

# 从 ISO 17636-2 标准看数字射线 检测技术的发展趋势

王军, 强天鹏, 郑凯

(江苏省特种设备安全监督检验研究院, 南京 210003)

**摘要:** 讨论了数字射线照相技术的特性, 研究了 ISO17636-2 标准对数字射线照相技术相关指标和工艺的规定, 重点分析了三个补偿原则, 最小灰度值的确定, 几何放大技术的作用和意义, 并通过试验进一步验证、理解标准有关条文, 分析数字射线照相技术在工业领域运用的技术障碍及解决办法, 阐述数字射线照相技术发展趋势。

**关键词:** 数字射线照相技术; 计算机射线照相技术; 数字阵列探测器射线照相技术; 灵敏度; 信噪比; 分辨率

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2012)12-0033-04

## Trends of Digital Radiography as Viewed by ISO 17636-2

WANG Jun, QIANG Tian-Peng, ZHENG Kai

(Special Equipment Safety Supervision and Inspection Institute of Jiangsu Province, Nanning 210003, China)

**Abstract:** The characteristics of digital radiography, and indicators and process requirements of digital radiography in ISO17636-2 are discussed in this paper, in which we focus on three principles of compensation, the determination of the minimum gray value, the roles and significance of geometric enlargement. And some experiments were done to verify and acknowledge the relevant provisions of the standard. Barriers and solutions of industrial application of digital radiography technology are analyzed. In the end, the trends of digital radiography are discussed.

**Keywords:** Digital radiography; Computed radiography; Digital array detector radiography; Sensitivity; Signal-to-noise ratio; Resolution

目前在工业领域数字射线照相技术还没有得到广泛推广, 但发展势头已比较迅猛, 尤其是欧美国家在这方面处于领先地位, 其体现在新技术的使用以及相关标准的制定等方面。ISO 17636-2《焊接无损检测-焊接接头射线照相检查 第二部分: 采用数字探测器的 X 和  $\gamma$  射线照相技术》就是在 ISO 17636—2003 的基础上, 增加了数字射线照相技术的内容而制定的最新国际标准, 该标准吸收了一些新的技术、理念, 体现了数字射线照相技术的发展趋势。笔者通过分析数字射线照相技术在工业领域运

用的技术障碍及解决办法, 阐述数字射线照相技术发展趋势。

### 1 数字射线照相技术的特性

数字射线照相技术的特性对该技术的发展有着至关重要作用。

#### 1.1 优点

(1) 可通过计算机软件处理, 提高图像质量。通过强大的图像处理功能和多种手段可以得到高信噪比、高梯度、低噪声、适宜灰度的数字图像。

(2) 形成的电子文档资料数据库可通过先进的软件实现高水平的管理, 检索、检查、统计、调用快速方便。

(3) 不再需要庞大的底片库, 检测结果的保存

收稿日期: 2012-05-22

作者简介: 王军(1966—), 男, 高工, 从事承压设备无损检测工作。

问题很容易解决。

(4) 易于复制,可在网络上传输,实现信息共享。

(5) 检测速度快,劳动生产率高。

(6) 可免除胶片处理引起的环境污染,符合节能减排基本国策,节省胶片费用。

(7) 易于实现缺陷自动识别,实现自动化检测,降低劳动强度。

(8) 改善劳动环境,符合以人为本的精神。

## 1.2 局限性

(1) 没有健全的标准体系,在该技术的运用过程中带来不便。

(2) 存在技术障碍,比如数字射线照相技术的分辨率、固有不清晰度、几何不清晰度的不利因素,以及坏像素的存在、主要技术指标信噪比测量不便等。

(3) 作为新技术还没有被广大用户了解、接受。

(4) 目前价格昂贵、投资大。虽然运行成本较低,但如果用户没有足够大的检测工作量,会造成成本提高。

(5) 有关技术性能还没有完全被人们所了解、掌握。

## 2 ISO17636-2 有关条文的理解

ISO17636-2 以射线照相公认惯例及其基本理论为基础,对探测器的选择及照相工艺进行了阐述,包括的技术有计算机射线照相(CR)技术和数字阵列探测器(DDA)射线照相技术,此两项技术都是目前数字射线照相技术的主流技术。该标准提出了一些新的理念,以解决数字射线照相技术在运用中遇到的技术障碍。文章就以下几点进行分析。

