

云庆华主编

锅炉 压力容器无损探伤技术

GUOLU
YALIRONGQI
WUSUNYANSHANG
JISHU

天津科学技术出版社

目 录

1. 超声波探伤仪及探头主要性能测试方法	(1)
2. 压力容器无损检测现状及其发展动向	(15)
3. 射线检测现状与发展动向	(34)
4. 焊缝表面探伤	(45)
5. 拉姆波及其在薄板探伤中的应用	(56)
6. 锅炉用高压无缝钢管超声波探伤的理论与实践	(75)
7. 锅炉压力容器和承压管道焊缝的 γ 探伤	(100)
8. 对球罐焊缝超声波探伤和 x 射线探伤的对比	(117)
9. 声发射技术及其在评价压力容器完整性中的应用	(121)
10. 奥氏体不锈钢焊缝超声波探伤	(137)
11. 超声场中的短横孔的反射规律与定量计算	(152)
12. 采用短横孔试块对焊缝进行超声波探伤的方法	(158)
13. 管子的对接焊缝超声波探伤	(167)
14. 在焊缝探伤中“距离-波幅”曲线的制作及使用	(178)
15. JB1152-81 锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声波探伤标准介绍	(183)
16. 超声波在各种参考反射孔上反射规律	(197)
17. 焊缝超声波探伤中缺陷的高度测定	(207)
18. 焊缝超声探伤标准JB1152-81的使用	(224)
19. 钢焊缝射线探伤标准 (JB928-67) 的使用及 (GB3323-82) 介绍	(239)

1. 超声波探伤仪及探头主要性能测试方法

汕头超声仪器研究所

姚锦钟 谭大基 蔡恒辉

提要：本文介绍一种实用的A型脉冲反射式超声波探伤仪和探头的测试方法，它对超声波探伤仪和探头的检测能力能够比较全面地作出评价。由于所需的测试设备简单，所以这种测试方法除了适合仪器制造部门对产品进行检验外，也适合使用人员在探伤现场对仪器和探头性能进行测试。

一、概 述

五十年代末，我国工业部门开始应用超声波探伤技术作为一种产品质量检验手段。早期的超声探伤技术，主要是确定工件中是否存在大于某一幅度的缺陷回波，如有大于这一幅度的缺陷回波就表示存在不允许的缺陷；如小于这一幅度，则是允许存在的缺陷。如果要确定缺陷当量大小，必须借助一系列钻有不同直径的平底孔材料或人工缺陷的试块进行比较，这对于现场探伤很不方便。当时探伤对仪器性能的要求是灵敏度要高、始波宽度要窄、杂波要少。即使是被检材料中的晶粒反射杂波也要用抑制的方法使之不显示出来，使缺陷回波突出、图形简单、判伤容易。为了达到这些要求，在仪器的接收系统中就必须加入较大的抑制量，使小讯号不放大、不显示。同时也利用接收放大器的阻塞现象使始波和强的反射回波显示的波形宽度尽可能变窄。由于采用抑制方法和阻塞现象的存在，仪器的垂直线性、动态范围受到很大的损失。由于是定幅度探伤，所以这些与定量探伤有关的指标就显得不十分重要。这种探伤方法对仪器的要求和仪器性能状况持续了15年之久。在这个时期，仪器和探头的测试方法是比较简单的。

七十年代初，超声探伤技术中的AVG方法在国内受到重视，不少单位开展对这一方法的研究，并且首先在大型锻件的探伤中使用。由于采用AVG方法，就必须对仪器的性能提出定量要求，需要对仪器的水平线性、垂直线性、动态范围、衰减器精度、探头回波频率和近场长度等与定量探伤有关的仪器指标进行测定。这些指标是当时国产饱和式仪器无法满足的。在这个时期，联邦德国、美国、英国、日本先后公布了有关超声波探伤仪和探头的技术标准^[1~6]，这些资料反映出国外为满足定量探伤要求，对仪器和探头的测试方法作了严格的规定。

1975年，为了满足AVG探伤方法的需要，我所开始研制配有AVG曲线板的非饱和式超声波探伤仪^[7]，并使之投入批量生产，与此同时也开始制订了相应的仪器和探头技术条件^[8]，包括动态范围、垂直线性、水平线性、衰减器精度、探伤灵敏度余量、电噪声电平、探

头频率特性、远场分辨率等反映仪器定量检测能力的技术指标和测试方法。此后，我们注意吸取国内外新测试方法的优点不断加以充实提高^[9]。虽然后来AVG探伤方法除了在大型锻件探伤中应用外，在其他方面的应用，由于存在问题而未能推广，但是，AVG方法对仪器与探头的技术要求和评价方法，在其它探伤方法中也同样适用。

本文介绍的测试方法，是对近年来超声波探伤仪与探头的研制和生产中所应用的测试方法的总结。目的是为了向超声波探伤工作者提供一种简便而行之有效的测试方法，使探伤人员随时可以对自己所使用的仪器和探头性能进行测试，及时掌握设备的性能状态，从而提高探伤质量。对于比较复杂的测试项目如：衰减器误差测量、探头频谱分析、发射脉冲参数测量等，由于所需的测试设备复杂，在一般情况下难以具备，故未述及。

二、仪器性能测试

超声波探伤仪的主要性能指标有：①水平线性、②垂直线性、③动态范围、④阻塞范围、⑤电噪声电平、⑥探伤灵敏度余量、⑦空载始波宽度、⑧远场分辨力、⑨稳定性。其测试方法分述如下：

1. 水平线性

水平线性又称时基线性，它表征探伤仪在示波屏时间轴上按比例显示底面多次回波的能力。对仪器而言，它主要取决于扫描锯齿波的线性和示波管显示图形畸变程度，在使用上，水平线性误差影响测距精度。

