

装药弹丸径向冲击剪切安全性实验研究

郝俊修¹, 李才毅¹, 郝静², 欧强兵¹

(1. 成都军区 78618 部队, 成都 610100; 2. 西南交通大学 电气工程学院, 成都 611456)

摘要:对装有炸药的弹丸进行径向冲击载荷剪切实验,测得弹丸壳体剪切断裂瞬间的温度变化、剪切断面形状变化以及弹丸内装填炸药的温度和应力,分析了温度、应力对弹丸装药安全性影响,得出了装药弹丸在剪切速度 1 m/s 的冲击载荷作用下不会发生燃烧或爆炸,为报废弹药安全、环保地销毁处理提供了一种新的技术手段。

关键词:报废弹药处理;炸药;装药弹丸;冲击载荷;剪切;安全性实验

本文引用格式:郝俊修,李才毅,郝静,等.装药弹丸径向冲击剪切安全性实验研究[J].四川兵工学报,2015(9):14-17.

Citation format:HAO Jun-xiu, LI Cai-yi, HAO Jing, et al. Experimental Study on Safety of Radial Impact Shear on Explosive Projectile[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2015(9):14-17.

中图分类号:TJ55

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2015)09-0014-04

Experimental Study on Safety of Radial Impact Shear on Explosive Projectile

HAO Jun-xiu¹, LI Cai-yi¹, HAO Jing², OU Qiang-bing¹

(1. The No. 78618th Troop, Chengdu PLA, Chengdu 610100, China;

2. College of Electrical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611456, China)

Abstract: Through the radial impact shear experiments on explosive projectile, the experimental data such as the temperature changes of the projectile shell, the shape changes of the shear section, the projectile charge temperature and stress in the shear fracture moment were obtained. Through analysis of temperature and stress on the effect of projectile charge safety when impact shear, the article drew conclusions that the explosive projectile will not occurring fire or explosion under the shear rate of 1m/s, and it provides a new method for safety destruction of abandoned ammunition.

Key words: waste ammunition disposal; explosive; explosive projectile; impact load; shear; safety experiment

目前报废弹药销毁处理流程:弹药经分解拆卸后,对引信、底火和发射药一般采取烧毁炉或野外烧毁处理,对 TNT 装药弹丸一般采取蒸汽倒药法回收 TNT,对非 TNT 装药的弹丸(如梯萘、梯黑、钝黑铝装药弹丸)一般采取野外烧毁或炸毁方法处理^[1]。无论是蒸汽倒药,还是野外烧毁,都将产生大量环境污染,与当前建立资源节约型、环境友好型国家发展战略相违背。另外,野外烧毁还存在较大安全风险。

如果对装药弹丸切割分离,然后再从切割后的弹丸中取出炸药,不但炸药可以回收利用,而且可以解决蒸汽倒药产生 TNT 废水、野外烧毁产生大量黑烟的环境污染问题。目前,高压磨料水可对装药弹丸进行安全切割,但其切割速度较慢、成本高^[2]。采用冲击载荷对装药弹丸实施剪切,虽然速度很快,但冲击载荷会否引起炸药燃烧或爆炸,需要进行实验验证。

收稿日期:2015-02-17

基金项目:成都军区装备维修科学研究(装计[2014]47号)

作者简介:郝俊修(1967—),男,高级工程师,主要从事弹药质量监控与报废弹药销毁研究。

1 实验原理

冲击载荷径向剪切装药弹丸的原理如图 1 所示。将装药弹丸推入固定套筒并固定;刀具在冲击载荷作用下对装药弹丸沿径向方向进行剪切;装药弹丸受刀具挤压,经由弹性变形、塑性变形、裂纹产生和滑移扩展,最终断裂。

