

非均匀炸药的冲击引爆综合判据

卫玉章

概括现有的经验关系和实验数据,给出了非均匀炸药的冲击引爆综合判据,可作为飞片引爆装置的工程估算工具。

一、非均匀炸药的冲击引爆综合判据

非均匀炸药受到低阻抗材料的平面飞片撞击时,输入一个压力为 P 、脉宽为 τ 的近似于方波的压力脉冲。对于一定成份和物理状态的炸药,入射冲击波能否成长为爆轰波,取决于压力 P ,脉宽 τ ,飞片面积 a 和炸药厚度 X 。存在一个成长为爆轰的临界条件或判据:

$$f(P, \tau, a, x) = 0 \quad (1)$$

目前,还没有人给出这个完整的关系,只有若干特殊条件下的经验判据。

概括这些经验关系和现有实验数据,含有各项影响因素的冲击引爆综合判据可以表示成如下形式:

$$P^{2n} - \left(\frac{B}{X}\right)^{\frac{2n}{b}} - \left(\frac{N}{\tau}\right)^{\frac{2n}{n}} - \left(\frac{M}{a}\right)^{\frac{2n}{m}} = 0 \quad (2)$$

式中, P 是入射冲击压力(万巴), X 是炸药片的厚度(毫米), τ 是压力脉冲宽度(微秒),它等于 $\frac{2\sigma}{U}$, σ 是飞片厚度(毫米), U 是撞击后飞片中的初始冲击波速度(毫米/微秒), a 是撞击炸药的飞片面积(毫米²),对于通常使用的圆飞片, a 等于 $\frac{1}{4}\pi d^2$, d 表示飞片直径(毫米), b, B, n, N, m 和 M 是经验参数。

二、综合判据与试验数据的比较

Wackerle数值模拟计算了平面一维情况下PBX—9404炸药的冲击引爆过程,与实验结果作了对比^[1]。我们将这些结果和用(2)式计算的结果一并列于表1。

PBX—9404炸药(密度约为1.84克/厘米³)的经验参数为: $n=2.0, N=4.0^{[1]}, b=1.6, B=58^{[1]}$ 。对于平面一维引爆, $a=\infty$ 。可见(2)式可以描述各种 P, τ, X 的临界条件。

表1、不同 P, τ 作用下, PBX—9404炸药冲击引爆临界炸药厚度 X (即冲击波成长为爆轰的距离)。

本文收到日期:1981年7月2日

P (万巴)	τ (微秒)	x (毫米)		
		(2) 式计算	数值计算 ^[1]	实 验 ^[1]
12.0	0.040	1.4	1.4	/
9.0	0.066	2.4	2.6	/
6.2	0.14	4.3	4.3	5.2
3.0	0.55	15	13	>12.7

Schwarz公布了他用小直径薄片撞击HNS—SF炸药(密度1.6克/厘米³)的冲击引爆实验数据^[1]。实验表明, $n = 2.0$, $N = 1.0$, 取 $m = 1.4$, $M = 9.0$ 和2.54毫米厚的炸药样品的 $\left(\frac{B}{X}\right)^{\frac{1}{b}} = 2.5$ (缺少b, B数据, 2.5是个推测值), 用(2)式计算了引爆炸药片所需冲击压力, 和实验值一并列于表2。

表2、在不同 τ 和d条件下, 引爆厚度为2.54毫米的HNS—SF炸药片所需冲击压力

d (毫米)	a (毫米 ²)	x (毫米)	τ (微秒)	实验P ^[2] (万巴)	用(2)式计算得P (万巴)
1.57	1.93	2.54	0.011	$9.8^{+1.2}_{-1.0}$	9.6
1.57	1.93	2.54	0.036	$5.3^{+0.2}_{-0.3}$	5.5
1.57	1.93	2.54	0.075	$4.1^{+0.1}_{-0.2}$	4.2
1.57	1.93	2.54	0.089	$4.1^{+0.1}_{-0.2}$	4.0
1.57	1.93	2.54	0.14	$3.8^{+0.1}_{-0.2}$	3.6
1.57	1.93	2.54	≥ 0.15	约 3.6	3.6
1.57	1.93	2.54	0.042	$5.1^{+0.1}_{-0.2}$	5.1
1.02	0.82	2.54	0.039	$6.5^{+0.1}_{-0.2}$	6.3

显见, (2)式可以很好密接Schwarz的小飞片实验数据。

三、讨 论

如果要将综合判据应用到接近于临界压力的低压范围, (2)式中的第一项应该是含有P和临界压力 P_c 的某个函数, 这时综合判据可以表示成如下形式:

$$\left(P_K - P_c^K\right)^{\frac{2n}{K}} - \left(\frac{B}{X}\right)^{\frac{2n}{b}} - \left(\frac{N}{\tau}\right)^{\frac{2n}{n}} - \left(\frac{M}{a}\right)^{\frac{2n}{m}} = 0 \quad (3)$$

