



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1337—2012

声发射传感器校准规范(比较法)

Calibration Specification for Acoustic Emission Sensors
(Comparative Method)

2012-03-20 发布

2012-06-20 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

声发射传感器校准规范

（比较法）

Calibration Specification for Acoustic Emission

Sensors (Comparative Method)

JJF 1337—2012

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

中国特种设备检测研究院

福建省计量科学研究院

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）

李光海（中国特种设备检测研究院）

杨 平（中国计量科学研究院）

牛 锋（中国计量科学研究院）

李 群（福建省计量科学研究院）

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 声发射	(1)
3.2 试块	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 频率响应	(2)
5.2 灵敏度级最大值	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(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	(5)
8.1 校准记录	(5)
8.2 校准数据处理	(5)
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	(6)
附录 A 校准证书的内容	(7)
附录 B 校准结果的不确定度评定示例	(9)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》进行编制。

JJF 1337—2012《声发射传感器校准规范（比较法）》参考了等同采用 ISO 12714:1999 的国家标准 GB/T 19801—2005《无损检测 声发射检测 声发射传感器的二级校准》中规定的接收固体介质表面波的声发射传感器的二级校准方法。

声发射传感器校准规范(比较法)

1 范围

本规范规定了接收固体介质表面波和纵波的声发射传感器的计量特性、校准条件和校准方法。

本规范适用于声发射传感器的二级校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件：

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 1059—1999 测量不确定度评定与表示

GB 3102.7—1993 声学的量和单位

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 12604.4—2005 无损检测 术语 声发射检测

GB/T 19801—2005 无损检测 声发射检测 声发射传感器的二级校准

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

JJF 1001—2011、JJF 1034—2005、GB/T 3947—1996 和 GB/T 12604.4—2005 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

本规范采用 GB/T 3102.7—1993 规定的量和单位。

3.1 声发射 acoustic emission

材料内部迅速释放能量所产生的瞬态弹性波的现象。

3.2 试块 test block

具有各向同性和均质的弹性材料块。

注：用于放置激励源、参考传感器和待测传感器。

4 概述

声发射传感器用于接收材料或结构内部的声发射信号，压力容器、管道、核电设备等诸多类型的结构都可以用声发射技术进行监测。通常使用的是基于压电效应的声发射传感器，其灵敏度定义为每单位机械输入（位移、速度、加速度）的输出电压，当机械输入为速度时，用公式（1）表示。

$$S = \frac{U}{v} \quad (1)$$

式中：

S ——传感器的速度灵敏度， $V/(m \cdot s^{-1})$ ；

U ——传感器的输出电压， V ；

v ——传感器耦合位置处垂直于试块表面的振动速度， m/s 。

声发射传感器的灵敏度也可表达为声压灵敏度，见式 (2)。

$$S_p = \frac{U}{p} \quad (2)$$

式中：

S_p ——传感器的声压灵敏度， V/Pa ；

p ——作用在传感器上的声压， Pa 。

速度灵敏度和声压灵敏度在特定条件下可以通过质点的法向振动速度与声压的关系进行换算。

声发射传感器通常采用灵敏度级，速度灵敏度级的参考值为 $1 V/(m \cdot s^{-1})$ ，声压灵敏度级的参考值为 $1 V/Pa$ 。

5 计量特性

5.1 频率响应

传感器的频率响应一般在 $100 \text{ kHz} \sim 1 \text{ MHz}$ 范围内测定，也可在其中某段频率范围内测定。

5.2 灵敏度级最大值

在所测频率范围内，声发射传感器灵敏度级的最大值，通常也给出其对应的频率点。

声发射传感器灵敏度级最大值一般在 $20 \text{ dB} \sim 120 \text{ dB}$ (参考值 $1 V/(m \cdot s^{-1})$) 或 $-100 \text{ dB} \sim 20 \text{ dB}$ (参考值 $1 V/Pa$) 之间。

注：本规范计量特性中提出的技术指标不作为合格性判定，仅提供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；

