

文章编号: 1004 - 7204(2004)03 - 0001 - 04

环境试验和可靠性试验的类型及其设计技术

章新瑞

(航空综合环境重点实验室, 北京 100028)

摘要: 介绍了各种类型的环境试验和可靠性试验, 分析了各种试验的基本特征和工程实践方法, 并讨论了实施试验应考虑的资源。

关键词: 环境试验; 可靠性试验; 试验程序; 试验设计

中图分类号: V 216.5

文献标识码: A

The Type of Environmental Test and Reliability Test and Their Design Techniques

ZHANG Xin-rui

(Aviation Combined Environment Lab, Beijing 100028)

Abstract: This report introduces each type of Environmental test and Reliability test, analyzes the basic features and engineering approaches of each test. This report also discusses the resource needed to execute test procedures.

Key words: environmental test; reliability test; test procedure; test design

1 引言

在当今竞争激烈的市场环境和全球化的背景下, 产品要迅速成功地占领市场, 就必须注意产品环境适应性和可靠性。

我国在上个世纪的七十年代起开始重视产品的环境适应性和可靠性问题, 并基本上按照美国军用标准体系颁布实施了与之相应的国家军用标准(民用系列标准等效采用 IEC 标准), 这些标准的颁布实施对我国的军用和民用产品的环境、可靠性试验的开展起到了很好的推动作用, 而这些环境、可靠性试验的开展又极大地提高了我国军用和民用产品的可靠性和环境适应性, 并直接导致了产品质量的提升。

然而, 由于种种原因, 国内的产品研制单位(以下简称承制方)对环境和可靠性试验的认识存在一定误区, 基本上是按照标准“照方抓药”, 没有真正去理解对产品进行环境可靠性试验的真正意义, 没有将环境、可靠性试验看作一个可使产品增值的过程。因此, 很有必要深入地探讨有关环境可靠性试验的各种相关问题。

2 环境可靠性试验的分类

虽然 GB4239 和 GB450 中明确规定了各类环境和可靠性试验的定义和用途, 但由于种种原因, 长期以来, 国内对环境可靠性试验的种类和什么时候应进行试验的时机都很模糊, 有些只是在产品快要设计定型时才开展一定的环境可靠性试验, 有的承制方在产品研制初期也开展了一部分的环境可靠性试验工作, 但比较零散, 而且大部分是无意识或按照以前产品的研制经验进行的环境可靠性试验。这里, 我们为便于讨论, 将产品研制生产过程分为以下四个阶段, 具体见表 1。本文将按顺序详细地探讨每一类试验。

2.1 试验规划

在本文中, 产品方案阶段的试验规划是指在产品研制准备初期进行的试验工作。此时, 应考虑以下因素:

- a. 充分理解用户的需要, 确定对产品环境适应性和可靠性要求以及产品可能的使用环境;
- b. 对产品进行 FMEA, 初步了解潜在的故障部位和故障机理;

收稿日期: 2003 - 11 - 18

作者简介: 章新瑞(1977 -), 男, 江西进贤人, 工学学士, 工程师。现从事环境和可靠性工程研究。

c. 收集相似产品在可靠性设计和环境适应性设计方面的研制经验和教训;

d. 确定进行试验所需的资源(人、财、物等),并制订试验计划。

2.2 设计评价试验

在本文中,产品设计评价阶段的试验是指在产品研制阶段早期,进行的所有工程分析、环境试验和可靠性试验。该阶段的试验情况在决定产品的环境适应能力和可靠性水平中有着举足轻重的地位。这里根据国外的相关文献归纳列举了几种不同类型的设计评价试验,这几类试验的基本特征为:

a. 在施加环境应力(温度、振动、湿度、电源、时钟、频率、压力等等)时,产品在结构、热和其他方面如何作出响应?(这些信息构成了产品特性鉴定,一般通过应力响应测量得出。)

b. 产品的强度极限是多少?(通过加速寿命试验、步进应力试验或设计裕量试验可以得到这方面的信息。)

c. 什么样的材料和生产工艺最适于这种产品?(鉴定原材料和加工工艺)

d. 为得到特定的产品信息,最佳的试验方案、试验设备和应力施加方法是什么?(最佳试验的确定)

