

· 产品环境工程专业丛书 ·

自然环境试验技术

汪学华 等编著



航空工业出版社

产品环境工程专业丛书

自然环境试验技术

汪学华 等编著

航空工业出版社

内 容 提 要

产品环境工程专业丛书目前共分为3册,第一册为产品环境工程概论,第二册为自然环境试验技术,第三册为实验室环境试验技术。丛书较系统地介绍了产品环境工程的基本概念,环境工程技术和环境工程管理工作内容及相关标准,以及产品环境工程在武器装备研制生产中的地位和作用;各种环境的特点及其对武器装备单一和综合影响,材料和装备寿命期中在自然环境长期作用的行为及影响规律;自然环境试验和实验室环境试验的各试验项目及其用途,自然环境试验与评价技术,自然环境数据处理和环境影响预报技术,实验室环境试验技术,环境工程剪裁技术。丛书中还提供了中国和世界气候环境数据表。丛书的内容新颖丰富、系统性强,具有较好的可读性和实用性。

应当指出,随着科学技术的迅猛发展,空间环境越来越受到人们的关注,空间飞行器应用范围日益扩大,鉴于其有一定的特殊性,有关空间飞行器方面特有的环境工程数据、知识及技术等将在适当的时候以本丛书之一的形式专门介绍。

本丛书可供各级领导和管理干部及从事设计、试验和技术管理方面的工程技术人员使用;大专院校师生也可参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

自然环境试验技术/汪学华编著. —北京:航空工业出版社,2003.11
ISBN 7-80183-265-5

I. 自… II. 汪… III. 武器装备—环境模拟—模拟试验 IV. TJ01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 096037 号

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2003 年 11 月第 1 版

2003 年 11 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 18.25

字数: 450 千字

印数: 1—1000

定价: 40.00 元

产品环境工程专业丛书

编 审 委 员 会

主 任 马恒儒

委 员(以姓氏笔画为序)

朱宏斌	朱国强	张东军	张伦武	陈光章
汪学华	郑 鹏	祝耀昌	徐思伟	徐 明
唐亮武	常文君	喻 奇		

自然环境试验技术

编 辑 委 员 会

主 编 汪学华

副主编 唐伦科 张东军

编 委(以姓氏笔画为序)

文邦伟	田月娥	纪 纲	许 明	朱 蕾
张伦武	罗天元	杨晓然	郑 林	封先河
唐其环				

序

随着科学技术水平的提高,现代战争正在向全天候、全方位的立体战争方向发展,武器装备将面临比以往更为复杂严酷的地理(陆地和海洋)、气候、力学、化学、生物乃至空间等环境,这就要求武器装备应具有较高的环境适应性。开展产品环境工程研究,全面提高武器装备的环境适应能力,已成为当今各种高新技术武器研制中的重要工作之一。为了帮助大家了解产品环境工程,促进产品环境工程在武器装备寿命期各个阶段的应用,国防科工委科技与质量司组织编写了本套产品环境工程专业丛书。

本丛书目前共3册,分别介绍了产品环境适应性和环境工程的基本概念、各种环境特性及其对产品的影响、环境工程剪裁和管理技术、材料和装备在自然环境中的行为和影响规律、自然环境试验与评价技术、自然环境试验数据处理和预报技术、实验室环境试验种类及其在武器装备寿命期各个阶段的地位和作用、实验室气候和力学方面主要环境试验项目及其相应的试验技术和试验设备、实验室环境试验的剪裁技术以及各种环境工程的工作和标准等。应当指出,产品环境工程专业丛书所涉及的内容绝不限于这3册,随着我国产品环境工程专业的发展和实践经验的不断积累,将陆续出版本专业丛书范围的其他书籍,以逐步完善丛书的内容。

本丛书在内容上既有基础知识和标准的介绍,又有我国多年来产品环境工程工作,特别是环境试验技术和方法的经验总结,还融入了国际上产品环境工程方面最新技术和发展思路,是我国第一套全面、系统地介绍产品环境工程的丛书。

