



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 175—2015

工作标准传声器 (静电激励器法)

Working Standard Microphones
(Electrostatic Actuator Method)

2015-01-30 发布

2015-07-30 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

工作标准传声器
(静电激励器法) 检定规程
Verification Regulation of Working Standard
Microphones (Electrostatic Actuator Method)

JJG 175—2015
代替 JJG 175—1998

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

浙江省计量科学研究院

参加起草单位：无锡吉兴汽车声学部件科技有限公司

深圳市计量质量检测研究院

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：

许 欢（中国计量科学研究院）

牛 锋（中国计量科学研究院）

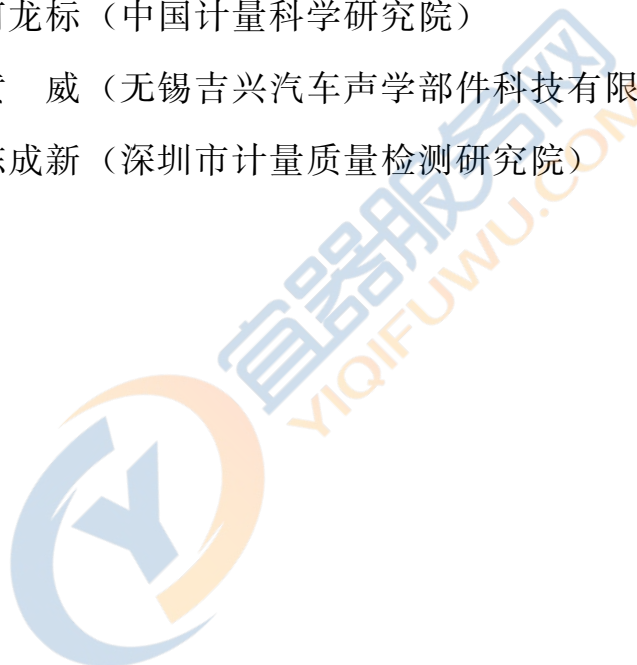
裘剑敏（浙江省计量科学研究院）

参加起草人：

何龙标（中国计量科学研究院）

黄 威（无锡吉兴汽车声学部件科技有限公司）

陈成新（深圳市计量质量检测研究院）



目 录

引言	(Ⅲ)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 工作标准传声器	(1)
3.2 静电激励器	(2)
3.3 传声器的静电激励器响应	(2)
4 概述	(2)
5 计量性能要求	(2)
5.1 灵敏度级	(2)
5.2 灵敏度级的频率响应	(2)
5.3 动态范围上限	(3)
6 通用技术要求	(3)
6.1 标志	(3)
6.2 出厂校准资料	(3)
7 计量器具控制	(4)
7.1 检定条件	(4)
7.2 检定项目	(4)
7.3 检定方法	(5)
7.4 检定结果的处理	(8)
7.5 检定周期	(8)
附录 A 声校准器的静压修正	(9)
附录 B 声校准器的腔体积修正	(10)
附录 C 检定证书和检定结果通知书的内页格式	(11)
附录 D 测量不确定度评定实例	(13)

引 言

本规程依据 JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》给出的规则和格式编制。

本规程是以国家标准 GB/T 20441.4—2006《测量传声器 第4部分：工作标准传声器规范》（IEC 61094-4：1995，IDT）和国际标准 IEC 61094-6：2004《测量传声器 第6部分：用于测定频率响应的静电激励器》为基础制定。

已发布的 JJG 1019—2007《工作标准传声器（耦合腔比较法）》和本规程共同代替 JJG 175—1998《测试电容传声器》。

本规程所替代规程的历次版本发布情况为：

——JJG 175—1984；

——JJG 175—1998。



工作标准传声器（静电激励器法）检定规程

1 范围

本规程适用于满足 GB/T 20441.4—2006《测量传声器 第4部分 工作标准传声器规范》规定的工作标准传声器的首次检定、后续检定和使用中的检查。

2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJF 1001—2011 通用计量术语及定义

JJF 1034—2005 声学计量名词术语及定义

JJF 1293—2011 静电激励器校准规范

GB 3102.7—1993 声学的量和单位

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 15173—2010 电声学 声校准器

GB/T 20441.3—2010 电声学 测量传声器 第3部分：采用互易技术对实验室标准传声器自由场校准的原级方法

GB/T 20441.4—2006 测量传声器 第4部分：工作标准传声器规范

IEC 61094-2 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）

IEC 61094-6: 2004 测量传声器 第6部分：用于测定频率响应的静电激励器（Measurement microphones—Part 6: Electrostatic actuators for determination of frequency response）

