

小管径CRA复合管AUT检测工艺设计

郭留杰

北京亚力特科技开发有限公司 河南 濮阳 457000

摘要: 剑阁区块礁滩气藏试采地面工程内部集输支线试验线路为 $\phi 168.3 \times (8+3)$ L360QS+UNS N08825复合管, 要求按《耐腐蚀合金双金属复合管焊接及无损检测技术标准》(SY/T7464-2020)标准的实施, 无损检测要求焊缝焊完后做自动超声检测(AUT)。 $\phi 168.3 \times (8+3)$ 规格管道管径小、基层壁厚薄。文章从CRA焊缝声学性能分析、检测工艺设计、探头选择等方面进行了研究探讨, 结合工程实际提出了具体的解决方案, 具有一定的实际意义及应用价值。

关键词: CRA复合管; 一维线阵相控阵检测; 爬波检测; TRL探头; TOFD检测

1 引言

耐腐蚀合金双金属复合管(CRA复合管)在高含硫天然气田中运用输送腐蚀性较强的介质, 其主要结构特征是以碳钢管为基层内壁增加一层耐蚀合金(不锈钢)为复层。2021年以前国内对CRA复合管的检测以RT检测+UT检测, 由于CRA管道的结构特性UT检测效果不佳。AUT自动超声波检测属于一种新的检测方法, 且是复合管焊缝焊接缺陷非常有效检测手段。

笔者从CRA复合管焊缝声学特征分析、检测工艺设计、探头选择方面进行了研究探讨, 并结合工程实际提出了具体的解决方案, 验证了薄壁小管径CRA复合管AUT检测工艺的适用性。具有一定的实际意义及应用价值。

2 CRA复合管环焊缝结构特点

《耐腐蚀合金双金属复合管焊接及无损检测技术标准》(SY/T 7464-2020)于2021年2月1日正式实施。中国石油西南油气田分公司重点地面工程剑阁礁滩试采工程内部集输支线复合管无损检测要求: 项目 $\phi 168.3 \times (8+3)$ 复合管采用SY/T 7464-2020标准: 焊缝焊完后做自动超声检测(AUT)。

剑阁礁滩试采工程内部集输支线施工技术要求: $\phi 168.3 \times (8+3)$ L360QS+UNS N08825复合管采用全自动钨极氩弧焊。坡口形式: U型(图1)

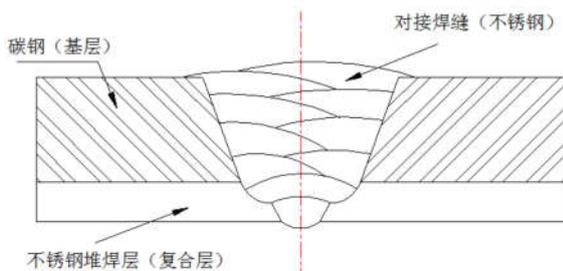


图1 CRA复合管环焊缝的坡口形式及结构特征
 $\phi 168.3 \times (8+3)$ CRA管道的结构特性, 管径小、基层壁

厚薄。较碳钢焊缝, CRA复合管焊缝更加复杂, 主要表现在碳钢基层母材与复层材料差异、碳钢基层母材与焊缝填充材料差异。不锈钢焊缝中, 复层和焊缝材料为不锈钢, 晶粒结构使得超声波在传播过程中产生较大的衰减和散射, 同时还造成声束和衰减的各向异性以及声束的偏转, 背景噪声大, 使信噪比大幅度下降。

具体分析:

(1) 异质界面: 在环焊缝上下游各50mm范围内复层与基层的结合层多为焊接成型后内膛形成规定尺寸。结合层为起伏的曲面, 声波反射、折射、波形转换情况复杂。导致声束无法在底面产生理想的反射波束。另母材基层和复层材料的声阻抗不同, 会导致散射及衰减造成能量损失, 回波信号不易分析。

(2) 全自动钨极氩弧焊, 焊接材料为ERNiCrMo-3。对于不锈钢焊缝其本身有晶粒粗大及显著的各项异性, 声波在其内部衰减严重, 超声波的衰减呈各向异性, 随声束方向与柱状晶成长方向夹角的变化而变化。缺陷回波被淹没导致仪器无法区分接收到的缺陷信号而造成漏检。

由于上述原因的限制, 常规的AUT检测工艺(一、二次横波线扫)无法实施。复合管的AUT检测工艺的设计应采用一次纵波进行检测。对于不锈钢焊缝而言, 在同样的声束与晶粒成长方向夹角条件下, 纵波比横波的波束偏转角度要小, 利于缺陷的准确定量。相同频率的探头, 纵波比横波的声衰减要小, 穿透能力要强。纵波在声束的聚焦区域可以得到较高的检测灵敏度和信噪比。

3 CRA复合管AUT检测工艺设计

AUT检测工艺设计时, 纵波波束偏转角度小于横波波束, 选用较低频率的超声波探头, 可以减小声束的散射和衰减, 使纵波声束的穿透能力增加。选择一次纵波检测, 使CRA材料各向异性及结构界面对检测结果的影响降至最小。

