

文章编号: 1001-1455(2008)01-0017-06

大锥角药型罩聚能装药侵彻混凝土实验研究*

黄风雷, 张雷雷, 段卓平

(北京理工大学爆炸科学与技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 采用脉冲 X 光照相及威力效应实验, 对两种大锥角药型罩装药结构侵彻体的形成及它们对混凝土的侵彻能力进行了研究, 获得了两种大锥角药型罩装药结构形成侵彻体的形状、头尾速度及它们对混凝土靶的侵彻参量, 对比了半无限厚混凝土靶板及多层有限厚薄靶板对侵彻威力的影响。结果表明, 在小炸高条件下, 两种大锥角药型罩装药结构能够形成较理想的爆炸成型杆式侵彻体, 在混凝土靶中形成孔深与孔径兼顾的孔道。

关键词: 爆炸力学; 大锥角药型罩; X 光测试; 聚能装药; 混凝土; 侵彻

中图分类号: O385; TJ 414.2 **国标学科代码:** 130 · 3530 **文献标志码:** A

1 引言

反硬目标战斗部结构上分为动能侵彻型战斗部和包含前级聚能装药及后级随进装药的串联复合侵彻战斗部两种形式^[1]。与动能侵彻型战斗部相比, 串联复合侵彻战斗部具有适应较低着速和各种着角的优势, 并可提高侵彻能力^[2-4]。

复合战斗部的前级聚能装药对混凝土介质的破坏威力是复合战斗部结构设计的关键技术之一。通过优选聚能装药药型罩结构、材料, 在目标介质中形成有利于后级战斗部随进侵彻的孔径及孔深, 是聚能装药侵彻混凝土目标的设计关键^[5-6]。

开始于锥角为 90°的 X-charge 两级战斗部研究, 药型罩材料采用铝, 炸药为奥克托尔, 由隔板产生环形爆轰波。由 X 型装药产生的侵彻体头部速度超过 1.2 km/s, 对多层间隔装甲具有良好的侵彻效果^[7]。文献[8]中比较了药型罩锥角对侵彻体形状和速度的影响, 研究表明: 锥角小, 侵彻体细长, 头部速度高; 锥角大, 侵彻体短粗, 头部速度低; 当药型罩锥角超过 140°, 不能形成侵彻体。M. J. Murphy 等^[9-10]用实验和数值计算方法对聚能装药侵彻混凝土靶板进行了研究, 比较了药型罩材料、锥角、壁厚和炸高对侵彻效果的影响。

本文中设计两种大锥角聚能装药结构, 采用脉冲 X 光照相技术获得爆炸成型杆式侵彻体在典型时刻的形状, 研究侵彻体对不同混凝土靶体的开孔尺寸和侵彻能力的影响, 初步获得大锥角药型罩对混凝土目标的毁伤特性, 为串联侵彻战斗部的前级装药优化设计提供参考。

2 实验设计

2.1 装药结构设计

为研究不同结构大锥角药型罩对侵彻体形成的影响, 设计了两种装药结构: 结构 I 为变壁厚大锥角非截顶药型罩; 结构 II 为变壁厚大锥角截顶药型罩, 如图 1 所示。药型罩口径为 56mm, 质量约为 35g, 药型罩材料为紫铜。

