

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx—xxxx

## 辐射型热流计校准规范

Calibration Specification for Radiant Heat Flux Meters

(征求意见稿)

xxxx-xx-xx 发布

xxxx-xx-xx 实施

国家市场监督管理总局 发布

辐射型热流计  
校准规范

Calibration Specification for  
Radiant Heat Flux Meters

JJF xxx—xxxx

归口单位：全国光学计量技术委员会

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：北京航天计量测试技术研究所

湖北省计量测试技术研究院

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：**

夏 铭（上海市计量测试技术研究院）

邓玉强（中国计量科学研究院）

李超辰（中国计量科学研究院）

**参加起草人：**

张俊祺（北京航天计量测试技术研究所）

徐 迅（湖北省计量测试技术研究院）

高建强（上海市计量测试技术研究院）

夏俊雯（上海市计量测试技术研究院）

# 目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
4.1 辐照度示值（响应度）	(2)
5 校准条件	(2)
5.1 环境条件	(2)
5.2 测量标准及其他设备	(2)
6 校准项目和校准方法	(2)
6.1 校准项目	(2)
6.2 校准方法	(3)
7 校准结果表达	(4)
8 复校时间间隔	(5)
附录 A 宽光谱辐射源辐照不均匀度和不稳定性指标评价推荐方法	(6)
附录 B 辐射型热流计校准原始记录推荐格式	(8)
附录 C 辐射型热流计校准证书内页推荐格式	(9)
附录 D 辐射型热流计修正因子测量结果的不确定度评定示例	(10)

# 引 言

JJF 1001《通用计量术语及定义》、JJF 1032《光学辐射计量名词术语及定义》、JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

# 辐射型热流计校准规范

## 1 范围

本规范适用于测量范围为(1~50) kW/m<sup>2</sup>的辐射型热流计示值误差的校准和辐射型热流传感器响应度的校准,其它测量范围的辐射型热流计示值误差的校准和辐射型热流传感器响应度的校准可参照本规范执行。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件:

JJF 1572—2016 辐射热计校准规范

JJG (军工) 163—2019 辐射热流传感器检定规程

GJB/J 5858—2006 0.05 W/cm<sup>2</sup>~2 W/cm<sup>2</sup> 辐射热流传感器检定规程

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 概述

辐射型热流计是一种用于测量辐射热功率密度的仪器,广泛应用于辐射源辐射强度测量、推进剂热强度和热分布、火灾的发生和防护、保温性能测试等领域。

辐射型热流计基于热辐射的原理,在一定距离下测量辐射功率密度确定被测物体的辐射热流。它具有非接触、无损测量的特点。辐射型热流计通常由辐射型热流传感器探头、水冷部件、信号处理系统、显示器等组成。有些辐射型热流计仅包括辐射型热流传感器探头,通过电压测量仪表确定辐射照度量值。其中,辐射型热流传感器的热敏感面接收热辐射后产生温升信号并将其转换为电信号,信号处理系统接收探测器传输的电信号,并进行信号放大和处理,显示器用于显示或记录测量结果。

为了防止辐射型热流计在高辐照度测量时损伤辐射型热流传感器,辐射型热流计配有水冷部件,在测量高辐照度测量时需要通水冷却,防止辐射型热流计在高辐照度测量时损伤辐射型热流传感器,也为辐射型热流传感器提供稳定的温度参考,产生准确的测量结果。辐射型热流传感器可分为圆箔式(GARDON计)、

