

文章编号: 1006-9941(2009)06-0722-04

复合反应破片对钢靶侵彻的实验研究

帅俊峰^{1,2}, 蒋建伟¹, 王树有¹, 门建兵¹, 谢长友¹

(1. 北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081;

2. 佳木斯大学机械工程学院, 黑龙江 佳木斯 154007)

摘要:研究了钢壳与两种配方反应材料组成的复合反应破片对薄钢靶的侵彻毁伤效果, 利用 12.7 mm 口径弹道枪发射复合反应破片和惰性破片对 A₃ 钢板侵彻试验, 采用高速摄影观察破片穿靶过程。试验结果表明, 两种配方复合反应破片侵彻靶板过程中都产生燃爆效应, 钛粉和聚四氟乙烯配方反应材料复合反应破片的爆燃效果好于铝粉和聚四氟乙烯配方; 复合反应破片穿靶过程毁伤能力随壳体厚度增加而增大; 复合反应破片的穿靶孔径比同尺寸惰性破片提高约 40%。

关键词:爆炸力学; 反应破片; 反应材料; 侵彻; 终点效应

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2009.06.019

1 引言

“高效毁伤”是现代弹药的发展方向之一, 为突破传统弹药的毁伤威力, 国内外积极发展新概念、新原理和新型毁伤元技术。反应破片是一种带有活性含能材料的新型毁伤元, 其与目标撞击时对目标除了具有动能侵彻作用外, 还同时释放出化学能, 产生燃烧、爆炸等现象, 对目标的作用效果与常规破片战斗部相比有较大幅度的提高。反应破片中的反应材料是由具有“类爆轰”性的亚稳态反应材料制成, 具有稳定的物理、化学性能, 在制造、加工、储藏、运输等方面都具有良好的安全性。近年来, 国内外很多科研工作者从事这方面的研究^[1-6], 研究多以铝(Al)、钛(Ti)等金属颗粒与聚四氟乙烯(PTFE)按一定比例混合后压制烧结而成的混合式反应破片为主, 其特点是结构简单, 较容易实现, 但破片撞击目标时的动能较低, 侵彻效果不够理想^[7]。复合反应破片由含能材料作为内核, 外层由重金属壳体包覆而成, 含能材料通常为 Al/Ti 与 PTFE 的混合物, 可以是柱形、球形、椭球形等, 其对目标的侵彻毁伤能力较混合式反应破片有较大的提高, 因此, 复合反应破片更具有工程应用价值^[8-9]。

本研究采用 12.7 mm 口径弹道枪发射由 Al/PTFE、Ti/PTFE 反应材料配方制成的不同尺寸的复合反应破片及惰性破片对 6 mm 厚 A₃ 钢板进行侵彻试验, 采用高

速摄影观察被试破片穿靶及后效作用过程, 得到了 Al/PTFE、Ti/PTFE 复合反应破片及惰性破片对靶板侵彻的作用效果, 研究结果可为反应破片的应用提供基础。

2 复合反应破片的制备

将 Al 粉与 PTFE 按质量分数 26 : 74 (简称 A 配方)、Ti 粉与 PTFE 按质量分数 20 : 80 (简称 B 配方) 配比混合后, 用压机压制成 $\Phi 6 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 的圆柱体, 然后在真空炉中进行烧结 (烧结温度约 380 °C), 得到两种配方裸反应破片, 密度分别是 2.42, 2.75 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。复合反应破片壳体采用 35CrMnSiA 材料, 其内径 $\Phi 6 \text{ mm}$, 外径 $\Phi 9 \text{ mm}$ 和 $\Phi 8 \text{ mm}$ 两种, 将裸破片放入壳体内加钢端盖用胶固定, 制成的复合反应破片如图 1 所示。

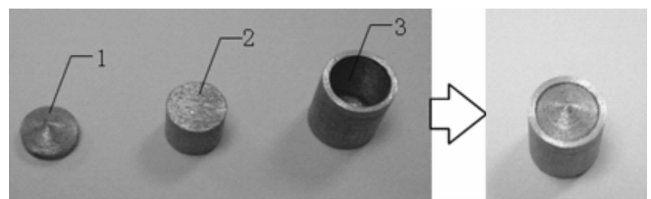


图 1 复合破片结构

1—顶盖, 2—裸反应破片, 3—壳体

Fig. 1 Configurations of compound fragment

1—cap, 2—bare reactive fragment, 3—shell

3 试验条件

3.1 被试破片

被试破片分尺寸: $\Phi 9 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 和 $\Phi 8 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 两种。其中直径 $\Phi 9 \text{ mm}$ 破片质量: A 配方 4.35 g、B 配方 4.50 g、惰性破片 4.30 g; 直径 $\Phi 8 \text{ mm}$ 破片质

