

文章编号: 1006-9941(2007)02-0155-03

氧化剂对红磷烟幕抗 10.6 μm 激光性能的影响研究

郑付兴¹, 王玄玉², 宋 黎², 王晓阳³

(1. 防化指挥工程学院 14 队, 北京 102205;

2. 防化指挥工程学院烟火装备教研室, 北京 102205; 3. 96117 部队, 山东 莱芜 271100)

摘要: 在红磷发烟剂中分别加入四氧化三铁、三氧化二铁、氧化锰、硝酸铯、硝酸铟等氧化剂和可燃剂金属镁配制成六种发烟剂, 在烟幕试验柜中测试了这六种不同配方烟幕的成烟时间、沉降速度和对 10.6 μm 激光消光系数。研究表明, 硝酸铯或硝酸铟作氧化剂时, 烟幕的成烟时间分别为 20 s 和 15 s, 沉降速度分别为 0.0021 m·s⁻¹ 和 0.0019 m·s⁻¹, 可以改善发烟剂的燃烧性能, 而且烟幕对 10.6 μm 激光的消光能力提高了 41.9% 和 38.7%, 因此, 硝酸铟更适合作红磷烟幕的氧化剂。

关键词: 应用化学; 氧化剂; 红磷烟幕; 10.6 μm 激光; 消光性能; 硝酸铟

中图分类号: TJ53; TQ567.5

文献标识码: A

1 引言

红磷烟幕是目前各国军队装备的最主要发烟剂种类之一, 国内外都将红磷发烟剂作为一个重要的研究方向^[1]。大量实验表明, 红磷烟幕对 10.6 μm 红外激光具有明显的削弱作用^[2], 但红磷发烟剂的燃烧速度较慢, 不能满足战时要求快速成烟的需求^[3], 因此需要在红磷烟幕中添加适当的氧化剂来满足战场需求。本实验利用烟幕试验柜进行红磷发烟试验, 并测试了在添加不同强度氧化剂后红磷烟幕对二氧化碳激光机发射的 10.6 μm 激光的消光系数。

2 烟幕抗激光性能的测试方法及原理

目前, 评价烟幕消光特性的指标主要有透过率、消光系数和遮蔽能力, 根据实际条件, 本试验采用消光系数作为评价指标, 测试简图如图 1 所示。

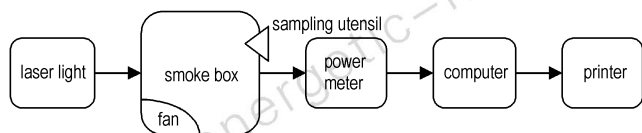


图 1 抗激光烟幕性能测试系统图

Fig. 1 Anti-laser smoke screen performance test system

依据文献[4], 消光系数计算遵循朗伯—比尔定律:

$$I = I_0 e^{-\mu L} \quad (1)$$

于是:

$$M_c = \frac{\eta}{c} = -\frac{1}{c \cdot L} \ln \left[\frac{I}{I_0} \right] = -\frac{1}{c \cdot L} \ln \left[\frac{P}{P_0} \right] = -\frac{1}{c \cdot L} \ln T \quad (2)$$

式中, M_c 为质量消光系数, $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$; I_0 、 I 分别为入射光和透射光的辐射强度, W ; P_0 、 P 分别为入射激光和透射激光的功率, W ; c 、 L 分别为对应的烟幕浓度, $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ 和光程长, m ; T 为一定波段下烟幕的透过率, %。

在烟幕试验柜中进行的测试, 通常 L 是已知的, 经过搅拌后烟幕的浓度被认为是均匀分布的。因此, 只要测定激光穿透烟幕后的透过率 T , 就可根据式(1)计算出烟幕对激光的质量消光系数, 并据此对氧化剂进行选择 and 评价。

3 实验部分

3.1 发烟剂的配方组成

本试验以红磷、镁粉及氧化剂为主要组分, 配制了 6 种发烟剂(见表 1)。实验时按一定规律改变氧化剂的成分和配比并野外进行点火与发烟试验, 然后根据各种配方的野外点火特性、成烟效果、燃烧速度等直观现象确定若干有效配方。

3.2 实验设备

烟幕实验柜, 采用自行设计的中型烟幕实验柜^[5], 烟幕柜总体积 5.58 m^3 , 最大光程 2.42 m ; CY-CO₂-40 型激光机, 波长 10.6 μm , 最大功率大于 40 W , 可整机移; LP-102A 激光功率计, 配备 2, 20, 200 W 三个不同量程传感器, 光谱范围, 0.3 ~ 11 μm ; FC-IV 型粉尘采样器, 最大双道流量 2 $\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 可调, 采用超细

收稿日期: 2006-05-25; 修回日期: 2006-11-29

作者简介: 郑付兴(1982-), 男, 硕士, 主要从事军事化学和烟火技术研究。e-mail: zfx0622@sina.com

纤维膜采样; AE200 万分之一天平。

表 1 六种发烟剂的配方

Table 1 The proportion of six kinds of smoke

sample	ingredient						
	RP	Fe ₃ O ₄	Fe ₂ O ₃	MnO ₂	CsNO ₃	Sr(NO ₃) ₂	Mg
1#	100	-	-	-	-	-	-
2#	50	34	-	-	-	-	16
3#	50	-	20	-	-	-	30
4#	55	-	-	25	-	-	20
5#	59	-	-	-	24	-	17
6#	60	-	-	-	-	23	17