本丛书读者对象为:企业领导和管理干部,设计、试验和技术管理方面的工程技术人员,亦可供大专院校师生参考。

限于编者水平,丛书各册中有许多不足之处,恳请各位读者提出意见,以便再版时改正。

编委会

2003年8月

前 言

自然环境试验是产品和材料发展的重要溯源性技术基础,是评价产品和材料内在质量的重要手段,是产品和材料质量保证的重要环节。试验和研究获得的数据与规律,准确可靠,符合使用实际,对于产品合理选材,正确选择防护措施,延长产品使用寿命,减少经济损失具有十分重要的意义。因此,学习自然环境试验技术知识,掌握各种环境的性质、特征和变化规律,分析各种环境对人类和产品造成的各种影响和危害,以调节和控制产品与环境的相互关系,寻求提高产品对环境适应能力的最佳途径,共同创造人类更美好的明天。

本书是《产品环境工程》专业丛书的一个分册,它紧密结合军工产品的特点,全面系统地阐述自然环境试验技术的理论和应用。主要总结我国近年来自然环境试验的成就和经验,也吸取了国外的最新技术成就,反映近代自然环境试验技术的发展动向。该书紧密结合我国自然环境条件,比较系统地提供了典型环境、材料和产品环境特性等方面的试验数据及其相关规律,从而能更好地服务于我国的国防建设和国民经济建设,提高了本书的实用性。

本书内容共分6章,且附有常用计算表、自然环境试验网站外貌和典型产品(材料)失效案例彩色照片,全书图文并茂。

第1章概论。简要说明环境、自然环境试验及其任务与作用,介绍了军用环境试验技术的现状与发展趋势。

第2章产品与环境。介绍自然环境中各类环境特性,军工产品面临的环境概况,重点讨论了主要自然环境因素及对产品的效应。

第3章自然环境试验方法。在总结我国开展自然环境试验与研究工作经验的基础上,重点论述了大气、海水、土壤自然环境试验方法,各类试验环境重要因素及其监测的方法,自然环境试验标准。本章方法内容详实,具有可操作性。

第4章装备和材料在自然环境中的行为和规律。首先介绍金属在环境中主要破坏形式;金属在自然环境中的电化学腐蚀过程;高分子材料在自然环境中的老化。在此基础上结合我国自然环境试验与研究成果,比较详细地总结了材料在我国典型自然环境中的腐蚀行为和规律;装备在自然环境中的环境适应性及规律;国内外武器装备贮存和使用中的典型失效案例。第5章自然环境试验技术。就其自然环境试验技术的一些关键性领域对全书的内容进一步归纳和总结,且对近年发展的一些新技术在环境试验中的应用作简要介绍。

第6章数据处理及预测。首先介绍数据处理相关知识,在此基础上归纳和总结了各类数据处理方法及其在环境试验中的应用,对一些方法还附有应用实例,以便读者具体掌握方法的应用。

本书由国防科工委科技与质量司组织编写,国防科技工业自然环境试验研究中心承担。参加编著人员:汪学华、杨晓然、张伦武、郑林、纪纲、唐其环、封先河、文邦伟、朱蕾、罗天元、许明、田月娥,全书由汪学华统稿。全书排版过程中还有马宏艳、张勇智参加了大量工作。在编写过程中得到了国防科工委科技与质量司、中国兵器装备集团公司科技质量部领导的关怀和指导,还得到中国兵器工业第五九研究所喻奇所长和国防科技工业自然环境试

验中心全体工作人员的支持和帮助，王光雍、陈光章、肖以德、陆峰、祝耀昌、常文君、张东军、许立坤、皮玉龙等专家对本书进行了认真的审定，并提出了许多宝贵意见，有的专家还提供了宝贵资料。在此一并表示最衷心的感谢！

为提高本书的实用性，反映国内研究成果，本书编入了我国自然环境试验相关成果。特此向书中提及或未提及(受参考文献规定限制)的相关作者和全体科技人员表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，经验不足，书中难免存在疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正，以便日后完善、修订。