收稿日期: 2009-03-04; 修回日期: 2009-05-08

作者简介: 帅俊峰 (1964 -), 男, 高级讲师, 在读博士, 主要从事高效毁伤的研究。蒋建伟 (1962 -), 男, 教授, 博士生导师。

e-mail: bitjw@bit.edu.cn

量: A 配方 3.20 g、B 配方 3.25 g、惰性破片 3.20 g。

3.2 试验装置

图 2 为试验装置布置示意图,发射装置为 12.7 mm 弹道枪,被试破片加弹托后发射,发射药采用 2/1 樟枪药,通过调节装药量改变破片发射速度,使三种破片初速基本相同。厚 6 mm 的 A₃ 钢靶板放置在距弹道枪约 10 m 处的固定支架上。用激光测速装置测定破片着靶速度,采用 FASTCAM-APX RS 高速摄影仪观察破片穿靶过程,拍摄频率 10000 幅/s。

4 试验结果与分析

4.1 复合反应破片穿靶过程分析

针对各试验方案进行了射击实验,直径 $\Phi 9$ mm A、B 配方及惰性破片的实测着速分别为 1750, 1720, 1780 $m \cdot s^{-1}$;直径 $\Phi 8$ mm A、B 配方及惰性破片的实测

着速分别为 1645, 1630, 1655 $m \cdot s^{-1}$ 。试验种拍摄了各种破片穿靶过程的高速摄影图片。表 1 和表 2 显示了两种尺寸复合反应破片及惰性破片穿靶过程典型时刻的高速摄影图片(着靶时间为起点)。

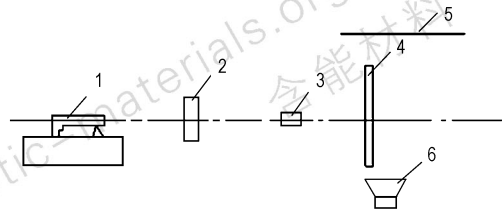


图 2 试验场地布置示意图

1—弹道枪,2—激光测速仪,3—破片,4—靶板,5—背景幕布,6—高速摄影仪

Fig.2 Schematic diagram of experiment field

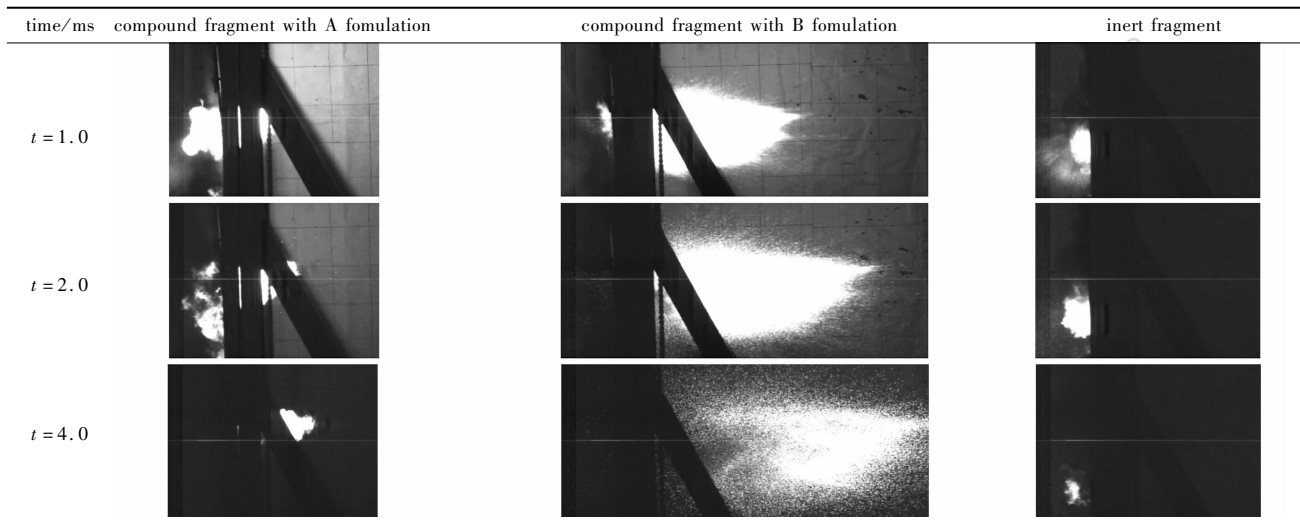
1—ballistic gun, 2—laser velocimeter, 3—fragment, 4—target, 5—background, 6—high speed camera

