

重大灾害后应急物资调配模糊优化研究

王绪柱, 籍文君

(太原理工大学, 太原 030024)

摘要:在总结国内外学者研究的基础上,分析了灾后应急物资调配的特点及和普通物资调配的区别,建立以运输时间最短为主要目标,以运输成本最小为第二目标,需求量、运输量以及运输能力为约束条件的多目标模糊线性规划模型,并利用模糊数排序指标模型简化并求解。最后以汶川地震中3个受灾乡镇应急物资调配为例进行实证分析,对灾后应急物资调配策略及模型进行了验证,并对调配效果进行了分析。

关键词:应急物资调配;多目标模糊线性规划模型;模糊优化方法

中图分类号:F252.5 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2012)01-0068-05

随着经济的发展,技术的提高,对自然灾害的预报已经发展到一定的水平,但局部性的甚至是全球性的重大灾害还是频繁的发生,直接造成国家的重大的损失。灾害发生后是否能及时、有序、高效的开展应急物资调配工作,对于降低损失起着至关重要的作用。“汶川”和“玉树”地震后,整个国家应急措施的迅速启动,标志着我国在建立健全现代突发事件应急管理体制和应急机制方面正日渐成熟,但从整个灾害后应急物资调配的实际情况看,仍存在很多不足。从1984年Kemball-Cook和Stephenson首先提出通过对物流进行管理来提高救援物资运输时的效率以来,重大灾害后应急物资的调配问题成为国内外学者研究的重点,Ray、Fiedich等国外学者从不同角度研究了应急物资运输和分发问题。同时SuleymanTufekci和wizliamA. wallaCe^[1]作为权威的应急管理专家指出应急管理根本上是一个复杂的多目标优化问题。而国内的刘春林、卢安文、王杏等人通过建立不同应急救援物资调配模型对该问题进行了更加深入的研究。邹志云等人主要针对应急物流的路径的优化进行了研究。计雷等提出了应急管理中的救援物资运输问题是最小化运输费用与运输时间的多目标组合优化问题^[2]。由这些学者的研究可以看出灾后应急物资调配研究主要集中在应急物资的合理分配和应急资源运输路径的优化上。应急物资合理分配方面主要以运输时间最小、运输成本最少为目标,以资源

需求数量和供应数量为约束条件,建立了多目标或单目标线性规划模型^[3-6],并利用可能性理论和隶属度理论进行求解^[7-8];但是在现实生活中,重大灾害发生后,应急物资需求的不确定性非常明显,决策者很难确切了解救援物资需求数据。同时由于灾害的破坏性使得道路情况有所改变,直接导致物资到达需求点的时间也具有模糊性。根据这一现状,在原有模型的基础上建立并求解了以运输时间最短为主辅助以运输成本最小的多目标,需求量、运输量以及限制运输能力为约束条件的多目标模糊线性规划模型,并以实例进行论证分析。

1 应急物资调配

1.1 应急物资调配特点

应急物资调配是指把灾区某几个临时供应点的救灾物资,以最短的时间和最小的损失安全高效的分配到各个物资需求点。通常重大灾害发生时,由于对运输路线和信息通道的破坏,导致运输网络和信息网络具有高度的不确定性,直接导致应急物资的调配具有明显的随机性,同时应急物资调配具有如下几个特点^[9-10]:

1)信息和数据的模糊性。重大灾害发生时往往涉及面广、突发性强、破坏力大,这使事件的影响范围、持续时间以及强度大小等因素变得难以预见,也使应急物资调配工作变得难以事先确定,一些数据和信息不能准确的取得。

收稿日期:2011-10-13

作者简介:王绪柱(1963—),男,安徽人,太原理工大学数学学院,教授,硕士生导师,研究方向:模糊数学,管理科学与工程;籍文君(1987—),女,山西晋中人,太原理工大学硕士研究生,研究方向:工业工程与管理工程、企业经营管理。

