

水层厚度对管道焊缝水浸超声检测灵敏度的影响

张志鹏,欧阳标,余家苇,彭恭斌

(中核武汉核电运行技术股份有限公司,武汉 430223)

摘要:在水浸超声检测中,水层厚度直接影响检测的灵敏度和缺陷检出率。实际应用中,扫查装置的安装误差会导致水层厚度产生偏差。通过测量不同水层厚度下的探头检测灵敏度,得出水层厚度偏差对检测灵敏度的影响规律,可为同行提供参考。

关键词:水浸超声;水层厚度;检测灵敏度

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号:1000-6656(2021)09-0013-03

Influence of water layer thickness on sensitivity of water immersion ultrasonic testing for pipeline welds

ZHANG Zhipeng, OUYANG Biao, SHE Jiawei, PENG Gongbin

(China National Nuclear Wuhan Nuclear Power Operation Technology Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: In water immersion ultrasonic testing, the thickness of the water layer directly affects the sensitivity and defect detection rate. In practical applications, the installation error of the scanning device will cause deviations in the thickness of the water layer. By measuring the detection sensitivity of probes under different water layer thicknesses, the law of the influence of water layer thickness deviation on detection sensitivity is obtained, which can provide a reference for the peers.

Key words: water immersion ultrasonic; water layer thickness; detection sensitivity

为了保证核电站一回路运行的稳定性和安全性,需要定期对各类设备和管道焊缝实施无损检测。部分设备靠近反应堆堆芯,在役检查期间检测人员很难从外表面接近,一般从反应堆的压力容器内部实施远程自动超声检测,而对于一些管径小,曲率大的管道焊缝,其内表面未经打磨,存在焊缝余高,导致接触式超声检测实施难度较大,因此,目前通常采用水浸超声检测方法对其实施检测。

以 AP 1000 型核反应堆压力容器安注管安全端焊缝为研究对象,通过改变探头与基准试块之间的水层厚度来验证水层厚度偏差对检测灵敏度的影响,发现与接触式超声相比,水浸自动超声检测对机

械装置的安装精度要求更高;水层厚度的改变会对检测灵敏度产生一定的影响,但是在允许的机械误差范围内,这种影响是可接受的。

1 检测对象

反应堆压力容器安注管安全端焊缝包括异种金属焊缝和同种金属焊缝。对于 AP 1000 反应堆型,安注管安全端内径为 173 mm,异种金属焊缝壁厚为 31.8 mm,同种金属焊缝壁厚为 23 mm。检测区域包括焊缝及焊缝两侧 6.4 mm 宽的母材区域,以及距焊缝内壁 1/3 壁厚的区域。安注管安全端焊缝结构及检测区域如图 1 所示。

2 水浸超声检测法

2.1 水浸超声检测法特点

水浸超声检测法将探头浸在水中,隔着一定厚

收稿日期:2021-03-29

作者简介:张志鹏(1987—),男,本科,工程师,主要从事核电厂在役检查的超声检测工作

通信作者:张志鹏,zhangzp03@cnnp.com.cn

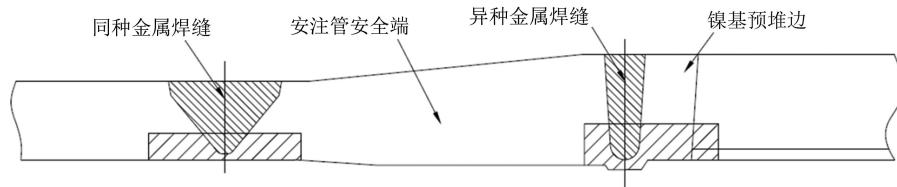


图 1 安注管安全端焊缝结构及检测区域示意

度的水层对充满水的管道或容器内壁进行检测。水浸超声检测法适用于有焊缝余高和表面粗糙的工件,其探头耦合稳定,不容易磨损,检测结果可重复性好,有利于提高检测速度。在合适的水层厚度下,水浸超声检测的回波关系如图 2 所示,一般使缺陷回波出现在一次界面波和底波之间,使二次界面回波出现在底波之后^[1]。

