

冯博. 基于灰色聚类法评价救援队伍营救能力的探索[J]. 华南地震, 2017, 37(4): 61–65. [FENG Bo. Rescue Ability Evaluation of Rescue Team Based on Grey Clustering Method [J]. South China journal of seismology, 2017, 37(4): 61–65.]

## 基于灰色聚类法评价救援队伍营救能力的探索

冯 博

(甘肃省地震局, 兰州 730000)

**摘要:** 在地震救援行动中, 将营救能力作为一个灰色系统, 用灰色聚类法对救援队伍的营救能力进行评价, 以便为救援队伍营救能力分级提供量化依据。根据凿破、顶撑、切割等营救方法, 以及在营救过程中救援人员的安全防护要求, 确定凿破、顶撑、切割、安全防护覆盖率等八个因子作为聚类指标, 参照《INSARAG 指南》中的切割和破拆能力指标和德国联邦技术救援署 (THW) 统计的救援行动中人员肢体不同部位的受伤概率统计表, 将营救能力划分为 3 个层级作为 3 个灰类, 由于所选 8 个因子, 其取值范围, 数值大小各不相同, 为了便于比较, 将其变为白化数; 计算各聚类对象和营救能力评价因子的白化权函数和聚类权; 进而计算出各聚类对象的聚类系数, 最后按照最大隶属度原则确定聚类对象所属的类别。

**关键词:** 聚类指标; 营救能力; 灰类; 聚类权; 聚类系数; 地震救援

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662 (2017) 04-0061-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2017.04.011

## Rescue Ability Evaluation of Rescue Team Based on Grey Clustering Method

FENG Bo

(Gansu Earthquake Agency, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** In earthquake disaster relief operations, taking rescue capability as a grey system, the paper applies the grey clustering method to evaluate the rescue capability of rescue teams, and provides quantitative basis for classification of rescue ability. According to INSARAG guidelines and injury probability statistics to different parts of the body by Technisches Hilfswerk (THW), the paper defines eight factors such as cutting, protection coverage etc. Because of the range and the numerical of the factors are different, in order to facilitate comparison, the numbers will be changed into whitenization numbers. Whitenization weight functions, clustering weight and clustering coefficients to the gray classifications are calculated, and gray classifications of clustering objects are determined according to maximum membership degree law.

**Keywords:** Clustering indices; Rescue capability; Gray classification; Clustering weights; Clustering coefficients; Earthquake rescue

收稿日期: 2016-10-10

基金项目: 地震科技发展基金青年基金(2015Q01)

作者简介: 冯 博(1983-), 男, 工程师, 主要从事地震应急救援及地震救援培训工作。

E-mail: ourclass\_2002@qq.com.

0 引言

灰色系统理论基于数学理论,以“部分信息已知,部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象,通过对“部分”已知信息的生成和开发,提取有价值的信息,利用灰色聚类分析、趋势预测及系统控制等方法实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控<sup>[1-2]</sup>。

地震灾害紧急救援队伍的主要任务是对因地震或者其他突发事件造成建(构)筑物倒塌而被埋压的人员实施搜索和营救。在地震救援行动中,营救行动是指通过凿破、顶撑、切割等手段创建救援通道,扩展营救空间,从倒塌的建筑物或狭小空间中将被困人员解救出来<sup>[3-4]</sup>。营救过程是一个通过凿破、切割、顶升、支撑、建筑结构的倒塌类型、建筑材料等众多因素确定的复杂体系,如何合理地把握这些因素,确定它们对营救过程的贡献<sup>[5]</sup>,并且提出较为科学的评价方法,对分析救援队伍营救能力显得十分必要。国内外地震灾害紧急救援实践表明,地震灾情复杂,救援难度大,技术要求高,且队伍的技术方法和装备各异,不可能罗列所有的有关因素指标,因此,可以认为营救能力为灰色系统,对其按照灰色理论进行分类决策聚类<sup>[6-7]</sup>。

