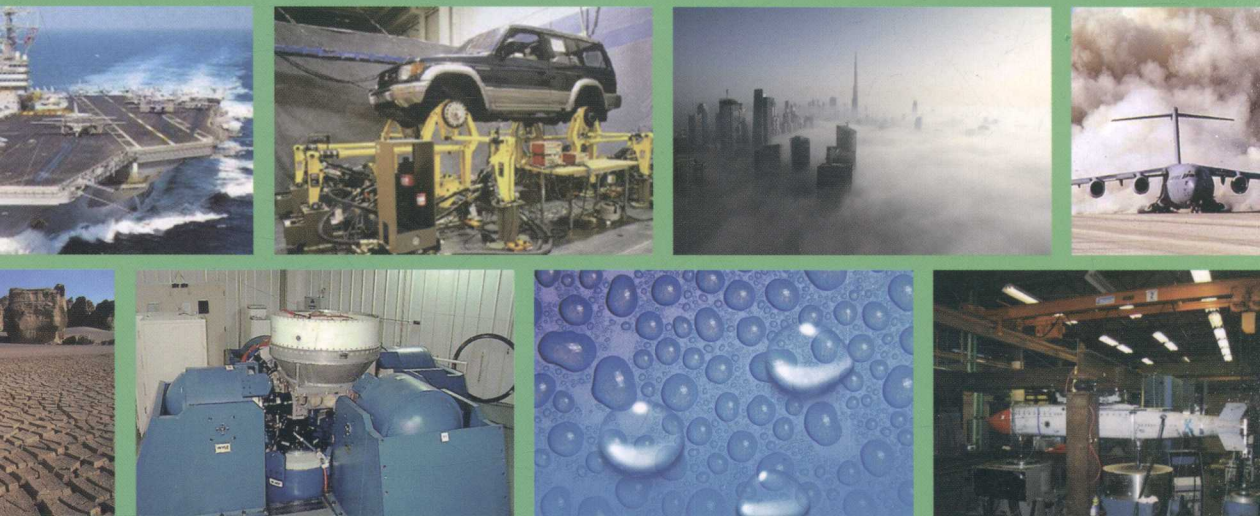


实验室环境试验技术

SHIYANSHI HUANJING
SHIYAN JISHU

© 徐明 著



航空工业出版社

实验室环境试验技术

徐 明 著

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

实验室环境试验是发现产品设计和工艺缺陷,为设计人员改进设计以提高产品的环境适应性提供信息的重要手段,也是验证产品环境适应性是否满足规定要求的主要工具,在产品研制和生产中应用十分广泛。本书阐述了实验室环境试验的种类和用途,简单介绍了各种实验室试验标准,详细阐述了温度和振动等常用试验项目的试验程序、试验条件和实施技术,并结合型号需求阐述了实验室环境试验剪裁的依据和剪裁技术,试验大纲和试验报告的编写要求。

本书可供装备设计、试验和各级管理人员及高等院校相关专业师生参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

实验室环境试验技术 / 徐明著. -- 北京:航空工业出版社, 2015. 12

ISBN 978 - 7 - 5165 - 0959 - 3

I. ①实… II. ①徐… III. ①实验室管理—环境试验
IV. ①N33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 303965 号

实验室环境试验技术 Shiyanshi Huanjing Shiyan Jishu

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010 - 84936597 010 - 84936343

三河市华骏印务包装有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2015 年 12 月第 1 版

2015 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 26.25

字数: 670 千字

印数: 1—2000

定价: 90.00 元

前 言

GJB 6117《装备环境工程术语》中规定，环境试验分为自然环境试验、实验室环境试验和使用环境试验三大类型，这三大类型的试验各有其自己的特点和应用对象，分布于装备研制、生产、使用各个阶段。本书仅涉及实验室环境试验。

自然环境试验是将受试产品（材料、涂层、结构件、零部件甚至整个装备）直接暴露于大气、海洋、土壤等自然环境中，经受各种自然环境因素的综合和组合作用，以评价环境的影响并找出某些环境因素对受试产品影响的规律，从而为装备设计时选择材料、工艺、涂层、元部件提供信息支持和/或评价其对自然环境的适应性水平，早期称之为天然暴露试验。自然环境试验的特点是环境不可控、试验以年为计，以经受多年的气候、海情和地质等环境的周期变化和可能出现的极端环境的影响，获取大量的、全面的自然环境影响数据。自然环境试验的结果主要是反映军用装备在储存和待用等不工作状态下经受的自然环境因素的影响，其主要表现形式为褪色、老化、腐蚀、劣化，以及导致的电性能和力学性能下降，体现的是自然环境因素及其组合和综合对装备造成的慢作用影响，可见自然环境试验是一个更为基础性的环境试验。

