

基于区块链技术的海上溢油应急物资 陆路预调度研究

陈周滨^{1,2}, 刘桂云^{1,2}, 白佳兴¹, 胡超¹

(1. 宁波大学 海运学院, 浙江 宁波 315832;

2. 宁波大学 东海战略研究院海洋经济研究中心, 浙江 宁波 315211)

摘要:快速有效地进行溢油事故应急物资预调度,对于保障港口储备库物资的供应,提升海上溢油事故应急能力具有重要意义。为了应对发生重大海上溢油事故时,港口区域储备库物资供应不足,需从陆上储备库调运物资的情况,研究了基于区块链技术的应急物资陆路预调度系统,提出了系统的总体架构和功能模型。同时,针对预调度系统中的应急物资调度方案决策模块,构建了应急物资调度模型,利用熵权-TOPSIS法和遗传算法进行求解,并通过案例分析证明了调度模型的有效性。研究结果能够优化应急物资陆运阶段的库存和调度管理,实现供需双方的自动匹配和陆路调配方案的快速制定,为应急物资预调度决策提供参考。

关键词:区块链;应急物资;预调度;海上溢油事故;遗传算法

中图分类号:U698

文献标志码:A

DOI:10.3969/j.issn.1000-4653.2024.03.016

Research on land-based pre-dispatch of marine oil spill emergency materials based on blockchain technology

CHEN Zhoubin^{1,2}, LIU Guiyun^{1,2}, BAI Jiaying¹, HU Chao¹

(1. Faculty of Maritime and Transportation, Ningbo University, Ningbo 315832, China;

2. Marine Economic Research Center, East China Sea Strategic Research Institute, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Rapid and effective pre-dispatch of emergency materials for oil spill accidents is of great significance to ensure the supply of materials in port reserves and to improve the emergency response capability of marine oil spill accidents. In order to deal with the situation that the supply of materials in the port area reserves is insufficient in the event of a major marine oil spill accident, and materials need to be transferred from the onshore reserves, a land-based pre-dispatching system for emergency materials based on blockchain technology is studied, and the overall architecture and functional model of the system are proposed. At the same time, for the decision-making module of emergency materials dispatch scheme in the pre-dispatching system, an emergency materials dispatch model is constructed, and the entropy weight-TOPSIS method and genetic algorithm are used to solve the model, and the effectiveness of the dispatch model is proved by case analysis. The research results can optimize the inventory and dispatch management of emergency materials in the land transportation stage, realize the automatic matching between the supply and demand sides and the rapid formulation of the land deployment plan, and provide a reference for the pre-dispatch decision of emergency materials.

Key words: blockchain; emergency materials; pre-dispatch; marine oil spills; genetic algorithm

收稿日期:2023-04-09

基金项目:国家自然科学基金(52272334);浙江省基础公益研究计划项目(LGF19G030003)

作者简介:陈周滨(1998—),男,硕士生,研究方向为港口技术与管理工程。E-mail:1296515164@qq.com

通信作者:刘桂云(1972—),女,教授,研究方向为港口物流管理。E-mail:liuguiyun@nbu.edu.cn

引用格式:陈周滨,刘桂云,白佳兴,等.基于区块链技术的海上溢油应急物资陆路预调度研究[J].中国航海,2024,47(3):131-139.

CHEN Z B, LIU G Y, BAI J X, et al. Research on land pre-dispatch of marine oil spill emergency materials based on blockchain technology[J]. Navigation of China, 2024, 47(3): 131-139. (in Chinese)

近年来,随着我国社会经济的迅速发展,海上石油开采和运输的规模逐渐变大,从而导致海上溢油事故频发,造成巨大的经济损失。在溢油事故发生后,将应急物资及时送达事故点是救援工作的关键。虽然沿海港口都建有储备库,存储着一定数量的应急物资,但当发生重大溢油事故时,其供应量往往不足,需从分布于各地的陆上储备库调度物资。然而,在时间紧迫、物资紧缺的情况下制定出高效合理的物资调度方案是十分困难的。随着大数据、云计算等技术的发展,智能信息化和数字化已成为社会发展的必然趋势。因此,我们可以基于新技术构建一个海上溢油事故应急物资预调度系统,在发生重大事故后,快速匹配物资供需双方,制定调度方案。这种依托系统的调度方式,对于保障港口应急物资的供应、提高救援效率具有重要意义。

目前,国内外学者对信息系统的研究较多,且多以平台的方式展现,主要集中在物流信息、应急管理服务等方面,如 WU 等^[1]构建了基于云计算和物联网技术的矿井安全信息服务平台,具备事态监测、识别、预警等功能。ABRAHAMSSON^[2]通过描述物流信息平台的组成和功能,明确了平台在物流信息系统中的重要地位。LV 等^[3]基于电子政务网络和大数据库网络构建了城市灾害管理平台,为灾害防治提供信息资源。SILVA 等^[4]通过物流平台将供应链上的各用户连接在一起来提高经济效益。KIBA-JANNIAK 等^[5]设计了服务于多部门多行业的物流信息平台功能。梁艳平等^[6]构建了应急物资信息共享平台,通过加强平台用户间联系和信息共享来提高应急物资管理效率。余江霞等^[7]从应用、技术、数据、安全 4 个方面对物流平台架构进行梳理,构建跨境电商第四方物流平台。孙增乐^[8]构建了一个结合线上线下的物流信息服务平台,通过物流共享来提高物流闲置资源和运输资源的利用率。周佳杰^[9]研究了工业园区应急信息平台协同应急指挥体系的构建问题。

