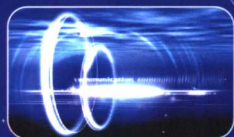


力学环境试验技术

本书编著委员会 编著



西北工业大学出版社

力学环境试验技术

本书编著委员会 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 力学环境试验是为产品创造各种各样的力学人工环境,以模拟力学环境对产品的影响,考核产品的力学环境适应性能及在该环境条件下的结构完好性。本书以国家标准和国家军用标准为基础,全面、详细地介绍了振动、冲击、碰撞、离心、摇摆、弹跳、撞击、综合、包装等各类力学环境因素对产品性能影响的一般规律、作用机理、试验条件、试验设备和仪器、试验程序与方法,试验测量与检定及试验过程中应注意的问题等,对正确掌握力学环境试验技术具有一定的指导意义。

本书可供电工电子产品研发、制造和试验部门的科技、管理、操作人员使用与参考,对其他领域内从事产品设计和试验的工程技术人员也有参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

力学环境试验技术/《力学环境试验技术》编著委员会编. —西安:西北工业大学出版社, 2003. 9

ISBN 7-5612-1662-9

I. 力… II. 力… III. 产品—力学性能试验 IV. F406.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 048985 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029)8493844

网 址:www.nwpup.com

印刷者:陕西天元印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:41.75

字 数:1 022 千字

版 次:2003 年 9 月 1 日第 1 版 2003 年 9 月 1 日第 1 次印刷

印 数:1~11 000 册

定 价:108.00 元

《力学环境试验技术》编著委员会

编委会主任: 邢天虎

编委会副主任: 王涌泉 雷平森 常鹏举

编委: 晁开科 马有力 吴 崧 杨秋全 党永利 屈录林
邹 若 冯 睿 马钧占 王颖哲 潘晓阳 孔小琦
马化营 张文涛 范玉洁 年有权 杨耀辉 崔占团
董振华 王大同 乔岐安 胡军文 王怀文 谢安家

执笔: 王涌泉 雷平森 冯睿

前 言

环境试验是环境技术的一个重要组成部分,力学环境试验又是其中的一个重要分支。它是考核力学环境条件(自然环境或人工环境)下对产品的作用和影响,以评价产品的环境适应性和结构完好性。人工环境试验是实际环境影响的科学概括,与实际环境相比,更典型化,使用起来更为方便,试验结果便于相互比较。因此,人工环境的试验越来越被广泛地采用。

力学环境试验发展到今天,已经蕴含了极其丰富的内容。随着我国经济建设和国防建设的发展和质量保证体系的日趋建立与完善,对环境试验特别是对力学环境试验提出了更高更全面的要求,这就要求有关的科技人员、管理人员及试验操作人员全面熟悉产品所处的环境条件及因素,了解这些条件和因素对产品的破坏机理和危害,设计和制定科学合理的试验方案,开发、研究、制造并选择理想的试验设备和试验夹具,采用正确的实验方法和步骤,采集、分析、处理和制定完整、准确的测量数据和判别依据,从而改进和完善产品的设计,保证产品在使用中达到满意的功能要求。总之,全面了解与掌握力学环境试验这门技术对于科技不断发展的今天尤为重要。在力学环境试验技术中,振动、冲击的基本理论与之密切相关,并已成为力学环境试验技术的理论基础。经过多年的实践、研究和探讨,力学环境试验的大部分技术已趋于成熟,部分还有待于进一步的探索与解决。

目前,国内已出版了一些有关试验应用方面的书籍或在有关的刊物上刊登过这方面的文摘资料,但大多是针对某一方面内容的,所以,编写一本全面介绍力学环境试验技术,反映这一技术的最新动态、最新信息、最新成果是很有必要的。

本书共分8章。内容包括:力学环境试验技术概论;名词术语介绍;振动试验技术;冲击与碰撞试验技术;离心式恒加速度试验技术;摇摆、倾跌和翻倒、弹跳、撞击及自由跌落试验技术;综合试验技术和运输包装件力学环境试验技术。本书以力学环境试验国家标准和国家军用标准等为依据,全面介绍了各类试验技术中的试验条件、试验设备的结构原理和设计准则以及测量与检定、试验方法步骤以及试验中应注意的事项和问题,了解这些内容对于掌握这一技术具有一定的指导意义。

