

# 环境应力筛选技术及其应用和发展综述

祝耀昌

(中国航空综合技术研究所, 北京 100028)

**摘要:** 文章分析了标准 GJB 1032《电子产品环境应力筛选方法》本身存在的一些问题, 列举了在该标准实施过程中的一些不正确的做法, 并对此进行了分析。介绍了常规环境应力筛选技术的发展情况和新发展的高加速应力筛选, 提出修订 GJB 1032 和制订《常规环境应力筛选指南》和《高加速应力筛选指南》两个标准的建议。

**关键词:** 环境应力筛选; 可靠性; 标准; 综述

中图分类号: V416.6

文献标识码: A

文章编号: 1673-1379(2007)04-0191-07

## 1 概述

上世纪 80 年代初, 环境应力筛选(ESS)技术就在我国个别工业部门的某些产品的生产中开始应用。到上世纪 90 年代, 随着国军标 GJB 1032《电子产品环境应力筛选方法》<sup>[1]</sup>的颁布以及国内对环境应力筛选技术认识的提高, ESS 技术在我国军工产品的研制生产中的应用日趋广泛, 取得了较好的效果, 对提高军工产品的质量和可靠性起到了十分重要的作用。然而在该技术的推广应用中, 也出现了许多问题。其中有些问题是由于对 ESS 的认识不足造成的, 有些问题是没有正确应用 GJB 1032 造成的, 有些问题则是由于 GJB 1032 标准本身存在的缺陷和不足造成的。本文对 ESS 技术及其应用中出现的问题、ESS 技术的发展和 ESS 标准的制修订工作发表一些意见, 以与大家讨论。

## 2 环境应力筛选

### 2.1 环境应力筛选的目的

环境应力筛选(ESS)是指元器件以上(一般不包含元器件)各层次产品的筛选。环境应力筛选是通过向产品施加合理的环境应力, 将其内部的潜在缺陷加速变成故障, 并加以发现和排除的过程, 其目的是剔除产品的早期故障。

环境应力筛选效果主要取决于施加的环境应

力和检测仪表的能力。施加应力的大小决定了能否将潜在缺陷变为故障; 检测能力的大小决定了能否将已被应力加速变成故障的潜在缺陷找出来。

### 2.2 环境应力筛选的种类

#### (1) 常规筛选

常规筛选是指不要求筛选结果与产品可靠性目标和成本阈值建立定量关系的筛选。筛选所用的方法是凭经验确定的。筛选中不估计产品中引入的缺陷数量, 也不知道所用应力强度和检测效率的定量值, 对筛选效果好坏和费用是否合理不作定量分析, 仅以能筛选出早期故障为目标。常规筛选的结果是产品的故障率不可能到达 F 点, 而是其他点(如图 1 所示)。常规筛选方法详见文献[1]。

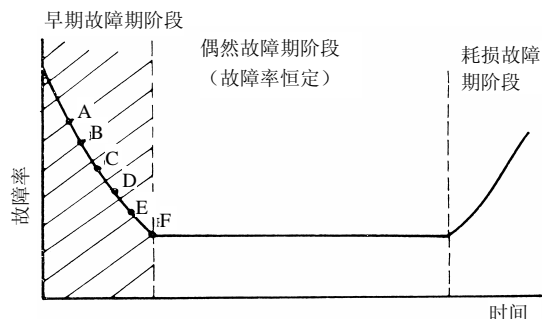


图 1 筛选剔除寿命期浴盆曲线早期故障部分示意图  
Fig.1 Eliminating elementary failure part in bath curve by ESS

收稿日期: 2007-03-06; 修回日期: 2007-08-09

作者简介: 祝耀昌(1941-), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事环境工程和可靠性试验基础技术研究和标准制修订工作。联系电话: (010) 64663322-2259; E-mail: sun\_jy\_1972@163.com。

