

空空导弹运输振动试验方法研究



刘新佳*,郭迅

中国空空导弹研究院,河南 洛阳 471009

摘 要: 本文介绍了目前我国空空导弹公路运输试验的常用方法,对目前几种常用试验方法的试验原理、试验步骤进行了详细研究,并对各种方法的可实施性进行了分析。同时,针对空空导弹实验室内振动台模拟试验过程中出现的问题,提出了一种合理可行的剪裁方法,可为后续空空导弹运输试验的实施提供参考。

关键词: 空空导弹;公路运输;运输振动;模拟运输试验;试验谱

中图分类号: TJ762.23

文献标识码: A

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2020.04.009

空空导弹从生产厂家交付用户,再到最后完成作战使用,在其寿命期内必然会经历多种运输环境,就所经历的振动环境而言,路运最大,空运次之,海运最小^[1]。

目前,我国空空导弹类产品主要在国内陆地部署,而公路运输由于具有机动灵活、周转速度快、适应性强等特点,从而成为其寿命期中最主要的运输方式。为了考核空空导弹在运输环境下的环境适应性和可靠性,在型号研制中均要求开展公路运输试验^[2]。

本文对目前国内空空导弹类产品的公路运输试验方法进行了介绍,并结合某型产品的实际运输试验,对多种试验方法的有效性 & 可实施性进行了详细分析,可为后续空空导弹类产品运输试验考核提供参考。

1 实地跑车试验

实地跑车试验通常称为跑车试验,即将产品按实际包装状态放置在运输车辆上(可按实际需要增加相应配重),在寿命期内经历的典型运输环境下进行试验验证。这种方法操作简单,更贴合产品的真实运输环境,对产品的损伤较小,容易得到用户方的认可,是目前空空导弹类产品运输试验考核的主要方式。

近年来,相关标准中对运输试验的考核要求越来越严苛。1986年发布的GJB 150.16《军用设备环境方法振动试验》^[3]中规定,高速公路卡车运输一般为1600~2400km,任务/外场运输一般为500km。2009年发布的GJB150.16A

《军用装备实验室环境试验方法 第16部分 振动试验》^[4]在运输振动的试验方法上并没有本质区别,但在试验里程上的要求更为严苛,其中高速公路卡车运输一般在3200~6400km范围内;任务/外场运输里程一般为500~800km。在最新型号研制过程中,用户方明确要求:高速公路卡车运输里程为6400km;任务/外场运输里程一般为800km。

但使用该方法进行运输试验考核的缺点也比较明显。特别是近年来,随着我国公路建设的飞跃发展,现有真正符合野战运输条件的路面越来越少,特别是在大城市周边更是如此。试验时均面临野战运输试验无法找到合适场地的的问题。另外,跑车试验是一项大型试验,涉及面广,需要投入大量的人力物力,严重影响生产周期且不利于安全保密。因此,这种试验方式的使用呈现出逐渐下降的趋势^[5]。

2 运输模拟台模拟试验

运输模拟台模拟试验是采用一种经过检定的规范试验样机,模拟产品在实际运输过程中的振动环境,从而对产品的运输环境适应性进行考核^[6]。

设备示意图如图1所示,其主要技术参数为:在规定的负载下,垂直方向的总均方根加速度和分频段均方根加速度及容差(见表1)。同时规定,垂直方向的加速度谱密度有两个峰,其频率和加速度谱密度见表2。

另外,横向的总均方根加速度和分频段均方根加速度为相应频带上的0.7倍,容差为±6dB。

收稿日期: 2019-09-26; 退修日期: 2019-12-30; 录用日期: 2020-01-10

*通信作者. Tel.: 15896559960 E-mail: liuxinjie2010@163.com

引用格式: Liu Xinjie, Guo Xun. Study on the test method of airborne missile transportation vibration[J]. Aeronautical Science & Technology, 2020, 31(04): 54-58. 刘新佳, 郭迅. 空空导弹运输振动试验方法研究[J]. 航空科学技术, 2020, 31(04): 54-58.



