

# 高压物理学报

冲击起爆过程中TATB基钝感炸药受脉宽效应的影响

孙银澳 杨舒棋 彭文杨 张旭 李淑睿 裴红波 傅华 于鑫 谷岩

The Influence of Pulse Width on the Shock Initiation Process of TATB-Based Insensitive Explosives

SUN Yin'ao, YANG Shuqi, PENG Wenyang, ZHANG Xu, LI Shurui, PEI Hongbo, FU Hua, YU Xin, GU Yan

引用本文:

孙银澳, 杨舒棋, 彭文杨, 等. 冲击起爆过程中TATB基钝感炸药受脉宽效应的影响[J]. 高压物理学报, 2025, 39(7):071301.

DOI: 10.11858/gwlb.20240932

SUN Yin'ao, YANG Shuqi, PENG Wenyang, et al. The Influence of Pulse Width on the Shock Initiation Process of TATB-Based Insensitive Explosives[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2025, 39(7):071301. DOI: 10.11858/gwlb.20240932

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11858/gwlb.20240932>

---

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

[金属隔层和空气间隙对钝感炸药冲击起爆的影响](#)

Effects of Metal Interlayer and Air Gap on the Shock Initiation of Insensitive Explosives

高压物理学报. 2020, 34(3): 033402 <https://doi.org/10.11858/gwlb.20190816>

[利用电磁法研究HMX与TATB混合钝感炸药的冲击起爆特性](#)

Impact Initiation Characteristics of TATB Based Insensitive Explosives Mixed with HMX by Electromagnetic Velocity Gauges

高压物理学报. 2020, 34(3): 033403 <https://doi.org/10.11858/gwlb.20190852>

[爆轰加载下TATB基钝感炸药的冲击-卸载-再冲击实验装置设计与模拟](#)

Design and Simulation of Shock–Release–Reshock Experimental Device for TATB–Based Insensitive Explosives under Detonation Loading

高压物理学报. 2024, 38(4): 044102 <https://doi.org/10.11858/gwlb.20230826>

[钝感炸药冲击起爆反应过程的PDV技术](#)

PDV Technology of Shock Initiation Reaction Process of Insensitive Explosive

高压物理学报. 2020, 34(2): 023402 <https://doi.org/10.11858/gwlb.20190856>

[高温高压下高能钝感炸药TATB物性及相关实验技术研究进展](#)

Advances of High–Temperature and High–Pressure Physical Properties and Experimental Technology on High–Energy Insensitive Explosive TATB

高压物理学报. 2022, 36(3): 030101 <https://doi.org/10.11858/gwlb.20220520>

[ZnS:Cu力致荧光薄膜在冲击压力作用下的光学响应规律及应用](#)

Optical Response and Application of Mechanoluminescent Film of ZnS:Cu under Impact Pressure

高压物理学报. 2022, 36(2): 021301 <https://doi.org/10.11858/gwlb.20210899>

# 冲击起爆过程中 TATB 基钝感炸药受脉宽效应的影响

孙银澳<sup>1</sup>, 杨舒棋<sup>1</sup>, 彭文杨<sup>1</sup>, 张 旭<sup>1</sup>, 李淑睿<sup>1</sup>, 裴红波<sup>1</sup>,  
傅 华<sup>1</sup>, 于 鑫<sup>2</sup>, 谷 岩<sup>1</sup>

(1. 中国工程物理研究院流体物理研究所, 四川 绵阳 621999;  
2. 北京应用物理与计算数学研究所, 北京 100094)

**摘要:** 冲击波脉宽是冲击起爆过程中影响炸药冲击转爆轰的重要因素之一。为此, 利用火炮平台, 对 1,3,5-三氨基-2,4,6-三硝基苯 (1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzene, TATB) -2 钝感炸药进行了冲击起爆实验。通过改变冲击飞片厚度控制冲击波脉宽, 采用电磁粒子速度计和示踪计记录冲击波速度、炸药的波后粒子速度等实验数据。通过数据分析, 得到了 TATB-2 炸药的冲击波脉宽与爆轰距离等参数之间的关系。结果表明, 脉宽效应对 TATB-2 炸药的冲击起爆过程有显著影响。研究结果可为理解钝感炸药的冲击起爆特性提供参考。

**关键词:** 脉宽效应; 1,3,5-三氨基-2,4,6-三硝基苯基炸药; 冲击起爆; 波后粒子速度; 冲击波速度

**中图分类号:** O521.2; O383

**文献标志码:** A

近几十年来, 国内外研制出的炸药种类众多, 其中 1,3,5-三氨基-2,4,6-三硝基苯 (1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzene, TATB) 炸药因其安全性高、可靠性优异等特性, 成为高能钝感炸药的代表之一。TATB 炸药的起爆性能是国内外学者的重点研究方向。冲击波作为一种常见的激励手段, 根据其脉冲宽度不同, 划分为长脉冲、短脉冲以及持续脉冲。炸药在不同脉宽的冲击波激励下会表现出不同的响应特性, 这对弹药的安全性和可靠性评估具有重要意义。

