

# 小径管超声波检测仪器调整过程中 的特殊回波分析

刘长福<sup>1</sup>,王志国<sup>2</sup>,赵江<sup>2</sup>,王红军<sup>2</sup>,徐晶<sup>2</sup>

(1. 河北省电力科学研究院,石家庄 050030;2. 河北衡丰发电有限责任公司,衡水 053000)

**摘要:**对小径管检测前校准仪器时的一个特殊回波产生原因进行了研究,结果表明,该特殊回波经过多次反射后被探头接收,传播路径复杂。因此在超声波检测时,不仅要靠经验对回波进行判断,还需要对可疑回波进行细致的演算和推敲,避免因误判造成不必要的损失,另一方面也可提升检测人员的技术水平。

**关键词:**小径管;超声波检验;回波分析

中图分类号:TG115.28

文献标志码:B

文章编号:1000-6656(2013)05-0075-03

## Analysis on Special Echo During the Adjustment of Ultrasonic Tester for Small Diameter Tubes

LIU Chang-Fu<sup>1</sup>, WANG Zhi-Guo<sup>2</sup>, ZHAO Jiang<sup>2</sup>, WANG Hong-Jun<sup>2</sup>, XU Jing<sup>2</sup>

(1. Hebei Provincial Electric Power Research Institute, Shijiazhuang 050030, China;

2. Hebei HARV Power Generation Company Ltd, Hengshui 053000, China)

**Abstract:** The cause of a special echo generated on adjusting the equipment for the test of small-diameter tubes was analysed in the paper. The results showed that, the special echo was received by transducer after the ultrasonic wave was reflected for several times, and the propagation path of echo was very complex when carrying out ultrasonic test. Technicians should not only interpreter the echoes according to experience, but should also calculate and analyse any suspicious echoes to avoid any misdetection. Meanwhile, the technological level of technicians can be improved greatly in the process of calculating and analysing.

**Keywords:** Small-diameter tube; Ultrasonic test; Echo analysis

目前电厂小径管检验中,较多采用的是 DL/T 820—2002《管道焊接接头超声波检验技术规程》,该规程中的小径管检验校准试块为 DL-1 型试块<sup>[1]</sup>。

某厂 300 MW 火力发电机组检修中对规格为  $\phi 60 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ 、材质为 12Cr1MoV 的过热器管进行了更换,要求对更换管的焊接接头进行 100% 超声波检验。采用普通数字式超声波探伤仪,5P6 × 6K2.5 的小径管专用探头<sup>[2]</sup>,在 DL-1 试块上调节仪器的延时、探头 K 值、及检测灵敏度,由于有两个不同半径的圆弧,调节仪器在使用上比 GS 试块要简单方便<sup>[3]</sup>。使用仪器的自动调节功能,仪器通过设置一次声程为 R30 圆弧,二次声程为 R50 圆弧,可

自动计算试块声速和探头延时,但发现计算出的声速值总是偏离常用的普通钢中的横波声速 3 230 m/s 很多,通过分析和数学计算后发现是在调节中误将深度 8 mm 通孔的多次反射波当做 R50 圆弧反射回波,导致试块声速和探头延时计算错误。重新移动探头找到 R30 和 R50 圆弧面反射回波,让仪器重新计算试块声速和调校探头延时,声速非常接近普通钢中横波声速值。调校好的仪器检测不同深度通孔时,显示的深度和水平距离数值与实际测量数据吻合。

在 DL-1 型试块上进行仪器校准时,容易出现一个特殊的反射回波即回波 B,如图 1(a)。由于该回波声程比较接近 R50 圆弧反射回波声程,且波幅较高,易被误认为是 R50 圆弧回波,导致检测系统进行仪器延时或零偏校准时错误。在该回波的声程

收稿日期:2012-05-17

作者简介:刘长福(1977—),男,工程师,学士,从事无损检测工作。



处并无可直接产生回波的反射体,且通过手指按压判断不是表面波<sup>[4]</sup>。通过试验结果分析和数据演算相结合,对该回波的产生原因进行了细致的研究。

## 1 试验

### 1.1 试验用设备材料

使用了模拟 DL-1 的一种简化试块,该试块前侧圆弧半径为 40 mm,在距离圆弧前端 40 mm 处开了被检工件一次壁厚深度及三次壁厚深度的  $\phi 1 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$  通孔,如图 2 所示。在该试块上调整检测参数时同样产生特殊回波,由于该试块结构相对 DL-1 试块简单,因此分析中采用该试块进行试验,避免其他结构杂波影响,产生回波如图 1(b)、(c)所示。

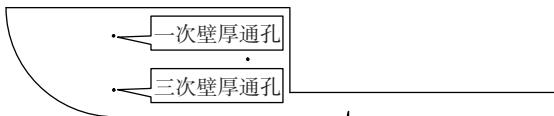


图 2 模拟 DL-1 的简化试块

采用 DL-1 系列试块中  $\phi 76 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$  专用的小径管试块进行试验,选用小径管检测专用探头,规格为 5P6×6K2,探头前沿为 5 mm,仪器为普通超声波探伤仪,耦合剂为甘油。

