



福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1088-2018

光伏组件电致发光缺陷检测仪校准规范

Calibration specification for electroluminescence defect detection

system for solar module

2018—04—15 发布

2018—06—15 实施

福建省质量技术监督局 发布

光伏组件电致发光缺陷检测仪 校准规范

JJF (闽) 1088—2018

Calibration specification for

electroluminescence defect detection system for solar module

归口单位：福建省质量技术监督局

起草单位：福建省计量科学研究院

本规范委托福建省计量科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

王仁书（福建省计量科学研究院）

沈熠辉（福建省计量科学研究院）

徐 欣（台州市计量技术研究院）

参加起草人：

李 杰（福建省计量科学研究院）

罗海燕（福建省计量科学研究院）

林剑春（清华海峡研究院（厦门））

张树德（苏州腾晖光伏技术有限公司）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和定义	(1)
3.1 电致发光	(1)
3.2 缺陷	(1)
3.3 线对	(1)
3.4 空间分辨率	(1)
3.5 线对每毫米	(1)
3.6 空间分辨率测试板	(2)
3.7 正向电流	(2)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 通用技术要求	(2)
5.2 空间分辨率	(2)
5.3 正向电流偏差	(2)
6 校准条件	(2)
6.1 校准环境条件	(2)
6.2 校准用测量设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 外观检查	(3)
7.2 空间分辨率	(3)
7.3 正向电流示值误差	(4)
8 校准结果表达	(5)
9 复校时间间隔	(5)

附录 A 光伏组件电致发光缺陷检测仪空间分辨率校准结果不确定度评定示例(6)

附录 B 光伏组件电致发光缺陷检测仪正向电流校准结果的不确定度评定示例(8)

引 言

本规范依据 JJF 1071 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1 《测量不确定度评定与表示》的规定编写。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。

本规范为首次发布。

光伏组件电致发光缺陷检测仪校准规范

1 范围

本规范适用于检测晶硅类光伏组件由于原材料、加工工艺或者其他因素产生缺陷的电致发光缺陷检测仪。

本规范规定了电致发光缺陷检测仪的计量特性、校准方法以及校准用测量设备。

2 引用文献

- GB/T 19953 数码照相机分辨率的测量
GB/T 20733 数码照相机 术语
GB/T 29195 地面用晶体硅太阳能电池总规范
GB/T 29298 数字(码)照相机通用规范

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 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 电致发光 electroluminescence (EL)

是通过向物体施加电流产生发光的一种物理现象。

3.2 缺陷 defect

光伏组件在电致发光作用下观察到对光伏电池性能造成不良影响的特征，通常有黑心、黑边、亮斑、裂纹、断栅等。

3.3 线对 line pairs

排列在一起的具有相等宽度的黑白条纹。

3.4 空间分辨率 spatial resolution

表示数字图像拍摄系统或数字图像拍摄系统组件分辨空间图像细节能力的度量。进行空间分辨率测试的图案通常可以采用连续排列的线对。

3.5 线对每毫米 line pairs per millimeter

lp/mm

采用能分辨的每毫米等间隔黑白线对数来表示分辨能力的度量单位，用 R_s 表示。

3.6 空间分辨率测试板 spatial resolution test chart

为测试成像系统的空间分辨率而规定的测试图配置。

3.7 正向电流 forward current

表示从光伏组件正极流向负极的直流电流。

4 概述

光伏组件电致发光缺陷检测仪（以下简称缺陷检测仪）常用于光伏组件生产企业和光伏系统检测机构，利用电致发光原理，通过向光伏组件提供正向电流，使组件产生电致发光现象，并使用红外相机对太阳组件的缺陷进行检测。

5 计量特性

5.1 通用技术要求

缺陷检测仪的标识应齐全、准确、完整、清晰。缺陷检测仪成像镜头零部件应清洁，无裂痕、发暗、霉斑、脱胶、开胶、脱膜等瑕疵，也不可有气泡、条纹、沙眼、斑点、污迹、尘埃、灰雾状及其他明显瑕疵，镜头表面的镀膜无明显的擦伤现象。

