

飞机可靠性与研制费用相关关系研究

刘晓东, 张恒喜

(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: 在分析飞机系统可靠性重要性的基础上,对系统可靠性提高造成研制经费增加的原因进行了分析。阐述了研究飞机可靠性与其研制费相关关系的步骤、方法。提出了几种可供选择的费用估算关系形式并对其进行了分析,以期对研制阶段系统可靠性管理提供支持。

关键词: 可靠性;研制费用;关系

分类号: TB114.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2000)01-0063-04

1 问题提出

“需求牵引,技术推动”,是一切高科技发展的基本内涵及其动力源泉,同样,提高系统可靠性是对现代飞机的客观要求,而现代科技的飞速发展使这种需求成为可能。飞机可靠性与其它性能指标一起构成系统作战效能,可靠性被称为系统效能的“倍增器”已成为一种共识;另外,由于可靠性对装备寿命周期费用具有极其重要影响而日益受到重视。正因如此,世界各强国都在倾注国力发展可靠性技术,如美国从80年代中期的“R&M2000执行计划”到90年代裁军形势下“提高R&M保持不变的战斗力”的新政策,均对可靠性发展采取了极其有力的措施,并取得了明显效益。

研究经验表明,可靠性是设计出来的,管理出来的,具有“先天性”。尽早开展可靠性工作,收效越明显。然而,现代化飞机系统可靠性提高是人才和资金密集的技术,消耗巨大。由此就带来这样的问题:要实现一定的可靠性水平,在其研制阶段应予以多大的投资,即可靠性研制费用多少比较适宜?或者说,对于一定的可获得可靠性研制费用,最终可实现的可靠性水平(指标)是多少?以上问题是系统研制阶段不容回避的重要问题。

2 飞机系统可靠性提高造成研制费用增加原因分析

现代飞机系统可靠性提高是人才和资金密集的技术,在研制阶段需要大量投入,主要有三部分:

(1)可靠性管理投资。如现代军用飞机在研制过程都设有专门负责可靠性的管理机构。

(2)可靠性技术投资。包括可靠性方案决策、设计、计算方法等工作,如可靠性分析设计中的传统的FMECA和潜在通路分析技术,以及在此基础上推行的试验设计和健壮性设计,日益受到重视的热分析与设计技术等。

(3)可靠性试验投资。如除推行和改进可靠性增长试验、环境应力筛选试验和加速寿命试验外,大系统地面综合试验(包括性能与可靠性综合试验)也日益受到重视。

以上工作难度高、风险大、周期长,飞机系统可靠性提高需要相当多的人才和经费的投入,这就必然使其可靠性研制费用急剧增加。

收稿日期:2000-01-06

基金项目:国防科技预研基金(98J19.3.2.JB3201)

作者简介:刘晓东(1966-),男,副教授(博士研究生)。

3 研究飞机系统可靠性与其研制费用关系的步骤

要描述系统可靠性与其研制费用关系,必须对上述系统造成研制费用增加的原因进行详细分析。主要步骤有:

(1) 诊断和划定范围

主要指确立目标,约束及限制条件(如技术因素,经费因素等);定义边界。

(2) 数据收集和建立费用分解结构(SBC, Structured Breakdown of Costs)

主要内容有:确认潜在的费用驱动因子(Potential Cost drivers)、定义费用元素(Cost elements)、建立费用分解结构(SBC)以及识别和收集数据。

(3) 分析和建模

主要内容有:建立飞机系统可靠性研制费用模型、模型分析和评估、模型灵敏度分析。

(4) 结论报告

4 主要工作描述

4.1 建立费用分解结构及费用元素

根据飞机可靠性问题特点,其增长过程如图1所示。

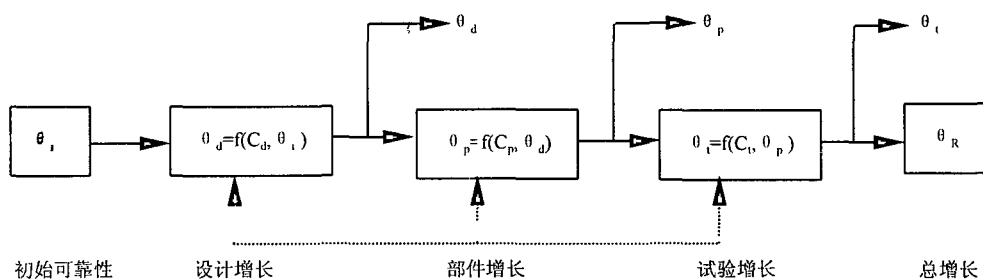


图1 可靠性增长模型

其中, $\theta_i, \dots, \theta_t$ 为不同阶段可靠性增长值; C_d, C_p, C_t 分别为相应可靠性费用; 虚线指可靠性增长的循环过程。

