

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2010.07.011

基于模糊综合评判的装备维修保障系统效能评估

马洪文¹, 魏俊^{1,2}, 高艳章¹, 庞阔², 隋博¹

(1. 军事交通学院 装备保障系, 天津 300161; 2. 中国人民解放军 78511 部队, 四川 雅安 625000)

摘要: 针对装备维修保障系统效能指标的相对性、模糊性, 运用模糊综合评判方法进行系统效能评估。根据完成装备维修保障任务所应具备的能力, 建立装备维修保障系统效能评估指标体系, 对单项指标采用专家评判法, 采用递推算法给出目标层对评语的隶属度, 按最大隶属度原则给出优劣等级评定, 并由实例得出合理结果。该评估方法思路清晰、计算方便, 为装备维修保障系统评估体系标准化提供了一种思路。

关键词: 装备维修保障系统; 模糊综合评判; 效能评估

中图分类号: O159; N945.16 **文献标识码:** A

Efficiency Evaluation of Equipment Maintenance Support System Based on Fuzzy Comprehensive Method

Ma Hongwen¹, Wei Jun^{1,2}, Gao Yanzhang¹, Pang Kuo², Sui Bo¹(1. Dept. of Equipment Support, Academy of Military Transportation, Tianjin 300161, China;
2. No. 78511 Unit of PLA, Yaan 625000, China)

Abstract: Aiming at the illegibility and relativity of the equipment maintenance support system, chooses the fuzzy comprehensive method. Based on the ability of what the system should be possessed when completing the equipment maintenance support task, builds up the efficiency evaluating indicator system of equipment maintenance support, evaluates the monomial index by using the expert mark method, gets the subjection coefficient between the object and comment by using the step by step method, assesses the grade according to the maximal subjection coefficient principle and finally the rational result is gained from the example. The approach of this evaluation method is distinct and the calculation is very convenient. It can provide a new method for the evaluation system standardization of the equipment maintenance support system.

Keywords: equipment maintenance support system; fuzzy comprehensive method; efficiency evaluation

0 引言

建立和完善维修保障系统是贯穿于装备研制、采购、使用各阶段的重要任务, 对装备维修保障系统效能的正确评估是装备维修保障工作的一项重要内容^[1]。装备维修保障系统是一个复杂的系统, 涉及的影响因素多, 具有很大的不确定性, 因此, 评估指标体系中的很多指标都是综合指标, 具有随机因素和模糊因素。模糊综合评判提供了一种定量与定性相结合的系统分析问题的科学方法, 能更好地揭示评价对象的模糊概念, 使评价结果具有较高的可靠性、逻辑性和规范性^[2]。故通过建立基于模糊数学和层次分析法的效能评估模型, 对装备维修保障系统的效能进行评价。

1 系统效能评估指标体系的建立^[3]

科学、合理的评估指标体系是评估成功与否的关键。装备本身的特性决定装备对保障的需求, 各构成保障系统的要素种类和数量, 决定保障系统的

能力。故从为完成维修保障任务所应具备的能力出发, 按照客观性、科学性、系统性、可行性的原则, 建立的多层次指标体系如图 1。

其中, 装备品质是装备本身的特性; 人力资源水平是装备维修保障的主体因素; 编制体制关系着维修保障力量的形成, 保障能力的发挥; 维修设备设施水平是维修质量好坏的重要尺度; 备件保障水平是实施维修保障的物质基础; 技术资源水平是保障效能发挥的度量; 维修管理水平是维修工作有序进行的衡量指标。

2 系统效能的模糊综合评判方法

2.1 确定因素集和评定集^[4]

因素集 F 即评价项目的集合, $F = \{f_i\}$, i 为第一层评价项目的个数, $i = 1, 2, \dots, n$ 。对每个子集 f_i , 又有其自己的因素集 $f_i = \{f_{ik}\}$, k 为 f_i 中所含评价项目的个数, $k = 1, 2, \dots, n_i$ 。评定集 E 即评价等级的集合, $E = \{e_j\}$, $j = 1, 2, \dots, m$ 。取 $E = \{\text{好, 较好,}$

