

文章编号:1006-9941(2005)01-0010-03

纳米 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 对 HMX 撞击感度的影响

王作山, 张景林

(中北大学环境与安全工程系, 山西 太原 030051)

摘要: 比较了单质炸药 HMX 和混合炸药 HMX/纳米 Al_2O_3 落锤撞击试验, 研究纳米 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 对 HMX 撞击感度的影响, 并对纳米 Al_2O_3 在混合炸药中作用机理进行了探讨。结果表明, 纳米 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 具有润滑作用, HMX/纳米 Al_2O_3 混合炸药的撞击感度随纳米 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 添加量的增加而降低, 添加 2.0% (质量分数) 纳米 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ 混合炸药与单质炸药 HMX 相比, 2.5 kg 落锤测试的 50% 爆炸特性落高 (H_{50}) 提高了 13.1 cm。

关键词: 爆炸力学; 纳米材料; $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$; HMX; 润滑作用; 撞击感度

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

1 引言

含能材料包括炸药、推进剂和发射药等, 是武器起杀伤、破坏作用的关键材料。纳米材料的界面并不具有单一性, 其界面内能量、缺陷、相邻晶粒取向以及杂质偏聚上的差别, 使得纳米材料的界面存在一个结构上的分布, 它们都处于无序到有序的中间状态, 从而造就了纳米材料不同于常规材料的奇异和反常特性^[1]。其中, 纳米 Al_2O_3 以其优异的性能, 在含能材料领域得到重要的应用。如在推进剂领域, 径向燃烧的双基推进剂经常出现不稳定燃烧的现象, 导致发动机工作不正常甚至爆炸, 但在推进剂中添加氧化铝, 氧化铝的微粒的阻尼作用可以改变推进剂的燃烧波结构, 使不稳定燃烧得到有效抑制^[2]; 在炸药领域, 纳米 Al_2O_3 对炸药热分解的影响已有研究^[3], 但纳米 Al_2O_3 对含能材料撞击感度的影响却未见报道。

本研究通过 HMX/纳米 Al_2O_3 混合炸药与单质炸药 HMX 的落锤撞击对比试验, 研究了纳米 Al_2O_3 对 HMX/纳米 Al_2O_3 混合炸药撞击安全性的影响, 为评价含有纳米添加剂的混合炸药的撞击安全性提供参考。

2 实验

2.1 纳米 Al_2O_3 制备与表征

本实验添加的纳米 Al_2O_3 按文献[4]提供的方法由实验室自制, 制备出的 Al_2O_3 采用美国 BROOKHAVEN

公司生产的 90PLUS 型激光粒度分析仪表征粉体粒度; 采用日本理学公司生产的 D/Max-III B 型 X-衍射仪进行纳米粉体物相分析, 衍射靶为 $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 0.15418 \text{ nm}$), 管电压为 40 kV, 管电流 100 mA, 收集 $2\theta = 10^\circ \sim 80^\circ$ 的衍射峰; 纳米 Al_2O_3 平均粒径及粒度分布见表 1, 晶相分析如图 1 所示。

表 1 纳米 Al_2O_3 平均粒径及粒度分布激光粒度检测结果

Table 1 The average particle size and its distribution of nanometer Al_2O_3

sample	particle size/nm	particle size distribution/%
Al_2O_3	40.7	75
	40.8	93
	40.9	100
	41.0	93
	41.1	75
	41.2	53
	41.3	32
	41.4	17
	41.5	8

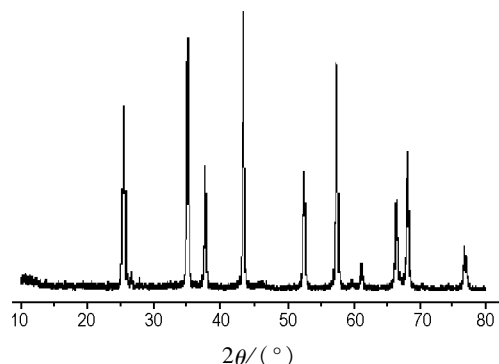


图 1 纳米 Al_2O_3 的 X-射线衍射图

Fig. 1 XRD pattern of nanometer Al_2O_3

收稿日期:2004-11-09;修回日期:2004-12-16

基金项目: 总装基金项目 (No. 51405050303)

