

文章编号:1006-9941(2008)06-0738-03

## 铝粉含量对乳化炸药性能影响

张 虎<sup>1</sup>, 谢兴华<sup>1</sup>, 郭子如<sup>1</sup>, 万向东<sup>2</sup>

(1. 安徽理工大学, 安徽 淮南 232001; 2. 西安庆华民用爆破器材有限责任公司, 陕西 西安 710025)

**摘要:**为了提高乳化炸药做功能力,实验在乳化炸药中外加铝粉,考虑到氧平衡对乳化炸药性能影响,其基础配方按正氧平衡、零氧平衡和负氧平衡设计。对每个基础配方铝粉含量分别从 2% 增加到 14%,并在乳化炸药温度为 70 °C 左右时加入。试验中用电测法测试了含铝乳化炸药爆速,用水下爆炸能量测试法对冲击波能和气泡能进行测试,并用盖斯三角形法计算该炸药的爆热,同时分析了铝粉含量对乳化炸药性能的影响。结果表明:随着铝粉含量的增加,乳化炸药的爆速减小,爆热、冲击波能和气泡能增加,对基础配方而言,零氧平衡时含铝乳化炸药的性能最好。

**关键词:**爆炸力学; 铝粉; 爆热; 爆速; 做功能力

**中图分类号:**TJ55; O389

**文献标识码:**A

### 1 引 言

乳化炸药是 20 世纪 60 年代末发展起来的新型含水炸药,它具有组分简单,原料来源广泛,加工容易,抗水性强和爆轰性能优良等诸多优点,因此在工程爆破中得到了广泛应用。我国自 20 世纪 70 年代末期开始研制乳化炸药,经历了 20 多年的不断发展,先后生产了露天矿用、地下矿用、煤矿用、水下爆破用和石油震源弹用等多品种乳化炸药<sup>[1]</sup>。从 1985 年到 1997 年乳化炸药生产量从 3% 增加到 15%<sup>[2]</sup>。从目前炸药的发展概况来看,以发展乳化炸药及不含 TNT 的新型无梯粉状硝铵炸药为主,逐步形成以乳化炸药及新型铵油炸药为主的工业炸药格局<sup>[3]</sup>。乳化炸药在产品品种和质量方面有了长足的进步,能基本满足国内各种爆破工程的需要,虽然乳化炸药爆速都比较高,但爆炸威力比较低,为了能够提高乳化炸药的做功能力,近年来研制高威力的乳化炸药已成为热点课题。国外发达国家非常重视高威力乳化炸药的研究与发展,如日本化药公司的卡亚麦特,爆炸威力与代那买特相当,爆速为 5300 ~ 5800 m · s<sup>-1</sup>。由于乳化炸药中含有 10% 左右的水,与传统的铵梯炸药粉状乳化炸药和膨化硝铵炸药相比做功能力偏低。含铝炸药自 1897 年首先被德国 Deissler<sup>[4]</sup> 发现后,就广泛应用于水中兵器、矿山爆破、地质勘察震源等许多领域。在国外对含铝炸药的爆轰特性研究较多,如, Gret Bjarnholt<sup>[5]</sup> 侧重于研究化

学反应后期热量从 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 传到膨胀气体对外做功方面的问题; 固体炸药的冲击起爆取决于炸药中的缺陷结构(例如空穴、杂质等),热点概念在冲击起爆的理论和分析中作为一个必要因素<sup>[6]</sup>。殷海权<sup>[7]</sup>等在 RDX 中加入铝粉能使爆热大大增加,研究发现在铝粉加入量为 40% 时,爆热有极大值,而爆容始终随铝粉加入量增加而减少。含铝炸药爆炸产物的气体主要是氮气、一氧化碳和氢气,当铝粉加入量超过 20% 时,二氧化碳和水等气态产物极少。由于加入铝粉的炸药,具有高爆热、高爆温、释放化学能时间较长等特性,因此,为了提高乳化炸药做功能力,试验将在乳化炸药中外加铝粉,研究不同含量的铝粉对乳化炸药性能的影响。

