

文章编号: 1001-1455(2006)04-0373-04

# 在球面散心冲击波作用下 JB-9014 炸药 冲击引爆过程实验研究\*

黄文斌, 文尚刚, 谭多望, 赵 峰

(中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 采用双灵敏度 VISAR 对 JB-9014 炸药在 20 GPa 的球面散心冲击波作用下冲击引爆过程开展了实验研究。测得的不同厚度 JB-9014 炸药/窗口界面的粒子速度历程表明, 到爆轰距离为 2~3 mm, 在 3~5 mm 处反应冲击波已发展为稳定爆轰波。开展了相应的初步数值计算工作, 计算结果与实验基本吻合。

**关键词:** 爆炸力学; 粒子速度; VISAR; 球面散心冲击波; JB-9014; 冲击引爆

**中图分类号:** O381

**国标学科代码:** 130·3510

**文献标志码:** A

## 1 引 言

在各种冲击加载作用下炸药中冲击波转变为爆轰波的机理, 是了解炸药起爆性能和安全性能的核心问题。通过对冲击波成长和转变为爆轰波现象的观察, 以及对爆轰建立过程特性和力学量剖面、历程的研究, 可以深入了解炸药冲击起爆机理和物理图像。

任意反射面激光干涉测速(VISAR)技术广泛应用于冲击波物理与爆轰物理研究领域, 可对高速运动事件进行非接触的连续性测试, 研究冲击与爆轰状态下材料的动态特性<sup>[1~3]</sup>。采用激光干涉测速仪研究炸药的爆轰波(或反应冲击波)结构, 其优越性在于能够进行非接触测量、实验装置简单、测试结果精度高, 能够从测量的界面速度曲线清楚地反映爆轰波(或反应冲击波)结构, 是研究炸药冲击起爆过程和炸药反应区结构的先进测试手段。相关的测试技术在国外已经得到较广泛的应用<sup>[4~6]</sup>。

TATB 和以 TATB 为主要成分的钝感炸药, 因其钝感、安全及高能, 而备受炸药研究及武器设计者关注。这类炸药在冲击引爆方面呈现与一般炸药不同的特性。对其冲击引爆过程的深入研究可以为以它作为主要装药的武器精密设计提供重要的理论与实验依据。

本文中采用双灵敏度 VISAR 测速仪实际测量在压力约 20 GPa 的球面散心冲击波作用下不同厚度 JB-9014 炸药与 LiF 窗口的界面粒子速度历程。还利用二维流体动力学有限元程序对 JB-9014 的冲击起爆过程进行数值模拟, 得到 JB-9014 与 LiF 窗口之间的粒子速度历程。

## 2 实验装置及测量方法

实验中使用的激光干涉测速仪为中国工程物理研究院流体物理研究所自行研制的 VISAR IV。入射光经过准直透镜组后, 由分光镜将光束分为两束, 分别输入低灵敏度和高灵敏度两套干涉系统。其内置双灵敏度结构设计, 主要是考虑到测量冲击前沿时, VISAR 有条纹丢失的现象, 而双灵敏度测试可以较好地解决这一问题<sup>[2,7]</sup>。考虑到窗口测试时对条纹常数进行修正<sup>[8~9]</sup>, 实验中两个干涉腔的条纹常数分别为 316 和 392 m/s。

实验装置如图 1 所示。采用 3D 雷管引爆  $\varnothing 2$  的柔爆索, 然后由柔爆索近似地点起爆半径为 20 mm 的传爆药, 传爆药发生散心爆轰, 通过 0.3 mm 的铝壳层, 产生约 20 GPa 的散心冲击波作用于 JB-9014 炸药。与 JB-9014 炸药底面接触的 LiF 窗口表面镀有一层铝膜, 厚度为 0.4  $\mu\text{m}$ , 其作用有两个: 一是作

\* 收稿日期: 2005-05-23; 修回日期: 2005-09-09

作者简介: 黄文斌(1979—), 男, 实习研究员。

为炸药爆轰产物即粒子的速度载体；二是为光纤探头提供漫反射面，满足 VISAR 测试的需要，同时对爆轰产物干扰信号光也有很好的削弱作用。LiF 测试窗口厚 11 mm。

实验中 VISAR 测试点处(即球窝底部)的 JB-9014 炸药厚度分别为 0.5、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0 和 5.0 mm。测量不同厚度 JB-9014 炸药与 LiF 窗口的界面粒子速度历程，根据其波形的峰值和形状，判断反应冲击波在炸药中的发展情况。

