

Anti-Impact Design for Missile Accelerometer Recorder*

JIN Shuyun^{1,2}, JIN Hong^{1,2*}, ZHANG Yanbing^{1,2}, LI Yuewu³, WANG Huan^{1,2}

(1. Science and technology on Electric Test and Measurement Laboratory, Taiyuan 030051, China;

2. Key Laboratory of Instrumentation Science and Dynamic Measurement, Ministry of Education, Taiyuan 030051, China;

3. Shanghai Maritime University Key Laboratory of Marine Technology and Control Engineering Ministry of Communications, Shanghai 201306, China)

Abstract: Two buffer protection structure of the missile-borne is put forward for missile parameters test failure due to deformation or damage in penetration test environment by high impact, Level 1 buffer is high mechanical strength steel protective shell and Level 2 is aluminum foam nested within the machined shell. It proves that under the environment of 100 000 g_n high impact the recorder can store and read back the test data reliably after penetrating 3 layers concrete target.

Key words: instrumentation engineering; anti-high impact; penetration; acceleration data recorder; two buffer protection
EEACC:7230 doi:10.3969/j.issn.1004-1699.2014.04.008

弹载加速度数据记录仪抗高冲击设计*

靳书云^{1,2}, 靳 鸿^{1,2*}, 张艳兵^{1,2}, 李跃武³, 王 欢^{1,2}

(1. 中北大学电子测试技术国家重点实验室, 太原 030051; 2. 中北大学仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051;

3. 上海海事大学航运技术与控制工程交通行业重点实验室, 上海 201306)

摘要: 针对弹载加速度数据记录仪在侵彻环境下受到高冲击力易变形或损坏导致测试失败的问题, 提出弹载加速度数据记录仪两级缓冲保护结构, 一级为高强度钢的机械外壳防护, 二级为薄壁金属管填充泡沫铝的缓冲装置。通过实体弹侵彻 3 层混凝土试验, 弹载加速度记录仪能够可靠存储并回读实验数据, 证明了在 100 000 g_n 高冲击环境下记录仪的工作可靠性。

关键词: 仪器仪表工程; 抗高冲击; 侵彻; 加速度数据记录仪; 两级缓冲保护

中图分类号: TP212.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2014)04-0463-04

随着科学技术的进步和防御体系的发展, 越来越多重要的军事目标被掩护在地底下, 并且通过多层介质进行保护, 为了摧毁这些掩护, 需要用到侵彻弹, 而侵彻弹记录仪的安全性和可靠性将直接影响侵彻弹能否在正确时间和正确位置引爆^[1-3]。侵彻弹在侵彻介质时, 会受到巨大的冲击力, 产生巨大的冲击波, 这些冲击波具有初值高、作用时间短的特点。冲击波在侵彻弹中传播时会对记录仪造成一定的破坏性, 可能造成误引爆。因此, 须对记录仪模块采取一定的防护措施^[4-6]。

为了对记录仪进行保护, 使记录仪满足弹载试验要求。本文设计两级缓冲保护结构, 选用高强度钢机械壳体作为一级防护, 泡沫铝层作为二级缓冲, 采用 LS-DYNA 对缓冲材料的缓冲性能进行仿真, 并设计弹体侵彻 3 层混凝土层打靶试验。

1 防护设计

防护设计主要是利用记录仪机械外壳的高强度来保护记录模块, 使其与弹体外部或内部其他零件隔离开, 使其在只受到自身惯性力作用时不发生塑性形变。

1.1 壳体设计

弹载加速度记录仪的防护设计可分为记录模块壳体设计和记录仪壳体设计两个层面。记录模块的壳体设计要对壳体强度和缓冲器件的缓冲性能进行综合考虑, 以减小质量为前提, 尽可能提高材料的比强度, 同时采用抗压强度较好的加隔离加强筋的结构。因为材料相同, 壳体的强度越大则质量越大, 对缓冲器件的要求相应提高。弹载记录仪机械壳体的设计目的是在多次强冲击过程中保护系统内部的记录模块、缓冲器件和传感器不被弹体内部的其他零部件挤压, 且在弹体

项目来源: 国家自然科学基金项目(51275488); 某重点实验室基金项目; 中北大学第十届研究生科技基金项目(20131036)