收稿日期: 2010-01-26; 修回日期: 2010-03-31

作者简介: 马洪文 (1970-), 男, 河北人, 博士, 副教授, 从事车辆装备建设与发展研究。

一般, 差}。

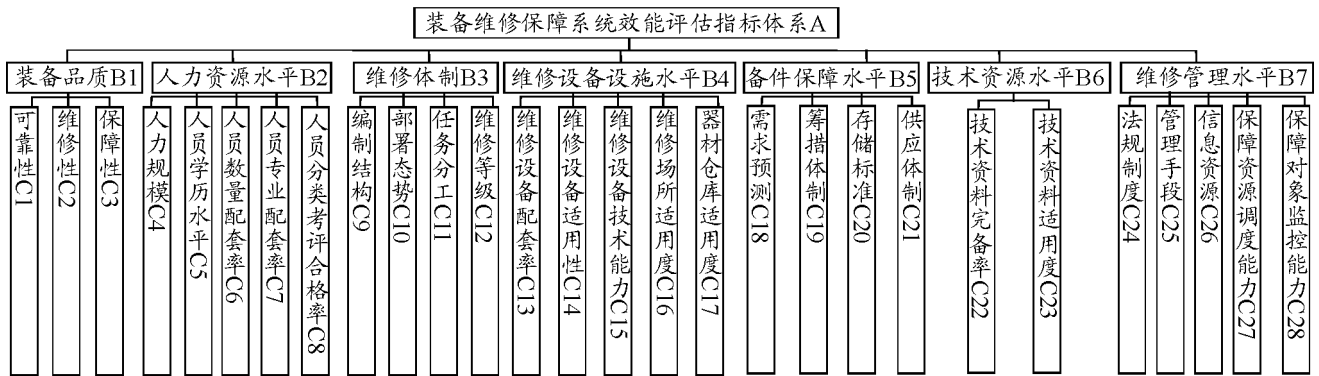


图 1 装备维修保障系统效能评估指标体系

2.2 对因素 f_i 按一级模型进行综合评判

2.2.1 建立单因素评判矩阵

$$R_i = (r_{ikj})_{k \times p} (i=1,2, \dots, m; k=1,2, \dots, n; j=1,2, \dots, p)$$

其中, r_{ikj} 表示为指标 f_{ik} 被评为 e_j 的隶属度。所谓隶属度, 即是指多个评价主体对某个评价对象在 f_i 方面做出 e_j 评定的可能性大小。采用专家打分法确定因素的隶属度。

2.2.2 权重分配

设 f_{ik} 相对于 f_i 的权重为 w_{ik} , 则 f_i 中的因素相对 f_i 的权重为 $w_i = \{w_{i1}, w_{i2}, w_{in}\}$, 且 $\sum_{k=1}^n w_{ik} = 1$ 。

2.2.3 一级模糊综合评判

$B_i = w_i \otimes R_i = \{b_{i1}, b_{i2}, b_{ip}\}$, $i=1,2, \dots, n$ 。其中“ \otimes ”为运算算子, 采用取乘与和算子 $M(\cdot, \oplus)$ 作为计算该系统的模糊算子, 则有 $B_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{ip})$, $b_{ij} = \sum_{k=1}^n w_{ik} r_{ikj}$, ($j=1,2, \dots, p$)。

2.3 二级模糊综合评判

1) 将每一个 f_i 作为一个元素, 用 B_i 作为单因素评判, 可构成评判矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots \\ b_{21} & b_{22} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots \end{bmatrix}$$

2) 确定 F 上 m 个子集的权重分配向量 $w = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ 。

3) 二级模糊综合评判:

$$B = w \oplus R = (b_1, b_2, \dots, b_m), \text{ 其中 } b_i = \sum_{k=1}^m a_k b_{ik} (j=1,2, \dots, p)。$$

2.4 确定权重向量^[5]

