

HNS 炸药的小面积短脉冲 冲击引爆特性

王治平 欧阳登焕 彭德志

用电炮装置研究了炸药的配方、密度、飞片的直径和厚度对 HNS 炸药冲击引爆感度的影响,分析了炸药阈值引爆 $p-\tau$ 曲线的行为与飞片直径和厚度的关系,从而得出非均质炸药小面积、短脉冲冲击引爆的某些特性。

一、引言

HNS (22', 44', 66'—六硝基芪) 炸药具有熔点高 (315—319°C)、热安定性好) 蒸汽压力比一般传爆药都低,甚至比 TATB 还低), 特别是以 HNS 为主要成份的 Lx-15 (HNS—I/keI—F800 = 95/5 wt%) 炸药,它在落锤试验和隔板试验中的感度比 PBX—9407 (RDX/Exon = 94/6 wt%) 低,而在飞片雷管试验中却比 PBX—9407 高⁽¹⁾,是用作飞片雷管的理想传爆药。

飞片雷管对炸药的引爆属于小面积、短脉冲的冲击引爆。虽然国内外的许多学者对非均质炸药的冲击引爆做了大量的研究工作,给出了描述炸药冲击引爆临界条件的若干判据,如适用于大面积、厚飞片撞击的一维持续脉冲的冲击引爆判据 $p = p_c$; 适用于大面积、薄飞片撞击的一维短脉冲的冲击引爆判据 $p^* \tau = \text{常数}$ 和 Moulard H.⁽²⁾ 用小直径、长杆状飞弹撞击试验给出的 $p^* a = \text{常数}$ 的判据等。所有这些判据都是在某种极限条件下得出的,而对飞片直径和厚度同时影响炸药引爆性能的飞片雷管,这些判据都不适用。

为了研究 HNS 炸药的冲击引爆特性并了解非均质炸药在小面积、短脉冲冲击引爆时的某些特性,我们用电炮装置研究了不同配方、不同密度的 HNS 炸药的冲击引爆感度,以及不同直径、不同厚度的飞片对 HNS—I₄ 炸药冲击引爆临界条件的影响。

二、实验技术

电爆炸箔推动飞片引爆炸药的实验装置如图 1 所示。电爆炸箔为不同尺寸的正方形铜桥箔,飞片是聚酯膜或有机玻璃,其直径的变化范围是 1—4 mm,厚度是 0.05—0.31 mm,炸药是直径 10 mm、厚度 5 mm 的圆药柱。

实验采用“上升—下降”法进行。用电流测量线圈和同轴型电阻分压器分别测量每发实验中通过桥箔的电流及其端电压。用 Bruceton 统计方法⁽³⁾确定每组实验 (30 发左右) 的阈值引爆 (50% 引爆) 电压,从而确定阈值引爆电流和阈值引爆的桥箔爆炸电流密度 J_0 。

飞片的速度和桥箔爆炸电流密度之间的关系由我们从实验得出的考虑飞片直径影响的电

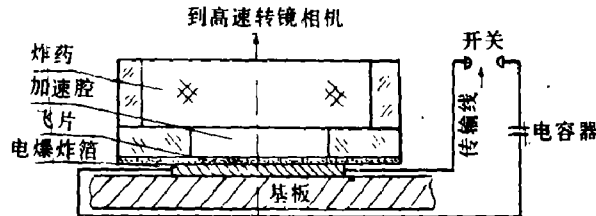


图1 电爆炸箔推动飞片引爆炸药实验装置示意图

格尼公式^[1]给出

$$u_f = \left[\frac{2k(d)J_b^{n(d)}}{1/3 + R} \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中, u_f 是飞片的末速度 ($\text{mm}/\mu\text{s}$), J_b 是桥箔的爆炸电流密度 (A/cm^2), R 是飞片与桥箔的质量比, $k(d)$, $n(d)$ 是与桥箔材料和飞片直径 d 有关的电格尼常数。

根据(1)式, 我们利用高速扫描相机, 对不同尺寸的电爆炸箔推动飞片运动的速度又做了一些实验测量^[3], 与此同时, Schwarz^[6], Rhoton^[7]等人也相继发表了一些实验结果。在此基础上, 我们对电格尼常数重新拟合, 得到适用于电爆炸铜桥箔的经验关系式

$$k(d) = \frac{1.155 \times 10^{-9}}{1 - 0.6344/d}, \quad n(d) = \frac{1.2885}{1 + 0.1109/d} \quad (2)$$

(1)、(2)式的直径 d 的适用范围是 $0.76\text{--}15\text{mm}$, 对现有的绝大多数实验结果, (1)、(2)式的计算偏差均小于 $\pm 5\%$ 。

