

文章编号: 1003-1480 (2021) 02-0019-04

活性破片侵彻 Q235 钢靶穿燃后效实验研究

徐光泽, 张 良, 张兴高, 盖希强, 杨 林, 罗俊潇

(军事科学院防化研究院, 北京, 102205)

摘要: 为了研究活性破片在侵彻 Q235 钢靶过程中对靶后目标的毁伤特性, 以油箱和棉花为目标, 选取主成分为 W 和 Zr 的 3 种活性破片进行了弹道枪实验。实验结果表明, 活性破片侵彻靶板时具有扩孔效应, 相同条件下 Zr 含量高的活性破片引燃棉纱和油箱效果较好。基于活性破片穿燃毁伤过程, 提出了用火球明亮区域纵向剖面面积来表征活性破片释能速率的方法, 获得了活性破片形成的火球横向最大直径和纵向最大直径变化规律。

关键词: 活性破片; 穿燃后效; 引燃; 释能效率

中图分类号: TQ560.7 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2021.02.006

Study on Aftereffect of Penetrating Q235 Steel by Reactive Fragment

XU Guang-ze, ZHANG Liang, ZHANG Xing-gao, GAI Xi-qiang, YANG Lin, LUO Jun-xiao

(Research of Chemical Defense Academy of Military Science, Beijing, 102205)

Abstract: In order to study the damage characteristics of the active fragments to the target behind the Q235 steel target in the process of penetration, with the fuel tank and cotton as the target, three different active fragments with W and Zr as main components were selected for ballistic gun experiments. The experimental results show that the active fragments have a hole-expanding effect as penetrating the target plate. Under the same conditions, the active fragments with higher content of Zr have a better effect on igniting cotton yarn and fuel tanks. Based on the burn-through and damage process of the active fragments, a method was proposed to characterize the energy release rate of the active fragments by the longitudinal cross-sectional area of the bright area of the fireball, and the maximum horizontal and vertical diameters change rules of the fireball formed by the active fragments were obtained.

Key words: Reactive fragment; Aftereffect of penetrating; Ignite; Energy release efficiency

活性破片由于具有毁伤威力大等优点, 其在新型武器装备领域的应用得到越来越多的关注。目前, 关于活性破片的研究较多, 王海福等^[1]采用弹道发射的方式测量了 3 种不同活性破片的能量输出特性, 结果表明活性破片的能量释放率与碰撞速度密切相关。张泰华^[2]从能量角度提出了临界热能密度的概念, 并认为临界热能密度可能是含能材料引发的本征参量。陈伟等^[3]利用 12.7mm 弹道枪穿靶试验研究了钨钨合

金、93 钨合金和易碎钨合金 3 种材料破片毁伤油箱过程, 结果表明钨钨合金具有更高的引燃油箱能力, 其碎片分散角大和多火点引燃是使油箱爆燃的主要原因。徐豫新^[4]和罗振华^[5]都开展了活性破片对屏蔽燃油的穿燃毁伤实验, 不同的是文献^[4]重点研究了活性破片穿靶后对 0# 柴油的引燃特性与破片穿靶后的释能特征和油气混合物分布结构的关系; 而文献^[5]主要分析计算了活性破片对轻型装甲车辆油箱的毁

收稿日期: 2020-11-25

作者简介: 徐光泽(1993-), 男, 在读硕士研究生, 主要从事燃烧毁伤评估研究。

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 51404279); 装备预先研究项目 (No. 30110020502)。

伤威力。徐梓熙等^[6]采用起爆杀爆战斗部方式产生活性破片实现对飞机的动态加载毁伤,结果表明活性破片对机翼类部件具有很好的毁伤能力。

在战争中,易燃类物品是重要的打击目标,而活性破片穿燃后效具有典型的燃烧释能特点,这对易燃类目标具有很好的毁伤效果。因此,本文开展了活性破片侵彻 Q235 钢靶后对典型易燃物的引燃能力和影响因素的研究。选取了 3 种不同类型活性破片,进行了靶后引燃棉花和 0[#]柴油的穿靶实验研究,分析活性破片穿燃后效相关规律。

1 实验

1.1 实验材料及仪器

实验材料:12.7mm 弹道枪,12.7mm 发射药筒,发射枪药,弹托,靶板支架,500mm×500mm×4mm Q235 钢板,500mm×500mm×6mm Q235 钢板,壁厚 0.8mm、冷轧钢、容积 5L 油箱,0[#]柴油,脱脂棉,防弹装置,高速摄像机,测速靶,数据采集系统,3 种活性材料,主要成分为 W 和 Zr,活性破片基本性能参数如表 1 所示。

