

含能破片撞击引燃屏蔽炸药的实验研究^{*}

叶小军¹, 李向东²

(1 南昌陆军学院, 南昌 330103; 2 南京理工大学机械工程学院, 南京 210094)

摘要:为研究新型含能破片低速撞击并引燃屏蔽炸药的机理,对新型含能型破片进行了实验研究与理论分析。结果表明:含能破片对屏蔽炸药引燃的撞击速度为631~925m/s,远低于冲击起爆的阈值速度1450m/s,引燃机理为:含能破片冲塞后,破片内部的含能材料发生反应,释放大量的热,从而引燃炸药。

关键词:含能破片;引燃;屏蔽炸药

中图分类号:TJ41 **文献标志码:**A

Experimental Study on Reactive Fragments Ignited Charge Covered with a Metal Plate after the Impact

YE Xiaojun¹, LI Xiangdong²

(1 Nanchang Army College, Nanchang 330103, China;

2 School of Mechanical Engineering, NUST, Nanjing 210094, China)

Abstract: To study the mechanism of new type reactive fragment low-speed impact and ignited charge, can type the new fragment containing the experimental research and theoretical analysis. The results showed that: reactive fragments on impact ignition of explosives screening at 631~925 m/s, well below the threshold of detonation shock speed of 1450 m/s, the mechanism for ignition: reactive fragments after plugging, fragment containing an internal reaction to the material, the release of large amount of heat, which ignited the explosives.

Keywords: reactive fragment; ignition; charge covered with a metal plate

0 引言

含能破片(reactive fragment)又称活性破片,是一种含能材料复合结构破片,其战斗部是一种结构工艺相对简单,对于制导精度要求相对较低的新型战斗部,当破片碰撞并侵彻目标时,从穿孔内随进燃烧元或杀伤元素,可提高对目标内部的毁伤能力。

2002年,美国海军首先提出了含能破片的基本概念^[1]。2004年美国海军对含能破片战斗部进行了实验^[2],同普通破片相比,含能破片可有效提高毁伤效果。

国内主要有蔡振华^[3]、李旭锋^[4]等人对含能破片进行了系统的研究。黄亨建^[5]等人对毁伤增强型破片进行了探索研究,其设计的铝-聚四氟乙烯毁伤增强型破片,具有动能、爆炸、冲击超

压、高温作用、纵火等复合毁伤打击能力。

文中设计出一种新型引燃式含能破片,该破片以较低的速度撞击靶板形成冲塞后,可以顺利引燃仿真战斗部内的装药(屏蔽炸药),文中并就该引燃机理进行了理论分析与实验研究。

1 含能破片引燃能力理论分析

1.1 含能破片的毁伤原理

根据含能破片的含能材料和工作原理的不同,含能破片可分为燃烧式和爆炸式含能破片。

爆炸式含能破片其毁伤原理为:预先在破片体装入爆炸类含能材料,当破片侵入目标壳体内部后,破片内部的爆炸材料发生爆炸,进一步引燃目标壳体内部的高能炸药或易爆材料。爆炸式含能破片对爆炸类目标(如战斗部、弹药舱等)的引爆效果好。文献^[4]中研究的即是爆炸式含能

^{*} 收稿日期:2009-01-17

作者简介:叶小军(1976-),男,江西瑞昌人,讲师,硕士研究生,研究方向:高效毁伤战斗部设计与数值仿真。

破片。

燃烧式含能破片的毁伤原理是：在破片体内装入高能燃烧材料或是直接使用可燃的金属作为破片，利用破片撞击目标壳体产生的冲击波或是撞击的热效应引燃破片的可燃烧材料，在破片侵入目标体内部时，破片的高能燃烧材料释放热能，从而引燃目标壳体内部的易燃易爆物质，进一步对目标形成高效毁伤。燃烧式含能破片主要是对易燃类目标的引燃效果好。文献[3]中研究的即是这种燃烧式含能破片中的一种。文中将主要研究这一类型的含能破片。