图1 运输模拟台示意图
Fig.1 Diagram of transport simulator

表1 垂向均方根加速度及容差

Table 1 Mean square acceleration and tolerance in vertical direction

频率/Hz	均方根加速度/ g_{rms}	容差/dB
0.3~7	0.220	± 6
7~20	0.108	± 6
20~200	0.205	± 6

表2 垂向主峰频率及加速度谱密度

Table 2 Frequency and acceleration spectral density tolerance of main peak in vertical direction

频率范围/Hz	加速度谱密度/(g^2/Hz)
$2.5 < f_1 < 4$	$g(f_1) \geq 0.0104$
$7 < f_2 < 11$	$g(f_2) \geq 0.0110$

当对上述参数进行测量时,其检测点位于距台面边缘沿长度方向中心线 1/4 处,具体位置如图 2 所示^[7]。

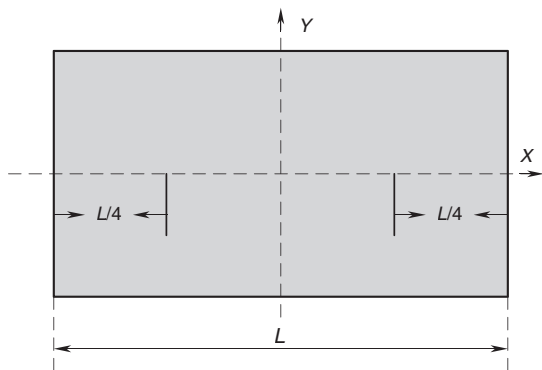


图2 运输模拟台台面示意图
Fig.2 Diagram of transport simulator platform

当使用运输模拟台对产品进行模拟运输试验时,产品的损伤主要由设备的总均方根加速度和试验时间来确定。试验时间确定为:

$$T=S/V$$

式中: T 为试验时间; S 为要求试验里程,单位为 km; V 为试

验时要求车速,一般低级路面或土路取 $V=20\text{km/h}$,其他路面取 $V=35\text{km/h}$ 。

为缩短试验时间,可根据疲劳累积损伤理论,通过人为地提高振动量值的方法来实现^[8]。

$$T_i=T(A_{rms}/A_{rms1})^K$$

式中: T 为试验时间; T_i 为加速后的试验时间; A_{rms} 为试验要求的总均方根加速度,标准中为 $0.478g$; A_{rms1} 为要缩短试验时间而提高的总均方根加速度; K 为系数,通常选取 5。

当使用运输模拟台进行 500km 野战运输试验时,基本步骤如下:

(1) 在图 2 所示位置安装三轴向传感器;调试运输模拟台,使得台面振动响应的前两个峰值频率和谱密度满足标准要求。

(2) 对比振动轴向和横向振动与主振方向大小,要求主振方向振动量级至少在 5dB 之上。

(3) 计算 0~50Hz 内的均方值,并与 0~400Hz 内的均方值进行比较,0~50Hz 内的能量至少占总能量的 51%,但不能超过总能量的 85%。

(4) 在以上参数确定满足要求后,计算试验时间。500km 路面要求速度为 20km/h,则跑车试验时间为 25h。

(5) 用加速等效方法计算模拟运输台试验时间为:

$$T_i=T(A_{rms}/A_{rms1})^K=25(0.478/A_{rms1})^5$$

例如,测得运输台 Z 向均方根值约 $1g$,则通过上式计算得出试验时间为 38min。

当使用运输模拟台进行模拟运输试验时,主要依据 QJ/ T815.1—1994《设备公路模拟试验方法》^[9]进行检定,具有操作简便、易于控制、维护成本低等优点,在航天一些型号研制生产中进行了应用。

但是,由于该标准仅规定了试验量级的允差范围,与实际运输环境也不存在确定的等效关系,使得模拟运输台在调试和使用过程中有很大的盲目性。一旦需要模拟不同的路面状况,试验不同质量的产品,只能根据试验人员的经验对振动台进行调整,导致这种模拟试验方法缺乏权威性,未得到广泛的认可,直接限制了其在实际中的大范围应用^[10]。

