

环境适应性设计与分析

# 环境应力筛选在反坦克导弹及火箭弹中的应用

杨华, 解龙, 封雷, 强鹏, 杜武斌

(中国兵器工业第203研究所, 西安 710065)

**摘要:** **目的** 针对工程实践经验和反坦克导弹及火箭弹武器装备, 提出新的环境应力筛选条件, 用于剔除装备的早期故障。**方法** 结合反坦克导弹及火箭弹武器装备的特点, 对 GJB 1032 进行科学裁剪, 分别制定出反坦克及火箭弹的不同层次产品的环境应力筛选条件。**结果** 通过分析试验验证, 反坦克导弹及火箭弹实施环境应力筛选能够激发出产品的早期故障。**结论** 环境应力筛选方案在某型反坦克武器及火箭弹武器装备中得到了成功应用。

**关键词:** 环境应力筛选; 反坦克导弹; 早期故障; 应力激发试验

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2016.03.028

**中图分类号:** TJ7

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2016)03-0169-06

## Application of Environmental Stress Screening in Anti-tank Missiles and Rockets

YANG Hua, XIE Long, FENG Lei, QIANG Peng, DU Wu-bin

(NO.203 Research Institute of China Ordnance Industry, Xi'an 710065, China)

**ABSTRACT:** **Objective** Combining the engineering experience and the characteristics of anti-tank missiles and rockets, this paper put forward a new environmental stress screening method to eliminate the initial failure of weapon equipments. **Methods** According to the characteristics of anti-tank missiles and rockets, GJB 1032 was tailored scientifically, the environmental stress screening condition was made separately according to the different levels of the products. **Results** The initial failure of anti-tank missiles and rockets could be excited by using the method of environmental stress screening proposed in this paper, as verified by the analysis test. **Conclusion** The method for analysis of environmental stress screening conditions has been successfully used in weapon equipments such as anti-tank missiles and rockets.

**KEY WORDS:** environmental stress screening; anti-tank missiles; initial failure; stress excitation test

随着武器装备对可靠性的要求不断提高以及装备的组成日趋复杂, 武器装备的价格不断上涨, 试验费用越来越高。这就要求减少试验次数, 来降低试验费用, 但是武器装备的可靠性要求高, 如果试验次数减少, 发现故障的机率就会降低, 这就造成了武器的高可靠性与低成本的矛盾, 如何解决这一矛盾, 是研制人员急需解决的问题<sup>[1]</sup>。

近年来, 环境应力筛选在电子产品的研制和生产中的应用越来越广泛<sup>[2]</sup>。以环境应力筛选为核心的可靠性试验能够保证在早期发现产品的故障, 通过改进产品设计, 缩短研制生产周期, 显著提高研制产品的固有可靠性, 保证交付产品的质量<sup>[3]</sup>, 并使武器装备的研制费用大大降低<sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2016-01-12; 修订日期: 2016-02-07

Received: 2016-01-12; Revised: 2016-02-07

作者简介: 杨华(1962—), 男, 河南获加人, 高级工程师, 主要研究方向为可靠性及环境工程。

Biography: YANG Hua(1962—), Male, from Huojia, Henan, Senior engineer, Research focus: reliability and environment engineering.

## 1 遇到的问题

在 1984—1986 年间,美国先后制订出了两个军用标准,其中 MIL-STD-2164《电子设备环境应力筛选方法》<sup>[5]</sup>于 1984 年颁布,另一个是《DOD-HDBK-344 电子设备环境应力筛选》<sup>[6]</sup>,于 1986 年颁布。这两个标准为常规环境应力筛选和定量环境应力筛选的开展奠定了基础<sup>[7]</sup>。

我国在 1990—1993 年间相继制定了两个国军标,分别为 GJB 1032—1990《电子产品环境应力筛选方法》和 GJB/Z 34—1993《电子产品定量环境应力筛选指南》<sup>[8-9]</sup>。由于筛选条件要根据产品的缺陷率和所施加应力的筛选度等来确定,然而产品缺陷率是一个估计值,同时随着大规模集成电路以及新研模块在产品上的大量使用,缺陷率估计值可信性却越来越低,再加之 GJB/Z 34 只限于纯电子产品,所以在武器装备研制和生产实际中很少按 GJB/Z 34 进行定量筛选。相反,GJB 1032 在装备研制与生产中得到了广泛应用,为激发产品的早期故障提供了有效手段,在保证装备的质量与可靠性方面发挥了主要作用。随着武器装备平台的多样性,以及武器自身的复杂性,大家普遍认为 GJB 1032 中的一些条件过于死板,严格按该标准进行筛选时,往往达不到应有的目的。

