

文章编号: 1673-1522(2009)03-0351-05

基于灰色层次分析法的 武器系统综合保障能力评估

张笑¹, 徐廷学², 范树海³

(1. 海军潜艇学院, 山东 青岛 266071; 2. 海军航空工程学院 兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001;
3. 海军装备部航订部, 北京 100841)

摘要: 针对武器系统综合保障能力的评估问题, 建立了武器系统综合保障能力评估指标体系, 综合运用层次分析和灰色理论方法建立了解析模型, 最后通过一个实例的计算证明了该方法的有效性。

关键词: 武器系统; 综合保障; 灰色层次分析法

中图分类号: E911

文献标志码: A

0 引言

武器装备要适应现代化作战的使用要求, 不仅要具备先进的技术战术性能, 还必须拥有与作战使用相适应的良好的保障特性。

随着现代科学技术的高速发展, 很多高新技术率先应用于军事装备, 这使得现代武器装备系统集成机械、电子和信息技术等高新技术为一体, 使用和保障复杂性大大增加。

我军从20世纪90年代开始陆续进行武器装备综合保障研究, 尤其近年来部分型号武器装备在论证研制阶段已开始应用保障性工程, 但由于综合保障是一项复杂浩大的工程, 且对相关保障人才的综合能力要求较高, 因此对装备综合保障能力进行评估也十分复杂。

本文针对部队装备现实情况, 结合保障能力要求, 探索武器装备综合保障能力评估途径与方法。

1 武器系统综合保障能力指标体系

GJB 3872^[1]中定义: “综合保障是在装备的寿命周期内, 为满足系统战备完好性要求, 降低寿命周期费用, 综合考虑装备的保障问题, 确保保障性要求, 进行保障性设计, 规划并研制保障资源, 及时提供装备所需保障的一系列管理和技术活动。”

装备保障性是装备系统的属性, 装备系统包括

主装备和保障系统。

主装备系统的设计属性主要包括主装特性、生存性、安全性、自保障特性、标准化等等, 以及保障系统反应能力和效能的设计属性;

保障系统设计属性主要包括人力和人员、备件及消耗品、保障设备、技术资料、训练和训练保障、保障设施、计算机资源保障、包装、装卸、贮存和运输保障等方面。

装备保障性具有综合性和系统性, 是指装备易于使用、便于保障的一种特性。要保证装备系统的保障性, 必须从主装备设计和保障系统设计两方面共同努力才能最终解决。

装备综合保障能力指标可分为两部分:

一是由系统级保障性要求导出对主装备的保障性设计特性要求指标, 包括与装备使用与保障有关的设计特性参数, 如可靠性、维修性、测试性、运输性等, 以及便于使用和保障的其他设计特性。

二是由系统级保障性要求导出的对保障系统的要求指标, 包括使用保障和维修保障, 包括保障规划、使用和保障人员数量与技术等级、使用与保障所需消耗品和备件的品种与数量、保障设施、保障设备、技术资料、训练保障、计算机资源保障以及包装、装卸、贮存和运输保障。武器系统综合保障能力指标体系如图1所示。

