

# 第七讲 射线实时成象检验技术

郑世才

(新立机器厂,北京 100039)

## REAL-TIME IMAGING RADIOGRAPHY

Zheng Shicai

(Xinli Machinery Plant, Beijing)

### 1 概述

射线实时成象检验技术是随着成象物体的变动图象迅速改变的电子学成象方法,它与胶片射线照相检验技术几乎是同时发展的。

早期的射线实时成象检验系统是X射线荧光检验系统,它采用荧光屏将X射线照相的强度分布转换为可见光图象。50年代左右引入了电视系统,通过电视摄像,在监视器上观察图象。由于存在图象亮度低(仅为 $0.3 \times 10^{-3} \text{cd/m}^2$ 左右)、颗粒粗、对比度梯度低等缺点,荧光屏图象的细节和灵敏度都低于胶片图象,观察这种图象需30min的眼睛暗适应时间,这限制了该技术的实际应用。这种系统主要用于轻合金铸件、薄焊缝和包裹等的检验。50年代初研制了图象增强器,早期图象增强器的亮度增益为1200~1500,而现代图象增强器的亮度增益高达10000以上,并具有良好的分辨力。这样,输出屏上的图象亮度可达 $0.3 \times 10^3 \text{cd/m}^2$ ,极大地促进了射线实时成象检验技术的工业应用。70年代以后,其它技术的发展导致射线实时成象检验技术也产生了很大改进,主要包括改进图象增强器主屏的材料。研制适应高能(可达10MeV)的图象增强器。

引入数字图象处理技术。应用微(小)焦点X射线机,采用投影放大射线照相技术。这些改进使射线实时成象检验技术取得了明显的进展,在中等厚度范围内,其象质计灵敏度已可接近胶片射线照相的水平。

与图象增强器同时发展的是直接对X射线敏感的X射线电视摄像管。由于它们需要较高的X射线通量,因此该技术只局限于检验低密度的电子组件、印制电路板及类似的应用。低亮度电视摄像管

(LLLTV)、分流直象管、正析摄像管和二次电子传导光导摄像管等的研制以及新的低噪声视频电路的出现,使电视摄像管可用以直接扫描常规的高分辨力荧光屏。近年来研究了数字实时成象检验系统,使用闪烁检测器和荧光-光电倍增器或扇形检测器阵列拾取信号。直接数字化提高了数据的信噪比,并可给出适宜电子成象过程,进行图象增强处理和储存的信息,图象的动态范围可达 $1 \times 10^8$ 。这种技术可检验厚度差或密度差很大的物体。

### 2 射线实时成象检验系统

#### 2.1 射线实时成象检验系统简介

已经研制的射线实时成象检验系统,按射线转换的基本过程可分为两种基本类型,即射线可见光、射线电子。然后,再经过后续的转换过程形成图象信号。

第一类系统采用荧光物质和闪烁晶体,将射线直接转换为可见光。常用的荧光物质是硫化锌镉、硫化钨、溴化镧和硫化锌等;常用的闪烁晶体是碘化钠、碘化铯、锗酸铋、钨酸钙和钨酸镉等。荧光和闪烁是同一物理现象,荧光是指在射线激发停止后,发光持续时间 $< 10^{-8} \text{s}$ 的发光过程;闪烁是指单个高能粒子在荧光体上激发的瞬间闪光脉冲。荧光屏受到颗粒尺寸和分辨力的限制,厚度比较小。与荧光屏相比,闪烁体对射线具有更高的吸收能力,也具有更高的分辨力。表7-1和7-2分别列出了一些荧光物质和闪烁晶体的主要性质。

第二类射线实时成象检验系统利用具有足够能量的射线量子与物质相互作用时释放的光电子,改变半导体或半导体结的电阻,形成相应于辐照射线通量分布的电导,采用扫描电子束可以将其转换为

表 7-1 荧光物质的主要性能

名称	分子式	密度 g/cm <sup>3</sup>	峰值发射波长 nm	衰减常数 ns
硫化锌镉	ZnCdS (A g, N i)	4.5	550	85
硫氧化钷	Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S (Tb)	7.3	544	480 000
溴氧化镧	LaOBr	-	460	-
硫化锌	ZnS (A g, N i)	4.1	450	60

