



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 340—1999

1Hz ~ 1000Hz 测量水听器

Measuring Hydrophone in the Frequency
Range 1Hz to 1000Hz

1999—05—06 发布

1999—09—01 实施

国家质量技术监督局 发布

1Hz~1000Hz 测量水听器检定规程

**Verification Regulation of
Measuring Hydrophone in the
Frequency Range 1Hz to 1000Hz**

JJG 340—1999
代替 JJG 340—1984

本规程经国家质量技术监督局于 1999 年 05 月 06 日批准，并自 1999 年 09 月 01 日起施行。

归口单位：全国声学计量技术委员会

起草单位：中国船舶工业总公司第 715 研究所

中国科学院声学研究所

参加单位：中国船舶工业总公司第 701 研究所

本规程委托全国声学计量技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

袁文俊（中国船舶工业总公司第 715 研究所）

贾友娣（中国船舶工业总公司第 715 研究所）

朱厚卿（中国科学院声学研究所）

参加起草人：

刘方雄（中国船舶工业总公司第 701 研究所）

目 录

1 技术要求	(1)
2 检定条件	(1)
3 检定项目和检定方法	(3)
4 检定结果的处理和检定周期	(6)
附录 A 检定结果不确定度分析	(7)
附录 B 密闭水腔设计要求	(9)
附录 C 检定证书格式	(10)

1 Hz~1000 Hz 测量水听器检定规程

本规程适用于新制造、使用中及修理后的频率范围在 1 Hz 至 1000 Hz 内的刚性、非谐振测量水听器的声压灵敏度 [级] 的检定。

注：通常，测量水听器的刚性远大于同体积水的刚性，且在本规程规定的频率范围内尺寸远小于水中声波波长。因此，这里的声压灵敏度等于自由场灵敏度。

1 技术要求

1.1 受检水听器的声压灵敏度 [级] 在检定的频率范围内，应不低于 -210 dB (基准值为 $1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$)。

1.2 受检水听器频率响应不均匀性，在检定的频率范围内应不超过 $\pm 2 \text{ dB}$ 。

1.3 当受检水听器不带前置放大器时，100 V 试验电压下的绝缘电阻值应不小于 100 M Ω 。

1.4 当受检水听器带前置放大器时，在它的电缆端处应有明显的关于信号线、地线和供电线的标记，并应注明供电电压值。当供电电压波动不超过 $\pm 10\%$ 时，前置放大器的增益变化应不超过 $\pm 0.1 \text{ dB}$ 。

1.5 对于不带前置放大器的水听器，受检时所带电缆长度应与使用时相一致。

注：若检定时电缆长度与使用时不一致，则其声压灵敏度级需按下式修正：

$$M_L = M_0 + 20 \lg \frac{C_0}{C_0 + C_L}$$

式中： M_0 ——水听器带短电缆时的灵敏度级，dB；

M_L ——水听器带较长电缆时的灵敏度级，dB；

C_0 ——水听器带短电缆时的电容量，pF；

C_L ——水听器电缆加长后的电容量增加值，pF。

2 检定条件

2.1 检定用仪器和设备

2.1.1 频率合成器的频率稳定度应优于 $\pm 0.5\% / \text{h}$ ，频率指示不确定度不大于 0.5%。

2.1.2 频率合成器的输出电压和功率放大器及阻抗匹配器的性能应保证激励信号失真度应不大于 3%，并与声源换能器（以下简称声源）配合在密闭水腔中产生足够大声压级，使测量信噪比应不小于 30 dB。

