

文章编号:1006-9941(2021)05-0389-05

## RDX基金属化炸药的爆轰反应区参数测量

郭伟,曹威,谭凯元,段英良,宋清官,韩勇

(中国工程物理研究院化工材料研究所,四川绵阳621999)

**摘要:** 为了研究RDX基金属化炸药组分对爆轰过程的影响,采用光子多普勒测速技术(PDV)测试界面粒子速度法对两种RDX基金属化炸药的爆轰反应区参数进行了实验研究。利用造粒法制备了含铝(RDX/AP/Al)与含储氢合金(RDX/AP/Al/B/MgH<sub>2</sub>)两种金属化炸药,利用爆轰波加载起爆被测金属化炸药,并与钝化RDX炸药的爆轰反应区参数进行对比分析。结果表明AP/Al组分的加入使RDX的CJ爆轰压力从25.8 GPa降低到20.1 GPa,此外金属化炸药的爆轰反应区时间(53.6 ns)和长度(0.29 mm)均高于钝化RDX的爆轰反应区时间(24.3 ns)和长度(0.15 mm)。B/MgH<sub>2</sub>的加入进一步升高了炸药的爆轰反应区时间(58.0 ns)和长度(0.30 mm)。高能金属燃料组分的加入降低了炸药的输出压力,提高了炸药的爆轰反应区时间和反应区长度。

**关键词:** 爆轰反应区参数;环三亚甲基三硝胺(RDX);金属化炸药;光子多普勒测速;储氢合金

中图分类号:TJ55;O64

文献标志码:A

DOI:10.11943/CJEM2021002

### 1 引言

高热值的铝(Al)金属添加剂被用来提高炸药的做功能力已经有一百多年的历史<sup>[1]</sup>。Al在氧化过程中生成氧化铝(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)释放很高的热量(85 GJ·m<sup>-3</sup>),而硼(B)氧化时具有更高的体积热(140 GJ·m<sup>-3</sup>);但B的点火和燃烧比较困难,因此限制了其在炸药中的应用<sup>[2]</sup>。与Al一样,B表面形成的氧化层会阻止反应的持续进行。与Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的熔点2327 K(沸点3250 K)相比,B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>的熔点仅为723 K(沸点2338 K)。根据Glassman准则<sup>[3]</sup>,与Al的气相燃烧不同的是,B的燃烧是多相燃烧,而且B的熔点很高,接近2450 K(沸点3931 K),固态或液态B燃烧时表面会形成液态的B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜。有研究表明B与MgH<sub>2</sub>加入到含铝炸药中能够提高炸药的输出能力,此外MgH<sub>2</sub>的反应产物H<sub>2</sub>O能够提高B和Al的点火和燃烧性能<sup>[4-6]</sup>。已有研究表明,添加了Al/B混

合粉的炸药爆炸能量输出高于只含有铝粉的炸药<sup>[7-8]</sup>,添加了Al/B/MgH<sub>2</sub>合金粉的炸药的爆炸能量输出和激光点火性能也优于只含有铝粉的炸药<sup>[9-11]</sup>。但是相关研究并没有对这些新型金属化炸药的爆轰反应区结构进行研究。

ZND(Zel'dovich-Neumann-Döring)爆轰模型假设了爆轰波中两种重要的状态,分别为表示初始化学反应开始的VN(von Neumann)峰和表示爆轰反应结束的CJ(Chapman-Jouguet)点<sup>[12]</sup>。VN峰的压力( $p_{VN}$ )、CJ点的爆轰压力( $p_{CJ}$ )、爆轰反应区时间( $t_{CJ}$ )和宽度( $X_{CJ}$ )是描述爆轰过程的重要参数,对研究炸药的冲击起爆过程,确定化学反应速率函数具有重要意义。很多新炸药的爆轰反应区参数主要通过计算和模拟获得,并未进行实验测量,因此迫切需要开展新型炸药的爆轰反应区参数测试。凝聚态炸药的爆轰压力一般在10~40 GPa范围内,对其爆轰压力的直接测量十分困难。鲜有材料能够不受爆轰的高温高压环境影响而直接测出爆轰压力,因此爆轰压力需要通过其他实验手段获得,而且测量的同时尽量不对爆轰波产生影响。近年来,利用惰性材料接触炸药测试爆轰波的特性参数得到广泛的应用<sup>[12]</sup>。

