

文章编号: 1006-9941(2006)04-0306-04

用光电技术研究高能炸药反应区宽度

王翔, 黄毅民, 卢校军, 鲁斌, 何松伟

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 利用光电技术对 JO-9159 和 JB-9014 炸药反应区宽度进行了研究。采用氯仿作为窗口材料, 通过瞬态光学高温计测得氯仿中冲击波前沿的发光强度, 然后由界面连续性条件及镜像反演规律获得炸药的反应区结构参数。结果表明: JO-9159 炸药有明显的 CJ 点存在, 而 JB-9014 炸药则没有, JO-9159 炸药反应区宽度随着装药密度的降低而减小。

关键词: 应用物理学; 高能炸药; 光电技术; 反应区宽度

中图分类号: O59; TJ55

文献标识码: A

1 引言

由于高能炸药爆轰反应过程时间很短, 因此要求测试方法的分辨率很高才能较准确地获得反应区宽度。目前常用的研究高能炸药反应区宽度的方法主要有: 锰铜压力计法, 电磁粒子速度计法, 激光干涉仪法 (Fabry-Perot 和 VISAR)。除了上述方法以外, 利用光电技术也可以对炸药反应区宽度进行研究。记录被测炸药端面的窗口材料中冲击波前沿的发光强度, 然后由界面连续性条件及镜像反演规律可反推获得炸药的反应区结构参数。

Voskoboinikov^[1] 于 1984 年首次用光电技术研究了一些固体炸药的爆轰反应区结构。当时, 这种技术的时间分辨率约为 30 ns, 对于以 HMX 和 RDX 为基的反应区较窄的炸药, 这样的分辨率是不够的。20 世纪 90 年代俄罗斯技术研究院原子能中心的 S. N. Lubyatinsky^[2,3] 对 Voskoboinikov 的测量方法进行了改进, 时间测量精度提高到 5 ns。他利用氯仿作为窗口材料对 HMX 和 RDX 两种炸药的反应区宽度进行了深入研究, 得出了一些比较有意思的结果, 认为: 装药密度对炸药爆轰反应区宽度有明显的影响, 反应区宽度与 CJ 压力直接相关, 但与炸药感度关系不大。本文采用光电技术对不同装药密度的 JO-9159 和 JB-9014 炸药的反应区宽度进行了研究, 并对结果进行了分析讨论。

2 用光电技术研究反应区宽度的原理

用光电技术研究炸药反应区宽度实际上是基于温

度测量, 获得冲击波在窗口材料 (氯仿) 中的温度曲线后, 计算出炸药与氯仿的界面速度曲线, 进而获得炸药的反应区宽度参数。

Gogulya 研究发现^[4], 当氯仿中冲击波压力超过 10 GPa 时, 其冲击波阵面产生强光辐射, 而波阵面后由于发生了化学反应而变得完全不透明, 因此氯仿中冲击波阵面的光辐射为灰体辐射, 可用高温计测量其温度。他用高温计测量了 CHCl_3 在不同冲击压力下的温度, 得出了 CHCl_3 的温度和压力关系曲线。当氯仿中的粒子速度在 $1.8 \sim 4.8 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 之间时, 其冲击 Hugoniot 数据可以用如下线性关系式进行描述:

$$U_s = 1.774 + 1.367U_p \quad (1)$$

式中, U_s 为氯仿中的冲击波速度, U_p 为氯仿的粒子速度。Lubyatinsky^[3] 根据 Gogulya 的实验数据及氯仿冲击 Hugoniot 数据, 将压力与冲击波温度的关系转换成了粒子速度与冲击波温度的关系, 即:

$$T = aU_p^b \quad (2)$$

式中, $a = 943 \text{ K} \cdot (\text{km/s})^{-1.17}$, $b = 1.17$ 。某时刻炸药和氯仿界面速度 (U_i) 等于某一时刻 (t_i) 的氯仿粒子速度 (U_p), 即 $U_i(t) = U_p(t_i)$ 。然后根据实验和计算结果, 在界面附近得 t 和 t_i 有如下关系:

$$t = 0.52t_i \quad (3)$$

因此, 根据式 (2) 和式 (3) 就可以计算出炸药和 CHCl_3 的界面速度曲线。知道界面速度曲线后, 可根据作图法 (见图 1) 确定炸药的反应区宽度。

按照经典的 ZND 模型可知, CJ 面把爆轰波分成反应区和稀疏波区, 压力在不同的区域遵循不同的衰减定律, 在化学反应区内的压力变化呈指数衰减, 可将其近似为压力变化急剧的线性衰减; 在稀疏波区内的压力变化呈一较平缓的线性衰减。其对应于炸药样品

