

### 光伏电站晶硅组件隐裂检测及判定方法

Photovoltaic power station module hidden crack detection and decision  
criteria

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

浙江省电力学会 发布

# 目 次

前 言 .....	II
<u>1 范围</u> .....	1
<u>2 规范性引用文件</u> .....	1
<u>3 术语和定义</u> .....	1
<u>4 总则</u> .....	2
<u>5 检测条件</u> .....	2
<u>5.1 环境条件</u> .....	2
<u>5.2 其他条件</u> .....	2
<u>6 检测设备</u> .....	3
<u>6.1 恒流电源</u> .....	3
<u>6.2 光学检测模块</u> .....	3
<u>6.3 成像系统</u> .....	3
<u>6.4 暗室</u> .....	3
<u>7 检测方法</u> .....	3
<u>7.1 测试准备及测试前确认</u> .....	3
<u>7.2 检测电路</u> .....	4
<u>7.3 检测步骤</u> .....	4
<u>8 检测结果</u> .....	4
<u>8.1 组件级隐裂故障</u> .....	5
<u>8.2 电池片级隐裂故障</u> .....	5
<u>8.3 隐裂判定标准</u> .....	6
<u>9 检测文件</u> .....	7
<u>9.1 检测文档内容</u> .....	7
<u>9.2 检测记录</u> .....	7
附录 A（资料性附录） <u>检测记录</u> .....	1
附录 B（资料性附录） <u>EL 缺陷分类</u> .....	2
编制说明 .....	错误!未定义书签。

## 前 言

为规范光伏电站的隐裂检测方法及各类型组件隐裂的判定标准,明确光伏组件隐裂检测及判定方法的内容和范围,定义晶硅组件隐裂的类型,制定本标准。

本标准按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分:标准化文件的结构和起草规则》给出的规则起草。

本标准由浙江省电力学会标准工作委员会提出并解释。

本标准起草单位:浙江浙能技术研究院有限公司、浙江省新能源投资集团股份有限公司

本标准主要起草人:

本标准首次发布。

# 光伏电站晶硅组件隐裂检测及判定方法

## 1 范围

本标准规范了光伏电站的隐裂检测方法及各类型组件隐裂的判定标准。  
本标准适用于光伏电站晶硅组件的隐裂检测及判定。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 2828.1 技术抽样检验程序第1部分:按接受质量限(AQL)检索的逐批检验抽样计划

GB/T 9535 地面用晶体硅光伏组件设计和定型

GB/T 35694 光伏电站安全规程

GB/T 29298 太阳光伏能源系统术语

IEC 61215-1 地面用光伏组件—设计鉴定与定型—第1部分;测试要求(Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval-Part I: Requirements for testing)

## 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 electro luminescent (EL)

简称EL,是通过加在两电极的电压产生电场,被电场激发的电子碰击发光中心,使电子在能级间跃进、变化、复合,从而导致发光的一种物理现象。

EL分为两种类型:一种是半导体p-n结的注入式电致发光;另一种是本征型电致发光。目前光伏产业使用较多的是太阳电池正向偏置下少子注入式的电致发光。

### 3.2 缺陷 defect

太阳电池组件在电致发光作用下所观察到的影响太阳电池性能的特征,通常有裂纹、碎片、混档、黑片、黑芯、断栅等。

### 3.3 裂纹 subfissure

肉眼不可见,但用EL检测技术可使电池片内部显现的具有一定尺寸的线状、树根状或闪电状裂纹。

### 3.4 碎片 debris

肉眼不可见,但用EL检测技术可使电池片内部显现出的崩边、缺角、线痕的局部断裂。

### 3.5 断栅 grid line break

通过肉眼观测或EL检测技术可使电池片内部显现出的主、副栅线印刷断路或焊接不良形成的断路。

### 3.6 黑片 black wafer

肉眼不可见，但用EL检测技术可使光伏组件内部显现发暗、发黑的电池片。

### 3.7 固定式 EL 成像系统

采用固定式相机拍摄的EL成像系统，一般由成像探测器、成像镜头、相机支架、操作软件组成。

### 3.8 无人机 EL 成像系统

利用无人机开展EL检测的成像系统，一把由成像探测器、成像镜头、相机云台、操作软件、无人机组成。

## 4 总则

### 4.1 被检测组件应满足以下条件：

- a) 设计与定型应满足GB/T 9535的要求。
- b) 测试样品组件外观应符合IEC 61215-1:2016中第8章的规定。
- c) 测试样品表面需保持清洁，无明显的异物等，

