

文章编号: 1003-1480 (2004) 01-0013-03

# 一种燃烧型抗红外/毫米波双模 发烟剂研究

关华<sup>1, 2</sup>, 潘功配<sup>1</sup>, 朱晨光<sup>1</sup>, 上官少勋<sup>2</sup>, 罗云<sup>1</sup>

(1. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京, 210094; 2. 齐齐哈尔建华工业有限责任公司, 黑龙江 齐齐哈尔, 161006)

**摘要:** 为对抗红外/毫米波双模制导武器系统, 研制了一种以可膨胀石墨、富碳化合物作为主要成烟组分的新发烟剂。介绍了发烟剂配方, 并就该药剂在烟箱内产生的烟幕进行了性能测试。结果显示, 烟幕对 3~5 μm、8~14 μm 红外辐射的透过率小于 15%, 对 3mm、8mm 波衰减大于 10dB, 实现了一剂干扰多频谱的发烟剂设计。

**关键词:** 发烟剂; 红外; 毫米波; 烟雾干扰; 复合制导

中图分类号: TQ567.5 文献标识码: A

## Study on a Combustion Smoke Composition for Anti-infrared and Anti-millimeter Wave

GUAN Hua<sup>1, 2</sup>, PAN Gong-pei<sup>1</sup>, ZHU Chen-guang<sup>1</sup>, SHANG-GUAN Shao-xun<sup>2</sup>, LUO Yun<sup>1</sup>

(1. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 210094;

2. Jianhua Industry Limited Responsibility Company, Qiqiha'er, 161006)

**Abstract:** A novel smoke composition composed of mainly composition of expansible graphite and carbon rich compound was studied to counter measure IR/MMW compound guidance weapons. The smoke composition formula was introduced and its smoke attenuation properties in the smoke chamber were tested. The result showed that the infrared transmittance at 3~5 μm and 8~14 μm wave-length was less than 15%, and the attenuation value at 3 and 8mm was more than 10dB, indicating that the smoke composition can interfere the multi-channel spectrum successfully.

**Key words:** Smoke composition; Infrared; Millimeter wave; Smoke interference; Compound guidance

抗红外/毫米波双模发烟剂主要用于对抗红外/毫米波双模制导武器, 它装填于发烟弹中, 在目标和探测器之间形成大面积烟云, 以衰减目标的红外辐射和毫米波辐射强度, 对红外导引头和毫米波雷达双模制导系统实施干扰, 降低目标被发现和攻击概率。目前, 红外导引头的主要工作波段是 3~5 μm 和 8~14 μm, 毫米波雷达的主要工作波段 3mm、8mm。显然, 发烟剂产生的烟幕应该对上述波段具有最大的衰减能力。

在目前的无源干扰中, 用于红外干扰和毫米波干扰的主要物质分别是抗红外发烟剂和毫米波箔条, 国外装备的抗红外/毫米波双模发烟弹都是基于这两类材料的组合来实现抗红外、毫米波的功能。所以, 发展一剂多频谱的发烟剂是烟幕无源干扰的发展趋势<sup>[1]</sup>。

燃烧型发烟剂所形成的烟幕分散均匀、悬浮时间长, 具有广泛的装填适用性。所以, 世界各国一直致力于燃烧型多波段发烟剂的研究。德国的

收稿日期: 2004-07-12

作者简介: 关华 (1965- ), 女, 博士研究生, 从事无源干扰及光电对抗应用技术研究。

基金项目: 国防预研基金资助项目 (404040502)。

Krone 和 Kich 等人分别采用可膨胀石墨和碳纤维与红外发烟剂混合的方式设计了全波段发烟剂<sup>[2,3]</sup>，而文献[2]中，由于组分中红外干扰物石墨比例较低，烟幕对可见光、红外衰减能力较弱；文献[3]中，由于碳纤维密度低和相互缠绕特性，混合均匀的发烟中碳纤维含量很低，这种烟幕对毫米波的衰减效果不够理想。目前国内在该领域研究未见报道，笔者自行研制了一种燃烧型抗红外/毫米波双模发烟剂，并对烟幕的 3~5 $\mu\text{m}$ 、8~14 $\mu\text{m}$ 、3mm、8mm 衰减性能进行了测试研究。

