宽厚板超声波探伤信号处理方法研究

岳 冉[1,2], 江 杰[1]

(1. 内蒙古科技大学信息工程学院, 内蒙古 包头 014010;
2. 内蒙古包钢钢联股份有限公司财务部(市场营销部), 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 文章根据超声波基本原理和数字信号的基本处理方法, 利用超声波探伤电子仪表VMUS采集超声波探伤的回波信号, 设计滤波器对宽厚板的样品进行超声波探伤检测, 验证信号处理方法的有效性。

关键词: 宽厚板; 超声波探伤; 数字滤波; Hilbert变换

中图分类号: TH878+.2 **文献标识码:** B **文章编号:** 1009-5438(2017)03-0058-04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2017.03.017

Study on Signal Processing Method of Ultrasonic Flaw Detection for Heavy Plate

YUE Ran[1,2], *JIANG Jie*[1]

(1. *School of Information Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*;
2. *Financial Dept. & Marketing Dept. of Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: In the paper, according to the basic principle of ultrasonic and the basic processing method of digital signals, the echo signal of ultrasonic flaw detection is collected by the use of electronic instrument VMUS for ultrasonic flaw detection; the filter is designed to perform ultrasonic flaw detection on heavy plate samples, and the effectiveness of signal processing method is verified.

Key words: heavy plate; ultrasonic flaw detection; digital filtering; Hilbert transform

超声波探伤技术是一种重要的无损检测技术, 在促进工业经济的发展中起着不可忽视的作用, 它可以有效减少人工复探、不合格钢板漏判等现象发生[1]。包钢薄板坯连铸连轧厂宽厚板生产线就采用超声波探伤这种无损检测技术。因此, 通过研究宽厚板超声波探伤信号的处理方法, 来确定缺陷的具体位置、实际大小, 对于包钢宽厚钢板实际生产效率和质量保障都有十分重要的意义。

1 包钢宽厚板探伤系统

包钢超声波探伤采用脉冲反射式超声波探伤仪, 设备选用VMUS(多功能模块化超声波电子仪表系统)。该系统结构主要包括以下基本模块:

信号发射: 16个基于FET(Field Effect Transistor, FET)即场效应晶体管, 简称场效应管)技术的信号发生器通道, 可以生成针状脉冲。

