

张祥春, 姜迎春, 蔡良续, 等. 非晶硅面阵探测器数字透射成像试验探讨[J]. CT 理论与应用研究, 2011, 20(2): 221-226.
Zhang XC, Jiang YC, Cai LX, et al. Flat detector X-ray digital radiography tests[J]. CT Theory and Applications, 2011, 20(2): 221-226.

非晶硅面阵探测器数字透射成像试验探讨

张祥春^{1✉}, 姜迎春², 蔡良续¹, 王曼³

1. 中国航空综合技术研究所, 北京 100028
2. 北京航天试验技术研究所, 北京 100074
3. 北京航空航天大学, 北京 100083

摘要: 通过对钢板试件的数字透射成像检测试验, 分析并研究了非晶硅面阵探测器成像检测系统、透照参数、检测工艺与检测图像质量的关系, 并给出了检测过程中应该注意的问题。具体试验表明: 面阵探测器 X 射线数字成像系统在一定厚度范围内的像质计灵敏度优于同厚度的射线照相 B 级要求。

关键词: 面阵列探测器; 数字透射成像; 检测参数; 图像质量

文章编号: 1004-4140 (2011) 02-0221-06 **中图分类号:** TP 391.41 **文献标识码:** A

非晶硅面阵探测器数字透射成像是 20 世纪 90 年代发展起来的新型的射线检测技术, 目前获得了越来越广泛的关注和应用, 成为射线检测技术的发展趋势。但检测结果受其影响因素较多, 存在一定差异。目前国内有关数字射线方面的标准还比较简单^[1-2], 仅仅规定用单丝像质计来表征图像质量, 对图像质量的影响因素研究较少^[3]。本文通过对钢板试件的数字透射成像检测试验, 分析并研究了面阵探测器成像检测系统、透照参数、检测工艺与检测图像质量的关系, 并给出了检测过程中应该注意的问题, 为数字射线检测结果的一致性研究打下基础。

1 钢板试件

试验对象为材质均匀的钢板试件, 材料为 Q 235 钢, 长度为 150 mm, 宽度为 50 mm, 厚度为 6 mm, 表面光滑, 无污渍。

2 试验设备与系统

试验用射线源为德国 YXLON 公司双焦点金属陶瓷射线管, 具体指标如表 1 所示。数据接收装置为美国 PaxScan 系列 2520V 非晶硅面阵列探测器, 其核心部件是一块大规模集成非晶硅光电二极管面板, 它与一种对 X 射线具有较高吸收率的闪烁体薄膜紧贴耦合, 有效保证了光电二极管将 X 射线光子转换成电荷的效率, 具体指标见表 2 所示。

收稿日期: 2010-12-29。

基金项目: 国防科技工业技术基础科研项目 (T062007A001)。

表 1 X 射线源具体指标
Table 1 X-ray source specific index

| 序号 | 参数 | 指标 |
|----|---------------|-----------------------------|
| 1 | 焦点尺寸 | 3.0 mm/6.5 mm (根据 EN 12543) |
| 2 | 最高管电压 | 450 kV |
| 3 | 最高管电压时的管电流最大值 | 2 mA (小焦点) /10 mA (大焦点) |
| 4 | 最大功率 | 0.9 kW/4.5 kW |

表 2 探测器具体指标
Table 2 Detector specific index

| 序号 | 参数 | 指标 |
|----|-----------|-----------------|
| 1 | 探测器有效像素面积 | 193 mm × 242 mm |
| 2 | A/D 转换 | 14 bit |
| 3 | 探测器有效像素数 | 1 516 × 1 900 |
| 4 | 探测器像素尺寸 | 0.127 mm |

3 试验过程

3.1 系统固有不清晰度测试试验

采用双丝像质计和线对卡同时对系统两相互垂直方向的固有不清晰度进行测试^[4]。由于系统射线源焦点到探测器的最小距离 (SDD) 为 860 mm, 因此, 在固有不清晰度的测试试验中 SDD 取 860 mm, 具体的测试条件: SDD 为 860 mm, 管电压 50 kV, 管电流 2 mA, 探测器积分时间 100 ms。

系统固有不清晰度测试图见图 1 所示。经试验测得: 系统的固有不清晰度为 0.26 mm, 即 $S_f = 0.26\text{ mm}$ 。

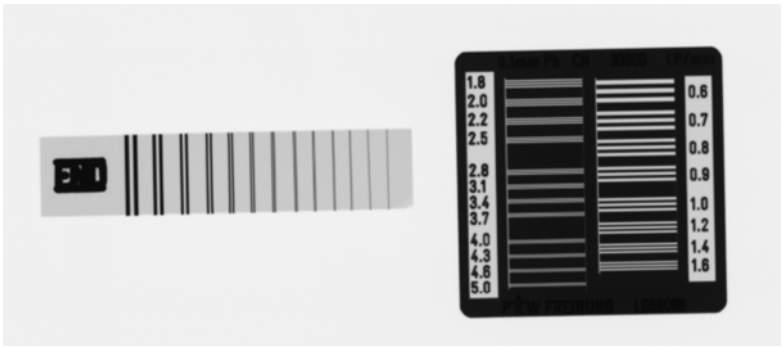


图 1 系统固有不清晰度测试图
Fig.1 The test chart of inherent unsharpness

3.2 系统最佳放大倍数的计算

被检测对象放在某一位置时, 系统能检测出的缺陷尺寸最小, 这时射线源焦点到探测

器表面的距离 (SDD) 与射线源焦点到被检测对象的距离 (SOD) 的比值即为系统的最佳放大倍数^[5]。根据 X 射线数字透射成像系统的固有不清晰度 S_f 与 X 射线源焦点尺寸 d 之间的关系, 确定图像检测的最佳放大倍数 M_{opt} :

$$M_{opt} = 1 + \left(\frac{S_f}{d} \right)^{\frac{3}{2}} = 1 + \left(\frac{0.2}{2.5} \right)^{\frac{3}{2}} = 1.02$$

由于探测器前屏蔽装置的厚度关系, 在实际的检测试验中, 最佳放大倍数取 1.05。

4 面阵探测器数字透射成像试验及结果分析

对 6 mm 厚的钢板试件在各工艺参数之间进行交叉对比试验, 通过单丝和双丝像质计指数来判定图像质量。

试验现场的试件放置如图 2 所示。试验各参数及像质计指数见表 3 所示。数字透射图见图 3~图 5 所示。



图 2 试验现场的试件放置图

Fig.2 The figure of test field specimen placed

由表 3 及图 4 和图 5 可知: 当管电压为 130 kV、管电流为 9.0 mA、放大倍数为 1.05、积分时间为 100 ms、叠加帧数为 70 帧/s 时, 检测图像质量达到最佳, 单丝像质计指数优于射线照相 B 级指数要求。

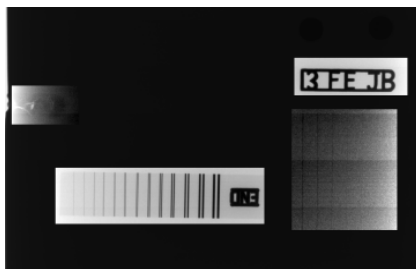


图 3 MHC 6-1 试件 X 数字透射图

Fig.3 MHC 6-1 specimens digital radiography chart

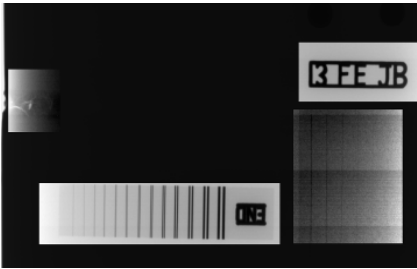


图 4 MHC 6-2 试件数字透射图
Fig.4 MHC 6-2 specimens digital radiography chart

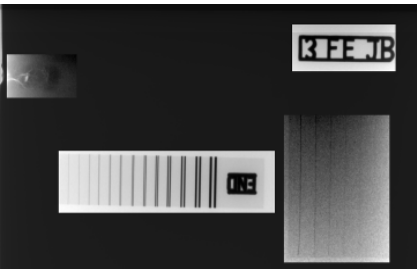


图 5 MHC 6-3 试件数字透射图
Fig.5 MHC 6-3 specimens digital radiography chart

表 3 6 mm 厚钢板数字透射试验参数及像质计指数
Table 3 6 mm thick crack simulation test specimen digital transmission defect image quality parameters and plan index

| 试验参数 | 试件编号 | | |
|------------|---------|---------|---------|
| | MHC 6-1 | MHC 6-2 | MHC 6-3 |
| 管电压/kV | 130 | 130 | 130 |
| 管电流/mA | 3.5 | 3.5 | 9.0 |
| 放大倍数 | 1.05 | 1.05 | 1.05 |
| SDD/mm | 1320 | 1320 | 1320 |
| SOD/mm | 1260 | 1260 | 1260 |
| 采集帧频 (帧/s) | 10 | 10 | 10 |
| 叠加幅数 | 150 | 70 | 70 |
| 像质计丝号 | 17 | 17 | 18 |
| 双丝像质计丝号 | 8 | 8 | 8 |
| 数字透射图图号 | 3 | 4 | 5 |

注: MHC 6-3 试验时采用 6 mm 钢板校正探测器, 其他采用空气校正

对比 MHC 6-1 和 MHC 6-2 试验参数发现, 两组试验仅仅是叠加幅数不同, 其检测结果几乎完全一样。这是因为, 校正后的系统噪声主要服从泊松分布的随机噪声。理论分析及试验研究表明, 消除随机噪声的最有效方法是多幅图像叠加。随着叠加幅数的增加, 标准差近似按 $N^{1/2}$ (N 为叠加幅数) 降低。当 $N \geq 64$ 时, 标准差的减小幅度降低 (差 0.2

左右), 综合噪声均值和标准差, 此时随机噪声已得到有效抑制^[6]。当叠加幅数继续增大时, 标准偏差逐步趋于稳定, 因此当其他检测参数不变, 叠加幅数为 70 和 150 时, 检测效果不会有太大改变。当然, 叠加幅数越多, 其检测时间越长, 因此检测时, 应该合理选择最佳叠加幅数^[7]。

对比 MHC 6-2 和 MHC 6-3 试验参数发现, 两组试验仅仅是管电流不同, 但 MHC 6-3 试验的单丝像质计指数要优于 MHC 6-2 试验。这是因为: 管电流决定了单位时间打靶的电子数, 直接关系到形成光子数的多少, 而光子数量与成像对比度是密切相关的。因此, 为了获得更好的检测效果, 在检测前对探测器进行增益校正时, 可以采用同厚度的等效钢板对探测器进行校正, 增加管电流, 提高信噪比^[8-10]。

MHC 6-1、MHC 6-2 和 MHC 6-3 三组试验中, 双丝像质计指数并没有随着检测参数的不同而改变。这是因为: 双丝像质计考查的是图像的不清晰度, 而数字成像系统的不清晰度与探测器的像素大小有着密切联系, 差不多是像素大小的 2 倍^[11-12]。

五 结论

通过对 6 mm 厚的钢板试件的面阵列探测器 X 射线数字透射试验可得如下结论:

- 1) 面阵探测器 X 射线数字成像系统对等效钢厚 6 mm 试件进行检测时, 像质计灵敏度优于同厚度的射线照相 B 级要求;
- 2) 在检测过程中, 尽量采用较大的管电流, 增加光子数, 提高信噪比;
- 3) 选择最佳的叠加幅数既可以有效抑制噪声, 同时也可以节省检测时间;
- 4) 面阵列探测器像素尺寸的大小对系统的固有不清晰度有着非常重要的影响。若检出的缺陷尺寸较小, 则宜选用像素尺寸较小的探测器。

参考文献

- [1] GB/T 19293-2003, 对接焊缝 X 射线实时成像检测法[S].
GB/T 19293-2003, Method of X-ray radiography for butt-weld[S].
- [2] GJB 5364-2005, 射线实时成像检测方法[S].
GJB 5364-2005, Real-time radiographic testing[S].
- [3] Uwe E, Uwe Z, Klaus B. Strategies for film replacement in radiography-films and digital detectors in comparison[C]//CD-Proceedings of 17th World Conference on Nondestructive Testing, 2008: 277-279
- [4] Kong FQ. Quality evaluation for the digital radiography inspection based on imaging parameters[C]//CD-Proceedings of 17th World Conference on Nondestructive Testing, 2008: 1464-1468.
- [5] 中国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.
Chinese Mechanical Engineering Society NDT Branch. Radiographic testing[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 1997.
- [6] 梁丽红, 路宏年, 孔凡琴. 射线检测数字实时成像的不一致性研究[J]. 光学技术, 2003, 29(4): 439-440, 444.
Liang LH, Lu HN, Kong FQ. Non-uniform research of X-ray real-time digital radiography[J]. Optical technique, 2003, 29(4): 439-440, 444.
- [7] Zeng XZ. Ray detection digital image quality and influential factors[C]//CD-Proceedings of

- 17th World Conference on Nondestructive Testing, 2008: 272-275
- [8] ASTM E1000-98, Standard guide for radioscopy[S].
- [9] ASTM E2597-07, Standard practice for manufacturing characterization of digital detector arrays[S].
- [10] Weisfield LR, Hartney AM, Street AR, et al. New amorphous-silicon image sensor for X-ray diagnostic medical imaging applications[J]. Proc of SPIE, 1998, (3336): 444-452.
- [11] Hoheisel M, Arques M, Chabbal J, et al. Amorphous silicon X ray detectors[J]. Journal of Non-Crystalline Solids, 1998, 227-230(2): 1300-1305.
- [12] Hamers S, Freysehmidt J. Digital radiography with anelectronic flat-panel detector: First clinical experience skeletal diagnostics[J]. Medica Mundi, 1998, 42(3): 1-6.

Flat Detector X-ray Digital Radiography Tests

ZHANG Xiang-chun^{1✉}, JIANG Ying-chun¹,
CAI Liang-xu¹, WANG Man²

1.China Aero-Polytechnology Establishment, Beijing 100028, China

2.Beijing Astronautics Testing Establishment, Beijing 100074, China

3.Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China

Abstract: Through the simulation of crack defects of digital transmission imaging specimens, analysis and test studied array detector imaging detection system, parameter, test process and the quality of images, and gives the detection process should be paid attention to. Experiments showed that array detector X-ray digital imaging system in a certain thickness within the scope of the testing results (mainly image quality plan index) single like better than with the thickness of the industrial radiography B level requirement.

Keywords: flat detector; digital transmission imaging; parameter; image quality

作者简介: 张祥春[✉] (1981—), 男, 中国航空综合技术研究所工程师, 主要从事 X 射线数字透射成像检测技术及工业 CT 应用技术方面的研究, Tel: 010-84380387, E-mail: zhangxc215@163.com。