

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1853—2020

声强校准器校准规范

Calibration Specification for Sound Intensity Calibrators

2020-07-02 发布

2021-01-02 实施

国家市场监督管理总局 发布

声强校准器校准规范

Calibration Specification for Sound

Intensity Calibrators

JJF 1853—2020

归口单位：全国声学计量技术委员会

起草单位：北京航天计量测试技术研究所

中国计量科学研究院

湖南声仪测控科技有限公司

北京长城计量测试技术研究所

上海珩昕信息科技有限公司

本规范委托全国声学计量技术委员会负责解释

本规范起草人：

闫 磊（北京航天计量测试技术研究所）

白 天（北京航天计量测试技术研究所）

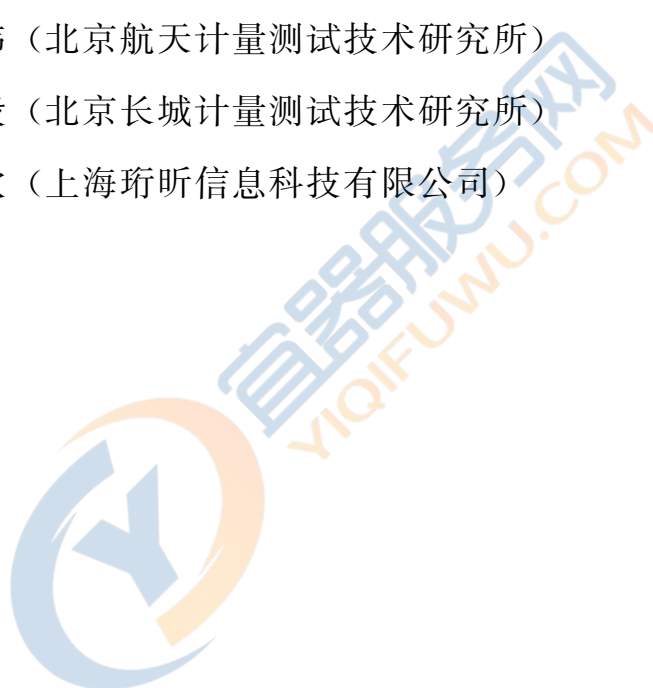
牛 锋（中国计量科学研究院）

刘湘衡（湖南声仪测控科技有限公司）

杨晓伟（北京航天计量测试技术研究所）

张炳毅（北京长城计量测试技术研究所）

王 欢（上海珩昕信息科技有限公司）



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 术语和定义	(1)
3.2 量和单位	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(3)
5.1 声压级	(3)
5.2 声强级	(3)
5.3 频率	(3)
5.4 总谐波失真	(3)
5.5 剩余声强测量装置的幅相一致性	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准器及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果表达	(8)
8.1 校准记录	(8)
8.2 校准数据处理	(8)
8.3 校准证书	(8)
8.4 校准结果的测量不确定度	(9)
9 复校时间间隔	(9)
附录 A 校准记录的内容和格式	(10)
附录 B 校准证书的内容和格式	(12)
附录 C 测量不确定度评定示例	(15)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。本规范在制定中参考了 GB/T 17561—1998《声强测量仪 用声压传声器对测量》、JJG 176—2005《声校准器》、JJG 992—2004《声强测量仪》中规定的测量方法。

本规范为首次发布。



声强校准器校准规范

1 范围

本规范适用于校准 p-p 探头声强测量仪用声强校准器的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 176—2005 声校准器

JJG 607—2003 声频信号发生器

JJG 992—2004 声强测量仪

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1034 声学计量名词术语及定义

JJF 1059.1—2012 测量不确定度的评定与表示

GB/T 2900.86—2009 电工术语 声学 and 电声学

GB/T 3102.7—1993 声学的量和单位

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 17561—1998 声强测量仪用声压传声器对测量

GB/T 20441.4—2006 测量传声器 工作标准传声器规范

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

3 术语和计量单位

3.1 术语和定义

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

3.1.1 声强探头 sound intensity probe

输出信号能被处理以获得特定方向的声强成分的换能器系统。

[GB/T 17561—1998，定义 3.1]

3.1.2 p-p 探头 p-p probe

由两个相距一已知固定距离的传声器组成的探头。两传声器测量声压，其平均值被认为是探头参考点的声压，而声压微分可用来推导声质点速度分量。

[GB/T 17561—1998，定义 3.2]

注：p-p 探头也称双传声器探头（two-microphone probe）。

3.1.3 p-p 探头通道间相位差 phase difference between probe channels for a p-p probe

在输入相同时，p-p 探头各通道间相位响应的差，包括传声器前置放大器和电缆（如果它们是探头的组成部分）。

[GB/T 17561—1998, 定义 3.6]

注：p-p 探头通道间相位差是频率的函数。

3.1.4 p-p 探头中传声器标称间距 nominal separation of microphones in a p-p probe

在一个仪器中用来直接计算声强的固定的间距值。在特定频率范围内，它是两个传声器有效间距的平均值。

[GB/T 17561—1998, 定义 3.7]

3.1.5 声强处理机 sound intensity processor

与指定探头连用以测定声强的装置。处理机以声强和声压或声强级和声压级的形式在 1/1 倍频程带或 1/3 倍频程带显示结果。

[GB/T 17561—1998, 定义 3.8]

