



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 482—2005

实验室标准传声器 (自由场互易法)

Laboratory Standard Microphones
(Free – field Reciprocity Method)

2005 – 10 – 09 发布

2006 – 04 – 09 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

实验室标准传声器 (自由场互易法) 检定规程

**Verification Regulation of
Laboratory Standard Microphones
(Free – field Reciprocity Method)**

JJG 482—2005
代替 JJG 482—1987

本规程经国家质量监督检验检疫总局 2005 年 10 月 9 日批准，并自 2006 年 4 月 9 日起实施。

归口单位： 全国声学计量技术委员会

起草单位： 中国测试技术研究院

南京大学声学研究所

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：

蒲志强 （中国测试技术研究院）

郝豫川 （中国测试技术研究院）

赵其昌 （南京大学声学研究所）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 实验室标准传声器	(1)
3.2 互易传声器	(1)
3.3 传声器声中心	(1)
3.4 电转移阻抗	(2)
3.5 声转移阻抗	(2)
4 概述	(2)
5 计量性能要求	(2)
5.1 声压灵敏度级	(2)
5.2 自由场灵敏度级频率响应	(2)
5.3 自由场灵敏度级的变化量	(2)
6 通用技术要求	(2)
6.1 标志	(2)
6.2 校准资料	(2)
7 计量器具控制	(3)
7.1 检定项目	(3)
7.2 检定条件	(3)
7.3 检定方法	(4)
7.4 检定结果的处理	(7)
7.5 检定周期	(7)
附录 A 传声器的声中心位置	(8)
附录 B 空气衰减系数	(9)
附录 C 测量结果不确定度评定实例	(11)
附录 D 检定证书和检定结果通知书内页格式	(15)

实验室标准传声器（自由场互易法）检定规程

本规程依据国际电工委员会 IEC 61094-3: 1995 《测量传声器 第3部分：用互易技术进行实验室标准传声器自由场校准的原级方法》对 JJG 482—1987《标准电容传声器（自由场互易法）》进行修订。

1 范围

本规程适用于 LS1P 实验室标准传声器（以下简称传声器）的首次检定、后续检定和使用中的检验。

2 引用文献

本规程引用以下文献：

JJF 1034—2005《声学计量名词及定义》

JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》

JJG 175—1998《测试电容传声器》

JJG 176—2005《声校准器》

GB/T 3102.7—1993《声学的量和单位》

IEC 60655: 1979 “Values for the difference between free - field and pressure sensitivity for one - inch standard condenser microphones”

IEC 61094 - 1: 2000 “Measurement microphones - Part1: Specification for laboratory standard microphones”

IEC 61094 - 3: 1995 “Measurement microphone - Part3: Primary method for free - field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique”

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

本规程采用 GB/T 3102.7 - 1993 中规定的量和单位以及 JJF 1034—2005 中规定的相关术语和定义。根据本规程需要，引用 IEC 61094 - 1: 2000 和 IEC 61094 - 3: 1995 中的以下术语和定义。

3.1 实验室标准传声器 (laboratory standard microphone)

能够用原级方法（如密闭耦合腔互易法）校准到很高准确度，其机械尺寸和电声性能（特别是时间稳定性和环境条件影响）有严格的要求的电容传声器。

3.2 互易传声器 (reciprocal microphone)

线性、无源、可逆并满足互易原理的传声器。

3.3 传声器声中心 (acoustic centre of a microphone)

声中心是在发射传声器上或附近的一点，对已知频率和传播方向的正弦波，在离发射传声器一定距离的观测点附近的小范围内，声波近似为以该点发出的球面发散波。

3.4 电转移阻抗 (electrical transfer impedance)

对由两只声耦合传声器构成的系统,接收传声器的开路电压与发射传声器电端的输入电流之比。单位为欧姆 (Ω)。

3.5 声转移阻抗 (acoustic transfer impedance)

对由两只声耦合传声器构成的系统,作用于接收传声器膜片上的声压与发射传声器短路体积速度之比。单位为帕·秒每立方米 ($\text{Pa}\cdot\text{s}/\text{m}^3$)。

4 概述

实验室标准传声器是一种靠电容量变化而起声电换能作用的换能器,是声学计量的重要器具。传声器的自由场互易校准是指利用三只传声器,其中至少两只为互易传声器,通过对它们两两配对的接收灵敏度与发射灵敏度之比的测量,实现传声器自由场灵敏度的校准(非互易传声器只能用作声接收器)。

