

# 防空阵地防护等级模糊综合评判

许金余<sup>1</sup>, 赵靖<sup>1</sup>, 曹定国<sup>2</sup>, 陈勇<sup>2</sup>, 侯庆平<sup>3</sup>

(1. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空防八处, 四川 成都 611430;  
3. 成空司令部作战处, 四川 成都 610000)

**摘要:**提出了一个较为实用的防空阵地防护等级的评判方法。其特点是:用专家打分制对非定量因素定量化,建立隶属函数;根据各因素的重要性,用层次分析法(AHP法)确定因素权重;采用加权平均模型作为综合评判模型;用非对称贴近度法划分阵地防护等级。

**关键词:**防空阵地;防护等级;模糊综合评判;层次分析法;非对称贴近度

**中图分类号:**0321 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)05-0086-05

阵地是一个多目标、多层次的复杂系统,它既是我兵力配置的主要依托,又是敌人突击的主要对象。因此,防空阵地便具备了攻防的双重性质,是矛与盾的统一体。防空阵地防护的实质是:不仅要降低阵地中兵器、道路、人员以及地面设施在各种武器作用下的破坏概率,提高其生存能力,而且要使阵地中的各种设施具有较强的对敌攻击能力,两者相辅相成。显然,阵地防护的概念是一个综合的概念,涉及的因素较多。因此,对阵地防护性能的评估问题由于影响因素较多而难以给出确切结论,本文采用模糊数学的方法对防空阵地的防护性能进行了研究分析,并给出了其评判方法。

## 1 模糊综合评判模型

模糊综合评判采用  $B = A * R$  计算模式,即通过模糊关系矩阵  $R$ ,将因素模糊向量  $A$  变为等级模糊向量  $B$ 。常用的模糊数学模型有四种,见表1。

表1 常用的模糊数学模型

模型类别		运算符含义	
$M(V^*, \wedge^*)$	I	$M(V, \wedge)$	$a \vee b = \max(a, b)$ $a \wedge b = \min(a, b)$
	II	$M(V, \cdot)$	$a \vee b = \max(a, b)$ $a \cdot b = a \cdot b$
	III	$M(+, \wedge)$	$a + b = \min(a + b, 1)$ $a \wedge b = \min(a, b)$
	IV	$M(+, \cdot)$	$a + b = \min(a + b, 1)$ $a \cdot b = a \cdot b$

对于阵地防护等级评判以采用加权平均模型IV,即  $M(+, \cdot)$  最为适宜,其运算式为

$$B = A * R = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (1)$$

式中,  $b_j = \sum_{i=1}^m a_i r_{ij} = \min[1, \sum_{i=1}^m a_i r_{ij}]$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $i$  为因素数,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j$  为质量等级数,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;  $a_i$  为因素的权数;  $r_{ij}$  为因素隶属于等级的程度;  $b_j$  隶属于等级程度的结果。

## 2 防空阵地防护性能评比因素分析

收稿日期:2001-01-10

基金项目:总后科研基金资助项目(HX99502);空军拔尖人才科研基金资助项目

作者简介:许金余(1963-),男,吉林靖宇人,教授,博士,主要从事防护工程、结构工程及岩土工程研究。

在对防空阵地防护性能的评估中,根据阵地系统的组成将阵地分成阵地区、技术保障区、生活营区三部分,其中每一部分又包含若干个基本单元(如雷达场坪、发射场坪)。每一个单元又有影响单元防护性能的若干因素,可以用多级模糊综合评判模型来处理。

下面以地空导弹阵地为例,对影响阵地防护性能的主要因素划分如下:首先将整个阵地系统划分成阵地区、技术保障区、生活营区三部分,然后对每一部分进行单元划分。其中阵地区包含雷达场坪、发射场坪、联络道、电缆沟;技术保障区包含兵器装备库房、电源站、专业用房;生活营区包含办公生活用房、专业用房。最后找出影响每个单元防护性能的评比因素;影响雷达场坪的因素有生存概率、伪装性能、雷达的使用性能;影响发射场坪的因素有生存概率、伪装性能、疏散能力;影响电缆沟的因素有生存概率、电缆的使用性能;影响兵器装备用房的因素有生存概率、伪装性能;影响电源站的因素有生存概率、伪装性能、使用性能;影响技术保障区专业用房的因素有生存概率、伪装性能、使用性能;影响办公生活用房的因素有生存概率、伪装性能、疏散能力;影响生活营区专业用房的因素有生存概率、伪装性能、使用性能。

