

DOI:10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2022031123081998

文章编号:1674-599X(2023)04-0114-07

引用格式:陈红,文若兰,周和平.突发事件下应急救援物资车辆路径选择方法[J].交通科学与工程,2023,39(4):114-120.

Citation: CHEN Hong, WEN Ruolan, ZHOU Heping. Vehicle path selection method for emergency relief materials in emergencies[J]. J. Transp. Sci. Eng., 2023, 39(4): 114-120.

突发事件下应急救援物资车辆路径选择方法

陈红^{1,2},文若兰^{1,3},周和平¹

(1.长沙理工大学 交通运输工程学院,湖南 长沙 410114;

2.衡阳技师学院,湖南 衡阳 421101;

3.湖南高速铁路职业技术学院,湖南 衡阳 421002)

摘要:突发事件救援的紧迫性凸显了及时、合理地向灾区分发应急物资的重要性,应急物资配送中心车辆的调度方案成为应急物流的关键。该研究考虑在交通路网行程时间不确定的情况下,以车辆调度方案的最大后悔值(鲁棒成本)最小化为目标,建立应急救援车辆调度优化模型,并设计 Benders 分解算法来求解该模型。该算法先将模型分解为主模型和子模型,再加入 Benders 最优割约束,不断迭代,直到得到最优解。研究表明:该模型能以最小的鲁棒成本实现应急物资配送中心车辆的合理调度,满足车辆最大救援时限、受灾点需求优先级等要求。与其他模型相比,该模型得到的车辆行程安排更合理。该研究可为应急物流决策方案提供参考。

关键词:应急救援物资配送;车辆路径优化模型;Benders 分解算法;区间阻抗

中图分类号:X4:F252

文献标志码:A

Vehicle path selection method for emergency relief materials in emergencies

CHEN Hong^{1,2}, WEN Ruolan^{1,3}, ZHOU Heping¹

(1.School of Traffic and Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China;

2.Hengyang Technician College, Hengyang 421101, China;

3. Hunan Technical College of Railway High-Speed, Hengyang 421002, China)

Abstract: In the event of an emergency, due to the urgency of rescue, it was very important to distribute emergency supplies to the disaster area in a timely and reasonable manner. Therefore, the decision-making of the vehicle dispatching scheme of multiple emergency supplies distribution centers became the key link of emergency logistics. Considering the uncertain travel time of the traffic network, to minimize the maximum regret value (robust cost) of the vehicle scheduling scheme, an optimization model for emergency rescue vehicle scheduling was established. Benders decomposition algorithm was designed to solve the model. First, the model was decomposed to obtain the main model and sub-model, and then the Benders optimal cut constraint was added to the solution for continuous iteration. The result of the example shows that the research model can achieve the reasonable scheduling of vehicles in multiple emergency material distribution centers with the minimum robust cost, meet the requirements of the maximum rescue time limit of vehicles, the priority of the demand of the disaster site. The vehicle travel time obtained from this model is more reasonable. This study can provide a reference for emergency logistics decision-making plans.

Key words: distribution of emergency relief materials; vehicle path optimization model; benders decomposition algorithm; interval impedance

收稿日期:2022-03-11

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51178061);湖南省自然科学基金资助项目(2019JJ40311)

