

文章编号:1001-9014(2004)05-0413-05

基于泡沫云的红外/毫米波复合制导干扰技术研究

金良安, 王孝通, 童幼堂, 付建国, 狄国希

(海军大连舰艇学院 一系, 辽宁 大连 116018)

摘要:针对现有多波段干扰技术存在的作用时间太短、干扰波段不够宽、对环境有污染等问题,提出了基于泡沫云的新型干扰技术,研究了它的多波段干扰原理和相应的药料配方以及特定的反应过程,研制了专用的施放装置并给出了它的设计要领.实验结果表明该技术可以同时干扰红外、雷达和可见光进行高效干扰,有效干扰时间至少在十几 min 以上,并且其残留物对环境无污染.

关键词:多波段干扰;泡沫云;原理;实验;特性

中图分类号:TN97 **文献标识码:**A

NEW DISTURBING TECHNIQUE BASED ON FOAM SCREEN TO IR/MMW GUIDANCE

JIN Liang-An, WANG Xiao-Tong, TONG You-Tang, FU Jiao-Guo, DI Guo-Xi

(No. 1 Department, Dalian Naval Academy, Dalian 116018, China)

Abstract:The techniques of disturbing on IR and MMW guidance have some shortcomings, such as too short of disturbing time, not wide enough of disturbing range, their severe pollution etc. In order to overcome these shortcomings, a new technique of disturbing was put forward. It is based on a special smoke screen with foams. Its disturbing mechanism, the special prescription and the special process of reaction were studied. And a special equipment was manufactured. The results of tests show that the special foam screen can disturb IR and MMW and the visible light, and its disturbing time can be more than 10 minutes at least. The hangover of this foam screen has no pollution to environment.

Key words:disturb on IR and MMW guidance; foam screen; theory;test;performance

引言

以红外/毫米波复合为主要制导方式的精确制导武器,因为超常的作战威力,已成了现代战争的主角^[1].与此相应的多波段干扰技术研究也倍受重视,并已有了较多的成果,可归纳为两大类:一是组合式多波段干扰技术,即把干扰红外、雷达的两种不同技术通过一定方式组合在一起的干扰技术,如德国发明的可燃组合型多波段遮蔽烟幕,英法联合研制的 Sibyl 组合型多波段反舰导弹诱饵系统、美国研制的微波红外复合箔条和组合型多波段舰外干扰诱饵弹^[2],以及美、德均有大量装备的不可燃组合型多波段遮蔽烟幕^[3],都是典型的此类技术,还有美国专利 USP5092244(1992)、USP5682010(1997)、

USP60170626(2000)等所述的成像化假目标⁴⁻⁶也属于这一类.二是非组合式多波段干扰技术,即通过撒布各种尺寸的粒子来同时达到对可见光、红外和毫米波的干扰,各国一直致力于研究该技术但成效并不明显,已见报道并受到重视的是德国 Nico 公司发明的 NG19 多波段烟雾剂²,此外日本为延长干扰时间研究的以空心微粒代替实心颗粒的多波段干扰烟幕技术,也属于这一类.

然而,现有这两大类干扰技术都存在明显的不足,归纳起来主要有:(1)有效干扰时间普遍过短,第一类一般只有几 s,第二类的稍长但也不超过 1min,明显不能满足现代战争的需要,目前只得依靠连续不断地进行多次发射来弥补,但发射要求高,战时实施的难度大;(2)大多不能同时干扰可见光,包

收稿日期:2003-08-04,修回日期:2004-05-26

Received date: 2003-08-04, revised date: 2004-05-26

基金项目:国家自然科学基金(20176003)和国防基础性科研基金(435B956)资助项目.

作者简介:金良安(1966-),男,浙江黄岩人.副教授,博士,海军专业技术中校.主要从事化机和军事防护研究.