2.1.3 程控开关通道间的电串漏应小于 -80 dB。

2.1.4 前置放大器应具有高输入阻抗，其值应比受检水听器和标准水听器的阻抗值至少高 100 倍。

2.1.5 测量放大器和滤波器的总增益应不小于 40 dB，并在 40 dB 的动态范围内增益的非线性或换挡误差应不大于 0.2 dB。

2.1.6 数字电压测量仪可以是数字电压表，也可以是数字采样示波器，它对电压值的测量不确定度应不大于 0.2 dB。

2.1.7 标准水听器的校准不确定度应不大于 0.6 dB (包含因子 $k=2$)。

2.1.8 检定用密闭水腔

密闭水腔的内腔壁应刚性，腔内应无释压材料。腔体的大小应保证在使用频段内腔中声压不均匀性不超过 ± 0.3 dB (详细要求见附录 B)，下面给出二种典型的密闭水腔结构示意图。

2.1.8.1 用同时比较法检定时通常用如图 1 所示结构的密闭水腔。密闭水腔呈短圆柱形。水腔壁由不锈钢材料做成。声源固定安装于腔体底部中央。标准水听器和受检水听器用专用的转接紧固配件经由插孔同时密封放置于密闭水腔内。

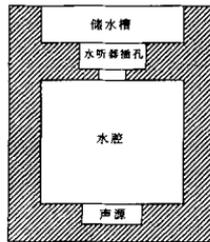


图 1 同时比较法腔体结构图

2.1.8.2 用置换比较法检定时通常应用图 2 所示结构的密闭水腔。用于监测水听器的大尺寸压电陶瓷圆管被不锈钢材料做的上、下盖板夹紧，构成密闭水腔。在圆管外面再围一金属外壳，既作保护用又起电屏蔽作用。声源固定安装于下盖板中央。受检水听器和标准水听器，分别用转接紧固配件通过插孔密封固定于测量水腔内。

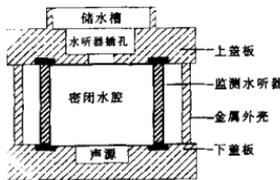


图 2 置换比较法腔体结构图

2.2 检定环境条件

温度：5~35 ℃

气压：(86~106) kPa

相对湿度：30%~90%

水温：5~35 ℃

3 检定项目和检定方法

3.1 外观和电性能检查

3.1.1 用目测检查受检水听器的外观（包括所带电缆），应没有影响其正常工作的机械损伤。当受检水听器带有前置放大器时，电缆端处各线的标志应符合 1.4 条的要求。

3.1.2 用 100 V 摇表测量不带前置放大器的受检水听器的绝缘电阻值，所得值应符合 1.3 的要求。

3.1.3 用电容表测量不带前置放大器的受检水听器的静态电容量。

3.2 声压灵敏度 [级] 的检定

3.2.1 检定装置的组成框图如图 3 所示。采用同时比较法时，图中水听器 A 和水听器 B 分别表示受检水听器和标准水听器；采用置换比较法时，水听器 A 既表示受检水听器又表示标准水听器，而水听器 B 则表示监测水听器。当受检水听器和标准水听器都带有前置放大器时，装置中的前置放大器可以省略。

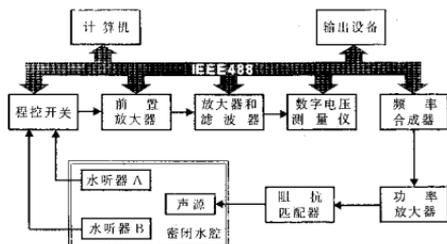


图 3 检定装置方框图

3.2.2 检定前准备

3.2.2.1 检定前应提前 2 h 用清洁蒸馏水充满密闭水腔，并在安装水听器前将腔内气泡排除干净。

3.2.2.2 用无腐蚀作用的洗涤剂清洗标准水听器和受检水听器表面，并在水中至少浸泡 1 h，然后通过密封连接件将其固定于水腔内。当应用同时比较法时，受检水听器和标准水听器的声中心应靠近刚性边界顶部附近，并尽可能位于同一水平面中。当应用置换比较法时，受检水听器与标准水听器的声中心先后置于圆管形监测水听器中心轴上，两位置尽可能靠近。在插入和密封固定水听器时，须避免带入气泡。