装药结构由药型罩、主装药、传爆药柱、雷管等组成, 见图 2。主装药为 8701, 其密度为 1.71g/cm³, 起爆方式为端部点起爆。

* 收稿日期: 2006-09-08; 修回日期: 2006-12-28

作者简介: 黄风雷(1965—), 男, 教授。

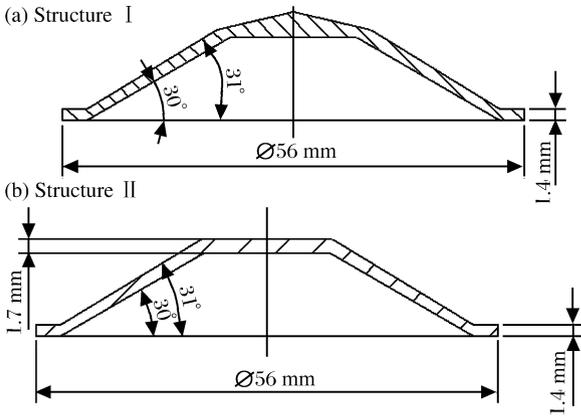


图 1 药型罩结构示意图

Fig. 1 Liner configurations of two designs

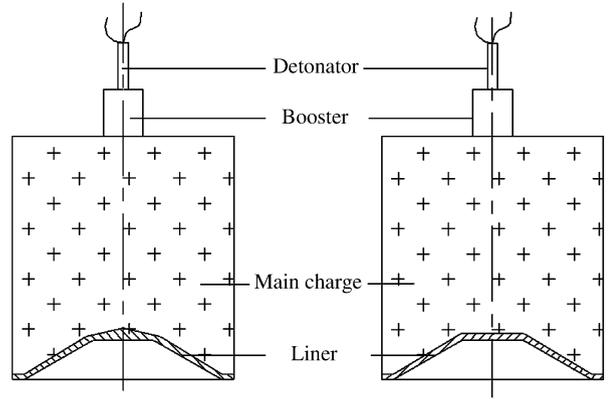


图 2 实验装药结构示意图

Fig. 2 Schematics of shaped charge with jetting projectile

2.2 实验测试系统

为获得爆炸成型杆式侵彻体的形状参数,采用脉冲 X 照相记录爆炸侵彻体在形成过程中两个不同时刻的形状,通过对记录的图像进行数据处理来确定侵彻体的头部速度、尾部速度及头尾直径等参数,测试系统如图 3 所示。

采用整体混凝土靶和多层混凝土薄板两种靶体,对比研究侵彻体对不同靶体的侵彻毁伤差别。整体混凝土靶尺寸为 $\text{Ø}570 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$,多层混凝土薄板单个尺寸为 $\text{Ø}570 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ 和 $580 \text{ mm} \times 580 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 两种结构,混凝土密度为 2.4 t/m^3 ,混凝土靶强度为 44 MPa 。

对于层叠靶,每层靶板之间放置导通靶网,靶网由两层锡箔纸中间放置绝缘纸组成,当形成的金属侵彻体通过时,将使断开的靶板导通产生电信号,通过示波器记录不同靶层的导通时刻信号给出侵彻体通过各层混凝土靶板的侵彻时间。

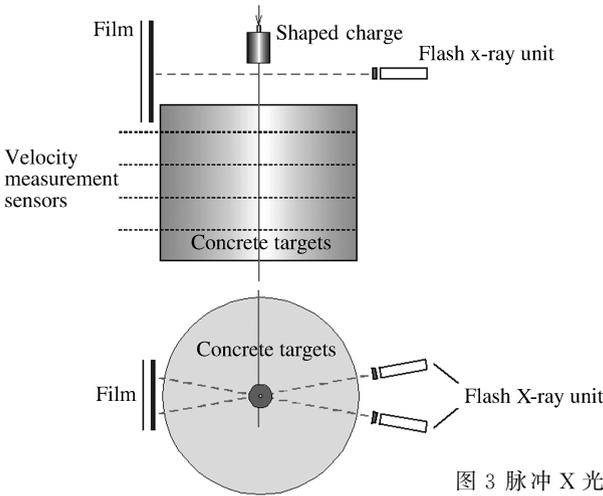


图 3 脉冲 X 光实验布局

Fig. 3 Schematic of flash X-ray experiment layout



3 实验结果与分析

3.1 药型罩结构对侵彻的影响

3.1.1 药型罩形状对侵彻体形状的影响

图 4 为两种结构药型罩形成侵彻体的 X 光照片,图中 t 是以主装药起爆为零时对应的的时间。表 1 给出了两种大锥角药型罩装药形成的侵彻体参数,其中 L 为侵彻体长度, δ_p 为侵彻体伸长率, v_{tip} 和 v_{tail} 分别为侵彻体头部和尾部速度。两种药型罩聚能装药结构形成的 X 光照片分析结果表明:

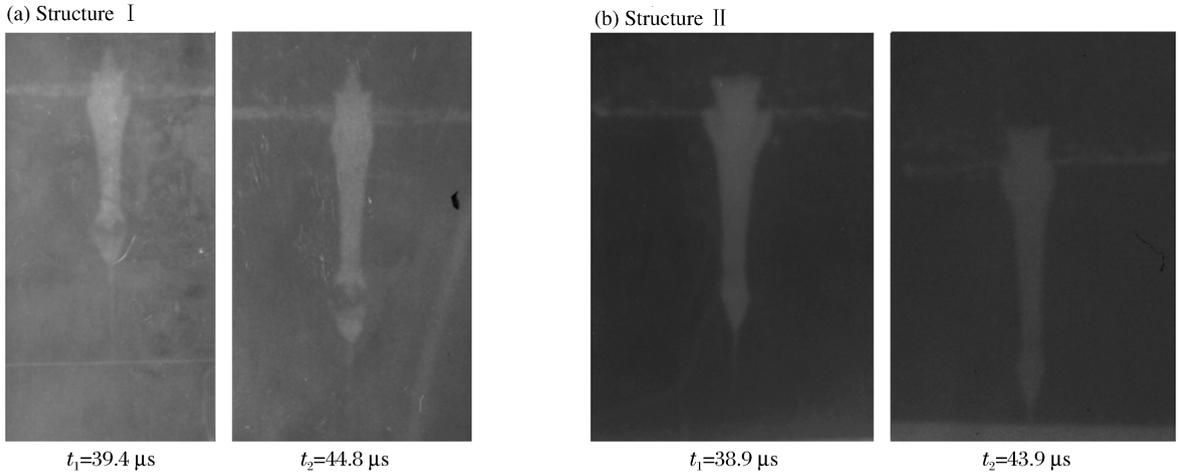


图 4 爆炸成型杆式侵彻体 X 光照片

Fig. 4 Flash X-ray photographs of penetrators

(1) 两种药型罩形成侵彻体的 X 光照片图像清晰, 能够区分侵彻体的轮廓外形、头尾形状; 形成的侵彻体连续性、拉伸性良好, 形状较平直, 相对于聚能射流, 未出现速度过低、质量过大的杵体段, 与爆轰轴线具有较好的同轴性。

表 1 两种装药结构形成的侵彻体参数

Table 1 Parameters of two types of shaped charge

装药结构	$t/\mu\text{s}$	L/mm	δ_p	$v_{\text{tip}}/(\text{km/s})$	$v_{\text{tail}}/(\text{km/s})$
结构 I	39.4	68.87	2.68	4.161	1.674
	44.8	83.33			
结构 II	38.9	64.14	2.02	3.827	1.792
	43.9	74.23			

(2) 两种结构药型罩所产生的侵彻体头尾速度相比, 变壁厚大锥角非截顶药型罩所产生的侵彻体具有较高的头部速度和较低的尾部速度, 以及更大的侵彻体伸长率; 而变壁厚大锥角截顶药型罩所产生的侵彻体具有相对较低的头部速度和较高的尾部速度, 以及较小的侵彻体伸长率。其原因是药型罩进行截顶处理后, 药型罩顶部微元压跨距离增加, 压跨速度相应增加, 从而降低了杵体质量, 使所产生的侵彻体具有更高的尾部速度。由此可见, 对大锥角药型罩进行截顶的结构设计更有利于降低侵彻体的速度梯度, 从而延长了侵彻体的断裂时间, 提高侵彻体的稳定性。

3.1.2 药型罩形状对靶板毁伤效应影响

两种药型罩装药对整体混凝土靶毁伤实验结果见表 2, 其中 H 为炸高, D_1 为侵彻孔径, D_a 为平均孔径, D 为侵彻体直径, P 为侵彻深度, 分析结果表明:

表 2 两种装药结构侵彻实验结果

Table 2 Penetration results of two types of shaped charge

装药结构	H/mm	D_1/mm	D_a/D	P/mm	P/D
结构 I	160	35~40	0.670	310	5.54
结构 II	160	32~38	0.625	251	4.48