表 1 活性破片性能参数

破片类型	w _w	w _{zr}	形状	密度 / (g·cm ⁻³)	破片尺寸 /mm	平均质量 /g	抗压屈服强度/MPa
A	5	1	球	12.1	9.5	5.4	214
B	6	1	球	12.3	9.5	5.5	-
C	1	10	圆柱体	6.8	8.5×8.5	3.0	-

1.2 实验装置与测试系统

实验装置和场地布置分别如图 1、2 所示。

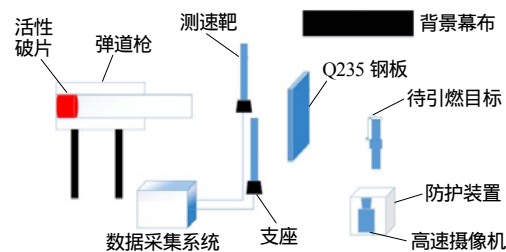


图 1 实验装置图

Fig.1 Experimental schematic diagram

实验中将活性破片和弹托装于发射药筒内,放置于弹道枪中进行激发射击。采用高速摄像机对活性破片穿燃过程进行拍摄,曝光时间根据现场光线来调整,并采用数据采集系统处理记录的视频数据。



(a) (b)

图 2 实验场地布置图

Fig.2 Layout of experimental site

2 结果与分析

2.1 撞靶过程能量分析

活性破片穿燃后效的主要影响因素是撞靶过程中材料自身化学能量的有效释放。活性破片撞靶过程主要涉及活性破片初始反应状态的激发、活性破片破碎释能的临界条件判断,通过对撞靶过程中的能量分析可以较好地理解穿燃后效的发展变化情况。

破片高速撞击靶板时,受到应力波的作用,应力波为压缩波,以入射波的形式在材料内部传播。压缩波在破片边缘处形成反射波,破片外层受到拉伸波作用。此外,破片还受到高速冲击作用,含能破片发生塑性变形,塑性变形过程伴随热能的生成,在材料内部形成多个热点。热点的传播加速了含能破片发生释能化学反应,且满足了活性破片初始反应需要的高温高压外界条件,因此呈现含能破片破碎释能的现象。

表 2 为活性破片侵彻 Q235 钢靶的有效穿靶数据。

表 2 活性破片侵彻 Q235 钢靶的实验数据

Tab.2 The test result of reactive fragment penetrating Q235 steel

破片类型	质量 /g	形状 /mm	着靶速度 / (m·s ⁻¹)	孔径大小/mm		穿靶模式
				入射孔	出射孔	
A	5.62		610	11.03	10.62	
A	5.54		1105	13.65	14.14	
A	5.57	Φ9.5 球	1050	12.45	14.04	
A	5.59		942	12.49	13.14	
B	5.53		1235	13.15	13.65	
B	5.56		955	11.34	12.15	冲塞
B	5.50		840	11.08	10.39	
C	3.10		1267	13.61	14.13	
C	3.09		1374	14.48	14.22	
C	3.08	Φ8.5×8.5 圆柱	1413	13.65	13.05	
C	3.11		1485	15.24	13.53	

由表 2 可见:(1)对于同种活性破片类型,随着着靶速度的增加,其扩孔直径呈现逐渐增大的趋势;(2)活性破片在穿靶时其扩孔效应明显,3 种破片类

型中 C 的扩孔效应最显著,最大可达破片直径的 1.8 倍左右;(3)3 种不同类型的活性破片对靶板的破坏模式相同,均为冲塞。

2.2 穿靶后效过程分析

为了比较 3 种不同类型活性破片的穿靶后效作用,列出不同条件下活性破片对靶后目标的引燃情况,如表 3 所示。

表 3 3 种不同活性破片对 Q235 钢板的穿靶后效
Tab.3 The aftereffect of penetrating Q235 steel by three reactive fragments

破片类型	靶板厚度/mm	着靶速度/(m·s ⁻¹)	油箱与靶板距离/cm	棉花与靶板距离/cm	靶后现象
A	6	610	16	-	未燃
A	6	1 105	-	20	未燃
A	6	1 050	-	20	未燃
A	6	942	-	20	未燃
B	6	1 235	16	-	未燃;冒烟
B	6	955	-	20	未燃
B	6	840	-	20	未燃
C	4	1 267	16	-	燃烧,柴油飞溅,引燃木板
C	6	1 374	-	20	引燃棉花
C	6	1 413	20	-	引燃油箱周围物质
C	6	1 485	20	-	引燃油箱周围物质

