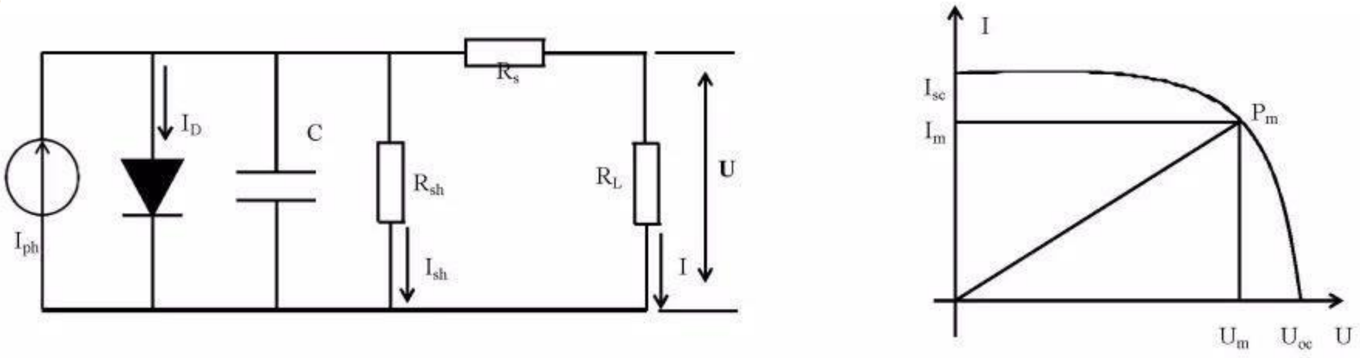
天祥太阳能源科技有限公司

DYESUN SOLAR TECHNOLOGY CO., LTD

www.dyesuntech.com

户外I-V测试仪（第一篇，单通道IV测试仪）

一、简介



太阳能电池的等效电路图以及伏安特性曲线

负载电压

$$U = IR_L$$

负载电流

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} = I_{ph} - I_0\left(exp\frac{q(U+IR_s)}{nKT} - 1\right) - \frac{I(R_s+R_L)}{R_{sh}}$$

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} = I_{ph} - I_0\left(exp\frac{q(U+IR_s)}{nKT} - 1\right) - \frac{U+IR_s}{R_{sh}}$$

基本参数

I_{ph}	光生电流	T	太阳电池PN结的绝对温度
I_0	反向饱和电流(暗电流)	q	单位电荷量
n	理想因子	K	普朗克常量
R_s/R_{sh}	电池的串连/并联电阻	I	太阳电池的输出电流
U	太阳电池的输出电压		

伏安特性特性（ I-V ）特性曲线基本参数介绍

1.1 光伏电池I-V特性

太阳电池在一个确定的电池工作温度、确定的入射光光谱和辐照度下，当其负载变化时的输出电流和输出电压之间的相互关系。

短路电流： Isc
开路电压： Voc
峰值功率： Pmax [Imp × Vmp]
最佳电流： Imp
最佳电压： Vmp
填充因子： FF [Pmax/(Isc ×Voc)]

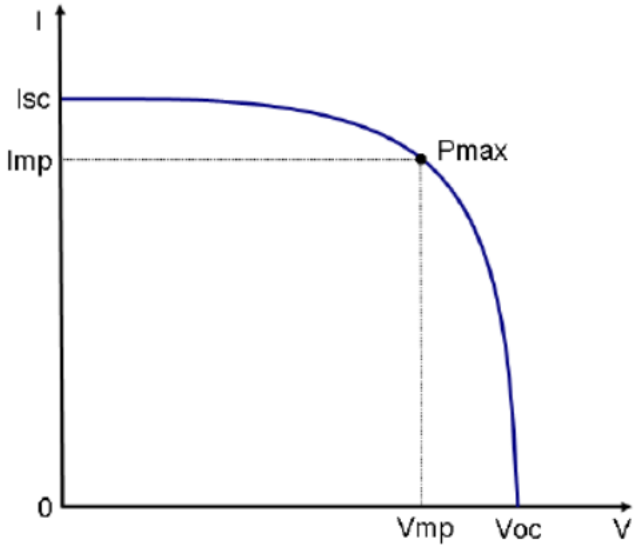


图1 光伏电池I-V特性

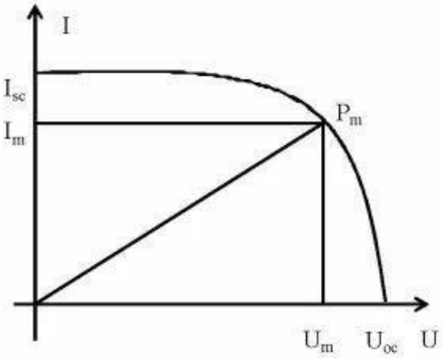
选择参考电池（硅基）型or热电堆型辐照度计？

400—6892—163
免费客服电话

二、基本参数-Isc

- 短路电流Isc:

  - 定义：太阳能电池置于标准光源的照射下，穿过电池的电压为零时流过电池的电流（即电池被短路时的电流）
  - 影响因素：1、太阳能电池的面积(有效面积)；2、光子的数量(即入射光的强度)；3、电池的光学特性(吸收与反射)；4、电池的收集概率(电池的表面钝化、基区的少数载流子的寿命、电池片的厚度）；5、……
  - 由图可知：电池片的伏安曲线与I轴的交点即为Isc，此时U=0



$$I_{sc} = \int_0^\infty J_{sc}(\lambda)\,d\lambda \approx \int_{0.3\mu m}^{\lambda_0} J_{sc}(\lambda)\,d\lambda = \int_{0.3\mu m}^{\lambda_0} [1 - R(\lambda)]qF(\lambda)\eta(\lambda)\,d\lambda$$

λ_0 本征吸收极限

$R(\lambda)$ 表面反射率

$F(\lambda)$ 太阳光谱中的光子数

$\eta(\lambda)$ 光子吸收效率

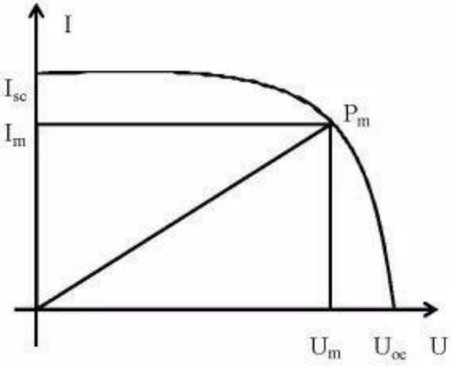
依赖于太阳天顶角，以AM表征

天祥科技-测试专家 Website: www.dyesuntech.com Email: dyesuntech@163.com

二、基本参数-Uoc

开路电压Uoc：

- 定义：标准光源照射下，电池两端开路时的电压，此时输出电流为0
- 影响因素：1、复合；2、温度；3、硅片厚度；4、禁带宽度；5、……



对于理想的太阳能电池

$$I = I_{ph} - I_D = I_{ph} - I_0\left(exp\frac{qU}{nKT} - 1\right)$$

电池两端开路时

$$U_{oc} = \frac{nkT}{q}\ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right)$$

假设Isc与入射光成正比

很强的阳光	$I_{sc} \gg I_0$	$U_{oc} = \frac{nkT}{q}\ln\frac{I_{sc}}{I_0}$
很弱的阳光	$I_{sc} \ll I_0$	$U_{oc} = \frac{nkT}{q}\frac{I_{ph}}{I_0}$

- 由此可见：
  - 较强阳光下：Uoc与入射光强度的对数成正比
  - 较弱阳光下：Uoc随光强度作近似直线的变化

二、基本参数-FF

填充因子FF:

- 定义：电池的最大输出功率与Uoc 和Isc乘积的比值。FF是Uoc 和Isc共同决定的参数，决定了太阳能电池的输出功率。同样，也可以说FF就是能够占据IV曲线区域最大的面积。

- 影响因素：1、串联电阻R_s；2、并联电阻R_{sh}；3、J_{01}以及J_{02}；4、……

(1) 理想填充因子(不考虑Rs/Rsh/复合)

$$FF_0 = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0.72)}{V_{oc} + 1} \quad \cdots\cdots(1)$$

(2) 太阳能电池的特征电阻，定义：

$$R_{CH} = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \quad \cdots\cdots(2)$$

(3) 与R_{CH}相比，若Rs很小或者Rsh很大，则Rs/Rsh对FF的影响很小。可定义：

$$r_s = \frac{R_s}{R_{CH}} \qquad r_{sh} = \frac{R_{sh}}{R_{CH}} \quad \cdots\cdots(3)$$

(4) 仅仅考虑Rs的影响，则填充因子：

$$\mathrm{FF} = FF_0(1 - r_s) \quad \cdots\cdots(4)$$

(5) 仅仅考虑Rsh的影响，则填充因子：

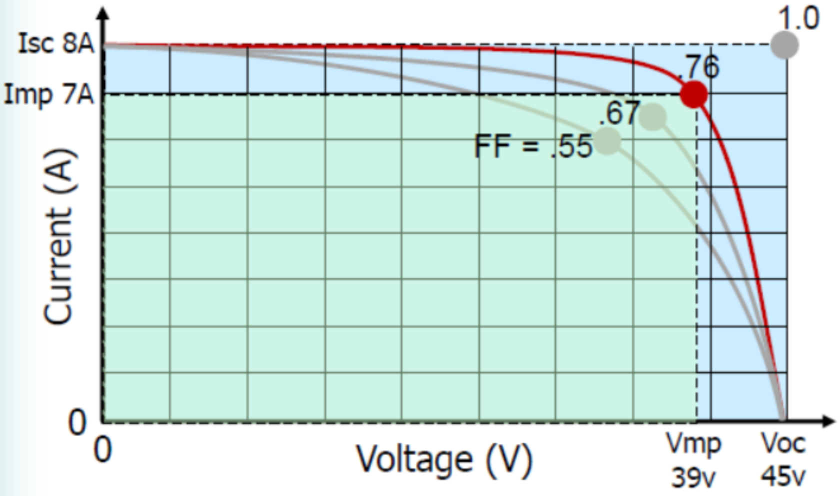
$$\mathrm{FF} = FF_0\left(1 - \frac{V_{oc} + 0.7}{V_{OC} + 1} \cdot \frac{FF_0}{r_{sh}}\right) \quad \cdots\cdots(5)$$