1 灰色聚类法的基本步骤

按聚类对象划分,灰色聚类可分为灰色关联聚类和灰色白化权函数聚类。灰色关联聚类主要用于同类因素的归并,以使复杂系统简化;灰色

白化权函数聚类主要用于检查观测对象是否属于事先设定的不同类别<sup>[8]</sup>。因此,本文选用灰色白化权函数聚类法评价救援队伍的营救能力。设有  $n$  个聚类对象(不同救援队伍),  $m$  个聚类指标(达标要求),  $s$  个不同的灰类(能力层级),灰色白化权函数聚类的基本步骤:

- (1) 给出  $j$  指标  $k$  子类白化权函数  $f_j^k (j=1, 2, \cdots, m; k=1, 2, \cdots, s)$ 。
- (2) 确定各指标的聚类权  $\eta_j (j=1, 2, \cdots, m)$ 。
- (3) 从步骤(1)和(2)得出的白化权函数  $f_j^k$ 、聚类权和对对象  $i$  关于  $j$  的观测值  $c_{ij} (i=1, 2, \cdots, n)$ , 从而计算出灰色聚类系数  $\sigma_i^k = \sum_{j=1}^m f_j^k (c_{ij}) \cdot \eta_j$ 。
- (4) 若  $\max \{ \sigma_i^k \} = \sigma_i^{k^*}$ , 则断定对象  $i$  属于灰类  $k^*$ 。

3 营救能力层级评价灰色聚类法的数学模型

3.1 变灰色数为白化数

依据《国际城市搜索与救援咨询团 (INSARAG) 指南》,城市搜索与营救队伍(USAR)切割和破拆钢筋混凝土墙、板、梁、柱、结构钢、金属板等建筑材料的具体尺寸,以及德国联邦技术救援署 (THW)统计的救援行动中人员肢体不同部位的受伤概率统计表,给出表 1 所指出的达标要求,由于其取值范围,数值大小各不相同,为了便于数据比较,要把这些灰色数变为白化数<sup>[9]</sup>。其方法为:取最大值为 100,其它数值都与最大值相比较而确定其值,数值以百分数表示,变化结果见表 2。

表 1 能力层级划分及影响因素数值  
Table 1 Ability level division and influence factors value

能力层次	影响因素							队员安全防护 覆盖率/%
	凿破钢筋混凝土 厚度/mm	顶撑重量/kg	切割深度/mm			切割宽度/mm		
			水泥柱或梁	金属板	钢结构	金属板	钢结构	
强	≥200	≥2500	≥450	≥20	≥260	≥1 000	≥102	≥93
中	100~200	1 000~2 500	300~450	10~20	127~260	700~1 000	76~102	82~93
弱	<100	<1 000	<300	<10	<127	<700	<76	<82

表 2 能力层级划分及影响因素数值的白化数值  
Table 2 Ability level division and the whitening value of influence factors

能力层次	影响因素							队员安全防护 覆盖率/%
	凿破钢筋混凝土 厚度/mm	顶撑重量/kg	切割深度/mm			切割宽度/mm		
			水泥柱或梁	金属板	钢结构	金属板	钢结构	
比照值	200	2500	450	20	260	1 000	102	93
强	≥100	≥100	≥100	≥100	≥100	≥100	≥100	≥100
中	75	70	83.3	75	74.4	85	87.3	94.1
弱	50	40	66.7	50	48.8	70	74.5	88.2

### 3.2 建立灰类白化权函数

表2中的数值值给出了表示变化分界点的数值,没有给出连续变化的数值。但在使用时,必须要用到界限点以外的数值,因此要把灰类白化

数用函数图形表示出来,称作灰类白化权函数<sup>[10]</sup>。在图形(图1~8)建立中,把灰类对象能力层级(强)、能力层级(中)、能力层级(弱)的能力层级划分用 $i$ 表示, $i=1, 2, 3$ 。把影响因素用 $j$ 表示, $j=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$ 。

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x < x_j^k(1) \\ \frac{x - x_j^k(1)}{x_j^k(2) - x_j^k(1)} & x \in [x_j^k(1), x_j^k(2)] \\ 1 & x \geq x_j^k(2) \end{cases} \quad (1)$$