3 振动台模拟试验

随着大推力振动台和随机控制技术的不断发展,利用专用的试验夹具可以将大型包装箱紧固在振动台上,这就为使用电磁振动台开展空空导弹的运输振动试验提供了可能^[11]。

GJB 3493—1998 将公路运输分为了三类:I 类汽车运

输、II类汽车运输和III类汽车运输,分别模拟汽车在不同路面环境条件下,车厢底板上在各振动频率成分上的响应情况,并给出了相应的参考谱型,但没有规定具体的试验时间。因此,只能用于开展环境适应性设计,无法作为正式的试验程序开展试验^[12]。

GJB 150.16A—2009针对产品运输的实际情况,对在实验室内模拟运输试验的振动量级及持续时间给出了明确规定,可作为实验室模拟运输试验的输入谱型。其中高速公路卡车运输条件是从7种不同的技术状态情况下的卡车和半拖车的货舱底板上测得的,其振动谱型如图3所示。当用图3中的振动谱型进行试验时,其试验时间的计算为每运输1600km试验60min(每方向)。

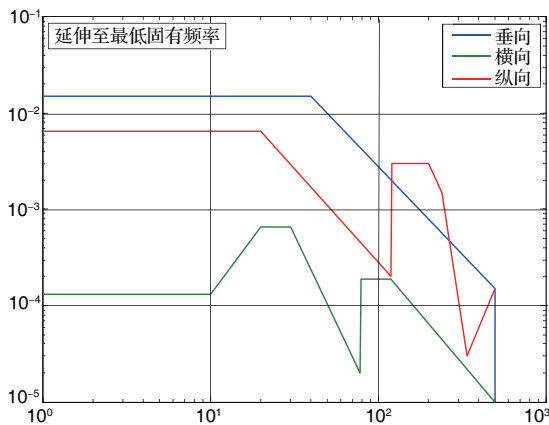


图3 GJB 150.16A中高速公路运输规范谱

Fig.3 Standard spectrum of highway transportation in GJB 150.16A

GJB 150.16A—2009中对任务/外场运输进一步划分为组合式双轮拖车运输和组合轮式车辆运输两种情况。结合我国空空导弹外场使用实际,选用组合轮式车辆振动谱作为任务/外场运输的实验室输入谱,如图4所示。当用图4中的振动谱型进行模拟试验时,其试验时间的计算为每805km试验40min(每方向)。

可以看出,运输振动发生在运输工具相互垂直的三个方向上,且在三个方向上的振动谱型和量级均不相同,通常垂向最大,横向和纵向较小。

4 试验实施分析

结合某型空空导弹研制试验,对在实验室内使用大推力振动台完成空空导弹的模拟运输试验的可实施性进行了试验验证。

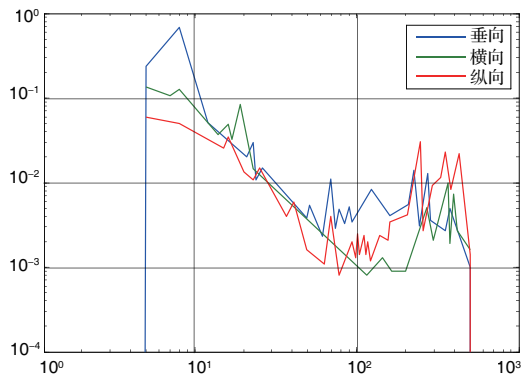


图4 GJB 150.16A中任务/外场运输规范谱

Fig.4 Standard spectrum of mission/outfield transportation in GJB 150.16A

试验过程中,空空导弹按实际包装状态放置在包装箱内,使用专用试验夹具紧固在振动台上,试验安装如图5所示。



图5 振动台模拟运输安装图

Fig.5 Product installation of simulated transport test

试验过程中,使用图3所示的高速公路运输谱进行试验时,振动台控制良好,能够较好地完成试验,产品振动响应如图6所示。

当用图4所示的任务/外场运输谱进行试验时,振动台直接报警停机,无法完成试验。经分析,该条件下受试产品的最大位移在46~59mm之间,而目前振动台行程一般为38~51mm,超过了振动台的位移限制,无法进行试验。

针对这种情况,在MIL-STD-810G^[13]中明确指出:“任务/外场运输振动的低频位移可能较大,以至于超过振动台的限制,允许在参试各方认可的情况下对低频量级进行适当调整以适应振动台的位移限制。”另外,在有条件的情况下,也可选择最大位移超过70mm的大位移振动台进行试验,或

