

EFP 战斗部结构参数优化设计研究

李 剑

(安徽神剑科技股份有限公司, 合肥 230022)

摘要: 基于研究 EFP 穿甲威力目的, 利用 LS-DYNA 软件对球缺型 EFP 成形进行数值模拟研究; 分析了曲率半径、药型罩壁厚、壳体厚度等参数对 EFP 成形性能的影响规律; 优化得到了药柱高度 50 mm、装药直径 40 mm 的 EFP 战斗部结构方案; 研究结论将为 EFP 优化设计提供参考依据。

关键词: EFP; 结构参数; 药型罩; 数值模拟; 优化设计

本文引用格式: 李剑. EFP 战斗部结构参数优化设计研究[J]. 兵器装备工程学报, 2017(1): 36-39.

Citation format: LI Jian. Structural Parameters Optimization Design of EFP Warhead[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017(1): 36-39.

中图分类号: TJ413. +2

文献标识码: A

文章编号: 2096-2304(2017)01-0036-04

Structural Parameters Optimization Design of EFP Warhead

LI Jian

(Anhui Shenjian Technology Company Limited, Hefei 230022, China)

Abstract: Based on the study of EFP penetrating power, numerical simulation of EFP forming by using LS-DYNA software was proposed. The influence rule of R_1 , h , δ and other parameters on the formability of EFP was analyzed. The optimized structure of EFP warhead with $L = 50$ mm and $D_k = 40$ mm was obtained. The conclusion can give a reference for the optimization design of EFP.

Key words: EFP; structure parameter; medicine type cover; numerical simulation; optimization design

EFP 即爆炸成型弹丸, 是利用聚能装药原理, 通过炸药的聚能爆轰作用, 使金属药型罩压垮变形而形成具有较高质心速度和一定结构形状的弹丸, 从而可以以动能侵彻目标。随着装甲目标防护能力的不断增强, 需要设计速度更高、动能更大的高威力 EFP, 以满足侵彻性能要求^[1-2]。

影响 EFP 成形性能的关键因素有装药性能、装药结构、药型罩材料和结构参数等^[3]。而装药结构是 EFP 战斗部优化设计中的关键部件。本文以球缺形药型罩形成 EFP 为例进行研究, 采用数值模拟方法分别模拟不同 R_1 、 h 以及 δ 方案下 EFP 成形过程, 分析药型罩曲率半径、药型罩壁厚、壳体厚度等参数对 EFP 成形性能的影响规律, 最终找出 EFP 战斗部结构参数最佳组合方案。

药, 其中装药为 8701 炸药, 药型罩材料为紫铜, 壳体材料为钢^[4]。图 1 中各参数的物理意义如下: α 为切向半锥角; R_1 为药型罩内曲率半径; R_2 为药型罩外曲率半径; δ 为壳体厚度; L 为装药高度; D_k 为装药直径; 药型罩壁厚 $h = R_2 - R_1$ ^[5]。

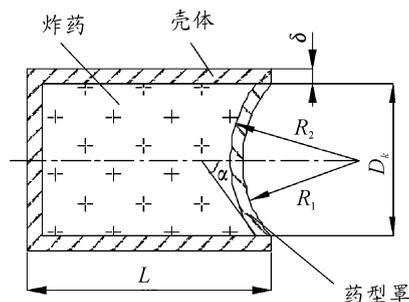


图 1 EFP 战斗部结构

1 模型建立及方案确定

1.1 模型建立

计算模型采用如图 1 所示的典型球缺罩 EFP 战斗部装

采用动力分析有限元程序 LS-DYNA 进行 EFP 数值模拟, 并采用拉格朗日算法^[6-7]。

1.2 方案确定

数值模拟计算共计 21 种方案,具体步骤:在战斗部其他结构参数确定前提下,依次针对 7 种不同 R_1 、 h 、 δ 的 EFP 进行成形模拟计算^[8],分析 3 种参数对 EFP 成形性能的影响规律,分别找出 R_1 、 h 、 δ 的与装药直径 D_k 的最佳配比关系,最终确定 EFP 战斗部结构参数最佳组合方案^[9-10]。