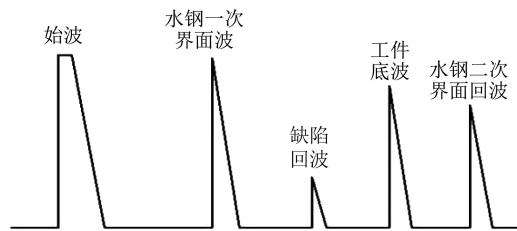


图 2 水浸超声检测法的回波关系示意

2.2 扫查装置

扫查装置由主体结构、轴向运动组件、周向运动组件、探头托盘以及前后支撑结构等组成,其结构如图 3 所示。现场检测中,将扫查装置与刚性长杆连接,由起重机吊装到被检对象区域,通过人工操作长杆的方式进行微调,将设备精确安装到所需位置。

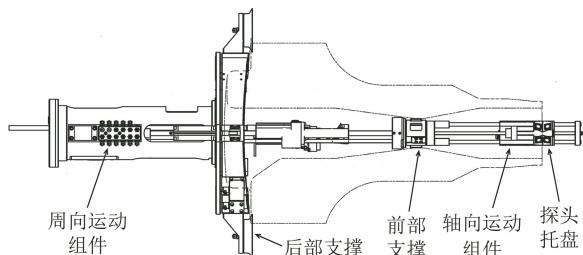


图 3 扫查装置结构示意

2.3 探头参数

安注管焊缝材料为粗晶奥氏体不锈钢,采用纵波对其进行检测能明显减少不锈钢各向异性的影响,获得更好的声束穿透性能。研究表明,对于不锈钢材料,采用 45°纵波斜探头检测时声能衰减较小,信噪比较高;当焊缝厚度较小时,也可采用折射角为 60°~70°的纵波探头来检测^[2]。对于水浸超声探头,可通过探头托盘上的楔块带动 0°探头偏转实现声束的斜入射,根据超声波的折射定律,可由声束在钢中的折射角推算出声束在水中的入射角,即楔块

的角度^[3]。探头的主要参数如表 1 所示。

表 1 探头的主要参数

探头类型	探头频率/晶片直径/	探头原有钢中折射角/(°)	楔块角度/(°)	楔块角度/(°)
	MHz	mm		
单晶纵波	2	12	0	0
单晶纵波	2	12	0	45
单晶纵波	2	12	0	60
				12.55

3 水层厚度偏差对检测灵敏度的影响试验

3.1 试验设备

采用 DYNARAY 型多通道自动超声仪进行试验,该设备含有 16 个以上独立通道,可较好地匹配探头,且具有较强的抗干扰能力以及较高的数模转换率。根据安注管安全端焊缝的直径,采用相同尺寸的弧面试块,试块中反射体为横孔,尺寸为 2.4 mm×60 mm(直径×长度),试块材料为不锈钢,利用试块中的横孔建立基准灵敏度。

3.2 试验方案

在水浸超声检测中,水层厚度是影响检测灵敏度的关键参数。实际检测时,工件本身存在不平整,设备安装存在误差,导致水层厚度与建立基准灵敏度时的水层厚度有差异。这种差异可能引起检测灵敏度的改变。

针对这种情况,笔者首先以理论水层厚度建立灵敏度基准。探头工装结构如图 4 所示,探头与安注管内壁之间的垂直距离即为理论水层厚度,调整试块位置,使试块与扫查装置之间呈现不同程度的偏心,测量每种状态下横孔信号幅值与基准灵敏度之间的差异。

