

文章编号: 1006-9941(2004)06-0329-04

雷管输出冲击波在有机玻璃中传播衰减的实验研究

韩秀凤, 蔡瑞娇, 严楠

(北京理工大学爆炸灾害预防、控制国家重点实验室, 北京 100081)

摘要: 有机玻璃因其冲击阻抗与炸药接近而被广泛用作测量冲击波参数的隔板或保护介质。本文用锰铜压阻法测量了雷管底部输出冲击波压力在有机玻璃隔板中的衰减规律, 通过对实验数据 $(x, \ln p)$ 进行最小二乘法拟合, 得出 $\ln p - x$ 有较好的线性关系。计算得到了雷管输出冲击波在有机玻璃中的衰减系数, 并与文献中的同类数据作了对比分析, 得出衰减系数与装药直径有关, 并且装药直径越小, 衰减系数的绝对值越大。文中得出雷管输出冲击波在有机玻璃中的衰减系数 -0.3587 。

关键词: 爆炸力学; 火工品; 雷管; 冲击波压力; 锰铜压阻法

中图分类号: TJ45⁺2; TQ560

文献标识码: A

1 引言

采用锰铜压阻法测量雷管的轴向冲击波压力输出时, 雷管爆炸产生的底壳破片可能切断传感器引线或使其短路, 因此, 必须在传感器前方加一定厚度的保护介质。这样, 传感器测量的压力是经过保护介质衰减后的冲击波压力值。为了得到保护介质表面处的入射冲击波压力, 需研究冲击波在保护介质中的衰减规律。由于有机玻璃(聚甲基丙烯酸甲酯, polymethyl methacrylate, 简称 PMMA) 的冲击阻抗与炸药爆轰产物的冲击阻抗相近, 所以有机玻璃常用作测量爆压传感器的保护介质。刘玉存^[1]研究了冲击波在厚度大于 8.42 mm 有机玻璃中的衰减规律, 缺少 8.42 mm 以内的实验数据, 并且实验中每次实验只能取得一组数据 $(x, \ln p)$ 。陈熙蓉^[2]是通过测量冲击波在隔板中传播距离随时间的变化规律, 采用的测试装置一次可测得多组 (x, t) 数据, 计算出冲击波压力沿隔板厚度的变化情况。王海福^[3]研究了密实介质中冲击波峰值压力衰减特性的近似计算模型, 得出计算结果与陈熙蓉测试冲击波峰值压力在传播中、前期的衰减特性吻合较好, 大于 4 mm 以后与实验结果有偏差。本文在前人研究的基础上, 提出采用锰铜压阻法测定雷管输出压

力在不同厚度有机玻璃中衰减的新的实验方法。并通过对所得数据 (x, p) 进行曲线拟合来研究冲击波在厚度小于 5 mm 的有机玻璃中的衰减规律。

2 实验原理与装置

2.1 锰铜传感器测压原理

锰铜传感器是利用锰铜材料在动高压下的压阻效应, 来测量雷管端部输出的压力。锰铜传感器是一种有源压力探测器, 在测试时有恒流源和恒压源两种供电方式。本文选用脉冲恒流源向传感器供电, 存在下列关系:

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

式中, $\Delta R/R_0$ 为传感器电阻变化率, $\Delta V/V_0$ 为电压变化率, I 为恒流源提供的恒定电流。

在实验中用示波器测量传感器的 $\Delta V/V_0$, 再利用锰铜传感器预先标定的关系曲线 $p - \Delta R/R_0$, 就可以计算出所测的冲击波压力峰值。

为了便于传感器的安装和导线的连接, 锰铜传感器选用了 H 型结构, 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 $10 \text{ }\mu\text{m}$, 有绝缘膜封装。

所用锰铜传感器标定曲线:

$$p = 0.075 + 40.4 \times (\Delta R/R_0) \quad (5.07 \sim 19 \text{ GPa}) \quad (2)$$

$$p = -2.2 + 52.6 \times (\Delta R/R_0) - 15.9 \times (\Delta R/R_0)^2 \quad (19 \sim 35.6 \text{ GPa}) \quad (3)$$

