

文章编号: 1001-1455(2008)04-0372-06

回收战斗部破片的新型爆炸容器及应用*

宋桂飞, 李成国, 夏福君, 文 颀

(军械工程学院军械技术研究所, 河北 石家庄 050000)

摘要: 介绍一种回收战斗部破片的新型爆炸容器装置。该装置采用水介质和可拆卸内衬防护板结构抵御破片侵彻, 能够反复使用且有效回收爆炸试验后的破片, 较好地反映战斗部的破碎状况。利用该装置进行了典型弹丸爆炸试验, 研究了战斗部破片特性, 证实了爆炸容器在战斗部破碎性试验中的应用是可行的。

关键词: 爆炸力学; 爆炸容器; 战斗部; 破片

中图分类号: O389; TJ5

国标学科代码: 130 · 3599

文献标志码: A

1 引言

战斗部破片特性试验是检测榴弹杀伤威力的技术途径^[1-4]。破片特性主要包括破片数量与质量分布、速度及运动规律、空间分布、侵彻作用等。目前, 对破片质量分布的研究, 各国广泛采用的方法主要有沙坑法和水坑法, 也有利用破片侵彻靶板后, 根据弹坑的数量、形状及弹坑的深度去反推破片的质量、数量与速度分布的; 对破片空间分布的研究, 普遍采用长方形靶或球形靶方法。利用这些方法进行试验, 不仅劳动强度大, 操作复杂, 而且不能有效回收全部破片, 影响战斗部杀伤威力的衡量。

本文中介绍一种回收战斗部破片的新型爆炸容器, 通过破片的回收能够较好地反映战斗部破碎状况。该装置采用水介质和可拆卸内衬防护板结构抵御破片侵彻, 能够反复使用并且有效回收爆炸试验后破片。利用该装置进行典型弹丸爆炸试验, 研究战斗部破片特性, 证实爆炸容器在战斗部破碎性试验中的应用是可行的。

2 回收战斗部破片的新型爆炸容器

2.1 装置结构

爆炸容器中间为圆柱状筒体, 两端为椭圆球封头, 其顶部设置有开口, 便于弹丸输入和破片取出。主要技术参数为: 内径 1 200 mm; 壁厚 36 mm; 容积 2.08 m³; 材料 16MnR, 容器底部注水深度为 360 mm, 其平面示意图如图 1 所示。

2.2 内衬抗破片侵彻防护材料

爆炸容器内衬防护材料选择 616 装甲钢板平铺, 如图 2 所示。内衬防护材料分为上下两组, 每组各 6 块并进行编号。

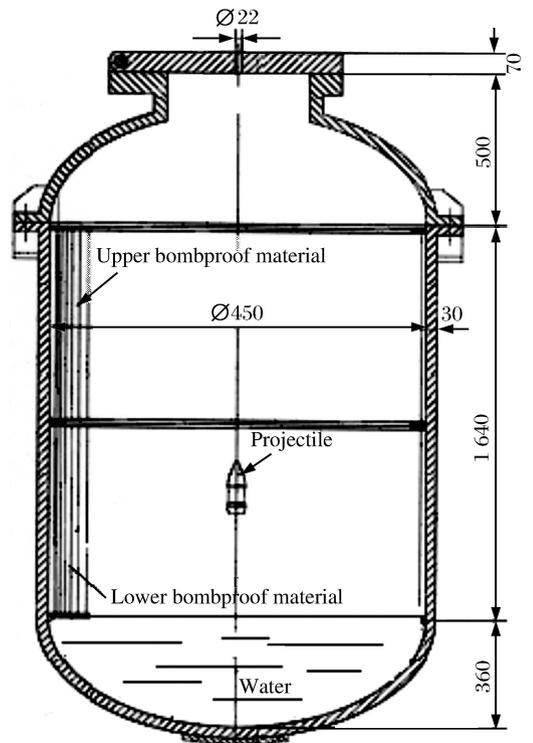


图 1 爆炸容器示意图

Fig. 1 Sketch of an explosion vessel

* 收稿日期: 2007-03-08; 修回日期: 2007-07-10

基金项目: 军队科研计划项目

作者简介: 宋桂飞(1982—), 男, 硕士研究生。

2.3 容器底部注水的优点

容器底部注入一定深度的水,一是作为减缓破片飞行速度介质,使破片的速度迅速衰减;二是可以防止破片对容器底部的侵彻破坏;三是回收破片容易,便于破片的分离与收集;四是水介质在爆炸压力的作用下,能够对爆炸气体产生很好的喷淋冲洗和吸收,可以大大减少爆炸有害气体的排放量。爆炸后,容器内的污水经过三级沉淀池处理可以达到环保要求,仍可重复利用,减少水资源浪费。

