

doi: 10.7690/bgzdh.2019.10.017

基于 AHP 和模糊综合评价法的装备维修保障效能评估

雷 宁^{1,2}, 曹继平¹, 王 赛¹, 高颖杰¹, 王清晓¹

(1. 火箭军工程大学阵地管理工程教研室, 西安 710025; 2. 中国人民解放军 68207 部队, 甘肃 嘉峪关 735100)

摘要: 针对影响导弹武器装备维修保障效能发挥的诸多因素, 对基于 AHP (analytic hierarchy process) 和模糊综合评价法的装备维修保障效能进行评估。根据模糊综合评价法, 构建导弹武器装备维修保障效能评价模型, 利用层次分析法确定评价指标权重, 综合分析完成维修保障任务的保障效能, 评估出导弹武器装备维修保障体系中各要素的能力水平, 并对模型进行求解验证。计算结果表明, 该方法可有效地对导弹武器装备维修体系的维修效能进行定量评估。

关键词: 导弹武器装备维修; 指标体系; 层次分析法; 模糊综合评价; 效能评估

中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Effectiveness Evaluation of Equipment Maintenance Support Based on AHP and Fuzzy Comprehensive Evaluation Method

Lei Ning^{1,2}, Cao Jiping¹, Wang Sai¹, Gao Yinjie¹, Wang Qingxiao¹

(1. Teaching & Research Room of Position Management Engineering, Rocket Force Engineering University, Xi'an 710025, China; 2. No. 68207 Unit of PLA, Jiayuguan 735100, China)

Abstract: Aiming at many factors affecting the effectiveness of missile weapon equipment maintenance support, the effectiveness of equipment maintenance support based on AHP and fuzzy comprehensive evaluation method is evaluated. According to the method of fuzzy comprehensive evaluation, the evaluation model of missile weapon equipment maintenance support effectiveness is constructed. The weight of evaluation index is determined by analytic hierarchy process. The support effectiveness of accomplishing maintenance support task is analyzed comprehensively. The capability level of each element in the maintenance support system of missile weapon equipment is evaluated, and the model is solved and validated. The calculation results show that this method can effectively evaluate the maintenance effectiveness of missile weapon equipment maintenance system quantitatively.

Keywords: missile weapon and equipment maintenance; index system; analytic hierarchy process (AHP); fuzzy comprehensive evaluation; effectiveness evaluation

0 引言

近年来, 随着大批量高精尖技术含量的导弹武器装备陆续装配火箭军部队, 未来信息化战争的“高技术、高速度、高烈度、高消耗、快节奏”等特点和战场环境进一步复杂化^[1], 使得导弹武器装备战损程度和战损频率加大, 这就要求武器装备始终保持较高的可靠性和战备完好性, 也对武器装备的维修保障能力提出了更高的要求^[2]。

由于火箭军基层部队缺少科学、合理的导弹武器装备维修保障效能评估体系, 专门研究装备维修保障效能评估工作的人员较少^[3], 致使装备维修保障能力建设的效益不明显, 严重制约导弹部队装备维修保障能力的形成^[4]。在火箭军基层级装备维修层面, 通常只看装备维修资源是否能够圆满保障导弹武器装备完成演训任务, 是否能够保障导弹武器

装备达到相关战技指标和既定的状态, 仅从任务结果或武器装备所发挥的效能出发去权衡装备维修保障能力, 而不是采取科学的、体系的方法进行评估, 无法系统、全面地为保障部门提供装备维修保障资源配置方案^[5]等决策信息。

笔者从某常规导弹旅武器装备的维修保障活动实际出发, 通过建立基于模糊综合评价的导弹武器装备维修保障效能评模型, 综合分析导弹武器装备维修保障体系完成维修保障任务的保障效能, 以及作为评估导弹武器装备维修保障体系中各要素的能力水平, 从而反映出导弹装备维修保障能力的整体水平和制约因素。

1 装备维修保障效能的评价指标体系

笔者以某常规导弹旅为例, 经过实地实装调研分析, 归纳出影响该旅导弹武器装备维修保障能力

收稿日期: 2019-04-30; 修回日期: 2019-05-26

基金项目: 国防预研基金项目(41404050401)