收稿日期: 2004-06-04; 修回日期: 2004-07-20

作者简介: 韩秀凤(1973-), 女, 博士研究生, 从事军事化学与烟火技术研究。e-mail: yn@bit.edu.cn

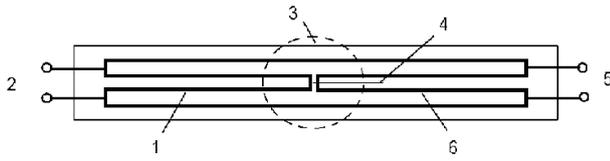


图1 H型锰铜传感器结构示意图

1,6—引线,2—连接恒流源,3—受压部分,
4—敏感部分,5—连接示波器

Fig. 1 Structural sketch of H type manganin transducer

1,6—wire,2—to constant-current supply,3—pressed position,
4—sensing position,5—to oscilloscope

2.2 测试系统及配置

实验所用仪器为MH4D高速同步脉冲恒流源, TDS654C示波器,小型爆炸容器。TDS654C示波器的带宽为250 MHz,采样速率为2.5 GS/s,记录长度为15 kbits。小型爆炸容器内有16个接线柱,一次试验可同时接入3个传感器进行测量。选用的冲击波源是LD-1火花式电雷管,尺寸为 $\varnothing 6.7 \times 10$ mm,输出装药的加强帽底边距管壳底缘有0~0.5 mm空气间隙,且空气间隙不同,雷管输出底壳破片速度不同,所产生的冲击波压力会有一些的偏差。起爆药装药为粉末氮化铅0.11 g,输出装药为太安0.17 g。

雷管爆炸后,其轴向输出冲击波在有机玻璃片中传播,由示波器记录数据(x, p)。由于锰铜传感器的厚度很薄,可以忽略其对冲击波衰减的影响。测试装置安装如图2所示。在测试时,整个测试装置密闭在小型爆炸容器中。

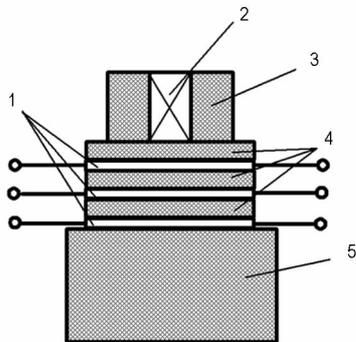


图2 测试雷管输出冲击波在有机玻璃中衰减的实验装置示意图

1—锰铜传感器,2—雷管,3—PMMA套筒,
4—不同厚度的PMMA片,5—PMMA承压块

Fig. 2 Experimental set-up sketch of attenuation measurement of detonator output shock wave in PMMA plate

1—manganin gauge, 2—detonator, 3—PMMA sleeve,
4—PMMA plate in different thickness, 5—PMMA support

每组测试中选取三片有机玻璃片由上到下的厚度组合如下:第一组:1,1,2 mm;第二组:1,2,2 mm,有机玻璃片面积为30 mm×30 mm。用少许透明环氧树脂排出传感器和有机玻璃夹缝中的空气泡,再用502胶固定好。每一组合重复测试三次。

LD-1火花式电雷管需要高电压起爆,所以在恒流源的恒流输出端与起爆雷管的导线之间需要串联一脉冲变压器,将恒流源的恒流脉冲输出转换为高电压脉冲输出。用手动方式启动恒流源,由示波器记录所测信号。

3 实验结果及分析

由实验所得的典型记录波形如图3所示。在图中第一个下降的阶跃信号 V_0 为脉冲恒流源输出在传感器两端产生的恒压信号,恒压信号上出现的第一个大脉冲信号为脉冲变压器工作时在传感器的回路上产生的干扰信号。在恒压信号的基础上产生的第二个下降阶跃 ΔV 是冲击波经过有机玻璃片后作用到锰铜传感器上的压力模拟信号的峰值。压力模拟信号的峰值之后先上升后下降的 $V-t$ 波形是传感器在冲击波作用下压阻信号和拉伸变形的电压信号的叠加,已不代表真实压力模拟信号。

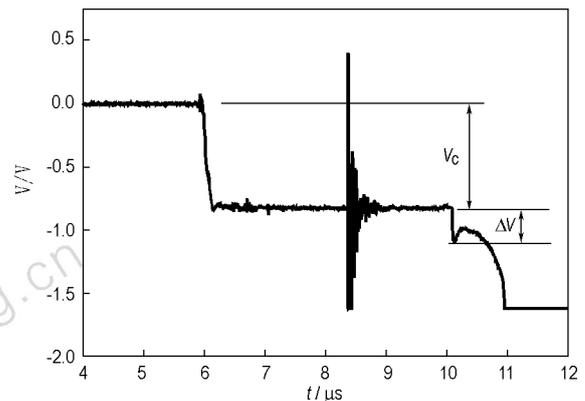


图3 锰铜压阻法测雷管输出的典型波形

Fig. 3 Typical waveform of detonator output measured by manganin piezoresistance method

