

文章编号: 1001-1455(2005)06-0536-05

# 破片聚焦战斗部的动态杀伤威力设计\*

刘 彤<sup>1,2</sup>, 钱立新<sup>2</sup>, 余春祥<sup>2</sup>, 胡艳辉<sup>2</sup>

(1. 南京理工大学机械工程学院, 江苏 南京 210094;

2. 中国工程物理研究院结构力学研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要:** 破片聚焦战斗部威力设计通常针对静爆条件,但在实战条件下,由于弹目相对速度和战斗部沿轴线方向破片初速梯度的影响,破片动态飞散角将重新合成,导致聚焦破片散开,破片在靶面的分布密度大为降低(可降低到静态条件的1/2)。采用射击迹线法对破片聚焦战斗部在静爆和动态条件下的破片飞散过程和破片在靶面的分布密度进行了仿真研究,提出了破片聚焦战斗部的动态杀伤威力设计概念,以破片平行聚焦战斗部为例给出了动态杀伤威力的实现方法。

**关键词:** 爆炸力学; 动态杀伤威力; 仿真; 破片聚焦战斗部; 实战

**中图分类号:** O389; TJ413

**国标学科代码:** 130·3599

**文献标志码:** A

## 1 引言

战斗部技术的发展在一定程度上受到武器系统制导精度、引信性能以及交战模式的制约。从理论上讲,大的飞散角设计可提高防空战斗部的引战配合度,但飞散角增大势必降低命中目标的破片密度,进而降低对目标的毁伤概率,即引战配合效率仍不能保证。多年来,国内外在防空战斗部研究领域关于新理论新方法的探索从未中断,且主要集中在对定向技术(如定向、可瞄准、可变形及聚能装药等)和破片集束(fragment clustering)技术的研究。60年代初至70年代中期出现的第二代地空导弹在杀伤技术方面发展了破片聚焦战斗部<sup>[1]</sup>,M. Held<sup>[2~3]</sup>提出的破片平行飞散战斗部(parallel fragment path)即破片飞散方向角为90°的破片聚焦战斗部。破片聚焦战斗部可将杀伤破片集中在一个狭窄的散布区域内,提高命中目标的破片密度,从而提高对目标的毁伤概率;但是,由于破片分布区域过于狭窄,给引信适时起爆(right fuzing)战斗部带来困难。为解决破片打击密度和引战配合问题,文献[4]提出了双束破片聚焦战斗部(double-beam focused fragmentation warhead)的设计概念,并系统论述了多束破片集束模式在提高武器系统的引战配合效率方面所具有的突出优势。进一步研究发现,由于破片集束(fragment clustering)或破片聚焦(fragment focusing)设计一般只针对静态地面爆轰条件,在实战状态下,由于弹目相对速度和战斗部沿轴线方向破片初始速度梯度的影响,破片动态飞散角将重新合成,破片在目标上的聚焦性能受到严重影响(特别是拦截点的弹目相对速度很大时)。

在本文中,分析了这种影响,并提出了破片聚焦战斗部动态威力设计的概念。

## 2 破片战斗部静态与动态聚焦特性

对广义的柱壳装药破片战斗部(如可控和预制破片),由于柱壳装药的长径比在1.5左右(一般不超过1.5),爆轰加载的端部边界效应(壳体破裂、产物泄漏、冲击波稀疏)造成破片速度沿轴向分布的不均匀性,通常表现为中部破片速度高,两端破片速度低,速度差在30%左右。图1即单端一点起爆条件下不同长径比的战斗部破片速度和飞散角的试验测试分布曲线<sup>[5]</sup>。在战斗部静态爆轰威力试验中,飞散角对应着靶破片的区域分布特征,破片速度梯度体现在破片的终点效应(如穿靶率)。因此静爆条件下的破片聚焦性能与沿弹轴的破片速度梯度无关。

\* 收稿日期: 2004-08-30; 修回日期: 2005-10-26

作者简介: 刘 彤(1964—),男,博士研究生,研究员。

破片集束/聚焦设计通常通过控制战斗部的起爆方式(如网络起爆)、调整战斗部装药型面等方法来实现。破片飞散角的可调整性主要基于爆轰加载对破片驱动的整体可控性和局域随机性。

采用基于射击迹线法编制的 SHOTLINE<sup>[6~7]</sup> 软件对破片平行聚焦战斗部进行静态爆轰威力试验仿真。图 2 为 0.2 ms 时的破片场仿真图像,图 3 为战斗部对距爆心 10 m 的厚 5 mm 高强度均质钢甲的穿靶试验仿真图像。