(1) 两种药型罩结构装药形成的孔洞均由表面的漏斗坑和孔道区构成。漏斗坑区直径不小于 2 倍装药口径, 深度约 1 倍装药口径。

(2) 两种药型罩结构装药形成的爆炸成型杆式侵彻体对混凝土靶板形成的侵彻孔道近似为截锥形, 锥度很小, 表明孔洞均匀性较好。

(3) 在相同侵彻条件下, 由于非截顶药型罩产生的侵彻体具有较大的头尾速度差、更大的伸长率, 其侵彻开孔孔深远大于截顶罩的孔深; 两种装药结构的侵彻开孔孔径基本相同。由此可知, 在小炸高条件下, 非截顶药型罩的侵彻性能优于截顶药型罩。

3.2 炸高对侵彻性能的影响

为考察炸高对混凝土靶毁伤效果的影响, 对 120、160、200 mm 三种炸高条件下变壁厚大锥角非截顶药型罩对层叠靶的侵彻进行了实验测试, 实验结果如表 3 所示, 其中 m_1 和 m_c 分别为药型罩质量和装

药质量。不同炸高条件下变壁厚大锥角非截顶药型罩装药结构对混凝土靶板的毁伤实验结果表明:

(1)炸高对侵彻开孔孔深和孔径的影响较大。

(2)炸高为 160 mm 时侵彻开孔孔深最大,而炸高过低(120 mm)或过高(200 mm)时,侵彻开孔孔深变小。其主要原因是:当炸高过低时,由于杆式射流尚未形成,侵彻体直径较大,而长度较小,所以导致侵彻开孔孔深较小而孔径很大;当炸高过高时,由于杆式射流存在速度梯度,拉伸程度随炸高增大而提高,导致杆式射流发生断裂而形成多段侵彻体,从而降低了侵彻体的侵彻性能,使侵彻开孔孔深变小,如图 5 所示。

(3)随着炸高的增加,侵彻孔径逐渐减小,这是由于速度梯度的存在,炸高越大,拉伸程度越大,侵彻体的直径越小,相应的侵彻孔径也随之减小,如图 6 所示,其中 D_a 为平均侵彻孔径, n 为靶板层数。

(4)综合比较三种炸高条件下变壁厚大锥角非截顶罩装药结构的侵彻性能可以得出,变壁厚大锥角非截顶罩装药结构在 160 mm 炸高下的侵彻性能最好,其形成的侵彻开孔孔深和孔径能够满足多级复合战斗部对一级装药的要求。

表 3 不同炸高下非截顶药型罩的毁伤结果

Table 3 Penetration results at different standoff

m_i/g	m_e/g	H/mm	P/mm
35.29	237	120	241.0
35.29	237	160	320.5
35.29	237	200	270.5

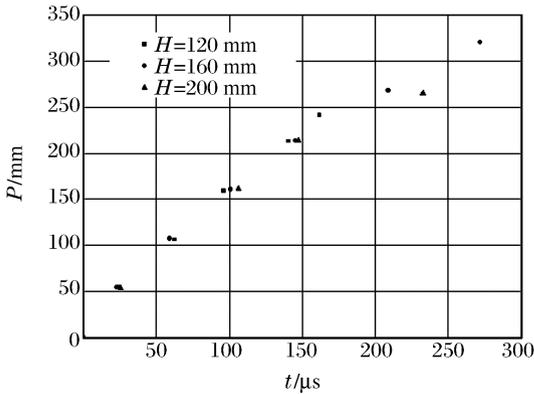


图 5 不同炸高下对层叠靶的侵彻历程

Fig. 5 Penetration depth of multi-layer targets at different standoff

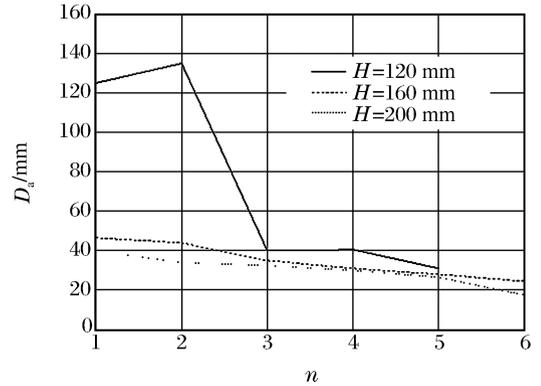


图 6 不同炸高下对各靶层的平均侵彻孔径

Fig. 6 Hole diameter of multi-layer at different standoff

3.3 靶板设计对侵彻性能的影响

为考察靶板形状对爆炸成型杆式侵彻体毁伤能力的影响,实验研究得到了圆形、方形两种靶板形状和整体、层叠两种靶板组合形式对变壁厚大锥角截顶罩装药结构的侵彻能力影响规律,如图 7、图 8 和表 4 所示。结果表明:

(1)两种装药结构对层叠靶的总侵深与整体靶侵深基本一致,表明在多层靶靶面接触较好的条件下,侵彻效果与整体靶一致,这将便于实验研究中靶体的加工。同时,层叠靶的使用可获得更多的侵彻过程信息,能够得到侵彻孔径的变化和侵彻历史。

(2)在相同侵彻条件下,由同一结构的药型罩装药产生的侵彻体在正方形靶板中所开孔径和孔深略大于它在圆柱形靶板中所开孔径和孔深;与圆柱形靶板相比,正方形靶板的毁伤更严重,尤其在正方形靶的对角线方向上,产生了更明显的裂纹,这充分说明了反射稀疏波对正方形靶板的破坏作用。因此与圆形靶板相比,正方形靶板存在更大的界面效应。

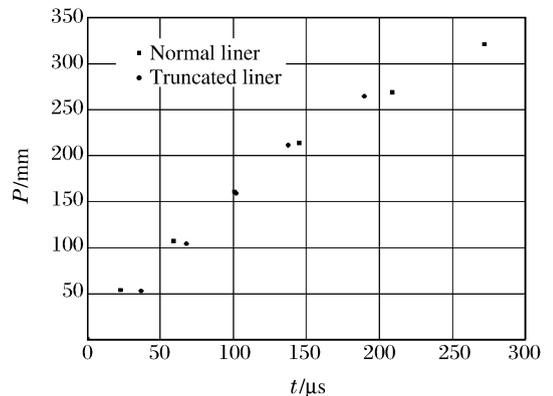


图 7 两种结构药型罩侵彻多层靶的侵彻历程

Fig. 7 Penetration process of two designs for multi-layer targets

(3)在实验过程中应尽量选择圆柱形靶板,以减小靶板的界面效应,增加靶板的有效直径。

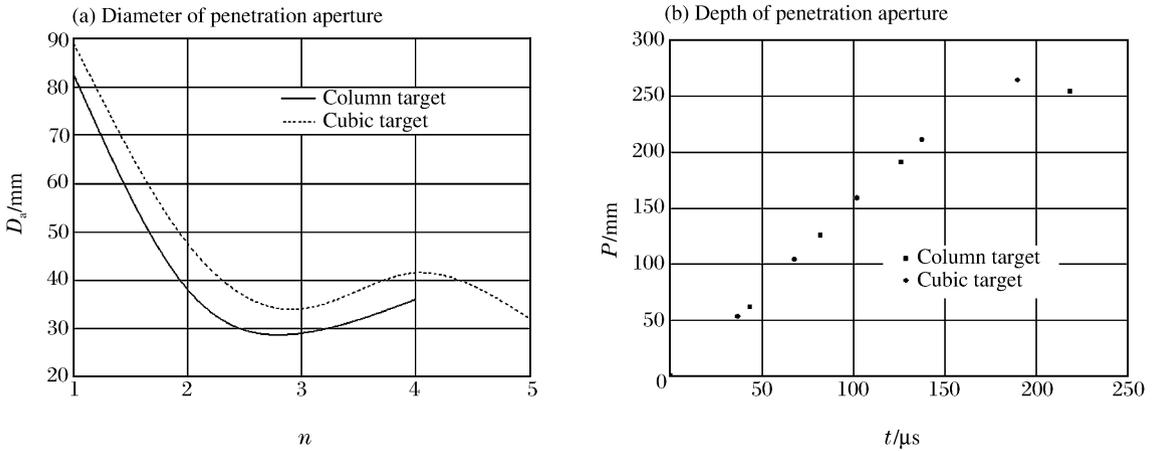


图 8 结构 II 对不同形状层叠靶的毁伤情况

Fig. 8 Damage of structure II to different multi-layer targets

表 4 两种装药结构侵彻不同形状靶板的实验结果

Table 4 Penetration results of two types of shaped charge to different concrete targets