表 1 产品研制生产各阶段的分类及其主要任务

产品所处阶段	主要任务	说 明
方案阶段	1) 理解用户需要 2) 各种试验资源的准备及配置	1) 组成类似于 IPT(综合产品小组)的产品研制集体,实施产品的并行工程; 2) 对产品进行 FMEA; 3) 对产品进行可靠性建模; 4) 收集相关产品的研制经验。(环境可靠性方面)
设计评价阶段 (产品研制初期)	1) 设计评价(包括环境适应性和可靠性研制试验) 2) 可靠性增长试验	1) 用来尽量减少产品研制中的风险; 2) 尽可能快地暴露产品的薄弱环节,并予以改进及验证; 3) 获取支持产品研制工作所需的工程信息; 4) 进行可能的加速试验研究。
设计成熟阶段 (产品研制后期)	1) 功能和性能验证试验 2) 可靠性鉴定试验 3) 环境鉴定试验	1) 验证产品的可靠性水平; 2) 验证产品的环境适应性水平; 3) 进行可能的统计上有意义的加速试验。
产品批生产阶段	1) 环境应力筛选 2) 生产验收试验 3) 可靠性验收试验	1) 保证批生产早期产品的可靠性; 2) 对生产工艺的有效性进行评估; 3) 保证持续的产品可靠性和环境适应性。

产品的设计评价(研制)试验,在我国由于没有相关的标准支持这类工作,开展的情况很差,基本上是一片空白。但是,随着对环境可靠性试验认识的进一步深化,我们已开始着手解决这一问题,并已制定颁布了环境工程标准 GB4239《装备环境工程通用要求》,该标准中规定的环境适应性研制试验(工作项目 402)、环境响应特性调查试验(工作项目 403)均是在研制阶段中应该进行的环境试验工作。

2.3 设计验证试验

在本文中,设计验证试验指在能够代表定型或批生产状态的产品上进行的试验。在这一阶段,多数评价性试验已经结束,设计验证试验的目标是集中验证产品研制阶段的所有决策并获得其置信度。以下几个问题可以表明这类试验的基本特征:

a. 实际产品的性能和可靠性特征值(如 MIBF 值)与设计预计值和用户的期望值之间有多大差距?(可靠性鉴定试验)

b. 实际产品在规定的严酷环境条件下是否能正常工作?(环境鉴定试验)

c. 长周期试验的结果与总寿命间有什么关系(如耐受性试验、耐久性试验或寿命试验)?

d. 如何可靠地通过缩短试验时间和试验环境严酷化来加速疲劳应力的积累?(加速试验)

设计验证试验在国内开展的情况还是可以的,主要是有两个标准(GB899 和 GB150)支持,尤其是新品设计和生产定型,都需进行可靠性鉴定和环境鉴定试验。

2.4 生产试验

这里的生产试验指对大批量生产的产品,选取环境应力进行试验。这一阶段,基于此前进行的设计评价和设计验证试验,产品设计的置信度水平已经较高。同时由于进度和经费等方面的原因,在这个时候进行任何重要的设计更改或开发新的设计方案都是不可取的。这些试验一般是指环境应力筛选(ESS)和生产验收试验的范围。以下几个问题可以表明这类试验的基本特征:

- 哪一种环境试验技术最适于发现产品具有的工艺类型缺陷?
- 在批量生产的产品中,选取多少比例的产品进行试验,可以保证对生产工艺健壮性的评估具有稳定的置信度?
- 在哪一级产品层次上施加环境应力,可以以最小的成本最大可能地发现各种缺陷?
- 哪一种方法可以有效地保证由供应商提供的产品各类部件具备持续稳固的特性?

