

文章编号: 1006-9941(2008)02-0146-03

HNS 的临界厚度测试研究

王建华, 刘玉存, 刘登程, 于雁武, 郭峰波

(中北大学化工与环境学院, 山西 太原 030051)

摘要: 为了验证六硝基芪(HNS)的爆轰波传播性能,采用楔形装药方法对三种 HNS 装药的临界厚度进行了实验研究,其装药密度分别为 1.00, 1.570 g·cm⁻³,粒径分别为 20 μm, 9 μm, 89 nm。结果表明: HNS 粒度对爆轰波传播特性影响显著,粒度减小,临界截面厚度变小,即爆轰波传播性能增强;装药密度的增加利于爆轰波传递,在装药密度为 1.570 g·cm⁻³时,HNS-IV 的临界厚度只有 0.46 mm。

关键词: 爆炸力学; 六硝基芪(HNS); 爆轰波; 临界厚度

中图分类号: O389; TJ55

文献标识码: A

1 引言

六硝基芪(HNS)具有较高能量和良好爆炸性能,被广泛用于油田开采和航空航天等领域。但国内外研究者普遍认为: HNS 的结晶形态和大小是影响其性能的主要因素,相关细化 HNS 性能研究很多,超细 HNS 具有很好的爆轰波感度,对短脉冲敏感,机械感度和静电感度低,耐热、抗辐射性能好,既安全又易于起爆^[1]。Waschl和 Richardson^[2]则认为 HNS 在压到理论密度的 90%时,比表面积 10.0 ~ 20.0 m²·g⁻¹时,冲击波感度最高; Ekipp^[3]对不同颗粒直径的 HNS 的爆轰成长距离也作了研究;文献[1]认为细化 HNS 既安全又易于起爆,适合用作雷管始发药、导爆索的输入、输出装药、爆炸箔起爆器的起爆药剂。所以研究 HNS 传爆性能对使用其装药的火工元件的可靠传爆具有指导意义。

炸药的临界尺寸是描述炸药爆轰传播动力学行为的精确参数之一,其与装药的物理状态和性能密切相关,因此装药密度和装药粒度对临界尺寸的影响研究报道较多^[4-6],但有关 HNS 临界尺寸的研究报道很少。所以,本实验选用三种细化 HNS 进行楔形实验,对其爆轰波传播性能进行研究,为钝感小尺寸火工品装药提供参考。

2 实验部分

2.1 HNS 试样

选用 HNS-II、HNS-I、HNS-IV 三种 HNS,其粒径分别为 20 μm, 9 μm, 89 nm。其中 HNS-IV 经过 90plus 激光粒度分析仪测试,平均粒径为 89 nm,结果见表 1,

$G(d)$ 表示颗粒直径的相对百分比例, $C(d)$ 表示颗粒直径的累积百分含量。

表 1 HNS-IV 的粒径分布

Table 1 Particle sizes distribution of HNS-IV

d/nm	$G(d)/\%$	$C(d)/\%$	d/nm	$G(d)/\%$	$C(d)/\%$
87.9	0	0	89.4	54	96
88.1	0	0	89.6	15	100
88.3	0	0	89.6	0	100
88.5	22	6	90.0	0	100
88.7	61	24	90.2	0	100
89.0	100	53	90.4	0	100
89.2	93	80	90.6	0	100

2.2 测试装置

测试临界爆轰尺寸装药形状很多,都是从大端面引爆,爆轰波相继穿过不同截面的装药,直到熄灭,得到爆轰熄灭处装药的临界尺寸^[7-8]。但对于类似 HNS 较为敏感的一些炸药,临界尺寸很小,制造小直径圆杆装药很困难,所以本研究采用楔形装药(见图 1)研究 HNS 的临界直径。楔形实验是将炸药压制成斜面状,由宽的一端引爆,而后观察在何处停止爆炸传播,以该处的厚度表示该炸药的冲击波感度,爆轰停止传播时对应的装药厚度,叫做临界厚度,具体的试验装置如图 2 所示。楔形模型采用 45# 钢,楔形槽总长度为 180 mm,楔形槽宽度 3 mm,引爆端最大截面厚度为 3 mm,楔形角为 9.5°,引爆采用 32# 火焰雷管。根据爆轰传播时,爆轰波的楔形槽的作用痕迹判别爆轰传播的距离。

