

文章编号: 1006-9941(2005)05-0319-02

## 亚微米炸药的冲击波起爆研究

吕春玲, 张景林, 王晶禹, 谭迎新

(中北大学环境与安全工程系, 山西 太原 030051)

**摘要:** 采用小隔板试验(低压长脉冲)和冲击片(高压短脉冲)试验对亚微米粉体炸药的起爆感度进行了对比试验研究,发现亚微米粉体炸药具有在常见环境力(低压长脉冲)作用下安全钝感,而在特定激励(高压短脉冲)作用下敏感的特点。研究表明,在90%理论密度试验条件下,低压长脉冲冲击波起爆过程中,冲击波感度由热点点火过程控制,且随粒度的减小而降低;而高压短脉冲冲击波起爆过程中,炸药起爆感度由爆轰成长过程控制,冲击波感度随粒度的减小而提高。

**关键词:** 爆炸力学; 亚微米炸药; 冲击波感度; 高压短脉冲; 低压持续脉冲; 热点点火; 爆轰成长

**中图分类号:** TJ55; O389; TQ564.3

**文献标识码:** A

### 1 引言

炸药的冲击波感度是指炸药在冲击波作用下发生爆轰的难易程度,对炸药冲击波感度的评价有许多种试验方法,其中最常用的是隔板试验和冲击片(飞片)撞击试验。由于这些方法的试验条件和判别标准不同,常导致试验结果的差别较大甚至截然相反,给炸药冲击波感度的评价增加了难度。随着超细材料科学技术的迅速发展,亚微米粉体概念已被引入炸药研究的领域,并且初步证明亚微米炸药具有爆轰传播快、更稳定、能量释放更加迅速等优异性能<sup>[1]</sup>。因此研究和揭示亚微米炸药与普通粉体炸药对不同形式冲击波作用的反应特征和机理,对于客观、准确和全面地评价炸药的冲击波起爆特征和机理具有重要意义。

### 2 试验

#### 2.1 样品制备与粒度表征

用水筛法获得10~30 μm的HMX普通粉体炸药, HNS选用粒度为8~10 μm的Ⅱ型普通粉体。

以水为分散介质,用90Plus BROOKHAVEN激光粒度分析仪对喷射细化重结晶法得到的HMX和HNS炸药进行粒度分析。结果表明,其粒度分布均在0.5~1 μm之间,属于亚微米级粉体炸药(见图1)。

#### 2.2 冲击片感度试验

##### 2.2.1 试验装置和原理

试验装置主要由电爆炸导体、冲击片、加速膛、药柱和反射片组成(见图2)。起爆时,高压脉冲电源经

带状传输线给电爆炸导体供电,电爆炸导体在颈缩段发生爆炸,产生的等离子体迅速膨胀,其极高的压力在反射片材料的限制下,从加速膛中心孔中切割下飞片,飞片经过加速膛加速后高速撞击炸药柱。用最小起爆电压来表征其冲击波感度大小,最小起爆电压越小,则冲击波感度越高。

##### 2.2.2 试验条件

冲击片材料为聚酰亚胺(Φ1 mm × 50 μm); 炮筒材料为蓝宝石(Φ1 mm × 2 mm); 反射片为玻璃; 药量2 mg。

##### 2.2.3 试验结果

用普通粉体炸药和亚微米炸药做冲击片起爆感度对比试验,试验结果如表1所示。

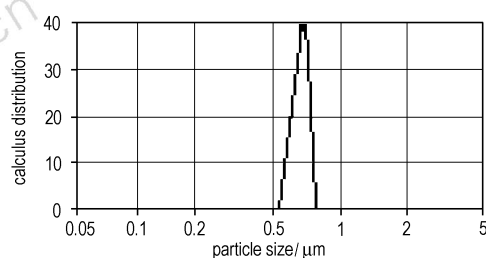


图1 亚微米HMX和HNS炸药的粒度分布图  
Fig. 1 Size distribution of sub-micron HMX and HNS

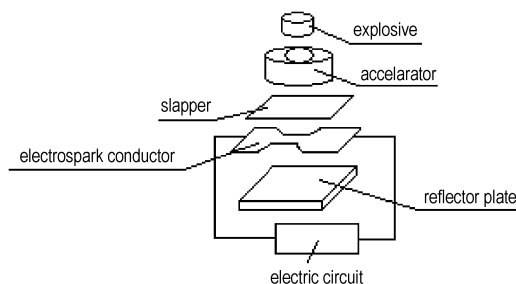


图2 冲击片起爆试验原理示意图

Fig. 2 Sensitivity test sketch of slapper initiation

收稿日期: 2005-03-09; 修回日期: 2005-07-17

作者简介: 吕春玲(1970-),女,讲师,在读博士,从事超细含能材料技术的研究。e-mail: LCL71@tom.com

表 1 HMX 和 HNS 冲击片起爆试验结果

Table 1 Slapper initiation sensitivity test for HMX and HNS

sample	90% TMD /g · cm <sup>-3</sup>	particle size/μm	minimum initiation voltage/V	minimum initiation energy/J
HMX	1.71	10 ~ 30	3000	0.27
	1.71	< 1	2100	0.18
HNS	1.57	8 ~ 10	3800	1.10
	1.57	< 1	3400	0.30

