

文章编号: 1006-9941(2011)04-0363-03

黑索今基含硼炸药的爆热性能

黄亚峰, 王晓峰, 冯晓军

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为了研究黑索今(RDX)基含硼(B)炸药的能量特性, 采用 GJB772A-1997 方法 701.1 对 7 种含硼粉的 RDX 炸药: RDX/B/EVA(乙烯-醋酸乙烯共聚物)-90/8/2、RDX/B/EVA-88/10/2、RDX/B/EVA-86/12/2、RDX/B/EVA-83/15/2、RDX/B/EVA-78/20/2、RDX/B/EVA-75/23/2、RDX/B/EVA-68/30/2 的爆热进行了测试并进行了理论计算。结果表明, 硼粉含量为 8%~20% 时, 混合炸药的爆热与硼粉含量之间存在线性关系, 硼粉能够提高混合炸药的爆热。测量和计算的最大爆热值分别是 $7162 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $8967 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, 分别对应为 B/O 比为 0.87 的组分为 RDX/B/EVA-78/20/2 的含硼炸药和 B/O 比为 0.61 的组分为 RDX/B/EVA-83/15/2 的含硼炸药。当爆热值达到最大后, 随硼粉含量的增加, 爆热值减小。

关键词: 物理化学; 黑索今; 硼; 爆轰; 爆热; 含硼炸药

中图分类号: TJ55; O64

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.001

1 引言

作为战术武器毁伤能量来源的炸药, 提高其爆热是人们不懈追求的目标。提高炸药爆热的最有效途径之一就是在炸药中添加高热值的高能添加剂如铍、硼、铝等。铝粉、硼粉和铍粉的燃烧值分别是 $31.0, 58.6, 64.9 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ^[1], 从单位质量的燃烧值来看, 硼与铍都比铝优越。但铍是一种剧毒物质, 所以限制了其在炸药中的应用。硼粉不仅燃烧热值高, 而且在常温下, 没有铝粉活泼, 不和空气中的水分反应^[2], 这对含硼炸药的安全性和长储性都非常利, 因此有必要对含硼炸药进行研究。近年来, 关于含硼炸药, 国内有一些研究报道, 如文献[3-4]对含硼炸药的水下能量特性进行了详细研究, 结果表明以 DNTF(3,4-二硝基呋喃基氧化呋喃)、RDX、HMX 为基的含硼炸药水下总能量比相应的含铝炸药水下总能量高, 如果把硼粉与铝粉联合使用, 效果更佳。裴明敬^[5]等研究了含硼温压型燃料的爆炸性能, 含硼温压型燃料的爆炸冲击波压力与含铝温压燃料的爆炸冲击波相比没有明显优势, 但是含硼燃料的爆炸火球温度较高, 高温持续时间更长。而且, 含硼炸药爆热方面的研究尚未见报道, 因此本研究对 RDX 基含硼炸药的爆热进行了测试和理论计算,

并对爆轰后固体产物进行了 X 射线衍射实验。

2 实验部分

2.1 实验样品制备

在 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 水浴环境下, 将粘结剂乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)用一定量石油醚完全溶解后, 加入黑索今和硼粉, 搅拌均匀。当物料呈拉丝状时, 将物料倒出过筛造粒, 将造型粉压制成带 8# 雷管孔的直径为 25 mm 质量为 25 g 的药柱。其中 RDX 为 II 类, 805 厂生产; 硼粉粒度为 $3.5 \mu\text{m}$, 营口辽滨精细化工有限公司生产; EVA, 上海化工研究所生产。各样品的组分见表 1。

表 1 含硼炸药爆热测试的样品配方

Table 1 Formulations of the boron-contained explosives based on RDX %

samples	B	RDX	EVA
1	8	90	2
2	10	88	2
3	12	86	2
4	15	83	2
5	20	78	2
6	23	75	2
7	30	68	2

2.2 爆热测试

按照 GJB772A-1997 方法 701.1 绝热法测试爆热。在 -0.094 MPa 的真空中, 将质量为 25 g, 直径

收稿日期: 2010-09-15; 修回日期: 2010-12-19

作者简介: 黄亚峰(1978-), 男, 硕士, 主要从事混合炸药及配方工艺研究。e-mail: huangyafeng204@163.com

为 25 mm 的实验样品在容积为 5.8 L 的爆热弹内引爆, 以 16.5 L 的蒸馏水作为测温介质, 用精确度为 1% 的精密测温仪实时跟踪测量水温, 根据爆热弹系统的热容值及温升值求出单位质量的实验样品的定容爆热值。

2.3 含硼炸药爆轰后固体产物的 X 射线衍射实验

实验仪器为 D/MAX2400 型 X 射线衍射仪, 波长为 1.54 μm 。将含硼炸药裸药柱在爆热弹内起爆, 完全反应后, 收集固体产物进行 X 射线衍射实验, 测定爆轰后固体产物成分, 得到硼固体氧化产物及质量含量。本次实验所用炸药配方为表 1 中第 4 组。

