

航空装备可靠性使用指标确定方法研究

任建军, 张恒喜, 尚柏林

(空军工程大学工程学院飞机与发动机工程系, 陕西 西安 710038)

摘要: 航空装备可靠性指标的确定是长期困扰装备论证人员的一个难题。提出了一种在装备研制方案阶段可靠性指标的确定方法——相似装备折衷系数法,考虑使用方作战使用可靠性需求的同时,兼顾承制方可能达到的可靠性水平。充分考虑影响装备可靠性的各种因素,应用层次分析法理论得出承制方能达到的水平,并在二者之间权衡,采用折衷的办法解决了这一难题。

关键词: 方案阶段; 门限值; 相似装备折衷系数法; 层次分析法

中图分类号: TB114.3 **文献标识码:** A

Study on the Determination Method for the Reliability Index of the Aviation Materiel

REN Jianjun, ZHANG Hengxi, SHANG Borlin

(Dept. of Aircraft and Engine Engineering, AFEU, Xi'an 710038, China)

Abstract: It is a difficult problem to determine the reliability index of the aviation materiel, which has been confusing the demonstration personsnel for a long time. A determination method for reliability index in the concept phase of materiel development, namely similar item eclectic quotiety method is presented. Considering the users' requirements for operational reliability, the method gives attention to the reliability level that the contractor could achieve, takes various factors which influence materiel reliability into full consideration and applies the theory of analytic hierarchy process to work out the reliability level that the contractor can achieve. Then it balances the two reliability indexes and thussolves the difficult problem concerned.

Keywords: Concept phase; Threshold; Similar item eclectic quotiety method; Analytic hierarchy process

1 引言

在航空装备研制过程的不同阶段中,需要军方对航空装备的可靠性指标持续地提出要求。在论证阶段,主要是提出使用参数指标的成熟期目标值;方案阶段,提出使用参数的门限值,并确定装备的可靠性合同指标;而在工程研制和定型阶段中,可靠性指标则一般不作变动,如果需要变动,也要履行严格的审批程序。论证阶段使用指标的成熟期目标值可以根据作战需求的实际情况(一般由作战部门)来提出,而方案阶段使用指标的门限值的确定却相当困难,没有现成的方法可循。目前一般的做法是用成熟期目标值乘以一个百分数得到使用指标的门限值,这种做法既不科学又缺乏一定的理论根据,只是根据经验的一个估计。

针对这种状况,本文提出了一种相似装备折衷系数法,较好地解决了航空装备方案阶段的可靠性使用指标确定的问题。

2 相似装备折衷系数法的总体思路

相似装备折衷系数法的总体思路是:参照相似装备经实

际使用验证得到的指标,综合考虑使用方要求和承制方能力,即采用需要与可能相结合的原则,将影响可靠性的因素进行合理分析、科学归类,给出相应的权重,然后采用折衷的办法确定新装备的可靠性指标。

所谓需要,就是使用部门根据作战任务、使用要求而希望达到的水平;所谓可能,就是承制方因各种条件(产品复杂程度、研制经费、进度要求、工业技术水平等)制约而基本能达到的水平。指标确定的过程就是权衡需要与可能的过程,所确定的指标既要满足使用方的要求,也要让工业部门能够接受。

3 相似装备折衷系数法的模型

相似装备折衷系数法的模型就是综合考虑需要与可能,并合理解决二者之间矛盾的过程描述。下面叙述模型建立过程。

3.1 搜集国内外同类装备的可靠性指标数据

首先,需要搜集国内外同类装备的可靠性指标,这个指标应该是验证了的实际使用中达到的指标,是相似装备折衷

收稿日期:2001-11-10 修订日期:2002-04-15

作者简介:任建军(1976-),男,博士研究生,主要研究方向为装备系统工程、复杂系统建模与仿真。



系数法参考的依据。在这些装备中选择一个作为相似装备，其可靠性指标记为 R_F 。

3.2 确定使用方所希望达到的指标 R_U

使用方所希望达到的指标也就是成熟期目标值，这是作战部门根据作战使用客观需要确定的。指标确定的范围，直接关系到装备将来的作战能力和使用保障费用。这个指标要从作战使用的角度出发，根据当前国际政治、经济的复杂性、周边环境的严峻性等情况提出。使用方期望达到的指标记作 R_U 。

