

单通道 TOFD 检测仪校准方法

彭国平, 李洪刚, 杜南胜

(广州市特种承压设备检测研究院, 广州 510100)

摘要:介绍了 TOFD 仪器的工作原理和单通道 TOFD 检测仪的两种深度校准方法:直通波校准、直通波和底面反射波共同校准。分别就两种校准方法进行了推导,提出了各种不同校准方法的优缺点及每种校准方法的应用范围。

关键词:超声衍射时差法;直通波;校准

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2013)04-0075-02

Calibration Methods of Single Channel TOFD Testing Instrument

PENG Guo-Ping, LI Hong-Gang, DU Nan-Sheng

(Guangzhou Special Pressure Equipment Inspection & Research Institute, Guangzhou 510100, China)

Abstract: This paper introduced the working principle of the TOFD equipment and two depth calibration methods of single-channel TOFD equipment, i. e. lateral wave calibration, lateral wave and back wall echo calibration. Derivation of the two calibration methods, the advantages and disadvantages of various calibration methods and the scope of application of each calibration method were discussed.

Keywords: Time of flight diffraction; Lateral wave; Calibration

随着超声波衍射时差法 (TOFD) 技术的发展, TOFD 方法越来越广泛应用于中厚板对接焊缝的检测, 对于 TOFD 检测技术人员来说, 常常遇到深度校准这个问题, 校准的准确程度将直接影响到测量结果。笔者就单通道 TOFD 检测仪两种深度校准方法进行探讨。

1 TOFD 仪器工作原理

仪器通过发射探头发射超声波, 经探头楔块传播到达工件表面, 见图 1。因 TOFD 检测时采用的是小尺寸晶片、大扩散角探头, 扩散角达到 90° 时的纵波沿最短路径传播, 被接收探头接收的波通常称为直通波; 扩散角较小的纵波在液固界面发生波型转换成为纵波或横波在工件内部传播, 经缺陷端点衍射或工件底面反射后, 于不同时间到达接收探头

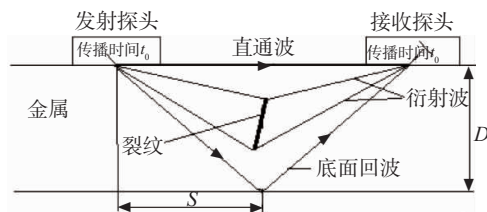


图 1 声波在被测工件中的传播示意图

的过程。TOFD 检测仪 A 扫信息表示仪器接收的波幅信号与仪器发射超声波传播的时间关系曲线, 如图 2 所示。若工件内部存在缺陷, 则缺陷端点衍射波的传播时间和缺陷端点深度分别为:

$$t_{\text{缺陷}} = 2 \frac{\sqrt{S^2 + d^2}}{c} + 2t_0 \quad (1)$$

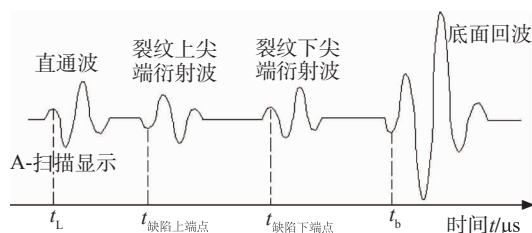


图 2 有缺陷的 A 扫描显示

收稿日期: 2012-02-18

作者简介: 彭国平 (1977—), 男, 无损检测主任, 高级工程师, 获得中国特种设备检验协会 RT、UT、MT、PT 四项高级证, 主要从事超声 TOFD 和超声相控阵 PA 技术的研究推广工作, 以及锅炉压力容器定期检验和监督检验工作。

$$d = \sqrt{\frac{c^2}{4} \times (t_{\text{缺陷}} - 2t_0)^2 - S^2} \quad (2)$$

式中: S 为两探头入射点距离(探头中心距)的一半, mm; $2t_0$ 为超声波在两个探头楔块中的总延时, μs ; c 为波的传播速度, mm/ μs ; d 为缺陷深度。

若要计算出缺陷深度 d , 必须知道波速、探头中心距 $2S$ 、探头延时 $2t_0$ 等参数, 结合仪器测量的缺陷经过时间 $t_{\text{缺陷}}$ 才能得出缺陷端点深度。深度校准则是通过直通波到达时间或直通波与底部反射波到达时间相结合, 结合已知参数, 经过计算, 从而得出缺陷深度。

