

# 基于数据融合的某型装备品质状态评估

安进<sup>1</sup>,徐廷学<sup>1</sup>,李志强<sup>1</sup>,朱桂芳<sup>1,2</sup>

(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:** 基于品质状态评估的背景, 在分析某型装备品质状态影响因素的基础上, 从通用性能信息、测试信息、环境信息和装备履历信息出发, 分别运用BP神经网络、ER算法、物元理论和灰色聚类法进行分析评估; 最终进行各类信息的数据融合, 从而掌握装备的品质状态, 为装备品质管理与维修决策提供支持。

**关键词:** 品质状态评估; 数据融合; BP神经网络; ER算法; 灰色聚类法; 物元分析

**本文引用格式:** 安进, 徐廷学, 李志强, 等. 基于数据融合的某型装备品质状态评估[J]. 兵器装备工程学报, 2017(6): 13-18.

**Citation format:** AN Jin, XU Ting-xue, LI Zhi-qiang, et al. Quality Condition Evaluation of Certain Equipment Based on Data Fusion[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(6): 13-18.

中图分类号: C934

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2017)06-0013-06

## Quality Condition Evaluation of Certain Equipment Based on Data Fusion

AN Jin<sup>1</sup>, XU Ting-xue<sup>1</sup>, LI Zhi-qiang<sup>1</sup>, ZHU Gui-fang<sup>1,2</sup>

(1. Department of Ordnance Science and Technology, Naval Aeronautical and Engineering University, Yantai 264001, China; 2. The Rocket Engineering University Sergeant College, Qingzhou 262500, China)

**Abstract:** Based on the background of quality condition evaluation, the factors that affect quality condition of a certain equipment are analyzed from general performance information, test information, environmental information and equipment history information respectively, in which the BP neural network, the ER algorithm, the matter-element theory and grey clustering method are used for evaluation. Eventually, the data of all kinds of information are fused to grasp the quality condition of the equipment, providing support for the equipment quality management and maintenance decision-making.

**Key words:** quality condition evaluation; data fusion; BP neural network; ER algorithm; grey clustering method; matter-element analysis

某型装备具有“长期贮存、一次使用”的特点, 导致其对品质状态的评估无法通过性能参数或者故障征兆进行故障诊断、预测, 即通过故障数据拟合进行故障预测, 也由于数据量等原因, 使得预测结果可信度较低。因此, 可通过品质状态分级, 建立品质状态评估模型来确定装备实时品质状态等级, 根据不同等级进一步研究维修策略。

本文基于品质状态评估的背景, 在分析某型装备品质状态影响因素的基础上, 从通用性能信息、测试信息、环境信息和装备履历信息出发, 分别运用BP神经网络、ER算法、物元理论和灰色聚类法进行分析评估; 最终进行了各类信息的数据融合, 从而掌握装备的品质状态, 为装备品质管理与维修决策提供支持。

收稿日期: 2016-12-05; 修回日期: 2017-01-10

基金项目: 武器装备预先研究项目(40108)

作者简介: 安进(1988—), 女, 博士研究生, 主要从事导弹装备综合保障、质量管理研究。

## 1 品质状态评估背景

品质状态评估概念来源于技术状态评估和健康状态评估,在基于状态的维修(CBM)理念提出和发展的同时,状态评估作为其中的重要环节,得到了广泛的研究和应用<sup>[1]</sup>。与传统品质评估的依靠专家经验为主的定性评估不同,品质状态评估主要偏重于基于监测数据的综合评估,通过综合分析装备的自身性能因素、环境和任务剖面,从监测过程中得到的通用性能信息、测试信息、环境应力信息和装备履历信息等出发,运用适用的评估方法,分析判定装备的品质状态。

品质评估一直是某型装备综合保障与品质管理领域研究的热点。张永久等针对某型装备特点,罗列了可能的品质评估方法<sup>[2]</sup>,并对评估系统进行了设计论证<sup>[3]</sup>;李恩友<sup>[4]</sup>、赵嵩正<sup>[5]</sup>、刘伟<sup>[6]</sup>、段林杰<sup>[7]</sup>等人分别就某型装备的各个阶段进行了品质评估方法的探讨,确定评估指标,分配权重,构建评估模型,采用的方法涵盖等定性、定量及综合评估方法;马亚龙等<sup>[8]</sup>则在研究评估理论及方法的基础上,梳理了适用于军事领域的理论和方法。

