

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1650—2017

超声探伤仪换能器声场特性校准规范

Calibration Specification for Field Parameters of
Ultrasound Flaw Detector Transducers

2017-11-20 发布

2018-02-20 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

超声探伤仪换能器声

场特性校准规范

Calibration Specification for Field

Parameters of Ultrasound Flaw

Detector Transducers



JJF 1650—2017

归口单位：全国声学计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

北京理工大学

吉林省计量科学研究院

本规范委托全国声学计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

杨 平（中国计量科学研究院）

徐春广（北京理工大学）

边文萍（中国计量科学研究院）

肖定国（北京理工大学）

朱 岩（中国计量科学研究院）

房法成（吉林省计量科学研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 声束直径	(1)
3.2 声束扩散角	(1)
3.3 场深	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 近场长度/焦距	(2)
5.2 声束直径	(2)
5.3 声束扩散角	(2)
5.4 场深	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(3)
8 校准结果表达	(5)
8.1 校准数据处理	(5)
8.2 校准证书	(5)
8.3 校准结果的不确定度评定	(5)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 校准证书的内容	(7)
附录 B 测量不确定度评定示例	(10)
附录 C 去离子水的声速随温度变化表	(13)
附录 D 水听器的选择依据	(14)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》所给出的规则和格式进行编制。

本规范参照了 GB/T 18694—2002《无损检测 超声检验 探头及其声场的表征》、ASTM E 1065—08《超声扫查部件特性的评价标准导则》（Standard Guide for Evaluating Characteristics of Ultrasonic Search Units）中描述的测量方法，声场特性主要参考了 ASTM E 1065—08，包括近场长度/焦距、声束直径、声束扩散角、场深等参数。

本规范为首次发布。

超声探伤仪换能器声场特性校准规范

1 范围

本规范规定了用于超声无损检测的超声换能器（亦称为“超声探头”）辐射声场的计量特性、校准条件和校准方法。本规范适用于频率在（0.5~15）MHz 范围内的平面超声换能器与聚焦超声换能器。其他超声换能器及其阵列声场特性的校准也可以参照采用。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1034 声学计量名词术语及定义

GB 3102.7 声学的量和单位

GB/T 16540—1996 在（0.5~15）MHz 频率范围内的超声场特性及其测量 水听器法

GB/T 18694—2002 无损检测 超声检验 探头及其声场的表征

ASTM E 1065—08 超声扫查部件特性的评价标准导则（Standard Guide for Evaluating Characteristics of Ultrasonic Search Units）

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

本规范采用 JJF 1001 和 JJF 1034 中有关的术语及定义。

本规范采用 GB 3102.7 中规定的量和单位。

3.1 声束直径 sound beam diameter

在与超声换能器表面平行的声场截面中，选择比最大值低若干分贝（一般为 3 dB 或 6 dB）的相同幅值点组成的封闭曲线并对其做拟合形成圆形，该圆形的直径即为该处的声束直径，单位为毫米（mm）。

3.2 声束扩散角 beam spread

以声轴为参考线，在声轴方向的某段空间内，在声轴两侧选择比声轴处声压低若干分贝（一般为 3 dB 或 6 dB）的点并拟合成两段直线，该两段直线之间的夹角即为该段内的声场扩散角，单位为度（°）。