### 4.2 检测应包含以下内容：

- a) 组件、电池片的崩边缺角、隐裂及碎片情况；
- b) 组件、电池片因功率偏低或PID现象导致的黑片现象；
- c) 组件、电池片因栅线焊接不良导致的断栅现象；
- d) 组件、电池片的杂质污染。

### 4.3 抽样比例应按以下要求执行：

- a) 组件到场检测，抽样方法应满足GB/T2828.1的要求，选取不同材料类型和不同生产批次的光伏组件进行测试；
- b) 其他检测阶段，应按GB/T2828.1规定的抽样方法或甲乙双方自行拟定的抽检比例，选取不同方阵、不同材料类型、不同连接方式、不同施工单位和不同生产批次的光伏组件进行测试，抽检比例不应低于10块/MW。

### 4.4 在光伏电站现场开展晶体硅光伏组件的 EL 检测时，应按 GB/T35694 规定的安全要求执行。

## 5 检测条件

### 5.1 环境条件

检测应在如下环境条件下进行：

- a) 环境温度：-30℃~45℃；
- b) 环境湿度：不超过 90h；
- c) 测试环境应为暗室、夜间或相当于；
- d) 测试环境应无振动；

### 5.2 其他条件

- a) 被测组件表面应保持清洁；

b) 样品和相机镜头不要有灰尘。

## 6 检测设备

### 6.1 恒流电源

能为太阳能电池组件或组串提供正向直流电流的装置。检测中使用的恒流电源输出电流、电压范围应满足被测组件的测试要求。最大可调电压不应低于开路电压，最大可调电流不应低于短路电流。电源必须能够设置短路电流（ $I_{sc}$ ）的0.1倍~1.0倍。

### 6.2 光学检测模块

检测中光学检测模块成像像素应不低于2400万，显示屏像素应不低于100万，近红外光的感光能力范围为波长550~1100nm，成像感光度（ISO）应不超过800。

### 6.3 成像系统

#### 6.3.1 成像探测器

应使用 Si、Ge、InGaAs等材料制成，需对光伏组件的电致发光波段有响应。近红外光的感光能力范围为波长550~1100nm，成像感光度（ISO）应不超过800。

#### 6.3.2 成像镜头

EL成像镜头应该允许光伏组件产生的电致发光透过。为了得到高质量的图像，通常可以采用850nm作为允许成像波段的下限波，同时利用滤光片或涂层来消除杂散光。成像像素应不低于2400万

#### 6.3.3 相机增稳平台

在固定式EL成像系统中，EL成像镜头一般固定于三脚架等相机稳定支架；在无人机EL成像系统中，EL检测镜头需固定于无人机相机云台上，该云台用于EL成像镜头的增稳及角度控制，云台的角度抖动量不大于 $0.02^\circ$ ，可控旋转度不低于 $360^\circ$ ，俯仰向转动范围不低于 $\pm 45^\circ$ 。

#### 6.3.4 操作软件

用于控制光伏组串或组件检测所需的操作软件，例如可操作并控制直流电源的通电和断开、成像系统（包含成像镜头、成像探测器、摄像头云台、暗室等）的曝光控制、被检测组件的移动、成像系统的移动。

### 6.4 暗室

可为太阳能电池组件的缺陷检测提供合适的检测环境，同时可抑制杂散光。可以是设备自身的箱体结构、遮光布帘或者设备外部的暗检测环境。

## 7 检测方法

### 7.1 测试准备及测试前确认

7.1.1 确认 EL 检测设备：运行正常的检查及测试参数设置；

7.1.2 确认光照、风速等环境条件适合隐裂检测。

7.1.3 测试参数设置：根据样品信息设置电流参数不小于 0.6 倍的  $I_{sc}$ ；低电流测试应根据客户要求设置测试电流，一般低测试电流不大于 0.2 倍的  $I_{sc}$ 。

