

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2013.04.003

# 点火药药量对爆炸能量输出影响的试验研究<sup>\*</sup>

陈 伟<sup>①②</sup> 郑 宇<sup>①</sup> 王晓鸣<sup>①</sup> 李文彬<sup>①</sup> 黄寅生<sup>③</sup> 邱从礼<sup>④</sup>

①南京理工大学机械学院(江苏南京,210094)

②中国人民解放军 73853 部队(江苏南京,211811)

③南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

④中国华阴兵器试验中心(陕西华阴,714200)

[摘 要] 现代作战对弹药低附带损伤和灵活性的要求越来越高,使得爆炸当量可调常规战斗部成为当前研究的热点之一。采用探针法、破片回收法等对不同质量点火药作用下压装 8701 炸药战斗部的输出能量进行了研究。研究结果表明,8701 炸药在战斗部中较易实现燃烧转爆轰。随着引爆的点火药药量增加,战斗部装药的燃烧转爆轰越快,输出的能量也增大,壳体破碎程度也更充分,尤其是点火药在 0.2~2.0g 之间;当点火药药量达到 5.0g 时,战斗部装药可实现直接爆轰。研究结果还表明,通过控制点火药药量可以实现战斗部威力可调的目的。

[关键词] 战斗部壳体 8701 炸药 装药 燃烧转爆轰 点火药

[分类号] O383 TQ560.7

## 引言

现代战场环境日益复杂,针对打击居民密集区域目标或向处于作战胶着状态友军提供火力支援等交战规则极为严格的任务,需要对已分类的目标提供足够精确的毁伤效果。目前大多数常规弹药作用于目标时都是毁伤效能最大化,极易造成附带毁伤,不适宜广泛使用。因此应用于核武器当中的爆炸当量可调概念极具吸引力。

根据目标类型的不同选择恰当的输出能量的可调战斗部,可执行多种任务,同样可控制附带毁伤,较低附带毁伤弹药作战使用更为灵活。2011 年 9 月在美国召开的第 26 届国际弹道年会上,德国 TDW 公司研究人员将可调整战斗部技术作为一种创新型战斗部技术推出<sup>[1-2]</sup>。美国海军空战中心武器分部提出能够让飞行员在座舱内对战斗部的爆炸威力或杀伤机理进行选择,并与 BLU-111 类似炸弹结合使用的可调整战斗部技术<sup>[3]</sup>。美国海军部在一个专利应用中分别描述了使用两种具有多个起爆点的炸药装药威力可调战斗部:一种是装药量呈阶梯式变化的双组分装药类型方法;另一种是径向梯度炸药装药方法;劳伦斯·利弗莫尔国家实验室提出通过对布置在爆炸装置相对两端的制式雷管和爆燃器的作用时间间隔的精确控制实现当量可调的效

果<sup>[4]</sup>。

本研究采用对比回收战斗部壳体破碎程度和钢验证靶上波痕长度等方法,评估战斗部输出能量的大小,分析点火药药量对战斗部输出能量的各种影响因素。

## 1 试验设置

### 1.1 试剂与仪器

8701 炸药的爆速为 8425 m/s,密度为 1.6 g/cm<sup>3</sup>,药块直径为 30mm,长度为 30mm;点火药为 BK-204 药剂;战斗部壳体为 45#钢,内径为 31.0mm,外径为 43.5mm,长度为 520.0 mm;PXI-50612 亚纳秒高速计时仪,计时频率为 250MHz,精度为  $4 \times 10^{-9}$ s;木靶板(1500mm × 1500mm × 5mm)、钢靶板(600mm × 150mm × 5mm)、破片回收沙箱(1500mm × 75mm × 75mm)。

### 1.2 试验装置

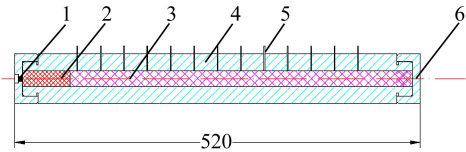
试验使用 7 种不同能量点火装置对战斗部装药进行点火,试验装置如图 1 所示。试验前在战斗部壳体上沿周向密集标记相同代号,沿轴向密集标注不同代号,试验后按代号顺序摆放破片。为减小点火药放置状态和位置对试验结果的影响,将点火药放置在点火螺栓内。

\* 收稿日期:2013-05-05

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51278250);中国博士后科学基金项目(20100480686)

作者简介:陈伟(1986~),男,硕士,研究方向:高效毁伤。E-mail:chenjiwei.1987@163.com

通信作者:郑宇(1981~),男,硕士,副教授,主要从事高效毁伤的研究。E-mail:David9989@126.com



1 - 点火头;2 - 点火药;3 - 主装药;  
4 - 壳体;5 - 离子探针;6 - 端盖

图 1 爆炸试验装置(单位:mm)

