



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXXX-XXXX

中功率计校准规范

Calibration Specification for Medium Power Meters

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

中功率计校准规范

Calibration Specification for

Medium Power Meters

JJFXXXX-XXXX

代替 JJF1386-2013

归口单位：全国无线电计量技术委员会

主要起草单位：北京无线电计量测试研究所

中国计量科学研究院

参加起草单位：上海市计量测试技术研究院

天津市计量监督检测科学研究院

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：

张伟伟（北京无线电计量测试研究所）

杨 琳（北京无线电计量测试研究所）

刘锦文（中国计量科学研究院）

参加起草人：

侯海娇（北京无线电计量测试研究所）

黄玉琿（上海市计量测试技术研究院）

滕玉龙（上海市计量测试技术研究院）

张 涛（天津市计量监督检测科学研究院）

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	1
4.1. 指示器量程刻度.....	1
4.2. 功率.....	1
4.3. 校准因子.....	1
4.4. 电压驻波比.....	1
5 校准条件.....	2
5.1. 环境条件.....	2
5.2. 校准用设备.....	2
6 校准项目和校准方法.....	3
6.1. 校准项目.....	3
6.2. 校准方法.....	3
7 校准结果表达.....	9
8 复校时间间隔.....	10
附录 A 校准原始记录格式.....	11
附录 B 校准证书内页格式.....	15
附录 C 主要项目校准不确定度评定示例.....	17

引言

JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

本规范是对 JJF1386-2013《中功率计校准规范》的修订，与 JJF1386-2013《中功率计校准规范》相比，主要变化内容包括：

- 规范适用频率范围由 1MHz~40GHz 扩展为 10kHz~40GHz；
- 规范适用功率范围由 0.1W~500W 扩展为 0.1W~2500W；
- 校准方法中，修订了电压驻波比校准方法；
- 校准条件中，完善了部分校准用设备内容。

本规范历次版本发布情况如下：

- JJF1386-2013。

中功率计校准规范

1 范围

本规范适用于频率范围 10kHz~40GHz、功率范围 0.1W~2500W 的射频微波中功率计的校准。

2 引用文件

本章无条文。

3 概述

中功率计是用来测量微波信号功率的仪器。按其接入系统方式的不同,可分为通过式和终端式两种;按工作原理可分为热电偶式功率计和量热式功率计等;也可以采用高功率衰减器或定向耦合器与小功率计组合的形式组成中功率计。

热电偶式功率计的原理是把热电偶的热结点置于微波电磁场中,使之直接吸收微波功率,热结点的温度上升,热电偶检测出温度差,由该温差热电势作为微波功率的度量。

量热式中功率计根据量热体不同可分为干式和流体式量热计。其原理是基于直流(交流)/微波功率替代原理,通过测量工作量热体和参考量热体之间的温差热电势,在假定直流(交流)功率和微波功率具有相同热效应的前提下,可将微波功率的量值溯源至直流(交流)功率。

4 计量特性

4.1 指示器量程刻度

功率范围: 0.1W~10W;

引用误差: $\pm(3.0\% \sim 7.0\%)$ 。

4.2 功率

频率范围: 10kHz~40GHz;

功率范围: 0.1W~2500W;

功率测量不确定度: 2.0%~10% ($k=2$)。

4.3 校准因子

频率范围: 10kHz~40GHz;

功率范围: 0.1W~2500W;

校准因子测量不确定度: 2.0%~10% ($k=2$)。

4.4 电压驻波比

频率范围: 10kHz~40GHz;

电压驻波比: ≥ 1.00 。

注: 以上技术指标不作合格性判别, 仅提供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

- a) 环境温度：(23 ± 5) °C；
- b) 相对湿度：≤80%；
- c) 供电电源：电压 (220 ± 11) V，频率 (50 ± 1) Hz；
- d) 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。

