

# 起爆方式对内爆炸圆管战斗部破片初速的影响<sup>\*</sup>

张会锁<sup>1,2</sup>,冯顺山<sup>1</sup>,刘国宾<sup>2,3</sup>,巩兆维<sup>2,3</sup>

(1 北京理工大学爆炸科学与技术重点实验室,北京 100081;

2 中北大学弹箭仿真中心,太原 030051;3 国营732厂,山东淄博 255201)

**摘要:**战斗部的起爆方式直接影响着爆轰波与壳体的作用方式,致使战斗部破碎后形成的自然破片特征参数发生变化,文中应用爆轰波传播理论对不同起爆方式起爆内爆炸圆管战斗部后形成的自然破片初速进行理论预测,并通过仿真软件对爆轰波传播及自然破片形成过程进行仿真。结果表明,轴线起爆方式可提升破片杀伤威力。

**关键词:**圆管战斗部;自然破片;数值仿真;爆轰理论

**中图分类号:**TJ410.36 **文献标志码:**A

## The Research on Influence of Initiation Style on Fragments' Initial Velocity of In-explosive Cylinder Warhead

ZHANG Huisuo<sup>1,2</sup>,FENG Shunshan<sup>1</sup>,LIU Guobin<sup>2,3</sup>,GONG Zhaowei<sup>2,3</sup>

(1 State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institution of Technology, Beijing 100081, China;

2 Research Center of Projectiles and Rockets Analog Simulation, North University of China, Taiyuan 030051, China;

3 No. 732 Factory, Shandong Zibo 255201,China )

**Abstract:** The initiation style directly affects the interaction between detonation wave and shell, and causes characteristic parameter change of warhead fragments, the warhead fragments' characteristic parameters of different initiation way were predicted by the detonation wave propagation theory, and the detonation wave propagation and fragments forming process were simulated through the simulation software. The result shows that the lethality of fragments is the highest by axis initiation way.

**Keywords:** in-explosive cylinder warhead; fragments; simulation; detonation theory

## 0 引言

战斗部高效毁伤的根源在于其引爆后形成的破片速度、密度和打击动能的增益。起爆方式对爆炸作用有显著的影响,对于一定的装药结构,采用适当的起爆方式改变破片所受到驱动力的作用方式或方向,可使冲击波超压和破片速度、密度、打击动能等发生明显增益,提高装药利用率<sup>[1]</sup>。基于此思想,国内许多学者应用偏心起爆技术对预置破片的飞散方式进行控制,达到改变破片特征参数的目的<sup>[2-3]</sup>,但由于此种弹药在终点毁伤时要受到探测设备性能的限制,无法在实际应用中完全达到静爆试验时的效果。而改变轴向起爆方式由于不受探测设备性能的影响,又能有效控制和改善破片特性。所以,本研究具有重要的工程应用价值。

由于破片初速的预测是破片特征参数中最关键

的因素,文中应用爆轰波传播理论和文献[4]中提供的壳体单元的破片初速计算公式对轴向不同起爆方式下的壳体各部位的破片初速进行计算,同时采用数值仿真软件进行数值仿真分析。

## 1 破片初速理论预测

### 1.1 轴向不同起爆方式起爆时内爆炸圆管中爆轰波传播规律

对于不同起爆方式,由于弹体长径比的限制,爆轰过程中必将受到轴向稀疏波的影响,对于中心单点起爆方式(如图1(a)所示)起爆后,爆轰波以球形方式向外传播,最先到达离起爆点最近的壳体内表面,与壳体壁面发生反射后再向两端传播,此时,首先受到爆轰波冲击的壳体壁面产生变形向外突起,直至破裂。采用两端面中心点同时起爆方式(如图1(b)所示)起爆后,爆轰波从两端面向中心传播,两束爆轰波

\* 收稿日期:2010-11-30

作者简介:张会锁(1976-),男,陕西宝鸡人,讲师,博士,研究方向:战斗部终点毁伤效能分析。

相遇后再向壳体传播。采用轴线起爆方式(如图 1(c)所示)起爆后,爆轰波以平面波的方式向外传播,壳体各部位同时受到冲击后破裂,产生的破片初速基本一致,且破片平均初速比其他几种方式起爆后产生的破片平均初速要高。

### 1.2 不同起爆方式产生的破片初速沿壳体分布的工程理论计算

根据文献[4]中提到的破片初速沿壳体的分布计算公式,对此次研究的样品弹进行破片初速理论计算:

$$v_x = v_0 \left( \frac{i_x}{i_0} \right) \quad (1)$$

式中: $v_0$  为最大破片初速; $v_x$  为距起爆点  $x$  处的壳体单元破片初速; $i_0$  为作用于壳体内壁的最大冲量; $i_x$  为作用于距起爆点  $x$  处壳体内壁冲量。

从式(1)中可知,破片速度沿壳体的分布,实际上是壳体内壁所受冲量沿壳体长度变化的结果。因此,根据不同起爆方式中爆轰波的传播规律,引进参数  $a = x/l$  ( $x$  为壳体上各单元距起爆点的轴向距离,  $l$  为壳体长度),可得出不同起爆方式下的截面冲量理论计算公式。