括对具有很高精度的电视制导也无法干扰,因为对可见光的干扰是基础,如果仍须与可见光干扰措施同时使用,势必又增加了实施的难度;(3)这些干扰技术通常还对环境具有较严重的污染.为此,本文特进行基于泡沫型烟幕(简称泡沫云)的长效无污染多波段干扰技术课题的研究,旨在提供一种可以克服现有技术这些不足的新型干扰技术.

1 技术原理与方法研究

1.1 多波段干扰原理设计

基本思想:根据红外、毫米波的有关特性,如果能在空中形成由大量特种泡沫连接成片,能够长时间飘浮,具有足够长度、高度和厚度的大面积泡沫云,则就可以实现对红外、毫米波复合制导的高效干扰对抗.为此,特别对其多波段高效干扰对抗的原理.设计如下.

1)对红外(含点源和成像)的干扰:利用泡沫云中的各种组分、分布物,特别是利用其中可以强烈吸收红外的大量的 H_2O 和 CO_2 对红外的吸收作用,达到高效干扰对抗的目的.

2)对雷达(特别是毫米波)的干扰:利用泡沫云中足够数量各种粒径的颗粒分布物,特别是利用大量泡沫连接形成的大面积致密片状物,有效反射、吸收、散射雷达波,达到高效干扰对抗的目的.

3)对传统的可见光(含激光)的干扰:利用泡沫云的白色烟雾状特性以及它所具有的足够的厚度,实现对可见光的完全遮挡.

1.2 药品原料的配方研究

为形成所需的大面积致密泡沫云,需通过一系列的化学反应来实现.为此,通过大量的实验研究,确定了由以下多种药品和原料组成的化学配方:

1)S-4 烟幕剂,即原来采用的以 HSO_3Cl 和 SO_3 按一定比例混合而成的液体发烟剂.

2)经包覆处理的 $NaHCO_3$ 超细粉,粒径为微米级,其包覆层可被硫酸、盐酸腐蚀.

3)铝、铜等良导体的超细粉,粒径为微米级.

4)其他添加剂:主要是发泡剂和泡沫稳定剂.

1.3 泡沫云形成的特定反应过程设计

把上述药品原料按特定的方式混合施放至空中后,则将发生如下所述的各种反应.

首先,具有强烈吸水性的 S-4 烟幕剂,迅速与空气中的水蒸气发生如下反应:

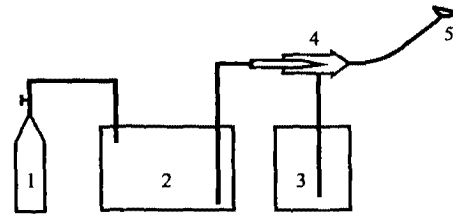
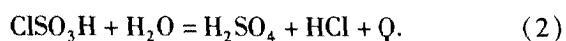
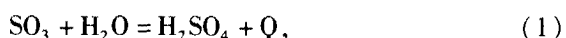
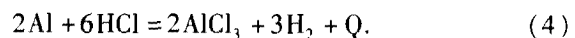
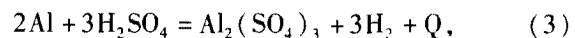


图1 引射式施放系统示意图 1. 压缩空气 2. S-4 烟幕剂 3. 混合药料 4. 引射器 5. 喷雾咀

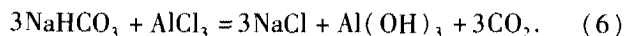
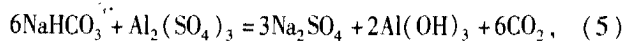
Fig. 1 Smoke screen set with an ejector 1. compressed air 2. S-4 blending 3. additive 4. ejector 5. nozzle

根据文献[7],上述反应初始形成的是硫酸和盐酸微粒,进而凝结成雾状的硫酸和盐酸,悬浮在空中呈白色烟幕,烟幕墙规模大致为高度 50~70m,宽度(厚度)50~60m,长度则视需要而定.这种烟幕具有两个非常明显的优点:一是对可见光遮挡干扰效果是当前所有烟幕中最佳的;二是有效作用时间很长,可持续 0.5h 以上,是其它烟幕难以达到的.因此它倍受各国军方的高度重视,但因为它对红外,特别是对雷达的干扰作用很微弱,并且还有很强的腐蚀性和刺激性,危害很大,又严重制约了它的使用.利用这种烟幕的优势,克服它的不足,就是本文要解决的根本任务.

