文章编号：1001-1455(2006)03-0269-04

用组合式电磁粒子速度计研究 JOB-9003 炸药的冲击起爆过程*

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：用组合式电磁粒子速度计研究了 JOB-9003 炸药在不同冲击压力下的起爆过程。粒子速度计所测波形较好地反映出了炸药中冲击波向爆轰波的转变过程。对冲击波跟踪器所测波形的分析表明，冲击压力为 4.9 GPa 时，JOB-9003 炸药冲击转爆轰的距离和时间分别为 $x_D=6.06$ mm 和 $t_D=1.13$ μs，当冲击压力增加到 5.8 GPa 时，转爆轰的距离和时间减小为 $x_D=5.66$ mm 和 $t_D=1.01$ μs。

关键词：爆炸力学；冲击起爆；电磁粒子速度计；炸药
中图分类号：O381；TQ563 **国标学科代码**：130・35 **文献标志码**：A

1 引 言

炸药的冲击起爆过程是指在冲击加载作用下炸药中冲击波向爆轰波转变的过程。炸药冲击起爆过程的研究对了解炸药的起爆性能和安全性能有着重要的意义。通过对冲击波成长和转变为爆轰现象的观察，以及对爆轰建立过程的特性和力学量剖面、历程的研究，可以深入地了解炸药的起爆机理和物理图像[1]。研究炸药在冲击波作用下爆轰建立过程的常用实验方法有：楔形炸药试验、内嵌式压力计以及组合式电磁粒子速度计实验等。由于组合式电磁粒子速度计测试原理简单、响应灵敏，与内嵌式压力计相比绝缘要求不高，有效记录时间长，近年来被广泛应用于炸药的冲击起爆过程研究[2~7]。

本文中采用组合式电磁粒子速度计测试技术，对 3 种不同冲击压力条件下 JOB-9003 炸药的冲击起爆过程进行研究，分析测得的粒子速度波形，并对不同压力条件下冲击波跟踪器所测得的试验结果进行分析比较。

2 实验

2.1 组合式电磁粒子速度计

组合式电磁粒子速度计示意图如图 1 所示，它与一般的“U”形电磁粒子速度计相比具有样品加工方便、装配简单、速度计之间干扰小以及测量获取的信息量大等优点[2]。制作方法是，先把铜箔激光刻蚀成设计好的样式，然后两面用绝缘材料封装，整个量计为一层薄膜。试验时埋入炸药中进行测量，其中的冲击波跟踪器用来测量冲击波阵面的运动轨迹，对所测波形进行分析可得到与楔形炸药试验结果相似的 x-t 曲线，以确定炸药冲击转爆轰的距离和时间。

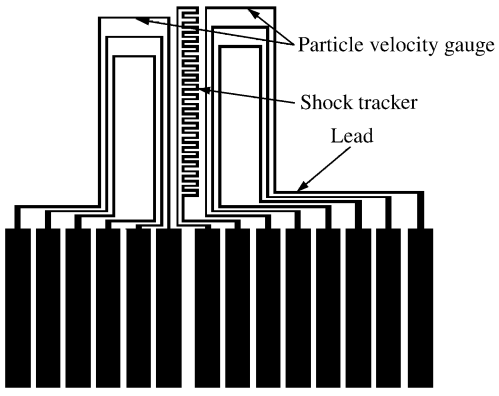

图 1 组合式电磁粒子速度计示意图
Fig. 1 Multiple electromagnetic particle velocity gauge

* **收稿日期**：2005-03-10；**修回日期**：2005-10-10
作者简介：李志鹏(1978—)，男，硕士研究生。

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 JOB-9003 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，其中组合式电磁粒子速度计以 30°的倾角埋入到炸药样品中，然后放入到中心场强约 0.05 T 的均匀磁场中进行测量。

