装备研制(改造)中加强环境试验与可靠性试验

赵莹雪[1]，刘晖[2]
（1. 中国兵器装备研究院，北京 100089；2. 中冶建筑研究总院有限公司，北京 100088）

摘要：由于我国兵器研制(改造)项目要求系统整体水平提升度高、装备适用范围广、寿命周期长，故应加倍重视环境试验与可靠性试验，结合试验数据进行可靠性设计改进，从而切实提高装备质量。武器系统改造项目从样机阶段开始应紧密结合环境试验，在研制过程中采取各种试验，较好地完成“短平快”的装备研制改造任务。设计初期开展环境试验与可靠性试验是装备研制提高可靠性的一个重要趋势。

关键词：环境试验；可靠性试验；装备改造；试验设计
中图分类号：V216.5；V216.6　　**文献标识码：**A
文章编号：1672－9242(2013)02－0075－04

Intensifying Environmental Test and Reliability Test in Equipment Development

ZHAO Ying-xue[1]，*LIU Hui*[2]
（1. China South Industries Research Academy, Beijing 100089, China；
2. Central Research Institute of Building and Construction, Beijing 100088, China）

Abstract: According to the requirements of ordnance equipment development, which are large improvement degree, wide applicable range, long service life, it was put forward that more attention should be paid on environmental test and reliability test for basic data of improvement; environmental test should carry out earlier in the phase of prototype and proper and effective application of environmental test and reliability test should carry out in the development process to fulfill the quick development task. It was concluded that carrying out environmental test and reliability test in earlier design phase is an important trend of equipment development to improve equipment reliability.

Key words: environmental test; reliability test; weapon improvement; test design

纵观武器装备系统的研制发展，新装备系统研制和老装备系统改进(以下称装备改造项目)都是面向未来战争及其具体的作战使用任务，都是为未来战争准备的军队战斗力要素。由于我国现役装备的平均水平相对较低，同时国家的国防经济能力存在客观限制，我国兵器研制(改造)项目工程目标中所设置的系统整体水平提升要求都比较高，不仅表现在系统集成度和装备固有质量水平要求比之现有装备要先进许多，要求装备的使用环境适应范围比较广(我国疆土的各种地理和气候环境)，而且表现在

收稿日期：2012-10-27
作者简介：赵莹雪(1976—)，女，蒙古族，辽宁沈阳人，硕士，高级工程师，主要研究方向为装备论证和系统总体研究。

兵器装备的预期寿命要求比较长(30 a以上)。

这样的系统要求会刺激新技术成果的大量应用,同时带动新技术的预先研究与开发。不利的影响是,在现阶段“小样本”研制模式(工程样机少、过程试验少、配套设备样机更少)中,这样的系统要求不仅造成技术难度和研制工作量增加,而且使管理难度增加、研制风险加大、装备可靠性难以提高。

如何在当前阶段完成“短平快”要求的装备改造项目,并保证装备系统具有良好的环境适应性和较高可靠性,必须从样机阶段即采取紧密结合环境试验的方式完成可靠性设计改进工作,加强环境试验和可靠性设计与验证试验。

1 装备改造项目可靠性特点

装备改造项目有一项重要的使命,是在技术发展的前提下大幅度提升或保证复杂战场环境下的系统可靠性。技术发展的大趋势是从电气向电子发展、模拟向数字发展、低精度向高精度发展、离散向集成发展。装备改造项目向高性能、高可靠发展,其技术难度和创新性不亚于新装备研制,同时限于经济性和寿命周期要求,可靠性设计面临的问题更为复杂。

装备改造项目可靠性设计必须达到两个目标:提高武器系统的作战效能和减少用户的费用。装备改造项目对可靠性的设计和考核要求与装备研制项目一致,其可靠性设计应在改造研制后,使集成的武器系统在规定寿命周期内与作战使用条件下,具备完成规定作战任务的能力。装备改造项目往往采取嵌入并集成大量电子元器件及电子设备的方式进行设计,这就决定了装备改造项目的可靠性至少与其战术技术性能指标一样重要(信息化作战中这一点尤为突出)。因此,近年来装备改造项目的可靠性考核逐步成为装备定型验收考核的重要内容。现代作战的武器系统为提高自动化及网络化作战功能,各类功能元器件数量倍增,电子元器件一旦有一件失效,连锁反应就可能导致整个装备或系统出现故障,战时将造成经济甚至生命损失。在装备改造项目研制中,通过提高电子元器件和电子设备集成的可靠性,从而提高装备和武器系统的可靠性显得越来越重要。

可靠性试验[1]作为提高可靠性设计水平的手段,包括结合分析评价等方式进行的各类试验。可靠性源于设计、制造,同时源于管理,而且必须通过严格的可靠性试验进行验证和改进。从样机设计阶段结合环境试验和可靠性试验,应着力开展元器件和设备级试验,查找设计和试制工艺等各个环节在环境试验中可能出现的问题;在分系统集成前、后分别开展可靠性试验,通过故障分析,确认故障模式及其发生原因,针对性地采取纠正措施,切实有效地保证装备改造项目达到可靠性要求。

进行现场和模拟作战环境下的可靠性试验,可进一步完整地评价武器系统在规定作战条件及时间内所能够完成作战任务的能力。在此环节中,获取的可靠性验证数据最为关键,对提升装备性能和换代创新等研制工作具有重要参考价值。装备改造项目以电子设备集成为主,其可靠性变化遵循电子设备的可靠性变化规律[2],系统失效一般为指数分布。若工作时间为 t,可靠度为 $R(t)$,$R(t)=\exp(-\lambda t)=\exp(-t/MTBF)$,其中 $MTBF$ 为平均无故障时间。武器系统交付使用前,$t\approx 0$,正常工作状态 $R(0)=1$。任何武器系统有效工作时间都是有限的,当装备工作时间 $t\to\infty$ 时,武器系统的可靠度 $R(t)|_{t\to\infty}=0$。

2 装备改造项目结合环境试验并行设计

装备改造项目的可靠性研究与设计实际上是研究故障并改进的过程,度量任务可靠性时仅考虑那些影响任务完成的故障,即功能故障;度量基本可靠性要考虑所有引起维修的故障,此类故障未必都影响装备任务的完成[3]。通过某武器系统的可靠性工作和不断研究,可知结合环境试验、并行完善设计是加强装备改造项目可靠性的重要途径。在系统可靠性工作开展之初即要求从分系统初样设计抓起,注重电子元器件筛选和采购验收,早期进行关重元器件和设备(特别是自研单体)等环境试验和检测,从故障源头排除缺陷。

实践表明,尽早开展环境试验使可靠性设计获得更多有效参数,从而实现装备系统的可靠性设计和改善有的放矢,省时高效。

我国装备研制过程一般严格遵循GJB 4239[4]和GJB 450A[5],对各类环境和装备可靠性试验的定义和用途均有明确规定。然而,由于靶场试验条件不足、

外场及模拟环境试验难度大且周期长,特别是常规武器的装备研制和改造经费投入不足等,多年来我国环境可靠性试验的分类和进行试验的时机均缺少参数、准则和强制规范。有些承研单位只是在武器系统设计定型时才开展某几项环境可靠性试验,有些虽然在装备研制初期开展了部分环境可靠性试验,但相对零散且大多仅仅是参照某些类似装备的研制经验。

GJB 4239《装备环境工程通用要求》规定:装备研制阶段中应该进行的环境试验包括环境适应性研制试验(工作项目402)、环境响应特性调查试验(工作项目403)。GJB 450A《装备可靠性工作通用要求》规定了可靠性试验项目共7项,分别针对不同阶段的不同目的,包括环境应力筛选(工作项目401)、可靠性研制试验(工作项目402)、可靠性增长试验(工作项目403)、可靠性鉴定试验(工作项目404)、可靠性验收试验(工作项目405)、可靠性分析评价(工作项目406)、寿命试验(工作项目407)。前3项是工程试验,强调了环境试验的作用和意义;可靠性研制试验是真正以提高产品固有可靠性水平为目的的项目,这一工作项目是GJB 450《装备研制和生产的可靠性通用大纲》修订为GJB 450A《装备可靠性工作通用要求》时增加的项目;可靠性研制试验在研制阶段应尽早实施,工作重点是关重件,尤其是新技术和新器件含量较高的系统。

考虑到装备改造项目的特点,无法在研制前期完全实施标准要求的试验项目,可以加强初样和正样鉴定过程的环境试验,结合环境试验条件进行分系统故障分析和排查;严格做到加入系统的器件全部具有寿命和可靠性的基本参数,确保系统故障分析准确、有效。

3　环境试验与可靠性试验综合设计

设计评价阶段的试验包括装备改造项目在设计研制阶段早期所应进行的工程分析、环境试验和可靠性试验。该阶段试验及其获取的有效数据对于武器系统的环境适应能力和可靠性水平具有极其重要的作用。经验表明,通过高低温、淋雨、冲击振动等环境试验,及时发现单体和分系统存在的设计缺陷及工艺问题,可有效提高系统联调、联试及系统集成的可靠性。

设计验证试验一般指设计定型装备或生产定型装备所进行的代表性产品性能验证的试验。鉴于多数评价性试验已经完成,设计验证试验着重验证装备研制阶段的准确性及其置信度。设计验证试验依据GJB 899[6]和GJB l50[7]两个标准,装备改造项目的设计定型和生产定型都要求进行可靠性鉴定和环境鉴定试验。结合装备改造项目的特点,可进行综合试验设计。

样机设计阶段重点完成分系统环境适应性试验和连续工作时间、可靠性增长试验;样机鉴定阶段重点完成分系统验收和集成,开展系统环境试验、电磁兼容性试验和可靠性鉴定试验;设计定型试验中应注重环境适应性试验与可靠性统计试验相结合,保证试验高效有序。实践表明,综合试验设计对每一次、每一项试验的目标、方案、测试与判别适用标准、结果处理、再设计措施等进行设计和规划,可以达到用最少的费用、最短的时间,获取最多信息和最好结果的目的。

可靠性验证过程一般采用统计试验方案[1]。*MTBF*假设值采用上限值θ_0和下限值θ_1(分别指*MTBF*可以接收和不可接收值),其鉴别比$d=\theta_0/\theta_1$(鉴别比通常取值1.5,2或3,d越小所获得的试验信息越多)。装备改造项目中,生产方风险α和使用方风险β选取0.1~0.3(0.3为高风险)。在某装备改造项目中,按照GJB 899—90《可靠性鉴定和验收试验》要求,分析了该武器系统分别采取定时截尾和短时高风险试验方案的优劣,在设计可靠性统计验证方案时,采用了标准型试验方案。

装备改造项目可以根据项目实际需要选取规范方案。例如,α,β各取0.3的试验方案,验证试验的总试验时间应低于θ_1的3.7倍;根据要求(β=30%,总试验时间$t\leqslant 3.7\ \theta_1$),可选择GJB 899中20号试验方案,对应判决是故障数为2则可接收,故障数为3则拒收。具体试验过程中,试验总时间(包含高昂的试验成本)与试验验证的风险(包含生产方和使用方的双重风险)矛盾突出。按照标准要求,如果试验进行到3.7 θ_1时所发生的责任故障次数小于或等于2时,则接收该设备。在装备研制(改造)的设计初期如果加强了环境试验与可靠性试验,既可大幅度降低试验失败的风险,又可以在可靠性验证方案的选

取中游刃有余。

4 结语

为了保证作战装备在复杂战场环境下效能发挥的可靠性，必须结合装备研制（改造）项目的具体实际情况制定可靠性大纲和可靠性试验方案等，通过制定质量控制文件并加强落实和保证各类试验实施，由可靠性工作组协调监督并设计、实施可靠性试验，才能切实提高装备改造项目的可靠性水平。

装备研制过程中所有的试验是相互关联的，试验的用途和阶段目标应特别重视规范并视情况剪裁，既要免除冗余工作，避免重复试验，又能及时准确地获取必要的试验数据和关键的设计改进信息。

随着以信息技术为核心的高新技术在军事领域广泛应用，装备系统对电子设备的产品质量和可靠性指标要求越来越高，设计初期开展环境试验与可靠性试验是装备研制可靠性提高的一个重要趋势。

参考文献：

[1] 杨为民. 可靠性·维修性·保障性总论[M]. 北京：国防工业出版社, 1995：86—107.

[2] 卢昆祥. 电子产品可靠性试验[M]. 天津：天津科技出版社，1987：4—11.

[3] 杨葆新. 兵器装备工程研制参考[M]. 北京：轻兵器杂志社，2007：46—47.

[4] GJB 4239—2001，装备环境工程通用要求[S].

[5] GJB 450A—2004，装备可靠性通用要求[S].

[6] GJB 899A—2009，可靠性鉴定和验收试验[S].

[7] GJB150—2009，军用装备实验室环境试验方法[S].

（上接第 74 页）

[20] 李桃安，毛倩瑾，郑付营，等. 镀银铜粉电磁屏蔽水性涂料的制备及性能研究[J]. 化学工业与工程，2011，28（3）：9—13.

[21] 毛倩瑾，于彩霞，周美玲. Cu/Ag 复合电磁屏蔽涂料的研究[J]. 涂料工业，2004，34（4）：8—10.

[22] 李正莉，刘祥萱，张有智. 防沉剂对铜系导电涂料性能的影响[J]. 现代涂料与涂装，2004（1）：40—43.

[23] 黄婉秋，管登高，陈家钊，等. 镍基电磁波屏蔽涂料在 EMC 中的应用[J]. 中原工学院学报，2003，14（1）：102—104.

[24] 管登高，黄婉秋，蒋渝，等. 镍基电磁波屏蔽复合涂料制备及在 EMC 中的工程应用[J]. 电子元件与材料，2004，23（2）：41—43.

[25] 崔升，沈晓冬，袁林生，等. 电磁屏蔽和吸波材料的研究进展[J]. 电子元件与材料，2005，24（1）：57—61.

[26] 王进美，朱长纯，李毅，等. 纳米管状聚苯胺金属镀覆及抗电磁波性能[J]. 功能材料，2005，36（12）：1938—1940.

[27] 王进美，朱长纯. 碳纳米管的镍铜复合金属镀层及其抗电磁波性能[J]. 复合材料学报，2005，22（6）：54—58.

[28] 刘继光，陈奎儒. PP 化学镀 Ni–Cu–P 导电粉末及其涂覆 ABS 板电磁屏蔽性能研究[J]. 工程塑料应用，2006，34（8）：54—56.

[29] 黄婉霞，李洪武，田守卫，等. 水乳环保型镍基电磁波屏蔽涂料的性能与应用[C]// 第十四届全国电磁兼容学术会议论文集. 2004：159—162.（余不详）

[30] 南涛. 抗静电涂料体系在机载雷达罩表面的防护技术[C]// 第十五届可靠性学术年会论文集. 2010：283—286.（余不详）

[31] 刘冬梅，程振炎，刘文慧. 抗静电涂料的应用及进展[J]. 上海涂料，2007，46（9）：35—37.

[32] 孙德强，吴忠国. 雷达兵器腐蚀与防护技术的发展状况[J]. 材料保护，2003，36（10）：42—44.

[33] 南方，林安，甘复兴，等. 耐高温防腐涂料的研制[J]. 装备环境工程，2006，3（2）：17—22.

[34] 陈中华，苏国徽，马丽丽. 金属用水性隔热防腐涂料的研制[J]. 装备环境工程，2009，6（1）：21—26.

[35] 胡飞燕. 电磁屏蔽涂料研究进展[J]. 涂料综述，2007，28（7）：11—13.