区块链具有分布式账本、智能合约等特征,各行业逐渐选择区块链技术作为搭建系统的底层技术。在“区块链+物流”的应用研究方面, MUESSIGMANN 等^[10]对区块链技术在物流和供应链管理中的研究现状进行了综述。LIU 等^[11]利用区块链编写物流安全的智能合约,有效解决了物流监管不力等问题。ISSAOUI 等^[12]研究了智慧物流中区块链技术的多种应用场景,包括财务、信息、管理以及传输等领域。

ROZMAN 等^[13]提出在供应链中融合区块链和

物联网技术可以实现物流领域的高速发展。张卿瑞^[14]针对物流双方的匹配问题,设计了基于区块链技术的多目标物流交易匹配算法。石洛锟等^[15]提出了基于区块链技术的集装箱航运新模式。FRANCISCONI^[16]把区块链技术应用用于港口信息系统中,并评估了应用收益。HUCKLE 等^[17]利用区块链和物联网技术开发了共享经济分布式应用系统。王妍等^[18]研究了区块链技术在港口集装箱物流管理中的具体应用。邓琳娜^[19]研究了区块链技术在冷链物流中的应用可行性和优化途径。

综合上述分析,目前有关应急物资调度系统研究较少。此外,虽有文献研究了“区块链+物流”的应用,但很少将区块链与应急物资调度相结合。区块链技术能较好地应用于多方参与的应急物资调度管理,利用网络结构对各部门进行链接,提供一个多方共享但不可篡改的分布式数据库,加大信息共享力度,从而提高应急物资调度效率。因此,为应对发生重大海上溢油事故时,港口储备库物资供应不足,需从各陆上储备库调运物资的情况,针对溢油应急物资的陆运阶段,本文针对公路运输方式,基于区块链技术设计了一个海上溢油事故应急物资陆路预调度系统,并重点研究了物资调度模型和求解算法,来优化溢油应急物资在陆运阶段时的调度管理。

1 基于区块链技术的预调度系统结构

本文以区块链技术为基础,构建了针对陆运阶段的应急物资陆路预调度系统,系统以平台方式运行,总体架构为“六横三纵”,如图 1 所示。由下至上,在陆运时,系统通过前 4 个层面实现资源信息的整合和服务功能的运行,并依托后 2 个层面实现“一站式”服务。

应急物资预调度系统需要提供供需匹配、物流实时查询等服务,从而自动生成海上溢油应急物资陆路调度方案,所以系统应该由多个功能模块组成。如图 2 所示,系统功能模型包括 3 个模块,模块之间用大数据、区块链等网络进行数据信息的传递。其中,大数据网络提供了丰富的数据资源和有关事态发展以及影响调度任务的信息;区块链网络可以打通信息孤岛,实现数据信息的实时共享。2 种网络的融合,能够规范数据信息的流通和使用,提高平台调度方案的决策支持能力。