3.3 场深 depth of field

声轴上的声压场分布中，在最大幅值处（焦点）前后比最大幅值声压下降 6 dB 的两个位置间的距离，即为该超声换能器的场深，单位为毫米（mm）。

4 概述

超声换能器广泛应用在超声无损检测等领域，超声换能器的声场特性是无损检测用超声换能器的重要参数，声场特性参数一般可通过水听器测量超声信号和扫描声场获得。

5 计量特性

5.1 近场长度/焦距

近场长度/焦距的偏差一般不超过标称值的 $\pm 15\%$ 。

5.2 声束直径

声束直径的偏差一般不超过标称值的 $\pm 20\%$ 。

5.3 声束扩散角

声束扩散角的偏差一般不超过标称值的 $\pm 20\%$ 。

5.4 场深

场深的偏差一般不超过标称值的 $\pm 20\%$ 。

注：后续校准与上一次校准值一般不超过 $\pm 20\%$ ，以上技术要求不用于合格判定，仅供参考；其中焦距和场深一般仅适用于聚焦超声换能器。

6 校准条件

6.1 环境条件

室温： $(18\sim 28)^\circ\text{C}$ ；

水温： $(15\sim 33)^\circ\text{C}$ 。

6.2 测量标准及其他设备

1) 信号发生器及功率放大器

具备猝发音功能的任意波形发生器，频率范围上限高于 15 MHz；

如果信号发生器的输出幅度较低，考虑采用功率放大器来驱动信号，功率放大器的带宽应优于 $(0.5\sim 15)$ MHz，总失真不大于 2%。

2) 水听器及其前置放大器

水听器组带宽应至少覆盖 $(0.5\sim 15)$ MHz，水听器有效直径一般应小于介质中工作频率所对应波长的 2 倍，即 2λ ；具体选择依据也可以参照附录 D。

3) 数字示波器

工作频率上限不低于 100 MHz，采样率应高于 200 MHz；

至少应有两个通道，具备时间延迟测量（时间分辨力优于 $0.1\ \mu\text{s}$ ）和幅值测量功能。

4) 水槽及多自由度调节机构

测量用水槽应满足声场扫描范围的需求，应具备最少两个夹持调节机构用于夹持及调节超声换能器的位置和姿态。夹持调节机构应具有最少五个自由度的调节能力，包括 X、Y、Z 的空间定位，以及调节水平偏转和垂直俯仰功能，其中 X、Y、Z 的空间定

位精度应优于 0.02 mm，另外两个自由度旋转角度分辨力应优于 0.05°。

5) 温度计

测量范围至少覆盖 (15~33)℃，示值误差应优于 ±0.1℃。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 1。

表 1 平面/聚焦超声换能器校准项目一览表

序号	项目名称	校准方法
1	近场长度/焦距	7.2.2.1/7.2.3.1
2	声束直径	7.2.2.2/7.2.3.2
3	声束扩散角	7.2.2.3/7.2.3.3
4	场深	7.2.3.4

7.2 校准方法

声场参数的测量，一般是通过扫描定位装置带动水听器进行若干平面的扫描得到，校准系统如图 1 所示。

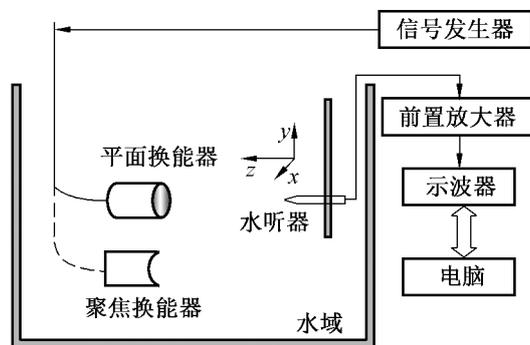


图 1 水听器法校准超声换能器声场特性示意图

7.2.1 校准前检查

观察超声换能器的外观，应符合以下要求：

- 1) 待校超声换能器应无明显的损坏，尤其换能器前端的匹配层应完好；
- 2) 超声换能器前端应有相应部分可以浸入水中。

7.2.2 平面超声换能器声场特性的校准

7.2.2.1 近场长度

将待校平面超声换能器固定并确保其向水槽中发射声波，连接信号发生器，设定工作频率并切换至猝发音模式，激励波形周期数目的设置既需要考虑水听器接收波形达到稳态，也要考虑水槽边界反射不会对水听器接收到的直达波形造成影响。

通过多自由度调节机构带动水听器对平面超声换能器的辐射声场进行沿声轴方向的纵向剖面扫描，得到沿声轴方向的声压场数据。通过分析声轴上的声压场，得到待校平

面超声换能器的近场长度，即声轴上的声压峰值处到换能器表面的距离，如图 2 中的 N_0 所示。扫描步进间隔一般设置为不超过工作频率所对应波长的一半。

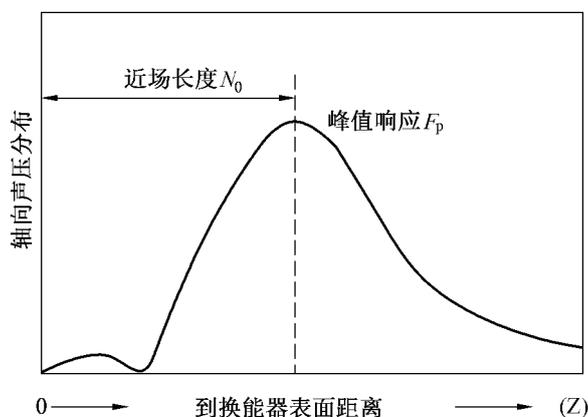


图 2 平面超声换能器声轴上声压分布及近场长度测量示意图

注：在绘制声压场分布时，需要代入扫描时水的声速值。一般在扫描前后通过温度计测量水槽中的水温，以扫描起始和结束时的平均温度为参考值，查询附录 C 中的表格得到扫描时的声速值；其他声场形态参数测量中处理过程相同。

