

文章编号: 1006-9941(2011)04-0370-03

# 新型粉状铵油炸药实验研究

徐志祥, 刘大斌, 胡毅亭

(南京理工大学化工学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 为解决当前粉状铵油炸药爆速略低的问题, 选用 C—O—H 燃料作还原剂与硝酸铵水溶液、表面活性剂在减压条件下脱水干燥, 研磨过筛, 得到新型粉状铵油炸药, 分析了表观形貌和热稳定性能, 并对其机械感度进行了测试, 研究了装药密度对爆速的影响, 对新燃料提高粉状铵油炸药爆速的原因进行了分析。结果表明, 该炸药混合均匀, 热稳定性好, 在密度  $0.86 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  时, 爆速达到  $4400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 远超过目前使用的粉状铵油炸药爆速, 认为由于新燃料中羰基可能与硝酸铵存在氢键作用, 导致爆速上升。

**关键词:** 应用化学; 铵油炸药; 爆速; 热稳定性; 感度

**中图分类号:** TJ55; O69

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.003

## 1 引言

铵油炸药由于其生产简单, 使用方便, 在世界范围内得到广泛的应用, 其爆轰特性研究得较为深入<sup>[1-2]</sup>。为了提高粉状铵油炸药的起爆感度和爆炸性能, 传统的方法是在粉状硝酸铵中添加 TNT 或金属铝粉等<sup>[3]</sup>, 但是随着 2008 年我国对工业炸药 TNT 使用的限制, 对硝酸铵的改性研究进行了很多的研究, 如膨化硝酸铵和改性硝酸铵的研究<sup>[4-5]</sup>, 主要是提高硝酸铵的亲油性, 以此提高粉状硝酸铵的起爆感度和爆炸性能, 但是由于膨化硝酸铵炸药和改性铵油炸药都存在爆炸威力过小, 爆速过低等问题, 在使用过程中受到一定的限制。

传统的铵油炸药主要成分是硝酸铵和柴油按照一定的配比进行混合后制成, 但是由于硝酸铵的亲油性差, 导致硝酸铵和柴油结合得比较差, 影响了铵油炸药的爆炸威力。虽然在油相选择上很多人也进行了尝试<sup>[6-7]</sup>, 但仍然主要是以 C—H 燃料为主。为提高粉状铵油炸药的爆速, 同时能降低粉状铵油炸药的成本, 本实验选择以成本低廉只有柴油成本约三分之二的 C—O—H 燃料制备粉状铵油炸药, 增加硝酸铵的亲油性, 增强氧化剂和还原剂的结合程度, 提高粉状铵油炸药的爆速。

## 2 实验

### 2.1 样品

硝酸铵、油相和十八胺均为工业级。油相材料的主要技术指标: 水分  $\leq 1\%$ , 酸价  $\leq 5 \text{ mg}(\text{KOH}) \cdot \text{g}^{-1}$ , 凝固点  $\leq 25 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 2.2 炸药制备

硝酸铵、水、十八胺、油在反应釜中按照质量比 83.02: 12.45: 0.16: 4.37 加热到  $130 \text{ }^\circ\text{C}$  溶解, 待完全溶解后, 反应釜抽真空, 真空度为  $-0.07 \text{ MPa}$ 。硝酸铵和油溶液抽真空 10 min, 出料研磨, 过 45 目筛, 即制得新型粉状铵油炸药样品。虽然所选油相的凝固点有点低, 但是样品的流散性并没有受到影响。

### 2.3 样品表征

颗粒表征: 日本电子株式会社扫描电镜 JEOLJSM-6380。机械感度测试: 摩擦感度试验采用 WJ/T9052.1-2006 测试, 撞击感度试验采用 WJ/T9052.2-2006 测试。热分析: DSC 热分析仪 (METTLER), 测试条件:  $\text{N}_2$  气氛, 升温速率为  $10 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 。爆速测试: 采用 GB/T13228-91 方法测试样品的爆速。

