

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2014.02.001

密闭环境下含铝炸药爆炸场温度与压力特征*

李媛媛 徐洪涛

西安近代化学研究所(陕西西安,710065)

[摘 要] 通过对不同铝粉质量分数的炸药爆炸场温度、压力参数的测量,研究了在密闭条件下,炸药爆炸场温度、压力的响应特征及响应规律。结果表明,在密闭条件下,含铝炸药爆炸场温度高于理想单质炸药,铝粉质量分数的增加可提高爆炸场温度及延长温度持续时间。当铝粉质量分数为 40% 时,爆炸温度出现最大值,其值大约在 850℃ 左右。相比之下,含铝炸药的爆炸场压力虽远不及理想单质炸药,但当铝粉质量分数为 40% 时,其超压存在一个较大值。

[关键词] 含铝炸药;爆炸场;温度;压力

[分类号] TJ55;TJ530.6

引言

含铝炸药作为毁伤能源,在不同使用环境中会表现出不同的能量性能。在开放空间条件下,爆炸产物瞬间扩散,铝粉来不及与产物反应或反应不完全,使得高温高压持续时间较短。而在密闭情况下,周围的限制条件使得炸药反应更加充分和完全,炸药爆炸产生的温度和压力的杀伤效应持续时间延长,并且通过特殊的配方设计可得到特殊的爆炸效果——“温压效应”^[1]。如何合理设计炸药以适合这类环境,达到高效毁伤的目的,成为这种武器发展的重要研究内容^[2-5]。该类炸药的能量释放主要体现在炸药爆压和爆温上,但目前的测量手段对于两者的测量都存在一定的难度,且测量结果的准确性不高,尤其是爆温的测量存在相当的难度^[6]。而测量距爆心一定距离处爆炸场的压力和温度则显得容易一些,而且在炸药能量释放评估中也存在实际意义^[7]。在采取一定的防护措施后,一般的测压和测温方法也能获得较好的测试效果。

本文通过传感器直接测量的手段,测量了含铝炸药在密闭环境下的爆炸场温度和压力,研究了含铝炸药在有限密闭空间内能量释放规律和特点,为应用于该类环境下的炸药配方设计提供参考。

1 试验部分

1.1 试验装置

为模拟密闭环境,采用一种大型密闭罐爆炸装置,如图 1 所示。该装置内径为 1.7 m,长 2.35 m。最大使用药量为 1 kg TNT 当量,真空度 < 10 Pa。装

置底部预留孔用于连接点火装置、温度传感器和压力传感器。



图 1 大型密闭装置

Fig. 1 Large confined device

试验装置采用法兰圈密封,并开有空气口以及气体控制阀。样品安装示意图如图 2,传感器离爆心 0.8 m,采用横向定位起爆的方式,用 JH-14 做传

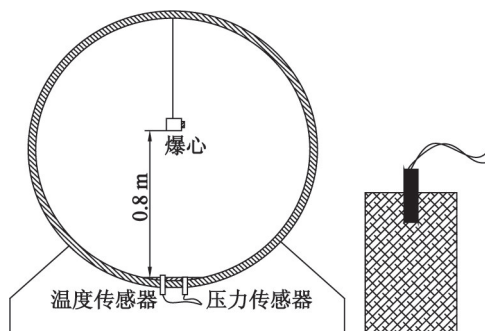


图 2 样品安装示意图

Fig. 2 Sample installation diagram

* 收稿日期: 2013-10-19

基金项目: 国防科技工业基础产品创新计划(火炸药基础专项)

作者简介: 李媛媛(1981~), 硕士, 助理研究员, 主要从事混合炸药配方及工艺研究。E-mail: liyuan204@126.com

爆药。

1.2 测试设备

1)测温仪器。K 型钨铼热电偶^[8],距离被测炸药爆心 0.8 m;采样时间 10 s,采样速率 20 kb/s。

2)测压仪器。PCB-135A 系列压电压力传感器,距离被测炸药爆心 0.8 m;采样时间 0.25 s,采样速率 1 Mb/s;记录设备为 HR1020 数字化示波器,采用起爆器产生的电磁感应脉冲信号。

