

◎工程与应用◎

模糊聚类分析在突发事件应急物资分类中应用

郭子雪^{1,2}, 张强²GUO Zi-xue^{1,2}, ZHANG Qiang²

1. 河北大学 管理学院, 河北 保定 071002

2. 北京理工大学 管理与经济学院, 北京 100081

1. Department of Management, Hebei University, Baoding, Hebei 071002, China

2. Department of Management & Economic, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

E-mail: guo_zx@163.com

GUO Zi-xue, ZHANG Qiang. Application of fuzzy clustering analysis in classification of emergency materials. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(35): 208-211.

Abstract: Aiming at the characteristic of emergency materials classification, a classify method of emergency materials based on fuzzy clustering is proposed. The defect of traditional classify approach is analyzed, the concept of fuzzy equivalent relations is given, the solution approach of fuzzy equivalent matrix is put forward, and the evaluation indexes system of emergency materials classification is built. On the basis of above discussing, the classify method of emergency materials based on fuzzy clustering analysis is developed. Finally, a numerical example shows that the method is valid.

Key words: management engineering; emergency materials; fuzzy clustering; classify method

摘要: 为了对应急物资进行合理分类, 提出了基于模糊聚类的应急物资分类方法。分析了传统分类方法存在的问题, 给出了模糊相似关系和模糊等价关系的概念和求模糊等价矩阵的方法, 建立了应急物资分类指标体系, 在此基础上提出了基于模糊聚类的应急物资分类方法。最后通过算例验证了该方法的有效性。

关键词: 管理工程; 应急物资; 模糊聚类; 分类方法

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.35.063 文章编号: 1002-8331(2009)35-0208-04 文献标识码: A 中图分类号: F253.4

1 引言

突发事件是指突然发生, 造成或可能造成重大人员伤亡、财产损失、生态环境破坏和严重社会危害, 危及公共安全的紧急事件^[1]。根据突发事件的发生过程、性质和机理, 一般可以将突发事件分为自然灾害、事故灾难、公共卫生事件和公共安全事件等多种类型。突发事件的类型、发生的强度以及影响范围不同, 应对突发事件所需的物资及其数量也不同, 所以应急物资不仅种类繁多, 而且个别物资数量巨大。为了使有限的资源在应急管理中得到最有效的应用, 需要对应急物资进行分类管理, 然后依据不同种类物资在应急管理中的地位和作用, 进行有区别的重点管理。

ABC 分类法是对物资分类时普遍采用的方法。该方法依据意大利经济学家帕雷托(Pareto)提出的排列图, 应用“关键少数, 次要多数”原理, 运用数理统计的方法对物资进行分类排队, 抓住主要的矛盾, 将研究对象按给定的标准分为特别重要的物资(A 类物资)、一般重要的物资(B 类物资)和不重要的物

资(C 类物资)。A 类物资品种数目少, 约占物资总数的 5%~20%, 但占用资金大, 其占用的资金金额占总占用资金的 60%~70%; C 类物资品种数目多但占用资金小, 品种约占物资品种总数的 60%~70%, 但其资金仅占占用资金总额的 10%以下; B 类物资介于 A 类物资和 C 类物资之间, 其品种数约占品种总数的 20%~30%, 占用资金额约占占用资金总额的 20%左右。可见, ABC 分类法是一种抓事物的主要矛盾, 进行相应管理的定量的科学分类管理技术, 也是现代企业提高效率所普遍采用的一种管理方法。但是, 在实际应用中, ABC 分类法还存在不少问题, 主要有以下两个方面: (1) ABC 分类法缺乏灵活性。该方法笼统地把物资分成 3 类, 没有考虑各种物资自身特性的不同而区别对待。很多大型生产行业, 如汽车制造业、煤矿企业等, 生产所需的物资品种繁多, 数量庞大, 库存物资往往数千种甚至上万种, 需要重点管理的物资也有上百种。这种情况下, 仍采用 ABC 分类法对物资进行管理将达不到重点管理的目的, 此时可采取 3 类以上的分类方法。(2) 传统的 ABC 分类法只考虑了

