研究进展

弹药公路运输动力学特性研究综述

李海广，安振涛，李金明，王 阵
（军械工程学院，石家庄 050003）

摘要：公路运输过程中弹药的动力学特性是引起其损伤或失效的重要因素，也是研究弹药公路运输安全的基础。从冲击和振动两个方面，对弹药公路运输动力学特性的研究现状进行了综述，并指出了目前这一领域有待进一步研究和完善的相关问题。

关键词：弹药；公路运输；动力学特性；易损部件
中图分类号：TB485.1；TB487　**文献标识码**：A　**文章编号**：1001-3563(2013)09-0115-07

Research Overview on Dynamic Characteristics of Ammunition Highway Transportation

LI Hai-guang, *AN Zhen-tao*, *LI Jin-ming*, *WANG Zhen*
(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The dynamic characteristic of ammunition is important factor leading ammunition to damage or failure under highway transportation, which is also the base of researching highway transportation safety. The research status of dynamic characteristics for ammunition highway transportation was summarized from the aspects of shock and vibration. Finally, the problems to be further researched and improved in this field were put forward.

Key words: ammunition; highway transportation; dynamic characteristics; vulnerable component

弹药公路运输主要担负着中、短途的运输保障，以及衔接其他运输方式的任务，由于具有机动灵活、周转速度快、适应性强等特点，已成为弹药转运的主要手段之一。弹药运输过程中受到的冲击（特别是跌落冲击）和振动是导致其损伤或失效，甚至引发安全事故的重要应力因素。通过考察弹药在公路运输力学环境下的响应特性，可深入认识弹药的内在损伤机理，进而可为弹药保障领域从事相关研究和军事实践提供一定的参考和理论依据。同时弹药作为一种由引信、弹丸、发射装药及其火工品组成的复杂武器系统，由于其高价值和高危险性，运输安全问题也一直为各国军队所关注。因此，国内外普遍开展了这方面的研究工作，以寻找弹药公路运输条件下的动力学规律。

1　弹药冲击力学特性研究

公路运输条件下弹药动力学的研究是随着包装动力学的发展和军事实践活动而逐渐开展起来的。美军在这方面的研究一直走在世界各国军队前列。早在20世纪40年代，美军就针对储运环境力对弹药引信的影响进行了规范化试验，并制定了相应标准。比如MIL-STD-331A引信与引信零部件的环境与性能试验、引信环境力学试验、力学和气候综合试验等，目的是通过规范的冲击试验考核运输环境对弹药的影响。1964年美国出版的《军事标准化手册》亦涉及了相关内容。2000年，美国国防部又公布了新的军方标准MIL-STD-810F《环境工程考虑和实验室试验》，进一步规范了包括弹药在内的环境力学试验[1]。此外，英、日等发达国家也纷纷颁布了有关装备的冲击脆值标准。但目前来看，国外公开的具体研究资料并不多。