#### 1) 中心单点起爆

由于在中心引爆时爆轰波以对称方式向两端传播。为了方便计算,设壳体长度为  $2l$ ,则截面冲量为:

$$i_x = \frac{i_0}{16} \left[ \frac{16 + 23a + 8a^2 - 15a^3}{(1+a)^2} - 3(1-a) \ln \frac{1+a}{1-a} + 3a \ln 2 \right] \quad (2)$$

#### 2) 两端面中心点同时起爆

设壳体长度为  $2l$ ,则截面冲量为:

$$i_x = \frac{i_0}{8} \left\{ \frac{8 - a^3}{(1.7 - a)^2 \times 2.05} - \frac{3a^2}{(1.7 - a) \times 1.42} + \frac{3a}{2} \ln \left[ \frac{1.42}{a} (1.7 - a) \right] + \frac{15a}{4} + \frac{1.42(1.7 - a)}{4} \right\} \quad (3)$$

#### 3) 轴线起爆

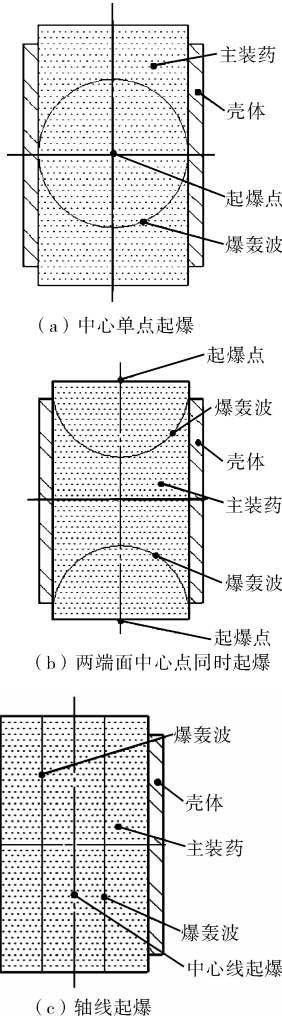


图 1 轴向不同起爆方式爆轰波传播

由于轴线起爆时,壳体内壁各部分同时受到同一量级的冲量作用,所以有:

$$i_x = i_0$$

又由于此次样品弹为圆管形,与 Gurney 能理论预测破片初速时的假设条件相同,故可采用此破片最大初速:

$$v_0 = \sqrt{2E} \sqrt{\frac{\beta}{1 + 0.5\beta}} \quad (4)$$

式中: $\beta = C/M$ 称为弹药的爆炸载荷系数, $C$ 为装药质量, $M$ 为壳体质量, $\sqrt{2E} = 0.52 + 0.28D$ 为 Gurney 比能, $D$ 为装药爆速。利用以上公式,就可以计算出不同起爆方式下壳体不同部位产生的破片初速。

## 2 仿真计算破片形成过程

### 2.1 仿真模型

利用有限元动力学仿真软件,对研究的样品弹在四种不同起爆方式下的破片形成过程及破片初速进行仿真计算,为了对破片

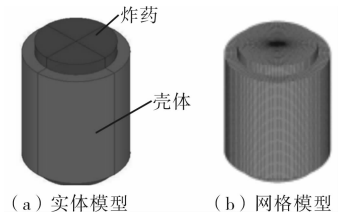


图 2 有限元仿真模型

速度进行跟踪分析,特对壳体进行预设破片的方法,即对要关注的部位预设大小相同的破片,同时认为该破片单元为刚体,与周围其它单元采用固连的方式,并且遵守相同的失效准则。有限元模型如图 2 所示。

### 2.2 仿真结果

采用不同起爆方式仿真所得的爆轰波在不同时刻传播过程如图 3~图 5 所示。从图中可以看出,爆轰波的传播规律和理论预测一致,首先接触爆轰波冲量的壳体部分率先变形破裂。

