

doi: 10.7690/bgzdh.2015.12.008

电量传感器高可靠性试验技术

陈柯源

(绵阳市维博电子有限责任公司, 四川 绵阳 621000)

摘要: 针对电量传感器产品可靠性愈加突出的问题, 总结最高效的电量传感器可靠性筛选试验方法。对电子产品的可靠性试验技术及其数学模型进行介绍, 重点阐述适合电量传感器的环境应力筛选试验项目, 对各试验筛选强度和筛选效率进行探讨, 并提出改进建议, 可为电量传感器应用行业的产品可靠性研究提供参考。

关键词: 可靠性; 筛选度; 环境应力; 失效

中图分类号: TP212.1 **文献标志码:** A

Electric Parameter Sensor and High Reliability Test Technology

Chen Keyuan

(Mianyang Weibo Electronic Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

Abstract: In view of the increasingly prominent problem of the reliability of electric parameter sensor. The most efficient reliability screening degree test method is summarized. This paper introduces the electronic products reliability test technology and its mathematical model, and focuses on describing the environmental stress screening test items for electric parameter sensor. The screening strength and efficiency of each test are discussed and some suggestions for improvement are proposed, which could provide a reference for the application industry reliability research of electric parameter sensor.

Keywords: reliability; screening degree; environmental stress; failure

0 引言

随着电量传感器在国防、工业、科研、铁路和通信等行业中的应用越来越广泛, 产品集成度越来越高, 产品可靠性问题显得愈加突出。如何保证电量传感器的使用可靠性成为产品设计者、制造者关注的问题。目前, 国内传感器制造企业与欧美国家之间的差异主要是产品的可靠性差异。一个产品不管其技术有多先进, 性能指标有多高, 但如果它在使用过程中不可靠, 它就是一个不合格的产品。基于此, 笔者对电量传感器可靠性试验技术和环境应力筛选试验项目及其数学模型进行介绍, 通过计算电量传感器各试验项目的筛选强度和筛选效率, 总结出最高效的电量传感器可靠性筛选试验方法。

1 可靠性及可靠性试验

1.1 可靠性

电量传感器的可靠性是指其在使用现场环境下, 能够完成产品既定的功能。电量传感器的失效模型符合“浴盆曲线”, 划分为早期失效期、恒定失效期及耗损失效期 3 个阶段^[1], 如图 1 所示。

电量传感器总装完成后即进入早期失效期。由

于设计缺陷和制造工艺缺陷导致早期失效故障率高, 主要表现为元器件和原材料缺陷导致的性能失效、绝缘不良; 装配和标调不当导致的输出异常、参数漂移; 焊接缺陷导致的器件错焊、虚焊。电量传感器的早期失效故障率随着产品工作时间的增加会迅速下降。

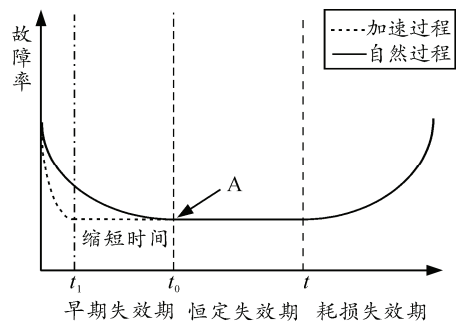


图 1 浴盆曲线示意图

恒定失效期是电量传感器的主要工作阶段。此阶段产品故障率低, 性能稳定。

由于元器件和原材料的损耗、老化等导致电量传感器故障率迅速上升, 进入耗损失效期。

1.2 可靠性试验

20 世纪 50 年代, 美国国防科技领域根据电子

收稿日期: 2015-07-16; 修回日期: 2015-08-30

作者简介: 陈柯源(1984—), 男, 四川人, 学士, 助理工程师, 从事电量隔离传感器可靠性设计研究。

产品寿命期失效分布 3 个阶段的特点，首先提出了可靠性试验技术的概念。可靠性试验技术是一门与产品故障作斗争的新兴学科，发展到现在已囊括环境应力筛选 (environmental stress screening, ESS) 试验、HALT&HASS 试验、振动试验及可靠性验证试验等。可靠性试验技术在我国应用较晚，直到 20 世纪 80 年代中期才在国防领域运用，90 年代中后期民营通信行业开始逐步引进可靠性试验^[2]。