作者简介: 王作山 (1969 -), 男, 博士, 讲师, 主要从事纳米材料制备及应用研究。e-mail: zuoshanwang@sina.com.cn

张景林 (1939 -), 男, 教授, 博导, 从事爆炸安全及含能材料研究。

从表 1 测试结果可以看出, 实验室所采用的模板介入法制备的 Al_2O_3 为纳米级, 粒径分布范围为 40.7 ~ 41.5 nm, 平均粒径为 40.86 nm, 分布较窄, 粉体分散性较好, 无明显团聚。

模板介入法制得的样品的 X-射线衍射图(图 1)表明, 衍射峰位置和强度均与 PDF 卡上 α - Al_2O_3 的衍射数据吻合, 样品衍射峰峰形尖锐, 说明煅烧后的产物晶型好, 结构为晶体, 衍射谱中未见其他杂质物相存在, 故实验室自制的纳米 Al_2O_3 为高纯纳米 α - Al_2O_3 粉体。

2.2 混合炸药式样的制备

采用液相超声混合, 利用真空冷冻干燥的方法制备实验所需的不同配比的混合炸药, 其工艺流程如图 2 所示。

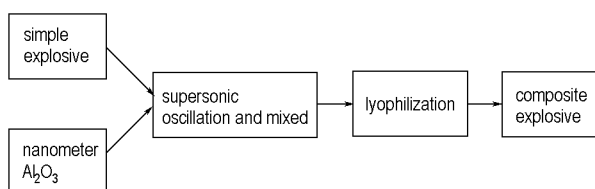


图 2 混合炸药制备的工艺流程图

Fig. 2 Technics flow chart of preparing composite explosive

将实验室自制的 2 g 纳米 Al_2O_3 (粒径为 40.5 nm) 加入一定量的蒸馏水中, 超声分散 5 min, 再将 98 g E 级 HMX 缓慢加入, 超声分散 10 min 后, 将混合物在 $-50\text{ }^\circ\text{C}$ 条件下进行真空冷冻干燥 24 h, 制备出混合炸药待用。改变 HMX 和纳米氧化铝的配比, 或用普通 Al_2O_3 (平均粒径 D_{50} 为 35 μm) 代替纳米 Al_2O_3 , 重复上述操作, 即可制备出含 1%、3% 纳米 Al_2O_3 的 HMX/纳米 Al_2O_3 和 HMX/普通 Al_2O_3 (98/2) 的混合炸药。

2.3 落锤撞击感度对比实验

落锤撞击感度对比试验采用的 H3. 5-10W 型球型落锤仪, 锤重 2.5 kg, 试验量为 35 mg, 环境条件为常温, 相对湿度 $< 70\%$; 混合炸药与单质炸药的撞击安全性对比实验按 GJB772A-97 采用升降法进行, 即将事先称好的试样散堆在砂纸圆片中央, 然后将放好试样的砂纸轻放在击砧中央, 并将击柱轻轻放在试样上, 设定落锤高度, 开启真空泵吸住落锤后关闭真空释放落锤, 落锤自由下落撞击导向套内的击柱, 击柱进一步直接撞击击砧上砂纸中央的炸药, 出现爆炸、燃烧、冒烟等特征视为发火。每发试验后作好记录, 除去与试样接触的击柱和击砧工作表面的余留物, 并用工业丙酮清洗, 调整落高, 继续下一发实验(结果见表 2)。