## (2) 定量筛选

定量筛选是指要求筛选的效果和成本与产品的可靠性目标和现场的故障修理费用之间建立定量关系的筛选。定量筛选的主要变量是引入缺陷密度、筛选检出度、析出量或残留缺陷密度。引入缺陷密度取决于制造过程中从元器件和制造工艺两个方面引入产品中的潜在缺陷数量；筛选检出度取决于筛选用的应力把引入的潜在缺陷加速发展成为故障的能力和所用的检测仪表将这些故障检出的能力；析出量或残留缺陷密度则取决于引入缺陷密度和筛选检出度。

定量筛选是通过定量地选择所用应力的强度和检测仪表的检测率，使通过筛选析出并能检出故障的能力(筛选检出度)达到这样的水平：正好把计算得到的制造过程引入的产品的缺陷全部剔除，从而使产品的早期故障率达到规定的定量目标值，即图1中的F点。定量筛选的应用需要元器件和工艺的缺陷率数据正确，而且计算和调节过程繁杂，我国应用较少，本文不作介绍，详见GJB/Z 34《电子产品定量环境应力筛选方法》<sup>[2]</sup>。

## 2.3 环境应力筛选的作用

通过设计使产品的可靠性达到了设计规定值，并不意味着投产后生产的产品的可靠性就能达到规定值。实际上由于制造过程可能会向产品引入各种缺陷，因而使其可靠性下降。

环境应力筛选的作用可用浴盆曲线加以说明。从图1中可以看出，产品寿命期的故障率-时间曲线分为三个阶段：早期故障期、使用寿命期(偶然故障期)和耗损期。环境应力筛选起作用的阶段主要是早期故障期。在环境应力筛选中，通过对产品施加一定的应力，使产品中本来会在寿命早期在使用环境应力作用下以早期故障形式暴露出来的潜在缺陷提前在出厂前暴露出来并加以排除，从而使交付的产品达到或接近规定的可靠性水平。

产品通过了可靠性鉴定试验仅说明其设计的固有可靠性达到了规定的要求，产品可以投入批生产，但不能保证批生产中的产品均具有这一可靠性水平。产品样本通过了可靠性验收试验，并不能表明该批次产品中其他产品均具有与其相同

的可靠性。因为生产中引入缺陷是随机的，产品样本中的缺陷情况不能代表其他产品中引入的缺陷情况，因此环境应力筛选一般不抽样而应100%进行。

## 2.4 环境应力筛选的特点

### (1) 环境应力筛选是一种工序

ESS的目的是通过施加一种或几种规定的应力，将制造过程中引入产品的各种潜在缺陷在出厂前以硬件故障的形式暴露出来并加以剔除，以防止其交付后在使用环境中变成故障，降低产品的使用可靠性。由于制造、装配过程各个环节都有可能引入潜在缺陷，低组装等级筛选不能剔除装配成高组装等级的过程中引入接口方面的缺陷，而高组装等级筛选由于使用的应力降低也不能有效剔除低组装等级制造过程引入的潜在缺陷，因此原则上ESS应在制造过程的各个组装等级上进行，才能完全剔除各种潜在缺陷。在ESS过程中，在效费比和时间允许的条件下，应当在各组装等级均安排筛选；筛选剔除的潜在缺陷越多，表明其越有效。可见ESS实际上是制造过程中使用的一种剔除制造缺陷的手段，是制造过程检验工作的延伸，是一种制造工序。

### (2) 环境应力筛选的应力不模拟使用环境

环境应力筛选是通过施加加速环境应力，在最短的时间内析出最多的可筛选缺陷。其目的是找出产品中的薄弱部分，但不能损坏好的部分或引入新的缺陷。其加速作用是通过施加高于正常执行任务时遇到的环境应力来实现的，但此常规筛选和定量筛选用的应力不能超出设计极限。必须指出，筛选的有效性是由产品对振动和热的响应特性确定的，而不是单纯由振动输入和热输入确定的。因此，应当在了解与产品设计极限、破坏极限和工作极限有关的振动特性和热特性后再确定筛选应力。

