

AMSAA 模型用于可靠性增长预测时的改进

董蕙茹, 黄燕锋, 刘静

(空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

摘要:阐述了常规 AMSAA 模型在预测可靠性增长时存在的问题,针对此问题用牛顿迭代法对 AMSAA 模型进行了改进,得到了预测特定平均故障间隔时间 MTBF 值下的可靠性增长试验时间的新解法,并编制了可靠性增长评估软件。AMSAA 模型的改进算法能够动态地评估和预计装备的可靠性,跟踪和预测装备可靠性增长。此方法物理意义明确,预测结果较原模型准确。软件的使用提高了计算的正确率,节省了时间。

关键词:可靠性增长;增长模型;可靠性增长预测;MTBF;AMSAA 模型;牛顿迭代法

中图分类号:TB114.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)05-0079-04

可靠性增长就是通过对产品在模拟或真实的条件下的可靠性增长试验,发现产品设计和制造中的缺陷并予以纠正,从而不断提高产品可靠性的过程。可靠性增长是产品达到预定可靠性目标及改善可靠性的必要保证,是可靠性工程中一项必不可少的工作。在可靠性增长过程中,产品的可靠性是不断变化的,为了跟踪和预测增长过程中的可靠性水平,必须建立与之适应的可靠性增长模型。目前已有多种用于评估和跟踪可靠性增长的模型,其中最知名的是通用电气公司的 Duane 在 1964 年提出的 Duane 模型^[1],美军装备系统分析中心(Army Materiel Systems Analysis Activity)的 Crow 在 1972 年提出的 AMSAA 模型^[2]。AMSAA 模型已被美国军用手册^[3-4]及我国军用标准^[5-6]所采用,是目前应用最广泛的生长模型,它能够拟合多类产品的增长信息和多种类型的增长数据,且估计方法简便。但是,笔者发现一些学者将其用于可靠性增长预测时存在一些问题^[7]。本文即指出直接用 AMSAA 模型进行可靠性增长预测时的问题,针对问题对 AMSAA 模型进行了改进,提出了一种新算法。改进后 AMSAA 模型物理意义明确,能够更真实地预测可靠性增长。

1 AMSAA 模型简介

AMSAA 模型假设,在发生系统性故障即进行纠正的可靠性增长过程中,故障的发生遵循一个非齐次的泊松过程,其故障率可以表示为

$$\lambda(T) = abT^{b-1} \quad (1)$$

式中: T 表示可靠性增长试验中的累积时间, $\lambda(T)$ 表示 T 时刻的故障率, $a > 0$,为尺度参数, b 为形状参数,在可靠性增长情况下 $b < 1$ 。

参数 a 、 b 可以由点估计方法得到,即

$$\begin{cases} \hat{b} = \frac{N}{N \ln T^* - \sum_{i=1}^N \ln t_i} \\ \hat{a} = \frac{N}{(T^*)^{\hat{b}}} \end{cases} \quad (2)$$

式中: T^* 表示试验截止时累积的试验时间, N 为试验结束时累积故障数, t_i 为各故障点对应的故障时间。当增长试验中的故障数 $N \leq 20$ 时,参数的无偏估计 \bar{a} 、 \bar{b} 为

$$\begin{cases} \bar{b} = \frac{N-1}{N} \hat{b} \\ \bar{a} = \frac{N}{(T^*)^{\hat{b}}} \end{cases} \quad (3)$$

在时刻 T^* , 平均故障间隔时间的估计值 MTBF 为

$$\hat{M}(T^*) = \frac{1}{\hat{\lambda}(T^*)} = \frac{T^*}{N \hat{b}} \quad (4)$$

或

$$\bar{M}(T^*) = \frac{1}{\lambda(T^*)} = \frac{T^*}{N \bar{b}} \quad (5)$$

由式(2)~(5)就可以评估可靠性增长试验中的可靠性情况,显然 a 、 b 和 MTBF 都是试验时间的函数。

2 预测可靠性增长中存在的问题

进行可靠性增长试验时,人们不仅希望能够动态地跟踪试验中的可靠性水平,有时还希望预测出将来某时刻可能的可靠性水平或达到某一特定值所需的试验时间。

例如,歼击机雷达可靠性增长试验,其故障时间(h)为 24, 96, 152, 192, 440, 470。估计到试验 752 h 的平均寿命,如果平均寿命要求达到 300 h,预计要试验多少小时?

