



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 1056—2010

高静水压下 20 Hz~3.15 kHz 标准水听器 (耦合腔互易法)

Standard Hydrophones in the Frequency Range 20 Hz to 3.15 kHz
under High Hydrostatic Pressure (Acoustic Coupler Reciprocity Method)

2010-03-02 发布

2010-06-02 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

高静水压下 20 Hz~3.15 kHz

标准水听器

(耦合腔互易法) 检定规程

JJG 1056—2010

Verification Regulation of Standard

Hydrophones in the Frequency Range

20 Hz to 3.15 kHz under High Hydrostatic

Pressure (Acoustic Coupler Reciprocity Method)

本规程经国家质量监督检验检疫总局于 2010 年 3 月 2 日批准，并自 2010 年 6 月 2 日起施行。

归口单位：全国声学计量技术委员会

起草单位：中国船舶重工集团公司第七一五研究所

本规程委托全国声学计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

赵 涵（中国船舶重工集团公司第七一五研究所）

费 腾（中国船舶重工集团公司第七一五研究所）

陆渭林（中国船舶重工集团公司第七一五研究所）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(2)
5 计量性能要求	(2)
5.1 工作正常性	(2)
5.2 声压灵敏度级	(2)
6 通用技术要求	(2)
6.1 通用要求	(2)
6.2 材料和结构	(2)
6.3 标志和出厂资料	(3)
7 计量器具控制	(3)
7.1 检定条件	(3)
7.2 检定项目	(5)
7.3 检定方法	(5)
7.4 检定结果的处理	(9)
7.5 检定周期	(9)
附录 A 检定证书和检定结果通知书的内页格式	(10)
附录 B 测量不确定度评定实例	(12)

高静水压下 20 Hz~3.15 kHz 标准水听器 (耦合腔互易法) 检定规程

本规程参考采用国际电工委员会 IEC 60565 Ed. 2; 2006 《水声 水听器 0.01 Hz~1 MHz 频率范围的校准》中的耦合腔互易法校准。

1 范围

本规程适用于静水压 0.1 MPa~10 MPa、频率 20 Hz~3.15 kHz 范围内使用的耐高静水压标准水听器(以下简称标准水听器)的首次检定、后续检定和使用中的检验。

2 引用文献

本规程引用下列文献:

GB/T 3102.7—1993 声学的量和单位

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 4128—1995 声学 标准水听器

GJB 1726—1993 高静压下低频一级标准水听器检定规程

JJF 1001—1998 通用计量术语及定义

JJF 1034—2005 声学计量名词术语及定义

JJF 1059—1999 测量不确定度评定与表示

IEC 60565 Ed. 2; 2006 Underwater acoustics—Hydrophones—Calibration in the frequency range 0.01 Hz to 1 MHz (水声 水听器 0.01 Hz~1 MHz 频率范围的校准)

使用本规程时,应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

3.1 水听器开路电压 open-circuit voltage at hydrophone

当水听器输出端没有电流通过时,在该端呈现的电压。

单位:伏[特],V。

3.2 水听器声压灵敏度 pressure sensitivity of a hydrophone

水听器的输出电压与作用在水听器接收面上的实际声压的比值。

符号: M_p 。

单位:伏每帕,V/Pa。

3.3 声压灵敏度级 pressure sensitivity level

水听器声压灵敏度 M_p 的平方与参考声压灵敏度 M_{ref} 的平方之比的以 10 为底对数乘以 10。

符号: M 。

单位：分贝，dB。

注：

1. 通常 $M_{ref}=1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$ 。

2. 在远离标准水听器谐振频率的低频，声压灵敏度级近似等于其自由场 [电压] 灵敏度级。

3.4 [声] 耦合腔 [acoustic] coupler

能够插入换能器和水听器的密闭、充液、刚性、小尺寸的腔体。

4 概述

标准水听器用于检定测量水听器并测量水中声压。标准水听器由压电或其他换能材料的敏感元件及相应结构、前置放大器等组成，在声波作用下能产生与作用声压值成正比的开路电压值。

5 计量性能要求

5.1 工作正常性

5.1.1 对不带前置放大器的标准水听器，在电缆端测得的绝缘电阻应大于 $100 \text{ M}\Omega$ （测试电压 100 V ），测得的电容值与使用说明书中提供的数值相差不应超过 $\pm 20\%$ 。

5.1.2 对带前置放大器的标准水听器，当振动信号作用到水听器敏感元件时，电缆端应有相应的电压输出。

5.2 声压灵敏度级

在参考频率 1 kHz 时，标准水听器的声压灵敏度级应不低于 -210.0 dB ，与标称值的最大允许误差不应超过 $\pm 2.0 \text{ dB}$ 。（参考值： $1 \text{ V}/\mu\text{Pa}$ ）。

