

周向毁伤线性聚能战斗部威力的仿真*

付璐¹, 尹建平¹, 王志军¹, 刘敏²

(1 中北大学机电工程学院, 太原 030051; 2 国营732厂, 山东淄博 255201)

摘要:为提高线性爆炸成型弹丸的毁伤概率, 提出一种新型战斗部结构。应用 ANSYS/LS-DYNA 软件完成了爆炸载荷下战斗部的数值模拟。结果表明, 该战斗部能够按照预期设想, 在四个方向上形成具有一定速度的线性爆炸成型弹丸, 实现周向毁伤, 形成的线性爆炸成型弹丸可用来对付防护网、通电墙、车辆等目标, 并具有一定的毁伤能力。研究结果为线性聚能装药结构的研究提供了一种新的选择。

关键词:周向毁伤; 聚能战斗部; 线性爆炸成型弹丸; 数值模拟

中图分类号: TJ410.33 **文献标志码:** A

The Simulation of Power on a Linear Shaped Warhead Damaged to Circumference

FU Lu¹, YIN Jianping¹, WANG Zhijun¹, LIU Min²

(1 School of Mechatronics Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;
2 No. 732 Factory, Shandong Zibo 255201, China)

Abstract: In order to improve the damage probability of linear explosive shaped projectile, a new warhead structure is proposed. Nonlinear finite element software was used to complete the numerical simulation of the warhead under explosion load. The result shows that the warhead can achieve the expected result and form the linear explosive shaped projectile with a certain speed on four directions to realize circumferential damage and has a certain effect in dealing with shield net, electrical wall, vehicles, etc. The research result can provide a new option for structure study on the linear shaped charge.

Keywords: damage to circumference; shaped warhead; linear explosive shaped projectile; numerical simulation

0 引言

线性成型装药是聚能装药的一种。线性成型装药起爆后, 金属罩在爆轰产物作用下, 形成高速的平面金属射流切割刀, 实现对目标的切割, 故又称为聚能切割器。这种技术从 20 世纪 60 年代开始被广泛应用于宇航和军事领域, 用于目标的铲除或精确破坏, 如摧毁建筑物、反车辆、排雷等^[1]。在战场上, 利用线性爆炸成型弹丸破坏并炸毁一定距离内相互连接的带刺铁丝网、通电防护墙等防护设施达到削弱对方防御能力的目的^[2]。基于此应用, 文中开展了线性聚能装药结构的研究, 提出一种能够实现周向毁伤的战斗部结构。

1 战斗部结构

文中所述新型战斗部结构如图 1 所示, 其主要结构参数有 5 个, 即药型罩内曲率半径 R_1 、外曲率半径

R_2 、装药高度 h 、装药长度 b 和装药宽度 L 。它是在传统的线性成型装药的基础上, 通过改变装药结构, 由壳体通过钎焊、粘合或者边缘啮合而互锁的方法将 4 个独立的药型罩沿着它们的边缘装配到一起组合而成。

文中讨论的结构模型参数: 药型罩采用变壁厚设计, 内曲率半径 $R_1 = 52\text{mm}$, 外曲率半径 R_2 可变; 装药高度 $h = 60\text{mm}$; 装药长度 $b = 60\text{mm}$; 装药宽度 $L = 14\text{mm}$; 起爆方式为装药中心线起爆。

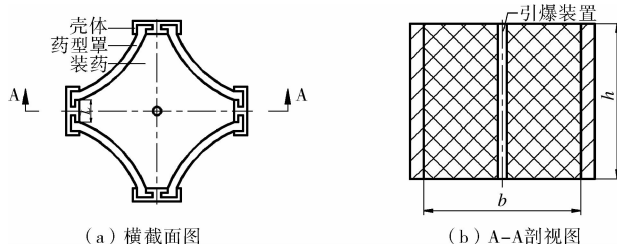


图 1 战斗部结构

* 收稿日期: 2010-10-25

基金项目: 国防基础科研项目; 中北大学科学基金(J200901006)资助

作者简介: 付璐(1986-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 助理工程师, 硕士研究生, 研究方向: 弹箭仿真技术。

2 仿真计算及算法

图 2 为战斗部结构的有限元模型,采用多物质流固耦合格式来模拟装药的爆轰、药型罩的压垮和线性爆炸成型弹丸的形成过程,且 Euler 网格范围足以覆盖爆轰产物和爆炸成型弹丸流动的空间。网格单元选用 Sol-

