

闪光爆震弹冲击波效应测试及分析

郭三学, 刘 彬

(武警工程大学装备工程学院, 陕西 西安, 710086)

摘 要: 针对拟设计应用的某型闪光爆震弹, 测量了闪光爆震弹冲击波超压, 建立了冲击波超压方程, 分析了冲击波超压效应, 确定了冲击波超压对目标的作用半径, 为闪光爆震弹的安全性应用提供了确切的技术参数。

关键词: 闪光爆震弹; 冲击波超压; 非致命效应

中图分类号: TJ450.2 文献标识码: A

Test and Analysis on Shock Wave of Flashing Detonation Grenade

GUO San-xue, LIU Bin

(Equipment Engineering College, CAPF Engineering University, Xi'an, 710086)

Abstract: Aimed at a kind of designed flashing detonation grenade, the shock wave overpressure was measured, the equation of shock wave overpressure was established, and the effect of shock wave overpressure was analyzed, then the radius of the effect of shock wave overpressure on the target was determined. The study provides the exact technical parameters for the security application of flashing detonation grenade.

Key words: Flashing detonation grenade; Shock wave overpressure; Non-lethal effect

执法部队在处置大规模的暴(骚)乱事件中大量使用闪光爆震弹, 其巨大的声响和耀眼的闪光是驱散、震慑闹事人群最有效的方式。然而, 该弹药爆炸产生的冲击波超压是造成有生目标安全性的主要因素之一, 国内外对此类防暴弹的非致命效应研究很少, 故测量闪光爆震弹冲击波超压, 并分析对目标的非致命效应, 不仅可有效指导闪光爆震弹的安全应用, 而且对闪光爆震弹的创新设计具有重要的参考价值。

没有任何物体干扰的自由场的入射压力, 如图 1(a) 所示; 另一种是测量爆炸波的地面、壁面、结构物上的入射压力和反射压力, 如图 1(b) 所示。



(a) 自由场压力传感器 (b) 地面压力传感器
图 1 压力传感器

Fig.1 Pressure transducer

1 测量方法及系统组成

爆炸冲击波是由巨大压力的爆炸产物迅速向外膨胀而形成的, 其测量基本上分两类^[1]: 一类是测量

测量冲击波压力一般由压力传感器、信号变换和放大电路、记录仪器等装置组成。自由场压力传感器的测量是把传感器安装于被测流场某个测点位置; 地面压力传感器的测量是将传感器埋入地面

或受冲击波作用的物体之内。本次试验采用这两种测量方式,一方面能够收集更多的数据,便于分析;另一方面,可以将数据进行对比,从而分析不同方式的冲击波超压对目标的作用效果。

本次试验选择美国 PCB 公司 ICP 型 113A 系列 A21 与 A26 传感器。此类传感器量程 $13.7 \sim 830 \times 10^3 \text{ kPa}$; 时间精度达 μs 级; 谐振频率最高大于 1500 kHz ; 温度范围 $-270 \sim +350^\circ\text{C}$; 与传感器配套的装置有美国 HBM 公司 Nicolet Genesis 数据采集系统, 包括信号适配器、数据采集器以及数据处理系统等。

现场布置如下: (1) 利用铁架与石桩将两根铁丝分别沿东西向和南北向拉成十字形, 被测弹药固定于十字中心, 固定点距离地面 1.2 m , 如图 2 所示。

(2) 炸点南偏西 45° 方向 1 m 、 2 m 、 3 m 分别布置 6 枚地面压力传感器与空间自由场压力传感器, 传感器数据电缆线埋入地下, 连接远端多通道 HBM-Genesis 数据处理系统; (3) 高速摄影仪架设于爆炸平面上, 位于炸点正东方向 30 m 处; (4) 两根触发线一端固定在被测弹药上, 另一端分别连接于高速摄影仪触发器与数据处理中心传感器触发器; (5) 操作人员于数十米外通过绳索拉动弹体拉环, 引爆弹体, 弹药壳体膨胀瞬间冲断触发线, 启动高速摄影仪与传感器, 开始记录数据。



