

航空装备保障性评价的一种新模型

史超¹, 王强¹, 张建立²

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038; 2. 空军装备部, 北京 100859)

摘要:保障性评价中的信息往往具有模糊性和灰色性双重特征,而模糊白化和灰色关联是现代工程领域解决数据不确定性和数据量不足问题的有效方法。首次将灰色理论和模糊理论应用于保障性评价中,提出了全新的保障性评价模糊白化灰色关联模型。在定性指标模糊白化的基础上,对整个系统进行灰色关联分析,对提高保障性评价结果的准确性和推动保障性评价技术的发展具有极大的实际应用价值。

关键词:保障性评价;模糊白化;灰色关联

中图分类号:V37 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)01-0011-05

综合保障工程主要是解决装备寿命周期过程中与保障有关的问题,提供与装备匹配的保障资源并建立保障系统,以满足平时战备完好性和战时使用要求。它的效果只能用其规定的定性和定量要求达到的程度来衡量。在装备的全寿命周期中进行保障性评价,可以有效提高装备的保障性,从而大大提高装备的效能,并使其寿命周期费用达到最低。但装备系统是相当复杂的系统,保障性评价中的数据和信息不仅时空覆盖范围广,而且评价过程中往往是定性、定量分析相结合,具有很大的不确定性^[1]。要对装备进行有效的保障性评价,我们面临两个难题:一是无精确的保障性评价体系;二是可利用的信息少而且存在着一定的不确定性。

1 基本理论

保障性评价信息往往包括模糊和灰色两种信息。一方面,保障性评价往往是定性、定量分析相结合,涉及的信息具有很大一部分属于不确定的量,具有模糊性;另一方面保障性评价中的定性因素和定量因素同时存在,而且各因素之间并非都具有数量上的确定关系,信息的可知性差,且可利用的信息少,具有灰色性。因此,本文通过对不确定信息的模糊白化和灰色关联分析,提出了保障性评价中的模糊白化灰色关联模型。下面,以装备部署使用之后的保障性评价为例对本模型进行具体说明。

1.1 模糊白化

白化即是将不确定性的,不可量化的数据转化为确定性的,可量化数据的一种数据处理方法。装备的保障性评价中,为了对评价系统进行灰色关联分析,必须首先对定性指标进行白化^[2]。对于定性指标的白化,应用一般的专家打分法,主观性太大;若利用白化函数进行白化,白化函数难以准确得到,应用已有的白化函数缺乏实际的理论依据。而模糊理论在处理不确定性的信息方面有极大优势,因此,对定性指标的白化可采用一种全新的方法——模糊白化。

模糊白化是建立在相对性比绝对性确定容易的基本原理基础上的一种数据处理方法,最重要的是它可以在基本理论与概念上消除模糊理论在应用领域长期存在的所谓“主观任意性”的困惑。其主要过程是通过对决策集中的决策之间(就各定性指标而言)进行优越性的二元对比,构造决策集的优越性二元对比矩阵,并通过一定原则,将其调整为优越性排序一致性标度矩阵,得到决策集在满足排序一致性条件下优越性

的定性排序。最后,对决策集进行相对优属度量,从而实现了定性指标的模糊白化。

1.2 灰色关联

要在信息不确定、不完全和信息量不足的情况下,反映系统的特征,传统的数学方法(如回归分析、方差分析等)显得比较无能为力。而灰色关联分析对样本量的多少和样本有无规律都同样适用,而且计算量小,十分方便,更不会出现量化结果与定性分析结果不符的情况。

灰色关联分析的基本思想是根据序列几何曲线形状的相似程度来判断其联系是否紧密^[3]。曲线越接近,相应序列之间的关联度就越大,反之就越小。本文所采用的灰色关联分析的具体步骤是先确定一个最优参考序列,然后判断各决策序列与此最优参考序列的关联程度,最终作出保障性的综合评价。

2 保障性评价体系的建立

随着现代战争对保障性的高度重视,也对装备的保障性提出了新的更高的要求。它既要求所设计的装备便于使用和维修,又要求在装备使用中能提供强有力的使用和维修保障。因此,本文从装备的保障性设计参数和保障资源参数两个方面进行保障性评价。装备使用部署之后的基本评价体系见图1。

