



中华人民共和国国家标准

GB/T 27664.2—2011

无损检测 超声检测设备的性能与检验 第2部分：探头

Non-destructive testing—Characterization and verification of
ultrasonic test equipment—Part 2: Probes

2011-12-30 发布

2012-05-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、符号和缩略语	1
4 一般要求	4
5 由制造者提供的探头技术指标	5
6 检测器具	6
6.1 电子仪器	6
6.2 试块及其他器具	7
7 探头性能要求	10
7.1 外观	10
7.2 射频脉冲波形	11
7.3 脉冲频谱和带宽	12
7.4 相对脉冲回波灵敏度	12
7.5 距离幅度曲线	13
7.6 电阻抗或静电容	15
7.7 液浸式探头的声束参数	15
7.8 接触式探头、直射探头和单换能器探头的声束参数	23
7.9 接触式横波单换能器斜射探头的声束参数	26
7.10 接触式双换能器直射探头的声束参数	30
7.11 接触式横波双换能器斜射探头的声束参数	32
附录 A (规范性附录) 非聚焦探头近场长度的计算	34
附录 B (资料性附录) 斜射探头用的校准试块	36

前 言

GB/T 27664《无损检测 超声检测设备的性能与检验》分为以下三个部分：

- 第 1 部分：仪器；
- 第 2 部分：探头；
- 第 3 部分：组合设备。

本部分为 GB/T 27664 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用欧洲标准 EN 12668-2:2001《无损检测 超声检测设备的性能与检验 第 2 部分：探头》(英文版),包括其 1 号修改单 EN 12668-2:2001/Amel:2004。

本部分的文本结构和技术内容与 EN 12668-2:2001 一致。

本部分与 EN 12668-2:2001 的差异及其原因如下：

- 删除了 EN 前言,并重新编写了前言；
- 用“本部分”一词代替了“本欧洲标准”；
- 删除了第 1 章中对探头检测的要求；
- 修改了第 2 章“规范性引用文件”中的引导语；
- 第 2 章规范性引用文件中所引用的国际标准已转化为我国标准的,则本部分直接引用了与之相对应的我国标准的最新版本；
- 第 2 章规范性引用文件中引用的国际标准 ISO 9001:1994 和 ISO 9002:1994 已合并修订为 ISO 9001:2008,故本部分直接引用了与 ISO 9001:2008 相对应的我国国家标准 GB/T 19001—2008；
- 第 2 章规范性引用文件中增加了 GB/T 12604.1—2005《无损检测 术语 超声检测》；
- 术语 3.1、3.2.1 和 3.2.2 分别采用了 GB/T 12604.1—2005 中界定的术语 7.2、6.10 和 2.19 及其定义；
- 在第 4 章“保证探头质量”的内容中增加了 c)。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国机械工业联合会提出。

本部分由全国试验机标准化技术委员会(SAC/TC 122)归口。

本部分起草单位：汕头市超声仪器研究所有限公司、长春机械科学研究院有限公司。

本部分主要起草人：王兴雄、刘智力、蔡恒辉。

无损检测 超声检测设备的性能与检验

第2部分:探头

1 范围

GB/T 27664 的本部分规定了下列两类聚焦或非聚焦式超声无损检测用探头及其检验方法:

- a) 产生横波或纵波的单换能器或双换能器接触式探头;
- b) 液浸式探头。

本部分中规定的与材料有关的超声数值,是基于纵波超声声速为 $(5\,920 \pm 50)$ m/s 和横波超声声速为 $(3\,255 \pm 30)$ m/s 的钢。

本部分未规定探头的周期检验方法。

本部分适用于中心频率在 0.5 MHz~15 MHz 范围内的聚焦或非聚焦式探头。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 12604.1 无损检测 术语 超声检测(GB/T 12604.1—2005,ISO 5577:2000,IDT)

GB/T 19001 质量管理体系 要求(GB/T 19001—2008,ISO 9001:2008,IDT)

GB/T 19799.2 无损检测 超声检测 2号校准试块(GB/T 19799.2—2005,ISO 7963:1985,IDT)

GB/T 27664.1 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第1部分:仪器

GB/T 27664.3 无损检测 超声检测设备的性能与检验 第3部分:组合设备

EN 1330-4 无损检测 术语 第4部分:超声检测术语(Non destructive testing—Terminology—Part 4; Terms used in ultrasonic testing)

EN 12223 无损检测 超声检测 1号校准试块规范(Non-destructive testing—Ultrasonic examination—Specification for calibration block No. 1)

3 术语和定义、符号和缩略语

GB/T 12604.1 和 EN 1330-4 界定的以及下列的术语和定义适用于本文件。

3.1

盲区 dead zone

靠近工件检测面下的一段区域,在此区域中有意义的反射体不能被显示。

3.2

焦距和近场长度

3.2.1

焦距 focal distance

聚焦探头从焦点到声源的距离。

3.2.2

近场长度 nearfield length
超声信号源到近场点之间的距离。

3.3

声束水平面 horizontal plane of a sound beam
用斜探头时,与声束垂直面垂直的并包含被检件中声轴的平面。

3.4

工作频率 operating frequency
中心频率 centre frequency

f_0

在回波频谱中,相对于最大幅度低-6 dB处测定的较高和较低截止频率 f_u 和 f_l ,并按下式定义中心频率 f_0 :

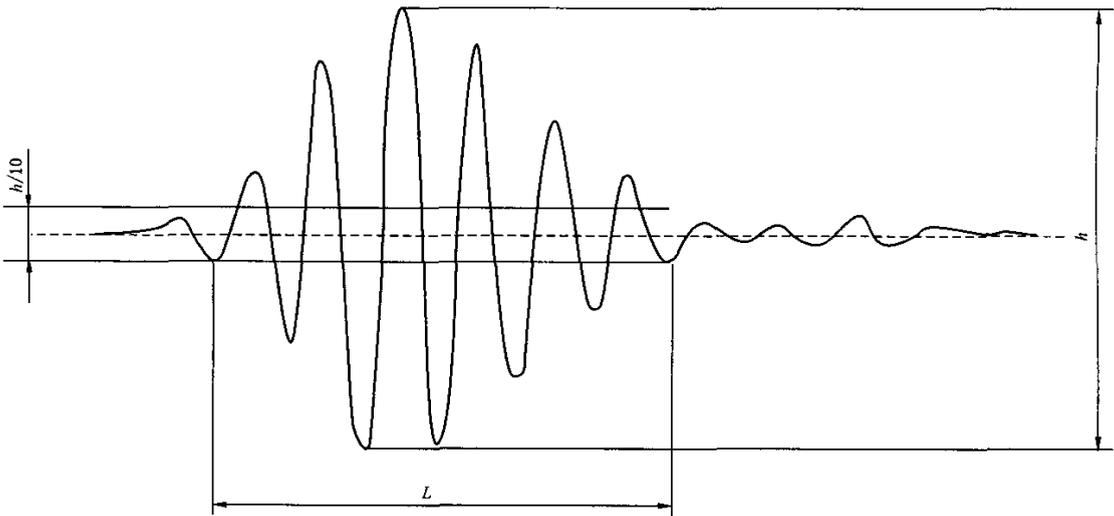
$$f_0 = \sqrt{f_u \times f_l}$$

3.5

峰-峰值幅度 peak-to-peak amplitude

h

脉冲周期的最大正向幅度与最大负向幅度间的最大差值,见图 1。



说明:

h ——峰-峰值幅度;

L ——脉冲宽度。

图 1 典型的超声脉冲

3.6

探头数据表 probe data sheet

每个探头都带有有关该探头性能的数据表,它不作为单个探头性能的检测证书。

3.7

脉冲宽度 pulse duration

不检波脉冲幅度的模不低于其最大峰-峰值幅度 10% 的时间间隔, 见图 1。

3.8

参考侧面 reference side

除制造者另有规定外, 参考侧面为从斜射探头声束方向看过去的右侧面。

3.9

相对带宽 relative bandwidth

Δf_{rel}

高、低截止频率 f_0 和 f_1 差值与中心频率 f_0 之比的百分数。

$$\Delta f_{rel} = [(f_0 - f_1) / f_0] \times 100\%$$

3.10

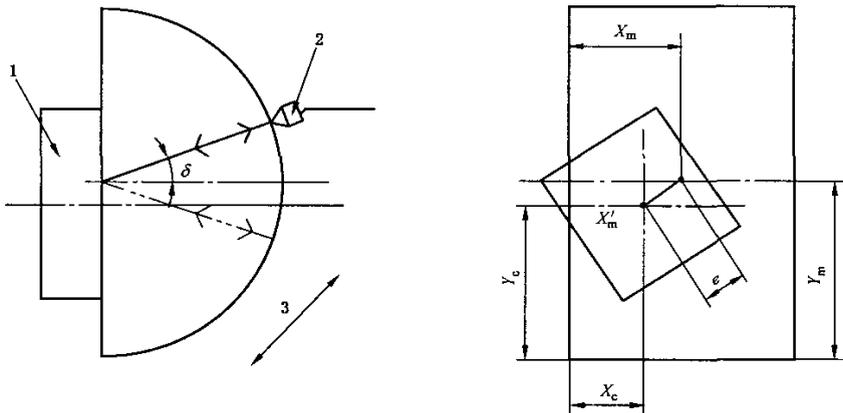
探头的偏向角

3.10.1

直射探头的偏向角 squint angle for straight-beam probes

δ

直射声束探头发射点到检测面的垂线与声束轴线之间的角度, 见图 2。



说明:

- 1—超声探头;
- 2—电磁声(EMA)接收器;
- 3—回波;
- e —偏移;
- δ —偏向角。

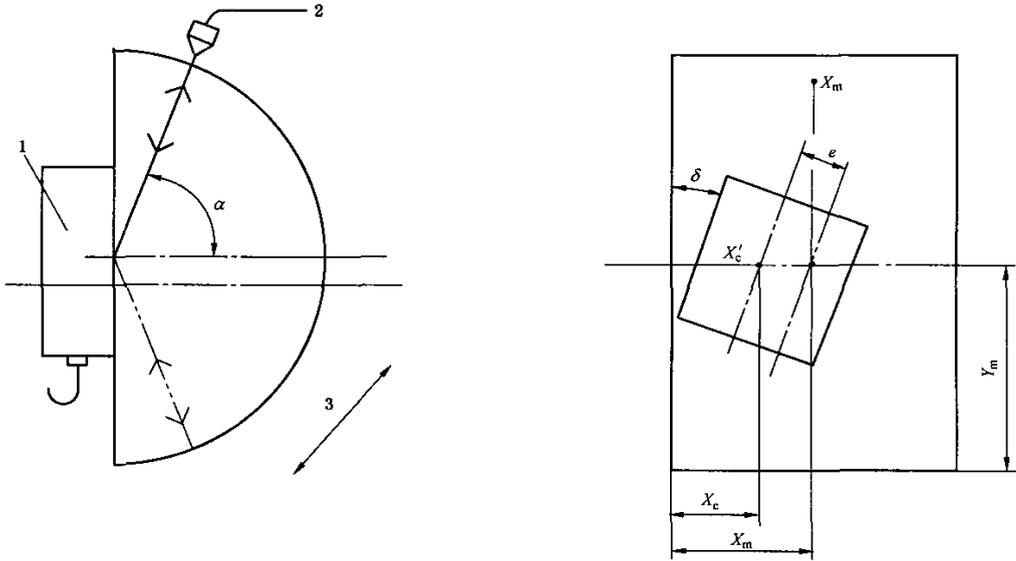
图 2 直射探头的偏向角与偏移

3.10.2

斜射探头的偏向角 squint angle for angle-beam probes

δ

斜射声束探头外壳侧面与测得的声束轴线在检测面上投影线之间的角度, 见图 3。



说明：

- | | |
|-----------------|-----------------|
| 1——超声探头； | α ——声束角； |
| 2——电磁声(EMA)接收器； | δ ——偏向角； |
| 3——回波； | e ——偏移。 |

图3 斜射探头的偏向角与偏移

3.11

换能器 transducer

探头中将电振荡转换成机械振荡(反之亦然)的换能元件,在大多数情况下为压电元件。

3.12

声束垂直面 vertical plane of a sound beam

由斜射探头楔块内声束轴线和被检件内声束轴线构成的平面。

4 一般要求

探头应符合下列规定：

- 应满足本部分的技术要求；
- 探头有标明工作频率、换能器尺寸、角度和波型的唯一编号,或有能追溯这些信息的固定参考号；
- 提供按第5章给出相应型号和系列的探头性能数据表。