相对湿度： $(60 \pm 30)\%$ 。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 试块

采用钢质试块，用 2.25 MHz 的纵波进行检测，试块缺陷产生的回波不大于第一次底面波的 10% 。

对于声发射传感器的表面波灵敏度的校准，钢质试块应至少包括直径为 400 mm 、高度为 180 mm 的圆柱体，试块的两个端面应平整且平行度不应超过 0.12 mm 。钢质试块的上表面（工作面）的粗糙度不应超过 $1 \mu\text{m}$ ，试块底面的粗糙度不应大于 $4 \mu\text{m}$ 。其他材料的试块，其最小规格、尺寸准确度、粗糙度的要求应根据所用材料的纵波波速

与钢中纵波波速的比值进行调整。

对于声发射传感器的纵波灵敏度校准，建议选择厚度不小于 250 mm 的钢制试块。

6.2.2 脉冲信号源/函数信号发生器

脉冲信号源或函数信号发生器能发出脉冲宽度小于 $1\ \mu\text{s}$ 、幅值不小于 5 V 的脉冲信号。

6.2.3 发射换能器

发射换能器应为宽频带发射换能器或谐振频率高于 1 MHz 的超声换能器。

6.2.4 参考传感器

参考传感器应为通过一级校准的声发射传感器，优先选择 100 kHz 至 1 MHz 频率范围内频率响应平坦的传感器，频率响应起伏通常不超过 20 dB。

6.2.5 前置放大器

在 100 kHz~1 MHz 内的频率响应一般不超过 $\pm 0.1\ \text{dB}$ ，前置放大器的增益偏差不超过 $\pm 0.3\ \text{dB}$ ，输入阻抗不低于 $50\ \text{M}\Omega$ 。

6.2.6 信号采集装置

信号采集装置通常由双通道数据采集器和数据处理处理器组成。数据采集器的模数转换器应至少为 8 位，采样频率不低于 20 MHz，采样长度不小于 $55\ \mu\text{s}$ ，数据处理处理器应具备 FFT 处理功能。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

声发射传感器的校准项目见表 1。

表 1 声发射传感器校准项目

序 号	项 目 名 称
1	频率响应
2	灵敏度级最大值

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

目视检查声发射传感器的外观，应符合以下要求：

- 1) 声发射传感器的字符、标志应清晰可辨。
- 2) 声发射传感器的匹配层应无明显损伤。

7.2.2 频率响应

7.2.2.1 表面波灵敏度和频率响应的比较法校准装置框图如图 1 所示，作为声源的发射换能器置于中间，参考传感器与待测传感器分置两侧，声源到参考传感器的距离和声源到待测传感器的距离应为 $100\ \text{mm} \pm 2\ \text{mm}$ 。脉冲信号源发射一个窄脉冲至发射换能器，由于电声效应，在发射换能器的耦合处产生振动波，在试块表面主要是瑞利波，瑞利波从中心至四周扩散，由于待测传感器和发射换能器的距离与参考传感器和发射换能器的距离相等，可认为两者接收到的振动能量相等，并且引起的表面振动位移相同。通

过信号采集装置采集参考传感器和待测传感器的电压波形，对其时域信号进行傅立叶变换，可以得到待测传感器和参考传感器对激励信号的接收响应。根据参考传感器的灵敏度和频率响应，可以计算得到待测传感器的灵敏度和频率响应。重复测量 3 次，然后交换待测传感器和参考传感器的位置，再重新进行 3 次测量，取 6 次测量的平均值作为待测传感器的频率响应。

