

在两层不同爆速炸药滑移爆轰作用下 飞板运动的数值计算研究

张 凯 李晓杰

(大连理工大学工程力学所)

摘要 本文研究用低爆速炸药复盖高爆速炸药在定常滑移爆轰作用下飞板运动的计算方法, 并对惯性复盖与炸药复盖的结果作出相互比较:

关键词 炸药复盖 惯性复盖

飞板在单层炸药滑移爆轰作用下的运动已有很多学者作过研究^[1]。在主炸药上方采用惯性复盖我们也作过研究^[2]。本文是研究把不同爆速的炸药组合起来, 如在高爆速炸药的上方复盖一层低爆速炸药, 在定常滑移爆轰作用下飞板运动的计算方法, 并对惯性复盖与低爆速炸药复盖的结果作出相互的比较。

一、飞板在炸药复盖、定常滑移爆轰作用下的数值计算

图1为爆轰实验的装置图, 图2为双层炸药定常滑移爆轰作用下飞板运动的X光照片的

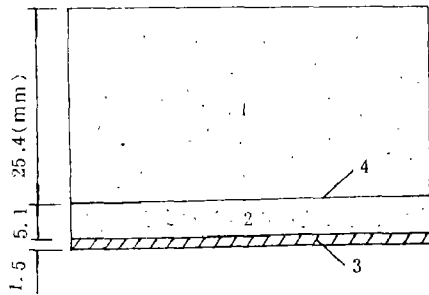


图1 爆轰装置图

- 1- 2#岩石炸药 2- 高爆速炸药
- 3- 飞板 4- 铜箔

Fig. 1 Experimental configuration for detonation.

- 1- An rock explosive No.2,
- 2- High velocity explosive.
- 3- Flyer plate, 4- copper foil.

复制界面曲线图。主炸药的爆速 $V_0 = 6500$ m/s, 密度 $\rho_{10} = 1.42$ g/cm³, 多方指数 $r_1 = 3$, 药厚 $\delta_1 = 5.1$ mm, 复盖的为低速的2#岩石炸药, 爆速 $D_{01} = 3500$ m/s, 密度 $\rho_{20} = 0.831$ g/cm³, 多方指数 $r_2 = 2.391$, 药厚 $\delta_2 = 25.4$ mm, $D = 3635$ m/s。两层炸药之间放一厚0.04 mm的铜箔。飞板为1.5 mm的4#钢板, 质量比(主炸药质量/飞板质量) $R = 0.615$ 。从图上测得2#岩石炸药爆轰波面为斜直线, 斜角为 $\varphi = 34^\circ$, 两种产物的交界面在爆轰波头附近呈现一段直线段, 且 $\theta = 11.12^\circ$, 这说明2#岩石炸药的爆轰波面与产物交界面之间出现一个等压区, 计算模型如图3所示, 图中I区为2#岩石炸药的产物区, II区为高爆速炸药产物区。根据交界面初始段BC出现直线情形, 可以作出爆轰波面前后速度图。按I区图形有

$$\operatorname{tg}(\varphi - \theta) = V_n / V_t, D = V_d \sin \varphi, V_t = V_{t0} = V_d \cos \varphi \quad (1)$$

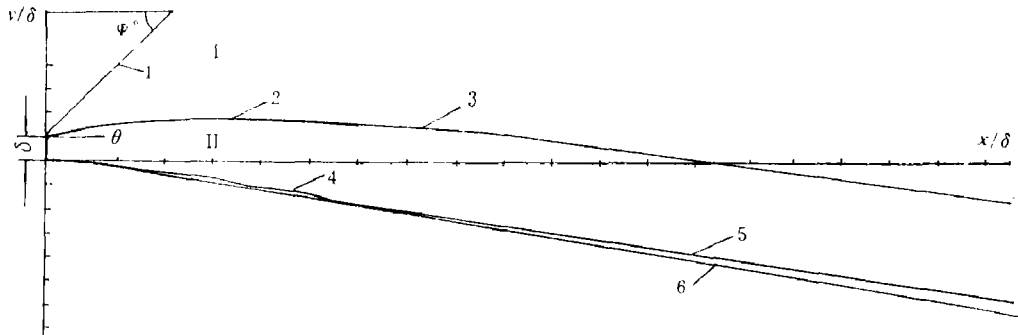


图 2 双层炸药沿移爆轰作用下的飞板运动图 (X 光照片复制)

