

# 大厚壁管对接焊缝中间焊缝的 DR 检测技术应用

曹峰 刘健 杨晓莉 聂廷海 王淑婧

东方电气集团东方汽轮机有限公司, 四川 德阳 618000

[摘要] DR 检测技术凭借数字化、信息化、实时化、安全环保等技术优势在工业焊接检测中的应用极为广泛, 相对常规射线检测而言, 使用 DR 检测技术对提升焊缝检测质量和效率有重要意义。文章针对大厚壁管对接焊缝中间焊缝结构 DR 检测技术、透照方式、运动系统配置、图像处理等多个方面进行简单阐述, 开展试验并形成解决方案。

[关键词] 大厚壁管对接焊缝中间焊缝; DR 检测技术; 检测工艺; 探测器; 灵敏度

DOI: 10.33142/ect.v2i8.13007

中图分类号: TG441.7

文献标识码: A

## Application of DR Detection Technology for the Middle Weld Seam of Butt Welds in Thick Walled Pipes

CAO Feng, LIU Jian, YANG Xiaoli, NIE Tinghai, WANG Shujing

Dongfang Electric Group Dongfang Steam Turbine Co., Ltd., Deyang, Sichuan, 618000, China

**Abstract:** DR detection technology is widely used in industrial welding detection due to its advantages in digitization, informatization, real-time, safety and environmental protection. Compared with conventional radiographic testing, the use of DR detection technology is of great significance in improving the quality and efficiency of weld detection. The article briefly elaborates on the DR detection technology, radiographic method, motion system configuration, image processing, and other aspects of the middle weld structure of the butt weld of thick walled pipes, conducts experiments, and forms solutions.

**Keywords:** butt welds seam of thick walled pipes, middle weld seam; DR detection technology; testing process; detectors; sensitivity

### 引言

数字成像 (DR) 是一种数字化检测技术, 通过计算机将传统 X 射线影像转换为数字图像。DR 检测利用高能量 X 线照射物体, 通过探测器将 X 线的能量转换为数字信号, 进而生成图像。这种技术具有更高的图像质量和更少的辐射剂量, 被广泛应用于工业检测、安检等领域<sup>[1]</sup>。大厚壁管对接焊缝中间焊缝焊接完成并热处理完成后, 为了检验焊缝根部的质量, 需针对中间焊缝区域进行射线检验, 原使用胶片检测技术效率低, 因结构原因无法实现焊缝内部贴片需要使用放射源进行中心透照, 安全性低且底片清晰度不高, 微小缺陷检出存在一定的困难, 且底片长期保存中会出现底片变色或褪色的情况, 无法对检测结果进行复核<sup>[2]</sup>, 已不能满足现代化产品生产过程中所要求的安全、快速、准确检测, 有据可查的要求。鉴于此, 对原胶片检测技术进行改进势在必行, 目前国内部分厂家已开始采用 DR 技术取代胶片检测技术, 且 DR 技术经多年发展已发布多项国家标准<sup>[3]</sup>, 经采用模拟试样对胶片检测技术和 DR 检测技术进行试验, DR 检测工艺技术与大厚壁管对接焊缝中间焊缝检测的适配度更高, 可有效进行中间焊缝双壁单影透照检测, 成像质量及检测效率得到了质的提升, 为该类型焊缝的 DR 检测奠定了良好的技术基础。

### 1 基本原理

#### 1.1 胶片检测技术原理

胶片检测技术是利用工件内部缺陷和正常母材组织

对 X 射线吸收能力的差异来检测缺陷, 当 X 射线穿透被检工件时, 缺陷部位与正常母材组织对射线吸收的量不同, 即 X 射线穿透工件时衰减系数不同, 导致 X 射线穿透工件后在胶片上显示为缺陷部位和正常母材组织的对比度有差异, 经有经验底片评定人员根据黑度可判定工件中是否存在缺陷以及对缺陷性质, 尺寸, 位置进行判定<sup>[4]</sup>。

#### 1.2 DR 检测技术原理

DR 检测技术与胶片检测技术类似, 不同的是将接受穿透工件的 X 射线的载体由胶片换为成像板, 通过光, 电信号的转化形成数字图像, 根据配套的图像分析软件, 可对数字图像进行多维度的分析, 与胶片检测技术需要有经验的底片评定人员不同, 数字图像的评定可通过软件设置的各种参数对该数字图像的质量及显示进行去缺陷评定<sup>[5]</sup>。