1.3 试验样品

为了和非含铝炸药做比较,本试验采用 6 种配方,其中含铝炸药配方有 5 种。采用目前常用的直接工艺法将 HMX、Al 和黏结剂在一定温度下,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试验药柱。

考虑到爆炸装置的承受能力,试验用样品质量为 370 g。为了使试验用药柱爆炸近似于球形起爆,其长径比越接近 1,测量的结果准确性越好。取直径为 $\phi 60$ mm,所制样品的长径比基本在 1.0 ~ 1.2 之间。试验样品和初始参数如表 1 所列。

表 1 试验样品的初始参数

Tab. 1 Initial parameters of the test samples

编号	组成	质量比	密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
1	HMX/黏结剂	95/5	1.68
2	HMX/Al/黏结剂	75/20/5	1.86
3	HMX/Al/黏结剂	65/30/5	1.91
5	HMX/Al/黏结剂	55/40/5	1.97
6	HMX/Al/黏结剂	50/45/5	2.01

2 结果与讨论

利用图 1 装置对表 1 中的样品爆炸后爆炸场的温度和压力进行测量,结果见表 2。

表 2 爆炸场的温度和压力测试

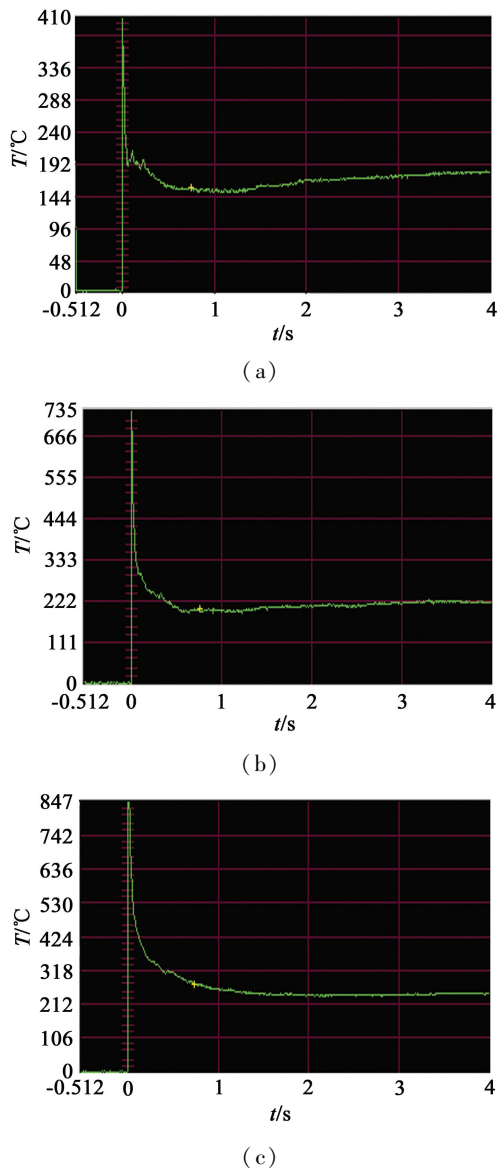
Tab. 2 Temperature and pressure test of blast field

编号	压力/MPa	峰值温度/℃	平台温度/℃
1	13.64	410	100
2	5.63	660	145
3	4.02	735	185
5	4.65	847	200
6	3.19	687	137

炸药装药中心位于传感器的正上方,在爆炸罐体底部受封闭端的反射作用,所测压力是炸药爆炸后遇到壁面的反射压,此反射压与炸药爆炸后的入射压力成正比^[9];所测温度是传感器的响应温度。因此,可以根据此压力和温度值比较不同含铝炸药的爆炸性能。