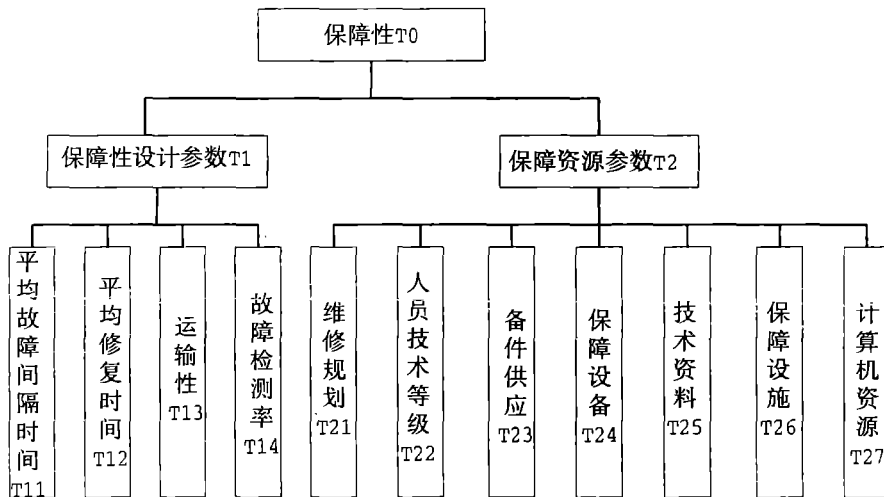


图1 装备保障性评价体系结构图

保障性设计参数是与装备的保障性有关的设计参数,它可为确定保障资源提供参考,主要包括可靠性、维修性,测试性,运输性4个方面。一般来说,装备设计中这4个方面的参数水平越高,则其易保障性越好。其中,前3个参数可视为定量参数,分别由MTBF,MTTR,故障检测率表示,而运输性则视为定性参数,需要进行模糊白化。

保障资源参数,通常根据装备的实际保障要求而定,它主要体现装备在使用中能够得到强有力的使用和维修保障的程度。它的参数概括起来主要包括维修规划,人员技术等级及训练与训练保障,备件供应保障,保障设备,技术资料,保障设施,计算机资源保障7个方面。其中,维修规划,人员技术等级及训练与训练保障,保障设施,技术资料,计算机资源保障属于定性指标,需进行模糊白化;而备件供应保障,保障设备利用率作为定量指标,用实际数据进行信息处理。

3 模型的建立

保障性评价模型主要是在定性指标模糊白化的基础上,对整个系统进行灰色关联分析,从而得到评价的最终结果,其主要步骤如下:

3.1 比较数据列、权重和决策集的确定

比较数据列确定。设在装备的保障性评价的各层中,有 n 项指标, m 项决策,第 i 项决策的指标数据为 $\{x_i\} = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)\}$ 。式中: $i = 1, 2, \dots, m$ 。 $x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)$ 表示各优化指标的指标值。将指标无量纲化处理,令 $y_i(j) = x_i(j)/x_0(j)$ 得无量纲数据列, $\{y_i\} = \{y_i(1), y_i(2), \dots, y_i(n)\}$, $x_0(j)$ ($j = 1, 2, \dots, n$) 是第 j 项指标的参照标准值(取最优值)。

权重确定。对于指标体系的指标权重集表示如下:第一层为 $\{Q\} = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_j\}$, $\sum_{j=1}^j Q_{0j} = 1$, Q_{0j} 为第一层第 j 个指标的权重;第二层为 $\{Q\} = \{Q_{11}, Q_{12}, \dots, Q_{1j}\}$, $\sum_{j=1}^j Q_{ij} = 1$, Q_{ij} 为第一层第 i 个指标的第 j 个子指标的权重。对于指标权重的确定方法可利用原始的层次分析法,也可应用本文中的模糊白化法。

决策集确定。决策集 $d = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$, 为要评价的决策总数。

3.2 定性指标的模糊白化

模糊白化的关键是构造决策集的优越性二元对比矩阵,通过优越性定性标度矩阵,得到决策集定性排序^[4]。并对决策集进行相对优属度量,从而实现定性指标的模糊白化。其具体步骤如下:

3.2.1 决策集的优越性二元对比矩阵的构造

设 d_k 与 d_l 为决策集中的任意两个决策,则对定性指标 i 而言,规定表示优越性的定性排序标度在 0, 0.5, 1, 中取值。若 d_k 比 d_l 优越,取 ${}_i e_{kl} = 1, {}_i e_{lk} = 0$; 若 d_l 比 d_k 优越,取 ${}_i e_{kl} = 0, {}_i e_{lk} = 1$; 若 d_k 与 d_l 同样优越,取 ${}_i e_{kl} = {}_i e_{lk} = 0.5$ 。则决策集的优越性二元对比矩阵为

$${}_i E = \begin{bmatrix} {}_i e_{11} & {}_i e_{12} & \dots & {}_i e_{1n} \\ {}_i e_{21} & {}_i e_{22} & & {}_i e_{2n} \\ & & & \\ {}_i e_{n1} & {}_i e_{n2} & \dots & {}_i e_{nn} \end{bmatrix} = ({}_i e_{kl}) \quad (k = 1, 2, \dots, n; \quad l = 1, 2, \dots, n)$$

