

一种新型高能点火药的配方设计及性能

田春雷, 高俊国, 杜仕国, 韩其文

(军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

摘 要: 以铝粉、镁粉、硝酸钾和硫磺为主要成分, 运用正交试验设计方法, 组成16种点火药配方, 并通过使用Real软件, 模拟计算出各种点火药的能量参数; 根据计算结果, 确定点火药配方中Al和Mg的含量范围, 优选出最佳点火药配方。按照最佳配方制成点火药饼, 用Bruceton升降法测定其点火效率, 并在同等条件下与黑火药的点火效率进行比较。试验结果表明, 该点火药的点火性能优于黑火药, 能可靠点燃试验中的铝热剂。

关键词: 应用化学; 点火药; 配方设计; 点火效率

中图分类号: TQ 565

文献标识码: A

文章编号: 1007-7812(2006)01-0075-02

Formulation Design of a New Ignition Composition and its Performances

TIAN Chun-lei, GAO Jun-guo, DU Shi-guo, HAN Qi-wen

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract In order to find out a new civil ignition powder, the Al, Mg, KNO_3 and S were used as major elements to form a new type of ignition composition. The orthogonal design method was used to optimize the formulations. In this way, 16 different ignition composition prescriptions were produced. Used Real software to simulate the burning process with computer, the energy parameters of all ignition compositions were calculated. According to the real temperature of five different prescriptions formed in selected range, the best formulation was optimized. The igniting efficiency of the selected optimal powder was tested in Bruceton's way. And the same parameter of black powder was tested under the same condition. The results show that the ignition distance of new composition is 7.916 cm while the black powder is 2.942 cm, indicating that the ignition performance of new ignition powder is better than that of black powder. The new ignition powder can ignite the thermite reliably.

Key words applied chemistry; ignition composition; formulation design; igniting efficiency

引 言

由于高热剂类烟火药在反应过程中具有放热量大、燃烧温度高、伴有的特殊光学效应明显等特点, 在军事、工业和日常生活中得到广泛应用。在军事方面, 高热剂除了作为燃烧弹的装填物, 还用作红外增强吊舱装药, 安装于靶机上, 模拟飞机或巡航导弹的红外能量和光谱特性^[1]等; 在工业和民用方面, 高热剂不仅可作为高能热源, 用于自蔓延反应(SHS)和焊接^[2-3], 还用于工程爆破^[4]。然而, 由于高热剂是烟火剂中很难点燃的一类药剂, 如何实现其快速、方便、可靠的引燃是急需解决的难题。目前, 利用高能烟火点火药引燃该药剂是较为有效的途径之一。本

研究以铁铝高热剂为被点燃对象, 设计出了一种高能点火药配方, 并对其点火性能进行了初步研究。

1 配方设计与优化

1.1 配方设计

配方设计应从高能量的角度出发, 以铝粉、镁粉为主要可燃物, 硝酸钾为氧化剂, 配以硫磺为黏结剂, 按一定比例均匀混合, 制成形状规则的药块。利用正交试验方法^[5], 选用 $L_{16}(4^5)$ 正交表, 对点火药配方进行了设计。分别以配方中Al和Mg的质量分数作为正交实验的两个因素, 每个因素均采用4个水平, Al的质量分数分别为: 14%, 17%, 20%, 23%; Mg的质量分数分别为: 15%, 18%, 21%, 24%, 得

收稿日期: 2005-05-11; 修回日期: 2005-11-21

作者简介: 田春雷(1976-), 男, 讲师, 主要从事军事化学与烟火技术研究。

到 16 种不同的点火药配方(见表 1)。并选用燃烧温度和燃烧产物中固态、液态产物(即凝聚相产物)的质量分数(w)作为试验指标^[6]。

1.2 能量参数计算与数据处理

根据最小自由能原理,用 Real 软件,在设定 $p = 0.1\text{ MPa}$, $H = 0$ 的条件下通过计算机模拟仿真计算^[7-8],得到点火药燃烧温度和凝聚相产物在生成物中的质量分数等参数,计算结果见表 1。

表 1 点火药配方及能量参数计算结果

Table 1 The ignition composition formulation and calculated energy parameters

序号	w /%				T /K	w (凝聚相) /%
	KNO ₃	Al	Mg	S		
1	68	14	15	3	3054.58	0.468
2	65	14	18	3	3111.53	0.484
3	62	14	21	3	3153.44	0.487
4	59	14	24	3	3167.84	0.487
5	65	17	15	3	3126.91	0.478
6	62	17	18	3	3161.17	0.480
7	59	17	21	3	3170.78	0.480
8	56	17	24	3	3159.32	0.479
9	62	20	15	3	3429.56	0.511
10	59	20	18	3	3441.44	0.510
11	56	20	21	3	3426.22	0.507
12	53	20	24	3	3381.31	0.503
13	59	23	15	3	3441.80	0.504
14	56	23	18	3	3421.93	0.501
15	53	23	21	3	3371.75	0.496
16	50	23	24	3	3274.66	0.488

