

DOI: 10.11973/wsyc201806007

焊缝缺陷高度超声测量的分析

甘志云, 李江, 刘贵吉, 刘程

(海洋石油工程股份有限公司, 青岛 266520)

摘要: 焊缝超声检测时, 一般根据缺陷回波高度及长度进行评判。然而, 在海洋工程部分项目的特殊要求中, 需要对缺陷回波高度、缺陷长度及缺陷高度进行综合评判。笔者对美国标准中推荐的几种缺陷高度测量方法进行了介绍, 并分析其适用条件和精确性, 为无损检测同行提供参考。

关键词: 超声检测; 焊缝; 高度测量; 美国标准

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2018)06-0025-03

Analysis of Defect Height Test with UT in Weld Inspection

GAN Zhiyun, LI Jiang, LIU Guiji, LIU Cheng

(Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Qingdao 266520, China)

Abstract: Weld is normally evaluated with defect length and echo height in UT inspection. However, it is requested that evaluation shall be carried out considering echo height, defect length and defect height, because of special requirement in part of offshore project. This paper will introduce the height test methods recommended in American standard, and analyze the applicability and accuracy. It will also provide reference for NDT colleague.

Key words: UT; weld; height test; american standard

在海洋工程项目中, 大部分结构都是熔化焊缝连接结构。对结构焊缝内部缺陷进行超声检测, 是最经济且结果可靠性高的质量控制手段, 但检验工作量也非常大。一个常规项目的焊缝检验长度可以达到 10~20 km。

海洋工程项目的服役地点在海上, 工况复杂恶劣, 对海上结构体的质量提出了很高的要求。在巨大检验工作量的压力下, 只有保证检验过程以及缺陷验收部分均符合相关标准要求, 才能确保超声检测的准确性, 保证结构体的安全。

海洋工程项目常用的超声检测标准包括 AWS D1.1-2015《钢结构焊接规范》, API RP 2X-2004《海上结构制造超声检测和磁粉检测推荐做法及无损检测人员技术资格鉴定指南》, ASTM E164-2004《焊接件接触式超声检测的标准方法》, 一般都是依据缺陷的回波高度和长度进行验收的。但由于

部分项目的特殊性, 缺陷在焊缝厚度方向的尺寸即缺陷高度也会作为验收的准则。

笔者介绍了美国相关标准中的缺陷高度测量及具体实施方法, 并分析了测量的准确性。

1 方法分析

常用标准 AWS D1.1, API RP 2X 以及 ASTM E164 中都介绍了缺陷的高度测量方法, 下面分别进行介绍分析。

1.1 API RP 2X-2004 中的缺陷高度测量方法

API RP 2X 是海上钢结构超声检测和磁粉检测的推荐作法, 其中推荐的缺陷高度测量方法有三种, 分别是幅度比较法、声束边界交叉法和最大幅度法。

(1) 幅度比较法

该方法是将探测到的缺陷回波与对比试块中的人工反射体的回波进行比较从而获得缺陷高度值的。如二者反射回波高度相同且声程相同, 则认为与声束交叉的两个反射体的高度是相同的。在实际检测工作中, 几乎不可能保证焊缝中的缺陷和人工反射体的声程相同; 为方便操作, 必须使用不同深度

收稿日期: 2017-11-29

作者简介: 甘志云(1987-), 男, 本科, 工程师, 主要从事海上钢结构无损检测工艺的研究

通信作者: 甘志云, ganzhiyun@mail.cooc.com.cn

的人工反射体制作 DAC(距离-波幅)曲线,将缺陷回波与 DAC 曲线高度进行比较,如果回波高于曲线,说明缺陷高度大于人工反射体高度。

由于该方法缺陷高度是通过跟人工反射体比较得出的,因此,如果要得到更精确的高度,需要制备一系列不同高度的人工反射体,也需要制作一系列对应的 DAC 曲线,也要求参考反射体的形状必须与所预计的缺陷形状类似。

对于焊缝内部缺陷,一般选用侧钻孔进行 DAC 曲线的制作,对于单面焊根部未焊透缺陷,一般选用表面方形槽进行 DAC 曲线的制作。DAC 曲线参考试块尺寸如图 1 所示,图中 T 为试块厚度。

