

郎 坤, 张明媛, 袁永博. 基于可变集的地震灾害应急物资分配模型[J]. 灾害学, 2014, 29(1): 201–206. [Lang Kun, Zhang Mingyuan and Yuan Yongbo. Allocation Model of Emergency Supplies in Earthquake Disasters Based on Variable Sets[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(1): 201–206. ]

# 基于可变集的地震灾害应急物资分配模型<sup>\*</sup>

郎 坤, 张明媛, 袁永博

(大连理工大学 建设工程学部, 辽宁 大连 116024)

**摘 要:** 为了减少地震灾害带来的巨大人员伤亡和财产损失, 及时挽救生命、减轻灾害影响, 应用可变集理论建立地震灾害应急物资分配模型。对影响地震应急物资分配的关键因素进行识别与分析, 建立指标相对隶属度矩阵, 利用模糊标度法确定指标权向量, 应用可变集理论对灾区急需物资的紧迫程度进行优先级排序, 进而确定物资分配方案, 确定应急物资分配数量, 从而弥补了以往模型决策效率低、决策过程复杂、决策结果客观性及准确性差等缺点, 减少了因主观或片面的信息统计而产生的不必要的资源浪费。通过对汶川地震实例的分析, 验证了该模型的实用性。

**关键词:** 地震灾害; 应急物资分配; 可变集; 模糊优选; 决策

**中图分类号:** C94; X43      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000–811X(2014)01–0201–06

**doi:** 10.3969/j.issn.1000–811X.2014.01.036

地震等频发的自然灾害给社会造成了巨大的生命财产损失。灾害影响一般具有复杂性、模糊性和不确定性等特点, 各受灾地区的灾情及自然状况不同, 对于物资的急需程度和需求量不同, 而物资的数量非常有限, 因此, 灾后及时地实现应急物资的合理配置, 对于挽救灾区人民生命、减轻灾害影响具有重大意义。

目前, 国内外对于应急物资配置的研究大多集中于出救点选择<sup>[1–3]</sup>、应急车辆路径<sup>[4–5]</sup>、车辆调度<sup>[6–7]</sup>、应急物资储备管理<sup>[8–9]</sup>、应急物资风险管理<sup>[10]</sup>、救灾物资与受灾地区之间的最短路径<sup>[11–12]</sup>等问题<sup>[13–14]</sup>, 对于资源分配量的定量研究不多, 通常采用的方法是根据相关部门的现场统计和评估, 结合灾区损失程度及已有可参照的历史数据来确定资源需求数量<sup>[15]</sup>。董莉<sup>[16]</sup>构建了一个多目标非线性整数规划模型来求解应急物资分配问题。谭秋月等<sup>[17]</sup>利用群组聚类的思想制定出了救灾物资的分配方案、相应的分配原则和物资分配策略。周晓猛等<sup>[18]</sup>提出基于动态规划理论的应急资源优化配置模型。对于应急资源分配的量化研究不够深入, 大多停留在定性的层面, 导致决策效率低下、求解过程复杂、求解结果不够准确客观、模型局限性较大等问题, 再加上灾害现场调查数据收集的非标准化及传递效率低等问题<sup>[19]</sup>, 使得当

决策者无法掌握灾区实时详细情况及反馈信息时, 决策的制定举步维艰。

基于现有研究的不足, 本文对影响灾区需求的关键因素进行探讨分析, 建立灾区物资需求属性指标相对隶属度矩阵, 利用模糊标度法确定指标权向量, 应用可变集理论对灾区急需物资的紧迫程度进行优先级排序, 进而确定物资分配方案, 弥补了以往模型决策效率低、决策过程复杂、决策结果客观性准确性差等缺点, 并以汶川地震为例进行了实证分析。

## 1 可变集

我国学者陈守煜在可变模糊集理论<sup>[20]</sup>的基础上提出可变模糊清晰集, 简称可变集<sup>[21]</sup>, 将其发展为客观世界的普适系统, 不仅适用于描述清晰现象、事件、概念, 模糊现象、事物、概念, 而且适用于描述其非此即彼的清晰属性与其亦此亦彼的模糊属性两者间的动态变化统一过程, 是对康托普通集合论与扎德模糊集合论的发展和突破。