3.1.6 剩[残]余声强 residual intensity

当处理机两通道输入相同的电信号时，或当与处理机相连探头的换能器输入相同的声压时，由于测量通道间的相位差产生的无功声强。

[GB/T 17561—1998, 定义 3.10]

3.1.7 声压-剩[残]余声强指数 pressure-residual intensity index

当处理机两通道输入相同的粉红噪声电信号时或当与处理机相连探头的换能器输入相同的粉红噪声声信号时，在 1/1 倍频程带或 1/3 倍频程带内，指示的声压级与指示的剩余声强级的差值（按空气密度为 1.2048 kg/m^3 计算）。

[GB/T 17561—1998, 定义 3.11]

注：此指数仅用于需要独立地指示声压级的场合。

3.1.8 剩[残]余声强测量装置 residual intensity testing device

使用相同的声压同时施加于 p-p 探头的传声器，在某频带内和在一个或多个声压级上能直接计算声压—剩余声强指数的装置。

[GB/T 17561—1998, 定义 3.19]

3.2 量和单位

GB/T 3102.7—1993 规定的量和单位适用于本规范。

4 概述

声强校准器是一种用于校准 p-p 探头声强测量仪的仪器，一般包含声源、声压和声强校准耦合器、剩余声强测量装置，声强校准耦合器内部包含声阻抗耦合元件，将耦合腔内部分隔为两个腔室，使两腔室内的声压信号产生一个固定的相位差。校准时将 p-p 探头传声器置于密闭耦合器中，声强校准器可模拟在 p-p 探头传声器标称间距条件下沿声强探头的轴向（或径向）传播的单频和宽频声强信号。

声强校准器主要有以下三种用途：

- a) 声强校准；
- b) 声压校准；
- c) 声压-剩余声强指数测量。

5 计量特性

5.1 声压级

声强校准器在密闭耦合腔内产生的声压级一般不小于 90 dB（基准声压为 20 μ Pa），与制造商提供的规定声压级之差一般不超过 ± 0.4 dB。

5.2 声强级

在传声器标称间距条件下，声强校准器在密闭耦合腔内产生的模拟声强级与制造商提供的规定声强级之差一般不超过 ± 0.5 dB。

5.3 频率

声强校准器产生的正弦声信号频率一般在 160 Hz~1 250 Hz 频率范围内，产生的声信号频率与制造商提供的规定频率之差（以百分比表示）一般不超过 $\pm 1.7\%$ 。

5.4 总谐波失真

在声强校准器的各规定频率点上，其最大总谐波失真一般不超过 3.0%。

5.5 剩余声强测量装置的幅相一致性

声强校准器若包含剩余声强测试装置，测试装置发生的粉红噪声（或白噪声）信号一般在 45 Hz~7.1 kHz 的频率范围之内。

在 45 Hz~1 000 Hz 的频率范围内，测试装置向两只传声器提供的声信号的声压级差一般在 ± 0.10 dB 之内，其相位差的绝对值一般不大于 0.10° 。

注：由于校准无需作出合格与否的判定，因此第 5 章中给出的技术要求仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

声强校准器应在以下环境条件下进行校准：

——空气温度：20 $^\circ$ C~26 $^\circ$ C；

——相对湿度：25%~90%；

——静压：80 kPa~105 kPa。

——校准时背景噪声应低于被校声强校准器相应规定声压级 50 dB。

6.2 测量标准器及其他设备

a) 参考传声器

至少两只符合 GB/T 20441.4—2006 要求的声压型工作标准传声器（WSP）。

b) 前置放大器

至少两只前置放大器，在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，总谐波失真不大于 0.1%，A 计权本机噪声不大于 10 μ V。

c) 适调放大器

至少包含两个测量放大通道，在 20 Hz~20 kHz 频率范围内，总谐波失真不应大于 0.1%。

d) 多通道声分析仪

对声分析仪的要求如下：

- 至少包含两个测量通道，一个输出通道；
- 至少在 45 Hz～7.1 kHz 频率范围内的幅值最大允许误差不大于 $\pm 0.2\%$ ；
- 声压级测量通道的总谐波失真不大于 0.1%；
- FFT 分析的频率谱线数为 6 400，频率分辨力不低于 1 Hz；
- 具有双通道互谱测量、声强级测量、频率测量和总谐波失真测量功能。给出的总谐波失真计算至 6 次谐波。

e) 失真测量仪

在 45 Hz～7.1 kHz 频率范围内，失真测量仪引起的扩展不确定度不应大于 0.5% ($k=2$)。

注：失真测量仪可被具有总谐波失真测量功能的声分析仪取代。

f) 频率计

在校准频率范围内，频率计的最大允许误差应优于 $\pm 0.05\%$ 。

g) 气压计

在校准环境条件内，气压计的最大允许误差应优于 ± 0.5 kPa。

h) 温度计

在校准环境条件内，温度计的最大允许误差应优于 ± 0.2 °C。

i) 湿度计

在校准环境条件内，湿度计的最大允许误差应优于 $\pm 10\%$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

声强校准器的校准项目见表 1。

表 1 声强校准器校准项目一览表

序号	项目名称	技术要求的章条号	校准方法的章条号
1	声压级	5.1	7.2.1
2	声强级	5.2	7.2.2
3	频率	5.3	7.2.3
4	总谐波失真	5.4	7.2.4
5	剩余声强测量装置的幅相一致性	5.5	7.2.5

