

大壁厚螺旋焊钢管的无损检测技术

郑 华

(中国石油天然气管道局钢管厂, 辽阳 111000)

Nondestructive Testing Technique for Thick Spirally Welded Pipe

ZHENG Hua

(Steel Pipe Factory of Pipeline Bureau, CNPC, Liaoyang 111000, China)

中图分类号: TG115.28

文献标识码: B

文章编号: 1000-6656(2008)03-0186-02

管线的发展已达几十年。管线钢管的壁厚从初期的 6~7 mm 发展为今天的 20 mm 左右。如西气东输采用钢管尺寸为 $\phi 1\ 016\ \text{mm} \times 14.6\ \text{mm}$, 陕京二线为 $\phi 1\ 016\ \text{mm} \times 17.5\ \text{mm}$, 西气东输二线为 $\phi 1\ 219\ \text{mm} \times 18.4\ \text{mm}$ 。以往由于 X 射线工业电视的检查比较直观, 所以各制管厂在在线检测时比较重视 X 射线工业电视, 而往往忽视超声波的检验。随着钢管壁厚的增加, 笔者提出应结合大壁厚螺旋焊钢管的超声波检验, 即板材分层采用双晶直探头超声波探伤, 焊缝采用斜探头超声波探伤、X 射线工业电视动态检查、X 射线图像处理或 X 射线拍片检查。

1 螺旋焊管的生产工艺及焊接缺陷

螺旋焊管的生产工艺为原材料→开卷→校平→带钢剪头尾→带钢对接焊→校平→剪边→铣边→成型→内外自动焊。其主要的焊接缺陷在螺旋焊缝的内部, 主要有气孔、未焊透、未融合、夹杂和裂纹等。

2 超声波探伤

2.1 超声横波探伤 K 值的确定

如图 1 所示, 当用横波进行探伤时, 对应于每一个确定的 K 值探头, 都有一个对应的最大探测厚度 T_m , 即当波束轴线与钢管内壁相切的壁厚。当工件厚度 $> T_m$ 时, 波束轴线将扫查不到内壁。不同 K

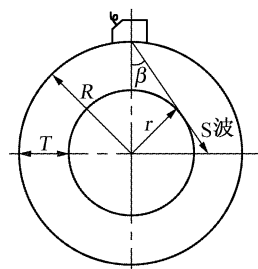


图 1 K 值的确定示意图

值探头最大探测厚度 T_m 与工件外径 D 的关系为:

$$\frac{T_m}{D} \leq \frac{1 - \sin\beta}{2} = \frac{1 - K \sqrt{1 + K^2}}{2}$$

由上式算出不同 K 值探头对应的 T_m/D 见表 1。

表 1 不同 K 值对应的 T_m/D 值

K	$\beta/(\circ)$	r/R	T_m/D
0.65	33.2	0.547 6	0.226 2
0.70	35.0	0.573 6	0.212 3
0.8	38.7	0.625 2	0.187 4
1.0	45	0.707 1	0.146 5
1.5	56.3	0.832 0	0.084 0
2.0	63.4	0.894 2	0.052 9
2.5	68.2	0.928 5	0.035 8
3.0	71.5	0.948 7	0.025 6
3.5	74	0.961 3	0.019 4

由表 1 可知, 探头的 K 值越小, 可探测的最大壁厚越大, K 值越大, 可探测的最大壁厚越小。K 值最小时, 对应的可探测的壁厚最大。从理论上讲,

收稿日期: 2007-10-23

作者简介: 郑 华(1970—), 男, 本科, 从事无损检测的技术管理工作。

$\beta=33.2^\circ, K=0.65$ 时,可探测的壁厚最大为 $T_m/D=0.2262, r/R=0.5476$ 。但由于此时的横波声压往复透射率低,容易漏检,因此,实际探伤中 K 值往往选得大一些。我国一般的焊缝超声波探伤标准都规定 K 值最小为 1.0。当 $K=1.0$ 时,可探测的最大 $T_m/D=0.1465, r/R=0.7071$ 。但由于随着 r/R 接近临界值,将会产生表面波,所以在进行大壁厚钢管探伤时,应尽量不选用 $K=1.0$ 的探头。

