

CNG 储气井超声波自动检测系统初探

林仙土, 苏真伟, 李海鹏, 张海锭

(四川大学 制造科学与工程学院, 成都 610065)

摘要: 针对现有 CNG 储气井井壁因腐蚀导致泄露、爆裂等问题, 提出了一套超声波自动检测系统, 包括超声信号的采集、腐蚀情况分析、显示、存储和回放。系统硬件包括超声波发射/接收卡和探头定位装置, 软件使用 VC++2005 作为平台研发, 并采用 Microsoft SQL Server 2000 存储数据。在实验中对一段井壁进行了测量, 效果较好。

关键词: 超声波; CNG; 储气井; 探伤系统; 在线检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)03-0221-04

Automatic Ultrasonic Testing Experimental System for CNG Gas Storage Wells

LIN Xian-Tu, SU Zhen-Wei, LI Hai-Peng, ZHANG Hai-Ding

(School of Manufacturing Science and Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: To detect the corrosion of CNG storage wells, we proposed a system for automatic ultrasonic test, which included collection of ultrasonic signal, analysis of corrosive data, display, storage and recognition. The hardware system included an ultrasonic transmitter and receiver card and an ultrasonic probe jig. The software was written in VC++, and Microsoft SQL Server 2000 was used for database. Our experiment showed that the system could effectively detect the defects in the sidewall of CNG storage wells.

Keywords: Ultrasonic; CNG; Gas storage well; Testing system; On-line testing

在国家能源环保政策引导下, 近几年全国 CNG 汽车保有量和 CNG 加气站数量持续增加。其中有 82% 的加气站采用地下井式储气。储气井在使用中受到地层和存储介质等腐蚀, 会出现 CNG 泄露、套管爆裂等^[1]。目前国内储气井都建在人口密集的大城市, 没有安全阀和安全监测系统, 因此井壁的腐蚀检测显得格外重要。

当前国际上主要采用管道检测机器人进行在役检测^[2], 如德国的 pipetronix 公司研制出使用液体耦合剂的内管道超声波检测装置, 英国 PII 公司研制的可承受高温的智能爬机, 日本的钢管株式会社 (NKK) 研制的应用于阿拉斯加原油管道的检测清管器等^[3]。国内在管道检测方面也有很大进展, 如上海大学和上海市电子物理研究所合作利用石油高

压研制了输油管道探伤机器人, 上海交通大学研制的海底管道超声检测系统等^[4]。目前国内外没有成熟的 CNG 储气井腐蚀检测技术和设备, 现有的腐蚀检测系统难以适应储气井恶劣的工作环境, 不能满足检测精度的要求。

超声检测是国内外应用最广泛而且发展较快的一种无损检测技术, 具有穿透能力强、缺陷定位准确、灵敏度高、成本低、速度快、对人体无害以及便于现场检测等优点。近年来超声检测技术不断进步, 检测标准不断完善, 在输油气管道、铁路、航天和钢铁等众多工业领域得到了广泛应用^[5,6]。CNG 储气井的超声波检测系统采用直探头纵波水浸法, 自动进行处理并以图像显示井壁的超声波信号, 同时将数据自动保存到数据库中, 以便回放及跟踪分析。

1 系统工作原理及结构

CNG 储气井是垂直埋在地下的压力容器, 长 100~300 m, 各段钢管之间采用套管以螺纹连

收稿日期: 2009-05-08

作者简介: 林仙土 (1984—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为超声波工业应用与信号处理。

接,钢管规格 $\phi 177 \text{ mm} \times 10.36 \text{ mm}$,套管规格 $\phi 244.5 \text{ mm} \times 11.99 \text{ mm}$,井外灌注水泥进行固定并保护钢管免受地层介质腐蚀。鉴于此结构,设计的 CNG 超声波检测系统主要包括工控机、超声信号发射/接收卡、超声探头以及定位和运动装置等部分,如图 1。

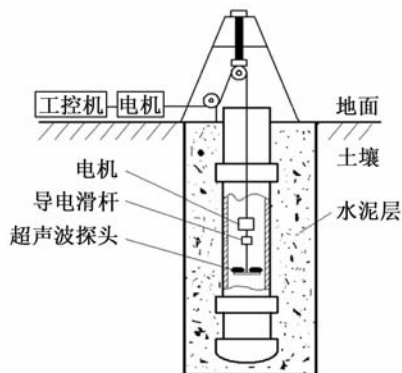


图 1 系统示意图

其中,为减少干扰,本系统采用工控计算机作为整个系统的平台。工控机是一种加固的增强型个人计算机,具有便于携带、可靠性高及操作灵活等特点,抗电磁干扰强,符合 GB 9254—1998^[7] 标准中 A 级和 GB/T 17618^[8] 的规定,能适应恶劣的环境。

