

文章编号: 1006-9941(2016)01-0038-07

# 冲击片雷管多点同步起爆爆轰波压力的数值模拟和试验

韩克华, 任西, 李慧, 张玉若, 褚恩义

(陕西应用物理化学研究所, 应用物理化学国家级重点实验室, 陕西西安 710061)

**摘要:** 采用有限元程序 AUTODYN 软件分别进行了冲击片雷管三点、四点、六点、八点同步起爆爆轰波压力值的数值模拟。分析了影响多点同步起爆爆轰波压力的因素。采用锰铜测压方法测试了多点冲击片雷管的同步起爆爆轰波压力。使用高速摄影系统拍摄了四点冲击片雷管的作用过程。结果表明, 四点冲击片雷管的爆轰波压力平均值相比三点、六点、八点高。在中心距为 4 mm 并且装药量均为 180 mg 时, 四个起爆点产生的爆轰波发生相互碰撞, 爆轰波叠加形成超压爆轰, 并能可靠起爆钝感炸药 TATB。在中心距为 8 mm 并且装药量均为 180 mg 时, 由于中心距较远, 爆轰波衰减较快, 相邻两点爆轰波发生的碰撞较少, 产生的超压值也随之降低。

**关键词:** 钝感弹药; 冲击片雷管; 多点同步起爆; 超压起爆; 数值模拟

**中图分类号:** TJ45

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.01.006

## 1 引言

钝感弹药 (Insensitive Munitions, IM) 对于热、撞击、弹药攻击等剧烈的外界刺激表现出良好的稳定性, 更适应未来战争的需要, 采用钝感火工品起爆技术是武器系统的核心控制技术<sup>[1-3]</sup>。国外在钝感弹药起爆方面取得了很大发展, 2009 年 53 届引信年会上出现的极端钝感爆轰物质 (Extremely Insensitive Detonating Substance, EIDS) 起爆系统, 去除了传爆序列中传爆药柱的环节, 采用冲击片雷管多点同步起爆方式, 利用多发冲击片雷管爆炸产生的爆轰波相互叠加形成超压爆轰, 使得局部爆轰波压力超过钝感炸药的临界起爆压力, 直接起爆钝感炸药<sup>[4]</sup>。国内目前对钝感弹药领域研究工作分散, 还未能掌握研究领域的关键技术。冲击片雷管作为高安全性钝感火工品的典型代表, 它不含敏感的起爆药, 始发装药是美军标规定的直列式许用 HNS (2, 2', 4, 4', 6, 6'-六硝基, 以下简称 HNS-IV)<sup>[5]</sup>, 而且不与换能源直接接触, 虽然传统结构的爆炸箔冲击片雷管在现阶段可以有效提高安全性<sup>[4,6]</sup>, 但是由于传爆序列的安全性和可靠性问题, 以

及小体积装药尺寸等问题还没有完全解决。在钝感弹药中, 为保证直列式传爆序列的安全性以及可靠性, 需尽量减少传爆序列, 减小装药尺寸, 以适应未来战争对起爆系统小型化、毁伤弹药能量大的要求<sup>[1-3,7]</sup>。为达到上述要求, 本工作采取冲击片雷管多点同步起爆技术, 利用多点冲击片雷管同步爆炸产生的爆轰波相互叠加, 形成超压爆轰直接起爆钝感炸药, 对冲击片雷管多点同步起爆爆轰波压力值进行数值模拟和试验研究, 为钝感弹药多点同步起爆以及超压起爆设计提供技术支撑。

## 2 多点同步起爆数值模拟

### 2.1 多点同步起爆结构

多点同步起爆分别为三点、四点、六点和八点同步, 其结构如图 1 所示。使用冲击片雷管作为多点同步起爆点, 其初始装药为圆形 HNS-IV 药柱。在数值模拟的基础上, 选定一种冲击片雷管结构参数, 配用多种起爆方式进行试验, 对各种影响因素下产生的爆轰波压力值进行分析对比, 从而确定最佳的匹配关系。

### 2.2 HNS-IV 爆轰产物 JWL 状态方程

对于炸药, 其爆轰过程均可采用 JWL 模型来描述多点叠加作用过程, 此模型用于计算炸药爆轰波在空间流动的传播规律<sup>[8-10]</sup>。1965 年, Lee 等在 Jones 和 Wilkins 的工作基础上, 提出了 JWL (Jones-Wilkins-Lee) 状态方程<sup>[11]</sup>, 它不显含化学反应, 能精确描述爆

