

文章编号: 1006-9941(2018)10-0814-06

HNS-IV 炸药驱动飞片速度及形态的数值模拟

陈清畴, 马弢, 李勇

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621999)

摘要: 为指导基于冲击片雷管驱动飞片的起爆传爆序列设计, 采用数值模拟方法计算获得了六硝基芪(HNS-IV)炸药驱动不同材料(不锈钢、钛合金、铝), 不同厚度(0.1~0.5 mm)和不同直径(3, 4, 5 mm)飞片速度与形态。计算结果表明: 在同一厚度下, 铝飞片的速度最高, 钛合金飞片其次, 不锈钢飞片最低, 这与其密度关系相对应; 对于同种材料, 随着飞片厚度的增加, 飞片速度逐渐减小, 并趋于一个极值; 不同直径飞片被爆轰剪切后, 其有效直径均有所减小, 其中, $\Phi 4$ mm 和 $\Phi 5$ mm 飞片的有效直径相当, 分别为 3.6 mm 和 3.4 mm, $\Phi 3$ mm 飞片最小, 仅为 2.8 mm。在爆轰波作用下, HNS-IV 炸药驱动不同直径、0.10 mm 厚度钛合金飞片, $\Phi 4$ mm 和 $\Phi 5$ mm 飞片略呈球面状, 而 $\Phi 3$ mm 飞片形态较为平整, 分析认为冲击波反射驱动是其形态平整的主要原因。

关键词: 炸药驱动; 飞片速度; 飞片形态; 六硝基芪(HNS-IV)

中图分类号: TJ45

文献标志码: A

DOI: 10.11943/CJEM2018054

1 引言

随着钝感弹药和侵彻武器的发展, 钝感装药要求起爆传爆序列具有较高的起爆能力, 而侵彻过程的高过载条件需要起爆传爆序列具有较高的安定性和安全性。同时, 侵彻过程中, 弹体中不同材料受到冲击压缩作用, 各材料界面会产生一定间隙, 这就要求起爆传爆序列在存在间隙条件下具有较高的可靠性和间隙不敏感性。

飞片能够吸收更多的炸药能量并转变为动能, 撞击样品后产生的冲击波也拥有更高的压力^[1], 具有较强的起爆能力。同时, 飞片传爆受间隙的影响较小。采用冲击片雷管驱动飞片的起爆方式, 可减少爆轰放大级数, 对战斗部小型化有重要意义。Prinse 和 Scholtes^[2]采用冲击片雷管驱动飞片实现了钝感传爆药的可靠起爆, 其研究表明, 采用冲击片雷管能够大幅度提高其起爆能力, 其安全性符合直列式要求, 从而提高钝感起爆传爆序列的作用可靠性。翟志强^[3]对小型雷管驱动飞片起爆传爆药进行了研究, 与冲击波起爆

相比, 传爆序列中使用飞片起爆具有作用距离大、输出威力大的特点。Barbour^[4]、Schimmel^[5]和 Austing^[6]的研究也验证了飞片传爆的优势。但是这些研究都对飞片传爆提出规律性的结论。

采用冲击片雷管驱动飞片的起爆传爆序列设计关键在于飞片撞击炸药速度和飞片形态。飞片速度研究多通过测试技术获得飞片的速度历程, 并且结合数值模拟研究爆轰波驱动飞片过程。虞德水^[7]采用双灵敏度激光速度干涉仪测量了 JOB-9003 和 JB-9014 两种炸药平面一维爆轰驱动飞片的速度, 并用 DYNA2D 程序进行了数值模拟, 实验和计算结果表明, JB-9014 炸药的做功能力可以达到 JOB-9003 炸药的 75%。姜洋^[8]对点起爆炸药驱动平板飞片进行了试验和数值模拟计算, 计算所得的飞片运动历史和击靶波形均与实验符合较好。蒋小华^[9]设计了一种速度可调的小型炸药驱动飞片装置, 利用激光速度干涉仪(VISAR)和数值模拟计算了炸药驱动飞片过程的飞片速度规律, 说明采用数值模拟可以准确预测飞片速度。