3 战斗部引爆试验

3.1 原理

弹丸悬挂在距离水面一定高度的位置(距容器底部 700 mm 处),通过电雷管引爆。爆炸试验表明,破片在撞击到 616 装甲钢板后,绝大部分能够完整地反弹并回落入水中,从而在水中可以回收破片,然后对破片进行质量分级统计;通过对破片侵彻防护板弹坑的统计,估测破片的空间分布;利用 Mott 公式等经验公式估测破片对防护板的侵彻。

3.2 选用弹种

试验弹丸选用两种不同口径的榴弹战斗部,分别记为榴弹 1 和榴弹 2。弹丸主要参数如表 1 所示。

4 试验结果与分析

4.1 破片质量分级统计与分析

两种榴弹战斗部爆炸破片形貌如图 3 和图 4 所示。从该图中可以观察到,弹丸圆柱部和圆锥部的破片,基本成撕裂的条状,而底部的破片都是成块状,甚至有的弹丸底部没有破裂。

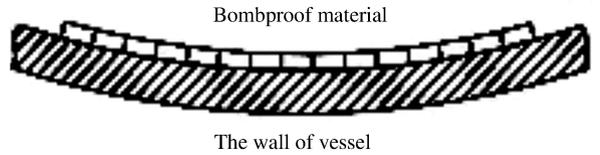


图 2 内衬防护材料铺设结构图

Fig. 2 Sketch of laying

表 1 弹丸参数

Table 1 Parameters of the projectile

| 项 目 | 榴弹 1 | 榴弹 2 |
|------------------------------|------------|-----------|
| 弹丸标定质量/kg | 2.8 | 9.542 |
| 弹体材料及质量/kg | S15A、2.278 | D60、8.217 |
| 弹丸装药及密度/(g/cm ³) | 黑铝、1.65 | TNT、1.53 |
| 弹形系数 | 1.3 | 1.1 |

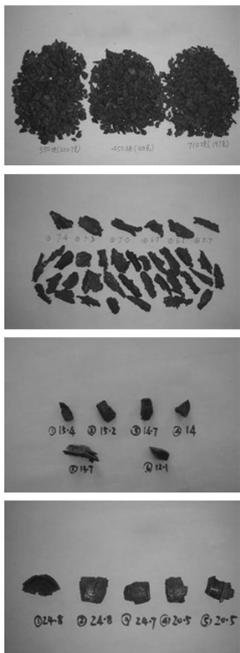


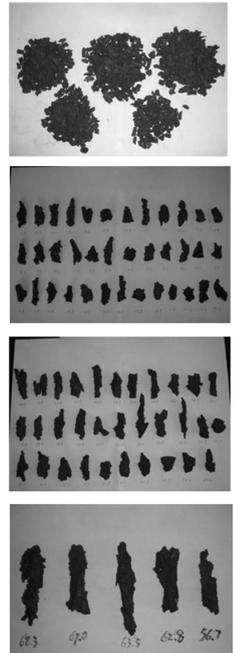
图 3 榴弹 1 破片形貌

Fig. 3 Fragment shapes of the projectile 1



图 4 榴弹 2 破片形貌

Fig. 4 Fragment shapes of the projectile 2



按 9 级分级方法分别对破片进行分级统计,结果如表 2 所示。

关于每一质量等级内的破片分布,可以由 Mott 公式进行预测^[1-5]。Mott 公式是由莫特和林肯福特共同提出的,被美军多部手册引用,只是形式不同。假设非预制破片薄壁弹体的爆炸过程符合二维破碎结果,破片质量分布可用下式表示

$$N(m_f) = A e^{-\sqrt{m_f}/\mu} \quad (1)$$

式中: m_f 为破片质量; $N(m_f)$ 表示质量大于 m_f 的破片数; $\mu = \bar{m}_f/2$, \bar{m}_f 为破片平均质量; A 为常数。

