

# 大直径空心轴类超声探伤系统

张开良<sup>1</sup>, 张晓军<sup>2</sup>, 林俊明<sup>1</sup>, 钱建强<sup>2</sup>, 林发炳<sup>1</sup>, 余兴增<sup>1</sup>

(1. 爱德森(厦门)电子有限公司, 厦门 361004; 2. 上海铁路局动车客车段, 上海 200000)

**摘要:**多数大型旋转装备的轴系采用大直径空心轴, 必须定期进行在役无损检测。本文设计研制了用于直径 30 mm 以上的空心轴类的超声探伤系统, 由旋转式探头、超声检测系统、机械控制系统、机械推拔系统、油路耦合系统以及工业用计算机系统等子系统组成。本系统在国内某类大直径空心轴进行了检测实验, 实验结果证明, 本系统性能完全达到进口设备的水平。

**关键词:**大直径空心轴类; 无损检测; 超声探伤

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)09-0741-03

## Development of Ultrasonic Testing System for Large Diameter Hollow Shaft

ZHANG Kai-Liang<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-Jun<sup>2</sup>, LIN Jun-Ming<sup>1</sup>, QIAN Jian-Qiang<sup>2</sup>, LIN Fa-Bing<sup>1</sup>, YU Xing-Zeng<sup>1</sup>

(1. Eddysun (Xiamen) Electronic Co Ltd, Xiamen 361004, China;

2. Shanghai Railway Bureau Train Set with Power Car Passenger Section, Shanghai 200000, China)

**Abstract:** Most of large-size rotary machines are equipped with hollow shafts. The shafts must be tested by NDT system regularly. In the paper, ultrasonic testing system of hollow shaft is designed and developed in China for the first time. Structure and principle of mechanism in the system are described chiefly. Finally, the system is used for to test one kind of domestic hollow shaft. Testing results show that performance of the system is up to imported equipment.

**Keywords:** Large diameter hollow shaft; Nondestructive testing; Ultrasonic testing

为了减轻设备重量、提高扭转强度、便于检测, 多数大型旋转装备的轴系均采用空心结构, 如电力设备中的大轴中心孔和轨道交通中动车组的动轴与拖轴等, 此类轴系的完整可靠是装备安全运行的重要保证。因此大直径空心轴类必须定期进行在役无损检测, 以及时发现内部存在的裂纹、腐蚀及异常应力集中等缺陷, 有效预防断轴事故的发生<sup>[1]</sup>。

国外大直径空心轴类探伤设备价格昂贵, 且售后服务受生产地距离遥远的影响, 配件供应周期较长, 一旦出现问题, 探伤系统长时间无法工作, 影响被检测设备的正常运行<sup>[2-3]</sup>。

随着我国经济和科技的高速发展, 实际投入运营的大直径空心轴数量将会大幅增加, 相应的检测任务也将剧增。因此, 迫切需要适用于各种设备的

空心轴探伤系统的国产化。笔者研制了一套大直径空心轴类超声波探伤系统, 下文将对该系统作详细介绍。

### 1 探伤系统主要特点

研制的大直径空心轴类探伤系统如图 1 所示, 可实现对各类空心轴的快速、全面自动化检测, 检测结果明了, 易于检测人员对被检轴状态的判断。系统对检测数据能够进行记录存档, 以便回放分析、统计、比较, 还可以实现经互联网远程查询调用等<sup>[4-5]</sup>。系统主要设计特点如下:

(1) 多角度检测探头的多种工作方式 参照铁道部《CRH 系列动车组空心车轴超声波探伤工艺规程(试行)》, 要求探头频率为 2.5~5 MHz, 横波斜探头折射角选择范围 40°~70°, 推荐使用±45°(45°正轴向和 45°负轴向)。系统选用 45°正轴向、45°负轴向、70°正轴向、70°负轴向、63°顺时针、63°逆时针

收稿日期: 2010-04-26

作者简介: 张开良(1960—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为无损检测设备开发。



图 1 大直径空心轴类超声探伤系统

和 0° 双晶直探头等 7 个中心频率为 4 MHz 的探头,探头的声束覆盖区域如图 2 所示。系统可对轴内部及外表面的纵向缺陷、横向缺陷等进行检测,并具有 2~7 个探头同时工作的模式,以及不同的检测速度和灵敏度。这种方法兼顾了对不同轴的检测要求,采取不同的检测扫查速度和精度,实现了不同检测需求下最优检测方案的灵活选择。

