

文章编号: 1006-9941(2018)05-0383-07

展开角度及起爆位置对轴向展开式定向战斗部性能的影响

洪晓文, 李伟兵, 李文彬, 李 瑞, 郭腾飞

(南京理工大学智能弹药技术国防重点实验室, 江苏 南京 210094)

摘 要: 为了研究轴向展开式定向战斗部的毁伤效能, 采用 AUTODYN 软件系统分析了展开角度及起爆位置对轴向展开式定向战斗部破片性能的影响, 获得了战斗部轴向展开角度及起爆位置对形成破片质量分布、飞散速度及飞散角的影响规律。结果表明, 前向爆炸成型弹丸(EFP)速度随轴向展开角增大而逐渐减小。而 EFP 长径比增加, 翼径比为 4.2 左右, 战斗部轴向展开角的增大可提高有效破片质量百分比, 破片最大飞散速度出现在距起爆端约 33.33% 处, 起爆位置在装药外侧时战斗部的有效破片百分比达 67.57%; 选取战斗部的轴向展开角度为 60° 左右, 且起爆点位于最外侧, 可实现轴向展开式定向战斗部定向与汇聚打击的高效毁伤功能。

关键词: 轴向展开角度; 定向战斗部; 破片质量分布; 飞散速度; 飞散角

中图分类号: TJ55; TJ410.33

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2018.05.002

1 引 言

为实现弹药对目标的高效毁伤, 需要提高弹药战斗部对目标的毁伤能力, 而定向、聚焦等战斗部技术是提高战斗部毁伤效力的有效措施, 国内外都非常重视相关的研究工作, 提出了很多新的定向战斗部的概念, 其中展开式定向战斗部结合了定向毁伤技术和破片杀伤技术, 能够明显提高目标方向上的破片密度^[1-6], 因此受到了国内外的广泛关注。如凌琦^[7]通过数值模拟和试验验证的方式对径向展开式定向战斗部的破片飞散过程进行了研究, 对比分析了不同展开姿态对破片飞散区域的影响特性, 得到了最优展开姿态的取值范围; 赵宇哲^[8]设计了径向展开式定向战斗部原理样机并利用高速摄影技术对其展开过程进行了研究, 结果表明展开过程符合理论预期, 增加外部槽驱动药可缩短战斗部展开时间; 马征等^[9]建立了径向展开式定向战斗部动力学过程的典型模型, 并利用有限元程序对计算模型进行了验证; 目前国内对展开式定向战斗部的研究主要集中在径向展开式定向战斗部的研究, 而径向展开式战斗部的毁伤元轴向飞散角范围有限,

尽管其实现了全定向功能, 但对目标方向的聚焦能力不足, 因此国外 Clayton W. Miller^[10]提出了一种轴向展开的新型战斗部结构, 该战斗部在确定目标方位后, 由控制电路释放卡锁, 外围部分沿着铰链旋转至一定角度后起爆装药, 大幅度增加了目标方向的破片密度, 提高了对目标的毁伤效能, 可有效对付人员目标和地面装甲车辆。尽管国外提出了轴向展开式定向战斗部的概念, 但是针对该战斗部的结构参数及其具体性能参数未见报道。

本研究设计了一种轴向展开式战斗部, 该战斗部起爆后可形成轴向的主定向毁伤元以及径向的自然破片群, 采用数值模拟方法系统研究了战斗部展开角及起爆位置对形成破片质量分布、飞散速度及飞散角的影响规律, 找出最佳战斗部展开角及起爆位置, 以为轴向展开式定向战斗部的设计应用提供参考。

2 战斗部结构及模型建立

2.1 战斗部结构方案

轴向展开式定向战斗部主要由中间和外围两部分组成。中间部分呈圆锥状, 由高能炸药和药型罩组成。当炸药被引爆后, 能够产生一个比较大的爆炸成型弹丸(可以用于打击装甲目标等硬目标)。外围部分共 4 块, 对应的中空壳体分别装填片状炸药后与前端药型罩铰链联接, 底部用卡锁机构固定, 其结构示意图如图 1 所示。

