

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1885—2020

射频与微波功率计校准规范

Calibration Specification for RF and Microwave Power Meters



2020-11-26 发布

2021-05-26 实施

国家市场监督管理总局 发布

射频与微波功率计校准规范

Calibration Specification for RF and Microwave
Power Meters

JJF 1885—2020

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

中国航天科工集团二院 203 所

参加起草单位：浙江省质量检测科学研究院

本规范委托全国无线电计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

刘欣萌（中国计量科学研究院）

杨绪军（中国航天科工集团二院 203 所）

海兴芳（中国计量科学研究院）

参加起草人：

叶忠民（浙江省质量检测科学研究院）

刘 挺（中国航天科工集团二院 203 所）



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量特性	(1)
3.1 参考源功率	(1)
3.2 校准因子 (K)	(1)
3.3 线性度	(1)
3.4 电压驻波比	(1)
4 校准条件	(1)
4.1 环境条件	(1)
4.2 校准用设备	(1)
5 校准项目和校准方法	(2)
5.1 校准项目	(2)
5.2 外观及工作正常性检查	(2)
5.3 参考源功率	(3)
5.4 校准因子	(3)
5.5 线性度	(4)
5.6 电压驻波比	(5)
6 校准结果表达	(5)
7 复校时间间隔	(6)
附录 A 原始记录格式	(7)
附录 B 校准证书内页格式	(9)
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例	(10)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》编写。

本规范为首次发布。



射频与微波功率计校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围为 9 kHz~50 GHz、功率范围为 -70 dBm~20 dBm 的各种类型射频与微波功率计的校准，其他频率范围的射频与微波功率计校准可参考使用。

2 概述

射频与微波功率计（以下简称功率计）由感应、吸收并实现能量转换的转换部分及相应的测量和指示部分组成，利用将射频或微波信号转换成直流或低频信号后加以测量和指示的原理完成射频与微波功率的测量。

3 计量特性

3.1 参考源功率

输出功率：1 mW（50 MHz）；

输出功率最大允许误差： $\pm 0.5\%$ 。

3.2 校准因子（ K ）

频率范围：9 kHz~50 GHz；

校准因子测量不确定度： $0.5\% \sim 5\%$ （ $k=2$ ）。

3.3 线性度

校准频率：50 MHz；

功率范围：-20 dBm~+10 dBm；

线性度测量不确定度： $0.04 \text{ dB} \sim 0.1 \text{ dB}$ （ $k=2$ ）。

3.4 电压驻波比

频率范围：9 kHz~50 GHz；

测量不确定度： $0.02 \sim 0.03$ （ $k=2$ ）。

注：以上技术指标不作合格性判别，仅提供参考。

4 校准条件

4.1 环境条件

环境温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，校准过程中温度波动不超过 1°C ；

相对湿度：不大于 80%；

电源要求：电压 $(220 \pm 11) \text{ V}$ ，频率 $(50 \pm 1) \text{ Hz}$ ；

其他：周围无影响校准系统正常工作的机械振动和电磁干扰。

4.2 校准用设备

4.2.1 信号发生器

频率范围：9 kHz~50 GHz；
 幅度稳定度：<0.02 dB/10 min；
 输出功率范围：-70 dBm~+10 dBm；
 谐波抑制：<-30 dBc。

4.2.2 10 dB 隔离衰减器

频率范围：9 kHz~50 GHz；
 端口电压驻波比：<1.3。

4.2.3 标准功率计

频率范围：9 kHz~50 GHz；
 校准因子 K_s 不确定度：0.5%~2.0% ($k=2$)；
 输入端口电压驻波比：<1.3。

4.2.4 功率传递标准

频率范围：9 kHz~50 GHz；
 校准因子 K_{cs} 不确定度：0.5%~2.0% ($k=2$)；
 输出端口等效源电压驻波比：<1.3。

4.2.5 步进衰减器

工作频率：50 MHz；
 衰减量：0 dB~50 dB，5 dB 步进；
 衰减量测量不确定度：0.02 dB/10 dB ($k=2$)；
 端口电压驻波比：<1.3。