5.2 校准用设备

5.2.1 信号发生器

频率范围：10kHz ~ 40GHz；
输出功率范围：-70dBm~+14dBm；
幅度稳定度：≤0.01dB/5min。

5.2.2 功率放大器

频率范围：10kHz ~ 40GHz；
输出功率：0.1W~2500W；
谐波抑制：≤-20dBc；
输出电压驻波比：≤2.5。

5.2.3 标准中功率计

频率范围：10kHz ~ 40GHz；
功率量程：0.1W~2500W；
功率测量不确定度：1.5%~5.0% ($k=2$)；
电压驻波比：≤1.3。

5.2.4 中功率传递标准

频率范围：10kHz~40GHz；
功率量程：0.1W~2500W；
功率测量不确定度：1.7%~5.0% ($k=2$)。

5.2.5 定向耦合器

频率范围：10kHz ~ 40GHz；
功率范围：0.1W~2500W；
耦合度：≥20dB；
输出端电压驻波比：≤1.2。

5.2.6 小功率计

频率范围：10kHz ~ 40GHz；
功率范围：1mW~100mW；
校准因子不确定度：2.0%~3.0% ($k=2$)。

5.2.7 直流稳压电源

电压：100mV~25V；
最大允许误差：±(0.1% × U + 0.002) V；

电流：20mA~1A；

最大允许误差：±(0.1%×I+0.001) A。

5.2.8 直流电流表

测量范围：20mA~1A，0.1级。

5.2.9 数字多用表

电阻：10Ω~1kΩ；

最大允许误差：±0.1%。

5.2.10 网络分析仪

频率范围：10kHz~40GHz；

电压驻波比：1.00~3.00；

电压驻波比测量不确定度：2.0%~5.0% (k=2)。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

中功率计校准项目见表1。

表1 校准项目列表

序号	校准项目名称
1	外观及工作正常性检查
2	指示器量程刻度
3	功率
4	校准因子
5	电压驻波比

6.2 校准方法

6.2.1 外观及工作正常性检查

被校中功率计应有说明书及配套附件。被校中功率计的外观应完好，各开关、按键等应调节正常，不应有影响电气性能的机械损伤。

被校中功率计通电后应正常工作，按技术说明书规定时间预热，预热后指示正常，零点稳定可调。如被校中功率计具有自校准功能，应按要求对仪器进行自校准。

将检查结果记录于附录A表A.1中。

6.2.2 指示器量程刻度

6.2.2.1 电流电压法

a) 按图1连接校准设备；设置直流稳压电源电压输出开关到关，调节被校中功率计的零点；

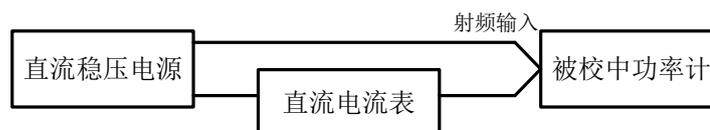


图1 电流电压法校准直流功率框图

- b) 设置直流稳压电源电压输出开关到开；
 c) 调节直流稳压电源电压输出，使被校中功率计指示在被校刻度上；
 d) 待被校中功率计的示值稳定后，分别记录被校中功率计示值 P_u 、直流稳压电源电压示值 U 和电流表示值 I 于附录 A 表 A.2 中；
 e) 按式(1)计算直流功率 P_{DC} ：

