

文章编号: 1006-9941(2001)04-0172-04

红外照明剂的组分选择与配方设计

韩秀凤, 杨利, 许又文

(北京理工大学机电工程学院, 北京 100081)

摘要: 对红外照明剂中氧化剂、可燃剂、附加物的选择进行了探索, 通过优化组合与试验, 确定了效果较好的近红外照明剂的配方。

关键词: 氧化剂; 可燃剂; 红外辐射; 照明剂

中图分类号: TQ567.3; TQ560.71

文献标识码: A

1 引言

多数烟火药的辐射效应处于可见光光谱中 $0.4 \sim 0.7 \mu\text{m}$ 波段, 而现在由于科学技术的发展和高技术战争的需求, 辐射药剂辐射的频谱范围不再限于可见光, 而是拓宽到了紫外、近红外 ($0.7 \sim 1.1 \mu\text{m}$)、中红外、远红外、微波等更广的频谱范围, 甚至提出了全波段的应用目标^[1]。本实验研究的近红外辐射的照明剂, 用以增加夜视仪器的视距和视野, 如照明弹为人眼的观察提供光源一样, 红外照明弹则为夜视仪器的观瞄提供了光源。

近红外照明剂要求其药剂反应有强的近红外输出, 而可见光辐射很小。但这是一对矛盾, 近红外与可见光在波谱上是连在一起的, 近红外辐射输出高, 可见光辐射输出也会高, 因此, 必须综合考虑, 恰当选择。

红外照明剂的组成为氧化剂、可燃剂和粘合剂, 为了增加烟火制品的各种性能, 还可以添加其它成分, 这就是红外照明剂的附加物。在本实验中, 我们对红外照明剂组分的选择进行了理论分析与探讨。

2 组分选择的理论依据

2.1 氧化剂的选择

(1) 对于红外照明剂, 要求它的氧化剂有低的可见光输出、较强的氧化能力和较强的红外输出。从常用氧化剂的物理化学性质^[2]可以看出, 硝酸盐、氯酸盐和高氯酸盐的熔点较低且分解放氧效率较高。氯酸

盐具有较强的氧化能力, 它会使药剂感度增高, 不常采用。在硝酸盐中, 由于 LiNO_3 吸潮, 点火性能不好, 不拟采用。

(2) 常用的氧化剂分别为 Na、K、Rb、Cs、Ca、Sr、Ba 的盐, 都是碱金属和碱土金属的盐, 这些盐反应后的产物为金属原子、分子或其氧化物。可从常用的烟火药组分的火焰光谱元素的原子光谱^[3]和分子光谱^[4]查得, 为辐射药剂配方的选择提供参考。在 NaNO_3 中, 由于钠离子的存在, 可见光输出较强。 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 在燃烧中产生 BaO, 其光谱特性是较强的连续光谱, 另外它还能产生 $\text{Ba}(\text{OH})_2$, 它的辐射在可见光区。 KNO_3 在燃烧中产生 K 和 K_2 , 光谱在可见光区很弱。对于可见光输出, $\text{NaNO}_3 > \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 > \text{KNO}_3$ 。另外, Rb 原子和 Cs 原子产生的线状光谱也在红外区, 用它们的硝酸盐作为氧化剂也是合理的。

2.2 可燃物的选择

对于红外照明剂的可燃剂, 人们希望可燃物在燃烧时能放出足够的能量, 以激发辐射光, 但要避免产生过多的凝聚相物质的灰体辐射而造成可见光输出过高。对常用的可燃物, 能同时满足这两项要求的几乎没有, 因此, 只能在其中寻找有较高燃烧热的物质, 以提高燃烧温度, 激发辐射光, 同时希望它的可见光输出低。

对于有机可燃剂, 经验证明, 含氧量超过 50% 的有机物, 在空气中燃烧时, 其火焰几乎是无色的, 在有机物中, 含氧量越高的物质其燃烧热越低。在常用的有机可燃物中, 我们选择了乌洛托品 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$), 它的燃烧热较高, 1 g $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ 完全燃烧可产生 25 kJ 的热量。从光谱性能来看^[5], $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ 的燃烧产物是 CO_2 和 N_2 等, CO_2 分子的辐射在近红外区。

对于非金属可燃剂来说, 同样希望获得较高的燃

收稿日期: 2001-04-02; 修回日期: 2001-06-20

基金项目: 干扰烟火剂光谱(红外)数据库(编号:67.2.4)

作者简介: 韩秀凤(1973-), 女, 硕士, 从事火工烟火剂研究。

烧热,硅的燃烧热($31.0 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)相对较高,且熔点低($1490 \text{ }^\circ\text{C}$)。从光谱性能来看,含有硅的物质 Si_2 和 SiO 都只在紫色光区有较强的谱线^[2],因此,选用硅是较好的。硼的燃烧热也很高,同样也适合。