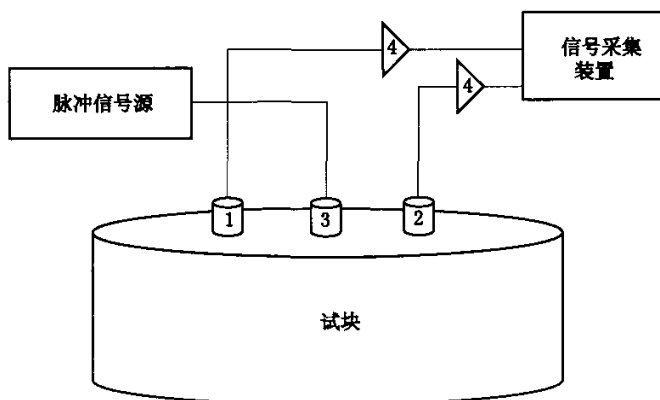


图 1 表面波灵敏度的比较法校准装置框图

1—参考传感器；2—待测传感器；3—发射换能器；4—前置放大器

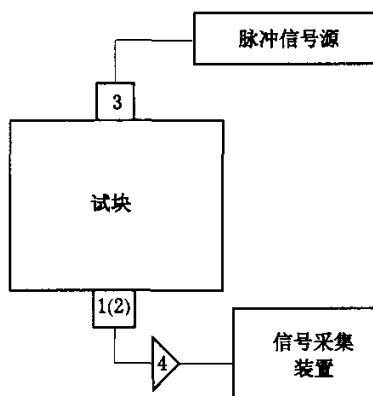


图 2 纵波灵敏度的比较法校准装置框图

1—参考传感器；2—待测传感器；3—发射换能器；4—前置放大器

7.2.2.2 对于纵波灵敏度和频率响应的比较法校准装置的框图如图 2 所示，发射换能器置于试块一侧的中心位置，参考传感器和待测传感器依次置于试块另一侧与发射换能器同轴的位置，对发射换能器施加相同的激励电压，记录参考传感器和待测传感器的输出电压波形，计算过程与表面波比较法校准过程相同。

7.2.2.3 在校准过程中, 应:

a) 去除传感器表面的附着物, 使用油脂类耦合剂进行耦合, 并对传感器施加足够的压紧力。

b) 记录与声发射传感器相连接的电缆长度。

c) 设置脉冲信号源输出一个宽度窄于 $1\ \mu\text{s}$ 的脉冲信号, 幅值不小于 $5\ \text{V}$ 。

d) 设置数据采集器的触发电平, 发射传感器输出声信号的同时, 对参考传感器和待测传感器的输出电压信号的时域波形进行采集。

e) 利用快速傅立叶变换, 计算参考传感器和待测传感器在 $100\ \text{kHz} \sim 1\ \text{MHz}$ 范围内频率为 f_m 时的幅值响应 $U_1(f_m)$ 和 $U_2(f_m)$ 。傅立叶变换的频率间隔选择 $10\ \text{kHz}$ 左右, 参考传感器的灵敏度和频率响应由一级校准获得, 待测传感器的频率为 f_m 时的灵敏度由公式 (3) 给出:

$$S_2(f_m) = \frac{U_2(f_m)}{U_1(f_m)} S_1(f_m) \quad (3)$$

式中:

$S_2(f_m)$ ——频率为 f_m 时待测传感器的灵敏度, $\text{V}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$;

$S_1(f_m)$ ——频率为 f_m 时参考传感器的灵敏度, $\text{V}/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$;

$U_1(f_m)$ ——频率为 f_m 时参考传感器的幅值响应, V ;

$U_2(f_m)$ ——频率为 f_m 时待测传感器的幅值响应, V 。

根据待测传感器在各个频率点的灵敏度, 可以得到相应的灵敏度级和频率响应曲线。对于谐振式压电声发射传感器, 可根据其工作频带确定校准的频率范围, 通常可根据频率响应起伏不超过 $40\ \text{dB}$ 的原则确定校准的频率范围。

7.2.3 灵敏度级最大值

通过 7.2.2 中获得的待测传感器的频率响应, 可以得到测量频率范围内的灵敏度级最大值及其对应的频率点。

8 校准结果

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, 出具的校准数据均保留一位小数。

8.3 校准证书

声发射传感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。校准项目可根据被校仪器的预期用途选择使用, 对校准规范的偏离, 应在校准证书中注明。

8.4 校准结果的不确定度评定

声发射传感器比较法校准的测量不确定度按 JJF 1059—1999 评定, 其不确定度评定示例见附录 B。

9 复校时间间隔

声发射传感器的复校时间间隔建议为 1 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，因此送校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：“校准证书”；
- b) 校准实验室的名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期；
- h) 如果与校准结果的有效性应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 环境条件的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- 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，不得部分复制证书的声明。