选择下列方式之一来保证探头质量：

- 在按 GB/T 19001 建立的质量管理体系下生产的大批量相同类型探头的条件下,应按统计法抽取一定数量探头进行检测,而且制造者要提供包括带有允差的规定参数值的探头数据表。
- 提供单个探头检测结果的探头检测证书,这种情况仅适用于小批量生产的各类型的探头或按要求生产的专用探头。

- c) 对探头各项例行检测应按 GB/T 27664.3 中规定的现场检验方法进行。如果在探头的使用期限内经合同各方协商,对 GB/T 27664.3 规定以外的某些参数进行检验,则增加的这些参数的检测方法宜从本部分规定的检测方法中选择。

5 由制造者提供的探头技术指标

表 1 给出了本部分规定的由制造者提供的所有探头数据表中的项目清单(表 1 中字母:I——信息数据、M——测试数据、C——计算数据)。该数据表也应包含有关检测探头用的测试仪器及其设定值和耦合条件等数据。

表 1 数据表中要列出的项目清单

应提供的 项目、测 量的或计 算的参数	探头类别															
	接 触 式													水浸式		
	直射探头					斜射探头								直射探头		
	纵波				横波	纵波				横波				纵波		
	单探头		双探头		单探 头	单探头		双探头		单探头		双探头		单探头		
	非聚 焦	聚 焦	非聚 焦	聚 焦	非聚 焦	非聚 焦	聚 焦									
制造商名称	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
探头类型	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
探头质量和尺寸	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
连接器类型	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
可交换射频接头			I	I				I	I			I	I			
换能器材料	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
换能器形状和尺寸	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
楔块材料和延迟	I	I	I	I		I	I	I	I	I	I	I				
耐磨片材料	I															
耐磨允差	I	I	I	I		I	I	I	I	I	I	I				
泄漏抑制			M	M				M	M			M	M			
脉冲波形(时间和频率)	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
中心频率和带宽	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
脉冲回波灵敏度	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
距离幅度曲线	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C	M、C
阻抗、静电容	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
探头入射点(指标)						M	M	M	M	M	M	M				

表 1 (续)

应提供的 项目、测 量的或计 算的参数	探头类别														
	接 触 式													水浸式	
	直射探头					斜射探头								直射探头	
	纵波				横波	纵波				横波				纵波	
	单探头		双探头		单探 头	单探头		双探头		单探头		双探头		单探头	
	非 聚 焦	聚 焦	非 聚 焦	聚 焦	非 聚 焦	非 聚 焦	聚 焦								
声束角						M	M	M	M	M	M	M	M		
扩散角	M				M	M				M				M	
声束轴线偏移	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
偏向角	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M		
焦距和近场	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C	M,C
焦点宽度	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
焦点长度	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M
外观	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

I——信息数据;M——测量数据;C——计算数据;M、C=测量或计算数据。

制造者应说明探头的工作温度范围、运输过程中特殊储存和防护条件。

需经供应商和客户协商同意删减的某些项目和(或)增加表 1 中未规定的其他一些项目。

对于高温条件下使用的探头,制造者应提供与使用时长相关的最高工作温度的数据,以及有关温度对灵敏度和声束角影响的数据。

6 检测器具

6.1 电子仪器

对第 7 章规定的检测项目进行检测用的超声检测仪(或实验室用的脉冲发生器、接收器)应为探头数据表中规定的型号,并应符合 GB/T 27664.1 的规定。如检测时规定使用一种以上类型的超声检测仪,则应使用每一种附加的规定型号的超声检测仪重复进行检测。

供专用型超声检测仪使用的探头,也应使用探头数据表中规定的探头电缆和电气匹配装置进行检测。

注:当探头电缆长度超过 2 m 时,可能对探头的性能影响很大。

除超声检测仪或实验室脉冲发生器、接收器以外,按本部分评价探头工作性能使用的主要仪器还有:

- a) 一台带宽不小于 100 MHz 的示波器。
- b) 一台带宽不小于 100 MHz 的频谱分析仪或一个具有离散型傅里叶变换(DFT)功能的示波器(或数字转换器)。

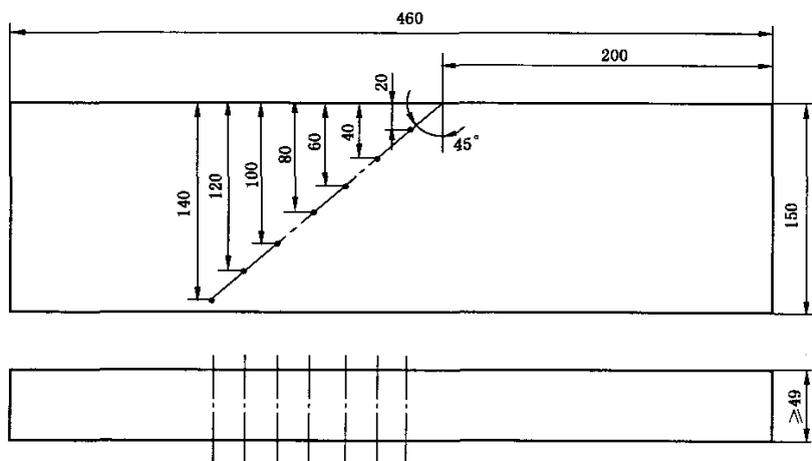
- c) 一台阻抗分析仪。
- d) 可选器具：
- 1) 仅用于接触式探头：
 - 电磁声(EMA)探头和接收器；
 - 指向性图形绘图仪。
 - 2) 仅用于液浸式探头：
 - 有效直径小于被测探头中心超声波长的两倍(但不小于 0.5 mm)的水听器及其接收器。
 - 放大器的带宽宜大于被测探头的带宽。

6.2 试块及其他器具

仅适用于接触式探头,在规定检测范围内应使用下述试块进行检测:

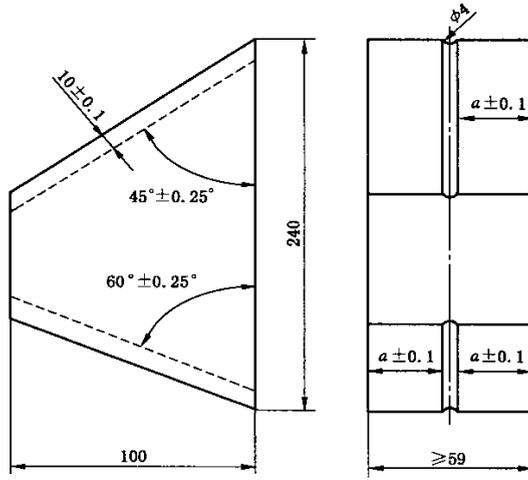
- a) 推荐使用具有不同半径 R 的半圆柱形钢质试块。试块的半径范围从 12 mm~200 mm,两个半径间隔为 $R\sqrt{2}$, 材质应符合 GB/T 19799.2 的规定。每个试块厚度应等于或大于其半径,最大厚度可达 100 mm。
- b) 具有如图 4a)所示的平行平面和直径为 3 mm 横孔的钢试块。试块尺寸应符合下列规定:
 - 1) 试块的长 l 、高 h 、宽 w 应使超声波声束不受其侧面影响;
 - 2) 孔深为 d_1 、 d_2 ...的横孔至少应有 3 个在近场区以外;
 - 3) 孔的间距 s 应使相邻两横孔显示的回波幅度至少下降 26 dB;
 - 4) 材质应符合 GB/T 19799.2 的规定。
- c) 具有如图 4b)所示的斜面切槽的钢试块和图 4c)与图 4d)所示的半球底孔钢试块。材质应符合 GB/T 19799.2 的规定。使用这些试块分别在其垂直面及水平面上测量声束扩散。

单位为毫米

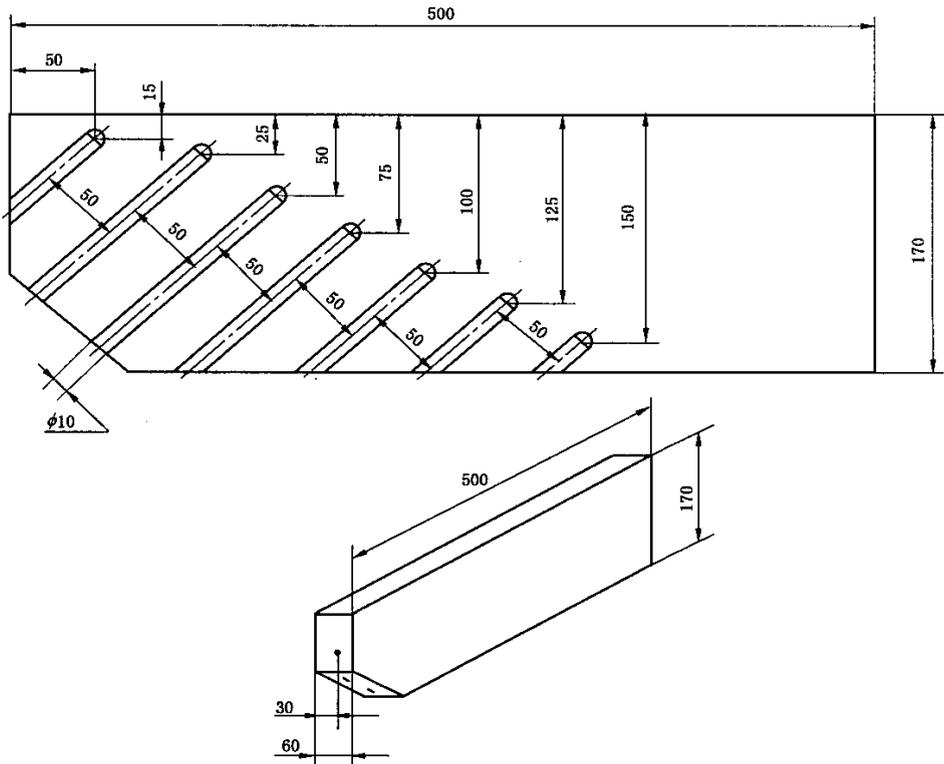


a) 3 mm 横孔试块

图 4 试块

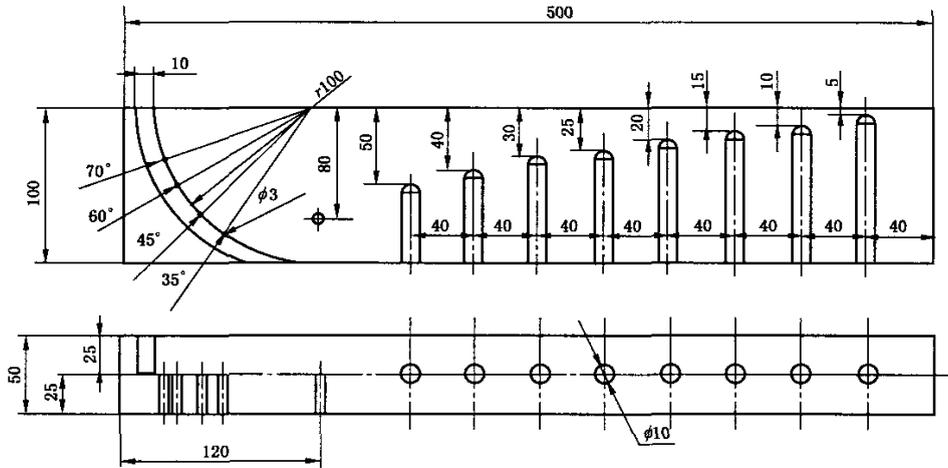


b) 切槽试块



c) 半球底斜孔钢试块

图 4 (续)



d) 横孔和半球底孔钢试块¹⁾

图 4 (续)

- d) 附录 A 给出了替代钢试块检测斜射探头入射点、声束角和声束扩散的计算方法。
- e) 钢直尺。
- f) 最小厚度为 0.05mm 的塞尺。

注：如果只检测特定类型的探头时，并不需使用全部试块，如只检测直射探头时就不需要使用检测斜射探头入射点和声束角的试块。

检测液浸式探头时应使用下列反射体和附加器具：

- g) 一个具有平滑反射表面的钢球或半球形端面的钢棒。对于每个频率范围，使用的钢球或钢棒直径见表 2：

表 2 适用于不同频率的钢球或钢棒

探头中心频率/ MHz	钢球或钢棒的直径 d / mm
$3 < f \leq 15$	$d \leq 3$
$0.5 \leq f \leq 3$	$3 < d \leq 5$