决策方案的优选问题存在着模糊性和相对性。决策方案的“优与劣”是一对对立的观念, 但是具

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013–06–26      修回日期: 2013–08–18  
基金项目: 国家自然科学基金(51208081); 国际科学理事会灾害风险综合研究计划项目(IRDR2012)  
作者简介: 郎坤(1988–), 女, 陕西汉中人, 博士研究生, 主要从事工程项目管理、管理科学与工程等研究。  
E-mail: kly.lang@gmail.com

有中介过渡性，即模糊性；判断方案的“优与劣”还需要根据规定的标准，即相对性<sup>[20]</sup>。

对于一个有  $m$  个目标特征值,  $n$  个决策的评价系统,其目标特征值矩阵为:

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij})_{m \times n} \quad (1)$$

式中:  $x_{ij}$  为决策  $j$  目标  $i$  的特征值;  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

通过对矩阵  $\mathbf{X}$  规格化消除  $m$  个目标特征值量纲不同的影响。分别对越大越优、越小越优型目标特征值采用不同的规格化公式(2),将矩阵  $\mathbf{X}$  转化为目标相对优属度矩阵  $\mathbf{R}$ ,如式(3)所示:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{i \min}}{x_{i \max} - x_{i \min}}, r_{ij} = \frac{x_{i \max} - x_{ij}}{x_{i \max} - x_{i \min}}; \quad (2)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{m \times n} \quad (3)$$

式中:  $r_{ij}$  为决策  $j$  目标  $i$  对优的相对隶属度,简称目标相对优属度。决策  $j$  的目标相对优属度向量  $\mathbf{r}_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})^T$ 。

$m$  个目标具有不同的权重,设权向量为  $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ ,满足  $\sum_{i=1}^m w_i = 1$ 。

根据相对隶属度的定义,“劣”与“优”分别处于参考连续统的两个极点,则劣、优决策的目标相对劣属度与优属度向量分别为  $\mathbf{b} = (0, 0, \dots, 0)^T, \mathbf{g} = (1, 1, \dots, 1)^T$ 。于是,得到可变模糊优选模型:

$$u_j = \frac{1}{1 + \left(\frac{d_{jg}}{d_{jb}}\right)^{\alpha}} \quad (4)$$

式中:

$$d_{jg} = \left\{ \sum_{i=1}^m [w_i(1 - r_{ij})]^p \right\}^{\frac{1}{p}}, d_{jb} = \left[ \sum_{i=1}^m (w_i r_{ij})^p \right]^{\frac{1}{p}}, \alpha = 1, 2, p = 1, 2. \quad (5)$$

## 2 地震灾害应急物资分配模型的建立

### 2.1 基本假设

地震灾害爆发后,由于应急物资需求量的统计数据难以实时获取,为了及时地实现救援物资的合理配置,假设灾后首批应急物资分配方案模型满足以下条件:

(1) 灾后救援以人为本,在紧急情况下,不考虑营救成本、出救点的选择、运输线路及车辆调度等问题,只计算应急物资配置的数量方案。

(2) 在救灾的第一时间,由于缺乏实时统计数据,对救援物资进行分配时,认为各地区对各物资的储备量相同,并且同一地区对不同物资的需求比例相同。

### 2.2 影响灾应对应急物资需求的关键因素的识别

对灾区的物资需求进行分析是进行应急物资合理配置的第一步,首当其冲需要考虑的是对影响物资需求的关键因素进行识别。胡伟华等<sup>[22]</sup>认为,地震震级、人员伤亡、建(构)筑物破坏程度、地震地质灾害、经济损失等因素是影响灾区受灾程度的重要因素。夏萍<sup>[23]</sup>认为,受灾范围、受灾程度、灾害强度等是影响应急物资分配的重要灾情因素。李磊<sup>[24]</sup>、郭金芬等<sup>[25]</sup>提出,灾区震级、城市结构复杂程度、建筑密集程度、人口密度、经济状况、地理环境等会影响救灾物资需求量。经过资料收集与整理,本文从自然情况和社会情况两方面分别对影响物资需求的关键因素进行识别,建立灾区物资需求属性指标体系,如表1所示。

表 1 灾区物资需求属性指标体系	
一级指标	二级指标
自然情况(A)	受灾人口,受灾强度,受灾面积
社会情况(B)	人口密度,交通运输情况(公路旅客周转量;公路货物周转量),经济竞争力