Fig.1 Explosion test device (unit:mm)

靶场布局如图 2 所示,木靶板和破片回收沙箱正对试验装置且两端距离试验装置 1500mm,用木验证靶上的孔数和破片回收沙箱收回破片数的平均值估算总破片数。钢靶板固定在底座上,距离试验装置 50mm。PXI-50612 亚纳秒高速计时仪记录战斗部中波的传播过程,探针之间距离为 30mm。

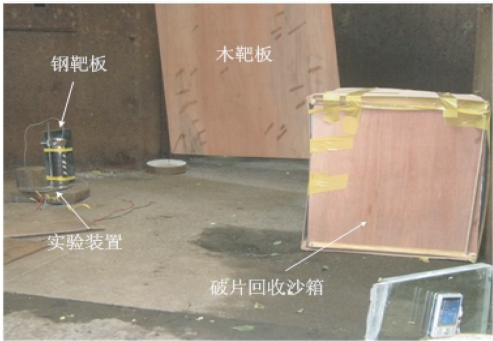


图 2 靶场布局

Fig.2 Layout of the range

2 结果与分析

2.1 试验结果

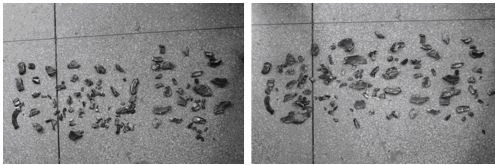
采用电点火头与点火药点火方式,另加 1 发雷管点火,在不同点火强度下进行 8 发试验,结果见表 1,试验回收破片如图 3 所示。

点火药药量少于 2.0g 的试验中,均出现靠近点火端探针记录的时间明显滞后于后面探针的现象,王建、陈朗等人在炸药燃烧转爆轰的试验中同样发

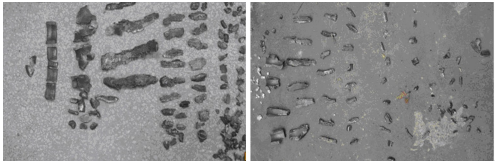
表 1 爆炸试验

Tab.1 Explosion test

方案	点火方式	钢靶板 距离/ mm	稳定爆速/ ( m · s <sup>-1</sup> )	回收 破片数	波痕 长度/ mm
1 <sup>#</sup>	雷管	50	6917	136	491
2 <sup>#</sup>	5.0g 点火药	50	6881	123	486
3 <sup>#</sup>	3.0g 点火药	15	6818	91	466
4 <sup>#</sup>	3.0g 点火药	50	6832	83	463
5 <sup>#</sup>	2.0g 点火药	50	6628	76	432
6 <sup>#</sup>	1.0g 点火药	50	6489	68	375
7 <sup>#</sup>	0.5g 点火药	50	6281	48	281
8 <sup>#</sup>	0.2g 点火药	50	5967	42	213



(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)

(a)1<sup>#</sup>;(b)2<sup>#</sup>;(c)3<sup>#</sup>;  
(d)4<sup>#</sup>;(e)5<sup>#</sup>;(f)6<sup>#</sup>

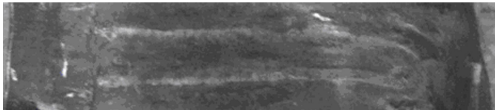
图 3 回收破片

Fig.3 Recovery of fragments

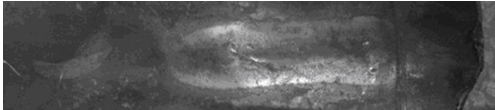
现这种情况<sup>[5-6]</sup>,主要原因是炸药反应初期,反应产物电离程度低,爆轰波的强度不高,不足以触发计数通道;随着反应的加剧,后续反应能够触发计数通道并获得计时信号,测得相对稳定波速。试验测得爆速低于标称爆速,除去试验条件和测试仪器影响以外,另一个原因是本试验采用药块密度低于标称爆速测量的密度。

试验点火强度不同导致爆速出现差异,主要是在燃烧转爆轰过程中,前部壳体破裂影响波速的增长<sup>[6]</sup>。

参考文献[7-9]中的方法,采用厚度为 5mm 的钢靶板,固定在与试验装置相距 50mm 处,爆轰波生成过程能够较清晰呈现在钢靶板上,试验结果列于图 4。



(a)



(b)