## 3 结果与讨论

### 3.1 表观形貌分析

采用扫描电镜观察样品的表观形貌, 从图 1 可以看出, 样品的表面有孔隙, 而且表面不平整, 与油相紧密结合, 混合均匀好。从样品的表面有孔隙, 而且表面

收稿日期: 2010-10-17; 修回日期: 2010-12-10

作者简介: 徐志祥(1982-), 博士, 主要从事工业炸药配方及安全性研究。

通讯联系人: 胡毅亭(1973-), 博士, 讲师, 主要从事民爆器材产品开发研究和安全评价方法的研究。e-mail: huyiting@hotmail.com

不平整来看,增加了硝酸铵与油相的接触面积,而且所用的油相粘度很低,保证能被硝酸铵很快吸附,油相的挥发性低,保证了硝酸铵和油相接触的稳定性。

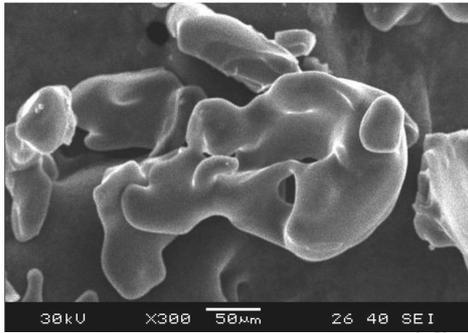


图1 样品的扫描电镜图  
Fig.1 SEM photograph of sample

由于硝酸铵水溶液在阳离子表面活性剂的作用下(十八胺)与油相在溶解过程中已经有了比较好的接触,在抽真空的条件下,硝酸铵水溶液立即沸腾,带走了水分和热量,硝酸铵快速结晶,占据了水分蒸发后留下的空间,导致硝酸铵的多孔性,同时油相材料迅速地被吸附到硝酸铵表面和内部空隙中,保证了硝酸铵和油相材料混合均匀。扫描电镜的观察结果说明,样品表面不规则,而且存在孔隙,这和文献[8]结论一致。

3.2 热稳定性分析

硝酸铵及其新型粉状铵油炸药样品的 DSC 热分析谱图见图 2。硝酸铵经红外水分仪测试水分,含水量为 0.12%。从图 2 可以看出,硝酸铵和新型粉状铵油炸药样品的峰温没有显著变化,但是,起始分解温度由 311.89 °C 上升到 328.05 °C,而且开始放热的温度基本没有变化,但是放热峰更为陡峭,炸药样品的反应温度范围比硝酸铵小得多。这说明粉状铵油炸药样品的热稳定性比较好,说明选择的油相材料能满足粉状铵油炸药的使用条件。这与文献[9]的结果一致。

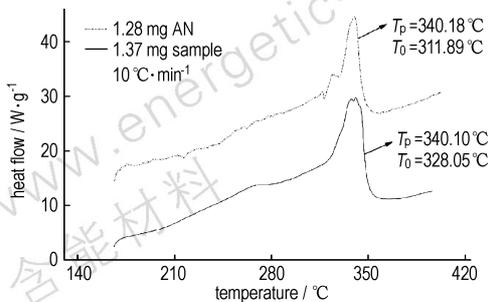


图2 硝酸铵及其炸药样品的 DSC 曲线  
Fig.2 DSC curves of AN and explosive sample

3.3 摩擦感度和撞击感度测试结果分析

实验测得新型粉状铵油炸药样品的摩擦感度、撞击感度均为 0。通常在炸药样品中极易反应的敏感物质,易引起炸药分解、燃烧或爆炸,样品的机械感度会显著升高。该新型粉状铵油炸药样品中的可燃剂仅仅为 C—O—H 油相,吸附在多孔、膨松的硝酸铵颗粒的表面和内部空隙中,新型粉状铵油炸药样品中不含极易反应的敏感性物质而且油相材料的存在并没有改变硝酸铵的物理特性和化学稳定性,使硝酸铵变硬和分解加快,所以新型粉状铵油炸药样品的机械感度仍然为 0。

