

# 大型回转件的超声波在线检测系统

马 杰, 苏真伟, 殷国富, 关保清

(四川大学 制造科学与工程学院, 成都 610065)

**摘 要:**针对现有的超声检测方法在检测大型回转件内部缺陷时存在的问题。介绍了一种大型回转件的超声波在线自动检测系统。其中的探头装夹装置以回转件的外表面作为定位基准, 靠磁铁磁力自动压紧工件表面, 具有自适应对中、调节快速、方便和灵活的特点; 超声板卡基于标准 PCI 总线, 四通道超声波发射/接收, 体积小, 集成度高; 软件部分结合了传统的超声波无损检测技术和先进的虚拟仪器、数字信号处理、数据存储和回放等技术<sup>[1]</sup>, 扩展了传统超声波仪器的功能, 提高了大型回转件检测质量和检测效率。

**关键词:**超声波系统; 在线检测; 大型回转件; 自动装夹; 数据库

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)03-0205-04

## An Ultrasonic System for Online Inspection of Large Axles

MA Jie, SU Zhen-Wei, YIN Guo-Fu, GUAN Bao-Qing

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

**Abstract:** Based on the investigation of the existing problems in ultrasonic inspection of large axles, an automated ultrasonic system for on-line inspection of large axles is presented in the paper. The surface of the axle was taken as the benchmark for locating the probe so that the ultrasonic signal could automatically penetrate through the centre of the axle. A magnetic force was used for conducting and attracting the probe to the surface of the axle so that the tracing fixture was small, fast and convenient for installation. The ultrasonic board is based on high speed A/D and PCI bus for high speed of data sampling and transmitting. The system software has all the functions of conventional ultrasonic inspection instruments and advantages of virtual instruments, digital signal process and huge data storage, which significantly improve the quality and efficiency of the ultrasonic inspection.

**Keywords:** Ultrasonic system; Online inspection; Large axles; Automated fixture; Data base

大型回转件(直径通常在 1~2 m, 长 10 m 以上)是国家重大工程装备的核心构件。通常在其锻压和粗加工之后、精加工之前进行超声波检测。这一加工阶段的大型回转件带有一定的轴向圆锥度和径向椭圆度, 探伤系统很难自适应定位。手工超声波探伤依靠个人经验操作和评判, 没有缺陷在线自动检测功能, 存在效率低、劳动强度大、主观标准不一致、检测成本高等缺点<sup>[2]</sup>。采用自动化在线检测技术是发展的必然趋势。

现有的数字化超声检测仪器的数据处理、数据

存储及扩展能力有限, 缺乏足够的灵活性, 没有适合检测大型回转件的探头自适应对中装置。国外生产类似产品和研究的公司有美国的泛美(PANA-METRICS)公司、加拿大的 R/D TECH 公司, 德国的 K-K 公司等<sup>[3]</sup>, 但是有关超声波自动检测大型回转件的报道很少, 关键技术和文献资料还在保密阶段。国内也相继开展了超声波自动探伤的研究, 出现了针对具体对象的各类数字化超声波检测设备, 但还没有这种大型回转件的超声波在线自动检测系统。

为此, 笔者提出了一种基于虚拟仪器技术的超声波在线检测系统: 探头定位夹紧装置具有自适应对中的特点, 软件系统利用了计算机高容量的存储空间和强大的计算处理能力。整个系统自动化程度

收稿日期: 2009-04-13

作者简介: 马 杰(1981—), 男, 工程师, 研究方向为基站设备整机系统。

高、稳定性好,降低了劳动强度,提高了超声波检测的质量和整体水平。目前该系统已正式应用到工业生产中。

## 1 系统总体方案

大型回转件的超声波探伤实时在线自动数据采集和处理系统主要由下列部分组成:在线扫描与夹紧装置、微机(或工控机)系统、超声波脉冲发射器、超声波信号接收器、高速数据采集卡、数据处理和分析软件包以及传感器、探头运动和扫描控制系统等。系统框图见图 1。