编著者

2003年8月15日

目 录

第1章 概论	(1)
1.1 自然环境试验技术概述	(1)
1.1.1 自然环境试验	(1)
1.1.2 自然环境试验的地位和作用	(3)
1.2 军用环境试验技术的现状及发展趋势	(6)
1.2.1 自然环境试验技术的进展	(6)
1.2.2 人工模拟加速环境试验技术的进展	(8)
1.2.3 国内外自然环境试验站(场)	(9)
1.2.4 展望	(15)
第2章 产品与环境	(17)
2.1 自然环境概述	(17)
2.1.1 大气环境	(17)
2.1.2 水环境	(20)
2.1.3 土壤环境	(22)
2.2 自然环境条件	(22)
2.2.1 世界自然环境条件	(22)
2.2.2 我国自然环境条件	(24)
2.3 军工产品面临的环境	(28)
2.3.1 制造环境	(29)
2.3.2 运输环境	(29)
2.3.3 贮存环境	(29)
2.3.4 服役环境	(30)
2.3.5 战场环境	(30)
2.4 自然环境因素及其对产品的效应	(31)
2.4.1 构成自然环境的因素	(31)
2.4.2 单一因素及其对产品的效应	(32)
2.4.3 环境对产品的综合效应	(43)
第3章 自然环境试验	(47)
3.1 自然环境试验通用要求	(47)
3.1.1 自然环境试验的分类	(47)
3.1.2 试验通用要求	(49)
3.2 自然环境试验方法	(58)
3.2.1 大气环境试验	(58)
3.2.2 海水暴露试验	(64)

3.2.3 土壤现场埋设试验	(66)
3.3 环境因素监测	(68)
3.3.1 大气环境因素监测	(68)
3.3.2 海水环境因素测定方法	(80)
3.3.3 土壤环境因素的测定	(85)
3.4 自然环境试验标准	(90)
3.4.1 自然环境试验标准概述	(90)
3.4.2 常用的自然环境试验标准	(91)
3.4.3 国际主要标准化机构及其网址	(94)
第4章 装备和材料在自然环境中的行为和规律	(96)
4.1 金属在自然环境中的电化学腐蚀过程	(96)
4.1.1 金属腐蚀的主要破坏形态	(96)
4.1.2 金属在自然环境条件下的腐蚀机理	(98)
4.2 金属在自然环境中的腐蚀行为及规律	(106)
4.2.1 金属在大气环境中的腐蚀规律	(106)
4.2.2 金属在海水环境中的腐蚀及其规律	(122)
4.2.3 土壤环境中的腐蚀	(129)
4.3 高分子材料在自然环境中的老化	(132)
4.3.1 高分子材料的老化特征	(132)
4.3.2 影响老化的主要因素	(133)
4.3.3 高分子材料的老化机理	(135)
4.3.4 高分子基复合材料的老化	(141)
4.3.5 高分子基复合材料的老化	(141)
4.4 装备在自然环境中的环境适应性及规律	(143)
4.4.1 装备自然环境试验与研究	(143)
4.4.2 装备典型失效案例及分析	(163)
第5章 自然环境试验技术	(165)
5.1 环境监测和检测技术	(165)
5.1.1 大气腐蚀监测仪(ACM)的应用	(165)
5.1.2 Kelvin 探针测量技术及其应用	(169)
5.1.3 傅里叶红外光谱分析及其应用	(173)
5.1.4 扫描电镜在环境试验中的应用	(176)
5.1.5 电化学测试技术及其应用	(178)
5.1.6 X 射线衍射分析技术及其应用	(185)
5.1.7 石英晶体微天平(QCM)及其应用	(190)
5.2 计算机及相关技术在自然环境试验中的应用技术	(194)
5.2.1 自然环境试验信息体系的构成	(194)
5.2.2 自然环境试验信息数字化	(195)
5.2.3 图像识别技术的应用	(198)