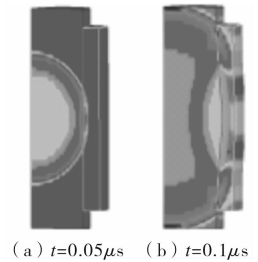


图 3 中心单点起爆后爆轰波在不同时刻传播过程

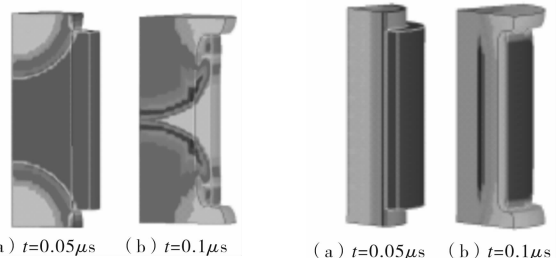


图 4 两端面中心点同时起爆后爆轰波在不同时刻传播过程

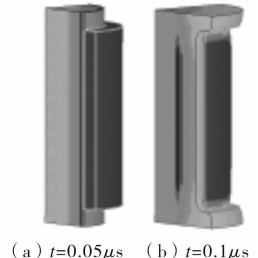


图 5 轴线起爆后爆轰波在不同时刻传播过程

### 3 破片初速理论计算结果与仿真结果对比分析

#### 3.1 破片初速

根据不同起爆方式下壳体不同部位的破片初速理论工程计算公式及仿真结果,同一部位不同起爆方式下的破片初速如表 1 所示,工程经验公式计算值与仿真值的对比曲线如图 6 所示。已知壳体材料为 45# 钢,密度  $\rho = 7.8\text{g}/\text{cm}^3$ ;弹性模量  $E = 210\text{GPa}$ ;泊松比  $\mu = 0.284$ 。屈服极限  $\gamma = 0.225\text{GPa}$ ;装药:TNT,装药长度 120mm,密度  $\rho = 1.59\text{g}/\text{cm}^3$ ,爆速  $D = 6640\text{m/s}$ ;弹体结构:外径 85mm,内径 65mm,长度 130mm。

表 1 不同起爆方式下破片初速对比

	中心单点起爆方式(m/s)		两端面中心点同时起爆方式(m/s)		轴线起爆方式(m/s)	
	理论计算	仿真计算	理论计算	仿真计算	理论计算	仿真计算
$a = 0$	1160.43	795.95	285.45	165.58		
$a = 0.25$	1090.82	864.61	615.01	704.75		
$a = 0.5$	928.32	896.55	794.87	869.96	1160.45	999.54
$a = 0.75$	742.65	840.54	972.42	710.17		
$a = 1$	290.12	138.42	1160.41	1046.35		

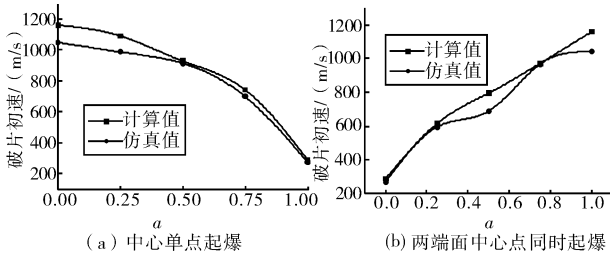


图 6 壳体不同位置在不同起爆方式下的破片初速变化曲线

#### 3.2 结果分析

从表 1 中可以看出,理论计算结果与仿真结果一致,中心单点起爆时破片平均速度大于两端面中心点同时起爆的破片初速,这是因为两端面中心点同时起爆后,爆轰波经过相互透射后,质点速度相互抵消,从而使作用到壳体上的冲击波压力降低;中心轴线起爆时,爆轰波同时到达壳体壁面,冲击波在传播过程中没有任何干涉,爆轰能量几乎全部作用于壳体破坏所需的能量,壳体各部位同时达到断裂极限,因此破片初速、方向相同,平均速度与其他起爆方式相比达到

最高。从仿真的爆轰波传播过程中也可以看出,中心单点起爆后,壳体各部分产生的破片速度方向沿与爆轰波与壳体接触点垂直的方向飞散,形成以起爆点为中心的扇面;而两端面中心点同时起爆后,由于两端爆轰波向中心传播,从而破片向中心汇聚飞散;轴线起爆方式产生的破片以整体相同的方向沿径向飞散。

从图 6 中可以看出,仿真值总体低于工程经验公式计算值,但其初速变化趋势相同,从图 6(b)可以看出,仿真值可以明显表现出不同方向的爆轰波经过碰撞后作用于壳体后,壳体不同部位的破片初速变化趋势。

### 4 结论

从仿真和工程计算的结果可以得出如下结论:

1)轴向采用不同起爆方式对破片初速影响很大,中心单点起爆后,破片初速沿壳体距起爆点的轴向距离而变化,离起爆点的轴向距离越大,速度越低。

2)两端面中心点起爆后,由于爆轰波的相互碰撞,在壳体壁面作用不等的超压,从而使产生的破片初速发生变化,整体平均速度小于中心单点起爆后产生的破片速度。

3)轴线起爆后,爆轰波以轴线为轴,整体向外同步移动,并同时到达壳体壁面,从而产生速度几乎一致的破片。此时,由于壳体整体瞬间同时受力,因而破片整体平均速度大于别的起爆方式产生的破片初速。

4)仿真方法可以真实再现爆轰波的传播过程,可以观测到不同时刻爆轰波与壳体的作用过程,对实验中难以观测的现象进行定性分析。

#### 参考文献:

[1] 仲凯,袁宝慧,许碧英,等.起爆方式对战斗部毁伤作用的影响[J].火工品,2008(1):8-11.  
 [2] 牟仁德,贺世美.内爆炸圆管破片初速研究[J].航空材料学报,2006,26(3):140-143.  
 [3] 屈明,钱立新,杨云斌.起爆方式对战斗部破片定向性能影响的数值模拟研究[J].含能材料,2005,13(3):137-140.  
 [4] 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.