2 曲率半径方案计算分析

2.1 曲率半径方案确定

在 EFP 战斗部其他结构参数确定前提下,针对 7 种不同 R_1 的 EFP 进行成形模拟计算,计算方案如表 1 所示。

表 1 R_1 计算方案

序号	L	D_k	R_1	h	δ
1	50	40	30	2	2
2	50	40	35	2	2
3	50	40	40	2	2
4	50	40	45	2	2
5	50	40	50	2	2
6	50	40	55	2	2
7	50	40	60	2	2

2.2 曲率半径方案计算分析

计算不同 R_1 方案下,成形 EFP 的 v 、 E 以及 l/d 结果对比见表 2、图 2。

表 2 不同 R_1 方案下的 v 、 E 、 l/d

序号	$v/(m \cdot s^{-1})$	E/kJ	l/d
1	1 986.51	80.91	7.21
2	2 066.13	82.53	3.67
3	2 115.12	84.70	2.59
4	2 139.67	86.23	1.93
5	2 152.26	87.09	1.53
6	2 162.18	87.73	1.28
7	2 170.34	87.57	1.10

从表 2、图 2 可以得出, v 随着 R_1 的增大也随之增大。但是增长幅度随 R_1 增大而逐渐减小。当 $R_1 \geq 45$ mm, v 增幅不大, R_1 对速度影响减弱。

l/d 随着 R_1 增大而减小。 l/d 较大时,EFP 头、尾部速度差较大,容易出现拉伸断裂; l/d 较小时,EFP 内部容易出现空腔,影响穿甲能力。

E 随着 R_1 的增加先增长后减小,说明 R_1 较大时候,容易出现碎裂现象,导致 EFP 品质下降,降低侵彻性能。

不同 R_1 方案模拟计算,EFP 在 $60 \mu s$ 形状对比如图 3 所示。

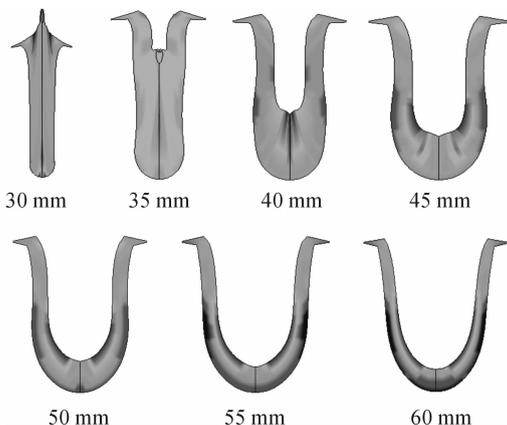


图 3 不同 R_1 的 EFP 外形($t=60 \mu s$)

图 3 可以得出: R_1 对 EFP 的质心位置有较为明显的影响。随着 R_1 的增大,EFP 质心向其头部靠近。EFP 长度逐渐减小,而且 R_1 越大,形成的 EFP 空腔体积越大。这将造成弹丸穿甲能力下降。 R_1 较小时,EFP 的稳定裙部分较小,整体细长,影响 EFP 的飞行稳定性。

综合分析得出, $R_1 = 1 \sim 1.125 D_k$ 时,所形成的 EFP 具有较高的飞行稳定性以及较大的穿甲威力。

3 药型罩壁厚方案计算分析

3.1 药型罩壁厚方案确定

本节确定 $R_1 = D_k$ 前提下,针对 7 种不同 h 的 EFP 进行成形模拟计算,计算方案见表 3。

表 3 h 计算方案

序号	L	D_k	R_1	h	δ
1	50	40	40	1.0	2
2	50	40	40	1.5	2
3	50	40	40	2.0	2
4	50	40	40	2.5	2
5	50	40	40	3.0	2
6	50	40	40	3.5	2
7	50	40	40	4.0	2

