

# 提高螺旋焊管超声波检测准确率的方法探讨

寇东英,李智明

(天津市特种设备监督检验技术研究院,天津 300192)

**摘要:**针对压力管道元件(螺旋焊管)制造单位存在超声波检测时缺陷检出率较低,导致生产的螺旋焊管质量不满足制造标准要求但却出厂的问题,通过对探头K值的研究,确定进行缺陷准确定位的探头选取原则以及对发现的缺陷进行定位的方法,为产品检验及监检人员审查螺旋焊管超声波检测报告的准确性和真实性提供了依据,减少了不合格产品出厂的几率。

**关键词:**超声波检测;螺旋焊管;检出率

中图分类号: TG115.28

文献标志码:B

文章编号:1000-6656(2011)10-0079-03

## Discussion on the Methods of Raising the Ultrasonic Testing Accuracy of the Spiral Welded Pipe

KOU Dong-Ying, LI Zhi-Ming

(Tianjin Special Equipment Inspection Institute, Tianjin 300192, China)

**Abstract:** It is a great problem for many pressure piping components(spiral pipe) manufacturers that the quality of the spiral welded pipes does not conform to the manufacturing standards resulted by the low detection rate during the ultrasonic flaw detection. In order to solve this problem, the selection principle of the probe and the accurate localization methods were given through analyzing the K-value of the probe in this study. And it provided a basis for the inspectors and supervisors reviewing the ultrasonic test reports of the spiral welded pipes to reduce the unqualified rate.

**Keywords:** Ultrasonic testing; Spiral welded pipe; Detection rate

螺旋焊管作为压力管道元件,属压力管道元件制造行政许可范畴。笔者在对螺旋焊管生产厂家进行行政许可鉴定评审以及产品制造质量检验中发现:某些制造厂在对产品进行超声波检测时,定位探头选取不正确,使得有缺陷的产品被漏检,给日后螺旋焊管的使用单位留下安全隐患。

笔者接触的螺旋焊管制造厂家采用的技术标准有GB/T 9711.1—1997《石油天然气工业输送钢管交货技术条件》第一部分: A 级钢管; GB/T 9711.2—1999《石油天然气工业输送钢管交货技术条件》第二部分: B 级钢管; SY/T 5037—2000《低压流体输送管道用螺旋缝埋弧焊钢管》。三个标准中都对无损检测提出了要求,提出当采用超声波检测

时应符合 SY/T 6423.3《石油天然气工业承压钢管无损检测方法 埋弧焊钢管焊缝纵向和/或横向缺陷的超声波检测》标准的要求。SY/T 6423.3 标准只对超声波检测螺旋焊管焊缝使用的对比试块提出了要求,规定了检测纵向和横向缺陷时,刻槽及打孔的形状和位置、并对不同钢管等级的刻槽尺寸及合格信号的幅度进行了规定,未对超声波检测所采用的横波探头 K 值、前沿和频率等提出要求<sup>[1]</sup>。

螺旋焊管的焊缝沿钢管外圆呈螺旋状分布,探头在有曲率的钢管表面移动,其缺陷的定位不同于平板焊缝。钢管的规格(钢管直径和厚度)不同,钢管的曲率就不同。因此,要求使用探头的参数也不同。这些因素都是影响缺陷的检出率、定位及精度的重要因素。在螺旋焊管制造监检审查超声波报告中发现,厂方的检测人员均按照平板焊缝的检测工艺,采用  $K=2.5$ ,频率  $2.5\text{ MHz}$ ,前沿  $L_0 \geq 10\text{ mm}$  的探头对螺旋焊缝进行检测并进行缺陷的定位,这

收稿日期:2011-03-14

作者简介:寇东英(1960—),女,大学本科,高级工程师,主要从事特种设备检验、特种设备行政许可鉴定评审。

样必然会造成缺陷的漏检。因此,螺旋焊管的超声波检测工艺应按照被检验螺旋焊管的规格进行制定,以确定合适的  $K$  值、 $L_0$  及对缺陷进行准确的定位。

## 1 确定 $K$ 值

在螺旋焊管的超声波探测中,对于不同的探头参数,其缺陷定位与平板焊缝检测时的定位是不同的。缺陷深度和水平位置都存在偏差,钢管曲率越大、探头  $K$  值越大,其偏差越大。下面对外圆周向探测圆柱面时缺陷的定位问题进行讨论。

如图 1 所示,从外圆周向探测圆柱面时,缺陷的定位由深度  $H$  和弧长  $L$  来确定,显然  $H, L$  与平板工件中缺陷的深度  $d$  和水平距离  $l$  有较大的差别。

