

文章编号: 1006-9941(2004)05-0257-07

锰铜压阻法测量雷管输出的压力波形分析

严楠, 韩秀凤, 蔡瑞娇

(北京理工大学 爆炸灾害预防与控制国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 用锰铜压阻法对不同传感器保护介质、不同底壳形状及无底壳等条件下的雷管输出压力进行了测量研究, 分析了各种因素对输出压力波形的影响。研究表明, 用1 mm厚有机玻璃片作保护介质优于Mylar片; 平底雷管输出压力模拟信号上升前沿比凹底雷管和无底壳雷管的输出前沿要陡得多。

关键词: 爆炸力学; 火工品; 雷管; 锰铜压阻法; 冲击波; 压力测量

中图分类号: TQ560.71

文献标识码: A

1 引言

雷管输出威力的测量方法一般为铅板法、钢板法和铝板法, 其输出的动态定量测量方法在国内外至今为止还没有形成标准, 主要原因是雷管输出能量形式复杂, 测试结果随机性大, 难以准确定量。人们一般认为, 影响表征雷管输出威力的因素有冲击波、热爆炸气体和管壳破片三种作用形式。而这三种作用中只有冲击波作用大小可以准确测量; 管壳破片作用只能通过X光高速摄影或电磁法测量, 但是限于国内适用的设备贫乏, 几乎见不到有关研究报道; 爆炸热产物作用的测量还一直未见报道。实际测量中难以通过压力或速度的测量来清楚地分辨出上述三种形式作用的大小, 而只能测量三种形式的综合作用。由于雷管输出测量需要性能很高的测量仪器、很高的实验技巧和分析能力, 因此有关雷管输出特性定量测量的文献并不多见。

然而人们在进行雷管、传爆管以及传爆序列的性能设计时, 非常需要了解爆炸元件间能量传递的动态特征参数, 特别是对高新技术弹药设计, 输出的动态定量测量是极其重要的设计依据。从上个世纪60年代以来, 国内外对锰铜压阻传感器用于炸药动高压测量进行了深入研究^[1~5], 该技术在原理上也可用于雷管输出测量。前人工作大多是围绕测试装置、测试仪器

和试样参数设计本身进行研究, 但却没有一篇文献对测试波形的正确性进行探讨, 这给实验结果及结论带来很大的困难。本文在总结前人成功经验基础上, 用锰铜传感器对不同条件下的雷管输出特征进行了测量研究, 取得了一些典型波形, 进行了有效性分析, 为新型火工品及引信传爆序列的设计提供了实验依据。

2 原理及实验装置

2.1 锰铜传感器测压原理

根据锰铜传感器材料的电阻率在高压作用下会发生变化, 在保持材料尺寸不变时其电阻随压力的升高几乎呈线性地增加, 而其电阻温度系数很小, 为 $2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ ^[6], 因此可以认为在爆轰波或冲击波作用时锰铜材料的电阻率只受压力影响。

锰铜压阻传感器和脉冲恒流源一起组成有源压力探测器。在恒流源向传感器提供恒流 I 的条件下, 当传感器受到外界压力作用时, 电阻变化和电阻上的电压变化存在如下关系:

$$\Delta R/R_0 = I\Delta R/(IR_0) = \Delta V/V_0 \quad (1)$$

式中 V_0 为加在 R_0 上的电压值, ΔV 为压力作用下电压的增加值, $\Delta R/R_0$ 为锰铜传感器的电阻变化率, $\Delta V/V_0$ 为对应电阻变化的电压变化率。而电压变化便于测量。该方法的使用需要预先标定锰铜传感器的压力与电压的关系曲线: $p \sim \Delta V/V_0$, 实验时只要精确测量电压变化 $\Delta V/V_0$, 就可计算出实测压力值。雷管的输出冲击波压力一般为20 GPa左右^[7], 而锰铜材料的压阻系数在4~39 GPa的压力范围内近似为常数^[8], 处于锰铜传感器的适用测试范围内。

收稿日期: 2004-03-24; 修回日期: 2004-06-09

作者简介: 严楠(1960-), 男, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 从事爆炸可靠性技术研究。e-mail: yn_bit@bit.edu.cn

