

# 基于超声的铅皮导爆索断细药检测方法研究

李光亚<sup>1,2</sup>, 王明泉<sup>1,2</sup>, 郑景义<sup>3</sup>

(1. 中北大学 动态测试技术国家重点实验室, 山西 太原 030051; 2. 中北大学 信息与通信工程学院, 山西 太原 030051;  
3. 山西北方晋东化工有限公司, 山西 阳泉 045000)

**摘要:** 针对铅皮导爆索的非接触检测存在检测手段有限、检测效率低下、精度不高的问题, 提出了一种基于超声的小径铅皮导爆索断细药检测系统, 可满足对于此类导爆索断细药情况的精确快速测量。实验和实际使用证明该方法可行, 系统运行可靠, 可有效提高检测效率和精度。

**关键词:** 仪器仪表技术; 导爆索; 断细药; 超声; 非接触测量

**中图分类号:** TM932      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-1093(2013)08-1037-04

**DOI:** 10.3969/j.issn.1000-1093.2013.08.018

## Research on Ultrasonic-based Detection Method for Detecting Broken and Weak Points of Lead Sheathed Detonating Cord

LI Guang-ya<sup>1,2</sup>, WANG Ming-quan<sup>1,2</sup>, ZHENG Jing-yi<sup>3</sup>

(1. Dynamic Testing Technology Key Laboratories, North University of China, Taiyuan 030051, Shanxi, China;  
2. School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, Shanxi, China;  
3. Shanxi North East Shanxi Chemical Industry Limited Company, Yangquan 045000, Shanxi, China)

**Abstract:** An ultrasonic-based detection system for detecting the broken and weak points of small-diameter lead sheathed detonating cord is proposed in view of the limited detection means, low detection efficiency and low accuracy of existing non-contact detection method for lead sheathed detonating cord. This system can meet the measurement requirements of broken and weak points of detonating cord. Experiments and practical use show that this method is feasible and can effectively improve the detection efficiency and precision, and the system runs reliably.

**Key words:** instrument and meter technique; detonating cord; broken and weak points detection; ultrasonic; non-contact detection

## 0 引言

导爆索是一种应用面广、使用数量大的重要爆破器材,具有结构简单、可靠性好、价格便宜、易于调整等非常明显的优点。目前,国内生产的导爆索主要有3种类型:缠绕型、编织型和拉拔型。拉拔型导爆索采用的是在延展性好的金属管内松装炸药,然后经过若干道拉拔的生产工艺,图1为拉拔法示

意图,在外加拉力的作用下,使金属通过模孔以获得所需形状和尺寸制品的塑性加工方法<sup>[1-3]</sup>。

局部索段中细药或者断药的情况会影响其传爆效果和传爆可靠性,使用中可能导致伤亡事故等重大隐患<sup>[4]</sup>。对于缠绕型和编织型的导爆索,因为其药芯要先期加工成型,所以断细药检测工作主要集中在药芯的加工过程中或者在制索过程中对成品药芯进行检测,检测方法可分为接触式与非接触式2

收稿日期: 2012-11-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(6171177); 山西省工业攻关基金项目(20110321073)

作者简介: 李光亚(1980—),男,讲师。E-mail: 40827562@qq.com

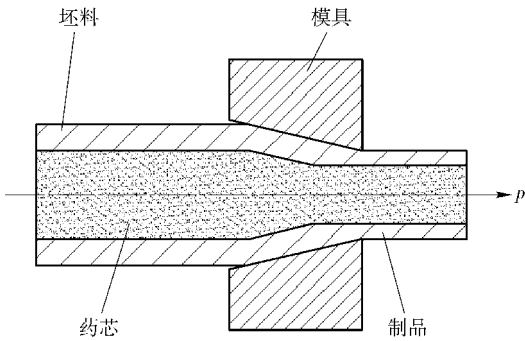


图 1 拉拔工艺示意图

Fig. 1 The schematic diagram of drawing process

大类<sup>[5-6]</sup>。对于拉拔型导爆索,由于其加工工艺特点只能对导爆索成品进行检测,而且其外皮包层多为铅铋合金等金属材质,所以检测手段有限,同时根据加工经验,拉拔型导爆索出现断细药的几率比缠绕型和编织型低,因此目前针对拉拔型导爆索断细药的检测多依靠生产和检测人员的感官和经验,这是非常不可靠的<sup>[7-10]</sup>。

