

# 安全型强光爆震弹的设计与试验

马永忠<sup>1</sup>, 刘加凯<sup>1,2</sup>

(1. 武警工程大学 装备管理与保障学院, 西安 710086; 2. 西安交通大学 机械工程学院, 西安 710049)

**摘要:** 为了提高强光爆震弹的安全性,防止破片对有生目标造成过度伤害,对新型强光爆震弹采用无破片弹体结构设计,选用开孔外壳和内壳相结合的双层腔体结构。利用仿真软件分析了内壳材料厚度、喷口的数量和直径等对声压效应的影响,对结构参数进行了优化。在此基础上,加工样弹并开展了结构可靠性试验和声光威力试验。试验结果表明:弹药爆炸时外壳体不发生破裂,破片被滞留在弹体内部,不会产生杀伤性破片,并具有良好的复杂环境适应性;强光爆震弹的平均闪光强度为  $1.57 \times 10^7$  cd,平均声强为 151.7 dB,满足技术要求。

**关键词:** 强光爆震弹;安全性;破片;光强;声强

**本文引用格式:** 马永忠,刘加凯. 安全型强光爆震弹的设计与试验[J]. 兵器装备工程学报,2020,41(09):144-147.

**Citation format:** MA Yongzhong, LIU Jiakai. Design and Test of Safety Strong Acousto-Optic Bomb[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2020, 41(09): 144-147.

中图分类号: TJ41

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2020)09-0144-04

## Design and Test of Safety Strong Acousto-Optic Bomb

MA Yongzhong<sup>1</sup>, LIU Jiakai<sup>1,2</sup>

(1. School of Management and Assurance, University of Armed Police Engineering, Xi'an 710086, China;

2. School of Mechanical, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** In order to improve the safety of strong acousto-optic bomb and avoid excessive damage to persons from fragments, a new type of strong acousto-optic bomb was designed based on fragmentless projectile. A double-layer cavity structure with an open shell and an inner shell has been adopted and designed. The simulation software was used to analyze the effects of inner shell thickness, nozzle number and diameter on the sound pressure, then the design scheme has been optimized. Based on these analysis, the sample bombs have been processed, and structural reliability test and acousto-optic power test have been carried out. They turn out that the outer shell of bombs don't break when explodes, and the fragments are detained inside the ammunition body, which will not produce lethal fragments. It has good adaptability to complex environment. The average flash intensity of bombs is  $1.567 \times 10^7$  cd, and the average sound intensity is 151.72 dB, which satisfies the technical requirements.

**Key words:** strong acousto-optic bomb; safety; fragment; light intensity; sound intensity

强光爆震弹作为一种大威力非致命弹药,爆炸时能够产生巨大的声响和强烈的闪光,从而对有生目标产生震撼、眩晕、暂时失明等生理效应,使其丧失抵抗能力或干扰其行为能力,在国内外各种反恐作战、平息暴乱、处置群体性事件的行动中发挥了十分重要作用<sup>[1-3]</sup>。当前我国装备的强光爆震弹,弹体一般采用塑料材料,爆炸时产生带有尖锐棱角的

破片,易对人体造成过度伤害。

针对现役手投强光爆震弹使用过程中所存在的问题,开展安全型强光爆震弹的设计与试验研究,在满足战术使用效果的同时,避免对目标造成过度伤害,对于提高强光爆震弹的作战效能,更好地满足部队遂行反恐维稳任务需求,具有较高的军事应用价值。

收稿日期:2019-08-30;修回日期:2019-09-18

作者简介:马永忠(1970—),男,教授,主要从事防暴弹药技术研究;刘加凯,博士,讲师,主要从事弹药、引信技术研究。

## 1 弹药总体设计

本研究所设计的安全型强光爆震弹采用无破片设计方案,其结构主要由击发和保险机构、外壳、内壳和喷口等组成,如图1所示。该弹药采用内、外壳双层腔体结构,内壳装药爆炸,外壳上开喷口,保证声光效果的同时,击发和保险机构与弹体不分离,破片滞留在外壳内部。外壳体使用上盖、中壳、下盖三段式螺纹连接而成,击发和保险机构使用现役通用部件。所设计的新型强光爆震弹爆炸时不产生杀伤性破片,距离炸点1.5 m处,声强需达到140~160 dB,光强需达到 $3.0 \times 10^6 \sim 5 \times 10^7$  cd。

