

DOI:10.15918/j.jbitss1009-3370.2017.1562

基于受灾人员损失的应急资源网络多周期配置

葛敏¹, 陈晓平², 吴凤平³

(1.河海大学 企业管理学院, 江苏 常州 213022; 2.江苏理工学院 计算机工程学院, 江苏 常州 213013;

3.河海大学 商学院, 南京 211100)

摘要: 基于大规模突发事件灾害链演化新情景,以及不同救援周期应急资源供给和需求在数量、种类与需求时间上的差异性,建立应急时间最短、受灾点人员损失最小和运输费用最小3个带主从关系的目标函数,并以应急资源供给和需求等为约束条件,构建多资源、多运输方式、多应急出救点——多受灾点的多周期复杂应急资源分配网络配置决策模型,并基于资源需求急迫度和应急限制期,设计多周期、多资源分类调度启发式算法对模型求解。以汶川地震为例的实证研究结果表明:灾害链情景下,受灾人员损失、应急限制期和资源需求急迫度,对多周期应急资源分配网络动态优化调配决策均具有影响作用。

关键词: 灾害链; 受灾人员损失; 复杂应急资源分配网络; 多周期配置

中图分类号: C934

文献标识码: A

文章编号: 1009-3370(2017)04-0105-10

大规模突发事件作为极端不确定性事件,已给人类社会带来了严重的生命财产损失、生态环境破坏和社会环境危害。突发事件发生后,为最大限度减少灾害损失,及时调配各类应急资源到相应受灾区域,已成为应急救援中的重要环节。在有限时间、空间和资源约束下,应急资源调配是一个非一次性动态、多阶段应急响应活动。实际应急救援中,若出现资源不足而引发救援活动停止,将可能导致灾难性后果。大规模突发事件极易诱发危害极严重的次生灾害,原生和次生灾害相互耦合导致灾情恶化形成灾害链。灾害链链式扩散的“级联失效效应”会导致灾害负面后果成倍放大,加大应急资源调配难度。现有基于灾害链情境的应急资源动态调配研究少见,因此,如何在灾害链情境下,针对不同救援周期中应急资源供给和需求在数量、种类与需求时间上的差异性,遵循公平有效原则,构建高效、合理和有序的多周期应急资源分配网络动态优化调配决策方案,不仅是现阶段灾后救援工作的关键,也是本文研究解决的问题。

一、文献综述

国内外学者基于不同研究视角研究了突发事件应急资源优化调配问题。(1)从应急资源消耗特点视角,孙敏等(2009)^[1]提出一次性消耗应急资源调度模型;郑昊等(2013)^[2]构建了连续性消耗应急资源调度模型。(2)根据应急资源种类视角,朱雷等(2015)^[3]建立了单一资源应急优化调度模型;刘艺等(2015)^[4]对多种类资源应急优化调度模型进行了研究。(3)基于需求点和出救点数量视角,柴瑞瑞等(2016)^[5]构建了多出救点—单需求点应急资源优化调配模型;田军等(2011)^[6]建立了单出救点—多需求点应急资源优化调配模型;Liberatore等(2014)^[7]提出了多出救点—多需求点模型。(4)在调度决策时间周期视角下,Altay等(2013)^[8]建立了静态应急资源有效配置模型;杨继君等(2016)^[9]提出了动态应急资源调度模型。(5)基于不同应急资源调度目标,现有文献对总运输时间最少(王海军等,2015^[10])、总配送成本最少(刘长石等,2016^[11])、地区应急资源满足量最大(陈莹珍等,2015^[12])、应急资源供应时间的风险感知最小(王治莹等,2016^[13])等调度目标,进行了应急资源优化调配建模研究。(6)从已有基于灾害链视角的应急资源调度决策模型看,部分学者分别对自然灾害链式反应机制

收稿日期: 2016-08-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目“异质节点行为下银行生态网络的危机传染与免疫控制”(71301063);国家自然科学基金资助项目“最严格水资源管理制度约束下流域初始水权耦合配置方法研究”(41271537); 2013年江苏省“333高层次人才培养工程”专项基金资助项目;江苏省高校优秀中青年骨干教师和校长境外研修计划资助项目;江苏理工学院自然科学基金资助项目“基于复杂应急网络拓扑结构的应急资源系统优化调度和配置研究”(KYY14004)

作者简介: 葛敏(1973—),女,副教授,南京大学工程管理学院博士后,加州大学伯克利分校访问学者,E-mail:ge_min19@126.com;陈晓平(1973—),男,讲师,东南大学经济管理学院博士研究生,E-mail:chenxiaoping73@126.com;吴凤平(1964—),男,教授,博导,E-mail:wfp@hhu.edu.cn

(韩传峰等,2006^[14])、突发事件灾害链概率模型(季学伟等,2009^[15])、突发事件灾害链场景发生概率和后果定量风险分析(李藐等,2010^[16])、单周期应急资源调度混合整数规划模型(李进等,2011^[17])等方面进行了研究。

从已有研究成果看:(1)单一出救点—多受灾点、多出救点—单一受灾点配置模型较多,针对多出救点—多受灾点的模型相对较少。(2)以资源调度总时间最短、运输成本最低为目标的研究成果相对较多,而关注受灾点人员损失,在考虑灾害级别和应急资源的重要性差异基础上,以受灾点人员损失最小化为目标应急资源调度模型偏少;事实上,应急资源配置是否公平,对于稳定社会民众情绪、避免诱发群体性突发公共事件类的次生灾害十分关键;考虑受灾人员总损失最小,一定程度上体现了应急资源配置公平性。(3)单周期应急资源调配模型较多,考虑灾害链情景的多周期资源配置模型较少;而事实上,突发事件应急资源调配往往呈现多周期性特征。(4)较多成果忽略了对复杂应急资源分配网络中应急限制期约束问题的考虑;应急限制期约束是指,事件爆发时各灾害点在应急响应时间上除了希望尽早接收应急资源以开展救援活动外,还存在一个最晚接收资源展开救援的时间限制要求。

鉴于此,本文将针对上述现有研究中的不足,基于灾害链情景,在考虑受灾人员损失、应急限制期和资源需求急迫度基础上,以带有序关系的应急时间最短、受灾点人员损失最小和运输费用最小为目标函数,对多资源种类、多运输方式、多应急供应点—多应急需求点、多周期的复杂应急资源分配网络的优化调配模型展开研究。