对于某型装备来说,随着任务需求的提升,对其战备完好性和品质状态提出了更高的要求,因此合理进行品质等级划分、确定品质等级状态对于提高装备品质,促进装备的高效决策,向基于状态的维修和精确化保障推进具有重要意义。其中的关键环节就是分析提取某型装备品质状态影响因素,进而运用适当方法分别进行评估,从而进行数据融合,获取装备的实际品质状态。

## 2 某型装备品质状态影响因素分析

对于某型装备来说,从装备交付部队到消耗或者报废的装备使用周期内,多种不同的任务剖面,会给装备带来不同程度的影响。根据对某型装备品质监控信息的综合分析,得出影响某型装备品质的主要信息有:管理因素、环境因素、设备及器材因素、人员因素<sup>[9]</sup>。本文所提出的评估指标是为建立装备品质状态监测与管理服务,因此将用以评估装备品质状态的信息分为四大类:通用性能信息、测试信息、装备履历信息以及环境信息。

通用性能信息是指能够反映装备本身固有功能能力及品质的指标信息<sup>[10]</sup>,如可靠性、维修性、保障性等,这类指标信息对品质状态评估起到辅助作用。

测试信息是指装备日常测试所得到的与其品质状态相关参数的信息,随着传感器等技术的发展,测试设备得到了更新与广泛应用,通过构建适当模型进行测试数据分析,进而对装备的品质状态进行评估。

装备履历信息主要包括某型装备交付时携带的固有信息,也包括其在长期贮存过程积累的信息。当装备履历信息

不全面时,也可参考同类装备发生故障的情况。

环境信息主要通过传感器监测、数据采集分系统等各种手段获取。在所建立的装备品质状态管理系统中,实时环境数据对整个品质状态评估的可信度产生直接影响,对于长期贮存装备是十分重要的。

对某型装备品质状态的评估主要是对通用性能信息、测试信息、历史信息、环境信息等多种信息的综合分析,同时还要考虑时间修正等因素,整个评估模型如图1所示。

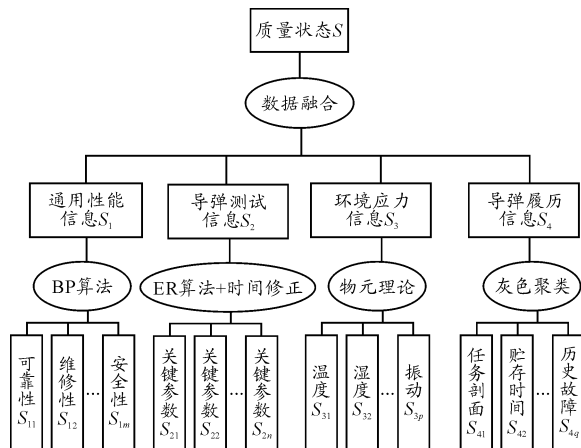


图1 品质状态评估模型

## 3 基于数据融合的品质状态评估

### 3.1 基于BP神经网络的通用性能信息评估

通用性能信息评估涉及的评价因素数目较大,因素间结构比较复杂且呈现非线性,如图2所示。BP神经网络具有良好的非线性映射逼近能力和泛化能力以及易实现性,能够很好的避免主观因素影响,通过BP算法对评价体系中各指标进行客观分权,从而能合理得出通用性能信息反映的品质真实水平。

BP网络是一种具有3层或3层以上的神经元的单向传播多层前向神经网络,学习样本按照“误差逆传播算法”进行神经网络的学习训练。具体方法参照文献[11]。

### 3.2 基于ER时间修正的测试信息评估

ER方法能够根据人的推理模式对数据进行处理,采用概率分配和不确定性来决定多个证据下假设的似然函数,是对传统D-S证据理论的改进<sup>[12]</sup>。

定义 $L$ 个基本属性的集合为 $E = \{e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_L\}$ ,估计 $L$ 个基本属性的相对权重为 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_L\}$ ,且满足 $0 \leq \omega_i \leq 1, \sum_{i=1}^L \omega_i = 1$ ;定义 $N$ 个显著评估等级 $H = \{H_1, H_2, \dots, H_n, \dots, H_N\}$ ,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