基金项目: 国家自然科学基金(the National Natural Science Foundation of China under Grant No.70471063, No.70771010)。

作者简介: 郭子雪(1964-), 男, 博士研究生, 教授, 主要研究领域为物流与供应链管理, 应急管理; 张强(1955-), 男, 博士生导师, 教授, 主要研究领域为管理决策的方法与技术, 物流与供应链管理。

收稿日期: 2009-02-17 修回日期: 2009-03-18

“占总库存资金比例”或“占库存总品种数目的比例”这两个统计指标,没有考虑实际中的其他多种影响因素,这显然不能综合反映库存物资的重要程度。这种方法只以物资的价值为基础进行分类,无法反映物资需求的紧缺性和市场结构等情况,如有些物资是市场紧缺物资,在物资采购中就应该放在比较重要的位置;而有些物资虽然价值较高、需要量大,但在市场上很容易得到,可以利用社会库存,以节约成本。

应急物资需求分类比普通物资要更加复杂,应考虑的影响因素更多。由于传统 ABC 分类法本身存在的问题,该方法不适合对应急物资进行分类。应急物资需求分类既要考虑该物资在应对突发事件时的重要性,又要考虑到市场采购难度、预计需求量大小以及物资的时效性和采购成本等影响因素。该研究在构建应急物资需求重要性评价指标体系的基础上,提出了基于模糊聚类的应急物资分类方法。该方法不仅考虑了应急物资重要性,而且考虑了市场采购等影响因素,有效提高了物资分类管理的准确性。

2 预备知识

定义 1^[2] 设论域为 X , x 为 X 中的元素。对任意的 $x \in X$, 定义了如下映射:

$$X \rightarrow [0, 1], x \mapsto \mu_{\tilde{A}}(x) \in [0, 1]$$

则称 $\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x))\}$, $\forall x \in X$ 为 X 上的模糊子集合, 简称模糊集合。称 $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 为 x 对 \tilde{A} 的隶属函数, 对某个具体的 x 而言, $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 称为 x 对 \tilde{A} 的隶属度。

定义 2 设 U, V 为两个论域, 则称笛卡尔乘积 $U \times V$ 上的任何一个模糊子集 $\tilde{R} \in F(U \times V)$ 为 U 到 V 的一个模糊关系。称 $\mu_{\tilde{R}}(u, v)$ 为 U 与 V 具有关系 \tilde{R} 的程度。

定义 3 设 $\tilde{R} \in F(U \times V)$, $\tilde{S} \in F(V \times W)$, 定义 $\tilde{R} \circ \tilde{S}$ 的隶属函数为:

$$\mu_{\tilde{R} \circ \tilde{S}}(u, r) = \bigvee_{y \in V} (\mu_{\tilde{R}}(u, y) \wedge \mu_{\tilde{S}}(y, r))$$

称为模糊关系 \tilde{R} 与 \tilde{S} 的合成。

一般地, 对于有限论域 $U = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, $V = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$, 它们之间的模糊关系可用 $n \times m$ 模糊矩阵来表示:

$$\tilde{R} = (r_{ij})_{n \times m}$$

其中 $r_{ij} = \mu_{\tilde{R}}(x_i, y_j)$ 。

定义 4 设 $\tilde{R} \in F(U \times U)$, 则:

- (1) 称 \tilde{R} 是自反的, 若 $\forall u \in U, \mu_{\tilde{R}}(u, u) = 1$;
- (2) 称 \tilde{R} 是对称的, 若 $\forall u, v \in U, \mu_{\tilde{R}}(u, v) = \mu_{\tilde{R}}(v, u)$;
- (3) 若 \tilde{R} 是 U 上的自反、对称关系, 则称 \tilde{R} 是 U 上的模糊相似关系, 简称相似关系。

定义 5 设 $\tilde{R} \in F(U \times U)$, 若 \tilde{R} 满足下列 3 个条件, 则称 \tilde{R} 是 U 上的模糊等价关系。

