

# 火炮机械系统可靠性强化试验方案探讨

杨艳峰<sup>1,2</sup>, 郑坚<sup>2</sup>, 狄长春<sup>2</sup>, 王东<sup>3</sup>

(1. 95856部队, 南京 210028;  
2. 军械工程学院, 石家庄 050003; 3. 总参陆航研究所, 北京 101121)

**摘要:** **目的** 尝试将可靠性强化试验理论引入其可靠性研究中,提高火炮机械系统的可靠性。**方法** 首先分析可靠性强化试验的发展动态及其应用于机械系统的必要性,而后在对其理论依据进行分析的基础上,明确火炮机械系统可靠性强化试验研究的目的。**结果** 依据火炮机械系统的主要失效模式,制定了包含机械工作原理分析等7个步骤的可靠性强化试验方案,详细分析了各环节的内容及作用。**结论** 研究结果为可靠性强化试验在火炮机械系统中的应用提供一定理论支撑。

**关键词:** 火炮; 机械系统; 可靠性强化试验

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2016.02.024

**中图分类号:** TJ303; TB302.3      **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2016)02-0134-05

## Discussion on Reliability Enhancement Test Scheme of Gun Mechanical Systems

YANG Yan-feng<sup>1,2</sup>, ZHENG Jian<sup>2</sup>, DI Chang-chun<sup>2</sup>, WANG Dong<sup>3</sup>

(1. The Unit 95856, Nanjing 210028, China; 2. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China;  
3. Army of Aviation Institute, Beijing 101121, China)

**ABSTRACT: Objective** To enhance the reliability of the gun mechanical systems by introducing the theory of reliability enhancement test into its reliability research. **Methods** At first, the development dynamics of reliability enhancement test and its necessity of application in gun mechanical systems were analyzed. Then based on analysis of theoretical evidence for reliability enhancement test technologies, the research purpose of reliability enhancement test on gun mechanical systems was clarified. **Results** According to the major failure modes of gun mechanical system, a reliability enhancement test scheme including 7 steps such as analysis of mechanical working principle etc was instituted. The content and function of each step in the scheme were analyzed in detail. **Conclusion** The research results could provide theoretical support for application of reliability enhancement test in gun mechanical systems.

**KEY WORDS:** gun; mechanical system; reliability enhancement test

可靠性通常指设备或系统在其寿命期内,在规定的条件下和规定时间内完成规定任务的能力,而可靠性

收稿日期: 2015-09-18; 修订日期: 2015-10-21

Received: 2015-09-18; Revised: 2015-10-21

作者简介: 杨艳峰(1988—),男,河北张北人,博士研究生,主要研究方向为武器系统可靠性与试验技术。

**Biography:** YANG Yan-feng(1988—), Male, from Zhangbei, Hebei, Doctoral candidate, Research focus: reliability and test technology of weapon system.

试验是对产品的可靠性进行调查、分析和评价的一种手段,一般分为工程试验和统计试验两大类<sup>[1]</sup>。工程试验主要用于检测零部件的缺陷、确定其使用寿命、实现可靠性增长。统计试验的目的则是通过试验验证产品是否达到规定的可靠性要求。

由于传统可靠性试验存在周期长、效率低、耗资高等缺点,加之高可靠长寿命已经成为重大系统或装备的发展目标,因此,传统的可靠性试验技术和方法已经无法满足这一需求。从20世纪80年代末开始,加速试验技术的发展逐渐成为实现高可靠长寿命的有效手段。

可靠性强化试验(RET)作为工程试验,就是一种以激发故障为目的的新型加速应力试验技术方法,很好地弥补了传统可靠性试验技术在时间和经费上不能与系统设计、研制需求相适应的不足。与加速寿命试验不同,RET不仅仅是通过施加远大于技术条件规定的应力而快速地进行试验,而是在此基础上开展故障或失效分析,并进行优化和改进,来提高设备或系统的可靠性。

针对火炮机械零部件可靠性试验周期长、效费比低的问题,笔者从火炮机械系统RET理论方面进行探索,力图为火炮机械系统在设计或使用阶段RET的实施提供有力的理论支撑。

## 1 RET研究动态

### 1.1 国内外发展动态

目前,国外特别是美国、德国等发达国家已将RET技术广泛应用于交通、计算机、能源和军事等领域<sup>[2-3]</sup>。一方面,国外为机械、电子工业部门提供设计制造和试验服务的公司,如德国的TUV Provide Service、美国的QualMark等,将RET作为一种重要的可靠性保障服务提供给客户<sup>[4]</sup>。另一方面,国外机械、电子、航空航天等行业的产品供应商,如福特、惠普、波音等,已经高度认识到RET在其产品质量和可靠性保障方面的重要性,把RET作为发现产品设计缺陷、及时改进和优化、提高产品质量、赢得用户和市场的重要技术手段。

