

doi: 10.7690/bgzdh.2013.05.003

熵权-集对分析方法在抢修效能评估中的应用

罗九林, 魏兆磊, 潘洪平

(装甲兵工程学院技术保障工程系, 北京 100072)

摘要: 针对战场抢修的特殊性, 以某 5 种装备的抢修效能评估为例, 探讨如何利用熵权-集对分析方法来科学合理的进行抢修效能评估。通过对装备抢修的特点和抢修效能影响因素的分析, 建立其评估指标体系; 利用熵权-集对分析方法构建抢修效能评估模型, 采用该方法计算熵权, 确定评估指标权重, 形成评估矩阵; 接着通过比较相对同一度大小, 按照抢修效能优劣顺序对该 5 种待评估装备进行排序。通过实例计算, 验证了集对分析方法对抢修效能评估的有效性, 为装备的优选及改进提供了科学的依据。

关键词: 抢修效能; 集对分析方法; 熵权

中图分类号: TJ07 **文献标志码:** A

Application of Entropy Weight-Set Pair Analysis Method in Efficiency Evaluation of Emergency Repair

Luo Jiulin, Wei Zhaolei, Pan Hongping

(Department of Technical Support Engineering, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Aiming at the particularity of the battle field repair, the method which employed the set pair analysis based on entropy weight to rational efficiency evaluation of the repair had been discussed taking certain five amphibian equipments as example. Firstly, the evaluating index system was established by analyzing the characteristic of the repair and the factors which influence on the efficiency evaluation of the emergency repair. Secondly, an evaluation model of the efficiency of the emergency repair was made based on set pair analysis and entropy weight, and its weight of evaluation indexes was gained by calculating the entropy in order to form the optimization matrix. Then, the equipment which had optimal efficiency of the emergency repair was chosen after the five candidates being ranked by comparing the degrees of identities. At last, validated the theory of the set pair analysis, and proved scientific basis of the optimum and elevation of the equipment.

Key words: emergency repair efficiency; set pair analysis method; entropy weight

0 引言

战场抢修是指在战场上运用应急诊断与修复技术, 迅速地对装备进行评估并根据需要快速修复损伤部位, 使武器装备能够完成某项预定任务或实施自救的活动。战场抢修是战时维修保障的一个重要部分, 是实现战斗力再生, 弥补战争损耗, 补充和保持一定的持续作战能力的重要手段^[1]。

在未来信息化战场上, 装备实力的对比不仅取决于武器装备的固有数量, 同样也取决于谁能以较快的速度、较高的质量标准完成武器装备的战场抢修任务, 以更好、更快地恢复部队战斗力。装备的战场抢修是战时装备保障的一个重要方面, 是保持与恢复战斗力的重要因素, 直接影响着战时装备战斗性能的发挥。如何区分各装备抢修效能的优劣和提出提高其抢修效能的具体措施, 需要对装备的抢修效能进行评估分析。笔者通过将熵权-集对分析法

引入到装备抢修效能评估中, 建立了评估模型, 给出一种新的用于装备抢修效能评估方法。

1 战场装备评估指标体系的建立

装备的战场抢修具有以下特点: 1) 车体金属材料厚度较其他车型相对较薄, 且局部腐蚀现象严重, 抢修时间长, 抢修工作量大; 2) 背水攻坚, 战场环境恶劣, 装备抢修作业危险; 3) 作战消耗巨大, 备件供应较困难, 装备抢修保障条件特殊, 装备抢修保障任务艰巨; 4) 作战节奏变化快, 作战环境复杂多变, 引起抢修的原因错综复杂, 抢修任务完成难度大^[2]。

抢修效能是一种相对动态的效能, 是指战场上损伤装备在规定的时间内和规定的条件下经过抢修, 能恢复某一满足规定任务要求的基本功能或更多功能的能力或概率。针对装备的战场抢修的特殊性, 从抢修的需求出发, 经过客观性分析, 从而按

收稿日期: 2012-11-16; 修回日期: 2012-12-08

基金项目: 装备保障(2011BZ20)

作者简介: 罗九林(1966—), 男, 江西人, 学士, 副教授, 从事装备维修保障研究。

照科学性、系统性、完备性和可行性等原则, 初步确定影响抢修效能评估的因素主要有装备自身固有属性、环境方面、抢修时间、抢修地点、人员方面、抢修费用、风险值、技术方法方面、抢修保障资源要求等, 通过渐进式遗传约简算法进行约简, 进一步确定出战场装备的评估指标主要有: 1) 自身固有属性; 2) 环境方面; 3) 抢修时间方面; 4) 人员方面; 5) 技术方法方面; 6) 保障供应方面。其中,

自身固有属性是指装备设计生产过程对装备的抢修效能造成的影响; 环境方面是指装备的工作环境和抢修工作展开的工作环境; 抢修时间反映抢修的总体时效性, 以分钟为计量单位, 为主要影响因素; 人员方面是指抢修过程中所需各类人员的基本能力水平; 技术方法方面是指人力人员技术水平的要求; 保障供应方面是指抢修工具设备、备品备件供应能力。抢修效能评估指标体系如图 1 所示。