作者简介:陈红(1998—),女,长沙理工大学硕士生。

近年来,应急救援系统在许多突发事件中发挥了不可替代的作用。在突发事件中,面对紧迫的受灾点物资需求和 uncertain 的路网行程时间,如何科学地调度应急救援物资、选择车辆运输路线是应急救援的关键。许多学者深入研究了应急救援物资车辆调度问题。ALINAGHIAN等^[1]考虑动态变化的受灾点需求、位置等要素,构建了应急救援物资车辆的路径选择模型。MARINAKIS等^[2]结合了3种自适应策略改进粒子群优化算法,得到优选的配送路径。盛虎宜等^[3]综合考虑灾后路网的损毁程度、随机行驶时间等因素,设计了两阶段启发式算法来求解以物资需求点损失最大化和配送时间最小化为目标的应急物资分配-路径选择问题。赵星等^[4]考虑受灾点紧急级别、受灾后行程时间变化等因素,以交通量可靠性和路阻函数的行程时间为目标函数来建模,并采用禁忌搜索和非支配排序算法对模型进行了求解。宋英华等^[5]结合受灾点人群的年龄分布、伤情严重状况等信息来划分受灾点的受灾严重级别,考虑同一级别的受灾点物资满意度,建立了物资调度模型,并采用经典遗传算法对其进行求解。韩孟宜等^[6]设计了结合节约算法、大规模邻域搜索的遗传算法,该算法的速度和结果均优于传统遗传算法的。卢建锋等^[7]以运输时间与总环境风险、缺货损失费用最小化为目标函数,构建了多目标的多种类物资调度模型,并设计了NSGA II算法对其进行求解。在求解过程中,先采用锦标赛法进行个体选择,再结合多点交叉算子,加快算法搜索速度,最后采用逼近理想解排序法得到最优解。张文晖^[8]考虑多种类应急物资需求,采用拉格朗日松弛算法分解问题,提高了了解的收敛速度。石崇玉^[9]考虑了不确定的受灾点物资需求,构建多目标车辆调度鲁棒优化模型,确保车辆及时地将应急食品物资配送到各受灾点。许德刚等^[10]以行驶时间最小化、需求点的满意度最大化为目标,建立应急调度模型,并提出优化烟花算法对其进行求解,通过改变变异策略、引入禁忌表,提升了算法寻找局部最优解的能力。

这些研究主要集中在应急救援车辆路径问题的模型构建以及求解算法优化两方面。对于应急

救援车辆的路径问题,很多学者考虑了受灾点物资需求的不确定性或优先级,对其进行研究^[11],还有部分学者考虑到了路段行程时间的不确定性,对其进行研究^[12-13]。目前,同时考虑以上两个条件的研究鲜见。因此,本研究基于交通路网区间阻抗,在受灾点需求优先级约束、车辆行驶时间约束等约束条件下,以鲁棒成本最小化为目标,构建应急救援车辆物资配送路径优化模型,并设计Benders分解算法来求解该模型,以便快速、合理地进行多应急物资集散中心的救援与协同调度,以期应急管理部门的决策制定提供借鉴。

1 问题描述与符号说明

车辆在行驶中会受到交通拥堵、恶劣天气、交通管制等不确定性因素的影响,车辆的行程时间也不会是一个固定值。因此,本研究采用区间来度量交通路网行程时间,该区间内最短与最长行程时间分别对应道路的最好与最差状态下,车辆在该路段上所花费的时间。车辆在该路段上的行程时间可以是处于最长、最短行程时间之间的任意值。本研究以这种方式来表征在实际交通场景中车辆行驶时间的不确定性。

假设在突发事件发生时,交通网络图为 $G = (N, D)$,其中, D 为路段集, $(i, j) \in D$,路段 (i, j) 的行驶时间处于区间阻抗 $[t_{ij}^l, t_{ij}^u]$ 中, t_{ij}^l, t_{ij}^u 分别是车辆在路段 (i, j) 最好情况与最差情况下的行程时间,且 $t_{ij}^l < t_{ij}^u, t_{ij}^l \in T_l, t_{ij}^u \in T_u$; N 为节点集,任意节点 $i \in N$; S 为应急物资集散中心点集, $\forall s \in S$; M 为受灾点集, $\forall m \in M$; K 为应急救援车辆集, $\forall k \in K$; E 为配送路径方案集, $\forall e \in E$; p_i 为受灾点 i 的物资需求量; T_{\max} 为车辆的最长行驶时间。

本研究讨论多个应急物资集散中心车辆的协同调度优化问题,依据灾区实际情境,科学地评估各受灾点的物资需求量,并优先考虑配送需求大的受灾点。应急救援车辆 k 从应急物资集散中心 s 出发,依次给受灾点配送物资,车辆的配送路径为 e 。在突发事件发生时,需要快速地制定可靠的应急资源调度方案来满足所有受灾点 i 的物资需求。