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

本规程采用 GB 3102.7—1993 中规定的量和单位。

JJF 1001—2011、JJF 1034—2005 和 GB/T 3947—1996 中界定的及以下术语和定义适用于本规程。

本规程根据需要，引用了 GB/T 20441.4—2006 和 IEC 61094-6: 2004 中的以下术语和定义：

3.1 工作标准传声器 working standard microphone

至少可用以下方法之一校准的传声器：

- a) IEC 61094-2 或 GB/T 20441.3—2010 中规定的方法；

- b) 与已校准过的实验室标准传声器作比较；
c) 使用 GB/T 15173—2010 中规定的声校准器。

工作标准传声器应满足机械尺寸和电声性能方面的特定要求，特别是关于时间稳定性和环境条件相关性的要求。

[GB/T 20441.4—2006，定义 3.1]

3.2 静电激励器 electrostatic actuator

用于测定传声器频率响应的装置，它包含一个置于传声器膜片附近的导电刚性平板，在平板和膜片间施加时变电压，可产生均匀地分布在膜片表面上的模拟声压的静电力。

[IEC 61094-6：2004，定义 3.1]

3.3 传声器的静电激励器响应 electrostatic actuator response of a microphone

用特别设计的静电激励器测得的传声器输出，该输出是频率的函数。静电激励器驱动电压的幅频特性相对于规定频率是均匀的。

注：静电激励器响应的单位为分贝（dB）。

[IEC 61094-6：2004，定义 3.2]

4 概述

工作标准传声器是一种机械尺寸和电声性能（特别在时间稳定性和环境条件影响方面）有特定要求的传声器，一般用于声压测量系统和声测量仪器的检定或校准。

5 计量性能要求

5.1 灵敏度级

工作标准传声器在 200 Hz～1 000 Hz 范围内的参考频率 f_0 处的最小灵敏度级见表 1。 f_0 一般为 250 Hz。

表 1 工作标准传声器的最小灵敏度级

计量性能	WS1	WS2	WS3
最小灵敏度级（参考灵敏度：1 V/Pa）	−34 dB	−40 dB	−60 dB
注：WS1 型、WS2 型、WS3 型工作标准传声器的定义见 GB/T 20441.4—2006。			

5.2 灵敏度级的频率响应

工作标准传声器灵敏度级的频率响应最大允许误差见表 2。

表 2 工作标准传声器频率响应的最大允许误差

频率/Hz	最大允许误差/dB		
	WS1	WS2	WS3
$20 \sim < f_0$	± 0.5	± 0.5	± 0.5
f_0	参考	参考	参考
$> f_0 \sim 2\,000$	± 0.5	± 0.5	± 0.5

表 2 (续)

频率/Hz	最大允许误差/dB		
	WS1	WS2	WS3
2 500	± 0.75	± 0.5	± 0.5
3 150	± 1.0	± 0.5	± 0.5
4 000	± 1.25	± 0.5	± 0.5
5 000	± 1.5	± 0.75	± 0.5
6 300	± 1.75	± 1.0	± 0.5
8 000	± 2.0	± 1.25	± 0.5
10 000	$+2.0, -6.0$	± 1.5	± 0.75
12 500	——	± 1.75	± 1.0
16 000	——	± 2.0	± 1.25
20 000	——	$+2.0, -6.0$	± 1.5
25 000	——	——	± 1.75
31 500	——	——	± 2.0
40 000	——	——	$+2.0, -6.0$

