

兵工技术

铝爆热特征值及反应率的研究

王建灵¹ 杨小萌² 郭 炜¹ 韦国平¹ 肖 奇¹ 李 欣¹

(西安近代化学研究所¹, 西安 710065; 西安武警工程大学², 西安 710086)

摘 要 为了得到铝的爆热特征值和反应率, 采用国军标 GJB 772A—97 中 701.1 绝热法测试爆热和反应率计算, 对 RDX/Al/黏结剂、HMX/Al/黏结剂和 PETN/Al/黏结剂三类混合炸药体系进行了爆热值的测定。结果表明, 铝在 RDX、PETN、HMX 三种配方体系和同在 RDX 配方体系但黏结剂含量不同时, 铝爆热特征值及反应率是不同的; 铝在 RDX/Al/黏结剂(4%)和 PETN/Al/黏结剂(4%)体系中, 随着铝含量增加, 铝爆热特征值和反应率在减小; 铝在 RDX/Al/黏结剂(16%)和 HMX/Al/黏结剂(5%)体系中, 随着铝含量增加, 铝爆热特征值和反应率先是增加后减小。

关键词 炸药 爆热特征值 铝粉粒度 炸药组成

中图分类号 TJ55 TJ564; **文献标志码** B

目前, 在设计混合炸药配方时, 研究者首先追求炸药本身所具有的化学能量尽可能地大, 再根据不同种类的混合炸药在不同介质中的传播特性以及战斗部毁伤方式的要求, 选择其他的爆轰参数, 如: 金属驱动型, 选择高格尼能炸药; 水下爆炸型, 则选择中等爆压的炸药。含铝炸药具有高爆热、高爆温及爆轰反应时间长等特点, 广泛应用于先进常规武器, 如空中兵器, 水中兵器等^[1]。国内 20 世纪 80 年代后逐步开展含铝炸药的爆热研究, 对于较钝感的体系(雷管不能直接起爆的含铝混合炸药), 多采用水下能量相对比较的方法来表征含铝混合炸药的爆热^[2]。含铝温压炸药爆轰能量采用 200 g TNT 当量爆轰弹进行能量测量^[3]。

研究人员在进行含铝炸药配方设计时, 通常采用 $11.97 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 作为铝的爆热特征值计算含铝炸药的爆热理论值, 导致爆热理论计算结果与实验测量值误差较大; 这是因为含铝炸药反应第一步是单质炸药的爆炸反应, 第二步是铝粉与炸药反应后生成的高温高压的气体进行反应生成铝的氧化物, 从而放出大量的热量; 也就是说, 铝粉反应完全率的高低决定了含铝炸药爆热值的大小。因此, 含铝炸药的爆热不仅与主体炸药组分含量有关, 而且还与主体炸药的分子结构有关。通过试验研究了不同含铝炸药体系中铝的爆热特征值及反应率。

1 计算理论

1.1 铝的爆热特征值的计算

铝的爆热特征值按式(1)计算, 其中黏结剂、钝感剂爆热特征值按零计算^[4]。

$$Q = \sum m_i Q_i \quad (1)$$

式(1)中: Q 为炸药的爆热, $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$; m_i 为炸药各组分质量百分比, %; Q_i 为炸药中某一组分爆热特征值, $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

含铝混合炸药的爆热按 GJB 772—97 中 701.1 绝热法测试爆热的方法试验得到, 单质炸药的爆热同样按上述方法试验得到, RDX 的爆热为 $6\,000 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, PETN 的爆热为 $6\,195 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, HMX 的爆热为 $6\,000 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[5]。

1.2 铝的爆炸反应率

由于单质炸药的爆热为一固定值, 铝的燃烧热为一固定值, 利用爆热弹测量出试样的爆热, 再通过公式(1)计算出铝对爆热的贡献热值(爆热特征值), 即可通过公式(2)计算铝的爆炸反应率。

$$\eta = \frac{Q_{\text{Al}}}{H_{\text{Al}}} \quad (2)$$

式(2)中: η 为铝的爆炸反应率, %; Q_{Al} 为炸药中铝对爆热的贡献热值, $\text{J} \cdot \text{g}^{-1}$; H_{Al} 为铝的燃烧热, 数值为 $31\,024 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[5]。

2 实验

2.1 试样与试验装置

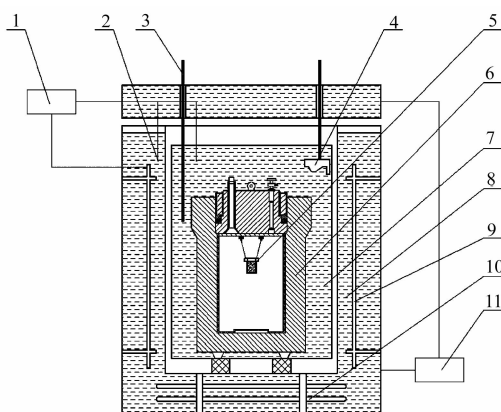
试样为压装炸药, 药柱直径 25 mm, 质量 25 g, 药柱上端留有一直径 7.1 mm、深 15 mm 的雷管孔。