实际引爆装置不会选择在低压下工作,而是 $P \gg P_c$,为简便起见,忽略 P_c ,得到(2)式,因而,(2)式是远离 P_c 的高压区判据。

通常,在薄飞片引爆装置中,炸药片的厚度或所要求的冲击波增长为爆轰波的距离小于炸药片的直径,而且在实际应用中,炸药片侧面有一个厚的外套,因而炸药片直径的影响不大,我们在综合判据中未考虑这个因素(弱约束的细药柱得考虑这个因素)。

综合判据概括了各种特殊条件下的判据。几个特殊条件下的判据如下:

(1) 低压冲击临界压力判据

当 $X \rightarrow \infty$, $a \rightarrow \infty$ 和 $\tau \rightarrow \infty$ 时*, (3)式化为

$$P = P_c \quad (4)$$

即,冲击压力必须大于某一个值—临界压力,炸药才有可能点火引爆。这是早期冲击引爆研究中已提出来的一个概念^[3]。

(2) 高压冲击 P — X 判据

当 $\tau \rightarrow \infty$ 和 $a \rightarrow \infty$ 时,(2)化为

$$P^b X = B \quad (5)$$

$X = \frac{B}{P^b}$ 是与压力有关的临界炸药厚度(即冲击波增长为爆轰波的距离),(5)式是有名的POP关系,它是1965年Ramsay和Popolato总结平面一维持续脉冲引爆实验数据后提出来的^[4]

(3) 高压冲击 P — τ 判据

当 $X \rightarrow \infty$ 和 $a \rightarrow \infty$ 时,(2)式化成了

$$P^n \tau = N \quad (6)$$

$\tau = \frac{N}{P^n}$ 是与压力有关的临界引爆脉冲宽度。这就是众所周知的 $P^n \tau$ 判据。Walker和Wasley

在1969年根据平面一维短脉冲实验,给出了有名的临界能量通量 $P^n \tau$ 或 $P^2 \tau$ 判据^[5]。后来发现并非所有炸药 $n = 2$,于是引出判据(6)。

(4) 包含低压范围的 P — τ 判据

当 $X \rightarrow \infty$, $a \rightarrow \infty$ 和取 $K = n$ 时,(3)式化成了

$$(P^n - P_c^n) \tau = N \quad (7)$$

这就是1976年Stresau和Kennedy给出的所谓“真实系统中冲击引爆临界条件^[6]”。它概括了(4)和(6)两个判据。

(5) 高压冲击 P — a 判据

当 $\tau \rightarrow \infty$ 和 $X \rightarrow \infty$ 时,(2)式化成了

$$P^m a = M \quad (8)$$

$a = \frac{M}{P^m}$ 是与压力有关的临界引爆面积。这就是1981年Moulard根据小截面飞弹撞击实验给出的二维冲击引爆判据^[7]。

临界压力判据(4), Ramsay判据(5), Walker判据或 $P^n \tau$ 判据(6), Stresau

* $\rightarrow \infty$ 系指有关变量增大到对所研究过程不再有明显影响。

判据(7)和Moullard判据(8)都是综合判据的特例,只适用于相应的特定条件,当 X , a 和 τ 对引爆过程都有影响时,它们全部失效,这时只能用综合判据。

引爆过程是外界刺激所激发的炸药化学反应所引起的压力增长过程。所谓爆与不爆指的是冲击波阵面出炸药片之前是否增长为高速爆轰波。炸药片能否被引爆,受到若干因素的影响。综合判据(3)表示了这些因素在引爆过程中相互竞争的平衡条件。第一项中的 P 是入射冲击压力,它是引爆主控因素。冲击压力越高,所激发的反应就越强,从而使压力增长越快。第

一项中的 P_c 和第二项中的 $\left(\frac{B}{X}\right)^{\frac{1}{b}}$ 表示炸药片的钝感度,前者是点火钝感度,后者是增长钝感

度。炸药片的钝感度越大,引爆它所需的冲击压力就越高。第三项的 $\left(\frac{N}{\tau}\right)^{\frac{1}{n}}$ 表示背面稀疏效