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

其中: $\beta_{n,i}$ 表示第 $i$ 个基本属性被评为第 $n$ 个等级的信任度,

且满足  $\beta_{n,i} \geq 0, \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \leq 1$ 。

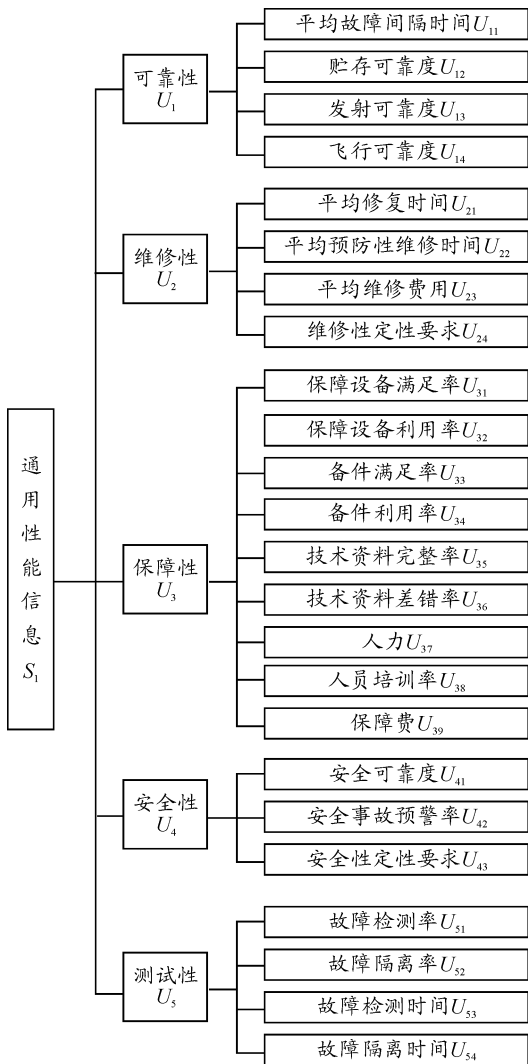


图2 通用性能信息评估模型

定义1:基本属性的概率指派函数。令  $m_{n,i}$  为已分配的概率指派函数,表示第  $i$  个基本属性  $e_i$  支持广义属性  $y$  被评为第  $n$  个等级的  $H_n$  的程度; $m_{H,i}$  为未分配的概率指派函数,表示基本属性对广义属性没有分配给具体等级的支持度。

$$m_{n,i} = \omega_i \beta_{n,i} \quad (1)$$

$$m_{H,i} = 1 - \sum_{n=1}^N m_{n,i} = 1 - \omega_i \sum_{n=1}^N \beta_{n,i} \quad (2)$$

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

$$\bar{m}_{H,i} = 1 - \omega_i \quad (3)$$

$$\tilde{m}_{H,i} = \omega_i (1 - \sum_{n=1}^N \beta_{n,i}) \quad (4)$$

其中: $\bar{m}_{H,i}$  表示由于权重而未分配的概率函数; $\tilde{m}_{H,i}$  是由评估的不完备性引起的。

定义2:广义属性的组合概率指派函数。令  $m_{n,I(i)}$  表示所有  $L$  个基本属性支持广义属性  $y$  被评为第  $n$  个等级的  $H_n$  的程度; $m_{H,I(i)}$  表示基本属性聚合后,广义属性  $y$  没有分配给

具体损伤等级的程度。

$$m_{n,I(i+1)} = K_{I(i+1)} [m_{n,I(i)} m_{n,i+1} + m_{H,I(i)} m_{n,i+1} + m_{n,I(i)} m_{H,i+1}] \quad (5)$$

$$\tilde{m}_{H,I(i+1)} = K_{I(i+1)} [\tilde{m}_{H,I(i)} \tilde{m}_{H,i+1} + \bar{m}_{H,I(i)} \bar{m}_{H,i+1} + \tilde{m}_{H,I(i)} \bar{m}_{H,i+1}] \quad (6)$$

$$\bar{m}_{H,i+1} = K_{I(i+1)} [\bar{m}_{H,I(i)} \bar{m}_{H,i+1}] \quad (7)$$

$$K_{I(i+1)} = [1 - \sum_{t=1}^N \sum_{j=1, j \neq t}^N m_{t,I(i)} m_{j,i+1}]^{-1}, \quad i = 1, \dots, L-1 \quad (8)$$

