

中华人民共和国工业和信息化部
轻工计量技术规范

JJF(轻工) ×××-××××

热舒适性测试用辐射换热末端
换热量校准规范

Calibration Specification for Heat Exchange Capacity of Radiant
Heat Terminals Used in Thermal Comfort Testing
(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

热舒适性测试用辐射换热末端 换热量校准规范

Calibration Specification for Heat Exchange

Capacity of Radiant Heat Terminals Used in

Thermal Comfort Testing

JJF(轻工)×××-××××

归口单位：中国轻工业联合会

主要起草单位：中国家用电器研究院

参加起草单位：安徽中家智锐科技有限公司

北京中家智锐智能装备科技有限公司

广州兰石技术开发有限公司

本规范由主要起草单位负责解释

本规范主要起草人：

曹瑞林（中国家用电器研究院）

李 伟（中国家用电器研究院）

吴嘉宝（中国家用电器研究院）

参加起草人：

张 涛（安徽中家智锐科技有限公司）

汪亮兵（北京中家智锐智能装备科技有限公司）

张映光（广州兰石技术开发有限公司）

张旭勤（中国家用电器研究院）

赵玉军（安徽中家智锐科技有限公司）

目 录

引 言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	1
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 标准器及其他设备.....	2
7 校准项目和校准方法.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	3
8 校准结果表达.....	7
9 复校时间间隔.....	7
附录 A 校准结果不确定度评定示例 (参考件)	7
附录 B 校准原始记录格式 (参考件)	10
附录 C 校准证书内页格式 (参考件)	12

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范的附录 A “校准结果不确定度评定示例（参考件）”、附录 B “校准原始记录格式（参考件）”、附录 C “校准证书内页格式（参考件）”均为资料性附录。

本规范为首次发布。

热舒适性测试用辐射换热末端换热量校准规范

1 范围

本规范适用于热舒适性测试用辐射换热末端换热量的校准，其他类似用途的换热末端装置也可参考使用。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 229-2010 工业铂、铜热电阻

JJG 1033-2007 电磁流量计

JJF 1491-2014 数字式交流电参数测量仪校准规范

GB/T 13754 供暖散热器散热量测定方法

GB/T 33658 室内人体热舒适环境要求与评价方法

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 术语

GB/T 13754、GB/T 33658 界定的术语和定义适用于本规范。

4 概述

热舒适性辐射换热末端（以下简称“换热末端装置”），是空调热舒适性试验专用高效温控设备，依靠辐射方式传递热量，实现室内温度均衡调控。装置通常内嵌安装于吊顶或墙体中，通过管路内热媒、冷媒介质与试验空间进行热交换，可精准模拟建筑墙体热负荷，运行时对室内空气气流场无明显影响，有效还原真实室内热环境，适用于各类空调产品热舒适性性能检测。该装置具备节能、环保、静音等特点，为空调热舒适性实验室核心配套设备。通过精准调控运行参数，可稳定把控试验环境条件，有效提高空调热舒适性测试精度，提升试验整体能源利用效率。

5 计量特性

校准项目的技术要求见表 1。

表 1 校准项目的技术要求

校准项目		测量范围	最大允许误差
温度测量系统	铂电阻温度	(0~60) °C	±0.1°C
	热电偶温度	(0~60) °C	±1.0°C
电参数测量系统	电压	(0.1~600) V	±0.5%
	电流	(0.1~40) A	±0.5%
	功率	(0.1~8000) W	±0.5%
	频率	(45~65) Hz	±0.1Hz
水流量		(0.1~10) m³/h	±0.5%
换热量		(1000~5500)W	±5%
注：			
1. 对技术要求另有要求的装置，按有关技术文件规定的要求进行校准。			
2. 以上技术要求不用于合格性判别，仅供参考。			

