

文章编号:1000-6893(2009)06-1053-05

军用飞机环境适应性评价模型

李曙林, 杨森, 孙冬

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

Evaluation Model of Environmental Worthiness for Military Aircraft

Li Shulin, Yang Sen, Sun Dong

(Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China)

摘要: 阐述了作战飞机面临的环境,分析了各种环境因素对军用飞机作战性能的影响,建立了军用飞机环境适应性评价指标体系。确定了机场环境剖面和衡量各个评价因素样本数据的方法,并提出了军用飞机环境适应性评价模型,通过实例验证了模型的合理性和方法的可行性。算例和分析结论表明,该模型反映了军用飞机在环境适应性方面的技术要求,同时也为军用飞机在环境适应能力上的改进提供了参考。

关键词: 军用飞机; 环境适应性; 影响因素; 评价模型

中图分类号: V271.4 **文献标识码:** A

Abstract: This article described the environment of combat aircraft, analyzed the influence of diversified environmental factors on their combat performance, and proposed evaluation criteria for the environmental worthiness of military aircraft with emphasis on the analysis of the main factors. The criteria for environment classification were established, the method of evaluating the sample data which can reflect the factors was presented, and the model rationality and method feasibility were validated with instances. Numerical examples and analysis of the results show that the model represented the technological requirements for military aircraft environmental worthiness. At the same time, it also provided reference for improving the environmental adaptive capacity of military aircraft.

Key words: military aircraft; environmental worthiness; environmental factors; evaluation model

GJB4293《装备环境通用要求》中将环境适应性定义为:“装备在其寿命期预计可能遇到的各种环境的作用下能实现其所有功能、性能和(或)不被破坏的能力,是装备的重要质量特性之一”^[1]。从可靠性的概念可知,环境是可靠性设计和分析的第一要素,军用飞机在贮存、运输和执行任务的各个环节中,经受着相当严酷的环境条件(包括气候、机械和电磁等)的考验^[2]。大量事实表明,环境是导致武器装备失效和功能下降的一个重要因素。因此为了充分发挥武器装备的作战效能,必须加强环境工程专家^[3]队伍建设,对军用飞机的环境适应性要求及评价指标体系进行研究,使之更好适应复杂多样的各种环境。

1 军用飞机环境适应性影响因素

影响军用飞机环境适应性的因素很多,对环境适应性的评价,首先要从环境的影响因素入手。本文将这些环境因素定义为评价因素,大体可以划分成自然环境因素和作战环境因素两类,由此

确定军用飞机的环境适应性评价因素。

1.1 自然环境因素

自然环境因素是指某地域作为战场之前已有的各种环境因素的总和,包括:地理环境、气候环境、化学环境以及存在于地球表面及其附近的其他环境因素。

(1) 地理环境的影响

地理环境种类繁多,但对军用飞机作战影响较大的主要是海洋环境、沙漠环境和高原环境。在这3种环境下作战,会大大降低军机的综合性能,尤其是高原环境的低气压、低气温、大风沙和强辐射,对军机部件的影响十分严重。

(2) 气候环境的影响

温度、潮湿和风沙往往是引起军用飞机飞行事故的主要气候环境因素。

统计数据表明,在环境因素引起的装备故障总数中,由于温度波动引起的故障比例达到40%^[4]。高温天气会使材料软化、老化、黏度下降、蒸发,金属氧化,设备过热;高寒天气易使机械部件损坏,尤其是武器装备中的橡胶、塑料部件在

低温条件下容易变硬、变脆,甚至断裂。

潮湿环境主要对构成装备的材料产生影响,使材料的外观和物理化学性能发生劣化,从而使设备的性能下降甚至损坏,比如绝缘材料在潮湿的环境条件下,吸湿后绝缘性能明显降低;继电器的金属接触片被湿空气腐蚀后,导电性能开始下降等,从而引发设备故障,造成损失^[5]。

风沙环境对各种飞机都能产生很大的危害,尤其是对常做低空飞行和频繁起落的飞机危害更大,这些飞机在低空飞行和频繁起落过程中,地面上的沙尘在强气流冲击下大量侵入飞机的各个系统内,或被吸入发动机内,造成附件磨损,导致功能失效^[6]。