4.2.6 矢量网络分析仪

频率范围：9 kHz~50 GHz；
 反射系数测量不确定度：0.006~0.028 ($k=2$)。

5 校准项目和校准方法

5.1 校准项目

表 1 校准项目列表

序号	校准项目	类型	条款
1	外观及工作正常性检查	功能检查	5.2
2	参考源功率	量值校准	5.3
3	校准因子	量值校准	5.4
4	线性度	量值校准	5.5
5	电压驻波比	量值校准	5.6

5.2 外观及工作正常性检查

5.2.1 被校功率计的外观应完好，各开关、按键等应调节正常，无影响正常工作电气性能的机械损伤。被校功率计配套附件应齐全。

5.2.2 被校功率计按其使用说明书规定时间预热后应能正常工作。校准前，应按说明书要求进行预热，并保持功率指示在最高分辨力，如被校功率计具有内部自校准和清零等功能，则应首先运行仪器内部自校准和清零等功能。

5.2.3 将检查结果记录于附录 A 的 A.1 中。

5.3 参考源功率

a) 按图 1 将标准功率计的测量端口直接连接到被校功率计的参考源输出端，根据被校功率计说明书设置被校功率计的参考源频率，标准功率计的频率修正设置为与被校功率计参考源的频率对应；

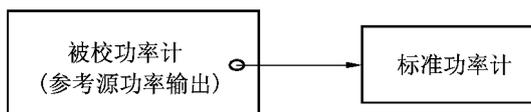


图 1 参考源功率校准框图

b) 开启被校功率计的参考源输出，等待标准功率计读数稳定后，记录标准功率计读数于附录 A 表 A.1，然后关闭参考源输出。

5.4 校准因子

5.4.1 交替比较法

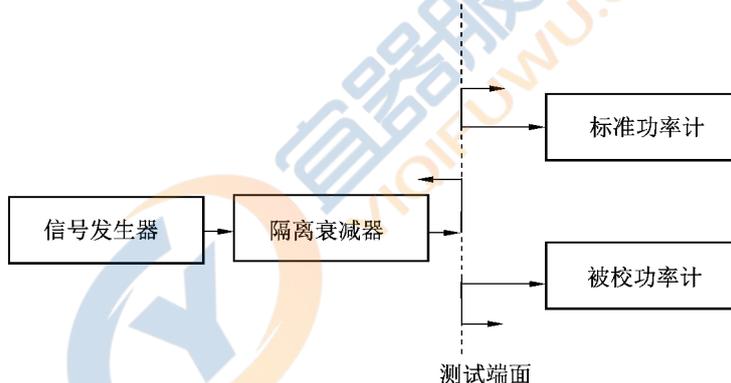


图 2 校准因子交替比较法校准框图

- 按图 2 连接校准设备，将标准功率计连接到测试端面；
- 根据被校功率计特性设置信号发生器频率和功率电平；
- 开启信号发生器射频输出，等待标准功率计读数稳定后，记录标准功率计指示值 P_{bs} 于附录 A 表 A.2 中；
- 从测试端面上断开标准功率计，连接被校功率计到测试端面，等待被校功率计读数稳定后，记录下被校功率计指示值 P_{bu} 于附录 A 表 A.2 中；
- 按公式 (1) 计算被校功率计的校准因子（注），记录在附录 A 表 A.2 中；