2 基于区块链技术的应急物资调度模型

2.1 问题描述

本文针对系统中的应急物资调度方案决策模

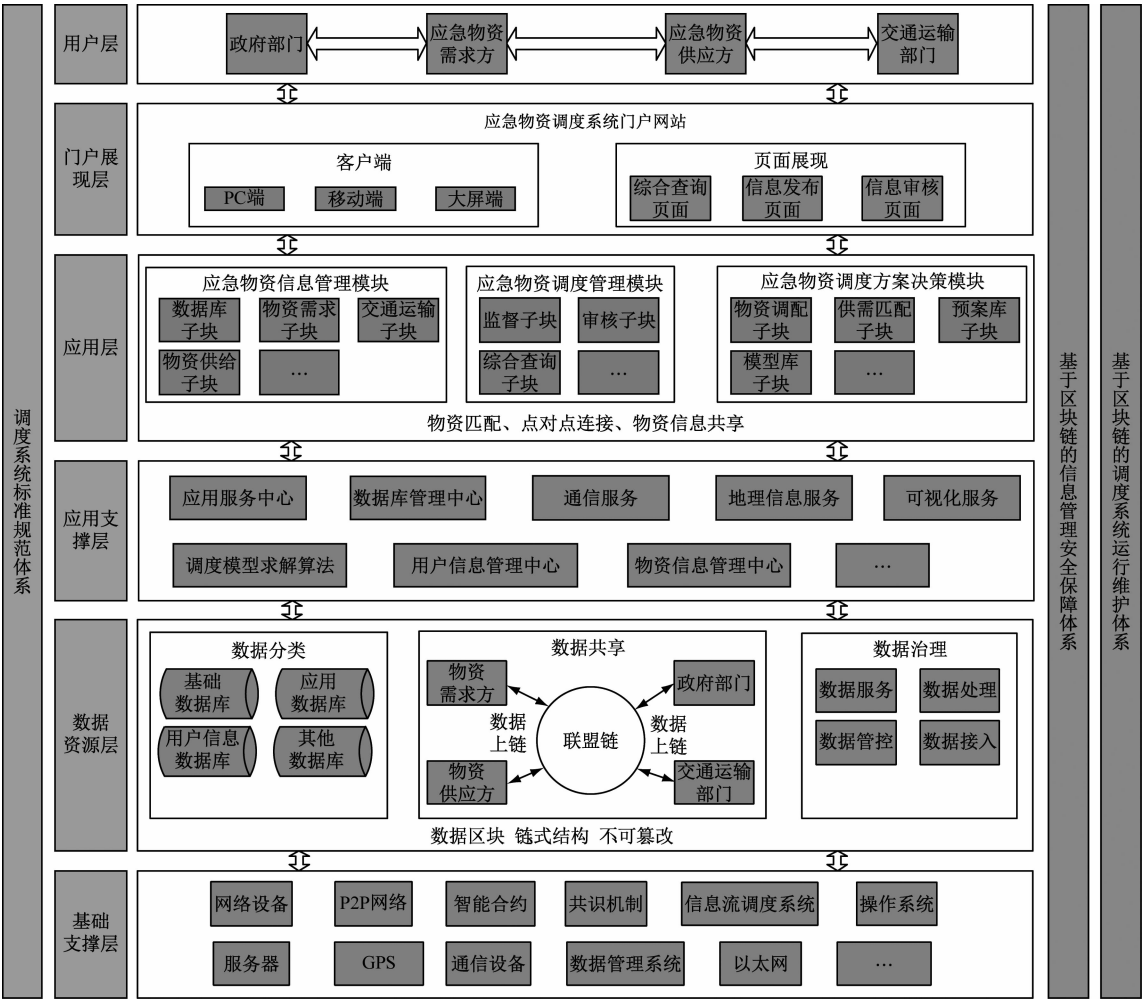


图1 系统总体架构

Fig.1 Overall system architecture diagram

块,构建调度模型,对供需双方进行自动匹配,生成物资调度方案。调度形式为多供应点、多需求点的陆上应急物资调度,具体描述为:由多个物资储备充足、具备不同型号运输工具的陆上储备库向多个港口储备库配送物资,运输工具主要为集装箱卡车;每个港口储备库物资需求量已知;各港口储备库时间窗限制已知,当物资到达时间超出时间窗限制时,存在单位时间损失,即惩罚成本;运输工具从各陆上储备库同时出发,完成任务后返回,不循环配送;应急物资具体包括围油栏等拦阻溢油类物资、收油机等回收溢油类物资以及溢油分散剂、吸油材料等其他类物资,并统一采用“救助资源包”的形式进行调度。

2.2 模型假设

本文所构建的物资调度模型假设为:各陆上储备库的物资储备充足,各港口储备库的需求量、软时间窗和延误惩罚系数已知;供需双方距离已知,不同型号运输工具的平均速度已知,且不考虑速度的动态变化;陆上储备库运力受限,运输工具的种类、数

量、额定载重量以及单位运输成本已知;一个陆上储备库只能服务一个港口储备库,一个港口储备库可被多个陆上储备库服务,陆上储备库之间不进行物资调运;考虑物资装卸货时间;应急物资流向为单向流,不涉及物资的回收。

2.3 模型构建

2.3.1 参数定义

针对海上溢油事故构建的陆上应急物资预调度模型中所涉及的符号定义如表1所示。

2.3.2 数学模型

目标函数:

$$\min F_1 = \begin{cases} 0, & T_j \leq T_{lj} \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j E(T_j - T_{lj}), & T_j > T_{lj} \end{cases} \quad (1)$$

$$\min F_2 = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m \sum_{k \in K} z_{ij} C_{ijk} x_{ijk} r_i D_{ij} l_{ik} + \sum_{j=1}^n (a + b) P_j \quad (2)$$