二、问题描述与假设

(一)问题描述

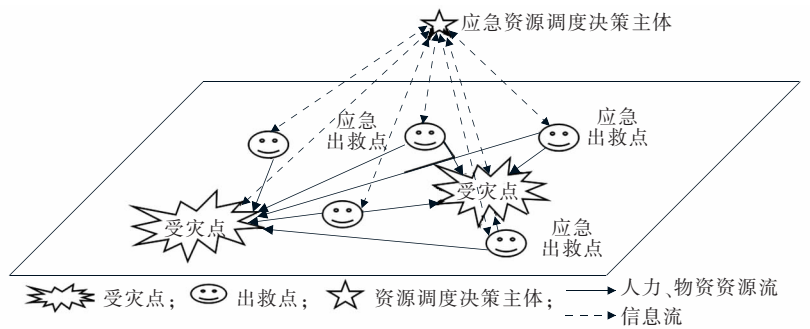
突发事件演化具有高度不确定性、复杂演变及动态性,其复杂应急资源分配网络系统具有需求点多、需求量大和品种多、调度多周期、多重约束(应急时间、资源数量和质量等多约束)、多目标和运输方式多样性等特征,其宏观层次复杂网络结构如图1所示。

本文中的复杂应急资源分配网络是由应急供应点到原生、次生灾害点构成(如图2所示)。本文所研究问题为,当突发事件发生后的灾害链情境下,受灾点(原生、次生)的应急资源需求信息传递到应急指挥中心(应急资源调配决策主体)时,主体如何针对多个配送周期,根据灾情和资源量动态变化,考虑灾害链突发性、次生衍生灾害频发、需求点多、资源需求量大等特点,基于资源需求急迫度和应急限制期,以应急时间最短、受灾点人员损失最小和运输费用最小为目标函数,结合灾情变化后的交通网络损害情况不确定性,寻求多种资源、多运输方式、多应急供应点和需求点、多周期复杂应急资源分配网络的最优调度和分配方案的问题。

(二)基本假设

假设1. 本文的应急资源是指应急救援人力和物资资源。设灾害链由原生和次生灾害构成。次生灾害以一定概率发生,次生灾害再次引起的后续灾害统一计量于该次生灾害中。

假设2. 出救点布局既定,出救点和灾害点间只存在单向运输,即出救点采取点对点的直接配送方式向受灾点运送应急资源,节点间不存在水平转运情况。



资料来源:根据文献[18]的相关内容修改得到。

图1 突发事件的应急资源调配系统的宏观结构图

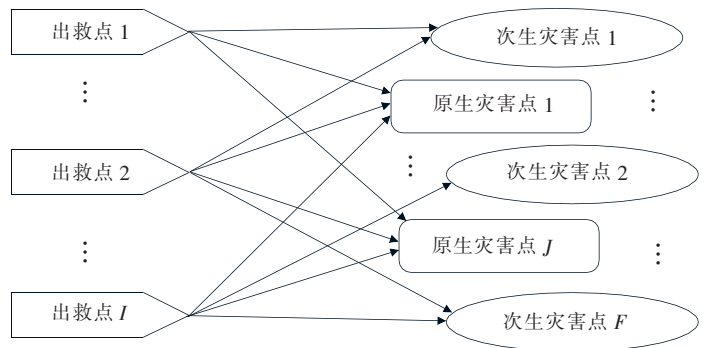


图2 基于突发事件灾害链的复杂应急资源分配网络拓扑结构图

假设3. 受灾点需要多种应急资源,资源可混合搭载,但不同资源间无替代性。

假设4. 原生和次生灾害的应急资源需求相互独立,资源调度需在考虑原生灾害受灾点资源需求基础上,同时考虑可能的次生灾害资源需求。

假设5. 每种运输模式下仅有同质性的一种交通工具存在。各应急资源出救点承担应急资源运输任务的交通工具数量充足,且运输道路容量不构成严重制约。

假设6. 对原生、次生灾害受灾点上一周期中未满足的资源需求量,将在下一周期资源配置中优先满足。本文中应急资源配送周期的划分依据灾害持续时间及灾情演变特征而定。

假设7. 对于原生和次生灾害均需要的竞争性公共应急资源,在配置过程中将在满足原生受灾点资源需求基础上,再满足次生灾害点应急资源需求。

三、模型构建

(一)参数与变量

1.相关参数

1)集合参数。如图2所示:设有*i*个出救点, $i=1,2,\dots,I$; *j*个原生受灾点, $j=1,2,\dots,J$; *f*个次生受灾点, $f=1,2,\dots,K$; *v*为资源调度过程中的运输模式, $v=1,2,\dots,V$; *k*为资源种类, $k=1,2,\dots,K$; *t*为资源配送周期数, $t=1,2,\dots,T$ 。

2)运输时间。 $t_{ij}^v(t)$ 和 $t_{if}^v(t)$ 分别为第*t*个配送周期,在运输模式*v*下,从出救点*i*到原生受灾点*j*,及从出救点*i*到次生受灾点*f*的路径最短运送时间; $t_{ij}^v(t)$ 和 $t_{if}^v(t)$ 可根据最短运输距离及紧急情况发生时该运输模式的平均运输速度换算得到。

3)其他参数。成本参数: c_v^k 为采用运输模式*v*时运送资源*k*的运输成本;次生灾害发生概率参数为第*t*个配送周期,对于每个可能的次生受灾点*f*,以概率 $p_f(t)$ 发生次生灾害,其中,*t*表示周期数; $s_i^k(t)$ 为第*t*个配送周期,出救点*i*的第*k*种资源供给量; $D_j^k(t)$ 和 $D_f^k(t)$ 分别为第*t*个配送周期中原生和次生灾害点的第*k*种资源需求量。

2.变量

1)0-1变量。 $R_{ij}^v(t)$ 和 $R_{if}^v(t)$ 分别是指第*t*个配送周期,采用运输模式*v*从出救点*i*到原生受灾点*j*,及出救点*i*到次生受灾点*f*路径上资源配送是否发生,其均为0-1变量。

2)决策变量。 $x_{ij}^{vk}(t)$ 和 $x_{if}^{vk}(t)$ 分别为第*t*个配送周期,在运输模式*v*下,从出救点*i*到原生受灾点*j*,及出救点*i*到次生受灾点*f*的第*k*种资源配置量。

(二)模型

1.目标函数

1)目标函数 F_1 ,是指第*t*个配送周期,应急资源运输调度时间最短

$$\min F_1 = \min(F_{11} + F_{12}), \forall t \quad (1)$$

其中, $F_{11} = \sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I R_{ij}^v(t) \times t_{ij}^v(t)$, F_{11} 为第*t*个配送周期,原生受灾点应急资源运输调度时间; $F_{12} = \sum_{v=1}^V \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^I p_f(t) \times R_{if}^v(t) \times t_{if}^v(t)$, F_{12} 为第*t*个配送周期,次生受灾点应急资源运输调度时间的期望值。

2)目标函数 F_2 ,是指第*t*个配送周期受灾人员总损失最小,反映应急资源配置公平性

$$\min F_2 = \min[\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J L_{kj}(t) + \sum_{k=1}^K \sum_{f=1}^F L_{kf}(t)], \forall t \quad (2)$$

