

国内外军工材料环境试验 现状及发展趋势

摘 要

介绍军工材料环境试验对提高装备环境适应性的重要作用。从不同的技术方面,分析了国内外军工材料环境试验的现状、发展趋势以及主要差距。从规划的制定、新技术新方法的研发以及信息共享方面,提出设想。提出了目前需要研发新的环境试验、评价、管理方法和需要突破的关键技术。

关键词:材料;环境试验;环境适应性;发展趋势

中图分类号:X5 文献标识码:A

文章编号:1672-9242(2004)01-0016-07

环境试验是装备环境工程的重要组成部分,是提高装备环境适应性的重要手段。材料是装备及其性能的重要载体,因而,材料的环境适应性将决定装备的环境适应性。从众多装备的环境失效案例中,可以深刻体会到环境适应性的重要性。可见,及时、系统和充分地开展材料环境试验是提高材料环境适应性的必由之路。

1 国外材料环境试验现状

1.1 自然环境试验技术的进步

1.1.1 试验样品种类多样化

以往自然环境试验样品的形式多以单一材料的标准试片为主,目前以新材料(新金属材料、高分子材料、复合材料)和涂装试片、试件为主,根据实际需要和武器装备的发展需求,新材料和两种(或多种)材料的模拟件、连接件、焊接件、受力件、结构件、产品零部件、功能件和整机等样品在日趋增多,纯裸金属进行自然暴露试验已经逐渐减少。

1.1.2 环境监控技术和检测评价技术的提高

宣卫芳, 杨晓然

(中国兵器工业第 59 研究所,
重庆 400039)

开展环境试验首先要了解环境的特征。大气中的污染成分和气候条件是确定产品环境适应性的重要环境因素,同时也决定了该环境的严酷程度。监测相关环境因素可以了解和掌握环境的类型和性质,获得有关的信息,便于对环境作用机理和产品劣化(或失效)的原因进行分析。美国的阿特拉斯和日本的铍子试验站已采用环境参数自动检测系统,对温度、湿度、光照等主要环境参数进行连续自动监测。对某些领域,如金属的大气腐蚀,还采用了标准板件法和腐蚀变量法来比较大气腐蚀性的大小。

样品检测与评价是环境试验技术中一项重要的内容,它直接影响试验能否获得正确而可靠的数据和规律。目前对样品(武器装备)的检测内容主要是根据武器装备的战技性能易受环境影响的参数来确定,一般包括外观、机械、物理、化学、电磁、光学等方面。除了外观参数外,其它参数大都可以采用定量化的方法和仪器进行测量。外观参数有部分已从定性的逐步转化为定量或半定量,检测手段也开始采用仪器测试方法来代替部分的原始目视方法。

近年来,在环境试验和研究中已经采用先进的测试仪器和设备用于环境作用机理和产品失效分析,如采用 X 衍射仪与能谱仪联用测量样品表面腐蚀产物及各种元素成分、含量和分布,清楚地了解样品的腐蚀程度和范围;采用扫描电镜观察样品微观形貌特征;采用红外光谱仪观测涂层或高分子材料的老化特征等。这些新的检测技术大大地提高了测试数据和评价结果的准确性。

1.1.3 新的环境试验方法的发展和应用

为缩短环境试验时间和提高试验结果的可靠性,使之更接近于实际使用需要,目前试验形式向多样化发展。其主要方面有:纯自然环境试验向自然加速环境试验发展、静态环境试验向动态环境试验发展、标准气候环境下试验向极端气候环境下试验发展。已研究出玻璃框下暴露、玻璃框下强制通风暴露、程序跟踪太阳集光暴露、黑框暴露。还开发了试件在受力下的暴露试验、实物暴露试验,对武器装备在实际使用状态及环境应力状态下进行加速或模拟试验。为适应现代战争,保证在战争中取

得胜利,目前世界各国对自己的武器装备的环境适应性和可靠性提出了更高要求,并先后在气候环境最严酷的地区进行环境试验,以便弄清作战环境和掌握武器装备最大可能发生的故障,通过改进来最大限度地提高武器装备的环境适应性和可靠性。