2015 年 8 月 2 日收到 火炸药燃烧国家重点实验室基金项目

(9140C350406110C3501)资助

第一作者简介: 王建灵(1963—), 女, 研究员。研究方向: 炸药性能评估和危险品分级。E-mail: lihongbin6868@163.com。

爆热量热计示意图见图 1。



1 为温度控制仪;2 为铂电阻;3 为温度计;4 为潜水泵;
5 为试样;6 为爆热弹;7 为量热桶;8 为外桶;
9 为加热电极板;10 为冷却蛇管;11 为泵

图 1 爆热量热计示意图

Fig. 1 Detonation heat calorimeter schematic diagram

3 分析与讨论

3.1 铝在不同体系炸药中爆热特征值和反应率

不同体系炸药的爆热和铝粉的反应率见表 1 所示。

表 1 不同体系炸药的爆热和铝粉的反应率

Table 1 Detonation heats and reaction rates of aluminum of various explosives

炸药配方	炸药配比	$Q_v / (J \cdot g^{-1})$	$Q_{Al} / (J \cdot g^{-1})$	$\eta / \%$
RDX/AL/黏结剂	74/22/4	7 522	14 009	45.2
	69/27/4	7 624	12 904	41.6
	64/32/4	7 711	12 096	39
	59/37/4	7 737	11 343	36.6
PETN/AL/黏结剂	71/25/4	7 732	13 334	43.0
	66/30/4	7 954	12 884	41.5
	61/35/4	8 102	12 351	39.8
	56/40/4	8 309	12 100	39.0
	51/45/4	8 369	11 577	37.3
RDX/AL/黏结剂	64/20/16	6 258	12 090	39.0
	61/23/16	6 887	14 030	45.2
	57/27/16	6 659	11 996	38.7
HMX/AL/黏结剂	75/20/5	6 762	11 310	36.4
	65/30/5	7 418	11 726	37.8
	55/40/5	7 128	9 570	30.8

3.2 铝在不同体系炸药中的含量与爆炸反应率的关系

铝粉在混合炸药中作为还原剂,铝粉的反应状态随炸药组分及其含量的不同而改变,但单质炸药的爆热为固定值,铝的燃烧热也为固定值,可以利用二者的关系通过公式(2)计算铝的爆炸反应率。对于 RDX、PETN 混合体系,铝粉含量与铝粉爆炸反应

率的关系见图 2。

拟合公式如下。

RDX/AL/BA 体系:

$$\eta = 56.96 - 0.568w \quad (3)$$

PETN/AL/BA 体系:

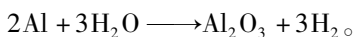
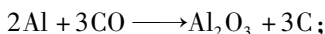
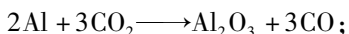
$$\eta = 49.39 - 0.274w \quad (4)$$

式中: w 为铝在体系中的质量百分比, %。

3.3 铝的含量和配方体系不同对反应完全性的影响分析

从表 1 中可以看出, RDX/AL/BA 和 PETN/AL/BA 体系含铝炸药的爆热随铝粉含量的增加而增加。在 PETN/AL/BA 体系中,铝粉加入量为 45% 时,爆热还在增加,但这两个

体系中随铝粉含量的增加,铝粉爆热特征值在减小,这是因为美国学者 Cook M A 认为含铝炸药的爆炸可概括为两步^[6],第一步是单质炸药发生爆炸反应;第二步才是铝粉参与反应,铝粉相对炸药而言是惰性的,与炸药不能直接发生反应,要在炸药反应时造成的高温、高压条件下与炸药的反应产物再进行反应,反应形式主要有:



随着铝粉含量的增加,炸药含量降低,产物中 CO_2 、 CO 、 H_2O 含量降低,使铝粉不能全部氧化成 Al_2O_3 ,或者以 Al 、 AlO 状态存在^[7]。铝粉爆热特征值即会随着铝粉含量的增加而降低。

在 RDX/AL/黏和 HMX/AL/W 体系中,随着铝含量的增加,爆热值和反应率先是增加而后减小^[8],这是因为在 RDX/AL/黏体系中,黏结剂在体系中占的比例较大(16%),相当于单质炸药 RDX 被惰性介质包覆,当铝增加到一定比例时,单质炸药 RDX 在惰性介质中活化点减少,爆轰感度降低,反应完全性降低,使铝与产物反应不完全,因此,爆热、铝爆热特征值和反应率均减小。在 HMX/AL/W 体系中,HMX 比 RDX 冲击波感度低,因此,当铝增加到一定比例时,随着铝的增加,HMX 爆轰完全性降低,使铝与产物反应不完全,最终导致体系爆热、铝爆热特征值和反应率大幅度降低。

