

文章编号: 1006-9941(2004)04-0246-03

三元混合燃料一次引爆实验研究

王德润^{1,2}, 沈兆武², 周昕清²

(1. 安徽理工大学 资源开发与管理工程系, 安徽 淮南 232001;
2. 中国科学技术大学 力学和机械工程系, 安徽 合肥 230027)

摘要: 基于离散爆轰思想,进行了小药量无约束空间三元混合燃料的一次引爆实验。实验结果表明,铝粉、环氧丙烷和 TNT 混合燃料的一次引爆过程可分为四个阶段,随距离的增加,其爆炸场超压呈增长→衰减的规律,且具有非常相似的压力场分布。铝粉、TNT 混合燃料和 TNT 药包的爆炸场超压均随距离的增加而降低,但与等质量 TNT 药包炸药相比,前者的远场爆炸超压要高。铝粉、环氧丙烷和 TNT 混合燃料形成的云雾爆炸正压持续作用时间达 10 ms 量级,比 TNT 药包爆炸的正压持续作用时间约高出 100 倍。

关键词: 爆炸力学; 燃料空气炸药(FAE); 混合燃料; 一次引爆; 离散爆轰

中图分类号: O381

文献标识码: A

1 引言

燃料空气炸药(FAE)是一种新型爆炸能源,其战斗部的爆炸作用过程和对目标的毁伤效应与常规炸药不同。提高威力性能是FAE设计的主要目标,提高FAE爆炸威力的途径主要有两方面^[1]:一是提高FAE威力^[2];二是开展云爆技术研究,实现能量的充分发挥和利用。为了提高起爆的可靠性,FAE的引爆已由二次引爆向一次引爆系统转变^[3-5]。本文基于离散爆轰(Dispersed Detonation)思想,采用铝粉、环氧丙烷和TNT组成的液固混合燃料,通过引爆系统的设计,在离散和爆轰的自协调控制下,完成小药量无约束空间三元混合燃料的一次引爆实验。

2 实验设计

2.1 燃料选择

铝粉(Al): 固态、片状,活性>86%,过75目筛。环氧丙烷(PO): 液态,纯度>98%,水份≤0.03%,沸点33.9℃。高能炸药(TNT): 淡黄色粉状固体,密度1.0 g·cm⁻³。

2.2 实验装置

实验装置为圆柱形,尺寸Φ50 mm×120 mm,长径

比2.4:1,上下端盖为5 mm厚塑料板,侧壁为聚酯塑料薄膜外壳,中心PVC管直径20 mm,中心管中段选择含有诱发剂的固态粉状中心装药^[6],中心管两端为阻火泡沫,混合燃料总质量100 g。实验时将装置静止悬吊在平坦砂土地上方1.9 m处,利用8#电雷管先引爆中心装药,然后由中心装药引爆抛撒主装药,使离散抛撒形成的云雾实现爆炸。

实验中所用的仪器型号及参数:传感器型号为CY-YD-203,压力范围为0~300×10⁵ Pa,压力-电荷灵敏度为12.00 PC/10⁵ Pa;电荷放大器型号为KD5003;数字记录仪型号为8862型MEMORY HICOREDER;高速摄影机型号为Speedcam ProIt。

3 实验结果分析

3.1 压力场分布规律

实验中铝粉含量(50%)保持不变^[1]。调整PO与TNT的比例,做了六组实验,每组实验10次。

- (1) Al/PO/TNT = 50/50/0;
- (2) Al/PO/TNT = 50/35/15;
- (3) Al/PO/TNT = 50/25/25;
- (4) Al/PO/TNT = 50/0/50;
- (5) 纯PO;
- (6) 纯TNT。

