第17卷 第3期
2003年9月

高 压 物 理 学 报
CHINESE JOURNAL OF HIGH PRESSURE PHYSICS

Vol. 17, No. 3
Sept., 2003

文章编号：1000-5773(2003)03-0204-05

大锥角聚能射流实验研究*

谭多望，孙承纬，赵继波，张克明，谢盘海

（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：通过闪光X射线摄影技术，研究了两种大锥角射流的特性及其对钢靶的侵彻，并与小锥角射流进行了对比。研究结果表明：大锥角射流的头部速度较低，但直径和质量较大，在大炸高条件下对钢靶的侵彻孔深度浅，孔径大。

关键词：聚能装药；射流；侵彻

中图分类号：O358；O606.2　　**文献标识码**：A

1 引 言

聚能装药是成熟的反坚固目标技术，在反坦克、反舰、钻地战斗部中得到了广泛的应用。为了对付不同的目标，出现了各种形状的药型罩，常见的有锥形罩、喇叭罩、郁金香罩、半球罩等。在锥角罩中，随着罩角度的增加，射流质量将增加，速度则降低，而杵体质量将减少，速度则提高，其中典型而又常用的是小锥角罩和大锥角罩[1]。小锥角罩在装药爆轰的驱动下形成杵体和射流，前者质量大，速度低于1 km/s，基本无侵彻能力；后者质量小，一般只占药形罩质量的百分之十几，由于头部速度高、速度梯度大，在与目标作用前急剧延伸，形成细长侵彻体，侵彻孔直径小、深度深，常用于攻击坦克、装甲车辆等坚固目标。大锥角罩在装药爆轰的驱动下也形成杵体和射流，但是，由于压合角大，杵体质量较小，大部分药形罩转换为头部速度相对较低、速度梯度小、直径大的射流，侵彻孔直径大，深度相对较浅，常用于攻击舰船、混凝土等目标，或者用于多级战斗部的前置装药，为后级装药开辟侵彻通道，是目前国内外重点研究的内容之一[2,3]。

国外对大锥角装药进行了较多的研究，最早的是为ACX-3300两级战斗部而研制的X-Charge，药形罩材料为铝，锥角为90°，炸药为Octol，用隔板(Wave Shaper)产生环形爆轰波。射流头部速度超过12 km/s，对多层间隔装甲有良好的侵彻效果[4]。德国的Held比较了锥角对射流形状和速度的影响，结果表明，锥角超过140°，不能形成射流；锥角小，射流细长，头部速度高；锥角大，射流短粗，头部速度低，杵体与射流分界面不明显[5]。美国的Murphy用DYNA2D和闪光X射线实验，研究了110°铝锥罩聚能射流的特性，并比较了各种大锥角铝罩和铜罩对混凝土的侵彻[6,7]。

从公开发表的资料看，国内对大锥角装药的研究很少。中国工程物理研究院的李发伯用闪光X射线实验，研究了大锥角、小长径比的聚能装药产生的射流。装置长径比为0.4；药形罩材料为紫铜，锥角为120°，壁厚为1.10 mm；采用改性1105炸药，起爆方式分别为正向中心点起爆和逆向环起爆。正向点起爆时，射流头部平均速度为4.34 km/s，具有短粗低速的特点；逆向环起爆时，头部平均速度为7.40 km/s，具有细长高速的特点[8]。

为探索大锥角射流的特性，我们设计了两种大锥角聚能装置进行实验研究，并与小锥角聚能射流进行了比较。

* **收稿日期**：2002-12-06；**修回日期**：2003-03-19

作者简介：谭多望(1967—)，男，副研究员，博士研究生.

