

基于线阵探测器的 X 和 γ 射线角焊缝检测试验分析

丁克勤, 陈光, 张旭

(中国特种设备检测研究院, 北京 100013)

摘要:为了检测管子-管板角焊缝内部缺陷,提出了基于线阵探测器的管子-管板角焊缝射线数字检测方法。介绍了线阵列探测器成像原理,通过对管子-管板角焊缝试件的射线数字透射成像试验,分析了线阵列探测器在 X 和 γ 射线照射下的图像特点。试验表明,相比 X 射线,利用 γ 射线采集的图像质量稍差,并且整体灰度偏暗,采集时间较长。得出了影响线阵列探测器 γ 射线数字图像质量的一些关键因素,为线阵列探测器应用于 γ 射线提供了试验及应用依据。

关键词:线阵列探测器; 射线数字检测; X 和 γ 射线; 管子-管板角焊缝

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2012)09-0027-03

X and γ -Ray Test Analysis of Fillet Weld Based on Linear Array Detector

DING Ke-Qin, CHEN Guang, ZHANG Xu

(China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100013, China)

Abstract: To test the tube-to-tubesheet fillet weld internal defects, the paper proposed the ray digital detection method which was based on the linear array detector. This paper introduced the imaging principle of the linear array detector, and analyzed the image characteristics of the linear array detector of both X and γ -ray irradiation by the radiography test of the tube-to-tubesheet fillet weld specimens. The test showed that compared to the X-ray, γ -ray collected images quality was lower, and overall gray was darker, acquisition time was longer. Some of the key factors were obtained that affected the γ -ray linear array detector digital image quality. At the same time this paper provided an experimental and application basis for which the linear array detector was used in γ -ray test.

Keywords: Linear array detector; Ray digital detection; X-and γ -ray; Tube-to-tubesheet fillet weld

在列管式换热器和列管式反应器的制造过程中,管子-管板角焊缝一直是其质量控制的关键问题之一。针对管子-管板角焊缝内部缺陷的无损检测方法中,目前研究较多的是 γ 射线胶片照相法^[1-2],然而胶片照相法存在胶片储存和环境污染等一系列问题。

线阵列探测器作为射线数字成像方法的主要成像器件之一,由于其较高的分辨率及动态范围,在 X 射线成像中获得了较好的评价,但在 γ 射线数字成像中的应用研究却很少,有关的文献资料也有限,需

要做进一步的分析和试验研究。

1 线阵探测器成像原理

随着阵列探测器的迅速发展,X 射线线阵探测器数字成像在国内外都已经到了实用阶段,它通过辐射技术使不能直接被视觉感知的信息转变为可以直接受到观测的信息^[3-4]。线阵探测器成像原理如图 1 所示,射线源发射的射线穿过被检测工件,工件中有缺陷部位和无缺陷部位对射线衰减程度不同,使得透射射线带有工件的缺陷信息;线阵探测器接收透射射线,通过扫描将射线的一行光信号转换成数字信号,传送到计算机处理并显示。随着焊缝和探测器之间的相对运动,线阵探测器行扫描得到的数据形成一幅动态图像,从而完成整个成像过程^[5-7]。

收稿日期: 2011-09-19

基金项目: 质检公益性行业科研专项资助项目(200910092)

作者简介: 丁克勤(1968—),男,博士,主要从事特种设备检测技术研究。



图1 线扫描 DR 成像原理图

采用的线阵探测器为 CMOS 结构,有效长度为 160 mm,像素尺寸为 $83 \mu\text{m}$,空间分辨率能达到理论上的 6 LP/mm,12 bit,动态范围 4000 : 1,其结构原理如图 2 所示^[8]。