7.1.4 样品：清洁样品表面，确认无明显的干扰测试结果判断的脏污、异物或划痕等。

## 7.2 检测电路

应按照图1连接相关设备，恒流电源应与光伏组串或组件直接连接。

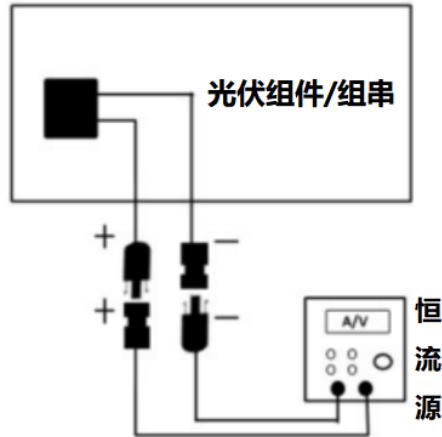


图 1 光伏电站晶硅组串或组件隐裂检测器件连接示意图

## 7.3 检测步骤

检测应按照如下步骤进行：

7.3.1 选择合适的时间或安装暗室，使样品处于弱光或暗室环境。

7.3.2 按照图 1 连接被测组件和恒流电源模块，向光伏组件通入  $\geq 0.6$  倍的组件短路电流  $I_{sc}$ （通常为 0.9-1.1 倍）。

7.3.3 采用固定式 EL 成像系统时，调整支架高度、倾角、取景距离、焦距等参数，使得成像镜头与组件夹角保持在  $70^\circ$  到  $110^\circ$  之间，并使组件在取景视界内清晰、完整。

7.3.4 采用无人机 EL 成像系统时，调整无人机飞行高度、云台角度、焦距等参数，使得成像镜头尽可能垂直于组串平面，并使组串或若干组件在取景视界内清晰、完整。

7.3.5 输入测试样品序列号，调整成像系统曝光时间、感光度等参数，拍摄检测图像，确保图像清晰、无重影。采用无人机 EL 成像系统时，无人机需处于悬停状态。

7.3.6 如需低电流测试，向光伏组件通入 0.1-0.2 倍的组件短路电流  $I_{sc}$ ，并重复上述 7.3.3 至 7.3.5 步骤。

7.3.7 图像分析，按下述进行：

- a) 保存图像，断开测试样品的电源连接；
- b) 检查测试图片缺陷，并按照缺陷分类（见附录B）判定缺陷类型。

## 8 检测结果

电池片隐裂判定分为组件级和电池片级，以电池片级隐裂更为常见。针对晶硅组件隐裂检测，一般先通过组件整体图像判定组件级隐裂故障，再针对电池片分析判定电池片级隐裂故障。隐裂故障的成因及分类在本节描述，缺陷图解见附录B。

## 8.1 组件级隐裂故障

必须依据同一块组件中两个及以上单电池片图像及相关电性能信息才可判定的隐裂问题称为组件级隐裂。组件级隐裂故障一般可分为划伤、混档、焊接故障、工艺污染等。

### 8.1.1 划伤

组件EL图像中呈现贯穿多个电池片的黑色连续线性缺陷。

### 8.1.2 混档

混档是最常见的组件级隐裂故障，具体表现为组件EL图像中两个及以上电池片的图像明暗度呈现明显差异。

### 8.1.3 焊接故障

由于焊接造成短路或混入低效电池片会造成短路黑片故障。

### 8.1.4 工艺污染

电池片边缘发亮而里侧全黑的故障一般为非短路黑片故障。

## 8.2 电池片级隐裂故障

依据单电池片图像及相关电性能信息即可判定的隐裂问题称为电池片级隐裂。

按照隐裂成因可分为外力损伤、栅线故障、硅片故障和工艺污染四类。

### 8.2.1 外力损伤

外力损伤是最常见的隐裂成因，一般会导致电池片的裂纹、缺角、裂片、碎片等隐裂故障。外力损伤下，电池片黑色线条走向或黑色区域面积大小影响电池片电性能输出。

- a) 裂纹：电池片裂纹可分为线性隐裂、十字隐裂、闪电状隐裂等。
- b) 缺角：指EL图像中边角位置呈现三角形黑色区域。
- c) 裂片：指EL图像中电池片因存在贯穿式裂纹导致电池片黑色区域故障。
- d) 碎片：指EL图像中电池片呈现多个三角或不规则黑色区域。

### 8.2.2 栅线故障

栅线故障导致的电池片级隐裂一般有断栅和局部断路片。断栅表现为电池EL图像中沿着细栅出现笔直的黑色区域，局部断路片变现为电池片主栅线的一侧全部为黑色。

### 8.2.3 焊接故障

电池串焊工序操作不当导致的焊接故障有虚焊、助焊剂问题等。EL图像中电池主栅附近较亮，其他区域正常的现象，通常可认定为虚焊。助焊剂与栅线在硅表面金属化导致的故障，一般可认定为助焊剂问题。