本书可供从事电工电子产品及与之有关产品的研究、设计、生产和使用单位的科技人员、管理人员及操作人员使用和参考。特别适用于从事产品

设计和试验工程技术人员使用和参考。同时,对试验设备的研发及测量也会有一定的帮助。

本书在编著过程中得到了西北机器厂、西安捷盛电子技术有限责任公司和西安捷运科技有限责任公司领导和工程技术人员的大力支持和协助,在此表示衷心的感谢。

由于水平有限,书中错误和不妥之处,恳切希望广大读者批评指正。

编著者

2003年5月

目 录

| | |
|---------------------------------|-----|
| 第 1 章 力学环境试验技术概论 | 1 |
| § 1.1 力学环境试验的概念 | 1 |
| § 1.2 力学环境试验技术的研究 | 4 |
| § 1.3 力学环境试验的目的和意义 | 7 |
| § 1.4 力学环境试验技术的展望 | 9 |
| 第 2 章 力学环境试验技术名词术语 | 12 |
| 第 3 章 振动试验技术 | 25 |
| § 3.1 振动的基本理论..... | 25 |
| 3.1.1 振动的分类..... | 25 |
| 3.1.2 振动的表示方法..... | 28 |
| 3.1.3 振动的合成..... | 32 |
| 3.1.4 单自由度系统的自由振动..... | 35 |
| 3.1.5 单自由度系统的稳态响应..... | 49 |
| 3.1.6 随机振动..... | 52 |
| § 3.2 振动试验条件及试验标准..... | 63 |
| 3.2.1 振动试验条件..... | 64 |
| 3.2.2 振动试验方法标准..... | 92 |
| § 3.3 振动试验设备..... | 97 |
| 3.3.1 振动试验台的类型和特点..... | 97 |
| 3.3.2 振动试验设备的要求..... | 98 |
| 3.3.3 机械振动台 | 100 |
| 3.3.4 电动振动台 | 125 |
| 3.3.5 电液振动台 | 167 |
| 3.3.6 模拟汽车运输振动试验台 | 189 |
| 3.3.7 激振器 | 190 |
| 3.3.8 振动台的辅助设备——水平滑台 | 197 |