- h) 一个大平面的反射靶。靶的横向宽度应至少为被测探头在 7.7.2.2 定义的焦区终端声束直径的 10 倍。
靶的厚度至少应为检测时探头波长的 5 倍(根据靶材料的超声速计算得出)。
- i) 一个装备了具有下列五个自由坐标轴的手动或自动扫查架的液浸槽：
 - 1) 三个直线坐标轴 X、Y、Z；

1) 图 4 d) 是从 EN 12668-2:2001 的图 4 c) 中分出来的一种试块。

2) 二个角度坐标轴 θ 和 ψ 。

j) 自动记录方式:如果自动记录超声信号幅度,制造者应保证系统具有足够的准确度。应特别注意系统带宽、空间分辨力、数据处理及数据存贮对检测结果准确度的影响。

本部分使用的全部坐标系如图 12 和图 13 所示。

液浸槽的扫查装置宜能在 X 和 Y 方向上使靶与探头之间保持对准,以使在 Z 方向,100 mm 的距离对准误差的最大允许值为 ± 0.1 mm。

按 7.7 检测液浸式换能器的声束特性时,液浸槽的水温应保持在 (20 ± 2) °C。

应注意水中声衰减的影响,在高频率时使用宽带探头会使回波频率下移。

表 3 给出了频率下移与水声程的对应关系。

表 3 相对带宽 b. w. 为 50% 和 100% 的中心频率 f_0 的频率下移(以百分数表示)与总水声程长度的对应关系

f_0 MHz	b. w. / %	总水声程 / mm															
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	150	200	250	300	350	400
5	50	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3
	100	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	5	6	7	9	10	11
10	50	0	1	1	1	2	2	2	3	3	3	5	6	7	9	10	11
	100	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	21	24	28	31	34
15	50	1	1	2	3	4	4	5	6	6	7	10	13	15	18	20	23
	100	3	6	8	10	13	15	17	19	21	23	30	37	42	47	50	54
20	50	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11	16	21	24	28	31	34
	100	5	10	13	17	21	24	27	29	32	34	44	51	56	61	64	67
25	50	2	4	6	7	9	11	12	14	15	17	23	29	34	38	41	45
	100	7	14	20	24	29	33	36	39	42	45	55	62	67	70	74	76
30	50	3	6	8	10	13	15	17	19	21	23	30	37	42	47	50	54
	100	10	19	26	32	37	41	45	48	51	54	64	70	74	78	80	82

7 探头性能要求

7.1 外观

7.1.1 检测方法

目测检查探头的外观和装配质量,看其是否正确标识,以及存在能够影响探头性能和长期稳定性的表面缺陷及损伤。特别对于接触式探头,应使用直尺和塞尺测量探头接触面的平面度。

7.1.2 验收标准

对于接触式平探头,其整个接触面的间隙不应大于 0.05 mm。

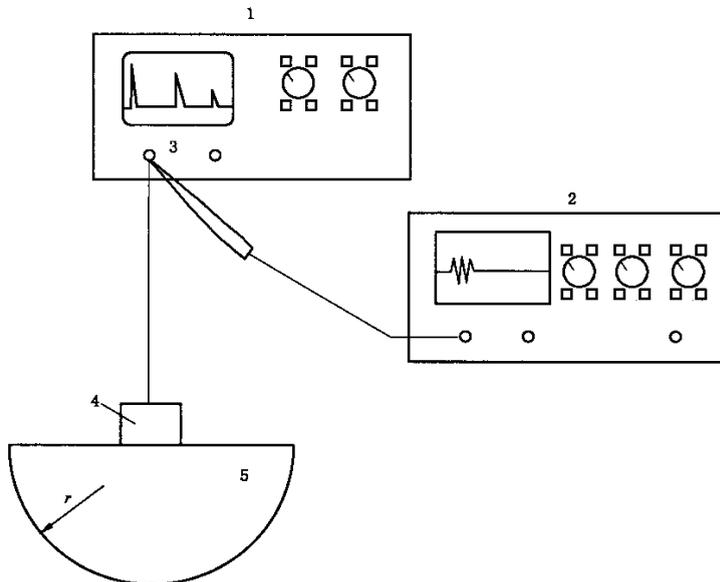
7.2 射频脉冲波形

7.2.1 检测方法

对于接触式探头采用图 5 所示的测量装置,对于液浸式探头采用图 13 所示的测量装置按下列条件检测回波幅度和脉冲宽度:

- 检测接触式单换能器探头:采用来自半圆柱体试块的半圆柱面的回波,半圆柱面的半径应大于探头近场长度的 1.5 倍或在聚焦探头的聚焦范围内。
- 检测双换能器探头:使用一个半径最接近探头焦点的半圆柱体试块。
- 检测液浸式探头:对于聚焦探头,在焦距上使用一个大平面反射体;对于平换能器,在其大于 1 倍近场长度处使用一个大平面反射体。

应记录脉冲发生器的设定值和测得的发射脉冲的峰-峰值幅度。建议绘制发射脉冲波形图,最好在其检测结果中包括这些脉冲波形图。



说明:

- 1——脉冲发射器;
- 2——示波器;
- 3——测试点;
- 4——超声探头;
- 5——参考试块。

图 5 测量回波时间间隔的装置²⁾

2) 图 5 与 EN 12668-2:2001 中的图 5 有差异。

7.2.2 验收标准

脉冲宽度误差的最大允许值为制造者规定的技术指标的±10%。

7.3 脉冲频谱和带宽

7.3.1 检测方法

使用与7.2相同的试块和检测装置,把反射体的回波放在闸门内,用频谱分析仪或离散傅里叶变换测出频谱。

来自探头楔块、探头外壳、阻尼块等的伪回波不应与参考试块回波同时进行分析,闸门最小应为脉冲宽度的两倍并对准脉冲的最大值。

测量回波幅度下降-6 dB时的高、低频率,如采用液浸式方法时,应依据表3对测量值进行修正。

根据这些高、低频率 f_u 和 f_l ,按公式(1)计算中心频率 f_0 :

$$f_0 = \sqrt{f_u \times f_l} \dots\dots\dots(1)$$

带宽按公式(2)计算:

$$\Delta f = f_u - f_l \dots\dots\dots(2)$$

相对带宽按公式(3)计算,以百分数表示:

$$\Delta f_{rel} = (\Delta f / f_0) \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

7.3.2 验收标准

中心频率偏差的最大允许值为数据表中规定频率的±10%。

-6 dB 带宽偏差的最大允许值为标称带宽的±15%。如果频谱在 f_l 和 f_u 之间有多个最大值,相邻最大值和最小值幅度的差值不应超过3 dB。

对于相对带宽超过100%的宽带探头,下限频率不应高于(1+10%) f_l ,上限频率不应低于(1-10%) f_u 。

7.4 相对脉冲回波灵敏度

7.4.1 检测方法

将超声检测仪设置为单发射(或接收)方式,相对脉冲回波灵敏度按公式(4)计算:

$$S_{rel} = 20 \log_{10}(V_e/V_s) \dots\dots\dots(4)$$

式中:

V_e ——来自规定反射体(优选平面反射体)的放大前回波峰-峰值电压;

V_s ——按7.2测出的施加到探头上的峰-峰值电压。

由于探头灵敏度要受到耦合条件、脉冲发生器阻抗、探头、探头电缆和接收器的影响,采用不同类型的超声检测仪检测探头时,测出的探头灵敏度可能不同,因此,上述参数应在数据表中予以规定。

7.4.2 验收标准

相对脉冲回波灵敏度偏差的最大允许值为制造者规定指标的±3 dB。

7.5 距离幅度曲线

7.5.1 方法

超声脉冲幅度随探头距离的改变而变化,因此,所有类型探头需要使用表 4 中规定的反射体测得的距离幅度曲线来评定反射体回波。

表 4 测定距离幅度曲线用的反射体

	接 触 式	液 浸 式
圆板形反射体	平底孔	平端面棒
圆柱形反射体	横孔	圆柱形棒
球形反射体	半球底孔	半球形端头棒或球

当检测接触式探头时,圆板形反射体、横孔和半球底孔均被用作为等效的反射体。检测液浸式探头时,通常使用小尺寸钢球来测量距离幅度曲线,见 7.7.2。检测双换能器探头时,探头的隔声层应与横孔垂直。

使用一组大小相同且与探头距离不同的反射体来绘制接收到的回波幅度与探头距离的关系图。每条曲线至少应有八个有效测量点。对于聚焦探头,选用的距离应覆盖焦距范围;对于非聚焦探头,此距离应覆盖包括近场长度在内的范围。

距离和幅度在数据表规定的超声检测仪的校准后的显示屏上测定。

在获得最大反射体回波的各测试位置,通过提高增益,使噪声达到反射体回波原来幅度时为止,测定噪声与反射体回波的差值,由此得出一条噪声曲线。

如果通过提高增益不能使噪声达到那样的幅度时,可采用下述方法估算测定的噪声与反射体回波的差值:

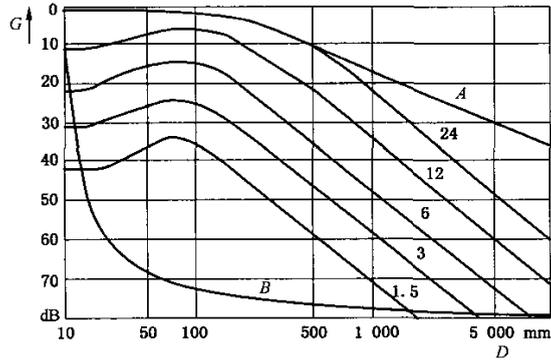
例如反射体回波为全屏幅度的 40% 时,

- 若噪声为全屏幅度的 20%,则要将衰减器读数再加 6 dB;
- 若噪声为全屏幅度的 10%,则要将衰减器读数再加 12 dB;
- 若噪声为全屏幅度的 5%,则要将衰减器读数再加 18 dB。

测量噪声曲线时,要移开反射体并清除探头表面耦合剂。

制造者的数据表中,每种型号的探头都要配有曲线图,曲线图中至少要有一条距离幅度曲线,还应有一条距离噪声曲线。

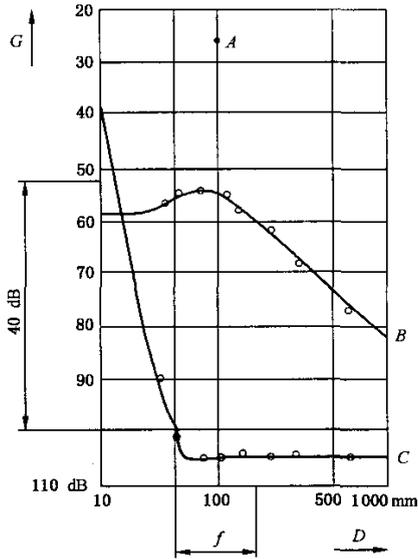
图 6 a) 示出了以钢制圆板形反射体计算出来的圆板形反射体的不同距离幅度曲线图[距离增益尺寸图(DGS 图)]的示例。图 6 b) 示出了采用 3 mm 横孔测出的距离幅度曲线图的示例。



说明:

- A —— 背面回波;
- B —— 噪声电平;
- D —— 距离,单位为毫米(mm);
- G —— 增益,单位为分贝(dB)。

a) 钢制圆板反射体的距离幅度曲线



说明:

- A —— 背面回波;
- B —— 3 mm 横孔;
- C —— 噪声电平;
- D —— 距离,单位为毫米(mm);
- f —— 焦区长度;
- G —— 增益,单位为分贝(dB)。

b) 3 mm 横孔的距离幅度曲线和噪声电平

图 6 距离幅度曲线和噪声电平

7.5.2 验收标准

在焦区长度内,规定反射体(例如 3 mm 横孔)的回波与噪声电平的 dB 差不应比制造者规定的数值小 3 dB。

7.6 电阻抗或静电容

7.6.1 检测方法

对于有匹配电路的探头,例如有与换能器并联或串联电感线圈的探头,没有恒定阻抗或相位的频率间隔,因此,需要用完整的阻抗相位曲线来表征探头的特性。

探头阻抗使用 GB/T 27664.1 规定的网络分析仪或阻抗增益相位分析仪测定。将探头用固定电缆线直接连接到分析仪上,如电缆线是可更换的,则要用长度不超过 100 mm 的电缆连接。接触式探头要与校准试块耦合;液浸式探头要在液体中检测。