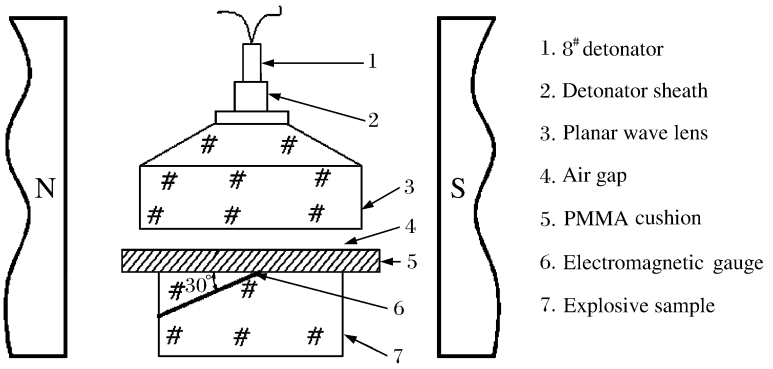

图 2 实验装置示意图

Fig. 2 Sketch of the experimental set-up

3 结果与分析

实验中通过调整空气隙和有机玻璃缓冲片的厚度来实现不同的初始冲击压力，初始条件如表 1 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。实验所测得的部分波形剖面如图 3、4 所示，图中 h 表示速度计的敏感单元在炸药中离受冲击表面的距离，p 表示冲击压力。

