

# JJG

## 中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 868—××××

### 毫瓦级标准超声功率源

Standard Ultrasonic Sources for milliWatt-level

(征求意见稿)

本稿完成日期：2021.7.10

202×-××-××发布

202×-××-××实施

国家市场监督管理总局 发布

# 毫瓦级标准超声功率源 检定规程

JJG 868—202×

Verification Regulation of Standard Ultrasonic  
Sources for milliWatt-level

---

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

本规程委托全国声学计量技术委员会负责解释

本规程起草人：

朱 岩（中国计量科学研究院）

邢广振（中国计量科学研究院）

田 琦（中国计量科学研究院）

# 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 计量单位.....	1
3.2 术语及定义.....	1
4 概述.....	2
5 计量性能要求.....	2
5.1 绝缘电阻.....	2
5.2 工作频率.....	2
5.3 超声功率.....	2
5.4 线性偏差.....	2
6 通用技术要求.....	3
6.1 标志.....	3
6.2 外观和供电.....	3
7 计量器具控制.....	3
7.1 检定条件.....	3
7.2 检定项目.....	4
7.3 检定方法.....	4
7.3.2 绝缘电阻.....	4
7.3.3 超声功率和工作频率.....	5
7.3.4 线性偏差.....	6
7.4 检定结果的处理.....	7
7.5 检定周期.....	7
附录 A 检定证书的内页格式.....	8
附录 B 检定结果通知书的内页格式.....	9
附录 C 测量不确定度的评定示例.....	10

# 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。本规程代替JJG 868—1994《毫瓦级标准超声源》。与JJG 868—1994相比，主要有如下一些主要的技术变化：

- a) 增加了术语和计量单位
- b) 将超声功率范围由(0.5~10) MHz，修改为(0.5~25) MHz
- c) 增加了工作频率稳定度、线性偏差的描述

JJG 868 的历次版本发布情况为：

- JJG 868—1994；
- 本次为第一次修订。

# 毫瓦级标准超声功率源检定规程

## 1 范围

本规程适用于频率范围为（0.5~25）MHz、超声功率在（1~500）mW 范围内的毫瓦级标准超声功率源的首次检定、后续检定和使用中检查。

## 2 引用文件

本规程引用下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1034—2020 声学计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

GB/T 3102.7 声学的量和单位

GB/T 3947—1996 声学名词术语

GB/T 7966 声学 超声功率测量辐射力天平法及性能要求

IEC 61161 超声 超声功率测量辐射力天平法及性能要求（Ultrasonics—Power measurement—Radiation force balances and performance requirements.）

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 计量单位

本规程采用 GB/T 3102.7 规定的量和单位。

### 3.2 术语及定义

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

#### 3.2.1 超声输出功率

ultrasonic output power

符号： $P$ 。

在规定条件下和规定媒介中，超声换能器向近似为自由场中发射的时间平均超声功率。

注 1：超声输出功率单位：瓦特（W）。

注 2：规定媒介优选为水。

#### 3.2.2 超声换能器

ultrasonic transducer

超声频率范围内，能实现电能转换成机械能的装置。

#### 3.2.3 辐射电导

radiation conductance

符号： $G$ 。

换能器的声输出功率与其输入电压的有效值（RMS）平方之比。用于表征超声换能器电声转换的特性。

注：辐射电导单位：西门子（S）。

### 3.2.4 靶

target

经特殊设计的可以（截取）插入超声场的用来测量辐射力的器件。

### 3.2.5 声辐射力

acoustic radiation force

作用于声场中的物体上不包括声冲流作用的由声场引起的时间平均力；或更为一般的定义是，排除声冲流作用，出现在两个不同声学特性的媒质界面或在一个衰减媒质声场中的时间平均作用力。

## 4 概述

毫瓦级标准超声功率源是一种超声功率传递标准，是已知声功率输出的单频连续波超声源。它能复现一组标准超声功率量值，用于将声功率量值由超声功率基准或副基准传递到声功率标准装置，用于基准和副基准之间的量值比对，也可用于超声功率量值从基准或副基准传递到毫瓦级超声功率计标准装置。

毫瓦级标准超声功率源可以由功率信号发生器、标准超声换能器、阻抗匹配器和高频数字电压表（或高频电压测量装置）组成，也可以由带闭环控制和匹配的功率信号发生器和标准超声换能器组成。标准超声换能器是由稳定性好的石英或铌酸锂等单晶材料制成的平面圆形活塞超声换能器。

