

文章编号: 1006-9941(2010)04-0419-04

低能爆炸箔点火器研究

杨振英, 梁国英, 陈 静, 周 智, 张玉若, 雷 鸣

(中国兵器工业第 213 研究所, 陕西 西安 710061)

摘 要: 为降低爆炸箔冲击片点燃 B/KNO₃ 点火药的发火能量, 对 B/KNO₃ 药剂组分进行了细化处理, 优化了压药密度。在压药密度为 1.50~1.64 g·cm⁻³、发火电容为 0.12 μF 的条件下, 采用升降法进行了发火试验, 试验结果表明, 爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 点火药 50% 发火能量平均值约 29 mJ。在试验中监测了爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 点火的爆发电流, 测试表明: 爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 点火药全发火爆发电流约 500 A。

关键词: 军事化学与烟火技术; 爆炸箔点火器; B/KNO₃ 点火药; 50% 发火能量; 爆发电流

中图分类号: TJ55

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.04.014

1 引 言

随着爆炸箔起爆技术的发展和在弹药中的成功应用, 该技术已被弹药保险与解除保险设计人员及弹药用户所接受, 爆炸箔技术在起爆系统中的优点, 使它在各种导弹、火箭弹固体发动机点火系统中具有一定的安全性和可靠性优势。在 20 世纪 80~90 年代就有人利用爆炸箔冲击片进行了点燃烟火剂的研究, George N. Hennings 等^[1-2] 在 2004 年和 2007 年先后提出了用于点火的创新专利。2005 年 Craig Keser 和 Jeffrey Winebrenner 在美国第 41 届宇航年会上, 报道了低能爆炸箔点火器的原型样机照片^[3], 该照片的结构与 2004 年 10 月申报的专利结构基本相同。笔者在 2000 年和 2004 年曾对爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 进行了研究^[4-5], 由于当时的 B/KNO₃ 药剂粒度较粗及粒度匹配没有达到最佳, 导致爆炸箔冲击片的 50% 点火能量较高, 大约为 0.5 J, 这对直列式点火系统体积小型化设计带来困难。爆炸箔点火器是直列式点火系统的核心部件, 低能点火是关键技术, Michael Barglowski 在第 44 届宇航年会上介绍美国 Ensign Bickford 航天防务公司的直列式点火系统时也强调这一点^[6]。本实验对爆炸箔冲击片加载装置关键参数进行优化设计并对 B/KNO₃ 药剂组分原材

料进行细化, 使爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 的点火能量大幅度地降低, 该研究结果对减小爆炸箔直列式点火系统的体积及可靠性增长有重要意义。

2 爆炸箔点火器的发火原理

爆炸箔点火结构示意图如图 1 所示。它的作用过程是: 当大电流通过金属桥箔时, 金属桥箔发生爆炸, 产生的等离子体迅速膨胀, 剪切贴在桥箔上方的聚酰亚胺飞片, 并推动飞片以高速撞击超细 B/KNO₃ 始发药柱输入端表面, 使始发药柱产生爆燃点燃输出 B/KNO₃ 钝感点火药并形成稳定燃烧, 相继点燃火箭发动机点火药及推进剂。

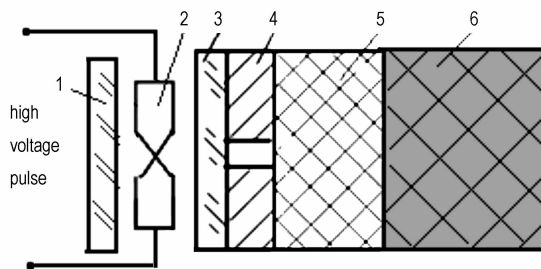


图 1 爆炸箔冲击片点火器结构示意图

1—反射片, 2—爆炸桥箔, 3—飞片, 4—加速膛, 5—B/KNO₃ 点火药, 6—B/KNO₃ 输出药

Fig. 1 Schematic diagram of B/KNO₃ ignited by exploding foil igniter

1—tamper, 2—exploding foil, 3—flyer, 4—barrel, 5—B/KNO₃ composition, 6—B/KNO₃ output pellet

收稿日期: 2010-01-04; 修回日期: 2010-04-27

作者简介: 杨振英(1953-), 男, 研究员, 从事爆炸箔起爆与点火技术研究。e-mail: yang_zhen-ying@163.com

3 点火药材料及试验方法

3.1 点火药材料

B/KNO₃ 钝感点火药是直列式点火系统许用药剂,目前低能点火是关键技术,为了提高 B/KNO₃ 点火药的冲击片感度,将其原材料硝酸钾(KNO₃)组分细化为平均粒径 < 3 μm,并与平均粒径为 0.59 ~ 0.62 μm 的硼粉按最佳配比均匀混合,获得 B/KNO₃ 点火药的比表面积约 20 m² · g⁻¹,典型的 B/KNO₃ 点火药电镜照片如图 2 所示。在使用时,B/KNO₃ 点火药可以直接压装在药柱套中,也可以压成药柱形式装进药柱套中。在本试验中,所用细化后的 B/KNO₃ 标准药柱密度为: $\rho = (1.57 \pm 0.07) \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。

