

文章编号:1006-9941(2009)05-0554-04

含铝炸药与一次引爆 FAE 威力特性对比研究

刘科种¹, 徐更光¹, 辛春亮², 杨振磊¹, 秦 健^{1,3}

(1. 北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081;

2. 中国运载火箭技术研究院, 北京 100076;

3. 海军装备研究院, 北京 100073)

摘要:为比较含铝炸药与一次引爆燃料空气炸药(FAE)威力特性,对 JHL-2 含铝炸药与一次引爆某燃料空气炸药公斤级爆炸冲击波参数进行了测试。结果表明,在相同装药体积情况下,距爆源水平距离为 3 m、5 m 和 7 m 处, JHL-2 冲击波峰值超压比一次引爆某燃料空气炸药分别提高了 13.5%、39.0% 和 18.5%,正压区冲量提高了 21.5%、22.7% 和 16.5%,正压作用时间略有下降,说明含铝炸药爆炸威力可以达到甚至超过一次引爆 FAE。

关键词:爆炸力学;爆炸压力场;含铝炸药;一次引爆 FAE

中图分类号:TJ012.1;O389

文献标识码:A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2009.05.014

1 引言

一次引爆燃料空气炸药(FAE)能简化武器构造,降低生产成本,改善武器性能等,已成为第三代云爆战斗部的发展方向,FAE 一次引爆时,燃料混合物在中心药柱抛洒作用下与空气混合,同时能够自持化学反应,达到爆燃或爆轰,形成空气冲击波毁伤目标^[1]。对于一次引爆 FAE 爆炸压力场特征,国内进行过一系列试验研究^[2-4],均表明其爆炸威力较 TNT 有大幅度提高。关于一次引爆 FAE 与含铝炸药压力场对比分析情况,国内尚未见报道。本文结合某型号云爆战斗部研制,对含铝炸药与一次引爆 FAE 爆炸压力场特征进行了比较分析,为空爆战斗部威力设计提供参考。

2 试验

2.1 样品

爆炸威力对比试验的样品为两类炸药中的典型产品。含铝炸药选择 JHL-2,该炸药配方于 20 世纪 90 年代初完成设计定型,广泛应用于我国各种榴弹、对空武器等弹药装药,是一种综合性能全面的炸药配方,其组成为 RDX 65.5/Al 30/添加剂 4.5,爆热为 7510 kJ·kg⁻¹,爆速为 8132 m·s⁻¹,试验装药密度为 1.85 g·cm⁻³,装药质量为 3.0 kg;一次引爆 FAE 选择某固液混合燃料空气炸药,主要组分为硝基甲烷和

金属可燃剂,装药密度约为 1.50 g·cm⁻³,在装药体积相同的情况下,装药质量为 2.5 kg。试验样弹中心设计有抛洒兼传爆结构,装药为 8701 炸药,质量 180 g,壳体材料为 45# 钢,厚度为 8 mm。试验样弹是根据某任务的要求设计,弹体结构以及试验测试条件均是按照云爆弹装药特点确定。

2.2 仪器及试验条件

试验方案如图 1 所示。试验场地开阔,冲击波测量范围内无建筑物、树木等障碍物,药柱中心离地面高度为 1 m,试验装置轴线垂直于水平地面,空气冲击波测量选择了 3 个方向,每两个方向之间的夹角为 120°,每个方向上布置 3 个测点,各点离爆源的水平距离依次为 3 m、5 m 和 7 m,所有测点均位于离开爆炸源的同一直线上。选用石英压电传感器进行冲击波压力历时曲线测试,结果为各点有效数据的平均值。

3 结果与讨论

3.1 试验数据处理

进行爆炸空气冲击波压力测试时,受传感器和测试线路影响,试验数据可能存在一定的偏差,为了更准确对比两种装药威力情况,必须保证数据的有效性,剔除不合理数据。在数据处理过程中,简单的办法是分析测试得到的压力历时曲线,对波形与典型爆炸空气冲击波^[5]相差较远的数据予以剔除。图 2 为两类典型的偏差较大波形情况。