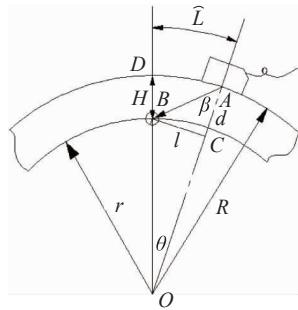


图 1 外圆周向探测圆柱面的缺陷定位图

图中  $AC=d, BC=dtg\beta=kd=l, AO=R, CO=R-d, \tan\theta=\frac{BC}{OC}=\frac{Kd}{R-d}$ 。从而得出:

$$H = OD - OB = R - \sqrt{(Kd)^2 + (R-d)^2} \quad (1)$$

$$L = \frac{R\pi\theta}{180} \tan^{-1} \frac{Kd}{R-d} \quad (2)$$

由于  $\phi 219 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  的螺旋焊管的曲率最大,探测条件最为苛刻,下面就以其为例进行讨论。

当  $K=1.0$  时:

$$L = \frac{R\pi\theta}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{Kd}{R-d} = \frac{109.5 \times 3.14}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{1 \times 6}{109.5 - 6} = 6.34 \text{ mm}$$

当  $K=2.0$  时:

$$L = \frac{R\pi\theta}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{Kd}{R-d} = \frac{109.5 \times 3.14}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{2 \times 6}{109.5 - 6} = 12.63 \text{ mm}$$

由于螺旋焊管的焊缝宽度  $b$  随钢管厚度  $\delta$  的变化有所不同,通常为  $10 \sim 20 \text{ mm}$  左右,  $\phi 219 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$  螺旋焊管的焊缝宽度为  $10 \sim 12 \text{ mm}$  左右。目

前由于制作工艺的限制,探头前沿  $L_0$  一般最小为  $5 \sim 6 \text{ mm}$ ,要使探头的直射波能入射到钢管的内表面焊缝中,  $L_{\min} = L_0 + b/2 = 6 + 6 = 12 \text{ mm}$ ,  $L_{\min} > L$ ,因此探头  $K$  值必须大于 2。

## 2 定位偏差

### 2.1 直射波探测焊缝根部缺陷时

此时  $H=\delta$ , 荧光屏上显示的焊缝缺陷深度  $d$  由式(1)可得:

$$(K+1)d^2 - 2Rd + 2RH + H^2 = 0 \quad (3)$$

根据二元一次方程求根公式得:

$$X = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

式中  $a=K+1, b=-2R, c=2RH+H^2$ , 代入式(3)取负号得:

$$d = \frac{2R \pm \sqrt{(-2R)^2 - 4(K+1)(2RH+H^2)}}{2(K+1)}$$

当  $K=2.0$  时:

$$d = \frac{219 - \sqrt{219^2 - 4 \times (2+1) \times (219 \times 6 + 6^2)}}{2 \times (2+1)} = 6.8 \text{ mm}$$

荧光屏显示值  $L=Kd=2 \times 6.8=13.6$ , 实际上:

$$L = \frac{R\pi}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{Kd}{R-d} = \frac{109.5 \times 3.14}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{2 \times 6.8}{109.5 - 6.8} = 14.4 \text{ mm}$$

当  $K=2.5$  时:

$$d = \frac{219 - \sqrt{219^2 - 4 \times (2.5+1) \times (219 \times 6 + 6^2)}}{2 \times (2.5+1)} = 8.1 \text{ mm}$$

荧光屏显示值  $L=Kd=2.5 \times 8.1=20.25 \text{ mm}$ , 实际上:

$$L = \frac{R\pi}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{Kd}{R-d} = \frac{109.5 \times 3.14}{180} \cdot \tan^{-1} \frac{2 \times 8.1}{109.5 - 8.1} = 21.6 \text{ mm}$$

### 2.2 一次波检测螺旋焊缝时

此时,  $H=2\delta=12 \text{ mm}$ , 根据式(1)和(2)得:  $K=2.0$  时,  $d=16.3 \text{ mm}$ , 弧长  $L=36.82 \text{ mm}$ ;  $K=2.5$  时,  $d=17.62 \text{ mm}$ , 弧长  $L=48.93 \text{ mm}$ 。

从上面的计算中可以看出,当采用  $K=2.0$  的探头探测螺旋焊缝的根部缺陷时,仪器荧光屏上显示的缺陷深度直射波和一次波应在  $6.8$  和  $16.3 \text{ mm}$  处,探头距缺陷的水平距离应在  $14.4$  和  $36.82 \text{ mm}$  处;而此时平板焊缝缺陷的深度直射波和一次波应

在 6 和 12 mm 处,水平距离在 12 和 24 mm 处。当采用  $K=2.5$  探头探测螺旋焊缝的根部缺陷时,仪器荧光屏上显示的缺陷深度直射波和一次波应在 8.1 和 17.62 mm 处,探头距缺陷的水平距离直射波和一次波应在 21.6 和 48.93 mm 处,而此时平板焊缝缺陷的深度应在 6 和 12 mm 处,水平距离在 15 和 30 mm 处。显然探头  $K$  值越大,缺陷位置偏差也越大。

