

药型罩加工精度对破甲战斗部威力影响的研究*

刘建荣¹, 张国伟¹, 徐立新², 马建¹

(1 中北大学机电工程学院, 太原 030051; 2 63961 部队, 北京 100010)

摘要:药型罩的加工精度是影响破甲战斗部破甲深度的一个重要因素。通过理论分析,研究了药型罩加工精度对射流性能的影响,同时利用 ANSYS/LS_DYNA 软件建立了具有不同加工误差的药型罩及相应的战斗部模型,并进行了一系列的数值模拟。结果表明,药型罩加工误差的存在会影响射流性能,而且破甲威力随着药型罩加工误差的增大而下降,为研究破甲战斗部破甲深度问题提供参考。

关键词:药型罩;加工误差;破甲战斗部;威力;LS_DYNA

中图分类号:TJ410.333 文献标志码:A

The Research of Influence of Liner's Precision on the Power of Armor-penetrating Warhead

LIU Jianrong¹, ZHANG Guowei¹, XU Lixin², MA Jian¹

(1 School of Mechatronics Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China; 2 No. 63961 Unit, Beijing 100010, China)

Abstract: The precision of Liner is a major factor impacting the depth of penetration of armor-penetrating warhead. By theoretical analysis, the precision of Liner's impact on jet performance was research, and the ANSYS/LS_DYNA software was used to build liner's model with different machining error in the same time. By a series of numerical simulations, the results show that the existence of liner processing error would impact the jet performance, and with liner's processing error increasing, the penetration power declines, providing reference for the penetration depth problem of armor-penetrating warhead.

Keywords: liner; processing error; armor warhead; power; LS_DYNA

0 引言

工程实践中,由于装配误差、药型罩质量分布误差、药型罩加工误差、起爆方式、起爆位置与起爆点之间存在时间差等诸多因素的影响,使得同一破甲战斗部在发挥最终毁伤效能时存在较大差异,即同一破甲战斗部对相同靶板的破甲深度不同,跳动力较大。其中药型罩的加工精度是影响破甲深度的一个很重要的因素。文中根据现已装备的某破甲战斗部结构,分别建立了具有不同加工误差的药型罩战斗部模型,通过对不同加工误差的药型罩及其相应的破甲战斗部进行研究,得出了药型罩加工精度对破甲战斗部威力影响的相关规律。

1 加工误差对射流性能影响的理论分析

传统对聚能射流的计算机仿真都是基于理想药型罩结构,即忽略药型罩的加工误差,假设其壁厚均匀,并在此基础上进行相应的数值模拟(如图1(a)所

示)。但是在实际的加工条件下,药型罩必然存在加工误差(如图1(b)所示)。

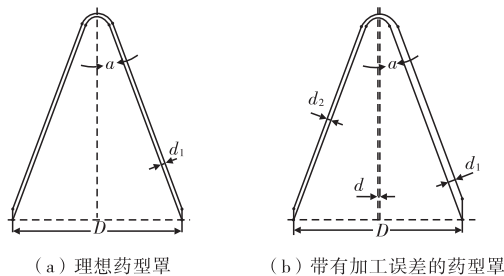


图1 药型罩结构对比

由图1可以明显看出,理想条件下的药型罩(如图1(a))壁厚均匀,而实际应用中的药型罩由于加工误差的存在,必然存在壁厚不均匀的情况(如图1(b)所示)。从图1(b)中的剖面图中可以明显看出,右侧壁厚度比左侧要厚,若令药型罩最大厚度差为 δ_c ,则:

$$\delta_c = d_1 - d_2 \quad (1)$$

对于图1(b)中药型罩而言,由准定常理论,假设破甲战斗部作用过程中炸药瞬间全部爆轰,且整个过程为绝热过程,根据有效装药绝热压缩方法,罩微元

* 收稿日期:2011-07-05

作者简介:刘建荣(1985-),男,山西乡宁人,硕士研究生,研究方向:武器系统毁伤技术。

的运动满足运动方程:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = S_i p_i \quad (2)$$

可得:

$$dv_i = \frac{S_i p_i}{m_i} dt \quad (3)$$

即得在第 i 个微元处药型罩的压垮速度:

$$v_i = \int_0^t \frac{S_i p_i}{m_i} dt \quad (4)$$

其中: m_i 、 v_i 、 S_i 、 p_i 分别代表药型罩第 i 个微元的质量、瞬时速度、与爆轰产物的接触面积、作用于第 i 个微元上爆轰产物的压强。

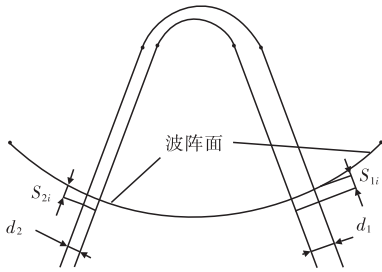


图 2 爆轰波作用于药型罩表面的平面示意图

在同一波阵面处,相同的作用面积 S_{1i} 和 S_{2i} 上,有: $p_{1i} = p_{2i}$, $S_{1i} = S_{2i}$,而由于加工误差的存在,使得 $d_1 > d_2$,而:

$$m_i = \rho S_i d_i \quad (5)$$

可得 $m_{1i} > m_{2i}$ 。

将式(5)代入式(3)和式(4)可得:

$$dv_i = \frac{S_i p_i}{\rho S_i d_i} dt \quad (6)$$

$$v_i = \int_0^t \frac{S_i p_i}{\rho S_i d_i} dt \quad (7)$$

其中: ρ 为药型罩密度。即得:

$$dv_{1i} < dv_{2i}, v_{1i} < v_{2i}$$

可得药型罩的压垮速度与药型罩的壁厚成反比,药型罩左右两侧的壁厚差异越大,左右两侧药型罩的压垮速度差也就越大。同时由于药型罩左右两侧压垮速度存在速度差,可能会导致射流最终会偏离轴线,射流的速度梯度大,稳定性下降等问题。

2 数值模拟

2.1 计算模型

为比较加工精度对破甲战斗部威力的影响,在现役的某型号破甲战斗部的结构基础上进行了一系列的数值模拟。其战斗部中药型罩分别采用加工误差为 0(理想药型罩结构)、0.05、0.1、0.15、0.2、0.25mm 的药型罩,分别为方案 a、方案 b、方案 c、方案 d、方案 e 和方案 f。为方便叙述,文中此后所有标注 a、b、c、d、e、

f 字样的,皆代表相应方案。

为方便计算,战斗部采用简化处理,去掉副药柱及隔板,仅对主药柱进行研究。所有方案都采用无壳装药,无隔板、主药柱单点中心起爆,药型罩材料为紫铜,靶板材料为 45# 钢。具体模型如图 3 所示。

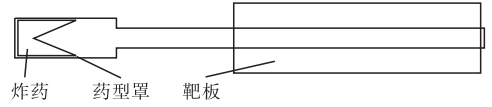


图 3 数值模拟模型

2.2 材料模型

在文中的数值模拟中,涉及到炸药、空气、药型罩和靶板等 4 种材料模型,其中炸药采用 B 炸药,药型罩材料为紫铜,靶板为 45# 钢。各种物质的状态方程为:

1) 炸药材料模型选用高能炸药爆轰模型,状态方程为 *EOS_JWL 状态方程,其基本形式为:

$$p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V} \quad (8)$$

其中: p 为压力; E 为爆轰产物的内能; V 为爆轰产物的相对体积(即爆轰产物体积与初始体积之比); A 、 B 、 R_1 、 R_2 和 ω 为待定常数。

B 炸药的主要参数为: $\rho = 1.717 \text{g/cm}^3$, $V_D = 7.98 \text{km/s}$, $P_{CJ} = 29.5 \text{GPa}$ 。表 1 为 B 炸药的 JWL 状态方程的主要参数。

表 1 B 炸药的主要参数

A/GPa	B/GPa	R_1	R_2	ω	E_0/GPa
524.23	7.678	4.2	1.1	0.34	8.5

2) 药型罩的材料为紫铜,采用 *Johnson_cook 本构模型和 *EOS_GRUNEISEN 状态方程。其状态方程的基本形式为:

对可压缩材料:

$$p = \frac{\rho_0 C^2 \mu \left[1 + \left(1 - \frac{\gamma_0}{2} \right) \mu - \frac{a}{2} \mu^2 \right]} \left[1 - (S_1 - 1) \mu - S_2 \frac{\mu^2}{\mu + 1} - S_3 \frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2} \right]^2 + \quad (9)$$

$(\gamma_0 + a\mu)E$

对膨胀材料:

$$p = \rho_0 C^2 \mu + (\gamma_0 + a\mu)E \quad (10)$$

3) 空气采用空物质模型描述,材料状态方程为 *EOS_GRUNEISEN。

4) 靶板采用 45# 钢。

3 数值模拟结果分析

3.1 典型方案形成射流对比

前已述及,由于加工误差的存在,使得药型罩各微元的压垮速度存在差异,在壁厚较小的地方药型罩

的压垮速度高,而在壁厚相对较大的地方压垮速度较低,对方案 f 来说,这种趋势更加明显。而对方案 a 来说,由于药型罩壁厚均匀,各微元的压垮速度相同,因此不存在上述情况。如图 4 所示。