### 3 防护性能 Fuzzy 综合评判模型的建立

根据对影响阵地防护性能的因素分析,可知防空阵地防护性能的评估是一个典型的多级 Fuzzy 综合评判。下面,以地空导弹阵地为例,说明阵地防护性能 Fuzzy 综合评判模型的建立。

#### 3.1 因素集的选择

根据对阵地防护性能评比因素的分析,我们选取因素的论域为: $U = (u_1, u_2, u_3)$ ;  $u_1 = (u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14})$ ;  $u_2 = (u_{21}, u_{22}, u_{23})$ ;  $u_3 = (u_{31}, u_{32})$ ;  $u_{11} = (u_{111}, u_{112}, u_{113})$ ;  $u_{12} = (u_{121}, u_{122}, u_{123}, u_{124}, u_{125})$ ;  $u_{13} = (u_{131}, u_{132}, u_{133})$ ;  $u_{14} = (u_{141}, u_{142})$ ;  $u_{21} = (u_{211}, u_{212})$ ;  $u_{22} = (u_{221}, u_{222}, u_{223})$ ;  $u_{23} = (u_{231}, u_{232}, u_{233})$ ;  $u_{31} = (u_{311}, u_{312}, u_{313})$ ;  $u_{32} = (u_{321}, u_{322}, u_{323})$ ;  $U$  为影响阵地防护性能的总因素集;  $u_1, u_2, u_3$  分别是影响阵地区、技术保障区、生活营区防护性能的因素集;  $u_{11}, u_{12}, \dots, u_{31}, u_{32}$  分别是影响阵地各单位元防护性能的因素集;  $u_{111}, u_{112}, \dots, u_{322}, u_{323}$  均是影响阵地防护性能的单因素,共计 27 个。

#### 3.2 评判集团的选取及单因素隶属函数的确立

将因素评价域分为四个等级,即评判集  $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4\} = \{a, b, c, d\}$ 。其中  $a$  级指防护性能好,  $b$  级指防护性能一般,以不必加强防护为准,  $c$  级指防护性能不好,以局部加强防护为准,  $d$  级指防护性能较差,必须从全局考虑加强防护。对于生存概率这种定量因素,规定  $100\% \geq p \geq 85\%$  为  $a$  级,  $85\% > p \geq 70\%$  为  $b$  级,  $70\% > p \geq 50\%$  为  $c$  级,  $p < 50\%$  为  $d$  级;对于疏散能力,伪装能力等定性因素,采用专家打分制的办法给予量化,在这里采用“1 分制”。规定,  $1 \geq u \geq 0.85$  为  $a$  级,  $0.85 \geq u \geq 0.70$  为  $b$  级,  $0.70 > u \geq 0.60$  为  $c$  级,  $u < 0.60$  为  $d$  级。这样,就可以对定量与定性因素采用统一评价标准,即对于某一因素  $u$ , 取  $1 \geq u \geq u_1$  为  $a$  级,  $u_1 > u \geq u_2$  为  $b$  级,  $u_2 > u \geq u_3$  为  $c$  级,  $0 < u \leq u_3$  为  $d$  级。由于这种绝对化的评价标准是有缺陷的,采用模糊数学的方法使其“软化”,建立相应的  $a, b, c, d$  各级的隶属函数的表达式如下:

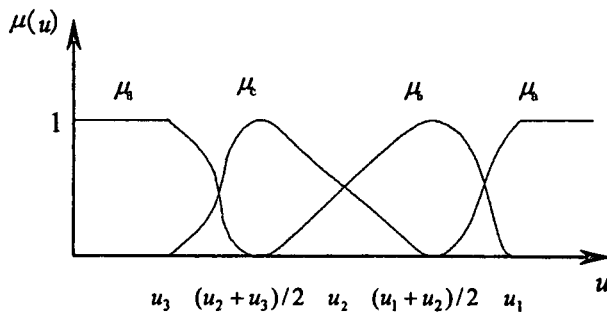


图 1 因素  $u$  的隶属函数

$a$  级的隶属函数:

$$\mu_a(u) = \begin{cases} 1, & u_1 < u \leq 1 \\ 0.5 + 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_2} \left( u - \frac{3u_1 + u_2}{4} \right), & \frac{u_1 + u_2}{2} < u \leq u_1 \\ 0 & u \leq \frac{u_1 + u_2}{2} \end{cases} \quad (2)$$

