

文章编号: 1001-1455(2012)05-0557-04

高过载数据储存器缓冲隔振结构的优化设计*

张 晶^{1,2}, 贾宏光¹, 郝相宇¹, 周 凌¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 根据应力波理论设计储存器的缓冲隔振结构, 同时兼顾缓冲与隔振、配置合理的广义阻抗比, 从而设计出复合减振结构, 解决了狭小空间的抗冲击问题。再应用 Isight 与 Ls-dyna 联合优化, 不以降低过载加速度为指标, 而选取最大动应力为目标, 使被保护元件的最大动应力降低了约 70.9%, 储存器的质量下降了约 300 g, 最终进行了炮击实验, 成功回收数据。

关键词: 振动与波; 缓冲与减振; 应力波; 数据储存器; 优化

中图分类号: O328

国标学科代码: 13020

文献标志码: A

导弹飞行试验阶段中数据测试极其重要, 常用的有两种方法: 一是无线遥感测法, 另一种是回收遥测。前者系统复杂, 测试成本昂贵, 难以在反坦克导弹中应用, 且存在黑障区; 后者克服了无线遥感保密性差、传输速度慢、对环境条件要求较高的缺点, 并且投资少、更新快、造价低而且组织飞行试验简单。因此, 回收遥测在导弹试验中取得了广泛的应用。而回收遥测, 是在最后弹射出落地或者跟随导弹直接侵彻目标, 最终一起回收的, 尤其那些用于记录导弹侵彻目标过程的数据储存器, 承受着复杂的侵彻冲击加速度。在导弹侵彻过程中由于弹体自身的破坏, 储存器有可能不只承受过载加速度所带来的惯性力, 还有可能直接跟随着弹体残骸侵彻目标, 受到弹体其他设备的挤压碰撞而破坏。因此机械结构本身的抗冲击、隔振性能显得更加重要, 对提高系统的可靠性和合理性起着重要的作用, 直接影响数据回收能否成功^[1]。

传统的缓冲理论为刚体弹簧模型, 往往以降低冲击加速度为目标, 无法解决狭小空间上的缓冲问题, 且刚体模型不能准确描述弹性体各部分的实际受力状况。本文中, 应用应力波理论配置合理的阻抗比, 兼顾缓冲与隔振去设计结构, 不以降低过载加速度为指标, 而选取降低最大动应力为目标, 利用非线性软件校核、优化, 最终完成炮击实验的数据回收。

1 缓冲减振结构的初步设计

储存器在弹体侵彻靶体前一阶段, 主要承受随机振动的干扰, 侵彻过程中则存在着大振动、大冲击, 三明治复合结构在冲击防护上有着明显的优势^[2-3], 为了增强减振的能力, 增加了吸振能力较强的硅橡胶, 并且采用了二级缓冲隔振措施。图 1 为储存器 1/4 轴对称图。

应力波通过介质 1 向介质 2 的界面的透射系数 T 为^[4]

$$T = \frac{2}{1+n} \frac{A_1}{A_2} \quad n = \frac{\rho_1 c_1 A_1}{\rho_2 c_2 A_2} \quad (1)$$

式中: A 为应力波通过界面截面积, ρ 为介质密度, c 为应力波在介质中的传播速度。当 $T < 1$ 时, 透射应力波幅值小于入射应力波幅值, 即能起到减振缓冲作用。

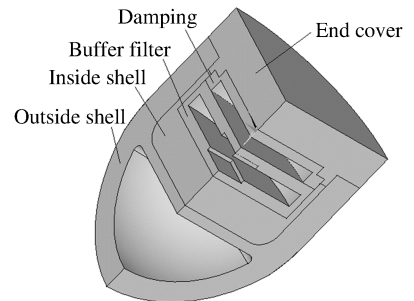


图 1 数据储存器几何结构

Fig. 1 The structure of the data recorder

* 收稿日期: 2011-07-15; 修回日期: 2011-10-27

作者简介: 张 晶(1986—), 男, 硕士研究生。

前端圆弧无论在正碰还是侧碰时受力状态好,由式(1)可知,应力波从小截面向大截面传递时,存在反射衰减,挖空处,不但能减轻质量,还能阻止应力波的传递。通过缓冲滤波物质、减振垫可以滤波减振,芯片板灌封加固在内壳中,灌封物质也能起到滤波减振的作用。

