

装备统一环境试验条件研究

黄梦宏¹, 朱令娴², 张志勇¹, 韩敬永¹

(1.中国运载火箭技术研究院, 北京 100076; 2.中国航天科工二院 706 所, 北京 100854)

摘要: 通过梳理武器装备运输、贮存、发射和飞行等任务环境剖面, 分析任务环境剖面对应的环境特征和实测环境数据, 研究建立武器装备统一环境试验条件的可行性。研究结果表明, 武器装备运输振动、冲击环境以及飞行振动、噪声环境剖面结合实测数据可以建立统一环境试验条件。

关键词: 装备; 统一环境试验条件; 任务环境剖面

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2018.08.013

中图分类号: TJ01

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2018)08-0069-04

Unified Conditions of Environmental Test for Equipment

HUANG Meng-hong¹, ZHU Ling-xian², ZHANG Zhi-yong¹, HAN Jin-yong¹

(1.China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China;

2. Institute 706, Second Academy of China Aerospace Science and Industry Corporation, Beijing 100854, China)

ABSTRACT: Based on carding material environmental profile related to transportation, reposition, launch and flight, the character of environmental profile was analyzed. The measured data of equipment was also studied, and the feasibility of unified conditions of environmental in equipment was researched based on result of the measured data. The study results show that vibration and shock environment of transport profile, vibration and noise environment of flight profile can build unified conditions of environmental test by analysis of the measured data.

KEY WORDS: equipment; unified conditions of environmental test for equipment; material environmental profile related

随着我国武器装备的发展, 各种武器装备越来越多, 按照发射平台大致可以分为陆基、海基(含潜射)和空基三类。不同种类的武器装备, 其环境试验条件的设计一般只针对本型装备。这种设计模式使得不同种类武器装备力学环境设计条件差别很大, 即使同一类型武器装备的不同型号, 环境试验条件也明显不同, 使得同一产品应用到不同装备中时, 需开展各种装备提出的不同量级环境试验。不仅增加了产品的研制成本和周期, 而且可能影响武器装备的研制。

近年来, 武器装备生产企业为提高竞争力, 大力开展产品化工作, 其核心是从“以型号研制为中心”向“型号研制与产品研制并重”的方向转变^[1]。要求产品

在研制时就尽可能考虑不同武器装备的需求, 同时满足多种类型武器装备的环境要求。与此同时, 武器装备设计部门为适应快速研制需求, 对配套产品也提出了的货架化要求, 其核心是“产品一次设计, 多种装备通用”, 而目前不同种类、不同型号武器装备环境设计“各自为战”的设计模式难以满足这一要求, 因此需要开展武器装备统一环境条件研究, 摸清各类武器装备可以统一的环境条件, 为适应未来武器装备研制奠定基础。

文中从梳理武器装备任务环境剖面出发, 通过研究任务环境剖面对应的环境特征, 分析地面和飞行试验数据, 同时参考国内外标准规定, 研究建立武器装备统一环境试验条件的可行性。

1 装备任务环境剖面

装备从出厂到完成作战任务的全过程分成若干个任务期,在每个任务期中所遇到的环境因素的时间过程,称为任务环境剖面^[2-3]。装备的任务环境剖面主要有:运输环境剖面、贮存环境剖面、飞行环境剖面。各任务环境剖面需要考虑的环境因素见表1。

表1 武器装备主要环境因素

环境剖面	环境因素
运输	自然环境:温度、湿度、低气压、沙尘、盐雾、雨、雪 力学环境:振动、冲击
贮存	自然环境:温度、湿度、盐雾、霉菌 自然环境:温度、湿度、低气压
飞行	力学环境:振动、噪声、加速度、冲击 电磁环境

由于自然环境和电磁环境在国内外标准,如GJB 150A—2009^[4]、MIL-STD-810F^[5]中均给出了推荐的试验条件和试验方法,武器装备设计时通常严格执行了相关标准要求,各型装备自然环境和电磁环境条件比较一致。因此文中不对自然环境和电磁环境进行分析,重点研究武器装备不同任务环境剖面力学环境试验条件的可统一性。

