

文章编号:1001-893X(2012)07-1192-06

# 移动通信系统设备可靠性筛选试验的应力条件<sup>\*</sup>

胡诗妍<sup>1</sup>, 赵德良<sup>2</sup>

(1. 中国人民公安大学 安全防范系, 北京 100038; 2. 大唐联诚信息系统技术有限公司, 北京 100191)

**摘要:**结合实际工作经验和体会,参考相关标准、规范,以产品实际应用环境条件为基础,总结了移动通信系统设备可靠性筛选试验的边界条件,探讨了非加速和加速应力筛选试验的应力选取方法和原则。在传统的可靠性筛选试验基础上,增加了电磁应力的新研究内容。这更贴近产品实际工作的应力环境,在测试案例中取得了很好的结果。对科学合理地激发产品缺陷提出了新的思路和方法。

**关键词:**移动通信; 系统设备; 可靠性; 电磁应力; 边界条件; 极限条件; 组合应力; HALT; HASS

**中图分类号:** TN80      **文献标志码:** A      doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.07.030

## Stress Conditions of Reliability Screening Test for Mobile Communication System Equipment

HU Shi-yan<sup>1</sup>, ZHAO De-liang<sup>2</sup>

(1. Security and Prevention Department, Chinese People's Public Security University, Beijing 100038, China; 2. Datang Linktech Infosystem Co., Ltd., Beijing 100191, China)

**Abstract:** On the basis of practical application environment conditions, with interrelated standards, criterions, practical experience and understanding of mobile communication system equipment, the boundary conditions for the reliability screening test are summarized. The stress selecting methods and principles for accelerated and non-accelerated stress screening test are investigated. A new research content about electromagnetic stress is appended based on traditional reliability screening test, which is more closer to the actual work stress environment, and good results have been achieved in the test cases. The new ideas and methods are proposed for scientific and rational excitation of product defects.

**Key words:** mobile communication; system equipment; reliability; stress; boundary condition; limiting condition; combination stress; HALT; HASS

### 1 引言

随着第三代和第四代移动通信系统(3G 和 4G)设备的相继问世和迅猛发展,宽带高速的信息化移动新生活正逐步进入千家万户。

上至国家,下至普通用户对 3G 和 4G 设备的可靠性寄予了厚望。但是必须看到,由于全球自然气候条件恶化和人为导致的电磁干扰和破坏因素的

加剧,要求现代移动通信系统设备要具有比以前更高的可靠性和兼容性,才能适应复杂应用环境的新需求。

我国电子制造业的可靠性工作起步较晚,行业技术背景薄弱,可靠性试验需要增加产品成本,而多数公司对质量和可靠性的重视程度不够。目前,我国行业内的可靠性筛选试验大多停留在元器件级,国外却早就进入系统级。国际竞争的加剧,使得提高国产设备质量已迫在眉睫。做好可靠性筛选试验

<sup>\*</sup> 收稿日期:2011-11-01;修回日期:2012-03-20

工作,是提高质量的重要因素之一,明确可靠性筛选试验的应力条件是可靠性筛选试验的基础。

对于移动通信系统设备来说,目前缺乏全面论述可靠性筛选试验应力条件的技术文献,移动通信系统设备的国内制造商大多也缺少全面的企业级可靠性筛选试验规范,有些设备厂家无准确产品应用环境条件定义,有些仅按照国家或行业标准定义其可靠性试验应力条件。

基于以上对国内现状的分析,研究移动通信系统设备的可靠性筛选试验的应力条件,找出适合我国 3G 和 4G 系统设备可靠性筛选工作的切实可行的条件、方法或原则,将有着重要的意义。

## 2 环境应力条件与边界条件

移动通信系统的可靠性试验是检验产品质量的一个重要手段之一。可靠性试验一般包含种类较多,而其中的可靠性筛选试验又有元器件级、单元级和系统级。筛选试验需关注的因素有试验应力条件的选取、试验剖面的制定以及监控和过程控制等,尤为重要是应力条件的确定。