根据(2)式或(3)式将实验测得的电压变化率换算成冲击波峰值压力。实验测量不同有机玻璃片厚度时的冲击波压力峰值见表1。

冲击波在密实介质中传播时,其峰值压力随传播距离呈指数衰减特征^[3]为:

$$p = p_0 e^{-\alpha x} \quad (4)$$

式中, p_0 为冲击波进入有机玻璃片的初始压力, GPa; p 为冲击波进入有机玻璃片传播距离 x 处的压力, GPa;

α 为有机玻璃材料的冲击波压力衰减系数。

为了便于实验数据(p, x) 关系曲线拟合及拟合精度的提高,可对(4)式取自然对数如下:

$$\ln p = \ln p_0 - \alpha x \tag{5}$$

得一直线关系式,待定参数为直线截距 $\ln p_0$ 和斜率 $-\alpha$ 。据表 1 数据得($\ln p, x$) 的散点图和采用最小二乘法拟合出 $\ln p-x$ 曲线,如图 4 所示。由图可见,参量 $\ln p$ 与 x 呈直线关系。

表 1 不同有机玻璃片厚度时测得的冲击波压力峰值
Table 1 Shock pressure peak measured at different PMMA thickness

PMMA thickness/mm	shock wave peak pressure/GPa	PMMA thickness/mm	shock wave peak pressure/GPa
1	12.7540	3	6.2806
1	15.6346	3	5.2322
1	14.7157	3	6.5083
1	14.6808	4	4.4424
1	12.3730	4	4.1740
1	13.2045	4	3.7646
2	9.6232	5	4.0811
2	6.9299	5	2.6943
2	7.1884	5	3.6300

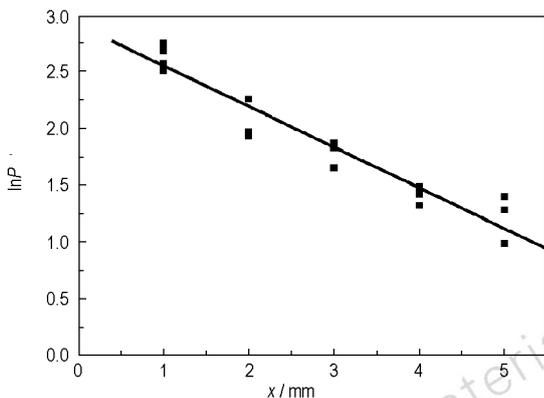


图 4 对实验数据拟合的 $\ln p-x$ 图
Fig. 4 Fitted $\ln p-x$ curve for experimental data

拟合的直线方程为:

$$\ln p = 2.91446 - 0.3587x \tag{6}$$

其线性相关系数为 -0.966 , 具有很好的线性关系。这说明,雷管输出冲击波压力在有机玻璃中的衰减规律符合隔板衰减理论模型(4)式。

把参数 $\ln p_0 = 2.9104, \alpha = 0.3587$ 代入(4)式得:

$$p = 18.439e^{-0.3587x} \tag{7}$$

$p_0 = 18.439$ GPa 就是本次实验所测雷管输出的冲

击波与有机玻璃片相互作用时在有机玻璃片表面处的初始压力峰值,可看作是有机玻璃前方的冲击波入射压力。当用 1 mm 有机玻璃板作保护介质时,用(7)式可以计算出传感器所测冲击波峰值压力相对于有机玻璃片表面处下降了 30%。

利用本文得到的 $p-x$ 曲线,与文献[1]和文献[2]中的 $p-x$ 曲线作一对比,如图 5 所示。

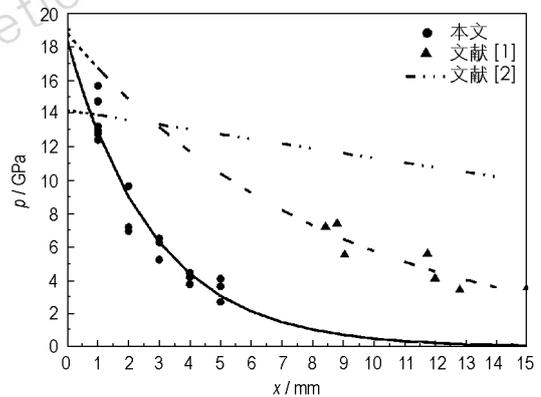


图 5 冲击波压力 p 随距离 x 的衰减曲线
Fig. 5 Attenuation curves of shock pressure versus propagation distance