(1) 测试方法

根据被测深度范围的要求将5MHz或其他频率的直探头固定于适当厚度的试块上，如图1。调节探伤仪，使示波屏上显示5次底波，在将底波 B_1 和 B_5 分别调到相同幅度（如垂直刻度的80%）的条件下，使底波 B_1 的前沿对准水平刻度“2”，底波 B_5 的前沿对准刻度“10”；然后在依次将底波 B_2 、 B_3 、 B_4 调到上述相同幅度时，读取其前沿与对应的水平刻度“4”、“6”、“8”的偏差值中之最大偏差值 A_{max} ，如图2。再按式（1）计算水平线性误差 ΔL ：

$$\Delta L = \frac{|A_{max}|}{0.8b} \times 100\% \quad (1)$$

式中 ΔL ——水平线性误差 %；

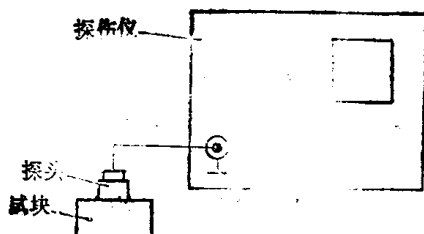


图1

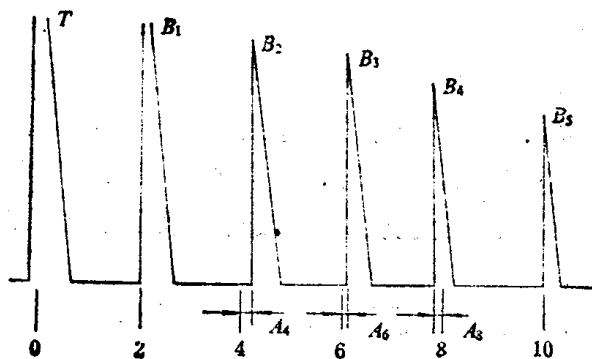


图2

b ——水平全刻度数。

(2) 说明

1) 在上述测试方法(暂称为5次底波法)中,有一个明显的缺点,就是水平刻度“0~2”之间一段时基线的线性并未得到检查,但在实际应用中,这一段的线性却对缺陷的定位产生较大的影响,因此,对于具有延时扫描功能的探伤仪,又提出了所谓“6次底波法”,其测试方法如下:

按上述方法连接并调节仪器,将底波 B_1 的前沿对准水平刻度“0”,底波 B_5 的前沿对准“10”,然后在依次将底波 $B_2 \sim B_4$ 调到相同幅度时,读取其前沿与对应的水平刻度“2”、“4”、“6”、“8”的偏差值中之最大偏差值 A_{max} ,再按式(2)计算水平线性误差 ΔL ,

$$\Delta L = \frac{|A_{max}|}{b} \times 100\% \quad (2)$$

2) 在进行水平线性测试时,相邻底波间的距离如 $B_1 \sim B_2$ 、 $B_3 \sim B_4$ 等是测试的时间基准,因此调节仪器和读测时,在多次底波中如何选取时间上等间距的点是本项测试的关键,故这里规定把底波分别调到相同幅度时的前沿作为此时基准。

3) 由于仪器显示的始波 T 是发射电脉冲与声脉冲的迭加波形,且电脉冲超前于声脉冲,故用“5次底波法”调节仪器时, $T \sim B_1$ 的距离必然比 $B_1 \sim B_2$ 的大,即始波 T 的前沿应在水平刻度“0”的左侧,这在扫描速度高的挡级上更为明显。因此,此时若始波 T 的前沿反而在水平刻度“0”的右侧,就说明时基线的线性在起始的一段不够理想。

4) 在本文介绍的所有测试方法中,“抑制”、“深度补偿”等影响线性测量的功能均应置“关断”位置。

2. 垂直线性

垂直线性表征探伤仪接收信号与示波屏所显示的反射波幅度之间成线性比例的能力,在使用上垂直线性误差影响回波幅度的测量精度。在国内,目前基本上采用日本工业标准JIS Z-2344-1978中的测试方法,这个方法,有测试方便、结果简明的优点。

(1) 测试方法

将探头固定于试块上如图3,调节探伤仪,使示波屏上显示的某一选定回波的幅度恰为垂直刻度的100%,且衰减器至少有30dB的衰减余量;再调节衰减器,依次记下每衰减2dB时回波的幅度,用百分数表示,直到26dB。然后,将回波幅度实测值与表1中的理论值相比较,取最大正误差 $d_{(+)}$ 与最大负误差 $d_{(-)}$ 之绝对值的和为垂直线性误差 Δd ,如式(3),

$$\Delta d = |d_{(+)}| + |d_{(-)}| \quad (3)$$

式中 Δd ——垂直线性误差, %

(2) 说明

为了评价仪器在不同工作频率和不同距离条件下的垂直线性,至少还必须按下述要求变换探头和试块,使其得出不同频率、不同回波、不同距离时的垂直线性情况:

(1) 在试块为150- ϕ 4、30- ϕ 2平底孔时分别测试

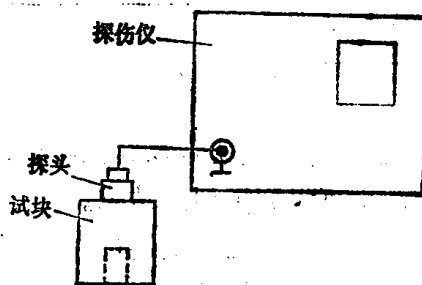


图3

表 1

衰减值 (dB)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
理论波高 (%)	100	79.4	63.1	50.1	39.8	31.6	25.1	20.0	15.8	12.5	10.0	7.9	6.3	5.0

孔波和底波的垂直线性；

(2) 在仪器的工作频率范围内，改换不同频率的探头测试垂直线性。

3. 动态范围

动态范围表征探伤仪在仪器灵敏度不变时，示波屏垂直刻度范围内所显示的最大和最小反射面积波高之比，即评价仪器在规定灵敏度条件下发现最小缺陷的能力。

(1) 测试方法

按垂直线性的测试方法调节仪器，然后读出回波幅度自垂直刻度 100% 降低至刚能辨认为最小值时衰减器的调节量，用分贝 (dB) 表示。

(2) 说明

与垂直线性的测试一样，动态范围也应测出不同频率、不同回波、不同距离时的有关数据，其中尤应注意仪器在不同灵敏度下由于始波的影响而使动态范围变差的情况，这一点，可同下述的“阻塞范围”一起综合考虑。

