

# 对 GJB/Z77 多台同型产品增长模型的分析

梅文华<sup>1</sup> 杨义先<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(北京航空工程技术研究中心,北京,100076)

<sup>2</sup>(北京邮电大学,北京,100876)

COMMENTS ON RELIABILITY GROWTH MODEL IN  
GJB/Z77 FOR MULTI-SYSTEMS DEVELOPMENT

Mei Wenhua<sup>1</sup>, Yang Yixian<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(Beijing Aeronautical Technology Research Center, Beijing, 100076)

<sup>2</sup>(Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, 100876)

**摘要** GJB/Z77 的附录 A 中,阐述了如何应用 AMSAA 模型进行多台同型产品的可靠性增长,给出了趋势检验、参数估计和拟合优度检验的方法,并提供了一个实例。对该模型进行了分析,指出 GJB/Z77 中存在的错误。

**关键词** 可靠性增长 多台产品 AMSAA 模型 GJB/Z77

**中图分类号** G201, TB114.3

**Abstract** Appendix A in GJB/Z77 describes a method to use AMSAA model to estimate reliability growth for multi-systems development, in which the trend test, parameters' estimation and goodness-of-fit test for a numerical example are given. For the case that more than one system of the same type is put into reliability growth test, once a Type B failure mode seen during test, corrective action will be taken to all systems. In this paper, it is shown that there is something wrong with this method. According to GJB/Z77, the maximum likelihood estimation of MTBF for multi-systems reliability growth test is much larger than that according to AMSAA model for a single system; the more systems put into test, the larger the estimation of MTBF.

**Key words** reliability growth, multi-systems, AMSAA model, GJB/Z77

1972 年,美军装备系统分析中心(Army Materiel Systems Analysis Activity)的 L. H. Crow 在 Duane 模型<sup>[1]</sup>的基础上提出了可靠性增长的 AMSAA 模型或称 Crow 模型<sup>[2,3]</sup>。Crow 给出了模型参数的极大似然估计与无偏估计、产品 MTBF 的区间估计、模型拟合优度检验方法、分组数据的分析方法及丢失数据时的处理方法,系统地解决了 AMSAA 模型的主要的统计推断问题。

1981 年,该模型被美国军用手册 MIL-HD-BK-189 引用<sup>[4]</sup>。1987 年,美国军用手册 MIL-HD-BK-781 进一步肯定了这个模型<sup>[5]</sup>。1989 年,又被国际电工委员会 IEC 的 TC-56(CO)150 号文件所采用<sup>[6]</sup>。目前,AMSAA 模型已成为可靠性增长模型中应用最广泛的模型。国家军用标准 GJB1407-92 和 GJB/Z77-95 中,也采用了 AMSAA 模型。

GJB/Z77 附录 A “AMSAA 模型”的 A4 “多

台同型产品增长的情况”中,阐述了如何应用 AMSAA 模型进行多台同型产品的可靠性增长,给出了趋势检验、参数估计和拟合优度检验的方法,并提供了一个实例。我们发现,这种方法存在值得商榷的问题。

## 1 对 GJB/Z77 中多台同型产品增长模型的剖析

在对多台同型产品进行可靠性增长时,GJB/Z77 推荐的方法是:<sup>1</sup> 试验过程中任意一台产品发生 B 类故障时,对其他同型产品进行同步纠正;<sup>2</sup> 试验时间 T 为多台同型产品的试验时间之和;<sup>3</sup> 故障计数为多台同型产品的故障数之和。

故障分为 A 类故障和 B 类故障<sup>[7,8]</sup>。A 类故障是一类受技术水平的限制不能经济地降低其故障率的故障,工程实践中,通常是指那些由于经费、时间、技术条件限制或其他原因,被确定为不进行纠正的系统性故障及所有的残余性故障。B 类故障是一类能经济地降低其故障率的系统性故障,工程实践中,通常是指被确定为需要进行纠正的那些系统性故障。

当任意一台产品发生 B 类故障而对 k 台产品

同时作设计纠正时,已经将所有  $k$  台产品的该种  $B$  类故障加以消除或削弱。 $B$  类故障是一种高概率的故障,虽然在  $t_{ij}$  时刻只有第  $i$  台产品发生该种故障,似乎只应计入一次故障,但是实际上其余  $k-1$  台产品也将会在后续的时间里以高概率发生这一故障,如果只计入一次故障将会使得计算出的 MTBF 明显偏大,因此我们认为计入  $k$  次故障更合理些(严格说来,在  $t_{ij}$  时刻计入  $k$  次故障并不精确,因为有  $k-1$  台产品在该时刻并未发生故障,但可以肯定的是,只计入一次故障是完全错误的)。上述叙述可以通过图 1 来形象地理解(图中  $1^\circ \gg \dots$  等表示不同模式的  $B$  类故障;  $\circ$  表示在其他产品发生  $B$  类故障时进行了同步纠正)。