3.2.2.3 水听器安装安毕后，须等待 15 min 再进行正式测量，以便使水听器的内外温度和压力达到平衡状态。

3.2.2.4 检查并排除静电和电磁场干扰（包括电源干扰和串音干扰），使其对水听器开路电压测量的影响不大于 0.1 dB。

3.2.2.5 在实际工作状态下检查信噪比，其值应不小于 30 dB。增大声源激励功率或对测量信号的多次采样平均可提高信噪比。

3.2.3 同时比较法

3.2.3.1 方法原理

同时比较法的原理如图 4 所示。位于密闭水腔底部的声源 F 在电压 U 的激励下，在腔中产生均匀的声压。同时位于腔中合适位置处的被检水听器 X 和标准水听器 P，在相同声压作用下各自产生开路电压 U_{FX} 和 U_{FP} 。若用同一套电压测量设备通过一开关分别测量它们，则可由 (1) 式求得被检水听器的声压灵敏度级 M_{0X} ：

$$M_{0X} = 20 \lg(U_{FX}/U_{FP}) + M_{0P} \quad (1)$$

式中： M_{0P} ——已知的标准水听器的声压灵敏度级 (dB)。

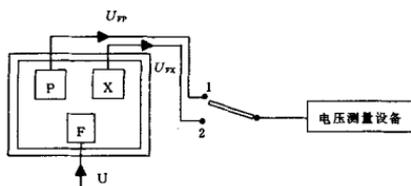


图 4 同时比较法的原理图

F—声源；P—标准水听器；X—被检水听器

3.2.3.2 检定步骤

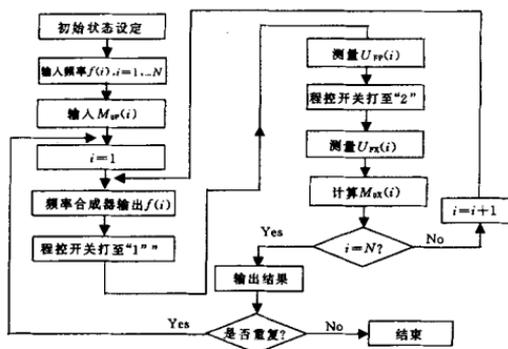


图 5 同时比较法测量流程图

- 将所用仪器设备预热 15 min；
- 把功率放大器的放大量调至适宜值，把所有程控仪器调定至程控状态；
- 操作计算机，按照图 5 所示的流程进行控制和测量。

3.2.4 置换比较法

3.2.4.1 方法原理

置换比较法的原理图如图 6 所示。声源 F 位于水腔的底部，圆管形监测水听器 H 构

成密闭水腔的侧壁，标准水听器 P 和受检水听器 X 先后置于腔中的同一位置。P 置于腔中时，F 在电压 U 激励下于腔中产生均匀低频声压，在此声压作用下，H 和 P 分别产生开路电压 U_{FH} 和 U_{FP} ，用 X 置换腔中的 P，则 H 和 X 分别产生开路电压 U'_{FH} 和 U_{FX} ，由 (2) 式可求得 X 的声压灵敏度级 M_{0X} 。