收稿日期: 2009-02-06

作者简介: 张笑(1973-), 女, 讲师, 硕士生。

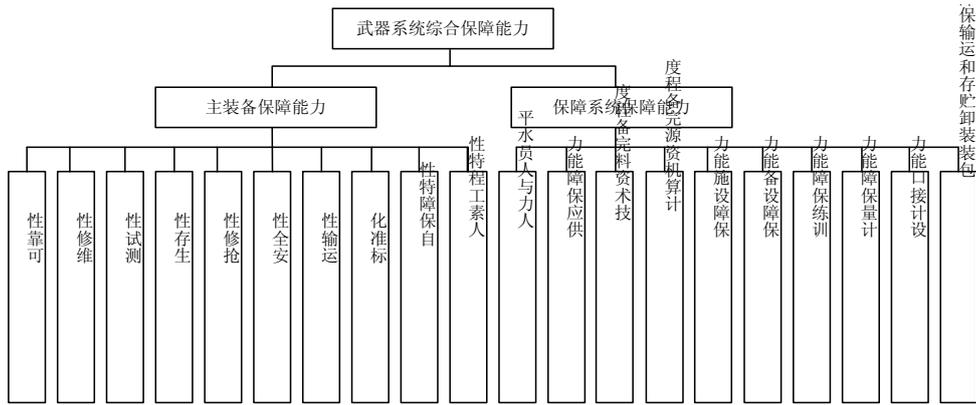


图 1 武器系统综合保障能力指标体系

2 灰色层次分析评估模型

从图 1 指标体系框图可以看出，最低级的指标中除可靠性、维修性指标外，大多数很难定量描述，因此综合层次分析法和灰色理论方法建立解析模型如下。

2.1 确定评估指标权重系数

采用层次分析法和德尔菲法（专家征询法）相结合的方法，通过两两比较的方式，按规定标度，确定 V_{ij} 的权重系数为：

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2j} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{i1} & a_{i2} & \cdots & a_{ij} \end{bmatrix}。$$

根据权重求解方法计算各评价指标的相对权重：

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ik}}, \quad i = 1, 2, \dots, n。$$

2.2 确定评估样本矩阵

在指标的评价中，将指标的评分等级划分为优、良、中、合格、不合格 5 个等级，赋予相应的分值为 9, 7, 5, 3, 1。

假设有 p 个专家参与评价，第 k 个专家对评价指标 V_{ij} 给出的评分是 d_{ijk} ，则指标的评价样本矩阵：

$$D = \begin{bmatrix} d_{111} & d_{112} & \cdots & d_{11p} \\ d_{121} & d_{122} & \cdots & d_{12p} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{ij1} & d_{ij2} & \cdots & d_{ijp} \end{bmatrix}。$$

2.3 确定评估灰类

确定评估灰类时要确定评估灰类的等级数、灰类的灰数及灰数的白化函数。^[3]

常用的白化函数：

1) 灰数为 $\otimes \in [0, d_1, \infty)$ ，白化权函数为

$$f_1 = \begin{cases} \frac{x}{d_1} & x \in [0, d_1] \\ 1 & x \in [d_1, \infty) \\ 0 & x \in (-\infty, 0) \end{cases}。$$

2) 灰数为 $\otimes \in [0, d_1, 2d_1]$ ，其白化权函数为

$$f_2(x) = \begin{cases} \frac{x}{d_1} & x \in [0, d_1] \\ 2 - \frac{x}{d_1} & x \in [d_1, 2d_1] \\ 0 & x \notin (0, 2d_1) \end{cases}。$$

3) 灰数为 $\otimes \in [0, d_1, d_2]$ ，其白化权函数为

$$f_3(x) = \begin{cases} 1 & x \in [0, d_1] \\ \frac{d_2 - x}{d_2 - d_1} & x \in [d_1, d_2] \\ 0 & x \notin (0, d_2) \end{cases}。$$

2.4 计算灰色评估系数

对评估指标 V_{ij} ，第 s 个受评者属于第 e 个评估灰类的灰色评估数称为灰色评估系数，记为 $x_{ije}^{(s)}$ ，

其计算公式为 $x_{ije} = \sum_{k=1}^p f_e(d_{ijk})$ 。

对评估指标 V_{ij} ，第 s 个受评者属于各个评估灰

类的总灰色评估数记为 $x_{ij} = \sum_{e=1}^g x_{ije}$ 。

2.5 计算灰色评估向量及评估矩阵^[4]

所有评估者就评估指标 V_{ij} ，对受评者主张第 e 个灰类的灰色评估数记为 r_{ije} ，则有 $r_{ije} = \frac{x_{ije}}{x_{ij}}$ 。

考虑到有 g 个评估灰类，即 $e=1,2,\dots,g$ ，便有受评者的评估指标 V_{ij} 对于各灰类的灰色评估向量

$$r_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, \dots, r_{ijg})。$$

则灰色评估矩阵为：

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i11} \\ r_{i21} \\ \dots \\ r_{in1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{i11} & r_{i12} & \dots & r_{i1g} \\ r_{i21} & r_{i22} & \dots & r_{i2g} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{in1} & r_{in2} & \dots & r_{ing} \end{bmatrix}。$$