其中,自然情况是指,地震灾害造成的直接影响——受灾人口的数量是影响地震灾害应急物资分配的关键因素,是用来确定物资需求数量的客观标准;灾情的严重程度是影响应急物资分配的又一关键因素,而其通常与受灾的强度有直接的关系,故受灾强度是衡量灾区物资需求量的重要标准,文献<sup>[23]</sup>中用震级这一指标来衡量受灾强度,但震级有其自身的定义,这里使用不合适,所以,本文中变为“平均地震强度”;同时,受灾面积的大小也是影响应急物资分配的重要因素。社会情况是指影响灾区应急物资分配的社会因素,如人口密度、交通运输情况、经济竞争力等。多次救灾实践表明,对于受灾损失相当的地区,政府投入的救援力量是大不相同的,对建筑密集,结构复杂,人口密度大,易发生衍生灾害的大城市,投入的救援物资通常较多,故选取人口密度和经济竞争力作为衡量灾区城市规模的指标,其中,经济竞争力选用人均地区生产总值来衡量,即灾区国内生产总值(GDP)<sup>[26]</sup>;而交通运输较为不便的地区,对救援物资的一次性需求量则较大,因此在配送应急物资时应考虑加大运输

量,故选取公路旅客及货物周转量作为衡量交通运输情况的指标。

2.3 确定灾区急需物资紧迫程度的优先级顺序

2.3.1 确定指标特征值矩阵

分别对自然情况( $A$ )和社会情况( $B$ )进行讨论,根据式(1),分别确定出指标特征值矩阵 $X_A$ 和 $X_B$ 。

2.3.2 确定指标相对隶属度矩阵

根据规格化公式(2)分别对越大越优、越小越优型目标特征值进行规格化处理,将矩阵 $X_A$ 和 $X_B$ 分别转化为指标相对优属度矩阵 $R_A$ 和 $R_B$ 。

2.3.3 确定指标权向量

层次分析法<sup>[27-28]</sup>是确定指标权重的经典算法,而模糊标度法<sup>[20]</sup>是确定指标权重的又一种方法,它运用人的经验知识对各种目标相对重要度进行量化,得到重要度有序二元比较矩阵,结合模糊语气算子与模糊标度确定指标重要性的相对隶属度。模型中指标的重要程度是一个相对模糊性的概念,使用模糊标度法来确定指标权重显示出一定的优越性。模糊标度法能更好地与自然语言、文字中形容词的模糊性相吻合,本模型中用来描述各指标二元比较重要性级别的形容词:稍稍,略为等,具有模糊性,可以用线性变化的模糊标度值来更准确地加以表示,所以本模型选用模糊标度法来确定指标权重,以保证权重更客观更准确。

根据模糊标度法,先分别确定出 $A$ 、 $B$ 中各项指标的重要性排序一致性标度矩阵 $F_A$ 与 $F_B$ (对于 $B$ ,由于第2,3指标为同一个指标的两个属性,故先将其看作一个指标进行重要性排序,然后再平分权重),根据矩阵 $F_A$ 与 $F_B$ 的重要性排序,运用经验知识,分别以排序为1的指标 $c_{A1}$ 与 $c_{B1}$ ,逐个地与排序为其他序号的指标,作重要性程度的二元比较判断。

表 2 灾区情况

自然情况 A					社会情况 B		
地区	受灾人口 / 万元	受灾强度 / 平均地震强度	受灾面积 / 万 km <sup>2</sup>	人口密度	交通运输情况		济竞争力(以人均地区生产总值为衡量标准 / 元)
					公路旅客周转量 / (万人 · km)	公路货物周转量 / (万 t · km)	
成都市	282	5	0.76	1 015.3	1 273 425	657 648	26 525
德阳市	521.7	5.6	0.52	610.7	138 841	156 453	17 789
绵阳市	515	6.1	1.85	244.2	360 003	177 360	13 640
雅安市	90	4	1.32	98.8	69 214	111 950	11 725
广元市	362	6.4	0.95	167	172 535	117 474	7 641
阿坝州	69.3	7.8	6.72	10.8	129 569	176 296	11 725

资料来源:文献[23,29]