3.2.2 优越性二元对比矩阵转化为优越性排序一致性标度矩阵

检验条件为,优越性二元对比矩阵满足:

- 1) 当 ${}_i e_{hk} > {}_i e_{hl}$ 时,有 ${}_i e_{kl} = 0$ 。
- 2) 当 ${}_i e_{hk} < {}_i e_{hl}$ 时,有 ${}_i e_{kl} = 1$ 。
- 3) 当 ${}_i e_{hk} = {}_i e_{hl} = 0.5$ 时,有 ${}_i e_{kl} = 0.5$ 。

3.2.3 确定决策集对各定性指标的相对优属度

根据上面得到的决策集的优越性排序一致性标度矩阵,得到决策集在满足排序一致性条件下优越性的定性排序。在二元定量对比中,按我国的语言习惯,选择 11 个语气算子,构成 10 个语气算子级差。为了提高处理模糊概念的精度,利用线性插值插入 9 个定量标度值,见表 1。

表 1 语气算子与定量标度相对隶属度关系

语气算子	同样	稍稍	略为	较为	明显	显著	十分	非常	极其	极端	无可比拟
定量	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1
标度	0.525	0.575	0.625	0.675	0.725	0.775	0.825	0.875	0.925	0.975	
相对优	1.0	0.818	0.667	0.538	0.429	0.333	0.25	0.176	0.111	0.053	0
属度	0.905	0.739	0.60	0.481	0.379	0.29	0.212	0.143	0.081	0.026	

3.3 对各决策进行灰色关联分析

关联系数是灰色关联分析中用于表示待评价数列中该指标值与最优参考数列中相应指标值接近程度的数值,值越大表示接近程度越高,即越接近最优^[3]。

首先将无量纲的子指标加权,得到各决策第一层指标值。然后确定最优参考数列,其原则是选择诸决策相应指标最佳值即越大越优型指标选最大值;越小越优型选最小值,得到最优参考数列 y_0 。 $\{y_0\} = \{y_0(1), y_0(2), \dots, y_0(n)\}$, 第 i 项决策第 j 个指标的关联系数 $\zeta_i(j)$ 由下式得到:

$$\zeta_i(j) = \frac{\min_j \min_i |y_0(j) - y_i(j)| + \rho \max_j \max_i |y_0(j) - y_i(j)|}{|y_0(j) - y_i(j)| + \rho \max_j \max_i |y_0(j) - y_i(j)|}$$

式中: ρ 是分辨系数,取值范围是 (0, 1), 一般取 0.5。通过计算,得关联系数数列 $\zeta_i = \{\zeta_i(1), \zeta_i(2), \dots, \zeta_i(n)\}$

(n) }。由 $\gamma_i = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^k \zeta_i(j)$ 求关联度。式中: k 是被评价指标数。考虑进权重影响, 用 $\gamma_i = \frac{1}{K} \sum_{j=1}^k \zeta_i(j) Q_j$ 求加权关联度。将 n 项决策的指标数列, 对最优参考数列的加权关联度, 从大到小排列, 即可得在 k 个指标下各决策的优劣顺序。

4 算例

设三种型号的某装备保障性评价指标数据如表 2 所示, 我们利用本文提出的模糊白化灰色关联模型进行评价。(各型号定量指标的数据分别是其代表参数的具体值; * 表示此指标为定性指标; 指标的权重由模糊白化法求得, 本例直接给出)

表 2 某装备三种型号保障性性能指标参数值(原始值)

决策	保障性设计参数 0.5						保障资源参数 0.5				
	MTBF	MTTR	运输性	测试率	维修规划	人员及训练	备件供应	保障设备	技术资料	保障设施	计算机资源
	0.35	0.35	0.1	0.2	0.15	0.2	0.20	0.15	0.1	0.1	0.1
I	150 h	30 min	*	86%	*	*	90.0%	89%	*	*	*
II	90 h	40 min	*	65%	*	*	85.5%	75%	*	*	*
III	108 h	50 min	*	70%	*	*	70.8%	68%	*	*	*

4.1 定性指标模糊白化

4.1.1 决策集对维修规划的优越性二元对比矩阵的构造

对于维修规划而言, 经过专家的认真考虑, 认为决策 I 比 II 和 III 都要优越, 因此, 优越性二元对比矩阵的第一行的元素为 0.5, 1, 1。同理, 可得其它的元素, 最后的优越性二元对比矩阵为

$$E = \begin{bmatrix} 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 0.5 & 0 \\ 0 & 1 & 0.5 \end{bmatrix}$$

4.1.2 将优越性二元对比矩阵转化为优越性排序一致性标度矩阵

根据检验, 此优越性二元对比矩阵满足优越性排序一致性标度矩阵的判决条件, 因此可直接根据优越性二元对比矩阵进行决策关于维修规划的优越性的定性排序。排序结果为型号 I、II、III (并不是所有的优越性二元对比矩阵满足优越性排序一致性标度矩阵的条件, 当不满足时, 应当适当调整优越性二元对比矩阵中各元素的值, 使其满足一致性标度矩阵的条件。)

4.1.3 确定决策集对维修规划的相对优属度

就维修规划而言, 优越性排序为 1 的型号 I 与 II 比较处于显著与十分优越之间, 与型号 III 比较处于较为与明显之间, 根据表 1, 有 $r = (r_{d1}, r_{d2}, r_{d3}) = (1, 0.29, 0.481)$ 。各项数据经标准化后的结果见表 3。

表 3 某装备三种型号保障性性能指标参数值(模糊白化且标准化后的值)

决策	保障性设计参数 0.5						保障资源参数 0.5				
	MTBF	MTTR	运输性	测试率	维修规划	人员及训练	备件供应	保障设备	技术资料	保障设施	计算机资源
	0.35	0.35	0.1	0.2	0.15	0.2	0.20	0.15	0.1	0.1	0.1
I	1	1	*0.739	1	*1	*0.905	1	1	*1	*0.739	*1
II	0.6	0.75	*1	0.755 8	*0.290	*0.60	0.95	0.842 7	*0.739	*1	*0.739
III	0.72	0.60	*0.60	0.813 9	*0.4	*1	0.786 7	0.764 0	*0.60	*0.905	*0.905

4.2 对各决策进行灰色关联分析

将无量纲的数据加权求和得表 3。将表 3 数据代入关联系数计算公式, 得 $\zeta_1 = \{1, 1\}$; $\zeta_2 = \{0.333 3, 0.499 9\}$; $\zeta_3 = \{0.334 3, 0.642 9\}$ 。求加权关联度为 $\gamma_1 = 1$; $\gamma_2 = 0.416 6$; $\gamma_3 = 0.488 6$ 。

按照加权关联度便可得到各型装备保障性的最终评价结果。显然可得型号 I 保障性最优, 型号 III 保障性较差, 型号 II 保障性最差。同时, 由表 4 我们还不难发现, 型号 II、III 之所以保障性的最终评价结果较型号 I 差别较大, 主要是它们在易保障性方面与型号 I 有很大差别, 分别是 0.723 7 对 0.973 9 和 0.724 8 对 0.973 9。

表4 数据加权结果

决策	保障性设计参数 0.5	保障资源参数 0.5
I	0.973 9	0.854 9
II	0.723 7	0.729 7
III	0.724 8	0.785 4

进一步分析可得到:型号 II 主要是可靠性较差,而型号 III 主要是维修性和运输性较差。结果表明:为了提高型号 II 和 III 的保障性,我们必须提高 II 的可靠性和型号 III 的维修性,运输性。经验证此结果与实际的情况相符,从而证明了模型的有效性。

4 结束语

经实例验证,本文提出的新的评价模型能很好的解决装备部署之后的保障性评价中信息模糊和信息量不足的问题,而且评价结果可信性高。应该指出的是,通过建立寿命周期不同阶段的保障性评价体系,此模型可应用于装备寿命周期的全过程。只不过,由于各个阶段所获得的信息量不同,一些在部署之后的定量指标不得不转化为定性指标,通过各比较系统之间的比较进行处理。在寿命周期不同阶段,不断进行保障性评价,找出薄弱环节后经过改进→评价→改进这样一个反复迭代的过程,可以使装备的保障性得以大大提高,从而全面提高装备的效能。

参考文献:

- [1] 王强,白文科,史超. 某型飞机维修备件储备决策分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2002,3(4):9-13.
- [2] 汪培庄. 模糊集合论及其应用[M]. 上海:科学技术出版社,1983.
- [3] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社.,1998.
- [4] 刘思峰,郭天榜. 灰色系统理论及应用[J]. 北京:科学出版社,1999.

(编辑:姚树峰)

A New Model in Assessment of Aircraft Equipment Supportability

SHI Chao¹, WANG Qiang¹, ZHANG Jian-li²

(1. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China; 2. Air Force Materiel Command, Beijing 100859, China)

Abstract: Fuzzy and grey are the double - characters of the information in supportability assessment and the fuzzy whitenization and grey incidence are effective methods used for solving the problems of data indefindbility and deficient data quantity in modern engineering realm. The new model called whitenization and grey incidence model in supportability assessment is initially presented in this paper. Based on whitening of qualitative indexes, the grey incidence analysis is executed. So, this paper has practical value in improving the accuracy of supportability assessment results and in enhancing the development of supportability assessment.

Key words: supportability assessment; fuzzy whitenization; grey incidence.