六硝基芪(HNS-IV)炸药是冲击片雷管最适宜的装药^[10], 本研究数值模拟了冲击片雷管炸药驱动飞片过程, 获得飞片材料、飞片厚度和飞片直径对飞片速度及飞片形态的影响规律, 以期作为起爆传爆序列中飞片和加速膛等关键参数的优化设计提供依据, 提高起爆传爆序列的可靠性和小型化水平。

收稿日期: 2018-03-07; 修回日期: 2018-03-29

网络出版日期: 2018-05-18

作者简介: 陈清畴(1983-), 男, 助理研究员, 主要从事钝感火工品和爆轰数值模拟计算。e-mail: chenqingchou@caep.cn

通信联系人: 李勇(1986-), 男, 助理研究员, 主要从事半导体桥火工品研究。e-mail: liyong_jcm@caep.cn

引用本文: 陈清畴, 马弢, 李勇. HNS-IV 炸药驱动飞片速度及形态的数值模拟[J]. 含能材料, 2018, 26(10): 814-819.

CHEN Qing-chou, MA Tao, LI Yong. Numerical Simulation of Velocity and Shape of the Flyer Driven by HNS-IV Explosive[J]. Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao), 2018, 26(10): 814-819.

Chinese Journal of Energetic Materials, Vol.26, No.10, 2018 (814-819)

含能材料

www.energetic-materials.org.cn

2 数值方法及模型

以 HNS-IV 炸药为装药, 基于冲击片雷管的基本构型, 在其输出端设计有加速膛, 用于产生飞片。HNS-IV 炸药驱动飞片简化模型如图 1 所示。冲击片雷管中的薄膜器件对爆轰过程计算的影响极其微弱, 在计算中对其进行了简化。HNS-IV 炸药尺寸为 $\Phi 4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ 。

基于 HNS-IV 炸药驱动飞片简化模型, 采用非线性有限元动力学程序 Ansys/Ls-Dyna^[11] 进行数值模拟。采用拉格朗日算法, 网格尺寸为 0.05 mm, 时间步长为 0.01 μs 。冲击片雷管的飞片尺寸较小, 可近似为点起爆。HNS-IV 炸药采用高能炸药燃烧模型和 JWL 状态方程^[12]。

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

表 1 炸药爆轰性能参数和爆轰产物 JWL 状态方程参数

Table 1 Parameters of detonation performance of explosive and parameters of JWL equation of state for detonation products

explosive	$\rho_0 / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$D / \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	p_1 / GPa	A / GPa	B / GPa	R_1	R_2	ω	$E_0 / \text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$
HNS-IV ^[13]	1.550	6.88	18.9	469	13.00	4.58	1.79	0.30	8.45
HNS ^[14]	1.200	5.74	11.5	137	9.27	4.30	2.50	0.59	4.60
HNS ^[14]	1.402	6.34	16.0	226	2.11	3.94	0.72	0.30	5.8
HNS ^[14]	1.504	6.70	18.5	310	3.43	4.24	1.10	0.42	6.8

加速膛采用不锈钢材料。飞片和加速膛采用 Johnson-Cook 力学模型^[15] 和 Grüneisen 状态方程^[16]。

Johnson-Cook 力学模型定义压力为:

$$\sigma_y = (A + B \bar{\epsilon}^{pn})(1 + c \ln \dot{\epsilon}^*)(1 - T^{*m}) \quad (2)$$

式中, A, B, n, c 和 m 为与材料相关的常数, $\bar{\epsilon}^p$ 为有效塑形应变, $\dot{\epsilon}^*$ 为有效总应变率, s^{-1} , T^* 为无量纲温度。

