

# 环境试验技术的现状综述与 集成环境应力试验分析系统\*

陈循 温熙森

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

**摘要** 在阐述可靠性环境试验技术基本内涵的基础上,分析了国内环境试验技术研究与应用的发展概况,以及存在的主要问题。最后,针对复杂机电设备,从功能和信息集成的角度,提出了一种集成环境试验分析系统的构成模式及主要功能。

**关键词** 可靠性, 环境试验, 试验设计, 功能集成, 信息集成

**分类号** V 213. 2

## The Situation Summarization of Environment Experiment Technology and Integration Environment Stress Experiment&Analysis System

Chen Xun Wen Xisen

(Department of Mechatronics Engineering and Instrumentation, NUDT, Changsha, 410073)

**Abstract** Based on elaborating the basic intension of Environment Reliability Experiment Technology (ERET), this paper analyses the general development of ERET in our country, as well as the main existing problems. Moreover, from the angle function integration and information integration, the paper proposes a future mode of ERET and describes its main functions as well.

**Key words** reliability, environment experiment, experiment design, function integration, information integration

### 1 可靠性试验的意义和作用

当前,随着科技突飞猛进的发展,复杂机电一体化设备(如各种动力装置、飞行器、卫星、战车等)的技术含量越来越高,系统构成越来越复杂,制造难度也越来越大,因此,从装配车间出来的产品不可避免地会存在各种故障隐患。由于这类设备在各自领域中具有非同寻常的作用和地位,所以必须通过严格的试验考核它们的可靠性,以防患于未然,而切不可抱侥幸心理行事。以历年来国内外的数次卫星发射失败为例,若重要设备在使用过程中发生功能失效或破坏,不仅会造成经济上的巨大损失,还会造成军事、政治上的重大损失。因此,可靠性应在机电设备的研制过程中作为一项重要的性能指标加以评估和控制。

可靠性试验是为评估和提高设备可靠性而进行的试验总称,它可以帮助我们暴露设备的问题和缺陷,一方面淘汰有故障隐患的设备,另一方面通过综合分析寻找故障源,进而采取改进措施,优化设计,使设备的可靠性得到增长。因此,可靠性试验是可靠性工程的一个重要环节,应贯穿于机电设备,尤其是大型复杂机电设备的设计、制造和使用的全过程。

总之,可靠性试验及评估不仅能为设备的可靠使用提供保证,而且还能为设备的优化设计提供依据(反设计)。

\* 1998年5月6日收稿

第一作者:陈循,男,1964年生,副教授

## 2 环境试验的基本内容

可靠性试验的主要内容是环境功能考核,即在设备的研制、生产和使用期等各个阶段,有意把设备或其核心部件在运行过程中将经受的环境应力预先施加到设备上,考核试验期间或试验后设备功能是否正常,并使其潜在缺陷加速发展成为早期的明显故障,以便及时采取相应的措施,避免将具有潜在缺陷的设备投入实用。同时,通过对试验过程进行监测、分析,查找故障原因,为设备的改进设计提供依据和建议。常见的设备使用环境种类包括:

① 大气环境: 温度、湿度、盐雾、霉菌、沙尘、雨淋、太阳光照等;

④ 振动环境: 随机、冲击、共振;

④ 压力环境: 高压、低压、真空、离心;

④ 其它环境试验: 核辐射、电磁干扰、噪声等。

环境试验一般分作现场和模拟试验两大类。前者是指设备在真实运行环境中进行的试验;而后者是指设备在实验室的模拟环境中进行的试验。模拟环境一般通过控制各种环境模拟设备得到。

比较而言,现场试验具有环境条件真实的优点。而模拟试验的优势在于:①能严格控制试验条件,能随时模拟各种所需要的特殊试验环境;④试验效率高,灵活性强;④便于试验过程的在线监测,从而能为设备的故障诊断和可靠性评估提供全面的信息。因此,目前模拟环境试验在可靠性试验中占具主导地位。