### 8.2.4 硅片故障

因生产工艺差异，如单晶收尾时坩埚投料底量、晶体定向凝固时间、熔体潜热释放与热场温度梯度的失配位错等，在生产过程中有概率形成黑芯片、黑斑片等。其中EL图像中心区域呈现同心圆状暗色或黑色的一般称为黑芯片。

### 8.2.5 工艺污染

工艺污染导致的电池片级隐裂一般有履带印、网带印、吸盘印等。

## 8.3 隐裂判定标准

表8.1 隐裂判定标准

组件隐裂标准判定		良好	合格（同时满足以下条件）	不合格（满足以下任一条件）
组件	混档	无此现象	同一组件中，低档位（偏暗）组件 $\leq 3$ 片； 组件功率 $\geq$ 同级组件功率90%；	同一组件中，低档位（偏暗）组件 $> 3$ 片； 组件功率低于同级组件10%；
	焊接故障	短路黑片	无此现象	存在断路黑片
	工艺污染	非短路黑片	无此现象 电池片暗部面积 $\leq$ 电池片面积的10%，且该类电池片总数 $\leq$ 同一组件中电池片总数的10%； 电池片黑边污染宽度 $\leq 1/5$ 电池片宽度； 电池黑边污染宽度在 $1/5$ 至 $1/8$ 电池片宽度之间，且该类电池片数量占组件总片数比例 $\leq 10\%$	电池片暗部面积 $>$ 电池片面积的10%，或该类电池片总数 $>$ 同一组件中电池片总数的10%； 电池片黑边污染宽度 $> 1/5$ 电池片宽度； 电池黑边污染宽度 $> 1/8$ 电池片宽度，或该类组件占组件总片数比例 $> 10\%$
电池片	外力损伤	裂纹	无此现象 同一组件中，裂纹故障不超过3处； 同一电池片上，裂纹故障不超过2处； 造成的电池损失面积 $< 5\%$ ；	同一组件中，裂纹故障超过3处； 或同一电池片上，裂纹故障超过2处； 造成的电池损失面积 $\geq 5\%$ ；
		缺角	无此现象 同一组件上，面积 $> 6\text{mm}^2$ 的缺角电池片 $\leq 8\%$ 组件总电池片数	同一组件上，面积 $> 6\text{mm}^2$ 的缺角电池片 $> 8\%$ 组件总电池片数
		裂片	无此现象 同一组件上，面积 $> 12\text{mm}^2$ 的裂片电池片 $\leq 8\%$ 组件总电池片数	同一组件上，面积 $> 12\text{mm}^2$ 的碎片电池片 $> 8\%$ 组件总电池片数
		碎片	无此现象 同一组件上，面积 $> 8\text{mm}^2$ 的碎片电池片 $\leq 10\%$ 组件总电池片数	同一组件上，面积 $> 8\text{mm}^2$ 的碎片电池片 $> 10\%$ 组件总电池片数
	栅线故障	断栅	无此现象 电池片断栅长度 $\leq 1\text{mm}$ ； 电池片断栅长度在 $0.5$ 至 $1\text{mm}$ 间的电池片块数 $\leq 2$ 块；	电池片断栅长度 $> 1\text{mm}$ ； 电池片断栅长度在 $0.5$ 至 $1\text{mm}$ 间的电池片块数 $> 2$ 块；
局部断路片		无此现象 局部断路片黑色面积 $\leq 1/3$ 电池片面积的数量 $\leq 10\%$ 组件总电池片数；	局部断路片黑色面积 $> 1/3$ 电池片面积； 局部断路片黑色面积 $\leq 1/3$ 电池片面积的数量 $> 10\%$ 组件总电池片数；	