随着硫酸雾和盐酸雾继续吸收足够的水蒸气后,就会有超细铝粉与酸雾间的反应:



烟幕中的部分酸雾将消耗在上述反应中,另一部分酸雾则将对 $NaHCO_3$ 超细粉的包覆层进行腐蚀,并使被包覆的 $NaHCO_3$ 细粉暴露.进而有如下反应:



经过上述一系列反应,原雾状烟幕即已转化为由大量泡沫连接成片形成的漂浮于空中的大面积致密泡沫云,其规模与初始的 S-4 雾状烟幕是相仿的量级.利用上述各个反应方程式,还可方便地计算各种药品原料的具体用量.

1.4 泡沫云施放装置的研制与工作过程

为把选定的各种药品原料按特定的方式进行混合施放,显然得有相应的施放装置.为此,我们专门研制了如图 1 所示的引射式施放系统,是由原“××型液体烟幕施放器”改造而成的,改造时增加了引射器和混合药料两部分.

引射器是引射式施放系统中最关键的组成部

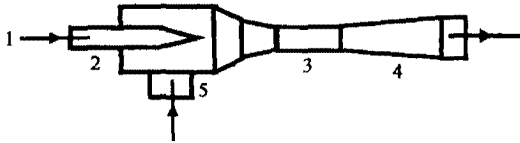


图2 引射器结构示意图 1. 工作流体 2. 喷嘴 3. 扩压管喉道 4. 扩压管 5. 接受室
Fig.2 Constitutes of an ejector 1. driving liquid 2. nozzle 3. laryngeal 4. supercharger 5. acceptor

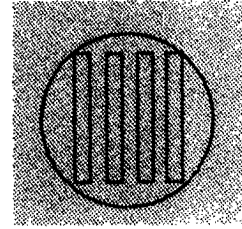


图3 靶标形状示意图
Fig.3 Shape of the drone

分,其结构示意图如图2所示.为保证系统的施放效率,引射器须严格按专门的要领进行设计,我们大量的试验结果表明,主要是有些关键尺寸,应按以下方法计算.

(1)引射器喷嘴关键尺寸的计算

喷嘴出口锥角: $\alpha_1 = 16^\circ \sim 18^\circ$

喷嘴喉长: $L_{*} = 0.9 \sim 1.1d_{*}$

喷嘴入口直径: $d_1 = 2.5 \sim 3.5d_{*}$

喷嘴入口段长: $L_1 = 6 \sim 8d_{*}$

(2)引射器混合室关键尺寸的计算

混合室进口直径: $d_2 = 2.1 \sim 2.5d_3$

混合室喉部长度: $L_{m*} = 3.5 \sim 7d_3$

混合室总长度: $L_m = 6 \sim 7.5d_3$

(3)引射器扩压管关键尺寸的计算

扩压管出口直径: $d_e = 2.2 \sim 2.8d_3$

扩压管长: $L_e = 7.5(d_e \sim d_3)$

扩压管出口锥角: $\alpha = 6^\circ \sim 8^\circ$

除了上述尺寸,设计引射器还将涉及其他尺寸如喷嘴临界面积 A_{*} 、喷嘴喉部直径 d_{*} 、喷嘴出口面积 A_1 、喷嘴出口长度 L_1 、扩压管临界面积 A_3 、扩压管喉部直径 d_3 、喉嘴距 r_e 等的计算.大量的试验结果表明,这些尺寸的计算可以沿用文献[8]第43页提供的相应公式.本文上述公式中相关符号的含义,也与文献[8]中的规定相同.同时,为了便于实验比较,特别把实验用的引射器引射系数设计成可在0~2.2之间调节.