3.3 测试步骤

(1) 在烟幕试验箱一端窗口外安装 10.6 μm 二氧化碳激光器, 对应的另一端安装激光功率计并连接至电脑。

(2) 按比例配制 10 g 发烟剂(散药)置于中型烟幕试验箱中, 接好点火用导线。

(3) 记录烟幕柜内温、湿度, 并密封烟幕试验箱各个工作窗口。

(4) 开启激光, 待激光稳定采集本底功率数据。

(5) 启动点火装置进行发烟, 等发烟剂完全燃烧后, 低速搅拌 1min 后, 同步采集烟幕浓度和激光穿透烟幕后的功率数据。

(6) 实验完成后关闭激光机, 并排空烟幕试验箱。

重复(2)~(6)步, 对所研究的发烟剂形成的烟幕进行测试评价。

4 实验结果与讨论

4.1 实验结果

表 2 为 6 种含不同氧化剂的发烟剂对 10.6 μm 激光消光系数的测试结果(实验条件: 温度为 24 ℃, 湿度为 40%, 初始功率 P_0 为 0.996 W), 图 2 为释放烟剂后的激光功率随时间的变化曲线。每组实验都进行了 5 次, 所取数据为实验结果的中间值。

表 2 含不同氧化剂红磷烟幕对 10.6 μm 激光的消光系数

Table 2 Extinction coefficient of red phosphorus smoke with different kinds oxidant to 10.6 μm laser

sample	t / s	v_d / m · s ⁻¹	P / W	C / g · m ⁻³	M_c / m ² · g ⁻¹
1#	30	0.00059	0.28	1.7	0.31
2#	15	0.0018	0.41	1.20	0.31
3#	15	0.0022	0.096	2.9	0.33
4#	15	0.001	0.54	0.72	0.35
5#	20	0.0021	0.15	1.9	0.44
6#	15	0.0019	0.39	0.9	0.43

Note: t is smoking time; v_d is sedimentation rate.

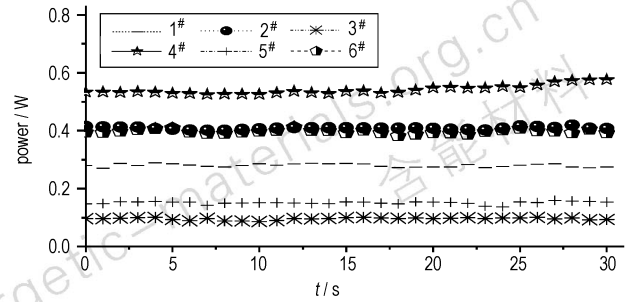


图 2 释放烟剂后的激光功率的变化曲线

Fig. 2 Laser power curve of smoke

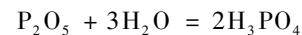
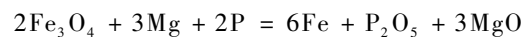
表 2 中, 消光系数 M_c 是利用公式(2)计算得到的, 沉降速度是利用 FC-IV 型粉尘采样器采集不同时刻烟幕浓度, 利用公式(3)计算得到的。

$$v_d = \frac{H}{t_2 - t_1} \ln\left(\frac{c_1}{c_2}\right) \quad (3)$$

式中, v_d 为沉降速度, $m \cdot s^{-1}$; H 为烟箱高度, m ; t_1 、 t_2 分别为两次采集的时间, s ; c_1 、 c_2 分别为两次采集的浓度, $g \cdot m^{-3}$ 。

4.2 讨论

(1) 加入氧化剂后, 红磷烟幕的成烟时间明显加快, 反应加剧, 由开始的 30 s 到 15 s 左右, 其中 5# 烟剂成烟时间相对较长。以 2# 为例, 理论分析其发烟过程为:



说明加入氧化剂后, 氧化剂提供了燃烧时所需要的氧气, 加速了红磷烟幕的燃烧, 成烟时间明显缩短。实验过程中还发现, 如果加入的氧化剂量过多, 会导致红磷燃烧非常剧烈, 但是成烟较少, 这对烟幕的使用是不利的, 因此实验中应当调整氧化剂与可燃剂的配比。计算 2# 烟剂中的氧化剂与可燃剂的质量比为 2.2: 1, 与配方中比例相当。

(2) 加入氧化剂后, 2#、3# 和 4# 烟剂对 10.6 μm 激光的消光系数变化不明显, 5# 和 6# 烟剂明显增大, 分别达到了 $0.44 m^2 \cdot g^{-1}$ 和 $0.43 m^2 \cdot g^{-1}$ 。相比 1# 发烟剂而言, 5# 和 6# 发烟剂对 10.6 μm 激光的消光能力提高了 41.9% 和 38.7%。为了解其反应原理, 实验中测定了 1# 和 2# 烟剂形成烟幕的红外光谱(图 3), 发现 2# 烟幕的红外光谱与 1# (纯红磷烟幕) 及其相似, 说明在对 2#、3# 和 4# 烟剂中添加氧化剂, 主要只是缩短了烟幕的形成时间, 而对烟幕的遮蔽效果影响不大, 该类发烟剂形成的烟幕仍然以磷烟消光为主。