5.2.4 数据库技术的应用	(201)
5.2.5 网络技术的应用	(205)
5.2.6 自然环境试验信息的管理和控制	(207)
5.3 环境腐蚀严酷度分类分级技术	(209)
5.3.1 大气环境腐蚀分类分级	(209)
5.3.2 海水环境腐蚀分类分级	(214)
5.3.3 土壤环境腐蚀分类分级	(214)
5.4 相关性评价技术	(215)
5.4.1 室内模拟加速试验设计原则	(216)
5.4.2 相关性研究的步骤	(216)
5.4.3 应用实例	(219)
第6章 数据处理及预测	(224)
6.1 自然环境试验数据处理方法	(224)
6.1.1 自然环境试验数据的种类	(224)
6.1.2 试验数据的表示形式和数值修约	(225)
6.1.3 数据的误差	(225)
6.1.4 统计分析方法	(226)
6.1.5 统计分析在自然环境试验数据处理中的应用	(230)
6.1.6 现代数学方法	(242)
6.2 预测预报技术	(260)
6.2.1 预测预报的原则	(260)
6.2.2 材料的预测预报	(261)
6.2.3 产品长贮寿命预测预报	(263)
附录1 数据处理用表	(270)
参考文献	(277)

第1章 概 论

自有人类以来,人类就不断与环境作斗争,经过无数代人长期的努力,才创造了当今的物质文明和精神文明。由于人和任何产品都在一定环境条件下生存和(或)工作,因此,研究和掌握各种环境的性质、特征和变化规律,分析各种环境对人类和产品造成的各种影响和危害,以调节和控制产品与环境、人与环境及人与产品之间的相互关系,寻求提高产品对环境适应能力的最佳途径,创造人类更好的生存环境。

环境种类繁多,至今分类不一。本书所研究的环境及其对产品的影响和危害,主要是自然环境,是指自然环境因素和某些诱发环境因素,例如,大气污染物等所组合而形成的各类综合自然环境。

国防科技工业自然环境试验是武器装备发展的重要技术基础,是武器装备论证、研制、生产和使用过程中必需的共性技术。系统全面地开展环境工程管理、环境分析、环境适应性设计和环境试验与评价等装备环境工程工作,是提高武器装备的环境适应性水平的必由之路。从事自然环境试验的科技工作者,一定要高度认识这项工作的重要性和紧迫性,深入型号工程,发挥保障支撑作用,满足武器装备发展的需求。

1.1 自然环境试验技术概述

1.1.1 自然环境试验

1.1.1.1 材料与产品的自然环境试验

自然环境试验是在典型和(或)极端自然环境条件下对产品及材料、工艺、构件进行的环境适应性试验与研究。自然环境试验是产品(材料)研制、生产、使用过程中的重要组成部分,是提高产品环境适应性的重要手段。

伴随着科学技术的发展,新材料、新工艺、新产品的开发和应用,形成了一门综合性的边缘技术——环境试验技术。它是环境工程的一个重要组成部分。它研究各种环境性质、特征;产品(材料)环境适应性评价技术;自然环境的人工再现技术;各种环境下的试验技术。吸取多门学科(如材料、物理、化学、光学、电化学、生物、气象等)、多项技术(如制造、检测、理化、计量、自动控制、环境监测及计算机技术等)的相关理论和方法,在解决产品(材料)环境适应性评价和环境试验的理论及实践中,形成了独立的技术理论体系。

环境试验按试验的环境,分为自然环境试验和实验室环境试验两大技术体系。两者都以自然环境条件为基础,提高材料和产品环境适应性为目标,进行试验和研究。但前者是在自然环境条件下,后者是在人工模拟加速环境条件下进行。

结合军品的特点,自然环境试验又按静态和动态两种方式进行试验与研究,自然大气、海水、土壤环境试验属静态试验;试车、试航、试飞、靶试、运输和使用环境等试验属动态试验。本书着重介绍静态自然环境试验相关的方法和技术。

1.1.1.2 装备自然环境试验

装备自然环境试验可分为两大部分。第一部分是自然环境试验基础工作，第二部分是装备寿命期自然环境试验工作。其工作内容如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 自然环境试验基础工作

