

基于模糊综合评价的现役武器装备质量评价

代海飞, 刘小方, 肖志诚

(第二炮兵工程大学, 西安 710025)

摘要:建立了基于某现役武器系统结构的质量评价模型,运用改进层次分析法和多级模糊综合评价对其进行质量评价,最后获得该武器质量的定量评价结果,并对结果进行了分析。

关键词:武器装备;质量评价;改进层次分析法;模糊评价

中图分类号:TP273

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2013)06-0079-04

Research on the Active-Duty Weapon and Equipment Quality Based on IAHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation

DAI Hai-fei, LIU Xiao-fang, XIAO Zhi-cheng

(The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: Based on analyzing a certain systemic structure of the weapon equipment, this paper designs an evaluation model and adopts a method combined by improved analysis hierarchy process and multilevel fuzzy synthetically evaluation. Finally, the quantitative evaluation result is obtained and result is further analyzed.

Key words: weapon equipment; quality evaluation; improved analysis hierarchy process; fuzzy evaluation

在武器装备的全寿命周期过程中,质量评价工作发挥着非常重要的作用。通过对武器装备合理地实施质量评价,一方面可以有效掌握该武器装备的质量状况,为实现基于状态的测试提供决策依据^[1];另一方面通过对同类型不同批次的武器装备进行综合评价,横向和纵向进行比较,为部队在作战训练中选择使用可靠的装备和对首长机关制定战略决策提供重要的参考依据。

目前由于高精尖技术在现役武器装备不断应用,使武器装备的复杂程度不断提高,这对武器装备质量状态的判断提出了更高的要求;在当前武器装备质量评价工作中,对其各要素的评价大都是人工凭经验进行估计判断。所以为满足军队发展需求,武器装备的质量评价工作需要不断地进行改进和提高。本文通过采用改进层次分析法和多级模糊综合评价法,能够合理地构建指标体系和建立评估模型,基本实现了对复杂武器系统各级的质量状态的综合评价,较好地处理和解决了这一问题,该方法更加具合理性和科学性。

1 武器装备质量评价模型

1.1 构建指标体系

武器装备的评价是多层次、多因素的综合评价。其主体是上级或本级评价机构和专业评价人员,客体大都是由机、电、液多系统集成的复杂系统和结构^[2-3]。武器装备评价指标体系,是武器装备质量评价对象系统的结构框架,是综合反映说明武器装备技术状态、发展趋势的一组具有内在联系的要素。

本文基于武器装备质量评价工作的复杂性、评价内容的抽象性、评价标准的相对性等特点,对评价指标体系进行构建。以某型导弹为例,从分析导弹的系统结构入手,分析了导弹的组成系统及各系统的具体组成仪器设备,构建出基于系统结构的评价指标体系,如图1所示。其中 U_i 代表二级以下指标。

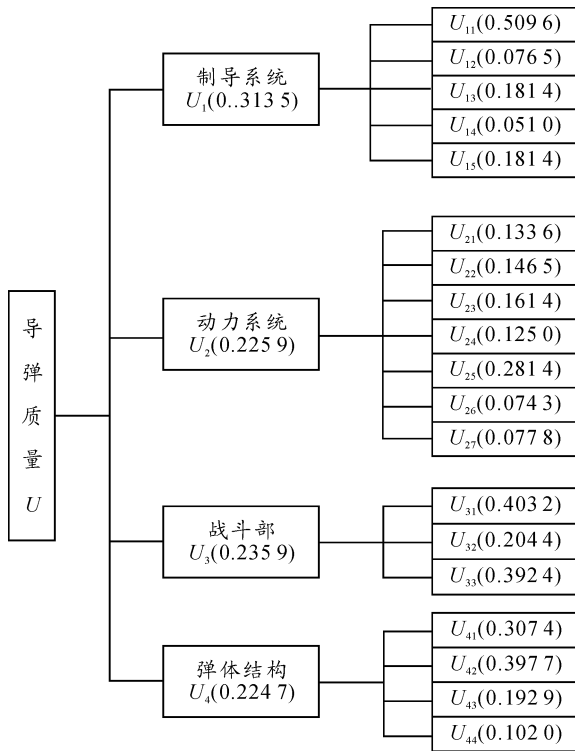


图1 某型导弹质量评价指标体系

1.2 改进的层次分析法

为了较好地实现对现役武器装备的质量评价,科学合理地对各要素进行权重分配十分重要。在建立武器装备质量评价指标体系后,运用层次分析法确定各指标的权重,但是由于人的判断具有片面性,对两两结果的比较缺少客观一致性,因此在采用 AHP 法时通常需要一致性检验。若不能通过检验,传统的做法是凭着大致的估计来调整判断矩阵,甚至需要各专家重新评价。为了改进这一不足,本文利用最优传递矩阵,对层次分析法进行改进,使之自然满足一致性要求,便于实现质量评价计算机程序化。直接求出各指标的权重,这种改进的层次分析法记为 IAHP(improved analysis hierarchy process)法^[4-5]。