### 3 实验结果

图 2 是示波器记录到的双灵敏度 VISAR 两个干涉腔的原始干涉信号，图 3 是对干涉信号经过处理后得到的速度时间曲线。

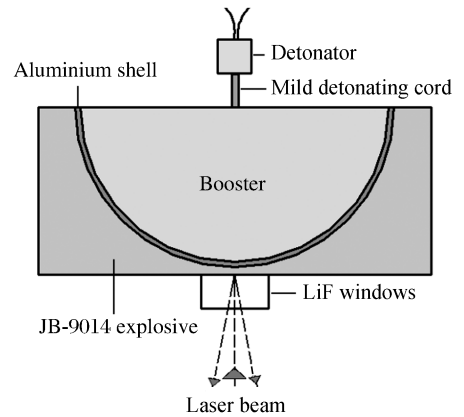


图 1 实验装置示意图

Fig. 1 The sketch of the experimental set-up

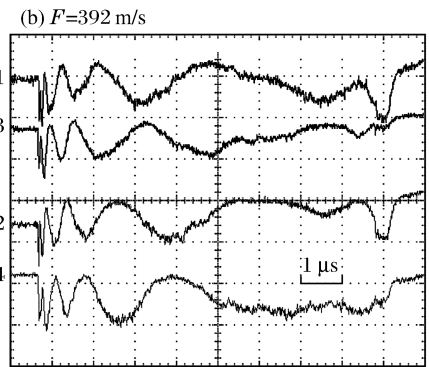
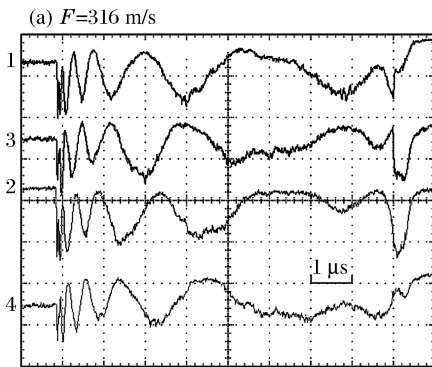


图 2 典型的原始干涉信号

Fig. 2 Typically original interference signals

由图 3 可以清晰地看出，不同炸药厚度对应的 JB-9014/LiF 界面粒子速度历程波形具有三个明显阶段：首先，炸药厚度由 0.5 mm 逐步增加到 2 mm 的过程中，JB-9014/LiF 界面粒子速度历程波形的峰值没有明显增加，维持在同一水平上，但波形的前沿由圆头状逐渐发展成尖峰状，这一阶段为爆轰的形成阶段；然后，炸药厚度从 2 mm 增加到 3 mm 的过程中，界面粒子速度历程波形的峰值发生了突增，由此可以初步确定冲击波转为爆轰波的距离(即到爆轰距离)为 2 mm 与 3 mm 之间；最后，炸药厚度继续从 3 mm 增至 5 mm，界面粒子速度峰值的增幅逐渐减小直至最后达到稳定，这个阶段为爆轰的发展阶段。

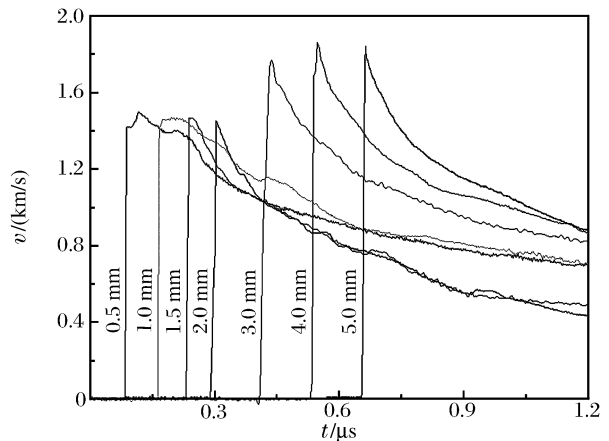


图 3 JB-9014/LiF 界面粒子速度历程

Fig. 3 Particle velocity profiles at JB-9014/LiF interfaces

### 4 相关数值模拟

针对 JB-9014 主炸药厚度分别为 0.5、1.0 和 3.0 mm 的情况，用二维流体动力学有限元程序开展了初步的数值计算，计算所得 JB-9014/LiF 界面粒子速度历程与实验结果对比如图 4 所示。