屈服条件为:

$$\epsilon^f = (D_1 + D_2 \exp D_3 \sigma^*)(1 + D_4 \ln \dot{\epsilon}^*)(1 + D_5 T^*) \quad (3)$$

式中, $D_1 \sim D_5$ 为与材料相关的常数, σ^* 为压力与有效应力之比。

Grüneisen 状态方程定义压缩材料压力为:

$$p = \frac{\rho_0 C^2 \mu \left[1 + \left(1 - \frac{\gamma_0}{2}\right) \mu - \frac{a}{2} \mu^2\right]}{\left[1 - (S_1 - 1) \mu + S_2 \frac{\mu^2}{\mu + 1} - S_3 \frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2}\right]^2} + (\gamma_0 + a \mu) E \quad (4)$$

对于膨胀材料, 定义其压力为:

$$p = \rho_0 C^2 \mu + (\gamma_0 + a \mu) E \quad (5)$$

式中, $\mu = \rho / \rho_0 - 1$, ρ 为密度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; ρ_0 为初始密度, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$; C 为 $u_s - u_p$ 曲线的截距, u_s 为材料中冲击波速

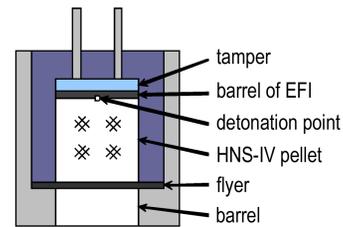


图 1 HNS-IV 炸药驱动飞片装置简化模型

Fig. 1 Simplified model of the flyer device driven by HNS-IV explosive

式中, p 为爆轰产物的压力, GPa; V 为爆轰产物的相对比容, E_0 为初始内能, $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$; ω 为 Grüneisen 系数。 A, B, R_1 和 R_2 为四个待定参数, 由圆筒试验确定。采用小圆筒试验 ($\Phi 10 \text{ mm}$) 标定了 HNS-IV 炸药 JWL 状态方程参数, 并通过炸药驱动飞片速度测试验证了参数的有效性, HNS-IV 与三种不同密度的 HNS 炸药爆轰性能参数和爆轰产物 JWL 状态方程参数如表 1 所示。

度, $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$; u_p 为材料粒子速度, $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。 S_1, S_2, S_3 是 $u_s - u_p$ 曲线斜率的系数, γ_0 是 Grüneisen 系数, a 是对 γ_0 的一阶体积修正, E 为单位体积的初始能量, $\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ 。

飞片材料分别为不锈钢、钛合金和铝, 厚度分别为 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40 mm 和 0.50 mm, 直径分别为 3, 4, 5 mm。计算中需要的材料参数见表 2 和表 3, 未列出参数值为零。

3 计算结果及分析

3.1 飞片材料对飞片速度的影响

计算了 HNS-IV 炸药驱动直径 $\Phi 4 \text{ mm}$ 、厚度 0.10 mm 飞片的速度历程, 飞片材料分别为铝、钛合金和不锈钢。以飞片中心点为观测点, 计算的飞片速度历程如图 2 所示。

从图 2 可以看出, 飞片在爆轰波作用下, 飞片速度瞬间跃升, 跃升速度可以达到最大速度的 60% 以上。在随后的 0.2 μs 内, 飞片在冲击波作用下不断震荡加速, 可以加速到最大速度的 80%~90%。随着冲击波

表2 Johnson-Cook 模型参数^[17]

Table 2 Parameters for Johnson-Cook model

material	A / GPa	B / GPa	n	c	m	T _m / K	c _p / J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹	D ₁
Al	0.265	0.426	0.34	0.015	1.00	775	875	0.8
Ti	1.098	1.092	0.93	0.014	1.10	1941	528	0.8
steel	0.792	0.510	0.26	0.014	1.03	1793	477	0.8

Note: T_m is the melting temperature. c_p is the specific heat.

