

组合赋权下的装备质量状态信息融合评估方法

安进^{1†}, 徐廷学¹, 曾翔¹, 李志强¹, 朱桂芳^{1,2}

(1. 海军航空工程学院 兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001;

2. 火箭军工程大学 士官学院, 山东 青州 262500)

摘要: 研究装备质量评估中指标优化、权重确定、评估方法选取等问题. 首先运用改进的群层次分析法(IGAHP)选取通用特性指标、测试数据指标作为状态评估的二级指标;在对质量状态进行定性划分的基础上,分别采用IGAHP、CRITIC(criteria improved through inter-criteria correlation)等方法对状态评估三级指标进行遴选和权重分析;然后,提出改进证据推理(ER)方法进行通用特性指标的评估,并采用CRITIC方法,基于客观权重进行测试指标降维优化,对各评估结果进行改进ER融合;最后通过算例验证所提出方法的有效性和优越性. 研究结果表明:IGAHP-CRITIC组合赋权方法可有效综合主客观权重信息;通过指标优化可降低评估的维数和复杂度;考虑证据冲突的改进ER方法可有效降低评估的不确定性和不完备性.

关键词: 装备质量; 状态评估; IGAHP; CRITIC; 证据推理; 维修决策

中图分类号: TJ760

文献标志码: A

Equipment quality condition assessment under fusion information based on combination weighting

AN Jin^{1†}, XU Ting-xue¹, ZENG Xiang¹, LI Zhi-qiang¹, ZHU Gui-fang^{1,2}

(1. Department of Ordnance and Technology, Naval Aeronautical and Astronautical University, Yantai 264001, China;

2. School of Morale, The Rockets Army Engineering University, Qingzhou 262500, China)

Abstract: In equipment quality assessment, the problems of index optimization, weight determination and selection of assessment methods are discussed. Firstly, the improved group analytic hierarchy process(IGAHP) is used to select the general performance index and the testing data index as the second index of condition assessment. On the basis of qualitative division of the quality condition, the IGAHP and CRITIC methods are used to select and analyze the third level indicators of the assessment system. After that, an improved evidence reasoning(ER) approach is proposed to evaluate the general performance indicators, the CRITIC method based on objective weight is used to reduce the dimensionality of the testing data indicators, and the results are integrated by using the improve ER approach. Finally, the validity and superiority of the proposed method are verified by an example. The results show that the IGAHP-CRITIC combination weighting method can effectively integrate the subjective and objective weight information. Optimization of indicators can reduce the dimensions and complexity of the assessment. The improved ER method considering evidence conflict can effectively reduce the uncertainty and incompleteness of the assessment.

Keywords: equipment quality; condition assessment; improved group analytic hierarchy process; criteria improved through inter-criteria correlation; evidence reasoning; maintenance decision

0 引言

装备质量管理体系是一个受多种不确定性因素影响的复杂系统乃至体系,其有效运行受到信息不明确、数据匮乏、主观判断定义不明确等问题的约束. 状态评估作为系统中的关键枢纽,是以先进的状态监控手段为基础,通过可靠的评估方法以及有效的

寿命预测,对装备当前的实际状况作出判断,进而依托相应的故障诊断方法对故障的特点(部位、严重程度、发展趋势)作出判定,并识别故障的早期征兆^[1].

目前,装备质量管理体系和质量状态评估工作主要依据国军标开展,依照质量等级划分原则将装备质量划分为相应等级,通过定性和定量标准评定结果等进行

收稿日期: 2017-05-09; 修回日期: 2017-07-05.

基金项目: 国家自然科学基金项目(51605487); 国防预研基金项目(401080102).

作者简介: 安进(1988—),女,博士生,从事装备综合保障的研究;徐廷学(1962—),男,教授,博士生导师,从事装备综合保障等研究.

