

管子管束的内置旋转式超声波定量检测技术

刘恽欢¹, 陆金明¹, 刘子方²

(1. 天津市特种设备监督检验技术研究院, 天津 300384; 2. 天津市昊达泛美科技有限公司, 天津 300190)

摘要:在管子管束的在役检验和检修中, 通常采用的电磁方法对缺陷及壁厚减薄不能进行精确定量。介绍了内置旋转式管子及管束超声波检测技术, 可对管子内部缺陷及内外壁减薄进行全面检测。定量精度与普通超声波检测一致, 满足检测及检修的要求, 提高了热交换器管子及管束检测的准确性和可靠性。

关键词:超声波检测; 内置旋转式; 管子管束; 精确定量

中图分类号: TG115. 28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)08-0520-02

A New NDT Technology for Precise Measurement of Tubes: The Inner Rotating Ultrasonic Inspection System

LIU Yi-Huan¹, LU Jin-Ming¹, LIU Zi-Fang²

(1. Tianjin Special Equipment Inspection Institute, Tianjin 300384, China;

2. Tianjin Haodapana Ltd., Tianjin 300190, China)

Abstract: In the inspection of tubes in service, the most common method is the electromagnetic method, which however can not measure the defect and corrosion precisely. This paper introduced a new nondestructive testing (NDT) technology: the inner rotating ultrasonic inspection system (IRIS). Using this new technology, we can detect the inner defect and internal or external corrosion omni directionally, which its precision being almost the same as common ultrasonic test method. The proposed method can satisfy the requirement of inspection and overhauling. It also enhances the accuracy and reliability in the inspection of heat exchanger tubes.

Keywords: Ultrasonic testing; Inner rotating; Tubes; Precise measurement

对于在石油化工等行业大量使用的热交换器设备, 以及结构相似的冷却器、锅炉、冷凝器、再热器和加热器等, 由于其构造的特殊性, 管束之间空间很小, 导致检测手段严重缺乏, 制约了检验、检修工作的全面性和可靠性。目前国际上通用的做法是采用远场涡流进行快速检测, 但该方法一般不能精确定量, 且只能检测表面及近表面的缺陷和腐蚀, 当管子厚度比较大时, 管子外壁的检测灵敏度大大降低, 可靠性严重下降^[1,2]。由于热交换器的重要作用, 对其进行精确的定量进而进行安全评估便显得很有意义。采用内置旋转式超声波检测技术(简称 IRIS),

可以对管子内壁和外壁进行全面检测, 并对其进行精确定量。

1 IRIS 技术的检测原理

IRIS 采用内置式水浸超声脉冲回波检测技术。由于管束之间距离太近, 探头无法从管外而只能从管内进行检测, 此时耦合是一大难题, 且此类管子一般壁厚都较小, 如何避开超声波检测盲区也是需要考虑的因素, 水浸法是解决这一问题的最佳方法。在管内充满水的状态下, 探头激发超声脉冲从水中传播到达管壁, 管子内外壁的脉冲回波经过水被探头接受, 由此便可以对管子进行检测。

相对于平板超声波检测而言, 管子的超声波检测扫查方式应有所不同。纵向扫查可以通过探头进出来实现, 考虑到进行全面的扫查还应有周向扫查,

收稿日期: 2008-03-04

作者简介: 刘恽欢(1983—), 男, 助理工程师, 工学学士, 主要从事特种设备无损检测工作及研究。

IRIS 技术利用反射镜的旋转实现周向的扫查,从而达到对管子进行全面扫查的效果。

如图 1 所示,从探头激发的超声波脉冲经水中传播到达 45° 声反射镜,在反射镜表面发生反射后到达管子的内壁,此时会有部分超声波在管内壁发生反射,回波沿原传播路线返回并被晶片接收;另有一部分超声波入射进管壁中,并在管外壁发生反射,回波沿原传播路线返回被晶片接收。由此可得内外壁两个反射信号。涡轮每旋转一周触发一次采集,并创建一个被检管子截面的 B 扫描。成像中显示了内外管壁的形状和壁厚。当探头进入到管子内部时,连续的图像形成管壁的彩色 C 扫描成像,并记录下来,以供分析。

