

# 关于数字化胶片上有本影缺陷的定位定量探讨

李亚洲

(西安核设备有限公司, 西安 710021)

**摘要:**虽然射线检测是通过观察胶片上影像的特征来对缺陷进行定性、定位和定量的,但在大多数情况下不能准确确定缺陷的自身高度和深度等一些参数。文章运用几何原理,通过数字化胶片上本影缺陷的影像特征,确立了缺陷在工件中的深度和自身高度的一种计算方法。同时,根据影像的特点对缺陷的水平位置做了适当的修正。最后通过具体实例证实了此方法的应用价值。

**关键词:**数字化胶片;射线检测;缺陷定位;缺陷定量;像质计当量高度

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2012)07-0021-03

## Discussion on Defect Identification of Digital Film

LI Ya-Zhou

(Xi'an Nuclear Equipment Co Ltd, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Although radiographic testing determines the nature of disfigurement through image on film, however usually, it cannot identify parameter of vice correctly, such as height and depth, and it has certain effect for practical work. This essay afforded a method of measuring height and depth of defect through the character of image on film using geometry principle. At the same time, the paper revised appropriately horizontal position of imperfection according to the character of image. Eventually, it proved further applicability of the means through specific example.

**Keywords:** Digital film; Radiography; Defect location; Quantitative defect; Equivalent height of IQI

随着射线检测技术的丰富和数字化程度的提高,对缺陷细节的分辨越来越清晰,其定位和定量也更加方便了。在射线检测中,有本影存在的缺陷往往都是形体比较大的缺陷、超标缺陷、或对工件的危害程度比较严重的缺陷,是在实际工作中需要特别关注的。笔者借助射线检测的几何原理和射线穿过物质时的相关特点,对厚镍基合金工件的对接焊接接头的纵缝中存在需要返修的超标缺陷,进行了比较准确的定位和定量。同时,也为缺陷的返修工作提供了方便。

## 1 有本影缺陷的定位和定量

收稿日期: 2011-07-28

**作者简介:** 李亚洲(1985—),男,助理工程师,本科,主要从事射线检测工作,探索使用 VF 建立智能射线检测管理系统。

在射线检测中通常是人工直接在胶片上用肉眼或借助于放大镜等工具来观察缺陷影像特征,通过尺子来定量缺陷在胶片上投影的大小,并以此来判断缺陷是否超标。但是,此方法只能确定缺陷影像的大小,与缺陷的实际大小有一定的差别,也不能直观地确定缺陷在工件中的深度等数据。为解决这些问题,笔者利用下面的方法对缺陷进行了适当的定位和定量。

### 1.1 缺陷深度与水平尺寸的确定

根据射线检测的几何原理,建立了射线源的透照布置图,见图 1。图中各种参数意义如下: $d$  为射线源的有效焦点尺寸; $h$  为射线源至工件表面的距离; $x$  为从射线源测工件表面到缺陷的深度; $g$  为缺陷有效投影当量平面尺寸; $t$  为工件的厚度; $e$  为缺陷的本影宽度; $a$  为缺陷的最大投影宽度。

由图 1 和几何关系,可知:

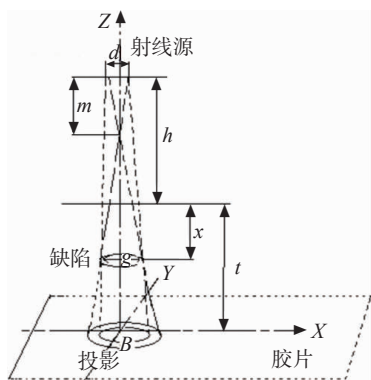


图1 射线检测几何原理图

$$\frac{d}{m} = \frac{g}{h-m+x} \quad (1)$$

$$\frac{g}{h-m+x} = \frac{a}{h-m+t} \quad (2)$$

$$\frac{d}{h+x} = \frac{a-e}{t-x} \quad (3)$$

联立式(1)~(3),利用 Matlab 编程<sup>[2]</sup>解得:

$$x = \frac{dt+h(e-a)}{(a+d-e)} \quad (4)$$

$$g = \frac{ah-dt + \frac{(a+d)(eh-ah+dt)}{(a+d-e)}}{h+t} \quad (5)$$

从图1射线检测一般几何原理图中可以看到  $x$  的边界条件是:  $0 \leq x \leq t$ , 对于有本影( $e$  存在)的缺陷,式(4)中  $e < a$  成立,所以  $0 \leq x$  也成立。由  $x-t = [(h+t)(e-a)]/(a+d-e) \leq 0$  得,  $x \leq t$  也成立。即  $0 \leq x = [dt-h(e-a)]/(a+d-e) \leq t$  符合边界条件。