[†]通讯作者. E-mail: 137331253@qq.com

级值判定. 在研究中, 专家的关注点主要在评估方法的选择、指标权重的确定和指标体系的构建上. 在评估方法选择上, 刘仁等^[2]综合运用TOPSIS法和灰色关联投影法对被评估对象进行优劣排序, 之后又将模糊评语集引入证据理论^[3], 对质量水平进行归类和评估; 倪小刚等^[4]基于层次分析法提出质量评估的神经网络算法, 解决了精确率在武器质量评估中的问题; 代海飞等^[5]在现役武器装备质量评价中采用了模糊综合评价方法; 丛林虎等^[6]对证据理论进行了改进, 并应用于质量状态评估中. 在权重确定方面, 张峰等^[7]对评估中的权重问题, 综合主、客观权重, 提出了基于向量相似度的集成方法; 倪小刚等^[8]基于广义一致性原则, 采用TOPSIS方法将主观权重和客观权重进行合理组合. 而在指标优化问题上, 侯晓东等^[9]基于熵权区别度方法实现了指标的优化, 并进一步进行了质量评估, 对指标进行了约简和遴选.

通过对已有研究进行分析, 本文的目的主要在于对指标体系实现优化, 以满足战备需求; 同时对指标进行提取和处理, 综合主客观信息对权重进行确定, 并采用适宜方法进行质量状态评估, 从而实现装备质量的闭环控制. 因此, 首先对数据进行收集和处理, 进而基于改进群主成分分析法, 构建面向战备任务的状态评估优化指标体系; 之后运用IGAHP-CRITIC组合方法通过主客观权重的综合得到各指标权重; 在此基础上, 运用去除了指标冲突影响的改进ER方法对通用性能指标进行评估, 运用CRITIC方法对测试信息进行降维和优化, 进一步进行证据推理评估, 并进行信息的融合, 最终得到状态评估结果.

1 状态评估组合赋权模型

1.1 主观赋权模型

1.1.1 IGAHP主观赋权模型

传统的层次分析法(AHP)在对多个专家意见进行综合时, 没有考虑专家意见的差异程度, 容易造成结果偏差^[10]. 结合装备质量状态评估的实际, 提出改进的群体层次分析法(IGAHP), 根据专家之间评价的差异程度确定权重系数, 突出各专家对指标重要程度认识的共识, 使指标赋权更具合理性.

设第 p 个专家与第 q 个专家决策的相近程度用距离 $d_{pq}(p, q = 1, 2, \dots, T)$ 表示, 则

$$d_{pq} = d(Y^{(p)}, Y^{(q)}) = \left[\sum_{i=1}^n (y_i^{(p)} - y_i^{(q)})^2 \right]^{1/2}. \quad (1)$$

其中 d_{pq} 满足下列条件: 1) $d_{tt} = 0$; 2) $d_{pq} = d_{qp} \geq 0$; 3) d_{pq} 越小, 表明 $Y^{(p)}$ 与 $Y^{(q)}$ 越接近, 即两位专家的意见越统一, 当且仅当 $d_{pq} = 0$ 且 $p \neq q$ 时, 说明这两位专家的判断完全一致.

设第 t 个专家决策与其他所有专家决策的相似程度用 d_t 表示, 则

$$d_t = \sum_{j=1}^T d_{tj}, \quad j = 1, 2, \dots, T. \quad (2)$$

综上所述, 第 t 位专家的最终决策权重系数 λ_t 为: 当 $d_t = 0$ 时

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \dots = \lambda_T = \frac{1}{T}; \quad (3)$$

当 $d_t \neq 0$ 时

$$\lambda_t = \frac{1/d_t}{\sum_{j=1}^T (1/d_j)}, \quad (4)$$

其中 $j = 1, 2, \dots, T$. 可知: 当 d_t 越大时, 表明该专家与其他专家之间的分歧越大, 其决策权重系数越小; 当 d_t 越小时, 表明该专家与其他专家之间的分歧越小, 其决策权重系数越大. 这就突出了专家之间对指标权重分配的共性认识, 提高了指标赋权的合理性. 设最终的指标权重向量为 $Y^* = (y_1^*, y_2^*, \dots, y_n^*)$, 即

$$Y^* = \sum_{t=1}^T \lambda_t Y^{(t)}. \quad (5)$$

1.1.2 基于IGAHP的状态评估指标体系构建

根据现有研究和资料, 构建包含装备通用质量特性 X_1 、测试信息 X_2 、人员与管理 X_3 、环境信息 X_4 、履历信息 X_5 等5个指标^[11]在内的初始评估指标体系. 根据各状态评估指标的重要程度, 通过两两比较, 3位专家分别给出了相应的判断矩阵, 见表1.

