

空空导弹爆炸分离冲击试验分析

郭迅, 郭强岭

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: **目的** 获取某型空空导弹爆炸分离冲击试验的条件及方法。**方法** 针对爆炸分离冲击环境高频响、高量级、短时间等特性, 分析获取爆炸分离冲击信号的方法, 以及相应的冲击响应谱、归纳数据处理方法。**结果** 通过测试得到某型空空导弹的爆炸分离数据, 进行了冲击响应谱和归纳分析, 得到了不同测点位置爆炸分离冲击的特性。**结论** 形成了一种适用于空空导弹的合理、易实施的爆炸分离冲击试验条件及试验方法。

关键词: 空空导弹; 爆炸分离冲击; 冲击响应谱

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2016.04.013

中图分类号: TJ73 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2016)04-0078-05

Pyroshock Test for Air-to-Air Missile

GUO Xun, GUO Qiang-ling

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

ABSTRACT: **Objective** To obtain the conditions and methods of pyroshock test for air-to-air missile. **Methods** According to the characteristics of pyroshock, such as high frequency, high acceleration and short-time duration, the method to obtain the pyroshock signal as well as the shock response spectrum and inductive data processing method were analyzed. **Results** Pyroshock data of air-to-air missile were obtained by test. Characteristics of pyroshock at different measuring points were acquired through shock response spectrum (SRS) and statistical induction. **Conclusion** Testing conditions and methods of a reasonable and implementary pyroshock test for air-to-air missile are given.

KEY WORDS: air-to-air missile; pyroshock; SRS

空空导弹是由载机携带并从载机上进行发射、攻击并摧毁敌方各类空中目标的制导武器。而在空空导弹的发射过程中, 需完成各种动作, 如弹射抛放、执行机构解锁等, 而这些解锁和分离很多情况下都是通过火工装置(如利用炸药、推进剂驱动)进行实现。这些爆炸(由火工品装置工作时产生)在局部的弹体结构上会产生高冲击、宽频带、低速

度、持续时间短的瞬态机械响应, 这个就是爆炸分离冲击环境^[1-3], 也是空空导弹所经历的最严酷的力学环境之一。

爆炸分离冲击可能造成微电子芯片结构完成性遭到破坏、继电器抖动、电路板/电连接器短路、陶瓷/晶体/环氧树脂/玻璃等出现裂纹或断裂。美国航天局曾经统计分析了从1963—1985年20多年间

收稿日期: 2016-03-19; 修订日期: 2016-04-01

Received: 2016-03-19; Revised: 2016-04-01

作者简介: 郭迅(1987—), 男, 河南洛阳人, 硕士, 工程师, 主要研究方向为环境预示。

Biography: GUO Xun(1987—), Male, from Luoyang, Henan, Master, Engineer, Research focus: environmental signal.

的所有飞行故障,经故障分析,其中超过 63 次是由爆炸冲击直接或间接引起的。在美国和西欧的导弹、火箭的研制过程中,爆炸分离冲击试验是必不可少的试验项目^[4]。

由于爆炸分离冲击的特殊性,虽然 GJB 150.27 给出爆炸分离冲击试验的标准,但很难直接使用。因此文中针对某型空空导弹的典型爆炸分离冲击问题开展分析,以期得到相应的试验条件和方法。

1 环境数据

环境数据是制定环境试验条件的依据,必须获取相应的数据并进行分析,才能制定合理的试验条件。

1.1 数据获取

获取空空导弹爆炸分离冲击环境数据的方法一般有三种^[5]:分析模型、数据外推和实际测量。

1) 分析模型方法主要通过建立爆炸分离冲击的模型,得到对爆炸冲击环境的预示结果。目前已经有利用统计能量、有限元等方法进行建模计算的先例^[6~9],但统计能量法无法准确地预示具体的位置或频率上的量级,而有限元法对于很难准确预示爆炸分离冲击高频部分的量级,同时需耗费大量时间和费用用于模型的建立/修正,且一旦设计或工艺稍有改动的则需要重新建模计算。因此截止目前,工程上还不能直接使用分析模型进行爆炸分离冲击数据的获取,即使需使用分析模型数据,也必须通过真实数据对其进行修正。