4. 阻塞范围

探伤仪在幅度很大的发射脉冲或强反射回波之后，其接收放大器的放大量将产生下降，必须经过一定时间才能恢复，即出现所谓“阻塞”现象，阻塞现象影响靠近始波或强反射回波后区域的灵敏度，因此有必要对探伤仪的阻塞范围进行测定。

(1) 测试方法

将石英标准探头置于阶梯试块厚度为 48 毫米处，并使其底波 B_1 最高，如图 4。再调节探伤仪令此底波幅度恰为垂直刻度的 80%；然后在灵敏度不变的情况下，在试块上由厚至薄测量底波 B_1 的幅度，找出此幅度保持在垂直刻度 70% 以上的最小板厚 d ，定为仪器在这一探伤灵敏度下的阻塞范围。

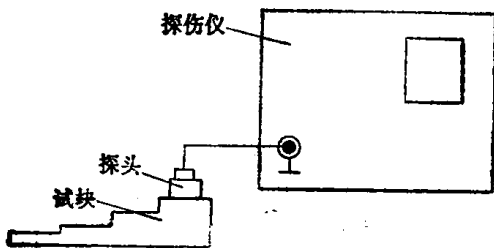


图 4

(2) 说明

1) 由于阻塞范围同探伤仪灵敏度的调节量有关，为使测试结果更接近实际应用时的情况，故宜采用灵敏度较低的探头。本项测试所用的“石英标准探头”，为一用石英晶体作换能材料制成的探头，是从日本超声探伤仪制造者技术协议会标准 EMOS-4 《超声波探伤仪性能测试方法及表示方法》中引用的，也就是取其性能稳定和灵敏度较低的特点。当然，如改用其他灵敏度相近的探头，也可得到类似的结果。

2) 探伤仪同探头连接在一起时，因探头本身阻尼振动持续时间较长，所以在始波之后往往出现一大片由探头引起的杂乱波形，把近区缺陷回波掩盖起来。为解决探伤中这一实际问题，以前在饱和式探伤仪中曾较多采用增加“阻塞”的设计方法来降低始脉冲附近的杂波，

即通过降低放大器在始波之后的放大量，把探头造成的杂波“削去”不予显示，从而使始波宽度变得比较狭窄和光洁，以获得较小的“盲区”。但是用这种方法，“盲区”表面上是变小了，而靠近始波的回波之动态范围却变得很差，这就使仪器在“阻塞区”内发现小缺陷的能力下降，更容易造成漏检和误判。因此始脉冲窄的仪器，更必须测试仪器的阻塞范围和阻塞程度，以评定其始脉冲宽度窄是真正由于探头发射声脉冲宽度窄，或是由于仪器阻塞原因使显示的始脉冲宽度变窄。对于阻塞严重的仪器，虽然显示的始脉冲宽度窄，但并不是好的性能。国外大多数的超声探伤方法标准都建议使用阻塞范围小的仪器，对于薄工件或近表面缺陷的探查，则必须选用窄脉冲探头或TR探头来解决。

5. 电噪声电平

电噪声电平系指探伤仪本身因电子线路原因产生并显示在示波屏上的噪声信号的幅度。由于电噪声的存在限制了接收系统放大量和频带宽度的提高，所以必需对电噪声电平进行规定。它比以前使用的“信噪比”概念，更能正确地反映仪器本身的电气性能。

(1) 测试方法

在将探伤仪的探伤灵敏度和深度范围均调至最大（有可能时应该将重复频率调至最高）时，连接石英标准探头并置于空气中，在避免外界干扰的条件下，基线上电噪声的最高幅度即为电噪声电平，用垂直刻度百分数（%）表示。

(2) 说明

1) 由于电噪声电平着重考核探伤仪本身的电气性能。因此在测试方法中使用了连接石英标准探头和排除包括探头阻尼振动持续时间在内的各种外界干扰的规定。其中，石英标准探头是高阻抗器件，它比带匹配线圈的普通探头使探伤仪的输入端更接近空载情况，所以在没有石英标准探头的场合，也可以在不连接任何探头时进行观测。

2) 以前习惯使用的“信噪比”，是连接探头并在发现CS-1标准试块中200- ϕ 2平底孔波高为垂直刻度的80%时，取孔波高度和时基线上杂波高度的比值来表示。因它受仪器调节条件、探头、试块质量以及耦合情况等外界因素的影响，故测试结果的重复性差，也无法表征仪器在最高灵敏度时的电气性能，所以不如电噪声电平的简明合理。

3) 由于在探伤灵敏度余量的测试项目中规定了电噪声电平的条件为不大于10%，则对探伤仪本身电噪声电平的大小似不必苛求。因为从目前探伤仪电路结构的情况看，电噪声电平除限制可用探伤灵敏度余量外，对实际的探伤结果不会产生更大的影响。

6. 探伤灵敏度余量

探伤灵敏度余量的定义是在规定条件下的探伤灵敏度至仪器最大灵敏度的富余量。它是探伤仪和探头连接在一起时的综合灵敏度指标，也是在现场检验仪器灵敏度的一种简便方法。目前基于尽可能独立地检验仪器本身的性能，特引入时效稳定的石英标准探头，使其避免普通探头因其性能变化而造成的影响。

(1) 测试方法

探伤仪的“发射强度”置于脉冲宽度较窄，并能兼顾灵敏度、分辨率和始波宽度的挡级上，将“衰减器”的衰减量置于“0”dB，调节“增益”旋钮，使仪器此时的电噪声电平不大于10%；分别连接待测探头（其中包括同一频率的石英标准探头），在“增益”旋钮不