2 环境应力筛选试验

2.1 试验目的

电量传感器在生产制造过程中，由于元器件、原材料和制造工艺等方面的缺陷，导致部分产品出现早期失效(故障)、现场使用可靠性差，那么如何在产品生产制造过程中即产品出厂前剔除这些缺陷或故障，保证用户现场使用产品的可靠性。

环境应力筛选试验作为可靠性试验技术的重要组成部分，其目的是通过各项试验发现并排除产品的早期故障，把产品加速推进到恒定失效点 A (如图 1 所示)，使其在出厂时便进入恒定失效期，大大提高了交付用户产品的可靠性；环境应力筛选试验是一种工艺手段，其方法是通过向产品施加合理的环境应力和电应力，使产品的元器件或印制板组件的潜在缺陷提前暴露，使产品的故障显现出来。根据近年国内外可靠性筛选工作数据来看：通过有效的筛选至少能够使产品的总使用失效率下降一个数量级；因此，交付用户使用的所有产品不管是军用还是民用产品都应进行环境应力筛选，保证产品现场使用的可靠性。

目前，电量传感器产品在出厂前均进行了恒定高温老炼试验，军用产品增加温度冲击应力筛选试验。那么高温老炼和温度冲击对电量传感器的筛选效率到底如何，针对电量传感器还有没有更有效的筛选试验？笔者对常用应力筛选试验项目的筛选特性及数学模型进行介绍，计算对比各试验项目的筛选强度和筛选效率，总结优化试验项目，以提高筛选效率。

2.2 恒定高温老炼

恒定高温老炼是电量传感器全部产品均采用的提高产品稳定性和可靠性的环境应力筛选试验。试验需加电进行，可以提高器件内部化学反应速度，促使产品从非稳定态向稳定态过渡，使部分绝缘损坏处绝缘击穿，有效剔除焊接以及芯片和管壳热阻

匹配不良等缺陷。高温老炼也是近些年国内企业使用较普遍的提高产品可靠性的试验方法。

恒定高温老炼筛选强度数学模型^[3]：

$$ss=1-\exp[-0.0017(R+0.6)^{0.6}t] \quad (1)$$

式中： R 为温度变化范围， $^{\circ}\text{C}$ ，与 25°C 相比较； t 为恒定高温的持续时间， h 。

按式 (1) 可计算出不同时间不同温度的恒定高温老炼应力筛选度，见表 1。

表 1 高温老炼筛选度

时间/h	温度变化范围		
	25 $^{\circ}\text{C}$	30 $^{\circ}\text{C}$	40 $^{\circ}\text{C}$
8	0.090 8	0.100 5	0.117 9
24	0.248 4	0.272 2	0.313 7
48	0.435 0	0.470 3	0.529 1
192	0.898 1	0.921 3	0.950 8

由表 1 可知：恒定高温老炼筛选度与试验温度、老炼持续时间相关，当温度变化为 40°C 、老炼时间为 192 h 时，筛选度才能达到 0.950 8。而电量传感器产品通常选用的高温老炼时间为 48 h，温度变化为 25°C ，其筛选度只有 0.435 0，筛选效率明显不高；因此，用恒定高温老炼的方法来加速产品的早期失效，用时长，筛选度低，且影响产品使用寿命。

2.3 温度冲击应力

电量传感器的使用现场存在温度变化大的环境。在极冷极热的环境应力作用下，热匹配性能差的元器件、原材料及印制板组件容易失效。温度冲击应力筛选就是利用热胀冷缩应力，使质量差的焊点接触电阻加大或开路，使元器件参数漂移，印制板组件开路、短路，密封失效等。近几年部分企业开始在产品额定工作(加电加输入)条件下进行温度冲击试验，这样做的好处是可以替代高温老炼，缩减生产工艺流程。

温度冲击应力筛选强度数学模型^[4]：

$$ss=1-\exp[-0.0017(R+0.6)^{0.6}[\text{Ln}(e+v)]^3N] \quad (2)$$

式中： ss 为筛选强度； R 为温度循环的变化范围， $^{\circ}\text{C}$ ； v 为温变率， $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ； N 为温度循环次数。

按式 (2) 计算的温度冲击应力筛选度见表 2。

表 2 温度冲击应力筛选度

循环次数	速率/ $(^{\circ}\text{C}/\text{min})$	温度变化范围		
		100 $^{\circ}\text{C}$	120 $^{\circ}\text{C}$	140 $^{\circ}\text{C}$
5	20	0.983 7	0.989 9	0.993 5
10	20	0.999 7	0.999 9	0.999 9