收稿日期: 2014-12-22; 修回日期: 2015-05-04

基金项目: “十二五”国家预研资助项目 (51305100101) 和国防基础科研计划项目 (JKY2013208C002)

作者简介: 韩克华 (1981-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事高新火工系统技术研究。e-mail: kehuahan@126.com

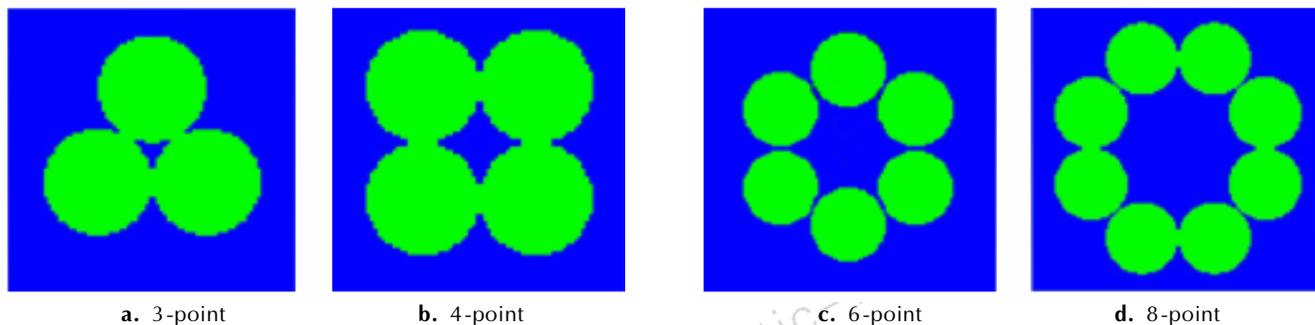


图1 冲击片雷管多点起爆结构模型

Fig.1 Multi-point initiation structure model of the slapper detonator

轰产物的等熵膨胀过程,其形式为:

$$p_s = A(1 - \frac{\omega}{R_1 V}) e^{-R_1 V} + B(1 - \frac{\omega}{R_2 V}) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E_0}{V} \quad (1)$$

式中,  $p_s$  为爆轰产物的压力;  $V$  为爆轰产物的相对比容;  $A$ 、 $B$ 、 $R_1$ 、 $R_2$ 、 $\omega$  和  $E_0$  为 6 个待定参数。表 1 为确定的 HNS-IV 炸药爆轰产物 JWL 状态方程参数<sup>[12]</sup>。

数值计算中运用显式动力学有限元程序 AUTO-

DYN 软件对多点同步起爆爆轰波进行 3D 数值模拟,用空气域作为基底,以圆形药柱作填充,试验参数参考软件内部数值,模型各部分均采用 Euler 公式计算<sup>[13]</sup>,对于本试验所用到的 HNS-IV 炸药模块,均采用高能炸药燃烧材料模型和 JWL 状态方程进行描述,分析多点同步起爆各种条件下的爆轰波压力影响因素。

表 1 HNS-IV 炸药爆轰产物 JWL 状态方程参数

Table 1 JWL EOS parameters for detonation products of HNS-IV

explosive	$\rho/g \cdot cm^{-3}$	$D/km \cdot s^{-1}$	$p_{CJ}/GPa$	$A \times 10^2 / GPa$	$B \times 10^2 / GPa$	$R_1$	$R_2$	$\omega$	$E_0$
HNS-IV	1.55	6.890	18.90	4.69	0.13	4.58	1.79	0.30	0.0845

### 3 爆轰波压力数值模拟结果与分析

#### 3.1 起爆点数对超压的影响

采用 AUTODYN 的 Euler 公式进行计算,对选定的冲击片雷管多点同步起爆系统结构模型进行仿真,三点、四点、六点、八点同步起爆爆轰波的压力分布区域如图 2 所示。

由多个起爆点组成的圆形中心位置与每个起爆点圆心之间的距离即为中心距,由于不同的起爆点数分布排列直接影响着多点同步起爆中心距的参数,从而对爆轰波的传播和叠加具有直接的影响作用,结果如图 2 所示。由图 2 可见,在 180 mg 装药量,起爆点中心距均为 4 mm 的条件下,三点、四点、六点、八点的爆轰压力值分别为 39,50,31,38 GPa。可见,相对于三点、六点、八点同步起爆,四点同步起爆具有更高的超压,这是由于三点和四点的起爆点所组成的面积较小,即中心距参数较小,爆轰波发生叠加产生超压,而四点爆轰时有马赫杆的相互作用,由于距离较短马赫杆上