经验公式(1)和(2)的实际应用, 有以下两个问题需要加以说明。

1), 关于飞片直径的确定, 当加速腔的直径小于或等于桥箔的边长时, 飞片的直径就是加速腔的直径; 当加速腔的直径略大于桥箔的边长时, 飞片的直径取为桥箔的边长。

2), 由于电爆炸箔推动飞片的运动是一个不断的加速过程, 因此加速腔长度的选择要保证飞片加速到其末速度的90%以上。

有了飞片速度, 若已知飞片和炸药的冲击 Hugoniot 数据, 则利用飞片—炸药界面的连续条件, 就可以确定飞片撞击炸药的冲击压力 p 和相应的压力持续时间 τ (近似取做冲击波在飞片中传播时间的两倍。)

三、实验结果

1. 炸药配方的影响

四种不同配方的 HNS 炸药的引爆阈值实验结果列于表 1。所用的铜桥箔尺寸为 $1.5 \times 1.5 \times 0.017\text{mm}$, 聚酯膜飞片的厚度为 0.07mm , 炸药密度均为 $1.57\text{g}/\text{cm}^3$ 。

由表 1 的实验结果可以看到, 不同配方的 HNS 炸药所需的引爆阈值飞片速度(或压力)不同, 而 HNS—L 炸药的感受度几乎与单质 HNS—I 相同, 且具有良好的加工和成型性能, 因此下文所述的所有实验都选用这种炸药。

2. 炸药密度的影响

表1 不同配方的HNS炸药引爆阈值实验结果

炸 药	配 方* (wt%)	$J_b(10^4 \text{ A/cm}^2)$	$u_f(\text{mm}/\mu\text{s})$	$P(\text{GPa})$	$\tau(\mu\text{s})$
HNS-I	单 质	3.381	2.099	6.6	0.0335
HNS-I ₁	HNS-I/F ₂₃₋₁₁ /W = 97.5/1.8/0.7	4.029	2.332	7.7	0.0319
HNS-I ₂	HNS-I/F ₂₃₋₁₂ /W = 97.5/1.8/0.7	4.047	2.338	7.8	0.0319
HNS-I ₄	HNS-I/F ₂₃₋₁₄ = 97.5/2.5	3.506	2.145	6.8	0.0331

* F₂₃₋₁₁, F₂₃₋₁₂, F₂₃₋₁₄为粘结剂, W是石蜡

不同密度的HNS-I₄炸药阈值引爆的实验结果示于图2。实验所用的铜桥箔尺寸为 $1.25 \times 1.25 \times 0.017 \text{ mm}$, 聚酯膜飞片的厚度为 0.07 mm 。

由图2可见,随着炸药密度的降低,炸药阈值引爆的飞片速度也随之减小,这与一般猛炸药的实验结果是一致的。Golopoi等人^[1]在研究Lx-15炸药的引爆性能时发现,当炸药密度是其理论最大密度的90% ($\rho = 1.57 \text{ g/cm}^3$)时敏感度最高,我们对HNS-I₄炸药的实验没有发现这种现象。

3. 飞片直径的影响

固定飞片的厚度,改变飞片的直径进行实验,结果如图3所示。

由图3所示的实验结果可以看到,随着飞片直径的增加,HNS-I₄炸药阈值引爆压力减小,对于不同厚度(δ_f)的飞片,最终趋于不同的定值。这个定值只与飞片的厚度即持续时间有关,这相当于一维短脉冲冲击引爆的情况。

4. 飞片厚度的影响

固定飞片的直径,改变飞片的厚度进行实验,结果如图4所示。

由图4所示的HNS-I₄炸药实测的 $P-\tau$ 曲线可以看到,随着飞片厚度的增加(即 τ 增加),炸药的阈值引爆压力减小,对于不同直径的飞片,分别趋于不同的定值。这些定值只与飞片直径(冲击加载面积)有关,这相当于Moulard^[2]的小直径、长杆状飞弹的冲击引爆情况。

当飞片的厚度很薄(τ 很短)时,对不同直径的飞片,炸药引爆的阈值 $P-\tau$ 曲线先后与炸药的一维短脉冲冲击引爆特性曲线 $P^{1/3}-\tau = 0.835$ 重合。