类 别	工 作 内 容
基础理论研究	自然环境试验理论 自然环境试验与环境工程及其他环境试验界面 环境作用机理和运输过程的动态作用机理 相关性理论研究 自然环境试验剪裁理论研究
基础技术研究	环境适应性共性试验技术和自然环境加速试验技术 长贮综合评估技术 延寿评估技术和寿命预测预报技术 大气、海水环境试验及评价技术 相关性综合评价技术 数据采集技术、数据处理技术和数据模型化技术 性能测试(定量和定性)技术 气候和海洋严酷度分类分级技术 环境保护技术 环境适应性设计技术(包括各种微环境) 环境适应性评价和分析技术
基础标准制定	自然环境试验标准的制定、修订 自然环境试验新方法研究及标准制定 网站安全管理统一规范制定
信息管理	网站基础数据远程传输及建库 国内外环境工程专业信息跟踪研究 数据集成、共享与成果应用技术 自然环境试验信息管理及发布
合作与交流	建立国际合作试验网 开展国内外项目合作与技术交流 专题研讨会及讲座
基础管理工作	自然环境试验工作计划制定、实施和管理 自然环境试验网站认证和试验人员资格认定 网站建设、管理、协调、规范和安全运行 设备设施维护保养及测量仪器定期检定 工程技术人员专业培训和考核 试验、鉴定和技术质量监督 危险品贮存安全管理 本专业环境工程专家培训

表 1-2 装备寿命期自然环境试验工作

工作项目类别	工 作 内 容	备 注
环境工程管理	制定自然环境试验环境工程工作计划(含网站组织、协调、安全管理) 自然环境试验工作评审 信息管理(环境、性能实测数据管理与反馈) 对转承制方、供应方相关自然环境试验工作进行监督和控制	寿命期相应阶段

续表 1-2

工作项目类别	工 作 内 容	备 注
环境分析	分析、确定寿命期(不同类型气候、海水环境等)自然环境剖面 实测或提供分析相似产品相关试验和环境数据,弄清主要环境影响和故障模式 编制使用环境文件 确定自然环境类型、量值及环境适应性要求 确定实际增长试验替代方案	方案论证阶段
环境适应性设计	制定自然环境适应性设计准则 自然环境适应性预研及预测 根据环境适应性要求进行自然环境适应性设计	方案制定阶段及 工程研制阶段早期
环境试验与评价	制定自然环境试验与评价计划 自然环境响应特性调查与试验 气候环境试验与评价 海水环境试验与评价 根据自然环境试验结果,参与装备环境适应性综合评价 装备定型后的跟踪试验和数据积累	工程研制阶段及 相应阶段

1.1.1.3 装备自然环境试验研究的工作流程

装备自然环境试验是根据武器装备环境适应性设计要求和试验实际需要,系统地开展相关试验、研究、评价等工作。其流程如图 1-1 所示。

武器装备、材料与制品在典型自然环境条件下进行自然环境试验和自然加速环境试验,通过环境因素监测与分析、材料及制品的失效特征观察与测试、试验和环境数据采集与传输,获取基础数据信息。这部分工作是自然环境试验的基础部分。

在此基础上,进行室内模拟加速试验和实验室研究,利用先进的分析研究手段,进行微观形貌分析,组织结构和成分分析,电化学性能测试,力学性能测试,光、电、磁等性能测试,质量变化测试和相关性试验等测试、分析和研究,获取深层次的、综合的信息。这部分工作是自然环境试验的核心部分。

上述的两部分工作,得到了武器装备及材料与制品系统、全面的环境适应性信息,可直接对武器装备的环境适应性进行描述和评价。

采用现代信息处理技术,综合分析运用上述环境适应性信息,深入开展失效机理、失效规律、环境适应性评价技术和寿命预测、预报技术的研究,为武器装备的研制、设计、包装、运输、贮存和使用提供科学依据。

利用科学依据,建立新的标准、规范和设计准则,建立数据库、专家系统和仿真模型等,不仅为武器装备的全寿命期服务,而且进一步提升了自然环境试验技术,更加快速、高效地为装备的设计、生产、使用和维护过程服务。

