

文章编号: 1006-9941(2008)05-0592-03

## 微粉石墨在燃烧型抗红外烟幕中的应用

霸书红<sup>1</sup>, 王乃岩<sup>2</sup>

(1. 沈阳理工大学装备工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:**研究了微粉石墨红外消光性能及其在燃烧型抗红外烟幕中的应用。结果表明:微粉石墨在不产生凝聚的条件下,粒径越小,其红外消光效果越好。石墨作为成烟物质用于燃烧型抗红外烟幕时,存在燃烧损失,在相同烟幕剂配方中,石墨添加量从20%降至5%,用有机物B做可燃物时,石墨燃烧损失从31.6%增至57.6%;用金属C做可燃物时,石墨燃烧损失从44.6%增至80.5%。为提高石墨利用率,在氧化剂A、有机可燃物B和20%微粉石墨组成的抗红外烟幕剂配方中,加入5%市售炭黑,同原配方相比,炭黑的加入能够有效抑制石墨燃烧和提高烟幕中石墨的红外消光能力。

**关键词:**军事化学与烟火技术;抗红外烟幕;石墨;燃烧;红外消光;炭黑

**中图分类号:**TJ450; TQ175.714

**文献标识码:**A

### 1 引言

石墨受红外辐射照射时,表现出对红外辐射良好的吸收和散射特性,是一种很好的红外屏蔽材料,已应用到抗红外烟幕中<sup>[1-3]</sup>。目前,石墨用于机械喷撒型抗红外烟幕中的技术较成熟<sup>[4]</sup>,而作为成烟物质大量用于燃烧型抗红外烟幕中的技术尚处于实验室阶段<sup>[5]</sup>。本文研究了微粉石墨的静态红外消光性能及其在燃烧型抗红外烟幕中的燃烧损失,寻找抑制石墨燃烧损失并提高含石墨烟幕红外消光能力的有效途径。

### 2 石墨的红外消光机理

石墨的红外消光特性是其微粒对红外辐射产生吸收和散射共同作用结果。石墨对红外辐射吸收是由于红外辐射的电矢量使石墨中作谐振的原子获得能量而作受迫振动,当受迫振动原子发生碰撞时,振动能量转变成平动动能,此时原子热运动加剧,即该部分光能被转化成热能而消失。石墨微粒对红外辐射散射是由于石墨微粒内原子被入射辐射电磁场诱导极化形成偶极子,该偶极子随入射波电磁振荡作同频率的受迫振动,构成了次生波源,产生出次生波。由多个原子构成的微粒总是存在着多个振动偶极子,它们产生的次生波不仅频率与入射光一致,而且彼此之间亦存在固定相位,从而形成相干光。由于成烟时石墨分散于气溶胶中,石墨微粒数密度(或浓度)因布朗运动而改变,次

生波的相干性被破坏,因此多个振动偶极子所产生的次生波会在石墨微粒周围叠加,然后向其周围空间散布开,这样就产生了散射作用。

### 3 微粉石墨在燃烧型抗红外烟幕中的应用

#### 3.1 石墨的红外消光性能

##### 3.1.1 石墨的静态红外消光

分别称取粒径为4.67 μm(Y509)、5.45 μm(Y510)和5.84 μm(Y511)微粉石墨各2 mg,与烘干磨细的KBr 1500 mg充分混匀后,取150 mg作固体压片,用MB-154S型傅里叶变换红外光谱仪进行石墨的静态红外消光性能测试,其红外谱图见图1。

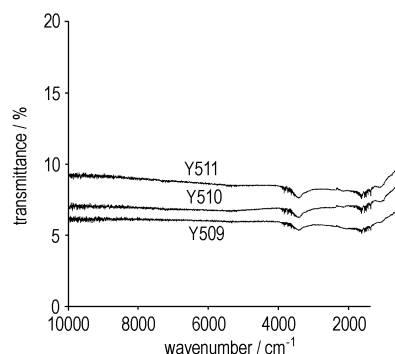


图1 不同粒径石墨的红外消光曲线  
Fig.1 Infrared extinction curves of graphite with different particle sizes

