DOI: 10.11883/1001-1455(2016)04-0573-04

温压炸药爆炸性能实验研究*

黄亚峰,田 轩,冯 博,王晓峰
(西安近代化学研究所,陕西 西安 710065)

摘要: 为研究温压炸药的爆炸特性,将 25 g 温压炸药在 5.8 L 的密闭爆炸罐中引爆,测试了真空和空气环境下的爆炸压力和爆炸温度,并通过气相色谱分析了爆炸后的气体产物。实验结果表明,温压炸药在空气环境下的平衡压力和平衡温度明显高于真空环境,并且空气中的氧气参与了炸药中铝粉的氧化反应,说明温压炸药在空气环境下存在后燃效应。

关键词: 爆炸力学;平衡压力;爆炸罐;温压炸药;平衡温度
中图分类号: O381 **国标学科代码**: 13035 **文献标志码**: A

温压炸药(thermobaric explosive,TBX)是一类能够充分利用压力效应和温度效应对目标造成毁伤的炸药。近几十年,温压炸药成为炸药研究的热点之一。A. Hahma 等[1]通过测量冲击波超压研究,比较了不同金属燃料对温压炸药 TNT 当量的影响;Zhang Fan 等[2]利用大型爆炸罐,研究了不同气氛条件下 TNT 基含铝炸药爆轰后的等静压、燃烧温度和爆炸火球状态;李秀丽等[3]采用红外热成像仪研究温压炸药的爆炸温度;阚金玲等[4-5]用红外热成像仪对温压炸药和普通炸药的火球特征参数进行了测量,发现温压炸药的能量远大于普通炸药;王晓峰等[6]根据量热法原理建立了在不同气氛条件下温压炸药爆炸能量的测量方法,用于定量评价温压炸药的爆炸总能量、爆轰能和后燃烧能。综上所述,现阶段温压炸药的研究重点是某种特定环境下能量释放规律的研究,而温压炸药是一种可以利用环境中部分氧来实现炸药能量的释放的含铝炸药,不同环境对炸药能量的释放具有不同的影响。本文中,拟采用自行设计的密闭爆炸装置对温压炸药在真空状态和空气状态下爆轰后的爆炸压力和爆炸温度进行实验测试,结合爆炸后气体产物的测试结果,分析环境状态对温压炸药爆炸性能的影响。

1 实 验

1.1 实验样品

实验原材料:奥克托今基温压炸药,铝粉质量分数为 30%,理论密度为 1.96 g/cm^3。样品制备:将温压炸药采用模压方式压制成带 8# 雷管孔的药柱,药柱直径为 25 mm,药柱质量为(25.000±0.050) g。

1.2 实验装置

实验装置如图 1 所示,密闭爆炸装置为一钢结构的圆柱型弹体,其高为 400 mm,外径为 270 mm,内径为 188 mm,内容积为 5.8 L。本实验装

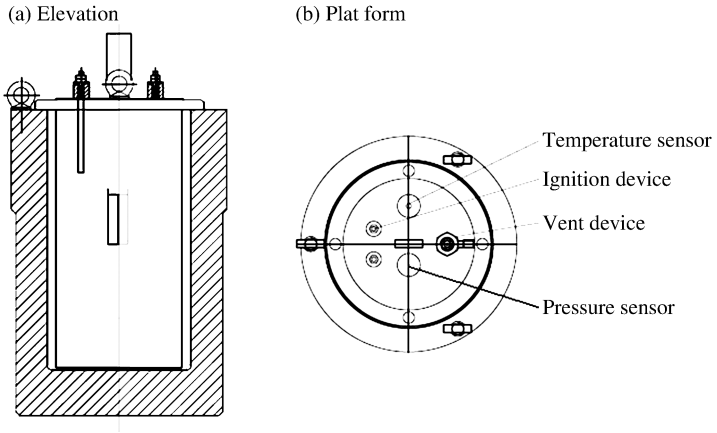

图 1 实验装置示意图

Fig. 1 Schematics of experimental device

* **收稿日期**: 2014-12-26; **修回日期**: 2015-05-21
基金项目: 国家重大专项基金项目(00401030502)
第一作者: 黄亚峰(1978—),男,硕士,副研究员; **通信作者**: 王晓峰,wxfclub@163.com。