图 2a 中,压力波形出现较大幅度的震荡,测试信号受外来信号干扰较大,按照此波形积分求解正压区冲量时,必将使数据结果偏离实际情况,应予以剔除。

收稿日期:2008-08-26;修回日期:2009-04-27

作者简介:刘科种(1982-),男,博士生,主要从事爆炸力学相关研究。
e-mail: liukezhong@bit.edu.cn

图 2b 中, 压力波形较为清晰, 没有出现图 2a 中的震荡情况, 但其峰值存在较大幅度的削平现象, 造成冲击波峰值超压数据不准确, 也应该予以剔除。图 3 为两种炸药在 3 m 和 7 m 处测试得到的压力波形对比情况,

其波形比较稳定, 压力上升和下降过程较明显, 也没有出现峰值抹平的现象, 数据有效, 可以对这类曲线进行冲击波参数求解。

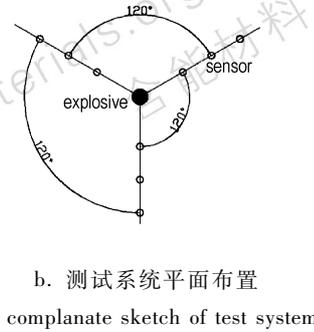
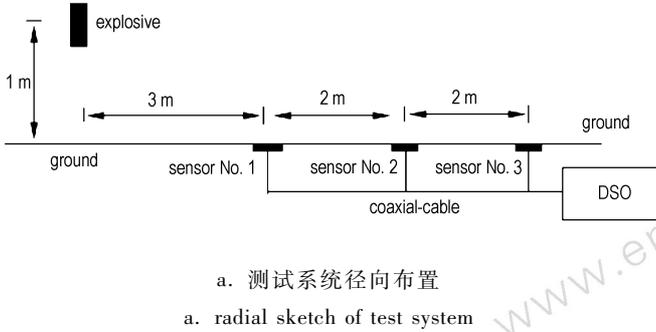


