

浅谈装备环境适应性与可靠性

周堃¹, 钱翰博², 刘伟³, 周漪¹, 王津梅¹

(1. 中国兵器工业第五九研究所, 重庆 400039; 2. 国家国防科技工业局协作配套中心, 北京 100081;
3. 中国航天标准化研究所, 北京 100071)

摘要: 分析了环境适应性与可靠性定义中有关时间、环境、能力的内涵, 对比了二者的联系与区别。介绍了目前对这2种质量特性进行度量的现状。阐述了环境试验与可靠性试验的内涵, 发展历程和主要方法。从而总体描述了装备环境适应性与可靠性的关系。

关键词: 装备; 环境适应性; 可靠性

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2014.01.014

中图分类号: TJ01 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)01-0072-05

Discussion on Environmental Worthiness and Reliability of Materiel

ZHOU Kun¹, QIAN Han-bo², LIU Wei³, ZHOU Yi¹, WANG Jin-mei¹

(1. No.59 Research Institute of China Ordnance Industry, Chongqing 400039, China; 2. Coordination and Association Center of SASTIND, Beijing 100081, China; 3. China Astronautics Standards Institute, Beijing 100071, China)

ABSTRACT: The environmental worthiness and reliability are important quality characteristics of materiel, which directly determine the materiel function would exert normally or not. The connotation of time, environment, and capability in their definition were analysed. The relationship and difference of their definition were contrasted. The status of measurements for these two quality characteristics was introduced. The connotation, development and primary methods of environmental test and reliability test were explained. Thereby the relation between environmental worthiness and reliability was presented.

KEY WORDS: materiel; environmental worthiness; reliability

质量是装备建设的一个永恒主题。没有过硬的质量, 就不会有决战决胜的高新技术武器装备, 也不会有“不战而屈人之兵”的国之重器。装备质量特性

包括专用质量特性和通用质量特性两部分, 是装备质量水平的直接体现。专用质量特性是指装备的战术技术性能。通用质量特性是指保证各类装备战术

收稿日期: 2013-08-22; 修订日期: 2013-10-29

Received: 2013-08-22; Revised: 2013-10-29

作者简介: 周堃(1977-), 男, 河北青县人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事环境试验与观测专业研究。

Biography: ZHOU Kun (1977-), Male, from Qingxian, Hebei, Master, Senior Engineer, Research focus: enciromental test and observation field.

技术性能有效发挥的一组共有技术特性,包括可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性、环境适应性等^[1]。其中可靠性是指装备在规定的时间内和规定的条件下,完成规定功能的能力^[2],即装备无故障工作的能力;环境适应性是指装备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^[3],即装备适应各种环境的能力。装备环境适应性与可靠性之间有联系,也有区别。

1 二者定义的比较

1.1 时间因素

根据可靠性的定义,时间是描述可靠性的一个关键因素。时间在可靠性的定义中是一个变量,任何关于可靠性的量化表征都需要明确与之对应的“规定的时间”。不同时间内的可靠性有不同的内涵,如贮存可靠性、使用可靠性等。时间甚至可以直接作为度量可靠性的指标,如平均无故障时间、首次返修期等。

根据环境适应性的定义,装备寿命期一旦确定,其环境适应性对应的时间就已固定,时间在环境适应性的定义中是一个恒量,因此环境适应性是针对装备寿命期而言的。虽然在试验研究过程中可以分阶段表述环境适应性,但最终表述装备环境适应性时必须针对寿命期,而且时间不是直接表征环境适应性的度量,在环境适应性的定义中它是限制环境的一个条件。即要求环境作用必须是寿命期预计可能遇到的。

1.2 环境因素

可靠性的定义中没有明确提出“环境”,而是以内涵更广的“规定的条件”覆盖了环境的概念。规定的条件可以是环境条件,也可以是工作条件,或其他条件。目前验证和评价装备可靠性的各种试验方法主要涉及4类条件。

- 1)气候条件:包括温度、湿度、太阳辐射等;
- 2)生物及化学条件:包括盐雾、霉菌、二氧化硫硫等;
- 3)力学条件:包括振动、冲击、摇摆等;

4)综合条件:如温度与湿度,温度与压力,温度、湿度与振动等。

环境适应性的定义中强调了环境的作用,而且明确是寿命期预计可能遇到的各种环境作用,比可靠性定义中“规定的条件”更具体、更明确。装备在寿命期预计可能遇到的环境可以分为两类,自然环境和诱发环境。自然环境是客观存在的,不会因装备种类的不同而不同,自然环境主要涉及气候条件,生物及化学条件,以及不包括力学条件的综合条件。诱发环境由装备的工作状态决定,具有很大的随机性,不同种类装备的诱发环境具有不同的特点。力学条件是诱发环境的重要因素,诱发环境通常是一种包括力学条件的综合条件,复杂多变。