在图 4 中可以看出,在 $t = 12\mu s$ 时,方案 a 中药型罩即将达到形成射流的临界速度,而方案 f 中的药型罩由于左侧压垮速度快,已然达到射流临界速度。在 $t = 20\mu s$ 时,方案 f 中由于压垮速度差的存在,左侧药型罩几乎全部被压垮,而右侧药型罩则只有部分被压垮;所形成的射流已经出现向左偏斜趋势。方案 a 中则不存在该情况。

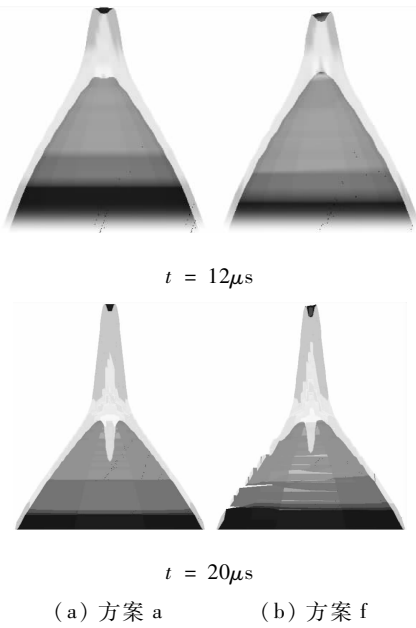


图 4 典型方案射流形成示意图

射流稳定后,在侵彻靶板瞬间射流形态如图 5 所示。该时刻各方案射流同轴度、直径、速度下降与理想条件下射流(即方案 a)相比结果见表 2。

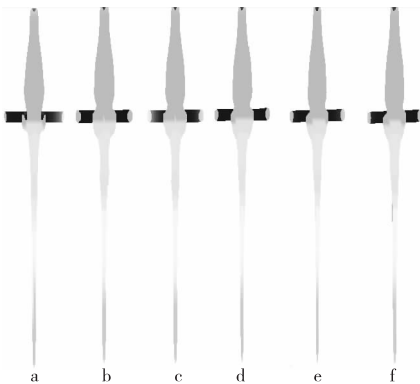


图 5 射流侵彻靶板瞬间形态示意图

从图 5 各方案中药型罩底部可以看出,方案 b、c、d、e 和 f 中所形成的射流均出现偏斜。从表 2 中可得,方案 a 中所形成的射流同轴性较好,而对方案 b、c、d、e 和 f 来说,其射流均出现不同程度的偏斜;方案 b、c、d、e

和 f 中所形成的射流直径均比方案 a 中的射流直径细;方案 b、c、d、e 和 f 中的药型罩所形成射流速度降(射流最大速度与侵彻靶板瞬间速度之差)与方案 a 相比较,并有随加工误差的增大而继续增大的趋势,即射流速度梯度随药型罩加工误差的增大而增大。

表 2 射流侵彻靶板瞬间性能比较

方案	同轴度	速度降 / %	直径
a	良好	100.00	--
b	偏斜	106.56	较细
c	偏斜	116.31	较细
d	偏斜	125.27	细
e	偏斜	128.55	细
f	偏斜	133.78	细

也就是说,药型罩加工误差的存在,不仅影响了射流的同轴性,同时随着加工误差的增大,射流直径逐渐变细,速度梯度也逐渐拉大。这也与本文之前所预测的结果相一致。

3.2 射流对靶板的侵彻

侵彻结束后,各方案对靶板的侵彻结果见表 3。

表 3 射流对靶板的侵彻结果

方案	最大侵深 / mm	侵彻靶板瞬间速度 / (m · s ⁻¹)	与 a 相比穿深下降 / %
a	4.93D	6492	--
b	4.41D	6340	10.55
c	4.35D	6230	11.76
d	4.30D	6198	15.01
e	4.21D	6186	16.63
f	3.85D	6125	21.91

由表 3 可知,药型罩加工误差的存在,会给破甲战斗部威力带来很大影响,并且随着加工误差的增大,其对破甲战斗部的威力影响越来越大。药型罩加工误差对破甲战斗部破甲深度的影响关系曲线如图 6 所示。

从图 6 中可以看出,射流对靶板的侵彻深度随着药型罩的加工精度的下降而下降,但是该趋势在加工误差为 0.05 ~ 0.2mm 之内并不明显,但是在 0.2 ~ 0.25mm 之间,射流对靶板的侵彻深度随着药型罩加工误差的增大急剧下降。

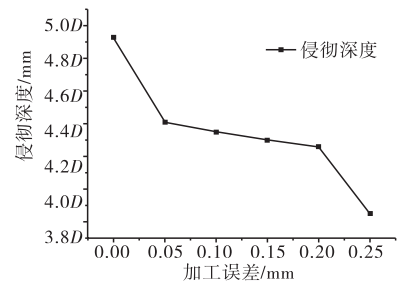


图 6 药型罩加工误差与破甲深度关系曲线

由此可得,药型罩的加工误差会影响破甲战斗部的威力,而且如果加工误差过大,则会引起破甲战斗部威力下降,也是引起破甲战斗部破甲深度跳动的一个较大的因素。

4 结论

1)药型罩的加工误差是影响破甲深度的一个主要的因素,而且随着药型罩加工误差的增大,其对破甲战斗部的威力影响也加大,即战斗部的破甲深度随着加工误差的增大而减小;