2) 数据外推是在已经有类似结构测量数据的情况下,通过火工装置释放的总能量、爆炸点与结构响应位置的距离以及装备的结构形式等方面对测量数据进行换算及外推^[1,5]。虽然在 GJB 150.27 中也给出了数据外推的一个指南,但由于国内较少开展爆炸分离冲击相关的环境试验,实测数据量很少,且其准确性与以往型号所用的结构和火工装置的近似程度直接相关,使用不当时可能产生较严重的误差。

3) 实际测量是获取数据的主要方式,也是最直接的方式,需要通过大量的试验实测数据对环境进行预示。目前主要通过外场实际测量、系统级地面试验、地面模拟试验等方式进行数据测量。这些测量数据可以提供较准确的环境预示结果。

对于空空导弹上一种新型结构的爆炸分离冲击环境,只能通过大量的试验实测数据对其真实爆炸分离冲击环境进行预示。由于爆炸分离冲击环境频带宽(10 kHz)、量级大(可达上万个重力加速度)的特征常常超出了工业用测量系统的能力,因此必须采取一定措施避免数据的失真^[10]。如:采用高频响、高量程的传感器,并具有良好的敏感轴向的承受能力;必须牢靠的固定传感器,防止安装座造成的摇摆误差;采样频率尽量高于信号带宽,保证具有良好的测量裕度。

1.2 数据分析

针对某型导弹尾部的典型爆炸分离事件,进行了地面实测,各信号数据如图 1 所示。

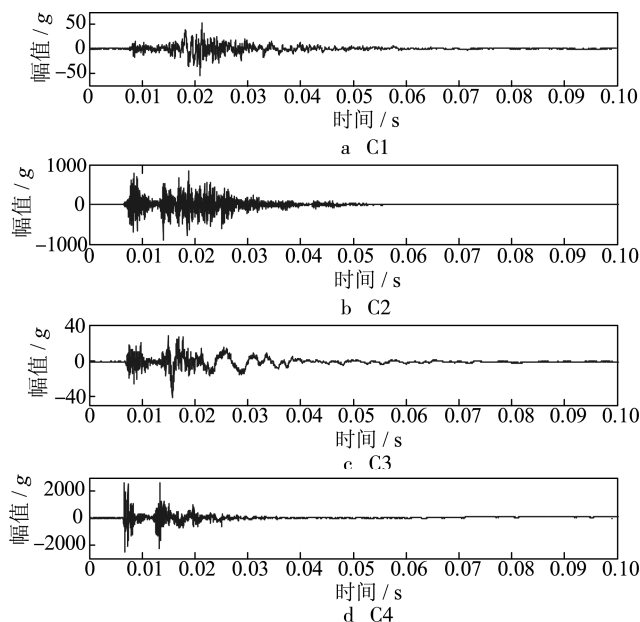


图 1 实测爆炸分离冲击原始信号

Fig.1 Original signal of measured pyroshock

从图 1 中可看出此爆炸分离冲击的时间历程,其存在两个峰值响应。第一个响应峰值为火工品爆炸所产生,后续峰值为火工装置动作而产生的结构部件之间的高速撞击。其中 C1 测点位于爆炸点的较远位置(约 3 m, 结构较柔性), C2 测点位于爆炸点的较近位置(约 0.2 m), C3 测点位于 C1 及 C2 测点之间(约 1.5 m, 结构较刚性), C4 测点位于爆炸点附近。爆炸分离冲击的量值随着距离的变化显著衰减,但由于结构刚性的不同,时域信号中的第二个峰值, C1 测点信号的峰值较 C3 测点高,故分别对火工装置爆炸造成的冲击、结构高速撞击造成的冲击以及爆炸分离的全过程,分别进行