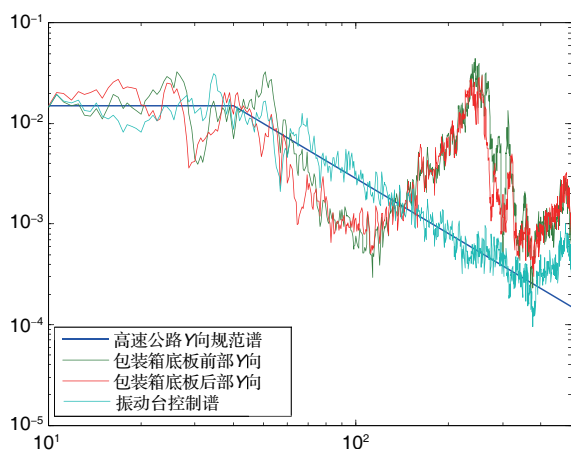


图6 高速公路规范谱产品振动响应

Fig.6 Vibration response of highway transport

者将试验条件中的低频量级进行适当剪裁以完成试验实施。

对于空空导弹类产品而言,考虑到其对低频振动不敏感,在实际试验时,可将图4所示规范谱中低频部分(2~10Hz)降低3dB进行试验。此时振动台控制良好,试验顺利实施,产品振动响应如图7所示。

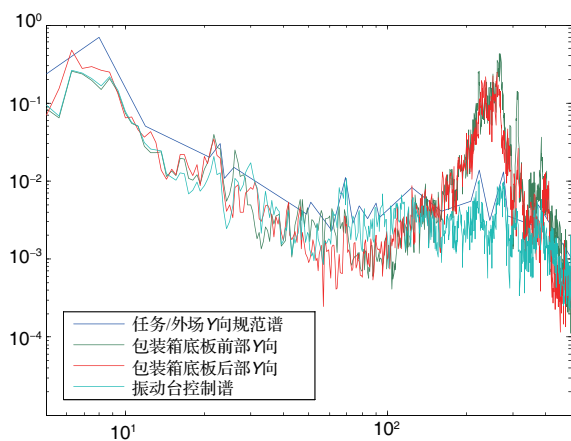


图7 任务/外场规范谱产品振动响应

Fig.7 Vibration response of mission/outfield transport

5 结论

通过分析,可以得出以下结论:

(1) 空空导弹的高速公路运输振动试验可以使用振动台依据 GJB 150.16A 规定谱型进行实验室实施。

(2) 空空导弹的任务/外场运输振动试验,使用常规振动台依据 GJB 150.16A 中规定谱型进行试验时,由于低频位移超限,试验无法实施。因此,在有条件的情况下,可选择大位移振动台完成试验实施。也可将规范谱降低3dB进行试验,但此时需取得参试各方的认可。

空空导弹的运输试验最终选择实际跑车运输还是实验室模拟试验,需综合考虑各方面因素。而振动台模拟运输由于具有时间短、效率高、利于安全保密等多种优势,越来越多地得到了行业内的认可。