$$P_{DC} = U \cdot I \quad (1)$$

式中：

P_{DC} ——直流功率，W；

I ——电流表的示值，A；

U ——直流稳压电源的电压示值，V。

- f) 按式(2)计算被校中功率计的示值 P_u 的引用误差，将其记录于附录 A 表 A.2 中：

$$\delta = \frac{P_u - P_{DC}}{S} \quad (2)$$

式中：

δ ——被校中功率计的引用误差；

P_u ——被校中功率计的示值，W；

S ——被校中功率计的量程，W。

- g) 改变直流稳压电源电压输出，重复步骤 c)~f)，在指示器的刻度范围内至少选择满刻度的三分之一、三分之二和满刻度值三个点。

- h) 设置直流稳压电源电压输出开关到关。

6.2.2.2 电阻电压法

- a) 按图 2 连接校准设备；数字多用表的电阻量程设置自动量程，调节被校中功率计的零点；

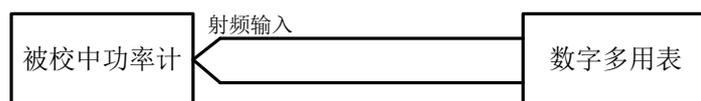


图2 电阻测量框图

- b) 测量被校中功率计的电阻，记录示值 R 于附录 A 表 A.3 中；
 c) 按图 3 连接校准设备，设置直流稳压电源电压输出开关到关；

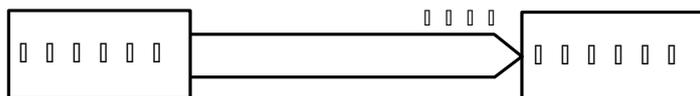


图3 电阻电压法校准直流功率框图

- d) 根据设定的直流功率 P_{DC} ，按公式(3)计算直流功率所对应的电压值 U_C ：

$$U_C = \sqrt{P_{DC} R} \quad (3)$$

式中：

R ——被校中功率计电阻的测量值， Ω ；

U_C ——电压计算值，V。

e) 设置直流稳压电源电压输出开关到开；

f) 根据计算得出的电压值 U_C 调节直流稳压电源的电压输出，待被校中功率计的示值稳定后，记录被校中功率计的示值 P_u 和直流稳压电源的电压输出 U'_C 于附录 A 表 A.3 中；

g) 按公式 (4) 计算直流功率 P'_{DC} ，将其记录于附录 A 表 A.3 中：

$$P'_{DC} = \frac{(U'_C)^2}{R} \quad (4)$$

h) 按公式(2)计算被校中功率计的示值 P_u 的引用误差，将其记录于附录 A 表 A.3 中；

i) 改变直流稳压电源输出，重复步骤 f)~h)，在指示器的刻度范围内至少选择满刻度的三分之一、三分之二和满刻度值三个点；

j) 设置直流稳压电源电压输出开关到关。

6.2.3 功率

6.2.3.1 终端式中功率计

6.2.3.1.1 交替比较法

a) 按图 4 连接校准设备；设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到关，设置信号发生器的功率电平为最小值；

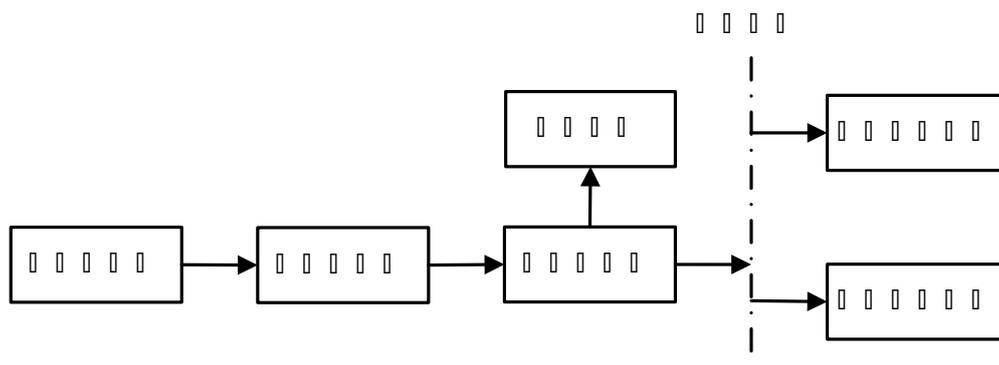


图4 交替比较法校准框图

b) 按要求设置信号发生器的频率为待测频率点；

c) 将标准中功率计连接到测试端面；

d) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到开，逐渐调节信号发生器的功率电平，使标准中功率计示值达到选定值，记录标准中功率计示值 P_{bs} 及小功率计示值 P_m 于附录 A 表 A.4 中；

e) 按公式 (5) 计算标准中功率计的入射功率即被校中功率计入射功率的校准值，将其记录于附录 A 表 A.4 中：

$$P_{is} = \frac{P_{bs}}{K_s} \quad (5)$$

式中：

P_{bs} ——标准中功率计的示值，W；

K_s ——标准中功率计的校准因子。

f) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到关，从测试端面上断开标准中功率计，连接被校中功率计到测试端面；

g) 设置信号发生器和功率放大器的射频开关到开，逐渐调节信号发生器的功率电平，使小功率计示值与 P_m 一致，记录被校中功率计示值 P_{bu} 于附录 A 表 A.4 中；

