

DOI: 10.11973/wsje201911009

# 海底管道无损检测技术评定的破坏性试验

吴 员, 陈 亮, 张俊杰, 胡卫震, 张天江  
(海洋石油工程股份有限公司, 天津 300452)

**摘 要:** 海底管道无损检测技术的评定中, 检测技术的检出能力由检测数据与缺欠的实际特征对比来确定, 缺欠的实际特征只能通过破坏性试验获得。主要根据 DNVGL(挪威船级社)等标准的要求, 结合在类似项目中获得的经验, 对海底管道无损检测技术评定破坏性试验的工序及关键技术进行了研究, 内容包括缺欠的定位及标记、缺欠的机加工工序、切片的处理、缺欠的测量方法等, 并形成了一套比较成熟的技术流程, 对海底管道无损检测技术评定的破坏性试验具有较强的指导意义。

**关键词:** 缺欠; 破坏性试验; 切片; 酸蚀; 热影响区

中图分类号: TG115.28 文献标志码: A 文章编号: 1000-6656(2019)11-0034-02

## Destructive test for the evaluation of nondestructive testing method of subsea pipeline

WU Yuan, CHEN Liang, ZHANG Junjie, HU Weizhen, ZHANG Tianjiang  
(Offshore Petroleum Engineering Co., Ltd., Tianjin 300452, China)

**Abstract:** The detection ability of a non-destructive testing method shall be obtained by comparing NDT data and imperfection true parameter derived from destructive tests. By a combination of DNVGL standard and application in subsea pipeline project, destructive tests and key techniques are researched in this article which contains positioning and marking on test piece of imperfection, machining process, slice disposal, imperfection measurement, etc., and this developed procedure has practical and instructional significance of destructive test in NDT method qualification in subsea pipeline project.

**Key words:** imperfection; destructive test; cross section; etch; heat affected zone

根据 DNVGL(挪威船级社)和 API(美国石油协会)海底管道相关标准的要求, 应用于海底管道环焊缝检测的无损检测方法, 如全自动超声波检测法(AUT), 衍射时差法(TOFD), 相控阵超声检测(PAUT)法等都要经过评定, 在确定其可靠性后才能投入工程中使用。在评定过程中, 缺欠的真实特征, 包括缺欠的类型、位置、高度、深度、长度等, 需要从破坏性试验中获得, 考虑到缺欠制作的成本较高, 周期较长, 每一个缺欠都有很高的价值。笔者在众多海底管道环焊缝无损检测技术评定破坏性试验的基础上, 针对试验的具体方法和步骤进行了探讨与研究, 给出了具体的建议及实践方法。

## 1 缺欠的选择

进行破坏性试验的缺欠应符合无损检测技术评定相关文件的要求, 并与业主以及第三方机构形成约定, 文章针对缺欠的破坏性试验过程及技术要求进行了讨论。

## 2 缺欠的定位及标记

缺欠的定位是非常关键的一环, 原则上缺欠的定位和标记应位于缺欠特征信号最为显著的位置。对于基于波幅法的超声检测技术, 如 AUT、PAUT 等应标记缺欠信号最高波的位置, 此时应当使用设备的 A 型显示和移动信号的发射及接收装置来寻找最高波, 如果缺欠信号饱和(超出屏幕显示), 应降低缺欠信号的波幅高度, 低于满屏显示后寻找最高波, 如有必要, 重复上述步骤, 直至最终确定缺欠的

收稿日期: 2019-03-07

作者简介: 吴 员(1986—), 男, 主要从事海洋管线无损检测工作

通信作者: 吴 员, showcool@126.com

最高波位置,并永久性标记该位置。对于基于非波幅法的检测技术,如 TOFD,应当标记缺欠高度最大的位置(或者约定的位置),如图 1 中的 D 线(图中,MS 为宏观剖面,JOX 为试验件编号;X 为缺陷编号;1,2,3 为切片编号;US 为上游;DS 为下游),为了跟踪缺欠及切片,还应标记:扫查方向、试件的上游及下游(也可以根据技术及工艺的不同标记不同的符号)和缺欠的编号。

