

文章编号: 1006-9941(2002)02-0078-03

# 含铝炸药爆热的实验研究

韩勇, 韩敦信, 陈红霞, 黄毅民, 卢校军

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 利用恒温式量热计测定了含铝炸药在空气、水和真空中的爆热值。根据爆热分析了含铝炸药的反应机理, 认为含铝炸药在空气中爆炸时, 其中部分铝粉是在化学反应区后参加反应的。

**关键词:** 含铝炸药; 反应机理; 爆热

**中图分类号:** TQ564

**文献标识码:** A

## 1 引言

自从第一次世界大战, 德国首先使用含铝炸药弹药以来, 含铝炸药就被作为性能优良的军用混合炸药, 广泛地应用于水中和空中兵器。由于铝粉在爆轰波阵面的表现行为及状态十分复杂, 因此人们对含铝炸药在爆轰时的反应机理认识不尽相同。目前, 学术界对铝粉的反应时间存在着如下几种观点。

薛再清<sup>[1]</sup>等人认为铝粉在炸药爆轰化学反应区内是惰性的, 铝粉在 CJ 点之后发生氧化反应, 从而产生大量的热量。由于铝粉在反应区内是作为惰性物存在, 故对爆速、爆压不仅起不到增高的作用, 反而会因单位体积内的炸药量减少而使爆速、爆压下降。李银成<sup>[2]</sup>等人在对含铝炸药进行理论计算时, 假定铝粉在反应区内完全反应, 这样铝粉在反应区内必将夺取大量的氧使反应区内产生较多的游离碳, 而使 CO<sub>2</sub> 气体减少, 从而使爆速、爆压降低。Philip<sup>[3]</sup>等人认为含铝炸药在化学反应区和 CJ 点后铝粉都参加反应, 且在后一阶段释放大量的热量。

本实验利用恒温式量热计测定了含铝炸药在真空、空气和水中爆炸时的爆热值, 从爆热角度分析了含铝炸药在真空、空气和水中反应放热的特点, 为研究含铝炸药中铝粉的反应时间提供了实验依据。

## 2 实验原理<sup>[4]</sup>

炸药爆炸后产生的热量由对流或辐射传至水介质中, 使水的温度缓慢上升, 当达到热平衡时, 水温达到

一最大值且保持一段时间, 由于热损失, 水温将缓慢下降。测出起爆时刻水的初始温度  $T_0$ , 计算出最高平衡温度  $T_e$ , 然后计算出整个系统由于炸药爆炸放热而导致的系统温升  $\Delta T$ 。根据实验系统的热容量  $C$  及雷管的爆热  $q$ , 质量为  $m$  克炸药产生的热量为:

$$Q = C\Delta T - q \quad (1)$$

炸药的爆热  $Q_0$  为:

$$Q_0 = Q/m \quad (2)$$

实验测定的爆热是指爆轰瞬间所放出的热量再加上爆轰产物由爆轰瞬间的高温冷却至室温所发生的热效应, 本文用  $Q_0$  表示。

## 3 实验方法

### 3.1 试样

为便于比较, 本研究对如下三种炸药样品的爆热进行了测定: 含铝炸药 ROT901-2, HAI-1 (含铝量均为 13%) 和不含铝炸药 TNT。

### 3.2 实验仪器及实验条件

实验用恒温式量热计<sup>[4]</sup>, 其结构如图 1 所示。

实验条件<sup>[5]</sup>: 实验室温度控制在 15 ~ 30 °C, 每次试验时, 温度变化不应超过 1 °C; 开动搅拌器均匀搅拌, 使量热计与环境温度达到平衡, 在 5 min 内量热桶温度变化不超过 0.005 °C。

### 3.3 水中爆热实验

为了安全, 本实验设计了一装水容器——用塑料袋装 1 kg 水, 再将试验药柱放置于水中部, 抽出塑料袋周围的空气, 以形成真空。这样, 除了炸药爆炸后驱动高速水流撞击弹壁之外, 炸药产物所产生的超压对弹壁影响较小。