环境应力筛选的筛选效果主要取决于施加的环境应力、电应力水平和检测仪表的能力。施加应力的的大小决定了能否将潜在缺陷激发为故障,检测能力决定了能否将已被应力加速变成故障的潜在缺陷找到并予以准确排除。有些人对于环境应力筛选的目的认识存在模糊之处,这种认识上的误区主要集中在强调环境应力筛选是要模拟实际使用环境,其概念仍停留在环境适应性试验的范畴。因此有必要明确环境应力筛选的主要目的是为提高产品的可靠性而做的环境应力激发试验(工艺),不属于环境模拟试验,但武器装备的环境应力筛选具有四大特性,即工艺性、非通用性、加速性和动态性。这样使用 GJB 1032 就出现以下问题:规定只针对武器系统中的纯电子产品;规定的筛选条件是确定的,对任何产品都一样;规定的每个温度循环的时间是一定的;规定的温度循环高低温保持时间是一定的;规定温度变化速率是一定的;规定温度循环数是一定的;规定振动应力是一定的。

针对上述问题要在特定的武器系统中进行环

境应力筛选不能剔除产品的早期故障,以及可能出现对某些产品的寿命损伤,对另一些产品又激发不出产品的故障,达不到环境应力筛选的目的。因此必须根据产品的使用特点和武器装备环境应力筛选的四大特性来确定武器系统的环境应力筛选条件。

## 2 制定环境应力筛选条件

环境应力筛选的有效性是指其激发潜在缺陷成为可检测出的故障,以便对缺陷实施改进措施的技术<sup>[10]</sup>。一个有效的环境应力筛选应该具备以下特点:能够很快析出潜在缺陷,包括能析出适当数量的固有缺陷;不能引起不适当的设计故障,诱发附加的故障,过多损伤受筛产品的寿命;不对制造过程控制带来限制。

制定一个有效的环境应力筛选条件需要专门进行有关的研究。例如一开始就应对每一组装等级的受筛产品进行研究,对每一个筛选条件进行认真设计,利用经验信息对产品中可能的缺陷数,和与某一筛选目标相适应的缺陷析出数进行估计,研究出受筛选的响应特性,制订功能测试方案等。选用经证明能够有效地析出估计中存在的潜在缺陷的应力类型和量值,确定一个能改善受筛产品可靠性和质量,同时又不会对受筛产品性能与寿命产生损害的环境应力筛选条件。

根据上述环境应力筛选的特性和实践经验,对反坦克导弹武器系统采用温度循环和随机振动两种试验进行筛选,温度循环的参数选择为产品的工作温度,温度的变化率为 5 °C/min, GJB 1032 第 5.2 节详细规定了筛选用随机振动的谱形、量值、振动时间、施振轴向、振动控制点、监测点等试验参数。对于不同设备施振轴向、振动控制点、监测点的规定适用于工程实际,但对每种设备都施加同样谱型、同样量值、同样时间的振动明显不合适。不同产品有不同的寿命要求,筛选用振动应考虑产品的寿命和使用环境而设置。随机振动的参数选择为振动量值和振动时间由产品的摸底试验决定。

## 3 环境应力筛选的应用

GJB 1032 的筛选分为常规筛选和定量筛选,在反坦克导弹武器系统研制中采用的是常规筛选

方案,这是因为在研制阶段不清楚武器系统的可靠性水平,也无法确定产品的缺陷数,缺乏进行定量筛选所需的全部数据,无法计算引入缺陷密度设计估计值和残留缺陷密度设计估计值,所以无法开展定量筛选。另外,研制阶段主要是以解决产品的性能问题和尽早发现设计中的缺陷,并加以改进,提高产品的可靠性为目标。研制阶段的环境应力筛选能够粗略地收集产品的故障信息,为制订生产阶段的环境应力筛选大纲提供依据。