变的条件下调节《衰减器》，使在CS-1标准试块150- ϕ 4的平底孔回波幅度为垂直刻度的50%，这时衰减器的读数为被测探头与此探伤仪配合时的探伤灵敏度余量。

(2) 说明

1) 在测试方法中规定“发射强度”置于脉冲宽度较窄的挡级，是为使探伤灵敏度、分辨力和始波宽度三个项目的测试中，使发射电路处于同一工作状态之下，以更有利于仪器间的性能比较，也符合实际的使用情况。

2) 对具有多种工作频率的探伤仪，应用相应频率的探头进行测试，全面掌握仪器这一方面的基本情况。

7. 空载始波宽度

探头同仪器连接时，会使显示的始波宽度增大并影响近区缺陷的探伤，因此引入“空载始波宽度”这一概念，用以表征探伤仪在不同的灵敏度下，探头不与工件接触时的始波宽度这一综合性能。

(1) 测试方法

连接待测探头，把探伤仪的显示深度范围调为钢纵波50毫米，“发射强度”与测试探伤灵敏度余量相同时，再按下述要求调节探伤灵敏度。在将探头置于空气中并擦去表面油层时，读出始波后沿同垂直刻度20%线交点所对应的水平距离，并用钢纵波距离表示。

1) 发现150- ϕ 4平底孔回波幅度为垂直刻度的50%时，再把灵敏度提高40dB，此时的始波宽度称为空载始波宽度；

2) 发现30- ϕ 2平底孔回波幅度为垂直刻度的20%时，再把灵敏度提高14dB，此时的始波宽度称为始波分辨距离；

3) 厚度为5毫米的第三次底波B₃幅度为垂直刻度的50%时，此时的始波宽度称为最小探测距离。

(2) 说明

1) 从上述三种不同探伤灵敏度的规定中可以看出，测试空载始波宽度时的灵敏度最高，其始波宽度也将最大；而最小探测距离时的灵敏度最低，故其始波宽度也最小。这样，在同一探头的情况下，就可从这些结果中了解仪器和探头的综合性能。

2) 以前采用的“盲区”测试方法，是探头在耦合良好的负载情况下，测试其发现近区缺陷的能力。因为是探头压在试块上进行读测，其结果就同试块以及耦合条件有关，所以重复性差，这是它的缺点之一。

3) 探头的阻尼振动持续时间，会因负载的不同而改变，也就使显示的始波宽度随负载条件产生变化，且在空载时始波宽度为最大。因此本项测试结果所表示的是在规定灵敏度下始波宽度的最大值，这就为使用者提供了一条应当引起注意的界限，即在此界限之内发现的缺陷回波具有不可靠的成分，应作进一步的判断。这一点，对实际探伤中防止误判是十分重要的。

8. 远场分辨力

远场分辨力表示探伤仪能够区分两个相邻缺陷的能力，它也是仪器和探头的一项综合指标。

(1) 测试方法

将石英标准探头或其他待测直探头置于IIW₁试块上如图5(a), 调节仪器并移动探头, 使试块上A、B回波的波峰 h_1 相等, 其波谷幅度为 h_2 , 如图5(b), 则该探头的远场分辨力 x 按式

(4) 计算:

$$x = 20 \lg \frac{h_1}{h_2} \quad (4)$$

式中 x —— 远场分辨力, (dB)

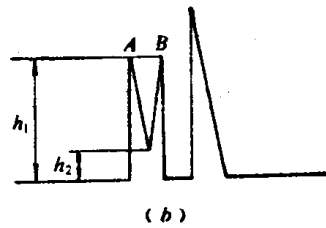
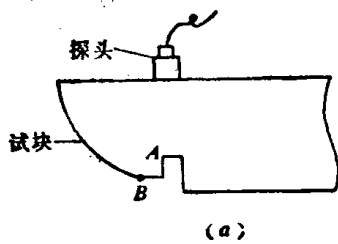


图 5

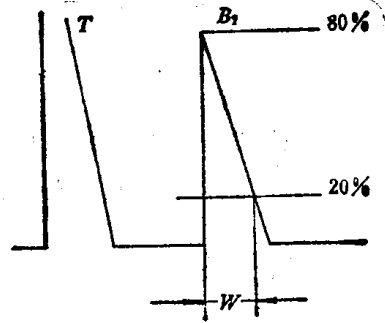


图 6

(2) 说明

1) 在国内, 远场分辨力以前也曾采用过日本工业标准JIS-Z-2344-1973中的测试方法, 由于这一方法受大信号, 即接收放大器的饱和状态影响, 以致常造成不正确的结果, 因此改用这种在示波屏内进行评价的方法。

2) 对某些探头, 如远场分辨力较高的探头, 上述的方法较难表达, 此时, 可采用下述测试反射波宽度的办法。

把探伤仪的显示深度范围调为钢纵波125毫米, 连接待测探头并固定于IIW₁试块上厚度100毫米处, 调节探伤仪, 使底波 B_1 的幅度为垂直刻度的80%, 然后读出此底波前沿始点至其后沿与垂直刻度20%线交点的水平距离 W , 如图6, 并用钢纵波距离表示。

9. 稳定性

影响探伤仪稳定性的因素是多方面的, 这里介绍的稳定性测试方法仅是电源电压变化和连续工作时间这两个主要项目, 至于其它方面, 如环境温度变化等, 因所需设备较多, 使用者难于实现, 故未列入。

(1) 测试方法

把探头固定于IIW₁试块上厚度为25毫米处或利用具有稳定回波的标准回波探头, 取得多次无干扰反射波, 再调节仪器, 使底波 B_1 的前沿对准水平刻度, “2”底波 B_2 对准“8”, 同时令底波 B_2 的幅度恰为垂直刻度的80%, 以此作为测试稳定性的基准探伤图形, 然后在经过稳定性检验后, 分别记录底波 B_2 的幅度和水平位移、底波 B_1 和 B_2 的相对水平位移、基线的垂直位移等。

