

轴向预制破片初速影响因素的研究*

崔俊杰¹, 姜建东², 牛新立³, 郝飞², 陈志斌⁴

(1 中北大学机电工程学院, 太原 030051; 2 山西江阳化工有限公司, 太原 030041;

3 黑龙江北方工具有限公司, 黑龙江牡丹江 157000; 4 晋西工业集团有限责任公司, 太原 030027)

摘要:运用数值仿真方法研究轴向前置预制破片战斗部装药结构、破片规格对破片初速的影响。研究结果表明,球缺形装药结构能显著提高破片初速,且当球缺的曲率半径与装药直径比为1.0时获得破片的初速最大。质量相同时,钨柱能够获得比钨球更大的初速;在此基础上研究了轴对称和均匀错位两种排列方式对钨柱初速的影响,得到了均匀错位的排列方式能够显著提高初速的结论。

关键词:破片初速;破片形状;装药结构;排列方式

中图分类号: TJ410.33 **文献标志码:** A

The Research on Impacting Factors of Axial Preformed Fragment Velocity

CUI Junjie¹, JIANG Jiandong¹, NIU Xinli³, HAO Fei², CHEN Zhibin⁴

(1 School of Mechatronics Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2 Shanxi Jiangyang Chemical Co. Ltd, Taiyuan 030041, China;

3 Heilongjiang North Tool Co. Ltd, Heilongjiang Mudanjiang 157000, China; 4 Jinxi Group Co. Ltd, Taiyuan 030027, China)

Abstract: The effect of explosive charge structure and prefabricated fragment size on fragment velocity of axial pre-fragmentation warhead was studied by numerical simulation. The results show that hemispherical charge structure can improve the fragments' velocity significantly, and the ratio 1.0 for curvature radius of hemispherical liner to charge diameter results in maximum fragments velocity. Tungsten column can attain a greater velocity than the tungsten balls with same mass for the both. On this basis, the effect of axial symmetry and uniformity dislocation arrangements on velocity of tungsten column was studied, and the conclusion obtained is that uniform dislocation arrangement can increase muzzle velocity significantly. These conclusions maybe guide of studies on prefabricated fragmentation warhead design.

Keywords: muzzle velocity of fragments; fragment shape; charging structure; arrangement

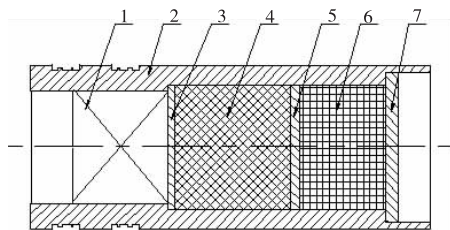
0 引言

轴向前置预制破片战斗部是定向战斗部的一种主要形式,由于其破片密度高、杀伤威力大,受到了越来越多的关注。其中预制破片的轴向抛掷速度是衡量弹丸威力的重要参数。过去对预制破片初速的研究主要集中在装药质量和装药长径比上^[1-3]。邢恩峰等^[4]研究了装药结构参数对轴向预制破片抛掷速度的影响,推导并得到轴向预制破片抛掷速度与装药长径比和装药壳体厚度之间的关系式。杨云川等^[5]研究了三种起爆方式对预制破片初速的影响,得到中心起爆获得破片速度最大,杀伤效果更好的结论。文中主要运用数值仿真法,研究装药形状对破片初速的影响,以及同等条件下不同破片形状对破片初速的影响,在此基础上,研究轴对称和均匀错位两种排列方式下,钨柱初速和排列方式之间的关系,以期为轴向

预制破片战斗部的设计提供技术指导。

1 轴向预制破片战斗部结构模型

轴向预制破片战斗部由壳体、预制破片、开舱药、端盖等组成,其作用原理是:开舱药起爆后驱动预制破片沿轴向向前运动。结构如图1所示。



1 引信; 2 弹丸壳体; 3 前隔板;