由于国外对我国的技术封锁,极大地限制了RET技术在国内的发展。国内在RET技术方面的研究与应用比较晚。20世纪90年代初,一些学者通过对外访问、技术交流等途径了解到国外对加速试验的重视。21世纪初国内陆续发表了一些RET技术的介绍类、跟

踪研究类文章<sup>[5-6]</sup>。近几年,随着对RET技术发展和研究的深入,国内开始了独立探索和应用<sup>[7-9]</sup>。

### 1.2 国内应用现状

目前,RET在我国从理论到试验设备再到具体的实践已经得到一定的发展,尤其是电子类产品的可靠性强化试验开展得较多<sup>[10-11]</sup>,其理论研究和应用研究均比较完善。机械类产品的可靠性强化试验开展得较少,应用不太成熟。其主要原因是机械产品的寿命分布类型复杂和失效模式多样,建立相应的加速模型,进行数值模拟和试验难度都很大,相关理论和技术还很欠缺;而且绝大多数机械产品不能使用常规的可靠性强化试验设备,如高低温循环试验箱、多自由度振动试验台等,需要研制针对机械工作原理和失效形式的可靠性强化试验设备。因此,针对不同的机械系统,研制开发相配套的可靠性强化试验设备以及试验技术具有紧迫性和必要性。

在军用领域,RET技术尚未被人们普遍了解和接受,但在装备可靠性研制试验中可以采用加速应力的方法,以缩短试验周期,降低试验费用。现有文献中,对RET在武器装备上的应用的报道相对较少。近几年针对火炮机械系统具体机构零部件也开展了RET研究的一些探索<sup>[12-14]</sup>,但还没有针对机械系统如何开展RET提出一个通用的试验方案。

## 2 RET理论依据

### 2.1 理论依据

RET技术的理论依据是故障物理学<sup>[15]</sup>,把故障和失效当作主要研究对象,通过人为施加逐渐增大的环境应力和工作应力来主动激发产品故障和暴露产品设计中的薄弱环节,从而达到对产品设计缺陷尽早发现和修正的目的。

### 2.2 试验目的分析

RET以提高系统可靠性为目的而将激发的机制引入试验中,进而缩短试验时间,快速获取系统可靠性特征。在产品设计研制过程中,RET越来越多地得到应用,不仅增加了产品的固有可靠性,而且提高了可靠性试验的效费比。对于已经设计并投入生产使用的产品来说,由于设计和定型试验阶段仅将产品是否能够实现预期功能作为试验重点,所设计的产品工作应力域度比较窄,而没有将产品在寿命周期内性能

的良好性考虑在内,由此造成的产品低可靠性直接影响产品的正常使用。因此,可以将RET应用到已经使用较长时间的产品可靠性研究中。

对于设计研制阶段火炮机械系统而言,RET的目的就是为了提高系统的固有可靠性;而对于已经定型使用的火炮来说,则是为了实现系统可靠性的增长。

### 3 火炮机械系统RET方案

火炮机械系统可靠性强化试验,就是要通过一定的技术手段来加快零部件失效进程,缩短零部件可靠性试验周期,短时间内有效激发故障或暴露零部件设计和制造的薄弱环节,为零部件设计的改进和可靠性增长提供依据。对于火炮机械系统中的装置或机构而言,从其零部件自身来说,其失效机制主要为磨损和疲劳。磨损发生在两个相互作用的零件表面,而疲劳则是由零件承受循环载荷作用不断形成的,二者皆是一个逐渐累积的过程,直到失效,即零件寿命终结。据此,在前期研究<sup>[2]</sup>的基础上,文中制定了火炮机械系统可靠性强化试验方案,如图1所示。主要包括:机械工作原理分析、机械失效机理分析、失效加速性验证、RET技术研究、RET方案的制定和实施、强化试验效果的评估、系统可靠性分析与增长研究等。