5 计量性能要求

5.1 声压灵敏度级

在频率为 200Hz 到 1000Hz,以 1V/Pa 为 0 dB 时,传声器的声压灵敏度级为 (-26 ± 2) dB。

5.2 自由场灵敏度级频率响应

在 (1250 ~ 8000) Hz 频率范围,传声器的自由场灵敏度级与相应频率点处修正因子(见表 1)之差不均匀度不大于 2 dB。

表 1 LS1P 类型传声器修正因子 (单位: dB)

入射角	频率/kHz												
	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15	4.0	5.0	6.3	8	10	12.5	16.0	20
0°	0.5	0.7	1.0	1.6	2.4	3.6	5.0	6.9	8.5	9.2	8.8	7.5	6.2
90°	0.1	0	0.1	0.2	0.4	0.8	1.1	1.6	1.6	0.3	-2.5	-	-

5.3 自由场灵敏度级的变化量

两次周期检定所得传声器自由场灵敏度级的变化应小于 0.3 dB。

6 通用技术要求

6.1 标志

传声器应具有以下清晰而耐久的标志:

- a) 制造商名称或商标;
- b) 产品的型号;
- c) 产品的序列号。

6.2 校准资料

每只传声器应附有单独的出厂校准数据资料。校准资料应包括传声器的灵敏度级,

正常工作所需的极化电压以及气压、温度和相对湿度修正系数等。

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 检定项目

传声器检定项目见表 2。

表 2 检定项目一览表

项 目	首次检定	后续检定	使用中的检验
外观检查	+	+	+
校准资料	+	-	-
声压灵敏度级	+	+	+
自由场灵敏度级频率响应	+	+	-
自由场灵敏度级的变化量	-	+	-

注：“+”表示需检项目，“-”表示不需检项目。

7.2 检定条件

7.2.1 计量标准和主要配套设备

a) 参考用实验室标准传声器

作为检定中的参考传声器，应满足 IEC 61094 - 1: 2000 对实验室标准传声器的规定。

b) 声校准器

声校准器的准确度应符合 JJG 176—2005 中规定的 1S 级或 1 级。

c) 声频信号发生器

在检定的频率范围内，频率最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ ，总谐波失真不大于 0.5%。

d) 测量放大器

在检定的频率范围内，频率响应优于 ± 0.2 dB，检定期间的稳定度优于 ± 0.02 dB。

e) 带通滤波器

在检定的频率范围内，满足 JJG 449—2001 对 1 级滤波器的要求。

f) 精密交流电阻箱

在检定的频率范围内误差应优于 $\pm 0.2\%$ 。

g) 数字电压表

最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ （交流电压），输入阻抗应大于 $1\text{M}\Omega$ 。

h) 前置放大器

应具有插入电压校准功能。噪声小于 $3\mu\text{V}$ （A 计权），在检定的频率范围内，频率响应优于 $\pm 0.2\text{dB}$ 。

i) 自由声场

在 $1\text{kHz} \sim 20\text{kHz}$ 频率范围内，工作区内自由场偏离应小于 0.1dB。信噪比应大于

30dB。

j) 接地屏蔽参考结构

发射、接收传声器的接地屏蔽结构应满足 IEC 61094-1: 2000 的要求。

k) 交流电阻箱

在检定的频率范围内的误差应优于 $\pm 1.0\%$ 。

l) 气压计

在检定环境条件内, 气压计的最大允许误差为 $\pm 0.1\%$ 。

m) 温度计

在检定环境条件内, 温度计的最大允许误差为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 。

n) 湿度计

在检定环境条件内, 湿度计的最大允许误差为 $\pm 4\% \text{RH}$ 。

o) 游标卡尺

在 $(0 \sim 500) \text{ mm}$ 测量范围内的最大允许误差为 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 。

7.2.2 检定环境条件

温 度: $(20 \sim 26)^\circ\text{C}$;

相对湿度: $(35 \sim 75)\%$;

气 压: $(94 \sim 103) \text{ kPa}$ 。

7.3 检定方法

7.3.1 外观检查

传声器应具有明确的标志 (包括型号, 序号等), 应无任何机械损伤或变形, 膜片应无污迹。

7.3.2 校准资料

传声器首次检定时应检查其出厂校准资料是否包含 6.2 条所规定的内容。

7.3.3 声压灵敏度级

声压灵敏度级的检定, 主要是初步确定传声器的灵敏度级指标是否合格。检定装置如图 1 所示:

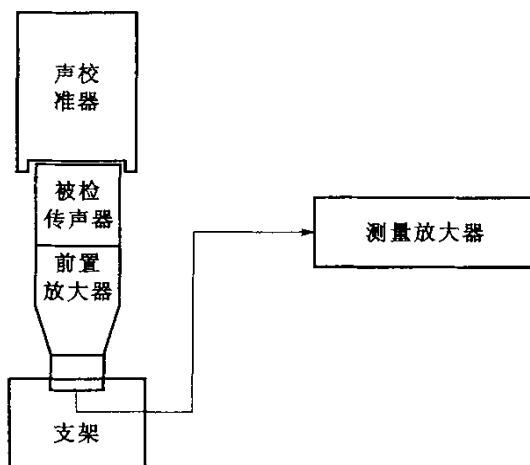


图 1 声压灵敏度级测量装置方框图

a) 调节测量放大器, 使其“前置放大器输入”和“直接输入”的灵敏度完全相同。

b) 如图 1 所示, 将被检传声器与声校准器的腔体紧密耦合, 从测量放大器表头读取声压级示值并记录, 然后改变传声器与声校准器相对位置重新耦合读数, 重复 3 次求出声压级的平均值 L_{piv} 。

c) 传声器的声压灵敏度级由式 (1) 给出 (单位 dB):

$$L_{\text{px}} = -26 - (L_{\text{pc}} + \Delta K + \Delta P - L_{\text{piv}}) + \Delta\beta \quad (1)$$

式中: L_{px} ——被检传声器的声压灵敏度级, dB;

L_{pc} ——声校准器的声压级, dB;

L_{piv} ——测得声压级的平均值, dB;

ΔK ——声校准器的气压修正值, dB;

$\Delta\beta$ ——前置放大器的传输损失, dB;

ΔP ——腔体积修正量, dB。

注: ΔK , $\Delta\beta$ 和 ΔP 的计算参见规程 JJG 175—1998《测试电容传声器》。

检验所得被检传声器的声压灵敏度级是否满足 5.1 条的规定。

7.3.4 自由场灵敏度级频率响应

7.3.4.1 自由场灵敏度测量原理

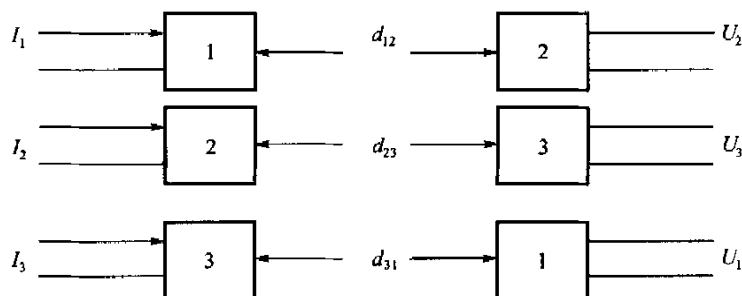


图 2 三只互易传声器自由场互易校准原理图

本方法将 3 只互易传声器 (其中至少有一只自由场灵敏度已知的实验室标准传声器用作参考传声器) 按图 2 所示两两交替置于自由声场中进行声耦合, 根据互易原理和公式推导, 传声器的平面自由场灵敏度为

$$M_{f,1} = \left(\frac{2 d_{12} d_{31}}{\rho f d_{23}} \frac{Z_{e,12} Z_{e,31}}{Z_{e,23}} e^{a(d_{12} + d_{31} - d_{23})} \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$M_{f,2} = \left(\frac{2 d_{12} d_{23}}{\rho f d_{31}} \frac{Z_{e,12} Z_{e,23}}{Z_{e,31}} e^{a(d_{12} + d_{23} - d_{31})} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$M_{f,3} = \left(\frac{2 d_{23} d_{31}}{\rho f d_{12}} \frac{Z_{e,23} Z_{e,31}}{Z_{e,12}} e^{a(d_{23} + d_{31} - d_{12})} \right)^{1/2} \quad (4)$$

其中: $Z_{e,12} = U_2/I_1$; $Z_{e,23} = U_3/I_2$; $Z_{e,31} = U_1/I_3$ 为电转移阻抗。

式中: d_{12} , d_{23} , d_{31} ——两传声器声中心间距, m;

ρ ——空气密度, kg/m^3 ;

f ——频率, Hz ;

α ——空气衰减系数;

I_1 、 I_2 、 I_3 ——传声器 1、2、3 作发送时的电流;

U_1 、 U_2 、 U_3 ——传声器 1、2、3 作接收时的开路输出电压。

传声器的自由场灵敏度可通过测量以上公式中的参量后计算得到。利用插入电压技术(插入电阻或电容),测量其电转移阻抗,或直接测量电压电流比等参数后,计算出传声器的自由场灵敏度级。