表 7-2 闪烁晶体的主要性能

名称	分子式	密度 g/cm <sup>3</sup>	转换效率 <sup>1)</sup> %	衰减常数 <sup>2)</sup> μs	余辉(3m s) %
碘化钠	NaI(Tl)	3.67	100	0.23	0.5~5
碘化铯	CsI(Tl)	4.51	45	1.0	0.5~5
锗酸铋	BGO	7.13	8	0.3	0.005
钨酸钙	CaWO <sub>4</sub>	6.12	50	0.5~20	1~5
钨酸镧	LaWO <sub>4</sub>	7.90	65	0.5~20	0.0005

注: 1) 碘化钠将 X 射线转换为光的效率约为 15%, 以它的转换效率为 100% 给出相对转换效率。 2) 信号衰减到最大强度的 37% 所用时间。

视频信号。经常使用的对 X 射线敏感的光电导材料是三硫化二锑、碲化锌镉、硒化钨、氧化铅、硫化钨和硅等。部分材料的主要性能见表 7-3。

表 7-3 光电导材料的主要性能

名称	分子式	灵敏度 μA/lm	暗电流 nA	惰性 <sup>1)</sup> ms	信号电流 μA
氧化铅	PbO	400	< 1	1~2	0.2
硒化钨	CdSe	1500	1	10~20	0.2
三硫化二锑	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	250	10~20	15~25	0.2
碲化锌镉	ZnCdTe	5000	6	20	0.2

注: 1) 光照后信号出现所需时间。

采用不同的转换过程可以构成不同的射线实时成像检验系统, 表 7-4 比较了主要射线实时成像检验系统的性能。

2.2 工业射线实时成像检验系统

表 7-4 主要射线实时成像检验系统性能比较

系 统	分辨力/L <sub>p</sub> · mm <sup>-1</sup>	对比灵敏度/%	适宜能量/kV	最佳能量/kV	对 X 射线敏感性	使用寿命/a(年)
荧光屏	4.5	2	25~300	120	低	10
X 射线闪烁晶体	10	1	25~10 <sup>3</sup>	200	中	未定
X 射线图象增强器	5	2	5~10 <sup>3</sup>	100	高	3
半导体检测器阵列	20	10	20~150	100	中	未定
敏 X 射线光导摄像管	20	5	20~250	75	低	5

图 7-1 是目前在工业中应用的由图象增强器构成的射线实时成像检验系统。

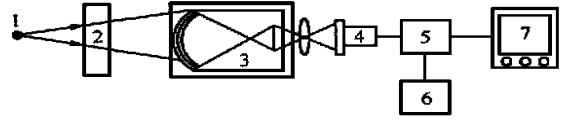


图 7-1 典型工业射线实时成像检验系统

- 1. 射线源 2. 工件与机械驱动系统 3. 图象增强器
- 4. 摄像管 5. 图象处理器 6. 计算机 7. 显示器

与早期的射线实时成像系统比较, 工业射线实时成像检验系统的主要特点是 采用图象增强器代替简单的荧光屏, 实现图象转换。采用微焦点或小焦点射线源, 以投影放大方式进行射线照相。引入图象处理技术, 改进图象质量。

图象增强器是射线实时成像检验系统的核心器件之一, 其基本结构如图 7-2 所示, 它由外壳、射线窗口、输入屏、聚焦电极和输出屏构成。射线窗口由钛板构成, 它既有一定的强度, 又可以减少对射线的吸收。输入屏包括输入转换屏和光电层。输入转换屏不同于简单的荧光屏, 现在它主要采用 CsI 晶体制作, 其发射的可见光处于蓝色和紫外谱范围, 与光电层的谱灵敏度相匹配; 为了吸收更多的射线, 采用了特殊的设计, 如柱轴沿射线束方向排列的柱状晶体。它吸收入射射线, 将其能量转换为可见光发