选择所用的环境和应力量值是极其重要的，不能认为产品未来的使用环境是最有效的筛选环境。使用环境会使一些缺陷以故障形式析出，但往往要在相当长的寿命期内慢慢析出。环境应力筛选使用量值大于使用环境的加速应力，利用这种环境应力把原来在产品寿命期离散析出的故障

在相对很短的时间内集中析出。

因此, 环境应力筛选选择的环境和应力量值应能加速地把缺陷激发成可检测到的故障, 但又不会使产品受到过应力。这些应力只是用于激发产品潜在缺陷成为故障而不是对产品的可靠性进行评价, 因此不模拟其寿命期遇到的实际环境和安装状态。

(3) 环境应力筛选不提高产品的固有可靠性  
环境应力筛选一般只用于揭示并排除早期故障

障, 使产品的可靠性接近设计的固有可靠性水平; 而可靠性增长和增长试验是通过消除产品中的由设计缺陷造成的故障源或降低由设计缺陷造成的故障的出现概率, 提高产品的固有可靠性水平。

环境应力筛选与可靠性增长/增长(摸底)试验的作用比较如图2所示。图2表明, 二者改善可靠性的模式不同: 前者可提高使用可靠性, 后者则提高固有可靠性<sup>[3]</sup>。

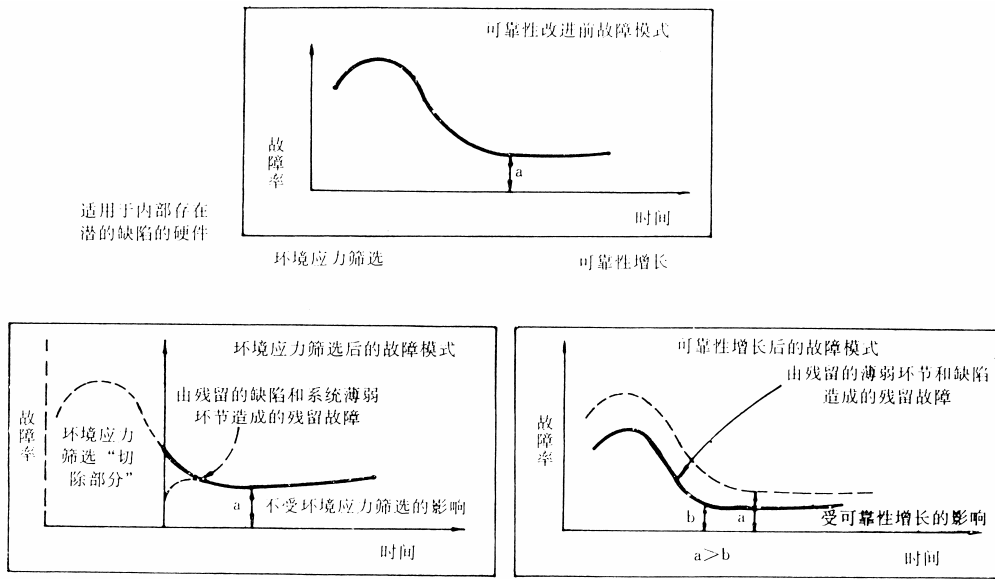


图2 环境应力筛选和可靠性增长改进产品可靠性的比较

Fig.2 A comparison of improvements product between ESS and test for increasing reliability

### 2.5 环境应力筛选的应用

环境应力筛选可看作是质量控制检查和测试过程的延伸。作为剔除产品早期故障的一道工序, 应当纳入批生产流程, 用于产品的各个层次。因此, ESS 应包括元器件、线路板、组件、部件和整机的筛选。元器件的环境应力筛选应由元器件生产厂进行。对于设备制造厂来说, 应对其购买的元器件进行验收和二次筛选, 对元器件级以上层次的产品进行环境应力筛选。

