

文章编号:1006-9941(2019)02-0097-07

# 一种异面棱柱战斗部威力特性的数值模拟

李元<sup>1</sup>,赵倩<sup>1</sup>,熊诗辉<sup>2</sup>,温玉全<sup>2</sup>

(1.清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室,北京 100084; 2.北京理工大学 爆炸科学与技术国家重点实验室,北京 100081)

**摘要:** 为了提高战斗部在不同弹目交会距离下的毁伤概率,模拟了一种平面和凸面交错布置的异面棱柱战斗部结构,分析了不同面上所形成破片束的飞散形态和威力参数。研究表明,该结构战斗部可以形成两种威力特性的破片束,即速度高而飞散角小的破片束和速度低而覆盖范围大的破片束,可分别用于打击不同弹目距离下的目标;偏心多点起爆可提高平面破片平均速度21.68%,减小飞散角3.38°,在提高起爆点对侧破片威力的同时不改变异面战斗部可形成两种不同威力破片束的性质;侧向两线起爆在保证破片速度不降低的情况下可获得4.94°的平面破片束偏转角,高于其它起爆方式,可在大弹目交会距离下实现对目标的末端瞄准,提高目标毁伤概率。

**关键词:** 定向战斗部;多点起爆;破片飞散;多效应战斗部**中图分类号:** TJ410.33**文献标志码:** A**DOI:** 10.11943/CJEM2018143

## 1 引言

破片式战斗部在防空和反轻型装甲等武器中具有重要的应用。传统的战斗部多为圆柱形装药结构,可以形成向四周均匀飞散的破片群<sup>[1]</sup>,但是由于只能有一小部分破片可以命中目标,因此战斗部能量利用率较低。各种定向战斗部概念的出现为提高装药能量利用率和提高对目标的毁伤概率提供了技术途径。目前破片战斗部的结构大多利用平面或者内凹面来实现对破片飞散角的控制<sup>[2-11]</sup>,以提高对目标的毁伤概率。然而尽管平面或者内凹面能够形成速度高且飞散角小的破片束(实现更远的毁伤距离),但是这对引信和战斗部配合提出了更高的要求<sup>[12]</sup>。即使在定向战斗部探测系统精度足够的情况下,弹体转速、破片速度等因素也可能导致引信配合效率降低<sup>[13]</sup>,从而使破片束对

目标的命中率减低。此种情况下,虽然可以采用延时起爆对弹道末端的破片飞散方向进行调整<sup>[7,10]</sup>,但是这需要在大的引信探测距离和大的弹目交会距离下才可以实现。在小的弹目交会距离下,即使能够对飞散方向进行调整,也会因为调整角度不够或调整时间不足而导致无法命中目标。然而飞散角较大的破片束对引信探测精度和引信配合效率要求相对较低,因此,在小的弹目交会距离情况下改用飞散角较大的破片束来提高对目标的命中概率将是一种好的解决方案。

为此,本文研究了一种由三个圆柱面(凸面)和三个平面共同组成的异面棱柱战斗部结构,仿真分析了该结构战斗部的起爆过程,得到了不同面的破片威力参数;同时研究了不同起爆方式对平面破片束飞散方向的控制效果,以期提高该结构战斗部在不同弹目距离下的毁伤概率,形成一种多效应战斗部。

## 2 战斗部结构及模型验证

本研究的战斗部结构及尺寸如图1所示,由装药Comp B(RDX/TNT 60/40)炸药、钨合金球破片、硬铝衬筒和端盖组成,装药长径比为2。不同于传统圆柱战斗部和六棱柱战斗部结构,该战斗部周向由三个平面和三个凸面交替组成。每一个面上交叉排布球形破

收稿日期:2018-05-28;修回日期:2018-11-20

网络出版日期:2018-11-29

基金项目:国家自然科学基金委员会与中国工程物理研究院联合基金资助项目(U1530135)

作者简介:李元(1987-),男,助理研究员,主要从事爆炸毁伤、装甲防护等研究。e-mail:panshi-boshi@163.com

通信联系人:温玉全(1965-),男,副教授,主要从事从事火工系统理论与可靠性技术、爆炸毁伤技术研究。e-mail:wuyuan@bit.edu.cn

引用本文:李元,赵倩,熊诗辉,等.一种异面棱柱战斗部威力特性的数值模拟[J].含能材料,2019,27(2):97-103.

