

河北省地方计量技术规范

JJF(冀) ××—××××

光伏电池型太阳辐照度测试仪 校准规范

Calibration Specification for Photovoltaic Solar

Irradiance Meters

(报批稿)

××××—××—××发布

××××—××—×× 实施

河北省市场监督管理局 发布

光伏电池型太阳辐照 度测试仪校准规范

Calibration Specification for

Photovoltaic Solar Irradiance Meters

JJF (冀) ××××—
××××

归口单位：河北省市场监督管理局

主要起草单位：河北省计量监督检测研究院

参加起草单位：国网河北省电力有限公司电力科学研究院

英利能源发展有限公司

通合新能源（金堂）有限公司

本规范委托河北省计量监督检测研究院负责解释

本规范主要起草人：耿海川（河北省计量监督检测研究院）

魏晓贤（河北省计量监督检测研究院）

翟俊龙（河北省计量监督检测研究院）

参加起草人：姬艳鹏（国网河北省电力有限公司电力科学
研究院）

李学健（英利能源发展有限公司）

魏志明（通合新能源（金堂）有限公司）

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 辐照度示值误差	.....	(1)
4.2 辐照度年稳定性	.....	(1)
4.3 温度偏差	.....	(1)
5 校准条件	.....
(1)		
5.1 环境条件	.....	(1)
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	.....	(2)
7 校准结果表述	.....
(4)		
8 复校间隔	.....
(5)		
附录A原始记录格式	.....	(6)
附录B证书内页格式	.....	(8)
附录C 光伏电池型太阳辐照度测试仪辐照度相对示值误差测量结果不确定度评定示例	.....
(9)		
附录D 光伏电池型太阳辐照度测试仪温度偏差测量结果不确定度评定示例	.....
(12)		

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》、JJF1059.1 《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。

光伏电池型太阳辐照度测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于光伏电池型太阳辐照度测试仪的校准。

2 引用文件

JJG 458 总辐射表检定规程

JJF 1615 太阳模拟器校准规范

GB/T 6495.2 光伏器件 第2部分:标准太阳电池要求

GB/T6495.4 晶体硅光伏器件的 I-V 实测特性的度和辐照度修正方法

IEC 60891 光伏器件. 测定 I-V 特性的温度和辐照度校正方法用程序

IEC 60904-2 光伏器件第2部分: 光伏参考器件要求

使用本规范时, 引用文件的最新版本(包括所有的修改草案)适用于本规范。

3 概述

光伏电池型太阳辐照度测试仪(以下简称辐照度测试仪)常用于光伏电站、太阳模拟器生产企业、光伏产品测试实验室等场合,以测量自然光或模拟阳光的辐照度。主要由:光辐射采集器(光伏电池)、光电转换器、信号输出与处理电路、显示装置组成。一般可分为直接读数式(直接读取太阳辐照度值)和间接读数式(需要配套使用数字电压表或数据采集卡采集电压、电流等信号通过计算得到太阳辐照度值)。

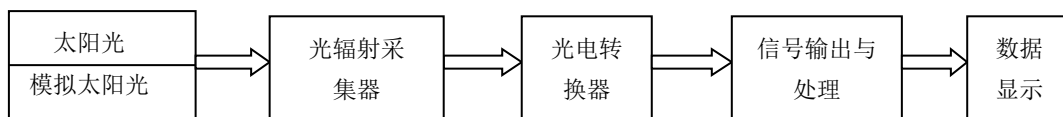


图1 光伏电池型太阳辐照度仪工作原理示意图

4 计量特性

4.1 辐照度相对示值误差: $\pm 5\%$

4.2 辐照度年稳定性: $\pm 3\%$

4.3 温度偏差: $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$

5 校准条件

5.1 环境条件

表1 室内法与户外法校准条件

	室内法	户外法
温度	$(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$	$(20 \pm 15) ^\circ\text{C}$
相对湿度	$\leq 80\%$	$\leq 80\%$
总辐照度	$1000\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	不小于 $500\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
环境	实验室应为暗室，无杂散光影响	天空晴朗，环境空旷，感应面上无遮挡物