7.3.4.2 电转移阻抗的测量

电转移阻抗测量原理方框图见图 3。

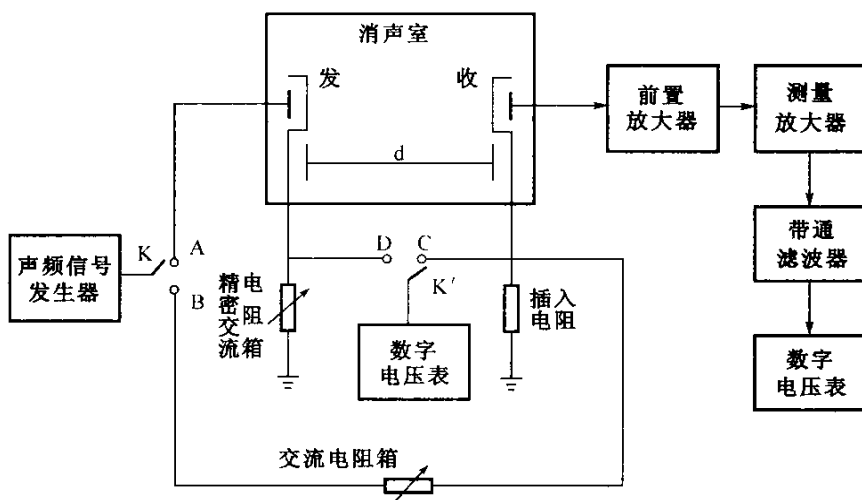


图 3 电转移阻抗测量原理方框图

测量前将声学测试系统按规定时间预热,调节支架系统在水平和垂直方向的偏离,使其小于 3 mm。测量按具体步骤如下:

a) 首先将分别作发送和接受的传声器 1 和 2 安装在支架上,精确测量两传声器的声中心的距离 d_{12} ,传声器的声中心值可以查阅图表(见附录 A)。

b) 将开关 K 接到 A,在待校准频率由音频信号发生器供给发送传声器一定电压(使传声器发送信号的失真度小于 10%)时,读取接收传声器在数字电压表上的示值 V_1 。

c) 保持音频信号发出器输出电压不变,再将开关 K 接到 B。调节交流变阻箱,使数字电压表上的示值与 V_1 相同,此时将开关 K' 接到 C,在电压表上得示值 V_2 。

d) 再将开关 K 接到 A,开关 K' 接到 D,调节精密交流电阻箱,使电压表上的示值与 V_2 相同,这时精密交流电阻箱上的示值 R_{12} 为

$$R_{12} = \frac{U_2}{I_1} = Z_{e,12} \quad (5)$$

交换传声器，重复以上步骤可得：

$$R_{31} = \frac{U_1}{I_3} = Z_{e,31} \quad (6)$$

$$R_{23} = \frac{U_3}{I_2} = Z_{e,23} \quad (7)$$

7.3.4.3 自由场灵敏度级的计算

测出三个电转移阻抗后，在 $d_{23} = d_{31} = d_{12} = d$ 的条件下，可按下面公式计算三只传声器在频率为 f 时的自由场开路灵敏度级：

$$L_{f,1} = 10\lg \frac{2d}{\rho f} + 10\lg R_{12} + 10\lg R_{31} - 10\lg R_{23} + \frac{1}{2} \Delta_A d \quad (8)$$

$$L_{f,2} = 10\lg \frac{2d}{\rho f} + 10\lg R_{23} + 10\lg R_{12} - 10\lg R_{31} + \frac{1}{2} \Delta_A d \quad (9)$$

$$L_{f,3} = 10\lg \frac{2d}{\rho f} + 10\lg R_{31} + 10\lg R_{23} - 10\lg R_{12} + \frac{1}{2} \Delta_A d \quad (10)$$

$\Delta_A = 8.686\alpha$ 是空气衰减系数，可直接查表或通过公式计算得出（见附录 B）。

查验引入的参考传声器灵敏度级的计算结果与标准值之差应小于等于其测量结果不确定度 0.2dB，若满足，测量数据有效；否则测量数据无效，需重新测量。同时应考虑被检传声器是否完全具备互易特性。

按 7.3.4.2 和 7.3.4.3 中的步骤至少重复 6 次，可得到 3 只传声器在频率为 f 时的自由场灵敏度级的平均值。

7.3.4.4 自由场灵敏度级频率响应

改变频率，按 7.3.4.2 和 7.3.4.3 依次测量并计算出 1.25 kHz、1.6 kHz、2 kHz、2.5 kHz、3.15 kHz、4 kHz、5 kHz、6.3 kHz、8 kHz、10 kHz、12.5 kHz、16 kHz 和 20 kHz 频率点的自由场灵敏度级，由此得到传声器的自由场灵敏度级频率响应。

计算验证 LS1P 类型传声器在 1.25 kHz、1.6 kHz、2 kHz、2.5 kHz、3.15 kHz、4 kHz、5 kHz、6.3 kHz、8 kHz 频率点的自由场灵敏度级应符合 5.2 的规定。