置的温度传感器采用具有自恢复能力的快速反应钨铼热电偶,布置在距离端盖中心 40 mm 处,下端距离上端盖底部 180 mm,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,温度范围为−240～1 200 ℃,精度小于 1%。本实验装置的压力传感器采用超高温硅压阻传感器,布置在距离端盖中心 40 mm 处,其压力范围为 0～140 MPa,精度小于 1%。

1.3 实验方法

真空环境下的实验步骤:

首先,将点火装置短路,把实验用温压炸药样品悬挂在距离上端盖 20 cm 处,再将起爆雷管接到点火装置上;

然后,将实验装置上端盖密封,用真空泵抽空爆炸罐内的空气,再向爆炸罐内缓慢充入氮气,如此循环 3 次,将爆炸罐内的氧气完全抽走,使爆炸罐内剩余气体的压力约为 3 kPa,起爆实验样品,压力传感器和温度传感器记录 50 s 内的电信号数据;

最后,通过通气装置,用气体采样袋采集反应后的气体样品,利用 Clarus500 气相色谱仪对爆轰后的 N_2、CO_2、CO、CH_4 等主要气体产物进行定量分析。

空气环境下的实验步骤:

首先,将点火装置短路,把实验用温压炸药样品悬挂在距离上端盖 20 cm 处,再将起爆雷管接到点火装置上;

然后,将实验装置上端盖密封,起爆实验样品,压力传感器和温度传感器记录50 s内的电信号数据;

最后,通过通气装置,用气体采样袋采集反应后的气体样品,利用 Clarus500 气相色谱仪对爆轰后的 N_2、CO_2、CO、CH_4 等主要气体产物进行定量分析。

2 结果与分析

2.1 温压炸药爆炸压力

实验得到的温压炸药真空和空气环境下爆炸压力的电压 U 信号与时间 t 的关系曲线如图 2 所示。将图 2 数据处理后可得到:真空环境下的入射峰值压力和平衡压力分别为 4.44 和 0.25 MPa,空气环境下的入射峰值压力和平衡压力分别为 8.77 和0.39 MPa。由此可知,空气环境下温压炸药的爆炸入射峰值压力比真空环境下的高 97%。其原因是:在真空环境下,温压炸药爆炸能量没有传播的载体,只能依靠自身反应生成的气体向外膨胀来传播,因此炸药爆炸压力衰减迅速;在空气环境下,温压炸药爆炸能量可以通过空气向外传播,因此,其爆炸压力衰减相对真空环境衰减缓慢。空气环境下的平衡压力比真空环境下的高 56%,这是由于在空气环境下,空气与温压炸药爆轰后的气体产物的摩尔量总和高于真空环境下温压炸药爆轰后的气体产物的摩尔量。

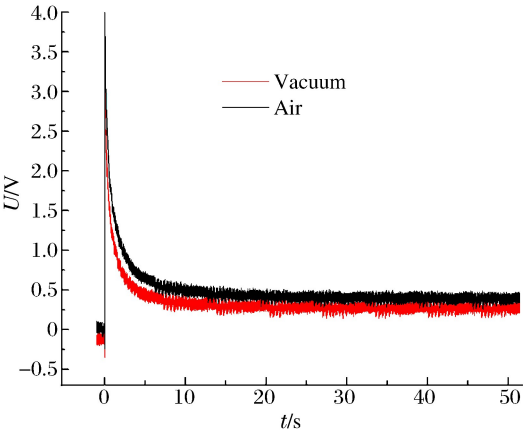

图 2 温压炸药爆炸压力随时间的变化

Fig. 2 Explosion pressure of thermobaric explosive varying with time

2.2 温压炸药爆炸场温度

实验得到的温压炸药真空和空气环境下爆炸温度的电压信号与时间的关系曲线如图 3 所示。将图 3 数据处理后可得入射峰值温度和平衡温度。真空环境下,温压炸药爆炸产物入射峰值温度为 943 ℃,平衡温度为 283 ℃;空气环境下,温压炸药爆炸产物入射峰值温度高于 1 371 ℃,平衡温度为 320 ℃。温压炸药在空气环境下的爆炸场峰值温度比真空环境下的高 45%以上,温压炸药在空气环境下的平衡温度比真空环境下的高 13%。其原因是:真空环境下,温压炸药中的单质炸药首先爆炸生成高温高压

的气体产物，高温环境下其气体产物与铝粉发生氧化还原反应并放出热量，爆炸产物温度迅速上升，与此同时高温高压的气体产物不断对外膨胀做功输出能量，使爆炸产物温度下降，由于温度的下降以及氧化反应导致的产物中氧含量的降低制约了铝粉的反应放热，致使真空环境下爆炸温度随着爆炸产物的膨胀而迅速降低，直至达到温度平衡；而在空气环境下，温压炸药中的单质炸药首先爆炸生成高温高压的气体产物，高温环境下其气体产物与铝粉发生氧化还原反应并放出热量，爆炸产物温度迅速上升，与此同时高温高压的气体产物不断对外膨胀做功输出能量，在气体产物膨胀的过程中与空气充分混合提高了氧含量，可以促进铝粉的氧化反应，提高铝粉反应的完全性及放热量，因此，在爆炸产物膨胀至温度传感器时仍能保持比真空环境下较高的温度。

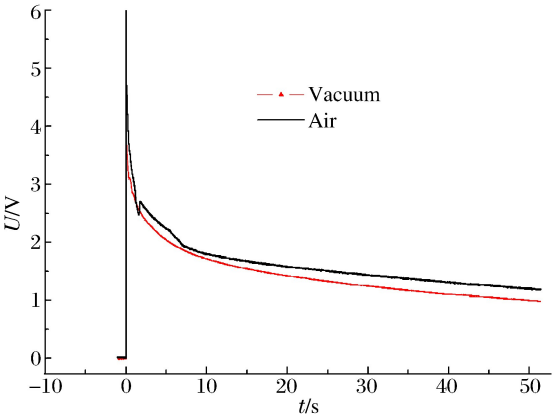

图 3 温压炸药爆炸温度与时间关系

Fig. 3 Explosion temperature of thermobaric explosive varying with time

2.3 气体产物测试分析

不同环境条件下，温压炸药爆炸后收集的气体产物气相色谱分析结果见表 1，表中各气体的含量是其摩尔量的百分比含量。由表 1 中数据可知，空气环境下温压炸药的气体产物中 CO_2 的含量明显低于真空环境下。按照温压炸药配方组成计算，25.00 g 温压炸药，氧元素的物质的量为 0.425 7 mol。温压炸药在空气环境下爆炸时，系统的氧元素的物质的量为 0.519 7 mol。

将炸药爆炸后的气体视为理想气体，按照实验测得的平衡状态下的压力和温度，通过理想气体状态方程计算气体产物的物质的量，以及结合表 1 中数据计算得表 2。由表 2 中数据可知，虽然空气环境下剩余氧元素的物质的量 $n_{rem}(O)$ 比真空环境下的高 0.017 3 mol，由于空气环境下氧元素的总摩尔量 $n_{al}(O)$ 比真空环境下的高 0.094 0 mol，因此，空气环境下实际参加氧化反应的氧元素的物质的量 $n_{rea}(O)$ 比真空环境下的多 0.076 7 mol，正是由于这部分氧气参加氧化反应放出的热量使空气环境下的平衡温度比真空环境下的高 37 ℃。

表 1 不同氛围下气体产物的摩尔分数

Table 1 Mole fraction of gas product under different conditions

氛围	$x(CH_4)$/%	$x(CO_2)$/%	$x(N_2)$/%	$x(CO)$/%
真空	0.625 0	3.617 5	42.764 1	25.803 3
空气	1.551 5	0.029 2	33.556 9	26.283 2

表 2 不同氛围下气体产物的摩尔量

Table 2 Mole of gas product under different conditions

氛围	$n_{al}(O)$/mol	$n(CH_4)$/mol	$n(CO_2)$/mol	$n(N_2)$/mol	$n(CO)$/mol	$n_{rem}(O)$/mol	$n_{rea}(O)$/mol
真空	0.425 7	0.002 0	0.011 3	0.134 2	0.080 9	0.103 5	0.322 2
空气	0.519 7	0.007 1	0.000 1	0.154 0	0.120 6	0.120 8	0.398 9

3 结　论

通过测量 25 g 温压炸药真空和空气条件下在容积为 5.8 L 的密闭爆炸罐内爆轰后的爆炸压力和爆炸温度以及气态产物分析，得到以下结论：(1)温压炸药在空气环境下爆轰后的平衡压力和平衡温度明显高于真空环境下的平衡压力和平衡温度；(2)空气中的氧气参与了温压炸药第 3 阶段铝粉有氧燃烧反应，证明温压炸药在空气中爆轰存在明显的后燃效应。

参考文献:

[1] Hahma A, Palovuori K, Solomon Y. TNT-equivalency of thermobaric explosives[C]// 36th International Annual Conference of ICT Combined with 32nd International Pyrotechnics Seminar on Energetic Materials: Performance and Safety. 2006:10-1-10-12.

[2] Zhang F, Anderson J, Yoshinake A. Post-detonation energy release from TNT-aluminum explosives[C]Proceedings of the 15th APS Topical Conference on Shock Compression of Condensed Matter. 2007,955(1):885-888.

[3] 李秀丽,惠君明. 温压炸药的爆炸温度[J]. 爆炸与冲击,2008,28(5):471-475.
Li Xiuli, Hui Junming. Detonation temperature of thermobaric explosives[J]. Explosion and Shock Waves, 2008, 28(5):471-475.

[4] 阚金玲,刘家骢. 一次引爆云爆剂的爆炸特性[J]. 爆炸与冲击,2006,26(5):404-409.
Kan Jinling, Liu Jiacong. The blast dlaracteristic of SEFAE[J]. Explosion and Shock Waves, 2006,26(5):404-409.

[5] 阚金玲,刘家骢,曾秀琳,等. 温压炸药爆炸火球的特征[J]. 火炸药学报,2007,30(2):55-58.
Kan Jinling, Liu Jiacong, Zeng Xiulin, et al. Fireball characteristics of a thermal-baric explosive[J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2007,30(2):55-58.

[6] 王晓峰,冯晓军,肖奇. 温压炸药爆炸能量的测量方法[J]. 火炸药学报,2013,36(2):9-12.
Wang Xiaofeng, Feng Xiaojun, Xiao Qi. Method for measuring energy of explosion of thermobaric explosives[J]. Chinese Journal of Explosives and Propellants, 2013,36(2):9-12.

Experimental study on explosion performance of thermobaric explosive

Huang Yafeng, Tian Xuan, Feng Bo, Wang Xiaofeng
(*Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an* 710065, *Shaanxi, China*)

Abstract: In order to investigate the characteristics of the thermobaric explosives, the 25 g charge of thermobaric explosive was ignited in the sealed explosion chamber of 5.8 L volume, and the explosion pressure and temperature were measured and the gas productions were analyzed by the gas chromatography under the vacuum and air conditions, respectively. The experimental results show that the equilibrium pressure and equilibrium temperature under the air condition are significantly higher than those under the vacuum condition, and the oxygen in the air participates in the oxidation of aluminum, so that there is after-combustion occurring when the thermobaric explosive is ignited in air.

Key words: mechanics of explosion; equilibrium pressure; explosion chamber; thermobaric explosive; equilibrium temperature

(责任编辑 张凌云)