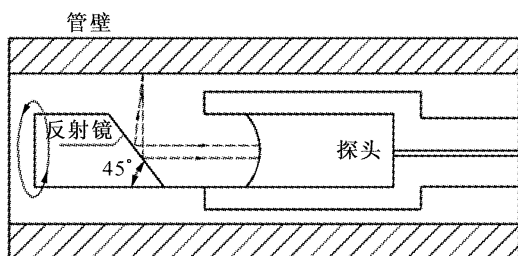
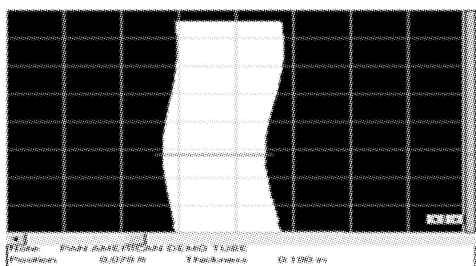
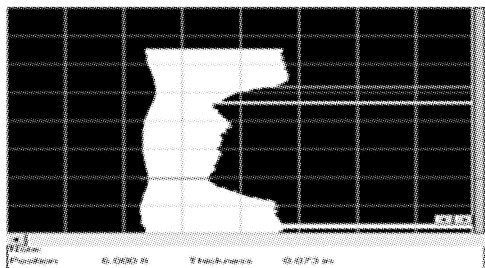


图 1 IRIS 检测系统示意图

若被检管子不存在缺陷(图 2a),显示器中将显示正确的壁厚数值和图形。若被检管子外壁存在缺陷(图 2b),壁厚数值则会减少。内壁存在缺陷时同样可以有效检出,通过 B 扫描图形可判断缺陷存在的位置,并可读取精确的缺陷深度值和壁厚减薄值。



(a) 无缺陷



(b) 外壁有缺陷

图 2 IRIS 检测管子管束的 B 扫描图形

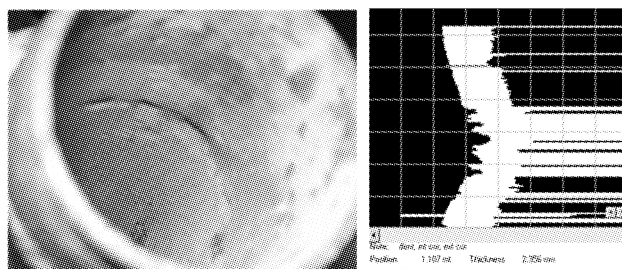
2 IRIS 技术在管子管束检测中的应用

利用 IRIS 技术检测管子管束需要具备以下条件:① 管子内应充满水或其它耦合剂。② 管子内壁应处于洁净状态。③ 探头应能够进入管子。

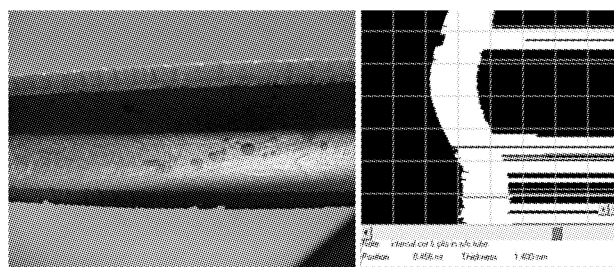
实验证明,在以上条件都满足的情况下,利用 IRIS 技术可以对管子的内外壁进行 360° 检测。由于是水浸探伤,所以 IRIS 检测没有盲区。对内、外部腐蚀和侵蚀、膨胀、 $< \phi 1.5 \text{ mm}$ 通孔、 $< 1.5 \text{ mm}$ 的蚀坑、挡板磨损、管板缺陷、沟槽、焊缝侵蚀,都有良好的检出率,并可精确测量剩余壁厚。

试验 1:采用 IRIS 检测法对图 3a 左图管子进行检测,出现图 3a 右图图像,判定为内壁腐蚀。显示腐蚀最深处厚度剩余值为 2.356 mm ,对该处进行割管,测得剩余壁厚为 2.40 mm 。

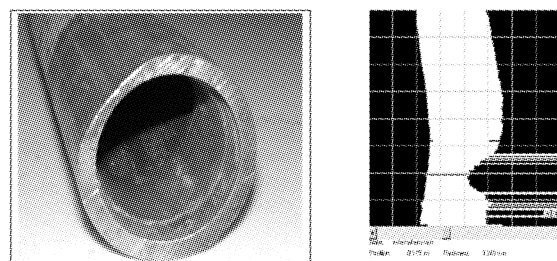
试验 2:对图 3b 左图所示管子进行检测,右图为该管缺陷处 B 扫描图像,判定为内表面蚀坑。读



