



天津市地方计量技术规范

JJF(津) XX—2026

太阳能电池片转换效率校准规范

Calibration Specification of Solar Cell Conversion Efficiency

(报批稿)

2026—XX—XX 发布

2026—XX—XX 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

太阳能电池片转换效率 校准规范

Calibration Specification of
Solar Cell Conversion Efficiency

JJF(津) XX-2026

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

参加起草单位：北京东方计量测试研究所

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

任 晟 （天津市计量监督检测科学研究院）

周 超 （天津市计量监督检测科学研究院）

马新新 （天津市计量监督检测科学研究院）

参加起草人：

翟家强 （天津市计量监督检测科学研究院）

柳云秀 （天津市计量监督检测科学研究院）

杨亦强 （北京东方计量测试研究所）

目 录

引 言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语和计量单位.....	(1)
3.1 标准测试条件.....	(1)
3.2 光电性能.....	(1)
3.3 转换效率.....	(1)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(3)
6 校准条件.....	(3)
6.1 环境条件.....	(3)
6.2 测量标准及其它设备.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(4)
7.1 校准前检查.....	(4)
7.2 校准方法和步骤.....	(4)
8 校准结果的表达.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(5)
附录 A 太阳能电池片转换效率校准原始记录参考格式.....	(6)
附录 B 太阳能电池片转换效率校准证书内页格式.....	(8)
附录 C 测量不确定度评定示例.....	(10)

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》和 JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》进行编制。在编制过程中参考了 JJF1622-2017《太阳能电池校准规范：光电性能》、IEC 60904-1:2020《光伏器件 第1部分：光伏电流-电压特性的测量》(Photovoltaic devices - Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics)、IEC 60891:2009《光伏器件实测 I-V 特性的温度和辐照度校正方法》(Photovoltaic devices - Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics)

本规范为首次发布。

太阳能电池片转换效率校准规范

1 范围

本规范适用于标准单晶硅太阳能电池片转换效率的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

IEC 60904-9:2020 光伏器件 第9部分：太阳模拟器特性的分级

(Photovoltaic devices - Part 9: Classification of solar simulator characteristics)

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用本规范；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 标准测试条件 standard test conditions (STC)

用于标准太阳能电池测量的光源总辐照度为 1000 W/m^2 ，并具有 AM1.5G 太阳光谱辐照分布，测试温度为 $(25 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ 。

3.2 光电性能 photoelectric properties

太阳能电池的光电性能即电流-电压 (I-V) 特性（如图 1），主要体现在如下关键参数：短路电流 I_{sc} 、开路电压 V_{oc} 、最大输出功率 P_m 、最佳工作电压 V_{pmax} 、最佳工作电流 I_{pmax} 、填充因子 FF 、光电转换效率 η 。

3.3 转换效率 (Conversion efficiency)

转换效率表示太阳能电池将太阳能转化为电能的效率，即电池的最大功率输出与入射功率之比。

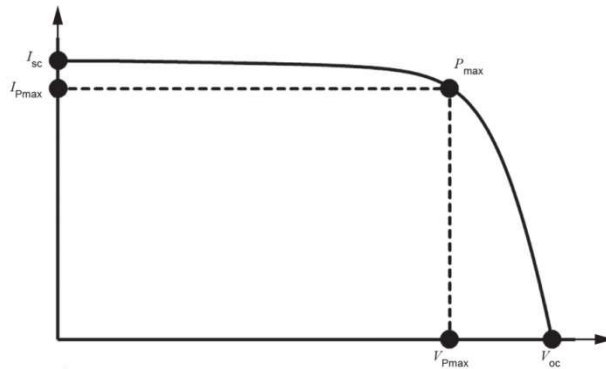


图1 太阳电池的电流-电压 (I-V) 特性

4 概述

太阳电池片是将太阳辐射能直接转换成电能的一种器件，主要由性能介于导体和绝缘体之间的半导体制成。太阳电池受到光辐射后，其吸收光能激发电子和空穴（正电荷），产生电流，称“光伏效应”。太阳电池的转换效率是衡量其性能优劣的关键指标。测量太阳电池的转换效率归结为测量它的光电性能，图2所示为测量光电性能的原理。由于光电性能与测试条件有关，必须在统一规定的标准测试条件下进行测量（或将测量结果换算到标准测试条件），才能鉴定太阳电池电性能的优劣。标准测试条件包括标准太阳光（标准光谱和标准辐照度）和标准测试温度。温度可以人工控制，标准太阳光可以人工模拟。使用模拟太阳光，光谱取决于光源的种类及滤光、反光系统。辐照度可以用标准太阳电池短路电流的标定值来校准。电池材料组成、工作条件不同，测量所得太阳电池的光电性能也不同。