分别对每位专家判断矩阵的特征向量、决策权重系数进行求解, 由式(5)得到该组指标的最终权重向量 $Y^* = (0.3817, 0.2549, 0.0993, 0.1373, 0.1268)$.

表1 3名专家给出的判断矩阵

| X | X_1 | X_2 | X_3 | X_4 | X_5 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| X_1 | 1 | 2 | 5 | 2 | 3 |
| X_2 | 1/2 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| X_3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 2 | 1 |
| X_4 | 1/2 | 1/2 | 1/2 | 1 | 1 |
| X_5 | 1/3 | 1/2 | 1 | 1 | 1 |

这里选取权重最大的装备通用质量特性 X_1 和测试信息 X_2 作为质量状态评估指标开展研究, 进一步建立如图1所示的多源信息下的装备质量状态评估指标体系。

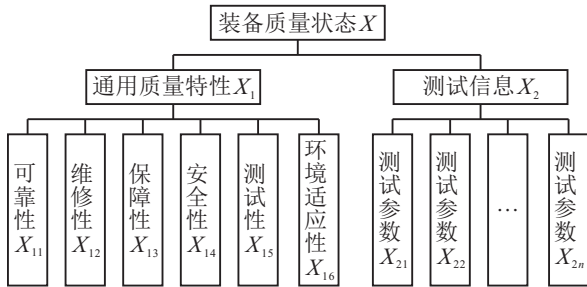


图1 状态评估指标体系

1.2 客观赋权模型

1.2.1 CRITIC客观赋权模型

CRITIC 客观赋权法在用标准差反映其对应的指标变异程度的同时, 还根据各指标间的相关性对某指标与其余指标的冲突程度进行了描述^[12]。对指标 i 与其余指标的冲突程度进行量化处理, 可得指标 i 的冲突量化表达式为

$$c_i = \sum_{j=1}^n (1 - r_{ij}). \quad (6)$$

其中: r_{ij} 为指标 i 与 j 的相关系数, 根据 Pearson 设计的积矩相关计算方法, 可得其表达式为

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^m (\lambda_{ik} - \bar{\lambda}_i)(\lambda_{jk} - \bar{\lambda}_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^m (\lambda_{ik} - \bar{\lambda}_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{k=1}^m (\lambda_{jk} - \bar{\lambda}_j)^2}}. \quad (7)$$

其中: λ_{ik} 和 λ_{jk} 分别为在第 i 个指标和第 j 个指标下的第 k 个评估对象的归一化值, $\bar{\lambda}_i$ 和 $\bar{\lambda}_j$ 分别表示指标 i 和 j 的均值。

设 C_i 为指标 i 所提供的信息量, 则其表达式为

$$C_i = \sigma_i c_i, \quad (8)$$

其中 $\sigma_i = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\lambda_{ij} - \bar{\lambda}_i)^2 / (m - 1)}$ 表示指标 i 在各评估对象间的标准差。 C_i 越大, 指标 i 所提供的信息量越大, 在评估过程中的作用越重要, 故指标 i 的权重 w_i 可表示为

$$w_i = C_i / \sum_{i=1}^n C_i. \quad (9)$$

1.2.2 基于CRITIC-IGAHP的通用质量特性组合赋权

表2所示为经过评估和标准化处理后的3台装备通用质量特性各三级指标单项评估结果。

表2 3台装备单项评估结果

| | 装备1 | 装备2 | 装备3 |
|----------------|-------|-------|-------|
| 可靠性 X_{11} | 0.864 | 0.870 | 0.886 |
| 维修性 X_{12} | 0.831 | 0.842 | 0.818 |
| 保障性 X_{13} | 0.904 | 0.873 | 0.825 |
| 安全性 X_{14} | 0.861 | 0.876 | 0.839 |
| 测试性 X_{15} | 0.877 | 0.842 | 0.821 |
| 环境适应性 X_{16} | 0.897 | 0.880 | 0.823 |

