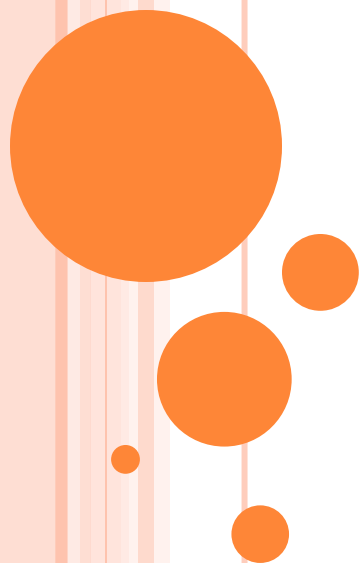


太阳能电池组件电性能检测

报告人：袁 晓

2013年12月20日



目 录

1、基本概念

- 1.1 太阳光谱
- 1.2 太阳光强
- 1.3 电池光谱响应
- 1.4 模拟光谱

2、检测设备

- 2.1 模拟光源
- 2.2 采样设备
- 2.3 温度控制

3、检测方法

- 3.1 光强校准
- 3.2 温度校准
- 3.3 光强均匀性检测
- 3.4 I-V特性曲线

4、相关问题



1、基本概念

太阳辐射光谱波长、频率、及光子能量



1、基本概念

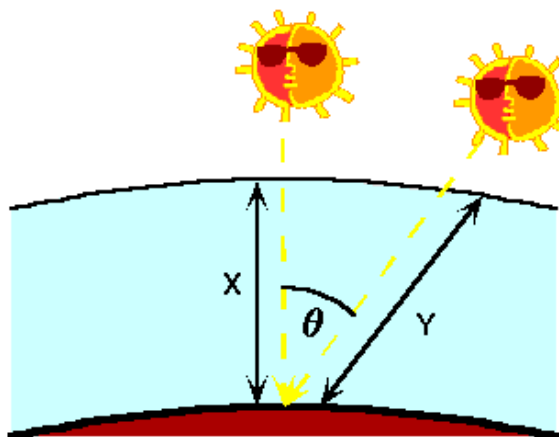
1.1 太阳光谱

大气质量(Air Mass)