通过受控的信息发布和共享,又为下一代武器装备的全寿命期服务,形成武器装备、材料与制品自然环境试验研究与应用的有机循环。

1.1.2 自然环境试验的地位和作用

1.1.2.1 自然环境对武器装备的影响

武器装备的战斗力与环境密切相关,世界军事史上无数战例都证明了这点。早期如拿破

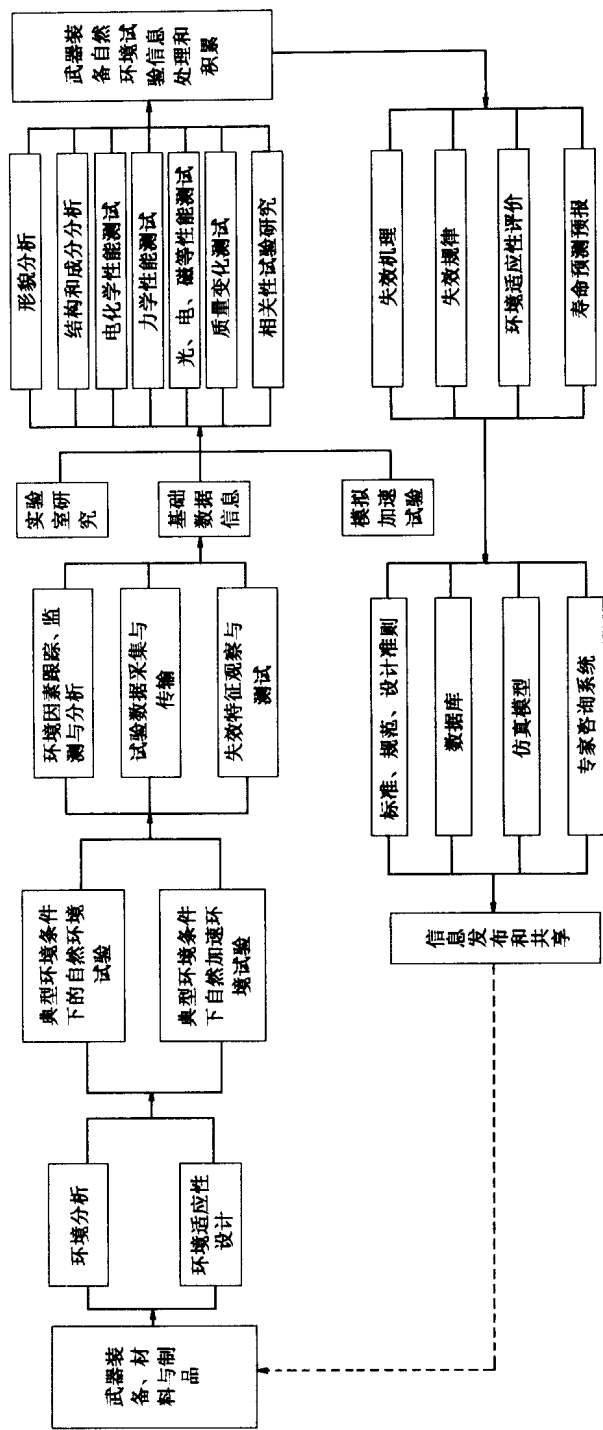


图 1-1 武器装备自然试验研究的工作流程图

仑对俄国和希特勒入侵苏联战争、日俄战争、朝鲜战争、越南战争、马岛之战；近期如海湾战争、科索沃战争的结局表明：因武器不适应低温、热带海洋、热带雨林、湿热和沙漠等环境，而使武器装备严重腐蚀、海洋生物附着、沙尘堵塞、长霉起雾、虫蛀鼠咬、结冰凝露等，导致机械故障、控制失灵、通信中断、弹药失效而造成失败和人员伤亡。惨痛的教训表明：如果武器装备在研制、生产和使用过程中不重视自然环境的影响，结果可能导致军事上的失败。

