

文章编号:1001-5078(2008)09-0913-03

· 光电对抗 ·

纳米铁粉烟幕对 $1.06\mu\text{m}$ 和 $10.6\mu\text{m}$ 激光的消光特性研究

刘香翠, 郑卫平

(防化研究院第五研究所, 北京 102205)

摘要:在烟幕性能测试评价实验室中测试分析了纳米铁粉作为烟幕干扰材料对 $1.06\mu\text{m}$ 和 $10.6\mu\text{m}$ 激光的消光特性。在容积为 20m^3 的烟箱中分别喷撒 30g 纳米铁粉, 通过测量其在不同时刻的激光透过率和烟幕质量浓度, 测得纳米铁粉对 $1.06\mu\text{m}$ 和 $10.6\mu\text{m}$ 激光的质量消光系数分别为 $1.833\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, $1.474\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, 表明纳米铁粉对双波长激光均具有显著的干扰效果。

关键词:纳米铁粉; 激光; 烟幕; 消光系数

中图分类号: O434.14 **文献标识码:** A

Study on Extinction Characteristic of Nano-Fe Powders Smoke Screen to $1.06\mu\text{m}$ and $10.6\mu\text{m}$ Laser

LIU Xiang-cui, ZHENG Wei-ping

(The Fifth Division, Research Institute of Chemical Defense, Beijing 102205, China)

Abstract: The extinction characteristic of nano-Fe powders smoke screen to $1.06\mu\text{m}$ and $10.6\mu\text{m}$ laser was tested in our "Laboratory of Test of Smoke Screen Character". After 30g nano-Fe powders were sprayed into 20m^3 smoke screen chamber, their transmission rate of laser and mass concentration were measured in different time. Consequently, the mass extinction coefficients of nano-Fe powders to $1.06\mu\text{m}$ and $10.6\mu\text{m}$ laser were calculated, which were $1.833\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ and $1.474\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$. The experiment results showed that nano-Fe powder had excellent interference capability to $1.06\mu\text{m}$ and $10.6\mu\text{m}$ laser.

Key words: nano-Fe powders; laser; smoke screen; extinction coefficient

1 引言

激光制导武器系统以其攻击精度和作战效费比高等特点, 在现代战争中被广泛运用。而烟幕是简单有效的激光无源干扰手段之一, 它通过对入射激光信号的散射和吸收, 削弱其能量, 以降低敌方激光武器系统的效能^[1-2]。但军用激光制导系统常用的是波长为 $1.06\mu\text{m}$ 的短波红外激光和 $10.6\mu\text{m}$ 的长波红外激光, 为适应对抗多波段激光侦察和制导的需要, 烟幕应具有宽波段的干扰能力。目前, 国内外主要是利用单波段发烟剂进行组合, 最终形成广谱干扰烟幕。由于多种烟幕材料制造成本高、装配工艺繁琐, 需要解决各组分间的相容性、稳定性及成烟

均匀度问题。同时, 欲遮蔽的频段越宽, 烟幕粒子的尺度变化范围越大, 干扰机理越复杂, 衰减与悬浮时间的矛盾就越突出, 因此迫切需要寻找研究新的宽波段烟幕干扰材料。此时, 纳米材料的飞速发展为我们提供了新的选择。

纳米粒子通常指粒径在 $1 \sim 100\text{nm}$ 的超细微粒, 由于纳米材料的量子尺寸效应、宏观量子隧道效应、表面效应等特殊性质而导致光、磁、介电、超导等

作者简介: 刘香翠(1977-), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向为军事化学与烟火技术。E-mail: liuxiangcui2001@yahoo.com.cn

收稿日期: 2008-03-05

特性,研究表明^[3],一些纳米材料具有吸波性能好、吸波频带宽等优点,已经在隐身涂料中得到了应用,有望成为一种理想的宽波段烟幕干扰材料。

常规微米金属粉对激光信号均具有较好的消光特性,但是其比重较大,应用于伪装烟幕中,具有悬浮时间短的缺点。而纳米金属粉极细小、非常轻,有利于快速成烟,另有研究表明,气溶胶的颗粒越大,下降越快,当粒子半径在 $1\mu\text{m}$ 以下时,半径每减少一个数量级,其下降速率减少两个数量级,因此采用纳米金属粉作为烟幕干扰材料有望显著增加留空时间。本文在烟幕性能测试评价实验室中测试分析了纳米铁粉烟幕对 $1.06\mu\text{m}$ 和 $10.6\mu\text{m}$ 激光的消光特性,结果表明,纳米铁粉烟幕对两种波长的激光均具有显著的消光效果,是一种极具潜力的宽波段烟幕干扰材料。

