

# 基于熵权法的坦克火控系统健康评价方法

李勇, 常天庆, 张雷, 杨国振

装甲兵工程学院控制工程系, 北京 100072

**摘要** 针对坦克火控系统状态评价过程中存在的主观性较大、结果不够精确等问题, 研究了基于熵权法的火控系统健康评价方法。在建立健康评价指标体系的基础上, 构建了健康指数模型。按照指标属性, 对不同量纲的指标进行归一化处理, 采用熵权法计算模型中各指标对系统健康状况影响的权重值。最后采用该方法对某型坦克火控系统进行评价。结果表明, 稳定性指标是影响火控系统总体性能的重要指标。评价结果具有较高的可信度, 可为火控系统的使用及维护提供依据。

**关键词** 火控系统; 健康评价; 健康指数; 熵权法

中图分类号 TP206

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.08.007

## Health Assessment Method of Tank Fire Control System Based on Entropy Weight Method

LI Yong, CHANG Tianqing, ZHANG Lei, YANG Guozhen

Department of Control Engineering, Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China

**Abstract** In order to solve the problems existing in the condition assessment of tank fire control system, such as bigger subjectivity and less accuracy, the health assessment of fire control system based on entropy weight method is studied. Health index model is established on the basis of index system of health assessment. According to the index attributes, the indexes with different dimensions are normalized. The weight of each index is computed by using entropy weight method. Finally, the method is used to assess the health condition of tank fire control system. The assessment results show that stability indexes are the important one that has influence on the general performance of fire control system. It is also proved that the assessment result is reliable and is able to provide some guidelines for the usage and maintenance of fire control system.

**Keywords** fire control system; health assessment; health index; entropy weight method

### 0 引言

随着战争模式和装备体系的发展, 装甲装备保障由机械化、半机械化的“被动、规模、概略、粗放型”保障逐步向信息化的“主动、集约、精确、效益型”保障转变。为实现装备保障的精确化, 要求装备保障部门对保障需求精确感知、保障资源精确掌握、保障方案精确谋划、保障力量精确编组、保障行动精确控制, 而精确化掌握装备技术状况是装备保障精确化的基础<sup>[1]</sup>。

目前, 研究人员主要采用贝叶斯网络<sup>[2]</sup>、支持向量机<sup>[3]</sup>、灰色模型<sup>[4]</sup>、DS 证据理论<sup>[5]</sup>、模糊理论<sup>[6]</sup>及主成分分析法<sup>[7]</sup>等智能

算法对装备技术状况进行评价, 取得了不少研究成果。但这些成果主要针对装备的动力及传动系统, 当前针对火控系统的研究热点主要还是故障诊断方法, 如文献[8]、[9]采用神经网络和多 Agent 方法对火控系统进行智能故障诊断, 取得了较好的效果。文献[1]采用专家打分的主观评价方法对火控系统进行评价, 该方法需要领域专家的支持, 不仅过程复杂, 而且评价结果易受专家主观因素的影响, 导致评价结果不精确。本文以实测的火控系统性能参数为研究对象, 采用客观赋权法对火控系统进行技术状况评价, 消除了主观因素对评价结果的影响, 使评价结果具有较高的可信度, 能为部队有

收稿日期: 2012-01-13; 修回日期: 2012-02-28

作者简介: 李勇, 博士研究生, 研究方向为装备智能故障诊断, 电子信箱: liyong169@yahoo.cn; 常天庆 (通信作者), 教授, 研究方向为装备维修保障、智能火控系统, 电子信箱: changtianqing@263.net

针对性地进行维护保养提供依据,从而保证装备处于较好技术状态。

## 1 健康评价指标体系建立

要对坦克火控系统健康状况进行评价,首要任务是建立一整套科学、适用、完整的评价指标体系,即解决如何选取和划分指标等问题。

广义上讲,火控系统是一套使被控武器发挥最大效能的装置。坦克火控系统功能可以描述为迅速完成观察、搜索、瞄准、跟踪、测距、提供弹道修正量、解算射击诸元、自动装表、控制武器指向并完成射击<sup>[9]</sup>。根据火控系统功能要求,对火控系统性能进行评价时,主要考察其稳定性、机动性以及射击精度。

