

文章编号: 1006-9941(2006)03-0215-03

氧差对红外照明剂火焰辐射的影响

程年寿¹, 潘功配², 关 华²

(1. 安徽科技学院理学院应用化学系, 安徽 凤阳 233100;

2. 南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

摘要: 采用瞬变光源分光测试系统及红外测温仪测试了不同氧差下燃烧热固定的红外照明剂配方。发现在负氧情况下, 随着氧差绝对值的减小, 药剂燃烧的辐射温度升高, 近红外(0.7~1.0 μm)及可见光(0.4~0.7 μm)辐射强度增大, 其中近红外辐射强度增幅较大。结果说明, 燃烧热固定的红外照明剂在接近零氧平衡下辐射效果较好。

关键词: 物理化学; 红外照明剂; 氧差; 燃烧热; 辐射温度; 辐射强度

中图分类号: TJ53; O64

文献标识码: A

1 引言

红外照明剂在军事上用作辅助光源提高主动红外夜视仪和微光夜视仪的视距时^[1], 要求红外照明剂燃烧中输出较强的近红外(0.7~1.0 μm)辐射和尽可能低的可见光(0.4~0.7 μm)辐射, 照亮目标区而又不暴露己方。解决红外照明剂可见光强度较大、红外输出效率低的问题, 是当前红外照明剂研究的重点课题。

以前习惯将烟火药配成负氧平衡, 但从理论上分析, 负氧平衡下的反应不完全, 而且加热空气中的氮消耗了很多热量^[2]。因此, 燃烧热固定时, 负氧平衡的烟火药, 即借空气中氧参加反应的烟火药, 燃烧温度并不高。从火焰结构及性质来看, 完全氧平衡的配方利于气体原子和分子的近红外特征辐射, 而且可减少低温下化学发光^[3]产生的可见光, 只是康道发光有所增强^[2]。所以选择完全氧平衡的药剂配方应能达到增加近红外辐射但不显著增加可见光的目的。

本研究通过改变燃烧热固定的红外照明剂的氧差, 得到了不同配比的配方, 测试了氧差对红外照明剂辐射温度, 近红外(0.7~1.0 μm)及可见光(0.4~0.7 μm)辐射强度的影响。

2 实验

2.1 配方设计

烟火药的特种反应效应在很大程度上取决于它在燃烧时所放出的热量。燃烧热可看作是一种特殊的反应热, 在烟火学上定义为: 1 g 烟火药燃烧时产生的热

量为烟火药的燃烧热^[4]。烟火药的燃烧热与其燃烧温度成对应关系。为此, 本实验设计的配方将燃烧热设为一定值。

常用红外照明剂配方中, 氧化剂是硝酸钾, 燃烧剂为镁和硅, 粘合剂为酚醛树脂或聚四氟乙烯^[1], 再辅以一些添加剂。以该系列配方为例, 根据式(1)计算氧差。

$$n = \frac{A}{a} - \frac{B}{b} - \frac{C}{c} - \frac{D}{d} - \frac{E}{e} \quad (1)$$

式中, n 为氧差, g ; A 为 100 g 药剂中 KNO_3 的含量, g ; B 为 100 g 药剂中 Mg 的含量, g ; C 为 100 g 药剂中 Si 的含量, g ; D 为 100 g 药剂中 C_2F_4 的含量, g ; E 为 100 g 药剂中 $C_6H_{12}N_4$ 的含量, g ; a 为分解出 1 g 氧所需的 KNO_3 的质量, g ; b 为与 1 g 氧燃烧所需的 Mg 的质量, g ; c 为与 1 g 氧燃烧所需的 Si 的质量, g ; d 为与 1 g 氧燃烧所需的 C_2F_4 的质量, g ; e 为与 1 g 氧燃烧所需的 $C_6H_{12}N_4$ 的质量, g 。

$$a = 2.53 \text{ g}, b = 1.52 \text{ g}, c = 0.88 \text{ g}, d = 3.125 \text{ g}, e = 0.486 \text{ g}$$

固定两组分的含量不变, 如 Si 和 C_2F_4 , 改变氧差为 n' , 则

$$n' = \frac{A'}{a} - \frac{B'}{b} - \frac{C}{c} - \frac{D}{d} - \frac{E'}{e} \quad (2)$$

$$\text{且} \quad A' + B' + C + D + E' = 100 \quad (3)$$

根据热化学定律得: 烟火药的燃烧反应热等于燃烧产物的生成热和药剂各成分的生成热之差。因为两配方的燃烧热相同, 可列出等式, 其中只含有 A' , B' , E' 三个未知数, 再联立式(2)和(3), 解得新的氧差平衡条件下各组分的含量, 表 1 即为具体配方的组成。

