

逆序起爆下大锥角罩形成聚能射流的分析*

梁少雷^{1,2}, 吴国东¹, 王志军¹

(1 中北大学机电工程学院, 太原 030051; 2 66206 部队, 天津 300450)

摘要:为了分析在逆序起爆方式下, 炸药装药量对大锥角药型罩形成聚能射流的影响。利用 LS-DYNA 有限元分析软件, 分别对装药长径比为 0.4D、0.5D、0.6D、0.7D、0.8D 5 种装药结构进行计算及分析。研究表明: 大锥角药型罩在逆序起爆结构下可以获得高速细长的射流; 并且增加装药量对聚能射流的速度以及成型没有太大影响; 在 0.4 倍口径装药结构下, 仍然能够获得高速细长炸高的聚能射流。

关键词:逆序起爆; 射流; 装药高度; 大锥角药型罩

中图分类号: TJ410.33 **文献标志码:** A

The Analysis on Large Cone Line Formation of Jet by the Mode of Reverse Initiation

LIANG Shaolei^{1,2}, WU Guodong¹, WANG Zhijun¹

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

2 No. 66206 Unit, Tianjin 300450, China)

Abstract: In order to analyze the influence of explosive charge on the formation of jet about the large cone line under the mode of reverse initiation, the LS-DYNA finite element analysis software was used for computation and analysis on five charge structure 0.4D、0.5D、0.6D、0.7D、0.8D. The test shows that high-speed and slender jet can be obtained; Charge increase has little impact on formation and the speed of jet; At 0.4 times of the diameter charge structure, the ideal jet could also be acquired.

Keywords: reverse initiation; jet; charge height; large cone line

0 引言

在战斗部设计中, 如果能够在不降低战斗部威力前提下, 尽可能的做到减小战斗部质量与体积, 是弹药设计者一个比较关注的热点。在这方面研究上, 中国工程物理研究院的李发伯利用实验手段验证了大锥角药型罩形成聚能射流的可行性^[1]。中国兵器 204 所石健等人开展了小长径比聚能射孔弹的实验研究, 得出了在实验中逆序起爆网络设计对射流的形成十分关键^[2]。

文中在前人研究的基础上, 进一步探讨大锥角药型罩结构下小长径比装药结构设计。通过设计逆序起爆网络, 采用大锥角药型罩下装药结构, 获得了一种长径比相对比较小、威力较好战斗部结构。为以后的设计和工程应用提供了一些参考和思路。

1 战斗部结构设计

1.1 战斗部结构设计

结合有关理论和通过相关计算, 战斗部结构设计

见图 1, 药型罩采用截顶等壁厚 120° 次口径大锥角, 其中截顶处的长度为 8mm, 药型罩底部口径为 92.8mm, 壁厚 δ 取 1.8mm, 装药口径 D 为 100mm, 装药高度为 H , 壳体壁厚 d 为 2mm。

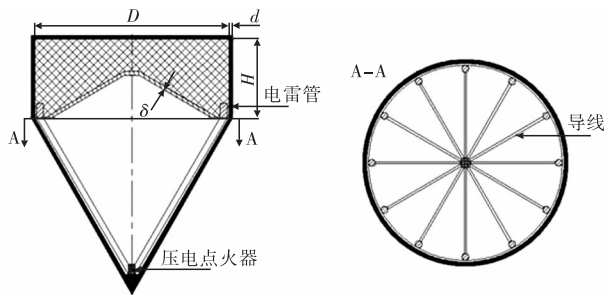


图 1 装药结构设计图

文中运用数值模拟手段, 在装药口径 D 、药型罩锥角、壳体厚度 δ 一定情况下, 分别对装药长径比 (H/D) 为 0.4D、0.5D、0.6D、0.7D、0.8D 这 5 种情况进行数值计算。通过对这五种装药结构设计的数值计算, 对比可以得出, 装药高度大锥角罩形成的射流头部速度, 以及射流拉伸情况。

* 收稿日期: 2012-03-23

作者简介: 梁少雷(1984-), 男, 河南上蔡人, 硕士研究生, 研究方向: 弹箭仿真技术研究。

1.2 逆序起爆网络设计

逆序起爆与常规起爆最大的不同在于:常规起爆是在装药上端面根据结构需要设置起爆位置,爆轰波的传播方向为由上至下;而逆序起爆是在装药下端面根据结构需要设置起爆位置,爆轰波的传播方向为由下至上,是一种为改变爆轰波传播方向而设计的起爆方式,它可以改变爆轰波对药型罩压垮的先后顺序。在文中设计中,逆序起爆网络^[3]采用一点十二出结构,在装药底部 48mm 半径圆周上均匀分布安装 12 个性能一致电雷管,通过 12 根导线与风帽部的压电点火器相连接。当战斗部碰撞到目标时候,压电点火器装置产生电流,通过导线传到装在战斗部底部 12 个电雷管,电雷管发火起爆主装药,在实际应用的过程要求起爆装置具有比较精确的同步性,从而可以产生比较同步的环形爆轰波。