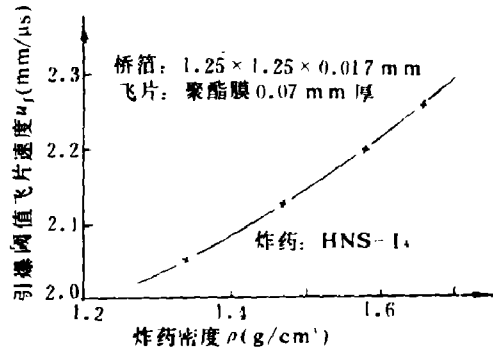


图2 炸药阈值引爆的飞片速度与炸药密度的关系

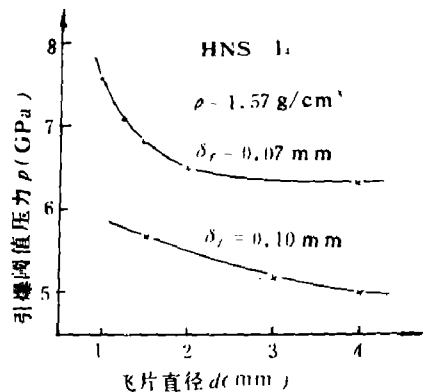
图3 HNS-I₄炸药阈值引爆压力与飞片直径的关系

图4中, HNS—L炸药的一维短脉冲冲击引爆特性曲线是根据卫玉章^[8]的非均质炸药临界引爆的综合判据由实验数据拟合得到的。对于密度为1.57g/cm³、尺寸为φ10×5 mm的HNS—L炸药片, 这一综合判据可用下面经验公式表示

$$p^{4.03} = 90 + \left(\frac{160}{d^2}\right)^{1.70} + \left(\frac{0.835}{\tau}\right)^{2.03} \quad (3)$$

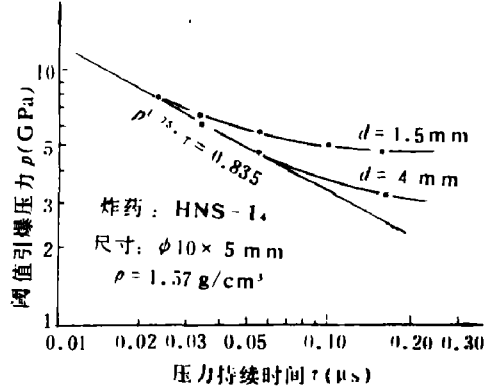


图4 HNS—L炸药的实测 $p-\tau$ 曲线

式中的常数项与试验炸药的密度和尺寸等因素有关, 我们的实验没有涉及这些参数的变化。

对于12组不同参数的实验结果, (3)式的计算偏差小于±2%。

四、讨 论

在非均质炸药的冲击引爆中, 飞片的撞击压力是炸药引爆的主控因素。而这个撞击压力所激发的炸药化学反应所产生的压力增长与稀疏所造成的压力下降这两方面因素之间的相互竞争, 决定着炸药的引爆与否和引爆程度。对于小面积、薄飞片撞击的冲击引爆, 同时存在着两种不同的稀疏, 取决于飞片直径或冲击加载面积的侧向稀疏和取决于飞片厚度或压力持续时间的背面稀疏。而炸药阈值引爆的 $p-\tau$ 曲线的行为, 实际上取决于侧向和背面稀疏所造成的压力下降的相对程度。

由(3)式我们可以画出如图5所示的一簇HNS—L炸药的 $p-\tau$ 特性曲线(图中给出了12组实验的数据点)。由此我们可以看到飞片直径(侧向稀疏)和压力持续时间(背面稀疏)对炸药冲击引爆阈值 $p-\tau$ 曲线行为的影响。

当 τ 较小时, 不同飞片直径的 $p-\tau$ 曲线都分别与炸药的一维短脉冲冲击引爆特性曲线重合。此时, 背面稀疏是造成炸药中压力下降的主要因素, 而侧向稀疏的影响相比之下可以忽