1.1.4 重视基础研究,突破相关新技术

国外对环境试验的基础研究非常重视。如研究环境应力筛选试验对电子产品筛选,以提高其可靠性;采用 Kelvin 探针测量技术研究大气腐蚀过程,以确定腐蚀机理及防护措施;用环境模拟加速试验方法研究与自然环境试验的相关性;研究用自然加速贮存寿命试验方法,以预测预报产品的长贮期限;区域环境特征调查,以用于环境严酷度分类分级等。

为缩短自然环境的试验周期,提高环境试验的可靠性,目前国外从以下三个方面进行研究,力求突破相关新技术。

- 1) 预测预报技术;
- 2) 室内模拟加速试验与自然环境试验相关性技术;
- 3) 环境严酷度分类分级技术。

预测预报的目的,主要是想通过短周期自然环境试验数据和规律,预测长周期试验结果。目前该技术已取得了一定进展,如我国应用模糊数学、灰色系统理论、多变量统计分析、神经网络分析等现代数据处理新技术,处理自然环境试验数据,建立了多种预测预报模型,取得了不同程度的成功,目前我国在这方面的工作领先于国外。

相关性研究是当前世界各国研究的热点之一。但由于相关性有一个显著特点,即具有选择性。不同的方法、设备有不同的相关性,相同方法不同样品有不同的相关性,环境不同相关性差异也很大。因此这成为相关性研究中最大难题,难于推广应用。尽管如此,随着高新技术的发展,相关性技术已取得了一些突破和发展。当然相关性评价是一个复杂的问题,还需进一步深入研究,其研究的趋势有以下几方面。

- 1) 室内模拟加速试验向多因素和综合模拟发展;
- 2) 相关性评价方法都更多地采用定性和定量

相结合的方法进行;

3) 将现代数据处理技术引进相关性评价方法中,并计算机化;

4) 相关性概念逐步在扩展和延伸,如环境间、样品间、环境-样品间。通过关联分析、模糊聚类、模式识别等技术,把它们有机地结合起来。

环境分类分级的目的,是从研究环境入手,提出各环境严酷度分类分级和采取相应的防护措施,这对产品的开发和研究更有指导性和实用性。目前国际上根据不同目的,提出了诸多分类方法,但至今仍有一定的局限性,任重而道远,今后还需做大量工作,才会逐步走向完善。

1.1.5 信息技术在环境试验中的应用技术

目前以电子计算机为基础的信息技术已广泛用于环境试验,归纳起来有以下方面。

- 1) 环境试验现场管理和环境条件控制;
- 2) 试验数据库和信息库;
- 3) 数据处理和计算;
- 4) 图像识别和处理;
- 5) 模拟仿真;
- 6) 咨询专家系统;
- 7) 文档和声像资料的制作;
- 8) 远程信息共享和传输。

1.1.6 完善标准体系

以美国为例,经过多年、大量的环境试验研究,制定了大量的环境试验标准,形成了环境试验标准体系,做到了自然环境试验的暴晒台架、试样按 ASTM、SAE 等标准规定来进行制作。如美国 ATLAS 公司根据不同的用户,也可按 MIL、DIN、JIS、Nissan 等标准要求开展试验研究工作。佛罗里达环境试验场各类环境试验涉及的标准达 850 个。通过有效的环境试验,可评价材料的环境适应性,另外通过环境试验还可制定和修订标准。由于有科学、系统的运作,各类标准体系的建立和运行,试验数据和结果更具有权威性。

1.1.7 试验场站形成体系

环境试验发展到现在,据不完全统计,世界各国已建有各种环境试验场站达 400 多个,已形成自然环境试验网站体系。主要的网站体系有:国际标准化组织(ISO)的大气暴露试验网,美国材料试验协

会(ASTM)的大气暴露试验网,美国国家标准局(NBS)试验网,美国陆军环境试验网和美国海军海水腐蚀试验网,原经互会体系的环境试验网,日本军用环境试验网,日本工商省大气暴露试验网等。

1.2 实验室环境试验技术的进步

1.2.1 试验设备趋于多样化、大型化、综合化和计算机自动化

随着科学向高精尖方向发展和高新技术产业蓬勃兴起,如卫星通讯、宇宙飞船、装备先进的高新技术武器等,环境试验设备也迅速向多样化发展,以满足各种军民品试验的需要,从地面、海洋、空间等各种自然环境,从装卸、运输到使用的人为诱导环境,都建有模拟试验设备。

