

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1600—2016

---

## 辐射型太赫兹功率计校准规范

Calibration Specification for Terahertz Radiation Power Meters



2016-11-30 发布

2017-02-28 实施

---

国家质量监督检验检疫总局 发布

# 辐射型太赫兹功率计校准规范

Calibration Specification for  
Terahertz Radiation Power Meters

JJF 1600—2016



归口单位：全国光学计量技术委员会

主要起草单位：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

北京市计量检测科学研究院

本规范委托全国光学计量技术委员会负责解释

**本规范主要起草人：**

邓玉强（中国计量科学研究院）

孙 青（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

徐 楠（中国计量科学研究院）

夏 铭（上海市计量测试技术研究院）

贾亚青（北京市计量检测科学研究院）



仪器服务网  
YIQIFUWU.COM

# 目 录

引言 .....	( II )
1 范围 .....	( 1 )
2 术语 .....	( 1 )
3 概述 .....	( 1 )
4 计量特性 .....	( 1 )
5 校准条件 .....	( 1 )
5.1 环境条件 .....	( 1 )
5.2 计量标准器和主要设备 .....	( 2 )
6 校准项目和校准方法 .....	( 2 )
6.1 校准项目 .....	( 2 )
6.2 校准装置结构示意图 .....	( 2 )
6.3 校准前准备 .....	( 3 )
6.4 校准方法 .....	( 3 )
7 校准结果 .....	( 4 )
8 复校时间间隔 .....	( 4 )
附录 A 校准证书内页推荐格式 .....	( 5 )
附录 B 校准原始记录推荐格式 .....	( 6 )
附录 C 辐射型太赫兹功率计修正因子不确定度评定示例 .....	( 7 )
附录 D 太赫兹辐射源功率不稳定时使用监测装置的说明 .....	( 10 )

## 引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》共同构成本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。



## 辐射型太赫兹功率计校准规范

### 1 范围

本规范适用于频率在 0.1 THz~10 THz、功率在 0.1 mW~3 mW 范围内辐射型太赫兹功率计的校准。其他频段和功率范围的功率计可参照本规范执行。

### 2 术语

#### 2.1 太赫兹辐射 terahertz radiation; THz radiation

频率在 0.1 THz~10 THz 范围的电磁辐射，对应波长 30  $\mu\text{m}$ ~3 mm。太赫兹辐射频率处于微波与红外的衔接过渡区间，也称为太赫兹波或太赫兹射线。

### 3 概述

辐射型太赫兹功率计是用于测量太赫兹辐射功率的仪器，通常由太赫兹功率计探头和显示仪表两部分组成，结构示意图如图 1 所示。其工作原理是太赫兹功率计探头的吸收体接收太赫兹辐射，通过传感器将太赫兹辐射功率信号转化为电信号，由显示仪表显示被测太赫兹功率量值。

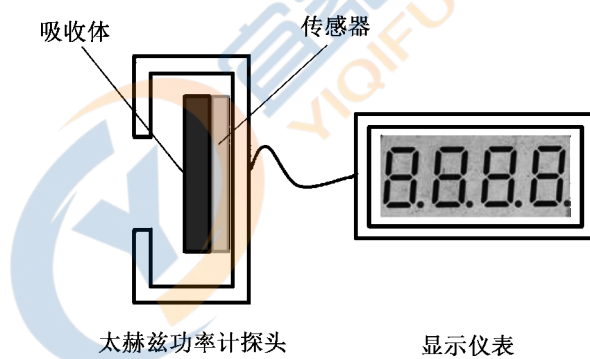


图 1 太赫兹功率计结构示意图

### 4 计量特性

相对示值误差： $\pm 20\%$ ；

非线性度： $\pm 3\%$ 。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

### 5 校准条件

#### 5.1 环境条件

5.1.1 环境温度： $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，校准期间内温度变化量不大于  $2^\circ\text{C}$ ；

5.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ ，校准期间内相对湿度变化量不大于  $3\%$ ；

