

文章编号: 1006-9941(2014)01-0089-05

偏心起爆定向战斗部威力研究

朱绪强^{1,2}, 黄川¹, 李艳春¹, 梅新良¹, 成一¹

(1. 南京理工大学, 江苏 南京 210094; 2. 黑龙江北方工具有限公司, 黑龙江 牡丹江 157000)

摘要: 为研究偏心起爆定向战斗部毁伤威力, 推导了偏心起爆点对侧延长线附近有限角度内应用的偏心起爆破片初速公式, 并设计钨柱和钨球两种预制破片偏心起爆定向战斗部进行了试验验证。结果表明, 所推导公式可用于偏心起爆定向战斗部计算。设计的偏心起爆战斗部的速度增益, 钨柱破片为 10.9%, 钨球破片为 19.8%。钨球破片初速、破片球面分布密度、毁伤概率均高于钨柱破片。

关键词: 自动武器与弹药工程; 偏心起爆定向战斗部; 钨柱破片; 钨球破片; 速度增益

中图分类号: TJ41

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.01.019

1 引言

防空反击弹药的主要功能是毁伤空中来袭目标, 弹药发射装置根据控制系统的指令发射反击弹药, 战斗部适时地到达有效作用方位, 引信根据控制指令装定的起爆模式起爆战斗部, 产生毁伤源有效毁伤来袭目标, 目前反击弹药产生的毁伤源多为高速破片和爆炸冲击波。破片需具有一定的动能和密集度才能击中空中目标并使其失去原有的作用, 达到毁伤目的的目的^[1]。目前, 偏心起爆定向战斗部相对中心起爆战斗部的速度及破片分布增益研究的较多, 如王树山^[2]等用实验方法研究了偏心多点起爆战斗部破片分散规律, 针对一定结构的圆柱形战斗部, 分别进行了偏心多点起爆条件下破片初速和破片数的径向分布实验; 王晓英^[3]等利用有限元程序对偏心多点起爆战斗部破片飞散规律进行了三维数值模拟研究; 孙学清^[4]等研究了多点偏心起爆定向战斗部破片飞散方向控制技术; 屈明^[5]等采用数值模拟计算研究了不同偏心线起爆方式对战斗部破片定向性能影响; 吕胜涛^[6]等计算及实验验证了钨柱偏心定向战斗部的破片速度增益及其数目分布; 马明辉^[7]等采用实验手段对比了偏心起爆与中心起爆战斗部初速和破片分布密度。也有不同破片中心起爆战斗部威力的研究^[1], 但是未见不同破片的偏心起爆定向战斗部威力对比的报道。为此, 本课题组研究了钨柱和钨球

两种预制破片偏心起爆定向战斗部对来袭战斗部模拟靶的作用, 重点研究了偏心起爆战斗部的速度增益, 比较了两种不同破片对模拟战斗部的毁伤效果。

2 战斗部破片速度及破片分布计算

2.1 中心起爆破片初速

采用经典格尼模型^[8]计算中心起爆破片速度。

$$E d m_e = \frac{1}{2} d m_1 v_0^2 + \frac{1}{4} d m_e v_0^2 \quad (1)$$

$$v_0 = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{m_e/m_1}{1+0.5(m_e/m_1)}} \quad (2)$$

式中, v_0 为破片初速, $m \cdot s^{-1}$; $\sqrt{2E}$ 为炸药的格尼常数, $m \cdot s^{-1}$; m_e 为炸药装药质量, kg; m_1 为弹体金属质量, kg。

2.2 偏心起爆速度计算

为简化模型, 对偏心起爆作如下假设:

(1) 偏心起爆为瞬时爆轰, 不考虑装药轴向稀疏波影响, 偏心起爆结构可简化为二维平面问题。

(2) 对于分布在 O_3O 延长线附近一定角度内的破片, 其偏心两点起爆可以化为偏心一点起爆, 如图 1, 起爆点 O_1 与 O_2 的共同偏心起爆的作用可以用这两点的中心点 O_3 的起爆能力的两倍来表征。

