

文章编号:1000-5773(2010)06-0423-08

微型雷管药高比对输出威力的影响^{*}

何爱军,严楠,付淑玲,耿万钧

(北京理工大学机电学院,爆炸科学与技术国家重点实验室,北京 100081)

摘要:为了适应 MEMS 引信微型传爆序列的需求,针对微型雷管装药高度比对输出威力的影响开展了专门研究。改变装药直径为 0.9 mm、装药高度为 3 mm 的微型雷管中起爆药与猛炸药装药高度比,用猛铜压阻传感器对爆轰输出压力进行测定,得到微型雷管中起爆药的临界高度为 0.36 mm。当起爆药高度为 1.65 mm 时,微型雷管爆轰压力值最大,为 10.3 GPa;当起爆药高度小于 1.65 mm, HMX 炸药高度大于 1.35 mm 时,随着起爆药高度的减小,猛炸药高度的增加,微型雷管的爆压值减小;当起爆药高度大于 1.65 mm、HMX 炸药高度小于 1.35 mm 时,随着起爆药高度的增加,猛炸药高度的减小,微型雷管的爆压值也减小。初步得出了羧铅起爆药和猛炸药的最佳高度比范围为 0.69~2.26。

关键词:微型装药;输出威力;临界高度;最佳高度比;MEMS 传爆序列

中图分类号:TJ450.1;TJ452.1

文献标识码:A

1 引言

微小型化是现代引信发展的方向,也是我国未来引信发展的重点之一,采用微机电系统制造技术加工与集成的 MEMS 引信^[1-5],能够将体积缩小为通常的 1/2 到 1/10,是小型武器弹药的理想引信,但普通的起爆系统在体积和结构方面难以满足 MEMS 引信的要求,必须探索适用于 MEMS 引信的微型起爆系统,而雷管作为各类爆炸装置中的核心引爆装置,对炸药能否成功起爆起着至关重要的作用。为保证传爆的可靠性,在传爆序列的设计中,必须对引起传爆序列爆炸反应的输入刺激量的控制及其对目标产生预期效果的最终输出等有明确的设想。所以,雷管作为起爆元件,其起爆能力的研究对整个传爆序列设计具有非常重要的影响。

对于雷管中装药高度比对输出威力的影响早有研究,早期用凹坑法对雷管的装药高度比进行研究,认为在一定长度内,起爆药柱长度和猛炸药柱长度有一个最佳的比值^[6,7];即起爆药柱与猛炸药柱存在一个最佳的比例关系;2008 年,王科伟等^[8]利用猛铜压阻法研究了 $\varnothing 2\text{ mm} \times 5\text{ mm}$ 微型装药药高比对输出爆压的影响,认为在小雷管设计中,起爆药 CMC-Pb(N₃)₂ 的药高不应小于 1.6 mm,起爆药与猛炸药装药高度为 1:1 时,微型雷管输出爆压最大;同年,Claridge^[9]等人用有机玻璃鉴定块的方法对内径 1 mm 的微型雷管在不同装药高度比下进行了测试,得出在微型雷管中起爆药 AgN₃ 的高度不低于 0.5 mm,猛炸药 CL-20 的高度不低于 1.0 mm 的定性结论。那么,这些研究是否同样适用于装药尺寸小于 1 mm 以下的微型雷管还未可知。

本研究固定微型雷管尺寸,管壳内径为 0.9 mm,总高度为 3 mm,无底,实验过程中改变起爆药与猛炸药的装药高度,并利用微型猛铜压阻计精确测定其爆轰输出压力,旨在用微型雷管中起爆药与猛炸

^{*} 收稿日期:2009-12-07;修回日期:2010-03-26

基金项目:国家自然科学基金(10971012);国家重点实验室基金(YBKTO8-08)

作者简介:何爱军(1984—),女,博士研究生,主要从事 MEMS 引信用起爆序列研究. E-mail:heaijun2008@163.com

通讯作者:严楠(1972—),男,博士,教授,博导,主要从事爆炸力学与安全、失效分析技术研究. E-mail:yn@bit.edu.cn

药的比例关系的研究来优化爆轰输出效果,并给雷管设计的相关研究人员提供一些参考。

2 实验装置与方法

爆压测试实验装置如图 1 所示。采用 DD-12A 电点火管引爆,DD-12A 电点火管的装药为斯蒂芬酸铅,产生火焰直接作用于微型雷管,实验证明斯蒂芬酸铅引爆后对下一级的输出压力的影响可以忽略。实验中采用铝套筒固定不锈钢管壳和电点火管,提高装配定位质量。