稳定性反映了火炮及炮塔在静止状态下受外力作用以及运动过程中受路面状况影响时,火控系统对火炮及炮塔稳定控制性能的优劣程度,主要指标包括:A1、A2、A3、A4。

机动性反映火炮及炮塔在火控系统的控制下,瞄准和跟踪的灵敏度及平稳性,主要指标包括:B1、B2、B3、B4。

射击精度反映了在射击条件下,火控系统解算射击诸元并控制武器指向的精度,主要指标包括:C1、C2。

综上所述,可以确定火控系统健康评价指标体系包括3个一级指标和10个二级指标,具体见表1。

表1 火控系统健康评价指标体系  
Table 1 Index system for the fire control system health assessment

目标	一级指标	二级指标
坦克火控系统健康评价	稳定性	A1
		A2
		A3
		A4
	机动性	B1
		B2
		B3
		B4
	射击精度	C1
		C2

## 2 健康评价的熵权法

### 2.1 火控系统健康指数模型

火控系统的健康状况是所有性能指标的集中体现,因此,火控系统健康评价是一个多指标综合评价问题。为了定量评价火控系统健康状况,提出了综合考虑各性能指标权重的健康指数,计算公式为

$$H = \sum_{i=1}^n w_i I_i \quad (1)$$

其中, $H$ 为健康指数, $w_i$ 为指标 $i$ 的权重, $I_i$ 为指标 $i$ 的归一化值。

### 2.2 指标的归一化

对于定量型指标,由于各指标的量纲不尽相同,为使不同量纲的指标具有可比性,需对各指标进行归一化处理。不同性质的指标,其归一化方法也不同。定量型指标主要包括3种:越大越好的指标、越小越好的指标和适中为宜的指标,即经济和社会学科中定义的效益型指标、成本型指标和区间型指标。

设定量型指标 $i$ 的固有性能指标范围为 $[M_{\min}, M_{\max}]$ ,则效益型指标的归一化公式为

$$V_i = \frac{M_i - M_{\min}}{M_{\max} - M_{\min}} \quad (2)$$

成本型指标的归一化公式为

$$V_i = \frac{M_{\max} - M_i}{M_{\max} - M_{\min}} \quad (3)$$

对于区间型指标,定义其最佳取值范围为 $[M_k, M_l]$ ,则其归一化公式为

$$V_i = \begin{cases} 1 - \frac{M_i - M_l}{\max(M_l - M_{\min}, M_{\max} - M_l)} & M_i < M_k \\ 1 & M_i \in [M_k, M_l] \\ 1 - \frac{M_l - M_i}{\max(M_i - M_{\min}, M_{\max} - M_i)} & M_i > M_l \end{cases} \quad (4)$$

对于装备健康评价来说,如果因为某个部件故障导致性能指标不达标,则系统的健康水平显著下降,此时规定该指标的归一化值为0。

### 2.3 指标权重的确定

在多指标评价问题中,权重的确定是重点也是难点。目前,确定权重的方法大致可分为两大类:主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法是专家根据各指标的重要性来确定权重,受专家主观因素影响较重,并且不能反映各指标统计数据的相关关系。客观赋权法通常通过评价对象数据的相近程度和相似程度确定权重,它能尽可能消除各因素权重的主观性,使评价结果更符合实际。

本文采用客观赋权法中的熵权法确定各指标权重。信息熵可以度量数据所提供的有效信息量。信息熵越大,信息的效用值越小;信息熵越小,信息的效用值越大。熵权法是在客观条件下,使用评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重的一种方法,其实质就是利用指标的信息熵来确定指标的权重,信息熵越小,该指标对评价的重要性就越大。

现讨论 $m$ 个样本 $n$ 个指标的熵权计算步骤:

步骤1 建立 $m$ 个样本 $n$ 个指标的判断矩阵 $R=(r_{ij})_{m \times n}$ ;

步骤2 根据指标属性,对给定的指标按式(2)~(4)进行归一化计算,得到归一化判断矩阵 $G=(g_{ij})_{m \times n}$ ;

步骤3 由熵的定义,可确定指标 $j$ 的信息熵为

$$H_j = -\frac{1}{\ln m} \left( \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right) \quad (5)$$

其中, $f_{ij} = \frac{1+g_{ij}}{\sum_{i=1}^m (1+g_{ij})}$ ;

步骤 4 计算评价指标的熵权值

$$w_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad (6)$$

这里  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ 。

### 2.4 计算火控系统健康指数

各指标的归一化值和熵权确定后,即可求得火控系统的健康指数。

### 3 应用实例

某型装甲装备技术状况检测设备是目前在装甲机械化部队广泛使用的装备检测配套设备。它以 PXI 总线计算机及数据采集卡为核心,配合各种专用传感器和信号激励装置,通过模拟装备各种战术动作对装备各系统实现一站式、体检