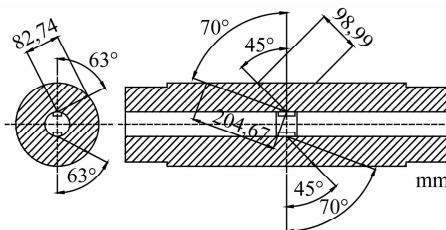


图 2 探头的声束覆盖区域示意图

(2) 可靠的探头推拔机构 探头推拔机构用于实现旋转式探头在空心轴内部的推进及拔出的动作过程。其最大推送范围可达 2.7 m, 直线推拔速度为 3~10 mm/s, 探头的旋转速度为 30~200 rpm, 可以根据不同的工作模式选择不同的推拔与旋转速度, 还可以对轴内指定位置进行扫查。在推拔机构中还布置了安全限位开关、末端位置信号开关、停放位置信号开关和起始位置信号开关等传感器。

(3) 精简的主机工作模式 检测设备中超声检测模块与探头位置坐标处理模块做在一起, 并置于前端, 通过共用一条数据线来分别对它们进行数据采集或控制, 极大地简化了系统的布线, 确保系统的可靠运行。同时在此模块中选用目前世界上先进的微控制器产品和 FPGA 芯片, 对检测信号进行运算和预处理, 大大地提高了系统性能。

(4) 人性化的软件设计 软件设计在检测设备研制中具有核心地位。空心轴超声检测软件系统包括系统控制模块、数据处理模块、结果成像模块、数据库管理模块及远程查询管理模块等, 具有操作控

制、数据采集、数据传输、运算分析处理和检测数据库管理等功能。在系统控制模块中, 实现了超声检测模块各通道参数的独立设置、整体调节、参数工艺文件的制作与读取等, 实现各通道波形数据的 A 型显示, B 型显示以及 C 型显示反回放, 以及所有通道的 A 型回波检测数据的存储。图 3 和 4 分别为空心轴超声检测结果回放界面及相应的经互联网远程调用查询的界面。

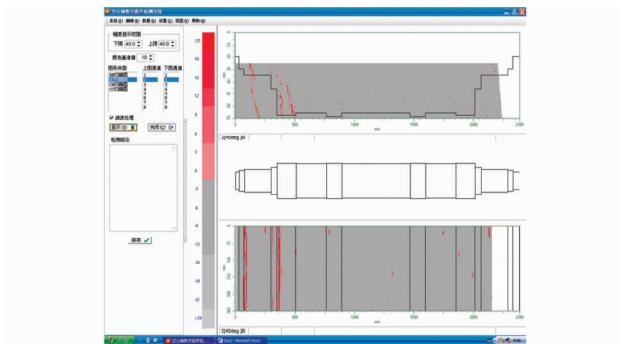


图 3 空心轴超声检测结果回放图形

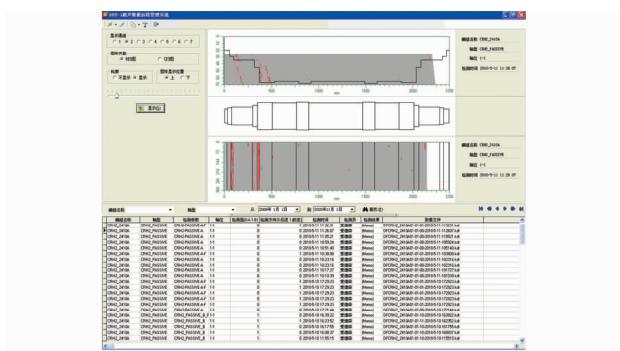


图 4 空心轴检测数据互联网远程调用查询

(5) 油路耦合的优化 超声波的耦合效果直接影响着超声检测性能的好坏。油路耦合系统主要为超声波探伤提供必需的耦合剂。该油路系统配有多重过滤, 以防油路中的杂质损伤检测系统或影响检测结果。此系统设计成相对密闭的循环系统, 所用的耦合剂可定期更换, 而用过的耦合剂则可定期回收利用, 不会对环境造成污染; 系统中的过滤网可以定期拆卸清洗, 避免了因长期工作而造成油路堵塞。同时, 油路耦合系统还提供实时监控功能, 以便操作者随时了解系统中油路的工作状态。

(6) 可扩展的电磁检测功能 目前, 大直径空心轴类检测系统或采用超声波检测或采用涡流检测, 两者结合在一起的尚没有。所研制的设备具有扩展电磁检测功能, 使得系统在实现超声波自动化检测的同时, 还具有电磁检测功能, 这样可对空心轴