5.1.3 其他要求：校准区域内无可感觉到的空气波动、无影响测量数据的电磁干扰和

背景辐射干扰。

## 5.2 计量标准器和主要设备

### 5.2.1 标准太赫兹功率计

功率范围：0.1 mW~3 mW；

频率范围：0.1 THz~10 THz；

扩展不确定度  $U_{rel}$ ：≤8% ( $k=2$ )。

### 5.2.2 太赫兹辐射源

输出功率：≥3 mW；

频率范围：0.1 THz~10 THz，单频输出；

功率稳定度：±2%/h。

### 5.2.3 太赫兹功率衰减器

衰减系数：0.1~0.5；

频率范围：0.1 THz~10 THz。

### 5.2.4 其他设备

太赫兹功率调节器：调节太赫兹辐射功率至校准点。使用时，应无影响测量数据的反射、干涉或衍射现象；

太赫兹功率监测装置：太赫兹辐射功率不稳定时，用于监测太赫兹功率变化，进行修正校准；

太赫兹光束准直器：太赫兹辐射源输出太赫兹辐射发散时，用于提高太赫兹辐射准直性。

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准项目

太赫兹功率测量示值修正因子、非线性度。

表 1 校准项目表

校准项目	首次校准	后续校准	使用中检验
示值修正因子	+	+	+
非线性度	+	-	-

注：“+”表示需校准项目，“-”表示可不校准项目。

### 6.2 校准装置结构示意图

太赫兹功率计校准装置示意图如图 2 所示。

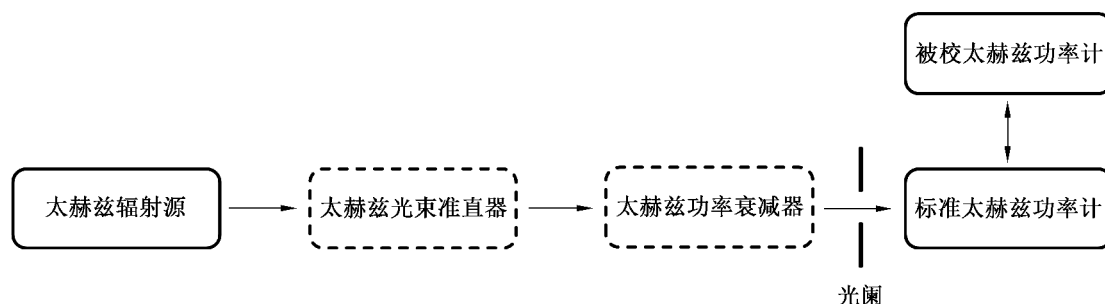


图 2 校准装置示意图

### 6.3 校准前准备

校准前，先对仪器进行外观检查，目测是否有影响计量性能的碰伤、划痕以及影响测量的其他缺陷。必要时，按照仪器使用说明书的规定执行仪器的启动和准备程序。

运行太赫兹辐射源并预热，使太赫兹辐射源处于稳定工作状态。当太赫兹辐射源输出辐射发散时，使用太赫兹光束准直器提高太赫兹辐射光束准直性。通过光阑和太赫兹功率衰减器的组合调节，使通过光阑的太赫兹功率至校准点，且光阑口径小于标准太赫兹功率计与被校太赫兹功率计二者最小探头吸收靶面直径的 3/4。

在水平和垂直两个方向移动太赫兹功率计，使太赫兹辐射到标准太赫兹功率计和被校太赫兹功率计中心，并记录相应位置。

### 6.4 校准方法

#### 6.4.1 示值修正因子校准

用标准太赫兹功率计和被校太赫兹功率计在光阑后同一位置垂直对准待测太赫兹辐射光束，调节太赫兹辐射功率处于校准要求的量限内。采用标准功率计和被校功率计顺序交替的次序测量同一束太赫兹辐射，共测量 3 次。

按公式 (1) 计算修正因子  $C$ 。

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{P_{s,i}}{P_{DUT,i}} \right) \quad (N=3) \quad (1)$$

式中：

$P_{s,i}$  —— 标准太赫兹功率计第  $i$  次测量值；

$P_{DUT,i}$  —— 被校太赫兹功率计第  $i$  次测量值。

当太赫兹辐射源输出功率不稳定时，可使用太赫兹功率监测装置降低校准不确定度。使用太赫兹功率监测装置的校准装置示意图和校准方法及相关计算公式的说明见附录 D。

#### 6.4.2 非线性度校准

按照 6.4.1 的校准方法在 0.3 mW 和 3 mW 功率下分别对被校太赫兹功率计进行校准，得到被校太赫兹功率计在 0.3 mW 和 3 mW 功率的修正因子。则按公式 (2) 计算非线性度  $\delta_L$ ：

$$\delta_L = \left( \frac{C_3}{C_{0.3}} - 1 \right) \times 100\% \quad (2)$$

其中， $C_3$  和  $C_{0.3}$  分别为在 3 mW 和 0.3 mW 功率的示值修正因子。



## 7 校准结果

校准结果应在证书中反映。校准证书应至少包括以下信息：

- 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) 证书或报告的唯一性标识（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) 对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，不得部分复制证书或报告的声明。

