

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1293—2011

---

## 静电激励器校准规范

Calibration Specification for Electrostatic Actuators

2011-07-04 发布

2011-10-04 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 静电激励器校准规范

Calibration Specification for

Electrostatic Actuators

JJF 1293—2011

---

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2011 年 7 月 4 日批准，并自 2011 年 10 月 4 日起施行。

归口单位：全国声学计量技术委员会

起草单位：中国计量科学研究院

衡阳衡仪电气有限公司

陕西师范大学应用声学所

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：

何龙标（中国计量科学研究院）

刘湘衡（衡阳衡仪电气有限公司）

陈剑林（中国计量科学研究院）

牛 锋（中国计量科学研究院）

吴胜举（陕西师范大学应用声学所）



# 目 录

1	范围	(1)
2	引用文献	(1)
3	术语和计量单位	(1)
4	概述	(1)
5	计量特性	(2)
5.1	静电激励器响应的重复性	(2)
5.2	静电激励器响应级与声压响应级之差的一致性	(2)
6	校准条件	(2)
6.1	环境条件	(2)
6.2	标准器及其他设备	(2)
7	校准项目和校准方法	(3)
7.1	校准项目	(3)
7.2	校准方法	(3)
8	校准结果表达	(4)
8.1	校准记录	(4)
8.2	校准数据处理	(4)
8.3	校准证书	(5)
8.4	校准结果的不确定度评定	(5)
9	复校时间间隔	(5)
附录 A	校准证书的内容	(6)
附录 B	校准结果的不确定度评定实例	(8)

## 静电激励器校准规范

### 1 范围

本规范规定了用于测定传声器频率响应的静电激励器的计量特性、校准条件和校准方法。

本规范适用于测定传声器频率响应的静电激励器的校准。

### 2 引用文献

本规范引用下列文献

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

JJG 449—2001 倍频程和 1/3 倍频程滤波器

JJG 790—2005 实验室标准传声器（耦合腔互易法）

GB/T 3102.7—1993 声学的量和单位

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

使用本规范时，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

本规范采用 JJF 1001—1998 和 JJF 1034—2005 中有关的术语及定义。

本规范采用 GB/T 3102.7—1993 中规定的量和单位。根据本规范需要，引用 IEC 61094-6 中的以下术语和定义：

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

用特别设计的、由幅频特性均匀的电压驱动的静电激励器测得的，相对于在规定频率的输出，以频率函数表示的传声器的输出。

注：静电激励器响应的单位为分贝（dB）。

### 4 概述

静电激励器是用于测定传声器频率响应的装置，它由一个导电刚性平板组成。该平板位于传声器膜片附近，在平板与膜片间施加交流电压信号，产生静电力，用以模拟均匀分布在膜片表面上的声压，其基频声压的方均根值  $p$  可用式（1）表示：

$$p = \frac{\epsilon_{\text{gas}} a}{d^2} U_0 u \quad (1)$$

式中： $p$ ——基频声压的方均根值，单位为帕（Pa）；

$\epsilon_{\text{gas}}$ ——静电激励器和膜片间空气的介电常数，单位为法每米 (F/m)，(在空气中  $\epsilon_{\text{gas}} = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m)；

$a$ ——在膜片有效面积上方的静电激励器有效面积和膜片有效面积之比；

$d$ ——激励器与膜片间的有效距离，单位为米 (m)；

$U_0$ ——施加于激励器和膜片间的直流电压，单位为伏 (V)；

$u$ ——施加于激励器和膜片间的交流电压的方均根值，单位为伏 (V)。

静电激励器法测定传声器的相对频率响应是一种简易快捷的方法，也是目前测定传声器频率响应的主要方法之一。该方法得到传声器的相对频率响应，加上预先确定的特定修正值，就能获得该传声器在不同声场类型中的频率响应。

## 5 计量特性

### 5.1 静电激励器响应的重复性

在静电激励器响应的规定频率上，通常选取 250 Hz，其重复性一般不大于 0.04 dB。

### 5.2 静电激励器响应级与声压响应级之差的一致性

静电激励器响应级与声压响应级之差的平均值，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，一般不超过  $\pm 0.1$  dB。