2 模型建立

考虑交通路网行程时间的不确定性,建立区间阻抗下应急物资配送路径优化模型,以辅助应急管理部门进行决策,得到最优车辆调度方案。求解此模型的思路为:先寻找出所有符合约束条件的车辆调度方案;再基于该调度方案的情景找到最优调度方案;最后,获得最优调度方案的最大后悔值(鲁棒成本)。该模型旨在找到所有车辆调度方案的最小最大后悔值(最小鲁棒成本),从而最小化决策者的后悔值。

2.1 目标函数与决策变量

以车辆调度方案鲁棒成本最小为目标函数:

$$\min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} t_{ij}^u x_{ij}^k - X_r \quad (1)$$

$$X_r = \min \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} (t_{ij}^u x_{ij}^k + t_{ij}^l (1 - x_{ij}^k)) w_{ij}^k \quad (2)$$

式中: $t_{ij}^u x_{ij}^k$ 为最差情况下车辆在路段的行程时间,即车辆 k 在路段 (i, j) 的行程时间取路段 (i, j) 区间阻抗上界值 t_{ij}^u ; $t_{ij}^u x_{ij}^k + t_{ij}^l (1 - x_{ij}^k)$ 表示特定情景下路段 (i, j) 的阻抗,当 $x_{ij}^k = 1$ 时,式(2)将取到路段 (i, j) 阻抗的区间上界值 t_{ij}^u ;当 $x_{ij}^k = 0$ 时,式(2)将取到路段 (i, j) 阻抗的区间下界值 t_{ij}^l 。 w_{ij}^k 为特定情景下的车辆路径方案。

式(1)中, $\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} t_{ij}^u x_{ij}^k$ 为行程最差情况下车辆调度方案的总行程时间, X_r 为基于车辆调度方案的特定路网阻抗情景下的最佳车辆调度方案的总行程时间,而在行程最差情况下,车辆调度方案总行程时间与其情景下最佳车辆调度方案的总行程时间的差值就是此车辆调度方案的最大后悔值。因此,式(1)旨在找到所有满足约束条件的车辆调度方案最大后悔值的最小值。

该模型决策变量为:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{车辆}k\text{从节点}i\text{驶向节点}j \\ 0, & \text{其他情形} \end{cases} \quad (3)$$

$$w_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{特定情景下车辆}k\text{从节点}i\text{驶向节点}j \\ 0, & \text{其他情形} \end{cases} \quad (4)$$

其中, w_{ij}^k 为变量 x_{ij}^k 基于特定情景下的最佳车辆调度方案;连续变量 y_{ij}^k 为路段 (i, j) 上车辆 k 的物资载重量; T_i^k 为车辆 k 行驶到节点 i 的时刻。

2.2 约束条件

2.2.1 站点约束

$$\sum_{j \in M} \sum_{k \in K} x_{ij}^k \geq 1, \forall i \in S \quad (5)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{k \in K} x_{ji}^k \geq 1, \forall i \in S \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = 1, \forall j \in M \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij}^k - \sum_{i \in N} x_{ji}^k = 0, \forall j \in N, k \in K \quad (8)$$

每个应急物资集散中心 i 都能发出与接收多辆车,式(5)表示每个集散中心 i 最少发出一辆车到受灾点;式(6)表示每个集散中心 i 最少有一辆车从受灾点返回来;式(7)表示任意受灾点 j 只由一辆车从一个集散中心出发,为其配送物资;式(8)表示任意车辆 k 在任意节点 j 进出流量守恒。

2.2.2 车辆约束

$$\sum_{j \in N} x_{ji}^k = \sum_{j \in N} x_{ij}^k \leq 1, \forall k \in K, i \in S \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij}^k = \sum_{i \in N} x_{ji}^k \leq 1, \forall k \in K, j \in M \quad (10)$$