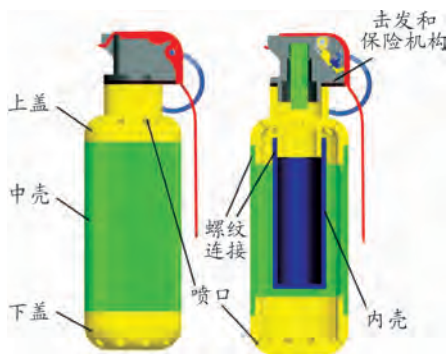


图1 新型爆震弹弹体结构示意图

### 1) 内壳设计

内壳是新型强光爆震弹的装药壳体,其大小决定了装药量多少,其壳体材料和厚度决定了内壳的强度。内壳需要一定强度集聚能量,并在爆开瞬间泄光泄压。内壳可采用塑料材料,目前主要有聚氯乙烯(PVC)、聚酰胺(如PA66)、ABS等,其中ABS还有多种改性材料<sup>[4]</sup>。通过对比研究,考虑到内壳材料需要较高的强度和较好的适应性,本研究选用ABS作为内壳材料,其强度和改性具有较高的兼容性,在下一步设计中可以更好地适应课题研究。

### 2) 外壳设计

新型强光爆震弹中,外壳既是内壳的承载体,又是防止内壳破片飞散的主要部件,因此设计外壳时,既需要考虑强度问题,又要考虑结构问题。在材料的选用上,外壳首先应具有良好的抗爆炸冲击能力,其次需要考虑成本及重量因素,材料主要包括铜、钢、铝等<sup>[5]</sup>。铜材最贵且密度最大,不适合做新型弹的外壳材料;而钢材密度是铝材的3倍,重量过重;铝合金特别是超硬铝合金既有和钢材相当的强度,又具有铜材的抗腐蚀的特点,密度相对较低,是相对理想的外壳材料。通过对比,选用超硬铝合金7A09作为新型强光爆震弹的外壳材料。

### 3) 喷口设计

喷口设计主要包括3个指标:位置、数量和直径。由于弹药投掷后,一般侧面着地,若喷口位置在侧面,则可能受力不均而产生跳弹现象。另外爆震弹主要应用于室内,若前后

设置喷口,滚至墙壁侧或角落导致一边喷口受堵时,会造成弹体受力不均而产生激射。因此,在外壳上、下盖造圆弧面,与弹轴斜45°开喷口,可以有效适应复杂环境地形。从理论上讲,爆震声响的产生与装药燃气的急速释放和扩散有直接关系,是一个气固两相流问题,因此喷口处的流量和流速越大,声响也就越大,因此,喷口直径并不是越大越好,因为泄爆面积大了,流量增大的同时流速却小了,也不是越小越好,流速虽然提高了,流量却小了。另外,喷口越多,越有利于光强的释放。

### 4) 药剂配方设计

结合国内外研究资料,选择3种闪光剂作为预选方案:① Mg粉和 $KClO_3$ ,此配方价格便宜,Mg粉作可燃物闪光强度高<sup>[6]</sup>;② Al粉和硝酸锶,此配方为国外一款成熟弹药配用的闪光剂,需配置一定的硼酸来调节pH值,闪光爆轰性能稳定可靠<sup>[7]</sup>;③ Al粉和 $KClO_4$ ,这一配方是最新研究的成熟可用配方,其比例在4:6时,发光强度最高,爆震效果最好。

通过对比,高氯酸钾作为氧化剂具有安全性好,热稳定性高,有效氧含量较高,吸湿性小,贮存稳定等优点<sup>[8]</sup>,而Al粉相对较其他金属价格便宜,并通过药剂试验,Al粉和 $KClO_4$ 最适用该弹药的要求。因此采用其最新的成熟配方:Al/ $KClO_4$ 为4:6。

