

文章编号: 1006-9941(2008)03-0241-03

Al-HMX 混合炸药爆炸场温度的实验研究

李媛媛, 王建灵, 徐洪涛

(西安近代化学研究所, 陕西 西安 710065)

摘要: 为研究在密闭条件下炸药爆炸场温度的响应特征及响应规律, 采用直接测温法, 对密闭爆炸罐中 Al-HMX 混合炸药的爆炸场温度进行了测量。结果表明, 爆炸场温度随铝含量增加而升高, 当铝粉质量分数为 30% ~ 40% 左右时, 爆炸场温度最高, 为 750 °C 左右; 铝粉含量为 30% 时, 爆热最大。这说明在密闭条件下, 含铝炸药爆炸反应比较完全, 铝粉的利用率较高。

关键词: 爆炸力学; 含铝炸药; 奥克托今(HMX); 爆炸温度场

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

1 引 言

近年来, 随着战争方式、规模的逐渐改变及作战武器的多元化, 战斗部装药的种类也不断改进和发展。用于对付地下或野战工事、建筑物和坑道等密闭或半密闭目标的温压药剂^[1] 日益受到人们的关注。温压武器的毁伤作用主要体现在冲击波的超压作用、高温场的燃烧和热作用以及高速破片作用^[2]。目前在弹药毁伤研究领域, 冲击波和破片毁伤的作用与机理研究较多, 而对热作用的研究相对较少。这是由于, 炸药爆炸时爆炸场的温度在极短的时间内便迅速升高至数百至上千摄氏度, 普通的温度传感器难以捕捉其快速变化的温度信号; 同时, 伴随爆炸过程所产生的强烈破坏效应也会严重影响测量装置的稳定性。因此, 爆炸场温度的测量与实验研究具有较高的难度。在相关文献报道中, 对高温测量一般采用间接测温 and 接触式测温的方法, 间接测温采用原子发射光谱双谱线和红外热成像仪等^[3]。接触式测温主要采用热电偶传感器, 它具有结构简单, 测温范围宽, 准确度高优点, 不受测温环境的限制, 是目前测量有限空间, 如密闭或半密闭环境下炸药爆炸场温度的一种可行方法。

为了研究密闭条件下炸药爆炸场温度的响应特性与响应规律, 本实验采用直接接触的温度测量方法, 在一密闭爆炸装置中对一系列不同铝含量炸药配方的爆炸场温度进行了测量。

2 试验部分

2.1 实验装置

本试验的密闭爆炸装置为一钢结构的圆柱型弹体, 其高为 400 mm, 外径 270 mm, 内径 188 mm, 壁厚 41 mm, 容积为 5.8 L, 弹体结构如图 1 所示。弹体顶盖上预留孔用于连接点火装置、通气装置和温度传感器。采用美国 NANMAC 公司研制的具有自恢复能力的快速反应钨铼热电偶, 响应时间达 10^{-5} s; 最大可耐压力达 135 MPa; 测温系统频带宽度为 200 kHz; 放大倍数为 100 倍。

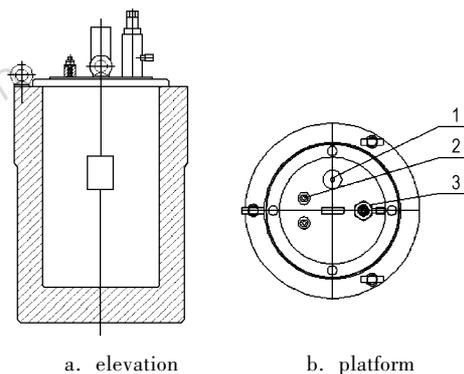


图 1 密闭爆炸装置结构图

1—温度传感器, 2—点火装置, 3—通气孔

Fig. 1 Structure of enclosed device

1—temperature sensor, 2—ignition anode, 3—ventilating pit

2.2 试验样品

本试验炸药组成共 7 种, 药量为 25 g, 试验样品见表 1。采用目前常用的直接工艺法将 TNT 和 PETN 或 HMX、Al 和钝感剂在一定温度下, 用石油醚做溶剂进行混合造粒, 干燥后在一定比压下压制成实验药柱。

收稿日期: 2007-09-24; 修回日期: 2007-10-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50574004)

作者简介: 李媛媛(1981-), 女, 在读硕士, 从事高能混合炸药配方及工艺研究。e-mail: liyuanyuan2042@126.com

3 结果与讨论

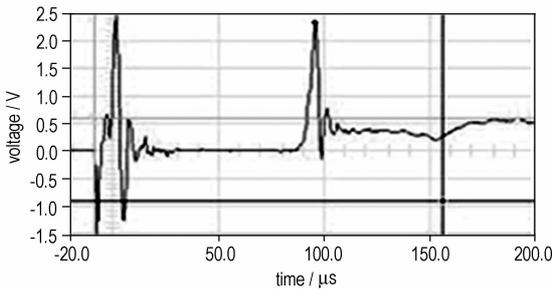
3.1 测量曲线及反应过程分析

图2是爆炸场温度测量装置的屏幕截图,反映的是温度传感器被触发后所记录的电压-时间曲线。由于所测电压与爆炸场温度成正比关系,因此爆炸场温度-时间曲线与图中电压-时间曲线具有同一趋势。通过电压与温度的换算关系,便可以确定爆炸后爆炸场的温度-时间曲线,并可以分析出爆炸反应的过程。采用直接接触测温,可按实验需要对采样的频率和时间进行调整。