4 炸药; 5 推板; 6 预制破片; 7 后隔板

图1 轴向杀伤战斗部结构示意图

* 收稿日期: 2013-05-08

作者简介: 崔俊杰(1966-),男,山西新绛人,副教授,硕士,研究方向:机械故障诊断。

2 影响预制破片初速的因素

2.1 预制破片初速理论计算模型

对于圆柱形壳体,如果忽略壳体的破裂阻抗,不考虑爆轰产物沿装药轴向的飞散,认为炸药爆炸的能量全部转化为破片的动能,并假定破片具有相同的初速,导出的破片速度公式为^[6]:

$$V = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{\beta}{1 + 0.5\beta}} \quad (1)$$

式中: $\sqrt{2E} = D / \sqrt{8}$, D 为炸药的爆速; β 是炸药和壳体的质量比。

2.2 装药结构对破片初速的影响

炸药质量相同的情况下,选择圆柱形结构和球缺形结构为对象,研究装药结构对破片初速的影响。如图2所示,其中钨球直径为12 mm。

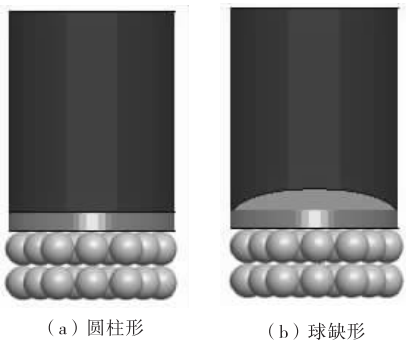


图2 两种典型装药结构示意图

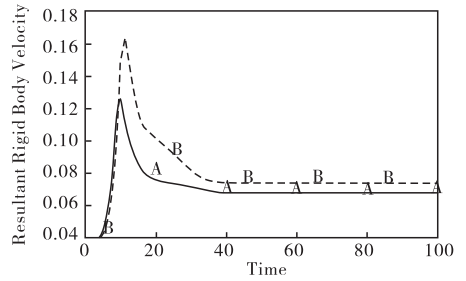
预制破片为两层钨球,靠近炸药的钨球为第一层,用A表示,第二层用B表示,借助LS-DYNA进行动力学仿真,仿真结果如图3所示。

由图3可知:当装药为圆柱结构时,第一层钨球的速度为680 m/s,第二层钨球的速度为742 m/s;当装药为球缺形结构时,第一层钨球的速度为790 m/s,与圆柱结构装药的初速相比,初速提高16.2%;第二层钨球的速度为830 m/s,与圆柱结构装药的初速相比,初速提高11.9%。

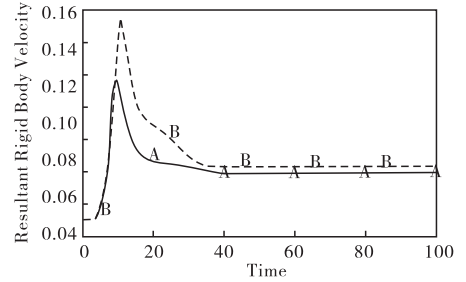
在此结构模型中,炸药的爆速 D 为7 900 m/s, β 为0.08,代入式(1),计算得破片初速 $V = 774$ m/s,可见,仿真结果与理论计算相符。

