

PE 管道热熔对接接头的 TOFD 检测

董 洋

(安徽华夏高科技开发有限责任公司, 合肥 230041)

摘要: 研究了 PE 管材热熔对接接头的超声衍射时差法检测工艺特性, 对人工缺陷试样及现场实际缺陷进行检测, 验证了该工艺的可靠性。结果表明, 超声衍射时差法技术能够可靠地检测出 PE 管材热熔对接接头中的典型缺陷。

关键词: PE 管道; 热熔对接接头; 超声衍射时差法

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2022)09-0042-03

TOFD inspection of PE pipe hot melted butt joint

DONG Yang

(Anhui Huaxia High Science and Tech Development Co., Ltd., Hefei 230041, China)

Abstract: The characteristics of the ultrasonic testing process of the hot-melted butt joint of PE pipes by the diffraction time difference method were studied. The artificial defect samples and the actual defects on site were tested, and the reliability of the process was verified. The results show that the diffraction time difference ultrasonic testing technology can reliably detect the typical defects in the hot-melted butt joints of PE pipes.

Key words: PE pipe; hot melt butt joint; TOFD

随着 PE(聚乙烯)管材生产技术的日益发展, 其产品的质量和性能得到了大幅提升, 已在许多领域替代传统的金属管道。在城市燃气管网领域, PE 管道凭借密度小、韧性好、耐腐蚀的特性及易焊接和方便施工的优点, 成为了燃气管网的主流材料。近年来多次燃气泄漏及爆炸事故的发生, 使得燃气管道的安全性和稳定性受到公众的广泛关注。

相关统计资料表明, 目前多数 PE 管线事故的发生源于 PE 管材焊接接头的失效。PE 管线需要在施工现场焊接完成安装, 受施工现场的复杂环境因素及施工技术水平影响, 其焊接接头可能会产生气孔、夹杂、未熔合等埋藏缺陷。早期 PE 管材缺乏相应的检测技术, 导致当时施工单位往往只依靠经验进行宏观检测或不进行检测直接施工, 给现在正在使用的 PE 管网埋下了大量的安全隐患。为此文章研究了 PE 管材热熔对接接头的超声衍射时差法

检测工艺特性, 通过对人工缺陷试样及现场实际缺陷进行检测, 来验证该工艺的可靠性。

1 PE 管材热熔接头的超声衍射时差法检测

PE 管材与传统的金属管材在材料性质及焊接工艺上存在很大的差异。传统脉冲回波法超声检测工艺通过检测缺陷的反射波发现缺陷, 缺陷方向会影响反射波的波幅使脉冲回波法难以发现特定方向的缺陷, 同时其检测结果无法留存且难以复现, 这导致传统的脉冲回波法在 PE 管材上难以使用。

超声衍射时差法(TOFD)是一种新型超声检测方法, 与常规的超声脉冲回波方法不同, TOFD 通过检测目标缺陷在波束中产生的衍射波来发现缺陷, 其检测原理如图 1 所示。

检测时, 由发射探头发射的非聚集脉冲波束进入工件, 在无缺陷的情况下, 接收探头会接收到沿工件表面传播的直通波脉冲和底面反射回来的底波脉冲, 这两个脉冲信号的相位相反, 是 TOFD 系统评定缺陷深度的参考。若检测区域存在缺陷, 声波会在缺陷的尖端形成覆盖较大角度范围的衍射波信

收稿日期: 2022-02-21

作者简介: 董 洋(1985—), 男, 本科, 工程师, 主要从事无损检测和无损检测新技术的应用工作

通信作者: 董 洋, 114389627@qq.com

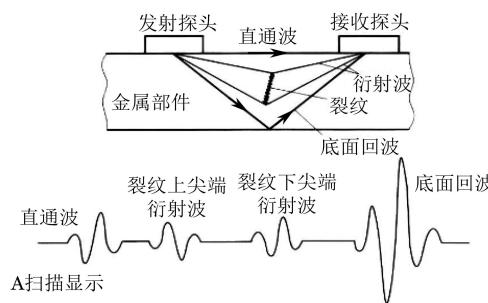


图 1 超声衍射时差法检测原理

号,接收探头会接收到缺陷上下尖端形成的两个衍射信号^[1]。通过衍射波信号和直通波信号与底波信号的时间差可以计算出缺陷在深度方向上的位置和尺寸。

TOFD 检测系统配备带有距离编码器的扫查装置,通过以一定分辨率记录扫查路径上所有 A 扫描结果形成 TOFD 图谱(见图 2)。TOFD 波束检测范围具有一定宽度,缺陷信号呈抛物线形状。