2.1 实验方法与原理

在图 1 所示的实验装置中,电点火管引爆微型雷管,微型雷管产生的爆压直接作用于微型锰铜压力传感器,其阻值的变化被测试系统采集。测试系统如图 2 和图 3 所示。在测试系统中锰铜压力传感器用同步脉冲恒流源供电,因此,传感器受压后电阻的变化反映为电压的变化。波形存储示波器记录电压变化过程,可测得电压峰值 $V_{\max}$ 和基准电压 V_0 , 由于 $\Delta R/R_0 = (V_{\max} - V_0)/V_0$, 将其代入锰铜压力传感器标定公式,即可得到对应的冲击波压力峰值,测试系统中采用的恒流源的最大电流为 9 A, $10\ \mu\text{s}$ 内恒流值的变化不大于 1%^[10]。波形存储示波器为 DPO7104,频响范围为 1 GHz, 取样速率为 10 GS/s。传感器上方有 1 mm 厚有机玻璃保护介质,下方有 3 mm 厚有机玻璃承压块,以减小冲击波反射对测试结果可能产生的影响。

测试采用 H 型微型锰铜压力传感器,图 4 为其结构示意图,敏感区面积约 $0.04\ \text{mm}^2$ 的长方形,敏感区电阻约为 $0.2\ \Omega$ 。

H 型微型锰铜传感器标定曲线为

$$p = 53.22(\Delta R/R) \quad (0 \sim 5.907\ \text{GPa}); \quad p = 1.978 + 35.28(\Delta R/R) \quad (> 5.907\ \text{GPa})$$

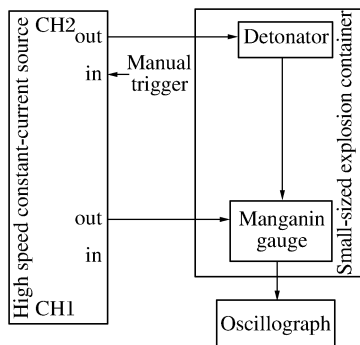
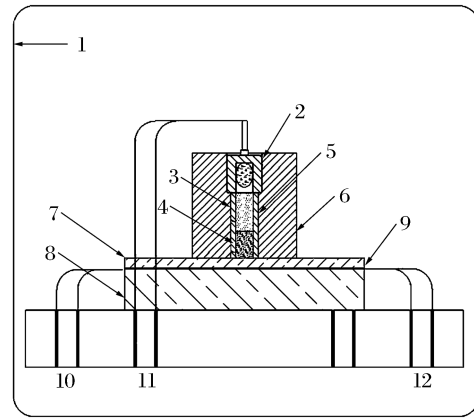


图 2 测试系统框图

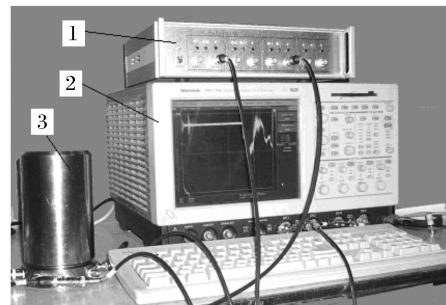
Fig. 2 Block diagram of measurement system



- 1. Small-sized explosion container;
- 2. Electrical ignition tube; 3. Primary explosive;
- 4. Output explosive; 5. Detonator capsule;
- 6. Holder sleeve; 7. Protective medium (PMMA);
- 8. PMMA support; 9. Manganin gauge;
- 10. To the output of constant-current;
- 11. To the input of constant-current;
- 12. To the oscillograph

图 1 微型雷管输出压力实验装置示意图

Fig. 1 Experimental device sketch of detonator output detonation pressure measurement



- 1. Constant-current source; 2. Oscillograph;
- 3. Small-sized explosion container

图 3 测试系统连接实物图

Fig. 3 Practicality diagram of measurement system

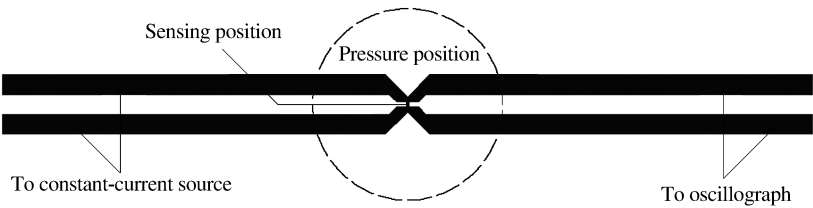


图 4 微型锰铜压阻传感器结构示意图

Fig. 4 Structural sketch of manganin micro-transducer

实际测量时,锰铜传感器通以恒流源,因此受压后电阻的变化转为电压的变化,即

$$p = 53.22 \times (\Delta V/V) \quad (0 \sim 5.907 \text{ GPa}); \quad p = 1.978 + 35.28 \times (\Delta V/V) \quad (> 5.907 \text{ GPa})$$