7.2.2.2 声束直径

通过多自由度调节机构带动水听器对平面超声换能器的辐射声场进行垂直于声轴方向的横向剖面扫描，得到声压场的二维图。在该二维图像中，找到最大点，在最大点周围寻找幅度比最大值下降若干分贝的数据点得到封闭曲线，并通过适当的拟合方式得到规则的圆，该圆的直径即为声束直径。

针对水听器法通常得到的是 -3 dB 或 -6 dB 声束直径。

注：如果拟合结果不是规则的圆，建议以椭圆的长轴短轴等方式表达。

7.2.2.3 声束扩散角

根据 7.2.2.1 得到的声轴上的声压场分布，在远场区选择位置 A、C，如图 3 所示。通过计算 A、C 处的 -3 dB 声束直径，并考虑 A、C 点间的距离得到扩散角。

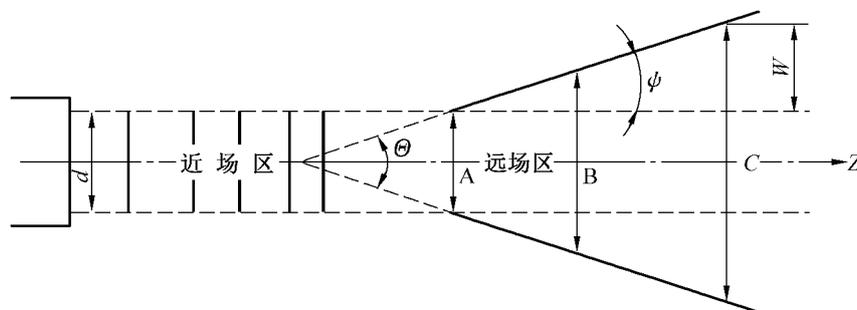


图 3 扩散角 (Θ) 计算示意图

扩散角计算如公式 (1)：

$$\Theta = 2\psi = 2 \times \arctan[W / (Z_c - Z_a)] \quad (1)$$

式中：

Z_a 、 Z_c ——声轴上 A、C 两点距换能器表面距离 ($Z_c > Z_a$)，mm；

W —— Z_c 处 -3 dB 声束直径比 Z_a 位置处 -3 dB 声束直径增加值的一半，mm。

7.2.3 聚焦超声换能器声场特性的校准

7.2.3.1 焦距

将待校聚焦超声换能器固定并确保其向水槽中发射声波，连接信号发生器，设定工作频率并切换至猝发音模式，激励波形周期数目的设置既需要考虑水听器接收波形达到稳态，也要考虑水槽边界反射不会对水听器接收到的直达波形造成影响。

通过多自由度调节机构带动水听器对聚焦超声换能器的辐射声场进行沿声轴方向的纵向剖面扫描，得到沿声轴方向的声压场数据。通过分析声轴上的声压场，得到待校聚焦超声换能器的焦点，焦点到换能器表面的距离即为焦距，如图 4 中的 F_L 所示。扫描步进间隔一般设置为不超过工作频率所对应波长的一半。

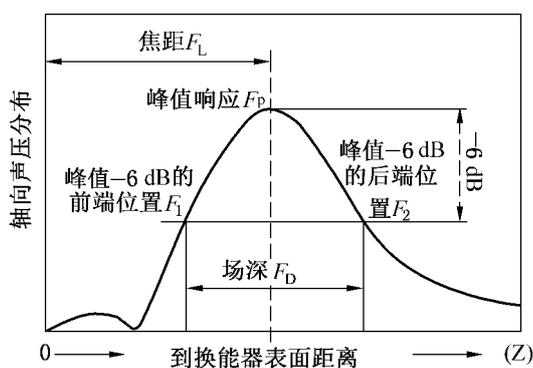


图 4 聚焦超声换能器声轴上声压分布及焦距、场深测量示意图

7.2.3.2 声束直径

参照 7.2.2.2。

7.2.3.3 声束扩散角

参照 7.2.2.3。

7.2.3.4 场深

根据 7.2.3.1 得到的声轴上的声压场分布，在焦点前后寻找比焦点处声压幅值下降 6 dB 的位置，该两个位置间的距离，即为该超声换能器的场深，如图 4 所示。