由图1可知,相同质量的微粉石墨在不产生凝聚的前提下,粒径越小,其静态红外消光效果越好。

##### 3.1.2 石墨的动态红外消光

采用自行设计的小型烟幕箱代替红外光谱仪的常

收稿日期: 2008-08-26; 修回日期: 2008-09-12

作者简介:霸书红(1970-),男,副教授,博士,现从事特种能源与烟火技术教学和科研工作。e-mail: bashuhong\_student@sina.com.cn

规吸收池直接进行烟幕动态红外消光能力测试。其尺寸为  $0.128\text{ m} \times 0.120\text{ m} \times 0.160\text{ m}$ , 容积为  $2.46 \times 10^{-3}\text{ m}^3$ 。

以配比为零氧平衡的氧化剂 A 和有机可燃物 B 为基础配方, 分别加入含量为 15% (Y292)、20% (Y293) 和 25% (Y294) 同粒径石墨 (粒径为  $4.67\text{ }\mu\text{m}$ ), 在小型烟幕箱中进行动态红外消光能力测试, 结果见图 2。

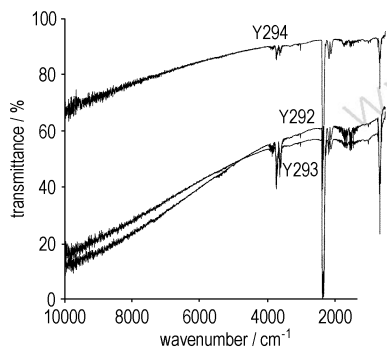


图2 不同含量石墨的动态消光曲线  
Fig.2 Dynamic extinction curves of graphite with different contents

图2表明, 在烟幕药剂配比为零氧平衡条件下, 石墨含量为 20% 时 (Y293), 红外遮蔽效果最好。当微粉石墨用量超过 20% 时 (Y294), 红外遮蔽能力反而降低, 这可能是因为石墨粒子易团聚、不易分散, 进而影响烟幕的悬浮稳定性及红外吸收特性而造成的<sup>[6]</sup>。

### 3.2 石墨燃烧性能测试

石墨在空气中能够燃烧<sup>[7]</sup>。当它作为成烟物质用于燃烧型抗红外烟幕时, 其燃烧损失可降低烟幕的红外消光能力。为研究石墨燃烧损失情况, 分别以氧化剂 A、可燃物 B 和 C 为燃烧型抗红外烟幕基础配方, 设计了下面的实验。

(1) 以配比为零氧平衡的氧化剂 A 和有机可燃物 B 为基础配方, 分别加入 5%、10%、15% 和 20% 微粉石墨 (粒径为  $4.67\text{ }\mu\text{m}$ ), 混匀后放入燃烧池中; (2) 点燃该配方, 并迅速盖上捕集器, 5 min 后打开捕集器; (3) 用蒸馏水反复冲洗捕集器和燃烧池, 洗液收集于烧杯中; (4) 在烧杯中加入酒精浸泡 3 min 后过滤、洗涤; (5) 将滤后石墨放入烘箱中, 在  $100\text{ }^\circ\text{C}$  恒温下烘干, 冷却平衡后称量; (6) 加入配方中石墨的质量减去滤后石墨量即为石墨燃烧损失量, 进而可求出石墨的燃烧损失率。实验结果见表 1。

同时, 选用氧化剂 A 和金属可燃物 C (二者也为零氧平衡) 进行了上述实验, 该实验与上述过程仅在

步骤 (4) 处稍有不同, 即在烧杯中加入稀 HCl 浸泡 5 min 后过滤、洗涤, 其余操作同上, 结果见表 2。

表1 添加氧化剂 A 和有机可燃物 B 时石墨燃烧损失率

Table 1 Loss ratio of graphite after adding oxidant A and organic combustible B

No.	charging mass of A + B/mg	adding mass of graphite /mg	percentage of graphite /%	graphite mass after its combustion/mg	loss ratio /%
1	400	100.0	20	68.4	31.6
2	400	70.6	15	42.5	39.8
3	400	44.4	10	26.6	40.1
4	400	21.0	5	8.9	57.6