实验室环境试验是将受试产品（通常为有独立功能的组件、单元、分系统和系统）置于人为创造的单一或综合环境应力下，评价这些环境对装备的材料、涂层、结构完整性及功能性能的影响，从而为改进设计和/或验证受试产品是否满足规定的环境适应性要求提供信息支持，实验室环境试验也称为模拟环境试验。实验室环境试验的特点是环境可控，模拟装备期遇到的极端环境（合理极值），时间短，因而具有加速性。由于受到设备制造技术的限制和某些环境因素互相影响的制约，环境模拟有局限性，不可能完全真实模拟装备寿命期内储存、运输和工作状态遇到的自然和诱发环境因素的单一、组合和综合的影响。因此，实验室环境试验结果具有局限性。

使用环境试验实际上是使用实际装备，在不同类型自然环境中进行作战训练或实施使用的各项任务，评价整个装备及其下层产品对实际自然环境和平台诱发环境的适应性。其特点是经受装备执行的各种任务过程中遇到的各种真实的自然和诱发环境，同时还能够反映使用操作和维护的影响。由于需要动用实际装备并使其按各种预期的典型任务剖面在各种不同的地域和海域等自然环境中执行各种任务，可想而知其投资大、涉及面广、协调工作量大、周期长，而且对故障信息记录、分析和判断的难度也大，是一项复杂的系统工程。该试验一般应由使用方组织进行。

实验室环境试验适用于装备的研制和生产阶段，用于帮助设计人员激发产品的缺陷，为改进设计和工艺提供有用信息，提高装备的环境适应性水平；用于验证设计和生产的产品的环境适应能力是否满足研制总要求和成品协议书中规定的环境适应性要求，确保研制生产的产品具备基本的耐环境应力，可以投入使用。因此 GJB 4239《装备环境工程通用要求》中规定试验主要分为环境适应性研制试验和环境适应性要求验证试验两类。环境适

应性研制试验包括用加大应力或用步进应力方法（如 HALT）进行的试验；环境适应性要求验证试验主要包括设计、生产定型环境鉴定试验和批生产例行试验。

实验室环境试验用作验证试验时，由于试验结果要作为产品设计定型或批生产产品的出厂验收决策依据，因此需要对试验的设计和实施过程进行严格的控制，以确保试验结果的准确性和重现性。为此，世界各国早就编制了各种环境试验标准，以规范环境试验工作。为了帮助大家准确理解和应用这些标准，并开展有效的环境试验，因此编写了本书。

本书的第 1 章简单介绍了环境试验及其标准和环境试验设备的发展过程，阐述实验室环境试验在装备研制和生产中的地位和作用；第 2 章介绍了实验室环境试验的种类、用途和主要试验标准；第 3 章介绍了实验室环境试验的通用技术，温度和振动等常用环境试验项目的试验程序、试验条件和试验技术等；第 4 章阐述了环境试验剪裁的基本概念、剪裁的依据、剪裁的内容和剪裁的方法；第 5 章介绍了振动数据处理技术和夹具设计技术等其他环境试验相关技术；第 6 章则给出了剪裁确定试验项目和试验条件的应用示例。

鉴于型号设计定型中常常出现环境鉴定试验大纲和试验报告管理不规范、内容不完整和格式不统一等现象，本书附录 A 和附录 C 详细说明了这些文件的用途、特点和重要性，并就应包括的主要内容和编写格式提出建议；鉴于我国装备改进改型中频繁地遇到借用改型前产品的实验室环境试验结果或简化试验的强力需求，本书的附录 B 阐述了试验结果的借用和简化、免除试验应具备的条件和应注意的问题。

本书内容密切结合型号工程实践需求，基本涵盖了我国多年来环境试验实践中的许多经验和研究成果，具有较好的实用性和可读性。鉴于本书作者水平有限，书中不当之处恳请批评指正。