从世界范围来讲，各国自然环境条件各不相同，差异很大，从而造成材料和产品在不同自然环境中的环境适应性相差很大。第二次世界大战期间，美国运到远东地区的航空电子产品，60%不能使用；英国制造的雷达在欧洲使用，其平均 MTBF 为 116h，其中在地中海使用尚有 61h，而在东南亚使用仅有 18h。普通碳钢在海洋大气中的腐蚀比在干热沙漠大气中大 400~500 倍；离海岸 24m 处钢的腐蚀比 240m 处大 12 倍。显而易见，在自然环境条件下材料和产品的环境行为，随环境的不同，差异甚大，是很难在实验室进行人工模拟的，必须通过实地或现场测试，积累数据，掌握规律。因此，国际上普遍采用在典型自然环境中建立自然环境试验站(场)的方法，通过材料和产品的自然环境试验，了解各类自然环境的严酷度与特性，掌握材料和产品在各类自然环境中的适应能力与变化规律，以及自然环境因素变化对材料和产品性能所带来的综合影响等。

由此可见，自然环境试验是材料和产品发展的重要溯源性技术基础，是评价材料和产品内在质量的重要手段，是材料和产品质量保证的重要环节。环境试验和研究获得的数据与规律，准确可靠，接近使用实际，对于产品合理选材，正确选择防护措施，延长产品使用寿命，减少经济损失是十分重要的。

1.1.2.2 自然环境试验是高新武器装备发展的倍增器

世界各国都在大力发展高新武器。自然环境是武器装备面临的主要环境，高新武器质量的标志，不仅是战技指标优良，还需要具备良好的环境适应性和可靠性。武器装备设计的战技指标再高，若不能适应环境，指标就无法实现，战斗力就不能充分发挥。《美国国防部核心技术计划》中，把“环境影响”列为 11 项核心技术领域之一，并认为它覆盖了 21 项关键技术，对武器系统产生全面影响。作为 2005 年的技术目标，需对全球大气、海洋、地球和空间环境在自然和平台环境两方面的影响进行研究、建模和仿真。由此可见，自然环境试验在高新武器发展中的重要性，它对提高武器装备水平具有重要的作用和意义。可以说自然环境试验工作已成为高新武器发展的倍增器，高新武器发展迫切需要相应的自然环境试验和技术提供支撑。

1.1.2.3 自然环境试验是国家经济发展必不可少的技术基础

材料和产品的环境适应性，由于各国自然环境条件各不相同，差异甚大，从而决定了材料和产品的环境适应性数据和规律，只能靠自己开展自然环境试验来积累和掌握，不可能从国外引进，即使引进，也不一定完全适用，特别是有关国防工业产品的自然环境适应性方面的数据更是不可能引进。因此，自然环境试验是国家经济发展、基本建设和国防建设所必不可少的基础学科。它目前已在多方面产生和发挥了积极的作用，决定了其独特的地位，它可作为：

- (1) 国家宏观决策的依据；
- (2) 科技创新、技术进步和社会发展的源泉，具有长期性、原始性和系统性；
- (3) 新材料、新产品、新工艺开发的依据；

- (4) 推动新兴学科的建立和发展;
- (5) 提高产品质量和市场竞争力的重要手段。

1.2 军用环境试验技术的现状及发展趋势

军用环境试验在二战以后, 获得了快速的发展。以美国为首的各工业发达国家认真总结了经验教训, 认识到环境试验对获得先进而精良军事装备的重要性, 开始重视军用装备的环境试验工作, 相继设立了专门的管理机构, 建立各种用途的试验场站或中心, 并投入大量的人力、物力和资金进行环境试验技术的开发。海湾战争的结局表明, 提高军用装备的环境适应性和可靠性, 在现代高新技术战争中, 对战争的胜负起着举足轻重的作用。

1.2.1 自然环境试验技术的进展

1.2.1.1 技术发展总趋势

自然环境试验发展已有上百年的历史。早期经典的试验方法, 主要是把材料和产品暴露或贮存在各类自然环境中, 考核其环境适应性。这种方法接近使用实际, 试验结果准确可靠。但试验周期长, 难以跟上材料和产品的发展。