由表 2 可知，温度冲击应力的筛选度与温度变化范围、循环次数及温度变化速率有关。温度变化范围为 120°C 、循环次数为 10、温度变化速率为

20 °C/min 时, 各温度点保持 1 h, 筛选总耗时 20 h, 筛选度为 0.999 9, 可见其筛选效率相当高, 产品潜在缺陷在温度冲击试验条件下是可以暴露的。电量传感器通常选用的温度冲击应力筛选温度变化为 120 °C, 循环 5 次, 其筛选度为 0.989 9, 筛选效率较高; 因此, 用时短、筛选度高和不影响产品使用寿命是温度冲击应力筛选的特点。

由以上分析可知: 当温度变化范围为 120 °C、循环次数为 5、温度变化速率为 20 °C/min 时, 温度冲击应力筛选度为 0.989 9, 筛选耗时 10 h, 是同等耗时(10 h)下恒定高温老炼筛选度的 8 倍, 比恒定高温老炼的筛选效率高得多。高温老炼工艺对暴露产品的缺陷有一定的作用, 但其筛选度和故障率数值很小, 效率很低, 而采用温度冲击应力, 其效率比高温老炼筛选大为提高。

实际生产过程中高温老炼和温度冲击筛选效率如何, 某军用机载电量传感器某批次出厂例行筛选试验产品失效情况见表 3。

表 3 筛选试验故障情况对比

试验名称	温度范围/°C	保持时间/h	循环次数	试验样品数量	故障数量
高温老炼	70	48	—	160	0
温度冲击	-55~85	1	10	160	2

由表 3 可知: 当产品在加电工作, 环境温度 70 °C 的条件下保持 48 h 后, 160 只试验产品中没有任何产品失效, 而在额定工作条件下, 温度冲击范围为 -55~85 °C, 各温度点保持 1 h, 10 个循环后 160 只试验产品中有 2 只失效, 可见在实际应用中温度冲击应力的筛选效率及优选度均高于高温老炼。

2.4 随机振动应力

随机振动应力能有效剔除电量传感器中印制板组件、元器件焊接不良, 导线松脱, 大质量元器件紧固不当等故障。

随机振动应力筛选度数学模型^[5]:

$$ss=1-\exp[-0.004 6(\text{Grms})^{1.71}t] \quad (3)$$

式中: t 为振动时间, min; Grms 为加速度总均方根值, g 为重力加速度。

电量传感器在试验过程中不加电, 振动应力一

般选用频率为 20~2 000 Hz, 总均方根加速度值为 6.06g 的随机振动, 其对剔除产品的早期故障效率最高, 且对产品的疲劳损伤最低, 是由国外工程师通过大量实验, 并对试验数据统计分析得出, 见图 2。

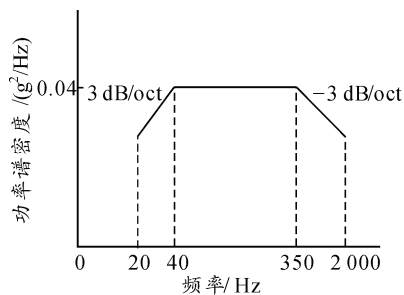


图 2 随机振动谱示意图

3 结束语

电量隔离传感器的可靠性故障一般是产品的潜在缺陷导致的。潜在缺陷可能是元器件、原材料缺陷, 设计缺陷或工艺缺陷。环境应力筛选是比较高效的筛选方法, 综合运用环境应力筛选可提高产品可靠性, 剔除产品的潜在缺陷。恒定高温老炼其筛选度和故障率很低, 需要用相当长的时间才能使产品的早期故障暴露。温度冲击应力的筛选效率相比恒定高温老炼大大提高, 提高温变速率能进一步提高温度冲击应力的筛选效率、减少筛选对产品使用寿命的影响。如果电量传感器在额定工作条件下进行了温度冲击应力筛选, 就不需要再进行恒定高温老炼。随机振动与温度冲击应力作用机理不同, 筛选出的缺陷也不一样, 随机振动的筛选度在优选方法上仅次于温度冲击。可见, 温度冲击加随机振动应力是对电量传感器极高效的可靠性试验方法。

参考文献:

- [1] 王文静. 可靠性工程基础[M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2013: 42-43.
- [2] 姜同敏. 可靠性试验技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012: 97-99.
- [3] 庄奕琪. 电子设计可靠性工程[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2014: 103-104.
- [4] 赵宇. 可靠性数据分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 121-122.
- [5] 曾声奎. 可靠性设计与分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2011: 118-119.