板卡采用基于 PCI 总线的超声波卡 ZXUS-PC4,该卡集成了超声波的发射与接收,100 MHz 高速信号采集和大容量存储,有四个完全独立的工作通道,可装配在台式机或便携式工控机中使用^[9]。

考虑到 CNG 储气井的结构和现场条件限制,采用水浸法测量^[10]。由于水浸法中声束指向性差,能量损失大,多采用聚焦法来改善信噪比。在声束会聚区即焦柱区声能集中,声束尺寸小,检测灵敏度和分辨率较高。超声波聚焦探头的选择主要考虑频率、晶片尺寸、角度、焦距和脉冲宽度等。高频率的探头,其波长短、分辨率高和能量集中,因而发现小缺陷能力强,横向分辨力好,但扫查空间小,衰减大,适合较小厚度的工件测量。直探头或斜探头取决于欲发现缺陷的部位和方向。探头晶片大小对声束指向性、近场区长度、近距离扫查范围和远距离缺陷检测能力有较大影响。探头的焦距影响到水距、焦柱长度和焦柱直径的大小^[11]。在灵敏度满足要求的情况下,选择脉冲宽度小的宽带探头可提高分辨力和信噪比。考虑探测井壁的腐蚀情况,以及检测要求,选用直径 14 mm,频率为 5 MHz,焦距为 40 mm 的窄脉冲聚焦直探头。该系统采用三或四种不同参数的探头进行测量,以便互补提高检测精度。

采用水浸法测量时,水距的控制和探头的定位对测量效果有很大影响。调整好水距使探头的焦点定位在管壁内,调整好探头位置使超声波垂直入射管壁,这样才会得到较好的回波信号。试验采用三脚架作为固定装置,将探头安装在带轴的转盘上,用电机来驱动轴转动,使探头绕着井壁旋转上升进行测量。

2 系统软件

2.1 软件结构

软件系统用 VC++2005 作为平台开发,包括预备调试部分、检测显示部分和数据存储管理三个部分。软件结构如图 2 所示。

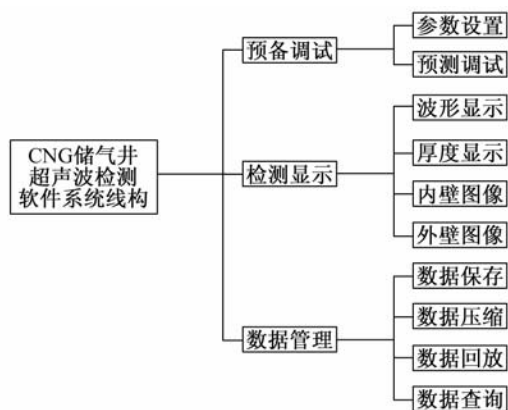


图 2 软件结构

预备调试部分主要完成系统参数设置和调试。软件界面如图 3。

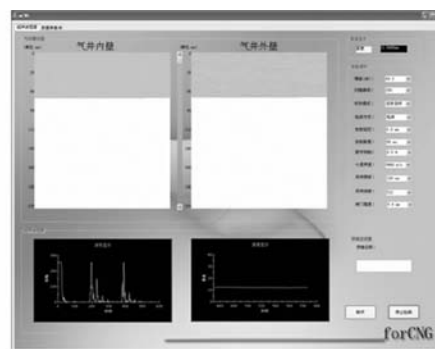


图 3 软件界面

点击界面上的启动按钮,系统就会启动板卡工作,通过波形判断系统是否正常,可以调节采样频率、增量和采样深度等参数,以保证测量的最佳效果。

检测显示部分主要完成超声波信号的采集和显示。它包括波形显示、厚度显示和内外壁图像显示三部分。波形显示是将一次采集到超声波数据以波形的方式直接画出,波峰的横坐标即对应井壁内壁

或外壁反射的时刻。厚度显示通过计算两个波峰的时间差得到井壁厚度,从而按时间依次画出厚度值,再将厚度值以图像方式显示出来。图像显示则是将厚度值以图像的方式显示出来。图像显示分为内壁图像和外壁图像,根据波峰的位置来判断。点击屏幕上的开始检测按钮后,会出现数据保存提示对话框,以确定是否实时保存数据。