1—斜爆轰波面, 2—两种炸药爆轰产物的交界面(实验), 3—两种炸药爆轰产物的交界面(计算),
4—飞板飞行曲线(实验), 5—无复盖时飞板飞行曲线(计算), 6—飞板飞行曲线(计算)

Fig. 2 Motion of the flying plate under glancing detonation of two layer explosives (duplicated figure of X-rays photograph).

1 --- Ramp detonation wave front. 2 --- Interface of explosive products of two explosives (experimental). 3 --- Interface of explosive products of two explosives (calculated).
4 --- Motion of the flying plate (experimental). 5 --- Motion of the flying plate when there isn't any covers (calculated). 6 --- Motion of the flying plate (calculated).

爆轰波面前后的法向速度为

$$D = V_{20} \sqrt{\frac{p - p_0}{V_{20} - V_2}} \quad (2)$$

$$V_n = V_2 \sqrt{\frac{p - p_0}{V_{20} - V_2}} \quad (3)$$

式中 $V_{20} = 1/\rho_{20}$, $V_2 = 1/\rho_2$ 为波面前后低爆速炸药及其产物的比容, p, p_0 为波面前后压力, 同时亦应满足 Hugoniot 能量方程

$$(p + \mu^2 p_0)(V_2 - \mu^2 V_{20}) = (1 - \mu^4) \cdot p_0 V_{20} + 2\mu^2 Q \quad (4)$$

式中 $\mu^2 = \frac{\gamma_2 - 1}{\gamma_2 + 1}$, γ_2 —— 低爆速炸药的多方指数, Q —— 爆热, 从 (1) — (3) 式, 可联立解得

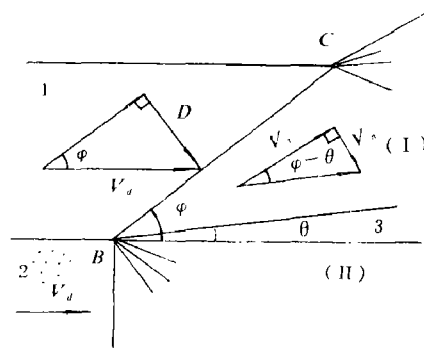


图 3 计算模型图

1—2# 岩石炸药, 2—高爆速炸药, 3—产物交界面
Fig. 3 Scheme of calculation model
1—AN rock explosive No. 2, 2—High velocity explosive. 3—Interface of explosive products.

$$V_n = V_d \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(\varphi - \theta) \quad (5)$$

$$\frac{V_2}{V_{20}} = \operatorname{tg}(\varphi - \theta) / \operatorname{tg} \varphi \quad (6)$$

$$p = (1/V_{20})(1 - \operatorname{tg}(\varphi - \theta) / \operatorname{tg} \varphi) V_d^2 \cdot \sin^2 \varphi \quad (7)$$

按(4)式,略去 p_0 后,与(2)式联立解出

$$p = \frac{D^2}{(\gamma_2 + 1)V_{20}} \left[1 \pm \sqrt{1 - D_0^2/D^2} \right] \quad (8)$$