式中: p 为冲击波压力峰值; $\Delta R/R$ 为传感器的电阻变化率; $\Delta V/V$ 为传感器两端电压的变化率。

因传感器上方有 1 mm 厚有机玻璃保护介质,数据处理时,考虑铝约束与 45 钢约束较为接近,所以应用 45 钢约束下的校正公式^[10]对上述爆压进行校正计算,即通过冲击波在有机玻璃中的衰减公式进行折算

$$\begin{cases} p_{m,x} = p_{m,0} e^{-\alpha x} \\ \alpha = 0.0906 + 0.8615 e^{-d/2.1743} \end{cases} \quad (1)$$

式中: $p_{m,0}$ 为冲击波进入有机玻璃中的初始入射压力,GPa; $p_{m,x}$ 为在有机玻璃中距入射面 x 处的冲击波压力,GPa; α 为冲击波在有机玻璃中的衰减系数; d 为装药直径。

3 实验方案和测试结果

实验中采用 $\varnothing 1.25 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ (内径 0.9 mm)不锈钢管壳,压装起爆药和猛炸药,起爆药选取羧甲基纤维素叠氮化铅,采用 8 kg 装药压力,折算压力为 126 MPa;猛炸药选取细化 HMX,采用 12 kg 装药压力,折算压力为 189 MPa。装药时先压猛炸药,再压起爆药。

将 3 mm 管壳平均划分为 5 段,每段 0.6 mm,改变起爆药和猛炸药高度,分别测其输出压力。具体方案及测试结果见表 1。

表 1 实验方案及测试结果

Table 1 Experimental plans and results

Group No.	Height of PbN ₆ /(mm)	Height of HMX/(mm)	PbN ₆ /HMX	p_1 /(GPa)	p_2 /(GPa)	Experimental number
I	0.6	2.4	1 : 4	3.872	7.492	5
II	1.2	1.8	2 : 3	5.231	10.122	5
III	1.5	1.5	1 : 1	5.280	10.217	6
IV	1.8	1.2	3 : 2	5.388	10.426	6
V	2.4	0.6	4 : 1	4.425	8.562	5
VI	3.0	0	PE	3.106	6.010	4

Note: p_1 —Detonation pressure on the surface of manganin gauge; p_2 —Detonation pressure after revising;
PE—Primary explosive completely.

4 分析和讨论

对表 1 中羧铅装药高度与 HMX 装药高度分别与经校正后的输出压力运用最小二乘法进行数据拟合,得到的拟合曲线见图 5 和图 6,拟合曲线关系式为

微型雷管输出压力与起爆药高度拟合: $p = 3.649 + 8.118h_1 - 2.463h_1^2$,拟合相关系数为 0.981;

微型雷管输出压力与 HMX 装药高度拟合: $p=5.838+6.659h_2-2.463h_2^2$, 拟合相关系数为 0.981。

其中 p 为微型雷管输出爆轰压力峰值, GPa; h_1 为羧铅装药高度, mm; h_2 为 HMX 装药高度, mm。

实验测得在 D 点, 即羧铅装药高度 1.8 mm, 猛炸药 1.2 mm 时, 输出压力最大, 为 10.4 GPa。从拟合曲线可以得到, 当起爆药高度为 1.65 mm 时, HMX 装药高度为 1.35 mm 时, 压力达到最大值 10.3 GPa, 与实验值有所偏差, 但拟合曲线更能反应规律性。

根据拟合曲线走势, 对曲线边界进行探索性研究, 结果表明, 当起爆药高度为 0.3 mm 时, 微型雷管不能完全爆轰; 当起爆药高度为 0.36 mm 时, 测得此时微型雷管的爆轰压力为 6.3 GPa, 如图 6 所示, 此时猛炸药高度为 2.64 mm。