冲击片感度试验结果表明,对于同一种炸药,亚微米炸药所需的最小起爆电压和最小起爆能量相对较低,即亚微米炸药的冲击片起爆感度高于普通粉体炸药。

### 2.3 小隔板试验

#### 2.3.1 试验装置和原理

由标准施主药柱爆炸产生的冲击波,经有机玻璃隔板衰减后,作用于被测试样,测定试样 50% 爆炸时的隔板厚度值,用它来表征受主药柱对冲击波的敏感程度。隔板值越高,冲击波感度越高;反之,冲击波感度越低。试验装置见图 3。

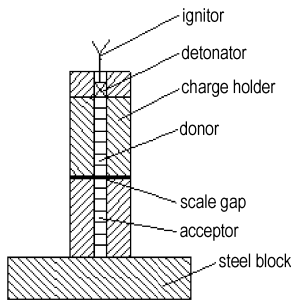


图 3 小隔板试验装置示意图

Fig. 3 Sketch of small scale gap test

#### 2.3.2 试验条件

施主药柱为丙酮精制黑索今( $\rho = 1.604 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ),隔板材料为 PMMA。

#### 2.3.3 试验结果

用普通粉体炸药和亚微米炸药做小隔板对比试验,试验结果见表 2。小隔板试验结果表明,对于同一种炸药,亚微米炸药的 50% 隔板值较低,临界起爆爆压相对较高,即在该试验条件下普通粉体炸药的冲击波感度高于亚微米炸药。

表 2 HMX 和 HNS 小隔板试验结果

Table 2 Results of small scale gap test for HMX and HNS

sample	90% TMD density /g · cm <sup>-3</sup>	particle size/μm	50% detonate characteristic fall height/mm	critical initiation pressure/GPa
HMX	1.71	10 ~ 30	9.40	5.74
	1.71	< 1	7.04	7.59
HNS	1.57	8 ~ 10	7.59	7.64
	1.57	< 1	4.74	13.24

## 3 结果与讨论

在冲击片感度试验中用冲击片起爆时,亚微米炸药冲击波感度比普通粉体炸药高;而在小隔板试验中,亚微米炸药的冲击波感度比普通粉体炸药低。这种颠倒的结果可用冲击波起爆热点点的粘塑性模型来解释。

由 Khasainov<sup>[2]</sup> 等人建立的冲击波起爆粘塑性热点模型可知,孔穴粘塑性崩塌所形成热点的温度与入射冲击波压力有直接关系,入射冲击波压力越高,孔穴崩塌所形成热点的温度越高,炸药的热点点火越容易。炸药颗粒越大,形成的空穴尺寸也越大,冲击波作用后形成的热点尺寸也越大,临界点火温度及临界点火压力越低。另外,炸药颗粒越大越容易成型,即炸药粘度和塑性屈服强度越低,这均有利于提高空穴表面温度,有利于热点点火。因此炸药粒度大,热点点火容易发生。在小隔板试验中,冲击波为低压持续脉冲,起爆过程主要决定于冲击波压力,冲击波感度由热点点火过程控制,粒度越大,热点点火越容易发生,感度越高,因此,普通粉体炸药的感度比亚微米炸药的冲击波感度高。

在冲击片起爆实验中,冲击波为高压短脉冲,起爆过程主要决定于冲击波持续时间。Honodel<sup>[3]</sup> 的实验研究表明,高压短脉冲冲击波起爆实验结果与临界起爆能量判据  $P^2\tau$  为常数有较好的一致性,即在高压冲击波作用下,其高压使得热点点火必然发生,其起爆过程决定于爆轰成长过程的成败,而爆轰成长过程相对热点点火过程的延迟时间长,因此对冲击波持续作用时间的依赖性较大,该持续时间的长短成为决定爆轰能否成长的关键因素。当炸药密度一定时,决定爆轰成长过程的主要因素是化学反应速率,而化学反应的实质是颗粒表面的燃烧,炸药颗粒越小,比表面积越大,越有利于提高化学反应速率。亦即炸药粒度的减小有利于爆轰的成长。因此,在冲击片起爆实验中,起爆过程取决于爆轰成长,冲击波感度随粒度的减小而提高,亚微米炸药冲击波感度比普通粉体炸药高。

## 4 结 论

在 90% 理论密度试验条件下,可得出以下结论:

(1) 在冲击片起爆试验中,炸药的起爆感度由爆轰成长过程控制,冲击波感度随粒度的减小而提高,亚微米炸药冲击波感度比普通粉体炸药高。

(2) 在小隔板试验中,冲击波感度由热点点火过程控制,冲击波感度随粒度的增大而提高,亚微米炸药冲击波感度比普通粉体炸药小。(下转 336 页)