其中: $I(i+1)$  表示含  $i+1$  个基本指标属性; $K$  为规模化因子,反映了各证据间冲突的程度。

定义3:广义属性的组合信任度。聚合所有  $L$  个估计后,通过使用下面的标准化处理,将  $\bar{m}_{H,I(L)}$  适当的分配给所有的评估等级就可以得到组合信任度。

$$\beta_n = \frac{m_{n,I(L)}}{1 - \bar{m}_{H,I(L)}} \quad (9)$$

$$\beta_H = \frac{\tilde{m}_{H,I(L)}}{1 - \bar{m}_{H,I(L)}} \quad (10)$$

其中: $\beta_n$  表示广义属性被评为第  $n$  个等级的信任度; $\beta_H$  表示未被分配的信任度。

某型装备的特点使得一般情况下只能得到每次测试时的品质状态,无法反映装备在每两次测试之间的时间段内的品质状态及其变化规律,因而对其进行时间修正。

$$S_2 = \begin{cases} 1 & T < T_1 \\ \frac{b-a}{T_2-T_1}(T-T_1) + a & T_1 \leq T < T_2 \\ \frac{-b}{T_3-T_2}(T-T_3) & T_2 \leq T < T_3 \\ 0 & T \geq T_3 \end{cases} \quad (11)$$

其中( $T_1, T_2$ )为装备缓慢失效时间, ( $T_2, T_3$ )为装备快速失效时间, $a, b$  为装备退化系数。

### 3.3 基于物元理论的环境信息评估

物元理论以物元为基本元,建立物元模型,以物元可拓为依据,采用矩阵形式化工具,从定量和定性两个角度分析问题,并定量地给出评估结果<sup>[13]</sup>,在环境信息评估中,可将直接间接获取的信息用  $n$  维物元表示为

$$R = \begin{bmatrix} N & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中: $c_1, c_2, \dots, c_n$  为描述环境的  $n$  个特征,其相应量值为  $v_1, v_2, \dots, v_n$ 。

则基于物元理论的环境信息评估的步骤:

1) 确定环境信息的物元集合。经典域为

$$R_j = (N_j, C_i, V_{j_i}) = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & v_{j1} \\ & c_2 & v_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{jn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} N_j & c_1 & \langle a_{j1}, b_{j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{j2}, b_{j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{jn}, b_{jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (13)$$

式(13)中,  $N_j (j=1, 2, \dots, m)$  为某型装备环境信息物元所划分的第  $j$  个评估等级;  $C_i$  为环境信息指标中的第  $i$  个评估指标;  $V_{ji}$  表示  $N_j$  关于指标  $C_i$  所规定的量值范围, 即经典域。

节域为

$$R_p = (N_p, C_i, V_{pi}) = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & v_{p1} \\ & c_2 & v_{p2} \\ & \vdots & \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (14)$$

式(14)中,  $N_p$  表示评估等级的全体;  $V_{pi}$  表示  $N_p$  关于环境信息指标  $C_i$  所取值的量值范围, 即节域。

2) 确定环境信息构成的物元。对待评物元, 把监测得到的数据用物元表示。

$$R_0 = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & v_1 \\ & c_2 & v_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_n \end{bmatrix} \quad (15)$$

式(15)中,  $N_j$  表示待评物元;  $v_i$  为  $N_j$  关于环境信息指标  $c_i$  的量值, 即待评物元监测得到的数据。

3) 确定环境信息等级的关联度。点  $x_0$  与有限实区间  $X = \langle a, b \rangle$  的距为

$$\rho(x_0, X) = \left| x_0 - \frac{a+b}{2} \right| - \frac{1}{2}(b-a) = \begin{cases} a - x_0 & x_0 \leq \frac{a+b}{2} \\ x_0 - b & x_0 > \frac{a+b}{2} \end{cases} \quad (16)$$