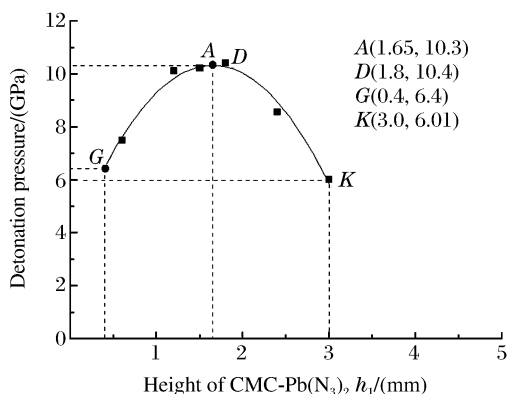


图 5 微型雷管 $p-h_1$ 拟合曲线图

Fig. 5 Fitted $p-h_1$ curves of micro-detonator

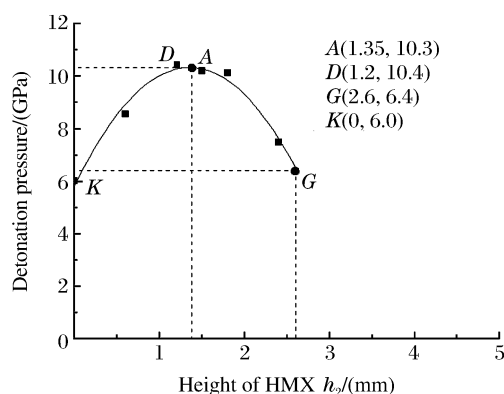


图 6 微型雷管 $p-h_2$ 拟合曲线图

Fig. 6 Fitted $p-h_2$ curves of micro-detonator

4.1 羧铅起爆药临界高度与 HMX 临界起爆压力

极限药量是指保证起爆药输出能量达到冲击波临界能量 E_c 的最小起爆药量; 而临界起爆能量是指在冲击波的作用下炸药被起爆的冲击波能量的一个临界值 E_c 。

4.1.1 羧铅起爆药的临界高度

在雷管中, 起爆药的高度不仅要保证爆轰成长的需要, 而且要保证冲击波起爆能量 $p^2\tau$ 值达到猛炸药被起爆的临界能量 E_c 。这就要求羧铅起爆药具有足够的起爆能力, 而 PbN_6 的起爆能力除由其密度决定 p 外, 还要由其装药高度决定 τ 。此高度既要保证羧铅装药自身的爆轰成长, 又要保证输出冲击波作用时间, 这就要求起爆药有一定的临界高度^[7] (达到一定爆速)。当装药的结构尺寸一定、装药密度一定时, 装药高度决定其起爆能力。

1990 年, 陈福梅等用高速扫描摄影和探针法测试雷管的爆轰成长, 测得 PbN_6 在长度为 1.52 mm 处出现高速爆轰, 因此认为 1.52 mm 是 PbN_6 应该保证的药高下限, 即认为雷管中叠氮化铅的临界高度为 1.52 mm^[7]。

而在本研究中, 实验测得当起爆药高度为 0.3 mm 时, 微型雷管不能完全爆轰, 由于羧铅的反应区厚度很小^[7], 粉状氮化铅为 0.075~0.45 mm, 结晶氮化铅为 0.2~0.4 mm, 因而认为此时起爆药的输出冲击波压力小于猛炸药的临界起爆压力, 即起爆药不能可靠引爆猛炸药; 当羧铅装药高度为 0.36 mm、HMX 高度为 2.64 mm 时, 微型雷管的输出压力为 6.3 GPa, 对应于图 5 和图 6 中的 G 点。于是认为在该条件下的微型雷管中, 羧铅起爆药的临界高度为 0.36 mm。但从图中 G 点和 K 点可以看出, 微型雷管的爆轰输出压力略高于全羧铅起爆药的爆轰输出压力, 因而断定, 此时在起爆药与猛炸药界面只能达到低速爆轰, 猛炸药的起爆深度较大, 爆轰成长期较长, 从而爆轰输出较小, 因而此时的微型雷管设计不是最佳选择。

4.1.2 HMX 的临界起爆压力

实验测得微型羧铅装药爆轰成长规律为 $p' = -7.311 \cdot \exp(-h_1/1.423) + 7.192$, p' 为羧铅起爆药装药爆轰输出压力, GPa, 见图 7 中的曲线 (b)。将微型雷管输出压力随起爆药高度的变化曲线 (a) 与

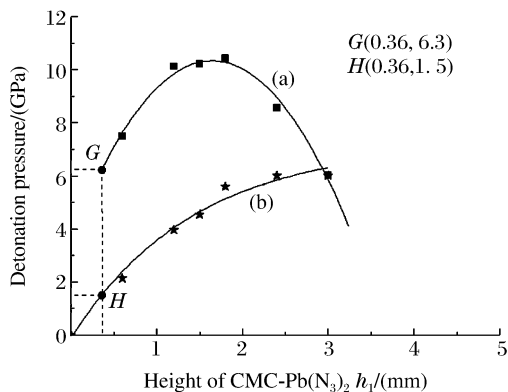
微型羧铅装药爆轰成长曲线(b)叠加,得到在微型雷管中对应羧铅起爆药临界高度时 HMX 的临界起爆压力为 1.5 GPa,对应图 7 中的 H 点。