$$K_u = K_s \cdot \frac{P_{bu}}{P_{bs}} \quad (1)$$

式中：

K_u ——被校功率计的校准因子；

K_s ——标准功率计的校准因子；

P_{bu} ——被校功率计指示值，mW；

P_{bs} ——标准功率计的指示值，mW。

f) 根据被校功率计的工作频率范围、实际需要和标准功率计的校准因子频点选择校准频率，重复步骤 a) ~ e)。

注：如果标准功率计处于频率修正模式，公式 (1) 中 K_s 取值为 1，否则取其实际值代入计算。

5.4.2 传递标准法

a) 按图 3 连接校准设备，将被校功率计连接到测试端面；

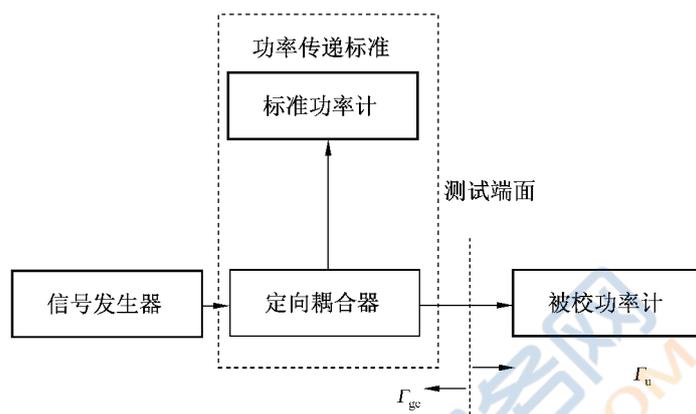


图 3 校准因子传递标准法校准框图

Γ_{gs} ——等效信号源反射系数； Γ_u ——被测功率计反射系数

b) 根据被校功率计特性设置信号发生器频率和功率电平；

c) 开启信号发生器射频输出，等待被校功率计和标准功率计读数稳定后，记录标准功率计指示值 P_{cs} 和被校功率计指示值 P_{bu} 于附录 A 表 A.3 中；

d) 按公式 (2) 计算被校功率计的校准因子，记录于附录 A 表 A.3 中；

$$K_u = K_{cs} \cdot \frac{P_{bu}}{P_{cs}} \quad (2)$$

式中：

K_u ——被校功率计的校准因子；

K_{cs} ——功率传递标准的校准因子；

P_{bu} ——被校功率计的指示值，mW；

P_{cs} ——功率传递标准功率计的指示值，mW。

e) 改变信号发生器频率，直至完成所需频率校准因子的校准。

5.5 线性度

a) 按图 4 连接校准设备；

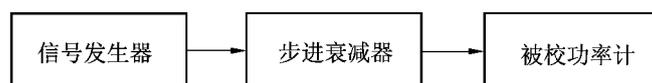


图 4 线性度校准框图

b) 将信号发生器的频率设置为 f_0 ；被校功率计接头为同轴时， f_0 一般为 50 MHz 或 1 GHz；

c) 将步进衰减器衰减值置为 0 dB 位置，调整信号发生器输出电平为所需的测量功

率电平（如+10 dBm）；记录被校功率计的读数在附录 A 表 A.4 中；

d) 根据被校功率计的测量范围设置步进衰减器的衰减量 A_i ($i=1, 2, \dots, n$)，衰减量的步进为 5 dB，分别记录被校功率计的读数 P_i ($i=1, 2, \dots, n$) 在附录 A 表 A.4 中；

e) 按公式 (3) 计算被校功率计的线性度 L ，将所得结果记录在附录 A 表 A.4 的相应表格内。

$$L = (P_i - P_{i-1}) - (A_i - A_{i-1}) \quad (3)$$

式中：

L ——线性度，dB；

P_i ——被校功率计读数，dBm；

A_i ——步进衰减器衰减量，dB。

5.6 电压驻波比

a) 按说明书要求对网络分析仪进行通电预热；

b) 设置网络分析仪测量参数为 S_{11} ，对网络分析仪进行单端口校准；

c) 设置网络分析仪的中频带宽为适当值（通常为 100 Hz），在被校功率计的工作频率范围内选择网络分析仪的测试频率和测量点数；所选校准频点应与被校功率计校准因子的校准频点相同；

d) 按图 5 所示连接被校功率计于网络分析仪测试端口，设置网络分析仪数据格式为电压驻波比；



图 5 电压驻波比的校准连接框图

e) 读取网络分析仪电压驻波比的测量数据，将所得结果记录在附录 A 表 A.5 的相应表格内。

6 校准结果表达

功率计校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

a) 标题：“校准证书”；

b) 实验室名称和地址；

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，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；

h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，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) 校准环境的描述；
- 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说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

