

# 奥氏体不锈钢中径管焊缝超声爬波探伤

王海军,赵有明,金友东,印高明,陈诗华

(中国能源建设集团 江苏省电力建设第三工程公司,镇江 212003)

**摘要:**为了有效解决传统超声波横波无法检测奥氏体不锈钢的问题,研制开发了超声爬波探头和对比试块。使用超声爬波技术对奥氏体中径管焊缝进行了全面检测,并对其性能进行验证。结果证明,采用超声爬波技术能有效检测出壁厚不大于 18 mm 的奥氏体中径管焊缝缺陷,可以作为奥氏体中径管焊缝的一种检测方法。

**关键词:**奥氏体中径管焊缝;超声爬波;缺陷;无损检测

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号:1000-6656(2013)10-0022-04

## Ultrasonic Creeping Wave Testing for the Welds of Middle-Bore Austenitic Stainless Steel Pipe

WANG Hai-Jun, ZHAO You-Ming, JIN You-Dong, YIN Gao-Ming, CHEN Shi-Hua

(Jiangsu Electric Power Construction No. 3 Engineering Company,  
China Energy Engineering Group, Zhenjiang 212003, China)

**Abstract:** In order to effectively solve the problems faced by traditional shear wave testing on austenitic stainless steel, ultrasonic creeping wave probe and reference block were developed and fabricated. The creeping wave was used to perform a comprehensive testing of the welds of the middle-bore austenitic steel tubes and its effectiveness was verified. It is proved that the weld defects of the middle-bore austenitic steel tubes with wall thickness not more than 18mm can be detected by creeping wave inspection and the method can be used as a feasible method on austenitic weld.

**Keywords:** Middle-bore austenitic pipe weld; Ultrasonic creeping wave; Flaw; Nondestructive testing

随着耐高温、高强度、抗疲劳性能优良的奥氏体新材料的广泛应用,对奥氏体材料的检测提出了新的要求。传统超声横波法不能实现对奥氏体钢焊缝的有效检测。笔者使用自制的爬波探头,将对比试块人工缺陷与实际检测时发现的缺陷比较,确定了检测中缺陷的当量尺寸与指示长度,最终准确判断了缺陷的大小及类型。

## 1 超声爬波技术

爬波又称为表面下纵波,是接近材料表面传播的纵波,能探测近表面的缺陷,对表面的粗糙度不敏感。入射角位于第一临界角附近(有机玻璃内)的探

头可在钢中产生爬波,该探头被称为爬波探头<sup>[1]</sup>。如图 1 所示,爬波探头所激发的声场具有多波型的特征,在产生爬波的同时还产生了 33°左右的横波和头波。在探头固定不动的条件下,爬波和横波是从入射点附近向外辐射,而头波是为满足自由边界条件,纵波沿表面传播的过程中不断辐射出的横波。在探头固定不动的条件下,头波的辐射点是不固定的,是在爬波传播过程中不断从爬波所在点向外辐射的。由图 2 中爬波探头所激发的声场指向性可以看出,在测量条件(空气/钢界面)下,爬波主瓣的折射角约为 75°<sup>[2-3]</sup>。