$$\min F_3 = \sum_{i=1}^m r_i c \quad (3)$$

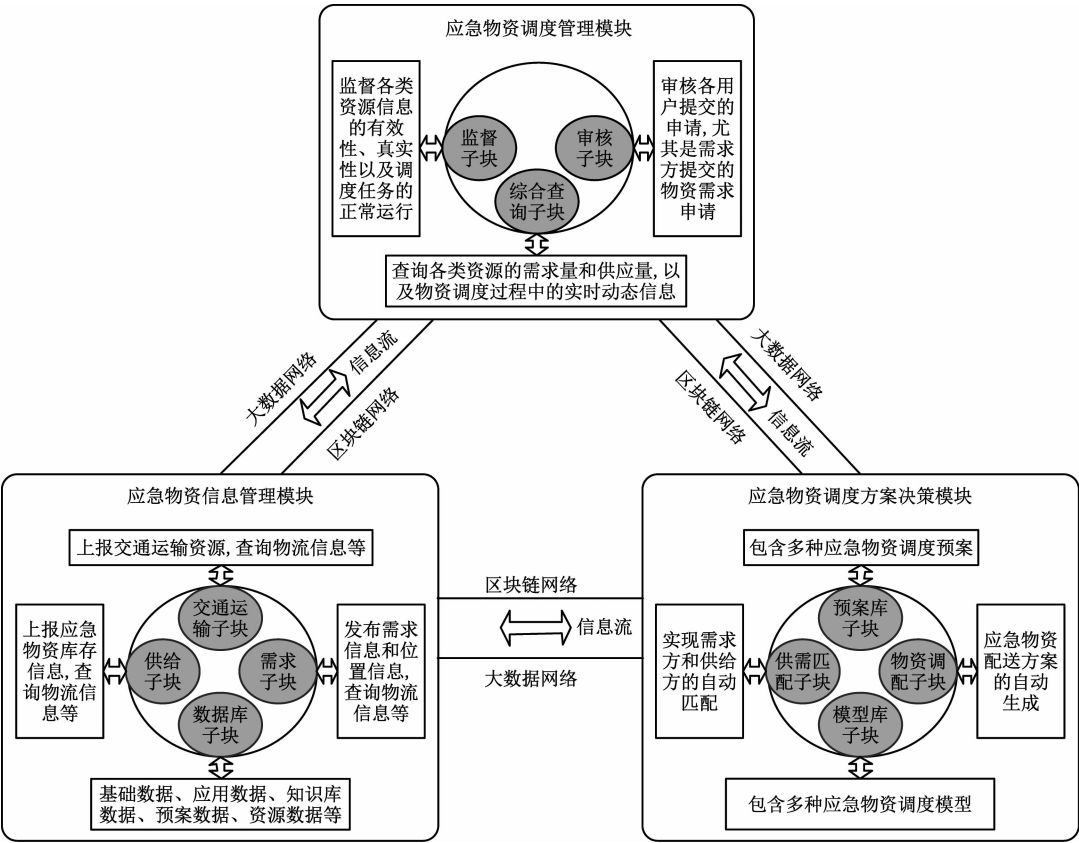


图 2 系统功能模型
Fig. 2 System functional model diagram

约束条件:

$$\sum_{i \in H} X_i \geq \sum_{j=1}^n P_j \tag{4}$$
$$q_{ik} \leq Q_{imaxk}, \forall k, i \tag{5}$$

$$\sum_{k \in K} z_{ij} l_{ik} q_{ik} x_{ijk} \leq X_i, \forall i, i \in H, j \in J \tag{6}$$

$$\sum_{i \in H} y_{ji} \geq 1, \forall j \tag{7}$$

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} = 1, \forall i \tag{8}$$

$$\sum_{i=1}^m r_i = s \geq n \tag{9}$$

$$\sum_{i \in H} \sum_{k \in K} z_{ij} x_{ijk} l_{ik} q_{ik} = \sum_{j=1}^n P_j, j \in J \tag{10}$$

$$T_j = \max \left\{ z_{ij} \left(\frac{D_{ij}}{V_{ijk}} + \frac{\sum_{k \in K} x_{ijk} l_{ik} q_{ik}}{U} + \frac{\sum_{k \in K} x_{ijk} l_{ik} q_{ik}}{W} \right) \right\},$$
$$i \in H, \forall j \tag{11}$$

式(1)表示因物资延迟到达港口储备库的时间惩罚最小;式(2)表示应急物资调度成本最小;式(3)表示参与出救的陆上储备库花费的固定成本和最小,即参与出救的陆上储备库数量最少;式(4)表示参与出救的储备库的总物资储备量不小于总物资

需求量;式(5)表示运输工具的实际载重量不超过其最大载重量;式(6)表示陆上储备库的物资实际配送量不超过其储备量;式(7)表示每一个港口储备库至少有一个陆上储备库对其进行服务;式(8)表示每一个陆上储备库只服务于一个港口储备库;式(9)表示参与出救的陆上储备库数量为 s ;式(10)表示总实际载货量等于总物资需求量;式(11)表示物资到达各港口储备库的时间,由装货时间、运输时间以及卸货时间 3 部分组成,且取值为到达港口储备库所耗费的最长时间。

2.4 模型求解

2.4.1 需求紧迫度系数计算

将应急物资从各陆上储备库配送至各港口储备库时,应考虑各港口储备库紧急情况的差异性,根据其需求紧迫程度进行有序的物资配送,从而提高救援工作的精准性。本文综合考虑物资、地理以及交通等因素,构建包含应急物资短缺程度、港口储备库与溢油事故点之间距离、应急物资配送困难程度和港口救援船舶额定载重量 4 个因素的应急物资需求紧迫度评价指标体系。其中,只有应急物资配送困难程度是一个模糊型指标,可用运输工具平均运输速度的倒数去模糊化,其余 3 个均为确定型指标。