经过认真考虑认为: $c_{A1}$ 比 $c_{A2}$ “稍稍”重要; $c_{A1}$ 比 $c_{A3}$ “略为”重要。根据以上运用专家的经验与知识作出的二元比较判断,根据模糊语气算子与相对隶属度关系表<sup>[16]</sup>,计算出 $A$ 中3项指标的归一化后的指标权向量为 $w_A = (0.40, 0.33, 0.27)$ 。

同理,可得 $B$ 的归一化指标权向量为 $w_B = (0.40, 0.135, 0.135, 0.33)$ 。

2.3.4 确定各灾区属性的相对优属度向量

①根据式(4),令 $\alpha = 1, 2, p = 1, 2$ ,解得 $A$ 、 $B$ 的相对优属度向量: $u_{A1}, u_{A2}, u_{A3}, u_{B1}, u_{B2}, u_{B3}, u_{B4}$ ;②分别对 $A$ 、 $B$ 求出四组参数的均值 $\overline{u_A}, \overline{u_B}$ ;③对自然情况( $A$ )和社会情况( $B$ )进行综合分析,并组织有经验的专家进行指标评价,根据综合指标评价法,最终确定出 $A$ 、 $B$ 的权向量为 $w = (0.7, 0.3)$ ;④求得各灾区属性的相对优属度向量 $u' = 0.7 \cdot \overline{u_A} + 0.3 \cdot \overline{u_B}$ 。

2.3.5 确定灾区急需物资紧迫程度的优先级顺序

根据向量 $u'$ 各维属性值的大小顺序,得出灾区急需物资紧迫程度的优先级顺序。

2.4 确定各灾区应急物资分配方案

首先对相对优属度向量 $u'$ 进行归一化处理,求得归一化向量 $u$ ;

然后,将 $u$ 作为物资分配的权重向量,对有限的物资进行分配,得出各灾区应急物资分配方案。

3 汶川地震实例分析

以汶川地震灾害为例,选取地震中受灾最严重的6个地区进行分析。对已确定的属性指标特征值<sup>[23, 29]</sup>(表2),首先利用模糊标度法确定指标权重,然后利用以相对隶属函数为基础的可变模糊优选模型进行灾区物资需求紧迫程度优先级排序,并确定分配方案。

3.1 确定灾区急需物资紧迫程度的优先级顺序

3.1.1 确定指标特征值矩阵

分别对自然情况( $A$ ) 和社会情况( $B$ ) 进行讨论,根据式(1), 分别确定出指标特征值矩阵  $X_A$  与  $X_B$ 。

$$X_A = \begin{bmatrix} 282 & 521.7 & 515 & 90 & 362 & 69.3 \\ 5 & 5.6 & 6.1 & 4 & 6.4 & 7.8 \\ 0.76 & 0.52 & 1.85 & 1.32 & 0.95 & 6.72 \end{bmatrix}; \quad (6)$$
$$X_B = \begin{bmatrix} 1\,015.3 & 610.7 & 244.2 & 98.8 & 167 & 10.8 \\ 1\,273\,425 & 138\,841 & 360\,003 & 69\,214 & 172\,535 & 129\,569 \\ 657\,648 & 156\,453 & 177\,360 & 111\,950 & 117\,474 & 176\,296 \\ 26\,525 & 17\,789 & 13\,640 & 11\,725 & 7\,641 & 11\,725 \end{bmatrix}。$$

(7)

3.1.2 确定指标相对隶属度矩阵

由表2 知, $A$  中3 项指标,均为越大越优型指标,即,受灾地区的受灾人口越多,受灾强度越大,受灾面积越大,对应急物资的需求越迫切; $B$  中4 项指标,第1,4 项为越大越优型指标,即,人口密度越大,经济越发达的地区(通常是级别越高的重要城市),越需要抢先救援。 $B$  中第2,3 项为越小越优型指标,即,交通运输越不发达的落后地区,对于应急物资派送的实时性要求越高,对物资的一次性需求量也越大。故应用混合型指标的相对优属度公式(2),对矩阵  $X_A$  和  $X_B$  进行规格化,得到指标相对隶属度矩阵:

$$R_A = \begin{bmatrix} 0.470\,2 & 1 & 0.985\,2 & 0.045\,8 & 0.647 & 0 \\ 0.263\,2 & 0.421\,1 & 0.552\,6 & 0 & 0.631\,6 & 1 \\ 0.038\,7 & 0 & 0.214\,5 & 0.129 & 0.069\,4 & 1 \end{bmatrix}, \quad (8)$$
$$R_B = \begin{bmatrix} 1 & 0.597\,2 & 0.232\,4 & 0.087\,6 & 0.155\,5 & 0 \\ 0 & 0.942\,2 & 0.758\,5 & 1 & 0.914\,2 & 0.949\,9 \\ 0 & 0.918\,4 & 0.880\,1 & 1 & 0.989\,9 & 0.882\,1 \\ 1 & 0.537\,4 & 0.317\,7 & 0.216\,3 & 0 & 0.216\,3 \end{bmatrix}。$$