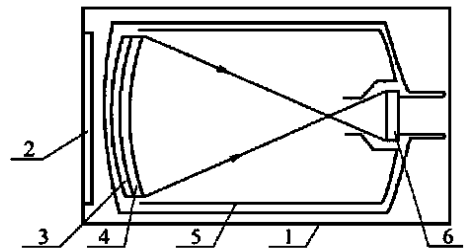


图 7-2 图象增强器结构示意图

- 1. 外壳 2. 射线窗口 3. 输入转换屏
- 4. 光电层 5. 聚焦电极 6. 输出屏

射。光电层将可见光能量转换为电子发射。聚焦电极加有 25~ 30kV 的高压, 加速电子, 并将其聚集到输出屏。输出屏将电子能量转换为可见光发射。在图象增强器中实现从射线 可见光 电子 可见光的转换过程。

经过图象增强器所得到的可见光图象, 其亮度比简单的荧光屏图象可提高约 30~ 10 000 倍。图象增强器动态范围的典型值为 2 000 : 1, 中心分辨力典型值为 40~ 60lp/cm。

图象增强器输出屏上的可见光图象由摄像管拾取, 经 A/D 转换后送入图象处理器进行图象增强处理, 改善图象质量, 处理后的图象送入监视器显示。

### 3 射线实时成象检验系统的图象和性能

#### 3.1 射线实时成象检验系统的图象

射线实时成象检验系统得到的图象是电视系统的扫描光栅图象, 在显示器上观察到的图象由一系列小图象单元——象素构成, 一幅图象按设定的扫描形式可划分为不同数目的象素。如图象占 512 个扫描行, 每行含有 512 个象素时, 则该图象由 512 × 512 个象素构成。每个象素的亮度可数字化为不同的级别, 如用八位二进制数表示 (8bit), 由于 2<sup>8</sup> = 256, 则亮度可分为 256 个级别。象素的多少和亮度级别的数目直接相关于图象可能给出的对比度和清晰度。

对比度是物体对射线衰减的直接结果, 基于射线的衰减规律导出的物体对比度为

$$\frac{\Delta I}{I} = - \frac{\mu \Delta T}{1 + n}$$

式中  $I$ ——射线强度

$\mu$ ——射线的线衰减系数

$n$ ——散射比

荧光屏亮度  $B$  与射线强度  $I$  的关系一般可写为

$$B = m I$$

式中  $B$ ——荧光屏亮度

$m$ ——比例系数

这样, 相应的亮度对比度为

$$\frac{\Delta B}{B} = - \frac{\mu \Delta T}{1 + n}$$

在显示器上所观察到的图象对比度  $C$  与亮度对比度的关系为

$$C = \gamma \frac{\Delta B}{B}$$

式中  $\gamma$ ——实时系统的灰度系数

灰度系数定义为输出屏图象亮度对比度与入射射线强度对比度的比值。实时系统的灰度系数是系统各

个成象单元的综合结果, 近似有  $\gamma = 1.0$ 。

影响图象清晰度的因素主要是几何不清晰度和屏的固有不清晰度。

在射线实时成象检验技术中, 一般采用放大透照布置 (图 7-3)。在成象平面 (图象增强器输入屏) 得到的缺陷图象将产生一定程度的放大, 放大的程度取决于所选射线源至工件距离和射线源至成象平面距离。放大倍数  $M$  定义为

$$M = \frac{E}{f}$$

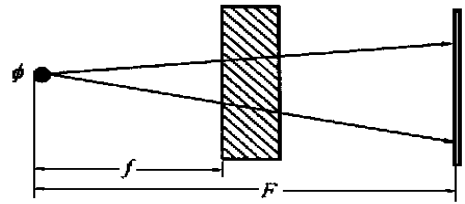


图 7-3 射线实时成象检验的透照布置

由此可导出几何不清晰度  $U_g$  为

$$U_g = \phi M^{-1} \quad (1)$$

式中  $\phi$ ——射线源的焦点尺寸

可见, 几何不清晰度除了与焦点尺寸有关外, 还与所选放大倍数有关。荧光屏的固有不清晰度取决于荧光物质的性质和颗粒、荧光屏的厚度和结构, 也与射线能量有关。某一种荧光屏可认为具有一固定的不清晰度。总的清晰度的不清晰度由几何不清晰度和屏的固有清晰度的不清晰度决定, 一般写为