可见大于零的所有破片数为 $N(m_f=0) = A$ 。

又因 $\bar{m}_f = 2\mu$, $2\mu = m_s/N(m_f=0)$, m_s 为弹

壳金属总质量,则 $A = m_s/2\mu$ 。于是(1)式可写为

$$N(m_f) = \frac{m_s}{2\mu} e^{-\sqrt{m_f}/\mu} \quad (2)$$

弹丸结构参量 μ 取决于弹体壁厚、内径、炸药相对质量,可用下式计算

$$\mu^{0.5} = K t_0^{5/6} \cdot d_i^{1/3} (1 - t_0/d_i) \quad (3)$$

式中: t_0 为弹壳壁厚; d_i 为弹壳内直径; K 取决于炸药的系数。

对于薄壁弹还可以用下式计算

$$\mu^{0.5} = B \frac{t_0 (d_i + t_0)^{3/2}}{d_i} \sqrt{1 + \frac{m_w}{2m_s}} \quad (4)$$

式中: m_w 、 m_s 分别为炸药及弹壳的质量; B 取决于炸药能量的系数。

对 Mott 公式进行取对数处理,则公式变为

$$\ln(N(m_f)) = \ln(m_s/\mu) - \ln 2 - \sqrt{m_f}/\mu \quad (5)$$

以 $\sqrt{m_f}$ 为横坐标, $\ln(N(m_f))$ 为纵坐标,作 $\ln(N(m_f)) - \sqrt{m_f}$ 曲线图。

表 3 是两种榴弹战斗部参数,表 4 是利用 Mott 公式计算结果,图 5、6 是分级统计曲线与 Mott 公式计算曲线比较。

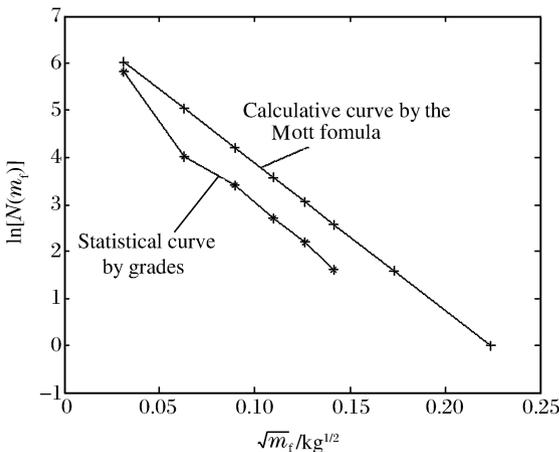


图 5 榴弹 1 破片分析比较图

Fig. 5 Comparative graph of fragments for the projectile 1

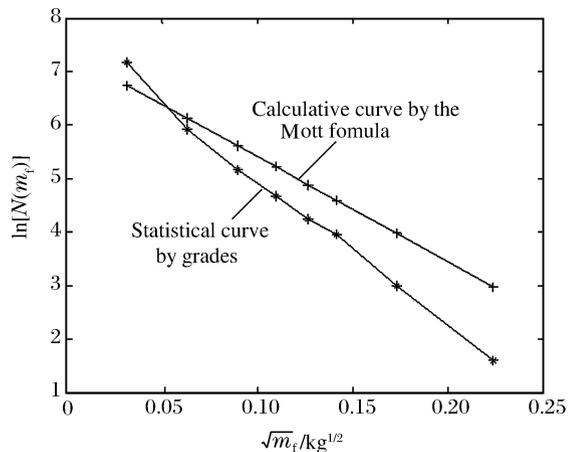


图 6 榴弹 2 破片分析比较图

Fig. 6 Comparative graph of fragments for the projectile 2

表 2 破片分级统计结果

Table 2 Statistical data of the fragments by grades

| 质量分级 | 榴弹 1 破片数量 | 榴弹 2 破片数量 |
|---------|-----------|-----------|
| /g | 片数量 | 片数量 |
| 1~4 | 281 | 933 |
| 4~8 | 35 | 203 |
| 8~12 | 5 | 67 |
| 12~16 | 6 | 37 |
| 16~20 | 4 | 18 |
| 20~30 | 5 | 32 |
| 30~50 | — | 15 |
| 50~100 | — | 5 |
| 100~200 | — | — |
| 合 计 | 336 | 1 310 |