国内外学者对炸药的脉宽效应进行了研究。Burns 等<sup>[1]</sup> 在探究持续脉冲与短脉冲差异的实验中提到, 在误差范围内, 根据同种炸药的入射压力与爆轰距离关系建立的 Pop 图中, 短脉冲、长脉冲以及持续脉冲的拟合曲线接近重合, 认为不同脉宽对到爆轰距离无明显影响。Wang 等<sup>[2]</sup> 对比了凝聚态炸药的冲击起爆实验数据与高分辨率数值模拟结果, 发现当入射压力与脉宽在合适范围内时, 随着脉宽或入射压力的增加, 炸药的到爆轰距离减短。莫建军等<sup>[3]</sup> 在研究结果中提到, 受飞片面积、脉宽以及冲击起爆压力的影响, 飞片撞击面积相同时, 脉宽越短, TATB/黏结剂混合炸药冲击起爆所需的初始入射压力越高。王桂吉等<sup>[4]</sup> 探究了 TATB/HMX 混合基底高聚物黏结炸药的冲击起爆特性, 并总结了该混合炸药受到短脉冲冲击时的起爆特性: 随着压力脉宽的增加, 脉宽效应对冲击起爆过程的影响逐渐减弱, 且这种影响逐渐呈现与长脉冲相近的效果; 而当飞片厚度相同、面积不同时, 随着飞片面积的减小, 所需的冲击起爆压力逐渐增大。在冲击起爆过程中, 冲击飞片的面积变化主要对侧面稀疏作用产生影响, 压力脉宽的变化主要对背面稀疏作用产生影响。

上述研究主要集中于 TATB 基炸药脉宽对冲击起爆的影响, 但这些工作中出现了一些相互矛盾的观点, 需要进一步明确。本研究将运用基于铝基组合式电磁粒子速度计 (electromagnetic particle

\* 收稿日期: 2024-11-05; 修回日期: 2024-12-25

基金项目: 国家自然科学基金(12372343)

作者简介: 孙银澳(1999—), 男, 硕士研究生, 主要从事冲击起爆研究. E-mail: 912200523@qq.com

通信作者: 张 旭(1972—), 男, 博士, 研究员, 主要从事流体动力学研究. E-mail: caepzx@sohu.com

velocimeter, EMV), 精准测量楔形炸药样品遭受撞击时其表面及内部不同深度受冲击波影响下的波后粒子速度。通过示踪计测量, 获得前沿冲击波的位置随时间的变化情况, 并通过一系列冲击实验掌握反应波后粒子速度的历史变化以及到爆轰距离的演变数据。基于实验结果, 总结脉宽效应对TATB-2炸药冲击起爆过程的影响规律。

## 1 实验原理与方法

本研究通过火炮加载系统驱动高阻抗蓝宝石飞片高速撞击TATB-2炸药, 通过调整飞片速度控制炸药样品的初始入射压力。装置布置情况如图1所示。弹托材质为聚氯三氟乙烯(polychlorotrifluoroethylene, PCTFE), 采用多普勒测速仪(photon Doppler velocimetry, PDV)对飞片冲击速度进行精确测量。如图2所示, TATB-2炸药样品由2块夹角为30°、组合后尺寸为 $\varnothing 42\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 的楔形块组成。通过环氧树脂将8个间距1 mm的内嵌式粒子速度计贴合在2块炸药之间, 测量炸药内部不同深度的波后粒子速度; 另外, 通过环氧树脂将3个电磁粒子速度计粘贴在炸药表面, 间隔0.5 mm, 用于测量飞片高速冲击炸药表面时的瞬时界面粒子速度, 如图3<sup>[5]</sup>所示。实验过程中, 将实验设备置于压力不超过150 Pa的真空靶室。