2　实验装置

实验装置由主装药、药形罩、壳体、环形起爆器、雷管等组成,如图 1 所示。壳体材料为 LY12 铝,壁厚 3 mm,主装药为 RHT-901(RDX/TNT=60/40),密度为 1.714 g/cm^3,药形罩为紫铜,在环形起爆器上,沿∅90 mm 的圆周上均匀布置 32 个起爆点,产生环形爆轰波,共设计了两种实验装置,主要设计参数见表 1。表中模型Ⅰ和模型Ⅱ属同种装置,区别在于机械加工、装药、装配上的差别。

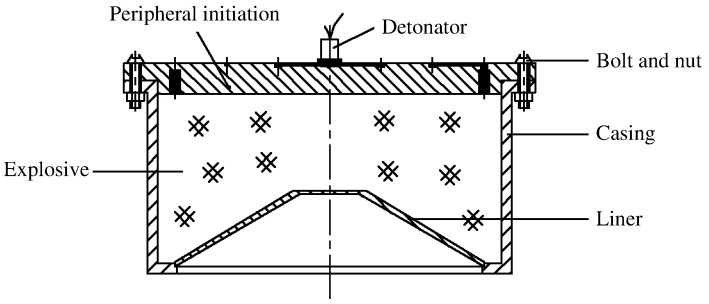


图 1　实验装置示意图

Fig. 1　Configuration of shaped charge with large cone angle

药形罩进行了截顶处理。截顶有三方面的作用:一是降低药形罩高度,从而降低装置高度;二是降低杵体质量,因为在药形罩的顶部,罩微元压垮距离短,得不到充分的加速,大部分形成杵体,截顶后,顶部罩微元压垮距离增加,压垮速度相应增加,从而降低杵体质量;三是提高射流头部速度,这是因为,越靠近罩顶部,微元压合速度越低,导致后面的射流微元速度高于它前面的,产生反向速度梯度,从而引起射流质量"聚集",形成射流的头部,这种质量的"聚集"降低了射流头部速度[9]。

表 1　实验装置参数

Table 1　Parameters of shaped charges

Model No.	Mass of explosive /(g)	Liner			Casing	
		Outer cone angle	Inner cone angle	Height/(mm)	Diameter /(mm)	Height /(mm)
Model Ⅰ	769.9	118°00′32″	119°59′27″	21.999	106	57
Model Ⅱ	767.3	118°00′25″	120°00′14″	21.988	106	57
Model Ⅲ	513.9	93°59′42″	98°59′09″	33.007	106	72

3　实验方法

用闪光 X 射线摄影法观察射流的形成过程,测量射流和杵体速度、直径等参数,用钢靶测量射流的侵彻能力,实验布局见图 2。在射流的形成和运动过程中,3 台闪光 X 射线机分别在不同时刻进行照相,通过对获得的图像进行数据处理确定射流参数。

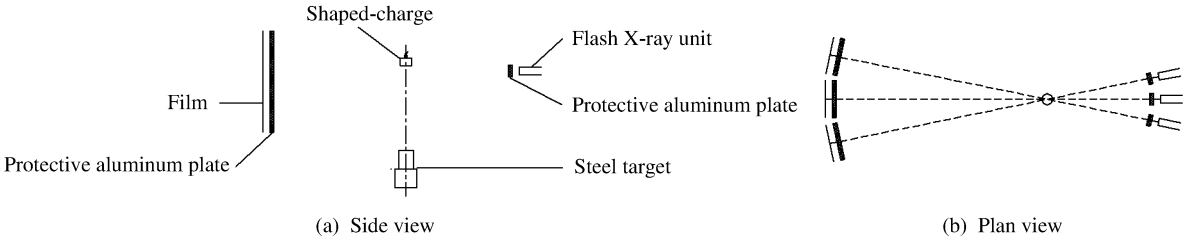


图 2　闪光 X 射线实验布局

Fig. 2　Test set-up for studying shaped charge jets by means of X-ray flash radiographs