表3 Grüneisen 状态方程参数^[17]

Table 3 Parameters for Grüneisen EOS

material	C / m·s ⁻¹	S ₁	γ ₀	a
Al	5355	1.345	2.13	0.10
Ti	4695	1.147	2.04	0.40
steel	4569	1.490	2.17	0.46

在飞片中逐渐衰减, 加速能力逐渐减小, 飞片速度缓慢增加。在三种飞片中, 铝飞片速度最高, 钛合金飞片其次, 不锈钢飞片速度最小。其最大速度分别为 4.01, 3.38 km·s⁻¹ 和 2.74 km·s⁻¹。

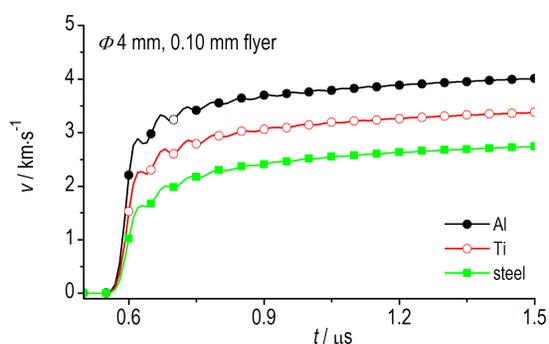


图2 材料对飞片速度的影响

Fig.2 Effects of different materials on the flyer velocity

HNS-IV 炸药驱动飞片模型符合格尼模型中不对称平板夹层装药形式, 飞片速度可以由式(6)计算^[18]:

$$v_f = \sqrt{2E} \left[\frac{1 + \Delta^2}{3(1 + \Delta)} + \frac{m_N \Delta^2}{m_e} + \frac{m_f}{m_e} \right]^{-1/2} \quad (6)$$

其中:

$$\Delta = (1 + 2m_f/m_e)/(1 + 2m_N/m_e) \quad (7)$$

式中, v_f 为飞片最大速度, km·s⁻¹; E 为格尼能, kJ·g⁻¹; m_N 为上夹板质量, g; m_f 为飞片质量, g; m_e 为炸药质量, g。

在 HNS-IV 炸药驱动飞片计算中, 仅飞片材料发生变化。由公式(6)可知, 飞片最大速度仅与飞片质量相关, 即仅与飞片密度相关。因此, 采用较轻材料的飞片有利于提高飞片速度。

3.2 装药密度对飞片速度的影响

计算了不同装药密度的 HNS 炸药和 HNS-IV 炸药 (表 3) 驱动直径 Φ4 mm、厚度 0.10 mm 钛合金飞片的速度历程。以飞片中心点为观测点, 计算的飞片速度历程如图 3 所示。

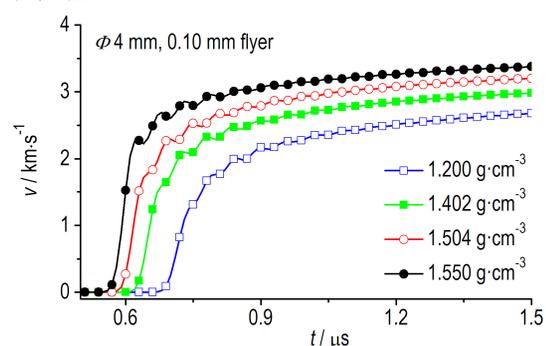


图3 装药密度对飞片速度的影响

Fig.3 Effects of explosive density on the flyer velocity

从图 3 可以看出, 随着装药密度增加, 飞片速度逐渐增高。炸药的驱动能力与其密度呈正相关, 密度越高, 驱动能力越强, 相应的飞片速度也就越高。

3.3 飞片厚度对速度及动能的影响

计算了 HNS-IV 炸药驱动直径 Φ4 mm、不同厚度 (0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50 mm) 钛合金飞片的速度历程。由于飞片变厚后, 速度震荡严重, 故仅考虑 0.10, 0.15, 0.20, 0.30 mm 厚度的钛合金飞片。以飞片中心点为观测点, 计算的飞片速度历程如图 4 所示。