借鉴受灾人员损失函数概念^[8]:(1)考虑突发事件灾害级别差别,在第*t*周期设原生和次生灾害指数为 $\alpha_1(t)$ 和 $\alpha_2(t)$, $\alpha_1(t)$ 和 $\alpha_2(t)$ 都 $\in [1, 10]$,且数值越大,反映灾害越严重,即造成损失越大;(2)考虑不同种类应急资源对受灾人员重要性的差异,设 $\omega_k \in [1, 10]$ 为第*k*种资源重要性系数, ω_k 越大表明第*k*种资源对受灾人员重要性越高,其未满足时造成受灾人员损失越大。受灾人员需求未满足所带来的边际痛苦,随未满足量增加而递增。

在综合考虑灾害级别和资源重要程度基础上,设第 t 配送周期,原生受灾点 j 对第 k 种资源需求未满足时的损失函数为

$$L_{ij}(t) = \omega_k \times \{ [D_j^k(t) - \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V x_{ij}^{vk}(t)] / \sum_{j=1}^J D_j^k(t) \}^{\alpha_1}, \forall t \quad (3)$$

同理得到次生受灾点 f 在第 t 配送周期,对第 k 种资源需求未满足时损失函数期望值

$$L_{ij}(t) = \omega_k \times p_f(t) \times \{ [D_f^k(t) - \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V y_{ij}^{vk}(t)] / \sum_{f=1}^F D_f^k(t) \}^{\alpha_2}, \forall t \quad (4)$$

3) 目标函数 F_3 , 指各周期运输费用最小化

$$\min F_3 = \min(F_{31} + F_{32}), \forall t \quad (5)$$

其中, $F_{31} = \sum_{v=1}^V \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_v^k d_{ij}^{vk} x_{ij}^{vk}(t), \forall t$ 。 F_{31} 为在第 t 配送周期,出救点将资源配送到原生受灾点的运输费用。 $F_{32} = \sum_{v=1}^V \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \sum_{f=1}^F p_f(t) c_v^k d_{if}^{vk} y_{if}^{vk}(t), \forall t$ 。 F_{32} 为第 t 配送周期,出救点配送资源到次生受灾点的运输费用期望值。

2. 模型的约束条件

1) 第 t 周期,出救点 i 流向次生灾害点的第 k 种资源数量不超过出救点 i 先满足原生灾害点需求之后剩余可供的第 k 种资源数量, $\forall t$

$$\sum_{f=1}^F \sum_{v=1}^V y_{if}^{vk}(t) \leq S_i^k(t) - \sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V x_{ij}^{vk}(t), \forall i, \forall k, \forall t \quad (6)$$

2) 第 t 周期,原生受灾点获得第 k 种资源数量不超过该点对该种资源的需求量, $\forall t$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V x_{ij}^{vk}(t) \leq D_j^k(t), \forall j, \forall k, \forall t \quad (7)$$

3) 第 t 周期,次生受灾点获得第 k 种资源数量不超过该点对第 k 种资源的需求量, $\forall t$ 。由于目标函数 F_2 的存在,可保证第 t 周期原生及次生受灾点获得的第 k 种资源数量将尽可能地会得到满足

$$\sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V y_{if}^{vk}(t) \leq D_f^k(t), \forall f, \forall k, \forall t \quad (8)$$

4) 第 t 周期初,出救点 i 实际可供应的第 k 种资源数量动态更新值 ($t \geq 2$),由 $S_i^k(t-1)'$ 和 $S_i^k(t)_{\text{new}}$ 组成

$$S_i^k(t) = S_i^k(t-1)' + S_i^k(t)_{\text{new}}, \forall i, \forall k, t \geq 2 \quad (9)$$

其中, $S_i^k(t-1)'$ 是从第二周期开始 ($t \geq 2$),上一周期中遗留下来未进行配送的第 k 种资源数量; $S_i^k(t-1)' = S_i^k(t-1) - [\sum_{j=1}^J \sum_{v=1}^V x_{ij}^{vk}(t-1) + \sum_{f=1}^F \sum_{v=1}^V y_{if}^{vk}(t-1)]$ 。事实上,当某周期供给小于需求时,该周期实际分配量等于实际供给量,此时该周期末剩余量为零;当供给大于需求时,该周期实际分配量等于实际需求,此时该周期末将存在剩余量; $S_i^k(t)_{\text{new}}$ 是本周期初新募集的第 k 种资源供给数量。

5) 第 t 周期初,原生受灾点实际需求的第 k 种资源数量动态更新值 ($t \geq 2$) 可表示为上一周期中原生灾害点未满足的第 k 种资源需求量与本周期初原生灾害点第 k 种资源新生需求量 $D_j^k(t)_{\text{new}}$ 之和,即

$$D_j^k(t) = D_j^k(t-1) - \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V x_{ij}^{vk}(t-1) + D_j^k(t)_{\text{new}}, \forall j, \forall k, t \geq 2 \quad (10)$$

6) 第 t 周期初,次生受灾点实际需求的第 k 种资源数量动态更新值 ($t \geq 2$)

$$D_f^k(t) = D_f^k(t-1) - \sum_{i=1}^I \sum_{v=1}^V y_{if}^{vk}(t-1) + D_f^k(t)_{\text{new}}, \forall f, \forall k, t \geq 2 \quad (11)$$

3. 模型的 0-1 变量与决策变量非负约束

1) 0-1 变量

$$R_{ij}^v = \begin{cases} 0, & \sum_{k=1}^K x_{ij}^{vk}(t) = 0 \\ 1, & \sum_{k=1}^K x_{ij}^{vk}(t) \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$R_{if}^v = \begin{cases} 0, & \sum_{k=1}^K y_{if}^{vk}(t) = 0 \\ 1, & \sum_{k=1}^K y_{if}^{vk}(t) \geq 0 \end{cases} \quad (13)$$

2) 决策变量非负约束

$$x_{ij}^{vk}(t) \geq 0, \forall i, \forall j, \forall v, \forall k, \forall t \tag{14}$$

$$y_{if}^{vk}(t) \geq 0, \forall i, \forall f, \forall v, \forall k, \forall t \tag{15}$$

四、模型求解算法

上述由式(1)~式(15)构成的模型,是包含多种物资、多种运输方式、具有带有序关系的三重目标函数的多目标规划模型。本文将设计一种改进的多周期、多资源分类调度的启发式算法进行模型求解。在给出算法步骤之前,先进行相关概念定义。

(一)相关定义

定义1. 第 t 周期出救点到受灾点的时间排序矩阵 $M_{(I \times V) \times (J+F)}(t)$,如式(16)所示

$$M_{(I \times V) \times (J+F)}(t) = [(I_i^v(t), t_{pc}(t))]_{(I \times V) \times (J+F)} \tag{16}$$

式(16)中的矩阵共有 $(J+F)$ 列,分别对应原生受灾点 J 列和次生受灾点 F 列;共有 $(I \times V)$ 行,为 i 个出救点及 v 种运输模式的组合。在矩阵元素 $(I_i^v(t), t_{pc}(t))$ 中, $t_{pc}(t)$ 为第 t 周期,从不同出救点出发,采用不同运输模式到受灾点 c ,其运输时间按照由小到大的升序进行排序后处于第 ρ 位的时间; $I_i^v(t)$ 则为对应 $t_{pc}(t)$ 的出救点 I_i 及相应的运输方式 v 。