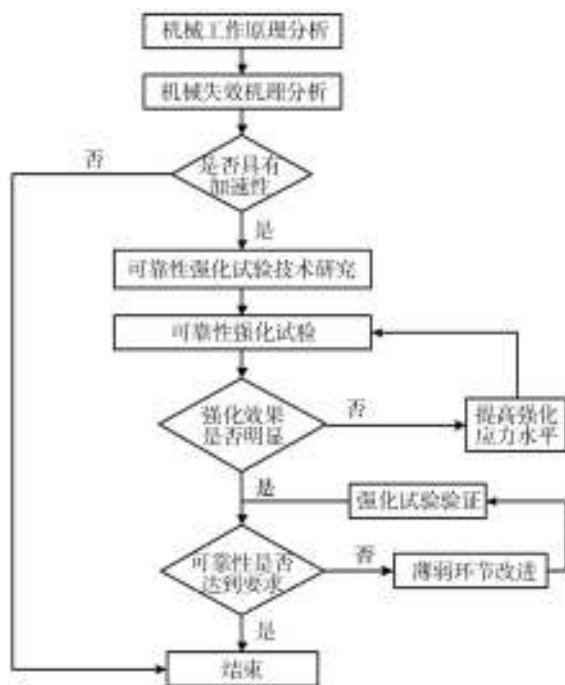


图1 火炮机械系统可靠性强化试验方案  
Fig.1 RET scheme of gun mechanical system

### 3.1 机械工作原理分析

在机械系统中,机构或零部件的工作原理可以统称为机械工作原理,是指机构或零部件在所处系统中发挥其功能和完成任务的动作过程。这一工作过程是根据使用要求、技术条件及工作环境等情况,在机械产品设计时所拟定的来实现赋予产品的功能、性能及用途。因此,对于一个机械系统,弄清机构或零部件的工作原理也就明确了机械的设计本质,这是在实施可靠性强化试验之前需要做的基础性工作。

### 3.2 机械失效机理分析

机械的失效机理指机构或零部件失去其自身功能用途的原因<sup>[6]</sup>。失效机理是导致失效的物理、化学、热力学或其他过程的表征。该过程是不同形式的应力作用在部件上造成零件局部损伤或整体性能的下降,最终导致机构甚至整个系统的功能丧失,即失效。对于火炮机械系统来说,磨损和疲劳是常见的失效机理,那么,机械失效机理分析就是要明确零部件失效的原因及其表征,为RET的可行性分析和具体试验技术研究提供依据。

### 3.3 失效加速性验证

机械失效是否具有加速性是可靠性强化试验应用于火炮机械系统的可行性直观地表征,也可以描述为火炮机械系统是否具有强化试验的可能性。对于一个失效过程不具备加速性的机械系统,也就不适合进行可靠性强化试验。在失效机理明确的前提下,要考虑系统中机械零部件的工作应力是否可以强化,强化应力的实现是否容易等,寻求并建立适用于该机械强化试验的理论依据和实现方法。

### 3.4 强化试验技术确定

在分析确定了机械失效具有加速性的前提下,需要对机械失效机理做进一步分析,研究影响机械失效的因素以及可以改变这些因素的途径和方法,进而确定相应的强化试验技术。例如,在火炮炮闩中,挡弹板轴和拨动轴是磨损导致失效的两相互作用零件,彼此之间的作用强度是决定磨损进程的因素之一,为加快失效可以从改变试验机构的作用强度上来研究确定强化试验技术。

### 3.5 强化试验实施

强化试验的实施包括试验方案的制定和具体的



实施过程。在确定了强化试验的技术后,依据研究任务制定强化试验方案的具体实施过程,主要包括以下内容。

1) 试验前准备。主要包括试验场地的确定及环境条件的标定,试验对象的选取,试验设备的检查和调试等。

2) 强化应力的施加。指强化试验应力的选取和应力水平的确定,以及施加的方式。

3) 试验数据的采集。为了研究火炮机械系统各零部件在退化失效过程中的动态特性,需要在试验中对相关指标进行测量。

### 3.6 强化试验效果评估

为评估强化应力下试验效果,引入强化系数的概念,即将强化应力下的试验结果与正常应力下的试验结果相比。对于强化系数小即强化试验效果不明显,且还未达到极限应力的,可以及时地提高强化应力水平。

对于火炮机械系统强化试验而言,强化系数计算的内容因零部件失效模式不同而有所区别。如磨损失效零部件,其表面在磨损后会出现犁沟或凹坑等磨损形式,且会产生磨屑,故可以将零部件磨损量的多少作为评估不同应力水平下强化效果的指标。疲劳失效零部件则可以将损伤量或疲劳寿命作为衡量强化效果的指标。当疲劳失效强化试验以寿命作为强化效果判别依据时,不同的机械系统零部件寿命的定义不同。如火炮行走系统,由于工作的连续性,机械零部件的寿命主要以行驶里程来衡量;而炮门系统则以机构在失效前完成的动作次数来衡量。