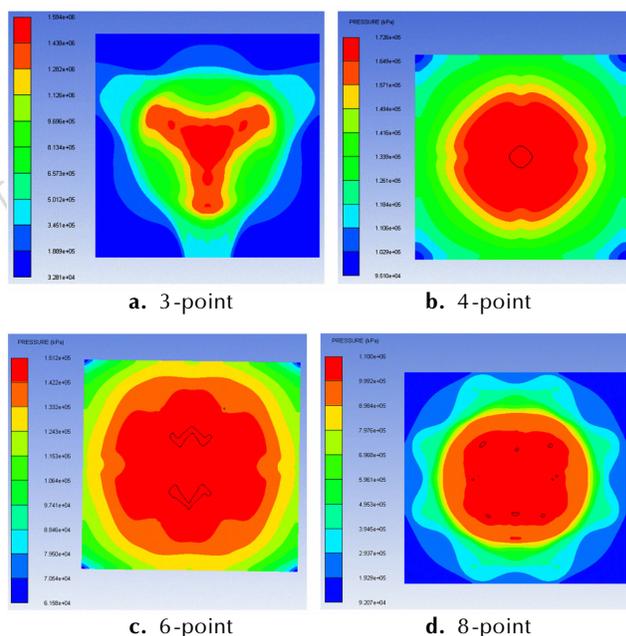


图2 不同起爆点数爆轰波压力分布图

Fig.2 Detonation wave pressure distribution with the different initiation point number

仍保持了较高的压力; 三点爆轰时马赫杆呈  $60^\circ$  干涉, 马赫杆对撞相比四点同步起爆爆压较弱; 六点和八点爆轰时由于中心距较大, 爆轰波在碰撞时已经有所减小, 故爆压较小。

### 3.2 不同中心距对爆轰波压力的影响

根据上述仿真结果, 四点同步起爆能产生更高的爆轰波压力值, 故以冲击片雷管四点同步起爆为仿真对象, 装药量均为 180 mg 时, 研究四点同步起爆在不同中心距的条件下, 其作用过程中产生的爆轰波压力分布情况。不同中心距时爆轰波压力曲线如图 3 所示。

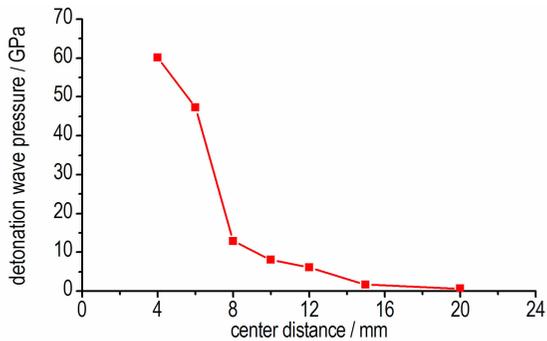


图 3 四点不同中心距的爆轰波压力分布曲线

Fig. 3 Four-point detonation wave pressure distribution curves from different center distances

从图 3 可以看出随着四点同步起爆中心距的不断增大, 其最大爆轰波压力峰值减小得比较明显, 这是由于冲击波在空气中的衰减呈指数衰减形式, 减小速度较快, 当爆轰波传递到炸药柱外半径的距离时, 爆轰压力仅为药柱直径的 9 次方分之一。可见, 在四点同步起爆时, 随着中心距的增加其爆轰波压力随之快速减小并迅速降低。

### 3.3 同步性时间对爆轰波压力的影响

以冲击片雷管四点同步起爆为仿真研究对象, 装药量均为 180 mg, 起爆点中心距均为 4 mm 的条件下, 研究四点同步起爆过程中的同步性时间对爆轰波压力的影响规律。其仿真的爆轰波压力曲线如图 4 所示。

从图 4 可以看出随着同步性时间的不断增加, 其最大爆轰波压力峰值减小的比较明显, 由于爆轰波之间形成马赫杆以及马赫杆的碰撞是实现超压爆轰的关键, 所以各起爆点的同步性增大, 随着各起爆点的冲击波在空气中的衰减较快, 故各起爆点爆轰后, 不能形成马赫杆以及马赫杆不能及时碰撞, 故不能实现超压爆轰。可见四点同步起爆在中心距固定时, 同步性很大程度上影响着爆轰压力, 随着同步性时间散布较大, 其