## 1 抗红外/毫米波双模发烟剂设计

燃烧型抗红外/毫米波双模发烟剂应具有一定的燃烧速度，形成均匀连续烟幕并持续一定时间，烟幕具有衰减 3~5 $\mu\text{m}$ 、8~14 $\mu\text{m}$  红外光和 3mm、8mm 波辐射的能力是发烟剂设计的关键。

为了满足上述要求，该药剂由氧化剂、可燃剂、毫米波干扰物、红外活性物质等组成。将可膨胀石墨作为毫米波干扰组分，富碳化合物作为红外活性物质，利用燃烧反应产生的热量将可膨胀石墨膨化并随红外烟幕升入空中。通过试验确定的发烟剂为：可膨胀石墨 15%~45%，氧化剂 10%~40%，镁粉 10%~25%，富碳化合物 10%~50%，添加剂 0~10%。

## 2 实验

### 2.1 试样制备

按照抗红外/毫米波双模发烟剂配方将各组分混和均匀，过筛后压制成密度为 1.5g/cm<sup>3</sup> 的两种药柱：一种直径为 37.5mm，质量为 40g，用于 3~5 $\mu\text{m}$ 、8~14 $\mu\text{m}$  红外波段衰减性能测试；另一种直径为 23.5mm，质量为 20g，用于 3mm、8mm 波衰减性能测试。

### 2.2 测试设备与方法

烟箱是实验室评定烟幕性能的重要装置。烟幕的红外衰减性能测试在 17m<sup>3</sup> 烟幕箱中进行，主要仪器有 JHF- 型和 JHF- 型红外辐射计及相应 3~5 $\mu\text{m}$ 、8~14 $\mu\text{m}$  辐射源。测试光程 2.1m，箱内温度为 20~25 $^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 60%~65%。测试前，采集未释放烟幕时的 3~5 $\mu\text{m}$  和 8~14 $\mu\text{m}$  红外辐射电压值，当药柱在烟箱内点燃后，启动烟幕箱内的搅拌

装置，待药柱燃烧结束停止搅拌，5s 时采集两波段的信号电压，其电压值之比为烟幕透过率  $T$ 。

同样，烟幕的毫米波衰减性能测试在小烟箱内进行，烟箱体积为 1m<sup>3</sup>。烟箱位于 3mm (8mm) 噪声发生器与 3mm (8mm) 接收器之间，光程为 1m，测试仪器及原理图参见文献[4]。测量时，首先采集释放烟幕前 3mm (8mm) 波信号电压值  $U_0$ ，点燃药柱后 10s 再采集通过烟幕后信号电压值  $U_1$ 。根据 (1) 式计算烟幕对毫米波的衰减  $A$  (dB)：

$$A = -20 \log \frac{U_1}{U_0} \quad (1)$$

## 3 结果与讨论

### 3.1 发烟剂红外衰减性能

烟幕对 3~5 $\mu\text{m}$ 、8~14 $\mu\text{m}$  红外辐射的衰减性能用透过率表示，透过率越小，其衰减能力越强。药柱燃烧产生的烟幕的红外透过率测试结果如表 1 所示。由表 1 可见，发烟剂燃烧产生的烟幕具有较强的红外衰减性能，3~5 $\mu\text{m}$ 、8~14 $\mu\text{m}$  波段的平均透过率小于 15%，满足红外/毫米波双模发烟剂的红外衰减性能要求。由实验现象可知，药剂燃烧生成了浓密的黑色烟幕，说明有大量碳黑粒子存在。这些粒子是富碳化合物经不完全燃烧或无氧条件下热裂解生成的，富碳化合物分子在氧化剂和 Mg 反应产生的高温作用下裂解、脱氢、聚合和环化凝聚生成晶核的先驱物质。大量的碳黑是在火焰中形成，每一个碳黑聚集体都有其独特的外形，它们各向异性，形状不规则。由于这些聚集体有非常大的比表面和粒径，这种结构决定了其对红外辐射有较强的衰减作用<sup>[5,6]</sup>。