图 1 试验方案示意图

Fig. 1 Schematic sketches of explosion pressure test

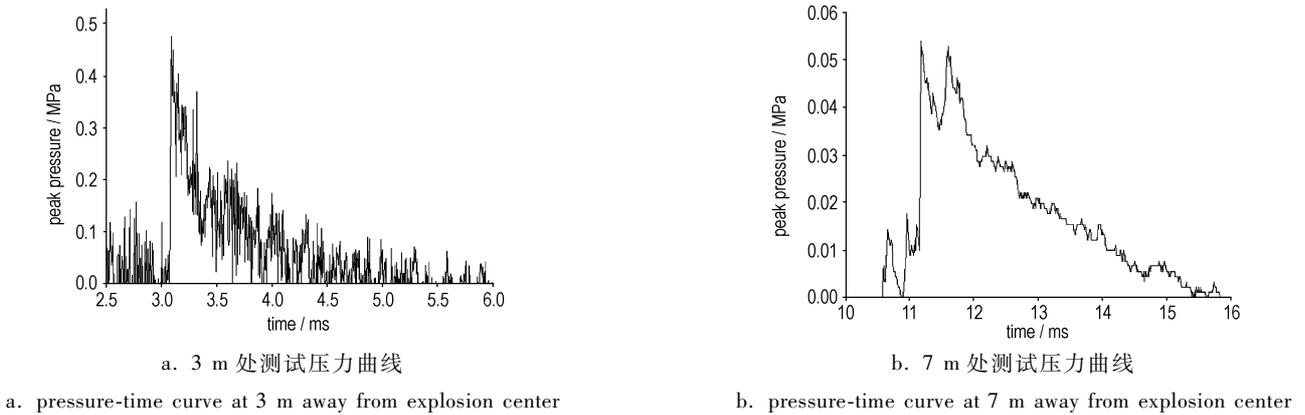


图 2 无效冲击波压力历时曲线

Fig. 2 Pressure-time curves of invalid shock wave

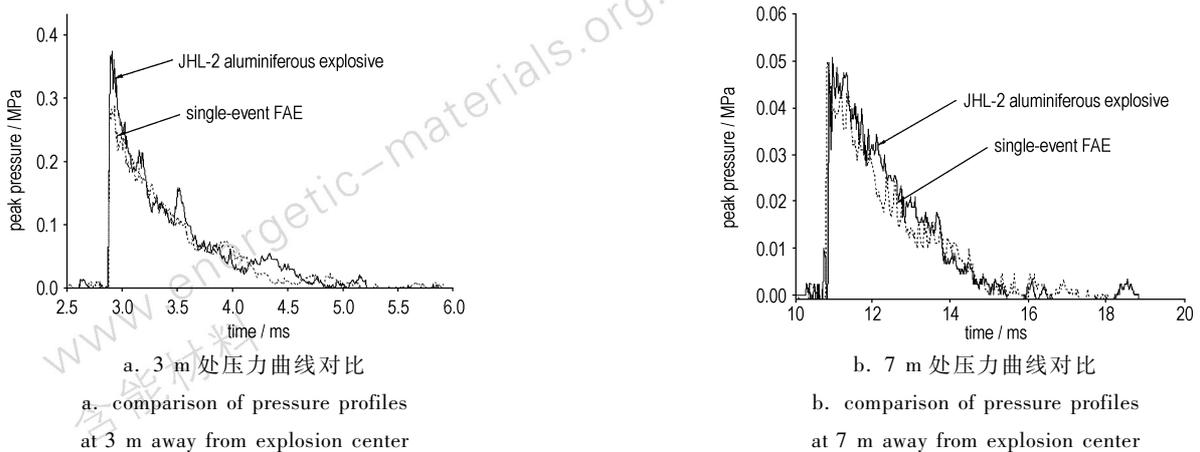


图 3 有效冲击波压力历时曲线

Fig. 3 Pressure-time curves of valid shock wave

3.2 试验结果对比

对于爆炸空气冲击波, 表征其特征的参数主要有三个: 冲击波峰值超压 Δp , 正压区冲量 i_+ 和正压作用

时间 τ_+ 。空气中爆炸冲击波对目标作用时, 对目标的破坏主要取决于峰值超压和正压区冲量^[6], 因此, 在

比较两炸药爆炸威力时,应主要比较峰值超压和正压区冲量,将正压作用时间作为辅助比较对象。各参数的测试结果见表1。

表1 FAE与JHL-2含铝炸药爆炸参数对比
Table 1 Comparison of explosion parameters for FAE and JHL-2 explosives

parameters	explosives	3 m	5 m	7 m
$\Delta p/\text{MPa}$	FAE	0.3030	0.0958	0.0520
	JHL-2	0.3438	0.1332	0.0616
$i_+/\text{Pa}\cdot\text{s}$	FAE	172	110	79
	JHL-2	209	135	92
τ_+/ms	FAE	2.595	3.473	4.980
	JHL-2	2.422	3.406	4.313

由表1可见:在3 m、5 m和7 m处,JHL-2冲击波峰值超压分别达到了0.3438 MPa、0.1332 MPa和0.0616 MPa,比一次引爆FAE提高了13.5%、39.0%和18.5%,正压区冲量较一次引爆FAE提高了21.5%、22.7%和16.5%,正压作用时间略有下降。以上数据表明,相同装药体积时,JHL-2空中爆炸威力高于一次引爆FAE。

