

# 电厂厚壁承压管道对接焊缝缺陷的超声波检测

孙常明<sup>1</sup> 王立新<sup>1</sup> 鲁玉龙<sup>2</sup> 刘春宇<sup>1</sup>

(1. 内蒙古电力科学研究所, 内蒙古呼和浩特 010020;  
2. 内蒙古达拉特发电厂, 内蒙古达拉特 014300)

**摘要:** 使用 2.5P13 × 13K 2.5 和 2.5P13 × 13K 1.5 两种探头对某电厂厚壁承压管道对接焊缝中的体积型缺陷进行了超声波检验, 结果表明: 两种探头直射法和一次反射法均能探测到该缺陷, 对所测得的数据经过理论计算的结果与示波屏显示的缺陷位置基本一致。通过对缺陷进行机械打磨, 验证了探测结果的正确性。

**关键词:** 超声波检测; 承压管道; 焊缝缺陷

**中图分类号:** TG 115.28 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-4423(2010)05-12-03

## 1 引言

某火力发电厂再热热段蒸汽管道的设计压力为 4.95 MPa, 介质为 547℃ 的蒸汽, 管道材质和规格分别为 10CrMo910 和  $\text{Ø}516 \times 30\text{mm}$ 。管道对接焊缝的焊接坡口为 U 型, 焊接工艺为手工 TIG 焊打底、SMAW 焊盖面。2009 年 3 月机组检修时使用超声波方法对再热热段蒸汽管道对接焊缝进行 100% 的探伤检验, 执行标准为 DL/T 820-2002《管道焊接接头超声波检验技术规程》, 合格级别为 I 级。

## 2 检验过程

本检验采用 A 型脉冲反射式超声波探伤法, 超声波仪器选用德国 KK-USM 35 型号, 耦合采用超声波专用耦合剂, 探头选用 2.5P13 × 13, K 2.5 和 K 1.5, 前沿为 13.5mm。制作 DAC 曲线使用 RB-I 对比试块, 探伤灵敏度为  $\text{Ø} \times 40-1\text{dB}$ 。探伤前对所测焊缝两边各机械打磨 200mm, 直至露出金属光泽, 在对焊缝进行超声波检验时, 发现在深约 15mm 出现了缺陷回波信号, 一次底波波幅高度已达 III 区, 缺陷水平位置在焊缝右侧熔合线靠里侧约

5mm(具体位置见图 1)。使用半波法对此缺陷进行了定量, 缺陷长约 70mm。根据 DL/T 820-2002 标准, 此缺陷属于超标缺陷, 必须进行挖补处理。

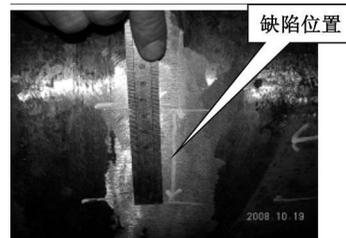


图 1 缺陷的位置

为了进一步核实缺陷的位置和当量, 检验过程中使用不同 K 值的探头对缺陷分别进行探测、定量及定性, 具体检验数据和缺陷回波信号见表 1 和图 2。

表 1 检验数据

探头型号	底波	Ra(mm)	Da(mm)	DAC 区域
K 2.5	一次波	27.51	16.76	III
	二次波	97.04	44.86	III
K 1	一次波	12.89	16.93	II
	二次波	55.54	45.37	II

注: Da- 屏幕显示的探头距缺陷的垂直深度

Ra- 屏幕显示的探头前沿距离缺陷的水平距离

反射式超声波探伤仪, 单直纵波检测, 工作频率 2.5 MHz。在判伤灵敏度下( $\text{Ø}$  平底孔, 反射波高为满刻度的 80%), 可以检测出圆盘内部疏松, 并且