2)从文中来看,针对该型破甲战斗部,药型罩的加工误差在 0.05 ~ 0.2mm 之间时,对破甲威力影响变化较小,而在 0.2mm 之后急剧增大。即药型罩不能选取加工误差在 0.2mm 之上的,这也与工程应用相一致;

3)通过文中的数值模拟结果,从药型罩加工精度角度解释了工程试验中,同一批次战斗部之间的破甲深度虽然不尽相同,但总在某一数值范围浮动,而不同批次战斗部破甲深度则存在较大差异,其中一个主

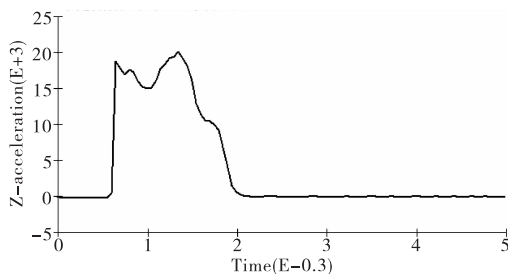
要的原因就是药型罩加工精度。药型罩加工误差与试验中破甲深度的跳动趋势也相一致。

影响破甲战斗部穿深跳动量的因素有很多,文中只讨论了药型罩加工精度对其影响,战斗部的起爆方式及位置,装配误差因素等也对破甲战斗部的穿深跳动也具有很大的影响,仍有必要对其它因素进行进一步研究。

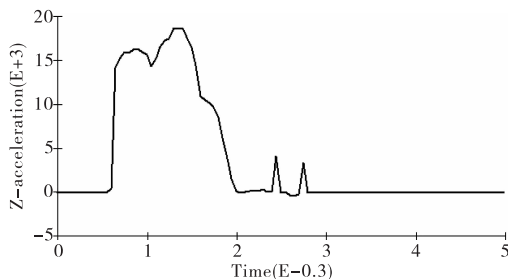
参考文献:

- [1] 北京工业学院八系《爆炸及其作用》编写组. 爆炸及其作用:上册[M]. 北京:国防工业出版社,1979.
- [2] 陈智刚,王志军,邱可夫 A. N. 工艺参数对破甲弹作用效果影响的数学模型[J]. 华北工学院学报,2001,22(3):198-200.
- [3] 张国伟. 终点效应及靶场试验[M]. 北京:北京理工大学出版社,2009.
- [4] 郁锐,李福金,薛鑫莹,等. 药型罩壁厚变化率对破甲威力影响的研究[J]. 弹箭与制导学报,2010,30(1):134-136.
- [5] 张会锁,赵捍东,王芳,等. 药型罩壁厚对聚能射流影响的数值模拟[J]. 测井技术,2006,30(1):47-49.

(上接第 113 页)



(a) 2.52kg动量转换块



(b) 2.10kg动量转换块

图8 不同质量动量转换块下的加速度-时间曲线

0 m/s²持续时间均约为 0.0011s。所以可知动量转换块的质量主要影响加速度峰值,动量转换块质量越小,加速度峰值越小。

4 结论

文中对撞击减速法模拟引信后坐环境进行了建

模仿真,重点分析了影响后坐加速度-时间曲线的因素。根据分析结果知泡沫铝材料作为缓冲器能起到很好的缓冲效果。泡沫铝材料密度越小得到的加速度持续时间越长,可通过调节碰撞初速、泡沫铝块厚度、动量转换块质量等措施调节加速度-时间曲线。

参考文献:

- [1] Harold R Martin. Construction details of HDL artillery simulator (prototype), AD660334 [R]. 1967.
- [2] Herbert D Curchack. Artillery simulator, US, 3444733 [P]. 1969-5-20.
- [3] Donald J Mary. The high-spin tabletop artillery simulator (2in.), ADA075238 [R]. 1979.
- [4] Michael G Otten. Development of a 7-inch air gun for use in interior ballistics simulation, ADA020866 [R]. 1975.
- [5] 徐蓬朝,黄惠东,揭涛,等. 高超音速侵彻引信中的泡沫铝垫片[J]. 探测与控制学报,2010,32(6):63-67.
- [6] 闻利群,鲁建霞,张同来. 泡沫铝和橡胶对测试仪器抗冲击波缓冲能力的仿真研究[J]. 弹箭与制导学报,2010,30(3):223-225.