表 3 弹丸参数

Table 3 Parameters of the projectile

| 弹 种 | t_0/mm | d_i/mm | $K/(\text{kg}^{1/2}/\text{m}^{7/6})$ | $B/(\text{kg}^{1/2}\text{m}^{3/2})$ | m_w/kg | m_s/kg |
|------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|-----------------|
| 榴弹 1 | 12.5 | 32 | 2.59 | 8.52 | 0.159 | 2.278 |
| 榴弹 2 | 18.5 | 48 | 4.94 | 16.4 | 0.725 | 8.217 |

从图中可以看出试验结果与 Mott 公式预测有一定误差,这是因为 Mott 公式是经验公式,而且破片的形成与弹体的结构、装药的种类、弹体材料等有直接的关系,并与初始裂纹的位置、形状、数量、扩展方向等随机因素有密切的关系。

4.2 弹坑空间分布的统计规律与分析

通过对弹坑分布的观察和统计,容器顶部表面有小坑,但弹坑浅,面积小,总体基本平滑;容器最底部因为有水介质防护,没有呈现明显的侵彻弹坑;内衬防护钢板、容器顶部和底部的弹坑数统计结果如表 5、6(数字①~⑥数字表示构成容器的材料块序号)所示,并根据下内衬防护钢板弹坑分布情况分为轻区、严重区和较严重区。

表 4 Mott 公式计算结果

Table 4 Calculated data by the Mott formula

| 质量分级/g | 榴弹 1 破片数量 | 榴弹 2 破片数量 |
|---------|-----------|-----------|
| 1~4 | 265 | 393 |
| 4~8 | 87 | 184 |
| 8~12 | 31 | 89 |
| 12~16 | 15 | 52 |
| 16~20 | 8 | 34 |
| 20~30 | 8 | 46 |
| 30~50 | 4 | 32 |
| 50~100 | 1 | 20 |
| 100~200 | — | — |
| 合计 | 419 | 850 |

表 5 榴弹 1,爆炸弹坑数在容器内的分布

Table 5 Distribution of explosion craters in the vessel for the projectile

| 容器部位 | 弹坑数/个 | | | | | | 小计 | 备 注 |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|-----|------|
| 容器顶部 | 34 | | | | | | 34 | |
| 容器圆柱部 | ①:616 钢 平铺 | ③:616 钢 斜铺 | ②:616 钢 平铺 | ④:616 钢 平铺 | ⑤:616 钢 平铺 | ⑥:45 钢 斜铺、圆钢、平铺 | 59 | 轻微区 |
| | 8 | 13 | 13 | 16 | 8 | 1 | | |
| | 7 | 2 | 4 | 7 | 13 | 25 | 58 | 轻区 |
| 容器底部 | 80 | 42 | 50 | 53 | 63 | 60 | 348 | 严重区 |
| | 18 | 15 | 32 | 22 | 4 | 2 | 93 | 较严重区 |
| 容器底部 | 41 | | | | | | 41 | |
| | 合 计 | | | | | | 633 | |

表 6 榴弹 2 爆炸弹坑数在容器内的分布

Table 6 Distribution of explosin craters in the vessel for the projectile 2

| 容器部位 | 弹坑个数 | 备 注 |
|-------|----------------|-------------------|
| 容器顶部 | | |
| 容器圆柱部 | ③:616 钢 平铺) | 两个大的弹坑在下部的夹板和加强筋上 |
| | 25 | |
| 容器底部 | 101 | 严重区 |
| | 22 | 轻微区 |
| 容器底部 | | |

