

文章编号: 1003-1480 (2009) 05-0016-04

优化设计次口径球缺罩成形装药结构

李慧子, 李伟兵, 李文彬, 王晓鸣

(南京理工大学智能弹药技术国防重点学科实验室, 江苏 南京, 210094)

摘 要: 运用 ANSYS/LS-DYNA 仿真软件, 进行了次口径球缺罩的成形装药结构参数对侵彻体形成的影响规律的数值模拟研究。采用端面环形起爆方式, 优化设计次口径球缺罩的成形装药结构, 找出形成最佳杆式 EFP 的次口径球缺罩的圆弧曲率半径、药型罩壁厚及成形装药高度的最优值; 当内圆弧半径为 40mm、壁厚为 1.8mm、装药高度为 45mm 时, 仿真得到了成形形态和成形参数都较佳的杆式 EFP, 其头部速度达到 2 532m/s, 长径比为 3.2。同时, 得到了杆式 EFP 成形参数速度和长径比等随次口径球缺罩的圆弧曲率半径、药型罩壁厚和成形装药高度的变化规律曲线, 为今后优化设计 EFP 战斗部提供参考依据。

关键词: 次口径球缺罩; 杆式 EFP; 数值模拟; 装药高度

中图分类号: TJ410.3⁺33 **文献标识码:** A

Optimum Design of the Shaped Charge Configuration of Subcaliber Hemispherical Liner

LI Hui-zi, LI Wei-bing, LI Wen-bin, WANG Xiao-ming

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

Abstract: By ANSYS/LS-DYNA software, the effect law of penetrator formation with configuration parameters of shaped charge of subcaliber hemispherical liner was simulated numerically. Annulus initiation was used, the configuration of shaped charge of subcaliber hemispherical liner was optimized and designed, optimization combination of the arc curvature radius and thickness of hemispherical liner, the height of shaped charge, which influence on the formation of long-rod of EFP, was derived. When the inner arc curvature radius was 40mm, thickness of hemispherical liner was 1.8mm, and the height of shaped charge was 45mm, the forming long-rod of EFP with better formation configuration and parameters was found, the head speed of which arrived 2 532m/s, the ratio of length to diameter of which was 3.2. The change law curves of the arc curvature radius and thickness of hemispherical liner, the height of shaped charge with the formation of long-rod of EFP was obtained, which provide reference for the more design of EFP warhead.

Key words: Subcaliber hemispherical liner; Long-rod of EFP; Numerical simulation; Charge height

近年来, 许多学者对同口径球缺形药型罩 EFP 成形的影响进行了各种研究^[1-2]。也有许多学者对全口径及次口径弧锥结合罩对 EFP 成形的影响进行了各种研究^[3]。李伟兵等对同口径弧锥结合形药型罩的结构进行研究, 得到了同口径弧锥结合形药型罩对 EFP

成形参数的影响规律^[4], 但是关于次口径球缺罩的结构参数对 EFP 成形的具体影响规律, 国内外很少有研究报道。

聚能杆式侵彻体 (JPC) 是一种新型侵彻体结构形式, 其速度可以达到 3 000~5 000m/s, 在大炸高下

收稿日期: 2009-07-08

作者简介: 李慧子 (1984-), 女, 硕士研究生, 从事战斗部目标毁伤技术研究。

基金项目: 国家部委基金项目

不易断裂,且飞行更加稳定。国内目前已经开展了JPC方面的研究^[5]。但是聚能杆式侵彻体的飞行稳定性还是不如爆炸成形弹丸。本文提出的杆式 EFP 的速度低于聚能杆式射流高于爆炸成形弹丸,长径比小于聚能杆式侵彻体但大于爆炸成形弹丸。其药型罩利用率高,能形成长径比大、密实度好的爆炸成形弹丸,而且具有爆炸成形弹丸长远作用距离的优点。因此,杆式 EFP 具有理想的应用前景。

本文以成形装药结构参数对杆式 EFP 性能影响为出发点,采用 ANSYS/LS-DYNA 软件,全面系统地研究了次口径球缺形药型罩的结构参数及装药结构参数对杆式 EFP 成形的影响。

1 成形装药结构及仿真研究方案

本文采用船尾形装药结构,药型罩设计为次口径球缺形结构,采用端面环形起爆方式,成形装药结构如图 1 所示。成形装药结构参数包括药型罩结构参数和装药结构,本文所研究的次口径球缺形药型罩结构参数包括圆弧曲率半径 R 及罩厚 H ,装药结构主要研究装药高度 G 的影响。针对各结构参数设计不同的研究方案,仿真研究成形装药结构参数对 EFP 成形的影响。本仿真计算采用三维实体建模,考虑到装药结构为旋转体,为减少计算量,建立 1/4 模型,使用三维实体 solid164 单元对模型进行划分,划分的成形装药网格模型仿真采用 LS-DYNA 程序^[6],如图 2 所示。