运输中弹药所受的冲击主要由路面的不平整、紧急刹车、碰撞和翻车等因素造成的，其力学作用与跌落冲击一致，因此，目前国内对运输时弹药冲击特性

收稿日期：2012-12-27
基金项目：总装通保部科研计划项目
作者简介：李海广(1986-)，男，河南人，博士研究生，主要研究方向为装备运用环境与防护技术。

的研究主要集中于跌落冲击方面。在试验研究方面，罗学勋较早地发表文章《引信后座机构储运安全性的研究》，对榴-4、电-1、电-2 和迫--1 甲 4 种引信，进行了向铸铁板跌落的试验模拟测试，并对裸弹的跌落加速度问题进行了研究。GJB 3493—98（《军用物资运输环境条件》）首次明确给出了我军三类公路运输时的冲击响应谱，为我军弹药运输冲击模拟试验提供了支撑。其后，GJB 5309. 38—2004（《火工品试验方法第 38 部分：冲击试验》）对运输冲击试验的具体程序和方法进行规定，这为进行弹药运输冲击试验扩展了思路。陆静等[2]对某引信冗余保险系统分别进行了 1.5 m 落高下，水泥、沥青、土壤、45°倾斜坠落姿态以及不同落高下钢板介质、45°倾斜坠落姿态实验，并建立了引信独立冗余保险系统的动力学模型，进行了有关可靠性数值仿真。王代华等[3]设计了某型弹药坠落冲击加速度存储测试系统，给出了引信位置的冲击加速度，为弹药运输勤务提供了参考。韩学平等[4]设计了引信测试平台，通过大量的坠落碰撞试验，得到了在不同的坠落高度条件下，弹丸对水泥地面、钢板等不同介质的冲击加速度，并根据所建立的动力学模型对引信惯性部件的行程进行了仿真计算。唐红春等[5]通过某炮弹塑料包装筒的跌落试验，分析其冲击强度，并从理论上推导了该型包装筒冲击破坏部位的实际应力公式。周彬[6]在对直线惯性保险机构冲击响应进行理论分析的基础上，设计了相关试验，得到了引信从不同高度跌落时解除保险的概率值，为科学定量地判断引信跌落安全性提供了新的方法。

针对冲击试验中存在的危险性大、跌落角度不易控制等问题，许多学者进行了试验的设计和仿真研究。傅孝忠等人[7]设计了一种新的评价弹药包装冲击强度试验方法，以解决弹药堆码运输时的冲击问题。谷智国等人[8]使用传感器和计算机辅助测试技术，提出了一种测试弹药包装跌落的方法，解决了全范围跌落角度和对应冲击力测试问题。张卓宁等人[9-10]根据冲击试验数据的分析方法，在 MATLAB 环境下给出了以实测信号为基础的冲击信号数学生成技术，为引信跌落的数值仿真提供了可靠的数据支持；同时在对各种环境下冲击试验数据进行深入分析的基础上，建立了引信勤务环境试验数据库系统。王珍等[11]利用有限元软件对小型引信电源结构在不同冲击过载下的动态响应规律进行了仿真研究。周彬等[12]采用有限元软件对箱装弹药跌落过程中引信元件的冲击加速度值进行了模拟仿真。李飞[13]通过有限元软件仿真，分析了运输冲击的冲击强度量值，并提出了防护措施。宁剑平等[14]采用蒙特卡罗法模拟实现箱装弹药引信跌落安全性检验的虚拟试验，用以替代危险引信的实验室跌落试验。王立新[15]和徐伟[16]等也先后采用动力学仿真软件对引信后座销和 MEMS 延时保险机构在勤务处理的跌落环境下的动态特性进行了仿真。

在理论研究方面，1985 年李世义利用缓冲理论和最大冲击响应谱理论，分析了跌落弹药后座机构的运动特性。随后，他又在中国兵工学会引信学会第六届年会上，对引信运输环境数据进行了分析研究。陈军[17]对低膛压非旋转报废弹药的运输环境进行了详细分析，指出了振动和冲击是影响其运输安全性的主要因素，建立了引信在运输环境力作用下的响应方程，并给出了引信运输安全性评价的一般方法。李金明[18-19]通过分别建立弹药跌落冲击时无回弹和考虑阻尼、有回弹两种条件下的冲击响应模型，分析了惯性元件响应最大位移与各影响因素之间的关系，为提高弹药的安全防护能力提供了理论基础；同时研究了车辆行驶过程中弹药冲击的特性，并通过试验得出了 PW67 式、PW78 式 82 mm 迫击炮弹不同跌落高度、不同厚度缓冲层时的冲击响应特性；此外，他进一步提出了弹药运输冲击损伤的极限条件，为弹药安全性评估提供了理论依据。秦翔宇等[20]基于 MATLAB 对箱装弹药跌落安全性进行了数值分析。周彬[6,21]运用 MATLAB 对跌落条件下弹药安全性进行了数值分析，讨论了各影响因素对引信保险元件冲击响应的影响。

