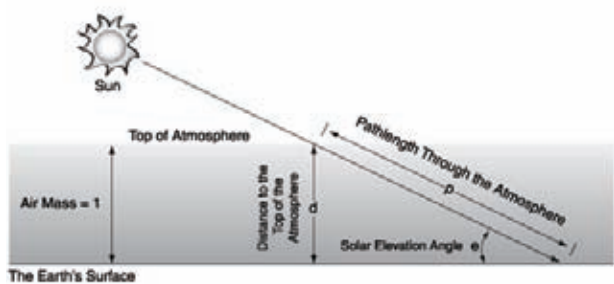


## 太阳能电池检测基础知识介绍

### 太阳常数和大气质量

太阳常数和大气质量是描述太阳辐射与大气吸收情况的物理量。在地球大气层上界，距太阳一个天文单位处，与阳光垂直的单位面积上，单位时间所得到的太阳总辐射能量叫一个太阳常数。国际上太阳常数标准值为  $1367\text{W}/\text{m}^2$ ，这里把太阳看成不变的光源，并且不考虑大气吸收的影响。

在地面上任何地方都不能排除大气吸收对太阳辐射的影响，因此引入大气质量 (air mass, AM) 的概念。



$$\text{AirMass} = \frac{p}{d} = \frac{1}{\sin \theta}$$

可以看出，太阳当顶时海平面处为 AM1；外层空间不通过大气的情况为 AM0；通常接近人类生活现实的太阳高度角  $41.8^\circ$  的情况为 AM1.5。太阳常数为 AM0 条件下的太阳辐射通量，AM0 光谱主要用于评估太空用的光伏电池和组件性能。为了使用方便，国际标准组织将 AM1.5 的辐照度定义为  $1000\text{W}/\text{m}^2$  (或  $100\text{mW}/\text{cm}^2$ )

### 标准测试条件和标准太阳电池

为了使太阳电池或组件的光伏性能测试具有可比性，太阳光伏能源系统标准化技术委员会规定了标准测试条件。如果不是在标准条件下进行测试，必须将所测数据修正到标准测试条件。

地面用太阳电池的标准测试条件为：测试温度  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ，光源的光谱辐照度  $1000\text{W}/\text{m}^2$ ，并具有标准的 AM1.5 太阳光谱辐照度分布。

航天用太阳电池的标准测试条件为：测试温度  $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ，光源的光谱辐照度  $1367\text{W}/\text{m}^2$ ，并具有标准的 AM0 太阳光谱辐照度分布。

由于太阳电池的响应与入射光的波长有关，入射光的光谱分布将严重地影响所测的电池性能。为了减小测量误差，需选用具有与被测电池基本相同光谱响应的标准太阳电池来测量光源的辐照度。因此，标准太阳电池用于在对太阳电池进行 I-V 测试时测试光源的辐照度。它只需要标定在标准测试条件下的短路电流值。如果标准太阳电池标定出相对或绝对

光谱响应曲线，那么它也可以用于太阳电池光谱响应测试。

标准太阳电池的标定值，必须每年由权威机构标定一次，以确保其准确性。

### 光谱响应及量子效率测试 (QE)

太阳电池电性能测量中，光谱响应特性包含着太阳电池的许多重要信息。它不但能反映电池各层材料质量，也反映减反膜质量、辐照损伤和各个界面层的质量。

#### 1. 外量子效率 (External Quantum Efficiency, EQE)

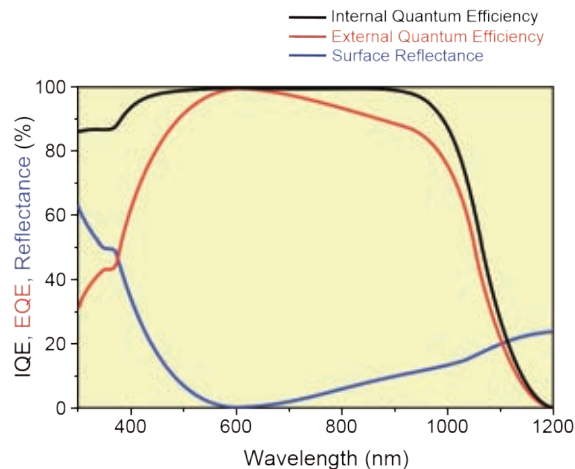
当光子入射到光敏器件的表面时，部分光子会激发光敏材料产生电子空穴对，形成电流，此时产生的电子与所有入射的光子数之比，称为外量子效率

$$\text{EQE}(\lambda) = \frac{N_e(\lambda)}{N_p(\lambda)} = \frac{I_{sc}(\lambda)}{\lambda P_{in}(\lambda)} \cdot \frac{hc}{e} \approx \frac{1024 I_{sc}(\lambda)}{\lambda P_{in}(\lambda)}$$