环境应力(Environmental Stressor)是指产品受所处环境的影响而使产品受到的环境压力的因素。电子产品的一般环境应力通常指环境四应力,即温度应力、湿度应力、振动应力、电应力,加上气压应力和电磁应力,也有称环境六应力。而我们常说的环境适应性是指产品对工作背景下的自然和社会环境的适应能力,若为加快激发产品的缺陷,有时选取高于自然和社会环境应力的条件和剖面,也就是常说的加速应力。

### 2.1 筛选试验应力选取的现状和问题

首先,一般筛选试验的初始条件依据国家和行业标准规定的应力条件选取,因标准规定的应力条件门槛低,对高可靠性产品,不易很快激发产品缺陷,往往费时费力,增加试验成本;其次,一些筛选试验的组合应力目的性不明确;第三,多数综合试验箱提供的应力不够全面,往往不能全面激发产品缺陷,如大多无法同时提供电磁条件,但产品实际应用中电磁条件却客观存在;第四,试验过程中的监控方法科学性和全面性重视不够,如有些同行试验中只监视局部的软件功能等。

由于上述现状,多数同行在试验中往往会遇到一些尴尬的问题。不使用加速应力时,面临长时间无法找到产品缺陷的窘境;使用加速应力时,加速因子或步进应力一旦控制不好,往往造成不必要、不正确,甚至破坏性的故障触发,不仅浪费人力物力,而且并不能说明一定是产品的缺陷。

因一般筛选试验应力选取具有上述的不足,为了提高筛选试验效率,全面覆盖环境应力,本文结合多年可靠性筛选试验的经验,提出了边界条件的概念。

### 2.2 边界条件概念的提出

工作条件是指产品使用地区的自然和社会环境对应的应力条件。边界条件是指产品全部应用环境中的工作条件的上下限值所包含的应力范围。边界条件可以对应一个应力或多个组合应力,包含异常环境条件。

在电磁兼容性标准中规定的抗扰度条件,定义为标准电磁条件;在设备实际应用环境中可以发生的,无法衡量是否超过标准电磁条件的条件,定义为非标准电磁环境条件。

### 2.3 边界条件经验数据的总结

参照国家和行业相关标准,以实际应用环境中能发生的为前提,实际工作中通常选用的试验应力的边界条件如下。

#### (1)电磁边界条件

电信中心环境取超过 EMC 最新行业标准指标一个等级,若没有明确的更高等级,取超标范围为标准应力值的 10%(一般为标准应力限值的波动最大值);非电信中心和室外应用条件下还可以更严酷一些。

#### (2)温度边界条件

电信中心环境取低温 0℃,高温 + 40℃;非电信中心室内温度边界环境条件:低温 - 10℃,高温 + 55℃;室外应用的温度边界环境条件:低温 - 40℃,高温 + 70℃<sup>[1]</sup>。

#### (3)电压边界条件

电信中心环境取额定电压的 ± 20%;非电信中心和室外应用甚至可以设计为额定电压的 ± 30%。

#### (4)湿度边界条件

电信中心环境取相对低湿 10%,相对高湿 95%<sup>[1]</sup>;室外和非电信中心的湿度范围甚至可以选择 5% ~ 98%。

(5)振动边界条件

一般选 10 ~ 1 000 Hz的正弦或随机平谱加梯形谱,能级 0.001 ~ 0.003 g<sup>2</sup>/Hz。振动加速应力条件可选频率在 20 ~ 2 000 Hz ( 80 ~ 350 Hz 时为 0.04 g<sup>2</sup>/Hz),一般6 g(均方根值),最大可用10 g,每个轴向振 5 ~ 10 min<sup>[2]</sup>。

(6)气压边界条件

民用设备一般选取 45 (例如青藏高原) ~ 106 kPa(军用设备低气压一般选18.8 kPa(12 000 m 高空))。

边界条件是产品设计和测试时必须重点考虑的重要因素之一,上述边界条件数值仅供大家参考。在可靠性筛选试验时,往往用综合试验台模拟产品实际应用环境。因此,可靠性筛选试验的环境应力条件应作为首选项,记录在试验报告或日志上。