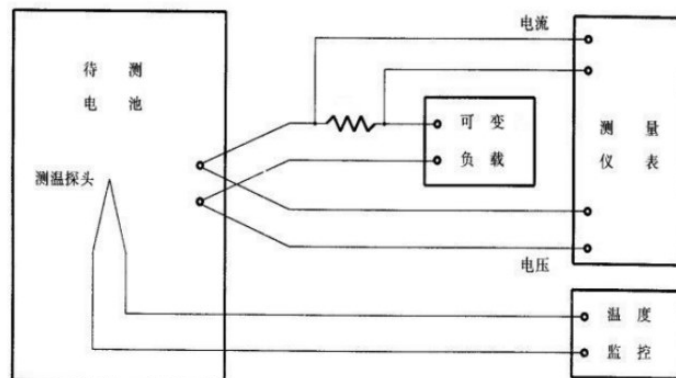


图2 太阳电池的光电性能

5 计量特性

技术要求见表 1。

表 1 技术要求

序号	技术参数名称	性能要求
1	最大输出功率 P_m	以实际计量数据作为最终结果
2	太阳能电池片有效面积	标准太阳能电池片有效面积实际值与标称值的最大允许偏差应在 $\pm 0.5\%$ 以内。
3	太阳能电池片转换效率	以实际计量数据作为最终结果
注：以上指标要求仅供方法适用性参考。		

6 校准条件

6.1 环境条件

——环境条件：温度： $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，相对湿度不大于 80%；

——电源电压：220V~240V 交流电源；

——周围无影响正常工作的机械振动和无较强电磁干扰，保证光学暗室条件。

6.2 测量标准及其它设备

具体见表 2。

表 2 校准用标准器主要技术指标

序号	标准器具	技术指标	校准项目
1	太阳模拟器	AAA 级	太阳能电池片最大功率
2	单晶硅标准太阳电池	由标准探测器标定的太阳电池	太阳能电池片最大功率
3	I-V 曲线测试仪	电流电压测量仪表要求为 6 位半以上的直流数字源表 最大允许误差为 $\pm 0.2\%$	太阳能电池片最大功率
4	影像测量仪	最大允许误差为 $\pm 6\ \mu\text{m}$	太阳能电池片有效面积

7 校准项目和校准方法

7.1 校准前检查

7.1.1 核对检查被校准太阳能电池片的名称、规格型号等。

7.1.2 检查被校准太阳能电池片的光敏面和窗口状况，清洁程度，有无裂纹、斑点、气泡和划痕等影响测量的缺陷，以及封装盒表面有无缺损和变形。

7.2 校准方法和步骤

7.2.1 校准光源总辐照度

将标准太阳能电池放到测量平面上，使其有效光敏面放在测试平面内，并保证标准太阳能电池的法线与光束的中心线平行。

调整太阳模拟器的电流大小，使其经 I-V 曲线测试仪测量的短路电流为标准太阳能电池的标定值，使其光源总辐照度为 $(1000 \pm 5) \text{ W/m}^2$ 。

7.2.2 校准太阳能电池转换效率

7.2.2.1 使用影像测量仪测量被校太阳能电池片的长度和宽度并计算有效受光面积。将被校准太阳能电池片放于测量平面同一位置上，用测温装置测量标准太阳能电池的温度，并通过样品台控温，使得在测试过程中，太阳能电池温度维持在 $(25 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ 。

7.2.2.2 在不改变太阳模拟器设置的条件下记录被校准太阳能电池片的电流-电压特性。

7.2.2.3 由测得的 I-V 曲线可以得到最大输出功率 P_m 。

7.2.2.4 太阳能电池转换效率 η 通过公式 (1) 进行计算。

$$\eta = P_m / (S \times P_{in}) \quad (1)$$

式中： η ——太阳能电池转换效率；

P_m ——最大输出功率，W；

S ——电池面积(包括栅线面积在内的电池受光总面积)， m^2 ；

P_{in} ——太阳模拟器入射光辐照度， W/m^2 ；

8 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映，校准证书应至少包含以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- d) 证书的唯一性标识，每页及总页数的标识；
- e) 客户的地址和名称；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 校准的日期，若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) 若与校准结果的有效性应用相关时，应对被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) 本次校准所有测量标准的溯源性及有效性的说明；
- 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。