2 仿真模型及算法

采用 LS-DYNA 计算分析软件对该战斗部聚能射流成型过程进行了数值计算^[4]。有限元模型采用 TrueGrid 前处理软件进行建模,网格单元均采用 solid164 八节点六面体单元。模型中的药型罩、壳体、炸药、空气均采用欧拉单元,单元使用多物质 ALE 单元算法。计算中使用奥克托儿 (OCTOL) 炸药,密度为 1.82g/cm³,爆速为 8480m/s,选用高能炸药模型和 JWL 状态方程;药型罩材料选用紫铜,密度为 8.96g/cm³,壳体材料为 45#钢,密度为 7.83g/cm³,都采用 Johnson-Cook 材料模型和 Gruneisen 状态方程来描述他们在爆轰波作用下的动力学响应行为;空气采用空物质材料,状态方程为线性多项式。

在有限元计算中,简化了导线传播点火设计,用在炸药底部半径为 48mm 圆环上均匀布置 12 个起爆点进行替代逆序起爆网络(见图 2),在实际工程应用中,起爆网络同步性十分关键。

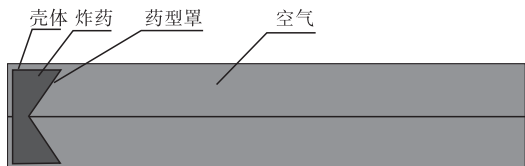


图 2 战斗部有限元计算模型

3 聚能射流成型的分析

3.1 逆序起爆下药型罩压垮分析

根据射流形成理论^[5],随着半锥角 α 的增大,压

垮角 β 也将随之增大,射流速度降低。并且不论是在正向起爆的时候还是在逆序起爆的过程中,爆轰波扫过药型罩的时候,都会在压垮过程中产生一个折转角 γ 。

在正向起爆的时候,大锥角罩形成射流具有低速、短粗的特征。这是因为:

$$\beta = \alpha + \gamma \tag{1}$$

在逆序起爆的时候,大锥角罩形成高速细长的射流。这是因为爆轰波先从药型罩底部扫过,使药型罩向中心轴线闭合(见图 3),药型罩的压垮角:

$$\beta = \alpha - \gamma \tag{2}$$

这样达到了压垮角 β 变小的目的。从 Defourneaux 提出的流体动力学理论^[6]可知,压垮角变小后的大锥角罩可以获得与小锥角罩相似的高速细长射流。

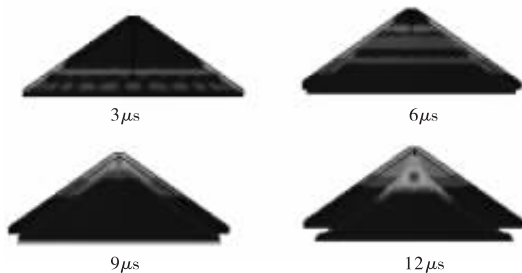


图 3 逆序起爆下药型罩压垮示意图

3.2 装药高度影响分析

取装药长径比从 0.4D 到 0.8D,装药量每增加 10mm,设计为一种计算方案。并对这 5 种方案分别进行了数值模拟。根据数值计算的结果,描绘了射流在不同时刻头部速度曲线(见

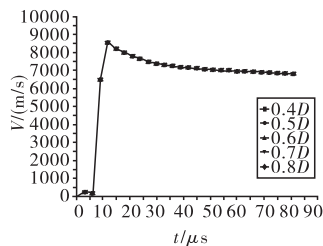


图 4 五种方案射流头部速度随时间变化曲线图

图 4),由图 4 可以明显看出,五种设计方案得到射流头部速度曲线十分接近,可以明显看出,基本上增加装药量,对射流的头部速度影响不是十分明显。

在 0 ~ 10 μ s 时间段里,在逆序起爆方式,产生了一个径向膨胀波,径向膨胀波从药型罩底部向顶部的方向传播,不断膨胀并扫过药型罩外表面。10 μ s 时刻左右径向膨胀波传播到罩顶部,此时刻罩顶部受到爆轰波的挤压,可以看出此时射流开始挤出,速度达到 6500m/s 左右。逆序传播的爆轰波也是大锥角药型罩能够形成射流的主要原因,在逆序传播过程中,径向膨胀波首先使药型罩底部受到挤压,药型罩母线向轴线方向靠拢,锥角变小。

透速度影响将非常明显。

上述研究结论对破片毁伤战斗部的设计具有重要参考依据。

参考文献:

- [1] 程兴旺,王富耻,王鲁,等. 垂直侵彻钢靶过程中钨合金壳体破坏机理研究[J]. 稀有金属材料与工程,2002,31(6):427-431.
- [2] 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,

(上接第 88 页)