1) 应用 1~9 比例标度法, 对同层两两比较量化, 得到判断矩阵 C;

2) 求出判断矩阵 C 的最大特征向量, 经标准化后, 得到同层各因素对应于上一层某因素的相对权重, 并进行一致性检验:

(1) 求出判断矩阵 C 的最大特征向量:

$$w_i = \bar{w}_i / \sum_{i=1}^n \bar{w}_i, \bar{w}_i = \prod_{j=1}^n C_{ij}^{1/n}, i=1,2, \dots, n;$$

(2) 计算 C 的最大特征向量:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{Cw_i}{nw_i} (i=1,2, \dots, n);$$

(3) 进行一致性检验, 一致性指标 (Consistency Index, CI) 为: $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$, 随机一致性指标

(Random Index, RI) 由表 1 给出, 则相应的一致性比例 (Consistency Ratio, CR) 为: $CR = CI / RI$ 。

当 $CR < 0.1$ 时, 可认为判断矩阵具有满意的一致性, 特征向量 (w_1, w_2, \dots, w_n) 就是所确定的各因素权重; 当 $CR \geq 0.1$ 时, 说明判断矩阵没有较好的一致性, 应考虑并调整判断矩阵, 获得满意的一致性。

表 1 平均随机一致性指标

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36	1.41	1.46	1.49

2.5 系统效能的评定

对得到的综合评判向量, 按照最大隶属度原则, 取最大的评判集指标作为最终评判结果。

3 实例应用

邀请 10 位专家对该维修保障系统评价指标进行独立打分, 得到的评价结果如表 2。

表 2 评价结果表

	好	较好	一般	差
可靠性	5	5	0	0
维修性	0	7	3	0
保障性	0	6	4	0
人力规模	2	7	1	0
人员学历水平	0	1	5	4
人员数量配套率	0	8	2	0
人员专业配套率	3	5	2	0
人员分类考评合格率	0	4	5	1
编制结构	3	6	1	0
部署态势	0	0	5	5
任务分工	5	4	1	0
维修等级	0	5	5	0
维修设备配套率	3	4	3	0
维修设备适用性	0	4	4	2
维修设备技术能力	0	1	5	4
维修场所适用度	3	3	4	0
器材仓库适用度	0	0	5	5
需求预测	3	6	1	0
筹措体制	0	0	4	6
存储标准	4	4	2	0
供应体制	0	0	8	2
技术资料完备率	0	3	5	2
技术资料适用度	0	5	5	0
法规制度	0	6	4	0
管理手段	0	3	5	2
信息资源	3	7	0	0
保障资源调度能力	0	1	8	1
保障对象监控能力	0	5	5	0

由表 2, 可得到评判矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0 & 0 \\ 0 & 0.7 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.5 & 0.4 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.5 & 0.1 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \\ 0.5 & 0.4 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_4 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.4 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.4 & 0.2 \\ 0 & 0.1 & 0.5 & 0.4 \\ 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_5 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.6 & 0.1 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 \\ 0.4 & 0.4 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.2 \end{bmatrix}$$

$$R_6 = \begin{bmatrix} 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_7 = \begin{bmatrix} 0 & 0.6 & 0.4 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.5 & 0.2 \\ 0.3 & 0.7 & 0 & 0 \\ 0 & 0.1 & 0.8 & 0.1 \\ 0 & 0.5 & 0.5 & 0 \end{bmatrix}$$

应用层次分析法, 确定各层权重, 如表 3~表 7。

表 3 A—B 层权重

A	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	w
B1	1	3	2	5	7	1/3	1/5	0.209
B2	1/3	1	3	1/5	9	5	1/7	0.121
B3	1/2	1/3	1	3	7	1/9	5	0.147
B4	1/5	5	1/3	1	3	1/7	7	0.119
B5	1/7	1/9	1/7	1/3	1	9	3	0.089
B6	3	1/5	9	7	1/9	1	5	0.218
B7	5	7	1/5	1/7	1/3	1/5	1	0.097

