

文章编号: 1003-1480 (2002) 03-0028-04

# 强闪光烟火剂燃烧爆炸闪光试验研究

潘海燕, 杜志明, 许又文

(北京理工大学, 北京 100081)

**摘 要:** 分析了烟火剂爆燃产生强闪光的辐射模型, 对其配方进行优化设计, 总结和分析了试验结果, 并探讨了烟火型强闪光弹药潜在的应用价值。

**关键词:** 烟火剂; 闪光强度; 冲击波超压; 损伤效果

**中图分类号:** TQ567

**文献标识码:** A

## Study on the Burning Exploding and Flashing Text of Intense Flash Pyrotechnics

PAN Hai-yan, DU Zhi-ming, XU You-wen

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

**Abstract:** In the paper, the radiant model of intense flash produced from the exploding of pyrotechnics is analysed. Results of the experiment are summarized and the latent values of application of pyrotechnic intense flash ammunition are discussed.

**Key words:** Pyrotechnics; Flash intension; Shock wave pressure; Damage effect

利用含能材料的燃烧和爆炸产生强光辐射的原理, 研制对付人眼和光电探测器的光学弹药, 属于软杀伤非致命武器范畴<sup>[1~2]</sup>。在 20 世纪 60 年代以前, 国外就开始了爆炸闪光<sup>[3]</sup>技术方面的研究。美国研制的一种光弹用 155 火炮发射, 利用炸药爆炸加热惰性气体发生极强的各向同性闪光辐射, 可破坏敌方武器装备的传感器, 也可致盲人眼; 英国研制了一种光炸弹可空投, 亦可用常规火炮或迫击炮发射, 闪光极亮, 光谱从紫外到红外整个波段, 可使人致盲达一小时之久。国内对烟火药产生强光辐射的研究起步较晚。20 世纪 80 年代北京理工大学曾为武警部队研制了 JYS-1 型警用闪光弹, 该弹利用烟火型高强发光剂 (药量 24.0~24.5g), 爆燃瞬间产生高达  $4 \times 10^7 \text{cd}$  的强闪光。

## 1 烟火型强闪光剂的配方设计原则

### 1.1 烟火型强闪光剂的优点

烟火型强闪光剂采用炸药等含能材料为能源, 一次性使用, 又称“光弹”。该类武器可以分为定向辐射型和各向同性辐射型。光弹具有体积小、重量轻、成本低、使用方便等优点, 闪光弹药的研制与发展成为现代软杀伤武器中受人瞩目的焦点之一。

### 1.2 强闪光剂的配方设计理论及设计原则

#### 1.2.1 烟火闪光灰体辐射模型理论分析

烟火型强闪光剂燃烧或爆炸时产生一个辐射亮度极高的火球, 该火球是烟火药剂反应时将化学

收稿日期: 2002-05-17

作者简介: 潘海燕 (1971—), 女, 上校工程师, 从事强闪光弹药等新概念特种弹药研究。

能迅速转化为热辐射能,然后加热其中高沸点的凝聚相反应产物及其它反应产物,进而转化为电磁辐射能(含紫外、可见光与红外)所形成的<sup>[5]</sup>。火球的颜色和亮度取决于电磁辐射的强度和波长,随烟火药剂的配方不同而不同。火球中的不同成分有各自的辐射特性,火球的不同部位厚度、温度不同,辐射微粒的大小、浓度都不一样。其光谱可以设想为由原子谱、分子谱与凝聚相物质的灰体辐射连续叠加而成。

设火球为一灰体,根据斯蒂芬—波尔兹曼定律和兰贝特定律,烟火剂爆炸或燃烧的辐射能量  $J$  可用以下公式表示:

$$J = \varepsilon \sigma T^4 A / \pi$$

式中:  $J$ ——火球辐射能量, W·Sr;

$\varepsilon$ ——辐射系数;

$\sigma$ ——斯蒂芬常数,  $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ;

$T$ ——火球的平均温度, K;

$A$ ——火球的辐射面积,  $\text{m}^2$ ;