校准原始记录格式见附录 A，格式上可依据实际情况做合理改动。校准证书内页格式见附录 B。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 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。

附录 A

太阳能电池片转换效率校准原始记录参考格式

第 页 共 页

原始记录编码:						
委托单位:						
委托单位地址:						
环境温度: ℃				环境湿度: %RH		
仪器名称 :				型号规格:		
出厂编号:				校准日期:		
制造厂:				设备状况:		
校准地点:						
校准依据:						
主要 校准 设备	标准器 名称	编号	准确度等级/最 大允许误差/不 确定度	证书编号	证书有 有效期至	溯源机构
校准员				核验员		

1. 太阳能电池转换效率

最大功率 P_m (W)	电池面积 S (m^2)	入射光辐照度 P_{in} (W/m^2)	转换效率 η
测量不确定度 $U, k=2$			

2. 电流-电压特性曲线:

第 页 共 页

附录 B

太阳能电池片转换效率校准证书内页格式

B.1

证书编号：XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明					
校准所依据的技术文件（代号、名称）：					
校准所使用的主要计量器具：					
名称	编号	准确度等级/最大允许误差/不确定度	证书编号	证书有效期至	溯源机构
校准地点及其环境条件：					
地点：					
温度：		相对湿度：		其他：	

第 × 页 共 × 页

B.2 校准证书校准结果页格式

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准结果

1. 太阳能电池转换效率

最大功率 P_m (W)	转换效率 η	测量不确定度 U_{rel} , $k=2$

2. 电流-电压特性曲线:

第 × 页 共 × 页

校准员: _____

核验员: _____

附录 C

测量不确定度评定示例

C.1 太阳能电池片转换效率

C.1.1 被校对象

单晶硅太阳能电池片。

C.1.2 测量标准

太阳模拟器，I-V 曲线测试仪。

C.1.3 校准方法

按照本校准方法，使用影像测量仪测量被校太阳能电池的尺寸及有效受光面积。由测得的 I-V 曲线可以得到最大输出功率 P_m ，计算太阳能电池片转换效率。

C.1.4 测量模型

$$\eta = P_{max}/(S \times P_{in}) \quad (C.1)$$

式中： η ——被校太阳能电池片转换效率；

P_{max} ——太阳能电池片最大输出功率，W；

S ——太阳能电池片有效受光面积， m^2 ；

P_{in} ——太阳模拟器入射光辐照度， W/m^2 ；

不确定度来源：被校对象测量重复性引入的标准不确定度，I-V 曲线测试仪引入的标准不确定度，太阳模拟器入射光辐照度引入的标准不确定度和影像测量仪引入的标准不确定度。

C.1.5 标准不确定度分量

C.1.5.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在重复性条件下对同一太阳能电池进行连续测量，得到测量数据如表 C.1。

表 C.1 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3
最大功率示值 (W)	8.253	8.243	8.250

计算极差 $R=8.253-8.243=0.010W$

查表得极差系数 $C=1.69$;

单个测得值的实验标准差 :

$$s = \frac{R}{C} = 0.0059W$$

$$\text{则 } u_{1rel} = 0.0059/8.248 = 0.07\%$$

C.1.5.2 I-V 曲线测试仪引入的标准不确定度

C.1.5.2.1 I-V 曲线测试仪分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

测量结果显示的分辨力误差为 $\pm 0.001W$ ，半宽为 $0.001W$ ，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，故：

$$u_2 = 0.001/\sqrt{3} = 0.0006W$$

C.1.5.2.2 I-V 曲线测试仪引入的标准不确定度分量 u_3

根据溯源证书可知， $U_b=1.9\%$ ， $k=2$ 则：

$$u_3 = 1.9\%/2 \times 8.25 = 0.078W$$

C.1.5.2.3 合成标准不确定度

由于 u_2 与 u_3 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_4 = \sqrt{u_2^2 + u_3^2} = 0.078W$$

$$u_{4rel} = 0.078/8.248 = 0.9\%$$

C.1.5.3 太阳模拟器引入的标准不确定度分量

C.1.5.3.1 标准太阳电池溯源引入的标准不确定度分量 u_5

利用光谱响应度类似的标准太阳电池标定太阳模拟器的光强时，通过 IEC 60904-4 所描述的 DSR 方法对标准太阳电池的光谱响应度测量，计算得出 STC 条件下的短路电流及标定值 (CV)。其不确定度由上一级的校准证书获得，为 B 类评定。经计量校准所给定的扩展不确定度 $U_{rel} (CV) = 1.8\% (k=2)$ ，故 $u_5=0.9\%$ 。

