

流量计焊缝超声检测模拟软件的开发与应用

夏 尚, 童良怀, 王 涛, 慎哲恒

(衢州市特种设备检验中心, 衢州 324000)

摘 要: 流量计焊缝内部常有未焊透、未熔合等缺陷, 应对其进行 A 型脉冲超声检测, 但由于流量计内部结构特殊, 单个探头无法满足检测要求, 所以需要选用几种不同 K 值的探头来配合使用。以往采用的 K 值筛选方法较为繁琐且容易引起误差, 因此研究人员采用 Visual Studio 等开发工具, 利用 C++ 语言开发出“流量计焊缝超声检测模拟分析软件”, 通过该软件可以直观、高效、准确地筛选出满足扫查要求的探头 K 值组合。

关键词: 流量计; 超声检测; 探头 K 值; 模拟软件

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2020)10-0062-03

The development and application of simulation software for ultrasonic testing of flowmeter weld seams

XIA Shang, TONG Lianghuai, WANG Tao, SHEN Zheheng

(Quzhou Special Equipment Inspection Center, Quzhou 324000, China)

Abstract: There are some defects in the weld seams of flowmeter, such as incomplete fusion and penetration. There is a need of ultrasonic examination technique using pulse-A mode type ultrasonic testing. However, single probe cannot meet the needs of the examination because of the special structure of the inner flowmeters, and therefore several probes with different K values need to be used. The normal calculating process is labor consuming and easily leading to errors, so a simulation software of using visual studio and C++ language is developed for the ultrasonic testing of flowmeter weld seam. It meets the requirements of screening out required probes with suitable K values by the software in an intuitive, high efficient and accurate way.

Key words: flowmeter; ultrasonic testing; K-value; simulation software

2016 年 8 月 11 日, 当阳市马店矸石发电有限责任公司热电联产项目在试生产过程中, 2 号锅炉高压主蒸汽管道上的“焊接式长径喷嘴流量计”裂爆, 造成 22 人死亡, 4 人重伤, 直接经济损失约 2 313 万元。调查表明, 该起事故主要是由喷嘴流量计焊缝裂爆引起的。流量计内部承受高温高压蒸汽, 但流量计未被列入《特种设备目录》, 所以其不受特种设备相关部门的监管, 而流量计制造行业的研究方向主要集中在计量的准确性上, 对于焊接性能方面的研究并不多, 特

别是在焊缝检测环节, 少有报道研究。

1 流量计结构及焊缝常见缺陷

喷嘴流量计一般由两个采用对接焊接连接的环室短节及喷嘴组成, 环室短节及焊缝材料为低合金耐热钢, 流量计结构示意图如图 1 所示。由于流量计两环室短节较厚, 在焊接时容易产生未焊透缺陷, 当阳事故发生的原因就是焊接接头存在未焊透缺陷, 其最薄处的焊缝有效厚度仅有 2 mm, 承载能力远远不能满足设计要求。衢州市特种设备检验中心项目研究人员对该市 5 家热电企业使用的 20 余台流量计进行了调研, 并采用射线、超声、金相检测后发现, 大部分流量计焊缝都存在未焊透, 少部分还存在裂纹、未熔合、非金属夹杂物等缺陷。项目研究人员经过调研发现, 一般流量计制造企业在制造过程中不对焊缝内部进行检测, 采用的焊接工艺也没有经

收稿日期: 2019-12-03

基金项目: 浙江省市场监督管理局科技计划项目(NQI20190131);
衢州市科学技术局科技计划项目(2018K05)

作者简介: 夏 尚(1985—), 男, 学士, 工程师, 主要从事压力管道检验研究工作

通信作者: 夏 尚, 47955561@qq.com

过焊接工艺评定。焊缝力学性能试验结果表明,流量计焊缝韧性极差,容易产生焊接缺陷。且流量计实际服役于高温高压环境中,材料易裂化,所以对焊缝内部进行检测非常有必要。

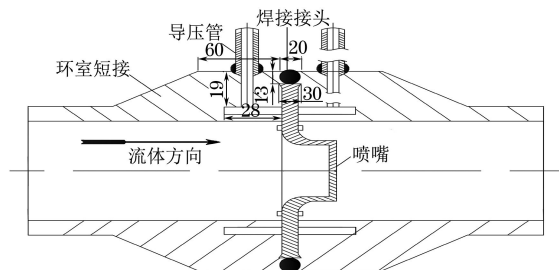


图1 流量计结构示意图

2 A型脉冲超声波技术的检测难点

由于流量计中喷嘴结构的存在,所以无法采用射线对其焊缝进行检测。为了验证超声检测的可行性,研究人员首先采用A型脉冲超声检测,同时将流量计沿轴向进行八等分切割,并移除喷嘴后用射线对焊缝进行检测复核,复核结果显示两种检测结果基本一致,故可以采用A型脉冲超声检测技术对流量计焊缝进行内部检测,但由于流量计内部结构特殊(见图2),对其进行超声检测存在以下难点^[1]。

