

雾化幕障宽波段消光性能研究

杜雪峰^{1,2}, 潘功配¹, 曲家惠², 赵新颖², 张旗³

- (1. 南京理工大学 化工学院 308 教研室, 江苏 南京 210094;
2. 沈阳理工大学 装备工程学院, 辽宁 沈阳 110159;
3. 国家电网辽宁省电力有限公司营口供电公司, 辽宁 营口 115000)

摘要: 现有宽波段干扰技术普遍存在作用时间太短、干扰波段不够宽等问题, 为此研究了新型的雾化幕障干扰技术。研究了其多波段干扰原理、原料配方, 并针对可见光、激光、红外、毫米波和厘米波段光源进行消光性能实验研究。实验结果表明: 泡径为 2~3 mm 厚 50 cm 的雾化幕障, 可完全屏蔽可见光和激光信号, 红外透过率小于 5%; 对毫米波和厘米波信号也能达到良好的遮蔽效果, 高效干扰时间在 20 min 以上, 是一种有潜质的宽频无源干扰介质。

关键词: 光电对抗; 中远红外; 消光; 红外光谱

中图分类号: TN976 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2015)02-0445-04

Study on broad band extinction performance of atomized screen

Du Xuefeng^{1,2}, Pan Gongpei¹, Qu Jiahui², Zhao Xinying², Zhang Qi³

- (1. 308 Researches, School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;
2. School of Equipment Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China;
3. State Grid Yingkou Electric Supply Company, Yingkou 115000, China)

Abstract: A new jamming technology of atomized screen was studied to overcome the shortcomings of existing broad band jamming technology, such as the short acting time and the narrow jamming wave band. The theory of multiband jamming and the formula of atomized screen was introduced. The jamming effect on multiband such as visible light, laser, infrared, millimeter wave radar and centimeter wave radar has been tested. Necessary theory and experimental data were provided for the application of this technology. The experimental results show that visible light and laser could be shielded when the foam diameter of atomized screen was 2-3 mm and the thickness was 50 cm. Under the same conditions, the transmission of infrared was less than 5%, and the good screening effect was achieved on millimeter wave radar and centimeter wave radar. The high efficiency interfering time was above 20 min. The study shows that the new atomized screen was a potential wide frequency passive interfering medium.

Key words: photo-electricity countermeasures; middle and far infrared; extinction; infrared spectroscopy

收稿日期: 2014-06-10; 修订日期: 2014-07-03

基金项目: 国家自然科学基金(51076066)

作者简介: 杜雪峰(1979-), 男, 博士生, 主要从事军事化学与烟火技术、光电无源干扰方面的研究。Email: dxz-8018@163.com

导师简介: 潘功配(1945-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事军事化学与光电无源干扰等方面的研究。Email: pangongp@163.com

0 引言

随着探测制导技术的发展,双模制导及多模制导技术得到了快速发展及广泛应用。因此在军事科学领域急需发展新的遮蔽干扰技术来应对,近来相继出现一些针对红外及激光的双模诱饵弹、红外复合箔条、成像化假目标可燃组合型双模遮蔽烟幕、等新的干扰技术^[1-6],可以针对特定探测窗口的两种或者三种产生有效的遮蔽或干扰,但是长期困扰干扰遮蔽技术的多波段(宽波段)干扰技术(可以同时干扰常用探测窗口的可见光、激光、红外、厘米波和毫米波信号)仍然没有得到有效的解决。有些干扰技术虽然可以同时可见光、毫米波、红外波段产生干扰,但有效作用时间太短、难以真正覆盖全波段。军用水雾和水基泡沫^[6-9]是一种新型的无源光电干扰技术,与其他常规干扰手段和遮蔽技术相比,其有效遮蔽波段更宽,而且无毒、无污染、有效作用时间长、经济性好、安全性高,尤其适合固定目标的遮蔽和伪装,是一种非常有前景的新型无源光电干扰技术。

1 实验部分

1.1 雾化幕障的制备

将十二烷基硫酸钠(SDS)和脂肪醇聚氧乙烯醚硫酸钠(AES)按 7:3 的摩尔比进行复配,再将其混合体系和水配置为 0.01 mol/L 的水溶液,添加 3 g/L 的聚乙烯醇及部分功能添加剂形成起泡液。常温下配制成泡沫水溶液。将空气(由空气压缩机供给)与氦气(40 L 氦气瓶)按一定流量比例输入自制起泡机形成泡沫云,与自制超声起雾机形成的水雾结合形成雾化幕障。起泡机结构如图 1 所示,其外部尺寸为 0.3 m×0.15 m×0.1 m,底部分布 5×6 个喷头,喷头入