收稿日期: 2017-05-03

作者简介: 岳 冉(1987-), 女, 内蒙古包头市人, 在读硕士, 助理经济师, 现从事营销管理工作。

中国知网 https://www.cnki.net

信号接收: 16 个低噪声分频多连线信号接收通道接收回波信号。

信号放大: 采用增益可调放大电路进行放大。

ADC 模数转换器,80M 采样频率/10 位分辨率。

FPGA 全数字信号处理,采用功能闸门或可选的 ALOK(振幅 – 传播时间 – 位置曲线) 压缩。

一个微控制器,用于控制 FPGA 代码和其自身应用程序的装载。另外它还用作仪表组件的自我监控,并与 FPGA 一起完成评判任务。

一个 CAN 总线接口,用于低成本应用时在 PC 计算机中单独运行 VMUS。

一个 VME 总线接口,用于引导仪表组件,设定参数和读取检测结果数据和 A – 扫描数据。整体系统原理如图 1 所示。

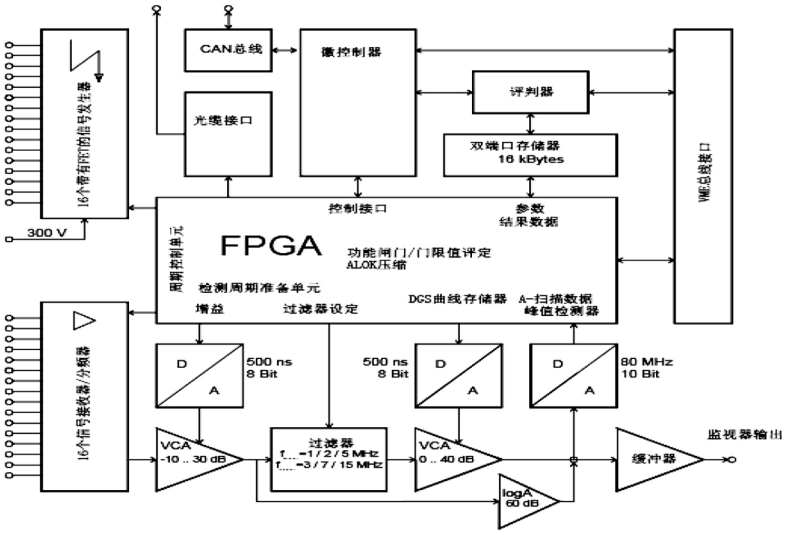


图 1　VMUS 仪表组件内部结构图

钢板材料经过超声波探头通过脉冲反射法检测钢板内部质量缺陷的基本原理如下: VMUS 模块的核心功能是由 FPGA 完成的,FPGA 在整个检测系统中是数字信号处理的核心部件,借助其用户可编程特性及很高的内部时钟频率,由 FPGA 实现窄脉冲发生模块及超声回波接收通道的选通,超声波仪器产生一个强电脉冲,声源产生的脉冲波进入到工件中,激发探头的压电晶片,使电能转换成机械能,在钢板内传递超声波,超声波传递中遇到两侧声阻抗有差异的界面时部分声波被反射,反射形成反射回波,被探头晶片接收并将机械能转换成电能,该电能以电压信号传输到信号接收器,由 FPGA 控制超声回波接收通道的选通,电信号以两路进行传输: 一路经过放大器放大后,经过滤波器滤波去噪后传输到放大器,然后经过缓冲器缓存后输出到监视器。另一路信号被放大后,经过 10 位 A/D 装换器传输到核心处理器,进行 A – 扫描数据峰值检测,在仪器的荧光屏上显示缺陷的位置和当量大小[2]。

2　宽厚板超声波信号的处理

2.1　带通滤波器设计与实现

使用滤波器将采集到的信号中无用的频域分量滤除,减少噪声。因为在不同的样品和不同的环境进行实验时,需选择不同发射频率的探头,其发射频率范围通常在 0.5 ~ 10 MHz 之间,需要将噪声进一步清楚,也就是需要将探头中心频率进行再次滤波,这就需要对设计数字带通滤波器[3]。

首先,一个归一化低通滤波器的设计,变成了莫奈带通滤波器。然后,双线性变换方法用于实现数字带通滤波器,它避免了频率响应脉冲响应造成的混叠失真。相应的程序流程图如图 2 所示。

2.2　巴特沃斯低通滤波器的 matlab 实现

通过确定滤波器的设计指标,运用函数计算巴特沃斯低通滤波器的阶数 N 和归一化 3db 截止频率,并求得低通滤波器的系统函数的分子、分母多项式形式,作图显示滤波器的幅频特性和相位特性。

设计函数如下:

(1) 格式　[b,a] = butter(N,wc, 'ftype')

中国知网　https://www.cnki.net

作用：计算N阶巴特沃斯数字滤波器系统函数分子、分母多项式的系数向量 b、a。

说明：调用参数N和 wc **分别为巴特沃斯数字滤波器的阶数和** 3 dB **截止频率的归一化值，一般是调用** buttord **格式(** 1**)计算** N **和** wc**。系数** b、a **是按照** z－1 **的升幂排列。**

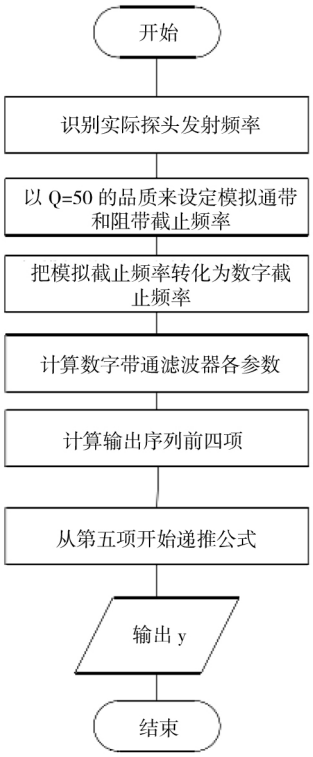


图2 数字滤波器流程图

(2**)格式：** [B,A] = butter(N,Ωc, 'ftype', 's')