定义2. 设在第 t 周期原生受灾点 j 对第 k 种资源需求急迫度为 $\eta_j^k(t)$,其等于原生受灾点 j 对第 k 种资源需求量与其灾害指数的乘积,即: $\eta_j^k(t) = D_j^k(t) \times \alpha_1(t), \forall t$; 设第 t 周期,次生受灾点 f 对第 k 种资源需求急迫度为 $\eta_f^k(t)$,其等于次生受灾点 f 对第 k 种资源需求量与其灾害指数和次生灾害发生概率的乘积,即: $\eta_f^k(t) = D_f^k(t) \times \alpha_2(t) \times p_f(t), \forall t$ 。

定义3. 设第 t 周期,原生、次生受灾点资源需求的应急限制期为 $T(t)$,即在第 t 周期,出救点需要在 $T(t)$ (最短允许时间)内,将相关资源配送至受灾点。本文中考虑到资源配置公平性,将第 t 周期内各受灾点开展应急救援活动的时间限制等同考虑。

定义4. 第 t 周期,不同出救点到原生受灾点 j 满足 $T(t)$ 的“可能运输路径和运输模式”,即所有满足 $t_{ij}^v(t) \leq T(t)$ 的由出救点 i 到原生受灾点 j 的运输路径和运输模式,可对次生受灾点进行类似概念定义。

(二)算法思路

总体思路:对原生和次生灾害均需要的资源,配置中需先满足原生受灾点需求,再满足次生灾害点需求。对上一周期中未满足的资源需求,下一周期配置中优先满足,具体如下:

1) 周期划分:依据灾害持续时间及灾情演变特征划分周期, T 为资源配送周期数, $t = \{1, 2, \dots, T\}$ 。资源分类:仅原生(或次生)灾害需要的资源集 R_1 (或 R_2),原生和次生灾害均需要的资源集 R_3 。第 t 周期对 R_3 配置依次依据以下原则:(1)需求急迫度最大原则;(2)应急限制期原则;(3)尽可能满足原生受灾点资源需求原则(受灾人员损失最小原则);(4)基于限制期的运输成本最低原则,配置流程如图3所示。

图3中具体思想是:第 t 周期按原生受灾点资源需求急迫度大

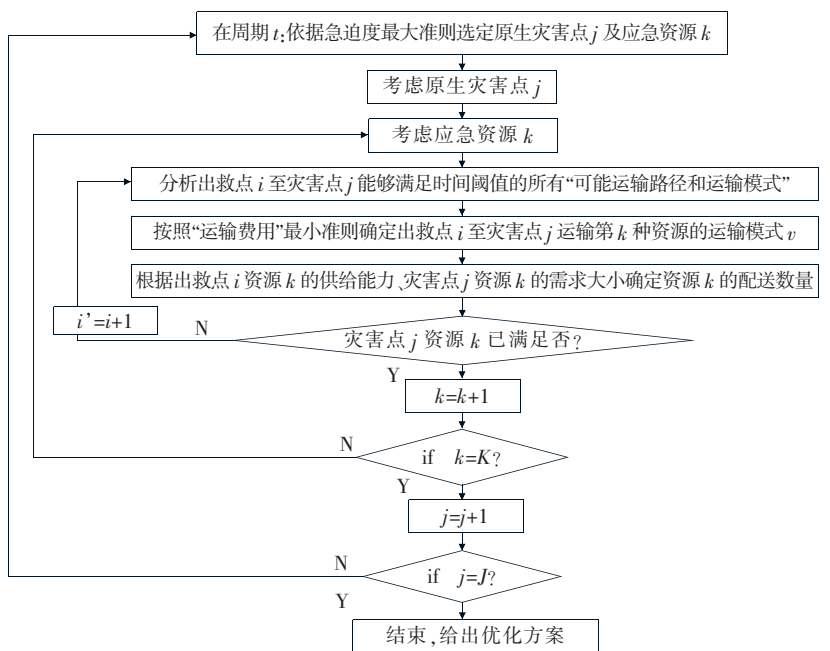


图3 周期 t 的资源 R_3 配置流程图

小确定受灾点 j 和资源 k ; 由时间阈值确定从出救点 i 到原生受灾点 j 运送资源 k 的“可能运输路径和运输模式”, 并从中选择运输费用最小的途径, 确定出救点 i 及相应运输模式 v , 由出救点 i 资源 k 的供给能力和原生受灾点 j 资源需求大小确定实际运输资源 k 的数量, 完成一次应急资源运输。针对第 t 周期原生受灾点 j ; 若其资源 k 数量未满足, 则需针对资源 k 继续决策下一出救点和运输模式; 若其资源 k 数量已满足, 则重新依据资源需求急迫度大小优选下一资源 $k+1$ 的出救点和运输模式。当原生受灾点 j 的所有资源 k 均满足后, 再针对下一原生受灾点 $j+1$ 进行优化决策。第 t 周期内, 进行完原生受灾点资源分配后, 更新各出救点该种资源的可供量数据, 用类似方法对次生灾害点进行剩余资源配置, 获得本周期内资源满意调配方案。

2) 第 t 周期内, 在满足模型所有约束条件下, 对仅原生或次生灾害需要的资源 (R_1 或 R_2), 可采取与图 3 所示的类似方法选择相应出救点进行资源调配, 完成第 t 周期内所有资源、所有受灾点的资源配置任务。

3) 第 $t+1$ 周期初, 根据原生、次生受灾点第一周期中未满足的资源需求量, 将在这个周期的资源配置中优先满足的配置思路, 采用第 t 周期同样算法进行资源调配, 获得第 $t+1$ 周期的应急资源满意配置方案, 如此循环, 直至最后一个周期结束, 最终获得整个 T 期的应急资源满意配置方案, 如图 4 所示。

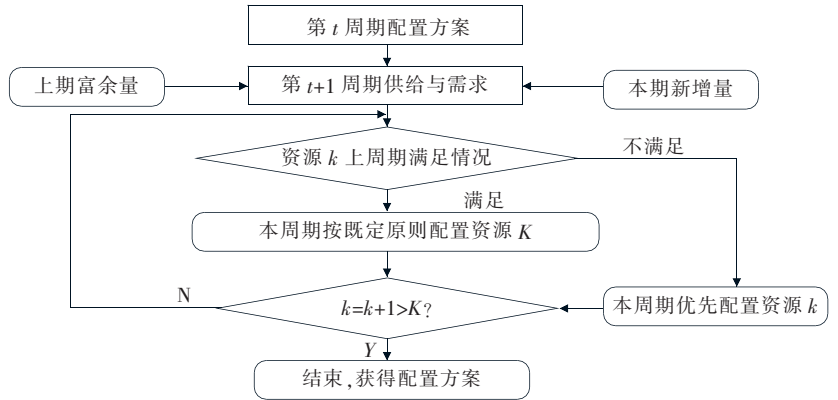


图 4 周期 $t+1$ 的复杂应急资源分配网络的优化配置流程图

(三) 算法步骤

第一步: 对应急资源进行 R_1 、 R_2 和 R_3 分类。数据预处理和初始化相关参数。

第二步: 由式(16), 构造第 t 周期出救点到受灾点的时间排序矩阵 $M_{(kV) \times (j+F)}(t), \forall t$ 。

第三步: 根据算法思路中的应急资源分配规则, 第 t 周期 ($t=1$ 开始) 对 R_3 进行优化决策, 确定 R_3 相应的运输路径和运输模式, 首先对排在最先分配位置的原生灾害点进行配置, 在完成所有原生灾害点的分配后, 更新计算各出救点该种资源的剩余数量, 对次生灾害点进行配置, 直至所有 R_3 完全满足。