A.2 推荐的声发射传感器校准证书的内页格式见图 A.1。

校 准 结 果

共 页 第 页

一、外观检查：_____

二、电缆长度：_____ m

三、声发射传感器的频率响应：☐ 表面波 ☐ 纵波

表 1 声发射传感器的频率响应

测试频率/kHz												
灵敏度级/dB												

注：灵敏度级参考值为：☐ 1 V/(m·s⁻¹) ☐ 1 V/Pa

频率响应曲线：

四、最大灵敏度级：_____ dB，相应的频率：_____ kHz

校准结果的不确定度：_____

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示例

声发射传感器的频率响应和最大灵敏度级是其关键性指标。本附录给出了比较法校准声发射传感器表面波频率响应的不确定度评定示例。

B.1 数学模型

声发射传感器频率为 f_m 时的灵敏度 $S_2(f_m)$ 可由公式 (3) 给出, 其对数形式可用公式 (B.1) 表示:

$$20 \log(S_2(f_m)) = 20 \log(S_1(f_m)) + 20 \log(U_2(f_m)) - 20 \log(U_1(f_m)) \quad (\text{B.1})$$

用灵敏度级的形式可用公式 (B.2) 表示:

$$L(S_2(f_m)) = L(S_1(f_m)) + L(U_2(f_m)) - L(U_1(f_m)) \quad (\text{B.2})$$

B.2 灵敏系数

$L(S_2(f_m))$ 的合成不确定度如公式 (B.3) 所示:

$$u_c^2(L(S_2(f_m))) = c_1^2 u^2(L(S_1(f_m))) + c_2^2 u^2(L(U_2(f_m))) + c_3^2 u^2(L(U_1(f_m))) \quad (\text{B.3})$$

$L(S_1(f_m))$ 、 $L(U_2(f_m))$ 、 $L(U_1(f_m))$ 这三个分量互不相关, 式中灵敏系数分别为:

$$c_1 = 1, c_2 = 1, c_3 = -1$$

B.3 标准不确定度的 A 类评定

选用 S9208 standard 为参考传感器, R150 为待测传感器, R150 传感器高于 400 kHz 时灵敏度较低, 因此仅考虑 100 kHz~400 kHz 的数据, 频率响应的重复性数据如表 B.1 所示, 标准偏差最大值 2.75 dB。由于每次的频率响应数据是由 6 次测量进行平均后获得, 频率响应重复性试验的标准偏差值为 $2.75 \text{ dB}/\sqrt{6} = 1.13 \text{ dB}$ 。因此, 测量重复性所引入的不确定度分量取为:

$$u_1 = s_1 = 1.13 \text{ dB}$$

B.4 B类不确定度的评定

由公式 (B.2) 可知, B类不确定度分量包括参考传感器的灵敏度级、脉冲激励下待测传感器的幅值响应、参考传感器的幅值响应等。

B.4.1 参考传感器灵敏度级

参考传感器的频率响应由原级校准确定, 其不确定度为 15% ($k=2$), 标准不确定度为 7.5%, 换算成 dB 值为 0.63 dB, 参考传感器灵敏度引入的不确定度分量为:

$$u_2 = 0.63 \text{ dB}$$

表 B.1 待测传感器的频率响应重复性数据

频率 kHz	待测传感器的频率响应/dB						标准偏差 dB
	1	2	3	4	5	6	
107.42	74.8	73.5	73.7	73.8	73.1	73.4	0.59
117.19	66.3	68.3	66.9	68.0	67.7	68.5	0.84

表 B.1 (续)