表 1 符号定义表
Tab. 1 Symbols definition

符号	定义	符号	定义
λ_j	港口储备库 j 的紧迫度系数	b	港口储备库的单位卸货成本
I	陆上储备库集合,共有 m 个,编号为 $1,2,3,\cdots,m,I=\{i i=1,2,3,\cdots,m\}$	c	陆上储备库的固定成本
J	港口储备库集合,共有 n 个,编号为 $1,2,3,\cdots,n,J=\{j j=1,2,3,\cdots,n\}$	$[T_{ej}, T_{lj}]$	港口储备库 j 的应急物资到达的软时间窗限制, $j \in J$
H	参与出救的陆上储备库集合,共有 s 个, $H \subseteq I$	T_j	应急物资到达港口储备库 j 的最长时间
K	运输工具种类集合,共有 k 种,编号分别为 $1,2,3,\cdots,k$	V_{ijk}	第 i 个陆上储备库使用的第 k 种运输工具的平均运输速度
Q_{imaxk}	第 i 个陆上储备库拥有的第 k 种运输工具的最大载重量	U	陆上储备库的应急物资装货速度
q_{ik}	第 i 个陆上储备库拥有的第 k 种运输工具的实际载货量	W	港口储备库的应急物资卸货速度
l_{ik}	第 i 个陆上储备库使用的第 k 种运输工具的数量	E	应急物资延迟到达港口储备库的时间惩罚系数
C_{ijk}	第 i 个陆上储备库拥有的第 k 种运输工具从陆上储备库 i 到港口储备库 j 的单位距离运输成本	x_{ijk}	等于 1,表示第 i 个陆上储备库使用第 k 种运输工具从陆上储备库 i 配送物资至港口储备库 j ; 否则,等于 0
X_i	陆上储备库 i 的应急物资储备量, $i \in I$	y_{ji}	等于 1,表示第 j 个港口储备库由第 i 个陆上储备库服务;否则,等于 0
D_{ij}	陆上储备库 i 与港口储备库 j 之间的距离,其中 $i \in I, j \in J$	z_{ij}	等于 1,表示第 i 个陆上储备库服务第 j 个港口储备库;否则,等于 0
P_j	港口储备库 j 的应急物资需求量, $j \in J$	r_i	等于 1,表示第 i 个陆上储备库参与出救;否则,等于 0
a	陆上储备库的单位装货成本		

本文采用熵权-TOPSIS 法来确定指标权重,并综合评价并计算各港口储备库的需求紧迫度系数,具体步骤如下。

步骤 1:建立初始化需求紧迫度评价指标矩阵。设 $K = \{k_1, k_2, \cdots, k_n\}$ 为 n 个港口储备库的集合,每个港口储备库具有 l 个评价指标,设第 x 个受灾点 k_x 的第 y 个影响因素指标数据为 k_{xy} ,则指标数据矩阵如式(12)所示。

$$K = (k_{xy})_{n \times l} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1l} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2l} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \cdots & k_{nl} \end{bmatrix} \quad (12)$$

步骤 2:采用 min-max 法,利用式(13)将指标数据标准化处理,求得指标矩阵的标准化矩阵 $K^* =$

$(k_{xy}^*)_{n \times l}$,其中 k_{xy}^* 为指标数据标准化后的数值。

$$k_{xy}^* = \frac{k_{xy} - \min\{k_{1y}, \cdots, k_{ny}\}}{\max\{k_{1y}, \cdots, k_{ny}\} - \min\{k_{1y}, \cdots, k_{ny}\}} \quad (13)$$

步骤 3:利用式(15)对 K^* 进行归一化处理,得到矩阵 F 。

$$f_{xy} = \frac{k_{xy}^*}{\sum_{x=1}^n k_{xy}^*}, x = 1, 2, \cdots, n, y = 1, 2, \cdots, l \quad (14)$$

$$F = (f_{xy})_{n \times l} = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1l} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2l} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots & f_{nl} \end{bmatrix} \quad (15)$$

步骤 4:利用式(16)计算第 y 个评价指标的信息熵。

$$e_y = -\frac{1}{\ln(n)} \sum_{x=1}^n f_{xy} \ln(f_{xy}), \quad (16)$$

$$x = 1, 2, \dots, n, y = 1, 2, \dots, l$$

步骤5:利用式(17)、(18)计算各评价指标的信息效用值 g_y 和权重 w_y 。

$$g_y = 1 - e_y, \quad (17)$$

$$w_y = \frac{g_y}{\sum_{y=1}^l g_y} = \frac{1 - e_y}{l - \sum_{y=1}^l e_y}, y = 1, 2, \dots, l \quad (18)$$

步骤6:利用式(19)、(20)确定各指标的正负理想解 Y_y^+ 、 Y_y^- , 其中 $x = 1, 2, \dots, n, y = 1, 2, \dots, l$ 。

$$Y_y^+ = \max\{w_y \times k_{xy}^*\} \quad (19)$$

$$Y_y^- = \min\{w_y \times k_{xy}^*\} \quad (20)$$

步骤7:利用式(21)、(22)计算各指标到正负理想解的欧氏距离 d_x^+ 、 d_x^- , 其中 $x = 1, 2, \dots, n, y = 1, 2, \dots, l$, 公式如下。

$$d_x^+ = \sqrt{\sum_{y=1}^l (Y_{xy} - Y_y^+)^2} \quad (21)$$

$$d_x^- = \sqrt{\sum_{y=1}^l (Y_{xy} - Y_y^-)^2} \quad (22)$$

步骤8:利用式(23)计算各港口储备库与理想解的贴近程度 Z_x , 公式如下。

$$Z_x = \frac{d_x^-}{d_x^- + d_x^+}, x = 1, 2, \dots, n \quad (23)$$

步骤9:根据贴近程度,利用式(24)计算需求紧迫度系数 λ_x 。

$$\lambda_x = \frac{Z_x}{\sum_{x=1}^n Z_x}, x = 1, 2, \dots, n \quad (24)$$

2.4.2 多目标优化问题转化

由2.3节的目标函数可知,调度模型要解决的是多目标优化问题。本文采用线性加权组合法,根据重要程度给予各分目标权重,把多目标优化问题转换成单目标优化问题。具体目标函数如下:

$$\min F = (\omega_1 \times F_1 + \omega_2 \times F_2 + \omega_3 \times F_3) \quad (25)$$