2 运输环境剖面

武器装备运输环境剖面包括公路运输、铁路运输、海上运输和挂机飞行等,其中公路运输是最普遍的,几乎所有武器装备均要经历公路运输,并且公路运输环境较其他运输方式更加恶劣,是制定武器装备运输环境试验条件的主要考虑因素。因此公路运输环境可以代表运输环境剖面的主要特征。公路运输环境剖面的主要环境因素是振动和冲击。

对于公路运输振动环境,各种装备的实际使用环境有一定差别,主要是由于运输方式(如设备的安装方式:紧固、散装)、运输车动态特性(卡车、拖车、履带车)、路面激励(公路、越野)、车速等不同造成的,但是其环境特征却是相似的,原因如下。

1) 运输车装载武器运输时,由于整体质量较大,而为了提高机动能力,运输车整车质量有限制,运输车底盘的刚度就不能太大,使得运输车的频率通常较低。根据实测数据,大部分装备运输车一阶频率仅有几赫兹。运输过程中,特别是破损路面运输通过坑洼、沟坎时,激励频率很低,使得装备上振动响应的能量集中在200 Hz以下频段内,因此运输振动环境特征通常表现为200 Hz以内的随机振动。

2) 国内外标准,如GJB 150.16A—2009、MIL-STD-810F等对公路运输环境给出了参考试验条件,同时明确指出参考试验条件具有广泛的适用性,使用时不允许剪裁。可见国内外对于“运输振动环境具有相同的环境特征”这一认识的看法是一致的,因为只有在这种情况下才能建立广泛适用的试验条件。

对于运输冲击环境,其环境特征也是相似的,原因如下。

1) 装备运输车和路面冲击激励的频率均很低,使得冲击响应的能量主要集中在低频段,因此运输冲击环境特征通常表现为低频冲击。对于这样的低频激励,通常可以采用比较简单的试验方法,如半正弦波、后峰锯齿波、对称梯形波等经典冲击脉冲来考核。

2) 同运输振动环境一样,国内外标准对散装货物运输冲击环境给出了参考试验条件,使用时不允许剪裁,这也从另一个方面说明运输冲击环境有相同的环境特征。

根据上述分析可见,各种武器装备虽然实际运输环境有差异,但运输环境剖面表现出的环境特征是相似的。具体而言,运输振动通常表现为200 Hz以内的随机振动,运输冲击则是低频冲击,结合运输环境实测数据和国内外标准可以比较容易地建立统一的运输环境条件。

以运输振动环境为例,图1—3给出了不同平台武器装备公路运输试验实测力学环境包络与GJB 150.16A—2009给出的高速公路卡车振动环境的比较,可见国军标给出的垂向、纵向振动环境条件基本可以包络实测环境,但横向振动环境条件明显小于实测环境。根据上述实测结果,在标准基础上进行适当调整,可以建立适用于不同平台装备的运输环境条件。

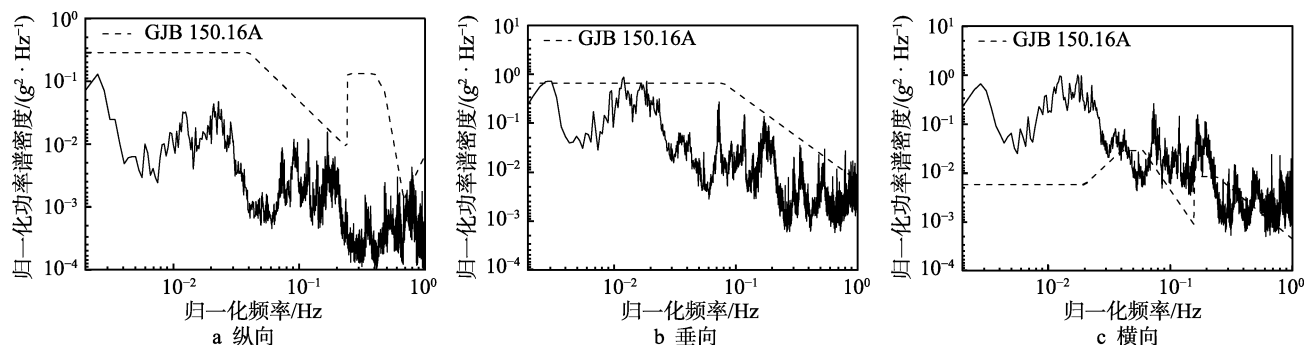


图1 振动环境与GJB 150.16A试验条件比较

3 飞行环境剖面

武器装备飞行环境剖面主要包括主动段、无动力段和机动段飞行等, 其中无动力段飞行的动压小于主动段和机动段, 受此影响其力学环境明显好于主动段和机动段。因此无动力段不影响飞行力学环境试验条件的制定, 主动段和机动段飞行的环境因素主要是加速度、噪声、振动和冲击。