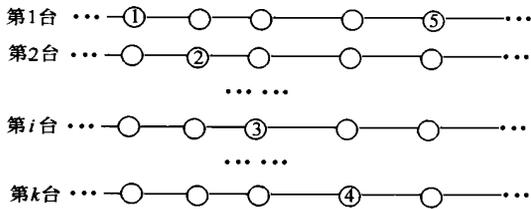


图 1 多台同型产品同步纠正示意图

对于任意一台产品,不管是进行单台增长试验还是与其他同型产品一起同时进行多台增长试验,只要在相同的试验时间  $S$  里,解决了相同数目的  $B$  类故障,那么试验结束时对产品 MTBF 的估计值应该是一致的。但是,在下节中将会看到,根据 GJB/Z77 提供的 AMSAA 多台同型产品增长模型,与按照单台 AMSAA 模型计算得到的结果不一致。按 GJB/Z77 的方法,故障次数只计入图中标记有号码的故障,而试验时间却是多台产品试验时间之和,这就是第 2 节中对第 1 台产品试验数据进行分析时得到矛盾结果的原因。

下面进一步分析同步投试、同步纠正且同步截尾时多台同型产品可靠性增长的情况。在 GJB/Z77 给出的实例中,两台同型产品非同步投试、同步纠正、非同步截尾。因此,同步投试、同步纠正、同步截尾是其特例。

设第  $i$  台产品的观测故障时间依次为

$$0 = t_{i0} < t_{i1} < t_{i2} < \dots < t_{in_i} < S,$$

$$i = 1, 2, \dots, k$$

记第  $i$  台产品在  $(0, t]$  内的故障次数为  $N_i(t)$ , 并记  $N(t) = \sum_{i=1}^k N_i(t)$ 。设第  $i$  台产品在截尾前  $N_i(T)$  的观测值为  $n_i$ , 记  $n = \sum_{i=1}^k n_i$ 。

因此在累积试验时间  $T = kS$  里共计发生  $n = \sum_{i=1}^k n_i$  次故障,每次故障发生时试验时间之和为  $kt_{ij}$ 。根据 AMSAA 模型计算,得到  $a, b$  的极

大似然估计  $\hat{a}, \hat{b}$  为

$$\hat{a} = n / (kS)^b$$

$$\hat{b} = n / \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \frac{S}{t_{ij}}$$

若产品于时刻  $T = kS$  定型,则该时刻  $T$  产品 MTBF 的极大似然估计为

$$\hat{H}(T) = T / (n\hat{b}) = \frac{kS \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \frac{S}{t_{ij}}}{n^2}$$

产品 MTBF 的无偏估计为

$$H(T) = \frac{kS}{n(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} \ln \frac{S}{t_{ij}}$$

显然,将多台同型产品试验时间累积及故障数累积,按照单台 AMSAA 模型处理,得到的结果与周源泉等提出的 AMSAA-BISE 多台同型产品可靠性增长模型<sup>[9~11]</sup>是一致的。

文献[12]中阐述了 AMSAA-BISE 可靠性增长模型不能成立的理由,并给出了具体实例加以说明。AMSAA-BISE 模型在理论上存在的问题主要是:AMSAA-BISE 模型推导过程中,给出的似然函数(联合概率密度函数)是单台产品概率密度函数的乘积,对多台产品同步纠正的情况,在理论上显然是不成立的,因为各台产品的故障分布并不相互独立。

## 2 对 GJB/Z77 中多台同型产品增长实例的分析

GJB/Z77 给出了下述实例:有两台同型机械产品样机受试,其设计纠正同步进行。第 1 台产品工作了 132.4h,第 2 台工作了 167.6h,每次故障发生时每个产品的试验时间及两台产品的试验时间之和均列于表 1 中(\*号表示发生故障的产品)。GJB/Z77 中按照 AMSAA 模型对试验数据进行处理,得到的结果为  $\hat{b} = 0.6898$ ,  $\hat{a} = 0.5280$ ,  $H(300) = 16.11$ (详见表 1)。下面对单个产品的试验数据进行分析。