4.2 装药高度对输出威力的影响

理想状态下,起爆药药量越多,对于猛炸药来说,初始冲击波速度和压力就越大,起爆深度也越小,爆轰成长就越快,输出威力也越大。但在装药总长度一定时,就存在起爆药与猛炸药的匹配问题。

4.2.1 起爆药高度对输出威力的影响

图 8 反映了起爆药高度对爆轰输出威力的影响,曲线(a)是微型雷管输出压力随起爆药高度的变化曲线,曲线(b)是起爆药爆轰成长曲线。

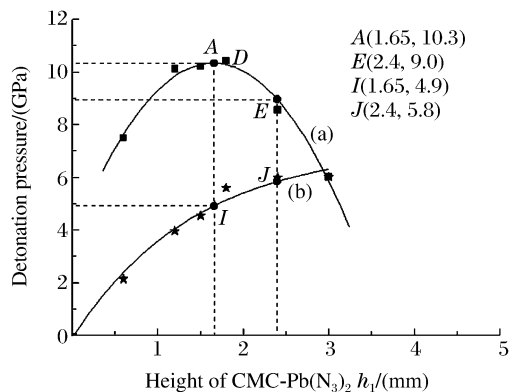


(a) Fitted $p-h_1$ curves of micro-detonator

(b) Fitted $p'-h_1$ curves of primary explosive

图 7 起爆药高度对微型雷管爆轰输出威力的影响

Fig. 7 Influence of primary explosive charge height on the output detonation pressure



(a) Fitted $p-h_1$ curves of micro-detonator

(b) Fitted $p'-h_1$ curves of primary explosive

图 8 起爆药高度对微型雷管爆轰输出威力的影响

Fig. 8 Influence of primary explosive charge height on the output detonation pressure

从图 8 中曲线(b)可以看出,在点 J 处,羧铅装药高度为 2.4 mm 时,爆轰趋于稳定,此时,爆轰压力为 5.8 GPa,微型雷管的爆压为 9.0 GPa,见点 E ,低于 A 点时微型雷管最大输出压力为 10.3 GPa。由此可以说明,在微型雷管中装药总长度一定时,羧铅起爆药达到稳定爆轰时的装药高度不是微型雷管的最佳起爆药装药高度。

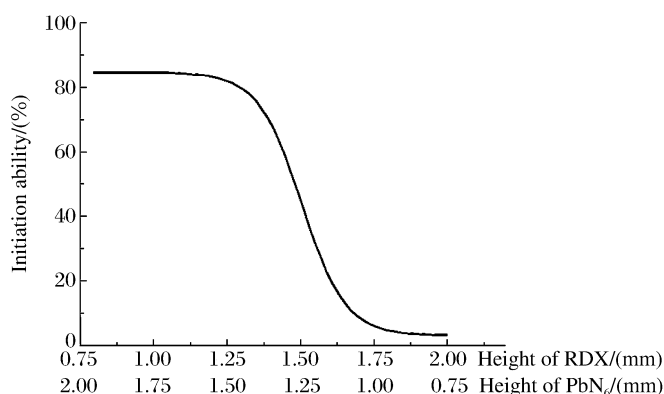
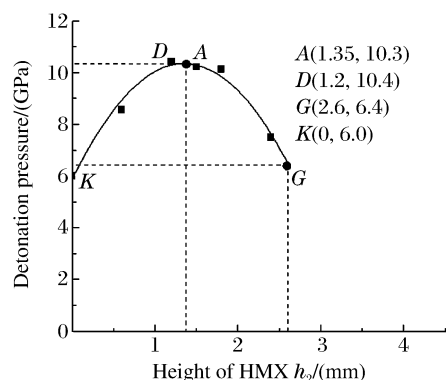
而从图 8 中曲线(a)可以看出,当微型雷管爆轰压力最大为 10.3 GPa 时,羧铅的装药高度为 1.65 mm,见点 A ,此时羧铅装药爆压为 4.9 GPa,见点 I ,还处于爆轰成长阶段。以点 $A(1.65, 10.3)$ 为分界点,当羧铅装药高度小于 1.65 mm 时,随着羧铅装药高度的减小,微型雷管输出压力降低;当羧铅装药高度大于 1.65 mm 时,随着羧铅装药高度的增加,微型雷管输出压力也降低;当微型雷管中全部装填起爆药时,微型雷管爆压降到最低为 6.0 GPa。由此可以说明,在该微型雷管中,最佳起爆药高度为 1.65 mm。