冲击响应谱分析,以C4为例,如图2所示。

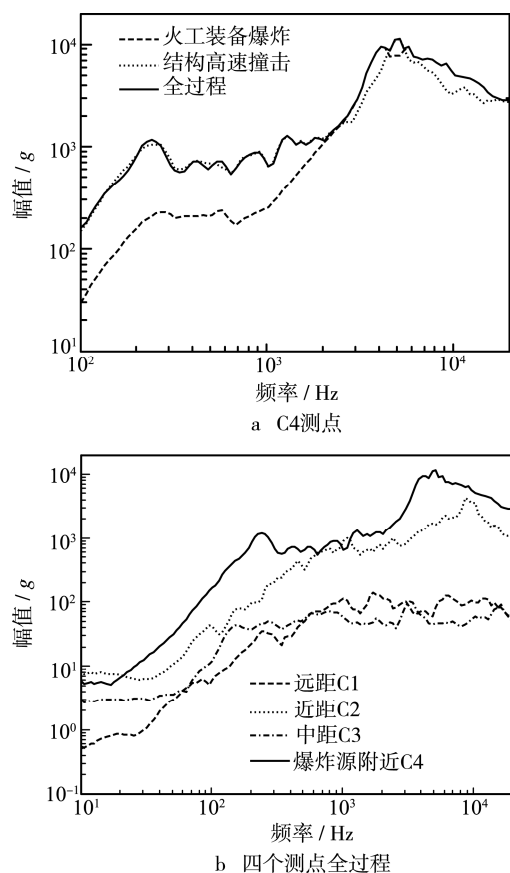


图2 实测数据的冲击响应谱

Fig.2 SRS of Original signal

从图2中可明显看出,爆炸分离冲击的全过程主要由火工装置爆炸造成的高频冲击成分和高速撞击造成的结构低频响应成分组成。故造成了结构刚性较好的C3测点在响应量值上低于结构刚性较差的C1测点,但爆炸分离过程必须包含此两种因素,故爆炸分离试验的考核时应同时考虑此两种情况。图2b为对四个不同测点分别进行全程冲击响应谱分析,也可看出,随着距离的增大,产品所承受的爆炸分离冲击环境明显减弱。

2 试验条件

试验条件一般是根据飞行可靠性要求及爆炸冲击环境的分布特性,对数据进行一定的统计和处理给出的。同时必须考虑试验条件可实施性,使装备得到合理的考核。

2.1 试验条件的归纳

当有足够多的实测数据时,可以通过对数据

进行冲击响应谱的计算,并对冲击响应谱进行包络估计,也可以通过统计的方法得到预期最大冲击环境,归纳结果作为爆炸分离冲击试验的基本试验条件。因此推荐采用具有一定置信度的统计方法,可计算得到一个偏差,使其可覆盖至少95%的冲击量级,且置信度为50%,即归纳P95/50单边对数正态容差上限。若测量数据不足,考虑到可能存在因为火工品爆炸的离散性,建议对包络后形成的冲击响应谱数据进行一定量的增加,一般考虑增加+3~+6 dB。一个包络规范谱的情况如图3所示。

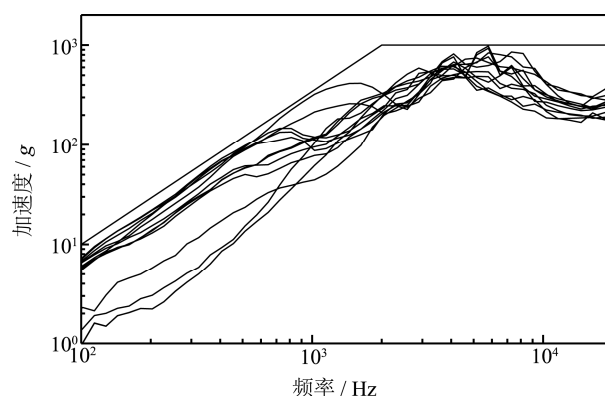


图3 爆炸分离冲击的规范谱

Fig.3 SRS of pyroshock

如果一个单一轴向的试验不能反映其他轴向的响应时,要进行三个轴向的试验。如果有理由认为仅需要一个轴向的试验(如装备冲击响应仅对一个方向敏感),可以只进行单轴向试验。尽管装备在寿命期内可能只经历一次爆炸分离冲击,但考虑试验结果评定时统计置信度的要求,GJB 150.27—2009建议每轴向试验至少3次。若采用极值包络,则产生的冲击响应谱结果具有一定的保守性,直接用于试验可能引起过试验。

2.2 试验的实施

冲击试验是考核冲击环境对设备的影响,评定设备承受冲击环境的能力。早期的冲击试验,主要是以简单经典脉冲波形(如半正弦)来模拟实际的冲击环境。半正弦波有较大的低频能量,试验时常使许多设备,特别是带减震器的设备,由于低频过试验而损坏。另外,由于在实际环境中产品经常遇到的是复杂冲击,因此用半正弦脉冲做为试验规范还可能导致在实验室已通过半正弦波冲击试验的设备,在实际环境中又可能被损坏。