式中 $D_0^2 = 2(\gamma^2 - 1)Q$ 为低爆速炸药的C-J点爆速,括号中正号对应于强爆轰,负号对应于弱爆轰,计算中取正号。从式(5)、(6)、(7)看出,只要测出 φ 、 θ ,就可以定出爆轰波后的状态,同时可从(8)式来定出炸药的 γ_2 值。由于 θ 值的测定较为困难,X光不清晰,较为粗略,因而可以使用两种爆轰产物在交界面上压力相等条件来计算 θ 值,从而定出低爆速炸药的波后状态及其多方指数 γ_2 值。毫无疑问,用这种方法可测定某种炸药的多方指数值。为了用数值计算方法来求出产物交界面曲线与飞板的飞行姿态曲线,可采用特征线法。特征线法的计算模型有以下假定:

- (a) 两种爆轰产物都满足多方方程,爆轰波宽度不计。
- (b) 侧向稀疏不计,简化为二维问题,运动为定常的,并忽略起爆端稀疏的影响
- (c) 飞板为理想流体。

图3中B、C点为奇点,从这两点出发各发出一束中心膨胀波(即普朗特-梅耶绕流,称P-M流),这样可得到图(4)的波系图,图(4)中波的相互作用可分为四种情况:(1)

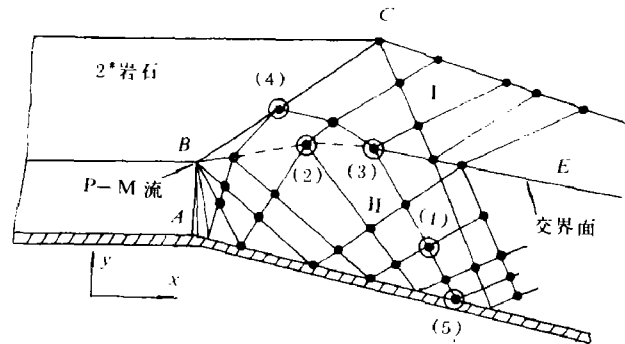


图4 特征线波系图

Fig. 4 Scheme of characteristics.

波在一种产物内部相交,(2)波分别在两种爆轰产物界面上的相互透射,(3)稀疏波 I 与斜爆轰波的相互作用,(4)波与飞板边界的相互作用。

设 M ——马赫数, α ——马赫角, $\sin \alpha = 1/M$, $\zeta = (M^2 - 1)^{1/2} = \text{ctg} \alpha$, θ ——气流速度与 x 轴的夹角,逆时针为正, p ——压力,下角标 H, l, d ,相应表示高爆速炸药中、低爆速炸药中以及爆轰波头上的参数。 $\bar{x} = x/\delta_1$, $\bar{y} = y/\delta_1$,在以后的计算中用 x, y 代替 \bar{x}, \bar{y} 。

根据定常无粘平面超声速气体运动方程式,得到特征线方程及其相容条件

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)_{i,ii} = \text{tg}(\theta \pm \alpha) \quad (9)$$

$$v \mp \theta = C_{i,ii} \quad (10)$$

其中

$$\begin{aligned} v(M) &= A \operatorname{arctg}(A \sqrt{M^2 - 1}) - \operatorname{arctg} \sqrt{M^2 - 1} \\ v(\xi) &= A \operatorname{arctg}(A \xi) - \operatorname{arctg} \xi \\ A &= [(\gamma + 1)/(\gamma - 1)]^{1/2} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \frac{p^*}{p} &= \left(1 - \frac{\gamma - 1}{2} M^2\right)^a; \quad \bar{p} = \frac{p}{p_d} = \left[\frac{1 + \gamma + (\gamma - 1)\xi^2}{1 + \gamma + (\gamma - 1)\xi_d^2} \right]^{-a} \\ a &= \gamma / (\gamma - 1) \end{aligned} \quad (12)$$

其中 p^* 代表滞止压力为常数, $C_{1, II}$ 分别为第 I 与第 II 黎曼不变量, p_d 对于高爆速炸药为 $p_{dH} = \rho_{10} V_d^2 / (\gamma + 1)$, 对低爆速炸药则由式 (8) 求出, $\xi_{dH} = \sqrt{M_{dH}^2 - 1} = 0$, $v(M)$ 称为 P-M 函数。下面分别写出五种情况的计算公式:

(1) 波在一种产物内部相交^[2]

见图 5, 已知 1、2 点, 可求 3 点, 对 (10)、(11) 式离散可得到

$$\left. \begin{aligned} \theta_3 &= [(\nu_2 - \nu_1) + (\theta_1 + \theta_2)] / 2 \\ \xi_3 &= v^{-1}(\theta_3 - \theta_1 - \nu_1) \\ \alpha_3 &= \operatorname{arctg}\left(\frac{1}{\xi_3}\right) \\ y_3 &= (x_2 - x_1 + k_{13}y_1 - k_{23}y_2) / (k_{13} - k_{23}) \\ x_3 &= x_1 + k_{13}(y_3 - y_1) \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

其中 $k_{13} = \frac{1}{2}[\operatorname{ctg}(\theta_1 + \alpha_3) + \operatorname{ctg}(\theta_2 + \alpha_3)]$; $k_{23} = \frac{1}{2}[\operatorname{ctg}(\theta_2 - \alpha_3) + \operatorname{ctg}(\theta_1 - \alpha_3)]$; v^{-1} 代表 $v(M)$ 的反函数, 其值可用二分法解出。

(2) 波在两种爆轰产物交界面上的情况

在图 6a 情况有

$$\theta_3 - \theta_2 = \nu_{H1} - \nu_{H2} \quad (14)$$

这里 $\theta_{H3} = \theta_{L3} = \theta_3$, $\theta_{H1} = \theta_{L1} = \theta_1$, 至于 1 点到 3 点应理解为低爆速药一边。在靠近 B 点在 BC 波面后的小区域 (如图 4) 处, 接近一个等压区, 实际上是不可能为严格的等压区, 两种炸药产物的交界线将逐渐弯曲, 气流不断膨胀, 每一膨胀可看成一个梅耶膨胀区, 这样, 从低速药这一边看, 把从 1 点到 3 点可近似看成一小段绕下角流的简单波, 故有

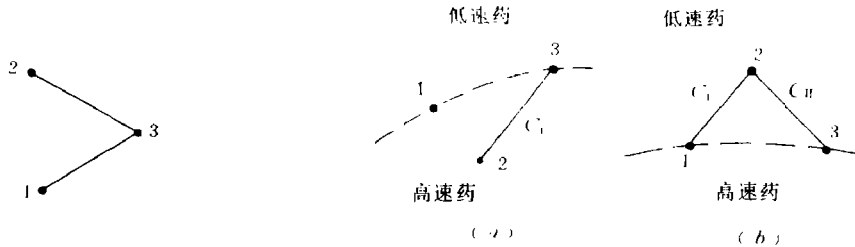


图 5 产物内部特征线图
Fig. 5 Scheme of characteristics within explosive products.

图 6 交界面上的特征线图
Fig. 6 Scheme of characteristics along the interface of products.

$$\theta_1 - \theta_2 = v_{L1} - v_{L2} \quad (15)$$

在交界面上有 $\operatorname{tg} \theta = \frac{dy}{dx}$, 离散后得到

$$\frac{x_3 - x_1}{y_3 - y_1} = \frac{1}{2} (\operatorname{ctg} \theta_1 + \operatorname{ctg} \theta_2) \quad (16)$$

将 (14) 式与 (15) 式联立, 有

$$v_{H1} + v_{L1} = \theta_1 - \theta_2 + v_{L1} + v_{H2} \quad (17)$$

另外, 点 3 两侧压力相等

$$p_{H3} = p_{L3}$$

即得

$$p_{H1} \cdot \bar{p}_{H3} = \bar{p}_{L3} \cdot p_{L1} \quad (18)$$

把 (12) 式代入 (18) 式, 并解出 ξ_{H3}

$$\xi_{H3} = \left\{ \left(\frac{p_{L1}}{p_{H1}} \right)^{(\gamma_H-1)/\gamma_H} \cdot \left[\frac{1 + \gamma_L + (\gamma_L - 1)\xi_{L3}^2}{1 + \gamma_L + (\gamma_L - 1)\xi_{L1}^2} \right] \cdot \left(\frac{1 + \gamma_H}{\gamma_H - 1} - \frac{1 + \gamma_H}{\gamma_H - 1} \right) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

