

# 插入式接管角焊缝超声波检测的缺陷自动定位系统

张军辉

(东方锅炉(集团)股份有限公司, 自贡 643001)

**摘要:** 插入式接管的管座角焊缝超声波检测时, 探头应尽量保持与焊缝垂直, 随着检测过程中探伤面的曲率不断变化, 若按常规的缺陷定位方法容易产生错判, 造成不必要的返修。通过建立数学模型推导出插入式接管管座角焊缝缺陷定位的公式, 并利用 Matlab 建立了缺陷自动定位系统。降低了定位误判造成错误返修的可能性, 并为缺陷返修提供了依据。

**关键词:** 超声波检测; 缺陷定位; Matlab

中图分类号: TG115. 28, TB553

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2014)09-0078-03

## Auto Defect Location of Inserted Type Nozzle Joints

ZHNAG Jun-hui

(Dong Fang Boiler Group Co., Ltd., Zigong 643001, China)

**Abstract:** While carrying on ultrasonic testing, the probe should be perpendicular to welding and the radio of urvature of testing surface is changing. According to the conventional method, the operator is easy to make fault judgment. This article establishes a mathematical model of defect location and an auto defection location with matlab. The above-mentioned an veduce the possibility of repairing work caused by misjudgment and provide ground for repairing thg fault component.

**Key words:** Ultrasonic testing; Defection location; Matlab

插入式管座角焊缝广泛应用于锅炉压力容器, 焊缝由于受力情况复杂、结构特殊、焊接条件差等原因很难保证焊接质量。为此, 需对其内部缺陷进行无损探伤。在相关的探伤标准中(如 JB/T 4730. 3—2005、EN 1714)规定了插入式管座角焊缝的典型超声波检测方法, 如图 1 所示。

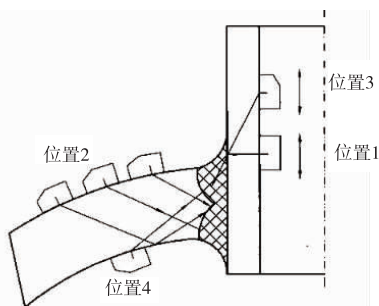


图 1 插入式管座角焊缝超声波检测方法

在斜探头探伤过程中应保持探头尽量与焊缝垂直, 对于筒身上的插入式接管角焊缝, 由于焊缝为马鞍形的相贯线焊缝, 图 1 中所示的位置 2 在探伤时探伤面的曲率半径不断变化。如果将接管按图 2 所示划分为四个象限, 则在第 I 象限内, 当探头位置从  $0^\circ$  移动到  $90^\circ$  过程中探伤面的曲率半径范围从  $+\infty$  逐渐变为  $R$ , 其中  $R$  为筒身外半径, 因四个象限对称分布, 故重点讨论 I 象限内的情况。

以图 2 所示的  $90^\circ$  位置处为例来说明常规缺陷定位方法的不足。该位置处的缺陷定位习惯上按曲面工件处理, 按下式计算:

$$\begin{cases} H = R - \sqrt{(Kd)^2 + (R-d)^2} \\ L' = \frac{R\pi}{180} \arctan \frac{Kd}{R-d} \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $H$  为缺陷实际深度;  $L'$  为缺陷距离探头入射点的外圈弧长;  $R$  为工件半径;  $K$  为探头  $K$  值;  $d$  为缺陷的显示深度。

如图 3 所示, 当探头在 A 点发现缺陷显示时, 按照式(1)进行曲面修正后, 根据  $L'$  的数值确定缺陷在筒身外表面上的投影在 B 点, 在筒身外观察时

收稿日期: 2013-10-14

作者简介: 张军辉(1983—), 男, 硕士研究生, 主要从事锅炉及压力容器等无损检测方面工作。

由于B点位于焊缝上,探伤人员会误认为该缺陷为焊缝内缺陷。

但通过连接OB可以发现真正的缺陷位置为C点,位于接管管内,应按原材料缺陷进行验收,而不应作为焊缝缺陷验收。

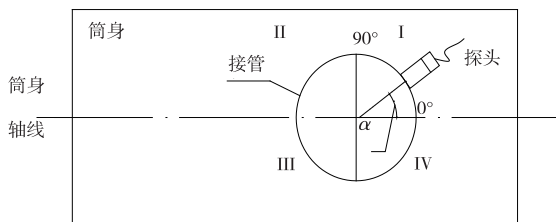


图2 检测位置示意图

探伤人员可以通过AutoCAD作图的方式确定缺陷位置,但需花费较长的时间。即便这样,探伤人员经过仔细的分析计算,在工件上对某一超标缺陷的投影位置进行了准确的标注,但因返修工人进行返修时习惯以接管壁为基准垂直向下进行返修,在缺陷深度较大时,经常会出现返修位置错误不能将缺陷一次性清除的情况,导致多次返修的发生。