应,第四项中的 $\left(\frac{M}{a}\right)^{\frac{1}{m}}$ 表示侧面稀疏效应。这两项也是阻碍引爆的因素,它们越大,就需要

越高的冲击压力来补偿稀疏损失。所以,综合判据(3)实质上就是引爆因素—— P 和抗爆

因素—— P_c , $\left(\frac{B}{X}\right)^{\frac{1}{b}}$, $\left(\frac{N}{\tau}\right)^{\frac{1}{n}}$, $\left(\frac{M}{a}\right)^{\frac{1}{m}}$ 相互竞争的一个平衡关系(即临界关系)。在不同条件

下,各个抗爆因素主从各异,于是就引出了(4), (5), (6), (7)和(8)等特殊判据。在不同条件下引出的所谓临界压力、临界炸药厚度、临界脉冲宽度、临界能量通量、临界面积等,都是特定条件下的特定概念,只有相对意义,不能无条件使用。

在实验误差或允差范围内,可以用不同形式的方程表示综合判据。(2)式是使用起来比较简便的一种形式,可以作为小直径薄飞片引爆装置的工程估算工具。

我们用 I 表示(2)式左边各项,即

$$I = P^{2n} - \left(\frac{B}{X}\right)^{\frac{2n}{b}} - \left(\frac{N}{\tau}\right)^{\frac{2n}{n}} - \left(\frac{M}{a}\right)^{\frac{2n}{m}} \quad (9)$$

称它为引爆函数。 $I > 0$, 炸药片能被引爆; $I < 0$, 不能引爆; $I = 0$ 是临界状态。 I 值越大,引爆可靠性越高。

一批炸药片,由于工艺过程造成的理化状态的差异, B , N , M 等参数有所不同。若知这些参数的散布,就能由(9)式得到各组 P , X , τ , a 的引爆概率或者由(2)式得到各组 P , τ , a 的临界炸药厚度 X 的散布,从而合理设计引爆装置。

四、例子

PBX——9404炸药的参数最全,其名义值为: $n = 2.0$, $N = 4.0 \times 10^4$, $b = 1.6$, $B = 58 \times 10^4$, $m = 2.8$, $M = 1700 \times 10^4$ 。我们以PBX—9404为例,给出临界引爆曲线图案如图1所示。从图上可以清楚看到各种因素是如何影响冲击引爆临界条件的。

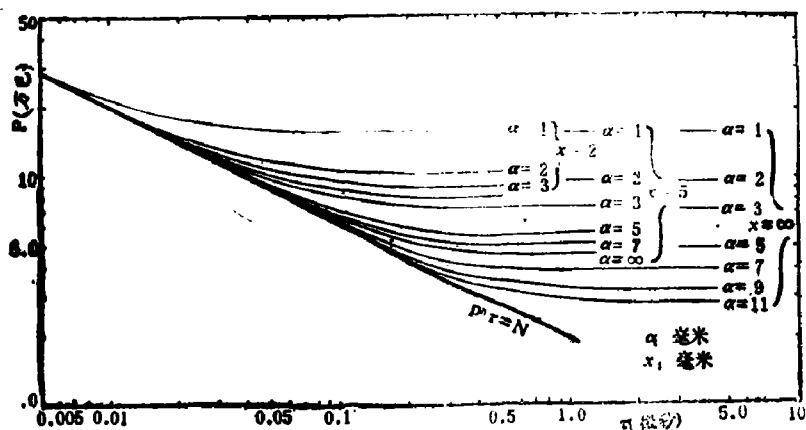


图 1、PBX—9404 (密度 1.84克/厘米³) 炸药的冲击引爆临界线

参 考 文 献

- [1] J.Wackerle et al, LA—UR—78—1219, 1978.
- [2] A.C.Schwarz, 7th Symp. on Det. Vol. 1, P.480, 1981, (preprint) .
- [3] G.E.Seay and L.B.Seely, J.Appl. phys. Vol.32, №8, P.1092, 1961.
- [4] J.B.Ramsay and A.Popolalo, 4th Symp.on Det. p.233, 1965.
- [5] E.F.Walker and R.J.Wasley, Explosivestoffe, 17 Janr, Nr 1, P 9, 1969.
- [6] R.M.Stresau and J.E.Kennedy.
6th Symp. on Det. P.68, 1976.
- [7] H.Moulard, 7th Symp. on Det Vol. 1, P128, 1981, (preprint) .
- [8] R.C.Weingart et al, UCRL—82162, 1979.
- [9] J.B.Ramsay, ACTA ASTRONAUTICA, Vol. 6, No. 5—6, P.779, 1979.

A COMPLETE CRITERION FOR SHOCK INITIATION OF DETONATION IN HETEROGENEOUS EXPLOSIVES

Wei Yu-zhang

A Complete criterion for shock initiation of detonation in heterogeneous explosives is given by generalizing the available empirical relations and experimental results. It may be used as a tool for engineering estimation of the initiation of the flyer detonators