

doi: 10.7690/bgzd.2013.08.002

# 鱼雷环境应力筛选优化方法

王建平

(海军装备部, 西安 710065)

**摘要:** 为进一步提高鱼雷电子组件环境应力筛选效能, 分析和总结了鱼雷电子组件环境应力筛选现状, 针对目前存在的效率低、周期长、效果参差不齐等问题, 提出了多轴向筛选、提高产品内部温度变化率、筛选条件标准化等优化方法, 对提升鱼雷质量可靠性具有重要意义。

**关键词:** 提高鱼雷; 环境应力筛选; 效能

**中图分类号:** TJ630.6 **文献标志码:** A

## Optimal Method of Environmental Stress Screening for Torpedo

Wang Jianping

(Naval Equipment Department of PLA, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** To improve effectiveness of environmental stress screening for torpedo, this paper analyzes and summaries the development of ESS for torpedo electronic elements at first. Aiming at the existing problems, like low efficiency, long cycle, and unstable effect, some optimal methods of ESS are recommended, such as multi-axis screening, increasing the internal temperature variation rate of products and standardizing the condition of ESS. These methods are useful for enhancing the reliability of quality for torpedo.

**Key words:** torpedo; environmental stress screening (ESS); effectiveness

### 0 引言

作为剔除产品潜在缺陷的一种重要工艺手段, 环境应力筛选 (environment stress screening, ESS) 使得电子产品在设计、制造工艺等方面存在的缺陷、故障提前暴露, 从而通过采取纠正措施不断提高产品的可靠性<sup>[1]</sup>。因此, 电子产品的可靠性不仅是设计出来的, 也是应力筛选试验出来的, 为近年来新型鱼雷研制或批生产电子产品可靠性不断提高发挥了重要作用。但是, 国内外环境应力筛选相关的标准均是 20 世纪 90 年代前后初制订的, 随着电子设计技术、电子元器件技术和电子装配技术的快速发展, 从鱼雷电子产品环境应力筛选应用的具体情况来看, 有必要总结经验和分析改进, 以进一步增加鱼雷电子产品环境应力筛选效果, 使其为提高产品的可靠性发挥更大作用。

### 1 鱼雷环境应力筛选现状

鱼雷电子组件环境应力筛选通用技术条件基本采用 GJB1032-1990《电子产品环境应力筛选方法》, 等同于常规环境应力筛选方法, 操作应用方便。由于其强制性特点, 促使承制单位在实际工程应用中根据产品具体特点, 不断摸索适合自身做法, 经多个型号研制、生产中大量产品筛选实践结果表明, 该项标准的实施有力促进了鱼雷电子产品可靠性水平的大幅提高, 装备质量稳步提升。但随着科学技术的发展, 软件辅助设计技术、材料和元器件质量及自动化焊装工艺水平等方面的提高, 也发现了影

响鱼雷电子组件环境应力筛选效果和效率的问题:

1) 温度循环试验中温变率采用 GJB1032 所推荐的 5 °C/min, 应力条件低、试验周期长、效率低, 现在已不能适应现代产品生产的需要; 2) 温度循环应力筛选中, 印制板、组件及段(系统级)统一采取 GJB1032 中推荐的温度循环应力筛选谱, 筛选效果参差不齐, 个别产品筛选效果可能不充分; 3) 近年来任务重、节点紧, 常引起环境应力筛选产品数量和设备矛盾, 个别型号采取简化方案, 对提高相关产品筛选的有效性可能会产生不利影响; 4) 随着新型鱼雷作战任务要求的提高, 面临着如何采用新的试验技术手段更好地发挥 ESS 有效性等问题。

### 2 提高环境应力筛选效能的途径

目前, 新型鱼雷提出了更高的可靠性要求, 需要根据产品具体特点, 不断在实际工程应用中摸索适合自身做法。笔者结合新修订的 GJB1032A 电子产品环境应力筛选方法(征求意见稿)<sup>[2]</sup>, 经对多个型号研制、生产中大量电子组件环境应力筛选实践经验总结, 在不改变筛选机理、不增加新筛选设备情况下, 根据各个组件具体特点, 合理加大环境筛选应力强度, 细化筛选工艺流程, 增强环境应力筛选的有效性, 满足鱼雷电子产品的高可靠性的要求。

#### 2.1 加强印制板电路(或组件级)筛选

为提高筛选效率和有效性, 应加强组件级(即电路板级)温度循环应力筛选。按照环境应力筛选标准要求, 受筛产品可在印刷电路板、组件、整机或系

收稿日期: 2013-03-26; 修回日期: 2013-04-07

作者简介: 王建平(1970—), 男, 浙江人, 硕士, 高级工程师, 从事鱼雷总体、制导技术及产品质量可靠性研究。

统进行筛选。高一级的筛选虽然能够代替下一级的筛选，但其筛选效率将降低，特别是系统级，出现故障后排查难、周期长，筛选成本大大提高。因此，编制环境应力筛选试验大纲时应优先考虑在较低装配级别，如印刷电路板组装件上进行筛选，因为较低的组装级暴露的潜在缺陷和问题更容易修正<sup>[3]</sup>。鱼雷电子组件大多为带安装框架或机箱的印刷电路板组装件，其中带安装框架电子组件的印刷电路板外露。温度循环试验中，带安装框架电子组件的印刷电路板、元器件直接裸露，其内部温度与试验箱空气温度跟随一致性好，相当于印制板级筛选。带机箱电子组件的温度响应受机箱及内部结构本身的热容量及热惯性的影响，温度跟随一致性较差，其组件内元器件的实际温度变化大大低于试验箱的温度变化率；经对某产品进行实际测定，在温度变化率  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  的情况下，电子组件的内部各元器件温度变化率仅有  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  左右<sup>[4]</sup>，温度循环应力筛选的作用大大减弱，如筛选时打开机壳使印刷电路板外露或进行印制板电路筛选，筛选效果将大大提高。

