



天津市地方计量技术规范

JJF (津) XX-2025

便携式 I-V 曲线测试仪 校准规范

Calibration Specification for Portable I-V Curve Test Device

(报批稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

便携式 I-V 曲线测试仪 校准规范

Calibration Specification for

Portable I-V Curve Test Device

JJF(津) XX-2025

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

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：

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）

杨学毫 （天津市计量监督检测科学研究院）

参加起草人：

冯 宇 （天津市计量监督检测科学研究院）

杨雪辰 （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）

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	(2)
5 计量特性	(2)
6 校准条件	(2)
7 校准项目和校准方法	(3)
8 校准结果	(5)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A	(6)
附录 B	(8)
附录 C	(10)

引 言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》和 JJF 1059.1《测量不确定度评定与表示》基础性系列规范进行编写。参考了 SJ/T 11061《太阳能电池性能测试设备检验方法》、IEC 60904-1《光伏器件 第 1 部分：光伏电流-电压特性的测量》、IEC 61215-2《地面用光伏组件 设计鉴定和定型 第 2 部分：测试程序》的部分内容。

本规范为首次发布。

便携式 I-V 曲线测试仪校准规范

1 范围

本规范适用于短路电流(0.1~30)A、开路电压(5~1500)V、用于光伏组件电参数测量的便携式 I-V 曲线测试仪的校准。本规范包括短路电流、开路电压、最大功率等关键参数的计量特性、校准方法、校准结果表述等内容。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

IEC 60904-9 光伏器件 第 9 部分：太阳模拟器性能分级(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 短路电流 (I_{sc}) short-circuit current

在一定的温度和辐照度条件下，光伏器件在端电压为零（短路）时的输出电流，单位为安（A）。

3.2 开路电压 (V_{oc}) open-circuit voltage

在一定的温度和辐照度条件下，光伏器件在空载（开路）时的输出电压，单位为伏（V）。

3.3 最大功率 (P_{max}) maximum power

在一定的温度和辐照度条件下，光伏器件在负载电路由短路状态至开路状态逐渐变化过程中，输出功率的最大值，单位为瓦（W）。

4 概述

便携式 I-V 曲线测试仪通常用于户外光伏组件短路电流、开路电压、最大功率的测量。通过模拟负载电路在短路状态与开路状态之间的变化，测量光伏组件在不同负载条件下输出电压电流特性，并根据所测数据进行数据分析，得出被校准光伏组件的电压电流特性曲线以及开路电压、短路电流、最大功率等参数。本校准方法采用比对方法，通过标准 I-V

