

# 可变形定向破片战斗部模型试验和数值模拟研究\*

李翔宇, 卢芳云, 王志兵, 卢力, 田占东, 林玉亮

(国防科技大学理学院, 湖南长沙 410073)

**摘要** :基于可变形定向破片战斗部的作用原理,设计了试验结构模型,并对其进行了静爆试验研究。根据试验结果,建立了有限元分析模型,利用 LS-DYNA 程序对可变形定向战斗部变形过程以及破片的飞散过程进行了数值模拟。结果表明,在目标方向破片密度和速度都有较大幅度增益,数值模拟与试验结果比较吻合。

**关键词** :可变形战斗部,数值模拟,静爆试验,破片分布

中图分类号 :O347.3 文献标识码 :B

## A Study of Simulation and Experiment of Target-directed Deformable Warhead Model

LI Xiang-yu, LU Fang-yun, WANG Zhi-bing, LU Li, TIAN Zhan-dong, LIN Yu-liang

(College of Science, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract** :According to the theory of target-directed deformable warhead, a structural model was designed and an experiment of explosion was carried out. Based on the experiment results, the finite element analytic model was established. By utilizing the code LS-DYNA, the deforming process of the deformable warhead and the projectile process of its fragments were numerically simulated. The results of simulation and experiment show that the density and velocity of the fragments are greatly enhanced in the target direction and the simulation is consistent with experiment.

**Key words** :deformable warhead; numerical simulation; explosion experiments; fragments distribution

由于传统防空导弹攻击目标时,战斗部只有少量破片飞向目标毁伤区域,绝大部分成为无效破片,因此战斗部装药能量利用率较低。针对该问题,美国首先提出了定向战斗部概念,即把战斗部炸药能量集中在某一方向,提高炸药能量利用率。目前定向战斗部主要有三种:破片芯式定向战斗部、爆轰波定向战斗部、可变形定向战斗部<sup>[1]</sup>。可变形定向破片战斗部在目标方向破片密度和初速有较大幅度的提高,被认为是最有发展前途的定向战斗部。国内谭多望<sup>[2]</sup>、曾新吾<sup>[3,6]</sup>等,国外的一些学者<sup>[4,5]</sup>对可变形战斗部试验方面进行了一些相关的研究。

可变形定向战斗部的作用原理:在引信确定目标位置后,起爆网络首先控制选择引爆目标方向上的辅助装药,其它辅助装药在隔爆衰减设计下不被引爆。在辅助装药的爆轰加载下,弹体在目标方向上形成一个变形面,随后背离目标方向的传爆管引爆主装药。主装药爆轰后变形面上所形成的破片大部分飞向目标方向,从而达到对目标实施高效毁伤的目的。

## 1 战斗部静爆试验

### 1.1 战斗部变形试验

战斗部静爆试验目的是测定其主要威力参数,对于破片战斗部,即测定破片飞散角、破片初速及其分布、破片总数、破片质量和破片速度衰减系数等。试验系统主要由战斗部弹体、起爆系统、起爆延时控制系统、目标靶板设置和测试系统组成。

战斗部试验装置如图 1 所示,由预制破片、内外壳体、主装药、辅助装药、端盖等组成,弹体两端用端

\* 收稿日期:2005-07-01  
作者简介:李翔宇(1980—),男,博士生。

盖封装。

为了既能夹持破片,又不至于对破片产生过大的阻力,内外壳体的材料不能太脆,要求延展性较好而且有一定的强度。辅助装药应能为壳体尽快并且理想成形提供足够的能量,并尽可能少占体积,这样在有限的体积内提高主装药的装药量,尤其是在壳体变形过程中不能殉爆主装药,要与主装药匹配。主装药的可塑性要好,易变形,且驱动做功能力强;另一方面要求主装药比较钝感,不易殉爆。

主、辅起爆延时控制是通过电路来实现,其原理是利用电路脉冲信号实现计数,从而精确地实现了两次起爆的时间差。辅助装药起爆点设在顶部一点,以滑移爆轰的形式向下传爆。辅助装药起爆后,再经过给定的起爆延时,起爆主装药驱动壳体和预制破片。

破片飞散规律采用靶板记录,靶板均为3mm厚的钢板,只统计目标靶板的圆形穿孔数,而不统计由于内外壳体破裂所形成的不规则自然破片。靶板分布为目标方向5个,侧面和后面各1个。