## 1.2 缺陷自身高度的当量定量

考虑到缺陷可能出现在透照场范围内的任意地方,而像质计一般放置在透照场中的几何不清晰最大的地方。射线源到缺陷的距离一般不等于射线源到像质计辐射路程;同时,射线在这两个地方穿过工件时,在工件的穿透厚度是不同的,导致了胶片上存在着黑度差。为了准确地对缺陷自身高度做出定量,尽量接近缺陷实际高度,消除由于上述问题带来的黑度差,引入“像质计当量高度(Equivalent height of IQI)”和相对比较的思想。根据射线照相对比度的相关计算,推导出缺陷的当量。在射线照相检测中,射线照相对比度的公式<sup>[3]</sup>为:

$$\Delta D = \frac{0.434G\mu\Delta T}{1+n}$$

设线性像质计可见丝的黑度值为  $D_1$ ,其周围黑度均匀处的黑度值为  $D_2$ ,则线性像质计的射线照相

对比度为:

$$D_1 - D_2 = \Delta D_{12} = -\frac{0.434G\mu_1\Delta T_1}{1+n_1} \quad (6)$$

式中  $G$  为照相所用胶片的梯度; $\mu_1$  为像质计的吸收系数(衰减系数); $\Delta T_1$  为线性像质计可见丝的直径; $n_1$  为散射比。

设缺陷上黑度最大处的黑度值为  $D'_1$ ,其周围黑度均匀处的黑度值为  $D'_2$ ,则缺陷射线照相对比度为:

$$D'_1 - D'_2 = \Delta D'_{12} = \frac{0.434G\mu'_1\Delta T'_1}{1+n'_1} \quad (7)$$

式中  $\mu'_1$  为缺陷的吸收系数(衰减系数); $\Delta T'_1$  为缺陷在垂直方向上的自身高度; $n'_1$  为散射比。

工件焊缝中,缺陷的材质和几何形状是各式各样的,与射线的相互作用差别很大,导致无法准确地对缺陷的自身高度做出定量。这里利用“像质计当量高度(EHIQI)”对缺陷的自身高度  $\Delta T_1$  进行当量定量。在相同的照相条件下,散射比是不变的,即  $n'_1 = n_1$ 。

在式(6)和(7)中,设  $\mu'_1 = \mu_1$ ,联立解得:

$$\Delta T'_1 = -\frac{\Delta D'_{12}}{\Delta D_{12}}\Delta T_1 \quad (8)$$

即  $\Delta T'_1$  为缺陷相对于像质计的像质计当量高度。“-”表示缺陷自身的像质计当量高度取向与像质计的直径取向相反,像质计直径的取向是从工件表面开始向工件外延伸,而缺陷的像质计当量高度的取向是在工件内部。

## 1.3 缺陷水平位置的修正

虽然在射线检测中对于几何不清晰度和焦距有明确的要求,但是由于缺陷类型和相对于射线源的空间位置的不同,使得影像所在水平位置与缺陷实际的水平位置有一定的差距,这就需要对水平位置进行修正。在射线检测一般几何原理图的基础上,进行适当的调整,建立了缺陷水平位置的修正几何原理图。如图2所示,其中  $A$  点是射线源远离投影点  $C$  的射线源边界; $B$  点是  $A$  点在胶片平面的垂直投影点; $C$  点是缺陷边界  $D$  在胶片上的投影边界; $D$  点是缺陷边界; $E$  点是缺陷边界点  $D$  在胶片平面的垂直投影点。

由图2中几何关系得:

$$\triangle ABC \sim \triangle DEC$$

$$\text{即: } \frac{AB}{BC} = \frac{DE}{EC}$$

代入  $AB=h+t, DE=t-x$  得:

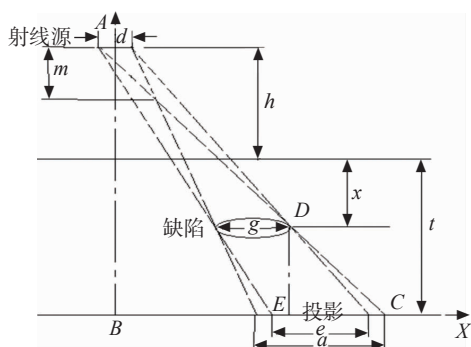


图2 缺陷水平位置的修正几何原理图

$$EC = \frac{BC(t-x)}{h+t} \quad (9)$$

这里  $BC$  是在胶片平面上缺陷投影边界到射线源投影的距离,在实际检测中可以利用射线源透照布置的情况计算出; $EC$  是缺陷实际边界任意一点  $D$  在胶片平面上的垂直投影点  $E$  与缺陷实际边界  $D$  点在胶片上的影像  $C$  点的水平距离。

