

防护材料对爆炸驱动反应破片的影响

孙文旭, 李尚斌, 黄亨建, 王冬磊, 路中华, 蒋治海

中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川绵阳 621900

摘要 研究了反应破片战斗部在爆轰驱动下反应破片的加载过程。利用 AUTODYN-3D 有限元计算软件, 针对含能破片战斗部作用的特点, 建立了破片抛射速度和主装药、隔爆层、破片等参数的数学模型, 模拟了主炸药的起爆、爆轰波的传播、防护材料的作用及对破片的初始驱动过程; 通过研究不同防护材料对爆炸冲击波的衰减特性, 在满足反应破片抛射初速的前提下保证破片不破坏且有足够的抛射速度; 对爆炸驱动过程进行理论分析和数值模拟, 验证所设计的防护材料对反应破片的防护性能; 对理论计算和数值模拟结果进行比较, 并分析各影响因素, 结论可为含能破片战斗部结构设计提供依据。

关键词 反应破片; 模拟战斗部; 防护材料; 爆轰力学; 数值模拟

中图分类号 TJ55, O389

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.16.002

Impact of the Protective Materials on Explosion Driving Reactive Fragments

SUN Wenxu, LI Shangbin, HUANG Hengjian, WANG Donglei, LU Zhonghua, JIANG Zhihai

Institute of Chemical Materials, Chinese Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan Province, China

Abstract In this paper, the detonation driven process of reactive fragment is studied. The priming of the donor explosive, the spread of detonation wave, the effect of protective materials and the driven process of the fragment are simulated by AUTODYN-3D finite element analysis software. Based on the characteristics of the fragment warhead, a mathematical model is proposed for the relationship between the initial velocity and the structural parameters of fragment projectile including the high explosive charge, explosion-interrupted material, fragments and other components. Based on a study of the attenuation law of the shock wave in different media, the explosion driving process of three typical materials is mainly analyzed. The results show that the shock load in the energetic fragment is significantly decreased by using the interrupted material to ensure no break and reaction in energetic fragments. Through theoretical analysis and numerical simulation, the influence of the shock wave attenuation of the interrupted material on the initial velocity of the energetic fragment is analyzed. A comparison between the theoretical model and the numerical simulation is made. The results provide some insight for the design of the energetic fragment warhead.

Keywords reactive fragment; simulated warhead; protective material; detonation mechanics; numerical simulation

0 引言

反应破片 (reactive fragment) 是一种能够在目标内部发生快速类爆轰释能反应的新型含能破片, 它由亚稳态材料做成, 在对目标进行高速穿透打击的同时, “撞击”亚稳态材料, 使之在空气中的氧作用下失去稳定性, 在目标内部发生“爆轰”一样的反应, 致使目标遭受来自“反应式破片”化学能量快速释放的爆炸性打击和动能打击, 从而对目标造成超压、

超热、击穿、烟雾等多种形式的高效与复合毁伤, 其打击毁伤能力比惰性破片的单纯穿透性动能打击大得多。反应破片战斗部具有动能侵彻效应和内爆毁伤效应, 对大幅度提高防空反导弹药杀伤威力有重要的军事应用前景, 可作地空导弹、中/大口径高炮弹药的战斗部。

近年来, 国内外很多科研工作者从事这方面的研究。Lee 和 Willis^[1-2]分别给出了不同条件下裸装药的冲击起爆判据,

收稿日期: 2011-03-10; 修回日期: 2011-05-13

作者简介: 孙文旭, 研究实习员, 研究方向为终点效应, 电子信箱: 664729892@qq.com; 李尚斌 (通信作者), 副研究员, 研究方向为装药设计和弹药设计, 电子信箱: caep.li@yahoo.cn

获得较高速度,又能保证破片完整性。尽可能通过增加缓冲衬改变作用于破片上冲击波大小及时间,使冲击波造成的作用力作用时间增加,但应避免采用通过衰减冲击波能量来保证破片完整性的设计方法。本文拟选择防护材料为尼龙、聚氨酯和泡沫铝,对其防护性能进行对比。

2.2 计算结果及分析

2.2.1 计算结果

对图 1 的径向反应破片进行数值模拟,起爆后 $60\mu\text{s}$ 时爆轰产物对破片的作用基本消失,破片抛掷速度趋于稳定。反应破片在爆轰产物作用下,不同时刻的状态如图 2 所示。