### 3.1 反坦克导弹、制导火箭弹的环境应力筛选大纲

#### 3.1.1 反坦克导弹、制导火箭弹的特点

反坦克导弹、制导火箭弹是一个复杂、高难度的系统,致使其复杂性和高难度的一个重要原因是系统出于复杂的自然背景和干扰条件的作战环境,为完成在各种复杂的干扰环境下对目标的探测识别、跟踪、发射、控制,直至击中目标并毁伤目标的任务,要求反坦克导弹、制导火箭弹按功能与组成,分解成若干性质不同、难易不一的分系统,组成一个完整的符合系统工程设计目的的武器系统。复杂性的第二个原因是系统设计除了考虑武器系统的基本功能外,还必须考虑在恶劣作战环境下武器系统的可靠性、维修性、电磁兼容性、环境适应性、安全性等,上述作用所产生的各种类型的故障和失效是制约反坦克导弹、制导火箭弹可靠性、影响发射成功率的主要因素。为了提高发射成功率,环境应力筛选的作用就是在反坦克导弹、火箭弹飞行试验前,尽早充分暴露设计、材料和制造工艺中的缺陷,从而将各种隐患消灭在飞行试验之前,保证反坦克导弹、制导火箭弹能够在飞行前的使用环境中正常工作,提高发射和飞行的成功率。

#### 3.1.2 确定环境应力筛选方案

根据上述反坦克导弹、制导火箭弹的特点,确定反坦克导弹、制导火箭弹的环境应力筛选方案,首先确定环境应力筛选是按常规筛选进行,然后确定筛选的项目为随机振动和温度循环,最后确定参数及量值。

1) 随机振动量值和振动谱的确定。随机振动量值和振动谱是根据反坦克导弹、制导火箭弹飞行试验的实测数据来确定的。对实测数据进行分析,并进行归一化处理,确定试验量值和振动谱后,进

行振动摸底试验,保证试验量值和振动谱不会破坏产品的结构性能,最终确定振动量值和振动谱。振动时间、振动轴向按标准执行。

2) 温度循环温度和循环次数的确定。温度根据产品研制总要求中环境适应性规定的贮存温度确定,循环次数由工程经验来确定。

#### 3.1.3 筛选大纲的使用范围

筛选大纲规定了反坦克导弹武器系统环境应力筛选条件,规定导弹部件包括弹上计算机、激光接收机、舵机、引信等做温度循环和随机振动筛选;导弹只做随机振动筛选<sup>[11]</sup>;发射制导装置包括观瞄制导装置和热像观瞄具做温度循环和随机振动筛选<sup>[12]</sup>。

#### 3.1.4 筛选大纲的通用要求

筛选大纲的通用要求按 GJB 150<sup>[13]</sup>总则中的第 3 章执行。

### 3.2 导弹及部件的环境应力筛选

#### 3.2.1 筛选条件

1) 组件级及部件的筛选方案。组件级温度循环:所有部件进行 12 次完整温度循环,高低温度按武器系统的工作温度进行,升(降)温速率大于等于  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,温度循环条件如图 1 所示。组件级随机振动,所有部件进行三轴向振动,每轴向 10 min,功率谱密度为  $0.03\text{ g}^2/\text{Hz}$ ;谱形如图 2 所示。

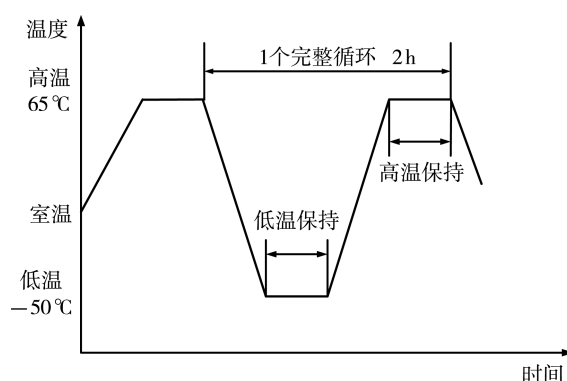


图 1 导弹组件级温度循环

Fig.1 Temperature cycle of the missile assembly

2) 导弹及发射装置的筛选方案。温度循环:对发射装置进行 12 次完整温度循环,高低温度按武器系统的工作温度进行,升(降)温速率大于等于  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,温度循环条件如图 3 所示。随机振动:对导弹进行  $x, y$  两轴向振动,每轴向 5 min ( $0.0018 \sim 0.018\text{ g}^2/\text{Hz}$ ),谱形如图 4 所示。