太阳光到达地面所走过的路程与最短路程的比例，即 Y/X ；

太阳处在头顶正上方时，路程最短，大气质量为AM1；

量化了太阳辐射穿过大气层时被空气和尘埃吸收后的衰减程度。



Earth's Surface

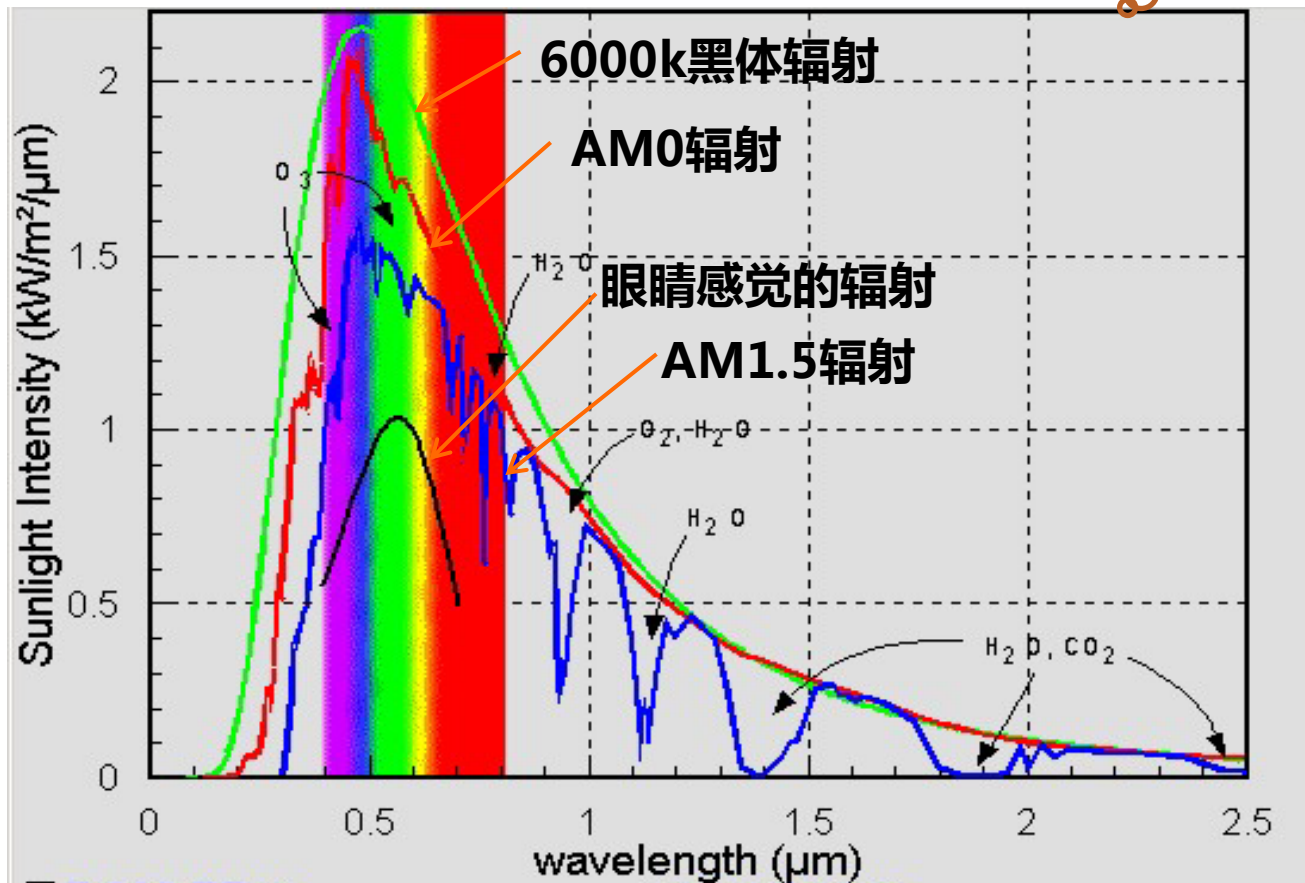
大气质量越大，经过大气的路径越长，
受到衰减越多，到达地面的能量越少。



1、基本概念

1.1 太阳光谱

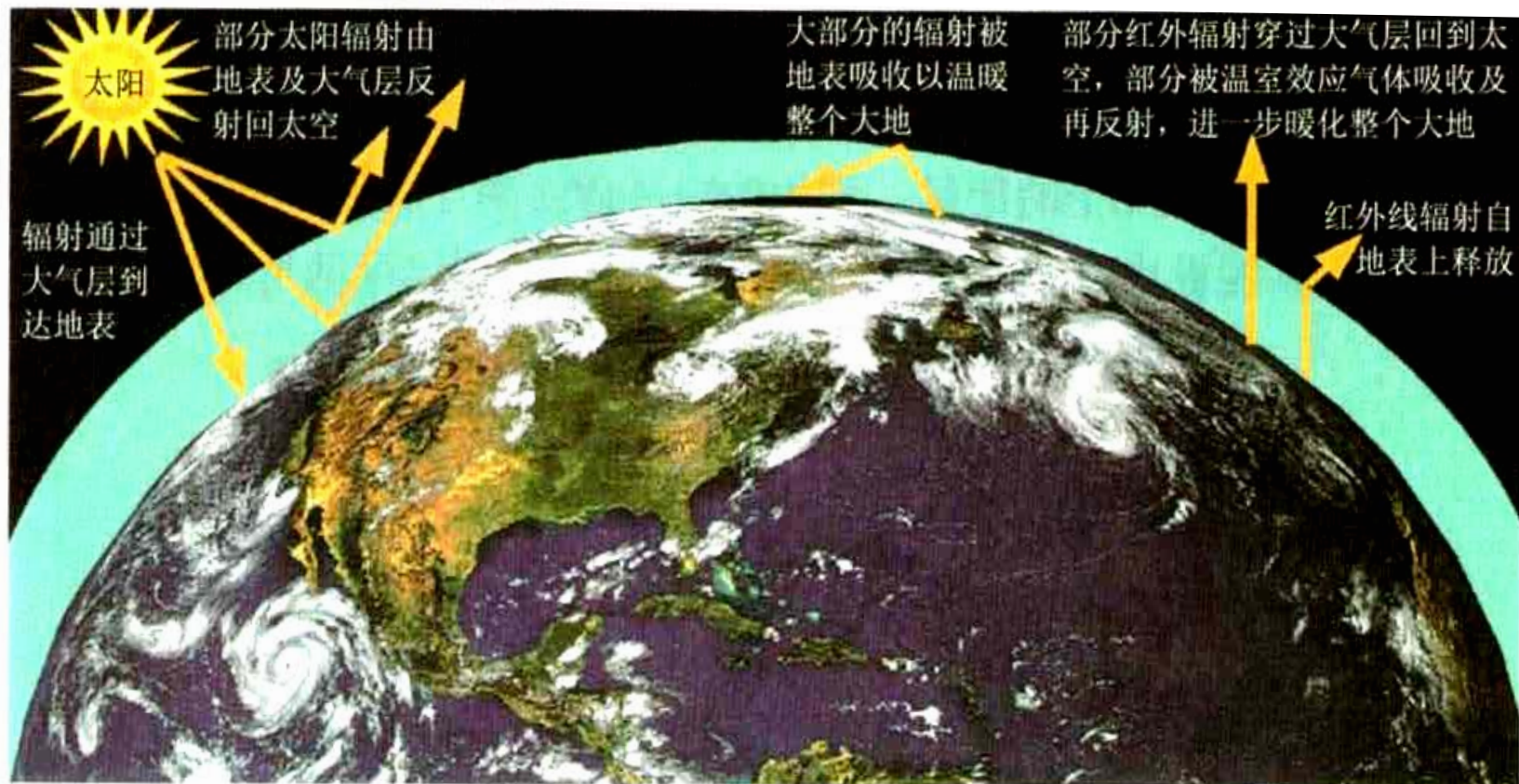
能量密度最大值
 $0.475\mu\text{m}$



太阳光谱分布

1、基本概念

1.2 太阳光强



太阳辐射到达地表过程的反应示意图

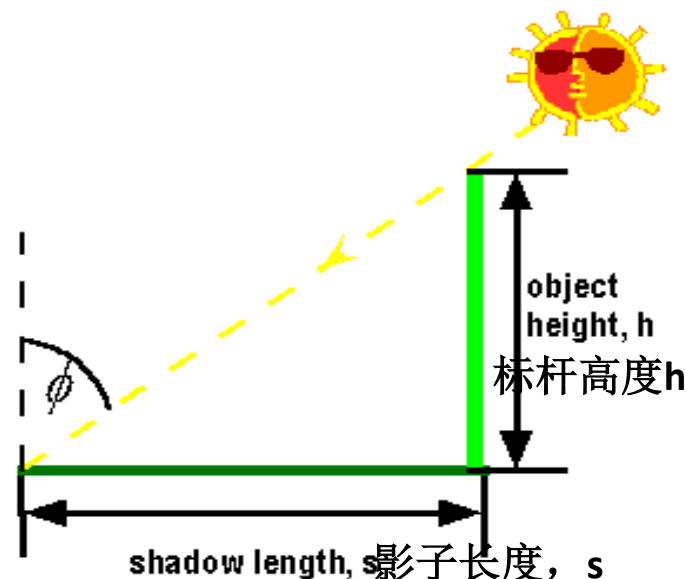
1、基本概念

1.2 太阳光强

$$AM = \sqrt{1 + \left(\frac{s}{h}\right)^2}$$

$$AM = 1 / \cos\theta \geq 1$$

(θ : 太阳光线与垂直线的夹角)



当 $\theta=48$ 度时，大气质量为**AM1.5**，是指典型晴天时太阳光照射到一般地面的情况，其辐射总量为**1kW/m²**，常用于**太阳能电池和组件效率测试时的标准**。

地球大气层外的标准光谱称为**AM0**，因为光没有穿过任何大气。其辐射总量为**1.353kW/m²**这个光谱通常被用来**预测太空中太阳能电池的表现**。

1、基本概念

1.2 太阳光强

不同地区、不同季节、不同气象条件到达地面的太阳辐射强度是不相同的。

地 区	太阳平均辐射强度	
	kwh/(m ² d)	w/m ²
热带、沙漠	5-6	210-250
温带	3-5	130-210
阳光较少地区（北欧）	2-3	80-130

1、基本概念

1.2 太阳光强

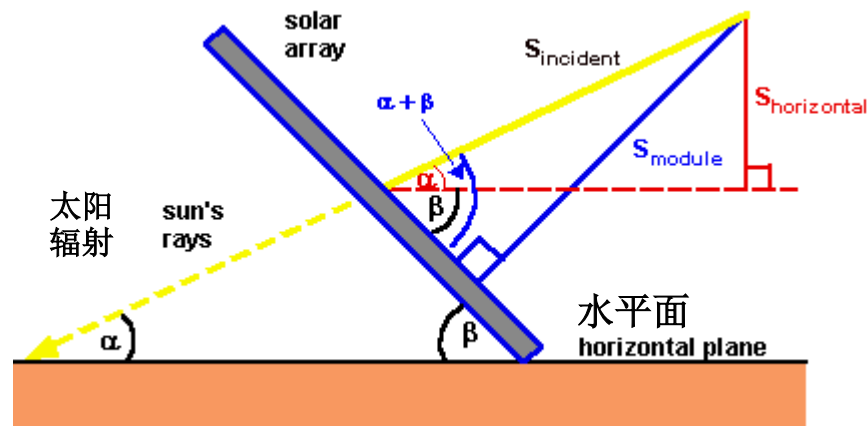
光伏组件接受的能量

一方面取决于接受到太阳光的能量；

另一方面受到**组件与太阳光夹角**的影响。

光伏组件与太阳光**垂直**时，表面功率强度**最大**；太阳光与固定组件表面的**夹角不断改变**。

组件与入射光的角度发生倾斜会减小光伏组件的电流输出。



当倾斜角度等于**当地纬度**时，一整年获得的能量**最大**。

1、基本概念

1.2 太阳光强

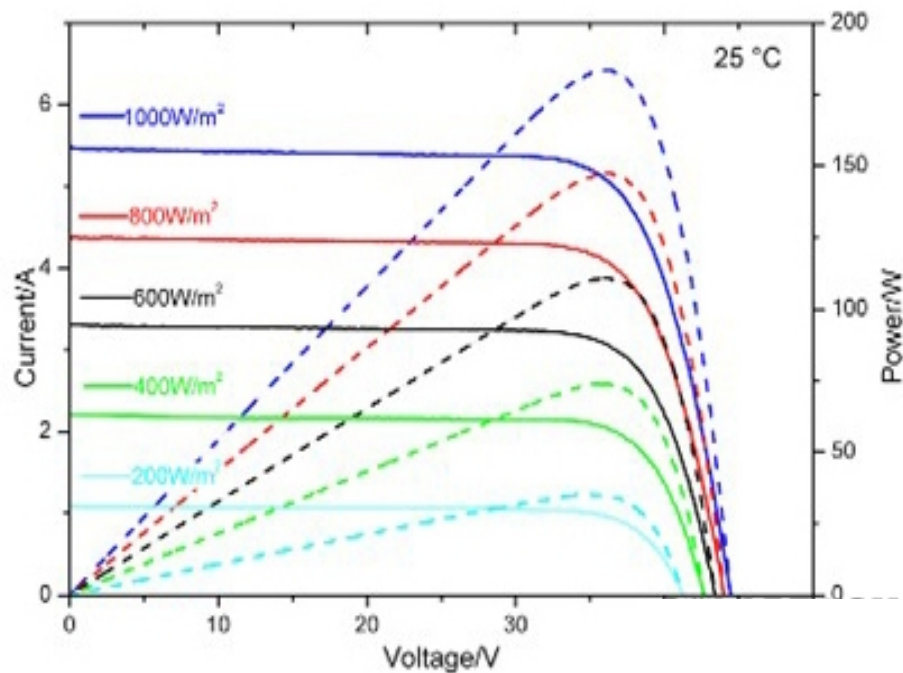
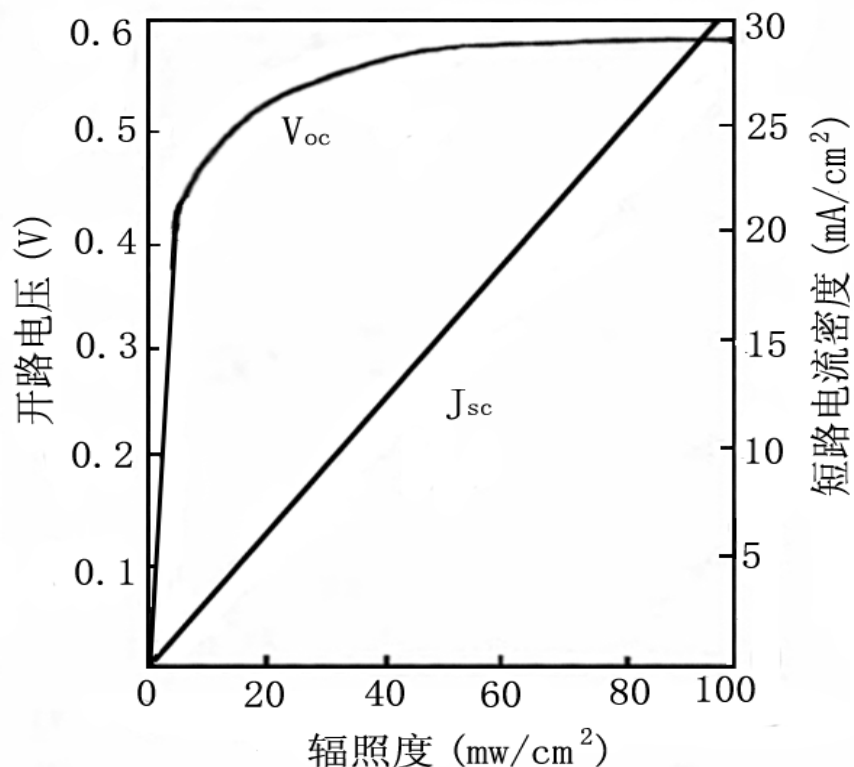
太阳能光伏组件安装应当考虑的问题