收稿日期: 2006-03-06; 修回日期: 2006-05-12

作者简介: 王翔 (1974 -), 男, 研究实习生, 主要从事炸药爆轰性能研究。e-mail: wx5711@21.cn.com

与氯仿的界面速度-时间关系曲线中也有类似的变化,即两条直线的交点 A 所对应的时间就是所求反应区宽度(反应过程时间)。

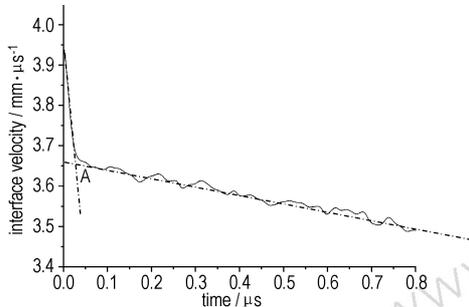


图1 确定反应区宽度方法示意图

Fig.1 Diagram for calculating the width of reaction zone

3 实验研究

3.1 实验装置

实验装置如图2所示。炸药装置用平面波透镜起爆。实验中为了屏蔽炸药爆轰发光,在炸药样品和窗口材料氯仿之间用0.01 mm厚的铜箔隔开。然后用硅油将铜箔紧紧地贴在被测样品的表面,其目的是避免炸药样品与铜箔之间有空气隙存在,而影响测试精度。为了防止氯仿的渗漏,在铝套筒和炸药样品之间用真空油脂密封。光纤一端直接插入装置之中,另一端和高温计的各通道相连。炸药爆轰后,在透明液体氯仿中产生冲击波,在冲击波作用下液体发光,通过光纤和光电倍增管将光信号转变为电信号,记录在示波器上,通过计算得到氯仿中的冲击波温度随时间的变化曲线。

实验中所用到的光纤为石英包层石英光纤,芯径0.1 mm,在可见光与近红外区的光能透过率为97%~99%。实验中,与装置相连的一端用12#针头把光纤固定在一起。

3.2 测试方法

本实验采用四通道瞬态光学高温计测量 CHCl_3 的温度曲线。瞬态光学高温计由光纤、高压电源和高温计主体三部分组成。高温计主体又由光电转换器件、干涉滤光片和校准光源等组成。高温计的技术指标可概括为:响应波长范围为0.4~1.06 μm ,选用的工作波长分别为0.705,0.463,0.516,0.630 μm ;温度测量范围为2300~9000 K;温度测量误差(实验点与拟合线的偏差的均方根相对值)小于5%;测量发射率的范围为0.4~1.0;发射率测量误差小于15%(温度低于3000 K)和小于10%(温度高于3000 K);时间

分辨率小于20 ns。实验测试框图如图3所示。实验前采用黑体炉标定高温计和光纤组件系统。考虑到在爆轰实验中光纤逐渐变短,每次实验前用钨灯进行标定,根据钨灯标定时信号幅度的变化,对标定常数进行修正。瞬态光学高温计测温方法详见文献[5]。

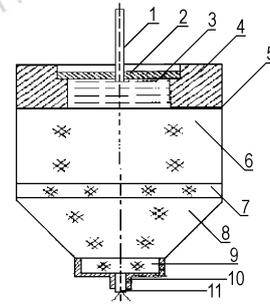


图2 实验装置图

- 1—光纤, 2—铝环, 3— CHCl_3 , 4—铝套筒, 5—铜箔,
6—被测样品, 7—JO-9159 药柱, 8—平面波透镜,
9—传爆药柱, 10—雷管套, 11—高压雷管

Fig.2 Experimental setup

- 1—optical fiber, 2—aluminum loop, 3—chloroform,
4—aluminum sleeve, 5—copper foil, 6—sample, 7—JO-9159,
8—plane-wave lens, 9—booster, 10—detonator cover,
11—high-pressure detonator

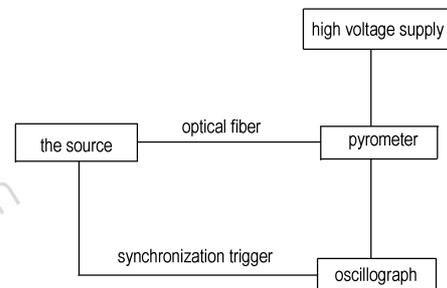


图3 测量氯仿中冲击波温度的实验框图

Fig.3 Block diagram of measuring shock wave temperature in chloroform

3.3 实验结果

用瞬态光学高温计按图2装置测量的JO-9159和JB-9014炸药样品四个波长的典型信号曲线如图4所示。

从图4我们可以清楚地看到,信号曲线非常清楚、干净,信号前沿上升快而且非常一致,并且图4(a)四个通道的信号都有明显的对应ZND模型反应区终点的界限存在(图中竖线与各通道波形图的交点A、B、C、D即为反应区终点)。这说明所用实验装置和测试系统较好地记录了氯仿中冲击波阵面上的光辐射。