7.2 校准方法

7.2.1 声压级

7.2.1.1 测量原理

声强校准器产生的声压级的测量装置如图 1 所示。声强校准器产生的声压级可由公式 (1) 给出。

$$L_p = \frac{\overline{L_{pA}} + \overline{L_{pB}}}{2} + \frac{K_{0A} + K_{0B}}{2} + \frac{\Delta\beta_A + \Delta\beta_B}{2} + \Delta k \quad (1)$$

式中：

L_p ——声强校准器产生的声压级，dB；

$\overline{L_{pA}}$ 、 $\overline{L_{pB}}$ ——分别为 A 和 B 两只参考传声器测得的平均声压级，dB；

K_{0A} 、 K_{0B} ——分别为 A 和 B 两只参考传声器的开路声压灵敏度级修正值，dB；

$\Delta\beta_A$ 、 $\Delta\beta_B$ ——分别为 A 和 B 两只参考传声器对应的前置放大器的传输损失，dB；

Δk ——声强校准器的静压修正值（如适用），dB。

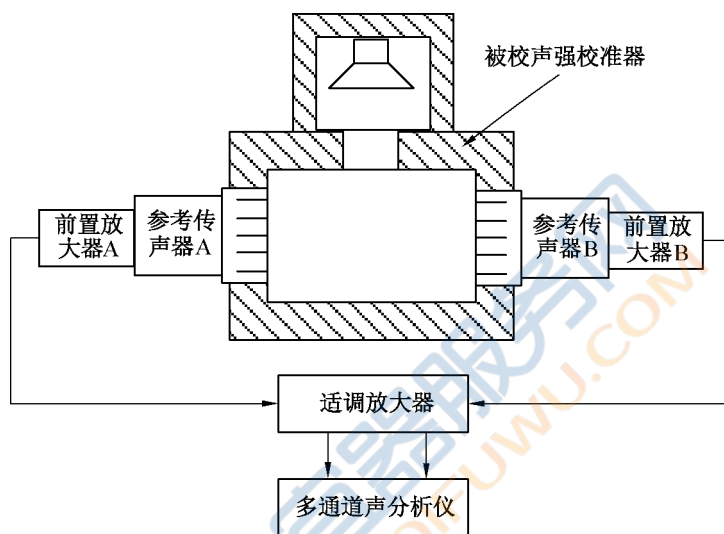


图1 声压级测量装置示意图

注：声强校准器模拟沿径向传播的声强。

7.2.1.2 平均声压级

校准装置按规定时间预热后，设置适调放大器的频率下限为 20 Hz，频率上限为 20 kHz，适调放大器两个通道灵敏度分别设置为参考传声器 A 和 B 的开路灵敏度，依据被校声强校准器的标称声压级，将适调放大器置于相应的工作量程位置上，此时适调放大器两通道的输出灵敏度统一为 S (mV/Pa)，输出电压有效值约为 1 V。

参考传声器 A 和 B 插入被校声强校准器的密闭耦合腔内。接通被校声强校准器的电源，在制造商规定的稳定时间后，测量其输出的声压级，在多通道声分析仪上分别读取两个通道的电压示值 U_{Ai} 和 U_{Bi} ，测量时间应不小于 20 s，并将此电压值按公式 (2) 换算成声压级 L_{pAi} 和 L_{pBi} 表示。

$$\begin{cases} L_{pAi} = 20 \lg \frac{U_{Ai}}{S \cdot p_0} \\ L_{pBi} = 20 \lg \frac{U_{Bi}}{S \cdot p_0} \end{cases} \quad (2)$$

式中：

p_0 ——基准声压， $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ Pa。

上述过程重复 3 次，求出算术平均声压级 $\overline{L_{pAi}}$ 和 $\overline{L_{pBi}}$ ，每一次重复均应包括参考传

声器和被校声强校准器的重新耦合与分离。

7.2.1.3 参考传声器的开路声压灵敏度级修正值

校准使用的两只参考传声器应根据使用说明书提供的环境条件修正方法，把参考环境条件（温度 23 ℃，大气压力 101.325 kPa）的传声器开路灵敏度修正到实际校准环境时的传声器开路灵敏度级。修正值可按公式（3）计算。

$$K_0 = \alpha_p (p - 101.325) + \alpha_t (T - 23) \quad (3)$$

式中：

K_0 ——参考传声器开路声压灵敏度级修正值，dB；

α_p ——静压修正系数，dB/kPa；

α_t ——温度修正系数，dB/℃；

p ——实际校准时的气压，kPa；

T ——实际校准时的温度，℃。

7.2.1.4 前置放大器的传输损失

前置放大器的传输损失 $\Delta\beta$ 可用插入电压法测定。测量方法见 JJG 176—2005 中 7.3.3.1 的列项 3。

7.2.1.5 声强校准器的气压修正

对需进行气压修正的声强校准器，在实际校准环境条件下测得的声压级应根据使用说明书提供的气压修正方法进行修正，给出参考工作条件下的声压级。活塞发生器的静压修正方法见 JJG 176—2005 中 7.3.3.1 的列项 4，或厂家说明书。

7.2.2 声强级

7.2.2.1 测量原理

声强校准器的声强级测量装置如图 2 所示。声强校准器产生的模拟声强级可由公式（4）给出。

$$L_I = L_p + 10 \lg \left(\frac{400 \cdot |\sin \bar{\theta}|}{2\pi f \rho d} \right) \quad (4)$$