爆轰压力越小。

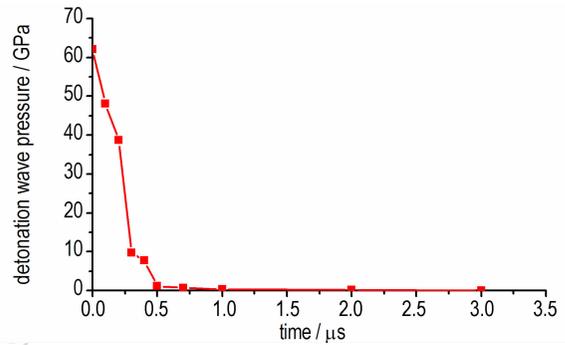


图 4 四点同步性时间对爆轰波压力的影响

Fig. 4 Effect of time synchronization of a four-point on detonation wave pressure

### 3.4 装药量对爆轰波压力的影响

以冲击片雷管四点同步起爆为仿真研究对象, 在四点同步起爆的中心距均为 4 mm 以及在不同的装药量条件下, 对四点同步起爆的爆轰波压力进行仿真计算, 其爆轰波压力分布曲线如图 5 所示。

从图 5 可以看出, 随着装药量的不断增加, 其爆轰波超压值也随着增大, 当装药量为 150 ~ 200 mg 时, 爆轰波压力值增加幅度较大, 其值从 20 GPa 增加到 55 GPa, 当装药量从 200 mg 不断增加时, 其爆轰波超压值增加幅度较为平缓。这是由于炸药在一定的压药密度下存在一个极限直径, 即炸药的爆速不再增加时的最小装药量直径。当装药量直径大于极限直径时, 炸药达到稳定爆轰, 爆速和爆轰波压力值得以稳定, 由此引起的爆轰波叠加之后的最大爆轰超压值稳定, 故在四点同步起爆中心距为 4 mm 时, 当装药量从 200 mg 不断增加时, 其爆轰波超压值增加幅度较为平缓, 这是由于已经达到炸药的极限直径, 其最大爆轰超压值稳定的缘故。

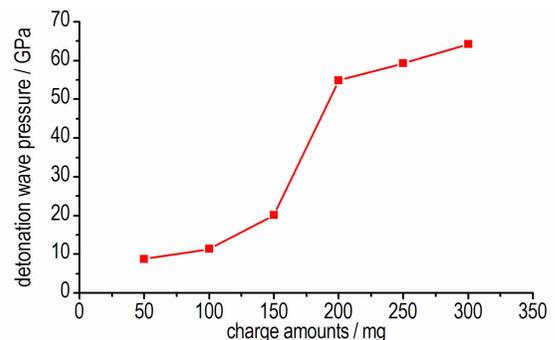


图 5 不同装药量的四点同步起爆对爆轰波压力值的影响

Fig. 5 Effect of different loading dose of four-point synchronized initiation on detonation pressure

## 4 冲击片雷管多点同步起爆试验研究

### 4.1 试验装置

为了对仿真结果进行验证,利用锰铜超压测试系统对冲击片雷管多点同步起爆爆轰波压力值进行测试,其测试系统原理如图6所示。

图6测试装置中高压脉冲功率源系统主要由型号规格为CT41L/0.3 $\mu$ F/3.0 kV的陶瓷电容器、型号规格为RQ-8001的火化隙高压开关,测试设备包括泰克公司的TDS5054数字示波器,其采样速率不低于1 GS $\cdot$ s $^{-1}$ ;型号规格为HV4kV-6kV的自制高压电源,自制恒流源;试验中样品冲击片雷管采用中国兵器工业第二一三研究所某型号冲击片雷管。

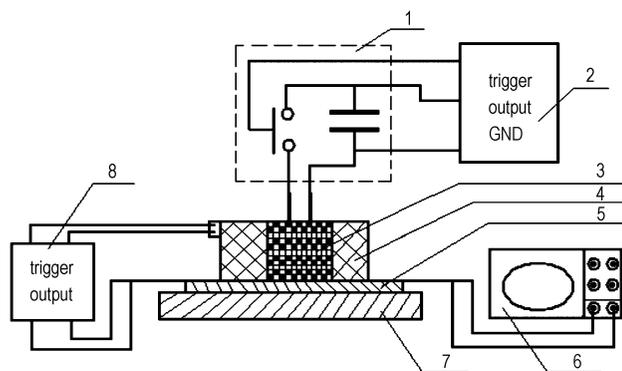


图6 冲击片雷管多点同步起爆爆轰波压力测试装置原理图

Fig. 6 Slapper Detonator multiple simultaneous detonation pressure testing device Schematic