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [x_j^k(1), x_j^k(4)] \\ \frac{x - x_j^k(1)}{x_j^k(2) - x_j^k(1)} & x \in [x_j^k(1), x_j^k(2)] \\ \frac{x_j^k(4) - x}{x_j^k(4) - x_j^k(2)} & x \in [x_j^k(2), x_j^k(4)] \end{cases} \quad (2)$$

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [0, x_j^k(4)] \\ 1 & x \in [0, x_j^k(3)] \\ \frac{x_j^k(4) - x}{x_j^k(4) - x_j^k(2)} & x \in [x_j^k(3), x_j^k(4)] \end{cases} \quad (3)$$

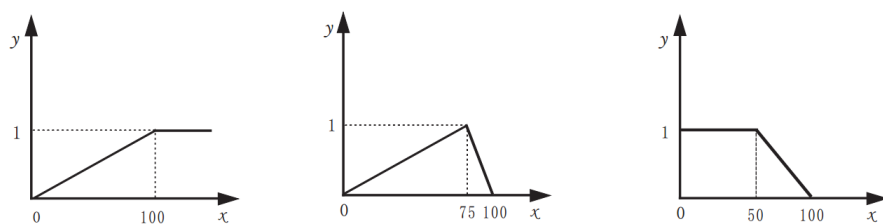


图1 灰类白化权函数图形(凿破钢筋混凝土)

Fig.1 Whitenization weight function graph(breaking steel concrete)

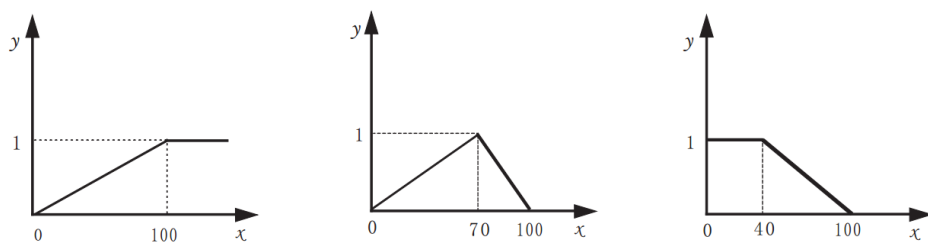


图2 灰类白化权函数图形(顶撑)

Fig.2 Whitenization weight function graph(lifting and support)

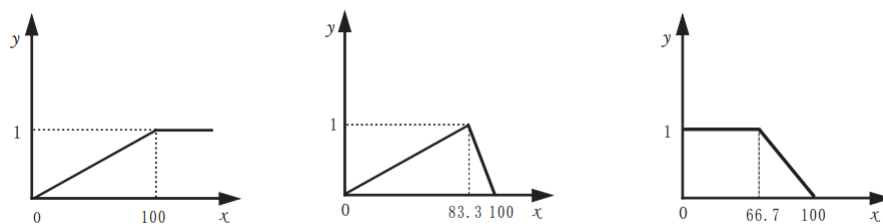


图3 灰类白化权函数图形(切割深度, 水泥柱或梁)

Fig.3 Whitenization weight Function graph (cutting depth, concrete column or beam)

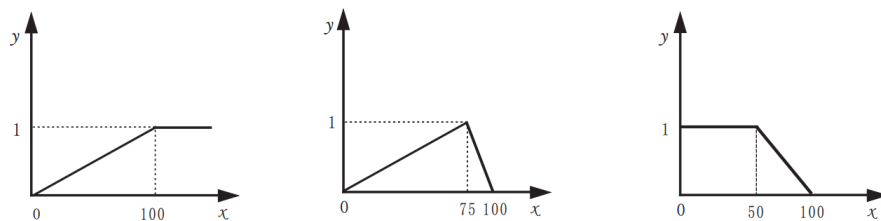


图4 灰类白化权函数图形(切割深度, 金属板)

Fig.4 Whitenization weight function graph(cutting depth, plate)