根据式(1)~(5)计算指标客观赋权结果, 并采用1.1节中IGAHP方法计算主观权重, 取主、客观权重系数均为0.5, 得到主、客观赋权结果和组合赋权结果如表3所示。

表3 组合赋权结果

| 指标 | X_{11} | X_{12} | X_{13} | X_{14} | X_{15} | X_{16} |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 主观赋权 | 0.2357 | 0.2015 | 0.1985 | 0.1427 | 0.1209 | 0.1007 |
| 客观赋权 | 0.1853 | 0.0735 | 0.2312 | 0.1111 | 0.1844 | 0.2145 |
| 组合赋权 | 0.2105 | 0.1375 | 0.21485 | 0.1269 | 0.15265 | 0.1576 |

2 基于改进ER的状态评估模型

证据推理理论以信度函数而非概率为度量, 作为一种不确定推理方法, 可在无先验概率的条件下, 基于“证据”和“组合”形成明晰的证据决策, 将不确定概率进行重新分配, 从而增加评估的确定性^[13-14], 适用于通用质量状态评估中各底层指标的证据合成和状态评估。

2.1 评估框架

装备测试时的项目很多, 虽然都能在一定程度上反映装备所处的状态, 但若在状态评估时同时考虑所有参数, 则必然造成状态空间维数增加、数据分析过程复杂、计算量庞大的问题。因此, 需要对测试数据进行优化和降维处理。

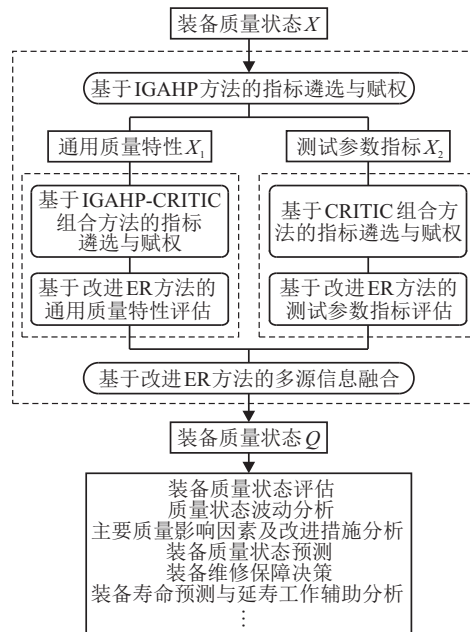


图2 质量状态评估框架

考虑通用质量特性和测试参数指标的装备质量状态评估框架如图2所示。

2.2 改进ER模型

规定指标体系中广义属性 X_1 (顶层事件)以下的指标属性均为基本属性,表示为 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_L\}$,其相对权重为 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_L\}$,且满足 $0 \leq \omega_i \leq 1, \sum_{i=1}^L \omega_i = 1$. 用 $H = \{H_1, H_2, \dots, H_n, \dots, H_N\}$ 表示 N 个显著评估等级,不失一般性,假设 H_{N+1} 优于 H_N , 则对指标 e_i 的评估可以表示为

$$S(e_i) = \{(H_n, \beta_{n,i}), n = 1, 2, \dots, N\}.$$

其中: $\beta_{n,i}$ 代表基本属性 i 被评为等级 n 的信任度,有 $\beta_{n,i} \geq 0, \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \leq 1$.

已分配的概率指派函数 $m_{n,i}$ 表示基本属性 e_i 支持 X_1 被评为 H_n 等级的程度;未分配的概率指派函数 $m_{H,i}$ 表示剩余未分配给具体等级的程度. $m_{n,i}$ 和 $m_{H,i}$ 的计算公式为

$$m_{n,i} = \omega_i \beta_{n,i},$$

$$m_{H,i} = 1 - \sum_{n=1}^N m_{n,i} = 1 - \omega_i \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}. \quad (10)$$

将 $m_{H,i}$ 分解为 $\bar{m}_{H,i}$ 和 $\tilde{m}_{H,i}$ 两部分,其中

$$\bar{m}_{H,i} = 1 - \omega_i, \tilde{m}_{H,i} = \omega_i \left(1 - \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}\right). \quad (11)$$

其中: $\bar{m}_{H,i}$ 的产生是由于权重未分配, $\tilde{m}_{H,i}$ 的产生是由于评估不完备.