5.3 动态范围上限

动态范围上限以声压级给出, 在 160 Hz~1 000 Hz 的频率范围内该声压级所引起的总谐波失真为 3%, 对动态范围上限的要求见表 3。

表 3 工作标准传声器的动态范围上限

计量性能	WS1	WS2	WS3
动态范围上限 (参考 20 μ Pa)	≥ 135 dB	≥ 140 dB	≥ 150 dB

6 通用技术要求

6.1 标志

工作标准传声器应具有以下清晰耐久的标志:

- 1) 制造商的名称或商标;
- 2) 产品的型号;
- 3) 产品的序列号。

6.2 出厂校准资料

每个工作标准传声器应附有单独的出厂校准资料。出厂校准资料应包括该工作标准传声器的灵敏度级、正常工作需要的极化电压, 如需做静压、温度和相对湿度的修正, 则应给出相应的修正系数。

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 环境条件

温度： $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$ ；

相对湿度： $(30 \sim 90) \%$ ；

静压： $(94 \sim 103) \text{ kPa}$ ；

环境噪声声压级至少应低于静电激励器响应级 25 dB。

7.1.2 计量标准及主要配套设备

7.1.2.1 计量标准

a) 正弦信号发生器：在检定频率范围内，频率示值误差不超过 $\pm 0.5 \%$ ，总失真小于 0.1% ，相对于参考频率（250 Hz）的幅频特性优于 $\pm 0.1 \text{ dB}$ ，输出信号电压不低于 30 V。检定期间的幅值漂移不应超过 $\pm 0.02 \text{ dB}$ 。

注：如果输出电压不能达到 30 V，可通过放大实现。

b) 声校准器：能产生参考频率为 250 Hz 的正弦声压信号，性能等级为 LS 级。

c) 静电激励器：参考频率上（通常选取 250 Hz），其响应的重复性优于 0.04 dB 。静电激励器响应级重复测量的平均值与声压响应级之间的差值和单次测量所得的静电激励器响应级与声压响应级差值的偏差不应大于 0.1 dB 。

d) 前置放大器：频率响应在检定频率范围内不超过 $\pm 0.1 \text{ dB}$ ，输入端短路噪声低于 $10 \mu\text{V}$ （线性）， $3 \mu\text{V}$ （A 计权）。

e) 测量放大器：频率响应在被检频率范围内不超过 $\pm 0.2 \text{ dB}$ ，输入端短路噪声低于 $10 \mu\text{V}$ （线性），指示器误差不应超过 $\pm 0.2 \text{ dB}$ ，总失真小于 0.1% 。

f) 交流数字电压表：最大允许误差不应超过 $\pm 0.1 \%$ ；

g) 高阻抗直流电压表：最大允许误差不应超过 $\pm 0.05 \%$ ，输入阻抗不小于 $1 \text{ T}\Omega$ 。

h) 高声压传声器校准器：腔内声压可连续变化，最高声压级应大于 164 dB。在测量频率范围内，总谐波失真在 154 dB 以下小于 0.3% ，164 dB 以下小于 1% 。

i) 功率放大器：在检定频率范围内，频率响应不应超过 $\pm 0.2 \text{ dB}$ ，总谐波失真小于 0.5% 。

j) 直流电压源：一般为 800 V，测量期间幅度稳定度优于 0.05% 。

k) 压力场传声器：满足 GB/T 20441.4—2006 要求。

l) 失真度测量仪：在使用频率范围内，最大允许误差不应超过 $\pm 10 \%$ （满度）。

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：

气压表：在检定环境条件内，最大允许误差不应超过 $\pm 0.2 \text{ kPa}$ 。

7.2 检定项目

工作标准传声器的首次检定、后续检定和使用中检查项目见表 4。

表 4 工作标准传声器的首次检定、后续检定和使用中检查项目一览表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观检查	+	+	+
灵敏度级	+	+	+
灵敏度级的频率响应	+	+	—
动态范围上限	+	—	—
注：“+”表示需检定项目，“—”表示不需检定项目。			