在实战条件下,特别是在弹目高速交汇条件下,破片沿轴向存在的速度梯度将引起破片分布的变化,直接影响到中靶破片密度。

此外,影响战斗部防空作战效果的主要因素还有拦截模式(尾追或迎攻)、脱靶量(miss distance)、交汇姿态等参数。为方便讨论,这里假定拦截模式为逆弹道交汇(平行弹道),交汇速度为 1 km/s,交汇角为零度,并假定脱靶量为 10 m。图 4 为战斗部在实战条件下对虚拟目标(靶板)的穿靶试验仿真图像,图 5 为静爆和实战两种条件下的着靶破片密度曲线。由

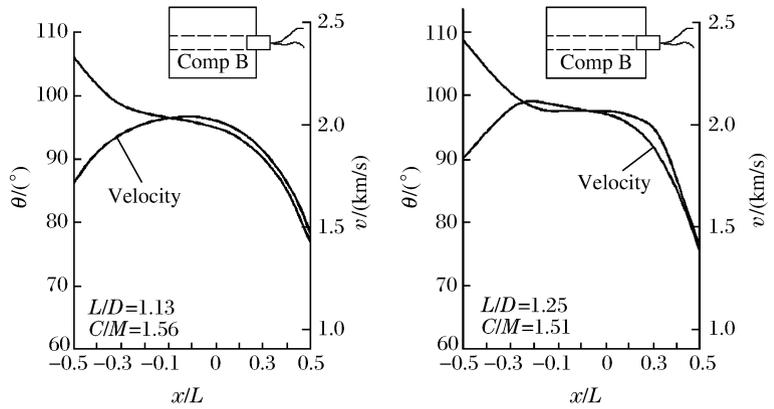


图 1 战斗部一端单点起爆试验数据<sup>[5]</sup>  
Fig. 1 Test data of one-end single-point initiation warhead<sup>[5]</sup>

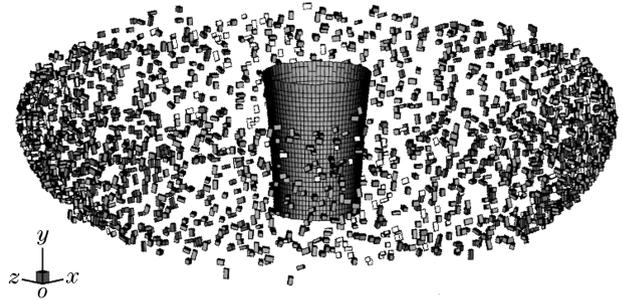


图 2 破片平行聚焦战斗部静爆破片场仿真图像  
Fig. 2 Simulation of fragments field of static explosion for a parallel-focused fragment action warhead

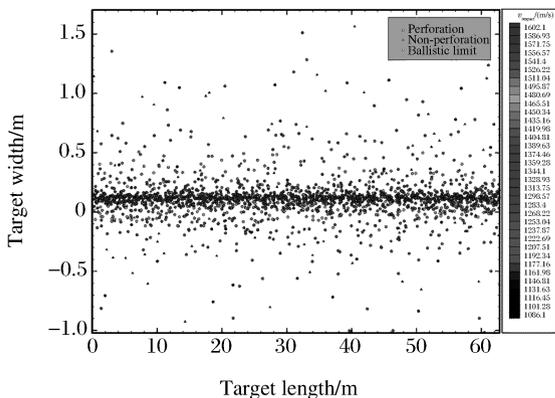


图 3 破片平行聚焦战斗部静爆穿靶试验靶板仿真图像

Fig. 3 Simulation of fragment distribution on an annular target in static explosion for a parallel-focused fragmentation warhead (total number of fragment: 2 000; fragment mass: 3 g)

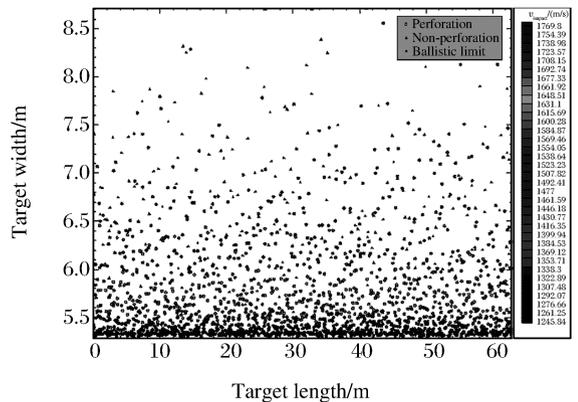


图 4 破片平行聚焦战斗部在实战条件下穿靶试验靶板仿真图像

Fig. 4 Simulation of fragment distribution on an annular target in dynamic explosion for the parallel-focusing fragmentation warhead (the missile velocity is 1 km/s,)