## 2 结构参数优化设计

新型强光爆震弹采用双层结构,其声光通过喷口泄出,爆炸时产生的超压对声光效应有较大的影响。本节采用仿真软件分析内壳材料厚度、喷口的数量和直径等结构参数对声光效应的影响,并对其进行优化设计。

所设计的强光爆震弹内壳内径即装药直径为18 mm,高度为52 mm;外壳外径为40 mm,外壳三段总长度为110 mm;喷口与轴向角度为45°,在上、下盖均匀分布。Al粉和 $KClO_4$ 的装药量为8 g。

### 2.1 内壳的优化

ABS内壳是新型强光爆震弹的重要部件,通过优化内壳参数来提高声压级是可行的,本节主要研究内壳厚度对弹药超压的影响,即在其他条件不变的情况下,研究喷口处峰值超压随厚度的变化情况。

通过爆炸仿真分析,得到不同内壳厚度(厚度从1 mm间隔0.2 mm增加到4 mm)的弹体在同一喷口处的空气单元超压峰值,如图2所示。从其中可知:在内壳厚度为1~2 mm范围内,随着厚度的增加,喷口处超压峰值缓慢增加;在2~3 mm范围内,随着内壳厚度的增加,超压峰值明显增加;在3~4 mm范围内,喷口处超压峰值基本恒定。这是由于,在1~2 mm范围内,内壳强度很低,爆炸时泄压过早,峰值超压接近于没有内壳爆炸的超压;当内壳厚度增加到2~3 mm时,随着内壳强度的提高,内壳泄压越晚,峰值超压越大;而当内壳厚度达到3 mm以上时,内壳强度足够使所有药剂燃烧完毕,已达到此药量的最大压强,因此增加厚度已不能使

超压再明显增加。综上,可以将内壳厚度确定为 3 mm,此时,单个喷口处峰值超压达到 1 MPa。

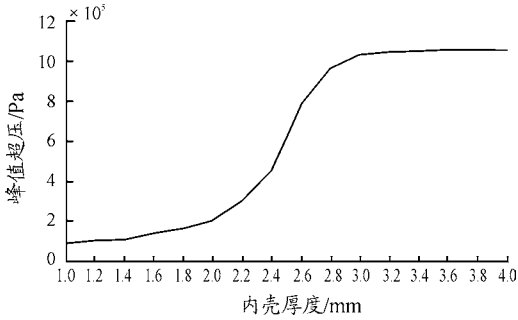


图2 随内壳厚度变化的峰值超压曲线

## 2.2 喷口的优化

### 2.2.1 喷口数量的优化

其他参数不变,内壳厚度取 3 mm,喷口数量从 2 间隔 2 增加到 12。同样,按照 2.1 节的数据处理方法,得到 2~12 个喷口所对应的峰值超压如图 3 所示。由此可知:随着喷口数量的增多,总泄爆面积增大,单个喷口流量减少,会使得单个喷口峰值超压减少。

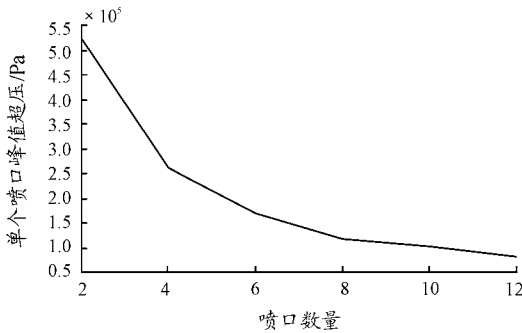


图3 随喷口数量变化的峰值超压曲线

在自由声场中,当没有外壳体存在时,爆炸峰值声压和峰值超压的关系为<sup>[9-10]</sup>:

$$L_p = 20 \lg \frac{P_{\text{peak}}}{P_0} \quad (1)$$

式中: $L_p$  为峰值声压级; $P_{\text{peak}}$  为爆炸峰值超压; $P_0$  一般为  $2 \times 10^{-5}$  Pa。