许多研究报道了理想和非理想炸药的爆轰反应区的测试,方法包括纳秒时间分辨率的埋入式压力测量、

收稿日期:2020-12-31;修回日期:2021-02-19

网络出版日期:2021-03-22

基金项目:国家自然科学基金资助(11602238)

作者简介:郭伟(1992-),男,助理研究员,主要从事含能材料的冲击起爆相关研究。e-mail:guoweizmf@caep.cn

通信联系人:曹威(1988-),男,副研究员,主要从事爆炸力学相关研究。e-mail:weicao@caep.cn

引用本文:郭伟,曹威,谭凯元,等.RDX基金属化炸药的爆轰反应区参数测量[J].含能材料,2021,29(5):389-393.

GUO Wei, CAO Wei, TAN Kai-yuan, et al. Measuring Detonation Reaction Zone Parameters of RDX-based Metallized Explosives[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2021, 29(5):389-393.

埋入式粒子速度测量和激光干涉法等<sup>[13]</sup>。由于激光干涉法的物理机制和数据分析方法最为明晰,其时间分辨率能够达到 ns 量级,通过记录界面粒子速度曲线能够有效获取炸药爆轰反应 CJ 点、反应时间和反应区宽度<sup>[14]</sup>。激光干涉法就是利用惰性材料接触炸药测试爆轰波特性参数的方法。刘丹阳等<sup>[15]</sup>使用激光干涉法测试了 CL-20 基含铝炸药的爆轰反应区参数,并分析了铝粉粒径和含量对爆轰反应区的影响。裴红波和覃锦程等<sup>[14,16-17]</sup>利用激光干涉法测试了 TATB 基、HMX 基、RDX 基和 PETN 基高聚物粘结炸药的爆轰反应区参数,并对激光干涉法测试技术的准确性进行了分析,得到光子多普勒测速系统的误差在 3% 以内。杨洋等<sup>[18-19]</sup>利用激光速度干涉技术测试了 DNAN 基金属化熔铸炸药的爆轰反应区参数,并利用铜飞片速度计算了爆轰产物的 JWL 状态方程参数。

本研究利用光子多普勒测速 (photon Doppler velocimeter, PDV) 技术对 RDX 基金属化炸药 (分别添加了高氯酸铵 AP/Al 和 AP/Al/B/MgH<sub>2</sub>) 的爆轰反应区参数进行研究,获得新型金属化炸药的爆轰反应区参数。通过爆轰反应区参数测量,可评估新型添加剂对金属化炸药爆轰性能的影响规律,理解高能金属燃料对炸药爆轰反应区的影响,相关研究结果可为金属化炸药的配方设计提供依据。

## 2 实验部分

### 2.1 样品制备

本研究利用造粒法制备了 RDX/AP/Al/binder=36/20/35/9 和 RDX/AP/储氢合金/binder=36/20/35/9 两种 RDX 基金属化炸药 (分别称为 AH 和 BH),其中储氢合金为 Al/B/MgH<sub>2</sub>=70/15/15, RDX 的中粒径  $D_{50}=30\ \mu\text{m}$ , AP 的  $D_{50}=40\ \mu\text{m}$ ,球形 Al 粉的  $D_{50}=2\ \mu\text{m}$ ,颗粒状储氢合金粉的  $D_{50}=3\ \mu\text{m}$ 。此外,还使用了钝化 RDX 炸药 (RDXph, RDX/binder=95/5) 作为对比。AH、BH 和 RDXph 三种炸药的压制密度分别为  $1.85(\pm 0.005)$ 、 $1.77(\pm 0.005)$  和  $1.66(\pm 0.005)\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

### 2.2 测试方法

利用界面粒子速度 ( $u_p$ ) 研究炸药的爆轰反应区结构,PDV 测速系统用于测试炸药与 LiF 窗口的界面粒子速度,进而评估炸药的爆轰反应区参数。使用  $\Phi 50\ \text{mm}\times 50\ \text{mm}$  的 RDXph 炸药起爆  $\Phi 50\ \text{mm}\times 45\ \text{mm}$  的金属化炸药样品,利用  $\Phi 20\ \text{mm}\times 10\ \text{mm}$  LiF (Lithium-Fluoride) 窗口测试炸药样品中心输出端面的界面

