

PETN 粒度对其机械感度的影响

耿孝恒

(滨州学院城市与环境系, 山东 滨州 256600)

摘 要:用微团化动态结晶方法和溶剂/非溶剂滴加重结晶方法制备出 3 种粒径的 PETN 颗粒,采用粒度分析仪和扫描电子显微镜(SEM)对其粒度进行了表征。测定了 3 种粒度 PETN 试样的撞击感度(特性落高 H_{50})和摩擦感度(爆炸百分数)值。结果表明,3 种粒度 PETN 撞击感度分别为 33.7、28.3 和 22.9 cm,摩擦感度分别为 52%、24.8%和 40%。撞击感度随粒度的减小逐渐降低,亚微米级 PETN 最低。摩擦感度随粒度的减小先降低再升高,而且亚微米 PETN 最敏感。

关键词:材料科学;PETN;粒度;机械感度;重结晶

中图分类号:TJ55;O62

文献标志码:A

文章编号:1007-7812(2012)04-0030-03

Influence of Particle Size on Mechanical Sensitivity of PETN

GENG Xiao-heng

(Urban and Environmental Science Department of Binzhou College, Binzhou ShanDong 256600, China)

Abstract: PETN with three particle sizes was prepared by micro-mission dynamic crystallization and solvent/anti-solvent dropping recrystallization methods. Particle size of the three samples was characterized by particle analyzer and scanning electron microscope (SEM). Impact sensitivity (drop height H_{50}) and friction sensitivity (explosion probability) of the samples were tested. Their impact sensitivity are 33.7, 28.3, 22.9 cm, and friction sensitivity are 52%, 24.8%, 40%, respectively. The results indicate that their impact sensitivities reduce with the decrease of particle size, and are lowest when the particle size decreases to sub-micron. Friction sensitivities fall and then arise with the decrease of particle size, and are the most sensitive when its particle is sub-micron.

Key words: material science; PETN; particle size; mechanical sensitivity; recrystallization

引 言

炸药感度与其化学和物理特性紧密相关,目前,被实验证明的关于炸药的机械起爆机理是热点点火和热点引起化学反应成长为爆轰的二阶段理论^[1-3]。热点点火阶段的主要影响因素是炸药颗粒之间的孔穴尺寸和孔隙率,爆轰成长阶段主要影响因素是炸药的比表面积,这些因素均与粒度密切相关。因此,研究粒度对炸药感度的影响具有重要意义。

PETN 是当今公认的性能最好的炸药之一。关于 PETN 机械感度随其粒度的变化规律,国内已经进行了研究^[4-7],但以几十微米粒度研究较多,粒

径在 1~10 μm 的研究较少。随着超细化炸药的应用,更小颗粒 PETN 机械感度随其粒度的变化规律有待研究。本实验采用微团化动态结晶细化^[8]和溶剂/非溶剂滴加重结晶方法得到了中位径 d_{50} 分别为 0.489、6.322、38.25 μm 的 PETN,并对其机械感度进行了测试。

1 实 验

1.1 亚微米 PETN 的制备

采用微团化动态结晶细化的方法制备亚微米 PETN,采用溶剂/非溶剂(丙酮/纯净水)滴加重结晶法在 200 r/min 的搅拌速率下制得粒度为 1~10 μm 和 10~50 μm 的 PETN。微团化动态结晶细化实验装置示意图如图 1 所示。

收稿日期:2011-05-14; 修回日期:2012-06-18

基金项目:滨州学院科研基金项目(BZXYG1002);滨州学院“青年人才创新工程”科研基金项目(BZXYQNLG201004)

作者简介:耿孝恒(1983-),男,助教,硕士,从事含能材料超细化技术研究。

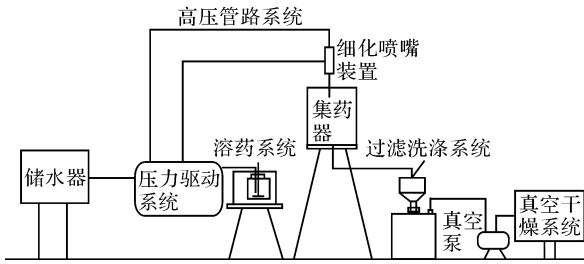


图 1 微团化动态结晶实验装置

Fig. 1 Experimental device of micro-mission dynamic crystallization

1.2 表征

用美国 Brookhaven 90PLUS 激光粒度分析仪和欧美克 LS900 激光粒度分析仪测试 PETN 的粒度;用日本 HITACHI S-4700 冷场发射扫描电子显微镜对其形貌进行表征。