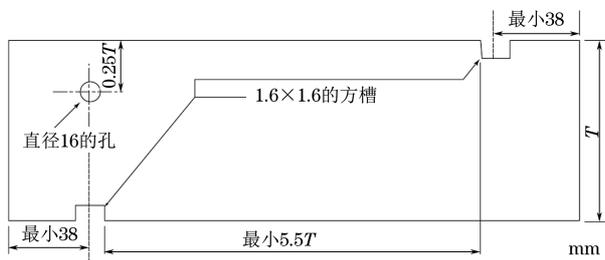


图 1 DAC 曲线参考试块尺寸

(2) 声束边界交叉法

该方法首先采用 20 dB 法测定出声束的边界,找到缺陷的最高回波后,将回波调至基准高度(如屏幕高度的 80%);然后将仪器增益提高 20 dB,向前移动探头直到回波降低到基准高度;此时,声束边界的底部边缘就与反射体的顶部边缘交叉;以同样的方法向后移动探头,分别记录对应的声程和探头入射点到缺陷的距离,通过 1:1 作图获取缺陷高度,详细做法以及声束边界的测定方法可查看参考文献[1]。

该方法比较繁琐,且作图准确性会对结果造成一定影响,现场检验时应用不方便。为此,笔者通过分析和试验,在此基础和原理上总结了更简便的方法如下所述。

首先采用 20dB 法测出探头的声束边界,得到声束边界的实际角度,即扩散角($\theta_{上}$, $\theta_{下}$)。现场检验探测到缺陷时,先找到最高波并调至基准波高,将增益提高 20 dB,探头角度分别调整至 $\theta_{下}$, $\theta_{上}$;探头分别向前和往后移动,直至回波降低到基准波高;分别记录仪器上的深度读数,二者之差即为缺陷高度。其操作步骤如图 2 所示。

方法简化后,省略了 1:1 作图的繁琐步骤,使其更适合现场应用。但需要注意的是,该方法适用于壁厚 19 mm 及以上的焊缝,且只适用于一次波检测,对于单面焊根部未焊透缺陷,也不适合。

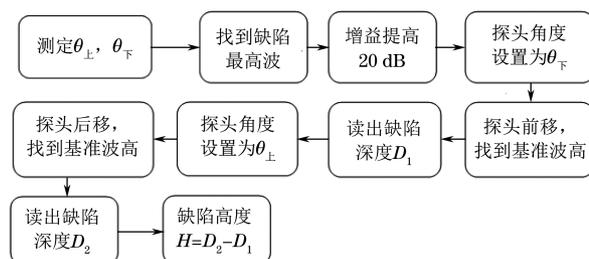


图 2 改进的声束边界交叉法操作步骤

(3) 最大波幅法

该方法就是利用大部分的超声束能量,以非常窄的波段集中在声束中心附近,以此特性来探测反射体边缘。首先找到最大反射回波,向前移动探头直到回波信号开始下降,以测定反射体顶部边缘;向后移动探头直到回波信号开始下降,以测定反射体底部边缘。分别记录此两个位置处的回波声程,如图 3 所示,利用公式 $E = \cos C \times (B - A)$ (式中 E 为缺陷高度; C 为标称角度或测量角度; B 为反射体底部边缘处显示的回波声程; A 为反射体顶部边缘处显示的回波声程),即可得到缺陷高度。

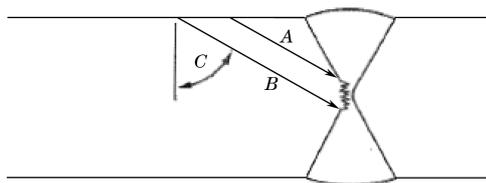


图 3 最大波幅法的检测操作示意

该方法操作起来比较简单,但一方面要求探头指向性能好,能产生明显的中心声束;另一方面要求反射体高度明显大于中心声束的宽度。如果不能满足这两个条件,产生的误差会很大。同时,该方法也不适用于单面焊根部未焊透的缺陷。

1.2 ASTM E164 中的做法

该标准对测量缺陷高度的叙述如下:反射体高度最小尺寸为 3.2 mm 时,找到缺陷最高回波后,将探头分别向前后移动;回波降低 50% 后,分别记录该位置处的回波声程;得到二者声程差 ΔS ,方法示意如图 4 所示;缺陷高度 $E = \Delta S \times \cos$

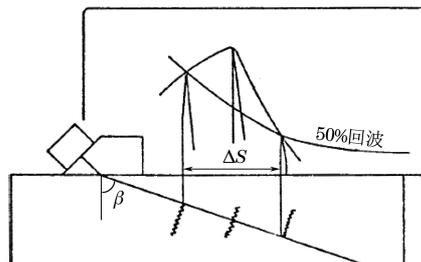


图 4 ASME E164 标准中的缺陷高度测量方法示意

β (β 为探头折射角)。

需要注意的是,该方法适用于缺陷尺寸大于声束宽度的情况,否则得到的结果会有较大误差。

1.3 AWS D1.1 标准中的做法

该标准的做法跟最大幅度法类似,具体为:找到缺陷最高回波后,分别向前后移动探头,回波急剧下降并继续向基准线移动时,记录仪器时基线数值,二者差值即为缺陷高度尺寸,方法示意如图 5 所示(图中 80 指屏幕高度的 80%)。该方法可以这样理解,向前后移动探头,回波急剧下降时读取仪器深度,二者之差即为缺陷高度。

