

【武器装备】

导弹武器系统效能评估的模糊 AHP 评判模型*

丁永丽¹, 李应岐¹, 田野²

(1. 第二炮兵工程学院, 西安 710025; 2. 96263 部队 73 分队, 河南 洛阳 471500)

摘要:分析了影响导弹武器系统效能的主要因素,建立了导弹武器系统效能评估指标体系,给出了导弹武器系统效能的评估模型。然后运用 AHP 方法给指标体系的各因素分配了权重,并应用专家打分法确定了单因素模糊评判矩阵。最后,运用模型对导弹武器系统效能进行了评估,说明了该模型的有效性。

关键词:AHP;模糊综合评判;导弹武器系统

中图分类号:TJ760.6

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2010)06-0031-03

导弹武器系统是复杂的武器装备体系。自导弹诞生之日起,其巨大的杀伤力和破坏力就受到了世界各国的重视。两伊战争中的“导弹战”、海湾战争中伊拉克飞毛腿导弹对美军的压力,已经让人们看到了导弹武器的巨大威力^[1]。随着技术的不断进步,导弹武器已成为现代战争中的主战武器之一,各种类型和用途的导弹也层出不穷。弹道导弹被誉为“杀手锏”武器,核战略导弹成为了大国地位的象征。目前,世界各国都在通过各种手段获得或是发展导弹武器,如印度、朝鲜、伊朗等国。同时,在运用导弹作战时,还必须了解导弹武器系统的效能。由于导弹武器系统造价昂贵、生产周期长,不可能进行大量的实弹试验,因此,对导弹武器系统效能进行科学、有效的评估是非常有必要的。

1 评价指标体系的确定

根据整体性、科学性、可比性和实用性原则,并依据系统目标层次、结构和特点,确定了导弹武器系统效能的评价指标体系^[2]。其最高层为目标层,中间层为因素层。具体选择时应注意以下几点^[2]:①评价指标必须与目标密切相关;②评价指标应能全面反映评价对象的各个方面;③指标总数应尽可能少;④指标数据应具有可得性。由于影

响武器系统作战效能的因素很多,其相互间的关系又错综复杂,因此,指标体系可采用专家分析法来建立。

2 模糊评判数学模型的建立

2.1 综合评判的一般方法

2.1.1 权的确定

每个因素集的权重可利用层次分析法 AHP(the analytic hierarchy process)求得,即引入 1~9 比较标度^[3],由专家小组根据每个因素对上层因素的相对重要性进行两两比较,建立判断矩阵 A ,通过和法、求根法或特征值法求出单因素的权向量 W ,并进行一致性检验。一致性检验公式为

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

式中: CR 为一致性比率,当 $CR < 0.10$ 时认为一致性可以接受; RI 为随机一致性指标,并随 n 取值的不同而变化,具体取值见表 1; CI 为一致性指标, $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$; λ_{\max} 为判断

矩阵最大特征值, $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(A \cdot W)_i}{nw_i}$; n 为矩阵阶数; A 为判断矩阵; W 为权向量; $(A \cdot W)_i$ 表示 A 、 W 相乘后合成矩阵 $(A \cdot W)_i$ 的第 i 个元素。

表 1 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0.58	0.96	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

2.1.2 单因素的评判矩阵

导弹武器系统的科技含量高,子系统多,指标体系复杂,可采用专家打分法^[3]确定单因素评判矩阵。设单因素

评判矩阵为

$$R = |r_{ij}|_{n \times m}$$

则

* 收稿日期:2010-01-23

作者简介:丁永丽(1985—),男,硕士研究生,主要从事军事运筹学研究。

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{n}$$

式中： n 为专家人数； x_{ij} 为因素 U_i 评为 V_j 的次数。比如，对于单因素 U 的效能，有 55% 的专家评价高，20% 的专家评价较高，15% 的专家评价一般，5% 的专家评价较低，5% 的专家评价低，则 U 的评判向量为 $B = (0.55, 0.20, 0.15, 0.05, 0.05)$ 。同时，所有单因素评判向量则组成单因素评判矩阵。

2.1.3 综合评判模型的构成

综合评判模型由 3 个要素构成^[3]：

1) 因素集 U ，即评判指标体系的集合， $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ ；

2) 评判集 V ，即评语组成的集合， $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ ；

3) 模糊评判矩阵，即单因素评判矩阵。为得到单因素评判矩阵，首先应对每个因素 $U_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 做出一个评判(可由专家打分法得到)，从而得到从 U 到 V 上的一个模糊映射，即因素 U_i 的评判向量 B_i ，由所有单因素评判向量即可得到单因素评判矩阵 $R, R = [B_1, B_2, \dots, B_n]^T$ 。

通过 AHP 方法确定因素集中每个因素的权重，可构成权向量 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ，且 $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ 。 W 与 R 相乘，便