h) 按公式 (6) 计算被校中功率计的入射功率，将其记录于附录 A 表 A.4 中：

$$P_{iu} = \frac{P_{bu}}{K_n} \quad (6)$$

式中：

P_{bu} ——被校中功率计的示值，W；

K_n ——被校中功率计校准因子标称值。

i) 按公式 (7) 计算被校中功率计入射功率的相对误差 Δ ，将其记录于附录 A 表 A.4 中：

$$\Delta = \frac{P_{iu} - P_{is}}{P_{is}} \quad (7)$$

j) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到关，设置信号发生器的功率电平为最小值，从测试端面上断开被校中功率计；

k) 重复步骤 c)~j)，分别对被校中功率计进行不同功率值的校准；

l) 改变信号发生器频率，重复步骤 b)~k)，分别对被校中功率计进行不同频点的校准，需在被校中功率计频率范围内按高、中、低原则至少选择三个频率点。

注：如果标准中功率计及被校中功率计处于频率修正模式，式(5)及式(6)中 K_s 及 K_n 为 1，否则取其实际值代入计算。

6.2.3.1.2 传递标准法

a) 按图 5 连接设备；设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到关，设置信号发生器的功率电平为最小值；

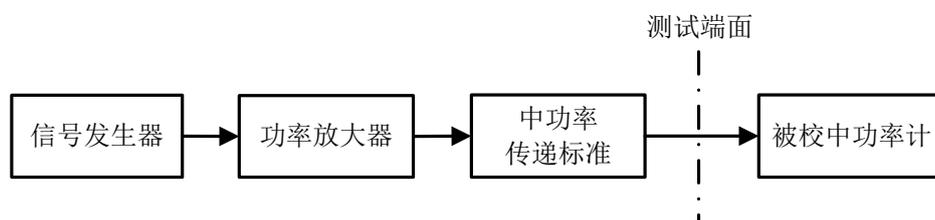


图5 传递标准法校准框图

b) 按要求设置信号发生器的频率；

c) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到开；

d) 逐渐调节信号发生器的功率电平，使被校中功率计示值达到选定值，记录传递标准功率示值 P_{cs} 和被校中功率计示值 P_{bu} 于附录 A 表 A.5 中；

e) 按公式(8)计算被校中功率计入射功率的校准值, 将其记录于附录 A 表 A.5 中:

$$P_{is} = \frac{P_{cs}}{K_{cs}} \quad (8)$$

式中:

P_{cs} ——中功率传递标准的示值, W;

K_{cs} ——中功率传递标准的校准因子。

f) 按公式 (6) 计算被校中功率计的入射功率, 将其记录于附录 A 表 A.5 中;

g) 按公式 (7) 计算被校中功率计入射功率的相对误差 Δ , 将其记录于附录 A 表 A.5 中;

h) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到关, 设置信号发生器的功率电平为最小值;

i) 重复步骤 c)~h), 分别对被校中功率计进行不同功率值的校准;

j) 改变信号发生器频率, 重复步骤 b)~i), 分别对被校中功率计进行不同频点的校准, 需在被校中功率计频率范围内按高、中、低原则至少选择三个频率点。

注: 如果中功率传递标准处于频率修正模式, 式(8)中 K_{cs} 为 1, 否则取其实际值代入计算。

6.2.3.2 通过式中功率计

6.2.3.2.1 直接测量法

a) 按图 6 连接校准设备; 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到关, 设置信号发生器的功率电平为最小值;

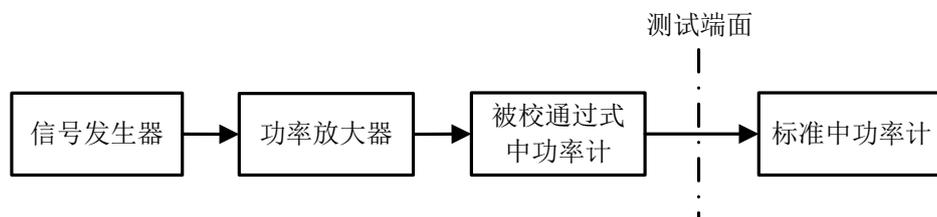


图6 直接测量法校准框图

b) 按要求设置信号发生器的频率为待测频点;

c) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到开;

d) 逐渐调节信号发生器的功率电平, 使被校中功率计示值达到选定值, 分别记录标准中功率计示值 P_{bs} 和被校中功率计示值 P_{cu} 于附录 A 表 A.6 中;

e) 按公式(5)计算标准中功率计的入射功率即被校中功率计输出端功率的校准值, 将其记录于附录 A 表 A.6 中;

f) 按公式(9)计算被校中功率计输出端功率测量值, 将其记录于附录 A 表 A.6 中:

$$P_{iu} = \frac{P_{cu}}{K_{cu}} \quad (9)$$

式中:

P_{cu} ——被校通过式中功率计的示值, W;

K_{cn} ——被校通过式中功率计校准因子标称值。

g) 按公式(7)计算被校中功率计输出端功率的相对误差 Δ ，将其记录于附录 A 表 A.6 中；

h) 设置信号发生器和功率放大器的射频输出开关到关，设置信号发生器的功率电平为最小值；

i) 重复步骤 c)~h)，分别对被校中功率计进行不同功率值的校准；

j) 改变信号发生器频率，重复步骤 b)~i)，分别对被校中功率计进行不同频点的校准，需在被校中功率计频率范围内按高、中、低原则至少选择三个频率点。

注：如果被校通过式中功率计处于频率修正模式，式(9)中 K_{cn} 为1，否则取其实际值代入计算。

6.2.4 校准因子

6.2.4.1 终端式中功率计

6.2.4.1.1 交替比较法

a) 按图 4 连接仪器，交替比较法校准终端式中功率计校准因子的校准方法及步骤参见 6.2.3.1.1；

b) 按公式(10)计算被校终端式中功率计的校准因子，将其记录于附录 A 表 A.7 中：

$$K_u = K_s \frac{P_{bu}}{P_{bs}} M_1 \quad (10)$$

注：式(10)中 M_1 为失配因子，计算校准因子时可令 $M_1=1$ ，由此引入的误差将在不确定度评定时予以考虑。

6.2.4.1.2 传递标准法

a) 按图 5 连接仪器，传递标准法校准终端式中功率计校准因子的校准方法及步骤参见 6.2.3.1.2；

b) 按公式(11)计算被校终端式中功率计的校准因子，将其记录于附录 A 表 A.8 中：

$$K_u = K_{cs} \frac{P_{bu}}{P_{cs}} M_2 \quad (11)$$

注：式(11)中 M_2 为失配因子，计算校准因子时可令 $M_2=1$ ，由此引入的误差将在不确定度评定时予以考虑。

6.2.4.2 通过式中功率计

6.2.4.2.1 直接测量法

a) 按图 6 连接仪器，直接测量法校准通过式中功率计校准因子的校准方法及步骤参见 6.2.3.2.1；

b) 按公式(12)计算被校通过式中功率计的校准因子，将其记录于附录 A 表 A.9 中：

$$K_{cu} = K_s \frac{P_{cu}}{P_{bs}} M_3 \quad (12)$$

注：式(12)中 M_3 为失配因子，计算校准因子时可令 $M_3=1$ ，由此引入的误差将在不确定度评定时予以考虑。

6.2.5 电压驻波比

6.2.5.1 终端式中功率计

- a) 设置网络分析仪测量参数为 S11 或 S22，数据格式为 VSWR；
- b) 设置网络分析仪的扫描类型、频率、扫描点数、平均次数、中频带宽、功率电平；校准频率应能覆盖被校中功率计频率范围；
- c) 分别连接短路器、开路器和标准负载于网络分析仪的测试端口，进行单端口自校准；
- d) 按图 7 连接仪器，读取电压驻波比数据，将所得结果记录于附录 A 表 A.10 中。

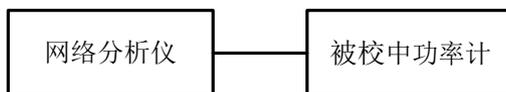


图7 终端式中功率计网络分析仪法校准框图

6.2.5.2 通过式中功率计

- a) 设置网络分析仪测量参数为 S11 和 S22，数据格式为 VSWR；
- b) 设置网络分析仪的扫描类型、频率、扫描点数、平均次数、中频带宽、功率电平；校准频率应能覆盖被校中功率计频率范围；
- c) 分别连接短路器、开路器和标准负载于网络分析仪的测试端口，进行全二端口自校准；
- d) 按图 8 连接仪器，读取电压驻波比数据，将所得结果记录于附录 A 表 A.11 中。