用 H3.5-10 W 落锤式撞击感度仪,按照 GJB772A-97 方法 601.2 测定 PETN 的特性落高 (H_{50}),测试条件为:落锤质量 2.5 kg,药量 (35 ± 1) mg,每组试样 25 发,温度 $10 \sim 35^\circ\text{C}$;相对湿度 $\leq 70\%$ 。每个样品测试 5 组,特性落高用 5 组数据的平均值表示。

按照 GJB772A-97 方法 601.1 测试样品的爆炸百分数,测试条件为:摆角 $(80 \pm 1)^\circ$,正压力为 (2.45 ± 0.01) MPa,每发实验药量为 (25 ± 1) mg,每组试样为 25 发。每个样品测度 5 组。爆炸概率用 5 组数据的平均值表示。

2 结果与讨论

2.1 粒度及形貌分析

3 种试样的粒度分布如图 2 所示。图中, $G(d)$ 为颗粒直径的相对百分数; $C(c)$ 为颗粒直径的累积百分数。

由图 2 可看出,用微团化动态结晶方法获得的 PETN 的中位径 d_{50} 为 $0.489 \mu\text{m}$,粒度分布在 $0.390 \sim 0.558 \mu\text{m}$,呈单峰分布,采用滴加法获得的样品的中位径 d_{50} 分别为 $6.322, 38.25 \mu\text{m}$ 。

用 S-4700 冷场发射扫描电镜分别对原料 PETN 和重结晶 PETN 的形貌和局部粒度分布进行分析,结果见图 3。由图 3 可知,亚微米 PETN 由于粒度较小,比表面积迅速增大,颗粒更加容易团聚,粒子呈交联状态。 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ PETN 的形貌为近似球状, $10 \sim 50 \mu\text{m}$ PETN 为多面体形貌。

2.2 机械感度

3 种 PETN 机械感度试验结果如表 1 所示。

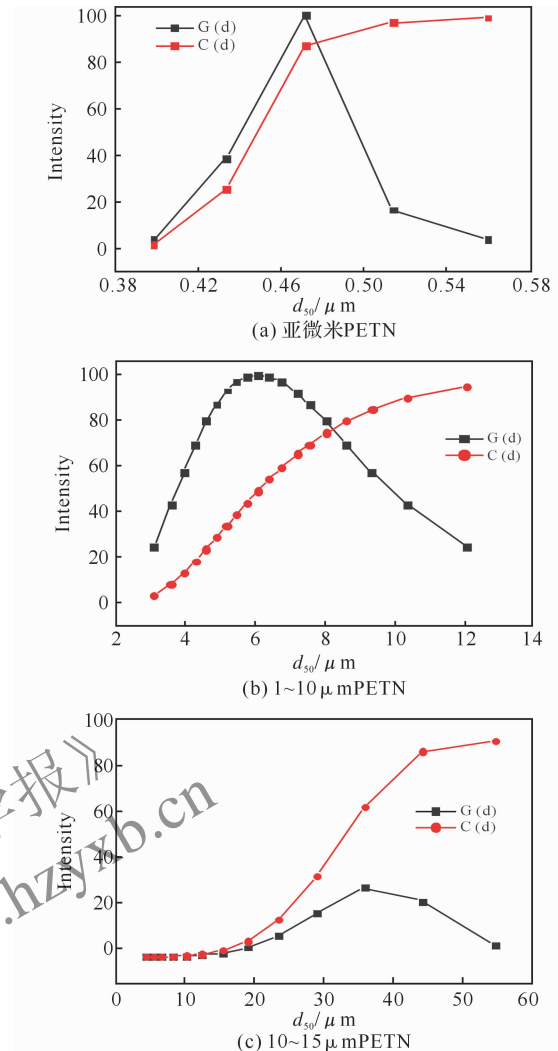


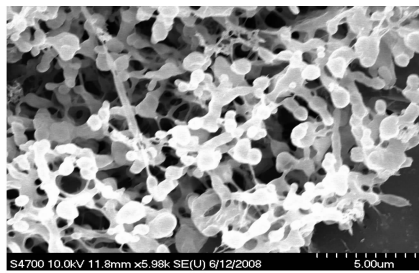
图 2 3 种试样的粒度分布曲线

Fig. 2 Particle size distribution curves of the three samples

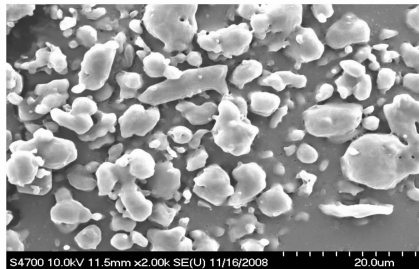
由表 1 可以看出,当粒度为 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 和 $10 \sim 50 \mu\text{m}$ 时, PETN 撞击感度无明显变化;当从微米级过渡到亚微米级(约 $0.500 \mu\text{m}$)时,撞击感度呈现非常强烈的下降趋势。对于亚微米晶体而言,一方面其表面良好的结构完整性、粒度均匀性使其内部不易形成热点;另一方面其比表面积的迅速增长使晶粒的表面能很高,既有利于热应力分散,同时撞击作用力沿晶粒表面迅速传递,单位表面承受的作用力减少。所以在超细亚微米晶体内部不易形成热点,使炸药的撞击感度显著降低。