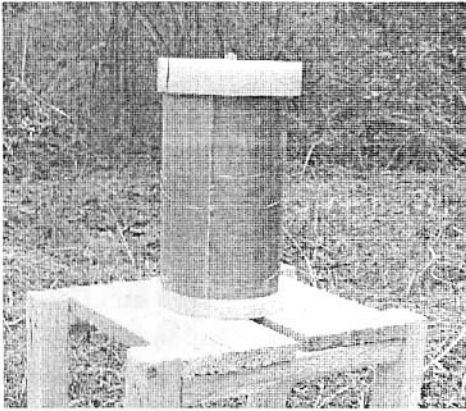


图1 战斗部试验装置图  
Fig.1 Geometry of the warhead

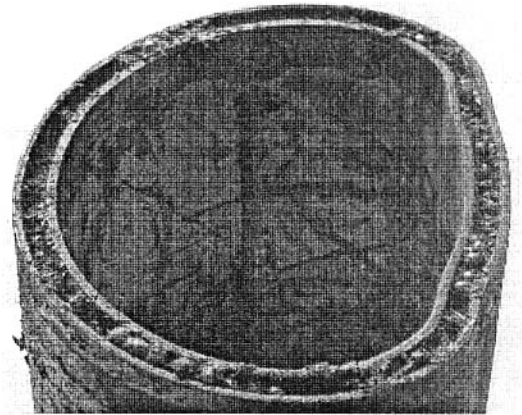


图2 弹体回收图  
Fig.2 The warhead after experiment

### 1.2 战斗部试验结果的统计与计算

基于上面的试验装置和起爆延时控制电路,对战斗部进行了静爆试验,得到了弹体变形图以及破片分布规律。图2是辅助装药宽度占中心角为90°时弹体回收图。从图中看到,战斗部弹体在目标方向上变为扁平,这样起爆主装药有更多破片飞向目标。

图3为目标方向的靶板毁伤图。从毁伤效果看,破片在定向方向密度增益比较明显,但破片密度不是均匀分布。图4是根据试验结果统计出在目标靶板上破片分布直方图,横坐标表示战斗部破片飞散方位角,纵坐标表示在方位角内破片分布数量。从图中看到,破片密度在40°范围内相对于侧面和背面破片密度有较大增益。统计结果表明破片在40°范围内相对于中心起爆周向均匀飞散战斗部密度增益78%。由于在40°~60°,破片密度增益不明显,统计得到在60°范围内破片平均密度增益48%。

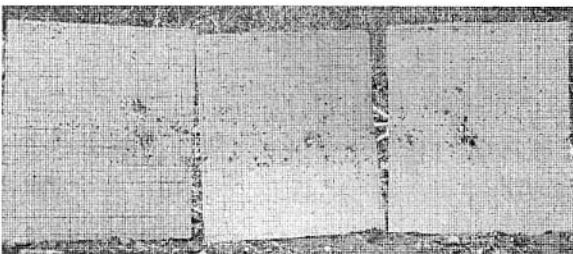


图3 目标靶板的毁伤图  
Fig.3 The view of damage on direct targets

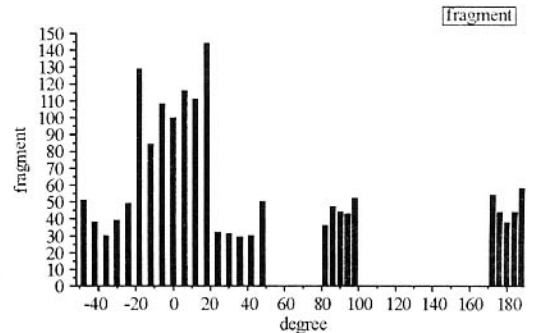


图4 试验统计破片分布直方图  
Fig.4 The fragment distribution in experiment

## 2 战斗部作用过程数值模拟

### 2.1 战斗部变形过程的数值模拟

采用有限元程序 LS-DYNA 对战斗部的作用过程进行了数值模拟。LS-DYNA 程序采用有限元网格对连续体结构进行空间离散化,采用中心差分法进行显式时间积分,并使用单点高斯积分,引入沙漏粘性控制零能模态,有效地控制解的稳定性。本文采用多物质流固耦合算法,该算法的主要优点是炸药和流体材料在 Euler 单元中流动,不存在单元畸变问题,并且通过流固耦合方式来处理相互作用,能方便地描述爆炸过程。根据试验战斗部弹体结构尺寸,建立相应的数值计算模型。在建立模型时,由于定向战斗部存在轴截面的几何对称性,并且这种对称性不会因战斗部在爆炸、膨胀过程中发生变化,因而实际计算只需要选择整个计算对象的二分之一,通过弹轴的纵截面上的节点及截面临近单元满足对称性边界条件。

辅助装药为战斗部端部一点起爆,以滑移爆轰方式向下传爆,辅助装药爆轰产物对战斗部壳体做功,致使战斗部壳体发生变形。图 5 给出辅助装药对应中心角度为  $90^\circ$  不同时刻的壳体变形情况,从图中看出,随着变形时刻增加,壳体压缩主装药程度也越大。对于内壳体,为了要适应压缩后更小的空间,因而内壳体发生了折曲,图 2 试验回收弹体的照片与数值模拟结果比较吻合。



图 5 战斗部不同时刻的状态

Fig.5 States of the warhead at different time

### 2.2 战斗部定向破片的飞散过程的数值模拟

选取战斗部变形到某一时刻作为战斗部破片定向飞散初始时刻 ( $250\mu\text{s}$ ),建立破片飞散模型。有限元模型如图 6 所示,其中图(a)为主装药、环氧树脂以及空气,采用 Euler 网格, (b)为战斗部壳体、破片,采用 Lagrange 网格。起爆点为主装药左侧母线上顶部一点偏心起爆。

