

采用数字射线 DR 成像的焊接质量检测

孔凡琴

路宏年

(通用电气检测科技, 上海 200233)

(北京航空航天大学, 北京 100083)

摘要:提出了一种基于数字射线成像的焊缝质量检测方法。采用先进的非晶硅数字检测系统获取信息丰富的原始图像, 叠加曝光降低图像噪声; 依据射线衰减的指数规律对图像进行对数解调, 凸现缺陷特征; 运用非锐化掩模滤波对特征进行增强。使焊缝缺陷特征清晰, 检测质量达到胶片最高级 B 级水平。

关键词:数字射线检测; 焊缝; 动态范围; 非锐化掩模滤波

中图分类号: TG115.28+1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)01-0020-03

Welding Quality Inspection by Digital Radiography

KONG Fan-Qin

LU Hong-Nian

(GE Inspection Technology, Shanghai 200233, China)

(Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper briefly presents a method of inspecting welding lines on the basis of digital radiography. The advanced system based on the amorphous silicon detector was applied to acquire rich original image. And the noise was decreased by averaging the images. Log-calculation was used to show the defects in welding. The defects were amplified by the Unsharp masking algorithm. Then the image quality was improved to the B level the highest in the traditional film.

Keywords: Digital radiographic testing; Welding line; Dynamic range; Unsharp masking

近年来, X 射线以其穿透力强、实时性好和系统数字化精度高, 在无损检测领域得到了广泛的应用。相对于传统的胶片射线检测方法时间长、工序复杂、无法实现自动在线检测以及对人的依赖性强等缺点, 工业中对数字化的射线检测技术(DR)有着迫切的需求。笔者采用非晶硅数字探测器对焊缝质量的数字 DR 检测展开研究^[1]。

1 焊接质量 DR 检测系统

图 1 为 X 射线 DR 成像系统示意图。射线源发出的 X 射线对试件进行透照, 面阵探测器完成对射线图像的采集与数字化, 输入计算机进行处理与显示。文中所采用的面阵探测器为 X 射线非晶硅数字探测器(Amorphous Silicon Digital Detector)。

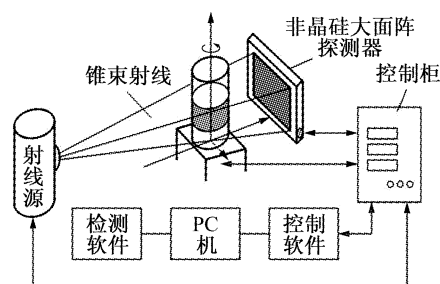


图 1 DR 检测系统示意图

它有一个薄闪烁体屏, 用以将射线光子转换成可见光, 与其紧贴的大规模集成非晶硅光电二极管阵列再将屏上的可见光转换成电子、数字图像。目前的探测器成像面积一般在 $13\text{ cm} \times 13\text{ cm} \sim 41\text{ cm} \times 41\text{ cm}$, 像元物理分辨力可达 0.05 mm , 可用于高、低能射线($0.1 \sim 5\text{ MeV}$)实时成像。探测器动态范围大、信噪比高, 可以高速、实时地实现高质量数字图像的采集。

收稿日期: 2007-09-17

作者简介: 孔凡琴(1972—), 女, 博士, 研究方向为工业数字射线检测。

在实际检测中,针对具体的焊接件确定最佳成像参数(成像放大比、射线管电压、管电流及积分时间等),加以适当的滤波和防散射措施,并在成像系统所提供的校正模型下快速实时地获取一幅反映焊缝结构的 DR 图像。

2 降低 DR 系统的噪声

噪声是 DR 检测中导致图像质量下降的一个重要因素,所以降噪是首要的。

成像系统的噪声来源主要包括:X 射线光子起伏噪声,这种起伏服从泊松分布,即在 N 个光子中会有 $\sqrt{N}$ 个光子的自然涨落;另外还有来自于探测器的噪声,包括暗电流噪声、KTC 噪声(复位噪声)、量化噪声和读出噪声。暗电流噪声由于电子的热运动造成,它与温度有关,因此通过制冷技术可以有效地抑制它;KTC 噪声可以通过合理的电路设计来抑制;量化噪声与量化位数有关,位数越大,量化噪声越小;读出噪声与读出速度有关,读出速度越高,读出噪声越大^[2]。

