

文章编号: 1003-1480 (2006) 01-0010-03

雷管输出侧向冲击波在硬纸板中传播衰减规律研究

赵耀辉, 焦清介, 臧充光, 刘帅

(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: 本文用 PVDF 压电法测量了雷管侧向输出冲击波在硬纸板中的衰减规律, 通过试验数据 $(x, \ln P)$ 进行最小二乘法拟合, 得出 $\ln P-x$ 有较好的线性关系, 计算得到了雷管侧向输出冲击波在硬纸板中的衰减系数为 -0.450 29。由衰减结果可知硬纸板是一种较优的防殉爆包装材料。

关键词: 雷管; 冲击波; 衰减; 压电法

中图分类号: TJ452 **文献标识码:** A

Study on Attenuation of Detonator Shock Wave in Chipboard

ZHAO Yao-hui, JIAO Qing-jie, ZANG Chong-guang, LIU Shuai

(State Key Laboratory of Explosion Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing, 100081)

Abstract: The attenuation regularity of detonator output shock pressure in chipboard was studied with PVDF gauges. Good linear relationship of $\ln P-x$ was obtained by fitting experimental data with least square method. The obtained attenuation coefficient of detonator output wave in chipboard is -0.450 29. The calculated attenuation result showed that the chipboard is optimum package material for sympathetic detonation resistance.

Key words: Detonator; Shock wave; Attenuation; Piezoelectricity method

雷管是一种爆炸危险品, 本身具有殉爆的特性。在运输、使用等过程中, 雷管一般都是密集放置在包装件中, 这无疑给其殉爆创造了必要条件, 因此改善雷管内包装的结构和材质是防止雷管殉爆发生的首要选择。通过对前人^[1]工作的研究以及开展的试验, 笔者发现硬纸板是雷管包装防殉爆较为理想的选择。考虑到雷管实际的包装形式, 防殉爆包装的设计关键部位在于雷管侧向, 同时为考察硬纸板对冲击波的衰减能力, 设计了雷管侧向输出冲击波在包装硬纸板中的传播衰减试验, 通过对所得的数据进行曲线拟合来得到规律性结果。

收稿日期: 2005-09-20

作者简介: 赵耀辉 (1979-), 男, 在读硕士研究生, 从事火工品技术研究工作。

1 试验原理与装置

1.1 PVDF 传感器测压原理

PVDF 传感器是利用材料在高压下的压电效应, 来测量雷管侧向输出的压力。当传感器受到的冲击载荷为 P 时, 其表面会产生电荷 Q 。已证明 P 和 Q 之间在 0~20GPa (或更大) 的压力范围呈单值函数关系:

$$Q = f(P) = A \cdot K \cdot P \quad (1)$$

(1) 式中, $K=K(P)$ 为动态压电系数, A 为传感器敏感部分的面积。

PVDF 压电传感器的测试电路比较简单,一般不需要电荷放大器之类的二次仪表,这样提高了测试精度^[2]。本试验采用的测试电路为电荷模式,见图1。

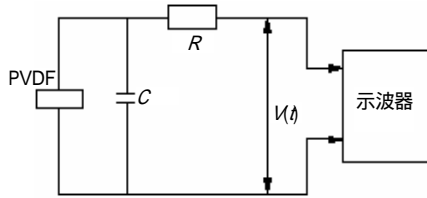


图1 PVDF 传感器测量电路

Fig.1 The measurement circuit of PVDF gauge

在试验中用示波器记录传感器的 $V(t)$, 则可得到: $Q(t) = CV(t)$ (2)