从高速摄影机现场拍摄记录的分幅照片可以看出,铝粉、环氧丙烷和TNT混合燃料的一次引爆过程可分为四个阶段:中心装药引爆、燃料抛撒、点火和爆

收稿日期: 2003-12-09; 修回日期: 2004-02-27

作者简介: 王德润(1973-),男,讲师,博士研究生,研究方向为现代爆炸技术。e-mail: wangderun@ustc.edu.cn

沈兆武(1953-),男,教授,博士生导师。e-mail: zwshen@ustc.edu.cn

炸。各组实验的爆炸场超压数据如表 1 所示。

表 1 爆炸场超压数据

Table 1 Overpressure value of explosion field MPa

group	distance/m					
	0.4	0.6	0.8	1.0	1.4	1.6
Al/PO/TNT = 50/50/0	0.35	0.7	0.75	0.45	0.18	0.12
Al/PO/TNT = 50/35/15	0.15	0.55	0.85	0.4	0.15	0.1
Al/PO/TNT = 50/25/25	0.2	0.57	0.68	0.35	0.1	0.08
Al/PO/TNT = 50/0/50	1.25	0.65	0.35	0.28	0.21	0.19
PO	0.5	0.95	0.6	0.3	0.25	0.16
TNT	1.57	0.52	0.26	0.16	0.08	0.06

由表 1 可以看出, Al/PO/TNT = 50/0/50 (第四组) 的混合燃料爆炸场超压和 TNT 药包爆炸超压均随距离的增加而降低,但在相同质量下,前者的远场超压比后者的要高。而铝粉、环氧丙烷和 TNT 混合燃料的爆炸场超压随距离的增加存在一个增长→衰减的过程,且具有非常相似的压力场分布。纯环氧丙烷和 Al/PO/TNT = 50/35/15 (第二组) 的爆炸超压最大值较高,但纯环氧丙烷燃料为液态,实际中难以操作。Al/PO/TNT = 50/50/0 (第一组)、Al/PO/TNT = 50/25/25 (第三组) 的混合燃料爆炸效果相当。

铝粉、环氧丙烷和 TNT 混合燃料的爆炸场超压存在一个增长→衰减过程的原因是由于混合燃料在中心装药爆炸分散作用下,形成的云雾浓度场是不均匀的。在云雾的中部燃料浓度较高,能形成局部爆轰;而在云雾的外边缘和内边缘,燃料浓度较低,有时只能形成燃烧。而铝粉和 TNT 混合燃料的爆炸场超压持续衰减的原因可能是反应时间短,没有充足的氧使混合燃料中的高能金属粉 (Al 粉) 充分反应所致。

3.2 爆炸波传播规律

因为铝粉、环氧丙烷和 TNT 混合燃料的爆炸场超压具有非常相似分布规律,现对配比为 Al/PO/TNT = 50/25/25 的混合燃料爆炸场进行具体分析和讨论,该组实验得到的 0.8 m 处典型压力-时间曲线见图 1。

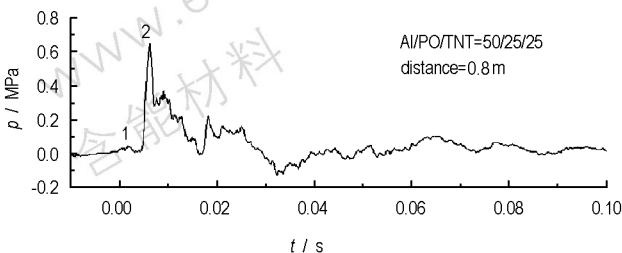


图 1 0.8 m 处压力-时间典型曲线

Fig. 1 Typical curve of pressure-time at 0.8 m

从图 1 所示的压力-时间曲线可以看出,该曲线存在双峰结构,第 1 峰值是中心装药爆炸后的空气冲击波压力峰值,数值较小;第 2 峰值是三元混合燃料产生的云雾爆炸波压力峰值,其数值远大于第 1 峰值。从波形上看,云雾爆炸波形成尖峰形状,体现了爆炸波信号的典型特征。

结合各测点处的压力-时间曲线,统计云雾爆炸波的正压持续作用时间如表 2 所示 (限于篇幅,略去其它测点处的压力-时间曲线)。从表 2 可见,云雾爆炸波的正压持续作用时间达 10 ms 量级,而 TNT 药包爆炸的正压持续作用时间为 100 μs 量级,云雾爆炸波的正压持续作用时间比其约高出 100 倍。原因是在中心装药的爆炸抛撒下,铝粒子周围有大量的氧化剂存在,当爆炸反应被激发后,铝粒子与液气相的环氧丙烷以及空气中的氧气同时展开反应;但铝粉参与爆炸反应过程,比分子型的气相及细雾微滴反应显得要迟缓,同时铝粒子与爆轰产物如二氧化碳、水等进行二次反应,因此反应时间加长。