收稿日期: 2017-09-08; 修回日期: 2017-11-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(11202103), 江苏高校“青蓝工程”资助

作者简介: 洪晓文(1991-), 男, 博士研究生, 主要从事爆炸力学方向研究。e-mail: hongycxw@163.com

通信联系人: 李伟兵(1982-), 男, 博导, 副研究员, 主要从事爆炸力学、高效毁伤技术研究。e-mail: njstlwb@163.com

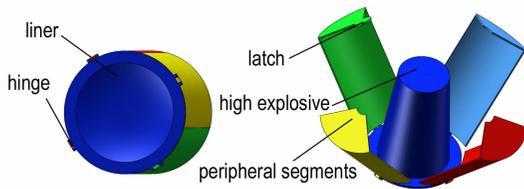


图 1 轴向展开式战斗部结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the axial-expanding warhead structure

2.2 计算模型及参数

为了简化计算,建立如图 2 所示的 1/2 有限元模型,主要由内外炸药、药型罩和壳体四部分组成,战斗部外径 110 mm,总长度 140 mm,其中壳体厚度 3 mm,内部炸药顶部直径 50 mm,药型罩外曲率半径

60 mm,内曲率半径 58 mm,厚度 3.5 mm。在 ANSYS 前处理中建模并划分网格,网格平均尺寸为壳体、药型罩 1.5 mm,炸药 2.5 mm。

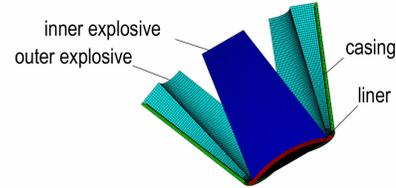


图 2 1/2 有限元模型

Fig. 2 The 1/2 finite element model

壳体、炸药和药型罩采用的状态方程、强度模型及失效准则见表 1,具体材料参数均取自 AUTODYN-3D 材料库^[11]。

表 1 数值模拟所用材料模型

Table 1 Material model for numerical simulation

component	explosive	casing	liner
material	Comp. B	steel 4340	CU-OFHC
equation of state	JWL	linear	linear
strength model	hydro	Johnson Cook $A=792$ MPa $B=510$ MPa $n=0.26$ $m=1.03$ $C=0.014$	Johnson Cook $A=90$ MPa $B=292$ MPa $n=0.31$ $m=1.09$ $C=0.025$
failure model	/	principal strain	/
erosion of standard	geometric strain	failure	geometric strain

采用随机 (Stochastic) 破坏模型定性描述具有不同分布的离散几何体来模拟真实材料的破坏模式,根据不同分布得到不同大小及数量的破片。文中计算采用基于 Mott 分布的随机失效模型 Stochastic Failure 来描述自然破片大小及质量分布,其中主应变失效中的主拉伸失效应变设为 0.4, Stochastic 破坏模型中的材料常数 C 和 γ 分别取 4.67×10^2 和 10, 设定随机破坏从材料破坏应力的 50% 开始^[12]。采用 Lagrange 算法和自动面接触侵蚀算法模拟炸药和药型罩、壳体的相互作用。

2.3 起爆方式设定

战斗部轴向展开后需同时起爆内外两部分炸药,故选定起爆方式为内外同时单点起爆,在此基础上改变外部起爆位置,起爆位置分别在外部炸药径向中心位置的五等分点。图 3 为轴向展开式定向战斗部展开角为 30° 时,各起爆点的位置。

3 轴向展开角度对战斗部破片性能的影响

首先,以内外单点同时起爆为例,研究轴向展开式

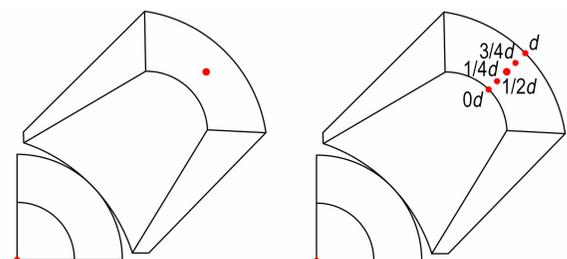
a. internal initiation
detonating pointb. different external initiation
detonating point