2.6 评估武器系统保障能力

假设权重向量为 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ ，则综合评价结果 B 为： $B = W \cdot R = (b_1, b_2, b_3, b_4, b_5)$ 。

3 实例

以某武器系统综合保障能力指标体系为例进行计算。

3.1 主装备保障能力

1) 计算主装备保障能力下属指标的权重：

$$W = (0.15, 0.13, 0.14, 0.09, 0.07, 0.08, 0.09, 0.09, 0.07, 0.09)。$$

2) 邀请 5 组专家分别对评估指标进行打分评估。因为主装备的可靠性和维修性可以用可靠度和可用度指标定量描述，故不在打分范围之列，仅考虑其余 8 项指标的打分情况。

$$D = \begin{bmatrix} 6 & 7 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 9 & 9 & 9 & 8 \\ 7 & 7 & 8 & 7 & 7 \\ 8 & 9 & 8 & 8 & 8 \\ 6 & 8 & 7 & 7 & 6 \\ 7 & 6 & 6 & 7 & 6 \\ 4 & 7 & 5 & 6 & 7 \\ 4 & 5 & 4 & 6 & 5 \end{bmatrix}。$$

3) 确定评估灰类。分为 5 类：

第 1 类“较好”，设定灰数 $\otimes_1 \in [0,9,\infty)$ ，白化权函数为 f_1 ，

$$f_1 = \begin{cases} \frac{x}{9} & x \in (0,9) \\ 1 & x \in [9,\infty) \\ 0 & x \in (-\infty,0) \end{cases}；$$

第 2 类“好”，设定灰数 $\otimes_2 \in [0,7,10)$ ，白化权函数为 f_2 ，

$$f_2 = \begin{cases} 1 & x \in (0,7] \\ \frac{10-x}{3} & x \in (7,10] \\ 0 & x \notin (0,10) \end{cases}；$$

第 3 类“一般”，设定灰数 $\otimes_3 \in [0,5,8)$ ，白化权函数为 f_3 ，

$$f_3 = \begin{cases} 1 & x \in (0,5] \\ \frac{8-x}{3} & x \in (5,8] \\ 0 & x \notin (0,8) \end{cases}；$$

第 4 类“差”，设定灰数 $\otimes_4 \in [0,3,6)$ ，白化权函数为 f_4 ，

$$f_4 = \begin{cases} 1 & x \in (0,3] \\ \frac{6-x}{3} & x \in (3,6] \\ 0 & x \notin (0,6) \end{cases}；$$

第 5 类“很差”，设定灰数 $\otimes_5 \in [0,1,3)$ ，白化权函数为 f_5 ，

$$f_5 = \begin{cases} 1 & x \in (0,1] \\ \frac{3-x}{2} & x \in (1,3] \\ 0 & x \notin (0,3) \end{cases}。$$

4) 计算灰色评估系数。对评价指标 V_{11} ，受评系统属于第 e 个评价灰类的灰色评价系数 X_{11e} ：

$$e = 1, X_{111} = f_1(8) + f_1(9) + f_1(8) + f_1(9) + f_1(8) = 2.980；$$

$$e = 2, X_{112} = f_2(8) + f_2(9) + f_2(8) + f_2(9) + f_2(8) = 3.682；$$

$$e = 3, X_{113} = f_3(8) + f_3(9) + f_3(8) + f_3(9) + f_3(8) = 1.612；$$

$$e = 4, X_{114} = f_4(8) + f_4(9) + f_4(8) + f_4(9) + f_4(8) = 0；$$

$$e = 5, X_{115} = f_5(8) + f_5(9) + f_5(8) + f_5(9) + f_5(8) = 0。$$

V_{11} 属于各个评价灰类的灰色评价系数为：

$$X_{11} = X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} = 8.274。$$

5) 计算灰色评估向量及评估矩阵。根据主装备的可靠性和维修性指标计算得到其可靠度和可用度值分别为 0.83 和 0.87，考虑同类武器的这两项指标，比较得这两项指标均属“好”，添加到评估矩阵如下：

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3617 & 0.4468 & 0.1915 & 0 & 0 \\ 0.7096 & 0.2904 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4000 & 0.4667 & 0.1333 & 0 & 0 \\ 0.6029 & 0.3971 & 0 & 0 & 0 \\ 0.3617 & 0.4468 & 0.1915 & 0 & 0 \\ 0.3235 & 0.4412 & 0.2353 & 0 & 0 \\ 0.2566 & 0.3982 & 0.2655 & 0.0797 & 0 \\ 0.1860 & 0.3488 & 0.3256 & 0.1396 & 0 \end{bmatrix}。$$

6) 计算评估值:

$$B = W \cdot R = (0.2871, 0.5723, 0.1224, 0.0182, 0)。$$

依据最大隶属度原则, 该武器系统主装备保障能力总体处于“好”水平。

3.2 保障系统保障能力

同理计算保障系统的保障能力评估值

1) 计算保障系统的保障能力下属指标的权重:

$$w = (0.09, 0.10, 0.11, 0.09, 0.07, 0.08, 0.12, 0.09, 0.13, 0.12)。$$

2) 邀请 5 组专家分别对评估指标进行打分评估

$$D = \begin{bmatrix} 9 & 7 & 9 & 7 & 8 \\ 7 & 7 & 6 & 7 & 8 \\ 4 & 5 & 4 & 6 & 5 \\ 8 & 9 & 8 & 8 & 8 \\ 6 & 8 & 7 & 7 & 6 \\ 7 & 6 & 6 & 7 & 6 \\ 4 & 7 & 5 & 6 & 7 \\ 4 & 5 & 4 & 6 & 5 \\ 7 & 8 & 6 & 7 & 7 \\ 6 & 6 & 6 & 8 & 6 \end{bmatrix}。$$

3) 确定评估灰类, 分为 5 类:

第 1 类“较好”, 设定灰数 $\otimes_1 \in [0, 9, \infty)$, 白化权函数为 f_1 ,

$$f_1 = \begin{cases} \frac{x}{9} & x \in (0, 9] \\ 1 & x \in [9, \infty) ; \\ 0 & x \in (-\infty, 0] \end{cases}$$

第 2 类“好”, 设定灰数 $\otimes_2 \in [0, 7, 10)$, 白化权函数为 f_2 ,

$$f_2 = \begin{cases} 1 & x \in (0, 7] \\ \frac{10-x}{3} & x \in (7, 10]; \\ 0 & x \notin (0, 10] \end{cases}$$

第 3 类“一般”, 设定灰数 $\otimes_3 \in [0.5, 8)$, 白化权函数为 f_3 ,

$$f_3 = \begin{cases} 1 & x \in (0, 5] \\ \frac{8-x}{3} & x \in (5, 8]; \\ 0 & x \notin (0, 8] \end{cases}$$

第 4 类“差”, 设定灰数 $\otimes_4 \in [0, 3, 6)$, 白化权函数为 f_4 ,

$$f_4 = \begin{cases} 1 & x \in (0, 3] \\ \frac{6-x}{3} & x \in (3, 6]; \\ 0 & x \notin (0, 6] \end{cases}$$

第 5 类“很差”, 设定灰数 $\otimes_5 \in [0, 1, 3)$, 白化权函数为 f_5 ,

$$f_5 = \begin{cases} 1 & x \in (0, 1] \\ \frac{3-x}{2} & x \in (1, 3] ; \\ 0 & x \notin (0, 3] \end{cases}$$

4) 计算灰色评估系数。对评价指标 V_{11} , 受评系统属于第 e 个评价灰类的灰色评价系数 X_{11e} :

$$\begin{aligned} e=1, & X_{111} = f_1(8) + f_1(9) + f_1(8) + f_1(9) + f_1(8) = 2.106 ; \\ e=2, & X_{112} = f_2(8) + f_2(9) + f_2(8) + f_2(9) + f_2(8) = 3.358 ; \\ e=3, & X_{113} = f_3(8) + f_3(9) + f_3(8) + f_3(9) + f_3(8) = 2.895 ; \\ e=4, & X_{114} = f_4(8) + f_4(9) + f_4(8) + f_4(9) + f_4(8) = 0 ; \\ e=5, & X_{115} = f_5(8) + f_5(9) + f_5(8) + f_5(9) + f_5(8) = 0 。 \end{aligned}$$

