

doi: 10.7690/bgzdh.2016.08.017

基于熵权的航空装备维修保障能力评估

曹彪¹, 王帅磊², 张金春³, 李超亚²

(1. 海军航空工程学院基础实验部, 山东 烟台 264001; 2. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东 烟台 264001;
3. 海军航空工程学院基础部, 山东 烟台 264001)

摘要: 针对航空维修保障能力评估问题研究的不足, 提出一种基于熵权的航空装备维修保障能力评估方法。根据航空装备维修保障的实际工作, 将其分为准备、操作和保障 3 个阶段, 分析各阶段工作的特点, 分阶段建立指标体系, 并采用熵权法确定各指标的权重; 按照工作流程提出的指标体系更好地体现航空装备维修保障工作的整体性与连续性; 最后, 对某基地航空装备保障能力进行评估。评估结果表明: 该评估指标能够提供合理有效的评估结论, 为航空装备维修保障能力的评估提供了理论依据。

关键词: 航空装备; 维修保障; 熵权; 评估

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Evaluation of Aviation Equipment Maintenance Capability Based on Entropy Weight

Cao Biao¹, Wang Shuailei², Zhang Jinchun³, Li Chaoya²

(1. Department of Basic Experiment, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China;
2. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China;
3. Department of Basic Sciences, Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China)

Abstract: In view of the insufficient of studies in evaluation of aviation equipment maintenance capability, this paper puts forward an aviation equipment maintenance capability evaluation method based on entropy weight. According to the work of aviation equipment maintenance, this paper divides it into three sections, including preparation section, repairing section and maintenance section. This paper analyzes the feature of every section, and builds an index system. The weight of each index is determined by entropy weight method. The index system according to work flow gives better expression to the integrality and continuity of aviation equipment maintenance. The model is used to evaluate the maintenance capability of a base. The result shows that index system proposed in this paper can provide reasonable and effective conclusion, and theoretical accordance to aviation equipment maintenance capability.

Keywords: aviation equipment; maintenance; entropy weight; evaluation

0 引言

航空装备的维修保障工作是航空系统的重要组成部分, 是装备保持和恢复战斗力的重要因素, 是作战力量的重要保证。维修保障工作的效果直接影响作战能力和结果。我军航空装备维修保障工作目前呈现新特点, 一些传统的方法不能完全适应形势的需要^[1]; 因此, 对航空维修工作建立一套科学、合理的评估体系, 进行有效的评估能够提高工作效率, 节约资源和成本, 保证维修质量, 保障和提高战斗力。

针对航空维修保障问题, 已有研究中采用的方法较多, 如灰色聚类法^[2]、层次分析法^[3-4]、加权最小二乘支持向量机^[5]、数据包络分析法^[6]、RBF 神经网络^[7]等, 分别从不同方面构建针对航空维修保障的评估模型, 提出了具有相对特点的指标体系。熵权法在航空装备维修保障工作中应用广泛, 文献

[8-13]分别将熵权法与模糊、灰色等多种方法结合起来, 在维修决策^[8]、装备健康管理^[9-10]、备件需求^[11]、航空装备维修安全问题^[12-13]等方面进行了研究, 其工作各有侧重, 并都有较好的理论解析和验证。随着维修保障工作的日益复杂化, 其整体性越来越强, 针对工作的系统性和连续性需要进一步深入的研究。

笔者根据航空装备维修保障的整体工作流程, 结合保障理论和复杂网络, 提出包括准备阶段、操作阶段和保障阶段的评估模型, 分析和筛选维修保障能力评估的指标, 包含装备、人员、资料、技术、管理和成本等方面, 并采用熵权法对某单位航空维修保障能力进行评估, 为提升航空装备维修保障能力、提高维修保障效果提供理论依据。