2 缓冲减振结构的优化设计

根据应力波传递理论,优化配置材料阻抗比,以降低数据存储芯片的最大动应力为目标,建立导弹侵彻的有限元模型,联合 Isight 与 Ls-dyna 完成数据存储缓冲减振结构的优化设计。

2.1 全弹侵彻模型的建立

参考文献[5-6],在建立侵彻模型时进行合理的简化,去除部分不参与碰撞吸能的零件、部分吸收能量较少的部件(如摄像头、电路板、螺钉等),最后再加上配重质量块,建立如图2所示的全弹侵彻混凝土靶的有限元模型。金属材料选用 Johnson-Cook 强度模型,混凝土靶选取 Johnson-Homquist 本构模型。

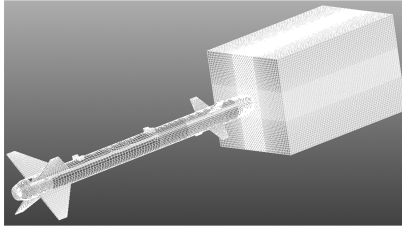


图2 弹体与靶体有限元模型
Fig.2 The FEA model of target and projectile

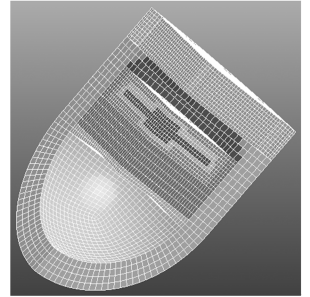


图3 存储器有限元模型
Fig.3 The FEA model of the data recorder

2.2 存储器有限元模型的建立

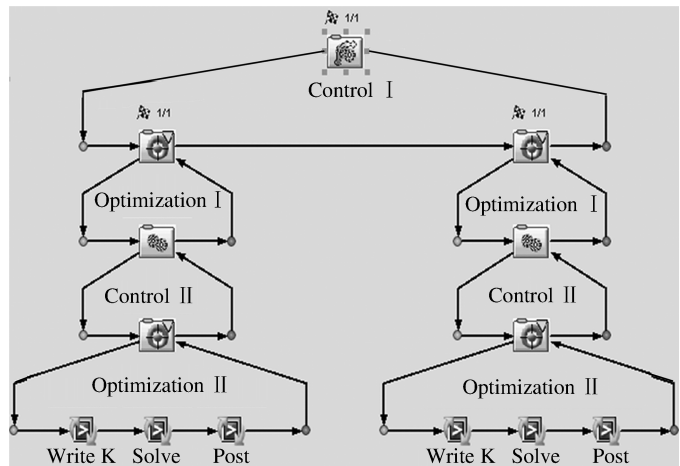
将图1中关键尺寸(如内腔空间、缓冲滤波物质尺寸、外壳壁厚、挖空尺寸等)参数化建模,并装配上存储芯片及电路板,网格控制在 $2\sim 4\text{ mm}^{[7]}$,全部结构化网格,以保证非线性动态求解精度,如图3所示(1/4轴对称模型)。橡胶选用 Mooney-Rivlin 本构模型,泡沫铝选用 Crushable-foam 本构模型,电路板选用 Orthotropic-elastic 本构模型,芯片选用 Plastic-kinematic 本构模型。

2.3 Isight 与 Ls-dyna 的联合优化

由式(1)可知,选择缓冲滤波材料很重要,常用材料有泡沫铝、石英砂、毛毡及橡胶等弹性物质,其中泡沫铝的缓冲性能最佳,橡胶减振性能优越^[8-9]。据此利用 Isight 与 Ls-dyna,不仅对关键几何尺寸(前端圆弧 R 、内部圆弧 r 、外壳腔壁厚 T 、端盖厚度 t 、外壳内腔长度 L 、缓冲物厚度 d_1 、内壳厚度 d_0 和缓冲物厚度 d_2)进行了优化,还对材料性能(泡沫铝、橡胶和毛毡)进行了选择优化,对不同应力平台区的泡沫铝及不同硬度的橡胶进行了阻抗匹配优化选择。在整个侵彻过程中,增强了应力波的反射和衰减,使传递到存储板上的最大动应力最小。将其他部件的强度极限作为约束条件,并对优化变量进行了灵敏度筛选,对造成最大动应力的因素进行了区分,以提高优化功效。

