

# 《辐射型热流计校准规范》

## 编制说明

《辐射型热流计校准规范》起草小组

2024年11月

# 《辐射型热流计校准规范》编制说明

## 一、任务来源

根据国家市场监督管理总局“市监计量发〔2024〕40号”《市场监管总局办公厅关于印发2024年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知》，受全国光学计量技术委员会的委托，由上海市计量测试技术研究院、中国计量科学研究院为主要起草单位，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为参加起草单位共同制定《辐射型热流计校准规范》，编制时间从2024年7月至2025年12月，计划报批时间为2026年5月31日前。

## 二、规范制定的目的和意义

热量的传递是人类生活、生产关系中最为密切、最为基础的物理过程之一，在现代农业、石油化工、航空航天、建筑采暖等领域中，需要更全面、详细、准确地描述热力过程中的能耗情况，以便达到对产品的质量控制。

热流计作为热能转移过程的量化检测仪器，主要应用于测量热传递过程中热迁移量的大小以及评价热传递性能，其表征量热流密度的大小代表了热量转移的程度和方向，属于为了测量在不同物质之间的热量传递大小和传递方向的测控仪器。

热流计可直接测量多种场合下的热通量，为工业中热管保温和冷管隔热、窑炉壁面散热，建筑业围护结构设计，土壤、海洋自然资源勘查利用，军工航天含能材料开发，人体、动物生理监测等多个环节提供重要的基础数据。热流计广泛适用于化工、建材、能源、环境工程、航空航天等众多研究领域，旨在降低热量过程中热能损耗。根据热传递方式，热流传感器可分为热传导型热流传感器、对流型热流传感器、辐射型热流传感器，其中热传导型热流传感器主要用于接触式测量，其他两种为非接触式测量。根据用途、原理和结构的不同，通常将其分成四大类，分别为热阻式热流计、水卡式热流计、瞬态热流计和辐射型热流计。

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。

在建筑材料热防护性能测评方面,GB/T 11785-2005《铺地材料的燃烧性能测定 辐射热源法》要求配备一台 Schmidt-Boetter 型、量程为 (0~15) kW/m<sup>2</sup> 的辐射型热流计，用于测量辐照度。此外，由于消防员作业防护服需能抵抗不同的火焰或辐射热源，相应有多种针对消防服面料的热防护性能测试方法。根据文献资料，目前，国内外测试织物热防护性能常用的方法有：“辐射一对流”联合热防护性能测试法 (TPP 法)、辐射热防护性能测试方法 (RPP 法) 和火焰防护性能测评方法 (FPT 法) 等。这些方法均对辐射源的辐照度值有明确规定，需要使用辐射型热流计进行监控测量。

表 1 国内外测试织物热防护性能常用的方法的对比

测试方法	辐射热防护性能测试 (RPP)	辐射热防护性能测试 (调整型 RPP)	辅热一对流综合热防护性能测试 (TPP)	火焰防护性能评价测试 (FPT)	热防护性能测试 (TPP)
评估性能	辐射热防护性能	辐射热防护性能	辅热一对流综合热防护性能	火焰防护性能	轰燃条件下阻燃性能
参考标准	ASTM F2702-2015 《通过阻燃服装材料的辐射热性能进行烧灼预测的标准试验方法》	ASTM F2702-2015 《通过阻燃服装材料的辐射热性能进行烧灼预测的标准试验方法》	NFPA 2112 AMD 5-2023 《保护工业人员免受闪火伤害的阻燃服装标准》 (美国国家消防协会)	ISO 6942-2022《防护服 隔热和防火 试验方法：暴露于辐射热源时材料和材料组件的评估》	GB 8965.1-2020 《防护服 阻燃服》

热源类型	辐射热或对流热	辐射热或对流热	辐射和对流混合热	对流热	对流热
辐照度	辐射热：21 kW/m <sup>2</sup> ； 对流热：84 kW/m <sup>2</sup>	辐射热：21 kW/m <sup>2</sup> ； 对流热：84 kW/m <sup>2</sup>	辐射热 13 kW/m <sup>2</sup> 和对流热 70 kW/m <sup>2</sup>	(80±4) kW/m <sup>2</sup>	84 (1±5%) kW/m <sup>2</sup>

辐射型热流计一直在我国的军工企业中制造和使用。其中 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》适用于 0.5 kW/m<sup>2</sup>~20 kW/m<sup>2</sup> 的辐射型热流传感器的检定。JJG (军工) 163-2019《辐射热流传感器检定规程》适用于 20 kW/m<sup>2</sup>~8000 kW/m<sup>2</sup> 的辐射型热流传感器的检定。