环境应力筛选主要用于产品的批生产阶段和产品使用后的大修中, 但由于其具有加速激发产品内部缺陷(包括设计、工艺和元器件缺陷)的能力, 研制阶段也可用。其在产品寿命各阶段的应用如图3所示。

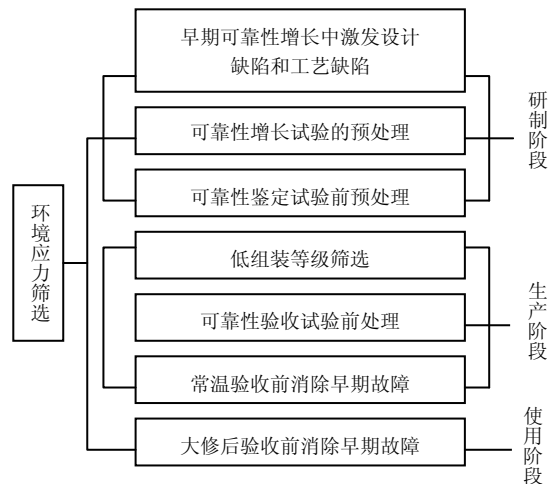


图3 环境应力筛选在寿命期各阶段的应用

Fig.3 The application of ESS in various phases of product life cycle

### 3 GJB 1032 存在的问题

GJB 1032 标准规定了一套完整的可直接应

用的环境应力试验方法,具有很好的可操作性。但仔细研究此标准的内容且在实施环境应力筛选过程中,发现该标准在基本概念、应力确定原则、施加时间和施加方式等方面尚有许多不明确和不完善之处。

### 3.1 概念不够正确

GJB 1032 标准中把环境应力筛选定义为一种试验,因此把筛选、筛选设备和筛选条件分别称为试验、试验设备和试验条件等,这样的提法易使人们把筛选和试验完全等同起来,造成了一些误解。

众所周知,除工程研制阶段的试验以外,其余阶段的试验往往是一种符合性检查手段。试验最基本的特点是要做出接受/拒收判断,试验中出现故障或出现一定数量的故障,就可判为拒收。通过环境符合性试验必须是零故障;而通过可靠性验证试验则允许出现一定数量的故障,允许的故障数取决所选用的试验方案。环境应力筛选实际上不是一般接受/拒收意义的试验,而是一种应用于工程研制和制造过程中各组装等级的质量检验工艺或工序,每个产品都要进行,而试验一般都只是用试验样本进行,这表明了环境应力筛选与试验的区别。为了避免这一混淆,美军标 MIL-STD-2164《电子设备环境应力筛选方法》的修订本 MIL-HDBK-2164A《电子产品环境应力筛选方法》(以下简称美军标 2164A 手册)标准中明确了环境应力筛选是一种工艺(或工序),消除了把环境应力筛选误认为是试验的文字。

### 3.2 筛选应力基本不容剪裁

GJB 1032 标准中对环境应力筛选所用的应力、应力施加时间、应力施加的方式和次序均作了明确的规定。作出统一规定的优点就是不必考虑受筛产品结构复杂程度、制造工艺优劣和其他因素而可直接套用,可操作性强。这对于那些对环境应力筛选不够了解、刚刚开始应用筛选的技术人员来说,自然是很受欢迎的。但是,随着环境应力筛选的广泛应用,各种问题也就随之而来,主要问题如下:

(1) 结构复杂性不同的产品都用标准统一规定的温度循环数有必要吗?复杂程度低的产品能否

减少温度循环次数,以节省时间,提高生产效率?

(2) 不管什么样结构的产品都用同一个振动应力合理吗?包含有抗振能力差的组件或零件的产品能否适当降低振动应力强度,以免损坏这些零部件或组件,或者采取其他办法?

(3) 无故障验证阶段连续温度循环时间 40 h (10~12 个循环),能否适当减少?当剔除故障阶段出现连续 40h(10~12 个循环)不出故障的情况时,能否不再进行无故障验证而结束筛选?