5.2 测量标准及其他设备

5.2.1 标准辐照度测试仪

相对扩展不确定度优于 2.2% , $k=2$ 。

5.2.2 电测仪表

相对扩展不确定度优于 0.02% , $k=2$ 。 , 分辨率为 $1 \mu\text{V}$ 的数字多用表或数据采集卡。

5.2.3 太阳模拟器

3A 级稳态太阳模拟器光源。

5.2.4 环境试验箱

测量范围 $(-35 \sim 80) ^\circ\text{C}$, 温度波动度为 $\pm 0.5 ^\circ\text{C}$ 。

5.2.5 太阳跟踪仪

跟踪仪最大允许误差为 $\pm 0.2^\circ$ 。

5.2.6 标准温度计

测量范围: $(-30 \sim 70) ^\circ\text{C}$, 温度最大允许误差为 $\pm 0.1 ^\circ\text{C}$ 。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

- a) 辐照度相对示值误差。
- b) 辐照度年稳定性。
- c) 温度偏差。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前准备

将被校辐照度测试仪与电测仪表（数字多用表或数据采集卡）连接，检查仪器输出值的正负极性、信号大小和稳定性。清除标准辐照度测试仪和被校辐照度测试仪玻璃表面灰尘。校准前，辐照度测试仪恒温时间 1h 以上。

6.2.2 辐照度相对示值误差

6.2.2.1 室内法

打开测量仪表和太阳模拟器，调节光源强度，使照射到标准辐照度仪感应面上的辐照度达到规定要求。将标准辐照度测试仪测试面垂直于入射光放置在太阳模拟器下，调整太阳模拟器的辐照度值，获得 $1000\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 的标准辐照度，在该辐照度下分别记录 10 次读数，取其平均值作为标准辐照度值。

将被校辐照度测试仪换上测试平台，放置的位置和测试面高度与标准辐照度测试仪相同。调整测试面垂直于入射光。测量 10 次，取其平均值作为被校准辐照度测试仪的辐照度测量值。按照以上步骤根据实际需要测试不同档位下的辐照度示值。

按公式 (1) 计算辐照度相对示值误差 r 室内法。

$$r_{\text{室内法}} = (\overline{W} - \overline{W_0}) / \overline{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

\overline{W} —被校辐照度测试仪的辐照度示值平均值， $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ；

$\overline{W_0}$ —标准辐照度测试仪测得的辐照度值平均值， $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

6.2.2.2 户外法

将被校辐照度测试仪放在太阳跟踪仪平台上，测试面保持同一高度。标准辐照度测试仪、被校辐照度测试仪及电测仪表预热 30 分钟，读取标准辐照度测试仪辐照度值及被校辐照度测试仪的辐照度示值。用标准辐照度测试仪和被校辐照度测试仪同时进行太阳总辐照度的测量，每次测量时间间隔不小于 10min，记录 10 组数据，计算平均值。

将采集到的标准辐照度测试仪的辐照度值，与被校辐照度测试仪的辐照度示值进行比较，根据公式 (2) 计算被校辐照度测试仪的相对示值误差 r 户外法：

$$r_{\text{户外法}} = (\overline{W} - \overline{W_0}) / \overline{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

\overline{W} —被校辐照度测试仪的辐照度示值平均值， $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ；

$\overline{W_0}$ —标准辐照度测试仪测得的辐照度值平均值， $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

6.2.3 辐照度年稳定性

在 $1000\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 标准辐照度下, 被校辐照度测试仪上年度辐照度示值与辐照度实测值代入公式 (3) :

$$\delta_k = (1 - W_2/W_1) \times 100\% \quad (3)$$

式中:

W_1 —被校辐照度测试仪的上年度辐照度示值, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$;

W_2 —被校辐照度测试仪辐照度实测值, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

计算得出年稳定性。辐照度年稳定性仅适用于室内法。

6.2.4 温度偏差

校准温度点分别为 -30°C 、 -15°C 、 0°C 、 25°C 、 40°C 、 60°C 。将被校辐照度测试仪放置在环境试验箱内, 由低到高调节箱内温度至测量点并稳定 30 分钟以上, 读取标准温度传感器的温度示值和被校辐照度测试仪的温度示值各三次 (每隔 2 分钟读数一次), 分别取平均值作为测量值, 按公式 (4) 计算温度偏差:

$$\Delta T = T - T_0 \quad (4)$$

式中:

T —辐照度测试仪内置温度传感器指示值, $^\circ\text{C}$;

T_0 —标准温度传感器测得的温度示值, $^\circ\text{C}$ 。

计算温度偏差。设定其他温度点重复上述步骤。

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书中反应。校准证书内页格式见附录 B, 校准证书应至少包含以下信息内容:

- 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) 客户的名称以及地址;
- f) 被校准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, 应说明被校准对象的接收日期;
- h) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;

- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- j) 校准环境的描述;
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- l) 对校准规范的偏离的说明;
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识以及签发日期;
- n) 校准结果仅对被校准对象的有效性声明;
- o) 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

复校时间间隔建议不超过 1 年, 更换重要部件 (特别是受光面)、维修或对仪器性能有怀疑时, 应随时校准。

附录 A

光伏电池型太阳辐照度测试仪原始记录格式推荐

原始记录编号		证书编号	
送校单位		校准地点	
仪器名称		型号/规格	
制造厂		出厂编号	
校准依据		标准器具型号	
标准器证书号		有效期至	
标准器编号		上级溯源机构	
环境条件	温度: °C	湿度: %RH	

一、辐照度相对示值误差:

单位: $W \cdot m^{-2}$

序 号	标准辐照度测试 仪示值	被校辐照度测试 仪示值	序 号	标准辐照度测试 仪示值	被校辐照度测试 仪示值
1			6		
2			7		
3			8		
4			9		
5			10		
标准辐照度测试仪示值平均值:			辐照度相对示值误差:		
被校辐照度测试仪示值平均值:					

二、辐照度年稳定性:

被校辐照度测试仪 上年度辐照度示值: $W \cdot m^{-2}$ 被校辐照度测试仪 本次校准辐照度示值: $W \cdot m^{-2}$

年稳定性: %

三、温度偏差:

单位: °C

校准点温度 设定值 °C	标准温度计示值 °C	平均值 °C	被校辐照度测试仪示 值 °C	平均值 °C	温度 偏差 °C

-30									
-15									
0									
25									
40									
60									

辐照度相对示值误差测量结果的不确定度：

温度偏差测量结果的不确定度：

校准员：

核验员：

校准日期： 年 月

日

附录 B

校准证书内页格式

一、辐照度相对示值误差：

二、辐照度年稳定性：

三、温度偏差：

辐照度相对示值误差测量结果的不确定度：

温度偏差测量结果的不确定度：

附录 C

光伏电池型太阳辐照度测试仪辐照度相对示值误差

测量结果不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 测量依据：《光伏电池型太阳辐照度测试仪校准规范》

C.1.2 测量环境条件：环境温度(25±2)℃，环境相对湿度≤80%。

C.1.3 测量用标准器：标准辐照度测试仪（太阳能标准电池）、3A级太阳模拟器。

C.1.4 测量对象：光伏电池型太阳辐照度测试仪(以室内法为例)。

C.2 数学模型

C.2.1 建立数学模型：

太阳辐照度相对示值误差计算公式：

$$r = (W - W_0) / W_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中：

r—太阳辐照度相对示值误差；

W—被校太阳辐照度测试仪的测量值，W·m⁻²；

W₀—标准太阳辐照度测试仪的测量值，W·m⁻²。

C.2.2 灵敏系数：

$$c_1 = \partial r / \partial W = 1, \quad c_2 = -\partial r / \partial W_0 = -1$$