图 2 固定弹药
Fig.2 Fixed ammunition

2 试验结果分析

试验共测量了 3 枚爆震弹, 图 3 为爆震弹爆炸后的情景, 压力传感器成功检测到相应的爆炸冲击波超压, 其冲击波超压数据基本一致, 其中的 3 号弹测试数据如表 1 所示, 图 4 为冲击波超压曲线。综合 3 枚

弹药的超压测试结果, 不同位置冲击波超压的最大值及平均值如表 2 所示。

表 1 冲击波超压

距离	线号	传感器号	测试通道	传感器灵敏度/ ($\text{V} \cdot \text{s}^{-1}$)	峰值电压/ /V	峰值压力/ /MPa	电压冲量/ ($\text{V} \cdot \text{s}^{-1}$)	压力冲量/ ($\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$)
地面 1m	M1	21-22805	A1	3 677	0.272 0	0.073 97	9.810e-005	26.7
地面 2m	M2	21-20619	A2	3 483	0.157 0	0.045 08	5.697e-005	16.4
地面 3m	M3	24-22853	A3	736.6	0.019 8	0.026 88	6.165e-006	8.37
自由场 1m	R1	21-20617	B1	3 525	0.220 0	0.062 41	6.274e-005	17.8
自由场 2m	R2	21-22806	B2	3 630	0.099 5	0.027 41	4.253e-005	11.7
自由场 3m	R3	21-17345	B3	3 535	0.040 0	0.011 32	2.411e-005	6.8



图 3 弹药爆炸

Fig.3 Photo of explosion of ammunition

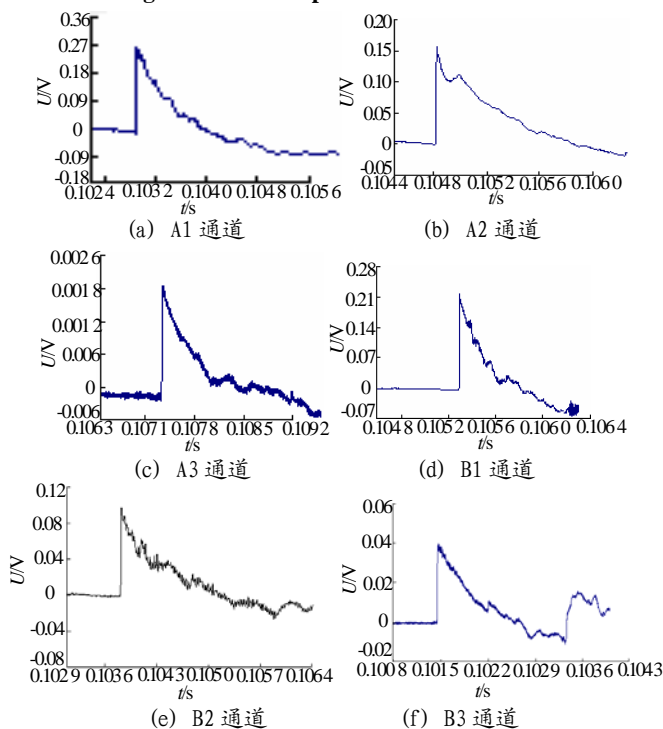


图 4 冲击波超压曲线

Fig.4 Overpressure curves of shock wave

表 2 超压平均峰值

距炸点距离/m		超压峰值/MPa			
		1号弹药	2号弹药	3号弹药	平均值
地面传感器	1	0.069 078	0.073 157	0.073 973	0.072 069
	2	0.034 453	0.043 641	0.045 076	0.041 057
	3	0.024 437	0.027 152	0.026 880	0.026 156
自由场传感器	1	0.070 922	0.070 071	0.062 411	0.067 801
	2	0.025 868	0.026 391	0.027 410	0.026 556
	3	0.012 192	0.011 750	0.011 315	0.011 754