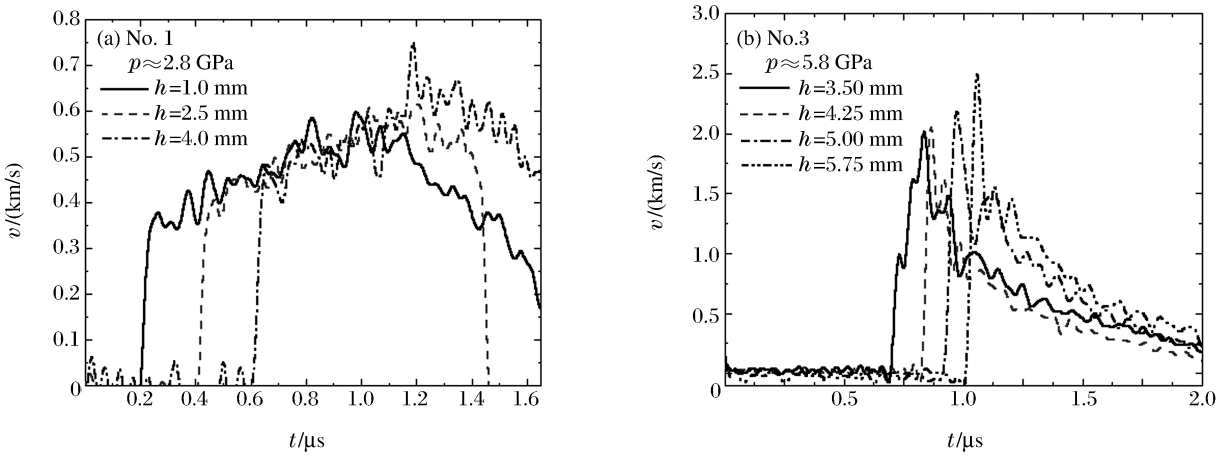

图 3 炸药粒子速度剖面

Fig. 3 Velocity profiles of explosive particle

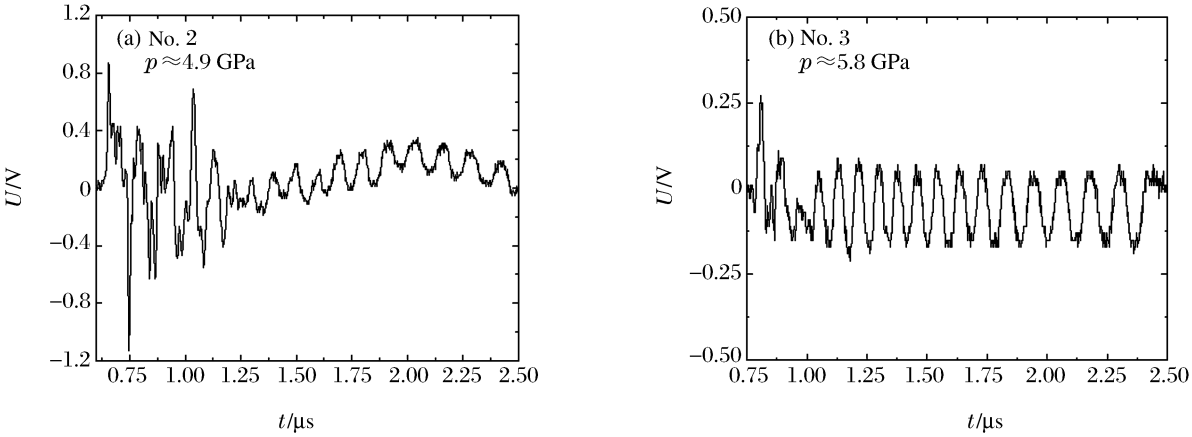

图 4 冲击波跟踪器所测波形

Fig. 4 Output of shock tracker gauge

表 1 JOB-9003 炸药冲击起爆实验初始条件

Table 1 Initial conditions of shock initiation of JOB-9003 explosive

试验编号	炸药初始密度/(g/cm³)	空气隙厚度/mm	有机玻璃厚度/mm	冲击压力估算值/GPa
1#	1.849	10	6	2.8
2#	1.850		10	4.9
3#	1.850		5	5.8

图 3 所示为 JOB-9003 炸药分别在 2.8、5.8 GPa 冲击压力条件下爆轰建立过程中炸药粒子速度剖面。由图 3(a)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，粒子速度值由最初的 0.37 km/s(h= 1 mm)增加到 0.48 km/s(h=4 mm)。冲击波平均速度也由 7.211 km/s(h=1～2.5 mm)增加到 7.576 km/s(h=2.5～4 mm)，增加了约 0.365 km/s。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，也就是说炸药粒子速度是在经历一段增长过程后才达到最大值的。这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，这与文献[2,4]所报道的是一致的。1# 试验由于初始冲击压力较低，在速度计可测量的范围内，并未监测到炸药爆轰。增大冲击压力后所测得的炸药粒子速度剖面如图 3(b)所示，图中 h=3.50 mm 处的炸药粒子速度波形中有“驼峰”出现，后面几个位置处的粒子速度却是快速达到最大值然后减小。这说明随着冲击波逐渐向爆轰波转变，炸药释放能量速率不断加快，从而“驼峰”也就消失了。在 h=5.75 mm 处，炸药粒子速度剖面尖峰值有较大的增长，达到 2.464 km/s，从粒子速度剖面的增长趋势来看，可认为炸药接近或达到了稳定爆轰。

图 4 所示为炸药冲击起爆过程中冲击波阵面运动的监测波形，其中横坐标为时间，纵坐标为测量时输出的电压值，对其进行分析可以得到冲击波波阵面的运动轨迹(x-t 曲线)，从而确定冲击转爆轰的距离和时间，分析方法详见文献[6]，分析结果如图 5 所示。

从图 5 可以看到，分析得到的冲击波波阵面运动轨迹中有一个明显的转折点，这一点所对应的时间和距离即为炸药冲击转爆轰的时间和距离。由图 5(b)可知，JOB-9003 炸药在 5.8 GPa 冲击压力条件下转爆轰的距离约为 x_D=5.66 mm。这与图 4 粒子速度计的实验结果 5.75 mm 基本一致。此外，对比图 5(a)、(b)可以看到，当冲击压力从 4.9 GPa 增加到 5.8 GPa 时，JOB-9003 炸药冲击转爆轰的距离和时间分别由 x_D=6.06 mm、t_D=1.13 μs 减小到 x_D=5.66 mm、t_D=1.01 μs。