装药结构	靶板类型	m_1/g	m_c/g	H/mm	P/mm
结构 I	整体靶	35.34	237	160	310.0
	正方形靶	35.29	237	160	320.5
结构 II	整体靶	36.43	237	160	251.0
	圆柱形靶	36.63	237	160	256.3
	正方形靶	36.19	237	160	264.0

4 结 论

对两种大锥角药型罩装药结构侵彻体形成和毁伤效应进行了实验研究,采用脉冲 X 光测试技术获得了爆炸成型杆式侵彻体不同时刻的外部形状和头尾部平均速度,获得了侵彻体对整体混凝土靶及层叠混凝土靶的侵彻性能数据。研究表明,药型罩结构、炸高、靶板形状对侵彻性能有较大影响。在小炸高下,非截顶药型罩形成的侵彻体具有较大的头尾速度差和侵彻体伸长率,可在混凝土靶中形成孔深与孔径兼顾的孔道,其侵彻性能优于截顶药型罩。随着炸高的增加,非截顶药型罩的侵彻性能变差,因此变壁厚大锥角非截顶罩无法满足中、大炸高下的侵彻要求。为提高爆炸成型侵彻体在中、大炸高下的侵彻性能,应减小侵彻体的头尾速度差和侵彻体伸长率。大锥角截顶药型罩产生的侵彻体具有头尾速度差较小的特点,其在中、大炸高下的侵彻性能有待进一步研究。

参考文献:

[1] 石艳霞,郝丽萍. 国外钻地武器的技术特点及发展趋势[J]. 导弹与航天运载技术,2003(4):50-53.
SHI Yan-xia, HAO Li-ping. Characteristic and development of penetration weapon abroad[J]. Missiles and Space Vehicles, 2003(4):50-53.

[2] 罗翌. 西方攻击加固深埋目标的战斗部[J]. 飞航导弹,1998,28(12):25-31.
LUO Yi. The western countries' warhead of attacking deep-underground reinforced target[J]. Winged Missiles Journal, 1998,28(12):25-31.

[3] Christianson K L, Roth J R, Schmidt T L. Development of an enhanced warhead for the penetration augmented munition[C]//Proceedings of the 41st Annual Bomb & Warhead Technical Meeting. San Diego, CA: Naval Ocean Systems Center, 1991.

- [4] Mattsson K, Sorensen N, Ouve R, et al. Development of the K-charge, a short L/D shaped charge[C]//The 18th International Symposium on Ballistics. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Company Inc. , 1999:528-534.
- [5] Blache A, Weimann K. Generation of different detonation wave contours[C]//The 16th International Symposium on Ballistics. San Francisco, CA, USA, 1996,3:337-346.
- [6] Blache A, Weimann K. Shaped charge with jetting projectile for extended targets[C]//The 17th International Symposium on Ballistics. Midrand, South Africa, 1998,2: 207-215.
- [7] Kennedy D R. History of the Shaped Charge Effect (The First 100 Years)[R]. AD-A220095, 1990.
- [8] Walter W P, Zukas J A. Fundamentals of Shaped Charges[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1989.
- [9] Murphy M J. Shaped Charge Penetration in Concrete; A Unified Approach[R]. UCRL-53393,1983.
- [10] Murphy M J, Kuklo R M. Fundamentals of shaped charge penetration in concrete[C]//The 18th International Symposium on Ballistics. Lancaster, Pennsylvania: Technomic Publishing Company Inc, 1999:1057-1064.

Shaped charge with large cone angle for concrete target

HUANG Feng-lei^{*}, ZHANG Lei-lei, DUAN Zhuo-ping

(*State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China*)

Abstract: The characteristic of shaped charge with jetting projectiles formed by two types of liner structure and their penetration capability to concrete were studied by X-ray flash radiographs and penetration effect test. The penetration parameters of different charges were measured and compared for semi-infinite and multi-layer concrete targets respectively. Results show that two types of liner structure can form ideal shaped charge with jetting projectile and generate penetration holes with both reasonable depth and width in the concrete targets.

Key words: mechanics of explosion; shaped charge with jetting projectile; X-ray test; shaped charge; concrete; penetration

* Corresponding author: HUANG Feng-lei
E-mail address: huangfl@bit.edu.cn
Telephone: 86-10-68913956