2.4 边界条件提出的意义

首先,因有了全面的试验应力的边界条件,更容易在不加速应力的前提下,激发产品缺陷;

其次,因明确而较准确地总结了实际可发生的边界条件应力,所激发的产品缺陷更有说服力;

第三,因边界条件的应力门槛较高,因此,依据边界条件规划的试验剖面比依据国家或行业标准规划的试验所用时间少,成本低;

第四,因边界条件是非加速的范畴,也不易造成不必要的损坏。

3 非加速应力筛选试验的应力条件

3.1 单应力筛选试验

单应力常规筛选试验是在边界条件下进行的验证性试验。通信系统设备的常规单应力试验有安全试验(机械结构、发热和防火、电气安全、化学安全等)、电磁兼容性试验、环境适应性试验(温度、湿度、振动、电应力、气压、太阳辐射、覆冰、冻雨和霉菌等)。另外,其他单应力试验还有单应力加速寿命、单应力筛选试验等。

3.2 组合应力筛选试验

表 1 是移动通信系统设备常用的环境应力组合方式试验项目列表,其中的温度、湿度、振动、电磁应力四综合试验是尝试性的组合应力试验,因为试验环境是模拟产品的现实应用环境进行的,所以在大量的试验中激发出了产品的很多问题。

表 1 移动通信系统设备组合应力筛选试验  
Table 1 The combination of stress screening test for mobile communication system equipment

| 分类       | 组合应力常见试验           |
|----------|--------------------|
| 组合应力筛选试验 | 温度、电应力组合(四角)试验     |
|          | 温、湿度循环试验           |
|          | 温度、气压组合试验          |
|          | 温度、振动组合试验          |
|          | 温度、湿度、电应力三综合试验     |
|          | 温度、湿度、电磁应力三综合试验    |
|          | 温度、湿度、振动三综合试验      |
|          | 温度、湿度、振动、电应力四综合试验  |
|          | 温度、湿度、振动、电磁应力四综合试验 |
|          | 温度、湿度、振动、气压四综合试验   |
|          | 环境应力筛选 ESS 试验      |
|          | 组合应力高加速寿命—HALT 试验  |
|          | 高加速应力筛选—HASS 试验    |

根据用户需求,应提出环境应力筛选项目和要求。确定筛选范围,如器件、电路板、模块、组件/分设备等<sup>[3]</sup>。非加速筛选试验在边界条件下进行,加速应力试验的应力条件超过了边界条件。

3.3 边界条件组合应力筛选试验案例

图 1 是边界条件下组合应力筛选试验的一个典型例子。

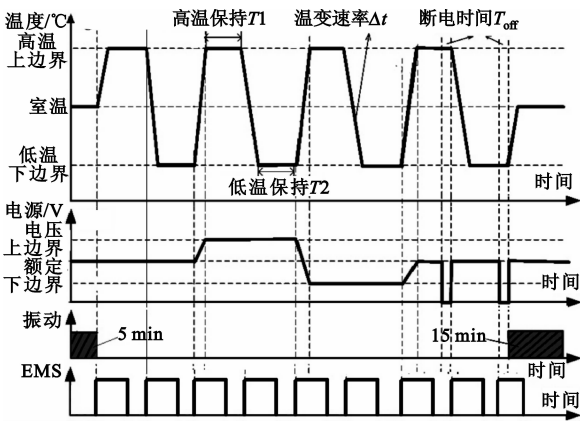


图 1 边界条件下组合应力筛选试验剖面范例  
Fig. 1 The combination of stress screening test profile sample under the boundary conditions

第一次做类似剖面试验时,未添加电磁应力<sup>[4]</sup>,结果未激发产品的缺陷;后来分析产品应用的实际环境,到现场采集数据,进行对比分析,结果发现电磁应力的重要性。因此,在改进后,依据边界条件构建剖面时,合理地增加了电源端口、信号端口耦合的电磁应力。结果在实际组合应力试验过程中,仅在第一个温度循环周期内,就发现了一个工艺隐患,第