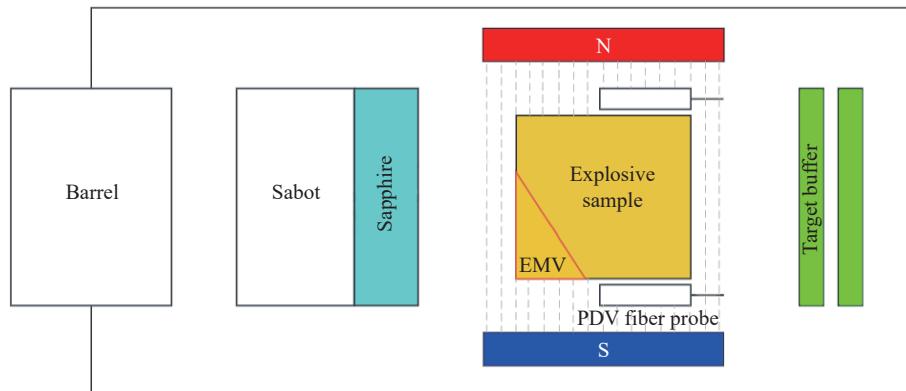


图1 实验装置示意图  
Fig. 1 Schematic diagram of the experimental device

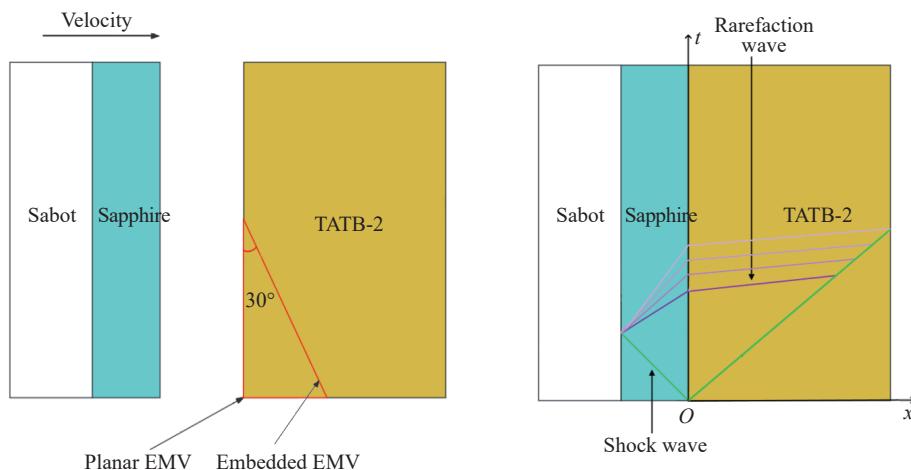


图2 蓝宝石飞片冲击炸药样品实验示意图  
Fig. 2 Schematic diagrams of sapphire flyer impact explosive

如图2所示, 当蓝宝石飞片撞击炸药样品时, 冲击波分别进入炸药和飞片内。由于PCTFE材料相对于蓝宝石是低阻抗材料, 冲击波传播至飞片后界面时, 会产生反射稀疏波, 继而稀疏波又通过飞片进入炸药样品内部。与撞击炸药样品前不同, 反射稀疏波为超声速传播, 可能追上炸药的反应波, 是影响

炸药起爆的重要因素之一。波后粒子通过切割磁感应线产生的感应电动势  $E_{EMV}$  为

$$E_{EMV} = BLu_p \quad (1)$$

式中:  $B$  为实验装置中的磁感应强度, 单位 T;  $L$  为 EMV 元件切割过程中的有效切割长度, 单位 m;  $u_p$  为冲击波后粒子速度, 单位 m/s。实验中示波器记录的电压信号  $E_{osc}$  为

$$E_{osc} = E_{EMV} \left( 1 - \frac{R_{mul}}{R_{osc} + R_{mul}} \right) \quad (2)$$

式中:  $R_{mul}$  为通过万用表测得的不同深度的 EMV 元件电阻,  $R_{osc}$  为示波器电阻。由式(1)、式(2)可得

$$u_p = E_{osc} \frac{R_{osc} + R_{mul}}{BLR_{osc}} \quad (3)$$

## 2 脉宽效应实验结果及分析

### 2.1 初始入射压力

进行了 N1~N4 共 4 次火炮平台一维平面冲击实验, TATB-2 炸药样品的波后粒子速度  $u_p$  与入射冲击波速度  $u_s$  遵循蓝宝石与 TATB-2 炸药的 Hugoniot 关系<sup>[6-10]</sup>

$$u_s = c_{0,e} + \lambda_e u_p = (2.420 \pm 0.006) + (2.140 \pm 0.007)u_p \quad 0.500 \leq u_p \leq 1.430 \quad (4)$$

式中:  $c_{0,e}$  为蓝宝石材料的零压声速,  $\lambda_e$  为材料冲击压缩的线性拟合系数。 $u_p$  和  $u_s$  的单位为 km/s。

为计算炸药的初始入射压力  $p_0$ , 分析飞片冲击炸药的过程, 基于动量守恒定律

$$p_{0,sap} = \rho_{0,sap} u_{s,sap} (u_{imp} - u_p) \quad (5)$$

$$p_{0,exp} = \rho_{0,exp} u_{s,exp} u_p \quad (6)$$

式中:  $\rho_{0,sap}$ 、 $\rho_{0,exp}$  分别为蓝宝石飞片和炸药的初始密度,  $p_{0,sap}$ 、 $p_{0,exp}$  分别为蓝宝石和炸药的冲击压力,  $u_{s,sap}$ 、 $u_{imp}$ 、 $u_{s,exp}$  分别为蓝宝石飞片内的冲击波速度、飞片冲击速度以及炸药内冲击波速度。

基于式(4)的 Hugoniot 关系, 则式(5)和式(6)分别表示为

$$p_{0,sap} = \rho_{0,sap} [c_{0,sap} + \lambda_{sap} (u_{imp} - u_p)] (u_{imp} - u_p) \quad (7)$$

$$p_{0,exp} = \rho_{0,exp} (c_{0,exp} + \lambda_{exp} u_p) u_p \quad (8)$$

式中:  $c_0$  和  $\lambda$  均为常数, 下标 sap 表示蓝宝石飞片参数, 下标 exp 表示炸药参数, 对于蓝宝石飞片而言,  $c_{0,sap}=11.19$  km/s,  $\lambda_{sap}=1.0$ ,  $\rho_{0,sap}=3.985$  g/cm<sup>3</sup>。由于式(5)和式(6)中的初始入射压力  $p_{0,sap}=p_{0,exp}$ , 可根据式(7)或式(8)得到未反应炸药的波后粒子速度  $u_p$ , 并进一步得到每次实验的初始入射压力  $p_0$ , 见表 1。其中:  $H$  为飞片厚度,  $m$  为飞片质量,  $T_0$  为初始温度。

表 1 未反应炸药材料参数

Table 1 Material parameters of unreacted explosive

Exp. No.	$H/mm$	$\rho_{0,exp}$ (up/down)/(g·cm <sup>-3</sup> )	$m/g$	$u_{imp}/(km·s^{-1})$	$p_0/GPa$	$T_0/^\circ C$
N1	2	1.894	491.99	1.37	10.03	12.5
N2	2	1.894	491.02	1.39	10.83	16.2
N3	5	1.894	490.94	1.40	11.07	15.0
N4	12	1.898/1.893	492.45	1.33	10.42	16.0