其中 $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ 为分目标权重,根据实际情况选取。式(25)为处理后的单目标函数,其中 F_1 为应急物资调度的时间惩罚,即式(1), F_2 为应急物资调度成本,即式(2), F_3 为参与出救的陆上储备库的固定成本和,即式(3)。

2.4.3 遗传算法

遗传算法对需要在短时间内作出决策的应急物资调度问题有较强的适用性,因此本文采用遗传算法对模型进行求解,求解过程如下。

步骤1:基本参数初始化。设置种群规模 pop-size 、最大迭代次数 max gen 、交叉概率 p_c 以及变异概率 p_m 。

步骤2:编码和种群初始化。本文采用实数编码,根据陆上储备库的数量确定调度方案对应的染色体长度,每个染色体长度为8,1个单位长度代表1个陆上储备库,编号1、2、3表示该位置上的陆上储备库分别服务于港口储备库A、B、C,编号4表示该陆上储备库不参与服务。图3中的父代1染色体表示一种调度方案,即陆上储备库2和8服务港口储备库A,陆上储备库4和5服务港口储备库B,陆上储备库3和7服务港口储备库C,陆上储备库1和6不参与调度服务。

步骤3:适应度函数。用转化后的单目标函数值来表示适应度值。

步骤4:遗传操作。选择操作采用轮盘赌法进行选择;交叉操作采用两点交叉,交叉过程如图3所示;变异操作采用两点互换。

步骤5:终止条件。若迭代次数超过 max gen , 则进行下一步;否则,返回步骤三。

步骤6:解码和输出。对染色体进行解码并输出最优物资调度方案。

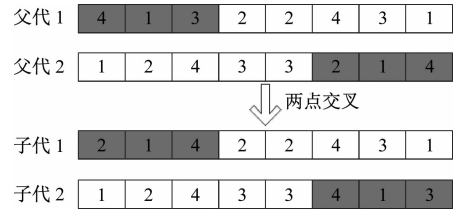


图3 两点交叉示意

Fig. 3 Diagram of two-point intersection

3 算例分析

3.1 算例数据

假设某海域发生一起重大溢油事故,经预测,参与救援的港口储备库应急物资储备量明显不足,需要8个陆上储备库(编号1、2、...、8)对靠近溢油事故点的3个港口储备库(编号A、B、C)补充应急物资。各陆上储备库供给信息如表2所示。各港口储备库的需求信息如表3所示。相对位置信息如表4所示,单位为km。此外,每个陆上储备库的运输工具数量足够,考虑到应急物资对于运输可达性的要求,本算例均选用公路运输方式,相关信息如表5所示。

表 2 陆上储备库信息

Tab.2 Land-based storages information table

陆上储备库	单位装货成本 $a/$ (元/件)	运输工具	装货速度 $U/$ (件/h)	物资供应量 $X_i/$ 件	固定成本 $c/$ 元
1	30	集卡 1	180	250	10 000
2	30	集卡 2	180	500	8 000
3	30	集卡 1	180	380	11 000
4	30	集卡 2	180	300	10 000
5	30	集卡 2	180	400	90 00
6	30	集卡 1	180	280	12 000
7	30	集卡 1	180	330	15 000
8	30	集卡 2	180	310	11 000

表 3 港口储备库信息

Tab.3 Port storages information table

港口储备库	需求时间窗 $[T_{ij}, T_{lj}]/$ h	单位卸货成本 $b/$ (元/件)	卸货速度 $W/$ (件/h)	物资需求量 $P_j/$ 件
A	[0,7]	40	200	600
B	[0,6]	40	200	550
C	[0,5]	40	200	700

表 4 港口储备库与陆上储备库之间相对位置信息

Tab.4 Table of relative location information between port storages and land-based storages

	1	2	3	4	5	6	7	8
A	300	945	663	474	1 326	1 508	525	256
B	648	776	327	900	1 450	1 608	1 006	269
C	195	862	583	1 068	1 344	531	288	734

表 5 运输工具信息

Tab.5 Transportation information table

运输工具	速度 $V_{ijk}/$ (km/h)	单位距离运输成本 $C_{ijk}/$ (元/km)	最大载重量 $Q_{imaxk}/$ 件
集卡 1	70	20	120
集卡 2	90	30	100

3.2 算例求解

根据上述提供的相关信息,利用本文所建系统中的调度模型,生成海上溢油应急物资陆路调度方

案,并安排集卡进行配送。利用熵权-TOPSIS 法,根据表 6 提供的指标信息,计算需求紧迫度系数,结果见表 7。

表 6 港口储备库需求评价指标信息

Tab.6 Evaluation indicators information table of port storages demands

评价指标				
港口储备库	应急物资短缺程度/件	港口储备库与事故点距离/km	应急物资配送困难程度/h/km	港口救援船舶额度载重量/件
A	600	512	1/60	800
B	550	525	1/65	600
C	700	616	1/70	700

