

# 管道环焊缝数字射线成像检测最少透照次数的确定

刘长山

(四川迪派锐科技有限公司, 绵阳 621000)

**摘要:**国内现行数字射线成像检测标准对于管道环焊缝的最少透照次数都没有简单、有效的确定方法,而直接参照射线胶片检测的最少透照次数来确定有很大的局限性。依据标准 SY/T 4109.5—2013,分别针对双壁单影透照法与中心内透照法,分析了影响最少透照次数的因素,并提出了确定最少透照次数的计算公式,以便于检测人员参考。

**关键词:**数字射线成像检测;管道环焊缝;最少透照次数

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2021)03-0032-03

## Determination of the minimum times of digital radiography needed for pipeline girth weld

LIU Changshan

(Sichuan DPRI Technology Co., Ltd., Mianyang 621000, China)

**Abstract:** There is no simple and effective method to determine the minimum times of digital radiography needed for pipeline girth weld. And the minimum times deduced by referencing to RT has great limitations directly. Based on SY/T 4109.5—2013, this paper analyzes the factors affecting the minimum times for DWSI and SWSI respectively, and proposes a calculation formula for NDT personnel.

**Key words:** digital radiography testing; pipeline girth weld; minimum times of exposure

国内现行的数字射线成像检测常用标准主要有 GB/T 3323.2—2019, NB/T 47013.11—2015, SY/T 4109.5—2013 等,选择管道环焊缝数字射线成像的最少透照次数时几乎都是参照胶片射线检测标准,但是直接引用会存在很大的局限性,主要是因为平板探测器呈刚性,无法像胶片一样紧贴焊缝,且出于对平板探测器安全的考虑,其需要与焊缝表面保持一定距离,这样存在的几何放大效应远远大于胶片检测的,因此必须要考虑进行搭接,以避免漏检的情况发生,此外平板探测器有效成像长度很有限,常用的大面积平板探测器有效成像长度约为 300 mm,这就进一步影响了透照次数。管道环焊缝射线检测的主要透照方式为双壁单影透照和中心内透照两

种,从理论或标准角度考虑,两种方式最少透照次数所涉及的控制指标主要有几何不清晰度、横向裂纹检出角、几何放大倍数比、平板探测器的有效成像长度以及 X 射线机辐射场范围等,笔者依据标准 SY/T 4109.5—2013 分别对两种透照方式影响透照次数的控制指标进行逐条分析。

### 1 双壁单影透照方式最少透照次数的计算

利用数字射线成像技术对环焊缝进行双壁单影透照的透照布置如图 1 所示。

图 1 中:  $L'_1$  为射线焦点到有效部位端点源侧表面连线的垂直距离;  $L'_2$  为有效部位端点源侧内表面到探测器接收面的垂直距离;  $\phi_0$  为管道外径;  $\phi_i$  为管道内径;  $d$  为射线机有效焦点尺寸;  $T$  为管道公称厚度;  $H$  为射线焦点到源侧管道外壁的最小距离;  $h$  为探测器侧管道外壁到探测器的最小距离;  $\alpha$  为最大一次长度对应的半圆角;  $\alpha'$  为有效评定长

收稿日期: 2020-08-03

作者简介: 刘长山(1991—),男,助理工程师,主要从事长输油气管道环焊缝数字射线成像检测工作

通信作者: 刘长山, changshanliu@126.com



4,  $N'_4=10$ , 因此最少透照次数为 10 次, 对应的  $\alpha=18^\circ$ , 有效评定长度  $L_{\text{eff}}=268.27 \text{ mm}$ , 每边的搭接长度  $\Delta L=18.37 \text{ mm}$ 。使用 SOLIDWORKS 软件进行构图验算, 当  $N=10$  时,  $\alpha=17.99^\circ$ ,  $k=1.02$ ,  $L'_1=1\,020.84 \text{ mm}$ ,  $L'_2=67.16 \text{ mm}$ , 有效评定长度  $L_{\text{eff}}=261.91 \text{ mm}$ , 每边的搭接长度  $\Delta L=21.54 \text{ mm}$ , 可见误差并不大, 且文章中计算的  $\Delta L$  比真实  $\Delta L$  小, 更加有利于缺陷的检出。

由  $N_1, N_2, N_3, N'_4$  可知, 按不同条件演算出的最少透照次数差距很大, 原因在于管径曲率的影响和探测器有效成像长度的限制。对于直径较大管道 ( $\phi_o \geq 508 \text{ mm}$ ; 常用厚度), 实际应用可以直接计算  $N_2, N'_4$ , 然后取最大值作为最少透照次数, 一般可以满足标准要求。