式(9)表示车辆 k 的行程只能以同一个应急物资集散中心 i 作为起终点;式(10)表示任意车辆 k 在任意受灾点 j 至多服务一次。

2.2.3 边约束

$$\sum_{k \in K} x_{ij}^k \leq 1, \forall i \in N, j \in N \quad (11)$$

式(11)表示从受灾点 i 驶向受灾点 j 的车辆最多有一辆,保证所有受灾点只被一辆车服务。

2.2.4 车辆容量限制约束

$$y_{ij}^k \leq Q \times x_{ij}^k, \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N} y_{ji}^k - \sum_{i \in N} y_{ij}^k = p_j, \forall j \in M, k \in K \quad (13)$$

式(12)表示从受灾点 i 驶向受灾点 j 的车辆 k 上的物资量 y_{ij}^k 要小于车辆额定载量 Q ;式(13)表示应急救援车辆 k 在受灾点 j 卸下了其物资需求量 p_j ,即车辆 k 在受灾点 j 前的车内物资量与经过受灾点 j 后的车内物资量的差值。

2.2.5 时间约束与优先级约束

$$T_j^k - T_i^k \leq t_{ij}^l + (t_{ij}^u - t_{ij}^l) x_{ij}^k, \forall i \in M, j \in M, k \in K \quad (14)$$

$$(T_j^k - T_i^k)(p_j - p_i) \leq 0, \forall i \in M, j \in M, k \in K \quad (15)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} t_{ij}^u x_{ij}^k \leq T_{\max}, \forall k \in K \quad (16)$$

式(14)表示车辆行驶时间顺序,即若车辆 k 从受灾点 i 驶向受灾点 j ,则该车到达 j 点的时刻与其到达 i 点的时刻的差值要小于等于路段 (i, j) 最大行程时间;式(15)表示受灾点的优先配送权与车辆到达受灾点时刻的关系,即若某受灾点需求越急迫,则其优先配送权就越高,车辆会越早配送物资到该受灾点;式(16)表示车辆 k 的总行驶时间 $\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} t_{ij}^u x_{ij}^k$ 不能超过最长行驶时间 T_{\max} 。

2.2.6 特定情景 X_i 中的车辆路径 w_{ij}^k 方案约束

在特点情景中,路网时间阻抗是确定的,在此确定的阻抗下求解的车辆路径 w_{ij}^k 方案,同样要满足车辆路径变量 x_{ij}^k 的站点、车辆、优先级等方面的约束。

3 算法设计

应急救援车辆物资配送路径优化模型是容量限制的車輛路径问题。Benders分解算法常用来求解同时包含了0-1整数变量和连续变量的极值问题。其将问题分解为许多小问题来做。其具体思想是采用割平面法,固定复杂变量(0-1整数变量),得到子问题,不断迭代,产生Benders割约束,并将其加入主问题,直至得到最优解。该算法不断迭代,生成新约束条件,故又被称为行生成算法。

在基于阻抗区间的应急救援车辆调度模型中,第一步是确定一个车辆调度方案,第二步是得到基于该方案的特定路网阻抗情景下的最佳车辆调度方案,第三步是通过计算两个方案的总行程时间差值,得到最小鲁棒成本。

3.1 应急救援车辆路径优化模型分解

3.1.1 子模型

先确定车辆路径 \bar{x}_{ij}^k ,式(17)中 $\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} t_{ij}^u \bar{x}_{ij}^k$ 为车辆 k 的路径行驶时间成本,再把没被车辆通过的路段行程时间替换成区间阻抗的区间下界值, $\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} [t_{ij}^u \bar{x}_{ij}^k + t_{ij}^l (1 - \bar{x}_{ij}^k)] w_{ij}^k$ 为基于车辆路径 \bar{x}_{ij}^k 的特定路网阻抗情景下的最优路径的最小行驶时间成本,两者差为鲁棒成本 C 。