徐 明
2015 年 12 月

目 录

第1章 概述	(1)
1.1 实验室环境试验及其标准的发展过程	(1)
1.1.1 国外实验室环境试验及其标准的发展过程	(2)
1.1.2 国内实验室环境试验及其标准的发展过程	(4)
1.2 环境试验设备的发展过程	(6)
1.3 环境试验技术及其应用的发展过程	(6)
1.3.1 试验用途的拓宽	(6)
1.3.2 试验项目增加及其顺序最佳化	(7)
1.3.3 试验条件确定准则的科学化	(7)
1.3.4 试验过程控制的规范化和精细化	(8)
1.3.5 应力激发试验的应用	(8)
1.3.6 环境试验综合应用和发展	(8)
1.4 实验室环境试验的地位和作用	(9)
1.4.1 实验室环境试验在装备研制中的地位和作用	(9)
1.4.2 实验室环境试验在装备环境工程中的地位和作用	(10)
第2章 实验室环境试验分类和试验标准	(12)
2.1 实验室环境试验	(12)
2.1.1 实验室环境试验的种类和用途	(12)
2.1.2 实验室环境试验的试验条件	(16)
2.1.3 实验室环境试验的试验对象	(16)
2.1.4 实验室环境试验设备(设施)	(17)
2.1.5 实验室环境试验的特点	(17)
2.2 实验室环境试验标准	(17)
2.2.1 概述	(17)
2.2.2 军用环境试验标准	(19)
2.2.3 民用环境试验标准	(39)
2.2.4 军用和民用环境试验标准的区别	(63)
第3章 实验室环境试验	(69)
3.1 实验室环境试验通用技术	(69)
3.1.1 受试产品和传感器的安装	(69)
3.1.2 试验样品的监视和检测	(70)
3.1.3 试验应力的施加、监测和控制	(70)
3.1.4 试验中断处理	(70)
3.1.5 试验过程信息收集和记录	(71)

3.1.6	试验大纲和试验报告	(71)
3.2	温度试验	(72)
3.2.1	温度对装备的影响	(72)
3.2.2	典型温度试验程序及其说明	(77)
3.2.3	温度试验条件、说明及其剪裁	(82)
3.2.4	温度试验设备和辅助仪器	(97)
3.2.5	温度试验技术	(98)
3.3	低气压试验	(103)
3.3.1	低气压环境对装备的影响	(103)
3.3.2	典型的试验程序	(106)
3.3.3	低气压试验条件说明和剪裁	(107)
3.3.4	试验设备及辅助仪器	(108)
3.3.5	试验技术	(109)
3.4	三防试验技术 (包含酸性大气)	(109)
3.4.1	“三防”与“三防”试验的内涵	(109)
3.4.2	湿热试验技术	(110)
3.4.3	霉菌试验技术	(115)
3.4.4	盐雾试验技术	(121)
3.4.5	酸性大气试验技术	(127)
3.5	振动试验技术	(132)
3.5.1	振动环境对装备的影响	(132)
3.5.2	典型振动试验程序	(138)
3.5.3	振动试验条件的确定	(140)
3.5.4	试验设备及辅助仪器	(146)
3.5.5	振动试验技术	(149)
3.6	冲击试验技术	(161)
3.6.1	环境对装备的影响	(161)
3.6.2	典型试验程序	(162)
3.6.3	试验条件说明及其剪裁	(164)
3.6.4	环境试验设备及辅助仪器	(183)
3.6.5	试验实施技术要求	(184)
3.6.6	不同程序的试验过程说明	(185)
3.6.7	冲击试验和随机振动等效	(190)
3.7	炮击振动试验技术	(191)
3.7.1	概述	(191)
3.7.2	对装备的影响	(191)
3.7.3	目的、应用与限制	(192)
3.7.4	剪裁指南	(192)
3.7.5	信息要求	(196)