表2 添加氧化剂 A 和金属可燃物 C 时石墨燃烧损失率

Table 2 Loss ratio of graphite after adding oxidant A and metal combustible C

No.	charging mass of A + C/mg	adding mass of graphite /mg	percentage of graphite /%	graphite mass after its combustion/mg	loss ratio /%
1	400	100.0	20	55.4	44.6
2	400	70.6	15	32.3	54.2
3	400	44.4	10	20.0	55.0
4	400	21.0	5	4.1	80.5

由表 1 和表 2 可得, 石墨燃烧损失与配方组成和石墨添加量有关。在配比为零氧平衡的相同烟幕剂配方中, 石墨添加量从 20% 降至 5%, 用有机物 B 做可燃物时, 石墨燃烧损失从 31.6% 增至 57.6%; 用金属 C 做可燃物时, 石墨燃烧损失从 44.6% 增至 80.5%。

### 3.3 提高石墨利用率的途径

炭黑的着火点均小于  $535\text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[8]</sup>, 比石墨 (着火点为  $700\sim 850\text{ }^\circ\text{C}$ <sup>[4]</sup>) 更容易燃烧, 因此引入炭黑能够抑制石墨的燃烧, 进而改善石墨的燃烧性能, 使之在燃烧型抗红外烟幕中具有较强的消光能力。

#### 3.3.1 市售炭黑微粒的静态消光能力

分别称取 2 mg (Y665)、4 mg (Y666) 和 6 mg (Y667) 粒径为  $12.26\text{ }\mu\text{m}$  的市售同规格纯炭黑, 与烘干磨细的 KBr 1500 mg 充分混匀后, 取 150 mg 作固体压片, 在傅立叶变换红外光谱仪上进行静态消光能力测试, 结果见图 3。

图 3 表明, 炭黑的红外谱图基本上是一条直线。在红外区虽然没有明显的吸收峰, 但是在整个红外波段都能够较好地遮蔽, 随着炭黑用量的增加, 遮蔽效果越好。同图 1 比较可知, 粒径为  $4.67\text{ }\mu\text{m}$  微粉石墨的红外消光能力 (Y509) 优于粒径为  $12.26\text{ }\mu\text{m}$  市售炭黑 (Y667)。

#### 3.3.2 抗红外烟幕配方中加入市售炭黑

以氧化剂 A、有机可燃物 B 和 20% 微粉石墨组成烟幕原配方, 将 5% 粒径为  $12.26\text{ }\mu\text{m}$  的市售炭黑加入到烟幕原配方 (Y731) 中组成新配方 (Y736), 二者动

态消光能力见图 4。

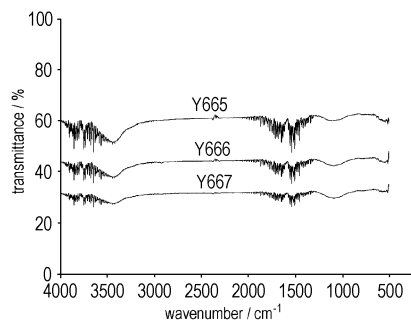


图 3 炭黑的红外光谱

Fig. 3 Infrared spectra of carbon black

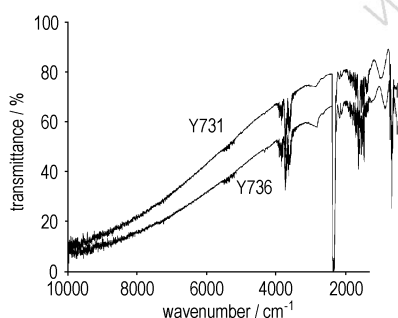


图 4 原配方中加入市售炭黑的动态红外谱图

Fig. 4 Dynamic infrared spectra of original formula and new containing carbon black