LI Yuan,ZHAO Qian,XIONG Shi-hui,et al. Numerical Modeling on lethality of a Faceted Prismatic Warhead[J]. Chinese Journal of Energetic Materials(Hanneng Cailiao),2019,27(2):97-103.

片,其中每个平面上排 1341 枚破片,每个凸面上排 1419 枚破片,整个战斗部共排破片 2760 枚。

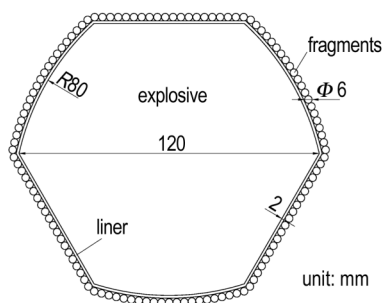


图1 战斗部结构

Fig.1 Warhead structure

依据上述战斗部的有关结构及尺寸,利用 TrueGrid 六面体网格划分软件<sup>[14]</sup>建立了该战斗部的有限元模型,如图 2 所示。

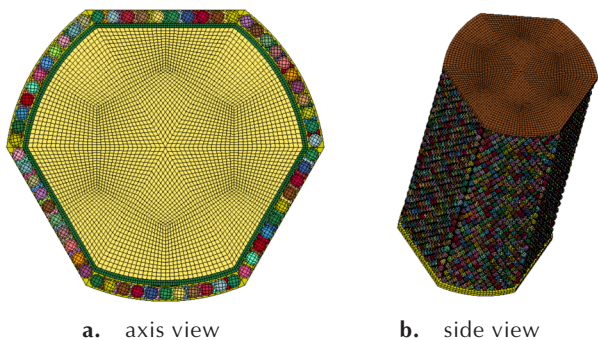


图2 战斗部有限元模型

Fig.2 Elements model of the warhead

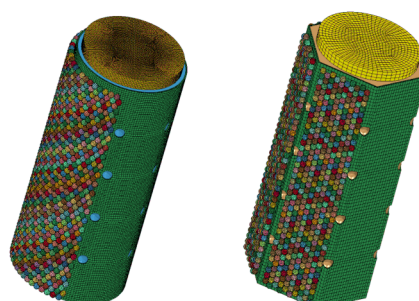
采用 LS-DYNA 软件 ALE 多物质流固耦合算法模拟炸药的爆轰、产物膨胀以及破片驱动,其中炸药和空气域采用 Euler 算法,而衬筒、端盖和破片等采用 Lagrange 算法<sup>[9]</sup>。炸药对衬筒、端盖和破片的驱动作用采用 \*Constrained\_lagrange\_in\_solid 关键字定义。端盖与衬筒之间定义固连面接触,衬筒与破片之间定义侵蚀面接触,而破片之间定义自动单面接触。采用全尺寸模型进行计算,且在空气域边界施加无反射边界。相关材料模型及参数与参考文献[9]相同。

在文献[9]中对棱柱形和圆柱形战斗部毁伤效能进行了靶场试验研究和数值模拟研究,如图 3 所示。激光测速靶的测量结果表明端面中心起爆时的圆柱形和棱柱形战斗部的最大破片速度分别为  $1903.20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $2038.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。相应的数值模拟计算结果分别为  $1982.31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  和  $1913.87 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,相对于试验结果的相对误差分别为 4.16% 和 -1.22%。可见,破片速度的最大误差不超过 5%,数值模拟结果与试验吻合较