数据存储管理部分主要是对图像数据存盘和管理。选择某口井的某次测量记录,便可进行数据回放和图像显示,可用鼠标定位获取图像中点的位置和厚度。查询部分分为井查询和缺陷查询,方便用户进行数据分析。

2.2 测厚算法

超声波测厚有共振式和脉冲反射式两种,由于共振式要求被测试件上下表面较平,所以采用脉冲反射式法。

超声波在被测件中的传播时间关系为:

$$h = \frac{1}{2}c\Delta t$$

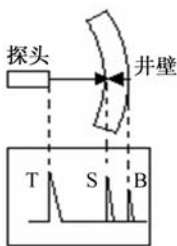
式中 h ——被测件厚度;
 c ——材料中的声速;

Δt ——垂直入射时超声波在被测件中往返一次的时间。

采用时间窗移动搜索回波数据寻找波峰位置。时间窗的大小根据脉冲宽度进行调整,可提高软件分辨力。试测时求得窗内最大值并保存,然后移动时间窗,若在一定区域内最大值点位置不变,并且最大值大于设定阈值,则可判定该点为内壁一次回波波峰;若在一定区域内有多个最大值点且位置相邻,则取平均值作为内壁一次回波波峰。同理可得到外壁一次回波波峰。再将闸门锁定在内壁一次回波波峰和外壁一次回波波峰处,闸门宽度为脉冲宽度。采用板卡提供的时间小数进行波峰位置的精确调整,从而得到高精度的厚度值。时间小数采样确保在高数据压缩率下,时间精度不随超声波扫查范围扫查范围增大而降低,时间精度为 10 ns。

2.3 滤波

超声波在检测和传输过程中容易产生各种干扰信号,如电子噪声、散射噪声或结构噪声等。噪声的存在严重影响了回波信号质量,甚至会影响到厚度计算以及缺陷的判断。消除信号中的噪声是提高信号处理精度的有效途径。小波变换作为一种时频分



T——始波
S——内壁反射回波
B——外壁反射回波
图4 超声测厚原理

析方法,能有效的去除噪声,大大提高了缺陷回波信号的信噪比,改善了信号特征信息的质量^[12]。

小波变换的基本思想:利用各种小波的正交性,将信号分解成一系列小波函数的迭加,这些小波函数是母波函数经过平移和尺度伸缩得来的,可以及时获得信号的频域和时域特征。

$$W_f(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_f(a, b) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) da db$$

式中 a ——伸缩参数;

b ——平移参数;

C_ψ ——小波变换系数。

小波消噪的方法主要有:强制消噪处理、默认阈值消噪处理和给定软或硬阈值消噪处理。

本系统采用强制消噪处理方法,利用 db1 小波进行分解,将小波分解结构中的高频部分变成零,再对信号进行重构,消噪后信号比较平滑。

2.4 数据存储

超声波测量数据十分庞大。如果直接存储会影响程序运行,同时占据太多存储空间。本系统采用数据库间接法保存数据,数据库中保存索引信息,超声波数据采用 gzip 算法,以压缩文件的方式保存在硬盘中。gzip 算法是 LZ77 算法的一个变种加上 Huffman 编码。数据回放时,先将压缩文件解压,将数据导入数据库临时表中,从表中读取回放查询的数据。这样结合了文件压缩和数据库查询的优势。当程序关闭后,数据库表自动删除。

3 试验

试验室检测对象为一段表面已经腐蚀的天然气管。在井内壁和外壁上分别加工了数个人工缺陷孔,深度为 1~4 mm,直径为 2, 4, 6 和 8 mm。检测时,用水作为耦合剂,探头浸入水中与井壁保持一定距离,打开工控机,通过软件控制超声波板卡发射/采集信号;电机使超声波探头旋转,并缓慢下降,软件同时对检测数据实时处理、显示和存储。

没有缺陷的区域,波形如图 5 所示。

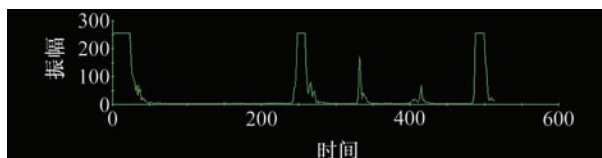


图5 井壁无缺陷波形

图 5 中第一个波为始波,第二个波峰为在水与钢界面反射的声波,其后几个幅值逐渐下降的波峰为井壁内多次反射的声波。根据水与钢界面反射回波和井外壁的一次回波得到内外管壁的状况。