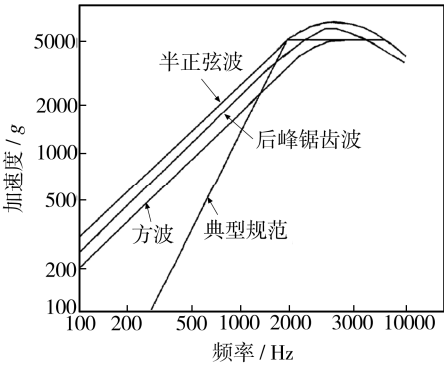


图 4 经典冲击与爆炸分离冲击的对比
Fig.4 Contrast between classic shock and pyroshock

爆炸分离冲击是典型的复杂振荡型冲击,具有高幅值的振荡波形,且持续时间很短,一般在 20 ms 内衰减到 0。针对爆炸分离冲击的特点,宜采用等效损伤准则来对其进行模拟,即用冲击响应谱来模拟。若产品在爆炸冲击模拟装置的冲击激励作用下产生的冲击响应谱与实际冲击环境产生的冲击响

应谱相当,就可以认为该产品经受了爆炸冲击环境试验。

目前,模拟爆炸冲击环境的方法主要有如下 3 类^[11-15]:

1) 火工品爆炸方式。可以产生最精确的模拟结果以及近区爆炸冲击环境所特有的高加速度和高频率范围,但存在安全性差及加载量级离散性大等问题。

2) 机械撞击方式。利用机械装置的撞击产生瞬态响应环境,模拟爆炸冲击类似的响应环境,其具备操作成本相对较低、重复性好和加载量级可预见性高等优点,但在产生冲击谱的能力上存在一些局限性。

3) 振动台模拟,可以实现模拟低幅值复杂冲击环境冲击谱的能力,这种方式的操作成本低、可控性高,但幅值、频谱范围和方向受到限制。

这三种模拟方式在 GJB 150.27 中也对应了不同的程序,详见表 1。

表 1 爆炸分离冲击试验程序
Table 1 Procedures of pyroshock test

程序名称	试验配置	使用场合	试验程序及使用要点	费用
程序 I	真实配置	近场	按照装备的实际工作模式和真实配置进行	高
程序 II	模拟配置	近场	可采用隔离方式进行,允许使用缩比模型	较高
程序 III	机械试验装置	远场	以瞬态振动波形覆盖实测数据的频率范围	较低
程序 IV	电磁振动台	远场	考核结构平台共振响应, 较低的频率范围	低

由于导弹组成复杂,整机结构细长不利于实验实施,若对整机进行爆炸分离冲击试验,存在费用高、安全性差的问题。因此将以某型导弹全弹各部件按距离爆炸源的位置进行分析,结合地面实测数据,分别给出导弹远端(前部)、导弹近端(后部)的试验条件和试验方法,以解决导弹在研制、生产中所需的爆炸分离冲击试验技术难题。

从典型的爆炸冲击环境(如图 2 所示)可看出,中远距测点冲击响应谱幅值一般不超过 200g,故离爆炸源较远的导弹中前部可通过振动台冲击响应谱实现部组件的考核。相应的爆炸源附近测点因归纳出的冲击响应谱可达 10 000g 以上,振动台无法实现模拟。同时因导弹结构相对较复杂,较难采用机械撞击方式模拟,建议直接采取导弹中后部,保持正式部段结构及正式火工品,直接进行模拟试验。此试验方式可避免进行导弹整机的试验,仅进行导弹尾部部组件的实际爆炸分离试验,可有效地减少试验准备时间。

3 结语

空空导弹在寿命期内需经历爆炸分离冲击环境,文中通过数据获取的方式分析了如何获取制定爆炸分离冲击环境的数据,并针对某型空空导弹的实测数据,给出了相应的分析结果。同时分析了如何通过实测数据进行条件的归纳,并考虑试验实施的困难,针对产品及爆炸分离冲击的特性,设计了一种对空空导弹爆炸分离冲击的考核方法,以使产品得到合理的考核。

参考文献:

[1] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].
GJB 150A—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Materiel[S].
[2] MIL-STD-810F, Department of Defense Test Method Standard: Environmental Engineering Considerations and