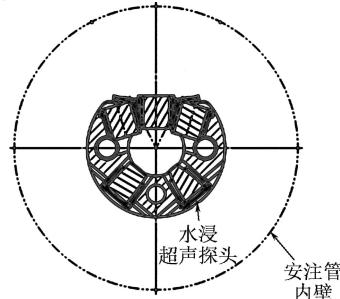


图 4 探头工装结构示意

3.3 试验结果

3.3.1 基准灵敏度

将探头托盘与试块的间距调整到理论值, 控制扫查装置, 找到最强反射信号, 将其波幅调到满屏幕高度的 80%左右, 然后依次测出其他不同深度反射体的最大回波幅值, 得出探头的基准灵敏度。基准灵敏度下的横孔反射信号如图 5 所示, 各探头的基准灵敏度测试结果如表 2 所示。

3.3.2 改变水层厚度之后的检测灵敏度

调整探头托盘与试块的间距至不同的状态, 分

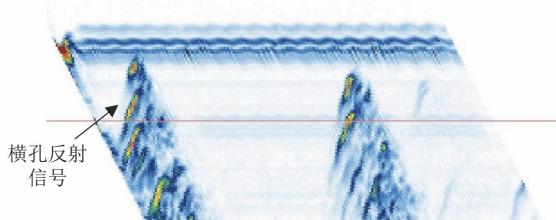


图 5 基准灵敏度下的横孔反射信号

别测量横孔反射体的最大回波幅值, 不同水层厚度下各反射体的灵敏度与基准灵敏度偏差如表 3 所示。

表 2 各探头的基准灵敏度测试结果

孔深/mm	最大回波幅值/dB				
	0°探头	45°周向探头	60°周向探头	45°轴向探头	60°轴向探头
5	—	21.5	27.5	26.9	30.0
15	28.8	25.3	35.3	31.4	33.0
25	29.7	29.5	39.6	35.3	37.2

表 3 不同水层厚度下各反射体的灵敏度与基准灵敏度偏差

水层厚度偏差/mm	孔深/mm	幅值偏差/dB				
		0°探头	45°周向探头	60°周向探头	45°轴向探头	60°轴向探头
-2.5	5	—	0	0.8	0.6	1.1
	15	0.3	0.3	0.6	0.7	0.6
	25	0.3	0.2	0.7	0.9	1.0
-5	5	—	0.5	0.8	1.3	1.5
	15	0.6	0.5	0.8	0.9	1.0
	25	0.5	0.8	1.0	1.1	1.4
2.5	5	—	-0.5	-0.3	-0.7	-0.6
	15	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4
	25	0	-0.8	-0.4	-0.6	-0.9
5	5	—	-1.1	-1.4	-0.8	-1.5
	15	-0.6	-1.0	-0.8	-1.2	-1.2
	25	-0.5	-1.0	-0.9	-1.0	-1.3

从试验结果可以看出, 在改变水层厚度的情况下, 试块中人工反射体的灵敏度测试结果与基准灵敏度会存在偏差, 探头角度越大, 偏差越大; 水层厚度的改变对轴向探头的影响比对周向探头的影响要大, 对 0°直探头的影响最小。

随着水层厚度偏差增大, 测试结果与基准灵敏度的偏差也相应增加, 在设备精度允许的 ± 5 mm 范围内, 所有探头的灵敏度偏差均不超过 2 dB。

4 结语

进行水浸超声检测时, 水层厚度的改变会对检测灵敏度产生影响, 且随着水层厚度偏差增大, 检测时的灵敏度与基准灵敏度的偏差也增大, 从而对检测结

果产生直接影响。因此, 在实际检测中应保证水层厚度与标定的水层厚度一致, 这就要求在进行水浸超声检测工装设计时, 预先考虑该情况, 严格控制设备的安装精度, 尽可能保证检测时的灵敏度偏差在要求范围内。

参考文献:

- [1] 何岩, 郭重雄, 张龙. 薄壁钢管超声波水浸法探伤[J]. 物理测试, 2003, 21(4): 16-18.
- [2] 赵仁顺, 刘卓然. 钢管水浸法超声波探伤中能量衰减现象的探讨[J]. 无损检测, 2002, 24(1): 32-34.
- [3] 郑晖, 林树青. 超声检测[M]. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2010.