破片空间分布研究^[2,5]表明:如果炸药瞬时爆裂,则每一破片将沿它原来在壳体上的位置的法向抛出,事实上爆裂是从有限数量的几个点上开始的,因此使得每一破片的抛射方向与法向之间有一偏角。对于杀伤战斗部而言,通常假定破片是关于弹轴对称散布的。泰勒理论^[2]提出了预报静态破片分布的思想。夏比罗应用泰勒理论,假定壳体的主要部分是由一系列连续圆环一个挨一个排列而成,每一圆环的中心都在对称轴上,尽管这与实际制造的壳体形态不一样。爆裂波是由传爆药或传爆雷管(图7中所示O点)表面上所有的点出发,

以球形波阵面的形式向外传播的。破片速度矢量偏离壳体法线的偏角 θ 由夏比罗公式^[2] 给定

$$\tan\theta = \frac{v_0}{2v_d} \cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi_1 + \varphi_2\right)$$

式中： v_0 、 v_d 分别为破片初速、炸药爆速 φ_1 、 φ_2 分别为壳体法线和爆轰波法线与弹体对称轴夹角。

采用试验方法简单估测破片的空间分布。根据弹坑分布，对于榴弹 1 而言，破片主要分布在以弹丸爆炸处为中心的 20° 角的环状严重区域内，如图 8 所示；对于榴弹 2 而言，破片主要分布在以弹丸爆炸处为中心的 35° 角的环状严重区域内，如图 9 所示。

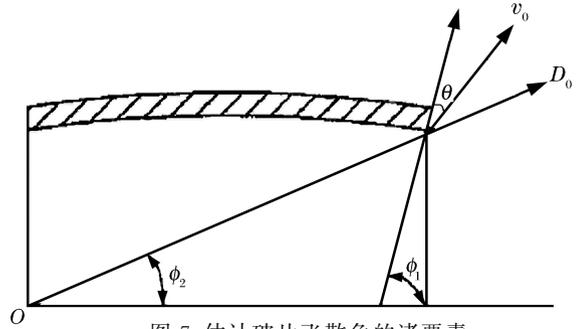


图 7 估计破片飞散角的诸要素

Fig. 7 Count elements of a fragment's angle

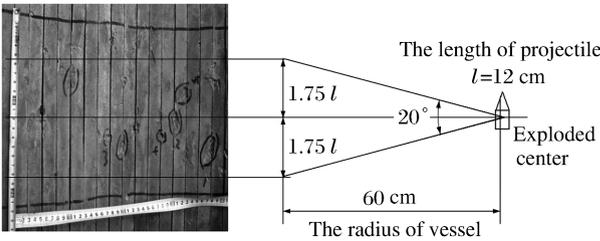


图 8 榴弹 1 破片空间分布

Fig. 8 Space distribution of fragments for the projectile 1

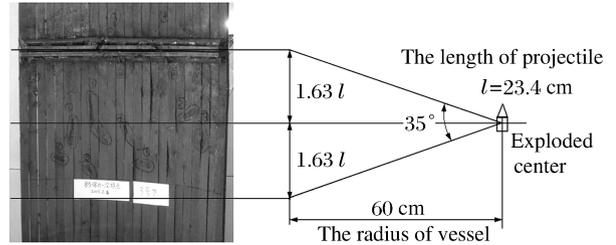


图 9 榴弹 2 破片空间分布

Fig. 9 Space distribution of fragments for the projectile 2

4.3 弹坑侵彻深度检测与分析

对弹坑深度进行测量，其统计结果如表 7 所示。

表 7 弹坑深度统计结果

Table 7 Statistical data of the penetration depths

| 弹 种 | 1 号弹坑 | 2 号弹坑 | 3 号弹坑 | 4 号弹坑 | 5 号弹坑 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 榴弹 1 | 2.60 | 1.90 | 1.00 | 2.96 | 1.70 |
| 榴弹 2 | 2.30 | 3.00 | 2.40 | 2.40 | 2.50 |

从动能角度出发，利用动能基本表达式建立的 Gurney 公式^[1-3]，可以从理论上估算破片的速度。适用于圆柱形装药的 Gurney 公式表达式如下

$$v_{f0} = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{m_w/m_s}{1 + m_w/2m_s}} \tag{6}$$

