

可靠性试验技术与可靠性增长效果

丁以华

TB114.3

(信息产业部电子第5研究所 广州 510610)

[摘 要] 介绍了系统工程中可靠性试验技术与可靠性增长效果的实施方法和要求;并举例说明几种导航、通信类设备按可靠性指标要求及试验剖面实施可靠性试验的实际效果。

[关键词] 可靠性试验; 可靠性增长效果; MTBF; FRACAS

[中图分类号] TB114.3 **[文献标识码]** C **[文章编号]** 1006-141X(2000)03-0070-05

1 引言

新技术的应用使系统装备能实现前所未有的功能,例如飞机除了具有更高的马赫数和更机动灵活外,所配备的航空装备可实现全自动飞控、全天候飞行、导航-通信-气象-目标-抗干扰一体化管理,系统交联,总线管理和综合显示。新技术涉及面宽、应用速度快,设计师来不及消化新技术应用中的细节问题可能规定的研制周期就到了。这种情况不能说管理者不重视可靠性,可能是还来不及考虑可靠性,则已导致研制的装备系统不能投入市场,不能产生效益,从而误失市场良机,严重时可能使整个行业在市场的竞争中退却。因此,如何缩短设计与制造的成熟周期,如何使系统装备具有更长的使用周期是各国政府和工业界面临的重大课题。

2 成功的可靠性试验的管理要领和技术关键

在系统工程中成功应用可靠性试验技术可达到完善设计与制造工艺,缩短系统设计与制造成熟周期的效果。其中了解下列管理要领和关键技术是可供借鉴的。

2.1 可靠性指标要求及设置试验节点要求

首先对可靠性要实施专项管理,应以合同形式规定可靠性指标和试验要求。实际应用中存在两方面的困难:一是不切实际的过高的可靠性指标要求形同虚式;二是切实的可靠性指标在实施可靠性试验时与研制进度的矛盾。因此管理者应在这两方面采取科学的实际的态度,即搞可靠性除了要经费外,还要调查研究,还需要给予研制周期。

2.2 独立的可靠性试验机构和内部的可靠性试验室

可靠性问题的特殊地位,可靠性试验技术的发展需要独立的试验室来研究消化可靠性试验技术。用独立的专业的可靠性机构实施第三方可靠性鉴定试验可缩短可靠性增长周期,促进系统装备快速达到可靠性目标,实现良性循环。研制合同确定时同时应由使用方和主管部门规定专业可靠性试验负责单位,由专业可靠性试验负责单位(试验方)制定包括试验方案、试验管理、FRACAS系统(故障报告分析和纠正措施系统)与试验信息管理、失效分析等一系列规定的可靠性试验实施大纲。由使用方和主管部门组织专家评审后颁发到各承制场所拟

