



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 185—1997

500 Hz~1 MHz 测量水听器

Measuring Hydrophone in the Frequency Range

500 Hz to 1 MHz

1997-09-01 发布

1998-03-01 实施

国家技术监督局 发布

500 Hz～1 MHz 测量

水听器检定规程

Verification Regulation of

Measuring Hydrophone in the

Frequency Range 500 Hz to 1 MHz

JJG 185—1997

代替 JJG 185—1978

本检定规程经国家技术监督局于 1997 年 09 月 01 日批准，并自 1998 年 03 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： 中国科学院声学研究所

中国测试技术研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释

本规程主要起草人：

朱厚卿 （中国科学院声学研究所）

孙 磊 （中国测试技术研究院）

目 录

一 技术要求	(1)
二 检定条件	(1)
三 检定项目和检定方法	(3)
四 检定结果的处理和检定周期	(7)
附录 1 脉冲声校准技术	(8)
附录 2 灵敏度 (响应) 级与灵敏度 (响应) 换算表	(10)
附录 3 检定证书格式 (背面)	(11)

500 Hz~1 MHz 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 500 Hz 至 1 MHz 的测量水听器的自由场电压灵敏度级的检定，也适用于在该频率范围内的测量用水声发射器的发射电流或发射电压响应级的校准。

一 技 术 要 求

1 500 Hz~100 kHz 测量水听器

1.1 自由场灵敏度级应不低于 -210 dB (0 dB = 1 V/ μ Pa)

注：①自由场灵敏度指自由场灵敏度频响应曲线平坦部分的平均值。

②此处灵敏度均为电缆末端开路电压灵敏度。

1.2 频率响应：在整个使用频率范围内，至少有 3 个十倍频程的范围，自由场灵敏度级的不均匀性应不超过 ± 2 dB。

1.3 水听器应有明显的校准方向标记，在该方向 $\pm 3^\circ$ 范围内，灵敏度级或发送响应级的变化应不超过 ± 0.5 dB。

1.4 水听器不带前置放大器时，100 V 试验电压下的绝缘电阻应不小于 100 M Ω 。

2 100 kHz~1 MHz 测量水听器

2.1 自由场灵敏度级应不低于 -270 dB (0 dB = 1 V/ μ Pa)

注：见 1.1 的注。

2.2 频率响应：在整个使用频率范围内，至少有 $2\frac{1}{2}$ 倍频程的范围，自由场灵敏度级的不均匀性不超过 ± 4 dB，且频率每改变 100 kHz 时灵敏度级变化应不超过 ± 1 dB。

2.3 水听器应有明显的校准方向标记，要求同 1.3 的规定。

2.4 水听器不带前置放大器时，100 V 试验电压下的绝缘电阻应不小于 100 k Ω 。

3 当检定带前置放大器的水听器时，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，并应说明供电电压值。当供电电压波动不超过 $\pm 10\%$ 时，前置放大器增益变化应不超过 ± 0.1 dB。

二 检 定 条 件

4 测量水听器的检定采用自由场比较法。检定装置如图 1 所示：

5 自由场可以采用消声水池，开阔水域（如海洋、水库等）或在有限水域（如非消声水池）中采用正弦脉冲信号等方法获得。

在消声水池或开阔水域中采用正弦连续信号检定时，需事先检验检定区域的自由场特性与其理想自由场的偏差，其偏差应不超过 ± 0.5 dB。当使用脉冲正弦信号时，应满足附录 1 的要求。