(3) 由表格 2 可以看出,综合各种因素而言,5[#]和 6[#]烟剂的对 10.6 μm 激光的消光效果最好,说明以硝酸铯和硝酸锶作红磷烟幕的氧化剂是比较理想,查阅硝酸铯、纯硝酸锶的红外图谱,可以发现两种物质在 10.6 μm 附近的吸收峰比较宽,透过率也比较低^[3],该类烟剂形成烟幕的具体成分有待进一步的分析,推测最终产物为磷酸以及磷酸盐,如偏磷酸铯,磷酸二氢铯和二磷酸二氢铯等。并且与硝酸铯相比,硝酸锶的成烟时间较快,沉降速度较慢,所以硝酸锶更适合作红磷烟幕的氧化剂。

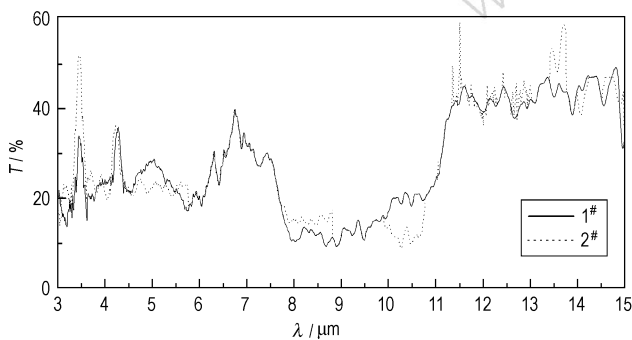


图 3 1[#]、2[#]发烟剂的红外谱图

Fig. 3 Infrared spectra of 1[#] and 2[#]

5 结 论

在红磷烟幕中加入适量的氧化剂能加快烟幕的形

成,硝酸铯和硝酸锶作氧化剂时还能提高烟幕的消光性能,综合消光系数、沉降速度、成烟时间等参数,发现硝酸锶更适合作红磷烟幕的氧化剂,为红磷烟幕寻找理想的氧化剂提供了理论依据。

参考文献:

- [1] 周遵宁. 燃烧型抗红外发烟剂配方设计及应用研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2003.
Zhou Zun-ning. Composition design and application research on pyrotechnic anti-infrared smoke agent[D]. Nanjing: Nanjing university of science&technology, 2003.
- [2] 王玄玉,潘功配. 红磷烟幕对 10.6 μm 激光的消光系数测试研究. 红外与激光工程, 2005, 12: 635 - 637.
WANG Xuan-yu, PAN Gong-pei. Study and test of extinction coefficient of red phosphorus smoke to 10.6 μm laser emission[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 12: 635 - 637.
- [3] 王晓阳. 红磷基烟幕对 10.6 μm 激光的干扰特性研究[D]. 北京: 防化指挥工程学院, 2005.
Wang Xiao-yang. Study on the disturbance capability of phosphorus - derived smoke to 10.6 μm laser[D]. Beijing: Institute of chemical defense, 2005.
- [4] 陈海平. 烟幕技术基础[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2002.
Chen Hai-ping. The basic of soke technology[M]. Beijing: Beijing Weapons Industry Press, 2002.
- [5] 陈海平,王玄玉,安刚. 2.4 × 1.5 × 1.3 m³ 烟幕柜的设计及应用[J]. 防化学报, 1999, 4: 34 - 38.
CHEN Hai-ping, WANG Xuan-yu, AN Gang. The design and application of 2.4 × 1.5 × 1.3 m³ smoke chamber[J]. *Journal of Chemical Defense*, 1999, 4: 34 - 38.

Effects of Oxidants on RP Smoke to Anti-10.6 μm Laser

ZHENG Fu-xing¹, WANG Xuan-yu¹, SONG Li¹, WANG Xiao-yang²

(1. Institute of Chemical Defense, Beijing 102205, China;

2. Unit 96117, Laiwu 271100, China)

Abstract: Six kinds of RP smokes mixed with difference oxidants including Fe_3O_4 , Fe_2O_3 , MnO_2 , CsNO_3 , SrNO_3 and combustible Mg were prepared seperatly, Their smoke shaping times, sedimentation rates and extinction coefficients to 10.6 μm laser were tested in a smoke chamber. Results show that the smoking time RP smoke with CsNO_3 and SrNO_3 are 20 s and 15 s, and the sedimentation rate are $0.0021 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and $0.0019 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, and the extinction coefficient to 10.6 μm laser increase 41.9% and 38.7% respectively. SrNO_3 is better as oxidant for RP than CsNO_3 .

Key words: applied chemistry; oxidant; red phosphorus smoke; 10.6 μm laser; extinction efficiency; SrNO_3