粒子速度。为了给界面粒子速度测试提供一个反射面,在 LiF 窗口靠近炸药的端面镀有  $0.6\ \mu\text{m}$  厚的 Al 膜,装配时在炸药窗口界面涂抹少量硅油以排除界面空气间隙。实验测试示意图如图 1 所示,测试系统包括起爆装置、雷管、传爆药 RDXph、待测装药样品、PDV 系统、示波器等。雷管起爆钝化 RDX 产生爆轰波起爆待测装药样品,利用 PDV 系统测量待测装药样品的爆轰反应产物界面粒子速度。其中,PDV 系统的激光波长为  $1550\ \text{nm}$ ,使用的光纤探头的直径为  $3.2\ \text{mm}$ ,配套示波器最高采样率为  $40\ \text{GS}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

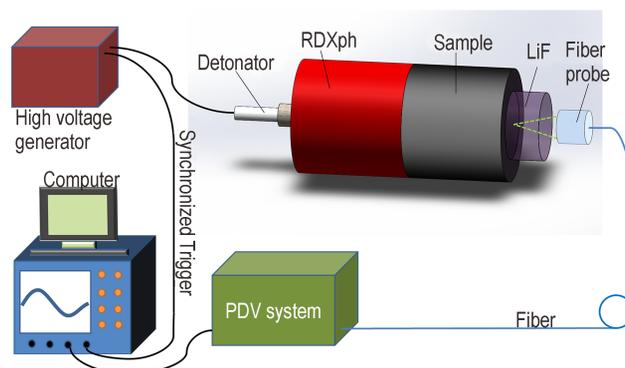


图 1 界面粒子速度测试示意图

Fig.1 Schematic of the interface particle velocity measurement

## 3 结果与讨论

### 3.1 界面粒子速度测试

按文献[20]给出的 LiF 折射率修正指数获得三种炸药的界面粒子真实速度曲线如图 2 所示。由于受到炸药中初始冲击波的影响, VN 峰后炸药的粒子速度曲线的第一部分出现一个下降较快的陡坡,然后界面粒子速度第二部分出现一个下降变缓的自相似非定态 Taylor 波,此时炸药爆轰产物开始膨胀。

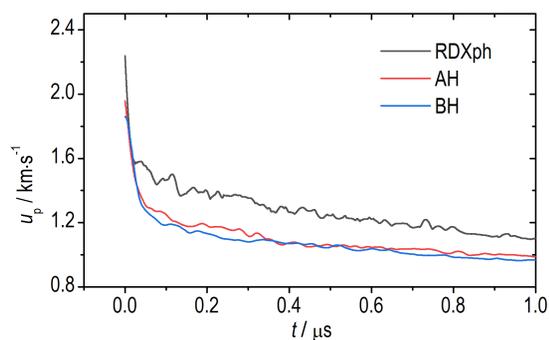


图 2 炸药与 LiF 窗口的界面粒子速度曲线

Fig.2 Interface particle velocity histories between explosives and LiF windows

### 3.2 数据处理和爆轰反应区参数计算

通常有两种方法进行CJ点的判读<sup>[12,21]</sup>。第一种方法是线性回归线拟合,CJ点由界面粒子速度曲线的两个部分的线性回归线的交叉点决定;使用这种方法的前提是能够较为清晰的识别出界面粒子曲线的拐点位置,一般适用于理想炸药,因此RDXph炸药的CJ点由此方法判读。第二种方法是对界面粒子速度-时间曲线进行时间的微分化处理,然后利用 $du_p/dt$ 与 $t$ 的关系在线性坐标系下可以表示为两条直线;其中第二条直线的斜率接近于零,通过读取两条直线的交叉点对应的时间即为CJ点,此方法适用于爆轰化学反应区与Taylor波稀疏区的区分较为困难的时候,一般适用于非理想炸药,因此AH和BH的CJ点由此方法判读。