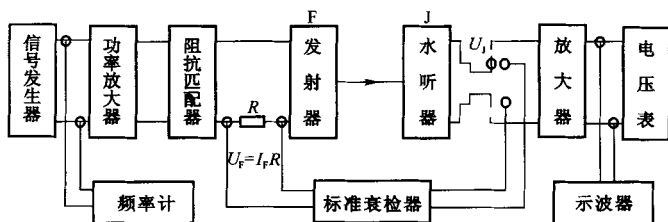


图 1

注：当使用正弦脉冲信号时，只要在图 1 装置中于信号发生器与功率放大器之间插入脉冲调制器即可。

6 发射换能器和水听器声中心之间的距离 d 应足够大，使水听器处于发射换能器的远场中并等效接收平面声波，即应满足公式 (1) 中的要求。

$$d \geq (a_1^2 + a_2^2) / \lambda, d > a_1, d > a_2 \quad (1)$$

式中： d ——发射换能器与水听器声中心之间距离，m；

a_1 ——发射换能器敏感元件的最大尺寸，m；

a_2 ——水听器敏感元件的最大尺寸，m；

λ ——检定频率对应的水中声波波长，m。

7 检定用仪器

对图 1 检定装置中各仪器的要求如下：

7.1 信号发生器的频率稳定度应优于 $\pm 0.2\% / \text{h}$ ；数字频率计的准确度应优于 $\pm 0.2\%$ ；

7.2 标准电阻 R 为精密小电阻，也可以是电流变换器，其电阻值要求小于发送换能器总阻抗分量的 1%，且不大于几个欧姆，其准确度应优于 $\pm 1\%$ ；

7.3 标准衰减器的准确度应优于 $\pm 0.2 \text{ dB}$ ；

7.4 放大器的输入阻抗应比水听器阻抗至少高 100 倍；

7.5 辅助声源应满足线性条件。非线性在检定所用电流范围内（或在与此电流相应的电压范围内）100 kHz 频率以下应不超过 $\pm 0.2 \text{ dB}$ ；100 kHz 频率以上应不超过 $\pm 0.5 \text{ dB}$ 。

7.6 标准水听器灵敏度级的不确定度：当频率低于 100 kHz 时优于 0.7 dB；当频率高于 100 kHz 时优于 1.5 dB。

8 检定环境条件

温度：5~35 ℃

气压：86.0~106.0 kPa

相对湿度：30%~90%

水温： 5~35℃。

三 检定项目和检定方法

9 在本检定规程中，采用与标准水听器或标准水声发射器比较的方法来检定测量水听器和测量用水声发射器。

10 检定应按下列程序进行：

10.1 检定前应将换能器表面擦洗干净，并在水中浸泡至少 1 h，使之表面湿润且不附有气泡。然后将其安置于检定深度状态下至少 30 min，使温度、压力呈平衡状态。

10.2 检定时所有换能器应以适当方式悬挂于检定水域的同一深度处。两个换能器的检定方向应相互对准，其角度偏差应不超过指向标记的 $\pm 3^\circ$ ，每对换能器声中心间的距离 d 应精确测量，测量误差应不超过 2%。当换能器用坐标支架固定时，应避免支架引起的声反射和振动的干扰影响。

10.3 检定时换能器间距离 d 在所检频段内应满足第 6 条和附录 1 中的相应要求和下列要求：

$$d > 2L^2/\lambda, d > 2L \quad (2)$$

式中： L ——换能器在垂直于声波振动传播方向上的最大尺寸，m；

λ ——检定频率对应的水中声波波长，m。

10.4 检定装置应注意正确接地。不要多点接地，以免引入电干扰和旁路电阻，如发现电干扰等问题应设法排除。

10.5 检定前将整个装置所用的电子仪器预热 20 min。

10.6 检定时信噪比应大于 20 dB。

11 自由场灵敏度的检定

检定测量水听器的自由场灵敏度的方法有 2 种：一是与标准水听器比较；一是与标准水声发射器比较。

11.1 与标准水听器比较检定

用此方法检定时，将发射器 (F)、标准水听器 (P) 和待检定的测量水听器 (X) 按图 2 所示排列，分别测量换能器对 (F—P)，(F—X) 的水听器开路电压 (U) 与输入发射器的电流 (I) 的比值模 (也称电转移阻抗) $|Z_{FP}|$ 和 $|Z_{FX}|$ ，则待检定水听器的自由场灵敏度 M_X 为：

$$M_X = (M_P \cdot |Z_{FX}| / |Z_{FP}|) \cdot (d_{FX}/d_{FP}) \quad (3)$$

式中： M_P ——标准水听器的自由场灵敏度，V/Pa；

d_{FX} ， d_{FP} ——发射器 (F) 和标准水听器 (P) 或待检定的测量水听器 (X) 的声中心间的距离，m。

若检定时，使 $d_{FX} = d_{FP}$ ， $I_F = I_P$ ，则式 (3) 成为：

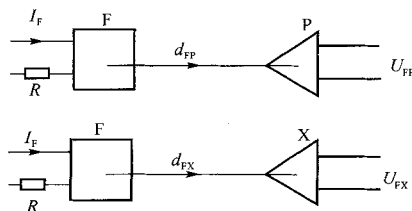


图 2

$$M_X = M_P \cdot (U_{FX}/U_{FP}) \quad (4)$$

式中：\$U_{FX}\$——待检定测量水听器的开路电压，V；

\$U_{FP}\$——标准水听器的开路电压，V。

11.2 与标准水声发射器比较：

按图 3 所示排列，测量由标准水声发射器 (F) 和待检定水听器 (X) 组成的换能器对 (F—X) 的电转移阻抗模 \$|Z_{FX}|\$，则可得到待检定的测量水听器的自由场灵敏度 \$M_X\$：

$$M_X = U_{FX} \cdot d / (I_F \cdot S_{IF}) = |Z_{FX}| \cdot d / S_{IF} \quad (5)$$

式中：\$|Z_{FX}| = U_{FX}/I_P\$；

\$U_{FX}\$——待检定水听器 (X) 的开路电压，V；

\$S_{IF}\$——标准水声发射器的发送电流响应，Pa·m/A；

\$d\$——标准水声发射器与待检定水听器的声中心间的距离，m；

\$I_P\$——输入标准水声发射器的电流，A；

\$R\$——标准电阻，\$\Omega\$。

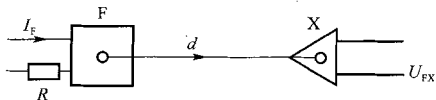


图 3

12 发送电流响应的检定

发射器 (X) 的发送电流响应 \$S_{IX}\$ 的检定，可按图 4 所示排列，测量发射器 (X) 和标准水听器 (P) 组成的换能器对 (X—P) 的电转移阻抗 \$|Z_{XP}|\$，则发射器 (X) 的发送电流响应 \$S_{IX}\$ 为：

$$S_{IX} = U_{XP} \cdot d / (I_X \cdot M_P) = |Z_{XP}| \cdot d / M_P \quad (6)$$

式中: $|Z_{PX}| = U_{PX}/I_X$

d ——待检定发射器和标准水听器的声中心间的距离, m;

M_P ——水听器的自由场灵敏度, V/Pa;

U_{XP} ——标准水听器的开路电压, V;

I_X ——输入待检定的发射器电流, A;

R ——标准电阻, Ω 。

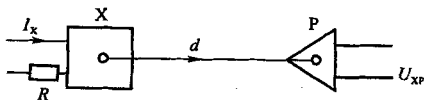


图 4

13 发送电压响应的检定

检定发射器发送电压响应 S_{VX} 时, 将待检定发射器 (X) 和标准水听器 (P) 按图 5 排列, 则

$$S_{VX} = (U_{XP}/U_X) \cdot (d/M_P) \quad (7)$$

式中: U_X ——加到发射器 (X) 输入端的电压, V;

U_{XP} ——标准水听器的开路电压, V;

d ——发射器和标准水听器的声中心间的距离, m;

M_P ——标准水听器的自由场灵敏度, V/Pa。



图 5

14 电转移阻抗值的测量和测量水听器检定的计算公式

按第 11, 12, 13 条测量需检频率上的电转移阻抗值, 当使用标准衰减器测量时, 测量使通过衰减器后的电压值与水听器的输出电压值指示相同时的衰减器的分贝值 α (所测值均以电缆末端为准), 则根据公式 (4), (5), (6), (7) 可得被检测量水听器的自由场灵敏度级 M_X (dB) 和测量用发射器的发射电流响应级 S_{IX} (dB), 以及发射电压响应级 S_{VX} (dB):

$$M_X = M_P + (\alpha_{FP} - \alpha_{FX}) \quad (8)$$

$$M_X = 20\log(d \cdot R) - \alpha_{PX} - S_{IP} \quad (9)$$

$$S_{IX} = 20\log(d \cdot R) - \alpha_{XP} - M_P \quad (10)$$

$$S_{VX} = 20\log d - \beta_{XP} - M_P \quad (11)$$

式中： M_P ——标准水听器的自由场灵敏度级，dB；

α_{FP} ——使输入到辅助声源 F 的电流 I'_F 在串联于辅助声源末端的标准电阻 R 上的电压降，通过衰减器后与标准水听器的输出电压 U_{FP} 的指示相同时的衰减器分贝值读数：

$$\alpha_{FP} = 20\log R - 20\log(U_{FP}/I'_F);$$

α_{FX} ——使输入到辅助声源 F 的电流 I'_F 在串联于辅助声源末端的标准电阻 R 上的电压降，通过衰减器后与被检水听器的输出电压 U_{FX} 的指示相同时的衰减器分贝值读数：