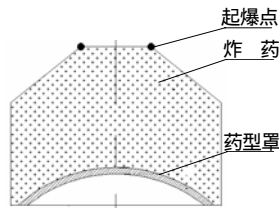


图 1 成形装药结构图
Fig.1 The configuration of shaped charge



图 2 三维有限元 1/4 模型图
Fig.2 Simulation model

用 ALE 算法计算涉及网格大变形、材料流动问

题的 EFP 形成过程,炸药、药型罩、空气选用多物质流欧拉算法,炸药、药型罩、空气与战斗部壳体的相互作用采用流固耦合算法^[7]。装药选用 8701 炸药,用 HIGH EXPLOSIVEBURN 形式描述本构关系,选用 JWL 状态方程;药型罩材料选用紫铜,壳体材料为 45#钢,本构方程选用 Johnson Cook 模型,状态方程为 Gruneisen 方程。对于多介质 ALE 方法而言,还需建立覆盖整个弹丸飞行范围的空气网格,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。空气采用流体模型,状态方程为线性多项式。计算中所使用的各材料参数见文献^[3]。

2 仿真结果及分析

2.1 药型罩圆弧曲率半径的影响

药型罩圆弧半径对 EFP 成形的影响十分重要^[8]。药型罩的圆弧半径关系到炸药汇聚能量的比率,圆弧半径过小,药型罩在轴线的汇聚能量大,罩体微元轴向速度梯度大,易于断裂,不能形成 EFP;圆弧半径过大,则聚能效应小,炸药赋予药型罩的汇聚能量小,药型罩的翻转变形就小,形成的 EFP 形状较差。取药型罩的壁厚 H 为 1.8mm,分别计算当内圆弧曲率半径 R 在 30~55mm 之间(每种方案增加 5mm)变化时侵彻体性能的变化。仿真计算结果如图 3 所示。表 1 为各方案 EFP 成形参数。

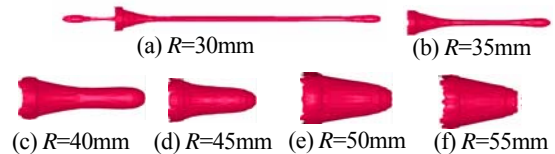


图 3 不同圆弧曲率半径下侵彻体成形效果图 (125μs)
Fig.3 The effect picture of penetrator formation with different arc curvature radius (125μs)

表 1 EFP 成形参数 (125μs)

Tab.1 Parameters of EFP formation(125μs)

R /mm	v_1 / ($m \cdot s^{-1}$)	v_2 / ($m \cdot s^{-1}$)	Δv / ($m \cdot s^{-1}$)	L /mm	d /mm	L/d
30	3 193	1 610	1 583	229.41	12.74	18
35	2 816	2 316	500	100.52	15.39	6.5
40	2 532	2 517	15	50.36	15.47	3.2
45	2 576	2 566	10	36.37	17.29	2.1
50	2 603	2 603	0	30.78	17.85	1.7
55	2 620	2 620	0	27.98	18.65	1.5

注: v_1 为侵彻体头部速度; v_2 为尾部速度; Δv 为头尾速度差; d 为侵彻体直径; L 为侵彻体长度。

分析不同圆弧曲率半径下侵彻体成形情况,做出

侵彻体长径比、长度、头尾速度差和头部速度随圆弧曲率半径的变化曲线，如图 4 所示。

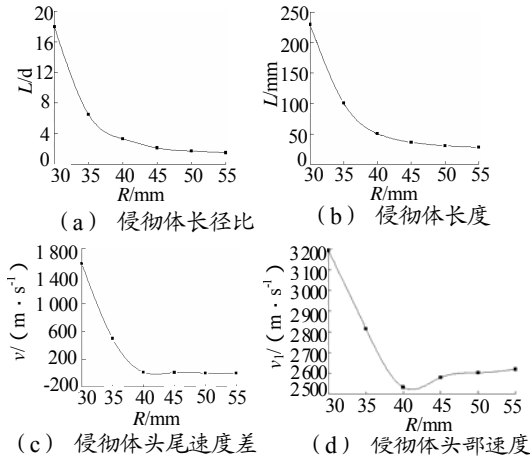


图 4 侵彻体成形参数随圆弧曲率半径的变化曲线
Fig.4 The change curve of formation parameters of penetrator with arc curvature radius