1) 4小时连续工作稳定性的检查: 探伤仪用稳定的交流或直流电源供电, 经预热时间后连续工作4小时, 再检查探伤图形的变化情况。

2) 电源电压变化稳定性的检查: 探伤仪稳定工作半小时后, 在仪器规定的使用电压范围

内缓慢改变其电源电压，并在每次改变时经稳定工作20分钟后检查探伤图形的变化情况。

(2) 说明

待测探伤仪若只能用蓄电池工作，上述两项测试也可在电池充足电到放电至规定的下限值附近这一时间范围内进行。

三、探头性能测试

超声探伤用的探头主要性能指标包括：①回波频率，②距离幅度曲线，③斜探头入射点与前沿长度，④K值，⑤斜探头温度变化率 $\frac{\Delta K}{\Delta T}$ ，⑥斜探头前后扫查声束特性，⑦斜探头左右扫查声束特性，⑧斜探头声束中心轴偏斜，⑨直探头声束特性，⑩探伤灵敏度余量，⑪空载始波宽度，⑫探头反射波宽度。其测试方法分述如下：

1. 回波频率

回波频率是探头发射和接收的综合频率特性，也就是进入探伤仪接收端的超声频率。

(1) 测试方法

利用探伤仪来测量回波频率 F_e 的示意图如图7，探伤仪的“单-双”开关置“单”，“阻尼”置被测探头规定的挡级上，直探头置高度大于其近场的平板试块表面，如图7(a)，斜探头置于IIW₁试块R100圆心附近，如图7(b)。

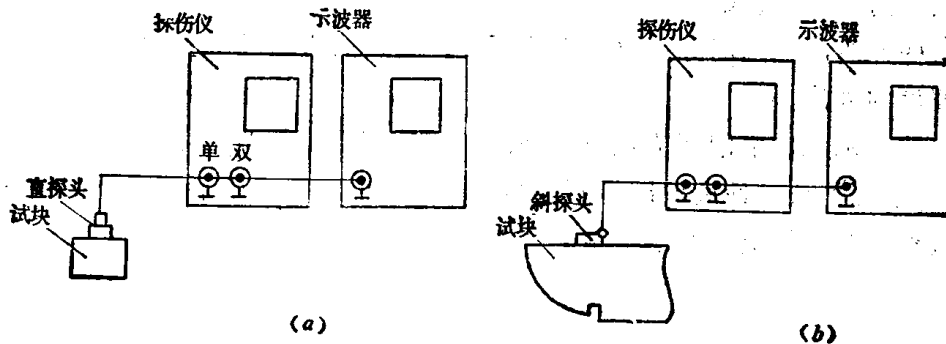


图7

加上耦合剂后移动探头，使探伤仪荧光屏上显示的试块底面第一次反射波最高，并把探头固定下来，用示波器在探伤仪接收输入端观察试块底面第一次反射波的波形如图8。在这个波形中，以峰值点为基准，读出其前一个周期和后二个周期的时间 T ，把 T 作为测量值并按式(5)计算：

$$F_e = \frac{3}{T} \quad (5)$$

式中 F_e ——回波频率 (MHz)

T ——3个周期的时间 (μs)

(2) 说明

1) 回波频率除了主要决定于探头外，还与探伤仪的发射电路、试块和耦合状态有很大的关系，测试时应

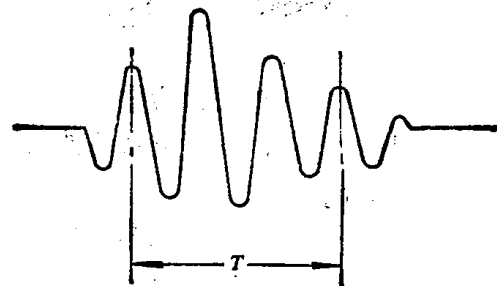


图8

予注意。

- 2) 所使用的示波器其频宽应大于15MHz, 水平线性误差小于3%。
- 3) 有的探头很难观察到三个周期时, 也可以用二个周期的时间进行计算。

2. 距离幅度曲线

探头声轴上的声压随距离而变化的曲线称为距离幅度曲线。探头的声场是相当复杂的, 尤其是在近场干涉区内, 声轴上的声压大小随距离起伏变化, 声轴上最后一个极大值到探头的声轴长度, 称为近场长度 N 。 N 是探头的一个重要参数。在一定的传播介质里, N 主要与探头晶片的形状、有效直径 D_0 和回波频率 F_e 有关。

(1) 测试方法

在探伤仪“增益”旋钮置于同一调节度的条件下, 把探头置于有相同直径、不同距离的横孔试块上如图9。

分别测出试块上不同声程的横通孔回波的最高幅度, 再调节衰减器使回波为垂直刻度的50%, 并记下相应的衰减器读数。

距离幅度特性用以纵坐标为灵敏度, 单位dB, 横坐标为声程, 单位毫米的直角坐标图形表示, 如图10。

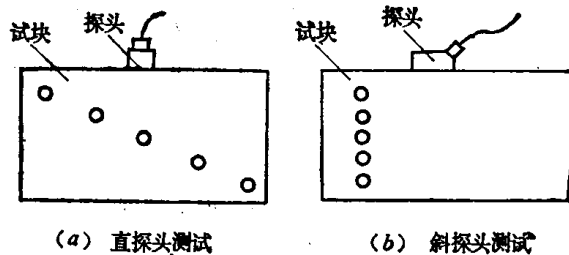


图9

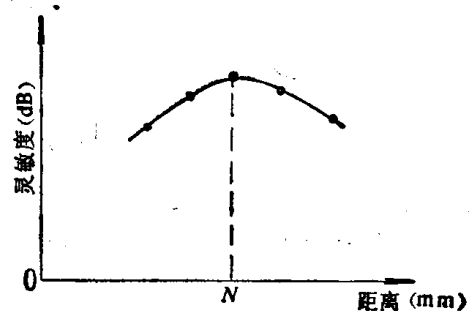


图10

(2) 说明

1) 测试时, 为了测出探头的近场长度 N , 可先按公式 $N_0 = \frac{D_0^2}{4\lambda}$ 估计待测探头的近场长度。式中, D_0 为探头的标称直径, λ 为探头标称频率的波长。然后测试声程为 N_0 前后的横通孔。

