

超声探伤中表面粗糙引起干扰信号的判别

许遵言 张俭

(上海锅炉厂有限公司 上海闵行华宁路 250 号 200245)

摘 要: 工件表面粗糙会使斜探头声束轴线上声压减小, 横向散射分量增加。本文叙述了由此而引起的干扰信号及其计算和判别的方法。

关键词: 超声检测; 表面粗糙度; 干扰信号

DISTINGUISHING METHOD OF DISTURBING SIGNALS CAUSED BY ROUGHNESS SURFACE IN ULTRASONIC TESTING

XU Zun-yan ZHANG Jian

(Shanghai Boiler Works, Ltd. No. 250 Huaning Road, Minhang, Shanghai 200245)

Abstract: A roughness surface may cause the acoustic pressure in axial direction of angle probe reduced and lateral scatter added. Distinguishing method and calculation formulas of these disturbing signals due to above reason were given.

Keywords: Ultrasonic testing; Surface roughness; Disturbing signal

秦山 II 期 60 万核电站压力壳是我国制造的第一台压力壳, 它的制造及验收标准基本上是按照法国 RCC-M 规范。压力壳筒体外径 $\Phi 3752\text{mm}$, 壁厚 205mm、255mm, 共有 4 条环缝、6 条接管与筒体焊缝, 本体材料 16MnD5, 整个壳体内表面均有奥氏体不锈钢堆焊层, 其厚度为 6mm。

焊缝要经过三次超声波探伤, 即焊后、最终热处理后和水压试验后。焊后探伤时, 为了便于探伤和判别, 焊缝区两侧一定范围内暂不堆焊, 探伤合格后再对焊缝区进行补堆。

按技术条件和 RCC-M 规范, 焊缝探伤采用 K1、K2 横波斜探头和直探头。环缝扫查为双面双侧, 接管与筒体焊缝扫查为双面单侧, 探伤灵敏度 $\Phi 2-12\text{dB}$ 。

最终热处理后复探时, 压力壳内壁已堆焊完毕。为了保证从内壁探伤时有良好的超声耦合, 对堆焊层全表面进行了打磨。但从内壁对焊缝进行探伤时, 发现有干扰回波信号出现, K1 有一个回波, 深度在 180mm, K2 有两个回波, 深度在 66mm 和 120mm。由于这些信号都在探测深度范围内, 因而弄清楚回波信号来自何处成了探伤人员、用户和监检共同关注的焦点。

1 分析与计算

1.1 信号特征与分析

经研究发现, 这些信号有以下特点:

- (1) 信号没有游动范围。
- (2) 信号普遍存在。不论是探头对着焊缝还是背对焊缝, 信号均存在。

从以上特点可以排除信号来自焊缝缺陷。另外, 由于筒体结构简单, 除底面外没有其它几何反射体,

因此当时推断由表面粗糙度引起的可能性较大，所以要求车间对堆焊层表面再次进行局部打磨以改善表面状况。打磨后重新探测发现，信号幅度有所下降，但未能消失。由此可见，信号确与表面状况有关。

考虑到凹凸差大于 1/10 波长时，粗糙度对耦合有很明显的不良影响，即探伤时声束中心轴方向的声压降低，而横向散射分量增大^[1]。如果垂直于底面的横向分量足够大的话，则有可能接收到来自底面的反射，见图 1。由此可以初步确定这些信号来自于底面的反射。

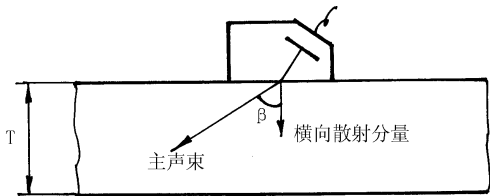


图 1

1.2 理论计算

超声探伤仪时基线上反映的是超声波的传播时间。由于探伤时材料的声速是固定的，因而时基线可以调节成与声程成一定的比例。用斜探头探伤时，深度 D、水平距离 L 与声程 S 有如下关系：

$$D=S \cdot \cos \beta \tag{1}$$

$$L=S \cdot \sin \beta \tag{2}$$

式中 β 为折射角。同样，由于 β 不变，时基线又可以调节成与深度或水平距离成一定比例。这样在仪器荧光屏上可直接读取反射体的深度或水平距离。但实际上时基线所反映的时间还是由声程所决定的，因此，任何偏离主声束轴线的反射体，尽管入射声束的折射角不再等于 β，但它在仪器上所反映出来的深度仍然由式（1）确定。斜探头探伤时横向分量底面反射同样如此，此时 S=T，底面反射在荧光屏上的深度值：

