

doi: 10.7690/bgzdh.2015.02.014

钨破片形状对穿甲速度影响的数值模拟研究

王祝波¹, 赵锋², 谢金¹, 马建¹

(1. 安徽神剑科技股份有限公司工程技术研发中心, 合肥 230601;
2. 中国人民解放军 63870 部队, 陕西 华阴 714200)

摘要: 研究不同形状破片在穿甲过程中, 速度、动能变化曲线有着重要意义。以钨破片为研究对象, 采用 ANSYS/LS-DYNA 有限元计算方法, 对比分析球形、立方形、圆柱形钨破片穿甲速度、动能衰减曲线。结果表明: 立方形钨破片速度、动能衰减最大, 对后效毁伤效能有较大影响。该研究结论可对战斗部威力设计、破片研制提供一定参考依据。

关键词: 破片; 穿甲; 速度衰减; 数值模拟; LS-DYNA

中图分类号: TJ410.1 **文献标志码:** A

Numerical Simulation on Effect of Velocity of Different Shape Tungsten Fragments Penetrating Armor Plate

Wang Zhubo¹, Zhao Feng², Xie Jin¹, Ma Jian¹

(1. Engineering Research Center, Anhui Shenjian Technology & Science Co., Ltd, Hefei 230601, China;
2. No. 63870 Unit of PLA, Huayin 714200, China)

Abstract: It is significant to study the velocity and kinetic energy curve in armor piercing process of different shapes fragment. Taking tungsten fragments as the research object, analyzing the attenuation curve of velocity and kinetic energy of spherical, cubic and cylindrical tungsten fragments penetrating armor plate by using the ANSYS/LS-DYNA finite element analysis software. Research shows that the velocity and kinetic energy of cubic tungsten fragments has the most attenuation, which would has a great influence on the after damage effect. The research conclusion is the basis of the power of warhead design and fragments production.

Keywords: fragment; armor penetration; velocity attenuation; numerical simulation; LS-DYNA

0 引言

破片式杀伤战斗部是利用装药爆炸产生高速破片群, 进而利用其动能对轻型装甲目标进行侵彻打击, 实现良好杀伤效果^[1]。破片战斗部分为自然破片战斗部、半预制破片战斗部和预制破片战斗部^[2]。由于预制破片战斗部可根据设计要求加工成形状与大小规则的杀伤破片, 并且可以根据性能要求, 调整破片层数, 达到杀伤半径及穿透面密度的既定指标^[3]。但不同形状破片的存速能力, 速度、动能衰减趋势均有所不同, 因此研究不同形状破片在穿甲过程中, 速度、动能变化曲线有着重要意义。

钨破片具有密度高、存速能力好、穿透性强和利用率高等优点, 被广泛用于预制破片战斗部^[4]。笔者以钨破片为研究对象, 建立有限元模型, 对比研究球形、立方形、圆柱形钨破片穿甲过程中速度、动能衰减趋势。

1 仿真模型建立及计算方案确定

1.1 仿真模型建立

笔者建立球形、立方形、圆柱形 3 种形状钨破

片穿甲的三维仿真模型, 3 种钨破片质量相同, 破片尺寸见表 1。由于破片尺寸远小于靶板尺寸, 靶板远端受到影响较小, 可以将靶板考虑为无限靶, 因此对靶板四边施加非反射边界条件^[5], 采用三维 Lagrange 方法计算^[6]。球形钨破片侵彻钢板靶的仿真模型见图 1^[7]。

		mm	
破片形状	破片尺寸	破片形状	破片尺寸
球形	φ10	圆柱形	φ8×10.35
立方形	8×8×8		

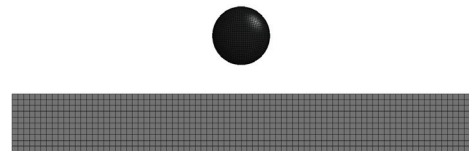


图 1 球形钨破片穿甲模型

1.2 材料模型及参数选择

钨破片密度高、强度极限较大, 因此将钨破片在数值模拟中作为钢体处理, 选择 *MAT_RIGID 材料模型, 其参数: 密度 $\rho=17.3 \text{ g/cm}^3$; 弹性模量 $E=117 \text{ GPa}$; 泊松比 $\mu=0.22$ ^[8]。钢板靶选用的材料模型为