2023 年 12 月 7 日，国家市场监督管理总局正式批准由北京航天计量测试技术研究所建立的“辐射热流基准装置”，并授予国家计量基准证书（国基证 2023 第 173 号）。该基准测量范围为（1000~4000）kW/m<sup>2</sup>，不确定度为  $U_{rel}=2\%$  ( $k=2$ )，可为运载火箭、热力发电、冶金、火灾科学研究等领域提供量值溯源的源头，将在支撑国家科技创新、工业竞争力提升和经济社会发展等方面发挥重要作用。

辐射型热流计在工农业生产、科学研究、航空航天、建筑节能、能源动力工程等领域有着重要的应用。但是，由于民用领域还没有（1~50）kW/m<sup>2</sup> 辐射型热流计的校准规范，使校准人员在工作中遇到和产生问题。生产厂家、计量机构在校准辐射型热流计时，校准项目、校准方法、标准器的要求及技术要求表述、准确度等级等方面不够统一且不够规范和完善。为了保证量值的准确性，有必要制定国家校准规范。

### 三、适用范围

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。

### 四、编写依据

《辐射型热流计校准规范》的制定主要依据了下列计量技术规范 and 标准：

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》

## 五、编制过程

起草小组接到任务后制定了规范起草计划，拟定了编写提纲，查阅了大量有关的文献、标准及文章，于2024年9月完成了校准规范的初稿。起草小组对初稿进行了充分的讨论，并与仪器生产商和用户进行了交流，对校准项目和校准方法的可行性进行了验证，并于2024年10月完成征求意见稿。

## 六、规范的主要内容

本规范主要由引言、范围、引用文件、概述、计量特性、校准条件、校准项目和校准方法、校准结果表达、复校时间间隔和附录等10个部分组成。

### 1. 引言

说明本规范编制依据的基础性文件，是首次制定还是修订。

### 2. 范围

规定了本规范适用范围。

### 3. 引用文件

列出了本规范所引用的技术文件的有效版本。

### 4. 概述

简要说明辐射型热流计的工作原理、结构和用途。

### 5. 计量特性

规定了辐射型热流计辐照度示值（响应度）的计量特性。

### 6. 校准条件

对校准辐射型热流计的环境条件、测量标准及其他设备提出了详细的技术要求。

### 7. 校准项目和校准方法

规定了辐射型热流计校准项目和校准方法，包括校准前检查和准备工作。

### 8. 校准结果表述

根据JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》相关要求，规定了校准结果应以校准证书的形式给出，明确了校准证书应至少包含的信息。

## 9. 复校时间间隔

根据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》相关要求，明确了辐射型热流计的建议校准周期，并对其进行了说明和解释。

## 10. 附录

附录 A 给出了宽光谱辐射源工作距离处辐照不均匀度和不稳定性指标评价推荐方法。

附录 B 给出了辐射型热流计校准原始记录推荐格式。

附录 C 给出了辐射型热流计校准证书内页推荐格式。

附录 D 给出了辐射型热流计修正因子测量结果的不确定度评定示例。

## 七、总结

《辐射型热流计校准规范》起草小组进行了广泛调研及大量实验，对征求意见稿中所提出的计量特性、校准方法、不确定度评定进行了实验验证，证明了校准规范的可操作性和参数指标的合理性。

《辐射型热流计校准规范》起草小组

2024年11月

## 参考文献

1. JJF 1001-2011 《通用计量名词术语》
2. JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》
3. JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》
4. JJF 1572—2016 《辐射热计校准规范》
5. JJF 1990-2022 《积分球式标准光源校准规范》
6. JJG 249-2023 《0.1 mW~200 W 激光功率计检定规程》
7. JJG (军工) 163—2019 《辐射热流传感器检定规程》
8. 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》
9. ISO 14934-1-2010 《Fire tests - Calibration and use of heat flux meters - Part 1: General principles》（燃烧试验 热流计的校准和使用 第1部分：一般原则）
10. ISO 14934-2-2013 《Fire tests - Calibration and use of heat flux meters - Part 2: Primary calibration methods》（燃烧试验 热流计的校准和使用 第2部分：初级校准方法）
11. ISO 14934-3-2012 《Fire tests - Calibration and use of heat flux meters - Part 3: Secondary calibration method》（燃烧试验 热流计的校准和使用 第3部分：中级校准方法）
12. ISO 14934-4-2014 《Fire tests - Calibration and use of heat flux meters - Part 4: Guidance on the use of heat flux meters in fire tests》（燃烧试验 热流计的校准和使用 第4部分：燃烧试验中热流计的使用指南）