曲线测试仪与被校便携式 I-V 曲线测试仪测量同一光伏组件的短路电流、开路电压和最大功率，比对测量结果。

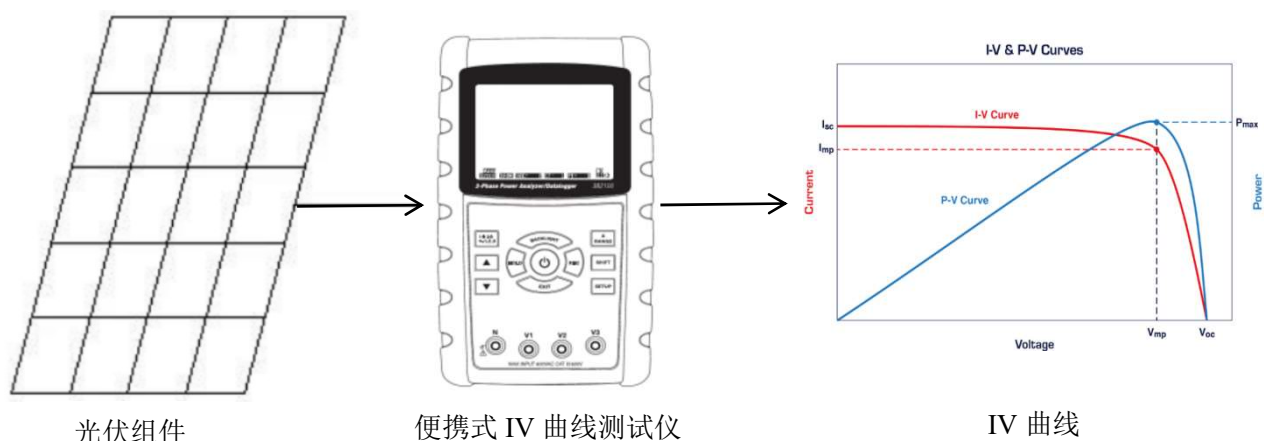


图 1

5 计量特性

5.1 短路电流修正系数

测量范围：0.1A~30A，最大允许误差±3.0%；

5.2 开路电压

测量范围：5V~1500V，最大允许误差±3.0%；

5.3 最大功率

测量范围：5W~45000W，最大允许误差±6.0%；

注：具体计量特性，可参照被校测试系统的技术要求。以上要求不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(22±5)℃；环境湿度：≤80%RH；

电源电压：220V±22V；电源频率：50Hz±0.5Hz；

周围无影响校准工作的机械振动和电磁干扰，并具有良好的接地；无腐蚀性及易燃、易爆气体。

6.2 主要测量标准及配套设备

根据所采用的校准方法，选择可以满足以下校准要求的测量设备。

6.2.1 标准 I-V 曲线测试仪：

电流范围 0.1A~30A，最大允许误差±1.0%。

电压范围 5V~1500V，最大允许误差±1.0%。

功率范围 1W~45000W，最大允许误差±2.0%。

6.2.2 太阳模拟器：

太阳模拟器光源的光谱匹配度、辐照度不均匀度和辐照度不稳定性均需符合 IEC60904-9：2020 中所规定的 BBA 等级要求。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目包括短路电流、开路电压、最大功率。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

记录被测仪器的名称、规格型号、生产厂商、出厂编号等。确认被校仪器量程，调整被校仪器至正常工作状态。

7.2.2 曲线参数校准

将性能完好的光伏组件安装在 BBA 级稳态太阳模拟器的有效辐照面，同时连接标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪至光伏组件。打开光源照射被测组件 0.5h 使组件达到热稳定。

在相同辐照度和温度条件下，使用标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪交替对被照射组件进行 I-V 曲线测试，重复三次，记录标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪的未修正的原始数据。

将标准 I-V 曲线测试仪三次测量的短路电流 I_{sc} 与开路电压 V_{oc} 分别记为 I_1 、 I_2 、 I_3 与 V_1 、 V_2 、 V_3 。根据三次测量结果按照式(1)进行稳定性计算(开路电压同理)，要求短路电流稳定性 $<1.0\%$ ，开路电压稳定性 $<1.0\%$ ，若不符合要求则需重新测量，若符合要求则视为本组测量数据有效，根据测量结果进行计算，短路电流示值误差 I_x 按照公式(2)计算，开

路电压示值误差 V_x 按照公式 (3) 计算, 最大功率示值误差 P_x 按照公式 (4) 计算。

$$\delta = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\text{average}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

δ ——被照射组件输出状态稳定度;

$I_{\max}$ ——三次测量结果 I_1 、 I_2 、 I_3 中的最大值;

$I_{\min}$ ——三次测量结果 I_1 、 I_2 、 I_3 中的最小值;

I_{average} ——三次测量结果 I_1 、 I_2 、 I_3 的平均值;

$$I_x = I_i - I_s \quad (2)$$

式中:

I_x ——短路电流示值误差, A;

I_i ——被测 I-V 曲线测试仪的短路电流, A;

I_s ——标准 I-V 曲线测试仪的短路电流, A。

$$V_x = V_i - V_s \quad (3)$$

式中:

V_x ——开路电压示值误差, V;

V_i ——被测 I-V 曲线测试仪的开路电压, V;

V_s ——标准 I-V 曲线测试仪的开路电压, V。

$$P_x = P_i - P_s \quad (4)$$

式中:

P_x ——最大功率示值误差, W;