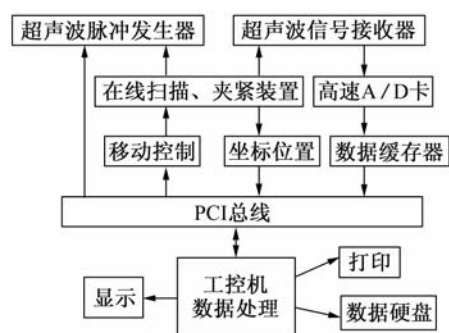


图 1 超声波在线自动检测系统框图

## 2 探头自适应对中装置

探头对工件中心的自适应对中一直是超声波自动探伤的一个瓶颈问题。设计的探头装夹装置具有自适应对中的特点,它以工件的外表面作为定位基准,在调节刀架缓慢移向工件的过程中,由于滚轮体上的磁铁磁力的作用,探头自动贴紧工件并自动对中,装夹装置先后接近工件、接触工件、压紧工件、自动对中,整个过程一气呵成。

如图 2 所示,探头装夹装置主要是由导向套、导向螺栓、探头套、夹紧机构、磁铁、滚轮体等几部分组成。滚轮体两边各两块磁铁,磁铁磁力方向与工件的法向方向重合,这使得探头装置始终压紧在工件表面上。磁铁选用的是钕铁硼稀土强磁磁铁,它的

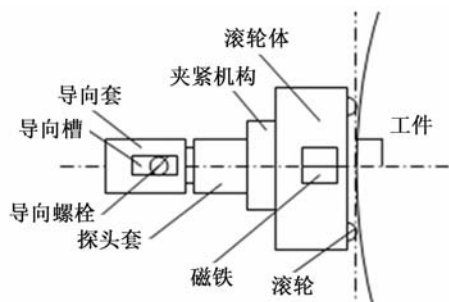


图 2 探头装夹装置结构图

剩磁可达 1.18~1.23 T,并且根据需要,可以调节磁铁到工件表面的距离以改变磁力的大小;同时它还起到一个清洁的作用,把工件上面的铁屑吸附到其上面以免划伤超声波探头。探头和工件表面之间有 0.2~1 mm 的距离,其间充满了油。超声波通过油层耦合进入工件。为了适应不同的工件材料和表面精度,这个距离可以通过探头套与滚轮体之间的夹紧机构来调节。四个滚轮所在的平面与探头平面之间具有很高的平行度,它们与探头轴线成对称分布,并且与工件之间是滚动摩擦,摩擦力很小。当探头装置压紧在工件表面上时,探头的超声波入射方向始终与工件外表面的法线方向重合,整个探头装夹装置在压紧工件外表表面时就自动对中了。

大型回转件在粗加工之后普遍存在径向的椭圆度和轴向的圆锥度,探头套与导向套之间的联结结构(如图 2 所示)则消除了工件椭圆度和圆锥度对检测过程的影响,探头套可以沿着导向套在导向槽里面前后移动,最大的直线移动距离可达 10 mm,可以满足现场探伤的需要。导向槽消除了滚轮体随着工件的转动而旋转的可能性。

## 3 超声波发射/接收卡

超声检测卡是整个系统中一个比较关键的部件,采用的是一种基于计算机标准 PCI 总线的四通道超声波发射/接收卡<sup>[4]</sup>,它具有以下几个特点:

(1) 100 MHz 采样频率的高速 A/D 转换技术和高速检测数据的实时处理。

(2) 本超声波检测系统选用 PCI 总线进行高速数据采集和传输。

(3) 采用 PCI 总线,应用软件通过驱动程序中的中断服务程序读取 FPGA 实时处理后的采样数据的时间将大大减少,因而可获得较高的重复频率(目前为 2.4 kHz)。如此高的重复频率特别适合于自动探伤,可有效防止工件和探头移动时出现的漏检。

(4) 为了易于与机械扫查部分接口,在卡上内置两通道的位移传感器控制器,实现对 x 和 y 方向的两自由度的工件位置感知,适合自动扫查超声波成像。

板卡装有四个完全独立的工作通道,可根据需要多卡级连,构成更多通道超探系统。这种超声波卡具有板卡小,集成度高,通道选择灵活等特点,卡上已配有二自由度位移传感控制装置(编码器)。开发软件选择 VC++、NET 作为开发环境。