好。另外,数值模拟得到的破片着靶分布也与试验结果吻合较好。因此,为保证结果准确可靠,本研究参考文献[9]进行数值模拟。



a. test layout



b. numerical model

图3 靶场布置及仿真模型<sup>[9]</sup>

Fig.3 Arena test layout and numerical models<sup>[9]</sup>

### 3 战斗部威力特性

#### 3.1 端面中心起爆

一端面中心起爆时的战斗部起爆过程如图 4 所示。当战斗部装药在一端面中心被起爆时,随着爆轰波的传递,所产生的高温高压爆轰产物开始向外膨胀。由于六棱柱结构的原因<sup>[15]</sup>,爆轰产物首先从端盖边缘处和战斗部棱角开始泄露(图 4a)。未泄露的爆轰产物继续膨胀,推动内衬和破片向外运动。但从图 4b~图 4d 可以看出,随着爆轰产物的进一步膨胀,圆柱面上开始出现爆轰产物的泄露,而平面上并未出现爆轰产物泄露。

分析原因认为,圆柱面上的爆轰泄露与装药和壳体的曲率有关<sup>[16]</sup>。假设破片近似沿壳体法向方向向外飞散,那么由于圆柱面的曲率较大,破片在向外飞行过程中,破片之间的周向间隙被拉大;而平面的曲率为 0,平面上的破片在飞行时其周向间隙不会被拉大或者变化很小。因此,平面上未出现爆轰产物泄露而圆柱面出现了爆轰产物的泄露。端面中心起爆  $200 \mu\text{s}$

时的破片飞散情况如图5所示。

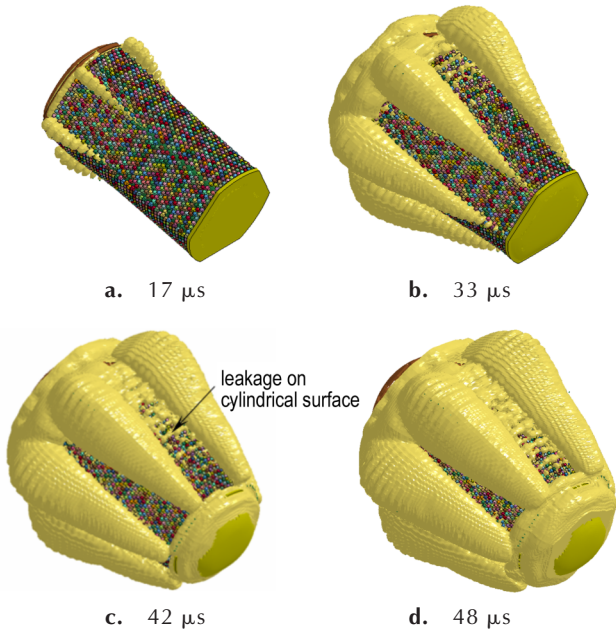


图4 异面棱柱战斗部起爆过程

Fig.4 Detonation process of the faceted prismatic warhead

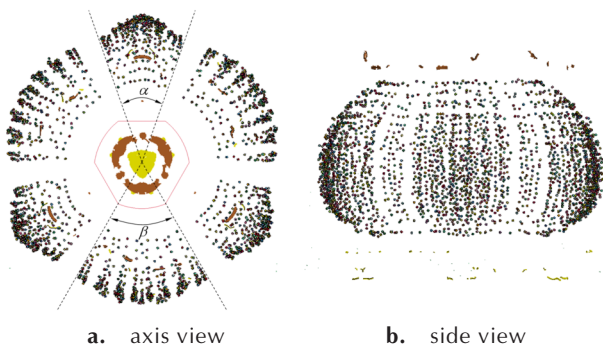


图5 200 μs时的破片飞散

Fig.5 Fragments dispersion at 200 μs

从图5可以看出,异面棱柱战斗部的六个面形成了6个破片束(或破片群),其中平面形成的破片束外沿轮廓呈抛物线形,即中心的破片速度最高而两边的较低;而凸面所形成的破片束外沿轮廓近似呈圆弧形,表明破片速度较均匀。这与爆轰产物的泄露情况相吻合。对于平面破片束来说,由于爆轰产物只在棱角处泄露,