根据爆炸相似律^[7],对试验中JHL-2炸药的冲击波峰值超压和正压区冲量拟合成对比距离的关系式,结果如下:

$$\Delta p = -\frac{0.2290}{Z} + \frac{3.0414}{Z^2} - \frac{2.2415}{Z^3} \quad (1)$$

$$i_+ = \left(\frac{213}{Z} + \frac{682}{Z^2} - \frac{1036}{Z^3} \right) \times \sqrt[3]{W} \quad (2)$$

根据公式(1)和公式(2),计算得到2.5 kg和3.0 kg JHL-2空气中爆炸冲击波峰值超压和正压区冲量随距离变化的关系如图4、图5所示,图中同时给出了固液混合FAE和JHL-2炸药冲击波参数试验测试结果。

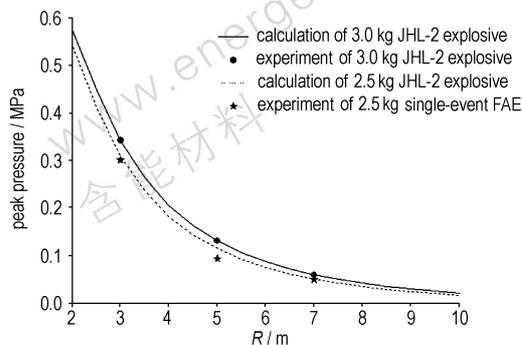


图4 冲击波峰值超压随距离变化曲线

Fig.4 Curves of peak pressure of shock wave vs R

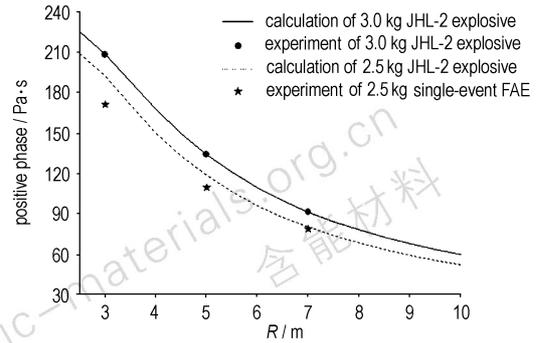


图5 正压区冲量随距离变化曲线

Fig.5 Curves of positive phase of shock wave vs R

图中实线表示与某固液混合FAE具有相同装药体积时JHL-2冲击波参数,虚线为相同装药质量时冲击波参数。从图4和图5中可以看出,无论是相同装药体积还是相同装药质量情况下,JHL-2均具有较高的爆炸威力,尤其是在相同装药体积情况下,冲击波参数提高更大。战斗部设计时,一般是在药室容积一定的情况下选择不同的炸药,相同装药体积情况下冲击波参数的对比,更加能够体现战斗部实际装药情况。

3.3 讨论

一次引爆FAE的爆炸是一种边抛洒边反应的过程,由于反应的高速性,燃料不能与空气充分混合,包含在FAE中的能量不能完全释放,因此,其爆炸威力低于相同组分的二次引爆型燃料空气炸药;为了实现燃料能量的充分释放,一次引爆型FAE中往往添加了一定比例的氧化剂,这部分物质在增加燃料反应程度的同时,降低了系统的能量。对于含铝炸药,其爆炸反应过程与一次引爆FAE类似,铝粉随爆轰产物膨胀过程中,能够与爆轰产物反应释放能量,同时,含铝炸药等负氧平衡炸药空气中爆炸时,能与空气中氧反应而具有后燃烧效应^[8],进一步提高了爆炸空气冲击波参数,因此,在本试验中出现了JHL-2爆炸威力高于一次引爆某固液混合FAE的情况。

4 结论

在相同装药体积情况下,距离测点水平距离为3 m、5 m和7 m处,JHL-2冲击波峰值超压比一次引爆某燃料空气炸药分别提高了13.5%、39.0%和18.5%,正压区冲量提高了21.5%、22.7%和16.5%,正压作用时间略有下降,说明含铝炸药爆炸威力可以达到甚至超过一次引爆FAE。

