

doi: 10.7690/bgzd.2014.01.017

某控制系统应力筛选度分析

裴春兰, 潘旭东, 雍松林, 何静, 邓浩

(中国工程物理研究院应用电子学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 针对环境应力筛选 (environmental stress screening, ESS) 实验中筛选应力强度不足, 不能达到筛选目的的问题, 对某控制系统温度循环应力筛选度进行分析。定量计算第一次应力筛选度的相关数据, 分析并找出第一次施加的应力不足的原因。设计并调整新的应力筛选试验方案, 通过对比二次筛选的数据分析, 验证了筛选方案调整的有效性。试验结果表明: 该方法达到了环境应力试验方案调整的目的, 为系统的故障排除、性能设计、可靠性提高提供了有效的手段。

关键词: 振动应力; 温度循环应力; 潜在缺陷; 故障

中图分类号: TJ03 **文献标志码:** A

Analysis of Quantified Environment Stress Screening

Pei Chunlan, Pan Xudong, Yong Songlin, He Jing, Deng Hao

(Institute of Applied Electronics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: Aiming at the adequate screening stress in environmental stress screening (ESS) test is not meet screening requirement, analyze the temperature cycling stress screening degree of certain type control system. Quantitatively calculate relative data of first stress screening degree, analyze and find out reason for adequate stress at the first tie. Design and adjust new stress screening test scheme, compared screening data analysis, validate the effectiveness of screening scheme adjustment. The test results show that the method meet the environmental stress test scheme adjustment requirements. It is used for system eliminating failure, designing performance, ameliorating techniques and improving reliability.

Keywords: vibration stress; temperature cycling stress; potential fault; failure

0 引言

在电子学设备研制中, 环境应力筛选 (environmental stress screening, ESS) 是一种剔除电路板、组件和整机早期故障的有效手段, 对提高产品的质量与可靠性有重大作用。环境应力筛选由初始性能检测、缺陷剔除试验、无故障检验及最后性能检测等组成。在设计筛选应力方案时, 如何设计应力水平, 保证既能剔出早期潜在的故障, 又不导致产品机理的损伤, 是一个借鉴摸索和经验积累的过程。任何缺陷发展成为故障都是在较长时间内受到了大于或等于阈值的环境应力才形成的; 因此, 只有选择能暴露某些缺陷的应力作为筛选条件, 才能达到筛选的目的。笔者针对某控制系统缺陷剔除试验中施加的温度循环应力, 进行详细记录、分析和处理, 定量地分析筛选方案的筛选度, 并根据筛选的效果、故障分析以及其他情况进行动态调整, 使其达到最佳的筛选效果。

1 环境试验方案

温度循环筛选应力的基本参数包括温度上限、

温度下限、变温率、上下限温度保温时间和循环次数 N , 在这些参数中, 对筛选效果影响最大的是温度变化范围、变温率以及循环次数。按照 GJB1032 规定, 要求温度循环的方案制定是在保证不改变产品失效机理的前提下, 兼顾该控制系统中采用的部分工业级和民用的电子元器件, 因此, 在设计温度循环的筛选控制方案时, 对温度循环的筛选应力参数进行调整。

对组件进行筛选时, 要找出组件中分组件 (元器件) 各自的最高和最低工作温度、最高和最低贮存温度, 温度循环的上下限温度以这些高温中的最低者和低温中的最高者为温度组, 参照上述原则进行设计。一般设计的工作温度和贮存温度低于设计的极限温度, 为了提高筛选效率, 有时扩大温度变化幅度, 向设计的极限温度靠拢。初步试验方案温变范围为: $0 \sim +40$ °C。

温度变化速率对筛选效果影响极大, 应尽可能提高温度变化速率。GJB 1032 规定, 设备或部件筛选的温度变化速率不小于 5 °C/min。由于受筛选产品本身的热惯性, 产品的实际温度变化速率远低于

收稿日期: 2013-08-09; 修回日期: 2013-09-16

作者简介: 裴春兰(1965—), 女, 四川人, 工程师, 从事电子学硬件设计和测量研究。

试验箱内的空气温变平均速率，因此要根据试验箱的能力尽量提高温度变化速率。考虑到部分器件的质量等级不高，初步试验方案温度变化速率为 2 °C/min。考虑成本因素将循环次数定为 3 次。