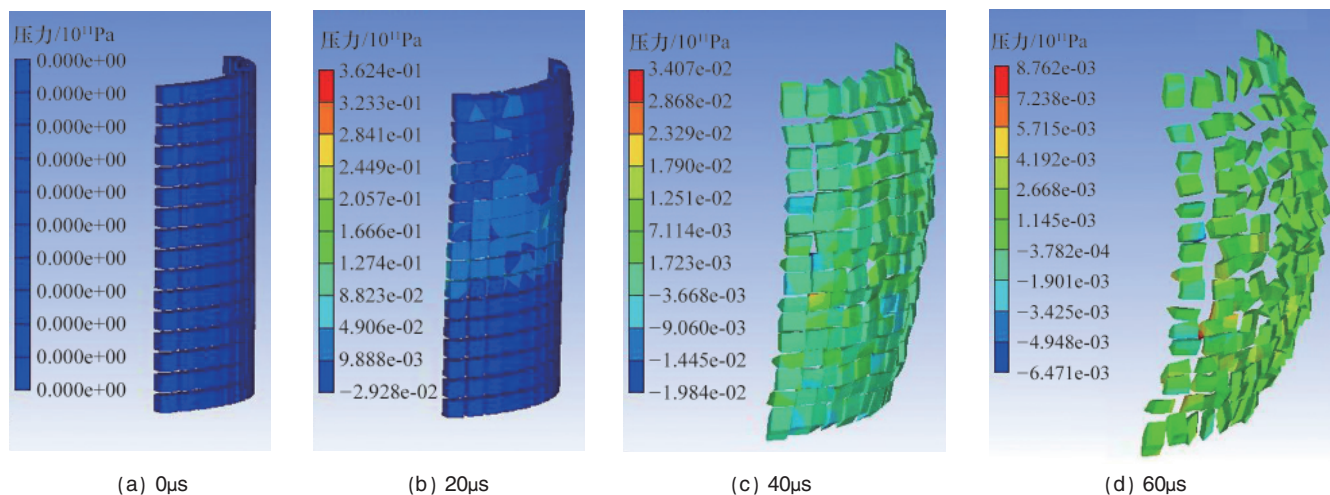


图 2 反应破片在不同时刻的状态

Fig. 2 State diagram of reactive fragment at different instants

2.2.2 防护材料对反应破片抛射速度影响分析

为计算防护材料对破片速度的影响,同时对相同结构情况下,不加防护材料以及加不同防护材料时的情况进行数值分析,如图 3 所示。

可以看出,相同结构情况下,有防护材料时破片的稳定速度为 2173m/s ,无防护材料时破片的稳定速度为 1980m/s ,这主要是因为炸药爆炸后,爆轰波在装药内传播,所到之处压力升高,爆轰产物向周围运动,没有防护材料时,爆轰波到达装药与空气的界面,爆轰产物迅速向四周膨胀,压缩周围空气形成冲击波,爆轰产物通过冲击波将能量向外传递,当冲击波到达破片处推动破片向外运动,另一方面稀疏波在膨胀的同时向爆轰产物内传入,致使爆轰产物的压力迅速降

低,直至降到空气初始状态压力,破片的加速度也变为零。而战斗部结构有防护材料在破片的内层时,爆轰产物向周围运动,爆轰波到达装药与缓冲衬的界面,在爆轰产物与缓冲衬的交界面处产物反射稀疏波,向爆轰产物中心传播,而爆轰产物迅速向四周膨胀,由于防护材料有效阻止稀疏波在膨胀的同时向爆轰产物内传入,致使对破片的加速时间长,破片的最终速度较大。

3 种材料对冲击波的衰减性能差异很大,在 B 炸药为主装药,爆压为 22GPa 时,采用不同材料的防护层,对破片速度的影响不同,如表 1 所示,采用聚氨酯时,破片速度最高,破片稳定速度值为 2365m/s ;采用泡沫铝时,破片速度最低,破片稳定速度值为 2087m/s 。