可以将疏松分成严重、中等程度及轻微三个等级。使用本文所制定超声波检测质量验收标准能够满足设计图样要求及实际使用要求。



(a) K2.5 探头, 直射波法 (b) K1 探头, 直射波法



(c) K2.5 探头, 一次反射波法 (d) K1 探头, 一次反射波法

图 2 缺陷回波信号图

### 3 缺陷回波深度与水平距离的定量分析

为使计算方便, 绘制示意图如图 3~ 图 4。

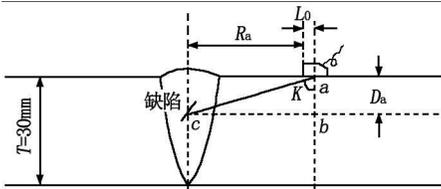


图 3 直射波示意图

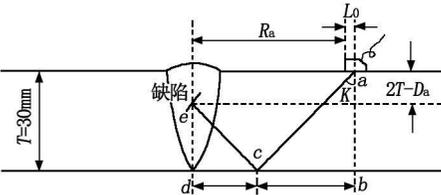


图 4 一次反射波示意图

#### 3.1 K 2.5 探头检测的定量分析

定量分析时符号含义如下:

$H$  — 缺陷的深度;

$L$  — 探头中心距缺陷位置处的水平距离;

$L_0$  — 探头前沿;

$L_1$  — 通过计算得出的探头前沿距离缺陷的水平距离。

(1) 当使用  $K 2.5$  探头进行直射波法检测时, 通过观看回波信号, 结合直射波示意图 3 可以得出:

$$H = D_a = 16.76 \text{ mm}$$

$$L = bc = K \cdot ab = 2.5 \times 16.76 = 41.9 \text{ mm}$$

$L_1 = L - L_0 = 41.9 - 13.5 = 28.4$ , 与超声探伤仪屏幕显示的数据  $R_a = 27.51$  相差  $0.89 \text{ mm}$ , 计算结果与仪器屏幕显示的  $R_a$  值基本相吻合。

(2) 当使用  $K 2.5$  探头进行一次反射波法检测时, 通过观看回波信号, 结合一次反射波示意图 4 可以得出:

$$H = 2T - D_a = 60 - 44.86 = 15.14 \text{ mm}$$

$$L = bc + cd = K \cdot (ab + ed) = 2.5 \times 44.86 = 112.15 \text{ mm}$$

$L_1 = L - L_0 = 112.15 - 13.5 = 98.65$ , 与超声探伤仪屏幕显示的数据  $R_a = 97.04$  相差  $1.61 \text{ mm}$ , 计算结果与仪器屏幕显示的  $R_a$  值基本相吻合。

#### 3.2 K 1.5 探头时检测的定量分析

同理, 根据超声波检测仪屏幕显示的数据, 结合直射波示意图 3 可以得出:

$$H = 16.93 \text{ mm}$$

$$L = 25.40 \text{ mm}$$

$L_1 = 11.9$ , 与超声探伤仪屏幕显示的数据  $R_a = 12.89$  相差  $0.99 \text{ mm}$ , 计算结果与仪器屏幕显示的  $R_a$  值基本相吻合。

结合一次反射波示意图 4 可以得出:

$$H = 16.43 \text{ mm}$$

$$L = 66.56 \text{ mm}$$

$L_1 = 53.06$ , 与超声探伤仪屏幕显示的数据  $R_a = 55.54$  相差  $1.48 \text{ mm}$ , 计算结果与仪器屏幕显示的  $R_a$  值基本吻合。

通过对比直射波法、一次反射波法的探测结果, 可以看出两次底波确定的缺陷位置是否一致, 首先比较缺陷的深度位置, 当使用  $K 2.5$  斜探头进行直射波法与一次反射波法探伤时, 前后屏幕显示的深度相差约  $1.62 \text{ mm}$ ; 当使用  $K 1.5$  斜探头进行直射波法与一次反射波法探伤时, 前后屏幕显示的深度相差约  $0.6 \text{ mm}$ , 可以看出使用两种不同  $K$  值的探头探测时, 两次屏幕显示的缺陷深度均有误差。这是由缺陷自身高度所致, 当进行探测时, 直射波探测的是缺陷的上表面, 一次反射波探测的是缺陷的下表面, 因此超声波屏幕两次显示深度有一定的误差, 其次再从探头前沿至缺陷的水平距离来比较, 现场使用刻度尺对计算结果进行了测量, 发现探头前沿距缺陷的水平距离基本吻合。

总之, 对缺陷进行直射法、一次反射波法探测都能发现该缺陷, 且通过超声仪器屏幕显示的数值进

行计算结果来看,该缺陷定量分析与显示的深度和水平位置基本相符。

#### 4 缺陷定性分析

依据超声波检测经验对上述回波特征进行分析,该缺陷回波出现在底波与始波信号之间,属于焊缝层间缺陷,而层间缺陷主要有体积型缺陷(气孔、夹渣)和平面型缺陷(未熔合、裂纹)两种形式。

