

震后初期应急物资分配-运输的协同决策: 公平与效率兼顾

刘长石^{1,3}, 罗亮^{2†}, 周鲜成^{3,4}, 黄福华¹

(1. 湖南商学院 工商管理学院, 长沙 410205; 2. 湖南商学院 科研处, 长沙 410205; 3. 湖南商学院 湖南省移动电子商务协同创新中心, 长沙 410205; 4. 湖南商学院 移动商务智能湖南省重点实验室, 长沙 410205)

摘要: 针对震后初期灾区应急物资严重短缺的现实情况, 考虑到受灾群众的非理性攀比心理, 基于公平与效率兼顾的视角, 构建应急物资分配-运输的双层协同优化模型. 顶层模型以所有需求点的损失攀比效应总和最小为目标, 保障应急物资分配的公平性; 底层模型以应急物资运达需求点的时间攀比效应总和最小、总运输时间最短为目标, 保障应急物资配送的公平性与效率性. 并根据模型特点设计一种混合遗传算法求解. 最后, 通过案例验证所提出方法的合理性和有效性.

关键词: 地震灾害; 应急物资分配-运输; 攀比效应; 公平与效率; 协同决策

中图分类号: C93 **文献标志码:** A

Collaborative decision-making of relief allocation-transportation in early post-earthquake: Considering both fairness and efficiency

LIU Chang-shi^{1,3}, LUO Liang^{2†}, ZHOU Xian-cheng^{3,4}, HUANG Fu-hua¹

(1. School of Management, Hu'nan University of Commerce, Changsha 410205, China; 2. Scientific Research Administration Division, Hu'nan University of Commerce, Changsha 410205, China; 3. Mobile E-business Collaborative Innovation Center of Hu'nan Province, Hu'nan University of Commerce, Changsha 410205, China; 4. Key Laboratory of Hu'nan Province for Mobile Business Intelligence, Hu'nan University of Commerce, Changsha 410205, China)

Abstract: Aiming at the serious shortage of relief in the early stage after the earthquake, a bi-level collaborative optimization model of relief allocation-transportation is formulated based on fairness and efficiency by considering the non-rational psychological comparison of the victims. The top level model guarantees the fairness of relief allocation by minimizing the sum of loss comparison effect of all the demand points. To guarantee the fairness and efficiency of relief transportation, the bottom level model minimizes the sum of time comparison effect of relief reaching demand points, and minimizes the total time of relief transportation. The proposed model is solved by a hybrid genetic algorithm. Finally, the numerical experiments illustrate the rationality and effectiveness of the proposed approaches.

Keywords: earthquake disaster; relief allocation-transportation; comparison effect; fairness and efficiency; collaborative decision-making

0 引言

近年来,地震灾害频发,使我国遭受了巨大的人员伤亡和经济损失. 例如汶川地震、雅安地震. 为了有效开展抗震救灾工作,应急物资应在震后尽可能短的时间内运达灾区的需求点. 然而,震后初期,救灾部门拥有的应急物资往往严重短缺^[1]. 与此同时,灾区外部的救灾物资在短时间内难以运达^[2]. 在信息化高度普及的今天,应急救援过程可以通过网络实时公布. 在灾害环境下,受灾群众心理相对比较脆弱,

如果应急物资分配不公平或配送不均衡,则易引发人们的公愤,甚至可能演变成群体性事件,导致严重后果^[3]. 因此,在震后初期灾区应急资源短缺的情况下,应急物资分配-运输应该同时考虑公平性与效率性^[4].

学者们已经对相关问题展开了深入研究,呈现出重点突出、多元视角、跨学科协同的研究特点. 大部分学者考虑了单品种应急物资分配问题. 文献[5]构建了以最大化应急资源利用率为目标的应急物资分配

收稿日期: 2017-05-03; 修回日期: 2017-08-13.

基金项目: 国家社科基金一般项目(17BJL091).

责任编辑: 赵珺.

作者简介: 刘长石(1975—),男,副教授,博士,从事应急物流、多目标决策等研究; 罗亮(1979—),女,硕士,从事应急管理的研究.