式中：

L_I ——声强校准器产生的模拟声强级，dB；

L_p ——声强校准器产生的声压级，dB；

f ——声信号频率的测得值，Hz；

$\bar{\theta}$ ——通道间声压相位差多次测量的算术平均值，(°)；

ρ ——参考空气密度，取 1.204 8 kg/m³；

d ——声强校准器制造商规定的 p-p 探头中传声器标称间距，m。

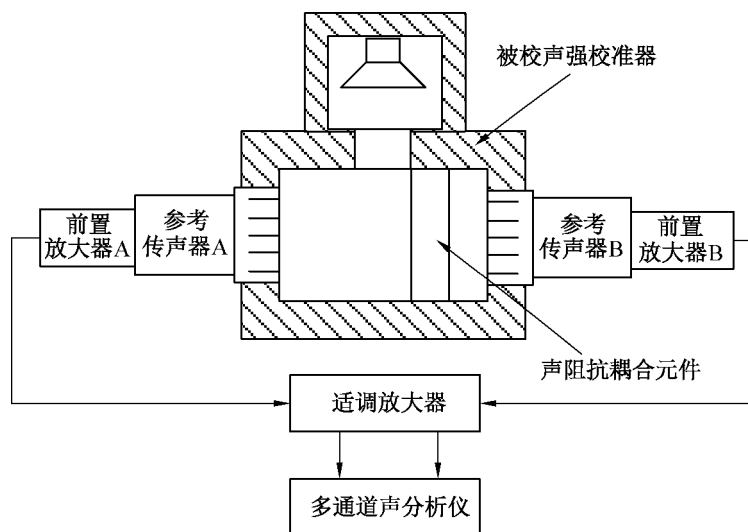


图2 声强级测量装置示意图

注：声强校准器模拟沿径向传播的声强。

7.2.2.2 声强校准器产生的声压级

声强校准器产生的声压级的测量装置如图2所示，声强校准器产生的声压级的测量方法见7.2.1。

7.2.2.3 频率

声强校准器产生的正弦声信号频率的测量方法见7.2.3。

7.2.2.4 平均声压相位差

在上述声压级的测量中，参考传声器A和B插入被校声强校准器的密闭耦合腔内，将多通道声分析仪连接至适调放大器的输出端，在多通道声分析仪上计算A和B两通道的互相关谱，设置频率分辨率不低于1 Hz，测量时间不小于20 s，直接读取频率为 f 处的两通道相位差 θ_{ABi} 。

交换参考传声器A和B位置，包括前置放大器、适调放大器在内的整个测量通道，再次插入被校声强校准器的密闭耦合腔内，重复上述校准步骤，直接读取频率为 f 处的两通道相位差 θ_{BAi} 。

则被校声强校准器的声压相位差可由公式(5)给出：

$$\theta_i = \left(\frac{\theta_{ABi} - \theta_{BAi}}{2} \right) \quad (5)$$

上述过程重复3次，求出算术平均声压相位差 $\bar{\theta}$ ，每一次重复均应包括参考传声器和被校声强校准器的重新耦合与分离。

7.2.3 频率

频率的测量在被校声强校准器的规定频率上进行，测量装置如图1所示，在按7.2.1进行声压级校准时，将多通道声分析仪（或频率计）连接至适调放大器的输出端，并在多通道声分析仪（或频率计）上直接读取其频率示值，被校声强校准器的频率误差 Δf 可由公式(6)给出：

$$\Delta f = \left| \frac{f_m - f_n}{f_n} \right| \times 100\% \quad (6)$$

式中：

Δf ——被校声强校准器的频率误差；

f_m ——测得的频率，Hz；

f_n ——被校声强校准器的规定频率，Hz。

7.2.4 总谐波失真

总谐波失真的测量装置如图 1 所示，在按 7.2.1 进行各频率点的声压级测量时，将失真测量仪连接至适调放大器的输出端，并在失真测量仪上直接读取被校声强校准器各频率点上的规定声压级的总谐波失真。

7.2.5 剩余声强测量装置的幅相一致性

测量装置如图 1 所示，参考传声器 A 和 B 同时插入被校声强校准器的密闭耦合腔内，将多通道声分析仪连接至适调放大器的输出端，并在多通道声分析仪上计算两通道的自相关谱和互相关谱，设置频率分辨率不低于 1 Hz，测量时间不小于 20 s，直接读取 45 Hz~1 000 Hz 频率范围内频率点 f_{RI} （推荐 $f_{RI}=45$ Hz、50 Hz、63 Hz、80 Hz、100 Hz、125 Hz、250 Hz、500 Hz、1 000 Hz）处两通道间的相位差 $\theta_{AB}(f_{RI})$ ，读取两通道的声压级后相减，得到通道间声压级差 $\Delta L_{pAB}(f_{RI})$ 。

交换参考传声器 A 和 B 位置，包括前置放大器、适调放大器等在内的整个测量通道，再次插入被校声强校准器的密闭耦合腔内，重复上述校准步骤，得到频率点 f_{RI} 处的两通道间声压级差 $\Delta L_{pBA}(f_{RI})$ 和相位差 $\theta_{BA}(f_{RI})$ 。