$$U_t^3 = U_g^3 + U_s^3$$

如果在工件的移动过程中观测, 则还必须考虑运动不清晰度。

射线实时成象检验系统的图象常可达到较高的对比度, 但不能达到较好的清晰度。

射线实时成象检验系统图象质量的主要指标是空间分辨力 (简称分辨力、分辨率) 和对比灵敏度。它也是射线实时成象检验系统综合性能的主要指标。

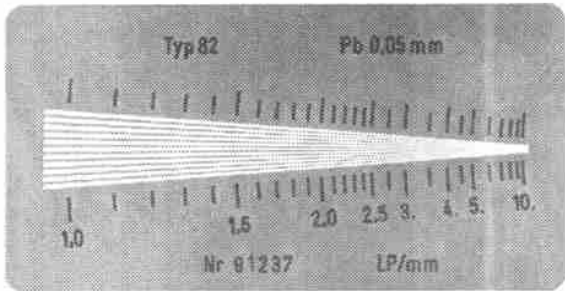
#### 3.2 图象的分辨力

分辨力是分析任何成象方法、成象系统和所得图象时经常使用到的概念, 它表示成象系统所得图象识别细节的能力, 限定了所能揭示的、处于与射线束垂直平面内缺陷的最小尺寸。对射线实时成象检验系统, ASTM E1411 和 E1647 标准规定采用 BS 3971 标准的双丝象质计或线对测试卡, 测定射线实时成象检验系统或其图象的空间分辨力。

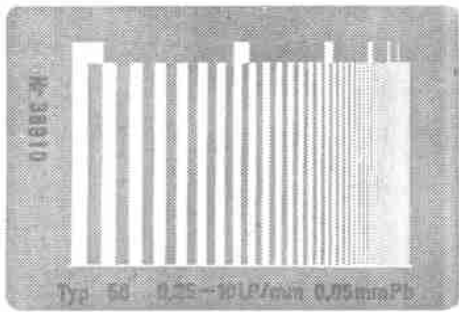
采用线对测试卡测量空间分辨力时, 分辨力值用线对/毫米或线对/厘米表示。线对测试卡的典型

形式如图 7-4 所示, 它由高密度材料(常用铅箔)的栅条和间距形成占空比为 1:1 的线对图样, 密封在低密度材料(常用透明塑料薄板)中构成。塑料厚度约 1mm, 铅箔厚度等于最窄栅条的宽度。所得到的分辨力值表示测定时刚刚不能区分为栅条和空间间隔所对应的线对值。图 7-4a 所示线对测试卡使用方便, 可直接读出分辨力值。图 7-4b 所示线对测试卡应按线对上方的方块标记数出刚刚不能区分线对的顺序位置, 然后查表得到相应的分辨力值, 表 7-5 列出了对应的分辨力值。如测定时刚刚不能区分出的线对的位置是第三标记后的第五线对, 从表 7-5 中查到对应的分辨力值为 1.6lp/mm。

当用 BS 3971 的双丝象质计测定空间分辨力时,



(a)



(b)

图 7-4 线对测试卡的两种形式

表 7-5 Typ 56 线对测试卡的分辨力值 lp/mm

标记号 <sup>1)</sup>	标记线对的分辨力值	后续线对的分辨力值
1	0.25	0.275, 0.30, 0.33, 0.36, 0.40, 0.44
2	0.48	0.52, 0.57, 0.63, 0.69, 0.76, 0.83, 0.91
3	1.00	1.1, 1.2, 1.3, 1.45, 1.6, 1.75, 1.9
4	2.10	2.3, 2.5, 2.75, 3.0, 3.3, 3.6
5	4.00	4.4, 4.8, 5.2, 5.7, 6.3, 6.9, 7.6, 8.3, 9.1
6	10.00	9.1, 8.3, 7.6, 6.9, 6.3, 5.7, 5.2

注: 1) 标记为线对测试卡中线对上方的方块, 标记号按图中从左至右顺序为 1, 2, ...。

可用不清晰度表示空间分辨力, 不清晰度等于可识别的最细丝径的两倍。对应的线对值为不清晰度值的倒数。

### 3.3 图象的对比灵敏度

对比灵敏度限定了所能揭示的沿射线束方向缺陷的最小尺寸, 通常表示为射线束在材料中穿过的路径长度的百分数。ASTM E1647 标准规定, 对比灵敏度采用对比灵敏度计测定。