(6) 考虑Rs/Rsh的影响，则填充因子：

$$\mathrm{FF} = FF_0\left(1 - \frac{V_{oc} + 0.7}{V_{OC} + 1} \cdot \frac{FF_0}{r_{sh}}\right) \cdot (1 - r_s) \quad \cdots\cdots(6)$$

选择参考电池（硅基）型or热电堆型辐照度计？

400—6892—163
免费客服电话



$$\text{Fill Factor} = \frac{\text{Imp x Vmp (watts)}}{\text{Isc x Voc (watts)}}$$

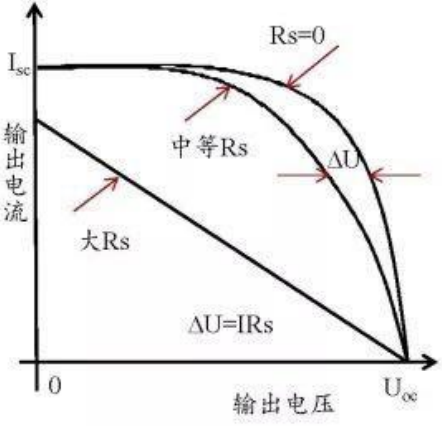
For the red curve: $FF = \frac{7A \times 39V}{8A \times 45V} = 0.76$

填充因子是I-V曲线平方的度量。平方曲线(更圆)意味着更高的输出功率(和更高的光电转化效率)。

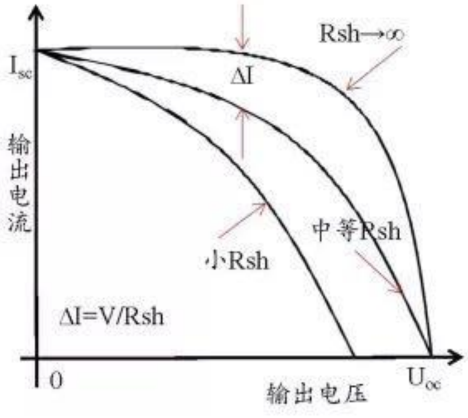
在高辐照度下，填充因子的值不受辐照度的强度影响，因此它是比较I-V曲线形状的一个很好的度量标准。

晶硅电池的FF区间：0.70 – 0.85，薄膜电池的FF区间：0.5 – 0.7

二、基本参数-R_{sh} & R_s

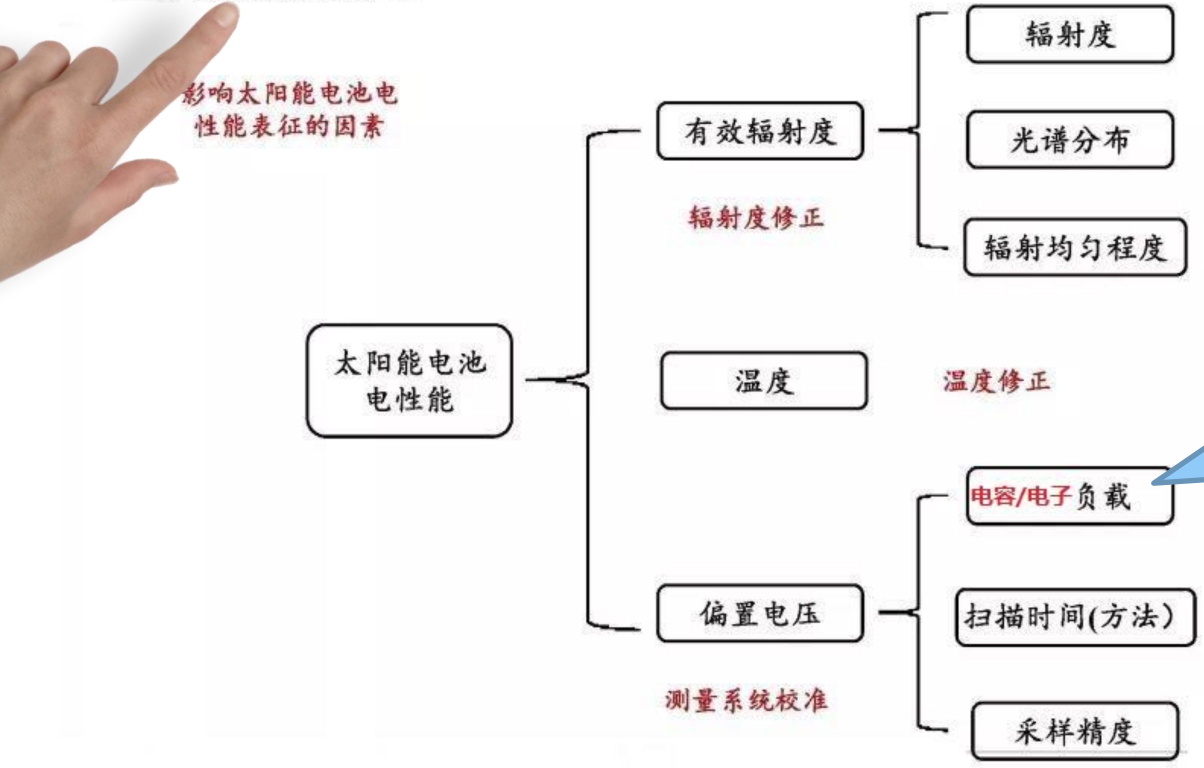


串联电阻Rs的影响(来源：体电阻、薄层电阻、接触电阻、金属本身的电阻等)



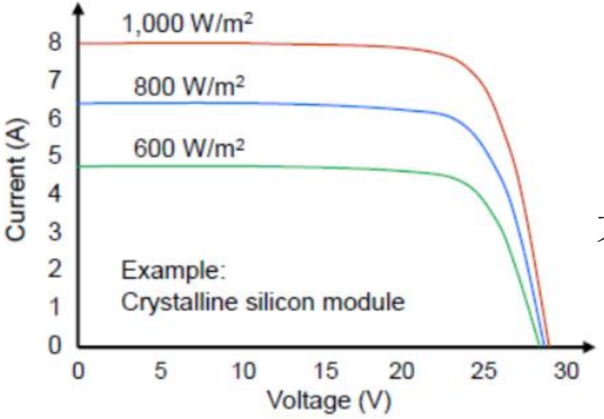
并联电阻Rsh的影响(来源：PN结漏电，包括绕过边缘的漏电以及由于结区存在晶体缺陷和外来杂质的沉淀物所引起的内部漏电)

三、测试方法-IV

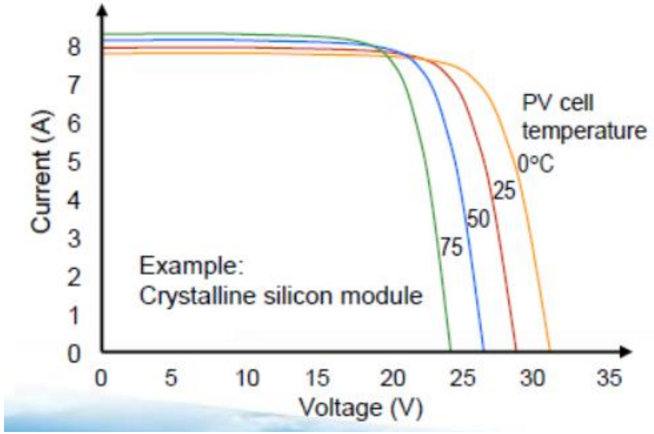


根据国标GB/_116495要求：功率范围适当的可变负载：在低功率’隋况下(小于2kW)，可以选用可变电阻或电子负载：高功率情况下，选用电容性负载

I-V曲线随电池结温及光照强度的影响



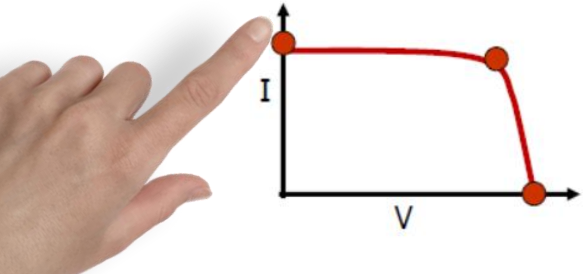
在相同的温度条件下，
光伏电池的发电量随光照强度的变化



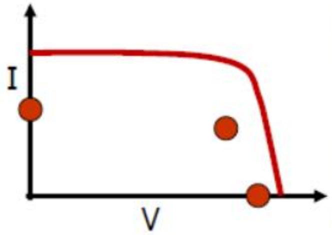
在相同的光照条件下，
光伏电池的发电量随电池结温的变化

选择参考电池（硅基）型or热电堆型辐照度计？

400–6892–163
免费客服电话



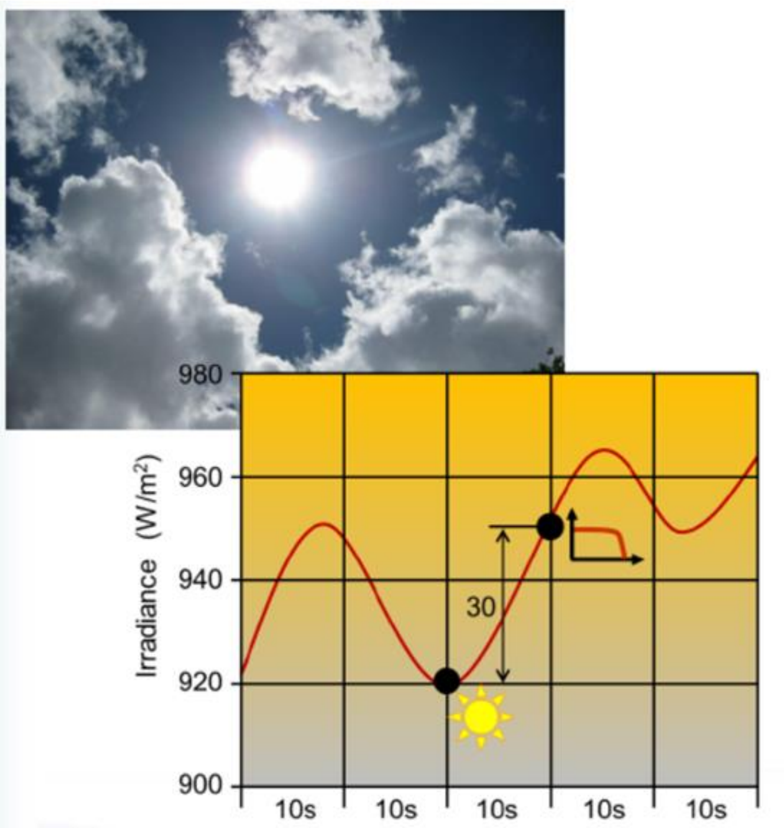
苹果只能跟苹果比，苹果不能和橘子比！



参考电池型辐照度计与被测组件之间的光谱响应差异性对测量准确性会有重大影响，参考电池应具有稳定的光伏特性，且其短路电流与辐照度和温度都具有良好的线性关系；其开路电压与辐照度的对数值和温度关系都具有线性关系。详细参考标准：IEC60904-10