| | |
|-----------------------------|------------|
| § 3.4 振动试验技术 | 212 |
| 3.4.1 振动试验的分类 | 212 |
| 3.4.2 振动试验条件的制定 | 215 |
| 3.4.3 振动试验方法 | 216 |
| 3.4.4 振动试验夹具 | 253 |
| 3.4.5 试品的安装与控制 | 266 |
| 3.4.6 振动试验设备的选择和使用 | 271 |
| § 3.5 振动测量技术 | 279 |
| 3.5.1 振动测量技术概论 | 279 |
| 3.5.2 传感器的选择和使用 | 281 |
| 3.5.3 振动测量仪器 | 306 |
| 3.5.4 振动参数的测量 | 325 |
| 3.5.5 振动台的性能检测 | 331 |
| 3.5.6 振动计量器具量值传递系统 | 346 |
| 第4章 冲击与碰撞试验技术 | 347 |
| § 4.1 概述 | 347 |
| § 4.2 冲击特性的描述 | 348 |
| 4.2.1 标准单脉冲加速度波形 | 348 |
| 4.2.2 加速度—时间历程 | 350 |
| 4.2.3 冲击响应谱 | 352 |
| § 4.3 冲击、碰撞、试验条件及其标准 | 360 |
| 4.3.1 冲击试验的等效损伤原则 | 362 |
| 4.3.2 简单冲击环境的试验脉冲标准化 | 363 |
| 4.3.3 碰撞试验脉冲的标准化 | 364 |
| 4.3.4 冲击、碰撞试验条件及严酷等级 | 366 |
| 4.3.5 冲击、碰撞试验方法标准 | 376 |
| § 4.4 冲击、碰撞试验设备 | 376 |
| 4.4.1 冲击、碰撞试验设备的分类 | 376 |
| 4.4.2 冲击、碰撞试验对设备的要求 | 376 |
| 4.4.3 冲击、碰撞试验台 | 378 |
| § 4.5 冲击、碰撞试验技术 | 407 |
| 4.5.1 冲击、碰撞试验的目的和意义 | 407 |
| 4.5.2 冲击、碰撞试验条件及选择 | 407 |
| 4.5.3 冲击、碰撞试验设备的选择和使用 | 412 |
| 4.5.4 冲击、碰撞试验 | 413 |
| 4.5.5 冲击试验脉冲持续时间的等效变换 | 441 |
| 4.5.6 冲击、碰撞试验台的特性与夹具 | 444 |
| 4.5.7 冲击碰撞试验中试品的安装 | 446 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| § 4.6 冲击、碰撞试验测试技术 | 446 |
| 4.6.1 冲击传感器的校准 | 446 |
| 4.6.2 冲击测量仪器的选择 | 458 |
| 4.6.3 冲击测量 | 463 |
| 4.6.4 冲击、碰撞试验台的测量与检定 | 489 |
| 4.6.5 冲击加速度参数的测量误差 | 492 |
| 4.6.6 冲击计量器具量值的传递系统 | 494 |
| 第5章 离心式恒加速度试验技术 | 497 |
| § 5.1 概述 | 497 |
| § 5.2 产品的环境条件 | 497 |
| § 5.3 恒加速度试验的目的 | 498 |
| § 5.4 恒加速度试验设备 | 499 |
| 5.4.1 恒加速度试验设备的分类 | 499 |
| 5.4.2 恒加速度试验设备基本参数及特性 | 500 |
| 5.4.3 恒加速度试验设备的工作原理和结构 | 504 |
| § 5.5 恒加速度试验技术 | 511 |
| 5.5.1 恒加速度试验的用途 | 511 |
| 5.5.2 恒加速度试验的失效机理及效应 | 512 |
| 5.5.3 恒加速度试验条件(严酷等级) | 513 |
| 5.5.4 试验样品的安装 | 518 |
| 5.5.5 试验程序 | 520 |
| § 5.6 离心式恒加速度试验机的测试与检定 | 522 |
| 5.6.1 测试用主要仪器 | 522 |
| 5.6.2 一般规定 | 522 |
| 5.6.3 检定方法 | 522 |
| 5.6.4 检定项目及选择 | 524 |
| 第6章 摇摆、倾跌与翻倒、弹跳、撞击及自由跌落试验技术 | 525 |
| § 6.1 摇摆试验 | 525 |
| 6.1.1 环境条件与试验的目的 | 525 |
| 6.1.2 试验条件的严酷等级 | 526 |
| 6.1.3 摇摆试验台 | 529 |
| 6.1.4 摇摆试验 | 532 |
| § 6.2 倾跌与翻倒试验 | 533 |
| 6.2.1 试验的目的和意义 | 533 |
| 6.2.2 条件试验 | 533 |
| 6.2.3 试验程序 | 534 |
| 6.2.4 有关标准应包括的内容 | 534 |

| | |
|--------------------------------------|------------|
| § 6.3 弹跳试验 | 535 |
| 6.3.1 试验的目的和意义 | 535 |
| 6.3.2 弹跳试验机 | 535 |
| 6.3.3 试验严酷等级 | 537 |
| 6.3.4 试验方法 | 537 |
| 6.3.5 试验程序 | 539 |
| 6.3.6 有关标准应具备的内容 | 539 |
| § 6.4 撞击(弹簧锤)试验 | 540 |
| 6.4.1 试验的目的 | 540 |
| 6.4.2 试验装置 | 540 |
| 6.4.3 试验的严酷等级 | 545 |
| 6.4.4 试验程序 | 546 |
| 6.4.5 有关标准应具备的内容 | 546 |
| § 6.5 撞击(摆锤)试验 | 547 |
| 6.5.1 试验的目的 | 547 |
| 6.5.2 试验装置 | 547 |
| 6.5.3 试验的严酷等级 | 549 |
| 6.5.4 试验程序 | 551 |
| 6.5.5 有关标准应具备的内容 | 552 |
| § 6.6 自由跌落试验 | 552 |
| 6.6.1 试验的目的 | 552 |
| 6.6.2 试验条件与装置 | 552 |
| 6.6.3 试验的严酷等级 | 552 |
| 6.6.4 试验程序 | 554 |
| 6.6.5 有关标准应具备的内容 | 554 |
| § 6.7 各撞击试验之间的比较 | 554 |
| 第7章 综合试验技术 | 556 |
| § 7.1 温度(高温、低温)和振动(正弦)综合试验 | 556 |
| 7.1.1 试验的目的和意义 | 556 |
| 7.1.2 试验设备 | 557 |
| 7.1.3 试验方法 | 559 |
| 7.1.4 试验条件及严酷等级 | 567 |
| 7.1.5 试验中有关问题的探讨 | 568 |
| 7.1.6 试验的测量 | 578 |
| § 7.2 温度(低温、高温)/低气压/振动(正弦)综合试验 | 581 |
| 7.2.1 环境效应 | 581 |
| 7.2.2 综合试验的一般说明 | 591 |
| 7.2.3 试验方法 | 591 |