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度：(10~40) °C，湿度：≤75%RH。

6.1.2 供电电源：(220±22) V，(50±0.5) Hz。

6.1.3 当校准用设备对环境条件另有要求时，应满足其规定要求。

6.2 标准器及其他设备

校准所用标准器及其它设备见表2。

表 2 校准用标准器及其它设备

序号	设备名称	技术要求
1	标准铂电阻温度计	二等及以上等级
2	电测设备	测量范围与标准铂电阻温度计相适应 0.005 级及以上等级
3	恒温槽	控温范围与被校铂电阻温度相适应 均匀性不超过 0.05°C，波动性不超过 0.10°C/10min
4	功率标准表或 功率标准源	各项参数指标输出覆盖被校电参数测量系统测量范围 0.1 级及以上等级
5	负载	负载容量与被校电参数测量系统测量范围相适应
6	标准流量计	测量范围与被校流量计相适应 最大允许误差: ±0.15%

7	标准冷热源	各项参数指标测量覆盖被测换热末端换热量范围 测量不确定度： $U_{\text{rel}}=2\%$ ($k=2$)
注：除上表规定的标准器外，也可使用其他符合要求的计量器具作为标准器。		

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

换热末端装置校准项目见表 3。

表 3 校准项目表

序 号	校准项目		校准方法条款
1	温度测量系统	铂电阻温度	7.2.2
2		热电偶温度	7.2.2
3	电参数测量系统	电压	7.2.3
4		电流	7.2.3
5		功率	7.2.3
6		频率	7.2.3
7	流量		7.2.4
8	换热量		7.2.5

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

校准前检查测试装置各部分是否处于正常工作状态。

7.2.2 温度校准

应根据实际温度测量范围合理选择校准点，校准点原则上应覆盖测量范围且不少于 3 个，必要时可根据客户需求调整或增加校准点。

校准方法参照 JJG 229-2010，将标准铂电阻温度计和被校温度传感器同时插入恒温槽内，插入深度一般不小于 100 mm，并处于相同有效温度区域内；将恒温槽设定至校准点，等待其足够稳定，用标准铂电阻温度计读取恒温槽中的温度 T_B ，温度测量仪表显示的温度为 T_X ，温度示值误差按公式（1）计算：

$$\Delta T = T_X - T_B \quad (1)$$

式中：

ΔT —— 温度示值误差，℃；

T_X —— 温度显示值，℃；

T_B —— 标准铂电阻温度计电阻值换算为温度的测得值，℃。

7.2.3 电参数测量系统校准

应根据电参数测量范围合理选择校准点, 校准点原则上应覆盖测量范围且不少于 5 个。电参数校准一般在 220V/50Hz 下进行, 对于三相电参数测量系统可参照单相电参数测量系统校准要求逐相进行。必要时, 可根据客户需求调整或增加校准点。

校准方法参照 JJF 1491-2014, 采用标准表法或标准源法对电参数测量系统进行校准。

1) 当使用功率标准表法进行校准时:

将标准功率表、负载连接至被校电参数测量系统的实际负载接线端, 并确保各部件外壳与地电位连接, 如图 1 所示。

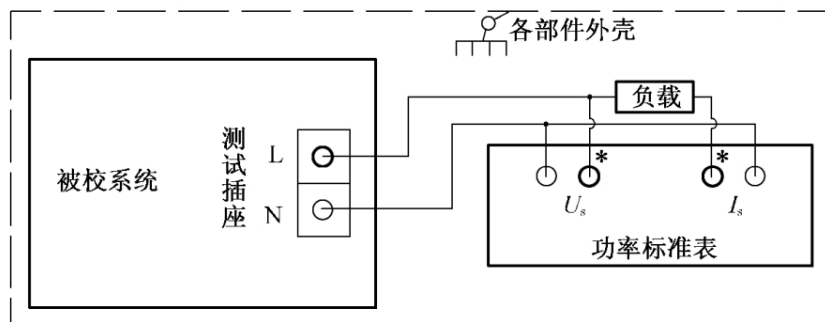


图 1 功率标准表法校准示意图

注: 图中*为同名端。

按照功率渐升顺序, 依次平稳地将负载调整至校准点, 同时读取标准功率表和被校电参数测量系统的电压、电流、功率和频率示值。

2) 当使用功率标准源法进行校准时:

将被校功率计的测量端与测试装置断开, 然后与功率标准源的对应端子连接, 并确保各部件外壳与地电位连接, 如图 2 所示。

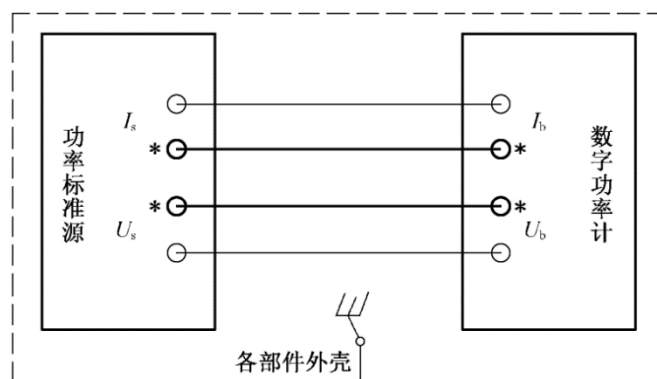


图 2 功率标准源法校准示意图

注: 图中*为同名端。

按照功率渐升顺序, 依次平稳地将功率标准源调整至校准点并待其足够稳定, 读取功率标准源和被校电参数测量系统的电压、电流、功率和频率示值。

被校电参数测量系统电压示值误差按公式 (2) 计算:

$$\Delta U = U_X - U_B \quad (2)$$

式中:

ΔU —— 被校电参数测量系统电压示值误差, V;

U_X —— 被校电参数测量系统电压显示值, V;

U_B —— 电压标准值, V。

被校电参数测量系统电流示值误差按公式 (3) 计算:

$$\Delta I = I_X - I_B \quad (3)$$

式中:

ΔI —— 被校电参数测量系统电流示值误差, A;

I_X —— 被校电参数测量系统电流显示值, A;

I_B —— 电流标准值, A。

被校电参数测量系统功率示值误差按公式 (4) 计算:

$$\Delta P = P_X - P_B \quad (4)$$

式中:

ΔP —— 被校电参数测量系统功率示值误差, W;

P_X —— 被校电参数测量系统功率显示值, W;

P_B —— 功率标准值, W。

被校电参数测量系统频率示值误差按公式 (5) 计算:

$$\Delta f = f_X - f_B \quad (5)$$

式中:

Δf —— 被校电参数测量系统频率示值误差, Hz;

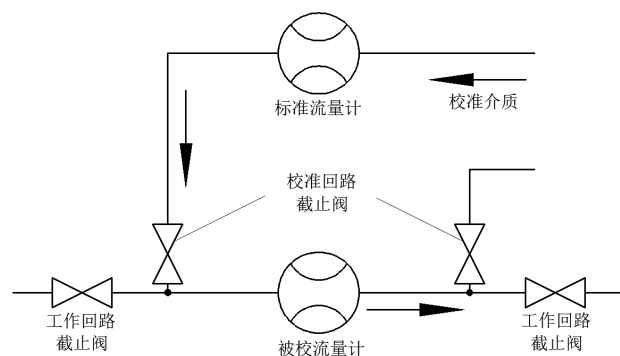
f_X —— 被校电参数测量系统频率显示值, Hz;