注：由于校准无需作出合格与否的判定，因此上述技术指标仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

#### 1) 参考环境条件

温 度：23.0 °C；

相对湿度：50%；

气 压：101.325 kPa。

#### 2) 测量环境条件

温 度：18 °C ~ 28 °C；

相对湿度：35% ~ 75%；

气 压：94 kPa ~ 103 kPa。

在被测频率的频带上，背景噪声声压级至少应低于静电激励器响应级 25 dB。

### 6.2 标准器及其他设备

#### 1) 实验室标准传声器

LS1P 和 LS2P 实验室标准传声器应符合 JJG 790 中计量性能的要求。

#### 2) 交流信号源

在测量频率范围内，相对于参考频率 250 Hz 的幅频特性优于  $\pm 0.02$  dB。

#### 3) 直流电压源

直流电压源一般为 800 V，测量期间幅度稳定度优于 0.05%。

#### 4) 信号分析系统（或等效测量仪器）

信号分析系统通常可由测量放大器、1/3 倍频程滤波器及前置放大器组成，在测量

频率范围内，相对于参考频率 250 Hz 的频率响应优于  $\pm 0.02$  dB。

#### 5) 数字电压表

在测量频率范围内，数字电压表的最大允许误差不超过  $\pm 0.1\%$  (AC) 或  $\pm 0.05\%$  (DC)。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

静电激励器的校准项目见表 1。

表 1 静电激励器校准项目一览表

序号	项目名称
1	静电激励器响应的重复性
2	静电激励器响应级与声压响应级之差的一致性

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 校准前检查

检查静电激励器的外观，应符合以下要求：

1) 静电激励器的文字、标志应清晰可辨。

2) 静电激励器的刚性导电板表面应无机械损伤和毛刺，以免产生静电放电，损坏实验室标准传声器。

#### 7.2.2 静电激励器响应的重复性

7.2.2.1 静电激励器响应的重复性测量装置方框图如图 1 所示，图中电阻器的典型值为  $10\text{ M}\Omega$ 、电容器的典型值为  $5\text{ nF}$ 。

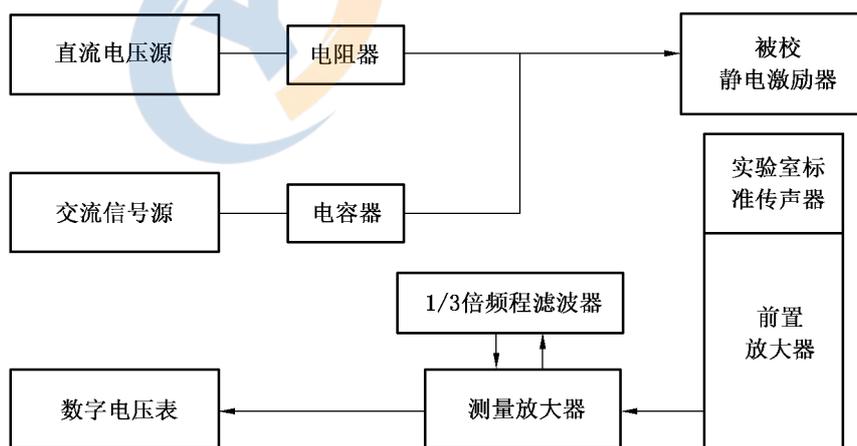


图 1 静电激励器响应的测量装置

7.2.2.2 交流信号源一般由正弦信号发生器和增益不小于 20 dB 的交流放大器组成。首先设定 1/3 倍频程滤波器的中心频率为 250 Hz，正弦信号发生器的信号频率为 250 Hz，并从小到大调节输出信号幅度，其信号幅度通常调节至约 30 V，在测量放大器上的指示约为 94 dB，经数字电压表读取电压值  $U_0$ 。