7.3.5 自由场灵敏度级的变化量

将本次测量所得自由场灵敏度级与上一周期的自由场灵敏度级测量结果相比较，其变化应符合 5.3 条的要求。

7.4 检定结果的处理

经检定合格的传声器发给检定证书；检定不合格的传声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 D。

7.5 检定周期

传声器的检定周期一般不超过 2 年。

附录 A

传声器的声中心位置

根据定义，声中心取决于方位、频率以及观测点到换能器的距离。对于足够远的观测点，膜片的几何中心即可作为声中心。但在互易校准中，一般的校准距离为 150mm 到 600mm，在这种情况下，应利用下述图表提供的数据（应用于 LS1P 传声器）。数据表明在传声器参考主轴上，声中心的位置是频率的函数。以膜片的几何中心为参考，正号表示声中心位于膜片的前方。图表中的数据的不确定度在传声器共振频率以下小于 2mm。

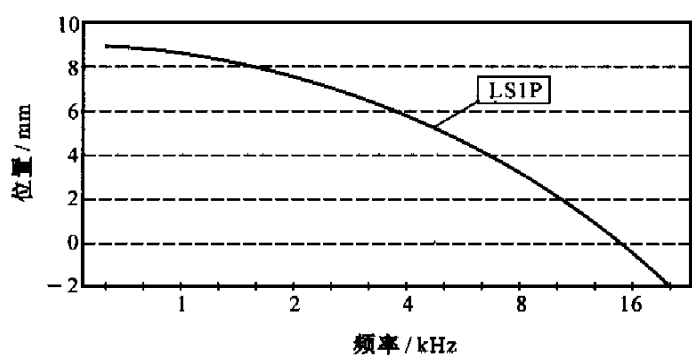


图 A.1 LS1P 传声器垂直入射相对于膜片的声中心位置的估评值，参见表 A.1

表 A.1 LS1P 传声器垂直入射相对于膜片的声中心位置的估评值

频率/kHz	0.63	0.8	1.0	1.25	1.6	2.0	2.5	3.15
声中心位置/mm	9.0	8.9	8.7	8.4	8.0	7.5	7.0	6.4
频率/kHz	4.0	5.0	6.3	8.0	10.0	12.5	16.0	20.0
声中心位置/mm	5.7	5.0	4.2	3.3	2.2	0.9	-0.4	-1.9

附录 B

空气衰减系数

IEC 61094-3 附录 B 提供了作为频率、温度、气压和相对湿度的函数的空气衰减系数的计算方法。

表 B.1 给出了计算所得的实验室一般环境条件下自由场互易校准的声压空气衰减系数。

表中数据为 Δ_A ，以分贝/米表示，即为 8.686α 。

表 B.1 声压空气衰减系数 (dB/m)

f/kHz	$t = 21^\circ\text{C}, p_a = 101.325 \text{ kPa}$			$t = 23^\circ\text{C}, p_a = 101.325 \text{ kPa}$			$t = 25^\circ\text{C}, p_a = 101.325 \text{ kPa}$		
	$H = 25\%$	$H = 50\%$	$H = 80\%$	$H = 25\%$	$H = 50\%$	$H = 80\%$	$H = 25\%$	$H = 50\%$	$H = 80\%$
1.0	0.0054	0.0048	0.0054	0.0054	0.0052	0.0059	0.0054	0.0057	0.0063
1.25	0.0075	0.0059	0.0063	0.0072	0.0062	0.0069	0.0070	0.0067	0.0076
1.6	0.0111	0.0075	0.0077	0.0104	0.0078	0.0083	0.0099	0.0082	0.0091
2.0	0.0162	0.0099	0.0093	0.0149	0.0099	0.0099	0.0140	0.0102	0.0107
2.5	0.0240	0.0134	0.0116	0.0220	0.0132	0.0121	0.0203	0.0132	0.0129
3.15	0.0365	0.0192	0.0153	0.0332	0.0184	0.0155	0.0304	0.0180	0.0161
4.0	0.0565	0.0287	0.0212	0.0514	0.0271	0.0210	0.0469	0.0259	0.0212
5.0	0.0846	0.0426	0.0299	0.0773	0.0397	0.0291	0.0706	0.0374	0.0287
6.3	0.1267	0.0649	0.0441	0.1170	0.0601	0.0421	0.1076	0.0561	0.0407
8.0	0.1882	0.1010	0.0673	0.1767	0.0933	0.0635	0.1645	0.0866	0.0605
10.0	0.2643	0.1527	0.1013	0.2539	0.1411	0.0949	0.2405	0.1308	0.0896
12.5	0.3578	0.2292	0.1535	0.3537	0.2131	0.1434	0.3429	0.1980	0.1347
16.0	0.4771	0.3541	0.2435	0.4885	0.3327	0.2275	0.4889	0.3115	0.2132
20.0	0.5929	0.5139	0.3682	0.6266	0.4901	0.3452	0.6468	0.4641	0.3240
25.0	0.7123	0.7256	0.5514	0.7737	0.7061	0.5207	0.8224	0.6794	0.4910
31.5	0.8421	1.0019	0.8244	0.9332	0.9998	0.7876	1.0166	0.9828	0.7491
40.0	0.9947	1.3445	1.2191	1.1136	1.3795	1.1847	1.2326	1.3915	1.1419
50.0	1.1758	1.7135	1.7083	1.3157	1.8007	1.6930	1.4636	1.8612	1.6594