- netite nanoparticles dispersed in mesoporous copolymer matrix [J]. *IEEE Trans Magn*, 2000, 36: 3038 - 3040.
- [3] Zhu Y H, Wu Q F. Synthesis of magnetite nanoparticles by precipitation with forced mixing[J]. *J Nanoparticle Res*, 1999, 1: 393 - 396.
- [4] Konishi Y, Nomura T, Mizoe K. A new synthesis route from spent sulfuric acid pickling solution to ferrite nanoparticles[J]. *Hydrometallurgy*, 2004, 74: 57 - 65.
- [5] O'Connor C J, Seip C T, Carpenter E E, et al. Synthesis and reactivity of nanophase ferrites in reverse micellar solution[J]. *Nanostruct Mater*, 1999, 12: 65 - 67.
- [6] Liu Z L, Wang X, Yao K L, et al. Synthesis of magnetite nanoparticles in W/O micro-emulsion[J]. *J Mater Sci*, 2004, 39: 2633 - 2636.
- [7] Franger S, Berthet P, Berthon J. Electrochemical synthesis of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  nanoparticles in alkaline aqueous solution containing complexing agents[J]. *J Solid State Electr*, 2004, 8: 218 - 223.
- [8] Hofmeister H, Huisken F, Kohn B, et al. Filamentary iron nanostructures from laser-induced pyrolysis of iron pentacarbonyl and ethylene mixtures[J]. *Appl Phys*, 2001, A 72: 7 - 11.
- [9] Lee J S, Hsu C K, Chang C L. A study on the thermal decomposition behaviors of PETN, RDX, HNS and HMX [J]. *Thermochim Acta*, 2002, 329: 173 - 176.
- [10] Zhou Z N, Pan G P, Zhang J G, et al. A study on the compatibility of red phosphorus with some pyrotechnic materials[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2002, 2: 36 - 38.
- [11] Ozawa T. A new method of analyzing thermogravimetric data[J]. *Bull Chem Soc Jpn*, 1965, 38 (11): 1881.
- [12] HU Rong-zu, SUN Li-xia, WU Shan-xiang. The test method of stability and compatibility-DTA and DSC method [S]. GJB772A-97-method 502. 1. 1997. 9. 159.

## 磁铁矿 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) 纳米粒子与常用爆炸物的热相容性研究

于文广<sup>1</sup>, 张同来<sup>1</sup>, 张建国<sup>1</sup>, 吴瑞凤<sup>1,2</sup>, 乔小晶<sup>1</sup>

(1. 北京理工大学 爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081;

2. 内蒙古工业大学化学工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010024)

**摘要:** 利用氧化-沉淀法成功制备出了磁铁矿纳米粒子, 经过 XRD 技术表征, 磁铁矿纳米粒子的平均直径约为 50 nm, 粒分布狭窄。使用 DSC 技术研究了平均直径为 50 nm 的磁铁矿纳米粒子与常用的爆炸物高氯酸钾 (PP), 六硝基芪 (HNS), 奥克托今 (HMX) 和二苦氨基二硝基吡啶 (PYX) 的热相容性, 得到有意义的结论。实验表明, 50 nm 左右的磁铁矿纳米粒子与 PP 及 PYX 热相容, 与 HNS 不相容, 与 HMX 严重不相容。

**关键词:** 物理化学; 磁铁矿; 纳米粒子; 爆炸物; 相容性

**中图分类号:** TJ55; TQ567

**文献标识码:** A

(上接 320 页)

### 参考文献:

- [1] 张小宁, 徐更光, 徐军培, 等. 超细 HMX 和 RDX 撞击感度的研究 [J]. *火炸药学报*, 1999, 22(1): 33 - 36.
- ZHANG Xiao-ning, XU Geng-guang, XU Jun-pei, et al. A study about impact sensitivity of ultrafine HMX and RDX [J]. *Chinese Journal of Explosive and Propellant*, 1999, 22(1): 33 - 36.
- [2] Khasainov B A, Borisov A A, Ermolaev B S, et al. Two-phase viscoplastic model of shock initiation of detonation in high density pressed explosives [A]. Proc. 7th Int. Symp. on Detonation [C], 1981.
- [3] Honodel C A, Humphrey J R, Weingart R C. Shock Initiation of TATB Formulations [A]. Proc. 7th Int. Symp. on Detonation [C], 1981.

## Selectivity of Sub-micron Explosive Sensitivity to Shock Wave

Lü Chun-ling, ZHANG Jing-lin, WANG Jing-yu, TAN Ying-xin

(Department of Environment and Safety Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** The shock sensitivity of sub-micron explosive was studied by small-scale gap test and slapper initiation test; and the shock wave was low pressure-long pulse in the small-scale gap test, and high pressure-burst pulse in the slapper initiation test. The explosive is safe when motivated by a generic environmental force, i. e. low pressure-long pulse and it is sensitive when motivated by special environmental force, i. e. high pressure-burst pulse. Moreover, the shock sensitivity decreases with the reduction of explosive particle size when ignition is a dominant process in the course of shock wave initiation; but oppositely, the shock sensitivity increases when detonation buildup is dominant.

**Key words:** explosion mechanics; sub-micron explosive; shock sensitivity; high pressure-burst pulse; low pressure-long pulse; ignition; growth