在以探头的中心频率为对称的一个频段内,绘制阻抗模和相位相对频率的关系曲线。

对于没有匹配电路的探头,其电容根据阻抗增益相位分析仪测定的阻抗相位曲线来计算。

对于频率低于探头中心频率 30% 的频率范围,其电容接近于恒定(换能器的电容为静电容)。

7.6.2 验收标准

测得的阻抗模和相位或静电容偏差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 20\%$ 。

7.7 液浸式探头的声束参数

7.7.1 概述

测试方法就是使用一个靶来研究探头在水中的声束特性。这个靶为一个很小的、近似一个点源的反射体或一个水听器。用反射体或水听器扫描声束测定探头的声束参数;或通过移动靶或探头来测定声束参数。

如果该靶是一个反射体,则要采用回波方式。这样能同时检测了探头的发射和接收特性。如果靶为水听器,则要采用发射方式,但是只能检测探头的发射特性。

应采用同一个反射体或水听器测量某一特定探头的声束参数。

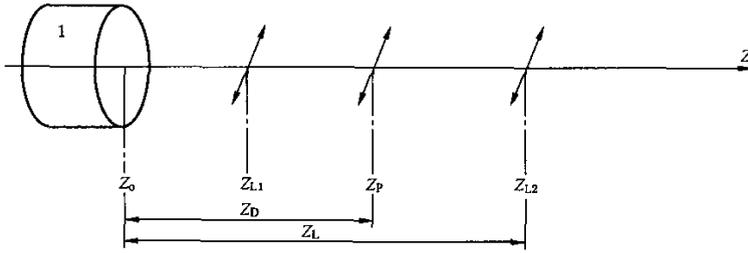
当采用水听器或不同类型的反射体测量时,测定的最大响应的位置会有微小变化。因此,基于测量结果重复性的原因,记录测量结果时也应记录所使用的仪器和靶的参数。

6.1d)中的 2)项和 6.2g)列出了使用的靶。

超声检测仪或脉冲发生器和接收器的设定值(脉冲能量、阻尼、带宽和增益)应与 7.2 规定的要求相同。如检测过程中改变设定值时(例如改变增益),新的设定值应记录在探头的检测报告中。

建议用下述两种方法测量声束,它们的区别仅在于记录测量结果的方法不同。

a) 直接测量规定的声束参数:按 7.7.2 的规定,第一种方法是在声束范围内直接读取规定点的参数值,见图 7~图 11;

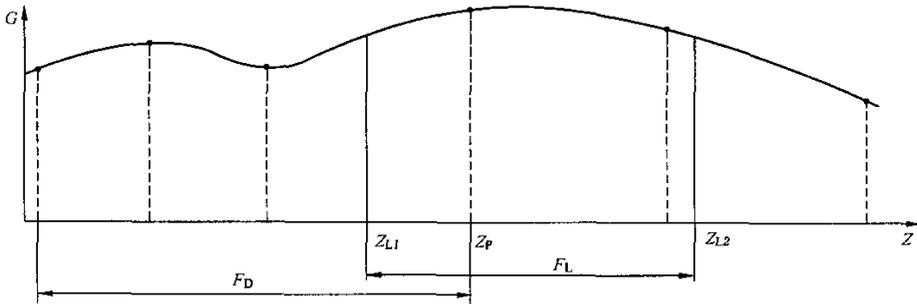


说明：

1 —— 探头；

Z —— 距离。

图 7 液浸式探头声束轴线上的有效点



说明：

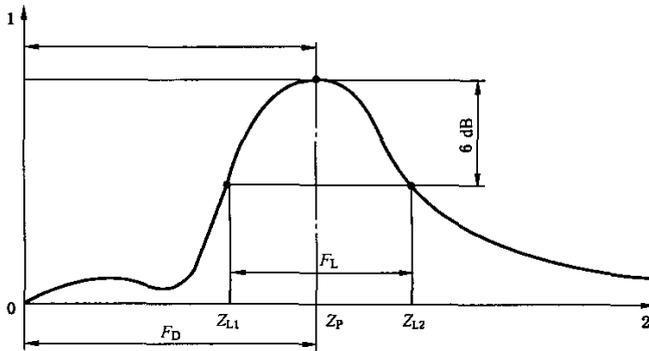
G —— 增益,单位为分贝(dB);

Z —— 距离,单位为毫米(mm);

F_D —— 焦距,单位为毫米(mm);

F_L —— 焦区长度,单位为毫米(mm)。

图 8 液浸式非聚焦探头的声轴剖面



说明：

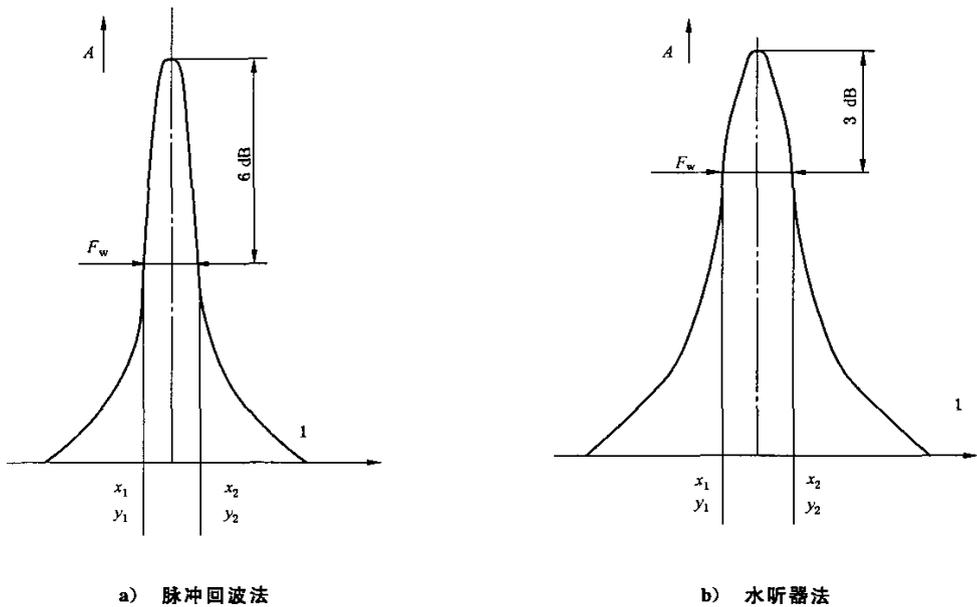
F_D —— 焦距,单位为毫米(mm);

F_L —— 焦区长度,单位为毫米(mm);

1 —— 增益,单位为分贝(dB);

2 —— 距离,单位为毫米(mm)。

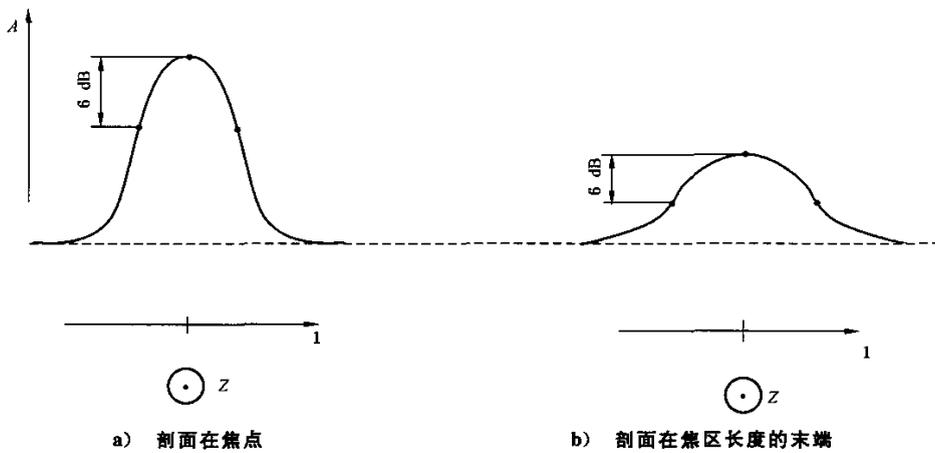
图 9 液浸式聚焦探头的声轴剖面



说明：

- A —— 幅度；
- F_w —— 焦区宽度；
- 1 —— X 轴 或 Y 轴。

图 10 液浸式探头的横剖面



说明：

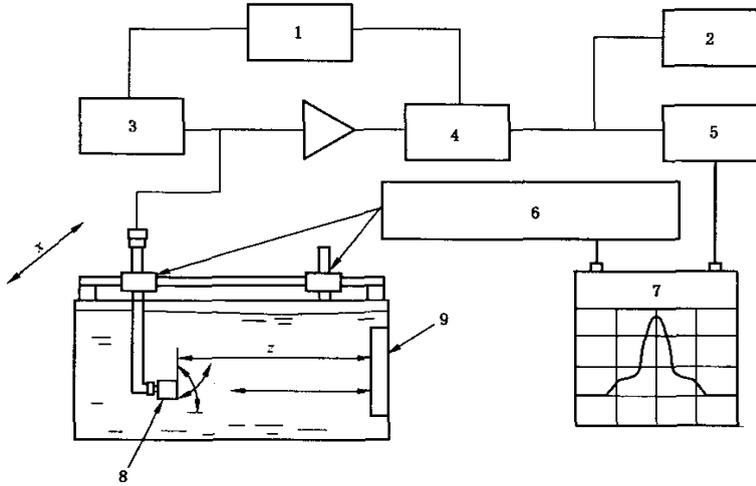
- A —— 幅度；
- 1 —— X 轴 或 Y 轴。

图 11 液浸式探头焦区长度的横剖面

b) 采用自动扫查系统测量；按 7.7.3 的规定，第二种方法是在扫查过程中自动采集数据。

扫查结果为 C 扫描图像。提供检测结果时要附一张 C 扫描图像的拷贝，该拷贝其中应包括在 7.7.3 中定义的声级标尺。

在按以下方法检测声束之前,如图 12 和图 13 所示,应先将声束轴线垂直于 XY 平面,以补偿偏向角。操作方法是调整探头夹持器的水平器的 θ 角和 ψ 角这两个角度,使来自 XY 平面的平面靶的回波最大。

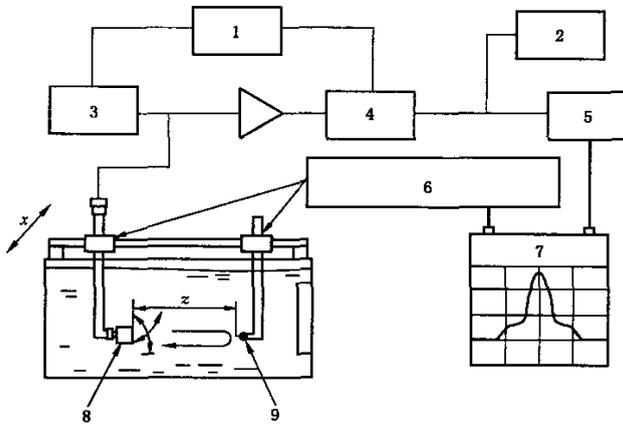


说明:

- 1——延迟;
- 2——显示屏;
- 3——脉冲发生器;
- 4——闸门;
- 5——峰值检测器;

- 6——定位接口;
- 7——记录仪;
- 8——探头;
- 9——平板反射体。

a) 通过调整声束轴线测量液浸式探头声束的装置



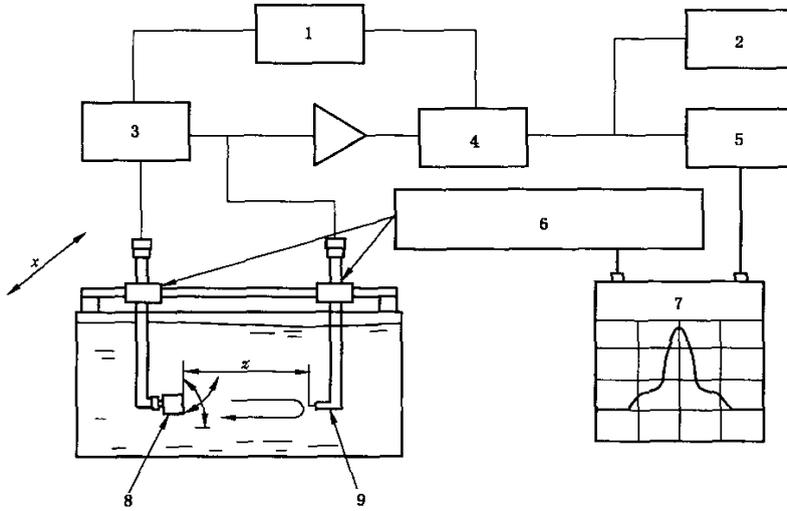
说明:

- 1——延迟;
- 2——显示屏;
- 3——脉冲发生器;
- 4——闸门;
- 5——峰值检测器;

- 6——定位接口;
- 7——记录仪;
- 8——探头;
- 9——球反射体。

b) 使用球反射体测量液浸式探头声束的装置

图 12 测量液浸式探头声束的装置



说明：

- 1——延迟；
- 2——显示屏；
- 3——脉冲发生器；
- 4——闸门；
- 5——峰值检测器；
- 6——定位接口；
- 7——记录仪；
- 8——探头；
- 9——水听器。

图 13 用水听器测量液浸式探头声束的装置

7.7.2 声束剖面——直接在声束上测量

7.7.2.1 概述

应采用下述两种方法之一记录超声回波峰值电压：

- a) 手动记录示波器显示屏上显示的幅度；
- b) 与扫查架移动同步，用记录仪、绘图仪或与其相当的仪器等自动记录幅度。

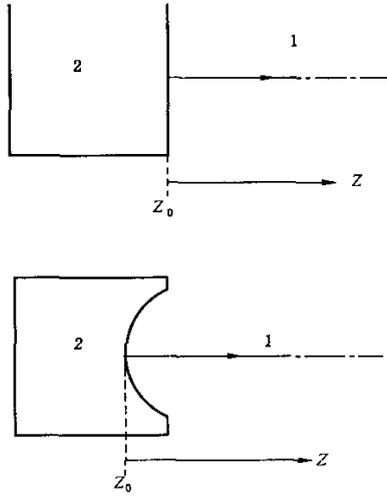
采用第二种方法时，应从获得的图中推算出焦距、焦区长度、焦区宽度、横截剖面和声束扩散。

图 12b) 示出了当靶为反射体时所用的检测装置，图 13 示出了当靶为水听器时所用的检测装置。根据声束轴向剖面测出焦距和焦区长度，并根据横向剖面测出焦区宽度和声束扩散。

7.7.2.2 轴向剖面——焦距和焦区长度

7.7.2.2.1 检测方法

将靶放在探头的声束轴线上，使探头和靶相接触。设定探头前表面或声透镜的坐标为 Z_0 ，见图 14。移动 Z 轴上的靶(或探头)，使探头与靶的距离加大，测出信号最大时探头与靶的距离。



说明：
 1——声束轴线；
 2——探头；
 Z——距离。

图 14 测量液浸式探头时其坐标系零点 Z_0 的确定

调整 X 和 Y 的位置,进一步使信号幅度达到最大值,设距离坐标为 Z_p ,电压为 V_p 。焦距按公式(5)计算:

$$F_D = |Z_p - Z_0| \quad \dots\dots\dots(5)$$

通过增大或减小探头与反射体之间的距离来测定焦区的极限值,即找出对于使用反射体时使 V_p 降低 6 dB 或使用水听器时使 V_p 降低 3 dB 的两个点, Z_{L1} 和 Z_{L2} 是这些点在 Z 轴上的坐标。焦区长度按公式(6)计算:

$$F_L = |Z_{L2} - Z_{L1}| \quad \dots\dots\dots(6)$$

7.7.2.2.2 验收标准

焦距和焦区长度误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 15\%$ 。

7.7.2.3 横剖面——焦区宽度

7.7.2.3.1 检测方法

检测方法使用与 7.7.2.2 相同的检测装置和设定值,按 7.7.2.2 的规定,将靶放在探头的焦点处。

测量 X 轴的焦区宽度时,沿 X 轴方向移动探头(或水听器),并测出靶的回波幅度降低 6 dB(或采用水听器时,靶的回波幅度降低 3 dB)时的两个点 X_1 和 X_2 。

测量 Y 轴的焦区宽度时,返回至 X 轴的焦点处,沿 Y 轴方向移动探头(或水听器),测出 Y 轴上靶的回波幅度降低 6 dB(当采用水听器时,靶的回波幅度降低 3 dB)时的两个点 Y_1 和 Y_2 。

焦点处的 X 轴和 Y 轴上的焦区宽度按公式(7)计算:

$$\begin{aligned} W_{X1} &= |X_2 - X_1| \\ W_{Y1} &= |Y_2 - Y_1| \quad \dots\dots\dots(7) \end{aligned}$$

7.7.2.3.2 验收标准

焦区宽度误差的最大允许值为制造者规定指标的±15%。

7.7.2.4 横剖面——声束扩散

7.7.2.4.1 检测方法

仅在探头不采用人工聚焦方式(例如加声透镜或用曲面压电元件)时,需检测声束扩散。按7.7.2.3的规定,通过在远场中测量声束宽度,从而推算出声束扩散。

应按以下步骤测量:

- a) 按7.7.2.3,先测出焦点处声束宽度 W_{x1} 和 W_{y1} ;
- b) 将靶(或探头)放置在按7.7.2.2测定的焦区长度的末端 Z_{L2} 。

记录峰值电压从声束轴线的最大值 V_L 降低6 dB(采用反射体时)或降低3 dB(采用水听器时)靶在X轴和Y轴上的位置坐标: X'_1 、 X'_2 和 Y'_1 、 Y'_2 。

在焦区长度末端处的声束宽度按公式(8)计算:

$$\begin{aligned} W_{x2} &= |X'_2 - X'_1| \\ W_{y2} &= |Y'_2 - Y'_1| \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(8)$$

X、Y方向的声束扩散按公式(9)计算:

$$\begin{aligned} \gamma_x &= \arctan[(W_{x2} - W_{x1})/2(Z_{L2} - Z_p)] \\ \gamma_y &= \arctan[(W_{y2} - W_{y1})/2(Z_{L2} - Z_p)] \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(9)$$

7.7.2.4.2 验收标准

声束扩散误差的最大允许值为制造者规定值的±10%或1°,取其较大者。

7.7.3 声束剖面——使用自动扫描系统测量

7.7.3.1 概述

探头(或反射体)在不同平面上自动扫查过程中要记录超声回波峰值电压,还应记录在下述条件下,幅度随位置的变化量:

- a) 灵敏度、数据处理的幅度分辨力、扫查速度和扫查分辨力应足够大,以免信息丢失。自动扫描系统应有足够大的动态范围,以能采集到未饱和的高幅度信号(在焦点处获得)和高信噪比的低幅度信号。
- b) 在焦点处测定的最大峰值电压 V_p 定义为0 dB级,对应0 dB、-3 dB、-6 dB、-12 dB各级所用的代码应标记在扫查记录的标尺上。

应按下述步骤通过三次扫查进行检测:

- a) 一次扫查:在包括声束轴线的XZ或YZ平面上进行扫查以测出焦距和焦区长度;
- b) 两次扫查:在焦距和焦区长度末端的XY横剖面上进行扫查。这两次扫查测出X和Y方向的焦区宽度和声束宽度。声束扩散根据在XY平面上测定的声束宽度进行计算。

7.7.3.2 采用扫查方式的声束剖面测定的焦距和焦区长度

7.7.3.2.1 检测方法

当靶为反射体时,使用与图12 b)相同的检测装置;当靶为水听器时,使用与图13相同的检测装置。

依据在包括声束轴线的平面上的扫查结果,推算出焦距和焦区长度。

调整扫查架的位置以使:

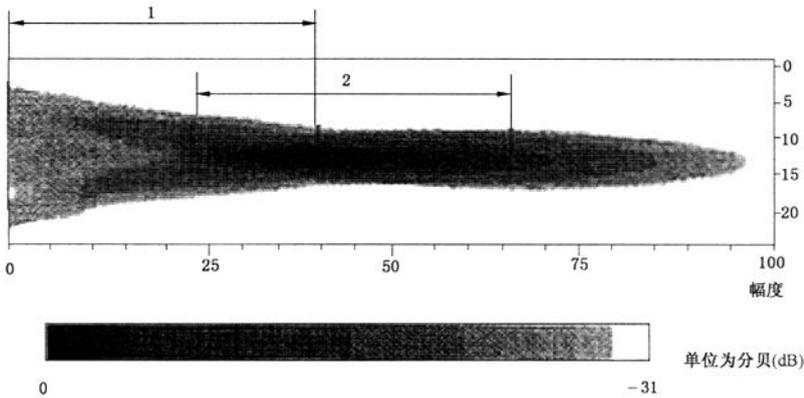
- a) 其移动平面包含声束轴线;
- b) XZ 或 YZ 平面的扫查区域足够大,能够包括焦区长度的末端和横轴(X 和 Y)上的两个点,这两个点的幅度比声束轴线上的点低 6 dB(采用反射体)或 3 dB(采用水听器)。

根据 C 扫查图,还需测量下列参数:

- a) 7.7.2.2 定义的焦距 F_D ;
- b) 7.7.2.2 定义的焦区长度 F_L 。

图 15 给出了扫查图示例。

单位为毫米



说明:

- 1——焦距 F_D ;
- 2——焦区长度 F_L 。

图 15 液浸式非聚焦探头声束的 C 扫查图

7.7.3.2.2 验收标准

焦距和焦区长度误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 15\%$ 。

7.7.3.3 采用扫查方式的声束剖面测定的焦区宽度和声束扩散

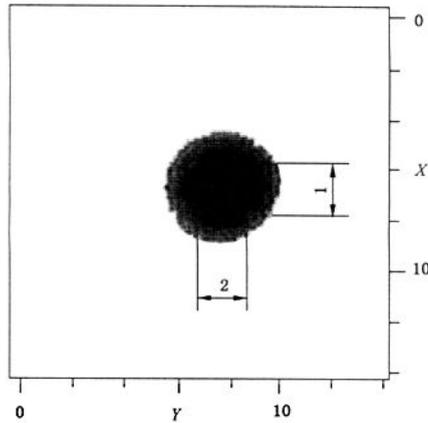
7.7.3.3.1 检测方法

检测装置与 7.7.3.2 相同,见图 12b)和图 13。

在焦距处进行第一次扫查,按下述方法调整扫查架:

- a) 调整扫查仪的 Z 轴,使靶位于按 7.7.3.2 测出的焦点位置。调整扫查架使其在包括那个焦点并垂直于声束轴线的 XY 平面上位移;
- b) 调整 XY 扫查区域,使其包括幅度从 V_p 降低 20 dB(采用反射体)时的位置或幅度从 V_p 降低 10 dB(采用水听器)时的位置。

在焦距位置, W_{x1} 和 W_{y1} 是 X 和 Y 方向测定的扫查区域的直径,此处显示幅度比在声束轴线上测定的 V_p 值低 6 dB(采用反射体)或低 3 dB(采用水听器),示例见图 16。



说明:

1——X 轴上的焦区宽度 W_x ;

2——Y 轴上的焦区宽度 W_y 。

图 16 液浸式聚焦探头声束的 C 扫查图

在焦区长度的终端上进行第二次扫查,使用的检测装置和扫查架的调整与上述扫查相同,不同之处在于将靶放置在 7.7.3.2 定义的焦区长度的终端 Z_{L2} 的位置。

根据扫查图像,采用在焦距上测定 W_{x1} 和 W_{y1} 的相同方法测定焦区宽度 W_{x2} 和 W_{y2} 。

采用与 7.7.2.4 相同的计算方法,计算出 X 和 Y 方向的扩散角。

7.7.3.3.2 验收标准

扩散角误差的最大允许值为制造者规定值的 $\pm 10\%$ 或 $\pm 1^\circ$,取其较大者。

焦区宽度误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 15\%$ 。

7.8 接触式探头、直射探头和单换能器探头的声束参数

7.8.1 概述

本条所述的方法仅适用于检测平接触面的探头。配有仿形靴的探头仅能与与所配探头靴模型具有相同曲面的参考试块上进行检测。

7.8.2 声束扩散和副瓣

7.8.2.1 检测方法

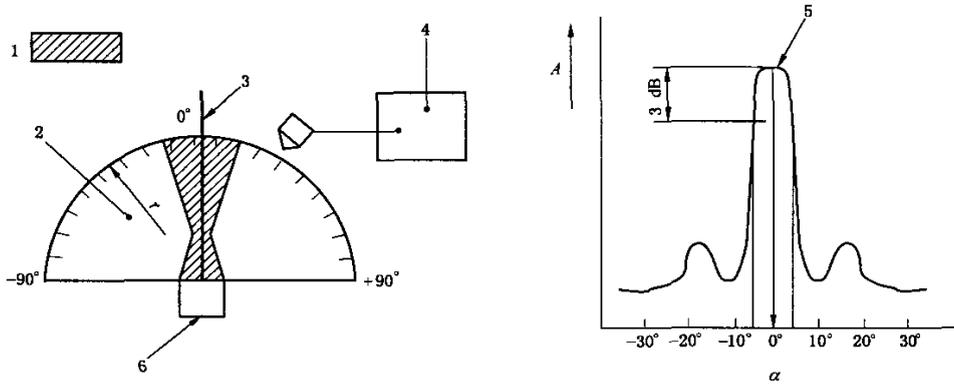
能采用不同的方法测定指向性检测图:

a) 使用电磁声(EMA)接收器

如图 17 所示,将探头耦合在半圆柱体试块上。用电磁声接收器在试块的半圆柱面上扫查并测量所接收到的信号。绘制信号幅度与电磁声接收器扫查角度的关系图,所绘的图应包括主瓣和相邻的副瓣。对应主瓣 -3 dB 位置时的角度即为扩散角,见图 17。

