文章编号:1000-5773(2009)06-0447-06

复合式反应破片对柴油油箱的毁伤效应试验研究*

谢长友[1,2],蒋建伟[1],帅俊峰[1],门建兵[1],王树有[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.防化研究院,北京 102205)

摘要:设计并制备了两种不同配方的新型复合式反应破片,并进行了该反应破片对装有柴油油箱的毁伤试验。复合式反应破片由壳体、裸反应破片、顶盖组成。裸反应破片采用铝粉和聚四氟乙烯、钛粉和聚四氟乙烯两种材料配方真空高温烧结制成。试验利用 12.7 mm 弹道枪发射复合式反应破片,并用高速摄影仪记录破片对油箱的毁伤过程。两种配方的复合式反应破片均能穿透 6 mm 厚油箱壁,并具有明显的引燃效果。试验结果表明,与惰性破片相比,复合式反应破片兼有侵彻能力和引燃纵火能力。

关键词:爆炸力学;反应破片;反应材料;毁伤效应;油箱
中图分类号:O383.3;TJ410.6 **文献标识码**:A

1 引 言

在现代战场上,油料供给已经成为决定战争胜负的关键因素之一,因此以装有汽油、煤油和柴油的油箱和油罐作为攻击目标的武器弹药随之发展起来。目前对付这类目标的手段已经有很多种,其中,传统炸药爆炸产生的金属破片(惰性破片)是一种很有效的毁伤元,这些破片对闪点较低的汽油、煤油具有很好的引燃效果,但对于闪点较高的柴油目标,即使是穿透外层壳体其引燃的概率也很低。为突破传统弹药的毁伤威力限制,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,其与目标撞击时除对目标具有动能侵彻作用外,还同时释放出化学能,产生爆炸、燃烧等现象,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。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裸反应破片为主,其优点是结构简单,较容易实现,但破片比重小且易碎,侵彻能力较差[1-2]。针对毁伤油箱目标须同时具备穿甲和引燃能力的条件,本研究设计研制了一种金属壳体和裸反应破片复合而成的反应破片,该破片具有较高的比重,对油箱目标具有良好的侵彻能力和较好的引燃效果。

本研究开展了两种配方复合式反应破片对装有 0# 柴油的模拟油箱的毁伤试验研究。利用激光测速装置测量破片着靶速度,通过高速摄影观察破片穿靶及后效反应过程,得到了两种不同配方的复合式反应破片对油箱毁伤效应的对比结果,研究结果为反应破片在反油箱目标战斗部上的应用提供了基础。

2 复合式反应破片的制备

根据反应破片的毁伤机理,设计了两种配方的裸反应破片,配方一的主要成分是铝粉和聚四氟乙烯

* **收稿日期**:2009-03-05;**修回日期**:2009-08-15
作者简介:谢长友(1978—),男,硕士研究生,工程师,主要从事弹药设计研究. E-mail:199320149@qq.com
通讯作者:蒋建伟(1962—),男,博士,教授,主要从事弹药战斗部系统与仿真研究. E-mail:bitjjw@bit.edu.cn

(以下简称 A 配方),配方二的主要成份是钛粉和聚四氟乙烯(以下简称 B 配方)。

复合式反应破片的制备,包括裸反应破片的制备及钢壳体包覆两个环节。裸反应破片的制备过程是:将两种配方的反应材料按一定比例混合后,用压力机压制成∅6 mm×6 mm 的圆柱体,然后在真空中进行高温烧结,烧结温度在 360～390 ℃之间,得到两种裸反应破片[3-4],A、B 配方裸破片的密度分别是 2.415 g/cm^3、4.268 g/cm^3。图 1 为烧结而成的两种裸反应破片。然后,将裸反应破片放入 35CrMnSiA 钢壳体内,用顶盖密封便制成了复合式反应破片,如图 2 所示。