将 L 个基本属性支持 X_1 被评为 H_n 的程度表示为 $m_{n,I(i)}, m_{H,I(i)}$ 则为聚合后 X_1 未分配给具体等级的程度.

$m_{n,I(i)} (n = 1, 2, \dots, N), m_{H,I(i)}, \bar{m}_{H,I(i)}$ 和 $\tilde{m}_{H,I(i)}$ 为前 i 个基本属性合成后得到的mass函数,则其与第 $(i+1)$ 个属性合成的组合概率指派函数

$$m_{n,I(i+1)} = m_{n,I(i)} m_{n,i+1} + m_{H,I(i)} m_{n,i+1} + m_{n,I(i)} m_{H,i+1} + K_{n,1},$$

$$m_{H,I(i+1)} = (\bar{m}_{H,I(i+1)} + \tilde{m}_{H,I(i+1)}) + K_2. \quad (12)$$

其中

$$\tilde{m}_{H,I(i+1)} = \tilde{m}_{H,I(i)} \tilde{m}_{H,i+1} + \bar{m}_{H,I(i)} \bar{m}_{H,i+1} + \tilde{m}_{H,I(i)} \bar{m}_{H,i+1},$$

$$\bar{m}_{H,I(i+1)} = \bar{m}_{H,I(i)} \bar{m}_{H,i+1}; \quad (13)$$

$$K_{I(i+1)} = \left[1 - \sum_{t=1}^N \sum_{j=1, j \neq t}^N m_{t,I(i)} m_{j,i+1}\right]^{-1} = k_{1(n)} + K_2. \quad (14)$$

$$i = 1, 2, \dots, L - 1.$$

未知或不确定因素是产生冲突的主要原因,冲突丢失则会引起信息的丢失,因而合成后命题分得的冲突概率随合成前信任度的升高而增加. 各命题的平均支持程度

$$r_n = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \beta_{n,i}, \quad i = 1, 2, \dots, L, \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (15)$$

当为完全评价时, $\sum_{n=1}^N r_n = 1$, 冲突因子全部分配给已知命题;当为不完全评价时,还有部分冲突 (K_2) 分配给未知领域. 因此,可得

$$k_1(n) = r_n K_{I(i+1)}, \quad K_2 = K_{I(i+1)} - \sum_{n=1}^N k_1(n). \quad (16)$$

从而,当属性全部合成后,有

$$\beta_n = m(H_n), \quad \beta_H = 1 - \sum_{n=1}^N m(H_n). \quad (17)$$

将常数项 ($\bar{m}_{H,I(i+1)} + K_2$) 按比例重新分配给各个已知命题,并归一化调整,得到

$$\beta_n = \frac{m_{n,I(L)}}{1 - \bar{m}_{H,I(L)} - K_2},$$

$$\beta_H = \frac{m_{H,I(L)} - \bar{m}_{H,I(L)} - K_2}{1 - \bar{m}_{H,I(L)} - K_2}. \quad (18)$$

其中: β_n 表示 y 被评为第 n 个等级的信任度,表示不完备性的 β_H 表示未被分配的信任度.

3 算例分析

为了区分装备所处的不同状态,为后续的定量评估计算作准备,首先从定性的角度将装备状态分为优、良、一般、差4个等级,可参照文献[15-16].