C.3 标准不确定度评定

C.3.1 被校辐照度测试仪辐照度测量重复性引入的不确定度 $u_{1(r)}$ 评定

用被校辐照度测试仪测量 3A 模拟器的设定光源，得到 10 次测量数据如下：

表 C1 被校辐照度测试仪辐照度测量重复性引入的不确定度分量

次数	总辐射照度 (W·m ⁻²)
1	1002.4
2	991.6

3	999.1
4	991.2
5	986.3
6	1002.6
7	991.5
8	994.7
9	998.3
10	1001.8
平均值	996.0

则单次测量结果的实验标准偏差为：

$$s_{1(r)}=5.691W \cdot m^{-2}$$

测量时采用 10 次测量数据的平均值作为测量结果，因此，由重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(r)$ 为：

$$u_{1(r)}=5.691/\sqrt{10}=1.80 W \cdot m^{-2}$$

C. 3. 2 标准辐照度测试仪溯源引入的不确定度 $u_{2(r)}$ 评定

标准辐照度测试仪（太阳能标准电池）辐照度上级校准证书中校准结果的相对扩展不确定度为 $U_{rel}=2.1\%(k=2)$ ，则相对标准不确定度为 $2.1\%/2=1.05\%$ ，

$$u_{2(r)}=1.05\% \times 1000W \cdot m^{-2}=10.5W \cdot m^{-2}$$

C. 3. 3 太阳模拟器光源光谱失配引入的标准不确定度分量 $u_{3(r)}$ 的评定

太阳模拟器光谱辐照度分布也与 AM1.5G 标准太阳光谱有差异，而标准辐照度测试仪的电压信号与太阳模拟器光谱失配有一定的关联，光谱失配因子引起的电压信号的相对扩展不确定度估算为， $U_{rel}=1.0\%(k=2)$ 。针对目前被测的辐照度测试仪，由于光谱失配引起的标准不确定度分量 $u_{3(r)}$ 为：

$$u_{3(r)}=U_{rel}/k \times 996.0=4.98W \cdot m^{-2}$$

C. 3. 4 数字万用表测量电压信号引入的不确定度的 $u_{4(r)}$ 评定

数字万用表测量电压信号引入的不确定度分量根据数字万用表的溯源证书，采集通道在 10V 档不确定度估算为 0.002%，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_{4(r)}=U_{rel}/k \times 996.0=0.02W \cdot m^{-2}$$

C.3.5 标准辐照度测试仪温度误差引入的不确定度 $u_{5(r)}$ 的评定

由温度引入的误差估算为 $U_{rel}=0.5\%$ ，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_{5(r)} = U_{rel}/k \times 996.0 = 2.88 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

C.3.6 标准不确定度分量一览表

表 C3 标准不确定度分量计算列表

分量	不确定度来源	数值 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$)
$u_1(r)$	被校辐照度测试仪辐照度测量重复性引入的不确定度	1.80
$u_2(r)$	标准辐照度测试仪溯源引入的不确定度	10.5
$u_3(r)$	太阳模拟器光源光谱失配引入的标准不确定度	4.98
$u_4(r)$	数字万用表测量电压信号引入的不确定度	0.02
$u_5(r)$	标准辐射照度测试仪温度误差引入的不确定度	2.88

C.3.7 合成标准不确定度计算

由于各影响量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为：

$$u_c = 12.11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

C.3.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，辐照度校准测量结果的扩展不确定度为：

$$U = u_c \times k = 12.11 \times 2 = 24.22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (k=2)$$

