

文章编号: 1006-9941(2011)05-0580-04

半楔角对星锥状药型罩成型的影响

姚志华^{1,2}, 王志军¹, 李德战²

(1. 中北大学机电工程学院, 山西 太原 030051; 2. 空军场务技术试验中心, 山东 济宁 272000)

摘要: 为研究半楔角对星锥状药型罩成型的影响, 利用 LS-DYNA 有限元分析软件对不同半楔角 ($15^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 55^\circ, 67.5^\circ$) 的星锥状药型罩聚能装药结构形成射流的过程进行数值模拟, 分析了其射流成型过程以及半楔角对星锥状药型罩的成型的影响。研究表明: 星锥状药型罩的二次汇聚形成的射流速度比一次汇聚射流速度提高了 33% 以上; 半楔角选取 $20^\circ \sim 35^\circ$ 较为合理; 楔角个数为 3 时, 其射流侵彻性能较好。

关键词: 爆炸力学; 星锥状; 射流; 半楔角; 数值模拟

中图分类号: TJ55; TJ410.3*3; O389

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.05.022

1 引言

在现代反恐战争中, 城市巷战成为了一种主要的作战模式。如何快速拆除墙体或铁门等障碍物, 使士兵及其装备顺利通过是影响战争胜负的关键因素之一。

目前, 破除砖墙大多采用集团装药爆破的方式进行, 该方法存在炸药利用率低、炸药质量大、缺口形状不容易控制等问题^[1]。采用聚能装药进行破墙则可以解决上述问题。文献[2]也报道了用星锥状药型罩作破墙用战斗部, 相对于普通装药结构的优点在于产生的轴向破坏作用更强。

文献[2]对星锥状药型罩侵彻混凝土进行了数值模拟, 对比了星锥状药型罩与传统的单锥罩侵彻混凝土的结果。文献[3]就星锥状药型罩的成型和半锥角、药型罩厚度、有无壳体对二次汇聚射流速度影响进行了研究。而本文则利用 LS-DYNA 软件对星锥状药型罩进行数值模拟, 分析半楔角对星锥状药型罩成型的影响。

2 星锥状药型罩结构及几何模型

2.1 星锥状药型罩结构

星锥状药型罩是在楔形药型罩基础上, 通过改变装药结构而演化出的一种星锥状聚能装药结构, 由若干个楔形药型罩对齐排列且一端聚合而成。当装药起

爆后, 爆轰作用使药型罩各楔形平面沿各自的中心轴压垮, 分别形成多股射流。同时, 这几股射流沿公共轴进行汇聚, 完成二次碰撞, 使药型罩在形成射流的同时, 再次使射流发生汇聚, 结果沿公共轴线形成一股聚能射流^[3]。

本文所述的星锥状药型罩的结构如图 1 所示, 其主要结构参数有 6 个, 即锥罩大端半径 R 、锥角 $2A$ 、楔角 2α 、药型罩厚 d 、装药高 h 和锥罩高 L 。本模拟所用星锥状药型罩结构是由 4 个楔形药型罩对称排列且一端聚合而成, 如图 1 所示。

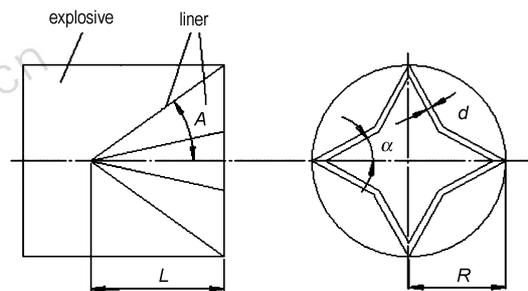


图 1 星锥状药型罩结构简图

Fig. 1 Structure sketches of the new cone-shaped liner

2.2 几何模型的建立

根据图 1 的结构简图, 建立如图 2 所示的战斗部几何模型以及图 3 所示数值模拟所用的整体结构的几何模型。模型的结构参数为: 半锥角 $A = 20^\circ$, 半楔角 $\alpha = 25^\circ$, 药型罩壁厚 $d = 2 \text{ mm}$, 锥罩大端半径 $R = 20 \text{ mm}$, 装药高 $h = 115 \text{ mm}$ 和锥罩高 $L = 55 \text{ mm}$ 。

