

# 金属射流侵彻起爆炸药的研究

张银亮 米立田 王明珠 张计康

(西安近代化学所)

**摘要** 本文描述了聚能金属射流侵彻起爆炸药的试验装置和方法。聚能金属射流是用标准空心装药产生的,空心装药的尺寸为直径40 mm,高度66 mm,药型罩为紫铜,顶角 $60^\circ$ ,底直径36 mm,壁厚0.75 mm,炸药为钝化黑索今,密度 $1.680 \pm 0.005 \text{ Mg/m}^3$ 。炸高为72 mm时的最大穿深为 $150 \pm 6 \text{ mm}$  45<sup>#</sup> 钢靶柱。用2 MV 脉冲闪光X射线摄影仪测量了金属射流穿透不同厚度的钢靶板后的头部运动速度及直径,作出了射流头部速度对钢靶板厚度的标定曲线及拟合曲线公式。炸药对射流侵彻起爆的感度,采用使炸药产生50% 概率爆轰的钢靶板厚度(即临界厚度)表示,相对应的临界射流速度可用标定曲线或拟合公式求得。文中给出了TNT, Comp. B及TATB炸药的射流侵彻起爆感度。最后对结果进行了讨论。

**关键词** 空心装药 爆高 金属射流 射流起爆 射流速度

## 1. 引言

在现代化战争中,坦克是一种强有力的进攻性和防御性载弹武器,因此,在战斗中坦克是遭受重点打击的目标。根据资料报道,在最近的几次战争中,有60%的坦克是由于破甲弹的金属射流击中坦克弹药舱引起弹药爆炸而损坏的。由此可知,研究炸药或弹药对聚能金属射流侵彻起爆的感度具有重要的军事战略意义和社会经济效益。本文的目的在于建立一种模拟试验来研究炸药装药对金属射流侵彻起爆的感度,为坦克弹药选择低易损性炸药提供依据。

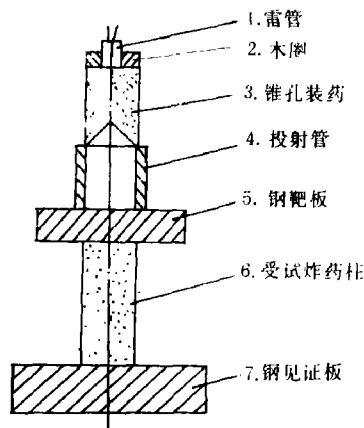


图1 炸药射流感度试验装置

Fig. 1 Explosive sensitivity test set-up for the jet

1. Detonator;
2. Wooden ring;
3. Conical charge;
4. Projecting tube;
5. Steel target plate;
6. Tested explosive charge;
7. Steel monitor plate

## 2. 试验装置和方法

试验装置如图1所示。锥形装药是钝化黑索今(95 RDX/5 Wax)压制成型,直径40 mm,高度66 mm,密度 $1.680 \pm 0.005 \text{ Mg/m}^3$ 。药型罩为紫铜,顶角 $60^\circ$ ,锥底外直径36 mm,壁厚0.75 mm。炸高72 mm,靶板为45<sup>#</sup> 钢板,模拟装甲板厚度分别为1 mm, 10 mm, 20 mm, 30 mm及50 mm五种,直径均为60 mm,供试验时选用。受试药柱尺寸为直径40 mm,高度90 mm,可压制或浇铸成型。要求药柱密度均匀,两个端面相互平行。见证板为20<sup>#</sup> 钢,尺寸为直径80 mm,高度30 mm。

为了检验标准空心装药产生的射流的穿透能力和稳定性,用45#钢靶柱做了9发穿深试验,用统计方法求得平均最大穿深为 $150 \pm 6$  mm,相对误差约4%。

固定标准空心装药的条件,改变钢靶板的厚度,测定受试炸药产生50%概率爆轰的钢靶板的临界厚度,以此表示受试炸药的射流侵彻起爆感度。具体做法是开始任选一个初始钢靶板厚度 $x_a$ ,将各部件按图1组装好。保证同轴性,进行侵彻起爆试验。试验后回收见证板,如果见证板上出现一个明显的凹痕,则认为受试炸药产生了爆轰;将钢靶板厚度增加到 $x_b$ ,再进行实验,回收见证板,如果见证板上不出现一个明显的凹痕,则认为被发药未产生爆轰。这样就初步确定了受试装药爆与不爆的钢靶板厚度区间 $(x_a, x_b)$ ,然后对此区间运用“优选法”选取下一发试验的钢靶板厚度进行试验。照此下去,能很快地确定受试装药100%产生爆轰的上限钢靶板厚度 $x_y$ ,及100%不产生爆轰的下限钢靶板厚度 $x_n$ ,由此可求得受试装药产生50%概率爆轰的钢靶板的临界厚度 $x_{50}$

$$x_{50} = (x_y + x_n) / 2 \quad (1)$$

一般做7发试验即可求得 $x_{50}$ 。这比文献上通用的“上下法”求 $x_{50}$ 要节省60%的时间和经费。

为了求得与钢靶板临界厚度相对应的临界射流速度,我们用2 MV脉冲闪光X射线摄影仪测定了标准空心装药产生的射流穿透不同厚度的钢靶板后的头部速度。试验装置如图2所示,钢靶板厚度分别为30 mm、50 mm、70 mm、90 mm、及110 mm五种。用两个X射线管沿射流传播方向拍下两个不同时刻的射流头部运动位置,如图3的a及b所示。由此可求出射流流出靶时的头部运动速度,每个厚度重复试验2~3次,求出平均速度。试验结果列于表1。

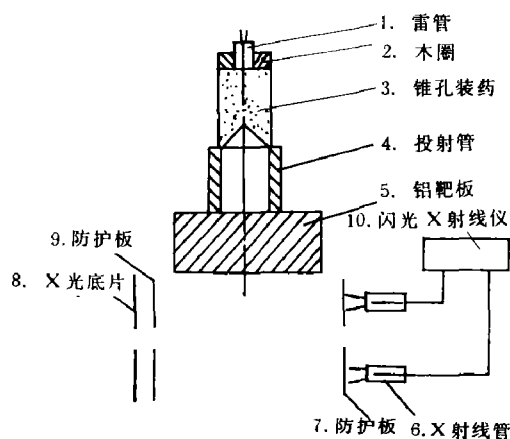
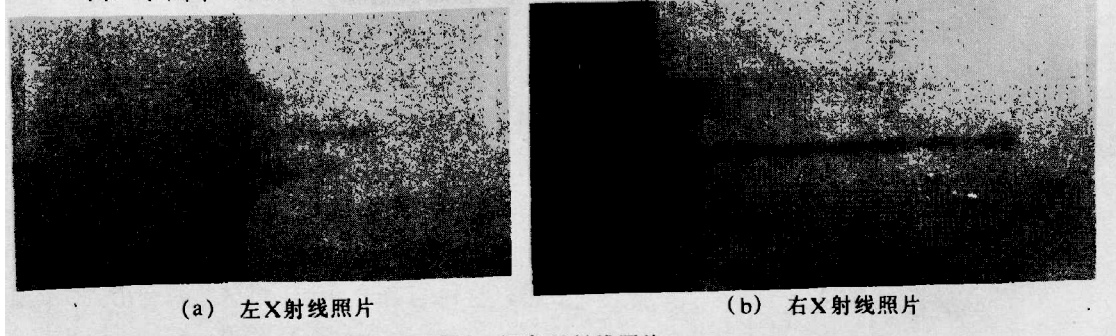


图2 测量射流速度的试验装置

Fig. 2 Test set-up for measuring the velocity of the jet

1. Detonator; 2. Wooden ring;
3. Conical charge; 4. Projecting;
5. Aluminium target plate;
6. X-ray tube; 7. Protective plate;
8. Photograph by X-rays; 9. Protective plate; 10. Flash X-rays machine



(a) 左X射线照片

(b) 右X射线照片

图3 闪光X射线照片

(a) Left side photograph by X-rays

(b) Right side photograph by X-rays

Fig. 3 Photograph by flash X-rays

表1 用闪光 X-射线照相法测量的射流速度和直径

Table 1 Velocity and diameter of the jet measured by flash X-rays

靶板 (45# 钢) 厚度/(mm)	30	50	70	90	110
射流速度/(mm/ $\mu$ s)	6.3 (0.6)	4.8 (0.3)	4.5 (0)	3.6 (0.2)	3.3 (0.2)
射流直径/(mm)	2.1	1.8	1.5	1.5	1.2

注: 括号内数字为标准偏差。

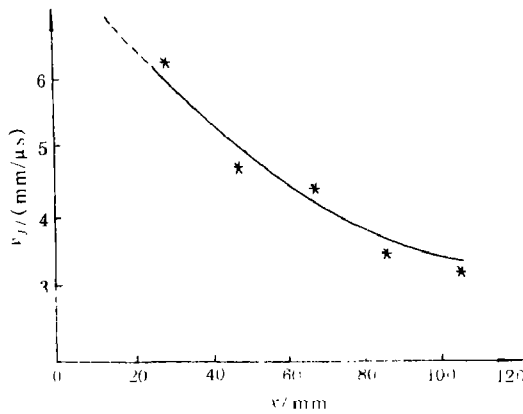


图4 射流速度  $v_j$  对钢板厚度的关系  
Fig. 4 Velocity of the jet  $v_j$  versus thickness of the steel plate

将表 1 的试验结果作图得到如图 4 所示的  $v \sim x$  曲线。按表 1 数据拟合的曲线公式为  $v = 33.6x^{-0.49}$ ,  $30 \leq x \leq 110$  (mm) (2) 这里  $v$ ——射流的出靶速度 (mm/ $\mu$ s);  $x$ ——钢靶板厚度 (mm)。

只要用试验测定受试装药的钢靶板临界厚度  $x_{50}$  就可以利用  $v \sim x$  曲线图 4 或拟合曲线公式 (2) 求出与  $x_{50}$  相对应的临界射流速度  $v_{50}$ 。

### 3. 试验结果

本文测得的 TNT、Comp. B 及 TATB 三种炸药的金射流侵彻起爆的感度列于表 2。表中给出了所研究炸药的密度、孔隙率、钢靶板的临界厚度  $x_{50}$ , 临

表2 炸药的射流侵彻起爆感度

Table 2 Jet initiation sensitivity of the explosive

炸药名称	密度 $\rho$ ( $\text{Mgm}^{-3}$ )	相对密度 (%)	临界参数				冲击波感度 隔板值 $G_{50}$ /(mm)
			钢靶板厚度 $x_{50}$ /(mm)	射流速度 $v_{50}$ /(mm/ $\mu$ s)	射流直径 $d$ /(mm)	$v_{50}^2 d$ ( $\text{mm}^2 \mu\text{s}^{-2}$ )	
TNT (压装)	1.56	96	97.2	3.6 (3.6)	1.2	15.6	42.5
Comp. B (浇铸)	1.69	97	88.3	3.8 (3.7)	1.2	17.3	41.0
TATB (压装)	1.73	90	47.5	5.1 (5.0)	1.6	41.6	28.0
TNT* (压装)	1.52		166	2.9	1.5	13	MRL $m_{50}$ /(mm) 1.22
Comp. B*	1.65		138	3.2	1.5	1.5	0.40

注: \*取自文献[2]的数据。

界射流速度  $v_{50}$ , 射流直径  $d$  及量  $v_{50}^2 d$ , 它们都能表示炸药的射流侵彻起爆感度。为了比较,

表2中还列出了 M. C. Chick<sup>[1,2]</sup> 等人测得的 TNT 及 Comp. B 炸药的  $x_{50}$ 、 $v_{50}$  及  $v_{50}^2 d$  的值。此外,表2中也列出了上述炸药的冲击波感度的试测结果。

#### 4. 讨论

由表2的数据可知,在相对密度相近的条件下,压装 TNT 的钢板临界厚度  $x_{50}$  的值比铸装 Comp. B 炸药的大,说明 TNT 对金属射流侵彻起爆的敏感度比 Comp. B 大。比较它们的临界射流速度  $v_{50}$  值及量  $v_{50}^2 d$ , TNT 的比 Comp. B 的小,也表明 TNT 对射流比 Comp. B 敏感,因为这两个量都象征射流作用在受试炸药上的起爆能量,其值越小,对射流起爆就越敏感。我们的这个结果与澳大利亚国防材料试验室的 M. C. Chick 和美国弹道研究试验室的 R. B. Frey 合作得到的结果是完全一致的(参见表2最下面的两行数据)。

众所周知, TATB 是一种对外界各种刺激都不敏感的炸药。由表2的数据可以看出,在相对密度为90%的条件下,压装 TATB 的钢靶板临界厚度为  $x_{50} = 47.5$  mm, 临界射流速度  $v_{50} = 5.1$  mm/ $\mu$ s, 量  $v_{50}^2 d = 41.6$  mm<sup>3</sup> $\mu$ s<sup>-2</sup>, 将这些值与 TNT 及 Comp. B 的值相比较,表明 TATB 对金属射流的侵彻起爆是很不敏感的。金属射流侵彻起爆 TATB 炸药的闪光 X 射线照相显示,铜射流侵入 TATB 内进行进到83 mm 处装药发生爆轰,如图5所示。进一步分析表2的数据可以发现, TNT、Comp. B 及 TATB 三种炸药的射流感度排列次序:

$$\text{TNT}(97.2) > \text{Comp. B}(88.3) > \text{TATB}(47.5)$$

与它们的冲击波感度(大隔板临界厚度)排列次序:

$$\text{TNT}(42.5) > \text{Comp. B}(41.0) > \text{TATB}(28.0)$$

是完全相同的。这一试验结果表明金属射流侵彻起爆用钢靶板覆盖的炸药的机理与冲击波起

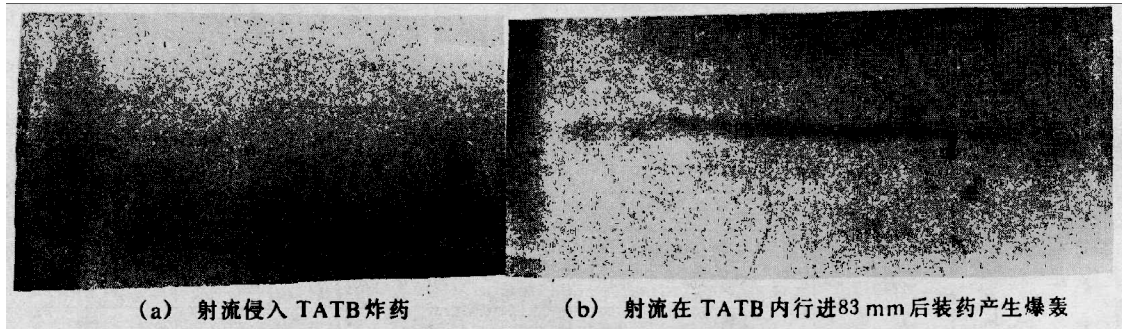


图5 金属射流侵彻起爆 TATB 炸药的闪光 X-射线照相

(a) Jet intrudes into TATB explosive (b) Initiation of detonation in TATB after the jet intruding into it 83 mm depth

Fig. 5 Photograph of the initiation of the TATB with metal jet by flash X-rays

爆机理有关,支持了 M. C. Chick<sup>[1]</sup> 等人提出的射流起爆用钢板覆盖的炸药的先驱冲击波 (precursor shock wave) 控制机理,即射流冲击钢靶板和炸药的交界面时产生冲击波(即先驱冲击波),在射流头部的前沿传播,当此冲击波的强度增长到足够强时就使炸药起爆。

然而,金属射流侵彻起爆炸药的过程比较复杂,影响因素多<sup>[4,5]</sup>,因此要确切理解射流侵彻起爆炸药的机理,还需要进一步研究影响射流侵彻起爆炸药的各种因素。

感谢侯世轩、唐 斌等同志在试验方面的合作和帮助。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Chick M.C., Hatt D.J., 7 th Symposium (International) on Detonation, (1981), 352.  
[ 2 ] Chick M. C., et al., 8 th Symposium (International) on Detonation, (1986), 318.  
[ 3 ] Chick M. C., et al., 18届 ICT 会议文集, (1987)  
[ 4 ] Chick M. C., Frey R. B., Minutes of 23 rd Explosive Safety Seminar, (1988), 1245.  
[ 5 ] Mader C. L., LA-9527-M8 (1982).

## RESEARCH OF METAL JET TO PENETRATE AND INITIATE THE EXPLOSIVE

Zhang Yinliang, Mi Litian, Wang Minzhu, Zhang Jikang

(Xi'an modern Chemistry Research Institute)

**ABSTRACT** This paper describes the test for metal jet to penetrate and initiate the explosive. Metal jet is generated from the standard shaped charge which has 40 mm diameter, 66 mm height and a copper liner of 60° apex angle with 36 mm base diameter. Shaped charge is RDX/WAX, 95/5, density  $1.680 \pm 0.005 \text{ Mg/m}^3$ . Its maximum penetration is  $150 \pm 6 \text{ mm}$  of 45# steel target at a fixed stand-off distance. After penetrating various thickness of steel target the velocity and its diameter of the metal jet are measured by a 2MV flash X-ray system. The curve relationship between the jet velocity and the steel target thickness is calibrated. And its fit formula is obtained. The sensitivity of the explosive to be tested is expressed in terms of the critical thickness of the steel target which gives a 50 per cent probability of detonation of the explosive. The critical velocity and diameter of the metal jet relating to the critical thickness of the steel target can be obtained by means of above mentioned curve or formula. The jet sensitivity of TNT, Comp. B and TATB is presented. Finally the results are discussed.

**KEY WORDS** shaped charge, stand off, metal jet, jet initiation, jet velocity.