7 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，推荐为 1 年。



附录 A

原始记录格式

A.1 外观及工作正常性检查：正常 不正常

A.2 参考源功率（见表 A.1）

表 A.1 参考源功率

标称值	测量值	$U(k=2)$
1 mW		

A.3 校准因子（交替比较法）（见表 A.2）

表 A.2 校准因子（交替比较法）

频率/GHz	K_s	P_{bu}/mW	P_{bs}/mW	K_u	$U(k=2)$

A.4 校准因子（传递标准法）（见表 A.3）

表 A.3 校准因子（传递标准法）

频率/GHz	K_{cs}	P_{bu}/mW	P_{cs}/mW	K_u	$U(k=2)$

A.5 线性度（见表 A.4）

表 A.4 线性度

频率 GHz	衰减量 A_i dB	被校功率计读数 P_i dBm	线性度 L	$U(k=2)$
	0			
	5			
	10			
	15			
	⋮			

A.6 电压驻波比（见表 A.5）

表 A.5 电压驻波比

频率/GHz	电压驻波比	$U (k=2)$



附录 B

校准证书内页格式

表 B.1 参考源功率

标称值	测量值	$U(k=2)$
1 mW		

表 B.2 校准因子

频率/GHz	校准因子 K_u	$U(k=2)$

表 B.3 线性度

频率/GHz	功率范围/dBm	线性度 L	$U(k=2)$
	10~5		
	5~0		
	0~-5		
	-5~-10		
	-10~-15		
	-15~-20		

表 B.4 电压驻波比

频率/GHz	电压驻波比	$U(k=2)$

附录 C

主要项目校准不确定度评定示例

参考源功率和校准因子是以数个因子乘积的形式给出的，在各因子的相对标准不确定度已知的情况下，它们的相对标准不确定度计算公式的形式比较简单，本规范后面涉及相关不确定度计算时给出的计算结果均为相对不确定度。

C.1 参考源功率校准的不确定度分析及评定

C.1.1 测量模型

$$P_0 = \frac{P_{bs}}{K_s} M$$

式中：

P_0 ——被校参考源的射频功率测量值，mW；

K_s ——标准功率计的校准因子；

P_{bs} ——标准功率计示值，mW；

M ——失配因子， $M = |1 - \Gamma_g \Gamma_s|^2$ ；

Γ_g ——参考源反射系数模值；

Γ_s ——标准功率计的反射系数模值。

C.1.1.2 测量不确定度传播公式

$$u^2(P_0) = u^2(K_s) + u^2(P_{bs}) + u^2(M)$$

C.1.1.3 不确定度来源

a) 标准功率计校准因子 K_s 引入的标准不确定度 $u(K_s)$

标准功率计校准因子由高一级标准功率计定标，其相对扩展不确定度为 0.5%，采用 B 类评定，为正态分布，包含因子 $k=2$ ，则：

$$u(K_s) = \frac{0.005}{2} = 0.0025$$

b) 标准功率计示值 P_{bs} 引入的标准不确定度 $u(P_{bs})$

标准功率计示值功率 P_{bs} 的技术指标为：最大允许误差为 $\pm 0.3\%$ ，采用 B 类评定，为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(P_{bs}) = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 0.0017$$

c) 失配引入的标准不确定度 $u(M)$

失配因子 M 十分接近于 1，可以认为由失配引入的测量相对扩展不确定度 $U(M) \approx 2|\Gamma_g||\Gamma_s|$ 。

参考源反射系数模值 $|\Gamma_g|$ 为 0.03，标准功率计的反射系数模值 $|\Gamma_s|$ 为 0.05，采用 B 类评定，为反正弦分布，包含因子 $k=\sqrt{2}$ ，则：