上述 3 个问题的核心是环境应力和筛选时间的剪裁问题。显然,对实施筛选所需的设备、时间和经费等资源情况不同的制造部门和各种不同的产品均千篇一律地使用 GJB 1032 中规定的方法进行筛选是不合理的,也是行不通的。

### 3.3 应用对象局限于电子设备

GJB 1032 标准中明确规定了适用于地面固定和移动车辆、舰船、飞机、直升机、空中发射武器及其外挂各类产品中的电子设备,这一规定有局限性。随着科学技术不断发展,武器装备中纯电子设备(产品)越来越少,大多是机电和光电等混合型设备(产品)。如果严格按照标准规定将其应用对象局限于纯电子产品,那么标准的用途将大大减少,而且会越来越,并且不能解决机电和光电等混合型产品的早期故障剔除问题。工程实践中,环境应力筛选已不限于纯电子产品,只要允许剪裁,可适用于各种非机械产品。而美军标 2164A 中已将其应用对象扩大到了电气、光电和电化学产品。

### 3.4 未说明不同产品层次筛选条件的差别

GJB 1032 标准中虽然在其适用范围中明确了受筛选产品可以是电路板及组件、电子组件和整机,但并未规定不同组装等级的筛选条件。可以设想,对一个由几块线路板组装成的简单组件,按 GJB 1032 规定,其温度循环中的温度范围必然会变窄,从而降低温度应力的强度,同时又不必要地增加上、下限温度上的温度稳定时间,从而降低生产效率。此外在低组件级进行随机振动往往由于振动夹具和测试仪表等问题而难以进行。因此在美国环境科学与技术协会(IEST)的《组件级环境应力筛选指南》中建议在低组装件级不进

行随机振动筛选,而且低组件级与设备(整机)的温度循环筛选的温度范围、循环次数及温度变化速率等也不一样<sup>[4]</sup>。GJB 1032 标准仅给出设备(整机)的环境应力筛选条件显然是不够的。

## 4 我国实施 GJB 1032 中存在的问题及分析

### 4.1 任意剪裁使筛选不充分

#### (1) 减少温度循环次数

许多单位不管产品复杂程度如何,完全从节省资源(经费,时间和人力等)角度出发,大大减少循环次数,如总的循环数从20~24个减少到10个左右,而连续无故障循环次数则从10个减少到3个。这样做的结果带来了筛选不充分的风险。例如某单位复杂程度很高的(元器件数超过4000)样本,由于环境应力筛选只进行10个循环,致使其在可靠性鉴定试验的第5个循环中出现了本应经过筛选排除的早期故障,从而影响了可靠性鉴定试验结果的准确性。

应当指出,对于结构不复杂的受筛产品,可以根据其复杂程度适当减少温度循环次数。例如美国海军筛选大纲(P9492)中就有消除潜在缺陷所要循环次数与受筛产品结构复杂程度关系的曲线。曲线表明受筛产品结构越复杂,所需要的循环次数就越多。

#### (2) 降低随机振动应力

GJB 1032 中规定了筛选用的随机振动谱和振动筛选所需的总时间为10 min,最多也不能超过20 min。许多单位担心振动会损坏其产品结构,因而从两个方面来降低随机振动筛选的强度:一是将梯形谱中80~350 Hz 频率范围的功率谱密度从 $0.04 g^2/Hz$  降到 $0.02 g^2/Hz$  或更低,而谱形不变;另一个办法是将振动时间从5 min 减到3 min。这样做显然会降低随机振动强度和减小累积疲劳效应,从而降低将缺陷为激发故障的能力,使筛选不充分。

GJB 1032 中规定的随机振动谱是经过几十年考验的、适用于电子设备的振动谱,按这个谱进行10~20 min 筛选,不会造成不能接受的累积疲劳损坏。因此对于电子设备的筛选来说,这一要求是不能降低的。当然对于非电子设备,这一谱形不一定是最佳的,可以根据产品结构和早期