3.1 一维线阵相控阵检测

根据CRA复合管环焊缝结构特征：根焊完成表面清理之后的有效厚度应控制在1.5-2.0mm；热焊层厚度完成后不应接触碳钢层；填充、盖面焊每层熔敷金属有效厚度应控制在2.0-2.5mm。 $\varnothing 168.3 \times (8+3)$ 规格管道焊缝可分为根焊区、热焊区、填充区、盖面区。

选用较低频率3-5MHz的一维线阵相控阵探头，纵波线性阵列，带状图+B扫描，分区扫描法以不同折射角度覆盖焊缝中下层检测区域。声束覆盖根焊区、热焊区和部分填充区，声束覆盖上限在5mm左右，无法检测盖面区和上部的填充区部分。

3.2 爬波检测

为了对表面和近表面的缺陷进行检测。采用爬波声束覆盖盖面区和填充区部分。用于检测焊缝表面和近表面的缺陷。

爬波是在自由表面的位移有垂直分量的纵波，也称为表面下纵波。爬波能有效穿透焊缝且不受异材及晶粒结构尺寸的限制，信噪比高，工件表面的刻痕、不平整、凹陷、液滴等对爬波影响小。爬波声束对工件的表面及近表面缺陷非常灵敏，特别是表面及近表面横向裂纹类缺陷，爬波检测可以保证对焊接接头表面上表面检测区域的覆盖和有效的检测。

采用一发一收双晶并列式爬波探头。并列式结构使探头外形尺寸可以做到更小，楔块曲率半径与工件一致，使探头与小规格管径的管道耦合良好，一发一收的结构形式避免了阻塞效应，减小了检测盲区，抑制了工件表面产生的干扰性回波。

爬波探头通过选择合适的 $f \times D$ 值，可改变对表面和近表面缺陷的敏感度，有利于近表面缺陷的探测，检测深度0-9mm。

本项目管道壁厚薄，选用了频率5MHz，晶片尺寸 $5 \times 8 \times 2$ ，使用专用对比试块调试校准，沿试块轴线移动爬波探头，调整爬波探头的位置以得到最高波幅，固定探头。使3个盖帽槽、7mm深 $\varnothing 3$ mm平底孔均清楚辨识。调整增益使最高波幅达到满屏高度的80%，以此作为基础参考灵敏度。校准完成后，爬波声束覆盖区域内各人工反射体需清楚辨识。

3.3 TRL探头检测

CRA复合管根部为复层、基层、焊缝结合部位。此处波形复杂，且根部形成的错口、内凹、未熔合、未焊透缺陷。这些缺陷的有效检出是CRA复合管质量重点，也是AUT检测工艺的重点和难点。由于这些缺陷自身存在不同的形状特征，会形成不同的反射波幅和角度反

射。为加强根部复合层的检测，根部增加TRL（双晶纵波）探头进行检测。

在CRA复合管焊缝检测中，宽频带窄脉冲探头优点：

① 可有效的抑制草状回波，提高检测的信噪比和分辨率，利于对缺陷的准确定量，

② 在声束的聚焦区域可以得到较高的检测灵敏度和信噪比。

③ 避免了由界面或楔块回波造成的杂乱波影响，有效减少了干扰信号，提高了缺陷的分辨能力。

此实验段管材为管壁较薄的小径管。经多个角度探头试验对比，选用 56° 短聚焦TRL（双晶纵波）探头。使聚焦区域能覆盖焊缝根部复合层区域，使根部有较高的检测灵敏度和信噪比，提高危害性缺陷的检出率。

TRL通道以根部槽校准。沿试块轴线移动TRL探头，至信号达到最高波幅，固定探头。移动扫查器至信号达到最高波幅，固定扫查器。调整增益，至信号达到满屏高度80%，此作为基础参考灵敏度。实施校准时，根部槽及根部孔需清晰辨识。

3.4 TOFD检测

从原理上讲，TOFD检测与超声脉冲回波检测是两种不同的技术，TOFD检测依赖于缺陷的端点衍射，缺陷衍射信号与声波角度没有关系，检测可靠性和精度不受缺陷与入射声束之间角度的影响。运用衍射信号传播时差确定衍射点位置、区分缺陷上下端点。缺陷定量定位不依靠信号振幅。

TOFD检测对上下表面盲区外焊缝缺陷检出率很高，容易检出方向性不好的缺陷，可以识别向表面开口缺陷，缺陷定量、定位精度高。

当爬波通道的存在缺陷波幅时，探头的频率和阻抗匹配性直接影响缺陷上下端点回波信号的判断。在A扫界面中有时会很难分辨出缺陷上下端点反射回波。这样就很难区分是表面缺陷还是埋藏缺陷，可以通过TOFD区分表面缺陷，表面缺陷会造成直通波下沉。