不同平台加速度环境可能存在很大差异, 如某机动飞行平台最大加速度可达几十个 g , 而某非机动飞行平台最大加速度仅几个 g , 两者相差 1 个数量级以上。对于武器装备生产部门, 武器装备应用于这些平台上时需要适应范围极宽的加速度环境。对于那些对加速度不敏感的武器装备, 可以根据本型装备现在和未来预估需要适应的平台, 在包络值的基础上考虑适当设计余量, 给出该设备的加速度统一环境条件。对于某些对加速度敏感的装备, 如某些惯性器件和控制设备等, 这种采用包络值进行设计的方法需要根据装备自身的耐环境能力进行考虑。对于武器装备总体设计部门, 由于涉及的平台众多, 不同平台加速度环境差异较大, 按照所有平台加速度环境的包络值设计加速度统一环境条件, 并要求各种武器装备适应显然过于严酷。因此对于武器装备总体设计部门, 不宜建立加速度统一环境条件。

武器装备的冲击环境包括运输、装卸、磕碰以及火工品工作引起的冲击, 其中火工品产生的冲击量级较大, 是制定统一环境条件考虑的主要因素。火工品冲击环境取决于使用的火工品类型, 目前常用的高冲击量级火工品主要是柔性切割索和爆炸螺栓。这两种火工品的冲击机理和特性不完全一样, 爆炸螺栓产生的冲击主要由三部分组成, 一是含能材料, 如火药、炸药, 爆炸引起冲击波和应力波的传播; 二是火工装置突然动作, 如断裂、解锁、释放、切割等, 预载荷产生的应变能突然释放, 形成应力波传播和结构谐振响应; 三是火工装置部件, 如爆炸螺栓的螺柱头, 以一定速度和冲量撞击结构特定部位, 如捕获器、缓冲块、金属壳体等, 产生的机械冲击, 形成应力波和结构谐振响应。柔性切割索产生的冲击则主要包含前两部分。另一方面从火工品工作的实测结果来看, 柔性切割索和爆炸螺栓产生的冲击响应谱相差较大。某切割索和爆炸螺栓在距离火工品相同位置的冲击响应谱如图 2 所示, 可见切割索和爆炸螺栓引起的冲击响应不仅量级不同, 而且在冲击响应谱上的拐点也不同。因此对于采用不同火工品的武器平台不宜建立统一的冲击试验条件。此外, 由于火工品产生的应力波在结构中传播会衰减, 距离火工品越远衰减量越大。即使同一平台采用相同火工品, 在不同安装部位的冲击环境差异也很大。距离冲击源较近的部位冲击响应较远端可大出 20 dB 以上, 因此对于同一武器平台也不宜建立统一的冲击试验条件。

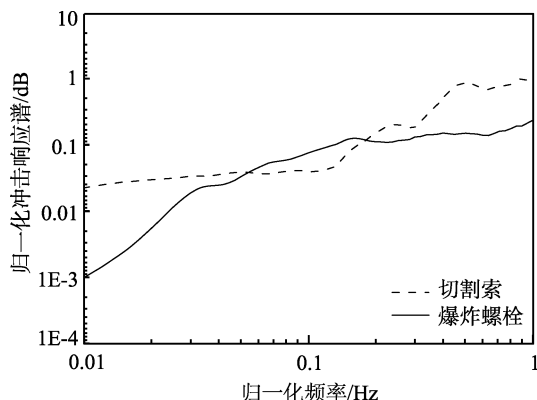


图 2 火工品冲击环境比较

噪声和振动环境, 均取决于外气动噪声和武器装备的结构设计, 振动环境还与设备局部安装结构有关。外气动噪声主要由动压和脉动压力系数决定, 仅就动压而言, 不同武器装备的飞行动压相差较大。例如某机动飞行武器装备最大动压可达 MPa 量级, 较某非机动飞行武器装备最大动压大 10 倍以上。这种差异看似很难建立武器装备统一振动、噪声环境条件, 但从飞行遥测结果来看, 飞行振动、噪声环境有以下几个特征: 低频段的振动加速度功率谱密度较小, 通常小于 $10^{-3} g^2/Hz$; 大部分设备飞行全程振动均方根值均仅 $1g \sim 2g$, 装备内噪声总声压级不超过 130 dB。

