

文章编号:1006-9941(2005)06-0359-03

组合式电磁粒子速度计实验方法的研究及应用

李志鹏¹, 龙新平², 黄毅民¹, 何碧¹, 王蓉¹, 何松伟¹

(1. 中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900;

2. 中国工程物理研究院, 四川 绵阳 621900)

摘要: 设计了一种组合式电磁粒子速度计, 用其研究了 HMX 为基和 TATB 为基炸药的冲击起爆过程。粒子速度计所测波形较好地反映了炸药在冲击波作用下向爆轰转变的过程。冲击波跟踪器测量结果表明, TATB 为基炸药在 14.9 GPa 冲击压力条件下转爆轰的距离约为 5.05 mm。

关键词: 应用爆炸力学; 组合式电磁粒子速度计; 冲击起爆; 粒子速度

中图分类号: TJ55; O389

文献标识码: A

1 引言

电磁粒子速度计在炸药爆轰研究中具有非常重要的作用。作为一种直接的内部测量方法, 电磁粒子速度计具有测试原理简单、响应灵敏, 与压力计相比无需定标、绝缘要求不高、有效记录时间长等优点^[1], 对于研究炸药的冲击起爆过程非常有用。1960年, Zaitzev 等人^[2]用电磁粒子速度计测量了炸药反应流场中的粒子速度。20世纪70年代期间, Fowles 等人^[2]把电磁粒子速度计和轻气炮加载结合使用, 电磁粒子速度计测试技术得到了进一步发展。Sheffield 曾在文献^[3]中提到 Vorthman 等人采用光刻蚀的方法制作了一种组合式电磁粒子速度计, 由多个粒子速度计和冲击波跟踪器构成, 整个计为一层薄膜, 装配方便, 定位准确, 测试精度较高。近年来, 国外利用这种电磁粒子速度计已进行了许多研究工作^[4-7], 电磁粒子速度计测试方法日趋完善。与国外相比, 电磁粒子速度计在国内起步较晚, 20世纪80年代初期, 北京工业学院、西北核技术研究所建立了电磁粒子速度计测试技术^[8]。此后, 中国工程物理研究院的流体物理研究所和化工材料研究所也先后建立了这种测试方法, 电磁粒子速度计测试方法在国内得到了一定的发展, 但还不是十分完善, 目前国内使用的电磁粒子速度计主要是单“U”形计和多“U”形计, 有关组合式电磁粒子速度计的测试方法还未见文献报道。本实验参考文献^[2]的方法, 设计了一种组合式电磁粒子速度计, 用其研究了 HMX 为基和 TATB 为基两种炸药的冲击起爆过程。

2 组合式电磁粒子速度计实验方法

2.1 组合式电磁粒子速度计的设计

电磁粒子速度计是拉格朗日量计的一种, 其工作原理为法拉第电磁感应定律, 粒子速度的计算公式为

$$u = \varepsilon / Bl \quad (1)$$

式中, u 为粒子速度, ε 为感应电动势, B 为磁场强度, l 为速度计切割磁力线的长度。设计的组合式电磁粒子速度计如图 1 所示。制作方法是在聚脂膜上镀 5 μm 厚的铜箔, 然后激光刻蚀而成, 包括 6 个粒子速度计和一个冲击波跟踪器 (shock trackers)。图中左右两边形状如“马蹬”的是粒子速度计, 水平平行的部分在试验时切割磁力线, 是粒子速度计的敏感单元, 每一侧的长度由上至下分别为 10, 8, 6 mm, 间距为 3 mm。中间部分“台阶”形状的是冲击波跟踪器, 可以对炸药冲击起爆过程中冲击波阵面的运动历程进行跟踪测试, 对所测波形进行分析可得到与楔形炸药试验结果形状相似的 $x-t$ 图, 确定炸药冲击转爆轰的距离和时间。

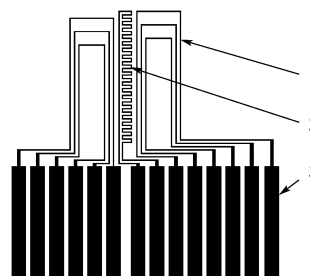


图 1 组合式电磁粒子速度计设计示意图
1—粒子速度计, 2—冲击波跟踪器, 3—引线

Fig. 1 Schematic diagram of multiple electromagnetic particle velocity gauge

1—particle velocity gauge, 2—shock trackers, 3—lead

收稿日期: 2005-03-09; 修回日期: 2005-04-08

作者简介: 李志鹏(1978-), 男, 在读硕士, 从事炸药爆轰性能研究。

组合式电磁粒子速度计与多“U”形计相比主要有以下几个优点。首先,组合式电磁粒子速度计为一层薄膜,利于嵌入炸药中进行测量,这使炸药样品的加工以及装配变得简单方便,试验的可操作性强。其次,通过光刻的方法在铜箔上可以刻出较多的粒子速度计以及冲击波跟踪器,一次试验就可得到炸药冲击起爆过程中多个位置处的粒子速度波形,同时可对冲击波波阵面的运动轨迹进行跟踪,实验获取的信息量较大。