两台产品累积试验时间 300h,之后没有继续对产品进行增长,因此试验结束后产品的可靠性,对第 1 台产品来说,就是试验到 132.4h 时的可靠性,对第 2 台产品来说,就是试验到 167.6h 时的可靠性。

第 1 台产品在 132.4h 的试验时间里发生了 14 次故障,并且在第 2 台产品发生故障时进行了多次同步纠正。

如果不考虑同步纠正的影响,计算结果为  $\hat{b} = 0.7702$ ,  $\hat{a} = 0.3249$ ,  $H(132.4) = 12.278$ (详见表 2)。使用 Cramer-von Mises 检验方法对试验数

据作拟合优度检验, 算得  $C_M^2 = 0.071$ , 查表可得  $M = 14, A = 0.10$  的  $C_{M,A}^2 = 0.169$ 。因  $C_M^2 < C_{M,A}^2$ , 故接受 AMSAA 模型。

如果单独对第 1 台产品进行可靠性增长试验, 即在第 2 台产品发生 B 类故障时不对第 1 台

进行同步纠正, 那么在 132.4h 的试验时间里第 1 台产品发生的故障肯定比 14 次要多。按照单台产品可靠性增长的 AMSAA 模型计算, 第 1 台产品在 132.4h 的  $H(132.4)$  要比 12.278 小, 比 16.11 更小。

表 1 两台机械产品的故障数据

两台故障数之和	第 1 台试验时间/h	第 2 台试验时间/h	两台试验时间之和/h	$\ln \frac{S}{t_j}$	$\sum \ln \frac{S}{t_j}$	计算结果
1	2.6*	0	2.6	4.7482	4.7482	n = 27 T = 300 $C_M^2 = 0.091$  $\hat{b} = 0.7164$ $\hat{a} = 0.4536$ $\hat{H}(300) = 15.5092$  $\hat{b} = 0.6898$ $\hat{a} = 0.5277$ $\hat{H}(300) = 16.106$
2	16.5*	0	16.5	2.9004	7.6487	
3	16.5*	0	16.5	2.9004	10.5491	
4	17.0*	0	17.0	2.8706	13.4197	
5	20.5	0.9*	21.4	2.6404	16.0601	
6	25.3	3.8*	29.1	2.3330	18.3931	
7	28.7	4.6*	33.3	2.1982	20.5913	
8	41.8*	14.7	56.5	1.6695	22.2608	
9	45.5*	17.6	63.1	1.5591	23.8199	
10	48.6	22.0*	70.6	1.4467	25.2667	
11	49.6	23.4*	73.0	1.4133	26.6800	
12	51.4*	26.3	77.7	1.3509	28.0309	
13	58.2*	35.7	93.9	1.1616	29.1925	
14	59.0	36.5*	95.5	1.1405	30.3330	
15	60.5	37.6*	98.1	1.1178	31.4508	
16	61.9*	39.1	101.0	1.0887	32.5485	
17	76.6*	55.4	132.0	0.8210	33.3595	
18	81.1	61.1*	142.2	0.7465	34.1060	
19	84.1*	63.6	147.7	0.7086	34.8146	
20	84.7*	64.3	149.0	0.6998	35.5144	
21	94.6*	72.6	167.2	0.5846	36.0990	
22	104.8	85.9*	190.7	0.4531	36.5521	
23	105.9	87.1*	193.0	0.4411	36.9932	
24	108.8*	89.9	198.7	0.4120	37.4052	
25	132.4	119.5*	251.9	0.1748	37.5779	
26	132.4	150.1*	282.5	0.0601	37.6400	
27	132.4	153.7*	286.1	0.0474	37.6874	
结束	132.4	167.6	300.0		37.6874	

