

黑火药的烟火效应和配方选择

杨 利

许又文

曹晓宏

(北京理工大学机电工程学院, 北京 100081)

(长沙矿山研究院, 长沙 410012)

摘 要 目的 归纳黑火药的各种烟火效应,并对黑火药的配方选择进行探讨. 方法 通过测定黑火药在常压下的燃烧速度、爆发点和比容等参数,绘制三角坐标图,对图中各个区域进行了详细分析. 结果 得出了黑火药的燃烧特性与烟火效应变化规律. 结论 黑火药 3 种成分的不同配比可以产生不同的烟火效应.

关键词 黑火药; 烟火效应; 燃烧特性; 木炭

分类号 TQ 567. 3

黑火药是一种最古老的火药,是我国古代四大发明之一.它是硝酸钾、硫磺、木炭的机械混合物.因为燃烧时产生相当数量的凝聚相物质而成烟,所以又称有烟火药.黑火药本身具有很多优良的性质:如对火焰敏感、火焰传播速度快、压力指数低、有良好的点燃性能,而且其安定性好,长期储存不变质.此外,黑火药具有原料来源丰富、制造简单、成本低廉等许多优点^[1,2].因此至今仍广泛用于烟火技术中,但对黑火药的系统研究一直很薄弱.本文对黑火药在烟火技术中的作用和地位作一归纳,将黑火药中三元组分配比对燃烧性能与烟火效应的影响进行探讨,为各种用途的黑火药配方选择提供依据.

1 黑火药在烟火技术中的作用

由于黑火药的众多烟火效应,使其在烟火技术中具有重要的作用和地位.①黑火药由于其燃烧时的热效应被广泛地用作烟火或火药装药的点火药、传火药.②利用黑火药的时间效应,常将其用来制作导火索、延期药柱、时间药盘等控制时间的火药零件.③利用黑火药的气动效应,可以将其作发射药、抛射药,也可以用作推进药(如火箭发动机装药、驱动器或转轮药等),同时黑火药又是一种低爆速炸药(如礼花弹的爆炸药、鞭炮药等).④黑火药由于具有光辐射效应,可以起到火星、火花的作用,通过调节不同色温可获得红、橙、黄、白的色焰,起到照明作用.⑤利用黑火药的烟雾效应,一些富硫组分的黑火药在燃烧时能使硫磺升华产生浓密的白烟,可用作发烟剂.⑥利用黑火药在爆炸时伴随产生爆炸音的音响效应,还能用黑火药作成蜂鸣器,产生蜂鸣声.这些效应并不是孤立的,而是相互联系的,有些是伴随同时产生的^[3].

2 不同配比性能参数及效应的测定

2.1 试 样

将硝酸钾(KNO_3)和硫磺(S)分别经过粉碎、过 120 目筛;柳木炭(C),细度在 200 目以上.

把以上 3 种成分按配方称量,通过 70 目的筛子,3 次混合.将配好的药以铜杆多次捣装在 Φ 工程纸雷管壳 (Φ 6.47 mm \times 70 mm) 中,作为测燃速、比容与密度等性能及观察燃烧现象的试样.

2.2 测试方法

每一个配方作两个平行实验.装药密度:用天平称装药质量,计算出装药密度.烟火效应:用肉眼观察,记录燃烧现象并摄影记录.燃烧时间:用电子秒表测出燃烧时间.爆发点:用伍德合金浴测发火点(采用 5 s 延滞期).比容:采用简易排水法测出燃气的体积,再换算成 1 kg 药剂在标准状态下气体的体积.

2.3 试验数据处理

将各种配比黑火药(以 5% 间隔变化)的实验数据列在 $\text{KNO}_3/\text{S}/\text{C}$ 三角形坐标系中,作成图 1~图 4,坐标中任一点即代表一个配方,并将相同水平的性能作成等高线.

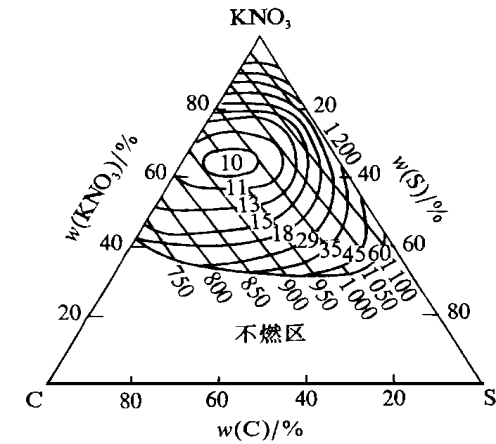


图 1 黑火药燃速、密度与配比的关系图

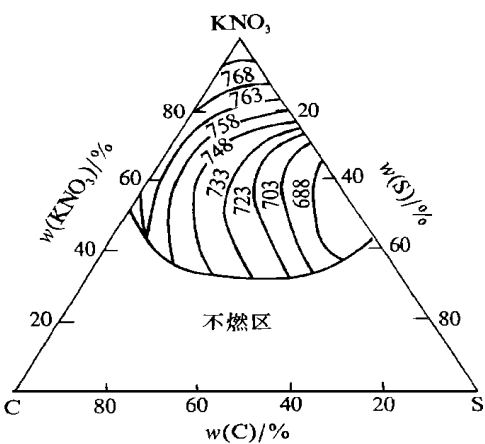


图 2 黑火药爆发点与配比的关系图

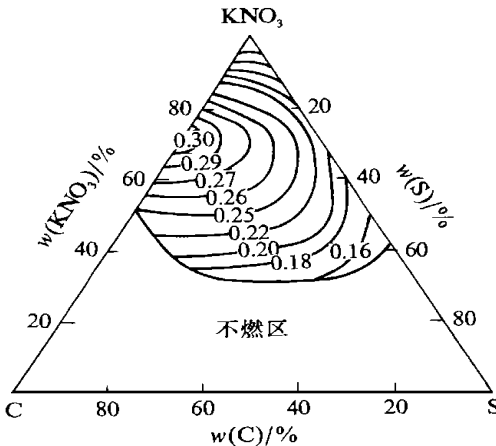


图 3 黑火药比容与配比的关系图

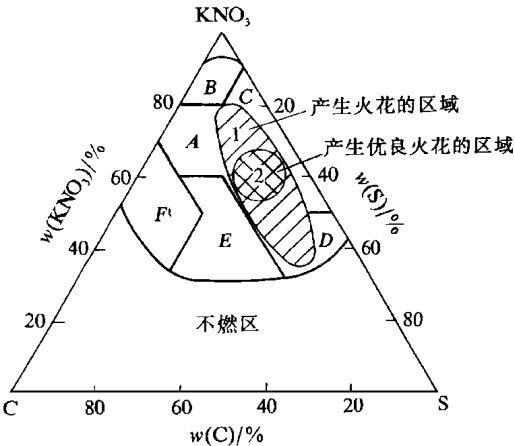


图 4 黑火药的分支火花现象与燃烧效应区域

3 实验结果及讨论

3.1 燃速、密度及燃烧现象

图 1 中的燃烧时间曲线为一组互不相交的封闭曲线,燃烧时间为 10~60 s,内圈燃速大,外圈燃速小.现分几个区域进行讨论:

① 当 $w(\text{KNO}_3)$ 高于 92% 和低于 33% 时为不燃区.

② 在 $w(\text{KNO}_3)$ 为 53%~80%, $w(\text{C})$ 为 10%~35% 的中心区域:燃时短,燃速快,氧化剂与可燃物的比例接近计算配比,产生较大热量与较高的火焰温度.该区左边 C 较多,燃烧时产生粉红色火焰并有少量炭星,该区右边燃烧时产生很亮的白色火焰.我国传统黑火药配方及世界各国军用黑火药配方 $w(\text{KNO}_3)/w(\text{S})/w(\text{C})$ 为 75/10/15 正位于本区之中.

③ 在 $w(\text{KNO}_3)$ 为 80% 以上的顶部区域:由于氧化剂过量,燃速随 KNO_3 增多而很快下降,燃烧时喷出熔融的 KNO_3 ,产生浅兰色火焰.

④ 在 $w(\text{KNO}_3)$ 为 53%~80%, $w(\text{C})$ 为 0~10% 的右边区域:燃烧残渣少,产生较长的亮白色火焰,几乎没有炭星喷出.当 C 质量分数改变时,燃速变化很大,而当 C 一定,改变 KNO_3 与 S 的比例时燃速几乎不变,这是由于可燃物 C 不足的缘故.

⑤ 在 $w(\text{KNO}_3)$ 为 53% 以下, $w(\text{C})$ 为 20% 以下的右下角区域:本区氧化剂少,含大量 S,燃速很小,燃时喷出大量白烟,残渣较多.显然燃速低是因缺少氧化剂,产生白烟系过量 S 升华成 S 蒸汽所致, S 的沸点为 717 K.

⑥ 在 $w(\text{S})$ 为 0~20%, $w(\text{C})$ 为 30%~50% 左下角区域:氧化剂少,含大量 C.当 KNO_3 一定, $w(\text{S})$ 在 10%~20% 范围内增大时,燃速很快下降.这是因为过量的 S 比过量的 C 吸热大得多的缘故.本区药剂燃烧产生较长的橙色火焰,有大量炭星喷出,炭星在空气中进行二次燃烧,产生金色亮星.

⑦ 图中中下部区域:燃烧现象介于左、右下角区域之间,白烟和炭星都有,残渣较多.

⑧ 图中直线为不同成分装填密度曲线,它是一组密度为 750~1200 kg/m^3 的平行线,粉状 KNO_3 与 S 各自的装填密度较为接近,而 C 的装填密度较小,因此密度曲线为一组与 KNO_3 -S 线有一小夹角的一组平行线,随着 C 含量的增加而减小.这里是手工捣装条件下的密度,数据偏低,如用机压装药,密度会增加.

3.2 配比对爆发点的影响

图 2(图中 688~768 K 的等值线为等温线)中,当 $w(\text{KNO}_3)$ 高于 53% 时,爆发点随着 S 质量分数的增加而降低.所以 S 除了作粘合剂外,还能降低爆发点,起提高热感度的作用.

在 $w(\text{KNO}_3)$ 低于 53% 的区域里,当 C 质量分数一定时, KNO_3 与 S 质量分数的变化对爆发点几乎没有影响,爆发点的高低只决定于 C 质量分数的高低.

3.3 配对比容的影响

图 3(图中 0.16~0.30 $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ 的等值线为等比容线)中,当 $w(\text{KNO}_3) > 72\%$ 时,比容随着 KNO_3 的增加和 C 的减少而减少.这是因为本区 KNO_3 过量而可燃物不足,以及形成固体

产物 K_2SO_4 和 K_2CO_3 的缘故.

当 $w(KNO_3) < 72\%$, $w(C) < 30\%$ 时, 比容随着 KNO_3 或 C 的增加而变大. 因为该区氧化剂不足或刚好合适, 增加 KNO_3 有助于燃烧完全生成更多的气体, 而增加过量 C 有助于生成更多的 CO .

当 $w(C) > 30\%$, 而 KNO_3 一定时, S 和 C 的变化对比容影响很小, 这是因为可燃物过量而氧化剂不足引起的.

3.4 分支火花区域

实验观察到能产生分支火花药剂燃烧的残渣保持赤热状态, 并自动收缩成赤热小球, 即所谓“火球”. 火球逐渐变大, 温度升高, 然后从球中飞出精细粒子, 粒子在离球不远处变得耀眼, 同时爆炸分支成松针状火花, 放花过程时间长达 10 s. 本文实验结果示于图 4, 图中单斜线部分表示火花生产区, 交叉线部分表示能生成优良火花的区域.

日本清水武夫对黑火药的分支火花现象进行了较多探讨, 它使用的是松木炭、灯黑等的黑火药^[4,5], 而本文用的是柳木炭.

4 结 论

根据以上讨论, 将可燃区分成 6 个区域 (图 4) 并作如下结论:

① A 区配方燃速高, 热值大, 火焰温度高, 比容大, 残渣较少, 即能量大. 发射药、火箭推进剂、爆炸药、声响药以及利用热效应的药剂 (如: 点火药、传火药和导火索药等) 都可在此区内选用. 本区里药用途最广, 通用的 $w(KNO_3)/w(S)/w(C)$ 为 75/10/15 配方即在此区内.

② B, E 区燃速慢, 可选用作缓燃药、慢引药、延期药. 但一般选用 B 区, 因 B 区氧化剂充足能保证确实燃烧, 且装填密度大而便于装药.

③ C 区能产生明亮耀眼的白色和黄色火焰, 可用作照明药剂. 另外含炭量在 5%~10% 的一个小范围内能产生优良的分支火花, 可用作线香烟花.

④ D 区燃烧缓慢, 能产生浓密的白烟, 可用作发烟剂. 这种硫磺发烟剂具有吸湿性小的优点.

⑤ F 区产生橙色火焰并喷出金色炭星, 可在此区中选用喷花黑药及火星药剂.

参 考 文 献

- 1 中国军事百科全书编审委员会. 中国军事百科全书——火炸药、弹药分册. 北京: 军事科学出版社, 1991. 18~19
- 2 晋 东. 黑火药. 北京: 国防工业出版社, 1978
- 3 江 洪. 烟花、炮竹生产与安全. 北京: 轻工业出版社, 1980
- 4 清水武夫. 烟花. 雷逐仁译. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1987
- 5 Shimizu T. Fireworks. Tokyo The Art Science and Technique, 1981. 67~73

(下转至第 103 页)

obtained. **Conclusion** With the method, rather accurate AS seeker's misalignment angle can be obtained. The misalignment angle is produced by the asymmetric aerodynamic disturbance of the fore part of bomb's body to AS seeker. The value of the misalignment angle is small, and it's negative at a small attack angle and positive at a large attack angle.

Key words aerodynamic characteristic; wind tunnel experiment; laser guided bomb; aerodynamically stabilized(AS) seeker; misalignment angle

(上接第 99页)

Pyrotechnic Effects and Composition Selection of Black Powder

Yang Li Xu Youwen

(School of Mechano-Electronics Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081)

Cao Xiaohong

(Changsha Academe of Mine, Changsha 410012)

Abstract **Aim** The different pyrotechnic effects of black powder were summarized and the composition selection was studied. **Methods** By means of measuring burning rate, explosion temperature and gas volume at the normal pressure, the triangular coordination was drawn, pyrotechnic effects in different areas were analyzed. **Results** The combustion characteristics and rule of pyrotechnic effects were found. **Conclusion** The different mixture-ratios of three ingredients of the black powder can produce different pyrotechnic effects.

Key words black powder; pyrotechnic effects; combustion characteristics; charcoal