2.2 实验装置

实验装置如图2所示。用环氧树脂把组合式电磁粒子速度计连同两个被加工成楔形块的炸药样品胶合在一起,形成长50 mm、宽50 mm、高25 mm的组合药柱。电磁粒子速度计在炸药样品中的倾角为30°。冲击加载装置由Φ60 mm的平面波透镜和有机玻璃缓冲片组成。整个装置试验时放入一个恒定的磁场中,中心场强约为0.05 T。

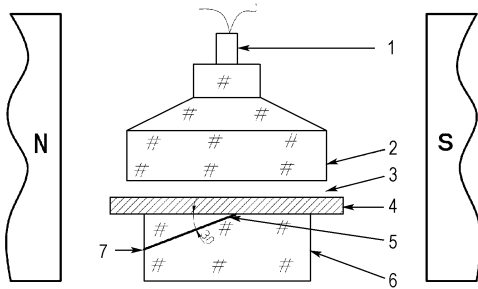


图2 实验装置示意图

1—8[#]电雷管,2—平面波发生器,3—空气隙,4—有机玻璃缓冲片,5—组合式电磁粒子速度计,6—炸药样品,7—接示波器

Fig. 2 Experimental device

1—8[#]detonator, 2—planar wave lens, 3—air gap, 4—PMMA cushion, 5—multiple electromagnetic gauge, 6—explosive sample, 7—to oscilloscope

3 实验结果与分析

实验所测波形如图3、图4和图5所示。由于装配等方面的原因,有部分粒子速度计测得的波形干扰较大,难以分析,在数据处理时剔除了这些波形。图3所示为HMX为基炸药在2.8 GPa冲击压力条件下的粒子速度波形,实验测得了距离HMX为基炸药受冲击表面1,2.5,4 mm处的粒子速度波形。由图可见,随着冲击波在炸药样品中的传播,不同深度位置波阵面上的炸药粒子速度不断增大。这说明炸药在冲击波作用下不断发生化学反应释放能量,使得冲击波强度逐渐增加,从而向爆轰波转变。此外还可以看到,对于

每一条曲线,冲击波波阵面后都有一段类似“驼峰”的部分,也就是说粒子速度是在经历一段增长过程后才达到最大值的,说明在冲击波波阵面经过未反应炸药以及炸药发生反应释放能量之间存在一些延迟,这与国外一些实验^[3,6]所观察到的现象是一致的。

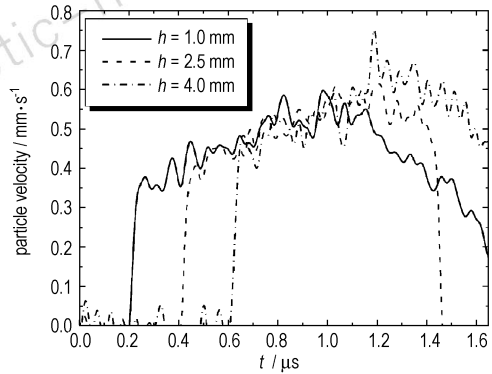


图3 HMX为基炸药在2.8 GPa冲击压力条件下粒子速度波形图
Fig. 3 Particle velocity profiles of HMX based explosive under 2.8 GPa impact load

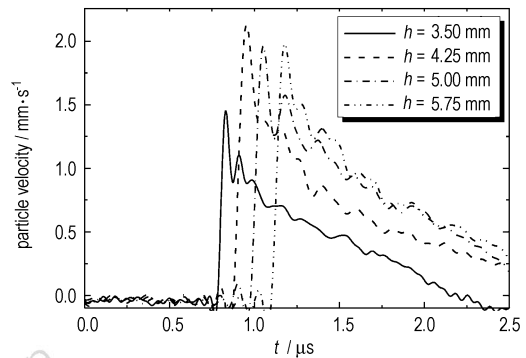


图4 TATB为基炸药在14.9 GPa冲击压力条件下粒子速度波形图
Fig. 4 Particle velocity profiles of TATB based explosive under 14.9 GPa impact load

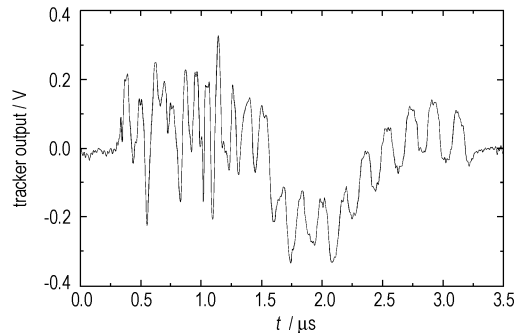


图5 TATB为基炸药在14.9 GPa冲击压力条件下冲击波跟踪器所测波形图

Fig. 5 Profiles of TATB based explosive tested by shock tracker under 14.9 GPa impact load