### 2.1 三个补偿原则

三个补偿原则是在 ISO17636-2 中首次提出的,提出的目的是为了得到较高的检测对比灵敏度。这些补偿原则的制定是基于下面小缺陷(即  $\Delta w \ll w$ )的近似公式,即:

$$\frac{CNR_N}{\Delta w} = k \cdot \frac{\mu_{eff} \cdot SNR}{SR_b} \quad (1)$$

式中: $w$  为工件厚度;  $\Delta w$  为缺陷尺寸。

从式中可以看出,标准对比度噪声比  $CNR_N$  是和衰减系数  $\mu_{eff}$ 、信噪比  $SNR$  成正比的,和分辨率  $SR_b$  成反比,  $k$  为常数。通过提高信噪比、衰减系数以及使用高分辨率成像系统可以达到提高灵敏度的目的。

衰减系数是产生对比度的原因,射线能量越高,衰减系数越小,对比度就越低<sup>[1]</sup>,但通过提高信噪比可以补偿对比度的降低。同样道理,分辨率比较低时,分辨率数值较大,就造成对比度灵敏度低下,但通过提高信噪比可以补偿,达到提高灵敏度的目的。因为数字射线照相系统可以得到较高的信噪比,对于数字阵列探测器,信噪比可达 1 500 以上,这就利用技术自身的优势补偿了自身的不足,对数字射线照相技术的使用有着非常重要的意义,解决了该技术在使用中遇到的最大技术障碍。

#### 2.1.1 补偿原则(I)

补偿原则(I):通过提高信噪比(如通过增加管电流或曝光时间)来补偿对比度的降低。

根据 ISO 17636-2 标准,补偿原则(I)可分为三种情况:

(1) 在信噪比不变的情况下提高对比度则可以提高对比灵敏度(降低射线管电压并采用更高的曝光量补偿)。

下面是为了验证该观点进行的试验。

为了对比,分别采用计算机射线照相技术和胶片技术进行照相。试验中使用相同的 IP 系统(胶片)、射线设备、检测工件,固定增感方式、焦距、扫描参数(自动洗片机参数),改变管电压并将曝光量适当调整,通过观察像质计来评价灵敏度变化,试验结果见图 1。

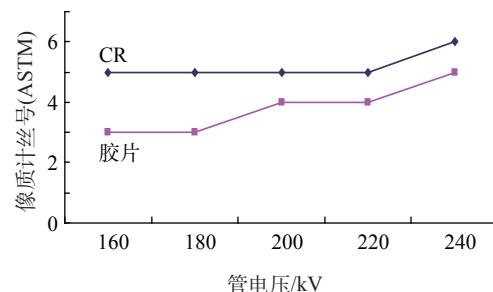


图 1 平板工件透照时改变管电压和曝光量对灵敏度的影响

从试验结果来看,CR 系统和胶片系统的变化基本一致:管电压降低,可识别丝径减小,灵敏度提高。从理论上讲,管电压减小射线能量随之降低,衰减系数增大导致对比度提高,从而灵敏度得以提高<sup>[2]</sup>。