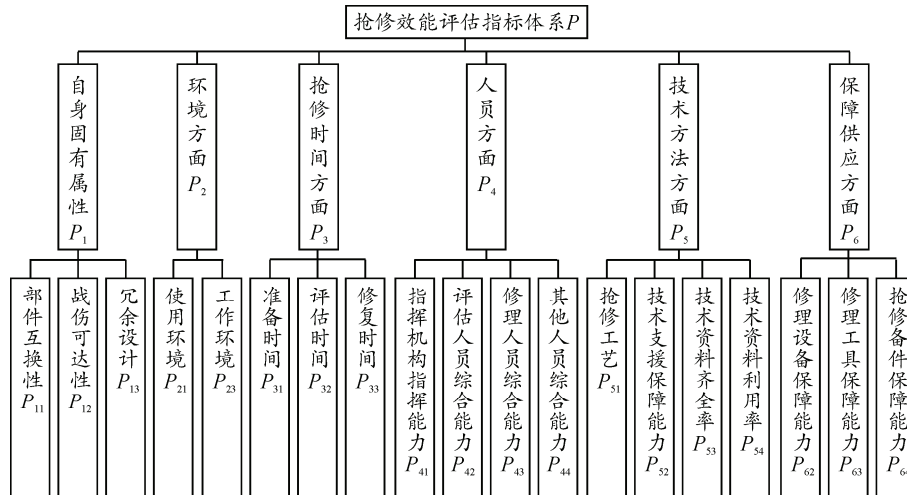


图 1 抢修效能评估指标体系

2 基于熵权的集对分析方法

集对是指具有一定联系的 2 个集合所组成的对子^[3]。集对分析(set pair analysis)是关于确定不确定系统同、异、反定量分析的系统分析方法, 是对 2 个装备抢修效能各指标所具有的特性做同、异、反分析并加以度量, 得出相应的同、异、反联系度表达式 $u: u = a + bi + cj$, 其中 a 、 b 、 c 分别描述系装备相对确定的同一性、差异性、对立性, 且 a 、 b 、 c 满足归一条件: $a + b + c = 1$ 。

这里主要利用集对分析方法中联系度表达式反映系统的确定和不确定、同一和对立的性质。利用熵权-集对分析方法建立某装备抢修效能评估模型具体步骤如下。

2.1 联系矩阵的建立

对一组装备的抢修效能进行评估, 假设有 m 种装备, 记为 p_1, p_2, \dots, p_m , 且共有 q_1, q_2, \dots, q_n 等 n 个指标, 每个指标均有一个指标值, 记为: $k_{ij} (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n)$, 则基于集对分析方法的装备评估指标矩阵为: $H = (k_{ij})_{m \times n}$ 。

为提高评估的可靠性, 取“理想装备” p_0 与装

备 p_1 为一集合对子, 对该集合对子做联系度分析, 寻找与 p_0 同一度最大的装备, 给出待评估装备的优劣次序。理想装备 $P_0(k_{01}, k_{02}, \dots, k_{0n})$, 其中 k_{0j} 为 p_0 的第 j 个指标的值, 大小为 H 矩阵中第 j 个指标的最优值。比较评估指标矩阵的指标值 k_{ij} 和 k_{0j} , 可形成 p_i 与 p_0 指标不带权重的同一度矩阵为: $Q = (a_{ij})_{m \times n}$, 元素 a_{ij} 为评估指标值 k_{ij} 与 k_{0j} 的同一度^[4]。

2.2 基于熵权法的评估指标权重确定^[5]

熵是系统无序程度的度量, 系统无序度越小, 其值越小。在装备抢修效能评估中, 各评估因素的相对重要性不同, 通过对熵值构成的判断矩阵来确定权重, 就是根据各指标值的差异程度, 来确定各指标的权重。若某项指标值相差越大时, 则评估指标能够提供的有效信息量越大, 其熵值越小, 权重也就较小。其计算步骤如下:

1) 假定被评估装备的评估指标有 n 个, 有 m 个待评估装备, 则构建判断矩阵:

$$X = (r_{ij})_{m \times n} \quad (i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

2) 将判断矩阵 X 进行归一化, 得到归一化矩阵 B , B 的元素为

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中： x_{\max} 、 x_{\min} 分别为同一评估指标下不同事物中
最优值与最差值。