表 7 港口储备库需求紧迫度系数

Tab.7 Urgency coefficients table of port storages demands

港口储备库	正理想解距离 d_x^+	负理想解距离 d_x^-	相对贴近度 Z_x	需求紧迫度排序结果	需求紧迫度系数 λ_x
A	0.373 7	0.308 7	0.452 4	3	0.285 2
B	0.449 3	0.433 0	0.490 8	2	0.309 5
C	0.237 6	0.427 5	0.642 8	1	0.405 3

根据上述相关信息,并借鉴引入时间惩罚系数的方法^[20],引入时间惩罚系数 $E(E=5\,000)$ 。考虑到应急物资调度的弱经济性,其时间要求重要于经济成本,故本文取权重 $\omega_1=0.5$ 、 $\omega_2=0.3$ 、 $\omega_3=0.2$ 。利用遗传算法对模型进行求解,采用 Matlab R2018a 编程,运行参数设置为种群规模 $\text{popsize}=100$,最大迭代次数 $\text{max gen}=500$,交叉概率 $p_c=0.8$,变异概率 $p_m=0.05$,得到的调度方案如表 8 所示。

由表 8 可知,在本次调度任务中,7 个陆上储备库参与任务,只有 5 号库不参与,且各港口储备库的物资满足率达到 100%。在该调度方案中,延误时间之和为 12.104 8 h,因物资延迟到达各港口储备库造成的时间惩罚为 20 577.569 1 元,物资调度成本为 342 170 元,参与出救任务的陆上储备库固定成本为 77 000 元。此外,在参与出救的 19 辆集卡中,只有 2 辆集卡的载货率不满 75%,其余 17 辆的载货率均超过 75%,其中 16 辆达到 100%。

表 8 应急物资调度方案
Tab.8 Emergency materials dispatch program table

港口储备库	陆上储备库	物资配送量/件	惩罚时间/h	调度成本/元	固定成本/元
A	4	300	0.433 3	63 660	10 000
	2	300	5.666 7	106 050	8 000
B	8	310	0	53 980	11 000
	3	240	0.604 8	29 880	11 000
C	1	250	0	29 200	10 000
	7	330	1.547 6	40 380	15 000
	6	120	3.852 4	19 020	12 000
总和		1 850	12.104 8	342 170	77 000
分目标函数 F_1			20 577.569 1	/	/
分目标函数 F_2			/	342 170	/
分目标函数 F_3			/	/	77 000
总目标函数 F			$F=0.5F_1+0.3F_2+0.2F_3=128\,339.784\,5$		

4 总 结

本文针对发生重大海上溢油事故时,港口储备库物资供应不足,需从各陆上储备库调运物资的情况,构建了基于区块链技术的应急物资陆路预调度系统,该系统针对陆上公路运输阶段,能够推动各调度部门间协调合作,提高物资调度效率。重点研究了应急物资预调度问题,以时间惩罚、调度成本以及参与出救的储备库数量最少为目标构建了应急物资调度模型,利用熵权-TOPSIS 法和遗传算法进行求解。通过案例分析可知,该模型能够快速匹配物资供需双方,规划配送路径,生成最优物资调度方案。在应急物资预调度中,本文尚未考虑应急物资在海上的调度过程,未来将针对应急物资的多层级调度特征,将与海上调度相关的部门加入系统中,研究海上溢油事故应急物资的海陆一体化调度。

参 考 文 献

[1] WU Y Q, CHEN M M, WANG K, et al. A dynamic information platform for underground coal mine safety based on internet of things[J]. Safety Science, 2019, 113: 9-18.

[2] ABRAHAMSSON M, ALDIN N, STAHR F. Logistics platforms for improved strategic flexibility [J]. International Journal of Logistics; Research & Applications, 2003, 6(3): 85-106.

[3] LYU Z H, LI X M, CHOO K R. E-government multimedia big data platform for disaster management

[J]. Multimedia Tools and Applications, 2018, 77 (8): 10077-10089.

[4] SILVA R M, SENNA E T P, LIMA O F, et al. A framework of performance indicators used in the governance of logistics platforms; the multiple-case study [J]. Journal of Transport Literature, 2015, 9(1): 5-9.

[5] KIBA-JANIAK M, CHEBA K. Information system for city logistics. The case of Poland [J]. Transportation Research Procedia, 2019, 39: 160-169.

[6] 梁艳平, 文杰, 唐玲莉, 等. 应急物资信息发布平台的设计与实现 [J]. 物流技术, 2010, 29 (11): 129-131.

LIANG Y P, WEN J, TANG L L, et al. Emergency logistics information dissemination platform: design and realization [J]. Logistics Technology, 2010, 29 (11): 129-131. (in Chinese)

[7] 余江霞, 肖蒲, 王智君. 跨境电商第四方物流平台优化研究 [J]. 价格月刊, 2017(3): 85-88.