7.3 检定方法

7.3.1 外观检查

工作标准传声器应具有清晰的标志，包括制造商的名称、型号和序列号等。外观不应有机械损伤，膜片清洁无污染、腐蚀现象。
出厂校准资料应符合 6.2 的要求。

7.3.2 灵敏度级

7.3.2.1 检定装置

灵敏度级可用声校准器法检定，检定装置示意图见图 1。

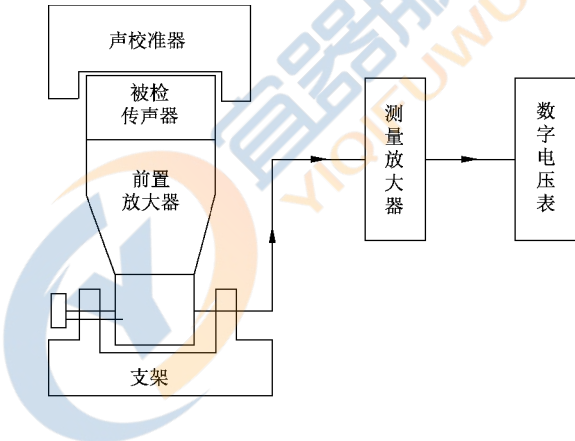


图 1 灵敏度级检定装置示意图

7.3.2.2 检定步骤

- a) 检定前准备：用高阻抗直流电压表检查馈给被检传声器的极化电压并调整到额定值，也可采用标准直流电压源平衡法进行检查调整。
- 调节测量放大器“前置放大器输入”和“直接输入”的灵敏度，使其对 50 mV 内部参考信号指示相同，也可将数字电压表连接到测量放大器输出端进行监视，然后将测量放大器置于适当量程。
- b) 将被检传声器与声校准器（频率为 250 Hz）的腔体紧密耦合，使用其参考轴处于与水平面成 90°角的位置，接通声校准器的电源，在制造商规定的稳定时间后，从数字电压表读取示值 U_i 并作记录，根据公式（1）计算声压级：

$$L_{pi} = 20 \lg \frac{U_i}{U_0} \tag{1}$$

式中：

L_{pi} ——声压级，dB；

U_i ——数字电压表读数，V；

U_0 ——参考电压，1 μ V。

c) 将被检传声器从声校准器腔体取出，改变二者相对位置重新耦合读数，测量 3 次取算术平均得到声压级的平均值 $\overline{L_p}$ ，如各次读数的最大差值超过 0.2 dB，应增加测量次数，并剔除带有粗大误差的读数。

d) 传声器的灵敏度级由公式 (2) 给出，其结果应符合 5.1 的要求。

$$L_{px} = -26.0 - (L_{pc} + \Delta K + \Delta P - \overline{L_p}) + \Delta\beta \quad (2)$$

式中：

L_{px} ——被检传声器的灵敏度级，dB；

L_{pc} ——声校准器的声压级校准值，dB；

ΔK ——声校准器的静压修正值（见附录 A），dB；

ΔP ——腔体积修正（见附录 B），dB；

$\overline{L_p}$ ——声压级的算术平均值，dB；

$\Delta\beta$ ——前置放大器的传输损失，dB。

e) 用插入电压法测量前置放大器的传输损失 $\Delta\beta$ ，也可以用图 2 所示的方法测定：首先将开关 K1 和 K2 同时打到 A，读取数字电压表的示值 U_1 ，再将开关 K1 和 K2 同时打到 B，读取数字电压表的读数 U_2 ，则前置放大器的传输损失可由公式 (3) 给出：

