

文章编号: 1003-1480 (2004) 03-0009-04

一种含 HMX 的新型高能点火药

易乃绒, 史春红, 吕巧莉

(中国兵器工业第 213 研究所, 陕西 西安, 710061)

摘 要: 采用理论计算与试验方法对某含 HMX 的高能点火药性能进行了研究。结果表明: 理论计算与试验结果基本相符, 随着 HMX 含量的增加, 该点火药输出能量变化小, 爆热值均大于 9 000J/g; 残渣量略有减少, 均大于 80%; 同时, 药剂比容明显增大。热分析实验表明: HMX 与 Mg-Al 合金、KClO₄ 具有良好的相容性, 加入 HMX 后点火稳定性增强; 敏感度测试结果表明: HMX 含量从 5% 增加至 10% 时, 点火药的撞击敏感度增加, 摩擦敏感度与火焰敏感度无显著变化。

关键词: 奥克托今; 高能点火药; 性能参数

中图分类号: TQ562

文献标识码: A

A New HMX-Containing High Energetic Ignition Mixture

YI Nai-rong, SHI Chun-hong, LU Qiao-li

(The 213th Research Institute of China Ordnance Industry, Xi'an, 710061)

Abstract: Calculating and testing studied the performance of a new HMX-containing high energetic ignition mixture. The result showed that the test result accorded with the theoretic calculation essentially. As the content of HMX increased, the output energy changed a little, the explosion heat was over 9 000J/g, the amount of solid residua decreased a little, which was over 80%, and the specific volume increased evidently for the ignition mixture. The test results by DSC showed that, the mixture of HMX, Mg-Al alloy and KClO₄ has a good compatibility. After adding HMX into the mixture of Mg-Al alloy and KClO₄, the igniting stability can enhance. Sensitivity tests showed that, when the content of HMX increased from 5% to 10%, the impact sensitivity enhanced in some sort, while the friction sensitivity and flame sensitivity almost didn't change.

Key words: Octogen; High energetic ignition mixture; Performance parameters

高性能武器的发展, 不但要求点火药向高能量、钝感化发展, 而且要求点火药在产生高温残渣的同时有一定量的气体产生。一般高能点火药在满足能量需求时, 燃烧产物的残渣量较大, 产气量却较少。因此需要寻找新配方以适应使用要求。

HMX 是硝胺类炸药, 它的燃烧产物多为气体, 可以用在点火药中调节气体产量。国外某点火器就通过采用由金属粉和奥克托今 (HMX) 组成的点火药来提高性能。俄罗斯在爆破作业中也使用了由金

属粉 + HMX + 氧化剂组成的药剂^[3], 可见 HMX 在普通点火药中能够发挥一定的作用, 但它对高能点火药的性能有多大改善, 本文将对其进行探索研究。

1 高能点火药配方研究

1.1 高能点火药组分的选择

高能点火药配方中的可燃剂一般为镁粉、铝粉

收稿日期: 2004-02-17

作者简介: 易乃绒 (1980-), 女, 在读硕士研究生, 从事火工烟火药剂研究。

或硼粉等，氧化剂常选用高氯酸钾 (KClO₄)、硝酸钾(KNO₃)、硝酸钠(NaNO₃)、聚四氟乙烯(PTFE)等。其特点是能量高，燃烧温度一般在 3 000K 以上，燃烧产物中固体微粒含量高、气体量少。

本文所研究的高能点火药，选择燃烧热值高的 Mg-Al 合金粉作为可燃剂，有效氧含量高的 KClO₄ 作为氧化剂，以保证高能点火药的能量需求，并有效保证其安全性。化学反应方程式如下所示：

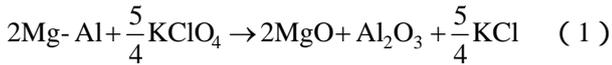


表 1 为点火药燃烧过程中各物质的基本数据。其中 ΔH_{298}^θ 指物质的标准摩尔生成焓。

表 1 点火药燃烧过程中各物质的基本数据

Table 1 The basic substance data of the ignition composition process

物质	化学计量式	$\Delta H_{298}^\theta / (\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$
MgO	40.3	-601.83
Al ₂ O ₃	102.0	-1 669.80
KCl	74.6	-435.87
KClO ₄	138.5	-435.12
Mg-Al	51.3	0
HMX	296.2	-74.97