3.4 装药密度对样品爆速的影响

新型粉状铵油炸药样品的爆速及对应的装药密度测试结果见图 3。从图 3 可以看出,新型粉状铵油炸药样品的爆速随着装药密度的升高不断增大,当装药密度上升到 0.86 g·cm<sup>-3</sup> 时,爆速达到最大值 4400 m·s<sup>-1</sup>。随着密度的进一步增大,爆速反而开始下降,当密度上升至 0.93 g·cm<sup>-3</sup> 时,爆速降到 3400 m·s<sup>-1</sup>。从测试结果看,虽然新油相有助于改善硝酸铵和油相的接触程度,但是不能改变以硝酸铵为主的工业炸药的非理想爆轰的特性,新炸药样品仍然是典型的非理想爆轰。

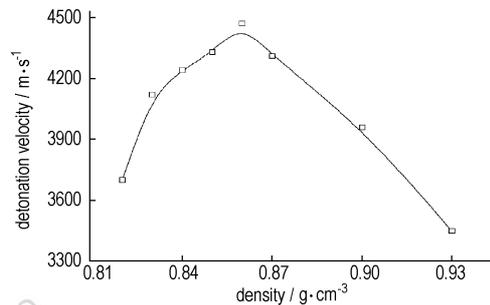


图3 爆速与装药密度关系曲线  
Fig.3 Detonation velocity of ANFO vs. density of charges

从爆速测试的结果来看,新型粉状铵油炸药样品的爆速显著高于以柴油为主要油相材料的粉状铵油炸药,虽然文献[10]将油相材料换成其他油相材料,但是由于油相材料的组成仍然主要是 C—H 燃料,硝酸铵和油相材料的接触相对较差,导致样品的爆速相对提高很小。而本实验选择的新油相材料由于与硝酸铵紧密接触,导致爆速显著上升,远高于文献[1]的 3850 m·s<sup>-1</sup> 和文献[6]的 4147 m·s<sup>-1</sup> 测试的结果。

3.5 爆速上升原因

由于目前粉状铵油炸药的爆速偏低,所以本研究的主要目的是选择新的油相材料,提高粉状铵油炸药的爆速。对样品 DSC 测试和爆速测试结果说明,在保证热

稳定性安全的前提条件下,选择的油相材料符合要求。为了对新型粉状铵油样品爆速的提高做出合理解释,现做如下分析。分析认为,可能是由于硝酸铵和油相材料中存在氢键作用而导致制备的新型粉状铵油样品爆速提高,即可能由于氢键作用导致硝酸铵和油相材料接触紧密,反应加快,能量损失减少,导致爆速提高。由于选择的油相材料为 C—O—H 结构,在分子结构中,存在羰基极性键,在硝酸铵水溶液中硝酸铵以  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  存在,当无油相存在时, $\text{NH}_4^+$  和  $\text{NO}_3^-$  两者紧密接触;而当新型油相材料存在时, $\text{NH}_4^+$  在被  $\text{NO}_3^-$  吸附过程中,由于新型油相材料中羰基和  $\text{NH}_4^+$  中的氢存在氢键作用,导致  $\text{NH}_4^+$  也被新型油相中的羰基吸附(图 4),使硝酸铵和油相材料能接触地更好,最终使新型铵油炸药样品的能量释放更加完全,爆速显著提高。