†通讯作者. E-mail: luoliang080311139@126.com

模型;文献[6]基于一个3层的应急物流混合分配框架提出了混合模糊聚类方法进行灾区划分与应急物资分配;文献[7]构建了一种基于工作流的决策模型,按照最小应急资源需求量的原则决定每个发放点的分配顺序和数量;文献[8]建立了以最大化救助率为目标的应急资源分配模型;文献[9]构建了以总运输时间最小为目标的应急物资分配模型;文献[10]研究了应急物资分配的两阶段嵌套策略.然而,上述文献大多只构建了单目标的应急物资分配优化模型.有一部分学者研究了多品种应急资源分配问题.文献[11]综合考虑灾害严重程度、物资属性、受灾点属性等因素,构造了受灾人员损失函数,并构建了以受灾人员损失最小为目标的多品种应急物资分配模型;文献[12]和文献[13]构建了多发点、多品种应急资源的分配模型;文献[14]构建了基于能力的整数规划模型求解多品种应急资源分配问题;文献[15]基于Petri网构建了多种应急资源在不同应急周期内的分配模型;文献[16]和文献[17]构建了多储备点、多发点、多品种应急物资的分配优化模型.

以上文献对受灾人员损失进行了适当度量,有些还考虑了应急物资多阶段分配,比较切合应急物流实情.还有一些学者基于公平视角考虑了应急物资分配与运输问题.文献[18]考虑应急资源配置的及时性与公平性,建立了基于双层决策方法的应急资源配置模型;文献[19]基于公平原则建立了以系统损失最小为目标的应急物资分配和运输优化模型;文献[20]建立了公平关切下以负效用加权的到达时间最小为目标的应急物资配送优化模型;文献[21]基于公平原则构建了以最小化灾害风险为目标的应急物资分配模型;文献[22]设计一种通过已知需求灾区对未知需求灾区的救灾品需求进行贝叶斯更新的需求更新方式,由此建立了救灾品公平配送模型;文献[23]研究了应急物资公平分配的塔木德分配模型、比例分配模型和Shapley值分配模型.这些研究成果主要适用于灾区应急物资短缺的情况.也有学者基于模糊理论和博弈论方法研究了应急物资分配问题^[24-26].

最近,有学者将心理学、前景理论、行为科学引入应急物资分配研究.文献[27]使用前景理论建立了应急响应时间的感知满意度函数,以衡量灾民对救援响应时间的满意程度,并将量化后的时间满意度、需求满意度和效用满意度作为目标,构建了应急物资分配的多目标非线性整数规划模型;文献[28]将行为科学理论融入应急物资调度决策,认为应急物资调度决策应考虑公众的心理因素.还有学者研究了应急

物资分配与配送的集成优化问题,构建了上层以应急物资配送时间为优化目标、下层以应急物资公平分配为优化目标的双层规划模型,并设计了遗传算法求解^[29-30].

梳理国内外文献,以下几个方面仍可深入研究:1)应急物资的分配与运输具有关联性和协同性,大多文献将这两个问题作为单独的主题分别研究,缺乏对二者协同的系统考虑;2)针对震后初期灾区应急物资严重短缺的现实情况并考虑灾民非理性攀比心理的研究文献甚少;3)同时考虑应急物资公平分配与均衡配送的研究文献较少.尽管文献[1]考虑了震后应急物资短缺情况下的分配-运输问题,文献[3]探讨了灾民非理性攀比心理情况下的应急物资分配问题,文献[4]构建了基于“底线思维”的应急物资分配-运输规划模型,文献[19]研究了应急物资运输与分配决策模型及其改进粒子群优化算法,文献[28]研究了考虑公众心理风险感知的应急物资调度问题,文献[17,29-30]探究了震后应急物资分配-运输的集成优化问题,但都没有进行系统考虑.鉴于此,本文针对震后初期灾区应急物资严重短缺的现实情况,考虑到受灾群众的非理性攀比心理,基于公平与效率兼顾的视角,研究应急物资分配-运输问题的协同决策方法,以为震后应急物流管理提供一种决策思路.

1 应急物资分配-运输的双层规划模型

1.1 问题描述

在震后初期应急救援初始响应阶段,救灾部门通常根据当前拥有的应急物资数量、灾区需求数量等情况规划应急物资分配方案,再根据灾区路网与运输设备等条件优化应急物资运输方案.因此,震后应急物资分配与运输是两个密不可分的救援活动,将二者集成优化更有实际意义^[4,17].本文依据震后应急物流决策过程构建双层规划模型,顶层模型从公平视角确定各需求点的应急物资分配数量,底层模型基于公平与效率兼顾的视角对顶层分配方案实施运输规划,从而有效实现震后初期应急物资分配-运输的协同决策.为明确本研究的应用范围,做出如下假设:1)震后初期应急物资短缺;2)灾害环境下,灾民身心相对比较脆弱,具有非理性攀比心理;3)救灾部门可以征调到足够的运输设备;4)应急物资运达需求点具有时间期限.