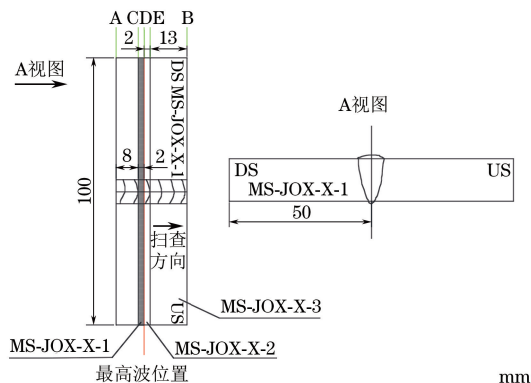


图 1 切片加工及标记示意

### 3 缺欠的切片及标记

缺欠的破坏性试验采用横切面的方法。根据 DNVGL-ST-F101 2017《海底管道系统》的要求,机加工间隔是 2 mm,3 号切片的厚度为 13 mm,1 号及 2 号切片的厚度为 2 mm。切片的步骤如下所述。

(1) 将试件加工成 -50 mm(上游)~+50 mm(下游)的圆环。

(2) 按照图 1 的标识,在 -10 mm(A 线)以及 +15 mm(B 线)的位置横切,将缺欠所在的部分整体取出。

(3) 按照 C,D,E 的顺序进行切片。

(4) 使用永久性标记手段在切片上标记信息,标记切片信息的一面应该是与扫查方向一致的第一个切面,如 1 号切片 C 线所在的一面,2 号切片标记在 D 线所在的一面,信息至少要包含如下内容:① 焊缝编号;② 缺欠编号;③ 切片编号;④ 上下游(或其他要求的用于辨别缺欠位置的信息);⑤ 扫查方向。

### 4 切片的处理

切片完成后,不能分辨出焊缝及热影响区等,需要进一步加工,主要包括抛光及酸蚀。抛光可以使用机械或者手动抛光,达到 800 目的抛光级

别,然后使用质量分数为 3% 的硝酸酒精对标记的切片面进行酸蚀,酸蚀完成后应马上除去多余的硝酸酒精并进行干燥,此时焊缝部分、热影响区、缺欠、母材等应清晰可见,切片成品及测量方法示例如图 2 所示。

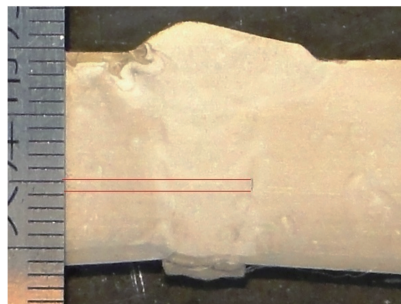


图 2 切片成品及测量方法示例

### 5 缺欠的测量及报告

切片制作完成后,缺欠测量前应使用照片记录,照片的放大倍数为 5~10 倍,照片记录时应使用标尺标记缺欠,以便后续的缺欠测量。缺欠测量时应注意,缺欠深度测量的下基准线应当以缺欠的上部为参考,由于管子的椭圆度等问题造成的焊缝两侧母材垂直高度差异是普遍存在的,所以上基准线应当以缺欠所在位置(上游/下游)的管外表面为参考,即,上游(下游)的缺欠深度测量以上游(下游)管外表面为上基准线。缺欠测量方法示例如图 3 所示,在切片 1 中缺欠的深度应为  $D_1=8$  mm。

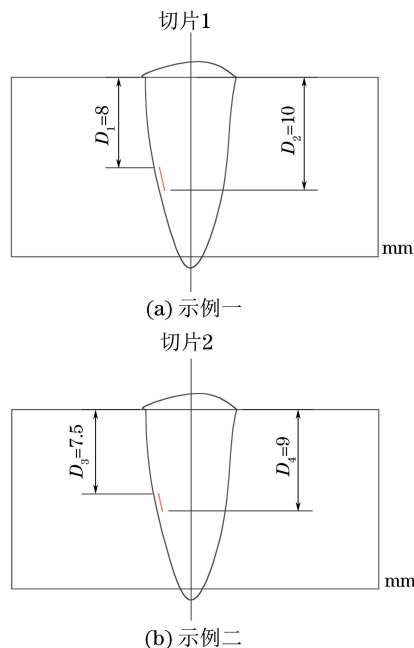


图 3 缺欠测量方法示例

(下转第 47 页)

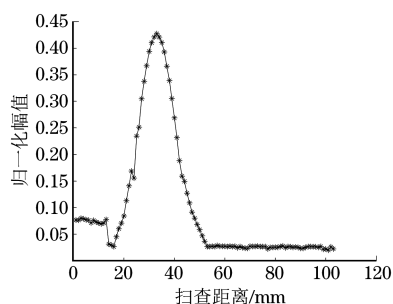


图10 接收信号幅值与扫描距离的关系曲线

姆波可用于板中缺陷的识别以及缺陷的图像重构。

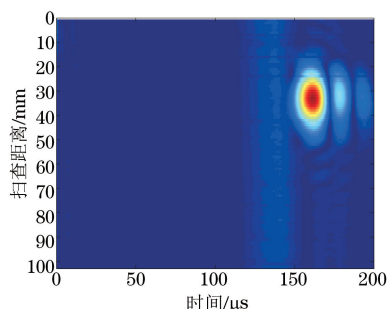


图11 连续小波变换包络幅值扫描成像结果

#### 4 结语

(1) 对连续小波变换进行时频分析并提取了频率为 400 kHz 的时域包络谱图,通过与理论 A0 模态频散曲线进行对比,确认了空气耦合超声探头斜入射可以激励出较为单一的 A0 模态,该提取包络方法能较为有效地区分、识别兰姆波模态。

(2) 对不同扫描位置处的接收信号进行连续小波变换,得到频率为 400 kHz 的幅值包络信息,并进行缺陷成像。结果表明,利用基于连续小波变换的幅值包络法提高了图像的聚焦性,改善了成像的质量,减少了无关信号对成像结果的干扰。



(上接第 35 页)

测量缺欠的高度时,应测量缺欠各个切片显示的最高点及最低点,以显示的高度最大的切片作为确定缺欠高度的切片,切片 1 的最高点及最低点分别为  $D_1=8\text{ mm}$ ,  $D_2=10\text{ mm}$ , 高度  $H_1=2\text{ mm}$ , 切片 2 的最高点及最低点分别为  $D_3=7.5\text{ mm}$ ,  $D_4=9\text{ mm}$ , 高度  $H_2=1.5\text{ mm}$ , 所以应当以切片 1 显示的高度作为缺欠的高度  $H=H_1=2\text{ mm}$ 。

#### 6 切片的保存

每一个处理完的切片应用机油等轻油脂进行防

#### 参考文献:

- [1] 霍丹. 铝板材电磁超声兰姆波换能器的结构设计及优化[D]. 天津:河北工业大学, 2015.
- [2] PAUL S K, RAY A. Influence of inclusion characteristics on the formability and toughness properties of a hot-rolled deep-drawing quality steel [J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 1997, 6(1): 27-34.
- [3] MANNOT J, HERITIER B, COGNE J Y. Relationship of melting practice, inclusion type, and size with fatigue resistance of bearing steels [J]. ASTM Spec. Tech. Publ., 1988, 9(8): 149-165.
- [4] 常俊杰, 卢超, 小仓幸夫. 非接触空气耦合超声检测原理及应用研究[J]. 无损探伤, 2013, 37(4): 6-11.
- [5] 常俊杰, 卢超, 川嶋紘一郎. 非接触空气耦合超声波的材料无损评价与检测[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2015, 33(4): 532-536, 542.
- [6] 常俊杰, 魏强, 卢超. 非接触空气耦合超声波钢板探伤的应用研究[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2015, 33(6): 829-834.
- [7] 常俊杰, 杨凯, 李光亚, 等. 空耦超声波技术用于锂离子电池缺陷检测[J]. 电池, 2017, 47(5): 315-317.
- [8] 饶璐雅, 陈果, 卢超, 等. 碳纤维复合材料层板冲击损伤的空气耦合兰姆波成像检测[J]. 宇航材料工艺, 2017, 47(5): 69-74.
- [9] 刘菲菲, 刘松平, 郭恩明. 复合材料层压结构冲击损伤超声成像评估[J]. 无损检测, 2014, 36(11): 2-5, 41.
- [10] 刘松平, 傅天航, 刘菲菲, 等. 复合材料冲击损伤超声回波特性及其成像检测[J]. 航空制造技术, 2011(15): 82-85.
- [11] 刘增华, 颀小东, 吴斌, 等. 基于连续小波变换的厚壁管道周向导波扫描成像试验研究[J]. 机械工程学报, 2013, 49(2): 14-19.

腐处理,并封装保存。

#### 7 结语

随着仿真软件的发展,以及数据建模分析及方法的不断完善,海底管道无损检测技术评定缺欠特征已经可以从类似的模型间接转换获得,或者完全使用模拟软件模拟获得。虽然破坏性试验过程复杂,成本较高,但仍然是海底管道无损检测技术评定获得缺欠真实特征最直接、最可靠的方法。所阐述的破坏性试验方法具有较强的可操作性及可靠性,在一系列的海底管线项目得到了验证,为类似的项目提供了借鉴。