## 8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔不超过1年。更换重要部件、维修、重新安装或对仪器性能有怀疑时，应随时送校。

## 附录 A

## 校准证书内页推荐格式

证书编号：\_\_\_\_\_

共\_\_\_\_页 第\_\_\_\_页

## 1. 依据的技术文件

JJF 1600—2016 辐射型太赫兹功率计校准规范

## 2. 校准条件

环境条件：温度：\_\_\_\_\_℃

相对湿度：\_\_\_\_\_%

技术条件：太赫兹辐射源：频率：\_\_\_\_\_THz

功率：\_\_\_\_\_mW

## 3. 校准结果

## 3.1 示值修正因子校准

功率标准值	被校功率示值	修正因子	修正因子测量不确定度

## 3.2 非线性度校准

非线性度  $\delta_L$ ：\_\_\_\_\_；测量不确定度：\_\_\_\_\_。

4. 对校准规范偏离的说明：\_\_\_\_\_

校准地点：\_\_\_\_\_校准日期：\_\_\_\_\_年 月 日

校准员：\_\_\_\_\_核验员：\_\_\_\_\_

## 附录 B

## 校准原始记录推荐格式

第 页 / 共 页

原始记录编号		证书编号	
委托方名称		委托方地址	
委托方联系人	电话	送校日期	年 月 日
被校仪器名称		生产厂商	
型号规格		出厂编号	
外观	<input type="checkbox"/> 正常； <input type="checkbox"/> 有缺陷； <input type="checkbox"/> 其他说明：_____		
校准地点		环境条件：	温度：_____℃；相对湿度：_____%
技术依据	JJF 1600—2016 辐射型太赫兹功率计校准规范		
主要测量标准：			
名称/型号	证书编号	有效期至	测量范围
校准用辐射源：频率：_____THz。			
校准结果：			
1. 示值修正因子校准			
序号	功率标准值/mW	被校功率示值/mW	修正因子
1			
2			
3			
平均值	_____	_____	
测量不确定度： $U_{rel} =$ _____ ( $k=2$ )。			
2. 非线性度校准			
3 mW 功率示值修正因子 $C_3$ ：_____；0.3 mW 功率的示值修正因子 $C_{0.3}$ ：_____；			
非线性度 $\delta_L$ ：_____；测量不确定度：_____。			
对校准规范的偏离的说明：_____。			
校准员：_____；核验员：_____；			
校准日期：_____年 月 日。			

## 附录 C

## 辐射型太赫兹功率计修正因子不确定度评定示例

依据辐射型太赫兹功率计校准规范的各项计量特性及校准条件和校准项目的规定，对辐射型太赫兹功率计进行了校准。下面针对辐射型太赫兹功率计在 0.76 THz 的功率示值测量结果不确定度进行评定，被校太赫兹功率计型号：3A-P-THZ，出厂编号：752642，生产厂商：Ophir Photonics 公司。校准环境温度：21.5 °C，湿度：10% RH，校准日期：2015 年 3 月 16 日。

使用返波管太赫兹激光器作为校准用太赫兹辐射源，输出频率为 0.76 THz，使用直径 9 mm 的光阑限制太赫兹辐射光束，通过光阑后的太赫兹辐射功率约 0.27 mW。运行返波管太赫兹激光器并预热，调节标准太赫兹功率计与被校太赫兹功率计，使校准时通过光阑的太赫兹辐射被标准太赫兹功率计与被校太赫兹功率计完全接收。

待太赫兹辐射源处于稳定状态后，使用标准太赫兹功率计和被校太赫兹功率计在光阑后同一位置交替测量太赫兹辐射功率，测量 3 次并记录每次测量数据，按公式 (1) 和公式 (2) 分别计算修正因子和相对示值误差  $\delta$ 。测量数据和计算结果如表 C.1。

表 C.1 太赫兹功率计校准数据

校准次数	标准值/ $\mu\text{W}$	被校测量示值/ $\mu\text{W}$	相对示值误差	修正因子
1	275.8	268	-2.83%	1.029
2	276.2	269	-2.61%	1.027
3	276.6	269	-2.75%	1.028
平均值	—	—	-2.73%	1.028