2.2 探伤比例的调节

横波探伤时,缺陷位置可由折射角 β 和声程 x 确定,也可由缺陷的水平距离 L 和深度 d 来确定(图 2)。

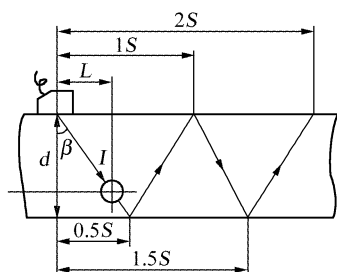


图 2 横波探伤缺陷位置的确定

2.2.1 水平调节法

水平调节法是指示波屏上水平刻度值 t 与反射体的水平距离 L 成比例,这时示波屏水平刻度值直接显示反射体的水平投影距离,多用于薄板工件焊缝横波探伤。使用 CSK-I A 试块调节,先计算 R_{50} 和 R_{100} 对应的水平距离 L_1 和 L_2 ,得:

$$L_1 = \frac{KR_{50}}{\sqrt{1+K^2}}$$

$$L_2 = \frac{KR_{100}}{\sqrt{1+K^2}}$$

然后将探头对准 R_{50} 和 R_{100} ,调节仪器使底波 B_1 和 B_2 分别对准水平刻度 L_1 和 L_2 。当 $K=1.0$ 时, $L_1=35\text{ mm}$, $L_2=70\text{ mm}$ 。若使 B_1 对应 35, B_2 对应 70,则水平距离扫描速度为 1:1。

2.2.2 深度调节法

深度调节法是指示波屏上水平刻度值 t 与反射体深度 d 成比例,这时示波屏上水平刻度值直接显示深度距离,常用于较厚工件焊缝的横波探伤。使用 CSK-I A 试块调节,先计算 R_{50} 和 R_{100} 圆弧反射波 B_1 和 B_2 对应的深度 d_1 和 d_2 ,得:

$$d_1 = \frac{R_{50}}{\sqrt{1+K^2}}$$

$$d_2 = \frac{R_{100}}{\sqrt{1+K^2}} = 2d_1$$

然后调节仪器使 B_1 和 B_2 分别对准水平刻度值 d_1 和 d_2 。当 $K=2.0$ 时, $d_1=22.4\text{ mm}$, $d_2=44.8\text{ mm}$ 。调节仪器使 B_1 和 B_2 分别对准水平刻度 22.4 和 44.8,则深度 1:1 就调好了。

大壁厚钢管焊缝的横波超声探伤应注意:

(1) 选择探头时,考虑壁厚的增加,以及为能更好地发现致命的缺陷(如未焊透、裂纹等),应优选大晶片尺寸的探头。

(2) 选择探头 K 值时,厚壁探伤一般应优选小的 K 值。

(3) 为了使声束能扫查到整个焊缝的截面,在手动锯齿形扫查时,探头的移动距离应 $>2KT+50\text{ mm}$ 。自动探伤的多探头布置应保证扫查到整个焊缝截面。

(4) 扫描速度的调节,薄壁管通常以 CSK-I A 进行水平比例调节;对于厚壁钢管最好辅以深度调节,以确定缺陷的位置,便于进行补焊。

3 射线探伤

3.1 系统结构

X 射线探伤系统主要由三个部分组成:信号转换部分、图像处理部分及缺陷位置的获取与传输部分。信号转换部分由 X 射线源、螺旋钢管、传送车、图像增强器以及 CCD 摄像机组成。在螺旋钢管内部的 X 射线源发出的 X 射线穿透螺旋钢管及焊缝区域后,被图像增强器接收,图像增强器将不可见的 X 射线转换为可见光,CCD 摄像机再将光信号转换为电信号,完成光电转换,并将电信号送入图像处理部分。如果在焊缝区域中存在气孔、夹杂和未焊透等缺陷时,在监视器上显示的探伤图像上就会形成一个亮点或一条亮线,图像处理部分也正是利用这个特点来检测每一幅探伤图像中是否存在缺陷。

3.2 射线检测灵敏度

射线检测灵敏度分为绝对灵敏度和相对灵敏度。发现沿穿透方向上的最小缺陷的尺寸称之为绝对灵敏度;最小缺陷尺寸与透照厚度的百分比称之为相对灵敏度。制管厂的射线检验大多使用 X 射线工业电视进行,标准规定该方法的动态灵敏度不低于 4%,即在钢管的动态检测过程中沿穿透方向上可识别金属丝的最小线径 $D_{\min}$ 与透照厚度 T_A 的比值不能大于 4%,此时的灵敏度为相对灵敏度。

(下转第 189 页)