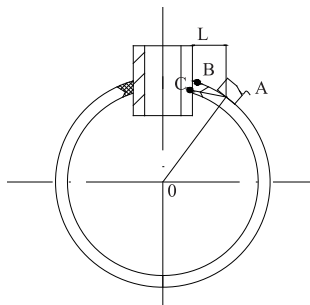


图3 缺陷定位示意图

通过建立数学模型推导了插入式接管角焊缝超声波检测缺陷定位的通用公式,并利用Matlab编制缺陷自动定位程序。

## 1 缺陷定位数学模型的建立

如图2所示的 $\alpha \in (0, 90^\circ]$ 范围内各区域内工件的检测截面假定均为椭圆,以筒身中心为原点,椭圆方程为:

$$\frac{\sin^2 \alpha \times x^2}{R^2} + \frac{y^2}{R^2} = 1 \quad (2)$$

式中: $R$ 为筒身外半径; $\alpha$ 为探头声束轴线和筒身轴线的夹角。

当 $\alpha = 90^\circ$ 时,公式(2)可转化为:

$$\frac{x^2}{R^2} + \frac{y^2}{R^2} = 1 \quad (3)$$

这说明此时工件检测面为圆形,球形封头插入式接管角焊缝的超声波检测即属于这种情况。

当 $\alpha = 0^\circ$ 时,工件检测横截面的曲率半径为 $+\infty$ ,缺陷定位方法类似于平板对接焊缝。

将公式(2)转化为极坐标方程为:

$$\begin{cases} x = \frac{R}{\sin \alpha} \cos \theta \\ y = R \sin \theta \end{cases} \quad \theta = 0 \sim 2\pi \quad (4)$$

当在如图4所示的情况下发现缺陷时,探头位置A点坐标为:

$$\begin{cases} x_A = r + L = \frac{R}{\sin \alpha} \cos \theta_A \\ y_A = \sqrt{R^2 - \sin^2 \alpha \times x_A^2} \end{cases} \quad (5)$$

式中: $r$ 为接管外半径; $L$ 为探头入射点至接管外壁直线距离; $\theta_A$ 为A点处的极坐标角度; $R$ 为筒身外半径。

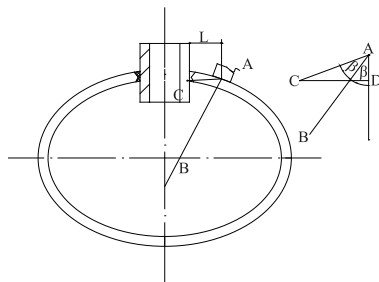


图4 缺陷定位数学模型示意图

探头入射点A处的切线斜率为:

$$\frac{dy_A}{dx_A} = -\sin \alpha \times \cos \theta_A \quad (6)$$

则A点处椭圆的法线方程为:

$$y = \frac{\tan \theta_A}{\sin \alpha} \times x + \left(1 - \frac{1}{\sin^2 \alpha}\right) R \sin \theta_A \quad (7)$$

该法线与x轴交点B的坐标为 $(\cos \theta_A \sin \alpha$

$(\frac{1}{\sin^2 \alpha} - 1)R, 0)$ , 即 $(\cos^2 \alpha \times x_A, 0)$ 。

设缺陷位置为C点,其坐标为 $(x_C, y_C)$ ,在直角 $\triangle CAD$ 中 $\angle CAD = \beta + \beta'$ ,其中 $\beta$ 为探头折射角度, $\beta' = \angle BAD$ 。

$$\angle \beta' = \arctan \frac{x_A - x_B}{y_A} = \arctan \frac{\sin^2 \alpha \times x_A}{y_A} \quad (8)$$

$$AC = \frac{d}{\cos \beta} \quad (9)$$

式中: $d$ 为缺陷显示深度。

$$CD=AC \times \sin(\beta+\beta') \quad (10)$$

$$AD=AC \times \cos(\beta+\beta') \quad (11)$$

则:

$$\begin{aligned} x_C &= x_A - CD \\ &= x_A - \frac{d}{\cos\beta} \times \sin\left(\beta + \arctan\left(\frac{\sin^2\alpha \times x_A}{y_A}\right)\right) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} y_C &= y_A - AD \\ &= y_A - \frac{d}{\cos\beta} \times \cos\left(\beta + \arctan\left(\frac{\sin^2\alpha \times x_A}{y_A}\right)\right) \end{aligned} \quad (13)$$