相应的关联函数值为

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{\rho(v_i, v_{ji})}{\rho(v_i, v_{pi}) - \rho(v_i, v_{ji})} & v_i \notin v_{ji} \\ \frac{-\rho(v_i, v_{ji})}{|v_{ji}|} & v_i \in v_{ji} \end{cases} \quad (17)$$

式(17)中,  $K_j(v_i)$  表示第  $i$  个指标关于第  $j$  个评估等级的关联度。对于每个分项指标  $c_i$ , 若其权重为  $\alpha_i$ , 则待评物元关于等级  $j$  的关联程度表示为

$$K_j(N_0) = \sum_{i=1}^n \alpha_i K_j(v_i) \quad (18)$$

4) 环境信息等级的综合评定。若  $K_j = \max K_j(N_0)$ , ( $j=1, 2, \dots, m$ ), 则评定  $N_0$  属于等级  $j$ 。

### 3.4 基于灰色聚类的履历信息评估

灰色聚类理论是解决装备履历信息这类小样本、贫信

息、不确定系统的有效工具, 可实现对系统运行行为的正确认识和有效控制<sup>[14]</sup>。

**定义 1:** 设有  $n$  个聚类对象,  $m$  个聚类指标,  $p$  个不同灰类, 根据第  $i (i=1, 2, \dots, n)$  个对象关于  $j (j=1, 2, \dots, m)$  指标的观测值  $x_{ij} (i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m)$ , 将第  $i$  个对象归入第  $i (i=1, 2, \dots, n)$  个灰类, 称为灰色聚类。

**定义 2:** 将  $n$  个对象关于指标  $j$  的取值相应的分为  $p$  个灰类, 称为  $j$  指标子类; 其白化权函数记为  $f_j^k(\cdot)$ 。

**定义 3:** 设  $j$  指标  $k$  子类的白化权函数  $f_j^k(\cdot)$  为如图 3 所示的典型白化权函数, 记为:  $f_j^k(x_j^k(1), x_j^k(2), x_j^k(3), x_j^k(4))$ , 有:

$$f_j^k(x) = \begin{cases} 0 & x \notin [x_j^k(1), x_j^k(4)] \\ \frac{x - x_j^k(1)}{x_j^k(2) - x_j^k(1)} & x \in [x_j^k(1), x_j^k(2)] \\ 1 & x \in [x_j^k(2), x_j^k(3)] \\ \frac{x_j^k(4) - x}{x_j^k(4) - x_j^k(3)} & x \in [x_j^k(3), x_j^k(4)] \end{cases} \quad (19)$$

### 3.5 多源信息融合静态评估

用  $S_i$  对应各品质指数,  $\omega_i$  对应此指标的相对重要权重系数, 采纳平均加权模型<sup>[15-16]</sup>, 其中  $a$  为加权系数。

$$Q = (1-a)\sqrt{\sum_{i=1}^n (\omega_i S_i)} + a \prod_{i=1}^n (\omega_i S_i) \quad (20)$$

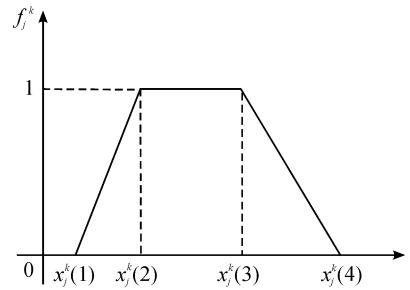


图 3 典型白化权函数

## 4 算例

### 4.1 通用性能信息评估

建立通用性能信息评估的 3 层 BP 神经网络, 将图 2 所示的 24 个底层指标作为网络输入层  $U_{ij}$ , 输出层即为通用性能信息评估结果  $S_i$ , 表示评估结果为各个等级的隶属度矩阵。计算中间层神经元个数为 50, 通过仿真和专家经验打得到经过归一化处理的网络训练数据, 作为评估标准, 如表中前 25 组数据, 其中第 26 组为待评估数据(表 1)。目标评估隶属度矩阵分别为  $(0.95, 0.05, 0, 0, 0)$ 、 $(0.15, 0.75, 0.1, 0, 0)$ 、 $(0, 0.1, 0.75, 0.15, 0)$ 、 $(0, 0, 0.15, 0.75, 0.1)$ 、 $\dots$ 、 $(0, 0, 0, 0.15, 0.85)$ 。