频率 kHz	待测传感器的频率响应/dB						标准偏差 dB
	1	2	3	4	5	6	
126.95	65.6	66.6	67.8	66.4	67.7	68.7	1.13
136.72	64.4	62.7	66.5	63.8	64.7	64.8	1.28
146.48	60.0	53.1	60.1	58.9	59.3	57.1	2.66
156.25	72.1	76.1	69.9	74.4	77.1	74.1	2.65
166.02	62.3	60.3	63.1	61.2	61.4	62.5	1.01
175.78	60.9	55.2	60.6	56.7	57.8	58.2	2.22
185.55	61.4	63.9	65.0	64.6	63.5	62.1	1.40
195.31	58.1	58.4	56.6	56.3	57.6	57.0	0.84
205.08	53.1	57.3	52.8	54.5	53.5	52.6	1.78
214.84	67.1	64.8	68.2	65.3	67.0	69.8	1.87
224.61	65.9	65.2	61.7	62.3	64.3	64.9	1.67
234.38	66.9	65.9	69.3	66.0	68.7	68.2	1.44
244.14	61.0	63.7	64.7	62.2	61.1	59.4	1.95
253.91	60.7	61.5	64.2	61.3	60.4	62.2	1.36
263.67	67.3	69.2	63.2	63.3	62.7	65.9	2.63
273.44	63.4	63.9	59.5	61.5	59.3	60.5	1.94
283.20	60.4	56.6	58.4	60.5	58.9	57.3	1.59
292.97	63.0	64.2	58.3	60.6	63.3	63.1	2.20
302.73	63.3	58.9	60.2	58.8	59.8	64.2	2.31
312.50	64.1	66.0	65.6	58.8	63.7	66.0	2.75
322.27	55.2	60.0	58.1	57.5	56.9	58.3	1.60
332.03	59.2	54.2	56.4	56.4	57.1	59.0	1.87
341.80	57.7	55.8	53.1	55.6	52.4	54.0	1.96
351.56	55.9	53.7	55.7	58.4	57.3	58.1	1.77
361.33	52.9	55.7	50.6	56.6	53.5	57.0	2.49
371.09	59.1	53.2	54.3	56.1	53.2	52.2	2.55
380.86	52.5	54.7	52.5	55.9	49.6	52.3	2.18
390.63	55.0	52.3	54.9	57.0	53.3	55.7	1.69
400.39	56.1	55.2	51.1	54.8	52.9	58.8	2.64

B.4.2 脉冲激励下待测传感器的幅值响应

传感器幅值响应的不确定因素包括电压信号采集、电噪声、信号混叠以及其他与瞬态采集过程有关的不确定度分量。所用数字波形记录仪器在 95% 的置信度下，其不确定度不超过满量程的 3%，当仪器设置到最佳动态范围时，产生的不确定度可简单表示为仪器采集到的数据最大值的百分比。因此，任何一次测量产生的幅值响应的不确定度就是这次测量的频率响应数据最大值的 3%。最大值取决于最低可信值，通常条件下，在测量频率范围内，所测传感器灵敏度级的最大值与最小值之差不超过 40 dB。以均匀分布计算，待测传感器频率响应的不确定度分量为：

$$u_3 = 40 \text{ dB} \times 0.03 / \sqrt{3} = 0.70 \text{ dB}$$

B.4.3 在脉冲激励下参考传感器的幅值响应

在测量频段内，参考传感器灵敏度级的最大值与最小值之差一般不超过 20 dB，以均匀分布考虑，参考传感器的频率响应的不确定度分量为：

$$u_4 = 20 \text{ dB} \times 0.03 / \sqrt{3} = 0.35 \text{ dB}$$

B.4.4 修约误差

计算中修约误差取 0.06 dB，则：

$$u_5 = 0.06 \text{ dB}$$

B.5 合成标准不确定度

根据表 B.2 中的不确定度分量，其合成标准不确定度为：

$$u_c(S'_2(f_m)) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = \sqrt{1.13^2 + 0.63^2 + 0.70^2 + 0.35^2 + 0.06^2} \text{ dB} \\ = 1.52 \text{ dB}$$

表 B.2 测量不确定度来源汇总表

序号	不确定度分量	符号	dB
1	重复性	u_1	1.13
2	参考传感器灵敏度级	u_2	0.63
3	待测传感器的频率响应	u_3	0.70
4	参考传感器的频率响应	u_4	0.35
5	修约误差	u_5	0.06

B.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，比较法校准声发射传感器的表面波频率响应，其扩展不确定度为：

$$U = k u_c = 2 \times 1.52 \text{ dB} = 3.04 \text{ dB}$$

取 $U = 3.1 \text{ dB}$ ($k=2$)。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 计 量 技 术 规 范
声发射传感器校准规范(比较法)

JJF 1337—2012

国家质量监督检验检疫总局发布

*

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

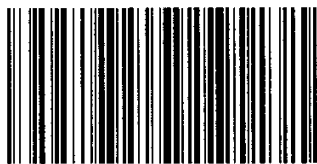
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 26 千字
2012年6月第一版 2012年6月第一次印刷

*

书号:155026·J-2705 定价 21.00 元



JJF 1337-2012

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107