可得到对目标层的综合评判

$$B = W \cdot R = (b_1, b_2, \dots, b_m)$$

式中： $b_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot r_{ij} (j = 1, 2, \dots, m)$ ，且 $\sum_{i=1}^m b_i = 1$ 。

2.2 多层次模糊综合评判

对于实际中的许多问题，往往涉及的因素较多，难以确定个因素的权重，这时需要采用多级评判。以 3 级评判为例，首先用前面的初级评判模型对第 3 级进行评判，把第 3 级评判的结果组成评判矩阵 R' ；再在 R' 的基础上对第 2 层次的每个因素进行第 2 级综合评判；以此类推，直到完成第 1 级综合评判为止，从而可得到评判向量 B 。

也就是说，在多级综合评判中，上一级评判是在下一级评判结果的基础上反复运用初级综合评判模型完成的。从最低一级开始，直到完成对目标层的综合评判为止。

3 实例计算(以地对地导弹为例)

3.1 导弹武器系统效能评估指标体系

导弹武器系统是一个复杂的武器装备体系，由多个子系统组成。根据其构成^[4]，可确定效能评估的指标体系^[5-8]。图 1 为导弹武器系统的 4 级评判模型。

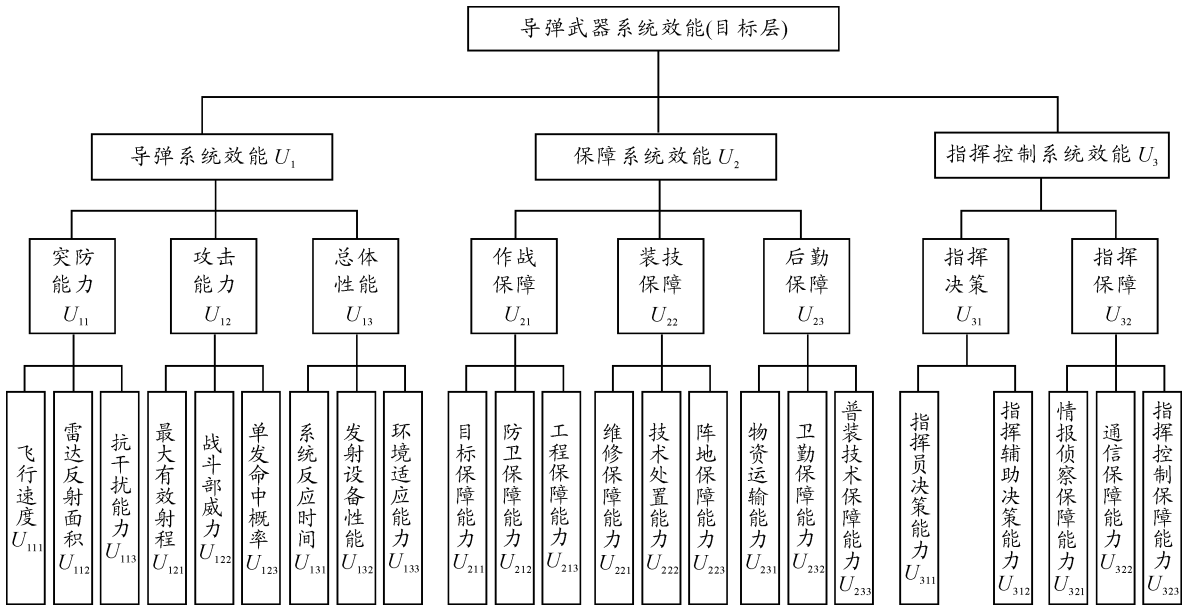


图 1 导弹武器系统的 4 级评判模型

3.2 权的确定

专家组(假设专家人数 $n = 30$)对各因素认真分析后，构造出了判断矩阵。以导弹系统效能为例，因素 $U_1, U_{11}, U_{12}, U_{13}$ 的判断矩阵分别为：

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_{11} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1/2 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_{12} = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1/6 \\ 3 & 6 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_{13} = \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 2 \\ 2 & 1 & 4 \\ 1/2 & 1/4 & 1 \end{pmatrix}$$

进而可得到相应的权向量：

$$W_1 = (0.54 \quad 0.30 \quad 0.16)$$

$$W_{11} = (0.54 \quad 0.16 \quad 0.30)$$

$$W_{12} = (0.25 \quad 0.10 \quad 0.65)$$

$$W_{13} = (0.29 \quad 0.57 \quad 0.14)$$

再用前面的方法进行一致性检验,可知 $W_1, W_{11}, W_{12}, W_{13}$ 满足一致性要求。用同样的方法可确定其他因素间的权向量,这里直接给出最终结果:

$$W = (0.40 \quad 0.30 \quad 0.30)$$

$$W_2 = (0.35 \quad 0.45 \quad 0.20)$$

$$W_{21} = (0.25 \quad 0.50 \quad 0.25)$$

$$W_{22} = (0.35 \quad 0.50 \quad 0.15)$$

$$W_{23} = (0.33 \quad 0.33 \quad 0.33)$$

$$W_3 = (0.55 \quad 0.45)$$

$$W_{31} = (0.57 \quad 0.43)$$

$$W_{32} = (0.15 \quad 0.55 \quad 0.30)$$

3.3 单因素模糊评判矩阵的确定

导弹武器系统效能评判可分为 5 个等级,则评判集 $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5\} = \{\text{强, 较强, 一般, 低, 较低}\}$ 。假设经过 30 名资深专家的讨论、打分,对第 4 层的单因素进行评判,可得出第 3 层的单因素评判矩阵:

$$R_{11} = \begin{pmatrix} B_{111} \\ B_{112} \\ B_{113} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.05 & 0.05 \end{pmatrix}$$

$$R_{12} = \begin{pmatrix} B_{121} \\ B_{122} \\ B_{123} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_{13} = \begin{pmatrix} B_{131} \\ B_{132} \\ B_{133} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.2 \\ 0 & 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.1 & 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$R_{21} = \begin{pmatrix} B_{211} \\ B_{212} \\ B_{213} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$R_{22} = \begin{pmatrix} B_{221} \\ B_{222} \\ B_{223} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.6 & 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_{23} = \begin{pmatrix} B_{231} \\ B_{232} \\ B_{233} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.5 & 0.2 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$R_{31} = \begin{pmatrix} B_{311} \\ B_{312} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.05 & 0.05 \\ 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \end{pmatrix}$$

$$R_{32} = \begin{pmatrix} B_{321} \\ B_{322} \\ B_{323} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.45 & 0.3 & 0.1 & 0.15 & 0 \\ 0.05 & 0.2 & 0.55 & 0.15 & 0.05 \\ 0.05 & 0.2 & 0.6 & 0.1 & 0.05 \end{pmatrix}$$

3.4 模型计算

根据多层次模糊综合评判原理,对评判体系各层次由下向上逐级进行计算。根据前面的数据,可得到第 3 层的评判向量:

$$B_{11} = W_{11} \cdot R_{11}, B_{12} = W_{12} \cdot R_{12}$$

$$B_{13} = W_{13} \cdot R_{13}, B_{21} = W_{21} \cdot R_{21}$$

$$B_{22} = W_{22} \cdot R_{22}, B_{23} = W_{23} \cdot R_{23}$$

$$B_{31} = W_{31} \cdot R_{31}, B_{32} = W_{32} \cdot R_{32}$$

进而可得到第 2 层的单因素模糊评判矩阵:

$$R_1 = \begin{pmatrix} B_{11} \\ B_{12} \\ B_{13} \end{pmatrix}, R_2 = \begin{pmatrix} B_{21} \\ B_{22} \\ B_{23} \end{pmatrix}, R_3 = \begin{pmatrix} B_{31} \\ B_{32} \end{pmatrix}$$

于是可得:

$$B_1 = W_1 \cdot R_1, B_2 = W_2 \cdot R_2, B_3 = W_3 \cdot R_3$$

最终可得到

$$R = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.3036 & 0.3314 & 0.1884 & 0.1287 & 0.0479 \\ 0.3788 & 0.2375 & 0.1950 & 0.1175 & 0.0712 \\ 0.3009 & 0.2618 & 0.2789 & 0.1011 & 0.0585 \end{pmatrix}$$

故目标层的评判向量为

$$B = W \cdot R = (0.3254 \quad 0.2832 \quad 0.2175 \quad 0.1167 \quad 0.0580)$$

从最后结果看, $b_1 = 0.3254$ 为最大,因此可认为该导弹武器系统效能为强。

4 结束语

武器系统效能评估是对武器系统进行评估的重要方面。导弹武器系统构成复杂、造价昂贵,不能进行大量的实弹试验,故各系统的精确数据也难以取得。而运用多层次模糊综合评判方法,则能比较简单方便地将定性分析定量化,这对于了解导弹武器系统的效能及作战使用具有重要的参考价值。

参考文献:

- [1] 万全. 未来弹道导弹的发展趋势[J]. 国防技术基础, 2003(3):36-37.
- [2] 周德群. 系统工程概论[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] 韩中庚. 数学建模方法及其应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2005.
- [4] 文仲辉. 战术导弹系统分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [5] 甄涛. 地地导弹武器作战效能评估方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [6] 邹兆嵩, 阳平华. 基于 AHP 和 SPA 的地空导弹效能评估[J]. 四川兵工学报, 2009(4):42-44.
- [7] 黄仁全, 李为民, 周晓光. 基于灰色关联分析的防空导弹系统效能评估模型[J]. 兵工自动化, 2009(6):94-96.
- [8] 林重阳, 姜庆祥, 陈建虎. 基于模糊层次分析法的某型导弹系统效能评估[J]. 兵工自动化, 2006(12):3-5.

(责任编辑 周江川)