表1 训练数据集

	1	2	3	4	...	25	26
$U_{11}$	0.98	0.85	0.60	0.50		0.40	0.74
$U_{12}$	0.98	0.85	0.60	0.50		0.40	0.87
$U_{13}$	0.95	0.80	0.50	0.40		0.20	0.92
...	...	...	...	...		...	...
$U_{53}$	0.95	0.80	0.60	0.40		0.10	0.93
$U_{54}$	0.95	0.80	0.60	0.30	...	0.20	0.77

在 Matlab 中调用神经网络工具箱,如图 4 所示,设置相应参数,进行网络训练和评估计算仿真,如图 5 所示,得到待评估通用性能指标隶属度矩阵为  $(0.16, 0.72, 0.10, 0.02, 0)$ 。

#### 4.2 测试信息评估

选取测试参数中的 3 个关键参数作为测试信息评估参数(表 2),基于 ER 时间修正的测试信息评估的具体步骤如下:

1) 权重确定。当某一数据超出规定阈值,则装备呈现故障状态,因此 3 个测试数据的权重为  $(1/3, 1/3, 1/3)$ 。

2) 在对测试信息进行评估之前,首先对其进行归一化处理,得到评估的归一化矩阵  $S_2 = \{0.7719, 0.8200, 0.7700\}$ 。

3) 时间修正。根据式(11),取  $(T_1, a)$ 、 $(T_2, b)$  为  $(2, 1)$ 、 $(12, 0.7)$ ,得到时间修正后的测试数据为  $S_2 = \{0.7419, 0.7900, 0.7400\}$ 。

4) 采用三角模糊数模型,得到 3 个指标的隶属度表,取置信度为 0.9,得到基本可信度分配表。

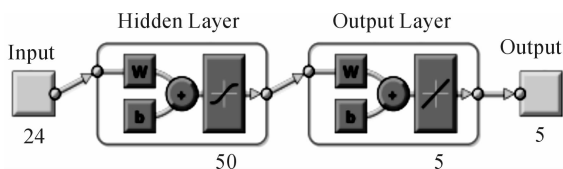


图4 神经网络工具箱

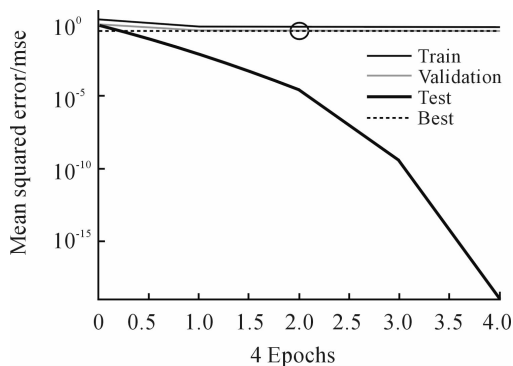


图5 仿真输出

表2 基本可信度分配表

指标	权重	优秀	良好	中等	较差	差	不确定
1	1/3	0	0.7257	0.1743	0	0	0.1
2	1/3	0	0.8700	0.0300	0	0	0.1
3	1/3	0	0.7200	0.1800	0	0	0.1

5) 根据式(1)~式(4)求得基本概率集合。

$$m_{1,1}=0; m_{2,1}=0.2419; m_{3,1}=0.0581; m_{4,1}=0;$$

$$m_{5,1}=0; \bar{m}_{H,1}=0.6667; \tilde{m}_{H,1}=0.0333$$

$$m_{1,2}=0; m_{2,2}=0.2900; m_{3,2}=0.0100; m_{4,2}=0;$$

$$m_{5,2}=0; \bar{m}_{H,2}=0.6667; \tilde{m}_{H,2}=0.0333$$

$$m_{1,3}=0; m_{2,3}=0.2400; m_{3,3}=0.0600; m_{4,3}=0;$$

$$m_{5,3}=0; \bar{m}_{H,3}=0.6667; \tilde{m}_{H,3}=0.0333$$

6) 根据式(8)计算规模化因子为  $K_{I(2)} = 1.0196$ ,进而根据式(5)~式(7)计算组合概率赋值:

$$m_{1,I(2)}=0; m_{2,I(2)}=0.4512; m_{3,I(2)}=0.0492;$$

$$m_{4,I(2)}=0; m_{5,I(2)}=0; \bar{m}_{H,I(2)}=0.4996;$$

$$\tilde{m}_{H,I(2)}=0.0464; m_{H,I(2)}=0.4996。$$

同理,与第 3 个指标进行聚合运算得到:

$$K_{I(3)}=1.0405;$$

$$m_{1,I(3)}=0; m_{2,I(3)}=0.5661; m_{3,I(3)}=0.0701;$$

$$m_{4,I(3)}=0; m_{5,I(3)}=0; \bar{m}_{H,I(3)}=0.3144;$$

$$\tilde{m}_{H,I(3)}=0.0495; m_{H,I(2)}=0.3639。$$

7) 由式(9)、式(10)计算得到广义属性的组合概率赋值和组合信任度:

$$\beta_1=0; \beta_2=0.8257; \beta_3=0.1022; \beta_4=0; \beta_5=0;$$

$$\beta_H=0.797$$

8) 合成计算结果为  $(0, 0.8252, 0.1022, 0, 0)$ , 不确定度为 0.0797。可确定测试信息等级为“良好”的概率为 82.57%, 等级为“中等”的概率为 10.22%, 不确定概率为 7.97%。

#### 4.3 环境信息评估

将温度  $c_1$ 、湿度  $c_2$ 、振动  $c_3$ 、霉菌  $c_4$  作为环境信息的评估指标,其权重可由专家打分法确定为  $(0.3751, 0.3343, 0.1841, 0.1065)$ ,根据专家意见,确定环境信息的经典域为

$$R_1 = \begin{bmatrix} N_1 & c_1 & \langle 10, 15 \rangle \\ & c_2 & \langle 45, 55 \rangle \\ & c_3 & \langle 0, 20 \rangle \\ & c_4 & \langle 0, 10 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} N_2 & c_1 & \langle 5, 10 \rangle \cup \langle 15, 20 \rangle \\ & c_2 & \langle 40, 45 \rangle \cup \langle 55, 60 \rangle \\ & c_3 & \langle 20, 40 \rangle \\ & c_4 & \langle 10, 20 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} N_3 & c_1 & \langle 0,5 \rangle \cup \langle 20,25 \rangle \\ & c_2 & \langle 30,40 \rangle \cup \langle 60,70 \rangle \\ & c_3 & \langle 40,60 \rangle \\ & c_4 & \langle 20,30 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} N_4 & c_1 & \langle -5,0 \rangle \cup \langle 25,30 \rangle \\ & c_2 & \langle 10,30 \rangle \cup \langle 70,90 \rangle \\ & c_3 & \langle 60,80 \rangle \\ & c_4 & \langle 30,40 \rangle \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} N_5 & c_1 & \langle -\infty, -5 \rangle \cup \langle 30, +\infty \rangle \\ & c_2 & \langle 0,10 \rangle \cup \langle 90,100 \rangle \\ & c_3 & \langle 80,100 \rangle \\ & c_4 & \langle 40,50 \rangle \end{bmatrix}$$

节域为

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle -55,60 \rangle \\ & c_2 & \langle 0,100 \rangle \\ & c_3 & \langle 0,100 \rangle \\ & c_4 & \langle 0,50 \rangle \end{bmatrix}$$

把监测得到的数据用物元表

$$R_0 = \begin{bmatrix} N_j & c_1 & 16 \\ & c_2 & 43 \\ & c_3 & 45 \\ & c_4 & 13 \end{bmatrix}$$

根据式(16)~式(18)计算得到各关联度,进而计算综合关联度向量为 $(-0.1089, 0.2223, -0.0443, -0.2477, -0.3881)$ ,即环境信息评估结果为良好的概率为22.23%。取置信度为0.9,则隶属度向量为 $(0, 0.9, 0, 0, 0)$ 。