### 3.7 可靠性分析与增长

通过对强化试验得到的数据进行处理,分析机械零部件的失效规律,确定火炮机械系统零部件的可靠性特征。对可靠性未能满足实际工况的薄弱环节进行改进。在不改变零部件完成规定设计动作的前提下,寻求固有可靠性增加的方法和途径,如零部件制造工艺优化、外形的重新设计等。改进后再进行强化试验,验证零件可靠性是否增加,直到可靠性达到最佳状态。

火炮机械系统改进应当遵从以下原则:机械的改进必须确保所赋予任务的完成,不能改变设计任务;改进应当在经济可承受的范围之内,实现效费比最优。

总之,在火炮机械系统RET中,强化试验技术的

确定是整个试验的关键,工作原理和失效机理分析是基础,加速性验证是前提,强化试验效果评估是对试验可行性的衡量。

## 4 结语

文中分析了RET发展动态和火炮机械系统RET研究的必要性。依据RET理论,明确了火炮机械系统RET研究的目的,并结合火炮机械系统零部件失效的特点,制定了适合于火炮机械系统的RET方案。火炮机械系统RET研究有助于提高火炮装备可靠性试验水平,节约设计费用,缩短研制周期,实现系统固有可靠性增长。

### 参考文献:

- [1] 张敏. 可靠性试验与环境试验的关系[J]. 防化研究, 2007, (3):61—64.  
ZHANG Min. The Relation between Reliability Testing and Environment Testing[J]. Chemical and Biological Defense, 2007, (3):61—64.
- [2] SILVERMAN M. Summary of HALT and HASS Results at an Accelerated Reliability Test Center[C]// Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium. Santa Clara: QualMark Corporation, 1998:30—36.
- [3] JONATHAN L P, ERIK K R. Highly Accelerated Life Testing of Base-metal-electrode Ceramic Chip Capacitors[J]. Microelectronics Reliability, 2002, 42(6):815—820.
- [4] 温熙森, 陈循, 张春华, 等. 可靠性强化试验理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007.  
WEN Xi-sen, CHEN Xun, ZHANG Chun-hua, et al. Theory and Application of Reliability Enhancement Testing[M]. Beijing: Science Press, 2007.
- [5] 陈循, 陶俊勇, 张春华. 可靠性强化试验与加速寿命试验综述[J]. 国防科技大学学报, 2002, 24(4):29—32.  
CHEN Xun, TAO Jun-yong, ZHANG Chun-hua. Reliability Enhancement Testing and Accelerated Life Testing: An Introductory Review[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2002, 24(4):29—32.
- [6] 蒋培, 陈循, 张春华, 等. 可靠性强化试验技术综述[J]. 强度与环境, 2003, 30(1):59—64.  
JIANG Pei, CHEN Xun, ZHANG Chun-hua, et al. Reliability Enhancement Testing[J]. Structure & Environment Engineering, 2003, 30(1):59—64.
- [7] 姜海勋, 叶建华, 李志强. 可靠性强化试验技术在全压智能探头研制中的应用[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6):140—145.  
JIANG Hai-xun, YE Jian-hua, LI Zhi-qiang. Application of