图 3 轴向展开式定向战斗部起爆点位置

Fig. 3 The initiation position of axial-expanding directional warhead

定向战斗部在不同展开角度下的破片飞散规律。内外炸药起爆后,壳体膨胀破裂形成破片向外飞散,药型罩被压垮并逐渐形成 EFP,到 $100 \mu\text{s}$ 左右,破片速度趋于稳定,EFP 也已成型,结合 AUTODYN 后处理功能统计此刻不同起爆方式及不同展开角度下,破片总数、有效破片数及破片沿径向飞散角度及轴向的速度分布,以此评定其毁伤威力。

3.1 展开角度对 EFP 成型的影响

图 4 为战斗部在不同展开角度下 EFP 形状及速度关系变化趋势图,由图可知,闭合状态下前向形成的 EFP 速度最大,战斗部在展开一定角度后,从 30° 变化到 90° 时的 EFP 的速度呈减小趋势,但变化幅度不大,均在 $1400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右。在闭合状态形成的 EFP 尾部较为扁平,展开角度为 $30^\circ \sim 60^\circ$ 所形成的尾裙结构较为明显, 75° 和 90° 没有形成明显的尾翼。这是因为在闭合状态下,外部装药和内部装药为一整体,起爆方式相当于五点起爆,各起爆点形成的半球面爆轰波两两相撞形成四个高压区,随后四个高压区相连,最终在中心形成方形高压区,而周边压力区压力相对较小,故药型罩的水平边缘与壳体连接部位所受压力作用很小,EFP 尾部基本呈现扁平状态。

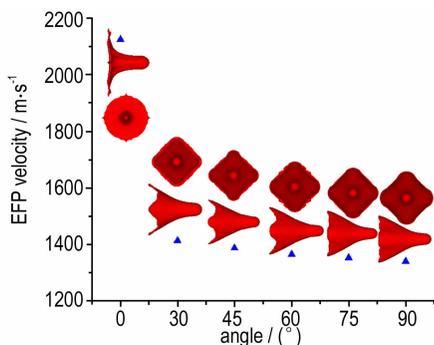


图 4 不同展开角下 EFP 形状及速度关系

Fig. 4 The relation between EFP shape and velocity at different expansion angles

战斗部的展开角小于 75° 时,外部炸药产生的爆轰波到达药型罩边缘的入射角较小,导致对药型罩边缘材料的加载作用较大,而外部炸药与药型罩连接处贴合最为紧密,药型罩相应位置的径向压合作用最强,故 EFP 底部形成尾裙结构。当展开角度大于 75° 后,爆轰波到达药型罩边缘的入射角较大,导致对药型罩边缘材料的加载作用大幅减小,药型罩相应位置的径向压合作用微弱,因而 EFP 尾部未形成明显的尾裙结构。图 5 为 EFP 长径比、翼径比^[13]随展开角度变化关系图,从图中可以看出,EFP 长径比随战斗部展开角度整体变化趋势是增加的,展开角度为 90° 时的 L_E/D_E 约为闭合状态时的 1.5 倍。EFP 翼径比在闭合状态下最大,当展开角逐渐增大时,EFP 翼径比 W_E/D_E 几乎不变,在 4.2 左右,为了改善 EFP 的气动力特性,提高飞行稳定性,实现其在大炸高下的毁伤作用,控制战斗部展开角度在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 较为合适。

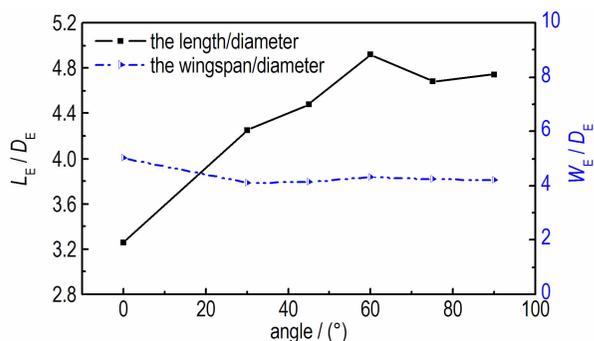


图 5 不同展开角度下 EFP 长径比、翼径比的变化

Fig. 5 The variation of EFP length-diameter ratio and wing-diameter ratio at different expansion angles