#### 2. 内量子效率 (Internal quantum efficiency, IQE)

当光子入射到光敏器件的表面时，被吸收的那部分光子会激发光敏材料会产生电子空穴对，形成电流，此时产生的电子与被吸收的光子之比，称为内量子效率

$$\text{IQE}(\lambda) = \frac{N_e(\lambda)}{N_p(\lambda) \cdot \text{Abs}(\lambda)} = \frac{\text{EQE}(\lambda)}{\text{Abs}(\lambda)} = \frac{\text{EQE}(\lambda)}{1 - \text{Reflectance}(\lambda)}$$



#### 3. 光电转化效率 (monochromatic incident photon-to-electron conversion efficiency, IPCE)

光电转化效率，即入射单色光子 - 电子转化效率，定义为单位时间内外电路中产生的电子数  $N_e$  与单位时间内的入射单色光子数  $N_p$  之比。IPCE 常用于光电化学的应用，如染料敏化太阳电池等。在概念上 IPCE 与 EQE 是类似的。

## 光伏电流-电压特性测试 (I-V特性测试)

太阳能电池是直接把光能转换成电能的光伏器件，对电池的评估主要是以其光电性能为准。I-V特性测试是最直接的给出太阳能电池光电性能参数的测试。

### 1. 短路电流 $I_{sc}$

当将太阳能电池的正负极短路时，电池片输出的电流就是短路电流。短路电流随着光强的变化而变化。

### 2. 开路电压 $V_{oc}$

当将太阳能电池的正负极不接负载是，电池片正负极间的电压就是开路电压。开路电压不随电池片面积的增减而变化，一般与电池片材料有关。

### 3. 短路电流密度 $J_{sc}$

太阳能电池单位面积输出的短路电流，就是短路电流密度。

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{S_{cell}}$$

在 AM1.5G 太阳光谱辐射下， $J_{sc}$  也可以用 EQE 做理论计算

$$J_{sc} = q \int_0^{\infty} F_{1.5}(\lambda) \cdot EQE(\lambda) \cdot d\lambda$$

理论计算得出的  $J_{sc}$  与实测的  $J_{sc}$  可能存在差异，产生差异的主要原因是实测时所用的太阳光模拟器光谱辐射曲线与 AM1.5G 标准太阳光谱辐射曲线存在差异。

### 4. 峰值功率 $P_m$

太阳能电池片在正常工作或测试条件下的最大输出功率，就是峰值功率。峰值功率取决于太阳辐照度、太阳光谱分布和电池片的工作温度等条件。IEC 标准测量条件为辐照度  $100\text{mW/cm}^2$ 、光谱分布 AM1.5G、温度  $25^\circ\text{C}$ 。

### 5. 最大工作电流 $I_m$

太阳能电池片工作在峰值功率状态时的电流，就是最大工作电流

### 6. 最大工作电压 $V_m$

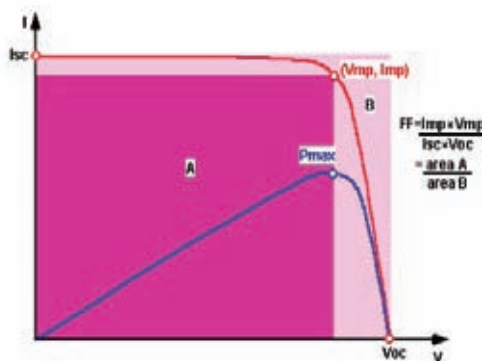
太阳能电池片工作在峰值功率状态时两端的电压，就是最大工作电压

### 7. 填充因子 (Filling Factor, FF)

填充因子是太阳能电池品质的量度，定义为实际最大输出功率与理想目标输出功率的比值

$$FF = \frac{I_m V_m}{I_{sc} V_{oc}}$$

FF 是太阳能电池 I-V 特性曲线内所含最大功率面积与开路短路相应的矩形面积 (理想形状) 比较的量度。FF 应尽可能接近 100%，但 p-n 结特性会阻止它达到 1。FF 越大，电池的质量越高，典型值出于 60%~85%，并由太阳能电池的材料和器件结构决定。



### 8. 光电转化效率 $\eta$

光电转化效率是太阳能电池最重要的和综合性的特性参数，经常简称为效率。光电转化效率是太阳能电池最大输出功率与入射光功率之比。

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m V_m}{P_{in}} = \frac{I_{sc} V_{oc} FF}{P_{in}}$$

### 9. 太阳光模拟器等级评价标准:

质量	方法	等级		
		A	B	C
光谱匹配度	在6个波段内比较光强分布 (400-500-600-700-800-900-1100nm), 太阳模拟器/AM1.5G数据	0.75~1.25	0.6~1.4	0.4~2.0
光斑均匀性	在测试面积内进行辐照度的检测, 计算从小到大的差	<2%	<5%	<10%
光斑均匀性	在测试面积内进行辐照度的检测, 计算从小到大的差	<2%	<5%	<10%

基础知识介绍

量子效率测试系统

伏安特性测试系统

太阳光模拟器

太阳光谱验证谱仪

标准太阳能电池