因此两边的破片速度较低。而对于凸面破片束来说,棱角处和凸面上同时存在爆轰产物的泄露,因此破片速度较均匀且低于平面破片束的最高速度。为统计破片束信息,基于C语言编写了后处理程序。由该程序统计得知,平面破片束的平均速度为  $1561.20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最高速度为  $1867.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ;而凸面破片束的平均速度为  $1479.42 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,最高速度为  $1754.88 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。进一步统计破片束的速度区间分布,如表1所示。

从表1可以看出,尽管平面和凸面的平均速度相差不多,但是在高速区间( $1700\sim 1900 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ )内,平面可以产生更多的破片,平面破片个数130,远远高于凸面破片个数15。此高速破片对应于图5a中平面破片束的中间位置破片。而对于凸面来说,其中低速区间内的破片个数更多。从理论上分析,由于异面战斗部结构不再满足Gurney公式的相关假设<sup>[17]</sup>,因此直接利用Gurney公式计算破片速度并不可行。为此,沿对角线将战斗部分割为平面部分和凸面部分,则平面和凸面部分的局部装填比(局部装药质量与相应壳体质量的比)可分别计算为0.41和0.44。利用Gurney公式以及平面和凸面部分的局部装填比则可计算得到相应的最大破片速度分布为  $1583.96 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 和  $1636.61 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,与仿真结果的相对误差分别为-15.16%和-6.74%。由于平面部分的爆轰驱动过程与Gurney假设相差较大,因此平面部分的Gurney计算结果误差较大;而凸面部分爆轰驱动过程近似满足Gurney假设,其Gurney计算结果与仿真结果相近。这表明可以利用Gurney公式和凸面部分的局部装填比对凸面的破片速度进行计算。

对破片飞散角进行统计,可得平面所产生的破片束周向飞散角 $\alpha$ (图5a)为  $40.54^\circ$ ,而凸面所产生的破片飞散角 $\beta$ 为  $57.38^\circ$ 。凸面破片飞散角大于平面破片飞散角,即凸面的破片覆盖范围更大。从破片密度随破片飞散距离的变化、破片在空气中的衰减规律以及破片对目标的攻角可知,小的破片飞散角加上高的破片速度可以使破片束具有更远的毁伤距离<sup>[18]</sup>。因此,

表1 不同速度区间破片个数分布

Table 1 Fragments number distribution of different velocity ranges

face type	fragments number of different velocities								
	<1.1	1.1-1.2	1.2-1.3	1.3-1.4	1.4-1.5	1.5-1.6	1.6-1.7	1.7-1.8	1.8-1.9
flat	20	20	14	28	48	87	100	96	34
convex	34	16	30	35	69	141	133	15	0

平面破片束适合攻击大弹目交会距离下的目标, 而凸面破片束适合攻击小弹目交会距离下的目标。

### 3.2 偏心两线起爆

为进一步探索该异面战斗部威力, 对其采用偏心两线起爆(每线上均布四个起爆点), 图6为偏心两线起爆位置示意图。当凸面为打击面时, 起爆点设置在其对侧棱边上。

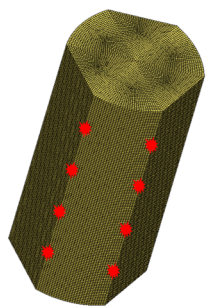
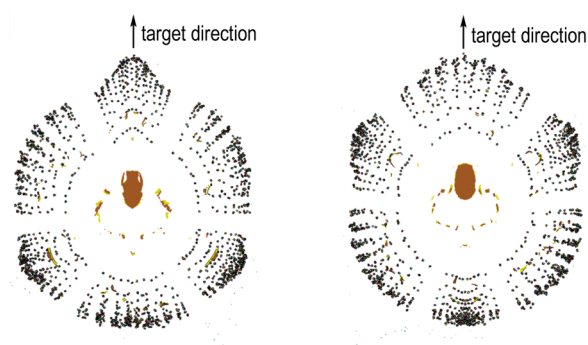


