature zone

温度区间编号	温度范围/°C	单位时间电力成本/(元·min <sup>-1</sup> )
range1	-30~-18	1.6
range2	-15~0	1.3
range3	5~15	1.3

表 2 货物基本信息

Tab. 2 Basic information of goods

货物编号	温度区间	单价/元	一个蓄冷箱可以存放的最大份数
A	range1	1 000	55
B	range2	300	70
C	range2	300	70
D	range3	450	60
E	range3	800	50

表 3 客户点基本信息

Tab. 3 Basic information of customer points

客户点	坐标	不同温区货物需求量					时间窗	软时间窗
		range1	range2		range3			
		A	B	C	D	E		
0	(50,50)							
1	(57,65)	25	0	20	0	10	9:00—9:30	8:30—9:30
2	(70,60)	0	25	0	13	0	7:00—7:30	6:30—8:00
3	(70,36)	0	20	30	0	20	14:00—15:00	14:00—16:00
4	(30,45)	0	18	25	0	0	14:00—15:00	14:00—16:30
5	(40,50)	30	0	0	20	0	9:30—9:50	9:20—10:00
6	(65,35)	30	0	0	0	9	15:30—15:50	15:00—16:00
7	(26,58)	0	0	30	10	0	8:00—8:30	7:40—8:50
8	(70,75)	0	20	0	0	10	15:30—15:50	15:00—16:00
9	(35,80)	25	0	0	20	0	16:00—16:30	15:40—16:50
10	(20,47)	0	20	15	0	20	10:00—10:30	10:00—11:30
11	(50,33)	0	30	0	15	0	10:00—10:30	9:30—10:30
12	(30,75)	30	0	0	20	10	16:00—16:30	15:30—16:30
13	(60,80)	0	30	25	0	0	7:00—7:30	6:30—8:30
14	(90,44)	0	0	20	0	20	7:00—8:00	7:00—8:30
15	(54,39)	20	0	0	16	0	17:00—17:30	17:00—18:00
16	(19,23)	0	30	0	13	20	17:20—18:00	17:00—18:20
17	(40,75)	25	0	20	0	0	10:00—10:30	9:40—10:30
18	(66,58)	0	0	0	20	10	16:00—16:30	15:00—17:00
19	(80,86)	35	20	0	0	5	15:30—16:00	15:00—17:00
20	(30,15)	0	0	30	20	0	10:00—10:30	10:00—11:00

机械式冷冻车厢区隔式 MTJD 模式中,共需车辆 4 辆,总成本为 3 698.57 元;而采用蓄冷式 MTJD 模式,配送车辆仅为 3 辆,成本为 3 200.07 元,具体成本对比如表 5 所示。

表 4 初始最优路径

Tab. 4 Initial optimal path

车辆 1 路线
0-1-14-15-0
车辆 2 路线
0-9-13-2-3-6-20-0
车辆 3 路线
0-18-8-19-17-12-7-10-16-4-5-11-0

表 5 各种配送模式成本对比

Tab. 5 Cost comparison of various distribution models

配送模式	所需车型	所需车辆/辆	成本/元
传统冷链配送模式	常温车	2	1 598.33
	冷藏车	2	2 367.60
	冷冻车	2	2 743.82
	总计	6	6 709.75
机械式冷冻车厢区隔式 MTJD	机械式冷冻区隔车	4	3 698.57
蓄冷式 MTJD	蓄冷式 MTJD 车	3	3 200.07

同时,为了验证该遗传算法的有效性,在 Matlab 环境下加载 YALMIP 优化工具箱,调用 Cplex 对算例模型重新求解,求得最终的成本目标函数值为 3 275.75 元,而运算时间为 204.51 s。通过比较此遗传算法(GA)获得的近似最优解和由 Cplex 求得的较为精确的解相比,相差不大,而且求解速度上有明显的优势,这说明了遗传算法的设计是有效的。两种算法对比如表 6 所示。

## 5 结语

蓄冷式 MTJD 可以在同一辆车上分配不同的温区,且各个区间的温度可以根据需求自由地设置,保温性能也明显优于机械式冷冻车厢区隔式 MTJD。本研究在蓄冷式 MTJD 模式下,研究多类型多温度要求货物的配送调度问题,充分分析了在冷链货物运输过程中的特性。分析配送成本的影响因素,包括蓄冷箱成本、车辆运输成本和惩罚成本,以上述成本之和为目标函数,建立蓄冷式 MTJD 冷链物流配送模型。利用遗传算法对算例进行求解,结果表明蓄冷式 MTJD 能够有效解决目前多温货物的配送需求,且在配送成本上相较于传统冷链配送模式以及机械式冷冻车厢区隔式 MTJD 具有明显优势,是一种值得推广的冷链物流配送模式。最后,利用 Cplex 对算例重新编写代码并求解,进一步验证了本算法的有效性。

## 参考文献:

- [1] 王淑云,赵敏.蓄冷式冷链物流多温共配的动力机制[J].公路交通科技,2012,29(2):144-148.  
WANG S Y,ZHAO M.Impetus of multi-temperature joint distribution based on storage-type cold-chain logistics[J].Journal of Highway and Transportation Research and Development,2012,29(2):144-148.
- [2] 唐珍,王淑云.多温共配冷链物流的优化研究[J].物流工程与管理,2012,34(11):126-127.  
TANG J,WANG S Y.With a total of multi-temperature cold chain logistics optimization J[J].Logistics Engineering and Management,2012,34(11):126-127.
- [3] 王海丽,王勇,曾永长.带时间窗的易腐食品冷藏车配送问题[J].工业工程,2008,11(3):127-130.  
WANG H L,WANG Y,ZENG Y C.Perishable food refrigerated vehicle distribution problem with time windows[J].Industrial Engineering,2008,11(3):127-130.
- [4] HSU C I,Liu K P.A model for facilities planning for multi-temperature joint distribution system[J].Food Control,2011,22:1873-1882.
- [5] 韩世莲.带时间窗的多目标配送线路选择问题的目标规划模型[J].物流技术,2008,27(1):21-27.  
HAN S.Objective programming model of multi-objective routing problem with time windows[J].Logistics Technol-

