

文章编号: 1006-9941(2003)02-0071-05

爆炸分散型复合干扰发烟剂使用技术研究

尹喜凤, 陈于忠, 陈宏达, 吴 昱

(防化研究院, 北京 102205)

摘要: 研究了复合干扰发烟剂中 HG94 磷基发烟剂和 FY 红外干扰发烟剂的配比和使用技术, 并测试了烟幕性能。试验表明采用 HG94 磷基发烟剂与 FY 红外干扰发烟剂重量比为 2 : 1, 装药结构采用 FY 红外干扰发烟剂在上, HG94 磷基发烟剂在下, 复合干扰发烟剂与炸药重量比为 40 : 1 时, 分散后不仅对可见光有良好遮蔽效果, 而且对激光、中、远红外光也具有良好的干扰作用。

关键词: 发烟剂; 干扰; 遮蔽

中图分类号: TQ567.5

文献标识码: A

1 引言

随着高新技术的迅猛发展, 现代光电技术在军事观瞄器材和精确制导武器的研制开发中得到了广泛应用, 其工作波段向着多波段发展, 制导模式也由单模制导向多模复合制导方向迅速发展, 大大提高了制导武器的命中精度和抗干扰能力。

有矛就有盾, 战例已证明烟幕是一种快速、经济、有效的无源干扰手段, 在战争中是遮蔽己方重要目标, 迷盲敌人火力, 干扰敌人观瞄器材和精确制导武器, 掩护自己的一种不可忽视的手段。

纵观国外烟幕技术的发展现状, 可以看到拥有世界先进武器装备和现代观瞄器材的军事强国仍然非常重视烟幕技术的研究和发展。尤其是近几年来, 世界各国都在致力于多波段干扰发烟剂的研究。由于红外和激光技术在制导方面的应用, 单遮蔽可见光或红外光的烟幕已不能满足军事需要。但是目前我军的发烟剂主要具有单波段或双波段遮蔽或干扰性能, 尤其是适合弹用的爆炸分散型多波段干扰发烟剂更是急需; 又由于每种遮蔽物只对某一特定的辐射波长表现出较好的红外活性, 所以一种单一的剂难以达到干扰多波段的目的。从目前国内外现有发烟剂现状看, 还没有一种发烟剂适合爆炸分散, 而且具有较宽波段干扰能力的发烟剂。因此为了满足高新技术条件下对多波段

光干扰烟幕的需求, 开展了爆炸分散型复合干扰发烟剂及使用技术的研究。选择一种具有良好遮蔽可见光、激光能力的发烟剂和一种良好地干扰红外光的发烟剂进行复合使用。目前已研究出了具有成烟快、良好的遮蔽可见光和 1.06 μm 激光能力的 HG94 磷基发烟剂和具有干扰中、远红外光的 FY 红外干扰发烟剂, 所以选它们作为复合发烟剂的组分。本文重点叙述复合发烟剂中复合配比、使用技术研究及烟幕性能。

2 复合干扰发烟剂中组分配比研究

HG94 磷基发烟剂与 FY 红外干扰发烟剂各具有自己的独特优势, 为了更有效地发挥各自的效能, 同时发挥协同干扰作用, 研究复合配比尤为重要, 所以分别在烟箱和野外进行了不同复合配比的对比试验。

2.1 烟箱中不同配比的复合发烟剂对红外光的有效干扰时间测定

测定方法如下: 在 20 m^3 烟幕箱 (6.1 m \times 2.0 m \times 1.8 m) 中模拟爆弹的效果, 采用燃烧和喷撒相结合的烟幕施放方式; 靶标系统与背景温差 30 $^{\circ}\text{C}$; 打开烟箱中的风扇搅拌; 烟幕施放同时, 用连接在红外辐射测试用 II 类通用组件热像仪 (8 ~ 12 μm) 上的录像机连续录制烟幕对目标的遮蔽情况, 直至试验结束为止。按照录像时的速度, 将录制的录像带在由录像机与彩色电视机组成的系统上放映, 采用目视, 秒表记时方法, 记录烟幕对所测试的靶标产生遮蔽时的时间。三次平行测定数据的平均值为有效干扰时间。结果见表 1。