5.2.1 声压灵敏度级随频率变化的响应起伏

在给定静水压下，标准水听器检定频率范围内的声压灵敏度级起伏（最大值和最小值之差）不应超过 4.0 dB 。

注：检定频率一般按 $1/3$ 倍频程选取。

5.2.2 声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏

在给定频率下，标准水听器检定静水压范围内的声压灵敏度级起伏（最大值和最小值之差）不应超过 4.0 dB 。

6 通用技术要求

6.1 通用要求

6.1.1 标准水听器的特性和构造应适合于在液体媒质温度 $5 \text{ }^\circ\text{C} \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ 、静水压力 $0.1 \text{ MPa} \sim 10 \text{ MPa}$ 的环境条件下进行测量。

6.1.2 标准水听器的表面应是光滑的、非多孔性的和能被水浸润的。

6.1.3 标准水听器应具有足够的声刚性（即具有很高的声阻抗）。

6.2 材料和结构

6.2.1 标准水听器暴露于水中的所有部件均应采用耐腐蚀的材料制作，其材料和结构

应保证具有长期的使用稳定性。

6.2.2 高阻抗的敏感元件应有静电屏蔽，静电屏蔽应与电缆的屏蔽连接，并与暴露于水中的金属外壳绝缘；带前置放大器的标准水听器暴露于水中的金属外壳应与电缆的屏蔽连接。

6.3 标志和出厂资料

6.3.1 标准水听器应具有以下清晰而持久的标志：

- 1) 制造商的名称；
- 2) 型号和序列号。

6.3.2 每只标准水听器应附有单独的出厂资料。出厂资料应包括标准水听器最大耐静水压值、声压灵敏度级频率响应以及信号线、地线和屏蔽线的说明。带前置放大器的标准水听器还应有供电线的标记，并说明供电电压值。

6.3.3 非供操作者使用的部件，应采用密封或标记的方法加以保护，以免影响标准水听器的准确度。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中的检验。

7.1 检定条件

7.1.1 环境条件

室温： $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

耦合腔内液体媒质温度： $5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

相对湿度： $30\%\sim 90\%$ ；

静水压力： $0.1\text{ MPa}\sim 10\text{ MPa}$ 。

7.1.2 计量标准器及主要配套设备

7.1.2.1 计量标准器

在本规程规定的工作频率内，计量标准器的功能、性能要求如下：

1) 信号发生器：应具有频率、幅度都可以独立调节的正弦信号输出通道；频率示值误差不应超过 $\pm 0.5\%$ ；最大输出电压不低于 10 V 峰值，电压示值误差不应超过 $\pm 1\%$ ；

2) 电流取样器：电流取样值的最大允许误差不应超过 $\pm 2\%$ ；

3) 前置放大器：输入阻抗应大于标准水听器电阻抗的 100 倍，增益误差不应超过 $\pm 0.1\text{ dB}$ ；

4) 滤波器：带通滤波，带外衰减斜度不应小于 48 dB/oct ；

5) 数字电压表：交流电压测量最大允许误差不应超过 $\pm 0.1\%$ ；

6) 测量放大器：放大倍数不低于 40 dB ，放大倍数的非线性不应超过 $\pm 0.1\text{ dB}$ 。

7) 量筒：容积 500 mL ，容积测量最大允许误差不应超过满量程的 $\pm 1\%$ 。

7.1.2.2 主要配套设备

在本规程规定的工作频率内，主要配套设备的功能、性能要求如下：

1) 辅助换能器：包括发射换能器和互易换能器，辅助换能器应耐 10 MPa 静水压、具有声刚性、压力稳定性和线性特性，在检定频率范围内，辅助换能器可以在耦合腔内建立信噪比不低于 30 dB 的声场；在工作的动态范围内，其发射线性误差不应超过 ± 0.1 dB，互易换能器的互易性误差不应超过 ± 0.1 dB。

2) 功率放大器：输出阻抗与发射换能器阻抗相匹配，输出波形总失真 (THD+N) 不应超过 $\pm 2\%$ ；

3) 电子开关：通道间的串扰应小于 -80 dB；

4) 示波器：垂直偏转系数误差不应超过 $\pm 2\%$ ，扫描时间系数误差不应超过 $\pm 2\%$ ，扫描线性误差不应超过 $\pm 2\%$ ；

5) 液体加压设备：加压范围 0.1 MPa~10 MPa，压力测量最大允许误差不应超过 $\pm 5\%$ ；

6) 兆欧表：测试电压 100 V，绝缘电阻测量最大允许误差不应超过 $\pm 10\%$ ；

7) 电容表：电容值测量范围不应小于 100 μF ；电容测量最大允许误差不应超过 $\pm 5\%$ ；

8) 温度计：温度测量范围不应小于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，温度测量最大允许误差不应超过 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；