$$\max C = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} t_{ij}^u \bar{x}_{ij}^k - \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} [t_{ij}^u \bar{x}_{ij}^k + t_{ij}^l (1 - \bar{x}_{ij}^k)] w_{ij}^k \quad (17)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{k \in K} w_{ij}^k \geq 1, \forall i \in S \quad (18)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{k \in K} w_{ji}^k \geq 1, \forall i \in S \quad (19)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} w_{ij}^k = 1, \forall j \in M \quad (20)$$

$$\sum_{i \in N} w_{ij}^k - \sum_{i \in N} w_{ji}^k = 0, \forall j \in N, k \in K \quad (21)$$

$$\sum_{j \in N} w_{ji}^k = \sum_{j \in N} w_{ij}^k \leq 1, \forall k \in K, i \in S \quad (22)$$

$$\text{s.t.} \left\{ \begin{aligned} \sum_{i \in N} w_{ij}^k &= \sum_{i \in N} w_{ji}^k \leq 1, \forall k \in K, j \in M \quad (23) \\ \sum_{k \in K} w_{ij}^k &\leq 1, \forall i \in N, j \in N \quad (24) \end{aligned} \right.$$

$$y_{ij}^k \leq Q \cdot w_{ij}^k, \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (25)$$

$$\sum_{i \in N} y_{ij}^k - \sum_{i \in N} y_{ji}^k \leq p_j, \forall j \in M, k \in K \quad (26)$$

$$T_j^k - T_i^k \leq t_{ij}^l + (t_{ij}^u - t_{ij}^l) w_{ij}^k, \forall i \in M, j \in M, k \in K \quad (27)$$

$$(T_j^k - T_i^k)(p_j - p_i) \leq 0, \forall i \in M, j \in M, k \in K \quad (28)$$

$$(T_j^k - T_i^k)(p_j - p_i) \leq 0, \forall i \in M, j \in M, k \in K \quad (29)$$

随着迭代次数增加,应急车辆调度方案的鲁棒成本逐渐向下界靠拢。

3.1.2 主模型

$$\min z \quad (30)$$

$$z \geq \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} \sum_{k \in K} t_{ij}^u x_{ij}^k - \sum_{i \in M} \sum_{j \in M} \sum_{k \in K} [t_{ij}^u + (t_{ij}^u - t_{ij}^l) x_{ij}^k] w_{ij}^k \quad (31)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{k \in K} x_{ij}^k \geq 1, \forall i \in S \quad (32)$$

$$\sum_{j \in M} \sum_{k \in K} x_{ji}^k \geq 1, \forall i \in S \quad (33)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} x_{ij}^k = 1, \forall j \in M \quad (34)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij}^k - \sum_{i \in N} x_{ji}^k = 0, \forall j \in N, k \in K \quad (35)$$

$$\text{s.t.} \left\{ \begin{aligned} \sum_{j \in N} x_{ji}^k &= \sum_{j \in N} x_{ij}^k \leq 1, \forall k \in K, i \in S \quad (36) \\ \sum_{i \in N} x_{ij}^k &= \sum_{i \in N} x_{ji}^k \leq 1, \forall k \in K, j \in M \quad (37) \\ \sum_{k \in K} x_{ij}^k &\leq 1, \forall i \in N, j \in N \quad (38) \end{aligned} \right.$$

$$y_{ij}^k \leq Q \cdot x_{ij}^k, \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (39)$$

$$\sum_{i \in N} y_{ij}^k - \sum_{i \in N} y_{ji}^k \leq p_j, \forall j \in M, k \in K \quad (40)$$

$$T_j^k - T_i^k \leq t_{ij}^e + (t_{ij}^u - t_{ij}^l) x_{ij}^k, \forall i \in M, j \in M, k \in K \quad (41)$$

$$(T_j^k - T_i^k)(p_j - p_i) \leq 0, \forall i \in M, j \in M, k \in K \quad (42)$$

$$\sum_{i \in M} \sum_{j \in M} t_{ij}^u x_{ij}^k \leq T_{\max}, \forall k \in K \quad (43)$$