图像降噪的有效方法就是采用多幅叠加,它对于抑制射线图像中的随机噪声十分有用。对于携带高斯噪声的图像,信噪比正比于 $\sqrt{N}$,也即图像叠加 N 次,信噪比会提高 $\sqrt{N}$ 倍。但实际中,为了提高效率,通常要根据具体成像系统的实验曲线来决定 N 的最佳值。图 2 是在基于非晶硅平板探测器成像系统,通过实验作出的图像噪声标准差与叠加幅数的关系曲线。图 2 可以看出, $N=1\sim 6$,信噪比 SNR 浮动 44.99%; $N=7\sim 16$,SNR 浮动 6.2%,即反映噪声的 SNR 在图像叠加 7 次后基本趋于平缓,得到了稳定的抑制,所以 $N=7$ 。

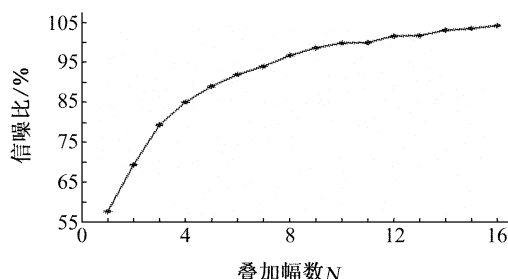


图 2 信噪比与叠加幅数 N 的关系

3 对数解调提取焊缝图像^[3]

对焊缝图像 A ,点 (i,j) 的像素 A 中不仅包含焊缝本身的信息,还包括成像过程中造成图像降质的

各种因素,如散射、噪声和背景,它们会掩盖微细的缺陷,从而导致漏检和误检。

在 X 射线成像中,射线穿透物体后强度呈指数衰减,在忽略实际检测中射线源多色性的情况下,图像中包含焊缝缺陷信息的 (i,j) 点的射线强度为:

$$I_{(i,j)} = I_{0(i,j)} e^{-\mu_{(i,j)} d_{(i,j)}} \quad (1)$$

式中 $\mu_{(i,j)}$ ——焊缝材料在 (i,j) 点的射线衰减系数;

$d_{(i,j)}$ —— (i,j) 点所对应的缺陷深度;

$I_{0(i,j)}$ ——贯穿 (i,j) 点前的主射线强度;

$I_{(i,j)}$ ——贯穿 (i,j) 点后的主射线强度。

从式(1)可以看出,代表缺陷本身特性的是指数因子 $\mu_{(i,j)} d_{(i,j)}$,对式(1)取对数就可以提取出只携带缺陷信息的特征因子,模型为:

$$\mu_{(i,j)} d_{(i,j)} = \ln I_{0(i,j)} - \ln I_{(i,j)} \quad (2)$$

基于上述原理,对图像 A 中的每个像素点按下式重新赋值,以提取反映焊缝缺陷的信息:

$$A'_{(i,j)} = \ln A_{(i,j)} \quad (3)$$

图 3 是对数解调处理前后的焊缝图像中有气孔行的灰度曲线,缺陷已基本体现。

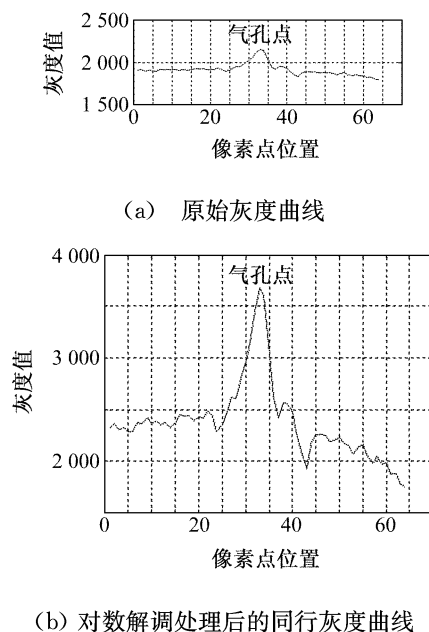


图 3 气孔信号处理

4 焊缝图像增强

在焊缝缺陷检测时,为确保检测质量,对有微细缺陷的焊缝不至于漏检或者需对缺陷进行定位和测量时,还需进一步细化和增强反映缺陷信息的图像。对离散的数字图像,非锐化掩模滤波是一种性能比较优良的特征增强算法,其算法原理为^[4]:

$$\overline{A'_{(i,j)}} = A'_{(i,j)} + k \left[A'_{(i,j)} - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S_d} A'_{(m,n)} \right] \quad (4)$$

