



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF × × × × — × × × ×

## 光电型太阳辐照度测试仪校准规范

Calibration Specification for Photovoltaic Solar Irradiance Meter

(征求意见稿)

× × × × — × × — × × 发布

× × × × — × × — × × 实施

国家市场监督管理总局 发布

# 光电型太阳辐照度测试仪校准规范

Calibration Specification for  
Photovoltaic Solar Irradiance Meter

JJF××××-××××

归口单位：全国光伏专用计量器具计量技术委员会

主要起草单位：福建省计量科学研究院

中国计量科学研究院

参加起草单位：台州市计量技术研究院

西藏自治区计量测试所

中国科学院电工研究所

本规范委托全国光伏专用计量器具计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：



# 目录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(1)
5.1 辐照度示值误差（修正因子）.....	(1)
5.2 稳定性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 测量标准及其他设备.....	(2)
7 校准项目和校准方法.....	(2)
7.1 校准项目.....	(2)
7.2 校准方法.....	(2)
8 校准结果表达.....	(4)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 校准结果内页推荐格式.....	(6)
附录 B 校准原始记录内页推荐格式.....	(7)
附录 C 辐照度示值误差测量结果不确定度评定示例（室内法）.....	(8)
附录 D 辐照度示值误差测量结果不确定度评定示例（户外法）.....	(111)

# 引 言

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》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》共同构成制定本校准规范的基础性系列规范。

本规范为首次制定。

# 光电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

本规范引用了下列文件：

JJG 458 总辐射表

JJG 1032 光学辐射计量名词术语及定义

GB/T 19565 总辐射表

GB/T 31163-2014 太阳能资源术语

GB/T 33704 标准总辐射表

IEC 60904-10 光伏器件 第 10 部分：线性相关性和线性度测量方法（Photovoltaic devices - Part 10: Methods of linear dependence and linearity measurements）

使用本规范时，应注意使用上述引用文件的有效版本。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 术语和计量单位

### 3.1 总辐射 global solar radiation

水平面从上方  $2\pi$  立体角范围内接收到的直接辐射和散射辐射之和。

[GB/T 31163-2014，定义 5.15]

### 3.2 辐[射]照度 irradiance

物体在单位时间、单位面积上接收到的辐射能。

注：辐[射]照度的测量单位为瓦[特]每平方米（ $W/m^2$ ）。

[GB/T 31163-2014，定义 6.3]

## 4 概述

光电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，以测量自然阳光或模拟阳光的辐照度。

## 5 计量特性

### 5.1 辐照度示值误差（修正因子）

## 5.2 稳定性

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

#### 6.1.1 室内条件

- a) 室内校准设备应安装在暗室中；
- b) 室温（ $23 \pm 3$ ）℃，相对湿度 $\leq 80\%$  RH。

#### 6.1.2 户外条件

- a) 天空晴朗，四周空旷，太阳辐照度稳定，辐照度测试仪感应面上没有任何遮挡物；总辐照度（直接辐照度、天空辐照度和地面反射辐照度之和）不小于  $500 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，散射辐照度不大于总辐照度的 25%；太阳高度角大于  $30^\circ$ ；
- b) 空气温度（ $20 \pm 15$ ）℃，风速 $\leq 5 \text{ m/s}$ ，相对湿度 $\leq 80\%$  RH。

### 6.2 测量标准及其他设备

测量标准及其他设备主要技术指标见表 1。

表 1 测量标准及其他设备

分类	名称	测量范围	主要技术指标
测量标准	标准辐照度测试仪	(280~1200) nm; (0~1300) $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	$U=0.60 \text{ mA} (k=2)$
	数字多用表	DCI: $1\mu\text{A} \sim 10\text{A}$	$\pm (0.05\% \text{ 读数} + 0.01\% \text{ 量程})$
其他设备	环境监测设备	温度: $(-50 \sim +150)^\circ\text{C}$ ; 湿度: $0 \sim 100\%$	精度: $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ; $\pm 3\% \text{RH}$

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目及对应的校准方法条款见表 2。

表 2 校准项目表

校准项目	校准方法对应条款
辐照度示值误差（修正因子）	校准方法见 7.2.2; 7.2.3
稳定性	校准方法见 7.2.4
注：可根据实际应用需要，选择要校准的计量特性项目。	