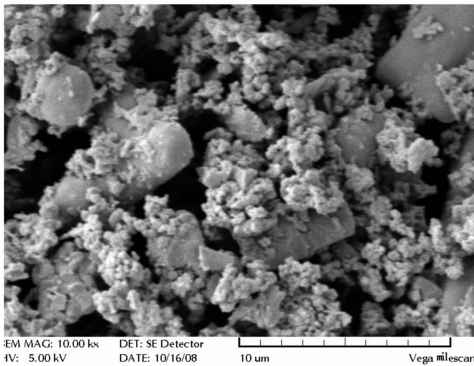


图 2 超细 B/KNO₃ 点火药电镜照片(×1000)

Fig.2 SEM photograph of ultrafine B/KNO₃ composition

3.2 试验方法

由于点火药发火是一次性作用,因此,按 GJB377-87《感度试验用升降法》对点火药 50% 发火电压进行试验,试验步长为 50 V。将 50% 发火电压按 $E = 1/2 CV^2$ (C 为电容, V 为电压) 换算成发火能量,用 50% 发火能量来表征 B/KNO₃ 点火药的爆炸箔冲击片感度。在试验中所用发火电容有两种,容量分别为 0.12 μF 和 0.15 μF,聚酰亚胺飞片厚度为 25 μm。

4 结果与讨论

4.1 B/KNO₃ 点火药爆炸箔冲击片低能发火试验

在试验中,用细化后的 B/KNO₃ 点火药,对密度 1.30 ~ 1.75 g · cm⁻³ 范围内变化进行了 10 组 50% 发火电压试验,每组试验有效样本量为 20 ~ 30 发,试验结果如图 3 所示。将图 3 中密度在 1.57 ~ 1.64 g · cm⁻³ 的 6 组 50% 发火电压的数据进行平均,得到 $X_{50} =$

695 V, $\sigma = 85.3 \text{ V}$,将电压换算成发火能量约 29 mJ,根据推算爆炸箔点燃超细 B/KNO₃ 钝感点火药的全发火最低电压约 960 V,换算成全发火能量约 55 mJ。对电压在 600 V 以下不发火的试验样品进行了解剖,发现桥箔已气化,聚酰亚胺未被加速膛剪切形成飞片,超细 B/KNO₃ 始发药柱输入端表面无任何痕迹。解剖数发典型的照片如图 4 所示,图 4a 是桥箔发火后的照片,图 4b 是发火后未点燃的 B/KNO₃ 点火药药柱输入端照片。

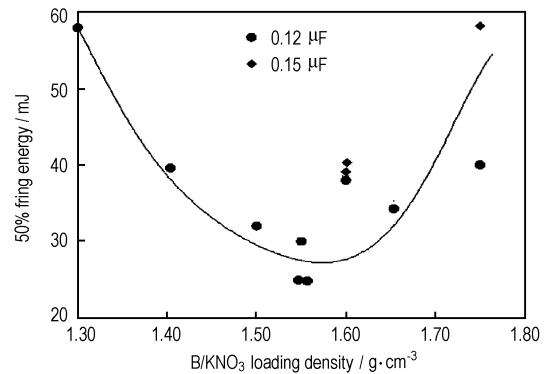
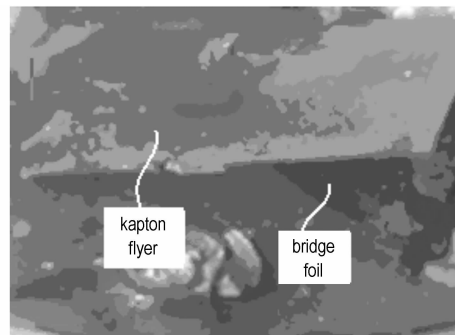
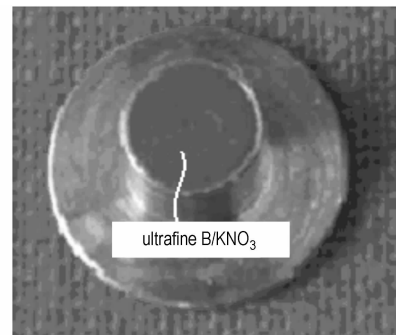