(a) 1<sup>#</sup>;(b) 6<sup>#</sup>

图 4 钢靶板波痕

Fig.4 Wave mark of steel target

2.2 分析讨论

从图 3(a)和图 3(b)可以发现,采用雷管和 5.0

g 点火药引爆战斗部装药后,所形成的破片大小相对均匀,破片质量在 25g 以下,回收破片数量相当,钢靶板上的波痕长度和深度相差无几。这表明在 5.0g 点火药和雷管的激发下,战斗部装药发生爆轰,输出能量相当。

从图 3(c)和图 3(d)可以发现,3.0g 点火药引爆战斗部装药形成的破片大小呈 3 种规格,距离点火端较近壳体口部破片呈撕裂状,质量在 60g 以上,中部壳体破片质量在 25 ~ 60g,尾部碎裂成较小破片,质量在 25g 以下。破片的分布情况反映出战斗部内装药反应状态,口部破片为反应初期气体产物膨胀做功构成的撕裂,中间破片为装药发生燃烧转爆轰阶段对壳体的破坏,尾段破片为装药完全爆轰产生的作用。

从图 3(e)和图 3(f)可以发现,2.0g 点火药和 1.0g 点火药引爆战斗部装药形成的破片大小基本相同,可以认为战斗部输出能量基本相当,说明处于该阶段的点火药量对战斗部输出能量影响不大。

从表 1 可以看出,0.2g 点火药和 0.5g 点火药引爆战斗部装药形成的破片较 1.0g 点火药形成的破片减小,钢靶板上波痕长度变短,测得的波速降低。尤其是 0.2g 点火药引爆下形成的较小破片极少。在波速增加 200m/s 左右,0.2 ~ 2.0g 较 2.0 ~ 5.0g 区间药量增加的更少;对比点火药 0.2 ~ 2.0g 与 2.0 ~ 5.0g 之间产生的破片数量,可知:当点火药在 0.2 ~ 2.0g 之间时,爆炸输出的能量更为敏感。

从表 1 试验结果可以看出:点火药药量不同,战斗部装药在靶板上形成的波痕长度也明显不同,这表明装药的波速差异较大,输出能量呈现一定的阶跃性。

对比战斗部不同部位壳体破碎情况,能够发现,壳体在气体生成物作用下形成近似方形破片,燃烧转爆轰阶段基本为沿轴向长条,爆轰阶段产生的破片较小且相对均匀。

由图 3(c)和图 3(d)还可以看出,在钢靶板与战斗部相距距离变化时,战斗部壳体部分破碎情况有较大改变。钢靶板距离试验装置太近,尚未完全破碎的壳体受到钢靶板阻碍未能继续破碎。

### 3 结论

1) 压装高密度 8701 炸药自身的结构决定了其易于被点燃以及易实现燃烧转爆轰过程,因此,可采用 8701 炸药作为可控战斗部装药;

2) 不同的点火药药量引爆时,战斗部装药输出能量差异明显,形成的破片相差较大;

3) 处于燃烧转爆轰阶段的战斗部壳体大多呈

轴向破裂,近点火端破片呈近似方形;

4) 钢靶板与战斗部之间距离过近会阻止壳体的膨胀,影响破片形状。

### 参 考 文 献

- [1] Graswald M, Arnold W. Experimental studies of scalable effects warhead technologies [C]//26th International Symposium on Ballistics. Miami, Florida, USA;2011.
- [2] Arnold W, Graswald M, Rottenkolber E. A novel technology for switchable modes warheads [C]//26th International Symposium on Ballistics. Miami, Florida, USA; 2011.
- [3] Volkmann E, Thomas B. Selectable effects warhead technology demonstration [C]//Joint Armaments Conference, Exhibition & Firing Demonstration, Dallas, TX, USA; 2010.
- [4] 臧晓京,蒋琪. 威力可调的常规战斗部 [J]. 飞航导弹,2011(4): 90-91,97.  
Zang Xiaojing, Jiang Qi. Adjustable power of conventional warhead [J]. Winged Missiles Journal, 2011(4): 90-91,97.
- [5] 王建,文尚刚,何智,等. 压装高能炸药的燃烧转爆轰实验研究 [J]. 火炸药学报, 2009,32(5):25-28.  
Wang Jian, Wen Shanggang, He Zhi, et al. Experimental study on deflagration-to-detonation transition in pressed high-density explosives [J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2009,32(5):25-28.
- [6] 陈朗,王飞,伍俊英,等. 高密度压装炸药燃烧转爆轰研究 [J]. 含能材料,2011,19(6):697-704.  
Chen Lang, Wang Fei, Wu Junying, et al. Investigation of the deflagration to detonation transition in pressed high density explosives [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011,19(6):697-704.
- [7] 荣光富,黄寅生. 两种高能点火药对炸药燃烧转爆轰的影响 [J]. 爆破器材,2008,37(5): 20-22.  
Rong Guangfu, Huang Yinsheng. Influence of two high-energy ignition compositions on transformation of combustion to detonation of explosives [J]. Explosive Materials, 2008,37(5): 20-22.
- [8] 张博. 基于 DDT 的威力可控战斗部机理研究 [D]. 南京:南京理工大学,2012.  
Zhang Bo. The mechanism of PCW based on the Deflagration to Detonation Transition (DDT) has been studied [D]. Nan Jing: Nanjing University of Science and Technology, 2012.
- [9] 荣光富,沈建根,袁冬琴,等. 硼系高能点火药对太安燃烧转爆轰的影响 [J]. 爆破器材,2007,36(2): 13-15.  
Rong Guangfu, Shen Jian'gen, Yuan Dongqin, et al. A study on the combustion of B-based high-energy ignition