表 2 第 1 台机械产品的故障数据分析

故障数	第 1 台故障时间/h	第 2 台同步纠正时间/h	$\ln \frac{S}{t_j}$	$\sum \ln \frac{S}{t_j}$	计算结果
1	2.6	0	3.9303	3.9303	n = 14 T = 132.4 $C_M^2 = 0.071$  $\hat{b} = 0.8295$ $\hat{a} = 0.2432$ $\hat{H}(132.4) = 11.401$  $\hat{b} = 0.7702$ $\hat{a} = 0.3249$ $\hat{H}(132.4) = 12.278$
2	16.5	0	2.0825	6.0128	
3	16.5	0	2.0825	8.0953	
4	17.0	0	2.0526	10.1479	
5	41.8	14.7	1.1529	11.3008	
6	45.5	17.6	1.0681	12.3689	
7	51.4	26.3	0.9462	13.3151	
8	58.2	35.7	0.8219	14.1370	
9	61.9	39.1	0.7603	14.8973	
10	76.6	55.4	0.5472	15.4446	
11	84.1	63.6	0.4538	15.8984	
12	84.7	64.3	0.4467	16.3451	
13	94.6	72.6	0.3362	16.6813	
14	108.8	89.9	0.1963	16.8776	
结束	132.4			16.8776	

### 3 结束语

综上所述,用 GJB/Z77 中 AMSAA 多台同型产品增长模型来指导多台产品同步可靠性增长将产生严重的不良后果,由该模型计算出来的数据远大于产品实际达到的可靠性指标(台数越多,影响越大)。

本文第一作者感谢单位领导对该项研究工作的大力支持。感谢张福泽院士、王镇中高工、魏文举高工、张鸿元高工、陈国华高工、孙仲恕高工、于安黎高工的帮助。

### 参 考 文 献

- 1 Duane J T. Learning curve approach to reliability monitoring. IEEE Trans on Aerospace, 1964, 2: 563~566
- 2 Crow L H. Estimation procedures for the Duane model. ADA 019372, 1972, 32~44
- 3 Crow L H ed. AMSAA reliability growth symposium. ADA 027053, 1974
- 4 MIL-HDBK-189. Reliability growth management. 1981
- 5 MIL-HDBK-781. Reliability test methods, plans and environments for engineering development, qualification and production. 1987

- 6 IEC TC-56(Co.) 150. Reliability growth models and estimation methods. 1989
- 7 GJB1407-92. 可靠性增长试验. 北京:国防科学技术工业委员会, 1992
- 8 GJB/Z77-95. 可靠性增长管理手册. 北京:国防科学技术工业委员会, 1995
- 9 Zhou Yuanquan, Weng Zhaoxi. AMSA A-BISE Model. 3rd Japan-China Symposium on Statistics, Tokyo, Japan, 1989. 179~182
- 10 周源泉,翁朝曦. AMSA A-BISE 模型及其统计推断. 系统工程与电子技术, 1991(11): 72~78
- 11 周源泉,翁朝曦. 可靠性增长. 北京:科学出版社, 1992
- 12 梅文华,郭月娥,杨义先. AMSA A-BISE 可靠性增长模型不能成立. 中国航空学会可靠性工程专业分会第七届学术年会论文集, 1998

梅文华,男,1965年生,高级工程师,中国电子学会青年工作委员会委员。1988年在国防科技大学获硕士学位,现从事电子系统及其可靠性理论研究工作,并在北京邮电大学攻读博士学位。已在国内外重要学术刊物发表论文 24 篇,出版学术专著一部。电话:010-68756019(宅)

杨义先 男,1961年生,北京邮电大学教授,博士生导师,全国政协委员。主要研究领域有信号与信息处理、现代密码学和应用数学。已在国内外重要学术刊物发表论文 100 余篇,出版学术专著数部。电话 010-62282715。E mail: Yxyang@bupt.edu.cn.

## 中国航空学会重量工程专业委员会召开第七次学术交流会

中国航空学会重量工程专业委员会第七次学术交流会于 1998 年 9 月 22 日至 27 日在成都召开。到会的有 11 个单位 30 位代表。

本次会议共收到学术论文 23 篇,大会宣读 23 篇其中 3 篇评为会议优秀论文 3 篇。

会议期间,与会代表对重量工程专业的发展、型号工程研制中的工作经验进行了交流,内容涉及到理论分析与预测、型号研制中重量工作的先进方法、新的成本设计思路、重量工程的组织与控制以及软件开发和称重设备等等。

会议代表一致认为经过近 20 年的学术交流,重量工程专业委员会及其活动已成为飞机预研和型号研制中进行信息沟通不可缺少的重要渠道,对我国航空重量工程专业的建设和发展起到积极的推动作用。特别是航天总公司及其他院校的参加,不仅大大增加和丰富了会议的内容,更重要的是使重量工程专业委员会的性质向着 SAWE 方向发展又迈出了重大的一步。

第八次学术交流会在 2000 年召开,中航总第 603 研究所为主办单位。

(李铁柏)