文献[7]的解法是:由式(2)解出 $\hat{b} = 0.633$,由式(3)进行修正,得到 $\bar{b} = 0.5275$ 、 $\bar{a} = 0.182$,则平均寿命 \bar{M} 为

$$\bar{M} = \frac{T^*}{N \bar{b}} = \frac{752}{6 \times 0.5275} = 238 \text{ (h)}$$

如果平均寿命要求达到 300 h,则有

$$\frac{T^*}{6 \times 0.5275} = 300 \text{ (h)}$$

从而求得 $T^* = 1226.5$ h,即预计试验 1226.5 h 可望平均寿命达到 300 h。

上述解法的问题是没有意识到参数 a 、 b 都是变量。由参数的估计式可以知道, a 、 b 都是试验时间的函数,当时间变化时, a 、 b 的值也相应地发生变化;时间未知时, a 、 b 也不知道。因此,不能将 a 、 b 作为已知代入式(5)或(6)直接求时间。

3 解决方法及可靠性增长评估软件

3.1 牛顿迭代法对 AMSAA 模型的改进

为了解决参数随时间变化的问题,本文在 AMSAA 模型基础上采用牛顿迭代法来预测某特定平均故障间隔时间 M^* 下的试验时间 T 。

牛顿迭代法的收敛速度非常快,逼近真实值的精度高,其基本思路是:构造迭代函数 $T_{i+1} = T_i - f(T_i)/f'(T_i)$;给出初始近似根 t_0 及允许误差 ε_1 、 ε_2 ,并计算 $f(T_0)$ 、 $f'(T_0)$;进行迭代,当 $|T_{k+1} - T_k| < \varepsilon_1$ 或 $|f(T_{k+1})| < \varepsilon_2$ 时终止迭代, T_{k+1} 就是所求的值。

将式(2)代入(1)中,得到

$$\lambda(T) = abT^{b-1} = \frac{N}{T^b} \cdot \frac{N}{N \ln T - \sum_{i=1}^N \ln t_i} \cdot T^{b-1} = \frac{N^2}{T(N \ln T - \sum_{i=1}^N \ln t_i)} \quad (6)$$

所以有

$$\frac{1}{M^*} = \frac{N^2}{T(N \ln T - \sum_{i=1}^N \ln t_i)} \quad (7)$$

取

$$\left. \begin{aligned} f(T) &= NT \ln T - T \sum_{i=1}^N \ln t_i - N^2 M^* \\ f'(T) &= N \ln T + N - \sum_{i=1}^N \ln t_i \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

牛顿迭代函数格式为

$$T_{k+1} = T_k - \frac{NT_k \ln T_k - T_k \sum_{i=1}^N \ln t_i - N^2 M^*}{N \ln T_k + N - \sum_{i=1}^N \ln t_i} \quad (9)$$

当故障数 $N \leq 20$ 时,

$$\lambda(T) = \bar{a} \bar{b} T^{\bar{b}-1} = \frac{N}{T^{\bar{b}}} \cdot \frac{N-1}{N} \cdot \frac{N}{N \ln T - \sum_{i=1}^N \ln t_i} \cdot T^{\bar{b}-1} = \frac{N(N-1)}{T(N \ln T - \sum_{i=1}^N \ln t_i)} \quad (10)$$

$$\frac{1}{M^*} = \frac{N(N-1)}{T(N \ln T - \sum_{i=1}^N \ln t_i)} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} f(T) &= NT \ln T - T \sum_{i=1}^N \ln t_i - N(N-1)M^* \\ f'(T) &= N \ln T + N - \sum_{i=1}^N \ln t_i \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

牛顿迭代格式为

$$T_{k+1} = T_k - \frac{NT_k \ln T_k - T_k \sum_{i=1}^N \ln t_i - N(N-1)M^*}{N \ln T_k + N - \sum_{i=1}^N \ln t_i} \quad (13)$$

