

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.11.005

舰船电子装备技术状态综合评估方法

李胜勇, 阮晓芬, 朱强华, 金国庆, 李洪科
(海军工程大学 电子工程学院, 湖北 武汉 430033)

摘要: 为加强对舰船电子装备的科学管理, 以装备可用性、可靠性、任务完成能力模型 ADC 为基础, 采用将层次分析和模糊综合评判相结合的方法, 对舰船电子装备技术状态进行综合评估。并通过实例详细论述了该方法的具体评估步骤, 并给出了评估系统的实现思路。该方法实用性强, 具有便捷、易操作的优点, 可以通过该方法实时快速地掌握舰船电子装备的运行状态。

关键词: 舰船电子装备; 技术状态; 综合评估; ADC 模型; 模糊评价法; 层次分析法
中图分类号: N945.16 **文献标识码:** A

Comprehensive Evaluation Method of Technical Condition Based on Ship Electronic Equipment

Li Shengyong, Ruan Xiaofen, Zhu Qianghua, Jin Guoqing, Li Hongke
(College of Electronic Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In order to strengthen the scientific management of ship electronic equipment, a method for ship electronic equipment technical condition comprehensive evaluation based on the equipment usability, credibility and capability of model ADC modified by the layer analysis method and fuzzy synthetic evaluation is put forward. By the instance, the evaluation process of this method is discussed in detail. And the realization way of the evaluation system is presented. This method is practicable and convenient. By using the method, the ship electronic equipment technical condition is known immediately.

Keywords: ship electronic equipment; technical condition; comprehensive evaluation; ADC method; fuzzy evaluation; AHP

0 引言

舰船电子装备是全舰作战指挥系统的主要组成部分, 其性能好坏直接影响全舰作战效能, 其技术状态的高低成为决定部队战斗力的重要因素。为加强对舰船电子装备的科学管理, 必须评定电子设备的完好率、可靠性及寿命估计, 并有针对性地安排重点设备的检修与维护, 制订切实有效的状态改善计划。

目前, 研究人员对舰船装备技术状态的评估进行了大量的研究^[1-5], 提出了许多的评估方法, 但这些方法有的是针对某类系统进行技术状态评估, 没有广泛的适应性; 有的方法主要还是停留在理论探讨阶段, 距离实际应用还有一定距离; 或者对复杂系统仅仅采用单一的评判方法很难达到满意的效果。还没有专门针对舰船电子装备技术状态进行综合评估的相关方法。

舰船电子装备种类多、数量大、结构复杂、技术含量高、影响装备技术状态的因素众多, 故根据舰船电子装备的特点及技术状态评估的要求, 采用层次分析法 (AHP) 和模糊评判 (FCE) 相结合方

法改进 ADC 模型, 以实现舰船电子装备技术状态的综合评估。

1 评估方法的确定

1.1 ADC 模型^[6]

ADC 模型是美国工业界武器系统效能委员会 (WSEIAC) 定义的当前最常用的武器系统效能评估方法, 可以将系统的效能评定和具体的作战任务综合起来, 反映既定任务的完成情况, 它是系统有效性、可靠性和能力的函数, 具体表示为: $E=A \cdot D \cdot C$ 。

其中, E (Efficiency) 是预计系统满足特定任务要求之程度的量度, 即系统效能。A (Availability) 是开始执行任务时系统所处状态的量度, 即系统的有效性。D (Dependability) 是在已知开始执行任务时系统状态的情况下, 在执行任务过程中的某一个或某几个时刻系统状态的量度, 即系统的可靠性。C (Capability) 是在已知执行任务期间的系统状态的情况下, 系统完成任务能力的量度, 即系统的能力。

1.2 层次分析法 (AHP) ^[7]

AHP 是一种多准则决策方法。具有以定性与定

收稿日期: 2010-05-12; 修回日期: 2010-06-12

作者简介: 李胜勇 (1976-), 男, 湖南人, 硕士, 讲师, 从事装备保障、电子对抗研究。

量相结合处理各种决策因素的特点,且灵活、简洁,在社会、经济等领域中得到了较为广泛的应用。其主要步骤包括:定判断矩阵,两两比较判断矩阵中各元素之间的相对重要性,对评价指标赋值。但由于只能通过两两比较的方式确定判断矩阵,即指标不能转化为具有某种量纲的数值,因而必须用自然语言来描述不同指标的重要程度,不便于定量分析。

1.3 模糊数学方法 (FCE)