- (1) 自反性: $\forall u \in U, \mu_{\tilde{R}}(u, u) = 1$;
- (2) 对称性: $\forall u, v \in U, \mu_{\tilde{R}}(u, v) = \mu_{\tilde{R}}(v, u)$;
- (3) 传递性: $\tilde{R}^2 \subset \tilde{R}$, 即 $\forall (u, r) \in U \times U$, 有

$$\bigvee_{y \in U} (\tilde{R}(u, y) \wedge \tilde{R}(y, r)) \leq \tilde{R}(u, r)$$

3 应急物资分类指标体系

应急物资分级是制定应急物资库存控制管理策略的基础, 要提高应急物资库存控制水平, 必须制定出一套科学的分类评价指标体系^[1]。考虑到应急物资需求的特殊性, 该研究采用应急物资重要性、应急物资的筹集周期、应急物资的时效性、应急物资预计需求量大小、应急物资筹集成本等作为应急物资需求分级的评价指标。

3.1 应急物资重要性

应急物资重要性是指某种物资在应急活动中所起的作用, 反映了应急管理中决策者对该类物资重要程度的认识, 可以用应急需求度、对应急处置的影响程度以及缺货成本等综合反映。一般情况下, 与人民群众的生命安全息息相关的、在突发事件爆发初期大量需要的物资都是比较重要的物资, 如药品、食品、救生器材等。应急物资的重要性程度越高, 相应的需求级别越高。

3.2 应急物资的筹集周期

应急物资的筹集周期是指突发事件发生后筹集到某类物资所需要的时间。应急物资筹集时间越短, 说明该种物资的市场供应较充足或可以在较短的时间内组织生产。由于在较短的时间内就可以筹集到大量的物资, 所以对该类应急物资平时可以少储存; 相反, 应急物资的筹集时间越长, 说明该种物资的市场存量较少或为稀有应急物资或加工生产该类物资需要的时间较长, 一旦物资筹集时间大于预计的突发事件持续时间, 那么待突发事件发生后再筹集该物资将影响该类物资的投入使用。所以, 对筹集时间较长的应急物资必须在平时进行适量储备。

3.3 应急物资的时效性

应急物资的时效性是指应急物资的品质和使用效果随时间推移而变化的程度, 像已变质物品或易挥发物品等都涉及物资的时效性。一般来说, 随着时间的推移应急物资的品质和效果会越来越低, 如奶制品、注射试剂、医用血液等随着时间的推移会变质。在应急物资管理中, 对于时效性强的物资在平时应该少库存或者不库存, 这样可以避免一些不必要的损失。

3.4 应急物资预计需求量

应急物资需求量是指为了有效应对突发事件所必须的最小的应急物资需求数量。应急物资的需求量通常与突发事件的强度及其发生环境有关, 应急物资预计需求量越大说明该种物资在处置突发事件时发挥的作用越大, 其重要性也就越大。比如在地震灾害的初期, 往往需要大量的食品、饮用水以及药品等。在这类物资中, 尽管有些物资的筹集周期并不长, 临时筹集相对容易, 但在平时仍需进行必要的储备, 以保证突发事件发生时可以在短时间内充足供应, 满足突发事件爆发初期对物资的大量需求。

3.5 应急物资筹集成本

有些应急物资可以在突发事件发生后通过临时筹措而获得, 但是其获得成本极高, 即该类应急物资在突发事件发生后临时筹措的成本, 远远高于平时对该类物资进行筹措所需要的成本。对该类应急物资应当在平时进行充足的应急储备, 而不是在突发事件发生后再进行临时筹措。

4 基于模糊聚类的应急物资分类方法

4.1 模糊聚类分析

聚类分析取意于“物以类聚”这个成语,即一组事物根据其亲疏程度和相似性形成一个类群^[9]。它是将一组事物根据其性质上亲疏远近的程度进行分类,把性质相近的个体归为一类,使得同一类中的个体具有高度的同质性,不同类之间的个体具有高度的异质性。由于在现实中类与类的边界是模糊的,所以采用模糊数学原理去处理带有模糊性的聚类问题要更为客观、灵活,且计算更加简捷。模糊聚类分析就是依据客观事物间的特征、亲疏程度和相似性,通过建立模糊等价关系对客观事物进行分类的数学方法^[4-7]。

