

文章编号: 1001-1455(2003)06-0561-04

# 带尾翼翻转型爆炸成形弹丸试验研究\*

于 川,董庆东,孙承纬,仝延锦,晏成立,李发伯,桂毓林,谢盘海,李 斌,杨晋晏  
(中国工程物理研究院流体物理研究所冲击波物理与爆轰物理实验室,四川 绵阳 621900)

摘要: 采用多点起爆方式,设计了带尾翼翻转型爆炸成形弹丸(EFP)试验装置。用 X 光和 SVR 数字相机拍摄了 EFP 的外形和速度;用多层纸靶测试了 EFP 在不同飞行距离时的飞行姿态;进行了 EFP 穿靶能力的检验;并利用泡沫和锯末进行了 EFP 的软回收。由试验结果知,EFP 速度为 1.56~1.72km/s,长径比最大达到了 3.69,由药型罩转变为 EFP 的质量转换率达到了 98%,EFP 具有较好的尾翼结构和气动稳定外形。该 EFP 能穿透厚度为 50mm 的厚钢靶或厚度为 6mm、间距各为 1m 的 5 层薄钢靶。

关键词: 爆炸力学;EFP;试验研究;尾翼;多点起爆;质量转换率

中图分类号: O385 国标学科代码: 130°3530 文献标志码: A

## 1 引 言

爆炸成形弹丸(Explosively Formed Projectile,简称 EFP),一般可分为压拢型和翻转型两种形式。压拢型 EFP 的密实性较好,动能较高,但外弹道性能较差,一般适合于装备半穿甲战斗部或普通的反坦克底装甲地雷等武器,用于较近距离内攻击目标。合理设计的翻转型 EFP 将具有良好的气动稳定外形和外弹道性能,可适合于攻击较远距离的目标。

目前,高精度、高效率、智能化是高新技术常规兵器发展的重要趋势。如智能化的反坦克地雷,可在上百米的距离以外自动跟踪目标,发射 EFP 摧毁目标。在未来的高新技术常规战争中,武装直升飞机将被大量地投入战场,反低空武装直升飞机的聚能装药武器也将成为高新技术常规兵器的重要发展方向。

应用于智能化反坦克地雷和反低空武装直升飞机聚能装药的 EFP,由于作用距离较远,将要求 EFP 具有良好的气动稳定外形和外弹道性能,避免在飞行过程中发生断裂、翻滚,以免造成阻力过大、严重失速和偏离弹道,并且满足毁伤目标的要求。

为此,近年来在许多国家,相继开展了高长径比(2~5)、带尾翼或带尾裙的翻转型 EFP 的设计和试验研究,其飞行、作用距离可超过 100m 以上。对这种 EFP 的成形机理、运动规律和毁伤性能已有了大量的数值模拟和试验研究,这已成了国外 EFP 研究的热点之一<sup>[1~9]</sup>。

## 2 EFP 试验装置设计

带尾翼 EFP,一般是通过多点起爆方式或采用特殊结构形式的药型罩设计而达到。本文中采用多点起爆方式设计带尾翼 EFP。通过炸药的多点起爆,在炸药装药中形成与多个起爆点相应的位置相对超前、其余部分相对滞后的三维爆轰波,使药型罩在该相应位置提前翻转而形成 EFP 的尾翼。

设计的带尾翼 EFP 试验装置,外形尺寸为  $\varnothing 100\text{mm} \times 110\text{mm}$ ,如图 1 所示。其药型罩按曲面变厚度设计,口径为  $\varnothing 88\text{mm}$ ,材料为纯铜,多点起爆器尺寸为  $\varnothing 91\text{mm} \times 16\text{mm}$ 。主装药采用 T/R(40/60)炸药,装药高度为 50mm。

\* 收稿日期: 2002-12-18; 修回日期: 2003-08-04

基金项目: 冲击波物理与爆轰物理国防科技重点实验室基金项目(99JS75.1.3.ZS7502)