塞式（Schmidt-Boelter 计）等类型。

## 4 计量特性

### 4.1 辐照度示值（响应度）：

最大允许误差：±10%。

注：

1. 辐射型热流计的校准项目为辐照度示值。对于没有信号处理和显示器的辐射型热流传感器，其校准项目为辐照度响应度。

2. 以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

## 5 校准条件

### 5.1 环境条件

温度：（23±5）℃，相对湿度：≤80%。

校准区域应无影响测量结果的空气流动、热辐射、电磁干扰和振动等。

### 5.2 测量标准及其他设备

#### 5.2.1 标准辐射计

辐照度测量范围：（1~50）kW/m<sup>2</sup>；

测量不确定度： $U_{rel}=2\%$ （ $k=2$ ）。

#### 5.2.2 宽光谱辐射源

辐照度范围：（1~50）kW/m<sup>2</sup>；

工作距离处辐照不均匀度：≤2%（Φ30 mm 范围内）；

辐照不稳定性：≤1%（30 min 内）。

注：建议使用卤钨灯作为宽光谱辐射源。

#### 5.2.3 电测仪表

分辨力：不低于 1 μV；

最大允许误差：±（0.01% 读数+0.01% 量程）。

## 6 校准项目和校准方法

### 6.1 校准项目

辐射型热流计的校准项目为辐照度相对示值误差。对于没有信号处理和显示器的辐射型热流传感器，其校准项目为辐照度响应度。

## 6.2 校准方法

### 6.2.1 校准前检查

6.2.1.1 辐射型热流计应无影响计量性能的电气及机械故障和损伤。

6.2.1.2 辐射型热流传感器的接收面应保持平整、清洁、干燥、均匀，没有变色、起泡和脱落现象。

6.2.1.3 辐射型热流计如有显示器，显示器应当采样正常，数字显示清晰正确。

### 6.2.2 辐照度示值

6.2.2.1 辐射型热流计辐照度示值校准示意图如图 1 所示。

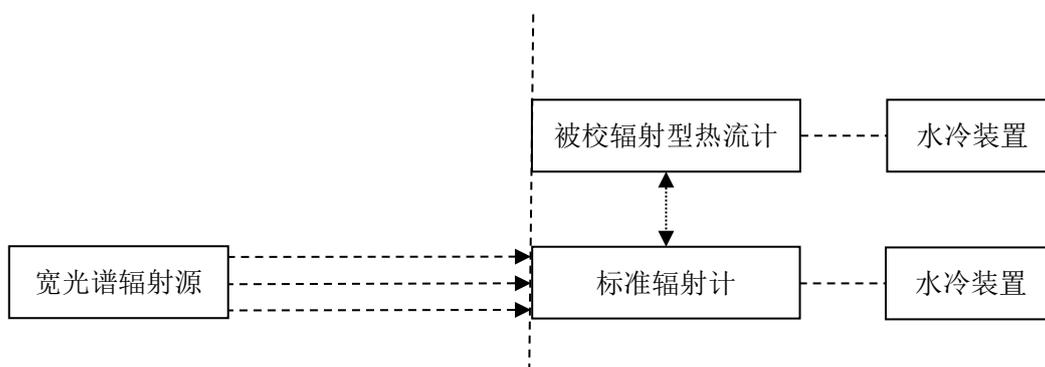


图 1 辐射型热流计辐照度示值校准示意图

6.2.2.2 按图 1 所示的辐射型热流计辐照度示值校准示意图，调整宽光谱辐射源和标准辐射计、被校辐射型热流传感器接收面，将标准辐射计和被校辐射型热流传感器接收面调整处于同一平面，并使宽光谱辐射源垂直入射到接收面。

6.2.2.3 开启电测仪表和宽光谱辐射源，按要求预热，待宽光谱辐射源稳定后开始校准。如标准辐射计、宽光谱辐射源、被校辐射型热流计、光阑（必要时）等需要水冷，按使用要求开启冷却循环水开关，水冷装置的水流量和温度应稳定并符合相关技术说明书的要求。

6.2.2.4 一般在校准量程范围内按高、中、低均匀分布校准 3 个辐照度测量点，根据实际需要可适当调整或增加校准点。标准辐射计和被校辐射型热流传感器交替分别测量 3 次，将测量结果记录到原始记录中，取各自 3 次测量值的算术平均值分别作为标准辐射计的标准值  $\bar{E}_s$  和被校辐射型热流计的示值  $\bar{E}_{DUT}$ ，并按公式