模糊数学方法适合于用定量方式描述定性问题,其与 AHP 相结合可以避免后者的上述缺点。FCE 是针对现实生活中大量现象具有模糊性而设计的一种评判模型和方法,关键在于权重集的确定,即确定各因素的相对重要程度。权重的确定具有相当程度的主观性,而 AHP 能够在专家的主观判断与数学的逻辑严密性之间建立一座可量化的桥梁,是一种很好的确定权重的方法。

故采用 FCE 确定评判矩阵、AHP 确定指标权重、ADC 确定完成任务的能力来构建舰船电子装备综合评价体系。该方法主要包括:1) 确定评价类别和评价指标集;2) 建立模糊评价矩阵;3) 用 AHP

确定各层指标的权重;4) 评判综合技术状态。

2 建立评估指标体系

舰船电子装备技术状态评估方法研究的是在建立的评估指标体系的基础上,解决各个独立指标的数值量化及权重问题,并建立评估数学模型,得出详细的技术状态信息。研究重点是相关评估指标的权重选择和评估数学模型的建立。笔者提出基于 ADC^[8]效能模型及多层模糊模型的评估方法。

首先,采用层次分析法将舰船电子装备按分系统、单型装备进行分解,确定与技术状态有关的变量,并依据变量间的相互关系及影响,隶属关系,进行不同层次组合,形成一个多层次的电子装备技术状态综合评估体系,具体结构如图 1。

图 1 中由下至上共分为五层:评价因素(指标)层、装备可用性(可靠性、完成任务能力)层、单型装备技术状态评估层、分系统技术状态评估层、舰船电子装备技术状态综合评估层。在评估时由下向上逐层进行评估,上一层的技术状态依赖于下一层的评估结果。

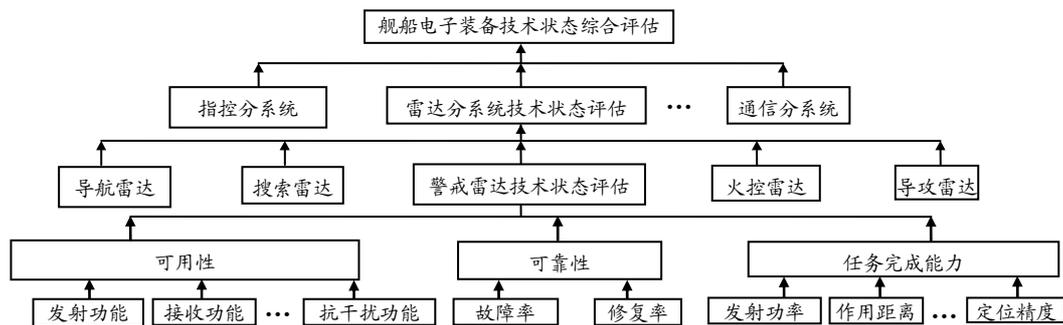


图 1 舰船电子装备技术状态综合评估体系

2.1 评估因素(指标)层

图 1 中最底层是评估因素层。评估因素由建立的评估指标体系决定,通常包括装备的主要功能、技术指标等。具体将装备的哪些功能及指标参数作为评估因素,需要在实际应用中根据装备的实际使命任务,参考专家意见进行选取。表 1 给出了某型警戒雷达装备的评估因素,可以根据其建立相应的评估因素层。

表 1 某型雷达装备的评估指标

| 评估指标 | |
|------|-----------------------|
| 设计功能 | 发射功能 接收功能 ... |
| 性能指标 | 方位分辨力 距离分辨力 ... |
| 使命任务 | 对海警戒 对空警戒 ... |

2.2 装备可用性、可靠性及完成任务能力层

2.2.1 装备可用性评估

装备的可用性评估采用模糊评价法。通过对电子装备功能完整性的统计分析,得到装备可用性指标。

1) 选取能表征该电子装备技术状态的主要功能作为评价因素,具体参与评价的功能项目通常可以由专家选取,如表 2,给出了表征雷达装备可用性的 7 个评价因素。

表 2 某型雷达装备的可用性评价因素

| 评价因素 | 参与评估的功能 |
|------|-----------|
| 1 | 发射功能 |
| 2 | 接收功能 |
| 3 | 信号与数据处理功能 |
| 4 | 显示功能 |
| 5 | 天线与伺服功能 |
| 6 | 跟踪功能 |
| 7 | 抗干扰功能 |

2) 分别判断每种功能的状态, 功能状态是指装备使用中统计数据记录的实际功能与装备的设计功能比较后的状态描述, 反映了装备功能的正常程度。可将功能状态分为: 功能正常、功能基本正常、功能故障(丧失) 3 种, 同时为每种功能状态赋值, 如功能正常为 0.9, 功能基本正常为 0.7, 功能故障