根据试验对象的性质,环境试验又分为元器件、部件和系统等三级试验。就复杂机电设备而言,其环境试验一般都属于系统级试验。这里,系统级试验因应力环境的复杂性和多样性,对试验设备的控制能力和试验设计、分析水平要求很高。

在机电设备的环境试验中,要求针对特定的环境试验设备和试验对象,在理论分析的基础上,选定置信度高、效率高、耗费低的试验方案;设计完整的试验系统;制订规范的试验大纲和测试规范;利用先进的分析手段,从试验过程中提取设备运行的动态特征信息和可靠性参数。

## 3 国内环境试验的现状以及存在的问题

目前,国内的可靠性环境试验以元器件筛选为主,如各种电子器件的温度、压力、振动应力筛选,分别在温度压力试验箱和振动台上完成。由于试验设备落后、管理水平不高等原因,国内在模拟环境试验中普遍存在以下问题:

(1) 模拟环境与真实环境的性质差异较大,使得模拟试验结果的置信度不高。以振动试验为例,许多元器件筛选仍以正弦扫频来等效随机振动试验。从严格意义上讲,用一种确定性过程代替一种非确定性过程是不合理的。正弦扫频试验无法复现复杂的随机振动环境。任何设备都是一个多自由度系统,具有多个固有频率,随机振动能同时激励多个振动模态,而正弦扫频试验只能激励出激振频率附近的一个或少数几个密集的振动模态,因此,随机振动在设备内部产生的效应与实际情况相似,而正弦扫频试验则做不到这一点。

(2) 试验控制设备的环境模拟功能比较单一,综合环境模拟设备少,不能满足综合环境模拟试验的需求。

(3) 试验的信息处理方式比较原始,试验过程的监测和实时诊断功能不强,多数试验只能鉴别试件是否存在故障,而故障原因通常只能根据有限的试验数据和专家经验进行离线分析与诊断,使得试验的整体效率不高。

(4) 某些单位对设备的可靠性问题不重视,要求不严,管理不善,致使试验过程很不规范,使得试验结果的置信度大打折扣。

受试验条件的限制,目前大型机电设备的系统级试验仍主要依靠现场试验(如振动路试),然而,对于许多装备(如各种飞行器)而言,由于现场试验的条件不易控制,试验数据的获取不方便,给可靠性评估带来了许多困难。

近年来,国内有关部门相继引进了数套较先进的大型综合环境试验设备,但由于试验设计水平跟不上,因此试验功能往往比较单一,不能充分发挥设备的效能。而在国外,如德国的LBF强度与设计研究院,利用一套电液式多轴振动控制设备,在一个柔性试验平台上,经过设计和组合,能针对不同对象实现各种不同的多点多向振动激励及响应测试分析,进而对试件的结构强度及可靠性进行综合评估,试验效率相当高。相比之下,国内在这方面差距较大。

要提高环境试验的水平,从技术上讲关键是要提高试验设备的控制能力和信息处理能力。在环境试验设备的研制方面,目前国内生产的环试设备中,高档设备少,中、低档设备多,某些功能集成度高、制造和控制技术复杂的高新设备目前国内几乎还是空白。设备的落后,严重地制约了环境试验水平的提高。

在可靠性试验设计方面,国内不少新型机电产品的试验仍沿用经典的方法和技术,或是针对具体的对象根据经验进行设计,缺乏深入的理论分析和指导,使得一些可靠性试验(尤其是各种环境模拟试验)存在较大的盲目性,其中不少试验方法明知应该加以改进,但却由于缺乏充分的理论依据无从下手而沿用至今。同样,在试验规程和标准的规定,以及试验结果分析的过程中,同样由于缺乏充分的理论指导,融入了许多人为的,然而却是不正确的主观因素。凡此种种,造成试验评估的置信度不高和较大的资源浪费,严重影响了可靠性试验技术的应用以及整个设备可靠性工程的发展。