在 VC++ .NET 环境下调用此卡所带的动态链接库(将 CXUSPCICardManager.dll 拷贝到应用程序目录),就可以使用其提供的接口函数,比如打开超声检测卡 OpenSample(void)、采样频率选择 SetFreqRatio (ULONG FreqRatio)、通道选择 SetChannel (ULONG Channel)、工作方式 SetWorkType(ULONG WorkType)等,从而访问硬件。在此基础上可以开发属于自己的超声波应用软件系统,扩充软件功能。

## 4 系统的软件部分

### 4.1 基本功能模块

基本功能模块提供传统数字式超声波仪的所有基本功能,此外还添加了一些特有的功能,如:编码器实时跟踪功能、多组波形显示功能、零件外形尺寸和探头位置显示功能等。编码器实时跟踪功能能够实时显示出探头相对于工件的移动过程,编码器定位显示区可以显示当前探头与工件的相对位置;多组波形显示功能能够将时间上相邻的多帧超声波形图同时显示出来,这样就可以将当前帧图像与以前的多帧图像相比较,便于观察超声信号的波形发展趋势,作出相应的判断。由此丰富了软件系统的功能,满足了超声波自动探伤的基本需要。

### 4.2 数字信号处理模块

数字信号处理模块包括滤波、自动增益、闸门内波形参数实时显示、缺陷波识别和报警功能等。传统超声波探伤仪大多采用硬件滤波,直接对信号的频率作处理,功能固化在电路中,用户选择有限。而软件滤波是直接对数字信号进行处理,具有很大的可扩展性和可选择性。本软件系统滤波功能包含极值滤波、叠加滤波、三点滤波和五点滤波等。

脉冲噪声是由于仪器本身波动、模数转换过程或现场检测条件和环境因素的影响而引入的信号波动,在数字化信号波形中往往表现为单个数据点处突然出现极高的函数值。脉冲噪声的存在,对以信号幅度达到某一阈值而报警的超声自动探伤而言,将给缺陷判定造成极大困难,脉冲噪声可以采取极值滤波的算法<sup>[5]</sup>消除,其算法可简单地用 C 语言程序表述如下:

```
for (n=2 , n<N-1, n++)
    {if ((s(n)-s(n-1))>C and (s(n)-s(n+1))>C)
        s(n)=1/2 [s(n-1)+s(n+1)];}
```

式中 C 为一足够大的整数;  $s(n)$  为出现脉冲噪声的点。

叠加滤波能够把幅度低于某个值的波取平均,这样就更方便对有用波的分析。

随着超声检测声程的增大,数据点数也同比增加,势必就回占用更多的存储空间,这就给数据存储带来一定的负担,为此我们增加了三点滤波和五点滤波的功能,可以在不影响超声波回波信号和缺陷信号等有用信号的同时,把数据点数相应地减少 2/3 和 4/5,滤波后的数据就只有原来的 1/3 或 1/5,极大地减少了冗余数据,同时保留了有用的信号,减轻了系统开销。以五点滤波为例,其算法的源程序代码如下:

```
//把数据数组 Buf 中的所有点每五个点取一次平均,再存到 Buf8 中
for (int i=0; i<NUM_WaveRange; i=i+5)
    {Buf8[j]=(Buf[i]+Buf[i+1]+Buf[i+2]+Buf[i+3]+Buf[i+4])/5;
      j++;}
//记下 Buf 中所有幅值大于一小值 C 并且是峰值的点和它们的位置,分别存到 Buf5 和 Buf6 中
for (int i=1; i<NUM_WaveRange-1; i++)
    {if((Buf[i]>=Buf[i-1])&&(Buf[i]>=Buf[i+1])&&(Buf[i]>=C))
        {Buf5[y]=i;
          Buf6[y] = double (i * 10000/NUM_WaveRange);
          y++;}
    }
//把在 Buf 中幅值大于一小值 C 并且是峰值的点
//对应地还原到 Buf8 中
for (int i=0; i<y; i++)
    {d=int(Buf6[i] * j/10000);
      f=Buf5[i];
      Buf8[d]=Buf[f];
    }
```

### 4.3 数据库功能模块

强大的数据库功能是本软件系统的一大特色。在线检测时,大型回转件产生的数据量比一般工件大很多。为此,系统采用大型数据库 SQL Server 2000,用 Visual C++ .Net 开发。