### 3 直射波检测的最大壁厚 $H$

根据式(1), $d=6$  mm 时,当  $K=2.0$  时, $H=109.5-\sqrt{(2.5\times6)^2+(109.5-6)^2}=5.31$  mm;当  $K=2.5$  时, $H=109.5-\sqrt{(2.5\times6)^2+(109.5-6)^2}=4.92$  mm。

从上面的计算中看出,不论采用  $K=2.0$  还是  $K=2.5$  的探头,对于 6 mm 厚的焊缝截面,直射波只能扫查焊缝截面的 11.5% 和 18% (图 2)。为了使超声波束扫查到整个焊缝截面,必须同时采用一次波检查。

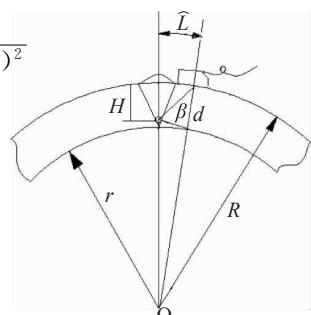


图 2 6 mm 厚焊缝截面  
的缺陷定位图

### 4 结论

经过以上讨论得出探头  $K$  值越大,缺陷的定位偏差越大。因此在满足探头前沿和扫查整个焊缝截面的前提下, $K$  值越小越好。对于管径  $\phi 219$  mm  $\times$

6 mm 的螺旋焊管超声波检测,应选用  $K=2.0$ 、前沿  $L_0 \leq 6$  mm 的探头。由于螺旋焊管是内外焊,非单面焊,不存在端角反射的问题,选用  $K=2.0$  的探头不会产生漏检。

目前制造单位生产的螺旋焊管的规格,管径从  $\phi 219 \sim 1620$  mm、厚度从 6~13 mm 不等。依据式(1)和(2)可以得出不同规格的螺旋焊管超声波检测时应采用的探头  $K$  值、探头前沿的最小值以及直射波检测时的最大壁厚如表 1。

表 1 不同规格螺旋焊管的超声波检测工艺参数

| 厚度 $T$ /mm | $K$ 值 | $L_0$ /mm              | 频率/MHz |
|------------|-------|------------------------|--------|
| $T < 8$    | 2.0   | $\leq 6$               | 5      |
| $T \geq 8$ | 1.5   | $\leq L - \frac{b}{2}$ | 5      |

综上所述,为了对缺陷进行精确定位,螺旋焊管的超声波检测对于不同的钢管规格应依据表 1 选取探头参数,并通过式(1)和(2)分别计算直射波和一次波扫查焊缝截面时仪器荧光屏上缺陷的深度  $d_{\text{直射波}}$ 、 $d_{\text{一次波}}$  和水平弧长  $L_{\text{直射波}}$ 、 $L_{\text{一次波}}$  并在仪器荧光屏上做出标记,据此判定该区域的反射波是否为缺陷波,并通过式(1)和(2)确定缺陷的深度  $H$  和焊缝中的水平位置,实现对螺旋焊管超声波检测的精确定位。

### 参考文献:

- [1] 全国锅炉压力容器无损检测人员资格考核委员会. 超声波探伤 [M]. 北京: 中国锅炉压力容器安全杂志社, 1995.

## 欢迎订阅 2012 年度《压力容器》杂志(月刊)

《压力容器》杂志是经国家新闻出版署批准出版的中央级技术刊物,由中国科学技术协会主管、中国机械工程学会压力容器分会主办、合肥通用机械研究院承办,国内外公开发行,国内统一刊号:CN 34-1058/TH,国际连续出版物编号:ISSN 1001-4837 号。月刊,大 16 开本,每期定价 8.00 元,全年定价 96.00 元(含邮寄费)。国外发行:中国国际图书贸易总公司(北京 399 信箱),国外发行代号:1529BM。邮局征订代号 26-10,请到当地邮局订阅。

《压力容器》杂志是中国压力容器学会会刊,自 1984 年创刊以来,一直坚持学术性与实用性相结合的办刊方针,是压力容器行业的权威杂志之一。《压力容器》杂志被评定为“中文核心期刊”,编入《中国核心期刊要目总览》(第五版);被科技部“中国科技论文统计源”期刊数据库确定为“中国科技核心期刊”等。杂志已加入了国内所有知名期刊数据库。

《压力容器》杂志主要报道超高压、高压、中低压压力容器和气瓶、换热器、塔器等壳体、大型高压管道、通用机械(如压缩机、制冷机等)承压辅助设备等的试验研究、结构设计、材料工程、制造技术、焊接技术、无损检测技术、技术综述、标准规范、安全分析、使用管理以及国内外压力容器研究技术进展、压力容器行业信息等内容。

为方便广大读者了解《压力容器》杂志情况,欢迎您免费索取近期杂志。读者如错过邮局征订期,可向压力容器杂志社索取 2012 年杂志订单。

通信地址:安徽省合肥市高新区天湖路 29 号,邮编:230088

联系电话:0551-5335515,5335456;传真:0551-5335453

电子邮箱: pvt@chinapvt.com; 网址: http://www.chinapvt.com.