显然,采用球缺形炸药结构能显著提高破片初速,这主要是因为此种结构能使爆轰能量聚焦,因而对破片的驱动作用更大。

对于直径确定的战斗部而言,球缺的结构不同,爆轰能量的聚焦效果不同,因而对破片的加速作用也不同,因此,确定最佳的球缺装药结构是提高初速的



(a) 炸药为圆柱结构时钨球速度分布



(b) 炸药为球缺结构时钨球速度分布

图3 两种典型装药结构钨球速度分布图

重要措施。

本研究结构中,装药直径 $D = 56$ mm,设曲率半径为 R ,当 R/D 分别为0.6,0.8,1.0,1.2时各层钨球所获得初速如图4所示。

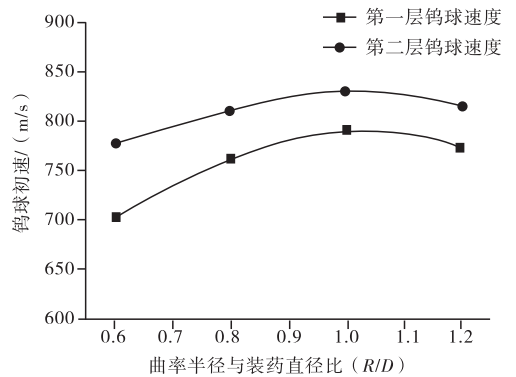


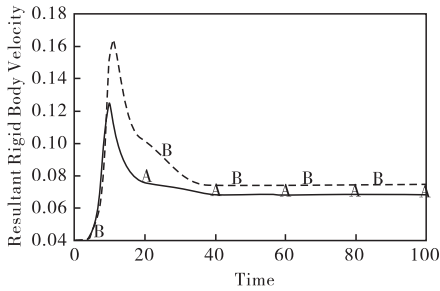
图4 R/D 分别为0.6,0.8,1.0,1.2时各层钨球初速

由图4可知:球缺形装药结构的球缺曲率半径与装药直径比约为1.0时获得的破片初速最大。

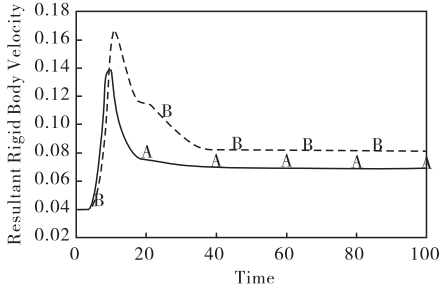
2.3 预制破片形状对破片初速的影响

同等条件下(装药质量、形状相同,破片质量相同),选择钨球和钨柱作为研究对象。预制破片为两层,设靠近炸药的破片为第一层,用A表示,远离炸药的破片为第二层,用B表示,借助LS-DYNA仿真软件进行动力学仿真,仿真结果如图5所示。

由图5知:预制破片为钨球时,第一层钨球的速度为680 m/s,第二层钨球的速度为742 m/s;预制破片是钨柱时,第一层钨柱的速度为690 m/s,与钨球初速相比,初速提高1.5%,第二层钨柱的速度为820 m/s,与钨球初速相比,初速提高10.5%。



(a) 同等条件下钨球的速度分布



(b) 同等条件下钨柱的速度分布

图 5 同等条件下两种破片的速度分布图

可见,同等条件下,预制破片采用圆柱形结构能有效提高破片的初速。这主要是因为球与球之间的间隙大,出现反射稀疏波,使驱动能力降低。而钨柱比钨球排列紧凑,爆轰能量可以得到充分利用。

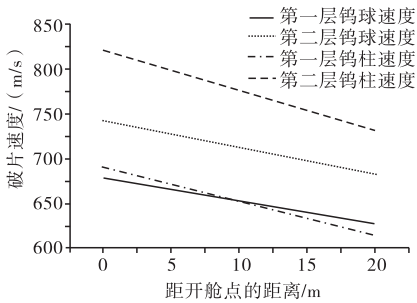


图 6 距开舱点不同距离处两层破片的速度

由图 6 可知:在 20 m 内第二层钨柱的速度大于第二层钨球的速度;在 11 m 内第一层钨柱的速度大于第一层钨球的速度,但距开舱点 11 m 后,第一层钨柱的速度开始小于第一层钨球的速度,20 m 处第一层钨柱的速度比第一层钨球的速度仅小 9 m/s。由于单枚钨柱对目标的毁伤效能比同等条件下钨球的毁伤效能大,综合分析可知,距开舱点 20 m 内,钨柱比钨球对目标的毁伤效果更好。

2.4 钨柱排列方式对其初速的影响

钨柱分 5 层排列,每层 37 枚钨柱,钨柱在弹舱内的排列方式有很多种,文中选取二种比较典型的排列方式,即轴对称排列和均匀错位排列作为研究对象,有限元模型如图 7 所示。