由于雷管的装药直径小(一般为3~7 mm),输出作用面积小,雷管输出波形前沿的非平面性和侧向稀疏波对测量信号的影响不容忽视。为了保证压力测量的准确性,只能选用敏感部分尺寸小、阻值低的传感器。这使得压力测量范围被限制在十亿帕级以上的高压范围。为了便于传感器放置在雷管底部和测量线路的连接,宜选用H型传感器,见图1。所选传感器的敏感部分面积为 $0.5\text{ mm} \times 1\text{ mm}$,厚度为 $10\text{ }\mu\text{m}$,绝缘膜封装。

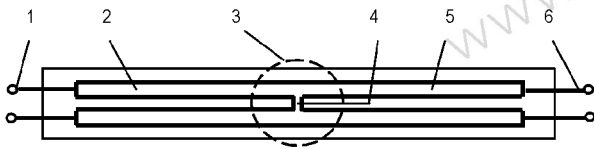


图1 H型锰铜压阻传感器结构示意图

1—接恒流源, 2,5—引线, 3—受压部分,
4—桥路敏感部分, 6—接示波器

Fig.1 Structural sketch of H type manganin gauge

1—to pulse constant-current power, 2,5—wire,
3—pressure position, 4—sensing position, 6—to oscillograph

2.2 雷管与传感器测压组件的安装

电雷管与传感器组件安装结构如图2所示。

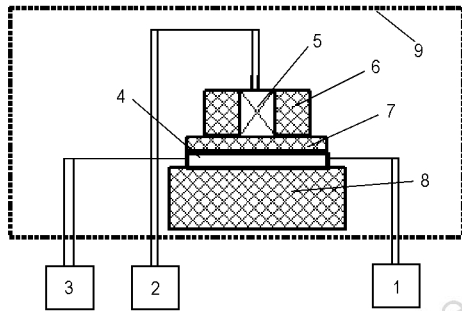


图2 雷管与传感器组件安装结构图

1—接示波器, 2,3—接恒流源输出端, 4—锰铜传感器,
5—雷管, 6—有机玻璃套管, 7—保护介质,
8—有机玻璃承压块, 9—爆炸罐

Fig.2 Assembly structural sketch of manganin gauge and detonator

1—to oscillograph, 2,3—to pulse constant-current output,
4—manganin gauge, 5—detonator, 6—PMMA sleeve,
7—protective medium, 8—PMMA support,
9—explosion proof bomb

雷管固定在有机玻璃套管中。在传感器上方放置一定厚度的保护介质,以免雷管底部破片过早使传感

器引线切断或短路,而得不到完整的压力上升模拟信号。传感器下方放置有机玻璃承压块。传感器的保护介质和承压块必须选择惰性绝缘材料,并且冲击阻抗与所测炸药相近,这样可减少冲击波通过不同介质时的反射现象,使所测压力值更加接近实际情况。为此,保护介质选择了有机玻璃片和 Mylar 片,承压块选择了有机玻璃。

传感器安装不当对测试波形正确性产生影响的因素,还包括排除传感器与两侧介质间的空气隙、传感器敏感部分中心与雷管底部轴心对正。

2.3 测量系统配置

本实验使用的雷管输出压力测量系统主要由 TDS7104 记忆示波器、MH4D 高速同步脉冲恒流源、H 型锰铜传感器和爆炸容器组成。

测量系统参数的选取直接影响获得测量信号的成功或失败。针对雷管输出压力模拟信号(由电压信号记录压力变化)上升前沿约 $10\sim 50\text{ ns}$,确定 TDS7104 示波器频响为 250 MHz ,采样速率为 2.5 GS/s ,记录长度为 25 kbits 。MH4D 脉冲恒流源输出恒流的可调脉宽范围是 $30\sim 500\text{ }\mu\text{s}$ 。小型爆炸容器的设计有16个接线柱,一次试验可以同时测量多个信号,测量线采用长 $1\sim 2\text{ m}$ 的 $50\text{ }\Omega$ 同轴电缆,可同时减少试验量和测量误差。测量系统框图如图3所示。

