

# 常规 TOFD 探头和相控阵 TOFD 探头 对人工反射体检测效果的比较

田国良<sup>1</sup>, 马殿忠<sup>2</sup>, 周育宇<sup>3</sup>

(1. 辽宁省葫芦岛市特种设备监督检验所, 葫芦岛 125001; 2. 中国特种设备检测研究院, 北京 100013;  
3. 中石油管道局国际公司 利比亚地区公司, 廊坊 065000)

**摘要:**采用全自动相控阵超声波检测系统和常规多探头超声波检测系统, 对全自动超声波试块进行检测, 以比较相控阵 TOFD 探头和常规 TOFD 探头对人工反射体的检测效果。通过分析试块上 TOFD 尖角槽、横向槽及通槽的 TOFD 图像, 表明多探头超声波检测系统采用常规 TOFD 探头的检测结果比全自动相控阵超声波检测系统采用相控阵 TOFD 探头的检测结果有强大优势, 提出全自动相控阵超声波检测系统与常规 TOFD 探头组合配置是最佳方式。

**关键词:**常规 TOFD 探头; 相控阵 TOFD 探头; 全自动超声波试块; TOFD 尖角槽; 横向槽; 通槽

中图分类号: TG115. 28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2010)05-0353-04

## Comparison of the Artificial Reflector Inspection Using Conventional TOFD Probe and Phased Array TOFD Probe

TIAN Guo-Liang<sup>1</sup>, MA Dian-Zhong<sup>2</sup>, ZHOU Yu-Yu<sup>3</sup>

(1. Huludao Special Equipment Supervision and Inspection Institute, Huludao 125001, China;  
2. China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100013, China;  
3. China Petroleum Pipeline International(Libya), Langfang 065000, China)

**Abstract:** A mechanized phased array UT system and a conventional multi-probe UT system were employed on an AUT calibration block to find the difference of artificial reflector inspection between phased array TOFD probe and conventional TOFD probe. After reviewed the TOFD images from the TOFD sharp-angled notch, transverse notch and center notch in the block, obverse advantage was found for the multi-probe UT system with a conventional TOFD probe beyond the mechanized phased array UT system with a phased array TOFD probe. Therefore, a mechanized UT system equipped with a conventional TOFD probe is the best configuration.

**Keywords:** Conventional TOFD probe; Phased array TOFD probe; AUT calibration block; TOFD sharp-angled notch; Transverse notch; Through notch

全自动超声波检测(以下简称 AUT)是将焊缝沿厚度方向分成若干个区, 每个区用一对或两对聚焦探头(声束)检测, 同时还采用非聚焦探头(声束)检测, 因此要求检测系统是多通道; 检测结果以图像形式显示, 分为 A 扫描、B 扫描及 TOFD 等三种显示方式; 扫查器在管道环向进行自动扫查及自动声耦合, 可对整个焊缝厚度方向的分区进行全面检测,

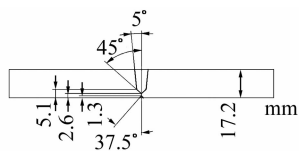
自动将检测结果和声耦合显示在图像上。AUT 设备分为全自动相控阵超声波检测系统和常规多探头超声波检测系统。

作为 AUT 检测的关键技术之一——超声衍射时差技术(TOFD)在我国石化、电力及特种设备行业已经开始应用, 并得到认可。而我国石油天然气长输管道环焊缝检测采用全自动相控阵超声波检测技术, 由相控阵探头形成 TOFD 声束(以下简称相控阵 TOFD 探头)。笔者采用全自动相控阵超声波检测系统和常规多探头超声波检测系统分别对

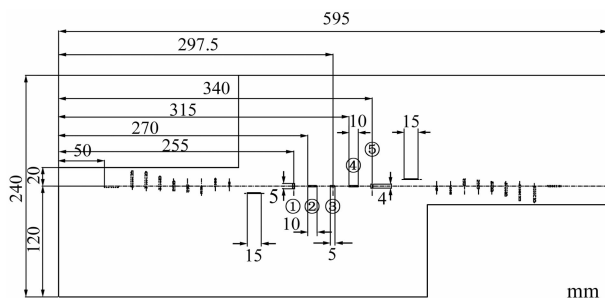
收稿日期: 2009-06-29

作者简介: 田国良(1971—), 男, 工程师, 从事长输管道和锅炉压力容器无损检测工作。

AUT 试块(图 1)上人工反射体进行检测。通过对试块上的 TOFD 尖角槽、横向槽及通槽的 TOFD 图像分析,比较多探头超声波检测系统采用常规 TOFD 探头与相控阵 TOFD 探头的检测结果。