图4可以看出,实战条件下破片分布形式与静态不同,聚焦带在一定程度上散开,而且高速破片和低速破片出现两极化,破片着靶区域跨度加大。由图5可知,实战条件下的最大破片着靶密度下降到静态的1/2。显然,随弹目相对速度的提高,破片聚焦带密度将进一步降低,甚至没有明显的破片聚焦带存在。

### 3 破片聚焦战斗部的动态杀伤威力设计

对破片聚焦战斗部来说,上述问题存在的根本原因在于战斗部破片沿轴向的速度梯度,显然,实战过程中的弹目交汇速度、拦截姿态、作战模式等条件的改变都可能影响到破片的聚焦性能。对双束破片聚焦或多束破片聚焦战斗部来说,也存在相同的问题,即破片聚焦带散开,或聚焦特征消失。为解决该问题,提出动态破片聚焦战斗部的设计概念。

相对于通常概念的基于静爆条件的破片聚焦战斗部而言,破片聚焦战斗部的动态杀伤威力设计应针对实战条件,即根据最可几拦截模式、弹目交汇速度和引信启动规律设计战斗部的破片聚焦性能,从而保证武器系统的引战配合效率,最大程度地发挥武器效能。例如,对前述战斗部模型,设计中考虑实现动态条件下的破片聚焦,且仍假定弹目逆弹道交汇,相对速度为1 km/s,脱靶量为10 m,破片动态聚焦方向角为125°(相对目标坐标系,聚焦方向前倾35°)。设计方法是,首先将破片动态聚焦方向角转化为战斗部各破片环(Slice)所需的静态飞散角,然后,根据战斗部破片环飞散角的递变关系调整战斗部装药型面,经多次迭代便可以得到满足要求的设计方案。图6为该战斗部在实战条件下对虚拟目标(靶板)的穿靶试验仿真图像。

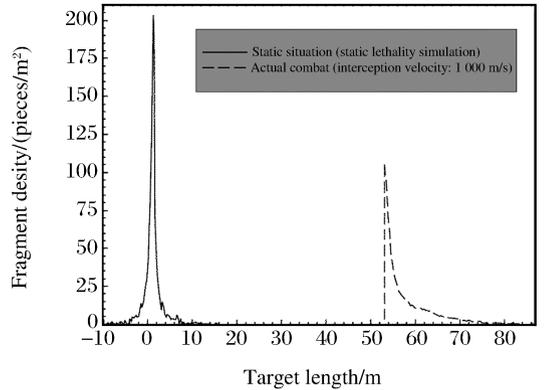


图5 破片平行聚焦战斗部在静爆与实战两种条件下靶上破片密度分布曲线

Fig.4 Curve of fragment density distribution hitting on the target under the condition of both static explosion and dynamic explosion for a parallel-focusing fragmentation warhead

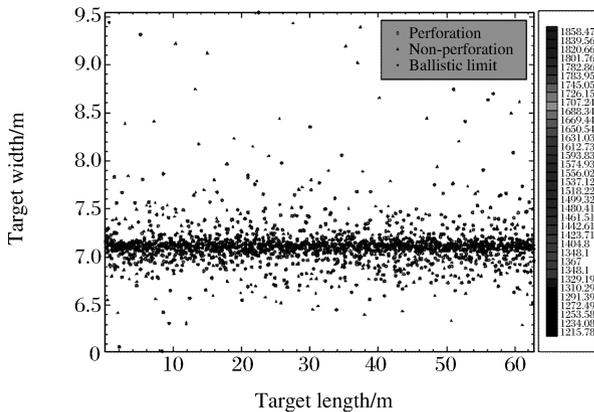


图6 破片聚焦战斗部在动态起爆条件下的破片分布图像

Fig.6 Simulation of fragment distribution on an annular target in dynamic explosion for the focused fragmentation warhead (missile velocity is 1 km/s)