## 5 计量性能要求

### 5.1 绝缘电阻

标准超声换能器与使用状态保持一致使部分浸在水中时，500V 测试电压下，其绝缘电阻应大于 100 M $\Omega$ 。

### 5.2 工作频率

输出声波频率应在 0.5 MHz~25 MHz 范围内，频率稳定度优于 0.02%。

### 5.3 超声功率

超声功率示值误差不大于  $\pm 5\%$ 。

### 5.4 线性偏差

在超声输出功率动态范围，超声换能器超声输出功率与激励电压平方的线性偏差应优于  $\pm 5\%$ 。

## 6 通用技术要求

### 6.1 标志

毫瓦级标准超声功率源应至少具有以下标志：

- a) 制造厂商的名称或商标；
- b) 产品型号和序列号。

### 6.2 外观和供电

6.2.1 毫瓦级标准超声功率源各操作件及附件应完好有效。

6.2.2 标准超声换能器在常温下应具有水密性。

6.2.3 毫瓦级标准超声功率源应采用使用说明书规定的优选电源供电，供电电压应在使用说明书规定的可用电压范围之内。

## 7 计量器具控制

计量器具控制包括检定和使用中检查。

### 7.1 检定条件

#### 7.1.1 检定环境条件

毫瓦级标准超声功率源的检定环境条件如下：

- 空气温度：(18~26) °C；
- 水温：(19.5~23.5) °C；
- 相对湿度：≤ 80%RH；
- 静压：(80~108) kPa。

#### 7.1.2 计量标准及主要配套设备

毫瓦级标准超声功率源检定用计量标准及主要设备的要求如下。

毫瓦级超声功率基准或副基准装置：

声功率范围：1 mW~500 mW；

测量不确定度优于  $U_{rel}=3.5\%$  ( $k=2$ )。

##### a) 电子天平：

测量范围：1 μg~5.1 g；

准确等级：①级。

##### b) 高频数字电压表或高频电压测量装置：

频率范围覆盖：0.5 MHz~25 MHz；

电压测量误差：优于±1.5%。

##### c) 信号发生器：

频率范围覆盖：0.5 MHz~25 MHz；

输出电压：1 mV~10 V（峰-峰值）；

频率准确度：优于  $5 \times 10^{-6}$ ；

总谐波失真：优于 1%。

d) 功率放大器：

频率范围覆盖：0.5 MHz~25 MHz；

输出阻抗：50 Ω；

最大线性输出功率：≥5 W；

总谐波失真：优于 2%。

e) 数字频率计：

频率范围覆盖：0.5 MHz~25 MHz；

频率准确度：优于  $1 \times 10^{-6}$ 。

f) 标准温度计：

温度范围：0~50 °C；

分辨率至少为：0.1 °C

最大允许误差：±0.2 °C。

g) 绝缘电阻测量仪：

测试电压：≥ 500 V；

准确度等级：10.0；

测量范围： $10^6 \Omega \sim 10^{15} \Omega$ 。

## 7.2 检定项目

毫瓦级标准超声功率源的检定项目和使用中检查项目见表 1。

表 1 毫瓦级标准超声功率源的首次检定和后续检定项目一览表

序号	项目名称	首次检定	后续检定	使用中检查
1	绝缘电阻	+	+	+
2	超声功率	+	+	+
3	工作频率	+	—	—
4	线性偏差	+	—	—

注：符号“+”表示需检定的项目，符号“—”表示不必检定的项目。

## 7.3 检定方法

### 7.3.1 通用技术要求

目视检查或手动操作，毫瓦级标准超声功率源：

- 面板或铭牌上应具有 6.1 所要求的标志；
- 外观应符合 6.2.1 和 6.2.2 的要求；
- 电源应符合 6.2.3 的要求。

### 7.3.2 绝缘电阻

用绝缘电阻测量仪直接测量标准超声换能器辐射面在水中的绝缘电阻值，其值应满足

5.1 的规定。

### 7.3.3 超声功率和工作频率

检定装置示意图如图 1 所示，检定程序按下列进行：

7.3.3.1 将  $(21.5 \pm 2)$  °C 的除气蒸馏水注入消声水槽，消声水槽内壁、吸声材料和靶（反射靶或吸收靶）等表面不应附有气泡。

7.3.3.2 测量时标准超声换能器的辐射面应直接与液体耦合，以避免附加耦合层引起的误差。测量前，标准超声换能器表面、靶应进行清洁处理，并应在除气蒸馏水中浸泡 2h。