2)时效性。由于重大灾害而引发的应急物资调配,最突出的特征就是时效性。紧急救援阶段,时间就是生命。

3)需求的多元性。重大灾害发生时,短时间内对某些特殊物资形成了大量的需求,这些物资主要包括医疗设备、救灾专用设备、通讯设备以及日用生活必需品。

4)弱经济性。应急物资调配最突出的特点就是“急”,这使得应急物资调配成本急剧增加,特别是在重大险情或事故处理过程中,经济效益将不再作为物流活动的中心目标来进行考虑,应急物资调配将呈现明显的弱经济性,在某些情况下甚至会成为一种纯消费性行为。

1.2 应急物资调配与物资调配的区别

应急物资调配是一个非常态的物资调配过程,一般的物资调配具有物资数量、品种确定、配送网络完整、运输方案明确等特点。而灾后应急物流则完全不同,应急管理的主体必须在很短时间内及时展开工作,来满足由于重大灾害带来的急迫和大量物资的需求。

2 模型的建立与求解

灾后应急物资调配问题约束条件是每种物资的调配都有可能多个供应点与多个需求点,物资的供应量、需求量、道路限制量在重大灾害后都不可能明确的得到;由于道路的损害和灾后对物资的大规模迫切的需求,所以还要考虑道路的承载能力。基于以上分析,在运力足够且应急车辆进行一次运输的基础上提出了新的灾后物资调配模糊模型,该模型在时间最短的前提下,把调配成本最少作为优化目标,同时还根据灾后交通的特殊情况把道路的运输能力作为一个约束条件,并采用模糊优化的方法对模型进行求解。

模型建立。设定所有应急物资供应点的集合为 $M = \{i \mid i \leq m\}$, $i \in M$ 是其中一个应急物资供应点, x_{ij} 代表从 i 供应点到 j 应急点的应急物资调配数量, $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$; $\bar{a}_i$ 代表第 i 个供应点可以供应的最大的物资量, $i = 1, 2, \dots, m$; $\bar{b}_j$ 代表第 j 个应急点的物资需求量, $j = 1, 2, \dots, n$; $\bar{c}_{ij}$ 代表从第 i 供应点到 j 应急点的运输成本, $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$; $\bar{t}_{ij}$ 代表从 i 供应点到 j 应急点的时间, $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$; $\bar{d}_{ij}$ 代表从 i 供应点到 j 应急点最大运输量。($\bar{a}_i, \bar{b}_j, \bar{c}_{ij}, \bar{t}_{ij}, \bar{d}_{ij}$ 都为

三角模糊数) 设 $\text{sgn}(x_{ij}) = \begin{cases} 0, & x_{ij} = 0 \\ 1, & x_{ij} > 0 \end{cases}$

以调配任务完成的时间最短和运输成本最少的目标函数,以应急点和供应点的需求量、供应量和道路承载力为约束条件的模型建立下:

$$\text{目标函数 } \min \tilde{t} = \max_{j=1}^m ((\tilde{t}_{ij} * \text{sgn}(x_{ij}))) \quad (1)$$

$$\min \tilde{z} \approx \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij} x_{ij} \quad (2)$$

约束条件

$$s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq \bar{a}_i, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq \bar{b}_j, j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} \leq \bar{d}_{ij}, 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} \geq 0, 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (3)$$

3 算法描述

上述模型的目标函数和约束条件均是模糊数(用三角模糊数),在该模糊模型进行求解时必须对目标函数和约束条件分别进行预处理,然后再进行求解。

3.1 模糊数排序指标—Yager 指标

$$\text{Yager 指标}^{[11]}: F(\tilde{A}_i) = 1/2 \int_0^1 (a_{\alpha}^- + a_{\alpha}^+) d\alpha \quad (4)$$

其中 $[a_{\alpha}^-, a_{\alpha}^+]$ 为 A_i 的 α 截集。

规定模糊数间的序关系为:

$$\tilde{A}_i > \tilde{A}_j \Leftrightarrow F(\tilde{A}_i) > F(\tilde{A}_j)$$

$$\tilde{A}_i \sim \tilde{A}_j \Leftrightarrow F(\tilde{A}_i) = F(\tilde{A}_j)$$

利用该指标可以把三角模糊数简化为 $F(\tilde{A}_i) = \frac{1}{4}(a_{il} + 2a_{io} + a_{ir})$, 从而把对模糊数 $\tilde{A}_i$ 排序转化为实数 $F(\tilde{A}_i)$ 的排序。

3.2 模型处理

设 $\tilde{c}_{ij} = (\bar{c}_{ij}, c_{ij}, \bar{c}_{ij})$, $\tilde{a}_{ij} = (\bar{a}_{ij}, a_{ij}, \bar{a}_{ij})$, $\tilde{b}_{ij} = (\bar{b}_{ij}, b_{ij}, \bar{b}_{ij})$, $\tilde{t}_{ij} = (\bar{t}_{ij}, t_{ij}, \bar{t}_{ij})$, $\tilde{1} = (1, 1, 1)$ 。

根据三角模糊数的运算性质目标函数(2)约束条件(3)可以简化为:

$$\begin{aligned} & \max_{j=1}^n ((\bar{t}_{ij} * \text{sgn}(x_{ij})), t_{ij} * \text{sgn}(x_{ij})), \\ & \bar{t}_{ij} * \text{sgn}(x_{ij})) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\tilde{z} = (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij} x_{ij}, \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij} x_{ij}) \quad (6)$$

$$s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n \tilde{1}x_{ij} \leq \tilde{a}_i, i = 1, 2, \dots, m \\ \sum_{i=1}^m \tilde{1}x_{ij} \cong \tilde{b}_j, j = 1, 2, \dots, n \\ \tilde{1}x_{ij} \leq \tilde{d}_{ij}, 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \\ x_{ij} \geq 0, 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (7)$$

根据该式子可以看出目标函数和约束条件的结果都是三角模糊数。只有知道如何对三角模糊数进行排序才能求得最优目标函数。但是目前对模糊数排序是众说纷纭,不同领域不同学者对三角模糊数排序给出了不同的定义和指标,每种定义和指标都有其优越性和局限性。但是 Yager 的排序指标被众多学者广泛接受与应用,具有较好的性质。

所以运用(4)可以把式(5)、(6)和(7)的进行转化,转化后的模型如下:

$$\max_{j=1}^n \frac{1}{4}(\bar{t}_{ij} * \text{sgn}(x_{ij}) + 2t_{ij} * \text{sgn}(x_{ij}) + \bar{t}_{ij} * \text{sgn}(x_{ij})) = \frac{1}{4}\text{sgn}(x_{ij})(\bar{t}_{ij} + 2t_{ij} + \bar{t}_{ij})$$

$$F(\tilde{Z}) = \frac{1}{4}x_{ij}(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij} + 2\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \bar{c}_{ij}) \quad (8)$$

$$s. t. \begin{cases} F(\sum_{j=1}^n \tilde{1}x_{ij}) = \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq F(\tilde{a}_i) = \frac{1}{4}(\bar{a}_i + 2a_i + \bar{a}_i) \\ F(\sum_{j=1}^m \tilde{1}x_{ij}) = \sum_{j=1}^m x_{ij} \leq F(\tilde{b}_i) = \frac{1}{4}(\bar{b}_i + 2b_i + \bar{b}_i) \\ F(\tilde{1}x_{ij}) = x_{ij} \leq \frac{1}{4}(\bar{d}_{ij} + 2d_{ij} + \bar{d}_{ij}) \\ x_{ij} \geq 0 \end{cases}$$

3.3 应急物资调配求解步骤

通过以上处理把灾后应急物资调配新的多目标模糊规划模型转化为一般的多目标线性规划问题,由于各个目标之间有时候是矛盾的,所以很难找到唯一的最优解,通常情况只能找到一个折中解。

多目标规划的求解方法有很多,如 ϵ 约束法,加权法等。在此采用模糊优化法求解,步骤如下:

①去掉目标函数(4),根据应急物资调配特点,在只考虑时间最短完全不考虑调配成本的条件求出最优解 X^* 以及最短时间 $\tilde{T}^*$ 。

②用 ω_{ij} 作为 i 到 j 调运物资的标记, $\omega_{ij} = \begin{cases} 0, t_{ij} \text{ 超过最短时间限制} \\ 1, t_{ij} \text{ 小于或者等于最短时间} \end{cases}$ 。可以看出当超过最短时间限制是不考虑获得调运任务的分配。

③去掉目标函数(3)并把模型根据上节方法处

理,得到一个典型的运输问题模型,并用 matlab 编程求得最优解 X 。计算最少成本。并以供应点 i 与需求点 j 间运输时间 t_{ij} 的最大值作为该调运方案的最终完成时间 T 。

④修改每个 ω_{ij} 的值,当 $\omega_{ij} = \begin{cases} 0, \tilde{t}_{ij} \leq \tilde{T} \\ 1, \tilde{t}_{ij} < \tilde{T} \end{cases}$ 利

用 Yager 指标可以把式子等价为

$$\omega_{ij} = \begin{cases} 0, F(\tilde{t}_{ij}) \leq F(\tilde{T}) \\ 1, F(\tilde{t}_{ij}) < F(\tilde{T}) \end{cases}$$

⑤利用经典运输模型的算法从新求解模型,如果获得最优方案取有调运任务的应急供应点 i 与需求点 j 间的最大运输时间为该调运方案的最终完成时间,并记录到结果中,转到④,直到 $F(\tilde{T}) = F(\tilde{T}^*)$ 或者模型无解时,结束算法,得到 K 个方案。

⑥把步骤①和⑤中得到的 $K+1$ 个调运的方案根据决策者的个人偏好比较,从而选出折中方案。

4 算例分析

4.1 数据及数据处理

假设汶川地震发生后,需要从成都的 4 个供应点紧急调拨救灾物资分配给 7 个受灾乡镇,以饮用水为例,如表 1 所示:

表 1 各种救灾物资总量 $\tilde{a}_i$ 升

	饮用水
供应点 A	(999 950,100 000,100 150)
供应点 B	(150 000,155 000,155 050)
供应点 C	(7 500,10 000,10 010)
供应点 D	(34 950,35 000,36 000)

根据 Yager 指标处理可得出 $F(\tilde{a}_i)$, 如表 1'所示:

表 1' $F(\tilde{a}_i)$ 升

	$1.0e+005 * \text{饮用水}$
供应点 A	1.000 3
供应点 B	1.537 6
供应点 C	0.093 8
供应点 D	0.352 4

首先,在某一时刻进行数据取样,并根据相关数据估计地震发生后相应时间的应急物资需求量。灾后某段短时间内不同 3 个受灾地区的饮水需求量估计值如下表 2:

表 2 各地灾后对 12 小时内对饮水需求量的估算 $\tilde{b}_j$ 升

受灾乡镇	饮用水(升)/ $\tilde{b}_j$
凤仪镇(县城驻地)(需求点 1)	(73 706,73 806,74 000)
坝底乡(需求点 2)	(22 550,22 711,22 811)
漩坪乡(需求点 3)	(18 000,18 336,18 400)

根据 Yager 指标处理可得出 $F(\tilde{b}_i)$, 如表 2'所示:

表 2' $F(\tilde{b}_i)$ 升

受灾乡镇	饮用水(升)/ $\tilde{b}_j$ 1.0e+004*
凤仪镇(县城驻地)(需求点 1)	7.383 0
坝底乡(需求点 2)	2.269 6
漩坪乡(需求点 3)	1.826 8

应急物资供应点与需求点之间的运输时间,由于信息以及道路情况不明,所以是根据有限的数据以及以往地震的经验得出的模糊值,如下表 3。

表 3 供应点到应急需求点的运输时间 $\tilde{t}_{ij}$ 小时

	供应点 A	供应点 B	供应点 C	供应点 D
需求点 1	(2.5,2.75,2.8)	(3,3.10,3.5)	(11,11.6,13)	(10,10.1,10.5)
需求点 2	(11.5,12,12.2)	(4,4.5,5)	(11.5,11.7,12)	(11,11.2,11.5)
需求点 3	(8,8.1,8.5)	(5,5.5,6)	(10,10.3,10.5)	(6,6.2,6.5)