P_i ——被测 I-V 曲线测试仪的最大功率, W;

P_s ——标准 I-V 曲线测试仪的最大功率, W。

8 校准结果

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（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) 客户的地址和名称；
- 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 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、仪器本身质量问题等诸因素所决定的，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

原始记录参考格式

证书编号: _____	原始记录编号: _____
客户名称: _____	客户地址: _____
仪器名称: _____	型号规格: _____
制造厂: _____	出厂编号: _____
校准地点: _____	
校准依据: _____	
环境条件: 温度: _____ 相对湿度: _____	校准日期: _____
校准员: _____	核验员: _____

标准器名称	编号	不确定度或准确度等级 或最大允许误差	证书编号	证书有效期	溯源机构名称

一、测量数据

利用标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪, 采用比较法, 交替测量同一光伏组件在相同辐照度和温度条件的 I-V 特性曲线。

其中标准 I-V 曲线测试仪对被照射光伏组件进行的三次测试数据如下:

测量次数	短路电流 I_{sc} (A)	开路电压 V_{oc} (V)
1		
2		
3		
稳定度 δ		

标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪测试数据如下：

短路电流 I_{sc} (A)			
测量次数	被测仪器示值	标准仪器示值	示值误差
1			
2			
3			
平均值			
开路电压 V_{oc} (V)			
测量次数	被测仪器示值	标准仪器示值	示值误差
1			
2			
3			
平均值			
最大功率 P_{max} (W)			
测量次数	被测仪器示值	标准仪器示值	示值误差
1			
2			
3			
平均值			

二、不确定度描述：

校准结果的测量不确定度：

短路电流 I_{sc} ： $U_{rel} =$ (k=2)；

开路电压 V_{oc} ： $U_{rel} =$ (k=2)；

最大功率 P_{max} ： $U_{rel} =$ (k=2)；

附录 B

校准证书内页推荐格式

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：	

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准结果

一、校准结果:

利用标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪,采用比较法,测量同一光伏组件在相同辐照度和温度条件的 I-V 特性曲线,测试数据如下:

	短路电流 I_{sc}/A	开路电压 V_{oc}/V	最大功率 P_{max}/W
被测值			
标准值			
示值误差			

二、不确定度描述:

校准结果的测量不确定度:

短路电流 I_{sc} : $U_{rel} = \quad (k=2)$;

开路电压 V_{oc} : $U_{rel} = \quad (k=2)$;

最大功率 P_{max} : $U_{rel} = \quad (k=2)$;

附录 C

校准结果不确定度评定示例

C.1 短路电流校准不确定度的评定

C.1.1 测量方法

使用标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪在同等测试条件下测量同一光伏组件的电流电压特性，分别记录标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪的短路电流值，计算短路电流的示值误差。

C.1.2 不确定度来源

- (1) I-V 曲线测试仪短路电流修正系数测量重复性引入的不确定度分量 u_{1rel} ；
- (2) 标准 I-V 曲线测试仪短路电流溯源证书引入的不确定度分量 u_{2rel} ；
- (3) 太阳模拟器辐照度不稳定性引入的不确定度分量 u_{3rel} ；

C.1.3 测量重复性引入的不确定度分量 u_{1rel}

对 I-V 曲线测试仪短路电流修正系数进行重复测量，测试数据如下：

测量次数	1	2	3	4	5	6
标准 I-V 曲线测试仪测量值 (A)	13.2865	13.3432	13.3048	13.3175	13.3274	13.3553
被测 I-V 曲线测试仪测量值 (A)	13.2233	13.2948	13.2452	13.2785	13.3080	13.3315
示值误差 (A)	-0.0632	-0.0484	-0.0596	-0.039	-0.0194	-0.0238

采用贝塞尔公式计算标准偏差， $S=0.01817A$ ，校准取 3 次测量的平均值作为最终结果，故由重复性引入的不确定度为： $u_1 = \frac{S}{\sqrt{n}} \approx 0.0105A$ ， $u_{1re} = \frac{0.0105}{13.3225} = 0.0787\% \approx 0.08\%$ 。