表 2 各测点处的云雾爆炸波正压持续作用时间

Table 2 Continual action time of plus pressure of cloud detonation wave at each measuring point

distance/m	0.4	0.6	0.8	1.0	1.4	1.6
action time of plus pressure/ms	8.4	11.2	17.3	24.8	25.3	9.6

综合以上分析,云雾爆炸与 TNT 药包爆炸有着本质的区别,主要有以下几个方面: (1) TNT 爆炸时的爆源体积可忽略,而云雾爆炸时的体积较大,不能忽略,且随着爆炸的进行,爆源体积在增大; (2) TNT 爆炸时能量是瞬间释放的,而云雾爆炸过程中能量的释放速率有限; (3) TNT 爆炸时形成的冲击波强度大,但衰减速度快,而云雾爆炸多属局部达到爆轰的爆燃过程,正压作用时间较长。

4 结论

(1) 铝粉、环氧丙烷和 TNT 混合燃料的一次引爆过程可分为四个阶段,环氧丙烷的加入使混合燃料的反应延迟,保证 Al 粉充足的氧源,随距离的增加其爆炸场超压呈增长→衰减的规律,且具有非常相似的压力场分布。铝粉、TNT 混合燃料和 TNT 药包的爆炸场超压均随距离的增加而降低,但前者的远场超压比等质量 TNT 的要高。

(2) 铝粉、环氧丙烷和 TNT 混合燃料形成的云雾爆炸不同于 TNT 药包爆炸,云雾爆炸波正压持续作用

时间达 10 ms 量级,比 TNT 药包爆炸的正压持续作用时间约高出 100 倍。

参考文献:

- [1] 秦友花. 新型燃料空气炸药及其爆炸机理的研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2002, 10.
QIN You-hua. Study on new fuel air explosives and its explosion mechanism [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2002, 10.
- [2] 贵大勇, 刘吉平, 冯顺山. 几种典型燃料空气炸药威力性能研究 [J]. 含能材料, 2002, 10(3): 121 - 124.
GUI Da-yong, LIU Ji-ping, FENG Shun-shan. Research of power performance of several typical fuel-air explosives [J]. *Hanneng Cailiao*, 2002, 10(3): 121 - 124.
- [3] Von Elbe G E T McHale. Chemical initiation of FAE clouds [R]. AD-A082 610, 1979.
- [4] Smirnov N N, Nikitin V F. Ignition and combustion of turbulent dust-air mixtures [J]. *Combust and Flame*, 2000, 123: 46.
- [5] 张奇, 白春华, 刘庆明, 等. 一次引爆燃料空气炸药及其爆炸效应研究 [J]. 实验力学, 2000, 15(4): 448 - 453.
ZHANG Qi, BAI Chun-hua, LIU Qing-ming, et al. Investigation on single igniting fuel-air explosive and its explosion effects [J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2000, 15(4): 448 - 453.
- [6] 王德润, 沈兆武, 周听清. 新型高能液基复合燃料离散爆炸的试验研究 [J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(4) (增刊): 58 - 61.
WANG De-run, SHEN Zhao-wu, ZHOU Ting-qing. Experimental study on dispersion and explosion of new high-energy liquid composite fuel [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology* (supplement), 2003, 23(4): 58 - 61.

Experimental Study on Single Ignition of Mixed Ternary Fuel

WANG De-run^{1,2}, SHEN Zhao-wu², ZHOU Ting-qing²

(1. *Dept. of Resources Exploration & Management Engineering,*

Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China;

2. *Dept. of Mechanics and Mechanical Engineering, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)*

Abstract: Experimental study on unconfined volume dispersion and single ignition of few dosage of mixed ternary fuel is successfully done, based on dispersed detonation. Experimental results show that single ignition process of mixed fuel containing aluminum powder, propylene oxide and TNT can be divided into four stages, overpressure within its explosion field firstly increases, then decays with increase of distance, and distribution of overpressure field is similar. Overpressure of binary mixed fuel containing aluminum powder and TNT decays like TNT charge with increase of distance, but its value is higher than TNT charge's in the same mass at further distance. The continual action time of plus pressure during cloud detonation of mixed ternary fuel containing aluminum powder, propylene oxide and TNT reaches magnitude of 10 ms and is about 100 times than TNT charge's.

Key words: explosion mechanics; fuel air explosive (FAE); mixed fuel; single ignition; dispersed detonation