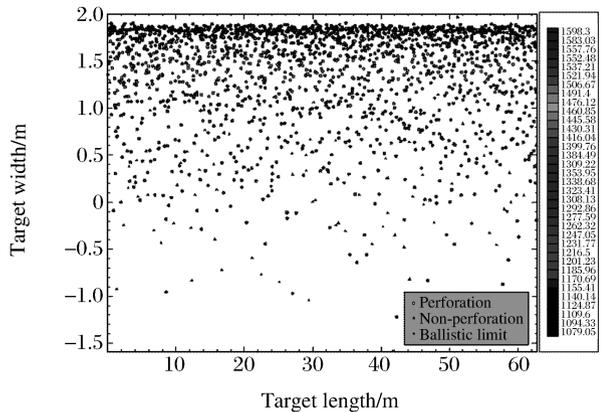


图7 破片聚焦战斗部静爆穿靶试验靶板仿真图像

Fig.7 Simulation of fragment distribution on an annular target in static explosion for a focused fragmentation warhead

同样,对破片聚焦战斗部来说,引战配合条件的改变特别是弹目相对速度的变化将影响其破片的动态聚焦性能。图7即按动态聚焦条件设计的破片聚焦战斗部在静爆条件下对距爆心10 m的厚5 mm钢甲的穿靶试验仿真图像(分布形式与图4类似,但破片分布方向相反)。图8为按动态聚焦条件设计的破片聚焦战斗部在实战和静爆两种条件下的着靶破片密度曲线,静爆条件下靶上最大破片密度下降到动态条件的1/3。

在战斗部研制中,一般采用静态爆轰威力试验进行战技指标检验,除非采用高速火箭撬试验,否则难以检验动态杀伤威力效果。因此,应将模拟实战条件设计的动态杀伤威力指标转化为可检验的静态杀伤威力指标。为此,可参考文献[6~7]提出的方法,对破片聚焦特性进行动静转化,明确静态爆轰条件下的破片带宽度、破片带内的破片平均分布密度、最大破片密度及破片带分布方向等要求,以此作为战斗部的静态爆轰威力检验指标。

## 4 结 论

破片聚焦战斗部在实战中可能丧失破片聚焦特性,该问题主要起因于两个方面,一是战斗部自身存在的沿轴向的破片速度梯度,二是作战环境中的弹目相对速度。通过对典型的拦截环境、弹目交会姿态与相对速度条件下破片飞散特性参数的设计,可以实现破片聚焦战斗部的动态威力设计。

## 参考文献:

- [1] 刘发来. 地空导弹的发展及其作战使用[J]. 中国航天, 1998, (5): 37—40.  
LIU Fa-lai. The development and employment for air defence missiles[J]. Aerospace China, 1998, (5): 37—40.
- [2] Held M. Fragmentation warhead[A]. Goseph Carleone, ed. Tactical Missile Warhead[C]. Washington DC: AIAA, 1993: 444—446.
- [3] Held M. Aimable fragmenting warhead[A]. Proceedings of 13th International Symposium on Ballistics[C]. Stockholm, Sweden: National Defence Research Establishment, 1992: 539—548.
- [4] LIU Tong, QIAN Li-xin, ZHANG Shou-qi. Study on fragment focusing mode of Air-defence missile warhead[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 1998, 23(5): 240—243.
- [5] Waggener S. The performance of axially initiated cylindrical warheads[A]. Proceedings of 4th international symposium on ballistics[C]. Calif Monterey: National Defence Research Establishment, 1978: 283—301.
- [6] QIAN Li-xin, LIU Tong, ZHANG Shou-qi, et al. Fragment shot-line model for air-defence warhead[J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics, 2000, 25(2): 92—98.
- [7] 钱立新. 破片式战斗部威力评定软件[R]. 绵阳: 中国工程物理研究院结构力学研究所, 2001.

## A conception of the dynamic lethality for focused fragmentation warhead

LIU Tong<sup>1,2</sup>, QIAN Li-xin<sup>2</sup>, YU Chun-xiang<sup>2</sup>, HU Yan-hui<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, Jiangsu, China;

2. Institute of Structural Mechanics, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China)

**Abstract:** The design of focused fragmentation warhead is generally based on the detonation test in the static situation. In actual combat, because of the warhead velocity relative to the target and the fragments initial velocity gradient in existence along the warhead axial, the fragment dynamic ejection angle will be recomposed, the fragment clustering may disperse, and the fragment density on the target

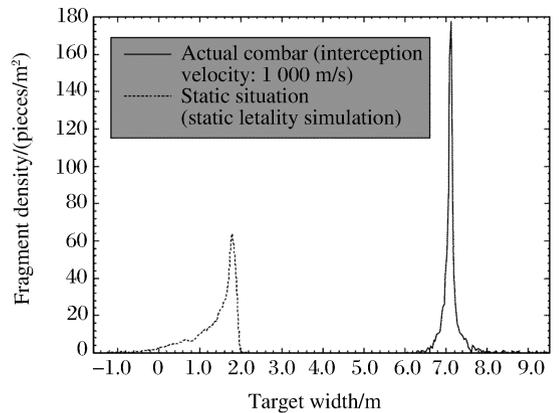


图8 破片聚焦战斗部在静爆与实战两种条件下靶上破片密度分布曲线

Fig. 8 Curve of fragment density distribution hitting on the target under the condition of both static explosion and dynamic explosion for dynamic-focusing fragmentation warhead

will decrease greatly. The simulation of the fragment ejection process and the fragment hitting density on the target under the situation of static detonation and actual combat shows that, the dynamic lethality for focused fragmentation warhead can be achieved at typical interception condition. As a result, a concept of the dynamic lethality for focused fragmentation warhead is developed. The method fulfilling the design of the fragment dynamic focusing for a parallel-focusing fragmentation warhead is given.

**Key words:** mechanics of explosion; dynamic lethality; simulation; focused fragmentation warhead; actual combat

\* Corresponding author: LIU Tong

E-mail address: liutong-6686@163.com

Telephone: 0816-2490224

### 电光 Q 开关驱动电源介绍

可提供高电压、快前沿、顶部平坦、波形光滑无振荡的脉冲,用以驱动快速开关器件。已研制多种类型、应用在不同场合中。

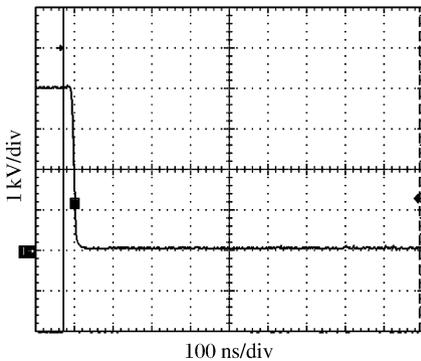
高重复频率长寿命电光 Q 开关驱动电源:脉冲电压  $1\sim 8$  kV、前沿小于  $25$  ns、平顶下垂好于  $0.5\%$  ( $1\ \mu\text{s}$  内)、工作频率  $1\sim 1\ 000$  Hz,预期使用寿命  $2\times 10^9$  次。采用反偏置和垫压等措施,使开启和关断完全彻底、稳定可靠。

已成功应用于《二极管泵浦固体激光器信标光源》研究课题,获得圆满结果。该项技术难度大,具有国内领先水平,1997 年《高重复频率长寿命电光 Q 开关驱动电源》获国防科工委科技进步三等奖。

DGQ-2J 型电光开关电源:通过控制高速光学开关而对连续激光器输出的激光进行脉冲调制,其目的控制较强的激光辐射靶表面的时间,以避免靶材料被烧蚀,同时提高光探测器(光电倍增管)输出脉冲信号幅度、动态范围和信号质量(信噪比)。应用时间严格受控的高压脉冲电源来开启和关闭电光开关。控制方式有两种:退压方式和升压方式,二者均利用 KDP 晶体电光效应。前者预先加高压,使开关闭合,挡住入射的激光;当加触发控制电压时,开关上的高压瞬时去掉,开关开启使激光通过,从而将连续激光调制成预先设定宽度的脉冲形式;后者为瞬时升压脉冲开启电光开关。输出脉冲  $1\sim 8$  kV,脉宽  $5.0\sim 999.9\ \mu\text{s}$ ,前沿小于  $20$  ns,顶部下垂小于  $0.1\%$  ( $1\ \mu\text{s}$  内),延时电路  $0.1\sim 99.9\ \mu\text{s}$ ,可单次或连续工作。

该项目已配合 Visar 测速系统在国家重要实验中获得成功,并在国内一些重要科研单位得到推广应用。

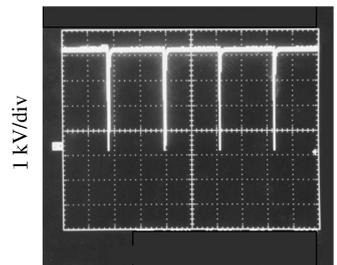
《DGQ-2J 型电光开关电源》获 2005 年军队科技进步奖三等奖。



电光 Q 开关脉冲波形



DGQ-1 型电光 Q 开关电源



高重复频率电光开关电源连续工作脉冲串