故障的特点等选用其他振动谱。对于包含有不耐振动的部件的产品(如精密机械陀螺等),可以适当降低振动强度甚至不进行随机振动筛选。

### 4.2 随机振动轴向位置和轴向数不合理

GJB 1032 标准中规定一般情况下只在一个方向进行随机振动筛选,但明确说明应是最敏感的轴向,也就是垂直于印刷电路板板面的轴向,但也提出必要时可增加振动轴向以使筛选充分。目前,在我国环境应力筛选的实施过程中,多半是将设备按实际使用时的安装方式安装在随机振动台上。这种安装方式往往是振动方向平行于印刷电路板的板面;另一方面,许多制造厂仅在此一个方向上进行筛选。上述做法由于仅在一个不太敏感的轴向上振动,又不安排其他轴向振动来弥补这一不足,必然会使筛选不充分。如果电子设备内部印刷电路板板面有多种安装方式,则应考虑进行更多轴向的筛选。在美国 R&M2000 的环境应力筛选指南中,明确规定至少要进行两个轴向的随机振动筛选,这个规定比 GJB 1032 标准更为严格,可避免上述现象发生,确保随机振动筛选的彻底性。

### 4.3 筛选应力施加次序和方式不符合标准规定

GJB 1032 标准中明确规定了环境应力筛选中随机振动和温度循环的施加方式和次序,即随机振动—温度循环,温度循环—随机振动。许多单位为了减少在温度循环筛选后产品从温度箱到振动台之间转换过程中将产品安装到振动台的装拆工作量,将无故障验证阶段5 min 连续随机振动筛选提前到紧接着剔除故障阶段的累积5 min 随机振动进行,即在温度循环前先进行完10 min 或更长时间的随机振动筛选。上述做法违反了 GJB 1032 标准规定的应力施加原则和有关考虑因素。按照标准规定的施加方式,可以确保在振动中激发但发展不充分因而未变成故障的缺陷在随后的温度循环应力作用下最终变成故障;同时也可确保在温度循环中激发但发展不充分因而未变成故障的缺陷在随后的振动应力作用下最终变成故障。将振动全部放在温度循环之前,显然就违反了上述应力施加的考虑原则,从而使筛选不充分。

#### 4.4 温度循环筛选中受筛产品安装位置欠妥

许多单位利用综合试验箱进行环境应力筛选时,特别是可靠性增长/鉴定试验前的振动应力筛选时,普遍将受筛产品直接安装于随机振动台台面或其延伸头上。这样会使受筛产品的一部分位于筛选箱有效容积之外,降低筛选效果。有些单位进行温度循环筛选时,将受筛产品放在温度循环箱的底部,而不是放在其搁架上,使其底部直接与箱壁接触,而不是被流动气流所包围。这样会导致受筛产品各部分温度不均匀,且不能都经受规定的温度变化速率的流动气流的加热和冷却作用,同样会降低筛选效果。用综合试验箱进行环境应力筛选时,由于将产品按实际安装方式安装在振动台上,还不能保证随机振动方向垂直于电子设备的印刷电路板面,加上一般都不进行第二或第三个轴向的振动筛选,这样又使振动筛选不充分。因此,以上的做法是不合理的。

#### 4.5 控制振动响应而不是使用带谷振动

有些单位在对一些体积较大、结构设计不够紧凑的产品进行筛选时,由于受筛产品有些部位振动响应太大,致使诱发出不应该出现的故障。为了避免这一现象出现,采取控制这些部位的响应值为  $6.06g_{rms}$  的方式,而不是将产品安装在台面上振动输入处的振动值控制在  $6.06g_{rms}$ 。这样做的结果会导致产品上振动响应小的其他部位经受不了  $6.06g_{rms}$  量值的筛选,从而使筛选不充分。美军标 2164 标准中明确规定,为了避免因共振引起的任何潜在的疲劳或峰值应力损伤,有必要对输入谱上会引起产品某些部位产生共振 ( $Q>10$ ) 的谱线处降低其谱值,即实行带谷振动。要想这样做,必须在受筛产品研制期间或者利用低量值扫频确定共振频率及其幅值。美军标 2164 标准中的这些规定在编写 GJB 1032 时没有纳入,这样或许就影响了这一方法在环境应力筛选中的应用。