注意：在标准超声换能器的镀金表面浸入水中前（即换能器处于负载时），不得把电压加到换能器上，否则会损坏换能器。

7.3.3.3 仪器通电，按说明书规定的预热时间进行预热。

7.3.3.4 调节信号发生器的频率达到标准超声换能器规定的谐振频率（负载的）。

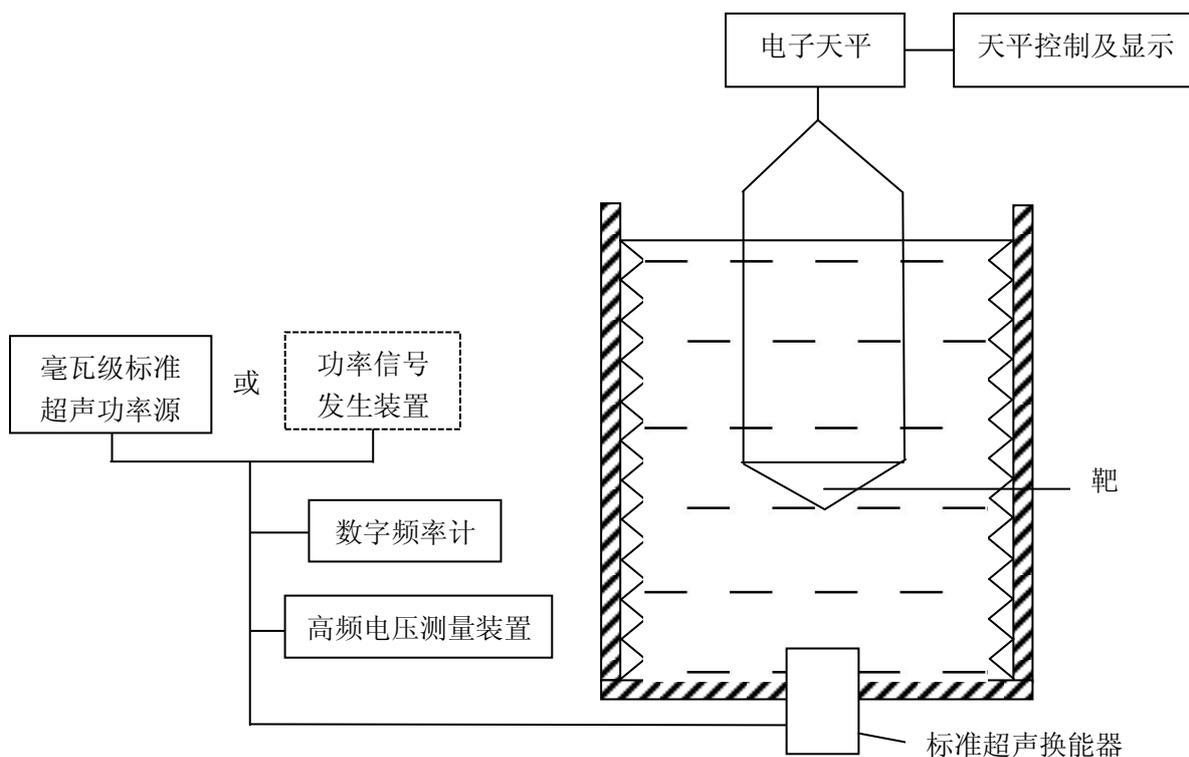


图 1 检定装置示意图

注：图 1 中靶可以采用反射靶或吸收靶，采用反射靶时水槽周围应做吸声处理。

7.3.3.5 在  $(1 \sim 500)$  mW 超声功率范围内，取功率为 1 mW, 3 mW, 5 mW, 7 mW, 10 mW, 20 mW, 50 mW, 100 mW, 300 mW, 500 mW 进行检定，记录标准超声功率源的激励电压  $U_1, U_2, U_3 \cdots U_{10}$  和对应的超声功率值  $P_1, P_2, P_3 \cdots P_{10}$ ，每个功率点重复测量次数  $n \geq 3$ 。

7.3.3.6 按公式 (1) 计算各输出超声功率点  $n$  次重复检定的平均超声功率值  $\overline{P}_i$  :

$$\overline{P}_i = \frac{(P_{i1} + P_{i2} + \cdots + P_{in})}{n} \quad (1)$$

7.3.3.7 按公式 (3) 计算被检定毫瓦级标准超声功率源的示值相对误差:

$$\frac{\Delta P_i}{P_i} = \frac{P_i - \overline{P}_i}{\overline{P}_i} \times 100\% \quad (2)$$

示值相对误差满足 5.3 中的规定。

7.3.3.8 毫瓦级标准超声功率源在功率为 100 mW 输出时进行工作频率检定, 每隔 60 s 记录一次电子数字频率计读数  $f_i$ , 连续记录测量 11 次, 其频率在 60 s 内的稳定度按公式 (3) 计算。

$$S_f = \frac{2|\Delta f(i, i+1)|_{\max}}{f_i + f_{i+1}} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$S_f$ ——频率稳定度, %;