2 弹药振动力学特性研究

公开资料显示，早在 1970 年 Rountree，Safford[22]就研究了随机振动下导弹仪器的脆值问题。其后，美军设计了一种频率范围为 5500 Hz，针对 MIL-STD-331-方法 119 运输振动试验的等效替代试验，并以 M732 型野战炮兵引信为例进行了模拟运输振动试验和损伤分析，这一方法为我军开展同类试验研究提供了较好的借鉴[23]。1997 年美军进行了高速铁路和高速公路的弹药运输试验，并对运输过程中的环境状况和运输振动载荷进行了监测[24]。2007 年，J. Lee，S. Groeschler[25]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

分析研究。

国内关于公路运输振动力学特性的研究较早见于农产品和机电产品等方面。这在一定程度上推动了对弹药方面的研究。1989 年,章淑珍首次在对弹药运输历程和典型自然路描述的基础上,确定了弹药外场和室内模拟试验量值,并对室内基本运输设备的主要参数进行了选择,为我军常规弹药运输试验和国军标制定提供了参考。GJB 3493—98(《军用物资运输环境条件》)亦给出了我国现有的主用运输工具在各种运行速度和各种工况(包括恶劣工况)下,车厢底板随机振动响应的加速度功率谱,并给出了其应用参考准则。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》)针对实验室模拟振动试验的剪裁指南、信息要求、试验要求和过程进行了明确规定。但 GJB 3493—98 和 GJB 150. 16A—2009 中规定的试验量值和谱型均是参考美军标 MIL-STD-810 制定的[26],与我军实际情况并不完全一致,因此这 2 个国军标明确规定了优先选用实测数据。安振涛和李金明[16,27-29]分析了卡车运输弹药的振动力学环境,在对勤务环境和弹药安全状态简化组合的基础上,建立了运输车辆受迫振动数学模型,并通过试验测定了卡车运输环境中不同路面、不同方向最大加速度值。徐伟国、毕世华[30]在建立某火箭运输装填车多自由度模型的基础上,对典型路面随机激励下的振动响应进行了分析,并通过试验测试了弹体仪器舱附近的加速度响应谱。韩保红等人[31]通过加速度方法的路面谱测试试验,分析了车厢 x,y,z 三个方向的振动情况。

随着汽车运输加速模拟振动试验的开展,弹药公路运输模拟试验也取得了快速发展。姚国年等人[32]从引起弹药运输随机振动的因素出发,详细分析了路面激励、运输车辆的动力模型和车厢底板的振动谱型,进而提出了模拟弹药运输的实现方法。朱学旺等人[33]应用随机振动响应分析方法研究了运输车系统在多点位移激励下的随机振动响应,获得了车厢底板振动加速度与路面不平度、行车速度之间的关系,并针对某型特种产品进行了室内模拟试验的设计。姚国年等人[26]以结构疲劳损伤为加速模拟实验的等效准则,运用概率论和数理统计方法,确定了特种产品加速模拟振动试验所要求的振动量值和试验时间。王得志[34]则以装备道路运输试验为背景,结合随机振动疲劳理论和数值模拟方法,运用仿真和试验手段研究了恶劣路况下引起的非高斯振动环境对装备结构可靠性的影响,为科学实施装备的室内跑车模拟试验提供了指导。姚国年、黄海英等人[35]通过特种产品跑车试验确定了运输振动谱的测试方法,在实验室再现了三向振动加速度功率谱密度曲线,所得谱型更加切合我军实际运输条件。在弹药运输振动模拟的具体试验研究方面,徐天柱等人[36]通过设计的乳化炸药长途公路运输强化模拟试验和分析试验,研究了长途公路运输对 4 种乳化炸药密度和爆炸性能的影响。武洪文等人[37]通过设计实施部分模拟试验并分析冲击和振动响应输出,测试了现役木质弹药包装在内置缓冲材料前后的抗冲击振动性能。李飞[13]在对轻武器弹药公路运输安全因素分析的基础上,对其公路运输进行了振动力学分析;同时针对某型铅芯手枪弹和 DQS1 式 40 mm 杀伤枪榴弹进行了振动模拟试验和跑车试验,并进行了相关的损伤分析和公路运输安全性分析。

一些学者在弹药公路运输振动仿真和理论研究方面也取得了不少进展。冯翔等人[38]应用三维有限元单元和导弹实体简化模型,对某种战术导弹运输环境中的结构振动特性进行分析,并通过有限元分析程序,得到了“自由-固支”条件下,导弹竖立状态的固有模态,进而对运输环境中导弹水平支承条件下的固有频率和振型进行了分析计算,为运输时导弹的可靠性分析提供了思路。徐新琦等[39]运用有限元法,分析了不同路面、不同车速条件下整弹运输时火箭发动机的随机振动响应,得到药柱内应力响应的分布规律及最大应力部位,为运输时药柱的疲劳损伤分析提供了依据。胡明枢[40]以军用某型号主力运输车为研究对象,基于虚拟样机技术建立了整车动力学模型及弹药运输试验的路面模型,并在此基础上进行了弹药运输振动仿真试验。侯聪花等人[41]采用有限元软件对某型装药弹的振动特性进行了数值模拟,利用 Block Lanczos 法求解,得到前 10 阶振动固有频率和振型。杨会军等[42]在介绍弹药装运卸中力学振动环境及基本参数的基础上,描述了弹药装运卸过程中的振动力学特性,并提出了汽车装运卸弹药的基本安全要求。

孙昌晏[43]建立了导弹运输车行军振动的动力学模型,并给出了一套较完整的统计响应量模型,为各种工况下的运输振动预测提供了思路。赵振民博士[44]采用多体动力学虚拟样机技术建立了常用危险化学品运输车辆的模型,在验证虚拟样车可靠性的基

础上,分析了各典型路况下车辆的动态响应,这也为弹药运输系统参数的识别提供了参考。段云龙、韩保红等人[45]针对我军某常用型号运输车的弹药运输过程,使用动态信号测试系统对车身进行了振动测试,对车辆的多输入多输出系统进行了建模。同时用 H_n 方法实现了对振动系统频响函数矩阵的无偏估计,并对辨识的结果进行了检验。这一试验研究过程为我军军用运输车的动态分析提供了新的手段,也为分析弹药运输动力学系统参数识别奠定了基础。可以看出,我军在弹药运输动力学系统参数识别方面起步较晚,也未能在弹药保障领域得到很好的应用。目前包装领域在动力学系统参数识别方面的研究为其提供了借鉴。特别是王志伟、王军[46]建立的三级系统动态逆子结构理论和张冲[47]关于二级多点逆子结构理论在运输包装系统分析中的应用,这些都为弹药公路运输动力学特性分析提供了理论指导。

3 结论

总结国内外的研究成果可以发现,国外领先于国内,国内民品领域领先于军事领域,且冲击方面较运输振动方面研究得全面。虽然公路运输条件下弹药的安全问题已引起军内外各部门的重视,但由于我军开展运输环境下弹药动力学研究工作时间还不长,目前研究多是从整体上进行试验测试和理论把握,还存在明显的差距和不足,主要表现为:理论模型较为简单,对易损部件的分析不够全面,且缺乏对其可靠性的研究;对振动特性的研究十分有限,偏重于基础试验数据采集和试验设计,仿真亦较为简单。这也使得相关研究成果未能在弹药保障实践中发挥应有的作用。

由于弹药公路运输动力学特性的研究是一个庞大复杂的综合性课题,涉及弹药、运载工具和道路等多种因素,理化性质又各不相同,又缺乏关键的响应数据。因此,在弹药公路运输动力学方面仍有大量的问题需要进一步研究:

1)随着我军仓储自动化的发展和道路的逐步改善,振动必将成为公路运输过程中引起弹药损伤或失效的主要因素。因此,有关振动特性的研究将是今后研究的重点。

2)应结合弹药保障实践,构建更加合理的理论分析模型和仿真模型。特别是针对多层运输和运力不足时的超高超限等情况下的动力学问题进行研究;还应重点解决弹药、运载工具和道路构成的弹药运输系统中的动力学问题。

3)运输条件下弹药损伤的极限问题需深入研究。将各易损部件材料的力学性能与公路运输动力学特性结合起来,依据弹药的结构特点,研究弹药损伤失效机理,特别是运输振动条件下的疲劳累积损伤问题,为我军弹药公路运输相关规定的修订提供参考。

4)紧密结合弹药损伤失效机理和保障实践,提出面向公路运输动力学损伤的典型弹药安全性评估程序和方法。

参考文献:

[1] MIL-STD-810F, Environmental Engineering Consideration and Laboratory Tests[S].