综合分析表 1、图 3 和图 4 的结果，可以看出，当环形起爆时，随着圆弧曲率半径的增大，侵彻体头部速度逐渐减小，尾部速度逐渐增大，圆弧曲率半径在 30~55mm 范围时侵彻体头部速度存在最大值，并且侵彻体的直径在缓慢增大，而侵彻体的总长在减小。另外，由图 3 可以看出，随着药型罩圆弧部分曲率半径的增大，EFP 头部的“长杆”逐渐变钝、直至消失，其长径比不断减小，这将使 EFP 的侵彻深度降低而侵彻孔径和后效有所增大。由分析可知，在圆弧内曲率半径取 40mm 时形成的杆式 EFP 效果最好。

2.2 药型罩壁厚的影响

为了得到杆式 EFP，药型罩壁厚是重要影响参数之一。药型罩壁厚太薄，则在翻转过程中由于罩体各部分速度梯度差异，罩体可能被拉断；太厚则由于药型罩抵抗变形能力增强，其翻转变形不易，不能形成形状较佳的杆式 EFP。只有选取恰当的壁厚才能形成高速、大长径比的杆式 EFP。

根据圆弧曲率半径对杆式 EFP 成形的分析，选取药型罩圆弧部分内曲率半径为 40mm，改变药型罩的壁厚，范围为 1.4~2.4mm（每次变化 0.2mm），分析药型罩壁厚变化对侵彻体性能的影响。仿真计算结果如图 5 所示（125 μs 时刻）。

分析不同壁厚下侵彻体成形情况，得到各方案所得侵彻体长径比、长度、头部速度和头尾速度差随壁厚的变化规律曲线，见图 6。

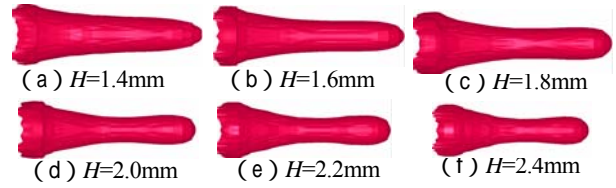


图 5 不同药型罩壁厚下侵彻体成形效果图（125 μs）
Fig.5 The effect picture of penetrator formation with different thickness of liner(125 μs)

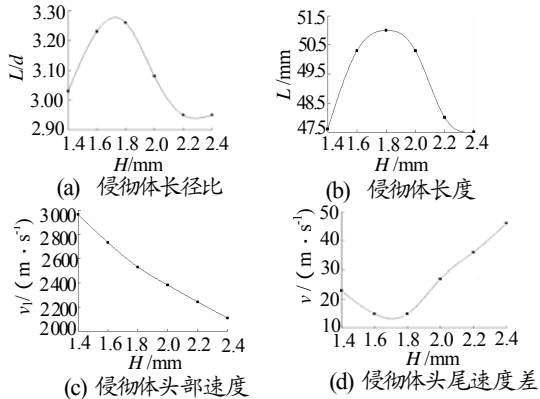


图 6 侵彻体成形参数随药型罩壁厚的变化曲线
Fig.6 The change curve of formation parameters of penetrator with thickness of liner

由图 6 (a)~(b) 可以看出，随着药型罩壁厚的逐渐增大，侵彻体长径比和长度都是先增大后减小，壁厚在 1.4~2.4mm 之间变化时侵彻体长径比和长度都存在最佳值。在壁厚为 1.8mm 时，侵彻体长径比和长度都为最大；由图 6 (c)~(d) 可以看出，随着壁厚的增大，侵彻体的头部速度呈减小的趋势，头尾速度差先减小后增大，在壁厚为 1.8mm 时，头尾速度差达到最小。

2.3 成形装药高度的影响

为了考核成形装药高度对侵彻体性能的影响，取药型罩的壁厚 H 为 1.8mm，内圆弧曲率半径 R 为 40mm，此时，分别计算成形装药高度在 30~55mm 之间（每种方案增加 5mm）变化时侵彻体性能的变化。仿真计算结果如图 7 所示。

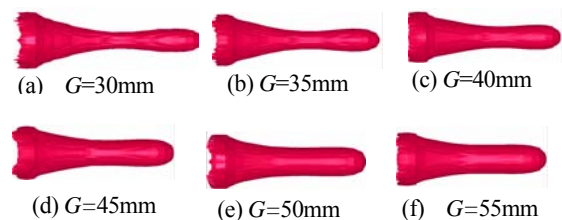


图 7 不同成形装药高度下侵彻体成形效果图（125 μs）
Fig.7 The effect picture of penetrator formation with different height of shaped charge(125 μs)