### 5 环境应力筛选技术的发展

#### 5.1 常规环境应力筛选的发展

经过多年应用常规环境应力筛选,取得了一些好的经验,也对原来的标准加深了认识,提出了一些新的思路和做法,主要体现在美军标 2164A

手册中。该手册对原标准 2164 中的一些不足之处进行了重大修改,并提出了一些新的技术。

(1) 将 2164 标准从刚性标准改为可剪裁的指南性标准

2164 标准明确规定其目的是提供统一的筛选方法和规定 ESS 的一些通用要求,而 2164A 手册中已去除了这两条,使其成为一个指导性文件,不再强调 ESS 的统一性,明确指出“不可能有一个能适用于所有产品的通用筛选大纲”、“一个经济有效的 ESS 大纲必须是动态的,因而必须对筛选大纲进行有效的管理,并且要根据受筛产品的特性等进行剪裁”。2164A 提供了筛选流程图,说明 ESS 大纲确定过程的动态性和可剪裁性。

(2) 明确 ESS 是一道工序而不是试验

明确说明 ESS 是一个经济有效的工程研究、制造改进手段和检验工序,而不是在一般接受/拒收意义上的一种试验。这一概念原来只是在有关 ESS 指南和评述文章中才说明,将其纳入标准说明了明确这一概念的重要性,因此 2164A 手册中去除了任何把 ESS 看作试验的表达方式,特别是“试验”两个字,如将“试验条件”改为“筛选条件”,“试验装置”改为“筛选设备”,“试验箱”改为“筛选箱”,“振动试验”改为“振动筛选”等。

(3) 明确 ESS 的应用阶段和应用对象

2164A 手册明确了 ESS 可以用于装备的工程研制、批生产和使用(维修)各个阶段。虽然手册的名称还是电子设备,但其 4.1 节和附录 C 中明确规定应用对象为电子、电气、光电、机电和电化学等方面的产品,包括采购和二次采购的备件和维修件。

(4) 明确规定 ESS 免做原则

2164A 手册明确规定,对已知脆弱的经受不了 ESS 应力的硬件,可以不实施 ESS。但这一点要在适当文件(如 ESS 计划)中加以说明。

(5) 明确 ESS 还可用于发现设计缺陷

2164 标准只明确 ESS 可用于剔除制造缺陷,而 2164A 手册明确提出 ESS 还可以“发现因设计不成熟或鉴定及可靠性增长试验不充分而带来或遗漏的设计问题”。

(6) 温度循环筛选中的温变速率提高到  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$

2164A 手册将温度变化速率从 2164 标准的 5 °C/min 提高到 10 °C/min。

(7) 振动应力参数不再套用标准规定值

2164A 手册规定“振动筛选参数应根据受筛产品的响应特性进行剪裁”,以避免给定的振动谱使某些好的硬件产生严重过应力。因此,应开展对受筛产品振动响应特性的调查和分析工作。

## 5.2 提出高加速应力筛选

高加速应力筛选(HASS)是近年来在高加速寿命试验(HALT)的基础上发展起来的一种新的筛选方法。这种方法的特点是使用的应力大,需要的时间短。例如温度变化速率可高达 60 °C/min,随机振动的加速度均方根值高达 20g<sub>rms</sub> 以上,温度循环总时间小于 2h。与常规筛选和定量筛选不同,高加速应力筛选的应力要根据研制阶段应用 HALT 得到的产品工作极限和破坏极限来确定。HASS 应力范围与常规筛选应力范围的比较如图 4 所示。从图 4 可见 HASS 的应力要比一般 ESS 应力大得多。HASS 只适用于研制阶段过程应用 HALT 获得工作极限和破坏极限的产品。虽然在国际上 HASS 技术已得到越来越多的应用,但相应的标准并没有制订,我国也应用得很少,因此本文对 HASS 不作介绍。有关 HASS 技术和方法的详细介绍见参考文献[5]。