内壁及内壁浅表面的区域进行检测,实现空心轴内表面和浅表面的E型扫描和三维成像,方便现场的检测和对结果的判断。

## 2 探伤系统的基本原理

大直径空心轴类探伤系统由旋转式探头、超声检测系统、机械控制系统、机械推拔系统、油路耦合系统以及工业用计算机系统等子系统组成,如图5所示。

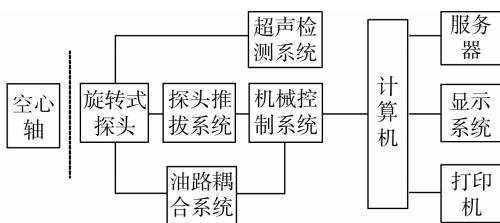


图5 空心轴探伤系统结构示意图

(1) 机械控制系统 机械控制系统主要对空心轴探伤系统中的机械部分进行控制,并与主计算机进行通讯。受该系统控制的部分主要有探头旋转机构、探头推拔机构、油路耦合机构等。多组控制器之间采用CAN总线级联等。

(2) 超声检测系统 超声检测系统部分是空心轴超声检测系统的核心部分之一,其主要用于激励旋转探头产生超声波,并对接收到的超声波信号进行前置放大、模数转换、滤波处理等,并通过网络接口与主计算机进行数据传输和通讯,其结构如图6所示。

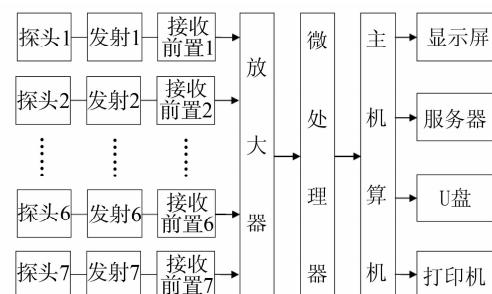


图6 超声系统结构框图

(3) 主计算机 检测系统的主计算机装有必须的软件系统,用于操作者对机械控制系统和超声检测系统等进行控制,并将超声检测系统所获得的检测数据进行进一步处理和显示,可显示所有通道的A型、B型以及C型扫查结果。软件中内置有各种空心轴检测的工艺文件等。当操作者使用此系统进行空心轴超声波检测时,首先需要记录检测的条件、

对象以及操作者等信息,然后由软件自动调入相应的工艺文件实施自动检测,检测的结果可存储于本机中。由于采用了网络化技术,空心轴超声检测的软件系统可接入装备信息管理系统中,实现远程数据管理等,也可与专用的服务器进行数据传输,实现远程的数据管理等。

## 3 系统性能和实际应用

系统可以达到以下性能要求:

- (1) 超声检测单元为8通道,各个通道参数独立可调,其电性能指标达到或超过国家相关标准的要求。
- (2) 推拔机构精度高,探头定位准确,轴向移动 $\pm 2\text{ mm}$ ,周向旋转 $\pm 0.1^\circ$ 。
- (3) 具有A扫、B扫及C扫显示。
- (4) 具有自动检测、判伤,并永久记录和回放对比功能及网络传输功能。
- (5) 探伤效率高,其扫查速度为 $3\sim 10\text{ mm/s}$ 。
- (6) 空心轴检出缺陷深度 $\leq 0.5\text{ mm}$ 。

目前所研制的大直径空心轴类检测设备,已在铁路动车组用的标准空心样轴上进行了数百次的检测试验。对于标准样轴上所有的人工缺陷,样机均可有效地检出,并可直观地显示出空心轴上所有的缺陷信号和缺陷位置(A、B、C扫描成像),其性能完全达到国外设备的水平。

## 4 结论

大直径空心轴类探伤系统的成功研制和投入使用,将在以下三个方面产生效益:

- (1) 适用性好 轴内孔直径在 $\phi 30\text{ mm}$ 以上的各类装备,均可以用本检测系统进行探伤。
- (2) 降低采购成本 目前对大直径空心轴类的在役超声检测设备主要部件全部依靠国外进口,成本较高。而笔者研制的大直径空心轴类超声检测系统的价格将大大降低。
- (3) 减少售后服务成本,提高工作效率 相对于进口设备,配件供应周期短,售后服务时间快,采用自主研发的设备,可以大大提高售后服务效率和质量。

当前国内经济和科技的迅猛发展,要求在石化、电力和高速铁路等领域确保安全可靠。因此,该大直径空心轴类探伤系统的开发,对于提升我国无损

(下转第746页)