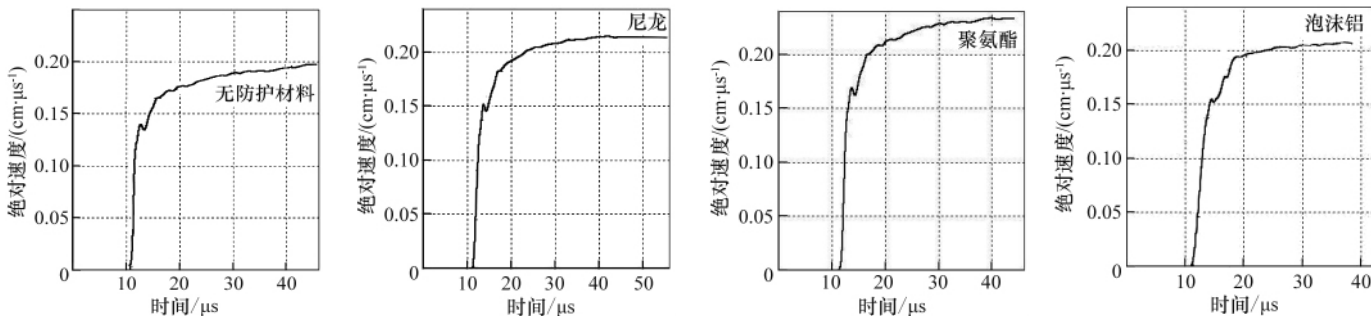


图 3 有无防护材料时破片速度历程曲线

Fig. 3 Velocity diagram of reactive fragment with and without protective material

- Physical Society, 2005: 92-96.
- [2] Willis M J, William H H. Impact initiation of rods of pressed polytetrafluoroethylene (PTFE) and aluminum powders[C]//Proc 14th APS Topical Conference on Shock Compression of Condensed Matter. Los Angeles: American Physical Society, 2005: 98-103.
- [3] 王树山, 李朝君, 马晓飞, 等. 钨合金破片对屏蔽装药撞击起爆的实验研究[J]. 兵工学报, 2001, 22(2): 189-191.
Wang Shushan, Li Chaojun, Ma Xiaofei, et al. *Acta Armamentarii*, 2001, 22(2): 189-191.
- [4] 黄亨建, 黄辉, 阳世清, 等. 毁伤增强型破片探索研究 [J]. 含能材料, 2007, 15(6): 566-569.
Huang Hengjian, Huang Hui, Yang Shiqing, et al. *Energetic Materials*, 2007, 15(6): 566-569.
- [5] 隋树元, 王树山. 终点效应学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007.
Sui Shuyuan, Wang Shushan. Terminal effects [M]. Beijing: National Defense Press, 2007.
- [6] Nielson D B, Tanner R L, Lund G K. High strength reactive materials and methods of making: US, 10/462437[P]. 2007-12-11.
- [7] Truitt R M, Nielson D B, Ashcroft B N, et al. Weapons and weapon

- components incorporating reactive materials and related methods: US, PCT/US2007/076672[P]. 2008-06-19.
- [8] Vasant S J. Process for making Polytetrafluoroethylene-Aluminum composite and product made: US, 6547993 B1[P]. 2003-04-15.
- [9] Darker D. Reactive material enhanced warhead [C]. Perspective of Manufacturing Defense Manufacturing Conference, Nashville, TN, Feb 6-9, 2001.
- [10] Wang H F, Liu Z W, Yu W M. Impact initiated characteristics of reactive material fragments [C]//Proceedings of 7th International Fall Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics. Xi'an: National Natural Science Foundation of China, 2007: 123-128.
- [11] 阳世清, 徐松林, 张彤. PTFE/Al 反应材料制备工艺及性能[J]. 国防科技大学学报, 2008, 30(6): 39-42.
Yang Shiqing, Xu Songlin, Zhang Tong. *Journal of National University of Defense Technology*, 2008, 30(6): 39-42.
- [12] 叶小军, 李向东. 含能破片撞击引燃屏蔽炸药的实验研究[J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29(6): 131-134.
Ye Xiaojun, Li Xiangdong. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2009, 29(6): 131-134.

(责任编辑 代丽)

·学术动态·



“中国营养学会第 13 届 全国临床营养学术会议”征文

“中国营养学会第 13 届全国临床营养学术会议”将于 2011 年 9 月 17—19 日在杭州召开。

征文范围: 医院营养科性质和职责定位及临床营养工作管理模式探讨和经验; 临床营养治疗规范化管理; 临床营养学的基础研究; 各类疾病的肠内及肠外营养支持研究和实践; 饮食营养以及生活方式与慢性病控制; 新型肠内营养制剂的开发及临床应用; 食物新资源的开发和临床应用; 临床营养门诊、宣教工作经验和体会以及其他与临床营养相关的科研和工作总结、调查和建议。

征文截止日期: 2011 年 9 月 1 日。

通信地址: 北京市海淀区复兴路 28 号解放军总医院营养科(100853)张新胜。

电子信箱: cnxcy@163.com。

会议网址: http://cnsoc.org/cn/news_info.asp?nid=1110。