## 2.2 提高温度变化率

提高温变率不仅可以提高筛选效能，还能缩短温度循环时间和节约能源。对于温度循环中的温度变化率，GJB1032 标准中要求是，MIL-HDBK-2164A(1996)手册及新修订待发布的 GJB1032A 将温度变化速率提高到“不低于  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ”<sup>[5]</sup>。根据经验结果计算：在其他条件不变的情况下，若受试品内部温变率达到  $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，则其筛选度可达到 0.99，相比  $2\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  条件下的筛选度 0.61，效能提高 65%<sup>[4]</sup>。为提高筛选效率和效果，可使用常规的快速温循筛选（温变率  $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  左右），通过提高筛选箱温变率提高受试品内部器件所处温度场的温变率，提高筛选强度以更有利于暴露缺陷。对于带机箱的组件可以在筛选时打开受试品机箱盖，加速热交换，使印制板表面的温变率基本和设备温变率同步。另外，还可以考虑使用 Hass 高速温循法（温变率大于等于  $30\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ）。为了保证最佳效果，在进行筛选时应该合理施加电应力及测试点。

## 2.3 振动采用多轴向筛选方法

GJB1032 标准中，环境应力筛选振动试验一般推荐选择与实际工作状态一致的一个轴向施加振动应力完成筛选。新版美军标引入了多振源试验法<sup>[5]</sup>，其中包括多轴向同振实验法。其特点是同时向受试品施加 2 轴或 3 轴的振动应力，更加真实地模拟实际工作环境，由于其承受多轴向综合应力，比单轴向依次振动相比考核更严酷。现代新型鱼雷功能不断强化，电子产品内部设计复杂，器件封装形式多、安装密度高，对可靠性的要求越来越高，因此可考

虑进行三轴振动应力筛选，如高效的高加速环境应力筛选 (highly accelerated stress screen, HASS) 中的三轴六自由度气动振动筛选方法，增强筛选效果。

## 2.4 筛选条件标准化

鱼雷电子产品要求全部筛选，生产过程往往比较集中，种类多、数量大，尤其对于温度循环应力筛选，无故障运行和故障剔除持续时间为 80 h (约 4 天时间)，单种组件每批次就需要多套设备或多轮时间，导致人力、设备等资源占用多，生产进度紧张。因此，应根据产品具体特点确定不同的筛选等级和操作性更强的通用筛选大纲<sup>[6]</sup>，实行管理动态化和常态化管理，细化操作细节、固化操作流程，实现产品筛选条件通用化、标准化，提高筛选整体效能和效果一致性。在此基础上开展并行筛选，有效提高工作效率。

## 2.5 开展定量筛选

常规应力筛选以能筛选早期故障为目标，其优点在于简单易行，目前相关标准，如 GJB1032-1990 等完善度都很高，裁减选用很方便，因此应用非常广泛，取得了良好的效果。但由于其筛选结果与产品可靠性目标及成本阈值无定量关系要求，无法定量评价、分析筛选效果是否满足其筛选预期目标。定量环境应力筛选通过连续的过程监控、筛选数据的采集和分析，不断优化筛选条件和完善筛选大纲，最终使产品残留缺陷密度满足可靠性要求确定的目标值，是一个动态的闭环过程，方法更科学。

因此，笔者建议在鱼雷研制阶段采用常规环境应力筛选法积累各种相关的数据，批产订货阶段采用定量环境应力筛选<sup>[7]</sup>，不断提高产品可靠性，确保交付鱼雷武器装备战斗力。

## 3 提高可靠性为目标的新方法和新手段

高加速寿命试验 (highly accelerated life test, HALT) 和高加速应力筛选试验 HASS 技术应用已有 30 多年历史，涉及到电子、机电、光电、机械各类型的产品，被国外各公司视为潜藏的宝石。其中，HALT 通过使受试品承受不同应力，进而发现产品设计极限及潜在缺陷；HASS 以 HALT 试验为基础，使用的应力低于 HALT 试验但高出设计应力极限的应力，目的是为在极短的时间内发现大批量产品是否存在质量缺陷；因此，HALT 主要应用于研制开发阶段，HASS 则是批量生产阶段。该技术与设计改进和生产检验紧密结合，不仅缩短时间，而且可显著提高产品可靠性，降低综合试验费用，最近几年美国军用大纲已采用 HALT 和 HASS<sup>[8]</sup>，并将质量保证期要求增加，目前国内航天七〇八所已建立 HALT、HASS 试验技术手段并开展了此技术研究。