### 1.2 试验结果

将通孔最高回波 A 调整至 80% 波高时,固定灵敏度,其声程为 23 mm,此时探头距离试块前侧边缘 56 mm,则探头入射点距离试块前侧边缘为 61 mm,回波 B 波高为 67%,声程为 62.3 mm。前后移动探头找到回波 B 最高波 77%,回波 B 声程为 61.7 mm;A 波高为 67%,声程为 21.4 mm,此时探头距离试块前端 54.5 mm。

试验中发现,当回波 A 最高时,手指蘸甘油压在探头前侧的试块检测面上前后移动,当移动到距离试块前侧圆弧边缘约 30 mm 的地方,发现回波 B 会有明显的降低,而回波 A 幅值基本不变,将一次壁厚通孔内注入甘油,回波 B 也会有明显降低,但对回波 A 影响较小。因此回波 B 的路径通过一次壁厚通孔及距离试块前侧圆弧边缘约 30 mm 的检

测面处。

## 2 理论分析

### 2.1 声束传播路径分析

通过对超声传播声程进行计算,排除了多种可能的传播路径,最终将超声波传播路径确定为:声束从 S 点发出,经 P 点反射后,经 Q 点、K 点反射回探头 S,即声程路径为 SPQKS,整个波的传播过程为横波,未发生波形转换,如图 3 所示。

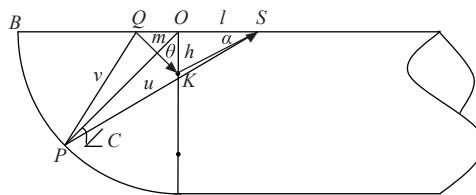


图 3 回波 B 路径计算说明 2

由图 3 可见,回波 B 的声程  $S_{\text{声程}} = SP + PQ + QK + KS$ , 将  $\angle OKQ$  定义为  $\theta$ ,  $SP$  为  $u$ ,  $PQ$  为  $v$ ,  $KO$  为  $h$ ,  $OS$  为  $l$ , 又  $OP$  平分  $\angle QPS$ , 根据三角形正、余弦定理及角平分线性质,可将  $u, v$  表示成  $\theta$  的函数:

$$v = -h \cdot \tan\theta \cdot \sin\theta + \sqrt{(h \cdot \tan\theta \cdot \sin\theta)^2 - (h \cdot \tan\theta)^2 + R^2} \quad (1)$$

$$u = R \cdot \cos C + \sqrt{(R \cos C)^2 - (R^2 - l^2)} \quad (2)$$

$$\frac{u}{v} = \frac{l}{h \cdot \tan\theta} \quad (3)$$

根据式(1)~(3),对于每一个合适的  $\theta$ ,都有相应的  $u, v$  及  $s$  值。

对其声程进行计算,  $S_{\text{声程}} = SK + KQ + v + u$ , 将出现回波 A 的最高回波时的试验数据:  $l = 21 \text{ mm}$ ,  $h = 10 \text{ mm}$ ,  $R = 40 \text{ mm}$  代入公式(1)~(3)可求得当  $\theta = 46.6^\circ$  时有解,  $QO = 10.6 \text{ mm}$ ,  $QK = 14.6 \text{ mm}$ ,  $v = 31.6 \text{ mm}$ ,  $u = 56.9 \text{ mm}$ , 则总声程为  $S_{\text{声程}} = 23.0 + 14.6 + 56.9 + 31.6 = 125.8 \text{ mm}$ ; 通常仪器显示的声程为单程,超声波实际传播距离为  $S_{\text{实}} = 2 \times 62.3 = 124.6 \text{ mm}$ , 与计算数据很接近。

当探头前移找到回波 B 的最高回波时,回波 B 声程为 61.7 mm; 回波 A 声程为 21.4 mm, 此时探头距离试块前端 54.5 mm。

回波 B 的实际传播距离  $S_{\text{实}} = 2 \times 61.7 = 123.4 \text{ mm}$ , 此时探头距离一次壁厚通孔的水平距离  $l = 54.5 + 5 - 40 = 19.5 \text{ mm}$ 。将以上数据代入公式(1)~(3),求的当  $\theta = 46.9^\circ$  时有解,  $QK = 14.6 \text{ mm}$ ,  $v = 31.5 \text{ mm}$ ,  $u = 57.4 \text{ mm}$ , 则总声程为  $S_{\text{声程}} = 21.0 + 14.6 + 31.5 + 57.4 = 124.5 \text{ mm}$ ; 与仪器显示