9) 卷尺：长度不小于 20 m，长度测量的最大允许误差不应超过 ± 1 cm；

7.1.3 耦合腔

1) 耦合腔腔体的几何形状通常为圆柱形，其示意图如图 1 所示。腔体的边界具有声刚性，腔体壁厚 (t) 不应小于内半径 (r)，腔体长度 (l) 和直径 ($2r$) 小于腔内液体中被检上限频率对应的声波波长的十分之一。在检定频率范围内，耦合腔中声压随声场位置的变化不应超过 ± 0.3 dB；

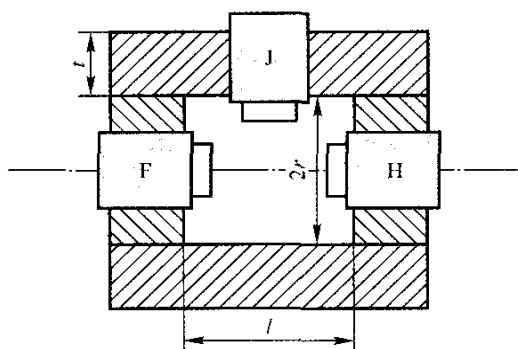


图 1 耦合腔示意图

F 发射换能器；J—标准水听器；H—互易换能器

2) 耦合腔应与周围机械设备作隔振处理，耦合腔的结构采取有效的隔振措施，避免发射换能器的振动通过结构直接耦合至互易换能器或标准水听器；

3) 腔中充满蒸馏水或其他液体媒质，腔的结构应便于排尽腔内残余空气。

7.2 检定项目

标准水听器的首次检定、后续检定和使用中检验项目见表 1。

表 1 标准水听器的首次检定、后续检定和使用中检验项目一览表

项 目		首次检定	后续检定	使用中检验
外观检查		+	+	+
工作正常性	绝缘电阻	+	+	+
	电容	+	+	+
	信号检验	+	+	+
声压灵敏度级		+	+	+
声压灵敏度级随频率变化的响应起伏		+	+	-
声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏		+	+	-

注：

1. 带前置放大器的标准水听器不检绝缘电阻和电容，不带前置放大器的标准水听器不作信号检验。

2. “+”表示需检项目，“-”表示不需检项目。

7.3 检定方法

7.3.1 外观检查

标准水听器应具有清晰的标志，包括制造商的名称、型号和序列号等。外观应完好，无影响正常工作的机械损伤等。

出厂资料应符合 6.3.2 的要求。

7.3.2 工作正常性

将不带前置放大器的标准水听器敏感元件部分置于水中，用兆欧表测量标准水听器电缆末端的绝缘电阻值，用电容表测量标准水听器的电缆末端的电容值，结果应符合 5.1.1 的要求。

将标准水听器的电缆末端接到示波器上，用手轻轻敲击标准水听器的敏感元件部分，观察示波器上的电压显示，结果应符合 5.1.2 的要求。

7.3.3 声压灵敏度级

7.3.3.1 检定装置

耦合腔互易法检定装置组成框图如图 2 所示。当 F 发射 J 接收时，断开 H 与前置放大器 2 的连线；当 H 发射 J 接收时，断开 F 与电流取样器的连线，H 与电流取样器按图中虚线进行连线，并断开 H 与前置放大器 2 的连线；当 F 发射 H 接收时，断开 J 与前置放大器 1 的连线，H 与前置放大器 2 连接。