为减小装药弹丸在剪切载荷作用下的偏移量,固定套筒内径和剪切刀具弧形直径比弹丸外径大 3~5 mm,剪切刀具形状如图 2 所示。

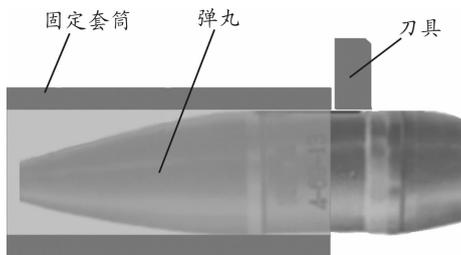


图 1 冲击剪切原理示意图

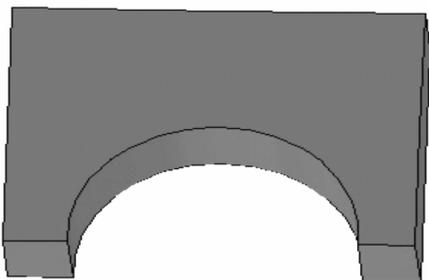


图 2 剪切刀具形状

2 实验内容

对装药弹丸实施冲击载荷径向剪切,弹体内炸药安全性主要有两个方面:一是弹丸壳体在剪切过程中可能产生高温,引发炸药燃烧,甚至爆炸;二是炸药受到径向挤压,可能在炸药中产生热点,由热点扩大为爆炸。

剪切实验主要测试装药弹丸在剪切过程中弹丸壳体温度变化情况、弹丸壳体剪切后断面面积减小量,以及弹丸内部装填炸药在剪切时炸药剪切断面应力和温度情况、有无熔化和燃烧现象。实验设备为 320 t 剪切机,其剪切刀具行进速度约 1 m/s;测试设备为红外成像测温仪、热敏电阻测温仪、应力测试仪、卡尺;应力测试点为紧邻剪切断面的中心,温度测试点为剪切断面中心和弹丸壳体内壁;剪切对象为 55 式 37 mm 高装药弹丸、59 式 57 mm 高装药弹丸、56 式 85 mm 加空改装药弹丸、54 式 122 mm 装药弹丸、59 式 130 mm 装药弹丸和 66 式 152 mm 装药弹丸。

3 实验结果及分析

3.1 弹丸壳体剪切实验结果及分析

弹丸壳体在剪切刀具冲击作用下,先是塑性变形,产生韧性断裂,然后进入脆性断裂或绝热剪切断裂。在塑性变形阶段,弹丸壳体产生较高温度;变形越大,温度越高。弹丸壳体剪切断裂后,剪切断面由之前的圆形变为椭圆形,断面面积将变小;剪切断面面积变形量受冲击力大小、弹丸材料、固定套筒和刀具与弹丸圆柱部的间隙大小等因素影响。表 1 为 6 种口径弹丸剪切断裂瞬间热敏电阻测温仪测得的弹丸壳体内壁温度 T_1 、红外成像测温仪测得的弹丸壳体剪切断裂后约 0.5 s 端面最高温度 T_2 以及剪切断面面积减小量。图 3 为红外成像测温仪测得的 66 式 152 mm 弹丸剪切断裂后断面温度分布情况。

表 1 弹丸壳体剪切实验结果

弹种	$T_1/^\circ\text{C}$	$T_2/^\circ\text{C}$	面积减小/%
55 式 37 mm 高装药弹丸	86	35.0	2.9
59 式 57 mm 高装药弹丸	95	35.8	4.2
56 式 85 加改装药弹丸	97	36.0	5.9
54 式 122 mm 装药弹丸	114	45.5	5.6
59 式 130 mm 装药弹丸	126	67.6	2.4
66 式 152 mm 装药弹丸	132	73.8	2.8



图 3 66 式 152 mm 弹丸剪切断面温度分布

从图 3 可以看出,弹丸壳体在冲击剪切断裂瞬间,剪切断面的上下左右四端因金属塑性变形较大而产生较高的温度。从表 1 可以看出,弹丸壳体内壁在剪切断裂瞬间约 80~130 $^\circ\text{C}$,但不到 0.5 s 时间就通过金属和空气散热而下降到 80 $^\circ\text{C}$ 以下;弹丸剪切断裂面面积减小,若不考虑炸药径向挤压时发生轴向移动,那就意味着此端面的炸药密度和内部应力将增加,其中 TNT 装药弹丸和钝黑铝装药弹丸的装药密度^[3]分别由 1.50 g/cm³、1.70 g/cm³ 上升到 1.55 g/cm³、1.75 g/cm³,其内部应力分别约为 137 MPa、130 MPa,但仍低于装药弹丸发射时的临界应力 TNT 176 MPa、钝黑铝 231.6 MPa^[4]。实验结果表明:弹丸壳体塑性变形产生的温度低于炸药的爆点,对装填炸药产生的挤压应力低于弹丸装药发