由表 3 可见:C 类型活性破片在靶后引燃效果相对 A 类型和 B 类型更好,A 类型和 B 类型活性破片引燃能力可能与其撞击速度有较大关系,在临界速度以下其对棉花等易燃物没有引燃能力,当超过某一临界速度时其可以充分破碎释能从而引燃易燃品。

通过高速摄影对比不同典型时刻不同类型活性破片穿靶后效粒子分布,对每组发光区域的大小以及靶后目标引燃情况进行分析,如图 3~5 所示。

由图 3 可见,破片 A 在着靶速度增加时其在靶两侧产生的火球区域亮度显著变化,亮度与着靶速度在一定范围呈正相关。由图 5(a)~(b)可发现靶板厚度与破片的释能有一个最佳匹配关系,超过一定厚度时,释能效果会达到一个上限值而无法提高。活性破片 C 在穿靶过程中易形成燃烧火团,释能较充分;而活性破片 A 和 B 则依靠高速碰撞形成具有一定温度的火星束,随着时间推移该火星束断裂从而降低了毁伤威力。此外,对于某一速度范围,活性破片中铝质量分数较大时释能效果较好,引燃靶后棉纱和油箱能力较强。

根据图 5 统计活性破片 C 在不同时刻火球图像数据,基于 matlab 软件编程进行分析,通过获取图像中火球明亮区域的基本轮廓特征,计算与轮廓区域对应

的亮区实际面积,求得火球区域横纵向最大直径,以此来刻画火球的演化规律和释能特征,如表 4 及图 6 所示。

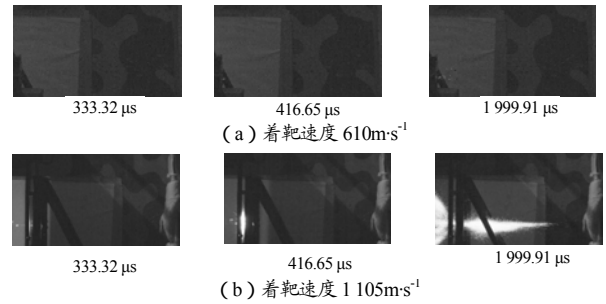


图 3 活性破片 A 对油箱和棉纱的引燃效果
Fig.3 The ignition effect of reactive fragment A on oil tank and cotton yarn

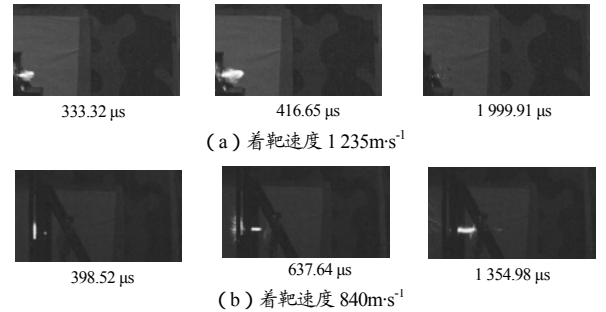


图 4 活性破片 B 对油箱和棉纱的引燃效果
Fig.4 The ignition effect of reactive fragment B on oil tank and cotton yarn

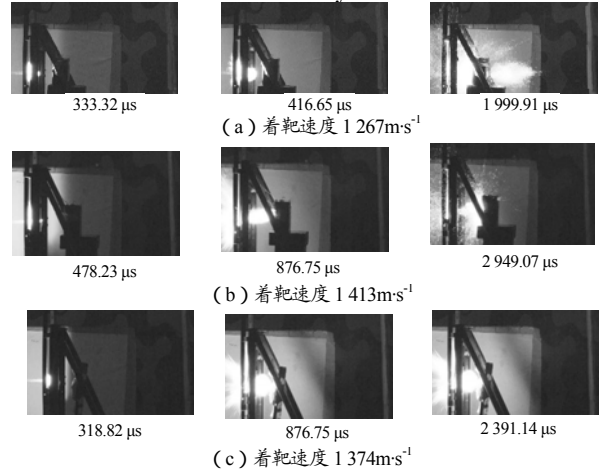


图 5 活性破片 C 对油箱和棉纱的引燃效果
Fig.5 The ignition effect of reactive fragment C on oil tank and cotton yarn