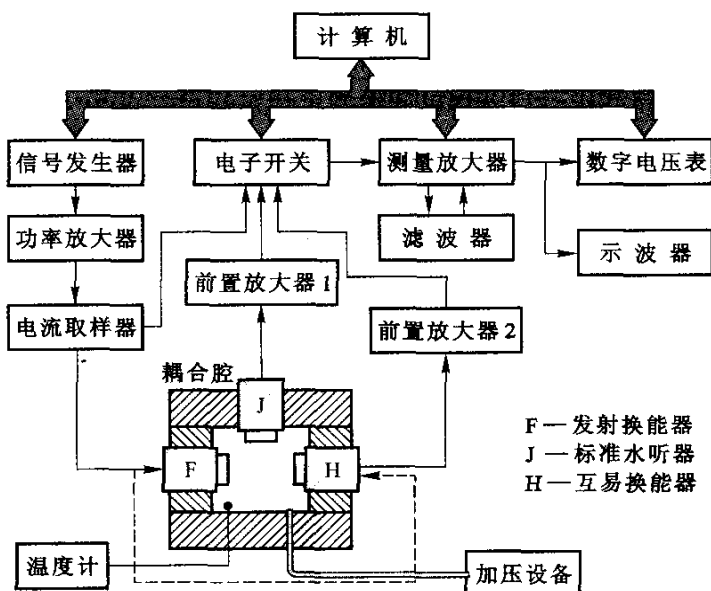


图2 耦合腔互易法检定装置组成框图

7.3.3.2 检定步骤

1) 检定前作如下准备:

a) 用卷尺测量标准水听器的电缆长度;

b) 在耦合腔上安装发射换能器和互易换能器, 用量筒和无水乙醇精确测量耦合腔的腔体体积 V_1 和标准水听器的体积 V_2 , 按照公式 (1) 计算腔体内液体媒质的体积 V :

$$V = V_1 - V_2 \quad (1)$$

c) 耦合腔加满蒸馏水或其他液体媒质, 浸泡至少 1 h, 使腔内的发射换能器、互易换能器与液体媒质充分浸润;

d) 使用对橡胶和金属无腐蚀作用的洗涤剂擦洗其表面, 在检定所用液体媒质中浸泡 1 h 后; 将标准水听器安装在耦合腔内, 其外形尺寸和结构应与腔体上安装孔的尺寸和结构相一致;

e) 安装完毕后, 排除腔体内部的气泡;

f) 除气完成后, 用加压设备加压, 使耦合腔内的静水压力达到检定所需的工作压力, 并保压 1 h, 使腔体内部达到压力平衡;

g) 必要时, 可对发射换能器和互易换能器进行检查, 其结果应符合 7.1.2.2 中第 1) 条的要求。

2) 按图 2 所示连接各测量仪器、耦合腔各部分及标准水听器;

3) 开启所有仪器设备, 并预热 15 min;

4) 把功率放大器的放大量调到适宜值;

5) 在有、无信号发射时, 用数字电压表或示波器测量信号与背景干扰的大小, 信噪比不应小于 30 dB;

6) 将检定装置的工作频率设置到 500 Hz，选择功率放大器的匹配挡，把放大量调到适宜值，标准水听器的输出波形应无明显畸变；

7) 选择测量的频率和静水压值；

8) 按图 3 所示的流程图进行电转移阻抗模值的测量，当程控仪器调至面板控制状态时也可进行人工手动逐点测量；

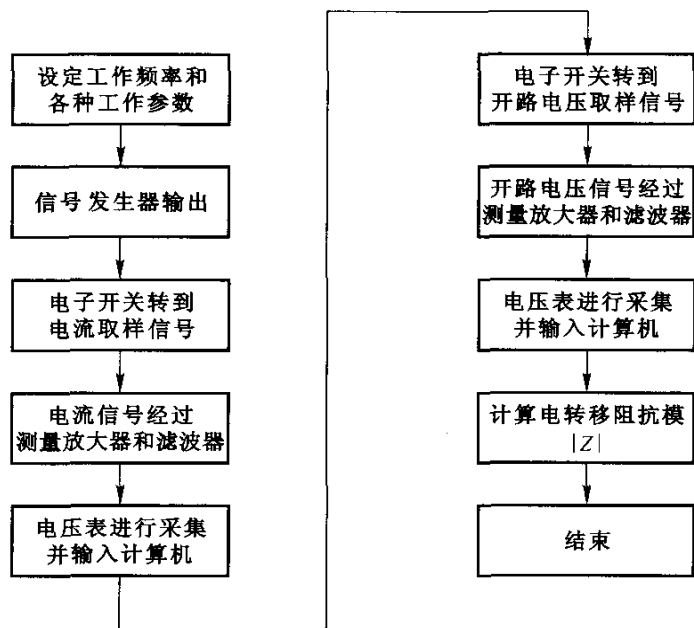


图 3 电转移阻抗模值测量流程图

9) 按图 4 所示的电转移阻抗模值测量流程，分别测量 FH、HJ、FJ 换能器对的激励电流和开路电压，按公式 (2)、(3)、(4) 计算，可得到三个换能器对的电转移阻抗模值。

