

文章编号: 1001-1455(2010)06-0664-05

聚能装药的多点环形起爆器性能测试及其应用*

段卓平, 温丽晶, 张连生, 黄凤雷

(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: 对聚能装药用多点环形起爆器的同步性能和环形起爆的聚能装药侵彻钢筋混凝土的侵彻威力进行了研究。应用高速摄影技术和光纤探针技术测量了多点环形起爆器各点输出的同步性, 结果表明环形起爆器各点输出同步性好, 时间差最大不超过 $0.1 \mu\text{s}$; 聚能装药对钢筋混凝土的侵彻威力实验结果表明, 采用多点环形起爆器的聚能装药对钢筋混凝土的侵彻威力比点起爆的有较大提高。

关键词: 爆炸力学; 侵彻威力; 多点环形起爆器; 聚能装药; 钢筋混凝土

中图分类号: O385

国标学科代码: 130·35

文献标志码: A

1 引言

聚能装药作为一种能产生高能量密度的技术, 在军事领域和民用领域应用广泛。在军事领域的主要应用包括鱼雷、导弹、多种破甲弹和各种炸弹等, 攻击的目标是坦克、混凝土、防御工事、大型水面舰艇和航空母舰。为了提高聚能装药爆炸形成侵彻体的威力, 通常采用波形控制技术, 如在装药中采用隔板或多点起爆电控技术等。这些技术的核心就是在主装药中实现环形起爆, 形成轴对称“凹”锥形(或喇叭形)爆轰波, 使爆轰波对药型罩的压垮方向向对称轴会聚, 提高压垮速度, 最终达到提高侵彻体总动能和侵彻威力的目的。

爆炸成型杆式侵彻体(exploration formed rod-liked penetrator, 简称 EFRP) 由于比常规的金属射流直径大、连续性好、强度高, 具有更好的抗干扰能力, 比爆炸成型弹丸更长、飞行速度更高、断面比动能更大、侵彻能力更强^[1]。因此, EFRP 在混凝土目标复合侵爆战斗部前级开坑和聚能毁伤水中目标方面具有广泛的应用前景, 学者们也对此开展了大量的工作^[2-8]。波形控制是爆炸成型杆式侵彻体技术的重要组成部分, 某种意义上说是 EFRP 的关键技术。E. L. Baker^[8]、吴晗玲等^[6-7] 在研究 EFRP 的同时对爆轰波形控制及其对 EFRP 形成的影响予以了重点关注。

聚能装药的波形控制技术最重要的是对称性和与药型罩的匹配性。在装药中采用隔板, 对称性主要靠加工和装药工艺保证, 但总的装药长度增加, 主装药成型的技术环节增多, 工艺和工装复杂; 采用多点起爆电控技术, 同步性靠电路同步性和火工品同步性保证, 难度大、成本高, 同时由于每个起爆点用一个火工品, 火工品数量大幅度增加, 安全性设计难度加大。针对上述问题设计的多点环形起爆器, 结构简单, 实现了中心一点起爆输入, 多点环形同步起爆输出, 对可爆轰波形进行有利控制^[9]。

本文中设计了多点环形起爆器同步性能实验和聚能装药侵彻钢筋混凝土的威力实验, 分别考察多点环形起爆器的同步性和不同起爆半径与聚能装药结构的匹配性。

2 多点环形起爆器

多点环形起爆器金属件采用硬铝材料, 传爆装药为 RDX 基的橡胶炸药: $\rho = 1.525 \text{ g/cm}^3$, $D = 7.8 \text{ km/s}$, $p_{\text{CJ}} = 20 \text{ GPa}$ 。技术上宽 0.8 mm 的深沟槽橡胶炸药就能稳定传播爆轰波, 为提高可靠性, 沟槽尺寸设计为深 1.4 mm 、宽 1.4 mm ^[9]。

* 收稿日期: 2009-08-18; 修回日期: 2010-01-30

作者简介: 段卓平(1965—), 男, 博士, 教授。

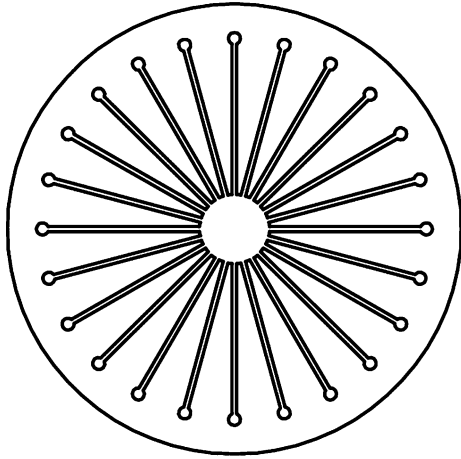


图 1 典型的传爆装置(板)

Fig. 1 A typical device of detonation spread

针对装药口径为 140 mm 的聚能装药,设计了 3 种环形起爆装置,环形起爆点距对称中心分别为 50、55、60 mm;环形上的起爆点数为 24 个。典型的传爆装置如图 1 所示。

3 多点环形起爆器同步性能实验

为检验多点环形起爆器的输出同步性,应用高速扫描相机采用光纤探针技术进行同步性测量。实验装置图 2 所示,采用 3D 雷管引爆起爆药泰安,经传爆器中的橡胶炸药到达传爆装置(传爆孔 24 个,传爆半径 55 mm),引爆传爆装置中的橡胶炸药;24 个传爆孔中的炸药爆炸发光,各点光分别经 24 根等长度光纤传输到达光纤架。采用狭缝扫描高速摄影测量技术,用高速扫描相机记录光到达的时间。通过判读扫描底片,可得到多点传爆装置各点爆轰波输出的时间。共进行 1 发实验,图 3 为实验装置实物照片。

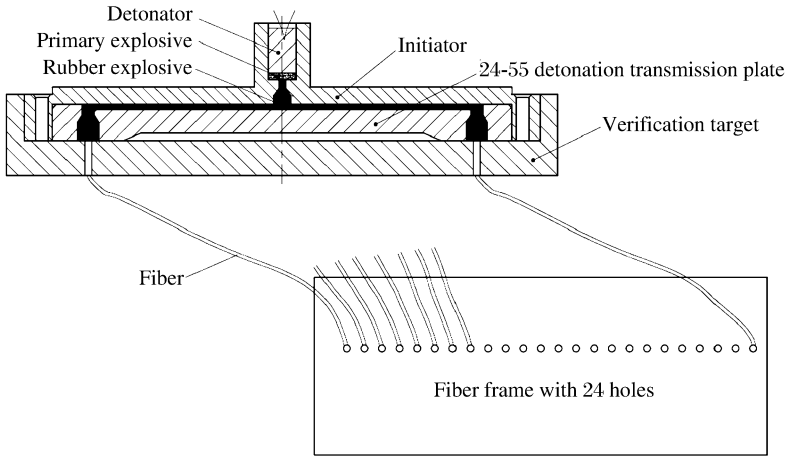


图 2 同步性测量实验装置图

Fig. 2 The tester for synchronization measurement

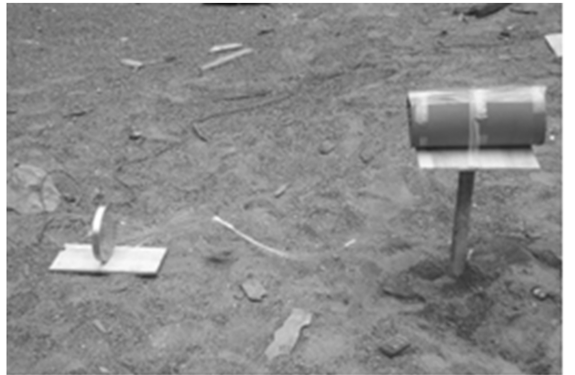
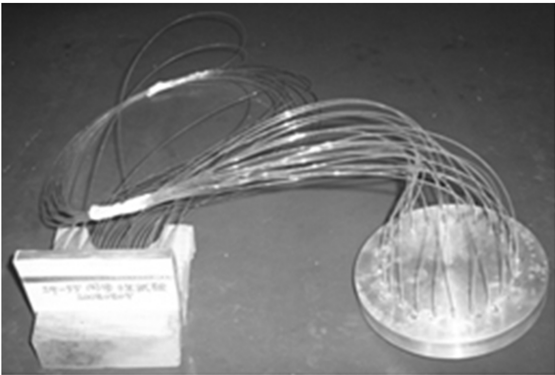


图 3 同步性测量实验装置照片

Fig. 3 Photos of the tester for synchronization measurement

24 个传爆孔的装药完全被引爆,药槽末端装药完全爆轰,图 4 为高速摄影扫描得到的底片,扫描速度为 3 km/s,使用底片判读仪读出底片中各输出孔在扫描方向的位置差,通过扫描速度可以计算出各输出孔发光的时间差。计算得到的 24 点环形起爆输出时间差数据如表 1 所示,最大时间差为 0.097 μs ,同步性较好,满足设计要求。

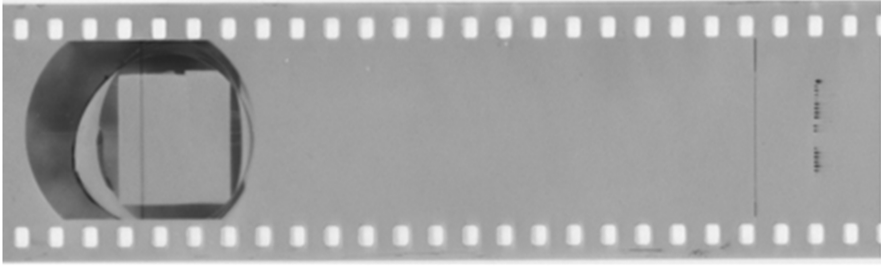


图 4 同步性测量实验结果
Fig. 4 Test record of synchronization

表 1 多点环形起爆输出时间差

Table 1 Difference of output time by the multi-point ring detonator

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$\Delta t/\mu\text{s}$	0	0.037	0.023	0.030	0.041	0.063	0.060	0.047	0.049	0.090	0.013	0.042
No.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\Delta t/\mu\text{s}$	0.022	0.028	0.030	0.020	0.014	0.025	0.027	0.034	-0.007	0.026	0.014	0.018

4 不同起爆半径对混凝土侵彻威力的影响

为研究多点环形起爆器对聚能装药侵彻钢筋混凝土威力的影响规律,确定不同起爆半径对某聚能装药结构匹配性,设计了聚能装药侵彻钢筋混凝土的威力实验。聚能装药实验弹口径 140 mm,药型罩为球缺形,材料为 Q235 钢,实验弹壳体为硬铝材料,装药为注装法装填的 B 炸药(TNT/RDX = 35/65)。多点环形起爆器采用 24 点输出结构,实验弹及环形起爆器如图 5 所示。

除 1 发采用雷管加传爆药柱实行中心点起爆外,其余 3 发均采用 24 点环形起爆器起爆,起爆半径分别为 50、55、60 mm。

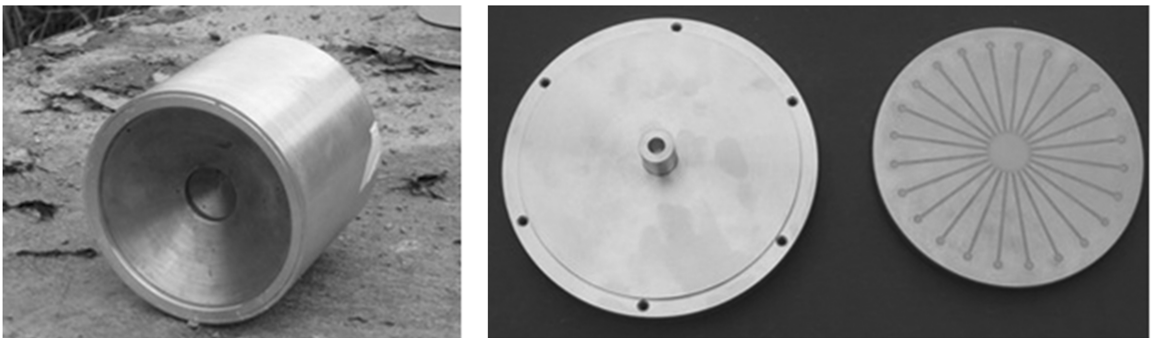


图 5 实验弹及环形起爆器

Fig. 5 The experimental shaped charge and multi-point ring initiator

点起爆威力实验的靶标为强度 C30,配筋率为 0.5%(质量分数),尺寸为 $\varnothing 1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的圆柱形钢筋混凝土,环形起爆的 3 发威力实验采用的靶标为强度 C35,配筋率为 0.5%(质量分数),尺寸为 1 m

× 1 m × 1 m 的正方形钢筋混凝土。实验布置如图 6 所示，典型实验结果如图 7 所示。4 发实验结果列于表 2 中，表中 h 为炸高， r 为起爆半径。



图 6 实验布置
Fig. 6 Experimental layout



图 7 实验后靶标
Fig. 7 Reinforced concrete after experiment

表 2 侵彻钢筋混凝土实验结果

Table 2 Experimental results of reinforced concrete

序号	靶标强度	靶标尺寸/m	h /mm	r /mm	靶标破坏情况
1	C30	$\varnothing 1 \times 1$	365	中心点起爆	靶前崩落: 600 mm × 600 mm, 深 150 mm 侵彻深度: 800 mm, 孔径 70 mm × 80 mm
2	C35	1 × 1 × 1	225	50	靶前崩落: 420 mm × 320 mm, 深 170 mm 侵彻深度: 810 mm, 孔径 50 mm
3	C35	1 × 1 × 1	225	55	靶前崩落: 340 mm × 310 mm, 深 180 mm 靶后崩落: 360 mm × 460 mm, 深 85 mm 侵彻深度: 贯穿, 孔径 57 mm
4	C35	1 × 1 × 1	225	60	靶前崩落: 380 mm, 深 160 mm 靶后崩落: 640 mm × 640 mm, 深 170 mm 侵彻深度: 贯穿, 孔径 60 mm

由表 2 可以看出，聚能装药实验弹对钢筋混凝土的侵彻能力与起爆方式关系较大，采用多点环形起爆器实验弹的威力比采用中心点起爆的威力有较大提高。在本文条件下，多点环形起爆器的起爆半径应大于 55 mm。

5 结 论

(1) 设计加工的 24 点环形起爆器同步性好，各点输出时间差最大不超过 0.1 μ s。

(2) 采用多点环形起爆器的聚能装药对钢筋混凝土的侵彻威力相对于点起爆有较大提高。对于本文聚能装药，多点环形起爆器的起爆半径大于 55 mm 时侵彻威力提高明显。

感谢中国工程物理研究院化工材料研究所在多点环形起爆器加工和同步性实验等方面提供的帮助；感谢重庆红宇精密工业(集团)有限公司军研所在聚能装药加工及威力实验方面的大力支持。

参考文献：

[1] Blache A, Weimann K. Shaped charge with jetting projectile for extended targets[C]//Proceedings of the 17th International Symposium on Ballistics. Midrand, South Africa, 1998, 2: 207-215.
 [2] Whelan A J, Furniss D R, Townsley R G. Experimental and simulated (analytical & numerical) elliptical-form

- shaped charges[C]// Proceedings of the 20th International Symposium on Ballistics. Orlando, USA, 2002:446-454.
- [3] Blache A, Weimann K. Generation of different detonation wave contours[C]// Proceedings of the 16th International Symposium on Ballistics. San Francisco, CA, 1996:337-346.
- [4] Cauret M, Delmas A, Petit J. Study of hybrid charges[C]// Proceedings of the 17th International Symposium on Ballistics. Midrand, South Africa, 1998,2:357-364.
- [5] 谭多望,孙承伟,赵继波,等.大锥角聚能射流实验研究[J].高压物理学报,2003,17(3):204-208.
TAN Duo-wang, SUN Cheng-wei, ZHAO Ji-bo, et al. Experimental investigation of shaped charge with large cone angle[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2003,17(3):204-208.
- [6] 吴晗玲,段卓平,李金柱.不同爆轰波形对杆式射流性能影响的数值模拟研究[J].南京理工大学学报,2004,28(6A):11-16.
WU Han-ling, DUAN Zhuo-ping, LI Jin-zhu. Numerical simulation of influence on performance of rod-liked jet with different shapes of detonation waves[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2004,28(6A):11-16.
- [7] WU Han-ling, DUAN Zhuo-ping. Numerical simulation of influence on performance of rod-liked jet by shell[C]// Proceedings of the 2005 International Autumn Seminar on Propellants, Explosives and Pyrotechnics (2005 IASPEP). Beijing, China, 2005:1113-1116.
- [8] Baker E L, Daniels A S, Turci J P, et al. Selectable initiation shaped charges[C]// Proceedings of the 20th International Symposium on Ballistics. Orlando, USA, 2002:589-596.
- [9] 段卓平,温丽晶,申健,等.聚能装药用多点环形起爆器的设计[J].兵工学报,2011,32(1):101-105.
DUAN Zhuo-ping, WEN Li-jing, SHEN Jian, et al. Design of multi-point ring initiator for shaped charge[J]. Acta Armamentarii, 2011,32(1):101-105.

Performance test and application of the multi-point ring initiator for a shaped charge*

DUAN Zhuo-ping, WEN Li-jing, ZHANG Lian-sheng, HUANG Feng-lei
(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: A series of experiments were conducted to investigate the synchrony of the multi-point ring initiator applied to a shaped charge and the penetration capability of the shaped charges with the multi-point ring initiators into reinforced concrete targets. The output synchrony of all points of the multi-point ring initiator was measured by using the high-speed photography and fiber probe technique. It is showed that the output synchrony of all points is good and the longest time difference is less than $0.1 \mu\text{s}$. The shaped charges were initiated to penetrate into reinforced concrete targets by applying the multi-point ring initiators and the central point initiation, respectively. Comparison of the experimental results shows that the multi-point ring initiators can improve markedly the penetration capability of the shaped charges.

Key words: Mechanics of explosion; penetration capability; multi-point ring initiator; shaped charge; reinforced concrete

* Received 18 August 2009; Revised 30 January 2010

Corresponding author: DUAN Zhuo-ping, duanzp@bit.edu.cn