(3) 化学环境的影响

军用飞机面对的化学环境主要有盐雾环境、工业废气环境和辐射环境。

盐雾环境对装备的可靠性和战备完好性有着严重的影响:一方面引发故障率较高,影响战斗出动;另一方面,对机体结构金属零部件表面腐蚀严重,维修困难,经济损失巨大。盐雾腐蚀的对象主要是金属,空气中的水汽在金属表面形成一层肉眼看不见的水膜,使连接件间的磨损增大,机械强度下降。

工业废气环境中对军用飞机作战影响较大的有害气体主要为二氧化硫和氮氧化物,这些酸性气体腐蚀飞机的蒙皮和机械部件^[7],尤其是污染导致的酸雨对机件的腐蚀更加严重。

常见的辐射有太阳辐射、电磁辐射和核辐射等。在辐射环境中,飞机蒙皮表面特性下降、膨胀、破裂,使橡胶变质,导致绝缘失效和密封失效。

1.2 作战环境因素

作战环境指某一地域中以前并不存在,只是作为战场以后由于敌我双方的交互作用才产生的各种环境因素的总和,包括:电磁环境、振动环境、机械冲击环境和预警环境等。

(1) 电磁环境的影响

随着现代电子技术的迅速发展及其在空战中的广泛运用,电磁攻击的威力空前提高,攻击方式增多,攻击平台多样,攻击速度加快。复杂的电磁环境能够干扰电路性能^[8],使接收机灵敏度下降,电子设备产生误动作和错误信号,强电场甚至会引发电气火花、着火、爆炸。

(2) 振动环境的影响

飞机是靠发动机提供动力而进行高速运动的,大多数零件均处在振动环境下工作。尤其是

在作战环境下,发动机的工作状态变换频繁,振动尤为激烈。由振动引起各类零件疲劳断裂失效是航空装备的主要失效形式^[9],其中尤以非正常状态的共振、喘振和颤振危害最大。

(3) 机械冲击环境的影响

在机械冲击环境影响下,产生的机械应力能使飞机的结构失效,机件断裂或折断,电路瞬间短路。

(4) 预警环境的影响

在军事行动高度依赖信息的高技术战场上,快速收集、处理、分发信息已成为决定战争胜负的重要因素^[10]。现代几场局部战争表明,预警机制在现代战争中将发挥越来越重要的作用,已成为现代防空作战指挥和情报保障的重要组成部分。军用飞机的预警能力好坏将对飞机的作战效能产生越来越重要的影响。

2 军用飞机环境适应性评价体系

2.1 评价体系

根据以上分析,将影响环境适应性的各种因素作为评价因素考虑,可确定军用飞机环境适应性评价体系的层次结构如图1所示。

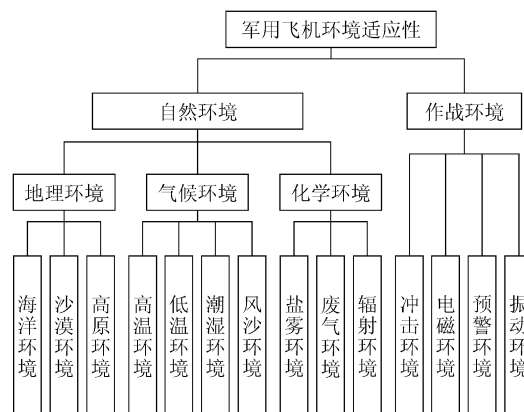


图1 军用飞机环境适应性评价体系层次结构

Fig. 1 Hierarchy of evaluation system for environmental worthiness

2.2 中国典型机场环境剖面的确定

由于自然环境的千差万别,不可能对每一种环境状况进行分析,应当根据飞机的使用特点,环境状况以及对飞机的影响因素,来确定一些典型的飞机使用环境区,并在此基础上确定典型机场的环境剖面,作为飞机环境适应性分析的基础。