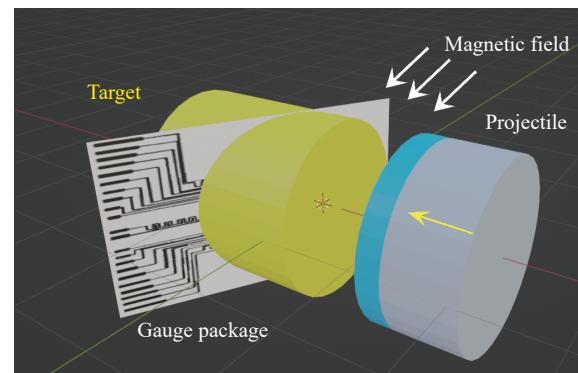


图 3 铝基组合电磁粒子速度计安装<sup>[5]</sup>

Fig. 3 Installation of aluminum-based multiple electromagnetic particle velocity gauge<sup>[5]</sup>

## 2.2 不同脉宽反应历史

在爆轰实验中, 波后粒子速度是判定炸药是否发生爆轰的重要依据。随着炸药样品反应的进行, 伴随有大量的能量释放, 波后粒子速度会呈现增大的趋势。

利用式(1)~式(3)对原始数据进行处理后, 得到实验N1~N4的波后粒子速度 $u_p$ 与时间 $t$ 的关系, 如图4~图7中的左图所示。示踪器信号在经过冲击激励后会呈现“锯齿形”的周期性变化, 通过提取冲击波方向上每个示踪器元件切割磁感线产生的正负周期变化感应电压峰值的时间间隔, 结合已测量的元件间距0.5 mm, 可得到炸药内的冲击波速度 $u_s$ 。根据示踪器信号绘制前沿冲击波位置随时间的变

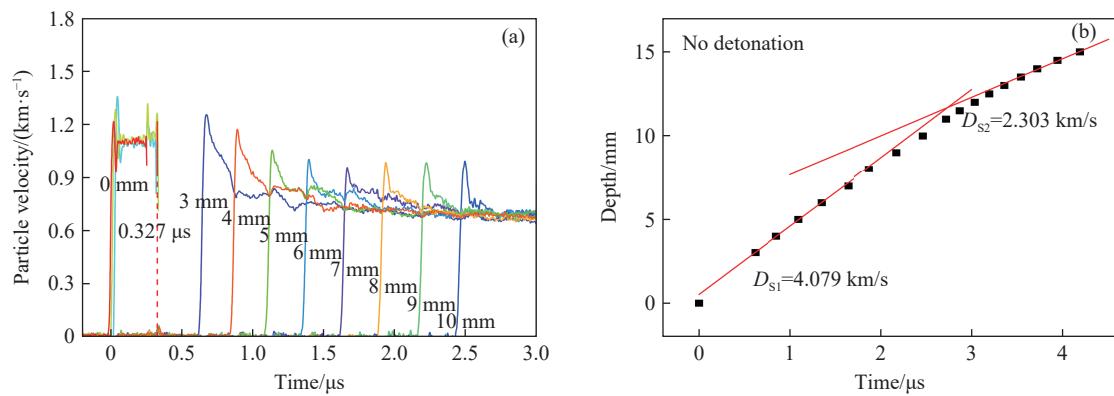


图4 N1实验中波后粒子速度与时间的关系(a)以及深度与时间的关系(b)

Fig. 4 Relationships of particle velocity versus time (a) and depth versus time (b) in experiment N1

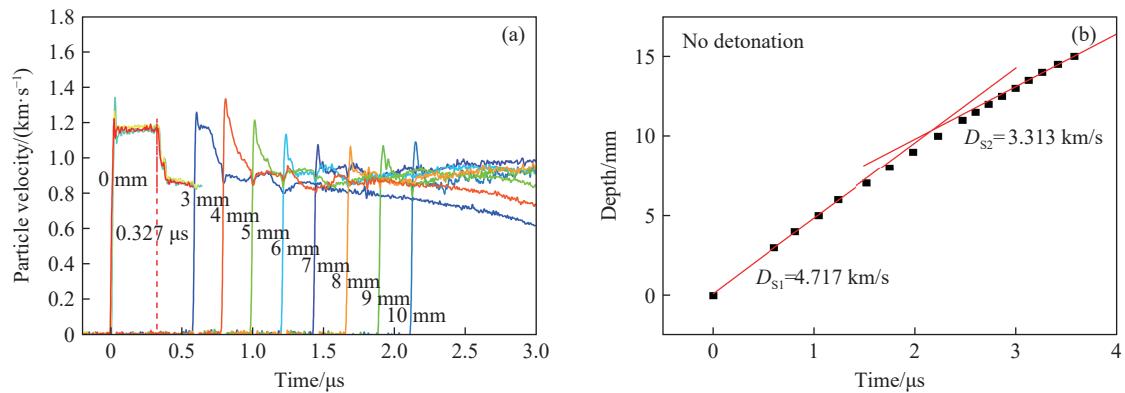


图5 N2实验中波后粒子速度与时间的关系(a)以及深度与时间的关系(b)