主模型每被迭代一次, Benders 可行性分割约束将被添加一次, 使鲁棒成本逐渐向其上界靠拢。当上界值等于下界值时, 迭代停止。

3.2 计算步骤

1) 设置模型初始上界值 b_1 为 $-\infty$, 初始下界值 b_u 为 $+\infty$, 路网行程时间取区间阻抗下界值, 求解松弛主问题, 即得可行方案 \bar{x}_{ij}^k ;

2) 把 \bar{x}_{ij}^k 为 1 的路段行程时间取为区间阻抗的上界值, \bar{x}_{ij}^k 为 0 的路段行程时间取为区间阻抗下界值, 求解子模型得到 w_{ij}^k, y_{ij}^k , 若 $C < b_u$, 则更新 b_u ;

3) 把 w_{ij}^k 代进主模型, 新加约束 (31), 对其进行求解, 得到新调度方案 x_{ij}^k, y_{ij}^k , 若 $Z > b_1$, 则更新 b_1 ;

4) 若 $b_1 = b_u$, 则输出最优解, 停止计算, 否则进入 5);

5) 令 $x_{ij}^k = \bar{x}_{ij}^k$, 返回 2), 进行迭代, 直至 $b_1 = b_u$ 。

4 算例分析

本研究采用仿真交通路网来测试模型与算法。在该仿真交通路网中, 共存在 53 个节点、125 条路段, 区间阻抗为图中路段上括号内的数据。其中, 设节点 1~3 为应急物资集散中心, 容量限制为 3 500 kg; 设节点 17~46 为受灾点; 受灾点物资需求数据见表 1, 该数据由数值软件 MATLAB 随机生成, 也可根据受灾点特性对受灾点进行需求评估, 并且以此为物资配送需求量, 配送时将优先配送物资需求量大的受灾点。假定应急物资配送中心有 6 辆车, 每辆车出发时刻均为 9:00, 车辆额定载重均为 1 500 kg, 每辆车的最大行驶时间均限制为 45 min, 既每辆车总救援时间不超过 45 min。

采用 AMPL 软件, 编写应急救援车辆路径优化模型的 Benders 算法, 调用 CPLEX 对算例进行求解。应急救援车辆路径优化模型迭代了 5 次, 求解时间为 0.15 s, 总鲁棒成本为 93.8, 鲁棒车辆调度方案见表 2, 应急救援车辆物资配送路径图如图 1 所

示, 表 2 中最短路径的括号的点表示该点仅经过但不停留。

表 1 受灾点物资需求数据

Table 1 Material demand data

受灾点	需求量/ kg	受灾点	需求量/ kg	受灾点	需求量/ kg
17	192	27	196	37	194
18	197	28	243	38	179
19	107	29	218	39	183
20	183	30	277	40	184
21	197	31	186	41	206
22	232	32	184	42	229
23	153	33	107	43	246
24	217	34	203	44	223
25	193	35	178	45	220
26	216	36	247	46	200

表 2 鲁棒车辆调度方案

Table 2 Robust vehicle scheduling scheme

集散中心	车辆	上界最短路径	载重量/ kg	返回时刻	总鲁棒成本
1	1	1-45-46-18- (6) -17- (7) -20-1	992	9:34	93.8
	2	1-(29)-30-36-(30)-43-28-44-29-1	1 454	9:37	
2	3	2--22-21- (40) - (10) -31-32-19-33-2	1 013	9:36	
	4	2- (16) -34-37- (4) -40-39-38-35-23-2	1 274	9:41	
3	5	3-(41)-24-41-27-25-3	812	9:21	
	6	3-42-26-(42)-3	445	9:14	

从图 1 可以看出, 加粗的车辆路线为车辆调度方案中各应急救援车辆物资配送路径, 路段上的区间值表示为车辆在路段上不确定的行程时间。各车辆以应急物资集散中心节点 1、2、3 为起终点, 在不确定的路况下, 沿途经过各受灾点进行物资配送, 满足每个受灾点的物资需求。