3.1 通用质量特性评估

本文采用如下三角隶属度函数:

$$m_i^1(X_{1i}) = \begin{cases} 0, & 0 \leq d_i \leq 0.6; \\ 5 \cdot d_i/2 - 3/2, & 0.6 \leq d_i \leq 1. \end{cases}$$

$$m_i^2(X_{1i}) = \begin{cases} 0, & 0 \leq d_i \leq 0.3; \\ 10 \cdot d_i/3 - 1, & 0.3 \leq d_i \leq 0.6; \\ -5 \cdot d_i/2 + 5/2, & 0.6 \leq d_i \leq 1. \end{cases}$$

$$m_i^3(X_{1i}) = \begin{cases} 10 \cdot d_i/3, & 0 \leq d_i \leq 0.3; \\ -10 \cdot d_i/3 + 2, & 0.3 \leq d_i \leq 0.6; \\ 0, & 0.6 \leq d_i \leq 1. \end{cases}$$

$$m_i^4(X_{1i}) = \begin{cases} -10 \cdot d_i/3 + 1, & 0 \leq d_i \leq 0.3; \\ 0, & 0.3 \leq d_i \leq 1. \end{cases} \quad (19)$$

其中 $m_i^1(d_i), m_i^2(d_i), m_i^3(d_i)$ 和 $m_i^4(d_i)$ 分别为优、良、一般、差状态. 得到评估结果如表4所示,3台装备的评估结果均为优,与采用基本ER方法和改进ER方法

所求得的结果一致,在处理冲突信息时,改进ER方法更具优越性,且能有效降低评估中的不确定性。

表4 评估结果

| 装备 | 采用方法 | 优 | 良 | 一般 | 差 | 不确定 |
|-----|--------|--------|--------|----|---|--------|
| 装备1 | 基本ER方法 | 0.6675 | 0.2566 | 0 | 0 | 0.0759 |
| | 改进ER方法 | 0.7011 | 0.2908 | 0 | 0 | 0.0081 |
| 装备2 | 基本ER方法 | 0.6408 | 0.2828 | 0 | 0 | 0.0764 |
| | 改进ER方法 | 0.6749 | 0.3171 | 0 | 0 | 0.0080 |
| 装备3 | 基本ER方法 | 0.5673 | 0.3550 | 0 | 0 | 0.0777 |
| | 改进ER方法 | 0.5928 | 0.3992 | 0 | 0 | 0.0079 |

3.2 测试信息评估

3.2.1 测试信息预处理

在装备的综合测试中,测试参数都有一个规定的正常范围,称为“技术条件”。将技术条件参数转换为 $x_0 \pm l$ 型,之后使用劣化度 d_i 去除指标量纲, $d_i \in [0, 1]$. 计算方式如下:

$$d_i = \begin{cases} 0, & x_{it} \leq x_0 - l; \\ |x_{it} - x_0|/l, & x_{it} \in [x_0 - l, x_0 + l]; \\ 1, & x_{it} \geq x_0 + l. \end{cases} \quad (20)$$

3.2.2 测试信息指标优化

调研得到同批次3台装备某分系统的测试参数,表5列出的即为预处理之后的测试数据。

表5 预处理后的测试参数

| 项目名称 | 参数1 | 参数2 | 参数3 | 参数4 | 参数5 | 参数6 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 装备1 | 0.278 | 0.136 | 0.360 | 0.344 | 0.499 | 0.409 |
| 装备2 | 0.278 | 0.136 | 0.360 | 0.544 | 0.499 | 0.509 |
| 装备3 | 0.077 | 0.277 | 0.429 | 0.163 | 0.481 | 0.330 |

| 项目名称 | 参数7 | 参数8 | 参数9 | 参数10 | 参数11 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 装备1 | 0.212 | 0.259 | 0.443 | 0.408 | 0.536 |
| 装备2 | 0.212 | 0.359 | 0.443 | 0.308 | 0.436 |
| 装备3 | 0.363 | 0.496 | 0.295 | 0.237 | 0.315 |

采用CRITIC方法计算各测试参数的客观权重,用向量表示为

$$w = (0.0969, 0.1034, 0.0506, 0.1612, 0.0087, 0.0762, 0.1107, 0.1467, 0.0714, 0.0773, 0.0971).$$