Fig. 5 Relationships of particle velocity versus time (a) and depth versus time (b) in experiment N2

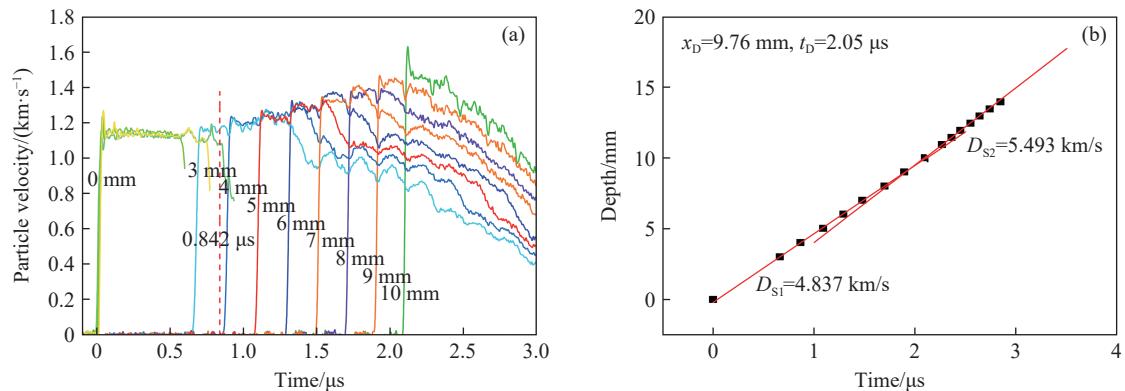


图6 N3实验中波后粒子速度与时间的关系(a)以及深度与时间的关系(b)

Fig. 6 Relationships of particle velocity versus time (a) and depth versus time (b) in experiment N3

化规律,如图4~图7中的右图所示,通过散点拟合得到上下两段直线,其中:下方 $D_{S1}$ 表示该实验中反应炸药的入射冲击速度,上方 $D_{S2}$ 表示转爆轰或稀疏波衰减时的速度, $x_D$ 、 $t_D$ 分别为冲击波传入炸药后的深度以及到该深度时所需的时间。

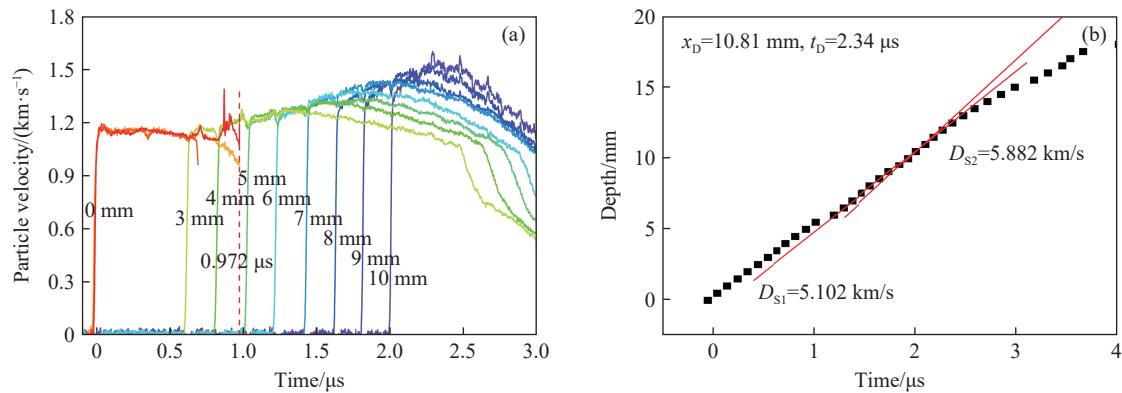


图7 N4实验中波后粒子速度与时间的关系(a)以及深度与时间的关系(b)

Fig. 7 Relationships of particle velocity versus time (a) and depth versus time (b) in experiment N4

根据图4~图7总结脉宽实验参数,结果见表2,以探究脉宽效应对TATB-2炸药起爆的影响。将4次实验进行横向对比:当飞片厚度均为2 mm时,实验N1、N2的波后粒子速度与时间关系如图8所示;当飞片厚度分别为2、5、12 mm时,实验N2、N3、N4的波后粒子速度与时间关系对比如图9所示。

表2 TATB-2实验中脉宽效应及相关参数  
Table 2 TATB-2 experimental pulse width effect and other related parameters

Exp. No.	$H/\text{mm}$	$\rho_{0,\text{exp}}(\text{up/down})/(g\cdot\text{cm}^{-3})$	$u_{\text{imp}}/(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$	$p_0/\text{GPa}$	Pulse-width/ $\mu\text{s}$	$x_D/\text{mm}$	$t_D/\mu\text{s}$
N1	2	1.894	1.37	10.03	0.327		
N2	2	1.894	1.39	10.83	0.327		
N3	5	1.894	1.40	11.07	0.842	9.76	2.05
N4	12	1.898/1.893	1.33	10.42	0.972	10.81	2.34