$$\Delta\beta = 20 \lg(U_2/U_1) \quad (3)$$

式中：

$\Delta\beta$ ——前置放大器的传输损失，dB；

U_1 ——前置放大器输出电压，V；

U_2 ——前置放大器输入电压，V。

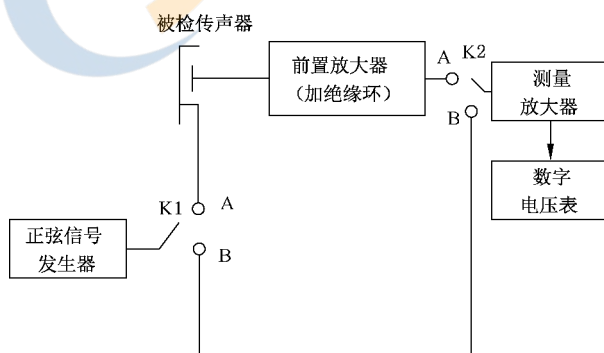


图 2 前置放大器传输损失测量示意图

7.3.3 灵敏度级的频率响应

7.3.3.1 检定装置

按 1/3 倍频程频率点，用测量放大器或数字电压表测得被检传声器的静电激励器响应，检定装置示意图如图 3 所示。

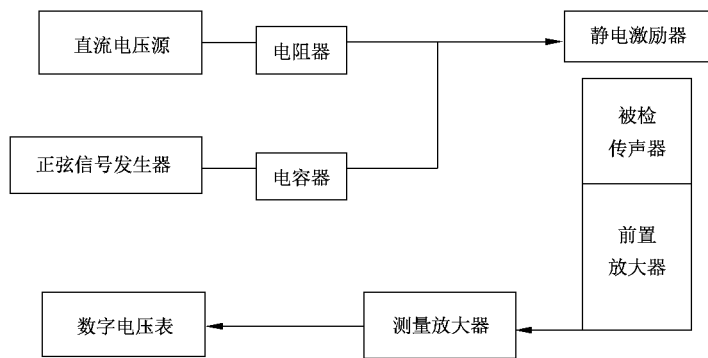


图 3 静电激励器法检定装置示意图

7.3.3.2 检定步骤

- a) 取掉被检传声器保护栅，将静电激励器置于传声器表面上，使其参考轴处于与水平面成 90°角的位置。
- b) 调节正弦信号发生器幅度，使在被检频率范围内，静电激励器响应级高于环境噪声声压级 25 dB。将正弦信号发生器置于参考频率，记录数字电压表的读数 U_0 。
- c) 将正弦信号发生器依次置于被检频率范围内的 1/3 倍频程频率上，记录数字电压表的读数 U_i 。
- d) 按公式 (4) 计算相对参考频率，被检传声器的静电激励器响应级：

$$\delta_i = 20 \lg \frac{U_i}{U_0} \tag{4}$$

式中：

- δ_i ——被检频率下的静电激励器响应级，dB；
- U_0 ——参考频率下的输出电压，V；
- U_i ——被检频率下的输出电压，V。

- e) 取下静电激励器，改变工作标准传声器和静电激励器相对耦合位置，分别转动静电激励器约 120°和 240°，重复测量步骤 a) ～d)，取 3 次测量的算术平均值作为传声器的静电激励器响应级。
- f) 根据传声器制造商提供的静电激励器频率响应级和声场频率响应级的修正值，可得到被检传声器的灵敏度级频率响应。

注：由于受测量放大器、前置放大器频率响应等偏差的影响，应对静电激励器在被检频率上的响应级作相应的修正。

7.3.4 动态范围上限

工作标准传声器的动态范围上限的检定装置示意图见图 4。将工作标准传声器和监测传声器同时耦合在高声压传声器校准仪中，在规定的频率下，调节正弦信号发生器和功率放大器的输出电压，使校准仪腔内声压为表 3 中规定的对应工作标准传声器类型的动态范围上限值，用失真度测量仪测量被检传声器输出信号的总谐波失真，不应超过 3%。