第四步: 采用相同方法, 对资源 R_1 和 R_2 进行优化决策, 直至所有资源 R_1 和 R_2 完全满足。汇总得到第 t 周期所有原生和次生受灾点资源调度满意方案。

第五步: 第 $t+1$ 周期初, 更新第一步中所有参数, 重复第三步和第四步, 直至所有周期都分配完毕, 汇总所有周期、所有原生和次生受灾点应急资源调度的满意方案, 分配结束。

五、实证分析

(一) 相关参数描述

本文以 2008 年汶川地震为背景, 由于部分数据无法通过公共渠道获得, 故采用真实数据和部分仿真数据结合方法给出相关数据值。原生灾害是大型地震, 次生灾害为: (1) 大坝坍塌引发大型水灾; (2) 毒气罐剧烈爆炸。选成都、绵阳、德阳和广元为出救点, 用 $I_1 \sim I_4$ 表示。汶川、北川、青川和绵竹为原生受灾点, 用 $J_1 \sim J_4$ 表示。次生受灾点为什邡、都江堰和江油, 用 $F_1 \sim F_3$ 表示。设 F_1 和 F_2 发生水灾概率为 $p_1=0.7, p_2=0.9$; 设 F_2 发生毒气罐爆炸的概率为 $p_3=0.8$ 。设资源需求种类为: 救灾人员、饮用水、帐篷、钢筋切断器、防护服、救生衣。运输方式为公路、铁路和航空。设应急限制期为 3 小时。考虑以天为周期单位, 研究扩展一个周期的复杂应急资源分配网络优化调配方案。

(二) 模型具体演算

第一步: $R_1=\{4\}, R_2=\{5, 6\}, R_3=\{1, 2, 3\}$ 。第一和第二周期相关数据如表 1~表 9 所示。

表 1 第一周期中的应急出救点资源供给量

指标	I_1	I_2	I_3	I_4
救灾人员/千人	0.8	1.0	2.0	3.0
饮用水/千件	8.0	12.0	14.0	20.0
帐篷/千顶	5.0	9.0	12.0	18.0
钢筋切断器/千箱	2.0	1.5	1.0	2.3
防护服/千套	0.2	0.7	0.5	0.0
救生衣/千箱	2.0	0.5	1.0	0.3

表2 第一周期中的原生受灾点应急资源需求量

原生受灾点	救灾人员/ 千人	饮用水/ 千件	帐篷/千顶	钢筋切断器/ 千箱
J ₁ (地震)	1.5	18	15	2.5
J ₂ (地震)	1.2	15	10	1.8
J ₃ (地震)	0.8	5	4	0.9
J ₄ (地震)	0.5	3	2	0.6

表3 第一周期中的次生受灾点应急资源需求量

次生受灾点	救灾人员/ 千人	饮用水/ 千件	帐篷/千顶	防护服/ 千套	救生衣/ 千箱
F ₁ (水灾)	1.1	4	6	0	1.8
F ₂ (水灾)	1.6	6	8	0	2.6
F ₃ (毒气爆炸)	0.8	3	2	1.5	0

表4 第一周期中各运输模式下单位资源单位里程运输单价

资源 运输模式	救灾人员/ (千元/公里千人)	饮用水/ (千元/公里千件)	帐篷/ (千元/公里千顶)	钢筋切断器/ (千元/公里千箱)	防护服/ (千元/公里千套)	救生衣/ (千元/公里千箱)
公路	0.30	0.6	1.0	1.0	0.8	0.8
铁路	0.35	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
航空	0.80	1.0	3.0	3.0	2.0	2.0

表5 第一、第二周期中应急出救点与原生受灾点
3种运输方式下的最短时间

原生受 灾点	出救点	运输 方式	时间/ 小时	原生受 灾点	出救点	运输 方式	时间/ 小时
J ₁	I ₁	公路	2.20	J ₂	I ₁	公路	2.40
		铁路	—			铁路	—
		航空	0.50			航空	0.55
	I ₂	公路	3.10		I ₂	公路	0.65
		铁路	—			铁路	—
		航空	0.55			航空	0.12
	I ₃	公路	2.80		I ₃	公路	1.30
		铁路	—			铁路	—
		航空	0.43			航空	0.26
	I ₄	公路	5.60		I ₄	公路	3.20
		铁路	—			铁路	—
		航空	0.30			航空	1.00
J ₃	I ₁	公路	5.30	J ₄	I ₁	公路	1.50
		铁路	—			铁路	1.20
		航空	1.20			航空	0.40
	I ₂	公路	3.50		I ₂	公路	1.00
		铁路	—			铁路	1.00
		航空	0.68			航空	0.23
	I ₃	公路	4.20		I ₃	公路	0.88
		铁路	—			铁路	0.50
		航空	0.90			航空	0.15
	I ₄	公路	1.50		I ₄	公路	5.00
		铁路	—			铁路	3.50
		航空	0.30			航空	1.00

注:表中“—”代表在相应的出救点到原生受灾点之间该运输方式不存在;为方便计算,设该项数据第二期与第一期相同。

表6 第一、第二周期中应急出救点与次生受灾点
3种运输方式下的最短时间

次生 受灾点	出救点	运输 方式	时间/ 小时	次生 受灾点	出救点	运输 方式	时间/ 小时
F ₁	I ₁	公路	0.80	F ₂	I ₁	公路	1.20
		铁路	0.75			铁路	0.80
		航空	0.30			航空	0.30
	I ₂	公路	0.70		I ₂	公路	2.20
		铁路	1.10			铁路	2.15
		航空	0.40			航空	0.60
	I ₃	公路	0.30		I ₃	公路	1.80
		铁路	0.50			铁路	1.40
		航空	0.20			航空	0.40
	I ₄	公路	3.50		I ₄	公路	4.50
		铁路	3.75			铁路	4.70
		航空	1.10			航空	1.40
F ₃	I ₁	公路	2.90	F ₃	I ₃	公路	1.70
		铁路	2.20			铁路	1.50
		航空	0.80			航空	0.40
	I ₂	公路	0.90		I ₄	公路	2.50
		铁路	0.60			铁路	2.20
		航空	0.20			航空	0.70

