

弹丸壳体和身管破坏效应仿真

王铄¹, 李东阳², 刘海涛², 朱洪涛³, 赵然¹, 翟宏昌⁴

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 军械技术研究所, 石家庄 050003;

3. 中国人民解放军 66440 部队, 石家庄 050081; 4. 中国人民解放军 75407 部队, 广东 湛江 524100)

摘要: 为了研究膛炸时弹丸壳体和身管的破坏效应,用双层金属圆管代替弹丸壳体和身管建立了简易膛炸模型,并运用 LS-DYNA 动力有限元程序对膛炸过程仿真,分别采取不同的装药方式和起爆方式进行了模拟。仿真结果表明,在不同的装药方式和起爆方式下,弹丸和身管破坏过程及最终破坏效果存在差异。采用的仿真方法和得到的结果可为进一步研究诸如发射过程中弹丸在膛内爆炸时对身管的破坏等实际问题提供参考。

关键词: 起爆; 破坏效应; 数值模拟

中图分类号: TJ55; O389 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)04-0029-04

Numerical Simulation of Deformation and Fracture Form of Cannon-shot and Gun Barrel

WANG Shuo¹, LI Dong-yang², LIU Hai-tao², ZHU Hong-tao³, ZHAO Ran¹, ZHAI Hong-chang⁴

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Ordnance Technical Research Institute, Shijiazhuang 050003, China; 3. Unit 66440 of PLA, Shijiazhuang 050081, China; 4. Unit 75407 of PLA, Zhanjiang 524100, China)

Abstract: To study the deformation and fracture form of cannon-shot and gun barrel, double-deck metal cylindrical tube was used to build a simple model of breech bursts. Then the breech bursts were simulated by LS-DYNA, using different TNT filling modes and detonation modes. The results showed the demolishing process and fracture forms of different breech burst types. The numerical simulation method and result can be reference to study some practicalities like the cannonball exploded in the gun barrel during shooting.

Key words: detonating; deformation and fracture form; numerical simulation

膛炸是指火炮在发射过程中,由于发射系统自身的原因,使炮身和弹药受到严重破坏的现象。它不仅毁坏武器,而且还伤及武器的使用者。由于膛炸事故的特殊性,很难通过试验的方法再现。

收稿日期: 2011-01-04

作者简介: 王铄(1986—),男,河北定州人,硕士研究生,主要从事弹载机电系统分析与检测方向的研究。

LS-DYNA作为世界上著名的通用显式动力分析程序,特别适合求解各种二维、三维非线性结构的高速碰撞、爆炸和金属成形等非线性动力冲击问题。由于LS-DYNA程序具有强大的数值模拟功能,在国防领域有广泛的应用,比如侵彻过程与爆炸成坑模拟分析、军用结构和设备受碰撞和冲击加载的结构动力分析、介质中爆炸及爆炸作用的全过程模拟分析等。

国内学者利用试验、仿真等手段,对内部炸药爆炸加载下金属圆柱壳的破坏效应进行了研究^[1-2],对不同起爆方式下,战斗部的威力进行了实验和模拟研究^[3-4],但是大多数的研究重点在于提高战斗部威力等方面。

笔者采用ANSYS/LS-DYNA有限元程序,建立简易膛炸模型,分别采用不同的装药和起爆方式对膛炸的破坏效应进行了三维仿真。

1 计算模型与算法

1.1 计算模型的建立

仿真模型如图1所示,弹丸壳体内径为40 mm,壁厚为5 mm,长为200 mm;身管内径为60 mm,壁厚为5 mm,长为200 mm;TNT炸药模型直径为40 mm,长为150 mm(如图1a所示),分为2段时,各段长为70 mm(如图1b所示);空气模型直径为300 mm,长为200 mm。为了直观地观察到弹丸壳体和身管各部分变形情况,将所有的物体都选择为三维实体单元,建立1/4实体模型,采用映射法进行网格划分,并对整个模型加载轴向约束,采用cm-g-μs单位制建模。

1.2 计算方法

膛炸属于接触爆炸问题,模拟过程中使用固流耦合方法计算炸药对弹丸壳体和身管的破坏作用,炸药和空气使用欧拉算法,弹丸壳体和身管使用拉格朗日算法,二者通过耦合的方式产生作用。该算