图6 偏心两线起爆位置示意图

Fig.6 Initiator locations of asymmetrical two lines initiation

偏心起爆  $200\ \mu\text{s}$  时, 不同面作为打击面时的破片飞散如图7所示。图中向上方向为目标方向, 即打击方向。

从图7可以看出, 采用偏心两线起爆之后, 平面破片束的外沿轮廓变得更加陡峭, 表明中间破片速度与边沿的破片速度差更大; 而凸面破片束的破片外沿轮廓仍然近似为圆弧。同样, 利用后处理程序提取偏心



a. flat face as the attack face b. convex face as the attack face  
图7 偏心两线起爆  $200\ \mu\text{s}$  时破片飞散示意图

Fig.7 Fragments dispersion of asymmetrical two lines initiation at  $200\ \mu\text{s}$

起爆时不同面所产生的破片束信息, 得平面作为打击面时的破片束平均速度为  $1899.67\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , 凸面作为打击面时的破片束平均速度为  $1825.84\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。对于破片平均速度来说, 偏心起爆使得平面破片束的平均速度相对端面中心起爆提高了  $21.68\%$ , 而使凸面破片束平均速度提高了  $23.42\%$ 。凸面破片平均速度增益略高于平面破片速度增益, 但是就破片平均速度绝对值以及高速区间内的破片个数来说, 偏心起爆时平面破片束依然高于凸面破片束。偏心起爆时的速度区间破片个数分布如表2所示, 在大于  $2.1\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$  的速度区间内平面破片束有 138 枚破片, 而凸面破片有 68 枚。

表2 偏心起爆时速度区间破片个数分布

Table 2 Fragments number distribution of asymmetrical initiation

face types	fragments number of different velocities								
	<1.4	1.4-1.5	1.5-1.6	1.6-1.7	1.7-1.8	1.8-1.9	1.9-2.0	2.0-2.1	>2.1
flat	32	20	20	24	49	60	43	61	138
convex	47	14	23	40	39	85	80	77	68

对破片飞散角进行统计, 可得平面作为打击面时的破片束飞散角度为  $37.16^\circ$ , 凸面作为打击面时的破片束飞散角度为  $57.89^\circ$ 。对比端面中心起爆和偏心两线起爆时的破片飞散角, 可知偏心起爆时平面破片束飞散角减小了  $3.38^\circ$ , 而凸面破片束飞散角则增加了  $0.51^\circ$ 。平面飞散角的减小可以由 Shapiro 公式<sup>[18]</sup>来解释。两线起爆可以形成更加接近于平面波形的爆轰波, 平面爆轰波与平面壳体的作用减小了爆轰波阵面法向与壳体法向的夹角, 进而使破片的飞散角度减小。无论如何, 采用偏心起爆时, 平面破片束的周向飞散角依然小于凸面破片束飞散角。可见, 偏心多点起

爆在提高起爆点对侧破片威力的同时, 不改变异面战斗部可形成两种不同威力破片束的性质。即使在偏心起爆情况下, 凸面的破片束速度得到了大幅度的提高, 但是其破片飞散角反而增加了  $0.51^\circ$ 。在大的弹目距离下, 凸面破片束在打击面上的破片密度依然较低, 不利于对目标毁伤概率的提高。采用平面破片束攻击大弹目距离的目标依然是较为合适的选择。

## 4 起爆方式对威力方向的影响

除端面中心起爆和偏心两线起爆之外, 进一步研

究的起爆方式如图 8 所示(轴向俯视图),分别为偏心一线起爆(图 8a)、侧向一线起爆(图 8b)、侧向两线起爆(图 8c)和偏心三线起爆(图 8d)等。其中,每条起爆线上均匀布置 4 个起爆点,如图 6 所示。主要考察不同起爆方式对平面作为打击面(图中向上方向为目标方向)时破片束威力的影响情况。