当有开孔外壳体存在时,爆震弹的声源变为多个,主要是各喷口泄压造成的声音,类似于多个噪声源,其总声压级为所有喷口的声压级之和<sup>[10]</sup>。

$$L_{ps} = L_{p0} + 10 \lg(n) \quad (2)$$

式中: $L_{ps}$  为总声压级; $L_{p0}$  为单个喷口声压级; $n$  为喷口个数。

根据超压衰减公式,当开孔处 1 mm 为基准位置的总峰值声压级为  $L_{p0}$  时,则 1.5 m 处峰值声压级  $L_p$  可表示为<sup>[10]</sup>:

$$L_p = L_{p0} - 24 \lg \frac{1.5}{0.001} \quad (3)$$

根据式(1)、式(2)和式(3)计算,2~12 个喷口所对应的弹药爆炸时的总声压级(单位 dB)分别为:234.3 dB,231.3 dB,229.3 dB,227.6 dB,227.2 dB,226.1 dB。可以看出,总声压级随着喷口数量的增加而略有减少。因此可将喷口数

量适当增多,有利于增强光学刺激效应。但通过仿真可知:当喷口数量大于 8 个时,会有特别小的内壳碎片飞出喷口的情况发生。这是由于随着喷口数量的增多,碎片飞出的概率增加。因此将喷口数量确定为 8 个。

### 2.2.2 喷口直径的优化

其他参数不变,内壳厚度取 3 mm,喷口数量取 8 个,为了便于实际加工,喷口直径由 3 mm 间隔 1 mm 增加到 6 mm,分别进行仿真。仿真表明:随着喷口直径增大,喷口的峰值超压呈减少趋势,但变化幅值较小。这是由于喷口直径增大,泄爆面积增大,峰值超压随之减少。当喷口直径为 6 mm 时,碎片飞出较多。为了保证外壳尽可能快地泄爆,将喷口直径选取为 5 mm。

优化后的内壳厚度为 3 mm,上、下盖的喷口数量为 8 个,喷口直径为 5 mm,此时,喷口处峰值超压为 0.98 MPa,换算到 1.5 m 处总声压级为 149.8 dB,符合强光爆震弹战技指标要求。

## 3 试验与评估

依据弹药设计方案制作了实弹。利用实弹分别开展结构可靠性试验和声光威力试验。通过试验,验证和评估所设计的安全型强光爆震弹的性能是否可靠安全,检验仿真优化的结果是否符合实际。

### 3.1 结构可靠性试验

结构可靠性测试重点考察弹药结构的可行性、爆炸后外壳体是否发生破裂以及复杂地形的适应性等。

为了观测在不同地形情况下强光爆震弹是否会激射造成杀伤,选取不同地形来做结构可靠性试验。选择以下两种场地:① 开阔平地:地面平整空地,无障碍;② 室内外角落:由于室内爆炸会有一定的危险性,因此选取室外角落模拟室内角落进行试验。

为每个场地准备 10 枚弹药,依次在两个场地进行试验,爆炸后弹体效果图如图 4 所示。试验结果表明:① 所有弹药爆炸正常,外壳体不发生破裂,外壳螺纹连接没有失效,破片被滞留在弹体内部。说明所设计弹药结构具有可行性,外壳体基本不发生变形,初步验证了仿真的有效性及仿真参数的正确性。② 在角落爆炸的弹药,弹体平均位移 0.57 m,最大位移 1.24 m,说明弹体不会因为投掷在角落等复杂地形,部分喷口受堵而激射造成杀伤。



图4 爆炸后弹体效果图

### 3.2 声光威力试验

通过试验,测试所设计弹药的声光强度是否符合战技指

标要求。

在自由声场中,当测出距离声源  $L_1$  (m) 处的声压级  $L_{p1}$  (dB) 时,可根据以下公式计算出距离声源任意  $L_2$  (m) 处的声压级  $L_{p2}$  (dB)。

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \lg \frac{L_2}{L_1} \quad (4)$$

辐射光源的照度  $E$  和发光强度  $I$  的关系为:

$$I = E \times R^2 \quad (5)$$

式中: $E$  表示测量照度 (lx);  $I$  表示发光强度 (cd);  $R$  为测试距离 (m)。

场地:试验场地测试距离应满足安全要求且场地平坦并为自由声场。

气象:无雨雪,温度  $-10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$  天气,湿度应不大于 75%。风速超过 2.5 m/s 时,需在声传感器上附加球形挡风罩后试验。风速超过 5.4 m/s 时,不能进行试验。