3.2 破片质量分布的影响

当战斗部起爆后,由于爆轰产物的作用,壳体碎裂形成破片,在爆轰产物的作用下向四周飞散。为使破片能达到良好的杀伤效果,只选取质量大于 1 g 的破片为有效破片^[14]。图 6 是战斗部在不同展开角度下破片的质量分布,从图中可以看出,战斗部展开角度越小,破片总数越多,这是由于几近闭合状态下,炸药的能几乎都作用于壳体,壳体更容易破碎,随着展开角度的增加,作用于壳体的药量减少,壳体不完全破碎,破片总数较闭合状态是减少的,而有效破片百分比从闭合状态的 40.82% 增加到战斗部展开一定角度后的 55% 左右,提高了 14.18%。

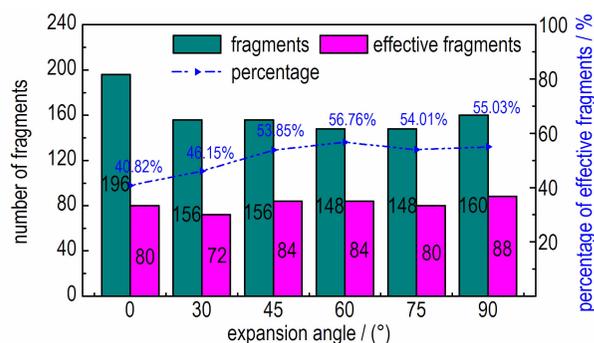


图 6 不同展开角度下破片的质量分布

Fig. 6 The mass distribution of fragments at different expansion angles

3.3 破片飞散速度的影响

自然破片分布较预控破片及预制破片更为随机,为量化比较不同展开角度下,沿壳体轴向破片的速度,将壳体划分为 12 个区域表示破片沿轴向的分布位置并对计算结果进行统计,图 7 和图 8 分别是破片分布

位置及不同展开角度下,轴向破片的速度变化曲线。

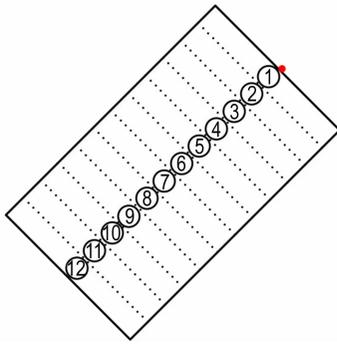


图7 破片分布区域示意图

Fig. 7 The schematic diagram of fragment distribution area

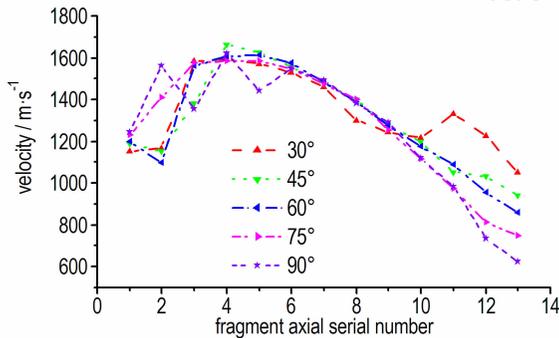


图8 不同展开角度下的轴向破片飞散速度

Fig. 8 The flying dispersion velocity of the axial fragments at different expansion angles

数值模拟结果表明,战斗部在闭合状态下轴向破片的平均速度在 $2046 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 高于其展开状态下破片平均飞散速度 $1623 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,其轴向最大飞散速度出现在距战斗部起爆端约 75.03% 长度处,不同展开角度对轴向破片速度有一定的影响。由图 8 可以看出,展开不同角度时轴向破片最大飞散速度范围为 $1583 \sim 1663 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,且均出现在距起爆端约 33.33% 长度处,与战斗部闭合状态存在明显差异。这是由于战斗部在展开一定角度时,近起爆端的炸药较厚,对壳体中上部压力冲量较大,因此,破片速度很快达到最大值。从图 8 中还可以发现,战斗部展开时由于中心药柱爆轰波传至底部与外部装药爆轰产物的相互作用,战斗部底部破片速度有明显增加,展开角度越小,此影响越显著。