在下列条件范围内，计算出的空气衰减系数的误差估计值为 $\pm 10\%$ 。

——空气温度

-20℃ ~ +50℃

——大气压	小于 200 kPa
——水蒸汽的摩尔分数	$0.5 \times 10^{-3} \sim 50 \times 10^{-3}$
——频率压力比率	$0.4 \text{ Hz/kPa} \sim 10^4 \text{ Hz/kPa}$

若求表 B.1 条件以外的空气衰减系数, 可用下列公式计算:

$$\alpha = f^2 \left[18.4 \times 10^{-12} \left(\frac{p_s}{p_{s,r}} \right)^{-1} \left(\frac{T}{T_{20}} \right)^{\frac{1}{2}} + \left(\frac{T}{T_{20}} \right)^{-\frac{5}{2}} \left(0.01275 \frac{\exp(-2239.1/T)}{f_{r0} + (f^2/f_{r0})} + 0.1068 \frac{\exp(-3352.0/T)}{f_{rN} + (f^2/f_{rN})} \right) \right]$$

其中有:

$$h = \frac{H}{100} \left(\frac{p_m}{p_{s,r}} \right) \left(\frac{p_s}{p_s} \right), \quad \frac{p_m}{p_{s,r}} = 10 \left[4.6151 - 6.8346 \left(\frac{T_{01}}{T} \right)^{1.261} \right]$$

$$f_{r0} = \left(\frac{p_s}{p_{s,r}} \right) \left[24 + 4.04 \times 10^5 h \left(\frac{0.2 + 10^3 h}{3.91 + 10^3 h} \right) \right]$$

$$f_{rN} = \left(\frac{p_s}{p_{s,r}} \right) \left(\frac{T}{T_{20}} \right)^{-\frac{1}{2}} \left[9 + 2.8 \times 10^3 h \exp \left(-4.170 \left(\left(\frac{T}{T_{20}} \right)^{-1/3} - 1 \right) \right) \right]$$

式中: $T_{20} = 293.15 \text{ K}$;

$T_{01} = 273.16 \text{ K}$;

T ——热力学温度, K;

p_s ——大气气压, kPa;

p_m ——水饱和蒸汽压, kPa;

$p_{s,r}$ ——标准大气压, kPa;

H ——相对湿度, %;

h ——水蒸汽的摩尔分数;

f ——频率, Hz;

f_{r0} ——氧弛豫频率, Hz;

f_{rN} ——氮弛豫频率, Hz。

附录 C

测量结果不确定度评定实例

实验室标准传声器的测量即为对灵敏度级的测量。下面以灵敏度级测量中不确定度分量的来源和评定作一分析。

C.1 数学模型

根据本规程的测量方法, 实验室标准传声器灵敏度级通过 6 次平均获得, 即

$$L = \sum_{i=1}^6 L_i / 6$$

其测量的不确定度按 A 类进行评定。

而灵敏度级的测量是通过电转移阻抗的测量而获得。其计算公式如下:

$$L_{f,1} = 10 \lg \frac{2d}{\rho f} + 10 \lg R_{12} + 10 \lg R_{31} - 10 \lg R_{23} + \frac{1}{2} \Delta_A d \quad (\text{C.1})$$

即:

$$L_{f,1} = 10 \lg 2d - 10 \lg \rho f + 10 \lg R_{12} + 10 \lg R_{31} - 10 \lg R_{23} + \frac{1}{2} \Delta_A d \quad (\text{C.2})$$

显然, 电阻、距离和空气密度的测量的不确定度是灵敏度级的测量不确定度的部分来源。另外自由场的偏离、平面波偏离、声中心间距修正等也构成对灵敏度级的测量不确定度的影响。归纳为十二项, 除第一项以外, 均为 B 类评定, 如下所示:

ΔL_i ——算术平均值作为测量值;

ΔR ——电阻测量;

Δd ——距离测量;

$\Delta \rho$ ——空气密度测量;

ΔE ——极化电压修正;