作用：计算巴特沃斯模拟滤波器系统函数的分子、分母多项式系数向量。

说明：调用参数 N **和** Ωc **分别为巴特沃斯模拟滤波器的阶数和** 3dB **截止频率(实际角频率)，可调用** buttord(2) **格式计算** N **和** Ωc**。系数** B、A **按** s **的正降幂排列。**

tfype **为滤波器的类型：**

ftype = high **时，高通；**Ωc **只有** 1 **个值。**

ftype = stop **时，带阻；**Ωc = [Ωcl,Ωcu]**，分别为带阻滤波器的通带** 3dB **下截止频率和上截止频率。**

ftype **缺省时：若** Ωc **只有** 1 **个值，则默认为低通；若** Ωc **有** 2 **个值，则默认为带通；其通带频率区间** Ωcl < Ω < Ωcu。

(3**)求离散系统频响特性的函数** freqz( )**，格式：** [H,w] = freqz(b,a,N)

说明：b **和** a **分别为系统功能的分子和分母多项式的系数向量离散系统，量** H **包含离散系统的频率响应范围** 0 ~ π **之间的** n **频率等分值返回(其中** n **是一个正整数)和** W **包含** n **划分点的范围。当调用默认的** n**，值为** 512**，频率响应** freqz( ) **函数计算系统可以调用被调用，然后利用** abs( ) **和** angle( ) **函数及** plot( ) **函数，绘制出系统的频响曲线。**

2.3 基于双线性变换法的带通滤波器实现

双线性变换方法作为模拟和数字滤波器的转换方法，主要是数字滤波器的频率响应和模拟滤波器的转换方法。实现的步骤

(1**)设计模拟低通滤波器**

$$k_{sp} = \sqrt{\frac{10^{0.1\alpha_p} - 1}{10^{0.1\alpha_s} - 1}} = 0.010\ 0,$$

$$\lambda_{sp} = \frac{\lambda_s}{\lambda_p} = 1.974\ 6, N = \frac{\lg 0.010}{\lg 1.974\ 6} = 6.768\ 7,$$

取 $N = 7$

通过查表可得到归一化低通传输函数 G(p)**，**

$$G(p) = \frac{1}{(p^2 + 0.445\ 0p + 1)(p^2 + 1.247\ 0p + 1)(p^2 + 1.801\ 9p + 1)(p + 1)}$$

(2**) 模拟低通与模拟带通之间的转换**

将归一化模拟低通转换成模拟带通如下：

$$H_a(s) = G(p)\Big|_{p = \frac{s^2 + \Omega_0^2}{s(\Omega_u - \Omega_l)}}$$

这里需要通过双线性变换法将 Ha(s) **转换成数字带通滤波器** H(z)**：**

$$s = 2\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}$$

将上式代入上面的转换公式，得

$$p = \frac{s^2 + \Omega_0^2}{s(\Omega_u - \Omega_l)}\Big|_{s = 2\frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}}$$

$$= \frac{4(1 - z^{-1})^2 + \Omega_0^2(1 + z^{-1})^2}{2(1 - z^{-2})(\Omega_u - \Omega_l)}$$

$$= \frac{5.415\ 1 - 5.169\ 8z^{-1} + 5.415\ 1z^{-2}}{1.759\ 6(1 - z^{-2})}$$

$$= \frac{3.077\ 5 - 2.938\ 1z^{-1} + 3.077\ 5z^{-2}}{1 - z^{-2}}$$

将上面的 p **等式代入** $G(p)$ **中，得**

中国知网 https://www.cnki.net

$$H(z)=\frac{\left\{\frac{(3.0775-5.1698z^{-1}+3.077 5z^{-2})^2}{[(1-z^{-2})^2]^2}+\frac{1.247(3.0775-5.1698z^{-1}+3.077 5z^{-2})}{(1-z^{-2})^2}+1\right\}\left\{\frac{(3.0775-5.1698z^{-1}+3.077 tz^{-2})}{(1-z^{-2})^2}+1\right\}}{\left\{\frac{(3.0775-5.1698z^{-1}+3.077 5z^{-2})^2}{[(1-z^{-2})^2]^2}+\frac{0.4450(3.0775-5.1698z^{-1}+3.077 5z^{-2})}{(1-z^{-2})^2}+1\right\}\left\{\frac{(3.0775-5.1698z^{-1}+3.077 5z^{-2})^2}{[(1-z^{-2})^2]^2}+\frac{1.8019(3.0775-5.1698z^{-1}+3.077 tz^{-2})}{(1-z^{-2})^2}+1\right\}}$$