### 2 实验部分

#### 2.1 原料和仪器设备

原料:硝酸铵、硝酸钠、尿素、水、司盘-80、玻璃微球、铝粉、复合油,均为工业品,来源于淮南化工集团。

爆速测试仪:单段爆速仪进行测试,采用丝式探针做传感元件,用断-通式,直径  $\Phi 0.10 \sim 0.15$  mm 范围内的铜芯漆包线制作

传感器:压电式压力传感器的型号为 CY-YD-202 型自由场压力传感器,其主要参数指标为:压力范围:(0 ~ 100) × 10<sup>5</sup> Pa、自振频率大于 200 kHz、工作温度为 -10 ~ 80 °C,传感器长度 14.6 cm,敏感元件为电气石。

放大器:采用的放大器为 YE5853 型放大器,其最大输入电荷量 10<sup>5</sup> pC、电荷灵敏度 0.1 ~ 1000 mV/pC。

示波器采用的是 2001 年从美国 Agilen 公司购进的 54815A 型 Infiniium 示波器; STYV-2 低噪音电缆; 计算机以及水下爆炸处理软件。

收稿日期:2008-03-06;修回日期:2008-09-03

作者简介:张虎(1978 - ),男,硕士研究生,从事起爆器材方面的研究。  
e-mail: huzhang1978@163.com

## 2.2 含铝乳化炸药样品制备与测试

考虑到氧平衡对铝乳化炸性能影响,其基础配方设计成正氧平衡、零氧平衡和负氧平衡,分别编为1<sup>#</sup>、2<sup>#</sup>和3<sup>#</sup>,炸药配方见表1。实验中3个配方铝粉全部外加,分别为2%、6%、10%、14%,实验共计有12个待测样品,加入铝粉后所有含铝乳化炸药配方均为负氧平衡。

表1 乳化炸药配方

index mark	ammonium nitrate	sodium nitrate	urea	water	compound oil	S-80	glass microballoon
1 <sup>#</sup>	75.2~70.4	7.5~11.5	0.8~1.1	10.0	2.5~3.0	2.0	2.0
2 <sup>#</sup>	69.9~67.5	11.5~12.5	1.1~1.5	10.0	3.5~4.5	2.0	2.0
3 <sup>#</sup>	65.0~63.0	12.5~13.0	2.0~2.5	12.0	4.5~5.5	2.0	2.0

乳化炸药制备工艺条件:水相温度控制在110℃,油相温度不低于水相析晶点,温度控制在100℃;加料顺序为先加油相,后加水相,水相加入时间为1.5 min左右,先慢后快,乳化时间为5 min;敏化温度为70℃左右;搅拌机转速为765 r·min<sup>-1</sup>,每批生产投料为1 kg。

水下爆炸试验装置包括三个部分,即爆炸水池、药包和测试系统,试验系统装置如图1。爆炸水池直径5.5 m,深3.62 m,水池上方横梁上装有一台小型行车,另有一个用来固定药包和传感器的六角形铁架。实验时,将药包放入水池中心水深2/3处,此时来自水面和水池底部的反射波可以相互抵消<sup>[8]</sup>,因而将药包放在水下2.4 m处。实验时,先将实验仪器安装调试好后,将药包固定在铁架子中央,通过横梁上的行车将被测药包送到水中的预定位置,使示波器处于等待采集状态后,引爆炸药。在示波器上,就会记录与药包一定距离处的水中冲击波波形,通过对波形的分析和处理,就可以得到乳化炸药的冲击波能和气泡能有关数据。

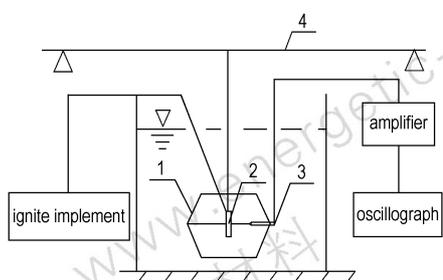


图1 水下爆炸能量测试装置

1—六角形铁架, 2—药包, 3—传感器, 4—横梁

Fig. 1 Test apparatus of explosive underwater explosion energy

1—hexagon iron frame, 2—blasting cartridge, 3—sensor, 4—crossbeam

## 3 实验结果及分析

### 3.1 铝粉含量对乳化炸药爆速的影响

依据 GB/T13228-91 试验方法对乳化炸药进行爆速测定,实验结果见表2。

表2 含铝乳化炸药爆速

Al/%	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>
2	4902	4914	4926
6	4815	4863	4710
10	4673	4615	4616
14	4539	4491	4554