作者简介: 雷 宁(1989—), 男, 陕西人, 硕士, 助理工程师, 从事军事装备管理及维修、资源优化配置研究。E-mail: 289989427@qq.com。

的 6 个主要因素：维修装备本身特性、维修保障人力资源、维修设备资源、维修备件资源、维修保障组织管理、维修保障方案。通过咨询装备维修相关领域的专家，结合评价指标的建立原则及对装备维修保障能力影响的主要因素，建立 6 个一级评价指标和 21 个二级评价指标，保证了评价指标的合理性。笔者构建的导弹装备维修保障能力评价指标体系结构如图 1 所示。

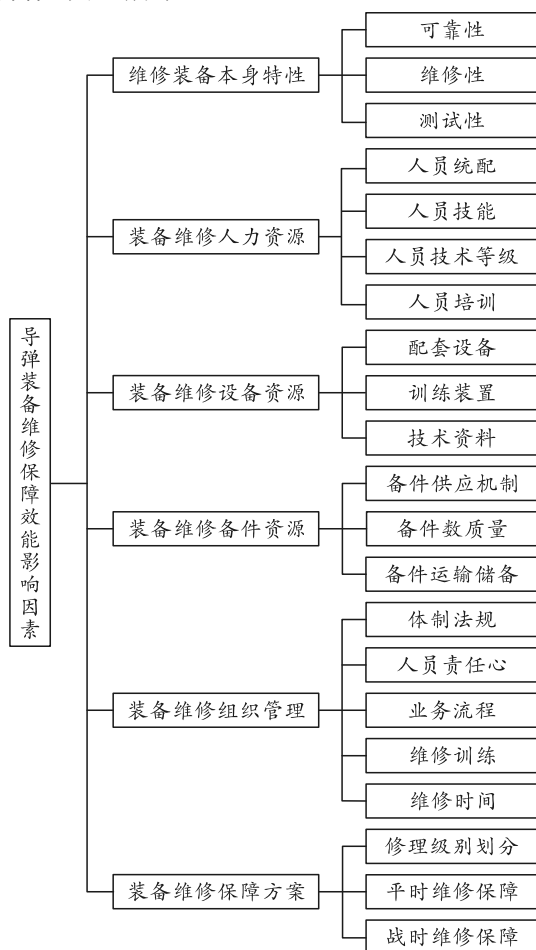


图 1 装备维修保障效能评价指标体系

综合评价中的重要一级指标和二级指标的内涵如下：

1) 维修装备本身特性^[6]。维修装备的特性主要包括可靠性、维修性、测试性。可靠性是反映武器装备可靠耐用以及无故障、无差错完成任务的一种能力。可靠性主要用平均故障间隔时间和总寿命来衡量。维修性是指武器装备在规定的条件下和时间内，按相应的流程和方法进行维修时，保持或恢复到其规定状态的能力；维修性影响因素主要有故障

修复能力、平均故障修复时间、抢修设备满足率、平均预防性维修时间和维修器材工具配套率。测试性是指依据测试性设计规定的测试方法进行故障检测与隔离，按结果来估算武器装备的测试性水平，判断是否达到了规定要求，决定接收或拒收的演示试验过程；测试性影响因素主要有故障诊断准确率、故障诊断设备满足率、平均故障间隔时间、故障检测率、虚警率和故障重复率。

2) 装备维修人力资源。装备维修人力资源主要包括人员编配情况、人员技能情况、人员技术等级情况和人员培训情况。人员编配情况是指维修人员的实际数量与完成维修任务所需人员数量的配套情况，人员技能情况是指维修人员能够对完成维修任务所需知识的掌握程度达到实际需求的情况。

3) 装备维修组织管理。装备组织管理主要包括维修体制法规、维修人员责任心、维修业务流程、维修训练和维修时间。装备维修体制法规是指装备维修体制是否合理，法规制度是否健全完善；维修业务流程是指维修工作是否思路清晰，维修人员是否熟悉操作规程，是否能够顺利完成维修保障任务；维修训练是指维修人员参加维修训练的出勤情况和维修训练考核成绩的认定。