(1) 和 (2) 分别计算出相对示值误差  $\delta$  和修正因子  $C$ 。

相对示值误差  $\delta$ ：

$$\delta = \frac{\overline{E}_{\text{DUT}} - \overline{E}_s}{\overline{E}_s} \times 100\% \quad (1)$$

修正因子  $C$ ：

$$C = \frac{\overline{E}_s}{\overline{E}_{\text{DUT}}} \quad (2)$$

式中：

$\overline{E}_{\text{DUT}}$ ——被校辐射型热流计 3 次测量值的算术平均值，kW/m<sup>2</sup>；

$\overline{E}_s$ ——标准辐射计 3 次测量值的算术平均值，kW/m<sup>2</sup>。

### 6.2.3 辐照度响应度

当辐射型热流计没有显示仪表时，被校辐射型热流传感器的测量值由电测仪表读出，一般为电压值。被校辐射型热流传感器的响应度  $s$  按公式 (3) 计算得出。

$$s = \frac{\overline{U}_{\text{DUT}}}{\overline{E}_s} \quad (3)$$

式中：

$\overline{U}_{\text{DUT}}$ ——电测仪表 3 次测量值的算术平均值，mV 或  $\mu\text{V}$ ；

$\overline{E}_s$ ——标准辐射计 3 次测量值的算术平均值，kW/m<sup>2</sup>。

## 7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映。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

建议辐射型热流计的复校时间间隔一般不超过1年。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。更换重要部件、维修或对仪器性能有怀疑时，应及时送校。

## 附录 A

## 宽光谱辐射源辐照不均匀度和不稳定性指标评价推荐方法

## A.1 辐照不均匀度

宽光谱辐射源按要求预热后，在工作距离处测试平面上选取一 $\Phi 30$  mm 范围内的工作区域，将此工作区域均匀等分为至少 9 块测试区域，图 A.1 给出了 O, A, B, C, D, E, F, G 和 H 共计 9 个测量点。其中 O 为圆心位置，A~H 共 8 个点均匀分布在以 O 点为中心的圆上，OA 的长度为 15 mm。

辐照度用合适的仪器进行测量。辐照不均匀度按式 (A.1) 计算：

$$S_E = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中：

$S_E$  ——宽光谱辐射源工作距离处辐照不均匀度；

$E_{\max}$  ——测试区域的辐照度最大值；

$E_{\min}$  ——测试区域的辐照度最小值。

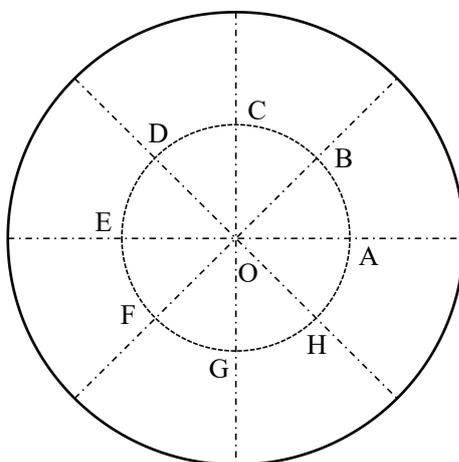


图 A.1 面不均匀性测试位置示意图

## A.2 辐照不稳定性

宽光谱辐射源按要求预热后，在工作距离处测试平面上选取一 $\Phi 30$  mm 范围内的工作区域，在此工作区域内选取任意一点使用合适的仪器进行辐照度测量，30 min 内等间隔读取辐照度值至少  $n$  次 ( $n \geq 10$ )。

辐照不稳定性按式 (A.2) 计算:

$$S_t = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100\% \quad (\text{A.2})$$

式中:

$S_t$ ——宽光谱辐射源的辐照不稳定性;

$E_{\max}$ ——30 min 内  $n$  次测量的辐照度最大值;