3.4 破片飞散角的影响

图 9 为 $100 \mu\text{s}$ 时战斗部轴向展开不同角度,在同一观察视角下破片的飞散情况。由图 9a 可知,在战斗部处于闭合状态时,与圆柱形战斗部类似,形成的破片基本沿周向均匀分布。当战斗部展开一定角度后,破

片呈“伞”状向外飞散,展开角度越大,目标方向上的破片汇聚越明显。

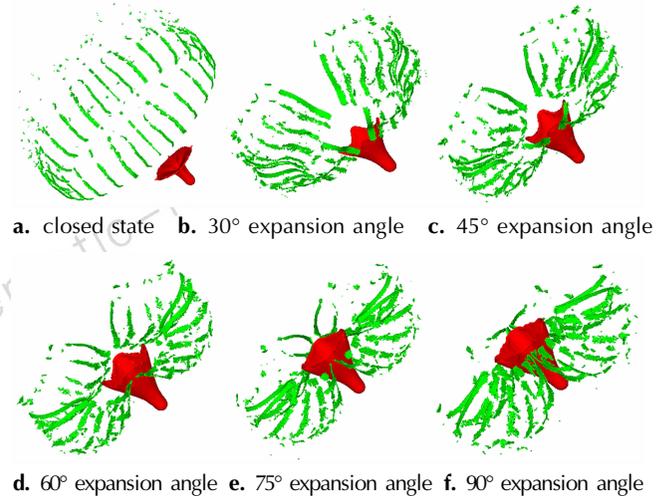


图9 $100 \mu\text{s}$ 不同展开角度下破片飞散情况

Fig. 9 The flying dispersion situation of fragment under different expansion angles at $100 \mu\text{s}$

轴向展开式定向战斗部在目标方向上的破片飞散角与其展开角度有关,现对破片沿径向及轴向飞散的情形进行分析。

图 10a 是起爆前后破片径向飞散情况及偏转角度示意图,其中, β 为破片径向飞散角, α 为径向初始角度, $(\alpha - \beta)$ 为偏转角,轴向飞散角的定义见图 10b,其中, γ 为展开角度, θ 为轴向速度与绝对速度的夹角, δ_{max} 为轴向飞散角最大值。不同展开角对应不同的 δ 。经过相关几何计算并对不同展开角度下破片径向及轴向飞散角进行统计见表 2。

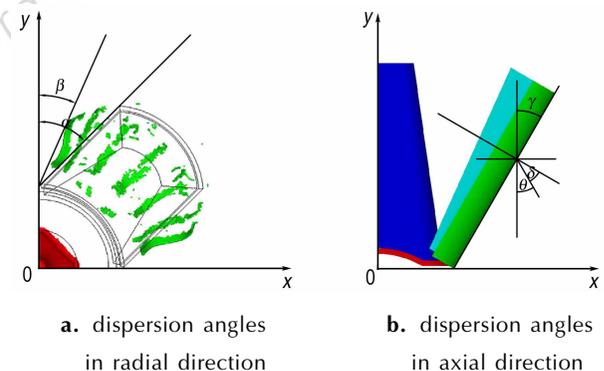


图10 不同方位破片飞散角

Fig. 10 The flying dispersion angles of fragment in different directions

由表 2 可以看出,战斗部初始径向角度不随展开角的变化而变化,展开角度越大,破片的径向飞散角度

越小,而偏转角规律与之相反。破片轴向飞散角也随战斗部展开角度的增大而减小,同时说明展开角度越大,破片在目标方向内的汇聚作用越明显,展开角为90°时,壳体相邻位置的部分破片会发生碰撞,会严重干扰破片的飞散方向,这表明展开角度越大,相邻干涉区的影响越明显,这与文献[7]的分析结果一致,所以在保证有效破片百分比基础上,控制战斗部的展开角度在60°~75°较为合适。

表2 不同展开角度下破片飞散角

Table 2 The flying dispersion angle of fragment at different expansion angles

expansion angle / (°)	β / (°)	α / (°)	$(\alpha-\beta)$ / (°)	δ_{\max} / (°)
30	10	45	35	59.15
45	8	45	37	44.42
60	6	45	39	29.62
75	3	45	42	14.88
90	0	45	45	-0.04

Note: β is the fluing dispersion angles in radial direction. α is the initial radial angle. $(\alpha-\beta)$ is the deflection angle. δ_{\max} is the fluing dispersion angles in axial direction.