图 3 B/KNO₃ 点火药爆炸箔冲击片感度试验

Fig.3 Sensitivity test of exploding foil igniter for B/KNO₃ composition



a. photograph of the foil after firing



b. input end photograph of unignited charge after firing

图 4 发火电压为 600 V 未点燃 B/KNO₃ 药柱的解剖照片

Fig.4 Sectional photographs of unignited B/KNO₃ charge with the firing voltage of 600 V

由图 3 看出,利用平均粒径 $<3 \mu\text{m}$ 的 KNO_3 和平均粒径为 $0.59 \sim 0.62 \mu\text{m}$ 的超细硼粉均匀混合的 B/KNO_3 点火药,50% 点火能量较以前有大幅度降低,并且标准差的散布较小。 B/KNO_3 点火药的压药密度在 $1.30 \sim 1.75 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 之间存在 50% 最低发火能量拐点。主要原因是:装药密度较小时,药剂过于疏松,聚酰亚胺飞片撞击到药柱表面时,药剂的粒度产生相对滑动,使部分动能损失的缘故。当药柱压药密度太大时,发火能量提高是因为对一定粒度的药剂,压力过大,导致发火感度提高的缘故。因此,对爆炸箔冲击片点火,压药密度应为 $(1.57 \pm 0.07) \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 较为适合。

从图 4a 中清楚看出,当药柱未被点燃时,桥区的铜箔虽然被气化,但是观察桥箔气化面积比正常点火的面积要小,聚酰亚胺飞片完好无缺。点燃 B/KNO_3 始发药柱是靠飞片高速撞击点燃,飞片没有被剪切或撞击始发药柱,图 4b 中 B/KNO_3 始发药柱输入端表面和试验前完全一样。因此,发火电压在 600 V 以下,桥箔气化后产生的等离子量相对小,不能将聚酰亚胺飞片通过加速膛剪切下,更形不成飞片撞击点燃其 B/KNO_3 始发药柱。

4.2 B/KNO_3 点火药组分粒度对 50% 发火能量的影响

影响爆炸箔冲击片点燃 B/KNO_3 药剂发火能量的因数较多,在冲击片加载装置各参数最佳匹配下,对 B 组分的纯度和平均粒度, KNO_3 组分的平均粒径及二者的粒度级配进行了 50% 发火感度试验,试验结果见表 1。由表 1 可以看出,硼粉的纯度越高,粒度越细, KNO_3 粒度细,则爆炸箔 50% 点火能量低,试验结果散布较小。

表 1 硼粉纯度及粒度对发火能量的影响

Table 1 Effects of purity and particle size of boron powder on firing energy

boron powder		KNO_3		sample /n	50% firing energy /mj	deviation /mj
purity /%	average diameter / μm	average diameter / μm				
96.2	0.59-0.62	7-8		32	101.0	1.3
96.2	0.59-0.62	7-8		28	63.5	1.4
96.2	0.59-0.62	<3		23	30.0	0.3
91.0	1.40	7-8		41	138.0	0.7

4.3 冲击片点火爆发电流测试结果

爆炸箔冲击片点燃 B/KNO_3 点火药的爆发电流是采用罗克夫基线圈方法测试,记录电压波形,并通过

Tektronix DPO7104 数字荧光示波器储存和显示线圈电流波形,电压波形和电流波形交叉的点则是爆炸箔点火的爆发电流。在测试中,发火装置中所用的电容为 $0.12 \mu\text{F}$,同时对发火电压在 $700 \sim 1200 \text{ V}$ 的爆发电流进行了监测,测试结果见表 2。发火电压为 1000 V 点燃 B/KNO_3 药剂典型的爆发电流波形如图 5 所示。

表 2 爆炸箔电燃 B/KNO_3 点火药爆发电流测试结果

Table 2 Burst current of B/KNO_3 composition ignited by exploding foil

No.	amount inductance /nH	bridge foil resistance /m Ω	firing voltage /V	burst current /A	remark
1	143	49.7	1200	710	pellet deflagration
2	157	54.9	1200	710	pellet deflagration
3	146	58.3	1200	635	pellet deflagration
4	144	50.9	1000	462	pellet deflagration
5	142	60.0	1000	492	pellet deflagration
6	143	53.8	800	416	pellet deflagration
7	145	53.1	800	416	pellet deflagration
8	145	57.2	800	412	pellet deflagration
9	140	54.9	700	-	pellet deflagration
10	143	54.2	700	-	pellet deflagration