对比灵敏度计如图 7-5 所示, 有关尺寸和适用范围见表 7-6。从图 7-5 可见, 对比灵敏度计上有四个平底方孔, 其深度分别为对比灵敏度计厚度的 1%, 2%, 3% 和 4%。测定时, 由能可靠重复成像的最浅平底方孔确定对比灵敏度值。对其它对比灵敏度测量值, 可使用垫块, 此时对比灵敏度为

$$C = \frac{R}{T + S} \times 100\%$$

式中  $T$ ——对比灵敏度计的厚度

$R$ ——平底方孔深度

$S$ ——垫块厚度

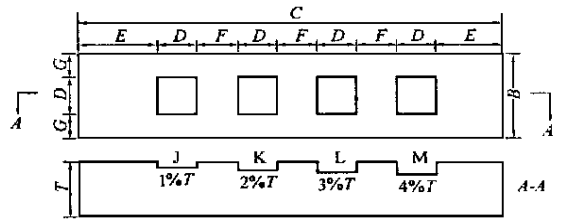


图 7-5 对比灵敏度计

表 7-6 各对比灵敏度计尺寸和适用厚度 mm

编号	B	C	D	E	F, G	适用厚度范围
1	19.05	76.20	6.35	15.88	6.35	38~1
2	38.10	152.40	12.70	31.75	12.70	38.1~76.2
3	57.15	288.60	19.05	47.63	19.05	76.2~152.4
4	76.20	304.80	25.40	63.50	25.40	>152.4

对比灵敏度计的厚度  $T$  与被检物体厚度之差应在  $\pm 5\%$  之内, 厚度  $T$  的偏差应不大于设计厚度的  $\pm 1\%$ 。平底方孔深度的偏差应不大于设计的最浅平底方孔深度的  $\pm 10\%$ 。表 7-6 中关于对比灵敏度计的尺寸偏差, 应保持在  $0.25\text{mm}$  之内。

对比灵敏度计的材料原则上应与被检物体材料相同。在 ASTM E1647 标准中, 按材料对射线的吸收特性, 将常用材料分为八组, 分别给以编号。

当没有适宜的材料制作对比灵敏度计时, 可采用代用材料制作。但代用材料应满足下列要求, 即采用较低能量射线在一张胶片上同时透照代用材料和

被检材料,底片黑度应在 2.0~4.0 范围内,代用材料与被检材料处的黑度差应为被检材料处黑度的 0%~15%。

### 3.4 射线实时成像检验系统性能的鉴定

随着射线实时成像检验系统工作条件和检验对象的变化,空间分辨力和对比灵敏度将会不同。因此,测定应在尽可能接近实际检验的条件下进行,即射线能量、图象形成条件以及图象处理、显示和观察等都应接近实际检验条件。

对于一个射线实时成像检验系统,ASTM E1255, E1411, E1416 和 E1734 等标准规定,按其成象质量,系统的性能可用下述方式表示:

$$(1) C-U \text{ 或 } C_{\min}-C_{\max}-U$$

$$(2) C-B \text{ 或 } C_{\min}-C_{\max}-B$$

其中  $C$ ——对比灵敏度, %

$U$ ——不清晰度, mm

$C_{\min}$ ——最小厚度可达对比灵敏度, %

$C_{\max}$ ——最大厚度可达对比灵敏度, %

$B$ ——空间分辨力,  $L_p/\text{mm}$

方式(1)第一部分表示能可靠重复成象的最浅平底方孔确定的对比灵敏度值,第二部分是指同时用双丝计测出的空间分辨力值,用不清晰度表示。当测出的对比灵敏度值是代表薄、厚两部分的特性时,应表示为  $C_{\min}-C_{\max}-U$ 。方式(2)与方式(1)的不同是用线对给出了空间分辨力。

为了保证检验结论的可靠性,必须对射线实时成像检验系统的性能进行鉴定,这种鉴定包括初始鉴定和使用中的定期核查。ASTM E1411 标准规定了鉴定的详细要求,主要是系统性能按空间分辨力和对比灵敏度进行鉴定。应对所检物体的最小和最大厚度进行鉴定。应对所使用的不同成象模式、射线源尺寸、成象几何条件和图象处理进行鉴定。未经图象处理的空间分辨力鉴定,应在图象转换器上不附加吸收体,在水平和垂直两个方向用铅箔线对测试卡进行,也应在检验物体位置不附加吸收体进行。未经图象处理的对比灵敏度鉴定,应在检验物体位置进行。全部鉴定测量在静态工作模式下进行。此外,系统性能至少还应使用一种标准化的射线照相象质计进行灵敏度测量,测量应对所检物体的最小和最大厚度以及未经处理和经处理的图象进行。