相对示值误差  $\bar{\delta} = -2.73\%$ ，修正因子  $\bar{C} = 1.028$ 。

## C.1 测量模型

辐射型太赫兹功率计校准示值修正因子的测量模型为：

$$C = \frac{P_s}{P_{\text{DUT}}} \quad (\text{C.1})$$

式中：

$P_s$  ——标准太赫兹功率计测量的太赫兹功率标准值；

$P_{\text{DUT}}$  ——被校太赫兹功率计测量太赫兹功率的测量示值。

## C.2 不确定度来源

辐射型太赫兹功率计校准中，不确定度来源主要来自 4 个方面：标准太赫兹功率计的测量不确定度、被校太赫兹功率计的重复性、太赫兹激光功率稳定性、环境背景辐射影响。太赫兹功率计校准示值误差修正因子可表示为：

$$C = \frac{P_s}{P_{\text{DUT}}} \cdot f(u_1) \cdot f(u_b) \quad (\text{C.2})$$

式中：

$f(u_1)$ ——太赫兹激光功率稳定性的影响；

$f(u_b)$ ——环境条件的影响。

各影响量互不相关，修正因子的相对不确定度为：

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{(c_1 u_{\text{srel}})^2 + (c_2 u_{\text{rrel}})^2 + (c_3 u_{\text{lrel}})^2 + (c_4 u_{\text{brel}})^2} \quad (\text{C. 3})$$

式中：

$u_{\text{srel}}$ ——标准太赫兹功率计的相对标准不确定度；

$u_{\text{rrel}}$ ——被校太赫兹功率计测量重复性引入的相对不确定度分量；

$u_{\text{lrel}}$ ——太赫兹激光功率稳定性引入的相对不确定度分量；

$u_{\text{brel}}$ ——环境条件影响引入的相对不确定度分量；

$c_i (i=1, 2, \dots, 4)$ ——各不确定度分量的灵敏系数，均为 $\pm 1$ 。

测量模型中各项彼此独立，互不相关，故得到相对不确定度表达式：

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{\text{srel}}^2 + u_{\text{rrel}}^2 + u_{\text{lrel}}^2 + u_{\text{brel}}^2} \quad (\text{C. 4})$$

扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = k \cdot u_{\text{crel}} \quad (\text{C. 5})$$

包含因子  $k=2$ 。

### C.3 不确定度评估示例

#### C.3.1 标准太赫兹功率计的标准不确定度分量

根据上级计量标准的计量校准证书，本次校准采用的标准太赫兹功率计的测量相对标准不确定度为  $u_{\text{srel}} = 3.0\%$ 。

#### C.3.2 被校太赫兹功率计测量重复性的不确定度分量

采用被校太赫兹功率计对太赫兹辐射源连续测量 6 次，测量结果如表 C.2。

表 C.2 被校太赫兹功率计连续 6 次的测量功率值

$i$	1	2	3	4	5	6
$P/\mu\text{W}$	269	268	271	270	269	270

$N$  次 ( $N=6$ ) 测量所得的功率均值  $\bar{P}_{\text{DUT}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{\text{DUT}, i} = 269.5 \mu\text{W}$

$$\text{标准差 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_{\text{DUT}, i} - \bar{P}_{\text{DUT}})^2}{N-1}} = 1.05 \mu\text{W}$$

相对标准差为： $\frac{\sigma}{\bar{P}_{\text{DUT}}} = 0.39\%$

取 3 次测量结果平均值作为校准结果，被校探测器测量重复性的相对不确定度为

$$u_{\text{rrel}} = \frac{0.39\%}{\sqrt{3}} = 0.23\%$$

#### C.3.3 太赫兹辐射源功率稳定性的不确定度分量

用标准太赫兹功率计连续测量激光源 6 次，测量结果如表 C.3。

表 C.3 标准太赫兹功率计连续 6 次测量太赫兹辐射源的功率值

$i$	1	2	3	4	5	6
$P/\mu\text{W}$	275	276	277	275	277	276

$$N \text{ 次}(N=6)\text{测量平均值 } \bar{P}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{s,i} = 276 \mu\text{W}$$

$$\text{标准差 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_{s,i} - \bar{P}_s)^2}{N-1}} = 0.89 \mu\text{W}$$

$$\text{相对标准差为: } \frac{\sigma}{\bar{P}_s} = 0.32\%$$

取 3 次测量结果平均值作为校准结果，太赫兹辐射源波动的相对不确定度为  $u_{\text{rel}} = \frac{0.32\%}{\sqrt{3}} = 0.18\%$ 。