平面型缺陷:虽然管道的材质 10CrMo910 有冷裂纹倾向,但是通过查阅施工纪录资料,该焊缝的焊接工艺、热处理工艺和热处理曲线均合格,且缺陷回波特征与裂纹缺陷回波特征区别明显,因此排除了产生裂纹的可能;探测坡口未熔合时,从焊缝两侧探测,反射波幅不同,而且大多数未熔合,直射波只能从单一侧探到,一次反射波从另一侧探到,而该缺陷均是从单侧探到的,与未熔合的回波信号不相符。且未熔合缺陷对斜探头较敏感,当超声波垂直入射到其表面时,回波高度大,探头横向移动时,波形较稳定。而直探头很容易探到层间未熔合,当超声波垂直入射到其表面时,回波很强,底波明显降低,甚至消失。磨平焊缝余高使用直探头探测时,未发现缺陷回波,因此也排除了坡口未熔合。

体积型缺陷:由于体积型缺陷面较大,且缺陷自身有一定的高度,超声波检测很容易探到,气孔回波高度一般较高,气孔波形尖锐,较稳定,斜探头环绕移动,反射波高大致相同;条状夹渣的回波信号多呈锯齿状,波宽而带有多个波峰,探头横向移动时,各个波峰的高度随之发生变化。其主要特征是,体积型缺陷从焊缝两侧分别探测时,直射波均能探到,当从单侧探测时,前后移动探头直射波和一次反射波均能探到,使斜探头作定点转动时,会出现此起彼落的现象,与本次检验的回波信号相符合。而且通过计算两次回波探测的深度和水平位置基本一致。

经分析可以判断此缺陷是体积型缺陷,并通过缺陷进行机械打磨来对检验结果进行实践验证,在打磨深度约 15mm 时,开始出现气孔,继续往深打磨时,在坡口处逐渐出现条渣,最宽约 3mm、长约 65mm,打磨的深度约 17mm,缺陷完全清除,缺陷自身高度约 2mm,验证了判断结果的准

确性,缺陷呈体积型。

#### 5 缺陷产生的原因及预防

焊缝因层间气孔、夹渣的存在,会减小管道的有效截面积、造成应力集中甚至成为裂纹源,降低焊接接头的承载能力,给承压管道的安全运行带来严重隐患。该管道厚度较大,焊接过程中采用多层多道焊进行焊接,由于坡口角度或焊接电流过小、运条角度不正确、焊接速度过快等原因,导致有残留氧化物铁皮和碳化物等在熔敷金属冷凝时,熔渣不能及时浮出熔池表面,焊道间的焊渣未彻底清除干净,残留一部分在焊缝中即形成夹渣、气孔。因此,彻底清除渣壳和坡口边缘的氧化皮及多层焊道间的焊渣;正确运条,有规律地搅动熔池,促使熔渣与铁水分离;适当减慢焊接速度,增加焊接电流,以改善熔渣浮出条件;同时也应选择适宜的坡口角度;调整焊条药皮或焊剂的化学成分,降低熔渣的熔点。焊接时焊工应仔细观察焊条熔化,颜色较浅的较明亮的是铁水,颜色较深呈暗红色的是焊渣。焊接时焊条要有一定前倾角,使用合适电流保持能看见铁水始终在前面,就能避免气孔、夹渣等缺陷的出现。

#### 6 结论

(1) 超声波检测承压管道对接焊缝中的体积型缺陷时(诸如:夹渣、气孔),使用不同  $K$  值探头进行探伤时( $K$  值应选用合理),从单侧直射波法、一次反射波法都能探到,且根据探测的数据而计算的深度和水平位置基本一致。

(2) 焊缝中体积型缺陷大多数由焊接操作不规范所造成,选择合理的坡口尺寸、焊接工艺,操作规范就能避免体积型缺陷的产生。

#### 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组织编写. 超声波探伤[M]. 北京: 中国锅炉压力容器安全杂志社, 1995.
- [2] 超声波探伤编写组. 超声波探伤. 北京: 水利电力出版社, 1985, 1.
- [3] 云庆华. 无损探伤. 北京: 劳动出版社, 1983, 1.
- [4] 国家经贸委. DL/T 820-2002 管道焊接接头超声波探伤技术规程.