JJG

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 790—202×

实验室标准传声器

（耦合腔互易法）

Verification Regulation of Laboratory Standard Microphones

(Coupler Reciprocity Method)

（征求意见稿）

本稿完成日期：2026.10

202X-XX-XX 发布　　202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局发布

实验室标准传声器检定规程
（耦合腔互易法）

JJG 790—202X

Verification Regulation of Laboratory Standard Microphones（Coupler Reciprocity Method）

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

中国测试技术研究院

参加起草单位：杭州爱华仪器有限公司

杭州爱华智能科技有限公司

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：

冯秀娟　（中国计量科学研究院）

何龙标　（中国计量科学研究院）

鄂治群　（中国测试技术研究院）

参加起草人：

张小丽　（中国计量科学研究院）

金纪存　（杭州爱华仪器有限公司）

熊文波　（杭州爱华智能科技有限公司）

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　术语 ..... （1）
3.1.1　实验室标准传声器 ..... （1）
3.1.2　开路电压 ..... （2）
3.1.3　传声器声压灵敏度 ..... （2）
3.1.4　传声器声压灵敏度级 ..... （2）
3.1.5　电转移阻抗 ..... （2）
3.1.6　声转移阻抗 ..... （2）
3.2　计量单位 ..... （2）
4　概述 ..... （3）
5　计量性能要求 ..... （3）
5.1　声压灵敏度级 ..... （3）
5.2　声压灵敏度级的频率响应 ..... （3）
5.3　声压灵敏度级的稳定度 ..... （3）
6　通用技术要求 ..... （4）
6.1　标志 ..... （4）
6.2　出厂资料 ..... （4）
7　计量器具控制 ..... （4）
7.1　检定条件 ..... （4）
7.1.1　计量标准器和主要配套设备 ..... （4）
7.1.2　参考环境条件 ..... （5）
7.1.3　检定环境条件 ..... （5）
7.2　检定项目 ..... （5）
7.3　检定方法 ..... （5）
7.3.1　通用技术要求 ..... （5）
7.3.2　声压灵敏度级 ..... （6）
7.3.3　声压灵敏度级的频率响应 ..... （8）
7.3.4　声压灵敏度级的稳定度 ..... （8）
7.4　检定结果处理 ..... （8）
7.5　检定周期 ..... （8）
附录 A 声压灵敏度级计算方法 ..... （9）
附录 B 检定证书和检定结果通知书内页格式 ..... （15）
附录 C 测量不确定度的评定示例 ..... （17）

引　　言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规程修订工作的基础性系列文件。

本规程代替 JJG 790—2005《实验室标准传声器检定规程（耦合腔互易法）》。与 JJG 790－2005 相比，除编辑性修改外，主要技术变化如下：

——修改了引用文件；

——增加了计量单位；

——修订了“5　计量性能要求”中稳定度的表述；

——修订了“7.1.1　计量标准器和主要配套设备”，计量标准器增加了发射单元，采用多通道声分析仪取代正弦信号发生器、带通滤波器和数字电压表；

——修订了“7.3　检定方法”，不再区分自动测量和手动测量，进一步完善了检定步骤，并将声压灵敏度的计算方法调整至附录 A；

——修订了“附录 A 声压灵敏度级计算的修正项”，标题调整为“声压灵敏度级计算方法”，给出了完整的计算流程与公式，重点修订了声转移阻抗计算中的热传导修正模型；

——修订了“附录 C 测量不确定度评定示例”，实验室标准传声器声压灵敏度级的耦合腔互易法校准不确定度与空气声声压计量器具检定系统表、耦合腔互易法声压基准表述统一。

本规程的历次版本发布情况为：

——JJG 790—1992；

——JJG 790—2005。

实验室标准传声器检定规程（耦合腔互易法）

1 范围

本规程适用于满足 GB/T 20441.1－2010《电声学 测量传声器 第 1 部分：实验室标准传声器规范》规定的实验室标准传声器在 10 Hz～25 kHz 频率范围的首次检定、后续检定和使用中检查。实验室标准传声器在 2 Hz～10 Hz（不含 10 Hz）频率范围的校准可参照本规程执行。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1034—2020 声学计量名词术语及定义

JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1137—2005 传声器前置放大器校准规范

JJG 175—2015 工作标准传声器（静电激励器法）

JJG 176—2022 声校准器

GB/T 3102.8—2026 量和单位 第 8 部分：声学

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 20441.1－2010 电声学 测量传声器 第1部分：实验室标准传声器规范

IEC 61094-2—2009/AMD1—2022 电声学 测量传声器 第 2 部分：采用互易技术对实验室标准传声器的声压校准的原级方法（Electroacoustics- Measurement microphones- Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique）

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

3 术语和计量单位

3.1 术语

JJF 1001—2011、JJF 1034—2020、GB/T 3102.8—2026 和 GB/T 3947—1996 中界定的及以下术语和定义适用于本规程。

3.1.1 实验室标准传声器 laboratory standard microphone

能用原级校准方法，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对环境条件的依赖性）能满足严格要求的电容传声器。

［来源：JJF 1034—2020，4.11］

3.1.2 开路电压 open-circuit voltage

传声器除了连接它的接地屏蔽结构外，没有其他电负载时，用插入电压技术测得的传声器电输出端的交流电压。

注：电容传声器的电端电压与其负载有关，该负载由传声器到前置放大器之间的机械的和电气的装置产生。

［来源：JJF 1034—2020，4.76］

3.1.3 传声器声压灵敏度 pressure sensitivity of a microphone

对给定频率和给定环境条件的正弦声波，传声器开路电压与均匀作用于传声器膜片表面上（即传声器的声学端）声压的比值。它是个复数，当不计相位时，可用其模来表示。

［来源：JJF 1034—2020，4.77］

3.1.4 传声器声压灵敏度级 pressure sensitivity level of a microphone

传声器声压灵敏度与参考灵敏度之比的常用对数乘以 20。

$$L_{M_{\mathrm{p}}} = 20\lg\frac{M_{\mathrm{p}}}{M_{\mathrm{r}}} \qquad (1)$$

式中：

$L_{M_{\mathrm{p}}}$——传声器声压灵敏度级，dB；

M_{p}——传声器声压灵敏度，V/Pa；

M_{r}——参考灵敏度，1 V/Pa。

［来源：JJF 1034—2020，4.78］

3.1.5 电转移阻抗 electrical transfer impedance

对于两只声耦合的传声器系统，用作接收的传声器的开路电压与用作发射的传声器的电端输入电流的比值。

注：该阻抗是针对 GB/T 20441.1—2010 的 7.2 给出的地屏蔽结构定义的。

［来源：JJF 1034—2020，4.95］

3.1.6 声转移阻抗 acoustic transfer impedance

对于两只声耦合的传声器系统，作用于接收传声器膜片上的声压与用作发射的传声器所产生的短路体积速度的商。

［来源：JJF 1034—2020，4.96］

3.2 计量单位

本规程采用 GB/T 3102.8—2026 规定的量和单位。

主要计量单位的名称和符号如下：

——开路电压，单位：伏[特]，符号：V；

——声压灵敏度，单位：伏[特]每帕[斯卡]，符号：V/Pa；

——声压灵敏度级，单位：分贝，符号：dB；

——电转移阻抗，单位：欧[姆]，符号：Ω；

——声转移阻抗，单位：帕[斯卡]秒每立方米，符号：Pa s/m^3。

4 概述

实验室标准传声器是一类电容式传声器，其机械尺寸和电声特性符合国家标准GB/T 20441.1的规定，其灵敏度（包括声压灵敏度、自由场灵敏度等）可通过耦合腔互易法、自由场互易法和激光活塞发声器法等原级方法校准，具有高稳定性。实验室标准传声器用于空气声声压量值的复现和传递，是空气声声压量值由计量基准向计量标准传递的关键标准器具。