$\Delta \alpha$ ——空气衰减修正;

ΔM ——声中心间距修正;

ΔB ——平面波偏离修正;

ΔF ——自由场偏离修正;

ΔS ——信噪比修正;

ΔC ——信号串音修正;

ΔZ ——支架偏离修正。

C.2 合成标准不确定度公式及灵敏系数

根据合成标准不确定度公式, 即公式 (C.3), 以及公式 (C.2) 可得出五项的灵敏系数:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) \quad (\text{C.3})$$

$$c_1 = \frac{\partial F}{\partial d} = \frac{10}{d \ln 10} + \frac{1}{2} \Delta_A$$

$$c_2 = \frac{\partial F}{\partial \rho} = \frac{10}{\rho \ln 10}$$
$$c_3 = \frac{\partial F}{\partial R_{12}} = \frac{10}{R_{12} \ln 10}$$
$$c_4 = \frac{\partial F}{\partial R_{31}} = \frac{10}{R_{31} \ln 10}$$
$$c_5 = \frac{\partial F}{\partial R_{23}} = \frac{10}{R_{23} \ln 10}$$

C.3 标准不确定度一览表

标准不确定度见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度一览表

序号	标准不确定度				
	符号	数值/dB	来源	自由度	数值
1	$u_L (L)$	0.022	平均值的标准偏差；重复性	ν_1	5
2	$u_{\Delta R} (L)$	0.012	电阻测量；量化	ν_2	200
3	$u_{\Delta d} (L)$	0.031	距离测量；量化	ν_3	200
4	$u_{\Delta \rho} (L)$	0.006	空气密度；量化	ν_4	50
5	$u_{\Delta E} (L)$	0.03	极化电压修正	ν_5	50
6	$u_{\Delta \alpha} (L)$	0.02	空气衰减修正	ν_6	50
7	$u_{\Delta M} (L)$	0.03	声中心间距修正	ν_7	50
8	$u_{\Delta B} (L)$	0.03	平面波偏离修正	ν_8	50
9	$u_{\Delta F} (L)$	0.058	自由场偏离修正	ν_9	50
10	$u_{\Delta S} (L)$	0.03	信噪比修正	ν_{10}	50
11	$u_{\Delta C} (L)$	0.005	信号串音修正	ν_{11}	50
12	$u_{\Delta Z} (L)$	0.03	支架偏离修正	ν_{12}	50

C.4 标准不确定度的计算

C.4.1 算术平均值作为测量值引入的标准不确定度

下面为 6 次灵敏度级的测量结果 (dB)

1	2	3	4	5	6	L_{av}
- 31.12	- 31.14	- 31.23	- 31.17	- 31.14	- 31.08	- 31.15

平均值为 $L_{av} = - 31.15\text{dB}$

根据贝塞尔公式，单次测量标准差：

$$s(L_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (L_i - L_{av})^2} = 0.054$$

平均值标准差:

$$s(L_{av}) = s(L_i) / \sqrt{n} = 0.022$$

于是, $u_{L_i}(L) = s(L_{av}) = 0.022 \text{ dB}$; 自由度 $\nu_1 = n - 1 = 5$

C.4.2 电阻量化引入的标准不确定度

精密电阻箱的误差优于 $\pm 0.2\%$, 按 $\pm 0.2\%$ 计算, 引入电阻误差为 $\pm 0.2\% R$, 半宽为 $0.2\% R$ 。按均匀分布作 B 类评定, 根据 C.2 计算出的灵敏系数, 则一次电阻值测量引入的不确定度为

$$u_{\Delta R_1} = \frac{c_3 \times 0.2\% R}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3} R_{12} \ln 10} \times 0.2\% R$$

因 $R_{12} \approx R_{23} \approx R_{31} \approx R$, 故 $u_{\Delta R_1} = \frac{10}{\sqrt{3} \ln 10} \times 0.2\% \approx 0.005 \text{ dB}$

一次灵敏度级的测量包含了 3 次电阻值的测量, 同理可得第二次和第三次电阻值测量引入的不确定度为

$$u_{\Delta R_2} \approx 0.005 \text{ dB}, u_{\Delta R_3} \approx 0.005 \text{ dB}$$

因 3 次电阻值测量两两部分相关, 根据测量原理可推导其相关系数为 $r = 0.5$, 所以因电阻测量引入的标准不确定度为

$$\begin{aligned} u_{\Delta R}(L) &= \sqrt{u_{\Delta R_1}^2 + u_{\Delta R_2}^2 + u_{\Delta R_3}^2 + 2u_{\Delta R_1}^2 u_{\Delta R_2}^2 r + 2u_{\Delta R_2}^2 u_{\Delta R_3}^2 r + 2u_{\Delta R_3}^2 u_{\Delta R_1}^2 r} \\ &\approx \sqrt{6} \times 0.005 = 0.012 \text{ dB} \end{aligned}$$