1—high voltage pulse power source, 2—high voltage electrical source, 3—multi-point slapper detonators, 4—organic sleeve, 5—Manganin piezoresistive sensor, 6—digital oscillograph, 7—organic glass, 8—voltaic source

### 4.2 试验结果

#### 4.2.1 爆轰波压力测试

锰铜压力传感器是一种特殊的压力传感器,主要用于测量冲击波产生的超高压,其量程上限可达100 GPa,是现有压力传感器中测压量程最高的<sup>[14-16]</sup>。利用锰铜压阻法分别对三点、四点、六点和八点冲击片雷管同步起爆产生的爆轰波压力值进行测试,由于样品采用同批次的产品,其装药量均为180 mg的HNS-IV,压药密度,以及结构设计均相同,各起爆点中心距均为4 mm的试验条件下,进行了四组试验,每组试验分别进行四次,测试数据平均值如表2所示,对于冲击片雷管四点同步起爆,对于不同的中

心距进行了三组试验,每组进行三次试验,试验数据平均值见表2。

表2 不同起爆点的爆轰波压力测试结果

Table 2 Test data of detonation wave pressure for different initiation point

serial number	number of initiation point	average detonation pressure /GPa
1	3	26.1
2	4	48.7
3	6	31.4
4	8	33.6

由表2可以看出,相对于三点、六点、八点数据结果比较,四点冲击片雷管的爆轰波压力平均值最高,而从上文仿真结果得出,在180 mg装药量,起爆点中心距均为4 mm的条件下,三点、四点、六点、八点的爆轰压力值仿真结果分别为39,50,31,38 GPa,其四点仿真结果也最高,此仿真结果与试验结果相符。但是试验平均值比上文仿真计算值都偏小,这是由于仿真计算时,参数设计属于理想状态,忽视了实际试验中装配以及测试带来的误差。

表3 四点同步起爆不同中心距的爆轰波压力测试结果

Table 3 Detonation stress test results of four different center-point synchronized detonation distance

serial number	center distance /mm	average detonation pressure /GPa
1	4	47.2
2	8	13.7
3	12	6.5

如表3所示,四点冲击片雷管同步起爆,其超压值随着中心距的增加而快速减小并迅速降低,此试验结果符合上文不同中心距对爆轰波压力的影响仿真曲线结果。这是由于随着四点同步起爆中心距的不断增大,而爆炸后的冲击波在空气中的衰减速度较快的缘故。

#### 4.2.2 四点同步起爆试验

采用高速摄影系统对四点同步起爆过程进行拍摄,结果如图7所示。拍摄多点同步起爆爆炸过程中的高速拍摄系统采用瑞典Scandiflash AB公司的300 kV闪光X射线和中物院超高速光电同时分幅扫描相机。图7a、图7b是装药量均为180 mg的同批次冲击片雷管组成的四点同步起爆作用过程,其中心距分别为4 mm和8 mm,其试验样品采用同批次装药

量均为 180 mg 的冲击片雷管, 四点同步起爆的同步性平均值为 50.1 ns。图 7c 为四点中心距为 8 mm, 装药量分别为两发 180 mg 和两发 260 mg 的同批次冲击片雷管组成的四点同步爆炸过程照片。

由图 7a 可以看出, 在中心距为 4 mm 并且相同装药量均为 180 mg 时, 四点同步起爆产生的爆轰波发生相互碰撞, 爆轰波叠加形成超压爆轰, 如图中发光范围的部分即爆轰波叠加图形, 其与仿真图形与图 2b 相似。图 7b 可以看出, 在中心距为 8 mm 并且相同装药量均为 180 mg 时, 由于中心距较远, 爆轰波衰减较

快, 相邻两点爆轰波发生的碰撞较少, 产生的超压值也随之降低, 如图中形成的“十字”即为爆轰波叠加部分。图 7c 可以看出, 当装药量为 180 mg 的冲击片雷管爆轰成长即爆轰波输出时, 如图 7c 中发光的两起爆点部分, 而装药量为 260 mg 的冲击片雷管爆轰波还没输出, 即图 7c 中没有光环的两起爆点部分。由于装药量不同, 在相同的时间点, 药柱爆轰成长不一致, 其输出最大压力的时间也不一致, 即图 7c 中四点发光叠加部分图形不规则, 导致相邻两点爆轰波无法发生碰撞而无法形成超压爆轰。