表7 第二周期初应急出救点新募集的资源供给量

指标	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄
救灾人员/千人	0.5	0.5	1.8	2.0
饮用水/千件	4.0	6.0	7.0	12.0
帐篷/千顶	2.0	4.0	8.0	12.0
钢筋切断器/千箱	0.8	0.9	0.6	0.1
防护服/千套	0.2	0.5	0.3	0.5
救生衣/千箱	0.5	1.0	1.1	0.9

表8 第二周期初原生受灾点应急资源的新生需求量

原生受灾点	救灾人员/ 千人	饮用水/ 千件	帐篷/千顶	钢筋切断器/ 千箱
J ₁ (地震)	0.7	8	7	0.4
J ₂ (地震)	1.0	10	8	0.5
J ₃ (地震)	0.6	3	3	0.2
J ₄ (地震)	0.2	2	1	0.1

表9 第二周期初次受灾点应急资源的新生需求量

次生受灾点	救灾人员/千人	饮用水/千件	帐篷/千顶	防护服/千套	救生衣/千箱
$F_1(J_2)$	0.7	2	2	0	0.6
$F_2(J_3)$	0.5	3	3	0	0.4
F_3	0.3	8	2	0.5	0

第二步:应急出救点到受灾点的时间排序矩阵如下

$$M_{(kV) \times (J+F)}(t) = \begin{pmatrix} (I_3^3, 0.43) & (I_2^3, 0.12) & (I_4^3, 0.3) & (I_3^3, 0.15) & (I_3^3, 0.2) & (I_1^3, 0.3) & (I_2^3, 0.2) \\ (I_1^3, 0.5) & (I_3^3, 0.26) & (I_2^3, 0.68) & (I_2^3, 0.23) & (I_1^3, 0.25) & (I_3^3, 0.4) & (I_3^3, 0.4) \\ (I_2^3, 0.55) & (I_1^3, 0.55) & (I_3^3, 0.9) & (I_1^3, 0.4) & (I_3^1, 0.3) & (I_2^3, 0.6) & (I_2^2, 0.6) \\ (I_4^3, 1.2) & (I_2^1, 0.65) & (I_3^1, 1.2) & (I_2^3, 0.5) & (I_2^3, 0.4) & (I_2^1, 0.8) & (I_4^3, 0.7) \\ (I_1^1, 2.2) & (I_4^3, 0.8) & (I_4^1, 1.5) & (I_3^1, 0.85) & (I_3^2, 0.5) & (I_1^1, 1.2) & (I_1^3, 0.8) \\ (I_3^1, 2.8) & (I_3^1, 1.3) & (I_2^1, 3.5) & (I_2^1, 0.88) & (I_2^1, 0.7) & (I_3^2, 1.4) & (I_2^1, 0.9) \\ (I_2^1, 3.1) & (I_4^1, 2.4) & (I_3^1, 4.2) & (I_2^2, 1) & (I_1^2, 0.75) & (I_4^3, 1.45) & (I_3^2, 1.5) \\ (I_4^1, 5.6) & (I_1^1, 3.2) & (I_1^1, 5.3) & (I_4^3, 1.1) & (I_1^1, 0.8) & (I_3^1, 1.8) & (I_3^1, 1.7) \\ — & — & — & (I_1^2, 1.2) & (I_2^2, 1) & (I_2^2, 2.15) & (I_1^2, 2.2) \\ — & — & — & (I_1^1, 1.5) & (I_4^3, 1.1) & (I_2^1, 2.2) & (I_4^2, 2.25) \\ — & — & — & (I_4^2, 3.5) & (I_4^1, 3.5) & (I_4^1, 4.5) & (I_4^1, 2.5) \\ — & — & — & (I_4^1, 5) & (I_4^2, 3.75) & (I_4^2, 4.7) & (I_1^1, 2.9) \end{pmatrix} \quad t=1 \text{ 或 } 2$$

第三步:第一周期中,对资源集 R_3 依据算法可得到救灾人员、饮用水和帐篷的调度方案。但鉴于篇幅仅列出救灾人员调度方案(表10)和资源集 R_1 或 R_2 调度结果(表11)。第二周期中,对资源集同样可得其救灾人员、饮用水和帐篷的调度方案。但鉴于篇幅仅列出救灾人员调度方案(表12)。对资源集 R_1 或 R_2 ,其调度结果如表13所示。

表10 第一周期资源集 R_3 中的救灾人员调度过程和调度方案

受灾点	分配顺序	急迫度	资源需求量	受灾点在时间排序矩阵 $M_{(kV) \times (J+F)}(1)$ 中的出救点排序	时间应急限制期限内的出救点按成本排序	资源调度方案
J_1	1	0.9	1.5	$I_3^3, I_1^3, I_2^3, I_4^3, I_1^1, I_3^1, I_2^1, I_4^1$	$I_1^1, I_2^3, I_3^1, I_2^3, I_4^3$	I_1 (公路,0.8), I_1 (航空,0.7)
J_2	2	0.8	1.2	$I_2^3, I_3^3, I_1^1, I_2^1, I_4^3, I_3^1, I_4^1, I_1^1$	$I_2^1, I_2^3, I_3^1, I_1^1, I_3^3, I_1^3, I_4^3$	I_2 (公路,0.3), I_3 (公路,0.9)
J_3	3	0.7	0.8	$I_4^3, I_2^3, I_3^3, I_1^1, I_4^1, I_2^1, I_3^1, I_1^1$	$I_4^1, I_4^3, I_2^3, I_3^3, I_1^1$	I_3 (航空,0.8)
J_4	4	0.6	0.5	$I_3^3, I_2^3, I_1^3, I_2^1, I_3^1, I_2^2, I_4^3, I_1^2, I_1^1, I_4^2, I_4^1$	$I_3^1, I_3^2, I_2^1, I_3^1, I_1^2, I_1^2, I_2^3, I_1^3, I_4^3$	I_3 (铁路,0.3), I_4 (航空,0.2)
F_1	7	0.3	1.1	$I_3^3, I_1^3, I_3^1, I_2^3, I_2^1, I_2^2, I_1^1, I_1^2, I_2^3, I_4^3, I_4^1, I_4^2$	$I_3^1, I_3^2, I_1^1, I_1^1, I_3^3, I_2^2, I_1^3, I_2^3, I_4^3$	I_4 (铁路,0.4)
F_2	6	0.4	1.6	$I_1^3, I_3^3, I_2^3, I_1^2, I_1^1, I_3^3, I_4^3, I_3^1, I_2^2, I_2^1, I_4^1, I_4^2$	$I_1^1, I_1^2, I_3^1, I_3^2, I_2^2, I_1^3, I_2^1, I_3^3, I_2^3, I_4^3$	I_4 (航空,1.6)
F_3	5	0.5	0.8	$I_2^3, I_3^3, I_2^2, I_1^3, I_2^1, I_2^2, I_3^1, I_1^2, I_1^1$	$I_2^1, I_2^2, I_2^3, I_3^1, I_3^2, I_3^3, I_1^3$	I_4 (航空,0.8)