被校剩余声强测试装置向两只传声器提供的声压级差值 $\Delta L_p(f_{RI})$ 可由公式 (7) 给出，两个声信号的相位差绝对值 $|\theta(f_{RI})|$ 可由公式 (8) 给出：

$$\Delta L_p(f_{RI}) = \frac{\Delta L_{pAB}(f_{RI}) - \Delta L_{pBA}(f_{RI})}{2} \quad (7)$$

$$|\theta(f_{RI})| = \frac{|\theta_{AB}(f_{RI}) - \theta_{BA}(f_{RI})|}{2} \quad (8)$$

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准记录应尽可能详尽地记载测量数据和计算结果。

推荐的校准记录的格式见附录 A。

8.2 校准数据处理

所有的数值应先计算，后修约。出具的校准数据应按如下方法修约：

- 声压级的修约间隔为 0.1 dB；
- 声强级的修约间隔为 0.1 dB；
- 频率的修约间隔为 0.1 Hz，频率误差的修约间隔为 0.1%；
- 总谐波失真的修约间隔为 0.1%；
- 剩余声强测量装置的幅相一致性中声压级偏差的修约间隔为 0.01 dB，相位差的修约间隔为 0.01°。

8.3 校准证书

应为校准的声强校准器出具校准证书。校准证书应包括的信息及推荐的校准证书的内页格式见附录 B。

8.4 校准结果的测量不确定度

声强校准器校准的测量不确定度应按 JJF 1059.1—2012 的要求评定，不确定度评定的示例见附录 C。

9 复校时间间隔

建议声强校准器复校时间间隔为一年。然而，复校时间间隔的长短取决于仪器的使用情况（使用部位的重要性、环境条件、使用频率）、使用者、仪器本身质量等诸多因素，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。



附录 A

校准记录的内容和格式

声强校准器校准记录的内容及推荐的格式见图 A.1。

声强校准器校准记录							共 页 第 页
委托方：_____				校准日期：____年__月__日			
制造商：_____				产品型号：_____		出厂编号：_____	
1 声压级							
规定声压级：_____ dB； 试验频率：_____ Hz							
参考传声器的开路灵敏度修正值：通道 A：_____ dB，通道 B：_____ dB							
前置放大器的传输损失：通道 A：_____ dB，通道 B：_____ dB							
声强校准器的静压修正值：_____ dB							
测量通道的灵敏度：通道 A：_____ mV/Pa，通道 B：_____ mV/Pa							
测量通道	电压示值/mV			换算声压级/dB			平均声压级/ dB
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 1 次	第 2 次	第 3 次	
A							
B							
在耦合腔中产生的声压级：_____ dB（基准声压：20 μ Pa），扩展不确定度：_____ dB（ $k=2$ ）							
与规定声压级的差值：_____ dB							
2 声强级							
规定声强级：_____ dB； 试验频率：_____ Hz； FFT 的频率分辨率：_____ Hz							
测量时间：_____ s； 传声器标称间距：_____ mm； 参考空气密度：1.204 8 kg/m ³							
测量次数	通道相位差/（°）		声压相位差/（°）				
	AB	BA					
平均声压相位差：_____ °							
声强级：_____ dB（基准声强：1 pW/m ² ），扩展不确定度：_____ dB（ $k=2$ ）							
与规定声强级的差值：_____ dB							
3 频率							
规定声压级：_____ dB； 规定频率：_____ Hz							
频率测得值：_____ Hz，扩展不确定度：_____ Hz（ $k=2$ ）							
频率误差：_____ %							

图 A.1 校准记录的格式

声强校准器校准记录

共 页 第 页

4 总谐波失真

规定声压级：_____ dB； 规定频率：_____ Hz

总谐波失真：_____ %， 扩展不确定度：_____ % ($k=2$)

5 剩余声强测量装置的幅相一致性

规定声压级：_____ dB； FFT 的频率分辨力：_____ Hz； 测量时间：_____ s

频率 Hz	通道 AB				通道 BA			
	相位差 (°)	A 声压级 dB	B 声压级 dB	声压级差 dB	相位差 (°)	A 声压级 dB	B 声压级 dB	声压级差 dB
45								
50								
63								
80								
100								
125								
250								
500								
1 000								

两传声器的声压级差：_____ dB，扩展不确定度：_____ dB ($k=2$)相位差绝对值：_____ °，扩展不确定度：_____ ° ($k=2$)

校准的技术依据：JJF 1853—2020《声强校准器校准规范》

校准所使用的标准装置的名称、溯源性及有效性的说明：

校准条件：

空气温度：_____ °C

相对湿度：_____ %

静 压：_____ kPa

校准员：

核验员：

图 A.1 校准记录的格式（续）

附录 B

校准证书的内容和格式

B.1 声强校准器的校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 校准实验室的名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与校准实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），页码及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识（如型号、性能等级、类型标识及出厂编号等）；
- g) 进行校准的日期；
- h) 本技术规范的标识，包括名称及编号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性的说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- o) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

B.2 推荐的声强校准器校准证书的内页格式见图 B.1。

证书编号×××××—××××					
校准机构授权说明					
校准的技术依据 JJF 1853—2020 《声强校准器校准规范》					
校准环境条件及地点					
空气温度	℃	相对湿度	%	静 压	kPa
地 点					
校准使用的计量（基）标准装置					
名 称	测量范围	不确定度 /准确度等级 /最大允许误差	计量（基）标准 证书编号	有效期至	
校准使用的标准器					
名 称	测量范围	不确定度 /准确度等级 /最大允许误差	检定/校准 证书编号	有效期至	
第×页 共×页					