1.2 顶层模型(应急物资分配模型)

本文综合考虑文献[2-3,11,20,26-27]提出的应急物资分配方法,坚持“以人为本”的原则,综合考虑需求点受灾指数、需求点应急物资未满足时造成

损失的难易程度等属性,构造需求点损失函数,具体如下。

令 J 为需求点集合, $j \in J$; d_j 为需求点 j 的应急物资需求量; c_j 为需求点 j 的应急物资实际分配量; γ 为灾区受灾指数,可以使用地震强度、破坏度、灾度、灾类等灾情等级指标来表达; δ_j 为需求点 j 的易损性,表示应急物资未满足情况下需求点可能会造成损失的难易程度,主要取决于需求点地理位置、人员构成、受灾程度、减灾能力及其承灾敏度,主要由决策人员根据主观经验决定^[11]。需求点 j 在应急物资未满足时造成的损失 f_j 定义为

$$f_j = \frac{\delta_j}{D^\gamma} (d_j - c_j)^\gamma. \quad (1)$$

其中: $D = \sum_{j \in J} d_j$, 表示所有需求点的应急物资需求量; $1/D^\gamma$ 表示归一化处理; $\gamma \geq 1$, 表示灾害严重程度, γ 的值越大,造成的损失也就越大。 f_j 的值随着未满足需求量 $(d_j - c_j)$ 的增加而增大。

目前,信息技术非常发达,抗震救灾工作相关情况会在网络实时公布。灾害条件下,灾民身心相对比较脆弱。由于人的有限理性,灾民总会主观上想“弥补”自身与损失程度相对最优地区的差距,从而产生损失攀比效应^[3]。因此,需求点 j 的损失攀比效应 y_j 定义为

$$y_j = f_j - \min_{j \in J} (f_j). \quad (2)$$

以所有需求点的损失攀比效应总和最小为目标构建应急物资分配模型如下:

$$\min z_1 = \sum_{j \in J} y_j. \quad (3)$$

$$\text{s.t. } c_j \leq d_j, \forall j \in J; \quad (4)$$

$$f_j = \frac{\delta_j}{D^\gamma} (d_j - c_j)^\gamma; \quad (5)$$

$$y_j = f_j - \min_{j \in J} (f_j); \quad (6)$$

$$c_j \geq 0, d_j \geq 0, \forall j \in J. \quad (7)$$

式(3)为目标函数1,表示使所有需求点的损失攀比效应总和最小。函数值越小,灾民攀比行为越弱化,分配方案越公平^[3]。式(4)表示应急物资实际分配数量小于需求量;式(5)表示需求点的损失;式(6)表示需求点的损失攀比效应;式(7)表示变量取值限制。

1.3 底层模型(应急物资运输模型)

令 I 为应急物流中心集合, $i \in I$; s_i 为物流中心 i 拥有的应急物资数量; p_{ij} 为物流中心 i 向需求点 j 提供的应急物资数量; a_{ij} 为从物流中心 i 到需求点 j 的距离; V 为运输设备集合, $k \in V$; b_k 为运输设备 k 的

速度; q_k 为运输设备 k 的容量; x_{ijk} 为1时表示运输设备 k 从物流中心 i 运输应急物资到达需求点 j , 否则为0; T_j 为各个物流中心采用运输设备将应急物资运达需求点 j 的最大时间, 即 $T_j = \max_{i \in I} \left(\frac{a_{ij}}{b_k} x_{ijk} \right)$, $\forall k \in V$; t_j 为需求点 j 要求应急物资运达的时间期限。

以应急物资运达需求点的时间攀比效应总和最小、总运输时间最小为目标构建应急物资运输模型如下:

$$\min z_2 = \sum_{j \in J} [T_j - \min_{j \in J} (T_j)]; \quad (8)$$

$$\min z_3 = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in V} x_{ijk} \frac{a_{ij}}{b_k}. \quad (9)$$

$$\text{s.t. } c_j = \sum_{i \in I} p_{ij}, \forall j \in J; \quad (10)$$

$$s_i = \sum_{j \in J} p_{ij}, \forall i \in I; \quad (11)$$

$$\sum_{i \in I} s_i = \sum_{j \in J} c_j; \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} p_{ij} \leq q_k, \forall k \in V; \quad (13)$$

$$T_j = \max_{i \in I} \left(\frac{a_{ij}}{b_k} x_{ijk} \right), \forall j \in J, k \in V; \quad (14)$$

$$T_j \leq t_j, \forall j \in J; \quad (15)$$

$$s_i \geq 0, \alpha_{ij} \geq 0, b_k \geq 0, T_j \geq 0, t_j \geq 0, \forall i \in I, j \in J, k \in V; \quad (16)$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \forall i \in I, j \in J, k \in V. \\ 0, & \end{cases} \quad (17)$$