[2] 陆静,程翔,鞠敏,等. 坠落冲击环境下引信保险系统的可靠性仿真[J]. 南京理工大学学报,2001,25(4):369-372.
LU Jing, CHENG Xiang, JU Min, et al. Reliability Simulation of Fuze Safety and Arming System under Drop-down Shock Environment[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2001, 25(4):369-372.

[3] 王代华,张志杰,范锦彪. ××弹坠落冲击加速度存储测试系统设计[J]. 仪器仪表学报,2004,25(z1):384-385.
WANG Dai-hua, ZHANG Zhi-jie, FAN Jin-biao. Storage Measurement System on Impact Acceleration for Falling of ×× Bomb[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2004,25(z1):384-385.

[4] 韩学平,芮筱亭,洪俊,等. 引信惯性部件坠落动力学试验分析及数值仿真[J]. 系统仿真学报,2008,20(8):1990-1993.
HAN Xue-ping, RUI Xiao-ting, HONG Jun, et al. Test Analysis and Numerical Simulation of Fuse Inertia Components Falling Dynamics[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(8):1990-1993.

[5] 唐红春,史永高,李东福. 塑料包装筒冲击强度的分析[J]. 西安工业学院学报,2006,26(2):159-161.
TANG Hong-chun, SHI Yong-gao, LI Dong-fu. Research on Impact Strength of Plastic Packing Box[J]. Journal of Xi´an Institute of Technology, 2006, 26(2):159-161.

[6] 周彬. 直线惯性保险引信跌落冲击安全性研究[D]. 石家庄:军械工程学院,2009.
ZHOU Bin. Research on Security of Linear Inertia Safety

Fuse under Drop Impact Environment[D]. Shijiazhuang: Ordnance Engineering College,2009.

[7] 傅孝忠,高廷如,祁立雷,等. 弹药包装冲击强度试验方法的改进研究[J]. 包装工程,2002,23(2):36-37.
FU Xiao-zhong,GAO Ting-ru,QI Li-lei,et al. Improvement of Testing Methods for Ammunition Package Impact Strength[J]. Packaging Engineering,2002,23(2):36-37.

[8] 谷智国,张怀智,郭胜强,等. 弹药包装跌落实验研究[J]. 包装工程,2009,30(6):14-15.
GU Zhi-guo,ZHANG Huai-zhi,GUO Sheng-qiang,et al. Experimental Study of Ammunition Package Drop[J]. Packaging Engineering,2009,30(6):14-15.

[9] 张卓宁,王炅,黄文良. 基于 MATLAB 的冲击试验数据处理技术及冲击信号数学生成技术[J]. 探测与控制学报,2005,27(3):48-51.
ZHANG Zhuo-ning,WANG Jiong,HUANG Wen-liang. The Study on the Data Processing and the Mathematical Generation of the Fuze Environmental Test Signals Based on MATLAB[J]. Journal of Detection & Control,2005,27(3):48-51.

[10] 张卓宁. 引信冲击环境试验数据处理技术及数据库技术[D]. 南京:南京理工大学,2004.
ZHANG Zhuo-ning. The Study on the Test Data Processing and Database of Fuze Impact Environment[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology,2004.

[11] 王珍,刘更,冯虹,等. 小型引信电源冲击特性仿真研究[J]. 探测与控制学报,2006,28(3):29-31.
WANG Zhen,LIU Geng,FENG Hong,et al. Study on the Simulation of the Impact Characteristic and Structure Strength of Miniature Fuze Power Source[J]. Journal of Detection & Control,2006, 28(3):29-31.