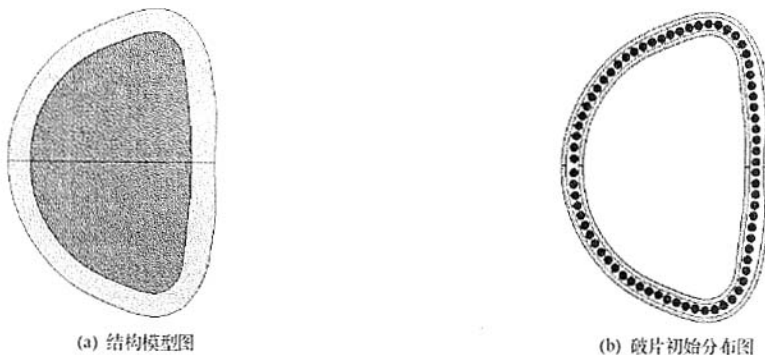


图 6 可变形定向战斗部计算模型图

Fig.6 The stimulation model of deformable warhead

数值模拟结果如图 7、图 8 所示。图 7 为战斗部在  $300\mu\text{s}$  时破片分布图,即每个破片在空间所处位置,从图中明显看出,相对于侧面和背面破片密度在目标方向上有较大增益,通过与模拟同结构尺寸全

向战斗部破片速度及其密度分布比较,得知可变形定向破片战斗部在定向方向破片密度有较大幅度提高,破片速度也有相应的增益。速度增益原因是在起爆主装药的时候,目标方向的破片相对于起爆点偏心距越大,则炸药爆轰产物对破片做功更多,破片速度越大。图8为数值模拟统计破片在给定方位角内的分布结果,横坐标代表战斗部破片飞散方位角,纵坐标对应于在相应的方位角内破片数量。从统计结果来看,破片在 $40^\circ$ 范围内密度增益85%,略高于试验统计密度增益,原因为试验中有些破片没落在目标靶板上,而数值模拟计算统计破片时认为破片完全落入给定方位角内的靶板上。数值模拟结果(图8)与试验统计结果(图4)比较吻合,说明数值模拟方法能够有效地模拟战斗部作用过程,结果是可信的。

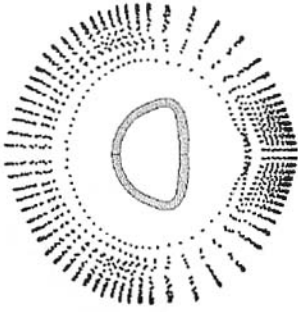


图7 战斗部破片量分布图

Fig.7 Distribution of fragment

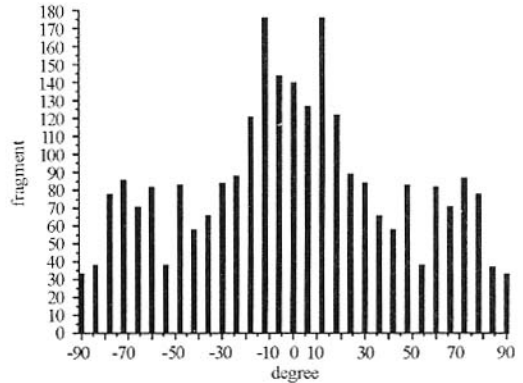


图8 数值模拟的破片分布图

Fig.8 Distribution of fragment in numerical simulation

### 3 结论

针对本文设计的可变形定向破片战斗部模型进行了静爆试验,并对战斗部的作用过程进行了数值模拟,通过试验与数值结果比较,得到以下结论:

(1) 试验结果表明可变形定向破片战斗部在目标方向上破片密度有较大幅度的增大,炸药能量得到充分的利用,极大提高了战斗部对目标的毁伤能力。

(2) 采用的数值模拟算法能够较好地模拟可变形定向破片战斗部的变形过程以及破片飞散过程,其结果均与试验符合较好,说明数值模拟结果是可信的。

### 参考文献:

- [1] Lloyd R M. Conventional Warhead Systems Physics and Engineering Design[M]. AIAA, Inc. 1998.
- [2] 谭多望,张震宇,王志兵,等. 爆炸变形战斗部模型试验研究[J]. 爆炸与冲击, 2002, 22(2): 246-251.
- [3] 曾新吾,王志兵,张震宇,等. 爆炸变形战斗部初探[J]. 兵工学报, 2004, 25(3): 285-288.
- [4] Racah E, Binenboim E, Peleg G. 3D Simulations of Aimable Fragmentation Warhead[A]. Proc. of the 15<sup>th</sup> International Symposium on Ballistics, Jerusalem, Israel, 1995.
- [5] König P J, Mostert F J. The Results of a Deformable Warhead Technology Exercise[A]. Proc. of the 20<sup>th</sup> International Symposium on Ballistics, Orlando, 23-27 2002.
- [6] 曾新吾,张震宇,王志兵,等. 可变形装药对外部辅助装药爆轰响应的研究[J]. 爆炸与冲击, 1999, 19增刊: 391-394.