式检测,以此来评价装备各系统的技术状况<sup>[1]</sup>。下面以该型设备为平台,通过对某装甲部队某型坦克火控系统的技术性能进行跟踪检测,对本文提出的健康评价指标体系进行考核,以此来评价该型坦克的健康状况水平。

选取 2009 年和 2010 年某辆坦克在完成每年两次年度例行训练后的火控系统技术状况检测数据为对象进行火控系统的健康评价,具体数据如表 2 所示。

按照熵权法计算坦克火控系统的健康指数,具体步骤如下。

(1) 4 次测试的 10 个指标组成判断矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 652.2 & 2827.8 & 30.1 & 28.8 & 36.0 & 0.032 & 6.2 & 0.035 & 0.12 & 0.10 \\ 635.1 & 2773.7 & 37.9 & 35.1 & 34.8 & 0.040 & 6.1 & 0.044 & 0.15 & 0.15 \\ 644.4 & 2899.1 & 34.3 & 33.3 & 34.3 & 0.035 & 6.6 & 0.035 & 0.12 & 0.12 \\ 610.9 & 2709.8 & 43.1 & 35.7 & 33.3 & 0.044 & 5.6 & 0.045 & 0.17 & 0.11 \end{bmatrix}$$

表 2 坦克火控系统健康评价指标值及归一化值

Table 2 Index values and their normalized values of the health assessment for tank fire control system

指标	指标值				归一化指标值			
	2009 年 第 1 次	2009 年 第 2 次	2010 年 第 1 次	2010 年 第 2 次	2009 年 第 1 次	2009 年 第 2 次	2010 年 第 1 次	2010 年 第 2 次
A1	652.2	644.4	635.1	610.9	0.3789	0.3484	0.3650	0.3052
A2	2827.8	2899.1	2773.7	2709.8	0.1170	0.0950	0.1460	0.0690
A3	30.1	34.3	37.9	43.1	0.3980	0.2420	0.3140	0.1380
A4	28.8	33.3	35.1	35.7	0.4240	0.0980	0.1340	0.0860
B1	36.0	34.3	34.8	33.3	0.2	0.1600	0.1433	0.1100
B2	0.032	0.035	0.040	0.044	0.0857	0.1429	0.0010	0.2571
B3	6.2	6.6	6.1	5.6	0.6000	0.5500	0.8000	0.3000
B4	0.035	0.035	0.044	0.045	0.001	0.2571	0.0010	0.2857
C1	0.12	0.12	0.15	0.17	0.0010	0.2500	0.0010	0.1500
C2	0.10	0.12	0.15	0.11	0.5000	0.2500	0.4000	0.4500

(2) 计算归一化判断矩阵

$$G = \begin{bmatrix} 0.3789 & 0.1170 & 0.3980 & 0.4240 & 0.2000 & 0.0857 & 0.6000 & 0.0010 & 0.0010 & 0.5000 \\ 0.3484 & 0.0950 & 0.2420 & 0.0980 & 0.1600 & 0.1429 & 0.5500 & 0.2571 & 0.2500 & 0.2500 \\ 0.3650 & 0.1460 & 0.3140 & 0.1340 & 0.1433 & 0.0010 & 0.8000 & 0.0010 & 0.0010 & 0.4000 \\ 0.3052 & 0.0690 & 0.1380 & 0.0860 & 0.1100 & 0.2571 & 0.3000 & 0.2857 & 0.1500 & 0.4500 \end{bmatrix}$$

(3) 计算各指标熵权值

$$w = [0.0062 \ 0.0095 \ 0.0824 \ 0.0922 \ 0.0115 \ 0.0999 \ 0.1915 \ 0.2078 \ 0.1330 \ 0.0661]$$

(4) 计算每次训练后火控系统的健康指数,结果见表 3。

从计算得出的健康指数可以看出,由于坦克苛刻的使用环境以及火控系统机械及电子设备固有的性能退化导致该型坦克火控系统的健康水平总体上呈下降趋势。另外,年度内火控系统健康状况基本保持在一个水平,而年度之间差距则比较大,这是因为经常性的装备保养能够使装备的健康水平保持在相对稳定的状态,而年度间因为有相对较长的封存

期,从而导致装备健康水平有较大的波动。从各指标熵权值来看,反映系统稳定性的指标熵权值比其他指标的要小,说明系统的稳定性指标对系统总体性能影响更大。健康指数法以量化的各指标值作为评价火控系统健康状况的依据,评价结果具有较高的可信度。