面向阳光，则最适合接收太阳能辐射。

- 光伏组件应该面向南面（北半球）
- 光伏组件应该从水平面倾斜某个角度
- 最大年产出能量：倾斜角度 = 地理纬度
- 冬天产生最大能量：倾斜角度 = 地理纬度 + 20度

1、基本概念

1.2 太阳光强



太阳光强与电压和电流的关系

1、基本概念

1.2 太阳光强

入射光的强度影响太阳电池的**参数**，包括短路电流、开路电压、填充因子、转换效率以及并联电阻和串联电阻对电池的影响。

通常用多少个太阳来形容光强，比如一个太阳就相当于AM1.5大气质量下的标准光强，即 $1\text{KW}/\text{m}^2$ 。

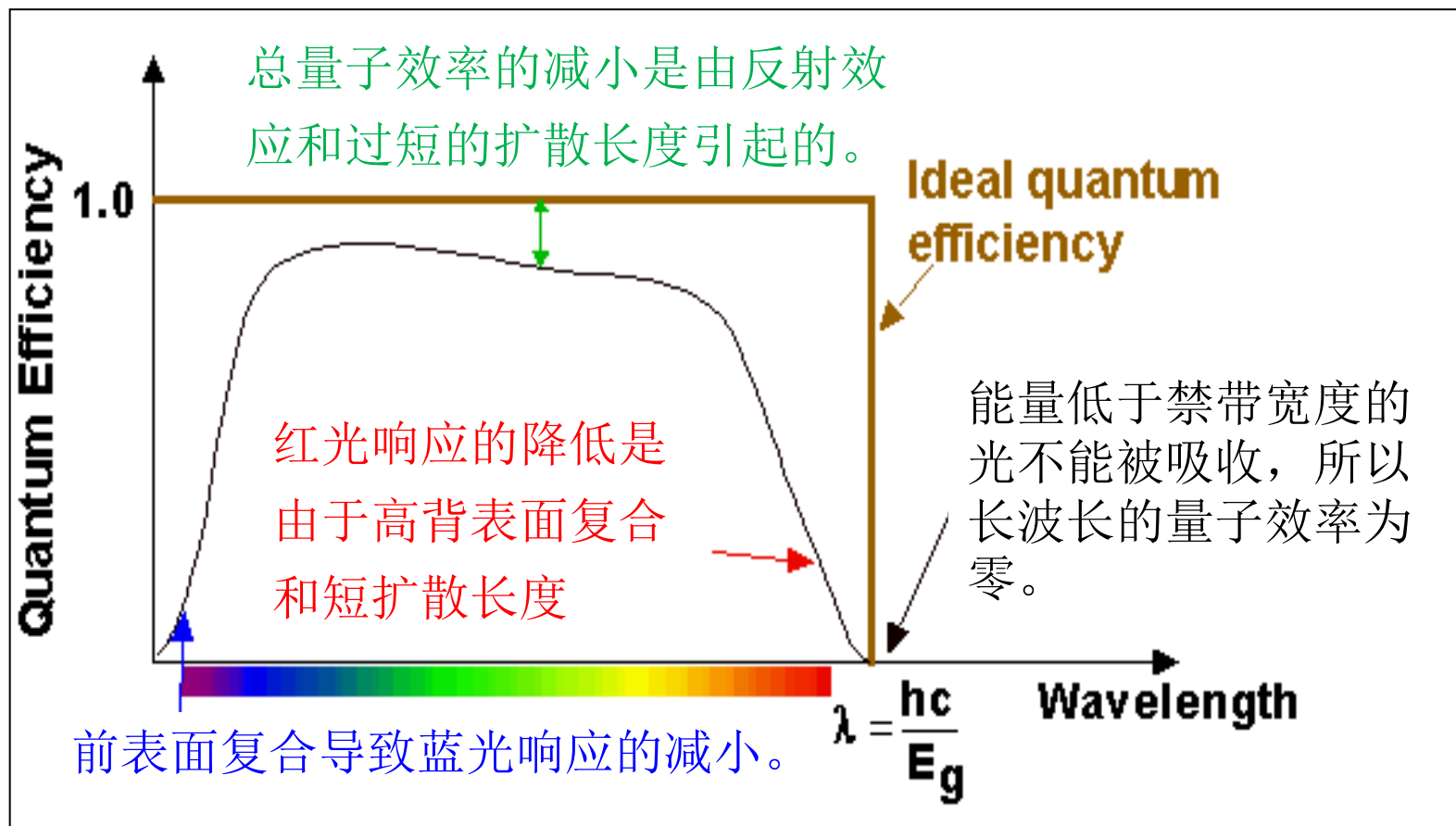
如果太阳电池在功率为 $10\text{KW}/\text{m}^2$ 的光照下工作，也可以说是在10个太阳下工作，或10X，也就是“聚光太阳电池”，聚光条件下太阳电池效率会升高。