由表 1 还可以看出,从亚微米过渡到微米阶段, PETN 的摩擦感度显著降低,当从微米到几十微米时又显著升高,并且在亚微米时摩擦感度最高。

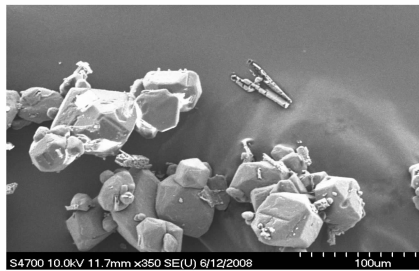
摩擦和撞击起爆的侧重点不同,炸药受撞击过程中形成热点的主要因素是炸药中空穴的绝热压缩,而受到摩擦作用时,炸药产生热点的主要因素是通过微凸体的摩擦和黏性或塑性流动造成。



(a) 亚微米PETM



(b) 1~10 μmPETN



(c) 10~50 μmPETN

图 3 3 种 PETN 样品的扫描电镜照片

Fig. 3 SEM photos of the three PETN samples

表 1 不同粒度 PETN 机械感度测试结果

Table 1 Test results of mechanical sensitivity for different particle size of PETN

$D(\text{PETN})/\mu\text{m}$	\bar{H}_{50}/cm	$\bar{P}/\%$
0.39~0.56	33.7 ± 2.2	52 ± 4.0
1~10	28.3 ± 1.5	24.8 ± 3.3
10~50	22.9 ± 2.4	40 ± 2.8

摩擦形成热点主要是因为炸药颗粒彼此间发生滑动,产生摩擦。摩擦引起的局部温升可用式(1)^[9]计算:

$$\Delta T = \frac{\mu W v}{4 a j} \frac{1}{(K_1 + K_2)} \quad (1)$$

式中: μ 为摩擦系数; W 为作用于摩擦表面的载荷; v 为相对运动速度; a 为比表面积; K 为两接触表面的传热系数; j 为热功当量。

由式(1)可以看出,热点温度与摩擦系数成正比,与比表面积成反比。由图3可以看出,在3种粒度PETN中,10~50 μm的PETN颗粒最大,比表面积最小,应是其摩擦感度较高的主要原因。而亚

微米级PETN,随着粒度的减小,其表面摩擦系数大大增大,再加上静电作用对其黏附力的影响,故摩擦系数最大,摩擦感度最高。

3 结 论

(1)PETN的撞击感度随粒度的减小而逐渐降低,当粒度降至亚微米级时形成强烈突变,摩擦感度并不随粒度的减小逐渐降低,而是先降低后升高,拐点出现在1~10 μm处。

(2)炸药晶体表面形貌对其撞击感度和摩擦感度均有一定影响,对摩擦感度影响更大。

参考文献:

- [1] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京:北京理工大学出版社,2002.
- [2] Price D. Effect of particle size on the shock sensitivity of pure porous HE, AD-A178206 [R]. Springfield: NTIS, 1986.
- [3] Spear R J. Mechanism of and particle size effects on shock sensitivity of heterogeneous pressed explosives, AD-A187 597[R]. Springfield: NTIS,1993.
- [4] Schdlbauer F. The Influence of particle size and mechanical properties on the sensitivity of high explosives charges[C]// Seventh Symposium (International) on Detonation. Annapolis: [s. n.],1981.
- [5] 汪波,刘玉存,李敏. HMX粒度对其撞击感度的影响研究[J]. 华北工学院学报,2005,26(1):35-37. WANG Bo,LIU Yu-cun,LI Min. Study on the influence of particle size on the impact sensitivity of HMX [J]. Journal of North University of China, 2005, 26 (1):35-37.
- [6] 吕春玲,张景林. 粒度对HMX撞击感度的影响[J]. 爆炸与冲击,2003,23(5):472-474 Lü Chun-ling,ZHANG Jing-lin. Influence of particle size on the impact sensitivity of HMX[J]. Explosion and Shock Waves,2003,23(5):472-474
- [7] 刘玉存,王建华. RDX粒度对机械感度的影响[J]. 火炸药学报,2004,27(2):7-9. LIU Yu-cun, WANG Jian-hua. Effect of particle size of RDX on mechanical sensitivity[J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2004,27(2):7-9.
- [8] 张宝坪,张庆明,黄风雷. 爆炸物理学[M]. 北京:兵器工业出版社,1997.