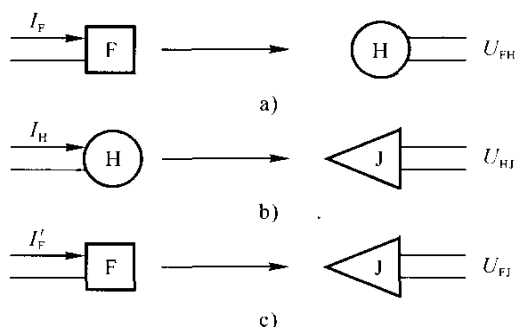


图 4 耦合腔互易法检定方法原理图

第一步：按图 4a) 所示，F 发射 H 接收，测量 H 的开路电压与 F 的激励电流，FH 换能器对的电转移阻抗模按公式 (2) 计算：

$$|Z_{FH}| = \frac{U_{FH}}{I_F} \quad (2)$$

式中： $|Z_{FH}|$ ——FH 换能器对的电转移阻抗模， Ω ；

U_{FH} ——F 与 H 组合时 H 的开路电压，V；

I_F ——F 与 H 组合时 F 的激励电流，A。

第二步：按图 4b) 所示，H 发射 J 接收，测量 J 的开路电压与 H 的激励电流，HJ 换能器对的电转移阻抗模按公式 (3) 计算：

$$|Z_{HJ}| = \frac{U_{HJ}}{I_H} \quad (3)$$

式中： $|Z_{HJ}|$ ——HJ 换能器对的电转移阻抗模， Ω ；

U_{HJ} ——H 与 J 组合时 J 的开路电压，V；

I_H ——H 与 J 组合时 H 的激励电流，A。

第三步：按图 4c) 所示，F 发射 J 接收，测量 J 的开路电压与 F 的激励电流，FJ 换能器对的电转移阻抗模按公式 (4) 计算。

$$|Z_{FJ}| = \frac{U_{FJ}}{I'_F} \quad (4)$$

式中： $|Z_{FJ}|$ ——FJ 换能器对的电转移阻抗模， Ω ；

U_{FJ} ——F 与 J 组合时 J 的开路电压，V；

I'_F ——F 与 J 组合时 F 的激励电流，A。

10) 将测得的三个电转移阻抗模代入公式 (5) 计算标准水听器的声压灵敏度级：

$$M = 10 \lg |Z_{FJ}| + 10 \lg |Z_{HJ}| - 10 \lg |Z_{FH}| + 10 \lg J_0 - 120 \quad (5)$$

式中： M ——标准水听器的声压灵敏度级，dB；

J_0 ——耦合腔互易常数，按公式 (6) 计算， $\text{m}^3 / (\text{s} \cdot \text{Pa})$ 。

$$J_0 = \omega C_a \quad (6)$$

式中： ω ——角频率， $\omega = 2\pi f$ ， f 为频率，Hz；

C_a ——耦合腔中液体媒质的声顺， m^3 / Pa 。

若耦合腔和换能器的声阻抗远大于腔内液体媒质的声阻抗，且腔内无释压材料，液体媒质的声顺按公式 (7) 计算。

$$C_a = \frac{V}{\rho c^2} \quad (7)$$

式中： V ——液体媒质的体积， m^3 ；

ρ ——液体媒质的密度， kg / m^3 ；

c ——液体媒质的声速， m / s 。

若检定时取 $I_F = I'_F$ 时，则公式 (5) 可转化为公式 (8)。

$$M = 10 \lg U_{FJ} + 10 \lg U_{HJ} - 10 \lg U_{FH} - 10 \lg I_H + 10 \lg J_0 - 120 \quad (8)$$

11) 记录有关测量数据，并根据公式 (5) 或公式 (8) 计算声压灵敏度级，结果应符合 5.2 的要求。

7.3.4 声压灵敏度级随频率变化的响应起伏

声压灵敏度级随频率变化的响应起伏的检定装置和检定方法与声压灵敏度级相同，改变信号源频率，重复 7.3.3.2 的步骤 9) 和 10) 进行测量。

在给定静水压下，声压灵敏度级随频率变化的响应起伏由各检定频率点上的声压灵敏度级构成，计算各频率下声压灵敏度级最大最小值之差，结果应符合 5.2.1 的要求。

7.3.5 声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏

声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏的检定装置和检定方法与声压灵敏度级相同，改变静水压值，稳定 30 min 后，重复 7.3.3.2 的步骤 9) 和 10) 进行测量。

在给定频率下，声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏由各检定静水压力下的声压灵敏度级构成，计算各静水压力下声压灵敏度级最大最小值之差，结果应符合 5.2.2 的要求。

7.4 检定结果的处理

经检定合格的标准水听器发给检定证书；检定不合格的标准水听器发给检定结果通知书，并注明不合格的项目，检定证书和检定结果通知书的内页格式见附录 A 中的 A.1、A.2。