$|\Delta f(i, i+1)|_{\max}$ ——60 s 内频率的最大变量, Hz;

$f_i, f_{i+1}$ ——60 s 内频率的最大变量对应的两个频率值, Hz。

频率稳定度应满足 5.1 中规定的要求。

#### 7.3.4 线性偏差

以标准超声功率源激励电压平方 ( $U_i^2$ ) 为横坐标, 声功率 ( $P_i$ ) 为纵坐标, 7.3.3.5 记录的数据按公式 (4) 估算辐射电导  $G$ :

$$G = \frac{\sum_{i=1}^{10} \overline{U}_i^2 \overline{P}_i}{\sum_{i=1}^{10} (\overline{U}_i^2)^2} \quad (4)$$

式中  $U_i$  按公式 (5) 计算:

$$\overline{U}_i = \frac{(U_{i1} + U_{i2} + \cdots + U_{in})}{n} \quad (5)$$

按公式 (6) 计算测量值与估算值的偏差, 取最大偏差作为线性偏差, 线性偏差满足 5.4 的规定。

$$\varepsilon_i = \frac{\overline{P}_i - G\overline{U}_i^2}{G\overline{U}_i^2} \times 100\% \quad (6)$$

#### 7.4 检定结果的处理

7.4.1 经检定合格的毫瓦级标准超声功率源发给检定证书；检定不合格的，发给检定结果通知书，并注明不合格的项目。

7.4.2 检定证书和检定结果通知书的内页格式分别见附录 A 和附录 B。

7.4.3 毫瓦级标准超声功率源检定中的测量不确定度应按 JJF 1059.1—2012 的要求评定。不确定度评定的示例见附录 C。

#### 7.5 检定周期

毫瓦级标准超声功率源的检定周期不应超过 1 年。

## 附录 A

## 检定证书的内页格式

证书编号××××××—××××

## 检定结果

第×页 共×页

一、外观：

二、绝缘电阻： MΩ

三、超声功率：

标称值 /mW	实测值 /mW	示值相对误差 /%
1		
3		
5		
7		
10		
20		
50		
100		
300		
500		

四、工作频率：

工作频率： $f=$  MHz，频率稳定度：

五、线性偏差：

检定环境条件：

水温：℃

空气温度：℃

相对湿度：%

静压：kPa

检定依据：

检定使用的计量（基）标准装置：

说明：

## 附录 B

## 检定结果通知书的内页格式

证书编号××××××—××××

## 检定结果

第×页 共×页

一、外观：

二、绝缘电阻： MΩ

三、超声功率：

标称值 /mW	实测值 /mW	示值相对误差 /%
1		
3		
5		
7		
10		
20		
50		
100		
300		
500		

四、工作频率：

工作频率： $f=$  MHz，频率稳定度：

五、线性偏差：

检定环境条件：

水温：℃

空气温度：℃

相对湿度：%

静压： kPa

说明：

应标明检定不合格的项目，并对不能继续进行检定的项目加以说明。

## 附录 C

## 测量不确定度的评定示例

毫瓦级标准超声功率源声功率示值误差检定的标准不确定度主要由毫瓦级计量基准（副基准）装置、读数分散性、声速变化等几部分组成。

## C.1 测量模型：

$$\Delta P_i = P_i - P \quad (\text{C.1})$$

式中：

$\Delta P_i$ ——被检毫瓦级标准超声功率源声功率值的误差，mW；

$P_i$ ——被检毫瓦级标准超声功率源的声功率值，mW；

$P$ ——毫瓦级计量基准（副基准）装置实测值，mW。

## C.2 方差及灵敏度系数

由于  $f(P, P_i)$  中的  $P$ ， $P_i$  互不相关，故其合成方差为：

$$u_c^2(\Delta P_i) = c^2(P)u^2(P) + c^2(P_i)u^2(P_i) \quad (\text{C.2})$$

式中灵敏度系数为：

$$c(P_i) = \frac{\partial(\Delta P_i)}{\partial(P_i)} = 1 \quad (\text{C.3})$$

$$c(P) = \frac{\partial(\Delta P_i)}{\partial(P)} = 1 \quad (\text{C.4})$$

## C.3 标准不确定度

## C.3.1 标准不确定度的 A 类评定

对仪器进行功率测量时由读数分散性（重复性）引入的标准不确定度 ( $u_1$ )，以 100 mW 为例，对其进行 10 次独立测量：98.8 mW、100.2 mW、100.1 mW、103.4 mW、101.3 mW、99.6 mW，98.6 mW，102.4 mW，101.6 mW，103.2 mW。