$$u(M) = \frac{2 \times 0.03 \times 0.05}{\sqrt{2}} \approx 0.0021$$

d) 测量重复性引入的标准不确定度

根据测量结果，利用贝塞尔公式计算实验标准差，得到 $s=0.0006$ 。

不确定度分量汇总见表 C.1。

表 C.1 不确定度分量一览表

不确定度来源	评定方法	分布	包含因子 k	u
K_s	B类	正态	2	0.0025
P_{bs}	B类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0017
M	B类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.0021
s	A类			0.0006

C.1.1.4 合成标准不确定度

各不确定度分量不相关，则相对合成标准不确定度：

$$u_c(P_0) = \sqrt{u^2(K_s) + u^2(P_{bs}) + u^2(M) + s^2}$$

$$= \sqrt{0.0025^2 + 0.0017^2 + 0.0021^2 + 0.0006^2} = 0.37\%$$

C.1.1.5 扩展不确定度

包含因子取 $k=2$ ，相对扩展不确定度：

$$U(P_0) = 2 \times u_c(P_0) = 2 \times 0.37\% = 0.74\%$$

C.2 校准因子校准的不确定度分析及评定

C.2.1 交替比较法

C.2.1.1 测量模型

$$K_u = K_s \frac{P_{bu}}{P_{bs}} M$$

式中：

K_u ——被校功率计的校准因子；

K_s ——标准功率计的校准因子；

P_{bu} ——被校功率计示值，mW；

P_{bs} ——标准功率计示值，mW；

M ——失配因子， $M = \frac{M_u}{M_s} = \frac{|1 - \Gamma_g \Gamma_u|^2}{|1 - \Gamma_g \Gamma_s|^2}$ ；

M_s ——连接标准功率计时失配因子；

M_u ——连接被校功率计时失配因子；

Γ_g ——测试端口输入反射系数；

Γ_s ——标准功率计反射系数；

Γ_u ——被校功率计反射系数。

C.2.1.2 测量不确定度传播公式

$$u^2(K_u) = u^2(K_s) + u^2(P_{bs}) + u^2(P_{bu}) + u^2(M_s) + u^2(M_u)$$

C.2.1.3 不确定度来源

- a) 标准功率计校准因子 K_s 引入的标准不确定度 $u(K_s)$;
- b) 标准功率计示值功率 P_{bs} 引入的标准不确定 $u(P_{bs})$;
- c) 被校功率计示值功率 P_{bu} 引入的标准不确定度 $u(P_{bu})$;
- d) 连接标准功率计时失配引入的标准不确定度 $u(M_s)$;
- e) 连接被校功率计时失配引入的标准不确定度 $u(M_u)$;
- f) 测量重复性引入的标准不确定度 s 。

C.2.1.4 标准不确定度评定

- a) 标准功率计校准因子 K_s 引入的标准不确定度 $u(K_s)$

标准功率计校准因子由高一级标准功率计定标，其相对扩展不确定度为 1.0%，采用 B 类评定，为正态分布，包含因子 $k=2$ ，则：

$$u(K_s) = \frac{0.01}{2} = 0.005$$

- b) 标准功率计示值功率 P_{bs} 引入的标准不确定 $u(P_{bs})$

标准功率计示值功率 P_{bs} 的技术指标为 $\pm 0.3\%$ ，采用 B 类评定，为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(P_{bs}) = \frac{0.003}{\sqrt{3}} = 0.0017$$

- c) 被校功率计示值功率 P_{bu} 引入的标准不确定度 $u(P_{bu})$

已知被校功率计示值功率 P_{bu} 的技术指标为 $\pm 0.5\%$ ，采用 B 类评定，为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(P_{bu}) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029$$