本文针对拉拔型铅皮导爆索设计了一种基于超声的断细药非接触测量系统,直接对铅皮导爆索成

品进行检测,实现检测探头与被检测试件的非接触检测,并能够准确地得到测量结果,测量精度高,测量速度快,满足对于此类导爆索断细药情况的测量要求。

## 1 测量原理

检测原理如图 2 所示,由发射电路产生的高压冲击波激励探头中的压电晶片,产生超声脉冲波,脉冲波经介质界面反射后被探头接收并由接收电路采集和处理。借助耦合剂耦合超声波会穿过药索外壁进入其内部,超声波在不同介质表面会发生反射,当超声波从介质 1(耦合剂)中垂直入射到介质 1 和药索外壁(介质 2)的界面上时,一部分声波被反射,另一部分透射到介质 2 中;当透射的声波到达介质 2 和内腔或其他填充药(介质 3)的界面时,再次发生反射与透射,其反射波部分在介质 2 中传播至介质 2 与介质 1 的界面,则又会发生同样的过程。如此不断地继续下去,则在 2 个界面的两侧,产生一系列的反射波与透射波。所以按照时间关系,依次采集到的反射波应该是药索外壁包层的外表面反射波和内表面  $N$  次( $N=1,2,3\cdots$ )反射波。

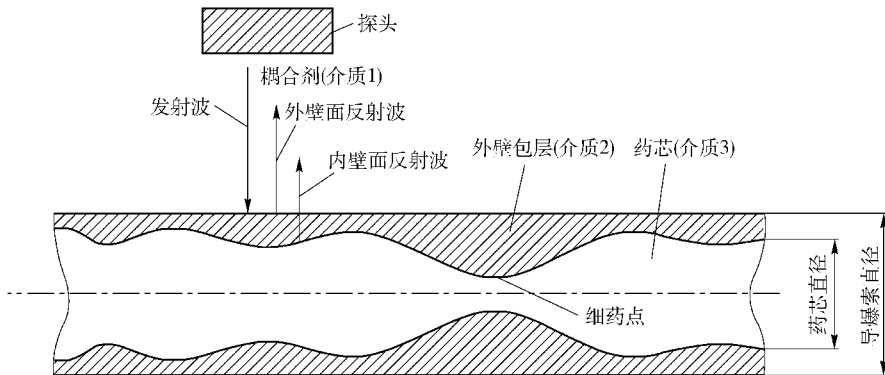


图 2 超声检测药芯直径原理示意图

Fig. 2 The principle of ultrasonic test of internal diameter

利用波形可测得超声波穿越药索外壁并返回探头的时间  $t$ , 药索一侧外壁壁厚  $h$  可用外壁面反射波与内壁面反射波的时间间隔  $t$  计算得出,二者之间的换算关系为

$$h = \frac{c \times t}{2}, \quad (1)$$

式中: $c$  为超声波在药索外壁材质中的声速。两侧壁厚都测出之后,由于药索外径尺寸一定,由药索截面直径尺寸  $D$  减去两壁厚尺寸即可得药索内腔此处尺寸  $d$ ,即

$$d = D - (h_1 + h_2), \quad (2)$$

式中: $h_1, h_2$  分别代表两侧超声探头位置的药索外壁厚度,由于药索内腔填充炸药,所以内腔尺寸  $d$  即为药芯尺寸,根据  $d$  的数值即可判断导爆索是否出现断细药情况。

## 2 检测系统模块及测量过程

检测系统模块组成如图 3 所示。这套检测系统主要由超声发射接收装置(包括探头和超声发射接收卡)、机械系统(包含系统整体机械结构和运动控制单元)、工控机控制与数据处理系统(包括工控机、显示设备、数据处理软件等)等组成,发射接收