试验验证了该规定的正确性,也说明射线照相的一般原理和惯例同样适用于数字射线照相。

(2) 在对比度不变的情况下提高标准信噪比(如提高曝光量)则提高对比灵敏度。

可以通过使用 CR 系统固定射线机管电压而提高曝光量来验证。

试验中使用相同的 IP 系统、射线设备、检测工件,固定管电压、增感方式、焦距、扫描参数,改变曝光量,通过观察像质计来评价灵敏度变化,试验结果见图 2。

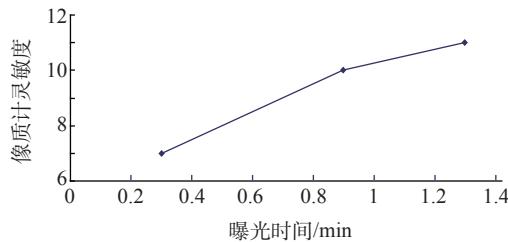


图 2 平板工件管电压不变提高曝光量对灵敏度的影响

从试验结果可以看出,在对比度不变的情况下,提高曝光量可提高信噪比,从而提高对比灵敏度。

(3) 射线管电压提高,而曝光量不变则使得对比度降低而信噪比提高。如果提高的信噪比弥补了对比度的下降,则对比灵敏度提高。

通过下面的试验可以验证该观点。

试验中使用相同的 IP 系统、射线设备、检测工件,固定曝光量、增感方式、焦距、扫描参数,改变管电压,通过观察像质计来评价灵敏度变化,试验结果见图 3。

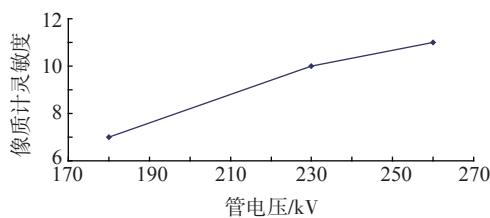


图 3 平板工件曝光量不变提高管电压对灵敏度的影响

从试验结果可以看出,射线管电压提高则使得对比度降低,但在曝光量不变的情况下,到达 IP 的光子量随管电压提高而呈平方关系增加,在灰度值没有达到饱和的前提下,光子量的增大可以使信噪比提高,补偿了管电压提高而导致的对比度降低,从而对比灵敏度得以提高。

此结果对工程应用有实际意义,对 CR 技术可适度提高管电压,以减少曝光时间,提高工作效率。而经过精确校准的 DDA 由于具有高信噪比即使在高得多的电压下也能提供较高图像质量。

### 2.1.2 补偿原则(Ⅱ)

补偿原则(Ⅱ)是通过提高信噪比补偿探测器清

晰度的不足(如提高丝型像质计的丝号或孔型像质计的孔号值来弥补双丝像质计线对号)。

根据补偿原则(Ⅱ),如果所用探测器系统和曝光条件无法达到标准所规定的分辨率,则可通过提高信噪比来提高单丝可见度或阶梯孔型透度计可见度来补偿超出的不清晰度值。例如对于指定探测器的设置没有达到需要的 D12 和 W16(5 mm 壁厚、B 级),则 D11 和 W17 可认为相当于 D12 和 W16 的检测灵敏度。一般情况下用单丝进行补偿的做法限于 2 根丝号,对应补偿双丝的两个线对。

目前最好的非晶硅平板分辨率达到 0.127 mm,按标准要求分辨率应达到:

A 级照相,透照厚度  $w$ :  $5 \text{ mm} < w \leq 10 \text{ mm}$ , 分辨率为 0.13 mm。

B 级照相,透照厚度  $w$ :  $40 \text{ mm} < w \leq 120 \text{ mm}$ , 分辨率 0.13 mm。

如果没有补偿原则,A 级照相,在满足标准规定的不清晰度的情况下,10 mm 以下检测困难,5 mm 以下不可能达到分辨率要求;B 级照相,要求满足标准规定的不清晰度的情况下,120 mm 以下检测困难,40 mm 以下不可能达到分辨率要求。

但由于有了补偿原则(Ⅱ),A 级照相可检测的厚度下限达 2 mm,甚至 1.5 mm;B 级照相可检测的厚度下限可达 8 mm,甚至 4 mm。

图 4 是胶片技术和 DDA 技术的灵敏度对比试验结果,可以看出,DDA 像质计灵敏度远高于胶片技术,超过标准 B 级照相的要求很多,为补偿原则(Ⅱ)的使用创造了非常有利的条件,可以在分辨率较低的情况下实施射线照相,而图像质量仍然满足要求。

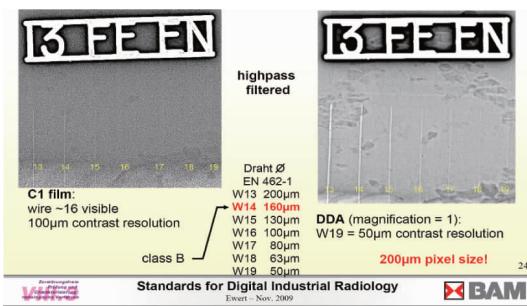


图 4 胶片技术、DDA 灵敏度对比

作为一个重要指标,各种数字射线照相技术的分辨率远低于胶片技术,因此分辨率已成为数字技术运用的瓶颈。补偿原则(Ⅱ)的提出,利用数字技术的优势弥补了自身的劣势,克服了这一主要技术

障碍,使数字技术在工程使用成为现实。

### 2.1.3 补偿原则(Ⅲ)

补偿原则(Ⅲ):通过提高信噪比来补偿由于 DDA 坏像素的修正导致的局部插值不清晰度。

“坏像素”没有读数或不能反映真实信号强度,会降低缺陷检出率。坏像素可以通过系统进行修正,但会导致局部插值不清晰。而增大信噪比可以提高对比度噪声比( $CNR_N$ ),提高灵敏度,提高缺陷检出率。所以可通过增大信噪比补偿“坏像素”插入导致的局部不清晰。