由于飞行振动、噪声环境较小, 虽然不同设备振动加速度功率谱密度和声谱的谱形有差异, 但是仍然具备建立统一环境条件的可能性。以飞行振动环境为例, 在不同平台武器装备飞行遥测振动环境包络值和按照 95% 概率 50% 置信度统计的最高预示环境^[6-11]基础上, 参考国内外相关环境条件制定方法, 并考虑适当安全余量建立的飞行振动统一环境条件如图 3 所示, 该条件的适用性经过了数个武器装备飞行试验验证。

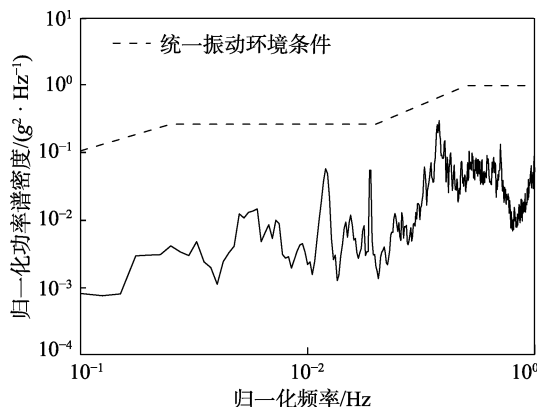


图 3 飞行振动统一环境条件

4 结语

通过对武器装备任务环境剖面进行梳理, 分析了任务环境剖面对应的环境特征, 结合实测环境和国内

外标准要求,对武器装备各任务环境剖面建立统一环境条件的可行性进行了研究。研究表明,运输环境剖面具有相同的环境特征,根据不同平台运输环境实测结果,同时参考国军标要求,可以建立适用于不同平台武器装备的统一运输环境条件;飞行环境剖面中,加速度环境和冲击环境不宜建立统一环境条件,飞行振动环境和噪声环境可以建立适用于不同平台武器装备的统一环境条件。

参考文献:

- [1] 朱毅麟. 对产品化与产品型谱的再认识[J]. 航天标准化, 2006(4): 22-24.
- [2] 龙乐豪, 方心虎, 刘淑贞, 等. 总体设计(下)[M]. 北京: 中国宇航出版社, 1993.
- [3] 王德言, 管博, 罗伟强, 等. 环境与可靠性试验方法研究[J]. 环境技术, 2017, 35(4): 5-7.
- [4] GJB 150.16A—2009, 军用装备实验室环境试验方法, 第 16 部分: 振动试验[S].
- [5] MIL-STD-810F, 国防部试验方法标准—环境工程考虑和实验室试验[S].
- [6] 马兴瑞, 韩增尧, 邹元杰, 等. 航天器力学环境分析与条件设计研究进展[J]. 宇航学报, 2012, 33(1): 1-12.
- [7] 马升, 徐明. 振动环境试验条件的确定[J]. 航空标准化与质量, 2004(4): 38-43.
- [8] 潘忠文, 廉永正, 曾耀祥, 等. 运载火箭振动环境试验条件解析[J]. 导弹与航天运载技术, 2010(5): 29-32.
- [9] 郭强岭. 空空导弹振动试验条件确定方法[J]. 航空标准化与质量, 2006(3): 34-37.
- [10] 朱卫红, 韩增尧, 邹元杰, 等. 航天器声振力学环境预示与验证[J]. 宇航学报, 2016, 37(9): 1142-1149.
- [11] 王亮, 张妍, 周晓丽, 等. 战术导弹飞行主动段力学环境快速预示方法[J]. 强度与环境, 2015, 42(5): 44-48.