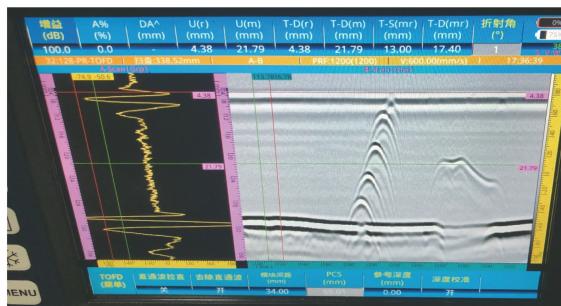


图 2 超声衍射时差法检测图谱

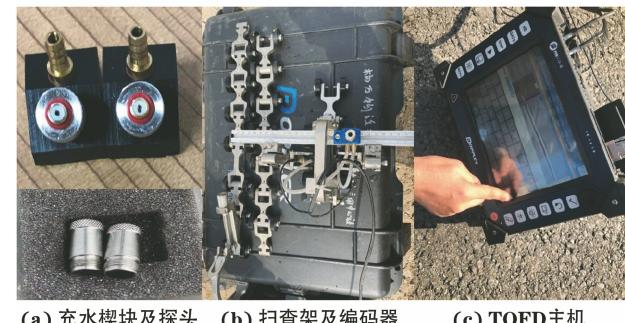
相比于传统的脉冲回波法超声检测,TOFD 使用衍射波检测缺陷的特性使其对缺陷的方向不敏感,能够发现各个方向上的缺陷。由于不依赖缺陷回波强度定量缺陷,TOFD 的检测灵敏度较高且可重复性较好,但衍射波本身强度低的特性也导致了 TOFD 系统检测到的缺陷信号信噪比较低,在高增益的情况下难以判定缺陷。同时受检测波脉冲宽度和检测区域形状的影响,TOFD 检测在工件上表面和下表面存在一定的盲区,这部分盲区对应 A 扫描视图中直通波和底波覆盖的部分,其中下表面盲区较小,在存在焊缝余高的情况下通常可以忽略,但上表面盲区较大无法消除,且会随着脉冲宽度的增大而增大,因此通常需要配合其他的检测方法使用^[2]。

PE 管材热熔对接工艺的特性决定了 PE 管道热熔接头的缺陷通常只会在焊缝中间的熔合区域出现,并且无易出现缺陷的热影响区。因此,通过管材壁厚计算出合适的探头间距后,便可以利用 TOFD 检测区域的中部(灵敏度较高)覆盖热熔接头较窄的

熔合区域,从而获得较高的检测灵敏度,同时较窄的熔合区域及内翻边的存在能够将下表面的检测盲区降至可忽略的范围。

2 试验装置与模拟缺陷试样

为验证超声衍射时差法检测 PE 管材热熔对接接头的工艺可行性,对多个带有人工缺陷的模拟试样进行了 TOFD 检测试验。试验使用多浦乐 PHASCAN II 型多功能超声检测仪作为主机,配合使用带编码器的扫查架(见图 3)。

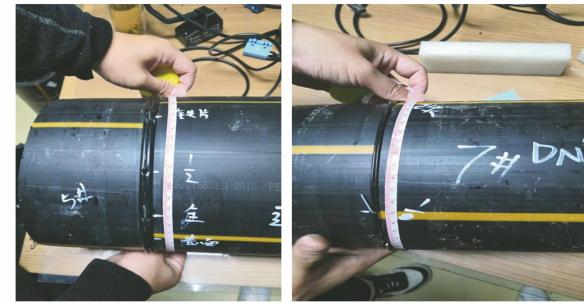


(a) 充水楔块及探头 (b) 扫查架及编码器 (c) TOFD主机

图 3 TOFD 检测装置

根据 PE 材料的声学特性^[3],选择频率为 7.5 MHz 探头以适应 PE 材料较高的声衰减特性,配合使用 60°充水楔块以满足楔块中声速($1483 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)小于 PE 材料声速($2200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)的要求。为得到良好且可持续的界面耦合效果,装置使用加压水桶以提供稳定的水流。该装置可以匹配多种不同管径的对接接头,并且能够提供良好的耦合条件。

为验证检测工艺的技术可行性,参照钢制承压设备检测标准,根据热熔焊接工艺易产生的缺陷,设计加工了多个含有人工缺陷的热熔对接接头缺陷试样,设计的缺陷试样如图 4 所示。



(a) 试样1

(b) 试样2

图 4 设计的人工缺陷试样

试样 1 为 PE-100 SDR17 热熔对接接头,规格为 $200 \text{ mm} \times 12 \text{ mm}$ (直径 \times 壁厚,下同),卷边高度为 3 mm,其上含有模拟未熔合缺陷,长度为 10 mm,深度为 12 mm;模拟短孔缺陷,孔径为 2 mm,深度