作者简介: 于 川(1961—),男,研究员,博士研究生。



图 1 带尾翼 EFP 试验装置照片

Fig.1 A photograph of the experimental set-up of EFP with star shaped tail

### 3 EFP 飞行性能测试

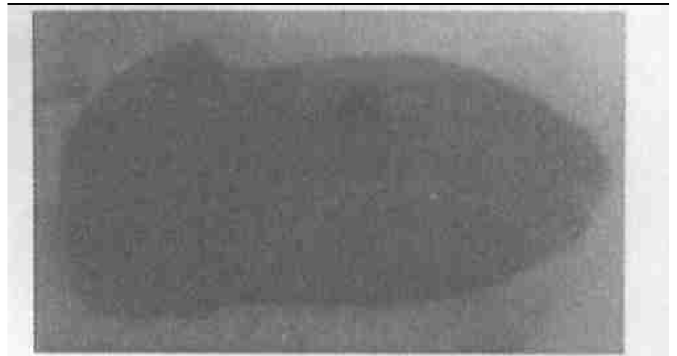


图 2 EFP 的 X 光照片

Fig.2 The X ray photograph of EFP

分别用闪光 X 光和 SVR 电子数字相机测试 EFP 的外形和速度;用多层纸靶测试 EFP 在不同飞行距离时的飞行姿态。

图 2 为采用闪光 X 光测试得到的 EFP 的外形照片。该 EFP 的试验装置采用 5 点起爆,由 X 光测试得到其飞行速度为  $1.72\text{km/s}$ ,长径比为 2.42,头部呈尖形,具有较好的气动稳定外形。

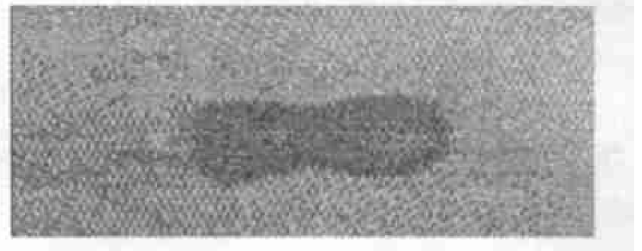
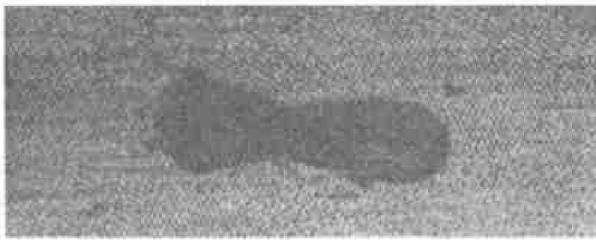


图 3 EFP 的 SVR 相机测试照片

Fig.3 The photographs of EFP obtained by the SVR camera

用 SVR 数字相机测试得到由 3 点起爆形成的 2 枚 EFP 的外形照片分别如图 3 所示。其飞行速度分别为  $1.56$  和  $1.67\text{km/s}$ ,长径比分别为 3.69 和 3.17。

在进行 SVR 数字相机测试 EFP 外形、速度的同时,在试验装置的前方放置多层纸靶,以测试 EFP 在不同飞行距离时的飞行姿态。

图 4 为 1 发 EFP 在纸靶上的穿孔照片。由图 4 可见,EFP 在纸靶上留下了 3 个尾翼形成的明显痕迹。

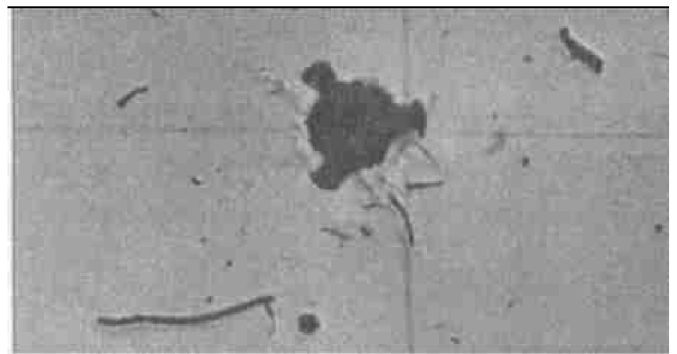


图 4 EFP 在纸靶上的穿孔照片

Fig.4 A photograph of paper target penetrated by a EFP

### 4 EFP 软回收

利用泡沫和锯末进行了 EFP 的软回收,回收试验与 EFP 飞行性能测试试验同时进行。其中,泡沫密度为  $0.013\text{g/cm}^3$ ;锯末密度为  $0.215\text{g/cm}^3$ 。