可以看到,烟火剂燃烧或爆炸产生的辐射能量  $J$  与  $T$ 、 $\varepsilon$  和  $A$  值大小有关。

高的火焰温度来源于烟火药剂有高的热效应,即要求氧化剂有小的生成热,燃烧产物有大的生成热,要求烟火剂有较高的燃烧速率以减小热损失;高的火焰辐射系数  $\varepsilon$  要求爆燃产物各组分要有高的熔点和沸点,以保证有足够的凝聚相物质,辐射质点的大小及浓度对辐射性能有重要的影响,带微粒火焰的辐射和吸收随着微粒质点浓度的增加及质点粒径的减小而增加;要求大的辐射面积  $A$  是要求烟火剂爆燃时有大的压力及质量流率,还要求燃烧产物中有适量的气态物质。气态产物不宜过大,否则火焰温度及凝聚相质点浓度降低而导致辐射强度的降低。

综上所述,对于可见光和近红外光区,温度的提高可以提高辐射强度,但烟火剂的热效应是一定的,因此温度的提高有一定的限度。对于远红外,温度的提高虽然使辐射效率降低了,可是由于温度本身的提高仍然使远红外的辐射强度增加了。因此,此热辐射模型下,燃烧温度的提高是提高各波段辐射强度的主要技术途径。

### 1.2.2 烟火闪光剂的药量对辐射性能的影响

由烟火闪光的灰体辐射模型知道,辐射强度与温度、辐射系数、闪光火球的辐射面积有关。热力

学计算表明,燃烧温度和辐射系数不依赖药量,因为药量多少并不改变产物的构成。因此,装药量的影响是通过改变产物体积和总能量而改变火球辐射面积和延长冷却时间达到的。理论分析和试验测试都表明:在配方确定的条件下,辐射强度随装药量的增加而增加。

### 1.3 烟火闪光剂的主要成分

烟火药剂主要由可燃物、氧化剂和添加剂组成。

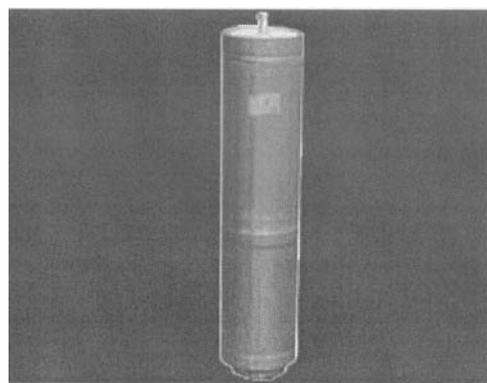
可燃物的选择原则:(1)可燃物的氧化生成物的热值要高;(2)具有耗氧量小、易被氧化的特点;(3)燃烧温度要高。燃烧温度较高的金属有 Zr、Al、Ti、Mg。Zr、Ti 具有燃速快、耗氧少、保存不易变性等优点,但价格昂贵。Al、Mg 及其合金(Al/Mg 50/50)粉在我国价格便宜,亦可选用。

氧化剂的选择原则:(1)含氧丰富,且容易释放;(2)具有较小的生成热;(3)是可见光或红外区域原子或分子选择性辐射的载体;(4)机械感度低;(5)中性,吸湿性小,物理化学性能安定,且与金属可燃物相容。烟火药中含氧氧化剂很多,有氯酸盐、高氯酸盐、硝酸盐等。氯酸盐过于敏感不宜使用,高氯酸盐中  $\text{KClO}_4$ 、硝酸盐中的  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  和  $\text{KNO}_3$  等均可考虑,因为 Ba 和 K 在近红外波段对辐射都有较大贡献。加入适当的 S 有助于提高产物中气体含量,增大火球面积。

## 2 烟火型闪光弹试验结果及分析

### 2.1 原理样弹设计

某型烟火型闪光弹样弹如图 1 所示。弹体中



闪光弹(样弹)

图 1 闪光弹原理样弹照片

心设计有点火管，内装特制点火药，点火管周围装填烟火药剂，装填密度约为  $1.2\text{g}/\text{cm}^3$ ，闪光弹装药量约为  $2\text{kg}$ 。