在 $10 \sim 12\mu\text{s}$, 爆轰波继续向上传播,有多点环形起爆的球面波在这个时间段进行碰撞、叠加、汇聚,形成一个超压区。这个超压区在极短的时间内作用于罩顶部,并挤出聚能射流。可以判断得出结论,超压区的形成是射流获得速度的主要原因。从图 4 也可以看出这时段射流的头部速度达到最大值 8700m/s ,此后时间段内射流头部速度呈现下滑趋势。

随着装药量的增加,射流头部速度没有得到大的提高,这与以前的在小锥角罩威力设计中,在一定范围内增加装药量射流的侵彻速度可以有大的提高是有区别的。由以上分析可知,超压碰撞区,由下向上的径向膨胀波是对射流速度以及成型最主要的影响因素。超压爆轰区在极短的时间里作用于药型罩,就按照逆向方向朝着射流运动相反的方向传播稀疏。所以即使增加了装药量,而后的稀疏波对射流的形成起到极其微小的作用。这也恰恰为设计小长径比战斗部提供了可行性与理论上的印证。

3.3 聚能射流的成型与威力分析

聚能射流质量一般从射流的头部速度,成型拉伸的过程中射流保持良好的连续性,不发生断裂等作为衡量好坏标准。

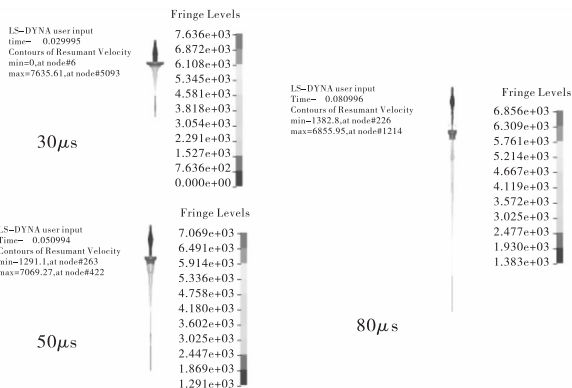


图 5 0.4D 装药结构下射流的速度云图

5 个方案计算结果说明:装药量的增加对射流的成型及速度没有太大影响。图 5 给出了 0.4D 装药量下 $30\mu\text{s}$ 、 $50\mu\text{s}$ 、 $80\mu\text{s}$ 3 个时刻的速度云图。并且这 3

25(4):57-59.

- [3] 王鹏,马晓青,高润芳,等. 钨柱对装甲钢板侵彻的试验研究[J]. 弹箭与制导学报,2003,3(1):147-150.
- [4] 智小琦. 弹箭炸药装药技术[M]. 北京:兵器工业出版社,2011.
- [5] 靳佳波,王树山,司红利. 高速杆条小着角侵彻靶板的三维数值模拟[J]. 弹箭与制导学报,2003,23(1):160-164.

个时刻也分别是射流成型达到 2 倍、3 倍、5 倍炸高的时刻。在 $30\mu\text{s}$ 射流头部速度达到 7636m/s ,在 $50\mu\text{s}$ 射流头部速度达到 7069m/s ,同时也可以清楚看到在 5 倍炸高处射流仍然能够保持比较好连续性,没有出现断裂,其速度也能达到 6856m/s 。这些也充分说明了在逆序起爆方式,一定结构的大锥角药型罩设计,大炸高、具有一定侵彻能力高速射流是可以获得的。

4 结论

文中主要开展了逆序起爆下大锥角药型射流成型数值模拟,为以后的工程应用提供了一些参考,得出了如下结论:1)在一定口径下,通过逆序起爆大锥角罩,可以获得高速细长的射流,得到小长径比结构战斗部;2)要想提高逆序结构下射流侵彻速度,不能通过提高轴向装药量获得,在允许的范围内,尽量通过减小药型罩锥角,也可以通过减小药型罩底部口径,相应的增大径向装药量而获得;3)由于文中采用数值计算的手段,在起爆点设置上设置了很高同步性,得到比较同步的压垮波形。推测出在实际工程应用中,建议起爆装置尽量保持较高的同步性,这将有利于射流成型及终点效应。

参考文献:

- [1] 李发伯. 小长径比聚能装药试验研究[R]. 绵阳:中国工程物理研究院流体物理研究所,1997.
- [2] 石健,王宝兴,汪长栓. 逆向起爆小长径比聚能射孔弹试验与数值计算研究[J]. 测井技术,2006(1):40-43.
- [3] 徐立新,刘红利,沈晓军,等. 爆炸网络在聚能装药战斗部上的应用研究[J]. 兵工学报,2010,31(10):1383-1388.
- [4] 时党勇,李裕春,张胜明. 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,2004.
- [5] 北京工业学院八系爆炸及其作用编写组. 爆炸及其作用[M]. 北京:国防工业出版社,1979.
- [6] 吴义锋. 点环起爆多模成型装药机理研究[D]. 南京:南京理工大学,2007.