[12] 周彬,安振涛,秦翔宇,等. 跌落条件下箱装弹药关键部件冲击加速度的数值模拟[J]. 工业安全与环保,2009,35(9):51-52.
ZHOU Bin,AN Zhen-tao,QIN Xiang-yu,et al. Numerical Simulation of Impact Acceleration on the Key Parts of Packing Ammunition on Condition of Dropping[J]. Industrial Safety and Environmental Protection,2009,35(9):51-52.

[13] 李飞. 轻武器弹药公路运输安全性分析与试验研究[D]. 石家庄:军械工程学院,2009.
LI Fei. The Security Analysis and The Test Research of Lightweight-weapon Ammunition Highroad Transportation[D]. Shijiazhuang:Ordnance Engineering College,2009.

[14] 宁剑平,王冰,周彬,等. 引信跌落安全性检验的虚拟试验技术[J]. 物流科技,2010(7):71-74.
NING Jian-ping,WANG Bing,ZHOU Bin,et al. Virtual Test Technique of Fuze Dropping Security[J]. Logistics Sci-Tech,2010,33(7):71-74.

[15] 王立新,黄文良. 后座销在高过载情况下的动态仿真[J]. 弹箭与制导学报,2004,24(4):228-229.
WANG Li-xin,HUANG Wen-liang. Dynamic Simulation of Setback-pin under High Over-Loading[J]. Journal of Projectiles,Rockets,Missiles and Guidance,2004,24(4):228-229.

[16] 徐伟,李志超,王炅. 引信 MEMS 延时保险机构性能仿真分析[J]. 微纳电子技术,2010,47(12):757-761.
XU Wei,LI Zhi-chao,WANG Jiong. Simulation Analysis of the Safety and Arming Device for MEMS Delay Fuzes[J]. Micronanoelectronic Technology,2010,47(12):757-761.

[17] 陈军. 低膛压非旋转报废弹药运输安全性研究[D]. 石家庄:军械工程学院,2002.
CHEN Jun. Research on Transportation Safety of Unserviceable Ammunition with Low Bore Pressure[D]. Shijiazhuang:Ordnance Engineering College,2002.

[18] 李金明,安振涛,丁玉奎,等. 箱装弹药冲击响应特性研究[J]. 包装工程,2006,27(4):137-139.
LI Jin-ming,AN Zhen-tao,DING Yu-kui,et al. Study of Ammo Packaging Drop Impact Response[J]. Packaging Engineering,2006,27(4):137-139.

[19] 李金明. 储运力学条件下典型弹药安全评估与防护对策研究[D]. 石家庄:军械工程学院,2007.
LI Jin-ming. Study on Evaluation and Fense Countermeasure of The Typical Ammunition Safety in Mechanical Condition[D]. Shijiazhuang:Ordnance Engineering College,2007.

[20] 秦翔宇,安振涛,李文生,等. 基于 Matlab 仿真的箱装弹药跌落安全性研究[J]. 四川兵工学报,2009,30(6):18-20.
QIN Xiang-yu,AN Zhen-tao,LI Wen-sheng,et al. Simulation of Packing Ammunition Dropping Security based on MATLAB[J]. Journal of Sichuan Ordnance,2009,30(6):18-20.

[21] 周彬,安振涛,甄建伟,等. 跌落条件下箱装弹药安全性的数值评估[J]. 装备环境工程,2009,6(5):50-53.
ZHOU Bin,AN Zhen-tao,ZHEN Jian-wei,et al. Numerical Evaluation of Packaged Ammunition Security under Condition of Dropping[J]. Equipment Environmental Engineering,2009,6(5):50-53.

[22] ROUNTRE R C,SAFFORD F B. Methodology and Standardization for Fragility Evaluation[J]. Shock Vibration Bull,1970,41(5):111-128.

[23] FRYDMAN A M,TEVELOW F L. An Equivalent Transportation Vibration Test-Procedures and Techniques Applicable

to the Army M732 Field Artillery Fuze[R]. U. S. Army Materials and Mechanics Research Center,1980.

[24] HARTMAN Q D. 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]. USA:US Army Defense Ammunition Center,1997.

[25] LEE J,GROESCHLER S. Transportation Vibration Analysis of the XM982 Projectile[R]. USA:US Army Defense Ammunition Center,2007.

[26] 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.

