

高加速寿命试验在车身控制器上的应用研究

闫玉洁, 王晓红, 赵国志

(北京航空航天大学, 北京 100191)

摘要: 对高加速寿命试验的基本思路、原理和一般步骤进行了详细介绍。将所介绍的理论应用于某一型号车身控制器工程的HALT过程中,给出了产品的参考HASS剖面。根据受试产品实际情况进行了试验方案优化,在对试验结果详细分析的基础上,针对受试产品的薄弱环节给出了合理化改进方案。

关键词: 高加速寿命试验; 车身控制器; 试验方案优化; HASS剖面

中图分类号: U467.4⁺97 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2013)02-0034-04

Application Research of Highly Accelerated Life Test in Body Control Module

YAN Yu-jie, WANG Xiao-hong, ZHAO Guo-zhi

(Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: The basic idea, principles, and general test steps of Highly Accelerated Life Test (HALT) were introduced. The introduced theory was applied in the HALT process of a certain body control module and the product reference HASS profile was given. The test scheme was optimized according to the actual situation of the tested products. Rational improvement solutions for the weak links of the tested product were put forward based on detailed analysis of the test results.

Key words: HALT; body control module; test scheme optimization; HASS profile

高加速寿命试验(HALT)是一种采用步进式应力方式寻找产品在高水平环境应力(振动、温度和热冲击)条件下的工作设计裕度及破坏极限的方法。20世纪80年代末, Gregg K. Hobbs 等^[1]研究并提出了两种新的试验方法:高加速寿命试验和高加速应力筛选(HASS)。HALT主要用来寻找产品设计和制造中存在的薄弱环节,而HASS用于发现零部件和组装中存在的缺陷并加以改进,其目的是剔除有缺陷的部件或元器件,提高产品的可靠性。

1 HALT 技术特点

1.1 HALT 基本原理

HALT利用机械应力和高温变率来实现高加速的目的。进行HALT时,可能会出现机械疲劳损坏、磨损、电子迁移、化学反应等多种现象,每种现象都有不同的数学描述,并且由于激励的不同而不同。

收稿日期: 2012-10-01

作者简介: 闫玉洁(1990—),女,安徽阜阳人,硕士研究生,主要研究方向为可靠性试验及评估技术。

文中从疲劳损伤与机械应力、温度变化率与暴露缺陷所需的温度循环数这两方面对HALT原理进行讨论。

1.1.1 疲劳损伤与机械应力的关系

提高应力可加速产品失效,许多类型的应力大部分情况下所引起的故障失效加速因子与应力成指数级增加的关系。一般认为疲劳损伤与机械应力之间的关系服从Miner准则,见式(1)。

$$D=NS^{\beta} \quad (1)$$

式中: D 为累积疲劳损伤; N 为应力循环次数; S 为机械应力,即单位面积上的作用力(由热膨胀、静载荷、振动或任何其它导致机械应力的作用所引起); β 为疲劳试验中所确定的材料常数,它是从材料的 $S-N$ 图中得到的,其物理意义为 $S-N$ 曲线的斜率相反数,对于常用的大多数材料,其变化范围为8~12。

通常情况下,即使故障没有被激发出来,也会导致缺陷处应力集中。如含有杂质或气隙的焊点所受应力约为其它部分的2~3倍,可以假定 β 为10,则根据式(1),在相同的应力量值下,存在缺陷部位处的疲劳损伤比没有缺陷部位积累快1000倍。产品会在有缺陷的区域发生疲劳断裂,而在没有缺陷的区域,仍有99.9%的寿命^[2]。

1.1.2 温度变化率与激发缺陷所需温度循环次数的关系

温度循环属于热疲劳性质。S.A.Smithson^[3]在1990年环境科学学会年会发表的论文中给出了不同温变率下的筛选效果。结果显示温变率5℃/min下进行400个66分钟/次的温度循环与温变率40℃/min进行1个8分钟/次循环的效果是一样的,而两者花费的时间比高达4400:1。

以上结果清楚地说明了HALT,HASS的基本原理。另外,强化应力激发产品缺陷的有效性及其所激发出缺陷与导致产品正常环境下失效的各类缺陷的相关性也通过试验和实践得到了证实。

其它类型的故障都可以用不同的等式来描述应力和损伤积累之间的关系,但总体而言,应力稍微增加都能够大大减少试验时间。HALT和HASS正是基于这样的机理,在试验中对试件施加远远大于正常使用条件的环境应力,快速激发出产品故障,从而提高试验效率。