实验室标准传声器按机械尺寸和电声特性分为不同型式，其命名规则如下：由字母LS（英文“实验室”和“标准”的首字母）后接一位表示机械结构的数字，以及表示电声特性的第三个字母构成。第三个字母可以是P或F，分别表示传声器的声压灵敏度或自由场灵敏度在尽可能宽的频率范围内近似地与频率无关。型式命名并不妨碍传声器在其他声场条件下使用，灵敏度经适当修正后，均可在压力场、自由场或扩散场条件下使用。

5 计量性能要求

5.1 声压灵敏度级

实验室标准传声器的声压灵敏度级见表1。

表1 实验室标准传声器的计量性能要求

计量性能	LS1P	LS2P
声压灵敏度级（参考灵敏度：1 V/Pa）（200 Hz～500 Hz）	（－26±2）dB	（－37±3）dB
声压灵敏度级的频率响应（最大和最小灵敏度级之差≤2 dB的频率范围）	（10～8000）Hz	（10～20000）Hz

注：表中LS1P对应GB/T 20441.1—2010表3中的LS1P型（新）。

5.2 声压灵敏度级的频率响应

实验室标准传声器声压灵敏度级的频率响应见表1，在所列频率范围内的最大和最小灵敏度级之差应不大于2 dB。

5.3 声压灵敏度级的稳定度

在500 Hz，考虑测量所引入的不确定度后，实验室标准传声器声压灵敏度级的年变化量应不超过±0.04 dB。

6 通用技术要求

6.1 标志

实验室标准传声器应具有以下清晰耐久的标志：

——制造厂商的名称或商标；

——产品的型号；

——产品的序列号。

6.2 出厂资料

每个实验室标准传声器应附有单独的出厂资料。出厂资料应包括该实验室标准传声器的声压灵敏度级、正常工作需要的极化电压以及气压、温度的修正系数等。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检查。

7.1 检定条件

7.1.1 计量标准器和主要配套设备

1）互易校准仪

具备极化供电功能，极化电压为（200±0.05）V，检定期间极化电压的变化量应不超过±1 mV。检定频率范围内，频率响应不超过±0.3 dB。

2）多通道声分析仪

至少具有两个输入通道和一个输出通道。检定频率范围内：输入通道交流电压测量的最大允许误差不超过±0.05%，输入通道间的幅值比不超过±0.1 dB；输出通道产生正弦信号的频率误差应不超过±0.05 %，总谐波失真不大于 0.05%。

注：多通道声分析仪可通过仪器组合实现。

3）发射单元

电容值校准结果的不确定度不大于 0.3%（k=2）。

4）前置放大器

具有插入电压校准功能。

检定频率范围内，传输损失应不超过±0.30 dB。

5）参考用实验室标准传声器

该实验室标准传声器在检定时作为参考传声器使用，在 200 Hz～500 Hz 频率范围内，声压灵敏度级的测量不确定度不大于 0.05 dB（k=2）；在 500 Hz，声压灵敏度级的年变化量应不超过±0.04 dB。

6）声校准器

满足 JJG 176—2022 对 LS 级或 1 级声校准器的要求。

7）气压计

气压计的分辨力应不低于 0.01 kPa，在检定环境条件内，最大允许误差不超过±0.04 kPa。

8）温度计

温度计的分辨力应不低于 0.1 ℃，在检定环境条件内，最大允许误差应优于±0.3 ℃。

9）湿度计

湿度计的分辨力应不低于 1 %RH，在检定环境条件内，最大允许误差应优于±5 %RH。

7.1.2 参考环境条件

空气温度：23℃；

相对湿度：50%；

静压：101.325 kPa。

7.1.3 检定环境条件

空气温度：（21～25）℃；

相对湿度：（35～75）%；

静压：（94～103）kPa。

检定期间环境条件变化应不超过：

空气温度：±0.5 ℃；

相对湿度：±10 %；

静压：±0.5 kPa。

7.2 检定项目

实验室标准传声器的首次检定、后续检定和使用中检查项目见表 2。

表 2 检定项目一览表

项目	首次检定	后续检定	使用中检查
通用技术要求	＋	＋	＋
声压灵敏度级	＋	＋	＋
声压灵敏度级的频率响应	＋	＋	－
声压灵敏度级的稳定度	－	＋	－
注 1:“＋”表示需检定的项目，“－”表示不需检定的项目。 注 2: 使用中检查，声压灵敏度级仅使用声校准器在单一频点测量。			