f_B —— 频率标准值, Hz。

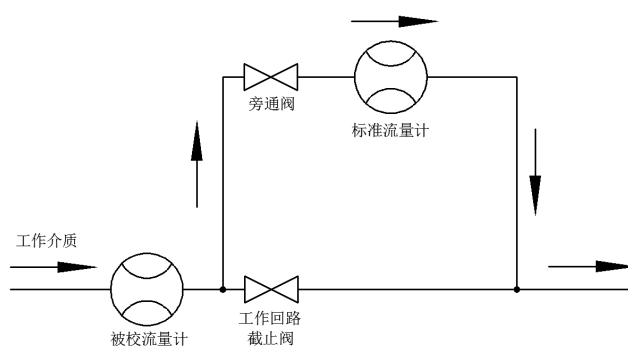
7.2.4 流量校准

应根据实际流量测量范围合理选择校准点, 校准点原则上应覆盖测量范围且不少于 4 个, 必要时可根据客户需求调整或增加校准点。

校准方法参照 JJG 1033-2007, 当流量测量系统未预留在线校准端口时, 可将流量计委托计量机构进行检定或校准。当流量测量系统预留在线校准端口时, 可采用下述方法对流量计进行在线校准。流量校准可选择图 3 中的一种连接方式串联标准流量计与被校流量计, 并充分排空管路中的空气。



a) 被校流量计串入校准回路



b) 标准流量计串入工作回路

图3 流量计在线校准连接示意图

依次调节校准回路工作介质流量至校准点，待流量稳定后同时读取标准流量计和被校流量计的示值（10 分钟累积值）。流量示值误差按式（6）计算：

$$\Delta Q = Q_m - Q_B \quad (6)$$

式中：

ΔQ —— 流量示值误差，L/min或m³/h；

Q_m —— 被校流量计示值，L/min或m³/h；

Q_B —— 标准流量计示值，L/min 或 m³/h。

7.2.5 换热末端装置换热量测量

应根据换热末端装置换热量合理选择测量点，原则上应覆盖使用范围且不少于2个，每个测量点测一次，必要时可根据客户需求调整或增加测量点。

换热末端装置换热量采用热平衡法进行标定。试验在额定工况下开展，由换热末端装置向试验房间输出热负荷，同步调节标准冷热源输出功率，使其与末端投入负荷达成平衡；持续监测室内环境温度及各围护壁面温度，待系统进入稳定热平衡状态后，通过计量标准冷热源换热量确定系统实际投入负荷。同步采集换热末端装置载冷剂侧进水温度、出水温度、水流量，换热末端装置换热量按公式（7）计算：

$$Q = C \cdot \rho \cdot q_v \cdot (T_2 - T_1) \quad (7)$$

式中:

Q ——换热量, W;

C ——水的比热, J/(kg·°C);

ρ ——水的密度, kg/m³;

q_v ——水的体积流量, m³/h;

T_1 ——进水温度, °C;

T_2 ——出水温度, °C。

8 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, 如“校准证书”;
- b) 检测装置名称和地址;
- c) 进行校准的地点(如果与检测装置的地址不同);
- 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, 应对被校准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。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为一年。由于复校时间间隔的长短是由检测装置的使用情况、使用者、装置本身质量等诸多因素所决定的, 因此, 使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

校准结果不确定度评定示例 (参考件)

A.1 功率测量结果不确定度评定

A.1.1 测量模型

功率示值误差测量模型见公式 (A.1):

$$\Delta P = P_X - P_B \quad (\text{A.1})$$

式中:

ΔP —— 被校电参数测量系统功率示值误差, W;

P_X —— 被校电参数测量系统功率显示值, W;

P_B —— 功率标准值, W。

灵敏度系数:

$$c_{P_X} = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_X} = 1 ; c_{P_B} = \frac{\partial \Delta P}{\partial P_B} = -1$$

A.1.2 不确定度来源分析

根据测量模型列出各个不确定度分量的来源, 见表 A.1。

表 A.1 不确定度来源

不确定度来源	符号	灵敏系数
测量重复性引入的标准不确定度	u_1	1
被测设备分辨力引入的标准不确定度	u_2	1
标准器准确度引入的标准不确定度	u_3	-1

A.1.3 功率测量重复性引入的标准不确定度 u_1

将功率标准源输出功率设定值为 2000W, 由被校电参数测量系统在相同条件下重复测量 10 次, 测量结果见表 A.2。

表 A.2 10 次重复测量结果

次 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果/ (W)	1998	1997	1998	1997	1998	1998	1997	1997	1998	1997