收稿日期: 2002-10-08; 修回日期: 2002-12-15

作者简介: 尹喜凤 (1946 -), 女, 研究员, 硕士生导师, 主要从事军事化学和烟火技术研究。

表 1 在 20 m³ 的烟箱中不同配比的复合发烟剂
对红外 (8 ~ 12 μm) 的干扰时间

Table 1 Interfering time of composite interfering smoke agent with the different ratios to infrared rays (8 ~ 12 μm) in 20 m³ smoke case

HG94 磷基 发烟剂 /g	FY 红外干 扰发烟剂 /g	HG94/FY (w/w)	有效干 扰时间 /min
30	0	30/0	0
0	30	0/30	7.4
20	10	2/1	8.5
18	12	1.5/1	7.5
16	14	1.14/1	5.3
21.5	8.5	2.5/1	6.1
30	30	1/1	8.53
40	20	2/1	16.4

由表 1 看出, HG94 磷基发烟剂与 FY 红外干扰发烟剂重量比为 2 : 1 时, 对红外干扰效果较好。

2.2 不同复合配比的发烟剂野外静爆分散时对红外光的遮蔽比较

装药结构和测定方法如下:

把 HG94 磷基发烟剂压制成密度为 1.48 g · cm⁻³, 直径为 58 mm, 高为 30 mm 的药块, 按所需重量决定放多少药块。FY 红外干扰发烟剂经造粒后, 采用边装边捣的方法装填。一律采用 HG94 磷基发烟剂装在弹的下部, FY 红外干扰发烟剂装在上部的结构装药。中心孔内装炸药柱, 烟剂与炸药比例为 40 : 1 (w/w)。

发烟弹爆炸分散前先布好场, 在爆点中心的顺风或逆风方向约 100 m 处, 架好热成像仪; 在爆点的另一方同一水平线上 130 m 处停放一辆开着发动机的面包车。发烟弹离地面 0.5 m。仪器调试好后, 打开录像机, 在风速为 2 m · s⁻¹ 以下时, 开始用雷管引爆, 同时, 用连接在红外辐射测试用 II 类通用组件热像仪 (8 ~ 12 μm) 上的录像机连续录制烟幕对目标的遮蔽情况, 直至试验结束为止。按照录像时的速度, 将录制的录像带在由录像机与彩色电视机组成的系统上放映, 采用目视, 秒表记时方法, 记录烟幕对所观察的靶标产生遮蔽性屏蔽时的时间。三次重复读数的平均值为有效干扰时间。

由表 2 看出, HG94 磷基发烟剂与 FY 红外干扰发烟剂重量比也是为 2 : 1 时, 对红外干扰效果较好。

当然, 对于弹壳的材料和炸药量不同时, 二者的比例可能应作些调整才能保证效果, 所以应用时对二者

的比例还应再细化和调整。

表 2 野外静爆时不同复合配比的发烟剂对红外干扰的效果

Table 2 Interfering effect of composite interfering smoke agent with the different ratio to infrared rays by igniting in field

HG94/FY (w/w)	对红外 (8 ~ 12 μm) 干扰时间 /s	烟幕长度 /m
590/590 (1/1)	8	50 ~ 60
590/590 (1/1)	9	55 ~ 60
726/363 (2/1)	20	60 ~ 70
726/363 (2/1)	18.5	55 ~ 65
789/263 (3/1)	6	50 ~ 60
789/263 (3/1)	4	50 ~ 60

2.3 复合干扰发烟剂装药结构研究

为了更好地发挥发烟剂的效能, 为烟弹的使用提供参考数据, 研究了装药结构。测定方法同 2.2。结果见表 3。

表 3 装药结构对红外干扰效果的影响

Table 3 Influence of loading configuration on infrared interference

装填 结构	遮蔽可见 光时间 /s	干扰红外 光时间 /s	烟幕长度 /m	备注
1	50	17.32	60	烟均匀、较浓
1	80	18.52	70	烟均匀、较浓
1	58	15.4	80	烟均匀、较浓
2	50	8.22	60	烟较浓
2	51	10.16	75	烟较浓
2	59	8.23	60	烟较浓
3	51	7.05	58	烟稀
3	50	8.12	50	烟稀