V_{11} 属于各个评价灰类的灰色评价系数为

$$X_{11} = X_{111} + X_{112} + X_{113} + X_{114} + X_{115} = 8.359 。$$

5) 计算灰色评估向量及评估矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 0.3312 & 0.3865 & 0.2823 & 0 & 0 \\ 0.2866 & 0.2596 & 0.3145 & 0.1393 & 0 \\ 0.3479 & 0.4668 & 0.1853 & 0 & 0 \\ 0.5123 & 0.2856 & 0.2021 & 0 & 0 \\ 0.4667 & 0.4666 & 0.0667 & 0 & 0 \\ 0.3235 & 0.4413 & 0.2352 & 0 & 0 \\ 0.6107 & 0.2468 & 0.1425 & 0 & 0 \\ 0.4235 & 0.4312 & 0.1453 & 0 & 0 \\ 0.3363 & 0.3982 & 0.2655 & 0 & 0 \\ 0.6512 & 0.3488 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}。$$

6) 计算评估值

$$B = W \cdot R = (0.1915, 0.3287, 0.2434, 0.2364, 0)。$$

依据最大隶属度原则, 该武器保障系统保障能力总体处于“好”水平。

3.2 结论

综上所述, 因为其主装备系统和保障系统均处于“好”水平, 所以武器系统综合保障能力总体处于“好”水平。

4 结束语

灰色层次分析法运用灰数和白化权函数来确定评价矩阵中的元素, 而不像模糊综合评价模型中是依靠专家的经验, 该方法可以提高效能评估的有效性及精确度, 得出的定性和定量评价结果更符合决策者的意愿, 从而为装备技术保障部门提供辅助决策的依据。

武器系统保障性能评估是实现装备综合保障工程目标的重要决策手段。由于综合保障是一个复杂的系统工程, 其中涉及的因素也非常多, 因此本文建立的评价指标可能有不够全面之处, 有待于进一步地完善和改进。

参考文献:

- [1] GJB 3872-99, 装备综合保障通用要求[S]. 北京: 中国人民解放军总装备部.
- [2] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002:163-189.
- [3] 甘茂治, 康建设, 高崎. 军用装备维修工程学[M]. 第2版. 北京: 国防工业出版社, 2005:201-210.
- [4] 覃菊莹. 灰色层次分析法—GAHP[D]. 南宁: 广西大学, 2002.
- [5] 马琳, 宋贵宝, 罗云宝. 导弹武器系统效能评估的GAHP模型[J]. 系统仿真学报, 2006,18(增刊 2): 101-107.
- [6] AMARI S V, MCLAUGHLIN L. Optimal design of a condition-based maintenance model[C]//Amari S V, 2004 IEEE Annual Symposium on Reliability and Maintainability, Cambridge: Cambridge Univ Press, 2004:26-29.
- [7] HOSSEINI M M, KERR R M, RANDALL R B. An inspection model with minimal and major maintenance for a system with deterioration and Poisson failures[J]. IEEE Trans. on Reliability, 2000,49:88-98.
- [8] RICHARD C C, MURDOCK W P J. Selective maintenance for support equipment involving multiple maintenance actions[J]. European Journal of Operational Research, 2001,129:252-258.
- [9] PHAM H, WANG H. Imperfect maintenance[J]. European Journal of Operational Research, 1996, 94:425-438.

Integrated Supportability Evaluation of Weapon System Based on Grey Analytic Hierarchy Process

ZHANG Xiao¹, XU Ting-xue², FAN Shu-hai³

(1. Navy Submarine Academy, Qingdao Shandong 266071, China;

2. Department of Ordnance Science and Technology, NAAU, Yantai Shandong 264001, China;

3. Aviation Scientific Research Ordering Branch of NED, Beijing 100841, China)

Abstract: The structure of index system of weapon system was put forwards. Combined analytic hierarchy with Grey evaluation theory, the analytic model was made. At last, a computing example was given, which proved that the method was useful.

Key words: weapon system; integrated support; grey analytic hierarchy process