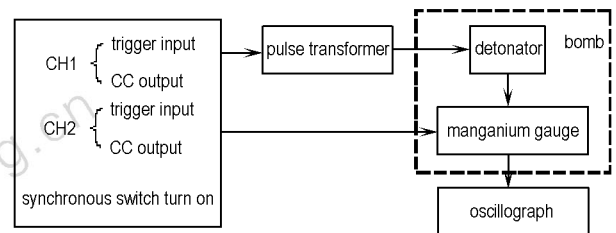


图3 测量系统框图

Fig.3 Block diagram of measure system

由于恒流源输出的工作电流是最大 $500\text{ }\mu\text{s}$ 脉冲宽度的恒流,因此对于作用时间较长的雷管,需要考虑雷管输出压力与恒流源启动给锰铜传感器供电的同步性问题。一般需要为恒流源的启动设定一个比雷管的输出到达传感器时刻略为提前若干微秒(约大于 $2\text{ }\mu\text{s}$)的触发信号。作法是在图2雷管套管的内侧加工一个 $0.6\text{ mm} \times 0.6\text{ mm}$ 凹槽,插入一个 $\Phi 0.3\text{ mm}$ 漆包线制成的双股绞线探针,当雷管爆轰波向下传播时,雷管管壳膨胀挤压探针使之导通,用此导通信号来启动恒流源提前为传感器供电。

3 雷管输出压力波形测量

3.1 传感器输出的典型波形

为了便于对比分析不同测量条件下的波形,首先对测量信号波形的参照物作一分析。当无动态高压作用时,锰铜传感器输出的典型记录波形如图4所示,只反映恒流源的脉冲输出特性。当有雷管动态高压作用时,典型波形为在原波形上叠加了冲击波压力作用到传感器上输出的信号^[5],参见图5。

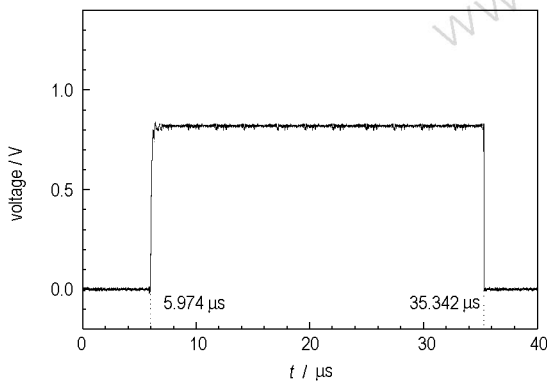


图4 无外来动高压作用时锰铜传感器输出的典型波形
Fig. 4 Typical output waveform of manganin gauge without external dynamic high pressure supply

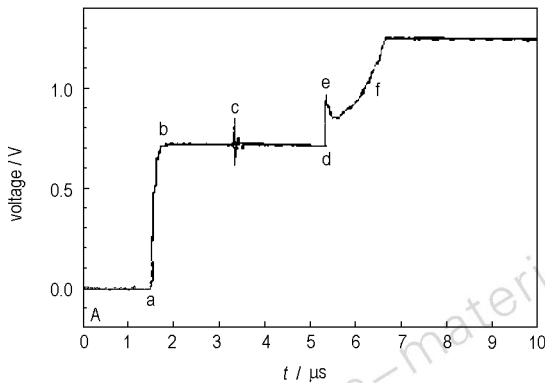


图5 有1号电雷管输出时锰铜传感器输出的典型波形^[5]
Fig. 5 Typical waveform of manganin gauge joined with electric detonator No. 1 output

图5中, *Aa* 直线段是锰铜传感器通电前的示波器基线信号, *bd* 直线段是恒流通过传感器时输出的恒压信号, 其中 *c* 点附近的一段振荡信号是脉冲变压器工作时在传感器回路中产生的感应干扰信号, *d* 点表示雷管底部输出的压力前沿到达传感器, *de* 段是压力作用于传感器上的压力上升模拟信号, *e* 点是对应压力峰值的电压值, *ef* 曲线段不仅包含传感器的压力作用

信号, 同时还包含传感器的拉伸变形信号。出现拉伸信号的原因是雷管输出冲击波波形的非平面性导致传感器拉伸变形直至破坏。

3.2 传感器保护介质对波形的影响

保护介质影响测量波形的性能有材料成分、厚度、冲击阻抗、材料强度等。其中材料成分与是否在高压下参与反应、绝缘强度、材料强度、冲击阻抗等有关, 材料厚度对通过的冲击波压力存在不同程度的衰减。

本研究中选择了两种保护介质材料, 分别为 0.10 mm、0.05 mm 两种厚度的 Mylar 片和 1 mm 厚的有机玻璃片。实验选择了 1 号火花电雷管 ($\Phi 6.7$ mm \times 10 mm), 该雷管具有平底壳、作用时间短、一致性好的特点, 所以便于传感器的安装和恒流源触发方式的选取, 典型测量波形见图 6a~6f。图 6a、6c、6e 为对应不同保护介质下的测量波形, 图 6b、6d、6f 为对应的冲击波前沿模拟信号局部的时间轴放大波形。

图 6 放大波形中 A 点代表压力模拟信号上升起始点, B 点代表压力模拟信号上升到峰值点。由图 6a、6c、6e 的波形对比可见, 三种保护介质在 B 峰值点以前的完整波形是一致的, 用 Mylar 片的波形在峰值点以后的信号是迅速归零; 而用有机玻璃片的波形在峰值点以后的信号是先减小、后增大的变化规律, 这与文献^[5]的典型波形是一致的。分析局部放大波形可见, 两种厚度 Mylar 片下的前段 (小于 19 ns) 压力模拟信号上升波形坡度基本相同, 电压幅值相差不大; 其中用厚度较小的 0.05 mm Mylar 片时所测波形在 19 ns 处出现一个大的下降波动信号, 表明传感器已被破坏; 约 0.6 μ s 以后两种条件下的信号都归零, 表明传感器短路或断路; 图 6b 中的压力模拟信号上升时间是 53 ns, 图 6d 中的上升时间是 19 ns, 图 6e 中的上升时间是 8 ns, 结果表明用有机玻璃保护介质的压力模拟信号上升前沿比用 Mylar 的要陡得多。

可以根据一些文献对使用 Mylar 片保护介质时信号归零的情况作出解释。文献^[9]指出雷管底壳破片速度可以在 1 mm 空气间隙处达到最大值, 文献^[10]指出雷管底壳破片最大速度可达 3 446 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, 文献^[11]指出当飞片以高于 1 000 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的速度撞击到固体介质上时, 介质性状接近于液体。参照这些研究结果和结合本实验现象可以认为, 1 号电雷管底部结构有 0~0.5 mm 空气间隙, 可以估算出到达保护介质表面时的破片速度约 1 000 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在用 Mylar 片保护条件下, 当铝底壳破片以高速撞击到 Mylar 片上时, Mylar 片性状也将成为流体, 将沿着撞击界面侧向向外

流动,致使铝底壳与锰铜传感器的桥路或引线相接触而形成短路,使波形归零。

记录波形的主要特征是压力模拟信号上升前沿和峰值大小,压力模拟信号后沿仅作参考。文献[12]对通常炸药柱的动高压测量表明,厚度为10 μm的锰铜传感器所测信号上升时间在10 ns左右。本实验用传感器厚度也是10 μm。当用0.10 mm和0.05 mm厚

的Mylar片保护介质时,所测得的压力模拟信号上升前沿时间为19~52 ns,显著大于10 ns,这表明用Mylar片保护时对压力模拟信号上升前沿有一定的减缓作用。而用1 mm厚有机玻璃片保护介质时,压力模拟信号上升时间为8 ns左右,压力上升前沿与文献[12]中一致,波形与图5所示一致,因此可认为用1 mm厚有机玻璃片作保护介质时所测波形为正确的波形。

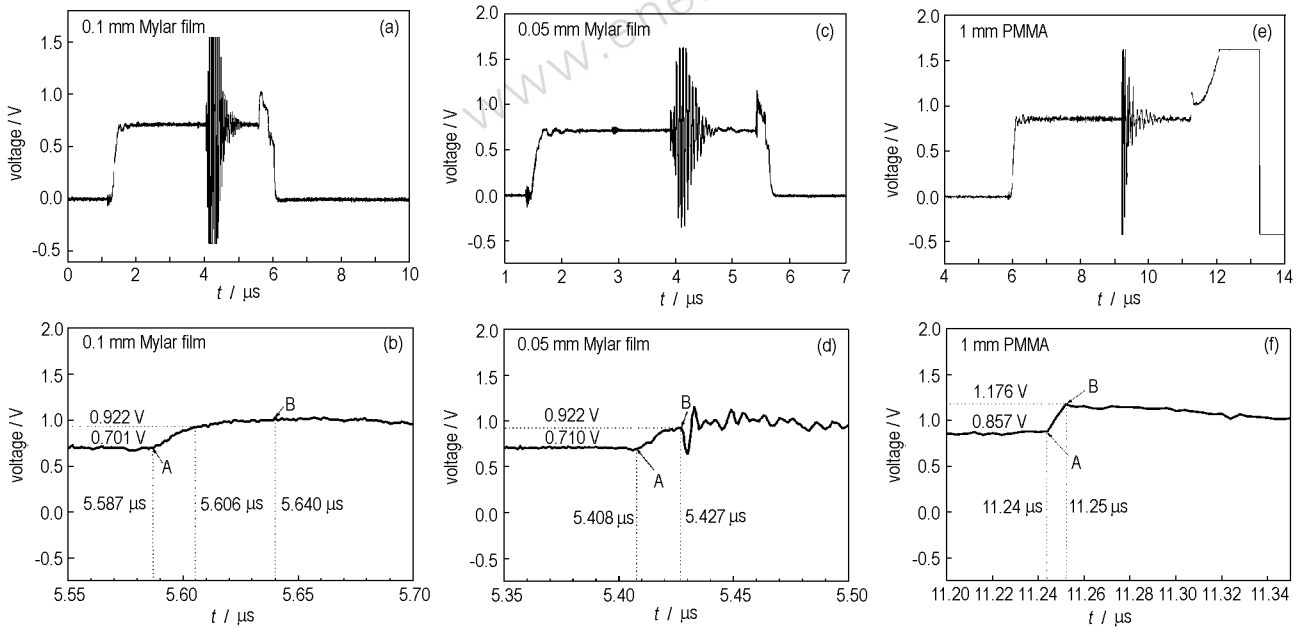


图6 锰铜传感器有不同保护介质时测量雷管输出的典型波形

a,c,e—完整波形, b,d,f—时间轴放大波形

Fig. 6 Typical output waveform of manganin gauge with different protective media joined by detonator output

a,c,e—full waveform, b,d,f—time axial zoom in waveform

由以上分析可以得出结论,用锰铜传感器测量有金属底壳的雷管输出压力时,选用1 mm厚的有机玻璃片作为保护介质较好,不宜用小于0.10 mm厚的Mylar片作保护介质。选用Mylar片只能适用于那些无金属底壳的雷管压力测量或炸药内部的爆轰波压力测量。

为了说明1 mm厚有机玻璃片对记录波形的影响,这里给出一个研究结论,雷管输出冲击波在有机玻璃中的衰减模型为 $p = 18.44 \exp(-0.3587x)$,式中冲击波峰值压力 p 的单位为GPa,有机玻璃厚度 x 的单位为mm。数据拟合范围1~5 mm。因此可以计算得出,用1 mm厚有机玻璃片作保护介质对入射冲击波压力峰值的衰减约30%。有关详细研究工作将在其它文献中报道。

3.3 雷管的底壳形状对输出波形的影响

在雷管设计中常常将底壳设计成不同形状,用来改进雷管输出威力。在前面谈到,雷管输出冲击波前沿的非平面性是锰铜传感器在峰值压力后出现拉伸信号的主要原因。因此可以通过传感器测量波形峰值来研究不同底壳形状对雷管输出威力的影响。

实验选择了两种底壳形状的雷管,凹底壳的8号电雷管($\Phi 6.8 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$)和平底壳的1号火花电雷管。测量8号电雷管得到的记录波形如图7所示,1号火花电雷管的记录波形如图6e,6f所示。

图7a是完整的记录波形,图7b为对应的压力模拟信号上升前沿局部的时间轴放大波形。在图7a中出现了双峰波形,双峰之间有一个很大的波谷,与图6f相比没有完整的拉伸效应信号。测得压力模拟信号前沿AB段上升时间为103 ns,表明压力是比较缓慢地作

用到传感器上的, *B* 点后出现了一小段平缓上升的拉伸信号, 之后出现一个大的下降信号事实表明传感器被损坏。拉伸信号不完整的原因是, 凹底壳雷管爆炸时形成了射流, 爆炸产物冲击波在前, 形成压力模拟信号上升前沿; 金属射流随后, 当金属射流依次穿透有机玻璃片、传感器封装膜后, 将锰铜传感器桥路切断, 信号归零。

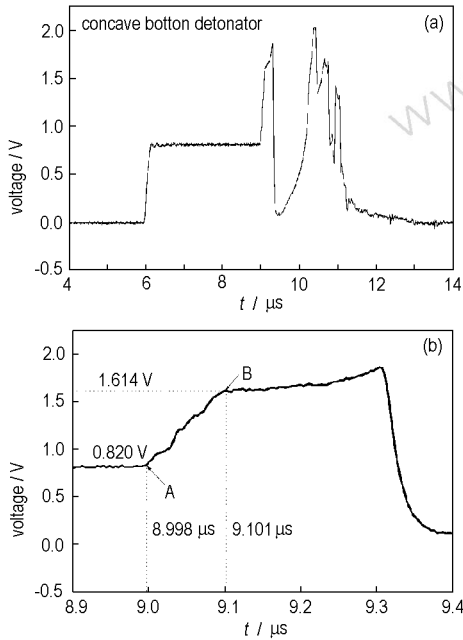


图 7 测试凹底壳雷管输出压力的典型波形
a—完整波形, b—时间轴放大波形

Fig. 7 Typical waveform of concave bottom detonator output
a—full waveform, b—time axial zoom in waveform

3.4 雷管底壳对输出波形的影响

实验选择了 2 号电雷管 ($\Phi 6.1 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$) 有底壳和无底壳两种情况作对比分析。为了检验底壳破片作用的最佳效果, 实验设计将雷管底部与保护介质有机玻璃片之间留出 1 mm 左右的空气隙, 即对应于雷管底部输出综合作用的最大点附近。测量的典型波形见图 8。

无底壳雷管的典型波形与有底壳的相比具有很大的差异。无底壳雷管输出的波形如图 8a 所示, *AB* 段压力模拟信号上升前沿比较平缓, 压力模拟信号上升时间为 41 ns, 压力达到第一峰值 *B* 点后, 压力保持不减至 *C* 点, *C* 点后出现完整的拉伸信号波形。原因是雷管爆炸时, 爆轰产物作用到有机玻璃上产生透射冲击波, 压力模拟信号中的 *BC* 段压力平台为爆轰产物作用到有机玻璃上的持续时间。

有底壳雷管输出的波形如图 8b 所示, *AB* 段压力模拟信号的上升前沿比较陡, 上升时间为 24 ns, 压力模拟信号达到最大值 *B* 点后出现拉伸信号。高速破片撞击机有玻璃片产生的波形特征是压力持续时间短、压力峰值高, 这一结果与爆轰理论分析是一致的。

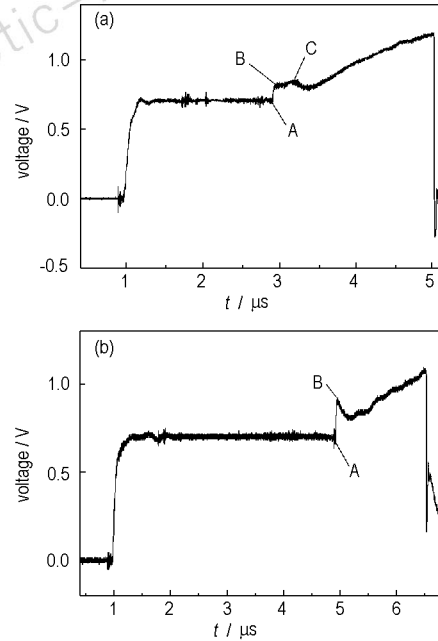


图 8 有、无底壳两种情况下雷管输出的典型波形对比
a—无底壳雷管, b—有底壳雷管

Fig. 8 Comparison of typical waveforms between the detonator outputs with and without bottom capsule
a—detonator without bottom capsule, b—detonator with bottom capsule

3.5 压力测量中的不正常信号

在用锰铜压阻法测量雷管输出时, 经常会出现一些不正常波形, 这给实验结果分析带来许多困惑。这里举例进行分析。

3.5.1 在测量波形中出现振荡信号

振荡信号一般是叠加在正常信号上, 可造成波形上升前沿和峰值变为畸形。在测量 8 号凹底壳电雷管的输出时出现的典型振荡信号如图 9 所示。

出现振荡信号的原因可能是传感器与有机玻璃片之间或与有机玻璃承压块之间存在空气泡, 也可能是测试现场的动力电源连接有其它正在运行的干扰设备, 但有时也不能排除来自被测量对象。对于异常信号, 如果不做专门研究, 很难准确地找出真实原因, 不查明原因继续测量往往造成大量实验失败, 带来无谓的经济损失。

3.5.2 测量波形中无压力上升模拟信号

测量中常出现无压力上升模拟信号的波形,这类案例的典型波形如图4所示。其原因有多种情况。当脉冲恒流源的触发方式的同步开关打开时,如果雷管的作用时间大于恒流源的脉冲宽度,就不能出现压力上升的模拟信号。有时示波器记录长度、采样速率设置不合理;恒流源的触发信号选择不合理,测量压力线路出现异常,也会出现无压力模拟信号。

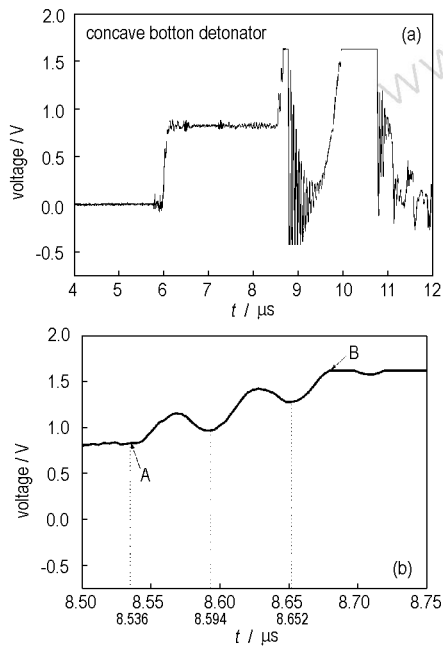


图9 8号凹底壳电雷管输出测量中出现的振荡信号

a—完整波形, b—时间轴放大波形

Fig. 9 Oscillating signal joined in output waveform of electric detonator No. 8 with concave bottom capsule
a—full waveform, b—time axial zoom in waveform

另外,还应注意在设置恒流源的脉宽时,要保证锰铜传感器的压力上升模拟信号出现在恒流源的脉宽以内,同时也应避免在脉宽刚开始时和脉宽快结束时出现压力上升的模拟信号。

4 结论

(1) 用锰铜压阻法测量雷管输出的典型波形与雷管底壳形状、保护介质材料及厚度有关。

(2) 平底壳雷管输出的典型波形是有一个峰值的波形,压力峰值过后有明显的拉伸信号,压力模拟信号上升前沿宽度为10~50 ns左右。凹底壳雷管输出的典型波形为双峰波形,双峰之间有一个很大的波谷,没有完整的拉伸信号,压力模拟信号上升前沿宽度为

100 ns左右。无底壳雷管的压力模拟信号上升前沿波形明显比有底壳的波形平缓,并且有明显的压力平台。

(3) 当用1 mm厚有机玻璃片作锰铜传感器的保护介质时可以获得正确的压力模拟信号,但用0.05~0.10 mm厚Mylar片作保护介质时不能获得完整的压力模拟信号,会出现压力模拟信号上升过程迅速归零的波形。用有机玻璃片的压力模拟信号上升前沿较陡,用Mylar片的压力模拟信号上升前沿较缓。