表 3' $F(\tilde{t}_{ij})$ 小时

	供应点 A	供应点 B	供应点 C	供应点 D
需求点 1	2.7	3.25	11.8	10.175
需求点 2	11.925	4.5	11.725	11.225
需求点 3	8.175	5.5	10.275	6.225

应急物资供应点与需求点之间的运输成本如表 4:

表 4 供应点到应急需求点的运输成本 $\tilde{c}_{ij}$ 元/百升

	供应点 A	供应点 B	供应点 C	供应点 D
需求点 1	(35,40,42)	(68,70,75)	(120,130,140)	(410,412,420)
需求点 2	(290,298,300)	(45,50,55)	(155,160,162)	(135,140,144)
需求点 3	(78,80,85)	(40,45,50)	(340,350,360)	(75,78,80)

表 4' $F(\tilde{c}_{ij})$ 元/百升

	供应点 A	供应点 B	供应点 C	供应点 D
需求点 1	39.25	70.75	130	413.5
需求点 2	296.5	50	159.25	139.75
需求点 3	80.75	45	350	77.75

供应点和需求点之间道路的承载能力表 5:

表 5 供应点到应急点道路限制量 $\tilde{d}_{ij}$ 百升

	供应点 A	供应点 B	供应点 C	供应点 D
需求点 1	(250,300,320)	(170,190,200)	(120,130,140)	(310,312,320)
需求点 2	(190,198,200)	(125,150,155)	(55,60,62)	(135,140,144)
需求点 3	(78,80,85)	(140,145,150)	(240,250,260)	(75,78,80)

表 5' $F(\tilde{d}_{ij})$ 百升

	供应点 A	供应点 B	供应点 C	供应点 D
需求点 1	292.5	187.5	130	313.5
需求点 2	196.5	145	59.25	139.75
需求点 3	80.75	145	250	77.75

4.2 上节所建模型求解算例

把上述表 1'—表 5'中的数据代入上节所建立的多目标模糊线性规划模型(8)中得到传统意义上的多目标线性规划模型。然后根据本文的求解思路和步骤:

1)去掉运输成本最低的目标只考虑运输时间最短,可以得出当 $X^*=(292.5\ 187.5\ 0\ 258.3\ 0\ 145\ 0\ 81.96\ 0\ 145\ 0\ 37.68)$ 时,运输事件最短为 $T^*=(11,11.2,11.5)$,即大约是 11.2 小时。 $F(\tilde{Z}(X^*))=1.5971e+005$; $F(T^*)=11.225$

2)去掉运输时间最短的目标函数只考虑运输成

本最低,根据传统的单目标线性规划求解模型,利用 matlab 得到最优解为:

$X_1 = (292.5000 \ 187.5000 \ 93.8000 \ 164.5000 \ 0.0000 \ 145.0000 \ 0.0000 \ 81.9600 \ 0.0000 \ 145.0000 \ 0.0000 \ 37.6800)$; $F(\tilde{Z}(X_1)) = 1.3312e + 005$; $F(T(X_1)) = 11.8$ 。

3)依次按步骤④和⑤得到的调运方案为 $X_2 = (292.5000 \ 187.5000 \ 0 \ 258.3000 \ 0 \ 145.0000 \ 0.0000 \ 81.9600 \ 25.5400 \ 145.0000 \ 0.0000 \ 12.1400)$; $F(\tilde{Z}(X_2)) = 1.5979e+005$; $F(T(X_2)) = 11.225$ 。

4)假设决策者对时间的重视程度为 $\alpha = 0.7$,成本重视程度为 0.3,比较各个方案如表 6:

表 6 各个方案对比表

方案	$F(\tilde{Z})$	$F(T)$	时间满意度 λ_1	成本满意度 λ_2	λ
X^*	159 710	11.225	1	0.800 2	0.940 06
X_1	133 120	11.8	0.948	1	0.963 6
X_2	159 790	11.225	1	0.799 7	0.939 91

$$\lambda_1 = \frac{(F(\tilde{T}(X_i)) - \min(F(\tilde{T}(X_i))))}{\min(F(\tilde{T}(X_i)))}; \lambda_2 = \frac{(F(\tilde{Z}(X_i)) - \min(F(\tilde{Z}(X_i))))}{\min(F(\tilde{Z}(X_i)))}; \lambda = \alpha \times \lambda_1 + (1 - \alpha) \times \lambda_2。$$

根据表 6 可以看出折中解为 X_1 , 方案二是同时考虑时间、成本以及决策者偏好的折中解。

5 结论

本文根据重大灾害的破坏性以及应急物资调配的特征建立了以时间最短和成本最少为目标,运输量,需求量以及道路限制为约束条件,且都为不确定的三角模糊数的多目标模糊线性规划模型。并利用模糊数排序和模糊优化法对模型进行优化求解。最后通过案例对灾后应急物资调配问题进行有效性和实用性的验证,并考虑决策者偏好的基础上为决策者提供了更合理的指导意见。结果表明,多目标模糊线性规划模型可以解决重大灾害后应急资源调配问题。这些内容的研究,与重大灾害发生时的环境更吻合,更能表现模型的现实意义,在实践中更具有参考和指导意义,故具有广泛的应用前景。然而,该模型只是以一种物资调配为前提建立的模型并进行的研究,接下来的研究需要在重大灾害的背景下考虑调配物资品种多元化的特点,建立更加完善的物资调配模型。

参考文献

[1] SULEYMAN T, WILLIAM A W. The emerging area of emergency management and Engineering[C]//IEEE Transactions on Engineering Management,1998.

[2] 计雷,池宏. 突发事件应急管理[M]. 北京:高等教育出版社, 2005:100—101.

[3] 罗霞,廖永. 多目标模糊运输问题的建模与求解[J]. 西华大学学报:自然科学版,2010,29(4):43—47.

[4] 周晓猛,姜丽珍,等. 突发事故下应急资源优化配置定量模型研究[J]. 安全与环境学报,2007,7(6):113—115.

[5] 王东妹. 救灾物资调配问题研究[D]. 北京:北京交通大学, 2010.

[6] 曾传华,杨伟,等. 应急物资调运模型研究[J]. 西华大学学报:自然科学版,2011(3)1—4.

[7] D DUBOIS, H PRADE. Ranking Fuzzy Numbers in the Setting of Possibility Theory [J]. Inform. Sc.i 1983, 30(3): 183—224.

[8] D DUBOIS, H PRADE. Systems of Linear Fuzzy Constraints [J]. Fuzzy Sets and Systems,1980, 3(1): 37—48.

[9] 刘北林,马婷. 应急救灾物资紧急调度问题研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:社会科学版,2007(3):3—5.

[10] 李亚兵,乔鹏亮,陶建标. 国内外应急物流管理研究综述 [J]. 煤炭经济研究,2008(10):44—47.

[11] YAGER R. A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval[J]. Information Sciences,1981,24:143—161.

Distribution of Emergency Material’s Fuzzy Optimization After Major Disasters

WANG Xu-Zhu, JI Wen-Jun

(Taiyuan University of Technology,Taiyuan 030024, China)

Abstract: The paper analyzed the characteristics of the distribution of emergency material and the difference between the emergency logistical and normal logistic on the basis of domestic and foreign scholars’ studies. It established a multi-objective fuzzy linear model which based on the main objective with the shortest transit time and the second objective with the minimize transportation costs and the constraints with the demands, traffic and transport capacity. It applied the fuzzy optimization method solve the model. Finally, Taking the three disaster towns in wenchuan earthquake as an example verified the model and the strategy in emergency supplies after the disaster, and analyzed the effects of deployment.

Key words: distribution of emergency material; multi-objective fuzzy linear model; fuzzy optimization method