4.2 模糊等价矩阵的求法

确定一个模糊分类需要一个模糊等价关系,通过标定所得的是一个模糊相似关系,但未必是模糊等价关系。因此,必须由模糊相似关系去构造一个模糊等价关系。

定理 1 设 R 是有限论域 U 上的模糊相似关系,其相似矩阵为 $R=(r_{ij})$,则必定存在一个自然数 $k \leq n$,使得 R^k 是 U 上的模糊等价关系^[2-3]。

可采用“平方计算法”求模糊等价矩阵 $t(\tilde{R})$,也就是计算 $R \circ R = R^2, R^2 \circ R^2 = R^4, \dots, R^{2^{(k-1)}} \circ R^{2^{(k-1)}} = R^{2^k}$,如果有 $R^k \circ R^k = R^k$,则模糊等价矩阵 $t(\tilde{R}) = R^k$ 。

4.3 基于模糊聚类的应急物资分类的一般步骤

步骤 1 选取样本,确定评价指标,建立原始数据矩阵。

设论域 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 为 n 个待分类的应急物资,每种应急物资又由 m 个指标表示其性状,即 $x_i=\{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\}, i=1, 2, \dots, n$ 。对其中不能直接用数值表示的指标,可通过专家打分的方式确定其指标取值。于是,得到原始数据矩阵:

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}$$

步骤 2 数据的标准化。

由于在抽取样本对数据进行度量处理时,不同的指标一般有不同的量纲,并且有不同的数量级单位。为了使不同量纲、不同数量级的数据能放在一起进行比较,通常要对数据进行标准化处理。数据标准化的方法很多,主要有标准差变换和极差变换两种^[9]:

(1)标准差变换:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{s_j}$$

$$\text{其中 } \bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}, s_j = \left[\frac{1}{n-1} \sum (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

(2)极差变换:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_j \{x_{ij}\}}{\max_j \{x_{ij}\} - \min_j \{x_{ij}\}}$$

其中 $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。

步骤 3 建立 U 上的模糊相似矩阵。

对待分类的应急物资全体 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$,首先要鉴别 U 中元素 x_i 与 x_j 的接近程度(相似程度)。用 $[0, 1]$ 中的数 r_{ij} 来表示 x_i 与 x_j 的相似程度,称为相似系数。相似系数组成一个矩阵 $(r_{ij})_{n \times n}$ 称为相似系数矩阵,它是 U 上的模糊相似关系。确定相似系数的方法有很多,如数量积法、夹角余弦法、相关系数法、绝对值指数法等,该文采用海明距离法^[9]:

$$r_{ij} = 1 - \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m |x_{ik} - x_{jk}|$$

式中 r_{ij} 为 x_i 与 x_j 的相似系数。于是,可得模糊相似矩阵:

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nn} \end{pmatrix}$$

步骤 4 求取模糊等价矩阵 $t(\tilde{R})$ 。

可采用“平方计算法”求模糊等价矩阵 $t(\tilde{R})$ 。可以证明^[9]:用平方法,最多只需进行 $(\lg n) + 1$ 步计算,就可得到模糊等价矩阵 $t(\tilde{R})$ 。

步骤 5 模糊聚类^[10]。

对模糊等价矩阵进行聚类处理,取不同的阈值 $\lambda \in [0, 1]$,得到普通的分类关系,并建立动态聚类图。

5 算例分析

某地为处置森林火灾需要储备 12 大类 118 小类的应急物资。为提高应急物资管理水平和应对森林火灾的效率,现需要对 12 大类物资进行分级。设 $U=\{x_1, x_2, \dots, x_{12}\}$ 表示待分级的 12 类应急物资,分级的标准(指标)包括应急物资重要性、应急物资的筹集周期、应急物资的时效性、应急物资预计需求量大小、应急物资筹集成本等五个方面。在对基础数据进行标准化处理的基础上,利用海明距离法可得模糊相似矩阵:

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.806 | 0.831 | 0.591 | 0.678 | 0.677 | 0.582 | 0.577 | 0.605 | 0.334 | 0.324 | 0.311 |
| 0.806 | 1 | 0.901 | 0.742 | 0.498 | 0.531 | 0.762 | 0.633 | 0.677 | 0.474 | 0.394 | 0.439 |
| 0.831 | 0.901 | 1 | 0.722 | 0.589 | 0.558 | 0.672 | 0.689 | 0.686 | 0.469 | 0.485 | 0.441 |
| 0.591 | 0.742 | 0.722 | 1 | 0.756 | 0.789 | 0.675 | 0.648 | 0.747 | 0.485 | 0.471 | 0.450 |
| 0.678 | 0.498 | 0.589 | 0.756 | 1 | 0.905 | 0.493 | 0.642 | 0.630 | 0.320 | 0.401 | 0.292 |
| 0.676 | 0.531 | 0.558 | 0.789 | 0.905 | 1 | 0.526 | 0.609 | 0.709 | 0.415 | 0.433 | 0.387 |
| 0.582 | 0.762 | 0.672 | 0.675 | 0.493 | 0.526 | 1 | 0.779 | 0.801 | 0.406 | 0.939 | 0.372 |
| 0.576 | 0.633 | 0.689 | 0.648 | 0.642 | 0.609 | 0.779 | 1 | 0.901 | 0.416 | 0.497 | 0.388 |
| 0.605 | 0.677 | 0.686 | 0.747 | 0.630 | 0.709 | 0.801 | 0.901 | 1 | 0.477 | 0.511 | 0.449 |
| 0.340 | 0.474 | 0.469 | 0.485 | 0.320 | 0.415 | 0.406 | 0.416 | 0.477 | 1 | 0.855 | 0.965 |
| 0.324 | 0.394 | 0.485 | 0.471 | 0.401 | 0.433 | 0.393 | 0.497 | 0.511 | 0.855 | 1 | 0.827 |
| 0.311 | 0.439 | 0.441 | 0.450 | 0.292 | 0.387 | 0.371 | 0.388 | 0.449 | 0.965 | 0.827 | 1 |

用平方法计算可知: $R^8 \circ R^8 = R^8$, 所以 $t(\tilde{R}) = R^8$:

| | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 0.831 | 0.831 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.762 | 0.762 | 0.762 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.831 | 1 | 0.901 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.762 | 0.762 | 0.762 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.831 | 0.901 | 1 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.762 | 0.762 | 0.762 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.747 | 0.747 | 0.747 | 1 | 0.789 | 0.789 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.789 | 1 | 0.905 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.789 | 0.905 | 1 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.762 | 0.762 | 0.762 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 1 | 0.801 | 0.801 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.762 | 0.762 | 0.762 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.801 | 1 | 0.901 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.762 | 0.762 | 0.762 | 0.747 | 0.747 | 0.747 | 0.801 | 0.901 | 1 | 0.511 | 0.511 | 0.511 |
| 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 1 | 0.855 | 0.965 |
| 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.855 | 1 | 0.855 |
| 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.511 | 0.965 | 0.855 | 1 |

取 $\lambda=1$, 可将应急物资分为 12 类: $\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\}, \{x_5\},$

$\{x_6\}, \{x_7\}, \{x_8\}, \{x_9\}, \{x_{10}\}, \{x_{11}\}, \{x_{12}\};$

取 $\lambda=0.905$, 可将应急物资分为 10 类: $\{x_1\}, \{x_2\}, \{x_3\}, \{x_4\},$

$\{x_5, x_6\}, \{x_7\}, \{x_8\}, \{x_9\}, \{x_{10}, x_{11}\}, \{x_{10}, x_{12}\};$