进行循环参数设定，若产品在温度循环过程中进行通电筛选，则筛选的温度上下限应取产品的设计极限工作温度；若在温度循环过程中产品不通电，则其温度上下限应取产品的设计贮存温度。保温时间为温度上下限稳定所需要的时间，以 1~2 h 为宜。该控制系统的试验状态是从低温升向高温和高温保温，并应通电并检查性能；高温向低温及低温保持期间，应断电。温变速率 5 °C/min，温度范围为 -20~+50 °C，共 10 个循环进行试验，完整的温度循环试验曲线如图 1。

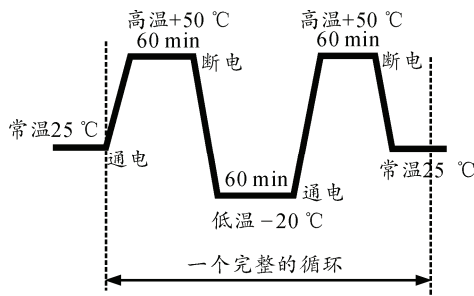


图 1 温度循环试验曲线

根据应力筛选的有效性，结合方案的总体要求，制定环境适应性试验方案，主要是侧重于环境适应性，未对系统实施应力等级更高的环境应力筛选。该系统在交付之前参加过环境试验，试验未发生故障，交付以后暴露出偶发故障。分析环境试验方案，发现第一次环境应力筛选的应力水平较低，更接近于环境适应性试验，所以笔者调整了试验方案，将环境适应性试验调整为应力筛选试验，应力水平为中等级的应力筛选等级，通过适当加强的应力筛选，应力筛选试验过程中暴露出故障。

1.1 数据采集

如表 1，2 次试验中的温度循环应力参数包括：温度变化范围、温变速率、保持时间、通电时间和循环次数。除了“保持时间”维持不变之外，其余参数都做了调整。

表 1 2 次筛选方案对比参数

试验次数	温度范围/°C	温变速率/(°C/min)	保持时间/h	通电时间	循环次数
1	0~+40	2	1	无	3
2	-20~+50	5	1	温升通电，温降断电	10

通过 2 次试验，统计出 2 次试验获得的数据，2 次试验数据试验结果对比见表 2。

表 2 2 次试验数据试验结果对比参数

试验次数	故障现象	故障点	故障时间	失效数量
1	无	无	无	0
2	1	某指示灯	第 6 次循环升温	1

1.2 数据分析

可以看出，应力增加后激发故障数产生，筛选度 SS^[1]如下式：

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

式中：SS 为将缺陷产品以故障的形式析出的概率；V 为变温率，°C/min；N 为循环次数；R 为温度变化范围。

由式 (1) 计算出的 2 次筛选度 SS 分别为 SS₁ 和 SS₂，第 1 次温度循环的试验参数分别为：V=2 °C/min，N=3，R=40 °C，计算得到 SS₁ 为 16.25%；第 2 次温度循环的试验参数分别为：V=5 °C/min，N=10，R=70 °C，计算得到 SS₂ 为 84.17%。

理想的筛选度 SS 度为 1。第 1 次应力筛选方案的筛选度 SS₁ 仅为 16.25%，第 2 次应力筛选方案的筛选度 SS₂ 为 84.17%，比第 1 次筛选度提高了 67.92%，但按照 GJB/Z-34 的要求，军工产品一般是在 99.9%^[2]，第 2 次的筛选度 84.17% 距国军标仍有很大的差距。为了用较短的时间查找出更多的潜在缺陷，同时又不损坏产品和增加新的缺陷，所使用的环境应力应高于产品规范所规定的应力值，但不能超出产品的设计极限值。环境应力筛选是一个动态工艺，应该根据筛选的效果、故障分析以及其他情况进行动态调整，以达到最佳的筛选效果。

由筛选度可以推导出 2 次试验的故障率^[3]：

$$\lambda_D = \frac{-\ln(1 - ss)}{N} \quad (2)$$

由式 (2) 计算出温度循环的 2 次故障率 λ_{D1} 和 λ_{D2}，第 1 次故障率计算公式的赋值为：SS₁=16.25%，N=3，计算结果 λ_{D1} 为 5.9%。第 2 次故障率计算公式的赋值为：SS₂=84.17%，N=10，计算结果 λ_{D1} 为 18.4%。

从以上的计算结果看出：第 1 次故障率 λ_{D1} 仅为 5.9%，第 2 次的 λ_{D2} 为 18.4%。这说明筛选度不够，不能充分地暴露出故障。

2 试验结果

温度循环应力参数中温变率的大小、循环次数、