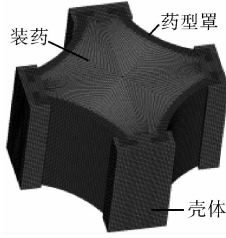


图 2 战斗部结构有限元模型

id164 八节点六面体单元,模型共划分了 343281 个节点,323600 个单元。单元算法采用多物质 ALE 算法^[3],计算中采用的单位制为 mm-kg-ms。

2.1 药型罩和壳体的材料模型

药型罩和壳体材料选用紫铜,采用 Johnson-Cook 模型和 Gruneisen 状态方程来描述动态响应过程以及高应变下的材料变形问题。材料参数^[4]见表 1。

表 1 药型罩和壳体材料参数

$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	G/GPa	E/GPa
8.96	50.9	137

2.2 炸药材料模型及状态方程

装药选用 HIGH_EXPLOSIVE_BURN 高能炸药材料模型和 JWL 状态方程。JWL 状态方程精确描述了在爆炸驱动过程中爆轰气体产物的压力、体积、能量特性,表达式为:

$$P = A\left[1 - \frac{w}{R_1 V}\right]\exp(-R_1 V) + B\left[1 - \frac{w}{R_2 V}\right]\exp(-R_2 V) + \frac{wE}{V}$$

$$P = Fp_{\text{eos}}(V, E)$$

式中: p_{eos} 为来自于状态方程的炸药爆轰产物压力; P 为炸药单元所释放的压力; F 为炸药燃烧质量分数; V 为爆轰产物相对体积; E 为爆轰产物单位体积的内能; A 、 B 、 R_1 、 R_2 和 w 为输入参数。采用 8701 炸药,材料参数^[4]见表 2。

表 2 炸药材料参数

$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	$D/(\text{km}/\text{s})$	P_{G}/GPa
1.72	8.40	34.2

2.3 空气材料模型及状态方程

空气材料选用流体模型 MAT_NULL,状态方程为线性多项式:EOS_LINEAR_POLYNOMIAL,并在边界节点上施加压力流出边界条件,避免压力在边

界上的反射。材料参数^[4]见表 3。

表 3 空气材料参数

$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	PR	YM/GPa
0.001293	0	0

3 数值模拟及方案优化

3.1 线性 EFP 成型的数值模拟

当主装药起爆以后,前进的爆轰波阵面在炸药外廓所提供的空穴处渐渐压垮金属药型罩,随后传入药型罩内在其内表面反射拉伸。 $t = 20\mu\text{s}$ 时,空腔内的材料相互挤压、碰撞,使得它们的平均速度得到提高,促使罩体翻转; $t = 40\mu\text{s}$ 时,罩体金属向轴线聚集,出现径向收缩; $t = 60\mu\text{s}$ 时,由于罩体上靠近轴线处与边缘处部位存在着速度梯度,使罩体不断变形,产生径向收缩和轴向拉长。随着爆轰波的继续推进,药型罩两端面继续向轴向收拢,最终罩体在轴向拉伸及径向挤压作用下形成密实的线性爆炸成型弹丸,如图 3 所示。

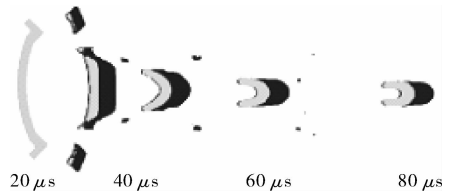


图 3 线性爆炸成型弹丸成型过程仿真结果

从图 4 可以清楚看出药型罩内壁质点先于药型罩外壁质点被加速,而后者速度幅值比前者大,速度的变化反应了挤压与拉伸共同作用过程。在 $t = 80\mu\text{s}$ 以后内外壁质点速度趋于

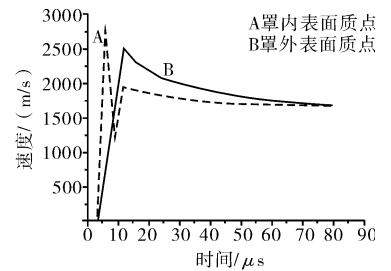


图 4 药型罩内外壁质点速度历程曲线

一致,线性爆炸成型弹丸成型过程基本结束。形成的线性爆炸成型弹丸能够完成预期设想,沿着 4 个方向稳定飞行,达到周向毁伤的目的,如图 5 所示。

3.2 线性爆炸成型弹丸的优化设计

文中在固定药型罩内曲率半径、装药长度、装药高度和装药宽度的条件下,对药型罩罩顶厚



和外曲率半径参数进行数值仿真计算。数值仿真计算得到了药型罩外曲率半

径、罩顶厚两参数对爆炸成型弹丸速度影响规律,从中获得 5 个线性爆炸成型弹丸方案,将仿真计算得到的线性爆炸成型弹丸速度和动能作为优化设计评定指标。表 4 给出了 5 个线性爆炸成型弹丸方案的结构参数和速度稳定时刻($t = 80\mu\text{s}$)的结果数据。