对于金属可燃剂,烟火药中较多使用的是镁粉和铝粉,镁的燃烧热要稍低一些,但在同一温度下,镁的蒸气压要比铝的高得多。烟火药燃烧时常借空气中的氧燃烧,可燃物能否在燃烧温度下迅速汽化并与空气中的氧结合、反应,将对烟火效应有很大的影响。所以,尽管镁的燃烧热低,但能通过提高温度,使红外辐射的能量明显增加,另外,为了避免由于镁粉的加入,使可见光的输出过高,应使镁粉的含量适当降低。

3 实验研究

通过上面的理论分析,为优选辐射药剂中的氧化物,我们进行了如下两组实验。

3.1 单一氧化剂对红外照明剂辐射光谱的影响

(1)试样的配方由可燃剂、氧化剂和粘合剂组成。各试样的配比原则为:①按零氧差设计配方;②有机可燃剂的二元混合物占三分之二,镁可燃剂的二元混合物占三分之一;③有机可燃剂中的 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ 与氧化剂的比值同酚醛树脂($\text{C}_{48}\text{H}_{42}\text{O}_7$)与氧化剂的比值很接近;④酚醛树脂按 4% 计。

按此原则,我们进行了配方的设计。其中,镁作为金属可燃剂, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ 作为非金属可燃剂,氧化剂分别为 NaNO_3 、 KNO_3 、 CsNO_3 、 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$,而酚醛树脂作为辐射药剂的粘合剂。