#### 4 环境试验的发展趋势

综合国内外目前环境试验的发展状况,环境试验系统(包括实验设备的控制和可靠性分析软件)正向着柔性、多功能以及信息集成的方向发展,以适应机电设备研制周期日益缩短,功能和负载特性复杂多变的特点。未来典型的内厂综合环境试验系统的基本构成及框架如图1点划线下方所示。

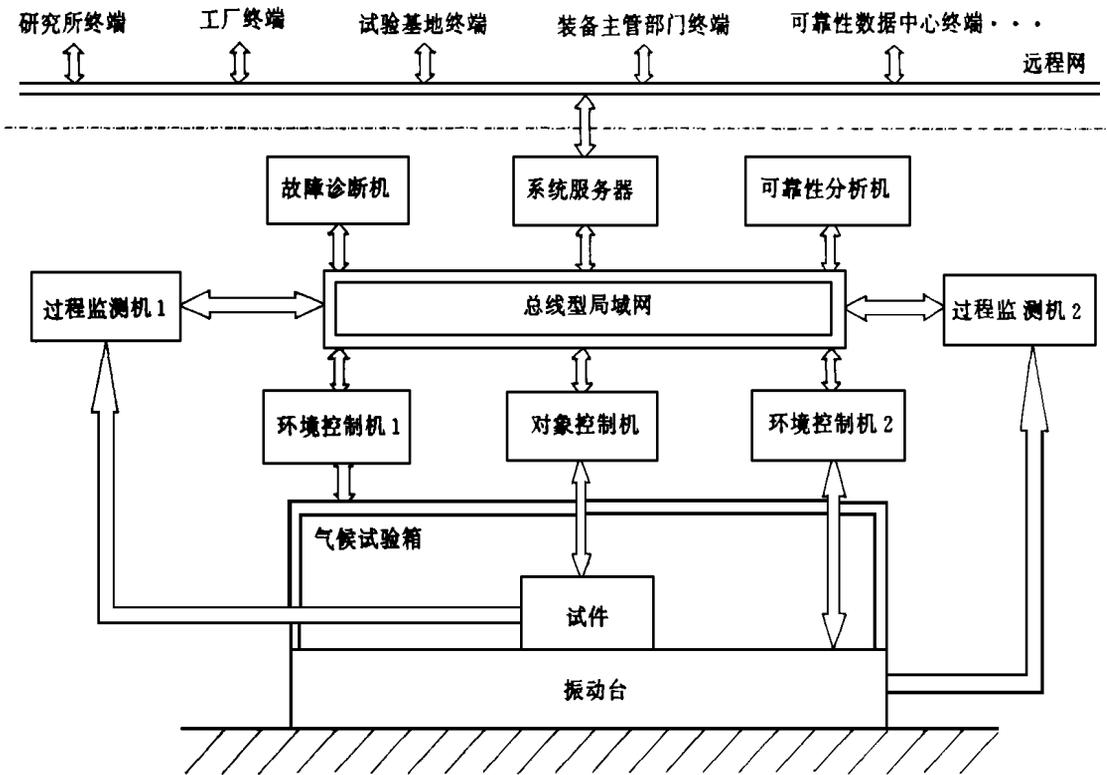


图1 集成环境应力试验分析系统的基本框架

这种新的研究型系统以功能集成、信息集成、动态分析和开放式结构为基本特征。系统由环境模拟设备和若干台微机组成,可分为环境模拟、对象控制、过程监测、分析诊断和系统管理等五个部分。以下

分别介绍各部分的具体内容。

#### 4.1 环境模拟

环境模拟由环境模拟设备和控制机组成。在试验分析系统中, 环境模拟设备是系统的核心。为满足各种环境应力试验的需要, 环境模拟设备由气候试验箱和振动台(即沿铅垂方向激振, 附带支撑平台的大推力激振器)组合而成, 应力种类至少应包括温度、湿度、压力和振动, 即所谓“四综合”, 且各类应力强度变化范围能满足加速应力试验的要求。根据目前环境模拟试验的技术水平和设备的制造水平, 系统的试验对象首先应以中小型机电设备或电子仪器为主。