图 B.1 校准证书内页的格式

证书编号×××××—××××

校准结果

1 声压级

规定声压级：_____ dB； 试验频率：_____ Hz

在耦合腔中产生的声压级：_____ dB（基准声压：20 μ Pa）；扩展不确定度：_____ dB（ $k=2$ ）

与规定声压级的差值：_____ dB

2 声强级

规定声强级：_____ dB； 试验频率：_____ Hz

在耦合腔内产生的模拟声强级：_____ dB（基准声强：1 pW/m^2 ）

扩展不确定度：_____ dB（ $k=2$ ）

与规定声强级的差值：_____ dB

3 频率

规定声压级：_____ dB； 规定频率：_____ Hz

频率测得值：_____ Hz；扩展不确定度：_____ Hz（ $k=2$ ）

频率误差：_____ %

4 总谐波失真

规定声压级：_____ dB； 规定频率：_____ Hz

总谐波失真：_____ %；扩展不确定度：_____ %（ $k=2$ ）

5 剩余声强测量装置的幅相一致性

规定声压级：_____ dB

两传声器的声压级差：_____ dB；扩展不确定度：_____ dB（ $k=2$ ）

相位差绝对值：_____ °；扩展不确定度：_____ °（ $k=2$ ）

以下空白

第×页 共×页

图 B.1 校准证书内页的格式（续）

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 概述

本附录以声强校准器的声压级和声强级的测量不确定度评定为例，说明不确定度评定过程。

C.2 声压级的不确定度评定

C.2.1 测量模型

按公式 (C.1) 计算声强校准器声压级：

$$L_p = \frac{\overline{L_{pA}} + \overline{L_{pB}}}{2} + \frac{K_{0A} + K_{0B}}{2} + \frac{\Delta\beta_A + \Delta\beta_B}{2} + \Delta k \quad (\text{C.1})$$

式中：

L_p ——声强校准器产生的声压级，dB；

$\overline{L_{pA}}, \overline{L_{pB}}$ ——分别为 A 和 B 两只参考传声器测量的平均声压级，dB；

K_{0A}, K_{0B} ——分别为 A 和 B 两只参考传声器的开路声压灵敏度级修正值，dB；

$\Delta\beta_A, \Delta\beta_B$ ——分别为 A 和 B 两只参考传声器对应前置放大器的传输损失，dB；

Δk ——声强校准器的气压修正量，dB。

C.2.2 合成标准不确定度计算公式

由公式 (C.1) 可知，合成标准不确定度为：

$$u^2(L_p) = c_1^2 u_c^2(\overline{L_{pA}}) + c_2^2 u_c^2(\overline{L_{pB}}) + c_3^2 u_c^2(K_{0A}) + c_4^2 u_c^2(K_{0B}) + c_5^2 u_c^2(\Delta\beta_A) + c_6^2 u_c^2(\Delta\beta_B) + c_7^2 u_c^2(\Delta k) \quad (\text{C.2})$$

式中灵敏系数为：

$$c_1 = \frac{\partial(L_p)}{\partial(\overline{L_{pA}})} = \frac{1}{2}, \quad c_2 = \frac{\partial(L_p)}{\partial(\overline{L_{pB}})} = \frac{1}{2}$$

$$c_3 = \frac{\partial(L_p)}{\partial(K_{0A})} = \frac{1}{2}, \quad c_4 = \frac{\partial(L_p)}{\partial(K_{0B})} = \frac{1}{2}$$

$$c_5 = \frac{\partial(L_p)}{\partial(\Delta\beta_A)} = \frac{1}{2}, \quad c_6 = \frac{\partial(L_p)}{\partial(\Delta\beta_B)} = \frac{1}{2}$$

$$c_7 = \frac{\partial(L_p)}{\partial(\Delta k)} = 1$$

C.2.3 标准不确定度的评定

C.2.3.1 传声器测量声压级的重复性引入的测量不确定度

用两只传声器多次测量声强校准器得到的声压级汇总于表 C.1，求得实验标准偏差为：

$$s_1 = 0.007 \, 1 \, \text{dB}, \quad s_2 = 0.006 \, 2 \, \text{dB}$$

则 3 次测量平均值的标准偏差为：

$$u_1 = s_1 = 0.007 \, 1 \, \text{dB}/\sqrt{3} = 0.004 \, \text{dB}, \quad u_2 = s_2 = 0.006 \, 2 \, \text{dB}/\sqrt{3} = 0.004 \, \text{dB}$$

表 C.1 重复性测量结果

序号	传声器 A 声压级/dB	传声器 B 声压级/dB	序号	传声器 A 声压级/dB	传声器 B 声压级/dB	序号	传声器 A 声压级/dB	传声器 B 声压级/dB
1	117.64	117.67	7	117.63	117.67	13	117.65	117.67
2	117.65	117.67	8	117.64	117.66	14	117.65	117.68
3	117.65	117.68	9	117.64	117.67	15	117.64	117.67
4	117.65	117.67	10	117.65	117.68	16	117.64	117.66
5	117.64	117.67	11	117.66	117.68	17	117.65	117.68
6	117.64	117.67	12	117.65	117.67	18	117.64	117.67