两种排列方式下,钨柱轴向加速度随时间变化曲线如图 8 所示。

图 8 反应了钨柱被爆轰波加载和钨柱间相互作用

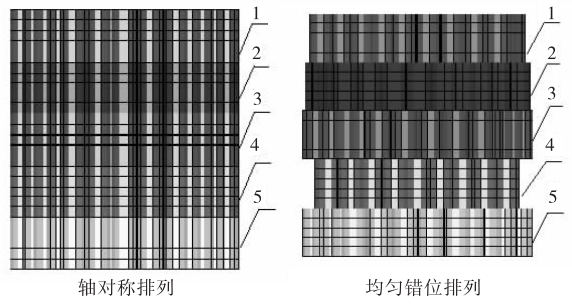
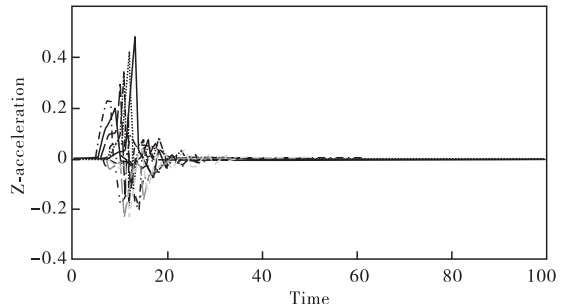
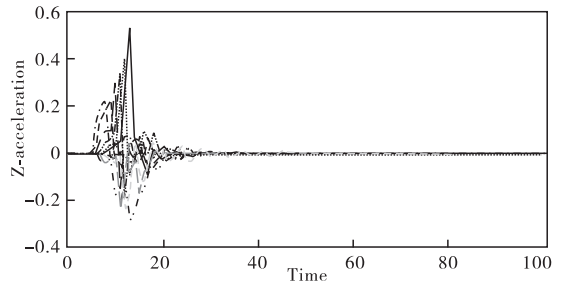


图 7 不同排列方式下的有限元模型(注:距离开舱药最近的一层钨柱为第一层,距离开舱药最远的那一层钨柱为第五层)



(a) 轴对称排列时轴向方向加速度变化曲线



(b) 均匀错位排列时轴向方向加速度变化曲线

图 8 两种排列方式下,钨柱轴向加速度随时间变化曲线图用的激烈程度,两种排列方式下加速度曲线变化趋势基本一致,所不同的是:均匀错位排列方式下钨柱的轴向加速度高于轴对称排列时的轴向加速度,表明采用此排列方式能够显著提高轴向速度。

两种排列方式下,钨柱速度随时间变化曲线如图 9 所示。

由图 9 可知:1)钨柱层之间采用轴对称排列时,第五层钨柱的速度最大,为 987 m/s,第一层钨柱速度最小,仅为 695 m/s;2)钨柱层之间采用均匀错位排列时,每层钨柱的速度变化关系和轴对称排列时速度变化关系基本一致,所不同的是每层钨柱获得了更高的速度,200 μ s 后第五层钨柱的速度达到了 1 086 m/s,相较于轴对称排列时第五层钨柱的速度提高了 10.1%,第一层钨柱的速度为 765 m/s,相较于轴对称排列时第一层钨柱的速度提高了 9.6%。由此可见,在炸药一定的情况下,钨柱层之间采用均匀错位的排列方式能够显著提高钨柱的速度。

面加载机构具有结构简单、性能稳定、设备造价低、使用维护方便等优点,可提供与弹翼展开角呈近似线性关系的模拟气动升力曲线,且误差不大于 5%,基本上能够满足使用要求。但也存在一些固有的不足之处,如提供的模拟气动升力存在原理上的仿真误差,在模拟加载过程中还产生的水平附加力,其数值虽然不大,但作用点的力臂较长,由此产生的阻力矩的绝对值却不可忽视。这使得地面试验时,折叠弹翼展开的难度要大于实际飞行时弹翼展开的难度,换言之,就是地面试验的结果存在一定的安全裕度,且该安全裕度的大小,随模拟气动载荷的增加而增加,这在客观上对确保后续的飞行试验成功加大了安全系数,同时也为产品定型后仍然存在冗余质量留下隐患。

