

文章编号: 1006-9941(2011)04-0450-04

含能破片战斗部毁伤效应研究

彭飞¹, 余道强¹, 阳世清², 蒋建平¹, 娄建¹, 王维明¹

(1. 总装工程兵科研一所, 江苏 无锡 214035; 2. 国防科技大学航天与材料工程学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 为提高战斗部的毁伤效能, 对含能破片战斗部开展了探索研究, 介绍了含能破片战斗部的概念和特点, 设计制备了 Al/PTFE(聚四氟乙烯)质量比为 30:70 配方的含能破片战斗部, 对 2.5, 10, 20 mm 钢质靶进行侵彻实验, 研究了该含能破片对靶板侵彻能力及靶后毁伤效率。试验结果表明: 50 mm 口径含能破片战斗部穿透了 20 mm 厚钢质靶板, 能够产生一定数量的冲塞破片, 并可在靶后一定区域形成较强的冲击波超压。

关键词: 爆炸力学; 含能破片; Al/PTFE; 毁伤效应; 超压

中图分类号: TJ5; TJ41; O389

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.022

1 引言

含能破片战斗部(energetic fragment warhead, EFW)也称反应性破片战斗部,是高效毁伤战斗部研究领域的热点问题之一,代表战斗部技术发展的新方向。利用含能材料制成的含能破片在炸药爆炸驱动作用下能够生成与常规金属破片战斗部相似的侵彻体,该含能侵彻体既具有常规金属侵彻体的动能穿甲性能,又具有撞击反应释能的特性,能够穿透装甲目标的壳体,进入目标内部急剧反应,形成爆炸冲击、超压、引燃(爆)、侵彻等综合杀伤因素,获得比常规战斗部更显著的毁伤效果^[1]。近年来,国内外一些科研工作者开展了这方面的研究,目前研究多以金属粉末和高分子氟化物混合制成的反应破片为主,其优点是结构简单,容易实现,但破片的侵彻能力较差,研究对象多用于对付轻型装甲目标^[2-6]。

本研究以反坦克车底地雷为应用背景,采用聚能装药驱动由 Al/PTFE(聚四氟乙烯)材料配方制成的含能破片,分别对 2.5, 10, 20 mm 钢质靶板进行侵彻试验,并在靶板后设置钢质靶箱,采用动态压力记录仪测试靶箱内的冲击波超压,收集靶箱内的冲塞破片,初步得到了 Al/PTFE 含能破片对靶板侵彻能力及靶后毁伤效果,研究结果可为含能破片战斗部打击重装甲目标提供技术基础。

收稿日期: 2010-09-21; 修回日期: 2010-10-22

作者简介: 彭飞(1981-),男,工程师,硕士,主要从事地雷战斗部技术研究。e-mail: myth_fly@163.com

2 含能破片的制备

含能材料通常由两种或更多种非爆炸性固体材料组成,这类材料包括铝热剂、金属化合物、金属/聚合物、稀土合金、贵金属合金、复合材料和氢化物等,多属于亚稳态物质,在一般情况下是足够惰性的,爆炸丝和火焰等传统的点火手段并不能使这类材料发生反应,在与装甲目标高速碰撞时强烈的切变感应能够使这类亚稳态物质发生“类爆轰现象”,因此,这类含能材料又被称为“撞击引发类含能材料”(impact-initiated energetic materials)。目前,研究较多的含能材料为氟聚合物基材料,其主要组成为高氟含量的氟聚物和金属颗粒或纤维填料,是一种能够在高动态荷载下释放能量的特殊含能材料^[4]。

本研究根据撞击引发类含能材料的反应机理,设计了一种 Al/PTFE 配方含能材料,将 Al 粉(粒径 10~15 μm)与 PTFE 粉末(粒径 120 μm)按质量分数 30:70 配比混合后在真空烘箱中进行烘干,将混合粉料通过模具冷压成球缺状(口径 50 mm,厚度 4 mm),然后在惰性气氛保护下进行烧结,烧结成型的含能破片密度为 2.275 g·cm⁻³。这种 Al/PTFE 聚合含能材料在经过特殊的工艺处理后具有很好的延展性,在炸药爆炸驱动作用下可生成具有一定穿甲能力的含能侵彻体。

3 战斗部结构设计

含能材料破片属于亚稳态物质,在高动态载荷或剪

切应力下能够剧烈反应并释放能量,含能破片战斗部的关键技术之一在于如何实现含能破片在高动态载荷下保持其化学稳定性,使得含能破片在炸药驱动作用时保持稳定。对爆轰波形的恰当控制,使炸药爆炸所产生的爆轰波形为一个平面波,可以有效减少爆轰波对含能破片的剪切效应,增加作用在含能破片上的爆轰压力,提高所产生的含能侵彻体的稳定性和侵彻威力。

为了使聚能装药产生的爆轰波能够提供一平面波,减少爆轰波对含能破片的剪切应变,通过装药结构优化设计了主装药加锥形辅助装药的组合式装药结构^[7]。主装药所产生的爆轰波能够将含能破片加速到很高的速度,锥形辅助装药又能够将主装药产生的爆轰波整形为一个近似为平面波的波形,保证含能破片不提前发生反应。经过大量的试验和结构优化,较好地解决了组合装药与含能破片之间的匹配关系。含能破片战斗部主要由起爆传爆系列、辅助装药、主装药、壳体、含能破片等部分组成,图1为含能破片战斗部的主要部件。

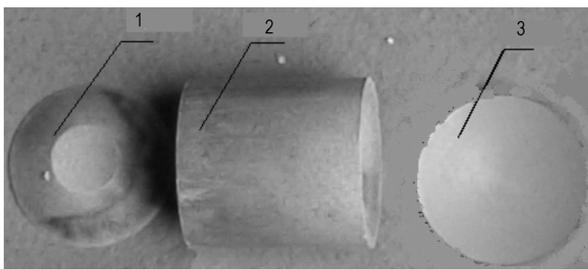


图1 含能破片战斗部主要部件

1—辅助装药, 2—主装药, 3—含能破片

Fig.1 Main components of energetic fragment warhead

1—assistant charge, 2—main charge, 3—energetic fragment

4 试验条件

含能破片战斗部最大的优点是能够穿透装甲目标的防护层,进入目标内部发生类爆轰反应,在靶后直接形成冲击波超压、高温、冲塞破片、烟尘、碳粉等多种毁伤因素。在含能破片战斗部的众多靶后毁伤因素中烟尘、碳粉很难进行定量测定,温度场的测量对仪器设备的频响要求很高;相比较而言,冲击波超压及冲塞破片比较容易进行测量和收集。通过相关理论分析可以初步认为,冲击波超压和冲塞破片也将是含能破片战斗部靶后的主要毁伤因素,因此,本研究重点对含能破片战斗部的侵彻能力、靶后冲击波超压、冲塞破片展开具体的试验。

试验现场布置示意图如图2所示,用10 mm厚的

A3 钢板制造一个1200 mm × 1200 mm × 1200 mm 的靶箱,在靶箱上部中心位置预置一 $\Phi 140$ mm 圆孔用于放置靶板,在靶箱内部底面和侧面的中心位置各设置一个高精度压力传感器,并通过传输线缆与动态压力测试设备连接,然后将靶箱放置在防护墙内侧,将钢质靶板设置在靶箱上部中心位置预置的圆孔上,并通过螺钉加固,将战斗部设置在距靶板500 mm处,并且使得战斗部对准靶板中心位置。

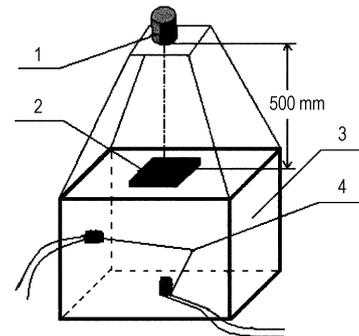


图2 试验布置示意图

1—战斗部, 2—钢质靶板, 3—靶箱, 4—传感器

Fig.2 Schematic diagram of experiment disposal

1—warhead, 2—steel target, 3—target case, 4—sensor

5 试验结果与分析

采用3发50 mm装药口径含能破片战斗部分别针对2.5, 10, 20 mm钢质靶板进行穿甲和靶箱超压测试试验;为了与惰性破片战斗部相比较,采用2发同样装药口径的惰性破片战斗部分别对10, 20 mm钢质靶板开展同样的试验。

5.1 穿靶能力

试验进行的5发战斗部均穿透了所设置的靶板,具体穿孔尺寸如表1所示。其中含能破片战斗部直接将2.5 mm钢质靶板完全撕裂,贴附在靶箱预置的 $\Phi 140$ mm圆孔上,图3为含能破片战斗部穿透2.5 mm和20 mm靶板的穿孔情况。

表1 战斗部穿孔尺寸

Table 1 Size of hole perforated by warhead

warhead	target /mm	entrance /mm × mm	exit /mm × mm
energetic fragment	2.5	130 × 130	130 × 130
energetic fragment	10	52 × 55	54 × 56
energetic fragment	20	25 × 27	29 × 30
inert fragment	10	55 × 58	57 × 59
inert fragment	20	26 × 27	29 × 31

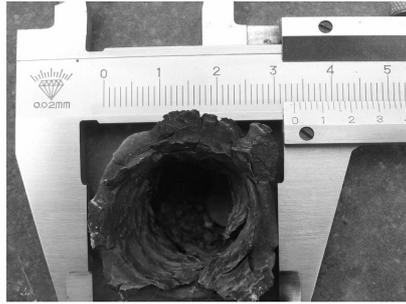


图3 含能破片战斗部穿靶情况

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

从穿靶情况及穿孔尺寸来看,含能破片战斗部能够击穿 20 mm 厚钢质靶板,具有打击重装甲目标的潜能;在打击厚度不大于 20 mm 的钢质靶板时,同口径含能破片战斗部与惰性破片战斗部的穿靶能力基本相当。

5.2 冲击波超压

利用高精度压力传感器及动态压力测试设备分别对上述 5 发战斗部靶后超压进行测试,测试结果如表 2 所示,图 4 为动态压力测试设备所测含能破片战斗部靶后超压曲线。

表 2 试验所测峰值超压

Table 2 Measured overpressure peak values

warhead	target /mm	side / $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$	underside / $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-2}$
energetic fragment	2.5	4.02	2.4
energetic fragment	10	2.74	0.81
energetic fragment	20	0.65	0.2
inert fragment	10	-	-
inert fragment	20	-	-

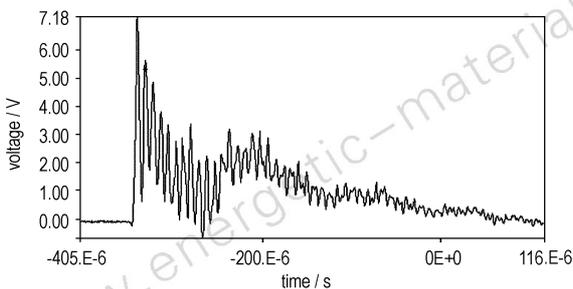


图4 测试压力曲线

Fig. 4 Measured overpressure curve

试验结果表明,3 发含能破片战斗部靶后均测试到有效的冲击波超压信号,峰值超压大于 0.2 MPa,所测冲击波超压信号大小随着穿透靶板厚度的增加而减小,

随着测试点距离的增加而减小,测试结果基本符合客观规律。进行对比试验的惰性破片战斗部靶后没有测试到相关特征的超压信号,这表明含能破片在靶后空间发生了类爆轰反应,其毁伤作用机理与惰性破片有很大的不同。参照相关的冲击波超压损失标准,冲击波超压很有可能成为含能破片战斗部最主要的毁伤因素。

5.3 冲塞破片

通过对两种战斗部穿透 20 mm 钢质靶板后的冲塞破片进行收集,把破片进行分类称重,具体结果如表 3 所示。通过试验结果可初步得出如下结论:含能破片战斗部在穿透装甲靶板时可以形成一定数量的冲塞破片,其数量及质量小于同口径惰性破片战斗部穿靶时产生的破片,这是由于惰性破片穿靶后本身可以形成一定数量的破片,而含能破片穿靶过程中发生了撞击反应,本身不具备产生破片的能力。从试验现场情况看,含能破片战斗部所产生的冲塞破片速度并不低,有部分质量较大的冲塞破片能够穿透靶箱底板(10 mm 厚 A3 钢),说明含能破片战斗部所产生的冲塞破片具有一定的杀伤能力。

表 3 冲塞破片数目

Table 3 Plugging fragments number

warhead	fragments number		
	total	mass > 1 g	mass > 0.5 g
energetic	59	11	23
inert	83	15	38

6 结论

利用撞击引发类含能材料制成的含能破片通过一定的优化设计后能够形成具有良好穿甲能力的含能侵彻体,穿甲后可发生类爆轰效应,在目标内部形成冲击波超压、冲塞破片、高温、烟尘、碳粉等多种毁伤因素。初步试验结果表明:50 mm 装药口径的含能破片战斗部能够垂直穿透 500 mm 靶距的 20 mm 厚钢质靶板,可在靶后穿孔周围半径不小于 1 m 的区域内形成大于 0.2 MPa 的峰值超压,能够产生一定数量的冲塞破片。

含能破片战斗部技术是当今高效毁伤战斗部研究领域的热点问题之一,开展含能破片战斗部技术的相关研究工作将开创地雷战斗部高效毁伤技术新途径,提升地雷战斗部的总体毁伤效能,也可为研究高效毁伤的反导、反直升机武器提供战斗部技术支持,具有显著的军事应用前景。

参考文献:

- [1] Daniel B N, Richard M T, Benjamin N A. Reactive material enhanced projectiles and related methods: United States, 20080035007 [P]. 200822214.
- [2] Taylor P A. Al/PTFE reactive material (RM-4) Sandia effort: Experiments & Modeling [R]. SAND2003-1840P. 2003.
- [3] 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.
- [4] 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 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.
- [5] 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.
- [6] 徐松林, 阳世清, 徐文涛, 等. PTFE/Al 反应材料的力学性能研究 [J]. 高压物理学报, 2009, 23(5): 384 - 387.
- XU Song-lin, YANG Shi-qing, XU Wen-tao, et al. Research on mechanical performance of PTFE/Al reactive material [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2009, 23(5): 384 - 387.
- [7] 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.

Damage Effects of Energetic Fragment Warhead

PENG Fei¹, YU Dao-qiang¹, YANG Shi-qing², JIANG Jian-ping¹, LOU Jian¹, WANG Wei-ming¹

(1. The First Engineers Scientific Research Institute of the General Armaments Department, Wuxi 214035, China;

2. College of Aeronautic and Materials Engineering National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Energetic fragment warhead was used to improve damage efficiency of weapons. The concept and characteristics of energetic fragment warhead were introduced. A kind of energetic fragment warhead containing Al/PTFE in the mass proportion of 30 to 70 was designed and prepared. The damage effects of the warhead on steel target with 2.5, 10, 20 mm were studied. Some damage tests were carried out. Results show that the 50 mm-caliber energetic fragment warhead can penetrate through 20 mm thick steel target and produce some plugging fragments, and producing evident overpressure in the region behind the target.

Key words: explosion mechanics; energetic fragment; Al/PTFE; damage effect; overpressure

CLC number: TJ5; TJ41; O389

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.022