表 1 直径 $\Phi 9$ mm 破片穿靶过程典型时刻的高速摄影图片

Table 1 Photographs of the process of $\Phi 9$ mm fragment penetrating target

time/ms	compound fragment with A fomulation	compound fragment with B fomulation	inert fragment
$t = 0$			
$t = 1.0$			
$t = 2.0$			
$t = 4.0$			
$t = 6.0$			
$t = 9.0$			

表2 直径 $\Phi 8$ mm 破片穿靶过程不同时刻的高速摄影图片
Table 2 Photographs of the process of $\Phi 8$ mm fragment penetrating target



从拍摄的破片穿靶过程高速摄影照片可以看出:

(1) 惰性破片穿靶过程中只在撞击靶板前出现火光,破片穿靶后火光极弱;而 A、B 配方复合反应破片穿靶过程中在靶前靶后都有明显且持续时间长的火光产生,而且穿靶后的火光更大,表明反应破片穿靶过程中伴随有燃烧、爆炸等现象产生;

(2) 因 A、B 配方的反应材料不同,两种配方的复合反应破片穿靶后的燃爆效应程度也不同,其中 B 配方反应破片穿靶后出现的火光持续 9 ms,明显大于 A 配方火光持续 6 ms 的时间;

(3) 具有相同直径裸反应破片的复合反应破片穿靶火光效应表现为厚壳体明显好于薄壳体。

4.2 复合反应破片对靶板破坏效应

试验后对各种破片穿透 6 mm 厚 A_3 钢靶的孔径进行测量,图 3 为直径 $\Phi 9$ mm 的 A 配方复合反应破片对钢板的穿孔照片,表 3 为直径 $\Phi 9$ mm 的 A、B 配方复合反应破片对钢靶的穿孔尺寸测量结果。



图3 复合反应破片对钢靶的穿孔照片

Fig. 3 Hole photograph of A_3 steel target penetrated by compound fragment

表3 反应破片对钢板的穿孔尺寸

Table 3 Diameter of hole penetrated by compound reactive fragment

compound reactive fragment	mass /g	velocity / $m \cdot s^{-1}$	average diameter/mm	ratio of hole diameter to fragment diameter
formula A	4.35 ~ 4.55	1700 ~ 1750	15 ~ 16	1.67 ~ 1.78
formula B	4.40 ~ 4.50	1710 ~ 1730	15 ~ 16	1.67 ~ 1.78

试验结果显示,不论是 A 配方还是 B 配方的复合反应破片,其贯穿靶钢板的孔径约为 1.73 倍破片直径,表明反应材料种类对穿孔直径影响不大,但穿孔明显大于惰性钢破片的穿孔直径(一般为 1.25 倍破片直径^[10]),孔径提高约 40%,这是由于复合反应破片内部反应材料产生了化学反应,导致穿靶过程对靶孔产生径向膨胀扩孔效应。

5 结论

(1) 装有 Al/PTFE 和 Ti/PTFE 配方反应材料的复合反应破片在高速穿透钢靶板时,其内装反应材料化学能释放,可以产生燃烧、爆炸效应,且 Ti/PTFE 配方爆炸效果好于 Al/PTFE 配方效果。

(2) 适当增大复合反应破片壳体厚度可以提高破片穿靶的爆炸毁伤效果。

(3) 复合反应破片内装的反应材料种类对穿透钢靶的孔径影响不大,穿孔直径比同直径惰性钢破片提高约 40%。

关于复合反应破片对靶后目标的后效试验研究仍在进行中。

参考文献:

- [1] 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, 6: 39-42.
YANG Shi-qing, XU Song-lin, ZHANG Tong. Preparation and performance of PTFE/Al reactive materials[J]. *Journal of National University of Defense Technology*, 2008, 6: 39-42.
- [2] Douglas Darker. Reactive material enhanced warhead[C]//Peoperspective of manufacturing Defense manufacturing conference (DMC'01), 2001. 11.
- [3] Michael T R, Daniel W D, James R H, et al. Reactive material enhanced projectiles and related methods: USA, US20060011086 [P], 2006.
- [4] Richard Truitt, Daniel M Nielson, Benjamin B Ashcroft, et al. Weapons and weapon components incorporating reactive materials and related methods. Salt Lake City, UT 84110-2550 (US).
- [5] Daniel B, Nielson. Tremonton, UT. High strength reactive materials and methods of making: US Patent 7307117[P]. December 11, 2007.
- [6] Richard G Ames. A standardized evaluation technique for reactive warhead fragments [C] // 23rd International Symposium Ballistics, Tarragona, Spain, International Ballistics Committee, April, 2007, 16-20.
- [7] 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 Heng-jian, HUANG Hui, YANG Shi-qing, et al. Preliminary research on damage enhanced fragment [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2007, 12: 566-569.
- [8] 帅俊峰, 蒋建伟, 王树有. 准球形复合爆炸成型弹丸成型的数值模拟[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2008, 29(1): 38-41.
SHUAI Jun-feng, JIANG Jian-wei, WANG Shu-you. Numerical simulation of formation of quasi-spherical compound explosively formed projectile [J]. *Journal of North University of China (Natural Science Edition)*, 2008, 29(1): 38-41.
- [9] Vasant S. Joshi, Waldorf, MD. Process for making polytetrafluoroethylene-aluminum compound and product made: USA, 6547993B1 [P]. 2003-4-15.
- [10] 隋树元, 王树山. 终点效应学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 167-168.
SHUI Shu-yuan, WANG Shu-shan. Terminal effects [M]. Beijing: National Defence Press, 2007: 167-168.

Compound Reactive Fragment Penetrating Steel Target

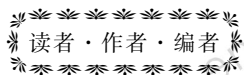
SHUAI Jun-feng^{1,2}, JIANG Jian-wei¹, WANG Shu-you¹, MENG Jian-bing¹, XIE Chang-you¹

(1. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. College of Mechanical Engineering, Jiamusi University, Jiamusi 154007, China)

Abstract: The damage effects of compound reactive fragment on steel target were studied. Using $\Phi 12.7$ mm ballistic gun, the tests of compound reactive fragment penetrating A₃ steel target were carried out and recorded by a high speed camera. Results show that phenomenon of burning and explosion are obvious while reactive fragments penetrate target. The effect of deflagration produced by compound fragments with titanium powder and PTFE materials are better than that of fragments with aluminum powder and PTFE materials. The compound reactive fragment with thicker shell have a better penetrating effect on target. Comparing with the same dimension of inert steel fragment, the hole diameter of penetrating target is increased by about 40% for compound reactive fragment.

Key words: explosion mechanics; reactive fragment; reactive materials; penetration; terminal effect



捷克专家 Svatopluk Zeman 来绵讲学

应中国工程物理研究院化工材料研究所邀请, 捷克 Pardubice 大学含能材料研究所所长 Svatopluk Zeman 教授于 2009 年 10 月 19 日来绵讲学。

本次讲座主题涉及二元硝胺和多硝基芳香炸药的反应中心的确定、硝基甲烷起爆机理的研究新进展以及水和胺对其起爆机理的影响、双环 HMX 用于制备塑料粘结炸药的可行性等。报告中 Zeman 教授重点讲述了根据 NMR 化学位移确定多硝基化合物反应中心的方法, 低温热分解特性与撞击感度、静电火花感度和爆轰性能的相关性等方面的内容。他们的研究工作也体现了将实验手段与量化计算相结合的重要意义。

本次讲座气氛活跃, 大家对报告细节内容积极提问, 对热、撞击、冲击、静电火花等不同条件下的起爆机理是否相同等方面的问题展开了热烈的讨论, 达到了交流、学习和提高的目的。

(中国工程物理研究院化工材料研究所 熊鹰 供稿)