把 (19) 式代入 (17) 式中, 可求得关于 ξ_{L3} 的方程

$$\left. \begin{aligned} \xi_{L3} &= v_{L1}^{-1} (\theta_1 - \theta_2 + v_{L1} + v_{H2} - v_{H3}) \\ \theta_1 &= v_{H3} - v_{H2} + \theta_2 \\ \alpha_{H3} &= \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\xi_{H3}} \right) \\ y_3 &= (x_2 - x_1 + k_a y_1 - k_a' y_2) / (k_a - k_a') \\ x_3 &= x_1 + k_a (y_3 - y_1) \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

其中 $k_a = \frac{1}{2} (\operatorname{ctg} \theta_1 + \operatorname{ctg} \theta_2)$, $k_a' = \frac{1}{2} [\operatorname{ctg} (\theta_2 + \alpha_2) + \operatorname{ctg} (\theta_3 + \alpha_{H3})]$, 对图 6 (b) 情况类似地可求得

$$\left. \begin{aligned} \xi_{L3} &= v_{L1}^{-1} (\theta_2 - \theta_1 + v_{H1} + v_{L2} - v_{L3}) \\ \theta_1 &= \theta_2 + v_{L2} - v_{L3} \\ \alpha_{H3} &= \operatorname{arctg} \left(\frac{1}{\xi_{H3}} \right) \\ y_3 &= (x_2 - x_1 + k_a y_1 - k_a' y_2) / (k_a - k_a') \\ x_3 &= x_1 + k_a (y_3 - y_1) \end{aligned} \right\}$$

其中 $k_a' = \frac{1}{2} [\operatorname{ctg} (\theta_2 - \alpha_2) + \operatorname{ctg} (\theta_3 - \alpha_{H3})]$

(3) 稀疏波与斜爆轰波的相互作用

因为在低爆速药这一边, 可应用 (1) — (8) 式, 从 (7)、(8) 两式可解得

$$\theta = \varphi - \operatorname{arctg} \left[\operatorname{tg} \varphi - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\gamma + 1} (1 + \sqrt{1 - D_0^2 / V_0^2 \sin^2 \varphi}) \right] \quad (22)$$

因为

$$\xi = \sqrt{M^2 - 1} = \sqrt{[\rho_2 (V_0^2 + V^2) / \gamma p] - 1}$$

所以

$$\xi^2 = \frac{\gamma + 1}{\gamma} \frac{\operatorname{tg}(\varphi - \theta)}{\operatorname{tg} \varphi} \frac{\operatorname{ctg}^2 \varphi + \operatorname{ctg}^2 \varphi \cdot \operatorname{tg}^2(\varphi - \theta)}{1 + \sqrt{1 - D_0^2 / (V_0 \sin \varphi)^2}} - 1 \quad (23)$$

当一稀疏波与斜爆轰波相交时(见图7),对于 C_1 特征线有

$$\frac{x_3 - x_2}{y_3 - y_2} = \frac{1}{2} [\text{ctg}(\theta_2 + \alpha_2) + \text{ctg}(\theta_1 + \alpha_1)] \quad (24)$$

$$\theta_3 - v_3 = \theta_2 - v_2 \quad (25)$$

将(22)、(23)式的 ξ_3 与 θ_3 代入(25)中,得出形如 $F(\varphi_3) = C_1$ 的一元方程,解出 φ_3 ,然后代入(22)、(23)式中,求得 ξ_3 与 θ_3 。因为在斜爆轰波面上,有 $dy/dx = \text{tg} \varphi$,离散后得

$$\frac{x_3 - x_1}{y_3 - y_1} = \frac{1}{2} (\text{ctg} \varphi_1 + \text{ctg} \varphi_3) = k_w \quad (26)$$

