

典型弹药系统运输振动特性试验研究

李海广^{1,2}, 安振涛¹, 武红文¹, 秦旭³

(1.军械工程学院, 石家庄 050003; 2.解放军 63615 部队, 库尔勒 841001;

3.解放军 94592 部队, 徐州 221000)

摘要: **目的** 研究公路运输条件下典型弹药系统的基本振动特性。**方法** 以某典型弹药系统为对象, 设计运输振动模拟试验测试弹体和关重件的振动加速度响应, 进而分析各层弹药系统的功率谱密度和振动传递率。**结果** 下层弹药和弹体振动响应激烈, 振动传递具有多模态性, 有明显的主次之分, 最大传递率分别为 5.681 和 4.054。**结论** 试验结果为我军同类弹药系统运输包装的改进和设计提供了基本数据。

关键词: 弹药; 运输振动; 模拟试验; 振动传递率

中图分类号: TB485.3; TB487 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)15-0092-05

Experimental Study on Transportation Vibration Characteristics of Typical Ammunition System

LI Hai-guang^{1,2}, AN Zhen-tao¹, WU Hong-wen¹, QIN Xu³

(1.Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2.Unit 63615 of PLA, Korla 841001, China;

3.Unit 94592 of PLA, Xuzhou 221000, China)

ABSTRACT: To analyze the basic vibration characteristics of typical ammunition system during highway transportation. Based on a typical ammunition system, the transportation vibration simulation experiment was designed to test vibration acceleration response of projectile body and key element to future analyze PSD and vibration transmissibility of ammunition system in each layer. The response of bottom ammunition and projectile body were prominent, and the vibration transmissibility had multiplex modes of apparent primary and secondary features. The peak transmissibility was 5.681 and 4.054 respectively. The results provide basic data for packing improvement and design of similar ammunition system in highway transportation.

KEY WORDS: ammunition; transportation vibration; simulation experiment; vibration transmissibility

目前, 振动已成为弹药公路运输过程中所经受的主要应力环境条件, 也是诱发弹药安全事故的主要因素。为防止弹药在储运过程中受到损伤, 我军对弹药进行了合理的包装设计。近年来, 许多学者也对弹药运输振动问题进行了大量研究。在运输振动环境方面, 美军早在 20 世纪末期就进行了高速公路的弹药运输试验, 并对其运输振动载荷环境进行了监测^[1]。杨会军等^[2]在研究弹药装运力学振动环境的基础上, 分析了运输过程中的振动情况和随机过程特性。韩保红等^[3]测试了比利时路面和普通公路下弹药运输的

振动情况。黄海英等^[4]结合我军弹药运输的实际情况, 对弹药运输的基础振动环境进行了全面测试, 为我军运输振动试验提供了基础数据。An^[5]在对弹药勤务环境和安全状态进行分析的基础上, 测定了其运输振动环境载荷。在仿真计算方面, Lee 和 Groeschle^[6]针对 XM982 精确制导炮弹运输振动环境, 建立了相应的运输模型, 并对其振动特性进行了仿真分析。李彦斌等^[7]针对导弹舱段连接部位在运输载荷下的结构完整性进行了评估。吴邵庆等^[8]通过构建路面激励下车-弹耦合振动分析模型, 对不同路面激励下弹体

收稿日期: 2016-09-28

基金项目: 总装通保部科研计划(装通[2009]83号)

作者简介: 李海广(1986—), 男, 博士, 工程师, 主要研究方向为装备运用环境与防护技术。

的振动响应进行了分析。李海广等^[9]分析了简谐振动激励下弹药易损部件的振动响应规律。在模拟试验方面,美军较早设计了一种针对 MIL-STD-331 方法的 119 运输振动试验的等效替代试验,这一方法为我军开展同类试验研究提供了较好的借鉴^[10]。文献[11]运用结构疲劳损伤等效准则,对特种产品实验室模拟加速振动试验进行了合理设计,并进行了实例验证。刘亚超等^[12]通过分析弹药运输振动环境,设计了弹药集装单元的动力学试验标准,并进行了试验分析。文献[13—14]通过模拟运输振动试验和跑车试验分别对某型枪弹和枪榴弹进行了损伤研究。

从已有研究来看,我军对弹药运输振动问题多是进行整体把握和试验测试,且仿真和计算多是针对导弹而言,对通用弹药研究得较少;也未对弹药系统(包装系统和弹药),特别是其关重件在运输中的振动特性进行深入探讨。同时传统弹药定型试验多采用的是定频振动试验,与弹药实际运输振动环境并不一致。文中通过模拟我军实际运输振动环境,以某典型弹药系统为试验对象,分析弹体和关重件的振动特性,为同类弹药系统包装设计和运输安全防护提供一定的数据基础。

1 试验

1.1 样弹

目前,我军弹药包装防护主要分为外包装和内包装,其包装材料各异,状态也不尽一致。对于外包装来说,主要有木箱、工程塑料箱、玻璃钢箱和铁箱,其中木箱的使用较普遍;内包装主要分为包装盒和包装筒,对于中小口径弹药多采用塑料包装筒作为内包装来进行缓冲。从弹药自身来说,枪榴弹结构特殊,具有装药量较大、安全性差等特点,因此这里选取某典型枪榴弹作为样弹进行试验。

该型枪榴弹采用木箱、塑料包装筒的两级包装方式,每箱内装 20 个包装筒,即 20 发枪榴弹,分上下 2 层装箱,在包装状态上具有很强的代表性。考虑弹药结构安全性可知,引信相对于其他部件安全性最差,因此文中以引信为关重件进行测试。该型枪榴弹采用弹头触发引信,便于传感器固定和试验测试。试验所用样弹均由某军工厂生产,质量等级为新品。为保证试验安全,根据通用弹药实验室试验要求,引信传爆管均采用假传爆管。

1.2 设计与方法

1.2.1 仪器设备

振动系统采用苏州试验仪器总厂生产的 DCS-2200 型电动振动台,额定频率范围为 5~3000 Hz,并能有效延伸至 2 Hz,符合我军规定弹药运输环境试验

要求^[13];信号采集系统采用 Synergy-16H 型便携式数据采集仪;传感器采用江苏东华测试技术股份有限公司生产的 DH311E 型和 DH186E 型 IEPE 加速度传感器。

1.2.2 模拟振动试验设计

试验选取我军实测运输振动加速度功率谱^[4]进行模拟。采集该功率谱时,在车辆和载重等方面均根据我军弹药保障实际情况进行规范处理,符合实际弹药运输振动环境。由于公路运输垂直方向的振动远大于横向和纵向的振动,同时弹药运输多采用横向装载方式,弹药轴线与运输方向垂直,且弹药包装的内部结构多采用卡板、衬垫等附件对弹药轴向进行了限位设计和缓冲,因此运输过程中垂直方向的振动对弹药激励最大,是最为恶劣的运输振动环境。文中结合振动台性能,选用二级公路条件下,时速为 80 km/h 时车厢底板某测点的垂直振动加速度功率谱进行模拟,以重点分析垂直振动条件下典型弹药系统的运输振动特性。

试验选用 10 发样弹,分为 2 层,并进行合理的配重和分布以符合实际包装状态。试验前对引信和包装进行适当处理,以便于连接传感器进行测量。文中试验测试对象主要为上下 2 层中间位置的样弹,试验中以振动台面加速度信号为输入,以弹体和引信的加速度信号作为输出,采样频率为 1000 Hz。

2 结果分析与讨论

2.1 上层弹药振动响应分析

将试验采集数据进行处理后,导入 Matlab 软件进行信号处理。上层弹药弹体、引信的功率谱密度和相对于振动台面的振动传递率^[15]曲线见图 1。由图 1a—b 可知弹体和引信的振动加速度能量分布。从频率上看,主要分布在 2~200 Hz 之间,其中在频段 80~150 Hz 之间比较集中,且存在多个峰值,在 129.9 Hz 处均达到最大,分别为 0.1598 和 0.068 39 m^2/s^3 ,且达到最大后迅速衰减;从结构看,弹体振动响应较大。由图 1c—d 可知,该典型弹药系统的振动特性具有多模态性,且振动峰值所对应的传递率具有明显的主次之分。弹体振动传递率总体较大,且弹体和引信分别在 115.2 和 114.3 Hz 处达到最大,为 5.286 和 3.499;在 300 Hz 以上时,引信振动传递率较大。关重件引信在 50 Hz 以下时振动传递率较小,避开了激励信号能量较大的低频区,起到了一定的缓冲作用。

2.2 下层弹药振动响应分析

下层弹药弹体、引信的功率谱密度和相对于振动台面的振动传递率曲线见图 2。由图 2a—b 可知,弹体和引信的振动加速度能量主要分布在 2~200 Hz 之间,其中在频段 120~180 Hz 之间比较集中,在 152.3