2.1 温度测量分析

图 3 是温度传感器被触发后所记录的温度—时间曲线,反映的是爆炸场温度测量结果,根据此趋势可以分析爆炸反应的过程。图 3(a)为不含铝的炸药的曲线,图 3(b)和图 3(c)分别为铝质量分数在 30% 和 40% 的炸药爆炸场温度曲线。



(a) HMX/蜡;(b)铝质量分数为 30% ;
(c) 铝质量分数为 40%

图 3 温度—时间曲线

Fig. 3 Curves of temperature changing with time

比较含铝炸药和非含铝炸药的曲线可以看出,非含铝炸药的爆炸场温度比含铝炸药的下降快。而且电压输出值前者较后者低,这说明前者温度较后者低。图 4 是爆炸场温度和铝粉质量分数的关系曲线。从图 4 可以看出,峰值温度和平台温度^[10]随铝粉质量分数的增加而增高,当铝粉质量分数达到 40% 后,温度出现下降趋势。按照全氧化

法^[11],充分考虑增大燃烧效应,理论计算含铝炸药中 Al 粉的最大加入质量分数一般在 30% ~ 35% 左右,此时炸药的能量也最高。而试验所测温度最高值出现在铝粉质量分数为 40% 时,这说明密闭环境中的氧气以及爆炸产生的大量气体支持了铝粉的后续燃烧,产生了较高的温度。当铝粉质量分数超过 40% 时,铝粉过量,体系中的氧气不足,铝粉反应不完全,从而导致体系的温度随之下降。