(2) 式中, C 为并联在电路中的电容。这样从联立(1)、(2)式,再利用 PVDF 预先标定的动态压电系数 $K(P)$, 就可以得到冲击波的压力。

本试验中选用的 PVDF 压电传感器的敏感部分的面积为 $1\text{mm} \times 1\text{mm}$, 传感器厚度为 $0.13 \sim 0.15\text{mm}$, 在激波管上标定的动态压电系数为^[3]:

$$K(P) = 17.6\text{PC/N} \quad (3)$$

(3) 式适用于低压范围, 在高压阶段采用轻气炮上得到的关系:

$$P = 0.8911Q + 0.4142Q^2 + 0.3505Q^3 \quad (4)$$

(4) 式中 P 的范围: $0.46 \sim 6.64\text{GPa}$ 。单位: 压力为 GPa , 电荷为 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ 。

1.2 测试系统及配置

试验所用仪器为 TDS7000 示波器, 小型爆炸容器。TDS7000 示波器的带宽为 1GHz , 采样速率为 2.5GS/s , 记录长度为 625kbits 。选用的雷管是 MK - 71 电雷管, 尺寸为 $4.9\text{mm} \times 10\text{mm}$, 起爆药装药为羰铅 80mg , 输出装药太安为 40mg 。

1.3 试验方法

雷管爆炸后, 其侧向输出冲击波在纸板中传播, 由示波器记录数据 (x, P) 。测试装置安装如图2所示。在测试时, 整个测试装置在小型爆炸容器中进行。

测试中雷管管壳右端壁面距离 PVDF 传感器敏感部位的距离分别为 $2\text{mm}, 4\text{mm}, 6\text{mm}, 8\text{mm}, 10\text{mm}$, 传感器所在硬纸板端面的面积为 $25\text{mm} \times 25\text{mm}$ 。安装传感器时需保证传感器的敏感中心与雷管输出装药中心在同一水平线上, 用少许透明的 HY - 914 胶

排出传感器和硬纸板夹缝中的空气。每个位置重复测试 3 次。

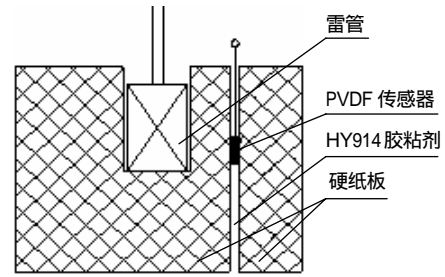


图2 试验装置示意图

Fig.2 Sketch of test instrument

2 试验结果及分析

试验数据见表1, 由试验所得的典型记录波形如图3所示。

表1 不同位置处测得的冲击波压力峰值

Tab.1 Peak pressure of shock wave measured at different site

硬纸板厚度 /mm	冲击波峰值压力 /GPa	硬纸板厚度 /mm	冲击波峰值压力 /GPa
2	5.96	6	0.58
2	4.29	8	0.248
2	5.42	8	0.476
4	2.51	8	0.322
4	2.09	10	0.155
4	2.41	10	0.174
6	1.02	10	0.127
6	1.15		

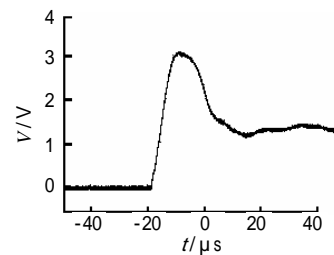


图3 用 PVDF 传感器测得的雷管输出的典型波形

Fig.3 Typical wave shape of detonator output measured by PVDF gauge

图3中出现的电压信号峰值是冲击波经过硬纸板后作用到 PVDF 传感器上的压力模拟信号的峰值。压力模拟信号峰值之后出现的平滑下降曲线是压力随时间衰减的模拟信号, 而随时间延长出现的不规则电压曲线是传感器在冲击波作用下压电信号与拉伸变形电压信号的叠加, 已不是真实的压力模拟信号。根据(1)、(2)和(3)式可把 $V-t$ 换算为 $P-t$