由表 2 可知, 每个应急集散中心均派出了 2 辆车, 所有受灾点物资需求均得到了满足, 每辆车的最大行驶时间(总救援时间)均没超过时间限制, 如 1 号集散中心的车辆最大行程时间分别为 34、37 min; 且满足了受灾点的物资需求量大而优先救援的策略, 如 45 号受灾点的需求量为 220 kg, 该需求量大

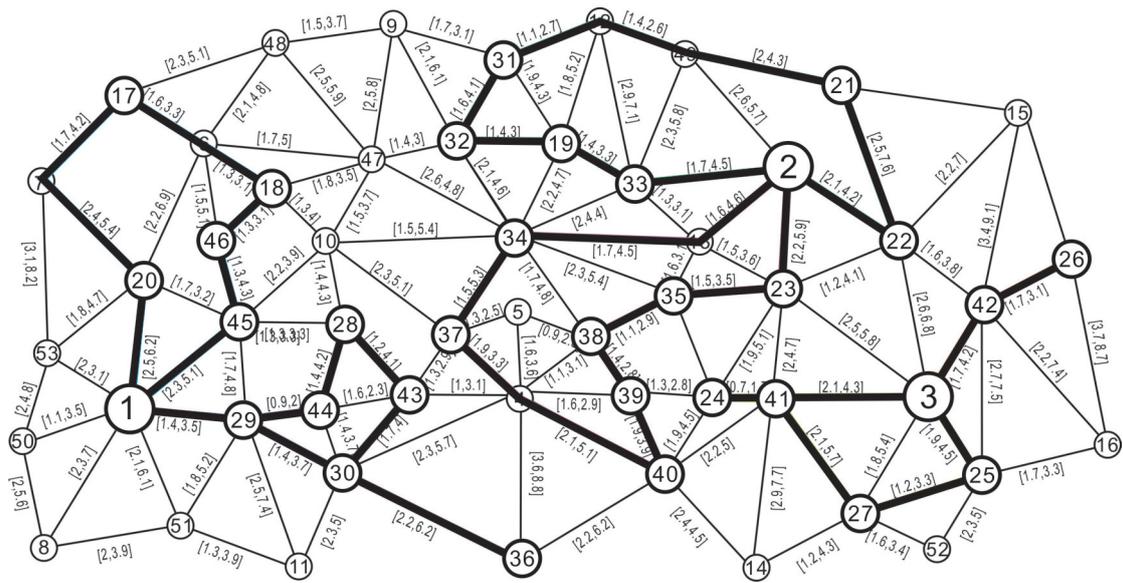


图1 物资配送路径图

Fig. 1 Material distribution route

于46号的需求量200 kg,故45号受灾点得到了优先配送。本研究得到的配送方案的鲁棒成本更小,行程时间更稳定可靠,可供应急物流决策参考。

5 结论

突发事件发生后的救援具有紧迫性,需要及时地把应急物资从应急物资集散中心配送到受灾点。因此,应急救援车辆调度方案的确定是应急救援的关键。本研究以车辆调度方案最大后悔值最小化为目标,考虑受灾点需求优先级、车辆最大行驶时间、车辆载重量限制等约束条件,基于路段区间阻抗来构建应急救援车辆调度模型,在交通路网阻抗不确定的情况下,保证得到最优的车辆调度方案。通过AMPL软件,采用Benders分解算法对模型进行编程,求解算例。研究表明,本模型在满足所有受灾点物资需求的情况下,应急救援车辆路径方案具有较强的稳定性与鲁棒性,可为突发事件下考虑不确定性因素的应急救援调度方案的决策提供借鉴。

参考文献(References):

[1] ALINAGHIAN M, AGHAIE M, SABBAGH M S. A mathematical model for location of temporary relief centers and dynamic routing of aerial rescue vehicles[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 131: 227-241.

[2] MARINAKIS Y, MARINAKI M, MIGDALAS A. A multi-adaptive particle swarm optimization for the vehicle routing problem with time windows [J]. Information Sciences, 2019, 481: 311-329.