收稿日期: 2014-08-27; 修回日期: 2014-10-24

作者简介: 王祝波(1981—), 男, 江苏人, 本科, 工程师, 从事弹药工程研究。

*MAT_PLASTIC_KINEMATIC, 该模型适合模拟运动强化和等向塑性模型^[9]。其参数: 密度 $\rho=7.83 \text{ g/cm}^3$; 弹性模量 $E=210 \text{ GPa}$; 泊松比 $\mu=0.3$ ^[10]。

1.3 计算方案确定

钢板靶厚度同为 10 mm 前提下, 分别采用相同质量的球形、立方形、圆柱形钨破片以初速度 1 300

m/s 进行垂直侵彻钢板靶仿真计算。

2 仿真计算结果分析

2.1 穿孔直径对比

球形、立方形、圆柱形钨破片以相同速度侵彻钢板靶, 靶板孔洞形状对比见图 2。

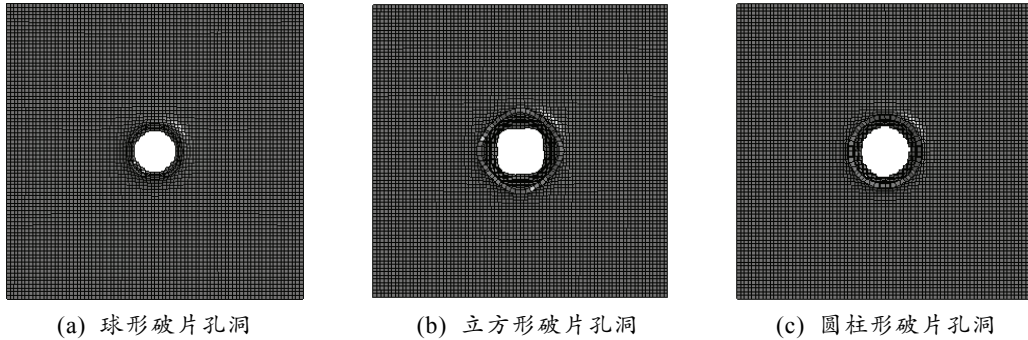


图 2 靶板孔洞对比

靶板孔洞尺寸对比见表 2。

表 2 靶板孔洞尺寸对比 mm

破片形状	孔洞直径	破片形状	孔洞直径
球形	11.2	圆柱形	13.6
立方形	16.8		

从图 2、表 2 可以得出: 球形破片穿透靶板的孔洞最小, 是破片直径 1.1 倍; 立方形孔洞直径最大, 是破片等效直径 1.9 倍; 圆柱形孔洞直径是破片直径 1.7 倍。

立方形孔径最大是由于立方形破片与靶板接触面积最大, 产生接触应力最大, 接触区域产生高温高压, 使得接触区域附近的靶板介质向四周扩散, 形成较大孔洞。

由于大孔洞会产生较大杀伤威力, 所以从扩孔

效果对比可得, 立方形钨破片杀伤威力最大。

2.2 破片速度对比

根据破片穿透靶板极限速度公式

$$v_{\text{极}} = \sqrt{\frac{\pi \sigma_b d_{\text{等}}^2 h^2}{m}} \quad (1)$$

式中: $v_{\text{极}}$ 为破片穿透靶板极限速度; σ_b 为靶板的强度极限; $d_{\text{等}}$ 为穿孔等效直径; h 为靶板厚度; m 为破片质量。