如图 3 所示,数据库功能模块主要包括数据保存、回放、维护和信息查询四大部分。数据实时存储



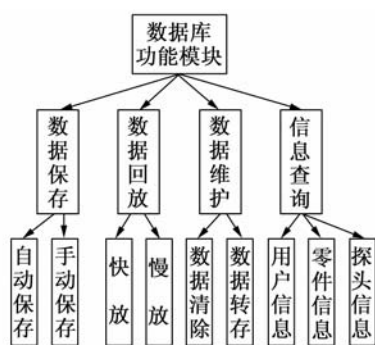


图3 数据库功能模块

功能包括自动保存数据和手动保存数据等。自动保存能够连续保存一段时间内的检测数据,而数据回放功能可以把这段时间内的检测数据以波形信号的形式重新显示出来,方便用户进行离线分析。手动保存则只保存用户感兴趣的一帧数据。为方便用户日后进行查询和维护,还特别增加了诸如零件信息查询、用户信息查询和数据库维护等操作。限于篇幅,在此不加详述。

#### 4.4 用户设置模块

包括编码器参数设置、用户信息参数设置、检测零件信息参数设置和探头设置等。编码器参数设置可分为周向编码和轴向编码,周向编码是按装在编码器上滚子的周长来换算编码器发出的每个脉冲所代表的距离,而轴向编码是按机床丝杠螺距来换算的,编码器由 OMRON 公司生产,每转 500 个脉冲。

整个软件系统在工控机上实现。如图 4 所示,软件界面主要由参数设置区、波形显示区和编码器定位显示区三大区域构成。

## 5 结语

研制了一种基于大型回转件的超声波自动探伤



(上接第 191 页)

## 5 结语

根据漏磁理论,合理选择传感器,并设计了数据采集系统,通过对钻杆上的缺陷进行漏磁检测分析,得到相应的漏磁信号与钻杆漏磁场的相关特点。并通过分析比较得到激励出缺陷最佳漏磁场的磁化强度值,从而为钻杆缺陷的漏磁检测技术研究以及钻杆检测设备的研制提供了理论依据。

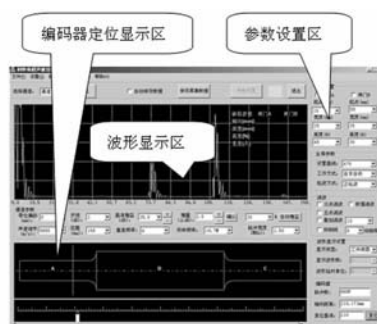


图4 软件系统界面

系统。它以回转件的外表面作为定位基准,探头装夹装置具有自适应对中、调节方便、迅速的特点,可以满足用户对探伤的自动化要求;同时,利用工控机强大的处理能力和硬盘容量,完成对超声回波信号的后续处理,完善和丰富了传统超声波仪器的功能。系统有效地减轻了工人工作量,提高了探伤效率和质量。目前,系统运行平稳、可靠,满足了大型回转件在线探伤的自动化、实时性要求。

#### 参考文献:

- [1] Chen Y J. Detection of weak bonding in friction welds by ultrasound[J]. Ultrasonics, 1998, 36(1/5): 141—146.
- [2] 杨平. 基于 PC 的超声检测系统研究[D]. 西安:西安交通大学, 2001.
- [3] Samokrutov A A. Ultrasonic devices for non-destructive examination of metal[J]. Metallurg, 2003(8): 48—52.
- [4] 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.
- [5] 吴瑞明. 数字化超声检测系统及关键技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2004.

#### 参考文献:

- [1] 李鹤林, 李平全, 冯耀荣. 石油钻柱失效分析及预防[M]. 北京:石油工业出版社, 1999.
- [2] 冉启芳. 无损检测方法的分类及其特征介绍[J]. 无损检测, 1999, 21(2): 75—80.
- [3] 陈笃行. 磁测量基础[M]. 北京:机械工业出版社, 1985.
- [4] 胡远彪, 桂暖银. 漏磁无损检测在科学钻探钻柱损伤监测中的应用前景[J]. 探矿工程, 2000(5): 64—66.
- [5] 周鸣, 何凤歧, 麻百勇. 在役石油管道无损检测方法[J]. 无损检测, 1999, 21(1): 8—10.