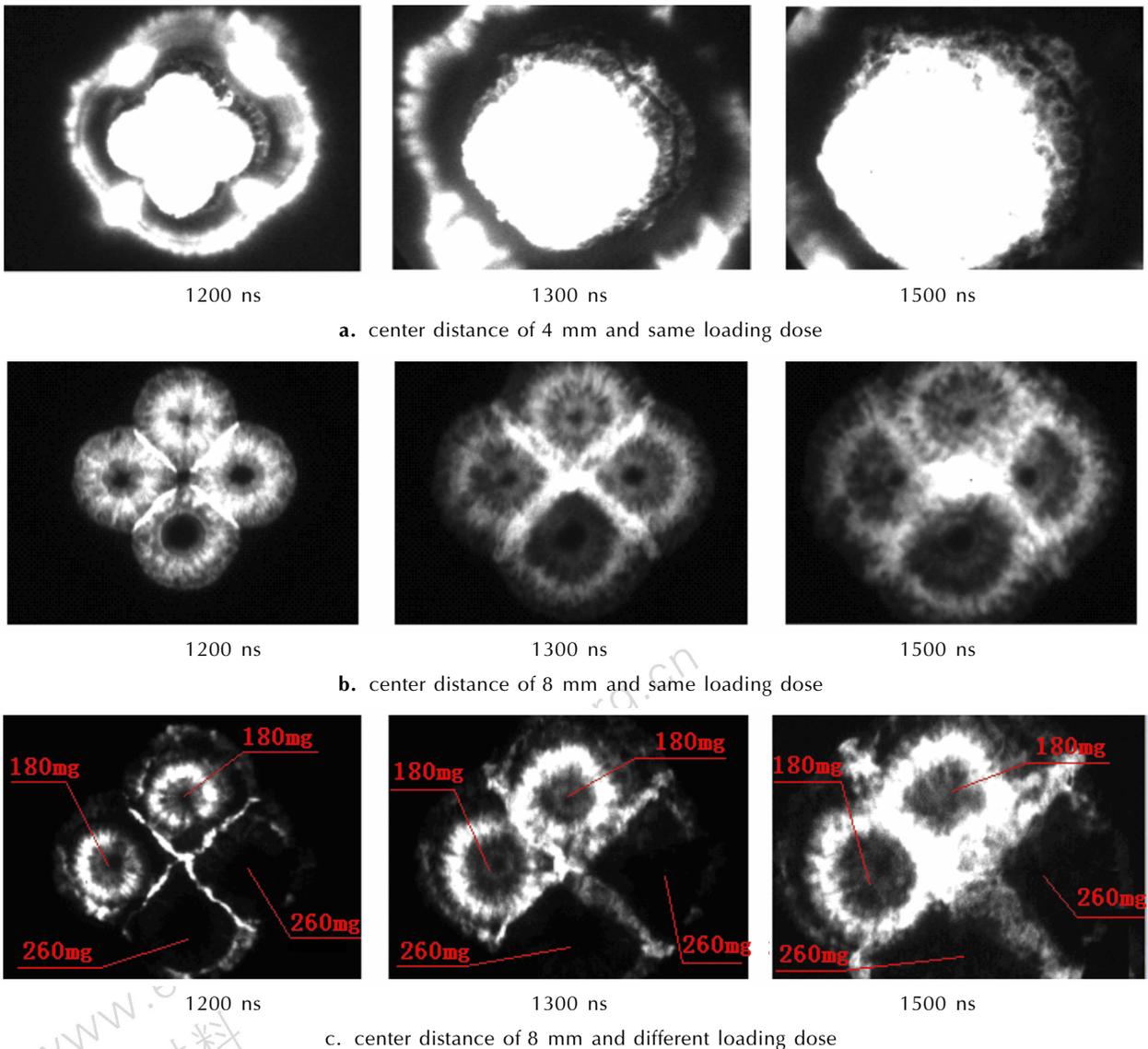


图 7 四点同步起爆作用过程

Fig.7 4-Point synchronization initiation action process

试验测试数据表明四点冲击片雷管的爆轰波压力平均值相对于三点、六点、八点为最高; 四点冲击片雷

管同步起爆爆轰波压力值随着中心距的增加而快速减小并迅速降低, 试验结果符合冲击片雷管多点同步起

爆轰波压力仿真结果。

### 4.2.3 起爆钝感炸药试验

利用闪光 X 射线可以透过爆炸及高速撞击现象所造成的火光和烟雾,能记录弹丸、破片的形态和轨迹特性,用闪光 X 射线拍摄系统对冲击片雷管四点同步起爆系统直接起爆钝感炸药 TATB 过程进行拍摄。其起爆点中心距为 4 mm,样品采用装药量均为 180 mg 的 HNS-IV,压药密度,以及结构设计均相同的同批次冲击片雷管,拍摄照片如图 8 所示。