本研究利用方法一确定了RDXph的CJ点,如图3所示。利用方法二确定了AH和BH两种炸药的CJ点,如图4所示。LiF是一种较主装药具有更高冲击阻抗的惰性材料,因此会有一个强的冲击波反射回反应炸药中。通过阻抗分析炸药-LiF窗口测试区的界面粒子速度,利用LiF窗口冲击绝热线建立冲击波速度 $U_s$ 与粒子速度 $u_p$ 之间的关系<sup>[22]</sup>:

$$U_s = 5.201 + 1.323u_p \quad (1)$$

利用阻抗匹配<sup>[23]</sup>公式计算爆轰波的压力:

$$p_i = u_p(\rho_{LiF}U_s + \rho_0 D)/2 \quad (2)$$

式中, $p_i$ 是爆轰压力, GPa; $\rho_{LiF}$ 为LiF的初始密度,为 $2.64 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ;  $D$ 为炸药的爆速<sup>[10]</sup>,  $\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ;  $\rho_0$ 是炸药的初始密度,  $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。联立公式(1)和公式(2),其中 $u_p$ 取 $u_{CJ}$ ,爆轰压力 $p_i$ 即为 $p_{CJ}$ ,计算得到AH和BH的CJ压力为20.1 GPa和18.8 GPa。测量的不确定度约为3%,这与CJ点的精确定位、界面粒子速度的修正以及LiF的冲击绝热线关系有关。

为了获得爆轰反应区宽度( $X_{CJ}$ ),利用如下公式计算获得炸药的 $X_{CJ}$ :

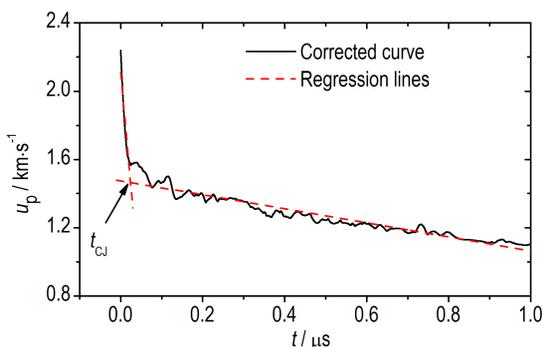
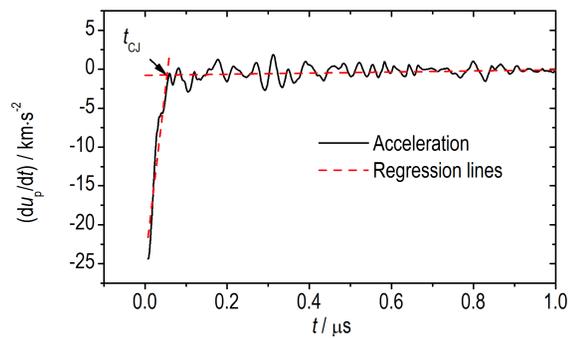
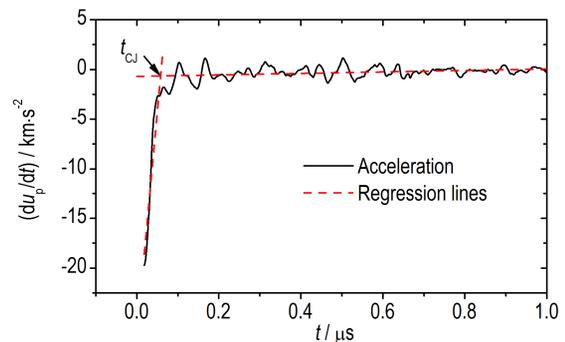


图3 RDXph炸药的界面粒子速度曲线

Fig.3 Interface particle velocity histories of RDXph



a. AH



b. BH

图4 AH和BH炸药的界面粒子速度微分曲线

Fig.4 Derivative of the interface particle velocity histories of AH and BH

$$X_{CJ} = \int_0^{t_{CJ}} (D - u_p) dt \quad (3)$$

因此,利用压力-粒子速度阻抗匹配关系获得炸药的爆轰反应区VN峰压力 $p_{VN}$ 、CJ压力 $p_{CJ}$ 、化学反应区时间 $t_{CJ}$ 和宽度 $X_{CJ}$ 。