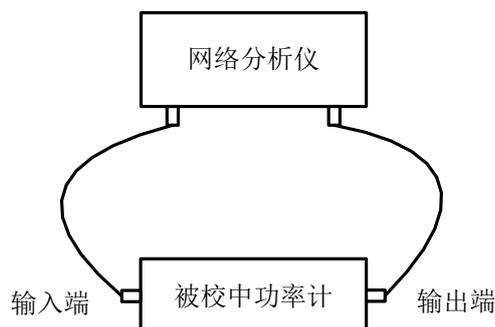


图8 通过式中功率计网络分析仪法校准框图

7 校准结果表达

中功率计校准后，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) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

8 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

校准原始记录格式

表 A.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观	
工作正常性	

表 A.2 电流电压法校准指示器量程刻度

功率量程 S /W	直流电压 U /V	直流电流 I /A	直流功率 P_{DC} /W	示值功率 P_u /W	引用误差 δ	测量不确定度 $U(k=2)$

表 A.3 电阻电压法校准指示器量程刻度

输入电阻: _____ Ω

功率量程 S /W	直流电压 U'_C /V	直流功率 P'_{DC} /W	示值功率 P_u /W	引用误差 δ	测量不确定度 $U(k=2)$

表 A.4 交替比较法校准功率

频率 /GHz	标准中功率计示值 P_{bs} /W	标准中功率计校准因子 K_s	功率校准值 P_{is} /W	被校中功率计示值 P_{bu} /W	被校中功率计校准因子标称值 K_n	功率测量值 P_{iu} /W	相对误差 Δ	测量不确定度 U ($k=2$)

表 A.5 传递标准法校准功率

频率 /GHz	中功率传递标准示值 P_{cs} /W	中功率传递标准校准因子 K_{cs}	功率校准值 P_{is} /W	被校中功率计示值 P_{bu} /W	被校中功率计校准因子标称值 K_n	功率测量值 P_{iu} /W	相对误差 Δ	测量不确定度 U ($k=2$)

表 A.6 直接测量法校准功率

频率 /GHz	标准中功率计示值 P_{bs} /W	标准中功率计校准因子 K_s	功率校准值 P_{is} /W	被校中功率计示值 P_{cu} /W	被校中功率计校准因子标称值 K_{cn}	功率测量值 P_{iu} /W	相对误差 Δ	测量不确定度 U ($k=2$)

表 A.7 交替比较法校准校准因子

频率 /GHz	标准中功率计示值 P_{bs} /W	标准中功率计校准因子 K_s	被校中功率计示值 P_{bu} /W	被校中功率计校准因子 K_u	测量不确定度 $U(k=2)$

表 A.8 传递标准法校准校准因子

频率 /GHz	中功率传递标准示值 P_{cs} /W	中功率传递标准校准因子 K_{cs}	被校中功率计示值 P_{bu} /W	被校中功率计校准因子 K_u	测量不确定度 $U(k=2)$

表 A.9 直接测量法校准校准因子

频率 /GHz	标准中功率计示值 P_{bs} /W	标准中功率计校准因子 K_s	被校中功率计示值 P_{cu} /W	被校中功率计校准因子 K_{cu}	测量不确定度 $U(k=2)$

表 A. 10 被校终端式中功率计电压驻波比

频率 /GHz	电压驻波比 VSWR	测量不确定度 U ($k=2$)

表 A. 11 被校通过式中功率计电压驻波比

频率 /GHz	输入端电压驻波比 VSWR	输出端电压驻波比 VSWR	测量不确定度 U ($k=2$)

附录 B

校准证书内页格式

表 B.1 外观及工作正常性检查

项目	检查结果
外观	
工作正常性	

表 B.2 指示器量程刻度

功率量程 S /W	直流功率 P_{DC} /W	示值功率 P_u /W	引用误差 δ	测量不确定度 $U(k=2)$

表 B.3 功率

频率 /GHz	功率校准值 P_{is} /W	功率测量值 P_{iu} /W	相对误差 Δ	测量不确定度 U ($k=2$)

表 B. 4 校准因子

频率 /GHz	校准因子测量值 K_u	测量不确定度 $U(k=2)$

表 B. 5 电压驻波比（终端式中功率计）

频率 /GHz	电压驻波比 VSWR	测量不确定度 U ($k=2$)