扩散角应在两个垂直平面上进行测定。

对于矩形换能器,这些平面应与换能器较长的边 a 和较短的边 b 平行。



说明:

- 1——声束;
- 2——半圆柱体试块;
- 3——轴;
- 4——电磁声接收器;
- 5——主瓣;
- 6——超声探头;
- A——幅度,单位为分贝(dB)。

图 17 声束扩散角和声束角的测量

b) 使用带有横孔的参考试块

使用如图 4a)所示的带有在不同距离上钻出的与侧面平行的 3 mm 横孔试块,能够测定两个相互垂直平面内的扩散角和副瓣。

在最后绘制的图中要标绘出对应每个孔探头接收到最大回波的位置和下降-6 dB 时的前、后位置及副瓣位置。

通过最大回波标记位置的直线与垂直于试块表面直线的夹角即为测定的声束角。由各声束边沿点的拟合直线与声束角能够得出该平面-6 dB 时的扩散角。

应记录在声束依次对每个孔扫查时,回波幅度相对探头移动的变化量。

如果从两个或多个孔的幅度横剖面图中测出一个副瓣时,则选其中的最大副瓣,并绘制其相对于主瓣的位置,还应记录相对于主瓣幅度的副瓣幅度。

c) 使用带半球底孔的参考试块

使用如图 4c)所示的带有与侧面平行不同深度的直径为 10 mm 的半球底孔试块,能够测定两个相互垂直平面的扩散角。在最后绘制的图中,对应每个孔要标出接收到最大回波时探头的位置,以及下降-6 dB 时的前、后位置。

7.8.2.2 验收标准

扩散角误差的最大允许值为制造者规定指标的±10%或±0.5°,取其较大者。反射方式时,副瓣应小于主瓣 20 dB 以上。电磁声方式时,副瓣应小于主瓣 10 dB 以上。

7.8.3 偏向角和偏移

7.8.3.1 检测方法

检测直射探头时,偏移为探头几何中心点与测出的探头声束中心点之间的距离,见图2。
能使用下述方式进行检测:

a) 使用电磁声接收器

使用图2所示的装置检测偏向角和偏移。

第一,将探头连接到超声检测仪,并将超声检测仪置于回波方式。通过使探头在半圆柱体试块上转动和移动,以使来自试块的一列多次回波最大。随后在所有的反射中,让声束垂直打到圆弧表面,并使探头的声束中点位于试块的中线上。

第二,使探头停留在上述位置,电磁声接收器与仅作为发射器的探头一起配合使用。通过在圆柱形表面上移动电磁声接收器,找出声束第一次打到圆柱形表面时最大回波信号位置,所测出的角度即为偏向角 δ 。

利用探头几何中心点的坐标 X_c 和 Y_c 与试块中心线的坐标 Y_m 和电磁声接收器的坐标 X_m ,可按公式(10)求出偏移值 e :

$$e = \sqrt{(X_m - X_c)^2 + (Y_m - Y_c)^2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

b) 使用带有横孔的参考试块

测出两个垂直方向的位移 X_m 和 Y_m 。利用按7.8.2.1b)测出的声束轴线也能求出这两个值。

如果 X_c 和 Y_c 为探头几何中点的坐标,则偏移 e 也能够采用与7.8.3.1a)相同的公式计算。

根据测出的两个垂直方向的偏向角 δ_x 和 δ_y ,合成偏向角 δ 按公式(11)计算:

$$\delta = \tan^{-1}(\sin\delta_y/\sin\delta_x) \quad \dots\dots\dots(11)$$

7.8.3.2 验收标准

偏向角应不大于 2° ;距探头中心点偏移应小于1 mm。

7.8.4 焦距(近场长度)

7.8.4.1 检测方法

对于非聚焦换能器的探头,焦距等于近场长度。此类探头直接测量焦距是比较困难的,因此这些探头的近场长度宜采用附录A给出的方法,根据测出的中心频率 f_0 以及测得的两个垂直方向的扩散角 γ_\perp 和 γ_\parallel 进行计算。

对于直接接触式聚焦直射探头,应在探头焦区长度内使用带有恒定直径的平底孔或横孔的参考试块上进行测量。

应利用直径为2 mm或3 mm的反射体,产生一条最好与测量点拟合的距离幅度曲线。

测量点应靠近该曲线(该曲线给出了所应用材料的焦距)的峰值。利用透镜或曲面换能器产生的焦距总是小于相同形状和频率的平面换能器的近场长度。

7.8.4.2 验收标准

焦距误差的最大允许值为制造者规定技术指标的 $\pm 20\%$ 。

7.8.5 焦区宽度

7.8.5.1 检测方法

对于直接接触式聚焦直射探头的焦区宽度能采用与7.8.2类似的方法用电磁声接收器或带有横孔

或半球底孔的试块进行检测。

能使用的检测方法如下：

a) 使用电磁声接收器

将探头耦合到半径接近探头焦距的半圆柱体试块上,沿着两个相互垂直方向的表面进行扫查,测出信号幅度降低 3 dB 时的角度[见 7.8.2.1a)]。探头的焦区宽度能够用这些角度和已知的试块半径进行计算。

b) 使用带横孔的参考试块

扩散角采用 7.8.2.1b)所述的检测方法,使探头沿着两个相互垂直的方向移动,直至来自靠近探头焦距的横孔的回波降低 6 dB 时为止,声束的焦区宽度由探头的移动量测定。

c) 使用半球底孔的参考试块

扩散角采用 7.8.2.1c)所述的检测方法,使探头沿着两个相互垂直方向移动,直至来自靠近探头焦距的半球底孔的回波降低 6 dB 时为止,声束的焦区宽度由探头的移动量测定。

7.8.5.2 验收标准

焦区宽度误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 10\%$ 。

7.8.6 焦区长度

7.8.6.1 检测方法

依据 7.5 或 7.8.4 测出的距离幅度曲线,确定出相对于焦点幅度降低 6 dB 的各点。根据这些点的坐标差值计算出焦区长度。

7.8.6.2 验收标准

焦区长度误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 20\%$ 。

7.9 接触式横波单换能器斜射探头的声束参数

7.9.1 概述

本条规定的方法仅适用于检测平接触面的探头。配有仿形靴的探头仅能在与所配探头靴模型具有相同曲面的参考试块上进行检测。

7.9.2 入射点

7.9.2.1 检测方法

检测探头入射点时应使用扇形试块。扇形试块的半径应足够大,以便使反射圆柱面位于探头的远场。

调整探头,使来自圆柱面的回波最大,这时,对应扇形试块的中心刻度线位置便是探头入射点。

7.9.2.2 验收标准

测定的入射点误差的最大允许值为制造者所标示的入射点的 $\pm 1\text{ mm}$ 。

换能器尺寸不大于 15 mm 且频率不大于 2 MHz 的斜射探头会产生很粗的声束,这种情况下,测出的最大回波位置仅能准确到 $\pm 2\text{ mm}$ 以内,即测量误差的最大允许值为 $\pm 2\text{ mm}$ 。

7.9.3 声束角和声束扩散

7.9.3.1 检测方法

能采用与 7.8 检测直射探头所用的相似的方法测定斜射探头的扩散角与副瓣：

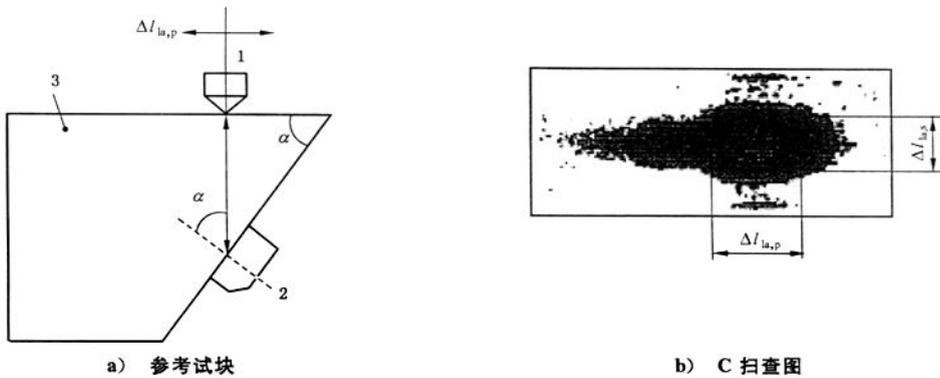
a) 使用电磁声接收器

把探头耦合到半圆柱体试块上。绘制信号幅度相对电磁声接收器扫描角度的关系图。

绘制的图应包括主瓣及其相邻的副瓣。主瓣为 -3 dB 位置时的角度即为扩散角，见图 17。

应测出两个相互垂直平面(方位面和水平面)的扩散角。最大回波信号的位置即为声轴角度(声束角)。

斜射声束的参数也能够从垂直于声束轴线平面上测得的 C 扫描图获得。图 18 示出了使用电磁声接收器在具有 45° 表面的试块上测出的 45° 斜射探头 C 扫描图的示例。



说明：

- 1——电磁声接收器；
- 2——斜射探头；
- 3——试块。

图 18 用电磁声接收器测量斜射声束的声束参数

b) 使用带横孔的参考试块

使用如图 4a) 所示的带有在不同距离上钻出的一组 3 mm 横孔的试块，能够测定垂直平面内的声束角、扩散角和副瓣。

在最后绘制的图中要标绘出对应每个孔探头接收到的最大回波的位置和降低 6 dB 时的前、后位置及副瓣位置。

通过最大回波标记位置的直线与垂直于试块表面入射点直线的夹角，即为测定的垂直面内的声束角。由各声束边沿点的拟合直线与声束角能够得出该平面 -6 dB 时的扩散角。

应记录声速依次对每个孔扫描时，回波幅度相对探头移动的变化量。如果从两个或多个孔的回波幅度横剖面图中测出一个副瓣时，则选其中的最大副瓣，并绘制其相对于主瓣的位置，还应记录相对于主瓣幅度的副瓣幅度。

同样采用横孔试块检测声束角的另一种方法，见附录 A。

测量水平面内的声束扩散角，需使用如图 4b) 所示的切槽试块(用于检测 45° 和 60° 探头)。采

用相同的方法测定降低 6 dB 时的位置,但探头要横向移动。

c) 使用半球底孔的参考试块

使用图 4d)所示的带有一组不同深度的 10 mm 直径半球底孔的试块,能够检测垂直面和水平面内的声束角和扩散角。

在最后绘制的图中要标绘出对应每个孔探头接收到最大回波的位置和降低 6 dB 时的前、后位置。

通过最大回波标记位置的直线与垂直于试块表面入射点直线的夹角,即为测定的垂直面和水平面内的声束角。由各声束边沿点的拟合直线与声束角能够得出这些平面内 -6 dB 时的扩散角。