表 1 红外/毫米波双模发烟剂烟幕的红外透过率测试结果

序号	烟幕透过率 $T/\%$	
	3~5 $\mu\text{m}$	8~14 $\mu\text{m}$
1	12.76	14.81
2	14.06	14.28
3	15.94	14.63
平均	14.25	14.57

### 3.2 发烟剂毫米波衰减性能

烟幕对毫米波的衰减性能用衰减分贝表示，分贝值越大，衰减能力越强。由实验情况可知，在药柱燃

烧过程中,随着烟幕的释放,对3mm(8mm)波的衰减一直比较稳定,燃烧结束后烟幕对毫米波的衰减性能随着消失。其中1发药柱燃烧10s时,3mm(8mm)信号电压的输出曲线分别如图1、图2所示,3发发烟药柱试验结果平均值列于表2中。

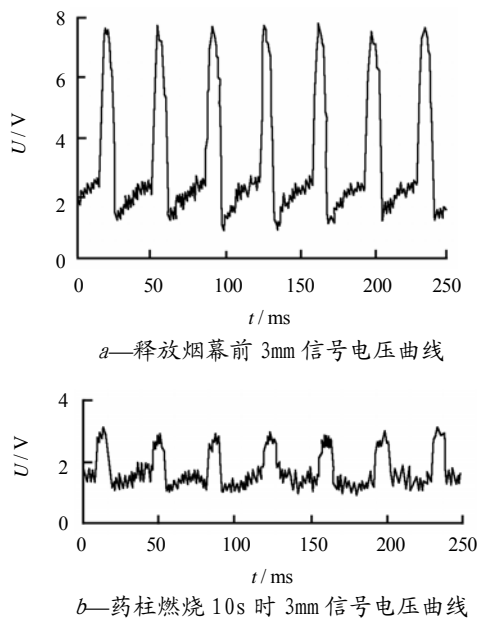


图1 烟幕对3mm信号电压的衰减曲线

Fig. 1 Attenuation curve of smoke screen react to 3mm signal voltage

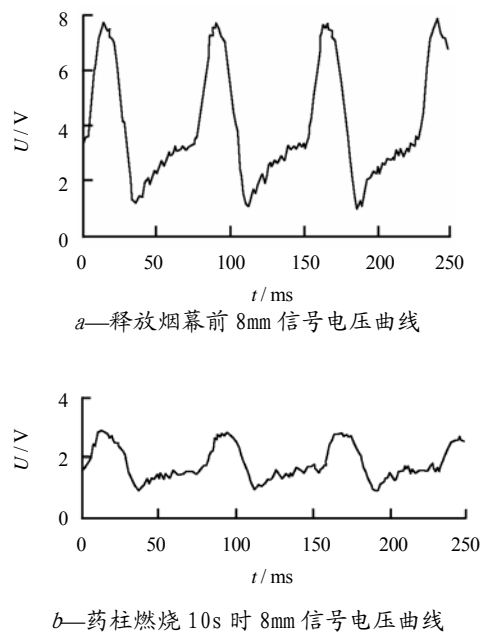


图2 烟幕对8mm信号电压的衰减曲线

Fig. 2 Attenuation curve of smoke screen react to 8mm signal voltage

表2 抗红外/毫米波双模发烟剂烟幕对3mm、8mm波衰减结果

波段 / mm	信号电压幅值 $U_0 / V$	释放烟幕后信号电压幅值 $U / V$	8mm wave		
			烟幕透过率 $T / \%$	衰减值 $A / dB$	有效干扰时间 / s
3	6.89	1.91	27.7	11.1	15
8	6.63	1.96	29.6	10.6	15