订可靠性试验剖面。由研制合同的甲方即采购方或用户主管部门组织专家评审后批准执行。作为实例,现代航空机载电子设备典型的可靠性鉴定试验剖面如图 1 所示。

3 试验中的几项技术关键

3.1 试验应力剖面

试验负责单位应在采购方领导下会同总承包单位确定可靠性试验应力条件和制

从图 1 可以看出,应用这个试验剖面加上可靠性指标的统计鉴定试验方案在暴露不良设计和工艺方面所达到的深度和几个架次的试飞是不等同的,其试验效率将高得多。

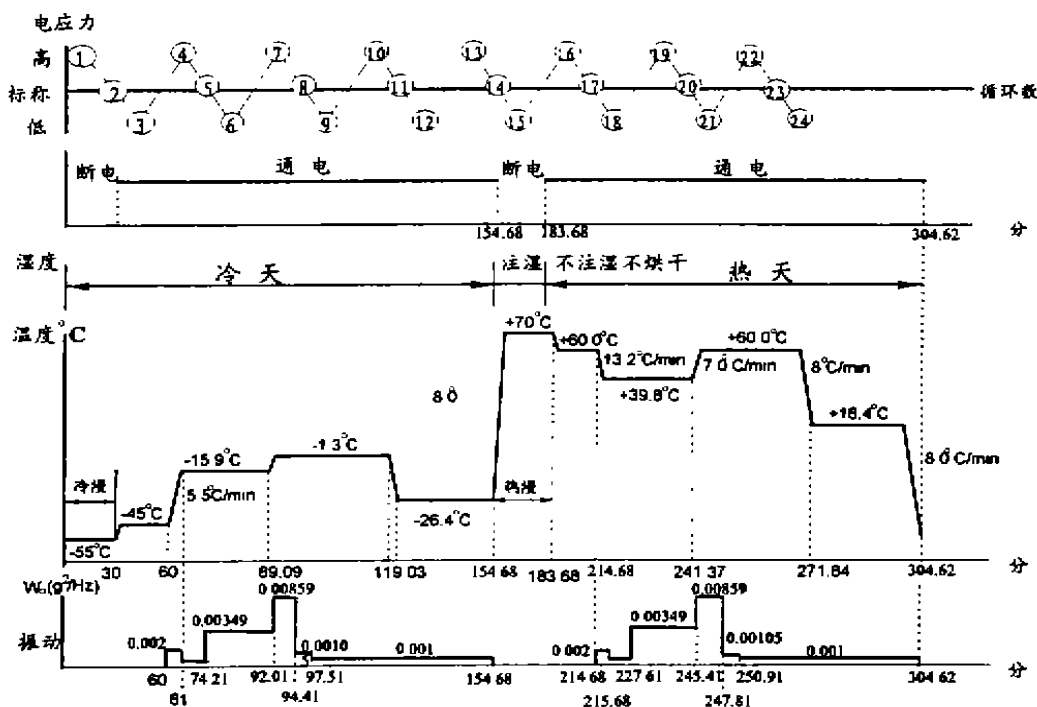


图1 现代航空机载电子设备典型的可靠性鉴定试验剖面

3.2 试验管理机构和责任制度

由试验方、承制方、使用方等三方建立联合试验小组。明确各方职责、建立评审、会签制度,才能保证可靠性增长与鉴定试验的后续效果。可靠性试验中应在试验前、中、后由联合试验小组对试验中的重要事件进行评审,对故障实施 FRACAS 报告表会签制度。

3.3 多专业合作，元器件失效分析，加速纠正故障

对进行专项可靠性试验的产品在可靠性鉴定试验前、后,由试验方协助进行元器件失效分析,利用专业可靠性机构先进的失效分析仪器,由经验丰富的高水平专业技术人员为承制单位分析故障、落实纠正措施提供及时的技术支援,可大大缩短设备达到可

可靠性指标的周期。

4 几个带有普遍意义的应用示例

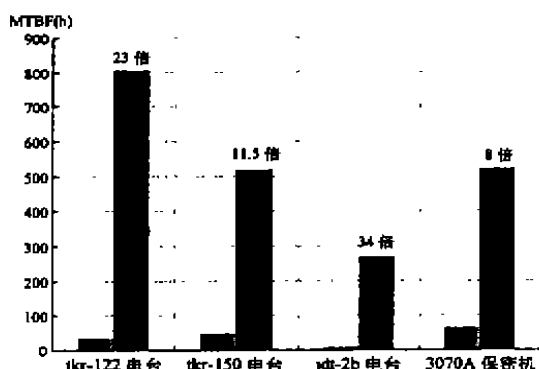
以下是几种导航、通信类设备按可靠性指标要求及试验剖面实施可靠性试验的实际效果。

4.1 航空电子设备可靠性增长与鉴定试验的成效

五种导航设备及4种通信设备可靠性试验前后增长的情况及效果分别见表1、图2和图3。

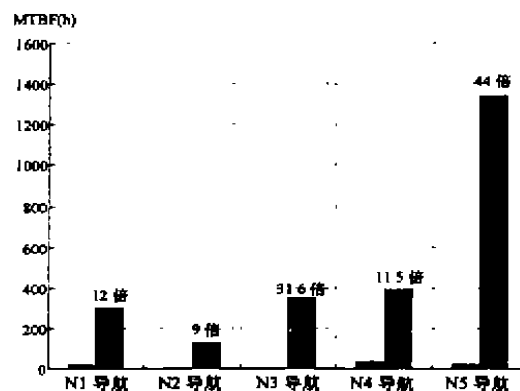
表1 可靠性试验前后增长情况表

类别	设备名称	MTBF 检验 下限 θ_1	点估计值 $\hat{\theta}$	置信下限 θ_L	摸底下限 θ_L	增长倍数
导航	N1 导航	300	645	301	25	12
	N2 导航	500	∞	1339	30.5	44
	N3 导航	130	186.3	130	11.3	11.5
	N4 导航	130	∞	348	11	31.6
	N5 导航	390	841	393	41	9
通信	C1 通信	300	∞	804	34.4	23
	C2 通信	360	1549	517	49	11.5
	C3 通信	100	∞	268	8	33.5
	C4 通信	520	753	520*	65	8



图例：■ 增长前 ■ 增长后

图2 四种航空机载通信设备MTBF增长图



图例：■ 增长前 ■ 增长后

图3 四种导航识别设备MTBF增长图

4.2 机电、光机电一体化装备的可靠性试验

除电子设备可以实施上述试验实现可

靠性增长，达到可靠性指标外，对可靠性试验大纲进行一些适应性改变后也可以应用到机电和光机电一体化设备或系统。

表 2 机电、光机电一体化设备可靠性增长与鉴定试验效果表

序号	设备型号	采用的试验剖面	合同 MTBF 检验下限 θ_1	试验达到置信下限 θ_L	增长倍数
1	AA 设备	AA	100	107	10
2	BB 设备	BB	110	110**	8-10
3	CC 导航设备	BB	40	40	10