改进的层次分析法的步骤如下:

1) 构建初始判断矩阵 A

设“导弹质量”评价指标体系指标集合为 $U = \{U_1, U_2, U_3, U_4\}$, 由对 G_i 和 G_j 互相比,从而得出判断矩阵 $A = [a_{ij}]$, 其中

$$a_{ij} = \begin{cases} 7 & \text{指标 } G_i \text{ 比指标 } G_j \text{ 极为重要} \\ 5 & \text{指标 } G_i \text{ 比指标 } G_j \text{ 重要得多} \\ 3 & \text{指标 } G_i \text{ 比指标 } G_j \text{ 相对重要} \\ 1 & \text{指标 } G_i \text{ 比指标 } G_j \text{ 一样重要} \\ 1/3 & \text{指标 } G_i \text{ 比指标 } G_j \text{ 相对重要} \\ 1/5 & \text{指标 } G_i \text{ 比指标 } G_j \text{ 重要得多} \\ 1/7 & \text{指标 } G_i \text{ 比指标 } G_j \text{ 极为重要} \end{cases}$$

以“制导系统 U_1 ”为例,专家对 5 项指标的评价得出判断矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 5 & 7 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/5 & 3 & 1/3 \\ 1/5 & 5 & 1 & 3 & 1 \\ 1/7 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

2) 求解对应 A 的反判断矩阵 $B, B = \lg A (b_{ij} = \lg a_{ij}, \forall i, j)$; 则 $A^{(1)}$ 的反对称矩阵 $B^{(1)} = \lg A^{(1)}$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0.699 0 & 0.699 0 & 0.845 1 & 0.477 1 \\ -0.699 0 & 0 & -0.699 0 & 0.477 1 & -0.477 1 \\ -0.699 0 & 0.699 0 & 0 & 0.477 1 & 0 \\ -0.845 1 & -0.477 1 & -0.477 1 & 0 & -0.477 1 \\ -0.477 1 & 0.477 1 & 0 & 0.477 1 & 0 \end{bmatrix}$$

3) 再由 $c_{ij} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk}), \forall i, j$ 求解 B 的最优传递矩阵 C

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 0.823 6 & 0.448 6 & 0.999 3 & 0.448 6 \\ -0.823 6 & 0 & -0.375 0 & 0.175 7 & -0.375 0 \\ -0.448 6 & 0.375 0 & 0 & 0.550 7 & 0 \\ -0.999 3 & -0.175 7 & -0.550 7 & 0 & -0.550 7 \\ -0.448 6 & 0.375 0 & 0 & 0.550 7 & 0 \end{bmatrix}$$

4) 由于总体标准差 σ_{ij} 均小于 1, 所以由 $A^* = 10^{c_{ij}}$

$$= 10^{\frac{1}{3} \sum_{k=1}^n (b_{ik} - b_{jk})} \text{ 得:}$$

$$A^* = \begin{bmatrix} 1.00 0 & 6.662 2 & 2.809 4 & 9.984 5 & 2.809 4 \\ 0.150 1 & 1.000 0 & 0.421 7 & 1.498 7 & 0.421 7 \\ 0.356 0 & 2.371 4 & 1.000 0 & 3.554 0 & 1.000 0 \\ 0.100 2 & 0.667 3 & 0.281 4 & 1.000 0 & 0.281 4 \\ 0.356 0 & 2.371 4 & 1.000 0 & 3.554 0 & 1.000 0 \end{bmatrix}$$

5) 用方根法求得 A^* 的特征值 $\omega_1^* = (0.881 8 \quad 0.132 4 \quad 0.313 9 \quad 0.088 3 \quad 0.313 9)$, 归一化后得到 U_1 各项指标的权重 $\omega_1 = (0.509 6 \quad 0.076 5 \quad 0.181 4 \quad 0.051 0 \quad 0.181 4)$ 。