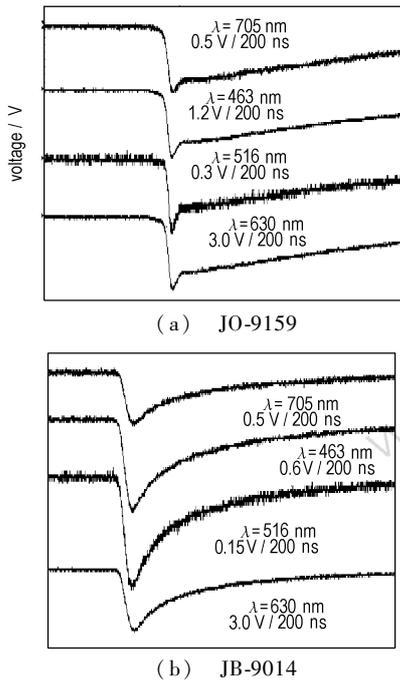


图4 高温计测量的JO-9159和JB-9014炸药样品的典型信号曲线

Fig. 4 Curves for typical signal of JO-9159 and JB-9014 explosives

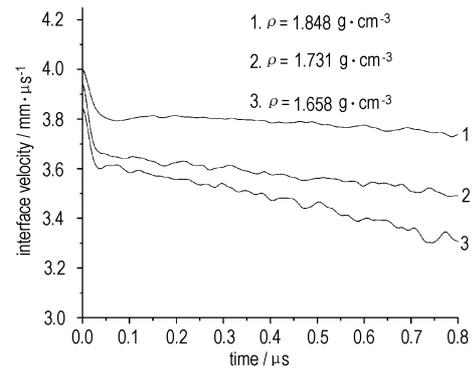
4 数据分析与讨论

按照高温计测试原理,可以分别计算出炸药样品所对应窗口材料的温度曲线。然后根据式(2)和式(3)计算出氯仿与被测样品界面速度随时间的变化曲线(见图5)。

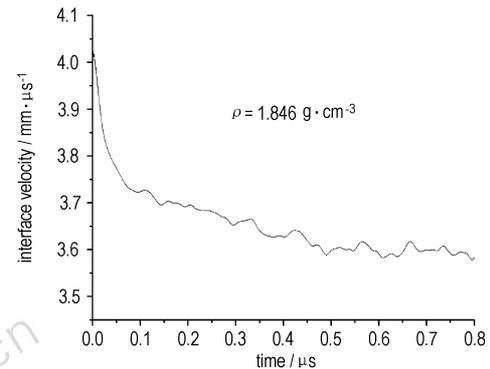
对于JO-9159炸药样品来说,无论是原始的示波器信号曲线(见图4(a)),还是经过数据处理后的界面速度曲线(见图5(a)),都可以清楚地看到曲线中有明显的拐点存在,也就是说有明显的对应ZND模型的反应区终点的界限。从图5(a)还可以看出,装药密度越小其界面速度越小,且不同密度样品中界面速度均有相同的变化趋势。在相应于反应区部分,界面速度急剧线性衰减,而在稀疏波区界面速度变化则很平缓。正因为JO-9159炸药与氯仿的界面速度曲线有这样的性质,因此就能很方便、准确地获得炸药样品的反应区宽度。

但是对于JB-9014炸药,无论是原始的示波器信号曲线(见图4(b)),还是经过数据处理后的界面速度曲线(见图5(b))都看不到明显的对应ZND模型的反应区终点的界限。为了验证实验结果是否反映JB-9014炸药的特征,查阅了其它以TATB为主要成分

的钝感炸药反应区宽度的实验结果。Seitz等人^[6]用激光速度干涉仪测量的PBX9502(TATB/Kel-F800=95/5)和LiF/PMMA的界面速度曲线,赵同虎^[7]用光电技术测量的JB-9014和氯仿的界面速度曲线均看不到明显的反应区终点界限。这说明以TATB为主要成分的钝感炸药没有明显的反应区终点,因此不易确定其化反应区宽度。表1是用作图法所获得的不同密度JO-9159炸药的反应区宽度。