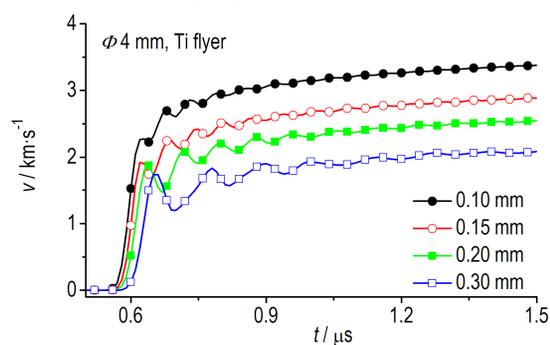


图4 飞片厚度对钛合金飞片速度的影响

Fig.4 Effects of the flyer thickness on the titanium alloy flyer velocity

从图4可以看出,随着飞片厚度增加,飞片速度逐渐降低。由于炸药驱动飞片加速过程主要依靠冲击波在飞片中的往返反射驱动,随着飞片厚度增加,飞片速度震荡较大。在 $1.5\ \mu\text{s}$ 时,飞片速度曲线已经较为平缓,认为其基本达到最大速度。

将六种飞片厚度下(三种材质)的最大速度随飞片厚度变化($0\sim 1.0\ \text{mm}$)进行趋势性拟合,结果如图5所示。

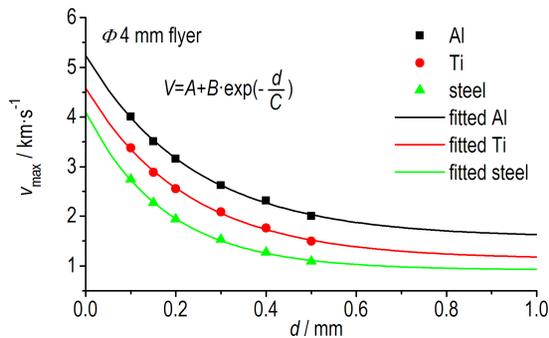


图5 飞片厚度对不同材料最大飞片速度的影响

Fig.5 Effects of the flyer thickness on the maximum flyer velocity of different materials

从图5可以看出,飞片最大速度与飞片厚度呈幂函数关系。随着飞片厚度增大,飞片最大速度逐渐降低,并趋于一个极限值。

炸药驱动飞片过程是炸药内能转化为飞片动能的过程,飞片动能越大表示能量转化效率越高。按照 $E = \frac{1}{2}mv^2$ 计算飞片动能。图6给出了不同材料飞片($\Phi 4\ \text{mm}$,厚度 $0.1\ \text{mm}$)的动能随飞片厚度变化规律。

从图6可以看出,每种材料的飞片厚度均存在一个最佳值,使动能达到最大。铝飞片的最佳厚度约为 $0.40\ \text{mm}$,钛合金飞片的最佳厚度约为 $0.20\ \text{mm}$,而不锈钢飞片的最佳厚度约为 $0.15\ \text{mm}$ 。钛合金飞片在

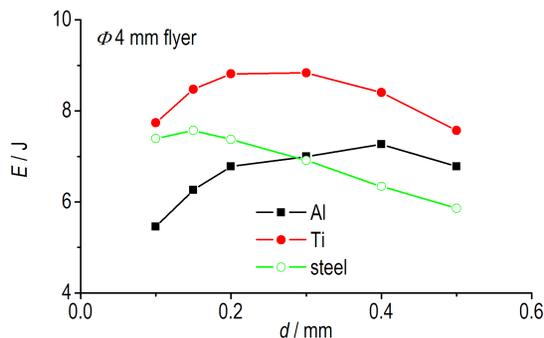


图6 飞片厚度对飞片动能的影响

Fig.6 Effects of flyer thickness on the kinetic energy of flyer

计算厚度范围内动能都较其他两种材料的高,这说明炸药驱动钛合金飞片的能量转化效率最高。

3.4 飞片直径对飞片形态的影响

计算了HNS-IV炸药驱动不同直径、 $0.10\ \text{mm}$ 厚度钛合金飞片过程,获得了飞片在半径方向不同位置处的速度分布与位移分布,如图7和图8所示。