C.2.3.2 电声测量设备对传声器测量声压级引入的测量不确定度

依据 7.2.2，电声测量设备对传声器测量声压级引入的不确定度分量来源于两方面：

a) 在适调放大器上，输出灵敏度调节的最大偏差为 0.01 dB，以均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_{3.1}=0.01 \text{ dB}/\sqrt{3}=0.0058 \text{ dB}$$

b) 声分析仪的误差限为 $\pm 0.2\%$ ($\pm 0.017 \text{ dB}$)，以均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_{3.2}=0.017 \text{ dB}/\sqrt{3}=0.01 \text{ dB}$$

综上，电声测量设备分别对参考传声器 A 和 B 测量平均声压级 $\overline{L_{pA}}$ 和 $\overline{L_{pB}}$ 引入的测量不确定度分量为：

$$u_3=\sqrt{u_{3.1}^2+u_{3.2}^2}=0.012 \text{ dB}$$

$$u_4=u_3=0.012 \text{ dB}$$

其灵敏系数分别为 c_1 和 c_2 。

C.2.3.3 传声器开路声压灵敏度级修正值引入的测量不确定度

参考传声器在适调放大器上使用时，其开路声压灵敏度级修正值 K_0 将来源于两方面的误差：

a) 由耦合腔比较法声压标准装置给出的量值传递误差，其测量不确定度为 0.12 dB ($k=2$)，故：

$$u_{5.1}=0.12 \text{ dB}/2=0.06 \text{ dB}$$

b) 适调放大器极化电压的最大误差为 $\pm 0.08 \text{ V}$ ，对参考传声器的开路声压灵敏度级的影响为：

$$u_{5.2}=0.0042 \text{ dB}$$

综上，由参考传声器 A 和 B 的开路声压灵敏度级修正值引入的测量不确定度分量分别为：

$$u_5=\sqrt{u_{5.1}^2+u_{5.2}^2}=0.060 \text{ dB}$$

$$u_6=u_5=0.060 \text{ dB}$$

C.2.3.4 前置放大器传输损失引入的测量不确定度

前置放大器的传输损失 $\Delta\beta$ 由上级计量机构提供, 其校准不确定度为 0.10 dB, $k=2$, 则由与参考传声器 A 和 B 相连的前置放大器引入的测量不确定度分量分别为:

$$u_7 = 0.10 \text{ dB}/2 = 0.050 \text{ dB}$$

$$u_8 = 0.10 \text{ dB}/2 = 0.050 \text{ dB}$$

C.2.3.5 声强校准器的气压修正量引入的测量不确定度

声强校准器的气压修正量 Δk 主要取决于气压表的误差限, 其误差限为 $\pm 0.5\%$, 对气压修正量 Δk 产生的最大误差为 $\pm 0.043 \text{ dB}$, 以均匀分布考虑, 取 $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_9 = 0.043 \text{ dB}/\sqrt{3} = 0.025 \text{ dB}$$

C.2.3.6 数据修约引入的测量不确定度

按 0.1 dB 的修约间隔, 半区间宽为 0.05 dB, 按均匀分布考虑, 取 $k=\sqrt{3}$, 则数据修约引入的不确定度为:

$$u_{10} = 0.05 \text{ dB}/\sqrt{3} = 0.029 \text{ dB}$$

C.2.3.7 测量不确定度来源汇总于表 C.2。

表 C.2 测量不确定度来源汇总表

序号	不确定度分量	符号	数值/dB	评定方法种类
1	传声器 A 测量声压级的重复性	u_1	0.004	A
2	传声器 B 测量声压级的重复性	u_2	0.004	A
3	电声测量设备对传声器 A 引入的测量误差	u_3	0.012	B
4	电声测量设备对传声器 B 引入的测量误差	u_4	0.012	B
5	传声器 A 开路声压灵敏度级修正值	u_5	0.060	B
6	传声器 B 开路声压灵敏度级修正值	u_6	0.060	B
7	传声器 A 前置放大器的传输损失	u_7	0.050	B
8	传声器 B 前置放大器的传输损失	u_8	0.050	B
9	声强校准器的气压修正量	u_9	0.025	B
10	修约误差	u_{10}	0.029	B

C.2.4 合成标准不确定度

以上各不确定度互不相关, 合成标准不确定度为:

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2 + c_7^2 u_7^2 + c_8^2 u_8^2 + c_9^2 u_9^2 + u_{10}^2$$

$$u_c = \left(\frac{1}{4} \times 0.004^2 + \frac{1}{4} \times 0.004^2 + \frac{1}{4} \times 0.012^2 + \frac{1}{4} \times 0.012^2 + \frac{1}{4} \times 0.060^2 + \frac{1}{4} \times 0.060^2 + \frac{1}{4} \times 0.050^2 + \frac{1}{4} \times 0.050^2 + 0.025^2 + 0.029^2 \right)^{\frac{1}{2}} \text{ dB}$$

$$u_c = 0.068 \text{ dB}$$

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则声强校准仪声压级的扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 2 \times 0.068 \text{ dB} = 0.14 \text{ dB}$$

因为要求修约间隔为 0.1 dB，所以，声强校准仪声压级的报告扩展不确定度为：

$$U = 0.2 \text{ dB}, k = 2$$

C.3 声强级的不确定度评定

C.3.1 测量模型

按公式 (C.3) 计算声强校准器声强级：

$$L_I = L_p + 10 \lg \left(\frac{400 \cdot |\sin(\bar{\theta})|}{2\pi f \rho d} \right) \quad (\text{C.3})$$