3.3 确定承制方基本可达到的指标 R_C

承制方基本可达到的指标是承制方考虑客观约束作用后的结果，但这毕竟只是一种预测，不是指标的上限，在研制过程中，是可以突破的。在此，我们认为影响装备可靠性水平的因素主要有产品复杂度、研制费用、进度要求、工业技术水平等。只要我们合理地给出各项的权重，如采用专家评分法，将新研装备与现有相似装备在这几个方面作比较，即可得到新研装备承制方基本能达到的可靠性水平。用矩阵表示如下。

新研装备得分矩阵

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix}$$

相似装备得分矩阵

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{m1} & b_{m2} & \dots & b_{mn} \end{bmatrix}$$

各因素权重

$$W = [w_1 \quad w_2 \quad \dots \quad w_m]$$

则承制方可达到的指标值为

$$R_C = R_F \left[\sum_{j=1}^k \left(\frac{b_{ij}}{a_{ij}} \right) w_j + \sum_{j=k+1}^n \left(\frac{a_{ij}}{b_{ij}} \right) w_j \right] \quad (1)$$

式中 R_F ——相似装备可靠性指标； m ——专家数； n ——影响因素的个数； k ——得分越高可靠性越低的因素个数。

在因素排列顺序中应当这样排列，第 k 个因素前（包括第 k 个因素）是得分越高可靠性越低的因素，第 k 个因素后则是得分越高可靠性越高的因素。这是根据各因素对可靠性影响不同得到的，至于评分标准，将在后面的算例中给出。

3.4 权重的确定

权重的确定采用层次分析法 (analytic hierarchy process)，将影响任务可靠性指标的各因素两两比较，得到判断矩阵，对判断矩阵的特征向量正则化（归一化）处理，即可得到各要素的相对重要度（权重）。具体计算过程，可参见后面的算例。

3.5 指标确定

综合考虑需要与可能，对指标越大越好的指标，确定时有两种情况，下面分别进行讨论。

$R_C < R_U$ 情况

当 $R_C < R_U$ 时，使用方期望的指标大于承制方可能达到的指标。这时，采用折衷的办法，适当降低使用方期望的指标，同时适当升高承制方可能达到的指标，即

$$R_M = R_U + (1 - \alpha) R_C \quad (2)$$

式中 α ——折衷系数。在 0 ~ 1 之间取值，一般取 0.4 ~ 0.6 即可。

$R_C > R_U$ 情况

当 $R_C > R_U$ 时，承制方所能达到的水平超过了使用方的需求，指标选取以承制方的为准，即

$$R_M = R_C \quad (3)$$

对于指标越大越好的指标，实际上很少有这种情况，往往是工业部门不能满足使用部门的要求。作为理论探讨，应该有此情况，而实际工作中极少发生。

4 算例

在本算例中，我们选择的可靠性指标为任务可靠度，装备以预警机为例。本算例的各项指标量值仅为验证算法所设，不具实际意义。

4.1 国内外相似装备的任务可靠度

国外预警机型号的任务可靠度如表 1 所示。

表 1 国外预警机的任务可靠度

型号	E-3	E-2C/T	神鹰	A-50	猎迷
任务可靠度	0.95	0.92	0.90	0.85	0.70

4.2 确定使用方期望达到的指标 R_U

根据军事斗争的需要，这里取 R_U 值为 0.94。

4.3 应用层次分析法确定各因素权重

经征求专家意见和仔细分析，我们认为影响预警机任务可靠度的因素主要有复杂度、研制经费、进度要求、工业技术水平和其它 5 大因素。

4.3.1 建立层次结构

任务可靠度层次结构如图 1 所示，A 层各因素为其影响因素。

4.3.2 判断尺度

判断尺度只设 3 个，如表 2 所示。

表 2 3 个判断尺度表

判断尺度	定义
1	对任务可靠度而言， A_i 和 A_j 同样重要
2	对任务可靠度而言， A_i 比 A_j 重要
0	对任务可靠度而言， A_i 没有 A_j 重要