4 结束语

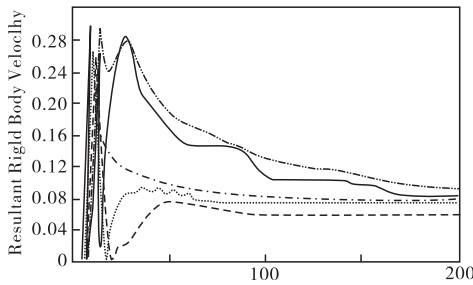
军用产品性能的完善是一个渐进的过程,在现有的火箭弹上增加可控式折叠翼和可抛离式助推器两项技术元素,在提高射程的同时,可明显改善火箭弹

的战场威慑力和机动性,也对火箭弹的总体设计以及相关的控制技术水平提出了较高的要求,但通过增加武器系统技术含量的途径,达到改善武器装备综合性能的目的,应该是今后发展的重要方向。

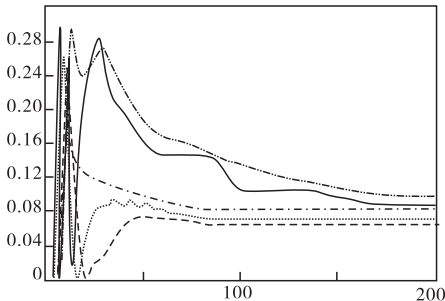
参考文献:

[1] 杨泗智,胡宽荣. 远程火箭弹滑翔增程技术研究[J]. 现代防御技术,2001,39(4):15-18.
 [2] 田晓丽,陈国光,辛长范. 滑翔增程火箭弹的飞行姿态控制方法研究[J]. 弹箭与制导学报,2005,25(3):64-66.
 [3] 田晓丽,陈国光,阚卫东. 滑翔增程火箭弹弹道优化算法研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2007,15(1):137-141.
 [4] 李晓晖,李怀念,吴俊全. 火箭弹折叠翼展开过程的计算方法试验研究[J]. 航天环境工程,2009,26(增刊):82-84.
 [5] 田晓丽,陈国光,戚九民. 火箭弹滑翔增程技术研究,弹箭与制导学报,2003,23(3):46-47.

(上接第 86 页)



(a) 轴对称排列时钨柱速度曲线图



(b) 均匀错位排列时钨柱速度曲线图

图 9 两种排列方式下,钨柱速度随时间变化曲线图

3 结论

1) 由于爆轰能量的聚焦作用,球缺形装药结构比圆柱形装药结构能显著提高破片的初速,且球缺曲率半径与装药直径比为 1.0 时获得的初速最大;

2) 同等条件下,钨柱比钨球获得更高的初速;

3) 钨柱层之间采用均匀错位的排列方式,能够显著提高破片沿弹轴方向的速度,增加破片的杀伤威力。

参考文献:

[1] 赵国志,张运法,沈培辉,等. 常规战斗部系统工程设计[M]. 南京:南京理工大学,2000:200-215.
 [2] 贾光辉,张国伟,裴思行,等. 爆炸载荷作用下离散平板运动速度的工程计算[J]. 爆炸与冲击,1999,19(2):173-176.
 [3] 孙承维,卫玉章,周之奎. 应用爆轰物理[M]. 北京:国防工业出版社,2002:574-600.
 [4] 邢恩峰,钱建平,赵国志. 装药结构参数对轴向预制破片抛掷速度的影响[J]. 火炸药学报,2007,30(1):49-53.
 [5] 杨云川,厉相宝,万人毅. 预制破片初速和飞散角的数值模拟[J]. 弹箭与制导学报,2009,29(4):96-98.
 [6] 张宝坪,张庆明,黄风雷. 爆轰物理学[M]. 北京:兵器工业出版社,2001.