1.3 能力因素

可靠性的本质是装备的一种能力,即“完成规定功能的能力”。装备是否能够完成规定的功能通常是成败型问题,结论只有完成或未能完成。环境适应性的本质也是装备的一种能力,即“能实现其所有预定功能、性能和(或)不被破坏的能力”。环境适应性强调实现所有预定功能、性能,装备论证设计阶段未预定的功能、性能,不在环境适应性定义范畴内。环境适应性定义中“和(或)不被破坏的能力”表达了耐受性的含义,即在各种环境作用下,装备保持完成所有预定功能、性能的能力。

1.4 二者关系

仅从定义来看,可靠性内涵更广泛,环境适应性更具体、更明确。如果将可靠性定义中“规定的时间”确定为寿命期,“规定的条件”确定为预计可能遇到的各种环境的作用,“规定功能”确定为所有的预定功能、性能,此时可靠性与环境适应性内涵一致。可靠性无法完全包含环境适应性,因为环境适应性定义中“和(或)不被破坏的能力”是可靠性定义中未涉及的内涵。

2 二者度量的比较

目前可靠性是可以直接度量的,并且可用多种量化指标进行度量。常用的包括可靠度、失效率、平均无故障工作时间等。可靠度是装备在规定条件和

规定时间内完成规定功能的概率,是时间的函数。失效率是指工作到 t 时刻的产品,在该时刻后单位时间内发生故障的概率,失效率也是时间的函数。平均无故障工作时间又可称为平均寿命,对非维修产品称平均寿命,对于可维修产品称平均无故障工作时间或平均故障间隔时间。无论采用上述哪种量化指标度量可靠性,掌握足够的产品故障或失效信息都是前提条件。对于长寿命、高可靠、价格昂贵的产品,获得其故障或失效信息是非常困难的,由此导致这类产品的可靠性度量也非常困难。

目前没有可用来直接度量环境适应性的量化指标。通常根据产品某些预定功能、性能下降的程度来描述环境适应性的优劣,而不是像定义中要求的那样涉及所有的预定功能、性能,原因是这在工程上无法实现。虽然环境适应性在定义中用“寿命期”简化了时间的概念,但是在工程实践上,用户通常都会关心在多长时间,产品具有能实现所有预定功能、性能和(或)不被破坏的能力。显然,此时时间也可以用来描述环境适应性的优劣。

3 环境试验与可靠性试验

3.1 内涵

全国科学技术名词审定委员会审定公布的环境试验的定义是:把试样暴露到自然或人工环境中,从而对它们实际上会遇到在使用、运输、储存、生产等条件下的行为性能等做出评价的一套操作程序。环境试验是一种试验方法,核心是掌握环境对产品造成的影响,可以用来验证评价环境对产品可靠性的影响。

可靠性试验是对产品进行可靠性调查、分析和评价的一种手段,可以采用各种试验方法,包括环境试验、寿命试验、筛选试验等。可靠性试验的本质是针对产品可靠性开展的试验,核心是掌握产品的可靠性信息。

显然,环境试验与可靠性试验不是同类内涵的试验,不能进行简单对比。许多文献分析了环境试验与可靠性试验的关系^[4-6],实质上讨论的是环境适应性试验和可靠性试验的关系。顾名思义,环境适应性试验是针对产品环境适应性开展的试验,其范

围虽然与环境试验一致,但环境试验还可以用来评价可靠性、贮存寿命等产品特性。

3.2 环境试验

环境对产品的影响普遍存在,并有可能导致故障。美国曾对机载电子设备全年故障进行剖析,发现因环境因素引起的故障占52%^[7]。环境试验是控制装备环境影响的有效手段,包括自然环境试验和实验室环境试验。

3.2.1 发展历程

有文献记载的环境试验最早始于1839年,当时英国的R Mallet进行了金属样片的户外暴露试验^[8]。二战以后,各国更加重视装备环境试验,相继设立专业计划研究环境对装备的影响。《美国国防部国防技术领域计划》将“环境影响”列为第11项关键技术,深入研究环境对装备的影响^[9]。20世纪60年代,世界各国形成了自然环境试验和实验室环境试验综合运用技术路线。20世纪70年代,环境试验进入成长期,新方法、新设备、新标准不断涌现。20世纪80年代以后,逐步形成环境工程概念,开始用系统工程的方法控制装备全寿命周期的环境影响问题。

