

# Geometric Wave Analysis of Phased Array Ultrasonic Testing for Circumferential Welds of Oil and Gas Pipelines

Xuegang Tao

Xuzhou Oriental Engineering Testing Company, Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

## Abstract

Phased array ultrasonic detection (hereinafter referred to as PAUT) technology is more and more applied in oil and gas pipeline ring welding detection. UT detection has the advantages of permanent data preservation, fast detection speed and issuing test results on site, but the evaluation of PAUT scanning map needs to have rich experience to perform, especially for the identification of some geometric structural waves, which is often easy to cause misjudgment. This paper discusses the experience summarized in practical work.

## Keywords

PAUT; geometric wave; fan sweep; A sweep

## 油气管道环焊缝相控阵超声检测几何波分析

陶学刚

徐州东方工程检测有限责任公司, 中国 · 江苏 徐州 221000

## 摘要

相控阵超声波检测(以下简称PAUT)技术在油气管道环焊缝检测中应用越来越多, PAUT比UT检测具有数据永久保存、检测速度快和现场出具检测结果的优点, 但PAUT扫查图的评定需要具有丰富经验来执行, 特别是对一些几何构造波的识别, 往往容易造成误判的问题。论文结合实际工作中总结出的经验, 讨论几何波显示分析。

## 关键词

PAUT; 几何波; 扇扫; A扫

## 1 引言

油气管道焊缝通常采用 V 型坡口单面焊双面成型焊接工艺, 焊缝上表面余高和根部余高在特定成型部位会产生根部余高反射波、变形纵波、上表面反射波和盖帽反射波。油气管道环焊缝检测时通常是 PAUT+TOFD 技术相结合使用, 一方面用 PAUT 弥补 TOFD 上下表面检测盲区, 另一方面用 TOFD 辅助 PAUT 对缺欠进行定性, 对几何波分析的过程中可结合 PAUT 的扇扫通道和 A 扫波形及 TOFD 通道综合分析, 避免将几何波当成缺陷波评判。下面具体分析四种几何波的产生机理和特征。

## 2 根部余高反射波

①正常焊接的单面焊双面成型的焊缝, 焊缝根部会形成规则的余高, 当根部余高曲率较小时, 反射波幅低, 对

评判影响较小。根部余高曲率较大时(见图 1), 反射波幅较高。如果根部余高曲率一直较大<sup>[1]</sup>, PAUT 做周向连续扫查时该反射波将在屏幕中将一直出现, 会影响缺欠的识别。



图 1 根部曲率大时余高反射波显示

### ②根部余高几何反射波特征:

第一, 通常情况下根部焊瘤反射波深度大于 T (公称壁厚)。

第二, 反射波的水平位置, 一般大于步进偏移距离, 从两个 PA 探头侧都能满足这一条。

第三, 移动扇扫通道角度指针时, 根部余高反射波的波幅不同。

第四, 如果能将焊缝根部余高打磨与母材平齐, 余高反

【作者简介】陶学刚(1981-), 男, 中国辽宁庄河人, 本科, 高级工程师, 技术员, 从事无损检测技术研究。

射波消失。

### 3 变形纵波

①在两种不同阻抗的介质 1 和介质 2 中，当横波入射角小于第三临界角时，在反射波中既有横波又有纵波，而横波变为纵波的过程称之为波形转换，这时的反射纵波称为变形纵波。

②当超声波束入射至焊缝根部余高时（图 2a） $\alpha$  点），此时存在钢/空气两种介质，此时会发生波形转变，横波变为纵波 L。当横波入射角度合适时，纵波会垂直入射至焊缝上表面 b 点，此时 L 波反射波幅较高（图 2-b）L 点）。通常情况下，该入射横波为根部某个角度的扩散声束，能量相对较小，因此波幅一般小于的根部曲率大时余高反射波幅。

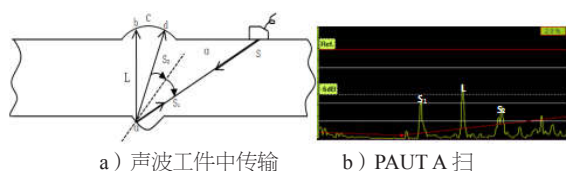


图 2 变形纵波示意图

③变形纵波的特征如下：

第一，变形纵波声程传输较远，因此常出现在根部余高反射波后面。

第二，当整条焊缝的根部余高形状近似相同时，变形纵波在 PAUT 扫查图上的水平值和深度值近似固定（如图 2b）所示），L 波始终在  $S_1$  和  $S_2$  波中间出现。

### 4 上表面反射波

① PAUT 声束入射至根部余高时，既有波形转换的纵波<sup>[2]</sup>，也存在反射横波，即横波经过根部余高特定点反射后，反射横波垂直入射上表面余高，形成上表面反射波（如图 2a）d 点）。

②上表面反射波（横波）特征：

第一，上表面反射波与变形纵波的特征非常相似，但是

反射横波的声速小于变形纵波的声速，因此上表面反射波位于根部余高波和变形纵波之后，如图 2 所示即为上表面反射波。

第二， $S_2$  波幅的大小与根部余高曲率半径大小有关，当根部余高曲率越小，该波反射较强，而根部余高曲率越大反射波和变形纵波较低或消失。该反射波会在 PAUT 二次波范围中显示。

### 5 盖帽反射波

①盖帽反射波在 PAUT 扫查图中并不难识别，如图 3 所示，当声束打到焊缝盖帽 c 点时，从扇扫图中可见反射波深度读数略大于 2 倍壁厚，水平位置距离焊缝中心偏探头对侧。

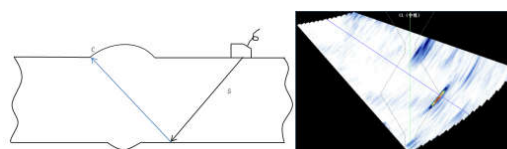


图 3 焊缝盖帽反射波示意图

②如果能正确识别盖帽反射波，对 PAUT 扫查图评定时可借助盖帽反射波确定扫查定位是否准确。

### 6 结语

PAUT+TOFD 检测可靠性和数据可记录性已远远超过 UT，特别是随着智慧、数字化油气管道建设的需要，PAUT+TOFD 检测将会在今后得到更多的应用<sup>[3]</sup>。正确识别 PAUT 扫查图中的几何反射波，对评图具有十分重要的意义；还可通过与其他方法比对，不断丰富 PAUT 评图经验，提高评图正确率，保证油气管道安全运行。

### 参考文献

[1] 宋天民.超声检测[M].北京:中国石化出版社,2012.  
 [2] 胡志南.超声相控阵检测与成像技术研究[D].广州:华南理工大学,2013.  
 [3] 张清岫.定向井钻井工艺技术优化措施探讨[J].西部探矿工程,2021, 33(7):67-68.