基于以上假设, 偏心起爆点对侧 O_3O 延长线附近一定角度内的破片初速问题, 可转化为求装药半径为偏心起爆点到该破片距离的战斗部中心起爆破片初速问题, 该战斗部与所研究战斗部装药、弹丸壳体、破

收稿日期: 2012-10-24; 修回日期: 2013-07-03

作者简介: 朱绪强(1980-), 男, 博士, 主要从事火炸药、火箭与战斗部相关设计研究。e-mail: zhuxuqiang@163.com

片的材质、密度相同,因此适用于格尼模型。

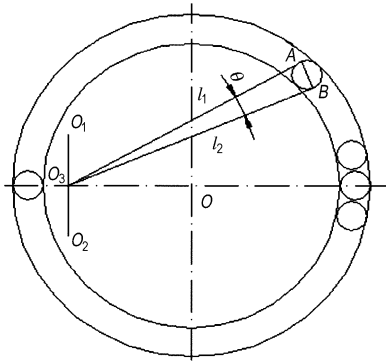


图1 偏心起爆求解初速示意图

Fig.1 Showing of velocity solving method of azimuthal warhead

在 O_3 一点偏心起爆时,在起爆点与对侧某一破片间存在面积 S_{O_3AB} 可表示作用于破片的能量:

$$S_{O_3AB} = \frac{1}{2} l_1 l_2 \sin \theta$$

装药半径为 R ,该破片能量分配比为: $i = \frac{S_{O_3AB}}{\pi R^2}$

设破片有 α 层,则每层装药量为 m_e/α ,于是有:

$$dm_e = \frac{m_e}{\alpha} i$$

将其代入式(1),整理得偏心起爆点对侧破片初速 v_0 :

$$v_0 = \sqrt{\frac{4Em_e i}{2\alpha dm_1 + m_e i}}$$

不考虑壳体质量,设单枚破片质量为 m_0 ,则 $dm_1 = m_0$ 。

所以

$$v_0 = \sqrt{2E \frac{\frac{m_e i}{\alpha m_0}}{1 + 0.5 \frac{m_e i}{\alpha m_0}}} \quad (3)$$

令偏心起爆方式起爆点侧速度为 v_1 ,起爆点对侧速度为 v_2 , v_2 相对于中心起爆速度 v_0 增益为:

$$\Delta v = \frac{v_2 - v_0}{v_0} \times 100\% \quad (4)$$

2.3 破片空间分布计算

按照球形靶定义,沿战斗部轴向破片分布角度为 φ 、径向破片分布角度为 θ , ΔN_i 为通过球形靶单元面积 ($\Delta\varphi_i, \Delta\theta$) 的破片数,则通过球带 ($\Delta\varphi_i, \theta$) 的破片数 N_i 为:

$$N_i = \frac{\Delta N_i}{\Delta\theta} \times \theta \quad (5)$$

沿战斗部轴向破片球带分布密度 ρ 为:

$$\rho = \frac{N_i}{\Delta\varphi} \quad (6)$$

3 试验验证

3.1 偏心起爆战斗部

偏心起爆战斗部有多种作用形式,有单点偏心起爆、双点偏心起爆,偏心角有 22.5° 、 45° 、 60° 、 67.5° 等多种角度^[4]。本试验采用弹底端面双点偏心起爆方式,两个起爆点间夹角为 45° ,起爆点距圆心距离 32.5 mm 。两种破片所用战斗部尺寸一致,战斗部直径 100 mm ,高 108 mm ;战斗部壳体厚 3 mm ,材料为铝;两端端盖厚 6 mm ,材料为铝;注装 B 炸药装药直径 78 mm ,高 96 mm ,装药密度 $1.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;钨柱战斗部质量为 4.36 kg ,钨球战斗部质量为 3.70 kg 。