C.1.5.3.2 标准太阳电池和被校准太阳电池光谱失配引入的不确定度分量 u_6

由于标定太阳模拟器辐照度的标准太阳电池和被校准太阳电池光谱响应度不完全一致，将引入不确定度。本校准规范规定所用标准太阳电池和被校准太阳电池的光谱响应度

需匹配一直，故由此引起的不确定度 u_6 较小。通过光谱失配因子（MMF）计算，典型的失配误差约为 0.05%。

C.1.5.3.3 太阳模拟器辐照不稳定性引入的不确定度分量 u_7

根据溯源证书可知，其辐照不稳定性为 $U_{rel}=2.0\%$ ， $k=2$ ，则由辐照度的不稳定性引入的标准不确定度 $u_7=1.0\%$ 。

C.1.5.3.4 太阳模拟器入射辐照度引入的不确定度分量 u_8

太阳模拟器入射辐照度最大允许误差为 $\pm 5\text{W}$ ，半宽为 5W ，估计为均匀分布，取包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_8 = 5/\sqrt{3} = 2.87\text{W}$$

$$u_{8rel} = 2.87/1000 = 0.3\%$$

C.1.5.3.5 合成标准不确定度

由于 u_5 、 u_6 、 u_7 与 u_8 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_8 = \sqrt{u_5^2 + u_6^2 + u_7^2 + u_8^2} = 1.38\%$$

C.1.5.4 温度控制偏差引入的不确定度分量

温度的影响和太阳电池开路电压的温度系数相关。温度系数 $\beta=-2.02 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ，此太阳电池的开路电压为 594.6 mV ，如温度偏差是 1°C ，最大偏差为 $(2.02 \times 1)/594.6] \times 100\% \approx 0.34\%$ 。

$$u_9 = 0.34\%$$

C.1.5.5 影像测量仪引入的标准不确定度分量

C.1.5.5.1 由测量重复性引入的标准不确定度分量 u_{10}

在重复性条件下对电池片（210mm）边长进行连续测量，得到下列测量列，见表 C.2。

表 C.2 重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
长度示值 L (mm)	210.131	210.141	210.133	210.126	210.128	210.131	210.138	210.135	210.139	210.128

得到单次测量实验标准差：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 5.1 \mu\text{m}$$

则 $u_{10} = 5.1 \mu\text{m}$

C.1.5.4.2 由影像测量仪引入的标准不确定度分量 u_{10}

根据溯源证书可知, $l=0.7 \mu\text{m}$, $k=2$ 则:

$$u_{11} = 0.7/2 = 0.35 \mu\text{m}$$

C.1.5.4.3 合成标准不确定度

由于 u_{10} 与 u_{11} 彼此独立不相关, 所以合成标准不确定度为:

$$u_{12} = \sqrt{u_{10}^2 + u_{11}^2} = 5.1 \mu\text{m}$$

C.1.5.4.4 面积测量不确定度 u_{12}

(1) 数学模型

$$S = d_x \times d_y$$

(2) 灵敏系数

$$c_x = \partial S / \partial d_y = d_x; \quad c_y = \partial S / \partial d_x = d_y$$

(3) 面积合成标准不确定度

面积合成标准不确定度 u_c 计算,

$$u_{12} = \sqrt{\{c_x u(d_x)\}^2 + \{c_y u(d_y)\}^2} = 0.015 \text{cm}^2$$

$$U_{13\text{rel}} = 0.015/441 = 0.003\%$$

C.1.6 标准不确定度分量汇总表见表 C.3

表 C.3 太阳能电池转换效率标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度
u_1	重复性	0.07%
u_4	I-V 曲线测试	0.9%
u_8	太阳模拟器	1.38%
u_9	温度控制偏差	0.34%
u_{12}	影像测量仪	0.003%

C.1.7 合成标准不确定度

太阳能电池转换效率合成标准不确定度 u_c 计算

由于 u_1 、 u_4 、 u_8 、 u_9 与 u_{12} 彼此独立不相关，所以合成标准不确定度为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_4^2 + u_8^2 + u_9^2 + u_{12}^2} = 1.68\%$$

C.1.8 扩展不确定度

对应 p 约为 95% 包含概率，取 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U_{re1} = 3.4\%$
