

文章编号: 1006-9941(2014)05-0607-05

射流对间隙靶板屏蔽炸药的冲击起爆

张俊坤¹, 高欣宝^{1,2}, 熊冉³, 邢娜¹

(1. 军械工程学院, 河北 石家庄 050003; 2. 军械工程学院弹药保障与安全性评估军队重点实验室, 河北 石家庄 050003; 3. 63981 部队, 湖北 武汉 432200)

摘要: 为得到射流对野战弹药的冲击起爆规律,以间隙靶板屏蔽炸药模拟具有一定防护的野战弹药,应用冲击波传递的阻抗匹配技术、聚能射流的准定常侵彻理论以及开放炸药冲击起爆的 Held 准则,构建了射流前驱波与击穿间隙靶板后剩余射流起爆炸药的工程分析模型,并结合算例对模型进行了系统的分析。结果表明:射流侵彻起爆野战弹药过程中,射流直径变化可达到 22.2%,对起爆能力的影响不可忽略;弹药壳体对射流起爆能力影响较防护层(包装/方舱)强;前驱波的最大起爆能力约为 $2.75 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$,而剩余射流的最大起爆能力约为 $1.55 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$,二者相差近一个数量级,所以野战弹药应以防射流击穿为主。

关键词: 爆炸力学; 聚能射流; 间隙靶板; 屏蔽炸药; 冲击起爆

中图分类号: TJ55; O389

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.05.006

1 引言

随着科技的飞速发展,集束弹药(子母弹)作为一种射程远、威力大的弹药,已广泛应用于对各类重点军事目标的打击^[1],其中采用聚能战斗部的集束弹药更是发展的重点。聚能战斗部,又称“聚能破甲战斗部”或“空心装药战斗部”,主要是利用聚能装药产生的聚能金属射流来击穿装甲目标并毁伤装甲内人员和设备^[2]。由于聚能射流能量密度高、方向性强、局部破坏能力大,可瞬间侵彻弹药的防护层及壳体,继而起爆炸药^[3],使得野战弹药的战场生存环境更加恶劣,战场生存能力受到了严峻挑战。

至今,国内外学者对射流冲击起爆靶板屏蔽炸药已进行了大量研究,M. Held^[4]提出了 $v^2 d = K$ 形式的开放炸药射流冲击起爆准则,并在靶板屏蔽炸药的冲击起爆^[5-7]中得到广泛应用;C. L. Mader^[8]将 M. Held 提出的准则在圆柱形撞击器冲击起爆炸药二维问题中进行了推广应用;Chick^[9]等提出了射流引爆屏蔽炸药的前驱波控制机理;Л. П. ОПЛЕХКО^[7]结合 M. Held 起爆准则,对射流前驱波冲击起爆靶板屏蔽炸药进行了相关研究;宋桂飞^[5]等对射流侵彻起爆带壳炸药进行了理论计算和试验验证;周涛^[6]等通过试验得到了聚能射流起爆靶板屏蔽 PBX 和 B 炸药的临界起爆阈值。聚能射流对靶板屏蔽炸

药的起爆形式主要有两种:一是聚能射流着靶时,产生的前驱波起爆;二是聚能射流击穿靶板后,剩余射流起爆^[10]。目前射流起爆炸药的相关研究,较少考虑射流直径变化对起爆能力的影响^[5],主要是针对均质靶板屏蔽炸药的冲击起爆,且以第二种起爆形式为主,这是因为射流直径较小,侵彻过程中前驱波持续时间很短,一般情况下较难直接起爆炸药^[7],但对于壳体较薄的弹药(如破甲弹),射流前驱波却有较高的起爆能力。野战弹药除自身壳体外还具有一定的外层防护(如包装箱、方舱、车辆装甲等),从而使得弹药外层防护、弹药以及外层防护与弹药之间的间隙共同构成了间隙靶板屏蔽炸药,而间隙具有隔波、隔力的作用^[11],对抗射流侵彻及起爆十分有效。试验证明,与单层均质靶板相比,平板间隙装甲可使射流侵彻深度降低 15%~25%^[11],所以研究射流起爆间隙靶板屏蔽炸药具有重要意义。

本研究以射流冲击起爆靶板屏蔽炸药的两种起爆形式为主要研究内容,以间隙靶板模拟野战弹药的外层防护及壳体,结合聚能射流对间隙靶板的侵彻和 Held 准则,构建聚能射流对间隙靶板屏蔽炸药起爆的数学模型,并对模型进行计算和分析,得到聚能射流起爆间隙靶板屏蔽炸药的相关规律,为提高野战弹药战场生存能力提供理论指导。

2 构建工程分析模型

高温、高速、高能量密度的聚能射流侵彻并起爆具有一定防护的野战弹药十分复杂,这是因为弹药外层防

收稿日期: 2013-10-16; 修回日期: 2014-02-19

作者简介: 张俊坤(1985-),男,博士生,主要从事弹药爆炸技术研究。
e-mail: shenlanfeiyu@163.com

护、间隙和弹药壳体及其内的炸药共同构成了间隙靶板屏蔽炸药,如图1所示。间隙的存在使得间隙靶板屏蔽炸药在抗射流侵彻起爆过程中具有以下优点^[11]:

①阻隔应力波——当射流侵彻靶板1(即弹药防护层)产生的应力波向靶板1背面传播时,在靶板1背面与空气的界面上产生全反射,使得应力波无法传递到靶板2(即弹药壳体)上,从而使其不受应力波的作用。

②隔力——当靶板1受到机械力作用时,在内部产生力的传递,由于间隙的阻隔,这种机械力无法传递到靶板2上,从而使其不受外力的作用。

③阻止裂纹的扩展——当靶板1产生裂纹时,由于间隙的存在,裂纹不会传递到靶板2上,使扩展截止。

④再次开坑——由于隔波和隔力的作用,使得射流面临再次开坑和再次穿透。

⑤提供干扰作用产生的条件——由于射流面临再次开坑和再次穿透,在间隙靶板中产生碎片飞溅、反射等,从而造成对射流的干扰作用。

⑥改变破甲子弹的炸高——由于破甲子弹的设计要求,使得破甲子弹侵彻靶板1时为最佳炸高,这就造成侵彻靶板2时已不再是最佳炸高,从而一定程度上降低了射流对靶板2的侵彻能力,同时由于射流到靶板2的距离增大,容易失稳,并产生拉伸、变细与断裂,这也从另一方面提高了靶板2的抗射流能力。

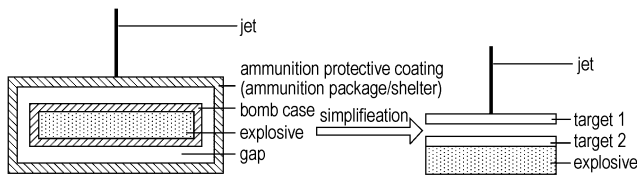


图1 聚能射流侵彻具有简单防护的野战弹药的模型简化

Fig.1 Simplified model of field ammunition with simple protection detonated by jet

为突出重点,简化工程计算,对射流冲击起爆间隙靶板屏蔽炸药的计算模型进行如下假设^[12-13]:

- ①聚能射流速度随其长度呈线性分布;
- ②聚能射流和屏蔽靶板均为不可压缩理想流体;
- ③聚能射流为圆柱形;
- ④聚能射流各段在侵彻过程中互不影响;
- ⑤炸药密度不变;
- ⑥不考虑靶板强度的影响;
- ⑦聚能射流在整个过程中未发生断裂和干扰;
- ⑧将具有一定防护的野战弹药简化为间隙靶板屏蔽炸药。

聚能射流之所以具有很强的起爆能力,是因为聚能射流侵彻靶板初始阶段,在聚能射流-靶板界面产生的压力峰

值量级约为100 GPa^[7,12],而间隙靶板由于间隙的存在,使得聚能射流在撞击靶板1时产生的高压脉冲无法传递到炸药中从而失去了起爆能力,仅在冲击靶板2时产生的高压脉冲具备一定的起爆能力^[7],所以在模型计算中,仅需计算射流冲击靶板2时产生的冲击波的起爆能力。

射流准定常侵彻理论的基础是虚拟源点假设,王儒策^[13]、赵明哲^[14]均认为阿利森和维塔利1963年首次提出的用虚拟源点方法求解射流穿深问题,存在一个虚拟源点,所有射流由该点出发。根据虚拟源点假设,构建射流侵彻靶板计算用图(图2)。图2中,以射流着靶点为轴向坐标 x 的原点,以射流着靶时间为时间坐标 t 的原点,图中 A 点为射流的虚拟源点,即从 A 点出发的每一条直线斜率对应每一射流微元的速度, l 为虚拟源点到靶板的距离,曲线 OBC 为聚能射流侵彻深度随时间变化的曲线。 x 为曲线上任意点 B 的侵彻深度,该点的切线斜率为侵彻速度 u ,相应射流微元的速度 v_j 为 AB 的斜率,射流侵彻终止点为 C 。

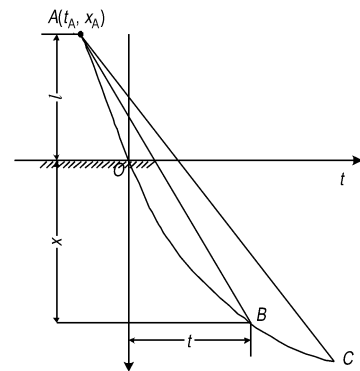


图2 射流准定常侵彻理论计算用图

Fig.2 Theory of penetration by quasi-steady fluid dynamics

假设射流着靶时,长度为 L ,头部速度为 v_{head} ,尾部速度为 v_{tail} ,则根据虚拟源点原理,可得图2中虚拟源点的坐标为:

$$\begin{cases} t_A = -\frac{l}{v_{\text{head}}} = -\frac{L}{v_{\text{head}} - v_{\text{tail}}} \\ x_A = -l = -\frac{v_{\text{head}} L}{v_{\text{head}} - v_{\text{tail}}} \end{cases} \quad (1)$$

根据射流准定常侵彻理论可得侵彻深度 x 与射流微元速度 v_j 的对应关系为^[10-14]:

$$x = -x_A \left[\left(\frac{v_{\text{head}}}{v_j} \right)^{\sqrt{\rho_j/\rho_p}} - 1 \right] = l \left[\left(\frac{v_{\text{head}}}{v_j} \right)^{\sqrt{\rho_j/\rho_p}} - 1 \right] \quad (2)$$

式中, ρ_j 为射流密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; ρ_p 为靶板密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

聚能射流冲击起爆间隙靶板屏蔽炸药时的几何关系示意图见图3。

图2中,聚能射流的虚拟源点为 A ,靶板1厚度为 δ_1 ,

靶板2厚度为 δ_2 ,间隙为 s 。射流侵彻靶板1时的相关参数——射流长度为 L_1 ,头部速度为 v_{head1} ,尾部速度为 v_{tail} ,直径为 d_1 ,聚能射流着靶点为 O_1 ,虚拟源点A到靶板1的距离为 l_1 ;侵彻靶板2时的相关参数——射流长度为 L_2 ,头部速度为 v_{head2} ,尾部速度为 v_{tail} ,直径为 d_2 ,聚能射流着靶点为 O_2 ,虚拟源点A到靶板1的距离为 l_2 。

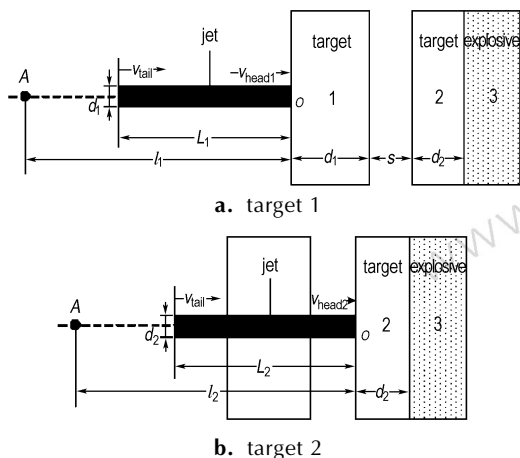


图3 聚能射流冲击间隙靶板屏蔽炸药几何关系示意图
Fig.3 Sketch map of explosive covered with spaced target detonated by jet

根据虚拟源点的定义可得:

$$\begin{cases} l_1 = v_{\text{head1}} \frac{L_1}{v_{\text{head1}} - v_{\text{tail}}} \\ l_2 = v_{\text{head2}} \frac{L_2}{v_{\text{head2}} - v_{\text{tail}}} \end{cases} \quad (3)$$

应用聚能射流准定常侵彻理论可得,靶板1侵彻完成时聚能射流的头部速度 v_{head2} 满足以下关系式:

$$\delta_1 = l_1 \left[\left(\frac{v_{\text{head1}}}{v_{\text{head2}}} \right)^{\sqrt{\rho_1/\rho_2}} - 1 \right] \quad (4)$$

式中, ρ 为材料密度, $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。下标j表示聚能射流,下标1、2和3分别表示靶板1、靶板2和炸药及与其相关的射流参数。

由于聚能射流运动过程中的拉伸,使得射流开始侵彻靶板2时有:

$$\begin{cases} d_2 = d_1 \sqrt{\frac{(v_{\text{head2}} - v_{\text{tail}}) L_1}{(v_{\text{head1}} - v_{\text{tail}}) L_2}} \\ L_2 = (v_{\text{head2}} - v_{\text{tail}}) \frac{l_1 + s + \delta_1}{v_{\text{head2}}} \end{cases} \quad (5)$$

此时聚能射流前驱波的起爆能力C1为^[7]:

$$C1 = \frac{v_{\text{head2}}^2 d_2}{(1 + m\delta_2/d_2)^2 \left(\frac{Z_2 + Z_1}{Z_1} \right)^2 \left(\frac{Z_2 + Z_3}{2Z_2} \right)^2} \quad (6)$$

式中, m 为加载区域直径增大系数,近似值为靶板与

聚能射流材料密度的比值; Z 为材料声阻抗,其值为材料密度 ρ 与声速 c 的乘积, $\text{kg} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$ 。

再次应用准定常理论,可得击穿靶板2后聚能射流的相关参数为:

$$\begin{cases} v_{\text{head3}} = v_{\text{head2}} \left(\frac{\delta_2}{l_2} + 1 \right)^{-\sqrt{\rho_2/\rho_1}} \\ L_3 = (v_{\text{head2}} - v_{\text{tail}}) \frac{l_1 + s + \delta_1 + \delta_2}{v_{\text{head3}}} \\ d_3 = d_1 \sqrt{\frac{(v_{\text{head3}} - v_{\text{tail}}) L_1}{(v_{\text{head1}} - v_{\text{tail}}) L_3}} \end{cases} \quad (7)$$

式中, v_{head3} 为击穿靶板2后剩余聚能射流的头部速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; d_3 为击穿靶板2后剩余聚能射流的头部直径, m ; L_3 为击穿靶板2后剩余聚能射流的长度, m 。

根据Held起爆准则^[15],剩余聚能射流头部的起爆能力C2为:

$$C2 = v_{\text{head3}}^2 d_3 \quad (8)$$

联立式(3)、(4)、(5)、(6)可以求得,聚能射流前驱波起爆间隙靶板屏蔽炸药能力C1的工程计算模型;联立式(3)、(4)、(5)、(7)、(8)可以求,聚能射流击穿间隙靶板起爆屏蔽炸药能力C2的工程计算模型。

3 模型的计算与分析

根据所建立的聚能射流对间隙靶板屏蔽炸药起爆模型,结合相关参数^[5,7,12](见表1),对实际算例(见表2)进行计算与分析。将相关参数与算例代入式(3)、(4)、(5)、(6)联立构成的聚能射流前驱波冲击起爆间隙靶板屏蔽炸药能力的工程计算模型可得射流前驱波起爆能力C1及直径变化率 $\Delta d/d$ 随靶板厚度 δ 的变化曲线(图4a),同理将相关参数与算例代入式(3)、(4)、(5)、(7)、(8)联立构成的聚能射流击穿间隙靶板起爆屏蔽炸药能力的工程计算模型可得剩余射流起爆能力C2及直径变化率 $\Delta d/d$ 随靶板厚度 δ 的变化曲线(图4b)。将C1、C2与炸药临界起爆阈值K进行比较,若C1或C2大于等于K,则炸药起爆,反之则炸药无法起爆。

表1 材料参数

Table 1 Parameters of materials

item	material	ρ / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	c / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	v_{head1} / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	v_{tail} / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	L_1 / m	K / $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$
jet	copper	8930	3810	7800	3500	0.1	-
target 1	45#steel	7890	5200	-	-	-	-
target 2	45#steel	7890	5200	-	-	-	-
explosive	TNT	1621	1900	-	-	-	13000

Note: ρ is density of material; c is acoustic velocity of material; v_{head1} is the initial velocity of jet head; v_{tail} is the initial velocity of jet tail; L_1 is the initial length of jet; K is the initiation threshold value of explosive.

表 2 算例中靶板厚度

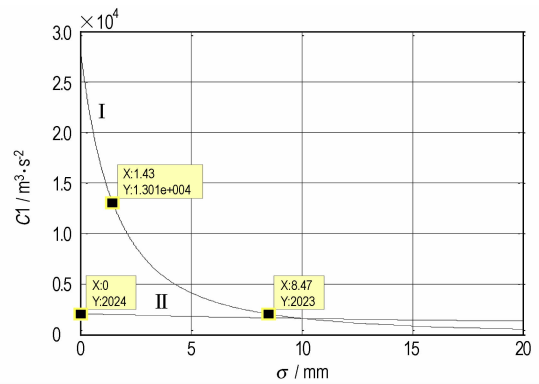
Table 2 Thickness of target in examples

examples	I	II
δ/mm	5	5
δ_1/mm	10	[0,20]
δ_2/mm	[0,20]	10

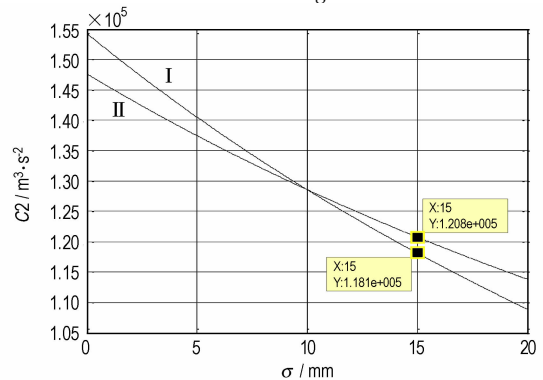
从图 4a 中算例 I 的曲线看出,当靶板 1 厚度为定值 10 mm 时,聚能射流前驱波的起爆能力随靶板 2 厚度的增加而迅速减小,但减小的速度趋于平缓,这说明随着靶板 2 厚度的增加,其对射流前驱波起爆能力的影响越来越小;从算例 II 的曲线看出,当靶板 2 厚度为定值 10 mm 时,聚能射流前驱波起爆能力随靶板 1 厚度增加变化很小,这说明靶板 1 的厚度对射流前驱波起爆能力的影响十分有限;对比曲线 I 和曲线 II 可以得出,聚能射流前驱波起爆能力受靶板 2 的影响远大于受靶板 1 的影响,如当射流前驱波起爆能力为 $2024 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ 时,仅需 1 层 10 mm 厚的靶板 2 即可,却需要 10 mm 厚的靶板 1 加 8.47 mm 厚的靶板 2 共同防护,这说明间隔靶抗射流前驱波冲击起爆的主要影响因素在于靶板 2 即弹药壳体的厚度,且若弹药壳体较薄(如壳体厚度为 2~3 mm 的破甲弹),其所需的防护层厚度要远大于壳体较厚的弹药。

从图 4b 中算例 I 和算例 II 的曲线看出,在靶板间隙较小(即未使聚能射流发生断裂)时,随着靶板 1 或靶板 2 厚度的增加,聚能射流击穿靶板后头部起爆能力不断减小,但两者减小是速度相差不大,说明靶板 1 和靶板 2 对击穿靶板后聚能射流头部起爆能力的影响整体相近,但从细节来看,增加靶板 2 的厚度更有利于降低聚能射流头部起爆能力,如当靶板 1 厚度为 10 mm,靶板 2 厚度为 15 mm 时,剩余射流头部起爆能力为 $1.181 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$,而当靶板 1 厚度为 15 mm,靶板 2 厚度为 10 mm 时,剩余射流头部起爆能力为 $1.208 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$,增加了约 2%。从所给数据可以得到,靶板 1 厚度对剩余射流头部起爆能力的影响要小于靶板 2 厚度的影响,但相差很小,这主要是由于计算中未考虑靶板强度和射流断裂造成的。因此,在后继的深入研究中应将靶板强度和射流断裂纳入射流起爆能力的计算中,从而使得研究结果更加精确、更加可信,也为野战弹药防护提供更有力的理论支撑。

对比图 4a 和图 4b,可以看出前驱波最大起爆能力约为 $2.75 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$,而剩余射流的最大起爆能力约为 $1.55 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$,两者相差近一个数量级,所以野战弹药防射流的研究应以防剩余射流冲击起爆为主。



a. detonating ability of shock wave changing with thick of target board



b. detonating ability of remainder jet changing with thick of target board

图 4 算例 I 与算例 II 的计算对比

Fig. 4 Comparison between examples I and II

从图 5 中可以看出在算例 I 和算例 II 中,击穿靶板 2 后射流头部直径的变化率达到了 22.2% 与 18.54%,这说明在研究射流冲击起爆屏蔽炸药时,射流直径变化对起爆能力的影响必须予以考虑,同时也证明了所建起爆模型的合理性;对比算例 I 和算例 II 曲线的变化,可以得出射流头部直径受靶板 2 的影响大于靶板 1,但相差较小,说明壳体较厚的弹药更有利于抵抗射流的冲击起爆,但影响十分有限,关键还是需要提高弹药防护和弹药壳体抗射流侵彻的能力以及炸药的钝感性。

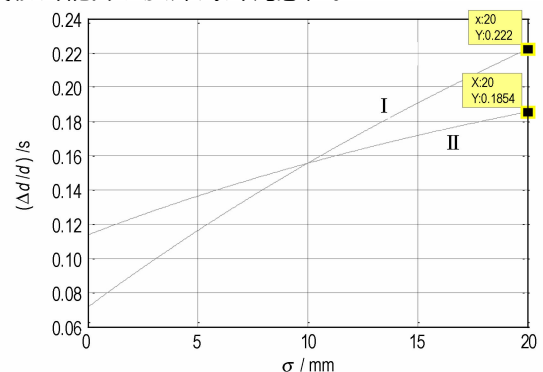


图 5 射流头部直径变化率随靶板厚度的变化

Fig. 5 Changing rate of jet head diameter with target thick

4 结 论

通过构建工程模型,并应用具体算例对模型进行分析研究,得到如下有关柱形假设聚能射流侵入起爆间隙靶板屏蔽炸药的结论:

(1) 聚能射流起爆能力受弹药壳体厚度的影响大于受弹药防护层厚度的影响,其中射流前驱波起爆能力所受影响表现的较为突出。

(2) 薄壳弹药的壳体与其防射流冲击起爆的临界防护层厚度之和,要大于厚壳体弹药的壳体与其防射流冲击起爆的临界防护层厚度之和。

(3) 聚能射流侵入起爆间隙靶板屏蔽炸药时,不可忽略聚能射流直径变化对起爆能力的影响。

(4) 由于算例中靶板间隙较小(5 mm),所以忽略了炸高改变及聚能射流断裂对起爆能力的影响,同时也未考虑靶板强度对射流起爆能力的影响,这就造成算例I和算例II中剩余射流头部起爆能力相差较小,所以在下一步深入研究大间隙或多间隙靶板对射流冲击起爆的防护作用时,应将射流被干扰与断裂、靶板强度纳入研究中,从而为野战弹药防护提供更加严谨的理论依据。

参考文献:

- [1] 尚雅玲, 孙少华. 子母弹对轻装甲艇目标毁伤分析[J]. 舰船科学技术, 2010, 32(4): 43-47.
SHANG Ya-ling, SUN Shao-hua. Damage analysis of the submunition against the light-armed vessel targets[J]. *Ship Science and Technology*, 2010, 32(4): 43-47.
- [2] 胡健, 黎远忠, 徐明利, 等. 关于起爆点的位置对聚能射流的影响研究[J]. 战术导弹技术, 2008(1): 25-28.
HU Jian, LI Yuan-zhong, XU Ming-li, et al. Research on the influence of initial detonation point on charge jet[J]. *Tactical Missile Technology*, 2008(1): 25-28.
- [3] 孙乐, 张伟, 黄俊卿, 等. 破甲弹侵彻装甲板的数值仿真[J]. 装甲兵工程学院学报, 2009, 23(6): 53-56.

- [4] SUN Le, ZHANG Wei, HUANG Jun-qing, et al. Numerical simulation of armor-piercing projectile penetrating into armor-plate[J]. *Journal of Armored Force Engineering Institute*, 2009, 23(6): 53-56.
- [5] Held M. Initiation criteria of high explosives at different projectile or jet densities[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1996, 21: 235-237.
- [6] 宋桂飞, 李成国, 夏福君, 等. 聚能射流侵入带壳装药引爆参数计算[J]. 火工品, 2009(6): 43-45.
SONG Gui-fei, LI Cheng-guo, XIA Fu-jun, et al. Calculation of initiation parameters of shaped charge jet penetrating into shelled charge[J]. *Initiators & Pyrotechnics*, 2009(6): 43045.
- [7] 周涛, 袁宝慧, 梁争锋. 聚能射流引爆屏蔽 PBX 的实验研究[J]. 火炸药学报, 2006, 29(4): 10013.
ZHOU Tao, YUAN Bao-hui, LIANG Zheng-feng. Experimental study of jet initiation of shield PBX [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2006, 29(4): 10013.
- [8] Л. П. 奥尔连科. 爆炸物理学[M]. 孙承伟, 译. 北京: 科学出版社, 2011: 2410253.
Л. П. ОРЛЕХКО. Explosion physics[M]. SUN Cheng-wei. Beijing: Science Press, 2011: 241-253.
- [9] Mader C L, Pimbleg G H. Jet initiation and penetration of explosive[J]. *Journal of Energetic Materials*, 1983, 1(1): 3-44.
- [10] Chick M C, Hart D I. The initiation of covered composition B by a metal jet[J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 1983(8): 121-126.
- [11] 吴园园. 大炸高下射流引爆带壳装药的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
- [12] 张自强. 装甲防护技术基础[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2000: 135-144.
- [13] 陈智刚, 赵太勇, 侯秀成. 爆炸及其终点效应[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2004: 72-74.
CHEN Zhi-gang, ZHAO Tai-yong, HOU Xiu-cheng. Explosion and Terminal Effect[M]. Beijing: Arms Industry Publishment, 2004: 72-74.
- [14] 王儒策, 赵国志. 弹丸终点效应[M]. 南京: 南京理工大学.
WANG Ru-ce, ZHAO Guo-zhi, HOU Xiu-cheng. Projectile Terminal Effect[M]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology.
- [15] 赵明哲. 弹药销毁作业中钢筋混凝土对聚能射流的安全防护研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2009: 30-34.
ZHAO Ming-zhe. Safety Protection Research of Anti-jet with Reinforced Concrete in Ammunition Disposal[D]. Shijiazhuang: Ordnance Engineering College, 2009: 30-34.
- [16] 崔凯华, 洪滔, 曹结东. 射弹冲击带盖板 Comp. B 装药起爆过程数值模拟[J]. 含能材料, 2010, 18(3): 286-289.
CUI Kai-hua, HONG Tao, CAO Jie-dong. Numerical simulation of shock initiation in covered Comp. B by projectile impact[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2010, 18(3): 286-289.

Jet Impact Initiation of the Charge Covered with Spaced Target

ZHANG Jun-kun¹, GAO Xin-bao^{1,2}, XIONG Ran³, XING Na¹

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Military Key Laboratory for Ammunition Support and Safety Evaluation, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 3. Troop 63981, Wuhan 432200, China)

Abstract: To get the explosion rule of field ammunition detonated by jet, the explosive with various spaced targets was used as field ammunition simplified model. The jet initiation models of shield explosive were established and calculated by impedance match technology, theory of penetration by quasi-steady fluid dynamics and Held criterion. Results show that the biggest detonating abilities of shock wave and remainder jet are about $2.75 \times 10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$ and $1.55 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-2}$, respectively, which prove that the primary influence factor of detonating ability is the bomb case comparing with protective coating. During the field ammunition detonated by jet, the changing of jet diameter would be to 22.2% and its influence could not be ignored. Furthermore, preventing the penetration of jet is the first focus of field ammunition, for the detonating ability of remainder jet is more than the shock wave.

Key words: explosion mechanics; shaped charge jet; spaced target; shielded explosive; impact initiation

CLC number: TJ55; O389

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.05.006