2) 因为测试点是不连接的, 且由于探头发出的超声频谱较宽, 在近场长度附近声压的变化不是很尖锐, 故只能测出 N 值的范围。此外, 耦合条件、试块的材质以及横孔加工精度都会影响测试结果, 这是本方法不足之处。

3) 目前汕头超声仪器研究所研制的SC-1型声场测试设备, 可连续测量并自动记录直探头和水浸探头在水中的距离幅度曲线, 可提高测试的精度。

3. 斜探头入射点与前沿长度

斜探头入射点为探头的声束中心入射于探伤面的一点。

前沿长度为入射点至探头前沿的距离。

(1) 测试方法

把斜探头置于IIW₁试块上,在探头声束方向与试块侧面平行的情况下,前后移动探头,使试块R100圆弧的反射波最高,读出与试块圆弧中心记号对应探头侧面的刻度,作为实测入射点,然后用刻度尺测量出前沿长度。

(2) 说明

如果试块R100圆弧回波信号很弱或出现旁壁回波,则应检查探头的声束中心轴偏斜角是否符合要求。此外,入射点要反复多次测量,且各次测定的数值相差必须小于±1毫米,否则测得的数据不可靠。

4. K值

K值为斜探头折射角的正切值。采用K值的简单数来表征斜探头的不同角度有利于缺陷定位的优点。一般取0.8、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5等数值为K值系列。

(1) 测试方法

根据表2的要求,把被测探头的标称K值换算为折射角 β ,再在IIW₁标准试块上对应的折射角刻度附近对准 $\phi 50$ 或 $\phi 1.5$ 的孔,并前后移动探头,直到该孔的反射波最大时固定下来,然后读出探头入射点所指示的试块的角度刻度 β_c ,如图11。按公式(6)计算K值:

$$K = \text{tg} \beta_c \quad (6)$$

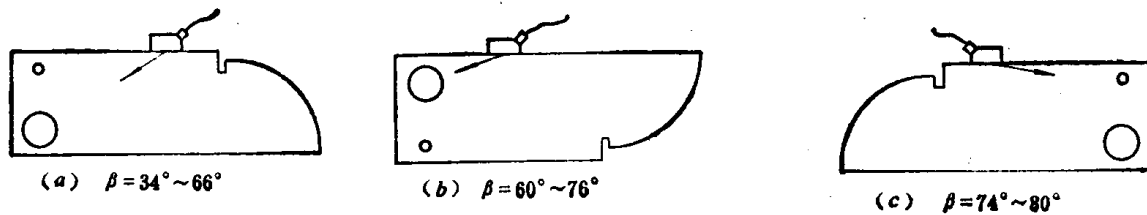


图11

表2

K	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
β (度)	38.7	45.0	56.3	63.4	68.2	71.6	74.1

(2) 说明

关于斜探头K值的测量误差问题,参考文献[10]已有详细分析,此处仅说明误差的来源有:①探头入射点的读数误差;②试块刻度及其读数误差;③超声声场不尖锐;④试块声速差异。

5. 斜探头K值温度变化率 $\frac{\Delta K}{\Delta T}$

斜探头K值温度变化率 $\frac{\Delta K}{\Delta T}$ 表征探头K值大小随温度变化而变化的程度。

(1) 测试方法

按上述测试K值的方法测出额定使用温度范围上限 T_{\max} 、下限 T_{\min} 的K值分别为 K_{\max} 和 K_{\min} ,按公式(7)计算K值温度变化率

$$\frac{\Delta K}{\Delta T} = \frac{K_{\max} - K_{\min}}{T_{\max} - T_{\min}} \quad (7)$$

(2) 说明

1) 用有机玻璃或聚苯乙烯材料作斜楔的探头，由于这些材料的温度系数较大，且其声速随温度升高而降低，所以其K值也随环境温度有所变化。

2) 一般斜探头额定使用温度上限为 +40℃，下限为 -10℃。

6. 斜探头前后扫查声束特性

斜探头前后扫查声束特性表征了斜探头声束垂直方向的扩散特性。

(1) 测试方法

按K值的测试方法测出探头的 β_C 值后，继续向前移动探头，使反射波高度降低6dB，读取探头入射点所指示的试块上的 β 值刻度 β_{C-6} ；然后向后移动探头，测出另一方向的降低6dB的波高点，并读取对应的 β_{C+6} 。分别量出 β_C 和 β_{C-6} 、 β_{C+6} 和 β_C 之间的距离 W_x 、 W_{-x} ，如图12，读数应精确到1毫米。

(2) 说明

本项目也可直接用半波高扩散角的大小 β_{C-6} 和 β_{C+6} 来表示。

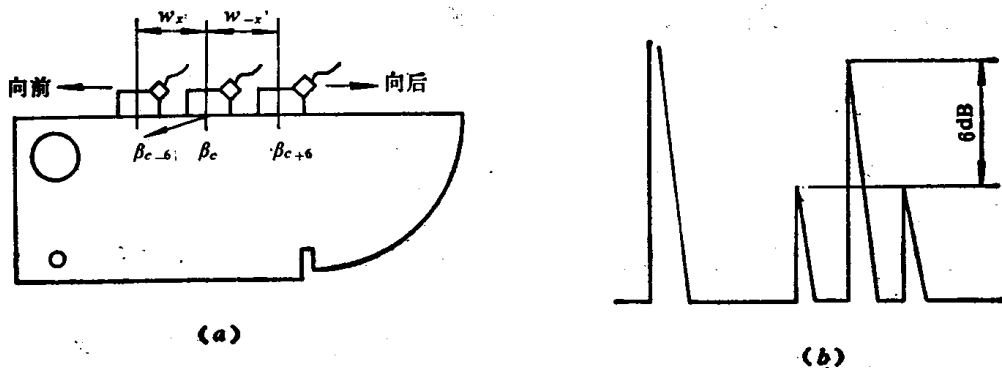


图12

7. 斜探头左右扫查声束特性

斜探头左右扫描声束特性表征了斜探头水平方向的声束扩散特性。

(1) 测试方法

把探头放在厚度为40毫米的试块上，移动探头并使 $\phi 4$ 通孔F的反射波最高，这时探头前沿中心标志线在试块上的位置为0点，再使探头在0点左右移动，在两个方向测出孔F反射波下降6dB时所对应的移动距离 W_{-y} 和 W_{+y} ，如图13。 W_{-y} 表示声束右侧扩散情况， W_{+y} 表示声束左侧扩散情况。