表1给出了通过界面粒子速度测试获得的三种炸药的爆轰反应区参数。从测试结果中可以看出,RDXph具有最高的 $P_{VN}$ 和 $P_{CJ}$ ,其参数分别为39.5 GPa和25.8 GPa,AH的 $P_{VN}$ 和 $P_{CJ}$ 分别为32.5 GPa和20.1 GPa,BH的 $P_{VN}$ 和 $P_{CJ}$ 分别为29.9 GPa和18.8 GPa。相反,RDXph的爆轰化学反应区时间和宽度均小于AH和BH炸药,其中RDXph的 $t_{CJ}$ 为24.3 ns, $X_{CJ}$ 为0.15 mm;而AH和BH的 $t_{CJ}$ 分别为53.6 ns和58.0 ns, $X_{CJ}$ 分为

表1 界面粒子速度测试获得的爆轰反应区参数

Table 1 Detonation reaction zone parameters obtained from interface particle velocity histories

Parameter	$p_{VN}$ / GPa	$p_{CJ}$ / GPa	$p_{VN}/p_{CJ}$	$t_{CJ}$ / ns	$X_{CJ}$ / mm
RDXph	39.5	25.8	1.53	24.3	0.15
AH	32.5	20.1	1.62	53.6	0.29
BH	29.9	18.8	1.59	58.0	0.30

0.29 mm 和 0.30 mm。两种金属化炸药的爆轰反应区参数差距较小,但是与钝化 RDX 仍然有较大的差异。对于 RDX 基的金属化炸药来说,其爆轰反应区压力  $P_{VN}$  和  $P_{CJ}$  较 RDXph 更小,其爆轰反应区时间和宽度较 RDXph 更长。

### 3.3 爆轰反应区参数结果分析

Al 组分的加入将会降低炸药的总产气量,但金属 Al 在爆轰反应区后的爆轰产物中氧化时会释放大量的热从而提高产物气体的温度,气体温度的提高有助于抵消气体体积的减小所带来的能量损失,从而提高炸药对外做功的威力。从实验结果来看,添加了 AP/Al 的 RDX 炸药爆轰波压力有所降低,这是由于金属 Al 在发生高能放热反应前首先要吸收热量将表面的高熔点氧化铝层(熔点 2327 K)融化破坏,然后 Al 金属才能参与反应释放热量;金属 Al 组分在爆轰反应区极短的时间内几乎不发生反应,相当于炸药配方中的惰性组分含量增加,支持爆轰波的组分含量下降。因此,金属 Al 的加入降低了炸药的爆轰压力,导致爆轰反应区中反应速率降低,使反应时间增加,反应区宽度变大。此外含铝炸药中 AP 组分的爆压较 RDX 组分的低,也会使得金属化炸药的爆轰压力降低。由于这些因素的共同影响,使得添加了 AP/Al 的 RDX 金属化炸药的爆轰化学反应区时间和反应区宽度提高了近一倍,而爆轰压力也有所降低。而添加了 B 和  $MgH_2$  之后,形成的含 AP/Al/B/ $MgH_2$  的 RDX 金属化炸药的输出压力进一步降低,在爆轰反应区内储氢材料  $MgH_2$  和 Al/B 金属燃料并没有对爆轰能量释放起到增强效应。这是由于 Al、B 表面氧化物分解及  $MgH_2$  ( $\Delta_f H_{solid}^\circ = -76.15 \text{ kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ) 的分解产氢反应是吸热反应,  $MgH_2$  吸收了炸药组分的反应放热后释放氢。氢可与 Al、B 表面氧化物反应促进其氧化层的脱落;但这样的过程在爆轰反应区极短的时间内无法完成,无法对炸药的爆轰波进行支持。因此,高能燃料组分的加入降低了炸药的爆轰压力,但在爆轰产物中的反应能够有效提高炸药的爆炸输出威力<sup>[11]</sup>。

通过爆轰反应区测试结果可以看出,本研究使用的两种新配方降低了 RDX 的爆轰压力和反应速率,增长了爆轰反应时间,使得反应区的宽度变大。炸药的爆轰反应是一种十分迅速的化学释能过程,在提升炸药输出能力时不能仅仅着眼于提升炸药的某一项爆轰性能参数。合理的添加高能金属材料能够提高炸药总的能量输出、体积威力和爆温。对于金属化炸药,爆轰反应区后爆轰产物中的后燃烧反应也是重要的能量输

出组成部分,在对外做功、增加爆炸威力方面至关重要;因此要针对各个组分的释能机理、作用过程进一步深入的探讨和分析,才能更为合理地有针对性地进行配方设计,从而对金属化炸药各组分材料的能量释放进行有效利用,实现更高输出威力的新型炸药配方设计。