据此可逐步分解,获得可靠性费用分解结构及相应费用元素。

例如,对于飞机机载电子系统可靠性设计增长过程来说,其可靠性费用元素(相应的工作任务)主要有如下三项:

(1) 可靠性预计费用

该项费用元素对应的主要工作是预测系统在研制不同阶段可实现的可靠性水平。主要技术包括根据元器件工作应力、工作环境等依据相应标准(如国军标 GJB299-88)选取故障率修正因子;建立可靠性预计模型等工作。

(2) 故障模式及影响分析费用

该项费用元素主要包括在产品的设计过程中,通过对产品各组成单元潜在的各种故障模式及其对产品功能的影响分析,提出可能采取的预防措施,以提高产品可靠性等工作的费用支出。

(3) 设计评审费用

该项费用元素包含的工作内容主要是对可靠性设计状况的评审。在整个设计过程中除正式评审外往往还有许多非正式评审。

应当注意,同一项技术可能在以上多种费用元素对应的工作中多次使用。计算时应根据实际的使用情况,不能少计或多计。

4.2 建模方法说明

4.2.1 建模基本原则

(1) 由于影响飞机可靠性研制费用的因素比较复杂,要从数学上推导出可靠性指标与费用相关关系是不现实的。从已经进行的此类研究及今后发展来看,主要还是要采取“半经验”式的模型。需要的是了解公式的特点,再根据所研究的具体问题,说明所采取的模型(公式)是合理的。

(2) 应用回归分析时,在缺乏进行选择理论和经验依据时,往往只能从数学处理方便上考虑,来选择一种可能的形式。此时,一般避免选择过于复杂的形式,因为经验证明这样做的效果多不甚理想。当然,过于简单化也是有害的。

(3) 选定了回归模型后,可以通过数据检验它是否合适,以及进行一些调整,这有好几种方法。

(4) 回归分析在相当程度上是一个经验方法。它的恰当应用(除统计知识之外)需要有关于特定问题的专业知识和实践经验。

4.2.2 几种可供选择的飞机可靠性与研制费用相关关系式

(1) 基于以可靠度 R 表示的费用估算关系式

系统可靠度 R 是常用的一个可靠性指标,在建立可靠性与研制费用相关关系时常常选用。

根据 4.2.1 中所述的原则(2),采用如下形式的模型是很自然的:

$$C_R = f(R) = a[\Phi(R)]^b + c \quad (1)$$

其中, a, b, c 是常数, $\Phi(R)$ 是 R 的函数。

由所研究对象的实际意义,如果要求系统有很高的可靠度 R ,显然研制费用 C_R 会很高,即

$$\lim_{R \rightarrow R_u} f(R) = +\infty$$

这里, R_u 是可靠度上限,指考虑到现有同类系统可靠度及未来技术发展可实现的可靠性水平。

考虑到系统完成功能设计和制造后,即使没有执行任何可靠性计划,仍然客观存在一定可靠度水平,其可靠性方面投资应趋于 0,故有

$$\lim_{R \rightarrow R_b} f(R) = 0$$

R_b 为可靠度下限。

也就是说, $f(R)$ 应满足下述条件:

$$\textcircled{1} f(R_u) = +\infty$$

$$\textcircled{2} f(R_b) = 0$$

根据函数论知识可知,满足条件(1)的最简单的 $\Phi(R)$ 是

$$\Phi(R) = \frac{K}{R_u - R} \quad (2)$$

由条件 $\textcircled{2} f(R_b) = 0$,有

$$C_R(R_b) = a\left(\frac{K}{R_u - R_b}\right)^b + c = 0 \quad (3)$$

则有

$$c = -a\left[\frac{K}{R_u - R_b}\right]^b$$

由此(1)式变为

$$C_R = f(R) = a[\Phi(R)]^b + c = a\left[\frac{K}{R_u - R}\right]^b - a\left[\frac{K}{R_u - R_b}\right]^b$$