1.2 高能点火药各组分配比的计算

先按零氧平衡^[4]计算未加入 HMX 时配方组成，然后利用外加法计算加入不同量的 HMX 时的配方组成，计算结果如表 2 所示。

表 2 高能点火药配方组成

Table 2 The compose of the high energetic ignition composition

配方	Mg-Al	KClO ₄	HMX
1	37.2	62.8	0
2	35.4	59.8	4.8
3	33.8	57.1	9.1

2 各配方药剂性能研究

2.1 各配方药剂性能参数理论计算

根据燃烧反应方程式 (1)、(2) 和盖斯定律对以上几种配方的爆热、比容和残渣率进行计算。

首先假设：该反应为理想状态下的反应，即燃烧过程为一次反应；因为粘合剂的加入量很少，不考虑它对药剂输出性能的影响。计算过程如下：

(1) 爆热计算：

$$Q_p = \sum n_i H_{i\text{生成}} - \sum n_j H_{j\text{反应}} \quad (3)$$

式中： n_i, n_j 分别为生成物和反应物的摩尔数； H_i, H_j 分别为生成物和反应物的标准摩尔生成焓。

(2) 固体残渣量计算：

$$H = \frac{\sum n_i H_i}{m} \quad (4)$$

式中： n_i ——固体产物摩尔数；

H_i ——固体产物摩尔量；

m ——点火药质量。

(3) 比容计算：

$$V_0 = \frac{22.4 \times n \times 1000}{m} \quad (\text{cm}^3/\text{g}) \quad (5)$$

式中： n ——生成气体的摩尔数；

m ——点火药的质量。

配方 1 中反应产物以凝聚态出现，主要产生固体残渣，没有气体生成，所以比容为零。配方 2 和配方 3 中加入了 HMX，HMX 为硝胺系炸药，作用主要是产生气体，所以反应产物不但有固体残渣，而且有气体。各配方输出性能参数计算结果如表 3 所示。

表 3 各配方特性参数计算值

Table 3 The calculated characteristic parameters of the new mixture

配方	爆热 / (J·g ⁻¹)	比容 / (cm ³ ·g ⁻¹)	w _{残渣量} / %
1	10 423	0	99.7
2	10 221	45	95.0
3	10 026	83	91.0

从表 3 可以看出：当 HMX 的量增加时，反应的爆热和残渣量略有减小，比容明显增加。

2.2 各配方性能参数测试

2.2.1 各配方的爆热、比容和残渣测试

各配方的输出性能测试结果如表 4 所示，将试验值与理论值进行比较，如图 1~3 所示。

表4 不同配方输出性能测试结果

Table 4 The tested characteristic parameters of the new mixture

配方	爆热 / (J·g ⁻¹)	比容 / (cm ³ ·g ⁻¹)	w _{残渣量} / %
1	9 170	13	97
2	9 207	68	92
3	9 306	78	88