表 4 B1—C 层权重

B1	C1	C2	C3	w ₁
C1	1	3	2	0.531
C2	1/3	1	5	0.343
C3	1/2	1/5	1	0.126

表 5 B2、B4—C 层权重

B2	C4	C5	C6	C7	C8	w ₂	B4	C13	C14	C15	C16	C17	w ₄
C4	1	7	2	1/5	5	0.304	C13	1	1/3	1/7	1/5	1/6	0.043
C5	1/7	1	3	1/3	5	0.165	C14	3	1	1/4	1/2	1/2	0.092
C6	1/2	1/3	1	7	3	0.233	C15	7	4	1	7	5	0.536
C7	5	1/3	1/7	1	9	0.204	C16	5	2	1/7	1	1/5	0.112
C8	1/5	1/5	1/3	1/9	1	0.094	C17	6	2	1/5	5	1	0.217

表 6 B3、B5—C 层权重

B3	C9	C10	C11	C12	w ₃	B5	C18	C19	C20	C21	w ₅
C9	1	2	5	1/3	0.334	C18	1	1/5	1/3	1	0.096
C10	1/2	1	7	2	0.364	C19	5	1	3	5	0.558
C11	1/5	1/7	1	5	0.139	C20	3	1/3	1	3	0.250
C12	3	1/2	1/5	1	0.162	C21	1	1/5	1/3	1	0.096

表 7 B6、B7—C 层权重

B6	C22	C23	w ₆	B7	C24	C25	C26	C27	C28	w ₇
C22	1	3	0.750	C24	1	3	7	5	9	0.497
C23	1/3	1	0.250	C25	1/3	1	5	5	9	0.299
				C26	1/7	1/5	1	3	5	0.107
				C27	1/5	1/5	1/3	1	3	0.066
				C28	1/9	1/9	1/5	1/3	1	0.031

经验证, 上述判断矩阵都满足一致性要求。由以上结果, 可得到第一级综合评判向量为:

$$B_1 = w_1 \otimes R_1 = (0.265, 0.571, 0.164, 0)$$

$$B_2 = w_2 \otimes R_2 = (0.122, 0.387, 0.245, 0.246)$$

$$B_3 = w_3 \otimes R_3 = (0.169, 0.336, 0.246, 0.249)$$

$$B_4 = w_4 \otimes R_4 = (0.047, 0.144, 0.521, 0.288)$$

$$B_5 = w_5 \otimes R_5 = (0.128, 0.163, 0.352, 0.357)$$

$$B_6 = w_6 \otimes R_6 = (0, 0.225, 0.5, 0.275)$$

$$B_7 = w_7 \otimes R_7 = (0.037, 0.483, 0.431, 0.049)$$

综合评判矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \\ B_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.265 & 0.571 & 0.164 & 0 \\ 0.122 & 0.387 & 0.245 & 0.246 \\ 0.169 & 0.336 & 0.246 & 0.249 \\ 0.047 & 0.144 & 0.521 & 0.288 \\ 0.128 & 0.163 & 0.352 & 0.357 \\ 0 & 0.225 & 0.5 & 0.275 \\ 0.037 & 0.483 & 0.431 & 0.049 \end{bmatrix}$$

(下转第 39 页)

在取药时, 采取药勺每取一次, 供药盘转动一次的方式, 以消除每次取药产生的沟槽, 同时也避免振动时药剂产生分层现象。在取药及放药时, 为了使药勺装实及充分倒药, 均采用同期振动的方式。

2) 药剂敏感度高

由于针刺药剂感度较高, 采用传统的计量板装药或螺杆螺旋装药方式均无法满足其安全要求。本系统采用的勺形装药方式, 机械零部件与药剂摩擦极小, 动力采用较安全的气动元器件, 传感器采用本安型, 刮药橡胶采用防静电型, 保证了生产的本质安全性。

