

文章编号: 1006-9941(2005)03-0137-04

起爆方式对战斗部破片定向性能影响的数值模拟研究

屈 明, 钱立新, 杨云斌

(中国工程物理研究院结构力学研究所, 四川 绵阳 621900)

摘要: 利用 ANSYS/LS-DYNA 软件, 采用数值模拟方法, 针对一虚拟的定向破片战斗部, 研究了不同起爆方式对破片定向性能的影响, 获得了破片在定向区域的破片数、平均速度和动能等物理量, 通过分析比较不同起爆方式的密度、速度和动能增益, 取得了起爆方式对破片定向性能影响的规律性认识, 给出了一个工程上易于实现的、相对优越的起爆方式。

关键词: 爆炸力学; 定向特性; 增益; 起爆方式; 爆轰驱动; 数值模拟

中图分类号: TJ413. *1

文献标识码: A

1 引 言

对基于偏心起爆的定向破片战斗部来说, 由于不同的起爆方式, 如偏心单点起爆、多点起爆以及多线起爆等, 改变了战斗部的爆轰驱动特性, 因此对破片在定向区域的增益影响是不同的。另外, 多点、多线起爆方式形成了复杂的爆轰波结构, 采用理论分析方法来研究破片的增益特性变得困难。试验研究虽然可以在一定程度上解决此问题, 但由于预制破片战斗部往往具有大量破片, 要通过测试手段测出每一破片的速度和分布也显得较为困难, 同时从试验成本上考虑, 也不可能做大量的试验。随着计算机软硬件技术的迅速发展, 采用基本物理方程通过数值求解方法来研究爆轰驱动和破片飞散性能成为战斗部设计和威力评估的重要手段^[1]。也出现了基于拉氏方法、欧拉方法和二者结合的 ALE 方法的数值计算方法, 并形成了各种软件或软件系统, 取得了广泛应用^[1]。

本文利用 ANSYS/LS-DYNA, 设计了一虚拟的破片战斗部模型, 采用不同的偏心点、线起爆加载方式, 通过大量的爆轰驱动计算获得破片在定向区域的破片数、平均速度和动能等物理量。通过分析破片密度、速度和动能增益, 取得起爆方式对破片定向性能影响的规律性认识。

2 计算模型设计

2.1 战斗部有限元模型

本文研究了一全预制破片战斗部, 外形为鼓形。采用球形破片, 分两层, 破片内外加上一较薄的铝衬。

战斗部两端各采用一钢盖板, 炸药采用 Octol 75/25。破片总数约 7600 枚, 破片总质量与战斗部装药质量基本相当。

在有限元模型中, 对预制破片, 采用体积等效的方式将外层破片简化成立方体, 每一破片都采用 8 个单元模拟, 以减小单元数量。破片、蒙皮和端盖采用较简单的弹塑性硬化模型和 Gruneisen 状态方程, 炸药采用爆燃材料模型和 JWL 状态方程^[2], 空气采用理想气体状态方程。具体参数取值^[3,4]见表 1、表 2 和表 3。

表 1 材料本构参数

Table 1 Intrinsic parameters of material

part name	density /g · cm ⁻³	shear module /GPa	yield stress /GPa	harden module /GPa	failure plastic strain
fragment	7.85	80	1.5	2.0	2.0
front & end cover	7.85	80	0.8	2.0	0.8
liner	2.79	26.5	0.4	7.4	0.5
explosive	1.81				
air	1.25 × 10 ⁻³				

表 2 Gruneisen 状态方程参数

Table 2 Gruneisen EOS parameters

part name	C/km · s ⁻¹	S ₁	Γ
fragment, front & end cover	4.5	1.49	2.17
liner	5.33	1.34	2.0

表 3 炸药的 JWL 状态方程参数

Table 3 JWL EOS parameters of explosive

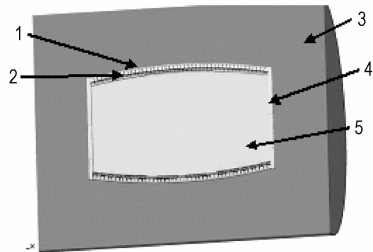
A/GPa	B/GPa	R ₁	R ₂	ω
748.6	13.38	4.5	1.2	0.38