收稿日期: 2014-02-27 修改日期: 2014-04-07

损坏的情况下,有效防止记录模块与弹体的碎片或侵彻目标的刚性撞击。设计壳体结构如图1所示。其中,记录模块的壳体用于封装测试电路,外壳体用于安装记录模块、缓冲器件和传感器^[7-8]。

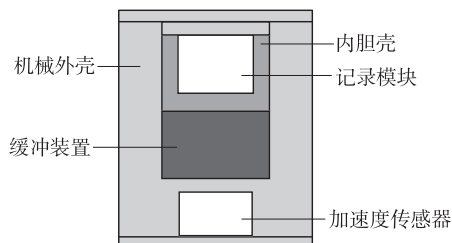


图1 记录仪壳体结构示意图

考虑到系统外壳体与弹体内部的装配,机械外壳通常采用优质合金钢制作的圆柱形结构。为了防止内外壳体之间的转动挤压,电路连线记录模块设计成长方形结构。

1.2 走线鲁棒性设计

鲁棒性是指系统在其特性或参数发生扰动时维持某些性能的特性,是系统在异常和危险情况下生存的关键^[9]。导线的鲁棒性是指在高冲击环境下,测试系统连接导线的生存能力。

高冲击测试系统中,在高冲击环境下,考虑导线的受力状态和失效模式,设计侧端“之”形走线方式,如图2所示,同时在导线的周围采用石蜡灌封,保证导线在侵彻过程中与壳体没有相对运动,且有利于对电路模块的缓冲设计。

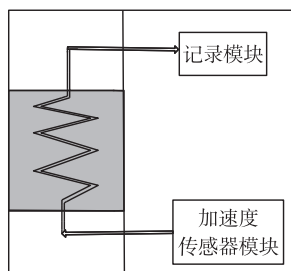


图2 “之”形走线示意图

2 缓冲设计

在记录模块设计过程中,元件被强化固封在高强度的壳体内,一定程度上提高了抗过载性能。实际的多层侵彻实验中,因过高的应力损坏导致记录模块丢失数据时有发生,表明系统的存活性比较脆

弱。为了保证可靠测试,在侵彻过程中,降低记录模块所承受的过载值非常重要。

被动缓冲隔离可以有效降低记录模块所承受的过载值,是对记录模块进行保护的有效技术途径之一。被动缓冲隔离采用适当的缓冲材料和缓冲结构,在侵彻过程中,对高过载进行滤波隔离;在高冲击过程中,吸收存储产生的能量。但由于弹载测试系统内部空间有限,很大程度上限制了缓冲器结构的设计,因此缓冲材料的选择极为重要。

弹性模量小、伸长率大、弹性高、强度高是橡胶的主要特征。这使得橡胶被广泛用作隔离振动和吸收冲击的缓冲材料。泡沫铝是一种可通过改变密度调节弹性模量且各向同性的金属材料,具有较高的抗弯刚度和冲击波吸收能力^[10]。尼龙、环氧树脂因其具有较大的弹性模量,部分场合也选择它们作为缓冲性能的材料。本文利用 LS-DYNA 对几种材料的缓冲性能进行数值模拟,以选出最佳的缓冲材料。

2.1 泡沫铝等缓冲材料仿真

为了更直观的模拟材料的缓冲性能,在冲击模块施加一个峰值为 100000 g_n 、脉宽 2 μs 的加速度。加速度施加在冲击模块上,并作用在缓冲模块上。建模过程中冲击模块、缓冲模块、记录模块之间的接触都采用面面自动接触。实验仿真模型如图3所示。

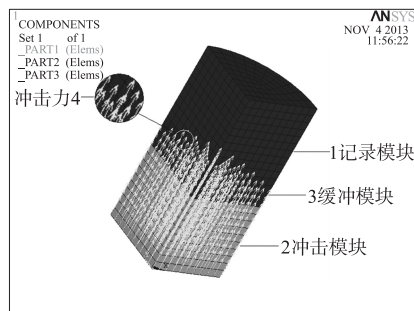


图3 实验仿真模型

2.1.1 材料模型和仿真参数

模拟效果的好坏,很大程度上取决于所选的材料模型和仿真参数。文中缓冲模块和记录模块仿真时所用到的半径、厚度均与所设计传感器尺寸相同,冲击模块只是力的载体,尺寸大小对缓冲效果并无影响,在仿真时选用的尺寸与记录模块相同。在查阅文献的基础上确定材料模型及相关参数如表1所示。