2 烟箱实验

2.1 实验材料

选用纳米铁粉作为实验用材料,其外观呈规则的圆球形,粒径分布均匀,分散性好,粉体纯度高。性能参数如表1所示。图1为纳米铁粉的透射电子显微镜(TEM)照片。

表1 纳米铁粉性能参数

纯度 /%	粒径范围 /nm	平均粒径 /nm	比表面积 $/(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	松装密度 $/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	形状
99.9	10~60	25	40~60	0.10~0.25	球形

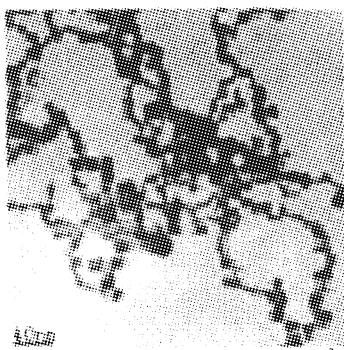


图1 纳米铁粉的TEM照片

2.2 主要实验仪器

20m^3 ($6.1\text{m} \times 2.0\text{m} \times 1.8\text{m}$) 烟箱实验室:包括称量设备、喷撒装置、搅拌装置、采样系统等。

激光双波长测试系统:输出波长为 $1.06\mu\text{m}$ (平均输出功率大于 50mW) 和 $10.6\mu\text{m}$ (平均输出功率大于 10W),信号处理系统直接显示透过率,每秒钟采集一个数据。

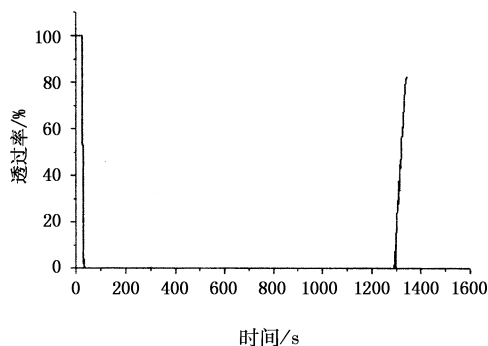
2.3 实验方法

在 20m^3 烟箱实验室中,当激光发射器和接收系统调试好后,首先采集本底透过率,接着利用高压气流将 30g 纳米铁粉通过气动喷嘴快速喷撒到烟箱中,喷撒结束时,启动烟箱内对角处的两台轴流式风扇,对所形成的烟幕搅拌 20s ,以确保整个烟箱内的烟幕处于均匀状态,同时采集激光穿过烟幕后的功率数据。然后启动烟幕质量浓度采样装置开始浓度采样,采样时间为 1min ,间隔 2min ,共采样 2 次。测试结束后,打开烟箱门,启动排烟装置,将烟箱内的残余烟幕粒子抽空,再进行下一次测量。

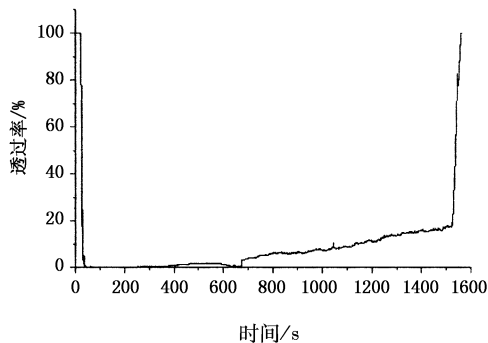
3 实验结果与讨论

3.1 激光透过率

30g 纳米铁粉喷入烟箱,测得的 $1.06\mu\text{m}$, $10.6\mu\text{m}$ 激光透过率随时间的变化关系如图2所示。从图中可以看出,透过率随着纳米铁粉的喷撒急剧下降,测量数据表明,在烟幕喷撒开始 15s 之内,透过率均下降到小于 1% ;随着时间的推移,透过率变化比较平稳,对 $1.06\mu\text{m}$ 激光的衰减好于对 $10.6\mu\text{m}$ 激光的衰减。



(a) $1.06\mu\text{m}$ 激光透过率曲线图



(b) $10.6\mu\text{m}$ 激光透过率曲线图

图2 纳米铁粉烟幕对双波长激光的透过率曲线图

3.2 质量消光系数

烟幕对激光的散射和吸收衰减总体上称为消光,消光性能常用质量消光系数 $\alpha(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$ 描述,

材料的消光系数越大,说明衰减效果越好。设入射激光束强度为 I_0 ,透过烟幕以后的光强为 I ,根据 Lambert-Beer 定律,则有:

$$T = \frac{I}{I_0} = \exp(-\alpha C_m L) \quad (1)$$

式中, T 为透过率; C_m 为烟幕质量密度, $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$; L 为光程,m。式(1)说明,在烟幕浓度和厚度一定的情况下,对一定强度的入射激光,透过率由消光系数 α 决定,所以, α 是评价烟幕消光性能的基本依据。根据公式(1),消光系数的计算公式为:

$$\alpha = \frac{1}{C_m L} \ln \frac{1}{T} \quad (2)$$

因此,根据烟幕的质量浓度、透过率和光程 ($L=6.1\text{m}$),可以计算烟幕干扰材料的质量消光系数。

利用滤膜称重法计算不同时刻的平均采样质量浓度,再对采样时间段的透过率取平均值,代入式(2)便得到不同时间段的质量消光系数,如表 2 所示。烟幕质量浓度 C_m 按式(3)计算:

$$C_m = \frac{w - w_1}{v} = \frac{w - w_1}{Q \cdot t} \quad (3)$$

式中, w_1 为空白滤纸质量; w 为采样后的滤纸质量; v 为采样体积; Q 为采样流量 ($40\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$); t 为采样时间(1min)。