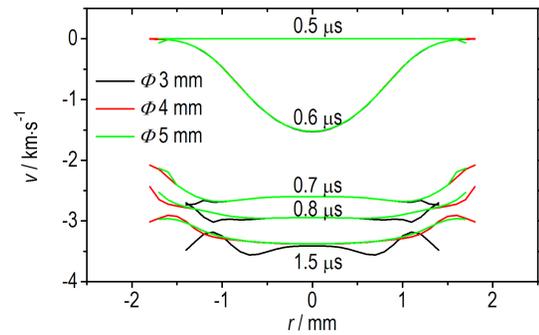


图7 不同直径钛合金飞片在不同时刻的速度分布

Fig.7 The velocity distribution of titanium alloy flyer with different diameter at different time

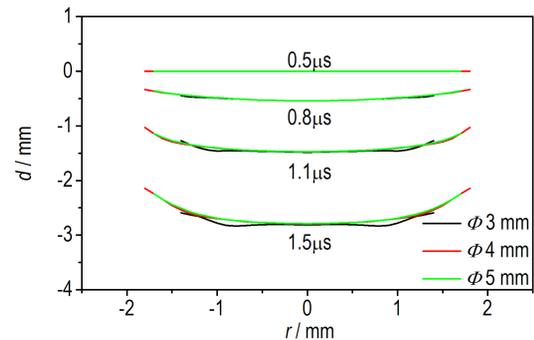


图8 不同直径飞片在不同时刻的位移分布

Fig.8 The displacement distribution of flyer with different diameter at different time

从图7可以看出,在 $0.6\ \mu\text{s}$ 时刻,飞片在爆轰波的作用下开始加速。HNS-IV药柱是点起爆,爆轰波呈球面沿着药柱轴向传播。当爆轰波到达飞片时,飞片中心首先被加速,飞片外侧相对滞后。在 $0.7\ \mu\text{s}$ 时刻,飞片大部分区域已被加速到与中心基本相同速度,而飞片边缘速度略低于其他区域。这是由于飞片在剪切成型过程中,飞片边缘消耗了部分冲击波能量,使其驱动能力变弱造成的。

冲击波碰击加速膛侧壁时会发生反射,反射波加强了加速膛侧壁附近的驱动能力。由于 $\Phi 3\ \text{mm}$ 飞片的加速膛直径相对较小,所以其在较早时间会受到反射波的加强。在 $0.7\ \mu\text{s}$ 时刻, $\Phi 3\ \text{mm}$ 飞片边缘速度已

赶上中心区域的速度,使其速度分别较为均匀。在 1.5 μs 时刻, $\Phi 4\text{ mm}$ 和 $\Phi 5\text{ mm}$ 飞片也明显受到反射波的作用。同时,由于反射波的持续作用, $\Phi 3\text{ mm}$ 飞片的速度分布出现波动。

从图 8 可以看出,对于 $\Phi 4\text{ mm}$ 、 $\Phi 5\text{ mm}$ 飞片,两种飞片的形态较为一致;随着飞片向前运动,飞片的球形形态越发明显。而 $\Phi 3\text{ mm}$ 飞片相对较为平整。