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观检查

对辐照度测试仪的外观和结构进行检查。辐照度测试仪外观应完好，硅基窗口玻璃



表面应无灰尘和明显磨损；主机功能正常运行；铭牌和标记应完整、清晰。

## 7.2.2 辐照度示值误差（修正因子）（室内法）

### 7.2.2.1 校准程序

a) 校准前，辐照度测试仪应置于校准环境中，等温时间至少 1h。

b) 打开测试仪表及太阳模拟器，暖灯至少 0.5h 至光源稳定。

c) 将标准辐照度测试仪的光照面垂直于入射光放置在太阳模拟器底下，调整太阳模拟器的光源强度，使标准辐照度测试仪获得  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  的标准辐照度值，记录 10 次读数，取其平均值  $\bar{W}_{0i}$  作为标准辐照度值。

d) 取下标准辐照度测试仪，将被校准辐照度测试仪放上测试平台，放置的位置和测试面高度与标准辐照度测试仪保持一致。记录 10 次读数，取其平均值  $\bar{W}_i$  作为被校准辐照度测试仪的辐照度示值。

e) 按照 b)~c) 步骤，根据实际需要测试不同档位下的辐照度值。

### 7.2.2.2 数据处理

按公式（1）和（2）分别计算室内条件下的辐照度示值误差和修正因子：

$$r_{i\text{室内法}} = \left( \frac{\bar{W}_i - \bar{W}_{0i}}{\bar{W}_{0i}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

$$K_{i\text{室内法}} = \frac{\bar{W}_{0i}}{\bar{W}_i} \quad (2)$$

式中： $r_{i\text{室内法}}$ ：被校准辐照度测试仪的辐照度示值误差，%，i 代表不同档位；

$K_{i\text{室内法}}$ ：修正因子，无量纲，i 代表不同档位；

$\bar{W}_i$ ：被校准辐照度测试仪的辐照度示值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，i 代表不同档位；

$\bar{W}_{0i}$ ：标准辐照度测试仪测得的辐照度值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，i 代表不同档位。

## 7.2.3 辐照度示值误差（修正因子）（户外法）

### 7.2.3.1 校准程序

校准期间，应避免人员靠近或遮挡，以减少对校准结果造成影响。校准程序如下：

a) 打开被校准辐照度测试仪的主机，暖机 20min。

b) 将标准辐照度测试仪和被校准辐照度测试仪同时放在太阳跟踪仪平台上，两者的水平及测试面保持同一高度。

c) 测试仪表要做好合适的防晒及温控措施，防止户外高温曝晒引起测量结果偏差。

d) 校准时，采样时间间隔介于（2~6）min，测量时间为（1~3）h，同时记录被校准辐照度测试仪和标准辐照度测试仪测得的辐照度数值各 30 组，取其平均值  $\bar{W}$  和  $\bar{W}_0$  分别作为被校准辐照度测试仪的辐照度示值和标准辐照度测试仪测得的辐照度值。

### 7.2.3.2 数据处理

按公式（3）和（4）分别计算户外条件下的辐照度示值误差或修正因子：

$$r_{\text{户外法}} = \left( \frac{\bar{W} - \bar{W}_0}{\bar{W}_0} \right) \times 100\% \quad (3)$$

$$K_{\text{户外法}} = \frac{\bar{W}_0}{\bar{W}} \quad (4)$$

式中： $r_{\text{户外法}}$ ：被校准辐照度测试仪的辐照度示值误差，%；

$K_{\text{户外法}}$ ：修正因子，无量纲；

$\bar{W}$ ：被校准辐照度测试仪的辐照度示值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ；

$\bar{W}_0$ ：标准辐照度测试仪测得的辐照度值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

### 7.2.4 稳定性

稳定性用被校准辐照度测试仪在  $1000 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$  标准辐照度下的辐照度示值的年变化率来衡量，按公式（5）计算：

$$\delta_k = \left| 1 - \frac{W_2}{W_1} \right| \times 100\% \quad (5)$$

式中： $\delta_k$ ：被校准辐照度测试仪的年稳定性；

$W_1$ ：被校准辐照度测试仪上一年的辐照度示值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ；

$W_2$ ：被校准辐照度测试仪新校准出的辐照度示值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

## 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：“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，应说明被叫对象的接受日期；
- 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其有效性说明；
- 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) 校准结果仅对被校太阳能电池有效的声明；
- p) 以及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被校对象使用情况、使用者及其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。

## 附录 A

## 校准结果内页推荐格式

证书编号\*\*\*\*\*\_\*\*\*\*

## 校准结果

## 1. 辐照度示值误差（室内法）：

测量次数	被校准辐照度测试仪的辐照度值 ( $W \cdot m^{-2}$ )	标准辐照度测试仪测得的辐照度值 ( $W \cdot m^{-2}$ )
1		
2		
3		
.....		
示值误差(%)		
修正因子		

