

常规试验设备温度循环应力筛选技术改进

杨喜存¹, 李颖²

(1. 西安电子工程研究所, 西安 710100; 2. 西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 寻找基于常规试验设备温度循环应力筛选技术的改进方法。**方法** 应用常规温度循环试验箱, 结合对军用电子产品进行环境应力筛选(ESS)的实际情况, 测量产品在温度循环应力筛选时, 产品内部升降温的实际速率, 通过对这些测量结果比较分析, 找出这一方法存在的问题, 特别是缺陷暴露程度与应力筛选的相关性差, 通过对温度循环筛选参数的合理选择进行分析, 找出解决这一问题的思路。**结果** 理论筛选度较高(如0.89)的试验, 实际测算得出的筛选度很低(如0.54)。**结论** 应用温度循环应力筛选的方法, 确立合理的应力参数, 就可取得理想的试验效果, 节省一半的试验时间。

关键词: 常规试验设备; 温度循环试验; ESS; 升降温速率; 筛选度

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.03.021

中图分类号: TN06 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)03-0101-04

Development of Routine Test Equipment in Environmental Stress Screening

YANG Xi-cun¹, LI Ying²

(1. Xi'an Electronic Project Institute, Xi'an 710100, China;

2. Southwest Technology and Engineering Research Institute, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: Objective To search for improvement methods based on the routine test equipment temperature cycle stress screening technology. **Methods** Ordinary thermal cycle test equipment was used, in combination with the actual screening circumstance of the army electronics product, to measure the actual temperature change rate inside the product during temperature cycle stress screening. These measurement results were then analyzed to find out the problems with this method, especially the poor correlation between the fault exposure and the stress screening. To solve this problem, the reasonable selection of temperature cycle screening parameters was analyzed. **Results** Tests with high theoretical screening strength (e. g. , 0.89) turned out to have low measured values of screening strength (e. g. , 0.54). **Conclusion** The application of temperature cycle stress screening method and establishment of reasonable stress parameters could lead to ideal test results and save half of the test time.

KEY WORDS: routine test equipment; temperature circle test; environmental stress screening (ESS); change rate of temperature; screening strength

收稿日期: 2014-02-05; 修订日期: 2014-03-18

Received: 2014-02-05; Revised: 2014-03-18

作者简介: 杨喜存(1964—), 男, 陕西岐山人, 工程师, 主要研究方向为可靠性与环境试验工程。

Biography: YANG Xi-cun(1964—), Male, from Qishan, Shaanxi, Engineer, Research focus: the reliability and environmental testing project.

环境应力筛选(ESS)技术,在雷达的研制生产过程中得到了广泛深入的应用,这对剔除产品早期故障起到了良好的作用。根据一个时期对雷达分系统组件、整机进行温度循环应力筛选试验结果的统计分析,发现在环境应力筛选过程中,试件暴露出的问题越来越少,一些潜在缺陷并未及时暴露出来,导致产品交付后维修成本大幅增加。加之温度循环应力筛选试验费时耗力、试验周期长、试验成本高、试验效率低等因素,不能很好地满足产品实际试验需求,因此,急需对常规试验设备环境应力筛选技术改进。

1 温度循环应力筛选

1.1 目的

温度循环应力筛选是指对单板级、各分系统及以上各层次产品施加合理温度应力,将它们内部的潜在缺陷加速变成故障,并加以发现和排除的过程,达到剔除产品早期故障的目的^[1]。

1.2 筛选参数

温度循环筛选的基本筛选参数包括:上限温度

θ_u ,下限温度 θ_l ,温度变化范围 $R = \theta_u - \theta_l$,温度变化率 v ,上限保温时间 t_u ,下限保温时间 t_l ,温度保持时间 $t = t_u + t_l$,循环次数 N 等。

筛选度经验计算模型为^[2]:

$$SS = 1 - \exp\{-0.0017(R+0.6)^{0.6} [\ln(e+v)]^3 N\} \quad (1)$$

1.3 温度循环应力的特性

在温度循环试验中,随着试验箱温度的变化和保持,温度应力作用在产品上,使产品的材料受到考验。其中温度变化范围、温度变化率和循环次数是激发产品潜在缺陷的主要因素。

2 结果统计分析

2.1 理想情况

常用温度循环试验参数(依据企业环境应力筛选试验大纲)及理想 SS 值见表 1。

由表 1 可知,按这些温度循环试验参数得出的筛选度均在 0.94 以上,期望值很高。

表 1 常用温度循环试验参数及理想 SS 值

Table 1 Common parameters of temperature circle test and ideal SS values

试件名称	$\theta_u/^\circ\text{C}$	$\theta_l/^\circ\text{C}$	R	$v/(^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1})$	t_u/h	t_l/h	$N/\text{次}$	理想 SS
××A/D 板	75	-40	115	≥ 5	0.5	0.5	12	0.9507
××接收机组件	55	-40	95	10	1	1	10	0.9866
××DBF 信处	75	-55	130	10	0.5	0.5	12	0.9981
××串口板	60	-45	105	5	0.5	0.5	12	0.9422