表1 材料模型及相关参数

序号	材料模型	密度/(g/cm^3)	杨氏模量/GPa	泊松比 σ	
1	记录模块	PLASTIC_KINEMATIC	5.300	20.69	0.300
2	冲击模块	JOHNSON_COOK	7.830	210.0	0.300
3	橡胶	BLATZ_KO_RUBBER ^[11]	1.103	1.040	0.499
4	泡沫铝	CRUSHABLE_FOAM ^[12]	0.37	1.20	0.300
5	尼龙	PLASTIC_KINEMATIC	1.10	2.80	0.400
6	环氧树脂	PLASTIC_KINEMATIC	0.40	3.20	0.400

2.1.2 仿真分析

以4种不同的材料作为缓冲模块,在仿真实验过程中,除了材料模型和参数不同外,其他条件均相同,得到加速度曲线如图4所示。

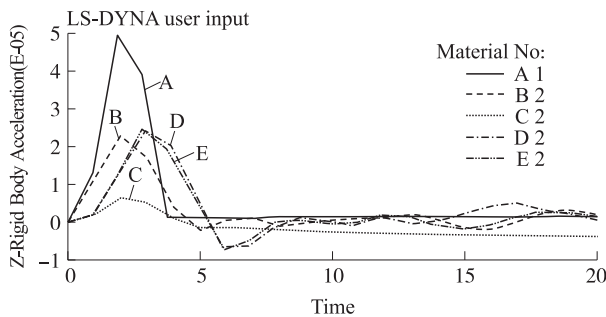


图4 加速度曲线

其中,曲线A为冲击部分的加速度曲线,加载峰值为 $100\ 000\ g_n$,LS-DYNA取的为质心加速度曲线,峰值降为 $50\ 000\ g_n$,B、C、D、E分别为橡胶、泡沫铝、尼龙、环氧树脂作为缓冲材料时的加速度曲线,从曲线可以看出,4种材料均达到了缓冲的目的,达到峰值的时间变慢、峰值变小、脉宽变宽。分析4种材料,其中橡胶、尼龙、环氧聚酯这些高分子材料缓冲效果几乎一样,泡沫铝缓冲效果明显较其他3种材料更好。因此选用泡沫铝做缓冲材料。

2.2 缓冲装置设计

金属圆柱壳由于其以可控的方式吸收能量、破坏模式稳定、吸能效率高是应用广泛的缓冲装置之一。但金属圆柱壳和泡沫铝缓冲共同的缺点是理想吸能效率并不是太高且冲击力不稳定,不利多层侵彻缓冲装置的设计。近年来,许多研究者将薄壁管和泡沫材料相结合,获得了很好的缓冲效果,吸能能力得到了很大的提高。将泡沫铝填充在薄壁管塑性变形缓冲器中可以构成很好的缓冲吸能装置,因此,对这种新型组合缓冲装置吸能缓冲特性的研究有非常重要的意义。在此基础上,设计了薄壁金属管填充泡沫铝的缓冲装置如图5所示。

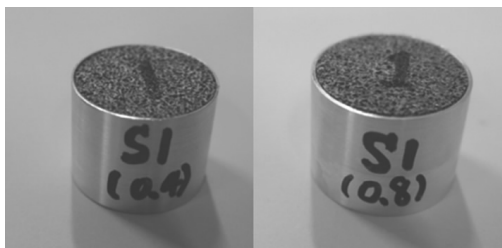


图5 缓冲试件实物图

3 试验验证

弹载记录仪整体示意图如图6所示。

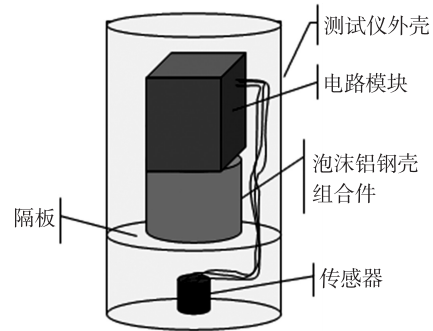


图6 弹载加速度记录仪整体示意图

设计试验用滑膛炮以 $600\ m/s$ 的出膛速度侵彻3层混凝土靶板,靶板厚 $0.15\ m$,靶间距 $1.2\ m$ 。试验结束后,从弹体中取出记录仪模块,得到实测加速度曲线如图7所示。