射时的临界应力,不会引起炸药燃烧或爆炸。

图4、图5为两种口径弹丸壳体剪切后断面金属微观组织。从图4可以看出85 mm口径弹丸韧性剪切所占比例小,大部分为绝热剪切,且绝热剪切带很明显;而从图5可以看到122 mm口径弹丸有少部分韧性剪切,大部分为脆性断裂,断裂面金属颗粒较明显。

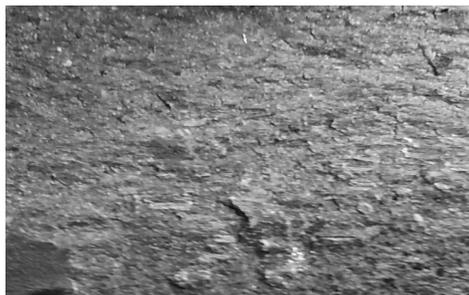


图4 85 mm口径弹丸断裂面

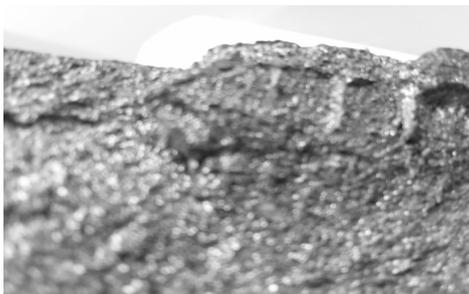
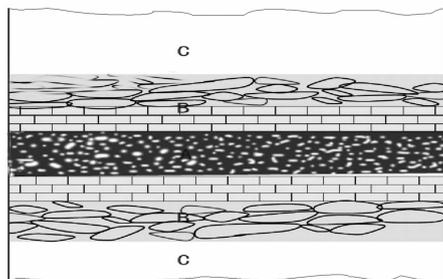


图5 122 mm口径弹丸断裂

两种口径弹丸材质均为D60,之所以在同一剪切设备下出现不同断裂方式,主要是由于受剪切动量、剪切速度的影响。相对于85 mm口径弹丸,320 t剪切力能使弹丸通过塑性变形,在剪切方向很薄很窄(几十微米甚至更小)的区域产生较大热量,并使该区域晶粒重新取向、晶粒拉长、碎化、各种缺陷及亚结构的形成,局部温度升高并导致材料“软化”,形成剪切带,绝热剪切带微观结构如图6所示。剪切带两边的材料在外力作用下就像刚体一样发生相对位移,最终弹丸断裂。此过程只需不到0.1 s。而弹丸一旦断裂,剪切带金属瞬间(冷却速度 $10^6 \sim 10^7$ K/S)由熔化状态再结晶,形成“白色亮带”^[5]。剪切带区域中心最高温度虽然可达600℃,但剪切带两边温度却下降很大^[6](图7)。而对于122 mm口径弹丸,320 t剪切力因不能使弹丸发生高应变率而发生绝热剪切,只能经相对较长时间的塑性变形后,由于剪切断面金属材料应力增大到一定的临界值而产生孪晶组织,材料塑性降低,脆性增大,从而发生沿晶脆性断裂。脆性断裂瞬间

金属没有发生相变,温度低于600℃,弹丸断裂后断裂面热量主要通过金属和空气散发,且下降很快。



A - 绝热剪切带中心区域等轴细晶组织;
B - 过渡区域; C - 基体区域

图6 绝热剪切带微观结构示意图

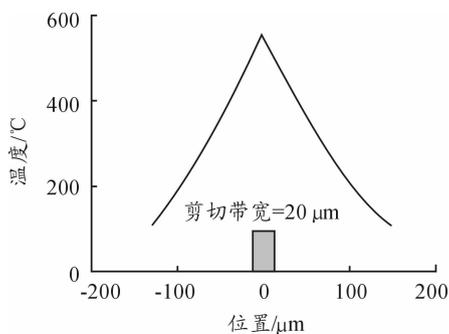


图7 绝热剪切带温度曲线

3.2 弹体内装药剪切实验结果及分析

表2为6种口径弹丸剪切断裂瞬间装药温度升高值 t 和装药内部应力 σ ,图8~图13为6种口径弹丸装药冲击剪切后端面图。观察55式37 mm高弹丸装药、59式57 mm高弹丸装药以及56式85 mm加空改弹丸装药剪切后断面,发现紧邻弹丸内壁处有炸药熔化渗出和弹丸壳体断面有炸药熔化再结晶颗粒,但没有炸药燃烧甚至爆炸痕迹,这说明剪切瞬间弹丸断面壳体内壁温度已超过炸药熔化温度,但热量未达到炸药点火点和爆燃点(TNT的点火温度和爆燃点分别为275℃、300℃);而非紧邻弹丸壳体内壁的炸药由于受弹丸壳体断裂产生的热量较小,因而温度升高不超过6℃。另外,54式122 mm、59式130 mm和66式152 mm等三种口径弹丸装药剪切断面没有炸药熔化现象,经分析,其原因是弹丸口径较大,弹丸在冲击剪切产生的热量和瞬间高温,相比小口径弹丸散热快、温度下降快。