将常数项合并后可得

$$C_R = a\left[\left(\frac{1}{R_u - R}\right)^b - \left(\frac{1}{R_u - R_b}\right)^b\right] \quad (4)$$

(4)式即为可供选择的基于可靠度的可靠性研制费用表达式。并且有

$$\frac{dC_R}{dR} = ab\left(\frac{1}{R_u - R}\right)^{b-1} \frac{1}{(R_u - R)^2} = ab\left[\frac{1}{R_u - R}\right]^{b-3} > 0 \quad (5)$$

从上述过程可以看出 a 是对有类似结构的系统(b 相同),相应于其大小而取的比例系数,系统越大, a 就越大。

应认为 b 是与系统内在结构、复杂程度等有关的一个参数。 b 越大,研究费用随 R 增大而增长的速度将越快,从(5)式可得出对于较大 R 时, dC_R/dR 也增大。也就是说,如果甲、乙两个系统当 $R=R_0$ 时研制费用

相同,但系统甲的 b 越大,则如欲将两系统 R 提高到 R_1 ,就必须对甲系统投入更多的研制费用。具体地说, a 反映系统的大小,而 b 反映系统的结构等内在因素。由于有这两个系数,公式将有较大的适用范围。

(2) 基于以 MTBF 指标表示的费用估算关系式

MTBF 是常用的一个可靠性指标,以此建立费用估算关系式时,常常要考虑到研究问题特点,选取合适的费用驱动因子。如对电子设备的可靠性研制费用可考虑建立 MTBF 与系统包含元件数量相关关系以及相应的研制费用。因此可建立如下形式(针对某电子系统而言)费用估算模型:

可靠性预计费用: $C_{PR} = f(N_p)$

可靠性设计评审费用: $C_{DR} = f(N_p)$

可靠性失效模式及影响分析费用: $C_{FM} = f(N_p)$

.....

其中, N_p 为元件数量。

常用如下线性回归形式为

$$\theta_{Ri} = \beta_0 + \beta_1 C_{1i} + \beta_2 C_{2i} + \beta_3 C_{3i} + \dots + \beta_p C_{pi} + \beta_{p+1} X_{1i} + \dots + \beta_{p+k} X_{ki} + e_i$$

这里, θ_{Ri} : 飞机系统最终的 MTBF; C_{pi} : 可靠性费用元素; X_{ki} : 其它预测参数; β_p, β_{p+k} : 要确定的回归系数; e_i : 方差。

5 几点说明

(1) 无论通过何种途径建立起来的模型都只能在一定范围内应用。这个范围往往可认为就是原始数据的取值范围。如果数据较多,也可考虑将 R 的变化范围分段,在每段上建立一个公式。

(2) 实际工作中,由于费用 C_R 不仅取决于 R ,还与维修性 M 及其它因素相关,因此应当认为当 R 取定时, C_R 是一个随机变量,公式给出的是相应的均值(数学期望),所以即使公式很“精确”,个别数据与它有较大偏差仍是有可能的,应该用统计检验来说明公式是否合适。

(3) 模型精度直接与收集数据的准确程度相关。

参 考 文 献

- [1] Salvatore P. Kercurio, Clyde W. Skaggs. RELIABILITY ACQUISITION COST STUDY[R], General Electric Company. AD916286.
- [2] 张恒喜, 刘晓东. 飞机可靠性/费用模型研究[R]. 空军工程学院科研报告. 1995.
- [3] 刘晓东, 张恒喜, 韩景侗. 飞机可靠性费用模型建立及应用. 中国设备管理协会 LCC'99 年会, 北京, 1999.
- [4] 刘晓东, 张恒喜, 段宝君. 95 年来我们在 LCC 方面开展的主要工作及体会, 中国设备管理协会 LCC'99 年会, 北京, 1999.

Study on Relationships between System Reliability and reliability Cost

LIU Xiao-dong, ZHANG Heng-xi

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

Abstract: This paper analyses the importance of system reliability and some causations of the increasement of reliability cost. Then it expatiates the approach and method to study the relationships between reliability and reliability cost, then several forms of cost prediction equation are provided to support the system reliability management.

Key words: Reliability; Reliability cost; Relationships