为了满足整机、整车、整弹试验的需要,各国都致力于大型模拟试验设备的建造,各种仓式环境试验设备应运而生。如美国空军麦金利气候实验室建造的一座试验设施,是世界同类设施中最大的。其内部尺寸约宽 75m、深 61m、中心高 21m。可产生温度、湿度、太阳辐射、降雨、风、雪、冰雹等项环境,并可按一定选择程序进行复合试验。试件可容纳整个飞机,并允许喷气发动机在低温极端条件下短期工作。

由于综合环境可靠性试验方法及剪裁方法的引入,环境试验设备已由过去的单一型向复合型、综合方向发展。对大气而言,已开始向全天候模拟发展。目前环境试验设备的电脑化和自动化变得相当普遍。有无微机控制和自动数据采集与处理系统,已成为衡量试验设备是否先进的一个重要指标。

1.2.2 试验方法标准化和剪裁原理

美国对试验方法标准非常重视,形成了一整套技术文件。如《试验与鉴定》《美国陆军试验操作规程》《环境试验方法和工程导则》等,数量近千篇,涉及范围广,齐全,更新速度快。美军 810 标准从 1962 年颁布至今,30 多年内已更新了 6 次。

自 MIL-STD-810D 提出剪裁原理以来,使环境试验技术产生了质的飞跃。剪裁原理现已广泛应用于各类试验和规范中,尤其在武器和军用设施的研制中用得最为广泛,有效地提高了材料和产品的环

境适应性和可靠性。剪裁原理强调任何环境试验应依据试验目的,材料和产品寿命期所经历的实际环境和环境条件,对相关试验方法标准中规定的试验项目、试验条件、试验程序等方面进行适度剪裁,使这些标准具有较大灵活性,有效地避免发生欠试验或过试验,使试验结果可靠,更有助于提高产品或材料质量,降低研制费用。

2 我国材料环境试验现状分析

2.1 自然环境试验

2.1.1 从环境工程的角度出发,进一步拓宽环境试验工作思路

2000年1月,MIL-STD-810F的正式发布对我国的自然环境试验工作产生了重要的影响,使环境试验工作思路得到进一步拓宽。我国参照810F,于2001年完成GJB4239《装备环境工程通用要求》的制定工作。根据GJB4239的定义,环境工程是“将各种科学技术和工程实践用于减缓各种环境对装备功能影响或提高装备耐环境能力的一门工程学科,包括环境工程管理、环境分析、环境适应性设计和环境试验与评价等”。环境适应性则是“装备(产品)在其寿命期预计可能遇到的各种环境的作用下能实现其所有预定功能、性能和(或)不被破坏的能力,是装备(产品)的重要质量特性之一。”在装备环境工程中,自然环境试验工作目标就是要在装备环境工程总要求下,通过环境分析、环境设计、环境试验与评价等工作,促进装备(产品)环境适应性的提高。

2001年3月6日,国防科工委栾恩杰副主任在国防科技基础工作会议上讲话中进一步明确提出“环境适应性是产品的一个重要质量特性”。2001年6月5日国防科工委发布了加强国防科技工业技术基础工作方面的36条意见,其中有4条专门涉及环境工程工作,特别是第33条规定要开展环境工程管理、环境分析、环境适应性设计和环境试验与评估等基础环境工程工作。

2.1.2 网站体系建设基本完善

我国已有40个左右,从试验场站数目看,已达发达国家水平。在科委组织下已建立了大气、海水、

土壤3个环境试验网。随着国防战略的转移,为了最大限度地提高武器装备在海洋和海面环境使用的可靠性,现已经在西沙建立了环境试验站,并在南海海面上建设环境试验装置,直接进行海面环境试验。经过近半个世纪的建设,我国已形成国防科技工业自然环境试验网站体系、军队自然环境试验网站体系和民用自然环境试验体系。军队自然环境试验网站体系主要以军品长贮常保试验和动态自然环境试验为主,国防科技工业自然环境试验网站体系主要开展静态环境试验,民用自然环境试验网站体系主要开展腐蚀和老化试验。国防各工业部门根据自己的需要,已分别建立了一些自然环境(大气、海水)试验场站。这些网站的建立,为产品的质量提高,标准的制订,数据的积累起了十分重要的作用。