- d) 连接标准功率计时失配引入的标准不确定度 $u(M_s)$

失配因子 M 十分接近于 1，可以认为由失配引入的测量相对扩展不确定度 $U(M_s) \approx 2|\Gamma_g||\Gamma_s|$ 。测试端口输入反射系数模值 $|\Gamma_g|$ 为 0.05，标准功率计的反射系数模值 $|\Gamma_s|$ 为 0.1。采用 B 类评定，为反正弦分布，包含因子 $k=\sqrt{2}$ ，则：

$$u(M_s) = \frac{2 \times 0.05 \times 0.1}{\sqrt{2}} \approx 0.0071$$

- e) 连接被校功率计时失配引入的标准不确定度 $u(M_u)$

失配因子 M 十分接近于 1，可以认为由失配引入的测量相对扩展不确定度 $U(M_u) \approx 2|\Gamma_g||\Gamma_u|$ 。测试端口输入反射系数模值 $|\Gamma_g|$ 为 0.05，被校功率计的反射系数模值 $|\Gamma_u|$ 为 0.1。采用 B 类评定，为反正弦分布，包含因子 $k=\sqrt{2}$ ，则：

$$u(M_u) = \frac{2 \times 0.05 \times 0.1}{\sqrt{2}} \approx 0.0071$$

- f) 测量重复性引入的标准不确定度

根据测量结果，利用贝塞尔公式计算实验标准差，算得 $s=0.0011$ 。

不确定度汇总见表 C.2。

表 C.2 不确定度分量一览表

不确定度来源	评定方法	分布	包含因子 k	u
K_s	B类	正态	2	0.005
P_{bs}	B类	均匀	$\sqrt{3}$	0.001 7
P_{bu}	B类	均匀	$\sqrt{3}$	0.002 9
M_s	B类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.007 1
M_u	B类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.007 1
s	A类			0.001 1

C.2.1.5 合成标准不确定度

各不确定度分量不相关，则相对合成标准不确定度：

$$u_c(K_u) = \sqrt{u^2(K_s) + u^2(P_{bs}) + u^2(P_{bu}) + u^2(M_s) + u^2(M_u) + s^2}$$

$$= \sqrt{0.005^2 + 0.001\ 7^2 + 0.002\ 9^2 + 0.007\ 1^2 + 0.007\ 1^2 + 0.001\ 1^2} \approx 1.2\%$$

C.2.1.6 扩展不确定度

包含因子取 $k=2$ ，相对扩展不确定度：

$$U(K_u) = 2 \times u_c(K_u) = 2 \times 1.2\% = 2.4\%$$

C.2.2 传递标准法

C.2.2.1 测量模型

$$K_u = K_{cs} \frac{P_{bu}}{P_{cs}} M$$

式中：

- K_u ——被校功率计的校准因子；
- K_{cs} ——传递标准的校准因子；
- P_{bu} ——被校功率计的示值，mW；
- P_{cs} ——传递标准功率示值，mW；
- M ——失配因子， $M = |1 - \Gamma_{ge} \Gamma_u|^2$ ；
- Γ_{ge} ——测试端口等效反射系数；
- Γ_u ——被校功率敏感器反射系数。

C.2.2.2 测量不确定度传播公式

$$u^2(K_u) = u^2(K_{cs}) + u^2(P_{cs}) + u^2(P_{bu}) + u^2(M)$$

C.2.2.3 不确定度来源

- a) 传递标准校准因子 K_{cs} 引入的标准不确定度 $u(K_{cs})$ ；
- b) 标准功率计示值功率 P_{cs} 引入的标准不确定度 $u(P_{cs})$ ；
- c) 被校功率计示值功率 P_{bu} 引入的标准不确定度 $u(P_{bu})$ ；
- d) 失配引入的标准不确定度 $u(M)$ ；
- e) 测量重复性引入的标准不确定度 s 。