1、基本概念

1.3 电池光谱响应

量子效率是电池产生的光生电子数量与入射到电池光子数量的比。

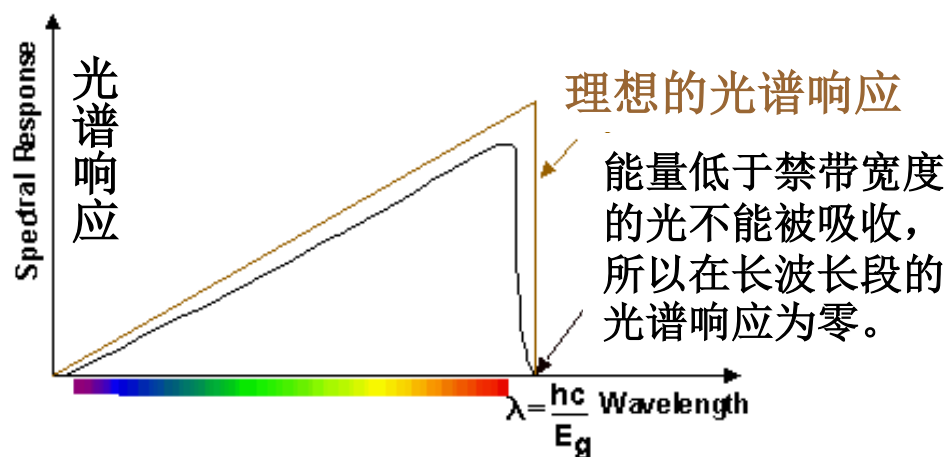


通常波长<350nm光子的量子效率不予测量，AM1.5，这些短波光所含能量很小。

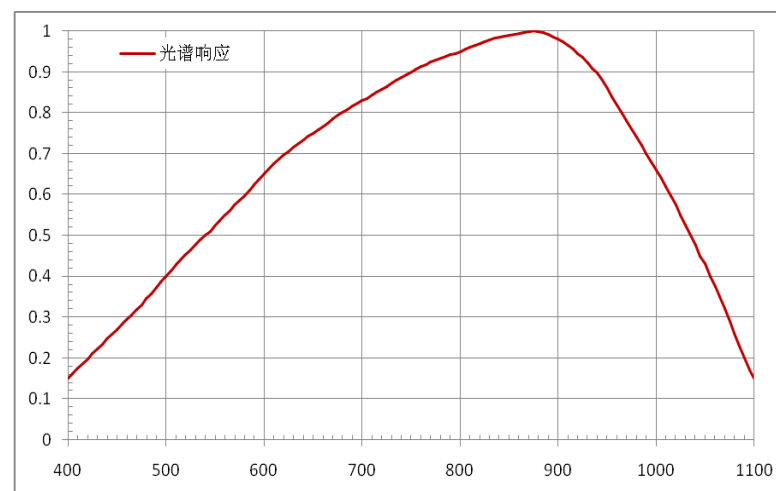
1、基本概念

1.3 电池光谱响应

光谱响应是指太阳电池产生的电流大小与入射能量的比例，定量的说是当某一波长的光照射在P-N结表面上时，每一光子平均所能收集到的载流子数。



硅太阳能电池的响应曲线。



太阳电池光生电流的大小取决于光源的光谱分布和电池对各种光谱辐照度的响应。

1、基本概念

1.3 电池光谱响应

- 理想的光谱响应在长波段受到限制，因为半导体不能吸收能量低于禁带宽度的光子。这种限制在量子效率曲线中同样起作用。
- 不同于量子效率的矩形曲线，光谱响应曲线在随着波长减小而下降。因为这些短波长的光子的能量很高，导致光子与能量的比例下降。
- 光子的能量中，所有超出禁带宽度的部分都不能被电池利用，而是只能加热电池。
- 在太阳电池中，高光子能量的不能完全利用以及低光子能量的无法吸收，导致了显著的能量损失。
- 光谱响应是非常重要的量，只有测量了光谱响应才能计算出量子效率。

$$SR \text{ (光谱响应)} = \frac{q\lambda}{hc} QE \text{ (量子效率)}$$



1、基本概念

1.4 模拟光谱

太阳能电池组件测试光谱要求：

- ✚ 800-1200 W/m²的辐照度连续可调；
- ✚ AM1.5的太阳光谱；
- ✚ 辐照不均匀度 $\leq \pm 2$ ；
- ✚ 辐照不稳定度 $\leq \pm 1$ 。

地面太阳能电池和光伏组件标准测试条件：

AM=1.5； 1000W/m²； 25°C

光谱； 辐照度； 电池温度



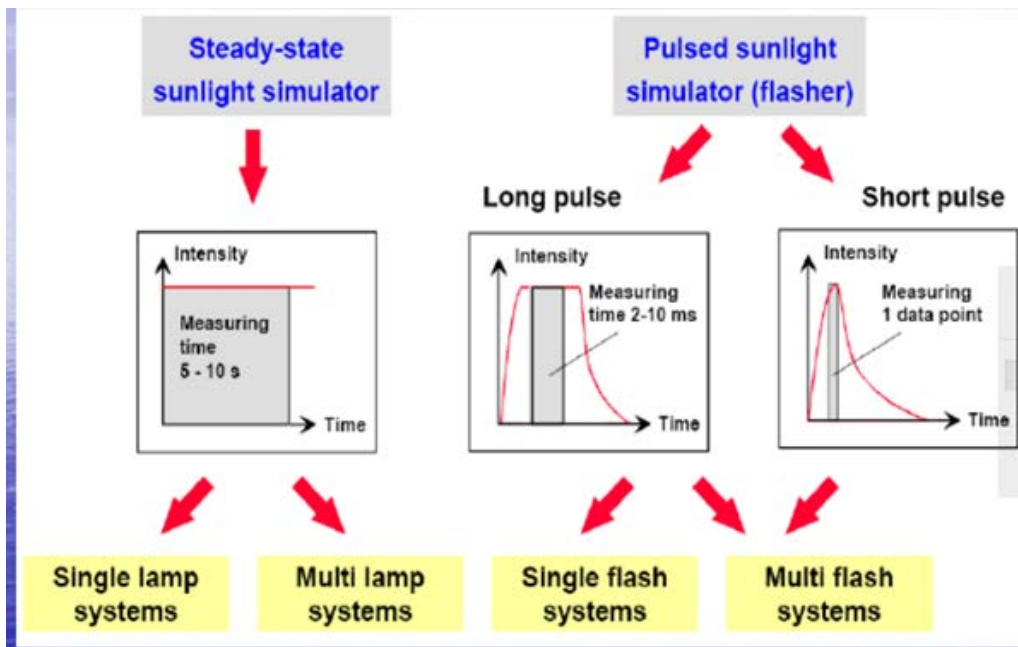
I-V测试装置示意图



2、检测设备

2.1 模拟光源

模拟器的种类



类型	定义	优点	缺点	适合
稳态	工作时输出的辐照度稳定不变	连续照射稳定标准太阳光	光学系统和供电系统复杂庞大	制造小面积太阳模拟器
脉冲	毫秒量级脉冲发光	瞬间功率大	采集系统复杂	大面积测量