收稿日期: 2005-12-28; 修回日期: 2006-04-11

作者简介: 程年寿(1980-), 男, 硕士, 主要研究方向为化学材料的应用技术研究。e-mail: ddls2004@163.com

表1 不同氧差的红外照明剂配方

Table 1 Composing of illuminating composition on different oxygen balance

| sequence number | KNO ₃ /% | Mg /% | Si /% | C ₂ F ₄ /% | C ₆ H ₁₂ N ₄ /% | oxygen balance/g |
|-----------------|---------------------|-------|-------|----------------------------------|--|------------------|
| 1 | 65.28 | 12.17 | 7 | 5 | 10.55 | -13.2 |
| 2 | 65.00 | 15.00 | 7 | 5 | 8.00 | -9.9 |
| 3 | 64.70 | 17.91 | 7 | 5 | 5.39 | -6.6 |
| 4 | 64.41 | 20.77 | 7 | 5 | 2.82 | -3.3 |
| 5 | 64.12 | 23.65 | 7 | 5 | 0.24 | 0 |

2.2 实验方法

所采用的测试仪器为北京师范大学研制的瞬变光源分光测试系统(包括光谱辐射计、微机系统等)及红外测温仪(WH-6型)。把制备的小药柱在测光塔中点燃,同时使用瞬变光源分光测试系统记录实验数据。

3 结果与讨论

不同氧差下的红外照明剂配方的可见光、近红外辐射强度及温度测试结果如表2所示。

根据表1和表2作出温度与氧差的关系曲线,如图1所示。

结果显示:随着氧差绝对值的减小,温度逐渐升高,起初增幅加大,当氧差接近零时,增幅开始减小。这表明,氧差绝对值的减小可以增大火焰辐射温度,温度趋于零的时候温度增幅趋于平缓。

同理,作出 $\bar{I}_{0.4-0.7}$ 和 $\bar{I}_{0.7-1.0}$ 与氧差的关系曲线(见图2)。从图2可以看出:随着氧差趋近零,可见光强度增加,但增幅波动不大。近红外输出强度也加大,而且增幅开始时较大,在接近零氧时开始下降。分析原因,可发现:一是温度升高使热辐射得到加强;二是氧差的改变导致了火焰结构的变化,各燃烧层和辐射层间的相对大小发生了改变。负氧差绝对值的减小使得还原层缩小、温度升高,完全燃烧层和氧化层相应扩大。负氧平衡下,还原层温度较低,主要发生分子辐射和化学发光,温度上升后则能产生原子辐射。氧化层和完全燃烧层的扩张,使固体(或液体)的热辐射、康道发光及气体辐射都得到增强。实验结果证明可见光和近红外辐射得到加强。总体上看,近红外辐射增幅比较大。说明减小药剂的氧差绝对值,有利于近红外辐射。

表2 不同氧差配方的可见光、近红外辐射强度及温度测试结果¹⁾

Table 2 The radiant intensity and temperature of different illuminating composition on different oxygen balance

| sequence number | column length/mm | burning time/s | burning rate/mm · s ⁻¹ | $\bar{I}_{0.4-0.7}$ /kcd | $\bar{I}_{0.7-1.0}$ /W · Sr ⁻¹ | temperature / °C |
|-----------------|------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------------|---|------------------|
| 1 | 15.1 | 19.5 | 0.774 | 0.038 | 15.446 | 1257 |
| 2 | 15.4 | 18.0 | 0.856 | 0.044 | 17.149 | 1292 |
| 3 | 15.8 | 16.0 | 0.988 | 0.047 | 19.605 | 1343 |
| 4 | 16.1 | 14.5 | 1.11 | 0.051 | 24.008 | 1401 |
| 5 | 16.0 | 12.5 | 1.28 | 0.054 | 25.110 | 1418 |

Note: 1) $\bar{I}_{0.4-0.7}$ and $\bar{I}_{0.7-1.0}$ represents the average radiant intensity of near-infrared (0.7-1.0 μm) and visible light (0.4-0.7 μm).

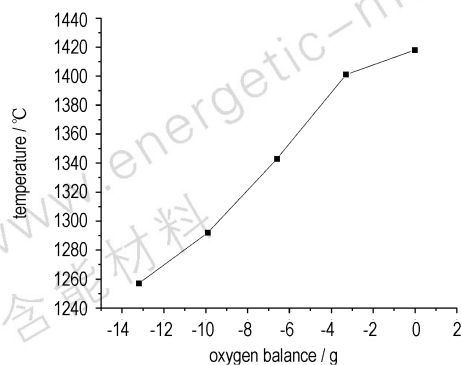
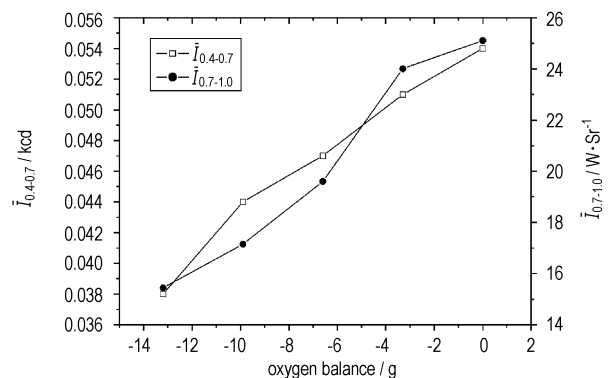