7.2.2.3 取下被校静电激励器，每次旋转约  $60^\circ$  角后重新放置，并按上述 7.2.2.2 重复

测量 5 次，分别得到电压值  $U_1 \sim U_5$ 。

7.2.2.4 计算出电压值  $U_0 \sim U_5$  单次测量的标准偏差，其值即为静电激励器响应的重复性。

7.2.3 静电激励器响应级和声压响应级之差的一致性

7.2.3.1 静电激励器响应级测量装置方框图如图 1 所示，首先按 7.2.2.2 条测得电压值  $U_0$ 。

7.2.3.2 在测量频率范围内，依次设定 1/3 倍频程滤波器的中心频率和相应正弦信号发生器的输出信号频率，并保持正弦信号发生器的输出电压不变，分别在数字电压表上读出每个被测频率上相应的电压值  $U_i$ 。

7.2.3.3 静电激励器在被测频率上的响应级可由式 (2) 给出：

$$\delta_f = 20 \lg \frac{U_i}{U_0} \quad (2)$$

式中： $\delta_f$ ——被测频率上的响应级，单位为分贝 (dB)；

$U_i$ ——被测频率上的电压值，单位为伏 (V)；

$U_0$ ——在 250 Hz 参考频率上的电压值，单位为伏 (V)。

注：由于受交流信号源的幅频特性、信号分析系统（包括测量放大器、前置放大器和 1/3 倍频程滤波器）频率响应等偏差的影响，应对静电激励器在被测频率上的响应级作相应的修正。

7.2.3.4 依据实验室标准传声器在被测频率上的声压灵敏度级，以 250 Hz 频率为参考，计算出相应的声压响应级  $\delta_L$ 。

7.2.3.5 静电激励器响应级与声压响应级之差可由式 (3) 给出：

$$\delta_i = \delta_f - \delta_L \quad (3)$$

式中： $\delta_i$ ——静电激励器响应级与声压响应级之差，单位为分贝 (dB)；

$\delta_f$ ——静电激励器在被测频率上的响应级，单位为分贝 (dB)；

$\delta_L$ ——实验室标准传声器在被测频率上的声压响应级，单位为分贝 (dB)。

7.2.3.6 取下被校静电激励器，每次旋转约  $120^\circ$  角后重新放置（或更换相同型号的实验室标准传声器后重新放置），并按上述 7.2.3.1 至 7.2.3.5 重复两次，计算出被测频率上静电激励器响应级平均值与声压响应级之差的平均值  $\bar{\delta}_i$ 。

7.2.3.7 静电激励器响应级与声压响应级之差的一致性可由式 (4) 给出：

$$\Delta\delta_i = \delta_i - \bar{\delta}_i \quad (4)$$

式中： $\Delta\delta_i$ ——静电激励器响应级与声压响应级之差的一致性，单位为分贝 (dB)；

$\delta_i$ ——每次测量的静电激励器响应级与声压响应级之差，单位为分贝 (dB)；

$\bar{\delta}_i$ ——三次测量的静电激励器响应级与声压响应级之差的平均值，单位为分贝 (dB)。

## 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。

### 8.2 校准数据处理

所有的数据应先计算后修约，出具的校准数据均修约到小数点后两位。

### 8.3 校准证书

静电激励器经校准后出具校准证书，校准证书应包括的信息及推荐的校准证书内页格式见附录 A。

### 8.4 校准结果的不确定度评定

静电激励器响应级与声压响应级之差一致性的测量不确定度评定按 JJF 1059—1999 进行，其不确定度评定实例见附录 B。

## 9 复校时间间隔

静电激励器的复校时间间隔建议为 3 年。然而，复校时间间隔的长短取决于其使用情况，如环境条件、使用频率、测量对象等，因此，使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间间隔。