3 结果与讨论

3.1 含硼炸药的爆热与硼粉含量的关系

由表 2 第二列爆热实测数据和第三列爆热计算数据可知, 当硼粉的质量含量少于 10% (sample 1), 计算爆热和实测爆热基本一致, 但随着硼粉的质量含量逐渐增大, 两者的差距也随之变大。当硼粉的质量含量达到 15% (sample 4) 时, 爆热的实测数据为 $6832 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, 爆热计算数据为 $8967 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, 两者的相对误差达到 31%, 随后两者的相对误差开始降低。这可能是由于硼粉在炸药中不能完全氧化的缘故^[6-8]。含硼炸药的计算爆热是假设炸药中的氧首先全部用来满足硼的氧化生成 B_2O_3 , 但是在炸药爆轰过程中, 硼并不能完全氧化成 B_2O_3 。当炸药中硼的质量含量很少时, 硼粉可以与炸药中的氧充分接触生成 B_2O_3 , 因此实测爆热与计算爆热基本吻合。当炸药中硼的质量含量逐渐增大时, 硼粉除了氧化反应生成 B_2O_3 外, 还会与炸药中的氮、氢等元素反应生成低生成焓的产物, 降低炸药的爆热, 因此实测爆热与计算爆热误差较大。

表 2 含硼炸药配方及爆热值

Table 2 Formulations and heat of detonation for boron-contained explosives

samples	heat of detonation/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$		B/O ratio/%
	measured	calculated ¹⁾	
1	6402	6231	0.30
2	6533	7013	0.39
3	6642	7794	0.47
4	6832	8967	0.61
5	7162	8930	0.87
6	7081	8588	1.0
7	7020	7793	1.5

Note: 1) detonation heat is calculated by the assumption that oxygen in explosive oxidizes boron firstly and then oxidizes carbon into carbon monoxide.

由表 2 的爆热实测数据与硼粉含量关系可以看出, 当炸药中硼粉的质量含量少于 20% (sample 1 ~ sample 4), 随着硼粉质量含量的不断增加, 含硼炸药的爆热呈线性增加, 当硼粉质量含量达到 20% 时 (sample 5), 含硼炸药的爆热达到最大, 然后随着硼粉质量含量的增加, 爆热逐渐减小。将最大爆热前的数据进行线性拟合得图 1, 由图 1 可以看出其线性相关度达到了 0.99962。

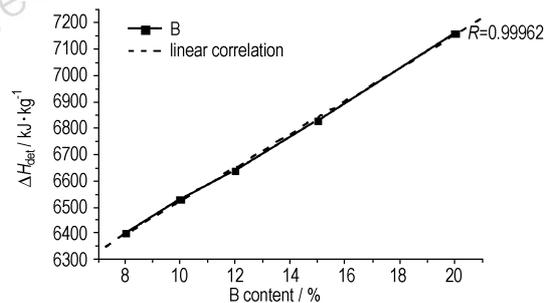


图 1 硼粉含量与实测爆热之间的关系

Fig. 1 Relationship between measured heat of detonation and boron content

3.2 含硼炸药的爆热与硼氧比的关系

由表 2 第二列爆热实测数据与第四列硼氧比的数据关系可知, 随着硼氧比 (B/O) 的增加含硼炸药的爆热呈线性增加, 在硼氧比为 0.87 时 (sample 5), 爆热值达到最大, 之后随着硼氧比的增加, 爆热呈缓慢下降趋势。这与含铝炸药的爆热与铝氧比的关系不同, 对含铝炸药的爆热与铝氧比关系的研究发现^[9], 在铝氧比为 0.52 的时候, 含铝炸药的爆热值达到最大, 之后随着铝氧比的增加, 爆热呈缓慢下降趋势。

硼和铝在元素周期表中虽然同属同一主族, 但硼却不如铝活泼, 即使在高温时, 其反应也是相当缓慢。而且硼的氧化反应也相当复杂, 一般是先生成具有挥发性的中间产物如 BO 、 B_2O_2 , 然后由中间产物再氧化生成硼的最终产物 B_2O_3 , 在此过程中, 有一定量的中间产物存在。这部分中间产物的存在, 使爆热达到最大时的硼氧比要比铝氧比高一些。

3.3 含硼炸药爆轰后固体产物的 X 射线衍射实验

RDX 基含硼炸药爆轰后固体产物的 X 射线衍射图谱如图 2 所示。

含硼炸药爆轰后固体产物 X 射线衍射数据经处理后硼的固体氧化产物及质量含量见表 3。由表 3 数据可以看出, 含硼炸药爆轰后硼的固体氧化产物主要是 B_2O_3 和 BN , B_2O_3 的标准生成焓为 BN 标准生成