图1 温度与氧差的关系曲线

Fig. 1 Relationship between temperature and oxygen balance

图2 $\bar{I}_{0.4-0.7}$, $\bar{I}_{0.7-1.0}$ 与氧差的对应曲线Fig. 2 Correlation graph of $\bar{I}_{0.4-0.7}$, $\bar{I}_{0.7-1.0}$ and oxygen balance

4 结 论

(1) 当燃烧热固定时,随着药剂配方氧差绝对值的减小,红外照明剂的火焰辐射温度升高,增幅趋向于平缓,火焰的总体辐射能力增强。

(2) 随着氧差趋于零,红外照明剂的近红外和可见光辐射强度均有提高,且近红外辐射强度增幅较大。表明零氧差配方能明显提高红外照明效果。

因此,配方设计中,考虑燃烧热的同时应尽量选择负氧差绝对值较小的配比,理论上零氧最好。由于实际燃烧过程中,必然有部分空气中的氧参与反应,可调节氧差值,使其略小于零,故负氧差绝对值较小的配方既可部分利用了空气中的氧,又提高了红外照明效果。而正氧平衡时氧量过剩,会造成浪费,一般不提倡。

参考文献:

[1] 潘功配,彭志明,周遵宁,等. CsNO₃ 对组分为 KNO₃-Mg-Si-C₄₈H₄₂O₇

近红外(0.7~1.1 μm)照明剂辐射强度的影响[J]. 含能材料,2004,12(3): 171-173.

PAN Gong-pei, PENG Zhi-ming, ZHOU Zun-ning, et al. Influence of the CsNO₃ on the radiant intensity of the near-infrared illuminant (0.7-1.1 μm) composed of KNO₃-Mg-Si-C₄₈H₄₂O₇ [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(3): 171-173.

[2] 希洛夫. 烟火药火焰的发光[M]. 第一版. 北京: 国防工业出版社, 1959.

Shirov. Flame Radiation of Fireworks Composition [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1959.

[3] 王方. 火焰学[M]. 第一版. 北京: 中国科学技术出版社, 1994.

WANG Fang. Flameology [M]. Beijing: China Technology Press, 1994.

[4] 潘功配,杨硕. 烟火学[M]. 第一版. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.

PAN Gong-pei, YANG Shuo. Principle of Pyrotechnics [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1997.

Influence of Oxygen Balance on Flame Radiation of Infrared Illuminating Composition

CHENG Nian-shou¹, PAN Gong-pei², GUAN Hua²

(1. School of Science, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China;

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

Abstract: The different illuminating composition with different oxygen balance which have the same quantity of reaction heat were designed and tested by a moment transform lamp-house radiometer. The results show that when oxygen is deficient, the burning temperature of illuminating composition increases along with the oxygen balance tending to zero, and radiant intensities of the near-infrared (0.7-1.0 μm) and visible light (0.4-0.7 μm) are improved at one time, and the extent of near-infrared radiant intensity is much larger that of visible light. It's inferred that the radiancy is preferable when oxygen balance close to zero.

Key words: physical chemistry; infrared illuminating composition; oxygen balance; combustion heat; radiant temperature; radiant intensity

(上接 183 页)

用差示扫描量热法测定含能化合物的比热容

孙翠娜, 乔小晶, 张同来, 张建国, 于文广

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 用差示扫描量热仪(DSC)测定了含能化合物 3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮(NTO)和碳酰肼(CHZ)在 340~410 K 温度区间内、苦味酸(PA)和二硝基苯酚(DNP)在 330~360 K 温度区间内的比热容,对所测温度区间内物质的比热容随温度变化的曲线进行了拟合,NTO 和 CHZ 的比热容在所测温度区间内比热随温度变化符合一次函数: $C_p = a + bT$,而 DNP 和 PA 符合三次函数: $C_p = a + bT + cT^2 + dT^3$ 。NTO、CHZ、DNP、PA 拟合曲线的相关度分别是 0.9591、0.9730、0.9968 和 0.9972。

关键词: 分析化学; 差示扫描量热法(DSC); 比热容; 3-硝基-1,2,4-三唑-5-酮(NTO); 碳酰肼(CHZ); 二硝基苯酚(DNP); 苦味酸(PA)

中图分类号: TJ55; O642

文献标识码: A