7.3 检定方法

7.3.1 通用技术要求

目视检查：

——实验室标准传声器应具有清晰耐久的标志，包括制造商名称、型号和序列号等；

——外观不应有机械损伤；

——膜片清洁无污染、腐蚀现象；

——出厂资料应符合 6.2 的要求。

7.3.2　声压灵敏度级

7.3.2.1　检定装置

声压灵敏度级检定装置示意图见图 1，采用三传声器互易法，其中至少有一只为参考用实验室标准传声器。

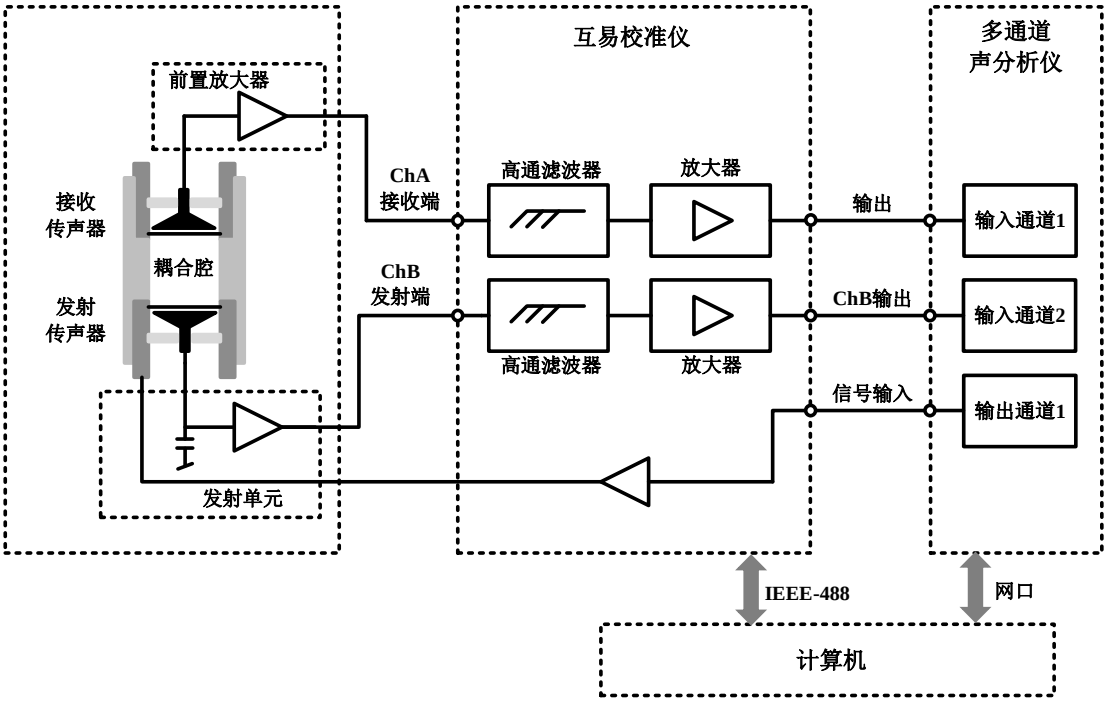


图 1　声压灵敏度级检定装置示意图

7.3.2.2　检定步骤

1）检定前准备

被检实验室标准传声器至少应于检定前 4 h 放入符合检定环境条件的实验室中，以使传声器的性能稳定。

耦合腔互易法测量前，将被检实验室标准传声器安装到前置放大器上，使其与声校准器耦合，前置放大器与多通道声分析仪的任意输入通道连接。参照 JJG 175—2015《工作标准传声器（静电激励器法）》，测量被检实验室标准传声器的声压灵敏度级，应在表 1 规定的范围内。

2）检定装置预热时间不少于 1 h，以保证极化电压充分稳定。

3）将参考用实验室标准传声器和被检实验室标准传声器的保护栅（帽）取下，需要时装上对应的转接环，三只传声器记为：1、2、3。

4）根据被检实验室标准传声器的类型和检定频率范围按表 3 选择平面波耦合腔。

表 3　检定用平面波耦合腔及其测量频率范围

实验室标准传声器类型	LS1P		LS2P	
适用的平面波耦合腔	5 cm³（长腔）	3 cm³（短腔）	0.7 cm³（长腔）	0.4 cm³（短腔）
测量频率范围	10 Hz～5 kHz	10 Hz～10 kHz	10 Hz～10 kHz	10 Hz～25 kHz
耦合腔直径（mm）	18.6	18.6	9.3	9.3
耦合腔长度（mm）	15	7.5	9.4	4.7

5）电压比测量

电压比测量时，前置放大器的传输损失采用插入电压技术进行测量及补偿。

a. 电压比测量前，首先对被检实验室标准传声器的互易性进行检查。

将参考实验室标准传声器与被检实验室标准传声器组成一个组合，先由参考实验室标准传声器发射，被检实验室标准传声器接收，然后变为被检实验室标准传声器发射，参考实验室标准传声器接收，按以下 b～e 条分别测量 200 Hz～500 Hz 频率上的电压比，相差应不超过±0.01 dB，否则，此被检实验室标准传声器在检定时只作为声接收器使用。

b. 将实验室标准传声器 1 作为发射传声器，实验室标准传声器 2 作为接收传声器，分别安装在发射单元和前置放大器上，两只传声器分别插入选定的平面波耦合腔两端，实现声耦合，并用弹簧定位器固定，耦合腔均压孔钢针应通畅无堵塞，然后用屏蔽罩加以屏蔽。

c. 启动互易校准测量程序，输入实验室标准传声器的型号和编号。

d. 根据被检实验室标准传声器及选定的平面波耦合腔设置测量频率范围，如表 3 所示：无特殊要求，LS1P 型实验室标准传声器的测量频率为 10 Hz～10 kHz，LS2P 型实验室标准传声器的测量频率为 10 Hz~25 kHz，按 1/3 倍频程间隔选择测量频率点。根据需要，测量频率下限可拓展至 2 Hz。

e. 根据实验室标准传声器的类型和检定频率范围，设置互易校准仪的控制参数：对于 LS1P 型传声器，发射和接收通道的增益通常设定为 30 dB；对于 LS2P 型传声器，发射和接收通道的增益通常设定为 40 dB；发射和接收通道的高通滤波器截止频率应视检定频率范围设定，可选 1 Hz、20 Hz 或 100 Hz；根据校准结果，输入发射单元中参考电容值。

f. 设置多通道声分析仪的控制参数：两输入通道设置为电压采集，输入耦合选择直流（DC），灵敏度设定为 1 V/V；当插入电压测量模式启动时，输出通道的信号电压设定为 1 V，当插入电压测量模式关闭时，输出通道的信号电压设定为 2 V。

g. 按互易校准测量程序要求，输入当前的检定环境条件，包括静压、空气温度和相对湿度，之后每一对传声器的电压比测量前均需重新输入当前的检定环境条件。

h. 选定传声器组合 1→2，测量第一组传声器对在检定频率处的电压比。

测量期间应检查信噪比和标准偏差，如果数据异常，应对相关频率重新测量。

i. 对传声器组合 1→3、2→3，依次测量每一组传声器对在检定频率处的电压比。

j. 采用表 3 所列的另一只平面波耦合腔，重复测量三组传声器对在检定频率处的电压比。

k. 三组传声器对分别用两只平面波耦合腔声耦合后的电压比测量全部结束后，用适当的文件名将测量结果进行保存。

6）声转移阻抗计算用参数的确定

a. 实验室标准传声器的参数包括前腔深度、前腔体积、膜片有效直径、共振频率、损耗因子和膜片等效体积，除膜片等效体积外，其他参数均可通过实验测定。膜片等效体积采用数据拟合确定：首先采用制造商提供的标称值，计算每个被检实验室标准传声器对应长腔和短腔的两条声压灵敏度级频率响应曲线，反复调整膜片等效体积的取值，使得两条声压灵敏度级频率响应曲线在 200 Hz～2 kHz（LS1P）或 200 Hz～4 kHz（LS2P）频率范围内拟合收敛至 0.02 dB 以内，由此确定膜片等效体积的确定值。

b. 平面波耦合腔的参数包括长度、直径、体积和表面积，制造商提供的标称值见表 3。其中，长度和直径可通过实验测定，体积和表面积由此计算得到。

7）声压灵敏度级的计算

根据 5）测量的电压比、发射单元中参考电容的校准值和 6）确定的声转移阻抗计算用相关参数，根据附录 A，可计算出三个实验室标准传声器的声压灵敏度级。

7.3.3 声压灵敏度级的频率响应

声压灵敏度级的频率响应由各检定频率处的声压灵敏度级构成。因此，声压灵敏度级的频率响应检定装置和检定方法与声压灵敏度级相同。

在 200 Hz～500 Hz 范围的检定频率处，将参考实验室标准传声器声压灵敏度级的本次测量结果与经溯源确认的检定值进行比较，如果差值不超过±0.04 dB（包括测量所引入的不确定度），则认为本次互易测量结果有效。