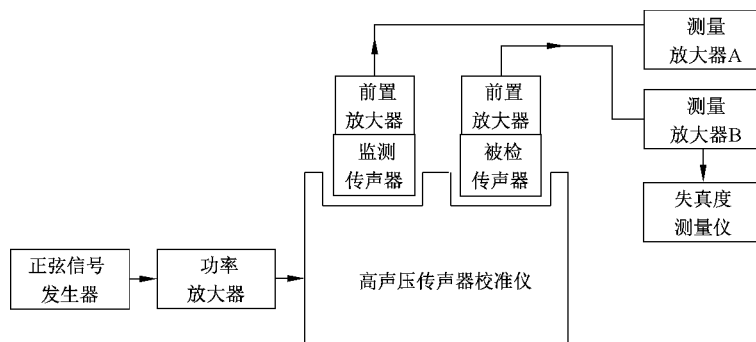


图4 动态范围上限检定装置示意图

7.4 检定结果的处理

7.4.1 所有数据应先计算，后修约，出具检定结果的数据应修约至百分之一分贝。

7.4.2 经检定合格的工作标准传声器发给检定证书；检定不合格的工作标准传声器发给检定结果通知书，并注明不合格的项目。

7.4.3 检定证书和检定结果通知书的内页格式见 C.1、C.2。

7.4.4 工作标准传声器检定中的测量不确定度应按 JJF 1059.1—2012 的要求评定，不确定度评定实例见附录 D。

7.5 检定周期

工作标准传声器的检定周期不应超过 1 年。

附录 A

声校准器的静压修正

声校准器的声压级校准值为参考环境条件下的数值，实际使用时应根据制造商提供的静压修正方法，对声校准器的输出声压级进行修正。目前，国内常见的声校准器静压修正量可从公式（A.1）求得：

$$\Delta K = 20 \lg(P/P_0) \quad (\text{A.1})$$

式中：

ΔK —— 静压修正值，dB；

P —— 实际检定时的大气压，kPa；

P_0 —— 标准大气压，101.3 kPa。



附录 B

声校准器的腔体积修正

声校准器所产生的声压级与耦合腔体积（包括传声器的等效体积和膜片到保护栅之间的体积，以及热传导附加体积）有关，当耦合腔体积超出标准体积时，应当根据制造商提供的数据按公式（B.1）进行修正。

$$\Delta P = 20 \lg[V/(V + \Delta V)] \tag{B.1}$$

式中：

ΔP —— 腔体积修正值，dB；

V —— 标称腔体积，cm³；

ΔV —— 腔体积变化量，cm³。

表 B.1 给出了使用 B&K 型 4228 活塞发声器（带 DP0776 适配环）时的部分腔体积修正值。

表 B.1

传声器型号	腔体积修正量（带保护栅）/dB
B&K 4188、B&K4191、B&K4192、B&K4193	+0.02
B&K4189、B&K 4190	0.00
B&K4131、B&K 4132	-0.05
B&K4144、B&K 4145	+0.05

附录 C

检定证书和检定结果通知书的内页格式

C.1 检定证书内页格式

检定结果						共 页 第 页		
一、外观检查：_____								
二、灵敏度级：_____ dB (_____ Hz，参考 1V/Pa)								
三、灵敏度级的频率响应：(参考频率 f_0 = _____ Hz)								
频率/Hz	20	25	31.5	40	50	63	80	
频率响应/dB (参考 1V/Pa)								
100	125	160	200	250	315	400	500	630
800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000
6 300	8 000	10 000	12 500	16 000	20 000	...		
四、动态范围上限 _____ dB：总谐波失真 _____ %								
检定环境条件：								
极化电压：_____ V								
温 度：_____ °C								
相对湿度：_____ %								
静 压：_____ kPa								
检定依据：JJG 175—2015 工作标准传声器（静电激励器法）								
使用的标准装置名称：								
说明：								

C.2 检定结果通知书内页格式

检定结果						共 页 第 页		
一、外观检查：_____								
二、灵敏度级：_____ dB (_____ Hz，参考 1V/Pa)								
三、灵敏度级的频率响应：(参考频率 f_0 = _____ Hz)								
频率/Hz	20	25	31.5	40	50	63	80	
频率响应/dB (参考 1V/Pa)								
100	125	160	200	250	315	400	500	630
800	1 000	1 250	1 600	2 000	2 500	3 150	4 000	5 000
6 300	8 000	10 000	12 500	16 000	20 000	...		
四、动态范围上限：_____ dB；总谐波失真 _____ %								
检定环境条件：								
极化电压：_____ V								
温 度：_____ °C								
相对湿度：_____ %								
静 压：_____ kPa								
检定依据：JJG 175—2015 工作标准传声器（静电激励器法）								
使用的标准装置名称：								
对检定结果不合格项及不能继续进行检定项目的说明：不合格及不能继续检定的项目。								