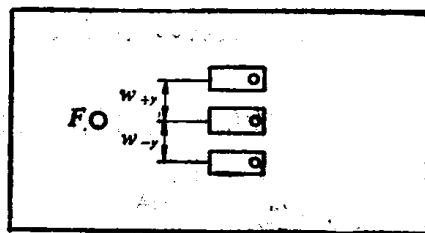


图13

(2) 说明

测得0点后，可在探头前面放一块钢尺，使探头沿着钢尺移动来测量 W_{+y} 和 W_{-y} 。

8. 斜探头声束中心轴偏斜

斜探头声束中心轴偏斜表征了探头声轴在水平方向上的偏斜角。

(1) 测试方法

把探头置于IIW₁标准试块25毫米厚的表面上。对于 $K \leq 1$ 的斜探头,测试时用试块上表面端面的反射回波,如图14(a);对于 $K \geq 1.5$ 的斜探头,测试时用下表面端面的反射回波,如图14(b)。前后移动和左右摆动探头,使所测试块端面的回波幅度最大,然后用量角器测量探头侧面与试块端面法线的夹角 θ ,如图14(c)。

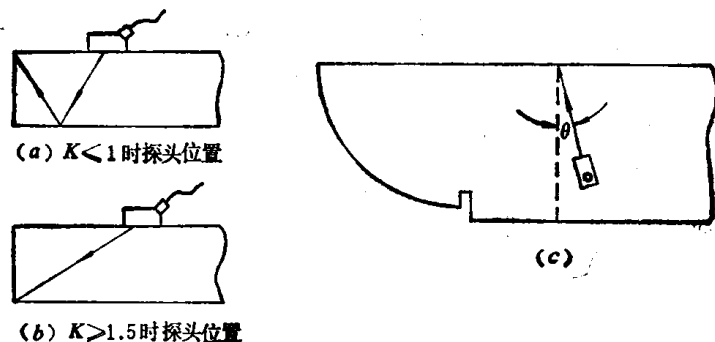


图14

(2) 说明

本项目对声束扩散角大的探头,可能产生较大的测量误差。

9. 直探头声束特性

直探头声束特性表征了探头的声轴移位和声束扩散特性。

(1) 测试方法

1) 在探头圆周标出按 90° 等分的四个参考点,并依次定为 $+x$ 、 $+y$ 、 $-x$ 、 $-y$,如图15(a)。

2) 选取声程约为被测探头2倍近场长度的横通孔试块,使探头的参考点 $-x$ 、 $+x$ 对准试块的中心线移动,如图15(b),测出试块上横通孔反射波幅度最高时探头中点位置A至横通孔中心的垂直距离 D_x ,其中A点在探头 $+x$ 方向时加上“+”号,在探头 $-x$ 方向时加上“-”号。

3) 继续移动探头,分别测出从A点到试块横通孔反射波幅度下降6 dB时所对应的位置的距离 W_x ,然后沿相反的方向测出 w_{-x} ,如图15(c)。

4) 将探头旋转 90° 使参考点 $+y$ 和 $-y$ 对准试块中心线,按上述方法分别测出 D_y 、 W_{+y} 和 W_{-y} 。

5) 声轴移位用 D_x 和 D_y 的大小表示。声束扩散特性用 W_{+x} 、 W_{-x} 、 W_{+y} 、 W_{-y} 表示,读数均应精确到1毫米。

(2) 说明

由于参考点是任意标定的,所以测出的不一定是最大的声轴移位和声束扩散,因此,若要求较高,可以在不同的方向上取 90° 等分参考点,反复测量多次,力求找出真正的最大值。

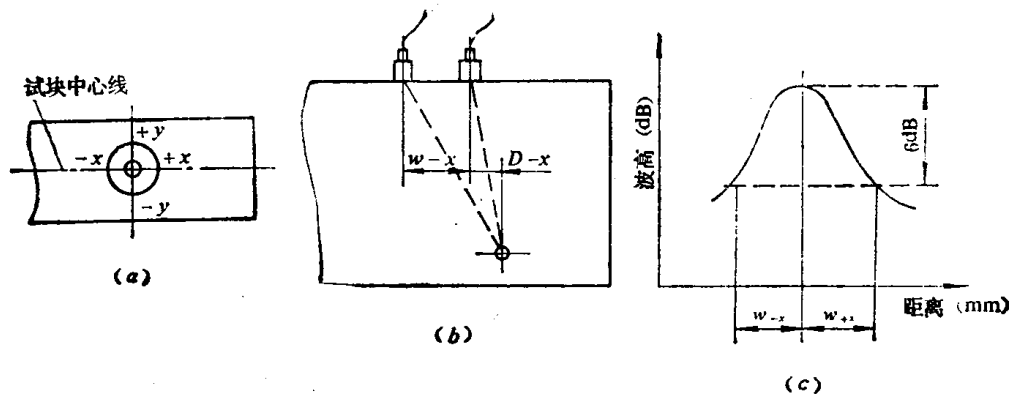


图15

10. 探伤灵敏度余量

直探头探伤灵敏度余量测试方法与仪器探伤灵敏度余量的测试方法相同。

测试斜探头时仪器的调节方法与测试直探头相同。在声束方向与试块侧面保持平行的条件下前后移动探头，使R100圆弧面的第一次反射波最高，然后调节衰减器，使反射波幅度为垂直刻度的50%，此时衰减器的读数为被测探头的灵敏度余量，单位dB。