7.3.4 声压灵敏度级的稳定度

将被检实验室标准传声器在 500 Hz 频率处声压灵敏度级的本次测量结果与上个检定周期的测量结果进行比较，其差值应不超过±0.04 dB。

7.4 检定结果处理

经检定合格的实验室标准传声器发给检定证书；检定不合格的实验室标准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 B。

7.5 检定周期

实验室标准传声器的检定周期不应超过一年。

附录 A

声压灵敏度级计算方法

A.1 声压灵敏度级计算

根据互易校准原理，采用三传声器法校准时，将两只传声器用耦合腔进行声学耦合，一只作为声源，另一只作为声接收器，测量其电转移阻抗。当系统的声转移阻抗已知时，耦合腔内两只传声器的声压灵敏度乘积便可确定。将传声器 1、传声器 2 和传声器 3 两两配对，可得出 3 个互相独立的乘积，由此导出每只传声器的声压灵敏度表达式。式（A.1）为传声器 1 的声压灵敏度模的表达式，传声器 2 和传声器 3 的表达式类似。

$$\left|\underline{M}_{\mathrm{p},1}\right| = \left\{ \left| \frac{\underline{Z}_{\mathrm{e},12}\underline{Z}_{\mathrm{e},13}}{\underline{Z}_{\mathrm{e},23}} \right| \left| \frac{\underline{Z}''_{\mathrm{a},23}}{\underline{Z}''_{\mathrm{a},12}\underline{Z}''_{\mathrm{a},13}} \right| \left| \frac{\underline{\Delta}_{\mathrm{C},12}\underline{\Delta}_{\mathrm{C},13}}{\underline{\Delta}_{\mathrm{C},23}} \right| \right\}^{\frac{1}{2}} \qquad （A.1）$$

式中：

$\underline{M}_{\mathrm{p},1}$——传声器1的声压灵敏度，V/Pa；

$\underline{Z}_{\mathrm{e,xy}}$——传声器 x（x=1,2）和传声器 y（y=2,3）声耦合系统的电转移阻抗，Ω；

$\underline{Z}''_{\mathrm{a,xy}}$——传声器x（x=1,2）和传声器y（y=2,3）声耦合系统热传导修正后的声转移阻抗，Pa s/m³；

$\underline{\Delta}_{\mathrm{C,xy}}$——考虑毛细管的分流效应，声转移阻抗引入的修正因子。

耦合腔互易法实验室标准传声器的校准结果是以参考环境条件下的声压灵敏度级给出，声压灵敏度级由测量环境条件修正到参考环境条件的计算公式如（A.2）所示。

$$L_{pr} = L_{p0} - C_p\left(p - p_0\right) - C_t\left(t - t_0\right) \qquad （A.2）$$

式中：

L_{p0}——测量环境条件下实验室标准传声器的声压灵敏度级，参考值 1 V/Pa，dB；

L_{pr}——参考环境条件下实验室标准传声器的声压灵敏度级，参考值 1 V/Pa，dB；

C_p——实验室标准传声器的静压修正系数，dB/kPa；

C_t——实验室标准传声器的温度修正系数，dB/℃；

p——检定时耦合腔内的静压，kPa；

p_0——参考静压，101.325 kPa；

t——检定时耦合腔内的空气温度，℃；

t_0——参考空气温度，23 ℃。

式（A.1）中所涉及的电转移阻抗、声转移阻抗及毛细管的修正因子，计算方法详述如下。

A.2　电转移阻抗计算

图 1 所示检定装置中，电转移阻抗的计算如式（A.3）。

$$\underline{Z}_{\mathrm{e,xy}}=\frac{\underline{U}_{\mathrm{y}}}{\underline{U}_{\mathrm{x}}}\frac{1}{\mathrm{j}\omega C}=\frac{\underline{R}_{\mathrm{xy}}}{\mathrm{j}\omega C} \qquad （A.3）$$

式中：

$\underline{U}_{\mathrm{y}}$——接收传声器y的开路电压，V；

$\underline{U}_{\mathrm{x}}$——发射传声器 x 串联电容两端的电压，V；

$\underline{R}_{\mathrm{xy}}$——电压比；

C——与发射传声器串联的发射单元电容，F；

ω——角频率，rad/s。

A.3　声转移阻抗计算

耦合腔互易法校准中，耦合腔及两端实验室标准传声器所构成系统的声转移阻抗是计算声压灵敏度的主要物理量。当耦合腔的物理尺寸远小于声波波长时，耦合腔内气体等效为纯声顺，采用集总参数模型即可准确描述系统的声转移阻抗；随着频率升高，耦合腔尺寸远小于波长的条件不能满足时，为提高声转移阻抗计算的准确性，采用一维平面波传输线模型描述系统的声转移阻抗。

A.3.1　基本公式

图 1 所示检定装置中，假设气体的压缩和膨胀过程是绝热的，采用集总参数模型描述的声转移阻抗 $\underline{Z}'_{\mathrm{a,xy}}$ 如式（A.4）。

$$\frac{1}{\underline{Z}'_{\mathrm{a,xy}}}=\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a},V}}+\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,x}}}+\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,y}}}=\mathrm{j}\omega\left(\frac{V}{\kappa p_{\mathrm{s}}}+\frac{\underline{V}_{\mathrm{e,x}}}{\kappa_{\mathrm{r}}p_{\mathrm{s,r}}}+\frac{\underline{V}_{\mathrm{e,y}}}{\kappa_{\mathrm{r}}p_{\mathrm{s,r}}}\right) \qquad （A.4）$$

式中：

V——耦合腔的总几何体积，m^3；

$\underline{V}_{\mathrm{e,x}}$——传声器 x 膜片的等效体积，$\mathrm{m}^3$；

$\underline{V}_{\mathrm{e,y}}$——传声器 y 膜片的等效体积，$\mathrm{m}^3$；

$\underline{Z}_{\mathrm{a},V}$——耦合腔中气体的声阻抗，Pa s/m³；

$\underline{Z}_{\mathrm{a,x}}$——传声器 x 膜片的声阻抗，Pa s/m³；

$\underline{Z}_{\mathrm{a,y}}$——传声器 y 膜片的声阻抗，Pa s/m³；

p_{s}——静压，Pa；

$p_{\mathrm{s,r}}$——参考环境条件下的静压，Pa；

κ——测量环境条件下的比热容比；

κ_r——参考环境条件下的κ。

假设气体的压缩和膨胀过程绝热，采用一维平面波传输线模型描述系统的声转移阻抗$\underline{Z}'_{a,xy}$如式（A.5）。

$$\frac{1}{\underline{Z}'_{a,xy}}=\left(\frac{1}{\underline{Z}_{a,x}}+\frac{1}{\underline{Z}_{a,y}}\right)\cosh\underline{\gamma}l_0+\left(\frac{1}{\underline{Z}_{a,0}}+\frac{\underline{Z}_{a,0}}{\underline{Z}_{a,x}}\frac{1}{\underline{Z}_{a,y}}\right)\sinh\underline{\gamma}l_0 \qquad （A.5）$$