### 2 检测方案设计

基于大厚壁管对接焊缝中间焊缝结构的考虑, 结合模拟试样的实际检测, 可选择双壁单影的方法对焊缝进行检测。

分别对焊缝试样进行 DR 检测和胶片透照方法进行透照试验, 试样规格: 外径 1592mm, 内径 1304mm, 焊缝厚度为 12mm。

### 3 DR 检测系统

#### 3.1 平板探测器

DR 探测器性能会对图像信噪比, 检测分辨率产生较大影响, 通常来说, 探测器像素尺寸较小, 系统检测分辨率就较高、图像信噪比偏低, 若探测器像素尺寸大, 系统

检测分辨率较低、图像信噪比较高;在选择 DR 探测器时,需对系统检测分辨率和图像信噪比进行全面考虑<sup>[6]</sup>。

### 3.2 射线源

在焊缝 DR 检测中,射线源在很大程度上影响检测厚度及成像质量。因此可选择高频恒压定向射线机,鉴于透照方式为双壁单影外透照检测,为有效保障射线的稳定均匀性与透照强度及控制成像质量,可选择小焦点尺寸的 X 射线机,以提升 DR 图像清晰度。

### 3.3 图像分析软件

软件需符合 GB/T35389-2017、GB/T 735394—2017 等标准的要求,依据标准可快速对图像质量进行评定,包括基本空间分辨率(SRb)测量、任意区域归一化信噪比(SNRn)或信噪比(SNR)测量、对比度(CNR)测量、任意一点灰度值(GV)测量,并需支持多种格式存储。并能实现系统成像控制、X 光机控制和图像采集处理与分析。探测器校准和校正插件能够实现探测器的自动校正,包括多点探测器校准、可检测坏像素分布,分类计算/统计坏像素的数量;自动进行坏像素校正。具有不低于 100 次的平均降噪功能。支持多种图像存储格式,包括标准的 TIFF、DICOM 图像格式等。

## 4 检测参数设置

### 4.1 设计透照几何参数

#### 4.1.1 射线源-焊缝距离

射线源与焊缝表面之间的透照距离( $f$ )会对 DR 图像几何放大倍数、几何不清晰度产生直接影响,为使 DR 成像质量得到显著提升,透照距离  $f$  需满足下列条件: AB 级:  $f \geq 10d \cdot bT^{-1/3[6-7]}$ 。(d: 焦点(或源)尺寸, T: 被检工件的公称厚度, b: 探测器至工件表面的距离)。

#### 4.1.2 探测器-焊缝距离

探测器-焊缝距离同样会对 DR 图像几何放大倍数、几何不清晰度产生较大影响,缩短探测器-工件距离,图像清晰度可得到有效提升。

### 4.2 校准系统灵敏度

检测前,设定合适的检测帧数,将检测焦距等透照几何参数调至检测范围内,对探测器响应射线的灵敏度行增益校准处理。

### 4.3 设置管电压

DR 透照能力、成像质量受 X 射线机管电压影响。在检测工艺试验中,确定管电压数值,以确保射线穿透力为前提,将管电压调至较低范围内。

### 4.4 设置曝光量

图像灵敏度、分辨率、信噪比、灰度等指标受 DR 检测曝光量影响,曝光量增加,DR 成像质量随之提升。调整管电流、帧速、积分次数等参数,并根据模拟试块的检测结果制造的曝光曲线,对焊缝检测所需要的曝光量进行合理设置。

### 4.5 DR 检测技术双壁单影外透照检测

检测过程中采用双壁单影方法进行射线检测,射线源和成像板水平移动,可以调节射线源到工件的距离,以及

成像板到工件的距离,从而根据不同的工件大小调节射线源到成像板的焦距和放大倍数,射线机和探测器也可以进行上下移动,始终保持射线源透射过焊缝的主射线声束,在平板探测器成像区域中心位置并保持垂直。

## 5 检测结果评定

首先对 DR 影像质量进行判定,借助图形分析软件对焊缝图像检测灵敏度、分辨率、信噪比、灰度等指标进行测定,如以上指标合格,则可对 DR 影像进行尺寸标定,参照检测评定标准评定焊缝质量等级。

### 5.1 DR 检测影像与胶片法影响对比

采用  $\gamma$  放射源和 DR 检测系统对试样对接焊缝进行射线检测。试验方法主要采用传统的胶片照相技术(中心内透)和数字成像 DR 检测技术(双壁单影垂直透照)。

### 5.2 胶片照相技术(焊缝厚度 12mm)

采用传统的胶片照相技术对试样对接焊缝进行射线检测,总片位 16 张,采用环缝单壁内透照,焦距 796mm,源强 40ci,曝光时间 40min。在 4#片位、13-14#片位中间、14-15#片位中间发现超标缺陷。