$b$  级的隶属函数:

$$\mu_b(u) = \begin{cases} 0, & u_1 < u \\ 0.5 - 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_2} \left( u - \frac{3u_1 + u_2}{4} \right), & \frac{u_1 + u_2}{2} < u \leq u_1 \\ 0.5 + 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_3} \left( u - \frac{u_1 + u_3 + 2u_2}{4} \right), & \frac{u_1 + u_3}{2} < u \leq \frac{u_1 + u_2}{2} \\ 0, & u \leq \frac{u_2 + u_3}{2} \end{cases} \quad (3)$$

c 级的隶属函数:

$$\mu_c(u) = \begin{cases} 0, & \frac{u_1 + u_2}{2} < u \\ 0.5 - 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_1 - u_2} \left( u - \frac{u_1 + u_3 + 2u_2}{4} \right), & \frac{u_2 + u_3}{2} < u \leq \frac{u_1 + u_2}{2} \\ 0.5 + 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_2 - u_3} \left( u - \frac{3u_3 + u_2}{4} \right), & u_3 < u \leq \frac{u_2 + u_3}{2} \\ 0, & u \leq u_3 \end{cases} \quad (4)$$

d 级的隶属函数:

$$\mu_d(u) = \begin{cases} 1, & 0 < u \leq u_3 \\ 0.5 - 0.5 \sin \frac{2\pi}{u_2 - u_3} \left( u - \frac{3u_3 + u_2}{4} \right), & u_3 < u \leq \frac{u_2 + u_3}{2} \\ 0, & u > \frac{u_2 + u_3}{2} \end{cases} \quad (5)$$

### 3.3 用层次分析法确定因素权重集

综合评价中因素的权重分配,通常凭经验根据因素的重要性直接给出权值,难以做到客观和准确。AHP 法将问题分解成各组成因素,将这些因素按支配关系组成递阶层结构,经两两相比,确定层次中诸因素的相对重要性,组成判断矩阵(在此,我们假定判断矩阵满足一致性条件),然后采取判断矩阵的平方根法求解权重集。

以总的防空阵地防护性能为例,依据 1-9 测度,进行两两比较的判断矩阵

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}, \text{这是一个对角线元素全为 1 的反对称矩阵。其中, } C_{11} \text{ 表示阵地地区与其自身相}$$

比所得的重要性系数; $C_{12}$ 表示阵地地区与技术保障区相比所得的重要性系数; $C_{13}$ 表示阵地地区与生活营区相比所得的重要性系数;同理可知其余系数的意义。

$$\text{令 } a_i = 3 \sqrt[3]{\sum_{j=1}^3 C_{ij}}, i=1,2,3, \text{ 归一化的各因素的重要程度 } a_i = a_i / \sum_{i=1}^3 a_i。$$

这样就得到了因素集  $u$  的因素重要性程度的模糊子集  $A = (a_1, a_2, a_3)$ 。同理可得因素集  $u_1, u_2, u_3$  的因素重要性程度的 Fuzzy 子集  $A_1, A_2, A_3$  及  $u_{11}, u_{12}, u_{13}, u_{14}, u_{21}, u_{22}, u_{23}, u_{31}, u_{32}$  的因素重要性程度的 Fuzzy 子集  $A_{11}, A_{12}, A_{13}, A_{14}, A_{21}, A_{22}, A_{23}, A_{31}, A_{32}$ 。

### 3.4 多级模糊综合评判

#### 3.4.1 初级综合评判

根据对因素  $u_{111}, u_{112}, \dots, u_{322}, u_{323}$  的监测验算结果(定量因素如生存概率通过计算确定,定性因素如疏散能力通过专家打分确定),通过隶属函数求得各因素对  $a, b, c, d$  各等级的隶属度  $r_{ij}$ ,即可获得  $u_{11}, u_{12}, \dots, u_{31}, u_{32}$  的评判矩阵  $R_{11}, R_{12}, \dots, R_{31}, R_{32}$ 。

如对电源站进行初级评判: $B_{22} = A_{22} * R_{22}$ ,  $A_{22}$  为电源站的因素权重集,  $B_{22}$  为电源站的评判结论;其中评

$$\text{判矩阵 } R_{22} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \mu_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_{1a} & \mu_{1b} & \mu_{1c} & \mu_{1d} \\ \mu_{2a} & \mu_{2b} & \mu_{2c} & \mu_{2d} \\ \mu_{3a} & \mu_{3b} & \mu_{3c} & \mu_{3d} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{3 \times 4} \quad (6)$$