#### 4.4 履历信息评估

在某型装备履历信息评估中,将收集到的信息经过完备化处理后,将任务剖面、贮存时间、同类故障、历史故障4个指标作为装备履历信息的评估指标,根据专家打分得到履历信息4个指标的权重为 $(0.4106, 0.2609, 0.1938, 0.1347)$ 。

根据履历信息选取专家对各评估指标进行打分,得到任务剖面76.38分,贮存时间65.33分,同类故障100分,历史故障100分。

根据式(19)计算白化权函数值为 $\alpha^1 = 0.0432$ ;  $\alpha^2 = 0.8404$ ;  $\alpha^3 = 0.1164$ ;  $\alpha^4 = 0$ ;  $\alpha^5 = 0$ 。

则隶属度向量为 $(0.0432, 0.8404, 0.1164, 0, 0)$ ,即评估结果为良好的概率为84.04%,取置信度为0.9,则隶属度向量为 $(0.0389, 0.7564, 0.1047, 0, 0)$ 。

#### 4.5 多源信息融合静态评估

各类信息的权重 $\omega_i$ 同样根据专家打分法确定为 $(0.3824, 0.2271, 0.1738, 0.2167)$ ,根据公式得到信息融合评估结果为 $(0.0696, 0.7831, 0.0841, 0.0076, 0)$ ,可判定装备综合评估结果为良好,该结果与各单项评估结果基本一致,且兼顾装备使用保障过程中的各类信息。

## 5 结论

某型装备的品质状态必然会随着时间的流逝而缓缓地出现性能老化、功能退化或者系统不稳定等现象。由于长期贮存装备定期检测的频率不高,次数有限,这些现象一般不容易察觉,在生命周期内采集到有关的品质信息数据也是有限的,基于数据融合对某型装备品质状态进行评估,通过品质状态分级,建立品质状态评估模型来确定装备实时品质状态等级,依据通用性能信息、测试信息、环境信息及装备履历信息等对装备品质状态进行评估,进一步掌控其动态变化趋势,最终形成动态评估,进而根据不同等级来进一步研究维修策略,提高装备的完好性,实现装备精确化保障。

## 参考文献:

- [1] STEPHEN N. Risk Assessment Techniques[J]. Quality Engineering, 2014, 26(3): 379-382.
- [2] 张永久,成跃,张立新. 某型导弹质量评估方法研究[J]. 航空兵器, 2007(5): 56-59.
- [3] 张永久,张志利,刘文超. 多型号导弹质量评估系统设计[J]. 航空兵器, 2005(2): 29-32.
- [4] 李恩友. 导弹质量评估方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(4): 79-82.
- [5] 赵嵩正,殷茗,梁工谦. 大型复杂航空产品质量评估模型研究[J]. 航空学报, 2006, 27(4): 588-593.
- [6] 刘伟,杨世荣,李小强. 地地导弹质量评估方法研究[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(2): 35-37.
- [7] 段林杰,扈延光. 装备维修过程质量评估研究[J]. 价值工程, 2013(22): 38-40.
- [8] 马亚龙,邵秋峰,孙明. 评估理论和方法及其军事应用[M]. 北京:国防工业出版社, 2013.
- [9] 王亮,吕卫民,滕克难. 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(10): 2753-2755.
- [10] 张海军. 装备通用质量特性概述[J]. 军民两用技术与产品, 2015, 18(3): 252-253.
- [11] 安进. 反舰导弹质量评估方法研究[D]. 烟台:海军航空工程学院, 2013.
- [12] 左浩,马亮. 基于ER算法的潜艇鱼雷武器系统损伤等级评估[J]. 鱼雷技术, 2008(1): 48-51.
- [13] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京:科学技术文献出版社, 1994.
- [14] 邓聚龙. 灰色系统理论教程[M]. 武汉:华中理工大学出版社, 1992.
- [15] 何帆,李其祥,黄东. 基于灰色层次模型的新型装备战斗力评估[J]. 火力与指挥控制, 2016(11): 129-133.
- [16] 陈勇. 某型导弹质量评估研究[D]. 烟台:海军航空工程学院, 2016.