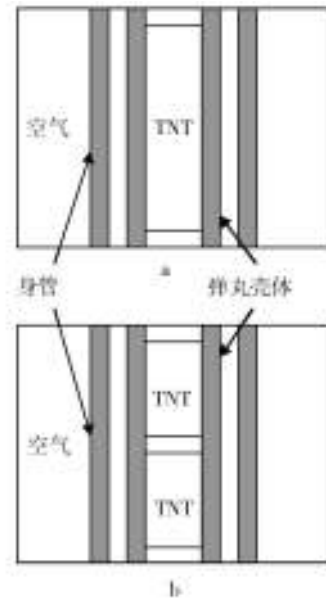


图1 仿真模型

Fig. 1 Schematic diagram of numerical simulation model

法的优点是炸药和流体材料(空气)在欧拉单元网格中流动,不存在单元的畸变问题,并且通过流固耦合方式来处理相互作用,能方便地建立爆炸模型。弹丸壳体和身管之间采用侵蚀面接触。

2 材料模型

2.1 炸药

炸药使用*MAT_HIGN_EXPLOSIVE_BURN和*EOS_JWL关键字定义;炸药的起爆点和起爆时间用*INITIAL_DETONATION关键字定义。炸药的相关参数为:密度(ρ)、爆速(D)、爆压(p)。JWL状态方程如式(1):

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

式中: e 为爆轰产物比内能; V 为爆轰产物比容; A, B, R_1, R_2, ω 为描述JWL方程必须的5个独立物理常数。炸药有关参数见表1(采用cm-g-μs单位制,

表1 TNT炸药相关参数

Table 1 Parameter of TNT

参数	$\rho/(g \cdot cm^{-3})$	$D/(cm \cdot \mu s^{-1})$	$p(\times 10^{11})/Pa$	$A(\times 10^{11})/Pa$	$B(\times 10^{11})/Pa$
数值	1.64	0.693	0.27	3.74	0.032 3

下同)。

2.2 空物质

炸药爆炸时,需要通过介质才能形成爆炸冲击波并进行传播,因此,在进行爆炸分析时,必须给炸药提供能量传输的介质,才能对金属圆柱壳做功。笔者采用空气作为能量传输的介质,使用 *MAT_NULL 和 *EOS_LINEAR_POLYNOMIAL 关键字定义。空气材料模型中相关参数为:密度(ρ)、初始比内能(e_0)、初始比容(V_0)。空气状态方程见下式:

$$p=C_0+C_1\mu+C_2\mu^2+C_3\mu^3+(C_4+C_5\mu+C_6\mu^2)e_0 \quad (2)$$

$$\mu = \frac{\rho}{\rho_0} - 1 \quad (3)$$

式中: p 为空气压力; ρ_0 为初始密度; C_0 — C_6 为空气状态方程中的7个独立物理常数。空气相关材料参数见表2。

表2 空气相关参数

Table 2 Parameter of air

参数	$\rho (\times 10^{-3}) / (g \cdot cm^{-3})$	$C_0 (\times 10^{-6})$	C_4	C_5
数值	1.3	-6.0	0.4	0.4

2.3 弹丸壳体和身管

文中弹丸壳体和身管材料均采用45钢,使用 *MAT_JOHNSON_COOK 和 *EOS_GRUNEISEN 关键字定义,相关参数见表3。

表3 45钢相关参数

Table 3 Parameter of 45# steel

参数	$\rho / (g \cdot cm^{-3})$	$G (\times 10^{11}) / Pa$	$A (\times 10^{11}) / Pa$	$B (\times 10^{11}) / Pa$	T_{ref} / K
数值	7.83	0.77	0.4	0.4	1 793

3 结果分析

用图1中a,b所示仿真模型,按以下4种方案进行仿真:1)150 mm 1段装药、端面中心点起爆;2)150 mm 1段装药、中心点起爆;3)70 mm 2段装药、炸药中间两端面中心点顺次起爆;4)70 mm 2段装药、炸药由端面中心点起爆。图2为4种方案中弹丸和身管的破坏过程仿真结果。

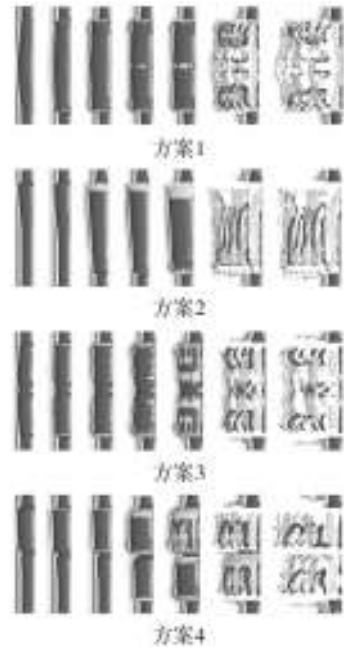


图2 弹丸壳体和身管破坏过程仿真

Fig. 2 Numerical simulation result of the deformation of cannon-shot and gun barrel