焓的五倍。含硼炸药的实测爆热与计算爆热之间存在较大误差,主要因为硼粉在炸药爆轰过程中除生成 B_2O_3 之外,有部分硼粉生成低生成焓的产物 BN。

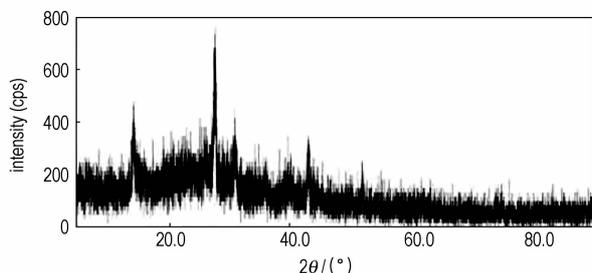


图2 含硼炸药爆轰后产物的X衍射图

Fig.2 XRD pattern of the solid detonation products for the explosive containing boron

表3 含硼炸药爆轰后硼的固体产物X衍射结果

Table 3 XRD results of the solid detonation products for the explosive containing boron

products	mass content/%	standard molar enthalpy of formation $^{[10]}$ / $J \cdot mol^{-1}$
B_2O_3	73.67	1252188
BN	26.33	252295

4 结论

在炸药中加入硼粉,可以明显提高炸药的爆热。当炸药中硼粉的质量含量少于20%,随着硼粉质量含量的不断增加,含硼炸药的爆热呈线性增加。当硼粉质量含量为20%即硼氧比为0.87时,爆热值达到最大,之后随着硼含量的增加,爆热呈缓慢下降趋势。

Detonation Heat of Boron-contained Explosive Based on RDX

HUANG Ya-feng, WANG Xiao-feng, FENG Xiao-jun

(Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an 710065, China)

Abstract: In order to investigate the energy characteristics of RDX based boron-contained explosive, the heats of detonation (Q_{det}) of seven explosives: RDX/B/EVA-90/8/2, RDX/B/EVA-88/10/2, RDX/B/EVA-86/12/2, RDX/B/EVA-83/15/2, RDX/B/EVA-78/20/2, RDX/B/EVA-75/23/2, RDX/B/EVA-68/30/2 mixtures were measured by standard method of GJB772A-97-701.1, and theoretical calculation of Q_{det} was performed. The results show that there is a linear relationship between the heats of detonation of explosive mixtures and the boron content in the range of 8% to 20%, indicating that boron powder makes the value of Q_{det} of RDX increase. The measured and calculated maximum heats of detonation are $7162 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ for RDX/B/EVA-78/20/2 mixture with B/O ratio of 0.87 and $8967 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ for RDX/B/EVA-83/15/2 mixture with B/O ratio of 0.61 respectively. After maximum values of Q_{det} , with increasing the boron content, the value of Q_{det} decreases.

Key words: physical chemistry; RDX; boron; detonation; detonation heat; boron-contained explosive

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.04.001

参考文献:

- [1] 孙业斌, 惠君明, 曹欣茂. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995: 450-451.
- [2] 化工百科全书编撰委员会. 化工百科全书[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 321.
- [3] 王浩, 王亲会, 金大勇, 等. DNTF基含硼炸药和含铝炸药的水下能量[J]. 火炸药学报, 2007, 30(6): 38-40.
WANG Hao, WANG Qin-hui, JIN Da-yong, et al. Underwater energy of boron and aluminum containing explosive based DNTF [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2007, 30(6): 38-40.
- [4] 封雪松, 赵省向, 刁小强, 等. 含硼金属炸药水下能量的实验研究[J]. 火炸药学报, 2009, 32(5): 21-24.
FENG Xue-song, ZHAO Sheng-xiang, DIAO Xiao-qiang, et al. Experimental research of underwater energy of explosive containing boron/metal [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2009, 32(5): 21-24.
- [5] 裴明敬, 毛根旺. 含硼温压燃料的爆炸性能[J]. 火炸药学报, 2006, 29(4): 1-5.
PEI Ming-jing, MAO Gen-wang. Explosion performance of ther-mobaric fuel containing boron [J]. *Chinese Journal of Explosives and Propellants*, 2006, 29(4): 1-5.
- [6] Andrej Macek, J Mckenzie Semple. Combustion of boron particles at elevated pressures [C] // 13th Symposium (International) on Combustion, Combustion Institute, 1971: 859-867.
- [7] Yetter R A, Rabitz H, Dryer F L. Kinetics of high-temperature B/O/H/C chemistry [J]. *Combustion and Flame*, 1991, 83: 43-46.
- [8] Macek A. Combustion of boron particles: Experiment and theory [C] // 14th Symposium (International) on Combustion, Combustion Institute, 1972: 1401.
- [9] 黄亚峰. 复合金属化炸药及其能量释放机理研究[D]. 北京: 中国兵器科学研究院, 2004.
- [10] 叶大伦, 胡建华. 实用无机物热力学数据手册[M]. 第2版. 北京: 冶金工业出版社, 2002: 117-119.