式(8)为目标函数2,表示使应急物资运达需求点的时间攀比效应总和最小。由于灾害条件下灾民理性有限,灾民总会在主观上想“弥补”自身与应急物资运达时间相对最优地区的差距,即产生应急物资运达需求点的时间攀比效应。函数值越小,灾民攀比为越弱化,应急物资运输方案越公平,灾民满意度越高^[3,28]。式(9)为目标函数3,表示使应急物资总运输时间最小,体现应急物资配送的效率性。式(10)表示需求点应急物资的供应限制;式(11)表示物流中心的应急物资运输限制;式(12)表示把所有物流中心的应急物资全部分配;式(13)表示运输设备的容量限制;式(14)表示应急物资运达需求点的最大时间;式(15)表示需求点要求应急物资运达的时间限制;式(16)和(17)表示变量取值限制。

2 算法设计

求解多目标优化问题的传统方法是先将多个目标转化为单个目标,再利用单目标优化方法进行求

解. 然而, 该求解方案在其他目标上会一定程度地偏离限制条件, 难以实现真正的多目标, 因此在多目标优化中产生了 Pareto 最优解集概念. Pareto 解集有效增加了决策者的选择余地, 使得决策者可以根据实际情况从解集中选择更加合理的求解方案^[16-17]. 遗传算法具有多点并行搜索机制, 不依赖于函数的可导性以及鲁棒性等特点^[29-30], 因此, 本文采用 Pareto 最优解集概念设计一个二阶段混合启发式求解算法. 第1阶段设计一种动态调整算法以求解应急物资分配方案, 第2阶段根据应急物资分配方案设计一种遗传算法以求解运输方案.

2.1 应急物资分配算法

Step 1: 参数预处理. 由于应急物资短缺, 为响应所有需求点的请求, 需求点 j 的应急物资分配量 c_j 要根据需求量 d_j 、供应量 s_i 、总需求量 $\sum_{j \in J} d_j$ 、总供应量 $\sum_{i \in I} s_i$ 等情况进行适当缩减, 即 $c_j = d_j \left(\frac{\sum_{i \in I} s_i}{\sum_{j \in J} d_j} \right)$, 得到初始分配方案 $E^{[16]}$. 设定算法最大运行次数 $\max \text{iter}$, 令当前迭代次数 $\text{iter} = 1, z_1 = \infty$, 最优分配方案 $E^{\text{best}} = \phi$.

Step 2: 应急物资分配量的动态调整.

Step 2.1: 依据式(1)计算本次分配方案中各需求点的损失, 依据式(2)计算各需求点的损失攀比较效应, 并按照损失攀比较效应的值从大到小的顺序排列所有需求点;

Step 2.2: 将排序前 10% 的需求点需求量的 $\beta\%$ 分别按照前序与后序一一对应的方法调整给排序后 10% 的需求点 (即顺数第 1 调整给倒数第 1, 顺数第 2 调整给倒数第 2, 以此类推), 而且不能违反式(4)的限制, 得到应急物资分配的调整方案 E^{iter} ;

Step 2.3: 根据式(3)计算 E^{iter} 的损失攀比较效应总和 z_1^{iter} , 如果 $z_1^{\text{iter}} < z_1$, 则 $z_1 = z_1^{\text{iter}}, E^{\text{best}} = E^{\text{iter}}$;

Step 2.4: $\text{iter} = \text{iter} + 1$.

Step 3: 算法结束判断. 如果 $\text{iter} \leq \max \text{iter}$, 则转 Step 2; 否则, 得出 E^{best} , 算法结束.

2.2 应急物资运输优化的遗传算法

Step 1: 种群初始化. 设种群规模为 popsize , 最大迭代次数为 $\max \text{gen}$, 交叉率为 ψ , 变异率为 ω .

Step 2: 染色体编码. 子串 1 为实数编码, 长度为 $m \times n$, 子串 1 的数值表示 m 个物流中心对 n 个需求点的应急物资运输数量; 子串 2 为自然数编码, 长度为需求点个数 n , 子串 2 的数值表示为需求点运输应急物资的运输设备序号; 子串 3 为实数编码, 长度为

$m \times n$, 子串 3 的数值表示物流中心 i 采用运输设备 k 运输应急物资到需求点 j 的时间. 因此, 染色体的总长度为 $m \times n + n + m \times n = 2mn + n$.