表 3 火控系统健康指数

Table 3 Health index of fire control system

评价对象	2009 年	2009 年	2010 年	2010 年
健康指数	0.2769	0.2665	0.2370	0.2239

#### 4 结论

本文建立了反映火控系统技术状况的健康指数模型,以实测的性能指标参数为对象,采用熵权法确定评价指标体系中各指标的权重,并结合健康指数模型计算火控系统的健康指数,从而评价火控系统的健康状况。实例应用验证了该方法的可行性及合理性,它能有效解决火控系统状态评价中存在的主观性较大、结果不精确等问题。

#### 参考文献 (References)

- [1] 张雷. 面向运用的装甲装备状态评价技术研究 [D]. 北京: 装甲兵工程学院, 2010.  
Zhang Lei. Research on condition evaluation for armored equipment application[D]. Beijing: Academy of Armored Force Engineering, 2010.
- [2] 朱伟明. 基于贝叶斯融合的柴油机性能状态评估方法研究[J]. 内燃机, 2010(2): 18-19.  
Zhu Weiming. *Internal Combustion Engines*, 2010(2): 18-19.
- [3] 刘艳斌, 刘建敏, 乔新勇, 等. 支持向量机在柴油机技术状况评估中的应用[J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23(2): 38-40.  
Liu Yanbin, Liu Jianmin, Qiao Xinyong, et al. *Journal of Academy of Armored Force Engineering*, 2009, 23(2): 38-40.
- [4] 刘建敏, 刘艳斌, 乔新勇, 等. 基于灰色模型的柴油机技术状态变化趋势预测[J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23(1): 36-38.  
Liu Jianmin, Liu Yanbin, Qiao Xinyong, et al. *Journal of Academy of Armored Force Engineering*, 2009, 23(1): 36-38.

- [5] 耿俊豹, 黄树红, 金家善, 等. 基于 DS 证据理论的舰船技术状态评估方法[J]. 舰船科学技术, 2006, 28(3): 99-102.  
Geng Junbao, Huang Shuhong, Jin Jiashan, et al. *Ship Science and Technology*, 2006, 28(3): 99-102.
- [6] 耿俊豹, 金家善, 万延斌. 基于多层模糊模型的舰船技术状态评估方法研究[J]. 舰船科学技术, 2004, 26(6): 18-20.  
Geng Junbao, Jin Jiashan, Wan Yanbin. *Ship Science and Technology*, 2004, 26(6): 18-20.
- [7] 孙凯, 张耀辉, 王继富, 等. 装备技术状态动态评估方法 [J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(5): 99-102.  
Sun Kai, Zhang Yaohui, Wang Jifu, et al. *Fire Control & Command Control*, 2011, 36(5): 99-102.
- [8] 张向前, 关小伟, 陈力子. BP 神经网络在武器火控系统故障诊断中的应用[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(11): 2576-2578.  
Zhang Xiangqian, Guan Xiaowei, Chen Lizi. *Computer Measurement & Control*, 2010, 18(11): 2576-2578.
- [9] 赵鹏, 常天庆, 苏奎峰, 等. 基于多 Agent 的坦克火控系统故障诊断方法[J]. 测控技术, 2010, 29(4): 31-34.  
Zhao Peng, Chang Tianqing, Su Kuifeng, et al. *Measurement & Control Technology*, 2010, 29(4): 31-34.
- [10] 朱竞夫, 赵碧君, 王钦钊. 现代坦克火控系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.  
Zhu Jingfu, Zhao Bijun, Wang Qinzha. *Modern tank fire control system* [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003.

(责任编辑 马宇红,代丽)

· 学术动态 ·



## “第三届全国器官移植免疫学 学术会议”征文

“第三届全国器官移植免疫学学术会议”, 将于 2012 年 6 月 22—24 日在上海市召开。本次大会由中国免疫学会移植免疫学分会医学免疫学国家重点实验室主办。

征稿范围: 器官移植的新理论与新策略; 移植免疫学研究新进展; 器官移植排斥、围手术期并发症的治疗、诊断新技术和新方法; 免疫抑制药物的研发以及临床应用和疗效评估; 器官的缺血再灌注损伤机制及其器官保存的新方法、新技术; 移植排斥的病理学研究; 造血干细胞移植。

论文截稿: 2012 年 5 月 10 日。

电子信箱: [transplant\\_immunol@163.com](mailto:transplant_immunol@163.com)。

会议网站: [http://www.csi-cams.org.cn/Article\\_Show.asp?ArticleID=966](http://www.csi-cams.org.cn/Article_Show.asp?ArticleID=966)。