## 4 结论

(1) 针对两种 RDX 基的金属化炸药 AH(RDX/AP/Al/binder=36/20/35/9) 和 BH(RDX/AP/合金/binder=36/20/35/9, 合金为 Al/B/ $MgH_2$ =70/15/15) 和钝化 RDX(RDXph), 利用光子多普勒测速技术获得了炸药的界面粒子速度曲线,通过不同的 CJ 点判读方法获得了两种金属化炸药的爆轰反应区参数。

(2) RDX 基的金属化炸药 AH 和 BH 的爆轰反应区压力参数  $P_{VN}$ 、 $P_{CJ}$  均低于 RDXph, 而 AH 和 BH 的爆轰化学反应区时间和宽度均高于 RDXph, 化学反应区时间和宽度约为 RDXph 的两倍。高能金属组分的加入降低了炸药的爆轰压力,导致爆轰反应区中反应速率降低,使得炸药的反应时间增加,反应区宽度变大。

(3) 添加了 Al/B/ $MgH_2$  (70/15/15) 高能材料的 RDX 基金属化炸药 BH 的爆轰反应区压力参数  $P_{VN}$ 、 $P_{CJ}$  较 AH 更低,而爆轰反应区时间和宽度较 AH 更高, Al/B/ $MgH_2$  的加入进一步降低了炸药的爆轰压力。储氢组分  $MgH_2$  在爆轰反应区极短的时间内相当于惰性物质,与高能 Al 和 B 组分一样对爆轰波无支持作用。

致谢:感谢南京理工大学徐森副教授提供的实验样品。

### 参考文献:

- [1] Vadhe P P, Pawar R B, Sinha R K, et al. Cast aluminized explosives [J]. *Combustion, Explosion, and Shock waves*, 2008, 44(4): 461-477.
- [2] Ulas A, Kuo K K, Gotzmer C. Ignition and combustion of boron particles in fluorine-containing environments [J]. *Combustion and Flame*, 2001, 127(1-2): 1935-1957.
- [3] Glassman I, Yetter R A, Glumac N G. *Combustion*, 5th edition [M]. Cambridge: Academic Press, 2014.
- [4] Blackburn P E, Gulbransen E A. Aluminum reactions with water vapor, dry oxygen, moist oxygen, and moist hydrogen between 500 and 625 °C [J]. *Journal of The Electrochemical Society*, 1960, 107(12): 944.
- [5] Krier H, Burton R L, Pirman S R, et al. Shock initiation of crystalline boron in oxygen and fluorine compounds [J]. *Journal of Propulsion and Power*, 1996, 12(4): 672-679.
- [6] Yoshida T, Yuasa S. Effect of water vapor on ignition and combustion of boron lumps in an oxygen stream [J]. *Proceedings*