式中：

L_I ——声强校准器产生的模拟声强级，dB；

L_p ——声强校准器产生的声压级，dB；

f ——声信号频率的测得值，Hz；

$\bar{\theta}$ ——通道间声压相位差多次测量的算术平均值，(°)；

ρ ——参考空气密度，取 1.2048 kg/m^3 ；

d ——声强校准器制造商规定的 p-p 探头中传声器标称间距，m。

C.3.2 合成标准不确定度计算公式

由公式 (C.3) 可知，合成标准不确定度为：

$$u^2(L_I) = c_1^2 u_c^2(\bar{\theta}) + c_2^2 u_c^2(L_p) + c_3^2 u_c^2(f) \quad (\text{C.4})$$

式中灵敏系数为：

$$c_1 = \frac{\partial (L_I)}{\partial (\bar{\theta})} = \frac{10}{\tan \bar{\theta} \ln 10} = \frac{10}{\tan 13.95^\circ \times \ln 10} = 17.48$$

$$c_2 = \frac{\partial (L_I)}{\partial (L_p)} = 1$$

$$c_3 = \frac{\partial (L_I)}{\partial (f)} = \frac{-10}{f \ln 10} = \frac{-10}{251.16 \times \ln 10} = -0.0173$$

C.3.3 标准不确定度的评定

C.3.3.1 传声器测量平均相位差的重复性引入的测量不确定度

用两只传声器多次测量声强校准器得到的平均声压相位差汇总于表 C.3，通过公式 (C.3) 估算不同相位差下的声强级，依据 JJF 1059.1—2012 中 4.3.2.3 规定的极差法，求得实验标准偏差为：

$$s_1 = \frac{0.0062 \text{ dB}}{2.53} = 0.003 \text{ dB}$$

则由平均声压相位差测量重复性带来的不确定度分量为：

$$u_1 = s_1 = 0.003 \text{ dB}$$

表 C.3 重复性测量结果

序号	测量通道	通道间相位差/ (°)			$\bar{\theta}/ (^\circ)$
		1	2	3	
1	θ_{AB}	13.60	13.59	13.58	13.95
	θ_{BA}	-14.33	-14.30	-14.28	
2	θ_{AB}	13.60	13.61	13.62	13.95
	θ_{BA}	-14.31	-14.32	-14.27	
3	θ_{AB}	13.57	13.56	13.56	13.94
	θ_{BA}	-14.29	-14.34	-14.30	
4	θ_{AB}	13.61	13.60	13.60	13.94
	θ_{BA}	-14.27	-14.29	-14.30	
5	θ_{AB}	13.58	13.63	13.61	13.96
	θ_{BA}	-14.32	-14.30	-14.29	
6	θ_{AB}	13.60	13.59	13.60	13.94
	θ_{BA}	-14.26	-14.30	-14.27	

C.3.3.2 传声器测量声压级引入的测量不确定度

将 C.2 声压级测量不确定度评定结果作为声强级测量中声压值测量不确定度的 B 类评定结果, 故 $u_2=0.068$ dB。

C.3.3.3 电声测量设备对传声器测量声压相位差引入的测量不确定度

依据 7.2.2.4 平均声压相位差的测量方法, 电声测量设备引入的相位误差对声强级的影响约为 ± 0.02 dB, 以均匀分布考虑, 取 $k=\sqrt{3}$, 则 $u_3=0.02$ dB/ $\sqrt{3}=0.012$ dB, 其灵敏度系数为 c_1 。

C.3.3.4 声分析仪频率测量误差引入的测量不确定度

频率的测量精度主要取决于声分析仪的准确度, 其准确度为 $\pm 0.05\%$ (± 0.0022 dB), 以均匀分布考虑, 取 $k=\sqrt{3}$, 则 $u_4=0.0022$ dB/ $\sqrt{3}=0.001$ dB。

C.3.3.5 数据修约引入的测量不确定度

计算中按 0.1 dB 的修约间隔, 半区间宽为 0.05 dB, 按均匀分布考虑, 取 $k=\sqrt{3}$, 则数据修约引入的不确定度为:

$$u_5=0.05 \text{ dB}/\sqrt{3}=0.029 \text{ dB}$$

C.3.3.6 测量不确定度来源汇总于表 C.4。

表 C.4 测量不确定度来源汇总表

序号	不确定度分量	符号	数值/dB	评定方法种类
1	平均声压相位差测量	u_1	0.003	A
2	声压值测量的标准不确定度	u_2	0.068	B
3	电声测量设备引入的相位误差	u_3	0.012	B
4	声分析仪频率测量准确度	u_4	0.001	B
5	修约误差	u_5	0.029	B

C.3.4 合成标准不确定度

以上各不确定度互不相关，合成标准不确定度为：

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + u_5^2$$

$$u_c = [17.48^2 \times 0.003^2 + 0.068^2 + 17.48^2 \times 0.012^2 + (-0.0173)^2 \times 0.001^2 + 0.029^2]^{\frac{1}{2}} \text{ dB}$$

$$u_c = 0.085 \text{ dB}$$

C.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则声强校准仪声强级的扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 2 \times 0.085 \text{ dB} = 0.17 \text{ dB}$$

因为要求修约间隔为 0.1 dB，所以声强校准仪声强级的报告扩展不确定度为：

$$U = 0.2 \text{ dB}, k = 2$$