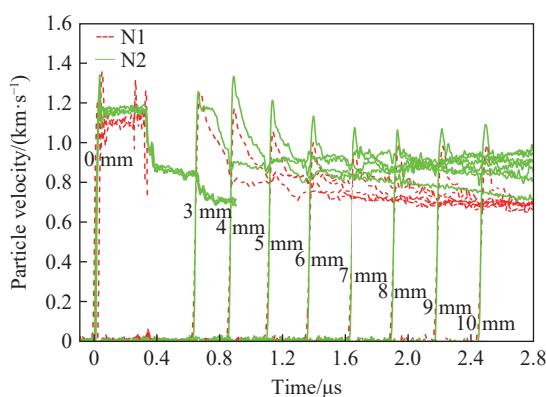


图8 相同蓝宝石飞片厚度(2 mm)、相近初始入射压力下的波后粒子速度对比

Fig. 8 Comparison of particle velocity with the same sapphire flyer thickness (2 mm) and similar initial incident pressure

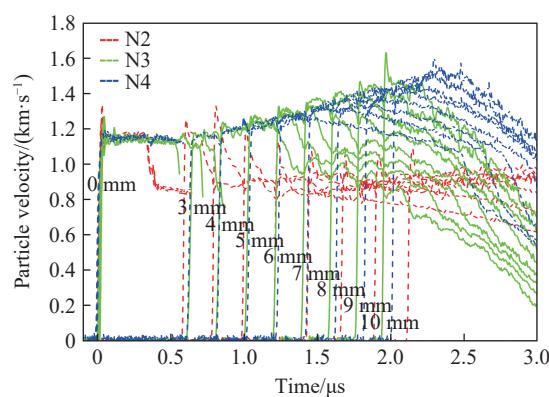


图9 不同飞片厚度(2、5、12 mm)、相近初始入射压力下的波后粒子速度对比

Fig. 9 Comparison of particle velocity with different flyer thickness (2, 5, 12 mm) and similar initial incident pressure

由图8可知,实验N1、N2的蓝宝石飞片厚度均为2 mm,两者的脉宽效应时间约为0.327  $\mu\text{s}$ ,波后粒子速度均呈现衰减趋势,即两次实验都未发生明显爆轰现象。由表1计算结果可知,实验N1的初始

入射压力比实验N2更低,实验N1的波后粒子速度衰减程度比实验N2更明显。图9中,实验N2、N3、N4的初始入射压力相近,飞片厚度不同,对比发现,飞片厚度越厚,脉宽效应时间越长,实验N3和N4的脉宽效应时间分别达到0.842和0.972μs,高于实验N2的脉宽效应时间0.327μs。脉宽效应时间越长,达到炸药样品的起爆条件也就越容易,实验N3、N4的波后粒子速度增长比较明显,均能通过示踪器测算出爆轰距离及时间,实验N3与N4发生了明显爆轰现象。此时影响炸药冲击起爆条件的主要因素是初始入射压力,初始入射压力越高,炸药起爆所需到爆轰距离越短,该条件下越容易发生冲击起爆。

### 3 短脉冲起爆反应过程中的稀疏波特性分析

短脉冲起爆过程中,飞片与靶相撞后产生的稀疏波会对起爆过程产生显著影响,为了量化背面稀疏对炸药内部波传播的影响,借助示踪器测量得到的x-t关系和PDV测量得到的波后粒子速度与时间的关系,结合飞片速度 $u_{\text{imp}}$ 共同计算得到未衰减时冲击波后的 $D$ 和 $u$ ,飞片与炸药内冲击波后 $D$ 与 $u$ 的关系为

$$D_2 = c_{\text{exp}} + \lambda_{\text{exp}} u_2 \quad (9)$$

$$D_1 = c_{\text{sap}} + \lambda_{\text{sap}} (u_{\text{imp}} - u_1) \quad (10)$$

式中: $c_{\text{exp}}=c_0=2.420 \text{ km/s}$ , $\lambda_{\text{exp}}=\lambda_e=2.140$ , $c_{\text{sap}}=c_{0,\text{sap}}=11.19 \text{ km/s}$ , $\lambda_{\text{sap}}=1.0$ 。通过计算得到飞片内冲击波后的 $D_1$ 和 $u_1$ ,以及炸药内冲击波后 $D_2$ 和 $u_2$ 。设点1为冲击波到达蓝宝石飞片背面时的位置,也是产生稀疏波的起始位置,其x坐标绝对值等于飞片厚度;点2为背面稀疏波追赶上飞片速度时的位置;点3为稀疏波超过反应波时的位置。通过计算得到实验点1、2、3的坐标参数,如表3所示。基于表3中的参数建立飞片冲击炸药后一维方向的x-t图,如图10所示,虚线部分表示后续稀疏波。点1、点3以及原点O构成三角形,三角形三边分别由前向、后向的冲击波以及稀疏波的第一条特征线表示。点O、1、2、3之间直线斜率( $k_{O1}$ 、 $k_{O3}$ 、 $k_{O2}$ 、 $k_{13}$ )、冲击波后的 $D$ 、 $u$ ,以及飞片内声速 $c_f$ 的关系分别为