生产试验在国内开展的也不错,主要是 ESS 和例行试验(生产验收试验),航天、航空、电子等行业的电子产品出厂都进行 ESS。但是,ESS 主要是按照 GB1032 进行,缺乏动态性,费效比很差。

3 试验的方法(或程序)和试验设计

很多人以为试验只要按标准要求做就行了,其实任何试验的成功与否,往往在试验实际进行之前就已经决定了。经过精心设计以寻找各种有用信息的试验,比那些偶然或随意运用“标准”或完全继承别人方法进行的试验更有价值。只有巧妙合理的设计和运用环境试验,环境试验成为一个增值的过程,但这是一个要求很高的目标,得之不易。由于人们往往觉得“我们一贯就是这么做的”,而不对试验按其目的进行具体设计,往往使试验成为效能极低的一种活动。

本文提供一个试验程序流程图(见图 1),供大家参考。具体流程如下:在提出问题(输入)后,进行多方面的因素分析、综合和权衡,编制试验大纲,再进行实施,直到最后解决问题(输出)。

为保证试验成功和提出问题的顺利解决,首先应当确定适当的试验假设,并根据特定的产品设计和研制过程进行剪裁。试验假设是设计试验和评估试验结果的主要依据,试验假设错误,试验就很容易受到各种繁杂的技术细节、冲突的进度安排等因素的干扰,而忽视了特定试验的目的。必须注意到,试

验假设为产品研制、试验设计、试验实施和管理层等各方提供了一个共同的基准点。

设计试验假设时,必须考虑以下几个问题:

- 特定试验的技术目标是什么?(输入要求)
- 谁是试验结果的潜在用户,试验设计能满足他们的要求吗?(综合功能分析)
- 如果得到了预期的试验技术目标,这一增值过程是否符合费效原则?(结果评价)

重要的是,试验假设必须随试验目的的变化而变化,产品研制不同阶段需要不同类型的信息,但基本的环境应力加载工具(过程和设备)却是一致的。在设计可剪裁的环境和可靠性试验的过程中提出的问题(试验假设)是不同的,它取决于不同的产品研制阶段。

最后,在对试验结果进行数据分析时,需要使用下面两种方法:1)统计上的数值分析;和(或)2)对产品性能特性进行物理和化学分析。

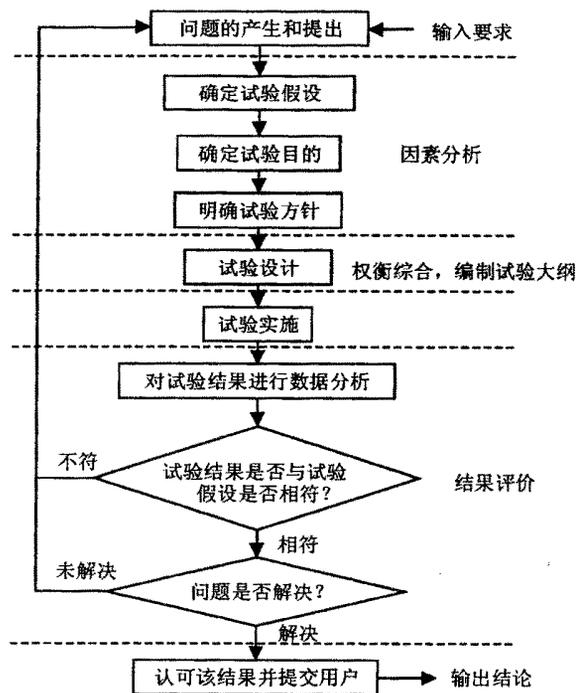


图 1 试验程序的一般流程图

4 环境试验和可靠性试验所需资源

毫无疑问,进行环境、可靠性试验需要各种资源,其中最主要的是设备和人。下面我们对试验设备和试验人员两方面进行探讨。

4.1 是否需要新试验设备

在我们型号研制初期,会初步确定型号研制中必需配备的试验设备,并有一部分经费支持购买试验设备。此时,试验设备销售商可能会鼓励承制方放弃“过时的”试验设备,并用最新的“高新技术”来替代,而且在基层工作的试验人员也乐于使用新设备。但是,我们要知道,在过去的几十年中试验的基本原理没变,从这一点看,老的试验设备依然可以发挥“余热”。当然,如果老的试验设备已经破旧不堪,不能正常使用,那么,就必须考虑购置新设备。