图4是TATB为基炸药在14.9 GPa冲击压力条

件下的粒子速度波形。由图4可见,粒子速度峰值在 $h=4.25$ mm处有较大的增长,在 $h=5$ mm和 $h=5.75$ mm处峰值基本保持不变,反映出炸药中冲击波转变为爆轰波的过程。图5所示为TATB为基炸药冲击起爆过程中冲击波跟踪器所测波形。其中横坐标为时间,纵坐标为测量时输出的电压值。当冲击波经过跟踪器的敏感单元时,会产生跳变信号,每一个跳变信号都对应着冲击波在炸药中传播的一个位置和时间,由此可以得到冲击波波阵面的运动轨迹($x-t$ 图)。由图5可见,所测波形的特征时间间隔由大变小然后又缓慢变大,反映出冲击波速度由小变大然后又缓慢减小的过程。冲击波速度的缓慢减小可能是由于速度计的装配等原因引起的。冲击波速度由小变大的过程与炸药冲击转爆轰的过程相对应,分析结果如图6所示,图中拐点所对应的纵坐标即为炸药冲击转爆轰的距离。由图可知,TATB为基炸药在14.9 GPa冲击压力条件下冲击转爆轰的距离约为5.05 mm。

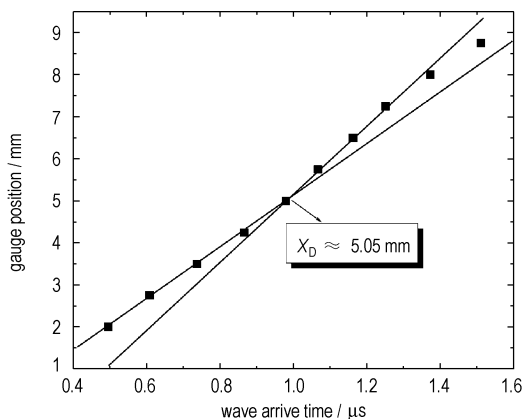


图6 TATB为基炸药在14.9 GPa冲击压力条件下冲击波阵面运动的 $x-t$ 图

Fig. 6 Position-time plot of TATB based explosive under 14.9 GPa impact load

4 讨论

采用组合式电磁粒子速度计测试方法,炸药样品加工简单,试验装配方便,一次试验就可获得较多的实验数据,对于研究炸药的冲击起爆过程较为适用。若要进一步提高实验精度,需采用平面度好的冲击加载方式,改善组合式电磁粒子速度计的制作加工和实验装配。作为对组合式电磁粒子速度计测试方法的一个初步探讨,实验方法有待日后完善和提高。

致谢:衷心感谢化材所二部五组对试验提供的支持和帮助。

参考文献:

- [1] 孙承纬,卫玉章,周之奎. 应用爆轰物理[M]. 北京:国防工业出版社,2000. 12.
- [2] Zaitzev V M, Pokhil P F, Shvedov K K. DAN SSSR[J]. 1960,132(6): 1339-1340.
- [3] Sheffield S A, Gustavsen R L, Hill L G, et al. Electromagnetic measurements of shock initiating PBX9501 and PBX9502 explosives [A]. The 11th International Detonation Symposium [C], Colorado: 1998,451-458.
- [4] Maw J R. Lagrangian analysis of EDC37 shock initiation data [A]. Furnish M D, Thadhani N N, Horie Y. Shock Compression of Condensed Matter-2001 [C], American Institute of Physics(AIP).2000. 1027-1030.
- [5] Gustavsen R L, Sheffield S A, Alcon R R, et al. Embedded electromagnetic gauge measurements and modeling of shock initiation in the TATB based explosives LX-17 and PBX 9502 [A]. Furnish M D, Thadhani N N, Horie Y. Shock Compression of Condensed Matter-2001 [C], American Institute of Physics(AIP).2000. 1019-1022.
- [6] Gustavsen R L, Sheffield S A, Alcon R R, et al. Initiation of EDC-37 measured with embedded electromagnetic particle velocity gauges [A]. Furnish M D, Chhabildas L C, Hixson R S. Shock Compression of Condensed Matter-1999 [C], American Institute of Physics(AIP).2000. 879-882.
- [7] Gustavsen R L, Sheffield S A, Alcon R R, et al. Shock initiation of new and aged PBX9501 [A]. The 12th International Detonation Symposium [C], San Diego. 2002.
- [8] 王圣平. 电磁速度计技术[J]. 爆轰波与冲击波,1985,(4): 33.

Study and Application of the Multiple Electromagnetic Particle Velocity Gauge Technique

LI Zhi-peng¹, LONG Xin-ping², HUANG Yi-min¹, HE Bi¹, WANG Rong¹, HE Song-wei¹

(1. Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621900, China; 2. CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: A multiple electromagnetic particle velocity gauge was designed to study the shock initiation processes of HMX and TATB based explosives. The measured particle velocity profiles show the growth from an input shock to a detonation. The results tested by shock trackers indicate that the run distance to detonation of the TATB based explosive under 14.9 GPa impact load is about 5.05 mm.

Key words: applied explosion mechanics; multiple electromagnetic particle velocity gauge; shock initiation; particle velocity