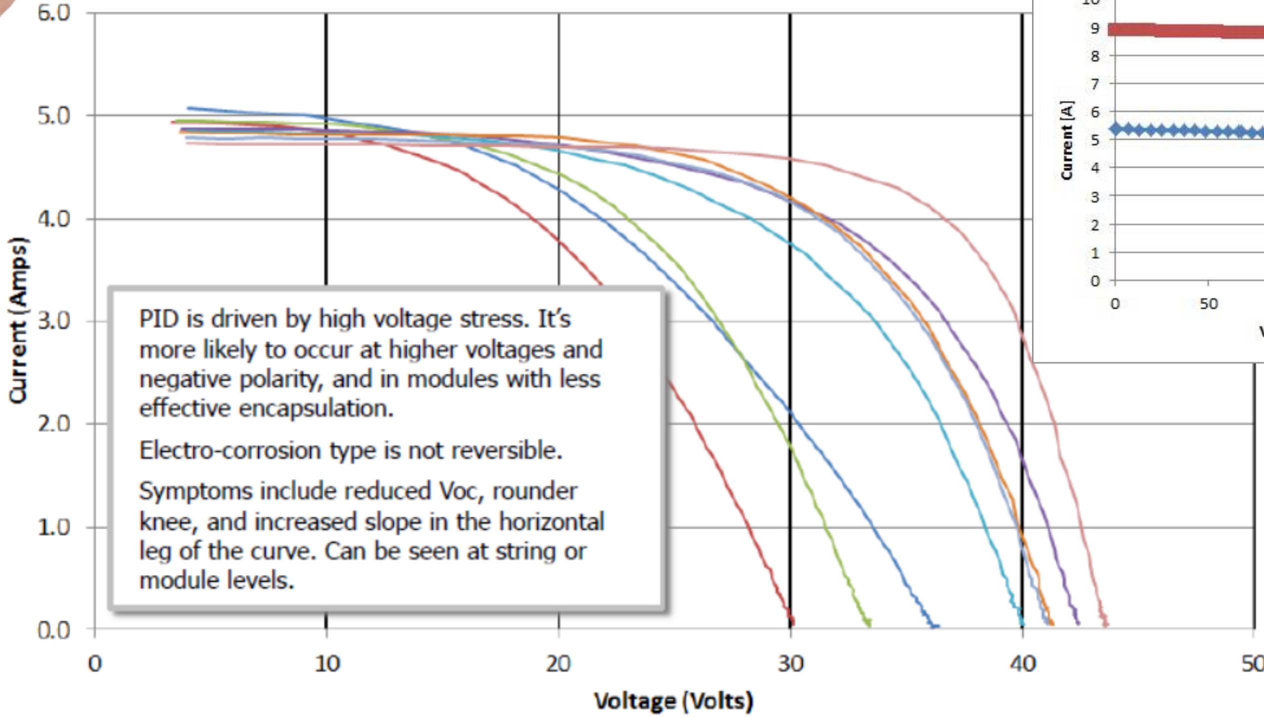
热电堆型（thermopole）全辐照度计的光谱响应曲线（光谱响应范围为：285-2800nm），其测试范围内的总能量占到整个短波能量（280-4000nm）的98.9%，而且在这个测试区域内，其光谱响应系数为恒值，所以能准确测量各种天空条件下可获得的太阳总能量。

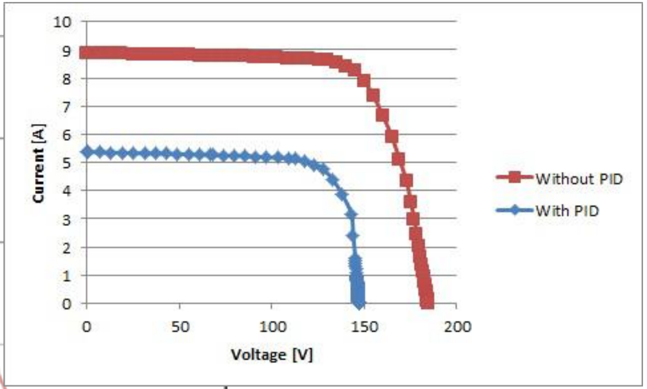
户外光照环境（多云、阴天）对I-V曲线的影响



通过户外I-V测试仪诊断PID问题（案例一）

Example: Potential Induced Degradation (PID)





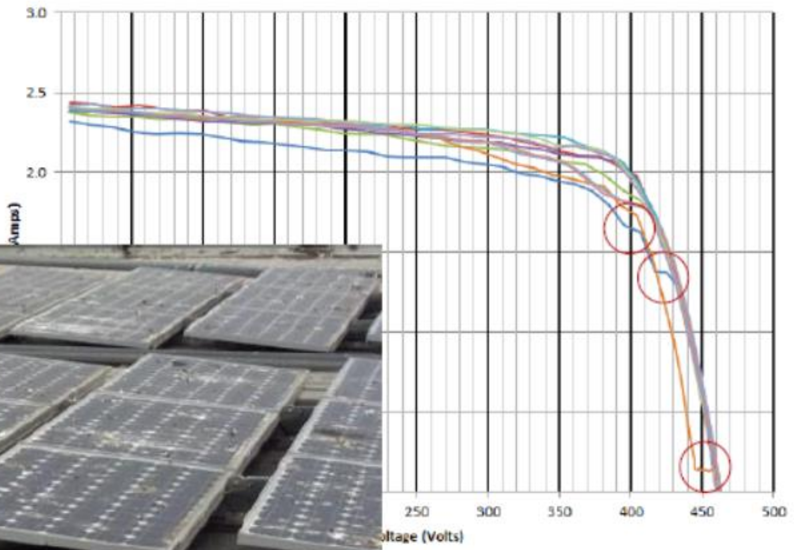
借助IV曲线
测试仪确认
电池PID现象

通过户外I-V测试仪诊断光伏组件表面污渍的影响（案例二）

400—6892—163
免费客服电话

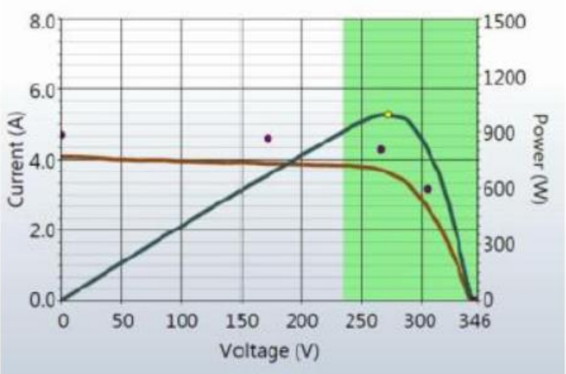
Example: seagull soiling

- Seagulls have bombed this array.
- The more completely the most obstructed cell is blocked, the lower the height (current) of the step.



通过户外I-V测试仪诊断灰尘对光伏发电量的影响（案例三）

Examples: Uniform soiling and strip soiling

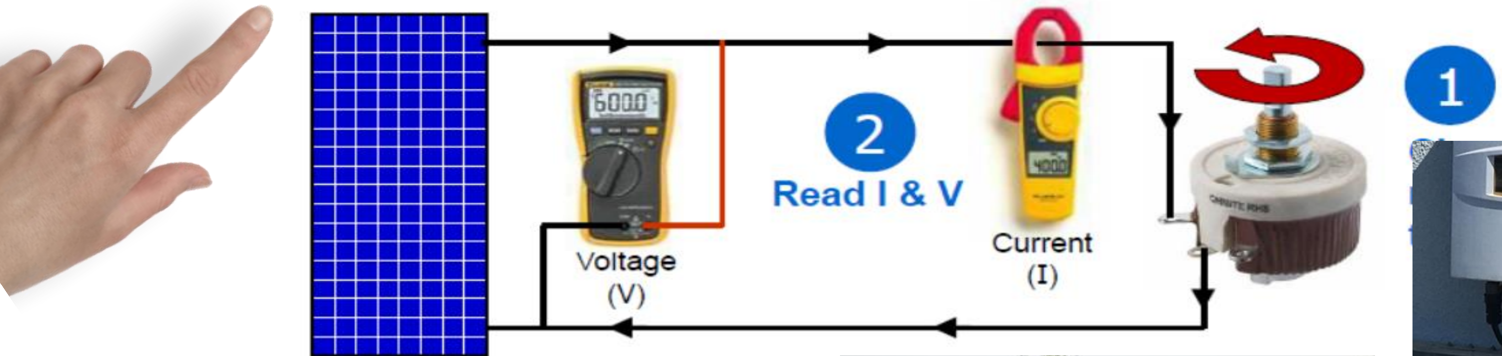


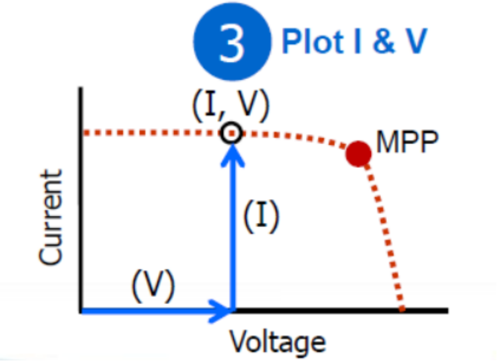
Uniform soiling and dirt dams can both reduce Isc without causing steps in the I-V curve. This string had both.

The I-V graph shows the performance before cleaning, which was done in 2 steps.

Clearing the uniform soiling recovered half the loss. Clearing the dirt dam recovered the other half.

户外I-V曲线测试仪工作原理及实测案例





最新标准对户外I-V测试仪的技术要求

400-6892-163
免费客服电话

IEC61829-2015 光伏方阵-现场I-V曲线测试

Photovoltaic (PV) array – On-site measurement of current-voltage characteristics

1、辐照度测试用总辐射仪或光谱匹配的标准电池需要事先校准；

2、**辐照度测试条件**：测试前清洗组件表面；晴朗无云，太阳辐照度 **≥700W/m2**；太阳入射角在45度之内；总辐射仪与方阵共平面，偏差小于2度；**总辐射仪**的温度系数小于0.02%/° C；如果采用**标准电池**，则需要测试标准电池温度，并进行温度修正，否则需要I-V测试仪具有对标准电池温度自动修正的功能；还要进行光谱和不均匀度修正和测量；

3、**结温测试条件**：温度达到平衡（辐照度稳定）；传感器精度±1° C，重复精度±0.5° C；位置在组件中间，距离接线盒至少10cm，正对一片电池；需要用红外摄像仪从正面确认传感器没有影响到组件温度。一般来说，**在辐照度1000W/m²时，直接测试的背板温度与结温的差值为2度，并根据实际辐照度进行线性修正；（老版2种方法：背板测温和开路电压法）**

4、**I-V曲线测试**：I-V测试仪的电流和电压测试精度应为开路电压或短路电流的±1%；测试前需要时北侧组件达到温度平衡，I-V曲线测试期间辐照度变化不得超过2%，温度变化不得超过1° C；2端子测试短路电流时，由于导线电阻，无法测试到零电压时的短路电流值，**???**以采用外推法，但距离零电压的偏差应当小于开路电压的3%。最好采用4端子测试仪；**目前市场上能实测零电压时的短路电流值的户外IV测试仪只有美国daystar公司的产品，详细咨询邮箱：dyesuntech@163.com**

5、**电流/电压和最大功率的修正**：测试得到的I-V特性应当进行辐照渡和温度修正，修正到STC条件，修正方法按照IEC60891-2009进行。

为什么户外I-V测试仪标准进行了修订？

IEC60891-2009 的主要问题

1、方法一需要用到电压和电流的绝对温度系数；

2、方法二中电流修正公式不对！温度系数是标准条件下短路电流的温度系数。

$$I_2 = I_1 \cdot (1 + \alpha_{rel} \cdot (T_2 - T_1)) \cdot \frac{G_2}{G_1} \quad (4)$$

$$V_2 = V_1 + V_{OC1} \cdot \left(\beta_{rel} \cdot (T_2 - T_1) + a \cdot \ln\left(\frac{G_2}{G_1}\right)\right) - R'_S \cdot (I_2 - I_1) - \kappa' \cdot I_2 \cdot (T_2 - T_1) \quad (5)$$

α_{rel} and β_{rel} are the relative current and voltage temperature coefficients of the test specimen measured at 1 000 W/m2. They are related to short circuit current and open circuit voltage at STC.

电流公式展开：

$$I_2 = I_1 \times G_2/G_1 + I_1 \times G_2/G_1 \times \alpha_{rel}(T_2 - T_1)$$

正确的**电流公式**应该是：

$$I_2 = I_1 \times G_2/G_1 + I_{SC} \times G_2/G_1 \ (I_{SC\text{-}STC}) \ \times \alpha_{rel}(T_2 - T_1)$$

电压公式： V_{OC1}（实测开路电压）应当用$V_{OC\text{-}STC}$（标准条件开路电压）替代。 **留一个问题，温度修正时：** V_1/I_1? V_{OC}/I_{SC}? $V_{OC\text{-}STC}/I_{SC\text{-}STC}$?

3、方法三（全线性修正法）不能用！

- 标准测试条件(STC)，AM1.5G、1000 W/m^2、25℃， 在现实上并不普遍存在。
- 在标准测试条件(STC)下所测出的峰值功率作为预估电站的发电量的依据是具有风险的。
- 解决: 电站的价值是以实际发电量 => IEC 61853

IEC 61853-1
IEC 61853-2
组件性能

IEC 61853-3
发电量计算

IEC 61853-4
气候资料

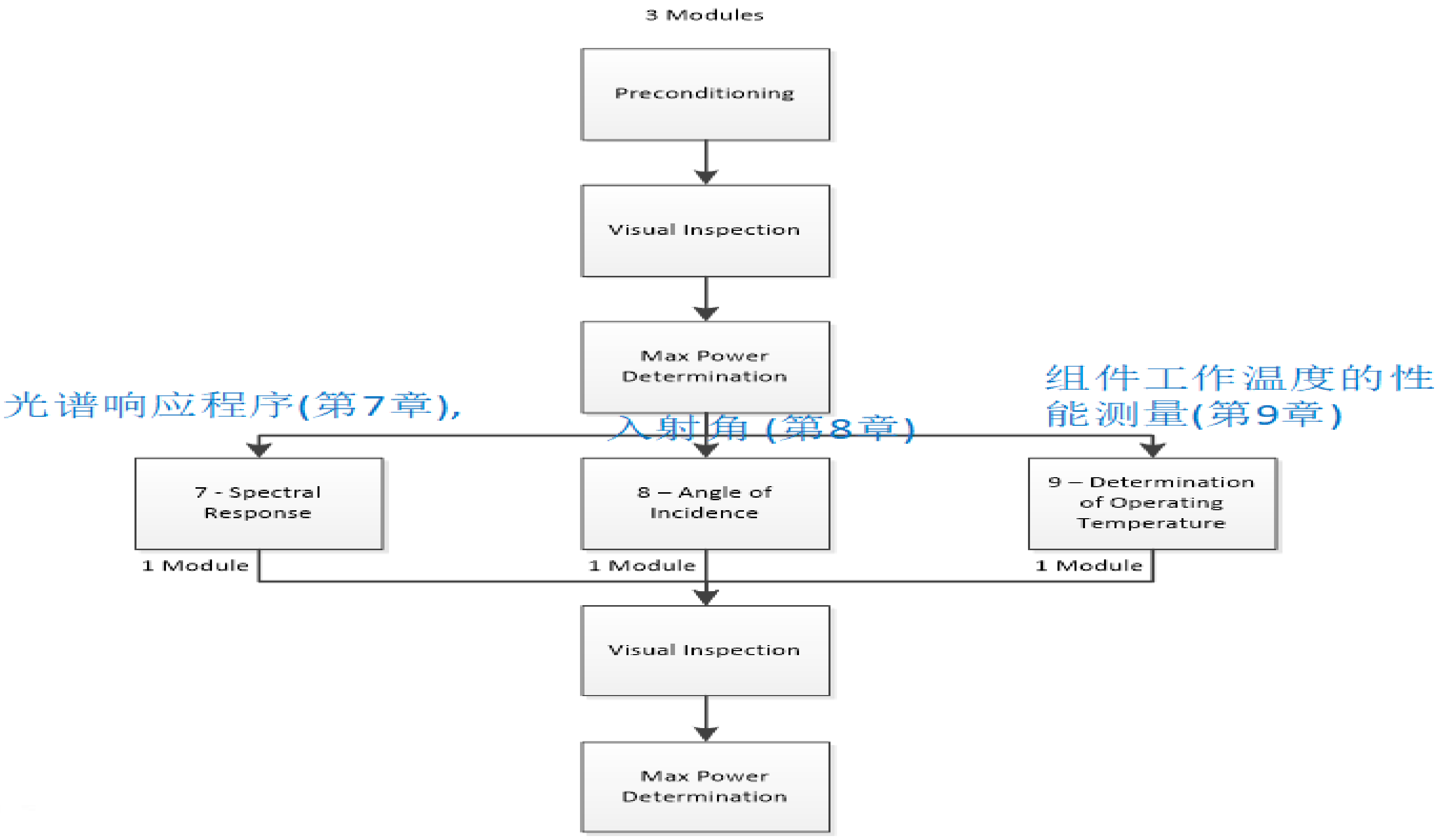
IEC 61853-1

Condition	Irradiance W/m²	Temperature °C
STC Standard Test Conditions	1000	25 of cell
NOCT Normal Operating Cell Temperature (Determined according to IEC 61215 or 61646)	800	20 of ambient
LIC Low Irradiance Condition	200	25 of cell
HTC High Temperature Condition	1000	75 of cell
LTC Low Temperature Condition	500	15 of cell

Irradiance	Spectrum	Module temperature			
W/m²		15 °C	25 °C	50 °C	75 °C
1100	AM1,5	NA			
1000	AM1,5				
800	AM1,5				
600	AM1,5				
400	AM1,5				NA
200	AM1,5			NA	NA
100	AM1,5			NA	NA

组件在特定辐照度与温度下的功率值

IEC 61853-2


3 Modules
Preconditioning
Visual Inspection
Max Power Determination
光谱响应程序(第7章),
入射角 (第8章)
组件工作温度的性能测量(第9章)
7 - Spectral Response
8 – Angle of Incidence
9 – Determination of Operating Temperature
1 Module
1 Module
1 Module
Visual Inspection
Max Power Determination

IEC 61853-3, -4

Day number	hour	sun incidence angle	V_{wind_mod} wind speed at module height	AM	Tamb	Tm Module temperature	$G_{effAOI}(j)$ G effective angle of incidence	$G_{effAM1.5}(j)$ G effective AM1.5	DNI (Direct Normal Irradiance)	G (horizontal)	G (in-plane)	$E(j,\lambda)$ spectrally resolved irradiance
1~365	1~24	角度	m/s		℃	℃	W/m²	W/m²	W/m²	W/m²	W/m²	光谱分布

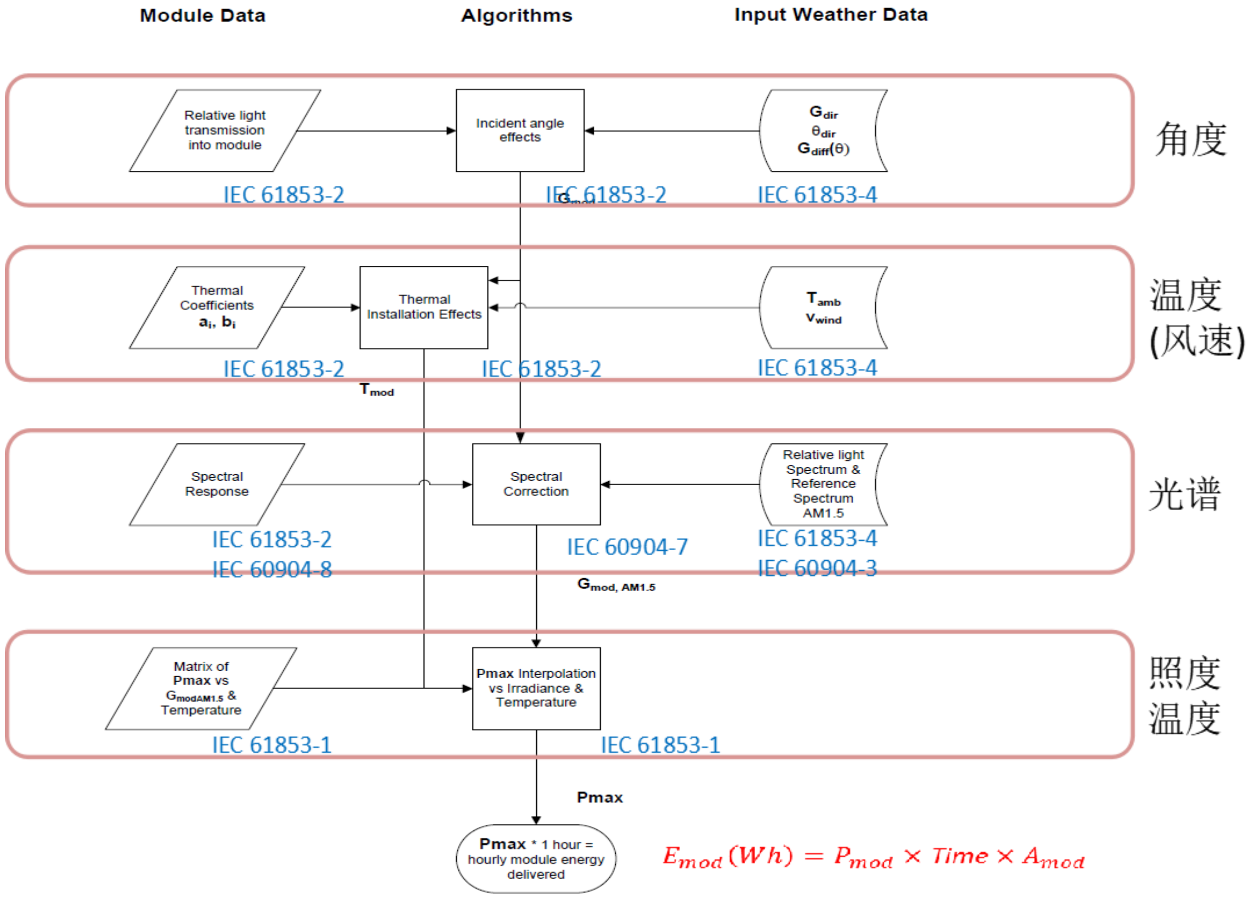
时间要求

环境因子

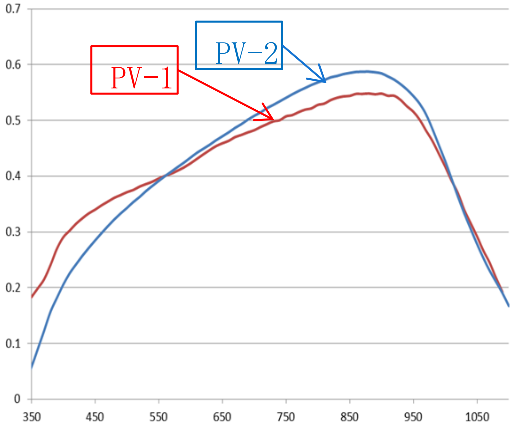
组件温度

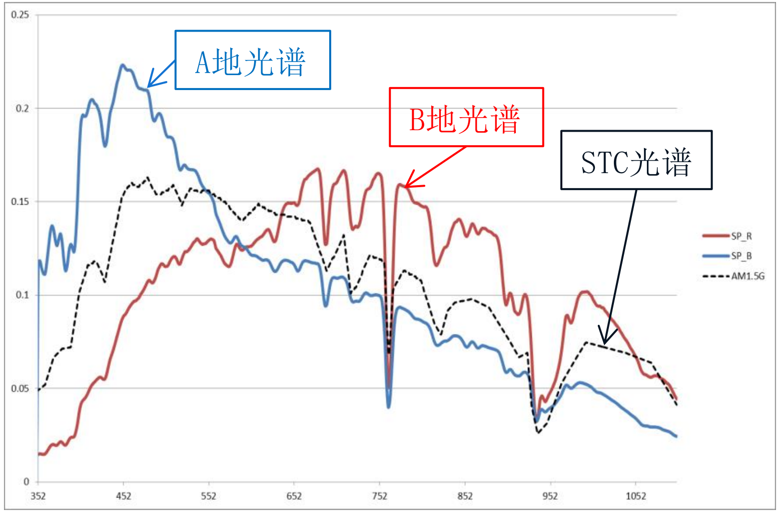
直接辐照度

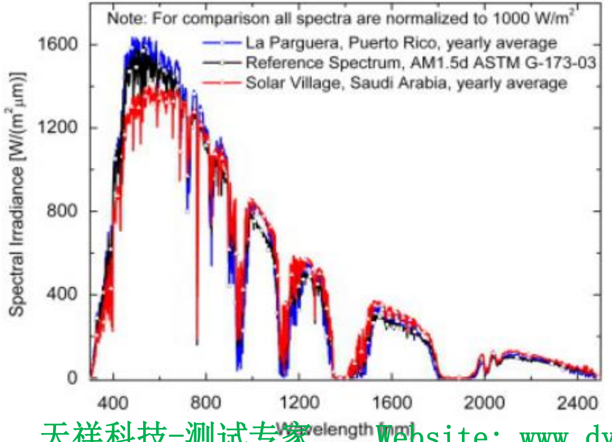
太阳光谱



$$E_{mod}(Wh) = P_{mod} \times Time \times A_{mod}$$

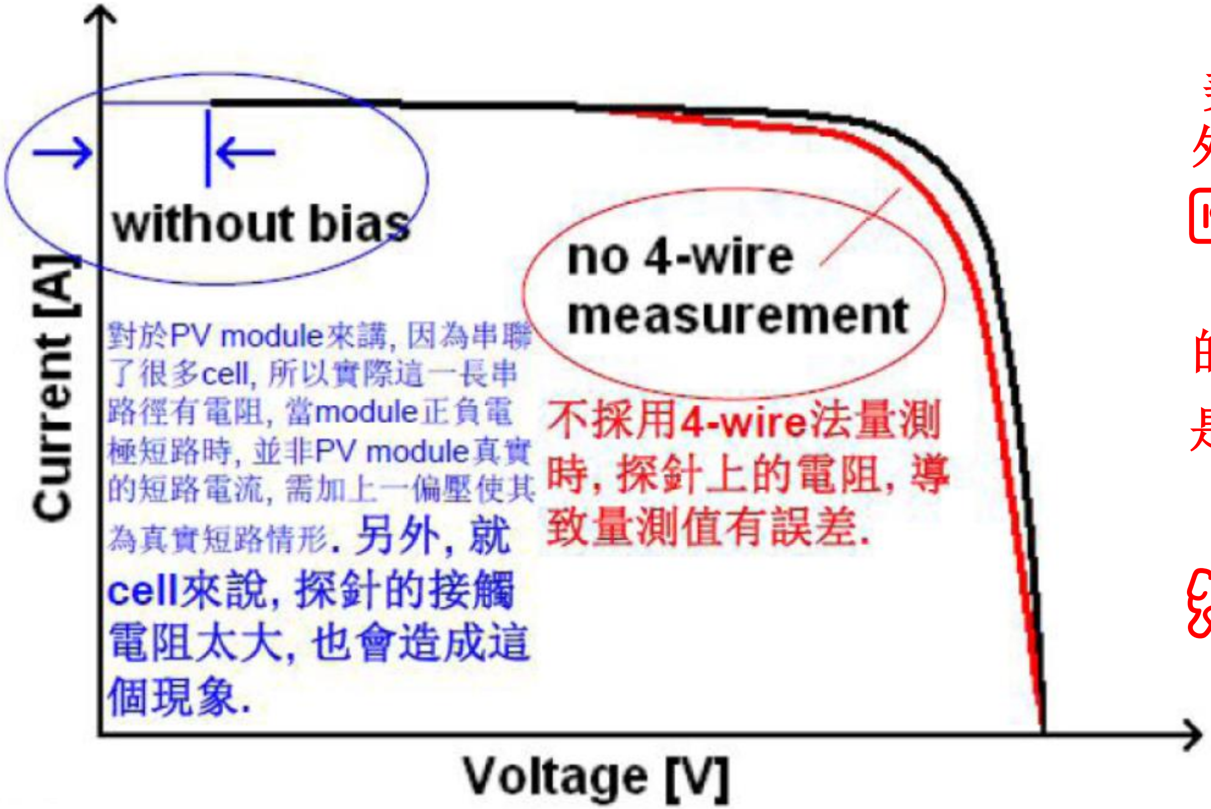






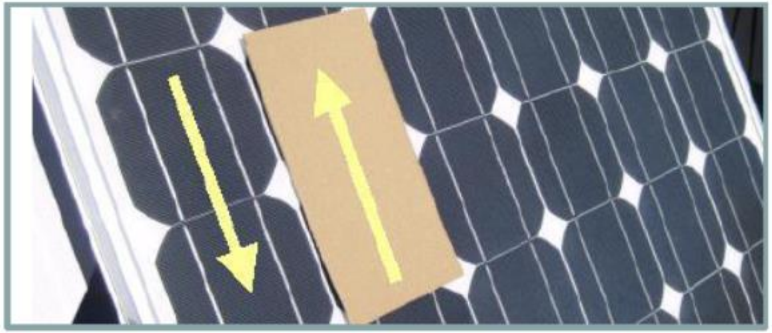
	PV-1		PV-2	两电池差异(%)
STC光谱	200 W	=	200 W	- %
A地光谱	192 W	>	187 W	+2.7%
B地光谱	212 W	<	218 W	-2.8%

户外I-V测试仪的关键技术细节之一

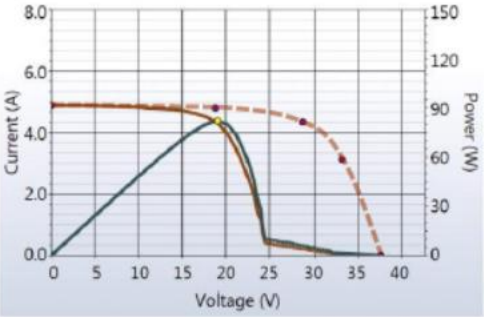


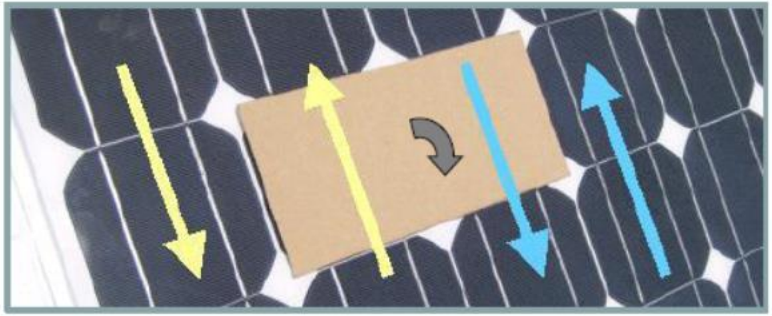
美国Daystar的户外IV测试仪是业内**唯一**带反向偏压（bias）测试技术的户外IV测试仪，是业内**唯一**实测光伏组件**真实短路电流**的户外IV测试仪！

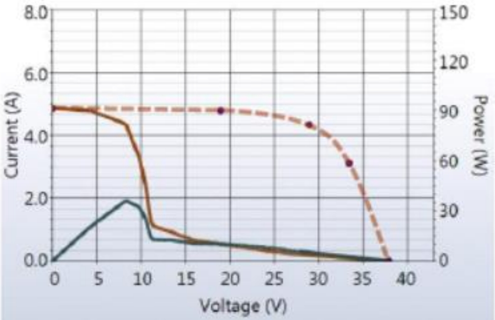
相同的阴影遮挡面积，不同的发电量损失



One cell string bypassed *







选择参考电池（硅基）型or热电堆型辐照度计？

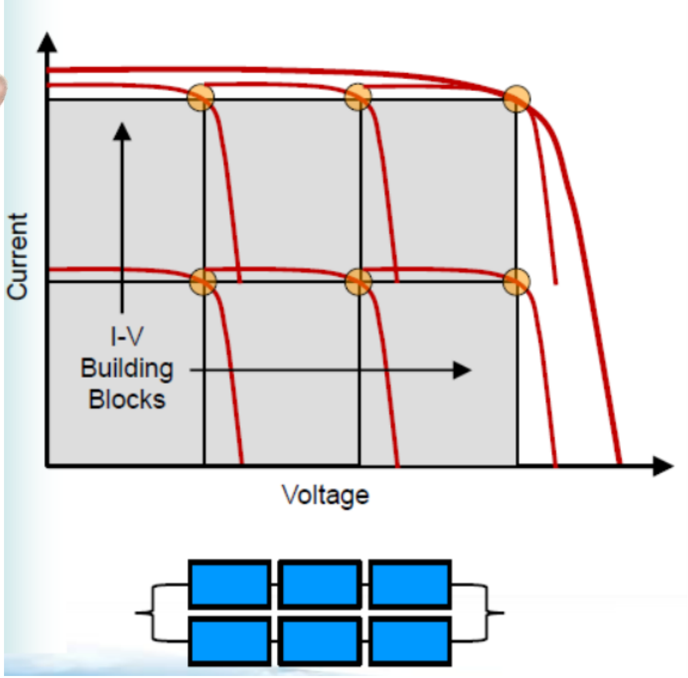


图1的IV曲线表明：
串联组件匹配合理，光伏系统工作正常

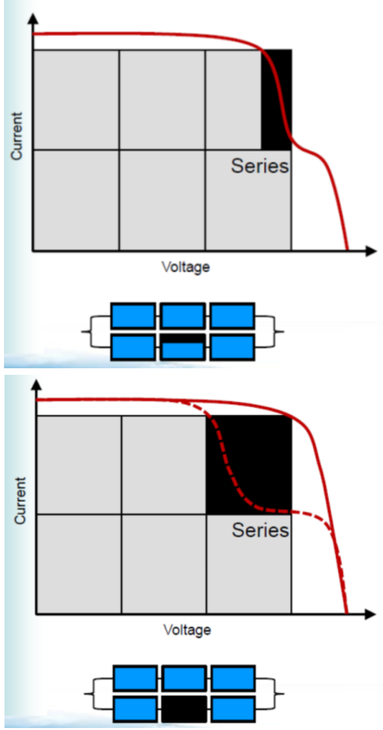


图2的IV曲线表明：
串联组件存在部分遮挡的问题

选择参考电池（硅基）型or热电堆型辐照度计？

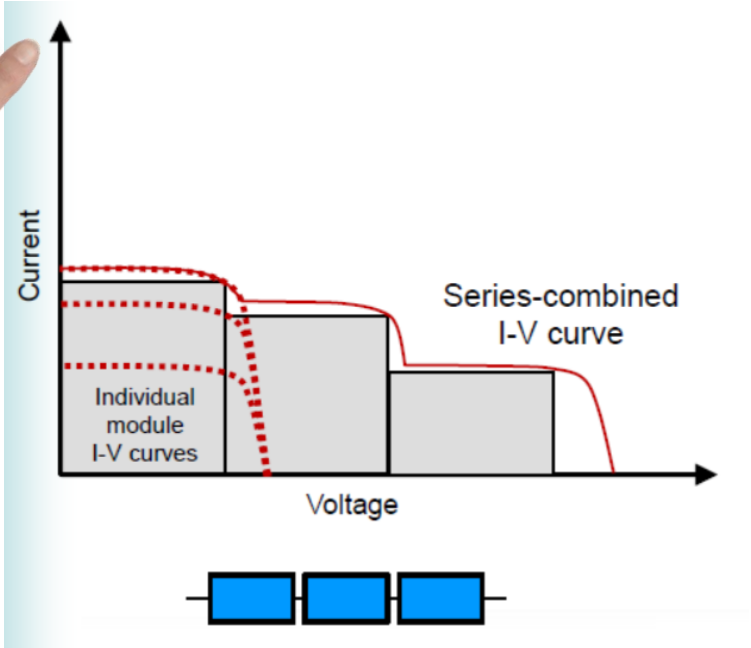


图3的IV曲线表明：
串联组件存在电流电压不匹配的问题

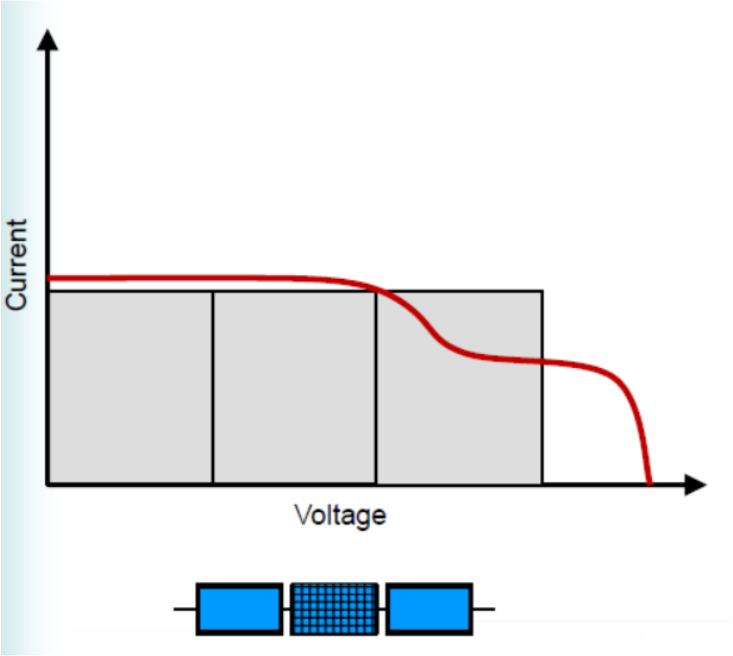
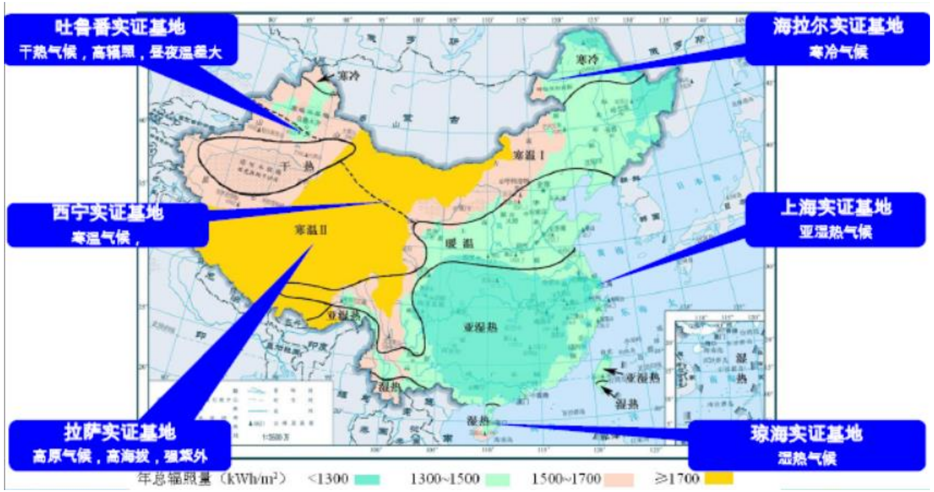


图4的IV曲线表明：
串联组件存在灰尘遮挡的问题

选择参考电池（硅基）型or热电堆型辐照度计？

通过光伏组件的铭牌功率，无法准确判断实际的发电效益，想要了解组件在各种实际户外条件下的实际发电量，还是需要依靠最精确可靠的数据监测系统，测试场地选择需代表了温带、热带、亚热带等不同的气候类型；同时包含了沙漠、戈壁等不同的地形。

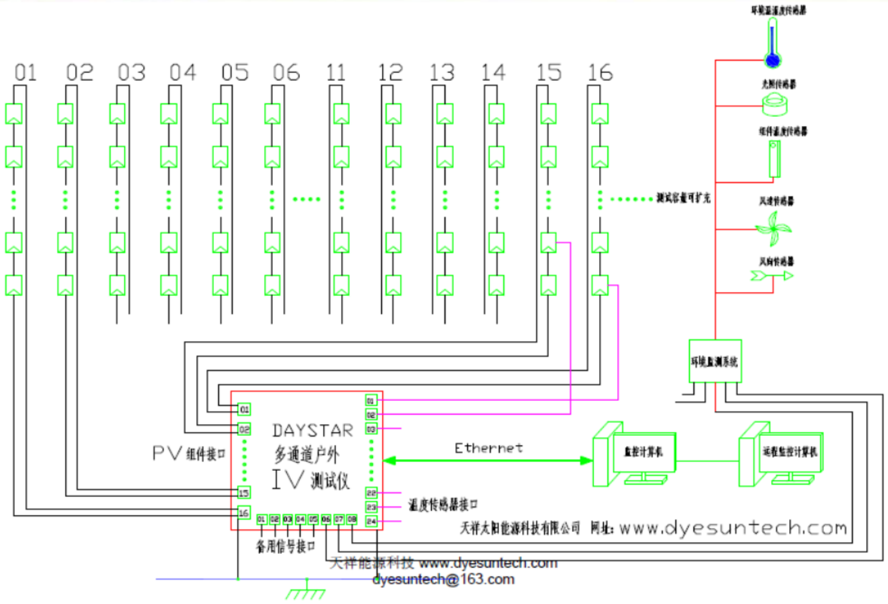
多个不同气候条件下的户外测试
- 发电量数据对比和有效分析
- 组件电性能衰减率及发电量评级
- 组件发电量数据的精确性和公信力
- 各种类型组件的市场推广助力



综合电性能测试
- 户外发电量评级IEC 61853:1-4
- 户外发电量实证组件的能效比
- 不同气候条件下的户外发电量对比测试
- 户外发电量损失分析(如污染，温度影响等)

400—6892—163
免费客服电话

Daystar 户外多通道IV系统测试原理图
diagrammatic sketch for Multi-Tracer



Daystar户外多通道I-V测试系统优点：

- ✓ 1、采用的美国Daystar 户外IV 测试系统性能稳定、操作安全、功能强大，产品声誉高；
- ✓ 2、该系统模块化设计方便扩充测试通道数和测试容量，具备MPPT 和固定电压输出功能；
- ✓ 3、各气象数据采集，都高度集成到该测试系统，通过软件设置便可方便进行气象测试；
- ✓ 4、IV 测试系统兼容性强，传感器种类可依客户需求选配、适用户外长期对比实验研究；
- ✓ 5、适用于电池及原材料IV 性能研究。系统配置的负载能能进行MPPT追踪，能消耗电池产生的电量，光伏组件工作状态模拟真实；
- ✓ 6、通讯友好，可通过当地的因特网进行远程操作，测试任务设置软件化，数据传输方便。
- ✓ 7、投入市场30年的国际品牌，测试方法和测试数据得到国际权威实验室广泛认可

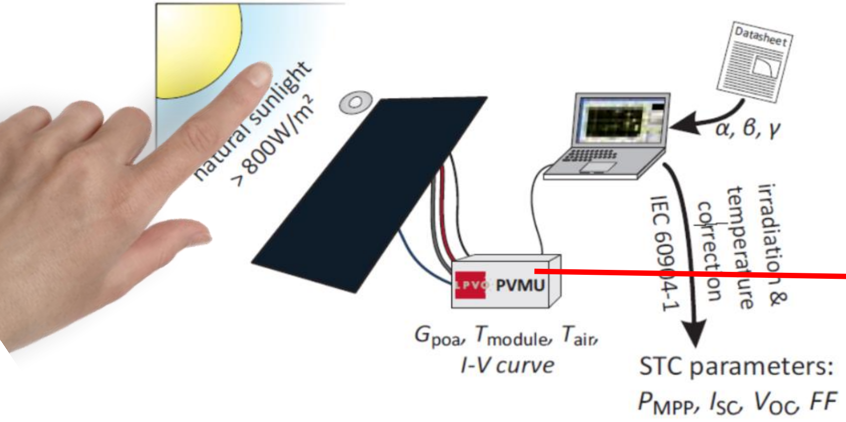
权威认证检测机构有：NREL, NIST, Sandia, CANMET, Intertek, UL, TUV, 和Atlas等权威实验室；
国外光伏公司有First Solar, DuPont, Sharp, 3M, Boeing, EMCORE, PV Powered, 和 Skywatch等优秀企业

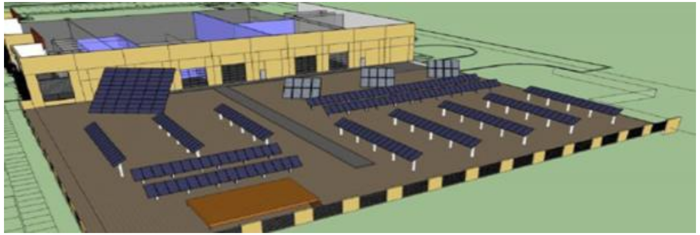
DyeSunTech 天祥科技

天祥科技-测试专家　Website: www.dyesuntech.com　Email: dyesuntech@163.com

户外多通道I-V测试系统在户外实证试验中的应用

400—6892—163
免费客服电话



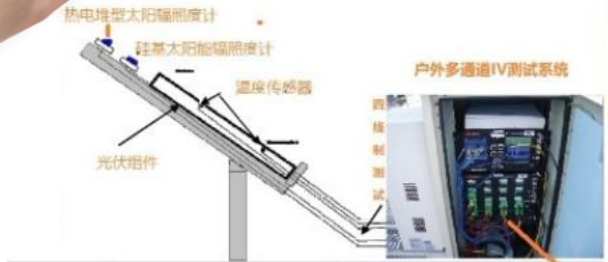


发电量评估不应只考虑在标准条件下(STC)组件输出功率

➔需再更严谨的考虑更多的外在环境因素，如光谱、角度、环境温度…等

为什么要建立户外实证实验室？

想要了解组件在各种实际户外条件下的实际发电量，户外实证是最直接可靠的检验手段，然而建立科学合理的户外实证基地是户外实证试验的基础！因为，光伏组件阵列存在失配损失，所以，评估光伏组件户外发电性能，最好的方式是测试单块组件，采集单个光伏组件直流端数据分析，从而完全避免阵列里多块组件之间的相互影响！



Uncertainty Component	Source of Uncertainty	Value of Uncertainty (%)[a]	Coverage Factor
U_{Voc}	Uncertainty in test device V_{oc}	0.266 Voc	2
$u_{V\text{-}DMM}$	Measured test device voltage using MT5	0.225	Rectangular
s_{Vint}	Standard deviation of intercept for linear fit near V_{oc}	0.006	N_{Voc}
δ	Smallest resolvable digit	0.005	Sqrt(12)
$u_{V\text{-}Cal}$	Uncertainty of the voltage standard used to calibrate the curve tracer	0.012	Rectangular
U_{Isc}	Uncertainty in test device I_{sc}	0.277 Isc	2
$u_{I\text{-}DMM}$	Measured test device current using MT5	0.231	Rectangular
s_{Iint}	Standard deviation of intercept for linear fit near Isc	0.006	N_{Isc}
δ	Smallest resolvable digit	0.006	Sqrt(12)
$u_{I\text{-}Cal}$	Uncertainty of the current standard used to calibrate the curve tracer	0.064	Rectangular
U_{Pmax}	Uncertainty in test device P_{max}	0.409 Pmax	2
$u_{V\text{-}DMM}$	Measured test device voltage using MT5	0.247	Rectangular
$u_{I\text{-}DMM}$	Measured test device current using MT5	0.239	Rectangular
u_{fit}	Error in P_{max} from the polynomial fit	0.060	Gaussian
$u_{V\text{-}Cal}$	Uncertainty in MT5 voltage calibration	0.012	Rectangular
$u_{I\text{-}Cal}$	Uncertainty in MT5 current calibration	0.064	Rectangular

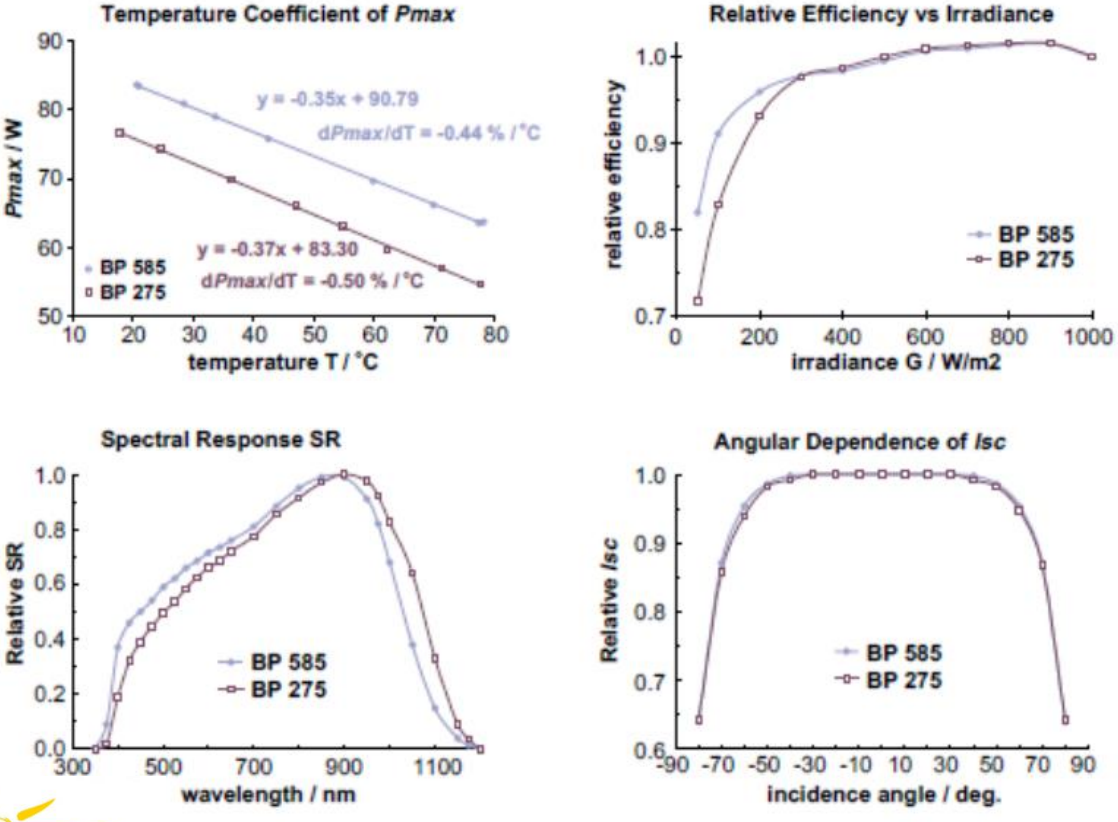
户外光伏实证不确定度数据

- 最大大功率跟踪
- 组件能效（MPR）
- I-V曲线监测
- 日发电量输出
- 组件温度监测
- I-V曲线分析
- 阳光光谱监测
- STC功率前后对比
- 气象数据监测：
- 功率影响参数分析
- √辐照度
- 辐照、温度等环境参数的变化
- √环境温度
- 发电量测试对比
- √风速风向
- 组件安装环境分析
- √环境湿度

....

....

更多技术细节请扫描联系我们！

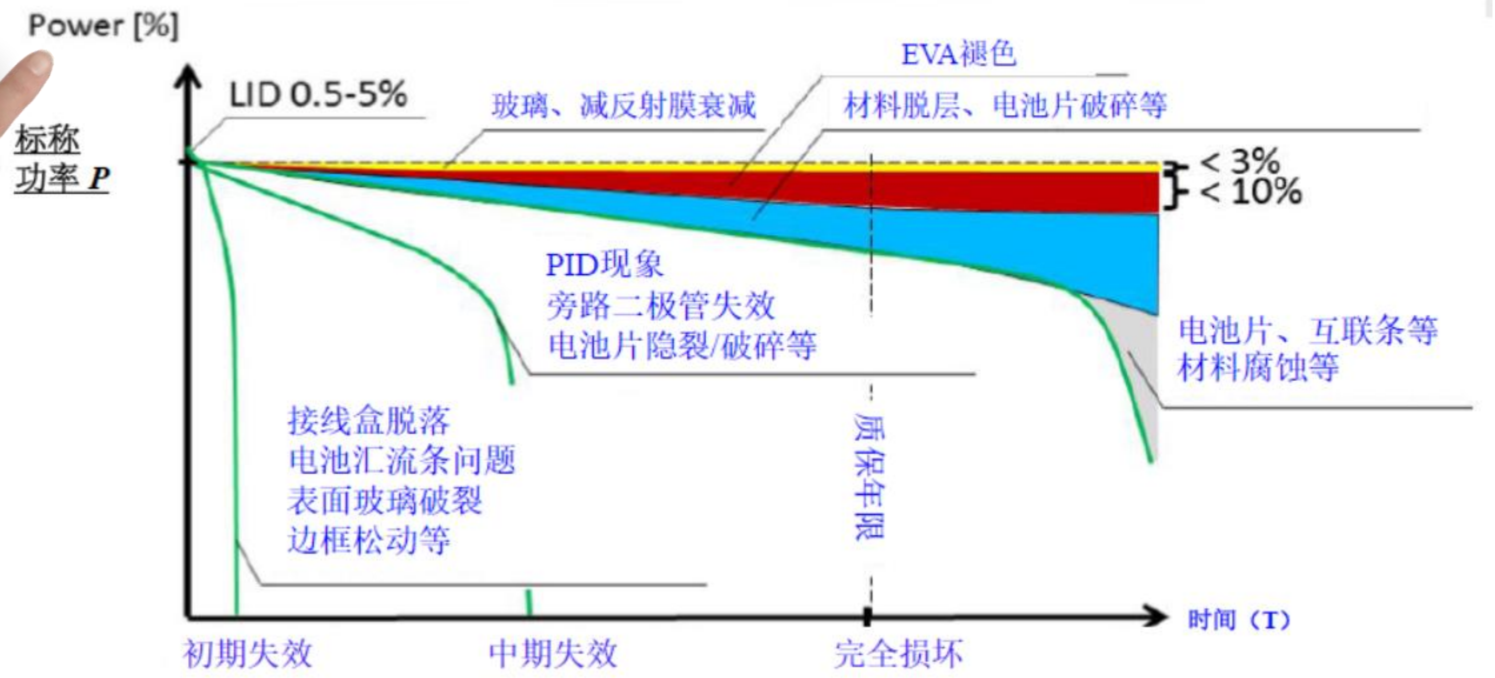


ISE bp solar

影响因素	影响程度
辐照强度	直接影响
组件温度	0.4~0.5%/℃
光谱影响	~15%
入射角度	<2%，入射角小于50度

户外实证测试故障分析？

400—6892—163
免费客服电话



Source: Marc. Köntges, Haitao. Liu, etc, Review of Failures of Photovoltaic Modules, Report IEA-PVPS T13-01:2014

400—6892—163
免费客服电话

IEA （国际能源署）组件户外实证检测实验室

15个实验室有一半以上选择的是美国Daystar户外多通道IV测试系统，设备认可度非常高，测试数据获得成员实验室广泛认可

15个实验室

AIT - Austria
TUV - Germany
GANTNER – Austria
SUPSI - Switzerland
KU LEUVEN - Belgium
ISE - Germany
UU - Netherlands
INES - France
UC - Cyprus
IEE.CAS - China
SANDIA - USA
NREL - USA
CSIRO – Australia
NIST - USA
LABORELEC - Belgium

- ✓ *TUV*
- ✓ *UL*
- ✓ *BP*
- ✓ *First Solar*
- ✓ *DuPont*
- ✓ *Sharp*
- ✓ *3M*
- ✓ *Boeing*
- ✓ *EMCORE*
- ✓ *Skywatch*
- ✓ *And so on….*

天祥能源科技 www.dyesuntech.com
dyesuntech@163.com

DyeSunTech 天祥科技

天祥科技 测试专家
www.dyesuntech.com

400—6892—163
免费客服电话

天祥太阳能源科技有限公司（简称：天祥科技），是一家致力于为整个光伏产业链提供全套太阳能光伏检测方案、测试设备和测试技术的科技公司。公司拥有一支拥有丰富技术服务经验的技术队伍，能为客户提供专业快速的技术服务，为新能源产业测试技术提供一体化的实用解决方案和服务，并通过持续不断的为客户寻求更智慧的、更符合客户要求的太阳能光伏测试方案和技术服务，为客户与合作伙伴创造更有价值的竞争优势，助力中国光伏产业的快速发展。

感谢观看

能为光伏产业提供整套测试解决方案，主要测试产品介绍如下：

● 户外IV测试仪（光伏阵列IV测试仪）

公司专注开发户外I—V测试设备有超过28年，该系列产品已成为业内顶级品牌，设备具备精确、安全、耐用的口碑，被国内外众多权威光伏实验室认可和选用，如国家光伏质检中心、NREL，NIST，SANDIA，CANMET，INTERTEK，UL，TUV，和ATLAS等。该设备测试范围大，测试精度高（可达+/—0.5%），测试精度为业内顶级水平。可兼容硅基型辐照度计或高精密组合热电堆电路辐照度计。

● 户外多通道IV测试仪

户外多通道IV测试系统，可以很好的研究测试组件的发电量随着时间推移的稳定性的表现；自然环境下风沙、雪、极端温度和其他恶劣天气状况对光伏电池组件发电量的影响，以及用于各类光伏组件原材料长期稳定性对光伏组件发电性能的影响的长期比对研究。

1、多通道户外IV 测试系统可同时测试16个（或更多）光伏阵列或组件的IV曲线和发电量；

2、该系统模块化设计方便扩充测试通道数和测试容量，具备模拟MPPT 和固定电压输出功能；

3、适用于电池及原材料IV 性能的长期比对研究，设备标配的负载能消耗光伏组件产生的电量，模拟真实；