随着微机性能价格比的不断提高, 以及功能可扩展性强、可靠性高、维护方便、灵活性强等特点, 微机已逐渐成为工业过程控制器中的主角。因此, 环境模拟设备的控制可以考虑由两台微机担纲。其中, 一台微机控制气候试验箱, 另一台微机控制振动台。

试验箱控制机应根据各种类型试验需求, 对温度、湿度和压力同时进行控制; 而振动台控制机则应能实现多通道任意波形(谱形)振动信号的实时控制。如果微机及数模转换电路板选型适当, 那么通过微机软件编程实现环境模拟设备的控制并非难事。此外, 环境模拟控制机还应具有保存过程控制参数及控制结果的功能, 以便为试验结果分析提供参考依据。

#### 4.2 对象控制

为使试验结果更加可信, 绝大多数环境应力试验(关机状态的运输环境试验除外)过程中都应使试验对象处于工作状态。因此, 必须专门用一台微机, 根据试验对象的实际工作状态, 对其工况进行编程控制, 并测试其工作参数。比如对试件进行通断电、通微波信号、通低频信号、通路路等操作, 并测试试件的工作电压、电流和压力等参数。

#### 4.3 过程监测

在传统的环境应力试验中, 由于技术条件等因素的限制, 分析重点大都放在产品批次的总体失效率统计分析等方面, 而对试件个体失效过程的分析较少, 即便有, 也大多是以经验分析为主, 缺乏客观依据, 难免在分析过程中掺杂进一些不正确的主观因素。事实上, 许多产品的失效都是渐发性的; 或与试验应力强度与时间密切相关; 特别是有些产品由于存在某种特殊的潜在缺陷, 会在试验中发生可逆性故障, 在试验结束后可能暂时恢复正常。对于上述情况, 如果在试验中对试件的运行状态进行监测, 记录其失效过程中某些参数的变化, 便能为试件的失效机理分析提供更全面的信息。

在试验过程中, 对环境模拟设备的运行状态进行监测也是必要的。通过对设备的输出功率、输出电压、温度、管道压力等关键参数进行监测并对变化趋势进行预测, 必要时便可以及时采取措施, 防止发生事故。应当说, 这一点非常重要, 试验系统自身的可靠性也是顺利完成各项试验任务的重要保证。

本系统的过程监测与趋势预测也可以用微机作为主控单元。实际上, 以微机为主控单元的机电系统监测装置目前已有许多成功的范例<sup>[13, 14]</sup>可以借鉴。

#### 4.4 分析诊断

在环境应力试验中, 通过试验暴露产品缺陷还只是完成了任务的一半。要清除产品的缺陷, 实现产品整体上的可靠性增长, 还有赖于有效的试验结果分析手段。而分析诊断计算机的作用就是利用各种先进的分析软件和试验数据, 一方面对试件个体中出现的故障进行定位诊断, 并对其失效机理进行分析; 另一方面对某型某批次的试件整体可靠性特征参数, 如应力强度-寿命曲线、失效率-时间曲线、特定故障发生率-时间曲线等进行统计分析, 为厂家对产品的改进设计和上级部门对产品的前途决策提供建议和依据。

由于产品故障诊断和可靠性分析的牵涉面广, 建模、分析的工作量大, 加上所需的数据量和来源多且杂。因此, 应考虑至少用两台微机承担这项工作。其中一台主要针对单个试件进行寿命预测或故障诊断、失效分析; 另一台则负责统计分析某型某批次试件的可靠性参数, 并建立数据档案(数据库), 最终形成分析诊断专家系统, 以便查询。