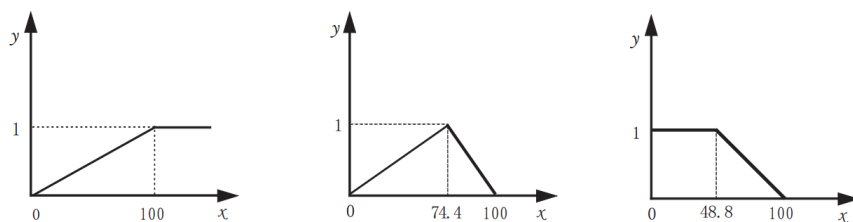


图5 灰类白化权函数图形(切割深度, 钢结构)

Fig.5 Whitenization weight function graph(cutting depth, steel structure)

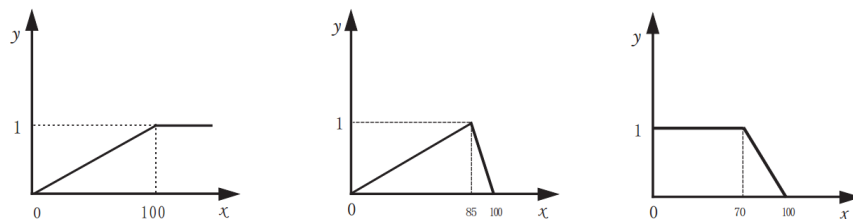


图6 灰类白化权函数图形(切割宽度, 金属板)

Fig.6 Whitenization weight function graph (cutting width, plate)

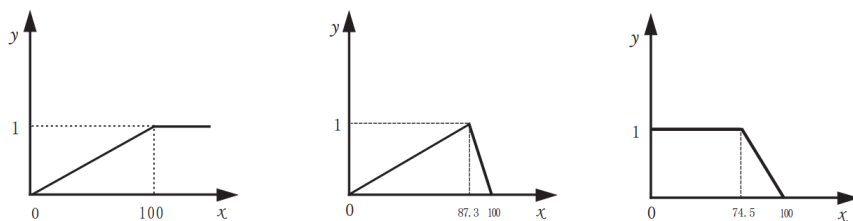


图7 灰类白化权函数图形(切割宽度, 钢结构)

Fig.7 Whitenization weight function graph(cutting width, steel structure)

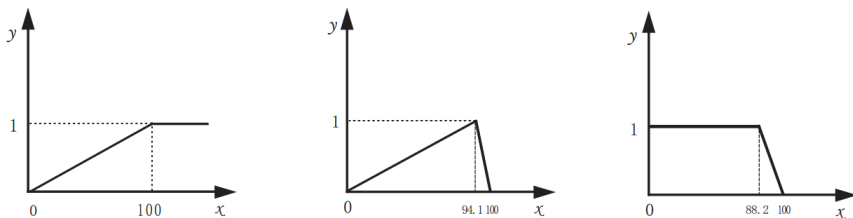


图8 灰类白化权函数图形(队员安全防护)

Fig.8 Whitenization weight function graph(protection)

### 3.3 标定聚类权重

标定聚类权重既是在判断能力层级时, 每一影响因素在判断该能力层级时所占的权重, 用符号表示, 其中  $k=1, 2, 3$  表示能力层次。  $j=$

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 表示影响因素。根据白化权函数, 用下式计算取标定聚类权重。

$$\eta_{kj} = \frac{\lambda_{kj}}{\sum_{j=1}^6 \lambda_{kj}} \quad (4)$$

式(4)中,  $\lambda$  为影响因素白化数的界限值, 其中  $\eta_{11}$ 、 $\eta_{21}$ 、 $\eta_{31}$  计算如下

$$\eta_{11}=100/800=0.125$$

$$\eta_{21}=75/(75+70+83.3+75+74.4+85+87.3+94.1)=0.116$$

$$\eta_{31}=50/(50+40+66.7+50+48.8+70+74.5+88.2)=0.102$$

分别把凿破、顶撑、切割科目和队员安全防护对救援队伍营救能力的贡献值都进行计算, 得出了聚类权重为一矩阵, 其值为:

$$\eta_{kj}=\begin{bmatrix} 0.125 & 0.125 & 0.125 & 0.125 & 0.125 & 0.125 & 0.125 & 0.125 \\ 0.116 & 0.109 & 0.129 & 0.116 & 0.116 & 0.132 & 0.136 & 0.146 \\ 0.102 & 0.082 & 0.137 & 0.102 & 0.100 & 0.143 & 0.153 & 0.181 \end{bmatrix}$$

