

基于灰色模糊系统的非致命武器作战效能评估研究

杨 凯

(武警工程大学研究生二队, 陕西 西安 710000)

摘要: 针对当前作战效能评估方法依赖于专家经验的缺点, 在评估过程中非常容易受到主观因素以及实施过程中人为失误的干扰的缺陷, 本文选择采用灰色系统理论和模糊综合评价构建作战效能评估模型, 从而提高非致命武器作战效能评估中模型的可靠性和评估结果的准确性。

关键词: 作战效能; 灰色系统; 模糊评价; 评估方法

中图分类号: TJ99

文献标识码: A

DOI: 10.12230/j.issn.2095-6657.2021.44.020

非致命武器是武警部队在执行相关任务的过程中, 同时在保证实施对象性命的基础上能够迅速有效的令其失去反抗能力而配备的武器^[1]。此类武器的使用, 在保证完成任务中的作战效能的同时, 也要确保不对实施对象具有严重的致命性, 就是既要目标对象实施失能伤害又要保证不能造成过度的伤害。因此, 采用科学有效的方法对非致命武器的作战效能展开评估, 对其研发、使用及改进优化等方面有着重大意义。现有文献显示, 当前人们大多使用 AHP^[2]、ADC^[3]、云模型^[4]等, 但上述所使用的方法容易被专家个人的主观因素所影响, 在评估过程中非常容易受到主观因素以及实施过程中人为失误的干扰, 最终造成结果与实际产生一定的偏差^[5]。非致命武器作战效能评估在实际运用中涉及的方面及影响因素较多, 其构成成分较为复杂, 通过查阅相关文献以及与前期的研究对比, 本文选择采用灰色系统理论和模糊综合评价构建作战效能评估模型。

一、非致命武器作战效能评估指标体系

评价指标选取过程中既要想到单一指标对于系统的限制, 还要想到冗余指标对于系统的干扰, 因此评估系统下的指标选择必须考虑周全, 选取的指标应当科学合理。综上所述, 本文在实施评估过程中其指标选取应当符合以下条件^[6]。

完备性原则: 完备的评价指标体系能够保证我们从各个方面去评价目标对象, 准确客观地去评估目标对象的能力强弱。

独立性原则: 组成评价指标体系下的所有指标应当能够准确地概括出其对应的某种能力, 防止不同指标概括出的内容存在交叉重叠。

科学性原则: 由于是对非致命武器作战效能进行评估, 因此其指标体系应当结合该类型武器的相关方面如构造、使用性能、使用场景等具体情况进行确定。

实用性原则: 对作战效能的分析与评价具有一定的抽象性, 但是具体的对应的评价指标中应当坚持实用性为主。

基于上述原则, 结合相关文献^[7]设计如表 1 所示的评价指标体系。

表 1 评价指标体系

非致命武器作战效能 E	作用目标 A	作用人群 A1
		心理效应 A2
		作用部位 A3
	战术适应 B	天气因素 B1
		地形因素 B2
		指挥因素 B3
		目标对象聚集度 B4
	能力指标 C	作用距离 C1
		有效射程 C2
		可靠性 C3
		实用性 C4

二、构建灰色模糊系统评估模型

(一) 灰色系统理论

灰色系统理论^[8]是一种控制论, 但其信息是不明确的, 或者是信息是不完全的, 当前该理论已经应用于经济、生态、军事^[9]等众多领域, 其理论与应用的相关研究都取得了很大进展。本文是在模糊综合评价模型的基础上, 将评价样本矩阵通过灰色关联统计的方法转化为灰色模糊评价权矩阵, 从而求出该评价结果所隶属的评价等级。具体转化过程如下。

1. 确定评估灰类

令评估的对象具有 m 个指标, s 个灰类, 则其指标 j 的第 i 个观测值为 x_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$)。