Step 3: 计算目标函数和适应度函数.

Step 3.1: 每条染色体解码之后, 根据式(8)计算时间攀比较效应总和 z_2 , 根据式(9)计算总运输时间 z_3 ;

Step 3.2: 因 z_2 优先于 z_3 , 故染色体的排序方法是先按 z_2 排序, 再按 z_3 排序;

Step 3.3: 采用文献[29]的适应度函数计算方法, 即设 Pos 为个体在种群中排序的序位, SP 为选择压力, $\text{SP} \in [1.0, 2.0]$, 个体的适应度函数为

$$\text{fitness}(\text{Pos}) = 2 - \text{SP} + \frac{2(\text{SP} - 1)(\text{Pos} - 1)}{\text{popsize} - 1}. \quad (18)$$

Step 4: 选择、交叉和变异操作. 为有效保证目标函数值、同时让优秀个体以更大的概率保存下来, 选择操作采用精英选择和轮盘赌选择. 子串 1 与子串 3 为实数编码, 采用文献[30]设计的算术交叉方法; 子串 2 为自然数编码, 采用顺序交叉与逆转变异方法.

Step 5: 终止条件. 算法迭代 $\max \text{gen}$ 次后结束, 得出最优结果.

3 算例分析

采用文献[30]的汶川地震应急物资配送的部分数据作为测试案例, 具体如下:

1) 选取成都军用机场、双流机场和火车北站作为应急物流中心, 各应急物流中心的物资供应量见表 1;

2) 应急物资需求点为: 都江堰、茂县、彭州、汶川、九寨沟、崇州、大邑、什邡、北川、平武、江油、德阳、绵阳、广汉、广元、青川、旺苍、剑阁、理县、安县、绵竹, 各需求点的需求量见表 2;

3) 采用百度地图得到应急物流中心与需求点之间的距离, 见表 3;

4) 应急物资运输设备类型、速度与容量见表 4;

5) 由于各需求点的人员构成、受灾程度、减灾能力等相关数据难以精确取得, 同时难以获得非常精确的需求点易损性值, 各需求点的易损性值是根据文献[31-32]中方法计算的估算值, 考虑到篇幅限制, 不再一一累述.

表 1 应急物流中心数据

名称	军用机场	双流机场	火车北站
供应量	11 200	10 800	10 100

表 2 应急物资需求点数据 份

名称	都江堰	茂县	彭州	汶川	九寨沟	崇州	大邑
需求量	1920	1344	1536	1920	1344	2304	2304
名称	什邡	北川	平武	江油	德阳	绵阳	广汉
需求量	2304	1344	1920	1920	1536	1536	2880
名称	广元	青川	旺苍	剑阁	理县	安县	绵竹
需求量	2880	2880	1920	2880	1920	1920	1920

表 3 应急物流中心与需求点之间的距离 km

名称	都江堰	茂县	彭州	汶川	九寨沟	崇州	大邑
军用机场	66.2	178.4	42.6	66.7	483.2	54.5	84.3
双流机场	70.5	174.7	68.2	139.1	447.3	43	65.6
火车北站	64.9	169.1	44.9	136.7	413.7	45.1	66.7
名称	什邡	北川	平武	江油	德阳	绵阳	广汉
军用机场	67.8	163.3	266.5	157.4	66.1	113.4	38.6
双流机场	96	164	299.2	182.4	87.1	146	71.2
火车北站	65.1	141.3	270.7	171.8	58.1	127.3	51.3
名称	广元	青川	旺苍	剑阁	理县	安县	绵竹
军用机场	279.5	280.2	333.9	241.4	188.7	125.1	90.8
双流机场	316.8	316.6	371.9	279	189.5	151.6	108.1
火车北站	293.9	284.6	338.3	245.3	183.6	122.5	85.8

表 4 各物流中心拥有的配送车辆数据

车辆类型	大型卡车	中型卡车	小型货车
容量/份	700	500	300
速度/(km/h)	80	50	40

采用 Matlab R2013a 编程,在 Intel(R) Core(TM)I5-6200 CPU @2.30 GHz 2.40 GHz 和 4 G 内存的计算机上运行. 算法参数设置: $\gamma = 1.2, \beta = 10, \max \text{iter} = 3000, \text{popsize} = 50, \max \text{gen} = 500, \psi = 0.9, \omega = 0.02$. 民政部门规定,应急物资应该在 24 h 之内运达灾区^[3],故有 $t_j = 24, \forall j \in J$.