用同样的方法可得到其他各指标的权重,如图 1 所示。

2 多级模糊综合评判法

2.1 选取模糊综合评判的原因

在现实生活中,对某一对象的评价需要考虑多个因素和多级指标,根据这些因素对评价对象的影响程度,得出合理的评价结果。现有的评价方法,尚不能完全地实现对复杂对象做出客观、实际的综合评价,针对这一问题,引入一种比较有效的数学方法—多级模糊综合评判法。

多级模糊综合评判法主要用于复杂(系统)的综合评判,原则是将评判因素按相关属性从高层向低层逐级分解和细化,使其因素形成多层次的隶属关系,然后从最低层向最高层逐层地使用单层次综合评判算法进行评判,直至最高层(评判对象)得到评判结论为止。概括起来,多级模糊综合评判法是在考虑多种因素的影响下,运用模糊数学工具对事物进行综合性的评价。

现役武器装备的结构非常复杂,影响武器装备质量的因

素相当得多。以导弹武器系统为例,主要由制导系统、动力系统、战斗部、弹体结构4个指标组成,每一级指标又是由多级子指标和多级因素构成,若只用一种指标去衡量过于片面,概括不了整体;在众多指标中,有些指标往往具有不同的层次,直接比较得不出合理的评判结果。这时必须采用多级综合评判法^[6]。

2.2 模糊综合评判的基本步骤

- 1) 建立评判对象的因素集;
- 2) 根据评判因素的重要性,确定各评判因素的权重;
- 3) 建立模糊综合评判的模型评判集,采取适当方法确定最低评判因素的隶属度;
- 4) 对每个因素逐级做出模糊综合评判,采用所选择的模糊算子进行模糊综合评判;

5) 每个因素反应了评价对象的某种属性,结合评判矩阵,可进一步得到二级评判向量,以此类推,最终获取评价对象的综合评价结果。

3 评价过程

3.1 模糊综合评价

1) 一级模糊综合评价

首先,将评价等级划分为5级, $V = \{ \text{很好, 较好, 一般, 差, 很差} \}$;然后,邀请10名专家打分,对每一具体评价对象的每项指标根据经验和看法进行认定,在打分表上对应等级处打“√”,再通过多位专家调查表的汇总,如表1所示;最后,求得单因素评判矩阵。

表1 导弹质量专家评价表

一级指标	二级指标	三级指标	很好 A_1	较好 A_2	一般 A_3	差 A_4	很差 A_5
导弹质量 U	制导系统 U_1	U_{11}	4	3	2	1	0
		U_{12}	3	4	2	1	0
		U_{13}	3	3	3	1	0
		U_{14}	2	3	3	1	1
		U_{15}	4	4	2	0	0
	动力系统 U_2	U_{21}	4	5	1	0	0
		U_{22}	4	4	1	1	0
		U_{23}	3	5	2	0	0
		U_{24}	2	5	2	1	0
		U_{25}	3	4	1	1	1
		U_{26}	1	5	2	1	1
		U_{27}	4	4	1	1	0
	战斗部 U_3	U_{31}	3	3	3	1	0
		U_{32}	3	4	3	0	0
		U_{33}	2	3	3	1	1
	弹体结构 U_4	U_{41}	3	4	2	1	0
		U_{42}	2	3	3	2	0
		U_{43}	2	4	4	0	0
		U_{44}	3	6	1	0	0

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.5 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

以“制导系统”为例,通过专家打分,获得评判矩阵

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0 \\ 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

然后,由上述改进层次分析法可得“制导系统”权重系数矩阵 ω_1

$$\omega_1 = (0.509\ 6 \quad 0.076\ 5 \quad 0.181\ 4 \quad 0.051\ 0 \quad 0.181\ 4)$$

计算“制导系统”评价要素综合评价矩阵 U_1

$$U_1 = \omega_1 \circ R_1 = (0.364\ 0 \quad 0.325\ 8 \quad 0.223\ 2 \quad 0.081\ 9 \quad 0.005\ 1)$$