2.1.3 标准化步伐进一步加快

我国环境试验标准化工作起步较晚,在20世纪80年代才开始翻译国外有关环境试验标准。如翻译了美国军标MIL-STD-810,英国国防标准DEF-07-55,法国标准AIR 7304,IEC 68号出版物和著名的美国工程设计手册-环境工程部分的5个手册等。与此同时,开始等效制订了我国相应的军用和民用环境试验标准,如GJB150、HB6167、GJB1172和GB2432等。

2000年1月,MIL-STD-810F的正式发布标志着环境工程的标准化。2001年6月30日发布了GJB4239环境工程顶层标准《装备环境工程通用要求》,此外国防科工委科技质量司还以环境适应性作为质量特性和发展环境工程的思路制订了《环境试验与观测》技术基础专业的十五发展纲要和十五基础研究项目指南,并制订新的环境工程标准体系。目前已制定了我国环境工程标准体系表,并加快相应标准的制定步伐。

2.1.4 新的环境试验方法得到开发和应用

自然加速环境试验方法是通过强化某些环境因素,使装备及材料加速失效,缩短试验周期的环境试验方法。目前我国已研究出玻璃框下暴露、玻璃框下强制通风暴露、程序跟踪太阳集光暴露、黑框暴露等自然加速环境试验方法并得到应用。动态环境试验是装备在移动平台载体上进行,这试验能

真实反映如舰载、车载等装备的环境适应性问题。国内铁道部已利用火车在北京-承德线上开展了类似试验。此外,国内正在开展动水环境试验、海面大气环境试验等。

2.1.5 新检测技术和试验技术得到应用和发展

我国环境监测技术方面得到不断提高,目前已有国产的自动气象站系统,能够对温度、湿度、光照、雨量、风向、风速等大气环境参数进行自动监测和实时传送。这一先进的技术设备可以减少劳动强度、消除人为误差、也为环境试验信息化提供良好的基础。ACM 仪的研制成功,提供了一个新的环境检测设备,用于对环境严酷度的评价。

在材料的微观形貌分析、组织结构和成分分析、电化学性能测试、力学性能测试、质量变化测试、以及光、电磁等性能测试方面也取得快速的发展,这些检测能力的发展基本与国际发展水平同步。典型的设备有:扫描探针显微镜可以在正常或通入腐蚀气体的情况下,获得比扫描电子显微镜更高的放大倍数和分辨率,得到更加清晰的微观形貌。Kelvin 探针的使用使大气条件下的电化学行为测试成为现实,为材料大气环境失效分析提供一种新的强大的工具。石英电子天平的研制成功和使用,可以对纳米级的质量变化进行检测,在分析材料早期失效及其动力学行为具有重要作用。

2.1.6 信息技术在环境试验中的应用

环境试验的目的是获取产品的环境适应性信息,这一观点已经得到广泛的认同。环境试验信息有自己独特的组成和结构,在用现代信息技术进行处理时需要对它进行剖析。20 世纪 90 年代我国开展了材料腐蚀数据库的建设工作,在此基础上又开展了腐蚀专家系统的研究工作。进入 21 世纪,我国环境试验工作者又从信息化的高度和角度,开展环境试验信息系统的研究和建设。

2.1.7 其他关键基础技术的发展

我国通过系统研究认识到:自然环境试验和人工模拟加速试验之间,其加速性不是传统所讲的那样,即“一周期加速试验相当于自然环境试验多少年”,而实际上加速倍率是随试验时间呈现动态变化的;在目前条件下,要获得加速倍率高而相关性又好的人工模拟加速试验方法尚有困难。为此,提

出了评价相关性的原则。按该原则建立了模拟海洋性大气腐蚀的加速试验方法和模拟酸雨地区的加速试验方法,提出了相应的动态加速倍率公式。

我国在相关性技术、预测预报技术、环境严酷度分类分级技术等方面也做了大量的工作,也取得了一定的成果,推动了环境试验技术的发展。

我国在这方面研究已取得一定进展,如研究成功的 ACM 大气腐蚀监测仪,在有关地区长期连续监测结果表明,有可能成为一种评定大气腐蚀性的方法。另外,还通过实际环境试验数据,运用相关分析、主要成分分析、模式识别及图形处理、网点加密、数据平滑等技术,绘制出沈阳市和海南岛大气腐蚀性等级分布图、辽宁省土壤腐蚀等级分布图、大庆和大港油田的土壤腐蚀性等级分布图等。这些成果无疑对该技术的发展具有促进作用。