根据仿真结果，得到了各方案所得侵彻体长径

比、长度、头部速度和头尾速度差随成形装药高度的变化规律曲线,见图8。由图8(a)可以看出,随着成形装药高度的增大,侵彻体的头部速度曲线呈上升的趋势,装药高度到45mm以后上升趋势变小。分析图8(b)可知,在成形装药高度30~40mm变化时,侵彻体头尾速度差一直减小,成形装药高度在40mm以后,头尾速度差基本保持不变,这也是导致侵彻体长度如图8(c)所示变化的原因。根据图8(d)可知,随着成形装药高度的逐渐增大,侵彻体长径比总趋势是减小的,在成形装药高度为40~45mm时,基本不变化,在成形装药高度为45mm时曲线出现拐点,至此长径比急剧减小。侵彻体长度和长径比呈减小趋势,是由于随着成形装药高度的增加,导致端面环形起爆的起爆位置也发生了变化,从而使得爆轰波对药型罩的压垮角不同,引起对药型罩的压垮作用不同。同时药型罩径向作用力减小,使得侵彻体直径增大,从而进一步导致长径比减小。

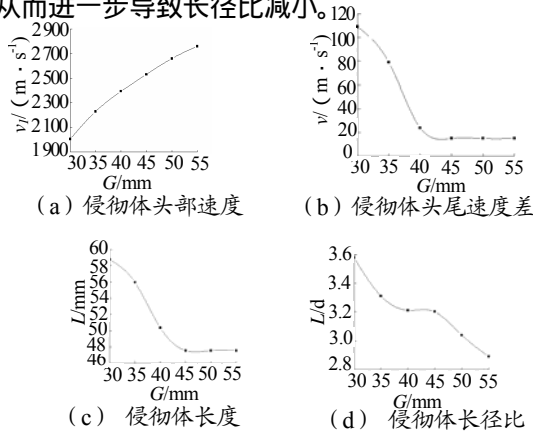


图8 侵彻体成形参数随成形装药高度的变化曲线
Fig.8 The change curve of formation parameters of penetrator with different height of shaped charge

3 次口径球缺罩成形装药结构的优化设计

综合分析成形装药各结构参数对侵彻体成形的影响结果,选取次口径球缺罩的成形装药高度为45mm,次口径球缺罩内圆弧曲率半径为40mm,壁厚为1.8mm,仿真计算药型罩压垮成形过程,见图9。

由图9可知,药型罩翻转形成了杆式EFP,到150 μ s头尾速度基本趋向一致,头部速度达到2532m/s,长径比为3.2,形成的杆式EFP效果比较理想。

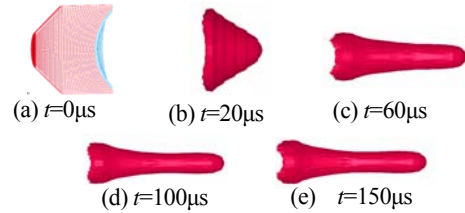


图9 杆式EFP成形过程
Fig.9 The formation process of long-rod of EFP

4 结论

通过仿真分析次口径球缺罩成形装药结构参数对杆式EFP成形的影响,得到了药型罩圆弧曲率半径、壁厚和成形装药高度对杆式EFP成形的具体影响规律,获得了各结构参数的最优值;优化设计了一种次口径球缺罩成形装药结构,仿真得到成形形态和成形参数都较佳的杆式EFP,其优化取值为内圆弧半径40mm,壁厚1.8mm,成形装药高度45mm,此时,头部速度达到2532m/s,长径比为3.2;并得到各参数影响规律曲线,为优化设计成形装药结构提供依据。

参考文献:

- [1] 李裕春,杨万江,沈蔚.药型罩曲率半径对爆炸成形弹丸参数的影响[J].火工品,2003(1):46-48.
- [2] 顾文彬,刘建青,唐勇,等.球缺型EFP战斗部结构优化设计研究[J].南京理工大学学报(自然科学版),2008,32(2):165-170.
- [3] 吴义锋.点环起爆多模成形装药机理研究[D].南京:南京理工大学,2007.
- [4] 李伟兵,王晓鸣,李文彬,郑宇.弧锥结合罩结构参数对EFP成形的影响[J].火工品,2008(6):48-53.
- [5] 黄正祥.聚能杆式侵彻体形成机理研究[D].南京:南京理工大学,2003.
- [6] Johnson GR, Stryk RA. Some considerations for 3D EFP computations [J]. Int J Impact Eng. 2006,32(10): 1 621-1 634.
- [7] 何涛,杨竞,金鑫,等.ANSYS 10.0/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程[M].北京:机械工业出版社,2007.
- [8] 周栋,等.曲率半径和壁厚对EFP成形性能的影响[J].华北工学院学报,2004,25(1):39-42.