图4为 Isight 与 Ls-dyna 的优化模块图,非线性动力学优化问题可能存在多峰值最优,采用自适应模拟退火法与二次规划法组合优化法,即先全局寻优再局部寻优。这样不但效率高,还避免陷入局部最优解。

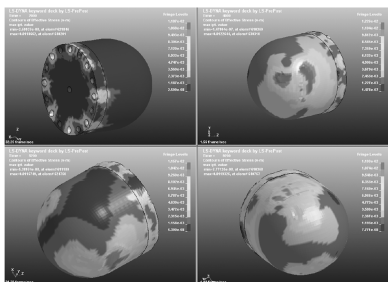
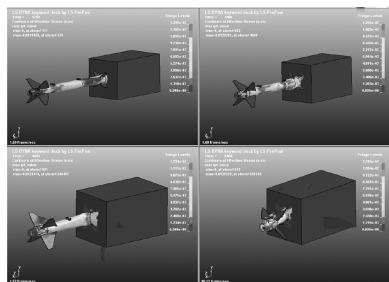
数值模拟全弹侵彻过程中,四个不同时刻的截图如图5所示。由图可以看出,导弹在侵彻混凝土靶的过程中,前端破坏堆积在一起,因此对数据存储缓冲器不但造成大过载,而且还会造成严重的挤压碰撞,最大动应力 1 GPa 。这些对外壳的强度和刚度有较高的要求,外壳选用高强度合金钢,内壳主要是抗



弯曲以减弱、消除附加应力,选用强度高且质轻的铝合金。

(a) The penetration of projectile into concrete targets

(b) The stress nephogram for packet shell of data recorder



(c) The stress nephogram of the inner shell

(d) The stress nephogram of the storage board

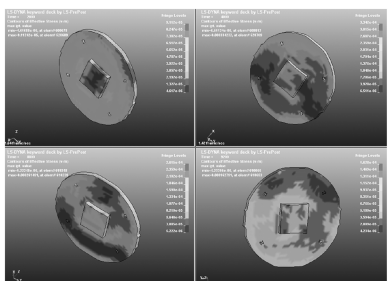
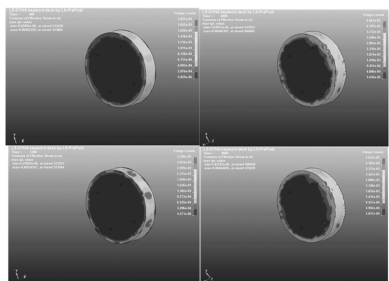


图 5 数值模拟侵彻结果

Fig. 5 The results of simulating penetration

图 6 为优化前后电路板在整个侵彻过程中的最大动应力变化曲线。由图可以看出,优化前电路板上的最大动应力约 110 MPa,在对关键几何尺寸及填充物质优化选材后,电路板最大动应力约 32 MPa,降低了约 70.9%;存储器整体质量降低了约 300 g,优化效果显著。