## 附录 A

### 校准证书的内容

A.1 校准证书至少应包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 证书的编号、页码及总页数；
- c) 校准实验室的名称和地址；
- d) 进行校准的日期；
- e) 进行校准的地点（如果不在实验室内进行校准）；
- f) 送校单位的名称和地址；
- g) 被校静电激励器的描述和明确标识；
- h) 校准所依据的技术规范的名称及代号；
- i) 校准所用计量标准的名称、技术参数及有效期；
- j) 校准时的环境条件；
- k) 校准结果；
- l) 校准结果的测量不确定度；
- m) 复校时间间隔的建议；
- n) 校准人签名、核验人签名、批准人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经校准实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

A.2 推荐的静电激励器校准证书的内页格式见图 A.1。

## 校准结果

共 页 第 页

## 一、静电激励器响应的重复性

单次测量的标准偏差：\_\_\_\_\_ dB

## 二、静电激励器响应级与声压响应级之差的平均值及一致性

频率/Hz	20	31.5	40	50	63	80	100	$f_n$
静电激励器的响应级与声压响应级之差的平均值 $\bar{\delta}_i$ /dB								
静电激励器的响应级与声压响应级之差的一致性 $\Delta\delta_i$ /dB								

校准结果的不确定度：

校准的环境条件：

温度：\_\_\_\_\_℃； 相对湿度：\_\_\_\_\_％； 气压：\_\_\_\_\_kPa

图 A.1 校准证书的内页格式

## 附录 B

## 校准结果的不确定度评定实例

静电激励器响应级与声压响应级的差值是为获得被测传声器在不同声场类型中的频率响应提供特定的修正值，静电激励器响应级与声压响应级差值的一致性表述了单次测量结果与测量结果平均值的偏离，它是对静电激励器响应级与声压响应级差值准确性的判定。而静电激励器响应级与声压响应级差值的测量不确定度评定则是对其差值一致性的评判，测量不确定度评定结果一般应与差值一致性要求相符。本附录给出了静电激励器响应级与声压响应级差值的不确定度评定实例。

## B.1 数学模型

静电激励器响应级与声压响应级的差值  $\delta_i$  可由式 (B.1) 给出：

$$\delta_i = \delta_f - \delta_L \quad (\text{B.1})$$

式中： $\delta_i$ ——静电激励器响应级与声压响应级之差，单位为分贝 (dB)；

$\delta_f$ ——静电激励器在被测频率上的响应级，单位为分贝 (dB)；

$\delta_L$ ——实验室标准传声器在被测频率上的声压响应级，单位为分贝 (dB)。

## B.2 灵敏系数

由式 (B.1) 可知， $\delta_i$  的方差为：

$$u_c^2(\delta_i) = c_1^2 u^2(\delta_f) + c_2^2 u^2(\delta_L) \quad (\text{B.2})$$

$\delta_f$  和  $\delta_L$  这两个分量互不相关，因此式中灵敏系数  $c_1$  和  $c_2$  均为 1。

## B.3 A 类不确定度的评定

对适用于 WS1 型和 WS2 型传声器的静电激励器，分别选取 B&K4144 和 B&K4134 型传声器作为 LS1P 和 LS2P 实验室标准传声器，并进行静电激励器响应级和声压响应级差值的试验验证。表 B.1 为 4144 型传声器的静电激励器响应级与声压响应级差值在 1/3 倍频程各个中心频率点的标准偏差，由于通常耦合腔互易法校准得到的声压响应级只测量一次，因此两者响应级差值的标准偏差与静电激励器响应级的标准偏差等同。表 B.2 为适用于 4134 型传声器的静电激励器响应级与声压响应级差值在 1/3 倍频程各个中心频率点的标准偏差。

以 4144 型为实验室标准传声器，在 10 Hz~10 kHz 频率范围内，静电激励器响应级与声压响应级差值在 1/3 倍频程各个中心频率点的标准偏差最大值为 0.028 dB；以 4134 型为实验室标准传声器，在 20 Hz~25 kHz 范围内，静电激励器响应级与声压响应级差值的标准偏差最大值为 0.060 dB。三次测量所得平均值的最大标准偏差分别为 0.017 dB 和 0.035 dB。因此，对适用于 WS1 型传声器的静电激励器， $u_1 = 0.017$  dB，对适用于 WS2 型传声器的静电激励器， $u_1 = 0.035$  dB。