表 4 战斗部结构参数及结果数据表

方案	结构参数		结果数据		
	外曲率半径 / b	罩顶厚度 / b	质量 / g	速度 / (m/s)	动能 / J
1	0.60	0.045	29.2	1786	46618
2	0.64	0.048	31.7	1705	46052
3	0.68	0.052	34.0	1642	45795
4	0.72	0.054	35.5	1597	45249
5	0.78	0.058	37.5	1546	44843

注: b 为装药长度。

对于爆炸成型弹丸在装药长度、装药高度和装药宽度一定时,爆炸成型弹丸对目标的侵彻威力主要由其自身动能大小决定^[5],由上表可以看到,随着外曲率半径的增大,药型罩顶厚在增加,同时线性爆炸成型弹丸的速度在减小,动能在降低。方案 1 中,形成的线性爆炸成型弹丸头部和尾部由于速度梯度的原因,出现断裂现象,如图 6 所示,影响了对目标的毁伤效能;方案 2~5 中,形成的线性爆炸成型弹丸均未出现断裂现象,飞行稳定时速度相比方案 1 有所降低。综合考虑线性爆炸成型弹丸成型和动能最大准则,确定方案 2 为优化方案,如图 7 所示。

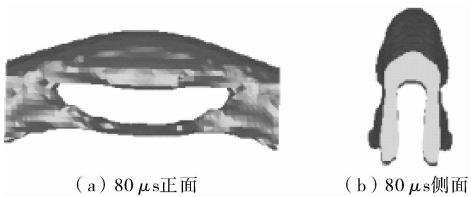


图 6 方案 1 线性爆炸成型弹丸飞行姿态

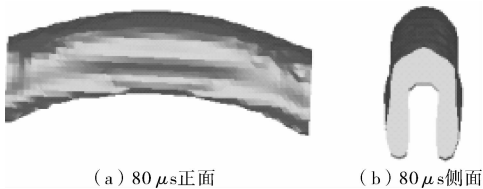


图 7 方案 2 线性爆炸成型弹丸飞行姿态

从计算结果可以看出药型罩曲率半径、壁厚与线

性爆炸成型弹丸成型之间的关系:

1) 药型罩曲率半径的变化将引起爆轰波阵面作用于药型罩位置的改变,导致药型罩材料流动方向的变化,从而影响线性爆炸成型弹丸的成型。

2) 对于药型罩壁厚,直接影响线性爆炸成型弹丸头部速度大小,而且罩壁厚不宜太薄或太厚,太薄会使线性爆炸成型弹丸出现拉断现象,太厚会使药型罩翻转困难,速度降低,得不到形态良好的线性爆炸成型弹丸,这些在设计时需要加以重视。

4 结论

1) 与传统的线性聚能装药相比,在爆炸载荷作用下,该新型战斗部形成线性爆炸成型弹丸的破坏效应可以作用到相同距离的四个方向,实现周向毁伤,进而提高了目标的破坏率。该战斗部可用于摧毁建筑物、破坏防护网、反车辆等目标,并具有一定的毁伤效果。

2) 综合考虑线性爆炸成型弹丸成型和动能最大准则,该战斗部在爆炸载荷作用下形成的线性爆炸成型弹丸形态良好,具有很好的气动性且稳定时具有一定的速度,有利于侵彻目标。

3) 药型罩曲率半径、壁厚对线性爆炸成型弹丸的成型和速度影响较大。在内曲率半径一定的情况下,随着外曲率半径的增大,药型罩顶厚在增加,形成的线性爆炸成型弹丸的速度在减小,动能在降低。

参考文献:

[1] A C Robinson, M G Vigil. An analytical-experimental comparison of 150 and 220 grain per foot liner shaped charge performance, DE87-014217[R]. 1987.

[2] Alford Roland, Alford Sidney. Explosive charge, US 2010/0018427 A1[P]. 2010.

[3] 时党勇,李裕春,张胜明. 基于 ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显示动力分析[M]. 北京:清华大学出版社,2005.

[4] 闫玉凤,陈智刚,周迪锋,等. 不同爆轰波形对串联聚能射流影响的数值模拟[J]. 测试技术学报,2010,24(2): 157-160.

[5] 王树有,蒋建伟,门建兵. 准球形爆炸成型弹丸形成过程的仿真计算与实验验证[J]. 系统仿真学报,2009,21(15):4863-4865.