3.2 预制破片

预制破片选用两种规格:(1)全预制钨柱破片,单枚破片设计质量为 7.44 g ,尺寸为 $\Phi 8 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$,每发战斗部含钨柱 12 层,每层 33 枚。(2)全预制钨球破片,单枚破片设计质量为 4.96 g ,直径为 $\Phi 8 \text{ mm}$,每发战斗部含钨球 14 层,每层 33 枚。

3.3 模拟战斗部

根据实验要求,两种模拟战斗部的壳体和端盖均选用 $45^\#$ 钢,装药均为 B 炸药,注装,装药密度 $1.65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。两种战斗部尺寸的为:(1)壳体厚 4 mm ,装药尺寸为 $300 \text{ mm} \times 92 \text{ mm}$;(2)壳体厚 6 mm ,装药尺寸为 $300 \text{ mm} \times 88 \text{ mm}$ 。

3.4 实验布靶

试验布靶示意图如图 2,偏心起爆战斗部和模拟来袭战斗部均距地面高 0.5 m ,模拟来袭战斗部放置于所研究偏心起爆战斗部起爆点对侧,模拟来袭战斗部与偏心起爆战斗部间靶距 L 设计了 5 种,分别是 $2.65, 2, 1.5, 1.2, 1 \text{ m}$,其中钨柱战斗部试验 7 发,钨

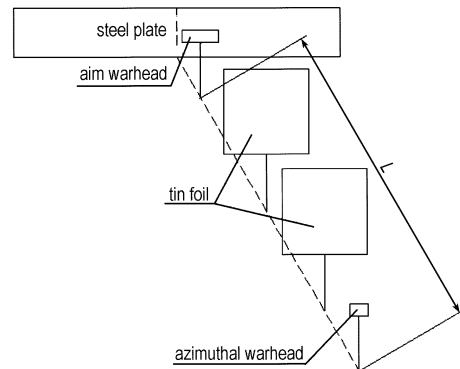


图2 试验布靶示意图

Fig.2 Showing of experiment setting

球战斗部试验9发,两种偏心起爆战斗部各测量了3发起爆点侧和起爆点对侧的破片速度。偏心起爆战斗部起爆点对侧2.8 m处放置厚度为4 mm、高1.2 m、长4 m的A3钢板靶,统计靶上透孔(两个半穿记为一个穿透)。

4 实验结果及讨论

4.1 破片速度

利用3.1中数据计算偏心起爆战斗部破片初速:

表1 两种偏心起爆战斗部破片初速

Table 1 The fragment muzzle velocity of two kinds of azimuthal warhead

fragment	warhead order	$v_1 / m \cdot s^{-1}$	$v_2 / m \cdot s^{-1}$	$\bar{v}_1 / m \cdot s^{-1}$	$\bar{v}_2 / m \cdot s^{-1}$	$\Delta v / \%$
tungsten cylinder fragment	1	1118.6	1284.6	1169.5	1295.4	10.9
	2	1254.7	-			
	3	1135.1	1306.2			
tungsten sphere fragment	1	1308.9	-	1285.8	1540.3	19.8
	2	-	1610.1			
	3	1262.6	1480.5			

由表1可见:

(1) 钨柱破片在起爆点对侧实测初速 v_2 平均值为 $1295.4 m \cdot s^{-1}$,比中心起爆计算值($v_{柱0} 1168.5 m \cdot s^{-1}$)高10.9%,即偏心起爆速度增益为10.9%。钨球破片在起爆点对侧初速 v_2 平均值为 $1540.3 m \cdot s^{-1}$,比中心起爆计算值($v_{球0} 1285.9 m \cdot s^{-1}$)高19.8%,即偏心起爆速度增益为19.8%。

(2) 公式(3)计算偏心起爆点对侧破片初速 $v_{柱}$ 为 $1303.6 m \cdot s^{-1}$ 、 $v_{球}$ 为 $1500 m \cdot s^{-1}$,钨柱和钨球实测初速 v_2 平均值分别为 $1295.4 m \cdot s^{-1}$ 和 $1540.3 m \cdot s^{-1}$,实测平均值和计算值偏差不大,钨柱和钨球分别为 $-8.2 m \cdot s^{-1}$ 和 $40.3 m \cdot s^{-1}$,公式(3)可用于偏心起爆定向战斗部计算。