取不可靠度为 5%, 其自由度为

$$\nu_2 = \frac{1}{2} (5\%)^{-2} = 200$$

C.4.3 距离测量引入的标准不确定度

游标卡尺的最大允许误差优于 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 。按 $\pm 0.2 \text{ mm}$ 计算, 引入误差为 $\pm 0.2 \text{ mm}$, 半宽为 0.2 mm 。按均匀分布作 B 类评定, 根据 C.2 计算出的灵敏系数, 则距离测量引入的标准不确定度为 (取 $d = 200 \text{ mm}$, $\Delta_A = 0.5$):

$$u_{\Delta d}(L) = c_1 \times \frac{0.2}{\sqrt{3}} = \left(\frac{10}{d \ln 10} + \frac{1}{2} \Delta_A \right) \times \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.031 \text{ dB}, \text{ 其自由度同 C.4.2 可得:}$$

$$\nu_3 = \frac{1}{2} (5\%)^{-2} = 200$$

C.4.4 空气密度测量引入的标准不确定度

空气密度测量的误差优于 0.5%, 按 0.5% 计算, 引入测量误差 $0.5\% \rho$, 半宽为 $0.25\% \rho$ 。按均匀分布作 B 类评定, 根据 C.2 计算出的灵敏系数, 则空气密度测量引入的不确定度为

$$u_{\Delta \rho}(L) = \frac{c_2 \times 0.25\% \rho}{\sqrt{3}} = \frac{10}{\sqrt{3} \ln 10} \times 0.25\% = 0.006 \text{ dB}$$

取不可靠度为 10%, 其自由度为

$$\nu_4 = \frac{1}{2} (10\%)^{-2} = 50$$

C.4.5 自由场偏离、声中心间距修正等引入的标准不确定度

根据自由声场的要求，声场偏离应小于 0.1dB。此项引起测量结果的不确定度取 0.1dB 按均匀分布作 B 类评定，其标准不确定度是：

$$u_{\Delta F}(L) = \frac{0.1}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ dB}$$

此为偏离修正中最大的一个不确定度分量。根据经验估计、实验和公式推导可知：其他不确定度分量依次为：声中心间距修正引起的标准不确定度为 0.03dB；修正支架偏离 5 度引起的标准不确定度为 0.03dB；平面波偏离引起的标准不确定度为 0.03dB；信号串音修正引起的标准不确定度为 0.03dB；空气衰减修正引起的标准不确定度为 0.02dB；极化电压修正引起的标准不确定度为 0.02dB；信噪比修正引起的标准不确定度为 0.005dB。取不可靠度为 10%，其自由度均为 50。

C.5 合成标准不确定度

以上分量独立无关，根据合成标准不确定度公式，有

$$u_c(L) = \sqrt{u_{L_1}^2(L) + u_{\Delta R}^2(L) + u_{\Delta d}^2(L) + u_{\Delta p}^2(L) + \cdots + u_{\Delta z}^2(L)} = 0.099$$

C.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度

$$U = ku_c(L) = 0.198 \text{ dB}$$

取 $U=0.2\text{dB}$ ，经计算其有效自由度大于 50，可知其置信水平 $p \geq 95\%$ 。

附录 D

检定证书和检定结果通知书内页格式

D.1 检定证书内页格式

检 定 结 果		共 页 第 页	
一、外观检查：			
二、声压灵敏度级： dB（频率：1000Hz）			
三、开路自由场灵敏度级（dB）：			
频率/Hz	传声器序号		
1250			
1600			
2000			
2500			
3150			
4000			
5000			
6300			
8000			
12500			
16000			
20000			
检定环境条件：			
温 度： ℃；			
相对湿度： %；			
气 压： kPa			
检定依据：JJG 482—2005《实验室标准传声器（自由场互易法）》			
测量不确定度（必要时）：			
使用的标准装置名称：			
备注：			

D.2 检定结果通知书内页格式

检 定 结 果		共 页 第 页	
四、外观检查： 五、声压灵敏度级： dB（频率：1000Hz） 六、开路自由场灵敏度级（dB）：			
频率/Hz	传声器序号		
1250			
1600			
2000			
2500			
3150			
4000			
5000			
6300			
8000			
12500			
16000			
20000			
检定环境条件： 温 度： ℃； 相对湿度： %； 气 压： kPa 检定依据：JJG 482—2005《实验室标准传声器（自由场互易法）》 测量不确定度（必要时）： 使用的标准装置名称： 备注： 检定结果通知书应标明不合格的项目，对未检定的项目应加以说明。			