注: (1) 装填结构 1: FY 发烟剂装在上边, HG94 发烟剂装在下边; 装填结构 2: HG94 发烟剂装在这两头, FY 发烟剂装在中; 装填结构 3: HG94 发烟剂装在上边, FY 发烟剂装在下边。(2) FY 发烟剂为 363 g; HG94 发烟剂为 726 g; 采用中心长爆管结构, 炸药量为 27.2 g, 即: 烟剂/炸药为 40 : 1。

从表 3 看出, 装填结构为 FY 红外干扰发烟剂在上部, HG94 磷基发烟剂装在下部时分散好, 遮蔽可见光和干扰红外光效果较好。

2.4 炸药和复合干扰发烟剂重量比对干扰红外光效果的影响

采用上述装药结构 1, FY 红外干扰发烟剂为 363 g; HG94 磷基发烟剂为 726 g; 采用中心长爆管结构。测定方法同 2.2。结果见表 4。

表 4 复合干扰发烟剂和炸药重量比对红外光干扰效果的影响
Table 4 Influence of the mass ratio of composite interfering smoke agent to explosive on infrared interference

复合干扰 发烟剂/炸药 (w/w)	对红外(8~12 μm) 光的干扰时间 /s	备 注
30 : 1	8	烟幕较稀
30 : 1	8	烟幕较稀
40 : 1	18.5	烟幕较浓,烟均匀
40 : 1	20	烟幕较浓,烟均匀
40 : 1	18	烟幕较浓
50 : 1	6	烟幕分散半径小
50 : 1	7	烟幕分散半径小

从表 4 看出,装填结构为 FY 发烟剂在上部,HC94 发烟剂装在下部,发烟剂/炸药比为 40/1 时,分散效果和对红外光干扰效果较好。

3 复合干扰发烟剂烟幕性能

烟幕性能的好坏是评价发烟剂的最重要的指标。一般要求发烟率高、沉降速度慢、对不同波段的光衰减率大,遮蔽时间长,所以主要测定了这几个参数。

3.1 复合干扰发烟剂平均沉降速度

复合干扰发烟剂烟幕浓度随时间变化数据见表 5。

表 5 复合干扰发烟剂烟幕浓度随时间的变化
Table 5 Variation of composite interfering smoke agent concentration with time

时间/min	浓度/g · cm ⁻³
2	1.53544
5	1.52418
8	1.52887
11	1.40045
15	1.36202
19	1.29867
23	1.22891

由表 5 看出,复合干扰发烟剂烟幕浓度随时间降低较慢,按沉降速度计算公式(1)计算,得出平均沉降速度为 $3.38 \times 10^{-4} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

$$V_D = \frac{H}{t_2 - t_1} \ln \frac{C_F(t_1)}{C_F(t_2)} \quad (1)$$

式中: V_D 为烟幕的沉降速率, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; H 为烟幕箱内腔高度, m ; $C_F(t_1)$ 为 t_1 时的烟幕质量浓度, $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; $C_F(t_2)$ 为 t_2 时的烟幕质量浓度, $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$;

为了避免由试验误差带来的计算误差,可先把由

实验做出的数据进行处理,即找出时间与浓度的关系式,然后计算出所需时间的相应浓度,代入公式(1)。

3.2 复合干扰发烟剂的发烟效率计算

烟幕初始浓度计算方法用公式(2)计算。

$$C_0 = \frac{C_F V_D \tau}{H} (1 - e^{-\frac{V_D \tau}{H}})^{-1} e^{\frac{V_D \tau}{H}} \quad (2)$$

式中: C_0 为烟幕初始质量浓度, $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; C_F 为某一时刻的烟幕质量浓度, $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; V_D 为烟幕的沉降速率, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; τ 为采样起始时间间隔, s ; H 为烟幕箱内腔高度, m 。

根据公式(3)计算复合干扰发烟剂的发烟效率,计算结果为 107%。

$$Y = \frac{C_0 V}{M} \times 100\% \quad (3)$$

式中: Y 为发烟剂发烟率, %; C_0 为烟幕初始浓度, $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; V 为烟幕的体积, m^3 ; M 为施放发烟剂的质量, g 。