同理可以计算出其他子系统的评价矩阵:

$$U_2 = (0.308\ 4 \quad 0.449\ 4 \quad 0.136\ 1 \quad 0.070\ 5 \quad 0.035\ 6)$$

$$U_3 = (0.260\ 8 \quad 0.320\ 4 \quad 0.300\ 0 \quad 0.079\ 6 \quad 0.039\ 2)$$

$$U_4 = (0.240\ 9 \quad 0.380\ 6 \quad 0.268\ 2 \quad 0.110\ 3 \quad 0)$$

2) 二级模糊综合评价矩阵

首先,建立“导弹质量”评价要素集 U

$$U = \{\text{制导系统,动力系统,战斗部,弹体结构}\}$$

然后,建立“导弹质量”评价要素模糊矩阵 R

$$R = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.364\ 0 & 0.325\ 8 & 0.223\ 2 & 0.081\ 9 & 0.005\ 1 \\ 0.308\ 4 & 0.449\ 4 & 0.136\ 1 & 0.070\ 5 & 0.035\ 6 \\ 0.260\ 8 & 0.320\ 4 & 0.300\ 0 & 0.079\ 6 & 0.039\ 2 \\ 0.240\ 9 & 0.380\ 6 & 0.268\ 2 & 0.110\ 3 & 0 \end{bmatrix}$$

由上述改进层次分析法得到“导弹质量”评价要素权重系数矩阵:

$$\omega' = [0.313\ 5 \quad 0.225\ 9 \quad 0.235\ 9 \quad 0.224\ 7]$$

最后,计算“导弹质量”评价要素综合评价矩阵 U ,如图2所示。

$$U = \omega \circ R = [0.303\ 1 \quad 0.368\ 0 \quad 0.234\ 0 \quad 0.086\ 0 \quad 0.018\ 9]$$

3.2 评价结果及分析

建立“导弹质量”的评价集为: $V = \{\text{很好,较好,一般,差,很差}\}$,参考图2,根据最大隶属度法^[7],认为该导弹的质量评价结果为“较好”。若对不同质量等级的导弹按照不同的测试周期进行测试,本方法可以为实现基于状态的测试提供决策依据。通过将评价集数量化为: $V = \{1, 0.9, 0.7, 0.5, 0.2\}$,用百分制表示综合质量 S ,则本次综合质量的评价得分为: $S = VU * 100 = 84.48$ 。利用此分值可以为对不同的导

弹的质量进行横向和纵向比较,为部队作战训练中对装备的选择使用和对武器装备等级的划分提供参考。

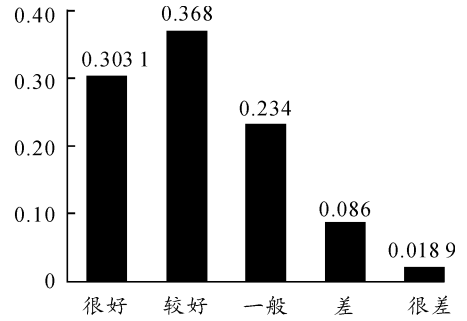


图2 导弹质量综合评价向量分布

4 结束语

本文以某型导弹为例,构建了质量的综合评价模型,并运用改进层次分析法和多级模糊综合评价法定量评价了某型导弹的质量,方法科学易用,便于操作。提出的思想和方法可以推广应用到其他武器装备的质量评价,但是对于不同的武器装备有不同的系统结构,相应的质量模型也必须修改。

参考文献:

- [1] 甘茂功,徐绪森. 维修性工程[M]. 北京:国防工业出版社,1991.
- [2] 李恩友. 导弹质量评估方法研究[J]. 火箭与制导学报, 2008, 8(28): 79-82.
- [3] 蔡之强,姚奕. 层次分析法在导弹武器装备质量监控中的应用[J]. 技术与质量管理, 2007(2): 20-22.
- [4] 彭绍雄,薄延珍,李学园,等. 技术成熟度评价方法在导弹武器系统中的应用[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(8): 157-160.
- [5] 韩庆元,汤军社,王红艳. 基于改进 AHP 的供应商评价与选择研究[J]. 企业管理与信息化, 2009, 11(38): 1-14.
- [6] 刘世新. 用模糊综合评判法评定建筑工程的质量等级[D]. 大连:大连理工大学, 2003.
- [7] 刘普寅,吴孟达. 模糊理论及其应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 1998.
- [7] 魏勇,刘著卿. 基于 FWFPN 的装备保障性定性指标评价算法[J]. 海军航空工程学院学报, 2011(1): 81-85.

(责任编辑 杨继森)