3.7.6	试验要求	(197)
3.7.7	试验过程	(199)
3.8	太阳辐射试验技术	(202)
3.8.1	太阳辐射环境对装备的影响	(202)
3.8.2	典型试验程序	(203)
3.8.3	试验条件说明及其剪裁	(204)
3.8.4	试验设备及其辅助仪器	(209)
3.8.5	试验实施技术要求	(210)
3.8.6	其他	(212)
3.9	淋雨试验技术	(212)
3.9.1	淋雨环境对装备的影响	(212)
3.9.2	典型试验程序	(213)
3.9.3	试验条件说明及其剪裁	(214)
3.9.4	环境试验设备及辅助仪器	(216)
3.9.5	试验实施技术要求	(217)
3.9.6	其他	(218)
3.10	沙尘试验技术	(219)
3.10.1	沙尘环境对装备的影响	(219)
3.10.2	典型试验程序	(224)
3.10.3	试验条件说明及其剪裁	(226)
3.10.4	环境试验设备及辅助仪器	(230)
3.10.5	试验实施技术要求	(231)
3.10.6	其他	(232)
3.11	流体污染试验技术	(232)
3.11.1	流体污染环境对装备的影响	(232)
3.11.2	典型试验程序	(233)
3.11.3	试验条件说明及其剪裁	(234)
3.11.4	环境试验设备及辅助仪器	(237)
3.11.5	试验实施技术要求	(238)
3.11.6	其他	(239)
3.12	结冰/冻雨试验技术	(239)
3.12.1	结冰/冻雨环境对装备的影响	(239)
3.12.2	典型试验程序	(239)
3.12.3	试验条件说明及其剪裁	(240)
3.12.4	环境试验设备及辅助仪器	(241)
3.12.5	试验实施技术要求	(241)
3.13	爆炸性大气试验技术	(242)
3.13.1	环境对装备的影响	(242)
3.13.2	典型试验程序	(243)

- 3.13.3 试验条件说明及其剪裁 (244)
- 3.13.4 环境试验设备及辅助仪器 (246)
- 3.13.5 试验实施技术要求 (246)
- 3.14 加速度试验技术 (247)
 - 3.14.1 加速度对设备的影响 (247)
 - 3.14.2 典型试验程序 (248)
 - 3.14.3 试验条件说明及其剪裁 (249)
 - 3.14.4 环境试验设备及辅助仪器 (253)
 - 3.14.5 试验实施技术要求 (254)
- 3.15 噪声试验技术 (257)
 - 3.15.1 噪声环境对装备的影响 (257)
 - 3.15.2 典型试验程序 (258)
 - 3.15.3 试验条件说明及其剪裁 (259)
 - 3.15.4 试验设备及其辅助仪器 (261)
 - 3.15.5 试验实施技术要求 (264)
 - 3.15.6 试验中断处理技术 (265)
- 第4章 实验室环境试验剪裁技术 (266)**
 - 4.1 概述 (266)
 - 4.1.1 实验室环境试验剪裁的定义和说明 (266)
 - 4.1.2 实验室环境试验剪裁是装备环境工程剪裁的组成部分 (266)
 - 4.1.3 实验室环境试验剪裁的依据 (268)
 - 4.1.4 实验室环境试验剪裁应用误区 (269)
 - 4.1.5 GJB 150A/810F 试验方法的可剪裁性 (270)
 - 4.2 环境适应性要求及其剪裁技术 (271)
 - 4.2.1 环境适应性要求 (271)
 - 4.2.2 环境适应性要求剪裁 (283)
 - 4.3 环境试验剪裁 (289)
 - 4.3.1 概述 (289)
 - 4.4 剪裁方法 (301)
 - 4.5 剪裁时机 (301)
 - 4.6 剪裁的进行和认可 (301)
- 第5章 其他相关试验技术 (302)**
 - 5.1 振动数据处理技术 (302)
 - 5.1.1 环境数据的分析处理、统计回归 (302)
 - 5.1.2 数据转换 (302)
 - 5.1.3 环境数据分析处理样本选择要求 (302)
 - 5.1.4 环境数据数字化的预处理和编辑技术 (304)
 - 5.1.5 环境数据数字分析技术 (310)
 - 5.1.6 环境数据的统计方法 (331)

5.1.7 任务/环境回归技术	(335)
5.2 夹具设计技术	(342)
5.2.1 概述	(342)
5.2.2 夹具的类型	(348)
5.2.3 夹具的制作方法	(351)
5.2.4 夹具设计步骤	(356)
5.2.5 夹具的测试分析	(360)
5.2.6 结束语	(365)
第6章 应用实例	(366)
6.1 试验项目确定	(366)
6.2 试验条件确定	(368)
6.2.1 温度稳定时间的确定	(368)
6.2.2 试验条件的确定	(368)
附录 A 实验室环境鉴定试验大纲	(372)
A.1 概述	(372)
A.2 环境鉴定试验大纲的特点	(372)
A.3 环境鉴定试验管理程序	(373)
A.4 基本内容和说明	(373)
A.4.1 基本内容	(373)
A.4.2 内容说明	(375)
附录 B 环境鉴定试验项目免除、借用和简化	(389)
B.1 概述	(389)
B.2 试验结果的借用条件和应用场合	(389)
B.2.1 借用应具备的条件	(389)
B.2.2 可以考虑借用的场合	(391)
B.2.3 要注意的问题	(391)
B.3 试验项目的简化和免除	(392)
B.3.1 试验项目的简化	(392)
B.3.2 试验项目或试验步骤的免除	(392)
B.4 要注意的问题和采取的措施	(395)
B.4.1 要注意的问题	(395)
B.4.2 采取的措施	(396)
附录 C 环境鉴定试验报告	(397)
C.1 概述	(397)
C.2 单项环境鉴定试验报告	(397)
C.2.1 单项环境鉴定试验报告的基本内容	(397)
C.2.2 基本内容和说明	(398)
C.2.3 故障和问题及处理情况	(400)
C.2.4 试验结果及分析	(400)