关于环境区的划分,应以气候为主按地域划分的原则,同时考虑化学环境因素和作战环境因素,依据环境数据(温度、湿度、雨水、空气中有害介质的含

量以及太阳辐射量等)、各机场和维修部门的调研与观测结果及飞机环境使用中的故障特点,可以把中国军用飞机使用环境划分为以下4类典型环境区^[11],并在此基础上确定典型机场环境使用剖面。

I类:年平均温度高,湿度大,工业污染严重。受海风、海水、盐雾等的影响,飞机结构腐蚀十分严重。

II类:年平均温度较高,湿度较大,空气中有害介质含量高,飞机结构腐蚀情况较为严重。

III类:工业污染较严重,环境对飞机结构有一定程度的影响,但不十分严重。

IV类:工业污染较少,空气中有害介质含量低,环境腐蚀对飞机结构的影响很小,目前情况下一般不考虑环境对飞机结构的影响。

3 军用飞机环境适应性评价模型

鉴于飞机环境适应性评价的多因素和多层次性,且影响因素的不确定性,需要选择一种比较适合飞机环境适应性评价的模型方法。

层次分析法是一种定性定量分析相结合的多目标决策分析方法,它根据问题的层次结构,构造评价判断矩阵,确定每一层各因素重要性的权重,直至计算出措施层(顶层)各方案的相对权重,即方案的优劣^[12]。

灰色关联分析方法是一种多因素统计分析方法,它是各因素的样本数据为依据,用灰色关联度来描述因素间关系的强弱、大小和次序等,在获得因素间关联度基础上通过层间递推可得到评价方案间的优劣。

因此本文可采用灰色关联与层次分析法原理相结合,利用所构建的评价体系,对军用飞机环境适应性进行综合评价。具体过程如下:

(1) 指标规范化处理

环境适应性评价方案个数为 n ,影响因素个数为 m ,矩阵 $A=(a_{ij})_{n \times m}$ 表示评价指标出示矩阵,其中 a_{ij} 表示第 i 种适应性方案的第 j 种指标量化值,由本文2.2节所述方法获得。无量纲化处理公式为

$$x_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_{1 \leq i \leq n} \{a_{ij}\}}{\max_{1 \leq i \leq n} \{a_{ij}\} - \min_{1 \leq i \leq n} \{a_{ij}\}} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

(2) 关联系数计算

每个指标对于环境适应性来说都属于效益型指标,量值越大越好。取各待评方案中同一指标的最大值组成的向量 $x_0 = [x_{01} \ x_{02} \ \dots \ x_{0m}]$

作为理想方案,其中 $x_{0j} = \max\{x_{ij} \mid i = 1, 2, \dots, n\}$,各方案指标向量 $x_i = [x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{im}]$ 作为待考察的集合。

第 i 个方案的第 j 个评判指标与理想方案的关联系数 ξ_{ij} 为

$$\xi_{ij} = \frac{\min_i \min_j \{|x_{ij} - x_{0j}|\} + \rho \max_i \max_j \{|x_{ij} - x_{0j}|\}}{|x_{ij} - x_{0j}| + \rho \max_i \max_j \{|x_{ij} - x_{0j}|\}} \quad (2)$$

式中: ρ 为分辨率,一般在0~1之间选取。

这种形式的相对误差值称为 x_i 对 x_0 在 j 点的关联系数,由此得到关联系数矩阵

$$E = (\xi_{ij})_{n \times m} \quad (3)$$

(3) 指标权重确定

指标权重一般可以通过专家打分的方式获得,鉴于所考察的指标因素间彼此相关性小或不相关,可采用熵值法^[13]确定各因素的权值。

对规范化的决策矩阵 $X = (x_{ij})_{n \times m}$,令

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^n x_{ij}$$

指标输出的信息熵为

$$E_1 = -(\ln m)^{-1} \sum_{j=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij})$$

当 $p_{ij} = 0$ 时,规定 $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$,则

$$\omega_i = (1 - E_1) / \sum_{k=1}^n (1 - E_k) \quad (4)$$

(4) 灰色关联度计算

灰色关联度计算模型为

$$R = \omega \times E^T = (r_i = \sum_{j=1}^m \omega_j \xi_{ij})_{i=1,2,\dots,n} \quad (5)$$