收稿日期: 2004-11-01; 修回日期: 2005-03-22

作者简介: 屈明(1969-), 男, 高工, 从事爆轰驱动、侵彻、穿甲等方面的数值模拟研究。

为模拟爆轰产物在向外膨胀过程中的泄漏情况, 利用 LS-DYNA 中的流固耦合功能进行分析。其中, 破片、

蒙皮和端盖等采用单点积分 Lagrange 单元,而炸药和空气采用 Euler 单元。模型网格规模为 435000 节点,有限元网格模型见图 1,图中外围的柱形区域为空气网格。

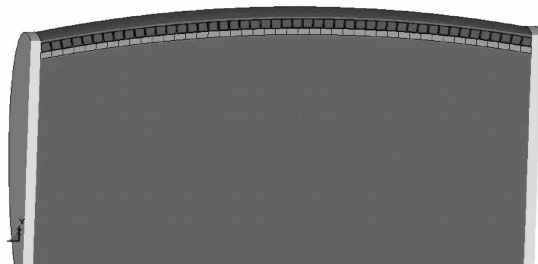


(a) FEA 模型图

1—蒙皮, 2—破片, 3—空气, 4—端盖, 5—主装药

(a) FEA model

1—liner, 2—fragment, 3—air, 4—front & end cover, 5—explosive



(b) FEA 局部放大图

(b) Local FEA model

图 1 数值计算模型图

Fig. 1 Numerical simulation model

2.2 战斗部起爆方式

在对战斗部中心起爆破片场散布计算的基础上,研究了偏心一点、偏心一线、圆心角 45° 和 90° 偏心两线、90° 偏心三线(线间圆心角 45°)等起爆方式对破片在定向区的分布影响。起爆方式与对应位置见图 2 和表 4。

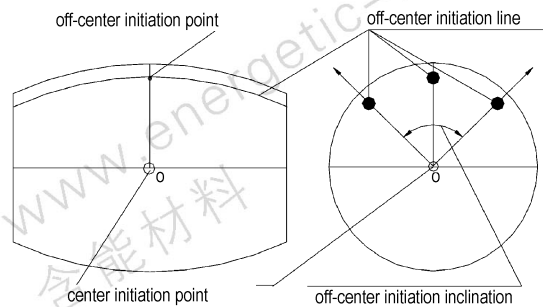


图 2 战斗部起爆方式

Fig. 2 Schematic of initiation position

表 4 战斗部起爆方式与对应位置

Table 4 Initiation position of warhead

run No.	initiation way	initiation position
1	center	from geometric center of warhead
2	one off-centered point	from middle point of one explosive generatrix
3	one off-centered line	from one explosive generatrix
4	two off-centered line (90°)	from two explosive generatrices, and cross angle 90° between generatrices reference to axis of warhead
5	three off-centered line (90°)	from three explosive generatrices, and cross angle 90° between generatrices (except middle generatrix) reference to axis of warhead
6	two off-centered line (45°)	from two explosive generatrices, and cross angle 45° between generatrices reference to axis of warhead

3 计算结果及分析

3.1 破片场分布图像

图 3 ~ 图 7 为战斗部在不同起爆方式下 250 μs 时刻的破片飞散图像,图 8 为三线起爆破片打在距离战斗部中心 5 m 处的柱形靶上、将靶板沿环向展开后的破片局部分布特征。从图中可以看出:在整体上,偏心起爆与中心起爆相比存在着一定的不同,即中心起爆的破片外包络线几乎为一严格的圆,而偏心起爆则变扁,呈现出鸭梨形状。其中,偏心一线、偏心两线和三线的破片外包络线比偏心一点的更扁。在局部,其分布均呈现出图 8 的随机分布状态。除此之外,不能从图上得出定量的区别。