可知, 同等质量破片, 破片穿孔等效直径越大, 极限速度越大, 所以球形破片的极限穿甲速度最小, 立方形破片极限穿甲速度最大。

球形、立方形、圆柱形钨破片穿甲过程中, 破片速度衰减曲线对比见图 3。

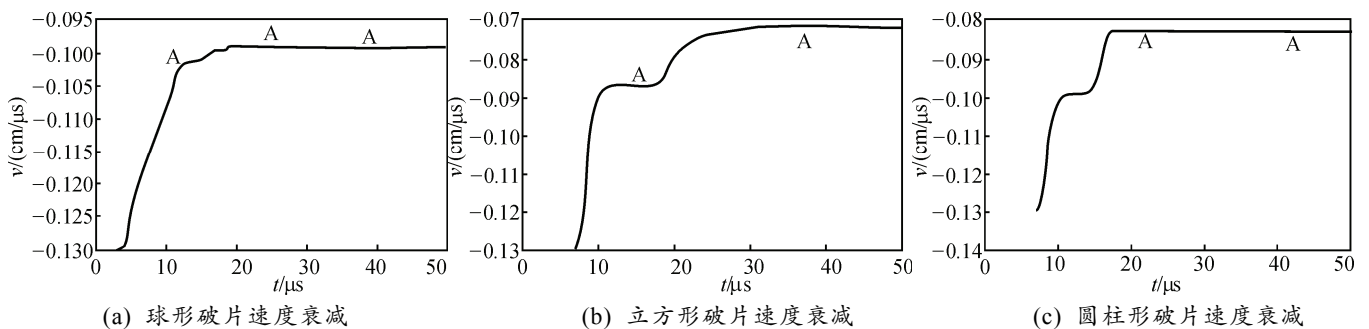


图 3 破片速度衰减曲线

由图 3 可得出以下结论:

- 1) 钨破片穿甲过程中, 速度明显下降, 侵彻完成后, 破片剩余速度稳定;
- 2) 钨破片穿甲过程都存在挤压开坑、侵彻和剪切冲塞 3 个阶段; 但立方体侵彻过程最为明显;

- 3) 球形钨破片穿透钢板靶时间最短, 为 20 μs ; 立方形钨破片穿透钢板靶时间最长, 为 30 μs 。

钨破片剩余速度及速度衰减率对比见表 3。由此可以得出:

- 1) 穿透钢板靶后, 球形钨破片剩余速度最高,

为 988.5 m/s；立方形钨破片剩余速度最低，为 713.9 m/s。说明立方形钨破片在穿甲过程中，速度衰减最为严重。

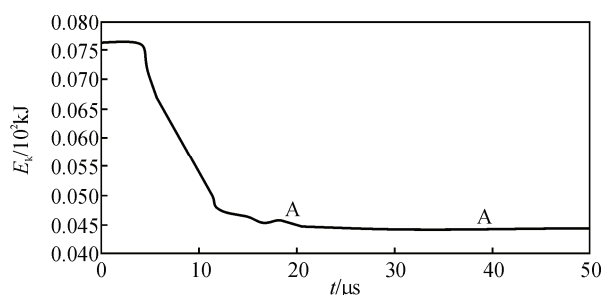
2) 立方形钨破片穿甲过程中，速度衰减达到 45.1%，速度衰减过大，将会影响钨破片后效毁伤效能。

表 3 破片剩余速度对比

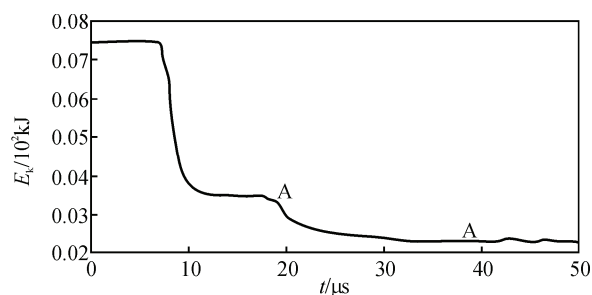
破片	初速度/ (m/s)	剩余速 度/(m/s)	衰减速 度/(m/s)	速度衰 减率/%
球形	1 300	988.5	311.5	24.0
立方形	1 300	713.9	586.1	45.1
圆柱形	1 300	833.7	466.3	35.9