C.3 环境鉴定试验总报告	(400)
C.3.1 环境鉴定总报告的基本内容	(400)
C.3.2 基本内容说明	(400)
参考文献	(404)

第1章 概述

1.1 实验室环境试验及其标准的发展过程

环境试验是将装备（产品）暴露于特定的环境中，以获取装备（产品）在该环境作用下受到的影响的各种信息的过程。因此，概括说来，环境试验的目的是获取产品的信息。信息用途广泛，除了可用来为军工产品设计（生产）定型、批生产产品的检验和验收交付决策提供依据和一般地评价产品适应性水平高低外，试验得到的军工产品环境响应特性、薄弱环节和耐环境应力极限等信息，还可为改进设计、制定实验室试验大纲和使用后勤保障计划，拓展产品应用平台和后续产品的改进改型提供重要依据。

由于试验中装备（产品）暴露的环境可以是装备贮存运输状态实际会遇到的自然界的环境、实验室内人工制造的模拟环境和装备实际使用（作战）中遇到的在自然和诱发环境中工作的环境，环境试验据此可分为自然环境试验、实验室环境试验和使用环境试验三大类。这三类试验有不同的目的和应用时机，综合应用这些试验手段，可在提高和改善产品环境适应性、考核和评价产品环境适应性、掌握产品环境响应和耐环境应力特性等方面发挥重要作用，确保获得一个环境适应性强、可用性好的产品。各类环境试验的用途和应用时机如表1-1所示。

表1-1 各类环境试验用途和应用时机

试验类型	定义及说明	用途	应用时机
自然环境试验	（产品）长期暴露于自然界环境中，确定自然环境对其影响的试验； 自然环境包括大气环境、海水环境、土壤环境等	筛选出对自然环境适应性好的材料、工艺、器件； 评价产品自然环境中贮存和使用时的环境适应性	产品研制阶段，产品使用阶段
实验室环境试验	在实验室按规定的环境条件和负荷条件等进行的试验，按其目的可分为环境适应性研制试验、环境响应特性调查试验、飞行器安全性环境试验、环境鉴定试验和环境例行试验	发现设计缺陷，验证合同的符合性，获取产品物理特性、薄弱环节和耐应力极限等信息	产品研制阶段，产品批生产阶段
使用环境试验	在规定的实际使用环境条件下考核、评定装备（产品）环境适应性水平的试验	评价产品环境适应性水平	研制阶段后期（如可能），使用阶段

由此可见，实验室环境试验仅是环境试验中的一种，主要用于军工产品研制和生产阶段，而且是在实验室中进行的。

1.1.1 国外实验室环境试验及其标准的发展过程

国外实验室环境试验已有 80 多年的历史，美国 1919 年就将一些简单的温度、振动环境模拟试验用于武器装备批生产出厂验收中，以后英、法、德、苏等国家相继效仿，但在很长一段时间内一直没有编制环境标准，而是由制造厂自己确定要求进行试验，试验条件和方法各不相同。

第二次世界大战期间，由于德军坦克在低温环境中不能起动等原因，使得进攻斯大林格勒受挫；越南战争中美军电子设备在用船运往东南亚和太平洋战场的过程中因受潮湿、盐雾腐蚀和长霉，没有投入使用就已大量损坏，这些严重教训加深了人们对环境的认识。因此，从 20 世纪 40 年代开始，环境试验得到了更多的重视和发展，并开始编制各种军用和民用环境规范，从美国空军 1945 年编制出第一个航空设备环境试验标准《AF-41065》开始至今，国内外编制了一系列的环境标准（见表 1-2），从表 1-2 可以看出，编制环境标准最积极、最多和影响最大的有美国和英国，以及北大西洋公约组织（NATO）、国际电工委员会（IEC）和美国航空无线电技术委员会。

