

提高工业数字射线照相灵敏度的新途径

李 衍

(江苏太湖锅炉股份有限公司, 无锡 214187)

摘 要:介绍了工业数字射线照相提高钢焊缝中微小缺陷检测灵敏度的最新进展。通过采用微焦点或小焦点 X 射线源、高灵敏度探测器和设置最佳投影放大率,使像质计(IQI)的灵敏度、影像对比度和空间分辨率达到与常规 ISO T3 类射线胶片等价的效果。

关键词:数字射线照相;灵敏度;分辨率;微焦点 X 射线源;探测器;投影放大率

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)10-0607-02

Methods in Improving Sensitivity of Industrial Digital Radiography

LI Yan

(Jiangsu Taihu Boiler Co. Ltd., Wuxi 214187, China)

Abstract: For industrial digital radiography, a new progress in improving small-defect-detection sensitivity in steel welded joints was introduced. Using a micro or mini focus X-ray source, a highly-sensitive detector and an optimum value of project magnification, the equivalent result, rivaling conventional ISO T3-class film in IQI sensitivity, image contrast and space resolution, can be obtained.

Keywords: Digital radiography; Sensitivity; Resolution; Micro-focus source of X-ray; Detector; Project magnification

数字射线照相较常规胶片法射线照相的优点有:① 数字探测器只需少量射线即可产生影像,一般为 Agfa D7 胶片所需曝光量的 1%~4%。② 影像可用计算机存储或处理,便于传送。③ 缺陷自动识别系统可用于分析影像,取代检测人员主观评定。

数字射线照相的主要缺点是分辨率比微粒胶片低。对此可利用投影放大来增大影像尺寸,提高最终影像的有效分辨率。但此时需考虑 X 射线管的焦点尺寸,以免几何不清晰度过大。同时,因此时射线管效率偏低,需提高探测器捕获射线的灵敏度,且焦点到探测器距离应尽可能小^[1]。

1 焦点的选择

为提高数字射线照相灵敏度,需选用微焦点($d_f=0.01\sim0.1\text{ mm}$)或小焦点($d_f=0.1\sim0.5\text{ mm}$)X 射线管。

2 探测器

目前新推出的碲化镉(CdTe)型探测器(型号 Ajat SCAN 300)^[2]能将 X 射线直接转换成电荷,而不必如电荷耦合器(CCD)或薄膜晶体管探测器那样先把 X 射线通过平板荧光闪烁体变成可见荧光^[3,4]。Ajat SCAN 300 型探测器由 $1\,500\times64$ 像素组成,像素芯距为 $100\text{ }\mu\text{m}$ 。其技术特性为① X 射线能直接转换成电荷。② 90 kV 时,探测量子效率 $\text{DQE}>90\%$ (DQE 为探测器成功捕获 X 射线光量子的百分比。 $\text{DQE}>90\%$ 是指有 90% 以上的 X 射线光子被探测器成功捕获,并由探测器进行量化。探测量子效率越高,曝光时间越短)。③ 分辨率为 2 lp/mm 时,调制传递函数 $\text{MTF}>80\%$;分辨率为 5 lp/mm 时, $\text{MTF}>40\%$ 。④ 图像模式为 300 帧/s;线输出模式为 80 cm。⑤ 曝光后 3 ms 的余辉 $<1\%$ 。⑥ 对比度分辨率为 $0.4\%\sim0.7\%$ 。

当用 $75\text{ }\mu\text{m}$ 焦点 X 射线管和 CdTe 探测器透照 10 mm 厚钢板时(曝光条件为管电压 150 kV,管电流 0.5 mA),尽管探测器像素芯距为 $100\text{ }\mu\text{m}$,但

收稿日期: 2006-07-31

作者简介: 李 衍(1940—),男,高级工程师,ASME 产品责任工程师,负责重要和出口产品的无损检测工作。

利用投影放大,可将影像分辨率提高到 $43\ \mu\text{m}$ 。检测表明,在显示器上可识别 IQI 18 号($\phi 0.063\ \text{mm}$)钢丝,相对灵敏度高达 0.63% 。图像亮度和对比度均可调节,且图像无颗粒状。