为 0.5, 得到装备功能等级矩阵 M :

$$M = \{0.9, \quad 0.7, \quad 0.5\}$$

在实际应用时, 可以由装备使用人员按装备的实际状态填写表 3。最终, 可以根据表 3 得到某型雷达装备的功能状态矩阵 U :

$$U = \{u_i\} \quad (i = 1, 2, \dots, 7)$$

表 3 功能状态打分表

| 评价因素 | 功能 1 | 功能 2 | 功能 3 | 功能 4 | 功能 5 | 功能 6 | 功能 7 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 正常 (0.9) | √ | | √ | | √ | √ | |
| 基本正常 (0.7) | | √ | | √ | | | √ |
| 故障 (0.5) | | | | | | | |

3) 根据这些功能相对评价雷达可用性的重要程度, 采用专家打分法, 确定每一功能的相对权重, 得到权重矩阵 B :

$$B = \{b_i \quad 0 \leq b_i < 1\} \quad (i = 1, 2, \dots, 7)$$

$$\text{可知, } \sum_{i=1}^7 b_i = 1$$

4) 采用加权法可求得某型雷达装备可用性矩阵 A :

$$A = U \times B^T \times M = (a_1, a_2, a_3)$$

其中, a_i 指装备分别处于功能正常、功能基本正常、功能故障状态的概率。

2.2.2 装备可靠性评估

装备的可靠性是指装备正常工作的概率。通过对装备各种故障发生的频率、故障修复的时间等数据进行统计分析, 可以得到装备可靠性矩阵 D :

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} \end{pmatrix}$$

其中, d_{ij} 指装备从一种状态(功能正常、基本正常或故障状态) 转变到另一种状态的概率, 且

$$\sum_{j=1}^3 d_{ij} = 1。$$

在具体应用中, 由平时记录的装备平均故障间隔时间 (MTBF) 和平均修复时间 (MTTR) 或其对应的故障率 (λ) 和修复率 (μ) 来求得装备可靠性矩阵 D 。

2.2.3 装备任务完成能力评估

装备的任务完成能力是指装备能完成的使命任务占设计的使命任务的比例。装备任务完成能力评估也可采用模糊综合评价法。利用装备的性能指标及设计时的任务使命, 结合装备所要完成的任务, 在建立的数学模型的基础上可以评估装备的任务实现能力, 具体的步骤如下:

1) 结合装备具体任务, 选取装备完成该任务能力的主要评价因素, 通常为装备与实现该任务有关的主要指标参数, 如表 4, 给出了当雷达装备完成对海警戒任务时, 其任务完成能力的 7 个评价因素。

表 4 某型雷达装备的任务完成能力评价因素

| 评价因素 | 参与评价的指标 |
|------|---------|
| 1 | 发射功率 |
| 2 | 作用距离 |
| 3 | 定位精度 |
| 4 | 接收灵敏度 |
| 5 | 目标处理能力 |
| 6 | 目标录取能力 |
| 7 | 抗干扰能力 |

2) 根据实际性能指标与正常性能指标间的差值确定装备任务完成能力的隶属度, 将评价因素量化, 差值越小, 性能越高, 差值越大, 性能越差。

3) 根据差值大小判断每个性能指标的状态: 性能正常、性能基本正常(可降级使用)、性能故障(丧失), 分别为每一个指标赋值, 如性能正常为 0.9, 性能基本正常为 0.7, 性能故障为 0.5, 得到装备性能等级矩阵:

$$M = \{0.9, 0.7, 0.5\}$$

实际应用时, 由装备使用人员按装备的实际状态填写表 5。

表 5 装备性能指标状态打分表

| 评价因素 | 指标 1 | 指标 2 | 指标 3 | 指标 4 | 指标 5 | 指标 6 | 指标 7 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 正常值 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 实际值 | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |
| 差值 | 0.2 | 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 0.1 |
| 指标等级 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.9 |