表 B.1 4144 型传声器的静电激励器响应级与声压响应级的差值的标准偏差

频率 Hz	$\delta_f$ /dB						$\delta_f$ 标准 偏差 dB	$\delta_L$ dB	$\delta_L$ 标准 偏差 dB	$\delta_i$ 标准 偏差 dB
	1	2	3	4	5	6				
10	0.280	0.259	0.285	0.270	0.277	0.274	0.009	0.168	0.000	0.009
12.5	0.242	0.220	0.245	0.227	0.231	0.234	0.009	0.158	0.000	0.009
16	0.221	0.200	0.189	0.192	0.189	0.189	0.013	0.143	0.000	0.013
20	0.205	0.147	0.136	0.175	0.172	0.165	0.024	0.124	0.000	0.024
25	0.153	0.132	0.157	0.157	0.153	0.160	0.010	0.106	0.000	0.010
31.5	0.117	0.095	0.120	0.120	0.127	0.113	0.011	0.088	0.000	0.011
40	0.080	0.095	0.084	0.084	0.095	0.088	0.006	0.071	0.000	0.006
50	0.086	0.064	0.089	0.074	0.078	0.067	0.010	0.056	0.000	0.010
63	0.056	0.071	0.060	0.064	0.064	0.057	0.005	0.043	0.000	0.005
80	0.056	0.034	0.059	0.048	0.045	0.048	0.009	0.032	0.000	0.009
100	0.044	0.022	0.030	0.033	0.033	0.030	0.007	0.022	0.000	0.007
125	0.023	0.023	0.027	0.030	0.023	0.023	0.003	0.014	0.000	0.003
160	0.005	0.009	0.009	0.016	0.013	0.009	0.004	0.007	0.000	0.004
200	0.007	-0.004	0.011	0.003	0.000	0.003	0.005	0.003	0.000	0.005
250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
315	0.008	-0.006	0.001	0.001	-0.006	-0.006	0.006	-0.001	0.000	0.006
400	0.007	-0.011	-0.007	-0.004	-0.011	-0.014	0.008	-0.002	0.000	0.008
500	0.005	-0.010	-0.002	-0.002	-0.009	-0.013	0.007	0.000	0.000	0.007
630	0.004	-0.010	-0.003	0.000	-0.007	-0.010	0.006	0.004	0.000	0.006
800	0.010	0.000	0.003	0.007	0.000	0.000	0.005	0.013	0.000	0.005
1 000	0.026	0.015	0.018	0.018	0.015	0.015	0.004	0.028	0.000	0.004
1 250	0.050	0.043	-0.695	0.046	0.046	0.043	0.003	0.051	0.000	0.003
1 600	0.095	0.084	0.087	0.091	0.087	0.087	0.004	0.087	0.000	0.004
2 000	0.086	0.153	0.156	0.156	0.152	0.152	0.028	0.145	0.000	0.028
2 500	0.252	0.248	0.254	0.254	0.250	0.247	0.003	0.229	0.000	0.003
3 150	0.387	0.384	0.390	0.393	0.389	0.386	0.003	0.347	0.000	0.003
4 000	0.528	0.536	0.543	0.543	0.536	0.536	0.006	0.493	0.000	0.006
5 000	0.500	0.517	0.525	0.525	0.514	0.514	0.009	0.596	0.000	0.009
6 300	-0.214	-0.205	-0.189	-0.192	-0.203	-0.207	0.009	0.425	0.000	0.009
8 000	-2.118	-2.097	-2.093	-2.084	-2.101	-2.100	0.011	-0.609	0.000	0.011
10 000	-4.984	-4.983	-4.973	-4.973	-4.999	-4.996	0.011	-3.197	0.000	0.011