## 2 超声爬波试验

### 2.1 超声爬波探头的设计

采用弧度并联式双晶爬波探头,根据探测距离选择适当的晶片面积和频率,探头型貌及设计如

收稿日期:2013-03-01

作者简介:王海军(1980—),男,工程师,工学学士,主要从事电力工程安装、维修过程中金属理化检测和无损检测的技术工作。

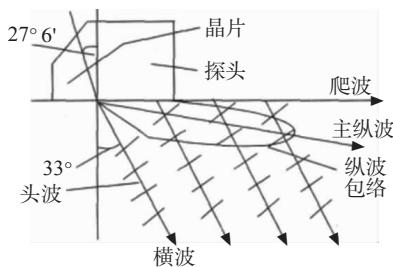


图1 超声爬波探头声场示意

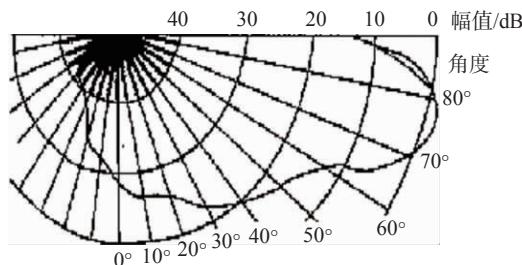


图2 超声爬波声场指向特性

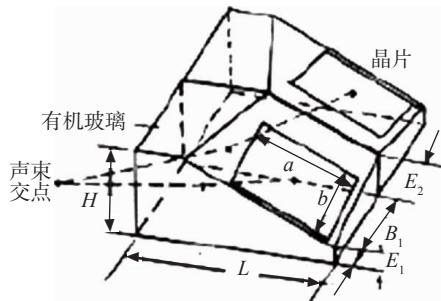


图3 超声波爬波探头结构

图3所示。

## 2.2 管件规格与对应的探头参数

表1 管件规格与对应的探头参数

管件规格/mm	材质	实测管径/mm	实测壁厚/mm	晶片频率/MHz	晶片规格/mm
φ 76×10	304	76±0.5	10±0.2	3.5	12×20×2
φ 89×14	304	89±0.5	14±0.2	3	15×25×2
φ 108×16	304	108±0.5	16±0.2	2.5	18×30×2
φ 133×16	304	133±0.5	16±0.2	2.5	18×30×2
φ 168×18	304	168±0.5	18±0.2	2.5	18×30×2

探头的弧度分为φ 168, 133, 108, 89, 76 mm 以及平面等多种规格。

## 2.3 试验仪器

试验选用数字式超声波探伤仪 H611 以及模拟式超声波探伤仪 ST-46。

## 2.4 对比试块与模拟缺陷的制作

对比试块的制作采用与被检工件材质声学性能

相同或近似的材料制成。该材料直探头探测时不得有大于或等于φ 1 mm 平底孔当量直径的缺陷, 试块如图4所示。

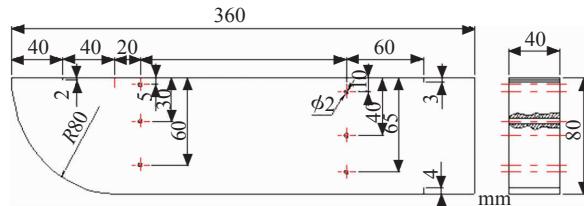


图4 对比试块示意

表2 奥氏体钢焊缝超声波检测专用对比试块

试件	试块规格/mm	适用范围/mm	通孔直径/mm
1	φ 89	φ 89±15	φ 2
2	φ 114	φ 114±15	φ 2
3	φ 133	φ 133±15	φ 2
4	无弧面	≥φ 159	φ 2

其中1~3号试块上、下两面加工成相应规格的圆弧面。

如图5所示, 模拟缺陷是在5种规格奥氏体中径管对接焊缝根部及外加强面加工切槽, 以模拟未焊透, 在破口处加工一定角度的槽, 以模拟未熔合或裂纹。加工要求: 中心切槽长10 mm、宽0.4 mm; 坡口切槽长10 mm、角度25°, 宽0.4 mm; 在内外表面焊缝余高磨平的基础上加工切槽, 深度以管壁为基准面, 然后进行氩弧焊盖面, 模拟缺陷; 其中①和②为深1 mm的切槽, ③和④为深2 mm的切槽。

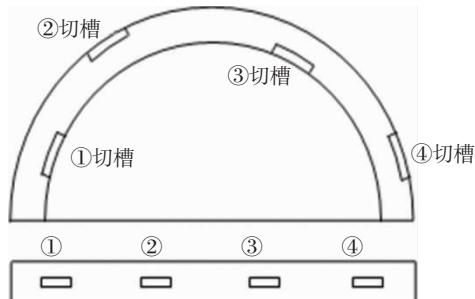


图5 模拟缺陷工件

## 2.5 试验工艺

### 2.5.1 探头选择

探伤中必须考虑加工探头弧面, 以确保探头移动时的良好吻合。一般可在管径变化5~10 mm范围内确定一种弧度规格探头, 即直径大的探头可以探测直径稍小的管材。

### 2.5.2 扫描时基线的调节

采用深度定位,选择对比试块上深度分别为5,10的 $\phi 2$  mm通孔,反复调节为深度1:1比例。

### 2.5.3 扫查灵敏度的确定

将探头置于对比试块,根据被检管材的厚度,参考常规DAC曲线的制作方法制作DAC曲线,然后增益9 dB作为扫查灵敏度。

### 2.5.4 检验

(1) 探头沿周向作轴向扫查,根据反射波位置、幅度进行分析。以第一簇波中的爬波判别缺陷,并确定其位置、最大反射波幅度和指示长度。当缺陷信号只有一个高点时,用6 dB法测量缺陷尺寸;当缺陷信号有多个高点时,应采用端点峰值法测量缺陷尺寸。