## 4 射线实时成像检验技术

### 4.1 射线实时成像检验技术的一般要求

按照国外一些标准的规定,射线实时成像检验

技术的一般要求主要包括射线实时成像检验系统性能要求和鉴定与监测方法。检验参数,主要是射线源的能量、强度、焦点和成象布置等。动态检验时的扫描面、扫描方位、扫描速度和移动范围等。图象处理参数,如降噪、对比度增强和空间滤波等。图象显示参数,如尺寸、颜色、亮度和对比度等。图象档案要求。检验人员资格。

### 4.2 射线实时成像检验技术的一些重要要求

射线实时成像检验的主要技术有许多方面与常规射线照相检验技术的考虑和要求相同,如正确选择射线能量(透照电压)和射线方向,严格控制散射射线以及滤波、象质计和标记的使用等。但射线实时成像检验一般都要经历从射线强度分布到可见光图象,从可见光图象到视频信号以及视频信号传送、转换、处理和显示的过程,不同过程对最终图象的质量具有不同程度影响。因此,射线实时成像检验技术也必须作出一些特殊的考虑。

#### 4.2.1 最佳放大倍数

射线实时成像检验一般采用放大透照布置。一方面随着放大倍数的增大几何不清晰度将增大,这将导致整个射线照相不清晰度的增大;另一方面,随着放大倍数的增大,缺陷图象的尺寸也将放大,从识别缺陷图象所要求的对比度的角度,这将有利于细小缺陷图象的识别。这种情况决定了实时射线照相存在最佳放大倍数。设想成象平面处射线照相总的模糊度为工件处射线照相总的模糊度放大  $M$  倍的象,则最佳放大倍数应使工件处射线照相总的模糊度为最小值,由此,采用微分方法可求出最佳放大倍数  $M_0$ , 即

$$M_0 = 1 + \left[ \frac{U_s}{\phi} \right]^{3/2}$$

式中  $U_s$ ——转换屏的不清晰度

可见,最佳放大倍数由成象平面(荧光屏)的固有模糊度和射线源的尺寸决定。由于荧光屏的固有模糊度较大,所以使用常规焦点的射线源时,不可能采用较大的放大倍数。不同尺寸射线源可选用的放大倍数见表 7-7。

表 7-7 不同尺寸射线源可选用的放大倍数

射线源尺寸/mm	放大倍数 $M$	射线源尺寸/mm	放大倍数 $M$
1	1	0.1~0.4	6
0.4~1	2	0.01	100

#### 4.2.2 扫描速度和定位精度

动态检验时除了按规定选取扫描面、扫描方位和移动范围等外,还须正确选取扫描速度,即检验时

工件相对于射线源的移动速度。它直接相关于图象的噪声, 所能采用的扫描速度与射线源强度相关。射线源的强度高时, 图象增强器在单位时间接收的成象量子数多, 图象噪声可降低, 扫描速度可高些。静态检验时, 机械驱动装置必须具有一定的定位精度, 一般要求定位误差 10mm。在连续检验过程中应注意累积的定位偏差, 并作出修正。

#### 4.2.3 图象处理

射线实时成象检验广泛采用了数字图象处理技术, 对图象进行数字化编码处理, 把图象从连续信号转换为离散数字进行图象增强、恢复和重建等, 根据图象质量的一般性质, 选择性地加强图象的某些信息, 抑制另一些信息, 改善图象质量。在射线实时成象检验技术中常用的数字图象增强方法有, 对比度增强、图象平滑(多帧平均法, 常称积分处理或降噪)、图象锐化和伪彩色等。对比度增强是一种简便但十分重要的图象增强技术, 它逐点修改输入图象每一象素的灰度, 扩大图象的灰度范围, 提高图象的对比度。当图象的噪声大时, 采用图象平滑处理, 降低图象的噪声水平, 提高信噪比。图象锐化是采用滤波、微分等处理, 突出图象的轮廓。眼睛可区分的色度达数千种, 但可区分的灰度级仅为 20 多级, 伪彩色处理是把灰度级转换为对应的彩色输出, 从而提高图象的可识别性。