将算法运行 20 次,平均运行时间为 247.6 s,说明算法能够在较短的时间内求出应急物资分配-运输优化方案,能满足震后初期应急物流管理工作的需要. 所求出的最优应急物资分配方案与各需求点损失如表 5 所示,最优应急物资运输方案如表 6 所示. 如果单纯采用比例分配方案^[23],则在不改变任何参数的基础上,求得的损失攀比效应总和为 0.158 2. 本文

方法求得的损失攀比效应总和为 0.143 5,后者比前者降低了 9.29%. 采用比例分配方案^[23]求得的需求点最大损失为 0.014 5,最小损失为 0.003 4,需求点损失之间的最大差距高达 76.55%; 本文方法求得的需求点最大损失为 0.008 3,最小损失为 0.005 7,需求点损失之间的最大差距降低至 31.33%. 由表 5 的计算结果可知,本文方法求得各需求点损失比较平均,从而有效减少了应急物资分配方案导致的损失攀比效应.

表 5 应急物资分配方案与各需求点损失

名称	都江堰	茂县	彭州	汶川	九寨沟	崇州	大邑
分配量	1452	823	1046	1452	915	1569	1830
损失	0.007 6	0.007 1	0.006 6	0.006 3	0.006 9	0.007 7	0.006 4
名称	什邡	北川	平武	江油	德阳	绵阳	广汉
分配量	1859	1062	1453	1307	847	847	2429
损失	0.007 2	0.007 3	0.006 3	0.006 2	0.007 1	0.007 1	0.006 4
名称	广元	青川	旺苍	剑阁	理县	安县	绵竹
分配量	2534	2501	1441	2517	1307	1307	1601
损失	0.006 2	0.006 9	0.008 3	0.006 6	0.006 2	0.007 4	0.005 7

表 6 应急物资运输方案

物流中心	运输路线	Maxtime/h	Mintime/h
军用机场(J)	J-17、J-15、J-18、J-16、 J-10、J-11、J-9	5.17	2.14
火车北站(H)	H-5、H-13、H-20、 H-2、H-21、H-4、 H-19、H-8、H-9	4.17	2.83
双流机场(S)	S-6、S-7、S-14、S-3、 S-12、S-1、S-8	1.64	1.08

尤其值得注意的是,虽然有一些需求点的应急物资需求量相同,但是应急物资分配量不同(例如理县、安县、绵竹). 说明灾后应急物资分配应综合考虑灾害级别与需求点易损性等因素,不能单纯以物资分配量最大或未满足需求量最小作为应急物资分配的目标. 本文计算结果同时也验证了文献[11]的观点和结论.

表 6 中:J 表示军用机场;H 表示火车北站,S 表示双流机场,运输路线中的数字代表需求点序号;Maxtime 表示路线最大运输时间,Mintime 表示路线最小运输时间. 为有效减少应急物资运达需求点

的时间攀比效应,本文采取如下策略:把所有需求点按照配送距离排序,三分之一的需求点定义为远距离需求点,三分之一的需求点定义为中等距离需求点,三分之一的需求点定义为近距离需求点;远距离需求点采用大型卡车运输,近距离需求点采用小型车辆运输,其余需求点采用中型卡车运输。

由表6可知,应急物资运达需求点的最大时间是5.17h,最小时间是1.08h。共使用18辆大型卡车、25辆中型车辆、39辆小型货车。应急物资运达需求点的时间攀比效应总和为100.54,总运输时间为192.4h。如果还想继续缩小时间攀比效应总和,则与所服务的物流中心距离较远的需求点应采用速度较快的运输设备,例如直升飞机。这也说明了采用多种方式运输应急物资的必要性。

4 结论

震后初期,灾区应急物资严重短缺,与此同时,受灾群众心理相对比较脆弱。本文基于公平与效率兼顾的视角,综合考虑了受灾群众的非理性攀比心理、灾区受灾指数、需求点易损性等因素,构建了震后应急物资分配-运输的协同决策双层优化模型,并设计了一种混合遗传算法求解,最后通过案例说明了本文方法不但能够有效实现震后初期应急物资分配-运输的协同决策,而且公平性与效率性得到了兼顾。

本文的研究工作属于静态优化方法,主要适用于震后初期灾区应急物资严重短缺情景。震后应急物资分配-运输具有多阶段性、连续性与动态性,因此,研究震后应急物资动态调度决策是未来一个非常有意义的研究课题。

参考文献(References)