7.5 检定周期

标准水听器的检定周期不应超过 1 年。

附录 A

检定证书和检定结果通知书的内页格式

A.1 检定证书内页格式

检 定 结 果	共 页	第 页	
前置放大器供电电压：_____ V 电缆长度：_____ m			
一、外观检查：			
二、工作正常性			
绝缘电阻 (100 V)：_____ MΩ			
电容量：_____ pF			
信号检验：_____			
三、声压灵敏度级：_____ dB (f=1 kHz)			
四、声压灵敏度级随频率变化的响应起伏 (参考值：1 V/μPa)：			
静水压力：_____ MPa			
频率 /Hz	灵敏度级 /dB	频率 /Hz	灵敏度级 /dB
声压灵敏度级随频率变化的响应起伏：_____ dB			
五、声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏 (参考值：1 V/μPa)：			
频率：_____ Hz			
静水压力 /MPa	灵敏度级 /dB	静水压力 /MPa	灵敏度级 /dB
声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏：_____ dB			
检定环境条件：			
室 温：_____ °C 相对湿度：_____ % 耦合腔内液体介质温度：_____ °C			
检定依据：JJG 1056—2010 高静水压下 20 Hz~3.15 kHz 标准水听器 (耦合腔互易法)			
检定规程			
使用标准装置名称：			
说明：			

A.2 检定结果通知书内页格式

检 定 结 果		共 页	第 页
前置放大器供电电压：_____ V		电缆长度：_____ m	
一、外观检查：			
二、工作正常性			
绝缘电阻 (100 V)：_____ MΩ		电容量：_____ pF	
信号检验：_____			
三、声压灵敏度级：_____ dB ($f=1$ kHz)			
四、声压灵敏度级随频率变化的响应起伏 (参考值：1 V/μPa)：			
静水压力：_____ MPa			
频率 /Hz	灵敏度级 /dB	频率 /Hz	灵敏度级 /dB
声压灵敏度级随频率变化的响应起伏：_____ dB			
五、声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏 (参考值：1 V/μPa)：			
频率：_____ Hz			
静水压力 /MPa	灵敏度级 /dB	静水压力 /MPa	灵敏度级 /dB
声压灵敏度级随静水压力变化的响应起伏：_____ dB			
检定环境条件：			
室 温：_____ °C 相对湿度：_____ % 耦合腔内液体媒质温度：_____ °C			
检定依据：JJG 1056—2010 高静水压下 20 Hz~3.15 kHz 标准水听器 (耦合腔互易法)			
检定规程			
使用标准装置名称：			
对不能继续进行检定的项目的说明：(不合格的项目)			

附录 B

测量不确定度评定实例

B.1 引言

标准水听器的主要计量性能为声压灵敏度级，以下对其测量结果进行不确定度评定。

B.2 声压灵敏度测量的不确定度评定

B.2.1 数学模型

考虑 $J_0 = 2\pi fV/\rho c^2$ ，声压灵敏度级可转化为 (B.1) 式：

$$M = 10 \lg U_{FJ} + 10 \lg U_{HJ} - 10 \lg U_{FH} - 10 \lg I + 10 \lg f + 10 \lg V - 10 \lg \rho - 20 \lg c - 112 \quad (\text{B.1})$$