选取权重超过0.1的参数作为测试信息评估指标,即参数2、4、7、8,优化后的指标权重分别为

$$(0.1981, 0.3088, 0.2121, 0.2810).$$

3.2.3 测试信息指标评估

根据测试信息劣化度特点,结合专家意见,采用图3中的隶属度函数,进而计算各指标评估隶属度和指标基本隶属度,同时计算融合评估结果,如表6所示。

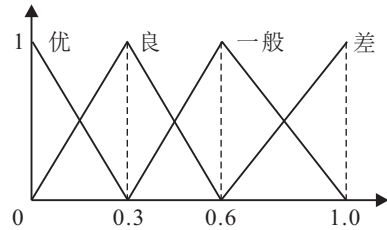


图3 隶属度的三角模糊数模型

表6 融合评估结果

| 装备 | 优 | 良 | 一般 | 差 | 不确定 |
|-----|--------|--------|--------|---|--------|
| 装备1 | 0.2079 | 0.7475 | 0.0317 | 0 | 0.0129 |
| 装备2 | 0.1818 | 0.5664 | 0.2392 | 0 | 0.0126 |
| 装备3 | 0 | 0.6465 | 0.2193 | 0 | 0.0124 |

3.3 多源信息融合评估

采用改进ER方法融合通用质量特性 X_1 和测试信息 X_2 , 其权重分别为 (0.5996, 0.4004), 得到表7所示的信息评估融合结果。

表7 信息评估融合结果

| 装备 | 优 | 良 | 一般 | 差 | 不确定 |
|-----|--------|--------|--------|---|--------|
| 装备1 | 0.4829 | 0.5009 | 0.0134 | 0 | 0.0028 |
| 装备2 | 0.4582 | 0.4370 | 0.1021 | 0 | 0.0028 |
| 装备3 | 0.3801 | 0.5240 | 0.0931 | 0 | 0.0028 |

由表7可见,通过两类信息融合,装备1和装备3处于良状态,信任度分别为50.09%和52.40%,装备2处于优状态,信任度为45.82%。若将优、良、一般、差4个状态等级分别赋值为 $V = (7, 5, 3, 1)$, 则可计算3台装备的量化质量状态

$$X = M \cdot V^T = \sum_{i=1}^4 m_i \cdot v_i,$$

可进一步对装备进行排序和优选,以及进一步的维修保障决策。

4 结论

1) IGHP根据专家之间评价的差异程度来确定权重系数,突出了各专家对指标重要程度认识的共识,使指标赋权更具合理性。

2) CRITIC法在考虑指标变异程度对权重分配影响的基础上,还对各指标间的冲突程度进行了描述,因而CRITIC法在确定指标客观权重时通常会取得更好的效果。

3) 传统的ER方法对证据之间的冲突和单项评估的不确定性考虑不足,改进后的ER方法将证据冲突和不确定性进行了有效分配,从而降低了不确定性,减少了证据冲突。

4) 基于CRITIC-ER的测试信息评估方法能有效降低评估维数,防止评估中易产生的“维数灾难”问题,降低复杂性,易于分析与决策实现。

5) 多源信息融合后的状态评估结果分别为优、良,与装备实际状态相符。

进一步检验结果的准确性和讨论将其应用到实际装备维修保障中的可行性,是下一步的研究方向。

参考文献(References)