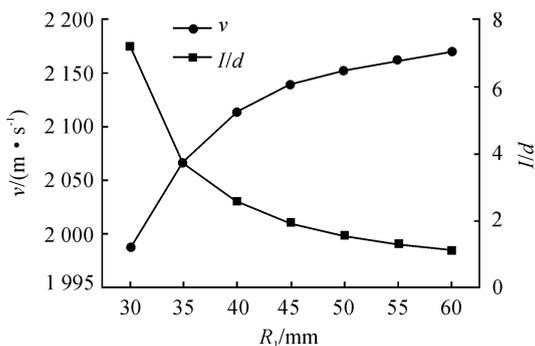


图 2 v 、 l/d 与 R_1 关系

3.2 药型罩壁厚方案计算分析

计算不同 h 方案下,成形 EFP 的 v 、 E 以及 l/d 结果对比见表 4、图 4。

表 4 不同 h 方案下的 v 、 E 、 l/d

序号	$v/(m \cdot s^{-1})$	E/kJ	l/d
1	3 143.13	94.68	6.10
2	2 525.26	91.52	4.01
3	2 115.12	84.70	2.59
4	1 812.71	78.52	1.80
5	1 593.15	72.78	1.49
6	1 395.17	66.19	1.21
7	1 265.22	61.79	1.01

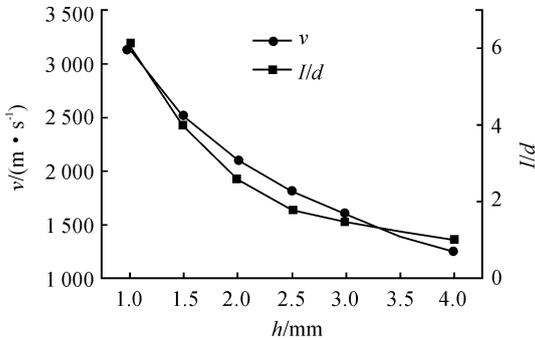


图 4 v 、 l/d 与 h 关系

由表 4、图 4 可以得出, v 、 E 以及 l/d 与 h 成反比例关系, 随着 h 增大, v 、 E 、 l/d 均减小。 l/d 过大, EFP 容易出现拉伸断裂, l/d 过小, 容易造成 EFP 空腔, 影响穿甲能力。所以在 l/d 适中情况下, 尽量选择 h 较小的药型罩。

不同 h 方案模拟计算, EFP 在 $60 \mu s$ 形状对比如图 5 所示。

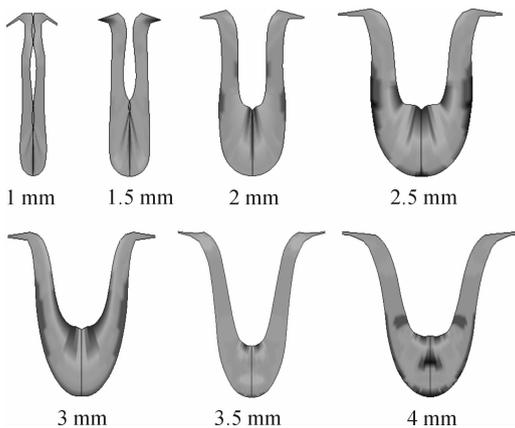


图 5 不同 h 的 EFP 外形 ($t = 60 \mu s$)

图 5 可以得出, $h \leq 1.5 \text{ mm}$, EFP 形状细长, 拉伸现象严重; h 过小时, 甚至出现中间断裂, 严重影响侵彻性能; $h \geq$

3 mm , EFP 形状短粗, 中间存在较大空腔, 不利于穿甲。

综合分析得出, $h = 0.05 \sim 0.0625 D_k$ 时, 所形成的 EFP 具有较高的飞行速度以及较大的侵彻动能。

4 壳体厚度方案计算分析

4.1 壳体厚度方案确定

在 $R_1 = D_k$ 、 $h = 0.05 D_k$ 条件下, 针对 7 种 δ 的 EFP 进行成形模拟计算, 计算方案见表 5。

表 5 δ 计算方案

序号	L	D_k	R_1	h	δ
1	50	40	40	2	1.0
2	50	40	40	2	1.5
3	50	40	40	2	2.0
4	50	40	40	2	2.5
5	50	40	40	2	3.0
6	50	40	40	2	3.5
7	50	40	40	2	4.0

4.2 壳体厚度方案计算分析

计算不同 δ 方案下成形 EFP 的 v 、 E 以及 l/d 结果对比见表 6、图 6。

表 6 不同 δ 方案下的 v 、 E 、 l/d

序号	$v/(m \cdot s^{-1})$	E/kJ	l/d
1	1 949.12	72.71	2.63
2	2 037.39	79.38	2.61
3	2 115.12	84.70	2.59
4	2 162.03	89.31	2.55
5	2 205.28	92.91	2.53
6	2 248.27	96.60	2.51
7	2 288.51	100.10	2.48