表 B.2 4134 型传声器的静电激励器响应级与声压响应级的差值的标准偏差

频率 Hz	$\delta_f$ /dB						$\delta_f$ 标准 偏差 dB	$\delta_L$ dB	$\delta_L$ 标准 偏差 dB	$\delta_i$ 标准 偏差 dB
	1	2	3	4	5	6				
20	0.137	0.188	0.064	0.077	0.075	0.058	0.052	0.029	0.000	0.052
25	0.203	0.186	0.078	0.092	0.073	0.073	0.060	0.029	0.000	0.060
31.5	0.129	0.146	0.089	0.086	0.084	0.084	0.027	0.027	0.000	0.027
40	0.162	0.162	0.055	0.052	0.067	0.050	0.055	0.025	0.000	0.055
50	0.078	0.078	0.038	0.035	0.050	0.050	0.019	0.022	0.000	0.019
63	0.119	0.119	0.046	0.025	0.041	0.041	0.042	0.019	0.000	0.042
80	0.029	0.046	0.024	0.003	0.036	0.036	0.015	0.016	0.000	0.015
100	0.071	0.088	0.032	0.080	0.017	0.027	0.031	0.019	0.000	0.031
125	0.031	0.031	0.026	0.022	0.019	0.021	0.005	0.009	0.000	0.005
160	0.084	0.083	0.010	-0.010	0.012	0.010	0.041	0.006	0.000	0.041
200	0.031	0.031	-0.002	-0.002	-0.005	-0.007	0.018	0.003	0.000	0.018
250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
315	-0.003	-0.003	-0.005	-0.005	-0.005	-0.006	0.001	-0.002	0.000	0.001
400	-0.003	-0.003	-0.006	-0.008	-0.006	-0.004	0.002	-0.005	0.000	0.002
500	-0.014	-0.007	-0.012	-0.014	-0.009	-0.010	0.003	-0.006	0.000	0.003
630	0.004	-0.013	-0.016	-0.014	-0.013	-0.011	0.007	-0.007	0.000	0.007
800	-0.011	-0.011	-0.016	-0.018	-0.013	-0.014	0.003	-0.006	0.000	0.003
1 000	-0.002	0.015	-0.008	-0.007	-0.009	-0.009	0.009	-0.003	0.000	0.009
1 250	-0.007	0.010	-0.007	-0.011	-0.002	-0.002	0.007	0.005	0.000	0.007
1 600	0.020	0.020	0.005	0.003	0.008	0.010	0.007	0.014	0.000	0.007
2 000	0.024	0.041	0.027	0.027	0.029	0.032	0.006	0.032	0.000	0.006
2 500	0.118	0.136	0.061	0.061	0.065	0.066	0.033	0.061	0.000	0.033
3 150	0.183	0.185	0.118	0.120	0.122	0.123	0.033	0.111	0.000	0.033
4 000	0.301	0.300	0.212	0.212	0.217	0.219	0.044	0.187	0.000	0.044
5 000	0.401	0.417	0.347	0.346	0.352	0.352	0.031	0.307	0.000	0.031
6 300	0.650	0.656	0.578	0.576	0.589	0.591	0.036	0.491	0.000	0.036
8 000	0.982	0.968	0.924	0.922	0.931	0.931	0.026	0.761	0.000	0.026
10 000	1.267	1.321	1.260	1.254	1.277	1.273	0.024	1.126	0.000	0.024
12 500	1.289	1.302	1.316	1.322	1.314	1.315	0.012	1.505	0.000	0.012
16 000	0.995	1.075	1.077	1.087	1.087	0.956	0.056	1.466	0.000	0.056
20 000	-0.699	-0.610	-0.633	-0.630	-0.633	-0.637	0.030	2.466	0.000	0.030
25 000	-3.748	-3.797	-3.847	-3.835	-3.808	-3.813	0.035	3.466	0.000	0.035