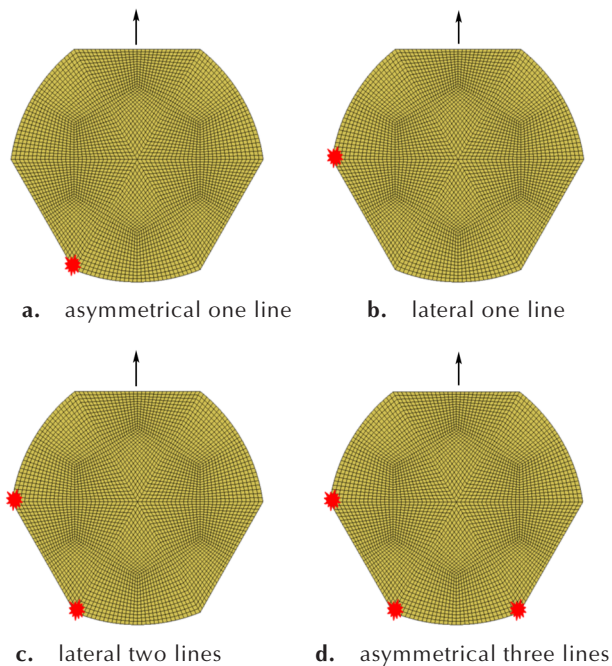


图 8 不同起爆方式示意图  
Fig.8 Different initiation modes

上述四种起爆方式对应的破片飞散如图 9 所示。从图 9 中可以看出,不同起爆方式下的破片飞散形态差别较大,主要表现为起爆点对侧的破片飞散距离大于其他方向的破片,且最大飞散距离的破片位置随着起爆方式的不同而不同。

提取主要关注的平面打击面(图 8 和图 9 中法线方向向上的平面)所产生的破片束参数。由于速度最大的破片毁伤威力最大,因此以破片束中最大速度破

片的飞散方向角为指标衡量起爆方式对破片束威力方向的影响。统计不同起爆方式下的破片束平均速度、周向飞散角、最大速度、最大速度破片偏转角等,列于表 3。其中偏转角以偏心两线起爆时最大速度破片飞散方向角为基准(顺时针为正)。

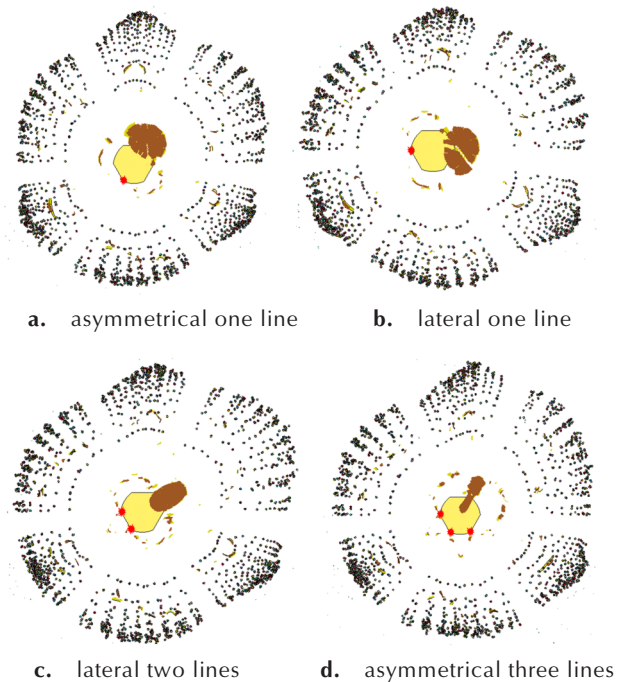


图 9 200 μs 时不同起爆方式下破片飞散  
Fig.9 Fragments dispersion of different initiations at 200 μs

从表 3 中可以看出,相对于端面中心起爆,除偏心两线和偏心一线起爆外,其他起爆方式对破片束飞散角的影响并不大。侧向一线起爆可获得最大的破片束偏转角 5.68°,但是其破片速度相对于中心起爆等略有降低(见表中平均速度和最大速度)。其次是侧向两线起爆,可得到破片束偏转角为 4.94°,且破片速度在可接受范围之内。偏心一线和偏心三线得到的破片束偏转角相当,分别为 2.10°和 2.33°,且破片速度也近似相同,这表明偏心三线相对于偏心一线起爆没有明显优