式中： v_{f0} 为破片速度； $\sqrt{2E}$ 为炸药的格尼常数； m_w 为炸药装药质量； m_s 为弹体金属质量。

对于 TNT 炸药： $\sqrt{2E} = 2\,316$ m/s；黑铝炸药： $\sqrt{2E} = 2\,682$ m/s。

给定质量和速度的破片侵彻防护钢板的最大厚度可用下式进行近似计算^[2]

$$\delta = 48 \times 10^{-5} m_f^{1/3} v_f^{4/3} \tag{7}$$

式中： δ 为破片侵彻防护板的最大厚度，mm； m_f 为破片质量，g； v_f 为破片速度，m/s。

估算质量为 1 g 的破片对防护钢板的侵彻深度，其结果为 2.96、2.83mm。

结合表 7、8 可以发现：经验公式计算结果比试验结果偏大。若用经验公式作为爆炸容器内衬防护板厚度的设计依据，是保守安全的。

表 8 1 g 破片侵彻深度计算结果

Table 8 Calculation data of the penetration depths for the 1 g fragments

| 弹 种 | $v_f/(m/s)$ | $\delta/(mm)$ |
|------|-------------|---------------|
| 榴弹 1 | 697 | 2.96 |
| 榴弹 2 | 673 | 2.83 |

5 结 论

综合试验结果和理论计算分析,可以得到如下几点重要结论:

(1) 应用回收战斗部破片的新型爆炸容器研究战斗部杀伤威力是可行的。它能够有效回收战斗部破片,真实反映破片形成状况,便于分析研究,具有良好的应用前景,对于新型战斗部杀伤威力的研究具有极其重要的意义。

(2) 在容器内注入一定深度的水介质,对容器底部具有明显的防破片侵彻作用,这是爆炸容器独特的设计创新;同时,利用可拆卸的内衬防护板,采用平铺方式可以有效抵御破片的侵彻。

(3) 试验结果检验了经验公式的准确程度;计算结果弥补了小样本试验的不足。

本文中的有关结论是建立在一定的试验数据分析基础上的,但由于本次试验仅局限于少量弹丸破碎性试验,是否能够利用研究成果修正经验公式有待于进一步的深入研究。另外,在爆炸容器的改进设计中,应当着重考虑破片速度的测量,综合运用各种先进的测量手段,提高试验精度。将破片特性试验集成化将是该爆炸容器发展的趋势。

参考文献:

- [1] 王儒策,赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京:北京理工大学出版社,1993:79-83.
 - [2] 赵国志,高森烈,魏惠之,等. 终点弹道学[M]. 南京:华东工学院,1983:179-182.
 - [3] 赵晓利,王军波. 弹药学[M]. 北京:解放军出版社,1998:94-100.
 - [4] 总装备部通用装备保障部. 报废通用弹药处理安全管理[M]. 北京:解放军出版社,2004.
 - [5] 尹峰,张亚栋,方秦. 常规武器爆炸产生的破片及其破坏效应[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版,2005,6(1):50-53.
- YIN Feng, ZHANG Ya-dong, FANG Qin. Fragment and its destroy effect produced by conventional weapon[J]. Journal of PLA University of Science and technology, 2005,6(1):50-53.

A new explosion vessel used to recover warhead fragments and its application

SONG Gui-fei^{*}, LI Cheng-guo, XIA Fu-jun, WEN Qi
(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050000, Hebei, China)

Abstract: The paper presents a new explosion vessel which is used for the recovery of warhead fragments. The vessel contains some water in its bottom and there is some knock-down bombproof material to resist the bomb fragments. The bombproof material can be used repeatedly, realizes effective recovery of fragments. Recovered fragments can reflect really the blast-fragmentation warhead when the projectile explodes. The explosion tests are carried out in the vessel to explore the characteristic of fragments. It approves that it is feasible to use the vessel in the warhead fragmentized tests.

Key words: mechanics of explosion; explosion vessel; warhead; fragment

* Corresponding author: SONG Gui-fei
E-mail address: yzfyssf@126.com
Telephone: 86-311-87974291