式中： M ——声压灵敏度级，dB；

U_{FJ} ——F 与 J 组合时 J 的开路电压，V；

U_{HJ} ——H 与 J 组合时 J 的开路电压，V；

U_{FH} ——F 与 H 组合时 H 的开路电压，V；

f ——测量频率，Hz；

I ——测量 U_{FJ} 、 U_{HJ} 、 U_{FH} 时的激励电流，A；

V ——腔内媒质的体积， m^3 ；

ρ ——腔内媒质的密度， kg/m^3 ；

c ——腔内媒质的声速， m/s 。

B.2.2 灵敏系数

由式 (B.1) 可求得声压灵敏度级不确定度的灵敏系数为：

$$c(U) = \frac{\partial M}{\partial (U)} = \frac{10}{U} \lg e$$

$$c(I) = \frac{\partial M}{\partial (I)} = -\frac{10}{I} \lg e$$

$$c(V) = \frac{\partial M}{\partial (V)} = \frac{10}{V} \lg e$$

B.2.3 标准不确定度的 A 类评定

A 类标准不确定度主要来源于测量的重复性，在相同测量条件下对声压灵敏度重复测量 6 次（静水压力 10 MPa），得到的结果如表 B.1 所示。

由表 B.1 可知，测量重复性最大偏差发生在 1 250 Hz，该频率下的测量原始数据见表 B.2。

测量重复性所引入的不确定度分量为：

$$u_A = 0.13 \text{ dB}$$

表 B.1 声压灵敏度的测量数据

f/Hz	M_1/dB	M_2/dB	M_3/dB	M_4/dB	M_5/dB	M_6/dB	M_{avr}/dB	s_n/dB
20	-197.73	-197.37	-197.46	-197.46	-197.42	-197.45	-197.48	0.13
25	-197.67	-197.66	-197.50	-197.45	-197.40	-197.45	-197.52	0.12
31.5	-197.71	-197.66	-197.50	-197.45	-197.41	-197.44	-197.53	0.13
40	-197.69	-197.66	-197.50	-197.44	-197.39	-197.44	-197.52	0.13
63	-197.69	-197.65	-197.49	-197.43	-197.41	-197.43	-197.52	0.12
80	-197.69	-197.65	-197.49	-197.43	-197.42	-197.43	-197.52	0.12
100	-197.68	-197.65	-197.48	-197.43	-197.40	-197.43	-197.51	0.12
125	-197.67	-197.64	-197.48	-197.42	-197.40	-197.43	-197.51	0.12
160	-197.67	-197.64	-197.48	-197.42	-197.39	-197.43	-197.51	0.12
200	-197.66	-197.63	-197.48	-197.42	-197.39	-197.43	-197.50	0.12
250	-197.65	-197.62	-197.47	-197.42	-197.37	-197.43	-197.49	0.11
315	-197.64	-197.62	-197.47	-197.41	-197.38	-197.41	-197.49	0.11
400	-197.64	-197.62	-197.46	-197.41	-197.37	-197.41	-197.49	0.12
500	-197.64	-197.62	-197.47	-197.41	-197.39	-197.42	-197.49	0.11
630	-197.66	-197.64	-197.47	-197.42	-197.38	-197.42	-197.50	0.12
800	-197.70	-197.68	-197.48	-197.43	-197.53	-197.43	-197.54	0.12
1 000	-197.58	-197.57	-197.49	-197.43	-197.40	-197.44	-197.49	0.08
1 250	-197.77	-197.75	-197.56	-197.51	-197.49	-197.52	-197.60	0.13
1 600	-197.79	-197.79	-197.66	-197.59	-197.57	-197.61	-197.67	0.10
2 000	-197.25	-197.24	-197.15	-197.08	-197.10	-197.35	-197.20	0.10
2 500	-197.59	-197.57	-197.70	-197.64	-197.64	-197.67	-197.64	0.05
3 150	-197.85	-197.84	-198.02	-197.99	-198.06	-198.13	-197.98	0.12

表 B.2 测量频率为 1 250 Hz 时原始测量数据

序号	U_{FJ}/mV	U_{HJ}/mV	U_{FH}/mV	I/mA	V/mV
1	61.58	166.10	61.65	12.55	274
2	61.66	164.27	60.97	12.58	275
3	61.44	166.10	61.65	12.62	273
4	61.58	165.19	61.31	12.45	272
5	61.36	166.10	61.65	12.51	271
6	61.81	164.27	60.97	12.53	273
平均值	61.57	165.34	61.36	12.54	273

B.2.4 标准不确定度的 B 类评定

声压灵敏度的 B 类不确定度主要来源于：

1) 耦合腔内声场的不均匀引入的不确定度分量

耦合腔内声场的不均匀性不应超过 ± 0.30 dB，以正态分布考虑，取 $k=1.96$ ，则耦合腔内声场的不均匀引入的不确定度分量为：

$$u_{B1} = 0.3/1.96 = 0.153 \text{ dB}。$$

2) 互易换能器的互易性偏差引入的不确定度分量

互易换能器的互易性偏差不应超过 ± 0.10 dB，以均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则互易换能器的互易性偏差引入的不确定度分量为：

$$u_{B2} = 0.10/\sqrt{3} = 0.058 \text{ dB}。$$

3) 电压读数误差引入的不确定度分量

数字电压表的示值误差不应超过 $\pm 1.0\%$ ，由表 B.2 可知，以 U_{F1} 为例，数字电压表示值算术平均值为 61.57 mV，则绝对误差为 ± 0.616 mV，以均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则数字电压表示值误差引入的不确定度分量为：

$$u_{B3} = 0.616/\sqrt{3} = 0.356 \text{ mV}。$$

4) 电流测量误差引入的不确定度分量

电流测量的误差不应超过 $\pm 2.0\%$ ，由表 B.2 可知，电流取样示值的算术平均值为 12.54 mA，则绝对误差为 ± 0.251 mA，以均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则电流取样器引入的不确定度分量为：