计算表明, $\Phi 3\text{ mm}$ 、 $\Phi 4\text{ mm}$ 、 $\Phi 5\text{ mm}$ 飞片的有效直径分别为 2.8、3.6、3.4 mm。在飞片成型过程中,必定有部分材料损失,使飞片直径小于加速膛直径。 $\Phi 4\text{ mm}$ 飞片是在高温高压爆轰产物和加速膛作用下剪切形成的。而 $\Phi 5\text{ mm}$ 飞片还受到其自身的拉应力作用,这使得 $\Phi 5\text{ mm}$ 飞片边缘有更多单元失效,有效直径相对更小。

4 结论

(1) 飞片材料密度是影响飞片速度的重要因素,密度越小,飞片速度越高,钛合金飞片的速度能够达到 $4.01\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$,而不锈钢飞片的速度仅有 $2.74\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(2) 炸药密度也是影响飞片速度的重要因素,随着炸药密度增加,飞片速度也随之增大。

(3) 随着飞片厚度增大,飞片最大速度逐渐降低,并趋于一个极限值。对飞片动能而言,每种材料的飞片厚度均存在一个最优值。炸药驱动钛合金飞片的能量转化效率较其他两种飞片高。

(4) 飞片在爆轰剪切后,其有效直径均有所减小, $\Phi 4\text{ mm}$ 和 $\Phi 5\text{ mm}$ 飞片的有效直径相当, $\Phi 3\text{ mm}$ 飞片的有效直径最小,仅为 2.8 mm。

(5) 在爆轰波的作用下, $\Phi 4\text{ mm}$ 和 $\Phi 5\text{ mm}$ 飞片略呈球面状,而 $\Phi 3\text{ mm}$ 飞片形态较为平整。

参考文献:

- [1] 章冠人, 陈大年. 凝聚炸药起爆动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991: 54.
- [2] Prinse W, Scholtes G. A development platform for a microchip EFI[C] // 52nd Annual Fuze Conference. Kansas. 2008, 3:13-15.
- [3] 翟志强, 王凯民, 蔡瑞娇, 等. 小型雷管输出能力增强技术研究[J]. 火工品, 2004, (2): 12-15.
ZHAI Zhi-qiang, WANG Kai-min, CAI Rui-jiao, et al. Experimental study of shock initiation by flyer plate impact in explosive train[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2004, (2): 12-15.
- [4] Barbour R T. Pyrotechnics in industry [M]. USA: The King

- sport Press, 1981: 89.
- [5] Schimmel M L. Quantitative Understanding of Explosive Stimulus Transfer[M]. USA: NASA, 1973: 5.
- [6] Austing J L. The shock initiation of covered explosive and pyrotechnic charge by flyer plate impact across an air gap II: results for composition A4 [C] // 15th Proceeding International Pyrotechnics Seminar, Boulder, Colorado USA, 1990.
- [7] 虞德水, 赵锋, 谭多望, 等. JOB-9003 和 JB-9014 炸药平面爆轰驱动飞片的对比研究[J]. 爆炸与冲击, 2006, 12(2): 140-144.
YU De-shui, ZHAO Feng, TAN Duo-wang, et al. Experimental studies on detonation driving behavior of JOB-9003 and JB-9014 slab explosives[J]. *Explosion and Shock Waves*. 2006, 12(2): 140-144.
- [8] 姜洋, 孙承伟, 李平, 等. 点起爆炸药驱动平板飞片运动的数值模拟研究[J]. 高压物理学报, 2009, 23(4): 261-265.
JIANG Yang, SUN Cheng-Wei, LI Ping, et al. Numerical simulation of the motion of flyer driven by slab explosive initiated at centered point[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*. 2009, 23(4): 261-265.
- [9] 蒋小华, 陈清畴, 李敏, 等. 一种小型炸药驱动飞片装置的试验与数值模拟研究[J]. 含能材料, 2010, 18(6): 470-473.
JIANG Xiao-hua, CHEN Qing-chou, LI Min, et al. Experimental and numerical studies on flyer initiation device[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(6): 470-473.
- [10] Mendes R, Campos J, Plaksin I, et al. Shock initiation of explosives by micro slapper [J]. *Equine Veterinary Journal*, 2001, 33(1): 59-64.
- [11] ANSYS Inc. ANSYS 12.0 [CP], ANSYS Inc, 2009.
- [12] Lee E L. Adiabatic Expansion of High Explosive Detonation Products[R]. UCRL250422: 1968.
- [13] 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. Studies on JWL EOS of detonation product for HNS-IV [J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2010 (4): 21-24.
- [14] Souers P C, Haselman L C. Detonation Equation of State at LLNL, 1993[R]. UCRL-ID116113.1994.
- [15] Johnson G R, Cook W H. A constitutive model and data for metals subjected to large strain rates and high temperatures [C] // 7th international symposium on ballistics. Hague, Netherlands. 1983.
- [16] 经福谦. 试验物态方程理论导引[M]. 北京: 科学出版社, 1986: 175-177.
- [17] 时党勇. 基于 ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 117.
- [18] Zukas J A, Walters W P. Explosive effects and applications [M]. New York: Springer Inc., 1998: 233.

Numerical Simulation of Velocity and Shape of the Flyer Driven by HNS-IV Explosive

CHEN Qing-chou, MA Tao, LI Yong

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

Abstract: To guide the detonating sequence design of the flyer driven by the impingement detonator, the numerical simulation method was used to calculate and obtain the velocity and shape of the flyer with different materials (Stainless steel, titanium alloy, aluminum), different thickness (0.1–0.5 mm) and different diameter (3, 4 mm and 5 mm) driven by hexanitrostilbene-IV (HNS-IV) explosive. The calculation results show that at the same thickness, the velocity of the aluminum flyer is the highest, the velocity of the titanium alloy flyer is second, the velocity of the stainless steel flyer is the lowest, which is relative to their densities. For the same material, with increasing the thickness of flyer, the flyer velocity decreases gradually and tends to an extreme value. After detonation shearing of flyer with different diameter, the effective diameters of the fliers are reduced, in which, the effective diameters of $\Phi 4$ mm and $\Phi 5$ mm flyers are the same as those of 3.6 mm and 3.4 mm, respectively, and the $\Phi 3$ mm flyer is the smallest, only 2.8 mm. Under the action of detonation wave, HNS-IV explosive drives titanium alloy flyer with different diameter and 0.10 mm thickness, and the $\Phi 4$ mm and $\Phi 5$ mm flyers are slightly spherical, and the shape of $\Phi 3$ mm flyer is more flat. It is considered that the shock wave reflection drive is the main reason of its flat shape.

Key words: explosive driving; flyer velocity; flyer shape; hexanitrostilbene-IV (HNS-IV)

CLC number: TJ45

Document code: A

DOI: 10.11943/CJEM2018054



《含能材料》实现单篇网络首发

为了以规范的网络期刊出版方式更快更好地确立作者的科研成果首发权,全面提高学术论文的传播效率和利用价值,《含能材料》与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司(简称电子杂志社)签署了《CAJ—N网络首发学术期刊合作出版协议》,通过《中国学术期刊(网络版)》(CAJ—N)进行《含能材料》单篇网络首发。

自2018年5月起,凡经《含能材料》审定录用的稿件将在《中国学术期刊(网络版)》(CAJ—N)上网络首发,后视编排情况发布整期汇编定稿,并印刷出版。

为规范网络首发版式,请投稿作者登录本刊网站,仔细阅读本刊投稿须知,并依据投稿模板中相关要求认真撰写论文。录用定稿网络首发之后,在后续整期汇编定稿网络版和印刷版中,不得修改论文题目、作者署名及排序、作者单位及其主要学术内容,只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

欢迎作者投稿本刊。欢迎读者通过中国知网、本刊网站阅读并使用DOI引用本刊最新录用论文。

《含能材料》编辑部