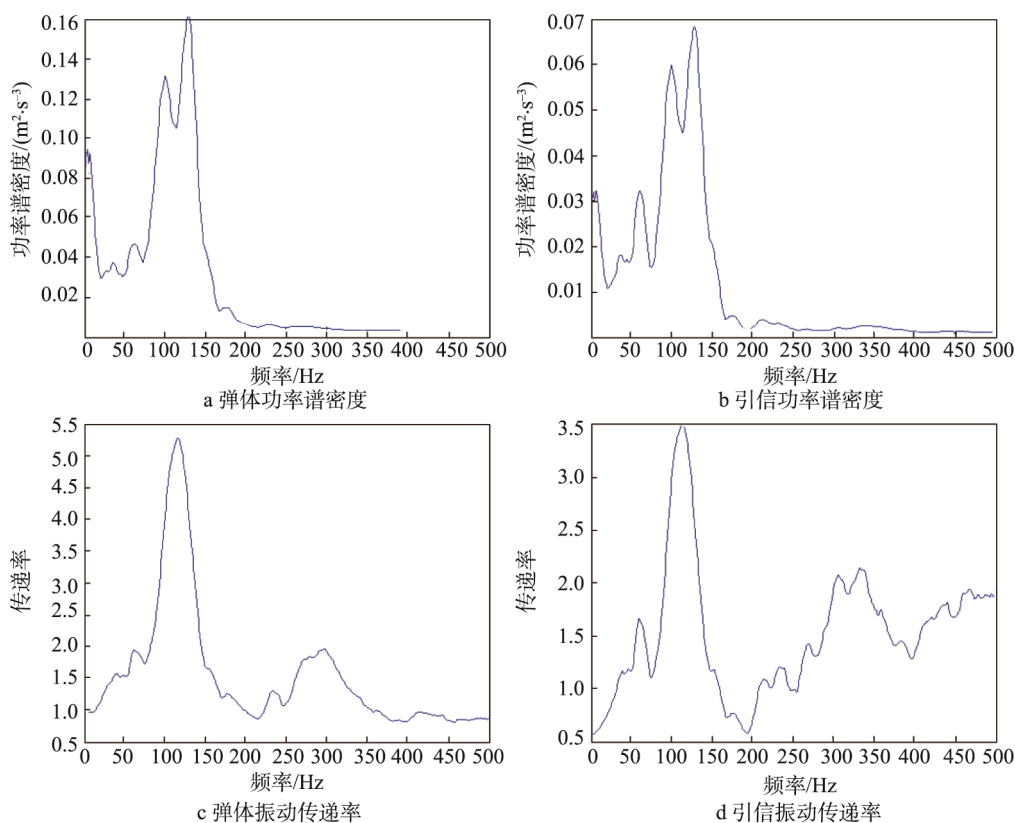


图 1 上层弹药弹体和引信的功率谱密度和振动传递率

Fig.1 The PSD and vibration transmissibility curves of projectile body and fuze of top ammunition