卡和电机控制卡安装在工控机内。

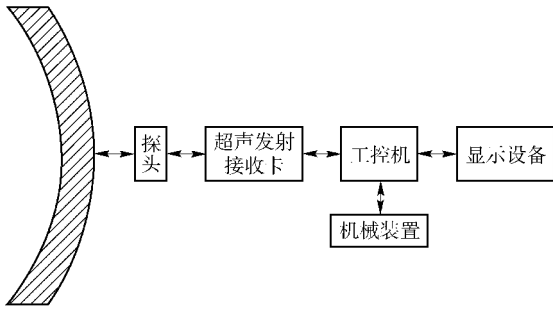


图 3 检测系统结构示意图

Fig. 3 The schematic diagram of detection system

系统开始检测时,如图 4 所示,药索被水平装夹在试验台上,通过探头盒上两端小孔穿过探头盒,本测量系统采用的超声探头为水浸聚焦探头,将探头水平对置地固定在探头盒前后两端面上,这样 2 探头就位于药索两侧,超声探头的轴线要求始终与药索轴线保持同一平面并垂直,2 探头轴线在同一直线上。在探头盒内充满水,达到耦合剂的作用。测量开始时,工控机通过对运动和测量过程的控制,使探头盒沿导轨相对药索轴线做平行直线运动来完成对内径尺寸的 1 次测量,也可往复运动多次测量;同时,药索装夹装置也可以带动药索绕自身轴线做旋转运动,旋转一定角度后再次让探头盒沿药索轴线做直线运动测量,这样可以获得药索外壁多个部位厚度数据。实时的超声回波信号经超声发射接收卡接收并采集,然后传送给工控机进行处理,并将检测结果直观输出至显示设备。

### 3 实验结果及误差分析

实验先采用一段某型号标准尺寸的导爆索进行测量,该型号导爆索外径为 6 mm. 检测软件运行界面中采集波形显示如图 5 所示,程序软件采用 VC++ 编写,实现了实时检测。在实验开始前先利用内径千分尺和游标卡尺等测量工具测得被测件的一些数

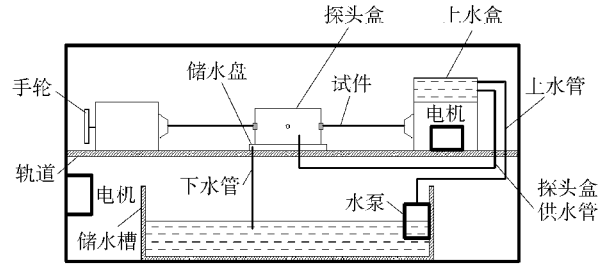


图 4 检测系统工作原理示意图

Fig. 4 The schematic diagram of the detection system

据,再对试件上 10 个标定位置进行测量。因为是 2 个探头同时测量,所以探头盒沿被测件轴线 1 次直线运动就能测得被测件壁厚的 2 组数据。测量完成后根据(2)式计算出每个标定点处的内径尺寸即药芯直径尺寸  $d_i (i = 1, 2, 3 \dots 10)$ ,通过和先期测量的内径尺寸  $d_0$  进行比对,可以得到每个采样点处的测量误差  $\delta_i (i = 1, 2, 3, \dots, 10)$ 。

表 1 实验数据

Tab. 1 Experimental data

检测点	$d_i/\text{mm}$	$d_0/\text{mm}$	$\delta_i/\text{mm}$
1	3.992	3.987	0.005
2	3.974	3.987	-0.013
3	3.969	3.979	-0.01
4	4.011	3.987	0.024
5	3.993	3.987	0.006
6	3.968	3.987	-0.019
7	3.975	3.979	-0.004
8	3.969	3.979	-0.01
9	4.016	3.987	0.029
10	3.981	3.979	0.002

实测的结果如表 1 所示,系统检测分辨率可达到厂家要求的 0.1 mm,其中最大测量偏差  $\delta_{\text{imax}} = 0.029 \text{ mm}$ ,测量标准偏差  $S = 0.018 \text{ mm}$ ,实际测量结果与标准样本基本吻合,检测速度也可以满足实际