composition transformed to the detonation of PETN[J].

Explosive Materials, 2007, 36(2): 13-15.

## Experimental Research on the Effect of Ignition Composition Quantity on the Explosion Energy Generation

CHEN Wei<sup>①②</sup>, ZHENG Yu<sup>①</sup>, WANG Xiaoming<sup>①</sup>, LI Wenbin<sup>①</sup>, HUANG Yinsheng<sup>③</sup>, QIU Congli<sup>④</sup>

①School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

②Unit 73853 of PLA (Jiangsu Nanjing, 211811)

③School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

④Huayin Ordnance Test Center of China (Shaanxi Huayin, 714200)

[ABSTRACT] The increasing demand of modern warfare on the low collateral damage and the flexibility of ammunition makes the explosion equivalent be the research focus. Probe method and fragment recovery method were used to investigate the output energy of press fitting 8701 explosive warhead with ignition loading at various quantities. Results show the easy transition of 8701 explosive from burning to detonation in warhead. As the charge quantity increases, especially within the range of 0.2-2.0g, the transition was accelerated accompanying with larger warhead generation energy and higher shell fragmentation quality. When the charge quantity increases to 5.0g, the warhead charge reaches to the extent of direct detonation. Results of the study also show that ignition composition quantity control can be used in the quality adjustment of the warhead power.

[KEY WORDS] warhead shell, 8701 explosive, charge, burning turning to detonation, ignition composition

## 文 摘

### 1 采矿和建设工程用的炸药

俄罗斯专利, RU2152376, 2000 年 7 月 10 日(俄文)

这种炸药含有液体碳氢化合物(如柴油、煤油、燃料油)质量分数为 7.0% ~ 11.6% 或固体碳氢化合物(如废聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯)质量分数为 17.3% ~ 20.9%、铝粉 1.0% ~ 9.0%, 其它为氯酸钠。这种炸药与一般硝酸铵炸药相比, 有较好的能量平衡, 且易于运输。这种炸药适用于采矿和道路建设等。

### 2 二硝基重氮酚的制法

俄罗斯专利, RU2151134, 2000 年 6 月 20 日(俄文)

由苦氨酸镁与亚硝酸钠和盐酸的重氮化作用可有效地制备二硝基重氮酚, 合成反应在 18 ~ 35℃ 时于搅拌下进行。盐酸的加入可分 2 步或 3 步进行。这种产物可用于烟火剂生产、起爆药制造和制造自由流动性好的二硝基重氮酚。

### 3 炸药组成

俄罗斯专利, RU2155740, 2000 年 9 月 10 日(俄文)

这种炸药含有粒状硝酸铵、柴油和梯恩梯或阿蒙尼特炸药(ammonite)薄片。这种炸药可在爆破现场直接用重力法(gravity method)制造。这种炸药具有增加的爆炸能量。

### 4 粒状混合炸药

俄罗斯专利, RU2155739, 2000 年 9 月 10 日(俄文)

粒状炸药含有粒状硝酸铵、液体燃料、脂肪酸或它们的铁盐以及硅铁作为能量附加剂。硅铁粉中含质量分数为 75% ~ 90% 的硅。硅铁粉中含质量分数为 87% 的直径  $\leq 160\mu\text{m}$  的颗粒和质量分数为 13% 直径为 160 ~ 315  $\mu\text{m}$  的颗粒。这种粒状炸药由于它的成分的价格较低和生产、贮存及使用时有较高的安全性, 所以具有较高的效率。这种炸药适用于露天和地下采矿工业。

钟一鹏译自美国《化学文摘》

Vol. 136, No. 1, No. 5(2002)