3 最佳投影放大率的选定

3.1 最佳投影放大率

在传统的胶片法射线照相中,若几何不清晰度 U_g 调节到与固有不清度 U_i 相等,可获得最佳影像清晰度^[5]。在数字射线照相中,当 U_g 调节到与探测器像素间距 P 相等时,理论上也有投影放大率 M 的最佳值 M_{opt} 存在(图 1),其计算公式为^[6]:

$$M_{\text{opt}} = \frac{F}{f_{\text{opt}}}$$

式中 F ——焦距;

f_{opt} ——最佳焦点-试件距离;

$$f_{\text{opt}} = d_f \frac{F}{P + d_f};$$

d_f ——焦点尺寸;

$$d_i = U_g \frac{f}{F - f};$$

f ——焦点至试件距离。

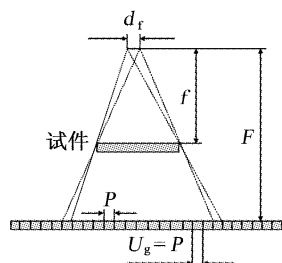


图 1 最佳投影放大率的选定

为准确计算 f_{opt} ,需准确获知 X 射线管焦点尺寸 d_f 。通常说明书所列 d_f 值多小于实测值,因此需要通过试验测量 d_f 的实际值。

图 2 为 M 与 P 及 U_g 之间的关系曲线。图 2 表明,最终影像的像素尺寸随投影放大率增大而减小,

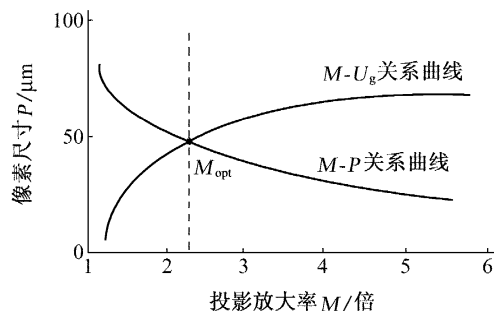


图 2 M 与 P 及 U_g 的关系曲线

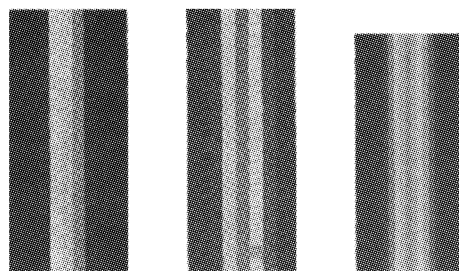
几何不清晰度随投影放大率增大而增大,最终影像的最优分辨率位于两曲线相交处。

3.2 投影放大率的最佳值试验

为验证最佳投影放大率理论,用 Pt-W 双丝 IQI 测试了不同投影放大率时的不清晰度。

在双丝横截面影像上,沿宽度方向将不同距离时的灰度测试值描绘出来,可得一组双峰灰度曲线。由灰度曲线波峰值与波谷值之比 R (谷峰比)及灰度曲线的梯度 G ,即可得出有关影像对比度和分辨率的实验数据。

图 3 是用不同投影放大率透照时,同一金属丝对的数字射线照片(已作黑白线性反转处理)。图 3 表明,当 M 值很小时,影像分辨率差,金属丝对轮廓不清,难以分辨, R 值小; M 值最佳时,金属丝对与其间隙影像十分清晰, R 值最大; M 值过大时, U_g 也过大,丝对影像轮廓模糊, R 值偏小。



(a) M 偏小 (b) M 最优 (c) M 偏大

图 3 不同投影放大率的数字射线照相结果

4 结论

实施数字射线照相时,为提高小裂纹类面状缺陷的检测灵敏度,需考虑以下要点:

(1) 使用小焦点($d_f=0.1\sim0.5\ \text{mm}$)或微焦点($d_f=0.01\sim0.1\ \text{mm}$)X 射线源,通过适当的投影放大,可提高平板探测器固有分辨率。

(2) 使用捕获 X 射线极为灵敏的新型探测器(如 CdTe 探测器)。

(3) 令几何不清晰度等于像素芯距时可得到最佳投影放大率 M_{opt} 。

参考文献:

- [1] Ron Halmshaw, Neil Ridyard. A review of digital radiological methods[J]. B J NDT, 1990, 32(1): 17-26.
- [2] Blakeley B, Spartiotis K. Digital radiography for the inspection of small defects[J]. Insight, 2006, 48(2): 109-112.