7.9.3.2 验收标准

频率低于 2MHz 时,声束角误差的最大允许值为标称角度的 ±3°;频率不低于 2 MHz 时,声束角误差的最大允许值为标称角度的 ±2°。

扩散角误差的最大允许值为制造者规定指标的 ±10%或 ±0.5°,取其较大者。

当使用反射方法时,对于标称声束角在 45°~65°范围内的副瓣应小于主瓣 20 dB 以上;对于标称声束角较大的副瓣应小于主瓣 15 dB 以上。

当使用电磁声方法时,对于标称声束角度在 45°~65°范围内的副瓣应小于主瓣 10 dB 以上;对于标称声束角较大的副瓣应小于主瓣 8 dB 以上。

7.9.4 偏向角与偏移

7.9.4.1 检测方法

偏向角与偏移的检测方法如下:

a) 使用电磁声接收器

使用与 7.8.3 相同的方法和图 3 所示的检测装置测定斜射探头的偏向角 δ 和偏移。偏向角 δ 即为探头参考侧面与投影到耦合面测得的声束轴线之间的角度,如图 3 所示。

首先,把探头耦合到半圆柱体试块上,超声检测仪置于回波方式。通过转动和移动探头,使来自试块的多次回波达到最大值。然后,使所有反射声束垂直打到圆柱面,且使探头入射点位于试块的中心线上。在这个位置时,探头侧面和试块侧面间的夹角即为偏向角 δ。

其次,使用电磁声接收器(探头仅作为发射器)。通过移动电磁声接收器,测定声束第一次打到圆柱面时最大回波信号的位置。

设 X_m 为电磁声接收器在最大信号位置时的坐标, X_c 为试块中心线和与探头参考侧面平行的探头中心线的交叉点坐标。

根据上述坐标值,按公式(12)能计算出偏移 e :

$$e = (X_m - X_c) \cos \delta \dots\dots\dots (12)$$

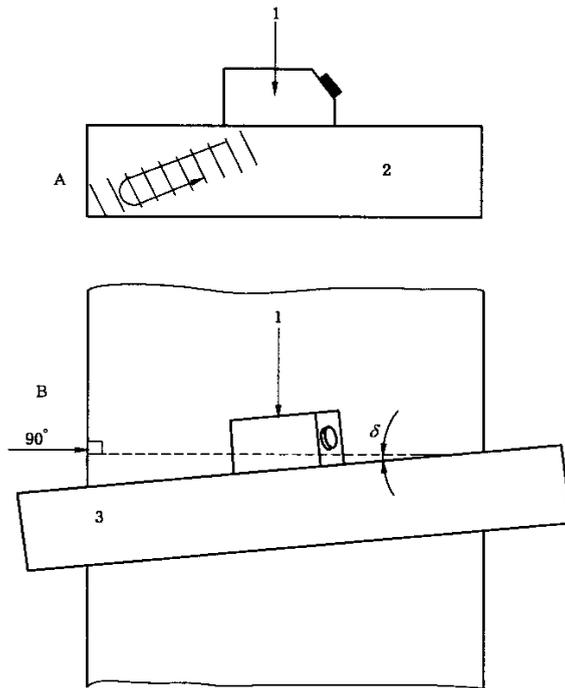
b) 使用参考试块

按 7.8.3 方法使用横孔试块只能测出偏向角。

调整探头在一适当试块的大平面上的位置,使来自试块一个角的回波最大,如图 19 所示。该角反射体应在探头的远场内。

使用直尺和量角器测量探头的参考侧面与试块角平面垂直平面间的夹角,即是偏向角。

如果第一次测出的偏向角超过 1°,则需测量三次,取其平均值。



说明:

- 1 —— 探头;
- 2 —— 声束;
- 3 —— 直尺;
- δ —— 偏向角;
- A —— 侧视图;
- B —— 俯视图。

图 19 用校准试块边角测量偏向角

7.9.4.2 验收标准

偏向角应不大于 2° , 探头中点偏移应不大于 1 mm。

7.9.5 焦距(近场长度)

7.9.5.1 检测方法

本条采用与检测直射探头焦距相似的方法, 见 7.8.4。非聚焦斜射探头的近场长度依据测出的中心频率 f_0 和声束扩散角 γ_{\perp} 和 γ_{\parallel} 按附录 A 的公式计算求得。

采用与检测直射探头焦距相同的方法, 检测接触式聚焦斜射探头的焦距, 见 7.8.5。

用小直径平底孔、半球底孔或横孔绘制一条至少包含八个测量点的距离幅度曲线, 由曲线上峰值幅度的点即可求出焦距。

建议这些测量点要在换能器的焦区长度以内, 其中之一宜靠近峰值。

测量点中应包括相对于峰值幅度降低 6 dB 的点。

由透镜或曲面换能器产生的焦距总是要小于频率和形状相同的平面换能器的近场长度。

7.9.5.2 验收标准

焦距误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 20\%$ 。

7.9.6 焦区宽度

7.9.6.1 检测方法

使用电磁声接收器或横孔试块,采用与检测扩散角相似的方法,见 7.8.2,能够测定焦区的边界。采用下述方法之一,在两个垂直方向上测定焦区宽度:

a) 采用电磁声接收器

将探头耦合到半径接近于探头焦距的半圆柱体试块上,通过扫查试块表面,测出信号幅度相对于峰值幅度降低 3 dB 的各点。

根据这些角度和已知的试块半径能够计算出焦距处的声束宽度。

b) 使用横孔试块

按 7.8.2.1b)所述的方法移动探头,直至比焦距处横孔回波幅度低 6 dB 时为止,探头的这个移动量能够测出垂直方向上声束的焦区宽度。

水平方向的焦区宽度只能用 7.10.5.1b)所述的方法测定。

c) 使用半球底孔参考试块

按 7.8.2.1c)所述的方法移动探头,直至比焦距处半球底孔的回波幅度低 6 dB 时为止,探头的这个移动量能够测出垂直和水平方向上声束的焦区宽度。

7.9.6.2 验收标准

焦区宽度误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 10\%$ 。

7.9.7 焦区长度

7.9.7.1 检测方法

根据 7.5 或 7.8.5 测得的距离幅度曲线能够确定其幅度比焦点幅度降低 6 dB 时的各点。各点的坐标差值即为聚焦区域的长度(焦区长度)。

7.9.7.2 验收标准

焦区长度误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 20\%$ 。

7.10 接触式双换能器直射探头的声束参数

7.10.1 概述

本条规定的方法仅适用于检测平接触面的接触式探头。配有仿形靴的探头仅能在与所配探头靴模型具有相同曲面的参考试块上进行检测。

7.10.2 串扰

7.10.2.1 检测方法

使用满足 GB/T 27664.1 要求的超声检测仪进行检测。

将超声检测仪设置在一发一收的工作方式,并且把探头连接到发射器和接收器的插座上。再把探头耦合在一个其尺寸能在探头焦区长度内获得一个背面回波的参考试块上。将这个背面回波调至全屏幅度的80%,并记录此时的增益值。要使超声检测仪的显示屏上能观察到来自耦合面的回波,提高增益,直至显示幅度为全屏幅度的80%为止。此时与第一次设定值的dB差值即为串扰。

若不能观察到耦合面回波,则只能测出串扰的下限值。

7.10.2.2 验收标准

dB差值应大于30 dB。

7.10.3 达到灵敏度最大点的距离(焦距)

7.10.3.1 检测方法

根据7.5测定的距离幅度曲线上最大幅度的那一点计算出焦距。

在预期的焦区长度的距离处,根据10 mm半球底孔或3 mm横孔的回波幅度,绘制一条至少包含八个测量点的距离幅度曲线。

探头的隔声层应与横孔垂直。

7.10.3.2 验收标准

最大回波位置误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 20\%$ 。

7.10.4 轴向灵敏度范围(焦区长度)

7.10.4.1 检测方法

根据7.5测定的距离幅度曲线也能够确定-6 dB点。

7.10.4.2 验收标准

轴向灵敏度范围偏差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 20\%$ 。

7.10.5 横向灵敏度范围(焦区宽度)

7.10.5.1 检测方法

能够采用下述方法测定横向灵敏度范围:

a) 使用电磁声接收器

使用与单换能器探头相同的检测装置,见7.9.3,分别测出每个换能器的声束剖面,组合剖面由这两个剖面的乘积计算得出。

选用一个半径接近于被测探头焦距的半圆柱体试块,依次操作每个换能器,并用电磁声接收器在试块圆弧面上进行扫查。记录两个换能器声束剖面范围内每个位置的信号幅度。

将声束范围内在每个点测得的每个换能器的幅度相乘(dB数相加),它们的乘积即为双换能器探头的辐射方位图。声束的-6 dB边界是从最大乘积值减少6 dB的乘积值。

检测要在平行和垂直于探头隔声层的两个垂直方向上进行测量。

b) 使用带有3 mm横孔的试块

使用孔深接近于探头焦点位置的3 mm横孔试块。

在试块耦合面上移动探头,直至横孔的回波幅度降低 6 dB。探头的这些位置测出了垂直于声轴的焦区长度的-6 dB 边界。

扫查应在平行和垂直于探头隔声层的两个方向上进行,以得到聚焦区域的两个垂直方向的宽度。

c) 使用带有半球底孔的试块

使用带有孔深接近于探头焦点位置的 10 mm 半球底孔试块。

在试块耦合面上移动探头,直至横孔的回波幅度降低 6 dB 为止。探头这些位置测出了垂直和平行于声轴的焦区长度的-6 dB 边界。

扫查应在平行和垂直于探头隔声层的两个方向上进行,以得到聚焦区域的两个垂直方向的宽度。

7.10.5.2 验收标准

平行和垂直于探头隔声层的焦区宽度误差的最大允许值为制造者规定指标的±20%。

7.11 接触式横波双换能器斜射探头的声束参数

7.11.1 概述

本条规定的方法仅适用于检测平接触面的接触式探头。配有仿形靴的探头仅能在与所配探头靴模型具有相同曲面的参考试块上进行检测。

7.11.2 串扰

7.11.2.1 检测方法

检测双换能器斜射探头串扰的方法与检测双换能器直探头串扰的方法(见 7.10.2)相同。

7.11.2.2 验收标准

dB 差值应大于 30 dB。

7.11.3 入射点

7.11.3.1 检测方法

使用与检测单换能器斜射探头相同的试块来测定入射点,见 7.9.2。

7.11.3.2 验收标准

入射点误差的最大允许值为制造者所标示入射点的±1 mm。

7.11.4 声束角和声束剖面

7.11.4.1 检测方法

双换能器探头的声束角能够使用电磁声接收器、反射横孔或反射半球底孔按下述方法检测:

a) 使用电磁声接收器

使用与检测单换能器探头相同的检测装置,见 7.9.3,分别测出每个换能器的声束剖面。双换能器的组合剖面由这两个声束剖面的乘积计算得出。

依次操作每个换能器,并用电磁声接收器在试块圆弧面上进行扫查。记录两个换能器声束剖

面范围内每个位置的信号幅度。

将声束范围内在每个点测得的两个换能器的幅度相乘(dB数相加),它们的乘积即为双换能器探头的辐射方位图。

声束的6 dB扩散角出现在从最大乘积减少6 dB的那些乘积值。声束角由扩散角的算术平均值计算得出。

- b) 使用带有直径为3 mm横孔的试块
使用与单换能器探头相同的检测装置,见7.9.3。
- c) 使用带有直径为10 mm半球底孔的试块
使用与单换能器探头相同的检测装置,见7.9.3。

7.11.4.2 验收标准

声束角误差的最大允许值为标称角度的 $\pm 2^\circ$ 。

7.11.5 到达灵敏度最大点的距离(焦距)

7.11.5.1 检测方法

采用至少包含八个检测点的距离幅度曲线,与检测双换能器直射探头相同的方法(见7.10.3)测定双换能器斜射探头的焦距。

7.11.5.2 验收标准

焦距误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 20\%$ 。

7.11.6 轴向灵敏度范围(焦区长度)

7.11.6.1 检测方法

轴向灵敏度范围的检测方法与双换能器直射探头的检测方法(见7.10.4)相同。

7.11.6.2 验收标准

轴向灵敏度范围应在制造者规定指标的 $\pm 20\%$ 以内。

7.11.7 横向灵敏度范围(焦区宽度)

7.11.7.1 检测方法

采用与检测双换能器直射探头横向灵敏度范围相同的方法,见7.10.5,使用电磁声接收器、带有3 mm横孔的试块或带有10 mm半球底孔的试块来测定双换能器斜射探头的横向灵敏度范围。

7.11.7.2 验收标准

焦区宽度误差的最大允许值为制造者规定指标的 $\pm 10\%$ 。

附录 A
(规范性附录)