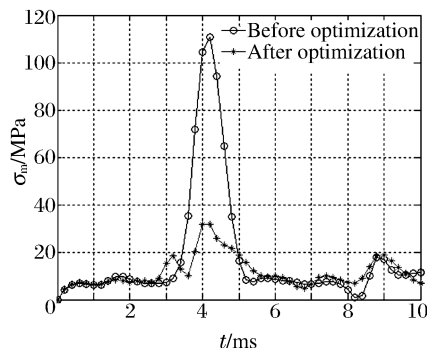


图 6 存储板最大动应力变化曲线

Fig. 6 The maximum dynamic stress curve of the storage board

3 侵彻实验验证

将数据存储器安装试验弹中,以约 160 m/s 速度侵彻某靶场砖混墙,完成了数据回收,见图 7~8。

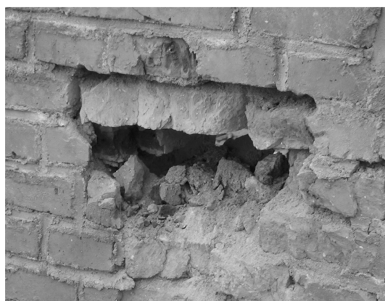


图 7 侵彻后的靶

Fig. 7 The target after penetration

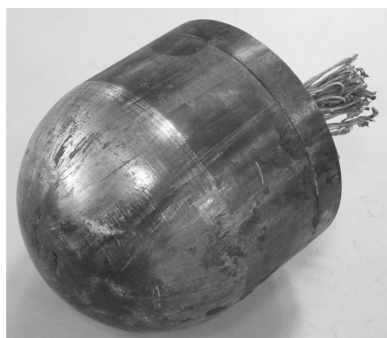


图 8 侵彻后的数据存储器

Fig. 8 The data recorder after penetration

4 结 论

(1)运用应力波理论解决了狭小空间上的抗冲击问题,使得存储器各个部件的最大动应力在它的强度许可范围内,并通过了炮击实验。

(2)联合 Isight 与 Ls-dyna 对非线性瞬态动力学问题进行了优化,使得被保护元件的最大动应力降低了约 70.9%,存储器整体质量降低了约 300 g。

(3)优化域不但涉及几何尺寸,还涉及填充材料本身性质的优化,得出了泡沫铝与橡胶的复合减振结构。

参考文献:

- [1] 刘俊,石云波,马游春. 高过载测试中结构防护模型研究[J]. 测试技术学报, 2005, 19(3): 249-253.
LIU Jun, SHI Yun-bo, MA You-chun. The research on the structural protection in the high overload measurement [J]. Journal of Test and Measurement Technology, 2005, 19(3): 249-253.
- [2] Vaidya U K, Pillay S, Bartus S, et al. Impact and post-impact vibration response of protective metal foam composite sandwich plates[J]. Materials Science and Engineering, 2006, A428: 59-66.
- [3] Heimbs S, Cichosz J, Klaus M, et al. Sandwich structures with textile-reinforced composite foldcores under impact loads[J]. Composite Structures, 2010, 92: 1485-1497.
- [4] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010: 47-48.
- [5] 胡玉梅. 汽车正面碰撞设计分析技术及其应用研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2002.
- [6] 顾力强, 林忠钦. 国内外汽车碰撞计算机模拟研究的现状及趋势[J]. 汽车工程, 1999, 21(1): 1-9.
GU Li-qiang, LIN Zhong-xin. The present simulation and trend of the research on vehicle crash simulation at home and abroad[J]. Automotive Engineering, 1999, 21(1): 1-9.
- [7] Tham C Y. Numerical and empirical approach in predicting the penetration of a concrete target by an ogive-nosed projectile[J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2006, 42: 1258-1268.
- [8] 景鹏. 高 g 值冲击测试关键技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2009.
- [9] 闻利群, 鲁建霞, 张同来. 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): 223-226.
WEN Li-qun, LU Jian-xia, ZHANG Tong-lai. The simulation comparison on the anti-shock capacity of foam aluminum and rubber for testing equipment[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 30(3): 223-226.

Optimization design for the buffer and shock absorption structure of a data recorder under high load*

ZHANG Jing^{1,2}, JIA Hong-guang¹, HAO Xiang-yu¹, ZHOU Ling¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, Jilin, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: According to the stress wave theory, the buffer and shock absorption structure of a data recorder was designed by considering the reasonable allocation of the generalized impedance ratio. The composite structure for shock absorption was designed to solve the problem of narrow space impact protection. And the optimization was carried out by combining Isight and Ls-dyna to reduce the dynamic stress of the protected component rather than the impact acceleration. As a result, the dynamic stress of the protected component decreases by about 70.9% and the mass of the data recorder reduces 300 gram. In the end, the bombardment test was performed and the data were recovered successfully.

Key words: vibration and wave; buffer and shock absorption; stress waves; data recorder; optimization

* Received 15 July 2011; Revised 27 October 2011

Corresponding author: ZHANG Jing, child01@stu.xjtu.edu.cn