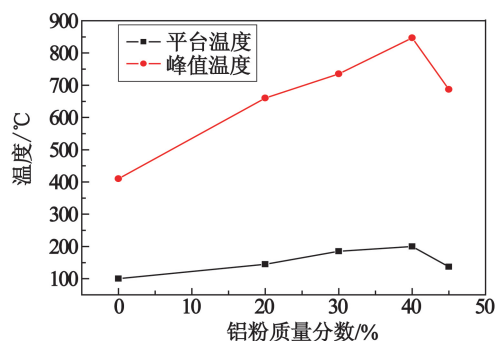


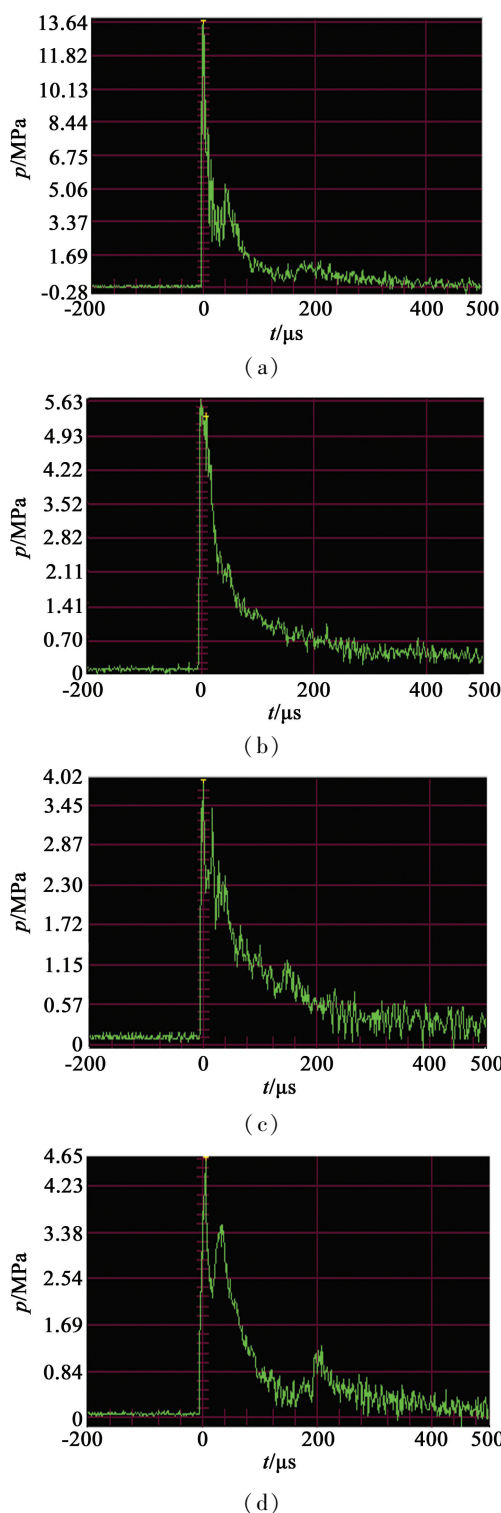
图 4 爆炸场温度和铝粉质量分数的关系曲线

Fig. 4 Curves of temperature in blast field varying with aluminum content

2.2 爆炸场温度和压力的关系

从表 2 中数据看出,不含铝的理想炸药爆炸后超压值较高,含铝炸药的超压值相对较低。这是因为非含铝炸药爆炸后的能量全部用来支持爆轰波的传播。根据二次反应理论^[11],含铝炸药的铝粉在炸药爆轰时没有参加 C-J 面前的反应或在 C-J 面远未反应完全,它在动力学上对反应的浓度起稀释作用,因而导致爆速、爆压以及波阵面上的化学能降低。而比较含铝炸药体系,铝粉质量分数为 40% 的炸药,因其铝粉质量分数较高,在密闭环境的约束条件下,炸药爆炸后,铝和爆轰产物中氧原子的接触比较充分,支持了铝粉的后燃烧反应,故温度值较高,从而压力值较高;在此氛围中,高温高压互助互增,使得爆炸场温度和压力持续时间较长。

图 5 分别为 HMX 炸药与含铝质量分数为 20%、30% 和 40% 时所测量的一组压力—时间图形。从图中可以清楚直观地看出,在密闭环境下,由于装置壁面的约束和阻挡,爆炸超压反射明显加强,使得图形中的波峰数量超过 1 个,图形不是很平滑。另外,非含铝炸药超压值较高,但是压力下降较快,持续时间较短。含铝炸药的情况与其相反。随含铝的增加,超压值下降缓慢,铝质量分数为 40% 时压力下降较之铝粉质量分数较低时缓慢,而且在最大波峰后 200 μs 左右还有较明显的超压峰。导致出现二次峰的原因可能有两点:一是说明此时可能有后续反应,使得在同一时间比其它组成的炸药的超



(a) HMX/黏结剂(95/5); (b) 铝质量分数为 20%;
(c) 铝质量分数为 30%; (d) 铝质量分数为 40%

图 5 炸药爆炸场压力—时间曲线

Fig. 5 Curves of pressure in blast field changing with time

压值高;二是由于爆炸罐中存在反射压力波,而此时传感器恰好捕捉到此压力信号,导致出现了二次压力峰。要想究其确切原因,还需要更深入的理论和试验研究。

从整体趋势来看,炸药爆炸后对于冲击波和热

这两种能量分配是此消彼长的。爆炸后超压值较大时,爆炸场温度就较低,反之,温度较高。但对于铝质量分数为 40% 的炸药,爆炸场温度值最高,但是超压值不是很低。说明了密闭环境下,含铝量较高时,由于爆炸产物无法瞬间扩散,铝粉与产物以及周围环境中氧气存在较好的反应,释放的热量使得爆炸场的温度升高,从而使冲击波压力维持较长时间不衰减^[12],高温高压互助互增。但是铝粉质量分数过高时,过量的铝粉没有参加反应,反而降低了爆炸场的温度和压力,使其温度和超压均处于最低。