## 2. 辐照度示值误差（户外法）：

时间间隔 (min)	被校准辐照度测试仪的辐照度值 ( $W \cdot m^{-2}$ )	标准辐照度测试仪测得的辐照度值 ( $W \cdot m^{-2}$ )
0		
5		
10		
.....		
示值误差 (%)		
修正因子		

## 3. 稳定性：

被校准辐照度测试仪的原辐照度示值 $W_1$ ( $W \cdot m^{-2}$ )	新校准得出的辐照度示值 $W_2$ ( $W \cdot m^{-2}$ )	稳定性

校准不确定度的描述：

## 附录 B

## 校准原始记录内页推荐格式

记录编号证书编号：

## B.1 基本信息

客户名称				
器件名称		型号规格		
出厂编号		生产厂家		
客户地址		测试地址		
计量器具名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)
依据技术规范				
校准环境条件	温度：	湿度：	校准日期：  年 月 日	
人员	校准员：	核验员：		

## B.2 光电型太阳辐照度测试仪校准数据记录

## 1. 辐照度示值误差（室内法）：

测量次数	被校准辐照度测试仪的辐照度值 ( $W \cdot m^{-2}$ )	标准辐照度测试仪测得的辐照度值 ( $W \cdot m^{-2}$ )
1		
2		
.....		
示值误差(%)		
修正因子		

## 2. 辐照度示值误差（户外法）：

时间间隔 (min)	被校准辐照度测试仪的辐照度值 ( $W \cdot m^{-2}$ )	标准辐照度测试仪测得的辐照度值 ( $W \cdot m^{-2}$ )
0		
5		
.....		
示值误差 (%)		
修正因子		

## 3. 稳定性：

被校准辐照度测试仪的原辐照度示值 $W_1$ ( $W \cdot m^{-2}$ )	新校准得出的辐照度示值 $W_2$ ( $W \cdot m^{-2}$ )	稳定性

校准不确定度的描述：

## 附录 C

## 辐照度示值误差（修正因子）测量结果不确定度评定示例（室内法）

## C.1 测量模型

$$r_{\text{室内法}} = \left( \frac{\bar{W} - \bar{W}_0}{\bar{W}_0} \right) \times 100\% ; K_{\text{室内法}} = \frac{\bar{W}_0}{\bar{W}} \quad (\text{C-1})$$

式中： $r_{\text{室内法}}$ ：被校准辐照度测试仪的辐照度示值误差，%；

$K_{\text{室内法}}$ ：修正因子，无量纲；

$\bar{W}$ ：被校准辐照度测试仪的辐照度示值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ；

$\bar{W}_0$ ：标准辐照度测试仪测得的辐照度值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

## C.2 标准不确定度分量的评定

C.2.1 标准辐照度测试仪辐照度测量重复性引起的不确定度  $u_1$  的评定

通过独立进行的 10 次辐照度测试仪辐照度测量，得到测量数据如下：

表 C1 标准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	总辐照度( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )
1	1001.2
2	999.4
3	999.3
4	997.8
5	998.1
6	1003.6
7	999.1
8	998.2
9	999.9
10	1001.1
平均值	999.8

则单次测量结果的实验标准偏差为：

$$s(W_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (W_{0i} - \bar{W}_0)^2}{10-1}} = 1.78 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-2})$$

测量时采用 10 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  $u_1$  为：

$$u_1 = \frac{s(W_0)}{\sqrt{10}} = 0.563 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-3})$$

C.2.2 被校准辐照度测试仪辐照度测量重复性引起的不确定度 $u_2$ 的评定

通过独立进行的 10 次辐照度测试仪辐照度测量，得到测量数据如下：

表 C2 被校准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	总辐照度(W · m <sup>-2</sup> )
1	1002.2
2	991.4
3	999.3
4	990.8
5	985.1
6	1003.6
7	991.1
8	993.2
9	999.9
10	1006.1
平均值	996.3

则单次测量结果的实验标准偏差为：

$$s(W) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (W_i - \bar{W})^2}{10-1}} = 6.851 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-4})$$

测量时采用 10 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 $u_2$ 为：

$$u_2 = \frac{s(W)}{\sqrt{10}} = 2.17 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-5})$$

C.2.3 标准辐照度测试仪溯源引起的不确定度 $u_3$ 的评定

标准辐照度测试仪辐照度校准结果的扩展不确定度为 $U=0.60 \text{ mA}$  ( $k=2$ )，校准报告的标准电流值为 $150.5 \text{ mA}$ 对应的理论标准辐照度值 $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。因此 $u_3=(0.6 \times 1000/150.5) \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 3.99 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