| | | |
|--------------|----------------------------|------------|
| 7.2.4 | 试验条件及严酷等级 | 597 |
| 7.2.5 | 试验设备 | 599 |
| § 7.3 | 综合试验的试验程序 | 600 |
| § 7.4 | 有关问题的说明 | 600 |
| 7.4.1 | 气压—高度的对应关系 | 600 |
| 7.4.2 | 散热试验样品采用空气循环的方式 | 601 |
| 7.4.3 | 重视辐射热交换 | 601 |
| 7.4.4 | 关于试验设备的问题 | 601 |
| 第 8 章 | 运输包装件力学环境试验技术 | 603 |
| § 8.1 | 运输包装件环境试验概述 | 603 |
| 8.1.1 | 商品包装 | 603 |
| 8.1.2 | 商品流通过程 | 603 |
| 8.1.3 | 包装设计应考虑的几个问题 | 604 |
| 8.1.4 | 商品在流通过程中的各种环境 | 607 |
| 8.1.5 | 流通对产品的损害作用 | 609 |
| 8.1.6 | 合理的运输包装 | 612 |
| 8.1.7 | 运输包装件环境试验 | 613 |
| § 8.2 | 运输包装件试验方法 | 614 |
| 8.2.1 | 堆码试验 | 614 |
| 8.2.2 | 水平冲击试验 | 616 |
| 8.2.3 | 振动试验 | 620 |
| 8.2.4 | 跌落试验 | 622 |
| 8.2.5 | 六角滚筒试验 | 626 |
| 8.2.6 | 压力试验 | 634 |
| 8.2.7 | 采用压力试验机的堆码试验 | 635 |
| 8.2.8 | 碰撞试验 | 635 |
| § 8.3 | 运输包装件的温湿度调节处理 | 636 |
| 8.3.1 | 原理 | 637 |
| 8.3.2 | 温湿度调节处理条件 | 637 |
| 8.3.3 | 设备和仪器 | 638 |
| 8.3.4 | 程序 | 638 |
| 8.3.5 | 试验报告 | 638 |
| § 8.4 | 运输包装件试验强度的选择 | 639 |
| 8.4.1 | 试验方法中需要确定量值的因素 | 639 |
| 8.4.2 | 试验强度值 | 640 |
| 8.4.3 | 试验强度值的修正 | 641 |
| § 8.5 | 性能试验大纲的编制原理 | 644 |
| 8.5.1 | 流通系统的组成 | 644 |

| | | |
|------------|--------------------|-----|
| 8.5.2 | 危害因素 | 645 |
| 8.5.3 | 试验 | 645 |
| 8.5.4 | 试验强度的选择原则 | 645 |
| 8.5.5 | 试验强度基本值的修正原则 | 645 |
| 8.5.6 | 包装件状态的选择 | 646 |
| 8.5.7 | 试验方法和试验顺序 | 646 |
| 8.5.8 | 性能试验大纲 | 646 |
| 8.5.9 | 性能试验大纲的编制程序 | 647 |
| 8.5.10 | 验收准则的确定 | 647 |
| 8.5.11 | 性能试验大纲编制举例 | 648 |
| 参考文献 | | 654 |

第1章 力学环境试验技术概论

§ 1.1 力学环境试验的概念

环境是指在任何时间和地点所存在或遇到的自然的和诱发的条件的总和。为保证产品在规定的寿命期间,在预期的使用、运输或储存的所有环境条件下保持功能可靠性而进行的设计、研究、制造和试验的工程称之为环境工程。任何产品都处在一定的环境之中,在一定的环境下使用、运输和储存,产品总是摆脱不了这些环境的影响。而这些环境条件的性质,可以是物理的、化学的、气候的或者是生物的等,他们都是由自然世界存在的、产品本身具有的或各种外源引起的环境因素的综合。

