

PBX-9404和TATB的散心 临界冲击引爆问题

曹菊珍

(1985年11月13日收到)

对于冲击引爆问题,讨论散心情况问题更为典型,本文仅考虑散心因子和化学能释放二个因素对临界压力影响。在一定的条件下,可以求得球形散心爆轰波的临界冲击引爆压力。本文参考〔1〕,〔2〕估算PBX-9404和TATB两种炸药的散心临界冲击引爆压力值。结果指出TATB冲击引爆临界压力比PBX-9404高得多。因此,如何引爆钝感炸药TATB是值得研究的课题。

一、引爆压力

仔细研究炸药的引爆过程,必须考虑化学反应释放能量 Q 的速率。对一般固体炸药往往采用依赖于压力(p)的反应率。本文采用〔1〕提供的Cochran反应率并加以简化,取

$$\dot{Q} = k_0 p^m \quad (1)$$

其中 k_0 、 m 是反应率常数,可以用唯象的方法来确定。假定引爆炸药的惰性介质与炸药的阻抗是匹配的,即认为入射激波进入炸药后压力不变。这样,讨论球形散心问题的引爆过程实际上就是讨论散心因子与化学释放率两个因素对引爆压力的影响。如果炸药状态方程满足多方指数为 k 的形式

$$p = (k-1)\rho E_0 \quad (2)$$

这里 ρ 是密度。同时假定:(1)激波是强激波。(2)散心情况,激波波后的速度分布满足自型解^{〔4〕},即有 $du/dr = u/r$ 。(3)对于未反应的固体炸药,(2)式中 k 为1。

再定义无量纲量

$$\left. \begin{aligned} P &= p/p_c \\ R &= r/r_0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其中, p_c 是待定的临界压力; r_0 是炸药与惰性介质的交界面的位置。那末,直接应用〔2〕的结果得到

$$\frac{1}{3} \frac{D \ln P}{DR} = P^m - \frac{1}{R} \quad (4)$$

其中 $n = m - (3/2)$ 。定解条件是

$$R = 1; P = P_0 = p_0 / p_c \quad (4a)$$

当 $R = 1$ 时, $\frac{DP}{DR} = 0$ 为临界, 则由(4)可以定出临界压力 p_c 为

$$p_c = [9/8 r_0 k_0 \rho_0^{3/2}]^{1/(m-(3/2))} \quad (5)$$

同时方程(4)的解为

$$P^{-n} = \left(P_0^{-n} + \frac{3n}{1-3n} \right) R^{3n} - \frac{3n}{1-3n} R \quad (6)$$

这就是带化学反应过程散心情况压力随距离变化规律。

二、物理图象分析

表 1 根据 [1] 给出 PBX-9404 和 TATB 的炸药参数; 表 2 给出两种炸药散心情况不同 r_0 的临界压力 p_c 值。图 1 画出了散心临界压力与 r_0 变化曲线。由此可见 TATB 比 PBX-9404 临界压力值高得多。对于 $r_0 = 1cm$ 的情况, TATB 的临界压力值比 PBX-9404 高一个量级。

表1 PBX-9404 和 TATB 的参数

参数	k_0	m	$\rho_0 (g/cm^3)$	n
炸药				
PBX-9404	1.26×10^2	3.2	1.84	1.7
TATB	5.88×10^3	6.7	1.898	5.2

表2 不同 r_0 的临界压力值(G Pa)

$r_0 (cm)$	2	1	0.5	0.1
炸药				
PBX-9404	2.42	3.64	5.47	14.1
TATB	14.0	16.0	18.0	25.0

由(4), 当 $P^{-n} = R$ 时, 则 $\frac{dP}{dR} = 0$ 即为压力梯度为 0 的轨迹。根据(6)式轨迹为。

$$R^{1-3n} = P_0^{-n} (1 - 3n) + 3n \quad (7)$$

函数(7)必定通过 $R = 1; P_0 = 1$ 点, 并且有两条渐近线。

$$\text{当 } R \rightarrow \infty, \quad P_0 = \left(\frac{3n-1}{3n} \right)^{1/n} \quad (8)$$

$$\text{当 } P_0 \rightarrow \infty, \quad R = (3n)^{1/1-3n} \quad (9)$$

图(2)给出 PBX-9404 和 TATB 两种炸药的压力梯度为零的轨迹。对于 PBX-9404 而言 $P_0 = \left(\frac{3n-1}{3n} \right)^{1/n} = 0.887$ 。对 TATB 则 $P_0 = 0.987$ 。在图 2 中分别以 *, ⊙ 表示。