- of the Combustion Institute, 2000, 28(2): 2735–2741.
- [7] Xu S, Chen Y, Chen X, et al. Combustion heat of the Al/B powder and its application in metallized explosives in underwater explosions [J]. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, 2016, 52(3): 342–349.
- [8] Li X, Cao W, Song Q, et al. Study on energy output characteristics of explosives containing B/Al in the air blast [J]. *Combustion, explosion, and shock waves*, 2019, 55(6): 723–731.
- [9] Chen Y, Chen X, Wu D, et al. Underwater explosion analysis of hexogen-enriched novel hydrogen storage alloy [J]. *Journal of Energetic Materials*, 2016, 34(1): 49–61.
- [10] Cao W, Song Q, Gao D, et al. Detonation characteristics of an aluminized explosive added with boron and magnesium hydride [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2019, 44(11): 1393–1399.
- [11] Cao W, Guo W, Ding T, et al. Laser ablation of aluminized RDX with added ammonium perchlorate or ammonium perchlorate boron magnesium hydride [J]. *Combustion and Flame*, 2020, 221: 194–200.
- [12] Pachman J, Künzel M, Němec O, et al. A comparison of methods for detonation pressure measurement [J]. *Shock Waves*, 2018, 28(2): 217–225.
- [13] Tarver C M. Detonation reaction zones in condensed explosives [C]//AIP Conference Proceedings, AIP, 2006, 845(1): 1026–1029.
- [14] 覃锦程, 裴红波, 黄文斌, 等. 基于PDV的JOB-9003炸药爆轰反应区测量 [J]. *爆炸与冲击*, 2019, 39(4): 041404. QIN Jin-cheng, PEI Hong-bo, HUANG Wen-bin, et al. Measuring the detonation reaction zone structure of JOB-9003 explosive using PDV [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2019, 39(4): 041404.
- [15] Liu D, Chen L, Wang C, et al. Detonation reaction characteristics for CL-20 and CL-20-based aluminized mixed explosives [J]. *Central European Journal of Energetic Materials*, 2017, 14(3): 573–588.
- [16] 裴红波, 黄文斌, 覃锦程, 等. 基于多普勒测速技术的JB-9014炸药反应区结构研究 [J]. *爆炸与冲击*, 2018, 38(3): 485–490. PEI Hong-bo, HUANG Wen-bin, QIN Jin-cheng, et al. Reaction zone structure of JB-9014 explosive measured by PDV [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2018, 38(3): 485–490.
- [17] Pei H, Huang W, Zhang X, et al. Measuring detonation wave profiles in plastic-bonded explosives using PDV [J]. *AIP Advances*, 2019, 9(1): 015306.
- [18] 杨洋, 段卓平, 张连生, 等. 两种DNAN基含铝炸药的爆轰性能 [J]. *含能材料*, 2019, 27(8): 679–684. YANG Yang, DUAN Zhuo-ping, ZHANG Lian-sheng, et al. Detonation performance of two DNAN based aluminized explosives [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2019, 27(8): 679–684.
- [19] Yang Y, Duan Z P, Zhang L S, et al. Measurements of reaction zone and determination of the equation of state parameters of DNAN-based melt-cast aluminized explosive [J]. *Journal of Energetic Materials*, 2020, 38(2): 240–251.
- [20] Rigg P A, Knudson M D, Scharff R J, et al. Determining the refractive index of shocked [100] lithium fluoride to the limit of transmissibility [J]. *Journal of Applied Physics*, 2014, 116(3): 033515.
- [21] Loboiko B G, Lubyatinsky S N. Reaction zones of detonating solid explosives [J]. *Combustion, Explosion and Shock Waves*, 2000, 36(6): 716–733.
- [22] Liu Q, Zhou X, Zeng X, et al. Sound velocity, equation of state, temperature and melting of LiF single crystals under shock compression [J]. *Journal of Applied Physics*, 2015, 117(4): 045901.
- [23] Rigdon J K, Akst I B. An analysis of the aquarium technique as a precision detonation pressure measurement gage [C]// Proceedings of the Fifth Symposium (International) on Detonation, Pasadena, CA, 1970: 59–66.

## Measuring Detonation Reaction Zone Parameters of RDX-based Metallized Explosives

GUO Wei, CAO Wei, TAN Kai-yuan, DUAN Ying-liang, SONG Qing-guan, HAN Yong

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621999, China)

**Abstract:** To study the influence of RDX-based metallized explosive components on detonation process, the detonation reaction zone parameters of RDX-based metallized explosives were studied by the interface particle velocity history using photonic Doppler velocimetry (PDV). Two kinds of RDX-based metallized explosives were granulated, one composition incorporates aluminum (RDX/AP/Al), and the other incorporates hydrogen storage alloy (RDX/AP/Al/B/MgH<sub>2</sub>). The metallized explosives were initiated by detonation wave, and the detonation reaction zone parameters were analyzed and compared with those of phlegmatized RDX. The results show that the addition of AP/Al component reduced the CJ detonation pressure of phlegmatized RDX from 25.8 GPa to 20.1 GPa. In addition, the detonation reaction zone time (53.6 ns) and length (0.29 mm) of metallized explosives were both higher than those of phlegmatized RDX (24.3 ns, 0.15 mm). The addition of B/MgH<sub>2</sub> further increased the detonation reaction time (58.0 ns) and length (0.30 mm) of the explosive. The addition of high-energy metal fuel reduced the output pressure of explosives, but increased the detonation reaction zone time and length of explosives.

**Key words:** detonation reaction zone parameter; cyclotrimethylene-trinitramine (RDX); metallized explosive; photonic Doppler velocimetry; hydrogen storage alloy

**CLC number:** TJ55; O64

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/CJEM2021002

(责编:高毅)