$$M_{0X} = 20 \lg(U_{FH}/U_{FP}) + 20 \lg(U_{FX}/U'_{FH}) + M_{0P} \quad (2)$$

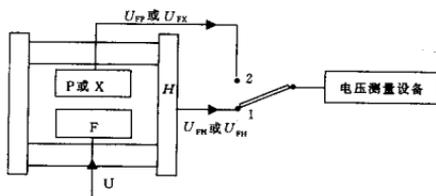


图 6 置换比较法原理图

F—声源；H—监测水听器；P—标准水听器；X—受检水听器

如果，在测量过程中把前后两次组合测量下的声源激励电压调节至使 $U_{FH} = U'_{FH}$ ，则 (2) 式就变换成了 (1) 式。

3.2.4.2 检定步骤

- a) 同 3.2.3.2 的 (a)；
- b) 同于 3.2.3.2 的 (b)；
- c) 操作计算机，按照图 7 所示的流程进行控制和测量。

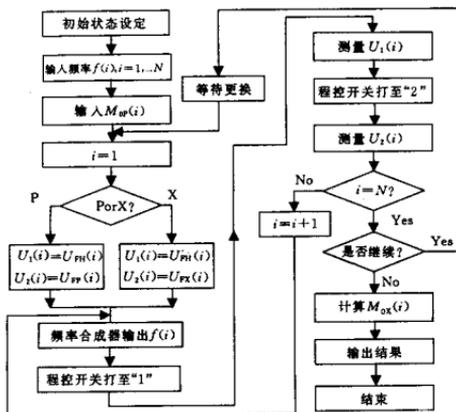


图 7 置换比较法测量流程图

注：当无条件进行计算机程控测量时，利用满足 2.1 要求的仪器按照图 5 或图 7 所示流程，也可进行人工手动逐点测量。

3.3 频率响应的检定

由不同频率点处的灵敏度级值可直接求得其频率响应。频率点通常按 1/3 倍频程选择，也可根据实际使用要求选择。

3.4 检定结果不确定度

检定结果的扩展不确定度为 $U \leq 1.1 \text{ dB}$ ($k=2$)。不确定度的详细分析见附录 A。

4 检定结果的处理和检定周期

4.1 按本规程要求检定合格的测量水听器，发给检定证书（检定证书格式见附录 C）；不合格的发给检定结果通知书。

4.2 检定周期应视具体情况确定，一般不超过 1 年。

附录 A

检定结果不确定度分析

A.1 用同时比较法的不确定度

A.1.1 B类标准不确定度分量

a) 放大滤波系统非线性和换挡误差引起的分量: $u_{B1} \leq 0.2$ dB;b) 腔中声场不均匀引起的分量: $u_{B2} \leq 0.3$ dB;c) 电压测量误差引起的分量 (按均匀分布): $u_{B3} \leq \frac{0.2}{\sqrt{3}}$ dB;d) 标准水听器校准不确定度引起的分量 (已知 $k=2$): $u_{B4} \leq \frac{0.6}{2}$ dB。

总的 B 类标准不确定度分量

$$u_B \leq \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + 2u_{B3}^2 + u_{B4}^2} = \sqrt{0.2^2 + 0.3^2 + 2 \times \left(\frac{0.2}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.6}{2}\right)^2} \approx 0.5 \text{ dB}$$

A.1.2 A类标准不确定度分量

用测量的重复性评定 A 类不确定度分量, 测量重复性是 n 次 ($n \geq 6$) 独立重复测量结果的实验标准偏差 s 。用本规程所规定的检定条件, 一般情况下 s 不大于 0.2 dB。因此, A 类标准不确定度分量可定为:

$$u_A \leq 0.2 \text{ dB}$$

A.1.3 合成标准不确定度为:

$$u_C \leq \sqrt{0.5^2 + 0.2^2} = 0.54 \text{ dB}$$

A.1.4 置信水平为 95% 的扩展不确定度 ($k=2$):

$$U \leq 0.54 \times 2 = 1.08 \text{ dB}$$

A.2 用置换比较法的不确定度

A.2.1 B类标准不确定度分量

a) 放大滤波系统非线性和换挡误差引起的分量: $u_{B1} \leq 0.2$ dB;b) 电压测量误差引起的分量 (按均匀分布): $u_{B2} \leq \frac{0.2}{\sqrt{3}}$ dB;c) 标准水听器校准不确定度引起的分量 (已知 $k=2$): $u_{B3} \leq \frac{0.6}{2}$ dB;

d) 声场不均匀引起的不确定度可以忽略。

总的 B 类标准不确定度分量

$$U_B \leq \sqrt{2u_{B1}^2 + 4u_{B2}^2 + u_{B3}^2} = \sqrt{2 \times 0.2^2 + 4 \times \left(\frac{0.2}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.6}{2}\right)^2} \approx 0.47 \text{ dB}$$