表 1-2 国内外环境标准及其发展情况

时间	国家或国际组织	标准号	标准名称	特点
早期 (1940—1962 年)	美国	AF-41065	航空设备试验标准	美国各军种均编制了自己的环境试验标准，标准多而分散，且内容重复，甚至有矛盾，美国用 810 标准统一了早期的各军标，成为三军统一的试验方法标准
		MIL-E-5272	航空及有关设备环境试验	
		MIL-T-5422	机载电子设备环境试验	
		MIL-STD-167	舰船设备机械振动	
		MIL-E-4970	陆军支援设备环境试验通用规范	
		MIL-A-26669	宇航设备噪声试验	
		MIL-S-27507	冲击试验	
		MIL-STD-810	空间与陆用设备环境试验方法	
中期 (1962—1990 年)	美国	MIL-STD-810A/B/C	空间与陆用设备环境方法	810 标准自身不断修订，其他西方国家纷纷效仿美国编制相应的环境军用标准。国际电工协会和美国航空无线电技术委员会民用环境试验标准开始出现
		MIL-STD-810D/E	环境方法和工程导则	
		MIL-STD-1670	空中发射武器的环境准则与指南	
	英国	DEF 07-55	军用装备环境试验	
	法国	AIR 7304	航空电气设备、电子设备及机载仪表的环境试验	
	英国	3G100	飞机一般技术要求	
	美国	MIL-STD-1540	发射、上面级和航天器的要求	

表 1-2 (续)

时间	国家或国际组织	标准号	标准名称	特点
中期 (1962—1990年)	美国	RTCA DO-160A/B/C	机载电子、电气设备和仪表环境条件和试验程序	810 标准自身不断修订,其他西方国家纷纷效仿美国编制相应的环境军用标准。国际电工协会和美国航空无线电技术委员会民用环境试验标准开始出现。HB 6167 等效采用 DO160B
		ГОСТ 16962-71	电子和电工产品机械和气候作用要求和试验方法	
	日本	JISW 7002-72	飞机用电子设备环境试验方法	
	苏联	ГОСТ 16962-71	电子和电工产品机械和气候作用要求和试验方法	
	IEC	IEC-68 出版物	电工电子产品环境规程	
	NATO	NATO 协议 3518	机载及有关地面设备环境试验方法	
	中国	GJB 150—1983	军用设备环境试验方法	
		HB 6167—1989	民用飞机机载设备环境条件与试验方法	
		QJ1177	地空、舰空导弹武器系统环境试验方法	
		GJB 4-81	舰船电子设备环境试验	
		WJ 2155 ~ WJ 2159	兵器产品自然环境试验方法	
GB 2421—1989		电工电子产品环境试验总则		
	GB 2423—1989	电工电子产品环境试验		
近期 (1990年以后)	美国	RTCA DO 160D/E/F/G	民用飞机机载设备环境条件和试验方法	4370 标准以 810 为基础,适当吸收 00-35 的内容编制
		MIL-STD-810F/G	环境工程考虑和实验室试验方法	
	英国	DEF-STAN 00-35 国防装备环境手册	国防装备环境手册(1) 环境工程控制与管理	
			国防装备环境手册(3) 环境试验方法	
			国防装备环境手册(4) 自然环境	
			国防装备环境手册(5) 诱发机械环境	
			国防装备环境手册(6) 诱发核生化环境	

表 1-2 (续)

时间	国家或国际组织	标准号	标准名称	特点
近期 (1990 年以后)	NATO	STANAG 4370 (环境试验) 协议	AECTP-100 国防装备环境指南	4370 标准以 810 为基础, 适当吸收 00-35 的内容编制
			AECTP-200 环境条件	
			AECTP-300 气候环境试验	
			AECTP-400 机械环境试验	
			AECTP-500 电磁环境试验	
	中国	GJB 150A	军用装备实验室环境试验方法	共有 27 种试验方法
		GB/T 2421—2001	电工电子产品环境总则	
		GB/T 2423 (1992—2005)	电工电子产品环境试验	共有 42 种试验方法, 出版年代跨越近 13 年
		GB/T 2424 (1986—2005)	电工电子产品环境试验导则	有 13 个导则, 出版年代跨越 20 年
	HB 6167A	民用飞机机载设备环境条件与试验方法	等效采用 DO160F	