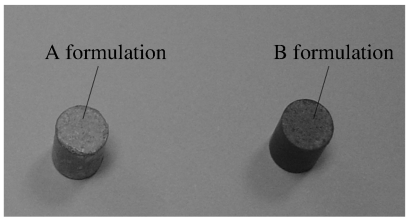


图 1 两种裸反应破片

Fig. 1 Two kinds of bare reactive fragments

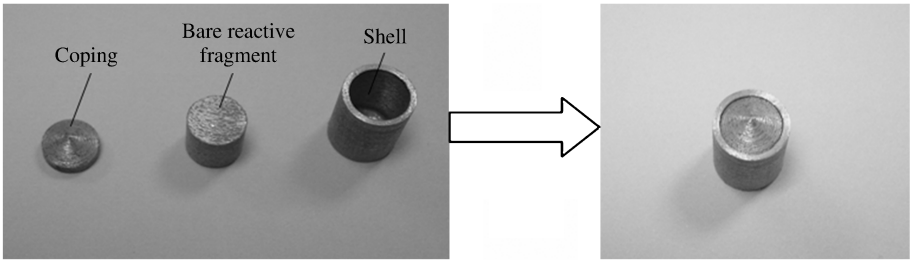


图 2 复合式反应破片

Fig. 2 Compound reactive fragment

3 试验方案

3.1 被试破片

被试破片类型和结构参数见表 1。

表 1 复合式反应破片类型和结构参数

Table 1 Types and structural parameters of compound reactive fragments

Code number	Fragment formulation	Fragment size/(mm×mm)	Shell thickness/(mm)	Fragment mass/(g)
A-1,A-2	A formulation	∅8×10	1.0	3.20
A-3,A-4		∅9×10	1.5	4.30
B-1,B-2	B formulation	∅8×10	1.0	3.40
B-3,B-4		∅9×10	1.5	4.50

3.2 油料目标

表 2 中给出了几种油料目标的闪点温度,从表中可以看出,0$^{\#}$ 柴油的闪点高于汽油、煤油,最不容易被引燃,所以本研究选择柴油作为目标。模拟油箱是由壁厚 6 mm 的 A3 钢板焊接而成,外形尺寸为 300 mm×300 mm×300 mm,模拟油箱见图 3。柴油由油箱顶部的注油口注入,油料约占箱体容积的一半。

表 2 几种油料闪点

Table 2 Some oil's flash point

Oil name	Flash point/(℃)
0$^{\#}$ diesel oil	≥55
Kerosene	45
Gasoline	−45

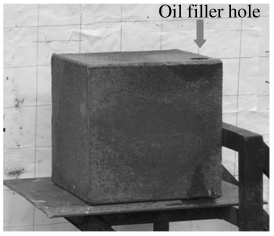


图 3 模拟油箱

Fig. 3 Photo of oil tank analogue

3.3　试验装置

试验装置如图 4 所示,采用口径为∅12.7 mm 弹道枪发射带塑料弹托的复合式反应破片,图 5 为发射药筒及反应破片照片,发射药采用 2/1 樟枪药,可通过调节药量改变破片发射速度[5]。油箱放置在距弹道枪 10 m 处的固定支架上,可根据试验要求调整油箱位置。试验采用激光测速仪测量破片着靶速度,用 FASTCAM-APX RS 高速摄影仪观察破片穿靶及后效反应过程,拍摄频率为 10 000 fps。

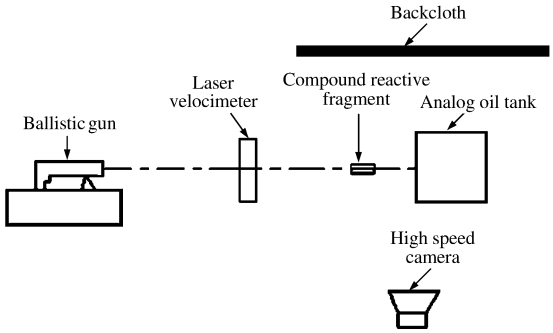


图 4　试验场地布置示意图

Fig. 4　Schematic diagram of experimental se-tup



图 5　发射药筒及反应破片

Fig. 5　Propelling charge cartridge and reactive fragment

4　试验结果与分析

4.1　不同配方的破片对油箱的毁伤效果

按照制定的试验方案进行试验。同种条件下,每种破片各进行了 3 发试验,试验结果具有较高的一致性,表 3 列出了典型的复合式反应破片对油箱的毁伤效应试验结果。

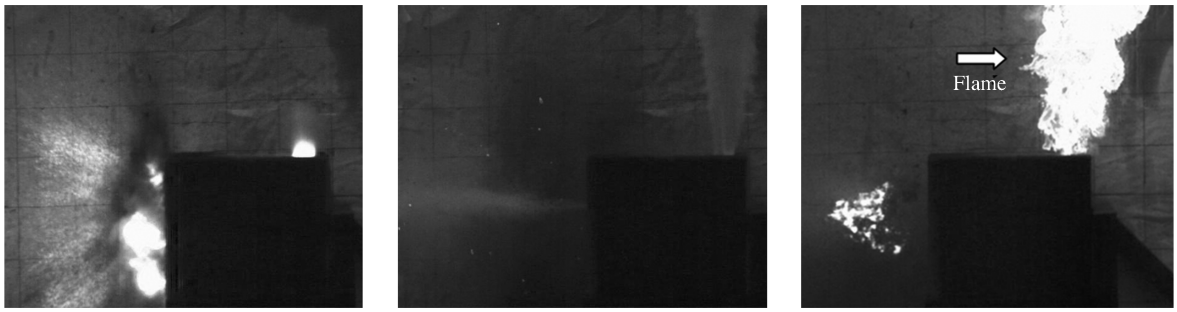
表 3　反应破片对油箱的毁伤试验结果

Table 3　Test results of reactive fragments against oil tank

Code number	Charge mass/(g)	Velocity/(km/s)	Impacting position	Ignition
A-1	15	1.70～1.76	Above oil	Yes
A-2	15	1.70～1.76	Below oil	No
A-3	16	1.52～1.65	Above oil	Yes
A-4	16	1.52～1.65	Above oil	Yes
B-1	15	1.62～1.67	Above oil	Yes
B-2	15	1.62～1.67	Above oil	Yes
B-3	16	1.51～1.57	Below oil	No
B-4	16	1.51～1.57	Above oil	Yes