在多层次分析中,首先求解评价体系底层的关联度,然后作为上一层的初始评价指标,再重复以上步骤计算上一层的关联度。最上层关联度的大小顺序就是待评方案的优劣次序。

4 飞机环境适应性评价算例

4.1 评价方案初始数据的获得

飞机环境适应性评价方案的初始数据可以通过飞机设计指标或专家综合衡量打分的方式得出,也可通过采用合理方法估算得出。获取环境数据的途径主要有以下3种:①规范、标准的其他有关资料;②调研和统计分析;③飞行实测或相关环境试验。

通过对飞机环境适应性各影响因素的定性分析和量化处理,可得到反映飞机环境适应性的指标

量化值。每一指标量化值的确定,不仅考虑了指标本身的性质,还兼顾了各方案间该指标的优劣顺序。

4.2 评价实例

现有5个飞机环境适应性待评方案的初始数据,如表1所示。

表1 环境适应性待评方案初始数据
Table 1 Basal data of environmental worthiness evaluation

环境因素	方案1	方案2	方案3	方案4	方案5
海洋环境	0.632	0.687	0.824	0.475	0.754
沙漠环境	0.415	0.642	0.488	0.874	0.638
高原环境	0.824	0.587	0.568	0.768	0.874
高温环境	0.588	0.785	0.724	0.845	0.754
低温环境	0.612	0.659	0.566	0.765	0.558
潮湿环境	0.452	0.822	0.900	0.687	0.682
风沙环境	0.700	0.580	0.742	0.487	0.840
盐雾环境	0.688	0.740	0.852	0.678	0.764
废气环境	0.876	0.648	0.547	0.587	0.794
辐射环境	0.779	0.594	0.625	0.845	0.689
冲击环境	0.750	0.710	0.588	0.624	0.812
电磁环境	0.687	0.862	0.578	0.564	0.547
预警环境	0.572	0.415	0.614	0.715	0.387
振动环境	0.765	0.776	0.742	0.587	0.486

按照本文提出的灰色关联层次分析方法,对表1给出的5种环境适应性方案进行综合评价。首先根据式(1)对表中的数据进行规范化处理,可得规范化矩阵

$$X = [x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad x_4]$$

其中:

$$x_1 = \begin{bmatrix} 0.424 1 & 0 & 0.836 6 & 0 \\ 0.607 4 & 0.455 3 & 0.062 1 & 0.716 4 \\ 1.000 0 & 0.159 0 & 0 & 0.529 2 \\ 0 & 1.000 0 & 0.653 6 & 1.000 0 \\ 0.799 4 & 0.485 8 & 1.000 0 & 0.603 6 \end{bmatrix}$$

$$x_2 = \begin{bmatrix} 0.260 9 & 0 & 0.841 9 & 0.057 5 \\ 0.487 9 & 0.825 9 & 0.263 5 & 0.356 3 \\ 0.038 6 & 1.000 0 & 0.722 4 & 1.000 0 \\ 1.000 0 & 0.524 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0.392 9 & 1.000 0 & 0.493 4 \end{bmatrix}$$

$$x_3 = \begin{bmatrix} 1.000 0 & 0.737 1 & 0.723 2 \\ 0.307 0 & 0 & 0.544 6 \\ 0 & 0.123 5 & 0 \\ 0.121 6 & 1.000 0 & 0.160 7 \\ 0.614 0 & 0.348 5 & 1.000 0 \end{bmatrix}$$

$$x_4 = \begin{bmatrix} 0.444 4 & 0.564 0 & 0.934 5 \\ 1.000 0 & 0.085 4 & 1.000 0 \\ 0.098 4 & 0.692 1 & 0.882 8 \\ 0.054 0 & 1.000 0 & 0.348 3 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