(3) 钨柱和钨球破片在起爆点侧测得速度的平均值分别为 $1169.5 m \cdot s^{-1}$ 和 $1285.8 m \cdot s^{-1}$,均与各自中心起爆破片初速相近,不适用于公式(3)。说明(3)式适用于起爆点对侧初速计算,不适用于起爆点侧初速计算,这也符合2.2中假设(2)。

(4) 因为钨球破片的质量比较小,所以其初速起爆点侧和起爆点对侧都高于钨柱破片。

4.2 破片分布

对本次试验破片分布进行分区统计,利用式(6)计算轴向破片分布密度 ρ ,两种破片的球带分布密度曲线见图3、图4所示。

公式(2)计算的钨柱战斗部中心起爆速度 $v_{柱0}$ 为 $1168.5 m \cdot s^{-1}$ 、钨球战斗部中心起爆速度 $v_{球0}$ 为 $1285.9 m \cdot s^{-1}$,公式(3)计算偏心起爆点对侧的钨柱战斗部初速 $v_{柱}$ 为 $1303.6 m \cdot s^{-1}$ 、钨球战斗部初速 $v_{球}$ 为 $1500 m \cdot s^{-1}$ 。试验中两种战斗部均测速3发,数据如表1所示,其中, v_1 为试验实测起爆点侧破片速度, v_2 为试验实测起爆点对侧破片速度, Δv 为 v_2 相比中心起爆速度 $v_{柱}$ 、 $v_{球}$ 的速度增益。由于试验手段的原因,表1中标“-”处数据未测得。

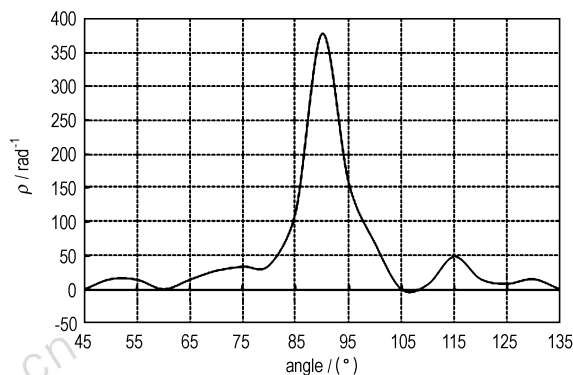


图3 钨柱破片球带分布密度曲线

Fig. 3 Spherical zone distribution density of different angles of tungsten cylinder fragment

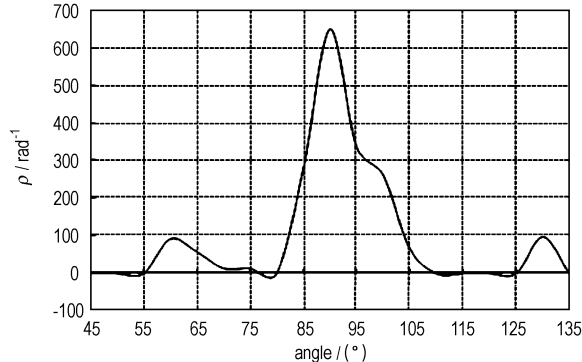


图4 钨球破片球带分布密度曲线

Fig. 4 Spherical zone distribution density of different angles of tungsten sphere fragment

由图 3 可知, 钨柱破片主要分布角度约为 $80^\circ \sim 102^\circ$, 由图 4 可知, 钨球破片主要分布角度约为 $81^\circ \sim 104^\circ$, 对比图 3 和图 4, 两种破片主要分布角度不同, 其原因在于钨柱破片重、惯性大, 战斗部外壳破裂早, 这也符合文献[9]的公式 $\delta_x = \arcsin\left(\frac{v_0}{2D_e} \cos\theta_x\right)$, 相同炸药爆速 D_e 和冲击波入射角 θ_x 下, 钨球的速度 v_0 高, 则破片抛射方向和战斗部法线方向夹角 δ_x 大。