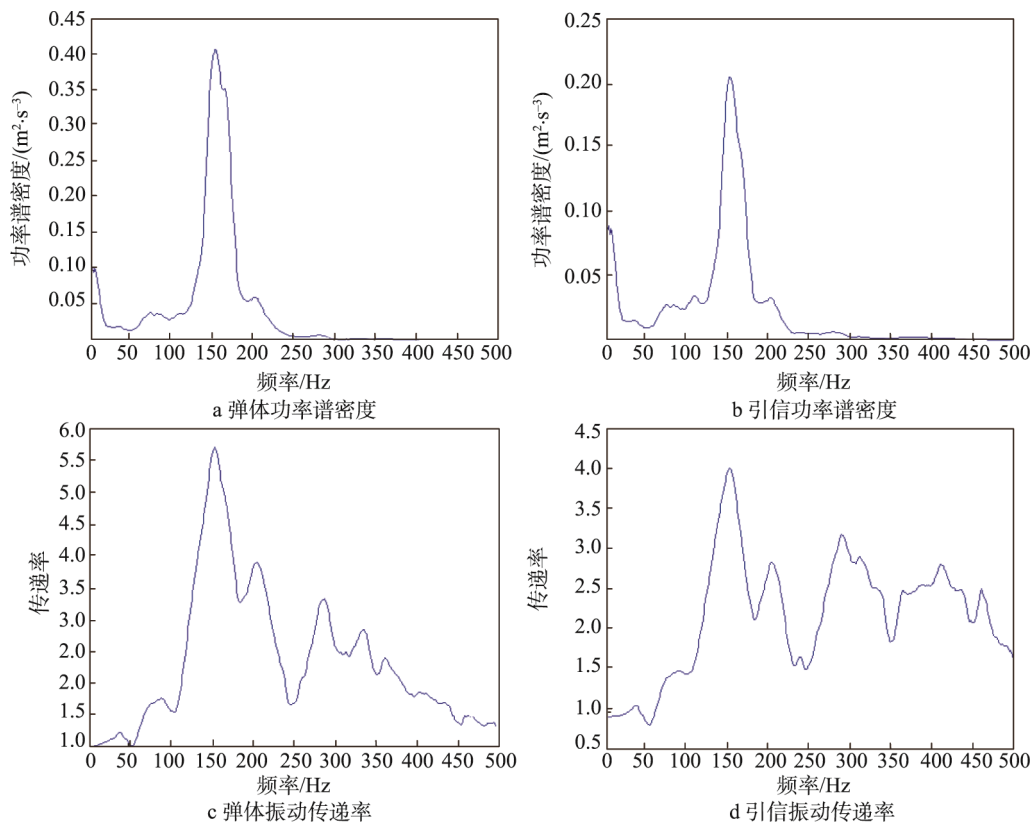


图 2 下层弹药弹体和引信的功率谱密度和振动传递率

Fig.2 The PSD and vibration transmissibility curves of projectile body and fuze of bottom ammunition

和 156.3 Hz 处达到最大, 分别为 0.4103 和 0.2063 m^2/s^3 , 且达到最大后迅速衰减。从结构上看, 弹体振动响应也较大。由图 2c—d 可知, 弹药系统的振动特性具有多模态性, 且振动峰值所对应的传递率具有明显的主次之分。弹体振动传递率较大, 且弹体和引信的振动传递率分别在 154.3 和 152.3 Hz 处达到最大, 为 5.681 和 4.054。关重件引信在低频区起到了有效的缓冲作用。

由图 1—2 的对比可知, 下层弹药均较上层弹药振动响应更激烈, 说明层间卡板等包装附件对运输振动具有一定的抑制作用。同时分析同层弹药弹体和引信的振动功率谱密度可知, 同层弹药中弹体较引信振动响应更激烈, 且响应曲线具有一定的相似性。此外, 引信振动传递率在 50 Hz 以下均较小, 说明包装系统对弹药关重件具有一定的缓冲作用。结合其他典型弹药系统运输振动试验结果^[16]可知, 采用塑料包装箱和泡沫塑料包装盒的典型样弹比文中试验所选样弹的振动响应更小, 因此文中样弹可采用塑料包装箱等形式进行包装改进和设计。

3 结语

通过振动模拟试验, 研究分析了我军某典型弹药系统的运输振动特性。试验结果表明, 下层弹药振动较为激烈, 同层弹药中弹体较引信振动更激烈。同时振动特性呈现出多模态性, 传递率曲线的峰值频率具有明显的主次之分。对于关重件引信来说, 在 50 Hz 以下时阻尼较大, 有明显的振动衰减性。该试验研究结果为我军同类典型弹药系统包装设计和运输安全防护提供了一定的理论依据。

参考文献:

- [1] HARTMAN D Q. Environmental Monitoring of Transportation of 30 mm Ammunition in MILVANS from Savanna Army Depot Activity (SVDA) to Crane Army Ammunition Activity (CAAA) via Highway and Rail[R]. Savanna: U S Army Defense Ammunition Center, 1997: 1—2.
- [2] 杨会军, 田润良, 赵世宜, 等. 汽车装运弹药的振动特性与安全可靠研究[J]. 装备环境工程, 2009, 6(6): 24—27.
YANG Hui-jun, TIAN Run-liang, ZHAO Shi-yi, et al. Study on Vibration Features, Safety and Reliability of Auto Loaded and Transported Ammunition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(6): 24—27.
- [3] 韩保红, 齐京礼, 闫庆华, 等. 弹药运输车辆随机振动的测试及理论分析[J]. 机床与液压, 2012, 40(1): 78—82.
HAN Bao-hong, QI Jing-li, YAN Qing-hua, et al. Random Vibration Test of Vehicle in Ammunition Transportation and Theoretical Analysis[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 40(1): 78—82.
- [4] 姚国年, 黄海英, 王丽娟, 等. 由实测数据确定特种产品运输模拟试验规范谱[J]. 振动、测试与诊断, 2010, 30(5): 577—580.
YAO Guo-nian, HUANG Hai-ying, WANG Li-juan, et al. Criterion Spectra of Simulation Experiments for Special Product Transport Using Measured Data[J]. Journal of Vibration Measurement & Diagnosis, 2010, 30(5): 577—580.
- [5] AN Z T, LI J M, DING Y K, et al. The Study of Vibration Characteristic in Ammunition Transportation Environment[C]// 6th International Symposium on Test and Measurement, 2005: 2345—2348.
- [6] LEE J, GROESCHLER S. Transportation Vibration Analysis of the XM982 Projectile[R]. New Jersey: U S Army Defense Ammunition Center, 2007: 3—12.
- [7] 李彦斌, 姜东, 吴邵庆, 等. 运输荷载下弹体典型连接疲劳寿命评估[J]. 固体火箭技术, 2013, 36(3): 419—422.
LI Yan-bin, JIANG Dong, WU Shao-qing, et al. Fatigue Life Assessment on Rivet Connection of a Missiles under Transportation Environment[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2013, 36(3): 419—422.
- [8] 吴邵庆, 艾洪新, 郭应征. 路面激励下弹体-运输车耦合振动分析[J]. 东南大学学报, 2013, 43(5): 1055—1061.
WU Shao-qing, AI Hong-xin, GUO Ying-zheng. Coupled Vibration Analysis of Missile-vehicle System under Road Excitation[J]. Journal of Southeast University, 2013, 43(5): 1055—1061.
- [9] 李海广, 安振涛, 任永强. 弹药公路运输振动响应模型及影响因素分析[J]. 计算机仿真, 2013, 30(12): 1—4.
LI Hai-guang, AN Zhen-tao, REN Yong-qiang. Vibration Response Model and Influencing Factors Analysis of Ammunition Highway Transportation[J]. Computer Simulation, 2013, 30(12): 1—4.
- [10] FRYDMAN M A, TEVELOW F L. An Equivalent Transportation Vibration Test-Procedures and Techniques Applicable to the Army M732 Field Artillery Fuze[R]. Watertown: U S Army Materials and Mechanics Research Center, 1980: 10—35.
- [11] 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 Guo-nian, WEI Jun-hu, WANG Li-juan, 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.
- [12] 刘亚超, 宣兆龙, 程泽. 弹药集装单元动力学试验研究[J]. 装备环境工程, 2013, 10(1): 49—52.
LIU Ya-chao, XUAN Zhao-long, CHENG Ze. Research on Dynamic Test of Ammunition Packaging Unit[J].

- Equipment Environmental Engineering, 2013, 10(1): 49—52.
- [13] LI Hai-guang, AN Zhen-tao, ZHANG Xing-hui, et al. Simulation Test on Highway Transportation Vibration for Cartridge[C]// International Conference on Quality, 2013: 1056—1059.
- [14] 安振涛, 李海广, 李飞, 等. 某型枪榴弹公路运输振动试验与损伤分析[J]. 火工品, 2014(1): 49—52.
AN Zhen-tao, LI Hai-guang, LI Fei, et al. Vibration Test and Damage Analysis of Certain Rifle Grenade under Highway Transportation[J]. Initiators & Pyrotechnics, 2014(1): 49—52.
- [15] 张琴, 王保升. 随机振动下蜂窝纸板振动传递特性分析[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 7—9.
ZHANG Qin, WANG Bao-sheng. Vibration Transmissibility Properties of Honeycomb Paperboard under Random Vibration[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 7—9.
- [16] 李海广. 弹药公路运输振动特性及安全性评估研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2014.
LI Hai-guang. Research on Ammunition Vibration Characteristics and Safety Assessment under Highway Transportation[D]. Shijiazhuang: Ordnance Engineering College, 2014.

《水产品保鲜技术》特色栏目征稿函

水产品是人类优质蛋白质的主要来源之一, 富含人体多种必需氨基酸。由于其水分和蛋白质含量高, 组织柔软, 且自身易携带大量细菌, 在贮运、加工与销售过程中, 往往易引起变色、变味, 甚至腐败变质, 大大降低了食用价值。对渔获后的水产品应当及时采取相应的保鲜处理措施, 以延长货架期。目前, 国内外常用的水产品保鲜技术主要有低温保鲜、生物保鲜、气调保鲜、辐照保鲜、超高压保鲜等, 如何更好利用生物保鲜剂进行水产品保鲜已成为国内外专家学者研究的热点。

鉴于此, 本刊拟围绕“水产品保鲜技术”问题这一主线, 作系列的专项报道。编辑部特邀请水产品领域的专家为本栏目撰写稿件, 以期进一步提升本刊的学术质量和影响力。稿件以研究论文为主, 也可综述性研究, 请通过网站投稿, 编辑部将快速处理并优先发表。

编辑部电话: 023-68792294 网址: www.packjour.com

《包装工程》编辑部