系统的工作过程:参照图1,施放系统工作时,经压缩空气加压的S-4烟幕剂被作为引射器的工作流体;由铝、铜等良导体的超细粉、经包覆处理的 NaHCO_3 超细粉和其他添加剂,按适当比例均匀混合而成的混合物料,则被作为它的引射流体,引射流体与工作流体经引射器自动混合均匀后,由喷雾咀喷向空中,再经过前述的一系列特定化学反应后,即可形成具有对红外、雷达波等多波段干扰对抗能力的大面积致密泡沫云.

2 泡沫云干扰效果的实验分析

作为一种新型的干扰技术,无疑有很多方面需要详细深入研究,但限于篇幅等原因,本文仅针对当前红外与毫米波技术中最具代表性的几个方面进行了干扰效果的实验研究,其中红外干扰实验针对红外成像系统进行,毫米波干扰实验则针对3mm波和8mm波进行.在进行这些实验的同时,考察了泡沫云对可见光的干扰效果,以及泡沫云干扰的长时间、无污染等特性.

2.1 对红外成像系统干扰的实验分析

实验设备与仪器:1)泡沫云测试室,规格为5.2m×3.6m×3.2m,除底部和顶部外,其他各面均有用于观测的窗口.2)泡沫云施放装置,是专门研制的引射式施放系统(如图1).3)红外热像仪,型号3iLRSC/L2,规模8~14 μm .4)靶标(温差设定为30 $^\circ\text{C}$),形状如图3所示,其中的4个矩形为靶标孔,矩形的长宽比1:7,靶标温差是指靶标孔与靶板的温差,靶板温度与室温相同.

实验方法与结果:使泡沫云测试室以长向(5.2m)位于红外热像仪和靶标的中间,首先记录未施放泡沫云时的靶标热图(如图4),然后施放泡沫云于测试室内,在热像仪监视器上观察靶标热图的变化情况,结果发现泡沫云一形成,监视器上的靶标热图立即消失,直到大约将近30min后,随着泡沫云的变淡,靶标热图才渐渐再现,35min时泡沫云已变得很淡,靶标热图也重新变得清晰(如图5~图7).

结果讨论:很多研究已经证实,红外辐射很容易被 H_2O 、 CO_2 吸收,比如雨天、雾天等气象条件下,红外系统一般都无法正常工作.在泡沫云中,由于前述反应式(5)和式(6)均有大量 CO_2 生成,使得泡沫腔内充满 CO_2 气体,同时由于泡沫中显然还含有大量的水分,加上泡沫云所含的大量不同粒径的超细颗粒对红外的吸收、散射(大粒子的米氏散射和小粒子的瑞利散射),使得泡沫云对红外具有很好的干

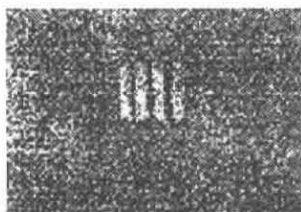


图4 无干扰的靶标热图
Fig.4 Heat photo of free



图5 泡沫云干扰中前期靶标热图
Fig.5 Heat photo when $t = 15\text{min}$

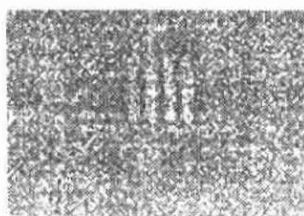


图6 泡沫云干扰 30min 靶标热图
Fig.6 Heat photo when $t = 30\text{min}$

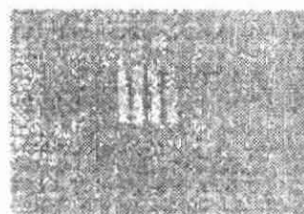


图7 泡沫云干扰 35min 靶标热图
Fig.7 Heat photo when $t = 35\text{min}$

扰作用,如图5表明已完全被干扰.实验中只是针对5.2m厚的泡沫云,而实战使用的泡沫云要远远大于这一厚度,因此,必将对红外辐射产生更好的干扰作用.