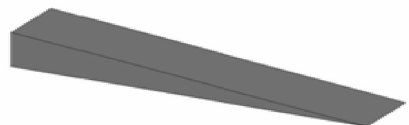


图 1 测试临界爆轰尺寸的楔形装药

Fig. 1 Wedge-shape charge for critical thickness measurement

收稿日期: 2007-02-01; 修回日期: 2007-11-13

作者简介: 王建华(1977-),女,讲师,主要从事特种能源工程研究。

e-mail: wjh522996@sohu.com

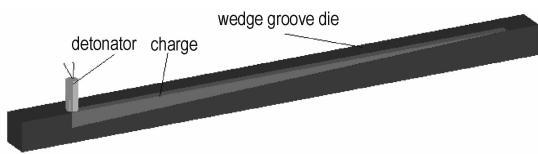


图2 实验装置剖面示意图

Fig. 2 Section plan schematic of experimental facility

3 实验结果与分析

3.1 实验结果

装药密度分别为 1.00 , $1.570 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 的 HNS 试样的临界爆轰厚度结果见表 2。装药密度 $1.00 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 接近于 HNS 的自然堆放密度,而密度 $1.57 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 为 HNS 理论密度的 90%,是 HNS 常用来装填雷管等火工品的装药密度,所以测试这两个密度下 HNS 的临界厚度对 HNS 的存贮的安全性和应用的可靠性具有指导意义。图 3 是实验过程中的典型实验照片。

表 2 HNS 粒度对临界爆轰厚度的影响

Table 2 Effect of HNS particle size on critical thickness

sample	HNS- II		HNS- I		HNS- IV	
mean charge density/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.00	1.570	1.00	1.570	1.00	1.570
critical thickness/mm	1.70	1.50	1.58	1.08	1.03	0.46

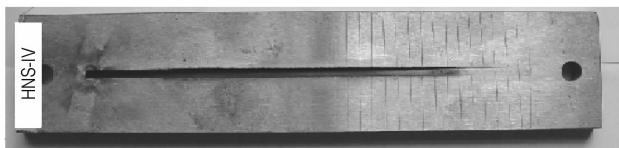


图3 典型的 HNS 爆轰传播照片

Fig. 3 The experimental result of critical thickness of HNS-IV

3.2 结果分析

由表 2 可见,装药密度一定时,HNS 的临界厚度随装药粒径的减小而减小,在装药密度为 $1.570 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 时,HNS-IV 的临界厚度是 HNS- II 的三分之一,说明纳米级 HNS 比亚微米级装药更有利于爆轰波的传递。从哈里顿原理^[9]的角度来解释,侧向膨胀波由装药侧面到达装药轴线的时由炸药的装药直径决定,因此,在同样的装药密度下,炸药的颗粒愈细,爆轰反应进行得愈快,化学反应区内完成反应所经历的时间愈短,反应区宽度变窄,径向膨胀所引起的能量损失相对减小,所以爆轰容易传播,导致临界直径减小。

表 2 的结果还表明,对同一粒度的装药,临界厚度随装药的密度的增加而减小,这是因为装药密度在没

“压死”之前,装药密度增加,反应区中压力与温度升高,化学速率加快,利于装药的起爆。炸药装药密度对临界直径的影响主要取决于炸药爆轰化学反应机理,炸药爆轰化学反应机理包括表面反应机理、整体反应机理和混合反应机理。实验用单质压装炸药,属于混合反应机理,但整体反应机理占主导地位,需要的爆速较大,因而临界厚度也大。

另外,在装药粒径越小时,装药密度对爆轰传播的影响程度越大。对 HNS-II 而言,装药密度为 $1.57 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 时临界厚度值是装药密度 $1.00 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 时的 45%,临界厚度值减少约 55%,同样情况下,HNS-II 只减少 12%。这是因为楔形装药下属于非理想爆轰传播,受直径效应和边界效应的双重影响,爆轰产物膨胀对外做功,边界处的压力下降从而使边界部分的炸药在反应区末端不能完全反应,而中心部分受侧向稀疏影响较小,炸药在反应区末端能更充分地反应,最后会导致波阵面弯曲,这种影响随装药直径的减小而增加,当小于某直径时,爆轰即熄灭。同一装药条件下,装药密度越大,边界效应对爆轰传播影响越小,炸药颗粒越小,越利于爆轰传播,所以提高装药密度,减小炸药粒径,是提高微型火工品作用可靠性的主要途径之一。从图 3 中 HNS 爆轰传播的试验痕迹能很清楚地看到在印痕末端处爆轰波的弯曲面,此试验装置同样可以印证爆轰波阵面曲率。

4 结论

对两种密度,三种粒径 HNS 的临界厚度测试结果表明,相同装药密度下,颗粒粒度大的 HNS 临界厚度比较大,粒度小的 HNS 临界厚度小,即爆轰传播能力随粒度减小而增强;随着颗粒的减小,装药密度对临界厚度的影响更明显,纳米级 HNS 的爆轰波传播更可靠。所测试的三种 HNS 中,HNS-IV 粒径最小(89 nm)、传爆临界厚度小,具有可靠的传爆性能,有望在爆轰传爆序列中得到推广应用。

参考文献:

- [1] 王平,秦德新,聂福德,等. HNS 的细化工艺研究[J]. 含能材料,2001,9(4): 153-155.
WANG Ping, QIN De-xin, NIE Fu-de, et al. Study on the preparation technology of ultrafine HNS [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2001,9(4): 153-155.
- [2] Waschl J, Richardson D. The effect of the SSA upon the flyer plate shock sensitivity of HNS [J]. *Journal of Energetic Materials*, 1991 (9): 269-282.
- [3] Ekip M, Setchell R E. A shock initiation model for fine grained HNS [R]. DE 89 007641 (SAND 88-2385c).