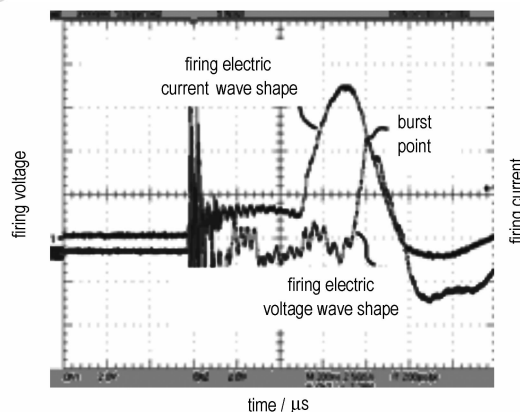


图 5 发火电压为 1000 V 时点燃 B/KNO_3 药剂典型的发火电流电压原始波形图

Fig. 5 A typical current-voltage waveform for B/KNO_3 charge ignited with the firing voltage of 1000 V

由表 2 可以看出, 爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 点火药的发火电压和爆发电流较低。爆发电流的大小与发火电压有关, 并随着发火电压的减小而减小。当发火电压在 700 V 以下时, 则发火试验中监测不到其爆发电流, 主要原因是发火电压低, 所通过电流环的相应电流小, 感应的电信号弱或示波器的灵敏度差等, 无法测到爆发电流数据。但是, 发火电压在 700 V 时, B/KNO₃ 药柱仍然能被点燃。根据图 3 中 B/KNO₃ 点火药压药密度在 1.50 ~ 1.65 g · cm⁻³ 的 6 组 50% 发火平均试验数据外推, 爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 点火药全发火电压约 960 V。再根据爆发电流测试结果估计, 爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 的全发火爆发电流约 500 A。

4 结 论

(1) 以 0.59 ~ 0.62 μm 硼粉和细化后平均粒径小于 3 μm 的 KNO₃ 混合而成的超细 B/KNO₃ 点火药, 其爆炸箔冲击片 50% 点火能量较低, 偏差散布较小。超细 B/KNO₃ 点火药的压药密度对 50% 点火能量有影响, 压药密度应为 (1.57 ± 0.07) g · cm⁻³ 较为适合。

(2) 爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 点火药的 X_{50%} 发火电压为 695 V, 发火能量约 29 mJ, 全发火能量约 55 mJ (959 V, 0.12 μF)。发火电压在 600 V 以下, 桥区气化面积较小, 提供的能量不能将聚酰亚胺飞

片从加速膛中剪切下, 更形不成飞片撞击点燃其始发点火药。

(3) 爆炸箔冲击片点燃超细 B/KNO₃ 钝感点火药全发火爆发电流约 500 A, 能可靠点燃超细 B/KNO₃ 始发点火药柱。

参考文献:

- [1] George N Hennings, Dieter K Teschke, Richard K Reynolds. Energetic material initiation device utilizing exploding foil initiated ignition system with secondary explosive material: US 2004/0107856 A1 [P]. Jun. 10, 2004.
- [2] George N Hennings, Richard K Reynolds, Christopher J Nance. Energetic material initiation device utilizing exploding foil initiated ignition system with secondary explosive material: US 2007/0119325 A1 [P]. May. 31, 2007.
- [3] Craig Keser, Jeffrey Winebrenner, Richard Harris. Using safe, proven fuze technology for rocket motor ISDs [C] // 41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit 10 - 13 July 2005, AIAA 2005 - 4500.
- [4] 杨振英, 褚恩义, 郭少华, 等. 冲击点火管 [J]. 火工品, 2000 (3): 17 - 20.
YANG Zhen-ying, CHU En-yi, GUO Shao-hua, et al. Slapper igniter [J]. *Initiators and Pyrotechnics*, 2000 (3): 17 - 20.
- [5] 杨振英, 褚恩义, 吕巧莉, 等. 爆炸箔点火器研究 [J]. 含能材料, 2004, 12 (1): 56 - 58.
YANG Zhen-ying, CHU En-yi, LÜ Qiao-li, et al. study on exploding foil igniter [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12 (1): 56 - 58.
- [6] Michael Barglowski. Innovative MIL-STD-1901A compliant ignition systems [C] // 44th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit 21 - 23 July 2008, AIAA 2008 - 4510.

Study on Low Energy Exploding Foil Igniter

YANG Zhen-ying, LIANG Guo-ying, CHEN Jing, ZHOU Zhi, ZHANG Yu-ruo, LEI Ming

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

Abstract: In order to decrease the firing energy of B/KNO₃ composition ignited by the exploding foil igniter, the components of B/KNO₃ were refined, and the loading density was optimized. The firing experiments were carried out using Bruceton method with the loading density of 1.50 - 1.64 g · cm⁻³, and the fire capacitance of 0.12 μF. The burst current of ultrafine B/KNO₃ composition ignited by the exploding foil igniter was also tested. Results show that the average value of 50% firing energy of ultrafine B/KNO₃ composition ignited by the exploding foil igniter is 29 mJ, and the all-fire burst current is about 500 A.

Key words: military chemistry and pyrotechnic technology; exploding foil igniter; B/KNO₃ composition; 50% firing energy; burst current

CLC number: TJ55

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2010.04.014