- [1] Najafi M, Eshghi K, Dullaert W. A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase[J]. *Transportation Research Part E*, 2013, 49(1): 217-249.
- [2] 陈莹珍, 赵秋红. 基于公平原则的应急物资分配模型与算法[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(12): 3065-3073.
(Chen Y Z, Zhao Q H. The model and algorithm for emergency supplies distribution based on fairness[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2015, 35(12): 3065-3073.)
- [3] 王旭坪, 张娜娜, 詹红鑫. 考虑灾民非理性攀比心理的应急物资分配研究[J]. *管理学报*, 2016, 13(7): 1075-1080.
(Wang X P, Zhang N N, Zhan H X. Emergency material allocation model considering the non-rational psychological comparison of the victims[J]. *Chinese J of Management*, 2016, 13(7): 1075-1080.)
- [4] 于辉, 曲亚萍. 基于“底线思维”的应急物资分配-运输两层鲁棒规划模型[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2016, 48(11): 178-182.
(Yu H, Qu Y P. Two-level robust optimization model of emergency relief distribution-transportation from the baseline perspective[J]. *J of Harbin Institute of Technology*, 2016, 48(11): 178-182.)
- [5] Fiedrich F, Gehbauer F, Rickers U. Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters[J]. *Safety Science*, 2000, 35(1/2/3): 41-57.
- [6] Sheu J B. An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters[J]. *Transportation Research Part E*, 2007, 43(6): 687-709.
- [7] 王苏生, 王岩. 基于公平优先原则的多受灾点应急资源配置算法[J]. *运筹与管理*, 2008, 17(3): 16-21.
(Wang S S, Wang Y. Emergency resources allocation among multiple disaster places under fair priority principle[J]. *Operations Research and Management Science*, 2008, 17(3): 16-21.)
- [8] Arora H, Raghu T S, Vinze A. Resource allocation for demand surge mitigation during disaster response[J]. *Decision Support Systems*, 2010, 50(1): 304-315.
- [9] Wex F, Schryen G, Feuerriegel S, et al. Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units[J]. *European J of Operational Research*, 2014, 235(3): 697-708.
- [10] 于辉, 刘洋. 应急物资的两阶段局内分配策略[J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(3): 394-403.
(Yu H, Liu Y. Two-stage online distribution strategy of emergency material[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2011, 31(3): 394-403.)
- [11] 葛洪磊, 刘南, 张国川, 等. 基于受灾人员损失的多受灾点、多商品应急物资分配模型[J]. *系统管理学报*, 2010, 19(5): 541-545.
(Ge H L, Liu N, Zhang G Q, et al. A model for distribution of multiple emergency commodities to multiple affected areas based on loss of victims of calamity[J]. *J of System & Management*, 2010, 19(5): 541-545.)
- [12] 李进, 张江华, 朱道立. 灾害链中多资源应急调度模型与算法[J]. *系统工程理论与实践*, 2011, 31(3): 488-495.
(Li J, Zhang J H, Zhu D L. Multi-resource emergency scheduling model and algorithm in disaster chain[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2011, 31(3): 488-495.)
- [13] Zhang J, Li J, Liu Z. Multiple-resource and multiple-depot emergency response problem considering secondary disasters[J]. *Expert Systems with Applications*, 2012, 39(12): 11066-11071.
- [14] Altay N. Capability-based resource allocation for effective disaster response[J]. *IMA J of Management Mathematics*, 2013, 24(2): 253-266.
- [15] Liu C, Zeng Q, Duan H, et al. E-net modeling and analysis of emergency response processes constrained