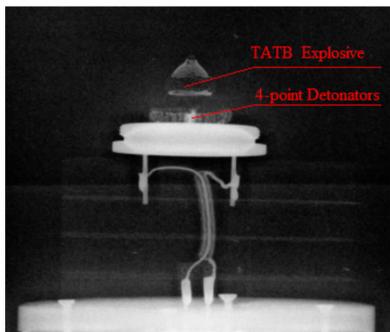


图 8 起爆钝感炸药 TATB 照片

Fig.8 Photo of initiating insensitive explosive TATB

从图 8 中标注部分可以看出,四点冲击片雷管均起爆,破片分布比较均匀;炸药 TATB 与四点冲击片雷管接触端面已经完全发生爆轰,这说明冲击片雷管四点同步爆炸产生的爆轰波相互叠加形成超压爆轰,使得局部爆轰波压力超过钝感炸药 TATB 的临界起爆压力,可以起爆钝感炸药 TATB。

## 5 结论

采用 AUTODYN 软件对冲击片雷管多点同步起爆爆轰波压力值进行仿真计算,以及对冲击片雷管多点同步起爆试验研究,可以得出如下结论:

(1) 仿真结果表明,在相同装药量下,四点分布较三点、六点和八点具有更高的爆轰波超压值;在四点同步起爆时,随着中心距的增加其爆轰波压力随之快速减小并迅速降低;并且同步性时间很大程度上影响着爆轰压力,随着同步性时间散布较大,其爆轰压力越小;在装药量为 150~200 mg 时,四点同步起爆爆轰波压力值增加幅度较大,其值从 20 GPa 增加到 55 GPa,当装药量从 200 mg 不断增加时,四点同步起爆爆轰波超压值增加幅度较为平缓。

(2) 经锰铜法对多点同步起爆爆轰波压力进行测试,结果表明四点冲击片雷管的爆轰波压力平均值相

对于三点、六点、八点为最高;四点冲击片雷管同步起爆爆轰波压力值随着中心距的增加而快速减小并迅速降低。

(3) 进行了四点同步起爆试验,用高速摄影拍摄其作用过程,结果为在中心距为 4 mm 并且相同装药量均为 180 mg 时,四点同步起爆产生的爆轰波发生相互碰撞,爆轰波叠加形成超压爆轰,并能可靠起爆钝感炸药 TATB;在中心距为 8 mm 并且相同装药量均为 180 mg 时,由于中心距较远,爆轰波衰减较快,相邻两点爆轰波发生的碰撞较少,产生的超压值也随之降低;并且由于装药量的不同,在相同的时间点,药柱爆轰成长不一致,其输出最大压力的时间也不一致,导致相邻两点爆轰波无法发生碰撞而无法形成超压爆轰。

### 参考文献:

- [1] 董海山. 钝感弹药的由来及其重要意义[J]. 含能材料, 2006(增刊): 321-322.  
DONG Hai-shan. Insensitive munitions origin and significance [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2006(Supl.): 321-322.
- [2] 智小琦, 胡双启, 王东青, 等. 钝感弹药的发展与分析[J]. 中北大学学报(自然科学版), 2008, 29(3): 236-238.  
ZHI Xiao-qi, HU SHuang-qi, WANG Dong-qing. The development and analysis of insensitive ammunition[J]. *Journal of North University of China (Natural Science Edition)*, 2008, 29(3): 236-238.
- [3] 任东陕, 任玲. 钝感弹药引爆模型研究[J]. 现代防御技术, 2006, 34(5): 54-55.  
REN Dong-shan, REN Ling. Study of initiation model for insensitive ammunition [J]. *Modern Defence Technology*, 2006, 34(5): 54-55.
- [4] Randall Cope. US Navy Overview [C]// Associate Depc. Head for Energetics. NDIA'S 53rd Annual Fuze Conference, Rev7. 4-20May 2009, Lake Buena Vista, FL. NAWCWD, China Lake CA. 19-21 May, 2009.
- [5] MIL-E-82903. Explosive, HNS-IV and HNS-V[S], 1999.
- [6] 褚恩义, 任西, 钱勇, 等. 爆炸箔冲击片起爆设计参数研究[J]. 火工品, 2008(3): 26-27.  
CHU En-yi, REN Xi, QIAN Yong, et al. Study on the Design Parameters of Exploding Foil Initiator[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2008(3): 26-27.
- [7] 高桂萍. 钝感弹药及安全可靠起爆新技术[J]. 火炸药学报, 1999, 18(2): 1-4.  
GAO Gui-ping. Desensitive ammunition and new techniques of safe reliable initiation[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 1999, 18(2): 1-4.
- [8] 张先锋, 丁建宝, 赵晓宁, 等. 夹层聚能装药作用过程的数值模拟[J]. 爆炸与冲击, 2009, 29(6): 617-624.  
ZHANG Xian-feng, DING Jian-bao, ZHAO Xiao-ning, et al. Numerical simulation of double layer shaped charge[J]. *Explosion and Shock Waves*, 2009, 29(6): 617-624.
- [9] 张先锋, 赵晓宁. 夹层装药的超压爆轰研究综述[J]. 含能材料,