4 不同起爆位置对破片性能的影响

在战斗部的展开角不变(这里取30°)的基础上研究不同起爆位置对破片性能的影响。计算时,内部炸药起爆位置不变,外部炸药设定其起爆位置分别为0d、1/4d、1/2d、3/4d和d,d为外部装药径向厚度,起爆位置示意图如图3b所示。

4.1 破片质量分布的影响

对不同起爆位置起爆后,战斗部形成的破片进行统计见图11。由图11可以看出,在1/2d位置处起爆形成的破片数最多,在外部装药内侧起爆时有效破片只占41.86%,随着起爆点的外移,有效破片所占百分比整体呈上升趋势,在最外侧有效破片占67.57%,由此表明,展开角一定时,起爆位置变化对有效破片生成率影响较大,这是因为改变起爆位置改变了爆轰波的传播方向,最外侧起爆时爆轰波往内侧汇聚,作用在壳体上的能量与其他位置相比较小,因此壳体破碎不完全,即有效破片生成率较大,而在最内侧起爆时,由于外部装药内侧无壳体约束,尽管爆轰波往外侧汇聚,但是受到爆轰产物侧向稀疏波的影响,炸药能量相对中心位置大幅减少,因此最内侧起爆形成的破片总数及有效破片数较少,而中心位置起爆时,炸药受稀疏波的

影响相对小于在内侧和外侧位置起爆,因此形成的破片数最多。

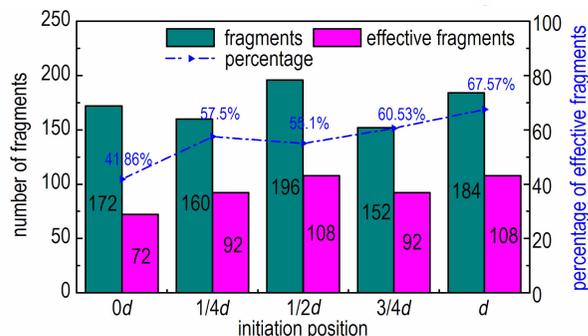


图11 不同起爆位置下破片的质量分布

Fig. 11 The mass distribution of fragments at different initiation positions

4.2 破片飞散速度及飞散角的影响

与前面分析类似,对区域内轴向破片速度进行统计比较,不同起爆位置下破片轴向飞散速度分布如图12所示。可知不同起爆位置下,破片速度最大值出现在距战斗部起爆端约33.33%轴向长度处,起爆点处于外部装药内侧时的破片速度大于其他起爆位置处的破片速度。起爆位置不同时,内外层装药爆轰波相互作用所引起的战斗部底部破片速度波动更加明显,起爆点处于装药外侧影响大于起爆点处于装药内侧。

不同起爆位置下破片飞散角及EFP速度如表3所示。可知起爆位置的变化对破片的径向及轴向飞散角影响不大,对于前向形成的EFP速度也保持在1450 m·s⁻¹左右。通过以上分析可知,当战斗部的展开角一定时,改变起爆点的位置只能引起战斗部破片速度及质量分布的变化,对破片的飞散角及前向EFP速度影响不大,从提高破片总数和有效破片百分比的角度看,起爆点应处于装药的最外侧。

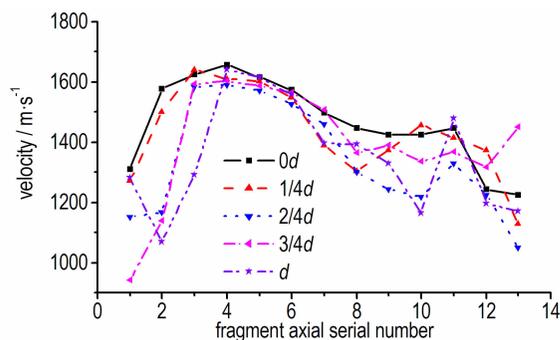


图12 不同起爆位置下的轴向破片飞散速度

Fig. 12 The flying dispersion velocity of the axial fragments at different initiation positions

表 3 不同起爆位置下破片飞散角及 EFP 速度

Table 3 The flying dispersion angle of fragment and the velocity of EFP at different initiation positions

initiation position	flying dispersion angles in radial direction $\beta/(\circ)$	flying dispersion angles in axial direction $\delta_{\max}/(\circ)$	the velocity of EFP $v/m \cdot s^{-1}$
0d	10	59.16	1450.6
1/4d	10	59.29	1431.0
2/4d	10	59.15	1413.0
3/4d	9	59.14	1450.5
d	9	59.16	1454.8

Note: β is the flying dispersion angles in radial direction. δ_{\max} is the flying dispersion angles in axial direction. v is the velocity of EFP. d is the radial thickness of the external charge.

5 结 论

(1)设计了一种轴向展开式战斗部,获得了战斗部展开角对形成破片质量分布、飞散速度及飞散角的影响规律。随着战斗部展开角的增大,前向 EFP 速度逐渐减小但速度值相差不大,EFP 长径比增加明显,而翼径比几乎稳定在 4.2 左右,有效破片百分比提高了约 8.88%;破片轴向飞散最大速度均出现在距起爆端约 33.33%处,破片轴向飞散角变化幅度远大于径向飞散角的变化幅度,控制战斗部的展开角度在 $30^\circ \sim 60^\circ$ 可保证 EFP 飞行弹道的稳定性。

(2)战斗部展开角一定时,起爆位置变化对战斗部破片速度及质量分布影响较大,起爆点在中心位置时破片飞散速度较高,而靠近装药外侧时有效破片百分比最大,可达 67.57%,对于破片的飞散角及前向 EFP 速度影响不大。

(3)得到了轴向展开式战斗部在目标方向内具有最大有效破片分布密度的最佳战斗部展开角度为 $60^\circ \sim 75^\circ$,综合大炸高条件下 EFP 的飞行稳定性要求,选取展开角度为 60° 且起爆位置在外层装药的最外侧,可实现轴向展开式战斗部定向及汇聚双重毁伤效能最大化。

参考文献:

[1] Fong R. Warhead technology advancements [C]//NDIA Armaments for the Army Transformation Conference. New Jersey, USA: Army Armament Research Development and Engineering Center, 2000: 5-27.
[2] Talley J C. Aimable warhead; U S Patent 5182418[P]. 1993-01-26.