根据评估目标的需要, 把指标取值分成 s 个灰类。以 s 个区间 $[x_{ij}^1, x_{ij}^2], \dots, [x_{ij}^{k-1}, x_{ij}^k], \dots, [x_{ij}^{s-1}, x_{ij}^s], [x_{ij}^s, x_{ij}^{s+1}]$, 划分指标 j 的取值范围 $[x_{ij}^j, x_{ij}^{j+1}]$, 其中 x_{ij}^k ($j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, s, s+1$) 的值可以由具体需求进行分析确定。

令 $\lambda_k = \frac{x_{ij}^k + x_{ij}^{k+1}}{2}$ 作为第 k 个灰类对应的白化权函数值, 其连接点 $(\lambda_k, 1)$ 与第 $k-1$ 个灰类的起点 x_{ij}^{k-1} 和第 $k+1$ 个灰类的终点 x_{ij}^{k+2} , 由此获得其对应的三角白化权函数 $f_{ij}^k(x_{ij})$ ($j=1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, s$), 对于 $f_{ij}^k(x_{ij})$ 和 $f_{ij}^s(x_{ij})$, 下标 j 的取值可左右扩展至 x_{ij}^0 和 x_{ij}^{s+2} 。

指标 j 的一个观测值 x_{ijk} 公式为:

$$f_{ij}^k(x_{ij}) = \begin{cases} 0 & x_{ij} \notin [x_{ij}^{k-1}, x_{ij}^k] \\ \frac{x_{ij} - x_{ij}^{k-1}}{\lambda_k - x_{ij}^{k-1}} & x_{ij} \in [x_{ij}^{k-1}, \lambda_k] \\ \frac{x_{ij}^{k+1} - x_{ij}}{\lambda_k - x_{ij}^{k+1}} & x_{ij} \in [\lambda_k, x_{ij}^{k+1}] \end{cases} \quad (2-1)$$

通过上式则可计算其属于灰类 $k(1, 2, \dots, s)$ 的隶属度 $f_{ij}^k(x_{ijk})$, 其中 $\lambda_j^k = \frac{x_{ij}^k + x_{ij}^{k+1}}{2}$ 。

2. 确定灰色评估系数和统计数

对于基础评估指标 U_{jk} , 设有 p 个实现值。此基础指标观测值属于第 $e(e=1, 2, \dots, s)$ 灰类的灰色评估系数记为 n_{jk}^e , 则:

$$n_{jk}^e = \sum_{d=1}^p f_e(x_{jkd}^e) \quad (2-2)$$

对基础评估指标 U_{jk} , 将 n_{jk}^e 作为观测指标对应灰类的总灰色评估系数, 则:

$$n_{jk} = \sum_{e=1}^s n_{jk}^e \quad (2-3)$$

3. 确定灰色评估权向量和矩阵

假设基础评估指标 U_{jk} 为第 e 个灰类下的灰色权重, 记为 r_{jk}^e , 则:

$$r_{jk}^e = \frac{n_{jk}^e}{n_{jk}} \quad (2-4)$$

由于 $e=1, 2, \dots, s$, 因此基础指标 U_{jk} 对于各灰类的灰色评估权向量 $r_{jk} = (r_{jk}^1, r_{jk}^2, \dots, r_{jk}^s)$ 。从而可得到上层级评估指标 U_j 所属下层级基础指标 U_{jk} 的灰色权矩阵 R_j 。

(二) 模糊综合评价

模糊综合评价^[10]是一种对于多因素影响下系统的评价方

法，其主要优点就是其结果是模糊的，而不是一种绝对唯一的答案。假设 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 为因素集， $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 为评语集，则该方法的步骤如下。

1. 单因素相关评价

确定和评价因素集 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_m\}$ 中的各个单因素 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ ，判定单因素 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 针对评价集 $v_j (j=1, 2, \dots, n)$ 的隶属度 r_{ij} ，得到第 i 个评价因素 u_i 的单因素评价集 $r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ 。单因素评价集 $r_i = (r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in})$ 即为总评对应的集合 V 的一个相关模糊子集。