2.3 破片动能对比

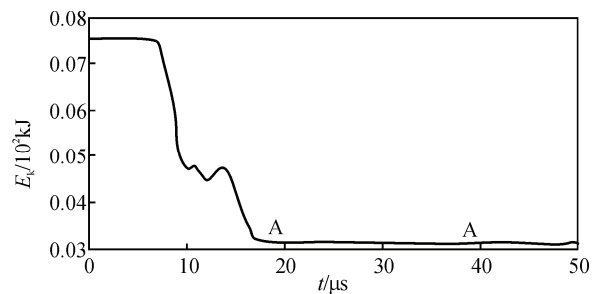
破片穿甲及其后效作用主要依靠自身动能，动能的衰减很大程度上会影响破片的杀伤效能。钨破片动能衰减曲线见图 4。钨破片剩余动能及动能衰减率对比见表 4。



(a) 球形破片动能衰减



(b) 立方形破片动能衰减



(c) 圆柱形破片动能衰减

图 4 破片动能衰减曲线

表 4 破片剩余动能对比

破片	初动能/kJ	剩余动能/kJ	衰减动能/kJ	动能衰减率/%
球形	7.63	4.41	3.22	42.2
立方形	7.48	2.27	5.21	69.7
圆柱形	7.52	3.09	4.43	58.9

由图 4、表 4 可以得到以下结论：

1) 钨破片在穿甲过程中，动能有明显下降，侵彻完成后，破片剩余动能稳定；

2) 立方形钨破片穿甲过程中，动能衰减最多，衰减率最高；球形钨破片动能衰减率最低；

3) 相同形状钨破片对比，动能衰减率明显高于速度衰减率，这是由于破片速度降低及质量减少共同造成动能损失。

3 结论

1) 相同质量情况下，立方形钨破片扩孔直径最大，杀伤威力最大。

2) 钨破片速度、动能均在穿甲过程中有所衰减，但侵彻完成后，钨破片速度、动能均可以降到稳定值。

3) 立方形钨破片速度、动能在穿甲过程中衰减最大。若要提升立方形钨破片后效毁伤效能，须提高钨破片初速度或质量。

参考文献：

- [1] 高润芳, 韩峰, 马晓青, 等. 几种钨合金破片垂直侵彻装甲钢板极限穿透速度研究[J]. 弹箭与制导学报, 2005, 25(4): 57-59.
- [2] 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: 101-110.
- [3] 贾光辉, 张国伟. 钨破片侵彻性能测试与分析[J]. 华北工学院学报, 1998, 19(1): 86-88.
- [4] 彭军, 袁宝慧, 程淑杰, 等. 立方形破片对钢靶的穿甲威力研究[J]. 科学技术与工程, 2011, 11(29): 7092-7096.
- [5] 孟文, 张娟. 球形破片侵彻金属靶板的数值模拟研究[J]. 中国水运, 2006, 6(06): 73-74.
- [6] 时党勇, 李裕春, 张胜民. 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: 130-145.
- [7] 米双山, 张锡恩, 陈健. 利用 LS-DYNA 的破片侵彻靶板有限元分析[J]. 兵工自动化, 2005, 24(2): 4-5.
- [8] 米双山, 刘东升, 张建茂. 球形破片侵彻靶板的损伤模式研究[J]. 弹箭与制导学报, 2006, 26(1): 741-746.
- [9] 张小坡, 王广彦, 郭志英. 基于 ANSYS/LS-DYNA 的破片侵彻靶板有限元建模[J]. 兵工自动化, 2007, 26(12): 39-40.
- [10] 付璐. 周向式线性侵彻体成型技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2012: 80-81.