式中：

$\underline{Z}_{a,0}$——耦合腔中平面波的声阻抗，如忽略耦合腔的损耗，$\underline{Z}_{a,0}=\rho c/S_0$，Pa s/m³；

ρ——耦合腔中气体的密度，kg/m³；

c——自由空间气体的声速，m/s；

S_0——耦合腔的横截面积，m²；

l_0——耦合腔的长度，即两端传声器膜片之间的距离，m；

$\underline{\gamma}=\alpha+\mathrm{j}\beta$——耦合腔内声波的复数传输系数，m^{-1}；

α——复数传输系数的实部，描述声波在传播过程中的衰减，m^{-1}；

$\beta=\dfrac{\omega}{c}$——复数传输系数的虚部，描述声波在传播过程中的相位变化，m^{-1}。

A.3.2　热传导修正

A.3.1 节中声转移阻抗$\underline{Z}'_{a,xy}$计算时，均假设耦合腔内气体的压缩和膨胀过程是绝热的，实际上腔壁的热传导会使其偏离理想的绝热过程，特别是在小耦合腔和低频情况下，因此，需对 A.3.1 节描述的声转移阻抗$\underline{Z}'_{a,xy}$进行热传导修正。

（1）低频模型

在低频段，热传导损耗可用式（A.4）所述声转移阻抗中体积 V 的修正因子$\underline{\Delta}_H$表示，IEC 61094-2 推荐使用低频模型，如式（A.6）。

$$\underline{\Delta}_H=\kappa-(\kappa-1)\underline{E}_p \qquad （A.6）$$

其中，

$$\underline{E}_p=\sum_{m=0}^{+\infty}\sum_{n=1}^{+\infty}\left[\frac{8/\pi^2}{\left(m+\frac{1}{2}\right)^2\lambda_n^2}\underline{F}_{m,n}\right] \qquad （A.7）$$

$$\underline{F}_{\mathrm{m,n}}=\left[1+\frac{\lambda_{\mathrm{n}}^{2}R^{2}+\left(m+1/2\right)^{2}\pi^{2}}{\left(1+2R\right)^{2}}\underline{X}_{\mathrm{p}}^{2}\right]^{-1} \tag{A.8}$$

$$\underline{X}_{\mathrm{p}}=\frac{A}{V}\frac{1-j}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{\alpha_{\mathrm{t}}}{\omega}} \tag{A.9}$$

式中：

$R=\dfrac{l_0}{2a}$——耦合腔长度与直径的比值；

a——耦合腔半径，m；

λ_{n}——零阶第一类圆柱贝塞尔函数的第 n 个零点，即 $J_0\left(\lambda_{\mathrm{n}}\right)=0$；

$A=2\pi a^{2}+2\pi a l_0$——耦合腔的表面积，m^2；

α_{t}——耦合腔内密封气体的热扩散系数，m^2/s。

式（A.4）所述 $\underline{Z}'_{\mathrm{a,xy}}$ 进行热传导修正后的声转移阻抗 $\underline{Z}''_{\mathrm{a,xy}}$，如式（A.10）。

$$\frac{1}{\underline{Z}''_{\mathrm{a,xy}}}=\frac{\mathrm{j}\omega}{\kappa p_{\mathrm{s}}}V\cdot\underline{\Delta}_{\mathrm{H}}+\frac{\mathrm{j}\omega}{\kappa_{\mathrm{r}}p_{\mathrm{s,r}}}\left(\underline{V}_{\mathrm{e,x}}+\underline{V}_{\mathrm{e,y}}\right) \tag{A.10}$$

（2）宽频模型

在高频段，热传导与粘滞损耗同时存在，推荐使用 IEC 61094-2 中的宽频模型对式（A.5）所述的声转移阻抗 $\underline{Z}'_{\mathrm{a,xy}}$ 进行修正，修正后的声转移阻抗 $\underline{Z}''_{\mathrm{a,xy}}$ 如式（A.11）。

$$\frac{1}{\underline{Z}''_{\mathrm{a,xy}}}=\left(\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,x}}}+\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,y}}}+\frac{2}{\underline{Z}_{\mathrm{a,h}}}\right)\cosh\underline{\gamma}'l_0+\left[\frac{1}{\underline{Z}'_{\mathrm{a,0}}}+\underline{Z}'_{\mathrm{a,0}}\left(\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,x}}}+\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,h}}}\right)\left(\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,y}}}+\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,h}}}\right)\right]\sinh\underline{\gamma}'l_0 \tag{A.11}$$

其中，

$$\underline{\gamma}'=j\frac{\omega}{c}\left\{1+\frac{1-j}{\sqrt{2}}\frac{1}{a}\left[\sqrt{\frac{\eta}{\omega\rho}}+(\kappa-1)\sqrt{\frac{\alpha_{\mathrm{t}}}{\omega}}\right]\right\} \tag{A.12}$$

$$\underline{Z}'_{\mathrm{a,0}}=\frac{\rho c}{S_0}\left\{1+\frac{1-j}{\sqrt{2}}\frac{1}{a}\left[\sqrt{\frac{\eta}{\omega\rho}}-(\kappa-1)\sqrt{\frac{\alpha_{\mathrm{t}}}{\omega}}\right]\right\} \tag{A.13}$$

$$\frac{1}{\underline{Z}_{\mathrm{a,h}}}=\frac{S_0}{\rho c}\frac{1+j}{\sqrt{2}}(\kappa-1)\frac{1}{c}\sqrt{\alpha_{\mathrm{t}}\omega} \tag{A.14}$$

式中：

η——耦合腔内气体的动力黏度，Pa s；

$\underline{\gamma}'$——对热传导与粘滞损耗修正后的耦合腔内声波的复数传输系数，m^{-1}；

$\underline{Z}'_{a,0}$——对热传导与粘滞损耗修正后的耦合腔中平面波的声阻抗，Pa s/m³；

$\underline{Z}_{a,h}$——耦合腔端面热传导引起的等效声阻抗，Pa s/m³。

A.3.3 毛细管修正

耦合腔侧壁配置毛细管，用于均衡腔内外静态大气压力，消除静压差对传声器膜片的力学影响。毛细管对交变声信号呈现有限复声阻抗，会造成低频声泄漏，需在声压灵敏度计算公式中引入毛细管修正因子$\underline{\Delta}_{C,xy}$，如式（A.1），与腔体热传导、粘滞损耗修正共同参与声转移阻抗的计算。