2、检测设备

2.1 模拟光源

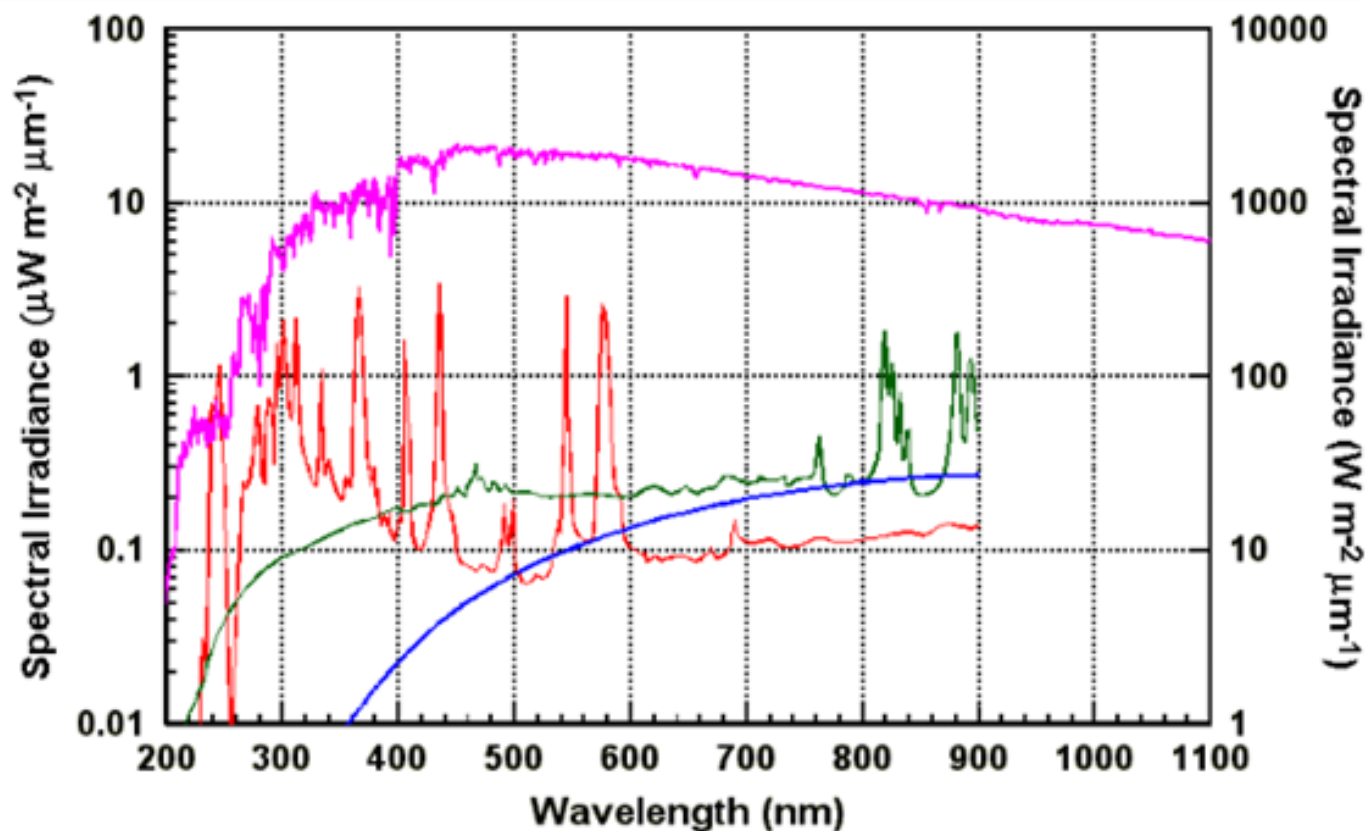
模拟光源的种类

电光源	结构	特征	缺点	备注
卤光灯	卤光灯 加水膜	色温2300K， 光谱和日光差别大， 红外线含量大， 紫外线含量少	3cm水膜滤除 部分红外线， 无法补充紫外线	简易型
冷光灯	卤钨灯 加介质膜	反射镜对红外线透明， 其他光线反射， 色温3400K	灯寿命短，50H	简易型
氙灯	氙灯 加滤光片	色温6000K 光谱接近日光， 但红外线多些， 用滤光片滤掉	光斑不均匀， 电路复杂，价格贵， 光学积分设备复杂， 有效面积难做大	精密太阳能 模拟器
脉冲 氙灯	脉冲氙灯	短时间光强强， 光谱特征比稳态氙灯好， 可以得到大面积均匀光斑		

2、检测设备

2.1 模拟光源

各种模拟光源光强比较



氙（绿色）、卤素（蓝色）和汞（红色）灯泡（左轴）的光谱照度与太阳光（紫色，相应于右轴）的光谱照度作比较。

2、检测设备

2.1 模拟光源

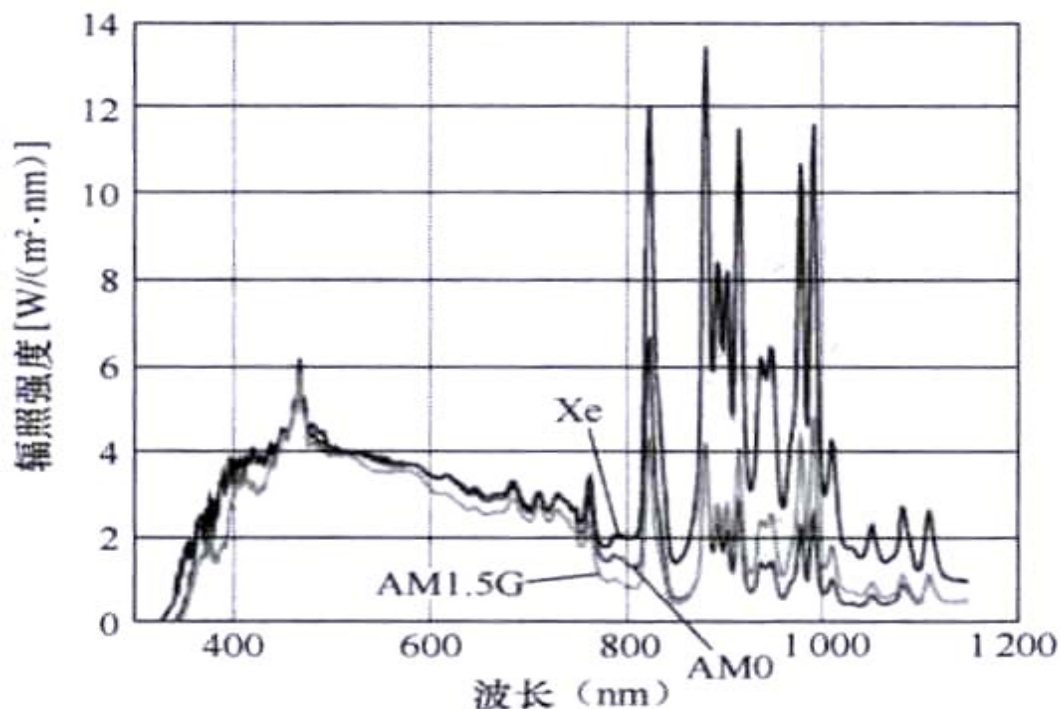
氙灯与其他光源在可见光区能量分布比较

波长 (um)	颜色	辐射能量平均值 (%)						
		太阳光	氙灯		荧光灯 (自然光等)		白炽灯 (500W)	
		W	W	ΔW	W	ΔW	W	ΔW
0.40~0.45	紫	15.3	15.1	-0.2	12.1	-3.2	4.6	-10.7
0.45~0.50	兰	18.9	18.5	-0.4	10.7	-8.2	8.7	-10.2
0.50~0.57	绿	17.8	16.7	-1.1	17.1	-0.7	15.0	-2.8
0.57~0.59	黄	16.9	16.9	0.0	24.6	7.7	20.3	3.4
0.59~0.61	橙	16.1	16.8	0.7	23.4	7.3	22.7	6.6
0.61~1.70	红	15.0	16.0	1.0	12.1	2.9	28.7	13.7
ΣΔW				3.4		30.6		47.4

2、检测设备

2.1 模拟光源

氙灯光谱与太阳光谱对比



- 色温6000K，与太阳表面温度接近；
- 能量密度高，可得到与太阳接近的光强；
- 可见光区域光谱辐射能量几乎相等；
- 在近红外区域（800-1000nm）存在较强的发光线，需要修正；

氙灯光谱与加了滤波片所得到的AM0与AM1.5光谱

2、检测设备

2.1 模拟光源

模拟器的等级

质量	方法	等级		
		A	B	C
辐照非均匀性	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%
与AM1.5光谱的失配	在6个波段内比较光强 (400-500-600-700-800-900-1100) 太阳模拟器/AM1.5数据	0.75~1.25	0.6~1.4	0.4~2.0
辐射光的稳定性	在待测面积内定点测量模拟器辐照度，在1分钟内计算最小点至最大点	<2%	<5%	<10%



2、检测设备

2.1 模拟光源

模拟器的选择

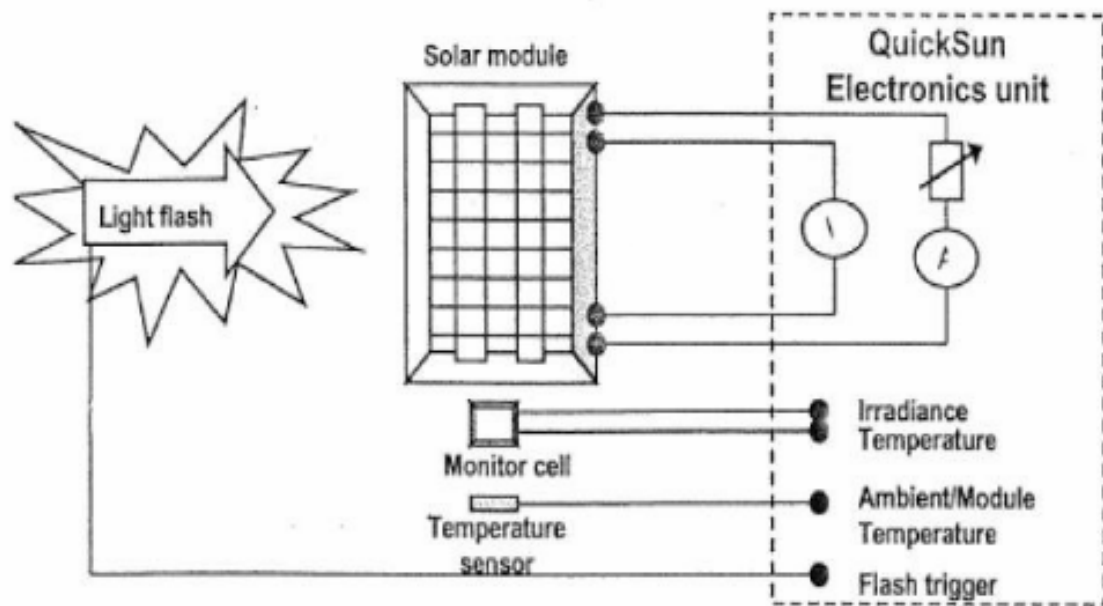
- 1) 模拟器级别选择：一般有A、B等级别，级别的区分主要是从光谱匹配度，空间分布均匀性，时间稳定性这三个方面，其中，光谱匹配度是关键和难点。
 - 2) 光源功率选择：一般有150W，300W，1000W，和1600W等功率选择。
 - 3) 输出光束的尺寸选择：根据辐照面积和强度的需要，选择相应的尺寸。
 - 4) 辐照方向的选择：是侧向，下向，或者上向辐照，平行度和垂直度。
 - 5) Air Mass滤波器的选择：它的作用是修改光谱，从而模拟在不同环境下的光谱近似分布。根据需要模拟的测试环境来选择。
 - 6) 其他附件的选择：滤波片，双色镜，数字式强度控制器等。
- 