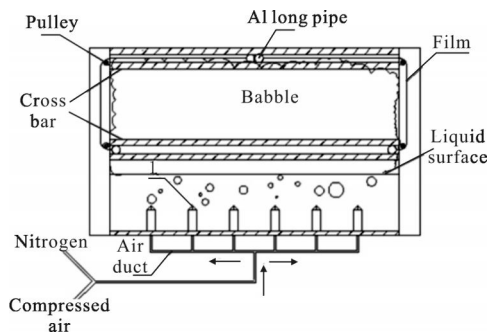


图 1 泡沫云起泡装置示意图

Fig.1 Foams generator

口由 pvc 管及三通阀联通至气源(泡沫云泡径受喷头规格影响)。起雾机外部尺寸 0.2 m×0.15 m×0.1 m,底部分布 5×6 个起雾头,箱体封闭,在上部开 10 cm 口,套长 1.5 m 的 pvc 管到处水雾。

1.2 主要仪器和测试方法

可见光测试:瞬变光源分光测试系统,工作波段为 0.4~1 μm,波长分辨率为 2.5 nm,波长精度为 2 nm,采样频率为 2 Hz (0.5 s/帧),测量照度范围在 300~10 000 lx 及其相应的辐照度范围,照度精度为 5% (相对 NIM 标准),电源 AC200 V~240 V/50 Hz/10 W;光源采用带稳压器的 20 W 白炽灯,所用稳压电源规格为 220 V/5 A。

激光衰减测试:中国科学院安徽光机所制造的激光烟幕测试仪,型号为 YC-1.06-1D (1.06 μm)、YC-10.6-1D(10.6 μm)。

红外光谱测试:德国 Bruker 公司的傅里叶变换红外遥测光谱仪 OPAG33,测试时设置监测器/分束器类型为 MCT/ZnSe,分辨率采用 1 cm⁻¹,扫描速度为 40 kHz;光源用上海福源 HFY200B 标准黑体,温度设置为 150℃,距离光谱仪为 2 m,光阑设置为 φ8 mm。

毫米波衰减测试:电子科技集团第五十研究所的毫米波辐射参数采集仪(3 mm、8 mm)。

厘米波衰减测试:HP 厘米波采集器,测试波段为 2 cm 和 3 cm。

测试原理如图 2 所示:在开阔室内场地中间放好起泡机,在四周各个方向连接好测试仪器,并将各波段测试仪器的接收器和发射器位置调整适当,使泡沫云在各波段测试光程中间位置。各波段信号源与接收器相距 3 m(激光相距 4 m)。可见光测试用白炽灯做信号源。

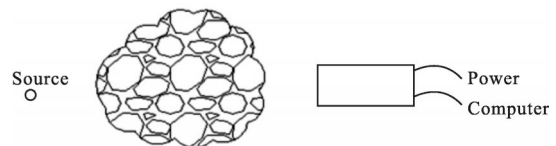


图 2 测试原理图

Fig.2 Principle of measurement

实验步骤:a 调试仪器位置及参数,并初始化各测试软件,准备取样测试;b 开启起雾机及起泡机,调整空氦比,形成泡沫云,直至形成适当泡径(在泡沫云团一侧树立铁架台,每个尺寸的喷头成泡后留

下照片以便对照分析泡径)和厚度(移动两侧隔膜间距确定尺寸)的泡沫云;c 同时测试各波段衰减效果;d 计算各波段的衰减效果。

2 结果与讨论

2.1 可见光和激光衰减

光路上施放一定厚度雾化幕障后开始同步测量可见光强度衰减和激光透过率,如图 3 和图 4 所示。

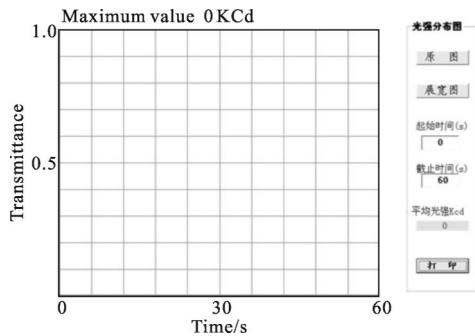


图 3 样品光强(雾化幕障厚 15 cm)

Fig.3 Specimen light intensity(at the thickness of 15 cm)