将(22) - (26)式联立,得出

$$\left. \begin{aligned} F(\varphi_3) &= C_1, \quad \xi_3 = f(\varphi_3) \\ \theta_3 &= C_1 + v(\xi_3) \\ y_3 &= (x_2 - x_1 + k_w y_1 - k_w y_2) / (k_w - k_w) \\ x_3 &= x_1 + k_w (y_3 - y_1) \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

其中 $k_w = \frac{1}{2} [\text{ctg}(\theta_2 + \alpha_2) + \text{ctg}(\theta_1 + \alpha_1)]$;

$$k_w = \frac{1}{2} [\text{ctg} \varphi_1 + \text{ctg} \varphi_3]$$

(4) 波与飞板边界的相互作用(见图8)

取质量比 $R = \rho_{10} \delta / \rho_1 \delta_1$, ρ_{10} , δ , ρ_1 , δ_1 分别为高爆速炸药与飞板的密度与厚度。飞板的运动方程式为

$$\cos \theta \cdot d\theta = -\frac{R}{\gamma + 1} \bar{p} dx \quad (28)$$

$$\sin \theta \cdot d\theta = -\frac{R}{\gamma + 1} \bar{p} dy \quad (29)$$

其中 \bar{p} 为无因次量纲, $\bar{p} = p/p_{at}$, $p_{at} = \rho_{10} V_1^2 / (\gamma + 1)$ 。上式离散后得到

$$\bar{P}(x_3 - x_1) = \sin \theta_3 - \sin \theta_1 \quad (30)$$

$$\bar{P}(y_3 - y_1) = \cos \theta_1 - \cos \theta_3 \quad (31)$$

这里 $\bar{P} = \frac{R}{\gamma + 1} \cdot \frac{1}{2} (\bar{p}_1 + \bar{p}_3)$

另外,有特征线方程

$$\left. \begin{aligned} x_3 - x_2 &= k_2 (y_3 - y_2) \\ \theta_3 - \theta_2 &= v(M_3) - v(M_2) \\ k_2 &= (1/2) [\text{ctg}(\theta_2 - \alpha_2) + \text{ctg}(\theta_1 - \alpha_1)] \end{aligned} \right\} \quad (32)$$

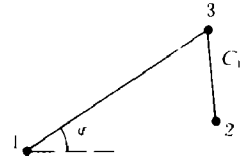


图7 稀疏波与斜爆轰波相交时特征线图

Fig. 7 Scheme of characteristics at intersection of rarefaction wave and ramp detonation wave.

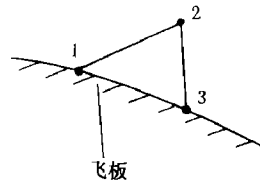


图8 特征线与飞板相交图

Fig. 8 Scheme for intersection of characteristics and flying plate.

从(30)、(31)、(32)式消去 x_3, y_3 , 并令 $k_2 = \text{ctg } \varphi_1$, 可求得

$$\cos(\theta_3 - \varphi_1) - \cos(\theta_1 - \varphi_1) = \bar{P}[(x_2 - x_1) - \text{ctg } \varphi_1 \cdot (y_2 - y_1)] \cdot \sin \varphi_1 \quad (33)$$

考虑到 $\cos(\theta_3 - \theta_1) \doteq 0$, $\sin(\theta_3 - \theta_1) \doteq \theta_3 - \theta_1$, (33)式成为

$$\theta_3 = \theta_1 - \bar{P}[(x_2 - x_1) - \text{ctg } \varphi_1 \cdot (y_2 - y_1)] \frac{\sin \varphi_1}{\sin(\theta_1 - \varphi_1)} \quad (34)$$

会同以下各式

$$\begin{aligned} \xi_3 &= v_3^{-1} (v_2 - \theta_3 + \theta_2) \\ \alpha_3 &= \text{arctg}[1/\xi_3] \\ \bar{P}_3 &= \frac{R}{\gamma + 1} \left[\frac{\gamma + 1}{2 + (\gamma - 1)(\xi_3^2 + 1)} \right]^{\gamma/(\gamma-1)}, \quad \bar{P}_3 = \frac{R}{\gamma + 1} \bar{p}_3 \end{aligned}$$

用迭代法可求得飞板边界曲线。

(5) 正爆轰波初值选取

在正爆轰波波头处, $\theta_d = 0, M_d = 1$, 因而无法给出初始值, 无法进行差分运算, 可以使用在爆轰波后面强加一个物质速度小量, 亦即令 $M_d^2 = 1 + \Delta^2$, 取 Δ 足够小, 见文献(2)。B点参数可按不同炸药产物交界两侧压力相等, 转角 θ_b 相同的条件来求出。

二、数值计算结果

图9为压力变化曲线。飞板为普钢板, 厚1.5mm, 飞板上只有高爆速炸药, 其质量比为 $R_1 = 0.615$, 图中曲线1为无复盖情形, 曲线2为在高爆速炸药上方再复盖一厚度为5mm, 密度为 1.5g/cm^3 的塑料板时的压力变化曲线, 其塑料板与炸药的质量比 $R_2 =$ 单位面积药质量/单位面积塑料质量 $= 0.966$ 。曲线3为在高爆速炸药上方复盖一层密度为 1.9g/cm^3 , 厚度为12.3mm水泥, 其相应的质量比 $R_2 = 0.31$ 时的压力变化曲线。看出复盖对峰值压力附近无多大影响, 只在1.5倍药厚之外有较大影响。

图10为飞板弯折角随垂直距离 y 的变化曲线, 看出惯性复盖在0.02倍主炸药厚度的距离处就有显著的影响。而炸药复盖

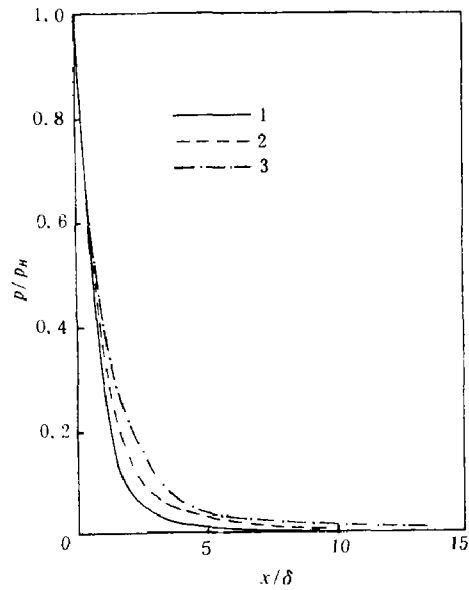


图9 飞板上的压力变化曲线

1—无复盖时情形(板厚1.5mm, $R_1 = 0.615$)

2—复盖5mm厚塑料板时情形

3—复盖12.3mm厚水泥时情形

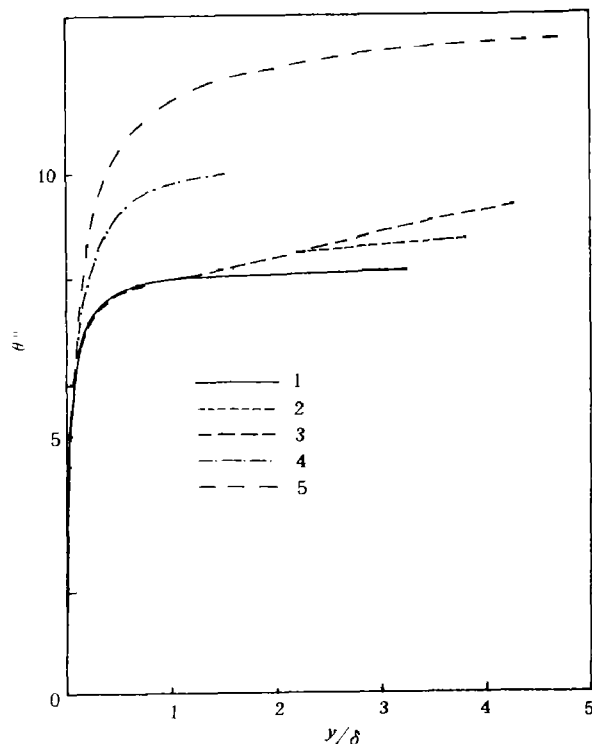
Fig. 9 Pressure on the flying plate surface.

1—There isn't any covers (thickness of the plate

1.5 mm, $R_1 = 0.615$)

2—Covered by polyvinylchloride plate (thickness 5 mm),

3—Covered by cement (thickness 12.3 mm).

图10 飞板弯折角随垂直距离 y 的变化图

- 1—无复盖情形，2—用1倍药厚的2*岩石药复盖情形
 3—用2倍药厚的2*岩石药复盖情形，4—用5mm厚塑料板作惯性复盖时情形，
 5—用12.3mm厚水泥作惯性复盖时情形，高爆速主装药，厚度5.1mm

Fig.10 Variation of bending angle of the flying plate on the increase of vertical distance y .

- 1—There isn't any covers, 2—Covered by AN rock explosive which thickness is the same as the main explosive, 4—Covered by polyvinylchloride plate (thickness 5 mm), 5—Covered by cement (thickness 12.3mm), main high velocity explosive, thickness 5.1 mm.

对弯折角影响就相对小一些，在复盖药为主装药的二倍厚度时，在 $y/\delta=1.2$ 处复盖药对飞板弯折角就有影响，在 $y/\delta=2.5$ 处（即 $y=12.5\text{mm}$ ），弯折角只能增加 0.5° ，但如同时采用炸药复盖和惯性复盖（用曲线4），则弯折角就能增加1.32倍左右。采用炸药复盖可以大大节省炸药成本，这对某种工程应用来说是一个很有意义的事情。

三、结 论

（1）通过数值计算，可以揭示飞板在不同爆速的双层炸药滑移爆轰作用下的运动规律。并通过测定 θ 值，可以求出炸药的多方指数值。

（2）采用惯性复盖与炸药复盖，可以增加飞板的速度与弯折角，特别是同时采用惯性复盖与炸药复盖，效果更好。采用复盖的结果，可以在获得同样的飞板速度情况下节省价格

昂贵的主炸药。

(3) 本文所得到的计算结果与实验结果符合得很好。

参 考 文 献

- [1] 邵丙璜, 张 凯, 爆炸焊接原理及其工程应用, 大连工学院出版社, (1987).
- [2] 张 凯, 李晓杰, 滑移爆轰作用下带复盖平板抛掷的理论与计算, 大连理工大学学报, 第三期, (1988).
- [3] 陈成光, 爆轰理论讲义 (上册), 中国科学技术大学近代力学系讲义, (1981).
- [4] 张连玉, 汪令羽, 苗端生, 爆炸气体动力学基础, 北京工业学院出版社, (1987).

NUMERICAL ANALYSIS OF THE MOTION OF FLYING PLATE UNDER GLANCING DETONATION OF TWO- LAYER EXPLOSIVES WITH DIFFERENT DETONATION VELOCITIES

Zhang Kai, Li Xiaojie

(Research Institute of Engineering Mechanics, Dalian University of Technology and Science)

ABSTRACT The numerical method for calculating the motion of flying plate under glancing detonation of two-layer explosives with different detonation velocities is investigated in this paper. The upper layer is a low-velocity explosive, which in turn be located at the main high-velocity explosive layer in contact with the flying plate. The results show that it could economize the cost of main explosive needed if the two-layer explosive system is used, as kept the same flying-plate velocity in comparison with that of the simple main explosive configuration, and it is significant in engineering applications.

KEY WORDS the explosive cover, the inertia cover.