同时, 勺形装药机还设有防护罩及模具进出的防爆门, 实现高危工位的人机隔离自动化操作。在防护罩上开有 4 个由隔爆玻璃组成的观察窗, 便于生产时进行工况监控。

3) 装填药剂量少、精度较高

由于药剂量少(10~20 mg), 精度较高($\pm x$ mg),

(上接第 31 页)

发射后, 膛底载荷作用于枪机弹底窝上, 使枪机闭锁支撑面和节套强烈撞击, 产生巨大冲击力, 平均为 97.316 kN。因存在闭锁间隙, 闭锁支撑面与节套接触反弹后继续撞击, 冲击力平均为 17.018 kN, 为进一步校核节套和枪机的强度提供了科学依据。

4 结论

榴弹发射器口径、膛底载荷和导气室载荷峰值较大, 给设置构件约束和接触增加了不小困难。对添加刚体之间的约束进行了讨论, 也同样适用于其他多刚体动力学的仿真。采用传感器和脚本控制有效实现连发控制, 仿真结果与试验结果相吻合, 验证了所建立的虚拟样机模型的可行性。在此基础上

(上接第 34 页)

得到评判向量 $B = w \otimes R = (0.134, 0.275, 0.341, 0.148)$, 归一化处理后, $B = (0.149, 0.306, 0.381, 0.164)$ 。由最大隶属度原则, 选取最大的评判集指标 0.381 作为最终评判结果, 表 2 中与之对应的评价结果为一般。因此, 该装备维修保障系统效能为一般。

4 结束语

该评估方法思路清晰、计算方便, 为装备维修保障系统评估体系标准化提供了一种思路。

参考文献:

为了满足精度要求, 装药勺内腔尺寸经过精密计算, 同时其内表面加工时抛光, 达到镜面, 可有效防止药剂粘连, 确保精度。药勺取药后采用防静电橡胶条弹性压紧刮平, 确保定容精度。

3 结束语

该技术解决了针刺雷管药剂流散性差、感度高、装药精度要求高等系列问题, 实现了高敏感火工品的自动化无人装配生产, 大幅度地减少了操作人员, 实现了压点减员, 提高了生产安全性, 也提高了生产质量及生产效率。

参考文献:

- [1] 刘伟钦, 等. 火工品制造[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.
- [2] 孙安昌. 针刺雷管自动装配机自动装压药技术研究[J]. 兵工自动化, 2009, 28(增刊): 23-25.
- [3] 高丰, 彭旭, 王雪晶, 等. 基于高速转子式结构的小口径枪弹装药装配设备研究[J]. 2009, 28(增刊): 26-29.

仿真得出的运动学和动力学数据为进一步研究提供了科学数据, 为多刚体动力学仿真提供了较为普遍的研究方法。

参考文献:

- [1] 李增刚. ADAMS 入门详解与实例[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [2] 甘高才. 自动武器动力学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990.
- [3] 贾智宏, 葛藤, 周克栋. 基于 ADAMS 的自动武器虚拟样机研究[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(3): 648-650.
- [4] 李二华, 郭朝勇, 黄海英, 等. 基于 ADAMS 的弹药运输车辆钢板弹簧建模与刚度测试[J]. 四川兵工学报, 2009(7): 70-72.

- [1] 黄建新, 娄寿春, 张志峰. 基于指数法的装备维修保障系统效能评估模型[J]. 空军工程大学学报, 2006, 7(1): 39-42.
- [2] 穆跃东. 基于模糊综合评判的学员能力评估[J]. 海军大连舰艇学院学报, 2008, 31(2): 69-71.
- [3] 肖丁, 王平. 舰船装备维修保障系统能力评估研究[J]. 海军装备, 2008(4): 25-26.
- [4] 汪应洛. 系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 141-144.
- [5] 宋宁哲, 郭庆养. 基于模糊综合评判的雷达系统效能评估研究[J]. 地面防空武器, 2008, 39(1): 31-34.
- [6] 李东东, 张柳, 刘文武, 等. 维修保障系统平均保障延误时间建模[J]. 四川兵工学报, 2009(10): 22-24.