C.2.4 太阳模拟器光源光谱失配引起的标准不确定度分量 $u_4$ 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，而辐照度测试仪的电流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流信号的相对扩展不确定度估算为 $U_{\text{rel}}(\text{MMF})=0.71\%$  ( $k=2$ )。针对被校准辐照度测试仪，由于光谱失配引起的标准不确定度分量 $u_4$ 为：

$$u_4 = \frac{U_{\text{rel}}(\text{MMF})}{k} \times 996.3 = 3.54 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-6})$$

C.2.5 系统源表测量电流信号引入的不确定度 $u_5$ 的评定

系统源表测量电流信号引入的不确定度分量根据其溯源报告，测量范围为 $(-10\mu\text{A} \sim 1\text{A})$ 的 DCI，其相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}=0.05\%$  ( $k=2$ )，按均匀分布考虑，取 $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_5 = \frac{U_{rel}}{k} \times 996.3 = 0.288 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-7})$$

C.2.6 校准环境温度误差引起的不确定度 $u_6$ 的评定:

按照硅基电池的短路电流温度系数,估算由校准环境温度引入的校准误差为 $T_c = 320 \text{ ppm/K}$ ,按均匀分布考虑,取 $k = \sqrt{3}$ ,整个测试过程的温升一般不会超过 $10^\circ \text{ C}$ 则:

$$u_6 = \frac{T_c}{k} \times 10 \times 996.3 = 1.84 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-8})$$

### C.3 标准不确定度的评定

#### C.3.1 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 $u_i$	不确定度来源	数值( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )
$u_1$	标准辐照度测试仪辐照度测量重复性引起的不确定度	0.563
$u_2$	被校准辐照度测试仪辐照度测量重复性引起的不确定度	2.17
$u_3$	标准辐照度测试仪溯源引起的不确定度	3.99
$u_4$	太阳模拟器光源光谱失配引起的标准不确定度	3.54
$u_5$	系统源表测量电流信号引入的不确定度	0.288
$u_6$	校准环境温度误差引起的不确定度	1.84

#### C.3.2 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

$$u_c = \sqrt{\sum_1^6 u_i^2} = 6.08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-9})$$

#### C.3.3 扩展不确定度

$$U = u_c \times k = 6.08 \times 2 = 12.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{C-10})$$

#### C.3.4 相对扩展不确定度

$$U_{rel} = U / 996.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \times 100\% = 1.2\% \quad (\text{C-11})$$

#### C.3.5 校准结果

光电型太阳辐照度测试仪室内法下辐照度示值误差(修正因子)校准结果为:

$$W = 996.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}; r_{\text{室内法}} = -0.35\%; K_{\text{室内法}} = 1.0035 \quad (\text{C-12})$$

其相对扩展不确定度为:

$$U_{rel} = 1.2\% (k=2) \quad (\text{C-13})$$



## 附录 D

## 辐照度示值误差测量结果不确定度评定示例（户外法）

## D.1 测量模型

$$r_{\text{户外法}} = \left( \frac{\bar{W} - \bar{W}_0}{\bar{W}_0} \right) \times 100\% ; K_{\text{户外法}} = \frac{\bar{W}_0}{\bar{W}} \quad (\text{D-1})$$

式中： $r_{\text{户外法}}$ ：被校准辐照度测试仪的辐照度示值误差；%

$K_{\text{户外法}}$ ：修正因子，无量纲；

$\bar{W}$ ：被校准辐照度测试仪的辐照度示值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ；

$\bar{W}_0$ ：标准辐照度测试仪测得的辐照度值， $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

## D.2 标准不确定度分量的评定

D.2.1 标准辐照度测试仪辐照度测量重复性引起的不确定度  $u_1$  的评定

通过独立进行的 30 组辐照度测试仪辐照度测量，得到测量数据如下：

表 D1 标准辐照度测试仪辐照度测量重复性引入的不确定度分量

序号(i)	总辐照度 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )	序号(i)	总辐照度 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )	序号(i)	总辐照度 ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ )
1	928.0	11	998.4	21	986.4
2	946.8	12	989.5	22	983.8
3	947.3	13	997.8	23	985.5
4	951.4	14	986.5	24	973.2
5	954.5	15	988.6	25	980.8
6	946.0	16	962.9	26	974.9
7	956.9	17	978.5	27	975.0
8	965.2	18	975.1	28	964.5
9	962.9	19	981.4	29	965.8
10	954.7	20	968.8	30	972.7

其算术平均值：

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum W_i = 998.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{D-2})$$

单次测量结果的实验标准偏差为：

$$s(W_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (W_i - \bar{W})^2}{30-1}} = 17.3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{D-3})$$