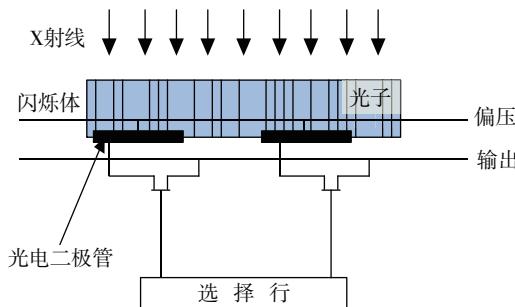


图2 CMOS 线阵探测器结构原理图

2 试验分析

利用 X 射线和 ^{192}Ir 源 γ 射线源对管子-管板角焊缝试件进行对比,分析其产生的图像特点。

2.1 测试试件

管子-管板角焊缝试件设计参照标准 GB 151—1999《管壳式换热器》(图 3)。其材料为 Q235A,板厚 14 mm,管子直径 49.5 mm,壁厚 4 mm,管端突出 4 mm。焊接方式采用钨极氩弧焊。



图3 测试试件实物图

2.2 专用像质计

对管子-管板角焊缝来说,线型像质计会增大焊

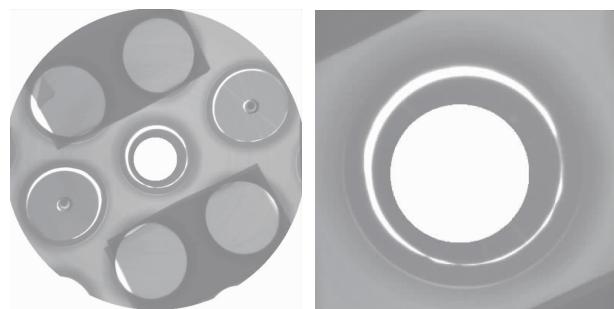
缝至探测器的距离,从而增大图像不清晰度,故较少使用。目前大多采用圆形像质计对图像质量进行评定。专用像质计根据换热器管子的直径有不同的规格,图 4 是其中的一种,其外径为 49.5 mm;孔的大小依次为 1.0, 1.5, 2.0 mm, 线宽分别为 1.0, 1.5, 2.0 mm。同时圆形像质计还起到屏蔽块的作用,可尽量使图像在评定区获得均匀的灰度。



图4 专用像质计

2.3 测试试验

(1) X 射线源测试 试验条件为:管电压 160 kV;管电流 5 mA;曝光时间 4.62 min;焦距 700 mm。

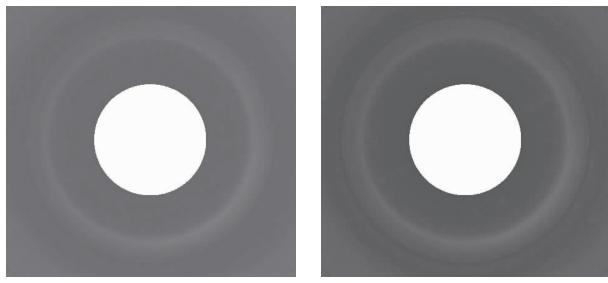


(a) 中心管和周围 6 个管子 (b) 截取的中心管图像
图5 利用 X 射线采集的图像

图 5 为利用 X 射线采集的图像,其中图 5(a)为模仿 γ 射线源安装情况采集的中心管和周围 6 个管子的图像,并在中心和两侧放置专用像质计;图 5(b)为截取的中心管图像。从图 5(a)和(b)中均能看见圆形像质计的 $1.0 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ 的槽和 $1.0 \text{ mm} \times 1.0 \text{ mm}$ 的孔,与胶片照相质量相当。

(2) ^{192}Ir 源测试 试验条件为:放射源活度 0.4 Ci;曝光时间 60.48 min;焦距 70 mm。试验结果如图 6 所示。

图 6 为利用 γ 射线源采集的图像,其中图 6(a)为采集的中心管子图像,并在中心放置专用像质计;图 6(b)为经过简单处理后得到的图像。从图 6(b)



(a) 采集的图像 (b) 简单处理后的图像
图 6 γ 射线源采集的图像

中能看见圆形像质计的 1.5 mm \times 1.5 mm 的槽和 1.5 mm \times 1.5 mm 的孔。

2.4 试验分析

对比 X 射线和 γ 射线采集的图像效果,总体来说, γ 射线采集的图像质量稍差,并且整体灰度偏暗,采集时间较长。分析影响 γ 射线数字图像质量的关键因素有:

(1) 射线源发射强度的波动和噪声 相比 X 射线的连续谱线, γ 射线源的发射是自发进行,穿透试件到达探测器的光子数量较少;而线阵探测器采集图像时需要相对运动,扫描速度与光子数量直接相关,探测器单位像素的面积小,使得每个像素检测到的光子数大大减少,每个像素点的信噪比降低。只有适当的光子数量照射在探测器上,探测器才有能谱效应,导致采集时间增加。照射剂量的减少会增加量子噪声,从而降低图像质量,使得圆形像质计中 γ 射线分辨率程度低于 X 射线。为了提高信噪比,获得较高的分辨率和灵敏度,在动态采集中,通过连续叠加多幅图像,可在保证检测速度的同时来提高图像质量。由于图像的原始数据是不随时间变化的,而噪声是随机的,因此只要叠加的帧数足够多,就可以将量子噪声有效地过滤。其连续叠加降噪的数学方程如下所示:

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M f_k(x, y) \quad (1)$$

式中 $g(x, y)$ 为叠加后图像中某点像素的灰度值; M 为叠加帧数; $f_k(x, y)$ 为第 k 帧图像中对应点的像素灰度值。

(2) 旋转中心偏移 旋转中心的偏移主要靠机械装置来保证,容许一定的误差。其明显的特征表现在图像旋转一周后未闭合或过重合。在试验中通过保证线阵探测器在扫描所需的半径处达到最优分辨率来控制运行速度,确保检测图像在容许误差内。

(3) 像元响应不一致性校正 线阵探测器的像元响应不一致性属于探测器自身特点,其结果为扫描图像时沿扫描方向产生条纹。为避免影响图像质量,需对探测器进行校正。影响探测器校正的主要因素有射线源的光谱、曝光时间及成像系统的几何结构。

在试验中, γ 射线源的能量是给定的,不能像 X 射线源能够通过调节电压、电流和曝光时间来确定合适的透照剂量(光谱),从而建立校正模型进行探测器的校正。 γ 射线源通过控制曝光时间和滤波板的厚度来调节适合的透照剂量,进而建立校正模型。

3 结论

通过对管子-管板角焊缝试件的射线数字透射成像试验,分析了线阵列探测器在 X 和 γ 射线照射下的图像特点,发现 γ 射线采集的图像质量稍差,并且整体灰度偏暗,采集时间较长。分析了影响 γ 射线数字图像质量的关键因素:① 射线源发射强度的波动和噪声,可在动态采集中通过连续帧叠加,在保证检测速度的同时能够取得满意的结果。② 旋转中心的偏移,可主要靠机械装置保证。③ 像元响应不一致性,可通过控制曝光时间和滤波板的厚度来调节适合的透照剂量,以实现探测器的校正。

参考文献:

- [1] 姚炫东,王元华.热交换器管子-管板角焊缝的射线检测[J].无损检测,2003,12(12):647.
- [2] 李衍.压力容器无损检测—射线检测技术(Ⅱ)[J].无损检测,2004,26(3):132.
- [3] 屈国普,凌球,郭兰英,等.X 射线线阵列探测器数字图像的非均匀性原因分析[J].核电子学与探测技术,2003,23(5):414—416.
- [4] 向东,郭兰英,凌球,等.X 射线线阵探测器的扫描成像研究[J].南华大学学报,2006,20(1):23—38.
- [5] 何山林,马跃洲,陈光,等.线扫描 X 射线数字成像技术在螺旋焊管检测中的应用[J].焊接,2006(11):56—59.
- [6] 孙朝明,李强,王增勇,等.CMOS 探测器在射线检测中的应用[J].仪器仪表学报,2007,28(4):420—422.
- [7] 丁克勤,陈光,梁丽红,等.管子-管板焊接接头射线数字成像自动检测系统[J].无损检测,2009,6(6):647.
- [8] 陈明,马跃洲,陈光.X 射线线阵实时成像焊缝缺陷检测方法[J].焊接学报,2007,28(6):81—84.