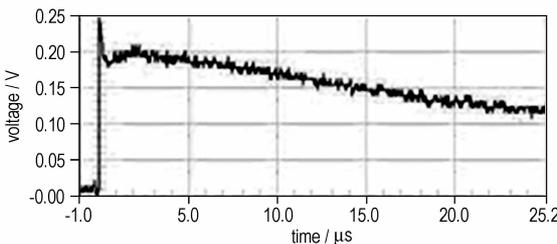
表1 试验样品

Table 1 Testing samples

No.	composition	mass ratio
1	TNT/PETN	50/50
2	HMX/desensitization agent	95/5
3	HMX/Al/desensitization agent	85/10/5
4	HMX/Al/desensitization agent	75/20/5
5	HMX/Al/desensitization agent	65/30/5
6	HMX/Al/desensitization agent	55/40/5
7	HMX/Al/desensitization agent	50/45/5



a. acquired at high frequency



b. acquired at low frequency

图2 温度测量系统屏幕截图

Fig. 2 Pictures acquired from the temperature-measure system

图2是罐体内为常压时测得5#样品(含铝30%)的一组典型温度-时间曲线,示波器显示为电压-时间关系曲线,通过与传感器相匹配分度表将电压值转换为温度值。其中图2a采样频率为1 MHz/s,采样时间为200 μ s,反映了炸药爆炸时测量系统被瞬间触发后所测峰值温度的变化趋势。从图可看出,炸药爆炸后温度迅速升高,产生的辐射信号触发系统由待机状态转入工作状态,开

始采集并记录数据。炸药爆炸瞬间触发系统,几乎同时温度升到最高,达到峰值温度,因为传感器对高温响应需有短暂的时间,所以峰值温度并不代表爆炸产物的温度,而是传感器对冲击波温度的一个响应值,但能客观反映出炸药爆炸后的瞬间温度变化情况和趋势。

图2b的采样频率为20 kHz/s,采样时间为25 s,其反映的是爆炸发生后,密闭体系内产物的高温持续时间。从该图中可以看出在爆炸反应瞬间出现高温后有下降的趋势,在1.5 s后到达波谷,之后温度又“回升”,在2 s左右时达到一定值后持续一段时间,在3 s之后温度缓慢下降。为了能形象说明爆炸产物的温度,本文引入了平台温度的概念。平台温度是爆炸反应放出的热量将产物加热的最高温度,是爆轰产物热传导和辐射共同作用的结果。另外,将炸药爆炸瞬间响应到出现平台温度的时间段定义为该炸药爆炸场高温持续时间。从图2b中可以看出,在2.5 s时的温度曲线达到第二个峰值,之后开始缓慢下降。传感器对于冲击波温度不能分辨出来,因此第一个峰值反映的温度应该是爆轰过程中产物膨胀时的温度,第二个峰值温度反映的应该是产物与密闭空间空气混合后达到的温度。对于不同配方的炸药,因其组成不同,所以出现平台温度的时间及其持续时间也不同。

3.2 爆炸场温度测量结果

3.2.1 铝含量与爆炸场温度的关系

利用图1装置对表1配方爆炸后的密闭环境下的温度进行测量,结果见表2。由表2可以看出,随着铝含量(3#、4#、5#样品)的增加,炸药爆炸后最高温度呈递增趋势,当铝含量(5#和6#样品)达到30%~40%左右时,温度达到最大值,当铝含量继续增加时,温度出现下降趋势。当铝粉含量为30%(5#样品)时,爆热最大。铝粉含量为40%(6#样品),虽然温度有所降低,但不是很明显。因为爆热是在真空条件下测量,爆炸反应在无外界氧参与情况下完成。而温度测量时爆炸罐中有一个大气压的空气,而且在密闭环境下,铝粉与空气中的氧气反应较完全,铝粉的利用率增加,所以在有空气参与的情况下,铝粉的最大加入量与其作用环境和能量释放特点相适应,比无氧情况下有所提高。

表2 不同配方温度的测量结果

Table 2 Temperatures of different explosives

No.	temperature / $^{\circ}$ C	duration /s	platform temperature/ $^{\circ}$ C	detonation heat/ $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	detonation velocity/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
1	497	0.9	105	4995	7501
2	506	1.0	110	5580	8679
3	583	1.5	108	6137	8528
4	657	1.9	123	6767	8385
5	750	2.5	150	7361	8214
6	748	2.7	149	7127	8035
7	610	1.7	93	6564	7926