图 2 可以分析下面几种情况

(1) 当 $P_0 > 1$, 则由(4)式得

$$\left\{ \frac{D \ln P}{DR} \right\}_{R=1} > 0$$

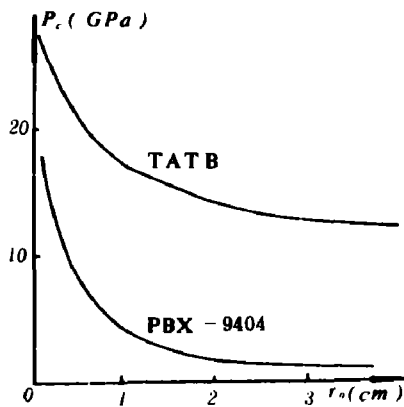


图 1 不同 r_0 的临界压力曲线

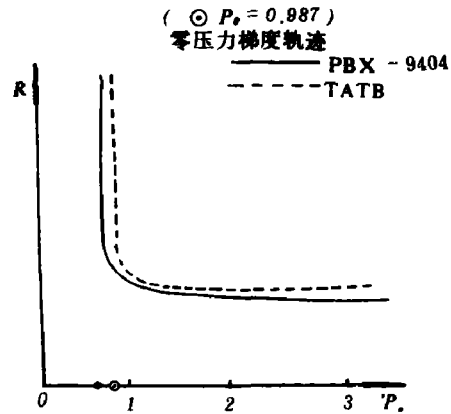


图 2 PBX-9404 和 TATB 两种炸药的零压力梯度

这样在 $R = 1$ 均有 $\frac{DP}{DR} > 0$, 也就是说冲激波之后的压力随距离的增加而增加, 即冲激波可由波后化学反应提供的能量获得不断加速。

(2) 当 $P_0 < 1$ 时, 即冲激波自惰性介质的界面 $R = 1$ 进入炸药时, 若冲激波强度小于临界值(5)式时, 那么由(4)式得

$$[D \ln P / DR]_{R=1} < 0$$

显然冲激波进入炸药, 冲激波强度逐渐下降, 但以后时刻如冲激波能越过由(7)式决定的零压力梯度线必须满足

$$1 > P_0 > \left[\frac{3n-1}{3n} \right]^{1/n}$$

压力才有增长的可能。图 3 画出了 PBX-9404 初始冲激压力为 $0.88 p_c$ 时无量纲压力 P 随 R 增长情况; TATB 初始冲激压力为 $0.99 p_c$ 时情况。可见压力开始是下降的。待 R 增长至 3.6 (TATB 情况为 1.2) 以后压力才上升。

(3) 当 $P_0 = 1$ 时冲激波自惰性介质进入炸药, 刚进入时强度不变, 以后逐渐提高。

以上得到的是定性分析图象。公式(5)在计算弱散心问题和在 $r_0 = 0$ 附近都是不正确的。真实的情况会复杂得多, 临界压力的要求也更为苛刻。必须指出, 对于平面情况, 如果考虑惰性介质与炸药阻抗是匹配的, 又不考虑粘性、热传导影响, 那么压力随距离没有衰减的趋势。所以估算平面问题冲激起爆临界压力问题必须考虑引爆脉冲 τ 的影响, 引爆判据往往给出 $p^* \tau$ 的形式, 这部份工作将另作论述。

三、讨 论

(1) 由于我们主要关心是引爆过程, 因此仅讨论冲激波自惰性介质进入化学反应介质不

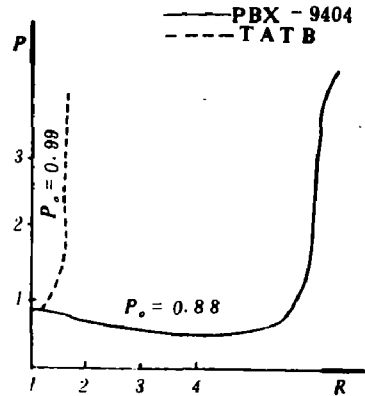


图 3 PBX-9404 和 TATB 初始冲击压力小于临界压力 p_c , 大于 $\left[\frac{3n-1}{3n} \right]^{1/n} p_c$ 时, 无量纲压力 P 随距离 R 变化曲线

长一段时间内的行为。在这种情况下, 化学反应的放能速率才符合前节的假定, 即反应速率与反应度无关。实际上随着冲激波强度的提高, 在冲激波通过后, 反应度对反应放能速率的影响就不能再忽略了。所以对 $P_0 = 1$, 它的冲激波强度一般来说, 不再有可能如前所述的越过零压力梯度再回升的情况出现。因此取冲激引爆的临界压力为(5)式决定 p_c 为好。

(2) 本文是单一地讨论临界引爆压力的问题。实际上, 此问题的提法与初始脉冲维持时间有关。如果从能量方程出发, 考虑压力、温度平衡情况下, 不难求出引爆判据 $P^n \tau = Const$, 这里 p 为引爆压力, t 为发生爆轰的时间, n 是与反应率指数 m 有关的常数。

(3) 本文主要近似处理是波后作无化学反应的速度分布。如若考虑化学反应, 速度梯度的影响可能要大一些。严格处理需要数值计算。

参 考 文 献

- (1) Cochran, S. G., Chan, J., *UCID* 18024, (1979).
- (2) Adams, G. K., *9th Symp. Combust.* (1962), 545.
- (3) Pack, D. C., Warner, F. J., *10th Symp. Combust.* (1964), 845.
- (4) Courant, R., Friedrichs, K. O., *Supersonic Flow and Shock waves*, Waverly press, Baltimore, Maryland (USA), (1948).

THE CRITICAL SHOCK INITIATION PROBLEM OF PBX-9404 AND TATB IN DIVERGING GEOMETRY

Cao Juzhen

Abstract

The minimum pressure required to initiate steady detonation in diverging geometry, the relationship between chemical energy released and this critical pressure are studied in this paper.

The critical pressures are calculated for PBX-9404 and TATB and compared to those of Ref. [1], [2]. It is obvious that the critical pressure of TATB is higher than the other. Increasingly concerned about the shock initiation for insensitive explosives, It leads to study the critical pressure. The question how to initiate insensitive explosives, is an important investigating object in the future.