[27] 李金明,安振涛,丁玉奎,等. 卡车运输弹药力学环境及防护要求[J]. 物流技术,2004(10):66-67.
LI Jin-ming,AN Zhen-tao,DING Yu-kui,et al. Motive Environment and Protection Condition of Ammunition in Truck Conveyance[J]. Logistics Technology,2004(10):66-67.

[28] AN Zhen-tao,LI Jin-ming,DING Yu-kui,et al. The Study of Vibration Characteristic in Ammunition Transportation Environment[C]//6th International Symposium on Test and Measurement. Dalian:2005,2345-2348.

[29] 李金明,安振涛,丁玉奎. 弹药运输环境振动特性研究[J]. 包装工程,2005,26(3):105-107.
LI Jin-ming,AN Zhen-tao,DING Yu-kui. The Study of Vibration Characteristic in Ammunition Transportation Environment[J]. Packaging Engineering,2005,26(3):105-107.

[30] 徐伟国,毕世华. 某火箭弹运输装填车的振动响应分析与实验研究[J]. 弹箭与制导学报,2005,25(4):182-185.
XU Wei-guo,BI Shi-hua. Analysis and Experimental Study on Vibration Response of Some Rocket Transport and Loading Vehicle[J]. Journal of Projectiles,Rockets,Missiles and Guidance,2005, 25(4):182-185.

[31] 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.

[32] 姚国年,张卫东,赵辉. 弹药公路运输随机振动特性分析[J]. 测控技术,2004,23(7):67-69.
YAO Guo-nian,ZHANG Wei-dong,ZHAO Hui. Random Vibration Characteristic Analysis of the Ammunition during Road Transportation[J]. Measurement & Control Technology,2004,23(7):67-69.

[33] 朱学旺,范宣华,宁佐贵. 特种包装产品公路运输环境振动室内模拟试验研究[J]. 强度与环境,2008,35(1):6-12.
ZHU Xue-wang,FANG Xuan-hua,NING Zuo-gui. Test Research in Lab on a Missile Warhead Subjected to Transportation Vibration Environment[J]. Structure & Environment Engineering,2008,35(1):6-12.

[34] 王得志. 非高斯振动环境下的装备结构可靠性研究[D]. 长沙:国防科学技术大学,2010.
WANG De-zhi. Research on the Structural Reliability of Equipments in the Non-Gaussian Vibration Environment[D]. Changsha:National University of Defense Technology, 2010.

[35] 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. Criterion Spectra of Simulation Experiments for Special Product Transport Using Measured Data[J]. Journal of Vibration Measurement & Diagnosis,2010,30(5):577-580.

[36] 徐天桂,谢冬泉,刘尊义. 长途公路运输对乳化炸药性能影响的模拟试验[J]. 爆破器材,1994,23(4):1-4.
XU Tian-gui,XIE Dong-quan,LIU Zun-yi. The Effect of the Long-distance High Way Transportation on the Explosion Performance of Emulsion Explosives[J]. Explosive Materials,1994,23(4):1-4.

[37] 武洪文,戴祥军,傅孝忠. 弹药木质包装抗冲击振动防护性能的测试研究[J]. 军械工程学院学报,2008,20(6):50-53.
WU Hong-wen,DAI Xiang-jun,FU Xiao-zhong. Research on the Testing of Protective Performance of Ammunition Ligneous Packaging in Dynamic Mechanics Circumstance[J]. Journal of Ordnance Engineering College,2008,20(6):50-53.

[38] 冯翔,李向斌,关正西,等. 运输环境中某战术导弹结构振动特性分析[J]. 固体火箭技术,1999,22(1):6-10.
FENG Xiang,LI Xiang-bin,GUAN Zheng-xi,et al. Finite Element Structure Vibration Characteristic Analysis of a Solid Missile in Transportation Environment[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 1999, 22(1):6-10.

[39] 徐新琦,袁书生. 固体发动机药柱公路运输随机振动响

应分析[J]. 固体火箭技术,2001,24(4):33-36.
XU Xin-qi, YUAN Shu-sheng. The Random Vibration Response Analysis of Solid Rocket Engine Grain during Road Transportation[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2001,24(4):33-36.