表 4 活性破片 C 不同时刻火球图像数据统计
Tab.4 Data statistics of fireball images of reactive fragments C at different moments

t/μs	火球区域纵向剖面面积/cm ²	火球区域横纵向最大直径/cm	火球区域纵向最大直径/cm
333.32	115.23	19.90	20.98
416.65	198.35	26.15	27.65
499.98	568.87	34.76	41.21
583.31	737.35	35.51	42.61
666.64	843.09	36.26	44.66
749.97	901.15	26.58	48.10
833.30	1 079.63	53.05	52.62

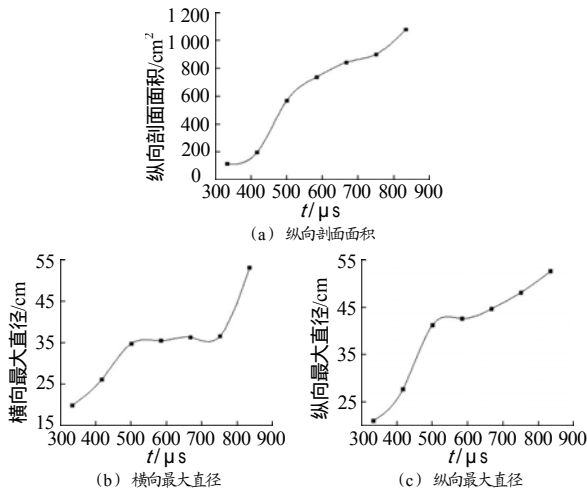


图 6 火球纵向剖面面积以及横纵向最大直径随时间变化曲线

Fig.6 The time dependent curve of longitudinal section area and maximum horizontal and vertical diameter of fireball

根据表 3~4 以及图 6 可知,活性破片释能的效率及时间将影响其穿燃后效作用,可以采用火球明亮区域纵向剖面面积的变化率、横向最大直径变化率、纵向最大直径变化率来表征活性破片释能速率,在相同时间间隔内,变化率越大表明活性破片释能反应越快,与实际现象具有较好的吻合度。故基于对火球图像数据的处理分析,可将活性破片穿靶释能过程分为 3 个阶段:(1)活性破片冲击靶板瞬间靶前释能阶段;(2)活性破片穿透靶板到接触目标对应的火球增长阶段;(3)与目标相互作用阶段。

3 结论

(1) 通过对比实验获取的数据,3 种活性破片中 C 类型活性破片穿燃时后效比较明显,靶后释能充分,对于油箱和棉纱类物质能有较好的引燃作用,A 类型活性破片和 B 类型活性破片对油箱和棉纱的引燃作用不明显,说明其在靶后释能不充分,破碎程度

低,反映出其破碎需要的压溃值比 C 类型活性破片高。对于一定质量的活性破片,在某一速度范围内,Zr 质量分数较大时其对靶后易燃目标引燃效果更好。

(2) 活性破片在较高冲击速度条件下释能较好。C 类型活性破片在某一速度范围内,其释能效率随着速度增大逐渐增加,但当达到某一临界速度值时,速度的增加对破片释能效率并没有太大影响。

(3) 通过引入活性破片穿燃过程形成的火球明亮区域纵向剖面面积的变化率、横向最大直径变化率、纵向最大直径变化率 3 个指标,来表征活性破片释能效率,与实际现象具有较好的一致性。

参考文献:

- [1] 王海福,刘宗伟,俞为民,等.活性破片能量输出特性实验研究[J].北京理工大学学报,2009,29(8): 663-666.
- [2] 张泰华,丁雁生,陈力.从数量级分析看含能材料的临界热能密度[J].爆炸与冲击,1999,19(2): 124-132.
- [3] 陈伟,赵文天,王健,等.钨钨合金破片毁伤过程研究[J].兵器材料科学与工程,2009,32(2): 108-111.
- [4] 徐豫新,韩旭光,张宏亮,等.钨钨合金破片对钢板屏蔽燃油的穿燃实验[J].北京理工大学报,2013,33(增刊 2): 199-202.
- [5] 罗振华,董素荣,赵军强,等.某型活性破片毁伤后效试验研究与分析[J].科学技术与工程,2014,14(32): 214-216.
- [6] 徐梓熙,刘彦,闫俊伯,等.不同破片对典型飞机目标的毁伤效应研究[J].兵工学报,2020,41(增刊 2): 33-38.
- [7] 张将,张先锋,范秉源,等.钨钨合金的动态力学特性研究[J].兵器材料科学与工程,2013,36(1): 3-6.
- [8] 刘晓俊,任会兰,宁建国.Zr-W 多功能含能结构材料的制备及动态压缩特性[J].复合材料学报,2016,33(10): 2 297-2 303.