在装满锯末的回收箱内 5m 处的锯末中回收到一枚完整的 EFP。该 EFP 长 78mm,最大直径为 28mm,长径比为 2.79。由药型罩转变为 EFP 的质量转换率为 98%。该 EFP 在进入锯末回收箱前,经过了在空气中 9m 距离的自由飞行和泡沫中 10m 距离的减速运动,在回收箱内回收到的这枚 EFP 损伤较轻。EFP 呈明显的流线形状,在距后端 25mm 处,形成了 3 个对称的尾翼。EFP 照片如图 5 所示。

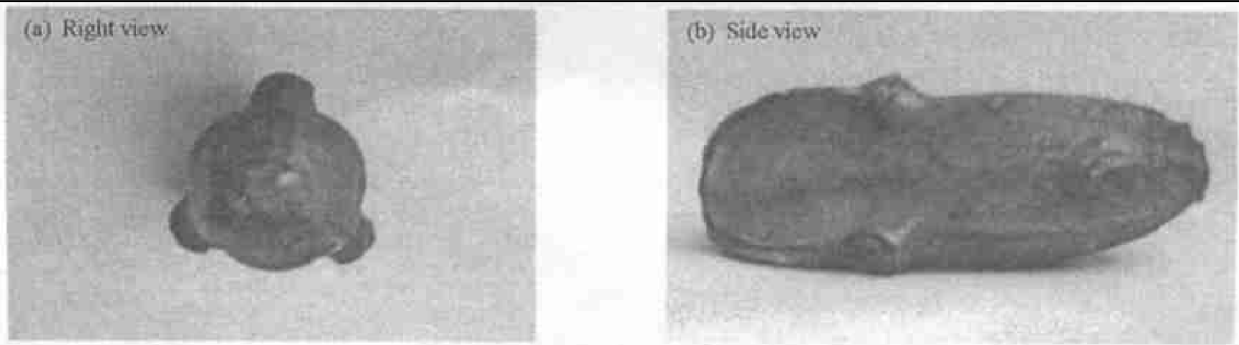


图 5 EFP 回收照片

Fig.5 The photographs of a recovered EFP

## 5 EFP 穿钢靶性能检验

在进行 EFP 飞行性能测试的同时,在 EFP 飞行前方放置钢靶,以检验 EFP 的穿靶能力。

图 2 所示的试验,在试验装置前方 8m 处放置了钢靶。其 EFP 穿透了厚 50mm 的 Q235-A 钢靶,穿孔尺寸为  $\varnothing 90\text{mm}$ 。如图 6 所示。

另进行了 EFP 穿多层薄钢靶的检验试验。试验装置距第 1 块钢靶的距离为 4m,多层钢靶材料为 Q235-A。EFP 穿透了平均厚度为 6.0mm、间距为 1m 的 Q235-A 钢靶 5 层。在钢靶上形成的穿孔尺寸为  $\varnothing 35 \sim 70\text{mm}$ 。如图 7 所示。



图 6 EFP 穿透 50mm 厚 Q235-A 钢靶照片

Fig.6 A thick steel target of 50mm penetrated by a EFP

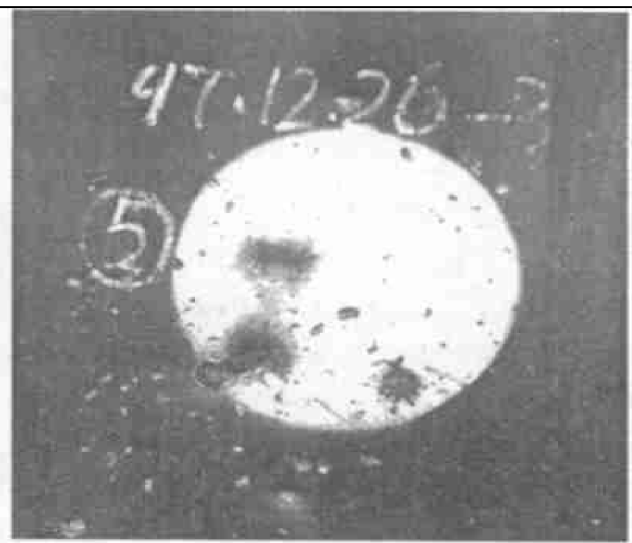


图 7 EFP 在第 5 层靶上的穿孔照片

Fig.7 The 5th thin steel target penetrated by a EFP

## 6 分 析

由试验结果可见,采用多点起爆方式设计的 EFP 试验装置,形成的带尾翼翻转型 EFP 的长径比最大达到了 3.69,由药型罩转变为 EFP 的质量转换率达到了 98%,具有良好的尾翼结构和气动稳定外形。该 EFP 能穿透 50mm 厚的钢靶或 6mm 厚、间距各为 1m 的 5 层薄钢靶,具有较好的穿甲能力。