从表中可以看出,在相同的发射装置和发射药量的条件下进行下射击试验,两种复合式反应破片均能穿透油箱壁,且只要击中油箱的油面以上部位,都能很好地将柴油引燃,而击中油面以下部位则一般不能引燃油箱中的柴油,而根据以往试验惰性破片即使是打在油面以上部位也不能有效引燃油箱中的柴油。可以想见,当携带复合式反应破片的战斗部对油箱攻击时,只要有一个破片击中油箱的油面以上,就能将其引燃。图 6、图 7 分别为配方 A、配方 B 的复合式反应破片在不同时刻对油箱的毁伤过程图。

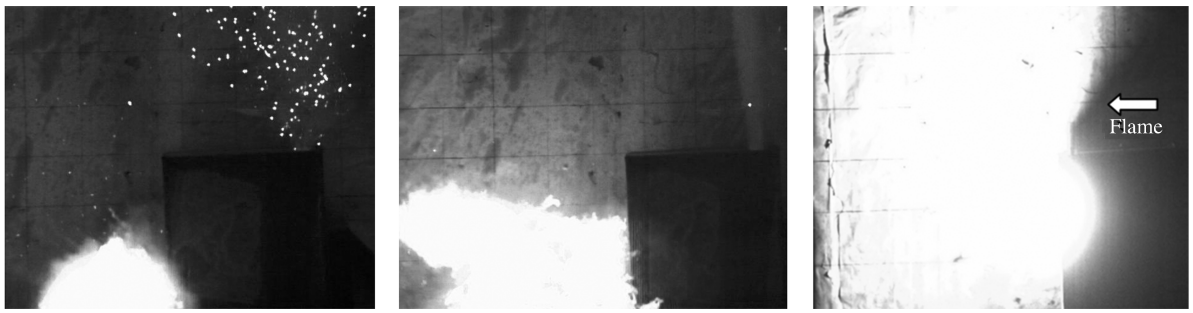
从图中可以看出,当破片击中油箱并穿透油箱壁后,在油箱内部产生爆燃效应,油箱内的柴油在破片的爆燃作用下形成油雾,并从注油口和破片侵彻孔喷射而出,被破片形成的火焰所点燃。试验结果还表明,两种配方的反应破片均能有效引燃油料,引燃概率相差不大。此外,壳体的厚度对后效影响不大,对穿靶能力和保持破片完好性影响较大,一般来说,壳体越厚穿靶能力和保持破片完好性越强。



t=1 ms t=4 ms t=40 ms

图 6 配方 A 反应破片引燃过程

Fig. 6 The ignition process of A formulation fragments



t=1 ms t=4 ms t=40 ms

图 7 配方 B 反应破片引燃过程

Fig. 7 The ignition process of B formulation fragments

4.2 反应破片引燃机理分析

从试验中可以看出，反应破片对油料目标的毁伤比传统的惰性破片具有明显的优势，它不但能穿透目标，而且还可在目标内部产生爆燃效应，大大提高了破片的杀伤效果。究其原因在于其作用机理与传统的惰性破片有着本质的不同，传统的惰性破片是通过动能对目标进行侵彻打击，而反应破片除了动能外，其本身因由含能材料构成，在撞击目标过程中引发反应破片内部含能材料各级组分间发生化学反应，释放出大量的化学能，以配方 A 的反应破片为例，在撞击后一般会发生如下 3 个反应((1)式、(2)式、(3)式)。首先，撞击产生的压力和高温使铝粉与聚四氟乙烯发生反应，放出热量，同时聚四氟乙烯在撞击产生的压力和高温以及在上述反应产生的能量作用下发生解聚反应生成四氟乙烯单体，而四氟乙烯单体在空气中会发生剧烈的爆炸反应，这 3 个反应相互交织，互相供给能量，最终体现在宏观上，反应破片穿透目标后在目标内部产生爆燃效应，给目标造成有效的打击，如图 8 所示。

$$4\mathrm{Al}+3\mathrm{C_2F_4}\longrightarrow 4\mathrm{AlF_3}+6\mathrm{C}+Q \quad (1)$$