2. 确定综合评判矩阵

将所有 m 个单因素评价集组合形成一个以行向量为表示方式的总评价矩阵。

3. 确定因素影响程度模糊集

设影响因素在系统允许取值集合 U 下某个模糊子集为 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ ，其中 a_i 为因素 $u_i (i=1, 2, \dots, m)$ 在总评价中得出的影响程度的量化数值。也就是说，集合 A 是集合 U 的一个表征因素重要程度的模糊子集， a_i 表示因素 u_i 的重要程度系数。

4. 确定模糊综合评价集

由集合 A 对综合评价矩阵 R 作模糊线性变换，将 A 转化成总评对应的集合 V 下的模糊子集 B ，则 $B = A * R = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ ，其中 “*” 表示广义模糊合成运算。

5. 评价对象综合评判

遵循统计学中最大隶属度原则，选取模糊综合评价集 $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ 中最大的 b_j ，得到其所对应的等级 v_j ，则 v_j 为对评价对象进行模糊综合评价所得的结论。

三、基于灰色模糊系统的非致命作战效能评估

(一) 评价指标权重的确定

本文采用层次分析法判断和确定各指标的权重。当构造判断矩阵时，将资料分发给该领域的专家、业务人员以及一线工作人员，将上述不同人员关于某评价指标所打的分值构造成判断矩阵。采用萨迪^[11]的标度法，如表 2 所示，待回收专家填写的调查问卷后，得到判断矩阵表 3~6。

表 2 萨迪标度法

标度	含义
1	表示两个指标相比，重要性相同
3	表示两个指标相比，前者比后者稍重要
5	表示两个指标相比，前者比后者明显重要
7	表示两个指标相比，前者比后者强烈重要
9	表示两个指标相比，前者比后者极端重要
2, 4, 6, 8	表示上述判断的中间值
倒数	设指标 i 与指标 j 的重要性之比为 a_{ij} ，那么指标 j 与指标 i 的重要性之比 $a_{ji} = 1/a_{ij}$

表 3 E 判断矩阵

E	A	B	C
A	1	3	2
B	1/3	1	1/2
C	1/2	2	1

表 4 A 判断矩阵

A	A1	A2	A3
A1	1	2	2
A2	1/2	1	1/2
A3	1/2	1/2	1

表 5 B 判断矩阵

B	B1	B2	B3	B4
B1	1	2	1/2	1/3
B2	1/2	1	1/3	1/2
B3	2	3	1	3
B4	3	2	1/3	1

表 6 C 判断矩阵

C	C1	C2	C3	C4
C1	1	3	4	4
C2	1/3	1	2	2
C3	1/4	1/2	1	2
C4	1/4	1/2	1/2	1

根据以上判断矩阵，按照公式 (2-5) 计算每个指标的权重，得到权重向量表 7。由于当指标维数少于 3 维时，判断矩阵式是容易做到完全一致的，故不需要计算一致性指标^[12]。

$$W_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i=1, 2, \dots, n$$

$$w_i = \frac{\sqrt[n]{W_i}}{\sum_{j=1}^n \sqrt[n]{W_j}}, i=1, 2, \dots, n \quad (2-5)$$

表 7 权重向量表

评价指标	权重值	评价指标	权重值	评价指标	权重值	评价指标	权重值
A	0.540	A1	0.421	B1	0.166	C1	0.534
B	0.163	A2	0.247	B2	0.113	C2	0.218
C	0.297	A3	0.332	B3	0.453	C3	0.145
				B4	0.268	C4	0.102