根据式(9)、(13)和已有的试验数据就可以预测出达到预期目标值 M^* 需要的试验时间了。

3.2 可靠性增长评估软件的编制

可靠性增长的统计分析,用手工计算工作量大,容易出错,特别是在预测规定可靠性水平下的试验时间时,繁杂的迭代使得手工计算无法进行。为此,利用界面友好、操作简便的 Delphi 语言编制了可靠性增长评估软件。程序的流程框图如图 1 所示。

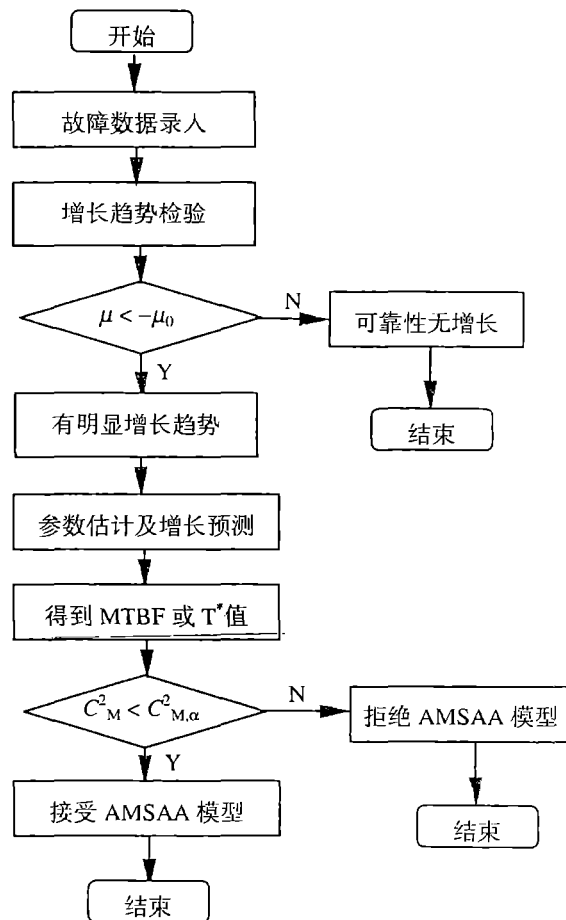


图 1 可靠性增长评估软件总流程图

可靠性增长评估包含增长趋势检验、参数估计、拟合优度检验和预测等内容。根据统计分析的特点,把程序

设计成三个相对独立的模块,预测放入参数估计模块内。

4 结束语

AMSAA 模型的改进算法能够动态地评估和预测装备可靠性增长情况。此方法物理意义明确,预测结果较原模型准确。可靠性增长评估软件的使用提高了计算的正确率,节省了时间。在装备可靠性增长计划和管理中对此方法进行使用和验证将是极有可为的工作。

参考文献:

- [1] DUANE J T. Learning curve approach to reliability monitoring[J]. IEEE Trans on Aerospace, 1964, 2: 563 - 566.
- [2] CROW L H. Estimation procedures for the Duane model. ADA019372.
- [3] MIL - HDBK - 189. 1981. Reliability growth management[S].
- [4] MIL - HDBK - 781. 1987. Reliability test methods, plans and environments for engineering development, qualification and production[S].
- [5] GJB1407 - 92. 1992. Reliability growth test. Beijing: The Center of Military Standard[S].
- [6] GJB/Z77 - 95. 1992. Reliability growth management. Beijing: The Center of Military Standard[S].
- [7] 陈学楚. 装备系统工程[M]. 北京:国防工业出版社,1995.

(编辑:姚树峰)

An Improvement of AMSAA Model on Reliability Growth

DONG Hui - ru, HUANG Yan - feng, LIU Jing

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, Chian)

Abstract: The AMSAA model is the most widely used model, applicable for reliability growth track. However, there exist some problems in its application. Based on summarized AMSAA growth model, the paper puts forward an improvement on the model, deduces new expressions to forecast reliability growth test time for a specific MTBF value by Newton iteration, and programs software by this method to evaluate reliability growth. The new solution could dynamically estimate and predict the reliability of equipment, track and forecast the equipment reliability growth. It is more exact than the usual measurement, and the calculation of the software is fast and precise.

Key words: reliability growth; growth model; reliability growth forecast; MTBF; AMSAA model; Newton iteration