从表 2 可以看出, 冲击波作用于地面的超压要高于空间自由场的超压, 这是因为自由场传感器所测得

的压力主要为入射压,而地面传感器测得的压力除入射压外,还接收到了空间其他物体接触面对原始超压的反射压,因此测得压力值要大。闪光爆震弹主要是在大规模群体性事件、暴(骚)乱事件及解救人质等行动中进行运用,而这些事件多发生在房屋众多、不明物体纷繁复杂的街道和建筑物内等地点。从实际考虑,弹药爆炸后发出的冲击波超压对于人员的作用不会是简单的入射压,而会叠加不同平面所形成的反射压。因此在计算中,取地面传感器测得的数值,才会符合闪光爆震弹应用的实际特性。

3 基于冲击波超压的闪光爆震弹安全半径

闪光爆震弹作为一种非致命弹药,其安全性是应用中的第一要素,文献显示^[2]冲击波超压为 0.019 8 ~ 0.027 6 MPa 时,会对人员造成轻度伤害;达到 0.027 6 ~ 0.041 4 MPa,就会对人员造成中等伤害,出现耳膜破裂,骨折等;在 0.041 4 ~ 0.103 5 MPa 之间,就会内脏严重挫伤,50%耳膜破裂;大于 0.103 5 MPa,就会死亡。所以,在设计和应用中,严格控制对人员造成中等伤害,将冲击波超压为 0.019 8 MPa 确定为人体损伤的临界值,在此距离处确定为闪光爆震弹的安全半径,安全半径越小,防暴弹应用越安全。在防暴弹冲击波超压测量中,测量点很有限,根据已知点的冲击波超压数值,拟合冲击波超压随距离变化的曲线,方可确定不同位置的冲击波超压,通过超压对人体致伤标准求得出闪光爆震弹冲击波安全半径。

弹体爆炸后冲击波超压向四周扩散,在离爆心某一距离 x 处,冲击波超压 p 是服从正态分布的随机变量, p 对变量 x 存在如下关系式^[3]:

$$p = p_0 \exp(-Kx) \quad (1)$$

式(1)中: K 是冲击波超压衰减系数, m^{-1} ; p_0 为弹体在炸点的冲击波超压。试验中,通过传感器记

录的 (x, p) 值,运用回归方法求得速度衰减系数 K 和弹体在炸点的冲击波超压 p_0 。利用回归分析法,可得:

$$\ln p = \ln p_0 - Kx \quad (2)$$

$$K = \frac{\sum x_i \sum \ln p_i - n \sum x_i \ln p_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3)$$

$$\ln p_0 = \frac{\sum x_i^2 \sum \ln p_i - \sum x_i \sum x_i \ln p_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (4)$$

将表 2 中的数据代入到公式(3)~(4)中,解得 $K=0.5$, $p_0=0.117$ 。冲击波超压曲线方程为:

$$p = 0.117 \exp(-0.5x) \quad (5)$$

在 $x=0$ 即在炸点处,冲击波超压值最大,在 $x \rightarrow \infty$ 时,函数值无限接近于 0,即离炸点越远,冲击波超压值越小。冲击波超压为 0.019 8 MPa 时是人体损伤的临界值,因此,取 $p=0.019 8$,计算出 $x=3.55$,即该闪光爆震弹的冲击波安全半径为 3.55m。

4 结论

(1) 闪光爆震弹冲击波超压呈指数方程衰减,在离爆心 3.55m 外是安全距离。(2) 闪光爆震弹在 3m 距离段仍会产生中等冲击波超压,爆心处冲击波超压效应达到 0.117 MPa,会对有生目标造成致命性伤害。(3) 冲击波超压测量的数据可为闪光爆震弹设计和非致命效应评估提供重要依据。

参考文献:

- [1] 黄正平.爆炸与冲击电测技术[M].北京:国防工业出版社,2007.
- [2] 张国伟,徐立新,张秀艳.终点效应及靶场试验[M].北京:理工大学出版社,2009.
- [3] 侯旷怡,何正文,张新伟.战斗部破片群初速、压力测试方法[J].四川兵工学报,2012(4):28-29.
- [4] 隋树元,王树山.终点效应学[M].北京:国防工业出版社,2000.