因而,在微型雷管设计过程中,不应忽视起爆药高度对整个微型装药输出威力的影响,应当考虑起爆药和猛炸药的匹配,寻求最佳的设计方案,而对于本研究中的微型雷管,其爆轰输出最大时的羧铅装药高度为 1.65 mm。

4.2.2 微型雷管中猛炸药对输出威力的影响

有人用直径 3.73 mm、高度 3.63 mm 的不锈钢管壳装填猛炸药和起爆药来研究两种装药药高比值的关[7],在保证总药高为 2.75 mm 不变的条件下,分别改变 PbN_6 和 RDX 的药高,其起爆能力变化如图 9 所示。并指出,在所实验范围内,开始时随着起爆药量的增加,猛炸药药量的减少,起爆能力增加较为迅速;但若起爆药增加得更多,亦即 RDX 量相对减小,则对雷管起爆能力几乎无影响。

但是在微尺寸装药条件下,如图 10 所示,开始时,随着 HMX 高度的增加,微型雷管爆压增加,当 HMX 高度增加到 1.35 mm 时,微型雷管爆压达到最大,为 10.3 GPa;但当 HMX 高度大于 1.35 mm 时,微型雷管爆压减小。 $\varnothing 3.73$ mm 雷管的起爆能力随 RDX 的变化差别很大。

图 9 $\varnothing 3.73$ mm 雷管改变起爆药与猛炸药高度时的起爆能力Fig. 9 $\varnothing 3.73$ mm detonator initiation ability图 10 微型雷管 $p-h_2$ 拟合曲线图Fig. 10 Fitted $p-h_2$ curves of micro-detonator

比较两种装药,前一种雷管装药尺寸为 $\varnothing 3.73 \text{ mm} \times 2.75 \text{ mm}$,微型雷管装药尺寸为 $\varnothing 0.9 \text{ mm} \times 3 \text{ mm}$ 。分析差别很大的原因可能为:

(1) 在测试手段方面,前者主要表征起爆能力与装药高度的关系,属于定性研究,且并没有给出雷管的爆轰输出压力,而后者用定量测试的方法得到了微型雷管爆压随装药高度的变化,更能表现爆轰输出与装药高度的关系。

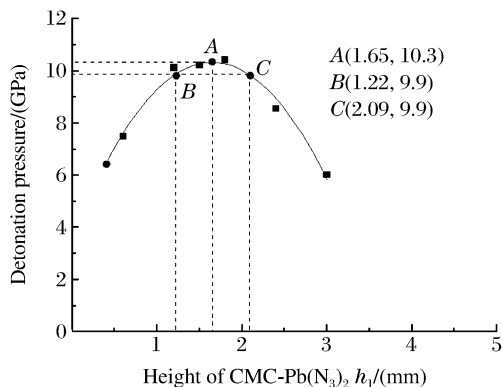
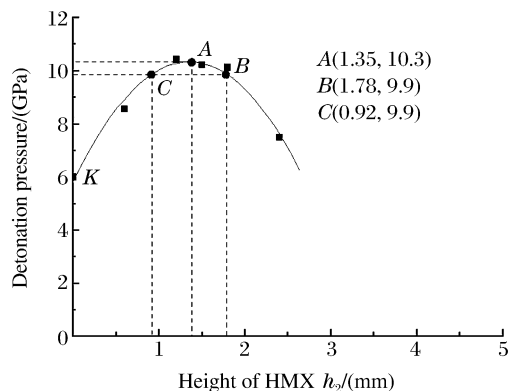
(2) 微尺寸条件下,直径效应更加明显。在起爆药与猛炸药界面冲击波速度较低,只能达到低速爆轰,猛炸药起爆深度较大,爆轰成长期较长,使得微尺寸装药条件下猛炸药的高度对于起爆能力的影响较大。

(3) 由 4.2.1 节可知,若要在起爆药与猛炸药界面达到高速爆轰,需要起爆药要有一定的高度,由此保证猛炸药在较短的距离内达到高速爆轰。在大尺寸条件下,当起爆药达到该高度时,在起爆药与猛炸药界面可以达到高速爆轰,猛炸药在很短距离内就能达到稳定爆速。

4.2.3 微型雷管的最佳高度比

在一定装药高度内,起爆药柱高度与猛炸药柱高度存在一个最佳比值^[6-7]。2008 年,王科伟等的研究成果表明,装药尺寸为 $\varnothing 1.6 \text{ mm} \times 3.2 \text{ mm}$ 的雷管起爆药与猛炸药高度为 1:1 时,输出爆压最大。