在购置新的试验设备时,应考虑以下几点:

4.1.1 试验设备的能力是否满足受试产品的试验需要

首先,我们应了解产品的设计和制造过程,并由此了解产品最可能出现的缺陷类型。根据其缺陷类型来确定哪种环境应力最适于激发这些缺陷,由此来决定购买哪种试验设备。

另外,了解设备的尺寸、特性和能力是否比实际需要的高也很重要。试验设备能够留有一定的能力余量是一种比较好的选择,当然过大的能力余量也会造成浪费。例如,使用液氮制冷的温度试验箱在试验箱中可以实现快速温度变化,但如果在此设备中进行试验的产品的温度变化率不能响应这种温度变化率,那么使用这种设备就是一种浪费。

4.1.2 选购的试验设备是否也适用于其他产品的试验

对于承制方而言,许多环境试验设备多年来一直是针对某一批量产品特性的。但是,有一些试验设备需要有灵活性以适应新研制的产品或系列产品或为后续产品提供试验能力。在考虑添置试验设备时,也应考虑到这一点。

4.1.3 有没有必要采购测试设备

在考虑添置新设备的同时,必须考虑添置相应的测试设备,尤其是在产品的设计评价试验阶段更是需要各种应力测试仪表,如多通道的温度测量系统、振动测试分析系统等等,在试验中恰当地应用测试设备,可以获得我们所需的更多的产品特性信息。

4.2 对试验人员素质如何要求

在很多承制方内部,对现场的试验人员要求不高,只要懂得操作试验设备就行。但是,要想得到一个的试验结果,试验人员部分绝对不能忽略。因为一个好的试验,不仅取决于试验的设计是否恰当,还取决于试验执行的技术质量。试验人员必须了解试验用户想从试验中得到什么以及在实际试验中如何最大限度地满足试验用户的需要,为此试验人员也必须

不断自我学习和培训,不断地提高自己的技术水平。

5 结束语

基于上述讨论和我们目前的环境和可靠性试验现状,提出以下建议和看法:

a. 加强在方案阶段的试验基础准备工作,做好试验规划与试验资源的配备;

b. 在进行试验设计时,应该注意不论是什么试验,其基本的过程是一致的:即环境可靠性试验以通用的技术方法为技术基础,这些技术方法适用于所有类型的环境和可靠性试验以及项目阶段。无论试验的目的如何,每一种试验依据的原理或方法都是一致的,即1)一致地描述外力函数(输入应力)和产品性能结构之间的相互作用关系;2)保持一套用于应力施加、测量仪器、数据采集和分析的最佳试验方法体系;3)准确理解和调整设备的能力及其使用限制条件;

c. 进行试验以前,清楚地定义试验的用途和阶段目标是极为重要的,应视情况剪裁试验,使之最大可能地产生所需要的或期望的信息;

d. 所有的试验是相互关联的,不要只重视某些试验而忽略另一些试验,要知道没有任何一种单独的环境、可靠性试验可以独立于产品的试验过程。每种试验都提供了一部分信息,但没有一个可以提供产品所有的信息。同时也必须协调各种试验,以免除不必要的工作,减少重复试验,使之获得有用的信息;

e. 重视试验技术文档工作,并建立产品的相关信息库。产品技术文件是各种有价值的经验教训的总结。在进行新产品的试验工作时,借鉴相关产品的经验是相当有效的。除非试验设备已经过时,或者该产品已不能代表当前的技术水平。

f. 加强试验技术人员的培训,并按层次规划培养试验队伍,如可按照环境工程专家(试验规划与总体目标制订)、试验工程师(试验设计、试验数据分析)、试验实施人员(准确地实施试验)的层次来培养试验队伍。

参考文献:

- [1] 防务系统管理学院. 系统工程管理指南[M]. 北京: 宇航出版社, 1992.
- [2] Hank Caruso. 环境可靠性试验[A]. 1996年美国R&M年会论文[C]. 1996.
- [3] GB4239-2001. 装备环境工程通用要求[S].
- [4] ML-STD-810F. 环境工程考虑与实验室试验[S].