对比图 3 和图 4 可知, 靶上有效破片主要作用范围内, 钨球破片球带密度高于钨柱破片, 尤其是 $85^\circ \sim 95^\circ$ 区域内, 靶板上钨球有效破片数量是钨柱破片的两倍。其原因: 钨球破片是球状, 其迎风面积是恒定的, 为 12.48 mm^2 ; 而钨柱破片可能是圆端面垂直靶板着靶, 此时迎风面积最小, 为 12.48 mm^2 ; 也可能是圆柱面垂直靶板, 此时迎风面积最大, 为 64 mm^2 ; 还有可能是倾斜着靶, 迎风面积介于二者中间, 柱面着靶和端面着靶迎风面积比值为 $5.13:1$, 显然迎风面积较大的破片穿甲比动能小, 造成靶上有效穿孔少。其次, 钨球破片装填数量比钨柱多两层, 实际数量比钨柱破片高 16.7% 。

4.3 引燃引爆模拟战斗部分析

模拟来袭战斗部受破片冲击引起爆燃或爆炸情况见表 2。表 2 中 0% 表示模拟来袭战斗部未被引爆, 100% 表示模拟来袭战斗部被完全引爆, 50% 表示半爆, 根据现场试验情况判定, 该半爆是由于炸药爆燃引起。

表 2 破片引燃引爆模拟战斗部情况

Table 2 Detonation rate of fragments for simulative target

fragment	target thickness /mm	target distance /m	detonating rate /%	
tungsten cylinder fragment	4	2.65	100	
		2.65	0	
		2.00	0	
tungsten sphere fragment	6	1.5	50	
		1.5	0	
		1.2	0	
tungsten cylinder fragment	4	1.0	100	
		2.65	100	
		2.65	0	
	tungsten sphere fragment	6	2.00	100
			1.5	0
			1.5	0
tungsten sphere fragment	6	1.5	0	
		1.2	100	
		1.0	100	
tungsten sphere fragment	6	1.0	100	
		1.0	100	

由表 2 可见:

(1) 钨球破片战斗部规律比较明显, 当模拟战斗部壁厚为 4 mm 时, 靶距为 2.65 m 时 1 发模拟战斗部被完全引爆, 1 发未被引爆; 靶距为 2 m 时 1 发模拟战斗部被完全引爆, 可以认为靶距不大于 2 m 可以引爆模拟战斗部。当壁厚为 6 mm 时, 靶距不大于 1.2 m 的 3 发模拟战斗部均被完全引爆, 可以认为靶距不大于 1.2 m 可以引爆模拟战斗部。

(2) 对于钨柱破片战斗部, 此次试验中并没有得出明显的规律, 这可能是由于钨柱战斗部破片球面分布密度低, 不能有效命中模拟来袭战斗部。

5 结论

(1) 推导了偏心起爆点对侧延长线附近有限角度内应用的初速公式, 应用该公式计算了 45° 夹角 2 点偏心起爆战斗部起爆点对侧破片初速, 钨柱和钨球破片分别为 $1303.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $1500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 与实测值偏差并不大, 该公式可用于偏心起爆定向战斗部初速计算。

(2) 计算了所设计偏心起爆战斗部的速度增益, 钨柱破片为 10.9% , 钨球破片为 19.8% 。

(3) 钨柱、钨球 2 种偏心起爆战斗部中, 钨球破片初速、破片球带分布密度、毁伤概率均高于钨柱破片。

参考文献:

- [1] 李晋庆, 胡焕性. 不同破片对模拟战斗部的毁伤实验研究[J]. 火炸药学报, 2004, 27(1): 26-29.
LI Jin-qing, HU Huan-xing. Experimental investigation on damage to simulative warheads by different fragments[J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2004, 27(1): 26-29.
- [2] 王树山, 马晓飞, 隋树元, 等. 偏心多点起爆战斗部破片飞散实验研究[J]. 北京理工大学学报, 2001, 21(2): 177-179.
WANG Shu-shan, MA Xiao-fei, SUI Shu-yuan et al. Experimental research on fragments dispersion of the warhead under asymmetrical multi-spots[J]. *Initiation Journal of Beijing Institute of Technology*, 2001, 21(2): 177-179.
- [3] 王晓英, 张庆明, 李金柱. 偏心多点起爆战斗部破片飞散三维数值模拟研究[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(增刊): 201-206.
WANG Xiao-ying, ZHANG Qing-ming, LI Jin-zhu. 3D simulation of the fragments dispersion under asymmetrical multiple point initiation[J]. *Initiation Journal of Beijing Institute of Technology*, 2003, 23(S): 201-206.
- [4] 孙学清, 张国伟, 杨陕平. 定向战斗部破片飞散方向控制技术研究[J]. 弹箭与制导学报, 2008, 28(1): 102-104.
SUN Xue-qing, ZHANG Guo-wei, YANG Shan-ping. Study on fragments dispersing direction control of directional warhead[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2008, 28(1): 102-104.
- [5] 屈明, 钱立新, 杨云斌. 起爆方式对战斗部破片定向性能影响的数值模拟研究[J]. 含能材料, 2005, 13(3): 137-140.

- QU Ming, QIAN Li-xin, YANG Yun-bin. Numerical simulation of effect of initiation position on directed performance of warhead fragment[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005,13(3): 137-140.
- [6] 吕胜涛, 李向东, 杨亚东. 偏心定向战斗部的破片速度及数目分布[J]. *火炸药学报*, 2010,33(5): 79-82.
- LÜ Sheng-tao, LI Xiang-dong. The fragments velocity and destiny distribution of the eccentric detonating aimed warhead [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2010,33(5): 79-82.
- [7] 马明辉, 嵇振涛, 张丽娜. 偏心起爆定向战斗部增益试验分析[J]. *兵工学报*, 2010,31(2): 51-54.
- MA Ming-hui, JI Zhen-tao, ZHANG Li-na. Analysis on gain test of eccentric detonating directional warhead[J]. *Acta Armamentarii*, 2010,31(2): 51-54.
- [8] 王儒策, 赵国志. 弹丸终点效应[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1993: 85-86.
- WANG Ru-che, ZHAO Guo-zhi. The terminal effects of projectile[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1993: 85-86.
- [9] 黄广炎, 冯顺山, 刘沛清. 基于战斗部微圆柱分析的破片飞散特性研究[J]. *兵工学报*, 2010,31(增刊): 215-218.
- HUANG Guang-yan, LIU Pei-qing, FENG Shun-shan. Research on dispersion characteristic of fragment based on micro-column analyses for warhead[J]. *Acta Armamentarii*. 2010,31(S): 215-218.

Lethality Investigation of Azimuthal Warhead

ZHU Xu-qiang^{1,2}, HUANG Chuan¹, LI Yan-chun¹, MEI Xin-liang¹, CHENG Yi¹

(1. Nanjing University of Science & Technologies, Nanjing 210094, China; 2. Heilongjiang North Tool LTD., Mudanjiang 157000, China)

Abstract: To study the lethality of azimuthal warhead, a fragment muzzle velocity formula used in limited angles of extension line opposite to azimuthal detonating point of azimuthal warhead was deduced, and tungsten cylinder fragment and tungsten sphere fragment azimuthal warheads were designed to validate the model by experiments. Results show the formula can be used to the calculation of azimuthal warhead. The designed azimuthal warhead velocity gain is 10.9% for tungsten cylinder fragment and 19.8% for tungsten sphere fragment. The muzzle velocity, sphere distribution density and killing probability of tungsten sphere fragment are better than those of the tungsten cylinder fragment.

Key words: automatic weapons and ammunition engineering; azimuthal warhead; tungsten cylinder fragment; tungsten sphere fragment; velocity gain

CLC number: TJ41

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2014.01.019