### 3.4 真空中爆热实验

在实验中, 我们通过真空泵将爆热弹内的气体抽

收稿日期: 2001-07-24; 修回日期: 2002-02-24

作者简介: 韩勇(1976-), 男, 在读硕士, 主要从事爆轰物理方面的研究工作。

空,使弹内的剩余压力约为 4.934 kPa(约为标准大气压的 5%)。

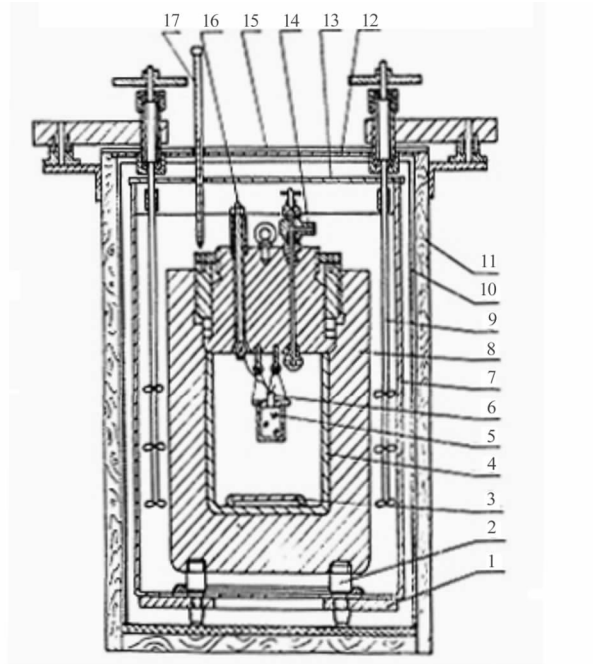


图 1 恒温式量热计装置示意图

1—支撑台, 2—弹支脚, 3—缓冲垫, 4—衬里, 5—试样, 6—雷管, 7—量热筒, 8—爆热弹, 9—搅拌器, 10—外桶, 11—保温套, 12—不锈钢盖, 13—黄铜盖, 14—阀门, 15—胶木盖, 16—电极, 17—温度计

Fig.1 Assembly sketch of constant temperature calorimeter

1—support desk, 2—elastic bracket, 3—cushion, 4—liner, 5—sampler, 6—detonator, 7—measuring heat cylinder, 8—detonation heat bomb, 9—blender, 10—outside barrel, 11—heat preservation cover, 12—stainless steel lid, 13—brassiness lid, 14—valve, 15—bakelite lid, 16—electrode, 17—thermometer

## 4 实验结果与讨论

### 4.1 实验结果

系统的热容量  $C = 198.26 \text{ kJ} \cdot \text{°C}^{-1}$ , 雷管的爆热  $q = 3.862 \text{ kJ}$ ; 本实验对如下三种炸药样品在各种情况下进行了三发平行试验。根据公式(1)、(2)计算所得的实验结果如表 1~3 所示。

表 1 TNT 实验结果

Table 1 Experimental results of TNT

状态	$m/\text{g}$	$T_b/\text{°C}$	$T_e/\text{°C}$	$Q_e/\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$
空气中	40.2146	0.8110	1.8203	4.8729
真空中	40.2251	0.8386	1.7500	5.0612

表 2 ROT-901-2 实验结果

Table 2 Experimental results of ROT-901-2

状态	$m/\text{g}$	$T_b/\text{°C}$	$T_e/\text{°C}$	$Q_e/\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$
空气中	47.0150	0.7674	2.4855	7.0869
水中	46.9186	0.8510	2.3284	6.3267
真空中	47.2896	0.8191	2.4761	6.8872

表 3 HAI-1 实验结果

Table 3 Experimental results of HAI-1

状态	$m/\text{g}$	$T_b/\text{°C}$	$T_e/\text{°C}$	$Q_e/\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$
空气中	46.5044	0.8482	2.4105	6.6289
水中	46.2391	0.8581	2.2580	5.9709
真空中	46.1695	0.8251	2.2807	6.1731