1.2 电子产品HALT的一般程序

HALT包括故障暴露、故障检测、故障分析、纠正措施、纠正措施验证以及资料归档,增加第6步是为了产品性能的长期改善^[4]。

基于电子产品本身的特点,针对电子产品的高加速寿命试验过程一般包括温度步进应力、高温变率循环、多轴随机振动、温度与振动的综合环境。首先应获得产品的温度极限信息,根据高低温极限来确定温度循环的应力水平,然后由步进振动循环所确定的振动极限信息及高低温极限来确定综合试验的应力水平。在温度、振动及综合应力试验中,有时还施加其它应力,如电源通断循环、极限电压、极限频率、变化的输入线电压以及其它暴露设计或过程缺陷的应力,加速缺陷发现过程。

电子产品的高加速寿命试验一般程序如图1所示。

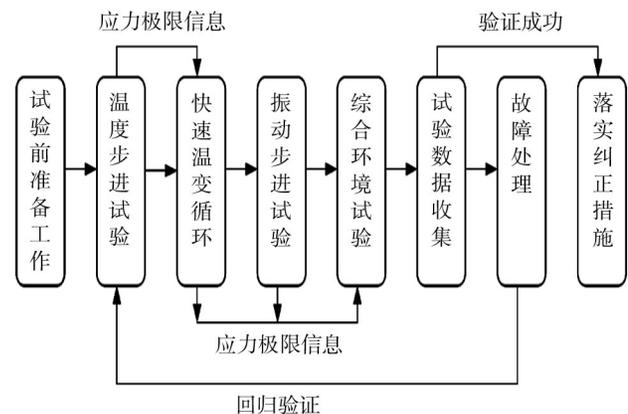


图1 电子产品高加速寿命试验的程序

Fig. 1 HALT procedures of electronic products

2 HALT在车身控制器上的应用

2.1 研究内容

以某型车身控制器为研究对象,开展其HALT研究。与实际环境应力相结合,找到车身控制器的敏感应力,并根据敏感应力设计车身控制器HALT方案;根据试验方案完成试验,并优化试验方法;对试验结果进行分析,据此给出HASS剖面,对薄弱环节给出合理化改进方案。

2.2 HALT试验方案

2.2.1 环境应力分析

汽车真实所处环境是振动、温度、湿度等多重应力相互叠加而成的。在试验条件下,湿度和温度不可同时控制,且湿度造成的影响远小于温度和振动,因此将温度和振动作为HALT的主要应力。

2.2.2 试验方案

考虑到汽车车身正常工作温度范围为 $-40 \sim$

$115 \text{ }^{\circ}\text{C}$,同时考虑到控制器内元器件自身的发热,将温度范围设定为 $-70 \sim 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$;考虑到振动试验台的实际能力,将振动上限设定为 $45g$,得到的试验方案见表1。

2.3 HALT结果与试验优化

2.3.1 试验结果

1) 经低温步进、高温步进、温度冲击、振动步进、温度/振动综合试验,产品除在温度冲击中出现

表1 车身控制器的HALT方案
Table 1 HALT scheme of body control module

试验名称	开始应力	步长	温变率($^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$)	通电状态	说明
低温步进 试验	$20 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$-10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 后为 $-5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	-40	全过程通电	至 $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 仍未发现工作极限,则停止试验。
高温步进 试验	$20 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$+10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 后为 $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$+40$	全过程通电	至 $-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 仍未发现工作极限,则停止试验。
快速温度 循环	高低温工作 极限的80%	—	± 40	全过程通电	若5次循环后未出现任何功能故障,则停止试验。
振动步进 试验	$5g_{\text{rms}}$	$5g_{\text{rms}}$	—	检测时通电	至 $45g_{\text{rms}}$ 仍未发现工作极限,则停止试验。当增至 $18g_{\text{rms}}$ 或 $20g_{\text{rms}}$ 以上出现故障,则在 $3g_{\text{rms}} \sim 5g_{\text{rms}}$ 的微振动条件下进行功能性能检测。
振动/温度 综合试验	共5个循环	每个循环振动 水平由振动工 作极限除以循 环数	—	检测时通电	若5次循环后未出现任何功能故障,则将振动恢复至微振动量级($1g_{\text{rms}} \sim 2g_{\text{rms}}$),保证产品性能、功能正常,然后结束试验。

一次未复现的偶然异外,无功能故障发生。

2) 产品高温耐受性、力学性能较差,实际使用中易产生损坏。

3) 在高温 $150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、低温 $-70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、振动 $45g$ 条件下,仍可以正常工作。

2.3.2 试验优化

由于温度试验已较为充分,设计时对于散热、容差设计到位,故无需做进一步的温度试验。HALT中的振动试验是在强化试验箱进行的,该系统提供的振动环境应力是通过多个气锤反复打击实现的,这种方式产生的振动激励低频能量不足,频谱不可控,对某些机电产品和印制电路板组件的试验效率低下^[5]。为此,改用电动振动台进行振动试验。一般认为正弦扫描比随机振动更能使印制板产生最大变形,使焊点经受更大的变形应力而快速失