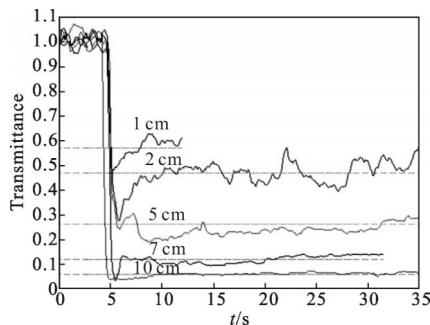


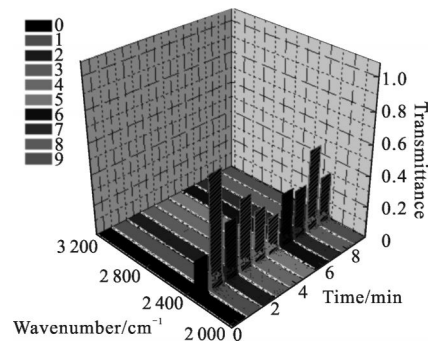
图 4 泡径分布 4~7 mm 各厚度泡沫团对 1.06 μm 激光衰减曲线
Fig.4 Laser decay curves at different thickness with the diameter of foam between 4~7 mm and 1.06 μm laser

实验发现, 0.4~1 μm 波段的可见光光强和辐射强度随着雾化幕障的生成迅速衰减; 泡沫直径为 2 mm~3 cm、厚度为 20~50 cm 的湿泡沫完全遮蔽光线持续时间长达 20 min 以上, 直到泡沫云厚度衰减为 15 cm 后才开始在光谱图上捕捉到光线透射的迹象。泡沫云厚度越大, 可见光光线透过率越小, 约 12~13 cm 厚的雾化幕障即可使其透过率低于 5%, 目标、背景难以区分。雾化幕障厚度在 10 cm 以上时, 1.06 μm 和 10.6 μm 波段的激光信号透过率为零, 当厚度衰减为 7 cm 时, 其透过率依然低于 10%。实验中还发现, 同等厚度雾化幕障中泡沫尺寸越小, 对可见光和激光的衰减效果越好, 当直径为 2~3 mm

时, 不到 10 cm 厚的雾化幕障即可完全屏蔽可见光和激光信号。雾化幕障对可见光和激光的衰减主要是由微米级水雾的瑞利散射和泡沫云的多界面散射、折射, 甚至全反射, 通过多界面后的出射光学是杂乱无章的, 光线的实际光程远大于目标到探测器的距离, 导致传播方向上可见光光线能量的锐减, 探测器所能捕捉到的光线能量将大大降低。另外, 雾化幕障中大量的水和添加剂等媒质对激光能量的吸收, 也是使其急剧衰减的一大主因。

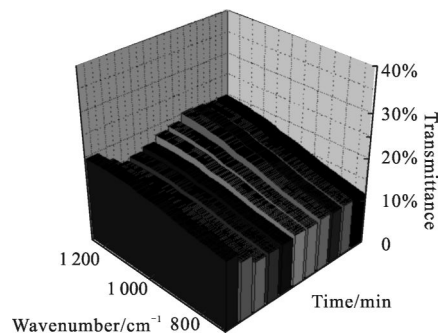
2.2 红外衰减

用傅里叶变换红外遥测光谱仪 OPAG33 记录背景单通道光谱图, 在形成 50 cm 厚雾化幕障后, 开始测定透过率, 记为零时刻, 之后每分钟测定一次, 连续监测一定时间, 其结果如图 5 所示。结果显示, 当雾化幕障稳定后, 对 3~5 μm 和 8~14 μm 波段的红外透射率均在 5% 以下, 就整个实验结果看, 3~5 μm 波段的衰减比 8~14 μm 波段的衰减更明显。通过对泡



(a) 3~5 μm 红外波段透过率变化光谱图

(a) Spectrogram of transmittance with infrared wave band between 3~5 μm



(b) 8~14 μm 红外波段透过率变化光谱图

(b) Spectrogram of transmittance with infrared wave band between 8~14 μm

图 5 50 cm 厚雾化幕障红外透过率随时间变化光谱图
Fig.5 Infrared transmittance vs time with the thickness of atomized screen is 50 cm

径为 4~7 mm,厚度为 15 cm 的泡沫团的红外透过率测试发现,其对红外波段的有效作用时间较长(如图 6 所示)。通过检测泡沫云不同衰减时间后的红外透过率发现,对比泡沫云形成初期及分别析液衰减 8 min 和 16 min 后的红外消光效果,发现经过 16 min 的析液破灭后,其红外透过率仍旧低于 20%,可见泡沫团的有效作用时间较长。通过实验还发现,雾化幕障对红外波段的衰减,主要是由于水雾的吸收散射及泡沫云的多界面上复杂的散射、折射色散等作用。 H_2O 和 CO_2 及添加剂引入的 $-COO-$ 、 $-OH$ 及大量存在的氢键等官能团在各红外波段的本征吸收对红外信号衰减也起着重要作用。另外,泡沫尺寸越小,对红外的衰减越大。实验发现,在 2370cm^{-1} 波段附近存在一个波峰,通过输送不同气体进行实验,分析可能是由于空气中的 N_2 是对称分子结构,“无”红外活性导致的。输入空气或 CO_2 时,此处的波峰明显减弱或消失。