图 4 与图 2、图 3 比较可以得出,尽管市售炭黑(粒径为  $12.26 \mu\text{m}$ )的红外消光能力小于微粉石墨(粒径为  $4.67 \mu\text{m}$ )的消光能力,但在烟幕剂配方中引入 5% 市售炭黑的动态红外消光能力(Y736)却优于原配方(Y731)。由此可见炭黑的加入能够有效抑制石墨燃烧,并能提高烟幕中石墨的红外消光能力。

## 4 结 论

(1) 石墨微粒在不产生凝聚的条件下,粒径越小,

其静态红外消光效果越好。

(2) 石墨作为成烟物质用于燃烧型抗红外烟幕时,存在燃烧损失。在配比为零氧平衡的相同烟幕剂配方中,石墨添加量从 20% 降至 5%,用有机物 B 做可燃物时,石墨燃烧损失从 31.6% 增至 57.6%;用金属 C 做可燃物时,石墨燃烧损失从 44.6% 增至 80.5%。

(3) 在含 20% 微粉石墨的烟幕配方中,加入 5% 粒径为  $12.26 \mu\text{m}$  的市售炭黑,可有效抑制石墨燃烧,并能提高含石墨烟幕的红外消光能力。

## 参考文献:

- [1] Krone, Uwe, Moller, et al. Pyrotechnic smoke composition for camouflage purposes; USP 5656794 [P], 1997.
- [2] 陈宁, 潘功配, 关华. 真空中石墨微粉烟幕的红外消光性能研究 [J]. 火工品, 2007(3): 34-36.  
CHEN Ning, PAN Gong-pei, GUAN Hua. Study on IR extinction performance of graphite micro-powder smoke in vacuum [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2007(3): 34-36.
- [3] 王宏喜, 王宏霞, 薛丽. 石墨红外消光性能研究 [J]. 碳素, 2004(4): 41-43.  
WANG Hong-xi, WANG Hong-xia, XUE Li. Study on the infrared extinction properties of graphite [J]. *Carbon*, 2004(4): 41-43.
- [4] 潘功配, 杨硕. 烟火学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [5] 蔡文彬. 环保型抗红外烟幕剂的配方和性能研究 [D]. 南京: 南京理工大学硕士学位论文, 2002.
- [6] 叶明泉, 韩爱军, 宋洪昌. 气溶胶用石墨/白炭黑超细复合粒子的制备及表征 [J]. 化学世界, 2004(3): 120-122.  
YE Ming-quan, HAN Ai-jun, SONG Hong-chang. Preparation and characterization of ultrafine graphite/silica aerogel composite particles [J]. *Chemical World*, 2004(3): 120-122.
- [7] 大连理工大学无机化学教研室编. 无机化学 [M]. (第五版). 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [8] 李炳炎. 炭黑生产与应用手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.

## Application of Tiny Graphite Powder in Combustible Anti-infrared Smoke Screen

BA Shu-hong<sup>1</sup>, WANG Nai-yan<sup>2</sup>

(1. School of Equipment Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China;

2. School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology; Nanjing 210094, China)

**Abstract:** Infrared extinction ability and application of tiny graphite powder in combustible anti-infrared smoke screen were studied. Results show that infrared extinction ability of dispersed graphite is stronger when its granularity is smaller. The graphite can burn when it is used in combustible anti-infrared smoke screen. When graphite is added from 20% to 5% respectively, its burning loss is accordingly increased from 31.6% to 57.6% in formula containing organic combustible and from 44.6% to 80.5% in formula containing metal combustible. In order to make use of graphite effectively, 5% carbon black is added into combustible anti-infrared aerosol containing oxidant, organic combustible and 20% graphite. Compared to the original formula, the use of carbon black can effectively prevent combustion of graphite and improve infrared extinction of smoke screen containing graphite.

**Key words:** military chemistry and pyrotechnic technology; anti-infrared smoke screen; graphite; combustion; infrared extinction; carbon black