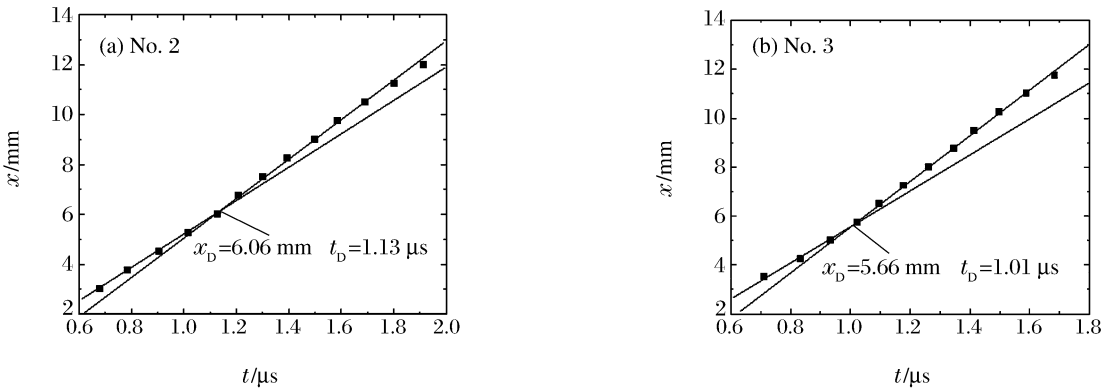

图 5 冲击波波阵面运动轨迹

Fig. 5 shock front trajectory

4 结　论

组合式电磁粒子速度计所测波形较好地显示了 JOB-9003 炸药中冲击波向爆轰波的转变过程，通

过对“冲击波跟踪器”所测波形进行分析,可以确定炸药在不同冲击压力条件下转爆轰的距离和时间。在 4.9 GPa 冲击压力条件下,JOB-9003 炸药冲击转爆轰的距离和时间分别为 $x_D=6.06$ mm、$t_D=1.13$ μs,当冲击压力增加到 5.8 GPa 时,JOB-9003 炸药冲击转爆轰的距离和时间分别减小到 $x_D=5.66$ mm、$t_D=1.01$ μs。由于此方法仍在完善之中,实验精度尚需提高。

感谢禹明书、叶辉、韩勇、蒋治海、贾路川、李宗斌以及蒋红斌等人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,2000:406-422.

[2] Sheffield S A, Gustavsen R L, Alcon R R. In-situ magnetic gauging technique used at LANL-method and shock information obtained[A]. Furnish M D, Chhabildas L C, Hixson R S. Shock Compression of Condensed Matter 1999[C]. American Institute of Physics, 2000:1043-1048.

[3] 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, 2001:1027-1030.

[4] 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, 2001:1019-1022.

[5] 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, 2000:879-882.

[6] Sheffield S A, Gustavsen R L, Hill L G, et al. Electromagnetic measurements of shock initiating PBX 9501 and PBX 9502 explosives[A]. The 11th International Detonation Symposium[C]. Colorado, 1998:451-458.

[7] Gustavsen R L, Sheffield S A, Alcon R R, et al. Shock initiation of new and aged PBX 9501[A]. The 12th International Detonation Symposium[C]. San Diego, 2002.

Electromagnetic gauge measurements of shock initiating JOB-9003 explosive

LI Zhi-peng[1*], LONG Xin-ping[2], HUANG Yi-min[1],
HE Bi[1], WANG Rong[1], HE Song-wei[1]

(1. *Insititute of chemical materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang* 621900, *Sichuan, China*;
2. *China Academy of Engineering Physics, Mianyang* 621900, *Sichuan, China*)

Abstract: An embedded electromagnetic particle-velocity gauge was used to measure the shock initiation behavior in JOB-9003 explosive under different shock pressures. The particle velocity history profiles can fairly decribe the change processes from the shock waves to the detonation waves in the explosive. The output signal from a shock tracker shows that at the shock pressures of 4.9 GPa and 5.8 GPa, the critical times and distances for the onset of detonation of JOB-9003 explosive are respectively 6.06 mm and 1.13 μs , 5.66 mm and 1.01 μs.

Key words: mechanics of explosion; shock initiation; electromagnetic particle velocity gauge; explosive

* Corresponding author: LI Zhi-peng
E-mail address: lzpsunny@sohu.com
Telephone: 0816-2490041