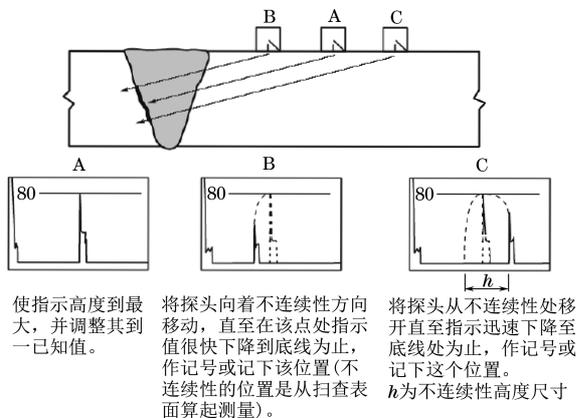


图 5 AWS D1.1 标准中的缺陷高度测量方法示意

2 试验及分析

以上介绍了高度测量的常见方法,从理论上可以看出,部分方法比较繁琐,部分方法在实际操作中可把握性不强。为了分析各方法的准确性,制作了含一系列人工反射体的侧钻孔试块,其几何尺寸如图 6 所示(图中除非另有标注,所有孔的长度为 15 mm,所有

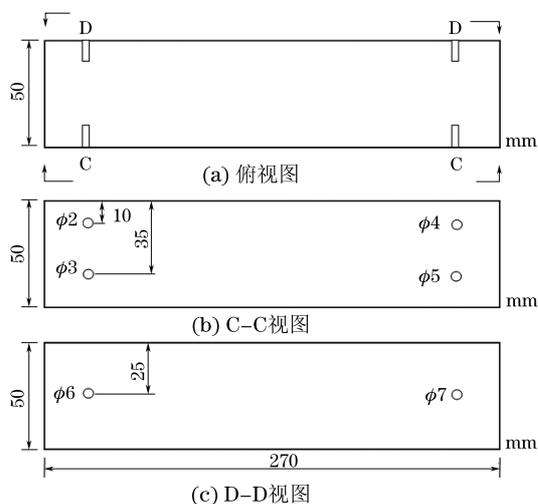


图 6 含系列人工反射体的侧钻孔试块几何尺寸

孔距端头的距离为 40 mm)。

此次试验,采用 60°横波探头,利用以上介绍的各种方法进行各个侧钻孔高度的测定,测得的数据如表 1 所示。

表 1 使用 4 种方法测得的试块高度数据 mm

测量方法	侧钻孔理论直径	测试高度	误差
声束边界交叉法	$\phi 2$	2.8	0.8
	$\phi 3$	3.8	0.8
	$\phi 4$	4.3	0.3
	$\phi 5$	4.2	-0.8
	$\phi 6$	5.1	-0.9
	$\phi 7$	4.7	-2.3
	最大波幅法	$\phi 2$	1.5
$\phi 3$		1.8	-1.2
$\phi 4$		1.9	-2.1
$\phi 5$		2.4	-2.6
$\phi 6$		2.7	-3.3
$\phi 7$		3.2	-3.8
ASTM E164 中的做法		$\phi 2$	3.1
	$\phi 3$	3.6	0.6
	$\phi 4$	3.7	-0.3
	$\phi 5$	4.3	-0.7
	$\phi 6$	5.5	-0.5
	$\phi 7$	5.3	-1.7
	AWS D1.1 中的做法	$\phi 2$	1.4
$\phi 3$		1.9	-1.1
$\phi 4$		1.8	-2.2
$\phi 5$		2.2	-2.8
$\phi 6$		2.6	-3.4
	$\phi 7$	3.3	-3.7

通过以上数据可以看出:

声束边界交叉法(20 dB 法)与 ASTM E164 中做法(此处简称 6 dB 法)的测量精度比较接近,测量的误差相对较小。

最大波幅法与 AWS D1.1 中做法相比,二者操作过程相同,所以测量精度也非常接近,而且由于反射面是圆柱面,探头向前后移动时,回波降低很快,而这两种方法都要求回波从峰值下降即记录探头位置,从而测量误差比较大,精度很低,基本不能真实反映反射体大小。