实验结果表明:弹丸装药在剪切瞬间受到弹丸壳体变形挤压、温度的影响较小,弹丸装药没有发生燃烧甚至爆炸,这与弹丸壳体剪切实验结果分析结论相吻合。

表2 弹丸装药剪切实验结果

弹种	$t/^\circ\text{C}$	σ/MPa	备注
55式37mm弹丸装药	5.5	192	弹丸内壁刀具方向有熔化现象
59式57mm弹丸装药	5.1	210	弹丸内壁刀具方向少量熔化现象
56式85加改弹丸装药	5.2	164	内壁无熔化现象,但断面有炸药熔化后再结晶颗粒
54式122mm弹丸装药	4.8	160	无熔化现象
59式130mm弹丸装药	4.4	168	无熔化现象
66式152mm弹丸装药	4.8	172	无熔化现象

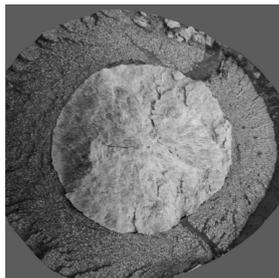


图12 130mm弹丸炸药断面

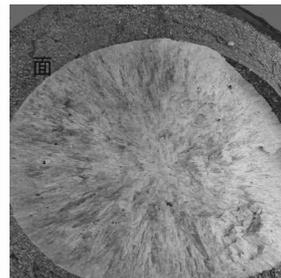


图13 152mm弹丸炸药断面

4 结束语

通过本实验研究,揭示了装药弹丸在一定冲击速度的载荷作用下弹丸壳体剪切断裂机理、炸药温度和应力变化情况,验证了冲击载荷剪切装药弹丸的可行性和安全性,为报废弹药销毁处理模式转变创新了技术手段。

参考文献:

- [1] 顾建良,王泽山. 废弃含能材料的再利用研究[J]. 爆破器材,2004,33(4):4-7.
- [2] 宋拥政,赵晓利,郭芳筠. 磨料水射流切割弹药可行性试验研究[J]. 锻压机械,1998(1):47-50.
- [3] 米东. 火炸药技术手册[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
- [4] 席鹏,张举华,李媛媛,等. 12.7mm弹丸侵彻炸药的数值计算与试验研究[J]. 四川兵工学报,2014(3):58-61.
- [5] 杨扬,程信林. 绝热剪切的研究现状及发展趋势[J]. 中国有色金属学报,2002,12(3):401-408.
- [6] T·W·怀特. 绝热剪切带的数理分析[M]. 北京:北京理工大学出版,2013.

(责任编辑 周江川)

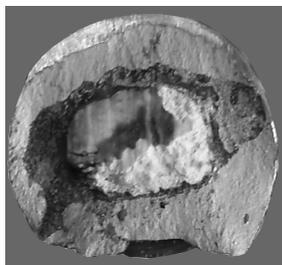


图8 37mm弹丸炸药断面

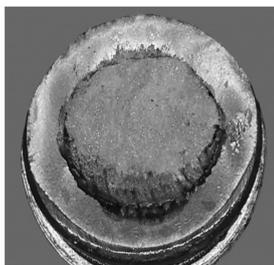


图9 57mm弹丸炸药断面

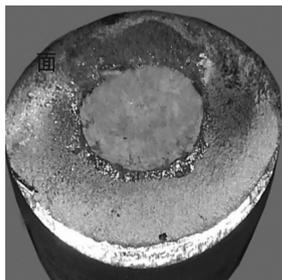


图10 85mm弹丸炸药断面

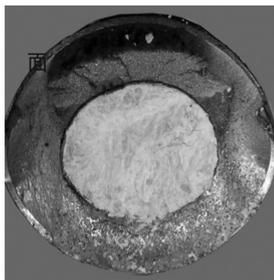


图11 122mm弹丸炸药断面