附录 D

测量不确定度评定实例

D.1 引言

工作标准传声器的主要计量性能为灵敏度级，以 4191 型工作标准传声器为例，对其灵敏度级进行不确定度评定。

D.2 灵敏度级测量的不确定度评定

D.2.1 测量模型

参考频率点的灵敏度级的计算公式见 7.3.2.2 中公式 (2)，其他频率下的灵敏度级频率响应由静电激励器响应级与修正值之和给出。

D.2.2 标准不确定度的 A 类评定

灵敏度级频率响应的测量结果见表 D.1，以其标准偏差作为 A 类不确定度分量 u_A 。

表 D.1 灵敏度级频率响应

频率 Hz	δ_f/dB						平均值 dB	标准偏差 dB
	1	2	3	4	5	6		
20	0.16	0.15	0.15	0.15	0.16	0.15	0.153	0.005
25	0.14	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.137	0.005
31.5	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.118	0.004
40	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10	0.103	0.005
50	0.09	0.09	0.09	0.07	0.08	0.08	0.083	0.008
63	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.068	0.004
80	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.057	0.005
100	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.043	0.005
125	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.033	0.005
160	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.017	0.005
200	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.010	0.000
250	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
315	0.00	-0.01	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	-0.007	0.005
400	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.010	0.000
500	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.013	0.005
630	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.013	0.005
800	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.010	0.000
1 000	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	0.00	-0.008	0.004

表 D.1 (续)

频率 Hz	δ_f/dB						平均值 dB	标准偏差 dB
	1	2	3	4	5	6		
1 250	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.002	0.004
1 600	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000
2 000	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.010	0.000
2 500	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.018	0.004
3 150	-0.02	-0.02	-0.01	-0.02	-0.01	-0.02	-0.017	0.005
4 000	0.00	-0.01	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.005	0.005
5 000	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.018	0.004
6 300	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.010	0.000
8 000	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.08	0.082	0.008
10 000	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.22	0.218	0.008
12 500	0.44	0.44	0.44	0.44	0.37	0.45	0.430	0.030
16 000	0.40	0.42	0.40	0.36	0.42	0.37	0.395	0.025
20 000	0.35	0.33	0.34	0.35	0.33	0.31	0.335	0.015

D.2.3 标准不确定度的 B 类评定

1) 参考频率点处灵敏度级的不确定度 u_1

参考频率点处灵敏度级的检定结果见表 D.2, 以其标准偏差作为重复性引入的不确定度分量。忽略后面考虑到的环境等影响因素, 各分量的来源及数值见表 D.3。

表 D.2 参考频率点处灵敏度级

	1	2	3	4	5	6	平均值	标准偏差
灵敏度级/dB	-38.029	-38.034	-38.032	-38.030	-38.031	-38.031	-38.031	0.002

表 D.3 参考频率点处灵敏度级的测量不确定度的来源及数值

序号	来源	数值/dB
1	重复性	0.002
2	声校准器声压级校准值	0.035
3	声校准器静压修正	0.011
4	前置放大器传输损失	0.002
5	测量系统线性度	0.040
6	极化电压	0.005
7	数值修约	0.003

表 D.3 中各分量独立无关，合成各分量，得到 u_1 为 0.055 dB。

2) 电压-声压转换、激励器衰减器、环境条件（静压、温度、相对湿度）对传声器和测量系统的影响以及被检传声器与衰减器电容差异引入的不确定度参考检定装置制造商提供的数据，列于表 D.4。

表 D.4 电压-声压转换等引入的不确定度

频率/Hz	20	100	125	250	500	4 000	8 000	12 500	16 000	31 500
电压-声压转换 u_2 /dB	0.010	0.010	0.010	0	0.010	0.010	0.026	0.037	0.040	0.076
激励器衰减器 u_3 /dB	0.017	0.010	0.008	0	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.011
环境条件 u_4 /dB	0.012	0.009	0.006	0	0.006	0.012	0.013	0.017	0.021	0.026
被检传声器与衰减器电容差异 u_5 /dB	0.006	0.001	0.000	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

3) 声压级响应和静电激励器响应级的修正值及其相应的不确定度由制造商提供。在高频下，工作标准传声器个体间差异的影响较大。将频率高于 4 kHz 时，制造商提供的不确定度扩大到 1.5 倍使用，见表 D.5。