图3是峰值温度和爆热随铝粉含量变化的趋势。由图3可见,当铝含量达40%后再继续增加,爆炸场温度迅速下降^[4-5],这是由于铝含量增加,氧含量则进一步降低,更多铝粉无法参与反应而成为惰性吸热组分所致。

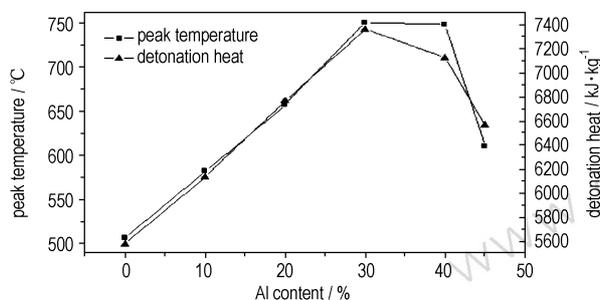


图3 峰值温度和爆热随铝粉含量变化曲线

Fig. 3 Curves of peak temperature and detonation heat varying with aluminum content

HMX 单质(2[#]样品)相对于 TNT/PETN(1[#]样品)的峰值温度高,其原因主要是前者爆速和爆热值高,所以爆炸后冲击波到达传感器时温度较高。铝含量为10%(3[#]样品)时的峰值温度相对于 HMX 单质(2[#]样品)的峰值温度较低,主要是因为铝含量为10%时炸药的爆速相对于后者较低,所以爆炸产物产生的冲击波到达传感器时温度相对于后者有所降低,同时也说明铝含量较低时,对提高炸药的能量不明显。

平台温度的变化趋势与峰值温度的变化趋势相同,铝含量在30%~40%(5[#]和6[#]样品)时平台温度达最大值,更有力地说明了此时炸药爆炸产生的热量最大。

3.2.2 铝含量与高温持续时间关系

由表2可知,未加入铝粉的2[#]号配方(HMX 单质),爆炸后高温衰减较快,持续时间较短;而加入铝粉后,各配方爆炸后高温持续时间明显增长,且随铝粉加入量的增加而增长,当达到一极值后(5[#]样品),随铝粉的增加而迅速衰减,这是因为,铝粉与爆炸产物的“二次反应”延长了反应放热时间^[6]。同时,由于爆炸

罐的密闭作用,反应产物受到罐壁阻挡后,与铝粉混合更加均匀。在这样一个高温高压的密闭环境下,铝粉能够将反应产物和空气中的氧气完全反应,产生“后燃效应”^[7],从而形成一个持续时间较长的放热过程。

随着铝粉含量的逐步增加,其必然过量。铝粉过量后,炸药配方中有效放热成份相对减少,同时过量的铝粉作为惰性的吸热成份消耗了体系的大量热值,最终导致高温持续时间缩短(7[#]样品)。

4 结论

在密闭条件下,铝含量为30%~40%时,爆炸后温度场的温度达到最大值,持续时间也较长,在铝粉含量30%时最大。这说明,含铝炸药在密闭环境中爆炸反应较完全,环境中的氧气参与反应,铝粉的利用率较高。铝含量的增加可提高爆炸场温度及温度对环境的作用时间。

参考文献:

- [1] Neil Davison, Nick lewer. Bradford non-lethal weapons research project[R]. University of Bradford making knowledge work, 2005.
- [2] Scott hall, Gregory D Knowlton. Development, characterization and testing of high blast thermobaric compositions[C] //Proceedings of the 31th International Pyrotechnics Seminar, FortCollins, Colorado, USA, 2004.
- [3] Sung-Ho Kim, Keun-Deuk Lee. The analysis of blast performance of explosive[R]. GWSD-419-021321, ADD report Korea, 2002.
- [4] Dr Kjell-Tore Smith. Pressable thermobaric explosives: Aluminum containing compositions based on HMX and RDX[C] //36th International ICT-Conference, Karlsruhe, Germany, 2005.
- [5] J Scott Miller, G I Pangilinan. Measurements of aluminum combustion in energetic formulations[C] // AIP Conference Proceedings, New York, USA, 2004.
- [6] 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 powder on explosive performance[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12(5): 318-320.
- [7] Ruth A Schaefer. Development and evaluation of new high blast explosives [C] //36th International ICT-Conference, Karlsruhe, Germany, 2005.

Experimental Study on Blasting Temperature of Al-HMX Compound Explosive

LI Yuan-yuan, WANG Jian-ling, XU Hong-tao

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

Abstract: The blasting temperature of Al-HMX composite explosives in enclosed condition was tested by the direct measurement to investigate the response characteristic and rule of the explosive detonation. The results show that the blasting temperature increases with the increasing of Al content. When Al content is in the range of 30% - 40%, the blasting temperature is at its maximum (750 °C), when Al content is 30%, the detonation heat is at its maximum, which indicate that the aluminized explosive reacts completely and the aluminum is used fully in enclosed condition.

Key words: explosion mechanics; aluminum explosive; HMX; blasting temperature