我国的环境试验始于20世纪50年代,当时航空、兵器、船舶等行业陆续建立了各自的自然环境试验站和环境实验室。直至20世纪80年代前,我国环境试验处于行业分割、站网零散、手段落后的状态。20世纪90年代后,在国防科工委的领导下,我国环境试验取得快速发展。目前国防科技工业已经建立了覆盖我国7大气候区域、3大海域的自然环境试验站网,各试验站气候特点见表1。拥有具备各种环境试验能力的实验室150多个。

3.2.2 自然环境试验

自然环境试验是指将产品暴露于自然环境中,确定自然环境对其影响的试验。根据环境类型的不同,自然环境试验可以分为大气自然环境试验、海水自然环境试验和土壤自然环境试验。自然环境试验过程中各种环境因素综合作用于试样,试验结果能够真实反映现实环境对产品的影响,但是由于自然环境条件往往比较温和,所以环境对产品的影响需要很长时间才能表现出来。

3.2.3 实验室环境试验

实验室环境试验是在实验室内按规定的环境条

表1 国防科技工业自然环境试验站网

Table 1 The nature weathering test field network of science, technology and industry for National Defense

试验站	试验站类型	地理位置	环境特征
万宁站	大气站	热带海洋	高温高湿高盐雾
拉萨站	大气站	高原	低气压高辐射
敦煌站	大气站	沙漠	干热少雨
漠河站	大气站	寒温带	高寒
江津站	大气站	亚热带工业	湿热酸雨
西双版纳站	大气站	热带雨林	湿热霉菌
北京站	大气站	温带半乡村	暖温
青岛站	海水站	温带黄海	暖温海洋
厦门站	海水站	亚热带东海	亚湿热海洋
三亚站	海水站	热带南海	湿热海洋

件和负载条件进行的试验。实验室环境试验的优点是其环境应力、负载条件和电应力的施加都可以严格地控制在规定的容差范围内,保证整个试验在受控的条件下进行,从而保证试验的重现性和试验结果的可比性。实验室环境试验的缺点是由于受到试验设备能力和费用的限制,其试验对象限于一些体积、质量较小的装备,且不可能进行非常真实的综合环境模拟和装备间接口的模拟,使试验效果受到限制。此外,有些环境如生物环境很难进行模拟。

3.3 可靠性试验

3.3.1 发展历程

20世纪下半叶,装备可靠性得到广泛重视,在原有环境试验的基础上,形成了专门用于可靠性评估的试验方法^[10]。随着武器装备质量建设的快速发展,可靠性试验已成为产品研制过程中的重要环节,是提高和考核产品可靠性的重要手段。

3.3.2 分类

可靠性试验的分类方法很多。按环境条件类型可分为气候环境试验、力学环境试验和综合环境试验;按抽样方式可分为抽样试验和全数试验;按试验结束方式可分为截尾试验和序贯试验。在各种分类方法中,按试验目的进行分类的方法使用最为广泛,

如要包括以下方法。

1)环境应力筛选(ESS)。目的是发现和排除不良零件、元器件、工艺缺陷和其他原因所造成的早期故障,从而提高产品的可靠性。环境应力筛选是产品进行可靠性增长试验、可靠性鉴定和验收试验的前提。

2)可靠性增长试验(RGT)。在产品研制阶段通过试验暴露产品所存在的问题,并进行故障分析,继而采取改进措施和再试验,使产品的可靠性得到增长,并满足或超出预定的可靠性要求。

3)可靠性鉴定试验(RQT)。为了确定产品在规定的环境及工作条件下是否达到设计规定的可靠性要求而进行的试验。可靠性鉴定试验用于设计定型、生产定型、主要设计或工艺变更后的鉴定。

4)可靠性验收试验(RAT)。为了确定批生产或交付的产品能否在规定的环境及工作条件下满足规定的可靠性要求而进行的试验。也就是验证产品的可靠性不随生产期间的工艺、工装、工作流程、零部件质量的变化而降低。

5)可靠性测定实验(RDT)。用来测定评估产品可靠性水平而进行的试验。

4 结论

1)环境适应性和可靠性都是装备的质量特性。根据二者的定义,可靠性内涵更广泛,环境适应性更具体、更明确,但可靠性无法完全包含环境适应性的内涵。

2)目前可靠性是可以直接度量的,并且可用多种量化指标进行度量。目前没有可用来直接度量环境适应性的量化指标。

3)环境试验是一种试验方法,核心是掌握环境对产品造成的影响。可靠性试验的本质是针对产品可靠性开展的试验,核心是掌握产品的可靠性信息。环境试验与可靠性试验不是同类内涵的试验。

4)环境适应性试验是针对产品环境适应性开展的试验,其范围虽然与环境试验一致,但环境试验还可以用来评价可靠性、贮存寿命等产品特性。

参考文献:

- [1] GJB 9001B—2009, 质量管理体系要求[S].

- GJB 9001B—2009, Quality Management System Requirement
- [2] GJB 451A—2005, 可靠性维修性保障性术语[S].
GJB 451A—2005, Reliability Maintainability Indemnificatory Terms
- [3] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
GJB 4239—2001, Equipment Environmental Engineering General Requirements
- [4] 马志宏, 李金国. 环境试验与可靠性试验的关系及其应用[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2006, 24(6):57—61.
MA Zhihong, LI Jing-uo. Relationship between Environmental Test and Reliability Test and its Application of. [J]. Electronic Products Reliability and Environment Testing
- [5] 祝耀昌. 可靠性试验、环境试验及其相互关系浅析[J]. 环境条件与试验, 1988, Z1:5—11.
ZHU Yao-chang. Discussion on the Relationship between Environmental Test and Reliability Test [J]. Environmental Technology, 1988(Z1):5—11.
- [6] 董周战. 环境试验与可靠性试验的关系[J]. 航空兵器, 2000, 6:30—32.
DONG Zhou-zhan. Relationship between Environmental Test and Reliability Test [J]. Aero Weaponry, 2000, 6:30—32.
- [7] 宋洪波. 环境试验管理系统研究[D]. 西安:西北工业大学, 2002:1.
SONG Hong-bo. Environmental Testing management system research [D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2002:1.
- [8] 魏铭炎. 国外天然环境曝露试验概述[J]. 环境技术, 1999, 4:34—37.
WEI Ming-yan. Summary on Natural Environment Exposure Test [J]. Environmental Technology, 1999, 4:34—37.
- [9] 罗天元, 张伦武. 钢制焊接药筒长贮性能研究[J]. 兵工学报, 2004, 25(1):26—29.
LUO Tian-yuan, ZHANG Lun-wu. Research on the Long-stored Property of Steel Welding Cartridge [J]. Introducing Journal of China Ordnance, 2004, 25(1):26—29.
- [10] 王德言, 张建国. 环境试验与可靠性试验技术的发展[J]. 装备环境工程, 2005, 2(5):10—13.
WANG De-yan, ZHANG Jian-guo. Development of Environmental Test and Reliability Test Techniques [J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(5):10—13.

(上接第71页)

- CHEN Xue-chu. Equipment Systems Engineering [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2008:12—20.
- [4] 高善清. 武器装备论证理论与系统分析[M]. 北京:兵器工业出版社, 2001:1—30.
GAO Shan-qing. Demonstration Theory and Systems Analysis of Weapon and Equipment [M]. Beijing: Ordnance Industry Press, 2001:1—30.
- [5] 庞志兵. 防空兵人—机—环境系统工程[D]. 郑州:防空兵学院, 1999.
PANG Zhi-bing. Man-machine-environment Systems Engineering of Air Defense Forces [D]. Zhengzhou: Air Defense Forces Academy, 1999.
- [6] 段楠楠, 赵英俊. 地空导弹装备环境适应性研究与分析[J]. 装备环境工程, 2009, 6(6):88—91.
DUAN Nan-nan, ZHAO Ying-jun. Surface to Air Missile Equipment Research and Analysis of Environmental Adaptability [J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(6):88—91.
- [7] 孙立军, 蔡汝山. 高原环境对电工电子产品的影响及防护[J]. 可靠性与环境实验技术评价, 2010, 6(5):20—22.
SUN Li-jun, CAI Ru-shan. The Influence of Plateau Environment on the Electrical and Electronic Products and Protective [J]. Reliability and Environmental Experimental Technology Assessment, 2010, 6(5):20—22.
- [8] 赵世宜, 胡立成, 吴娟. 低气压环境对军用电工电子产品的影响[J]. 装备环境工程, 2009, 6(5):12—20.
ZHAO Shi-yi, HU Li-cheng, WU Juan. Low Pressure Environment on the Influence of Military Electrical and Electronic Products [J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(5):12—20.