焊接故障	虚焊、助焊剂问题	无此现象	电池片单片焊斑长度 $\leq 10\text{mm}$ ； 宽度 $\leq 0.3\text{mm}$ ； 焊斑个数 $\leq 5$ 个。	电池片单片焊斑长度 $> 10\text{mm}$ ； 宽度 $> 0.3\text{mm}$ ； 焊斑个数 $> 5$ 个。
硅片故障	黑芯、黑斑	无此现象	单片电池黑心面积占电池片面积比例 $< 25\%$ 的黑心片数量 $< 15\%$ 组件总电池片数	单片电池黑心面积占电池片面积比例 $\geq 25\%$ ； 黑心片数量 $> 15\%$ 组件总电池片数
工艺污染		无此现象	电池片暗部面积 $\leq$ 电池片面积的 $10\%$ ，且该类电池片总数 $\leq$ 同一组件中电池片总数的 $10\%$ ；	电池片暗部面积 $>$ 电池片面积的 $10\%$ ；

## 9 检测文件

### 9.1 检测文档内容

#### 9.1.1 检测报告应包括以下内容：

- a) 被测光伏电站名称，或样品来源；
- b) 检测设备的规格参数，如名称、型号及等级等；
- c) 现场检测环境参数，如试验环境温度和相对湿度等；
- d) 参数设定（电流、电压、曝光时间等）；
- e) 被测光伏组件参数，如样品名称、规格、描述、状态和明确的标识等；
- f) 检测图像存储路径；
- g) 被测光伏组件检测结果，包括缺陷类型、数量和图像等；
- h) 试验操作者、审核、批准、报告编号；
- i) 本标准编号和标准；
- j) 检测机构、名称、地址；
- k) 试验日期。
- l) 其他相关内容。

9.1.2 检测结果应能够重复验证。现场应如实记录原始数据，原始记录表应有检测人员、校核人员签字确认。

### 9.2 检测记录

检测记录格式见附录A。

附 录 A  
(资料性附录)  
检测记录

表A.1 光伏电站晶硅组件隐裂检测原始记录表

记录编号：

项目名称												
委托单位										委托日期		
委托单号										检测日期		
检测地点										环境条件		
仪器 设备	序号	主要设备参数								设备运行状态		备注
	1											
	2											
	3											
样品规格										图像存储路径		
样品 记录	序号	样品 编号/ 位置 编号	组件EL缺陷			电池片EL缺陷					工艺 污染	图像附件编号
			划 伤	混 档	黑 片	裂 纹	缺 角 裂 片	断 栅 断 路	虚 焊	黑 芯		
	1											
	2											
	3											
	4											
	5											
6												

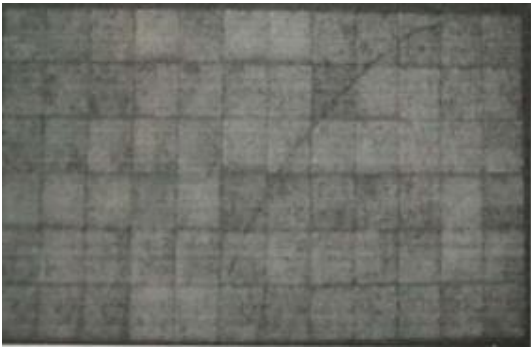
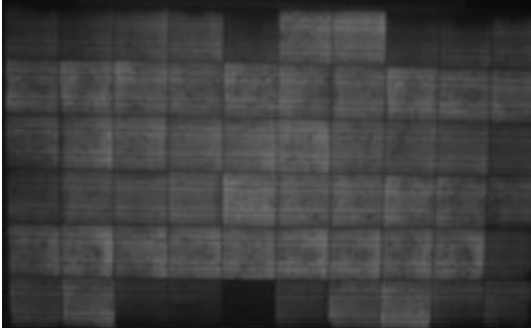
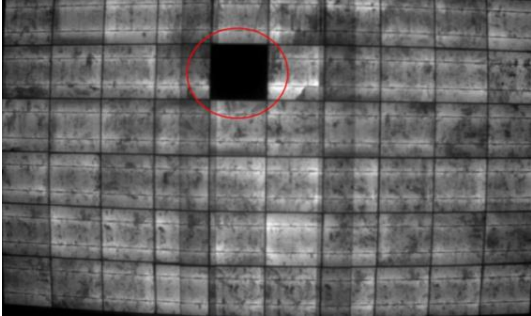
附 录 B  
(资料性附录)  
EL 缺陷分类

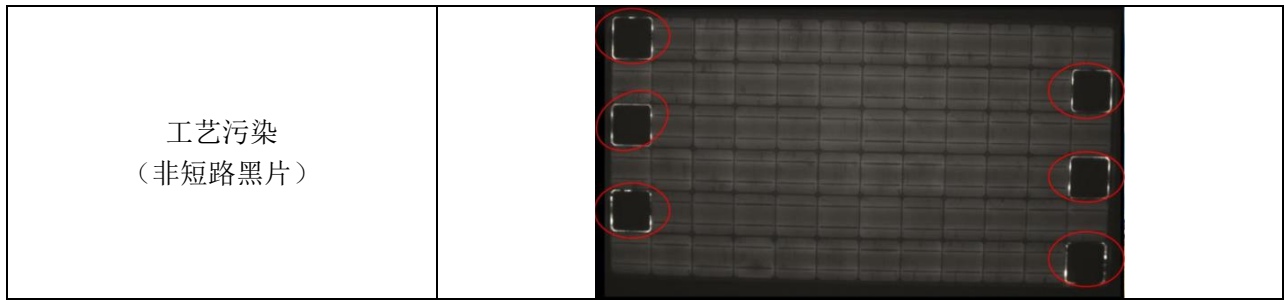
B.1 缺陷种类

电池片隐裂判定分为组件级和电池片级。

B.2 组件级隐裂故障

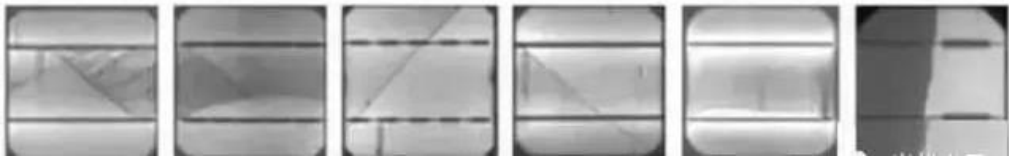
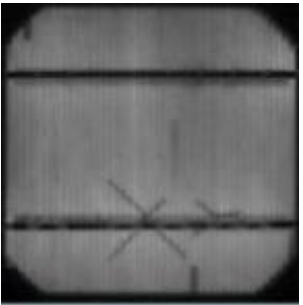
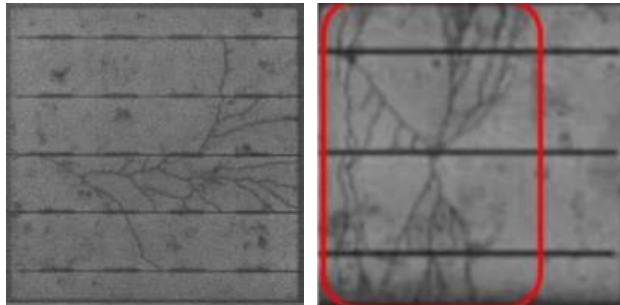

组件级隐裂故障一般可分为划伤、混档、焊接故障、工艺污染等。

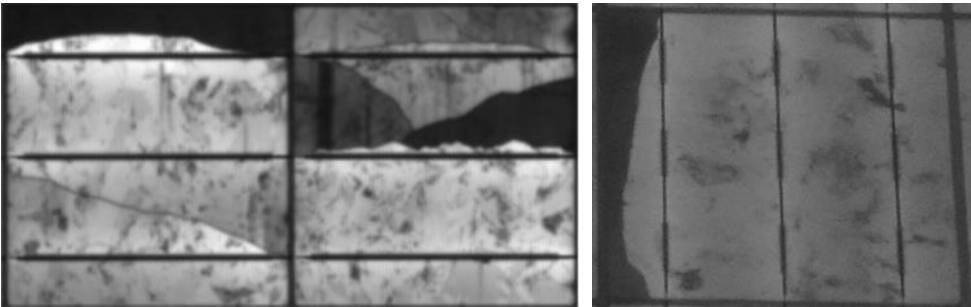
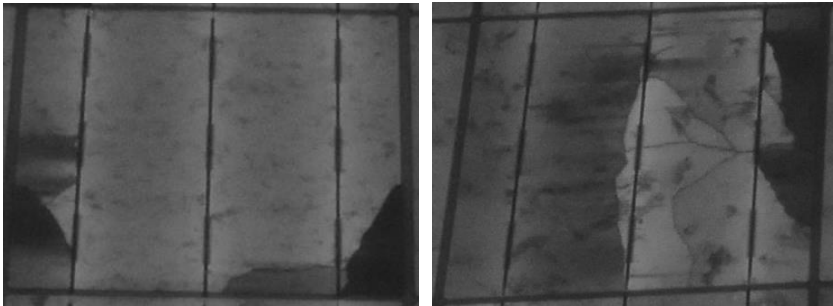
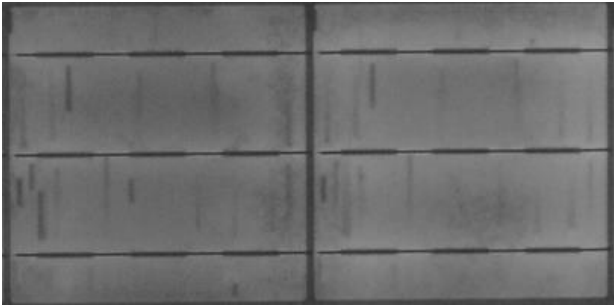

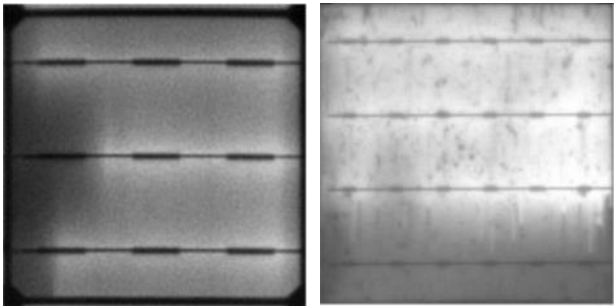
类型	示例图
划伤	
混档	
焊接故障 (短路黑片故障)	

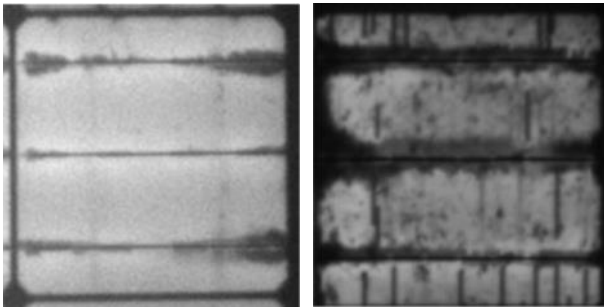
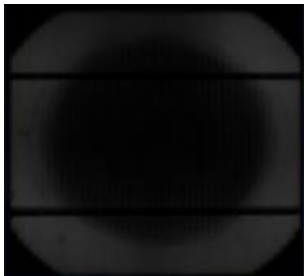
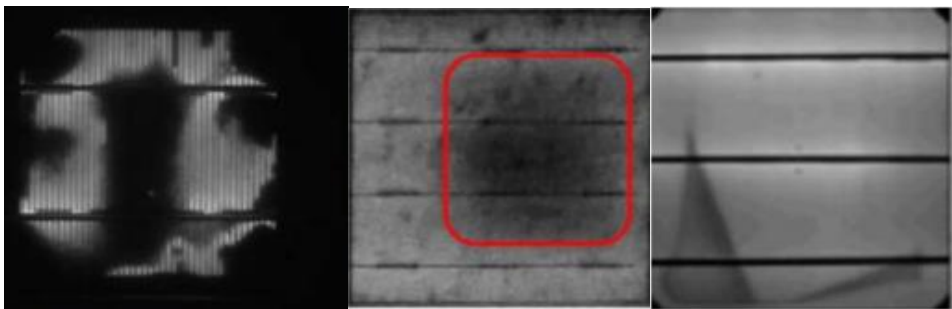


### B.3 电池片级隐裂故障

电池片级隐裂故障按照隐裂成因可分为外力损伤、栅线故障、焊接故障、硅片故障和工艺污染四类。

类型		示例图	
	裂纹	 <p>隐裂裂纹如上图所示依次为树状裂纹、综合型裂纹、斜裂纹(+45°)、斜裂纹(-45°)、平行于主栅线、垂直于主栅线、贯穿裂纹等。其中平行于主栅线的裂纹影响最大,45°斜裂纹是平行于主栅线裂纹损失的1/4,垂直于主栅线的裂纹几乎不影响细栅线,因此造成电池片失效面积几乎为零。</p>	
外力损伤	综合型裂纹	十字隐裂	闪电状隐裂
			
	缺角		

	裂片	
	碎片	
栅线故障	断栅	
	局部断路	
焊接故障	虚焊	

	助焊剂 问题	
硅片故障	黑芯	
	黑斑、黑印	
工艺污染	履带印、 丝网印、 吸盘印 等	