2.2 实际情况

实际温度循环应力筛选结果见表 2。由表 2 可知,全年 125 次温度循环应力筛选试验暴露出的早期故障率仅为 1.6%。据 2012 年对雷达分系统组件整机进行温度循环应力筛选试验的结果,发现产品在环境应力筛选过程中暴露出的故障数量、故障部位与使用应力施加强度的相关性不明显,暴露的问题越来越少,一些潜在缺陷并未及时暴露出来,导致产品交付后维修成本大幅增加。

表 2 2012 年主要产品温度循环应力筛选结果统计表

Table 2 Result statistics of temperature circle test ESS in 2012

产品名称	筛选次数 /次	暴露出的故障数 /个
××信号处理器(20 套)	20	1
××跟踪计算机(35 套)	35	0
××系统控制组合(35 套)	35	1
××操纵杆(35 套)	35	0

3 原因分析

3.1 理论分析

根据筛选度公式(1),在温度循环应力筛选中,SS 值主要取决于温度变化范围 R 、温度变化速率 v 及循环次数 N 。提高 R 或 v 的值能加速产品的热胀冷缩程度,缩短时间,增强温度应力,而 N 值的增加则能聚集这种能量的发挥。因此 R, v, N 这 3 种参数中任一参数量值的增大均能增强温度循环应力筛选效果。通常,产品的温度变化范围 R 是一定的,往往选取产品工作温度范围或储存温度范围,而且希望暴露出缺陷所需的循环次数越少越好,以便节省试验时间,减少经费。这样,从理论上讲,要提高温度循环应力筛选效果,必须提高温度变化速率^[3]。

3.2 实际情况

在实际试验中,由于受产品本身材料热惯性的限制^[4],以及产品在试验箱内随意摆放情况、产品的复杂程度等因素的影响,产品本身实际温变速率常常低于试验箱内空气的温度变化速率,这样产品的筛选度就达不到理想的效果,造成产品在筛选中暴露出的故障很少。

3.2.1 测试实例

某雷达频率综合器的主要作用是产生雷达系统所需的各种微波和各种微波基准信号,是雷达的一种重要系统,制造与验收规范要求对它们进行全数筛选。为了保证筛选的有效性,事先做了如下准备:将频率综合器面板打开,在内部第 1 块和第 2 块板子上各布了 1 个热电偶,另在其几何中心悬挂 1 个热电偶,这些工作做好后,将面板装上,用这 3 个热电偶测量试件在试验中实际的温度值,求出试件实际温变速率平均值。试验条件以该试件环境应力筛选参数为准: $\theta_u = 55\text{ }^\circ\text{C}$, $\theta_l = -40\text{ }^\circ\text{C}$, $v = 5\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ (试验箱内平均温变速率), $N = 10$ 。测量结果见表 3。

3.2.2 计算结果

由公式(1)计算得出的理论筛选度、实际筛选度见表 4。

某雷达频率综合器在温度循环应力筛选中实际筛选度仅为 0.54,远没有达到理论值,因此筛选效

表 3 实测试件温度变化速率

Table 3 Change rate of temperature measured in the tests

	升温速率/ $(^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1})$	降温速率/ $(^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1})$
第 1 循环	2.12	1.61
第 3 循环	1.45	1.23
第 5 循环	1.36	1.56
第 7 循环	1.21	1.35
第 9 循环	1.53	1.43
平均值	1.53	1.43
试件平均温变速率	1.48	

表 4 某雷达频率综合器筛选度

Table 4 Screening strength of frequency processor of a radar

	$\theta_u /$ $^\circ\text{C}$	$\theta_l /$ $^\circ\text{C}$	$R /$ $^\circ\text{C}$	$N /$ 次	$v /$ $(^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1})$	SS
理论筛选					5	0.89
实际筛选	55	-40	95	10	1.48	0.54

果不理想,造成筛选中产品析出故障率很低。

3.2.3 结果分析

由 3.2.2 计算结果发现,在 SS 与 R, N, v 的函数关系式(1)中,当 R, N 确定时,温度变化率 v 对 SS 的影响很大。

如果取 $R = 95\text{ }^\circ\text{C}$, $N = 10$, v 取 $5 \sim 10\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$, SS 随 v 变化函数曲线如图 1 示。

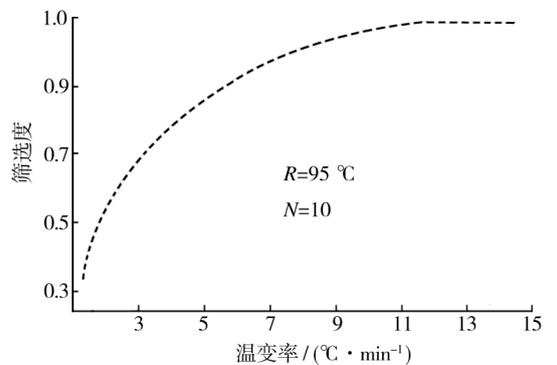


图 1 SS 随温变速率变化曲线

Fig. 2 Variation of SS with temperature velocity

很明显,当温度变化范围 R 和循环次数 N 相同时,温变速率越高,筛选度越高。

如果要达到实际理想的筛选度,如 0.92 以上,由 SS 与 R, N, v 的关系式(1)得出 N 与 SS, R, v 的关

系式:

$$N = [\ln(1-SS)] / \{-0.0017(R+0.6)\}^{0.6} \cdot [\ln(e+v)]^3 \quad (2)$$

取 $SS=0.92, R=95$, 则循环次数 N 随温变率 v 的变化曲线如图 2 示。由图 2 可知, 当 R, SS 不变时, v 越高, N 越短。在实际工作中, 为节省筛选时间, 在设备能力允许的条件下, 应提高随温变率 v , 减少循环次数 N 。

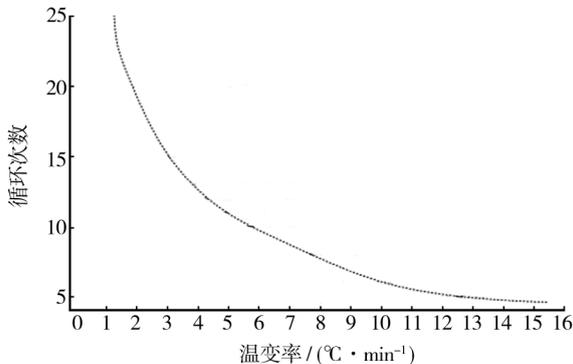


图 2 循环次数随温变率变化曲线

Fig.2 Variation of cycle time with temperature velocity

4 结论

提高温度变化速率, 减少温度循环次数, 就能保证筛选度的要求是可能的。如对于结构简单、体积较小的试件, 利用 $10 \sim 15 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$ 的温变速率只进行 3 次循环等效于标准的 10 次循环^[5]。

根据以上论述可知, 提高温变速率 v 是保证高筛选度的重要途径, 针对现有试验设备, 给出以下建议供参考。

1) 试验时, 温变率设置成不低于 $10 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$, 就可保证筛选度达 0.90 以上。

2) 对试验箱中产品的摆放提出要求: 被试产品必须摆在支架上, 产品与试验箱底部、顶部及四周箱壁之间有足够的时间间隔距离, 保证气流能在产品之间、试验产品与箱壁之间自由循环, 产品开盖、开箱进行温度循环, 从而提高产品的实际温变率。

3) 对循环次数的要求, 原则上在温变率设置成 $10 \sim 15 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$ 时, 对于复杂程度不高、制造工艺较简单的产品可减少 50% 左右的温度循环次数, 以节省时间和试验成本, 提高工作效率。

4) 对于整机级、单元级、模块级的试件, 由于它们的筛选效果依此降低, 因此, 在条件许可时, 整机尽可能也做筛选。

5) 在无故障验证阶段, 温循时间适当减少; 在剔除故障阶段, 按标准连续做完所有循环不出现故障时, 可不再进行无故障验证而结束筛选。

6) 考虑到现有设备的能力和试件能承受的温度变化能力, 温变速率取 $6 \sim 15 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$ 较为合适, 注意不要使试件受到过应力。

7) 温度循环应力筛选前, 要做好准备, 要对试验箱空箱烘干处理, 并保证试验箱良好的密封性。试件开盖开箱进行温度循环, 试验箱要有足够的除湿能力, 保证试件在整个试验过程中不能凝露结霜^[6]。

参考文献:

- [1] GJB 1032—90, 电子产品环境应力筛选方法[S]. GJB 1032—90, Environmental Stress Screening Method for Electrical Products[S].
- [2] GJB/Z 34—1993, 电子产品定量环境应力筛选指南[S]. GJB/Z 34—1993, Quantitative Environmental Stress Screening for Electrical Products[S].
- [3] 祝耀昌. 环境应力筛选技术及其应用和发展综述[J]. 航天器环境工程, 2007(4): 191—197. ZHU Yao-chang. Applications and Developments of Environmental Stress Screening(ESS)[J]. Space Probe Environmental Engineering, 2007(4): 191—197.
- [4] 梁志军, 白照高, 郭涛. 电子产品温度循环筛选效果探析[J]. 舰船电子, 2005(3): 117—119. LIANG Zhi-jun, BEI Zhao-gao, GUO Tao. Analyze of Validity about Thermal Cycle of Electronics Product[J]. Warship Electron, 2005(3): 117—119.
- [5] 张学渊. 标准环境应力筛选方法的改进[J]. 电子标准与质量, 2000(5): 31—32. ZHANG Xue-yuan. Development of Standard Validity about ESS[J]. Electron Standard and Quality, 2000(5): 31—32.
- [6] 杨喜存, 单军勇. 某机载站控制分系统温度循环试验凝露积水问题[J]. 装备环境工程, 2013(4): 93—95. YANG Xi-cun, SHAN Jun-yong. Solution to Waterproof Problem of Moisture Deposition in Temperature Cycle Test[J]. Equipment Environmental Engineer, 2013(4): 93—95.