三个周期又发现了设计裕度不足的问题。这样,不仅节省了时间,而且避免了使用加速应力试验可能带来的损失。

通过本案例的多次试验研究,证明组合应力剖面模型要以实际现场为原型,在合理的基础上构建,才能增加试验的有效性和科学性。激发潜在故障和薄弱环节的试验技术,今后将会得到越来越广泛的应用<sup>[5]</sup>

## 4 加速应力筛选试验的应力条件

### 4.1 极限条件定义

极限条件包括产品应用环境中可能存在的极限环境条件和用户需求的条件中更苛刻的条件。极限条件在产品设计和测试时,应该考虑,但对产品的可靠性影响不大;一般地,把极限条件作为可靠性强化和产品寿命检测的参考条件之一。

工作极限和破坏极限的定义见文献<sup>[6]</sup>。

设计极限是为了让产品稳定地工作于产品的边界条件下,满足期望的工作极限要求,在总体设计和指标分解时,规定的产品设计极限,考虑设计裕度,有时设计极限的部分指标也有低于工作极限的情况。

### 4.2 边界条件与极限条件的关系

边界条件与工作极限的区别是工作极限的极限值是产品自身属性,可以超过边界条件所指的产品正常工作的自然和社会环境应力值。图 2 是边界条件和各种极限条件的应力范围的关系。



图 2 边界条件和极限条件的应力范围  
Fig.2 Boundary and limiting condition range

激发产品缺陷的常用应力是环境四应力,应力条件选择常用的原则是参考边界条件选取。可靠性筛选试验的应力选取若按照工作极限来构建试验剖面,有可能形成较大的设备损坏成本。

然而,现代通信产品的系统级设备,因为是连续不间断工作,具有较高的可靠性,仅仅使用边界条件所做的非加速应力,有时较难很快激发由于设计裕度不足而造成的产品潜在问题。因此,除了边界条件的相关试验外,有时还按照略低于极限条件的要

求,来做更深入加速应力试验,从而更快地激发产品的某些缺陷。

## 5 可靠性筛选试验应力条件的选取

可靠性筛选试验结果的可信度除了与试验剖面的科学性、试验方法和过程控制的严谨性有关外,很大程度取决于应力选取的合理和科学性。

应力选取除了依据相关标准和产品的实际环境外,有时也根据不同的目的,进行有侧重的应力强度的适当加强、减弱,或应力数量的添加或剪裁。

加速试验应力,希望最低试验应力与实际使用或额定应力条件较接近,即边界条件,最高试验应力水平应尽可能高,但不得超过所能承受的极限应力,以免引进新的失效机理<sup>[7]</sup>。

### 5.1 单应力筛选试验应力条件的选取

单应力的常规筛选试验,应力条件一般根据产品实际应用(工作地区)的环境边界条件进行选择。若是为了一定程度的加速寿命,或加大筛选力度,有时也选择加严边界条件或者取接近极限条件来进行试验,但是一个最重要的原则是加速应力激发的“问题”必须在非加速应力的其他组合剖面下可复现或者有很大的复现趋势(即设计裕度不足),才能确认为有效产品缺陷,构建的加速应力剖面才是有效的,否则就不能称其为加速应力试验,而是破坏试验。

以某室外应用的通信终端的温度循环试验为例来说明。该终端正常工作的大多数应用环境边界条件是高温 60℃,低温 - 40℃。但是经过若干循环,发现问题不明显或监控发现部分性能有恶化趋势。为了激发问题,选择了异常应用条件(如夏季长时间太阳辐射下的汽车内、高楼夹层中等密闭环境)的高温条件 70℃ ~ 80℃ 进行试验,就激发了产品的设计和工艺缺陷,后来又针对该问题,在一般边界条件的组合应力试验中复现了该缺陷。