4 实验结果

4.1 射流参数

射流的 X 光照片见图 3，图中 t 是以雷管起爆为零时的时间，部分图像中的间隙是由多张 X 光底片拼接而形成的。从图中可看出，第 1 幅照片揭示药形罩的压垮过程或射流形成的初期，第 2、第 3 幅照片则揭示射流的延伸过程。从模型Ⅰ和模型Ⅲ的第 3 幅像可明显看出，杵体和射流已完全分开，杵体的质量较小，而射流的质量较大。将 X 光底片数字化后，根据标尺可确定放大比，进而确定射流参数，见表 2。表中 v_{12} 是指第 1 和第 2 台闪光 X 射线机照相时刻之间，射流头部的平均速度；v_{23} 是指第 2 和第 3 台闪光 X 射线机照相时刻之间，射流头部的平均速度；射流尾部速度是指第 2 和第 3 台闪光 X 射线机照相时刻之间，射流尾部的平均速度。由于在第 2 幅像中射流和杵体没有完全分开，两者的分界处通过比较第 2 和第 3 幅像中射流和杵体的形状来确定。杵体速度是指第 2 和第 3 台闪光 X 射线机照相时刻之间杵体的平均速度，射流直径是指第 3 台闪光 X 射线机照相时刻射流的平均直径。表中没有列出模型Ⅱ的射流尾部和杵体速度，是因为照相时刻较早，难以确定射流和杵体的分界处。