对于幅度比较法,此次试验利用图 6 中的参考反射体分别制作 DAC 曲线,再将各孔径反射体回波分别与各 DAC 曲线进行比较,比较结果如表 2 所示。

(下转第 77 页)

由表 1 可得出,文章所述检测器检测到的元素总数(焊缝除外)是 44 个,与传统机械式单通道几何检测器识别的 27 个相比,有着较高的灵敏度。在焊缝识别方面,传统的机械式测径器识别焊缝的能力较弱,基本不能识别出管道的焊缝,而泡沫检测器能够检测出管道上所有接头的焊缝,这些焊缝能够辅助变形点的定位。最后,通过“快速采集模式”获取的数据,可对内部表面的粗糙程度进行分析,从而检测出管道的部分缺陷。

7 结论

介绍了一种低成本、低风险泡沫测径器的工作原理、结构设计及其试验测试。该测径器通过安装的特殊压力传感器能够探测管道内径和粗糙度的变化并对其进行定位。其结构简单,通过能力强,可最大限度地防止操作过程的卡堵;且成本较低,可频繁使用,易损件容易更换,价格便宜。

在一条 8 km 长的管道中,对两次投放原理样机采得的数据采用自主开发的软件进行分析,并与传统意义上的机械式智能检测器数据进行了比对,结果表明,设计的检测器能够提供更多关于管道结构的信息,表现出更好的灵敏度和附加功能。

该测径器的不足之处在于压力传感器的通道

较少,只能测出管内局部粗糙度,不能检测管道完整的周向粗糙度,也只能检测潜在的表面腐蚀,且测径臂的最大变径量仅为管径的 40%。当然,如果需要增加其检测能力势必将增加系统的复杂度、耗能与成本。

参考文献:

- [1] KISHAWY H. Review of pipeline integrity management practices [J]. International Journal of Pressure Vessels & Piping, 2010, 87(7):373-380.
- [2] MENON S. Pipeline planning and construction field manual [M]. Boston: Gulf Professional Publishing, 2001.
- [3] HOFFMANN R, AMUNDSEN L. Influence of wax inhibitor on fluid and deposit properties [J]. Journal of Petroleum Science & Engineering, 2013, 10(7):12-17.
- [4] ZHANG Y, Yan G. In-pipe inspection robot with active pipe-diameter adaptability and automatic tractive force adjusting [J]. Mechanism and Machine Theory, 2007, 42(12): 1618-1631.
- [5] QUARINI J, SHIRE S. Review of fluid-driven pipeline pigs and their applications [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E Journal of Process Mechanical Engineering, 2007, 221(1):1-10.

(上接第 27 页)

表 2 幅度比较法测得的侧钻孔直径 mm

侧钻孔理论直径	回波高度
$\phi 2$	$< \phi 3$ DAC
$\phi 3$	介于 $\phi 2$ DAC 和 $\phi 4$ DAC 之间
$\phi 4$	介于 $\phi 3$ DAC 和 $\phi 5$ DAC 之间
$\phi 5$	介于 $\phi 4$ DAC 和 $\phi 6$ DAC 之间
$\phi 6$	介于 $\phi 5$ DAC 和 $\phi 7$ DAC 之间
$\phi 7$	$> \phi 6$ DAC

由表 2 可以看出,测量的结果与理论基本一致。

3 结论

(1) 如果需要测定焊缝内部缺陷的高度,精确度较高的是 20 dB 法和 6 dB 法,二者精确度比较接近。声束边界交叉法比较繁琐,尤其是声束边界测定的难度较大,如果边界测定不准确,会直接影响缺

陷高度的测量准确性,而 6 dB 法的操作相对简单。

(2) 如果需要测定单面焊的根部缺陷,如根部未焊透,则只能采用幅度比较法,通过加工不同高度的方形槽,制作 DAC 曲线来进行缺陷高度的比较。

(3) 如果不要求测定缺陷具体高度,比如 API RP 2X C 级检验中,只要求测定缺陷高度是否高于 1.6, 3.2, 6.4 mm,此时采用幅度比较法即可。即只需要使用高度为 1.6, 3.2, 6.4 mm 的反射体制作 DAC 曲线,将焊缝中缺陷回波高度与 DAC 曲线进行比较,该方法可以满足标准要求,且操作简单,误差较小。

参考文献:

- [1] 邢树宏,高海波.超声波探伤中波束有效边界的测定及其应用 [J]. 中国海上油气(工程), 1996, 8(6): 48-55.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告