非聚焦探头近场长度的计算

非聚焦探头的近场长度由测出的中心频率 f_0 和在两个垂直方向上测得的扩散角 γ_{\perp} 和 γ_{\parallel} 经计算求得。

A.1 直射探头

设 γ_{\parallel} 为平行扩散角、 γ_{\perp} 为垂直扩散角,那么,对于扩散角为 γ_{\parallel} 和 γ_{\perp} 的圆形换能器,其近场长度按公式(A.1)计算:

$$N_0 = v_b / (15.16 f_0 \sin^2 [\gamma]) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

v_b ——试块的声速;

N_0 ——圆形换能器的近场长度(取其较大者)。

对于矩形换能器,分别测出平行于 a 和 b 边($a \geq b$)的扩散角。

利用已测出的平行于较长边的扩散角 γ_a 和中心频率 f_0 ,矩形换能器的有效边 a_{eff} ,按公式(A.2)计算:

$$a_{eff} = (0.442 v_b) / (f_0 \sin [\gamma_a]) \dots\dots\dots (A.2)$$

利用已测出的平行于较短边的扩散角 γ_b 和中心频率 f_0 ,矩形换能器的有效边 b_{eff} 按公式(A.3)计算:

$$b_{eff} = (0.442 v_b) / (f_0 \sin [\gamma_b]) \dots\dots\dots (A.3)$$

以两个有效边之比 b_{eff}/a_{eff} 计算纵横比。利用该比值能够从图 A.1 中查得因子 k 。

矩形换能器的近场长度按公式(A.4)计算:

$$N_0 = (k a_{eff}^2 f_0) / (4 v_b) \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

v_b ——试块的声速。

A.2 斜射探头

利用测定的中心频率 f_0 和在两个垂直方向(方位角方向和水平方向)测定的扩散角 γ 来计算带有平面换能器的和具有平接触面的斜射探头的近场长度。

设 γ_a 为入射平面测出的扩散角, γ_b 为与入射平面相垂直的平面测出的扩散角,已知试块声速为 v_b ,则圆形换能器近场长度按公式(A.5)和公式(A.6)计算:

垂直于入射平面:

$$N_{0h} = v_b / (15.16 f_0 \sin^2 [\gamma_h]) \dots\dots\dots (A.5)$$

位于入射平面:

$$N_{0a} = v_b / (15.16 f_0 \sin^2 [\gamma]) \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

$$\gamma = \gamma_a \cos \beta / \cos \alpha$$

α ——斜射探头楔块内的声束角(入射角);

β ——被测材料内的声束角(折射角)。

N_{0h} 和 N_{0a} 中较大者即为探头的近场长度。

对于矩形换能器,应先计算出有效边 a_{eff} 和 b_{eff} 。

如果 a 为较长边, b 为较短边,则有下列两种情况:

a) 长边 a 垂直于入射平面,有效边按公式(A. 7)和公式(A. 8)计算:

$$a_{\text{eff}} = (0.442v_b)/(f_0 \sin[\gamma_s]) \quad \dots\dots\dots(\text{A. 7})$$

$$b_{\text{eff}} = (0.442v_b)/(f_0 \sin[\gamma]) \quad \dots\dots\dots(\text{A. 8})$$

式中:

$$\gamma = \gamma_s \cos\beta / \cos\alpha$$

b) 长边 a 位于入射平面内,有效边按公式(A. 9)和公式(A. 10)计算:

$$a_{\text{eff}} = (0.442v_b)/(f_0 \sin[\gamma]) \quad \dots\dots\dots(\text{A. 9})$$

式中:

$$\gamma = \gamma_s \cos\beta / \cos\alpha$$

$$b_{\text{eff}} = (0.442v_b)/(f_0 \sin[\gamma_b]) \quad \dots\dots\dots(\text{A. 10})$$

计算纵横比($b_{\text{eff}}/a_{\text{eff}}$),并对应该比值在图 A. 1 中查出修正因子 k 。

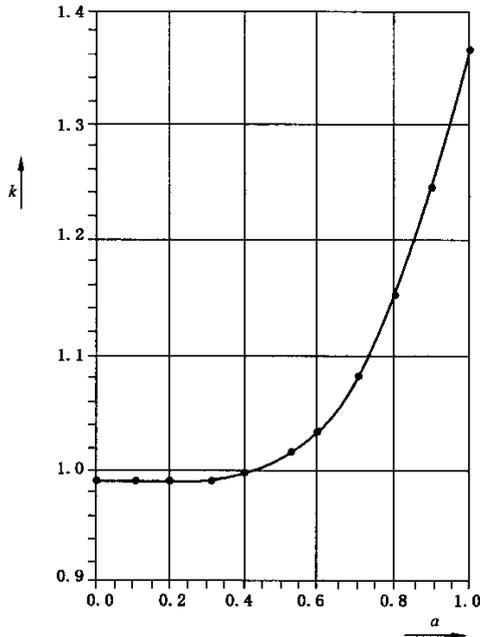
矩形换能器的近场长度按公式(A. 11)计算:

$$N_0 = (ks_{\text{eff}}^2 f_0)/(4v_b) \quad \dots\dots\dots(\text{A. 11})$$

式中:

s_{eff} —— a_{eff} 和 b_{eff} 中的较大者;

v_b ——试块的声速。



说明:

k ——修正因子;

a ——纵横比。

图 A. 1 计算矩形换能器近场长度的修正因子 k

附录 B
(资料性附录)
斜射探头用的校准试块

如图 B.1 所示,该钢试块具有四分之一的圆柱体部分,并带有直径为 4 mm 的横孔。该校准试块的材质和热处理工艺要符合 GB/T 19799.2 的规定。

三个声束角范围分别为 $35^\circ \sim 65^\circ$ 、 $60^\circ \sim 75^\circ$ 和 $70^\circ \sim 85^\circ$ 的 L 型标尺能安装在同一块试块上(见图 B.1 和图 B.2)。

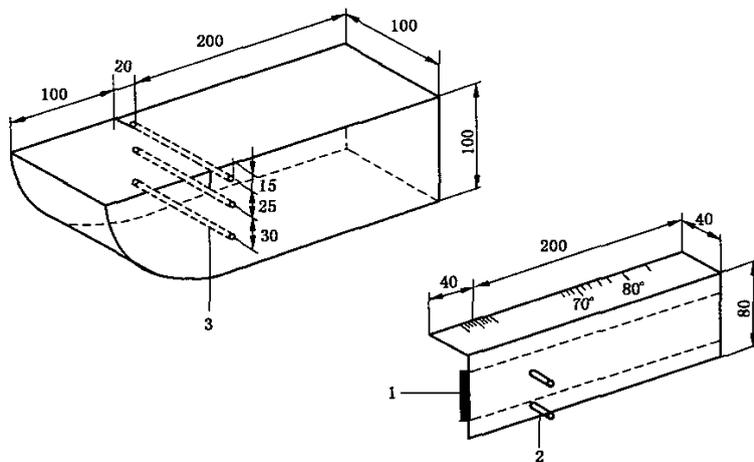
第一步:选用适合于被测探头声束角的标尺,如测 45° 探头,应选用标度范围为 $35^\circ \sim 65^\circ$ 的 3 号标尺。用标尺上的两个销钉插入试块上三个 4 mm 横孔的其中两个孔中,把该 L 型标尺安装到钢试块上。

剩下的一个横孔用作圆柱反射体,用以测定声束角。此外,再用一块磁垫将标尺固定在钢试块上。标尺的边可当作导向探头的直尺用。

把探头耦合在试块的四分之一圆柱面的中心位置,移动探头,以获得来自半径为 100 mm 时的最大回波,对应四分之一圆柱面的中心线的位置在探头上标出入射点,见图 B.3a)。

第二步:把探头耦合在试块上,声束打至 4 mm 的横孔上[见图 B.3b)]。移动探头,使来自横孔的回波最大,此时读出标尺上探头入射点位置的角度值即为声束角。

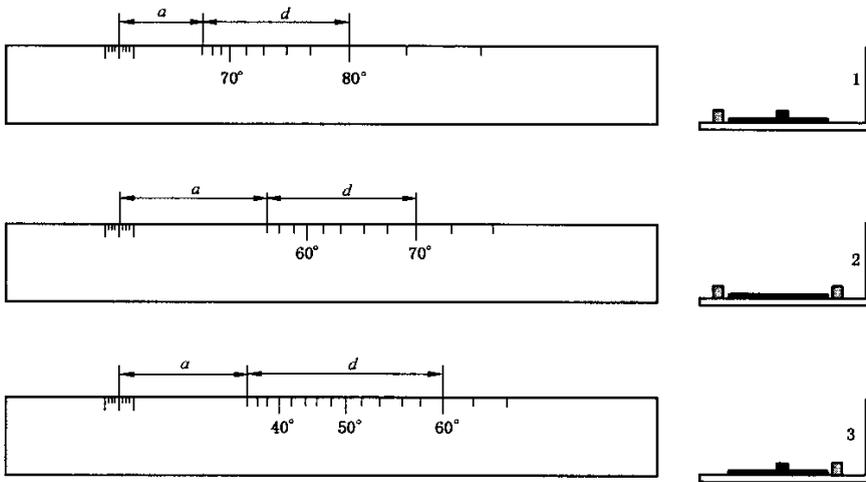
单位为毫米



说明:

- 1——磁垫;
- 2——与 4 mm 孔相配的两个销钉;
- 3——4 mm 孔。

图 B.1 检测接触式斜射探头用的带有活动标尺的钢校准试块



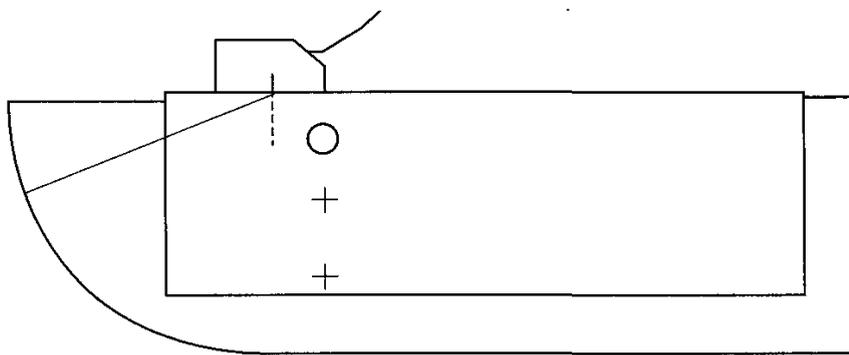
注：a 和 d 的值参照表 B.1。

图 B.2 装在图 B.1 校准试块上的 L 型 1 号、2 号和 3 号标尺³⁾

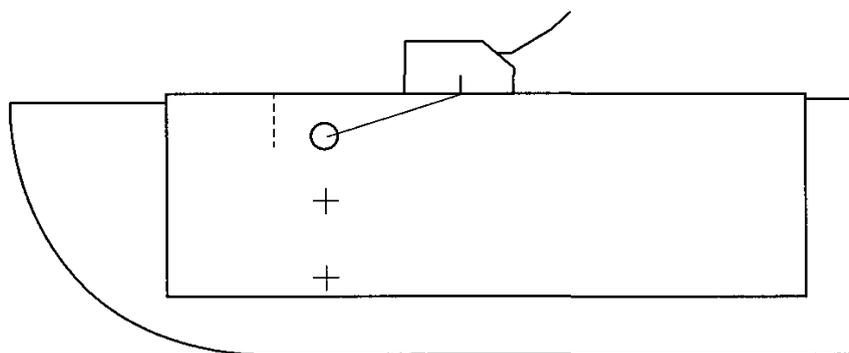
表 B.1 刻在图 B.2 标尺上的分度值

1 号标尺			2 号标尺			3 号标尺		
角度/ (°)	a/ mm	d/ mm	角度/ (°)	a/ mm	d/ mm	角度/ (°)	a/ mm	d/ mm
64	30.8	0	54	55.1	0	34	47.2	0
66		2.9	56		4.2	36		3.6
68		6.4	58		9.0	38		7.5
70		10.5	60		14.2	40		11.5
72		15.4	62		20.2	42		15.8
74		21.6	64		27.0	44		20.4
76		29.4	66		34.8	46		25.3
78		39.8	68		43.9	48		30.5
80		54.3	70		54.8	50		36.2
82		76.0	72		68.1	52		42.4
84		112.0	74		84.4	54		49.1
						56		56.6
						58		64.8
						60		74.0
						62		84.4
						64		96.3

3) 图 B.2 源自 EN 12668-2:2008 征求意见稿,2001 版原图有误。



a) 测定入射点



b) 测定入射角

图 B.3 斜射探头声束参数的测定