

基于灰色系统理论的军机维修性定性要求评价

祝华远, 纪云飞, 史凤隆

(海军航空工程学院 青岛校区, 山东 青岛 266041)

摘要:目的 综合考虑军用飞机维修性定性要求,系统地研究其评价方法。方法 构建军用飞机维修性定性要求评价指标体系,基于灰色系统理论,建立灰色聚类评价模型。结果 运用模型对某型军用飞机维修性定性要求进行了评价应用,结果为“良”。结论 可为客观评价军机满足维修性定性要求的程度评价提供技术方法支持。

关键词:灰色系统理论;维修性评价;评价指标

DOI:10.7643/issn.1672-9242.2014.03.009

中图分类号:E237 **文献标识码:**A

文章编号:1672-9242(2014)03-0040-05

Battleplan Maintainability Qualitative Request Evaluation Based on Grey System Theory

ZHU Hua-yuan, JI Yun-fei, SHI Feng-long

(Qingdao Branch of NAAU, Qingdao 266041, China)

ABSTRACT: **Objective** To systematically study the way of qualitative request evaluation, considering the influencing factors of the battleplan maintenance. **Methods** The evaluation index system of battleplan maintenance qualitative request was established and the gray clustering evaluation model was built based on the Grey System Theory. **Results** The model was applied in the maintenance qualitative request evaluation of an Example Battleplan, and the result was "B". **Conclusion** The application and analysis showed that the evaluation method is applicable and can provide technical support for the maintenance qualitative request evaluation of battleplan.

KEY WORDS: grey system theory; maintenance evaluation; evaluation index

维修性是指在规定的条件下和时间内,按规定的程序和方法进行维修时,保持或恢复到规定状态的能力。维修性是军用飞机的一种固有属性,是由维修性设计赋予的使其维修简便、迅速和经济的内在属性,是一种设计决定的质量属性,对军用飞机作

战使用有重要影响。军用飞机维修性要求由定性要求和定量指标两部分构成。做好军用飞机满足维修性定性要求程度的阶段性评价工作,可以充分发挥评价的判断功能,为提高其维修性提供重要而有效的辅助决策支持。

收稿日期:2014-01-16; 修订日期:2014-02-21

Received: 2014-01-16; Revised: 2014-02-21

作者简介:祝华远(1975—),男,山东人,博士,副教授,主要研究方向为航空装备保障与管理。

Biography: ZHU Hua-yuan(1975—), Male, from Shandong, Ph. D., Associate professor, Research focus: aviation equipment support and management.

军用飞机维修性定性要求多,在评价过程中,存在较多不确定因素。灰色系统理论是一种研究少数数据、贫信息不确定性问题的新方法,以“部分信息已知,部分信息未知”的不确定性系统为研究对象,主要通过“部分”已知信息的生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行行为、演化规律的正确描述和有效监控^[1-2]。基于此,将灰色系统理论应用到军用飞机维修性定性要求评价中,以使评价工作更为客观有效。

1 军机维修性定性要求评价指标体系

维修性定性要求是维修简便、迅速、经济的具体化。根据国内外的实践经验,军用飞机维修性定性要求可概括为以下几个方面。

1) 良好的维修可达性。维修可达性是指对军机进行维修时能够到达维修部位的难易程度,即维修部位能够看得见、够得着,维修时不需要拆卸、移动其他设备、机件等。如飞机机体应具有较高的开敞率,机载各系统、设备、机件的检测点、维修点的布局应合理,尽量减少交叉作业等。

2) 标准化和互换性程度。现代军用飞机结构,向通用化和模块化方向发展,这不仅可以简化维修,而且可以减轻保障装备和航材备件的供应负担,有利于战时拆拼修理。

3) 具有完善的防差错措施和识别标记。应从机载设备、机件的结构上消除产生维修差错的可能性,并设置鲜明的识别标记,以防止维修差错发生。

4) 保证维修作业安全。维修的安全性是指防止维修时伤害人员和损坏装备的一种设计特性,特别是防火、防爆、防电击、防辐射、防有害物质损伤等。

5) 检测准确、快速、简便。应充分考虑军用飞机的测试性,利用先进的检测诊断技术,提高机载设备的自检能力和地面检测效率。

6) 降低维修费用,提高零部件特别是贵重件的可修复性。即在维修性设计时,使其具有可调整、可矫正、可焊接、可局部拆换、可进行表面处理等性能,这样既能节约维修费用,又便于战时修复,提高航空装备作战效能。