$E_{\min}$ ——30 min 内  $n$  次测量的辐照度最小值。

## 附录 B

## 辐射型热流计校准原始记录推荐格式

## B.1 辐照度示值：

序号	标准辐射计		被校辐射型热流计		相对示值 误差	修正因子	不确定度
	测量值	标准值	测量值	示值			
1							
2							
3							

## B.2 辐照度响应度

标准辐射计		被校辐射型热流计		响应度	不确定度
测量值	标准值	测量值	示值		

（注：辐射型热流计的校准项目为辐照度示值。对于没有信号处理系统、显示器的辐射型热流传感器，其校准项目为辐照度响应度。）

## 附录 C

## 辐射型热流计校准证书内页推荐格式

## C.1 辐照度示值：

标准值	示值	相对示值误差	修正因子	不确定度

## C.2 辐照度响应度

标准值	示值	响应度	不确定度

（注：辐射型热流计的校准项目为辐照度示值。对于没有信号处理系统、显示器的辐射型热流传感器，其校准项目为辐照度响应度。）

## 附录 D

## 辐射型热流计修正因子测量结果的不确定度评定示例

## D.1 测量模型

$$C = \frac{\bar{E}_s}{\bar{E}_{\text{DUT}}}$$

式中：

$C$ ——被校辐射型热流计的修正因子；

$\bar{E}_{\text{DUT}}$ ——被校辐射型热流计 3 次测量值的算术平均值；

$\bar{E}_s$ ——标准辐射计 3 次测量值的算术平均值。

## D.2 辐射型热流计辐照度示值修正因子测量结果的不确定度评定

辐射型热流计辐照度示值修正因子测量结果的不确定度主要包括以下方面：

D.2.1 被校辐射型热流计测量重复性所引入的标准不确定度分量  $u_1$ 。

对一台辐射型热流计，在辐照度  $10.0 \text{ kW/m}^2$  附近连续重复测量 10 次，得到测量列：9.95, 9.96, 9.94, 9.98, 9.96, 9.98, 9.97, 9.99, 9.98, 9.94，单位为  $\text{kW/m}^2$ ，采用 A 类评定方法。

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i = 0.0178 \text{ kW/m}^2$$

单次相对实验标准差为：

$$s = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}}{\bar{E}} = 0.18\%$$

实际测量时，在重复性条件下连续测量 3 次，以 3 次测量算术平均值为测量结果，则可得到：

$$u_1 = s / \sqrt{3} = 0.10\%$$

D.2.2 标准辐射计上级量传所引入的标准不确定度分量  $u_2$ 。

标准辐射计上级量传的不确定度为  $U_{\text{rel}}=2\%$  ( $k=2$ )，采用 B 类评定方法。

$$u_2 = \frac{a}{k} = \frac{2\%}{2} = 1.0\%$$

D. 2. 3 宽光谱辐射源工作距离处辐照不均匀度所引入的标准不确定度分量  $u_3$ 。

宽光谱辐射源工作距离处辐照不均匀度不超过 2%，根据不均匀度的定义和计算公式，其区间的半宽度为 2%，在此区间内认为服从均匀分布，采用 B 类评定方法。

$$u_3 = \frac{a}{k} = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.15\%$$

D. 2. 4 宽光谱辐射源辐照不稳定性所引入的标准不确定度分量  $u_4$ 。

宽光谱辐射源的辐照不稳定性不超过 1%，根据不稳定性的定义和计算公式，其区间的半宽度为 1%，在此区间内认为服从均匀分布，采用 B 类评定方法。

$$u_4 = \frac{a}{k} = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

D. 2. 5 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 D.1。

表 D.1 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u_i$	不确定度来源	标准不确定度值
$u_1$	被校辐射型热流计的测量重复性	0.10%
$u_2$	标准辐射计上级量传	1.0%
$u_3$	宽光谱辐射源的辐照不均匀度	1.15%
$u_4$	宽光谱辐射源的辐照不稳定性	0.58%

D. 2. 6 相对合成标准不确定度的计算

上述各标准不确定度分量彼此独立不相关，所以相对合成标准不确定度可按下列式得到：

$$u_{\text{rel}}(C) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} = 1.64\%$$

D. 2. 7 扩展不确定度

取  $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}(C) = 2 \times u_{\text{rel}}(C) = 2 \times 1.64\% = 3.28\% \approx 3.5\%$$