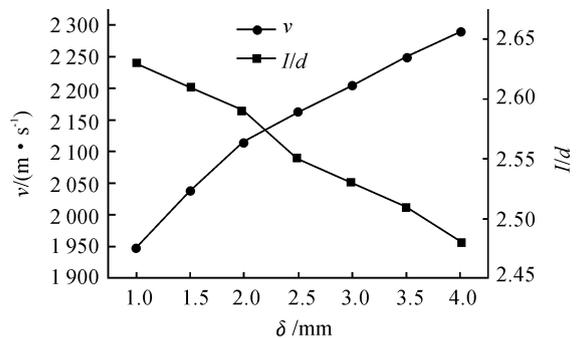


图 6 v 、 l/d 与 δ 关系

由表 6、图 6 可以得出, 随着 δ 增大, v 、 E 增大; l/d 近似

成线性关系。减小幅度不大,说明 δ 对 l/d 影响不大。

不同 δ 方案模拟计算, EFP 在 $60 \mu\text{s}$ 形状对比如图 7 所示。

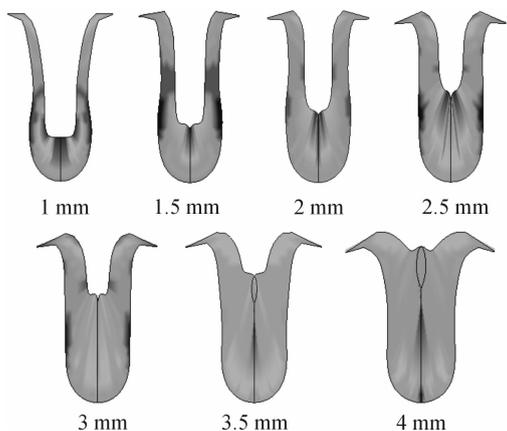


图 7 不同 δ 的 EFP 外形 ($t = 60 \mu\text{s}$)

由图 7 可以得出, δ 增大, 药形罩轴向速度增大, 从而使 EFP 从简单的翻转拉伸逐渐过渡到挤压成密实的长杆形状。如果 δ 过大, 就会使 EFP 重心后移, 不利于飞行稳定性; 而当 δ 过小时, 形成的 EFP 存在空腔, 虽使重心靠前, 有利于 EFP 的飞行稳定性, 但会减小 EFP 的 v 、 E , 不利于穿甲。

综合分析可得, $\delta = (0.0500 \sim 0.0625) D_k$ 时, 所形成的 EFP 具有较强的飞行稳定性以及较大的侵彻动能。

5 总结

综合考虑得出 R_1 、 h 及 δ 与 D_k 的最优综合匹配为 $R_1 = 1 \sim 1.125 D_k$ 、 $h = 0.05 \sim 0.0625 D_k$ 、 $\delta = 0.05 \sim 0.0625 D_k$, 为以后进行 EFP 优化设计提供了参考依据。

参考文献:

- [1] 朱宝祥. 大威力 EFP 战斗部技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007: 1-18.
- [2] 黄群涛. 环形 EFP 形成机理研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008: 1-10.
- [3] 卢芳云, 李翔宇, 林玉亮. 战斗部结构与原理[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 66-72.
- [4] 尹建平, 付璐, 王志军, 等. 药型罩结构参数对 EFP 成型影响的灰关联分析[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2012, 1(3): 101-105.
- [5] 蒋建伟, 杨军, 门建兵, 等. 结构参数对 EFP 成型影响的数值模拟[J]. 北京理工大学学报, 2004, 11(24): 939-941.
- [6] 时党勇, 李裕春, 张胜民. 基于 ANSYS/LS-DYNA 8.1 进行显式动力分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 250-263.
- [7] LSTC inc. LS-DYNA KEYWORD USER'S MANUAL(Version 970)[M]. 北京: 水利水电出版社, 2008.
- [8] 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.
- [9] 张志春, 孙新利, 孟会林, 等. EFP 成型影响因素的数值模拟[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(1): 227-231.
- [10] 郭支明, 王志军, 吴国东. EFP 战斗部参数优化设计[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(4): 159-161.

(责任编辑 周江川)