从图中可看出,本文得到的衰减曲线与文献中的曲线大趋势是一致的。其中文献[2]的衰减最慢,初使压力约为 14 GPa;文献[1]和本文的衰减规律基本一致,初始压力 p_0 约为 18 ~ 19 GPa,但本文中的衰减更快。原因是冲击波在有机玻璃中传播时,侧向稀疏波对冲击波压力的衰减作用造成的。文中测量的是 LD-1 火花式电雷管,其装药直径和高度较小,产生的冲击波平面性较差,且雷管爆炸时输出的冲击波峰值压力在有机玻璃中传播时,侧向稀疏波对其影响最大,使冲击波压力衰减最快。而文献[2]中用的是炸药平面波发生器直径为 40 mm 的炸药柱,产生的冲击波平面性好,侧向稀疏波对其影响最小,冲击波压力衰减慢。因此,从图中可看出,炸药装药的直径和高度对冲击波在有机玻璃中的衰减系数 α 有很大影响。装药直径和高度越小, α 值的绝对值越大。

4 结 论

(1) 提出了用多个锰铜传感器同时测试雷管输出冲击波压力在有机玻璃片中衰减规律的测试方法。

(2) 实验测试的雷管输出冲击波压力峰值与有机玻璃隔板厚度的 $\ln p-x$ 关系呈现良好的线性关系,其关系为 $\ln p = 2.91446 - 0.3587x$ ($0 < x \leq 5$ mm), 相关

系数为 -0.966 。由此得出衰减系数 $\alpha = -0.3587$, 初始压力 $p_0 = 18.439 \text{ GPa}$ 。

(3) 有机玻璃的衰减系数与装药直径和高度有关。直径和高度越小, α 的绝对值越大。

参考文献:

- [1] 刘玉存. 炸药粒度及级配对冲击波感度和输出的影响研究[D]. 北京:北京理工大学, 2000.
LIU Yu-cun. The studying of the explosive particle size and particle gradation affection on the shock wave sensitivity and output[D]. Beijing: Beijing institute of technology, 2000.
- [2] 陈熙荣, 王可, 刘德润, 等. 冲击波在不同材料隔板中

的衰减特征[J]. 兵工学报, 1991(2): 77-79.

CHEN Xi-rong, WANG Ke, LIU De-run, et al. The attenuation characters of shock wave in different baffles[J]. *Acta armamentarill*, 1991(2): 77-79.

- [3] 王海福, 冯顺山. 密实介质中冲击波衰减特性的近似计算[J]. 兵工学报, 1996, 17(1): 79-92.

WANG Hai-fu, FENG Shun-shan. Approximate calculation of the shock wave attenuation in densified medium [J]. *Acta armamentarill*, 1996, 17(2): 77-92.

- [4] 陈生玉, 王诚洪. 锰铜压阻测试技术 [R]. GF24478, 1980.

CHEN Sheng-yu, WANG Cheng-hong. The measuring technology of manganin piezoresistance [R]. GF24478, 1980.

Study on Attenuation of Detonator Shock Wave in PMMA

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

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

Abstract: The attenuation regularity of detonator output shock pressure in PMMA was studied with piezoresistive manganin gauges. Good linear relationship of $\ln p-x$ was obtained by fitting experimental data $(x, \ln p)$ with least square method. The attenuation coefficient of detonator output shock pressure was also compared to the similar data reported in literatures. The results show that the attenuation coefficient is related to the diameter and height of charge obtained above. The absolute value of attenuation coefficient increases with decreasing the diameter and height of charge. The obtained attenuation coefficient of detonator output waveform in PMMA is -0.3587 .

Key words: explosion mechanics; initiators and pyrotechnics; detonator; shock wave pressure; manganin piezoresistance method

(上接 328 页)

Control of Crystallization Process for Potassium Picrate

WANG Zhi-xin, LI Guo-xin, LAO Yun-liang, JIAO Qing-jie, ZHOU Bao-qing

(Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: For better control of potassium picrate (KP) production, the factors affected the crystallization process of KP should be dissertated. On the basis of the introduction for spontaneous crystallization of KP, orthogonal experiments are adopted to investigate the importance level of different factors in this article. The optimized technology conditions are found: feeding time 20 min, quantities of crystal modifiers 20 ml, feeding concentration $0.4 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$.

Key words: organic chemistry; potassium picrate (KP); crystallization; optimized technology