环境:噪声应小于或等于 60 dB。

在试验场地,按图 5 所示进行场地布置,依次拉发 5 枚试验弹,采用的声光威力测试系统,进行数据的收集和分析。

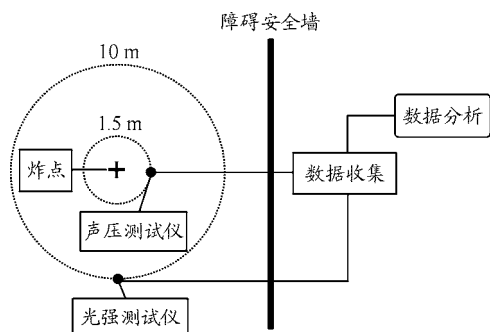


图 5 声光测试系统布置示意图

基于上述试验,将收集 5 枚弹药的声强、光强进行处理,得到如表 1 所示。

表 1 声光强度测试数据

编号	声强/dB	光强/cd
1	153.1	$1.82 \times 10^7$
2	150.8	$1.34 \times 10^7$
3	151.7	$1.43 \times 10^7$
4	148.6	$1.14 \times 10^7$
5	154.4	$2.11 \times 10^7$
平均值	151.7	$1.57 \times 10^7$

从表 1 中可以得到:强光爆震弹的平均闪光强度为  $1.57 \times 10^7$  cd,处于  $3.0 \times 10^6 \sim 5 \times 10^7$  cd,满足预期战术指标

场的要求,而 5 组试验弹距离炸点 1.5 m 处的声强最大值为 154.4 dB,最小值为 148.6 dB,平均声强为 151.7 dB,和仿真结果基本一致,说明了爆轰参数计算的正确性,该声强处于 140 ~ 160 dB,满足预期战术指标场的要求。

## 4 结论

为提高强光爆震弹的安全性,防止破片对有生目标造成过度伤害,本研究采用无破片弹体设计方案,选用开孔外壳和内壳相结合的双层腔体结构,对新型强光爆震弹进行了结构设计。利用仿真软件分析了内壳材料厚度、喷口的数量和直径等对声压效应的影响,并对结构参数进行了优化。在此基础上,加工样弹并开展了结构可靠性试验和声光威力试验。试验结果表明:弹药爆炸时外壳体不发生破裂,破片被滞留在弹体内部,不会产生杀伤性破片,并具有较好的复杂环境适应性;强光爆震弹的平均闪光强度为  $1.57 \times 10^7$  cd,平均声强为 151.7 dB,满足战技指标要求。

## 参考文献:

- [1] 罗雷.非致命武器的战术运用[J].湖北警官学院学报.2010(04):58-60.
- [2] MICHAEL B, SEA C N Y. Stun Grenade [P]. USA: 5654523,1997-08-05.
- [3] BARRY D, PINKNEY, DONALD L. Anderson, both of Jefferson, Ohio. Reloadable Stun Grenade [P]. USA:4932328, 1990-06-21.
- [4] 何平笙.高聚物的力学性能[M].合肥:中国科技大学出版社,1997.
- [5] 温秉权.金属材料手册[M].北京:电子工业出版社,2009.
- [6] 朱长星.Zr、Mg系烟火剂发光光谱特性研究[J].含能材料,2005,13(2):118-120.
- [7] NICOLE D, Harasts, William Chung-Leung Chow, Mark Motyka. Flash-Bang Grenade with Greater Flash Intensity [P]. USA:8161883,2012-08-24.
- [8] 郭子庭,刘厚平.高氯酸钾与氯酸钾的性能分析[J].爆破器材,2004,33(1):102-104.
- [9] 王秉义.枪炮噪声与爆炸声的特性和防治[M].北京:国防工业出版社,2001.
- [10] 赵陕东,马永忠.非致命武器与警用器材[M].北京:兵器工业出版社,2005.

科学编辑 陈科全博士(中国工程物理研究院化工材料研究所、高级工程师)

责任编辑 周江川