

一种新型焊接质量数字射线检测技术

孔凡琴,朝加强,张光先,刘增晓,杨中秋
(山东山大奥太电气有限公司,山东 济南 250101)

摘要:研究了基于非晶硅面阵探测器的对焊缝数字射线检测技术。分析了探测器性能,提出了选择探测器参数的原则,并建立探测器校正模型,使其由响应不一致性导致的图像的降质减少;针对数字成像噪声大的特点,采取了叠加平均时间域上的序列帧图像,既降低了噪声,又避免了降噪的同时会模糊焊缝缺陷特征的矛盾;对焊缝中的微细缺陷,运用非锐化掩模滤波算法加强其微细缺陷特征,提高了微细缺陷的可分辨性。

关键词:数字检测;噪声;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:** 1001-2303(2006)10-0029-03

New digital radiography technology of welding quality

KONG Fan-qin, ZHAO Jia-qiang, ZHANG Guang-xian, LIU Zeng-xiao, YANG Zhong-qiu
(Shandong Aotai Electric Co., Ltd, Jinan 250101, China)

Abstract: It researches the digital radiography technology based on the amorphous silicon flat panel detector. Three arithmetic were inferred in this paper. It set up the mathematical mode to correct the noise and non-coherence of the detect and folded the images in average time field to decrease the noise, so the aliasing between the defects and the noise was decreased. The non-sharp masking filter arithmetic was adopted to enhance the distinguishing the minuteness defects.

Key words: digital radiography test; noise; non-sharp masking

0 前言

X射线以其穿透力强、可以实现非接触式的无损检测等优点,被广泛应用于焊缝质量检测。传统的检测手段为胶片检测,时间长,操作工序繁琐,工作环境恶劣等缺点迫切需要一种数字化的检测技术^[1]。

20世纪50年代,人们开始射线检测的数字化技术研究,从CCD+增感屏到图像增强器,尽管检测效率大大提高,实现了实时成像,但是无法和胶片相比的检测质量严重制约着该技术在焊接行业的应用。目前随着成像器件的升级,非晶硅面阵探测器以其高性能的材料组成和精湛的集成工艺逐渐成为国际主流产品。基于此种探测器的数字技术不仅提高了原始图像质量,检测效率还是胶片的几十倍,可以实现焊缝质量的在线检测。

1 非晶硅面阵探测器

研究中所采用的面阵探测器为国际上目前主

流的X-射线非晶硅数字探测器(Amorphous Silicon Digital Detector)。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。美国的Varian公司已在市场上推出了成像面积在130 mm×130 mm~400 mm×300 mm的探测器,像元物理分辨力可达0.127 mm,可用于高、低能射线(0.1~5 MeV)实时成像。该探测器动态范围高(2000:1)、信噪比高,可以高速、实时地实现高质量数字图像的采集,从而为DR(Digital Radiography)检测质量达到B级水平奠定了良好的硬件基础。探测器实物见图1。



图1 Varian Paxscan2520 探测器
Fig.1 Varian Paxscan2520

2 探测器参数设置

探测器是X射线数字成像系统的光电转换器

收稿日期:2006-07-11

作者简介:孔凡琴(1972—),女,山东烟台人,讲师,博士,主要从事数字射线检测技术研究工作。

件,对射线场强进行转换,将射线透射场强调制成可检测的透射射线影像,当强度为 I_0 的入射线,在没有辐照探测器进行调制之前,透过物体的射线强度为 $I=I_0e^{-\mu d}$,这样的透射场强通过探测器,在探测器平面上生成的投影场强为 g ,则

$$g(x, y, E)=SI\Delta t, \quad (1)$$

式中 S 为探测器对光子能量的射线强度转换灵敏度; Δt 为射线对探测器曝光或探测器对射线光子的积分时间。强度转换灵敏度在透照成像中起着非常重要的作用。

探测器材料、结构和性能都影响其灵敏度的大小,其中光电转换屏厚度、探元尺寸、转换效率、探元对射线响应的不一致性以及暗电流是主要影响因素。

本研究使用的为间接转换方式的非晶硅面阵探测器,其转换屏为亚毫米厚度的闪烁体膜,材料为 Gd_2O_3 或 CsI 。通常屏越厚,吸收的射线就越多,探测器的光电转换效率就越高,但随着屏厚的增加,射线散射弥散加大,系统的空间分辨率会随之降低。

另外,探元尺寸决定着探元对 X 射线的感光面积,它也是影响探测器 X 射线光电转换灵敏度的重要因素,一般说来感光面积越大,灵敏度越高,但同时成像空间分辨率也会降低,假设探元尺寸为 $\Delta\delta$,则探测器的固有分辨率为 $\frac{1}{2}\Delta\delta$,显然尺寸增大会影响系统对细小细节的分辨能力。