2、检测设备

2.2 采样设备

测试原理

采用闪光模拟器，光强不稳定

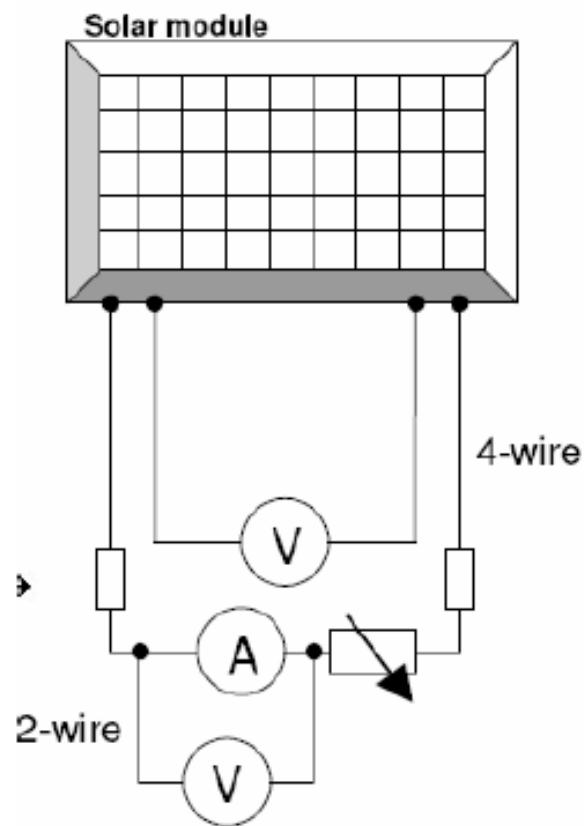
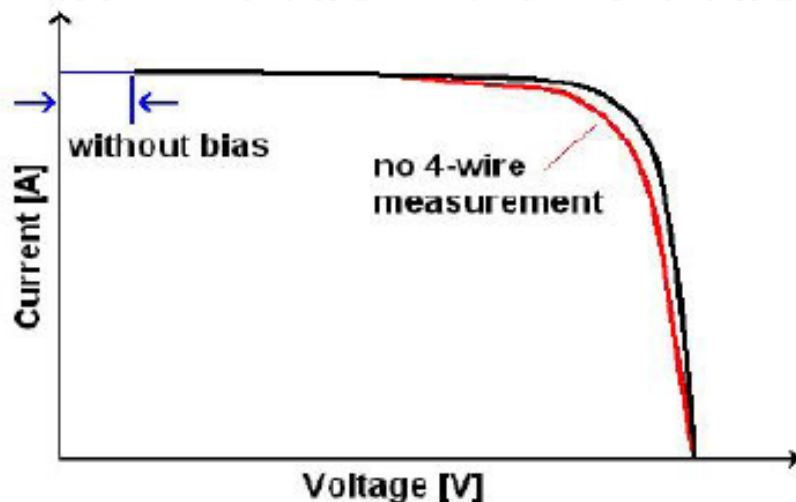


采用同步测量然后光辐照度修正的方法，同时采样太阳电池组件的电压、电流和参考太阳电池的短路电流，然后将参考太阳电池标定的光强归一化到标准光强，得到修正系数修正被测组件的电流。

2、检测设备

2.2 采样设备

- 4引线法——减小接触电阻影响
- 偏压——测准 I_{sc}
- IV曲线测量：512点
 - 4.3 us/数据点
- 负载属性：
 - 容性（一次闪光），阻性（多次闪光）



在2ms内取样4096次，每8点加权平均得到512组数据

2、检测设备

2.3 温度控制

➤主动式控制：

采取恒温设施使被测器件控制在测试温度范围内，适合于恒定光源、精确测量，如电池片的标定、工作参考片的传递；

➤被动式控制：

通过环境温度的控制使被测器件控制在测试温度范围内，适合于脉冲光源测量，如工业化电池的检测和工业化组件的测试。



3、检测方法

3.1 光强校准



- 用于室内外测试的光强修正
- 输入相应的测试光强的标准片短路电流的电流值，该值为相应的标准片对于光强的特定值。
- 更改光强修正系数使测得的光强值在 $1000\text{W}/\text{m}^2$
- 则计算短路电流将按光强为 $1000\text{W}/\text{m}^2$ 时的值计算。

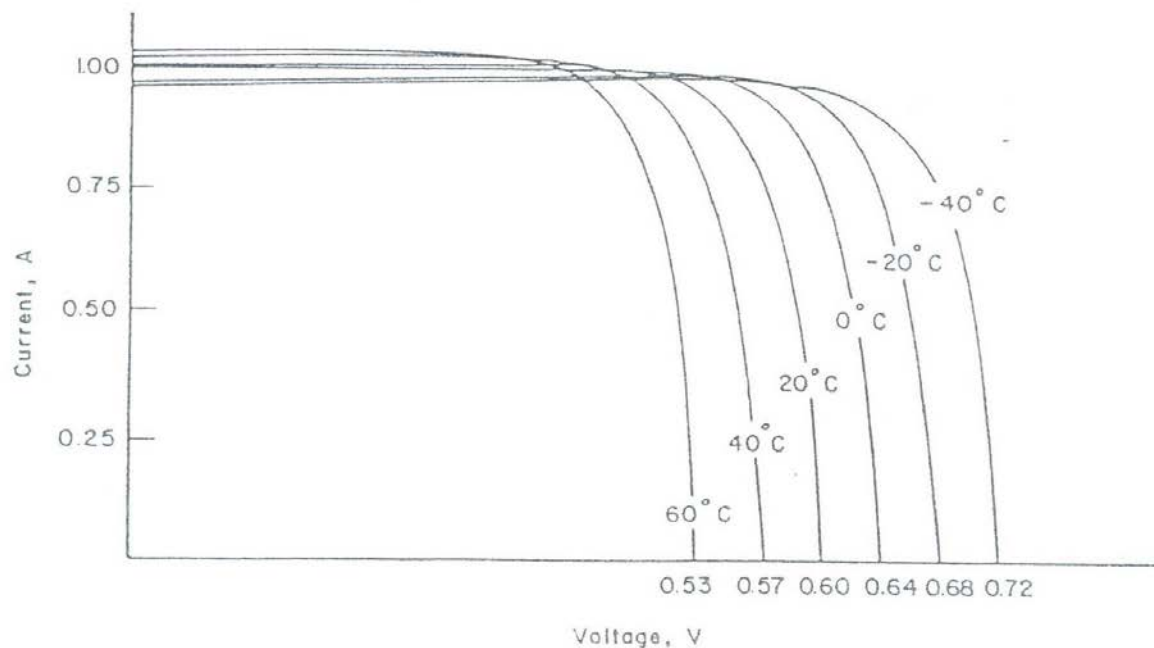
参考电池作为绝对光强校准参照，也包括在模拟器部件中

3、检测方法

3.2 温度校准

温度效应

受温度影响最大的参数是**开路电压**



温度的改变对伏安曲线的影响

在20-100°C范围，大约每升高1°C，每片电池的电压减少2mV

3、检测方法

3.2 温度校准

生产中使用的温度测量系统，准确度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

如使用功率校准方法，功率温度系数为 $0.45\%/^{\circ}\text{C}$

如使用短路电流校准法，电流温度系数为 $0.06\%/^{\circ}\text{C}$

如使用开路电压校准法，电压温度系数为 $-2\text{mV}/^{\circ}\text{C}$

实际操作中常用标准电池的电压校准温度



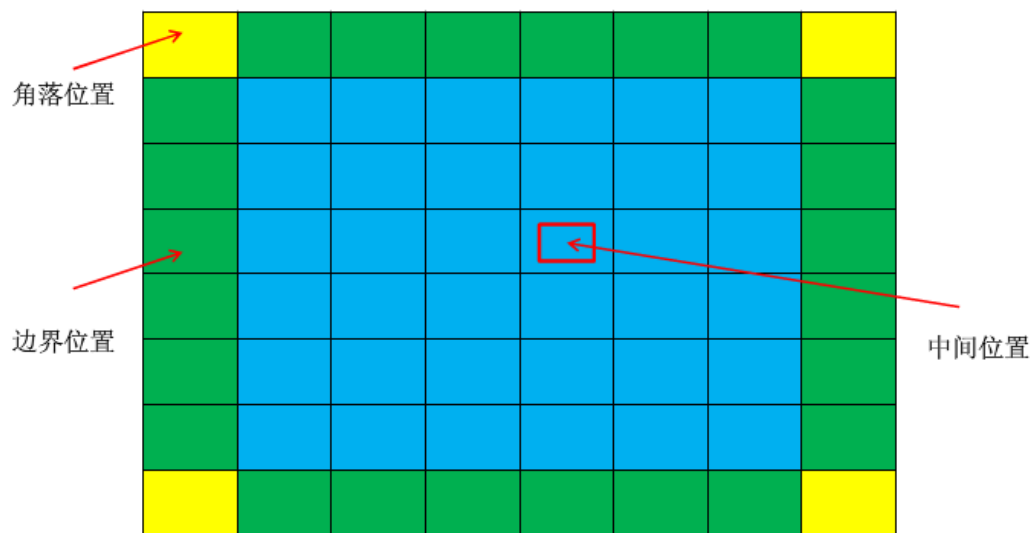
3、检测方法

3.3 光强均匀性校准

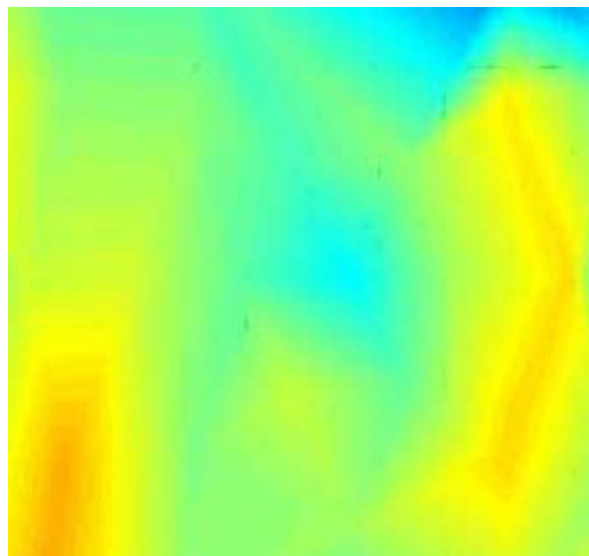
$$\text{光强不均匀度} = \pm \frac{E_{\max} - E_{\min}}{E_{\max} + E_{\min}} \times 100\%$$