#### C.3.4 环境条件影响的不确定度分量

被校探测器在无太赫兹辐射照射时，环境影响的噪声等效功率在  $\pm 1.5 \mu\text{W}$  之间波动，按均匀分布计算，测量  $276 \mu\text{W}$  的太赫兹辐射功率时，产生的相对不确定度为

$$u_{\text{brel}} = \frac{0.54}{\sqrt{3}}\% = 0.31\%$$

#### C.3.5 不确定度合成

以上 4 个主要不确定度来源归纳为表 C.4 所示。

表 C.4 不确定度各分量汇总表

不确定度来源	不确定度分量	分布	相对标准不确定度/%
上级标准	$u_{\text{srel}}$	正态	3.0
测量的重复性	$u_{\text{rrel}}$	正态	0.23
光源稳定性	$u_{\text{lrel}}$	正态	0.18
环境条件影响	$u_{\text{brel}}$	均匀	0.31
相对合成标准不确定度	$u_{\text{crel}}$	正态	3.1

$$\text{相对合成标准不确定度: } u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{\text{srel}}^2 + u_{\text{rrel}}^2 + u_{\text{lrel}}^2 + u_{\text{brel}}^2} \approx 3.1\%$$

$$\text{相对扩展不确定度: } U_{\text{rel}} = k \cdot u_{\text{crel}} = 6.2\% \quad (k=2)$$

## 附录 D

## 太赫兹辐射源功率不稳定时使用监测装置的说明

当太赫兹辐射源输出功率不稳定时，可使用监测装置降低校准不确定度。功率监测装置由太赫兹分束器和功率监测器组成，使用功率监测装置的太赫兹功率计校准装置示意图如图 D.1 所示。

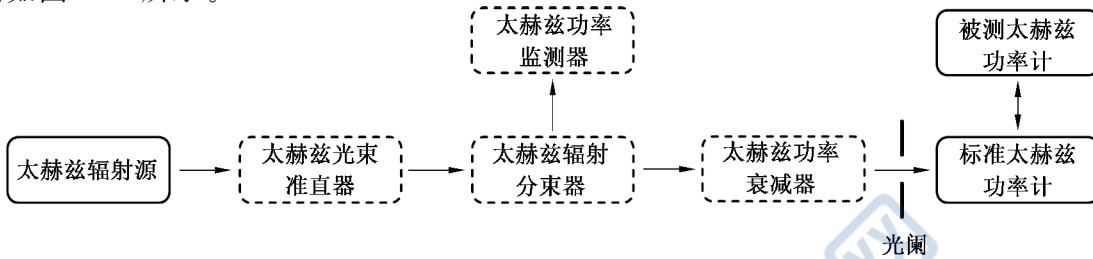


图 D.1 校准装置示意图

用标准太赫兹功率计和被校太赫兹功率计在光阑后同一位置垂直对准待测太赫兹辐射光束，调节太赫兹辐射功率处于校准要求的量限内。采用标准功率计和被校功率计顺序交替的次序测量同一束太赫兹辐射的方式进行，共测量 3 次，同时记录功率监测值。

按公式 (D.1) 和公式 (D.2) 分别计算相对示值误差  $\delta$  和修正因子  $C$ 。

相对示值误差  $\delta$ ：

$$\delta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{V_{s,i}}{V_{DUT,i}} \cdot \frac{P_{DUT,i}}{P_{s,i}} - 1 \right) \times 100\% \quad (N=3) \quad (D.1)$$

修正因子  $C$ ：

$$C = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{P_{s,i}}{P_{DUT,i}} \cdot \frac{V_{DUT,i}}{V_{s,i}} \right) \quad (D.2)$$

式中，

$P_{s,i}$  —— 标准太赫兹功率计第  $i$  次测量值；

$P_{DUT,i}$  —— 被校太赫兹功率计第  $i$  次测量值；

$V_{s,i}$  —— 标准太赫兹功率计第  $i$  次测量的功率监测值；

$V_{DUT,i}$  —— 被校太赫兹功率计第  $i$  次测量的功率监测值。