## 2 计算实例

设在图2中,有一厚的镍基合金工件的对接焊接接头的纵焊缝厚度  $t=70$  mm。射线源的有效焦点尺寸  $d=4$  mm,利用 AB 级射线检测技术等级的焦距  $h=700$  mm。缺陷在胶片上的影像如图3所示。

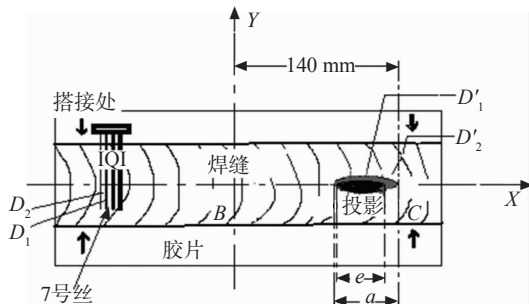


图3 缺陷在胶片上的投影示意图

在影像上测量得到  $a=15$  mm,  $e=14.5$  mm,利用 AB 级射线检测技术等级的要求,经过计算得到  $BC=140$  mm。可见线性像质计丝号为 7 号丝,丝的直径  $\Delta T_1=0.8$  mm,7 号丝对应的黑度  $D_1=2.7$ ,其周围均匀黑度处的黑度为  $D_2=3.1$ 。缺陷上某处的黑度  $D'_1=3.8$ ,其周围均匀黑度处的黑度  $D'_2=3.05$ 。求解步骤如下:

### 2.1 计算缺陷的自身高度

将  $D_1=2.7$  和  $D_2=3.1$  代入式(6)解得:  $D_1 - D_2 = \Delta D_{12} = -0.4$ 。将  $D'_1=3.8$  和  $D'_2=3.05$  代入式(7)解得:  $D'_1 - D'_2 = \Delta D'_{12} = 0.75$ 。再将  $\Delta T_1$

$=0.8$  mm、 $\Delta D_{12} = -0.4$  和  $\Delta D'_{12} = 0.75$  代入式(8),解得:

$$\Delta T'_1 = -\frac{\Delta D'_{12}}{\Delta D_{12}} \Delta T_1 = -\frac{0.75}{-0.4} \times 0.8 = -1.5 \text{ mm}$$

即缺陷相对于像质计的当量高度为 1.5 mm。“-”表示缺陷自身的像质计当量高度取向与像质计的直径取向相反,像质计直径的取向是从工件表面开始向工件外延伸,而缺陷的像质计当量高度的取向是在工件内部。

### 2.2 计算缺陷在工件中的深度

将  $d=4$  mm,  $t=70$  mm,  $h=700$  mm,  $e=14.5$  mm 和  $a=15$  mm 代入式(4),解得:

$$x = \frac{dt + h(e-a)}{(a+d-e)} = \frac{4 \times 70 + 700 \times (14.5 - 15)}{(15 + 4 - 14.5)} = -15.5 \text{ mm}$$

即从射线源测工件表面到缺陷的深度为 15.5 mm。“-”表示缺陷从射线源测工件表面开始向工件内部的取向。测量到缺陷最大截面的实际深度约为 16.8 mm 左右,比 15.5 mm 的值深,存在约 7.7% 的相对误差。在焊缝两面都可达的情况下,可以考虑优先从射线源侧工件表面开始向工件内部挖除缺陷。这样就可以减少劳动量、提高工作效率、缩小焊缝修补区等。

### 2.3 计算缺陷的水平尺寸

将  $d=4$  mm,  $t=70$  mm,  $h=700$  mm,  $a=15$  mm 和  $e=14.5$  mm 代入式(5),解得:

$$g = \frac{ah - dt + \frac{(a+d)(eh - ah + dt)}{a+d-e}}{h+t} = \frac{[15 \times 700 - 4 \times 70 + \frac{(15+4)(14.5 \times 700 - 15 \times 700 + 4 \times 70)}{15+4-14.5}]}{(700+70)} = 12.9 \text{ mm}$$

即缺陷的水平尺寸为 12.9 mm,比它在底片上的最大投影  $a=15$  mm 的影像尺寸小 3 mm。测量到缺陷最大截面的实际水平尺寸约为 14.4 mm 左右。可见这是个面积型缺陷,这种缺陷的实际尺寸要比计算尺寸大。当然射线检测的验收标准是建立在底片影像大小的基础上的。这对缺陷的评级不影响。