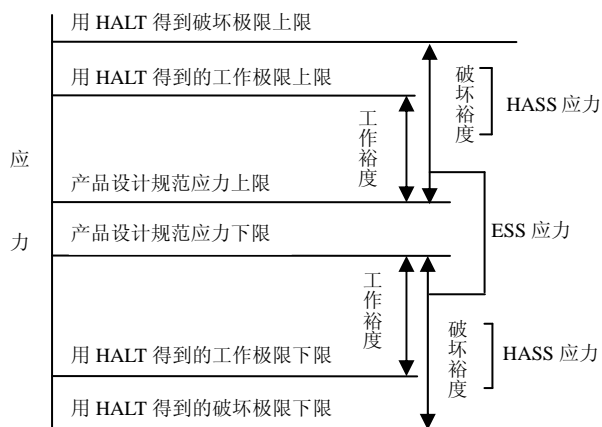


图 4 HASS 和 ESS 应力设计范围比较  
Fig.4 A comparison of the stress range between HASS and ESS

## 6 建议

(1) 尽快修订 GJB 1032

鉴于 GJB 1032 本身存在的问题和 ESS 技术的发展,建议应尽快参考美军标 2164A 修订 GJB

1032 标准。修订的重点是完善其应用的对象和产品层次,并增加可剪裁的内容,应用范围按 2164A 手册扩大到机电、电气、光电和电化学产品。由于应用范围的扩大,筛选的应力建议不作明确规定,原标准中对电子产品的应力规定至多以附录的形式出现。

(2) 制定一个环境应力筛选指南标准

该标准可以以 IEST 的《组件环境应力筛选指南》为基础编写。其内容既包括环境应力筛选基本概念、特性、价值和用途的说明,还包括环境应力筛选的大纲设计及考虑因素、随机振动应力筛选和温度循环应力筛选应力特性和确定技术、环境应力筛选过程控制、环境应力筛选剪裁、温度调查和振动调查指南等。这一标准可为开展环境应力筛选大纲设计和剪裁提供理论和实践方面的指导。

(3) 制定高加速应力筛选指南标准

高加速应力筛选是一种比常规 ESS 更快速、有效的筛选技术,但这种技术的应用是有条件的,即只适用于进行过高加速寿命试验(HALT)、确定了其工作极限和破坏极限的产品。高加速应力筛选的应力、时间的确定和实施技术已日趋成熟,但国内许多人对此技术了解甚少,因此迫切需要编写一个指南性标准来指导该技术的应用。鉴于 HASS 与 HALT 的密切关系,建议制订一个包括这两种技术的指南性标准。

### 参考文献 (References)

- [1] GJB 1032, 电子产品环境应力筛选方法[S]. 1990 [GJB 1032, Environmental stress screening method for electrical products[S]. 1990]
- [2] GJB/Z 34, 电子产品定量环境应力筛选指南[S], 1993 [GJB/Z 34, Quantitative environmental stress screening for electrical products[S]. 1993]
- [3] 祝耀昌,等. 可靠性试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 1994 [Zhu Yaochang, et al. Reliability test[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1994]
- [4] 美国环境科学协会(IES). 组件级环境应力筛选指南(中译本)[S]. 1992 [Institute of Environmental Science (IES). Guideline for environmental stress screening at subassembly level (in Chinese)[S]. 1992]
- [5] 祝耀昌. 高加速应力筛选[M]. 中国航空综合技术研究所, 2005 [Zhu Yaochang. High acceleration stress screening[M]. China Aero-polytechnology Establishment, 2005]