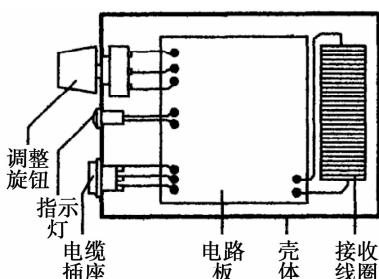


图 5 磁接收器结构图

调节旋钮用来调整接收信号的强度,指示灯显示电源状态和接收到信号状态,接收线圈用于接收磁场信号,电路板实现信号的滤波、转换和处理等功能。

### 2.3 管道爬行器

管道爬行器主要由车体、电瓶、X射线发生器和控制电路组成,其结构如图6所示。车体携带电瓶、X射线发生器和磁接收器等在被检测管道内爬行;电瓶为车体、X射线发生器、控制电路和磁接收器等提供电源;X射线发生器用于X射线曝光检测;控制电路安装在车体内,负责接收磁接收器传输的控制指令信号,控制车体前进、倒退、停止以及控制X射线发生器曝光。

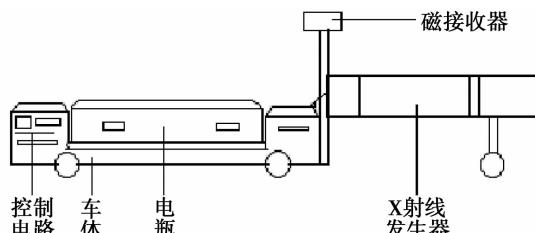


图 6 管道爬行器结构图

### 3 试验

管道焊缝检测大多在野外作业,考虑工作环境

(上接第 743 页)

检测设备自主创新能力,建立适用各领域轴类设备的无损检测体系具有重要意义。

#### 参考文献:

- [1] 邱建平. 对铁路装备轮轴检修工艺及装备的探讨[J]. 现代城市轨道交通, 2009(5): 25—29.
- [2] Kappes W, Rockstroh B, Bähr W. Application of new front-end electronics for non-destructive testing of railroad wheel sets[C]. ECNDT 2006.
- [3] Parrilla M, Ibáñez A, Camacho J. Fast focal law computing for Non-Destructive Testing with phased arrays [C]. Paper # 1228 International Congress on Ultrasonics. Vienna, April, 2007; 9—13.
- [4] 养祖次郎,坂本博. 日本新干线中空车轴的超声波自动探伤[J]. 无损检测, 1995(7): 206—210.
- [5] Wustenberg H, Erhard A, Hauser T. Recent advances in ultrasonic inspection of railway axles and wheels[J]. NDTnet, 2001, 6(2): 15.

较为复杂,管道种类较多,根据管道检测工程的实际情况下,管道爬行器磁控定位系统分别在温度 $-10\sim60^{\circ}\text{C}$ ,海拔高度1000 m以下,管道坡度 $-30^{\circ}\sim30^{\circ}$ ,管壁厚度7~33 mm,管道外径 $\phi 219\sim1400\text{ mm}$ 的条件下进行了各种试验。采用干扰源模拟现场的电焊机、发电机同时工作,无误动作,系统定位误差 $\leqslant \pm 5\text{ mm}$ 。试验积累了大量不同管道和环境下定位精度变化的数据,归纳起来,总结出补偿算法,由单片机软件来进行修正,这样使磁控定位管道爬行器的适用范围更宽,而且定位精度得到很大的提高。

试验表明,在试验条件范围内,其定位误差 $\leqslant \pm 5\text{ mm}$ ,较放射性同位素定位的管道爬行器定位误差小一倍左右,且抗干扰能力强,不受现场环境的影响。

### 4 结语

经过大量的现场管道试验及应用,磁控定位管道爬行器可以完全取代放射性同位素定位的管道爬行器<sup>[3]</sup>,成功地应用于我国西气东输二线工程等管道焊缝的无损检测,避免了国家环保部门的约束及对环境和人身造成的伤害,在定位精度、可靠性、抗干扰和使用寿命等方面都有很大的提高,并且具有系统简单、容易实现以及适用范围广等优点。

#### 参考文献:

- [1] 冯慈璋. 电磁场[M]. 北京:高等教育出版社, 1983.
- [2] 美国无损检测学会,编. 美国无损检测手册[M]. 《美国无损检测手册》译审委员会,译. 上海:世界图书出版公司, 1999.
- [3] 丹东华日理学电气有限公司. 磁介指令定位仪:中国, 200820014605.6[P]. 2009-05-06.