注:受灾点在时间排序矩阵 $M_{(kV) \times (J+F)}(1)$ 中的出救点排序中, I_3^3 指采用航空运输的出救点 I_3 , I_2^1 指采用公路运输的出救点 I_2 , 以此类推。而资源调度方案 I_1 (公路,2)指从出救点 I_1 ,用公路配送相应资源数量是2千箱,其他以此类推。

表 11 在第一周期应急资源集 R_1 和 R_2 调度过程和资源调度方案

受灾点	分配顺序	急迫度	资源需求量			受灾点在时间排序矩阵 $M_{(kV) \times (J+F)}(1)$ 中的出救点排序	时间应急限制期限内的出救点按成本排序	资源调度方案
			4	5	6			
J_1	4	0.6	2.5	0	0	$I_3^3, I_1^3, I_2^3, I_4^3, I_1^1, I_3^1, I_2^1, I_4^1$	$I_1^1, I_2^3, I_3^1, I_1^3, I_2^3, I_4^3$	I_1 (公路, 2.0), I_3 (公路, 0.4), I_2 (航空, 0.1)
J_2	3	0.7	1.8	0	0	$I_2^3, I_3^3, I_1^3, I_2^1, I_4^3, I_3^1, I_4^1, I_1^1$	$I_2^1, I_2^3, I_3^1, I_1^1, I_3^3, I_1^3, I_4^3$	I_2 (公路, 1.5), I_4 (公路, 0.3)
J_3	1	0.9	0.9	0	0	$I_4^3, I_2^3, I_3^3, I_1^3, I_4^1, I_2^1, I_3^1, I_1^1$	$I_4^1, I_4^3, I_2^3, I_3^3, I_1^3$	I_4 (公路, 0.9)
J_4	2	0.8	0.6	0	0	$I_3^3, I_2^3, I_1^3, I_2^1, I_3^1, I_2^2, I_4^3, I_2^2, I_1^1, I_4^2, I_4^1$	$I_3^1, I_2^3, I_2^1, I_3^3, I_1^1, I_2^2, I_1^2, I_2^3, I_1^3, I_4^3$	I_3 (公路, 0.6)
F_1	6	0.5	0	0	1.8	$I_3^3, I_1^3, I_3^1, I_2^3, I_2^1, I_1^1, I_1^2, I_2^3, I_4^1, I_4^2$	$I_3^1, I_3^2, I_1^2, I_2^1, I_1^1, I_3^3, I_2^1, I_2^3, I_4^3$	I_4 (航空, 1.2)
F_2	5	0.4	0	0	2.6	$I_1^3, I_3^3, I_2^3, I_1^2, I_1^1, I_3^2, I_4^3, I_3^1, I_2^2, I_2^1, I_4^3, I_4^2$	$I_1^1, I_1^2, I_3^1, I_3^2, I_2^2, I_1^1, I_2^1, I_2^3, I_2^3, I_4^3$	I_1 (公路, 0.5), I_3 (公路, 1.0), I_2 (铁路, 0.8), I_4 (航空, 0.3)
F_3	7	0.3	0	1.5	0	$I_2^3, I_3^3, I_2^2, I_3^1, I_2^1, I_3^2, I_3^1, I_1^2, I_1^1$	$I_2^1, I_2^2, I_2^3, I_3^1, I_3^2, I_3^3, I_1^3$	I_2 (公路, 0.7), I_3 (铁路, 0.5), I_1 (航空, 0.2)

表 12 第二周期应急资源集 R_3 中救灾人员调度过程和调度方案

受灾点	分配顺序	急迫度	资源需求量	受灾点在时间排序矩阵 $M_{(kV) \times (J+F)}(2)$ 中的出救点排序			时间应急限制期限内的出救点按成本排序	资源调度方案
				4	5	6		
J_1	2	0.9	0.7	$I_3^3, I_1^3, I_2^3, I_4^3, I_1^1, I_3^1, I_2^1, I_4^1$	$I_1^1, I_2^3, I_3^1, I_1^3, I_4^3$	I_1 (公路, 0.5), I_2 (航空, 1.1)		
J_2	1	0.8	1	$I_2^3, I_3^3, I_1^3, I_2^1, I_4^3, I_3^1, I_4^1, I_1^1$	$I_2^1, I_2^3, I_3^1, I_1^1, I_3^3, I_1^3, I_4^3$	I_2 (公路, 0.5), I_3 (公路, 0.5)		
J_3	3	0.7	0.6	$I_4^3, I_2^3, I_3^3, I_1^3, I_4^1, I_2^1, I_3^1, I_1^1$	$I_4^1, I_4^3, I_2^3, I_3^3, I_1^3$	I_4 (公路, 0.6)		
J_4	4	0.6	0.2	$I_3^3, I_2^3, I_1^3, I_2^1, I_3^1, I_2^2, I_4^3, I_2^2, I_1^1, I_4^2, I_4^1$	$I_3^1, I_2^3, I_2^1, I_3^3, I_1^1, I_2^2, I_1^2, I_2^3, I_1^3, I_4^3$	I_3 (铁路, 0.2)		
F_1	6	0.3	1.5	$I_3^3, I_1^3, I_3^1, I_2^3, I_2^1, I_2^2, I_1^1, I_2^2, I_4^3, I_4^1, I_4^2$	$I_3^1, I_3^2, I_1^2, I_1^1, I_3^3, I_2^1, I_2^3, I_4^3$	I_3 (铁路, 1), I_4 (航空, 0.5)		
F_2	7	0.4	0.5	$I_1^3, I_3^3, I_2^3, I_1^1, I_1^2, I_3^3, I_4^3, I_3^1, I_2^2, I_1^1, I_4^2$	$I_1^1, I_1^2, I_3^1, I_3^2, I_2^2, I_1^1, I_2^1, I_3^3, I_2^3, I_4^3$	I_4 (航空, 0.5)		
F_3	5	0.5	0.3	$I_2^3, I_3^3, I_2^2, I_3^1, I_2^1, I_3^2, I_3^1, I_1^2, I_1^1$	$I_2^1, I_2^2, I_2^3, I_3^1, I_3^2, I_3^3, I_1^3$	I_3 (公路, 0.3)		