1 航空装备维修保障能力评估指标

有效地评估航空装备保障能力需要首先建立一

收稿日期: 2016-04-11; 修回日期: 2016-05-23

作者简介: 曹彪(1983—), 男, 安徽人, 硕士, 讲师, 从事航空装备保障研究。

套科学合理的评估指标。维修保障工作的目的是保持装备的完好状态并使之能够持续完成任务^[14]。从维修保障工作的整个工作周期来看,包括准备阶段、操作阶段和保障阶段。笔者从这一整体过程来建立指标体系。从维修保障工作涉及的要素来看,包含保障装备、保障设施、技术资料、人员及技术状况、维修成本、组织管理能力以及任务能力等。

评估模型与指标体系如图 1 所示。准备阶段中,首先应保证保障装备的完好度 S_1 ,以确保能够灵活机动、随时应对维修任务,装备完好度以能正常工作的装备在所有装备中的比例来衡量。保障装备数量是否充足、缺少的装备是否能够及时得到补充是影响维修保障工作效果的重要因素,称为装备充足度 S_2 。补充缺件所需的等待时间越长,装备充足度越差;因此,用平均缺件等待时间衡量该指标。为待修装备提供备件是应对维修和保障过程中突发情况的有效策略,称为备件充足度 S_3 ,备件充足度为某型待修装备数量与备件数量的比值。维修人员指标主要考虑人员编配率 S_4 及技术水平 S_5 。人员编配率指实际在岗参与工作的人数与总在编人数的比值,反映人力资源的充足程度。技术水平指维修保障人员个人工作能力的体现,反映工作人员完成任务的能力高低。为待修装备事先准备好相应的资料和技术材料是提高维修效率、提升保障效果的必要手段,资料越详细、信息越充分,越有利于更好完成维修保障任务,称为信息获取能力 S_6 。

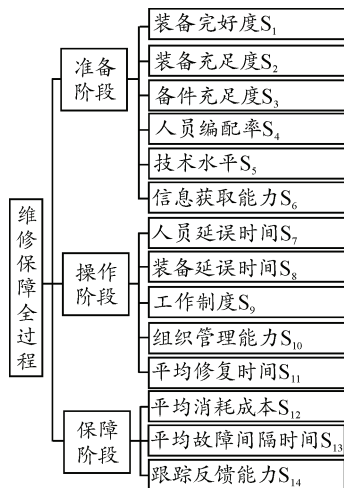


图 1 评估模型与指标体系

操作阶段中,维修人员有可能发生操作不当等失误,维修装备也有可能发生故障,都会造成任务进度的延误,分别以人员延误时间 S_7 和装备延误时间 S_8 来衡量。维修保障工作不能随意实施,制度是维持工作流程、进度和安全等的约束条件;因此,

工作制度 S_9 也应视为评估的一个因素。人员、材料、装备等资源必须协调配合,保障单位需要具备相应的组织管理能力 S_{10} 。维修过程注重效率,时间是战争的重要资源,短时高效地完成任在实战中具有重要意义,用平均修复时间 S_{11} 表示这种能力。

随着航空装备的不断更新换代,其经济成本越来越高,维修保障消耗的资源也随之增加。在保障阶段中,合理使用资源、控制维修成本对于节约部队经费有重要意义,这种节约资源的能力用平均消耗成本 S_{12} 来表示。维修保障能力的评估还应考虑其保障效果,在后期维护过程中,已维修装备能够正常运行的时间越长,表明维修效果越好,这种效果通过平均故障间隔时间 S_{13} 来衡量。装备后期维护保障过程中产生的各项数据可对前期工作进行反馈并用于进一步研究,后期跟踪具有重要意义,保障单位需具备获取反馈跟踪能力 S_{14} 。