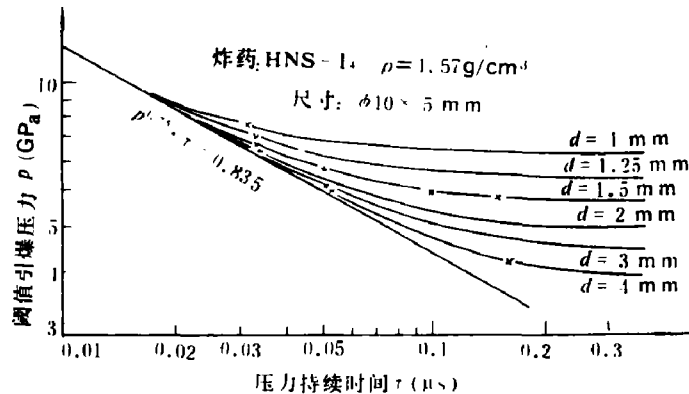


图5 HNS—L炸药的阈值引爆 $p-\tau$ 曲线

略不计,炸药的引爆遵从 $p^m \tau = \text{常数}$ 的判据;随着 τ 的增加,侧向稀疏影响的比重越来越大,两种稀疏同时起作用, $p - \tau$ 曲线逐渐偏离一维短脉冲冲击引爆特性曲线;随着 τ 的进一步增加,侧向稀疏的影响占了主导地位,而背面稀疏的影响相比之下可以忽略不计, $p - \tau$ 曲线将趋于只与飞片直径(冲击加载面积)有关的定值,遵从 $p^m a = \text{常数}$ 的判据。另一方面,随着飞片直径和厚度的同时增大,侧向和背面稀疏的影响都可以忽略不计,此时炸药的冲击引爆特性只取决于炸药本身的性质,遵从 $p = p_c$ 的判据,这就是一维持续脉冲冲击引爆的情况。

如上所述,随着加载面积和压力持续时间影响大小的变化,炸药引爆的临界行为也随之发生变化。同时还可以看到,非均质炸药的小面积短脉冲冲击引爆,有别于一维短脉冲冲击引爆和小直径、长杆状飞弹的冲击引爆而具有其自身的特性。当飞片很薄时,其引爆行为可按一维短脉冲冲击引爆处理;当飞片的厚度与其直径相比足够大时,则遵从小直径、长杆状飞弹的二维持续脉冲冲击引爆的行为;而在这两者之间,还存在一个引爆的过渡区,不妨称之为二维短脉冲冲击引爆区。在此引爆过渡区内,炸药引爆的临界行为,不仅取决于冲击压力,而且同时取决于冲击加载面积和压力持续时间。周之奎等人^[9]在PBH-9炸药的冲击引爆实验中,也观察到了类似的情况。

何锦涛、滕永华等为我们的实验提供了光刻铜桥箔,汤业朋等提供了HNS炸药实验件,谨致衷心的感谢。

参 考 文 献

- [1] Golopol, H. A. et al, UCRL-52175 (1976).
- [2] Moulard, H., *The 7th Sym. on Detonation* (1981), 182.
- [3] 史山群,《国外火工品》,国防工业出版社,(1970),74.
- [4] 王治平,《爆炸与冲击》,2,(2)(1982),83.
- [5] 张希林等,测量电爆箔驱动的飞片连续速度的阴影扫描光学方法,全国第三届高速摄影与光子学学术会议论文集第三册,(1982).
- [6] Schwarz, A. C., SAND 80-2372.
- [7] Rhoton, N. O., MHSMP 81-09.
- [8] 卫玉章,《爆炸与冲击》,2(1)(1982),117.
- [9] 周之奎等, *International Symposium on Intense Dynamic Loading and Its Effects*, 北京(1986), 254.

THE INITIATION BEHAVIOUR OF HNS BY A SHORT DURATION SHOCK WITH SMALL LOADING AREA

Wang Zhiping Ouyang Denghuan Peng Dezhi

Abstract

Effects of the composition and density of HNS explosive flyer diameter and its thickness on the shock initiation threshold sensitivity, have been investigated by means of an electric gun device. By analyzing the dependence of $p-t$ curve on the flyer diameter and its thickness, some initiation characteristics of heterogeneous explosives by a short duration shock with small loading area have been given.

击波上小扰动衰减法测量LY— 12铝的高压粘性系数

张树华 李曾昆

本文采用 Сахаров, А. Д. 等建立的小扰动法测量了LY—12铝在31吉帕下的粘性系数 $\eta \approx 5 \times 10^4$ 泊, 与文献(1)的结果基本一致。发现 Зайзель, Р. М. 在文献上给出的处理实验结果的K的表达式有问题, 本文给出了K的修正表达式。

一、引言

物质在动态条件下粘性的研究, 对工程设计和物质动态性质的研究都有重要意义。

确定物质在高压下粘性系数的小扰动法是 Сахаров, А. Д. 等⁽¹⁾ 在六十年代中期建立起来的。从这以后, Минеев, В. Н. 等^(2,3,4) 先后用小扰动法对铝、铅、氯化钠、水、水银等物质进行了粘性系数测量。他们根据物质粘性系数在熔点附近要发生变化的设想, 由粘性系数的测量确定了铝、铅、氯化钠的熔点以及水的凝固点和熔点。Chhabildas, L. C. 等⁽⁵⁾ 利用激光干涉技术的高分辨率特性测量了6061—T6铝的波剖面, 得出其粘性系数 $\eta \sim 10^4$ 泊, 而 Минеев, В. Н. 等用小扰动法测得铝的 $\eta \sim 10^4$ 泊。不同方法给出的粘性系数的差别可定性地解