### 4.2 结果分析与讨论

#### 4.2.1 含铝炸药爆热的经验计算公式

混合炸药的爆热,可按加和方法进行计算<sup>[6]</sup>,即:

$$Q_e = \sum w_j Q_{ej} \quad (3)$$

式中,  $w_j$  为混合炸药中  $j$  组分的质量分数,  $Q_{ej}$  为  $j$  组分的爆热。

对含铝炸药,其可表示为:

$$\Delta Q_e = \sum w_j \Delta Q_{ej} + w_i Q_{Al} \quad (4)$$

式中,  $\Delta Q_e$  为混合炸药在空气中爆热与真空中爆热的差值,  $\Delta Q_{ej}$  为混合炸药中  $j$  组份的在空气中爆热与真空中爆热的差值 (Al 组分除外),  $w_i$  为混合炸药中 Al 与空气中氧反应的质量分数,  $Q_{Al}$  为 Al 与氧反应所放出的热量  $1.645 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

#### 4.2.2 含铝炸药爆热结果分析

(1) 对于含铝炸药,由表 2、表 3 数据可以看出,炸药的爆热值大小排列顺序为: 空气中 > 真空中 > 水中。实验数据表明: 含铝炸药在空气中的爆热显然高于水中爆热,由此可以推论,含铝炸药中至少部分铝粉与空气中的氧发生了氧化反应,即该部分铝粉不可能在化学反应区内发生氧化反应放热。至于在真空中测出的爆热大于水中的爆热值,这是因为在真空实验下毕竟还有 4.934 kPa 的压力,即与空气中氧气相比,还有 5% 的氧气。而水中含氧较少,炸药中的铝更难与水中的氧进行较完全的反应。

(2) 对 ROT-901-2 含铝炸药,其基本组成为 TNT/HMX/Al/CaClO<sub>3</sub> = 28.6/58/13/0.35。我们按公式(4)计算了 ROT-901-2 中与空气中的氧反应的铝粉含

量。在计算中,我们进行了如下简化处理:对 TNT 组分我们用实测值  $\Delta Q_{eTNT}$  为  $188.3 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$  (由表 1 得出),在 ROT-901-2 炸药中,我们认为其中 HMX/CaClO<sub>3</sub> 混合组分达到氧平衡,在空气与真空中的爆热相等,即  $\Delta Q_{eHMX/CaClO_3}$  为 0。计算得 ROT-901-2 含铝炸药中与空气中氧反应的铝粉占混合炸药的 5%,占混合炸药中全部铝粉的 38.5%。即 ROT-901-2 中的铝粉约有 38.5% 不是在化学反应区内发生反应,而是在化学反应区后才发生氧化反应。

## 5 结束语

由上述结果分析可知含铝炸药在空气中爆炸时,其中部分铝粉是在化学反应区后才参加反应。

## 参考文献:

- [1] 薛再清. 含铝炸药的爆轰特性[A]. 中国兵工学会专业委员会第四届第二次学术年会火炸药论文集[C], 1997. 269-300.
- [2] 李银成. 含铝炸药(HBX-1)等熵线折转的物理机制及其物态方程[A]. 第三届全国爆轰学术会议论文集[C], 四川绵阳, 1992.
- [3] Philip J. A reactive flow model with coupled reaction kinetics for detonation and combustion in non-ideal explosives [J]. MRS (Materials Research Society), 1996, 413-420.
- [4] 董海山, 周芬芬. 高能炸药及相关物性能[M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [5] GJB772A. 701-97 炸药试验方法: 爆热测定[S].
- [6] 孙业斌, 慧君明, 曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.

## Experimental Research of Detonation Heat of Al-containing Explosives

HAN Yong, HAN Dun-xin, CHEN Hong-xia, HUANG Yi-min, LU Xiao-jün  
(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China)

**Abstract:** The detonation heats of Al-containing explosives in the air, water or vacuum are measured by using constant temperature calorimeter. The reaction mechanism of Al-containing explosives is studied according to the detonation heat. The results show that a part of aluminum powder is reacted behind the chemical reaction zone in the air.

**Key words:** Al-containing explosive; reactive mechanism; detonation heat