随着高新技术的发展, 自然环境试验技术发展迅速, 打破原来经典的方法, 将自然环境试验、室内模拟加速试验和实验室研究结合起来, 且以研究为核心, 来掌握各种环境的性质、特征和变化规律, 分析各种环境对材料和产品造成的各种影响和危害, 以寻求提高产品环境适应性的最佳途径。在技术上开发和强化了环境自动监控、原位测试、性能定量化和自然环境加速试验; 环境条件的分类分级、相关性评价、预测预报和寿命评估、环境与产品失效分析、环境作用机理研究; 数据库的开发和应用、数据处理和数学模型化及计算机应用和管理与软件开发等技术领域, 使自然环境试验与研究更加科学, 周期大大缩短, 更突出了自然环境试验的优势。

随着人们对自然环境试验重要性认识的提高和型号工程管理的科学化, 自然环境试验正在贯穿于军用装备设计、研制、生产和采购的全过程。在设计与研制阶段已从“事后加固”发展到“事前预防”, 试验与研究紧密和型号研制同步。在型号研制的初期, 根据自然环境试验与研究的成果, 把已积累的数据和掌握的规律及信息提供给研制方和使用方, 并参与前期论证与设计的环境分析与评价。型号预研采用的新工艺、新材料、新元器件投入自然环境试验与研究, 通过短期结果, 预测其环境适应性和提供相关信息, 作为型号防护设计时采用的依据。型号定型后再经过自然环境试验, 验证其可靠性, 且积累数据和掌握规律, 作为型号改进和下一代型号设计和研制的依据。其他阶段视其需要进行相关的自然环境试验与研究。这一研发路线已逐步为各国所接受, 自然环境试验已形成跨国、跨地区联合试验网络, 试验方法向国际化和标准化方向发展。

1.2.1.2 相关技术的进展和发展趋势

(1) 自然环境试验样品和试验形式多样化

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(包括新金属材料、高分子材料、复合材料)和涂装试片、试件为主, 环境试验主要围绕国防工业和尖端科技而进行, 少数传统材料的定期自然暴露试验仍在进行。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。

为缩短自然环境试验时间和提高试验结果的可靠性,使之更接近于实际需要,目前试验样品和试验形式向多样化方向发展。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。目前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,来加速或模拟武器装备在实际使用状态及受力状态。为适应现代战争,保证在战争中取得胜利,目前世界各国对武器装备的环境适应性和可靠性提出了更高要求,先后在气候环境最严酷的地区进行环境试验,以便弄清与掌握作战环境下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。

(2) 环境监控技术和检测评价技术的改进与提高

开发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。对环境的检测与监控比原来有较大改进,已发展到用电脑控制,采用自动测试仪器连续监测。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。前者采用钢、锌、铜、铝等标准金属材料在各种大气环境条件下进行试验,通过年腐蚀率大小来比较各种环境的大气腐蚀性的大小,国际标准化组织(ISO)金属和合金腐蚀技术委员会已建立了相关评定标准。后者用 ACM(大气腐蚀测定仪)测定表面湿润时间,因为金属的腐蚀是电化学腐蚀,腐蚀大小与 TOW(润湿时间)直接相关,因此测定 TOW 十分重要。国外已制定出 TOW 的测试标准(ASTM G84),现已为许多环境试验场(站)普遍采用,我国已研制成功测试仪器,正在全国推广应用。

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。目前对样品的检测内容主要是根据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,其他参数大都可以采用仪器进行量化的测量。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测方法。

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研究和产品失效分析,如采用 X 衍射仪与能谱仪连用测量样品表面腐蚀产物及各种元素成分、含量和分布,可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表面结构或断面宏观与微观的形貌和特征;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。

(3) 重视基础研究,突破相关新技术

国内外对环境试验的基础研究非常重视。如采用环境应力筛选试验对电子产品进行筛选,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;研究采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;开展区域环境特征调查,以用于环境严酷度分类分级等。