— t ，如图4所示。图5是本次试验雷管侧向输出冲击波峰值压力在硬纸板中随距离衰减的曲线。

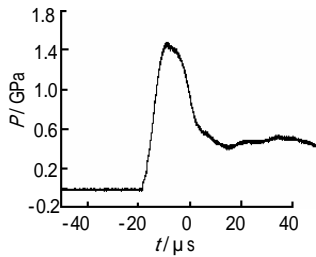


图4 雷管输出的冲击波压力波形

Fig.4 Shock wave pressure shape of detonator output

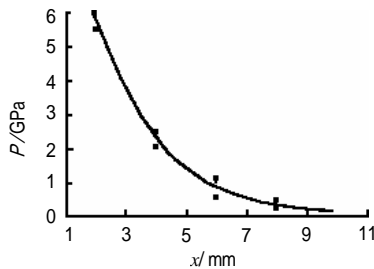


图5 冲击波压力随距离的衰减曲线

Fig.5 Attenuation curve of $P-x$

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规律^[4]：

$$P = P_0 e^{-\alpha x} \quad (5)$$

(5)式中： P_0 为冲击波进入硬纸板的初始压力，GPa； P 为冲击波进入硬纸板传播距离 x 处的压力，GPa； α 为硬纸板材料的冲击波压力衰减系数。

为了便于试验数据(P, x)关系曲线拟合及拟合精度的提高，对(5)式取自然对数如下^[6]：

$$\ln P = \ln P_0 - \alpha x \quad (6)$$

得到的直线的待定参数为直线截距 $\ln P_0$ 和斜率。据表1数据(P, x)得散点图，采用最小二乘法拟合出 $\ln P-x$ 曲线，如图6所示。

拟合的直线方程为：

$$\ln P = 2.57713 - 0.45029x \quad (7)$$

其线性相关系数为-0.98704，具有较好的线性关系。这也说明了雷管侧向输出冲击波压力在硬纸板中的衰减规律符合指数衰减模型。

把参数 $\ln P_0 = 2.57713$ ， $\alpha = 0.45029$ 代入(5)式得： $P = 13.159e^{-0.45029x}$ (8)

$P_0 = 13.159$ GPa是本次试验所测雷管侧向输出的冲击波与硬纸板相互作用时，在硬纸板壁面处的初始压力峰值，可以看作是硬纸板壁面的冲击波入射压

力。利用(8)式可计算出硬纸板厚度为2mm时的冲击波峰值压力为5.35GPa，相对于初始冲击波峰值压力下降了约60%，可见硬纸板对雷管侧向输出冲击波衰减的能力还是很好的，说明硬纸板具有优良的隔爆性能。

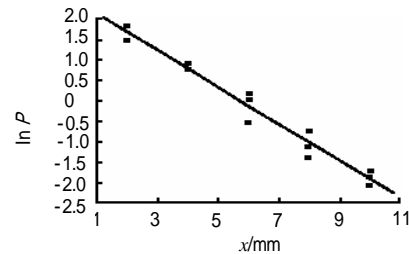


图6 对试验数据拟合的 $\ln P-x$ 图

Fig.6 Fitted curve of $\ln P-x$

3 结论

(1)提出了用PVDF压电传感器测试雷管侧向输出冲击波压力在硬纸板中衰减规律的测试方法。

(2)试验测试的雷管侧向输出冲击波压力峰值与硬纸板厚度的 $\ln P-x$ 关系呈现良好的线性关系，根据其线性关系式可推算2mm厚的硬纸板能使初始冲击波压力衰减60%，说明硬纸板是良好的隔爆材料。

参考文献：

- [1] 陈网桦等. 轻质隔爆材料的试验研究[J]. 中国安全科学学报, 1996,6,(6):17~20.
- [2] 刘剑飞, 胡时胜. PVDF压电计在低阻抗介质动态力学性能测试中的应用[J]. 爆炸与冲击, 1999,19,(3):229~234.
- [3] 李焰等. PVDF应力计在起爆试验研究中的应用[J]. 火工品, 2003,(3):6~10.
- [4] 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.
- [5] 韩秀凤, 蔡瑞娇, 严楠. 雷管输出冲击波在有机玻璃中传播衰减的试验研究[J]. 含能材料, 2004, 12,(6):330~332.