表 3 不同起爆方式下的破片束参数

Table 3 Parameters of fragment beams under different initiation ways

initiation ways	average velocity / m·s <sup>-1</sup>	circumferential dispersion angle / (°)	maximum velocity / m·s <sup>-1</sup>	deflection angle / (°)
end face center	1561.20	40.54	1867.05	0
asymmetrical two lines	1899.67	37.16	2358.00	0
asymmetrical one line	1788.22	37.05	2126.20	2.10
lateral one line	1540.79	40.23	1807.92	5.68
lateral two lines	1645.81	41.24	1959.08	4.94
asymmetrical three lines	1759.69	41.69	2148.59	2.33

势。因此综合破片速度和偏转角,当需要对偏转角度(或定向方向)调整较大时,采用侧向两线起爆较为合理;而当对定向方向调整较小时,可以采用偏心一线起爆。

## 5 结论

针对一种异面棱柱战斗部,采用数值模拟研究了不同面所产生的破片束的威力以及不同起爆方式对破片束威力方向的影响。研究结果表明:

(1) 该战斗部可以形成两种威力特性的破片束,其中平面所产生的破片速度较大,且飞散角小;凸面破片束速度相对低,而破片覆盖范围大。

(2) 偏心起爆相对端面中心起爆可提高平面破片束平均速度21.68%,减小平面破片束飞散角 $3.38^\circ$ ,在提高起爆点对侧破片威力的同时,不改变异面战斗部可形成两种不同威力破片束的性质。

(3) 侧向两线起爆在保证破片速度不降低的情况下可获得 $4.94^\circ$ 的平面破片束偏转角,而偏心一线可以得到 $2.10^\circ$ 的偏转角。相对于偏心一线,偏心三线对提高平面破片束威力没有明显优势。

该结构战斗部可以形成一种多效应战斗部,利用平面破片束打击大弹目交会距离下的目标,而利用凸面打击小弹目距离下的目标;且在大弹目距离下,可利用不同起爆方式实现对目标的末端瞄准,提高目标毁伤概率。

### 参考文献:

- [1] Waggenger S. The evolution of air target warheads[C]//23th International Symposium on Ballistics, Tarragona, Spain, 2007: 67-75.
- [2] 魏继峰. 战斗部多点起爆数值模拟[D]. 北京: 北京理工大学, 2005.  
WEI Ji-feng. Numerical research of multi-point initiated warhead[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2005.
- [3] 龚柏林, 卢芳云, 李翔宇. D型预制破片战斗部破片飞散过程的数值模拟[J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30(1): 88-94.  
GONG Bai-lin, LU Fang-yun, LI Xiang-yu. Simulation and study on the fragment ejection process of premade D-shape warhead [J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2010, 30(1): 88-94.
- [4] 李振铎, 李翔宇, 卢芳云, 等. D字形预制破片战斗部破片能量分布特性[J]. 弹箭与制导学报, 2016, 36(1): 55-62.  
LI Zhen-duo, LI Xiang-yu, LU Fang-yun, et al. Study on fragment energy distribution characteristics of premed D-shape warhead [J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2016, 36(1): 55-62.
- [5] 王马法, 卢芳云, 李翔宇, 等. 非轴对称结构约束下破片飞散特性的试验和仿真研究[J]. 振动与冲击, 2016, 35(15): 122-139.  
WANG Ma-fa, LU Fang-yun, LI Xiang-yu, et al. Tests and simulation for dispersion properties of fragments from asymmetric structures [J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2016, 35(15): 122-139.
- [6] DING Liang-liang, LI Zhen-duo, LIANG Min-zhu, et al. The dispersion rule of fragments about the asymmetric shell [J]. *Shock and Vibration*, 2017, 2017: 1-12.
- [7] Cunard D, Thomas K A. Programmable integrated ordnance suite (PIOS)[C]// 1st Annual International Missiles & Rockets Exhibition, 1992.
- [8] LI Yuan, WEN Yu-quan. Simulation on damage effectiveness of hexagonal prism aimable warhead with multi-point synchronous initiations [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2014, 23(1): 1-7.
- [9] LI Yuan, WEN Yu-quan. Experiment and numerical modeling of asymmetrically initiated hexagonal prism warhead [J]. *Advances in Mechanical Engineering*, 2017, 9(1): 1-14.
- [10] 刘琛, 李元, 李燕华, 等. 偏心起爆方式对棱柱形定向战斗部破片飞散规律的影响[J]. 含能材料, 2017, 25(1): 63-68.  
LIU Chen, LI Yuan, LI Yan-hua, et al. Influence of eccentric initiation ways on fragment dispersion rule of prismatic aimable warhead [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2017, 25(1): 63-68.
- [11] 获耿, 马天宝, 宁建国. 定向战斗部爆炸驱动规律研究[J]. 高压物理学报. 2013, 27(5): 685-690.  
GENG Di, MA Tian-bao, NING Jian-guo. Study on laws of explosion driven behaviors of aimed warhead [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2013, 27(5): 685-690.
- [12] Waggenger S. Relative performance of anti-missile warhead [C]//19th international symposium on ballistics. Inerlaken, Switzerland, 2001: 623-630.
- [13] 李元, 李燕华, 李洛, 等. 一种扫描式六象限激光探测系统弹目交会算法研究[J]. 兵工学报, 2015, 36(11): 2073-2079.  
LI Yuan, LI Yan-hua, LI Luo, et al. Research on projectile-target encounter algorithm for six-quadrant scanning laser proximity fuze sensor [J]. *Acta Armamentarii*, 2015, 36(11): 2073-2079.
- [14] Concannon B. Truegrid [CP]. XYZ Scientific Applications, 2001.
- [15] Carleone J. Tactical missile warheads [M]. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, 1993. 412-413.
- [16] 李元, 李燕华, 刘琛, 等. 预制破片战斗部爆轰产物泄露数值模拟[J]. 北京理工大学学报, 2017, 37(8): 778-782.  
LI Yuan, LI Yan-hua, LIU Chen, et al. Modeling of the gas leakage of premade fragment warhead [J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2017, 37(8): 778-782.
- [17] Gurney R W. The initial velocities of fragments from bombs, shell and grenades [R]. Ballistics Research Laboratories, Aberdeen, Md, USA, 1943.
- [18] 隋树元. 终点效应学 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2000: 95-100.  
SUI Shu-yuan. Terminal effects [M]. Beijing: National defense Industry Press, 2000: 95-100.