从表2中可知,含铝乳化炸药的爆速随着铝粉含量增加而减小,这是因为乳化炸药爆轰时铝粉在波阵面上一般不参与反应,而且还要吸收热使波阵面上用于支持爆轰的能量减少;铝粉和爆轰产物发生反应,这部分能量发生在声界面之后,产生的能量不能用于支持爆轰波的传播,因而对爆速的贡献不大。

### 3.2 铝粉含量对乳化炸药冲击波能和气泡能的影响

铝粉含量对乳化炸药冲击波能和气泡能的影响如图2和图3所示。由图2和图3可以看出,含铝乳化炸药在水下爆炸时所产生的冲击波能 $E_s$ 和气泡能 $E_b$ 随着铝粉含量的增加而增大,铝粉含量较少的情况下能量的增加不太明显,当铝粉含量大于10%时能量迅速增加。2<sup>#</sup>配方的乳化炸药比1<sup>#</sup>、3<sup>#</sup>配方乳化炸药的冲击波能和气泡能大,这是因为基础配方接近零氧平衡时含铝乳化炸药反应比较完全,生成的气体产物的量最大,因而气泡能和冲击波能的增加比较明显。所以乳化炸药的基础配方最好接近零氧平衡。

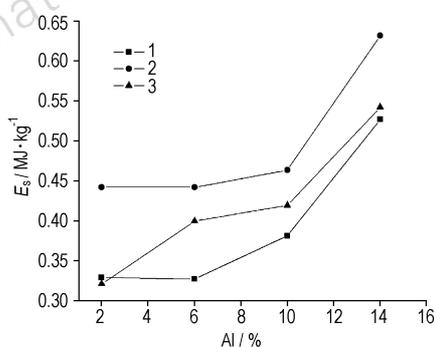


图2 铝粉含量对乳化炸药冲击波能的影响

Fig. 2 Effect of Al powder on shock wave energy of emulsion explosive

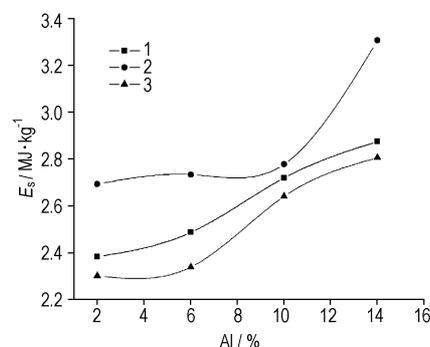


图3 铝粉含量对乳化炸药气泡能的影响

Fig. 3 Effect of Al powder on bubble energy of emulsion explosive

### 3.3 铝粉含量对乳化炸药爆热的影响

用盖斯三角形法<sup>[9]</sup>计算含铝乳化炸药爆热,结果见表3。从表3看出,乳化炸药的爆热随铝粉含量的增加而增大。含铝乳化炸药爆轰时,C、H元素完全被氧化分别需2.66倍及7.9倍的氧,而氧化铝元素只需0.89倍的氧,但产物 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 的氧化热效应( $-1674.44 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )却大大高于 $\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{CO}_2$ 的热效应(分别为 $-285.77$ ,  $-393.51 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ )。从取得高爆热角度出发,主体炸药中C、H元素的含量不宜过多,应提高铝的含量以便生成更多 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,从化学热力学角度,只有当炸药中的可燃剂完全被氧化时,如炸药中C、H、Al等均被氧化成为 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,炸药释放的能量才最大。

表3 含铝乳化炸药爆热  
Table 3 Explosion heat of emulsion explosive containing aluminum

Al/%	1 <sup>#</sup>	2 <sup>#</sup>	3 <sup>#</sup>
2	3272.79	3115.59	2742.43
6	3688.9	3570.59	3254.85
10	4157.03	4058.51	3771.91
14	4624.37	4530.36	4252.76