可见,单应力边界条件也不是一成不变的,只要应力施加方法科学、目的明确、构建剖面有理有据,尤其是监控方法准确、全面,激发的就有说服力和代表性。

单应力的加速寿命试验(HALT)由于剖面构建、加速方法、监控手段单一等原因,经常造成一些不必要的损失。

### 5.2 组合应力试验应力条件的选取

对于可靠性鉴定和可靠性筛选试验,所选应力

组合方式和剖面要求,也随着试验目的的不同而有较大差异。例如,鉴定试验多选边界条件组合,筛选试验往往突破边界条件束缚,但是无论哪种试验,一般有以下原则供大家参考。

(1)组合应力选择的依据必须是现场应用可能发生的,尽量贴近工程实际,并参考相关标准的要求。

(2)即使为了筛选出早期失效,适当的高出工程应用现场环境条件时,也必须小心设置应力加强的梯度,最好是有目的地先保持其他应力不变,逐步缓慢改变最有可能激发出问题的应力,但必须清晰计算、测试或预估出最高应力上限,并预估应力增加的每阶段可能带来的破坏程度,尽量做到在不产生破坏的情况下激发早期失效。

(3)因器件的非理想性和分布参数的非线性,理论预计可能存在较大偏差,因此在做可靠性筛选试验时,尽可能地增加对受试产品监测的种类、方式和监测点,并对监测的合理性、科学性,以及各种方式之间的影响等充分评估后,才能规划出合理的监控方法。

例如,图 1 的案例的监控方法就不仅包含了通信链路软件性能、指标、软件告警等,而且包括链路波形、关键芯片温升、输出功率变化、关键信号畸变、关键芯片电压和电流、振动强度等。

### 5.3 HASS 试验应力条件的选取

高加速应力筛选(HASS)试验一般是建立在 HALT 试验的基础上。单应力的 HALT 试验还好控制,而 HALT 组合应力试验的关键是如何构建科学的应力剖面,使得激发的极限点只是工作极限,而不是破坏极限。这方面一般原则是根据单应力 HALT 的数据,设置一些保护和警告,然后参考 HASS 的剖面选取合适的 HALT 应力组合剖面,同时结合经验,使用最小的代价获取 HALT 数据。

根据我们工作实际经验的总结,结合国外和业界同行的做法,通信系统设备的 HASS 试验每个单应力参数一般选取原则是设置所选应力的数值为 HALT 工作极限范围的 80%,或者选取破坏极限的 50%<sup>[8]</sup>。但如果破坏极限的 50%超过了工作极限,则取工作极限的 80%。

HASS 试验的剖面在具体试验过程中不一定是一成不变的,应在试验过程中,根据监测数据的恶化程度,适当调整剖面的应力强度,以便将损失减到最低。图 3 是一个 HASS 试验剖面范例,试验过程中发现第二次的低温启动不成功,并在增加监控点时

发现晶振的输出波形不正常,因此改变低温边界或者减低振动强度后,发现可以成功启动。最后通过制作评估板,单独对晶振进行筛选试验,发现了晶振的批次问题。

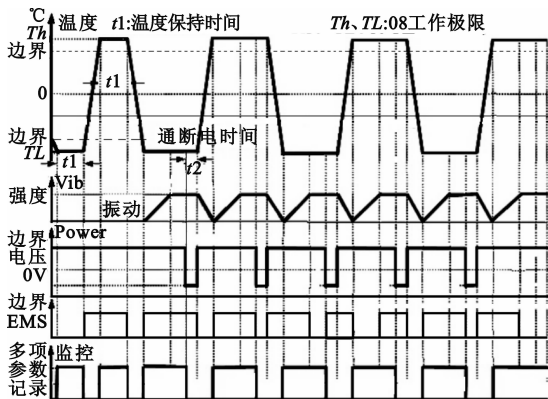


图 3 高加速应力筛选试验剖面范例  
Fig.3 Highly accelerated stress screening test profile sample

在进行 HASS 试验前,须仔细评估 HALT 的各种数据变化趋势,做到有重点地监控,改变某一种或几种应力的数据,结合设计裕度、降额系数、器件 DATASHEET 等,合理设置监控点和监控方法,以达快速激发和定位问题的目的。

## 6 结束语

基于对 3G/4G 无线通信系统设备较多次可靠性筛选试验的条件、结果、数据对比和案例分析,提出了可靠性筛选试验边界条件的概念,全面总结了移动通信系统设备可靠性筛选试验中包含电磁应力在内的边界条件数据,举例说明了可靠性筛选试验常用的应力选取方法和原则,在实际工作中取得了较好的效果。由本文分析可知:

(1)明确、合理的边界条件为产品设计和可靠性筛选测试提供了较全面的数据参考;

(2)移动通信系统设备的可靠性筛选试验边界条件是参考国家和行业标准,以产品实际应用环境的应力条件为基础,根据不同的筛选目的进行合理的优化而形成的。

继续研究该课题,促进可靠性工作的实践经验和理论体系的不断完善,形成较完整、科学的国内可靠性筛选试验应力边界条件数据、选取原则规范或标准,积极推动国产设备制造商对产品质量和可靠性的重视,对缩短国产设备与国外先进设备的质量

差距,更科学合理地激发产品缺陷,提出新的思路和方法,有着积极的推动作用和深远意义。

参考文献:

[1] YD/T 1082 - 2011, 接入网设备过电压、过电流防护及基本环境适应性技术要求和试验方法[S].  
YD/T 1082 - 2011, Access network equipment over voltage, over current protection and environmental adaptability technical requirements and test methods[S]. (in Chinese)

[2] 戴慈庄. 可靠性工程中设计、试验和环境的综述[J]. 环境条件与试验, 1991, 9(5): 29 - 33.  
DAI Ci - zhuang. Reliability engineering in the design, testing and environmenta overview[J]. Environmental Conditions and Test, 1991, 9(5): 29 - 33. (in Chinese)

[3] 生建友. 军用电子设备的可靠性管理[J]. 电讯技术, 2012, 52(1): 111 - 116.  
SHENG Jian - you. Reliability managerment for military electric equipment[J]. Telecommunication Engineering, 2012, 52(1): 111 - 116. (in Chinese)

[4] GJB 1032 - 1990, 电子产品环境应力筛选方法[S].  
GJB 1032 - 1990, Electronic Product Environmental stress screening methods[S]. (in Chinese)

[5] 王德言. 环境试验与可靠性试验技术的发展[J]. 装备环境工程, 2005, 23(5): 10 - 13.  
WANG De - yan. The development of environmental test and reliability test [J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 23(5): 10 - 13. (in Chinese)

[6] 夏俊生. 混合集成电路 HALT 和 HASS 技术应用研究[J]. 环境科学与技术, 2010, 28(1): 22 - 28.

XIA Jun - sheng. The study on application of HALT and HASS technology for HIC [J]. Environmental Science and Technology, 2010, 28(1): 22 - 28. (in Chinese)

[7] 于瑞祥. 产品可靠性试验和筛选[J]. 半导体光电, 1981, 6(1): 50 - 55.  
YU Rui - xiang. Reliability Testing and screening[J]. Semiconductor Optoelectronics, 1981, 6(1): 50 - 55. (in Chinese)

[8] 陈奇妙. 美国可靠性强化试验技术发展点评[J]. 质量与可靠性, 1998, 13(4): 47 - 44.  
CHEN Qi - miao. U.S. Reliability Enhancement Testing Development Review[J]. Quality and Reliability, 1998, 13(4): 47 - 44. (in Chinese)

作者简介:

胡诗妍(1971—), 女, 贵州松桃人, 2005 年于北京理工大学获管理学硕士学位, 现为讲师、博士研究生, 主要研究方向为安防系统可靠性技术;

HU Shi - yan was born in Songtao, Guizhou Province, in 1971. She is now a lecturer and currently working toward the Ph.D. degree. Her research concerns reliability technology in security and protection system.

Email: hsy888@163.com

赵德良(1970—), 男, 辽宁大连人, 1994 年于东北师范大学获理学学士学位, 现为工程师, 主要研究方向为电磁兼容和可靠性技术。

ZHAO De - liang was born in Dalian, Liaoning Province, in 1970. He is now an engineer. His research concerns electromagnetic compatibility and reliability technology.

Email: zdl8@163.com