8 校准结果表达

8.1 校准数据处理

所有的数据应先计算后修约，不确定度保留一位小数。

8.2 校准证书

超声换能器经校准后出具校准证书，校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 A。

8.3 校准结果的不确定度评定

测量不确定度评定按 JJF 1059.1—2012 进行，其不确定度评定示例见附录 B。

9 复校时间间隔

校准时间间隔的长短取决于其使用情况，如环境条件、使用频率、测量对象等，因此，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔。

建议复校时间间隔为 2 年。

附录 A

校准证书的内容

A.1 校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 证书的编号、页码及总页数；
- c) 校准实验室的名称和地址；
- d) 进行校准的日期；
- e) 进行校准的地点；
- f) 送校单位的名称和地址；
- g) 被校超声换能器的描述；
- h) 校准所依据的技术规范的名称及编号；
- i) 校准所用计量标准的名称、技术参数及有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准结果；
- l) 校准结果的测量不确定度；
- m) 复校时间间隔的建议；
- n) 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

A.2 推荐的平面超声换能器校准证书的内页格式，见图 A.1。

A.3 推荐的聚焦超声换能器校准证书的内页格式，见图 A.2。

校准结果

共 页 第 页

一、平面超声换能器校准结果

1. 近场长度为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 1 过轴截面声压分布二维图

图 2 声轴上声压分布一维图

2. 距离探头表面近场长度处（远近场分界点）的声束直径：

-3 dB 声束直径为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)；-6 dB 声束直径为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 3 距离探头表面近场长度处横向剖面图

图 4 两个垂直方向一维数据对称性

图 5 距离探头表面近场长度处横向剖面草帽图

3. 归一化距离 $S=1.3$ （远场）处的声束直径：-3 dB 声束直径为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)；-6 dB 声束直径为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 6 横向剖面扫描图

图 7 两个垂直方向一维数据对称性

图 8 横向剖面草帽图

4. 声束扩散角：

在声轴方向上，距离探头表面 _____ mm，至距离探头表面 _____ mm 的范围内，声束扩散角为 _____ (°)， $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 9 声束扩散角取段测量结果图

图 A.1 校准证书的内页格式 (1)

校准结果

共 页 第 页

二、聚焦超声换能器校准结果

1. 焦距为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 1 过轴截面声压分布二维图

图 2 声轴上声压分布一维图

2. 焦点处的声束直径:

-3 dB 声束直径为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$);-6 dB 声束直径为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 3 焦点处横向剖面图

图 4 两个垂直方向一维数据对称性

图 5 焦点处横向剖面草帽图

3. 1.3 倍焦距处的声束直径:

-3 dB 声束直径为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$);-6 dB 声束直径为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 6 横向剖面扫描图

图 7 两个垂直方向一维数据对称性

图 8 横向剖面草帽图

4. 声束扩散角:

在声轴方向上, 距离探头表面 _____ mm, 至距离探头表面 _____ mm 的范围内, 声束扩散角为 _____ ($^{\circ}$), $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 9 声束扩散角取段测量结果图

5. 场深:

场深为 _____ mm, $U =$ _____ % ($k=2$)。

图 10 场深计算示意图

图 A.2 校准证书的内页格式 (2)

附录 B

测量不确定度评定示例

B.1 测量方法

通过扫描机构带动水听器，对超声换能器辐射的垂直于声轴方向的声压分布进行扫描，得到声场分布数据。通过程序计算找到最大点，在最大点周围寻找幅度为最大值 71% 的数据点得到封闭的曲线，并通过适当的拟合方式得到规则的圆，该圆的直径即为 -3 dB 声束直径。同样也可以得到 -6 dB 声束直径。