## Numerical Modeling on lethality of a Faceted Prismatic Warhead

LI Yuan<sup>1</sup>, ZHAO Qian<sup>1</sup>, XIONG Shi-hui<sup>2</sup>, WEN Yu-quan<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Automotive Safety and Energy, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

**Abstract:** To enhance the damage probability of munitions at various encounter distances, a faceted prismatic warhead composed of flat faces and convex faces is numerically studied in this work, and the dispersion patterns and lethality parameters of fragment beams from different faces are analyzed. The results reveal that this warhead structure could produce two types of fragment beams. One is the fragment beam with high speed and small scattering angle, and the other shows low speed and wide coverage. These fragment beams are suitable for attacking targets at different missing distances. The asymmetrical initiations could enhance the fragment velocity of flat face by 21.68%, reduce the dispersion angle of 3.38° and improve the lethality of fragment opposite to detonating point without changing the property of producing two kinds of fragment beams. The lateral two line initiations could change the fragment dispersion angle of the flat face of 4.94° without reducing the velocity of the fragment, which is higher than other initiations. Under large warhead-target missing distance, this change could alter the aiming direction and improve the damage probability.

**Key words:** aimable warhead; multi-point initiation; fragment dispersion; multi-effect warhead

**CLC number:** TJ410.33

**Document code:** A

**DOI:** 10.11943/CJEM2018143



## 《含能材料》“含能共晶”征稿

含能共晶是不同含能分子通过氢键等相互作用力形成的具有稳定结构和性能分子晶体。含能共晶充分组合了单质含能分子的优点,呈现出感度低,综合性能优良的特点,具有潜在的应用前景,共晶研究已经引起国内外含能材料学界的高度关注。为推动含能共晶的研究和交流,本刊特推出“含能共晶”专栏,主要征稿范围包括含能共晶晶体设计与性能预测、含能共晶的制备、结构解析、性能等。来稿请注明“含能共晶”专栏。