为 6 mm；模拟通孔缺陷，孔径为 2 mm，深度为 12 mm。试样 2 为 PE-100 SDR17 热熔对接接头，规格为 160 mm×9.5 mm，其上含有模拟未熔合缺陷，长为 25 mm，深为 9.5 mm；模拟短孔缺陷，孔径为 2 mm，深为 5 mm；模拟通孔缺陷，孔径为 2 mm，深为 9.5 mm。

3 人工缺陷试样检测结果

试样 1 的 TOFD 检测图谱如图 5 所示，由图谱可见 170 mm 位置出现贯穿直通波和底波的缺陷信号，这对应试样上的模拟通孔缺陷；213 mm 位置出现深为 6 mm 的缺陷信号，这对应试样上 6 mm 深的短孔缺陷；270~280 mm 位置处出现了直通波及底波信号中断，这对应试样上长为 10 mm 的模拟未熔合缺陷。

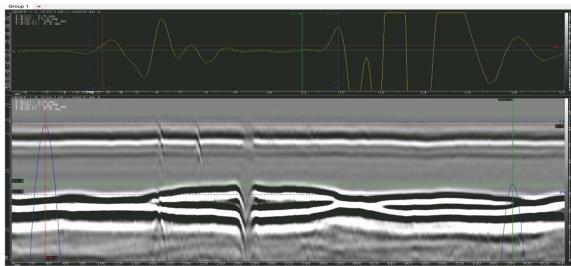


图 5 试样 1 的 TOFD 检测图谱

试样 2 的 TOFD 检测图谱如图 6 所示，由图谱可见 208~233 mm 位置的直通波及底波信号出现中断，这对应试样上长为 25 mm 的模拟未熔合缺陷（夹铁片）；266 mm 位置出现深为 5 mm 的缺陷信号，对应试样上的模拟短孔缺陷；322 mm 位置出现贯穿直通波与底波的缺陷信号，对应试样上的模拟通孔缺陷。

以上模拟缺陷试样的检测结果与模拟缺陷的情况高度一致，证实了 PE 管材热熔接头 TOFD 检测工艺的技术可行性。

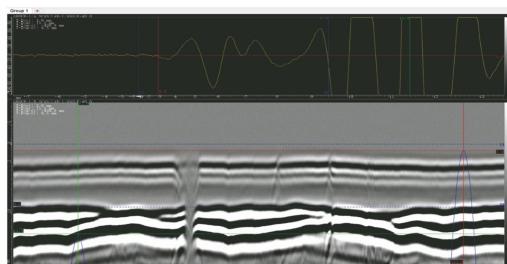


图 6 试样 2 的 TOFD 检测图谱

4 实际缺陷检测

为进一步验证 PE 管材 TOFD 检测工艺的可靠

性，与某燃气集团合作开展了现场检测试验，图 7 所示为合作单位施工现场的实际缺陷试样。



图 7 实际缺陷试样

由于管帽本身重复使用，受合作单位委托检测该热熔接头，检测过程中发现明显缺陷特征，经协调后，现场切开进行缺陷验证。检测时机为热熔焊接工作完成、自然冷却 2 h 后。其 TOFD 检测图谱如图 8 所示。

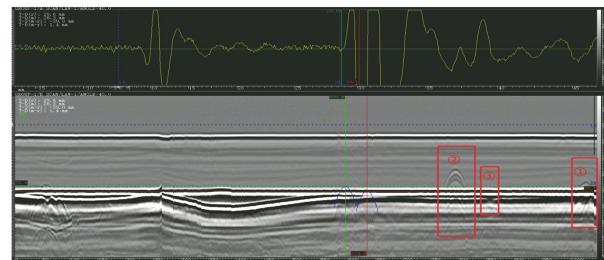


图 8 实际缺陷试样的 TOFD 检测图谱

图谱评定发现横向距离 1 018 mm，深 27.6 mm 处存在长为 30 mm 的内部翻边缺陷（缺陷①）；横向距离 787 mm，深 23.3 mm 处存在长为 6 mm 的埋藏缺陷（缺陷②）；横向距离 858 mm，深 27.7 mm 处存在长为 4 mm 的内部翻边缺陷（缺陷③）。

采用数字射线（DR）检测技术对缺陷位置进行验证，结果如图 9 所示，可以明显看出各个缺陷的位置信息。对 TOFD 技术的准确性进行进一步的验证之后，对缺陷进行解剖验证。