B.2 不确定度评定测量模型

声束直径的测量，是基于步进扫描系统开展的，其测量模型为：

$$a_m = N \times l \quad (\text{B.1})$$

式中：

a_m —— 测量的声束直径，mm；

N —— 步进数；

l —— 当前状态下的扫描步进长度，mm。

B.3 不确定度的评定

考虑若干影响因素及修正量，修正后实际得到的声束直径应考虑以下不确定度分量。

1) 重复测量引入的不确定度

对距离平面活塞超声换能器表面近场长度处的横向剖面进行分析，测量 -3 dB 声束直径，测量结果为（单位 mm）：5.59, 5.61, 5.62, 5.65, 5.57, 5.59。

则单次测量值的相对标准不确定度为： $u_a = 0.50\%$ 。

2) 扫描定位精度引入的分量

实验所用步进电机/伺服电机定位精度一般优于 $10 \mu\text{m}$ ，综合考虑加工后机械结构的振动与变形，及长时间扫描与特殊情况下的脉冲丢失，扫描期间其重复定位精度远优于 $50 \mu\text{m}$ 。以最小声场参数 2 mm 为例，扫描定位精度引起的测量相对不确定度不超过 2.5%；假设满足矩形分布，则扫描定位精度引起的相对标准不确定度为 $u(\delta a_1) = 2.5\% / \sqrt{3} = 1.45\%$

3) 水听器空间平均效应引入的分量

空间平均效应指用于测量超声换能器辐射声场的水听器存在有效孔径，不能当作理想的点接收器引入的不确定度分量。平均效应修正后的声压场测量，偏差一般不超过 3.0%；假设满足矩形分布，引起的相对标准不确定度为 $u(\delta a_s) = 3.0\% / \sqrt{3} = 1.73\%$ 。

4) 水听器指向性引入的分量

扫描过程中，待测超声换能器和水听器法线并不始终重合，应该考虑指向性引入的

不确定度分量。以最高频率 15.0 MHz 为例，即假设水中波长 0.1 mm、水听器直径为 0.2 mm，实验所用平面活塞换能器远场扩散角一般不超过 5° ，由 IEC 62127-3 中水听器的指向性图可以得到，即便不做指向性修正，因角度偏转造成的声压幅值损失不超过 10.0%；如果数据处理中考虑指向性修正，则修正后指向性引入的不确定度一般不超过 3.0%，相对标准不确定度 $u(\delta a_d) = 3.0\% / \sqrt{3} = 1.73\%$ 。

5) 拟合算法引入的分量

实际测量时，因超声换能器非理想垂直或水平夹持，以及测量过程中噪声和振动的干扰，声场形态往往不是非常理想，声束直径计算需要利用最小二乘法等算法拟合得到。经实验验证，拟合算法引入的最大相对不确定度一般不超过 3.00%；假设满足矩形分布，引起的相对标准不确定度为 $u(\delta a_c) = 3.0\% / \sqrt{3} = 1.73\%$ 。

6) 声场不理想引入的分量

扫描声场时，超声换能器辐射出的声场不严格垂直于探头表面，导致扫描得到的用于计算声束直径的声场平面与探头表面很难严格平行，而且辐射声场本身也并非理想对称。多次实验表明，声场不理想引入的最大偏差一般不超过 4.0%。假设满足矩形分布，它所引起的相对标准不确定度为 $u_o = 4.0\% / \sqrt{3} = 2.31\%$ 。

B.4 相关性

各输入量之间未发现有任何值得考虑的相关性。

B.5 合成标准不确定度

影响声束直径的各输入量相互独立，不确定度来源及相对合成标准不确定度如表 B.1 所示。

表 B.1 测量不确定度来源汇总表

序号	不确定度来源	相对标准不确定度/%
1	重复性	0.50
2	扫描定位精度	1.45
3	水听器空间平均效应	1.73
4	水听器指向性	1.73
5	拟合算法	1.73
6	声场不理想	2.31
	合成标准不确定度	4.08

合成标准不确定度计算式为：

$$\begin{aligned}u_c(a) &= \sqrt{u_a^2 + u^2(\delta a_1) + u^2(\delta a_s) + u^2(\delta a_d) + u^2(\delta a_c) + u_o^2} \\ &= \sqrt{(0.5\%)^2 + (1.45\%)^2 + (1.73\%)^2 + (1.73\%)^2 + (1.73\%)^2 + (2.31\%)^2} \\ &= 4.08\%\end{aligned}\tag{B.2}$$