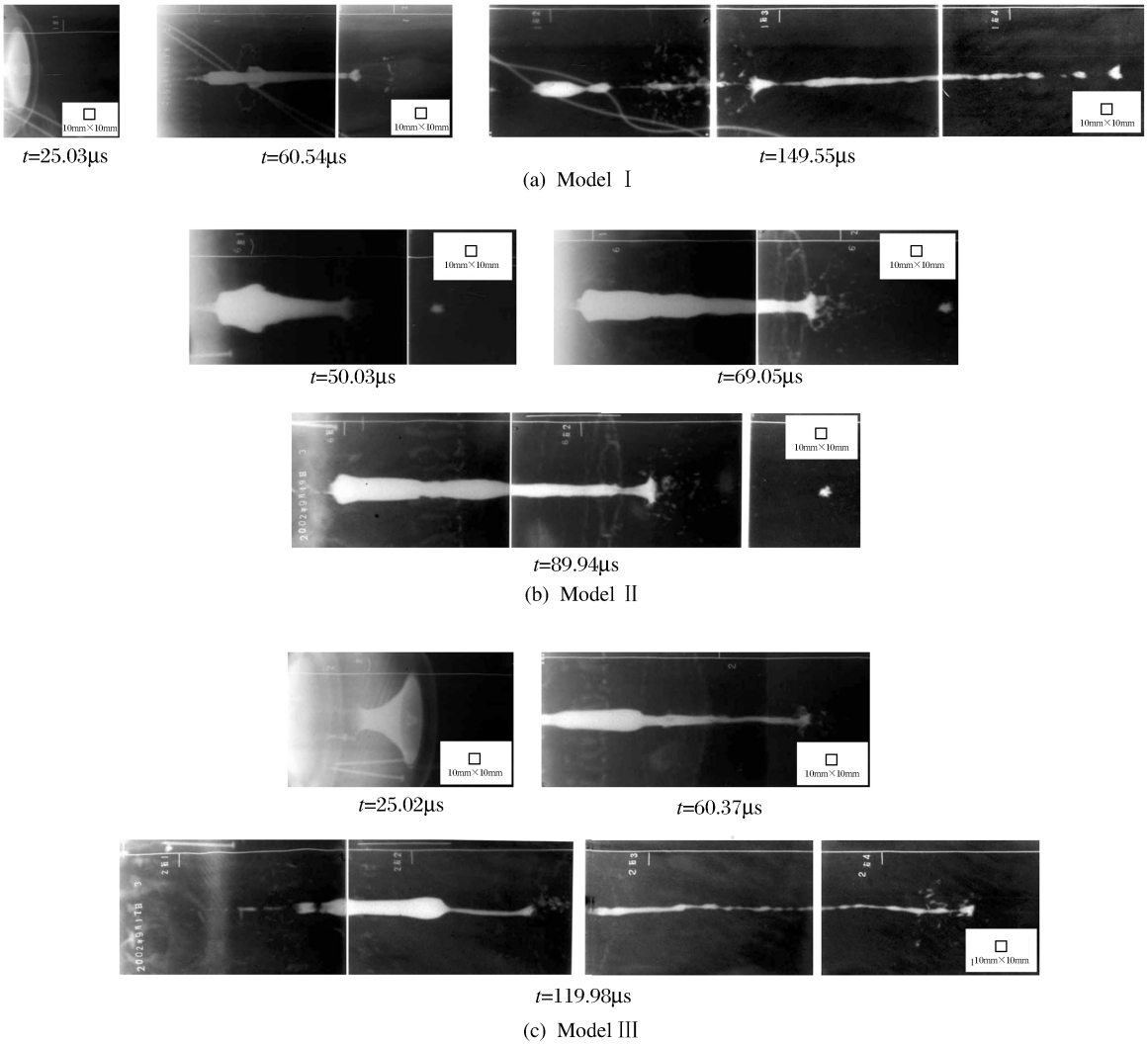


图 3 大锥角射流的 X 光照片

Fig. 3 X-ray flash radiographs of shaped charge jets with large cone angle

为便于比较分析,这里给出我们早期对小锥角射流研究的典型结果,见图 4。该射流由 42 °锥角聚能装药产生,药型罩材料为紫铜,厚度 1.5 mm、高 95 mm、底面直径 50 mm;主装药材料为 RHT-901,质量为 373 g、长径比为 2∶1、壳体为厚 2 mm 的铝;采用中心点起爆方式起爆。X 光实验测得射流头部速度为 7.17 km/s,平均直径为 2.1 mm,杵体的质量较大,而射流的质量较少。

比较大、小锥角射流的实验结果可看出,大锥角射流的头部速度降低,但射流直径和质量增加。

表 2　实验结果

Table 2　Experimental results

Model No.	Time t/(μs)			Velocity of jet tip /(km/s)		Velocity of jet rear /(km/s)	Velocity of slug /(km/s)	Diameter /(mm)
	No. 1	No. 2	No. 3	v_{12}	v_{23}			
Model Ⅰ	25.03	60.54	149.55	4.26	4.30	2.78	1.35	4.5
Model Ⅱ	50.03	69.05	89.94	4.00	4.14			9.0
Model Ⅲ	25.02	60.37	119.98	5.25	5.21	2.27	0.69	3.1

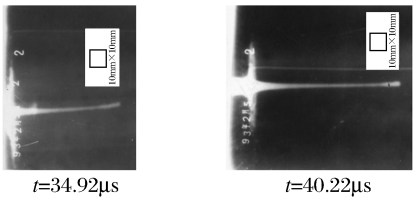


图 4　42 °锥角射流的 X 光照片

Fig. 4　X-ray flash radiographs of shaped charge jets with 42 ° cone angle

4.2　射流侵彻

靶由两块∅150 mm × 100 mm 和两块∅200 mm×100 mm 的 45 钢块叠加而成,射流侵彻孔近似为锥形,如图 5 所示,孔尺寸见表 2,侵彻孔的典型照片见图 6。表中炸高是装置底面至靶的距离与装置直径之比。从表中可看出,在大炸高情况下,射流侵彻深度较浅(图 4 的射流在 150 mm 炸高时对 45 钢靶的侵彻深度为 347 mm),但孔径较大;在相同炸高条件下,锥角大,侵彻更深。