在实际应用中,  $\alpha$  不易测量, 可采用公式(14)计算:

$$\alpha = \frac{l'}{r} \times \frac{180}{\pi} \quad (14)$$

式中:  $\alpha$  单位为( $^\circ$ ),  $l'$  为发现缺陷位置处对应的接管距离参考点( $0^\circ$ 点或  $180^\circ$ 点)的弧长。

## 2 缺陷定位系统的建立

利用 Matlab 中的图形用户界面(GUI)和前述的公式可以建立一个在 matlab 环境中运行的缺陷定位 Defect location 系统, 系统界面分为菜单操作区、参数输入区、图形生成区及图形控制区, 其操作界面如图 5 所示。首先在参数输入区需输入筒身外半径、筒身内半径、接管外半径、接管内半径、坡口角度、探头入射点到接管外壁的直线距离、缺陷在屏幕上的显示深度、弧长等参数, 然后操作图形生成区的按钮即可得到如图 6 所示的工件轮廓、探头位置、缺陷位置示意图, 并可直接读出缺陷的坐标信息和初步的缺陷位置判断。

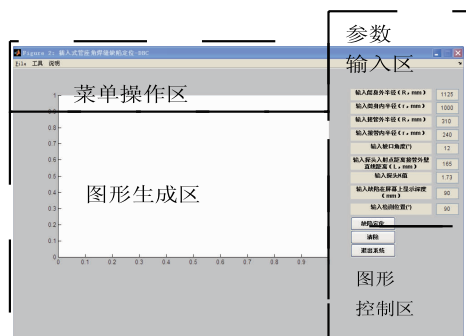


图 5 自动定位系统界面

为脱离 matlab 环境运行该程序, 可利用 matlab 中的 mbuild - setup 和 mcc 命令生成独立可运行的 Defect location. exe 程序, 并在目标计算机上安装 MCRInstaller. exe 组件后即可。

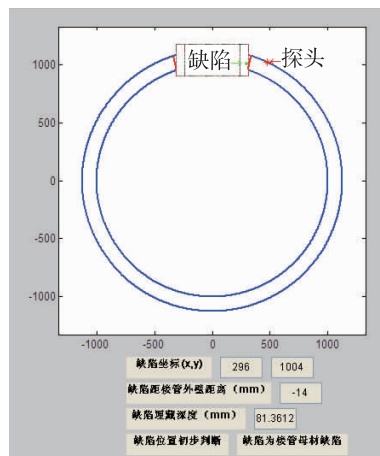


图 6 缺陷显示效果图

## 3 误差分析

在上述公式的推导过程中认为检测面截面均为椭圆, 这需要基于以下假设: 探头声束轴线经过接管轴线和筒身轴线确定的平面, 如图 7 中(1)位置所示。但当筒身直径过小时, 由于探头左右两侧和筒身耦合程度不同造成声束轴线产生一定的偏离, 如图 7(2)位置所示。

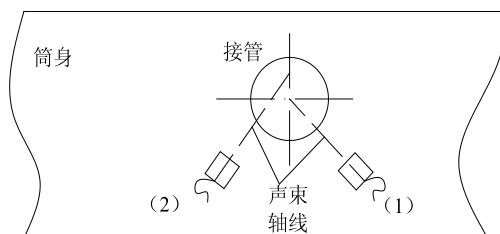


图 7 误差分析示意图

为此, 引入临界半径  $R_c$  的概念, 即当探头规格(频率、晶片尺寸)确定后若计算的  $R_c$  小于筒身半径, 则上述公式有效, 反之则无效。各规格探头的  $R_c$  参考值参见表 1, 当探头晶片尺寸与表 1 中的晶片尺寸不一致时, 可用插值法求出  $R_c$  的近似值。

表 1 临界半径  $R_c$  参考值

| 频率/MHz | 斜探头晶片对角线尺寸/mm |     |       |       |       |
|--------|---------------|-----|-------|-------|-------|
|        | 6             | 13  | 19    | 25    | 29    |
| 1      | 24            | 95  | 213   | 380   | 481   |
| 2~2.5  | 53            | 213 | 480   | 855   | 1 086 |
| 5      | 118           | 471 | 1 067 | 1 905 | 2 410 |