- [4] Price D. Shock sensitivity: A property of many aspects [R]. AD710990, NOLTR: 70-73.
- [5] Bocksteiner G, Wolfsan M G, Whelan D J, et al. The critical diameter, detonation velocity and shock sensitivity of Australian PBXW-115 [R]. ADA29129, 1994.
- [6] 陈荣义. PETN 和 RDX 颗粒的爆轰性能[D]. 长沙: 长沙矿山研究院, 2002.
- [7] 孙承纬, 卫玉章, 周之奎. 应用爆轰物理[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [8] Terry R Salyer, Larry G Hill. The dynamics of detonation failure in conical PBX9502 charges [C] // Proceedings of the 13th International Symposium on Detonation, Virginia; Norfolk, 2006.
- [9] 张宝钺. 爆轰物理学[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2001.

Critical Thickness of HNS

WANG Jian-hua, LIU Yu-cun, LIU Deng-cheng, YU Yan-wu, GUO Feng-bo

(College of Chemical Engineering and Environment, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: To study the detonations waves propagation characteristics of hexanitrostilbene (HNS), the critical thicknesses of HNS with particle size of 20 μm , 9 μm , 89 nm and densities of 1.0, 1.570 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ were measured by wedge shaped charge test. Results indicate that the HNS particle size has obvious influence on detonation wave propagation. With the decreasing particle size of HNS, the critical thickness decreases, and the propagation capability of detonation waves increases. Increase of charge density is advantageous to detonation waves propagation. When the charge density of HNS-IV (89 nm) is 1.570 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$, it's critical thickness is 0.46 mm.

Key words: explosion mechanics; hexanitrostilbene (HNS); detonation wave; critical thickness

(上接 145 页)

- [2] 柴涛, 王金英, 张景林. HMX/NTO 基塑料粘结炸药的制备工艺 [J]. 火炸药学报, 2005, 28(2): 63-64.
- CHAI Tao, WANG Jin-ying, ZHANG Jing-lin. Preparing technology of PBX based on HMX/NTO [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2005, 28(2): 63-64.
- [3] 柴涛. 超临界反溶剂法制备 PBX 混合炸药的机理和应用研究 [D]. 太原: 中北大学, 2005.
- CHAI Tao. Study on the mechanism and application about supercritical fluid anti-solvent process preparing PBX explosive [D]. Taiyuan: North University of China, 2005.
- [4] 柴涛, 张景林. 混合炸药造型粉的超临界流体反溶剂过程制备 [J]. 华北工学院学报, 2005, 26(4): 274-277.
- CHAI Tao, ZHANG Jing-lin. Preparing moulding powder of mixed explosives by using supercritical fluid anti-solvent process [J]. *Journal of North China Institute of Technology*, 2005, 26(4): 274-277.
- [5] 柴涛, 周圣, 张景林. 超临界流体反溶剂制备高聚物粘结炸药技术初探 [J]. 含能材料, 2005, 13(4): 205-207.
- CHAI Tao, ZHOU Sheng, ZHANG Jing-lin. Preparation of PBX by supercritical fluid anti-solvent method [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13(4): 205-207.
- [6] Elvassore N, Bertucco A, Caliceti P. Production of protein-polymer micro-capsules by supercritical of anti-solvent techniques [C] // Proceeding of the 5th International Symposium on Supercritical Fluids. Atlanta (USA), 2000.
- [7] 朱自强. 超临界流体技术-原理和应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- ZHU Zi-qiang. Supercritical Fluid Technology-Principle and Application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001.
- [8] 徐寿昌. 有机化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.
- XU Shou-chang. Organic Chemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 1991.

Preparation Technology of Sub-micron HMX/FPM₂₆₀₂ Ultra-fine Composite Explosive

WANG Bao-guo, CHEN Ya-fang, ZHANG Jing-lin

(College of Chemical Engineering & Environment Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The submicron HMX/FPM₂₆₀₂ composite explosive was prepared by solution-aqueous suspension technology with ultrasound and supercritical fluids antisolvent (SAS) coating technology, and were analyzed by component analysis, scanning electron microscope (SEM) and Fourier transformation infrared spectrometer (FT-IR). Its detonation performance was tested as well. Results indicate that the solution-aqueous suspension technology is not suitable for preparation ultra-fine composite explosive, whereas SAS technology has not any pollution.

Key words: materials science; sub-micron HMX; supercritical fluids antisolvent (SAS); preparation technology