2.2 对毫米波干扰的实验分析

实验设备与仪器:1)泡沫云测试室,规格同前面红外实验的.2)泡沫云施放装置,专门研制的引射式施放系统(同红外实验).3)毫米波发射器与接收器.

实验方法与结果:把毫米波发射天线与接收天

表1 泡沫云对3mm、8mm波的衰减/dB
Table 1 Attenuation of 3 and 8 MMW by foam screen/dB

测定时间	毫米波段	
	3mm	8mm
1min	15.16	14.88
10min	16.32	16.75
20min	14.64	14.73
30min	7.57	6.91
35min	1.61	1.42

线呈面对面布置,并使泡沫云测试室以长向(5.2m)位于发射天线和接收天线的中间,保持发射设备与发射功率不变,首先测定未施放泡沫云时接收设备的接收功率,然后分时段测定有泡沫云时接收设备接收功率的变化,得出泡沫云对毫米波的衰减情况.结果如表1所列.

结果讨论:表1结果表明,仅5.2m厚的泡沫云即可对常用的3mm波和8mm波产生非常有效的衰减,因此实战使用的厚度远远大于5.2m的泡沫云对它们显然具有很好的干扰效果.表1结果还表明,不同时间段的泡沫云,均可有效衰减毫米波,特别是前20min的泡沫云的衰减作用更为明显.泡沫云对毫米波干扰实验的这种结果,与现有研究理论和成果是一致的,简述如下.

一方面,我们已经知道,只要干扰物有足够大的尺寸,就可对雷达产生有效干扰,尺寸越大干扰越强,比如干扰物直径达5mm左右时,即可对毫米波产生强烈干扰^[1].但干扰物尺寸越大就越难以在空中长时间停留(通常只有s级),为此日本研究了空心颗粒干扰物,使得有效干扰时间可增至1min左右.显然泡沫与空心颗粒的干扰机理相似,而泡沫的直径又可以变得更大,泡沫还很容易连接成片,从而具有更大的反射(漫反射)尺寸.因此,从这一角度看,泡沫云要比空心颗粒烟幕具有更好的干扰效果.

另一方面,电磁波能量会被粒子吸收、散射(包括较大粒子的米氏散射和较小粒子的瑞利散射)而衰减,穿入良导体的电磁波将在表面被转化为焦耳热而损耗掉^[9].前面已经提到,在泡沫云中含有铝、铜等良导体的大量不同粒径的颗粒物,它们显然要对电磁波产生吸收和散射,其中散射由于既有较大颗粒也有较小颗粒,因而既有米氏散射也有瑞利散射,这些吸收和散射作用的综合结果,也使得泡沫云对毫米波具备理想的干扰效果.

2.3 泡沫云的其他干扰特性分析

1)对可见光(含电视成像)的干扰特性.经对5.2m厚泡沫云的测试表明,无论是施放瞬间的酸雾型

烟幕,还是紧接的泡沫云,对可见光的遮挡效果都非常好,被泡沫云阻隔的即使是红色物体,也无法观察得到.而实际施放的泡沫云厚度可达实验所测泡沫云厚度的数倍,其遮挡可见光的效果必然更佳.

根据前面关于泡沫云形成的特定反应过程设计的分析知,施放瞬间的泡沫云几乎就相当于S-4烟幕剂独立施放形成的酸雾烟幕,因此对可见光显然也有最佳的遮挡干扰效果.随着前述反应式(3)~式(6)的不断进行,烟幕中酸雾成分减少,但不断生成的泡沫以及存在于泡沫中的 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 、 AlCl_3 、 Na_2SO_4 、 NaCl 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$,均使得它对可见光仍然具有很好的遮挡效果.

2)有效干扰时间.实验表明,只要泡沫云完好地存在于空中,就会有上述对红外、雷达、可见光的多波段干扰作用.通过在泡沫云施放时加入泡沫稳定剂,可以有效延长泡沫云完好地悬浮在空中的时间.改变原料组分或改变各种原料所占的比例,也可改变泡沫云的有效作用时间.在本文泡沫云测试室的实验中,施放后半小时后观察到的泡沫云,仍然几乎是完好的.这些结果表明,泡沫云的最大有效干扰时间,至少可达十几min以上,一般1/2h左右.