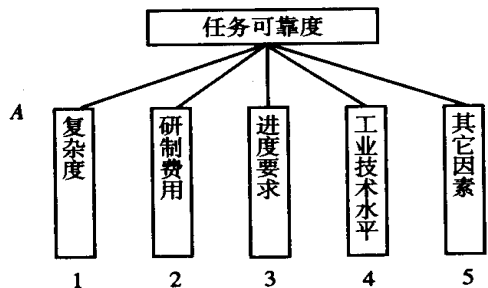


图 1 任务可靠度层次结构图

4.3.3 间接判断矩阵

应用 1、2、0 三个判断尺度给出的是间接判断矩阵,任务可靠度的间接判断矩阵如表 3 所示。

表 3 间接判断矩阵

R	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	r _i
A ₁	1	2	2	0	2	7
A ₂	0	1	2	0	2	4
A ₃	0	0	1	0	2	3
A ₄	2	2	2	1	2	9
A ₅	0	0	0	0	1	1

表中 r_i 为各要素相对重要度排序指数。

$$r_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

4.3.4 将间接判断矩阵转换为判断矩阵

设最大排序指数为 r_{max}, 最小排序指数为 r_{min}, 则由表 3 可知 r_{max} = 9, r_{min} = 1

与 r_{max} 和 r_{min} 相对应的要素为 A₄ 和 A₅, 将其作为两个基点比较要素, 将基点比较要素按 1 ~ 9 级判断尺度进行比较判断, 得出其相对重要性程度为 b_m, 今通过比较, A₄ 比 A₅ 重要, b_m = 5。

按式 (5) 将间接判断矩阵转换为判断矩阵。

$$b_{ij} = \begin{cases} \frac{r_i - r_j}{r_{\max} - r_{\min}} (b_m - 1) + 1 & r_i - r_j \geq 0 \\ \frac{r_j - r_i}{r_{\max} - r_{\min}} (b_m - 1) + 1 & r_i - r_j < 0 \end{cases} \quad (5)$$

变换后得到判断矩阵, 如表 4 所示。

表 4 判断矩阵

R	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅
A ₁	1.0	2.0	3.0	0.5	4.0
A ₂	0.5	1.0	2.0	0.333 3	3.0
A ₃	0.333 3	0.5	1.0	0.25	2.0
A ₄	2.0	3.0	4.0	1.0	5.0
A ₅	0.25	0.333 3	0.5	0.2	1.0

4.3.5 相对重要度计算

计算各要素的相对重要度时, 需先求出判断矩阵的特征

向量 W, 各分量可由 (6) 式求出。

$$W_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

经计算,

$$W = (1.643 8 \quad 1.000 0 \quad 0.608 4 \quad 2.605 2 \quad 0.383 9)$$

对特征向量 W = (W₁, W₂, ..., W_n)^T 进行正则化处理, 即

$$W_A = \sum_{i=1}^n W_i \quad (7)$$

$$W_i^0 = \frac{W_i}{W_A} \quad (8)$$

W_i⁰ 即为 A_i 的相对重要度。

可以得到预警机任务可靠度各因素权重为

$$W_0 = (0.26 \quad 0.16 \quad 0.10 \quad 0.42 \quad 0.06)$$

4.3.6 相容性分析

按照层次分析法的理论, 如果相容性指标 C. I. < 0.10, 就可以认为判断矩阵 A 有相容性, 据此计算的权重 W 值是可以被接受的。相容性指标 C. I. 的计算公式为:

$$C. I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (9)$$

式中 λ_{max} —— 判断矩阵 A 的最大特征根。

经计算, 某型预警机任务可靠度判断矩阵的相容性指标 C. I. = 0.02 < 0.10, 是可以接受的。

最后将各因素权重列于表 5 中。

4.4 承制方基本能达到的指标 R_C

承制方基本能达到的指标由专家评分得出, 评分结果与评分标准见表 5。

表 5 任务可靠度影响因素重要度评分

专家编号	项目	产品复杂度	研制费用	进度要求	工业技术水平	其它
	权重	0.26	0.16	0.10	0.42	0.06
专家 1	E-3	10	10	10	10	10
	某型	8.5	7.5	6	8	8
专家 2	E-3	10	10	10	10	10
	某型	9	7	7	7.5	8.5
专家 3	E-3	10	10	10	10	10
	某型	9	7.5	7	8	8
专家 4	E-3	10	10	10	10	10
	某型	8.5	7	6.5	7.5	8

评分规则:

(1) 采用 10 分制, 满分为 10 分 (评分时分高者为 10 分);

(2) 研制费用中, 我国投入一般低于美国, 请专家按其任务可靠度的影响来评分, 不要将研制费用直接对比评分;

(下转第 132 页)

4 系统性能分析和应用前景

本系统开辟了一种新的视频存储的实现途径,摒弃了业界常用的计算机平台,采用 DSP 和新型视频处理芯片,实现视频编解码、压缩解压缩和硬盘存储管理。整个系统可靠性和连续可用性好、操作简单(直接通过按键控制)、体积小(整个系统略大于光驱);配置灵活方便,接上摄像头和监控器便可使用;由于硬盘存储系统采用与计算机通用的 FAT32 文件体系,存储了监控信息的硬盘还可取下,安放到另一台计算机上用常用的多媒体软件播放。

今后的发展方向是进行多路化、多功能化扩展,在一个系统上实现多路视频传输和存储,并集成字符叠加、画面分割以及远程网络接口等复杂功能。

本系统在实时录制、播放和存储视频信号方面的性能优于目前市场上的同类产品,适用于银行、保险库、仓库等具有重要价值目标的保安系统的应用,有很好的应用前景和推广价值。

参考文献:

[1] 秦石乔,王省书,黄勇. 微机接口技术及应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2000.

[2] 黎洪松. 数字视频技术及其应用[M]. 北京:清华大学出版社,1999.

[3] Texas Instruments Incorporated. TMS320C2XX DSP Reference Set Volume 1: User's Guide[Z]. 1998.

[4] IBM. Hard Disk Drive specifications: Deskestar 40GV & 75GXP 3.5 Inch ATA/IDE Hard Disk Drive[Z]. 2000.

(上接第 125 页)

(3) 产品复杂者分值高;研制经费多者分值高;研制周期(进度要求)长者分值高;工业技术水平高者分值高;其它项目中,其影响使任务可靠度高者分值高。

表 5 中,只有复杂度是属于得分高任务可靠度低的因素,将表 5 的数据代入式(1)中有

$$R_C = R_F \left[\sum_{i=1}^4 \frac{b_{i1}}{4} w_1 + \sum_{j=2}^5 \left(\frac{a_{j1}}{4} \right) w_j \right] = 0.8108$$

4.5 确定门限值

取折衷系数为 0.6,代入式(2),有

$$\begin{aligned} R_M &= R_U + (1 - \alpha) R_C \\ &= 0.6 \times 0.94 + (1 - 0.6) \times 0.8108 \\ &= 0.88832 \end{aligned}$$

此即为某型预警机任务可靠度的门限值。

该达到的最低水平,如果这个指标太高,工业部门无法达到要求;相反,如果太低,则研制的装备在将来的作战使用中,会使使用保障费用增加,任务成功性和战备完好性都下降,不但增加了使用方的负担,而且降低了部队的作战能力。本文提出的相似装备折衷系数法,在考虑相似装备可靠性水平的基础上,从作战使用的角度出发为使用方提出指标,充分考虑影响可靠性指标的因素,采用折衷的办法,得到可靠性指标的的门限值。该方法确定可靠性指标门限值的过程,也就是权衡可靠性指标需要与可能的过程,并从中找到一个较为合理的平衡点,符合客观实际情况,结果也是比较满意的。至于折衷系数,与决策者的偏好和当时的决策环境有关,比如决策者受军事需求影响大,对可靠性要求高,可以取大于 0.6 的值。另外,利用相似装备折衷系数法还可以确定其它参数的门限值,例如可靠度、MTBF、MIBCF 等。

5 结论

可靠性指标的门限值是装备研制结束时可靠性水平应

参考文献:

[1] 汪应洛. 系统工程[M]. 北京:机械工业出版社,1999.

[2] 陆廷孝. 可靠性设计与分析[M]. 北京:国防工业出版社,1995.

[3] 曾天翔. 可靠性及维修性工程手册(上)[M]. 北京:国防工业出版社,1994.

[4] GB 1909.1-94 装备可靠性参数选择和指标确定要求总则[Z]. 北京:国防科学技术工业委员会,1994.

[5] GB 1909.5-94 装备可靠性参数选择和指标确定要求军用飞机[Z]. 北京:国防科学技术工业委员会,1994.