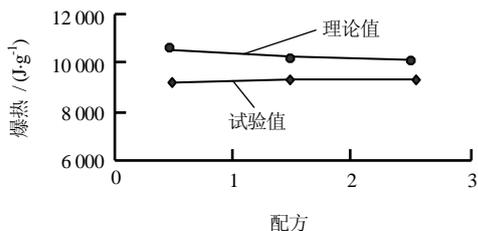


图1 各配方爆热理论值与试验值

Fig.1 The calculated and tested explosion heat of

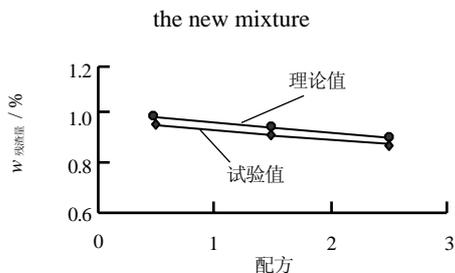


图2 各配方残渣量理论值与试验值

Fig.2 The calculated and tested solid residua of

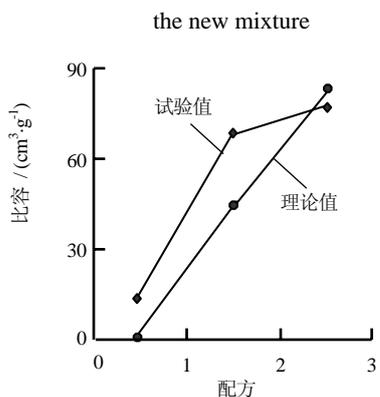


图3 各配方比容理论值与试验值

Fig.3 The calculated and tested specific volume of the new mixture

2.2.2 热分析 (DSC) 实验,
各配方结果如图 4~6 所示。

图 4~6 中 277°C 为 HMX 分解温度, 305°C 为粘合剂的分解温度, 461°C 为 KClO₄ 的熔解温度。

2.2.3 各配方高能点火药的感度测试

测试中撞击感度执行 WJ1870-89 标准, 装药量

20mg, 锤重 1 200g; 摩擦感度执行 WJ1871-89 标准, 装药量 20mg, 摆角 70°, 表压力 2.75MPa; 火焰感度执行 WJ1872-89 标准, 装药量 20mg。试验结果如表 5 所示。

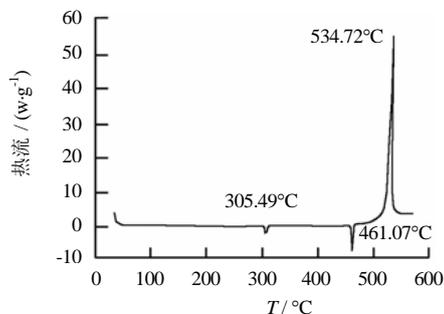


图4 配方1的DSC曲线

Fig.4 DSC curve of the No.1 new mixture

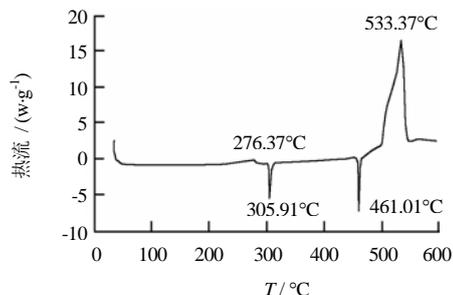


图5 配方2的DSC曲线

Fig.5 DSC curve of the No.2 new mixture

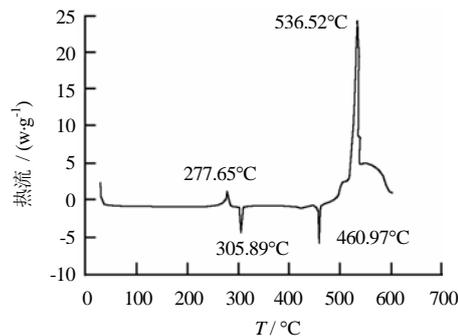


图6 配方3的DSC曲线

Fig.6 DSC curve of the No.3 new mixture

表5 不同配方感度测试结果

Table 5 The result of the new mixture's sensitivity

配方	撞击感度	摩擦感度	火焰感度
	50%发火高度 / cm	平均发火率 / %	50%发火高度 / cm
1	25.3	90	9.1
2	19.3	100	10.7
3	10.0	96	8.9

3 试验结果与理论分析

3.1 输出性能分析

从图 1~3 可以看出,爆热的理论值曲线与试验值曲线非常接近,随着 HMX 含量增加,该点火药的能量变化不大,爆热值均在 9 000J/g 以上。但是,试验值与理论值还存在一定的差别,分析原因如下:(1)理论计算爆热时没有考虑粘合剂对药剂性能的影响,粘合剂的分解是吸热过程,所以爆热的试验值比理论值低;(2)实际反应过程比较复杂,药剂燃烧反应不完全。