表 B. 6 电压驻波比（通过式中功率计）

频率 /GHz	输入端电压驻波比 VSWR	输出端电压驻波比 VSWR	测量不确定度 U ($k=2$)

附录 C

主要项目校准不确定度评定示例

C.1 校准因子测量不确定度评定

选择频率 1GHz、功率电平 100W 为例进行校准因子测量不确定度评定。

C.1.1 交替比较法

C.1.1.1 数学模型

$$K_u = K_s \frac{P_{bu}}{P_{bs}} M_1$$

式中：

K_u ——被校中功率计的校准因子；

K_s ——标准中功率计的校准因子；

P_{bu} ——被校中功率计示值，W；

P_{bs} ——标准中功率计示值，W；

M_1 ——失配因子， $M_1 = \frac{|1 - \Gamma_{ge} \Gamma_u|^2}{|1 - \Gamma_{ge} \Gamma_s|^2}$ 。

(Γ_{ge} 为等效源反射系数， Γ_u 为被校中功率计反射系数， Γ_s 为标准中功率计反射系数。)

C.1.1.2 不确定度来源

- 标准中功率计校准因子 K_s 引入的相对标准不确定度 $u(K_s)$ ；
- 标准中功率计示值功率 P_{bs} 引入的相对标准不确定 $u(P_{bs})$ ；
- 被校中功率计示值功率 P_{bu} 引入的相对标准不确定度 $u(P_{bu})$ ；
- 失配引入的相对标准不确定度 $u(M_1)$ ；
- 接头连接重复性引入的相对标准不确定度 $u(D)$ 。

C.1.1.3 相对标准不确定度分量评定

- 标准中功率计校准因子 K_s 引入的相对标准不确定度 $u(K_s)$

标准中功率计校准因子由高一级标准中功率计定标，其相对扩展不确定度为 3.0%，按 B 类评定，视其为正态分布，包含因子 $k(K_s) = 2$ ，则：

$$u(K_s) = \frac{0.03}{2} = 0.015$$

- 标准中功率计示值功率 P_{bs} 引入的相对标准不确定 $u(P_{bs})$

标准中功率计示值功率的技术指标为 $\pm 0.5\%$ ，按 B 类评定，视其为均匀分布，包含因子 $k(P_{bs}) = \sqrt{3}$ ，则：

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

c) 被校中功率计示值功率 P_{bu} 引入的相对标准不确定度 $u(P_{bu})$

被校中功率计示值功率的技术指标为 $\pm 0.5\%$ ，按 B 类评定，视其为均匀分布，包含因子 $k(P_{bu}) = \sqrt{3}$ ，则：

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

d) 失配引入的相对标准不确定度 $u(M_1)$

由失配引入的误差限为 $2|\Gamma_{ge}|(|\Gamma_s| + |\Gamma_u|)$ 。等效信号源反射系数模值 $|\Gamma_{ge}|$ 为 0.04，标准中功率计的反射系数模值 $|\Gamma_s|$ 为 0.05，被校中功率计的反射系数模值 $|\Gamma_u|$ 为 0.06。按 B 类评定，视其为反正弦分布，包含因子 $k(M_1) = \sqrt{2}$ ，则：

$$u(M_1) = \frac{0.0088}{\sqrt{2}} = 0.0062$$

e) 接头连接重复性引入的相对标准不确定度 $u(D)$

接头连接重复性引入的相对标准不确定度分量按 A 类评定，可按下式进行计算：

$$u(D) = \frac{S_n(x)}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0.0025$$

C.1.1.4 标准不确定度分量表

表 C.1 测量不确定度分量表

不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	相对标准不确定
$u(K_s)$	标准中功率计校准因子	B 类	正态	2	0.015
$u(P_{bs})$	标准中功率计示值功率	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029
$u(P_{bu})$	被校中功率计示值功率	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029
$u(M_1)$	失配	B 类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.0062
$u(D)$	接头连接重复性	A 类			0.0025

C.1.1.5 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：

$$u_{rc}(K_u) = \sqrt{[u(K_s)]^2 + [u(P_{bs})]^2 + [u(P_{bu})]^2 + [u(M_1)]^2 + [u(D)]^2} = 1.7\%$$