随着人们在地球上活动范围的扩大,随着航天航空和海洋开发事业的迅速发展,随着电工电子产品在各个方面的广泛应用,产品所遇到的环境条件变得日益复杂和多样。

那么,环境条件是什么呢?环境条件是指产品所经受到周围的各种气候、化学、生物和物理的条件。环境条件通常由自然界出现的产品本身或者其他外部原因引起的环境因素综合而成的。按自然环境分,可分为陆地、海洋、高空和宇宙空间等;按产品所处的状态,可分为储存、运输、安装、搬运和使用等;按起因分,可分为自然环境,例如:重力、温度、湿度、气压、沙尘、盐雾等,由设备引起或者由设备与周围介质相互作用引起的环境如加速度、振动、冲击、电或动力加热、气动激励等等。但目前使用较多的分类方法是按环境因素属性进行的分类。按照这种分法,环境条件可分为:①气候因素,包括温度、湿度、气压、雨、雪、冰、霜、沙尘、盐雾、腐蚀性气体等;②力学因素(也称机械因素),包括振动、冲击、摇摆、恒加速度、爆炸、地震、噪声振动等;③生物因素,包括霉菌、昆虫、海洋生物等;④电磁辐射因素,包括无线电干扰、雷电、电场、磁场等。

环境条件通常是由各种环境参数来表示的。环境参数是表征环境条件的一个或数个物理、化学和生物的特征量。例如表征振动的环境参数是振动类型(正弦振动、随机振动)、加速度幅值、位移幅值、频率范围和振动时间等。同时根据不同条件下各种环境因素影响程度的不同,环境参数还划分出不同的严酷等级。这种严酷等级必须根据实际情况合理地划分,等级过少会使产品满足不了使用要求或由于裕量过大增加了试验成本,等级过多又会给设计、生产及管理带来不便。现在国际标准、国家标准都制订了相应的各种环境条件下环境参数分类及其严酷等级,以便在制定试验方案时进行参考和选择。

环境条件属于环境技术的范畴。环境技术包括了环境条件,产品在各种环境条件下的失

效模式与失效机理、环境试验、环境保护、环境测量及环境控制等内容。环境技术是一门学科,这门学科就是研究环境对产品性能的影响,分析产品失效的机理,为产品的可靠性设计和质量保证提供环境条件的数据,提出相应的环境实验方法,评定产品对环境的适应能力以及针对产品所处环境的特殊需要,研究相应的环境保护技术和环境控制技术。

环境试验是环境技术的一个重要的组成部分,它是考核各种环境条件下对产品的作用和影响。环境试验是将产品暴露在自然的或人工的环境条件下经受其作用,以评价产品在实际使用、运输和储存的环境条件下的性能,并分析研究环境因素的影响程度及其作用机理。

环境试验有自然暴露试验、现场试验和人工模拟试验。自然暴露试验是将试验样品放到某些典型的自然环境条件下,一般分露天、棚下和室内三种状态进行暴露,自然暴露试验的时间较长,在整个暴露过程中需要对试验样品进行定期测试,以分析研究试验样品性能参数受环境影响变化的规律。现场试验是将试验样品放置在各种典型的使用现场,进行正常使用定期测试,这就是典型的使用情况试验,试验中所发现的问题能比较真实地反映出产品在该种使用现场的适应性能和质量情况。以上两种试验,所需费用较大,所消耗的时间也较长,试验的重复性和规律性也较差,但是试验中所发现的问题却能比较真实地反映实际使用状态,因此,这两种试验是人工模拟试验的基础。

为了适应现代化生产中周期短、更新换代快、产品使用领域十分宽广等特点,需要在较短的时间内了解产品的环境适应性,为了更加主动地进行试验而不受天然气候时令和地区的影响,人们在科研和生产中广泛采用人工模拟环境试验。即在试验室里利用试验设备创造出一个单环境因素或多个环境因素综合作用于产品上的局部环境条件,以考核产品在使用、运输和储存中主要环境因素作用下的适应性能。人工模拟试验的试验条件既能模拟试验环境中的主要环境因素,又能在时间上起一定的试验加速作用,适当加大试验强度,以缩短试验时间,较快取得试验所需数据。当然加速的程度以不改变各种环境因素作用下的物理化学特性为原则。

人工环境试验可以分为模拟单一环境因素对实验样品影响的单项试验,模拟两个或两个以上的环境因素同时作用于试验样品的综合试验以及两个或两个以上的环境因素依次或交替作用于试验样品的组合试验三种。单项试验所用的试验设备比较简单,试验费用较低,对试验过程中产品所发生的故障也比较容易分析,但对实际环境的模拟性较差。综合试验或组合试验可以更真实地模拟实际环境对产品的影响,尽管综合试验和组合试验的方法都比较复杂,试验的费用相对较高,但在一定的情况下,为了更正确地评定产品的环境适应性能,还是有必要采用这种试验。