- [1] 肖志成, 刘小方, 刘靖洁. 基于主成分分析和因子分析的导弹状态评估参数的优化[J]. 战术导弹技术, 2011(4): 23-29.
(Xiao Z C, Liu X F, Liu Q J. Missile state evaluation parameters optimization based on principal component analysis and factor analysis[J]. Tactical Missile Technology, 2011(4): 23-29.)
- [2] 刘仁, 卞树颤, 周帅. 基于TOPSIS和灰色关联投影法在质量评估中的应用[J]. 电子设计工程, 2013, 21(4): 11-18.
(Liu R, Bian S C, Zhou S. Application of quality evaluation based on the TOPSIS method and gray relation projection method[J]. Electronic Design Engineering, 2013, 21(4): 11-18.)
- [3] 刘仁, 卞树颤, 于强. 模糊评语集的证据理论在质量评估中的应用[J]. 武汉理工大学学报: 信息与管理工程版, 2013, 35(3): 448-451.
(Liu R, Bian S C, Yu Q. Application of evidence theory in quality evaluation based on fuzzy remark set[J]. J of Wuhan University of Technology: Information & Management Engineering, 2013, 35(3): 448-451.)
- [4] 倪小刚, 曹菲, 宋洪军. 基于改进AHP算法的某武器质量评估研究[J]. 电子设计工程, 2011, 19(14): 20-26.
(Ni X G, Cao F, Song H J. Research on quality evaluation based on improved AHP algorithm for certain weapon[J]. Electronic Design Engineering, 2011, 19(14): 20-26.)
- [5] 代海飞, 刘小方, 肖志诚. 基于模糊综合评价的现役武器装备质量评价[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(6): 79-82.
(Dai H F, Liu X F, Xiao Z C. Research on the active-duty weapon and equipment quality based on IAHP and fuzzy comprehensive evaluation[J]. J of Sichuan Ordnance, 2013, 34(6): 79-82.)
- [6] 丛林虎, 徐廷学, 董琪, 等. 基于改进证据理论的导弹状态评估方法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 38(1): 70-76.
(Cong L H, Xu T X, Dong Q, et al. Missile condition assessment method based on improved evidence theory[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 38(1): 70-76.)
- [7] 张峰, 谢振华, 程江涛, 等. 基于向量相似度的组合赋权方法[J]. 指挥控制与仿真, 2014, 36(5): 124-127.
(Zhang F, Xie Z H, Cheng J T, et al. Combination weighting method based on the similarity-degree of vector[J]. Command Control & Simulation, 2014, 36(5): 124-127.)
- [8] 倪小刚, 曹菲. 最优权系数组合赋权在导弹质量评估中的应用[J]. 长春理工大学学报, 2011, 34(4): 140-144.
(Ni X G, Cao F. Application on quality evaluation for missile based on combining weight with optimal coefficient[J]. J of Changchun University of Science and Technology, 2011, 34(4): 140-144.)
- [9] 侯晓东, 杨江平, 戴锦虹, 等. 雷达装备质量评估指标优化研究[J]. 空军预警学院学报, 2014, 28(3): 189-191.
(Hou X D, Yang J P, Dai J H, et al. Optimization of quality assessment indexes for radar equipment[J]. J of Air Force Early Warning Academy, 2014, 28(3): 189-191.)
- [10] Stephen N L. Risk assessment techniques[J]. Quality Engineering, 2014, 26(3): 379-382.
- [11] 张众. 新型反舰导弹基于状态维修优化决策方案[D]. 烟台: 海军航空工程学院兵器科学与技术系, 2015: 25-37.
(Zhang Z. New anti-ship missile condition based maintenance optimization decision scheme[D]. Yantai: Department of Ordnance and Technology, Naval Aeronautical and Astronautical University, 2015: 25-37.)
- [12] 张玉, 魏华波. 基于CRITIC的多属性决策组合赋权方法[J]. 统计与决策, 2012, 16: 75-77.
(Zhang Y, Wei H B. Weighting method of multiple attribute decision making based on CRITIC[J]. Statistics and Decision, 2012, 16: 75-77.)
- [13] Mahmud T, Rahman K N, Hossain M S. Evaluation of job offers using the evidential reasoning approach[J]. GJSFRD: Agriculture and Veterinary, 2013, 13(2): 34-44.
- [14] Wang Yingming, Taha M S E. A comparison of neural network, evidential reasoning and multiple regression analysis in modeling bridge risks[J]. Expert System with Applications, 2007, 32(2): 336-348.
- [15] 齐继阳, 王凌云, 李金燕, 等. 液压系统健康状态的综合评估方法[J]. 机械设计与制造, 2016(5): 56-60.
(Qi J Y, Wang L Y, Li J Y, et al. Method of comprehensive health assessment of the hydraulic system[J]. Machinery Design & Manufacture, 2016(5): 56-60.)
- [16] 王亮, 吕卫民, 滕克难, 等. 一种长期贮存装备健康状态评估指标体系及权重确定方法[J]. 计算机测量与控制, 2013, 21(10): 2753-2755.
(Wang L, Lv W M, Teng K N, et al. A determination method of long-term storage equipment health assessment indexes system and its weights[J]. Computer Measurement & Control, 2013, 21(10): 2753-2755.)