再由式(2)得到各指标与理想指标间的灰色关联系数矩阵(按照文献[14]所述方法确定本例取 ρ 在0.362 0~0.583 5之间最佳。计算中取 $\rho=0.500 0$)

$$E = [e_1 \quad e_2 \quad e_3 \quad e_4]$$

其中:

$$e_1 = \begin{bmatrix} 0.544 5 & 0.333 3 & 0.821 1 & 0.471 7 \\ 0.626 2 & 0.497 3 & 0.444 3 & 0.792 7 \\ 1.000 0 & 0.372 9 & 0.428 6 & 0.654 8 \\ 0.396 7 & 1.000 0 & 0.684 1 & 1.000 0 \\ 0.766 3 & 0.493 0 & 1.000 0 & 0.716 1 \end{bmatrix}$$

$$e_2 = \begin{bmatrix} 0.600 0 & 0.338 7 & 0.621 1 & 0.583 2 \\ 0.684 1 & 0.746 3 & 0.468 8 & 0.672 0 \\ 0.535 6 & 1.000 0 & 0.700 8 & 1.000 0 \\ 1.000 0 & 0.518 6 & 0.394 0 & 0.568 8 \\ 0.525 8 & 0.512 8 & 1.000 0 & 0.722 8 \end{bmatrix}$$

$$e_3 = \begin{bmatrix} 1.000 0 & 0.776 6 & 0.787 3 \\ 0.501 6 & 0.477 6 & 0.692 3 \\ 0.410 9 & 0.510 6 & 0.506 1 \\ 0.442 6 & 1.000 0 & 0.549 7 \\ 0.736 8 & 0.595 3 & 1.000 0 \end{bmatrix}$$

$$e_4 = \begin{bmatrix} 0.567 4 & 0.616 1 & 0.954 3 \\ 1.000 0 & 0.433 4 & 1.000 0 \\ 0.446 9 & 0.694 4 & 0.871 0 \\ 0.435 1 & 1.000 0 & 0.548 4 \\ 0.421 5 & 0.411 7 & 0.441 8 \end{bmatrix}$$

根据式(4)可确定各层评价指标的权重。针对此例,将基层各元素按自然环境因素和作战环境因素归类分别得权重

$$\omega_1 =$$

$$[0.118 7 \quad 0.088 1 \quad 0.107 0 \quad 0.119 5 \quad 0.074 9 \quad 0.115 0 \quad 0.118 6 \quad 0.080 0 \quad 0.085 6 \quad 0.092 6]$$

$$\omega_2 = [0.254 8 \quad 0.167 5 \quad 0.245 6 \quad 0.332 1]$$

然后可得自然环境因素与作战环境因素的权重

$$\omega_3 = [0.714 4 \quad 0.285 6]$$

故可根据式(5)并按层间递推方法计算得出表1中所示各适应性方案的关联度

$$R =$$

$$[0.546 8 \quad 0.647 8 \quad 0.672 7 \quad 0.672 4 \quad 0.778 1]$$

由此可以得出,上述方案反映的飞机环境适应性由优到劣的次序为:方案5—方案3—方案4—方案2—方案1。

5 结论

(1) 通过各种环境因素对军用飞机的影响分析,建立了一种军用飞机环境适应性评价体系,该

体系以层次结构形式清晰地分类出影响军用飞机的各种环境因素。

(2) 文中采用灰色关联层次分析方法把定性问题定量化,通过建立评价模型和实例计算,对飞机环境适应性进行了综合分析。为评价飞机环境适应性提供了一种新方法,相比其他方法,该方法克服了各因素影响程度的不确定性,使评价结论更直观可信。

(3) 相比计算机仿真评价方法,文中所述的灰色理论方法对于评价飞机环境适应性具有显著的安全性和经济性。不断验证和完善该评价方法,对于飞机设计和提高现役飞机环境适应性具有参考意义。