- 2011, 19(3): 352-360.
- ZHANG Xian-feng, ZHAO Xiao-ning. Review on overdriven detonation of double layer high explosive charge[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2011, 19(3): 352-360.
- [10] 潘昊, 胡晓棉. 钝感炸药的超压爆轰与冲击起爆过程数值模拟[J]. *爆炸与冲击*, 2006, 26(2): 174-178.
- PAN Hao, HU Xiao-mian. Numerical simulation for overdriven and shocking-to-detonation transition of insensitive high explosives[J]. *Explosive and Shock Waves*, 2006, 26(2): 174-178.
- [11] Lee E L. Adiabatic expansion of high explosive detonation products[R]. UCRL250422, 1968.
- [12] 陈清畴, 蒋小华, 李敏, 等. HNS-IV 炸药 JWL 状态方程研究[J]. *火工品*, 2010(4): 21-24.
- CHEN Qing-chou, JIANG Xiao-hua, LI Min, et al. Study on JWL EOS of Detonation Product for HNS-IV[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2010(4): 21-24.
- [13] 张波. 一种改进的 Euler 方法模拟凝聚炸药的爆轰过程[D]. 绵阳: 中国工程物理研究院, 2005.
- [14] 王惠娥, 胡学先. 锰铜压阻法测量雷管输出能力[J]. *煤矿爆破*, 2003, 63(4): 14-16.
- WANG Hui-e, HU Xue-xian. Measurement of detonation output capability using the manganin piezoresistor[J]. *Coal Mine Blasting*, 2003, 63(4): 14-16.
- [15] 段卓平, 李丹. 雷管内部爆轰波压力测量技术[J]. *中国安全科学学报*, 2001, 11(3): 75-77.
- DUAN Zhuo-ping, LI Dan. Technique for measuring detonation pressure inside a detonator[J]. *China Safety Science Journal*, 2001, 11(3): 75-77.
- [16] 魏林, 王高, 赵辉, 等. 导爆索爆轰波压力测试技术研究[J]. *火工品*, 2011(2): 44-46.
- WEI Lin, WANG Gao, ZHAO Hui, et al. Research on technology of shock wave pressure testing for detonating cord[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2011(2): 44-46.

## Simulation and Experimental Studies on the Multi-point Synchronization Detonation Overpressure of Slapper Detonators

HAN Ke-hua, REN Xi, LI Hui, ZHANG Yu-ruo, CHU En-yi

(National Key Laboratory of Applied Physics and Chemistry, Shaanxi Applied Physics and Chemistry Research Institute, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** The simulation of detonation wave pressure of the three-point, four-point, six-point, eight-point synchronization detonation for slapper detonators were performed respectively by the finite element program AUTODYN software. The factors affecting the detonation wave pressure of multi-point synchronization detonation were analyzed. The detonation wave pressure of multi-point synchronization initiation for slapper detonators was measured by a Manganese Bronze manometry. The action process of four-point synchronization slapper detonators were filmed by a high speed photography system. Results show that a four-point detonation slapper detonators overpressure relative to the average of three-point, six-point, and eight-point is the highest; in the center distance of 4 mm and the same loading dose of 180 mg, the detonation wave generated by four initiation points occurs the collision with each other, and the detonation wave superposition forms overpressure detonation, and can reliably detonate insensitive explosive TATB. In the center distance of 8 mm and the same loading dose of 180 mg, due to center distance is far, detonation wave attenuation is faster, adjacent points detonation wave collision happened is less, the overpressure produced also decreases.

**Key words:** insensitive munitions; slapper detonators; multi-point synchronous detonation; overpressure detonation; numerical simulation

CLC number: TJ45

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2016.01.006