(2) 检测依据 不允许存在的缺陷为:单个缺陷回波幅度大于 $\phi 2$  mm者;单个缺陷回波幅度小于 $\phi 2$  mm且指示长度大于5 mm者。允许存在的缺陷:单个缺陷回波幅度小于 $\phi 2$  mm且指示长度小于5 mm者。

## 2.6 试验过程

如图6所示,对深1 mm的上焊缝中心切槽(中心切槽与焊缝表面垂直的刻槽)进行扫查,检测结果见表3。

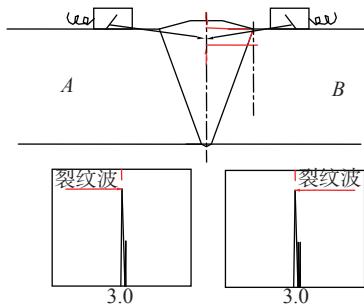


图6 超声波扫查深度1 mm的上焊缝中心切槽

表3 深度1 mm上焊缝中心切槽检测结果

试件	规格/mm	管端角	A侧80%反射/dB	A侧信噪比/dB	B侧80%波高/dB	B侧信噪比/dB
2	$\phi 76 \times 10$	55	62	12	61.3	>18
4	$\phi 89 \times 14$	55	63	12	62	>18
6	$\phi 108 \times 16$	53.6	70	18	71	12
8	$\phi 133 \times 16$	55	72	12	71	12
10	$\phi 168 \times 18$	55	74	12	73.3	12

如图6所示,对深2 mm的焊缝中心切槽扫查,检测结果见表4。

表4 深度2 mm上焊缝中心切槽检测结果

试件	规格/mm	管端角	A侧80%反射/dB	A侧信噪比/dB	B侧80%波高/dB	B侧信噪比/dB
2	$\phi 76 \times 10$	55	58	>18	58	>18
4	$\phi 89 \times 14$	55	60	>18	60	>18
6	$\phi 108 \times 16$	53.6	68	>18	68	>18
8	$\phi 133 \times 16$	55	70	12	70	12
10	$\phi 168 \times 18$	55	72	12	72	12

试验数据表明,爬波对未焊透类缺陷有足够的信噪比,能清晰地发现表面类缺陷,切深1 mm的中心切槽爬波波高比深2 mm的中心切槽爬波波高低5~6 dB。

如图7所示,对深1 mm的下焊缝中心切槽(中心切槽与焊缝表面垂直的刻槽)进行扫查,检测结果见表5。

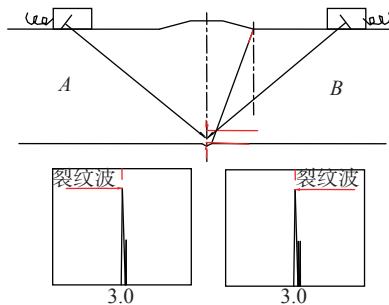


图7 超声波扫查深度1 mm的下焊缝中心切槽

表5 深度1 mm下焊缝中心切槽检测结果

试件	规格/mm	管端角	A侧80%反射/dB	A侧信噪比/dB	B侧80%波高/dB	B侧信噪比/dB
2	$\phi 76 \times 10$	55	59.0	18	60	>18
4	$\phi 89 \times 14$	55	60	18	60	>18
6	$\phi 108 \times 16$	53.6	64	12	66	>18
8	$\phi 133 \times 16$	55	69	>18	68	>18
10	$\phi 168 \times 18$	55	71	12	70	12

经与对比试块作比较,深1 mm的下焊缝中心切槽波高比同深的 $\phi 2$  mm的通孔波高低3~4 dB。

同样对深2 mm的下焊缝中心切槽扫查,检测结果见表6。

经与对比试块作比较,深2 mm的下焊缝中心切槽波高比同深的 $\phi 2$  mm的通孔波高高3~4 dB。

试验数据也表明爬波对根部未焊透类缺陷有足够的信噪比,能清晰地发现未焊透类缺陷。

(下转第27页)