在含能破片对目标撞击后，总的能量将为：

$$KE_T = KE_K + KE_C \tag{1}$$

其中： KE_K 为破片的动能， KE_C 为破片的化学能，这种破片所用的材料含有一定的化学能，在撞击目标后，增加的化学能量爆炸或燃烧，可增加破片的总体杀伤能力；但含能材料又必须是钝感的，在战斗部主炸药爆炸时产生高压的条件下，能保持其安定性。

1.2 破片的引燃能力分析

含能材料作用于目标时的效果很大程度上决定于它燃烧时所放出的热量。对于确定的含能材料，其总体能为 U ，单位为焦耳(J)，按热力学第一定律，有：

$$dU = \delta Q - \delta W \tag{2}$$

式中： Q 为含能材料吸收(放出)的热，单位为焦耳(J)； W 为含能材料反应时对外所作的功，单位为焦耳(J)； δW 为含能材料反应过程中的体积功， $\delta W = p dV$ ， dV 为体系体积 V 的微分， p 为压力。

为便于分析，使用热力学中的焓，其定义为：

$$H = U + pV。$$

当 $\Delta p = 0$ ，即在恒压条件下，如果没有因体积膨胀做的功以外的功，则 $W = p\Delta V$ 由式(2)可知：

$$\Delta H = Q_p V \tag{3}$$

Q_p 为没有膨胀做的功以外的功时，恒压下体系所吸收的热。对于含能材料的燃烧反应而言，为恒压反应热。含能材料燃烧过程所放出的热可由 ΔH 计算出来，上式为计算反应热的基础。

当含能材料比较复杂时，可在计算出平衡常数的基础上，利用如下公式求出燃烧热。

$$Q_p = -\Delta H_{298}^0 = \Delta H_1 - \Delta H_2 = \sum_{i=p} n_i (\Delta H_{f,298}^0) - \sum_{j=r} n_j (\Delta H_{f,298}^0) \tag{4}$$

式中： Δ 表示差值； H 表示整个含能材料或生成物的焓，而不是单位质量的焓值；下标 f 、 298 分别表示“反应”及反应温度 $298K$ ； n_i 表示第 i 种生成物的摩尔数， n_j 表示含能材料的第 j 种成分的摩尔数。

文中主要研究的含能材料根据文献[6]，有：

$$\sum_{j=r} n_j (\Delta H_{f,298}^0) = -34525.06 \text{ kJ}$$
$$\sum_{i=p} n_i (\Delta H_{f,298}^0) = -81738.67 \text{ kJ}$$

根据式(4)有：

$$Q_p = -47213.61 \text{ kJ}$$

因而文中所研究的含能材料 $1g$ 所能放出的热量为：

$$47213.61/10144 = 4.654 \text{ kJ}$$

含能材料在燃烧过程中，其燃烧时最高温度是能达到多少，这对于能否引燃屏蔽炸药至关重要。

为计算出含能材料燃烧时所能达到的最高理论温度。假定该反应在绝热条件下发生，且所有含能材料完全反应完全，因此所放出的热量全部用于加热生成物。设定含能材料在常温下 ($298K$) 进行燃烧反应，按热力学第一定律在等压条件下有：

$$-\Delta H = \int_{T_0}^{T_f} \sum_{i=p} n_i c_{pi} dT \tag{5}$$

式中： n_i 为该产物组分的摩尔数，可由燃烧产物量计算中求得。 T_0 、 T_f 分别为含能材料燃烧前的温度及绝热燃烧温度。

通过式(5)计算，使用的含能材料燃烧的最高理论温度，若假定生成物全部为液体时， $T_f = 4300K$ ；若生成物全部为汽态时， $T_f = 2125K$ 。而在实际实验中，生成物以液态生成物为主，若设定液态生成物占生成物总量的 70% 时，最高理论温度 $T_f = 3647.5K$ ，即 $3374.2^\circ C$ 。