#### 4.2.4 系统性能核查

为了保证检验结果的可靠性和稳定性, 必须对系统的性能进行定期核查, 即对空间分辨力和对比灵敏度进行核查, 同时结合进行象质计灵敏度的核查。最好采用与被检工件类似并具有应检出缺陷的物体, 在实际检验条件下进行检验。核查的间隔应符合有关要求。采用象质计核查时, 象质计的选择、数目和放置应符合有关工业标准的规定。也可使用校验试块、线对卡和阶梯块等进行核查。

#### 4.2.5 可检缺陷的最小尺寸

在射线实时成象检验的放大透照布置中, 当缺陷尺寸  $d$  小于焦点尺寸  $\phi$  时, 在某个放大透照布置下缺陷的实象成为一个点, 这时有

$$\frac{d}{\phi} = \frac{E-f}{f}$$

改写此式, 按上述关系应有

$$M d = U_g$$

一般情况应是

$$M d \geq U_g \quad \text{或} \quad M d \geq U$$

即在射线实时成象检验中, 可观察到的最小缺陷尺寸由不清晰度决定。由上式可得

$$d = \frac{1}{M} \sqrt{\phi(M-1)^3 + U_g^3}$$

### 4.3 焊件和铸件的射线实时成象检验技术

ASTM E1416 和 E1734 标准分别对焊件和铸件的射线实时成象检验技术作了规定, 其主要内容可归纳如下:

#### (1) 基本要求

(a) 从事焊件和铸件射线实时成象检验的人员应经资格鉴定与认证。

(b) 如果合同有要求, 从事焊件和铸件射线实时成象检验的机构应进行资格鉴定与认证。

(c) 应编写出书面的检验程序文件, 按此文件实施检验。

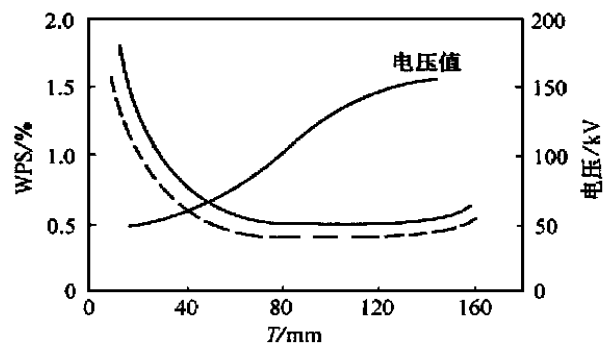
#### (2) 设备与装置

(a) 射线源的能量适于被检工件的材料和厚度, 稳定性适于图象质量要求。

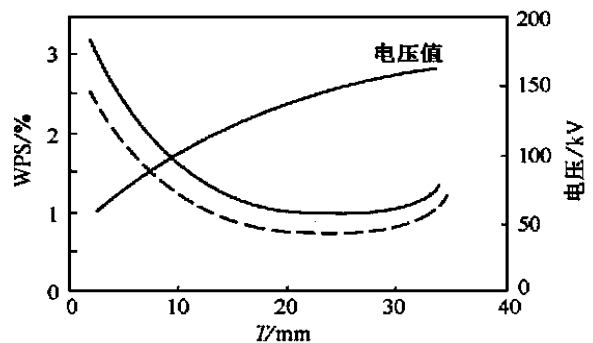
(b) 操作系统适合于被检工件的扫描和检验要求。

(c) 成象、图象处理和图象显示适于图象质量的要求。

#### (3) 主要技术要求



(a) 铝



(b) 铁

图 7-6 射线实时成象检验系统的灵敏度  
——实时结果 —— 32 幅叠加处理结果

(下转第 336 页)