(下转第 610 页)

射线检测单位的底片处理、评定和保存环境必须满足检验要求。底片处理暗室和处理槽应恒温,并尽可能避开产生污染的安装现场。评片室应整洁、安静、温度适宜,光线应暗且柔和。

观片灯的最大亮度要求应能满足评片要求,即:当底片黑度 $D \leq 2.5$ 时,透过底片评定范围内的亮度应不低于 30 cd/cm^2 ;当底片黑度 $D > 2.5$ 时,透过底片评定范围内的亮度应不低于 30 cd/cm^2 。必要时,须现场检测上述指标。

3 射线检测工艺方法的监督检验

国家质量监督检验检疫总局质检办 2006 年 3 月 27 日发布的关于锅炉压力容器安全监察工作有关问题的意见要求锅炉压力容器制造、安装、维修和改造项目的无损检测工作应遵照 JB/T 4730—2005 标准进行,在此通知发布之日起半年内原执行的无损检测标准(对于射线探伤来说,主要是 GB 3323—1987, DL/T 821—2002 等)应逐渐过渡至 JB/T 4730—2005。

遵照该标准射线探伤的工艺方法方面主要存在以下几方面的问题:

(1) 选择的射源超出探伤设备透照厚度范围,在散装锅炉特别是电站锅炉安装过程中,按照 JB 4730.2—2005 的 AB 级技术要求对受热面管、薄壁管道对接焊缝进行双壁双影或双壁单影检测时,也较多采用 ^{192}Ir 射源。此时应确认使用的检测方法能同时满足下列四个条件:①透照厚度下限 $\geq 10 \text{ mm}$ 。②得到业主/监理单位、委托检验方等合同相关各方对 ^{192}Ir 射源使用的书面确认。③底片像质计灵敏度达到标准要求。④必须采取有效的补偿措施,主要是指提高底片黑度、选用 T2 或 T1 类胶片等。

(2) 部分部件射线检测比例不能满足要求,原因之一是部分行业规范与《蒸汽锅炉安全技术监察规程(1996 版)》在一些具体要求方面存在冲突。此时,该监察规程(1996 版)的要求必须首先得到有效的执行。

监检过程中发现,检测单位比较容易忽视以下几方面的规定:

(上接第 608 页)

- [3] Purschke M. IQI sensitivity and applications of flat-panel detectors and X-ray image intensifiers — A comparison[J]. Insight, 2002, 44(10): 628—630.
- [4] Mohr G A, Bueno C. GE A-Si flat panel detector performance for industrial digital radiography [J]. In-

检查外径 $> 159 \text{ mm}$ 或壁厚 $\geq 20 \text{ mm}$ 的集箱、管子、管道和其它管件的环焊缝(受热面管子接触焊除外)时,不论其受压大小都应进行 100% 探伤。而电站锅炉相关标准对此类部件的探伤比例要求则是与其所承压力有关。受热面管子以及锅炉汽水管道如采用无直段弯头时,其与管道对接焊缝应 100% 射线探伤。在监检时经常发现其检测比例按管道要求进行,或者进行了 100% 探伤,但其中射线探伤和超声波探伤各占一定比例,而非 100% 的射线探伤。

(3) 射线探伤发现不合格焊口后增检焊口数量不符合要求。根据《蒸汽锅炉安全技术监察规程(1996 版)》的要求,当发现不合格焊口时,应对该焊口抽查焊口数量的双倍数目进行扩探。一些检测单位发现不合格焊口后的扩探数为发现不合格焊口数的两倍,这不符合相关要求。在监检过程中,应对照焊口统计表、焊工焊接质量自检表、射线检验委托单等相关资料进行检查,确保扩探比例满足要求。

(4) 按 JB/T 4730.2—2005 进行检测,射线探伤透照次数不符合要求。

在质检办特函(2006)144 号文发布之前,散装电站锅炉射线探伤大部分依据 DL/T 821—2002 标准进行,虽然一些单位已逐渐采用 JB/T 4730.2—2005,但是,一方面由于使用原标准时间较长,已形成了惯性;另一方面,由于检测单位未就 JB/T 4730.2—2005 进行专门的宣贯,检测人员对该标准要旨掌握不透彻。

监检中发现,对于一些不存在特殊结构的受热面小径管,仍采用双壁双影一次透照的方法,没有严格地满足标准中关于透照次数的要求。当采用双壁单影法透照大口径管时,透照次数仍沿用 DL/T 821—2002 标准的条文,较多采用 3 次或 4 次,未按 JB/T 4730.2—2005 要求查附录图表或计算得出合乎要求的透照次数。

4 射线检测底片质量和评定质量的监督检验

射线探伤底片质量方面,普遍存在的问题包括标记不齐、暗室处理质量和底片的黑度不符合要求

(下转第 614 页)

sight, 2002, 44(10): 631—633.

- [5] Ron Halmshaw. Industrial radiography, theory and practice[M]. London & New Jersey: Applied Science Publishers Ltd, 1982: 147—151.
- [6] Blakeley B. Digital radiography — is it for you[J]. Insight, 2004, 46(7): 403—407.