(1) 4#位置:检测结果:未熔合 155mm(详见图 1)。



图 1 胶片检测技术 4#位置

(2) 13~14 位置:检测结果:密集性气孔(气孔最大尺寸 2.5mm,详见图 2)。



图 2 胶片检测技术 13-14#位置

(3) 14~15 位置:检测结果:密集性气孔(气孔最大尺寸 2mm,详见图 3)。



图 3 胶片检测技术 14-15#位置

### 5.3 数字成像 DR 检测技术(焊缝厚度约 12mm)

针对上述 3 个存在超标缺陷的位置,采用  $127 \mu\text{m}$  探测器,进行数字成像 DR 检测技术。采用环缝单壁内透照,焦距 1800mm,管电压 290kV,曝光时间 30S。

(1) 4#位置:检测结果:未熔合 155mm(详见图 4)。



图 4 DR 检测技术 4#位

(2) 3~14 位置:检测结果:密集性气孔最大 2.5mm

(详见图 5)。



图 5 DR 检测技术 13-14#位

(3) 14~15 位置: 检测结果: 密集性气孔最大 2mm (详见图 6)。

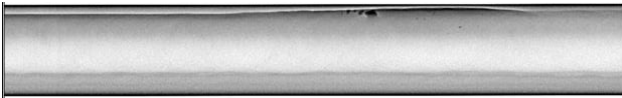


图 6 DR 检测技术 14-15#位

表 1 胶片照相检测技术与数字成像 DR 检测技术对比

序号	检测方法	透照部位	缺陷类型	缺陷定量	备注
1	胶片照相技术 (中心内透)	4#	未熔合	155mm	缺陷轮廓较清楚
		13-14#	密集气孔	最大 2.5mm	缺陷轮廓较清楚
		14-15#	密集气孔	最大 2mm	缺陷轮廓较清楚
2	数字成像 DR 技 术 (双壁单影 垂直透照)	4#	未熔合	158mm	缺陷轮廓清楚
		13-14#	密集气孔	最大 2.5mm	缺陷轮廓清楚
		14-15#	密集气孔	最大 2mm	缺陷轮廓清楚

综上, 通过试验对比 (详见表 1), 采用数字成像 DR 技术对试样进行检测, 极大提高检测速度, 得到的图像更直观, 将优化前后检测结果对比分析, 优化后缺陷检出率更高、定量更精准。

## 6 结论

对于大壁厚管对接焊缝中间焊缝的射线检测, DR 检

测技术双壁透照比常规胶片检测技术  $\gamma$  源中心透照, 辐射剂量大大降低, 安全性, 及时性, 可靠性及成像质量均有很大提升。且数字图像相对于胶片而言, DR 图像的信噪比要远远大于胶片检测技术, 因此 DR 可以观察到更小的缺陷细节。通过设计合理的检测系统及检测参数, 可有效地提高该类焊缝的缺陷检出率, 为公司相关产品的 DR 检测技术应用推广奠定基础。

### [参考文献]

- [1]王冲. 数字射线检测方法在长输管道焊缝检测中的应用[J]. 石油和化工设备, 2014, 17(8): 74-76.
  - [2]申永亮. 基于数字射线的 LNG 储罐焊缝检测可行性研究[J]. 河南化工, 2024, 41(4): 46-48.
  - [3]陶海斌, 颜学清, 易一平, 等. 基于数字射线检测的船舶焊缝无损检测应用[J]. 造船技术, 2022, 50(6): 60-66.
  - [4]雷磊. DR 在管道检测上的研究与应用[J]. 机械, 2018, 45(2): 72-74.
  - [5]吕新昱, 李维, 周广言, 等. 油气管道环焊缝数字射线检测与胶片法射线检测技术对比分析[J]. 无损检测, 2019, 41(2): 48-51.
  - [6]姚阳明. 分析射线数字成像检测 (DR) 技术在管道对接焊缝检测中的应用[J]. 低碳世界, 2020, 10(6): 217-219.
  - [7]中国特种设备检测研究院. 承压设备无损检测 第 11 部分 射线数字成像检测: NB/T47013. 11-2023[S]. 北京市: 北京科学技术出版社, 2023: 418.
- 作者简介: 曹峰 (1986—), 男, 本科, 工程师, 毕业于燕山大学, 材料物理专业, 目前就职单位: 东方电气集团东方汽轮机有限公司, 主要从事射线检测, 磁粉检测等无损检测技术研究工作。