在计算模型中传爆药( $\rho=1.825 \text{ g/cm}^3$ ,  $p_{\text{CJ}}=29.5 \text{ GPa}$ )使用高能炸药燃烧本构模型和 JWL 状态方程；铝隔层选用各向同性弹塑性流体动力学本构模型和 Gruneisen 状态方程；LiF 窗口选择空材料模型和 Gruneisen 状态方程。JB-9014 炸药( $\rho=1.90 \text{ g/cm}^3$ )选择各向同性弹塑性流体动力学本构模型和

点火-增长-快反应三项式反应速率方程。

由图 4 可见,JB-9014/LiF 界面粒子速度历程的数值计算结果前沿峰值与实验测试结果基本一致,波形的整体趋势也与实验结果大致吻合。

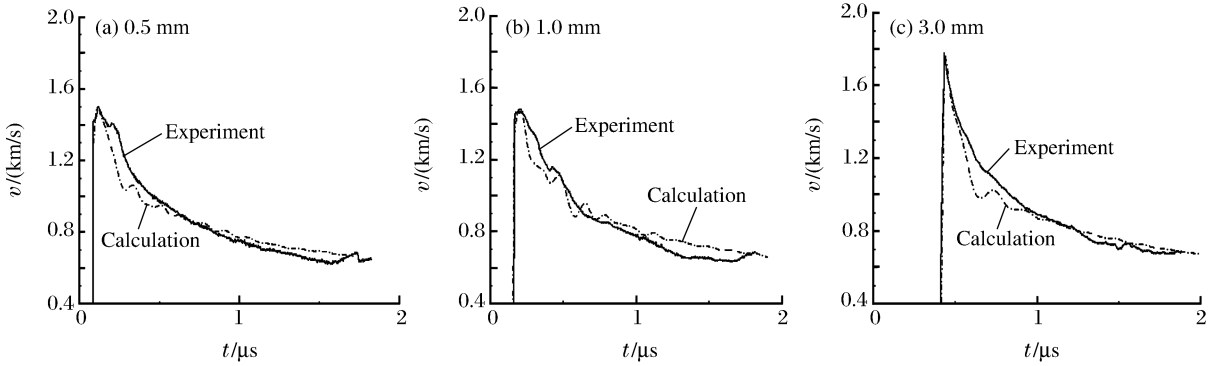


图 4 JB-9014/LiF 界面粒子速度计算结果与实验结果对比

Fig. 4 Comparison of particle velocity wave profiles at JB-9014/LiF interface between experiment and simulation

### 5 讨论

比较一下 J. Wackerle<sup>[10]</sup>用 F-P 激光速度仪研究 PBX-9502 炸药快速冲击引爆过程的实验结果(见图 5),该实验中作用在 PBX-9502 炸药样品的平面冲击波压力为 20.5 GPa。由炸药装置结构可知 PBX-9502 炸药样品所受入射冲击波作用的持续时间比本实验中冲击波的持续时间长得多。

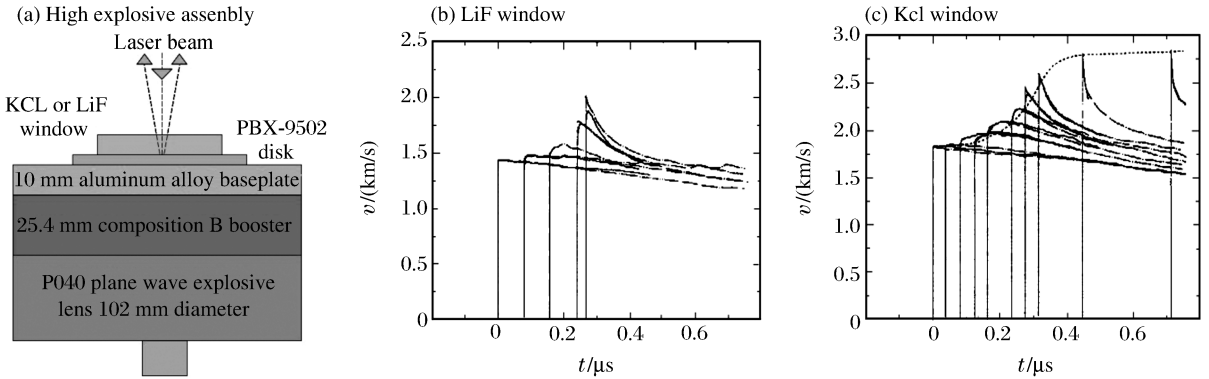


图 5 PBX-9502/窗口界面粒子速度历程

Fig. 5 Particle velocity wave profiles at PBX-9502/window interfaces

从本文中 VISAR 实验结果来看,JB-9014 炸药厚度为 0.5~2.0 mm 时,JB-9014/LiF 界面粒子速度历程的峰值没有反映出逐渐增长的现象,可能原因是,与平面一维持续冲击压力作用下的冲击起爆过程不同,在散心冲击波作用下,被发炸药的冲击起爆过程在一定条件下会出现反应冲击波阵面压力在初始阶段不变或随着向前传播而下降的现象。