综上所述,笔者在准备阶段、操作阶段和保障阶段提出的指标有装备完好度 S_1 、装备充足度 S_2 、备件充足度 S_3 、人员编配率 S_4 、技术水平 S_5 、信息获取能力 S_6 、人员延误时间 S_7 、装备延误时间 S_8 、工作制度 S_9 、组织管理能力 S_{10} 、平均修复时间 S_{11} 、平均消耗成本 S_{12} 、平均故障间隔时间 S_{13} 和反馈跟踪能力 S_{14} 。其中装备完好度、备件充足度、人员编配率为计算得到的比值;装备充足度(h)、人员延误时间(min)、装备延误时间(min)、平均修复时间(min)、平均消耗成本(千元)和平均故障间隔时间(min)可通过统计得到,并取数据的平均值;技术水平、信息获取能力、工作制度、组织管理能力和反馈跟踪能力由专家打分得到,为 0~1 的数值。

2 熵权法

熵权法是将多个指标进行量化综合从而进行决策的多属性决策方法。对于包含 m 个评价对象和 n 个评估指标的问题,第 i ($1 \leq i \leq m$) 个评估对象的第 j ($1 \leq j \leq n$) 个指标的评估值为 x_{ij} , 建立初始评估矩阵 $X = (x_{ij})_{m \times n}$, 并标准化得到标准化评估矩阵 $Y = (y_{ij})_{m \times n}$, 其中

$$y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad (1)$$

第 j 个指标的熵值为

$$H_j = -K \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \quad (2)$$

其中 $K = \frac{1}{\ln m}$, 且当 $f_{ij} = 0$ 时令 $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ 。则第 j 个

指标的熵权为

$$\omega_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \quad (3)$$

由熵权的定义知 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 。

各指标的熵权向量为 $W = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)$ ，加权标准化评估矩阵为

$$A = (a_{ij})_{m \times n} = (y_{ij} \times \omega_j)_{m \times n} \quad (4)$$

理想解为 $A^* = (a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*)$ ，其中 a_j^* 为第 j 个指标的最优值。当该指标为成本型指标时， a_j^* 越小越好；为收益型指标时， a_j^* 越大越好。

分别计算各评估对象的评估值到理想解的距离

$$d = \sqrt{\sum_{j=1}^n (a_{ij} - a_j^*)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

距离越小，表明该评估对象的评估值与理想解越近，该评估对象的维修保障能力越好。

3 基于熵权的航空装备保障能力评估

采用上述建立的评估指标和熵权法，对某基地下属 3 个团的航空装备维修保障能力进行评估。通过实际统计、专家打分和计算，得到初始评估矩阵如表 1 所示。

从标准化后的矩阵来看，各项指标的差异仍然不明显，且各个指标的重要性无法评价，不能直接得出有效的评估结论，标准化矩阵雷达如图 2。由图中可以看出：3 个单位在各个指标上的水平并不均匀。A 单位在指标 S_2 、 S_3 、 S_{11} 和 S_{12} 较突出；B 单位在指标 S_4 、 S_8 和 S_{14} 较突出；C 单位在指标 S_7 和 S_{13} 较突出。这表明三者各自具有其擅长的方面，同时也存在各自的短板；因此，直观来看并不能较为客观地进行评价。

表 1 初始评估矩阵

单位序号	指标													
	S_1	$S_2(t/h)$	S_3	S_4	S_5	S_6	$S_7(t/min)$	$S_8(t/min)$	S_9	S_{10}	$S_{11}(t/min)$	$S_{12}/千元$	$S_{13}(t/min)$	S_{14}
A	0.89	17	0.333	0.78	0.85	0.63	7	5	0.86	0.77	45	5.7	833	0.8
B	0.83	14	0.250	0.89	0.90	0.55	6	7	0.83	0.73	37	4.8	764	0.9
C	0.93	14	0.250	0.83	0.88	0.56	8	4	0.82	0.74	39	5.1	921	0.8