由表 1-2 可以看出, 军用环境试验标准经历了一个从无到有、从有到散、从散到集中和统一的过程。在美国, 由各军种各自编制的标准逐渐统一为三军通用的 810 系列标准; 在全世界, 军用标准由英、法、日等国家和 NATO 各自制定的标准逐渐统一为 NATO 的 4370 系列标准。4370 标准的内容基本与 810 相似, 因而实际上也可以统一为 810 系列标准。民用标准则以 IEC68 号出版物和美国航空无线电技术委员会的 RTCA DO160 系列标准为代表, 从它们诞生起, 一直按原有编制思路发展, 并不断更新版本, 分别用于民用电工电子产品和民用飞机机载设备的环境试验。

1.1.2 国内实验室环境试验及其标准的发展过程

我国的环境试验起源于 20 世纪 50 年代。新中国成立后, 百废待兴, 开始分阶段编制社会主义建设的五年计划。第一个五年计划期间, 我国在苏联的帮助下, 重点建设了 156 项工程, 这 156 项工程中有军用企业, 也有民用企业。典型的军用企业有航空的松陵飞机制造厂、黎明发动机制造厂、青云仪器厂、太行仪表厂和宝成仪表厂等机载设备制造厂。典型的民用企业, 如洛阳拖拉机厂和洛阳轴承厂。苏联支援建设的这些军工企业和民用企业, 是苏联相应制造厂的复制品, 只是在中国转厂生产相应的军工和民用产品。这些企业制造的产品生产和检验要求中包括了按苏联相应产品的制造和验收条件要求进行的环境验收检验和环境例行试验。因此, 这些企业中都有相应的环境例行试验实验室。可见, 我国对环境试验的认识是从转厂生产产品的检验和试验开始的。环境验收检验和环境例行试验是产品批生产阶段产品出厂检验和验收工作的重要组成部分, 是一个把关手段, 在我国

军工产品进入自行研制阶段的前40多年中，是环境试验应用的主要模式。因而客观上给人们造成了环境工作仅是环境试验，而环境试验主要是环境验收检验和环境例行试验的错误认识。

我国的实验室环境试验标准是从20世纪70年代开始制定的，在沿用苏联技术条件进行转厂生产产品的验收和检验过程中，人们对环境逐渐有了一定的认识，意识到应将分散在各种产品的技术条件中的环境试验条件和方法规范化，制定我国的环境试验标准。因此20世纪70年代中期，航空工业部301所与广州五所等单位合作，开始对飞机的环境条件进行实测，用比斯（歼6）飞机在内蒙古海拉尔、江西向塘、黑龙江漠河和新疆富蕴等我国对地进行飞机地面停机状态高、低温温度测量，以及空中小速度飞行状态垂直尾翼和机翼低温进行了测量。测量数据表明，地面低温状态，飞机温度比环境温度低 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ ；地面高温环境下，飞机机舱温度能达到甚至超过 70°C ；飞机高空小速度飞行时，垂直尾翼等薄结构部位内部温度能达到 -55°C 低温。同时还用典型的机载设备进行了温度试验和三防试验的研究，在此基础上参考苏联的16962标准，制定了我国的航空标准HB 6-71-76《飞机电机电器环境试验》和HB 6-76-76《航空仪表通用技术条件》，这两个标准特别是HB 6-71-76在相当长的时间内作为航空通用环境试验标准使用。

20世纪80年代，我国进入改革开放大好时期，引进了美国解密的全套军用标准，在引进的大量美军标中，当然包括了相当数量的环境标准，特别是美国军用标准810系列标准。航空工业部301所在大量翻译出版国外标准及其文集的基础上，开始按美国810标准制定航空环境试验标准HB 5830《机载设备环境试验方法》。国防科工委军用标准化中心也开始组织编制军用环境试验标准，其中最主要的是GJB 150《军用设备环境方法》，GJB 4—1983《舰船电子设备环境试验》，GJB 367.2—1987《军用通信设备通用技术条件 环境方法》。与此同时，民用产品领域也编制了IEC 68号出版物的等效环境试验标准GB 2423《军工电子产品基本环境规程》，DO-160B的等效标准HB 6167《民用飞机机载设备环境条件和试验方法》。此外，从1983年开始，我国的航空航天行业也派代表参加国际标准化组织（ISO）第20技术委员会（TC20）第5分会（SC5）《飞机环境条件与试验方法》分会的活动，参与ISO-TC20-SC5活动，制定和修改民用飞机标准RTCA DO160B/C的活动，并作为起草国编制了ISO2669《加速度试验》标准。另外，以广州电器科学研究所为代表，积极参与了国际电工协会IEC-68号出版物中相关环境条件和方法标准的制修订工作并编制了GB 2423等一系列环境试验标准。这一阶段是我国编制环境试验标准的最活跃的时期。