2 装备维修保障能力模型建立

2.1 模型建立流程

20 世纪 80 年代初，汪培庄提出了模糊评价模型^[7]，模糊综合评价的意义在于利用模糊数学理论与方法对装备维修保障效能进行综合评估，能有效消除评估指标的主观性和模糊性，得到较为客观的评估结果。

模糊评估的一般过程为：

- 1) 确定评价对象的因素集和评价集；
- 2) 利用有关方法确定各评价指标所对应的权重及隶属度；
- 3) 通过将权重向量与模糊评估矩阵进行运算得到模糊综合评价结果。

模糊综合评价模型有一级和多级之分，针对不同的评估对象构建相应的评价模型，并结合加权平均的思想进行综合评估。装备维修保障效能评价模型是多层评价模型^[8]，建立模糊综合评价模型的流程如图 2 所示。

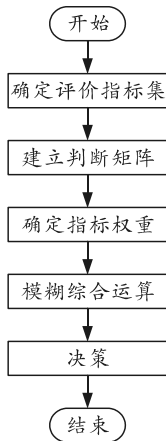


图 2 模糊综合评价流程

对装备维修保障能力进行模糊综合评价，要确定被评估指标集 $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ ；建立判断矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ ，并确定各评估指标的权重和各评估指标值为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ； $V = (v_1, v_2, \dots, v_m)$ ，通过加权，最终得到模糊综合评价结果 $X = W \times V$ 。

以该常规导弹旅实际维修保障能力为评估对象，组织相关专家进行打分和数据收集。将人员进行编组，分别对各指标打分并取平均值，人员越多，得到的平均值越能反映客观实际。结合实际人数，每人根据相应评分表的内容和标准进行打分，将每组同一指标的分值进行平均，作为该项指标的得分。

2.2 运用 AHP 确定指标权重

确定指标权重的方法很多，其中层次分析法具有较强的适用性和通用性^[9]。在此，笔者主要运用层次分析法确定指标权重。

建立判断矩阵。装备维修保障效能指标体系涉及各因素对装备维修保障效能的影响程度各不相同，邀请相关专家按照 1~9 比例标度法^[10]（见表 1）对模糊因素两两比较，建立一系列判断矩阵，用 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 表示，其中 a_{ij} 为指标 i 和指标 j 的影响大小之比，如下式所示：

$$a_{ij} = \frac{a_i}{a_j} \quad (1)$$

表 1 1~9 判断矩阵标度

标度	含义
1	指标 i 与 j 相比，同等重要
3	指标 i 与 j 相比，前者比后者稍微重要
5	指标 i 与 j 相比，前者比后者明显重要
7	指标 i 与 j 相比，前者比后者强烈重要
9	指标 i 与 j 相比，前者比后者极端重要
2,4,6,8	表示相邻判断的中间值
倒数	指标 j 比 i 为指标 i 与 j 比值的倒数

2.3 确定评价指标权重

根据判断矩阵 $A = (a_{ij})_{6 \times 6}$ ，应用层次分析法中的“特征值法”来确定装备维修保障能力中，各评价指标的权重^[11]。从分析解决问题的方法步骤可以看出，求解出判断矩阵的特征值和特征向量是解决问题的根本。采用和积法进行求解方法：

对 $A = (a_{ij})_{6 \times 6}$ 进行列规范化如下式所示：

$$\bar{a}_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^6 a_{ij}} \quad (i=1,2,\dots,6; j=1,2,\dots,6) \quad (2)$$

得到规范化矩阵为 A ，判断矩阵规范后，按行相加如下式所示：

$$w'_i = \sum_{j=1}^6 \bar{a}_{ij} \quad (j=1,2,\dots,6) \quad (3)$$

将向量 $W' = (w'_1, w'_2, \dots, w'_6)$ 规范化，如下式所示：

$$w_i = \frac{w'_i}{\sum_{i=1}^6 w'_i} \quad (i=1,2,\dots,6) \quad (4)$$

得到 W ，即为最大特征向量，最大特征值为 λ_{\max} ，如下式所示：

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \frac{(A \times W)_i}{w_i} \quad (i=1,2,\dots,6) \quad (5)$$