C.1.4 标准 I-V 曲线测试仪校准引入不确定度 u_{2rel}

根据溯源证书查得标准 I-V 曲线测试仪短路电流校准不确定度为：0.7%($k=2$)，故由此引入的不确定度为： $u_{2rel}=0.35\%$ 。

C.1.5 太阳模拟器辐照度不稳定性引入不确定度 u_{3rel}

光伏组件的短路电流 I_{sc} 与模拟器照射光源的辐照度近似线性相关，辐照度波动将直接

影响组件短路电流输出值。实验中将组件短路电流稳定度限定为 1.0% 内，超出限定值则视为本组测试数据无效，故由辐照度引入的不确定度分量为： $u_{3\text{rel}}=1.0\%$

C.1.6 合成标准不确定度的评定

主要标准不确定度汇总表如下表所示

标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值
$u_{1\text{rel}}$	测量重复性	0.08%
$u_{2\text{rel}}$	标准器校准	0.35%
$u_{3\text{rel}}$	太阳模拟器辐照度不稳定性	1.0%

短路电流校准标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(I_{\text{sc}}) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2 + u_{3\text{rel}}^2} = 1.063\% \approx 1.1\%$$

C.1.7 扩展不确定度的评定

对应 p 约为 95% 包含概率，取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}(I_{\text{sc}}) = 2.2\%, \quad k=2。$$

C.2 开路电压校准不确定度的评定

C.2.1 测量方法

使用标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪在同等测试条件下测量同一光伏组件的电流电压特性，分别记录标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪的开路电压值，计算开路电压的修正系数。

C.2.2 不确定度来源

- (1) I-V 曲线测试仪开路电压修正系数测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$ ；
- (2) 标准 I-V 曲线测试仪开路电压溯源证书引入的不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$ ；
- (3) 被测量组件温度不稳定性引入的不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$ ；

C.2.3 测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$

对 I-V 曲线测试仪开路电压修正系数进行重复测量，测试数据如下：

测量次数	1	2	3	4	5	6
标准 I-V 曲线测试仪测量值 (V)	55.7089	55.8735	55.7673	55.7190	55.6785	55.8660
被测 I-V 曲线测试仪测量值 (V)	55.7343	55.8443	55.7187	55.7009	55.6488	55.8148
示值误差 (V)	0.0254	-0.0292	-0.0486	-0.0181	-0.0297	-0.0512

采用贝塞尔公式计算标准偏差， $S=0.02782V$ ，校准取 3 次测量的平均值作为最终结果，故由重复性引入的不确定度为： $u_1 = \frac{S}{\sqrt{n}} \approx 0.0161V$ ， $u_{1rel} = \frac{0.0161}{55.7689} = 0.0288\% \approx 0.03\%$ 。

C.2.4 标准 I-V 曲线测试仪校准引入不确定度 u_{2rel}

根据溯源证书查得标准 I-V 曲线测试仪开路电压校准不确定度为：0.5%($k=2$)，故由此引入的不确定度为： $u_{2rel}=0.25\%$ 。

C.2.5 被测量组件温度不稳定性引入不确定度 u_{3rel}

光伏组件的开路电压 V_{oc} 与组件温度相关，温度波动将直接影响组件开路电压输出值。实验中将组件开路电压稳定度限定为 1.0% 内，超出限定值则视为本组测试数据无效，故由温度引入的不确定度分量为： $u_{3rel}=1.0\%$

C.2.6 合成标准不确定度的评定

主要标准不确定度汇总表如下表所示

标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值
u_{1rel}	测量重复性	0.03%
u_{2rel}	标准器校准	0.25%
u_{3rel}	组件温度不稳定性	1.0%

开路电压校准标准不确定度为：

$$u_{rel}(V_{oc}) = \sqrt{u_{1rel}^2 + u_{2rel}^2 + u_{3rel}^2} = 1.04\% \approx 1.1\%$$