式中 $S_d = \{P_{(x,y)} | P_{(x,y)} - P_{(i,j)} | \leq d\}$, 即以点 (i,j) 为中心的窗口中与点 (i,j) 距离 $\leq d$ 的像素点的集合, d 要依据具体成像系统的点扩展 PSF (Point Spread Function) 函数的有效距离 W (PSF 为偶函数, 一般取其幅值下降 50% 处对应点的距离等于 W) 来确定, d 为 $W/2$ 中的整数部分, M 为集合 S_d 中像素点的个数, $k \geq 1$ 为增强因子。

在式(4)中 $\frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S_d} A'_{(m,n)}$ 为点 (i,j) 对应的背景均值, $A'_{(i,j)} - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S_d} A'_{(m,n)}$ 为缺陷特征值, k 为放大倍数。每一个像素点运用式(5)重新赋值, 则图像特征得到增强、细节突出。

5 实验结果

在以平板探测器为成像器的系统上, 透照 7 mm 焊缝(焊缝靠近射线源面上贴 GB 5618—1985 的 10~16 号透度计丝)获得的数字图像运用式(3)和(4)进行处理。实验参数为 $N=6$; 式(4)中取 $k=1.2$, $d=1$ (实验测得系统的点扩展为 3~5 点)。处理后的图像见图 4, 此时焊缝中各种缺陷清晰可见, 且透照灵敏度达到胶片 B 级。

6 结论

DR 检测质量是由探测器硬件、射线成像条件、

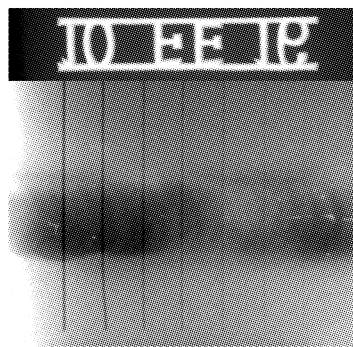


图 4 焊缝质量 B 级测试的 DR 图像

噪声以及图像增强技术等共同制约。要获得可以和胶片媲美的检测质量, 不仅要采用先进的数字探测器等硬件设备, 优化成像条件和图像处理算法也同等重要。笔者基于非晶硅数字探测器, 运用叠加曝光、对数解调和非锐化掩模滤波法, 有效地抑制了噪声, 并使得细节部分得以增强, 以较高的速度和精度检测出焊缝缺陷。

参考文献:

- [1] 机械工程学会无损检测分会, 著. 射线检测[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [2] Kenneth R Castleman. Digital Image Processing[M]. 北京: 清华大学出版社, 1998.
- [3] 江林华, 陈仕东, 柴振明. 基于非线性映射的 X 光数字减影图像的获取与处理[J]. 中国图像图形学报, 2002, 4A(9): 773—775.
- [4] Andrea Polesel, Giovanni Ramponi, John Mathews V. Image enhancement via adaptive unsharp masking[J]. Image Processing, 2000, 3(9): 505—510.

(上接第 19 页)

另外, 传感器与断铅点的距离为 190 mm, 由此可以计算出两种模态到达传感器的理论时间差为 $\Delta t' = 3.4923 \times 10^{-5} \text{ s}$ 。与实际测得的时间差 Δt 相比, 可以确定信号中主要含有 A0 和 S0 两种导波模态。

由此可知, 通过将信号的时频分布与结构中导波传播的群速度进行比较对比, 就可以确定信号中的模态和频率组成; 反过来, 也可以通过时频分析确定导波传播的群速度频散特性。

3 结论

通过对单分量信号的分析, 验证了 HHT 的有效性, 与短时傅里叶变换的结果相比, Hilbert 谱具有更高的时频分辨率。

通过对结构中传播的声发射信号的时频分析处

理, 不仅可以了解信号的组成, 而且可以获得结构中导波传播的频散特性, 为声发射信号的检测分析提供必要的信息。

参考文献:

- [1] 刘松平, Michael Gorman, 陈积懋. 模态声发射检测技术[J]. Techniques. Nondestructive Testing, 2000, 22(1): 38—41. (In Chinese)
- [2] 耿荣生, 沈功田, 刘时风. 模态声发射基本理论[J]. 无损检测, 2002, 24(7): 302—306.
- [3] 焦敬品, 何存富, 吴斌, 等. 管道声发射泄漏检测技术研究进展[J]. 无损检测, 2003, 25(10): 519—523.
- [4] Huang N E, Chi-Chi, et al. A new spectral representation of earthquake data: Hilbert spectral analysis of station TCU129[J]. Bull Soc Seim Am, 2001, (91): 1310—1315.