

## 【其他研究】

空袭目标威胁程度辅助决策模型<sup>\*</sup>

杨瑞朋, 黄立坡, 付致伟

(防空兵指挥学院, 郑州 450052)

**摘要:**建立了二级综合评价模型,并将其应用于空袭目标威胁程度的评估。实验结果表明,该方法与专家给出的排序结果相符,具有较好的应用价值。

**关键词:**威胁程度;二级模糊综合评价;空袭

**中图分类号:** O21

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-0707(2010)05-0119-04

高新技术条件下,空袭兵器自动化程度越来越高,空袭环境越来越复杂,给现代防空带来了极大困难。由于防护过程的重点之一是目标的威胁判断,因此建立良好的目标威胁等级评判系统是做好重点目标针对性防护的关键。威胁程度是指空袭兵器对被保卫目标进行侵袭成功的可能性及侵袭成功时可能造成的破坏程度<sup>[1]</sup>。威胁防空区域或要保卫目标的空中目标定义为威胁目标。该目标企图进入或已进入防空区域,如果在某个时间内本防区防御武器没有拦截住它,则它将命中防空区域内所要保卫的目标。

## 1 二级综合评价

模糊综合评价的基本思想是利用模糊线性变换原理和最大隶属度原则,考虑与被评价事物相关的各个因素,对其作出合理的综合评价<sup>[2]</sup>。在复杂的系统中,如果考虑的因素很多,那么各个因素之间往往也存在层次之分,并且许多因素具有很明显的模糊性,因此采用多级模糊综合评价模型,一方面可以将权重较为合理的分配,另一方面也考虑了大量的单因素评判信息。对于二级综合评价,具体方法如图1所示。

## 2 模型的建立

### 2.1 评价因素集的分析

在防空作战实际中,往往需要用多个因素刻画空袭目标的本质与特征。威胁目标特征描述为目标类型、距离、速度、加速度、数量、方位、干扰能力、空袭样式等多个方面。在众多属性中既有定量描述,也有定性描述。若要全面合理地考虑到每个属性,给出一个威胁程度评估模型难度很大。评价因素集各评价指标的层次关系如图2所示。

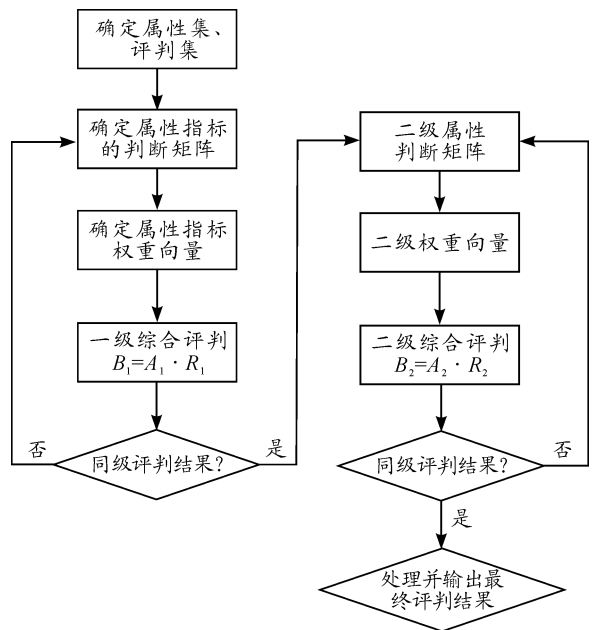


图1 二级综合评价流程

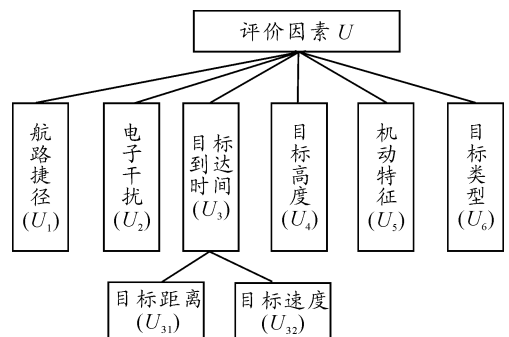


图2 评价因素集

在各个评价因素等级划分的过程中,首先将评价因素

\* 收稿日期:2010-01-18

作者简介:杨瑞朋(1985—),女,硕士,主要从事军事运筹学研究。

做量化处理。为消除不同物理量纲对结果的影响,需要对特征矩阵进行标准化处理。

2.2 建立评价集

通常将威胁程度划分为3个等级,即紧急目标、一般目标、次要目标,分别用  $V_1, V_2, V_3$  表示,这样,评价集为  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$ 。

2.3 权重集的确定

确定各指标权重时灵活性和主观性较大,而 AHP 法(层次分析法)作为科学的主观信息的处理方法和决策分析方法,操作简便,易于为专家接受和理解,是非常实用的方法<sup>[3-5]</sup>。本文中依据 1~9 标度定义的判断尺度对各层次要素分别构造判断矩阵,逐级计算相对权重,并对其进行一致性检验。

因素集  $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6\} = \{\text{航路捷径, 电子干扰, 目标到达时间, 目标高度, 机动特征, 目标类型}\}; U_3 = \{U_{31}, U_{32}\} = \{\text{目标距离, 目标速度}\}$ 。分别计算判断因素层  $U_i$  相对  $U$  的判断矩阵(表1)和子因素层  $U_{3i}$  相对  $U_3$  的判断矩阵(表2)。

表1 判断因素层  $U_i$  相对  $U$  的判断矩阵

$U \sim U_i$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$
$U_1$	1	3	1/3	2	4	1/2
$U_2$	1/3	1	1/5	1/2	2	1/4
$U_3$	3	5	1	4	6	2
$U_4$	1/2	2	1/4	1	3	1/3
$U_5$	1/4	1/2	1/6	1/3	1	1/5
$U_6$	2	4	1/2	3	5	1

表1中,  $\lambda_{\max} = 6.1225$ , 其特征向量  $A' = [0.3188 \ 0.1280 \ 0.7642 \ 0.2010 \ 0.0855 \ 0.5003]$ , 对特征向量进行归一化处理,得

$$A = [0.1596 \ 0.0641 \ 0.3825 \ 0.1006 \ 0.0428 \ 0.2504]$$

$$\text{计算一致性指标 } CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{6.1225 - 6}{6 - 1} = 0.0245,$$

计算一致性比例  $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.0245}{1.24} = 0.0198 \leq 0.1$ , 由此可知判断矩阵是一致的。

表2 子因素层  $U_{3i}$  相对  $U_3$  的判断矩阵

$U_3 \sim U_{3i}$	$U_{31}$	$U_{32}$
$U_{31}$	1	1/3
$U_{32}$	3	1

表2中,  $\lambda_{\max} = 2$ , 对应的特征向量  $A_3 = [0.3162 \ 0.9487]$ , 对特征向量进行归一化处理得  $A_3 = [0.25 \ 0.75]$ , 计算一致性指标  $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{2 - 2}{2 - 1} = 0$ , 计算一致性比例  $CR = \frac{CI}{RI} \leq 0.1$ , 由此可知判断矩阵是一

致的。

所以, 二级评判的权重  $A = [0.1596 \ 0.0641 \ 0.3825 \ 0.1006 \ 0.0428 \ 0.2504]$ , 一级评判“目标到达时间”所包含的三级指标的权重  $A_3 = [0.25 \ 0.75]$ 。

2.4 通过隶属度函数确定决策矩阵

各因素  $u_i$  相对于三级评语的隶属度或隶属度函数的建立对模糊综合评价结果有着非常重要的影响。模糊关系矩阵  $R$  完全由隶属度或隶属度函数来刻画。本文中参考有关文献建立的因素隶属度或隶属函数来构造模糊关系矩阵  $R$ , 对于定量属性, 应用模糊分布法, 通过咨询各位专家, 修正参数, 使其符合防空的实际情况。定性的属性采用9级量化理论进行量化, 通过专家群组决策来确定。

1) 航路捷径对评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$  的隶属度函数分别为:

$$\begin{cases} \mu_{V_1}(U_1) = e^{-0.00000198\lambda^2} \\ \mu_{V_2}(U_1) = 1 - \mu_{V_1}(U_1) - \mu_{V_3}(U_1) \\ \mu_{V_3}(U_1) = 1 - e^{-0.000000128\lambda^2} \end{cases}$$

用 Matlab 画出仿真图, 见图3。

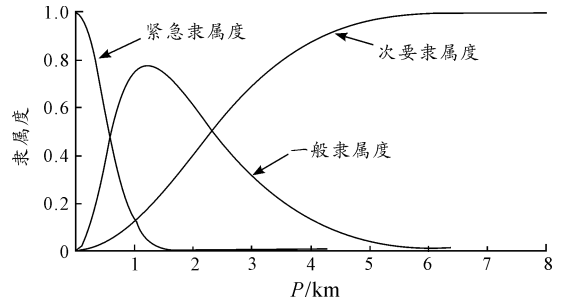


图3 航路捷径对三级评语的隶属度函数

2) 电子干扰, 对评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$  的隶属度函数按“很强、强、中、弱、无”依次量化为  $\{9, 7, 5, 3, 1\}$ , 如表3所示。

表3 电子干扰因素的隶属度

干扰能力	评价集		
	紧急目标 $V_1$	一般目标 $V_2$	次要目标 $V_3$
很强(9)	0.85	0.1	0.05
强(7)	0.65	0.25	0.10
一般(5)	0.20	0.6	0.20
弱(3)	0.10	0.25	0.65
无(1)	0.05	0.10	0.85

3) 目标距离  $D$  对评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$  的隶属度函数分别为:

$$\begin{cases} \mu_{V_1}(D) = e^{(-0.000014D^2 - 0.02)} \\ \mu_{V_2}(D) = e^{-0.00005(D-300)^2 - 0.55} \\ \mu_{V_3}(D) = 1 - \mu_{V_1}(D) - \mu_{V_2}(D) \end{cases}$$

用 Matlab 画出仿真图, 见图4。

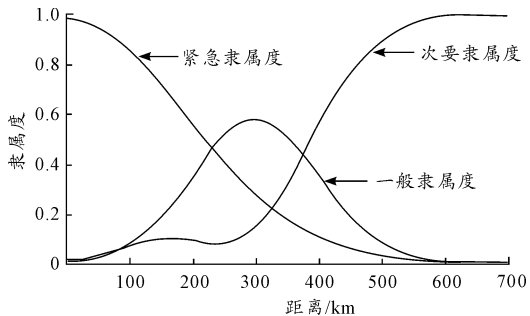


图4 目标距离对三级评语的隶属度函数

4) 目标速度  $S$  对评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$  的隶属度函数分别为:

$$\begin{cases} \mu_{V_1} = 1 - e^{-0.000\ 001\ 555S^2} \\ \mu_{V_2} = e^{-0.000\ 007\ 4(S-450)^2-0.5} \\ \mu_{V_3} = 1 - \mu_{V_1} - \mu_{V_2} \end{cases}$$

用 Matlab 画出仿真图,见图5。

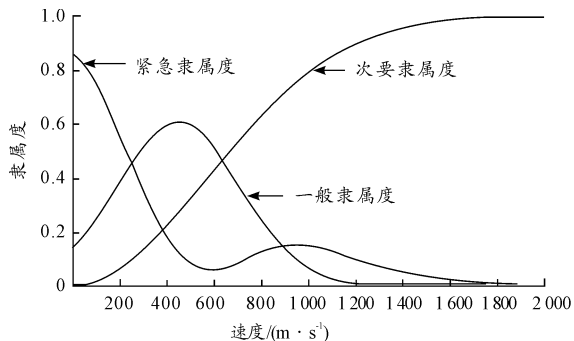


图5 目标速度对三级评语的隶属度函数

5) 目标高度对评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$  的隶属度函数分别按“超低空、低空、中空、高空”依次量化为 $\{9, 7, 5, 3\}$ ,如表4所示。

表4 目标高度因素的隶属度

目标高度	评价集		
	紧急目标 $V_1$	一般目标 $V_2$	次要目标 $V_3$
超低空(9)	0.85	0.1	0.05
低空(7)	0.65	0.25	0.10
中空(5)	0.20	0.6	0.20
高空(3)	0.10	0.25	0.65

6) 机动特征对评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$  的隶属度函数分别为:若机动,则  $\mu_{V_1} = 0.7, \mu_{V_2} = 0.2, \mu_{V_3} = 0.1$ ;若不机动,则  $\mu_{V_1} = 0.1, \mu_{V_2} = 0.2, \mu_{V_3} = 0.7$ 。

7) 目标类型  $C$ ,量化为:核武器载体(飞机或导弹) = 1;干扰载机 = 2;战略战役导弹 = 3;战术导弹(TBM) = 4;空地导弹(AGM)、反辐射导弹(ARM) = 5;巡航导弹 = 6;隐身飞机 = 7;轰炸机、歼击轰炸机 = 7;强击机、歼击机 = 8;武装直升机、诱饵 = 9。目标类型对评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\}$  的隶属度函数分别为:

$$\begin{cases} \mu_{V_1}(C) = -0.18C + 1.13, \mu_{V_1}(C) = 0, C > 7 \\ \mu_{V_2}(C) = 0.042C - 0.02 \\ \mu_{V_3}(C) = 1 - \mu_{V_1}(C) - \mu_{V_2}(C) \end{cases}$$

### 2.5 威胁等级综合判断

根据求得的决策矩阵  $R$  和加权向量  $A$ ,采用简单的加权平均型算子  $M(\cdot, +)$  作为威胁判断的模糊算子,即可得到不同目标的威胁系数为  $B = A \circ R$ 。结合威胁排序准则,可得到威胁最大的目标。根据各目标的威胁系数可对重点目标进行更有效的防护。

## 3 模型实例

某防空部队在一次防空作战中,某时刻有4批目标入侵。雷达已测得目标的数据如表5所示。

表5 各批目标的相关数据一览

	目标1	目标2	目标3	目标4
航路捷径/m	1 000	200	100	200
电子干扰	强	一般	很强	一般
机动特征	机动	不机动	机动	不机动
类型	空地导弹	巡航导弹	歼击机	武装直升机
目标距离/km	150	200	150	120
目标速度/(m/s)	1 500	150	280	70
目标高度	中空	低空	中空	超低空

1) 建立评价集  $V = \{V_1, V_2, V_3\} = \{\text{紧急目标, 一般目标, 次要目标}\}$ 。

二级评判“目标到达时间”所包含的三级指标的权重  $A_3 = [0.25 \ 0.75]$ 。

2) 确定各层权重。一级评判的权重  $A = [0.159\ 6 \ 0.064\ 1 \ 0.382\ 5 \ 0.100\ 6 \ 0.042\ 8 \ 0.250\ 4]$

3) 构造综合评价矩阵  $R$ (先对目标1进行模糊综合评价)。

由二级模糊评价的步骤,先构造“目标到达时间” $U_3$

的一级综合评价矩阵。 $U_3$  的影响因素为目标距离  $U_{31}$ 、目标速度  $U_{32}$ 。由各因素的隶属度函数,得出  $U_3$  对评语  $V_i$  的隶属度  $r'_{ij}$ ,即  $U_3$  的单因素评价集  $R_{31} = [r'_{11}, r'_{12}, r'_{13}]$ 。同理可求出其他 2 个因素的评价集  $R_{32} = [r'_{21}, r'_{22}, r'_{23}]$ 。

把这 3 个单因素评价集作为行,即得评价矩阵:

$$R_3 = \begin{bmatrix} r'_{11} & r'_{12} & r'_{13} \\ r'_{21} & r'_{22} & r'_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.7153 & 0.1873 & 0.0974 \\ 0.96942 & 0.000174 & 0.030404 \end{bmatrix}$$

由于航路捷径  $U_1$ 、电子干扰  $U_2$ 、目标高度  $U_4$ 、机动类型  $U_5$ 、目标类型  $U_6$  没有二级评判,用隶属度函数求出各个因素对各自评语集的隶属度。

$$R_1 = [r_{11}, r_{12}, r_{13}] = [0.13807 \quad 0.74178 \quad 0.12015]$$

$$R_2 = [r_{21}, r_{22}, r_{23}] = [0.65 \quad 0.25 \quad 0.10]$$

$$R_4 = [r_{41}, r_{42}, r_{43}] = [0.2 \quad 0.6 \quad 0.2]$$

$$R_5 = [r_{51}, r_{52}, r_{53}] = [0.7 \quad 0.2 \quad 0.1]$$

$$R_6 = [r_{61}, r_{62}, r_{63}] = [0.23 \quad 0.19 \quad 0.58]$$

4) 进行分级综合评判。通过对各个算子的分析,本例采用加权平均型  $M(\cdot, +)$  算子,先对子因素集进行初级综合评判:

$$E_3 = A_3 \circ R_3 = [0.25, 0.75]$$

$$\begin{bmatrix} 0.7153 & 0.1807 & 0.0974 \\ 0.96942 & 0.000174 & 0.030404 \end{bmatrix} =$$

$$[0.9059 \quad 0.046957 \quad 0.047141]$$

对于没有二级评判的因素航路捷径  $U_1$ 、电子干扰  $U_2$ 、目标高度  $U_4$ 、机动特征  $U_5$  和目标类型  $U_6$ ,  $E_i = R_i, i=1, 2, 4, 5, 6$ ,同样用给出的隶属度函数分别求出对评价集  $V_i$  的隶属度。此时进行二级综合评判决策矩阵的各行已经全部求出,即:

$$E_1 = R_1 = [0.13807 \quad 0.74178 \quad 0.12015]$$

$$E_2 = R_2 = [0.65 \quad 0.25 \quad 0.10]$$

$$E_3 = [0.9059 \quad 0.046957 \quad 0.047141]$$

$$E_4 = R_4 = [0.2 \quad 0.6 \quad 0.2]$$

$$E_5 = R_5 = [0.7 \quad 0.2 \quad 0.1]$$

$$E_6 = R_6 = [0.23 \quad 0.19 \quad 0.58]$$

以他们为行,构造二级综合评判决策矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 0.13087 & 0.74178 & 0.12015 \\ 0.65 & 0.25 & 0.10 \\ 0.9059 & 0.046957 & 0.047141 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.23 & 0.19 & 0.58 \end{bmatrix}$$

进行二级综合评判,得到目标 1 的综合评判

$$E^1 = A \circ R =$$

$$[0.1596, 0.0641, 0.3825, 0.1006, 0.0428, 0.2504]$$

$$\begin{bmatrix} 0.13087 & 0.74178 & 0.12015 \\ 0.65 & 0.25 & 0.10 \\ 0.9059 & 0.046957 & 0.047141 \\ 0.2 & 0.6 & 0.2 \\ 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0.23 & 0.19 & 0.58 \end{bmatrix} =$$

$$[0.51788 \quad 0.26887 \quad 0.21325]$$

由最大隶属度原则,可以判断目标 1 为紧急目标。同理,分别对目标 2~4 进行二级模糊综合评判,得到的评价向量分别为:

$$E^2 = [0.30583 \quad 0.26446 \quad 0.42971]$$

$$E^3 = [0.36227 \quad 0.31579 \quad 0.32194]$$

$$E^4 = [0.32885 \quad 0.22875 \quad 0.44241]$$

根据最大隶属度原则,这 4 个目标的威胁等级依次为紧急目标、次要目标、紧急目标、次要目标,但几个紧急目标中具体哪一个的威胁度更大,无法从直观上判断,此时可以利用相对评价模型对他们进行排序,找出威胁最大的目标,具体步骤如下:

令  $V = \{\text{紧急目标, 一般目标, 次要目标}\} = \{90, 70, 50\}$ 。

求得各个目标的得分  $S_i$  分别为:

$$S_1 = E^1 \cdot \begin{bmatrix} 90 \\ 70 \\ 50 \end{bmatrix} = 76.093$$

$$S_2 = E^2 \cdot \begin{bmatrix} 90 \\ 70 \\ 50 \end{bmatrix} = 67.522$$

$$S_3 = E^3 \cdot \begin{bmatrix} 90 \\ 70 \\ 50 \end{bmatrix} = 70.807$$

$$S_4 = E^4 \cdot \begin{bmatrix} 90 \\ 70 \\ 50 \end{bmatrix} = 67.73$$

4 个目标的综合得分  $S_1 > S_3 > S_4 > S_2$ ,由此可得结论以上目标威胁程度大小的排序为:目标 1 > 目标 3 > 目标 4 > 目标 2,这与专家给出的排序结果相符。此模型解算方便,操作性强,便于计算机辅助决策,具有重要的现实意义。

## 参考文献:

- [1] 吕辉. 防空指挥自动化系统原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,2003.
- [2] 谢季坚. 模糊数学方法[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2000.
- [3] 黄世国. 基于模糊层次分析法的建筑企业安全管理评价[J]. 重庆工学院学报:自然科学版,2009,23(9):52-55.
- [4] 黄华,陈松辉,肖利辉,等. 基于层次分析法和灰色关联的登陆地域选择模型[J]. 四川兵工学报,2008,29(5):138-139.
- [5] 王瑞然,王新富,卢蛟,等. 模糊层次分析法在防空兵射击指挥效能评估中的应用[J]. 兵工自动化,2008,27(11):45-47.