- Reliability Enhancement Testing in the Development of Airborne Pressure Probe[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2013, 10(6): 140—145.
- [8] 张仰平,卓继志,李兴林,等. ABLT-7型带座外球面轴承寿命及可靠性强化试验机[J]. *轴承*, 2009(12): 48—50.  
ZHANG Yang-ping, ZHUO Ji-zhi, LI Xing-lin, et al. Life of ABLT-7 Insert Bearing with Housing and Reliability Enhancement Testing Machine[J]. *Bearing*, 2009(12): 48—50.
- [9] 赵帅帅,姚军. 某型滑油温度传感器的可靠性强化试验[J]. *装备环境工程*, 2012, 9(1): 34—38.  
ZHAO Shuai-shuai, YAO Jun. Reliability Enhancement Test of Lubrication Oil Temperature Sensor[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2012, 9(1): 34—38.
- [10] 易难,吴凤凤. 某型电源装置可靠性强化试验条件与方案研究[J]. *电子产品可靠性与环境试验*, 2008, 26(1): 41—44.  
YI Nan, WU Feng-feng. The Research of Reliability Enhancement Test Conditions and Its Plan for a Power System[J]. *Electronic Product Reliability and Environmental Testing*, 2008, 26(1): 41—44.
- [11] 何荣华,张亚,李波,等. 军用电子元件的可靠性强化试验方案研究[J]. *科学技术与工程*, 2009, 9(18): 5460—5464.  
HE Rong-hua, ZHANG Ya, LI Bo, et al. Research Program of Reliability Enhancement Test about Military Electronic Components[J]. *Science Technology and Engineering*, 2009, 9(18): 5460—5464.
- [12] 杨艳峰,郑坚,狄长春,等. 某型炮闩系统关重件可靠性强化试验仿真研究[J]. *火炮发射与控制学报*, 2011(4): 9—12  
YANG Yan-feng, ZHENG Jian, DI Chang-chun, et al. Simulation and Research of Reliability Enhancement Testing about the Key Components of the Breech System[J]. *Journal of Gun Launch & Control*, 2011(4): 9—12.
- [13] 万龙,马吉胜,郝大海,等. 某型军用履带车辆行驶强化试验仿真技术研究[J]. *军械工程学院学报*, 2008, 20(5): 22—25.  
WAN Long, MA Ji-sheng, HAO Da-hai, et al. Simulation Research on Intensified Driving Test of Tracked Vehicle[J]. *Journal of Ordnance Engineering College*, 2008, 20(5): 22—25.
- [14] 金朝,秦俊奇,狄长春,等. 某输弹机疲劳失效构件可靠性强化试验仿真研究[J]. *火炮发射与控制学报*, 2011(4): 9—12.  
JIN Zhao, QIN Jun-qi, DI Chang-chun, et al. Simulation and Research on Reliability Testing of Ramming Mechanism Component[J]. *Journal of Gun Launch & Control*, 2011(4): 9—12.
- [15] 刘加凯,齐杏林,范志锋. 可靠性强化试验的机理探析[J]. *装备环境工程*, 2009, 6(6): 36—38.  
LIU Jia-kai, QI Xing-lin, FAN Zhi-feng. Analysis of Reliability Enhancement Testing Mechanism[J]. *Equipment Environmental Engineering*, 2009, 6(6): 36—38.
- [16] 孙智,江利,应鹏展. 失效分析[M]. 北京:机械工业出版社, 2005.  
SUN Zhi, JIANG Li, YING Peng-zhan. *Failure Analysis*[M]. Beijing: China Machine Press, 2005.

(上接第 109 页)

- Materials Research, 2012, 26(4): 337—343.
- [36] FARHADI S, FARZANEH M, KULINICH S A. Anti-icing Performance of Superhydrophobic Surfaces[J]. *Applied Surface Science*, 2011, 257(14): 6264—6269.
- [37] WILSON P W, LU W, XU H, et al. Inhibition of Ice Nucleation by Slippery Liquid-infused Porous Surfaces (SLIPS)[J]. *Chemical Physics*, 2013, 15(2): 581—585.
- [38] DOU R, CHEN J, ZHANG Y, et al. Anti-icing Coating with an Aqueous Lubricating Layer[J]. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2014, 6(10): 6998—7003.
- [39] WANG H, HE G, TIAN Q. Effects of Nano-fluorocarbon Coating on Icing[J]. *Applied Surface Science*, 2012, 258(18): 7219—7224.
- [40] MENINI R, GHALMI Z, FARZANEH M. Highly Resistant Icephobic Coatings on Aluminum Alloys[J]. *Cold Regions Science and Technology*, 2011, 65(1): 65—69.
- [41] 毕茂强,蒋兴良,巢亚锋,等. 自然覆冰与衬垫的粘附特性及影响因素[J]. *高电压技术*, 2011, 37(4): 1050—1056.  
BI Mao-qiang, JIANG Xing-liang, CHAO Ya-feng, et al. The Adhesion Characteristics and the Influence Factors of the Natural Icing and the Liner[J]. *High Voltage Technology*, 2011, 37(4): 1050—1056.
- [42] 胡小华. 输电线路防覆冰涂料的研究[D]. 重庆:重庆大学, 2006.  
HU Xiao-hua. *Research on Anti Icing Coatings for Transmission Lines*[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006.
- [43] 卢津强. 通过改变浸润性提高固体表面抗结冰性能[D]. 杭州:浙江工业大学, 2012.  
LU Jin-qiang. *By Changing the Invasive Improve Solid Surface Freezing Resistance*[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2012.