$$u_{B4} = 0.251/\sqrt{3} = 0.145 \text{ mA}。$$

5) 信号发生器频率指示误差引入的不确定度认为可忽略不计。

6) 腔中液体体积测量误差引入的不确定度分量

腔中液体体积测量误差不应超过 $\pm 1.0\%$ ，由表 B.2 可知，腔中液体体积测量值的算术平均值为 273 mL，则绝对误差为 ± 2.73 mL，以正态分布考虑，取 $k=1.96$ ，则腔中液体体积测量误差引入的不确定度分量为：

$$u_{B5} = 2.73/1.96 = 1.393 \text{ mL}。$$

7) 腔中液体声速值引用误差引入的不确定度分量

腔中液体声速值引用误差不应超过 ± 0.15 dB，以均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则腔中液体声速值测量误差引入的不确定度分量为：

$$u_{B6} = 0.15/\sqrt{3} = 0.087 \text{ dB}。$$

8) 液体密度值引用误差引入的不确定度分量

液体密度值引用误差不应超过 ± 0.1 dB，以均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则液体密度值引用误差引入的不确定度分量为：

$$u_{B7} = 0.10/\sqrt{3} = 0.058 \text{ dB}。$$

B.2.5 合成标准不确定度

根据灵敏系数公式及表 B.2 可求出灵敏系数为：

$$c(U) = \frac{10}{U} \lg e = \frac{10}{61.57} \times 0.434 = 0.070 \text{ dB/mV}$$

$$c(I) = -\frac{10}{I} \lg e = -\frac{10}{12.54} \times 0.434 = -0.346 \text{ dB/mA}$$

$$c(V) = \frac{10}{V} \lg e = \frac{10}{273} \times 0.434 = 0.016 \text{ dB/mL}$$

根据 u_{B3} 的计算方法，电压 U_{FJ} 测量的不确定度分量 $u_{u_{FJ}}$ 可由公式 (B.2) 计算：

$$u_{u_{FJ}} = c(U_{FJ}) \cdot u(U_{FJ}) = \frac{10}{U_{FJ}} \lg e \cdot \frac{U_{FJ} \cdot 1\%}{\sqrt{3}} = 0.0577 \cdot \lg e = 0.025 \text{ dB} \quad (\text{B.2})$$

同理， $u_{u_{FH}} = u_{u_{HI}} = u_{u_{FJ}} = 0.025 \text{ dB}$

$$u_{u_I} = c(I) \cdot u_{B4} = -0.346 \times 0.145 = -0.050 \text{ dB}$$

$$u_{u_V} = c(V) \cdot u_{B5} = 0.016 \times 1.393 = 0.022 \text{ dB}$$

测量过程中，各不确定度分量间独立无关，按照公式 (B.1) 可得 B 类不确定度的传递公式，计算得总的 B 类标准不确定度分量为：

按照公式 (B.1) 可计算得总的 B 类标准不确定度分量为：

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{u_{FJ}}^2 + u_{u_{FH}}^2 + u_{u_{HI}}^2 + u_{u_I}^2 + u_{u_V}^2 + u_{B6}^2 + u_{B7}^2} \\ &= \sqrt{0.153^2 + 0.058^2 + 3 \times 0.025^2 + (-0.050)^2 + 0.022^2 + 0.087^2 + 0.058^2} \\ &= 0.207 \text{ dB} \end{aligned}$$

计入 A 类不确定度分量后，可得声压灵敏度的合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_B^2 + u_A^2} = 0.245 \text{ dB} \approx 0.25 \text{ dB}$$

B.2.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则声压灵敏度测量的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.5 \text{ dB}$$

B.2.7 结论

分析的扩展不确定度： $U=0.5 \text{ dB}=5.9\%$ ，被检标准水听器的误差要求： 2.0 dB (20.6%)。

$$\frac{5.9\%}{20.6\%} \approx 0.286 < \frac{1}{3}$$

故检定可行。

中华人民共和国
国家计量检定规程
高静水压下 20 Hz~3.15 kHz 标准水听器
(耦合腔互易法)
JJG 1056—2010
国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲 2 号
邮政编码 100013
电话(010)64275360
<http://www.zgjl.com.cn>
北京市迪鑫印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
版权所有 不得翻印

*

880 mm×1230 mm 16 开本 印张 1.25 字数 22 千字
2010 年 4 月第 1 版 2010 年 4 月第 1 次印刷
印数 1—1 000
统一书号 155026—2486 定价:26.00 元