比容的试验值与理论计算有一定偏差,比容的测试除与试验方法有关外,实际反应过程药剂燃烧不完全,会影响产气量。另外,反应中的二次反应,或者三次反应,也会使理论值与试验值有差异。

残渣量的试验值与理论值曲线几乎重合,偏差可认为在试验误差的范围之内。

3.2 热分解性能分析

从图 4~6 可以看出,HMX 加入后,HMX、粘合剂的分解峰和 KClO_4 的熔解峰均未发生变化,说明 HMX 与 Mg-Al 合金和 KClO_4 具有良好的相容性;从图 5 和图 6 的 DSC 曲线上可以看出,在加入 HMX 后,反应峰变宽;加入 HMX 量不同,反应峰变宽的程度也不同,并且反应峰的底部比较宽,说明点火达到峰值后能够维持,点火的稳定性有所增强。由此可见,HMX 对高能点火药的性能有所改善。另外,从图 5 中可以看出,在加入少量 HMX (5%) 后,该点火药的性能变化不是很大,这是因为少量的 HMX 不足以使药剂的性能发生实质性改变。

3.3 感度分析

从表 5 的数据可以看出,该高能点火药感度有一定变化。随着 HMX 加入量的增加,药剂的撞击感度稍有提高,而摩擦感度和火焰感度的变化则不显著,可认为在试验的系统误差范围之内。

一般情况下,药剂在受到撞击作用时,垂直于晶体表面和沿晶体表面方向的化学组成、结构和能量等方面发生变化,几乎所有的实际晶体表面都存在不同程度的结构不完整性和组成不均匀性,使晶体表面各处的表面能产生差异。在结晶的棱角等表面能高的区域,性质比较活泼,往往形成活性中心,成为药剂受到撞击作用时容易点火的点火点^[5]。高

能点火药中随着 HMX 含量的增加,撞击感度增加的原因是:(1)HMX 的分解温度低于 KClO_4 的分解温度^[6~7],当受到外界能量刺激后,HMX 首先发生分解,放出的热量引发 Mg-Al 和 KClO_4 作用而致使发火;(2)药剂各组分的粒度级配对药剂的感度也有一定的影响,粒度不一致,可能使药剂的装填密度变大,对外界的缓冲作用变小^[8~9],当药剂受到撞击作用时很容易发火。

4 结论

(1)从 DSC 分析曲线可以看出,HMX 与 Mg-Al 合金和 KClO_4 以及所选用的粘合剂具有良好的相容性。

(2)HMX 的加入使高能点火药能量输出保持在理想的热值范围,并且使药剂比容明显增加,残渣量仍然比较多,有利于推进剂的点火。

(3)加入 HMX 5%~10%,点火药撞击感度有明显变化,摩擦感度和火焰感度无显著变化。

参考文献:

- [1] 章文义. 新型硼基点火药的研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2002.
- [2] 李宜敏等. 固体火箭发动机原理 [M], 1999.
- [3] Korolev V P, Sukojan M K, Sulimov A A, Bibnev N M, Mikhajlov JU M. Explosive composition for boreholes [P]. RU219 058 6, 2002.
- [4] 潘功配, 杨硕编著. 烟火学 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997.
- [5] 吕春玲, 张景林. 粒度对 HMX 撞击感度的影响 [J]. 爆炸与冲击, 2003, (5): 472~474.
- [6] 张杏芬编译. 国外火炸药原材料性能手册 [M]. 兵器工业出版社, 1989.
- [7] 《炸药理论》编写组编. 炸药理论 [M]. 国防工业出版社, 1982.
- [8] P.Lamy, L.Brunet, R.Erre, and B.Stempfer. Modelling power compaction and mixture laws [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2003 (28), No.5.
- [9] 张小宁等. 超细 HMX 和 RDX 撞击感度的研究 [J]. 火炸药学报, 1999, (1): 33~36.