B.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，其扩展不确定度为：

$$U = 2 \times 4.08\% = 8.16\%\tag{B.3}$$

扩展不确定度取 $U=8.5\%$ ($k=2$)。

附录 C

去离子水的声速随温度变化表

表 C.1 不同温度下的去离子水声速

温度/℃	声速/(m/s)
15	1465.9
16	1469.4
17	1472.8
18	1476.1
19	1479.2
20	1482.4
21	1485.4
22	1488.3
23	1494.2
24	1494.0
25	1496.7
26	1499.4
27	1501.9
28	1504.4
29	1506.8
30	1509.2
31	1511.4
32	1513.6
33	1515.8

(来源: IEC 62127-2)

附录 D

水听器的选择依据

D.1 水听器灵敏度校准和指向性测量

用于测量超声换能器声场的水听器一般要进行灵敏度和指向性的校准，从而得到扫描面内真实的声压场分布。水听器几何尺寸与其敏感元件尺寸并不完全一致，其有限的孔径可能会引入空间平均效应。而水听器敏感元件尺寸的确定需要进行指向性测量，可依据如下步骤：把水听器安装在位于超声换能器的远场中的支架上。在指向性响应要求的频率下，换能器以猝发音方式工作。首先保持水听器敏感元件的法线近似平行于声轴，在垂直于声轴的方向上平移水听器，并绕通过水听器敏感元件平面的两个相互垂直的轴旋转水听器，调节水听器使接收信号最大。水听器接收信号的测量可用过敏感元件平面的两个旋转轴中的任一轴线来实现，或用两者的平均值确定。该信号是水听器旋转角度 θ 的函数。指向性响应是用在某一特定角度上接收的信号除以水听器最大的接收信号来确定。

D.2 水听器敏感元件有效半径的确定

如果进行扫描用水听器的敏感元件是圆形的，也是最常用的情况，它的指向性函数与刚性圆盘接收器的指向性函数相似，在进行指向性测量后，可用如下方程确定水听器敏感元件有效半径：

$$b = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{1.62}{k \sin \theta_3} + \frac{2.22}{k \sin \theta_6} \right) \quad (\text{D. 1})$$

式中：

k ——角波数；

θ_3 和 θ_6 ——分别为对应指向性函数 -3 dB 和 -6 dB 的半波束宽度。

对非圆形敏感元件的水听器，仍可用上述方法确定任一指定方向上的近似有效尺寸。在这种情况下，用来测量指向性响应的旋转轴垂直于所指定的方向。严格地说上述指向性函数只适用于圆形刚性元件，但也可应用于其他形状元件，其误差小于 20%。

D.3 扫描用水听器的选择方法

a) 用于对待校换能器进行声场扫描的水听器理论上直径应小于换能器最大使用频率下波长的 $1/2$ ，这样水听器孔径效应对测量声压的相位和幅值的影响可以忽略不计。实际上，水听器平均效应对声束直径测量的影响依赖于换能器和水听器有效尺寸、两换能器间距和声波长。因此，可以对水听器最大允许尺寸条件进行放宽：

$$b_{\max} = \frac{\lambda}{8a} (z^2 + a^2)^{1/2} \quad (\text{D. 2})$$

式中：

a ——超声换能器的有效半径，mm；

z ——换能器与水听器表面间的距离，mm；

λ ——声波波长，mm。

对于非圆形元件的超声换能器，上式中 a 为超声换能器或超声换能器阵元组最大尺寸的一半。

b) 理论上，水听器孔径越小，测量分辨力越高，但输出信号信噪比会有所降低。因此，除使用功率放大器提高测量信噪比外，在有些场合使用更小的水听器不易获得理想信噪比的情况下，也可使用大于上面推荐的水听器尺寸。而水听器空间平均效应对声束直径测量的影响，可以通过换能器声压场分布在水听器有效直径面内积分结果与理想点接收器相比分析得到。当平面换能器满足以下使用条件时，该空间平均效应对声束直径测量的影响可忽略不计：

$$\frac{\pi(\gamma^2 + 4\gamma)}{s} \ll 1 \quad (\text{D. 3})$$

式中：

$\gamma = b/a$ ，是水听器有效半径与换能器半径之比；

$s = \frac{z\lambda}{a^2}$ ，是水听器到换能器表面的归一化距离。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
超 声 探 伤 仪 换 能 器 声 场 特 性 校 准 规 范

JJF 1650—2017

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2018年3月第一版

*

书号: 155026·J-3214

版权专有 侵权必究



JJF 1650-2017