(a) 内壁腐蚀



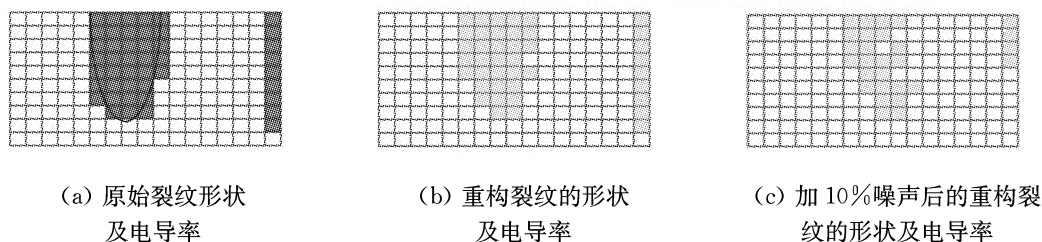
(b) 内壁蚀坑



(c) 外壁腐蚀

图 3 不同类型腐蚀的 B 扫描图像及管子解剖图

(下转第 546 页)

图 6 94 号样品神经网络重构效果($l=3.73\sim 1.78$, $d=8.1$, $c=18$)

确率,得出正确率为 98.1%。取各测试样本的导电率的相对误差所占权重之和作为错误率,导电率重构的正确率为 81%。用神经网络得出的结果与原参数比较之后,深度和宽度的关键点大部分是正确的,在此模型下,可以为检测提供较可靠的参考。

对裂纹阻抗信号加入 10% 白噪声后,网络训练的结果错误较多,代表性结果见图 6c 和 d。在信号处理、小波分析和自适应滤波提高信噪比方面还有工作需要继续进行。

3 结论

笔者进行了应力腐蚀裂纹的建模并提出了一种可行的裂纹重构方案。裂纹模型等效为电导率不为零的椭圆型裂纹,探头是标准饼式线圈探头。裂纹重构采用了基于前神经网络和主元分析的方法。

利用 FEM-BEM 混合法程序得到的数值模拟信号和所提出的裂纹参数化方法,基于选定的应力腐蚀裂纹模型对裂纹进行了重构。结果表明,所提出方法在信噪比较高时对应力腐蚀裂纹的重构非常有效。当信号中噪声较大时,需要进行进一步的研究工作。

(上接第 521 页)

取腐蚀处最小剩余厚度为 1.400 mm;对该处进行割管,测得剩余壁厚为 1.44 mm。

试验 3:对图 3c 左图管子进行检测,得到缺陷处 B 扫描图像为图 3 右图,判断为外壁腐蚀。读取腐蚀处剩余厚度值为 2.756~3.245 mm。对该处进行割管,测得剩余壁厚为 2.84 mm。

通过上述试验数据分析表明,IRIS 技术检测误差 <0.1 mm,与普通超声波检测精度一致,且不受支撑部件的影响,信噪比高,可靠性高,对管子材料没有要求,对小的缺陷敏感,定量准确。有着远场涡流等电磁检测方法无可比拟的优点,完全可以满足检测及检修的要求。

参考文献:

- [1] 乔利杰,王燕斌,褚武扬. 应力腐蚀裂纹机理. 北京:科学出版社,1993.
- [2] Zhenmao Chen, Kenzo Miya, Masaaki Kurokawa. Rapid prediction of eddy current testing signals using A-phi method and database. NDT&E International, 1999, 32(1):29—36(8).
- [3] Radu C. Popa, Kenzo Miya. Approximate Inverse Mapping in ECT, Based on Aperture Shifting and Neural Network Regression. Journal of Nondestructive Evaluation, 1998, 17(4):209—221.
- [4] 盛剑霓. 工程电磁数值分析[M]. 西安:西安交通大学出版社,1999.
- [5] Zhenmao Chen and Kenzo Miya, A New Approach for Optimal Design of Eddy Current Testing Probes. Journal of Nondestructive Evaluation, 1998, 17(3):105—116.
- [6] 李家伟,陈积懋. 无损检测手册[M]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [7] Chen C L P. A Rapid Supervised Learning Neural Network for Function Interpolation and Approximation. IEEE Trans Neural Networks, 1996, 7:1220—1230.

3 结语

内置旋转式超声波检测技术(IRIS)可以有效地弥补远场涡流等电磁方法在管子管束检测中的缺点,可进行精确定量。为弥补 IRIS 技术在耦合剂要求及检测速度方面的劣势,可先采用远场涡流等电磁方法进行快速扫查,发现缺陷后再采用 IRIS 技术对缺陷进行精确定量。IRIS 与远场涡流检测技术的结合可大大提高检测效率和可靠性。

参考文献:

- [1] 徐小杰,罗飞路,刘春艳,等. 铁磁性管道的远场涡流检测系统的设计与实现[J]. 计量技术,2006,(12):7.
- [2] 廉纪祥,沈 跃. 管道远场涡流检测技术的进展[J]. 油气储运,2004,23(7):14—16.