毛细管修正因子$\underline{\Delta}_{C,xy}$如式（A.15）。

$$\underline{\Delta}_{C,xy}=1+n\frac{\underline{Z}''_{a,xy}}{\underline{Z}_{a,C}} \tag{A.15}$$

其中，

$$\underline{Z}_{a,C}=\underline{Z}_{a,t}\tanh\underline{\gamma}_C l_C \tag{A.16}$$

式中：

n——所用的相同毛细管的数量；

$\underline{Z}''_{a,xy}$——按式（A.10）或（A.11）对$\underline{Z}'_{a,xy}$进行热传导和粘滞损耗修正后的声转移阻抗，Pa s/m³；

$\underline{Z}_{a,t}$——无限长细管中的复声波阻抗，Pa s/m³；

$\underline{\gamma}_C$——毛细管内声波的复数传输系数，m^{-1}；

l_C——毛细管的长度，m。

$\underline{\gamma}_C$和$\underline{Z}_{a,t}$通过联立式（A.17）和式（A.18）求解：

$$\underline{\gamma}_C\underline{Z}_{a,t}=j\frac{\omega\rho}{\pi a_C^2}\left[1-\frac{2J_1(\underline{k}a_C)}{\underline{k}a_C J_0(\underline{k}a_C)}\right]^{-1} \tag{A.17}$$

$$\frac{\underline{\gamma}_C}{\underline{Z}_{a,t}}=j\omega\frac{\pi a_C^2}{\rho c^2}\left[1+\frac{2}{B\underline{k}a_C}(\kappa-1)\frac{J_1(B\underline{k}a_C)}{J_0(B\underline{k}a_C)}\right] \tag{A.18}$$

$$B=\sqrt{\frac{\eta}{\rho\alpha_t}} \tag{A.19}$$

式中：

$J_0(),J_1()$——分别为复数自变量的零阶和一阶第一类圆柱贝塞尔函数；

a_C——毛细管的半径，m；

$\underline{k}=\sqrt{-j\omega\rho/\eta}$——复数波数，$m^{-1}$。

附录 B

检定证书和检定结果通知书内页格式

B.1 检定证书内页格式

检 定 结 果 共 页 第 页

一、通用技术要求检查：_____

二、声压灵敏度级：_____dB（251.19 Hz，参考 1 V/Pa）

三、声压灵敏度级的频率响应

频率 Hz	声压灵敏度级 dB ref 1 V/Pa	频率 Hz	声压灵敏度级 dB ref 1 V/Pa
10.00		630.96	
12.59		794.33	
15.85		1000.00	
19.95		1258.92	
25.12		1584.89	
31.62		1995.26	
39.81		2511.89	
50.12		3162.28	
63.10		3981.07	
79.43		5011.87	
100.00		6309.57	
125.89		7943.28	
158.49		10000.00	
199.53		12589.25	
251.19		15848.93	
316.23		19952.62	
398.11		25118.87	
501.19		/	/

在_____Hz 的频率范围内，最高和最低声压灵敏度级差值为_____dB。

四、声压灵敏度级的稳定度_____dB（500 Hz）。

检定环境条件：

空气温度：_____℃，相对湿度：_____%，静压：_____kPa。

检定依据：JJG 790—×××× 实验室标准传声器（耦合腔互易法）检定规程

使用的基/标准装置名称：

说明：

图 B.1 检定证书的内页格式

B.2 检定结果通知书内页格式

检 定 结 果 共 页 第 页

一、通用技术要求检查：_____

二、声压灵敏度级：_____dB（250 Hz，参考 1 V/Pa）

三、声压灵敏度级的频率响应

频率 Hz	声压灵敏度级 dB ref 1 V/Pa	频率 Hz	声压灵敏度级 dB ref 1 V/Pa
10.00		630.96	
12.59		794.33	
15.85		1000.00	
19.95		1258.92	
25.12		1584.89	
31.62		1995.26	
39.81		2511.89	
50.12		3162.28	
63.10		3981.07	
79.43		5011.87	
100.00		6309.57	
125.89		7943.28	
158.49		10000.00	
199.53		12589.25	
251.19		15848.93	
316.23		19952.62	
398.11		25118.87	
501.19		/	/

在_____Hz 的频率范围内，最高和最低声压灵敏度级差值为_____dB。

四、声压灵敏度级的稳定度_____dB（500 Hz）。

检定环境条件：

空气温度：_____℃，相对湿度：_____%，静压：_____kPa。

检定依据：JJG 790—×××× 实验室标准传声器（耦合腔互易法）检定规程

使用的基/标准装置名称：

说明：检定结果通知书内页格式的栏目与检定证书内页格式相同，但在检定结果通知书中应标明检定不合格的项目，对未检定的项目已加以说明。

图 B.2 检定结果通知书的内页格式

附录 C

测量不确定度的评定示例

C.1 引言

实验室标准传声器的主要计量特性是开路声压灵敏度级，用平面波耦合腔互易法校准其开路声压灵敏度级的计算方法见附录 A。由于其中的计算公式及热传导、粘滞损耗和毛细管等修正模型较为复杂，难以用简单的测量模型来表示，因此，本附录按国际上耦合腔互易法校准不确定度分析的惯例，对各项不确定度分量进行逐项分析，如表 C.1 所示。

表 C.1 主要不确定度分量汇总表

序号	被测物理量	不确定度分量
1	电转移阻抗	串联阻抗
		电压比
		串扰
		内部和环境噪声
		失真
		频率
2	声转移阻抗—耦合腔特性	耦合腔几何参数（长度、直径、体积、表面积）
		传声器与耦合腔间的声泄露
		耦合腔内密封空气的物理参数（气压、温度和湿度）
3	声转移阻抗—传声器参数	传声器前腔（长度、等效长度和体积）
		膜片声阻抗（共振频率、等效体积和损耗因子）
		极化电压
4	声转移阻抗—其他参数	热传导修正
		毛细管修正
		径向声压波动
5	数据处理	测量重复性
		数据修约
		声压修正
		温度修正

C.2 标准不确定度分量的评定

C.2.1 重复性测量引入的测量不确定度分量

测量重复性引入的标准不确定度由 10 次测量的标准偏差计算得到，如表 C.5 和表 C.6 所示。

C.2.2 电转移阻抗测量引入的测量不确定度分量

进行声耦合的一对传声器，其电转移阻抗等于接收传声器的输出电压与发射传声器的驱动电流的比值，如式（C.1）所示：

$$\underline{Z}_{e,ij}=\frac{\underline{U}_j}{\underline{i}_i}\quad(i,j=1,2,3)\qquad（C.1）$$