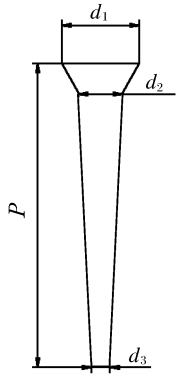


图 5　侵彻孔示意图

Fig. 5　Schematic diagram of hole profile

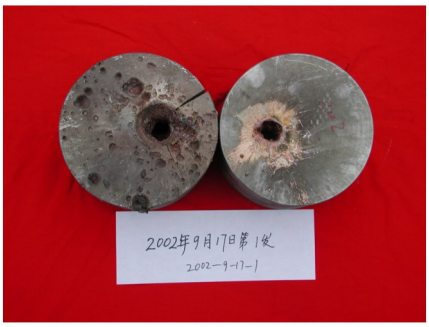


图 6　射流对钢靶的典型侵彻孔

Fig. 6　Typical hole of a steel target penetrated by a shaped charge jet

表 3　侵彻孔实验结果

Table 3　Experimental results of holes

Model No.	Standoff	d_1/(mm)	d_2/(mm)	d_3/(mm)	P/(mm)
Model Ⅰ	15.3	42	24	23	160
Model Ⅱ	11.5	43	33	10	200
Model Ⅲ	15.4	39	34	28	115

5 结 论

(1) 与小锥角射流相比,大锥角射流的头部速度较低,但直径和质量较大;

(2) 在大炸高条件下,大锥角射流对钢质靶板的侵彻孔深度浅、孔径大、锥角大、侵彻更深。

References:

[1] Held M. The Projectile Forming Charges [A]. 3rd International Symposium On Ballistic [C]. Karlsruhe, Germany:[s. n.],1977. 23－25.

[2] Christianson K L, Roth J R, Schmidt T L. Development of an Enhanced Warhead for the Penetration Augmented Munition [A]. Proceedings of the 41st Annual Bomb & Warhead Technical Meeting [C]. San Diego, CA: Naval Ocean Systems Center,1991.

[3] Mattsson K, Sorensen N, Ouve R, et al. Development of the K-Charge, a Short L/D Shaped Charge [A]. Reinecke W G. 18th International Symposium on Ballistics [C]. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Company, Inc,1999. 528－534.

[4] Kennedy D R. History of the Shaped Charge Effect(The First 100 Years) [R]. AD-A220095,1990.

[5] Walters W P, Zukas J A. Fundamentals of Shaped Charges [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc,1989.

[6] Murphy M J. Shaped Charge Penetration in Concrete: A Unified Approach [R]. UCRL-53393,1983.

[7] Murphy M J, Kuklo R M. Fundamentals of Shaped Charge Penetration in Concrete [R]. UCRL-JC-133126,1999.

[8] Li F B. Experimental Investigation of a Short L/D Shaped Charge [R]. Mianyang: Institute of Fluid Physics, CAEP,1997. (in Chinese)
李发伯. 小长径比聚能装药试验研究 [R]. 绵阳:中国工程物理研究院流体物理研究所,1997.

[9] Summers R L, Walters W P. The Behavior of Shaped Charges with Open-Poled Hemispherical Liners [J]. Propellants, Explosives, Pyrotechnics,1991,16:140－144.

Experimental Investigation of Shaped Charge with Large Cone Angle

TAN Duo-Wang, SUN Cheng-Wei, ZHAO Ji-Bo,
ZHANG Ke-Ming, XIE Pan-Hai

(*Laboratory for Shock Wave and Detonation Physics Research, Institute of Fluid Physics, CAEP, Mianyang* 621900, *China*)

Abstract: By means of X-ray flash radiographs, the jet formation and penetration of two types of shaped charge with large cone angle were investigated, and compared with that of the jet of shaped charge with small cone angle (42 °). The experimental results show that (1) the jet of shaped charge with large cone angle is characterized by a lower jet tip velocity and a very large portion of the liner mass, and (2) at a long standoff the depth of penetration in steel target is small, but the diameter of hole is large.

Key words: shaped charge; shaped charge jet; penetration