在按环境因素属性的分类中,以力学因素(即机械因素)为环境条件的试验称为力学环境试验。力学环境试验是指模拟振动、冲击、碰撞、恒加速度、摇摆等力学环境或是重现上述力学环境条件影响的试验。其目的是确定产品经受力学环境条件的适应性以及评价其结构的完好性(包括研究其动态性能)。力学环境试验主要有现场试验和人工模拟试验。

1. 现场试验

现场试验亦称外场试验,它是将试验样品放置于实际使用的环境中或者按试验样品的实际环境直接进行试验的方法。例如在英国国防部标准 DEF STAN 07-55 中试验 A16 的跑车试验规定:在车辆上使用的电工电子产品应装在实际使用的那种车辆上进行实地跑车运输试验。美国军用标准 MIL-STD-810C 中的铁路撞击试验,用以确定产品在铁路运输时承受冲击环境条件的影响。试验时,使用一台动力车头和三节运输车厢,其中一节运输车厢安装试

品,试验时令动力车头带动该车厢按规定的速度与处于静止状态的另外两节运输车厢相撞。我国的一些环境试验标准中“运输试验”也属于外场试验的范畴。

2. 人工模拟试验

人工模拟试验亦称试验室试验。试验室试验一般有下列3种方式。

(1)规定一种机械运动。这是运用最为广泛的试验方法。目前,国内外有关力学环境试验方法标准中规定的正弦振动、冲击、碰撞、恒加速度等单项试验都属于这一种。它可以通过两种途径来实现。其一,规定一种接近实际环境的机械运动来模拟。例如旋转机械由于不平衡引起的周期性振动可以用正弦振动试验来模拟。该机械运动的特征参数为振动频率和振动幅值(位移幅值、加速度幅值)等。其二,根据试验产品破坏或失效的等效原理来规定一种机械运动。该机械运动与实际环境条件并不完全相同,但通过等效原理可以判断产品承受环境条件的能力。例如飞机着陆和火车挂接时承受多次重复的瞬态激励,可以用碰撞试验,即用半正弦波的冲击脉冲多次重复激励试验样品来模拟。该机械运动的特征参数为峰值加速度、冲击脉冲持续时间等。用规定一种机械运动的方法做试验的特点是,当满足各项运动特征参数的容差要求时,试验具有高的再现性。

(2)规定一种试验机。这是用试验样品破坏或失效的等效原理而引出的一种试验方法。它将试验设备的结构、尺寸、材料、技术要求、试品安装方式和操作运行规程等都以标准的方式给予规定。例如美国军用标准中强碰撞冲击试验方法,就是按试验样品的重量分为轻量级设备冲击试验机、中量级设备冲击试验机和重量级设备浮动冲击平台。IEC标准中规定的弹跳试验机;我国已推广应用的模拟运输颠簸台等都属于这种方法。规定试验机试验方法的特点是,试验中不需要测量运动特征参数,但在某些情况下再现性较差。

(3)规定一种结构响应谱。这种方法主要用于冲击试验中。它是在冲击试验中,用某种规定的冲击脉冲(半正弦波、梯形波、后峰锯齿波)激励一个具有一系列固有频率不同的单自由度系统得到的响应的曲线,称其为冲击响应谱,用它来衡量冲击运动对结构的影响。从技术观点上讲,根据冲击响应谱规定冲击试验方法比上述规定一种激励运动的冲击试验方法更好,它能更加清楚地分析研究试验样品受冲击激励后造成的损伤和潜在故障。这种试验方法目前在我国已逐步地得到推广应用。

国内外力学环境试验方法标准中规定的力学环境试验,常见的有以下几种:正弦振动试验;随机振动试验;调制正弦振动试验;冲击试验;碰撞试验;离心恒加速度试验;摇摆试验;倾跌与翻倒试验;弹跳试验;撞击试验;自由跌落试验。与力学环境因素组合在一起的多因素综合试验有:温度、振动(正弦)综合试验;温度、低气压等。上述的各项力学环境试验是针对非包装产品或者包装可视为产品的组成部分的产品。对于包装产品(运输包装件)的力学环境试验,除了选择上述部分的试验项目外,还有下列试验项目:运输包装件六角滚筒试验;垂直冲击跌落试验;水平冲击试验;堆码试验;压力试验;材料动态特性试验等。