取 $\lambda=0.855$, 可将应急物资分为 7 类: $\{x_1\}, \{x_2, x_3\}, \{x_4\}, \{x_5,$

$x_6\}, \{x_7\}, \{x_8, x_9\}, \{x_{10}, x_{11}, x_{12}\};$

取 $\lambda=0.801$, 可将应急物资分为 5 类: $\{x_1, x_2, x_3\}, \{x_4\}, \{x_5, x_6\},$

$\{x_7, x_8, x_9\}, \{x_{10}, x_{11}, x_{12}\};$

取 $\lambda=0.789$, 可将应急物资分为 4 类: $\{x_1, x_2, x_3\}, \{x_4, x_5, x_6\},$

$\{x_7, x_8, x_9\}, \{x_{10}, x_{11}, x_{12}\};$

取 $\lambda=0.762$, 可将应急物资分为 3 类: $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\},$

$\{x_7, x_8, x_9\}, \{x_{10}, x_{11}, x_{12}\};$

取 $\lambda=0.747$, 可将应急物资分为 2 类: $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7,$

$x_8, x_9\}, \{x_{10}, x_{11}, x_{12}\};$

取 $\lambda=0.511$, 可将应急物资分为 1 类: $\{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7,$

$x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}\}。$

动态聚类图如图 1 所示。借鉴《国家突发公共事件应急预案》中对突发公共事件的 4 级划分法, 把应急物资需求也分为 4 级: I 级(特级需求)、II 级(紧急需求)、III 级(较急需求)、IV 级(一般需求)。结合上述分析, 此时取 $\lambda=0.789$ 将应急物资分为以下 4 类: I 级: $\{x_7, x_8, x_9\}$; II 级: $\{x_{10}, x_{11}, x_{12}\}$; III 级: $\{x_1, x_2, x_3\}$; IV 级: $\{x_4, x_5, x_6\}。$

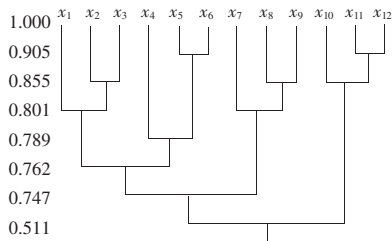


图 1 应急物资动态聚类图

6 结论

应急物资分级是应急物资管理的重要研究内容之一, 是制定应急物资储备策略的前提和基础。由于应急物资需求分级比普通物资要更加复杂, 需要考虑的影响因素更多, 所以传统 ABC 分类法并不适合对应急物资进行分类。该文在分析传统的 ABC 分类法存在的问题的基础上, 结合应急物资分类的特点, 提出了一种基于模糊聚类分析的突发事件应急物资分类方法。最后通过算例分析验证了该方法的可行性和有效性。

参考文献:

- [1] 王丰, 姜玉宏, 王进. 应急物流[M]. 北京: 中国物资出版社, 2007.
- [2] 宋晓秋. 模糊数学原理与方法[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 2004.
- [3] 高新波. 模糊聚类分析及其应用[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2004.
- [4] Milioli M A. Fuzzy clustering and consensus methods: An application to the analysis of Italian banks[J]. Applied Stochastic Models in Business and Industry, 1999, 15: 89-95.
- [5] Xu R, Wunsch II D. Survey of clustering algorithms[J]. IEEE Transactions on Neural Networks, 2005, 16(3): 645-678.
- [6] Windham M P. Cluster validity for fuzzy clustering algorithms[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1981, 5(2): 177-185.
- [7] Kwon S H. Cluster validity index for fuzzy clustering[J]. Electronic Letters, 1998, 34(22): 2176-2177.
- [8] 张燕. 混合型模糊聚类分析方法及其应用[J]. 河海大学学报, 2006, 34(3).
- [9] 陈世权, 郭嗣琮. 模糊预测[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1991.
- [10] 何清. 模糊聚类分析理论与应用研究进展[J]. 模糊系统与数学, 1998, 12(2): 89-94.