致 谢

感谢何宇廷教授对完成本论文所给予的热心帮助,同时感谢课题组同志们为收集资料、计算和论证等付出的辛勤努力。

参 考 文 献

- [1] 祝耀昌,常文君,傅耘. 武器装备环境适应性与环境工程[J]. 装备环境工程,2005, 2(1): 14-19.
Zhu Yaochang, Chang Wenjun, Fu Yun. Environmental suitability of weapons and environmental engineering[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(1): 14-19. (in Chinese)
- [2] 杨森,李曙林. 军用飞机环境适应性研究的思考[J]. 航天器环境工程,2008, 25(2): 152-154.
Yang Sen, Li Shulin. Consideration on the environmental adaptability research of military aircraft[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2008, 25(2): 152-154. (in Chinese)
- [3] MIL-STD-810F Environmental engineering considerations and laboratory test[S]. 2000.
- [4] 柯伟,王振尧,韩薇. 大气腐蚀与装备环境工程[J]. 装备环境工程,2004, 1(4): 1-6.
Ke Wei, Wang Zhenyao, Han Wei. Atmospheric corrosion and materiel environmental engineering[J]. Equipment Environmental Engineering, 2004, 1(4): 1-6. (in Chinese)
- [5] 刘宝霞,张威,李想. 自然环境对航空装备的影响及改善措施[J]. 沈阳航空工业学院学报,2005,22(1): 14-16.
Liu Baoxia, Zhang Wei, Li Xiang. The influence and improving measures of natural environment on aeronautical equipments[J]. Journal of Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, 2005, 22(1): 14-16. (in Chinese)
- [6] 钟培道. 环境因素对航空装备失效的影响与对策[J]. 装备环境工程,2005, 2(6): 82-97.
Zhong Peidao. Influence and countermeasure of environmental factors to the failure of aeronautical equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(6): 82-97. (in Chinese)
- [7] 陈跃良,吕国志,段成美. 服役条件下飞机结构腐蚀损伤概率模型研究[J]. 航空学报,2002, 23(3): 249-251.
Chen Yueliang, Lu Guozhi, Duan Chengmei. A probability model for the corrosion damage of aircraft structure in service environment[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2002, 23(3): 249-251. (in Chinese)
- [8] Violette J L N. Electromagnetic compatibility handbook [M]. New York: VNR Company Inc., 1987: 57-69.
- [9] 李淑文,陈志伟. 某机翼疲劳寿命估算[J]. 航空学报: A辑,1992, 12(5): A324-A332.
Li Shuwen, Chen Zhiwei. Fatigue life prediction of an aircraft wing[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica: Series A, 1992, 12(5): A324-A332. (in Chinese)
- [10] 王辉,梅刚. 预警机 JTIDS 对抗作战能力评估模型[J]. 舰船电子对抗,2006, 29(2): 20-21.
Wang Hui, Mei Gang. The evaluation model of combat capability against JTIDS in early warning aircraft [J]. Shipboard Electronic Countermeasure, 2006, 29(2): 20-21. (in Chinese)
- [11] 陈群志,崔常京,王逾涯,等. 典型机场地面腐蚀环境数据研究[J]. 装备环境工程,2006, 3(3): 47-49.
Chen Qunzhi, Cui Changjing, Wang Yuya, et al. Study on database of ground corrosion environment of typical airfield[J]. Equipment Environmental Engineering, 2006, 3(3): 47-49. (in Chinese)
- [12] 侯满义,李曙林. 一种军用飞机战伤抢修性评价体系[J]. 航空维修与工程,2006,2(2): 27-29.
Hou Manyi, Li Shulin. A evaluation index system of the military aircraft battle damage resilience[J]. Aviation Maintenance and Engineering, 2006, 2(2): 27-29. (in Chinese)
- [13] 邓聚龙. 灰色系统[M]. 北京:国防工业出版社,1985: 87-108.
Deng Julong. Gray system[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1985: 87-108. (in Chinese)
- [14] 范凯,吴皓营. 灰色关联分析中一种新的分辨系数的确定方法[J]. 武汉理工大学学报,2002,3(1): 32-35.
Fan Kai, Wu Haoying. A new method on identification coefficient of relational grade for gray system[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2002, 3(1): 32-35. (in Chinese)

作者简介:

李曙林(1959—) 男,博士,教授。主要研究方向:飞机总体设计。
Tel: 029-84787761
E-mail: l. s. lin2008@163. com

杨森(1985—) 男,硕士研究生。主要研究方向:军用飞机环境适应性。
Tel: 13474358840
E-mail: yangsen8585@163. com

孙冬(1983—) 男,硕士研究生。主要研究方向:低温等离子体流动控制。
Tel: 13572045670

(责任编辑:徐晓)