采用多点起爆方式,是设计带尾翼翻转型 EFP 的较简易有效的方法。在该方法中,多点起爆器的结构、药型罩结构和装药高度是 EFP 设计的关键因素。设计时须兼顾考虑起爆点位置、装药高度和药型罩结构等多方面的配合关系,使在炸药中形成的三维爆轰波能够有效地驱动药型罩进行非同步翻转与收缩,以形成具有较高长径比和气动稳定外形的带尾翼翻转型 EFP。

## 参考文献:

- [ 1 ] Weimann K, Doeringsfeld K, Speck J, et al. Modeling, testing, and analysis of EFP performance as a function of confinement [ A ] . 12th International Symposium on Ballistics [ C ] . San Antonio, 1990:228—237.
- [ 2 ] Weimann K. Flight stability of EFP with star shaped tail [ A ] . 14th International Symposium on Ballistics [ C ] . Quebec, Canada, 1993:755—763.
- [ 3 ] Weimann K. Performance of tantalum, copper, and iron EFPs against steel targets [ A ] . 15th International Symposium on Ballistics [ C ] . Israel, 1995:399—404.
- [ 4 ] Bouet T H, Tarayre P, Guillon J P. Study of a multi-point ignition EFP [ A ] . 15th International Symposium on Ballistics [ C ] . Israel, 1995:159—166.
- [ 5 ] Murphy M, Weimann K, Doeringsfeld K, et al. The effect of explosive detonation wave shaping on EFP shape and performance [ A ] . 13th International Symposium on Ballistic [ C ] . Stockholm, 1992:29—36.
- [ 6 ] Blache A, Weimann K. Generation of different detonation wave contours [ A ] . 16th International Symposium on Ballistics [ C ] . San Francisco, USA, 1996:337—346.
- [ 7 ] Tosello R. Twin EFPs for underwater applications [ A ] . 16th International Symposium on Ballistics [ C ] . San Francisco, USA, 1996:122—129.
- [ 8 ] Jach K, Mroczkowski M, Sarzynski A, et al. 3D free particle computer modeling of explosive formation of projectiles [ A ] . 16th International Symposium on Ballistics [ C ] . San Francisco, USA, 1996:547—554.
- [ 9 ] Weickert C A, Gallagher P J. Ogive-nosed, finned, explosively formed projectiles [ A ] . 16th International Symposium on Ballistics [ C ] . San Francisco, USA, 1996:603—604.

## The experimental studies of explosively formed projectile with star shaped tail

YU Chuan<sup>\*</sup>, DONG Qin-dong, SUN Cheng-wei, TONG Yan-jin, YAN Cheng-li,  
LI Fa-bo, GUI Yu-lin, XIE Pan-hai, LI Bin, YANG Jin-yan  
(*Laboratory for Shock Wave and Detonation Research, Institute of Fluid Physics,  
China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, Sichuan, China*)

**Abstract:** The test set of the Explosively Formed Projectile (EFP) with star shaped tail was designed with a multi-point initiation. The shape and velocities of the EFPs were measured by the flash X-ray photograph or a SVR digital camera. The flying posture at different points in the penetration experiment were determined with the multi-layer paper target. The EFPs were recovered by foam and sawdust, and their penetration capacity was tested too. The measured velocity of the EFP is 1.56 ~ 1.72 km/s. The maximum length/radius ratio is 3.69. And the mass conversion ratio from the liner into EFP is up to 98%. The EFP has a good star shaped tail structure and a aerodynamic stable shape. The EFP has the ability to penetrate a thick steel target of 50 mm or a five-layered thin steel target with a thickness of 6 mm for each.

**Key words:** mechanics of explosion; EFP; experimental studies; star shaped tail; multi-point initiation; mass conversion ratio

---

\* Corresponding author: YU Chuan