C.2.7 扩展不确定度的评定

对应 p 约为 95% 包含概率，取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}(V_{\text{oc}})=2.2\%, k=2。$$

C.3 最大功率校准不确定度的评定

C.3.1 测量方法

使用标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪在同等测试条件下测量同一光伏组件的电流电压特性，分别记录标准 I-V 曲线测试仪和被测 I-V 曲线测试仪的最大功率值，计算最大功率的修正系数。

C.3.2 不确定度来源

- (1) I-V 曲线测试仪最大功率修正系数测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$;
- (2) 标准 I-V 曲线测试仪最大功率溯源证书引入的不确定度分量 $u_{2\text{rel}}$;
- (3) 太阳模拟器辐照度不稳定性引入的不确定度分量 $u_{3\text{rel}}$;
- (4) 被测量组件温度不稳定性引入的不确定度分量 $u_{4\text{rel}}$;

C.3.3 测量重复性引入的不确定度分量 $u_{1\text{rel}}$

对 I-V 曲线测试仪最大功率修正系数进行重复测量，测试数据如下：

测量次数	1	2	3	4	5	6
标准 I-V 曲线测试仪测量值 (W)	584.6865	597.1405	599.0534	583.0625	590.1609	596.1273
被测 I-V 曲线测试仪测量值(W)	586.0794	587.4454	588.9829	585.1169	588.4795	585.0328
修正系数	0.9976	1.0165	1.0171	0.9965	1.0029	1.019

采用贝塞尔公式计算标准偏差， $S=6.1058\text{W}$ ，校准取 3 次测量的平均值作为最终结果，故由重复性引入的不确定度为： $u_1 = \frac{S}{\sqrt{n}} \approx 3.525\text{W}$ ， $u_{1\text{rel}} = \frac{3.525}{591.7052} = 0.5958\% \approx 0.60\%$ 。

C.3.4 标准 I-V 曲线测试仪校准引入不确定度 $u_{2\text{rel}}$

根据溯源证书查得标准 I-V 曲线测试仪最大功率校准不确定度为：0.8%($k=2$)，故由此引入的不确定度为： $u_{2\text{rel}}=0.4\%$ 。

C.3.5 太阳模拟器辐照度不稳定性引入不确定度 $u_{3\text{rel}}$

光伏组件的最大功率 P_{max} 受短路电流 I_{sc} 与开路电压 V_{oc} 影响，而短路电流 I_{sc} 与模拟器照射光源的辐照度近似线性相关，辐照度波动将直接影响组件短路电流输出值。实验中

将组件短路电流稳定度限定为 1.0% 内，超出限定值则视为本组测试数据无效，故由辐照度引入的不确定度分量为： $u_{3\text{rel}}=1.0\%$

C.3.6 被测量组件温度不稳定性引入不确定度 $u_{4\text{rel}}$

光伏组件的最大功率 P_{max} 受短路电流 I_{sc} 与开路电压 V_{oc} 影响，而开路电压 V_{oc} 与组件温度相关，温度波动将直接影响组件开路电压输出值。实验中将组件开路电压稳定度限定为 1.0% 内，超出限定值则视为本组测试数据无效，故由温度引入的不确定度分量为：

$$u_{4\text{rel}}=1.0\%$$

C.3.7 合成标准不确定度的评定

主要标准不确定度汇总表如下表所示

标准不确定度一览表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度值
$u_{1\text{rel}}$	测量重复性	0.60%
$u_{2\text{rel}}$	标准器校准	0.4%
$u_{3\text{rel}}$	太阳模拟器辐照度不稳定性	1.0%
$u_{4\text{rel}}$	组件温度不稳定性	1.0%

最大功率校准标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(I_{\text{sc}})=\sqrt{u_{1\text{rel}}^2 + u_{2\text{rel}}^2 + u_{3\text{rel}}^2 + u_{4\text{rel}}^2} = 1.59\% \approx 1.6\%$$

C.3.8 扩展不确定度的评定

对应 p 约为 95% 包含概率，取 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}=3.2\%, k=2。$$