的横波传播距离很接近。

通过试验数据和计算数据,从波的传播声程上可判断SPQKS为回波B的传播路径,但不能判断波的传播方向。上述计算中,都是假定波的反射均为镜面反射,因此仅有一束声波满足严格的角度关系。实际检测中,声束的反射不是严格镜面反射,且一次壁厚通孔有一定的尺寸。计算表明,当 $\theta$ 在 $45.5^{\circ} \sim 47.6^{\circ}$ 范围内时,传播声程范围为 $125.6 \sim 126.0$  mm,而声束入射角范围为 $63.9 \sim 64.1$  mm, $OQ$ 范围为 $10.2 \sim 11.1$  mm。因此声束在小角度范围内扩散时也能沿SPQKS传播。

## 2.2 声束传播方向判断

采用双探头一发一收进行试验,两探头型号均为5P6×6K2,前沿均为5 mm,校准好探头的延时进行检测,将发射探头固定在距离试块前侧边缘61 mm处,两探头相对放置,移动接收探头,可收到较弱的波,找到最高波,最高波约比一次通孔直射回波低12.7 dB,此时仪器显示该波声程为43.5 mm,由于探头及试块的结构原因,无法做两探头同向时接收波强度对比试验,但根据单探头检测时的试验数据,回波A,B的波高幅值相差很小,因此可以认为本次试验接收的波较弱是因为两探头放置方向造成的。将波声程转换成双程 $S_{\text{实}} = 2 \times 43.7 = 87.4$  mm,同计算数据 $S_{\text{声程}} = u + v = 56.9 + 31.6 = 88.5$  mm接近。因此波的传播路径为SPQ方向。

## 2.3 回波强度分析

回波A,回波B为同一反射体产生的回波,回波B声程约为回波A声程的2.7倍,但两回波波高却相差很小,不到1.5 dB。分析发现,这是由于试块前侧的圆弧面对声束聚焦的原因。

模型如图3所示,S为声波入射点,声束SP在圆弧P点被反射,交试块检测面于Q点,设 $\angle PSQ = \alpha$ , $\angle POQ = \beta$ , $\angle PQO = \gamma$ ,建直角坐标系,OS为X轴,O为原点,OS= $l$ ,QO= $m$ 为随 $\alpha$ 变化的变量,OP= $R$ 。则P坐标为 $(-R \cdot \cos\beta, -R \cdot \sin\beta)$ ,点S

(上接第74页)

## 4 结论

集超声波检验和涡流检验于一体的检测系统能有效检测出控制棒上的磨损缺陷、肿胀缺陷和裂纹缺陷。磨损缺陷发生在控制棒的板块区域,肿胀和裂纹缺陷发生在尖部区域。肿胀缺陷发生的同时伴

坐标为 $S(l, 0)$ ,Q坐标为 $(-m, 0)$ 。因此可以得 $SP, OP, QP$ 的斜率,利用式(6):

$$\tan(\alpha - \beta) = \frac{\tan\alpha - \tan\beta}{1 + \tan\alpha\tan\beta} \quad (6)$$

可求得两两曲线间夹角,由于方程为三角超越方程,故采用数值解。求解结果发现,随着 $\alpha$ 在 $10^{\circ} \sim 40.1^{\circ}$ 内变化,即探头K值不小于1.19,这时 $OQ$ 的长度范围为 $10.2 \sim 13.8$  mm,即以Q点为声源S发出的声束经过圆弧反射后聚焦在Q点,声束在试块表面聚焦点(声束扩散产生长度),Q点长度不大于3.6 mm,这也是双探头试验时,接收探头只能在很小的范围内才能接收到反射回波的原因。当K值更小时, $OQ$ 的变化较大,已不能认为聚焦在Q点。

由于声束聚焦在Q点,因此回波B强度很高,最强回波几乎与回波A高度相当。

## 3 结语

通过对试验结果进行分析,并用数学方法进行推理论证,确定了波的传播路径,给出了回波产生的原因,并对试验中回波A,B的声程不同而波高相同的现象进行了分析,作出了合理的解释。从整体的分析过程来看,超声波检测中,对异常波的产生原因进行解释不仅需要经验,还需要必要的演算来支持。在工作中培养良好的分析习惯,不仅能提高检测质量,同时提高了检测人员的技术水平。

### 参考文献:

- [1] DL/T 820—2002 管道焊接接头超声波检验技术规程 [S].
- [2] 姆安民. 电站大修中小径管探伤存在的问题及解决办法[J]. 冶金设备, 2003(3): 72—73.
- [2] 杨英春, 华晨. 小径管超声检测应注意的几个问题[J]. 特种设备安全技术, 2010(3): 55—57.
- [4] 朱健. 超超临界电站锅炉小径管焊缝超声波探伤[J]. 无损检测, 2011, 33(3): 63—65.

随有裂纹缺陷。

### 参考文献:

- [1] ASME XI 2004 核电站设备在役检查规则[S].
- [2] 聂勇. 核设备不锈钢堆焊层下裂纹超声波检测技术[J]. 无损检测, 2011, 33(7): 25—28.
- [3] 李家伟. 无损检测手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.