(9)

3.1.3 确定指标权向量

由2.3.3 得, $A,B$  的归一化指标权向量分别为:  
 $w_A = (0.40, 0.33, 0.27), w_B = (0.40, 0.135, 0.135, 0.33)。$ 

(10)

3.1.4 确定各灾区属性的相对优属度向量

首先,应用可变模糊优选模型,根据式(4),令

$\alpha = 1, 2, p = 1, 2$ , 分别解得  $A, B$  的相对优属度向量:

$$u_{A1}, u_{A2}, u_{A3}, u_{B1}, u_{B2}, u_{B3}, u_{B4}; \quad (11)$$

然后,分别对  $A, B$  求出四组参数的均值:

$$\begin{cases} \overline{u_A} = (0.239\,3, 0.574\,7, 0.688\,9, 0.031\,8, 0.501\,1, 0.585\,1), \\ \overline{u_B} = (0.805\,3, 0.696\,5, 0.337\,0, 0.284\,0, 0.232\,8, 0.229\,5)。 \end{cases}$$

(12)

最后,根据2.2.3 节中确定的  $A,B$  的权向量  $w = (0.7, 0.3)$ ,求得各灾区属性的相对优属度向量:  
 $u' = (0.409\,1, 0.611\,2, 0.583\,3, 0.107\,5, 0.420\,6, 0.478\,4)。$ 

(13)

3.1.5 确定灾区急需物资紧迫程度的优先级顺序

根据向量  $u'$  各维属性值的大小顺序,得出灾区急需物资紧迫程度的优先级顺序为:德阳市,绵阳市,阿坝州,广元市,成都市,雅安市。

3.2 确定各灾区应急物资分配方案

首先,对相对优属度向量  $u'$  进行归一化处理,求得归一化向量:  
 $u = (0.156\,7, 0.234\,2, 0.223\,5, 0.041\,2, 0.161\,1, 0.183\,3)。$ 

(14)

然后,将  $u$  作为物资分配的权重向量,对有限的物资<sup>[19]</sup> 进行分配,得出各灾区应急物资分配方案(表3)。

3.3 结果分析

将表3 的数据与表4 进行对比,计算得出相对误差如表5 所示。

由表5 知,相对误差在10% 以内的数据占19.4%, 相对误差在10% ~ 20% 之间的数据占30.6%, 相对误差处于20% ~ 30% 之间的数据占5.6%, 相对误差较小的数据主要分布于各受灾地区对帐篷、衣物、食品等必需救灾物资的需求量。表5 中的数据显示,相对误差在一定程度上随着灾区急需物资紧迫程度、救灾物资必需程度的升高而降低。结果表明,受灾地区对必需救灾物资(如,帐篷,衣物,食品等)的基本需求得到了较大程度的满足,同时,受灾程度越严重的地区(如,德阳市,绵阳市,阿坝州等)得到满足的程度越高,证明该模型的有效性。

表3		各灾区应急物资分配方案					
救灾物资	小计	成都市	德阳市	绵阳市	雅安市	广元市	阿坝州
帐篷/顶	461 123	72 258	107 995	103 061	18 998	74 287	84 524
棉被/床	2 062 845	323 248	483 118	461 046	84 989	332 324	378 120
衣物/件	998 634	156 486	233 880	223 195	41 144	160 880	183 049
食品/t	30 513. 791 2	4 781. 511 1	7 146. 329 9	6 819. 832 3	1 257. 168 2	4 915. 771 8	5 593. 177 9
饮用水/t	22 045. 798	3 454. 576 5	5 163. 125 9	4 927. 235 9	908. 286 88	3 551. 578 1	4 040. 994 8
其他/件	1 548 855	242 706	362 742	346 169	63 813	249 521	283 905

表 4

部分受灾地区物资需求  
应急物资统计日报汇总表(2008 年 5 月 13 日-7 月 2 日)

救灾物资	累计发出						
	小计	成都市	德阳市	绵阳市	雅安市	广元市	阿坝州
帐篷/顶	461 123	65 613	104 697	93 880	18 867	80 720	973 46
棉被/床	2 062 845	385 619	224 646	344 819	61 813	256 487	789 461
衣物/件	998 634	98 104	204 517	260 682	46 153	198 232	190 946
食品/t	30 513. 791 2	4 146. 67	7 983. 222	6 476. 538	2 125. 836	3 932. 185 2	5 849. 34
饮用水/t	22 045. 798	10 109. 87	4 431. 636	2 868. 776	547. 1	2 659. 516	1 428. 9
其他/件	1 548 855	289 268	210 060	222 115	102 000	143 807	581 605

资料来源:四川省民政厅<sup>[23]</sup>

表 5

各灾区应急物资分配方案误差分析

救灾物资	相对误差/%					
	成都市	德阳市	绵阳市	雅安市	广元市	阿坝州
帐篷/顶	10. 13	3. 15	9. 78	0. 69	- 7. 97	- 13. 17
棉被/床	- 16. 17	115. 06	33. 71	37. 49	29. 57	- 52. 10
衣物/件	59. 51	14. 36	- 14. 38	- 10. 85	- 18. 84	- 4. 14
食品/t	15. 31	- 10. 48	5. 30	- 40. 86	25. 01	- 4. 38
饮用水/t	- 65. 83	16. 51	71. 75	66. 02	33. 54	182. 80
其他/件	- 16. 10	72. 68	55. 85	- 37. 44	73. 51	- 51. 19

表 5 中的部分数据显示,通过模型计算得出的某些结果(如,德阳市对棉被的需求量,阿坝州对饮用水的需求量)与表 4 的实际统计数据的相对误差较大,分析原因如下:①由于表 4 是灾后 51 d 的救灾物资实际发出汇总数据,而本文提出的是应急物资分配模型;②统计数据难免会存在一定程度的偏差,并且实际的物资分配中可能会存在资源浪费的情况;③救灾过程中实际发放物资时,需考虑救灾人员的物资需求,本文在灾后第一时间对灾民进行应急物资分配决策时未考虑此问题。

综上,本文提出的模型适用于灾后应急救援活动中的物资分配,模型只是针对灾害发生第一时间应急物资配置数量方案制定的问题,未考虑营救成本及灾情稳定后的物资分配等问题。在进一步的研究中,可以将实际情况中的一些客观因素考虑进来,如灾害发生的季节,灾害发生地的气候,次生灾害发生的概率等,以进行更深入的模型优化与改进。

4 结语

地震灾害应急物资分配模型对于实时有效地合理配置地震应急资源具有重要的作用,可以有效地减少因主观或片面的信息统计而产生的不必要的资源浪费,可变集理论使得该决策模型的求

解结果更客观更科学,弥补了以往模型方法主观性强等缺点,提高了决策的效率和结果的可靠性,尤其在客观需求的实时统计数据不易获取的情况下,模型对于应急资源的配置决策起着举足轻重的作用,并且模型的决策过程简单易操作。但是,该模型建立的灾区物资需求属性指标体系不够完善,因为各地区对不同物资的需求并非完全遵守理想的确定比例,当灾情稳定以后,对物资的分配需要考虑各地的详细受灾情况、物资储备信息及实际需求量等因素,如何对模型进行优化,有待进一步研究。

参考文献:

[1] 刘春林,何建敏,施建军.一类应急物资调度的优化模型研究[J].中国管理科学,2001,9(3):29-36.

[2] 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.

[3] 王苏生,王岩,孙健,等.连续性条件下的多受灾点应急资源配置算法[J].系统管理学报,2011,20(2):143-150.

[4] Lin Y, Batta R. A logistics model for emergency supply of critical items in the aftermath of a disaster[J]. Socio-Economic Planning Sciences, 2011, 45(4): 132-145.

[5] 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.

[6] 石彪,池宏,祁明亮,等. 应急物资运输的两阶段车辆调度模型[J]. 系统工程, 2012, 30(7): 105-111.