(2)本实验所用的测试仪器是 $350 \sim 1100 \text{ nm}$ 的瞬态光谱测试仪,实验结果见图 1 ~ 图 5。

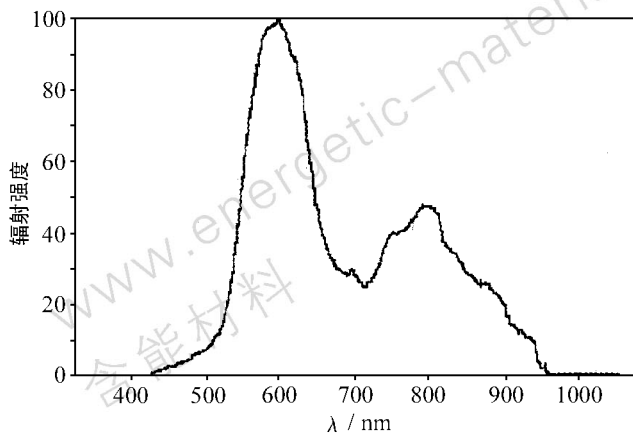


图 1 含 NaNO_3 配方的火焰光谱图

Fig. 1 Optical spectrum containing sodium nitrate

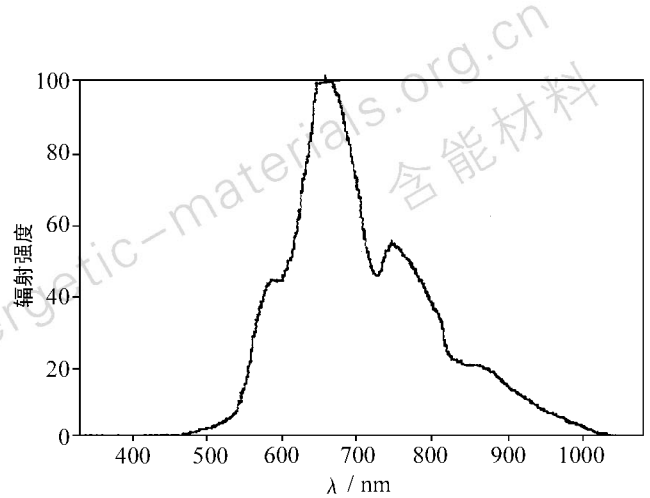


图 2 含 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 配方的火焰光谱图

Fig. 2 Optical spectrum containing strontium nitrate

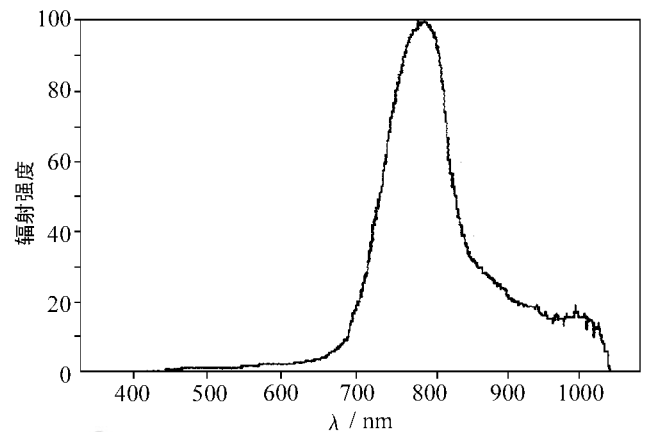


图 3 含 KNO_3 配方的火焰光谱图

Fig. 3 Optical spectrum containing potassium nitrate

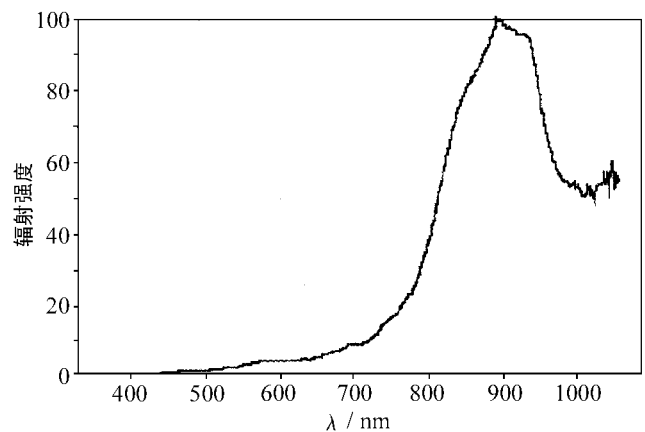


图 4 含 CsNO_3 配方的火焰光谱图

Fig. 4 Optical spectrum containing cesium nitrate

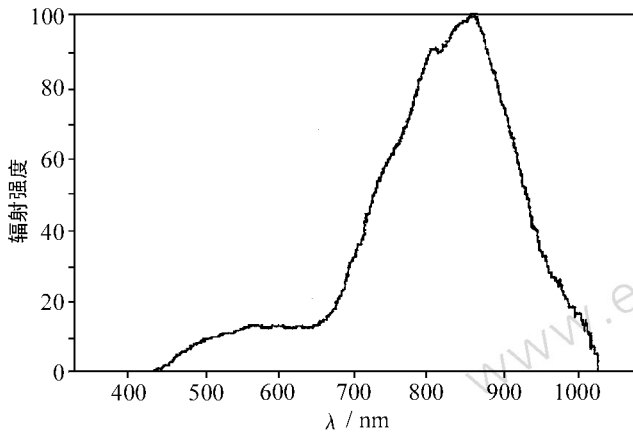
图5 含 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 配方的火焰光谱图

Fig. 5 Optical spectrum containing barium nitrate

从图1~图5可以看出,采用不同的氧化剂,各配方的辐射光谱差异较大。图1含 NaNO_3 的光谱峰值在人眼最敏感的黄光区,在可见光波段有较强的辐射,故适用于照明剂。图2中含 $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ 的光谱主要集中在红光波段,红外辐射强度较低。图3中,钾的辐射强度主要集中在790 nm左右,红外辐射较强。图4中铯在900 nm处的特征辐射较强,整个辐射集中在红外区。图5中含 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 配方的光谱介于上述两种情况之间,比起含钾、铯的硝酸盐的配方来说,其红外波段能量分布低一些,而可见光波段又偏高。碱金属元素的特征谱线都有不同程度地展宽。

经上述比较分析,我们可以选用 KNO_3 、 CsNO_3 作为红外辐射药剂的氧化剂。虽然 KNO_3 的氧化能力不是最强,但钾在766.4 nm波长处有较低的熔点,所以 KNO_3 宜用作主要的氧化剂。用 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ 做氧化剂,效果也不错,但它的熔点较高,在可见光区有较强的输出,效果较 KNO_3 差。 CsNO_3 、 RbNO_3 在近红外区都有较强的特征辐射,而可见光输出很少,因此可以选择 CsNO_3 和 RbNO_3 作为氧化剂,但二者成本很高,因此以使用 KNO_3 为主。

3.2 复合氧化剂对红外照明剂辐射光谱的影响

为使红外辐射更强,一个配方中可以使用几种氧化剂,为此,我们设计了三组实验配方(见表1)。实验结果见图6~图8。

表1 试样的配方

Table 1 Composition of different samples

组分	No. 1	No. 2	No. 3
CsNO_3	10	10	35
KNO_3	50	40	35
$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	10		
KClO_4		20	
其它成分	30	30	30