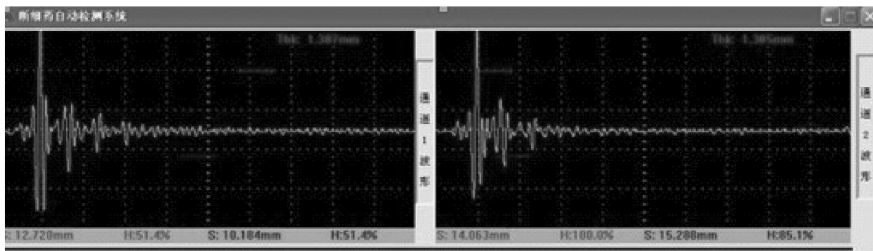


图 5 系统检测软件界面

Fig. 5 The software's interface of the detection system

线检测需要。由于实验阶段本检测系统暂不能在导爆索生产线上使用,因此后期对近 200 m 左右长度的某型号铅皮导爆索成品进行了检测,发现断药点 1 处。细药点 1 处。为检验检测效果,分别在断、细药点截断,观察被检测导爆索,经验证检测结果无误。

## 4 结论

本文对小直径铅皮导爆索断细药检测方法和检测系统进行了论述,该测量系统具有测量精度高、测量速度快、工控机实时数据处理和控制等特点。实验结果表明,该检测方法是可行的。由于系统所有电路器件包括控制电路、工控机等全部在 1 个密闭的金属空间之内,探头和药索之间利用水浸没耦合,运动控制电机均满足防爆要求,同时是非接触测量,避免一些接触测量中的摩擦和磨损等,这些都保证了系统工作状态的安全性。

## 参考文献 (References)

- [1] 雷丽文,缪均达. 工业导火索断细药疵病的在线检测[J]. 爆破器材,1996,25(2):1-3.  
LEI Li-wen, MIAO Jun-da. On-line finding of faults of civil safety fuse core[J]. Explosive Materials, 1996, 25(2):1-3. (in Chinese)
- [2] 黄寅生,杨贵华,臧小为,等. 铝壳金属导爆索性能研究[J]. 爆破器材, 2008,37(3):22-24.  
HUANG Yin-sheng, YANG Gui-hua, ZANG Xiao-wei, et al. Study on the properties of aluminum sheathed detonating fuse[J]. Explosive Materials, 2008,37(3):22-24. (in Chinese)
- [3] 徐少英,杨孚多,王孟钦,等. GB 9786—1999 普通导爆索[S]. 北京:国家质量技术监督局,1999.  
XU Shao-ying, YANG Fu-duo, WANG Meng-qin, et al. GB 9786—1999 Ordinary detonating cord[S]. Beijing: National Quality and Technical Supervision,1999. (in Chinese)
- [4] Willis A K, Richman M G, Fathey W D, et al. Semiconductor bridge explosive device: US, 5912427[P]. 1999-06-15.
- [5] Ezzaidi M, Decultot D, Maze G, et al. Measurements of the thickness of a cylinder shell with a focused beam[C]// Ultrasonics Symposium. Cannes: IEEE, 1994: 1173-1176.
- [6] Martin S. Efficient optimization of single and multiple element transducers for the inspection of complex-shaped components[J]. NDT&E International, 2009, 37:455-459.
- [7] 刘钧,李俊杰,孙安昌,等. 火工品管壳内径尺寸检测方法研究[J]. 火工品, 2006,(4):37-41.  
LIU Jun, LI Jun-jie, SUN An-chang, et al. Research on detecting method for the inside diameter of the shell of pipe of initiating explosive device[J]. Initiators and Pyrotechnics, 2006, (4):37-41. (in Chinese)
- [8] 陈浩,郝继贵,杨学友. 新型多方向内径尺寸测量方法[J]. 仪表技术与传感器,2011,(1):95-97.  
CHEN Hao, ZHU Ji-gui, YANG Xue-you. New multi-directional inner diameter measurement method[J]. Instrument Technique and Sensor,2011,(1):95-97. (in Chinese)
- [9] Lopes A, Bridlie K. Improving the robustness and accuracy of the marching cubes algorithm for isosurfacing[J]. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics, 2010, 9(1):16-29.
- [10] Nielson G M. On marching cubes[J]. IEEE Transaction on Visualization and Computer Graphics,2003,9(3):283-297.