### 2.1.4 三个补偿原则的意义

三个补偿原则发挥了数字射线照相信噪比高,对比灵敏度高的优点,解决了数字探测器像素尺寸大于胶片颗粒度,分辨率小于胶片的缺点。

应用补偿原则(Ⅰ),允许数字射线照相使用比胶片更高的管电压;应用补偿原则(Ⅱ),允许数字射线照相比胶片照相有更大的不清晰度,不要求数字图像的像素达到胶片颗粒度水平;应用补偿原则(Ⅲ),允许有坏像素的数字探测器使用。

三个补偿原则使目前的数字射线照相技术可以运用于工业生产,也使整个投入和运行成本得到控制,对新技术的发展起着非常积极的作用。

## 2.2 最小灰度值的确定

ISO17636-2 提出了可用等效最小灰度值代替最小标准信噪比值的观点,并在附录 D 描述了用等效最低灰度值代替所需标准信噪比的方法。要求在使用 CR 技术时用户需规定出 CR 系统合格图像的最小灰度值。

以下是相关试验内容。

在固定 IP 板、激光扫描仪参数及其他工艺参数的前提下,CR 图像灰度只与曝光量有关。比较不同灰度值图像的灵敏度,试验结果见图 5。

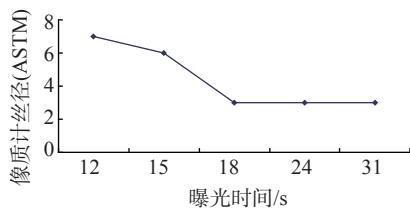


图 5 灰度值(曝光量)对 CR 灵敏度的影响

灰度值(曝光量)较小时,灵敏度明显较低;灰度值(曝光量)较大时,灵敏度较高。这是因为随着曝光量的增加,灰度值随曝光量的增加同步增加,此时

信噪比提高,导致像质计灵敏度提高。

CR 的最小灰度值相当于胶片照相最小黑度,产品检测中,射线图像评定区域的任何地方都能满足指定的最小灰度值,就不需要测量信噪比值了,简化了图像处理软件的使用。

### 2.3 几何放大技术

ISO17636-2 提出通过使用几何放大技术来降低图像不清晰度。采用几何放大技术,需增大 IP 或 DDA 和物体之间的距离同时采用小焦点的 X 射线管或小尺寸的  $\gamma$  源。通过放大倍率  $v$ 、几何不清晰度  $U_g$  和基本空间分辨率  $SR_b$  及下面的公式可估算图像不清晰度  $U_{lm}$ :

$$U_{lm} = \frac{1}{v} \sqrt{(U_g)^2 + (2SR_b)^2} \quad (2)$$

从式中可以看出,采用适宜的放大倍率可以降低图像不清晰度。在照相时通过提高放大倍率和减小源尺寸来降低图像的不清晰度,使之小于或等于标准中指定的值。

与胶片相比,大部分阵列探测器或 IP 系统拥有大的( $\geq 50 \mu\text{m}$ )像素。补偿原则(Ⅱ)采用几何放大技术可避开这一棘手问题。

## 3 结论

ISO17636-2 中相关规定的推出为数字技术的发展、运用奠定了理论基础,成为数字技术应用的依据,必将对数字射线照相技术的推广起着非常积极的作用。

ISO17636-2 体现了合乎使用的原则,不在技术细节上纠缠,解决了数字射线照相技术的技术障碍,使数字照相在技术上已经具备了实际使用的条件。目前,数字射线照相技术已经步入实用阶段,越来越多的用户在考虑使用或开始关注这一先进技术。

数字射线照相技术的发展是非常迅速的。在摄影和医学领域数字技术已经代替了传统胶片技术的主导地位,可以预料,在工业领域数字射线照相技术也必将替代胶片技术的主导地位。

## 参考文献:

- [1] 强天鹏.射线检测[M].北京:中国劳动社会保障出版社,2007.
- [2] 王军,强天鹏,黄庆华.计算机射线照相技术的灵敏度研究[C]// 2011 远东无损检测新技术论坛.杭州:[出版者不详],2011.