由于装药和起爆方式不同,弹丸和身管的破坏过程和最终破坏效应存在着差异。破坏过程的差别主要表现在膨胀起始位置、断裂起始位置、裂纹扩展方向以及横向断裂位置等方面;破坏效应的差别主要表现在弹丸和身管破片数量和大小等方面。由于膛炸事故的主要危害在于对人员和装备的破坏,而且装备损坏情况是对膛炸事故原因进行分析的重要依据。因而,文中将着重对身管的破坏效应进行分析。

图3为4种方案中身管的破坏效应仿真结果。从图3中可以看出,由于装药和起爆方式不同,身管破片的大小、数目和形状有很大的不同。利用仿真得到的身管破片单元信息,通过编制破片统计程序,对4种方案中破片质量分布进行了统计,统计结果见表4。

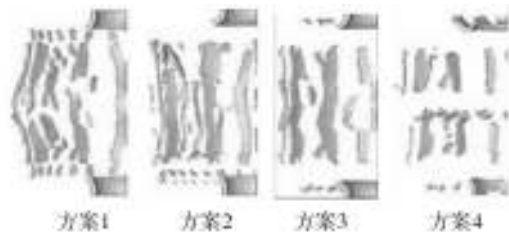


图3 身管破坏效应仿真

Fig. 3 Numerical simulation result of the fracture form of gun barrel

表4 身管破片质量分布

Table 4 Mass distribution of the gun barrel piece

破片 质量/g	破片数目			
	方案1	方案2	方案3	方案4
≤1	132	92	68	44
>1~4	100	36	32	12
>4~8	8	20	8	20
>8~12	8	40	12	12
>12~16	4	8	4	8
>16~20	0	12	4	0
>20~30	0	4	8	0
>30~50	8	4	4	4
>50~100	0	4	20	24
>100	20	36	24	16
合计	280	256	188	140

通过对比4种方案中身管破片的质量分布可以得出:身管破坏程度主要取决于参加爆轰的炸药质量,而起爆位置对破坏程度的影响作用较小。因此,可以通过身管破坏程度判断膛炸事故中炸药爆轰是否完全,即判断膛炸类型是全爆还是半爆,从而为膛炸事故原因分析提供依据。

4 结论

1) 建立了合理的模型,采用 ANSYS/LS-DYNA

程序对膛炸现象进行了仿真。

2) 仿真结果表明,弹丸壳体和身管在不同装药和起爆条件下,开始断裂的位置、断裂状态、破片大小和数量等破坏效应之间存在差别。

3) 装药量相同时,中间起爆比端面起爆破坏严重、破片数量多、小质量破片数量多;起爆位置相同时,装药不挖空比挖空破坏严重。

参考文献:

- [1] 张崇玉,谷岩,张世文,等. 爆轰波对磁驱动下金属圆管膨胀变形特性研究[J]. 爆炸与冲击,2005,25(3):222—226.
- [2] 汤铁钢,李庆忠,孙学林,等. 45 钢柱壳膨胀断裂的应变率效应[J]. 爆炸与冲击,2006,26(2):129—133.
- [3] 肖绍清,白春华,王小华,等. 分散药起爆方式控制 FAE 燃料分散的数值模拟[J]. 火炸药学报,2001(1):24—26.
- [4] 叶小军,韩玉,陈庆宝. 偏心起爆战斗部速度增益的数值模拟及实验[J]. 火炸药学报,2009,32(3):29—34.

(上接第 19 页)

对应的曲线参数均无显著差异。相对而言,单参数指数函数拟合效果最好,对于不同裂纹尺寸对应的裂纹萌生寿命预腐蚀影响系数具有较好的通用性。

参考文献:

- [1] 陈勃,鲍蕊,张建宇,等. 飞机结构耐久性/损伤容限综合分析模型[J]. 航空学报,2004,25(2):133—136.
- [2] 贺小帆,刘文珽,向锦武. 曲线通用性分析和试验研究[J]. 航空学报,2005,26(2):184—189.
- [3] 贺小帆. 腐蚀条件下飞机结构寿命可靠性关键技术研究

[D]. 北京:北京航空航天大学,2003.

- [4] 高镇同,熊峻江. 疲劳可靠性[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2000:74.
- [5] 杨晓华. 腐蚀累积损伤理论研究与飞机结构日历寿命分析[D]. 南京:南京航空航天大学,2002:29—31.
- [6] 刘文珽,李玉海. 飞机结构日历寿命体系评定技术[M]. 北京:北京航空工业出版社,2004:126—129.
- [7] 贺小帆,刘文珽,王忠波,等. 预腐蚀对 30CrMnSiNi2A 连接件疲劳寿命影响的试验研究[J]. 机械强度,2009,31(4):664—669.