改进后的 20 套 AA 设备经实际飞行 230h，没有发生一次故障。这在以往是从来没有过的。证明了可靠性增长与鉴定工作的效果。

5 可靠性试验及增长效果评估

5.1 经可靠性试验的设备 MTBF 指标提高一个数量级以上

对中等复杂程度的机载电子设备，要求可靠性鉴定的 MTBF 检验下限值 θ_1 在 300h 以上。例如 C2 通信设备，其复杂程度要远大于二个 C3 通信设备之和，要求 $\theta_1=360h$ ；N5 导航设备要求 $\theta_1=500h$ ；C5 通信设备要求 $\theta_1=520h$ 。以上设备均顺利通过了如图 1 所示的综合环境应力可靠性鉴定试验要求的可靠性指标。它表明我国机载电子设备的可靠性已具备良好的定量验证的技术基础，同时标志着我国机载电子设备的可靠性指标达到了与国际同类设备的可比拟的程度，为我国引进设备、研制设备的可靠性指标论证提供了依据。

5.2 达到可靠性指标的周期缩短至少五年

经过可靠性试验专项治理的设备，一般用 1.5 ~ 2 年可完满地达到可靠性指标要求。在可靠性增长工作中，专业可靠性机构、承制方与使用方发挥各方专业特长，实施试验-分析-改进-试验验证的可靠性增长模式。以元器件定点、设计和工艺改进、加强管理为中心系统地从根本上消除故障模式，实现可靠性增长；因而也缩短了达到可靠性指标的周期。其中如 N5 导航设备，要

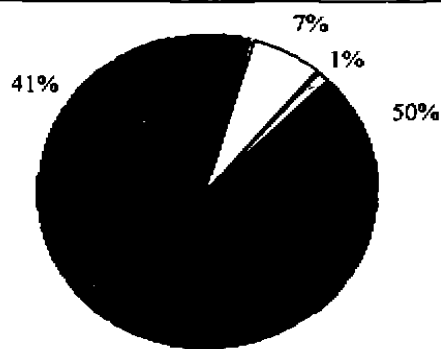
求可靠性指标 MTBF 检验下限 $\theta_1=500$ 小时，可靠性鉴定试验中 6 套参试样机累计试验 2699 小时没有出现一次故障。说明大型国有企业近年研制的集成化、小型化机载电子设备的可靠性有了稳固的基础。

6 可靠性试验中出现的问题及分类

6.1 元器件失效分析对设计师的反馈

由专业可靠性机构作为试验单位，可以协助元器件失效分析加快可靠性增长的进程。失效分析提供线路设计、元器件正确使用、采购及筛选等方面的改进措施意见。失效分析结果表明，由元器件生产方实施改进而消除了故障因素的占 20%；使用方改进线路或改进筛选方法占 40%；使用方改变元器件选购定点的占 40%。从失效分析缺陷的性质来看，其失效性质分布如下：

总数	批次性缺陷	随机性失效	使用问题	其他
128 个	41%	7%	50%	1%



图例：■使用问题 ■批次性缺陷 □随机性缺陷 ■其他

图 4 元器件失效分布图

在所有的失效模式中,批次性缺陷和使用问题引起的设备故障为系统性故障,是影响设备可靠性的主要因素,也是实现可靠性增长、进行可靠性控制的重要环节。随机性故障比较分散,可以通过筛选剔除。

6.2 使用问题引起的故障

由使用问题引起的故障主要表现如下:

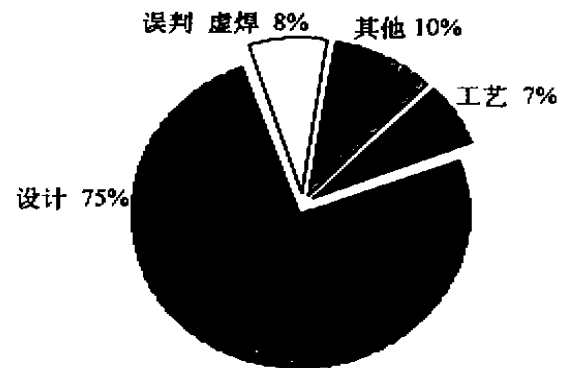
(1) 元器件安装中工艺不良,无加固或责任损伤等占 7%。

(2) 电源或浪涌干扰包括静电放电引起的过电应力占 75%。

(3) 误判和虚焊占 8%。

7 结束语

可靠性试验作为型号工程的必不可少的项目,在系统设计定型时是采购方确认产品是否达到设计定型状态的重要依据之一。在设计过程中是能否转阶段的基本依据。在签定研制合同阶段就必须明确量化的可靠性指标,独立试验考核的单位,基本环境要求和用什么条件对子系统或全系统进



图例: ■ 按装工艺 ■ 抗静电设计
□ 误判和虚焊 ■ 其他

图5 使用故障分类及其百分比

行可靠性试验考核等要求写入合同文本。应建立型号的可靠性副总师系统,按系统工程的设计、监理要求对全过程实施系统工程管理。因此,应将可靠性试验与增长作为系统工程学科的重要内容加以发展。可以预见,可靠性试验与增长由于其丰富的内涵作为系统工程学科的重要内容将会进一步发展。

参考文献

- [1] GJB 899-90 & MIL-HDBK-781
- [2] GJB 1407 & MIL-HDBK-189
- [3] GJB/Z 34 & DOD-HDBK-344
- [4] 4.GJB 150 & MIL-HDBK-810

(收稿日期 2000-09-13)