然而，由于我国当时的既定方针是50年不打仗，因此军工产品的研制和生产任务不是在发展而是在不断萎缩，编制的这些标准并未得到较好的应用。直到20世纪90年代初，我国战略方针发生改变，军工产品研制任务大大增加，而且许多军工产品从原来的转厂生产逐步转入仿制和自行研制阶段。这些产品的研制和定型迫切需要开展环境试验。因而，受型号需求的牵引，已有的环境试验部门纷纷按照GJB 150中对试验设备的要求配置和完善环境设备，没有环境能力的单位纷纷建立环境与可靠性实验室，我国的环境设备和机构迎来了一个快速发展时期。据不完全统计，到2003年，我国航空、航天、舰船、兵器四大行业环境实（试）验室面积达12万平方米。直接从事环境试验的人员有近1700人，拥有试验设备近1300台套，固定资产达10亿元左右。这一统计数字中不包括核工

业、航天科工和中电集团，但已经充分表明，我国环境行业已经达到了相当规模，初步形成了支撑军工产品研制的环境试验平台。2003 年至今已过了 12 个年头，这些年来，军工行业环境实验室的发展速度更快，而且开始出现了以苏试广博为代表的一批民营企业建设的环境可靠性实验室。虽然没有做进一步的调研和统计，但可以预计，我国环境试验平台已经更加完善和强大。

1.2 环境试验设备的发展过程

环境试验在型号研制中的大量应用促进了我国环境试验设备制造业的发展。我国的环境试验设备制造业在近 30 年同样得到了长足的进步。在 20 世纪 80 年代，由于气候环境试验设备设计和制造所需的技术门槛和成本较低，而利润较高，产生了一批民用小企业。这些小企业大多是由国营厂家中一些有胆识的人下海创建的。经过近 30 年的市场竞争和筛选，目前规模较大和质量较好的制造企业有重庆银河四达、哈丁公司、广州爱斯佩克公司和无锡南亚公司等。我国的通用气候环境试验设备技术性能基本上达到了国际水平，能够支持我国环境与可靠性试验的需要；而力学环境设备，由于其技术含量高和制造难度大，制造成本高，制造厂家相对较少，基本上是从我国原苏州试验仪器厂和航天 702 所两个国营企业中下海的人员创建的，历经 30 年的市场竞争和筛选，目前在国内享有较高声誉的企业有苏州试验仪器总厂、苏州东菱振动试验仪器有限公司和航天希尔公司。这里必须指出，在军工产品研制需求的牵引下，我国 20 世纪 90 年代前后产生了一些民营企业，他们以振兴民族工业为己任，产业报国为鸿志，在资源匮乏和国外封锁的恶劣环境中自力更生、艰苦奋斗，冒着失败破产的风险研制出一系列振动试验系统，振动台吨位从 2 吨开始，逐步增加 5 吨、10 吨、16 吨、20 吨、35 吨、50 吨。大推力振动试验系统的诞生，不仅打破了国外的封锁和行业垄断，还有力地支持了我国航天、航空、核工业和轨道交通重大项目的大型设备的试验工作，取得了重大成就，目前，苏州东菱振动试验仪器有限公司研制的 50 吨的振动试验系统和多输入振动试验系统已开始应用，表明我国力学环境设备的设计和制造已接近或达到国际先进水平。

1.3 环境试验技术及其应用的发展过程

实验室环境试验主要用于产品的研制生产过程，其应用场合、覆盖的试验项目和试验条件、采用的试验技术和试验的机理经历了由简单到更为科学合理的发展过程。

1.3.1 试验用途的拓宽

实验室环境试验最早的目的仅是用于考核装备（产品）对规定环境的适应性的符合性，即作为产品出厂的把关手段用于批生产出厂验收试验和例行试验。随着武器装备对环境适应性要求的不断提高和对环境试验认识的深化，环境试验的用途不断拓宽。在 20 世纪 60 年代美国军标 810C 的背景资料中就强调，810C 应尽早用于研制阶段早期，用得越早越节省成本，但是在 810C 标准文本中并没有明确规定其提供的试验方法应当在产品研制中如何使用，也没有编制其他军用标准来明确规定环境试验的具体用途。因此，长期以