2.4 检验单层次一致性

笔者根据判断矩阵的最大特征值及对应的特征向量进行一致性检验。一致性比率 $CR = W_B \times V^T$ ，其中，一致性指标 $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ ， RI 的取值如表 2 所示。

表 2 平均随机一致性指标

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

当 $CR < 0.10$ 时，即认为判断矩阵的一致性可以接受；否，则调整判断矩阵的元素取值，直至得到满意的一致性结果为止。

计算， $CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0.026}{1.24} = 0.021 < 0.1$ ，满足一致性条件。

各二级指标权重的确定与一级指标的确定方法类似，可由式(3)、(4)计算得出结果。

计算总的权值如下式所示：

$$W_B = W_A \times W \quad (6)$$

通过每组专家打分得到各评价指标的得分，结

果为 V ，则最终的综合评价值如下式所示：

$$X = W_B \times V^T。$$

(7) 计算得出所有小组的综合评价值如表 3 所示。

表 3 装备维修保障能力综合评价值

小组	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}	A_{11}	A_{12}	A_{13}	A_{14}	A_{15}	A_{16}
综合评价值	0.839	0.895	0.846	0.722	0.902	0.828	0.778	0.703	0.601	0.659	0.868	0.885	0.836	0.751	0.902	0.828

将表中得到的 16 个综合评价值求和，取平均值，结果为 0.803。

3 结束语

笔者将该常规导弹旅装备维修保障能力的评价标准划分为优、良、一般、差、很差，相应的划分区间：优为 [0.9-1]，良为 [0.75-0.9)，一般为 [0.6-0.75)，差为 [0.4-0.6)，很差为 [0-0.4)。通过计算得到的最终评价结果为 0.803，属于良，表明该旅装备维修保障能力总体良好。模糊综合评价法具有结果清晰、系统性强的特点，可对受多种因素制约的对象做出一个总体的评价，能较好地解决模糊、难以量化的问题，可以更全面地了解 and 发现影响火箭军基层级装备维修保障能力发挥的制约因素，对解决困扰导弹武器装备形成维修保障能力的突出问题提供了一个较好的解决思路。

参考文献：

[1] 薛元飞, 王春杰, 刘辉, 等. 大规模作战装备保障能力的建设[J]. 军事交通学院学报, 2015, 17(5): 32-35.

- [2] 帅勇, 宋太亮, 王建平, 等. 装备保障能力评估方法综述[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(3): 5-8.
- [3] 刘刚, 王远达, 杜纯. 维修交通评估与定检周期研究[J]. 飞机设计, 2011, 31(6): 71-75.
- [4] 夏雨, 蒋瑾, 郭风. 基于群组定权的装备维修系统效能综合评价[J]. 火力与指挥控制, 2011, 36(2): 73-77.
- [5] 王正无, 朱昱, 曹继平, 等. 装备维修保障辅助决策方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2014: 19-20.
- [6] 徐杰. 武器装备发展的可靠性、维修性和保障性[J]. 船电技术, 2012, 3(2): 45-46.
- [7] 汪培庄. 模糊集合论及应用[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983: 13-19.
- [8] 张磊, 王族统, 胡小响. 一种基于仿真的装备维修保障能力评估[J]. 火力与指挥控制, 2014, 39(4): 106-109.
- [9] 刘静, 王德功. 基于 AHP 的装备维修保障系统效能分析[J]. 装备制造技术, 2009, 37(5): 130-134.
- [10] 丁祥, 张煜. 基于 AHP-多级模糊综合法的维修保障效能评估[J]. 装备制造技术, 2011, 39(6): 35-36.
- [11] 张冕, 吕建新, 王东, 等. 基于群模糊层次分析法的车辆装备维修保障能力评估[J]. 国防交通工程与技术, 2015, 37(4): 37-39.