闪烁体屏的厚度、探元尺寸、以及转换效率都是指单探元的射线强度转换灵敏度,但面阵探测器由若干行列排列的探元组成,各个探元对 X 射线增益的不同会给图像带来不一致性;另外既使在没有 X 射线照射的情况下探测器也会有信号的存在,被称作暗电流,它会减少成像动态范围,降低灵敏度,所以信号在经过探测器的调制时,必须经过探元响应不一致性校正和暗电流校正。设 $R(x, y)$ 为在一定透照条件下 (x, y) 的像素灰度值, $Dark(x, y)$ 为 (x, y) 的暗电流值, $Gain(x, y)$ 为 (x, y) 的亮场增益值, $Correct(x, y)$ 为经过校正后的像素 (x, y) 的灰度值,则 Paxscan2520 对探元不一致性和暗电流的校正公式为

$$Correct(x, y)=\frac{R(x, y)-Dark(x, y)}{Gain(x, y)-Dark(x, y)}. \quad (2)$$

3 降噪

成像系统的噪声来源主要包括: X 射线光子起伏噪声,和来自探测器的噪声,包括暗电流噪声、KTC 噪声(复位噪声)、量化噪声和读出噪声。

在此采用时间序列帧叠加平均的方法降低噪声,

它对于抑制射线图像中的上述随机噪声是有效的。

所谓时间序列上的帧平均,就是对在完全相同的透照条件、不同的时间序列下获取的一系列图像(见图 2),进行帧间对应点灰度值的平均运算,最后得到一幅图像 N ,数学表达式为

$$N(m, n)=\frac{1}{k} \sum_{m=1}^h \sum_{n=1}^w \sum_{t=1}^k P_t(m, n), \quad (3)$$

式中 h, w 为图像高度和宽度; P_t 为第 t 个时间序列图像; (m, n) 为图像像素点的坐标值。

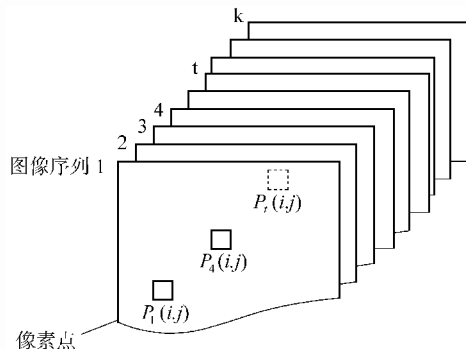


图 2 时间序列图像

Fig.2 Image showing sorted by time

图像灰度分布标准差 σ 通常作为衡量图像噪声水平的指标, σ 越小代表图像噪声就越小。图 3 是在相同的试验条件下获取的时间序列图像运用式(3)降噪, σ 随叠加帧数的变化规律。显然噪声得到了很好地抑制。试验条件: Paxscan2520 面阵探测器;透照管电压 60 kV;管电流 1.2 mA;小焦点 0.8 mm;焦距 1 120 mm;帧周期为 5.1 s/帧下透照空屏,分别获取 $k=1, 2, 4, \dots, 16$ 的 9 幅时间序列平均运算的图像。

4 缺陷特征增强^[2-3]

在焊缝缺陷检测中,微细缺陷往往不容易辨认,此时为了缺陷不漏检和更正确的确定其尺寸,必须要辅助于图像增强算法,加强缺陷特征。在此采用反锐化掩模滤波算法进行缺陷特征增强。其算法原理

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

式中 $S_i=\{P(x, y) \mid |P(x, y)-P(i, j)| \leq d\}$,即以 (i, j) 点为中心的窗口中距离 $(i, j) \leq d$ 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)函数的有效宽度 W (PSF 为偶函数,常取其幅值下降 50% 处对应点的距离等于 W) 来确定, $d=W/2$ 中的整数部分; M 为集合中像素点的个数; $k \geq 1$ 为增强因子。

$\frac{1}{M} \sum_{(m, n) \in S_i} A'(m, n)$ 为 (i, j) 点对应背景均值, Page 68

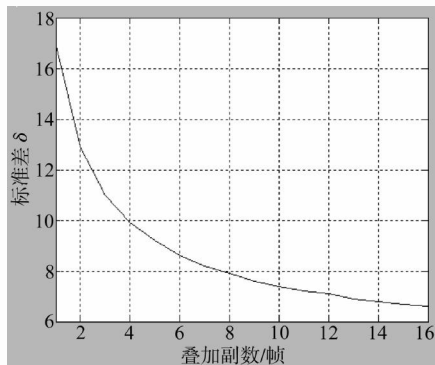


图3 标准差随平均幅数 k 的变化曲线

Fig.3 Curve of Standard Deviation Changing with k

$A'(i,j) - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S_d} A'(m,n)$ 为缺陷特征值; k 为放大倍数。

每一个像素点运用式(4)重新赋值,则图像特征得到增强、细节突出。

5 试验与结果

图4为系统终端获得的5mm焊缝DR图像,依次进行探测器校正、降低噪声和缺陷增强后得到的结果。实验参数为:叠加平均6幅;式(4)中取 $k=$

1.2, $d=1$ (通过实验测出本系统的点扩展为3~5点)。

通过建立校正模型对探测器进行校正、采用时间序列图像平均降噪和非锐化掩模滤波增强缺陷3个算法,确保DR检测的高质量。图4的缺陷清晰可见。

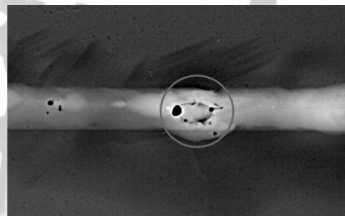


图4 焊缝DR图像

Fig.4 DR Image of welding

参考文献:

- [1] 机械工程学会无损检测分会.射线检测[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 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].中国图象图形学报,2002,4A(9): 773-775.
- [3] Andrea Polesel, Giovanni Ramponi, John Mathews V. Image Enhancement via Adaptive Unsharp Masking[J]. Image Processing, 2000, 3(9): 505-510.