(a) JO-9159



(b) JB-9014

图5 JO-9159和JB-9014炸药所对应的界面速度曲线

Fig. 5 Interface velocity curves of JO-9159 and JB-9014 explosives

表1 JO-9159炸药样品的反应区宽度

Table 1 The width of reaction zone of JO-9159 explosives

sample	density/g · cm ⁻³	reaction zone width/ns
1	1.658	25
2	1.731	29
3	1.848	36

从表1可以看出,当装药密度降低时,JO-9159炸药的反应区宽度减小。这可能是由于密度较小时装药具有较大的孔隙度,在先导冲击波的作用下形成的热点多,反应速率大,因而反应区宽度随着装药密度的降

低而减小。这一趋势与张振宇^[8]用电磁法测试的结果基本一致。

5 结 论

通过以上的实验数据及分析可知,用光电技术研究炸药的反应区宽度是一种可行和较好的方法:它测试简便,属于非接触测量,并且不受炸药与窗口材料界面扰动及电场和磁场等干扰的影响,所获得的信号曲线清晰、一致。

JO-9159 炸药有明显的 CJ 点存在,而 JB-9014 炸药没有明显的对应 ZND 模型的反应区终点。JO-9159 炸药的反应区宽度随着装药密度的降低而减小,实验值与文献值基本一致,说明采用光电技术来研究某些高能炸药的反应区宽度是可行的。

致谢:在此要特别感谢流体物理研究所王荣波助理研究员在实验上给予的帮助,及化工材料研究所禹明书、李宗兵、叶辉等同志在装配和测试上给予的支持。

参考文献:

- [1] Voskoboinikov I M, Gogulya M F. Radiation of the shock front in a liquid near the interface with a detonating charge[J]. *Russian Journal of Chemical Physics*, 1984, 3(7): 345 - 352.
- [2] Lubyatinsky S N, Loboiko B G. Reaction zone measurements in detonating aluminized explosives[A]. Proceedings of the APS Conference on Shock Compression of Condensed Matter[C], 1995. 779 - 782.
- [3] Lubyatinsky S N, Loboiko B G. Detonation reaction zones of solid explosives[A]. Eleventh Symposium (Int.) on Detonation[C], 1998. 836 - 844.
- [4] Gogulya M F, Dolgoborodov A Y. Indicator technique for shock and detonation wave study[J]. *Russian Journal of Chemical Physics*, 1994, 13(12): 118 - 123.
- [5] 王贵朝,余泉有,吕秀生,等. 测量冲击温度的六通道瞬态光学高温计[J]. *高压物理学报*, 1988, 2(3): 277 - 284.
WANG Gui-chao, YU Quan-you, LÜ Xiu-sheng, et al. An instantaneous optical pyrometer with six channels for the shock temperature measurement in materials[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 1988, 2(3): 277 - 284.
- [6] Seitz W L, Stacy H L, Engelke Ray, et al. Detonation reaction-zone structure of PBX-9502[A]. Ninth Symposium (Int.) on Detonation[C], 1989. 675 - 681.
- [7] 赵同虎,张新彦,李斌,等. 用光电法研究钝感炸药 JB-9014 反应区宽度[J]. *高压物理学报*, 2002, 16(2): 111 - 118.
ZHAO Tong-hu, ZHANG Xin-yan, LI Bin, et al. Detonation reaction zones structure of JB-9014[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2002, 16(2): 111 - 118.
- [8] 张振宇,王志兵,卢芳云. JO-9159 炸药初始密度对爆轰波反应区宽度影响的实验研究[J]. *高压物理学报*, 1999, 13(4): 268 - 271.
ZHANG Zhen-yu, WANG Zhi-bing, LU Fang-yun. Experimental study of the effect of initial density on width of detonation reaction zone of JO-9159[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 1999, 13(4): 268 - 271.

Reaction Zone Width of High Explosive by Photoelectric Technique

WANG Xiang, HUANG Yi-min, LU Xiao-jun, LU Bin, HE Song-wei

(Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China)

Abstract: The photoelectric technique for studying detonation reaction zone of high energy explosive was presented and used to investigate the reaction zone widths of JO-9159 and JB-9014 explosives. The radiation intensity history of the shock front in chloroform was recorded by using chloroform as the window materials with an instantaneous optical pyrometer. Then the reaction width was obtained by the condition of interface continuity and the phenomena of mirror deduction. The results show that there is a obvious CJ point in the reaction zone of JO-9159 explosive, but not the case for JB-9014 explosive, furthermore, the reaction zone width of JO-9159 explosive decreases with the decreasing of explosive density.

Key words: applied physics; high energy explosive; photoelectric technique; reaction zone width