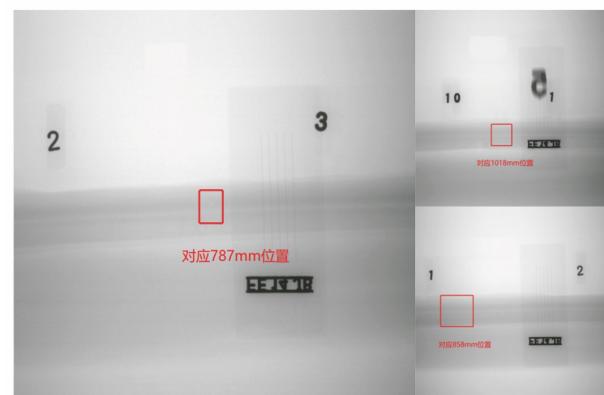


图 9 实际缺陷试样的 DR 检测底片

（下转第 62 页）

表 2 螺栓不合格显示及部分返修记录

编号	螺栓标识号	规格	显示信息					检测日期	备注
			类型	编号	深度/mm	波高/dB	评定		
3-29	1#-023-09	φ48×235	C.	⑦	124	H_0+12	Rej.	11/13/2020	—
30-65	1#-023-09-R1	φ48×235	N. R. D.	—	—	—	Acc.	03/01/2021	返修合格
12-4	2#-036-09	φ48×235	C.	①	112	$H_0+10.6$	Rej.	11/20/2020	不返修,换新
18-1	2#-024-01-修复	φ48×235	C.	①	129	$H_0+0.4$	Rej.	12/29/2020	不返修,换新
18-14	2#-045-10	φ48×235	C.	④	130	$H_0+4.9$	Rej.	12/29/2020	不返修,换新
12-37	2#-048-04	φ48×235	C.	⑦	112	$H_0-9.5$	Acc.	11/20/2020	合格
24-1	2#-048-04-修复	φ48×235	C.	①	110	$H_0+1.5$	Rej.	01/15/2021	修复后不合格
26-21	2#-048-04-修复-R1	φ48×235	I.	⑧	115	H_0-8	Acc.	01/18/2021	返修合格
26-3	1#-018-03-修复	φ48×235	C.	①	149	$H_0+2.1$	Rej.	01/18/2021	修复不合格
27-1	1#-018-03-修复-R1	φ48×235	N. R. D.	—	—	—	Acc.	01/20/2021	返修合格
28-4	1#-032-04-修复	φ48×235	C.	③	155	$H_0+0.1$	Rej.	01/21/2021	修复不合格
29-4	1#-032-04-修复-R1	φ48×235	I.	②	171	$H_0-10.3$	Acc.	01/29/2021	返修合格
28-8	1#-032-08-修复	φ48×235	C.	⑥	149	$H_0+0.5$	Rej.	01/21/2021	修复不合格
29-8	1#-032-08-修复-R1	φ48×235	N. R. D.	—	—	—	Acc.	01/29/2021	返修合格

(3) 设计的探头保护装置和螺栓专用扫查装置,不仅可以提高探头的耦合程度,减少磨损,还可以提高扫查效率。

(4) 利用全数据监测对所有可疑螺栓进行监控,有效地减少了返修成本。

(5) 利用 TFM 技术对在役缆桩螺栓进行检测,有力监控了笔者公司码头缆桩螺栓的质量,保证了公司所建造和维修船舶的系泊安全,该技术值得推

广应用。

参考文献:

- [1] 李衍.超声相控阵全聚焦法成像检测[J].无损检测,2017,39(5):57-64.
- [2] 杨贵德,詹红庆,陈伟,等.相控阵三维全聚焦成像检测技术[J].无损检测,2018,40(5):64-67.
- [3] 戈浩.相控阵超声检测横向分辨力的影响因素[J].无损检测,2018,40(7):27-30.

(上接第 44 页)

图 10 为现场切割验证结果,可见缺陷①有凹坑及夹杂,从而造成内部翻边不良;缺陷②处内翻边无



图 10 实际缺陷试样解剖验证结果

明显问题,初步判断为内部埋藏缺陷,现场无解剖条件;缺陷③有夹杂,造成内部翻边不良。验证结果与之前 TOFD 图谱评定得出的结果相吻合。

5 结语

对含有人工缺陷的模拟试样进行超声衍射时差法检测。结果表明,超声衍射时差法能够可靠地检测出 PE 管道热熔对接接头中的模拟缺陷,并且能够较为精确地对缺陷长度及高度进行定量。在实际缺陷试样上的检测结果进一步验证了该检测技术在 PE 管道热熔对接接头检测上工艺可行性和可靠性。

参考文献:

- [1] 薛永盛,袁军生.TOFD 检测中典型缺陷定性图谱分析[J].云南水力发电,2008,24(4):76-78.
- [2] 杨双羊,贾刘仁,郭浩霖,等.超声衍射时差法盲区研究[J].无损探伤,2013,37(3):42-43.
- [3] 钱盛杰,应家仪,高星,等.基于 CIVA 仿真的塑料材料 TOFD 检测技术研究[J].化工机械,2021,48(1):19-24.