$$\alpha_{FX} = 20\log R - 20\log(U_{FX}/I'_F);$$

d ——标准水声发射器的有效声中心至被检件某参考点间距离，m；

R ——标准小电阻， Ω ；

α_{PX} ——使输入到标准水声发射器 P 上的电流 I_P 在标准电阻 R 上的电压降，通过衰减器后与被检水听器的输出电压 U_{FP} 的指示相同时的衰减器分贝值读数：

$$\alpha_{PX} = 20\log R - 20\log(U_{FP}/I_P);$$

S_{IP} ——标准水声发射器发送电流响应级；

α_{XP} ——使输入到被检测测量用标准水声发射器 X 上的电流 I_X 在标准电阻 R 上的电压降，通过衰减器后与标准水听器的输出电压 U_{XP} 的指示相同时的衰减器分贝值读数：

$$\alpha_{XP} = 20\log R - 20\log(U_{XP}/I_X);$$

β_{XP} ——使输入到被检测测量用水声发射换能器 X 上的电压 U_X ，通过衰减器后与标准水听器的输出电压 U_{XP} 的指示相同时的衰减器分贝值读数：

$$\beta_{XP} = 20\log(U_{XP}/U_X)$$

注：电转移阻抗亦可用如网络分析仪等类似的测量仪器直接测量，也可用数字程控系统来测量，要求测量电压、电流比的量值的准确度优于 ± 0.2 dB。

15 检定次数一般不应少于 6 次，每次检定前应将被检件重新对准方向及调节距离，然后进行检定，最后取平均值作为检定结果。若随机误差超过 ± 1.0 dB，则应对整个装置进行检查，排除产生较大误差的因素。

16 检定不确定度

测量水听器检定的合成不确定度，当频率低于 100 kHz 时小于 1.5 dB；高于 100 kHz 时小于 2.5 dB。

四 检定结果的处理和检定周期

- 17 按本规程要求检定合格的，发给检定证书；不合格的发给检定结果通知书。
- 18 检定周期为 1 年。

附录 1

脉冲声校准技术

当在非消声水池或其它有限水域中用脉冲正弦信号检定时, 为了达到相当于连续信号校准的结果, 对换能器的放置、脉冲宽度、脉冲重复周期以及测试设备的带宽等应同时满足以下各项要求。

1 为使检定声场等效于自由声场, 即使由边界来的反射声与直达声分开, 则脉冲宽度 τ 应满足:

$$\tau < s/c \quad (1.1)$$

式中: s ——第一个反射声与直达声间的声程差, m;

c ——声波在水中传播的速度, m/s。

2 为使脉冲声技术测试相当于连续信号测试, 要求脉冲声波作用于换能器的时间足以使换能器各部分之间完成相互作用, 则脉冲宽度 τ 应满足:

$$\tau > 2l'/c \quad (1.2)$$

式中: l' ——沿声波传播方向上水听器的尺寸, m;

c ——声波在水中传播的速度, m/s。

3 脉冲宽度应足够大, 使换能器达稳态条件, 特别是当换能器共振时, 欲使脉冲声测试达到稳定值的 96% 以上, 即与连续信号测试相比, 实测值不小于理论值的 0.4 dB, 则脉冲宽度 τ 应满足:

$$\tau > Q_m/f_0 \quad (1.3)$$

式中: Q_m ——换能器的机械品质因数;

f_0 ——换能器的共振频率, Hz。

4 为避免换能器之间的反射, 应有

$$\tau < 2d/c \quad (1.4)$$

式中: d ——两换能器之间的距离, m;

c ——声波在水中传播的速度, m/s。

5 为使水池引起的混响不影响测试结果, 则要求当接收到下一个直达声脉冲前所有的反射声应衰减到直达声的 40 dB 以下, 即对测试的影响不大于 0.1 dB, 则脉冲的重复周期 T 应满足:

$$T > (2/3) \cdot T_{60} \quad (1.5)$$

式中： T_{60} ——水池的混响时间，s。

6 为保证脉冲信号在测试过程中不发生畸变，则测试设备（如放大器、滤波器、换能器等）的带宽 Δf (Hz) 应满足：

$$\Delta f > 2/\tau \quad (1.6)$$

式中： τ ——脉冲宽度，s。

附录 2

灵敏度(响应)级与灵敏度(响应)换算表

下表为水听器的自由场灵敏度级与自由场灵敏度,或发射器的发送电流(或电压)响应级与发送电流(或电压)响应的换算表。表中的数值单位,对于自由场灵敏度 M 为微伏每帕 ($\mu\text{V}/\text{Pa}$),对于发送电流响应 S_I 为帕米每安 ($\text{Pa}\cdot\text{m}/\text{A}$),对于发送电压响应 S_V 为帕米每伏 ($\text{Pa}\cdot\text{m}/\text{V}$)。当灵敏度(或响应)级每增加 20 dB,其相应的灵敏度(或响应)则增加 10 倍。例如:自由场灵敏度级 $M = -211.3$ dB,则 $M = 27.2 \mu\text{V}/\text{Pa}$;若 $M = -191.3$ dB (增加 20 dB),则 $M = 272 \mu\text{V}/\text{Pa}$ (增加 10 倍)。同样,发送电流响应级 $S_I = 148.7$ dB,则 $S_I = 27.2 \text{ Pa}\cdot\text{m}/\text{A}$;若 $S_I = 168.7$ dB (增加 20 dB),则 $S_I = 272 \text{ Pa}\cdot\text{m}/\text{A}$ (增加 10 倍)。

M/dB	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
-200	100.0	98.9	97.7	96.6	95.5	94.4	93.3	92.3	91.2	90.2	89.1	159
-201	89.1	88.1	87.1	86.1	85.1	84.1	83.2	82.2	81.3	80.4	79.4	158
-202	79.4	78.5	77.6	76.7	75.9	75.0	74.1	73.3	72.4	71.6	70.8	157
-203	70.8	70.0	69.2	68.4	67.6	66.8	66.1	65.3	64.6	63.8	63.1	156
-204	63.1	62.4	61.7	61.0	60.3	59.6	58.9	58.2	57.6	56.9	56.2	155
-205	56.2	55.6	55.0	54.3	53.7	53.1	52.5	51.9	51.3	50.7	50.1	154
-206	50.1	49.6	49.0	48.4	47.9	47.3	46.8	46.2	45.7	45.2	44.7	153
-207	44.7	44.2	43.7	43.2	42.7	42.2	41.7	41.2	40.7	40.3	39.8	152
-208	39.8	39.4	38.9	38.5	38.0	37.6	37.2	36.7	36.3	35.9	35.5	151
-209	35.5	35.1	34.7	34.3	33.9	33.5	33.1	32.7	32.4	32.0	31.6	150
-210	31.6	31.1	30.9	30.6	30.2	29.9	29.5	29.2	28.8	28.5	28.2	149
-211	28.2	27.9	27.6	27.2	26.9	26.6	26.3	26.0	25.7	25.4	25.1	148
-212	25.1	24.8	24.5	24.3	24.0	23.7	23.4	23.2	22.9	22.6	22.4	147
-213	22.4	22.1	21.9	21.6	21.4	21.1	20.9	20.7	20.4	20.2	20.0	146
-214	20.0	19.7	19.5	19.3	19.1	18.8	18.6	18.4	18.2	18.0	17.8	145
-215	17.8	17.6	17.4	17.2	17.0	16.8	16.6	16.4	16.2	16.0	15.9	144
-216	15.9	15.7	15.5	15.3	15.1	14.9	14.8	14.6	14.5	14.3	14.1	143
-217	14.1	14.0	13.8	13.7	13.5	13.3	13.2	13.0	12.9	12.7	12.6	142
-218	12.6	12.5	12.3	12.2	12.0	11.9	11.7	11.6	11.5	11.4	11.2	141
-219	11.2	11.1	11.0	10.8	10.7	10.6	10.5	10.4	10.2	10.1	10.0	140
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	S/dB

注:灵敏度(或响应)“级”的基准值分别: $M_r = 1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$; $S_{Ir} = 1 \mu\text{Pa}\cdot\text{m}/\text{A}$; $S_{Vr} = 1 \mu\text{Pa}\cdot\text{m}/\text{V}$

附录 3

检定证书格式 (背面)

_____ m 电缆末端处的水听器自由场灵敏度级 M ($0 \text{ dB} = 1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$), 发送电流响应级 ($0 \text{ dB} = 1 \mu\text{Pa} \cdot \text{m}/\text{A}$), 发送电压响应级 ($0 \text{ dB} = 1 \mu\text{Pa} \cdot \text{m}/\text{V}$) 的频率响应:

频率 f/kHz	自由场灵敏度级 M/dB	发送电流响应级 S_I/dB	发送电压响应级 S_V/dB

检定条件: 水温: _____ $^{\circ}\text{C}$;

室温: _____ $^{\circ}\text{C}$;

水深: _____ m;

气压: _____ kPa;

相对湿度: _____ %

备注: