ICS 27.160
CCS F 12

团 体 标 准

T/CPIA 0045—2022

晶体硅太阳电池电流-电压特性产线测量操作指南

Guidelines for production line measurements of crystalline silicon solar cells current—Voltage characteristics

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

2022-12-30 发布 2023-01-15 实施

中国光伏行业协会 发 布

目　　次

前言 III
1　范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 2
4　总则 2
5　产线用电池标片要求 2
5.1　通则 2
5.2　电池标片的制作 2
5.3　电池标片的使用 4
5.4　保存环境 5
6　产线测试要求和过程管理 5
6.1　测试要求 5
6.2　测试条件（STANDARD TEST CONDITION） 6
6.3　测试设备要求 6
6.4　校准 6
6.5　效率测量 6
6.6　测量结果 7
6.7　期间核查 7
7　测量不确定度和关键评估指标 7
7.1　总体要求 7
7.2　测量条件的不确定度 7
附录A（资料性）　产线用一级、二级电池标片量值溯源链示意图 10
附录B（资料性）　不同容性电池电流电压特性测量方法 11
B.1　不同容性电池电流电压特性测量方法 11
B.2　容性电池测试校准方法 12
B.3　校准程序 12
B.4　测试时间确定 12
B.5　过程控制 12

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

前　　言

本文件按照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》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国光伏行业协会标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：天合光能股份有限公司、中国电子技术标准化研究院、中国计量科学研究院、浙江晶科能源有限公司、国家光伏产业计量测试中心、德雷射科（廊坊）科技有限公司、陕西众森电能科技有限公司、苏州伟信苏州伟信智能科技有限公司、合创检测（江苏）有限公司、苏州阿特斯阳光电力科技有限公司、英利能源（中国）有限公司、泰州隆基乐叶光伏科技有限公司、江苏爱康能源研究院有限公司、国家太阳能光伏产品质量检验检测中心、中国科学院上海微系统所、中国科学院电工研究所、泰州中来光电科技有限公司、西安和光智能科技有限公司、晶澳太阳能科技有限公司、浙江正泰新能源开发有限公司。

本文件主要起草人：闫萍、陈达明、周伟、陈晓达、王萌、李宁、黎健生、林慧军、黄国华、王永昶、高传楼、郭素琴、李学建、任改改、刘松民、恽旻、刘正新、刘海涛、倪健雄、曾祥超、孙杰、周承军。

CPIA
中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

晶体硅太阳电池电流-电压特性产线测量操作指南

1 范围

本文件规定了晶体硅太阳电池（以下简称电池）电流电压特性（以下简称IV 曲线）产线测量的操作管理要求，对电池特性测量结果的不确定度评估提供了参考。

本文件适用于批量生产线或测试检验的单面电池（或双面电池单面受光）的电性能在线测量，双面电池（双面受光）可参考本文件进行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

T/CPIA 0012—2019 晶体硅标准光伏组件制作和使用指南

T/CPIA 0020—2020 晶体硅太阳电池电致发光测试方法

CNAS-CL06 测量结果的溯源性要求

JJF 1059.1—2012 测量不确定度评定与表示

IEC 60891 光伏器件 测定I-V特性的温度和辐照度校正方法用程序 （Photovoltaic devices—Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics）

IEC 60904-1：2020 光伏设备 第1部分 光伏器件的电流电压特性测量（Photovoltaic devices—Part 1: Measurement of photovoltaic current-voltage characteristics）

IEC 60904-2 光伏设备 第2部分 光伏基准器件的要求（Photovoltaic device—Part 2: Requirements for photovoltaic reference devices）

IEC 60904-3 光伏器件 第3部分 具有标准光谱辐照度数据的地面用太阳光伏(PV)器件的测量原理（Photovoltaic devices—Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data）

IEC 60904-4 光电器件 第4部分 光伏基准器件建立校准溯源性的程序（Photovoltaic devices—Part 4: Reference solar devices—Procedures for establishing calibration traceability）

IEC 60904-7 光电器件 第7部分 光电器件的测量用光谱错配修正的计算（Photovoltaic devices — Part7: Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices）

IEC 60904-8 光伏器件 第8部分 光伏器件光谱响应度的测量（Photovoltaic devices—Part 8: Measurement of spectral responsivity of a photovoltaic (PV) device）

IEC 60904-9 光电器件 第9部分 太阳模拟器特性的分类（Photovoltaic devices—Part 9:Classification of solar simulator characteristics）

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

IEC TR 60904-14：2020 光伏器件 第14部分：单结光伏组件最大输出功率的STC及产线条件下测试方法（Photovoltaic devices — Part 14: Guidelines for production line measurements of single-junction PV module maximum power output and reporting at standard test conditions）

IEC 62941 地面光伏(PV)组件 光伏组件制造质量体系（Terrestrial photovoltaic (PV) modules—Quality system for PV module manufacturing）

IEC 63202-1 光伏电池 第1部分：晶体硅光伏电池光致衰减的测量（Photovoltaic cells—Part 1: Measurement of light-induced degradation of crystalline silicon photovoltaic cells）

3 术语和定义

GB/T 20000.1、T/CPIA 0012—2019、T/CPIA 0020—2020界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

晶体硅光伏标准电池 crystalline silicon photovoltaic reference cell

参照附录A.1，按照IEC 60904-4规定的方法，以溯源到国际单位制的辐射计或标准探测器或标准光源为基准校准的标准光伏器件，以下简称“标准电池”。

3.2

工作标准电池 working reference cell

参照IEC TR 60904-14：2020 等级分类，特性符合IEC 60904-2要求和量值溯源符合IEC 60904-4要求， 用于校准产线电池电性能测量的模拟器（简称测量模拟器）的标准电池（简称电池标片）。详见附录B。

3.3

产线一级标准电池 1st working reference cell for production lines

经送外部第三方实验室测试，赋予关键参数返回后的电池样品（简称产线一级标片）。详见附录 B。

注1：外部第三方实验室资质要求如下：

a) 经 CNAS（中国合格评定国家认可委员会）或 ILAC（国际实验室认可合作组织）认可的有资质的第三方实验室；

b) 符合 T/CPIA 0012—2019 《晶体硅标准光伏组件制作和使用指南》中第 4 部分关于实验室要求。

注2：关键参数，即电池特性符合IEC 60904-2,外部第三方实验室按照IEC 60904-1,IEC 60904-10，IEC 60891 的要求，量值溯源符合IEC 60904-4 测试出的电池样片参数，至少含有Isc、Voc、Pmax、FF、Vpmax、Ipmax 、η。

3.4

产线二级标准电池 2nd working reference cell for production lines

规定精度的太阳模拟器经过一级标片校准后，标定出用于生产测试标准的工作参考级太阳电池。

4 总则

本文件对产线晶体硅太阳电池电流电压特性测量管理的整体要求进行规范，内容涵盖产线校准机台用标准电池的制作和使用、测量模拟器的校准、电池效率的测量、测量结果的不确定度评定等要求。

5 产线用电池标片要求

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

5.1 通则

电池标片用于校准产线模拟器、测量批量生产的电池效率，应特性稳定，制作过程有效管控。

5.2 电池标片的制作

5.2.1 电池标片

电池标片要求如下：

a) 电流电压特性参数在 STC 条件下标定，若偏离，按照 IEC 60891 修正；

b) 在电气稳定的条件下工作。

5.2.2 电池标片的制作流程图

产线用电池标片包括一级电池标片和二级电池标片。应符合5.1.1要求，同时其参数符合以下要求：

a) 符合 IEC 60904-4 的要求，具有完整的溯源链，详见附录 B；

b) 电池效率（%）=（标称值（%）±测量公差，不确定度（U=%，k=2））。

如：η=24.5 %±0.1 %（U=3.5 %，K=2)

注：不确定度U（%）为测量不确定度的最大扩展不确定度。（P=0.95, k=2）

5.2.3 电池标片的制作流程图

5.2.3.1 总体要求

一级电池标片制作流程见图1中①～⑩步骤，二级电池标片制作流程见图1中①～④、⑧~⑩步骤。电池标片与产线电池的物理特性应匹配，物理特性包括但不限于以下：

a) 电池工艺原理(制造工艺)；
b) 尺寸（单个电池片的整体面积）；
c) 光谱响应及电池栅线图形；
d) 测量时电池的电气互连。

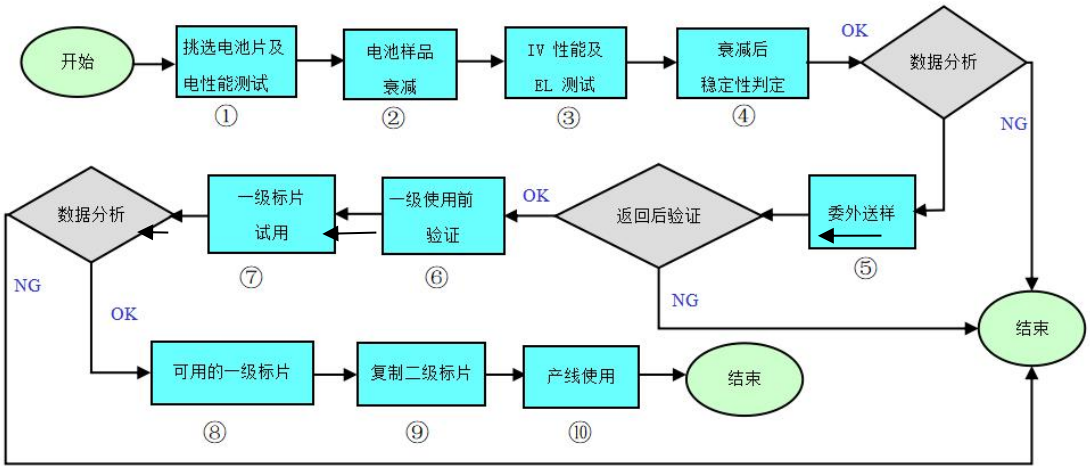

图 1　产线用电池标片制作流程图

5.2.3.2　具体要求

挑选待制一、二级标片时，为减少测试差异，具体要求如下：

a) 步骤①一级、二级标片样品挑选要求，挑选出合适的样品作为备用:
   1) 一级、二级标片应与产线量产产品工艺水平一致；
   2) 衰减后标片效率体现产线的主流档位；
   3) 保证所有产线有合适的用量；
   4) 样品可追溯。
b) 步骤②二级标片备用样品，经衰减后保证样片的稳定性：
   1) 参照 IEC 63202-1 要求进行衰减；
   2) 衰减中无污染、氧化和破损；
   3) 记录衰减前关键参数的测试数据。
c) 步骤③电性能及电致发光(EL)测试要求，保证样品内部无隐裂，性能稳定：
   1) 确认样品的参数和校准方式；
   2) 测试短路电流（Isc）,开路电压（Voc）,效率和填充系数（FF）主要参数等；
   3) 参照 T/CPIA 0020—2020 要求，对样品做电致发光（EL）测试。
d) 步骤④衰减后稳定性判定要求，保证样品性能稳定：
   1) 确定关键参数的前后差异符合 T/CPIA 0012—2019 的要求；
   2) 衰减后的效率落在主流档位范围内；
   3) 每主流档位挑选 3 pcs～5 pcs 做一级外送第三方，其余做二级备用。

注：主流档位：代表产线效率档位分布，与产线待测样品数据同工艺的一级电池标片。

e) 步骤⑤委外测试：委托到外部有资质的第三方实验室测试，并赋予关键参数。
f) 步骤⑥一级标片使用前验证（对切），挑选出产线要用的一级标片。

用现用一级标片校准机台，测试新的一级标片，多次测量取平均值，看新的一级标片测试值与第三方测试标称值的差异。

注1：选用的新一级标片：指同档位外部标定后所有的一级标片。

注2：对切：在同一机台上用现用的和待选用的一级标片分别校准机台，测试同工艺、同批次同档位的样品30 pcs～50 pcs，看样品平均效率的差异。

g) 步骤⑦一级标片试用，在基准线或者比较稳定的某条线上验证，挑选出差异较小的作为产线的一级标片。

在用的和已选出的新一级标片分别校准机台，在不同机台上测试同工艺、同批次同档位的样品30 pcs～50 pcs，看二者平均效率的差异。

注3：已选出的新一级标片：指同档位经对切验证后的一级标片。

h) 步骤⑧可用的一级标片：最终选定能代表产线效率档位分布，与产线待测样品同工艺的标片。

i) 步骤⑨复制二级标片，标定二级标片的方法有两种，可任选一种：

1) 稳态模拟器法：一级标片校准机台，复制出二级标片；

2) 脉冲模拟器法：一级标片校准机台，通过正反扫确认差异，选择测试时间，复制出二级标片。高容性的电池测试、复制方法参照附录A。

j) 步骤⑩产线使用的二级标片要求:

1) 一级、二级标片的批次应是同工艺、同批次，能代表产线测试效率分布的样品，经过①～④步骤的预处理。

注4：制作过程① ～ ④，是一、二级标片共有的步骤.

2) 用一级直接校准机台和二级标片分别校准机台，测试同一批样品，二者绝对效率差异符合预期（如绝对效率波动0.1 %）。

3) 二级电池标片要求

a) 通过一级电池片的来源作比对，与上一级标片保持一致；

b) 效率（%）=测试标称值（%）+测试公差（%）；

c) 使用过程中有明显的破损或效率变化应停止使用；

d) 使用次数保证参数变化不明显；

e) 使用周期不大于1个月。

注5：一级与二级是同批次的工艺，如有差异，要确认与一级的失配系数，对最后测试出的效率进行修正。

5.3 电池标片的使用

5.3.1 产线模拟器校准方法

通常有静态校准和动态两种类型。校准主要方法和流程见图2：

a) 方法1：以“短路电流（Isc）”为基准，若“最大效率（η），开路电压（Voc）”与标称值有差异，应进行修正；并在标称值允差范围内；保证测试温度符合STC 测试要求。

b) 方法2：以“最大效率η”为基准，检查“填充因子（FF）”，若与标称值有差异，应进行修正，调整到标称值允差范围内；即:用Isc和Voc分别校准机台，找到最大功率点得到Pmax，算出 FF=Pmax/（Isc*Voc）*100 %。

c) 方法3：以短路电流（Isc）和最大效率（η）为基准，检查“开路电压（Voc）”，若与标称值有差异，应进行修正，调整到标称值允差范围内。

注1：静态校准：用单片标片进行机台校准。

注2：动态校准法：用6片～10片电池标片进行动态测量，采用平均值的方式对设备进行校准。

有效的二级标片应满足以下要求：

a) 与一级电池标片绝对效率差异符合预期（如绝对效率波动0.1％）；

b) 符合IEC 60904-4量值溯源要求；

注：用每一档位的2 片～3 片级电池标片，分别校准产线的模拟器，在同一机台上测试同工艺、同批次同档位的样品30 片～50 片，看本档位平均效率的差异。 若差异小于0.1％（绝对效率，如22.3％，22.4％，22.5％，22.4 %，取22.4 %作为真值），则符合要求。

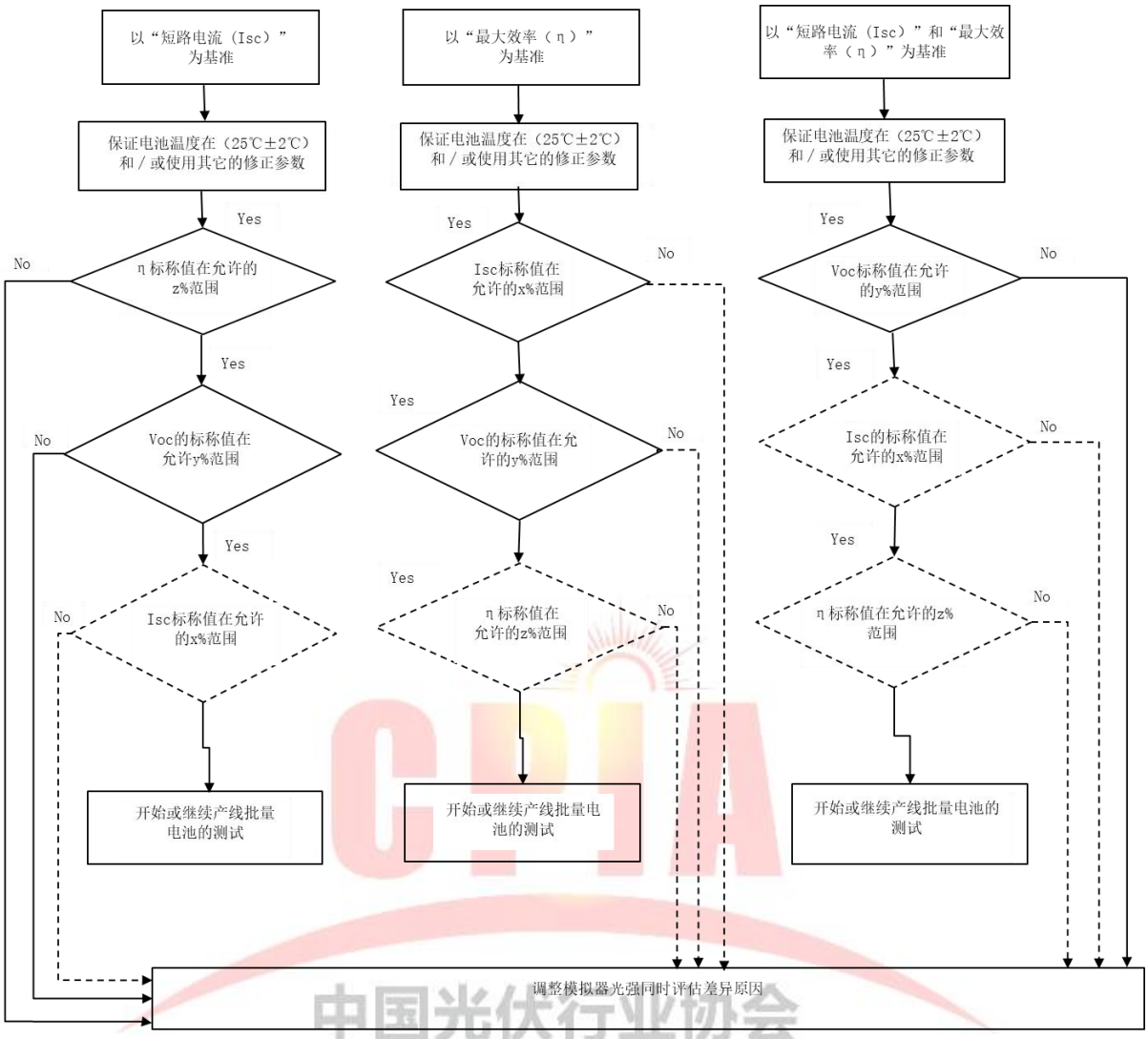

图 2　产线电池测试校准流程

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

5.4　保存环境

标定后的产线用标准电池应放在惰性气体储藏柜（如氮气柜）中，保存环境相对湿度不大于60%，室温、遮光保存，远离腐蚀性物品。

6　产线测试要求和过程管理

6.1　测试要求

产线电池效率测量宜参照IEC 60904-1 和IEC TR 60904-14：2020的要求，选择合适的测试扫描速率（sweep rate）、扫描方向（sweep direction）和延时（time delay），得到的I-V 曲线示意图见图3。

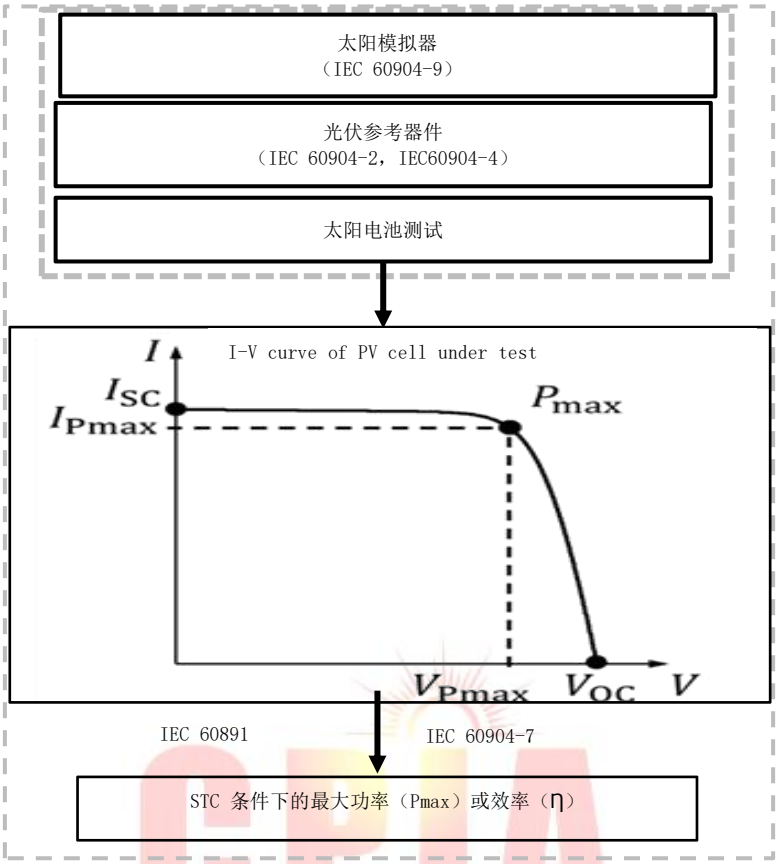

图 3　最大功率（效率）校准产线机台测试电池 IV 曲线示意图

6.2　测试条件（Standard test condition）

辐照度符合1000 W/m^2，温度25 ℃±2 ℃，样品温度均匀。

6.3　测试设备要求

6.3.1　太阳模拟器

标定用模拟器应符合IEC 60904-9 A+A+A+级要求，光谱范围符合300 nm～1200 nm；产线用模拟器应符合IEC 60904-9 BBB级以上要求，光谱范围400 nm～1100 nm或更优。

6.3.2　电流-电压测试设备

参照IEC 60904-1对测量设备的要求，电池产线应具备符合精度等级的电流、电压表及连接端口的数据采集和处理系统。

6.4　校准

6.4.1　电池产线的测量系统应符合 IEC 62941 要求。产线进行电池测试的校准流程，参照 IEC TR 60904-14：2020，具体的测量步骤详见图 2。

6.4.2　产线批量测试前应用一级标片校准机台，按照 IEC 60904-1 的要求进行电流电压的电性能测试。

6.4.3　用匹配的二级电池标片定期校准机台。

6.4.4　量产的电池样品应与实验室模拟器或一级电池标片参考值核查进行对标测试效率。

6.5　效率测量

6.5.1　每隔 4 小时～6 小时用二级电池标片进行机台校准。

6.5.2　按照 IEC 60904-1，IEC TR 60904-14：2020 的测量要求，测出电池的电流电压特性，并进行效率的归档。

6.5.3　明确每档位电池的效率=测试标称值（%）+测量不确定度（%）。

6.6 测量结果

按照本规范完成测试程序后，测试机构应按照ISO/IEC 17025程序准备I-V测试的测试报告，测试报告应包含IEC 60904-1 第9部分所要求的信息，通常需要以下部分或全部参数：

a) 电池片整片的面积（A）；
b) 短路电流（Isc）；
c) 开路电压（Voc）；
d) 最大功率（P_{max}）；
e) 填充系数（FF）；
f) 功率转换效率（η）

推荐以下参数：

a) 最大功率电压（V_{Pmax}）；
b) 最大功率下的电流（I_{Pmax}）；
c) 电池效率η(%)=标称值(%)+测试公差(%)；

此外，还应包括以下信息：

a) 指出测量的暴光时间或 I-V 扫描测量时间，参见 4.2.2 的描述；
b) 使用生产线标准的可追溯性实验室；
c) 使用电池目标的测量不确定度；
d) 扩展的不确定性评估结果与最终电池效率。

由电容器引入的测量误差评估仅适用于测量的相同电池。上面报告的关键参数的任何变化都需要新的测量或计算误差。对于测试时电容较低的电池，可以给出参数范围作为评估的上限。

6.7 期间核查

6.7.1 一级电池标片应符合 IEC 60904-2 要求。应由第三方实验室定期校准，在两次外部校准之间，应做以下检查：

a) 同类型一级标片交叉检查；
b) 记录使用时间，开路电压(Voc)趋势；
c) 基于图像的监视，如:电致发光 (EL)或光致发光 (PL)；
d) 监视标准电池的电阻，度量标准包括：
   1) 标准电池的串联电阻，通过电流电压（IV）曲线分析报告；
   2) 标准电池的四线制测量电阻特性。

6.7.2 在同样的测试条件下，标称测试平均效率波动小于期望值（如 0.1 %）。

6.7.3 与探针接触测试的一级电池标片，使用次数保证参数变化不明显且不超过第三方报告中建议的使用期限。

6.7.4 参照 IEC60904-2 要求，效率与上一次变化 1 %或变化超多初始值的 5 %，标准电池要停用。

注：如电池标片的标称效率为25%，如测试波动超过标称值0.125%（即25*5 %=0.125 %）要停用。

7 测量不确定度和关键评估指标

7.1 总体要求

不确定度的实际评估参照 JJF 1059.1—2012进行测量，应对影响结果的主要因子进行不确定性评估，给出明确的评定结果和公差。

7.2 测量条件的不确定度

对影响电池功率（效率）测试的关键因子做梳理，常用评估关键评估指标不确定性的主要因子，但不限于以下几项来源，对影响进行测量的关键因子进行不确定度评估。详见表1。

表 1　常用评估不确定性的主要因子来源

序号	主要不确定性来源包括类别类型分布	不确定度类型	分布类型
1	一级标片引入的不确定性 u1	B	G
2	辐照度不均匀和不稳定度引入的不确定性 u2	A	G
3	温度不均匀引入的不确定度 u3	B	R
4	温度测量引入的不确定度 u4	A	R
5	电池面积 u5	A	R
6	几何位置及角度引入的不确定性 u6	B	R
7	接触电阻引入的不确定性 u7	B	R
8	电学测量准确性带来的不确定性 u8	B	R
9	测量重复性 u9	B	R
10	电容效应引入了不确定性 u10	B	R

7.2.1　一级电池标片引入的不确定性 u1

一级、二级电池标片的匹配，应使用相同的材料清单和制造程序来制作，参照IEC 60904-2，IEC 60904-7，IEC 60904-8，进行差异失配测量评估。参照IEC 60904-4的要求进行量值溯源测量评估。评估因素如下：

a)　电池工艺原理；
b)　尺寸（单个电池片的整体面积）；
c)　光谱响应度；
d)　测量时电池的电气互连。

7.2.2　辐照度不均匀和不稳定度引入的不确定性 u2

参照IEC 60904-9的要求对温度进行测量。

7.2.3　温度不均匀引入的不确定度 u3

温度的偏差很大程度上取决于环境工厂温度条件或工艺的处理步骤。与电池的稳态操作的偏差很大程度上取决于与太阳模拟器结合使用的测量方法。参照IEC 60891的要求对温度进行测量。

7.2.4　温度测量引入的不确定度 u4

测量样的探测器类型和精度，测量的位置和计算方式都有贡献，参照IEC 60891 的要求对温度进行测量。

7.2.5　电池片面积引入的不确定性 u5

参照IEC 60904-1的附录A中测试面积的要求，多次测量面积的波动，考虑重复性差异的影响。

7.2.6　几何位置及角度引入的不确定性 u6

实际辐照度的分布、平均辐照度的位置、角度与待测电池样品的几何位置不一定重合，应考虑测试面的均匀性和光源类型。

7.2.7　接触电阻引入的不确定性 u7

在测试时，需要和电池连成导通的回路，接触电阻不可回避，尽可能采用四线制测量。

7.2.8　电学测量准确性带来的不确定性 u8

测试过程IV 取点和最大功率点附近的取点，应参照IEC 60904-1和IEC 60904-10的要求进行量值溯源测量评估。

7.2.9　测量重复性 u9

不同的电池测量系统，应考虑重复性差异的影响。

7.2.10 电池的电容效应引入了不确定性 u10

由于电池自身的工艺带来的测试容性，即电池的正反扫，引起的测试效率差异会带来测量不确定性u10，参照IEC 60904-1-1的要求进行量值溯源测量评估。

7.2.11 综合标准不确定度计算

考虑到上述不确定因素对测量结果有影响，综合标准不确定评定按公式（1）计算。

$$"\mathrm{u}_{c_1 rel} = \sqrt{u_{1\,rel}^2 + u_{2\,rel}^2 + u_{3\,rel}^2 + \ldots + u_{8\,rel}^2 + u_{9\,rel}^2 + u_{10\,rel}^2}\,"\ (\mathrm{k}=2) \quad \cdots\cdots (1)$$

中国光伏行业协会
China Photovoltaic Industry Association

附 录 A
（资料性）
产线用一级、二级电池标片量值溯源链示意图

参照IEC TR 60904-14：2020 产线用一级、二级电池标片量值溯源，见图A.1。

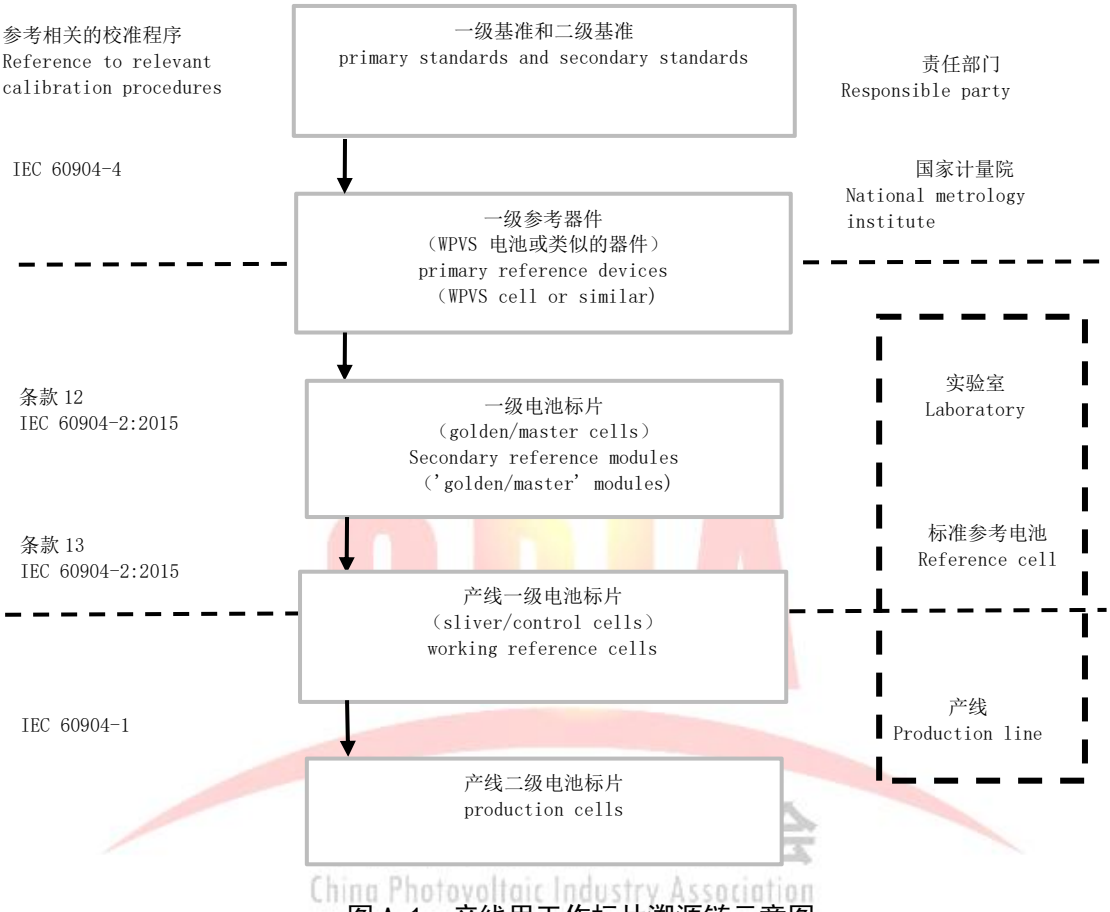

图 A.1 产线用工作标片溯源链示意图

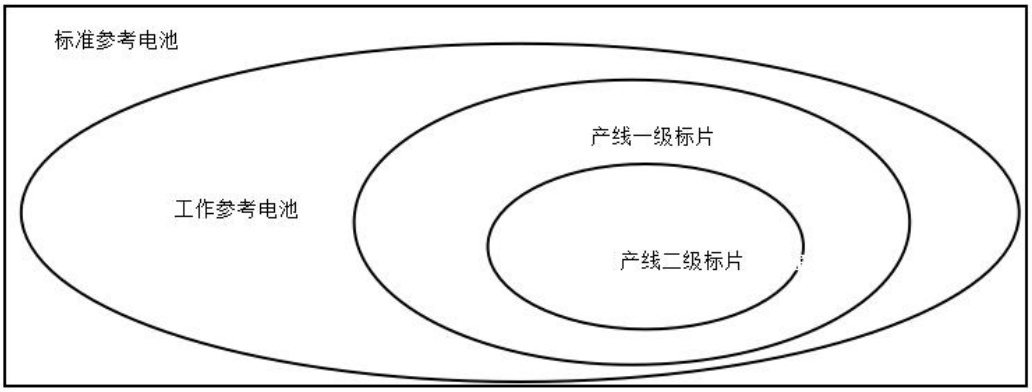

图 A.2 产线用工作标片定义示意图

附 录 B
（资料性）
不同容性电池电流电压特性测量方法

B.1 不同容性电池电流电压特性测量方法

对于容性电池的效率测量，参照IEC 60904-1：2020 附录B部分，对电池效率测量要选择合适的扫描速率、扫描方向和延时。测量产线电池效率的脉冲模拟器参数设置，因电池的工艺不同，宜选择合适的曝光时间以保证测试的准确性。当电子负载利用率恒定时，可以减小长脉冲宽度所需的脉冲宽度。当扫描时间足够时，测试可以满足要求。容性效应明显的电池，测试用到的脉冲时间有差异，通过正反扫，效率偏差大于0.5%时，应增加合适的测试时间。常见电池类型推荐的脉冲响应时间详见表B.1。

表 B.1 常见电池类型推荐的脉冲响应时间

技术类型	效应持续时间 ms	脉冲（等效）宽度 ms
一般	10～30	10～20
PERC	40～70	40～80
TOPCon	80～200	150～250
HIT/HJT/IBC	200～600	200～600

选择合适的参数设置，设备，设置和程序的间隔检查用一级电池标片进行第一次测试。具有电容效应的电池测量时，参照本节注3要求，电池测试绝对效率（η）差异小于0.5 %，认为电容效应可接受。在测试过程中，正向测量和反向测量结果有显着差异，见图A.1。闪光时间和负载采集时间增加后，最大功率（Pmax）测量更加接近于真实值，见图A.2。

注1：测试绝对效率差异大于0.5 %，即：｜ηmax-ηmin|> 0.5 %，真值η=Average（ηmax, ηmin）

注2：IEC 60904-1 扫面方向的定义，I-V 测量过程中施加电压的变化方向，电池的I-V曲线从短路电流(Isc)到开路电压(Voc)，称为正向测量，从开路电压(Voc)到短路电流(Isc),称为反向测量。

注3：参照IEC 60904-1中附录B部分的图B.2和B.3 所示。

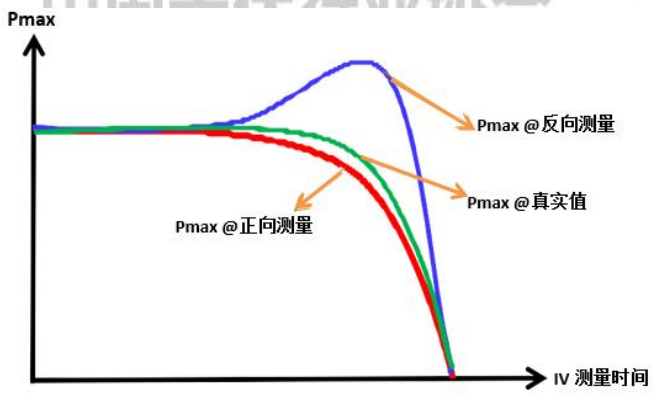

图 B.1 容性电池正反向测量结果示意图

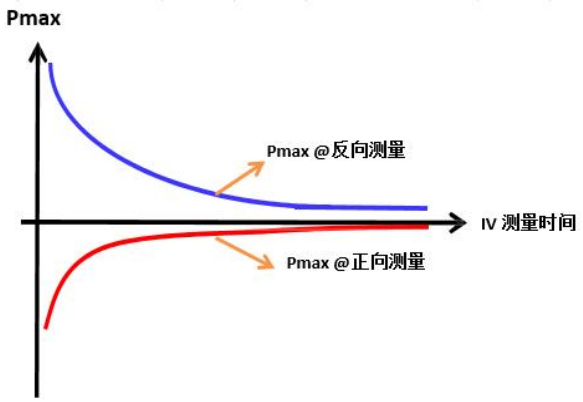

图 B.2　Pmax(η)测量更加接近于真实值结果示意图

B.2　容性电池测试校准方法

具有电容效应的电池进行电流电压特性测量时，校准结果的影响主要在填充系数（FF）和开路电压（Voc）中呈现。如：HIT（HJT），PERC+SE，n型TOPCon/IBC三种类型的电池，设备制造商针对不同的容量电池具有不同的测量方法和校准软件。校准方法如下：

a)　方法 1：使用电池标片的“短路电流（Isc）”为基准，校准模拟器的光强度，修改其它参数的校准因子以匹配“效率（η）”；

b)　方法 2：固定电池标片的“填充因子（FF）”为基准，并增加“短路电流（Isc）”以匹配电池标片的“效率（η）”。

B.3　校准程序

电池产线的测量系统应符合IEC 62941要求。产线进行电池测试的校准流程，参照IEC TR 60904-14：2020，如图B.2所示。

B.4　测试时间确定

参照IEC60904-1 附录B,先评估电池滞后效应的影响,先进行正向测量(Isc 到Voc)和反向测量(Isc 到Voc），初步发现容性的大小。当使用分段测量或使用长脉冲宽度测量时，负载宜选择合适的脉宽。当电子负载利用率恒定时，选择合适的脉冲宽度。根据不同的电池工艺，参照图B.1，B.2,确认合适的扫描时间，参照表B.1，当有足够的扫描时间时，测试可满足要求。

B.5　过程控制

用一级电池标片先校准产线模拟器，再测量在线生产的电池效率，并在生产两小时后再次测量参考电池以确认测量系统的可重复性和再现性。

参照IEC40904-1 附录B，相邻测量差异<0.5 %，则认为电池的容性效应测量结果可以接受，根据制作厂家的管控基准进行。如：

a)　在最大功率或效率(η)偏差范围内，如：相对效率波动在±0.3 %（一级标片25 %的绝对效率，波动在25 %*0.3 %=0.075 %内），继续生产；

b)　在最大功率或效率(η)偏差±（0.3 %～0.5 %）范围内，（如：一级标片25 %的绝对效率，波动在0.075 %～0.125 %内），重新校准参考电池的标称值；

c)　偏差超过约定的最大波动，如：0.5%，（如：一级标片25 %的绝对效率，波动在0.125 %内），找出偏差原因，重新校准二级标准电池值并对自上次检查后测试的电池取适当的纠正措施。