3 结论

通过测量炸药在密闭环境中爆炸场温度和压力,研究了含铝炸药在密闭环境中的能量释放特点。结果表明,在密闭空间内,含铝炸药较非含铝炸药爆炸场温度高,持续时间较长,但前者爆炸场压力明显偏低;铝的加入量较高时,其爆炸场温度值较高,铝粉质量分数达到 40% 时,爆炸场温度存在最大值,持续时间较长,与此同时,超压值也相对较高,高温高压互助互增;但铝粉质量分数达到 45% 时,过量的铝粉无法参与反应,成为惰性物质,导致爆炸场温度和超压均处于最低。

参 考 文 献

- [1] Schaefer R A. Development and evaluation of new high blast explosives[C]//36th International ICT-Conference. Karlsruhe, Germany, 2005.
- [2] Hall S D, Davis A R. Detonation calorimeter characterization of various explosive compositions [C]//Thirty-fifth International Pyrotechnics Seminar fort Collins. Colorado, 2008: 319-329.
- [3] Hall S, Knowlton G D. Development, characterization and testing of high blast thermobaric compositions[C]//Proceedings of the 31th International Pyrotechnics Seminar. Fort Collins, 2004: 663-678.
- [4] Johnson N, Carpenter P, Newman K. Evaluation of explosive candidates for a thermobaric M72 law shoulder launched weapon [C]//NDIA 39th Annual Gun & Ammunition/ Missiles & Rockets Conference, 2004.
- [5] Smith D K T. Pressable thermobaric explosives. Aluminum containing compositions based on HMX and RDX [C]//36th International ICT-Conference. Karlsruhe, Germany, 2005: 125.
- [6] 郑孟菊, 俞统昌, 张银亮. 炸药的性能及测试技术 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990.
- [7] Davis A R, Hall S D, Knowlton G D. Detonation calorimeter: application and operation for thermobaric explosive characterization and evaluation [C] // Proceedings of the 36th North American Thermal Analysis Society Conference. 2009: 1-12.
- [8] 姬建荣, 苏建军, 刘艳萍, 等. 非理想炸药爆炸热作用的实验研究[J]. 火炸药学报, 2010, 33(4): 49-52.
Ji Jianrong, Su Jianjun, Liu Yanping, et al. Experimental study on explosive thermal effect of the non-ideal explosive[J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants. 2010, 33(3): 49-52.
- [9] 张守中. 爆炸基本原理[M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [10] 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[J]. 含能材料, 2008, 16(3): 241-243.
Li Yuanyuan, Wang Jianling, Xu Hongtao. Experimental study on blasting temperature of Al-HMX compound explosive [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2008, 16(3): 241-243.
- [11] 孙业斌, 等. 军用混合炸药[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1995.
- [12] 李芝绒, 王胜强, 殷俊兰. 不同气体环境中温压炸药爆炸特性的试验研究[J]. 火炸药学报, 2013, 36(3): 59-61.
Li Zhirong, Wang Shengqiang, Yin Junlan. Experiment study of blast performance of thermobaric-explosive under different gas environment. [J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2013, 36(3): 59-61.

Characteristics of Blasting Temperature and Pressure of Aluminized Explosive in Confined Conditions

LI Yuanyuan, XU Hongtao

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

[ABSTRACT] The temperature and pressure parameters of explosives at different aluminum contents in blast fields were measured, and the blast performance of explosive in terms of blast temperature, pressure response characteristic and response rules in confined condition was investigated. The results show that the blast temperature of aluminized explosive is much higher than that of ideal single explosive in confined condition, and the temperature is higher and the duration is longer when increasing the aluminum content. When the proportion of Al is 40%, the blasting temperature reaches a maximum value of about 850℃. On the other hand, the pressure of aluminized explosive is obviously low compared to the ideal single explosives, however, its overpressure can attain to a higher value in the addition of 40% Al powder.

[KEY WORDS] aluminized explosive; blast field; temperature; pressure