2.2 实验室环境试验

2.2.1 设备制造技术进一步提高

近年来,我国已建成一些达到国际先进水平,具有自己特色的各种模拟设备,如:KM 系列整机和部件空间环境模拟设备,“小太阳”空间环境模拟设备,高空环境模拟设备,兵器大型环境模拟设备,工兵装备环境室,汽车环境试验室,内燃机环境试验室和机车低温实验室等空间、空中和地面环境模拟设备。

2.2.2 试验目的和应用范围进一步扩大

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,即作为产品出厂和把关的手段用于批量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 MIL-STD-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。近年来人们对环境试验用途的认识有了质的飞跃,810F 在保留环境试验验证合同符合性这一用途的同时,明确提出还要将环境试验用于发现产品设计、工艺和制造中的缺陷,加强研制试验;同时还要求通过环境试验充分掌握产品应力响应特性和薄弱环节情况,以便为后续试验和装备使用及制订后勤保障计划提供有用信息,并将环境试

验的目的概括为获取产品信息,用于支持产品研制生产和使用中各阶段决策、制定计划和其他活动。环境适应性和环境工程的重要性已在我国得到广泛的认同,同时也认识到环境试验适用于装备的全寿命期。

2.2.3 试验技术得到较大提高

相对来说,我国在实验室环境试验方面与发达国家的距离较小。在我国综合国力不断增强的今天,拥有相当数量的先进的环境试验设备,具有开展各种模拟试验的能力。包括各种组合和综合模拟环境试验以及大型环境试验。

3 材料环境试验的发展展望和设想

3.1 从装备环境工程的角度,系统规划并开展材料环境试验工作

材料是构成装备的物质基础,材料的环境适应性在较大程度上决定了装备的环境适应性。材料的环境适应性数据和规律是进行装备设计、生产、勤务的重要依据。材料环境试验工作的最终目的是用尽可能小的费用换取装备环境适应性尽可能大的提高。不同的材料组合以及平台环境体系,可能存在材料匹配和环境匹配等问题,具有优良的环境适应性的材料组合成装备后不一定还具有优良的环境适应性。装备的环境适应性工作是一项系统工程,而材料的环境试验是这一系统工程中的重要组成部分,因此,应该做好装备寿命期环境剖面及其平台环境剖面的环境分析,充分考虑材料在实际使用中的搭配及应力状况,从装备环境工程的角度,系统规划并开展材料环境试验工作。

3.2 突出重点,统一筹划,做好军用材料环境试验

目前,仅从国内军用材料来讲,也是种类繁多。掌握所有军用材料在所有环境中的适应性是不可能的。因此,必须根据材料及其应用环境的特点,侧重地做好军用材料的环境试验。应该提升飞机、舰船、坦克等重点装备的战技性能和环境适应性,对这三平台环境中使用的新材料、新工艺及部分传统

材料的环境试验,重点试验的材料有以下几种。

- 1) 装备轻量化所用的材料,如铝合金、镁合金、钛合金及其他复合材料;
- 2) 装备隐身所用的材料和构件,如隐身涂料等;
- 3) 耐严酷环境的材料,如防腐防污、隔热、热控、抗辐照、耐介质、耐高低温、高阻尼的涂层材料和其他材料;
- 4) 军用光电材料,如宽禁带半导体等信息功能材料;
- 5) 高能密度材料;
- 6) 具有防腐、防污、润滑等功能的油脂材料;
- 7) 需要在特定环境剖面中与新型材料配合的传统材料。

3.3 研发新的环境试验、评价和管理方法和 技术,提高试验效率和水平

从环境试验诞生以来,一直朝着如何快速、全面、准确和高效地评价材料乃至整机的环境适应性的方向发展。这是今后环境试验技术发展的永恒的主题和方向。“快速”、“全面”、“准确”和“高效”八个字的体现并不容易,且都是相对而言,也是个系统工程,需要依赖新的试验技术、新的评价方法和管理方法来加以实现。

目前有许多新的环境试验技术可以应用,如自然环境加速试验技术、高加速环境试验技术、预测预报技术、环境严酷度分类分级技术等可以应用。当然,这些技术还需要进一步发展,如自然环境加速试验技术的系列化和标准化问题等。