表 2 纳米铁粉烟幕对双波长激光的消光系数

采样时段 /min	平均质量浓度 $C_m/(\text{g} \cdot \text{m}^{-3})$	1.06μm			10.6μm		
		透过率 $T/\%$	消光系数 $\alpha/(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	平均消光系数 $\alpha/(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	透过率 $T/\%$	消光系数 $\alpha/(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$	平均消光系数 $\alpha/(\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1})$
1~2	0.707	0.0370	1.832	1.833	0.177	1.470	1.474
4~5	0.563	0.183	1.835		0.621	1.480	

从表 2 可以看出,纳米铁粉形成的烟幕对 1.06μm 激光和 10.6μm 激光的质量消光系数都大于 $1\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$,具有显著的消光效果。以往的烟箱测试表明^[4~10],常规的 HC 和红磷烟幕在 8~14μm 红外波段的消光系数约为 $0.1\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;雾油烟幕对 10.6μm 激光的消光系数约为 $0.13\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;常规赤磷发烟剂对 10.6μm 激光的消光系数为 $0.603\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;包覆后的超细 ($<5\mu\text{m}$) 赤磷发烟剂对 10.6μm 激光的消光系数为 $1.33\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$;微量子量的常规石墨粉对 1.06μm 和 10.6μm 的激光,消

光系数为 $0.6\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $0.7\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 。本文的测试结果表明,纳米铁粉形成的烟幕对 1.06μm 和 10.6μm 激光的消光性能明显优于以上常规发烟剂。

3.3 沉降速度

烟幕的悬浮特性与沉降速度有关,通过对沉降速度的计算,可得知烟幕的悬浮特性。悬浮性好的烟幕其有效干扰时间就越长。烟幕沉降速度 V_d 的计算公式为:

$$V_d = \frac{H}{t_2 - t_1} \cdot \ln \frac{C_1(t_1)}{C_2(t_2)} \quad (4)$$

式中, H 为烟幕高度 ($H=1.8\text{m}$); $C_1(t_1)$ 为 t_1 时的烟幕质量浓度; $C_2(t_2)$ 为 t_2 时的烟幕质量浓度。

经计算,纳米铁粉的沉降速度为 $3.416 \times 10^{-3}\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$,具有良好的悬浮特性。

4 结 论

纳米铁粉具有粒径小、比表面积大、吸波性能好等优点。烟箱测试表明,纳米铁粉作为烟幕干扰材料,对 1.06μm 和 10.6μm 激光的消光性能均很好,且在空中具有良好的悬浮特性,是一种极具潜力的宽波段烟幕干扰材料,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 陈丽,李涛,李青. 烟幕对激光制导武器的影响[J]. 战术导弹技术,2004,(4):66-67.
- [2] 张洪斌,苏五星,张祥军,等. 激光无源干扰技术及其研究[J]. 红外,2005,(7):13-17.
- [3] 张立德,牟季美. 纳米材料和纳米结构[M]. 北京:科学出版社,2001:516-519.
- [4] 王玄玉,潘功配. HC 基新型抗红外发烟剂研究[J]. 含能材料,2005,13(3):173-178.
- [5] 安刚,王玄玉,余世魁,等. 雾油烟幕干扰 10.6μm 激光性能研究[J]. 激光与红外,2007,37(3):266-267.
- [6] 王玄玉,潘功配. 几种烟幕对 CO_2 激光的衰减性能研究[J]. 激光与红外,2006,36(2):144-146.
- [7] 鞠剑峰,徐铭,李澄俊. 超细赤磷的安定性及发烟剂烟幕对 10.6μm 激光的消光性能[J]. 含能材料,2007,15(1):76-78.
- [8] 王玄玉,潘功配. 红磷烟幕对 10.6μm 激光的消光系数测试研究[J]. 红外与激光工程,2005,34(6):636-640.
- [9] 任慧,焦清介,崔庆忠. 烟幕剂 $\text{CuCl}_2\text{-FeCl}_3\text{-GIC}$ 干扰电磁波性能研究[J]. 兵器材料科学与工程,2005,28(5):7-10.
- [10] J C Owrrutsky, D A Steinhurst, H D Ladouceur, et al. Obscurants for infrared countermeasures III [R]. ADA 387724, March 9, 2001.