抗红外/毫米波双模发烟剂产生的烟幕对3mm和8mm波均具有明显的衰减作用,衰减值均大于10dB。对毫米波具有干扰作用的主要原因是药剂组中含有可膨胀石墨。由可膨胀石墨膨胀机理可知<sup>[5]</sup>,当药剂燃烧时,氧化剂与Mg反应产生的热量将可膨胀石墨膨化成疏松多孔的蠕虫状膨胀石墨,并随着药剂产生的热气体升入空中。由于膨胀石墨体积密度只有 $0.00125g/cm^3$ ,具有较好的悬浮性能。膨胀石墨电阻率是各向异性的,平面方向约为 $7 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-3} \Omega \cdot cm$ ,长度方向约为 $0.35 \sim 5 \Omega \cdot cm$ 。它们作为一种具有有限电阻率的介质材料,使进入其中的毫米波产生传导电流和位移电流,从而产生热损耗被吸收,膨胀石墨对3mm、8mm波具有衰减作用已经被实验证实<sup>[7-9]</sup>。由于实验采用的3mm波辐射计信号强度弱,故选用烟箱体积较小。随着膨胀石墨的生成,一部分粒子也在逐渐沉降,当药柱燃烧结束后,烟箱内的粒子浓度很小,对3mm、8mm波的衰减性能消失。

## 4 结论

通过烟箱性能测试,以可膨胀石墨15%~45%,氧化剂10%~40%,镁粉10%~25%,富碳化合物10%~50%,添加剂0~10%为配方的发烟剂,燃烧产生的烟幕对 $3 \sim 5 \mu m$ 、 $8 \sim 14 \mu m$ 红外辐射和3mm、8mm波具有明显的衰减作用,对 $3 \sim 5 \mu m$ 、 $8 \sim 14 \mu m$ 波段辐射的透过率小于15%,对3mm、8mm波衰减大于10dB。其主要原因是药剂燃烧后富碳化合物产生了大量的碳粒子,可膨胀石墨产生了大量的蠕虫状膨胀石墨的缘故,该药剂为一种新的抗红外/毫米波双模发烟剂,实现了一剂干扰多频谱的设计目的。

(转至第19页)

(上接第15页)

参考文献:

- [1] 王文玷, 张玲香. 抗红外/毫米波复合制导武器与诱饵技术的发展 [C]. 中国兵工学会第十一届火工烟火学术年会论文集. 北海: 中国兵工学会火工烟火学术专业委员会, 2001.5: 324~330.
- [2] Krone, Uwe, Moller, Klaus, Schulz, Ernest, et al. Pyro-technic smoke composition for camouflage purposes [P]. UP 5 656 794, 1997.
- [3] Koch, Ernst-Christian, Schneider, Josef. Pyrotechnic smoke screen units for producing an aerosol impenetrable in the visible, infrared and millimetric wave range [P]. USP6 578 492, 2003.
- [4] 关华, 潘功配, 周遵宁等. 可膨胀石墨发烟剂对毫米波衰减性能的实验研究 [J]. 火工品, 2004, (2): 1~3.
- [5] 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, 2004.
- [6] Hamadi M. B. Vervisch P. and Coppalle A..Radiation properties of soot from premixed flat flame [J]. Combustion and Flame, 1987, (68): 57~67.
- [7] 关华, 潘功配, 姜力. 膨胀石墨对 3mm、8mm 波衰减性能研究 [J]. 红外与毫米波学报, 2004, 23( 1): 72~76.
- [8] 朱长江, 陈作如. 膨胀石墨的毫米波二维平面衰减性能研究 [J]. 材料科学与工程, 2002, 20 (4): 487~489.
- [9] 乔小晶, 张同来, 任慧等. 爆炸法制备膨胀石墨及其干扰性能 [J]. 火炸药学报, 2003, 26 (2): 70~73.
- [10] 潘功配, 杨硕. 烟火学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997: 168~179.