从表 1 结果看出,随着配方中 Al 质量分数的增加,点火药的燃烧温度(T)先增加然后降低,在 20%~23% 时,燃烧温度较高;当 Al 的质量分数为 20%~23%,Mg 的质量分数 15%~21% 时,燃烧温度达到最高;配方中 Al 和 Mg 的含量对凝聚相产物生成量的影响程度相对较小。

1.3 优选配方的确定

衡量点火药点火能力的主要因素为燃烧温度,要想得到高能点火药配方,Al 和 Mg 的质量分数应分别为 20%~23%,15%~21%。在上述范围内组成 5 组配方,通过对各组点火药燃烧温度实际测量值大小的比较,最终确定最佳点火药配方。

2 点火药的制备及性能测定

用 Bruceton 升降法测出点火药点燃铁铝高热剂的 50% 点火距离,从而评定其点火效率,并在相同条件下与 3 号小粒黑火药的点火效率进行比较。

2.1 仪器设备

电子天平:精确度百分之一;玛瑙研钵;手工压

药机;铁架台;厘米刻度尺。

2.2 试样制备

按照选定的最佳配方,在电子天平上称取 KNO₃,倒入玛瑙研钵中研细,过筛,粒度不大于 74 μm ;称取定量硫磺粉,将其研细,过筛,粒度不大于 74 μm ;分别称取定量 Al 粉和 Mg 粉,将 4 种药剂混合后搅拌均匀。称取 0.8 g 混合药粉放入模具内,插入引线,在压药机上直接压制成直径为 10 mm 的药饼,密度为 0.7~0.8 g/cm³。

黑火药选用 104 厂生产的 3 号小粒黑火药,加入适量火棉胶后,放入模具内,插入引线,再在压药机上压制成型。

使用的铝热剂为 Al 粉与 Fe₂O₃ 的均匀混合物,其中 Al 粉和 Fe₂O₃ 的质量分数分别为 25% 和 75%。

2.3 性能测定

称取 1 g 铝热剂堆放于耐火板上,用铁架台将点火药饼固定在铝热剂的正上方,再用厘米刻度尺测量出点火距离,点燃点火药引线后观察并记录实验结果,点火药药量均为 (0.80 $\pm$ 0.02) g。黑火药的点火距离从 3.0 cm 开始测试,选定实验步长为 0.25 cm;新配制出的点火药点火距离从 8.0 cm 开始测试,步长为 0.5 cm,各进行 30 次试验。

对试验数据进行整理后,可得到 50% 点火距离,结果如表 2 所示。其中, X_R 为 50% 着火距离, L_1 为全着火距离, L_2 为不着火距离, σ 为 X_{12} 的标准偏差。

表 2 点火药的点火性能

Table 2 The ignition performance of ignition composition

点火药	X_R/cm	σ/cm	L_1/cm	L_2/cm
高能点火药	7.916	0.419	6.441	9.558
黑火药	2.942	0.253	2.059	3.941

3 结果分析

从表 2 中可以看出,高能点火药 50% 点火距离为 7.916 cm,3 号黑火药 50% 点火距离仅为 2.942 cm,由此可见,该高能点火药的点火效率远远高于黑火药的点火效率。

点火药中铝粉的含量对点火药燃烧温度影响较大。主要由于铝的耗氧量小,反应中单位质量所产生的热效应高,再加上其氧化产物可与氧化氮等气体发生二次放热反应,使反应体系中放出的热量大大增加,从而提高了点火药的燃烧温度。另外,生成了大量的气体产物和一定量的凝聚相产物,是影响点火药点火距离和点火效率的重要因素。

(下转第 80 页)

现,反吹气的温度为 100 时较佳。

2.6 电离方式对 RDX、HM X 质谱峰的影响

在上述条件下用正离子检测 RDX 和 HM X 的质谱图,结果发现,正离子检测时,RDX 和 HM X 的总离子流图几乎没有,其质谱图也不佳。说明 RDX 和 HM X 适合于负离子检测,这是由于 $-\text{NNO}_2$ 是强吸电子基团,与其相接的 CH_2 中的 H 原子极容易离去,使得这两种化合物极易电离,从而带负电荷。

3 结 论

(1) 大气压电喷雾电离质谱与普通电子轰击(EI)质谱相比,最大优点是热不稳定的硝基化合物(如 RDX、HM X)得到分子离子峰。还可以通过对碰撞诱导裂解(CID)的调节和优化得到与化合物结构相关的特征碎片离子,为结构鉴定提供依据。