表 2 混合炸药与相应单质炸药撞击感度对比试验结果
Table 2 Impact sensitivity comparison of single explosive and composite explosives

explosive	H_{50}/cm	δ/cm
HMX (E grade)	39.3	0.02
HMX/nanometer Al_2O_3 (1%)	44.7	0.02
HMX/nanometer Al_2O_3 (2%)	52.4	0.02
HMX/nanometer Al_2O_3 (3%)	53.2	0.03
HMX/common Al_2O_3 (2%)	41.6	0.03

3 试验结果分析

由表 2 可见, 在相同的测试条件下, 与纯 E 级 HMX 50% 爆炸率的特性落高 (H_{50}) 相比, 混合炸药 HMX/纳米 Al_2O_3 的 H_{50} 随着纳米 Al_2O_3 添加量增大而提高, 且纳米 Al_2O_3 添加量从 1% 到 2% 时, H_{50} 变化较明显, 而添加量 2% ~ 3% 时, H_{50} 变化不大。进一步对比试验表明, 添加 2% 普通 Al_2O_3 的 HMX 的混合炸药的 H_{50} , 与纯 E 级 HMX 的 H_{50} 相差不多。

在炸药撞击感度实验中, 决定炸药撞击感度高低的关键是“热点点火”的难易。与冲击波起爆强烈压缩不同, 热点的能量来源主要是由于重锤撞击而引起的炸药晶体间的摩擦、剪切等剧烈相对运动。即炸药撞击起爆过程中, 个别晶体表面和尖棱上产生法向和切向应力, 结果在彼此相对移动的粒子表面之间出现强烈的摩擦, 由此而产生高度活化的分子。同时, 在活化分子产生的过程中还伴有炸药晶体的碎裂, 物质的范性流变, 空气杂质的压缩等等, 在这一复杂过程中, 撞击产生的应力在炸药中的分布是不均匀的, 在个别区域出现应力偏高峰, 它们在一定条件下可能是最大的局部加热中心^[5], 即“热点”。混合炸药中, 纳米氧化铝以填充方式存在于撞击起爆过程中, 一方面发挥了纳米颗粒本身所特有得润滑作用, 有效地降低了炸药晶体间的摩擦, 并有助于炸药的范性流变和粘性流变, 减少了提供给热点火点的能量。另一方面, 热点尺寸也变小, 热点尺寸越小则点火越难。由此在相同的落高下, 与单质炸药相比, 混合炸药的点火难度也就提高了, 具体表现为混合炸药的撞击感度低于纯单质炸药的撞击感度。

其次, 晶体化学表明, 任何晶体垂直于晶体表面和沿晶体表面方向的化学组成、结构和能量是非均一(内部空腔、不规则形状、晶体的无序排列等等)的, 这种非均一性造成晶体结构的不完整性^[6], 由此形成的晶体缺陷在撞击过程中很容易形成活性中心, 进一步成长为热点, 活性中心点数越多, 炸药撞击起爆的概率

越大,则炸药撞击感度越高。混合炸药中由于纳米氧化铝的嵌入使炸药晶体的不完整性得到一定程度的修复,撞击过程中活性中心点数减少,形成热点的几率降低,因此混合炸药要比纯单质炸药的撞击感度降低。

而添加 2% 普通 Al_2O_3 对 HMX 撞击安全性没有明显的影响,这是由于普通 Al_2O_3 颗粒较大,其颗粒的大小和单质炸药 HMX 的粒度相近,混合分散效果较差,因而炸药晶体在撞击形变后,进而产生晶体间瞬间摩擦过程中润滑、填充效果不明显,因此,添加 2% 普通 Al_2O_3 的混合炸药撞击感度变化不大。此外,纳米 Al_2O_3 的比热比普通 Al_2O_3 高也可能会降低 HMX 的撞击感度。