## 4 结论

(1) 含铝乳化炸药的爆速随着铝粉含量增加而减小,在铝粉含量较小时,其基础配方为零氧平衡的含铝乳化炸药爆速减小比较缓慢,而基础配方为负氧平衡的含铝乳化炸药爆速减小较快。

(2) 水下爆炸测试表明,含铝乳化炸药在水下爆炸时所产生的冲击波能和气泡能随着铝粉含量的增加而增大,基础配方为零氧平衡的含铝乳化炸药的冲击波能和气泡能最大。

(3) 铝粉能够大幅度增加炸药的爆热,当添加铝

粉的量较少时,基础配方为正氧平衡的含铝乳化炸药的爆热增加比较显著,而当铝粉含量的较多时,基础配方为负氧平衡的含铝乳化炸药的爆热增加比较明显。

### 参考文献:

- [1] 宋敬埔,吴红梅. 我国乳化炸药的研究近况及发展建议[J]. 爆破器材, 2003,32(4): 5-10.  
SONG Jing-pu, WU Hong-mei. The recent research and development advice on the emulsion explosives in our country[J]. *Chinese Journal of Explosive Materials (Baopo Qicai)*, 2003,32(4): 5-10.
- [2] 吕春绪. 膨化硝酸铵炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2001: 4-5.
- [3] 叶涛,耿一平,栾勇,等. 高威力(一级)岩石乳化炸药的研制[J]. 爆破器材, 2000,29(3): 8-11.  
YE Tao, GENG Yi-ping, LUAN Yong, et al. The research of class I high power rock emulsion explosive[J]. *Chinese Journal of Explosive Materials (Baopo Qicai)*, 2000,29(3): 8-11.
- [4] Othmer K. Encyclopedia of Chemical Technology[M]. New York: A Wiley-Inter-Science, 1979, 8: 629-631.
- [5] Gret Bjarnholt. Effects of aluminum and lithium fluoride admixtures on metal acceleration ability of Comp. B[C]//6th Symp. on Detonation. California USA, 1976: 425-431.
- [6] Johnson J N, Tang P K, Forest C A. Shock-wave initiation of heterogeneous reactive solids[J]. *J Appl Phys*, 1985,57(9): 4323-4334.
- [7] 殷海权,潘清,张建亮,等. 铝粉对炸药性能的影响[J]. 含能材料, 2004,12(5): 318-320.  
YIN Hai-quan, PAN Qing, ZHANG Jian-liang, et al. The influence of aluminum power on explosive performance[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004,12(5): 318-320.
- [8] 王建灵,赵东奎,郭炜,等. 水下爆炸能量测试中炸药入水深度的确定[J]. 火炸药学报, 2002,25(2): 30-32.  
WANG Jian-ling, ZHAO Dong-kui, GUO Wei, et al. Determination of the reasonable depth of explosives in water to measure underwater explosive energy[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants (Huozhayao Xuebao)*, 2002,25(2): 30-32.
- [9] 惠君明,陈天云. 炸药爆炸理论[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995: 19-30.

## Effect of Aluminum Powder Content on Performance of Emulsion Explosive

ZHANG Hu<sup>1</sup>, XIE Xing-hua<sup>1</sup>, GUO Zi-ru<sup>1</sup>, WAN Xiang-dong<sup>2</sup>

(1. Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. Xi'an Qinghua Civil Explosive Materials Co. Ltd, Xi'an 710025, China)

**Abstract:** Aluminum powders with contents of 2% - 14% were added into the formulation when the temperature of emulsion explosive is about 70 °C. Electrical measurement was used to get the detonation velocity of emulsion explosive containing aluminum, and the underwater tests were used to obtain the shock wave energy and bubble energy of explosive. At the same time the explosion heat was calculated by GAS triangles. The effects of aluminum powder contents on performance of emulsion explosive were analyzed. The results show that detonation velocity of emulsion explosive containing aluminum decreases with the increasing of aluminum powder contents, but explosion heat, shock wave energy and bubble energy increase with the increasing of aluminum powder contents.

**Key words:** explosion mechanics; aluminum powder; explosion heat; detonation velocity; power capability