测量时采用 10 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

$u_1$  为：

$$u_1 = \frac{s(W_0)}{\sqrt{10}} = 3.16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{D-4})$$

D.2.2 被校准辐照度测试仪辐照度测量重复性引起的不确定度  $u_2$  的评定

通过独立进行的 30 组辐照度测试仪辐照度测量，得到测量数据如下：

表 D2 被校准辐照度测试仪辐照度测量重复性引入的不确定度分量

序号(i)	总辐照度 (W·m <sup>-2</sup> )	序号(i)	总辐照度 (W·m <sup>-2</sup> )	序号(i)	总辐照度 (W·m <sup>-2</sup> )
1	961.4	11	1049.1	21	1023.7
2	982.1	12	1035.6	22	1020.6
3	984.2	13	1043.8	23	1022.7
4	986.5	14	1032.2	24	1010.3
5	984.7	15	1034.9	25	1017.0
6	975.4	16	998.9	26	1011.4
7	984.2	17	1015.3	27	1011.8
8	999.7	18	1013.8	28	1001.4
9	998.6	19	1019.4	29	999.2
10	989.2	20	1007.4	30	1008.8

其算术平均值：

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum W_i = 1007.4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{D-5})$$

单次测量结果的实验标准偏差为：

$$s(W_0) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (W_i - \bar{W})^2}{30-1}} = 21.0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{D-6})$$

测量时采用 10 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  $u_2$  为：

$$u_2 = \frac{s(W_0)}{\sqrt{10}} = 3.83 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{D-7})$$

#### D. 2. 3 标准辐照度测试仪溯源引起的不确定度 $u_3$ 的评定

标准辐照度测试仪辐照度校准结果的扩展不确定度为  $U=0.60 \text{ mA}$  ( $k=2$ )，校准报告的标准电流值为  $150.5 \text{ mA}$  对应的理论标准辐照度值  $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。因此  $u_3(r) = (0.6 \times 1000 / 150.5) \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} = 3.99 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

#### D. 2. 4 系统源表测量电流信号引入的不确定度 $u_4$ 的评定

系统源表测量电流信号引入的不确定度分量根据其溯源报告，测量范围为  $(-10\mu\text{A} \sim 1\text{A})$  的 DCI，其相对扩展不确定度  $U_{\text{rel}}=0.05\%$  ( $k=2$ )，按均匀分布考虑，取  $k=\sqrt{3}$ ，则：

$$u_4 = \frac{U_{\text{rel}}}{k} \times 1007.4 = 0.291 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{D-8})$$

#### D. 2. 5 校准环境温度误差引起的不确定度 $u_5$ 的评定：

按照硅电池的短路电流温度系数，估算由校准环境温度引入的校准误差为  $T_c = 320 \text{ ppm/K}$ ，按均匀分布考虑，取  $k=\sqrt{3}$ ，整个测试过程的温升一般不会超过  $10^\circ \text{ C}$  则：

$$u_5 = \frac{T_c}{k} \times 10 \times 996.3 = 1.84 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \quad (\text{D-9})$$

### D. 3 标准不确定度的评定

## D.3.1 标准不确定度分量一览表

表 D3 标准不确定度分量计算列表

分量 $u_i$	不确定度来源	数值( $W \cdot m^{-2}$ )
$u_1$	标准辐照度测试仪辐照度测量重复性引起的不确定度	3.16
$u_2$	被校准辐照度测试仪辐照度测量重复性引起的不确定度	3.83
$u_3$	标准辐照度测试仪溯源引起的不确定度	3.99
$u_4$	系统源表测量电流信号引入的不确定度	0.291
$u_5$	校准环境温度误差引起的不确定度	1.84

## D.3.2 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

$$u_c = \sqrt{\sum_1^5 u_i^2} = 6.64 W \cdot m^{-2} \quad (C-9)$$

## D.3.3 扩展不确定度

$$U = u_c \times k = 6.60 \times 2 = 13.3 W \cdot m^{-2} \quad (C-10)$$

## D.3.4 相对扩展不确定度

$$U_{rel} = U / 1007.4 W \cdot m^{-2} \times 100\% = 1.3\% \quad (C-11)$$

## D.3.5 校准结果

光电型太阳辐照度测试仪户外法下辐照度示值误差（修正因子）校准结果为：

$$W = 1007.4 W \cdot m^{-2}; r_{\text{户外法}} = 0.93\%; K_{\text{户外法}} = 0.9907 \quad (C-12)$$

其相对扩展不确定度为：

$$U_{rel} = 1.3\% (k=2) \quad (C-13)$$