3.3 30 g 复合干扰发烟剂形成的烟幕对不同波段的平均衰减率

测定方法如下:在 20 m^3 烟幕箱($6.1 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$)中模拟爆弹的效果,采用燃烧和喷撒相结合的烟幕施放方式;打开烟箱中的风扇搅拌 20 s 就关上;烟幕施放同时,分别用可见光透过率测试装置、 $1.06 \mu\text{m}$ 和 $10.6 \mu\text{m}$ 激光双波长烟幕透过率测试装置、MR204 付里叶变换红外光谱仪测定其可见光透过率、 $1.06 \mu\text{m}$ 和 $10.6 \mu\text{m}$ 激光透过率、 $3 \sim 5 \mu\text{m}$ 和 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 的红外光透过率,并计算烟幕对不同波段的平均衰减率,结果见表 6。

表 6 30 g 复合干扰发烟剂在 20 m^3 烟箱中烟幕的消光性能测定结果

Table 6 Extinction results of composite interfering smoke agent(30 g) in 20 m^3 smoke case

时间 /min	烟幕对不同波段的平均衰减率/%				
	3~5 μm	8~12 μm	1.06 μm	10.6 μm	可见光
0	98.65	98.15	100	100	100
2	99.0	98.90	99.7	98.8	100
5	98.9	98.85	-	-	-
8	98.85	98.95	-	-	-
11	98.95	97.25	-	-	-
15	98.6	98.0	-	-	-
19	98.65	97.95	-	-	-
23	98.60	96.9	-	-	-

从表 6 看出,30 g 复合干扰发烟剂在 20 m^3 烟箱

中在 2 min 时,无论是对 1.06 μm 和 10.6 μm 的激光还是对 3~5 μm 和 8~12 μm 的红外光的衰减都大于 98%。即使在 23 min 时对 3~5 μm 和 8~12 μm 的红外光的衰减仍大于 96%。说明该剂的消光性能很好。

3.4 30 g 复合干扰发烟剂对 8~12 μm 红外光的有效干扰时间

测定方法同 2.1,不同的是在施放烟幕后,风扇仅开 20 s 就关上。30 g 复合干扰发烟剂对 8~12 μm 红外光的有效干扰时间大于 19 min。

从以上测定结果看出,复合发烟剂发烟效率高,沉降速度慢,不仅对可见光有良好的遮蔽能力,而且对激光、中、远红外光也具有良好的干扰效果。

4 应用效果试验

该剂已应用于 KZH 发烟弹和 SD 发烟弹中。结果见表 7。

表 7 野外静爆分散后的干扰效果

Table 7 Interference effect of smoke bomb by igniting in field

弹种	对 10.6 μm	对 II 类组件	对可见光 遮蔽时间 /s	爆炸半径 /m
	激光的 衰减率 /%	的有效 干扰时间 /s		
KZH 发烟弹	99.65	53	≥ 2.0	≥ 30
SD 发烟弹	99.00	57	2.38	≥ 30

从野外静爆分散后测试结果看出,发烟弹爆炸分散半径大,成烟量大。烟幕持续时间长;对可见光的遮蔽时间大于 2 min,对 II 类组件的有效干扰时间一般都大于 40 s;如果能使目标、烟幕、光路始终保持在一条水平线上,干扰时间可高达 60 s 以上。对 10.6 μm 激光的衰减率不小于 90%。烟幕效果见图 1。



a) KZH 发烟弹



b) SD 发烟弹

图 1 KZH 发烟弹和 SD 发烟弹的烟幕效果

Fig. 1 Smoke effect of KZH bomb and SD bomb

5 讨论

(1) 从复合干扰发烟剂的使用效果看出,在复合干扰发烟剂中, HG94 磷基发烟剂与 FY 红外干扰发烟剂具有协同增效的作用,比单独使用任何一种都好,表 1 中列出的数据已经证明了这一点,在烟箱中 30 g 的 HG94 磷基发烟剂形成的烟幕对可见光遮蔽效果很好,对红外光只有一定的干扰却不能达到有效干扰,但 30 g 复合干扰发烟剂对红外的有效干扰效果就大大提高了,好于 30 g FY 红外干扰发烟剂的效果,其原因分析如下:

HG94 发烟剂是以赤磷为主体的,磷烟的有效消光系数为相对湿度和时间的函数,磷烟的表现遵照吸湿材料预计的模式,烟颗粒质量半径随时间增大,这是由于气溶胶凝结所致,消光性能趋向于升高,在一定浓度下,对红外有一定干扰,但很难达到有效干扰;如果和 FY 红外干扰发烟剂复合使用时,在弹爆炸后, HG94 发烟剂被炸成许多碎块分散开来,迅速生成烟和热,使大范围的气流上升,由于大量热流的作用,使其发烟率大大增加,也使粉末悬浮在空中的时间大大增长,从而使其沉降速度也变慢了,这里也可能有悬浮和电荷分离效应发生作用了。这种分析可以从图 2 中得到证明。比较这两条曲线可以看到,复合干扰发烟剂中 10 g FY 发烟剂在各个时间点的浓度大大高于单独使用时的浓度,增加了近一倍,而且沉降速率也有所降低,单独使用时为 $0.07884 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,在复合使用时为 $0.03582 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

同时也看到,尽管是 FY 红外干扰发烟剂对红外干扰效果很好,但并不是它的比例越大就越好,只有二

者比例为 2/1 时效果最好,这可能是当 FY 红外干扰发烟剂比例太大时,由于 FY 红外干扰发烟剂重量增大,颗粒增多,碰撞机率也增大,超过了磷烟的托扶力,反而使成烟率降低,沉降速度加快。另一方面,装药结构为 FY 发烟剂装在上边, HG94 发烟剂装在下边时,对红外干扰效果比其它结构好,也验证了这种解释。所以,根据弹的用途要求不同,使用的弹体材料和炸药不同时,爆炸产生的热量和气体大小也不同,对 FY 发烟剂成烟率和沉降速度也会有影响,应根据实际效果作调整。

(2) 在复合干扰发烟剂的复合配比、装药结构和炸药量的研究中,测定有效干扰时间时,使用的目标是开着发动机的大卡车,由于目标位置较低,又不易抬高,烟幕上升后就很快离开了目标,因此有效时间的测试数据都偏低,不过,由于在研究过程中都是在相同条件下测试的,作相对比较还是可以参考的。

(3) 复合干扰发烟剂中磷烟的表现遵照吸湿材料预计的模式,烟颗粒质量半径由于气溶胶凝结的缘故随时间增大,质量也随时间增加,所以其发烟效率一般都会高出 100%。

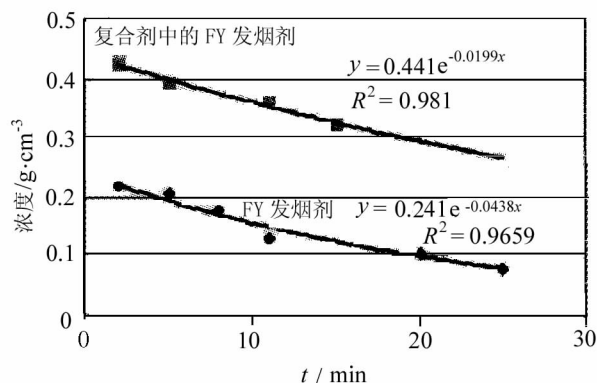


图 2 烟幕浓度随时间的变化曲线图

Fig. 2 Varying curves of smoke concentration with time

6 结 论

本课题研制出的复合干扰发烟剂,采用 HG-94 磷基发烟剂与 FY 红外干扰发烟剂重量比为 2 : 1,装药结构采用 FY 红外干扰发烟剂在上, HG-94 磷基发烟剂在下,复合干扰发烟剂与炸药重量比为 40 : 1 时,分散后不仅对可见光有良好遮蔽效果,而且对激光、中、远红外光也具有良好的干扰作用。

Studies on the Application Techniques of Explosion-dispersed Composite Interfering Smoke Agents

YIN Xi-feng, CHEN Yu-zhong, CHEN Hong-da, WU Yu

(Institute of Chemical Defense, Beijing 102205)

Abstract: The application techniques of the composites and the mass ratio of phosphorus-based smoke agent(HG94) to infrared interfering smoke agent(FY) in the composites were studied, and the smoke screen performances were tested. Under the conditions that the mass ratio of HG94 to FY in the composite is 2 : 1 and that of the composite to the explosive is 40 : 1, and the FY powder is charged above the HG94 cake, the composite possesses not only screening effects on visible lights but also interfering functions to laser, mid-IR and far-IR lights.

Key words: smoke agent; interference; screening