## 2.2 试验场地及准备

闪光弹静爆试验在某兵工厂靶场进行，主要考察闪光弹样弹设计合理性、闪光强度以及其它主要性能。静爆高度约为  $4\text{m}$ ，标杆间距为  $5\text{m}$ ，以估算闪光火球直径。以弹体中心到地面的垂点为圆心，在  $3\text{m}$ 、 $5\text{m}$  的直径上分别设 4 个测试点进行冲击波超压测试。试验现场见图 2。

## 2.3 试验结果及分析

闪光弹试验中实测的部分数据见表 1。图 3 和图 4 是闪光弹闪光照片，图 5 和图 6 是部分冲击波

超压测试曲线。



图 2 试验现场

表 1 闪光弹试验数据

编号	装药量/kg	闪光强度/cd	冲击波超压值（平均）/ $\times 10^5\text{Pa}$		
			3m 直径	5m 直径	弹体位置
6 <sup>#</sup> 闪光弹	2.13	$6.70 \times 10^8$	0.630	0.574	水平 3m
7 <sup>#</sup> 闪光弹	2.20	$6.85 \times 10^8$	0.600	0.615	水平 4m
9 <sup>#</sup> 闪光弹	2.25	$6.95 \times 10^8$	0.587	0.673	垂直 4m



图3 闪光弹爆炸闪光



图4 闪光弹爆炸闪光

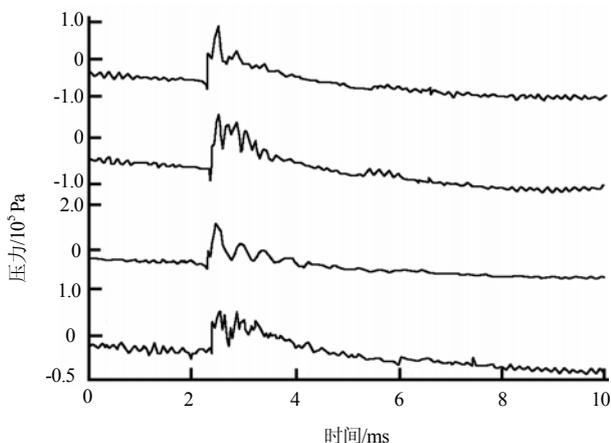


图5 6# 闪光弹 3m 处的超压曲线

从各项测试结果可以得到如下结论:

(1) 从表1中的冲击波超压数据和图5、图6的冲击波超压曲线可以看出: 强光辐射弹在3~5m内的冲击波超压峰值达到  $0.5 \times 10^5 \text{ Pa}$  甚至  $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ , 根据冲击波超压与动物伤亡的等级关系, 冲击波超压在  $(0.25 \times 10^5 \sim 0.48 \times 10^5) \text{ Pa}$  之间时, 可对人员造成中度损伤; 冲击波超压在  $(0.45 \times 10^5 \sim 0.75 \times 10^5) \text{ Pa}$  之间, 会对人造成重伤;

冲击波超压大于  $0.75 \times 10^5 \text{ Pa}$  时, 可使人致死。因此该闪光弹在3~5m范围内, 足以对人形成不同程度的损伤。

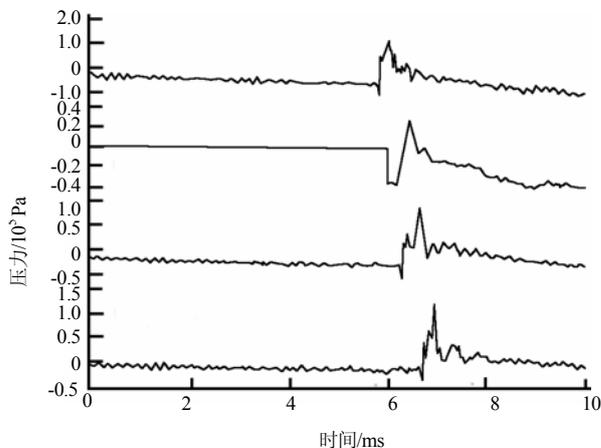


图6 6# 闪光弹 5m 处的超压曲线

该弹可在瞬间产生冲击波超压峰值, 且冲击波超压持续时间较长, 在1~2ms范围。急剧升高、持续时间较长的冲击波超压对人体的损伤是比较严重的, 一定距离内, 该闪光弹的冲击波威力是较大的。