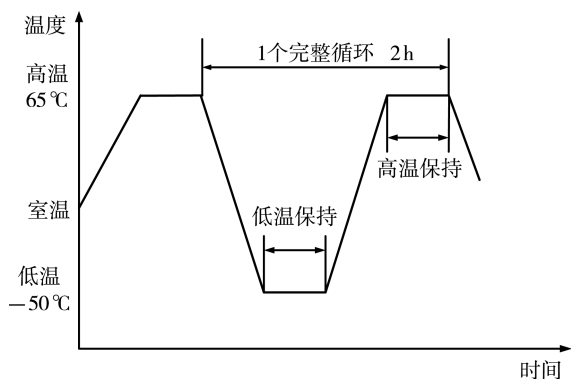


图2 导弹组件级随机振动谱型  
Fig.2 Random spectrum of the missile assemble

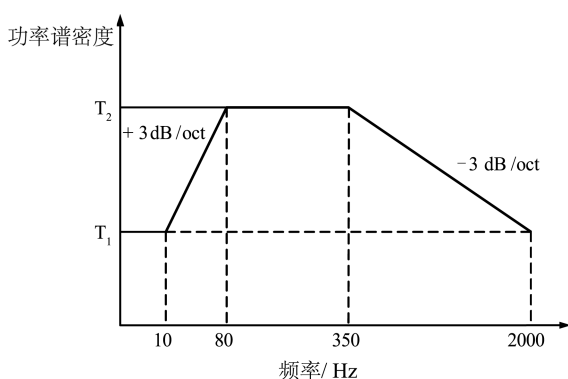


图3 导弹发射装置温度循环  
Fig.3 Temperature cycle of the launch device of the missile

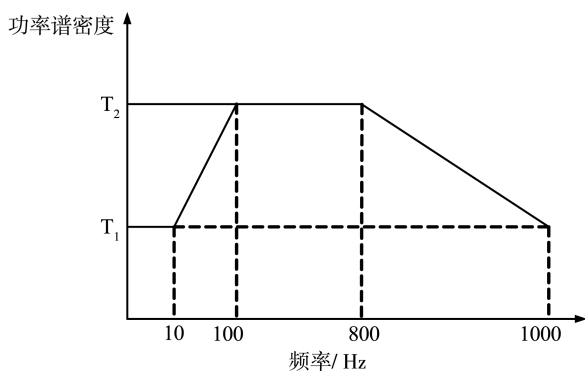


图4 导弹系统级随机振动谱型  
Fig.4 Random spectrum of the system of the missile

### 3.2.2 筛选程序

1) 筛选前性能检测。试验产品应按检验程序进行外观、机械及电气性能检测,合格后才能进行应力筛选试验。

2) 试验顺序。应先进行温度循环试验,后进行随机振动试验。系统级(导弹)只做随机振动试验。

3) 故障处理。若在温度循环试验时出现故障,应立即中断试验,排除故障后再重新进行试验;

在随机振动试验时出现故障,待随机试验结束后排除。

4) 中断处理。试验中断后再重新进行试验时,中断前的试验时间应计入试验时间。

## 3.3 火箭弹及部件的环境应力筛选

### 3.3.1 筛选条件

1) 组件级及部件的筛选方案。组件级温度循环:所有部件进行12次完整温度循环,高低温度按武器系统的工作温度进行,升(降)温速率大于等于 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,温度循环条件如图5所示。组件级随机振动,所有部件进行三轴向振动,每轴向10 min,功率谱密度为 $0.02\text{ g}^2/\text{Hz}$ ,谱形如图6所示。