由于试验过程中使用的含能材料约为 $2g$ ，可计算出该含能破片含能材料理论上可以释放出

6.981kJ 的热量,反应后理论温度可达 3374.2℃。

这样就有足够的能量及温度引燃目标体内部的炸药,从而在目标内部形成高效毁伤效应。

2 含能破片引燃能力实验

2.1 试验方案

试验系统如图 1 所示,由弹道枪、破片、纸测速靶、目标战斗部(带铝壳的 B 炸药)组成。弹道枪为 14.5 mm 口径的滑膛式试验用枪,采用制式弹壳,使用混合发射药对破片底部加载,使其获得一定的速度。

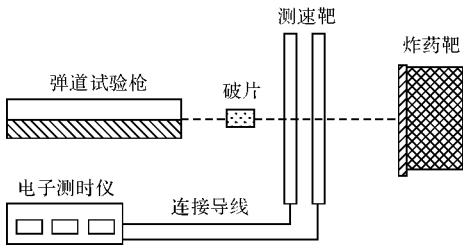


图 1 试验系统示意图

2.2 含能破片及屏蔽炸药设计

含能破片结构为圆柱体,分为破片头部、尾部两段。在破片头部有放置含能材料的空腔。含能破片外形为 $\Phi 15\text{mm} \times 40\text{mm}$ 的圆柱体,材料为 20 钢,破片内有空腔,用于装填含能材料。含能破片总的质量为 50g。

屏蔽炸药为注装 B 炸药,为 $\Phi 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 的圆柱体,密度为 $1.6\text{g}/\text{cm}^3$;圆柱壳体及前后端是厚度为 10mm 的铝靶板,如图 2 所示,材料为 LY12。



图 2 屏蔽炸药

2.3 试验结果与分析

实验设计了 9 类含能材料的方案,以不同的速度共发射 35 发弹。实验结果如表 1 所示。

从表 1 可以看出,方案 5、7 和 8 药剂的含能破片能够引燃炸药靶,效果好;方案 3 能够部分

引燃炸药靶,可作进一步改进;方案 1、2、4、6 和 9 完全不能够引燃,可淘汰。

表 1 试验结果

方案	试验发数	引燃放数	未引燃放数	引燃率 / %
1	1		1	0
2	1		1	0
3	6	3	3	50
4	2		2	0
5	7	6	1	85.7
6	1		1	0
7	7	5	2	71.4
8	8	7	1	87.5
9	2		2	0

表 2 引燃与未引燃战斗部破片速度分布

方案	发数	速度分布 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	
		引燃的	未引燃的
1	1		781
2	1		785
3	6	802 / 631 / 异常	963 / 789 / 773
4	2	865 / 714	
5	7	786 / 810 / 820 / 791 / 776 / 813	787
6	1	799	
7	7	841 / 798 / 806 / 871 / 772	651 / 805
8	8	835 / 786 / 762 / 786 /	792
9	2	837 / 826 / 795	807 / 826

从表 2 可以发现,引燃屏蔽炸药的破片速度为 631 m/s 至 871 m/s 不等,没有引燃拟战斗部的破片速度也基本在这一范围内,可以排除引燃屏蔽炸药的主要原因是冲击引燃。根据文献[7]中计算破片对带壳炸药冲击引爆的速度判据可以计算得到:若要引爆实验中的战斗部,破片冲击的阈值速度为 1450 m/s,而本实验中最大的速度不超过 963 m/s,也可以说明引燃屏蔽炸药的原因非冲击引燃。

从图 3、图 4 前靶板冲塞的塞块表面及破片内部可以看到一层球形熔融物,这层熔融物是在剪切带薄层之上形成的,说明含能破片在冲塞过程中塞块和孔壁的摩擦生热,有发热现象。破片贯穿靶板过程中,含能破片破碎,碎片通过对炸药的撞击、剪切和摩擦等机械作用,同时加上破