C.1.1.6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，相对扩展不确定度为：

$$U_r(K_u) = k \cdot u_{rc}(K_u) = 3.4\%$$

C.1.2 传递标准法

C.1.2.1 数学模型

$$K_u = K_{cs} \frac{P_{bu}}{P_{cs}} M_2$$

式中：

K_u ——被校中功率计的校准因子；

K_{cs} ——中功率传递标准的校准因子；

P_{bu} ——被校中功率计示值，W；

P_{cs} ——中功率传递标准示值，W；

M_2 ——失配因子， $M_2 = |1 - \Gamma_{ge} \Gamma_u|^2$ 。

(Γ_{ge} 为等效源反射系数， Γ_u 为被校中功率计反射系数。)

C.1.2.2 不确定度来源

- 中功率传递标准校准因子 K_{cs} 引入的相对标准不确定度 $u(K_{cs})$ ；
- 中功率传递标准示值功率 P_{cs} 引入的相对标准不确定度 $u(P_{cs})$ ；
- 被校中功率计示值功率 P_{bu} 引入的相对标准不确定度 $u(P_{bu})$ ；
- 失配引入的相对标准不确定度 $u(M_2)$ ；
- 接头连接重复性引入的相对标准不确定度 $u(D)$ 。

C.1.2.3 不确定度分量一览表

表 C.2 不确定度分量表

不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	相对标准不确定
$u(K_{cs})$	中功率传递标准校准因子	B 类	正态	2	0.015
$u(P_{cs})$	中功率传递标准示值功率	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029
$u(P_{bu})$	被校中功率计示值功率	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029
$u(M_2)$	失配	B 类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.0034
$u(D)$	接头连接重复性	A 类			0.0014

C.1.2.4 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：

$$u_{rc}(K_u) = \sqrt{[u(K_{cs})]^2 + [u(P_{cs})]^2 + [u(P_{bu})]^2 + [u(M_2)]^2 + [u(D)]^2} = 1.6\%$$

C.1.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，相对扩展不确定度为：

$$U_r(K_u) = k \cdot u_{rc}(K_u) = 3.2\%$$

C.1.3 直接测量法

C.1.3.1 数学模型

$$K_{\text{cu}} = K_s \frac{P_{\text{cu}}}{P_{\text{bs}}} M_3$$

式中：

K_{cu} ——被校通过式中功率计的校准因子；

K_s ——标准中功率计的校准因子；

P_{cu} ——被校通过式中功率计示值，W；

P_{bs} ——标准中功率计示值，W；

M_3 ——失配因子， $M_3 = \frac{1}{|1 - \Gamma_{\text{ge}} \Gamma_s|^2}$ 。

(Γ_{ge} 为等效源反射系数， Γ_s 为标准中功率计反射系数。)

C.1.3.2 不确定度来源

- 标准中功率计校准因子 K_s 引入的相对标准不确定度 $u(K_s)$ ；
- 标准中功率计示值功率 P_{bs} 引入的相对标准不确定度 $u(P_{\text{bs}})$ ；
- 被校通过式中功率计示值功率 P_{cu} 引入的相对标准不确定度 $u(P_{\text{cu}})$ ；
- 失配引入的相对标准不确定度 $u(M_3)$ ；
- 接头连接重复性引入的相对标准不确定度 $u(D)$ 。

C.1.3.3 不确定度分量一览表

表 C.3 标准不确定度分量表

不确定度分量	来源	评定方法	分布	k 值	相对标准不确定
$u(K_s)$	标准中功率计校准因子	B 类	正态	2	0.015
$u(P_{\text{bs}})$	标准中功率计示值功率	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029
$u(P_{\text{cu}})$	被校通过式中功率计示值功率	B 类	均匀	$\sqrt{3}$	0.0029
$u(M_3)$	失配	B 类	反正弦	$\sqrt{2}$	0.0028
$u(D)$	接头连接重复性	A 类			0.0019

C.1.3.4 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：

$$u_{\text{rc}}(K_{\text{cu}}) = \sqrt{[u(K_s)]^2 + [u(P_{\text{bs}})]^2 + [u(P_{\text{cu}})]^2 + [u(M_3)]^2 + [u(D)]^2} = 1.6\%$$

C.1.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，相对扩展不确定度为：

$$U_{\text{r}}(K_{\text{cu}}) = k \cdot u_{\text{rc}}(K_{\text{cu}}) = 3.2\%$$