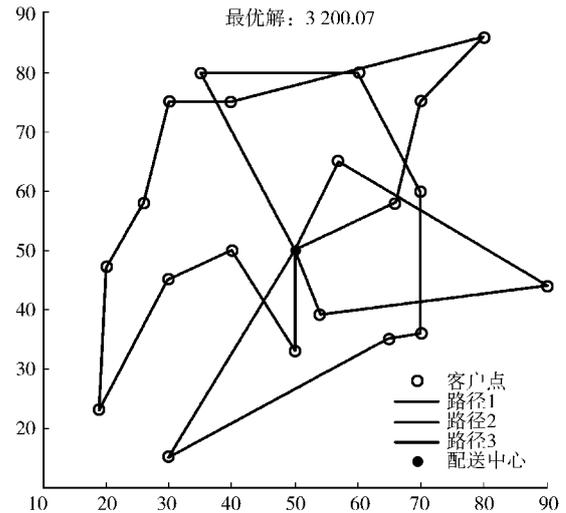


图 6 遗传算法最优车辆路径安排示意图

Fig. 6 Sketch map of the optimal of vehicle routing arrangements based on the GA

表 6 两种算法对比

Tab. 6 Comparison of two algorithms

算法	运算时间/s	目标函数值/元
Cplex	204.51	3 275.75
GA	136.62	3 200.07

gy,2008,27(1):21-27.

- [6] 郎茂祥,胡思继.用混合遗传算法求解物流配送路径优化问题的研究[J].中国管理科学,2012,10(10):51-56.  
LANG M X,HU S J.Research on optimization of logistics distribution routing problem with hybrid genetic algorithm [J].Chinese Journal of Management Science,2012,10(10):51-56.
- [7] CLARKE G,WRIGHT J.Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points[J].Operations Research,2008,12(4):568-581.
- [8] GHODRATNAMAA A,JOLAIB F.TAVAKKOLI-MO-GHADDAMB R.Solving a new multi-objective multi-route flexible flow line problem by multi-objective Particle Swarm Optimization and NSGA-II [J].Journal of Manufacturing Systems,2015,36:189-202.
- [9] 张瑞峰,汪同三.新型遗传算法求解车辆路径问题研究[J].湖北大学学报(自然科学版),2012,34(2):240-242.  
ZHANG R F,WANG T S.A new genetic algorithm for solving vehicle routing problem[J].Journal of Hubei University(Natural Science),2012,34(2):240-242.
- [10] 叶安新.基于遗传算法的烟草配送车辆路径优化问题[J].计算机系统应用,2011,20(4):241-244.  
YE A X.Optimization of tobacco distribution vehicle rou-

- ting problem based on genetic algorithm [J]. Computer System Application, 2011, 20(4): 244-241.
- [11] 陈磊, 霍永亮, 霍波陶. 基于混合遗传算法的车辆调度优化 [J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2015, 32(2): 7-12.  
CHEN L, HUO Y L, HUO B T. Vehicle scheduling optimization based on hybrid genetic algorithm [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2015, 32(2): 7-12.
- [12] GHODRATNAMAA A, JOLAIB F, TAVAKKOLI-MO-GHADDAMB R. Solving a new multi-objective multi-route flexible flow line problem by multi-objective particle swarm optimization and NSGA-II [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2015, 36: 189-202.
- [13] 袁琴琴, 吕林涛. 基于改进蚁群算法与遗传算法组合的网络入侵检测 [J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2017, 29(1): 84-89.  
YUAN Q Q, LÜ L T. Network intrusion detection method based on combination of improved ant colony optimization and genetic algorithm [J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2017, 29(1): 84-89.
- [14] 尹庆民, 焦晓东. 应用投影寻踪-粒子群算法的江苏省交通适应性评价 [J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016(6): 159-166.  
YIN Q M, JIAO X D. Study on evaluation of traffic adaptability in Jiangsu province based on PSO-PP model [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2016(6): 159-166.

## Operations Research and Cybernetics

### Cold Storage Type of Multi-temperature Distribution Problem with the Soft Time Windows

DAI Xiajing, LIANG Chengji

(Logistics Science and Engineering Research Institute, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

**Abstract:** [Purposes] With the increase of cargo demand diversity, more temperature distribution (Multi-temperature to be Delivery, MTJD) is developing constantly, and cool storage type MTJD is a new concept of cold chain logistics industry. [Methods] It aimed at the variety of cool storage type MTJD mode temperature demand more goods distribution scheduling problem, considering the time window constraints including the cold box storage costs, vehicle transportation cost, the total distribution costs for the punishment cost is the smallest mixed integer programming model of objective function. The model is suitable for solving storage type MTJD model design chromosome coding method and genetic operators. Through the use of Cplex to rewrite the code, solving the example, verify the validity of the genetic algorithm. [Findings] The temperature of each section of the MTJD can be set freely according to the requirement, and the thermal insulation performance is also better than that of the mechanical refrigerated compartment MTJD. [Conclusions] Compared with the traditional cold chain distribution model and the mechanical refrigerated compartment MTJD, the cold storage MTJD has obvious advantages, and it is a kind of cold chain logistics distribution model which is worth popularizing.

**Keywords:** multi-temperature joint delivery; vehicle touring problem; genetic algorithm; time windows

(责任编辑 游中胜)