综上所述,纳米 Al_2O_3 填充和嵌入可使混合炸药的热点数减少及热点尺寸减小,纳米材料特有的润滑作用减小了混合炸药晶体间的摩擦,降低了热点点的能量,二者的共同作用使混合炸药撞击感度明显降低。

4 结 论

(1) 纳米 Al_2O_3 的润滑作用是混合炸药撞击安全性提高的关键因素,在 1% ~ 3% 范围内,HMX/纳米 Al_2O_3 混合炸药的撞击感度随纳米 Al_2O_3 添加量的增加而降低。

(2) 与纳米 Al_2O_3 相比,普通 Al_2O_3 在混合炸药中填充、润滑作用不明显,因而与单质炸药 HMX 的撞击感度相比,混合炸药 HMX/普通 Al_2O_3 (质量 98/2) 的撞击感度没有明显变化。

(3) 研究结果为军用混合炸药的撞击安全性的改

善提供了一条有效的途径,对评估含无机纳米添加剂的混合炸药撞击安全性具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 张立德,牟季美. 纳米材料和纳米结构[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 196 - 205.
ZHANG Li-de, MU Ji-mei. Nano-material and Nano-structure [M]. Beijing: 2001. 196 - 205.
- [2] 任务正,王泽山. 火炸药理论与实践[M]. 北京: 中国北方化学工业总公司编辑出版部,2001. 542 - 547.
REN Wu-zheng, WANG Ze-shan. Theory and Practice of Powder and Explosive [M]. Beijing: China North Chemical Industries Group Corporation, 2001. 542 - 547.
- [3] 罗阳,刘艳,刘子如,等. 纳米金属氧化物对 HMX 热分解动力的影响[A]. 全国热分析动力和热动力年会[C],西安,2001. 103 - 109.
LUO Yang, LIU Yan, LIU Zi-ru, et al. Influence of nano-metaloxide on HMX thermal decomposed powder [A]. Symposium on Thermal Analysis Powder and Thermal Powder [C], Xi'an, 2001. 103 - 109.
- [4] 王作山. 模板介入法制备纳米氧化铝及其应用研究[D]. 中北大学博士论文. 中北大学,2004. 9.
WANG Zuo-shan. Preparation of nano-sized Alpha alumina *via* template-intervening process and its application [D]. Shanxi: North University of China, 2004. 9.
- [5] 鲍姆 Φ A, 斯达纽柯维奇 κ П, 著. 众智译. 爆炸物理学[M]. 北京: 科学出版社, 1963. 36 - 44.
 Φ . A. Baum, κ . П. Станюкович (Writer). ZHONG Zhi (translator). Physics of Explosion [M]. Beijing: Science Press, 1963. 36 - 44.
- [6] 顾惕人,马季铭,李外郎,等. 表面化学[M]. 北京: 科学出版社, 2001. 201 - 210.
GU Ti-ren, MA Ji-ming, LI Wai-lang, et al. Surface Chemistry [M]. Beijing: Science Press, 2001. 201 - 210.

Influence of Nanometer- Al_2O_3 on the Impact Sensitivity of HMX

WANG Zuo-shan, ZHANG Jing-lin

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

Abstract: The influence of nanometer- Al_2O_3 on the impact sensitivity of HMX/nanometer- Al_2O_3 was studied through testing the drop hammer impact of HMX and HMX/nanometer- Al_2O_3 . The action mechanism of the nanometer- Al_2O_3 in the composite explosive was also investigated. The results indicate that the nanometer- Al_2O_3 has lubrication role. The impact sensitivity of HMX/nanometer- Al_2O_3 reduces obviously as increasing the nanometer- Al_2O_3 content in the composite explosive. The impact sensitivity of HMX/nanometer- Al_2O_3 (98/2) is higher 13.1 cm than that of HMX using 2.5 kg drop hammer. The results can provide a valid approach for the improvement of military composite explosive impact safety.

Key words: explosion mechanics; nanometer material; α - Al_2O_3 ; HMX; lubrication action; impact sensitivity