原始数据中既有依赖专家主观经验的打分，也有实际统计得到的客观数据，且总体相差较小，区

分度较低，难以简单评价优劣。对初始评估矩阵进行标准化，得到标准化评估矩阵，如表 2 所示。

表 2 标准化评估矩阵

单位序号	指标						
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
A	0.335 8	0.377 8	0.399 8	0.312 0	0.323 2	0.362 1	0.333 3
B	0.313 3	0.311 1	0.300 1	0.356 0	0.342 2	0.316 1	0.285 7
C	0.350 9	0.311 1	0.300 1	0.332 0	0.334 6	0.321 8	0.381 0

单位序号	指标						
	S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
A	0.312 5	0.342 6	0.343 8	0.371 9	0.365 4	0.330 8	0.320 0
B	0.437 5	0.330 7	0.325 9	0.305 8	0.307 7	0.303 4	0.360 0
C	0.250 0	0.326 7	0.330 3	0.322 3	0.326 9	0.365 8	0.320 0

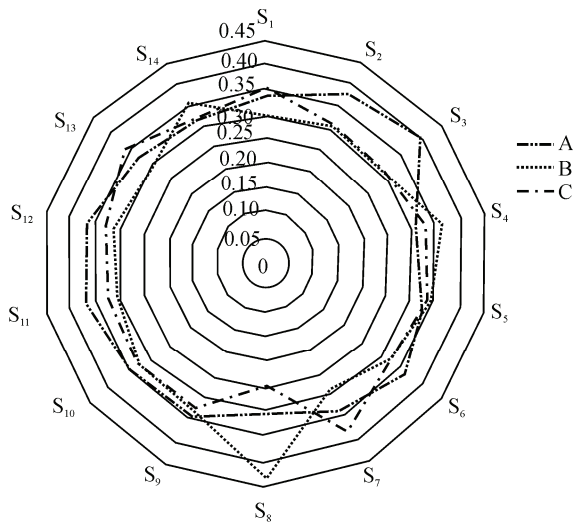


图 2 标准化矩阵雷达

根据公式 (2)，各指标的熵值为表 3，直方图如图 3 所示。

表 3 各指标熵值

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
0.999 0	0.996 0	0.991 2	0.998 7	0.999 7	0.998 3	0.973 8
S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
0.975 5	0.999 8	0.999 8	0.996 8	0.997 7	0.997 3	0.998 6

根据公式(3)，熵权为表 4。

表 4 各指标熵权

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
0.017 1	0.068 7	0.152 1	0.022 9	0.004 3	0.029 3	0.107 6
S_8	S_9	S_{10}	S_{11}	S_{12}	S_{13}	S_{14}
0.423 9	0.003 2	0.004 1	0.055 3	0.040 5	0.046 1	0.024 9