效,并且可以通过扫频试验找到谐振频率^[6]。

为了有效激发车身控制器的故障,优化后的试验方案为先做正弦扫频试验,找到谐振频率后,再做定频试验。

2.3.3 HASS剖面

以前面所做的HALT结果为基础,使用标准剖面法制定HASS初始剖面。具体剖面实施为降温至 $-60 \text{ }^{\circ}\text{C}$,在降温过程中加振至 $10g$,保持 5 min ,随后降到 $5g$;当温度在 $-60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 稳定后,加振至 $10g$,达到后保持 5 min ,再降至 $5g$;振动稳定后进行产品功能、性能检测,然后升温至 $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$,加振至 $10g$,保持 5 min ,随后降到 $5g$;当温度在 $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 稳定后,加振至 $10g$,达到后保持 5 min ,再降至 $5g$,振动稳定后进行产品功能、性能检测,这是一个循环,两个循环构成一个HASS。制定的剖面如图2所示。

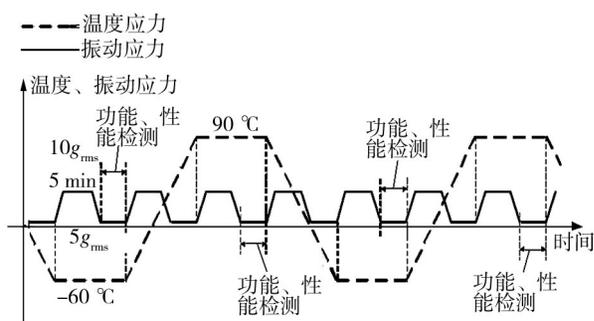


图2 车身控制器HASS剖面

Fig. 2 HASS profile of body control module

2.4 试验结果分析

该车身控制器经受了严酷的气候条件和振动条件,未出现任何功能性故障,可见该控制器具有较好的环境适应性。同时,产品也出现一些问题。

1) 该车身控制器的外壳在试验中表现出较差的环境耐受性,该产品的外壳材料选取尚需做进一步的讨论验证以及性能改善。

2) 根据正弦扫频的测试结果,车身控制器的前三阶共振频率均在500 Hz以内,这是不符合设计要求的,需要设计师协同生产厂家进一步研究解决。

3) 产品上有一块垂直固定于印制电路板的较小电路板,它是遥控车门的接收发射器,在振动试验结束后出现了松动迹象,一旦断裂,将会导致车门遥控系统失灵。因此,建议对此块电路板的固定安装方式进一步论证分析。

3 车身控制器改进建议

3.1 热设计改进建议

产品电路板中3个发热量最大的继电器集中摆放。附近还有两个发热量非常大的集成芯片,而且此车身控制器没有散热出风口,这样的设计将会使继电器周边温度保持较高水平,长久下去将会对焊点、周围元器件产生一定的影响。建议将继电器分散摆放,降低局部的温度集中,加大散热的空间。

3.2 振动布局的改进建议

1) 在只有两个支点的一端中心位置增加新的

支点,减少板子的剧烈变形。

2) 在继电器处增加支点约束,使应力不会大量集中。

3) 在继电器与PCB板的结合处用绝缘导热胶粘合,这将减少焊点受到的应力,同时也会提高PCB板的刚度,相当于一个加强筋的作用,提高固有频率。

4 结语

对HALT的基本思路、原理和一般步骤进行了详细介绍,并结合某一型号车身控制器,将所介绍的理论应用于工程中。根据受试产品实际情况进行了试验方案优化,完成了一个完整的HALT。在对试验结果进行详细分析后针对薄弱环节给出了合理化改进方案,最后给出了产品的参考HASS剖面。从实际试验中得到的这一套试验方法,可以用于指导该车身控制器以及类似产品的筛选标准制定、生产质量控制,从而为HALT理论在工程实际上的实施提供了参考。

参考文献:

- [1] 褚卫华,陈循,陶俊勇,等. 高加速寿命试验(HALT)与高加速应力筛选(HASS)[J]. 强度与环境,2002,29(4):23—37.
- [2] 林震. 高加速应力筛选(HASS)概述[J]. 电子产品可靠性与环境工程,2002,12(6):57—61.
- [3] 刘宏,全凌云. 高加速寿命试验和高加速应力筛选技术[J]. 电子质量,2009(2):55—57.
- [4] HOBBS Gregg K. Accelerated Reliability Engineering: HALT and HASS[M]. New York: Wiley, 2000.
- [5] 蒋瑜,陈循,陶俊勇. HALT试验高效率振动剖面的建立[J]. 宇航学报,2006,27(3):531—535.
- [6] 褚卫华,陈循,王考,等. HALT试验高效率温度剖面图的建立[J]. 宇航学报,2004,25(2):195—200.