7) 符合维修工作中的人素工程要求,充分考虑维修人员的各种生理因素、心理因素以及教育训练

因素等,以提高维修质量和维修工作效率,减少维修工作量和减轻人员疲劳等^[3-6]。

基于以上论述和分析,为便于综合评价,将军用飞机定性要求分为“结构设计因素”、“维修保障因素”和“人员使用因素”三大类,即设立 3 个评价一级指标。进一步细分,在一级指标“结构设计因素”下设“维修可达性”和“部件可修复性”2 个二级指标,以表征维修可达性和维修费用因素。在一级指标“维修保障因素”下设“标准化和互换性”和“测试性”2 个二级指标,以表征标准化和互换性程度、是否满足检测准确快速简便的要求;在一级指标“人员使用因素”下设“作业安全”、“人素工程”和“差错预防”3 个二级指标,以表征对维修作业安全、人素工程和防差错措施等方面的要求。构建的军机维修性定性要求评价指标体系如图 1 所示。

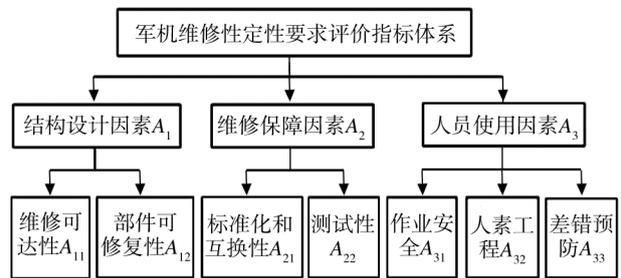


图 1 军机维修性定性要求评价指标体系

Fig. 1 Evaluation index of battleplan maintainance qualitative request

2 军机维修性定性要求灰色聚类评价模型

灰色聚类是根据灰类的灰数和白化权函数,将一些实测指标或实测对象聚集成若干个可定义类别的方法。设有 n 个聚类对象, m 个聚类指标, s 个不同灰类,根据第 i ($i=1, 2, \dots, n$) 个对象关于 j ($j=1, 2, \dots, m$) 指标的观测值 x_{ij} ($i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$), 将第 i 个对象归入第 k ($k \in \{1, 2, \dots, s\}$) 个灰类,称为灰色聚类。

灰色聚类通过部分已知信息来确定系统的其他未知信息,主要用于检查观测对象是否属于事先设定的不同类别,具有计算简单、使用灵活、适用范围广等特点。应用灰色聚类相关理论方法,构建军机维修性定性要求灰色聚类评价模型如下^[7-8]。

2.1 建立评价样本矩阵 X

对于二级指标 A_{ij} , 由 p 名专家进行评价, 假定第 $k(k=1, 2, \dots, p)$ 名专家的评价值为 x_{ij}^k (采用 9 级评语评价各二级指标所表征的军机维修定性要求的实现程度, 1~9 分别表示差、次、中、良、优, 以及介于两者之间的中值。如评价为优, 取值为 9; 介于优、良之间, 取值为 8), 则评价样本矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11}^1 & \dots & x_{11}^p \\ \vdots & & \vdots \\ x_{33}^1 & \dots & x_{33}^p \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.2 确定聚类评价灰类 e 和白化权函数 $f_e(x_{ij}^k)$

考虑到军机维修定性要求综合评价的准确性和可操作性, 选定 5 级评语, 即将评价结果分为优、良、中、次、差等 5 个评价等级, 分别用聚类评价灰类 $e=1, 2, \dots, 5$ 表示。

根据专家评价范围, 建立二级指标 A_{ij} 分属于 $e=1, 2, \dots, 5$ 类的白化权函数如下^[7-8]。

$$f_1(x_{ij}^k) = \begin{cases} \frac{x_{ij}^k}{9}, & x_{ij}^k \in [1, 9) \\ 1, & x_{ij}^k = 9 \end{cases}$$

$$f_2(x_{ij}^k) = \begin{cases} \frac{x_{ij}^k}{7}, & x_{ij}^k \in [1, 7) \\ \frac{14-x_{ij}^k}{7}, & x_{ij}^k \in [7, 9) \end{cases}$$

$$f_3(x_{ij}^k) = \begin{cases} \frac{x_{ij}^k}{5}, & x_{ij}^k \in [1, 5) \\ \frac{10-x_{ij}^k}{5}, & x_{ij}^k \in [5, 9) \end{cases}$$

$$f_4(x_{ij}^k) = \begin{cases} \frac{x_{ij}^k}{3}, & x_{ij}^k \in [1, 3) \\ \frac{6-x_{ij}^k}{3}, & x_{ij}^k \in [3, 6) \end{cases}$$

$$f_5(x_{ij}^k) = \begin{cases} 1, & x_{ij}^k = 1 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

2.3 确定评价指标权重

确定评价指标权重的方法较多, 一般来讲, 根据

计算权重时原始数据的来源不同, 大致可以分为主观赋权法(德尔菲法、层次分析法、专家调查法、循环打分法、二项系数法、重要性排序法等)、客观赋权法(均方差法、主成分分析法、熵值法等)和综合赋权法(综合运用主、客观赋权法)等三大类^[9-12]。

鉴于当前缺乏足够的有效数据支持及对上述评价指标重要性的认识还不尽统一, 较难确定各评价指标对满足军用飞机维修定性要求的贡献程度, 即各评价指标权重。综合运用德尔菲法和层次分析法(AHP)确定评价指标权重, 即邀请专家集中讨论, 集体采用 1~9 九标度的专家赋值进行两两比较, 构造层次分析法判断矩阵。构造的 3 个一级指标(A_1, A_2, A_3)判断矩阵及解得的评价指标权重 $W=(w_1, w_2, w_3)=(0.30, 0.54, 0.16)$, 见表 1。

表 1 层次分析法判断矩阵及评价指标权重

Table 1 Judgment matrix and index weight (AHP)

评价指标		A_1	A_2	A_3
判断矩阵	A_1	1	1/2	2
	A_2	2	1	3
	A_3	1/2	1/3	1
权重		0.30	0.54	0.16
一致性比率		0.008 < 0.1		

采取同样方法, 确定 3 个一级指标所属二级指标权重, 分别为 $W_1=(0.77, 0.23)$, $W_2=(0.36, 0.64)$, $W_3=(0.29, 0.30, 0.41)$ 。

2.4 计算灰色聚类评价价值^[13-15]

计算二级指标 A_{ij} 属于第 e 个灰类的灰色评价权系数 $r_{ije}(e=1, 2, \dots, 5)$, 计算公式为:

$$r_{ije} = \frac{\sum_{k=1}^p f_e(x_{ij}^k)}{\sum_{e=1}^5 x_{ije}} \quad (3)$$

对于 e 个评价灰类, 二级指标 A_{ij} 的灰色评价权向量为:

$$r_{ij} = (r_{ij1}, r_{ij2}, \dots, r_{ij5}) \quad (4)$$

一级指标 A_i 对于 e 个评价灰类的灰色评价权矩阵为:

$$R_i = \begin{bmatrix} r_{i1} \\ \vdots \\ r_{in} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{i11} & \dots & r_{i15} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{in1} & \dots & r_{in5} \end{bmatrix} \quad (5)$$

其中, n 为各一级指标 A_i 所属二级指标的个

数。

对一级指标 A_i 作综合评价,其灰色聚类评价值为:

$$B_i = W_i \times R_i \quad (6)$$

其中, W_i 为第 i 个一级指标所属的二级指标权重。

军用飞机维修性定性要求灰色聚类综合评价值为:

$$E = W \times B = (e_1, e_2, \dots, e_5) \quad (7)$$

其中, $W = (w_1, w_2, w_3)$, $B = (B_1, B_2, B_3)$ 分别为 3 个一级指标权重及其灰色聚类评价值。

在灰色聚类综合评价 E 中,取最大值 $e^* = \max(e_i)$,即可得军用飞机满足维修性定性要求的评价等级为第 i 个灰类。

3 评价应用实例

1) 建立评价样本矩阵。由 5 名专家依据军用飞机维修性定性要求,对某型军用飞机满足维修性定性要求的程度进行评价,得评价样本矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} 6 & 7 & 5 & 7 & 5 \\ 5 & 8 & 5 & 5 & 5 \\ 8 & 7 & 7 & 7 & 7 \\ 7 & 5 & 3 & 3 & 5 \\ 7 & 6 & 8 & 8 & 7 \\ 3 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 7 & 9 & 8 & 8 & 6 \end{bmatrix}$$

2) 计算一级指标灰色聚类评价值。根据公式(2)~(5),计算得一级指标 A_1 (结构设计因素)对于 e 个评价灰类的灰色评价权矩阵为:

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0.2713 & 0.3489 & 0.3256 & 0.0543 & 0 \\ 0.2477 & 0.2957 & 0.3502 & 0.1061 & 0 \end{bmatrix}$$

根据公式(6),对一级指标 A_1 作综合评价,其灰色聚类评价值为:

$$B_1 = W_1 \times R_1 = [0.2659, 0.3367, 0.3313, 0.00662, 0]$$

同样方法可得,一级指标 A_2 (维修保障因素)和 A_3 (人员使用因素)的灰色聚类评价值为:

$$B_2 = [3.2579, 3.9828, 3.6240, 3.8400, 0]$$

$$B_3 = [3.5467, 4.1257, 3.2560, 0.8000, 0]$$

3) 计算灰色聚类综合评价值。根据公式(7),灰色聚类综合评价值为:

$$E = W \times B = [2.4065, 2.9118, 2.5773, 2.2215, 0]$$

在灰色聚类综合评价 E 中, $e^* = e_2 = \max(e_1, e_2, e_3, e_4, e_5)$,即得该型军用飞机满足维修性定性要求的评价等级为第 2 个灰类,即该型军用飞机满足维修性定性要求的程度为“良”。评价专家认为,评价结果与该型飞机满足维修性定性要求的程度基本相符,可以较为客观地表征其维修性设计和研制水平。

4 结语

基于灰色系统理论研究探讨了军用飞机维修性定性要求的评价问题。首先系统构建了军用飞机维修性定性要求评价指标体系,解决了军用飞机维修性定性要求多且交叉约束的问题;其次综合运用德尔菲法和层次分析法确定了评价指标权重,克服了评价中主观因素影响大的问题;最后建立了灰色聚类评价模型,较好解决了不确定因素多所带来的诸多综合评价难题,评价结果直观明了。由此可见,灰色聚类评价方法可用于军用飞机维修性定性要求评价,具有较高的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 刘思峰,谢乃明,方志耕,等.灰色系统理论及其应用[M].北京:科学出版社,2008.
LIU Si-feng, XIE Nai-ming, FANG Zhi-geng, et al. Grey System Theory and Application [M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [2] 刘成臣,徐胜,王浩伟,等.基于灰色模型和神经网络的铝合金腐蚀预测对比[J].装备环境工程,2013,10(3):2—5.
LIU Cheng-chen, XU Sheng, WANG Hao-wei, et al. Comparative Study of Prediction Models of Aluminum Alloys Based on Gray Model and Artificial Neural Network [J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(3): 2—5.
- [3] 赵经成,祝华远,王文秀.航空装备技术保障运筹分析[M].北京:国防工业出版社,2010.
ZHAO Jing-cheng, ZHU Hua-yuan, WANG Wen-xiu. Operations Research on Technical Support for Aviation Material [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2010.
- [4] 丁定浩,陆军.可靠性、维修性、保障性参数指标体系

- 探讨[J]. 中国电子科学研究院学报, 2011, 6(2): 170—174.
- DING Ding-hao, LU Jun. Discussion on the System of Reliability, Maintainability and Supportability Parameters [J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2011, 6(2): 170—174.
- [5] 王莉莉, 陈云翔, 项华春. 作战飞机维修性指标确定方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(7): 1449—1451.
- WANG Li-li, CHEN Yun-xiang, XIANG Hua-chun. Approaches to Setting Maintainability Criterion of Combat Aircraft[J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(7): 1449—1451.
- [6] 陈淑红, 刘政波, 李智. 导弹装备维修性指标体系构建方法研究[J]. 战术导弹技术, 2010(1): 57—62.
- CHEN Shu-hong, LIU Zheng-bo, LI Zhi. On Construction Approach of Maintainability Index System for Missile Equipments [J]. Tactical Missile Technology, 2010(1): 57—62.
- [7] 荣先辉, 李鹏, 吕绪良, 等. 工程伪装效果的灰色聚类决策评判[J]. 解放军理工大学学报, 2008, 9(4): 363—366.
- RONG Xian-hui, LI Peng, LYU Xu-liang, et al. Grey Clustering Decision Evaluation of Engineering Camouflage Effectiveness [J]. Journal of PLA University of Science and Technology, 2008, 9(4): 363—366.
- [8] 王庆东, 庞进丽. 精品课程评估的灰色聚类模型[J]. 工程数学学报, 2012, 29(1): 23—33.
- WANG Qing-dong, PANG Jin-li. The Grey Cluster Model of Excellent Courses Evaluation [J]. Chinese Journal of Engineering Mathematics, 2012, 29(1): 23—33.
- [9] 郭亚军. 综合评价理论、方法及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- GUO Ya-jun. Applied Study of Theory and Method of Overall Evaluation [M] Beijing: Science Press, 2007
- [10] 梁波, 易建政, 蔡军锋, 等. 基于 AHP 的野战弹药防护效果评价[J]. 装备环境工程, 2007, 4(2): 73—75.
- LIANG Bo, YI Jian-zheng, CAI Jun-feng, et al. Protection Effect Evaluation to the Field Ammunition Based on AHP [J]. Equipment Environmental Engineering, 2007, 4(2): 73—75.
- [11] 赵国存, 刘占岭. 基于 AHP-TOPSIS 的装备保障信息定量评价研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(4): 118—121.
- ZHAO Guo-cun, LIU Zhan-ling. Quantitative Evaluation of Equipment Support Information Based on AHP-TOPSIS [J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(4): 118—121.
- [12] 康兴无, 王峰立. 武器装备运输环境适应性评价研究[J]. 装备环境工程, 2006(4): 89—92.
- KANG Xing-wu, WANG Feng-li. Study on Transport Environmental Worthiness Evaluation of Weapon Equipment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2006(4): 89—92.
- [13] 傅建新, 黄联芬, 姚彦. 基于层次分析法-灰色聚类的无线网络安全风险评估方法[J]. 厦门大学学报, 2010, 49(5): 622—626.
- FU Jian-xin, HUANG Lian-fen, YAO Yan. Risk Evaluation of Wireless Network Security Based on AHP-grey Clustering Method [J]. Journal of Xiamen University, 2010, 49(5): 622—626.
- [14] 朱兴琳, 艾力·斯木吐拉, 艾尔肯·托乎提. 公路交通安全评价的灰色聚类法[J]. 公路工程, 2009, 34(2): 157—160.
- ZHU Xing-lin, ELI Ismutulla, ARKEN Tohti. Grey Cluster Method for Highway Safety Evaluation [J]. Highway Engineering, 2009, 34(2): 157—160.
- [15] 胡伟卿. 基于灰色聚类的专业设置评价体系[J]. 大连大学学报, 2008, 29(6): 8—12.
- HU Wei-qing. Evaluation on the Pertinences of Specialty Setting Basing on Grey Clustering Analysis [J]. Journal of Dalian University, 2008, 29(6): 8—12.