式中：

$\underline{U}_j$——接收传声器的输出电压，V；

$\underline{i}_i$——发射传声器的驱动电流，A。

电转移阻抗测量过程中的不确定度分量详见表 C.5 和表 C.6，具体评估详述如下。

（1）串联阻抗

与发射传声器串联用于测量发射电流的串联电容 C，需校准并将校准结果代入声压灵敏度的计算公式，除串联电容校准引入的标准不确定度，还需考虑串联电容两端电压测量时存在的其他负载阻抗。

（2）电压比测量

电压比通过 B&K 3560C 型多通道声分析仪测量，关于电压比测量引入的不确定度分量与以下系统设置有关：

a）接收传声器的输出电信号连接到分析仪的“通道 1”，量程范围为 7 V；

b）发射传声器的输出电信号连接到分析仪的“通道 2”，量程范围为 7 V；

c）对 LS1P 和 LS2P 型实验室标准传声器，5998 型互易校准仪的增益分别设置为 30 dB 和 40 dB；

d）插入电压的设置，应使电压读数为 1 V±0.05 V；

e）发射传声器的驱动电压的设置，应使电压在量程范围内。

（3）串扰

5998 型互易校准仪的发射和接收端使用相同的极化电压供电，因此，应考虑互易校准仪两通道间的串扰。经测量，该串扰小于−66 dB，按均匀分布考虑，声压灵敏度级校准过程中，串扰引入的标准不确定度为 0.0025 dB。

（4）固有和环境噪声

在电压比测量过程中，信噪比大于 46 dB，因此，固有噪声与环境噪声所引入的标准不确定度为 0.0001 dB。

（5）失真

在电压比测量过程中，两通道电压信号的失真小于-46 dB，因此，信号失真引入的标准不确定度为 0.0001 dB。

（6）频率

对所使用的 B&K 3560C 型多通道声分析仪的数字信号发生器，频率误差对声压灵敏度级校准的影响可忽略不计。

C.2.3 耦合腔参数引入的测量不确定度分量

（1）耦合腔尺寸及非理想耦合腔/传声器泄露

由两个传声器膜片与耦合器壁所围成的空气体积是计算声学转移阻抗的关键参数。因此，两个传声器及耦合器的相关几何尺寸应予以精确测定。同时，耦合器尺寸的不确定度也会影响热传导修正和毛细管修正。

校准中所用的耦合器采用蓝宝石精密加工而成，蓝宝石因其硬度和尺寸稳定性而被选作耦合腔材料。耦合器尺寸的测量误差采用制造商提供的数据，具体如表 C.2 所示。

表 C.2　制造商所提供的耦合腔几何尺寸的测量误差

耦合腔参数	测量误差
长度	0.004 mm
直径	0.005 mm
体积	1.54 mm^3
表面积	0.35 mm^2

耦合腔几何尺寸的测量误差服从均匀分布，由此引入的测量不确定度分量如表 C.5 和表 C.6 所示。

（2）耦合腔内封闭气体的物理特性

声转移阻抗取决于描述耦合器内封闭气体特性的若干物理量，这些物理量取决于静压、温度、湿度等环境条件。湿空气条件下各物理量的数值及其随环境条件的变化关系见 IEC 61094-2 附录 F。

这些物理量的合成不确定度由 IEC 61094-2 附录 F 中公式的不确定度与环境条件测量不确定度两部分合成。描述耦合器内封闭气体特性的物理量所引入的标准不确定度表 C.5 和表 C.6 所示。

C.2.4　传声器参数引入的测量不确定度分量

传声器参数包括前腔几何尺寸、膜片声阻抗和极化电压。传声器膜片声阻抗可用声质量、声顺和声阻等参数表示，或等效地用谐振频率、等效体积和损耗因子来表示。

（1）传声器前腔尺寸与膜片声阻抗

传声器前腔体积构成耦合腔总几何体积的一部分，前腔深度同样影响耦合器的长度。传声器的总有效体积构成耦合腔体积的一部分，其组成包括：几何体积、膜片声阻抗的等效体积，以及无法归因于其他因素的任何附加“余量”体积（例如 LS1P 4160 型实验室标准传声器内壁螺纹所产生的体积）。此处，余量体积通过传声器的附加前腔深度来表征。制造商提供的相关标准参数见表 C.3 和表 C.4，其对声压灵敏度级校准的不确定度分量贡献见表 C.5 和表 C.6。

表 C.3　LS1P 型实验室标准传声器典型参数及其标准不确定度

参数	前腔尺寸参数					膜片声阻抗		
	长度 (mm)	附加长度 (mm)	直径 (mm)	体积 (mm^3)	表面积 (mm^2)	等效体积 (mm^3)	共振频率 (Hz)	损耗因子 (/)
标称值	1.95	/	18.69	535.0	114.5	136	8200	1.05
测量误差	0.005	0.35	0.8	1.81	0.32	2.4	550	0.094

表 C.4　LS1P 型实验室标准传声器典型参数及其标准不确定度

参数	前腔尺寸参数				膜片声阻抗		
	长度 (mm)	直径 (mm)	体积 (mm^3)	表面积 (mm^2)	等效体积 (mm^3)	共振频率 (Hz)	损耗因子 (/)
标称值	0.5	9.3	34.0	14.6	9.2	22000	1.05
测量误差	0.004	0.020	0.08	0.11	0.25	1476	0.094

（2）极化电压

极化电压引入的测量不确定度包括电压测量本身及其在测量过程中的波动。所施加的 200 V 极化电压采用 FLUKE 1281 型多功能数字电压表进行测量。在 DC 1000 V 量程范围内，其相对测量误差为±10.2 ppm。极化电压的波动小于 0.001 V。因此，由极化电压引入的合成标准不确定度为 0.00004 dB。

C.2.5　声转移阻抗计算中的其他因素引入的测量不确定度分量

影响声转移阻抗计算的其他因素包括热传导修正、毛细管修正、径向声压波动等，上述各因素引入的标准不确定度估算见表 C.5 和表 C.6。

C.2.6　数据处理引入的测量不确定度分量

（1）数据修约

数据修约引入的标准不确定度优于 0.0005 dB。

（2）静压与温度修正

在报告校准结果时，声压灵敏度级应修正至参考环境条件，待校传声器的静压系数和温度系数由制造商提供，静压修正和温度修正对声压灵敏度级校准的不确定度分量贡献见表 C.5 和表 C.6。

C.3　合成标准不确定度及扩展不确定度

LS1P 型实验室标准传声器声压灵敏度级校准的主要不确定度分量汇总见表 C.5。

LS2P 型实验室标准传声器声压灵敏度级校准的主要不确定度分量汇总见表 C.6。

取包含因子 k=2，则 LS1P 型、LS2P 型实验室标准传声器声压灵敏度级校准的扩展不确定度分别见表 C.5 和表 C.6。

表 C.5　LS1P 型实验室标准传声器声压灵敏度级的测量不确定度（2 Hz～10 Hz）　(dB)