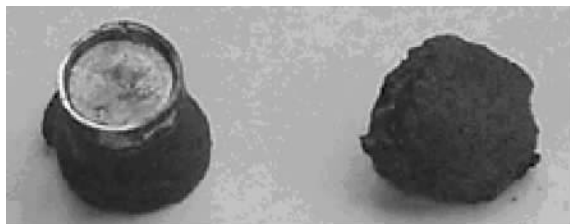


图 3 破片及冲塞块



(a) 未反应的破片

(b) 已反应的破片

图 4 不同状态的破片

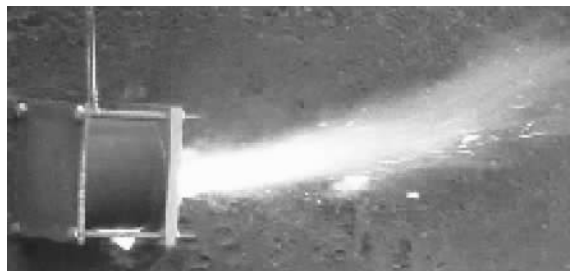


图 5 正在燃烧的屏蔽炸药

片内部的含能材料发生反应,使得目标内部的炸药急剧升温,从而使屏蔽炸药内的炸药燃烧,如图 5 所示。

在引燃战斗部的物内部可以看到一层球形熔融物,这是含能材料反应燃烧后的生成物。在未引燃战斗部的回收物中,含能破片内部可以看到没有发生化学反应的含能材料的原材料,这说明含能材料自身有反应燃烧。综合结果,可以发现以下规律:凡是破片的含能材料能够产生反应,能够自身燃烧,都能够将屏蔽炸药引燃。则破片的含能材料的热量足以引燃,关键是撞击过程中有足够的条件让引燃破片本身的含能材料反应。

试验的结果显示:所设计的含能破片性能符合要求,破片低速撞击并引燃屏蔽炸药,形成冲塞,破片内部的含能材料发生反应,释放出大量的热,发热量、反应温度引燃了带壳 B 炸药,实验

结果与理论分析较好的吻合,燃烧式含能破片的设计思路和方案在工程上是可行的。

3 结论

1)此种结构的含能破片具有较高的强度和侵彻能力,可以穿透厚度为 10mm 的 LY12 材料的铝靶;实验中的含能材料配方中,3 号和 4-3 号配方比较好,引燃概率分别为:86%、87.5%,具有较强的引燃带壳炸药内炸药的能力。

2)所设计的新型燃烧式含能破片,内部装填的含能材料可释放 6.981kJ 的热量,含能材料反应后,理论上反应温度可达 3386.2℃,足以引燃目标壳体内的炸药,试验结果与理论计算结果吻合,所设计的燃烧式含能破片可行。

3)含能破片内装填了含能材料,同等条件下对同一目标毁伤时,含能破片最大引燃速度为 871m/s,最小引燃速度为 631m/s,而普通破片对带壳炸药冲击引爆的阈值速度为 1450m/s,含能破片提高毁伤效率 270%以上。

参考文献:

- [1] National Research Council washington Dc Naval studies Board 2002 Assessment of the Office of Naval Research's Air and Surface Weapons Technology Program[R]. ADA 413237,2002.
- [2] Jerry LaCamera. Navy Presentation to the NDIA Munitions Executive Summit[C]. 2004.
- [3] 蔡振华. 含能破片对巡航导弹燃料舱毁伤研究[D]. 南京:南京理工大学,2005.
- [4] 李旭锋. 含能破片对模拟战斗部的引爆机理研究[D]. 南京:南京理工大学,2006.
- [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.
- [6] 周校平,张晓男. 燃烧理论基础[M]. 上海:上海交通大学出版社,2001.
- [7] 洪建华,陶江源. 杀伤破片击穿和引爆靶弹的分析与研究[J]. 弹道学报,2002,14(4):60-66.
- [8] 梁英教,车荫昌. 无机物热力学数据手册[M]. 沈阳:东北大学出版社,1998.
- [9] 叶小军. 含能破片对带壳炸药的引燃机理及抛射强度研究[D]. 南京:南京理工大学,2008.