5.2 空间分辨率

空间分辨率是缺陷检测仪对被检测光伏组件的细节分辨能力。

缺陷检测仪的空间分辨率测量值的范围为（0.50~2.00）mm

5.3 正向电流示值误差

正向电流表示缺陷检测仪对光伏组件的供电能力。正向电流测量范围为（0~20）A，示值误差应该在±5%之内。

注：校准规范不做指标限定的要求，指标仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(25±5)℃；

相对湿度：不大于 85%RH；

测试现场无杂散光，周围无强磁场、电场干扰，无强气流及腐蚀性气体。

6.2 校准用测量设备

6.2.1 空间分辨率测试板

空间分辨率测试板采用不同粗细具有相同宽度的黑白条纹（遮光条纹和透光条纹）作为检测图案。空间分辨率测试板上的线对具有横向和纵向两种排布方式，每种方式应至少有 13 组的线对，线对中单个条纹宽度范围为(0.50~2.00)mm，扩展不确定度优于 0.01mm， $k=2$ 。测试板的厚度宜为 0.1mm。

6.2.2 数字万用表

电流测量范围：(0~20) A，精度优于 0.1%。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

目测法检查。内容包括 5.1 条款。

7.2 空间分辨率

将缺陷检测仪电源输出端子的正负极分别与组件连接端子的正负极对应连接，然后打开并调整电源输出电流和电压，再使用空间分辨率测试板进行校准。

空间分辨率测试板上的空间分辨率测试图案为连续排列的相等宽度的黑白条纹线对。

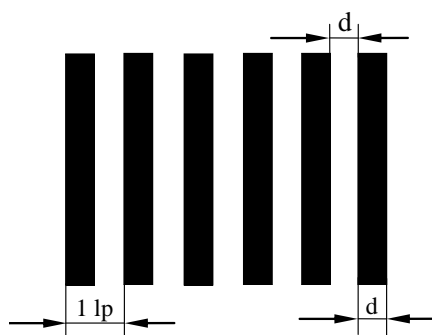


图1 线对条纹示意

其中的线对组成如表1所示。

表1 分辨率测试标板的线对组成

lp/mm	0.25	0.28	0.31	0.35	0.40	0.44	0.50	0.56	0.63	0.70	0.79	0.89	1.00
d(mm)	2.00	1.78	1.59	1.42	1.26	1.12	1.00	0.89	0.80	0.71	0.63	0.56	0.50

注：线对组采用等比数列排列，比例系数为 $10^{(1/20)}$ ，范围为0.25 lp/mm~1.00 lp/mm。

常见的晶体硅组件长宽尺寸约2.0m×1.0m，以此作为检测对象，将不同分辨率检测仪分为A、B、C共3个等级。线对等级分级如表2。

表2 线对等级

等级	对于 2.0m×1.0 m 视场
A	$R_s \geq 1.00 \text{ lp/mm}$
B	$0.50 \text{ lp/mm} \leq R_s < 1.00 \text{ lp/mm}$
C	$0.25 \text{ lp/mm} \leq R_s < 0.50 \text{ lp/mm}$

将空间分辨率测试板粘贴在光伏组件的中心位置电池上以及边角位置的电池上，粘贴时用手拿取测试板的边缘部分，将图案的四个角与一个电池的四个角对齐，再用双面胶或胶带将测试板平整地粘贴在组件上。粘贴测试板时应在组件中心以及4个边缘角落位置各粘贴一张，总计5张。若使用一张测试板，则可以对同一个组件分多次粘贴并成像。