(二) 实例应用

1. 确定评价样本矩阵

为了详细计算以具体说明，本文以某一行动案例中的某类非致命武器实际使用为例，根据表 1 所示的评价指标进行了专家评分，得到了表 8。

表 8 专家打分表

专家	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A1	7	6	5	7	6	7	7	6	8	7
A2	5	6	6	7	6	6	5	6	7	6
A3	9	8	8	7	8	8	6	8	8	8
B1	7	6	5	6	6	5	6	6	6	6
B2	7	6	6	7	7	7	7	8	7	7
B3	9	8	9	8	9	9	7	9	9	9
B4	9	8	9	9	8	9	9	9	8	9
C1	8	9	9	8	8	7	8	8	7	8
C2	6	7	6	6	5	6	6	6	5	6
C3	8	7	8	8	6	8	8	9	9	8
C4	7	8	7	7	6	7	9	7	6	7

2. 确定评价等级及评价灰类

根据测度理论与非致命武器作战效能评估研究相关资料，将其划分为优、良、中、差 4 个等级，相应评价等级为： $V = [8, 6, 4, 2]$ 。根据所划分的 4 个评价等级，对应每个等级设定一个评价灰类 e ， $e = 1, 2, 3, 4$ 则分别表示优、良、中、差 4 个等级，对应的白化权函数如表 9 所示。

表 9 灰类白化权函数评价等级

灰度	灰度 $\otimes_1 = [8, \infty]$	灰度 $\otimes_2 = [0, 6, 12]$	灰度 $\otimes_3 = [0, 4, 8]$	灰度 $\otimes_4 = [0, 2, 4]$
白化权函数	$f_1(d_j) = \begin{cases} \frac{d_j}{8} & d_j \in [0, 8] \\ 1 & d_j \in [8, \infty] \\ 0 & d_j \notin [0, \infty] \end{cases}$	$f_2(d_j) = \begin{cases} \frac{d_j}{6} & d_j \in [0, 6] \\ \frac{d_j - 12}{-6} & d_j \in [6, 12] \\ 0 & d_j \notin [0, 12] \end{cases}$	$f_3(d_j) = \begin{cases} \frac{d_j}{4} & d_j \in [0, 4] \\ \frac{d_j - 8}{-4} & d_j \in [4, 8] \\ 0 & d_j \notin [0, 8] \end{cases}$	$f_4(d_j) = \begin{cases} 1 & d_j \in [0, 2] \\ \frac{d_j - 4}{-2} & d_j \in [2, 4] \\ 0 & d_j \notin [0, 4] \end{cases}$

3. 模糊评价

灰色统计数是指针对某项评价指标，评价对象是第 e 个评价灰类的灰色评价数，记为 x_{ie} ，则有： $x_{ie} = \sum_{i=1}^n f_e(d_{ii})$ 其计算结果如表 10。

表 10 对应灰色评价数

	x1e	x2e	x3e	x4e
A1	8.250	8.667	3.500	0.000
A2	7.500	9.333	5.000	0.000
A3	9.625	7.000	0.750	0.000
B1	7.375	9.500	5.250	0.000
B2	8.625	8.500	2.750	0.000
B3	9.875	5.667	0.250	0.000
B4	10.000	5.500	0.000	0.000
C1	9.750	6.667	0.500	0.000
C2	7.375	9.500	5.250	0.000
C3	9.625	6.833	0.750	0.000
C4	8.750	8.167	2.500	0.000

总灰色统计数是指评价对象对应的每一个评价灰类的总灰色评价数，记为 x_i ，则： $x_i = \sum_{e=1}^n x_{ie}$ ，其计算结果如表 11。

表 11 总灰色统计数值表

总灰色评价数	具体数值	总灰色评价数	具体数值	总灰色评价数	具体数值	总灰色评价数	具体数值
x1	20.417	x10	22.125	x19	15.500	x28	17.208
x2	21.833	x11	19.875	x20	16.9167	x29	19.417
x3	17.375	x12	15.792	x21	22.125	x30	

设 r_{ie} 为每位专家在某项评价指标 i 上，主张灰色评价权为第 e 个灰类，则有： $r_{ie} = \frac{x_{ie}}{x_i}$ ，求得灰色评价权向量各个数值如表 12。

表 12 灰色评价权向量

指标	灰类1	灰类2	灰类3	灰类4
A	0.439	0.418	0.143	0
B	0.561	0.377	0.062	0
C	0.508	0.405	0.087	0
E	0.479	0.407	0.113	0

由表 12 可知各指标的灰色评价权向量，故：

$$EA = [0.439, 0.418, 0.143, 0] * [8, 6, 4, 2] = 6.59$$

$$EB = [0.561, 0.377, 0.062, 0] * [8, 6, 4, 2] = 6.99$$

$$EC = [0.508, 0.405, 0.087, 0] * [8, 6, 4, 2] = 6.84$$

$$EE = [0.479, 0.407, 0.113, 0] * [8, 6, 4, 2] = 6.73$$

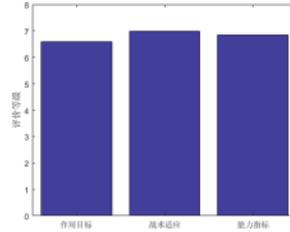


图 1 一级指标评价得分

评价结果：该案例中非致命武器作战效能的总体评价分值为 6.73，属于优秀等级。其中一级指标评价得分如图 1 所示，分别为 6.59、6.99、6.84，均达到优秀等级。即 10 位专家对该案例中非致命武器的作战效能的评估为优秀等级，与实际评估结果相吻合。

四、结束语

在评价非致命武器作战效能这种模糊指标较多的问题时，灰色模糊系统能在模糊综合评判的基础上通过对评判集进行打分定量评估，将影响武器作战效能的各项因素都融于于综合性的评分中，评价结果比较准确，能较客观的反映其效能水平。

参考文献：

[1] 潘兆民, 王家磊, 马率. 非致命武器发展现状及趋势[J]. 中国军转民, 2021 (01): 63-64.

[2] 陶杨. 自适应层次分析法在机载侦察设备作战效能评估中的应用[J]. 指挥与控制学报, 2018, 4 (04): 4.

[3] 初欣阳, 廖学军, 许钦羨, 等. 改进 ADC 法在无人侦察机作战试验阶段作战效能评估应用[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41 (08): 89-96.

[4] 吕红亮, 杨风暴, 吉琳娜, 等. 基于博弈云模型的目标作战效能态势评估方法[J]. 火力与指挥控制, 2020, 45 (06): 135-140.

[5] 马森, 郭三学, 王世贝. 基于模糊层次分析法的抛锚器作战效能评估[J]. 火力与指挥控制, 2019, 44 (10): 66-70.

[6] 章勇. 机器学习在电磁炮系统效能评估中的应用研究[D]. 中北大学, 2019.

[7] 彭明, 安纯前. 非致命武器作战效能评估仿真[J]. 四川兵工学报, 2012, 33 (07): 66-68, 71.

[8] 蒋诗泉, 刘思峰, 刘中侠. 基于直觉灰数集的灰色多属性决策方法[J]. 统计与信息论坛, 2020, 35 (03): 3-8.

[9] 蒋一峰, 郭三学, 戎宜生. 射频非致命武器综合效能评估研究[J]. 军械工程学院学报, 2016, 28 (04): 8-12.

[10] 王月, 郝金明, 刘伟平. 基于灰色关联分析和模糊综合评判的 GNSS 欺骗干扰效能评估[J]. 电子学报, 2020, 48(12): 2352-2359.

[11] 王红旗, 牟泽龙, 郭亚子. 基于层次分析与模糊综合评价的无人机精确保障效能评估[J]. 舰船电子工程, 2021, 41 (05): 109-112.

[12] 蒋贤沛, 郭三学, 刘小华, 等. 基于直觉模糊的强声非致命武器作战效能评估研究[J]. 军械工程学院学报, 2016, 28 (05): 5-9.

作者简介：杨凯（1991-），男，江西丰城人，本科，武警工程大学研究生二队，从事装备研究。