有了白化权函数和标定聚类权重矩阵, 就等于建立了灰色类别的模型。运用该模型, 将各支队伍按材质要求, 开展凿破、切割所达到的厚度和宽度数值、顶撑重量以及队员安全防护覆盖率变为白化数, 就可以根据权函数和聚类权重矩阵,

计算各支队伍营救能力所属层级。

4 应用实例

根据国家陆地搜寻与救护(兰州)基地, 某期地震救援技术骨干培训班学员组成的救援队伍, 在规定的时间内, 展开几组营救科目, 获得的基本数值及变化后的白化数值表(见表3)。

根据白化数和权函数, 计算每一因素白化数对危险类别能力层级的贡献值矩阵, 用  $f_j^k$  表示

$$f_j^k=\begin{bmatrix} 0.9 & 0.8 & 0.444 & 0.7 & 0.695 & 0.6 & 0.725 & 0.882 \\ 0.4 & 0.667 & 0.533 & 0.933 & 0.93 & 0.706 & 0.83 & 0.937 \\ 0.2 & 0.333 & 1 & 0.6 & 0.602 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

用公式  $\sigma_i^k=\sum_{j=1}^m f_j^k(c_{ij})\cdot\eta_j$ , 计算聚类系数

$$\sigma_i^k=[0.718 \ 0.747 \ 0.783] \tag{5}$$

表3 基本数值及白化数值表  
Table 3 Basic value and whitening value

因素	凿破钢筋混凝土厚度/mm	顶撑重量/kg	切割深度/mm			切割宽/mm		队员安全防护覆盖率/(%)
			水泥柱或梁	金属板	钢结构	金属板	钢结构	
比较值	200	2 500	450	20	260	1 000	102	93
基本数值	180	2 000	200	14	180	600	74	82
白化数值	90	80	44.4	70	69.2	60	72.5	88.2

从计算结果看出, 该救援队伍营救能力层级属于强、中、弱的权重分别为 0.718、0.747、0.783, 其中属于弱能力的权重值 0.783 为最大值, 可判断该救援队伍的营救能力弱。

5 结语

(1) 灰色聚类法是一种涉及多指标、多类别的综合评价方法, 其信息利用度和精度都较高, 而且计算简单, 实用性强。采用此种方法规避了信息不完备的缺陷, 可以得出较为准确、可靠的等级分类性, 是较科学的数据处理方法。

(2) 由于能力层级划分中影响因素的数值决定了聚类权重, 因此应用灰色聚类法评价救援队伍营救能力, 关键要划分好不同层级影响因素的数值。

(3) 此方法的优越性体现在, 通过量化的方法对营救能力相当的队伍之间进行评价、分级可得到较好的评价效果。

(4) 此方法也可运用于救援队伍的其它能力评价, 但需要对救援队伍其它能力建立相应的细化标准。

参考文献:

[1] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2005.  
[2] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.  
[3] 王恩福, 黄宝森. 地震灾害紧急救援手册[M]. 北京: 地震出版社, 2010.  
[4] 韩炜, 陈维锋, 顾建华, 等. 地震救援行动的影响因素分析[J]. 灾害学, 2012, 27(4): 132-137.  
[5] 闫文周, 刘波. 用灰色聚类方法对旧建筑物结构安全性的评定[J]. 西安科技大学学报, 2009, 29(1): 122-126.  
[6] 罗党. 灰色决策问题分析方法 [M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2005.  
[7] 刘力, 周建中, 杨莉, 等. 基于熵权的灰色聚类在洪灾评估中的应用[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(4): 213-218.  
[8] 刘思峰, 谢乃明. 基于改进三角白化权函数的灰评估新方法[J]. 系统工程学报, 2011(2): 15-18.  
[9] 肖新平, 宋中民, 李峰. 灰技术基础及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.  
[10] 党耀国, 刘思峰. 灰色综合聚类评估模型的研究[J]. 统计与决策, 2004(10): 4-6.