- by resources and uncertain durations[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 2015, 45(1): 84-96.
- [16] 苏兆品, 张国富, 蒋建国, 等. 基于非支配排序差异演化的应急资源多目标分配算法[J]. *自动化学报*, 2017, 43(2): 195-214.
(Su Z P, Zhang G F, Jiang J G, et al. Multi-objective approaches to emergency resource allocation using none-dominated sorting based differential evolution[J]. *Acta Automatica Sinica*, 2017, 43(2): 195-214.)
- [17] 张国富, 王永奇, 苏兆品, 等. 应急救援物资多目标分配与调度问题建模与求解[J]. *控制与决策*, 2017, 32(1): 86-92.
(Zhang G F, Wang Y Q, Su Z P, et al. Modeling and solving multi-objective allocation-scheduling of emergency relief supplies[J]. *Control and Decision*, 2017, 32(1): 86-92.)
- [18] Wang J, Tepfenhart W, Rosca D. Emergency response workflow resource requirements modeling and analysis[J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 2009, 39(3): 270-283.
- [19] 庞海云, 刘南, 吴桥. 应急物资运输与分配决策模型及其改进粒子群优化算法[J]. *控制与决策*, 2012, 27(6): 871-875.
(Pang H Y, Liu N, Wu Q. Decision-making model for transportation and distribution of emergency materials and its modified particle swarm optimization algorithm[J]. *Control and Decision*, 2012, 27(6): 871-875.)
- [20] 薛坤, 冯春. 公平关切下的应急物资局部配送问题[J]. *系统工程*, 2015, 33(1): 103-107.
(Xue K, Feng C. Local distribution of emergency supplies with equity concerning[J]. *Systems Engineering*, 2015, 33(1): 103-107.)
- [21] Sherali H D, Desai J, Glickman T S. Allocating emergency response resources to minimize risk under equity considerations[J]. *American J of Mathematical and Management Sciences*, 2004, 24(3/4): 367-410.
- [22] 詹沙磊, 刘南, 陈素芬, 等. 基于需求更新的救灾品配送公平与效率协调模型[J]. *控制与决策*, 2014, 29(4): 686-690.
(Zhan S L, Liu N, Chen S F, et al. Coordination between efficiency and equity in relief allocation problem via demand updates[J]. *Control and Decision*, 2014, 29(4): 686-690.)
- [23] 张怡, 王雅婷, 冯春. 突发事件应急救援物资公平分配模型[J]. *系统科学学报*, 2015, 23(4): 78-82.
(Zhang Y, Wang Y T, Feng C. Equitable allocation models in emergency relief supplies[J]. *J of Systems Science*, 2015, 23(4): 78-82.)
- [24] 白雪洁. 基于2型模糊理论的应急物资预置与分配问题的研究[D]. 保定: 河北大学管理学院, 2015.
(Bai X J. The study on emergency supplies prepositioning and allocation problem based on type-2 fuzzy theory[D]. Baoding: Management School, Hebei University, 2015.)
- [25] 王海军, 黎卜豪, 刘康康. 应急救援下需求分配与网络配流研究[J]. *系统工程理论与实践*, 2015, 35(6): 1457-1464.
(Wang H J, Li B H, Liu K K. Demand allocation and network flow assignment under emergency rescue circumstance[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2015, 35(6): 1457-1464.)
- [26] 庞海云, 刘南. 基于不完全扑灭的应急物资分配博弈模型[J]. *浙江大学学报: 工学版*, 2012, 46(11): 2068-2073.
(Pang H Y, Liu N. Game models for incomplete put-out distribution of emergency relief supplies for natural disasters[J]. *J of Zhejiang University: Engineering Science*, 2012, 46(11): 2068-2073.)
- [27] 王旭坪, 董莉, 陈明天. 考虑感知满意度的多受灾点应急资源分配模型[J]. *系统管理学报*, 2013, 22(2): 251-256.
(Wang X P, Dong L, Chen M T. Multiple-area post-disaster resource distribution model considering perception satisfaction[J]. *J of System & Management*, 2013, 22(2): 251-256.)
- [28] 王旭坪, 马超, 阮俊虎. 考虑公众心理风险感知的应急物资优化调度[J]. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(7): 1735-1742.
(Wang X P, Ma C, Ruan J H. Emergency supplies optimal scheduling considering the public's psychological risk perception[J]. *Systems Engineering—Theory & Practice*, 2013, 33(7): 1735-1742.)
- [29] 郑斌, 马祖军, 李双琳. 基于双层规划的震后初期应急物流系统优化[J]. *系统工程学报*, 2014, 29(1): 113-125.
(Zheng B, Ma Z J, Li S L. Integrated optimization of emergency logistics systems for post-earthquake initial stage based on bi-level programming[J]. *J of Systems Engineering*, 2014, 29(1): 113-125.)
- [30] 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. Bi-level model for dynamic location-transportation problem for post-earthquake relief distribution[J]. *J of Systems & Management*, 2017, 26(2): 326-337.)
- [31] 张春山, 吴满路, 张业成. 地质灾害评价方法及展望[J]. *自然灾害学报*, 2003, 12(1): 96-102.
(Zhang C S, Wu M L, Zhang Y C. Method and prospect of geological disaster risk assessment[J]. *J of Natural Disasters*, 2003, 12(1): 96-102.)
- [32] Bendimerad F. Loss estimation: A powerful tool for risk assessment and mitigation[J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2001, 21(5): 467-472.

(责任编辑: 李君玲)