另外,由于激光干涉测速仪时间分辨率和速度分辨率高,能够从测量的界面粒子速度曲线清楚地分辨出炸药的化学反应区结构。但是,在实验所测得的界面粒子速度曲线上没有明显看到 JB-9014 反应区终止点,这表明以 TATB 为主的钝感炸药反应区结构与一般高能炸药有所不同,其化学反应的完成需经历一段较长的时间。

### 6 结论

采用双灵敏度 VISAR 研究在压力约 20 GPa 的球面散心冲击波作用下 JB-9014 炸药的冲击引爆过程的实验结果表明,反应冲击波在炸药厚度为 2~3 mm 时发展得很快,在 3~5 mm 时基本发展为具有 Von Neumann 峰的稳定爆轰波。本方法可用于研究炸药在散心冲击波作用下的冲击引爆过程。

感谢彭其先、刘俊、邓向阳、刘乔、马冬丽、虞德水、孙永强、王丽娟等同志对实验工作的大力支持。

## 参考文献:

- [1] Barker L M, Hollenbach R E. Laser interferometer for measure high velocities of any reflecting[J]. *Journal of Applied Physics*, 1972,43(11):4669—4675.
- [2] Hemsing W H. Velocity sensing interferometer (VISAR) modification[J]. *Review of Scientific Instruments*, 1979,50(1):73—78.
- [3] 李泽仁. JSG-1 型激光速度干涉仪的性能及其应用实例[J]. *爆炸与冲击*, 1987,7(3):271—275.  
LI Ze-ren. Performances and applications of model JSG-1 laser velocity interferometer[J]. *Explosion and Shock Waves*, 1987,7(3):271—275.
- [4] Gustavsen R L, Sheffield S A, Alcon R R. Progress in measuring detonation wave profiles in PBX9501[A]. 11th International Detonation Symposium[C]. Snowmass: Office of Naval Research, 1998:821—827.
- [5] Sheffield S A, Engelke R P, Alcon R R, et al. Particle velocity measurements of the reaction zone in nitromethane [R]. LA-UR-02-4331, 2002.
- [6] Erskine D J, Green L, Tarver C M. VISAR wave profile measurements in supra-compressed HE [R]. DE89017736, 1989.
- [7] 李泽仁,姚建铨. VISAR 测速中的信号丢失及丢失条纹数的确定[J]. *爆炸与冲击*, 1999,19(2):182—187.  
LI Ze-ren, YAO Jian-quan. Signal loss and determination of lost fringe number in VISAR application[J]. *Explosion and Shock Waves*, 1999,19(2):182—187.
- [8] Baker L M, Schuler K W. Correction to the velocity-per-fringe relationship for the VISAR interferometer[J]. *Journal of Applied Physics*, 1974,45(8):3692—3693.
- [9] Wise J L, Chhabildas L C. Laser interferometer measurements of refractive index in shock-compressed materials [R]. SAND-85-0310C, 1985.
- [10] Wackerl J. Velocimetry studies on the prompt initiation of PBX-9502[A]. 10th International Detonation Symposium[C]. Boston: Office of Naval Research, 1993:468—475.

## Experimental study on shock initiation process of JB-9014 under loading conditions of divergent spherical shock wave

HUANG Wen-bin<sup>\*</sup>, WEN Shang-gang, TAN Duo-wang, ZHAO Feng  
(*Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics, Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China*)

**Abstract:** By bi-sensitivity VISAR, the shock initiation of JB9014 under divergent spherical shock wave (20 GPa) was experimentally studied. The particle velocity profiles of explosive/window interfaces at different positions were measured. The results show that the run to detonation is within 2~3 mm, and steady detonation is fully developed at 3~5 mm. Preliminary modeling was carried out with hydrocode. The simulation is in accordance with the experimental results.

**Key words:** mechanics of explosion; particle velocity; VISAR; divergent spherical shock wave; JB-9014; shock initiation

---

<sup>\*</sup> Corresponding author: HUANG Wen-bin  
E-mail address: caephwb@163.com  
Telephone: 0816-2484115