由公式(4)得到加权标准评估矩阵为表 5，直方图如图 4 所示。

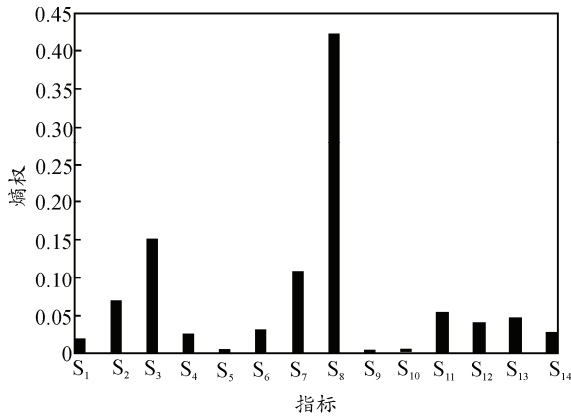


图 3 各指标熵权直方图

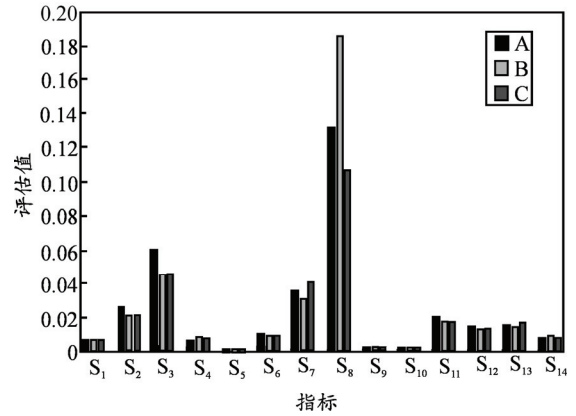


图 4 加权评估矩阵直方图

表 5 加权标准评估矩阵

单位序号	指标						
	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
A	0.005 8	0.025 9	0.060 8	0.007 2	0.001 4	0.010 6	0.035 9
B	0.005 4	0.021 4	0.045 6	0.008 2	0.001 5	0.009 3	0.030 8
C	0.006 0	0.021 4	0.045 6	0.007 6	0.001 5	0.009 4	0.041 0
单位序号	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄
A	0.132 5	0.001 1	0.001 4	0.020 6	0.014 8	0.015 2	0.008 0
B	0.185 4	0.001 1	0.001 3	0.016 9	0.012 5	0.014 0	0.009 0
C	0.106 0	0.001 1	0.001 3	0.017 8	0.013 2	0.016 9	0.008 0

装备完好度、人员编配率、技术水平、资料与信息获取能力、工作制度、组织管理能力、平均故障间隔时间和反馈跟踪能力都是收益型数据，越大越好；装备充足度、备件充足度、人员延误时间、装备延误时间、平均修复时间和平均消耗成本都是成本型数据，越小越好。由加权标准评估矩阵，根据各指标的类型，选取其最大值或最小值，得到理想解，如表 6 所示。

表 6 加权标准评估矩阵

S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇
0.006 0	0.021 4	0.045 6	0.008 2	0.001 5	0.010 6	0.030 8
S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄
0.106 0	0.001 1	0.001 4	0.016 9	0.012 5	0.016 9	0.009 0

因此，根据公式 (5)，各评估对象与理想解的距离和评估排名如表 7。

表 7 评估结果

单位编号	A	B	C
与理想解距离	0.053 2	0.074 3	0.008 9
评估排名	2	3	1

原始数据中，3 个单位在各个指标的区分度较低，无法直接评估其维修保障能力。熵权法得到的评估结果显示，B 团的评估结果与理想解距离为 0.074 3，数值最大，意味着其维修保障能力最差；A 团评估结果与理想解距离为 0.053 2，介于 B 团与 C 团之间；C 团评估结果与理想解最为接近，为 0.008 9，表示其维修保障能力最优。

4 结束语

对航空装备维修保障能力的评估需要考虑多方面因素。笔者在维修保障实际过程的基础上，通过分析准备过程、维修过程、后期维护过程以及整体过程中的要素，提出了新的更具综合性的评估指标，建立了量化的评估模型。通过对 3 个单位的评估结果可以看出，笔者提出的评估指标有效结合了主观经验与实际数据，给出了客观有效的评价结果，为维修保障工作的评估提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 聂士权, 杨国兴. 航空装备维修质量管理与安全[C]. 2011 年航空维修理论研究及技术发展学术交流会议论文集, 2011.
- [2] 王文秀, 贾向军, 孙鲁青. 灰色聚类法在航空装备维修保障能力评估中的应用[J]. 航空维修与工程, 2012(6): 78-79.
- [3] 祁岭, 王先超, 杜向辉. 基于 AHP 的航空装备维修质量评估研究[J]. 河南机电高等专科学校学报, 2009, 17(3): 33-35.
- [4] 刘栋, 何宝民, 费川, 等. 军用航空装备维修级别的选定与评估[J]. 航空维修与工程, 2011(1): 73-75.
- [5] 胡新江, 徐浩军, 王文栋, 等. 加权 LS-SVM 的航空装备维修保障能力评估模型[J]. 火力与指挥控制, 2012, 37(12): 34-37.
- [6] 束琬, 张凤林. 基于 DEA 的航空维修机组工作效率评估[J]. 中国科技信息, 2011, 22(19): 120.