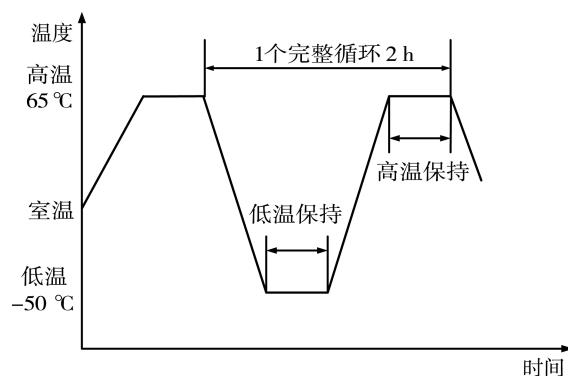


图5 火箭组件级温度循环  
Fig.5 Temperature cycle of the rockets assembly

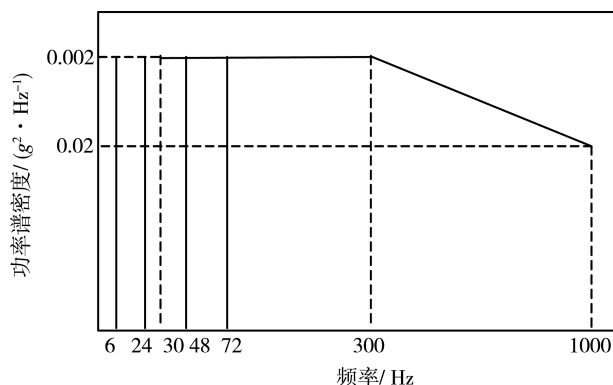


图6 火箭组件级随机振动谱型  
Fig.6 Random spectrum of the rockets assemble

2) 火箭弹及发射装置的筛选方案。温度循环:对发射装置进行12次完整温度循环,高低温度按武器系统的工作温度进行,升(降)温速率大于等于 $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,温度循环条件如图7所示。随机振动:对火箭弹进行 $x, y$ 两轴向振动,每轴向5 min( $0.0016 \sim 0.016\text{ g}^2/\text{Hz}$ ),谱形如图8所示。

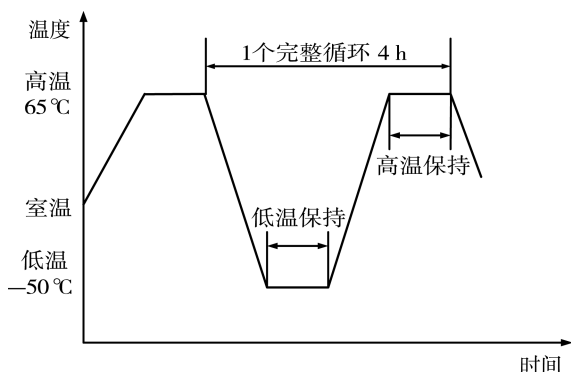


图7 发射装置温度循环

Fig.7 Temperature cycle of the launch device of the rockets

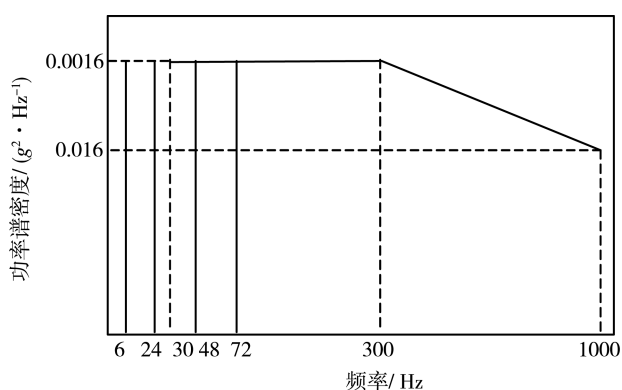


图8 系统级随机振动谱型

Fig.8 Random spectrum of the system of the rockets

### 3.3.2 筛选程序

1) 筛选前性能检测。试验产品应按检验程序进行外观、机械及电气性能检测,合格后才能进行应力筛选试验。

2) 试验顺序。应先进行温度循环试验,后进行随机振动试验。系统级(火箭弹)只做随机振动试验。

3) 故障处理。若在温度循环试验时出现故障,应立即中断试验,排除故障后再重新进行试验;在随机振动试验时出现故障,待随机试验结束后排除。

4) 中断处理。试验中断后再重新进行试验时,中断前的试验时间应计入试验时间。

## 4 结语

环境应力筛选在国外已经得到了越来越广泛的应用,成为电子设备研制和生产中最热门的技术<sup>[15]</sup>。对于系统级(武器系统)这样的设备如何进行环境应力筛选,目前没有相应的标准。