由填写的指标等级, 可以得到性能指标状态矩阵:

$$V = \{v_i\} \quad (i=1,2,\dots,7)$$

4) 根据这些性能指标, 评价雷达完成对海警戒任务能力的重要程度, 采用专家打分法, 确定每一个性能指标的相对权重, 得到权重矩阵 B :

$$B = \{b_i \quad 0 \leq b_i < 1\} \quad (i=1,2,\dots,7)$$

可知, $\sum_{i=1}^7 b_i = 1$

5) 利用加权法求得装备任务完成能力矩阵 C :

$$C^T = V \times B^T \times M = (c_1, c_2, c_3)$$

其中, c_i 指装备处于某一种状态 (功能正常、基本正常或故障状态) 时完成指定任务的概率。

2.3 单型电子装备技术状态评估层

在以上步骤基础上, 由装备的可用性 A 、可靠性 D 和任务完成能力 C 可以评估出单型电子装备完

成某一指定任务时的技术状态, 评估模型如下:

$$E = A \times D \times C$$

由计算得出的状态值 E , 可以评估出单型装备雷达的技术状态, 分为 3 种状态: 良好、勘用、故障。这 3 种状态的 E 值范围应根据实际情况来确定。例如可以划分如下: 良好 ($E \geq 0.8$)、勘用 ($0.8 > E \geq 0.6$)、故障 ($E < 0.6$)。可以看出, 针对不同的任务, 装备的技术状态可能是不同的, 因此, 评价时应密切结合装备任务来进行。

2.4 电子装备分系统技术状态评估层

在完成单型电子装备技术状态评估的基础上, 可以对电子装备分系统的技术状态进行评估。以雷达分系统为例, 评估步骤如下:

1) 评估各型雷达的技术状态, 将各型雷达的状态值 E 填入表 6。

表 6 各型雷达技术状态表

| | 导航雷达 w1 | 搜索雷达 w2 | 警戒雷达 w3 | 火控雷达 w4 | 导攻雷达 w5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 状态值 E | 0.80 | 0.65 | 0.70 | 0.82 | 0.85 |

由表 6 可以得到各型雷达技术状态矩阵:

$$W = \{w_i\} \quad (i=1,2,\dots,5)$$

2) 根据各型雷达相对评价雷达分系统技术状态的重要程度, 采用专家打分法填写表 7, 确定各型雷达的相对权重, 得到权重矩阵 B :

$$B = \{b_i \quad 0 \leq b_i < 1\} \quad (i=1,2,\dots,5)$$

可知, $\sum_{i=1}^5 b_i = 1$

3) 评估雷达分系统技术状态

$$E_{\text{分系统}} = W \times B^T$$

表 7 各分系统技术状态表

| | 雷达分系统 s1 | 对抗分系统 s2 | 指控分系统 s3 | 通信分系统 s4 | 声纳分系统 s5 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 状态值 $E_{\text{分系统}}$ | 0.76 | 0.85 | 0.80 | 0.82 | 0.73 |

由表 7 可以得到各型雷达技术状态矩阵 S :

$$S = \{s_i\} \quad (i=1,2,\dots,5)$$

2) 根据各分系统相对评价全舰电子装备技术状态的重要程度, 采用专家打分法填写下表, 确定各分系统的相对权重, 得到权重矩阵 B :

$$B = \{b_i \quad 0 \leq b_i < 1\} \quad (i=1,2,\dots,5)$$

可知, $\sum_{i=1}^5 b_i = 1$

3) 综合评估舰船电子装备技术状态为:

$$E_{\text{舰船}} = W \times B^T$$

由计算得出的状态值 E , 可以评估出雷达分系统的技术状态, 同样也可分为 3 种状态: 良好、勘用、故障。

2.5 舰船电子装备技术状态综合评估层

综合评估层作为舰船电子装备技术状态评估体系中的最上层, 是对舰船所有电子装备技术状态的一个综合评价。通过综合评价, 可以掌握全舰所有电子装备的总体情况。评估步骤如下:

1) 评估各分系统的技术状态, 将各分系统状态值 E 填入表 7。

3 评估系统实现

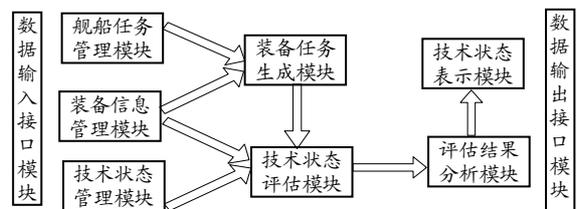


图 2 评估软件系统功能结构

根据采用的评估模型, 笔者还开发了相应的软件系统, 功能结构框架如图 2。目前, 该系统已经应用于在实际技术状态评估中, 为综合技术状态评

估方法提供了检验和工程实现的平台。

4 结论

该方法可减小人为因素的影响,较好地考虑各指标对工作效能的影响,具有便捷、易操作的优点,解决了舰船技术状态评估中多层次装备影响的难点。利用本文提出的思路和方法,可以快速、准确、实时地掌握舰船电子装备系统的运行状态,进而根据得到的具体数据进行相应的科学决策,使电子装备尽快形成战斗力并能持续发挥其最佳效能。同时,该方法可以推广应用到舰船机械、机电设备上,具有广泛的应用前景。

参考文献:

[1] 董建华, 郑士君, 王伟彬, 等. 船舶状态检测技术与评估方法探讨[J]. 机电设备, 2004(3): 1-4.