YU J X, XIAO P, WANG Z J. Research on the optimization of the fourth party logistics platform of cross border E-commerce [J]. Prices Monthly, 2017(3): 85-88 (in Chinese)

[8] 孙增乐. 基于区块链的共享物流信息平台研究 [D]. 杭州: 浙江理工大学, 2019.

SUN Z L. Research on sharing logistics information platform based on Blockchain [D]. Hangzhou: Zhejiang Sci-Tech University, 2019. (in Chinese)

[9] 周佳杰. 基于造纸工业园区应急信息平台协同应急指挥体系的构建与探索 [J]. 中华纸业, 2022, 43 (16): 52-55.

- ZHOU J J. Construction and exploration of collaborative emergency command system based on emergency information platform of paper industry park[J]. China Pulp & Paper Industry, 2022, 43 (16): 52-55. (in Chinese)
- [10] MUESSIGMANN B, VON DER GRACHT H, HARTMANN E. Blockchain technology in logistics and supply chain management-a bibliometric literature review from 2016 to January 2020[J]. IEEE Transactions on Engineering Management, 2020, 67(4): 988-1007.
- [11] LIU H M, SUN R Y, ZHAO G. A method of logistics information security based on blockchain technology [C]//France: Proceedings of the 2018 3rd Joint International Information Technology, Mechanical and Electronic Engineering Conference (JIMEC 2018), 2018.
- [12] ISSAOUI Y, KHIAT A, BAHNASSE A, et al. Smart logistics: study of the application of blockchain technology [J]. Procedia Computer Science, 2019, 160:266-271.
- [13] ROŽMAN N, CORN M, POŽRL T, et al. Distributed logistics platform based on Blockchain and IoT [J]. Procedia CIRP, 2019, 81: 826-831.
- [14] 张卿瑞. 区块链下物流服务交易匹配多目标模型与算法设计研究[D]. 重庆:重庆交通大学, 2020.
- ZHANG Q R. Research on Multi-objeective model and algorithm design of logistics service transaction matching under Blockchain[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2020. (in Chinese)
- [15] 石淦锟, 王雪琳. 基于区块链技术的集装箱航运模式优化研究[J]. 中国航海, 2021, 44(3): 92-97.
- SHI H K, WANG X L. Container shipping mode optimization with block chain technology [J]. Navigation of China, 2021, 44(3): 92-97. (in Chinese)
- [16] FRANCISCONI M. An explorative study on blockchain technology in application to port logistics [D]. Delft: Delft university of technology, 2017.
- [17] HUCKLE S, BHATTACHARYA R, WHITE M, et al. Internet of things, blockchain and shared economy applications [J]. Procedia Computer Science, 2016, 98: 461-466.
- [18] 王妍, 王静仪. 区块链技术在港口物流中的应用 [J]. 中国管理信息化, 2021, 24(4): 81-82.
- WANG Y, WANG J Y. Application of block chain technology in port logistics [J]. China Management Informationization, 2021, 24(4): 81-82. (in Chinese)
- [19] 邓琳娜. 区块链技术下冷链物流环节优化策略研究 [J]. 中国物流与采购, 2022(20): 76-78.
- DENG L N. Research on optimization strategy of cold chain logistics link based on block chain technology [J]. China Logistics & Purchasing, 2022 (20): 76-78. (in Chinese)
- [20] 吴凡, 杨冰, 洪思. 基于变长基因型遗传算法的多供应点应急物资调度优化 [J]. 计算机应用研究, 2022, 39(4): 1148-1154.
- WU F, YANG B, HONG S. Scheduling optimization of emergency supplies with multi-supply points based on variable length genotype genetic algorithm [J]. Application Research of Computers, 2022, 39 (4): 1148-1154. (in Chinese)
- [24] 郭浩, 高扬, 吴强, 等. 北斗三号终端软件关键技术研究及应用 [J]. 计算机测量与控制, 2022, 30 (5): 150-155.
- GUO H, GAO Y, WU Q, et al. Research and application of key technologies for BDS-3 terminal software [J]. Computer Measurement & Control, 2022, 30 (5): 150-155.
- [25] 汪兵. 一种基于北斗短报文发送图片的系统及方法: CN110996274A [P]. 2020-04-10.
- WANG B. A system and method for sending pictures based on Beidou short message: CN110996274A [P]. 2020-04-10. (in Chinese)
- [26] 杨双. 一种用于北斗大容量通信的丢包重传机制的实现 [J]. 无线电通信技术, 2022, 48(1): 196-202.
- YANG S. Realization of a packet loss retransmission mechanism for Beidou large-capacity communication [J]. Radio Communications Technology, 2022, 48 (1): 196-202. (in Chinese)

(上接第 122 页)

- [20] LIU J, LIU D, YANG W, et al. A comprehensive benchmark for single image compression artifact reduction [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2020, 29(2): 7845-7860.
- [21] WANG Z, BOVIK A C, SHEIKH H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
- [22] ZHANG R, ISOLA P, EFROS A, et al. The unreasonable effectiveness of deep features as a perceptual metric [C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Salt Lake City: CVPR, 2018.
- [23] DING K, MA K, WANG S, et al. Image quality assessment: unifying structure and texture similarity [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2022, 44(5): 2567-2581.