2 深度校准方法

在各种波中, 纵波传播最快, 从而能够领先于其他种类的波, 在最短时间内到达接收探头。使用纵波并利用纵波计算缺陷的深度, 得到唯一的结果。根据波的传播可知, 直通波和底面反射波出现的时间分别为 t_L 和 t_b 。

$$t_L = 2 \frac{S}{c} + 2t_0 \quad (3)$$

$$t_b = \frac{2\sqrt{S^2 + D^2}}{c} + 2t_0 \quad (4)$$

式中: D 为工件厚度, mm。

2.1 直通波校准

根据式(3), 若已知材料纵波速度 c 和探头中心距 $2S$, 则可计算出 $2t_0$, 从而亦能根据式(2)计算出缺陷深度 d 。

2.2 直通波和底部反射波共同校准

利用式(3)和(4)可以推导出式(5)、(6)和(7), 在检测过程中若能准确测量探头中心距 $2S$ 、已知工件厚度值 D , 则利用式(5)和(7)分别校准得出材料声速 c 和 $2t_0$ 。然而对于承压设备检测, 材料声速和被检测工件厚度常常都已知, 由于现场检测条件及检测要求的不同, 探头中心距时常要求作一定修改。手动扫查时, 因扫查人员操作方法及扫查装置固定情况不同, 探头中心距也会发生改变, 在曲率半径较

小的工件内部检测时直通波沿曲面传播, 该中心距就难以测量。因此, 精确测量探头中心距较困难, 如果仍然利用式(5)和(7)进行校准, 则会引起较大测量误差, 若利用式(6)和(7)进行校准, 能精确地计算出 S 和 $2t_0$, 从而有效地测量缺陷端点深度, 解决探头中心距测量不准引起较大误差的问题。

$$c = 2 \frac{\sqrt{S^2 + D^2} - S}{t_b - t_L} \quad (5)$$

$$S = \frac{D^2}{c(t_b - t_L)} - c(t_b - t_L) \quad (6)$$

$$2t_0 = t_b - 2 \frac{\sqrt{S^2 + D^2}}{c} \quad (7)$$

3 结论

(1) 直通波校准方法操作简单, 仅使用一个校准指针测量出 t_L , 通过式(3)计算出 t_0 , 若发现缺陷, 使用测量指针测量出 $t_{\text{缺陷}}$, 通过式(2)则能计算出缺陷深度 d 。这里不用输入工件厚度, 软件计算速度快, 适用于 TOFD 仪器在线分析软件; 缺点是必须已知材料声速和准确测量探头中心距。TOFD 设备仪器分析软件和离线分析软件使用该种校准方法时, 校准方法简单、速度快, 若被检测材料声速或探头中心距测量不准确, 则会出现很大误差。

(2) 直通波和底部反射波共同校准方法能精确地计算出声速 c , 探头延时 $2t_0$ 和探头中心距 $2S$, 现在国内生产的 TOFD 设备仪器分析软件和离线分析软件都是使用该种校准方法, 测量结果受其他影响因素少, 测量精确度高, 误差小; 缺点是校准方法复杂, 要求使用两个指针分别指向直通波和底波, 计算复杂, 校准时间较长, 该方法适用于离线分析软件。

(3) 如设备综合应用两种校准方法, 检测人员可根据实际情况选择简单的直通波校准方法或者直通波和底部反射波共同校准。检测过程中选用直通波校准, 离线时采用较复杂的直通波和底部反射波共同校准, 既提高了 TOFD 检测设备的检测速度, 又能提高检测结果的准确性。

(上接第 44 页)

监测系统(Fiber AE)克服了传统声发射检测系统信号传输距离短、抗干扰能力弱等缺点, 能适应较复杂环境下远距离声发射监测的任务, 具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 林丽, 赵德有. 局域波法在海洋平台结构声发射信号监

测中的应用[J]. 振动与冲击, 2009, 28(6): 71-74.

[2] 王燕, 李晋尧, 刘晓清. 基于自适应小波基的声发射(AE)波源时频分析与定位[J]. 噪声与振动控制, 2008(1): 76-78.

[3] 翟丽娜. 声发射技术在储罐检测中的应用[J]. 压力容器, 2008, 125(6): 59-62.

[4] 许蕾. 大型起重机局部损伤光纤声发射监测技术研究与应用[D]. 太原: 中北大学, 2012: 28-30.