目前,需要研发新的环境试验、评价和管理方法的技术主要有以下几方面。

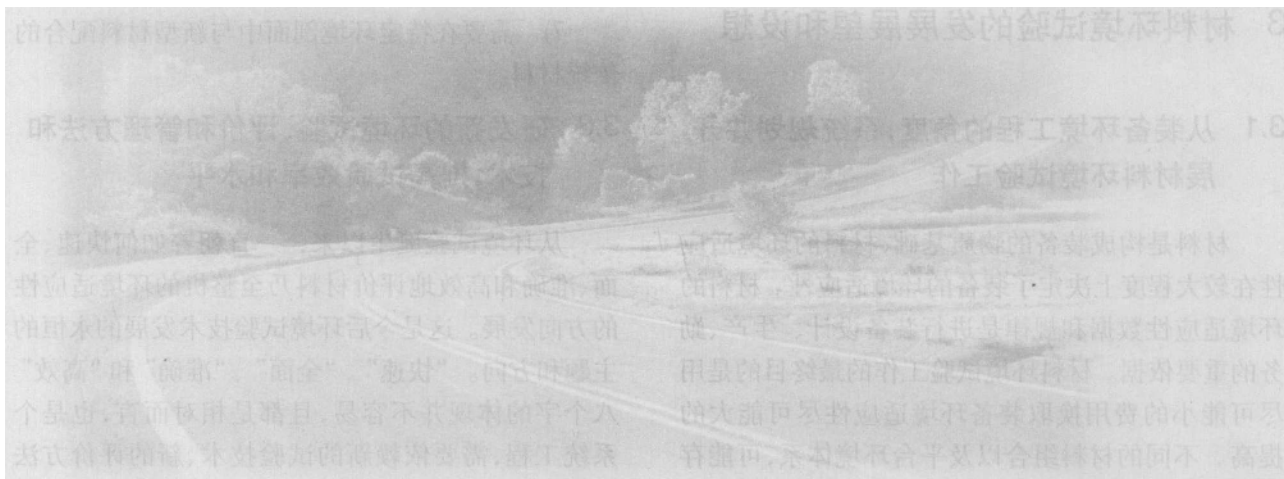
- 1) 装备环境工程系列标准;
- 2) 自然环境加速试验技术;
- 3) 高加速环境试验技术;
- 4) 图象识别技术;
- 5) 环境评价和分类分级技术;
- 6) 相关性和寿命预测评价技术。

3.4 加强信息化建设,通过信息共享提高环境试验的价值

环境试验是通过获取产品的环境适应性信息,利用产品的环境适应性信息为装备的设计、生产和应用服务,从而提高产品的环境适应性。因此,环境试验的价值体现在环境试验信息的应用,应用越多、越广泛,环境试验的价值就越大。由于种种原因,我国的环境试验信息还没有得到应有的广泛应用。单位之间、部门之间的环境适应性信息得不到充分共享,信息的生产者和使用者之间缺乏沟通,也造成信息流通不畅。因此,有必要大力推广环境试验信息的应用。在信息技术高度发达的今天,应该探索利用信息技术推广环境试验信息应用的方法。

参 考 文 献

- [1] 汪学华等.自然环境试验技术[M].北京:航空工业出版社,2003
- [2] 祝耀昌.产品环境工程概论[M].北京:航空工业出版社,2003
- [3] 杨晓然,朱蕾,苏艳.自然环境试验信息及其应用[J].环境技术,2002,20(4):1
- [4] 张三平.美、日环境腐蚀研究技术考察[J].材料保护,1999,(11)
- [5] 潘宇.美、日等国大气暴露试验现状和发展动向[J].电子产品可靠性与环境试验,1994



The Present Situation and Developing Trend of Environmental Test of Military Materials in the World

XUAN Wei-fang, YANG Xiao-ran,

(No.59 Research Institute of Ordnance Industry, Chongqing 400039, China)

Abstract: The importance of environmental test of military materials to the environmental worthiness of materiel was introduced. The present situation and developing trend of environmental test of military materials were analyzed from different technical aspects. Some ideas on the planning, developing of new technologies and methods as well as information sharing were discussed. The new test, evaluation, and management methods as well as the key environmental test technologies needed to be developed were suggested.

Key words: materials; environmental test; environmental worthiness; developing trend

收稿日期:2004-05-08

作者简介:宣卫芳(1957-),女,浙江绍兴人,研究员,主要研究方向为装备失效分析。