而在本研究中的微型雷管装药过程中发现,起爆药和猛炸药的药高控制极为困难,但为了保证微型雷管的爆轰输出能够可靠引爆下一层装药,现拟定起爆药与猛炸药的最佳高度比是一个范围,取输出压力为最大值 $\pm 5\%$ 范围内对应的高度比作为最佳高度比,得出起爆药与猛炸药的最佳高度比范围为 0.69~2.26,包含了以前研究者提出的可能最佳高度比范围。起爆药高度为 1.22~2.08 mm,猛炸药高度为 0.92~1.78 mm,爆压为 9.9~10.3 GPa,对应于图 11 和图 12 中的 BC 段。

图 11 微型雷管 $p-h_1$ 拟合曲线图Fig. 11 Fitted $p-h_1$ curves of micro-detonator图 12 微型雷管 $p-h_2$ 拟合曲线图Fig. 12 Fitted $p-h_2$ curves of micro-detonator

5 结 论

(1) 微型雷管中起爆药的临界高度为 0.36 mm。

(2) 微尺寸装药条件下,当起爆药高度大于 2.4 mm 时,起爆药爆轰成长趋于稳定;对于 3 mm 药高的微型雷管,当起爆药高度为 1.65 mm、猛炸药高度为 1.35 mm 时,微型雷管的爆轰压力值最大,为 10.3 GPa。

(3) 当起爆药高度小于 1.65 mm、HMX 高度大于 1.35 mm 时,随着起爆药高度的减小,猛炸药高度的增加,微型雷管的爆压值减小;当起爆药高度大于 1.65 mm、HMX 高度小于 1.35 mm 时,随着起爆药高度的增加,猛炸药高度的减小,微型雷管的爆压值也减小。该性质是微型雷管的特性。

(4) 多因素综合考虑,起爆药与猛炸药的最佳高度比拟定为一个范围,取输出压力最大值 $\pm 5\%$ 范围内对应的高度比作为最佳高度比,为 0.69~2.26。

References:

- [1] Robinson C H. MEMS Safety and Arming Device for OICW [A]//NDIA Small Arms Conference [C]. Little Rock, 2001.
- [2] Robinson C H. Development and Demonstration of a MEMS-based Safety and Arming Device for the 20 mm OICW Fuze [A]//NDIA Joint Services Small Arms Conference [C]. Atlantic City, 2002; 27.
- [3] Sanchez A C. MEMS Based Safe & Arm Development for the XM29 (OICW) Weapon System Update [A]//2003 Joint Services Small Arms Section Symposium [C]. USA, 2003; 18.
- [4] Sanchez A C. MEMS Based S&A Development for 25 mm HEAB Munitions [A]//NDIA 50th Annual Joint Services Small Arms Symposium [C]. USA, 2004; 23.
- [5] Cope R D. Naval Air Warfare Center Weapons Division [A]//NDIA 48th Annual Fuze Conference [C]. USA, 2004; 20.
- [6] Cai R J. Explosive Initiator Design Principle [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1999; 181-214. (in Chinese)
蔡瑞娇. 火工品设计原理 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1999; 181-214.
- [7] Chen F M. Theory and Design of Explosive [M]. Beijing: Weapon Industry Press, 1990; 112-138. (in Chinese)
陈福梅. 火工品原理与设计 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1990; 112-138.
- [8] Wang K W, Yang Z C, Wang D, et al. Influence of the Height Ratio of Micro Charge on the Output Detonation Pressure [J]. Initiators & Pyrotechnics, 2008, 10(5): 31-33. (in Chinese)
王科伟, 杨正才, 王 端, 等. 微型装药药高比对输出爆压的影响 [J]. 火工品, 2008, 10(5): 31-33.
- [9] Claridge R P, Vine T A, Leggett A J. Investigations into MEMS Scale Detonators [A] // The Proceedings of the International Pyrotechnics Seminars [C]. Colorado, 2008; 175-179 (in USA)
- [10] Xu X C, Jiao Q J, Cao X, et al. Attenuation Regularity of Detonation Waves of Small Charge in PMMA [J]. Energetic Materials, 2009, 17(4): 431-435. (in Chinese)
徐新春, 焦清介, 曹 雄, 等. 小尺寸装药爆轰在有机玻璃隔板中的衰减规律 [J]. 含能材料, 2009, 17(4): 431-435.