根据已知条件算得各相对不确定度分量如表 C.3 所示。

表 C.3 不确定度分量一览表

不确定度来源	评定方法	分布	包含因子 k	u
K_{cs}	B类	正态	2	0.01
P_{cs}	B类	均匀	$\sqrt{3}$	0.001 7
P_{bu}	B类	均匀	$\sqrt{3}$	0.002 9
M	B类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.007 1
s	A类			0.000 3

C.2.2.4 合成标准不确定度

各不确定度分量不相关，则相对合成标准不确定度：

$$\begin{aligned} u_c(K_u) &= \sqrt{u^2(K_{cs}) + u^2(P_{cs}) + u^2(P_{bu}) + u^2(M) + s^2} \\ &= \sqrt{0.01^2 + 0.001\ 7^2 + 0.002\ 9^2 + 0.007\ 1^2 + 0.000\ 3^2} \approx 1.3\% \end{aligned}$$

C.2.2.5 扩展不确定度

包含因子取 $k=2$ ，扩展不确定度：

$$U(K_u) = 2 \times u_c(K_u) = 2 \times 1.3\% = 2.6\%$$

C.3 线性度校准不确定度分析及评定

C.3.1 测量模型

$$L = (P_i - P_{i-1}) - (A_i - A_{i-1})$$

其中 P_i 和 P_{i-1} 为两次被校功率计指示值， A_i 和 A_{i-1} 分别对应衰减器的衰减量。

以功率在 15 dB~20 dB 之间的情况为例说明对线性度的不确定度评定。

C.3.2 测量不确定度传播公式

$$u^2(L) = u^2(A_i) + u^2(A_{i-1}) + u^2(P_i) + u^2(P_{i-1})$$

C.3.3 不确定度来源

a) 衰减器衰减量不准引入的标准不确定度 $u(A_i)$

衰减器由衰减装置测量校准，其不确定度为 0.012 dB/10 dB，采用 B 类评定，为正态分布，包含因子 $k=2$ ，则：

$$u(A_i) = \frac{0.012\ \text{dB}}{2} = 0.006\ \text{dB}$$

b) 衰减器衰减量不准引入的标准不确定度 $u(A_{i-1})$

衰减器由衰减装置测量校准，其不确定度为 0.012 dB/10 dB，采用 B 类评定，为正态分布，包含因子 $k=2$ ，则：

$$u(A_{i-1}) = \frac{0.012\ \text{dB}}{2} = 0.006\ \text{dB}$$

c) 被校功率计示值功率 P_i 引入的标准不确定 $u(P_i)$

被校功率计示值功率 P_{bu} 的技术指标为 $\pm 0.5\%$ ，即 0.021 6 dB，采用 B 类评定，为均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u(P_i) = \frac{0.0216 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.0125 \text{ dB}$$

d) 被校功率计参考功率 P_{i-1} 引入的标准不确定度 $u(P_{i-1})$

被校功率计示值功率 P_{bu} 的技术指标为 $\pm 0.5\%$ ，即 0.0216 dB ，采用 B 类评定，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u(P_{i-1}) = \frac{0.0216 \text{ dB}}{\sqrt{3}} = 0.0125 \text{ dB}$$

e) 测量重复性引入的标准不确定度

按 A 类评定，用贝塞尔公式计算，重复测量次数 N_r 为 5 次，计算得到：

$$s = 0.0043 \text{ dB}$$

不确定度汇总见表 C.4。

表 C.4 不确定度分量一览表

不确定度来源	评定方法	分布	包含因子 k	u/dB
A_i	B 类	正态	2	0.006
A_{i-1}	B 类	正态	2	0.006
P_i	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0125
P_{i-1}	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0125
s	A 类			0.0043

C.3.4 合成标准不确定度

$$u_c(L) = \sqrt{u^2(A_i) + u^2(A_{i-1}) + u^2(P_i) + u^2(P_{i-1}) + s^2} = 0.02 \text{ dB}$$

C.3.5 扩展不确定度

包含因子取 $k=2$ ，扩展不确定度：

$$U(L) = ku_c(L) = 0.04 \text{ dB}$$