则单次测量的标准偏差为:

$$u_1 = s = 0.527 \text{ W}$$

A.1.4 被测设备分辨力引入的标准不确定度 u_2

被测设备功率测量分辨力为 1 W, 则由被测设备分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_2 = \frac{1}{2\sqrt{3}} = 0.289 \text{ W}$$

A.1.5 标准器准确度引入的标准不确定度 u_3

依据功率标准源技术指标：MPE= $\pm 0.05\%$ 读数，按均匀分布，则标准器准确度引入的标准不确定度为：

$$u_3 = \frac{0.05\% \times 2000}{\sqrt{3}} = 0.578 \text{ W}$$

A.1.6 合成标准不确定度

标准不确定度分量汇总见表 A.3。

表 A.3 标准不确定度分量汇总表

不确定度来源	输入量	标准不确定度分量/W	灵敏系数	输出不确定度分量/W
测量重复性引入的标准不确定度	u_1	0.527	1	0.527
被测设备分辨力引入的标准不确定度	u_2	0.289	1	0.289
标准器准确度引入的标准不确定度	u_3	0.578	-1	0.578

则合成标准不确定度为

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^2 c_i^2 \cdot u_i^2} = 0.834 \text{ W}$$

A.1.7 扩展不确定度

功率为 2000 W 时，其测量结果相对扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = \frac{k \cdot u_c}{P_X} = 0.084\% \quad (k=2)$$

附录 B

校准原始记录格式 (参考件)

委托单位名称			
委托单位地址			
设备名称			
制造单位			
规格型号		仪器编号	

校准用主要计量标准器具

标准器名称	规格型号	设备编号	不确定度/准确度等级 /最大允许误差	证书编号	有效期

校准依据: _____

环境条件 温度: _____ 相对湿度: _____

校准地点: _____

备注: _____

校准日期: _____

校准人员: _____ 核验人员: _____

B.1 铂电阻温度校准: (°C)

标准值				
显示值				
$U(k=2)$				

B.2 热电偶温度校准: (°C)

标准值				
显示值				
$U(k=2)$				

B.3 电参数测量系统校准:

电压校准				
标准值 (V)				
显示值 (V)				
$U_{rel}(k=2)$				
电流校准				
标准值 (A)				
显示值 (A)				
$U_{rel}(k=2)$				
功率校准				
标准值 (W)				
显示值 (W)				
$U_{rel}(k=2)$				
频率校准				
标准值 (Hz)				
显示值 (Hz)				
$U_{rel}(k=2)$				

B.4 流量校准:

标准值				
显示值				
$U(k=2)$				

B.5 换热量校准:

运行状态	标准冷热源 换热量	进水温度	出水温度	水流量	末端装置换 热量

附录 C

校准证书内页格式 (参考件)

证书编号: XXXX—XXXX

校准机构授权说明				
校准环境条件及地点:				
温 度		地 点		
相对湿度		其 他		
校准所依据的技术文件 (代号、名称):				
校准所使用的主要测量标准:				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	检定/校准 证书标号	证书有效期至

注:

1. XXXX XXXX 仅对加盖“XXXXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准, 不得部分复印证书。

第 页, 共 页

证书编号: XXXX—XXXX

校 准 结 果

C.1 铂电阻温度校准: (°C)

标准值				
显示值				
$U(k=2)$				

C.2 热电偶温度校准: (°C)

标准值				
显示值				
$U(k=2)$				

C.3 电参数测量系统校准:

电压校准				
标准值 (V)				
显示值 (V)				
$U_{rel}(k=2)$				
电流校准				
标准值 (A)				
显示值 (A)				
$U_{rel}(k=2)$				
功率校准				
标准值 (W)				
显示值 (W)				
$U_{rel}(k=2)$				
频率校准				
标准值 (Hz)				
显示值 (Hz)				
$U_{rel}(k=2)$				

C.4 流量校准:

标准值				
显示值				
$U(k=2)$				

C.5 换热量校准:

运行状态	标准冷热源换热量	末端装置换热量	$U(k=2)$

校准员:

核验员:

