

# 基于灰色层次分析法的空战武器作战效能评估

张列航

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

**摘要:**空对空作战效能是飞机空战能力的综合反映,也是对双方的战斗力的主要指标的评价;对影响空空武器系统作战效能的因素进行了分析,建立了空对空武器系统作战效能评估指标体系;利用层次分析法计算每个因素权重,使用模糊数学理论建立模糊隶属函数,结合层次分析法和灰色理论评价武器系统作战效能。

**关键词:**空空武器系统;作战效能评估;灰色层次分析法

**本文引用格式:**张列航. 基于灰色层次分析法的空战武器作战效能评估[J]. 四川兵工学报, 2015(9):154-157.

**Citation format:**ZHANG Lie-hang. Operational Efficiency Evaluation of Air-to-Air Weapon System by Grey Analytic Hierarchy Process[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2015(9):154-157.

中图分类号:TJ85

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2015)09-0154-04

## Operational Efficiency Evaluation of Air-to-Air Weapon System by Grey Analytic Hierarchy Process

ZHANG Lie-hang

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

**Abstract:** Operational efficiency evaluation of efficiency evaluation of air-to-air is composite reflection in the aircraft air operation, and it is the key indicator of evaluating air combat capability. The factor which influent operational efficiency evaluation of air-to-air weapon system was analyzed, and the index system was established. The weight value of the factors in the airfight was calculated by using analytic hierarchy process, and fuzzy membership function was established by utilizing fuzzy mathematics theory. Operational efficiency evaluation of air-to-air  $w$  system was evaluated by means of combining AHP with grey theory.

**Key words:** air-to-air weapon system; operational efficiency evaluation; grey analytic hierarchy process

空空作战是现代战争中不可避免的对抗模式,作战指挥和设备开发部门最关心的问题是准确评估飞机的空战能力,空对空作战飞机效能是空中力量双方斗争的主要评价指标,是赢得战争胜利的重要因素。飞机作战效能就是飞机完成预定作战任务的能力。飞机作战效能评价与较多参数有关。部分参数可以进行精确计算或者测量,部分参数只能进行评价。

专家评价法是一种飞机作战效能评估的基本方法,作战飞机能力的评价国外多利用该方法,尤其是直接用数字表达比较困难的时候。用层次分析法处理专家的评估意见,得出的结果更准确,更科学。层次分析方法是一种采用递阶层次结构,结合定性判断和定量计算,对经验评价进行数值化的

分析方法。

灰色层次分析法中,评价矩阵中的元素通过灰数和白化权函数计算得出,此方法使效能评估更加有效和精确。

### 1 灰色层次分析法

灰色层次分析法将灰色系统理论与层次分析法联合。同时具有其二者的优点。

#### 1.1 构建空战武器系统作战效能评估指标体系

建立空战武器系统作战效能评估指标体系是层次分析法的重要的一步。空对空武器系统作战效能是指在特定条件下,空对空武器系统被用来执行特定的空战任务,可以达

到预期目标的程度,是衡量其作战能力主要度量指标。

分析空对空武器系统作战效能的影响因素是作战效能评估指标体系层次结构建立的重要前提。空对空武器系统必须提高飞机的生存能力、机动能力,操控能力和空战半径,还应提升其机载拦截导弹的能力,近距离作战的性能,机载火控雷达的性能要高,并与空空导弹的性能,机载设备、飞机的性能适应。

通过分析,空对空作战效能主要由7个指标来衡量。主要包括机动能力,武器性能,雷达的探测能力,操控能力,生存能力,电子对抗能力,空对空作战半径<sup>[1]</sup>。武器的下一层中远程距拦截导弹、近距离格斗导弹、航炮,建立一个评估指标体系的多层次结构模型,具体见图1。

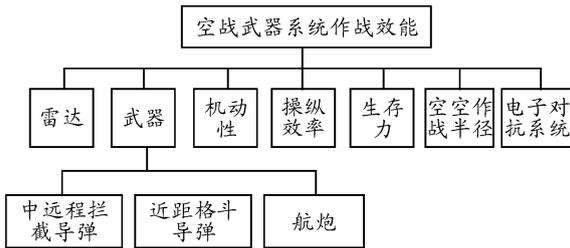


图1 空对空武器系统作战效能指标层次结构

## 1.2 计算指标权重

在评价指标体系中,每个指标的权重有所不同。为了使模型更实用,首先需要确定各指标的权重。一般采用通常利用层次分析法(AHP),其方法是:对同一层次的各因素两两间的重要性根据专家的打分结果。然后进行定量比较,将比值构造为判断矩阵;然后确定特征向量矩阵的最大特征值的计算,并检查矩阵的一致性;最后得出各个指标的权重值<sup>[2]</sup>  $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ 。

## 1.3 确定评价样本矩阵

本文是在1~9标度法的基础上,各指标的空对空武器系统评分分为5个等级,如分为很好,好,一般,差,很差5级,将其赋值为9,7,5,3,1;

样本矩阵根据专家的评价分值表,采用各种方法获得。

例如,如果专家来自不同的领域,从不同方面评价,具有不同的重要性,可以根据每一组的重要程度将专家分成若干组,采取不同的权重,用加权平均的方法得到的;如果专家具有完全同等的重要性,则按相同权重进行处理。

求评估指标值矩阵  $D_{ij}^A$ , 即:

$$D_{ij}^A = \begin{bmatrix} d_{11}^{(A)} & d_{12}^{(A)} & \cdots & d_{1i}^{(A)} \\ d_{21}^{(A)} & d_{22}^{(A)} & \cdots & d_{2i}^{(A)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{j1}^{(A)} & d_{j2}^{(A)} & \cdots & d_{ji}^{(A)} \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 1.4 确定评价灰类

确定评价灰类。就是要明确评估灰类的等级数、灰数和其白化权函数。这些可以通过对具体对象的分析,定性得出。

根据评分标准得分指标,设置相应5个评价灰类,  $e=1,$

2,3,4,5,的灰类的编号,分别是“好,好,一般,差,差”,如图2所示。

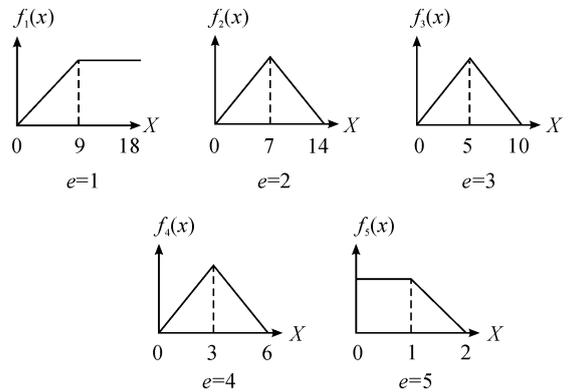


图2 白化权函数示意图

其转折点的值称为白化权函数阈值,必须与一般准则或者经验相符合,采用类比的方法得到(该方法得到阈值为客观阈值)。

从样本矩阵中,找出最大,最小值和上限,下限和中间值,作为上限、下限和中间的阈值(该方法得到阈值为相对阈值)。

5个灰类其对应灰数区间和白化函数如图2所示<sup>[3]</sup>。

$n=1$ ,灰数是  $1 \in [0, 9, \infty]$ ,白化权函数是  $f_1$ ;

$n=2$ ,灰数是  $2 \in [0, 7, 14]$ ,白化权函数是  $f_2$ ;

$n=3$ ,灰数是  $3 \in [0, 5, 10]$ ,白化权函数是  $f_3$ ;

$n=4$ ,灰数是  $4 \in [0, 3, 6]$ ,白化权函数是  $f_4$ ;

$n=5$ ,灰数是  $5 \in [0, 1, 2]$ ,白化权函数是  $f_5$ 。

$$f_1(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji}}{9}, & d_{ji} \in [0, 9] \\ 1, & d_{ji} \in [9, \infty] \\ 0, & d_{ji} \in [-\infty, 0] \end{cases} \quad (2)$$

$$f_2(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji}}{7}, & d_{ji} \in [0, 7] \\ 2 - \frac{d_{ji}}{7}, & d_{ji} \in [7, 14] \\ 0, & d_{ji} \notin [0, 14] \end{cases} \quad (3)$$

$$f_3(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji}}{5}, & d_{ji} \in [0, 5] \\ 2 - \frac{d_{ji}}{5}, & d_{ji} \in [5, 10] \\ 0, & d_{ji} \notin [0, 10] \end{cases} \quad (4)$$

$$f_4(d_{ji}) = \begin{cases} \frac{d_{ji}}{3}, & d_{ji} \in [0, 3] \\ 2 - \frac{d_{ji}}{3}, & d_{ji} \in [3, 6] \\ 0, & d_{ji} \notin [0, 6] \end{cases} \quad (5)$$

$$f_5(d_{ji}) = \begin{cases} 1, & d_{ji} \in [0, 1] \\ 2 - d_{ji}, & d_{ji} \in [1, 2] \\ 0, & d_{ji} \notin [0, 2] \end{cases} \quad (6)$$