$$k_{O1} = u_2 - D_2 \quad (11)$$

$$k_{O3} = D_1 \quad (12)$$

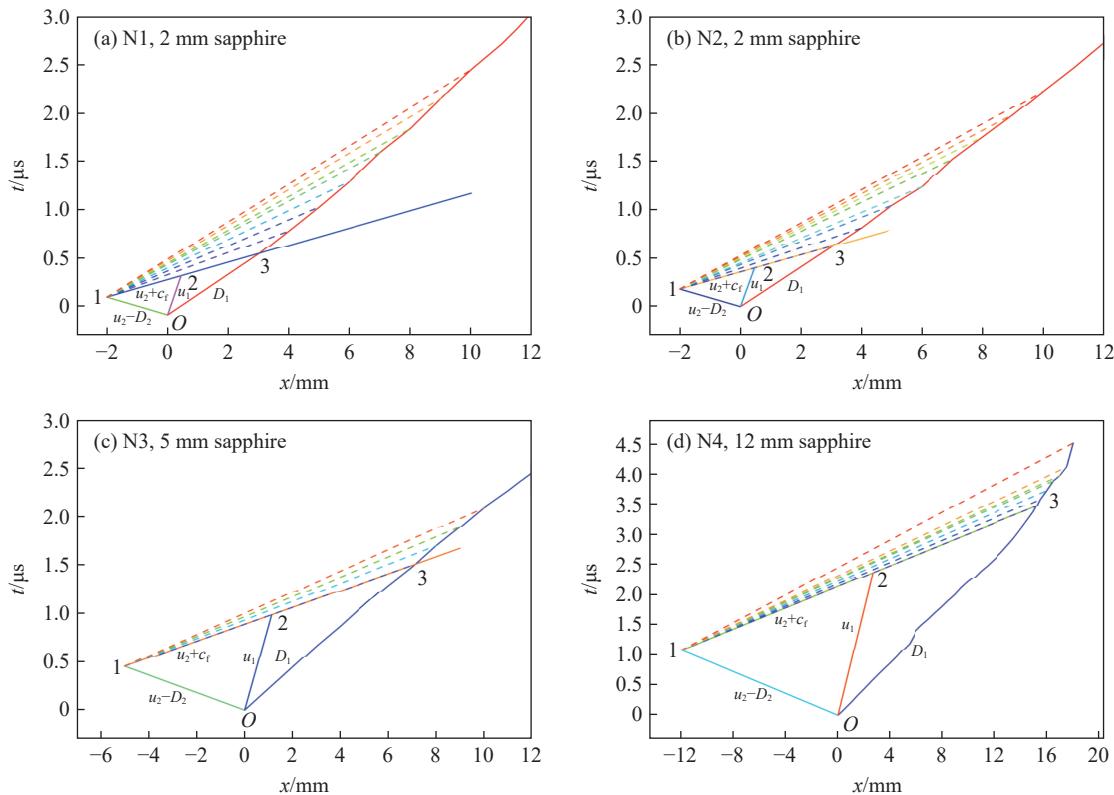
$$k_{O2} = u_1 \quad (13)$$

$$k_{13} = u_2 + c_f \quad (14)$$

表3 TATB-2实验中稀疏波的相关参数  
Table 3 Parameters about rarefaction wave of TATB-2 experiment

Exp. No.	Position			$u_1/(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$	$u_2/(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$	$D_1/(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$	$D_2/(\text{km}\cdot\text{s}^{-1})$
	Point 1	Point 2	Point 3				
N1	(-2.00, 0.18)	(0.44, 0.39)	(3.02, 0.62)	1.12	0.25	4.82	11.44
N2	(-2.00, 0.18)	(0.46, 0.39)	(3.07, 0.62)	1.17	0.22	4.81	11.41
N3	(-5.00, 0.45)	(1.13, 0.98)	(7.13, 1.51)	1.15	0.25	4.88	11.44
N4	(-12.00, 1.07)	(2.69, 2.36)	(15.22, 3.46)	1.27	0.18	5.14	11.37

从表3和图10的数据可以看出,对于采用相同冲击飞片材料及相同炸药材料的实验N1、N2,其反应波向后传递至飞片后部时速度几乎相同;将实验N2、N3、N4的数据进行比较后可以看出,蓝宝石飞片越厚,背面稀疏现象出现所需时间越长,稀疏波追赶上飞片以及冲击波的时间也随之推迟,甚至无法再追上冲击波,炸药受到冲击后发生了明显起爆现象。

图 10 实验 N1~N4 中飞片撞击炸药的  $x$ - $t$  图Fig. 10  $x$ - $t$  diagrams of explosive impacted by flyer in Exp. N1-N4

## 4 结 论

利用火炮加载系统驱动蓝宝石飞片, 对钝感炸药 TATB-2 进行一维平面冲击实验。通过电磁粒子速度计测量得到 TATB-2 炸药样品内外不同位置的冲击波后粒子速度; 通过示踪器测量, 绘制出炸药前沿冲击波位置随时间变化的  $x$ - $t$  关系曲线, 并以此分析不同实验的到爆轰距离与时间; 通过波后粒子速度、入射冲击波速度、飞片冲击速度等参数联立, 求得初始入射压力; 再通过电磁粒子速度计, 测得脉宽效应时间对各实验参数的影响, 最终得到以下有关脉宽效应对飞片冲击起爆条件影响的结论。

脉宽效应对 TATB-2 炸药的冲击起爆过程有着显著影响, 脉宽效应时间越长, 产生稀疏波的时刻延后, 背面稀疏对起爆过程的影响延后, 克服背面稀疏所需的冲击起爆压力就越小。随着脉宽效应时间的增加, 稀疏波追赶上反应波的时间越长, 与反应波相遇时刻的冲击波后速度越高, 甚至导致稀疏波无法追上反应波; 初始入射压力越大, 越容易克服稀疏波作用, 呈现出与脉宽效应时间增长相似的变化规律。