头之间声束要求平行,即探头晶片要求在同一平面上。探头要求有较高的机-电转换效率,以得到较高的探伤灵敏度。脉冲持续时间要短,激励后可尽快回到静止状态,以便获得较高的纵向分辨力和较小的盲区。要求有良好的波形,即有接近高斯曲线的频谱分布曲线。要求有适当的声阻抗,以获得较高辐射效率。

#### 2.4 探伤灵敏度的调节

调节探伤灵敏度时,采用长度小于40 mm的人工缺陷,深度为壁厚的8%~15%。首先将人工缺陷放置在组合探头上方,组合探头转动调节入射角,转动管材找到人工缺陷显示波最大波高,并将报警闸门放置在缺陷波上。此时需注意组合探头必须放置在与管材平行位置,水程距离要适当。

#### 2.5 轨道及传动装置

轨道是由两个相对滚轮组成的滚轮组,单体滚轮可以转动角度并能够相向调节距离。有八对滚轮组由万向联轴节相互连接,组成旋转轨道。滚轮开合大小根据管材直径调节。滚轮转动角度可以由旋转螺距调节。轨道由链轮与变速箱连接形成传动装置。传动装置可以正反方向转动也可以步进调速

(上接第24页)

表6 深度2 mm下焊缝中心切槽搜查结果

试件	规格 /mm	管端角	A侧80% 反射/dB	A侧信 噪比/dB	B侧80% 波高/dB	B侧信 噪比/dB
2	φ76×10	55	55	>18	55	>18
4	φ89×14	55	56	>18	56	>18
6	φ108×16	53.6	56	>18	57	>18
8	φ133×16	55	59	>18	59	>18
10	φ168×18	55	63	>18	63	>18

同样对上焊缝坡口熔合线处深1~2 mm、长度10 mm、宽度0.4 mm、与法线夹角25°槽进行爬波扫查。发现爬波对未熔合类缺陷有足够的信噪比,足以清晰分辨缺陷。

现场测试针对奥氏体中径管进行超声爬波试验,并与射线检验结果比照,发现超声爬波检测缺陷的准确率超过90%,有很高的应用价值。

试验分析表明,爬波回波声速快且距离始脉冲较近,而横波产生的信号在时基线上位置滞后。爬波检验时,需要调整时基线位置,以防横波干扰检测。针对整个试验过程中的数据分析,发现超声爬波在检测奥氏体中径管焊缝时,各种类型模拟缺陷

度,如图6所示。

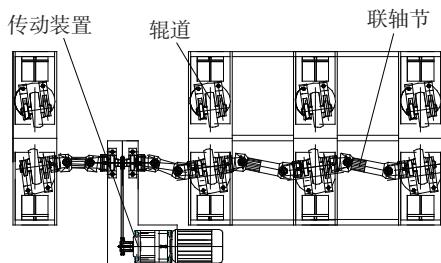


图6 轨道及传动装置

#### 3 结语

所研制系统已经在厂家得到实际应用,具有以下优点:

- (1) 采用探头摆动方式改变入射角进行探伤,调节方便。
- (2) 采用线聚焦组合探头,扫描螺距大并且一致性好,显著提高了探伤灵敏度。
- (3) 实现了机械化探伤,大大提高了生产效率。
- (4) 解决了探头磨损问题,使用了廉价的水耦合介质,降低了生产成本。

的信噪比均大于12 dB,实际检测过程中能有效检测出中径管焊缝中的缺陷。

#### 3 结语

采用双晶爬波探头时,始脉冲后基本无杂波,避免了传统横波检验始脉冲占宽干扰的弊病。同时在远距焊缝30 mm处进行扫查,排除了不规则焊缝区对扫查的影响。试验证明奥氏体材料壁厚不大于18 mm时,爬波对整个焊缝有足够的灵敏度和信噪比,能有效地区分、识别缺陷产生的爬波回波,是一种不可多得的超声检测工艺。对比试验看出,模拟缺陷的取向对定量影响明显,对偏于焊缝中心两侧的上表面缺陷,本侧的灵敏度和信噪比高于对侧,定量时应引起重视。

#### 参考文献:

- [1] 郑晖,林树青.《超声检测》. [M]. 中国劳动社会保障出版社,2008:162-163.
- [2] 廉德良,魏天阳.超声爬波探头声场指向特性的试验研究. [J]. 无损检测,2005,27(9):479-481.
- [3] 王维东,韩玉峰,陆亚中等.小径管焊缝超声爬波探伤工艺方法研究. [J]无损探伤,2008,32(3):36-41.