将粘贴有测试板的组件进行检测，获取EL原始图像。获取原始图像后，将图像按照“原始大小”在显示器上进行显示，并结合目视方法，检查组件EL图像中相应测试板的成像情况，根据目视能够分辨的最小条纹记录相应的五个被测位置的空间分辨率能力。根据五个不同位置的被测分辨力测试结果，取其中数值最大的作为缺陷检测仪的空间分辨率结果：

$$D = \max\{d_i\}, i \in [1, 2 \dots 5] \quad (1)$$

式中：

d_i ——测试板在第*i*个位置时，缺陷检测仪能够分辨的最小条纹宽度，mm。

空间分辨率和线对满足如下的换算关系：

$$R_s = \frac{1}{2 \times D} \quad (2)$$

注：进行分辨率测试时，可以采用软件对被观察的电池图像或黑白条纹图像进行缩放操作，以满足人眼的最佳观察条件和目视检测需求，从而得到视觉分辨率的测试结果。

7.3 正向电流示值误差

断开直流电源的输出端与光伏组件的连接，将数字万用表与直流电源的输出端正负极相连，设置EL检测仪控制软件，使得直流电源能够持续输出电流，等待数值稳定后，开始读取数字万用表上的电流值，同时记录被测缺陷检测仪示值。则正向电流相对误差为：

$$\delta_1 = \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right) \times 100\% \quad (3)$$

式中:

I ——被测缺陷检测仪电流示值, A;

I_0 ——标准数字万用表测得的电流值, A。

8 校准结果表达

根据校准结果, 出具校准证书, 所有校准项目及其结果均应在证书中反映。校准结果的表达按照 JJF 1071 国家计量校准规范编写规则的要求, 校准证书应包含以下信息内容:

- 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受日期;
- 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;
- n) 校准结果仅对被校准对象的有效性说明;
- o) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书或报告的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔由仪器使用情况、使用者、仪器本身质量等因素决定, 送检单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议仪器复校时间间隔最长不超过 1 年。

附录 A

光伏组件电致发光缺陷检测仪空间分辨率校准结果不确定度评定示例

A.1 概述

A.1.1 测量依据：JJF(闽)××—××××《光伏组件电致发光缺陷检测仪校准规范》

A.1.2 测量环境条件：温度(25±5)℃；相对湿度不大于85%RH。

A.1.3 测量用标准器：空间分辨率测试板。

A.1.4 测量对象：光伏组件电致发光缺陷检测仪。

A.2 数学模型

A.2.1 公式

$$D = \max\{d_i\}, i \in [1, 2, \dots, 5]$$

A.2.2 不确定度来源包括：空间分辨率测量重复性引起的不确定度，空间分辨率测试板引起的不确定度，人眼判断引起的不确定度等。

A.3 标准不确定度分量的评定

A.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1 评定

用空间分辨率测试板对电致发光缺陷检测仪在稳定的外部温湿度和光照环境下进行重复测量，再根据目视结果，记录每次测量的空间分辨率结果。测量结果如表 A1 所示：

表 A1 测量重复性引入的不确定度

	最小目视可分辨线对条纹宽度(mm)
D_1	0.6
D_2	0.6
D_3	0.5
D_4	0.6
D_5	0.6
D_6	0.5
D_7	0.6
D_8	0.5
D_9	0.6
D_{10}	0.6
\bar{D}	0.6
实验标准偏差 $s(D)$	0.05

则由测量重复性引入的不确定度 u_1 为:

$$u_1 = s(D) = 0.05\text{mm}$$

A. 3. 2 空间分辨率测试板校准结果不确定度 u_2 评定

对于空间分辨率测试板, 根据校准证书提供的数据可知, 其条纹宽度测量结果不确定度为: $U=0.01\text{mm}$, $k=2$ 。

则由空间分辨率测试板引入的校准结果标准不确定度为 $u_2=0.005\text{mm}$ 。

A. 3. 3 人眼判断引入的不确定度 u_3 评定

人眼的分辨极限角通常为 1 角分, 则根据约 25cm 的目视距离, 可分辨的最小线距约 0.1mm。另外根据光学系统光学传递函数测量理论, 正常人眼能够分辨的调制度最低值一般是 0.05, 此时的对比度约为 1:1.1 左右, 且每个人之间存在差异, 因此, 对于 (0.5~2.0) lp/mm 的图案, 由于人眼判断引入的判断误差约为 0.1mm, 假设为均匀分布, 则人眼判断引入的不确定度 $u_3=0.058\text{mm}$ 。