[3] 耿获, 马天宝, 赵慧. 展开型定向战斗部引信延迟时间计算方法研究[J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(Suppl1): 137-141.
GENG Di, MA Tian-bao, ZHAO Hui. Study on calculation method for fuze delay time of a evolvable aimed warhead[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2011, 31(Suppl1): 137-141.
[4] 张志鸿, 周申生. 防空导弹引信与战斗部配合效率和战斗部设计[M]. 北京: 宇航出版社, 1994.
ZHANG Zhi-hong, ZHOU Shen-sheng. Air-Defence Missile Fuze with Warhead Efficiency and Warhead Design [M]. Beijing: Astronautic Publishing House, 1994.
[5] 刘俞平, 冯成良, 王绍慧. 定向战斗部研究现状与发展趋势[J]. 飞航导弹, 2010(10): 88-93.
LIU Yu-ping, FENG Cheng-liang, WANG Shao-hui. Present research situation and development trend of direction fragment warhead[J]. *Winged Missiles Journal*, 2010(10): 88-93.
[6] Menz F L, Osburn M R. Selectively amiable warhead initiation system: U. S. Patent 5050503[P]. 1991-04-01.
[7] 凌琦, 何勇, 何源. 定向战斗部破片飞散的数值模拟与试验研究[J]. 振动与冲击, 2017, 36(3): 234-241.
LING Qi, HE Yong, HE Yuan. Numerical simulation and tests for fragments dispersion of an aimed warhead[J]. *Journal of Vibration and Shock*, 2017, 36(3): 234-241.
[8] 赵宇哲, 李健, 马天宝. 展开式定向战斗部展开过程实验研究[J]. 高压物理学报, 2016, 30(2): 116-122.
ZHAO Yu-zhe, LI Jian, MA Tian-bao. Experiment on spread progress of the spreadable aimed warhead[J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2016, 30(2): 116-122.
[9] 马征, 宁建国, 马天宝. 展开型定向战斗部展开过程的理论计算与数值模拟[J]. 弹箭与制导学报, 2007, 27(1): 111-114.
MA Zheng, NING Jian-guo, MA Tian-bao. Dynamic analysis and numerical simulation for spread process of a evolvable aimed warhead[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2007, 27(1): 111-114.
[10] Clayton W. Miller. Warhead having selectable axial effects: U. S. Patent 8955443[P]. 2015-02-17.
[11] Fairlie G E, Marriott C O. Computer modeling of full size fragmenting aim able warheads using AUTOYN-3D[C]//17th International Symposium on Ballistics, Midrand, South Africa, 1998: 389-396.
[12] 蒋建伟, 张谋, 门建兵. 小口径榴弹自然破片形成过程的数值模拟[J]. 弹箭与制导学报, 2009, 29(1): 114-117.
JIANG Jian-wei, ZHANG Mou, MEN Jian-bing. Numerical simulation of the formation of natural fragments from a small caliber shell[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2009, 29(1): 114-117.
[13] 刘建青, 顾文彬, 徐浩铭, 等. 多点起爆装药结构参数对尾翼 EFP 成型的影响[J]. 含能材料, 2014, 22(5): 594-599.
LIU Jian-qing, GU Wen-bin, XU Hao-ming, et al. Effects of multi-point initiation charge configuration parameters on EFP with fins formation[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2014, 22(5): 594-599.
[14] 黄正祥, 祖旭东. 终点效应[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 120-121.
HUANG Zheng-xiang, ZU Xu-dong. Terminal Effects[M]. Beijing: Science Press, 2014: 120-121.

Effect of Expanding Angle and Initiation Position on the Performance of Axial-expanding Directional Warhead

HONG Xiao-wen, LI Wei-bing, LI Wen-bin, LI Rui, GUO Teng-fei

(Ministerial Key Laboratory of ZNDY, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: To study the damage efficiency of axial-expanding directional warhead, AUTODYN software was systematically used to analyze the influence of the expansion angle and the initiation position on the fragment performance of axial-expanding directional warhead. The influence law of the axial expansion angle and the initiation position of warhead on the formation of fragment mass distribution, flying dispersion velocity and flying dispersion angle was obtained. Results show that the velocity of the forward explosively formed projectile (EFP) decreases with the increase of the axial expansion angle, while increasing the length-diameter ratio of EFP, taking the wing-diameter ratio of about 4.2, increasing the axial expansion angle of the warhead can improve the percentage of effective fragment mass, and the maximum flying dispersion velocity of the fragment appears at about 33.33% from the initiation end. The percentage of effective fragment of warhead at the outer side of the charge is up to 67.57%. Selecting the axial expansion angle of the warhead as about 60°, and the initiation point located at the outer side of the charge, can realize the effective damage function of directional and convergent strike of axial-expanding directional warhead.

Key words: axial expansion angle; directional warhead; fragment mass distribution; flying dispersion velocity; flying dispersion angles

CLC number: TJ55; TJ410.33

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2018.05.002



《含能材料》“观点”征稿

为了丰富学术交流形式,及时传递含能材料领域同行们的学术观点和思想,《含能材料》开设了“观点”栏目。“观点”栏目的来稿应观点鲜明、内容新颖、形式上短小精悍。欢迎含能材料各领域的专家积极来稿。来稿时请附个人简介及主要研究工作介绍。

《含能材料》编辑部