#### 4.5 系统管理

本系统的功能集成度高, 信息处理量大, 需要建立一个完善的管理机制协调系统内部各子系统的工

作步调,同时保证信息的畅通和统一管理。

为满足上述要求,系统内各计算机以总线方式连成一个局域网,微机相互之间可直接通信并共享数据,工作状态的协调与信息管理则由一台服务器担纲。

大型状态显示屏用于重要试验过程的大堂监测,由服务器控制,可显示系统内任意一台微机的工作界面。

此外,系统的开放性主要表现在,系统内部信息可通过挂接在远程网上的服务器与外界互通信息(参见图1)。如为产品的研制单位远程提供改进设计的建议和依据;收集来自现场的产品使用信息;接收并查询来自上级主管部门的指令并反馈有关技术信息。总之,使系统融于全国范围内的可靠性工程网络中,并利用自身优势,发挥应有的作用。

总之,综合试验系统将集环境试验、监测诊断、可靠性分析、综合评估决策等功能于一体,试验效率高,灵活性强。此外,利用微机编程调试方便的特点,可根据特定的试验大纲,设计新的控制程序,进一步扩充系统功能。但是,这种综合试验系统的开发与应用是一项较庞大的系统工程。

目前,国内尚无一个可靠性实验室具有上述形式或类似的环境试验分析系统,国外也未见类似系统的报道。鉴于该系统的较高的功能集成度和较大的规模,在系统设计开发过程中难免遇到较多的理论和技术问题,所需的资金、人才的投入也相应较大。然而,该系统的建造意义是显而易见的:在为机电产品和武器装备的研制生产提供技术服务的同时,可以该系统为生长点形成一个可靠性试验技术研究中心,一方面成为研究可靠性试验理论、技术和规范的重点实验室;另一方面成为培养可靠性试验技术人才的重要基地,进而为促进我国机电产品尤其是武器装备可靠性水平的提高发挥更大的作用。

就开发策略而言,应根据使用需求,重点突破,在引进国外先进设备和技术的基础上,首先开发“柔性多轴振动环境试验系统”,以满足各类机电设备振动环境系统级试验的迫切需求。

## 参考文献

- 1 中华人民共和国国家军用标准. 军用设备环境试验方法振动实验. GJB150. 16~86
- 2 Shock and Vibration Bulletin: Proceedings on the Symposium on Shock and Vibration(52nd), Part 3: Environmental Testing and Simulation, New Orleans, Louisiana, 1981. 10, GAR: 1128~1136
- 3 酒井善治. 振动冲击试验的展望和问题, 环境技术, 1995. 4: 25~31
- 4 Tustin W. Multiple Shaker are Required for Multi-Axis Vibration. Test, 1993. 10: 78~87
- 5 Pate Jr J W, Tessier E D. Multi Shaker Testing of Large Test Specimen. Proc. 62nd Shock Vib. Symp., 1991, 1(10): 199~208
- 6 Brillhart R D, Hunt D L, Chimerine H. Multiple Input Excitation Methods for Aircraft Ground Vibration Testing. Sound Vib. 1993, 27(1): 77~85
- 7 Pratt R W. The Role of Multivariable Control in Multi-channel Fatigue and Vibration Tests. Proc. 64th Shock Vib., 1993, 18(10): 2221~2232
- 8 吴家驹. 振动试验中的多台并激技术. 强度与环境, 1992. 1: 1~5
- 9 Army Test and Evaluation Command, Aberdeen Proving Ground, D, U S A, Development of Laboratory Vibration Test Schedules, 1993. 5, GAR: 786~793
- 10 Poyner S P. Tailoring of Component Tactical Transportation Vibration Environment Based on Vehicle Input. Proc. 39th Ann. Mtg. Inst. Environ. Sci. 1993, 2(5): 677~683
- 11 Yang D E, Pierce C D. Transportation Vibration Measurement & Simulation: A Field-to-Lab. Case Study. Test, 1993, 55(3): 25~34
- 12 史维祥等. 电液伺服系统自适应控制的新发展. 机床与液压, 1995. 1: 1~12
- 13 陶利民, 温熙森, 李岳. 汽轮发电机组状态监测系统的硬件实现. 国防科技大学学报, 1995, 17(2): 22~28
- 14 陈循, 唐丙阳, 温熙林, 田江红. 汽车起动机异常噪声监测系统的设计原理. 数据采集与处理, 1995, 10(1): 23~27