Investigation into Charge Height Ratio of Micro-Detonator on the Output Detonation Pressure

HE Ai-Jun, YAN Nan, FU Shu-Ling, GENG Wan-Jun

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology,
School of Mechatronical Engineering, Beijing Institute
of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to accommodate to the needs of micro-explosive train in MEMS fuze, this paper car-

ried out a specific study about the influence of charge height on the output detonation pressure in micro-detonator. The charge diameter is 0.9 mm, total height is 3 mm. The charge ratio of primary explosive and high explosive was to be changed. The output detonation pressure was measured by man-ganin piezoresistance method. In the micro-detonator, the critical height of primary explosive PbN_6 is 0.36 mm. When the primary explosive PbN_6 height is 1.65 mm, the micro-detonator has the maximal output detonation pressure 10.3 GPa. When the primary explosive PbN_6 height is less than or more than 1.65 mm, the high explosive HMX height is less than or more than 1.35 mm, and the output detonation pressure of the micro-detonator is reduced. The range of the primary explosive PbN_6 and the high explosive HMX is 0.69~2.26.

Key words: micro-detonator; detonation pressure; critical height; best height ratio; MEMS explosive train

《高压物理学报》征稿简则

《高压物理学报》是我国高压物理领域唯一的专业性学术刊物,在国内外公开发行。力求及时报道高压物理学科基础理论和应用研究方面具有创新性、高水平、有重要意义的研究成果,读者对象为国内外科技工作者。征稿内容为动态及静态高压技术,人工合成新材料,高温高压下材料的力学、光、电、磁等特性以及物质微观结构的研究,动态及静态高压研究中的测试技术,高温高压下的相变,高温高压物态方程等。接受中、英文稿件。

1. 来稿应具有科学性、先进性和实用性,论点明确、论据可靠、数据准确、逻辑严谨、文字简练、图表清晰。每篇论文的篇幅应在 6 000~8 000 字以内,请使用中华人民共和国法定计量单位。论文格式请参考近期出版的《高压物理学报》。请使用网站(www.gywlxb.cn)的作者投稿系统进行投稿。

2. 所投稿件不得涉及国家及本单位机密,投稿时请附本单位保密审查意见,由审查者签名并加盖公章。

3. 文章标题字数应在 20 字以内。文中图、表应有自明性,所有图题、图注、表题、表注均为中、英文对照,图、表中的文字一律用英文。

4. 第一作者应确保全体作者同意文章署名,需提供第一作者、通讯作者简介(姓名、出生年、性别、职称、学位、研究方向等),以及所有联系方式(通信地址、邮政编码、电话号码、传真、电子邮箱等),以备联系。请注明论文(工作)的资助项目(资助项目名称和批准号),简要介绍工作背景和论文意义。

5. 来稿应保证文章版权的独立性,严禁抄袭,文责自负,请勿一稿多投。

重点注意事项

▲ **中英文摘要** 摘要用第三人称书写,语言要简练,应有具体内容。要求:(1) 拥有与论文同等量的主要信息,重点包括 4 个要素:即研究目的、方法、结果和结论。(2) 以提供论文梗概为目的,不得评论、解释论文内容。中文摘要应在 200~400 个字之间,英文摘要不少于 120 个实词。为便于 Ei Compendex 以及国外其它数据库收录,英文摘要中尽量避免特殊字符(各种数学符号、上下脚标及希腊字母)及由特殊字符组成的数学表达式;第一句不要与英文题名重复;尽量用短句子并避免句形单调;用过去时态叙述主要工作,用现在时态叙述结论,尽量用主动语态代替被动语态。

▲ **参考文献** 参考文献应是公开出版物。请充分著录参考文献,引用条数不宜太少,并尽量引用近期国内外文献,采用“顺序编码制”著录。中文参考文献必须附英译文,著录项目应齐全。

▲ **版权与稿酬** 《高压物理学报》已加入《中国学术期刊(光盘版)》、万方数据——数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中文科技期刊数据库、中国期刊网、台湾中文电子期刊服务——思博网(CEPS)等,并被 Ei Compendex 光盘收录。凡经本刊录用的稿件,其著作权(包括光盘版和网络版版权)便自动转让给《高压物理学报》编辑部,编辑部不再另行通知。来稿一经发表,即付稿酬(包括光盘版和网络版稿酬)。

《高压物理学报》一贯秉承服务科学、服务读者、服务作者的办刊理念,慎重对待每一篇来稿,尊重作者劳动。优秀稿件享有快速发表通道,重大创新性成果可在 3 个月内刊出。

通信地址:四川绵阳 919 信箱 110 分箱《高压物理学报》编辑部,邮政编码:621900

网 站: www.gywlxb.cn 电子邮件: gaoya@caep.ac.cn (征订、咨询)

电 话: (0816)2490042 传 真: (0816)2485139

《高压物理学报》编辑部