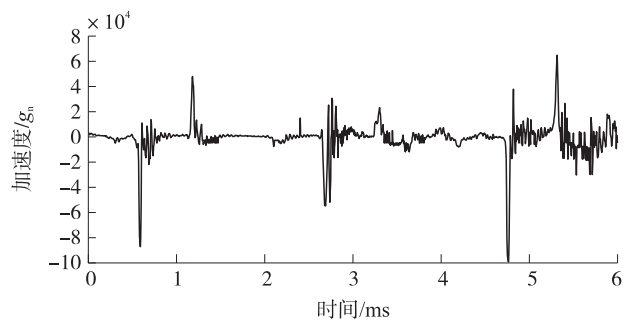


图7 实测加速度曲线

分析试验数据,弹体侵彻3层混凝土层,加速度曲线表现为3个负向峰值。弹体侵彻一层混凝土过程分为两个阶段,第1阶段为初始撞击阶段,表现在曲线上就是一个高幅值的负向脉冲,随着弹体进一步侵彻,进入第2阶段,弹头穿过混凝土靶板,弹体在混凝土中穿出,这一阶段伴随着小的震动,也会出现较高的震荡,表现在曲线上为小的基线抖动和小幅震荡。当弹尾穿出,弹体基本平稳运动,表现在曲线上为平滑的基线。

4 结论

本文提出了弹载加速度数据记录仪两级保护结构,一级为高强度钢的机械外壳防护,二级为薄壁金属管填充泡沫铝的缓冲装置,有效提高了弹载加速度数据记录仪的抗高冲击能力。通过弹体侵彻3层混凝土靶板实测试验,弹载加速度数据记录仪能够可靠的存储并回读实验数据,证明了在 $100\ 000\ g_n$ 高冲击环境下弹载记录仪的工作的可靠性。

参考文献:

- [1] Booker P M, Cargile J D, Kistler B L. Investigation on the Response of Segmented Concrete Targets to Projectile Impacts [J].

- International Journal of Impact Engineering, 2009, 36 (7): 926-939.
- [2] 范锦彪,王燕,徐鹏,等.高 g 值加速度传感器的窄脉冲校准理论与方法[J].传感技术学报,2012,25(9):1242-1245.
- [3] 徐鹏,祖静,范锦彪.高 g 值侵彻加速度测试及其相关技术研究进展[J].兵工学报,2011,32(6):739-745.
- [4] 范锦彪,祖静,林祖森,等.高 g 值加速度传感器激光绝对法冲击校准技术研究[J].振动与冲击,2012,31(11):149-153.
- [5] 闻利群,鲁建霞,张同来,等.泡沫铝和橡胶对测试仪器抗冲击波缓冲能力的仿真研究[J].弹箭与制导学报,2010,30(3):223-225,232.
- [6] 王志.小型专用记录系统的设计与实现[D].太原:中北大学,2010.
- [7] 赵小龙,马铁华,范锦彪.高 g 值加速度计在高冲击下的失效特性的研究[J].传感技术学报,2012,25(12):1668-1672.
- [8] 马佰振.多层侵彻过载存储测试技术研究[D].太原:中北大学,2012.
- [9] 董力科.多层侵彻过载信号获取技术测研究[D].太原:中北大学,2013.
- [10] 王永刚,胡时胜,王礼立,等.爆炸荷载下泡沫铝材料中冲击波衰减特性的实验和数值模拟研究[J].爆炸与冲击,2003,23(6):516-522.
- [11] Meyers P A. Dynamic Behavior of Materials [Z]. Meyers, Marc André John Wiley & Sons,1994.
- [12] 王代华,刘殿书,杜玉兰,等.含泡沫吸能层防护结构爆炸能量分布的数值模拟研究[J].爆炸与冲击,2006,26(6):562-567.



靳书云(1989-),女,河北邢台人,硕士研究生。研究方向为动态测试与智能仪器、虚拟仪器,jinshuyunfd@163.com;



靳鸿(1974-),女,博士,教授,硕士生导师。1997年7月毕业于华北工学院测试技术系,获工学学士学位;2000年9月至2003年4月,在华北工学院电子工程系读硕士研究生,并获得硕士学位;2011年11月,获中北大学测试计量技术与仪器专业博士学位。1997年7月留校任教,2008年7月被聘为副教授。2013年聘为教授。研究方向:恶劣环境的动态参数测试,微型弹载测试仪和智能仪器。