### 2.4 对缺陷水平位置的修正

在实际的工作中,由于返修人员经常在根据胶片上影像进行返修时,感到缺陷位置有一点偏差。为了更加准确地定位缺陷,这里提出对缺陷水平位置的适当修正。(下转第 32 页)

化炉的热故障缺陷进行诊断分析。在此基础上,以三幅红外热图为例,对气化炉一些常见故障进行分析,判断了故障类型、严重程度,分析了产生原因及相应采取的措施。文章的思路已经运用到红外热像日常检测中,经实践证明效果良好。

为了使气化炉安全平稳地运行,尽量减少甚至避免一些常见衬里故障问题的出现,提出建议如下:

(1) 在对气化炉进行耐火衬里安装过程中,尽量选用质量高的耐火材料;对气化炉整体考虑,合理设计其内部衬里结构;在具体施工过程中,严格控制施工质量。对于本身存在的一些不足应尽快改进,比如炉头大法兰处的喷嘴保护套材料的使用,建议选用更耐高温的材料代替 1Cr18Ni9Ti。

(2) 在日常操作过程中,对各项参数进行严格控制,避免出现超温超压的情况。对于气化炉热电偶容易失效的问题,可以考虑通过优化炉子的控制方法实现气化炉温度的平稳有效控制。具体解决方法是考虑用软测量技术,通过测量其它一些容易获得或者容易控制的参数达到间接控制气化炉的运行温度的目的,这种方法完全可以很好地解决由于热电偶失效而不能对其温度实现良好控制的问题。

(3) 在进行停炉清渣或者更换烧嘴的时候,在

(上接第 23 页)

将  $BC=140\text{ mm}$ ,  $t=70\text{ mm}$ ,  $|x|=15.5\text{ mm}$  和  $h=700\text{ mm}$  代入式(9),解得:

$$EC = \frac{BC(t-x)}{h+t} = \frac{140 \times (70-15.5)}{700+70} = 9.91\text{ mm}$$

即如图 2 所示,缺陷影像在 X 轴上 C 点的左侧,距 C 点距离为 9.91 mm 的 E 点对应的水平位置为缺陷上实际边界点 D 点的水平位置。

对于 Y 轴上的位置,由于焊缝的宽度较窄,没有必要计算。

### 3 结论

利用射线检测中几何关系的分析和胶片影像特征的分析,确定了一种计算厚镍基合金工件超标缺陷在工件中的三维坐标和自身大小的计算方法,并进行了实际应用。但是,该方法只针对底片上有本影的缺陷情况,对于无本影缺陷情况的计算是进一步研究的方向。

#### 参考文献:

[1] 苏志军,李伟,刘睿哲. X 射线照相底片数字化处理中

停炉后应尽量做到等内部温度冷却到一定程度后再打开炉盖。此外应尽量避免在开炉的时候把上下盖都打开,造成穿堂风从炉内通过,引起炉壁温度急剧下降。

(4) 建议对烧嘴盘管和激冷环周围做一些改进,防止它们出现泄漏的情况,造成内部冷却水直接喷到周围高温炉壁上。

#### 参考文献:

- [1] 潘晓苇. 红外热像诊断技术在设备衬里保温评价中的应用[G]. 石油化工设备维护检修技术. 北京: 中国石化出版社, 2005: 40—43.
- [2] 滕国英, 贾明全. 气化炉长周期运转技术分析[J]. 大氮肥, 1992, 15(6): 450.
- [3] 邓建国, 王国林. 用于高温测量的红外热成像技术[J]. 流体力学实验与测量, 2001, 15(1): 43—45.
- [4] 程玉兰. 红外诊断现场适用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [5] 李晓刚, 付冬梅. 红外热像检测与诊断技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [6] 周建龙, 程学群, 胡洋, 等. 加热炉炉墙衬里损伤的红外热像检测与评估[J]. 红外技术, 2008(10): 595—598.

信息损失分析[J]. 无损探伤, 2007(4): 39—40.

- [2] 薛定宇, 陈阳泉. 高等数学问题的 MATLAB 求解[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [3] 强天鹏. 射线检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007.

### 码科泰克(上海)化学有限公司 新工厂在上海奉贤竣工

新工厂占地面积 10,000 m<sup>2</sup>, 建筑面积 6,000 m<sup>2</sup>, 主要生产产品有探伤设备、标号喷印设备等机械装置, 以及探伤剂、油漆、清洗剂等化学产品。新工厂的建成是码科泰克集团在中国无损检测行业中的又一个新起点。

码科泰克集团将秉承“将安全和安心带给社会”的经营理念, 为中国的制造业提供更强大的推动力。