C.3.9 相对扩展不确定度：

$$U_{rel} = 2.5\% \quad (k=2)$$

附录 D

光伏电池型太阳辐照度测试仪温度偏差测量结果

不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 测量依据：《光伏电池型太阳辐照度测试仪校准规范》

D.1.2 测量环境条件：环境温度(25±2)℃，环境相对湿度≤80%。

D.1.3 测量用标准器：标准温度计、环境试验箱。

D.1.4 测量对象：光伏电池型太阳辐照度测试仪温度参数。

D.2 数学模型

D.2.1 建立数学模型：

温度示值误差 Δt ：

$$\Delta t = \bar{t}_{\text{示}} - \bar{t}_{\text{标}} \quad (1)$$

式中：

Δt —温度示值误差；

$\bar{t}_{\text{示}}$ —被校太阳辐照度测试仪温度测量平均值，℃；

$\bar{t}_{\text{标}}$ —标准太阳辐照度测试仪温度测量平均值，℃。

式(1)中各项相互独立，示值误差的不确定度 $u(\Delta t)$ ：

$$u^2(\Delta t) = c_1^2 u^2(\bar{t}_{\text{示}}) + c_2^2 u^2(\bar{t}_{\text{标}}) \quad (2)$$

D.2.2 灵敏系数：

$$c_1 = \partial \Delta t / \partial \bar{t}_{\text{示}} = 1, \quad c_2 = \partial \Delta t / \partial \bar{t}_{\text{标}} = -1$$

D.3 标准不确定度评定

D.3.1 被校辐照度测试仪温度测量重复性引入的不确定度 $u_1(t)$ 评定，它反映了各种随机因素的综合影响。因此采用 A 类方法评定。

将被测辐照度测试仪，放置环境试验箱内，调节试验箱温度至 25.0℃，温度稳定后，用被校辐照度测试仪测量温度值 10 次测量数据如下：

表 D1 标准辐照度测试仪温度测量重复性引入的不确定度分量

次数	温度测量值/℃
1	24.8
2	24.9
3	24.9
4	24.8
5	24.9
6	25.0
7	24.9
8	24.9
9	24.9
10	24.9
平均值	24.9

则单次测量结果的实验标准偏差为：

$$s(t) = 0.056 \text{ } ^\circ\text{C}$$

测量时采用 3 次测量数值的平均值作为测量结果，因此，由重复性引入的标准不确定度分量 $u_1(t)$ 为：

$$u_1(t) = 0.056 / \sqrt{3} = 0.033 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D.3.2 标准温度计溯源引入的不确定度 $u_2(t)$ 评定

标准温度计上级校准证书中校准结果的相对扩展不确定度为 $U=0.06^\circ\text{C}$ ($k=2$)，则标准不确定度：

$$u_2(t) = 0.06 / 2 = 0.03 \text{ } ^\circ\text{C},$$

D.3.3 环境试验箱温度波动性引入的标准不确定度分量 $u_3(t)$ 的评定

环境试验箱溯源证书中，波动度为 30min 内最大变化为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，取半宽度，考虑均匀分布。则：

$$u_3(t) = 0.1 / \sqrt{3} = 0.058 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D. 4 标准不确定度的评定

D. 4. 1 标准不确定度分量一览表

表 D2 标准不确定度分量计算列表

分量	不确定度来源	数值/℃
----	--------	------

$u_1(t)$	被校辐照度测试仪温度测量重复性引入的不确定度	0.033
$u_2(t)$	标准温度计溯源引入的不确定度	0.003
$u_3(t)$	环境试验箱温度波动度引入的标准不确定度	0.058

D.4.2 合成标准不确定度

由于各影响量彼此独立不相关，因此合成标准不确定度为：

$$u_c=0.067^{\circ}\text{C}$$

D.4.3 扩展不确定度

取 $k=2$ ，温度偏差校准测量结果的扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}=u_c \times k=0.14^{\circ}\text{C} \quad (k=2)$$