力最大,且受力逐级减小。裂纹萌生后沿截面 45°扩展,最后平行于端面断裂,故叶根的断裂是检测的重点(图 2)。由于裂纹萌生阶段及扩展阶段方向的差异,需作与端面平行和斜平行扫查。另外经分析可知,选择叶根的内弧面进行扫查较为合适。

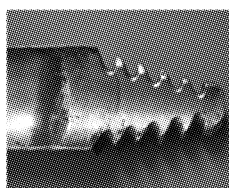


图 2 枞树型叶根裂纹

3.2 扫描速度的调节

表面横波扫描速度调整方法与普通探头不同,但与表面波相似。调节方法如下:

(1) 将横波探头置于图 3 的台阶型试块上,前沿距台阶 20 mm。利用深度水平旋钮,将回波调至 20 mm 和 40 mm 位置上,即完成水平刻度调节。此时零点即探头前沿。

(2) 使探头前沿与棱边成一定距离(例如 20 mm),不调“扫描速度”,只调“水平(或延迟)”旋钮,使一次波等于这一距离(如 20 mm),则扫描速度调节完成。

3.3 检测灵敏度的确定

参照表面波,以端面回波调节探伤灵敏度。也可使用图 3 所示的试块调节探伤灵敏度。

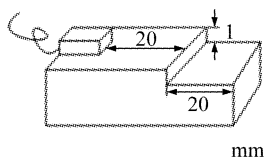


图 3 横波调节试块

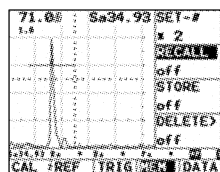


图 4 叶根裂纹波形图

3.4 波型分析及判定

以内弧面为例,当探头沿叶身中心线向前移动时,会出现叶根端部回波,其位置为探头前沿至端面的直线距离。当晶片长度较大时,由于扩散角关系可能发现较大裂纹的回波信号。与 2 mm 人工切口的基准波高相比,若回波声程与裂纹声程相近,波幅高于探伤灵敏度且长度 > 5 mm,可判定为裂纹的回波信号。图 4 为某电厂叶根检出的裂纹波形图。

4 结语

SH 波很好地解决了枞树型叶根的检测问题,但使用时应注意:

(1) 由于使用横波专用耦合剂,探伤时发现可疑信号要随时在试块上进行对比。耦合剂涂抹时间、环境温度对回波幅度影响大,应引起特别注意。

(2) 裂纹开裂平面平行于探伤平面灵敏度高,垂直于探伤平面灵敏度低,故要合理选择探伤面。

(3) 耦合剂粘度大,扫查时一般不要前后移动。

(4) 横波对表面开口深度 < 0.5 mm 的圆形缺陷不敏感。

表面横波探头研制成本较高,需作进一步的试验工作,以更好地推广使用。

参考文献:

- [1] 宋绍河. 汽轮机叶根探伤研究[J]. 甘肃电力, 1994, (2): 43—45.
- [2] DL/T 714—2000 汽轮机叶片超声波检验技术导则[S].
- [3] 李明. SH 波应用性及相关研究[C]. 电力系统第九届无损检测年会论文集. 苏州: 2003.

(上接第 187 页)

灵敏度的校验采用金属丝像质计,计算公式如下:

$$\text{灵敏度} = \frac{D_{\min}}{T_A}$$

根据上述计算公式不难看出,在灵敏度不变的情况下,随壁厚的增加可识别的金属丝的最小线径也增加,也可以说沿穿透方向上的最小缺陷的尺寸增大。在美国石油学会标准 API SPEC 5L 和各管线的补充技术规定中,对于射线的验收标准不随壁厚的变化而改变。因此,制管厂在进行 X 射线工业电视的检查过程中,一定要注意到厚壁管和薄壁管的焊缝检验存在绝对灵敏度的差异。

4 结论

由超声波探伤和射线探伤的基本原理可知,超声波探伤易发现面状缺陷,如未焊透、未融合和裂纹等。射线探伤易发现体积形缺陷,如夹杂和气孔等。从检测缺陷的性质上看,超声波发现的缺陷大多为致命的缺陷。由于壁厚的增加,相对薄壁钢管的检测, X 射线工业电视检测未焊透、未融合和裂纹等缺陷的灵敏度下降。

制管厂在进行厚壁钢管检测时需要注意,应提高对超声波探伤重要性的认识,绝不能因为 X 射线工业电视的检查直观而忽视超声波探伤,两种探伤方法具有良好的互补性。