1.5 计算灰色评估系数

根据  $D_j^{(A)}$  和  $f_k(d_{ji})$  计算得出受评者  $J$  相对于评估指标  $A$  的第  $K$  类灰色评估系数, 标记为  $n_{jK}^{(A)}$  计算公式为

$$n_{jK}^{(A)} = \sum_{i=1}^i f_k(d_{ji}^{(A)}) \quad (7)$$

相对于评估指标  $A$ , 受评者  $J$  隶属于每个评估灰类的总的灰色评估系数为  $n_j^{(A)}$ :

$$n_j^{(A)} = \sum_{i=1}^k f_k(n_{jK}^{(A)}) \quad (8)$$

1.6 计算灰色评估权向量和权矩阵

$$r_j^{(A)} = \frac{n_{jK}^{(A)}}{n_j^{(A)}} \quad (9)$$

$K=1,2,\dots,K; J=1,2,\dots,j$ , 可以计算得出受评者相对于评估指标  $A$  的灰色评估矩阵:

$$R^A = \begin{bmatrix} r_{11}^{(A)} & r_{12}^{(A)} & \dots & r_{1k}^{(A)} \\ r_{21}^{(A)} & r_{22}^{(A)} & \dots & r_{2k}^{(A)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{j1}^{(A)} & r_{j2}^{(A)} & \dots & r_{jk}^{(A)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

1.7 进行综合评估

综合评价为:  $U^A = WR^A$ , 然后对每个等级灰类进行赋值, 其灰类等级为  $D = (9, 7, 5, 3, 1)$ , 于是, 可以得到综合评估值,  $S = U^A D^T$ 。

2 算例

采用灰色层次分析法评估了某型飞机的空对空作战效能, 具体如表 1 所示。

表 1 飞机空战能力各因素的评估矩阵

对空空机能力	A1 (雷达)	A2 (武器)	A3 (机动能力)	A4 (操纵效能)	A5 (生存力)	A6(空空作战半径)	A7 (电子对抗)
A1(雷达)	1	2	3	5	7	5	4
A2(武器)	1/2	1	3	4	6	4	3
A3(机动能力)	1/2	1/3	1	3	4	3	2
A4(操纵效能)	1/5	1/4	1/3	1	2	1	1/2
A5(生存力)	1/7	1/5	1/4	1/2	1	1/2	1/3
A6(空空作战半径)	1/7	1/4	1/4	1/2	2	1	1/3
A7(电子对抗)	1/3	1/3	1/2	2	3	2	1
$W$	0.351 0	0.253 6	0.152 0	0.059 4	0.036 9	0.046 4	0.100 6

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i} = 7.101 2 \quad (11)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.016 8 \quad (12)$$

$$RI = 1.36 \quad CR = 0.012 \quad (13)$$

$CR \leq 0.1$  时, 就认为判断矩阵一致性是符合要求的。否则, 需要调整判断矩阵, 证明判断矩阵中有某些需要修正的不合理的部分。

设 6 位专家给出的指标评价样本矩阵  $D$  为

$$D = \begin{bmatrix} 8 & 7 & 6.5 & 6 & 8 & 9 \\ 7 & 8 & 6.5 & 6 & 5.5 & 6 \\ 6.5 & 7 & 6.5 & 8 & 7 & 6 \\ 7 & 6 & 5.5 & 6 & 8 & 6 \\ 8 & 7 & 5.5 & 6.5 & 6 & 7 \\ 6 & 7 & 7 & 8 & 6.5 & 7 \\ 8 & 6 & 5 & 5.5 & 7 & 6 \end{bmatrix}$$

$$E = 1; x_{11} = f_1(8) + f_1(7) + f_1(6.5) + f_1(6) + f_1(8) + f_1(9) = 4.944 4;$$

$$E = 2; x_{12} = f_2(8) + f_2(7) + f_2(6.5) + f_2(6) + f_2(8) + f_2(9) = 4.357 1;$$