表 D.5 声场修正引入的不确定度 u_6

频率/Hz	20	31.5	63~1 000	2 000	4 000	8 000	16 000	20 000	31 500
u_6 /dB	0.035	0.015	0.010	0.025	0.050	0.090	0.180	0.218	0.285

4) 激励器直流电压在检定过程中的波动、失真等其他影响因素引入的不确定度分量 u_7 ，估为 0.020 dB。

D.2.4 合成标准不确定度

灵敏度级的频率响应的测量不确定度的来源及数值汇总于表 D.6 中。对于没提供数据的频率点，根据不确定度分量的规律，取相邻频率点的最大值。由于表 D.6 中各分量独立无关，得到的合成标准不确定度 u_c 见表 D.6。

D.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则 4191 型传声器灵敏度级频率响应的扩展不确定度见表 D.6。

D.2.6 结论

将实验结果的扩展不确定度（表 D.6）与表 2 给出的被检传声器的最大允许误差比较。可知：在被检频率范围内，扩展不确定度满足小于最大允许误差绝对值的 1/3 的要求。故检定可行。

表 D.6 灵敏度级频率响应的测量不确定度

序号	来源	符号	20 Hz	25 Hz	31.5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz	125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz
1	重复性	u_A	0.005	0.005	0.004	0.005	0.008	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.000	0	0.005	0.000
2	参考点	u_1	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
3	电压-声压转换	u_2	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0	0.010	0.010
4	激励器衰减器	u_3	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.017	0.010	0.008	0.008	0.008	0	0.008	0.008
5	环境条件 (静压、 温度、相对湿度)	u_4	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.009	0.006	0.006	0.006	0	0.006	0.006
6	被检传声器与 衰减器电容差异	u_5	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0	0.000	0.000
7	声场修正	u_6	0.035	0.035	0.015	0.015	0.015	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
8	其他	u_7	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
标准不确定度		u_c	0.072	0.072	0.065	0.065	0.065	0.065	0.064	0.062	0.061	0.061	0.061	0.059	0.061	0.061
扩展不确定度 ($k=2$)		U	0.15	0.15	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.12	0.13	0.13

表 D.6 (续)

序号	来源	符号	500 Hz	630 Hz	800 Hz	1 kHz	1.25 kHz	1.6 kHz	2 kHz	2.5 kHz	3.15 kHz	4 kHz	5 kHz	6.3 kHz
1	重复性	u_A	0.005	0.005	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.004	0.005	0.005	0.004	0.000
2	参考点	u_1	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
3	电压-声压转换	u_2	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.026	0.026
4	激励器衰减器	u_3	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
5	环境条件 (静压、 温度、相对湿度)	u_4	0.006	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.013	0.013
6	被检传声器与 衰减器电容差异	u_5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	声场修正	u_6	0.010	0.010	0.010	0.010	0.025	0.025	0.025	0.050	0.050	0.050	0.090	0.090
8	其他	u_7	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
标准不确定度		u_c	0.061	0.062	0.062	0.062	0.066	0.066	0.066	0.079	0.079	0.079	0.112	0.112
扩展不确定度 ($k=2$)		U	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.16	0.16	0.16	0.23	0.23

表 D.6 (续)

序号	来源	符号	8 kHz	10 kHz	12.5 kHz	16 kHz	20 kHz
1	重复性	u_A	0.008	0.008	0.030	0.025	0.015
2	参考点	u_1	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055
3	电压-声压转换	u_2	0.026	0.037	0.037	0.040	0.076
4	激励器衰减器	u_3	0.008	0.008	0.008	0.008	0.011
5	环境条件 (静压、 温度、相对湿度)	u_4	0.013	0.017	0.017	0.021	0.026
6	被检传声器与 衰减器电容差异	u_5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	声场修正	u_6	0.090	0.180	0.180	0.180	0.218
8	其他	u_7	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
标准不确定度		u_c	0.112	0.194	0.196	0.196	0.240
扩展不确定度 ($k=2$)		U	0.23	0.39	0.40	0.40	0.48