(1) 超声检测时,探头只能在环室短接处拖动扫查,但环室短接长度 L_1 过短,如果只选用一个探头, L_1 无法满足NB/T 47013—2015《承压设备无损检测》规定的最短探头移动区的要求;同时通气腔 L_2 阻挡了二次波向上传输的路线。

(2) 通气腔、喷嘴、焊缝、环室短接之间存在着3处空隙区(见图2红圈处),超声波声束无法穿越空隙区并到达焊缝内部。

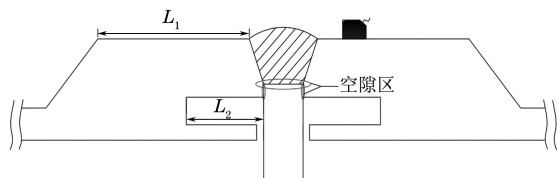


图2 流量计焊接接头结构示意图

综上所述,由于结构特殊,流量计内部的超声波声束传播路线非常复杂,往往一个探头的扫查范围无法覆盖整个焊缝厚度,所以需要选用几个不同K值的探头来组合使用,一般大K值探头的一次波扫查焊缝下部,小K值探头的二次波扫查焊缝上部。

3 常规探头的模拟分析方法

为了筛选出能够覆盖整个焊缝厚度的探头K值组合,以往检测人员采用三角函数计算、AutoCAD绘图等人工方式进行计算^[2]。检测人员绘制流量计结构,再计算出若干个探头的焊缝扫查范围,扫查范围叠加后若能覆盖整个焊缝厚度,即代表该组探头适用。对每一种不同规格的流量计、不同K值的探头都需要单独计算,计算量庞大,容易产生误差,计算出的探头组合可能并不是缺陷检出率最高的组合。

4 流量计焊缝超声检测模拟分析软件

4.1 软件的开发

为了使流量计焊缝的超声检测结果更加直观、高效、准确,免去人工计算探头组合的繁琐和误差,研究人员以人工三角函数计算为原理,借助计算机的运算能力,开发出了“流量计焊缝超声检测模拟分析软件”,该软件采用Visual Studio 2013 64位、QT 5.6.0 32位、Inno Setup 5.5.4 32位为开发工具,以C++为开发语言,搭建VS2013+QT5.6.0的开发环境,通过VS自身创建QT项目功能创建了原始的空白界面,系统版本号等固定信息存储在mysetting.ini文件中,另外创建了CGlobal.cpp和CGlobal.h来存储全局变量,以便不同页面模块间传递数据。由于默认的标题栏不够美观,所以添加了长条形gif动态图片为标题栏底图,并单独制作放大、缩小、退出等操作按钮。为了将操作界面与绘制界面耦合,单独新建了绘图MyPad界面,作为Scanner界面的子界面,参数设置等都在Scanner主界面上。之后通过重写paintEvent(QPaintEvent * event)的方法,在MyPad界面上绘制图形^[3]。

4.2 软件功能介绍

该软件能够根据检测人员输入的流量计结构参数实时形成对应图形,并根据选择的探头K值模拟出声束路线和扫查范围,最终自动分析出能扫查整个焊缝厚度所需的探头K值组合,节约了检测前的准备时间,极大地提高了工作效率。

该软件操作主页面分为5大区域,操作主页面如图3所示,具体描述如下:1处是流量计结构参数录入区,在此区域检测人员可以录入流量计结构参数,同时左上角会自动显示与坡口垂直的K值(为之后选择最优K值做参考);3处是图形区,根据录

入的流量计结构参数,该区域能够展示对应的图形,并且整个图形可以通过鼠标上下左右拖动,还可以通过鼠标滚轮放大、缩小画面。为了方便缺陷定位,以坡口中心线和平底的交点为零点,鼠标指针处显示当前鼠标坐标;4处是探头,在手动计算模式时,可以通过鼠标按住探头水平左右拖动(L 范围内拖动),从而实时模拟出超声波声束走向和焊缝扫查范围;2处是智能计算结果区,根据录入的流量计结构参数和预置探头参数,选择智能计算后会在该区域展示推荐的探头选择方案。