包括气候试验在内的我国目前正在贯彻执行的电工电子产品基本环境试验规程以及国家军用标准中的各项试验方法,就是标准化了的人工模拟试验,它们是等效采用或等同采用了国际标准和美国军用标准,在国际上是通用的。采用标准化的人工模拟试验方法,一方面可以按照使用目的比较真实地模拟实际环境的影响,使试验具有模拟性;也可使不同试验室里所做的试验能够相互进行比较以避免试验程序和试验设备上的差异给试验结果带来的影响,使试验具有再现性;对于在同一个试验室里不同时间所做的试验能够前后比较,使试验具有重复性。

国内与国际上几十年的实践经验证明,这些标准中规定的环境试验方法可以模拟实际的使用环境,可以重现这些环境的影响。因此,当我们需要进行环境试验时,应尽量采用环境试验方法标准中相应的试验方法,用统一的尺度来衡量产品的环境适应性,以便在较大范围内比较试验结果,交流试验数据,评定产品的质量。

§ 1.2 力学环境试验技术的研究

人们对环境技术的认识有一个发生和发展的过程。在实践中,人们不断提高了对环境技术特别是对环境试验技术重要性的认识。在20世纪30年代,西欧的一些工业先进的国家都已开始采用简单的环境试验。德国西门子公司出口印度尼西亚(热带)的电话设备因不适当当地的气候条件,出现了严重的故障,针对这些故障,西门子公司于1921年首次针对他们的电话设备进行了简单的人工模拟湿热试验。在第二次世界大战中,美国的战斗物资和通讯设备由于没有合理的环境要求和试验考核,受到了很大的损失,在湿热带地区(东南亚)因受潮湿的影响,在军事装备中使用的电子元器件和部件约有50%受损,仓库中也有60%的损坏。美国空军总部对沿海基地做了一次调查,发现损坏的产品中52%是环境影响造成的故障,在这52%的故障中,21%是受温度的影响,14%是受振动的影响,10%是受潮湿的影响,7%是受沙尘和盐雾的影响,这些环境影响所造成的直接损失每年达12 000台件,约合830万美元。因此,美国的热带化防护研究开始于国防部门。1945年,美国在科学院下成立了“劣化防护情报中心”,1947年在部队内成立了环境试验统一小组,开始制定军工产品的环境条件标准,此后在美军内海用、陆用、空用的各种设备和元器件均制定了环境试验方面的标准。美国在1959年正式成立了环境科学学会(IES)。

自1956年起,前苏联和东欧国家通过经互会组织了气候协调委员会,以协调和统一热带化技术中的研究工作。他们在中国和越南等热带地区先后进行了许多天然气候的样品暴露试验,同时进行人工气候加速模拟试验,将其结果与天然气候试验相比较,并相应地进行产品的气候防护研究工作。现在世界上仅天然曝露试验场就发展很快,天然曝露试验用于选择典型的气候条件对各种金属、非金属材料、电子电工元器件以及工艺与结构进行气候试验。美国国防系统、材料试验协会、国家标准局属下共有天然曝露场50个(全球性)。最大的菲尼克斯沙漠阳光曝露场创建于1948年,占地 $1.68 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。英国有曝露场30多个,法国约30个,瑞典12个。日本由于出口竞争的需要,积极发展曝露场,现约有40个全球性布点,1971年日本建成的桃子曝露场居世界第二位,占地 $1.02 \times 10^5 \text{ m}^2$,并接受国际性试验任务。

为了加速新产品的开发,在发展天然曝露试验的同时,各发达国家都在积极发展各种气候、力学、生物、化学等条件的人工模拟试验技术,建设了规模巨大的环境试验中心,各大公司或企业均拥有环境试验设备,不断地进行试验以提高产品质量。1965年土耳其大地震后,又积极发展了地震试验。20世纪70年代以来,多因素的综合试验和随机振动试验逐步得到发展。法国巴黎附近的Villacoublay的环境试验中心,20世纪70年代扩建投资5 000万法郎。美国联合试验公司(Associated Test Lab Inc.)和白东试验公司(Baton T. Inc.)在20世纪60年代可以进行18种环境试验,70年代可进行43种环境试验。试验设备也向大型化发展,美国在佛罗里达空军基地的环境试验中心,建造了一个容积为 $97\ 000 \text{ m}^3$ 的综合试验室,温度范