(1) 10 次独立测量结果的算术平均值为  $\bar{P}_i = 100.9$  mW。

(2) 10 次测量结果的实验标准偏差为

$$s = \sqrt{\frac{\sum P_i - p_i}{n-1}} = 1.46 \quad (\text{C.5})$$

则 A 类相对标准不确定度为：

$$u_A = \frac{s}{P_i} = 1.45 \quad (\text{C.5})$$

### C.3.2 标准不确定度的 B 类评定

#### C.3.2.1 由毫瓦级计量基准（副基准）装置引入的不确定度 $u_{B1}$

毫瓦级计量基准（副基准）装置的扩展不确定度是  $U_{rel}=3.5\%$ ， $k=2$ ，故毫瓦级计量基准（副基准）引入的标准不确定度为  $u_{B1}=1.75\%$ 。

#### C.3.2.2 由声速变化引入的标准不确定度 $u_{B2}$

声速计算公式为：

$$c_w(T, p_{atm})=v_0 + v_1t + v_2t^2 + v_3t^3 + (u_0 + u_1t + u_2t^2) \times (p_{atm} / 1000) \quad (C.6)$$

其中  $t=T/100$ ， $T$  为水温，单位为  $^{\circ}\text{C}$ ； $p_{atm}$  为大气压，单位为  $\text{bar}$ ； $v_0=1402.7$ ， $v_1=488$ ， $v_2=-482$ ， $v_3=135$ ； $u_0=15.9$ ， $u_1=2.8$ ， $u_2=2.4$ 。

水温变化引入的不确定度为

$$u(c_w) = \sqrt{\left(\frac{t}{c_w} \frac{\partial c_w}{\partial t} \frac{u_t}{t}\right)^2 + \left(\frac{p_{atm}}{c_w} \frac{\partial c_w}{\partial p_{atm}} \frac{u_{p_{atm}}}{p_{atm}}\right)^2} \quad (C.7)$$

其中灵敏度系数为：

$$\frac{t}{c_w} \frac{\partial c_w}{\partial t} = \frac{v_1t + v_2t^2 + v_3t^3 + [u_1t + u_2t^2] \times (p_{atm} / 100)}{v_0 + v_1t + v_2t^2 + v_3t^3 + [u_0 + u_1t + u_2t^2] \times (p_{atm} / 100)} \quad (C.8)$$

$$\frac{p_{atm}}{c_w} \frac{\partial c_w}{\partial p_{atm}} = \frac{[u_0 + u_1t + u_2t^2] \times (p_{atm} / 100)}{v_0 + v_1t + v_2t^2 + v_3t^3 + [u_0 + u_1t + u_2t^2] \times (p_{atm} / 100)} \quad (C.9)$$

以测量30分钟进行观察，气压变化不超过 0.1 kPa。静压计的分辨力为0.001 kPa，校准结果不确定度优于0.5%。因此，其灵敏系数近似为0.0001，气压变化引入的不确定度可忽略不计。

$$u_5 \approx 0.5\% \quad (C.10)$$

$$\frac{p_{atm}}{c_w} \frac{\partial c_w}{\partial p_{atm}} = 0.0001 \quad (C.11)$$

若测量温度为21.5 $^{\circ}\text{C}$ ，测量温度变化 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 时，灵敏度系数和不确定度可计算为

$$\frac{u_t}{t} = \frac{2}{21.5} = 0.093 \quad (C.12)$$

$$\frac{t}{c_w} \frac{\partial c_w}{\partial t} = 0.0565 \quad (C.13)$$

则

$$u_{B2} = u(c_w) = \frac{t}{c_w} \frac{\partial c_w}{\partial t} \frac{u_t}{t} = 0.53\% \quad (C.14)$$

#### C.4 标准不确定度的合成

影响毫瓦级标准超声功率源的各项分量相互独立，不确定度来源及相对合成标准不确定度如表 C.1 所示：

序号	不确定度来源	相对标准不确定度/%
1	重复性	1.45
2	毫瓦级计量基准（副基准）装置	1.75
3	声速变化	0.53
	合成标准不确定度	2.33

合成标准不确定度计算式为：

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_{B1}^2 + u_{B2}^2} = \sqrt{(1.45\%)^2 + (1.75\%)^2 + (0.53\%)^2} = 2.33\%$$

#### C.5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，其扩展不确定度为：

$$U_{rel} = 2 \times 2.33\% \approx 5\%$$

扩展不确定度取  $U_{rel} = 5\%$  ( $k=2$ )。