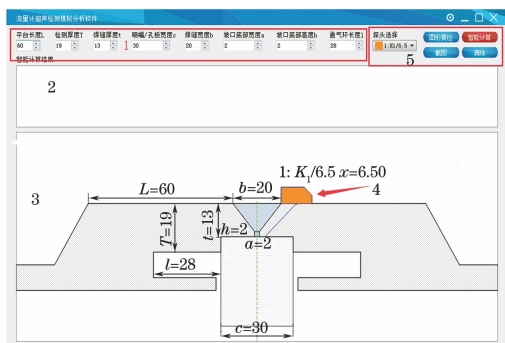


图3 软件操作主页面

5处右上角功能介绍:

(1)“探头选择”下拉框表示可以从“探头库”选择不同规格的探头,绘图区域的探头大小和角度也会随之变化。为了提高检出率,探头排列顺序是根据与坡口垂直的 K 值大小实时调整的。“探头库”中最多预置30个探头,设置探头的参数包括前沿和 K 值。

(2)“图形复位”按钮在流量计图形被拖动或放大、缩小后,可以回到最初的状态。

(3)“智能计算”按钮可以在当前结构参数和预置探头的前提下,自动计算可以100%覆盖焊缝厚度的探头组合,最多显示10组结果。

(4)“清除计算”按钮,可将当前智能计算结果清除,否则会一直显示当前的覆盖图像,无法手动操作。

(5)“截图”按钮可以将当前软件界面截图,并保存至软件安装目录下的“screenShot”文件夹,可输出现场检测的指导图。

4.3 软件的检测案例

检测人员对某热电公司流量计进行超声检测,利用该软件手动扫查或智能计算两种模式,筛选出能够覆盖焊缝全厚度的探头 K 值组合。

(1)手动扫查模式。检测人员首先在软件上部的“流量计结构参数录入区”输入流量计结构参数,图形区自动展示出对应的图形,手动点选橘黄色的 K_1 探头并拖动(只允许在 L 内拖动),在拖动过程

中被扫查到的焊缝区域会填充相应橘黄色的线条,手动扫查后发现, K_1 探头所代表的橘黄色区域无法覆盖焊缝全厚度;检测人员继续选用红色的 K_2 探头,以同样的方式在 L 内拖动探头,在拖动过程中被扫查到的焊缝区域会填充相应的红色线条,同时左上角显示当前的完成率(即覆盖率),如果100%覆盖焊缝厚度,则会弹出提示“扫查完成”。100%扫查完成示意如图4所示,经过手动扫查模式分析出选用前沿6.5 mm的 K_1 探头和前沿6.5 mm的 K_2 探头组合,即可100%覆盖焊缝全厚度。

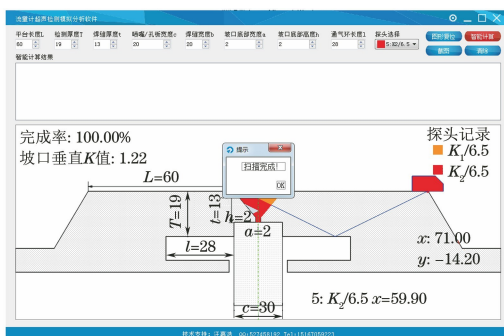


图4 100%扫查完成示意

(2)智能计算模式。智能计算模式下不需要检测人员通过手动拖动探头完成模拟扫查,软件会自动模拟鼠标拖动探头的扫查过程,完成探头筛选。由于流量计的常见缺陷为根部未焊透和坡口未熔合,考虑此类缺陷的检出率,智能计算时软件会优先选择 K_1 探头及与坡口角度近似垂直的 K 值探头进行自动模拟扫查,如不满足焊缝覆盖率,再继续按探头列表中的其他探头进行自动模拟扫查,以确保覆盖焊缝整个厚度的基础上,首先选用检出率较高的 K 值探头。智能计算过程中无法操作鼠标,需要中途退出则按“Esc”键。智能计算结束后,在“结算结果栏”中会最多显示10组方案,按所需探头数量由少到多,从左到右排列(见图5)。该流量计采用的超声检测方案1为选用前沿6.5 mm的 K_1 探头和前

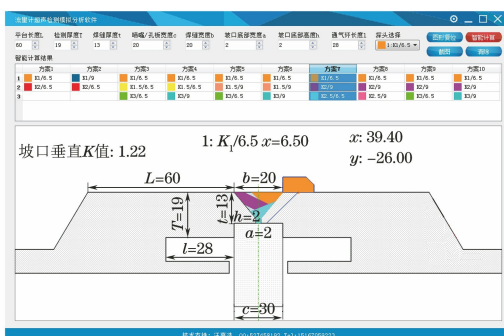


图5 智能计算结果示意

(下转第68页)