3) 根据传统的熵概念可定义各评估指标的熵：

$$E_j = - \left(\sum_{i=1}^m \ln f_{ij} \right) / \ln m \quad (3)$$

其中 $f_{ij} = b_{ij} / \sum_{i=1}^m b_{ij}$ ，显然，当 $f_{ij}=0$ 时， $\ln f_{ij}$ 无意义，因此对 f_{ij} 的计算加以修正，将其定义为

$$f_{ij} = \frac{1 + b_{ij}}{1 + \sum_{i=1}^m b_{ij}} \quad (4)$$

4) 计算评估指标的熵权 W ：

$$W = (w_j)_{1 \times n} \quad (5)$$

式中： $w_j = (1 - E_j) / (n - \sum_{j=1}^n E_j)$ ，且满足 $\sum_{j=1}^n E_j = 1$ 。

2.3 综合评估模型

考虑权重影响，联系度 u 各参数的计算式^[6]为：

$$\begin{cases} a_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} w_j \\ b_i = \sum_{j=1}^n b_{ij} w_j \\ c_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} w_j \end{cases} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (6)$$

由于单纯考虑待评估装备与理想装备的同一度存在一定的不客观性，定义 r 为待评估装备与理想装备的相对同一度，其计算公式为

$$r_i = \frac{a_i}{a_i + c_i} \quad (7)$$

比较各装备相对同一度 r 的大小，可得出各待评估装备的优劣次序，选出最优装备。

3 示例分析

笔者利用熵权-集对分析方法进行装备抢修效能评估的应用示例。其具体的步骤如下。

1) 确定评估指标参数。

装备抢修效能评估所包括的指标如图 1。

2) 抽取出各指标的状态值。

现假设某 5 种装备的进行抢修效能评估，选取其相应指标的数据，通过对各指标值进行无量纲标准化处理可得抢修效能评估决策信息表如表 1。

表 1 效能评估决策信息

影响因素	制约因素	装备 I	装备 II	装备 III	装备 IV	装备 V	最优值
自身固有属性	部件可换性	0.85	0.85	0.9	0.95	0.70	1
	战伤可达性	0.50	0.95	0.6	0.90	0.70	1
	关键件余度	0.90	0.90	0.7	0.90	0.80	1
	战伤可测性	0.90	0.90	0.5	0.90	0.60	1
环境方面	工作环境	0.90	0.90	0.6	0.80	0.70	1
	自然环境	0.85	0.85	0.8	0.95	0.90	1
抢修时间	准备时间	0.85	0.85	0.7	0.80	0.80	1
	评估时间	0.85	0.85	0.6	0.90	0.70	1
	修复时间	0.85	0.85	0.7	0.90	0.70	1
人员方面	指挥机构指挥能力	0.85	0.85	0.7	0.80	0.90	1
	评估人员综合能力	0.50	0.95	0.5	0.95	0.80	1
	修理人员综合能力	0.70	0.70	0.8	0.90	0.80	1
	其他人员综合能力	0.70	0.70	0.7	0.80	0.90	1
技术方法方面	抢修工艺	0.75	0.75	0.7	0.90	0.80	1
	技术支持保障能力	0.75	0.85	0.7	0.90	0.80	1
	技术资料齐全率	0.75	0.75	0.9	0.80	0.70	1
	技术资料利用率	0.80	0.80	0.7	0.90	0.80	1
保障供应方面	修理设备保障能力	0.25	0.25	0.4	0.15	0.35	1
	修理工具保障能力	0.35	0.35	0.4	0.20	0.30	1
	备品备件保障能力	0.30	0.25	0.4	0.25	0.30	1

根据集对分析方法及表 1 可得评估指标矩阵 B 。

$$B = \begin{bmatrix} 0.85 & 0.50 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.85 & 0.85 & 0.85 & 0.85 & 0.85 & 0.50 & 0.7 & 0.7 & 0.75 & 0.75 & 0.75 & 0.8 & 0.25 & 0.35 & 0.30 \\ 0.85 & 0.95 & 0.9 & 0.9 & 0.9 & 0.85 & 0.85 & 0.85 & 0.85 & 0.85 & 0.95 & 0.7 & 0.7 & 0.75 & 0.75 & 0.75 & 0.8 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0.90 & 0.60 & 0.7 & 0.5 & 0.6 & 0.80 & 0.70 & 0.60 & 0.70 & 0.70 & 0.50 & 0.8 & 0.7 & 0.70 & 0.70 & 0.90 & 0.7 & 0.40 & 0.40 & 0.40 \\ 0.95 & 0.90 & 0.9 & 0.9 & 0.8 & 0.95 & 0.80 & 0.90 & 0.90 & 0.80 & 0.95 & 0.9 & 0.8 & 0.90 & 0.90 & 0.80 & 0.9 & 0.15 & 0.20 & 0.25 \\ 0.70 & 0.70 & 0.8 & 0.6 & 0.7 & 0.90 & 0.80 & 0.70 & 0.70 & 0.90 & 0.80 & 0.8 & 0.9 & 0.80 & 0.80 & 0.70 & 0.8 & 0.35 & 0.30 & 0.30 \end{bmatrix}$$

3) 指标权重确定。

由式 (2)~式 (5) 计算出各指标的权重如表 2。