(下转第 84 页)

波信号,通过设置报警闸门来捕捉缺陷信号,利用 LabVIEW SignalExpress 工具包提供的多种信号处理函数结合 MATLAB 软件对超声回波信号进行滤波、去噪等分析处理,还可以把探伤结果和分析数据以文档和图片的形式存储在指定硬盘。运动状态 VIs 用来监控系统的运行状态,PLC 接收到接近开关、光电开关、行程开关及编码器等反馈信号,以串口通信方式把信号传输给上位机,通过运动状态 VIs 来显示上料、开始探伤、辊道速度、下料等一系列运行状态。软件工作流程如图 3 所示。

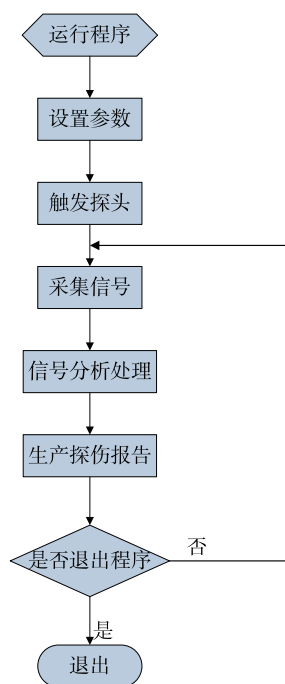


图 3 软件工作流程图

## 2 结语

虚拟仪器的软件开发平台 LabVIEW 提供了各

种互连接口,可以很容易的实现与其它外围设备的通信连接,实现对外围硬件设备的监控。NI 公司除了提供基本的 LabVIEW 或 LabVIEW/CVI 软件开发平台外,还提供一些附加的软件工具包,如 SignalExpress 软件工具包,该工具包包涵很多数据处理函数,可以代替硬件数据处理系统,充分利用计算机 CPU 的资源来处理数据,设计简单,而且节约硬件资源。LabVIEW 图形化的编程语言使得软件的设计简单易懂,而且不枯燥无味,工程师可以把足够的精力放在机械设计部分和电气控制部分,这样可以大大缩短系统的开发周期,节约成本,提高效率。

笔者在虚拟仪器的开发理念下,主要利用了虚拟仪器功能强大、编程灵活的软件开发平台,结合常规的钢管在线超声检测系统,提出了基于虚拟仪器的钢管在线自动超声检测系统。该探伤系统能够实现常规的探伤目的,满足基本的探伤要求。在今后的研究设计中,可以通过安装一块 NI 的运动控制板卡,对钢管与探头相对运动进行精确控制,完成相对运动坐标系的设置,以实现超声检测的 B 扫和 C 扫图像化结果显示。

## 参考文献:

- [1] 郑晖,林树青. 超声检测[M]. 北京:中国劳动社会保障出版社,2008:3-4.
- [2] 邹明,陈晓. 超声波检测技术研究进展[J]. 世界科技研究与发展,2010,32(2): 198-199.
- [3] 黄剑. 虚拟仪器技术及应用综述[J]. 计量与测试技术,2010, 37(4): 42-43.
- [4] HARISH Ganapathy. Performing automated ultrasound testing of pipes[DB/OL]. <http://sine.ni.com/cs/app/doc/>

(上接第 80 页)

## 4 缺陷返修注意事项

当判定缺陷为焊缝中的超标缺陷时,应根据如下步骤进行返修:

- (1) 以接管外壁为基准,根据图 6 所示的缺陷距离接管外壁距离确定筒体外壁的返修位置。
- (2) 根据图 6 所示的缺陷埋藏深度确定缺陷距离筒身外表面的垂直深度。
- (3) 根据上述步骤清除缺陷后,返修前应进行

一次磁粉探伤,以确保缺陷已完全清除。

## 5 结语

通过建立数学模型推导出了插入式接管角焊缝超声波检测的缺陷坐标公式,并利用 matlab 建立了缺陷定位系统,只需输入工件尺寸参数、探头 K 值、探头距离接管外壁距离、缺陷的显示深度、弧长即可自动获得缺陷的位置信息,并配以图形显示,结果直观,降低了定位误判造成错误返修的可能性,并为缺陷返修提供了依据。