(a) AUT 试块焊缝坡口示意图



① 上表面横向槽;② 上表面 TOFD 尖角槽;③ 通槽;

④ 下表面 TOFD 尖角槽;⑤ 下表面横向槽

(b) AUT 试块人工反射体布置图

图 1 AUT 试块示意图

## 1 人工反射体检测与分析

对比试验所用线性相控阵 TOFD 探头频率为 7.5 MHz、60 个晶片、角度 70°、晶片主动孔径尺寸 4.92 mm,常规 TOFD 探头频率为 7.5 MHz、晶片尺寸 3 mm、角度 70°。

### 1.1 TOFD 尖角槽

#### 1.1.1 上表面 TOFD 尖角槽

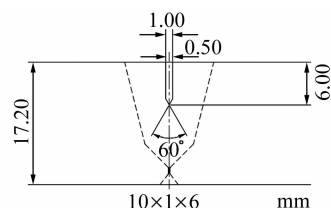
上表面 TOFD 尖角槽的示意图见图 2(a),其检测结果见图 2(b)和(c)。从图 2(b)和(c)中箭头处看出,上表面 TOFD 尖角槽在 TOFD 通道中显示明显,直通波信号被断开。

由相控阵 TOFD 探头检测上表面 TOFD 尖角槽结果为长度 10 mm,深度 6.22 mm,自身高度 6.22 mm。常规 TOFD 探头检测结果为长度 10 mm,深度 6.20 mm,自身高度 6.20 mm。

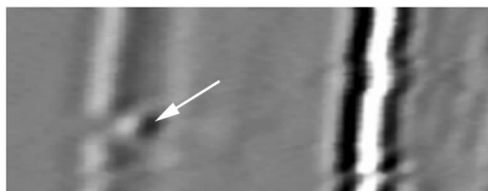
结果表明,两种类型 TOFD 探头均能检测出上表面 TOFD 尖角槽,测量结果基本一致。在 TOFD 通道中能看到 TOFD 尖角槽的下端点,看不到上端点,直通波信号被断开,说明该缺陷为表面开口型缺陷。

#### 1.1.2 下表面 TOFD 尖角槽

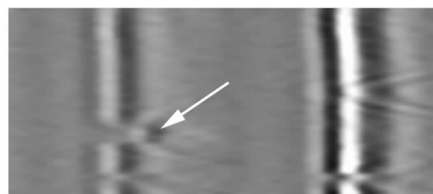
下表面 TOFD 尖角槽示意图及各检测结果见图



(a) 上表面 TOFD 尖角槽示意图

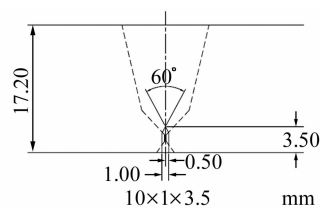


(b) 相控阵 TOFD 探头检测

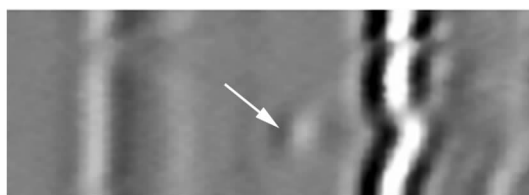


(c) 常规 TOFD 探头检测

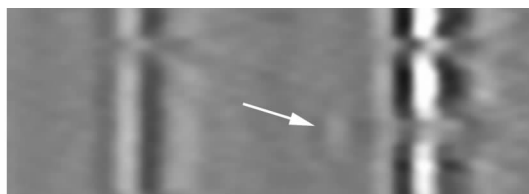
图 2 上表面 TOFD 尖角槽检测结果



(a) 下表面 TOFD 尖角槽示意图



(b) 相控阵 TOFD 探头检测



(c) 常规 TOFD 探头检测

图 3 下表面 TOFD 尖角槽检测结果

3. 从图 3(b)和(c)中箭头处看到,下表面 TOFD 尖角槽在 TOFD 通道中显示明显,底面反射波信号未被断开,但图 3(b)的底面反射波有延迟突变现象。