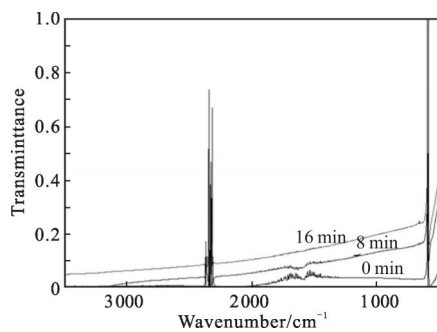


图 6 不同时段红外透过率光谱图(厚度 15 cm,泡沫直径 4~7 mm)

Fig.6 Infrared transmittance of different time Bucket (at the thickness of 15 cm, diameters range of 4~7 mm)

2.3 毫米波和厘米波衰减

将通毫米波和厘米波发射天线和接收天线呈面对面布置,保持发射功率不变,首先测试未施放雾化幕障时接收设备的接收功率,然后施放雾化幕障,实时监测接收功率的变化器结果如表 1 所示。

表 1 不同厚度雾化幕障对毫米波和厘米波的衰减平均值

Tab.1 Average of millimeter-wave and centimeter-wave decay with different thickness of atomized screen

| Thickness of atomized screen/cm | 3 mm wave decay/dB | 8 mm wave decay/dB | 2 cm wave decay/dB | 3 cm wave decay/dB |
|---------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 20 | 14.9 | 14.3 | 2.3 | 8.5 |
| 60 | 26.3 | 31.4.3 | 12.5 | 17.4 |
| 80 | - | - | 29.9 | 18.1 |

表 1 结果表明,雾化幕障对毫米波和厘米波有良好的衰减效果。当雾化幕障厚度达到 60 cm 时,对毫米波和厘米波的衰减都在 12 dB 以上,一般认为目标已经消失在噪声背景中。通过实验发现,微米级的雾滴对毫米波和厘米波基本没有衰减效果,雾化幕障对毫米波和厘米波的衰减,主要由泡沫云的多界面散射、折射完成。另外,加入一些对毫米波和厘米波有特殊衰减效果的功能添加剂,对其衰减效果有显著的影响。

3 结论

通过对雾化幕障全波段的遮蔽效果测试发现,雾化幕障对可见光、红外、激光、毫米波及厘米波均有良好的衰减效果,认为雾泡体系中的雾滴的散射吸收、表面活性剂和大量水分的本征吸收,及泡沫云的特殊多面体结构是造成电磁波强烈衰减的主要原因。雾化幕障具有产生方便、价格低廉、流动性好、适配性好且无污染等优点,是一种比价有潜力的宽波段无源光电干扰介质。

参考文献:

- [1] Giglia R D. Radar and infrared-detectable structural simulation: US, 5092244[P]. 1992-05-1.
- [2] Embury Jr. Method for creation a one way visible screening smoke: US, 5682010[P]. 1997-03-27.
- [3] Stevens, Ward C. Metal-coated substrate articles responsive to electromagnetic radiation and method for making and using the same: US, 60170626[P]. 2000-07-19.
- [4] Bickford, et al. Structure including a partially electrochemically reduced halogenated polymeric containing layer and electrically conductive pattern: US, 5874154[P]. 1998-11-26.
- [5] Krone Uwe U. Pyrotechnic smoke generator for camouflage purpose: DE, 4337071[P]. 1995-03-02.
- [6] Jin Liangcan, Wang Xiaotong, Yang Chengqing, et al. Study on optics attenuation with foam interfering screens [J]. *Acta Optics Sinica*, 2005, 25(2): 237-240. (in Chinese)
- [7] Zhao Jun, Pan Gongpei, Chen Xin. A novel potential medium of broadband PPECM: aqueous foam[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, 36(3): 425-429. (in Chinese)
- [8] Xu Bo, Shi Jiaming, Wang Jiachun, et al. Calculation and analyzing of the extinction characteristics of the water fog [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 34(1): 38-41. (in Chinese)
- [9] Zhu Chenguang, Lv Huiping, Wei Feng, et al. Research on mechanism of obscuring of micro-bubble fog in infrared waveband [J]. *Infrared Technology*, 2012, 34 (6): 356-360. (in Chinese)