序号	不确定度分量	符号	2 Hz	2.5 Hz	3.15 Hz	4 Hz	5 Hz	6.3 Hz	8 Hz	10 Hz
1	测量重复性	ν_1	0.0600	0.0600	0.0600	0.0600	0.0600	0.0600	0.0600	0.0600
2	串联阻抗	ν_2	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
3	电压比测量	ν_3	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030
4	串扰	ν_3	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
5	固有和环境噪声	ν_5	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	失真	ν_6	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
7	频率	ν_7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	耦合腔长度	ν_8	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
9	耦合腔直径	ν_9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	耦合腔表面积	ν_{10}	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000
11	耦合腔体积	ν_{11}	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
12	非理想耦合腔/传声器泄露	ν_{12}	0.0500	0.0400	0.0300	0.0250	0.0160	0.0080	0.0050	0.0030
13	静压	ν_{13}	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
14	温度	ν_{14}	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
15	相对湿度	ν_{15}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
16	传声器前腔深度	ν_{16}	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
17	传声器的附加长度	ν_{17}	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033	0.0033
18	传声器膜片声阻抗的前腔体积和等效体积	ν_{18}	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
19	传声器共振频率	ν_{19}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20	传声器损耗因子	ν_{20}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	极化电压	ν_{21}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	热传导等声转移阻抗的其他修正因素	ν_{22}	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400	0.0300	0.0300	0.0200	0.0200
23	数据修约	ν_{23}	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
24	静压修正	ν_{24}	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040	0.0040
25	温度修正	ν_{25}	0.0220	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020

标准不确定度	u_c	0.096	0.088	0.084	0.082	0.076	0.074	0.071	0.070
扩展不确定度（k=2）	U	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

表 C.5　LS1P 型实验室标准传声器声压灵敏度级的测量不确定度（20 Hz～10 kHz）　(dB)

序号	不确定度分量	符号	20 Hz	31.5 Hz	50 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	10 kHz
1	测量重复性	v_1	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0500	0.0500
2	串联阻抗	v_2	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0040	0.0040	0.0150	0.0150
3	电压比测量	v_3	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009
4	串扰	v_3	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
5	固有和环境噪声	v_5	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	失真	v_6	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
7	频率	v_7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	耦合腔长度	v_8	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0002	0.0030	0.0030
9	耦合腔直径	v_9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	耦合腔表面积	v_{10}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	耦合腔体积	v_{11}	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
12	非理想耦合腔/传声器泄露	v_{12}	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0011	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	静压	v_{13}	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
14	温度	v_{14}	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
15	相对湿度	v_{15}	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0018	0.0018
16	传声器前腔深度	v_{16}	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
17	传声器的附加长度	v_{17}	0.0033	0.0021	0.0018	0.0015	0.0013	0.0004	0.0001	0.0004	0.0006	0.0006	0.0010	0.0010
18	传声器膜片声阻抗的前腔体积和等效体积	v_{18}	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080
19	传声器共振频率	v_{19}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0030	0.0090	0.0090
20	传声器损耗因子	v_{20}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0010	0.0036	0.0062	0.0100	0.0100
21	极化电压	v_{21}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

22	热传导等声转移阻抗的其他修正因素	v_{22}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
23	数据修约	v_{23}	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
24	静压修正	v_{24}	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0011	0.0013	0.0030	0.0085	0.0085
25	温度修正	v_{25}	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0065	0.0090	0.0090
标准不确定度		u_c	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.023	0.024	0.056	0.056
扩展不确定度（k=2）		U	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.12	0.12

表 C.6　LS2P 型实验室标准传声器声压灵敏度级的测量不确定度（10 Hz～4 kHz） (dB)

序号	不确定度分量	符号	10 Hz	20 Hz	31.5 Hz	50 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
1	测量重复性	v_1	0.0500	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150
2	串联阻抗	v_2	0.0200	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
3	电压比测量	v_3	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
4	串扰	v_3	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
5	固有和环境噪声	v_5	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	失真	v_6	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
7	频率	v_7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	耦合腔长度	v_8	0.0050	0.0030	0.0030	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
9	耦合腔直径	v_9	0.0040	0.0020	0.0020	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
10	耦合腔表面积	v_{10}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	耦合腔体积	v_{11}	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037
12	非理想耦合腔/传声器泄露	v_{12}	0.0200	0.0100	0.0100	0.0060	0.0050	0.0022	0.0011	0.0003	0.0001	0.0001	0.0000
13	静压	v_{13}	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
14	温度	v_{14}	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
15	相对湿度	v_{15}	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
16	传声器前腔深度	v_{16}	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004
17	传声器膜片声阻抗的前腔体积和等效体积	v_{18}	0.0067	0.0067	0.0068	0.0068	0.0069	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080
18	传声器共振频率	v_{19}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010
19	传声器损耗因子	v_{20}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0050	0.0050	0.0050
20	极化电压	v_{21}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	热传导等声转移阻抗的其他修正因素	v_{22}	0.0200	0.0050	0.0050	0.0050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	数据修约	v_{23}	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005

23	静压修正	v_{24}	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050
24	温度修正	v_{25}	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0025
标准不确定度		u_c	0.062	0.024	0.024	0.022	0.021	0.021	0.021	0.021	0.022	0.022	0.022
扩展不确定度（k=2）		U	0.20	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05

表 C.6　LS2P 型实验室标准传声器声压灵敏度级的测量不确定度（8 kHz～25 kHz）　(dB)

序号	不确定度分量	符号	8 kHz	10 kHz	12.5 kHz	16 kHz	20 kHz	25 kHz
1	测量重复性	v_1	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400
2	串联阻抗	v_2	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080	0.0080
3	电压比测量	v_3	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
4	串扰	v_3	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025
5	固有和环境噪声	v_5	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
6	失真	v_6	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
7	频率	v_7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	耦合腔长度	v_8	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
9	耦合腔直径	v_9	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
10	耦合腔表面积	v_{10}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
11	耦合腔体积	v_{11}	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037	0.0037
12	非理想耦合腔/传声器泄露	v_{12}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	静压	v_{13}	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
14	温度	v_{14}	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
15	相对湿度	v_{15}	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0040
16	传声器前腔深度	v_{16}	0.0020	0.0026	0.0045	0.0075	0.0100	0.0140
17	传声器膜片声阻抗的前腔体积和等效体积	v_{17}	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
18	传声器共振频率	v_{18}	0.0290	0.0290	0.0290	0.0290	0.0290	0.0290
19	传声器损耗因子	v_{19}	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150	0.0150
20	极化电压	v_{20}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
21	热传导等声转移阻抗的其他修正因素	v_{21}	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	数据修约	v_{22}	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005

23	静压修正	ν_{23}	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085	0.0085
24	温度修正	ν_{24}	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065
标准不确定度		u_c	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056	0.057
扩展不确定度（k=2）		U	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12