式中,  $\mu_1 = \{\mu_{1a}, \mu_{1b}, \mu_{1c}, \mu_{1d}\}$  代表生存概率的评判结果,  $\mu_{1a}, \mu_{1b}, \mu_{1c}, \mu_{1d}$  分别表示生存概率隶属于  $a, b, c, d$  各等级的程度;  $\mu_2 = \{\mu_{2a}, \mu_{2b}, \mu_{2c}, \mu_{2d}\}$  代表伪装性能的评判结果,  $\mu_{2a}, \mu_{2b}, \mu_{2c}, \mu_{2d}$  分别表示伪装性能隶属于  $a, b, c, d$  各等级的程度;  $\mu_3 = \{\mu_{3a}, \mu_{3b}, \mu_{3c}, \mu_{3d}\}$  代表使用性能的评判结果,  $\mu_{3a}, \mu_{3b}, \mu_{3c}, \mu_{3d}$  分别表示使用性能隶属于  $a, b, c, d$  各等级的程度; 同理可得  $B_{11}, B_{12}, \dots, B_{31}, B_{32}$ 。

### 3.4.2 二级综合评判

根据兵器装备库房、电源站、专业用房的一级综合评判结论  $B_{21}, B_{22}, B_{23}$  构造技术保障区的评判矩阵  $R_2$ ,

$$R_2 = \begin{bmatrix} B_{21} \\ B_{22} \\ B_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{21} * R_{21} \\ A_{22} * R_{22} \\ A_{23} * R_{23} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{3 \times 4} \quad (7)$$

再利用技术保障区权重集  $A_2$ , 由  $B_2 = A_2 * R_2$ , 求得技术保障区的评判结论  $B_2$ , 同理可求得  $B_1, B_3$ 。

### 3.4.3 三级综合评判

根据二级各子系统的评判结论  $B_1, B_2, B_3$  构造组成阵地系统的整体评判矩阵  $R$ , 而

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 * R_1 \\ A_2 * R_2 \\ A_3 * R_3 \end{bmatrix} = (r_{ij})_{3 \times 4} \quad (8)$$

再利用阵地系统的权重集  $A$ , 由  $B = A * R$  即可求得阵地系统防护性能的评判结论  $B$ 。

## 4 质量等级划分

设  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  为等级评判集。等级  $v_i, i \in J_n$  中的对象最理想的子集是  $(0, \dots, 1, \dots, 0)$ , 其中 1 是第  $i$  个分量, 称此向量为  $v_i$  的理想目标, 记为  $D_i$ , 对任何等级模糊向量  $B_j$ , 计算它与所有理想目标之间的贴近度  $N(B_j, D_i), (i = 1, 2, \dots, n)$ 。若  $N(B_j, D_i) = \frac{\max_{i \in J_n} \{N(B_j, D_i)\}}$ , 则评判对象  $B_j \in v_i$ 。

贴近度分为对称贴近度和非对称贴近度, 前者是将  $v_1, v_2, \dots, v_n$  置于相同地位来考虑, 后者是将  $v_1, v_2, \dots, v_n$  置于不同地位。本文涉及的等级划分问题, 应该用非对称贴近度。在此取贴近度公式

$$N(B, D) = 1 - \frac{1}{n(n+1)} \sum_{k=1}^n |\mu_B(v_k) - \mu_D(v_k)| \cdot k \quad (9)$$

$\mu_B(v_k), \mu_D(v_k)$  分别指  $B, D$  所对应的对象隶属于  $v_k$  的隶属度。

举例: 计算  $B = \{0, 0.38, 0.38, 0.24\}$  的贴近度, 并划分等级。构造理想目标  $D_1 = (1, 0, 0, 0), D_2 = (0, 1, 0, 0), D_3 = (0, 0, 1, 0), D_4 = (0, 0, 0, 1)$ , 由式(9)可得

$$N(B, D_1) = 1 - (1 + 0.38 \times 2 + 0.38 \times 3 + 0.24 \times 4) / 20 = 0.807$$

$$N(B, D_2) = 1 - [0 + (1 - 0.38) \times 2 + 0.38 \times 3 + 0.24 \times 4] / 20 = 0.833$$

$$N(B, D_3) = 1 - [0 + 0.38 \times 2 + (1 - 0.38) \times 3 + 0.24 \times 4] / 20 = 0.821$$

$$N(B, D_4) = 1 - [(1 + 0.38 \times 2 + 0.38 \times 3 + (1 - 0.24) \times 4)] / 20 = 0.753$$

显然,  $N(B, D_2)$  最大, 故判为  $b$  级。

## 5 结论

防空阵地防护性能的评估是多因素的评判标准, 是较为复杂的模糊系统, 用多层次、多算子的模糊综合评判模型是合理的、可行的。

### 参考文献:

[1] 李凡. 模糊信息处理系统[M]. 北京: 北京大学出版社, 1998.  
 [2] Dubois D, Prade H. Fuzzy sets in approximate reasoning, Part1: interference with possibility distributions[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1999, 9(100): 73 - 132.  
 [3] 李洪兴, 汪培庆. 模糊数学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994.

- [4] 杨世荣,陶敬泳. 模糊综合评判在学员队工作评比中的应用[J]. 第二炮兵工程学院学报,2000,14(1):38-41.
- [5] 许翰才. 机场工程防护[R]. 西安:空军工程大学工程学院,1990.
- [6] 许金余,刘开帝,战 勇. AHP法在阵地系统生存概率计算中的应用[J]. 空军工程大学学报,2001,2(1):84-87.
- [7] 王士同. 模糊系统、模糊神经网络及应用程序设计[M]. 上海:上海科学技术出版社,1998.

## A Fuzzy Comprehensive Evaluation of Defense Grade of Air Defense Bastions

XU Jin-yu<sup>1</sup>, ZHAO Jing<sup>1</sup>, CAO Ding-guo<sup>2</sup>, CHEN Yong<sup>2</sup>, HOU Qing-ping<sup>3</sup>

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. The Eighth Engineering Faculty of Air Force, Chengdu 611430, China;

3. The Air Force Command Campaign Department of Chengdu Military Area, Chengdu 610000, China)

**Abstract:** This paper presents a practical fuzzy comprehensive evaluation method for defense grade assessment of air defense bastions. The peculiarities of this method include the membership functions based on quantitative measurement of non-quantitative factors by expert grading systems, the determination of the factor weighting by means of the analytic hierarchy process(AHP), the use of the weighted average model as the comprehensive assessment model, and the classification of the grade of bastion defense by the asymmetric approach degree method.

**Key words:** air defense bastions; defense grade; fuzzy comprehensive evaluation; analytic hierarchy process(AHP); asymmetric approach degree method

### 作者署名

署名是表示文责自负的承诺。所谓文责自负,即论文一经发表,署名者对作品负有责任,包括政治上、科学上和法律上的责任。如果文章中存在剽窃、抄袭的内容,或者有政治性、技术性错误,署名者即应负完全的责任。署名即表明作者愿意承担责任。

署名便于读者与作者联系。读者若需向作者询问、质疑或请教以求帮助,可以直接与作者联系。署名即表明作者有同读者联系的意愿。

署名原则:论文的署名者应具备下列条件:本人应是直接参加课题研究的全部或主要部分的工作,并做出主要贡献者;本人应为作品创作者,即论文撰写者;本人对作品具有答辩能力,并为作品的直接责任者。

有的人虽为课题组成员,参加了部分研究和实验工作,但由于其工作性质是辅助性的,不应列为作者;也有人研究工作确有贡献,并对成果有答辩能力,但未直接参加作品的创作工作,也不宜作为论文的作者。作者应是上述三原则的同时具备者。不够署名条件但对研究成果有所贡献者可以为“致谢”段中的感谢对象。

关于学位论文改写后在期刊上发表时的署名问题。由于第一,发表的是在答辩学位论文的基础上改写成文的;第二,学位论文及其报道的成果是在导师的指导下由学生完成的:所以,可以由学生和导师共同署名,一般是学生在前导师在后。

直接由个人创作的作品,由作者个人署名,个人作者为作品(论文)的著作权人。个人署名一般应使用真实姓名。

多位作者共同完成的作品联合署名时,署名顺序按对该文的贡献大小排列。第一作者是主要贡献者和直接创作者,同时又是作品的直接责任者,享有更多的权利,承担着更多的义务。除有特别声明外,第一作者就是第一权利、第一责任和第一义务者。

团体作者和执笔者。如果由一个组织机构或数人组成的团体对一篇作品(论文)承担责任,可以用该团体的名称来署名;或出于保密等其他的原因,也可以用虚拟的团体名称署名。由1个或几个人整理或改编的作品,可以署执笔者姓名。

(摘自陈浩元主编《科技书刊标准化18讲》)