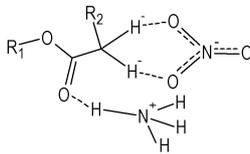


图 4 油相和硝酸铵的相互作用示意图

Fig. 4 Scheme structure of ammonium nitrate and oil

## 4 结 论

(1) 选用的新型油相材料,提高了新型粉状硝酸铵炸药样品爆速。

(2) 新型粉状铵油炸药样品颗粒内部空隙多,各组分混合均匀性好,有利于提高炸药的爆轰感和爆炸反应能量的释放。

(3) 新型粉状铵油炸药样品的机械感度为 0,使用安全性较好;新样品的热稳定性好,能达到生产使用要求。

(4) 新型粉状铵油炸药样品仍然是典型的非理想

爆轰,最佳装药密度为  $0.86 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  左右。

(5) 从分子结构分析,认为新型油相材料中的羰基和铵基中的氢之间的氢键作用,是导致油相材料和硝酸铵接触紧密,使新型粉状铵油炸药样品能量释放比较完全的根本原因。

## 参考文献:

- [1] Atsumi Miyake, Keiya Takahara, Terushige Ogawa, et al. Influence of physical properties of ammonium nitrate on the detonation behavior of ANFO [J]. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2001, 14: 533–538.
- [2] Bogdan Zygmunt, Daniel Buczkowski. Influence of ammonium nitrate prills' properties on detonation velocity of ANFO [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2007, 32: 411–414.
- [3] Maranda A, Paplinski A, Garezowski D. Investigation on detonation and thermochemical parameters of aluminized ANFO [J]. *Journal of Energetic Materials*, 2003, 21: 1–13.
- [4] ZENG Gui-yu, Lü Chun-xu, HUAN Hui. Self-sensitization structure of expanded ammonium nitrate and its effect on ANFO detonation properties [J]. *Journal of China Ordnance*, 2009, 5: 209–214.
- [5] 李仕洪. 改进型岩石粉状铵油炸药生产技术的研发 [J]. *爆破器材*, 2004, 33(4): 8–11.  
LI Shi-hong. The production technology study on modified-type rock powdery ammonium nitrate fuel oil explosive [J]. *Explosive Materials*, 2004, 33(4): 8–11.
- [6] 黄文尧, 颜事龙, 王晓光, 等. 新型粉状铵油炸药实验研究 [J]. *含能材料*, 2010, 18(2): 222–225.  
HUANG Wen-yao, YAN Shi-long, WANG Xiao-guang, et al. Preparation and performance of a new powdery ammonium nitrate fuel oil explosive [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials*, 2010, 18(2): 222–225.
- [7] 周康波. 铵[梯]油类粉状炸药复合油相的研究 [J]. *爆破器材*, 2001, 30(4): 4–8.  
ZHOU Kang-bo. A study on the compounded oil phase of powdered AN-TNT-Oil explosive [J]. *Explosive Materials*, 2001, 30(4): 4–8.
- [8] 陆明, 吕春绪, 刘祖亮. 硝酸铵的膨化机理研究 [J]. *兵工学报*, 2002, 23(1): 30–34.  
LÜ Ming, LÜ Chun-xu, LIU Zu-liang. A study on the expansion mechanism of ammonium nitrate [J]. *Acta Armamentarii*, 2002, 23(1): 30–34.
- [9] 刘子如. 含能材料热分析 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.

## Experimental Investigation of a New ANFO Explosive

XU Zhi-xiang, LIU Da-bin, HU Yi-ting

(Department of Chemistry, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** A new type of ammonium nitrate fuel oil (ANFO) explosive was investigated to solve the problem of low detonation velocity, which was made of ammonium nitrate water solution, surfactant, oil by C—O—H chemical structure, and dried under vacuum condition. The microstructure, thermal stability and mechanical sensitivity were analyzed. The effect of charge density on detonation velocity was studied. The advantage of new type of explosives was also analyzed. Results show that the mixture uniformity of components and thermal stability are good. When the charge density is  $0.86 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , the detonation velocity is  $4400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . The hydrogen bonding interaction of hydrogen atom of ammonium group and carbonyl in oil, increases detonation velocity of the explosive.

**Key words:** applied chemistry; ANFO; detonation velocity; thermal stability; sensitivity

**CLC number:** TJ55; O69

**Document code:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.003