TOFD探头采用5MHz探头，楔块角度 70° ，可明显区分的出碳钢层、不锈钢层，其中碳钢层信噪比较好，不锈钢层信号较乱。实施校准时直通波波幅调到满屏高度的40%~80%。噪声波幅要控制在满屏高度的5%以下，对比试块上TOFD上下尖角槽需清楚辨识。

4 现场检测

调整扫查架周向弯曲半径，各组探头固定在专用扫查架上，使探头与工件贴合良好。探头在焊缝两侧对称固定，调整探头与焊缝中心位置，使四组探头有针对性地覆盖其各自检测区域，不同探头组产生的波束有合适

的重叠区域,实现焊缝的有效覆盖。

① 爬波探头组覆盖上表面区域,从而实现盖面区和上中部填充区检测。

② 相控阵探头组覆盖根焊区、热焊区和部分填充区,采用纵波声束线性扫查,双门带状图+B扫描,分区

扫查法以不同折射角度覆盖焊缝中下层检测区域。

③ TRL短聚焦(双晶纵波)探头组,针对复合层区域,提高根焊区、热焊区检测精度。

④ TOFD探头组覆盖除上下表面盲区以外的整个焊缝区域。对焊缝缺陷定量、定位。

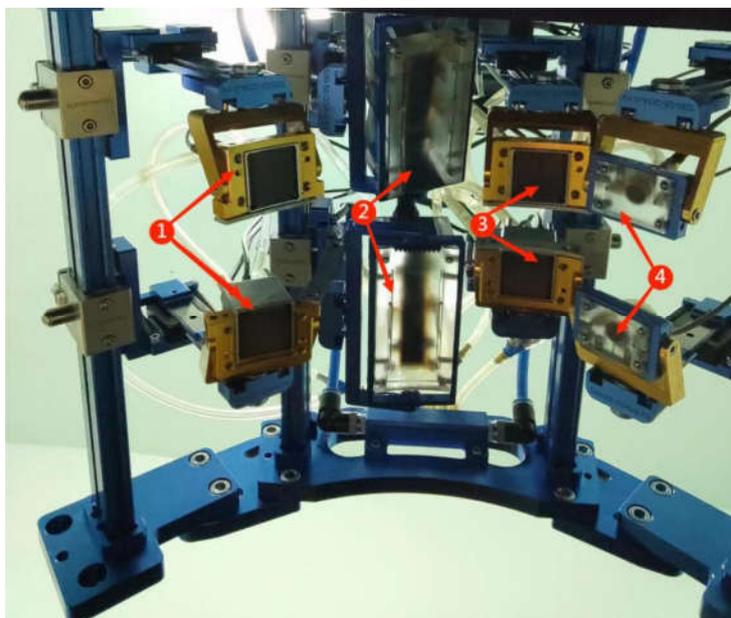


图6 探头组(①爬波探头组、②相控阵探头组、③TRL探头组、④TOFD探头组)

实际检测中CRA焊缝的缺陷尺寸依据显示通道、缺陷波幅、时间门和波幅门位置对缺陷信号进行综合评定。所有明显的信号,需根据验收准则评判其波幅、TOFD、深度、高度、长度性质等。信号的所有方面需综合考虑以避免过高或过低估计。上下游探头检测数据信息同时用于检测结果的评定及缺陷位置的确定。依据波幅法或TOFD等几种方法中的一种或其综合,用来评判缺陷测量。

5 结语

本文结合剑阁礁滩内部集输支线复合管无损检测项目实际,结合笔者多年的管道爬波检测和奥氏体不锈钢TRL探头检测相关经验,对薄壁小管径CRA复合管AUT检测工艺进行了研究探讨,解决了小管径CRA复合管AUT检测相关技术问题。对项目检测结果统计分析显示AUT检测对未熔合、未焊透、根部内凹、错口等危害性缺陷有良好的检出率。证明了AUT检测工艺对薄壁小管径CRA复合管具有良好的适用性,

随着AUT技术的发展,尤其是仪器探头制作工艺的

进步,双线阵列探头和双面阵列探头的研发应用,做到一种探头模拟多种声束检测,减少探头组数量,具有更快的扫描速度。可取代一维线阵探头组和TRL探头组使CRA复合管的AUT检测中更加优化。检测软件技术的提升,检测工艺必将呈现多元化发展。

参考文献

- [1]耐蚀合金双金属复合管焊接及无损检测技术标准[S].SY/T7464-2020
- [2]张鹰吗,张延丰,雷毅,奥氏体不锈钢焊缝的超声波检测方法研究[J].无损检测,2006,28(3):119-122.
- [3]王维东,韩玉峰,陆亚中,魏忠瑞,小径管焊缝超声爬波探伤工艺方法研究[J],无损检测,2008.06(3).36-41
- [4]卢威,聂勇,许远欢,尹鹏,宽频带窄脉冲TRL探头在奥氏体不锈钢焊缝超声检测中的优越性[J],无损检测,2013.06.77-80
- [5]张俊杰,吴员,赵明达,海底管道厚壁CRA管AUT检测技术研究与应用[J],化工管理,2020.04.28-29