

DOI: 10.11973/wsje201509008

胶片射线检测与数字射线检测的 焊接缺陷检出能力比较

黄文大¹, 郭伟灿¹, 强天鹏², 贾炯明³, 董茂辉⁴

(1. 浙江省特种设备检验研究院, 杭州 310020; 2. 江苏省特种设备安全监督检验研究院, 南京 210003;
3. 浙江三花制冷集团有限公司, 新昌 312500; 4. 北京嘉盛国安科技有限公司, 北京 100027)

摘要: 比较了胶片射线检测与数字射线检测两种射线检测技术对碳钢试样中裂纹、未焊透、气孔等缺陷的检测能力。结果表明: 两种不同的技术, 使用各自的设备器材及工艺参数, 可以检出各种不同的缺陷, 可供同行选用时参考。

关键词: 胶片射线检测; 数字射线检测; 检出能力

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2015)09-0030-05

Comparison of the POD of Detecting Welding Imperfections by Methods of Film Radiography and Digital Radiography

HUANG Wen-da¹, GUO Wei-can¹, QIANG Tian-peng², JIA Jiong-ming³, DONG Mao-hui⁴

(1. Zhejiang Provincial Special Equipment Inspection Institute, Hangzhou 310020, China;
2. Jiangsu Institute of Special Equipment Safety Supervision and Inspection, Nanjing 210003, China;
3. Zhejiang SANHUA Climate and Appliance Controls Group Co., Ltd., Xinchang 312500, China;
4. Jadesine Co., Ltd., Beijing 100027, China)

Abstract: Film radiography and digital radiography were used, respectively, aiming to compare the POD of detecting welding defects such as crack, incomplete penetration or porosity in carbon steel specimens. Results showed that many kinds of defects could be detected by the above methods with respective equipment, material and technology parameters for peer selection reference.

Keywords: Film radiography; Digital radiography; Probability of detect

众所周知, 常规胶片射线检测技术经过多年的发展, 从检测方法、检测工艺到检测标准都已比较完善。但其具有检测效率低、需要保管查询、远程传送评判、环境污染等方面缺点。随着数字化技术的不断发展, 新型的替代胶片的成像器件不断推向市场。DR(数字射线检测)系统就是其中一种较为新型的射线检测系统。

DR系统是指使用“数字探测器”作为成像器件的射线检测系统。数字探测器是指把X射线光子

转换成数字信号电子装置, 而且该转换过程是由独立单元完成的。

数字成像检测与胶片照相检测在射线透照原理上是相同的, 不同点在于成像器件对接收到的信息处理技术: 胶片照相检测是射线光子在胶片上形成潜影, 通过暗室处理, 利用观片灯来观察缺陷的; 而数字成像检测则是利用计算机软件控制数字成像器件, 实现射线光子到数字信号再到数字图像的转换过程, 最终在显示器上进行观察和处理缺陷。

按照检测系统与工件的运动状态, 目前的射线检测系统分为二类: 静态成像检测系统和动态成像检测系统。笔者运用两种方法对试样进行了检测, 能检出各种不同的缺陷。

收稿日期: 2015-03-19

基金项目: 浙江省技术监督系统科研资助项目(20130230)

作者简介: 黄文大(1968—), 男, 学士, 高级工程师, 主要从事无损检测工作。

1 试样

压力容器焊接缺陷主要包括裂纹、未熔合、未焊透、夹渣和气孔等缺陷,其中裂纹、未熔合、未焊透缺陷危害性较大。笔者现场制作了一些相关缺陷的碳钢焊接试样,并分别采用胶片射线检测与平板探测器 DR 射线检测两种不同的射线检测方法对试样进行检测,然后进行缺陷检出能力比较。

焊接接头试样包括:

1 个管管环向对接焊接接头试样, $\phi 400\text{ mm} \times 8\text{ mm}$,含裂纹缺陷,编号 S1;3 个管管环向对接焊接接头试样, $\phi 325\text{ mm} \times 8\text{ mm}$ (垫板厚 3 mm),含裂纹缺陷,编号 S2、S3、S4;1 个平板纵向对接焊接接头试样, $200\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 4\text{ mm}$,含裂纹、未焊透和气孔缺陷,编号 01;1 个平板纵向对接焊接接头试样, $200\text{ mm} \times 150\text{ mm} \times 4\text{ mm}$,含未熔合缺陷,编号 02;2 个平板纵向对接焊接接头试样, $275\text{ mm} \times 220\text{ mm} \times 6\text{ mm}$,含未焊透缺陷,编号 S5、S6。

2 检测设备、器材及检测参数

采用静态成像(即在一定的时间内,对试件的某一部位进行曝光、成像),输出单幅、静止的图像,分别采用胶片射线检测与平板探测器 DR 射线检测等两种不同的射线检测方法,对焊接试样进行双壁单影和单壁单影检测,然后进行缺陷检出能力比较。胶片射线照相检测按标准 JB/T4730.2—2005《承压设备无损检测第 2 部分:射线检测》(AB 级技术)检测评定。

2.1 胶片射线检测设备及检测参数

双壁单影射线机型号:XXG3005ZL,焦点尺寸为 2.3 mm;单壁单影射线机型号:XXG2005,焦点尺寸为 2.5 mm;

检测参数:焦距 1 000 mm;胶片:Kodak INDUSTREX MX125;单丝像质计:FE10-16。按照 JB/T4730.2—2005 要求,S1~S4 双壁单影透照各 7 次,S1 单壁单影透照 10 次、S2~S4 单壁单影透照各 7 次,S5、S6、01、02 单壁单影透照各 1 次。检测参数如表 1 所示。

2.2 DR 检测设备及检测参数

射线机:YXLON SMART 300,恒电位便携式 X 射线机(由于采用了高频开关技术,射线输出极其稳定);焦点尺寸为 3.0 mm。对于薄壁件,如果要获得高分辨率的高清图像,可以采用小焦点或微焦

表 1 胶片射线检测参数

试样编号	双壁单影			单壁单影		
	管电压 /kV	管电流 /mA	曝光时间 /min	管电压 kV	管电流 /mA	曝光时间 /min
S1	200	5	6	140	5	6
S2~S4	220	5	6	150	5	6
S5	—	—	—	130	5	6
S6	—	—	—	130	5	6
01	—	—	—	120	5	6
02	—	—	—	120	5	6

点射线机进行放大拍摄;但为了能与常规胶片照相用的射线机焦点尺寸基本保持一致,未采用放大技术。

成像板:V-RX,非晶硅,像素尺寸 $143\text{ }\mu\text{m}$,成像面积 $220\text{ mm} \times 220\text{ mm}$ 。像质计:单丝像质计 FE10-16 和双丝像质计。成像系统:以色列 VIDISCO(维迪思科)。无损检测系统:VIDISCO RX。软件:VIDISCO XBIT PRO。

检测参数:焦距 1 000 mm,参照 JB/T 4730.2—2005 要求,S1~S4 双壁单影透照各 7 次,S1 单壁单影透照 10 次、S2~S4 单壁单影透照各 7 次,S5、S6、01、02 单壁单影透照各 1 次。检测参数如表 2 所示。

表 2 DR 检测检测参数

试样编号	双壁单影			单壁单影		
	管电压 /kV	管电流 /mA	曝光时间 和次数	管电压 kV	管电流 /mA	曝光时间 和次数
S1	180	2.3	4.3 s, 30 次	140	2.8	4 s, 30 次
S2~S4	180	2.3	6 s, 30 次	140	2.8	6 s, 30 次
S5	—	—	—	130	2.5	4 s, 30 次
S6	—	—	—	130	2.5	4 s, 30 次
01	—	—	—	120	2.5	4 s, 30 次
02	—	—	—	120	2.5	4 s, 30 次

DR 检测工艺采用 30 次叠加法。帧叠加法又称为图像数字积分法。它是对同一检测对象不同时刻的图像进行多帧采样,并将相应像素叠加以达到提高信噪比的目的。

3 缺陷检出能力比较及射线检测图像

3.1 缺陷检出能力比较

各检出能力如表 3~10 所示。

表 3 试样 S1 双壁单影透照比较

试样号及 部位号	胶片照相 JB/T 4730.2— 2005/AB 级	DR 数字成像
S1-1	7 处裂纹	1 处裂纹
S1-2	9 处裂纹	16 处裂纹
S1-3	8 处裂纹(其中 1 处不清晰)	10 处裂纹
S1-4	9 处裂纹	14 处裂纹
S1-5	16 处裂纹	17 处裂纹
S1-6	13 处裂纹	13 处裂纹(其中 1 处不清晰)
S1-7	—	—
合计检出	62 处裂纹 (其中 1 处不清晰)	71 处裂纹 (其中 1 处不清晰)
单丝像质	14 #	15/16 #
计灵敏度	(比标准要求提高 1 号)	(比标准要求提高 2~3 号)

表 4 试样 S2 双壁单影透照比较

试样号及 部位号	胶片照相 JB/T 4730.2— 2005/AB 级	DR 数字成像
S2-1	—	—
S2-2	1 处裂纹	1 处裂纹
S2-3	—	—
S2-4	—	—
S2-5	—	—
S2-6	1 处裂纹	1 处裂纹(不清晰)
S2-7	—	—
合计检出	2 处裂纹(其中 1 处不清晰)	2 处裂纹(其中 1 处不清晰)
单丝像质	14 #	15/16 #
计灵敏度	(比标准要求提高 1 号)	(比标准要求提高 2~3 号)

表 5 试样 S3 双壁单影透照比较

试样号及 部位号	胶片照相 JB/T 4730.2— 2005/AB 级	DR 数字成像
S3-1	—	—
S3-2	1 处裂纹	—
S3-3	—	—
S3-4	—	—
S3-5	—	1 处裂纹(不清晰)
S3-6	—	—
S3-7	—	—
合计检出	1 处裂纹	1 处裂纹(不清晰)
单丝像质	14 #	15/16 #
计灵敏度	(比标准要求提高 1 号)	(比标准要求提高 2~3 号)

表 6 试样 S4 双壁单影透照比较

试样号及 部位号	胶片照相 JB/T 4730.2— 2005/AB 级	DR 数字成像
S4-1	1 处裂纹(不清晰)	1 处裂纹(不清晰)
S4-2	1 处裂纹	1 处裂纹
S4-3	—	1 处裂纹
S4-4	2 处裂纹(不清晰)	2 处裂纹
S4-5	—	1 处裂纹(不清晰)
S4-6	3 处裂纹	3 处裂纹
S4-7	—	—
合计检出	7 处裂纹(其中 3 处不清晰)	9 处裂纹(其中 2 处不清晰)
单丝像质	14 #	15/16 #
计灵敏度	(比标准要求提高 1 号)	(比标准要求提高 2~3 号)

试样 S1~S4 双壁单影透照总体比较:胶片照相共发现裂纹 72 处(其中 5 处不清晰),DR 发现 83 处(其中 5 处不清晰)。

表 7 试样 S1 单壁单影透照比较

试样号及 部位号	胶片照相 JB/T 4730.2— 2005/AB 级	DR 数字成像
S1-1	—	6 处裂纹
S1-2	17 处裂纹	11 处裂纹
S1-3	7 处裂纹	8 处裂纹
S1-4	6 处裂纹	8 处裂纹
S1-5	6 处裂纹	6 处裂纹
S1-6	13 处裂纹	13 处裂纹
S1-7	7 处裂纹	7 处裂纹
S1-8	5 处裂纹	6 处裂纹
S1-9	4 处裂纹	4 处裂纹
S1-10	—	—
合计检出	65 处裂纹	69 处裂纹
单丝像质	15 #	16 #
计灵敏度	(比标准要求提高 2 号)	(比标准要求提高 3 号)

表 8 试样 S2 单壁单影透照比较

试样号及 部位号	胶片照相 JB/T 4730.2— 2005/AB 级	DR 数字成像
S2-1	3 处裂纹	3 处裂纹
S2-2	2 处裂纹	3 处裂纹
S2-3	—	—
S2-4	—	—
S2-5	4 处裂纹	5 处裂纹
S2-6	3 处裂纹	3 处裂纹
S2-7	—	—
合计检出	12 处裂纹	14 处裂纹
单丝像质	13 #	14 #
计灵敏度	(达到标准要求)	(比标准要求提高 1 号)

表 9 试样 S3 单壁单影透照比较

试样号及 部位号	胶片照相 JB/T4730.2— 2005/AB 级	DR 数字成像
S3-1	3 处裂纹	5 处裂纹
S3-2	2 处裂纹	2 处裂纹
S3-3	—	—
S3-4	—	—
S3-5	2 处裂纹(其中 1 处不清晰)	2 处裂纹
S3-6	2 处裂纹(不清晰)	2 处裂纹(不清晰)
S3-7	—	—
合计检出	9 处裂纹 (其中 3 处不清晰)	11 处裂纹 (其中 2 处不清晰)
单丝像质	14/15 #	15/16 #
计灵敏度	(比标准要求提高 1—2 号)	(比标准要求提高 2—3 号)

表 10 试样 S4 单壁单影透照比较

试样号及 部位号	胶片照相 JB/T4730.2— 2005/AB 级	DR 数字成像
S4-1	3 处裂纹	4 处裂纹(其中 1 处不清晰)
S4-2	1 处裂纹	1 处裂纹
S4-3	—	—
S4-4	2 处裂纹	2 处裂纹(其中 1 处不清晰)
S4-5	1 处裂纹 (横向分枝不清晰)	1 处裂纹 (横向分枝清晰)
S4-6	6 处裂纹	6 处裂纹
S4-7	—	—
合计检出	13 处裂纹 (其中 1 处横向分枝不清晰)	14 处裂纹 (其中 2 处不清晰)
单丝像质	14 #	15/16 #
计灵敏度	(比标准要求提高 1 号)	(比标准要求提高 2~3 号)

试样 S1~S4 单壁单影透照总体比较:胶片检测共发现裂纹 99 处(其中 4 处不清晰),DR 发现 108 处(其中 4 处不清晰)。

试样 01 和 02 单壁单影胶片射线检测(AB 级)与平板探测器 DR 检测两种不同的射线检测方法,对裂纹 DR 检测略好,未熔合、未焊透和气孔缺陷两种方法显示基本一致。试样 S5 和 S6 单壁单影胶片射线检测(AB 级)与平板探测器 DR 检测,这两种不同的射线检测方法对未焊透和气孔缺陷的显示基本一致。