[40] 胡明枢. 基于虚拟样机技术的模拟弹药运输振动研究[D]. 石家庄:军械工程学院,2008.
HU Ming-shu. Virtual Prototype Based Simulation for Vibration in Ammunition Transportation[D]. Shijiazhuang: Ordnance Engineering College,2008.

[41] 侯聪花,王晶禹. 某装药弹振动特性的安全分析[J]. 中国安全科学学报,2009,19(8):73-76.
HOU Cong-hua, WANG Jing-yu. Safety Analysis on the Vibration Characteristics of a Certain Bomb´s Explosive Column[J]. China Safety Science Journal, 2009, 19(8): 73-76.

[42] 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性研究[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.

[43] 孙昌晏. 导弹运输车振动预测[J]. 北京理工大学学报,1989,9(2):9-16.
SUN Chang-yan. Predicting Vibrations Occurring on A Missile Transporter[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 1989, 9(2): 9-16.

[44] 赵振民. 危化品运输工况仿真与模拟器关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2011.
ZHAO Zhen-min. Research on Simulation of Hazardous Chemicals Transportation and Key Technologies of the Simulator[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.

[45] 段云龙,韩保红,闫璐,等. 某型军用运输车辆振动系统频响函数矩阵估计的研究[J]. 实验力学,2011,26(4):9-16.
DUAN Yun-long, HAN Bao-hong, YAN Lu, et al. Frequency Response Function Matrix Estimation for Transport Vehicle Shaking System[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2011, 26(4): 425-431.

[46] WANG Zhi-wei, WANG Jun. Inverse Substructure Method of Three-Substructures Coupled System and Its Application in Product-Transport-System[EB/OL]. http://jvc.sagepub.com/content/early/2010/10/07/1077546310376083.

[47] 张冲. 运输包装系统二级多点逆子结构验证分析[D]. 广州:暨南大学,2010.
ZHANG Chong. Validation and Analysis of Transport Packaging System Using Inverse Sub-structuring of a Two-component System with Multi-degree of Freedom[D]. Guangzhou: Jinan University, 2010.

·简讯·

第20届中国国际包装设备与制品展 圆满闭幕

“第二十届中国国际包装工业展览会”(简称:中国国际包装展 Sino-Pack 2013)和“第十七届中国国际啤酒、饮料及液态包装工业展览会”(简称:中国国际饮料展 China Drink 2013)及“中国(广州)国际包装制品馆”(简称:包装制品与材料 PackInno2013)统称“中国国际包装设备与制品展”于2013年3月6日广州琶洲展馆圆满落下帷幕。

做为中国开年规模最大、人气最旺的包装设备与制品展,3天共接待27648名专业买家,分别来自海内外142国家和地区,其中包括海内外终端企业参观团80家。本届展会规模也不断扩大,展出面积达到40,000平方米,创历史新高,展会已发展成为中国最大规模包装设备及制品展览会,引领包装设备、包装制品行业的风向标。

本届“中国国际包装设备与制品展”有超过500家来自15个国家及地区的知名参展商集体亮相。新增的“中国(广州)国际包装制品馆”更在包装材料、制品以及设计上展示了与国际接轨的高端成品和技术!

此次活动得到了业界、协会、展商等一致好评。

展会时期还同时举办了20场从机械到材料、以至设计连接上下游产业的7大主题系列研讨会。

本届展会观众的专业程度之高,从其采购任务与采购金额亦可见一斑。不少企业因产业的升级,公司扩厂,设备更新,生产自动化等各种原因莅临展会现场寻找匹配的合作商。

最后,大会公布,“2014中国国际包装设备与制品工业展”将于2014年3月3-5日在广州.中国进出口商品交易会琶洲展馆(A区)再度举行。2014展会规模将进一步扩大,设有包装设备、包装制品与材料、国际馆三大主题展馆,吸引国内外知名快消行业终端买家莅临,将打造成为中国以至东南亚最大规模包装设备及制品展览会。

(雅式展览公司 供稿)