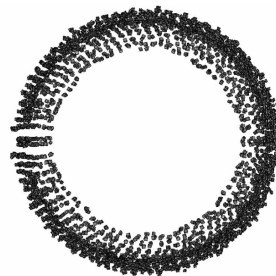


图 3 中心起爆的破片场
Fig. 3 Fragment field initiated in center

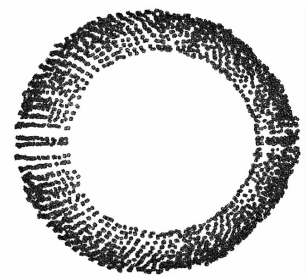


图 4 偏一线起爆的破片场
Fig. 4 Fragment field initiated in one generatrix

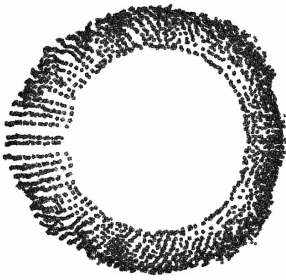


图 5 90°偏两线起爆的破片场
Fig. 5 Fragment field initiated in two generatrices (90°)



图 6 90°偏三线起爆的破片场
Fig. 6 Fragment field initiated in three generatrices (90°)



图 7 偏两线 45°起爆的破片场
Fig. 7 Fragment field initiated in two generatrices (45°)

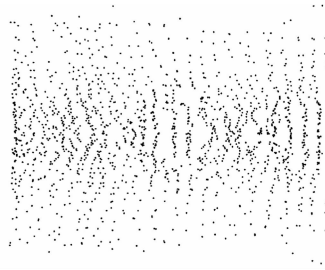


图 8 破片在靶板上的局部分布特征图
Fig. 8 Fragment local distribution in target

3.2 不同起爆方式破片在定向区的增益统计分析

3.2.1 破片增益统计结果

在本文中,对不同起爆方式在各种统计区域内的破片密度、速度和能量增益进行了统计和分析。统计区域由相对于战斗部中心的轴向角度 θ_1 和环向圆心角 θ_2 所定义,如图 9 所示。

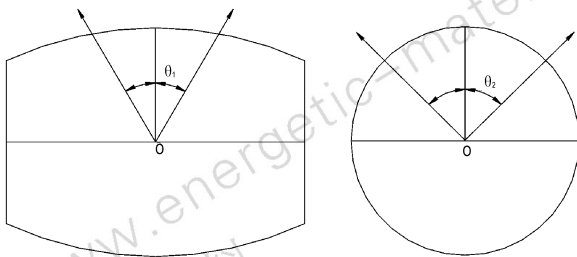


图 9 θ_1 、 θ_2 的定义

Fig. 9 Definition of θ_1 and θ_2

不同起爆方式所得破片增益结果如图 10 ~ 12 所示。表 5 中,飞散角定义为:在指定的圆心角内,落在该区域内 90% 的破片所构成的最小张角;飞散区最小

张角定义为:在指定的圆心角内,所有破片都落在该范围内的最小轴向张角。

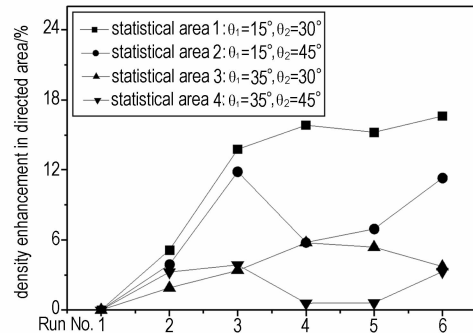


图 10 破片的密度增益

Fig. 10 Density enhancement of fragment

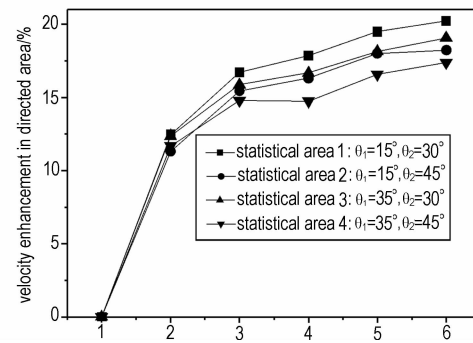


图 11 破片的速度增益

Fig. 11 Velocity enhancement of fragment

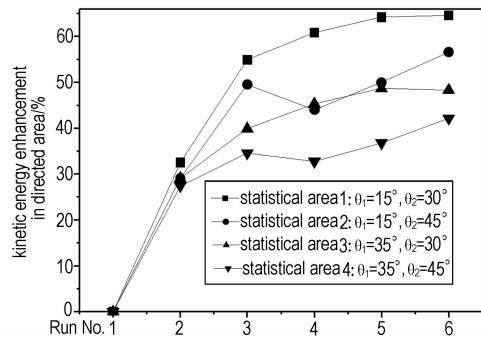


图 12 破片的动能增益

Fig. 12 Kinetic energy enhancement of fragment

3.2.2 破片增益特性分析

在破片增益特性的四种统计中,统计区域一和二是为了分析在较小的轴向张角(也即 $2\theta_1 = 30^\circ$)内,不同环向圆心角(也即 $2\theta_2 = 60^\circ, 90^\circ$)的破片增益特性,统计区域三和四是为了分析在足够大的轴向区域内不同环向圆心角条件下,落在该夹角范围内的破片增益特性。