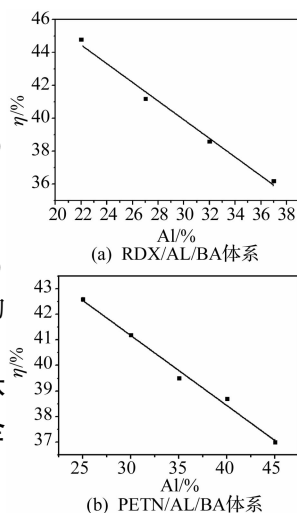


图 2 铝粉含量与铝粉爆炸反应率的关系

Fig. 2 Relationship between aluminum ratio and reaction rate of aluminum powder

4 结论

(1) 铝的爆热特征值不是一个固定值。它与铝含量、混合炸药配方、制备工艺等条件有关,铝的爆热特征值变化范围在 $11.0 \sim 14.0 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$,在设计炸药配方时,参照不同体系来确定铝爆热特征值。

(2) 铝的爆热特征值随铝含量增加而减小。PETN 体系含铝炸药,铝爆热特征值大于 RDX 体系含铝炸药,而 RDX 体系含铝炸药铝爆热特征值大于 HMX 体系含铝炸药。这是因为就爆轰感度而言, PETN 大于 RDX, RDX 大于 HMX,爆轰感度越高,化学反应强烈,爆温越高,增大了铝粉生成 Al_2O_3 的转化率。

(3) 在 RDX/Al 和 PETN/Al/BA 体系中,铝的爆炸反应率随铝的增加而减小。在 RDX/Al/黏结剂和 HMX/Al/W 体系中,铝的爆炸反应率是随铝含量的增加而增大,而后随铝含量的增加而减小。

参 考 文 献

- 1 王 浩,王亲会,金大勇,等. DNTF 基含硼和含铝炸药的水下能量. 火炸药学报,2007; 30(6):38—40
Wang Hao, Wang Qinhui, Jin Dayong, et al. Underwater energy of DNTF based boron-contained and aluminum-contained explosive. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2007; 30(6):38—40
- 2 彭金华,陈网桦,苏 华. 铝粉对含铝炸药水中爆炸能量输出特

- 性的影响研究. 安全与环境学报,2004;4(增刊):177—179
Peng Jinhua, Chen Wanhua, Su Hua. Research of effects of aluminum on the underwater explosion energy of aluminized explosives. Journal of Safety and Environment, 2004;4(supp):177—179
- 3 王晓峰,冯晓军,肖 奇. 温压炸药爆炸能量的测量方法. 火炸药学报,2013; 36(2):9—12
Wang Xiaofeng, Feng Xiaojun, Xiao Qi. Test method of explosion energy thermo-baric explosives. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2013; 36(2):9—12
 - 4 郑孟菊,余统昌,张银亮. 炸药性能及测试技术. 北京:兵器工业出版社,1990
Zhen Mengju, Yu Tongchang, Zhang Yinliang. Test technics and performance of explosives. Beijing: The Publish of Weapon Industry, 1990
 - 5 惠君明,陈天云. 炸药爆炸理论. 南京:江苏科学技术出版社,1995
Hui Junming, Chen Tianyun. Detonation theory of explosives. Nanjing: The Publish of Science and Technology of Jiangsu, 1995
 - 6 Cook M A. Aluminized explosives. Phys, Chem, 1957; 1(1): 189—196
 - 7 孙业斌,惠君明,曹欣茂. 军用混合炸药. 北京:兵器工业出版社,1995
Sun Yebin, Hui Junming, Cao Xinmao. Military mixture explosives. Beijing: The Publish of Weapon Industry, 1995
 - 8 李媛媛,王建灵,徐洪涛. Al-HMX 混合炸药爆炸场温度的实验研究. 含能材料,2008;16(3):241—243
Li Yuanyuan, Wang Jianling, Xu Hongtao. Experiment study on the explosion temperature of mixture explosives. Chinese Journal of Energetic Materials, 2008;16(3):241—243

Studies on the Detonation Heat and Reaction Rate of Aluminum

WANG Jian-ling¹, YANG Xiao-meng², GUO Wei¹, WEI Guo-ping¹, XIAO Qi¹, LI Xin¹

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute¹, Xi'an 710065, P. R. China;

Engineering College of Armed Police Force², Xi'an 710086, P. R. China)

[Abstract] In order to achieve the characteristic detonation heat and reaction rate of aluminum, the 701.1 adiabatic method in GJB 772A—97 has been applied to test detonation heats and the calculation of reaction rates, tested the detonation heats of RDX/Al/bond, HMX/Al/bond and PETN/Al/bond three kinds of explosive systems. Result shows that the characteristic detonation heats and reaction rates of aluminum were different in RDX, PETN, HMX three kinds of compounds, when compared with the RDX compounds that with different bond contents. In the compounds of RDX/Al/bond(4%) and PETN/Al/bond(4%) the characteristic detonation heat and reaction rate of aluminum increase with the increase of aluminum contents. In the compounds of RDX/Al/bond(16%) and PETN/Al/bond(5%) with the increase of aluminum contents the characteristic detonation heat and reaction rate of aluminum firstly increase then decrease.

[Key words] explosives characteristic detonation heat the particle size of Al powder components of explosives