AST

参考文献

- [1] 张利,齐晓军,付国庆. 卫星运输振动响应分析[J]. 航天器环境工程, 2009,12(26):55-61.
Zhang Li, Qi Xiaojun, Fu Guoqing. Vibration response analysis of satellite transportation [J]. Spacecraft Environment Engineering, 2009, 12(26): 55-61. (in Chinese)
- [2] 李根成,秦庭森. 产品研制生产阶段的可靠性试验与环境试验[J]. 航空科学技术, 1988(2): 28-30.
Li Gencheng, Qin Tingsen. Analysis of reliability test and environmental test [J]. Aeronautical Science & Technology, 1988(2): 28-30. (in Chinese)
- [3] GJB150.16—1986 军用设备环境试验方法:振动试验[S]. 北京:国防科学技术工业委员会, 1998.
GJB150.16—1986 Environmental test methods for military equipments vibration test[S]. Beijing: Commission of Science, Technology and Industry for National Defense, 1998. (in Chinese)
- [4] GJB150.16A—2009 军用装备实验室环境试验方法 第16部分 振动试验[S]. 北京:总装备部军标出版发行部, 2009.
GJB150.16A—2009 Laboratory environmental test methods for military materiel-part 16: Vibration test[S]. Beijing: The Chinese People's Liberation Army General Armaments Department Military Standard Publication Distribution Department, 2009. (in Chinese)
- [5] 杨炳渊,张声雷,宋汉文. 导弹运输环境的单轴振动台模拟试验技术[J]. 装备环境工程, 2005,2(4):1-5.
Yang Bingyuan, Zhang Shenglei, Song Hanwen. Simulation test technology of missile transportation environment with single axis vibrating platform [J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 2(4): 1-5. (in Chinese)
- [6] 卢彩玲,康宁民,王叔荣. 设备运输振动试验方法探讨[J]. 环境试验, 2011, 33(2): 13-48.
Lu Cailing, Kang Ningmin, Wang Shurong. Vibration test of cargo transportation [J]. Environmental Testing, 2011, 33(2): 13-48. (in Chinese)

- [7] QJ/T815.2—1994 产品公路运输加速模拟试验方法[S]. 北京: 中国航天工业总公司, 1994.
QJ/T815.2—1994 Accelerated simulation test methods for product transportation[S]. Beijing: China Aerospace Science and Technology Corporation, 1994.(in Chinese)
- [8] 姚国年, 卫军胡, 王丽娟, 等. 特种产品运输振动加速模拟试验条件的研究[J]. 西安交通大学学报, 2009, 43(3): 74-77.
Yao Guonian, Wei Junhu, Wang Lijuan, et al. Experimental conditions of the accelerated vibration simulation for special product transportation[J]. Journal of Xi'an Jiaotong University, 2009, 43(3): 74-77. (in Chinese)
- [9] QJ/T815.1—1994 设备公路模拟试验方法[S]. 北京: 中国航天工业总公司, 1994.
QJ/T815.1—1994 Simulation test methods for equipment transportation[S]. Beijing: China Aerospace Science and Technology Corporation, 1994.(in Chinese)
- [10] 杨森, 吴斌, 郑旸. 机械式模拟运输台仿真研究[J]. 装备环境工程, 2012, 9(5): 106-110.
Yang Sen, Wu Bin, Zheng Shang. Simulation research of the mechanical simulation of transport vibration test stand[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(5): 106-111. (in Chinese)
- [11] 刘海年, 王艺, 王志会, 等. 航空发动机配套成品振动试验方法研究及应用[J]. 航空科学技术, 2016, 27(1): 21-25.
Liu Hainian, Wang Yi, Wang Zhihui, et al. Investigation on vibration environment test method for aero-engine accessories and its application [J]. Aeronautical Science & Technology, 2016, 27(1): 21-25. (in Chinese)
- [12] GJB3493—1998 军用物资运输环境条件[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1998.
GJB3493—1998 Transport environmental conditions for military materials[S]. Beijing: Military Standard Publishing Department of Commission of Science Technology and Industry for National Defense, 1998. (in Chinese)
- [13] MIL-STD-810G Environmental engineering considerations and laboratory test[S]. Department of Defense, 2008.
(责任编辑 皮卫东)

作者简介

刘新佳(1988—)男, 硕士, 工程师。主要研究方向: 环境工程与环境试验技术。

Tel: 15896559960 E-mail: liuxinjia2010@163.com

Study on the Test Method of Airborne Missile Transportation Vibration

Liu Xinjia*, Guo Xun

China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China

Abstract: Test methods of airborne missile transportation vibration are introduced. Based on the detailed analysis of experimental principles and test procedures, the implementability of those methods is analyzed. Aiming at the problems during transport simulation bench test in the laboratory, a reasonable and feasible test method is presented, which can provide reference for airborne missile transportation test implementation.

Key Words: airborne missile; road transportation; transportation vibration; simulated transportation; test method

Received: 2019-09-26; Revised: 2019-12-30; Accepted: 2020-01-10

*Corresponding author. Tel.: 15896559960 E-mail: liuxinjia2010@163.com