- laboratory Tests[S].
- [3] NASA-STD-7003, NASA Technical Standard: Pyroshock Test Criteria[S].
- [4] 焦亮, 邓明. 爆炸分离冲击试验分析[J]. 可靠性与环境试验技术及评价, 2013(1): 31—34.
JIAO Liang, DENG Ming. The Pyroshock Test[J]. Electronic Product Reliability and Environment Testing, 2013(1): 31—34.
- [5] 张建华. 航天产品的爆炸冲击环境技术综述[J]. 导弹与航天运载技术, 2005(3): 30—36.
ZHANG Jian-hua. Pyroshock Environment of Missiles and Launch Vehicles[J]. Missiles and Space Vehicles, 2005(3): 30—36.
- [6] 王军评, 毛勇建, 黄含军. 点式火工分离装置冲击载荷作用机制的数值模拟研究[J]. 振动与冲击, 2013(2): 9—13.
WANG Jun-ping, MAO Yong-jian, HUANG Han-jun. Numerical Simulation for Impulsively Loading Mechanism of a Point Pyrotechnic Separation Device[J]. Journal of Vibration and Shock, 2013(2): 9—13.
- [7] 陈敏, 隋允康, 阳志光. 宇航火工分离装置爆炸分离数值模拟[J]. 火工品, 2007, 27(5): 5—8.
CHEN Min, SUI Yun-kang, YANG Zhi-guang. Numerical Simulation of Exploding Separation for Aerospace Pyrotechnical Actuated Separation Device[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2007, 27(5): 5—8.
- [8] 王军评, 毛勇建, 黄含军, 等. 统计能量分析法在爆炸分离冲击响应预示中的应用[J]. 航天器环境工程, 2011(5): 414—420.
WANG Jun-ping, MAO Yong-jian, HUANG Han-jun, et al. Application of Statistical Energy Analysis Method in Prediction of Pyroshock Responses[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2011(5): 414—420.
- [9] 谭雪峰, 阎绍泽. 包带式星箭连接结构的动力学模拟及故障分析[J]. 清华大学学报, 2010, 50(8): 1205—1209.
TAN Xue-feng, YAN Shao-ze. Dynamic Simulations and Failure Analysis of a Clamp Band System for Spacecraft[J]. Journal of Tsinghua University, 2010, 50(8): 1205—1209.
- [10] 袁宏杰, 姜同敏. 实测爆炸分离冲击数据的分析和处理[J]. 固体火箭技术, 2006, 29(1): 72—74.
YUAN Hong-jie, JIANG Tong-min. Analysis and Treatment of Measured Pyrotechnic Shock Data[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2006, 29(1): 72—74.
- [11] 毛勇建, 李玉龙. 爆炸分离冲击环境的模拟试验技术进展[J]. 导弹与航天运载技术, 2007(4): 37—44.
MAO Yong-jian, LI Yu-long. Advances in Simulation Techniques of Pyroshock Environments[J]. Missiles and Space Vehicles, 2007(4): 37—44.
- [12] 马斌捷, 张建华, 吴江. 火工品爆炸加载方法在火箭分离冲击环境模拟试验中的应用与效果[J]. 强度与环境, 2007, 34(4): 1—7.
MA Bin-jie, ZHANG Jian-hua, WU Jiang. Applications and Effects of Pyrotechnic Explode Loading in Shock Environment Simulation Experiment of Rocket Separation[J]. Structure & Environment Engineering, 2007, 34(4): 1—7.
- [13] 田振强, 王冰, 蒋殿臣, 等. 新型摆锤式冲击响应谱试验台的研制[J]. 强度与环境, 2013(4): 59—64.
TIAN Zhen-qiang, WANG Bing, JIANG Dian-chen, et al. Research and Design of a New Type Pendulum Hammer Shock Machine for Shock Response Spectra Testing[J]. Structure & Environment Engineering, 2013(4): 59—64.
- [14] 张小达, 夏益霖. 爆炸分离冲击试验方法标准研究[J]. 航天标准化, 2002(6): 1—5.
ZHANG Xiao-da, Xia Yi-lin. Study of Pyroshock Testing Standard[J]. Aerospace Standardization, 2002(6): 1—5.
- [15] 袁宏杰, 李传日. 冲击响应谱控制的研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2000, 26(4): 494—496.
YUAN Hong-jie, LI Chuan-ri. Study of Shock Response Spectrum Control[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2000, 26(4): 494—496.