表 13 在第二周期应急资源集 R_1 和 R_2 调度过程和资源调度方案

受灾点	分配顺序	急迫度	资源需求量			受灾点在时间排序矩阵 $M_{(kV) \times (J+F)}(2)$ 中的出救点排序	时间应急限制期限内的出救点按成本排序	资源调度方案
			4	5	6			
J_1	2	0.8	0.4	0	0	$I_3^3, I_1^3, I_2^3, I_4^3, I_1^1, I_3^1, I_2^1, I_4^1$	$I_1^1, I_2^3, I_3^1, I_1^3, I_2^3, I_4^3$	I_1 (公路, 0.4)
J_2	1	0.9	0.5	0	0	$I_2^3, I_3^3, I_1^3, I_2^1, I_4^3, I_3^1, I_4^1, I_1^1$	$I_2^1, I_2^3, I_3^1, I_1^1, I_3^3, I_1^3, I_4^3$	I_3 (公路, 0.5)
J_3	3	0.7	0.2	0	0	$I_4^3, I_2^3, I_3^3, I_1^3, I_4^1, I_2^1, I_3^1, I_1^1$	$I_4^1, I_4^3, I_2^3, I_3^3, I_1^3$	I_4 (公路, 0.2)
J_4	4	0.6	0.1	0	0	$I_3^3, I_2^3, I_1^3, I_2^1, I_3^1, I_2^2, I_4^3, I_2^2, I_1^1, I_4^2, I_4^1$	$I_3^1, I_2^3, I_2^1, I_3^3, I_1^1, I_2^2, I_1^2, I_2^3, I_1^3, I_4^3$	I_3 (公路, 0.1)
F_1	5	0.5	0	0	1.2	$I_3^3, I_1^3, I_3^1, I_2^3, I_2^1, I_2^2, I_1^1, I_2^2, I_4^3, I_4^1, I_4^2$	$I_3^1, I_3^2, I_1^2, I_1^1, I_3^3, I_2^1, I_2^3, I_1^3, I_4^3$	I_3 (公路, 0.1), I_2 (公路, 0.1)
F_2	6	0.4	0	0	0.4	$I_1^3, I_3^3, I_2^3, I_1^2, I_1^1, I_3^2, I_4^3, I_3^1, I_2^2, I_1^1, I_4^2, I_4^1$	$I_1^1, I_1^2, I_3^1, I_3^2, I_2^2, I_3^1, I_2^1, I_3^3, I_2^3, I_4^3$	I_1 (公路, 0.4)
F_3	7	0.3	0	0.6	0	$I_2^3, I_3^3, I_2^2, I_3^1, I_2^1, I_3^2, I_3^1, I_1^2, I_1^1$	$I_2^1, I_2^2, I_2^3, I_3^1, I_3^2, I_3^3, I_1^3$	I_2 (公路, 0.5), I_3 (铁路, 0.1)

六、结论

在有限时间、空间和资源约束下,基于公平有效原则,及时、合理地调配各类应急资源到相应受灾区域是灾后救援工作的关键环节。本文基于灾害链和受灾人员损失视角,对复杂应急资源分配网络的动态调配决策问题进行了研究。本文构建的多资源、多运输方式、多周期的复杂应急资源分配网络动态优化调配决策模型,一方面确定了应急时间最短、运输费用最小和受灾点人员损失作为目标函数;另一方面选择了应急资源供给和需求等方面作为约束条件。本文基于资源需求急迫度和应急限制期,设计的多周期、多资源分类调度启发式算法有效解决了模型求解问题。以中国汶川地震为背景的实证研究表明,基于灾害链和受灾人员损失的复杂应急资源分配网络优化调配模型及其算法是可行而有效的。科学合理地实现各类应急资源高效调配,为提高应急资源管理效率和提升应急管理能力奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] 孙敏,潘郁. 多资源复杂网络的应急调度研究[J]. 运筹与管理,2009,18(12):165-169.
- [2] 郑昊,高岩. 多资源消耗应急系统调度模型及算法[J]. 上海理工大学学报,2013,35(5):415-419.
- [3] 朱雷,黎建强,汪明. 不确定条件下应急管理人力供应链多功能资源配置鲁棒优化问题[J]. 系统工程理论与实践,2015,35(3):736-742.
- [4] 刘艺,邓青,李从东,等. 任务驱动的应急资源集成方式与组织过程建模[J]. 系统工程理论与实践,2015,35(10):2613-2620.
- [5] 柴瑞瑞,孙康,陈静锋,等. 连续恐怖袭击下反恐设施选址与资源调度优化模型及其应用[J]. 系统工程理论与实践,2016,36(2):464-472.
- [6] 田军,马文正,汪应洛,等. 应急物资配送动态调度的粒子群算法[J]. 系统工程理论与实践,2011,31(5):898-906.
- [7] LIBERATORE F,ORTUNO M T,TIRADO G,et al. A hierarchical compromise model for the joint optimization of recovery operations and distribution of emergency goods in humanitarian logistics[J]. Computers & Operations Research,2014,42:3-13.
- [8] ALTAY N. Capability-based resource allocation for effective disaster response[J]. IMA Journal of Management Mathematics,2013,24:253-266.
- [9] 杨继君,余廉. 面向多灾点需求的应急资源调度博弈模型及优化[J]. 中国管理科学,2016,24(8):154-163.
- [10] 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.
- [11] 刘长石,彭怡,寇纲. 震后应急物资配送的模糊定位——路径问题研究[J]. 中国管理科学,2016,24(5):111-118.
- [12] 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.
- [13] 王治莹,岳朝龙. 舆情传播中考虑公众风险感知的多资源流应急优化调度[J]. 中国管理科学,2016,24(6):115-123.
- [14] 韩传峰,陈建业,孙庆荣,等. 黄河中下游灾害系统的脆性源控制[J]. 系统工程理论与实践[J]. 2006(6):135-140.
- [15] 季学伟,翁文国,赵前胜. 突发事件链的定量风险分析方法[J]. 清华大学学报(自然科学版),2009,49(11):1749-1752,1756.
- [16] 李巍,陈建国,陈涛,等. 突发事件的事件链概率模型[J]. 清华大学学报(自然科学版),2010,50(8):1173-1177.
- [17] 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]. 系统工程理论实践,2011,31(3):488-495.
- [18] 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.

Disaster Chain, Loss of Victims in the Disaster and Multi-period Allocation of Complex Emergency Resources Networks

GE Min¹, CHEN Xiaoping², WU Fengping³

(1. School of Business Administration, Hohai University, Changzhou Jiangsu 213022, China; 2. School of Computer Engineering, Jiangsu University of Technology, Changzhou Jiangsu 213013, China; 3. School of Business, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: According to scenarios of disaster chains in large-scale emergency events, based on the different supply and demand of emergency resource, including quantity, type and demand time in different rescue period, three objective functions with priority (the shortest response time, minimal loss of victims in the disaster and minimal transportation costs) and the constraints based on the emergency resource demand and supply are set up. Then a dynamic optimal decision model for emergency resource dispatching with multi-resources, multi-modal transportation and multi-cycle is proposed. Considering the degree of urgent emergency resources requirements and the given deadline, an heuristic algorithm of multi-resources and multi-cycle scheduling is proposed to solve the model. The case study of earthquake in Wenchuan shows that under the situation of disaster chains, during the optimal multi-cycle dispatching decision making for emergency resources, the loss of victims in the disaster, the deadline of emergency and the degree of urgent emergency resources requirements are the most important factors.

Key words: disaster chain; loss of victims in the disaster; complex emergency resource allocation networks; multi-period allocation

[责任编辑:孟青]