[7] 邹亮,任爱珠,徐峰,等. 灾时应急运输车辆调度模型及算法研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(3): 22-27.

[8] 张永领. 基于模糊聚类的应急物资分类储备研究[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 130-134.

[9] 曹琦,何中市. 抢险救灾物资保障模拟训练系统分析与设计[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 139-143.

[10] 魏昌盛,陈维锋,黄丁发,等. 一种基于最短路径的地震救援力量部署模型[J]. 灾害学, 2012, 27(2): 130-132, 139.

[11] 李晋,袁志祥. 地震应急救援物资最优分配问题初探[J]. 四川地震, 2007(2): 22-25.

[12] 李智,林达龙,明亮,等. 灾后物资供应系统风险预警可拓模型的初步设计[J]. 灾害学, 2012, 27(3): 137-138, 144.

[13] 陈刚,彭永涛. 灾难救援应急物资配送问题的研究现状及发展方向[J]. 铁道运输与经济, 2012, 32(4): 62-66.

[14] 詹沙磊,刘南. 基于灾情信息更新的应急物资配送多目标随机规划模型[J]. 系统工程理论实践, 2013, 33(1): 159-166.

[15] 何鲜利. 基于地震灾害突发事件的应急物流资源配置研究[D]. 秦皇岛:燕山大学, 2009.

[16] 董莉. 不确定条件下应急资源初始配置研究[D]. 大连:大连理工大学, 2011.

[17] 谭秋月,孙平安,韩希超. 毁灭性灾难中救灾物资分配方案的数学模型研究[J]. 陕西科技大学学报, 2009, 27(1): 158-163.

[18] 周晓猛,姜丽珍,张云龙. 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.

[19] 张涛,薄涛,杨学山. 地震现场资料收集的标准化与快速传送[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(2): 108-111.

[20] 陈守煜. 可变模糊集理论与模型及其应用[M]. 大连:大连理工大学出版社, 2009.

[21] 陈守煜. 可变集及水资源系统优选决策可变集原理与方法[J]. 水利学报, 2012, 43(9): 1066-1074.

[22] 胡伟华,宋立军,苗崇刚,等. 地震灾区分级和灾害程度排序方法研究——以汶川 8.0 级地震为例[J]. 灾害学, 2010, 25(2): 30-35.

[23] 夏萍. 灾害应急物流中基于需求分析的应急物资分配问题研究[D]. 北京:北京交通大学, 2010.

[24] 李磊. 地震应急救援现场需求分析及物资保障[J]. 防灾科技学院学报, 2006, 8(3): 15-18.

[25] 郭金芬,周刚. 大型地震应急物资需求预测方法研究[J]. 价值工程, 2011(22): 27-29.

[26] 都吉夔,张勤,宋立军,等. 四川汶川 8.0 级地震间接经济损失评估方法[J]. 灾害学, 2008, 23(4): 130-133.

[27] Saaty T L. What Is the Analytic Hierarchy Process [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 1988.

[28] 温智虹,万鲁河,盛俭. 长白山火山泥石流分布影响因子权重分析[J]. 灾害学, 2012, 27(1): 64-67.

[29] 四川统计局. 四川统计年鉴 2008[M]. 北京:中国统计出版社, 2008.

# Allocation Model of Emergency Supplies in Earthquake Disasters Based on Variable Sets

Lang Kun, Zhang Mingyuan and Yuan Yongbo

(Faculty of Infrastructure Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** In order to reduce huge casualties and property damage caused by earthquake disasters, save lives and reduce the impact of disasters timely, an allocation model of emergency supplies based on variable sets is built. Key factors with influences on the emergency supplies allocation is identified and analyzed to establish a relative membership degree matrix of indexes. By using the fuzzy scale method, weigh vectors of indexes are determined. Priorities of the urgent degree of all demands of supplies in disaster area are determined based on variable set theory. Allocation scheme and allotted quantity of emergency supplies are thus determined. This model offsets some weaknesses existing in former models, such as the low decision-making efficiency, the complicated decision-making process, the poor objectivity and accuracy of decision-making results, and reduces the unnecessary wasting of resources created by the subjective or one-sided information statistics. The practical applicability of this model is verified through the analysis of the case of Wenchuan earthquake.

**Key words:** earthquake disaster; emergency supplies allocation; variable set; fuzzy optimization; decision-making