A.2.2 A类标准不确定度

同 A.1.2, A 类不确定度分量为:

$$u_A \leq 0.2 \text{ dB}$$

A.2.3 合成标准不确定度

$$u_c \leq \sqrt{0.47^2 + 0.2^2} = 0.51 \text{ dB}$$

A.2.4 置信水平为 95% 的扩展不确定度 ($k=2$)

$$U \leq 0.51 \times 2 = 1.02 \text{ dB}$$

附录 B

密闭水腔设计要求

B.1 密闭水腔的构造要求

B.1.1 密闭水腔的腔体通常取圆柱形，由刚硬的上顶、下底和圆柱形侧壁所构成。声源位于腔体底部中心位置，腔体顶盖上部附加一储水槽。对用于同时比较法的腔体，其结构应设计成被检件与标准水听器的声中心，同时位于靠近腔体顶部附近的同一水平面上。对用于置换比较法的腔体，其结构应设计成被检件与标准水听器的声中心，可先后分别放置到腔体中心轴上的中点左右位置处。

B.1.2 为了避免产生弯曲振动和激发高次谐波，腔底应选用具有一定厚度的不锈钢材料，当腔底外径为 20 cm 时，其厚度应不小于 3.5 cm。腔体顶盖材料也应是刚硬的，且其厚度要稍大于腔体底板的厚度。

B.1.3 对用于同时比较法的腔体，其周壁宜采用不锈钢材料。壁的厚度与腔体半径之比应不小于 0.2。由于要同时放置被检件和标准水听器，腔体内径通常取 12~20 cm，相应的腔体高度通常取 20~30 cm。腔体使用的上限频率由被检件灵敏元件的最大线度，远小于检定信号波长这一条件确定。通常上限频率为 500 Hz 至 1 000 Hz。

对用于置换比较法的腔体，腔体周壁为作监测水听器用的压电陶瓷圆管，其管壁厚度与腔体半径之比应不小于 0.12。腔体内径通常取 7~11 cm，相应的腔体高度可取 10~18 cm，此时相应的上限频率约为 1 000~2 000 Hz。

B.2 声源的声学设计要求

B.2.1 声源可由圆形平板压电陶瓷片组成，其谐振频率应为腔体上限工作频率的 3~4 倍频程以上。

B.2.2 声源辐射面半径与腔体半径之比不小于 0.85，以减小高阶简正波的影响。

B.2.3 声源辐射面应满足刚性边界条件。

B.3 圆管形监测水听器声学设计要求

B.3.1 监测水听器是采用压电陶瓷材料的厚壁圆管，其最小厚度应不小于 5 mm，其谐振频率应为腔体上限工作频率的 2~3 个倍频程以上。

B.3.2 监测水听器的装配既要保证水密，又要保证去耦，通常采用高弹性的橡胶材料垫圈作绝缘去耦材料。

B.3.3 监测水听器的内壁不得涂覆橡胶等低声阻抗材料。

附录 C

检定证书格式

送检单位：_____；
 被送检水听器型号：_____； 编号_____；
 水听器生产厂家：_____；
 绝缘电阻（100 V）：_____ M Ω ； 电容量：_____；
 前放增益：_____。

_____ m 电缆末端处水听器声压灵敏度级（基准值为 1 V/ μ Pa）的频率响应（根据中华人民共和国国家计量检定规程《JJG 340—1999 1 Hz~1000 Hz 测量水听器检定规程》的规定，包含因子 $k=2$ 情况下，扩展不确定度不大于 1.1 dB）：

频 率 Hz	灵 敏 度 级 dB	频 率 Hz	灵 敏 度 级 dB

在检定的频率范围内频率响应的不均匀性为_____ dB。

（当有必要时，还应给出频率响应曲线图）

检定条件： 水温：_____ $^{\circ}$ C；
 室温：_____ $^{\circ}$ C；
 气压：_____ kPa；
 相对湿度：_____ %。

检定结论：_____。