## 参考文献:

- [1] BURNS M J, GUSTAVSEN R L, BARTRAM B D. One-dimensional plate impact experiments on the cyclotetramethylene tetranitramine (HMX) based explosive EDC32 [J]. *Journal of Applied Physics*, 2012, 112(6): 064910.
- [2] WANG C, LIU X Q, NING J G. High resolution numerical simulation of shock-to-detonation transition of condensed-phase explosives [J]. *Materials Science Forum*, 2013, 767: 40–45.
- [3] 莫建军, 王桂吉, 吴刚, 等. 炸药 TATB/HMX 的短脉冲冲击起爆阈值测量 [J]. 实验力学, 2010, 25(1): 41–46.
- [4] MO J J, WANG G J, WU G, et al. Measurement of the short-duration pulse shock initiation thresholds for TATB explosive/adhesive [J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2010, 25(1): 41–46.
- [5] 王桂吉, 赵同虎, 莫建军, 等. 一种以 TATB/HMX 为基的高聚物粘结炸药的短脉冲冲击起爆特性 [J]. *爆炸与冲击*, 2007,

- 27(3): 230–235.
- WANG G J, ZHAO T H, MO J J, et al. Short-duration pulse shock initiation characteristics of a TATB/HMX-based polymer bonded explosive [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2007, 27(3): 230–235.
- [5] 杨舒棋, 张旭, 彭文杨, 等. 利用电磁法研究 HMX 与 TATB 混合钝感炸药的冲击起爆特性 [J]. *高压物理学报*, 2020, 34(3): 033403.
- YANG S Q, ZHANG X, PENG W Y, et al. Impact initiation characteristics of TATB based insensitive explosives mixed with HMX by electromagnetic velocity gauges [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2020, 34(3): 033403.
- [6] 张琪敏, 张旭, 赵康, 等. TATB 基钝感炸药 JB-9014 的冲击起爆反应增长规律 [J]. *爆炸与冲击*, 2019, 39(4): 041405.
- ZHANG Q M, ZHANG X, ZHAO K, et al. Law of reaction growth of shock initiation on the TATB based insensitive explosive JB-9014 [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2019, 39(4): 041405.
- [7] 张旭, 池家春, 冯民贤. JB9014 钝感炸药冲击绝热线测量 [J]. *高压物理学报*, 2001, 15(4): 304–308.
- ZHANG X, CHI J C, FENG M X. Hugoniot relation of JB9014 insensitive high explosive [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2001, 15(4): 304–308.
- [8] 裴红波, 刘俊明, 张旭, 等. 基于反向撞击法的 JB-9014 炸药 Hugoniot 关系测量 [J]. *爆炸与冲击*, 2019, 39(5): 052301.
- PEI H B, LIU J M, ZHANG X, et al. Measurement of Hugoniot relation for unreacted JB-9014 explosive with reverse-impact method [J]. *Explosion and Shock Waves*, 2019, 39(5): 052301.
- [9] 刘俊明, 张旭, 裴红波, 等. JB-9014 钝感炸药冲击 Hugoniot 关系测量 [J]. *高压物理学报*, 2018, 32(3): 033202.
- LIU J M, ZHANG X, PEI H B, et al. Measurement of Hugoniot relation for JB-9014 insensitive explosive [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2018, 32(3): 033202.
- [10] 刘俊明, 张旭, 赵康, 等. 用 PVDF 压力计研究未反应 JB-9014 钝感炸药的 Grüneisen 参数 [J]. *高压物理学报*, 2018, 32(5): 051301.
- LIU J M, ZHANG X, ZHAO K, et al. Using PVDF gauge to study Grüneisen parameter of unreacted JB-9014 insensitive explosive [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2018, 32(5): 051301.

## The Influence of Pulse Width on the Shock Initiation Process of TATB-Based Insensitive Explosives

SUN Yin'ao<sup>1</sup>, YANG Shuqi<sup>1</sup>, PENG Wenyang<sup>1</sup>, ZHANG Xu<sup>1</sup>, LI Shurui<sup>1</sup>,  
PEI Hongbo<sup>1</sup>, FU Hua<sup>1</sup>, YU Xin<sup>2</sup>, GU Yan<sup>1</sup>

(1. Institute of Fluid Physics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, Sichuan, China;

2. Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing 100094, China)

**Abstract:** The shock wave pulse width is one of the essential factors influencing the shock-to-detonation transition in explosives. This study experimentally investigates the pulse width effect on the shock initiation process of the insensitive explosive 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzene (TATB). Shock initiation experiments were conducted on TATB-2 explosives on the gun platform. The pulse width was controlled by varying the thickness of shock flyers. Experimental data including shock wave velocity and particle velocity after wave were recorded using the electromagnetic particle velocity meter and tracer meter. The relationships between pulse width effect, the distance to detonation, and other parameters of TATB-2 explosives were calculated and analyzed. The results demonstrate that pulse width effect significantly affects the detonation build-up process, providing essential references for understanding the shock initiation characteristics of insensitive explosives.

**Keywords:** pulse width effect; 1,3,5-triamino-2,4,6-trinitrobenzene-based explosives; shock initiation; particle velocity after wave; shock wave velocity