$$[\mathrm{C_2F_4}]_n\longrightarrow n\mathrm{C_2F_4} \quad (2)$$

$$\mathrm{C_2F_4}\longrightarrow \mathrm{C}+\mathrm{CF_4}+Q \quad (3)$$

而对于油箱目标来说，在复合式反应破片穿透油箱壁后，只要是击中油面以上部位，内部的反应材料发生反应，产生爆炸、燃烧效应，爆炸效应使油料



图 8 反应破片穿靶后产生爆燃效应

Fig. 8 The deflagration effect induced by reactive fragment after penetrating

形成柴油蒸汽或油雾(见图 9),而燃烧效应则点燃油箱内的柴油蒸汽或油雾;而击中油面以下部位,反应破片所产生的火焰就会被油料湮灭,一般不能正常引燃。但是在多个反应破片同时作用下,引燃油料的概率就会大幅度提升。惰性破片由于穿透油箱后没有爆炸燃烧的后效作用,所以即使穿透油箱也不能将油箱中的油料引燃。

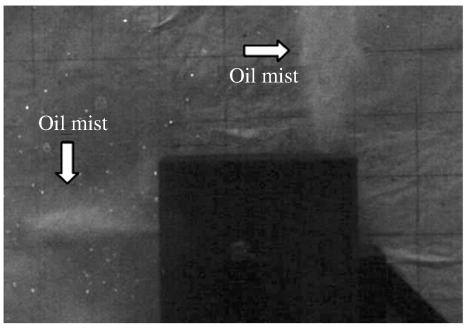


图 9　反应破片产生的油雾

Fig. 9　Oil mist produced by reactive fragments

5　结　论

采用 12.7 mm 弹道枪对相同结构不同材料的复合式反应破片进行了毁伤模拟油箱试验,通过高速摄影观察破片对油箱的毁伤过程,研究复合式反应破片对油料的毁伤效果,得出以下结论:

(1) 提出了一种能够有效击穿油箱壁并具有爆燃后效的复合式反应破片结构,该破片既有惰性破片的动能优势,又兼有反应破片强大的后效毁伤效能。

(2) 试验结果表明,该复合式反应破片对油箱等油类目标具有很好的引燃纵火效果,两种配方的反应破片只要破片击中油面以上部位,就能将油料有效引燃,尤其是在多个复合式反应破片作用下毁伤油箱的机率更高。

(3) 试验结果证明了复合式反应破片对油料目标毁伤的高效与实用性,反应材料在壳体的保护下,更能保持破片在爆炸驱动和穿靶过程中破片的完好性,可作为预制破片装备到各种武器平台上,更容易实现武器化应用,有良好的应用前景。

References:

[1] Ames R G. A Standardized Evaluation Technique for Reactive Warhead Fragments [A]//23rd International Symposium Ballistics [C]. Tarragona, Spain: International Ballistics Committee, 2007: 16-20.

[2] Taylor P A. Al/PTFE Rreactive Material (RM-4) Sandia Effort: Experiments& Modeling [R]. Sand2003-1840P, 2003.

[3] Nielson D B, Truitt R M, Rasmussen N. Lower Temperature, Extrudable, High Density Reactive Materials: US, 6962634B2 [P]. 2005-11-08.

[4] Vasant S J. Process for Making Polytetrafluoroethylene-Aluminum Composite and Product Made: US, 6547993B1 [P]. 2003-04-15.

[5] Huang H J, Huang H, Yang S Q, et al. Preliminary Research on Damage Enhanced Fragment [J]. Energetic Materials, 2007, 15(6): 566-569. (in Chinese).
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.

Experimental Study on the Damage Effect of Compound Reactive Fragment Penetrating Diesel Oil Tank

XIE Chang-You[1,2], JIANG Jian-Wei[1], SHUAI Jun-Feng[1],
MEN Jian-Bing[1], WANG Shu-You[1]

(1. *State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing*, 100081, *China*;
2. *Research Institute of Chemical Defense, Beijing* 102205, *China*)

Abstract: Two new kinds of compound reactive fragments were designed and prepared, and the penetration tests of the compound reactive fragments against oil tank with diesel oil were performed. The compound reactive fragment is composed of shell, bare reactive fragment and coping. Bare reactive fragments prepared by high-temperature sintering in a vacuum container have two kinds of formulations, one is mixed aluminum powder with PTFE, another is mixed titanium powder with PTFE. Fragments were fired using 12.7 mm ballistic gun, and the penetration process against oil tank were recorded by high-speed camera. The experimental results show that two kinds of compound reactive fragment can penetrate through 6 mm thick oil tank and have obvious ignition effects. Comparing with inert fragments, compound reactive fragments have better capability of penetration and ignition.

Key words: explosion mechanics; reactive fragment; reactive material; damage effect; oil tank