3.2 射线检测图像举例

单壁单影 01/02 平板试样 DR 数字成像图像分辨力达到 D9。DR 射线检测照片及 DR 数字成像图像分辨力如图 1~10 所示。

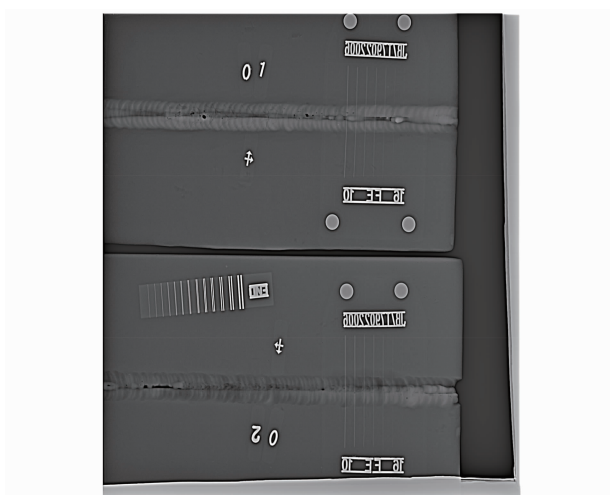


图 1 01、02 平板试样 DR 数字成像

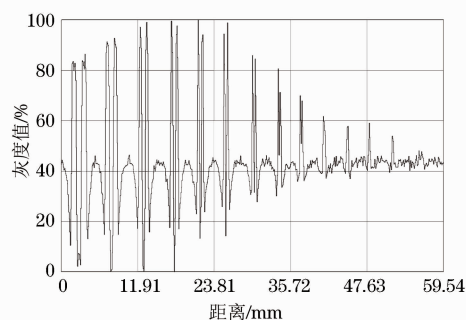


图 2 DR 数字成像图像分辨力识别图

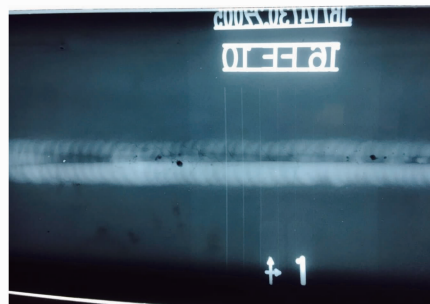


图 3 01 平板试样胶片成像

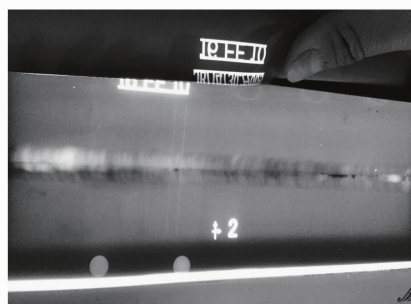


图 4 02 平板试样胶片成像

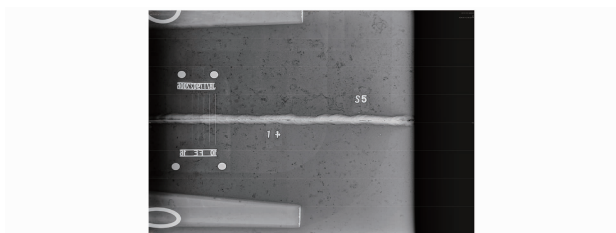


图5 S5 平板试样 DR 数字成像



图6 S5 平板试样胶片成像

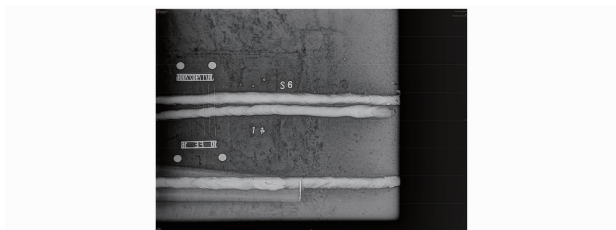


图7 S6 平板试样 DR 数字成像

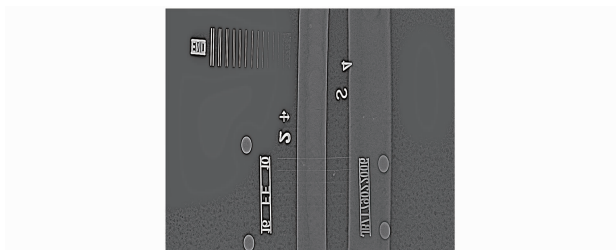


图8 S4 管管对接试样 2# 部位 DR 数字成像



图9 S1 管管对接试样 2# 部位 DR 数字成像

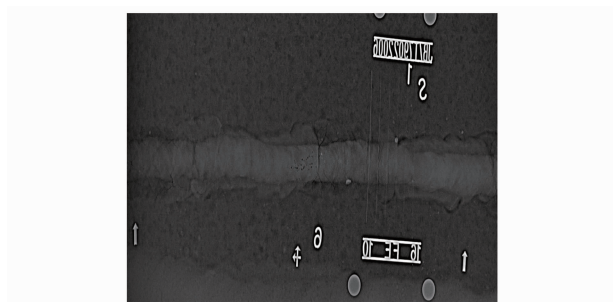


图10 S1 管管对接试样 6# 部位 DR 数字成像

4 结语

采用胶片射线检测与平板探测器 DR 检测两种不同的射线检测方法,对现场制作的含有缺陷的 4 个管管对接焊接接头试样及 4 个平板对接焊接接头试样进行了检测;并对其检出能力进行了比较。结果表明,两种检测方法对上述试样中裂纹、未焊透、未熔合和气孔等缺陷均有一定的检出能力。在某些结构单一、批量制造及需要快速出具检测结果的射线检测场合,在满足质量验收标准的前提下,可以采用 DR 射线检测技术。

(上接第 19 页)

- [6] LUO G N, LI Q, CHEN J M, et al. Overview of R&D on plasma-facing materials and components in China[J]. Fusion Sci Technol, 2012, 9: 25-26.
- [7] LI Qiang, QIN Si-gui, WANG Jing, et al. Manufacturing and testing of W/Cu mono-block small scale mock-up for EAST by HIP and HRP technologies[J]. Fusion Engineering and Design, 2013, 88: 1808-1812.
- [8] 秦永强. 高强度高导电铜-铬-锆合金的设计、制备及性能研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
- [9] HALDIPUR P, MARGETAN F J, THOMPSON R B. Correlation between local ultrasonic properties and grain size within jet-engine nickel alloy billets[J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 2003, 22: 1355-1362.

- [10] STONE D E W, CLARKE B. Ultrasonic attenuation as a measure of void content in carbon-fibre reinforced plastics [J]. Non-Destructive Testing, 1975, 3: 137-145.
- [11] EVANS A G, TITTMANN B R, AHLBERG L. Ultrasonic attenuation in ceramics [J]. Journal of Applied Physics, 1978, 49: 2669-2671.
- [12] 董瑞琴, 李泽, 何喜. 发动机盘、环件超声波 C-扫描检测中的底波监控方法[J]. 无损检测, 2014, 36(3): 55-57.
- [13] 单洪彬, 李明, 陈怀东, 等. 国外检测仿真软件的检测进展[J]. 无损检测, 2008, 30(7): 446-450.
- [14] AMOS J, GRAY J, LHEMERY A, et al. Future applications of NDE simulators [J]. Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, 2004, 23: 1620-1632.