3　数据测量分析与实际缺陷检验

借助 VMUS 超声探伤仪，测量不同厚度的宽厚板缺陷的坐标区域 (x,y)，缺陷的深度 H，绝对误差要低于 5%。信号处理的最初几步是在超声电子仪器内进行的，从一个超声信号产生了 ALOK 向量，此向量通过光导纤维与 DSP 相连作进一步处理。DSP 根据下述方法来处理信号，将其划分为多个阶段，第一阶段：测定“初始的”第一和第二底面回波。在每一发射后，根据向量的顺序搜索有用的向量，最高波幅的向量可能是第一底面回波，同时在离第一底面回波 3 mm 处的最高波向量，是第二底面回波，二个回波均应超出一审定的门槛，考虑了下述可采用的条件时，可利用渡越时间来计算“初始”板厚 D*：其中 D* 应在系统界定的门槛之内，以第一 RE 渡越时间计算“初始”入射点，且 D* 应小于在计算确定的入射点；利用确定的公差使 D* 从 1RE 和计算确定的入射点之间的差异区分开来。第二阶段：底面回波和缺陷回波的确定。第一阶段的评估由一个接一个的脉冲信号来完成，第二阶段是在考虑预定和顺序确定脉冲信号数字时完成的，这样就可以得出一个平均值，从而进一步检验各个脉冲信号的真实性。

实验中，使用 VMUS 系统对超声波信号进行检测，当宽厚板的样品进行超声波探伤时，检测系统通过对其所检测区域的实际情况进行等级的评价和划分。对于不同的超声波发射条件和不同的宽厚板相对参数、尺寸和位置等因素，系统发出“接收”或“拒收”的每个缺陷的细节信息，最终将评估结果反馈，如图显示为检测模式下的检验结果。

利用 VMUS 超声波探伤仪，通过设计的带通滤波器对回波信号进行滤波，最后呈现出缺陷的坐标如下，通过对包钢 38 mm 厚度的宽厚板进行实际测量得出数据如表 1 及表 2 所示。

表 1　缺陷实际缺陷深度及面积

宽厚板类型	缺陷深度 /mm	缺陷大小 /mm	评判结果（按 JB4730－05）
38 mm 宽厚板	10	2 100	Ⅰ级

表 2　缺陷坐标值　　mm

坐标	数值							
横坐标 x	50	85	50	85	50	85	67.5	67.5
纵坐标 y	180	180	129	120	150	150	180	120

数据分析：测得缺陷的左上边坐标为 A(50，180)；右上坐标为 B(85，180)；左下边坐标为 C(50，120)；右下边的坐标为 D(85，120)；左中边的坐标为 E(50，150)；右中边的坐标为 F(85，150)；上中坐标为 G(67.5，180)；下中坐标为 H(67.5，120)；由此可以判断此缺陷为长方体形状。面积为：$S=60\times35=2\ 100\ mm^2$。可以得出缺陷的具体位置和缺陷面积的大小，满足包钢对板材的实际测量需求。

4　结束语

本文根据超声波探伤的基本原理和信号处理的基本方法，通过研究设计数字带通滤波器，进行相应信号的处理，并用于宽厚板的超设备探伤检测，验证了方法的有效性。随着中国无损数字检测技术的进一步发展，数字滤波器的设计和信号处理方法的研究变得越来越重要，相信在这一技术将为经济发展做出应有贡献！

参　考　文　献

[1]　王仲生，万小朋. 无损检测诊断现场实用技术[M]. 北京：机械工业出版社，2002.

[2]　李喜孟. 无损检测[M]. 北京：机械工业出版社，2004.

[3]　王兆球，张淑仪. 高频空气超声换能器研究现状与展望[J]. 应用声学，1992，11(2)：3－7.

中国知网　https://www.cnki.net