A. 4 标准不确定度的评定

A. 4. 1 标准不确定度分量一览表

表 A2 标准不确定度分量计算列表

不确定度分量 u_i	类别	u_i 来源	u_i 的数值
u_1	A	测量重复性	0.05
u_2	B	空间分辨率测试板校准结果	0.005
u_3	B	人眼判断	0.058

A. 4. 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

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.076\text{mm}$$

A. 4. 3 扩展不确定度

在空间分辨率(0.50~2.0)mm 范围内, 电致发光缺陷检测仪空间分辨率的校准结果扩展不确定度 $U=0.076 \times 2=0.152\text{mm}$, 取 $U=0.15\text{mm}$, $k=2$ 。

附录 B

光伏组件电致发光缺陷检测仪正向电流校准结果的不确定度评定示例

B.1 概述

B.1.1 测量依据: JJF (闽) ××—×××× 《光伏组件电致发光缺陷检测仪校准规范》

B.1.2 测量环境条件: 温度 (25±5) °C; 相对湿度不大于 85%RH。

B.1.3 测量用标准器: 数字万用表。

B.1.4 测量对象: 电致发光缺陷检测仪。

B.2 数学模型

B.2.1 公式

$$\delta_1 = \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right) \times 100\%$$

B.2.2 不确定度来源包括: 标准器测量重复性的不确定度, 标准器校准结果的不确定度。

B.3 标准不确定度分量的评定

B.3.1 测量重复性引起的不确定度 $u_{1,rel}$ 评定

将数字万用表与直流电源的输出端正负极相连, 设置 EL 检测仪控制软件, 使得直流电源能够持续输出电流, 读取数字万用表上的电流值。重复测量结果如表 B1 所示:

表 B1 测量重复性引入的不确定度

	标准器示值 (A)
I_1	8.01
I_2	7.99
I_3	7.98
I_4	8.01
I_5	8.00
I_6	7.98
I_7	7.98
I_8	8.01
I_9	7.99
I_{10}	8.02
\bar{I}	8.01
实验标准偏差 $s(I)$	0.015

则由测量重复性导致的测量结果的相对标准不确定度为:

$$u_{1,rel}(\bar{I}) = \frac{u_1(\bar{I})}{\bar{I}} = 0.2\%$$

B. 3.2 数字万用表校准溯源引起的标准不确定度 $u_{2,rel}$ 评定

根据数字万用表校准证书提供的数据可知, 其直流电流档的相对扩展不确定度为 $U_{rel}=0.02\%$, $k=2$ 。

则由数字万用表校准结果引入的相对不确定度为: $u_{2,rel}=0.01\%$ 。

B. 4 标准不确定度的评定

B. 4.1 标准不确定度分量一览表

表 B2 标准不确定度分量计算列表

不确定度分量 $u_{i,rel}$	$u_{i,rel}$ 来源	$u_{i,rel}$ 的数值
$u_{1,rel}$	测量重复性	0.2%
$u_{2,rel}$	数字万用表校准结果不确定度	0.01%

B. 4.2 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

$$u_{c,rel} = \sqrt{u_{1,rel}^2 + u_{2,rel}^2} = 0.2\%$$

B. 4.3 扩展不确定度的确定

电致发光缺陷检测仪电流校准结果的相对扩展不确定度为 $U_{rel}=0.2\% \times 2=0.4\%$, $k=2$ 。