(2) 试验中, 弹体中心距地面4m, 从现场拍摄的照片上火球中心相对于标杆、树木及地面的位置可以判断, 闪光弹燃烧爆炸后辐射火球的直径在10m以上; 从测试结果看, 强光弹爆炸瞬间闪光极亮, 短时间内超出摄像机感光极限; 从表1中闪光强度的理论计算结果看, 其闪光强度为人眼强光致伤标准的  $10^6 \text{ cd}$  的100~1000倍。预计, 这种强度的光会对一定距离处的人眼造成漂白损伤而暂时失明, 但由于作用时间短, 这种损伤一般是可以恢复和治愈的, 不会形成永久性病变。在较近距离, 不考虑冲击波的作用, 该弹爆燃发出的强光会使部分光电探测器达到光信号饱和, 光电特性曲线失真而失去探测能力, 导致探测器瞬时致盲。

综上所述, 该强闪光弹爆燃瞬间闪光极亮, 预计可对距爆心10m范围内的敌方作战人员造成伤害, 使其丧失战斗力。

### 3 闪光弹在战场上的潜在应用价值

强光致盲技术是新近发展起来的软杀伤技术, 在现代战争的光电对抗中具有重要意义。其作用为两个方面: 一是伤害敌方人员的眼睛, 使其暂时失明失去战斗力, 而又不致造成不可恢复性的病变;

---

二是干扰光电传感器，在超过其阈值的强辐射作用下，使其不能正常工作，失去预期的探测、瞄准等功能，使这些装置的光电器材暂时或永久失效。强闪光弹具有成本低、体积小、重量轻、使用方便等优点，可以由火箭运载、火炮发射、飞机投掷到目标附近的区域爆炸发光，因此受到越来越多的关注和重视。从人道主义出发，强闪光弹爆炸燃烧产生的闪光和冲击波超压对人员不会造成永久性的伤害，它起到威慑作用，给敌人造成严重的心理压力，大大降低其执行任务的质量，最大限度减少无辜群众的伤亡，避免造成战后严重的社会负担。

强闪光弹主要是利用强光、声响和冲击波超压来实施对敌方人员的软杀伤，其特点是声、光、超压兼备。其声、光、超压三重效应可以使敌人惊慌失措、头晕目眩，失去抵抗能力，同时破坏干扰光电观瞄器材，使其功能失效。目前，已装备的国家近 20 个，如美、英、法、德、巴西、南非等。作为一种新型的软杀伤武器，在未来的战场上强闪光弹药具有它潜在的应用价值和广阔的应用前景。

致谢：本文试验测试工作是在工厂许多同志参与配合下完成的。由于人员较多，此处不便一一列出，一并致以诚挚的谢意。

#### 参考文献：

- [1] 刘菊艳. 非致命技术受到普遍关注[J]. 飞航导弹, 1994.1
- [2] 朱如华. 新概念特种弹与特种弹概念的更新[J]. 弹箭技术, 1990.2.
- [3] 丁玉奎. 炸药冲击波激励惰性气体闪光及应用研究[D]. 北京：北京理工大学, 2000.
- [4] 杜志明. 强闪光烟火剂配方设计研究[C]. 第十一届火工烟火学术论文集, 2001.
- [5] 温瑞棠. 军事激光技术[M]. 北京：解放军出版社, 1991.
- [6] 贺安之, 阎大鹏. 现代传感器原理及应用[M]. 北京：宇航出版社, 1995.
- [7] 陈德章等. 激光对光电探测器的损伤阈值研究[J]. 激光技术, 1995. 19(3).
- [8] 美国陆军装备部. 终点弹道学[M], 1989.