## 2 中心内透照方式最少透照次数的计算

利用平板探测器对环焊缝进行中心内透照的透照布置如图 2 所示。

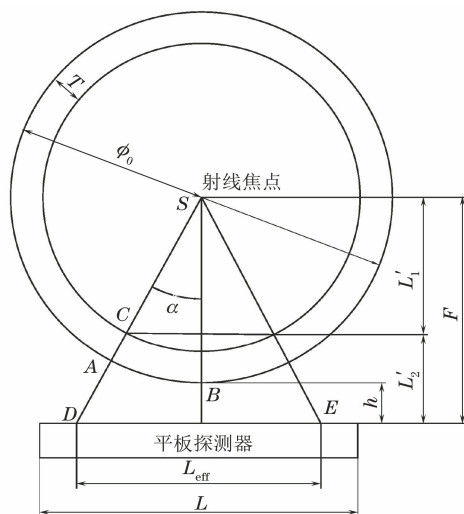


图 2 中心内透照布置示意

### 2.1 满足几何不清晰度的最少透照次数 $N_5$

图 2 中,  $CD \approx L'_2$ , 则

$$L'_2 \approx \frac{\phi_o/2 + h}{\cos \alpha} - \frac{\phi_i}{2} \quad (14)$$

$$L'_1 = F - L'_2 \quad (15)$$

根据标准 SY/T 4109.5-2013 有

$$L'_1 \geq 10d \cdot L'_2 \cdot T^{-1/3} \quad (16)$$

则满足几何不清晰度的最少透照次数

$$N_5 = \pi/\alpha \quad (17)$$

$CD$  为图中  $C$  点到  $D$  点的距离。

### 2.2 满足几何不清晰度的最少透照次数 $N_6$

计算原理与上节相同, 则有

$$M_{\max} = F/L'_1 \quad (18)$$

$$M_{\min} = \frac{F}{\phi_o/2} \quad (19)$$

$$M_{\max}/M_{\min} \leq 1.25 \quad (20)$$

$$N_6 = \pi/\alpha \quad (21)$$

### 2.3 满足探测器有效成像长度的最少透照次数 $N_7$

计算原理与上节相同, 则有

$$\tan \alpha = \frac{(L - 2 \cdot \Delta L)/2}{\phi_o/2 + h} \quad (22)$$

$$N_7 = \pi/\alpha \quad (23)$$

### 2.4 小结

综上,  $N_5, N_6, N_7$  向上取最小整数值, 然后选择 3 个数值中的最大值作为中心内透照最终的最少透照次数  $N$ , 并可求得半圆心角  $\alpha = \pi/N$  及一次透照长度  $L_3 = \pi \cdot \phi_o/N$ 。然后根据几何关系求出  $L_{\text{eff}}$ , 即

$$L_{\text{eff}} = F \cdot \phi_i \cdot \sin \alpha / L'_1 \quad (24)$$

现以中心内透照  $\phi \, 1\,422 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  (外径  $\times$  壁厚) 管道环焊缝为例计算平板探测器满足 SY/T 4109.5-2013 标准的最少透照次数及有效评定长度。对于典型的管道环焊缝中心内透照数字射线自动检测系统,  $d$  为  $3 \text{ mm}$ ,  $h$  为  $25 \text{ mm}$ ,  $L$  为  $305 \text{ mm}$ 。

根据 2.1~2.3 节分别求得  $N_5=16$ ,  $N_6=6$ ,  $N_7=17$ , 因此最少透照次数取 17, 对应的  $\alpha=10.59^\circ$ , 有效评定长度  $L_{\text{eff}}=275.60 \text{ mm}$ , 每边的搭接长度  $\Delta L=14.70 \text{ mm}$ 。同样使用 SOLIDWORKS 软件进行构图验算, 当  $N=17$  时,  $\alpha=10.58^\circ$ ,  $L'_1=674.33 \text{ mm}$ ,  $L'_2=61.67 \text{ mm}$ , 有效评定长度  $L_{\text{eff}}=275.02 \text{ mm}$ , 每边的搭接长度  $\Delta L=14.99 \text{ mm}$ , 可见误差并不大。

## 3 结语

标准 SY/T 4109-2013 附录 G 中确定最少透照次数的公式综合考虑了几何不清晰度和探测器固有模糊度, 但是由于涉及隐函数较多, 求解很复杂, 此外图像不清晰度 (分辨率) 可以使用补偿原则进行补偿, 也可以使用双线性像质计直接测定, 因此并未考虑此方法。笔者所用方法借助 EXCEL 软件或者数学软件构建关系, 可以方便、快捷地确定管道环焊缝的最少透照次数, 比直接参照射线胶片照相检测相关标准来确定最少透照次数更加严谨, 可为从事环焊缝数字射线成像检测的人员提供参考。

### 参考文献:

- [1] 强天鹏. 射线检测[M]. 北京: 中国劳动保障出版社, 2007.