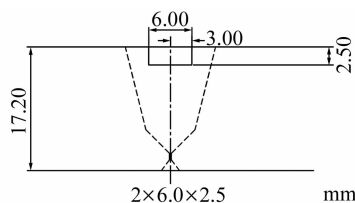
相控阵 TOFD 探头检测下表面 TOFD 尖角槽尺寸为长度 10 mm, 深度 13.89 mm, 自身高度 3.31 mm。常规 TOFD 探头检测结果为长度 10 mm, 深度 14.0 mm, 自身高度 3.3 mm。

结果表明, 两种类型 TOFD 探头均能检测出下表面 TOFD 尖角槽, 测量结果基本相同。常规 TOFD 探头比相控阵 TOFD 探头显示的图像更清晰, 分辨力更好。相控阵 TOFD 探头显示的图像底面反射波有延迟突变现象, 但底面反射波信号未被断开。常规 TOFD 探头显示的图像底面反射波信号被断开, 能直观看出该缺陷为表面开口型缺陷。检测结果说明常规 TOFD 探头比相控阵 TOFD 探头有明显优势。

## 1.2 横向槽

### 1.2.1 上表面横向槽

上表面横向槽示意图及检测结果见图 4。从图 4(b) 中箭头处看出, 上表面横向槽处于相控阵 TOFD 探头盲区中, 图像显示很微弱; 从图 4(c) 中箭头处看到, 上表面横向槽在 TOFD 通道中有非常清晰显示, 直通波信号未被断开。



(a) 上表面横向槽示意图



(b) 相控阵 TOFD 探头检测



(c) 常规 TOFD 探头检测

图 4 上表面横向槽检测结果

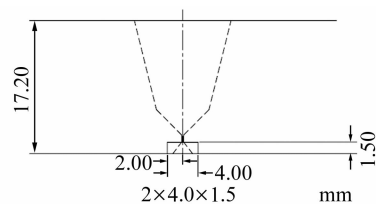
相控阵 TOFD 探头未能清楚检测出上表面横向槽。常规 TOFD 探头检测结果为长度 6 mm, 深度 3.1 mm, 自身高度 3.1 mm。

结果表明, 上表面横向槽处于相控阵 TOFD 探

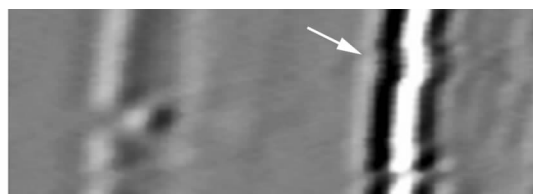
头盲区中, 故无法测量其尺寸。而常规 TOFD 探头检测上表面横向槽图像显示很清晰, 未处于盲区中, 故容易测量其尺寸。检测结果说明常规 TOFD 探头盲区明显小于相控阵 TOFD 探头的盲区。

### 1.2.2 下表面横向槽

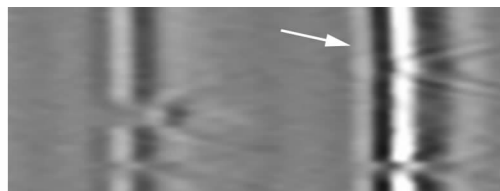
下表面横向槽示意图及检测结果见图 5。从图 5(b) 中箭头处看到, 下表面横向槽在 TOFD 通道中有显示, 但影像模糊, 底面反射波信号未被断开; 从图 5(c) 中箭头处看到, 下表面横向槽在 TOFD 通道中有非常清晰的显示, 但底面反射波信号未被断开。



(a) 下表面横向槽示意图



(b) 相控阵 TOFD 探头检测



(c) 常规 TOFD 探头检测

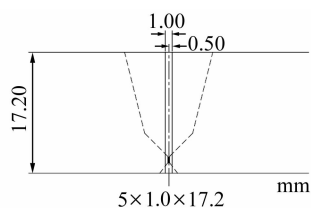
图 5 下表面横向槽检测图

由相控阵 TOFD 探头检测下表面横向槽结果为长度 6 mm, 深度 15.54 mm, 自身高度 1.66 mm。常规 TOFD 探头检测结果为长度 6 mm, 深度 15.5 mm, 自身高度 1.7 mm。