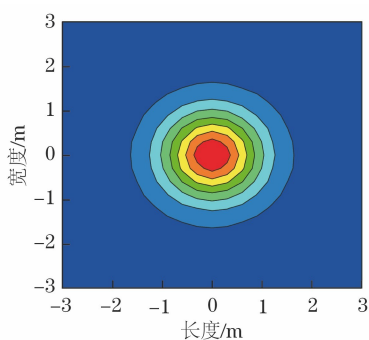


图8 传统线圈磁场分布云图

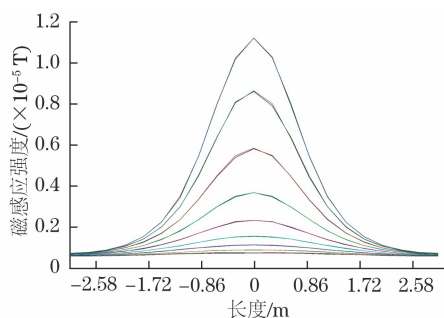


图9 传统线圈磁感应强度梯度曲线

梯度图(见图8,9),可以看出磁场覆盖范围 $R = 500 \text{ mm}$,磁感应强度 $B = 1.210 0 \times 10^{-5} \text{ T}$ 。通过对比可知,该聚焦探头磁场分布范围比传统探头的缩小了42%,中心磁感应强度比传统线圈的增大了36.78%,确定了该聚焦结构的合理性及有效性。

4 结语

根据设计要求设计了瞬变电磁聚焦探头,其主



(上接第64页)

沿6.5 mm的 K_2 探头,其余还有9组其他方案供选择。为了方便检测人员验证每个探头的覆盖情况,检测人员点击不同方案,能显示出对应的覆盖图像。

5 结语

该软件根据流量计结构参数和探头 K 值,利用三角函数原理实时生成对应的焊缝扫查图像,并根据坡口角度得到检出率最高的探头 K 值组合,实现覆盖整个焊缝厚度,优化了探头组合;借助计算机强大的运算能力,几乎可以瞬时计算出10组探头组合供检测人员选用,免去人工计算的繁琐;只要保证流量计结构参数输入正确,软件的计算结果正确率为100%,极大地提高了超声检测的准确性。同时,软件也具有良好的人机界面,无需联网,硬件要求低,

要由激发线圈、检测线圈、四氟布、内外层骨架及磁芯等组成。利用有限元仿真验证了该结构的合理性及聚焦的有效性,通过与传统探头的结果进行分析对比,结果表明:该聚焦探头磁场分布范围比传统探头的缩小了42%,中心磁感应强度比传统线圈的增大了36.78%,满足设计要求。为瞬变电磁法在埋地金属管道上的局部检测提供了关键部件,能确保检测精度和检测效率,可进一步为瞬变电磁法探头的优化设计和应用提供参考。

参考文献:

- [1] 张维景,胡博,于润桥,等. 埋地管道腐蚀的瞬变电磁法检测探头优化设计[J]. 仪表技术与传感器,2016(12):37-40,68.
- [2] 刘晓青,张涛. 基于瞬变电磁法的传感器设计及仿真研究[J]. 电子测量技术,2019,42(5):123-127.
- [3] 张莹莹,李貅. 地空瞬变电磁法研究进展[J]. 地球物理学进展,2017,32(4):1735-1741.
- [4] 薛国强,于景邗. 瞬变电磁法在煤炭领域的研究与应用新进展[J]. 地球物理学进展,2017,32(1):319-326.
- [5] 何江龙. 基于地磁场理论的管线探测技术研究与应用[J]. 电子测量技术,2017,40(12):182-186.
- [6] 党娜,王维斌,张涛,等. 管道腐蚀脉冲涡流检测的三维仿真与试验[J]. 无损检测,2017,39(2):57-60,74.
- [7] 杜娜,杨玲,张雄等. 基于Comsol的井下瞬变电磁传感器建模与仿真[J]. 电子测试,2017(18):27-29,36.

操作直观简单,方便检测人员掌握和使用。

项目组研究人员利用该软件选用了探头组合,在流量计的人工缺陷试块上能够扫查焊缝整个厚度,进一步验证了软件的可靠性,提升了流量计的安全性能,具有很强的工程应用价值。

参考文献:

- [1] 齐高君,岳大庆,杨敬,等. 各向异性焊缝相控阵超声检测楔块角度的优化设计[J]. 无损检测,2019,41(11):1-4.
- [2] 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] 起雪梅,张敬东. 基于VC平台的厚壁无缝钢管超声波探伤系统的软件设计[J]. 无损检测,2015,37(3):67-72.