$$D=T \cdot \cos \beta \tag{3}$$

由于 K2 横波斜探头探测时有两个反射回波，这表明横向分量不仅有横波，还有纵波存在。该纵波声速为 C_L，横波声速为 C_s，因为 C_L>C_s，所以纵波反射波要在横波反射波的前面，其所显示的深度值 D_纵与本体厚度 T 有如下关系：

$$D_{纵}=\frac{C_s}{C_L} \cdot T \cdot \cos \beta \tag{4}$$

表 1 是根据式（3）和式（4）计算出的常用 K 值的 D 与 T 关系。

K 值	折射角 β	D _横	D _纵
1.0	45°	0.707T	0.387T
1.5	56.3°	0.555T	0.304T
2.0	63.4°	0.447T	0.245T

表 1 横波斜探头横向分量底面反射深度值与本体厚度 T 的关系

另外，通过堆焊层对焊缝进行检测往往采用纵波斜探头，这主要考虑到堆焊层的晶粒较粗，对超声的衰减比较严重。同样，采用纵波斜探头时，也有可能发生上述情况。这时，横向分量底面反射深度值可由式（5）和式（6）计算。

$$d_{纵}=T \cdot \cos \beta \tag{5}$$

$$d_{\text{横}} = \frac{C_L}{C_S} \cdot T \cdot \cos \beta \quad (6)$$

表 2 是根据式 (5) 和式 (6) 计算的不同 K 值的 d 与 T 关系。

K 值	折射角 β	$d_{\text{纵}}$	$d_{\text{横}}$
1.0	45°	0.707T	1.291T
1.5	56.3°	0.555T	1.014T
2.0	63.4°	0.447T	0.817T

表 2 纵波斜探头横向分量底面反射深度值与本体厚度 T 的关系

2 试验验证

压力壳的壁厚为 205mm 和 255mm，加上 6mm 厚的堆焊层，总的壁厚为 211mm 和 261mm。为了验证计算与实际结果是否相符，除了规范所要求的 K1、K2 横波斜探头外，还选用了 K1.5 横波斜探头和 K1 纵波斜探头，表 3 是计算值与实际结果的对照表。

探头种类	K 值	壁厚(mm)	横向纵波底面反射深度值(mm)		横向横波底面反射深度值(mm)	
			理论值	实际结果	理论值	实际结果
横波斜探头	1.0	261	101	没有发现	185	180
	1.5	261	79	没有发现	145	136
	2.0	261	64	66	117	120
纵波斜探头	1.0	211	149.2	150	192.6	没有发现
		261	185	190	238.8	没有发现

表 3 横向底面反射理论值与实际结果

从表 3 可见，理论计算与实际结果基本相符，大多数误差在 3~5mm 之间，约 1.9%，最大误差 9mm，约 3%。有时实际值比理论值要大，有时要小，没有规律。

横波斜探头 K1、K1.5 仅有横向反射横波，没有横向反射纵波，而 K2 既有横向反射横波又有横向反射纵波。纵波斜探头 K1 仅有横向反射纵波而没有横向反射横波。

对横波斜探头 K2 和纵波斜探头 K1 这些具有横向反射纵波的探头来说，可以用一个简单的方法加以判别，即用刷子沾耦合剂拍打反射底面的方法。K2 横向反射纵波位于 66mm，拍打时，此波跳动明显，表明是底面反射。

3 结论

从上面分析可知，表面粗糙是引起干扰信号的根本原因，但堆焊层的存在也不容忽视。我们在上海石化总厂芳烃厂在役检查时也曾发现过类似情况，当时是探测某一高压容器，表面油漆没有除去，用 K1 探测时，常常会有一个干扰回波出现，查看表面发现此区域有明显的加工条痕，数条并行排列，探测方向垂直于条痕时信号出现，平行于条痕时，则没有信号，后把油漆去除，信号也随之消失。这说明信号的出现不仅与表面条痕、探头与条痕的方向有关，而且与油漆层有关。

综上所述，工件表面粗糙，特别是同时有薄层存在，如油漆、堆焊层，会使斜探头主声束轴线上的声压减小，横向散射分量增加。横向分量经底面反射会产生一个或两个回波信号，这些信号位于探测深度内，干扰了探测正常进行。同时，由于主声束轴线上声压的减小，实际上也降低了探测灵敏度。因此，必须对表面进行处理，改善表面状况，以使超声检测能够正常地进行，从而保证被探工件的质量。

参考文献：

[1] Krautkrämer, Ultrasonic Testing of Materials. Second edition, P290.