就理论而言,钾在可见光区和红外区都有辐射,而铯在可见光区辐射很弱,在近红外区有辐射,因此,钾和铯的配合使用对于增强红外辐射,降低可见光辐射是有益的。

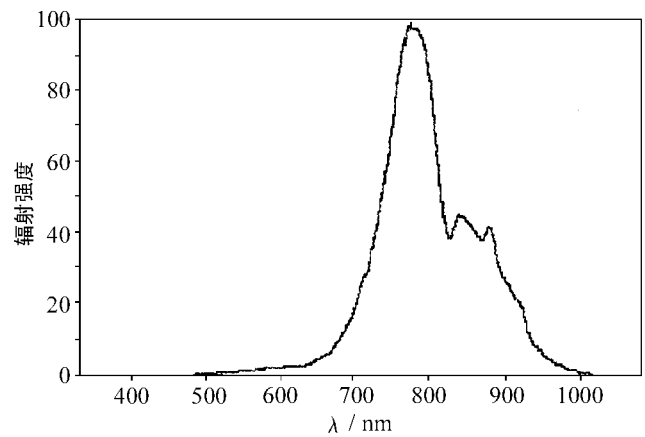


图6 第1组配方的光谱图

Fig. 6 Optical spectrum of No. 1

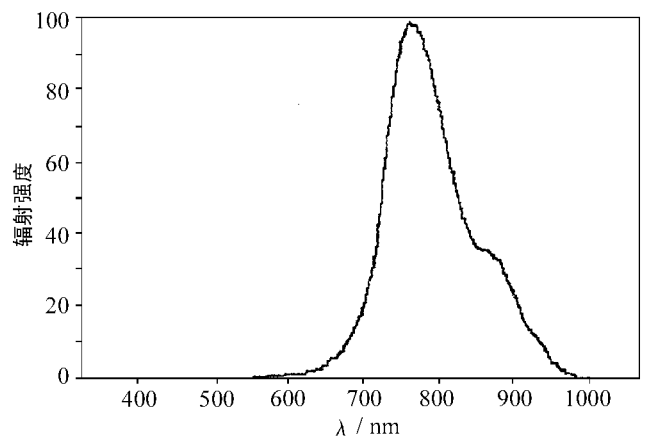


图7 第2组配方的光谱图

Fig. 7 Optical spectrum of No. 2

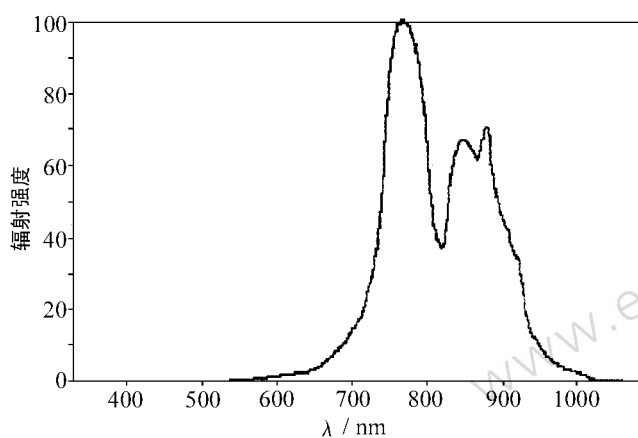


图8 第3组配方的光谱图

Fig. 8 Optical spectrum of No. 3

由图6~图8可知,钾在700~800 nm含量增加,线展宽的宽度也增加;铯在800~900 nm含量增加,线展宽也增加;这三种配方红外辐射均较大,特别是第三组,几乎占据700~950 nm整个近红外辐射区。图7和图8两图显示出 KNO_3 、 CsNO_3 结合起来作为红外照明剂的氧化剂是比较好的。这些配方火焰的相对光谱能量分布状态比较理想,辐射能量主要集中在有效波长的近红外区,而可见光波段能量分布较低,所以它们的红外辐射强度较高,可见光辐射强度较低。图8

更显示出 KNO_3 和 CsNO_3 互为增益的效果,可使红外区拓宽。综上所述,本实验中第3组配方的光谱分布最好。

4 结论

(1)有机可燃剂热量适中,燃温不致过高,且产气较多,可以增大火焰面积,因此首选有机可燃剂, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$ 最佳。

(2)适量的高热值的金属与非金属可燃剂选用镁、硅、硼等。

(3)氧化剂选用感度适中的碱金属与碱土金属的硝酸盐及部分高氯酸盐,其中, KNO_3 和 CsNO_3 较好。

参考文献:

- [1] 刘义昌. 高技术战争论[M]. 北京: 军事科学出版社, 1993.
- [2] 潘功配, 杨硕. 烟火学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [3] Aekemad C Th J, Herrmann R. 分析火焰光谱学原理[M]. 林守麟, 寿曼立. 北京: 地质出版社, 1984.
- [4] Gaydon A G, Pearse R W B. The Identification of Molecular Spectra[M]. London Chapman and Hall, 1976.
- [5] 葛绍岩, 那鸿悦. 热辐射性质及其测量[M]. 北京: 科学出版社, 1989.

Composition Selection and Formula Design of Infrared Illuminant

HAN Xiu-feng, YANG Li, XU You-wen

(Department of Engineering Safety, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Selection of oxidizer, combustibles and additives in infrared illuminant was studied. The formula of near-infrared illuminant with better effect was determined through optimization and experiments.

Key words: oxidizer; combustible; infrared radiation; illuminant