在起爆方式上,分析图 10 的密度增益可知,统计

区域一、二、四都表明:45°偏心两线起爆方式下破片在定向区所获得的密度增益相对达到最大,具体值分别为16.6%、11.3%和3.5%,而在统计区域三中,90°偏心两线和三线显得要好。分析图11的速度增益可以得知,四种统计区域几乎一致表明了45°偏心两线起爆方式均好于其他起爆方式,其增益分别为20.2%、18.2%、19.1%、17.4%。在四种统计区域内的能量增益上,图12的结果也一致地表明了45°偏心两线起爆方式要优于其他起爆方式,其值分别为64.6%、56.6%、48.3%、42.2%。另外由动能与质量(也即密度)和速度的关系可知,能量增益是密度增益和速度增益综合的结果。

表5为不同起爆方式下破片飞散角情况统计。

表5 飞散角统计
Table 5 Dispersion angle

run No.	central angle 60°		central angle 90°	
	dispersion angle/(°)	angle of divergence/(°)	dispersion angle/(°)	angle of divergence/(°)
	1	40	66	40
2	38	65	38	66
3	37	61	37.5	62
4	36.8	60	37.5	62
5	35.7	60	36	60
6	34.4	58.3	34.8	58.4

从表5可以看出,不同圆心角条件下,相同起爆方式对破片飞散角影响不大,特别是45°偏心两线,几乎没有任何变化。另外,与中心起爆的飞散角(40°)相

比,45°偏心两线起爆的轴向汇聚能力相对较强,角度变化达到15.5°。这也是其密度增益相对较高的原因之一。

4 结论与讨论

综上密度、速度和能量增益以及飞散角结果可知,破片无论在较小的统计范围内,还是在较大的统计范围内,45°偏心两线都要优于其他线起爆方式。

在轴向张角30°、圆心角60°的定向区域内,两线和三线起爆的能量增益都可达到60%以上。若考虑轴向上的所有破片,且在圆心角为90°的定向区域内,两线和三线起爆的能量增益都可达到42%以上。

由于计算模型中的炸药网格和空气网格的尺度远比冲击波波阵面宽度大,这就削弱了冲击波头的幅度,由此改变了爆轰波对破片的驱动效率。因此,与同样结构和装药的真实的爆轰驱动系统相比,计算得到的速度、密度和能量增益量可能偏小。

参考文献:

- [1] 屈明,钱立新. 破片发生器爆轰驱动数值模拟[J]. 含能材料, 2003,11(2): 66-70.
- [2] QU Ming, QIAN Li-xin. Numerical simulation for detonation drive of fragment generators[J]. *Hanneng Cailiao*, 2003,11(2): 66-70.
- [3] LSTC. LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL[DK]. 2003.
- [4] Joseph Carleone. Tactical Missile Warhead[M]. Washington DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 1993.
- [5] ZUKAS J A, WALTER W P. Explosive Effects and Application[M]. New York: Springer, 1998.

Numerical Simulation of Effect of Initiation Position on Directed Performance of Warhead Fragment

QU Ming, QIAN Li-xin, YANG Yun-bin

(Institute of Structural Mechanics, CAEP, Mianyang 621900, China)

Abstract: In order to investigate the influence of different initiation positions on the directed performance of fragments, the numerical simulation for an assumed directed fragment warhead was conducted by using ANSYS/LS-DYNA in this paper. The numbers, average velocity and kinetic energy of fragments as well as their enhancements in directed area in different initiation positions were obtained. The influence of different initiation positions on the directed performance of fragments was analyzed. A preferable initiation position, which was easy to achieve in engineering, was proposed.

Key words: explosion mechanics; directed performance; enhancement; initiation position; detonation drive; numerical simulation