[3] 盛虎宜, 刘长石, 鲁若愚. 震后初期应急物资短缺情景下的定位-路径问题研究[J]. 运筹与管理, 2019, 28(6): 41-47. DOI: 10.12005/orms.2019.0126.

SHENG HUYI, LIU Changshi, LU Ruoyu. Location-routing problem with relief shortage in the early stage after earthquake [J]. Operations Research and Management Science, 2019, 28(6): 41-47. DOI: 10.12005/orms.2019.0126.

[4] 赵星, 吉康, 林灏, 等. 基于多目标路径规划的应急资源配置模型[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2019, 47(4): 76-82.

ZHAO Xing, JI Kang, LIN Hao, et al. Resource allocation model based on multi-objective path planning in emergency management [J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2019, 47(4): 76-82.

[5] 宋英华, 白明轩, 马亚萍, 等. 考虑区域灾情分级的应急物资公平调度优化模型[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(1): 172-179.

SONG Yinghua, BAI Mingxuan, MA Yaping, et al. Optimal model for fair dispatch of emergency materials considering regional disaster classification [J]. China Safety Science Journal, 2022, 32(1): 172-179.

[6] 韩孟宜, 丁俊武, 陈梦覃, 等. 基于混合遗传算法的应急物资配送路径优化[J]. 科学技术与工程, 2021, 21

- (22): 9432-9439.
- HAN Mengyi, DING Junwu, CHEN Mengqin, et al. Optimization of emergency material distribution path based on hybrid genetic algorithm [J]. Science Technology and Engineering, 2021, 21 (22): 9432-9439.
- [7] 卢建锋, 牟瑞芳, 赵佳虹, 等. 危化品事故连续消耗型应急物资调度模型[J]. 工业工程, 2020, 23(5): 103-108, 117.
- LU Jianfeng, MU Ruifang, ZHAO Jiahong, et al. An emergency material dispatching model for continuous consumption of dangerous chemical accidents [J]. Industrial Engineering Journal, 2020, 23 (5): 103-108, 117.
- [8] 张文晖. 基于拉格朗日松弛算法的应急物流配送车辆调度模型优化研究[J]. 公路与汽运, 2021(3): 46-50.
- ZHANG Wenhui. Research on optimization of vehicle scheduling model for emergency logistics distribution based on Lagrange relaxation algorithm [J]. Highways & Automotive Applications, 2021(3): 46-50.
- [9] 石崇玉, 方瑜. 不确定需求下应急食品调度鲁棒优化模型[J]. 中国储运, 2022(1): 139-141.
- SHI Chongyu, FANG Yu. Robust optimization model of emergency food scheduling under uncertain demand [J]. China Storage & Transport, 2022(1): 139-141.
- [10] 许德刚, 李凡, 王露, 等. 优化演化算法在医疗物资应急调度中的应用[J]. 计算机工程与应用, 2021, 57 (24): 249-258.
- XU Degang, LI Fan, WANG Lu, et al. Application of optimized fireworks algorithm in emergency dispatching of medical supplies [J]. Computer Engineering and Applications, 2021, 57(24): 249-258.
- [11] 林勇, 肖骅, 张立, 等. 震灾应急物资分配-运输优化模型及算法研究[J]. 中国安全科学学报, 2020, 30(10): 171-178.
- LIN Yong, XIAO Hua, ZHANG Li, et al. Optimization model and algorithm of emergency supplies allocation-transportation in earthquake disasters [J]. China Safety Science Journal, 2020, 30(10): 171-178.
- [12] GILBERT H, SPANJAARD O. A double oracle approach to minmax regret optimization problems with interval data [J]. European Journal of Operational Research, 2017, 262(3): 929-943.
- [13] 苏贞旅, 周和平. 区间不确定阻抗下的可靠最短路径[J]. 交通科学与工程, 2017, 33(4): 77-81.
- SU Zhenlyu, ZHOU Heping. Reliable shortest paths under interval uncertain impedance [J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2017, 33 (4): 77-81.
- (责任编辑:李脉;校对:罗容;英文编辑:刘至真)