## B.4 B类不确定度的评定

静电激励器响应级与声压响应级差值的 B 类不确定度包括以下分量：

## (1) 交流信号源的幅频特性引入的不确定度分量

交流信号源包括正弦信号源和交流信号放大器。通过数字电压表测量其相对参考频率 250 Hz 时的幅频特性并进行修正，修正值的不确定度主要取决于信号源和放大器在测量期间的稳定性以及数字电压表的测量不确定度，前者稳定性优于  $\pm 0.010$  dB，后者不确定度优于 0.1% (0.009 dB)，以均匀分布计算，交流信号源幅频特性的不确定度分量  $u_2$  为：

$$u_2 = \sqrt{0.010^2 + 0.009^2} / \sqrt{3} = 0.008(\text{dB})$$

## (2) 信号分析系统的频率响应引入的不确定度分量

信号分析系统包括前置放大器、测量放大器、1/3 倍频程滤波器和数字电压表，或者等效测量仪器。对前置放大器各个频率点的插入损失通过实际测量进行修正，1/3 倍频程滤波器的不确定度优于 0.1% (0.009 dB)，测量放大器输入端不确定度优于 0.01% (0.001 dB)，输出部分不确定度优于 0.1% (0.009 dB)，数字电压表在测量频率范围内 1 V 量程的不确定度优于 0.1% (0.009 dB)，信号分析系统的合成不确定度分量  $u_3$  为：

$$u_3 = \sqrt{0.009^2 + 0.001^2 + 0.009^2 + 0.009^2} / \sqrt{3} = 0.010(\text{dB})$$

## (3) 激励器直流电压在测量过程中的波动引入的不确定度分量

激励器直流电压的输出稳定度优于 0.1% (0.009 dB)，每小时内的波动不超过 0.05% (0.005 dB)，则激励器直流电压的不确定度分量  $u_4$  为：

$$u_4 = \sqrt{0.009^2 + 0.005^2} / \sqrt{3} = 0.006(\text{dB})$$

## (4) 实验室标准传声器的声压响应级引入的不确定度分量

在采用耦合腔互易法校准实验室标准传声器声压灵敏度的不确定度评定中，极化电压、电压比测量、耦合腔参数等不确定度分量与参考传声器的声压响应级无关。因此，结合我国现有耦合腔互易法声压基准的不确定度，实验室标准传声器的声压响应级传递的不确定度分量为：LS1P 传声器在 10 Hz~10 kHz 的不确定度分量小于 0.020 dB，LS2P 传声器在 20 Hz~25 kHz 的不确定度分量小于 0.030 dB。

因此，对于 4144 型传声器， $u_5 = 0.020$  dB；对于 4134 型传声器， $u_5 = 0.030$  dB。

## (5) 修约误差引入的不确定度分量

计算中修约误差取 0.001 dB，则： $u_6 = 0.001$  dB。

静电激励器响应级与声压响应级差值的测量不确定度来源汇总于表 B.3。

表 B.3 测量不确定度来源汇总表

序号	不确定度分量	符号	WS1 型传声器的静电激励器 dB	WS2 型传声器的静电激励器 dB
1	A 类不确定度	$u_1$	0.017	0.035
2	交流信号源的幅频特性	$u_2$	0.008	0.008

表 B.3 (续)

序号	不确定度分量	符号	WS1 型传声器的静电激励器 dB	WS2 型传声器的静电激励器 dB
3	信号分析系统的频率响应	$u_3$	0.010	0.010
4	激励器直流电压的波动	$u_4$	0.006	0.006
5	实验室标准传声器的 声压响应级	$u_5$	0.020	0.030
6	修约误差	$u_6$	0.001	0.001

## B.5 合成标准不确定度

对适用于 WS1 型传声器的静电激励器，其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 0.030 \text{ dB}$$

对适用于 WS2 型传声器的静电激励器，其合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2} = 0.049 \text{ dB}$$

## B.6 测量扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，对适用于 WS1 型传声器的静电激励器，其扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.030 \text{ dB} = 0.060 \text{ dB}$$

取  $U=0.06 \text{ dB}$  ( $k=2$ )。

取包含因子  $k=2$ ，对适用于 WS2 型传声器的静电激励器，其扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 2 \times 0.049 \text{ dB} = 0.098 \text{ dB}$$

取  $U=0.10 \text{ dB}$  ( $k=2$ )。