中国兵器工业第203研究所一直研究的是反坦克导弹、空地导弹和火箭弹系统,而GJB 1032制定的筛选方法不适应于系统级设备(导弹武器系统)。导弹武器系统分为多个型号系列,各型号系列之间在使用条件、寿命剖面、任务剖面等方面存在较大差异。因此为了便于型号的研制,要根据自身的特点和需要制定相应的环境应力筛选方法,才能有效提高武器系统研制中的可靠性。

### 参考文献:

- [1] QJ 3138, 航天产品环境应力筛选指南[S].  
QJ 3138 Guide for Environmental Stress Screening of Aerospace Products[S].
- [2] 何国伟. 可靠性试验技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.  
HE Guo-wei. Reliability Test Technology[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1995.
- [3] 曹金洲. 电源环境应力筛选试验自动测控系统研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(6): 41—44.  
CAO Jin-zhou. Study on Automatic Measurement and Control System of Power Environment Stress Screening Test[J]. Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(6): 41—44.
- [4] 瞿波, 蔡良续, 祝耀昌. 实验室环境试验条件及其裁剪技术[J]. 装备环境工程, 2014, 11(5): 87—91.  
QU Bo, CAI Liang-xu, ZHU Yao-chang. Laboratory Environment Test Condition and Cutting Technique[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(5): 87—91.
- [5] MIL-HDBK-2164A, 电子产品环境应力筛选方法[S].  
MIL-HDBK-2164A, Environmental Stress Screening Process for Electronic Equipment[S].
- [6] DOD-HDBK-344, 电子设备环境应力筛选[S].  
DOD-HDBK-344, Environmental Stress Screening of Electronic Equipment[S].
- [7] 国防科工委军用标准化中心. GJB 1032 和 GJB/Z 34 实施指南[K]. 北京: 国防科工委军用标准化中心, 1994.  
Standardization Center of National Defense Science and Technology Committee. GJB 1032 & GJB/Z 34 Implementation Guide[K]. Beijing: Standardization Center of National Defense Science and Technology Committee, 1994.
- [8] GJB 1032, 电子产品环境应力筛选方法[S].  
GJB 1032, Method for Environmental Stress Screening of Electronic Products[S].
- [9] GJB/Z 34 电子产品定量环境应力筛选指南[K]. 北京: 国防科工委军用标准化中心, 1994.  
GJB/Z 34 Guide for quantitative Environmental Stress Screening of Electronic Products[K]. Beijing: Standardization Center of National Defense Science and Technology Committee, 1994.
- [10] 张海, 余闯, 王晓红. 应用环境应力分类的加速贮存退

- 化试验评估方法[J]. 装备环境工程, 2014, 11(3): 87—90.
- ZHANG Hai, YU Chuang, WANG Xiao-hong. Accelerated Storage Degradation Test Evaluation Method Using Environmental Stress Classification[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(3): 87—90.
- [11] 宋振铎. 反坦克制导兵器论证与试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- SONG Zhen-duo. Demonstration and Test for Anti-tank Guided Weapon[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2003.
- [12] 李维宝, 李明, 李泽新, 等. 环境适应性要求在型号中应用问题分析[J]. 装备环境工程, 2014, 11(5): 81—86.
- LI Wei-bao, LI Ming, LI Ze-xin, et al. Application of Environmental Adaptability Requirements in Equipment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(5): 81—86.
- [13] 中国航空工业总公司第三〇一研究所. GJB 150 军用设备环境试验方法实施指南[K]. 北京: 中国航空工业总公司第三〇一研究所, 1998.
- No 301 Institute Aviation Industry Corporation of China. GJB 150 The Implementation Guide of Laboratory Environmental Test Methods for Military Material[K]. Beijing: No 301 Institute Aviation Industry Corporation of China Press, 1998.
- [14] 王善, 何健. 导弹结构可靠性[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2002.
- WANG Shan, HE Jian. Reliability of Missile Structure[M]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2002.
- [15] 《力学环境试验技术》编著委员会. 力学环境试验技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003.
- The Compilation Committee of Mechanics Environment Test Technology. Mechanics Environment Test Technology[M]. Xi'an: Northwestern Poly-technical University Press, 2003.