(上接第 5 页)

第二测量周期, P(战术导弹1)=0.41, P(战术导弹2)=0.42, P(弹道导弹)=0.11, P(不明)=0.09。

地基雷达:

第一测量周期, P(巡航导弹)=0.58, P(不明)=0.41;

第二测量周期, P(巡航导弹)=0.37, P(不明)=0.59。

根据 Bayes 推理目标识别理论, 第一级融合是把第一测量周期的概率作为先验概率, 第二测量周期的概率作为已知先验概率条件下的条件概率, 利用公式:

$$P(O_i | D_j) = \frac{P(D_j | O_i)}{\sum_{i=1}^n P(D_j | O_i)P(O_i)} (i=1,2,\dots; j=1,2,\dots,m),$$

可求出各个传感器获得的目标后验概率。得到如下结果:

对于预警卫星: P(战斗机)=0.33, P(导弹)=0.59, P(不明)=0.08。

对于预警雷达: P(战术导弹1)=0.49, P(战术导弹2)=0.39, P(弹道导弹)=0.10, P(不明)=0.02。

对于地基雷达: P(巡航导弹)=0.76, P(不明)=0.24。

利用 Bayes 公式:

$$P(A_i | B_1, B_2, \dots, B_m) = \frac{\prod_{k=1}^m P(B_k | A_i)P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(B_k | A_i)P(A_i)}$$

[2] 耿俊豹, 黄树红, 金家善, 等. 基于 D-S 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.
[3] 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): 18-19.
[4] 陈玲, 蔡琦, 蔡章生. 船用核动力装置技术状态综合评估模型研究[J]. 船海工程, 2006(2): 22-24.
[5] 王龙涛, 陶熹. 基于改进层次分析法的舰载信息系统作战效能评估[J]. 舰船电子对抗, 2009, 32(1): 48-50.
[6] 杨星, 潘谊春, 杜克新. 基于 ADC 模型的某雷达干扰系统效能分析[J]. 火力与指挥控制, 2009, 34(2): 72-75.
[7] 王钦, 文福拴, 刘敏. 基于模糊集理论和层次分析法的电力市场综合评价[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(7): 32-37.
[8] 周爱光. 舰船维修保障建设[J]. 四川兵工学报, 2009(5): 129-130.

可得到第二次融合后各个目标的概率分别为:

P(导弹)=0.01, P(战术导弹1)=0.34, P(战术导弹2)=0.27, P(巡航导弹)=0.005, P(弹道导弹)=0.35, P(战斗机)=0.01, P(不明)=0.001 8。

可以看出, 经过由 Bayes 推理融合识别后, 得到该目标的最终识别结果为弹道导弹, 同时, 不明目标的概率下降到了 0.001 8。从两次融合的计算结果可以看出: 利用 Bayes 推理融合识别后, 目标识别的可信度得到了提高。

3 结论

实验结果表明: 利用该模型可以更加有效地利用信息来判断目标属性, 可以达到较高的识别率, 能提高系统的决策能力。

参考文献:

[1] 缪崇大, 高贵明. D-S 证据理论在雷达目标识别中的应用[J]. 雷达与对抗, 2008(3): 33-34.
[2] 王俊林, 张剑云. 采用 Bayes 多传感器数据融合方法进行目标识别[J]. 传感器技术, 2005, 24(10): 86-88.
[3] 李康乐, 刘永祥, 黎湘. 弹道导弹中段防御系统目标识别仿真研究[J]. 现代雷达, 2006, 11(28): 12-19.
[4] 王慧频, 徐晖, 孙仲康. 采用 Bayes 数据融合方法进行目标和诱饵的识别[J]. 国防科技大学学报, 1996, 18(2): 59-64.
[5] 世文学. 导弹作战目标识别建模与仿真技术研究[D]. 西安: 第二炮兵工程学院, 2010.
[6] 徐承相, 马瑞萍, 张笑. 基于 Bayes 方法的可靠性试验评估分析[J]. 四川兵工学报, 2009(12): 65-67.