结果表明, 两种类型 TOFD 探头均能检测出下表面横向槽, 测量结果基本相同。相控阵 TOFD 探头检测下表面横向槽图像有显示, 很弱、容易被忽略。常规 TOFD 探头检测下表面横向槽图像显示很清晰, 很容易分辨。检测结果说明常规 TOFD 探头的分辨力明显好于相控阵探头。

## 1.3 通槽

通槽示意图及检测结果见图 6。从图 6(b) 中箭头处看到, 通槽在 TOFD 通道中有显示, 直通波和底面反射波均断开; 从图 6(c) 中箭头处看到, 通槽



(a) 通槽示意图



(b) 相控阵 TOFD 探头检测



(c) 常规 TOFD 探头检测

图 6 通槽 TOFD 检测图

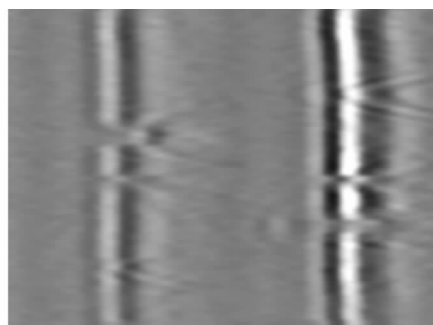
在 TOFD 通道中有非常清晰的显示,直通波和底面反射波均断开。

相控阵 TOFD 探头检测通槽结果为长度 6 mm,自身高度 17.2 mm。常规 TOFD 探头检测结果为长度 6 mm,自身高度 17.2 mm。

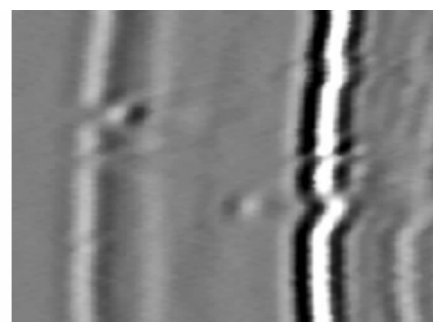
结果表明,两种类型 TOFD 探头均能检测出通槽,测量结果相同。在 TOFD 通道中,直通波信号和底面反射波信号均被断开,说明该缺陷属于贯穿型缺陷。常规 TOFD 探头显示图像的清晰度明显优于相控阵 TOFD 探头。

## 2 两种探头的总体扫查图

采用常规 TOFD 探头和相控阵 TOFD 探头分别对 AUT 试块上的 TOFD 尖角槽、横向槽及通槽进行检测,总体扫查图见图 7。从总体扫查图看,常规 TOFD 探头检测出 5 个缺陷,而相控阵 TOFD 探



(a) 常规 TOFD 探头



(b) 相控阵 TOFD 探头

图 7 两种类型 TOFD 探头总体扫查图

头检测出 4 个缺陷。常规 TOFD 探头图像的分辨力和清晰度远好于相控阵 TOFD 探头。

## 3 结语

无论从缺陷检出率方面还是从分辨力和图像清晰度看,采用常规 TOFD 探头检测效果明显优于采用相控阵 TOFD 探头。

全自动相控阵超声波检测系统采用 A 扫描、B 扫描和 TOFD 三种技术检测管道环向焊缝,缺陷的方向性对 A 扫描和 B 扫描影响严重,TOFD 技术不受缺陷的方向性影响,因此检测时三种技术必须相结合,缺一不可,否则会出现漏检和漏评现象。

综上所述,全自动相控阵超声波检测系统检测管道对接环焊缝时,采用外挂常规 TOFD 探头的方法是最佳配置方式,能更有效保障管道环焊缝的缺陷检出率和检出效果。

(上接第 341 页)

mal adjustment of the coarse grained localization-algorithm for wireless sensor networks[C]// Workshop on Positioning, Navigation, and Communication WPNC' 2004, Hanover, Germany:[s. n.],2004.

[6] Errington A, Daku B L F, Dodds D. Characterization of the energy spectral density for a potash mine[C]//

Coference on Electrical and Computar Engineering, Canada:[s. n.],2005.

[7] 王建,王汝琳,王学民,等.煤矿瓦斯监测无线传感器网络系统设计与实现[J].中国矿业大学学报,2006(10): 112—114.

[8] 汪琼.无线传感器网络中基于声音能量的目标定位算法[D].武汉:华中科技大学,2006.4.