当检测到有外壁缺陷的地方时,波形如图 6。

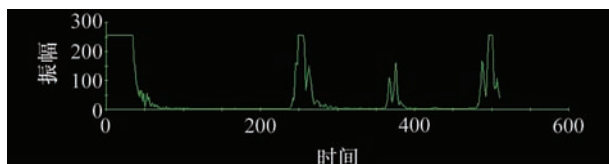


图 6 井外壁有缺陷波形

图 6 中间的第一个波峰为井内壁的回波,后面是井外壁孔和外壁的回波,根据井内壁回波和井外壁孔回波得到此处壁厚,与无缺陷井壁厚度比较可知孔的深度为 2.42 mm,用游标卡尺测得孔的深度为 2.28 mm。

当检测到井内壁有缺陷的地方时,波形如图 7。

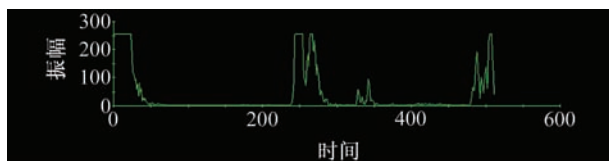


图 7 井内壁有缺陷波形

图 7 中间的两个波峰分别为井内壁和孔反射的回波,后面是相应的井外壁的回波,根据孔发射回波和其对应井外壁的回波得到此处壁厚,与无缺陷井壁厚度比较可知

孔的深度为 1.68 mm,此处要考虑水和钢的声速不同,用游标卡尺测得孔的深度为 1.56 mm。

4 结论

针对 CNG 储气井的腐蚀检测,提出了一种超

声波测量系统。该系统由工控机和超声波发射/接收卡和定位、驱动装置构成,用 VC++2005 和 Microsoft SQL Server 2000 开发的检测软件对超声波数据进行处理,实现数据的实时显示、存储和后续回放。目前初步测试取得较好的效果。下一步的研究工作是探头的精确定位,此外还要解决井下数据的传输问题。

参考文献:

- [1] 刘清友,何霞,孟少辉. CNG 地下储气井安全性分析[J]. 天然气工业,2005,25(1):138-140.
- [2] Grimes Keith. Changing Role of Inspection[J]. Proceedings of the 1998 International Pipeline Conference, 1998,2(1):379-387.
- [3] Kobayashi Motoi. NKK Ultrasonic Pipeline Inspection Pig[J]. NKK Technical Review,1999(80):46-50.
- [4] 周佳琪. 海底管道超声检测数据采集模块的设计与实现[D]. 上海:上海交通大学,2007.
- [5] 关保清,苏真伟. 大型回转轴超声波自动探伤系统[J]. 仪表技术与传感器,2008,1(1):88-90.
- [6] 赵秀粉,殷国富. 基于大型回转工件的超声波在线自动检测系统[J]. 四川大学学报,2008,40(3):173-177.
- [7] GB 9254-1998 信息技术设备的无线电骚扰限值和测量方法[S].
- [8] GB/T 17618 信息技术设备抗扰度限值和测量方法[S].
- [9] 左林,田建新. 基于 PCI 总线的高性能多通道超声波发射/接收卡[J]. 无损检测,2003,25(4):198-200.
- [10] 史亦韦. 超声检测[M]. 北京:机械工业出版社,2005:92-97.
- [11] 张志永. 水浸聚焦超声波探伤原理[M]. 北京:国防工业出版社,1985:15-89.
- [12] 飞思科技产品研发中心. 小波分析理论与 MATLAB7 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2005.

(上接第 220 页)

参考文献:

- [1] 陈世利,靳世久,王秀平. 超声相控阵系统中高精度相控发射与接收的实现[J]. 清华大学学报,2006,26(4):36-40.
- [2] 冯诺. 超声手册[M]. 南京:南京大学出版社,1999:777.
- [3] 卞红雨,纪祥春,乔钢,等译. TMS320C6000 系列 DSP 的 CPU 与外设[M]. 北京:清华大学出版社,2007:308-384.

- [4] 江思敏,刘畅. TMS320C6000 DSP 应用开发教程[M]. 北京:机械工业出版社,2005:171-223.
- [5] 赵训威. 基于 TMS320C6200 系列 DSP 芯片的应用与开发[M]. 北京:人民邮电出版社,2002:75-157.
- [6] 李方慧,王飞,何佩琨. TMS320C6000 系列 DSPs 原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005:315-507.
- [7] 汪安民,张松灿,常春藤. TMS320C6000 系列 DSP 实用技术与开发案例[M]. 北京:人民邮电出版社,2008:20-106.
- [8] 王成儒,李英伟. USB2.0 原理与工程开发[M]. 北京:国防工业出版社,2004:194-212.