11. 探头空载始波宽度

直探头空载始波宽度与仪器空载始波宽度的测试方法相同。

测试斜探头时，测得探头的灵敏度余量后，把探伤仪的扫描范围调整为横波100毫米后，将探头置于空气中，擦去其表面油层，把探伤仪灵敏度提高40dB，读出从刻度板零点到始波后沿与垂直刻度20%线交点所对应的水平距离 W_{40} ，斜探头始波宽度 W_{40} 用钢中横波声程距离表示，测量值应精确到0.5毫米。

12. 探头反射波宽度

用探头远场的第一次底波宽度来表征探头的远场分辨力。

直探头反射波宽度测试方法与仪器的远场分辨率测试方法中反射波宽度的测试方法相同。

测试斜探头时，把探伤仪的扫描范围调整为横波100毫米，测得探头的灵敏度余量后，调整探伤仪的灵敏度，使R100圆弧反射波幅度为垂直刻度的80%，然后读出从反射波前沿到其后沿与垂直刻度20%线交点间的宽度 d ，如图6。反射波宽度 d 用钢中横波距离表示，读数应精确到0.5毫米。

上述探头性能测试方法，主要适用于直探头和斜探头，但原则上也可指导双晶探头、水浸探头进行性能测试。

四、结 束 语

实践证明，用试块和示波器测试超声波探伤仪和探头的主要性能是可行的。这种测试方法能够对仪器和探头的检测能力进行评价。由于测试设备简单，而且不用打开仪器盖板就可

进行测试，这对于仪器投入使用之前的现场性能测试和仪器制造部门成品性能检验是方便的。

但是，这种测试方法，对表征仪器和探头的探伤灵敏度余量、始波宽度、远场分辨力等项主要性能，则只能反映仪器和探头的综合指标，不能分别对仪器和探头单独进行评价。这就有可能出现一个灵敏度比较高的探头与一台灵敏度低的仪器配合测试，其结果可能是反映为这个探头灵敏度低；反之，如果一个灵敏度低的探头与一台灵敏度高的仪器进行测试，其结果可能是反映为这个探头的灵敏度高。对于始波宽度和远场分辨力性能同样也可能出现这种情况，这是此种测试方法的不足。但是如果能够进行互换比较，则可以对仪器和探头的相对性能进行评价。用其他测量方法单独对探头进行性能评价的方法研究，国内外都做了大量的工作，也是目前共同关心的问题，但还有待进一步研究。

参 考 文 献

- 【1】 Explanation of the probe data sheets, Krautkrämer GmbH.
- 【2】 日本工业标准JISZ2344-1978.
- 【3】 日本超声波探伤仪制造业者技术协议会标准EMOS-4.
- 【4】 日本超声波探伤仪制造业者技术协议会标准EMOS-5.
- 【5】 美国国家标准ANSI/ASTM E317-79.
- 【6】 英国国家标准BS4331.
- 【7】 CTS-8A型超声波探伤仪AVG曲线板的制作，汕头超声仪器研究所等，《超声探伤》第六期 1976.
- 【8】 CTS-8A型超声波探伤仪技术条件，汕头超声仪器研究所，1976.
- 【9】 超声探伤换能器主要技术性能测试方法，蔡恒辉等《超声探伤》第八期，1978.
- 【10】 影响探头K值误差的因素及对缺陷定位的影响，上海锅炉厂，《理化检验》第四期，1976.

2. 压力容器无损检测现状及其发展动向

机械工业部通用机械研究所 何泽云

压力容器的无损检查包括原材料、制造过程、最终成品、运行过程中的检测。原材料的检测主要对锻件、钢板、钢管的检查。制造过程中的检测主要对各种焊缝的检查和原材料的抽查复验。成品的最终检测包括水压试验、气密性试验。运行中的检测包括停机检修、水压试验和运行中的监控。

压力容器通常使用的物理无损检测有：磁粉法、渗透法、射线照像法和超声波法。常用这些方法检测容器零部件或焊缝中已经产生的缺陷。由于上述方法都有其局限性，又不可能对材料进行100%的检查以及检测本身的误差等因素，常常会出现对危险性缺陷造成漏检和误判。如芬兰的技术研究中心（VTT）曾经比较过厚度范围为5~20毫米的对接焊缝，接管角焊缝和T字角焊缝裂纹缺陷的超声波检测结果及与其相应缺陷的解剖结果：对长为35毫米及30毫米的焊缝根部裂纹，约有80%的超声检测人员能够检测出来，但却只有20%的检测人员能正确地判定缺陷的性质。 x 射线照像法虽然发现缺陷比较直观，但它对于沿射线方向高度小于材料厚度的1~2%的缺陷则难于发现，尤其是取向不良的二维裂纹缺陷更是如此^[1]。因此，近年来不少国家都在容器出厂前的水压试验和运行中间的检修水压试验中配用声发射方法检测，发现可疑部位再用常规方法复查。这样，不但可准确地查知常规方法检出的缺陷是否属危险缺陷，而且还可全面检测出常规方法没有查出的缺陷，从而对容器安全性进行全面评价，以确保容器的安全可靠。

一、磁粉法

1. 检测对象

磁粉法主要用于检测铁磁性材料的表面及近表面的缺陷。检测对象大致可分为以下五类：

- 1) 高压紧固件与钢管表面的检测。目的在于检测因轧制和热处理产生的裂纹缺陷。
- 2) 焊缝坡口表面的检测。目的在于发现夹层等缺陷。
- 3) 焊缝表面及其附近表面的检测。如ASME sect III中规定：A、B、C、D各类容器全部焊缝表面，以及焊缝两侧附近至少12.7毫米范围内母材表面都要进行磁粉或渗透法检测。另外，当采用角焊缝把附件焊在主要部件上时，由于结构形状的影响，不能很好使用射线和超声波检测时，采用磁粉或渗透法检测也是个补救方法。
- 4) 焊接的中间检测。对焊后不进行射线或超声波检测的焊缝，或者即便进行射线检测但难以发现裂纹的某些厚焊缝，每当焊到一定厚度时，都要进行磁粉或渗透检测，以便发现裂纹等缺陷。
- 5) 焊接附件拆除后的表面检测。装配和焊接过程中，临时装焊上的夹具、零件和脚踏板