目前各国装备的一次引爆FAE武器中,俄罗斯的“什米尔-2”单兵云爆弹影响力较大。该弹装药质量为

2.1 kg, 3 m 处的峰值超压 $\geq 2.8 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 5 m 处的峰值超压 $\geq 0.4 \text{ kg} \cdot \text{cm}^{-2}$ [9], 这一数据低于本试验中 JHL-2 含铝炸药测试结果, 同样体现了含铝炸药在空爆战斗部装药中的优势。

本试验是针对两类炸药中的典型产品进行的对比试验, 由于含铝炸药和燃料空气炸药种类较多, 不能简单地说明含铝炸药的爆炸威力高于一次引爆 FAE, 但是至少说明了这种现象的存在。因此在空爆战斗部威力设计中, 应根据战斗部装药结构的要求, 通过爆炸威力对比试验, 合理选择爆炸能源。

参考文献:

- [1] 恽寿榕, 赵衡阳. 爆炸力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005: 59.
- [2] 白春华, 范喜生, 李建平, 等. 一次引爆燃料空气炸药的爆炸超压场及 TNT 当量[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(2): 210 - 212.
- BAI Chun-hua, FAN Xi-sheng, LI Jian-ping, et al. Over-pressure and TNT equivalent of thermobaric explosives[J]. *Journal of Projectiles Rockets Missiles and Guidance*, 2006, 26(2): 210 - 212.
- [3] 阙金玲, 刘家聪. 一次引爆云爆剂的爆炸特性-后燃反应对爆炸威力的影响[J]. 爆炸与冲击, 2006, 26(5): 404 - 409.

- KAN Jin-ling, LIU Jia-cong. The blast characteristic of SEFAE-effect of after-burning on blast power[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2006, 26(5): 404 - 409.
- [4] 严峰, 谢立峰, 胡小明, 等. 燃料空气炸药战斗部威力评价方法[J]. 含能材料, 2004(增刊): 396 - 399.
- YAN Feng, XIE Li-feng, HU Xiao-ming, et al. Study on evaluation methods of the power of fuel air explosive warheads[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004 (Supplement): 396 - 399.
- [5] Michaelm Swisdak J R. Explosion effects and properties Part 1 - explosion effects in air[R]. ADA0184544. 1975.
- [6] 北京工业学院八系. 爆炸及其作用(下册)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979.
- [7] 张国伟. 终点效应及其应用技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 168 - 169.
- [8] Muzychuk E, Mayselless M, Belsky I. Influence of post-detonation burning process on blast wave parameters in air[C] // 22nd International Symposium on Ballistics, Canada. 2005: 536 - 543.
- [9] 张彦存, 姚传利. 一种新技术武器-单兵云爆弹[J]. 轻武器, 2006(5): 16 - 17.

Comparison of Blast Power of Aluminized Explosive and Single-event FAE

LIU Ke-zhong¹, XU Geng-guang¹, XIN Chun-liang², YANG Zhen-lei¹, QIN Jian^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China;

3. Naval Academy of Armament, Beijing 100073, China)

Abstract: Blast power of JHL-2 aluminized explosive and a single-event fuel air explosion (FAE) was compared. Two types of explosives were kilogram-level charged and pressure-time curves of shock wave at 3 m, 5 m and 7 m away from explosion center were obtained. Results show that when the charged volumes are the same, the peak pressures of JHL-2 are increased by 13.5%, 39.0% and 18.5% higher than that of the single-event FAE at 3 m, 5 m and 7 m away from explosion center respectively, and the positive phases of JHL-2 are increased by 21.5%, 22.7% and 16.5% higher than that of the single-event FAE, while the positive phase durations of JHL-2 are shorter than that of the single-event FAE. Results show that blast power of aluminized explosive can achieve and even overtake that of single-event FAE.

Key words: explosion mechanics; explosion pressure field; aluminized explosive; single event FAE