致谢:本工作得到了北京理工大学黄正平教授的测量技术指导,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] Keough D D. Procedure for fabrication and operation of manganin shock pressure gages [P]. AD 839983, 1968.
- [2] Voreck W. Detonation performance [A]. Proceedings of the 8th Symposium on Explosives and Pyrotechnics [C], The Franklin Institute Research Laboratories, Philadelphia, PA., 1974.
- [3] 国防科技大学. 锰铜压力传感器的实验研究 [R]. GF15809, 1978. University of National Defense Science and Technology. Experimental research of manganin sensor [R]. GF15809. 1978.
- [4] 池家春. 锰铜压力计在传爆序列研究中的应用 [J]. 火工品, 1989(1): 281-287. CHI Jia-chun. The application of manganin piezo-gauge in the research of explosive train [J]. *Initiators and Pyrotechnics*, 1989(1): 281-287.
- [5] 黄正平, 冯喜春, 刘长林. 测试雷管输出压力的方法和设备 [P]. 中国发明专利, 90109527. 3. 1991-05-08. HUANG Zheng-ping, FENG Xi-chun, LIU Chang-lin. The method and equipment of measuring detonator output pressure [P]. Chinese patent; 90109527. 3. 1991-05-08.
- [6] 李国新, 程国元, 焦清介. 火工品实验与测试技术 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1997. LI Guo-xin, CHENG Guo-yuan, JIAO Qing-jie. *Experimenting and Testing Technique of Initiators and Pyrotechnics* [M]. Beijing: Press of Beijing Institute of Technology, 1997.
- [7] 段卓平, 李丹. 雷管内部爆轰波压力测量技术 [J]. 中国安全科学学报, 2001, 11(3): 75-78. DUAN Zhuo-ping, LI Dan. Technique for measuring detonation pressure inside a detonator [J]. *China Safety Science Journal*, 2001, 11(3): 75-78.
- [8] 罗育安. 雷管轴向输出能力的动态测量 [J]. 火工品,

- 1984(1).
- LUO Yu-an. The dynamic measurement of the axial output of detonator[J]. *Initiators and Pyrotechnics*,1984(1).
- [9] 耿俊峰,蔡瑞娇,姚文炳. 对雷管破片速度的实验研究和理论新估算[A]. 中国兵工学会1990年火工与烟火技术专业学会年会学术论文集(京工分册)[C],北京理工大学力学工程系. 1990. IV-51~IV-59.
- GENG Jun-feng, CAI Rui-jiao, YAO Wen-bing. The experimental research and new theoretical estimation of the velocity of detonator fragment [A]. The Proceedings of Chinese Ordnance Institute of Initiators and Pyrotechnics Annual Symposium in 1990 [C], Department of Mechanical Engineering, Beijing Institute of Technology. 1990. IV-51 ~ IV-59.
- [10] 韩秀凤,蔡瑞娇,严楠. 雷管-空气隙-导爆管界面能量匹配理论计算方法[J]. 北京理工大学学报,2003 增刊, 23: 52-57.
- HAN Xiu-feng, CAI Rui-jiao, YAN Nan. Theoretical calculation method of energy matching for detonator-air gap-lead interfaces [J]. *Transaction of Beijing Institute of Technology*,2003,23(suppl.): 52-57.
- [11] 章冠人,陈大年. 凝聚炸药起爆动力学[M]. 北京:国防工业出版社,1991. 48.
- ZHANG Guan-ren, CHEN Da-nian. The Initiation Dynamics of Condensed Explosive [M]. Beijing: Defence Industry Publishing Company,1991. 48.
- [12] 陈生玉,王诚洪. 锰铜压阻测试技术[R]. GF24478,1980.
- CHEN Shen-yu, WANG Cheng-hong. The measuring technique of manganin piezoresistance [R]. GF24478,1980.

Analysis on the Waveforms of Detonator Output Measured with Manganin Piezoresistance Method

YAN Nan, HAN Xiu-feng, CAI Rui-jiao

(State Key Laboratory of Prevention and Control of Explosion Disasters,
Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Accurate acquisition of dynamic pressure waveform for detonator output is the basic guarantee to well and truly estimate detonator output power. Based on the analysis for the output pressure waveforms of detonator-type detonation elements by means of manganin piezoresistance, the influences of different factors, such as sensor protective media, detonator bottom capsule shapes and fragments, on the output waveforms are explained. The investigations showed that a right full detonator output pressure waveform should consist of a steep pressure rise front and a tensile signal after the front. The period of a rise front is 10 ns. When a thinner Mylar film is used as protective medium, the pressure rise front will quickly fall to zero before reaching its peak. The protective medium using 1 mm thick PMMA film is better than that of 0.1 mm Mylar film. The pressure rise fronts of concave bottom and no bottom capsule detonators are much less steep than that of flat bottom detonator and there is a persistent period of pressure flat after their peaks. Besides, the possible bad effects from experimental system on the pressure waveform are also discussed.

Key words: explosion mechanics; detonator; manganin piezoresistance; shock wave; pressure measure