(2) 由于 $-\text{NNO}_2$ 硝基化合物容易脱去 NO_2 ,故在 RDX、HM X 的大气压电喷雾电离质谱中 $[\text{NO}_2]^-$ 离子很强且为基峰;同时这两个化合物均有 $[\text{M} - \text{H} + \text{H}_2\text{O}]^-$ 、 $[\text{M} - \text{H} + 2\text{H}_2\text{O}]^-$ 、 $[\text{M} - \text{H} + \text{NO}_2]^-$ 、 $[\text{M} - \text{H} + 62]^-$ 等加合离子及特征碎片离子;由于 HM X 分子为对称结构,故 HM X 有 $[\text{M} \div 2 - \text{H}]^-$ 特征离子,而 RDX 没有。

(3) pH 值对 RDX 和 HM X 化合物质谱图的影响也较大,尤其对准分子离子、加合离子等离子强度影响较大,故要得到较好的质谱图,必须调节 pH 值。

(4) 其他影响因素,如雾化气流速、反吹气温度、反吹气流速、喷雾的形状及位置等也对质谱图有着很大的影响,需视不同样品作必要的调整。

参考文献

- [1] Bruins A. P. Analysis of explosives by LC/MS[C]. Proceedings of the International Symposium of the Analysis and Detection of Explosives. Virginia: Federal Bureau of Investigation, 1983: 227-234.
- [2] Yinon J, Hwang D. G. High performance LC/MS of explosives[J]. J Chromatography, 1983, 268(1): 45-53.
- [3] Peter T. Kissinger. LC/MS determination of explosives[C]. Proceedings of the International Symposium of the Analysis and Detection of Explosives. Virginia: Federal Bureau of Investigation, 1983: 45-49.
- [4] 张敏, 孙莉霞, 陈智群. BTTN 与 NG 混合物的大气压电喷雾电离质谱研究[J]. 含能材料, 2004, 12(3): 165-167.
- [5] Chen T. H. Comparative study of RDX and HM X by DEPM S and TSLC/MS[C]. Proceedings of the 4th International Symposium on Analysis and Detection of Explosives. Israel: Kluwer Academic Publishers, 1992: 309-321.
- [6] 张敏, 卢兴森, 王继平, 等. 硝基化合物的大气压电喷雾电离质谱[J]. 质谱学报, 1999, 20(3, 4): 59-60.
- [7] 张敏, 孙莉霞, 魏俊发. 用大气压电喷雾电离质谱对 PYX 的研究[J]. 质谱学报, 2003, 24(2): 356-358.

(上接第 76 页)

在点火过程中,该点火药生成大量的 MgO 、 Al_2O_3 以及熔融态 K_2O 等灼热熔渣,通过燃烧过程中产生的 N_2 和 SO_2 等气体产物,抛撒在需要被点燃的铝热剂表面,经过热传导和热辐射作用,引燃铝热剂,从而大大增强了点火能力。

4 结 论

高能点火药配方可以满足高热剂产品的可靠、快速引燃,基本能够满足工业、民用产品的使用要求。该点火药配方有待于进一步深入研究,包括感度、安定性、相容性以及贮存可靠性等方面的性能测试。

参考文献

- [1] 邓克绪. 固体式红外增强吊舱药剂和试验研究[J]. 火

工品, 1997(3): 7-11.

- [2] 王建江, 赵忠民, 李俊寿, 等. 用自蔓延铝热-熔覆法制备陶瓷内衬复合钢管[J]. 材料保护, 1997, 30(3): 15-16.
- [3] 吴向阳, 仰榴青, 冷华俊. 铝热剂在接地线焊接中的应用研究[J]. 江苏理工大学学报, 1997, 19(3): 90-93.
- [4] 袁志华, 张得智, 吴玉斌, 等. 新型燃烧剂控制爆破技术[J]. 爆破, 2004, 21(2): 10-11.
- [5] 刘德辉, 吴文清, 吕振忠. 含铝硝胺推进剂配方优化设计[J]. 火炸药学报(原兵工学报·火化工分册), 1997(1): 22-23.
- [6] 杜成中, 李丽, 李先. 适用于硝胺发射药的点火药[J]. 火炸药学报, 2002, 25(3): 69-72.
- [7] 陈明华, 焦清介, 温玉全. MTV 烟火剂的燃烧性能计算[J]. 火炸药学报, 2002, 25(3): 75-78.
- [8] 郝新红, 汪佩兰. 烟火药爆炸性能的数值模拟[J]. 北京理工大学学报, 2002, 19(1): 56-59.