3)环境污染问题.由前述的化学反应机理可以看出,只要各种药品原料用量的比例适当,泡沫云的残留物,除了最终降至地面的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 Na_2SO_4 、 NaCl ,就是进入大气中的 CO_2 等气体.与原S-4烟幕的硫酸雾和盐酸雾残留物相比,泡沫云的这些残留物,可以认为是无污染的.

4)泡沫云规模.现代高技术条件下的战争,对更大规模(主要是高度)的烟幕墙(含泡沫云)有着更高的要求.由于前述反应(3)和(4)生成的 H_2 以及各反应的放热效应,使得泡沫云具有向外膨胀,特别是向上运动的内动力,这显然有利于形成更高更大的泡沫云.从定性比对试验结果可以发现,泡沫云的稳定高度要比原来的S-4烟幕至少高出10%.

2.4 现场干扰试验检验

为进一步检验泡沫云的实用性,特利用了某导弹技术阵地的综合测试系统进行了初步的现场干扰试验.该测试系统由导弹制导部(A)和攻击目标(B)二大部分组成.试验时,在无干扰的情况下,测得A始终紧密跟踪B;而施放了泡沫云(厚度约15

~20m)后,A即已完全无法跟踪B.可见,如果实战中使用更厚的泡沫云,就可有足够的系数保证干扰的效果.

3 结语

本文研究了基于泡沫云的红外/毫米波复合制导的新型多波段干扰技术.从其技术原理,实现方法和初步的实验结果,都可看出该技术的有效性.它可同时高效干扰红外(含点源和成像)和雷达(特别是毫米波),对传统的可见光(含电视制导)同样有高效的干扰作用,而且其有效干扰时间长达十几min甚至几十min,残留物又不会污染环境等等,这些都是原有干扰技术无法具备的优良性能.但关于泡沫云对红外、雷达等电磁波的反射、吸收、散射等各种干扰机制的定量表征问题,以及有关深入的化学反应机理问题等,都有待进一步的研究.

REFERENCES

- [1] WANG Shu-Qian. Review of the development of fine guidance[J]. *Guided Missile* (杨树谦.国外精确制导技术发展述评.飞航导弹), 2001, 31(6): 66—69.
- [2] QIAO Xiao-Jing, WANG Chang-Fu, REN Hui. New passive disturbing techniques[J]. *Initiators & Pyrotechnics* (乔小晶,王长福,任慧.新概念无源干扰技术.火工品), 2001, 24(1): 13—15.
- [3] HAO Tai-Ji. Smoke chemicals of disturbing IR[J]. *Special Ammunition* (郝太吉.国外抗红外发烟剂.特种弹药), 1991, 13(1): 24—28.
- [4] Giglia R D. Radar and infrared-detectable structural simulation decoy[P]. USP5092244, 1992, 5.
- [5] Embury Jr. Method for creating a one way visible screening smoke[P]. USP5682010, 1997.
- [6] Stevens, Ward C. Metal-coated substrate articles responsive to electromagnetic radiation and method for making and using the same[P]. USP60170626, 2000.
- [7] ZHANG Gui-Ping. *Smoke Screen in Modern War*[M]. Beijing: PLA Press(张桂平.现代战争的烟幕使用.北京:解放军出版社), 1998, 70—83.
- [8] JIN Liang-An. The analysis of characteristic and engineering APP foundation on series ejectors[D]. Master Thesis, Dalian: Dalian university of technology(金良安.多级喷射器的特性与工程运用基础研究.大连理工大学硕士学位论文), 2000.
- [9] FANG You-Pei, HUANG Jin-an. Analyses on disturbing techniques to MMW guidance[J]. *Guided Missile* (方有培,黄锦安.对毫米波制导的有效干扰途径分析.飞航导弹), 2000, 30(6): 50—53.