$$E = 3; x_{13} = f_3(8) + f_3(7) + f_3(6.5) + f_3(6) + f_3(8) + f_3(9) = 3.1;$$

$$E = 4; x_{14} = f_4(8) + f_4(7) + f_4(6.5) + f_4(6) + f_4(8) + f_4(9) = 0;$$

$$E = 5; x_{15} = f_5(8) + f_5(7) + f_5(6.5) + f_5(6) + f_5(8) + f_5(9) = 0;$$

$$x_1 = 12.401 5;$$

$$r_1 = (0.398 7, 0.351 3, 0.25, 0, 0);$$

$$\text{同理: } R_2 = (0.271 1, 0.330 7, 0.387 8, 0.010 4, 0);$$

$$R_3 = (0.271 4, 0.383 0, 0.226 4, 0.119 2, 0);$$

$$R_4 = (0.233 8, 0.436 9, 0.276 9, 0.010 7, 0);$$

$$R_5 = (0.292 7, 0.432 8, 0.263 5, 0.011 0, 0);$$

$$R_6 = (0.314 4, 0.433 4, 0.252 2, 0, 0);$$

$$R_7 = (0.258 9, 0.430 5, 0.279 6, 0.031 0, 0);$$

其综合评估结果为:  $U^A = WR^A = (0.315 3, 0.370 7, 0.286 5, 0.024 9, 0);$

对每个等级灰类进行赋值, 其灰类等级为  $D = (9, 7, 5, 3, 1)$ , 某飞机的空对空武器系统作战效能综合评估值  $S = U^A D^T = 6.939 8$ 。属于一般与较好之间的水平, 更接近与较好水平。

### 3 结论

本文分析了影响飞机空-空作战能力的指标,并运用专家评估法对其进行了评估的过程中,利用层次分析法确定各指标的权值,采用灰色层次分析法对某空对空武器系统的作战效能进行了定量评价,这种评估方法科学合理,减少了主观因素的影响,从而提高了效能评估的有效性和精确度。可以为空对空武器系统作战效能评估提供参考。

### 参考文献:

- [1] 朱宝夔,朱荣昌,熊笑非. 作战飞机效能评估[M]. 北京:航空工业出版社,2006.
- [2] 孙晓敏. 战斗机作战效能评估研究[D]. 西安:西北工业大学硕士学位论文,2000.
- [3] 蔡艳军. 灰色层次分析法战术通信网抗干扰效能评估[J]. 火力与指挥控制,2012,37(6):53-54.

- [4] 余辉,陆贵先,陈扬,等. 电子战系统作战效能灰色层次评估[J]. 无线电工程,2009(11):61-64.
- [5] 王连生,曾家有,汪浩,等. 一种空空导弹武器系统综合作战效能模糊评估方法[J]. 航空兵器,2006,42(2):47-49.
- [6] 李延杰. 导弹武器系统的效能及其分析[M]. 北京:国防工业出版社,2000.
- [7] 王礼沅,张恒喜,徐浩军. 基于粗糙集的空战效能多指标综合评估模型[J]. 航空学报,2008,7(4):880-885.
- [8] 吕艳辉,潘成胜. 基于 AHP 的灰色评估模型及其应用[J]. 火力与指挥控制,2005,30(8):80-82.
- [9] 郭齐胜,邛志刚,杨瑞平,等. 装备效能评估概论[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [10] 陈永光,李修和,沈阳. 组网雷达作战能力分析 with 评估[M]. 北京:国防工业出版社,2006.

(责任编辑 杨继森)

(上接第 148 页)

- [5] Stephen Kelley. Venting techniques for penetrator warheads [C]//Insensitive Munitions & Energetic Materials Technology Symposium, Munich,2010(10):11-14.
- [6] 徐双培,胡双启,王东青,等. 壳体密封性对小尺寸弹药快速烤燃响应规律的影响[J]. 火炸药学报,2009,32(3):35-37.
- [7] 智小琦,胡双启,肖志华,等. 密封条件对钝化 RDX 快速

烤燃响应特性的影响[J]. 火炸药学报,2010,33(1):31-33,37.

- [8] Madasen T, DeFisher S, Baker E L, et al. Explosive venting technology for cook-off response mitigation. Technical Report ARMET-TR-10003,2010(7):28.

(责任编辑 杨继森)