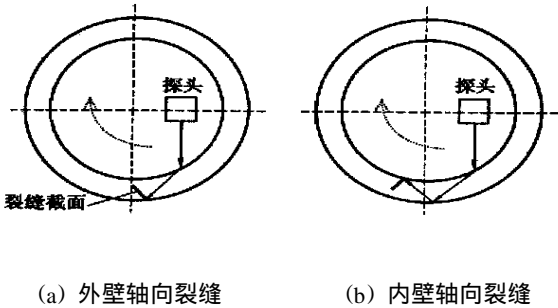


图 8 轴向裂缝检测

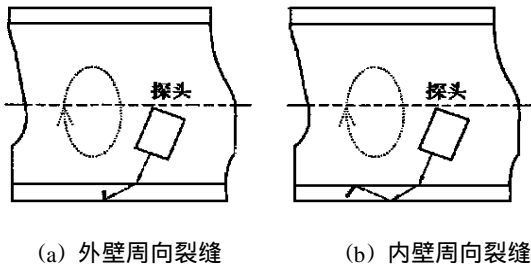


图 9 周向裂缝检测

轴线垂直, 检测时将探头轴线与管子轴线偏转一个角度, 这样超声信号以一定角度入射管壁内表面, 折射后也与裂缝方向垂直(或接近垂直)。同样也可采用直接反射法(图 9a)和二次反射法(图 9b)对外壁和内壁裂缝进行检测。探头绕管子轴线转动, 并沿轴线方向移动, 从而实现扫描式检查。检查结果经处理后可由计算机显示, 并按标准格式打印。

参 考 文 献

- 1 新日本非破坏检查株式会社 火力发电设备の非破坏检查新技术介绍资料 北九州, 日本, 1996
- 2 中国机械工程学会无损检测学会 无损检测概论 北京: 机械工业出版社, 1993
- 3 张俊哲等 无损检测技术及其应用 北京: 科学出版社, 1993

收稿日期: 1998-09-18

(上接第 333 页)

- (a) 检验参数规定 射线源的能量与透射方向、成象几何、扫描、图象处理与显示参数。
  - (b) 辅助措施 射线束的准直与滤波、工件的遮蔽及其它控制散射线措施。
  - (c) 质量控制 采用象质计(E747, E1025)显示图象质量, 象质计的选择、数目和放置应符合标准的规定。
  - (d) 标记 图象应有定位标志和识别标志。
- (4) 系统性能鉴定与监测

(上接第 309 页)

的检测, 并进行了解剖, 结果表明误差基本上能控制在 5~ 10mm 范围内。

我们在两个剥离间隙较小, 检测时又想分别标出边界的情况下, 在模拟试块和容器试块上作了一些尝试。在基体侧探测, 探头从剥离中心先向外移动时, 缺陷波明显下降, 底波出现并明显上升, 继续向外移动, 缺陷波没消失却又上升, 这样以底波最高时, 探头中心点左右各 5mm 定为两剥离边界的间隙距离。在堆焊层侧检测, 探头从剥离中心向外移动时, 缺陷波逐渐下降, 在波形尚未消失时(高度约为 10% ~ 20%), 缺陷波又逐渐升高。此时以缺陷波最低时, 探头中心点左右各 5mm 作为两剥离边界的间隙距离。

经与实际解剖结果相比较, 剥离边界间隙在 8 ~ 15mm 时, 可以区分。

5 小 结

目前国内热壁加氢反应器越来越多, 制订一个氢剥离的在役检验行业标准是非常必要的。

(1) 合理选择有代表性的部位检测, 如温度、压力波动较大区域(如冷氢段), 内壁制造时返修较多部位, 停车降温时, 温度下降较快、厚度较小的封头处等作为检测重点, 视检测结果决定是否扩检。

(2) 外壁检验时最好在筒体上调节灵敏度, 否则会造成很大误差, 此误差主要是由标准试块与容器筒体晶粒度差异而造成。笔者在检验工作中还发现, 即使同一容器两个节之间也有差异, 这也是造成内、外壁检测结果不一致的主要原因之一。

(3) 为了使检测结果有一个可比性, 应使用同一型号探头、同一测长方法和同一灵敏度调节方法进行再检测。

收稿日期: 1999-12-02

系统的性能在检验前应进行鉴定, 在检验过程中应定期核查。

上述规定与要求可保证焊件和铸件射线实时成象检验结果的可靠性和稳定性。

图 7-6 给出的是射线实时成象检验系统在低电压下的丝型象质计灵敏度(WPS)一例, X 射线机的焦点尺寸为 0.3mm, 使用的是 178mm (7in) 图象增强器, 透照布置的放大倍数为 3。

收稿日期: 2000-01-28