收稿日期: 2010-10-12; 修回日期: 2011-03-28

作者简介: 姚志华(1984-), 男, 助理工程师, 在读硕士, 主要从事弹箭仿真技术研究。e-mail: 364124843@qq.com

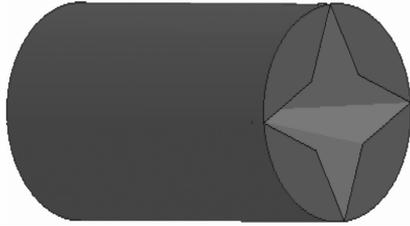


图2 战斗部结构几何模型

Fig. 2 The geometry model of the warhead



图3 整体结构几何模型

Fig. 3 The geometry model of the whole structure

表1 炸药参数^[4]

Table 1 Parameters of explosion

materials	$D/\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$	$\rho_0/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	p_{C-J}/GPa	A/GPa	B/GPa	R_1	R_2	e_0	ω
RHT-901	7.980	1.717	29.5	524.23	7.678	4.2	1.1	8.5	0.34

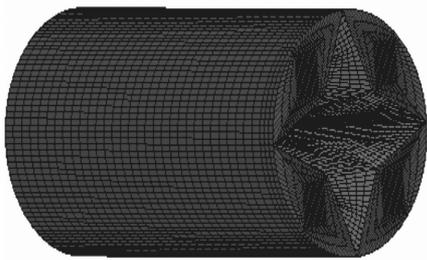
Note: D , detonation velocity; ρ_0 , mass density; p_{C-J} , Chapman-Jouget pressure; A, B, R_1, R_2, ω , coefficient; e_0 , specific internal energy.

表2 Steinberg 本构模型计算参数^[4]

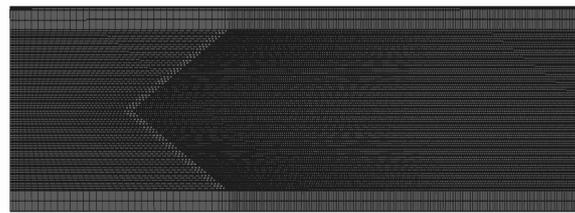
Table 2 Computational parameters of Steinberg constitutive equation

materials	G_0/GPa	$b/\text{s}^2 \cdot \text{kg}^{-2/3}$	$b'/\text{s}^2 \cdot \text{kg}^{-2/3}$	h	f	$A/\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$	T_{m0}/K	σ'_0/GPa	γ_0
red copper	47.7	2.83	2.83	$3.77\text{E}-4$	0.001	63.55	1356	0.12	2.02

Note: G_0 , basic shear modulus; b, h, f, γ_0 , coefficients; σ'_0, b' , materials constants; A , molemass; T , ambient temperature.



a. The finite-element model of the whole structure



b. The finite-element model of the warhead

图4 有限元模型

Fig. 4 Finite-element model

表3 空气模型计算参数^[4]

Table 3 Computational parameters of air model

$\rho_0/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	$C/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	$E_0/\text{kJ} \cdot \text{cm}^{-3}$	V_0
$1.25\text{E}-3$	394	0	1

Note: ρ , mass density; C , sound velocity; E_0 , initial internal energy; V_0 , initial relative volume.

3 数值模拟

3.1 计算模型

计算模型建立和有限元网格划分使用 Truegrid 前处理软件。因为该结构为轴对称结构,所以模型采用 1/2 结构,如图 4 所示,以减少模型单元数目,节省计算时间。为了简化计算,模型中不考虑壳体,仅考虑药型罩、炸药和空气三部分,采用多物质 Euler 格式来模拟炸药的爆轰和铜药型罩的压垮及射流的形成过程。网格单元选用 solid164 八节点六面体单元,单元算法采用多物质 Euler 算法。药型罩采用 *MAT_JOHNSON_COOK 材料模型和 GRUNEISEN 状态方程,炸药采用 *MAT_HIGH_EXPLOSIVE_BURN 高能材料模型和 JWL 状态方程,空气材料采用流体模型为: *MAT_NULL,状态方程为线性多项式: EOS_LINEAR_POLYNOMIAL 来描述。药型罩、炸药、空气参数见文献[4]。

3.2 数值模拟结果及分析

(1) 半楔角对星锥状药型罩成型的影响

为研究半楔角对星锥状药型罩成型的影响,分别对 15° 、 25° 、 35° 、 45° 、 55° 、 67.5° 半楔角的星锥罩进行数值模拟。数值模拟时,炸药采用单点起爆方式,起爆

点设置在炸药顶端中点。数值模拟所使用的单位制为: mm-ms-kg-GPa。

根据计算结果得到不同半楔角前 180 μs 不同时

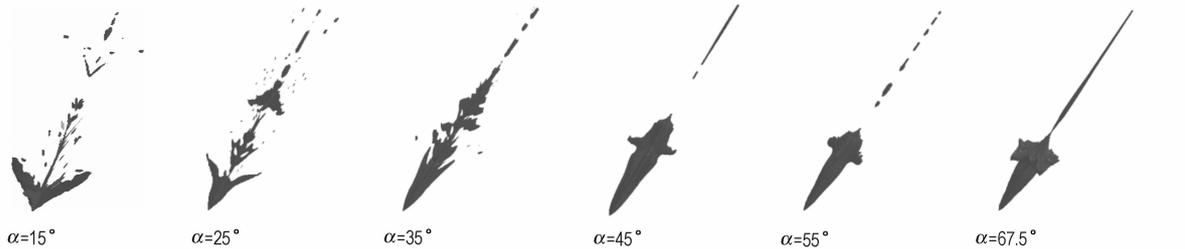


图 5 数值模拟结果

Fig. 5 Results of the numerical simulation

表 4 三倍装药口径处星锥罩形成射流的头尾速度

Table 4 Jet velocity of metallic jet and slug

half a wedge/(°)	15	25	35	45	55	67.5
velocity of metallic jet / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	1500	1208	1130	6500	5600	3820
velocity of slug / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	189	266	350	178	208	305

由图 5 计算结果可知:

同时可以看出, $\alpha < 45^\circ$ 和 $\alpha \geq 45^\circ$ 两种情况下, 星锥罩形成的射流半径和长度随半楔角增加而增加; 而且两者形成的射流形态也不同, $\alpha < 45^\circ$ 时的星锥罩罩材的利用率明显高于 $\alpha \geq 45^\circ$ 的。

出现上述情况是由于半楔角的变化引起星锥罩结构的改变, 从而使爆轰波驱动罩材的流动方向改变引起的。爆轰波开始对药型罩压垮时, $\alpha < 45^\circ$ 的爆轰波驱动星锥罩各楔形平面的罩材一边向各自的对称面运动, 一边向下运动; 而 $\alpha \geq 45^\circ$ 的爆轰波则驱动星锥罩各楔形平面的罩材一边向装药的对称轴运动一边向下运动。

半楔角对星锥罩形成射流速度影响也比较大。

由表 4 可知, $\alpha < 45^\circ$ 时, 形成射流速度明显要小于 $\alpha \geq 45^\circ$ 时形成的射流速度。这主要是由于两者的射流成型机理不同。但两种情况的射流头部速度都随半楔角的增加而减小, 而尾部速度规律则与之相反。而当半楔角 $\alpha = 15^\circ$ 由于初始射流速度过高, 导致射流二次汇聚时射流速度梯度过大, 射流过早断裂, 影响其侵彻性能。

综合考虑星锥型药型罩罩材利用率和形成射流的形态和速度, 选取半楔角 选取 $20^\circ \sim 35^\circ$ 较为合理。

(2) 相同半楔角的不同楔形角个数的星锥罩射流速度对比

为研究相同半楔角的不同楔形角个数的星锥状药型罩的射流速度对射流速度的影响。设计了结构

刻形成的射流形状(图 5)和三倍装药口径处星锥罩形成射流的头尾速度(表 4)。

参数相同(半锥角 $A = 20^\circ$, 半楔角 $\alpha = 25^\circ$, 药型罩壁厚 $d = 2 \text{ mm}$, 锥罩大端半径 $R = 20 \text{ mm}$, 装药高 $h = 115 \text{ mm}$, 锥罩高 $L = 55 \text{ mm}$), 只有楔形角个数不同的三种结构对比。表 5 是三倍口径处不同个数楔角的星锥罩形成射流的头尾速度。

表 5 不同个数楔角的星锥罩形成射流的头尾速度

Table 5 Jet velocity of different half a wedge

amount of wedge	velocity of metallic jet / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	velocity of slug / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
2	1335	203
3	1293	240
4	1208	266

从表 5 可知, 当其它参数相同时, 减少楔角个数可以增加射流的头部速度。这是因为随着楔角个数的减少, 相邻两个楔形罩之间的装药量增加, 从而导致形成初始射流的速度增加, 进而使二次汇聚形成射流的速度增加。所以, 在设计时, 当装药高度一定时, 可以通过减小楔角数量来提高射流速度。但减少楔角个数会减少药型罩的质量, 从而减少射流的质量。综合考虑以上因素, 楔角个数取 3 个比较合理。

(3) 相同半楔角的不同厚度的星锥罩形成射流速度

同时仿真结果也表明, 药型罩厚度对初始射流和二次汇聚形成射流的速度影响较大, 见表 6。

表 6 不同壁厚药型罩形成射流的速度

Table 6 Jet velocity of different liner thickness

d/mm	1.5	2	2.5
$V_1/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	4537	4208	3676
$V_2/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	6216	5594	4928
V_2/V_1	1.37	1.33	1.34

Note: d is liner thickness, V_1 is the initial jet velocity, V_2 is the secondary jet velocity.

从表 6 可以知道,形成初始射流和二次汇聚形成线型聚能射流的速度都随药型罩壁厚的增加而减小。而且通过二次汇聚形成的射流速度比一次汇聚射流速度提高了 33% 以上。

4 结 论

(1) 星锥状药型罩的二次汇聚形成的射流速度比一次汇聚射流速度提高了 33% 以上。

(2) 半楔角 α 选取 $20^\circ \sim 35^\circ$ 较为合理。

(3) 在其他结构参数相同时,星锥型药型罩形成的射流速度随楔角个数的增加而减小。当星锥状药型罩楔角个数为 3 时,其侵彻性能较好。

参考文献:

- [1] 朱建桥. 聚能装药穿墙弹参数设计与应用研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
ZHU Jian-qiao. Parametric design and applied research on the shells used to penetrating the walls[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2010.

- [2] 范晨阳, 王志军, 吴国东. 星锥状药型罩形成射流侵彻混凝土的数值模拟[J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30: 99-102.
FAN Chen-yang, WANG Zhi-jun, WU Guo-dong. Numerical simulation on jet formation and projectile into concrete target of a new star shaped liner[J]. *Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance*, 2010, 30: 99-102.
- [3] 王志军, 吴国东. 一种新型星锥状药型罩形成射流的数值模拟[J]. 兵工学报, 2007, 28: 1397-1400.
WANG Zhi-jun, WU Guo-dong. Numerical simulation on jet formation of a new star shaped liner[J]. *Acta Armamentarii*, 2007, 28: 1397-1400.
- [4] 张会锁, 赵捍东, 黄延平, 等. 起爆方式对聚能射流影响的数值仿真研究[J]. 含能材料, 2008, 16(4): 415-419.
ZHANG Hui-suo, ZHAO Han-dong, HUANG Yan-ping, et al. Numerical simulation of effect of ignition ways on shaped charge jet[J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2008, 16(4): 415-419.
- [5] 北京工业学院八系. 爆炸及其作用(下)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1979: 84-123.
- [6] 李裕春, 时党勇, 赵远. ANSYS 11.0/LS-DYNA 基础理论与工程实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008.

Effects of Star Shaped Liner of Different Half a Wedge on Jet Formation

YAO Zhi-hua^{1,2}, WANG Zhi-jun¹, LI De-zhan²

(1. School of Mechatronic Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Airfield Technology Test Center of Airforce, Jining 272000, China)

Abstract: In order to study the effects of the star-shaped liner of differently half wedges ($15^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 55^\circ, 67.5^\circ$) on jet formation, the LS-DYNA software was used to perform numerical simulation on the process that a structure of the new star-shaped liner forms jet, analyzing the forming process and the effects on forming and jet velocity of the differently half wedges of star shaped liners. Results show that the velocity of second-gathering jet which the star shaped liner forms increases by 33%, compared with the initial jet. The half wedges are suitable for $20^\circ \sim 35^\circ$. The penetration performance of jet is better when the number of wedge is 3.

Key words: explosion mechanics; star cone-shaped; jet; half a wedge; numerical simulation

CLC number: TJ55; TJ410.3⁺3; O389

Document code: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9941.2011.05.022