围为 $-55\sim 75\text{C}$,相对湿度范围为 $5\%\sim 95\%$,可模拟暴雨、飓风、降雪、冰雹、太阳辐射,可将C-5A“银河”飞机直接放入试验并且室内可测192个参数,由计算机进行记录和处理。日本民用电工电子部门拥有80%的环境试验设备,这是日本商品之所以能在短时间内具有强大竞争能力的一个重要原因。

随着环境技术的发展,环境试验设备及仪器制造行业也蓬勃兴起。美国、英国、德国、前苏联、意大利、丹麦、日本等国家约有数百家企业相继开发研制出数百种规格的环境试验设备和控制测量仪器,并以极快的速度对这些设备仪器在技术上更新换代。

我国幅员辽阔,地形复杂,存在着各种气候条件。我国的西南有高山阻挡,北部受西伯利亚寒风影响比较明显,中部地区四季分明,南方的夏季温度高、湿度大、多有雷雨,沿海地区多受强台风袭扰,北方的冬季有比较严酷的低温,西部地区为高原,西北地区干燥。由于气候条件复杂,产品受环境影响造成的损失也很严重。导弹等武器装备在南方储存失效比率较大;工业产品有许多不适应潮湿条件而发生光学镜头长霉、金属件锈蚀、塑料件变形、电器绝缘损坏等情况,维修的速度远远跟不上腐蚀的程度;电器设备在氯碱化工厂及盐场使用几个月至一年就被蚀烂;电器、仪表、自动控制设备经不起水电站、矿井、冶炼厂等恶劣条件的影响,事故多、寿命短、维修量大;低温使液化石油厂的储气罐产生微观裂纹扩散引起石油气外溢而爆炸;动物与昆虫也危害着电器设备,由于蛇爬入电缆沟引起电缆头短路和老鼠钻入配电箱造成短路,还存在木蜂咬坏架空的铝包电缆和白蚁咬坏地下通讯电缆的事例,等等。20世纪80年代据有关部门的不完全统计,我国基础建设缓慢,运输条件差,加上产品在流通环节上粗糙的搬运,运输包装中由于不适应运输和储存过程中振动、冲击、碰撞和气候条件,仅机电产品每年经济损失近百亿元。

我国的环境技术研究始于20世纪50年代,前苏联和捷克斯洛伐克等国来华做气候曝露试验。随后前苏联、捷克斯洛伐克、波兰、匈牙利与民主德国与我国签订了“六国协议”,在广州共同进行试验研究,同时开展了电子材料与元器件的热带化研究。20世纪60年代初引进了化工电器并开展了船用、干热带、户外、高原电工产品的试验研究,在这期间,化工、邮电、航天、航空、冶金、铁路等部门行业在环境试验研究中做了大量的工作。20世纪80年代,全国各省市相继建立了电工电子产品例行环境试验站,各大中型企业以及一些小型企业都建立了自己的环境试验室,各行业都有了环境试验中心,与环境试验相关的测试计量也得到了补充、完善和加强,环境试验工作在我国蓬勃开展起来。在20世纪50年代初期中国的试验设备还是空白,到中期,由于前苏联援建一批无线电重点工程,开始引进部分试验设备和技术资料,在此基础上国内才由仿制而逐渐发展起来。其发展历程大体经历了仿制、自行设计、产品更新换代和推行国际先进标准等阶段。其中,力学环境试验设备起步早,发展快,技术上比较成熟,多数产品已形成系列,部分产品的技术性能已赶上和超过国际先进水平。

目前在国际环境试验技术的标准化工作方面,国际电工委员会(IEC)TC50是影响面最广、最有权权威性的组织。20世纪30年代,环境试验的标准化工作是在TC12电信设备技术委员会领导下进行的。随着环境试验应用面的日益扩大和对环境试验标准研究的逐步深入,1961年环境试验的标准化工作从TC12中划分出来,正式成立了独立的TC50环境试验技术委员会。环境试验方法标准的适应范围也由电子产品扩展到整个电工电子产品。1973年IEC又成立了TC75环境条件技术委员会,开始协调制定环境条件方面的标准。而后TC50分出了SC50A(振动冲击试验)、SC50B(气候试验)、SC50C(杂项试验),后于1986年开罗会议