对于太阳模拟器来说，工作区光强均匀性最难实现。

A类太阳模拟器将这种影响降到最小，为±2%以内。



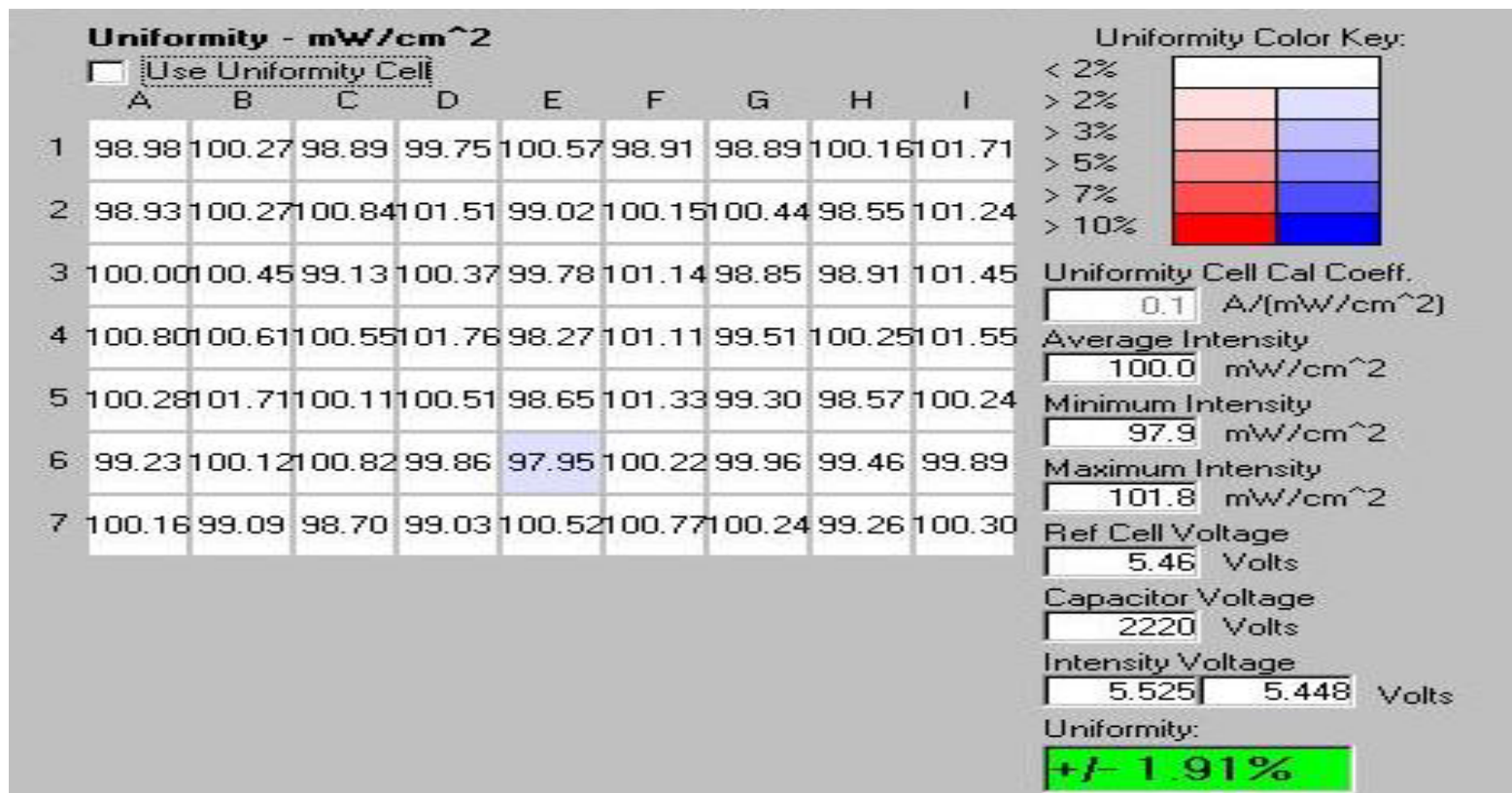
探测器件放置位置



3、检测方法

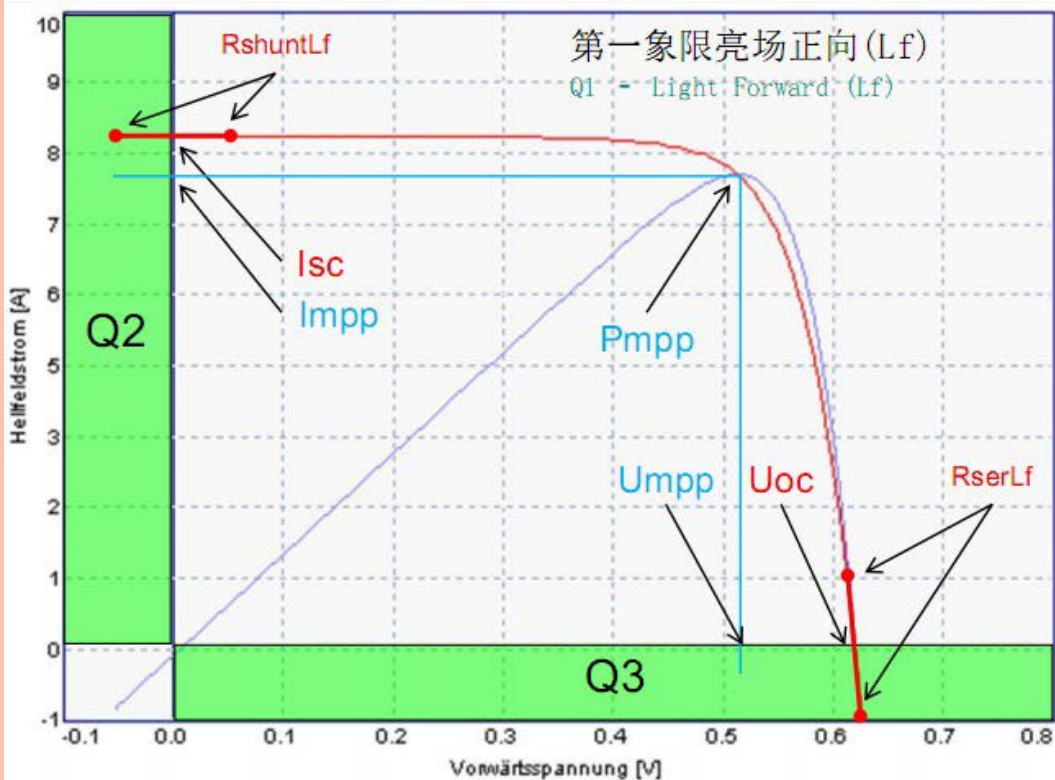
3.3 光强均匀性校准

分别测试单个区域灯光强，计算出光强不均匀度，调整光路，使每个区域的光强与设定的值一样，误差控制 $\pm 2\%$ 以内。



3、检测方法

3.4 I-V特性曲线



太阳能电池电性能参数

短路电流 (I_{sc}) : 理想情况下, 等于光生电流 I_L 。

影响因素: 面积、光强、温度

125太阳电池 5A左右

156太阳电池 8A左右

开路电压 (V_{oc}) : 影响因素: 光强、温度、材料特性

晶体硅太阳电池 600mV左右

填充因子 (FF) : 最大输出功率与开路电压和短路电流乘积之比

$$FF = P_m / V_{OC} I_{SC} = V_m I_m / V_{OC} I_{SC}$$

影响因素: 串联电阻、并联电阻

转换效率 (η) :

$$\eta = \frac{I_m V_m}{P_{in}}$$

3、检测方法

3.4 I-V特性曲线

采样数据：电流I、电压V、温度T、光强L

提取参数：Isc(Jsc)、Voc、Pm(@Im、Vm)、FF、Eff、Rs、Rsh

1) 直接提取：

- Isc : @V $\approx$ 0 , 存在误差(Voc $\neq$ 0时, 恒流段斜率; 采样点扰动)
- Voc : @I $\approx$ 0 , 存在误差(I $\neq$ 0时, 恒压段斜率; 采样点扰动)
- Pm : 存在误差(采样点扰动; 采样点离散)
- FF : 计算获得
- Eff、Jsc : 计算获得, 电池片面积误差
- Rsh : dV/dI @V=0 , 近视算法, 采样点扰动和离散性误差
- Rs : dV/dI @I=0 , 近视算法, 采样点扰动误差和离散性误差

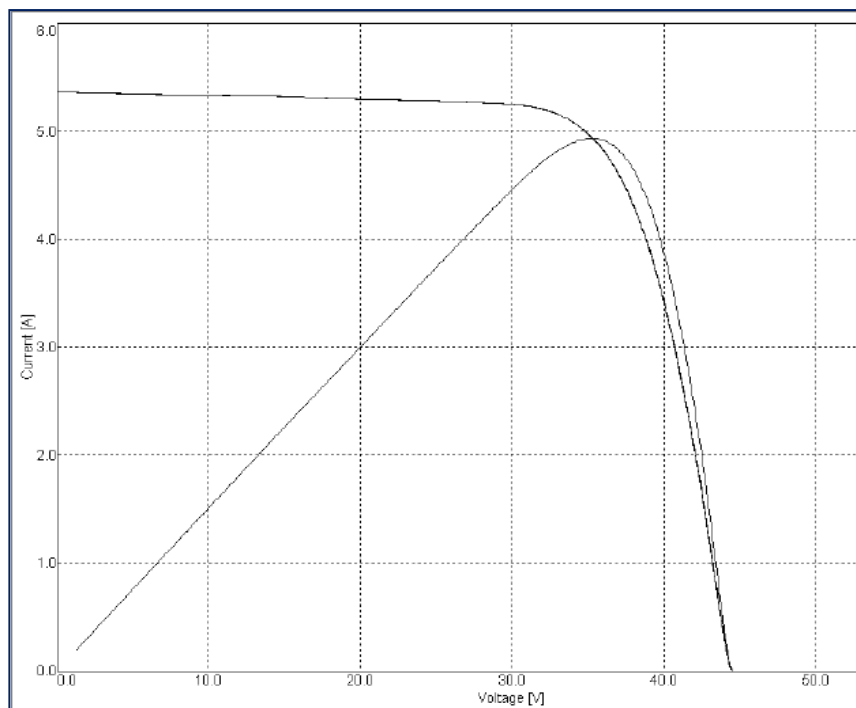
2) 曲线拟合：

- 非线性超越函数。
- 均方差极小值。
- 拟合精度：一般可达到0.1%

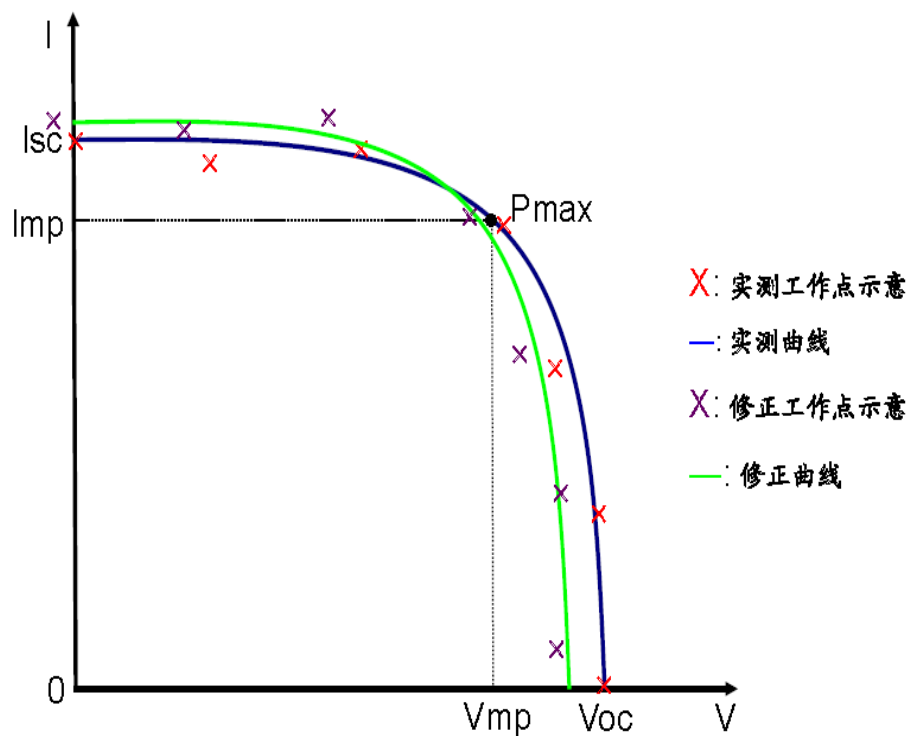


3、检测方法

3.4 I-V特性曲线



正常组件I-V曲线图



实测/修正I-V特性曲线示意

4、相关问题

测试误差的产生

- 1、组件在恒温区存储时间很短；
- 2、不注意校准太阳模拟器的光强；
- 3、不注意室内温度的变化；
- 4、标准组件保管不当或不进行自校准；
- 5、组件测试位置的摆放不重合；
- 6、标准组件类型使用错误；
- 7、氙灯的老化带来的随机误差等。

理论上测试仪系统误差小于 $\pm 0.025\%$ ；人为因素是误差产生的主要原因。

4、相关问题

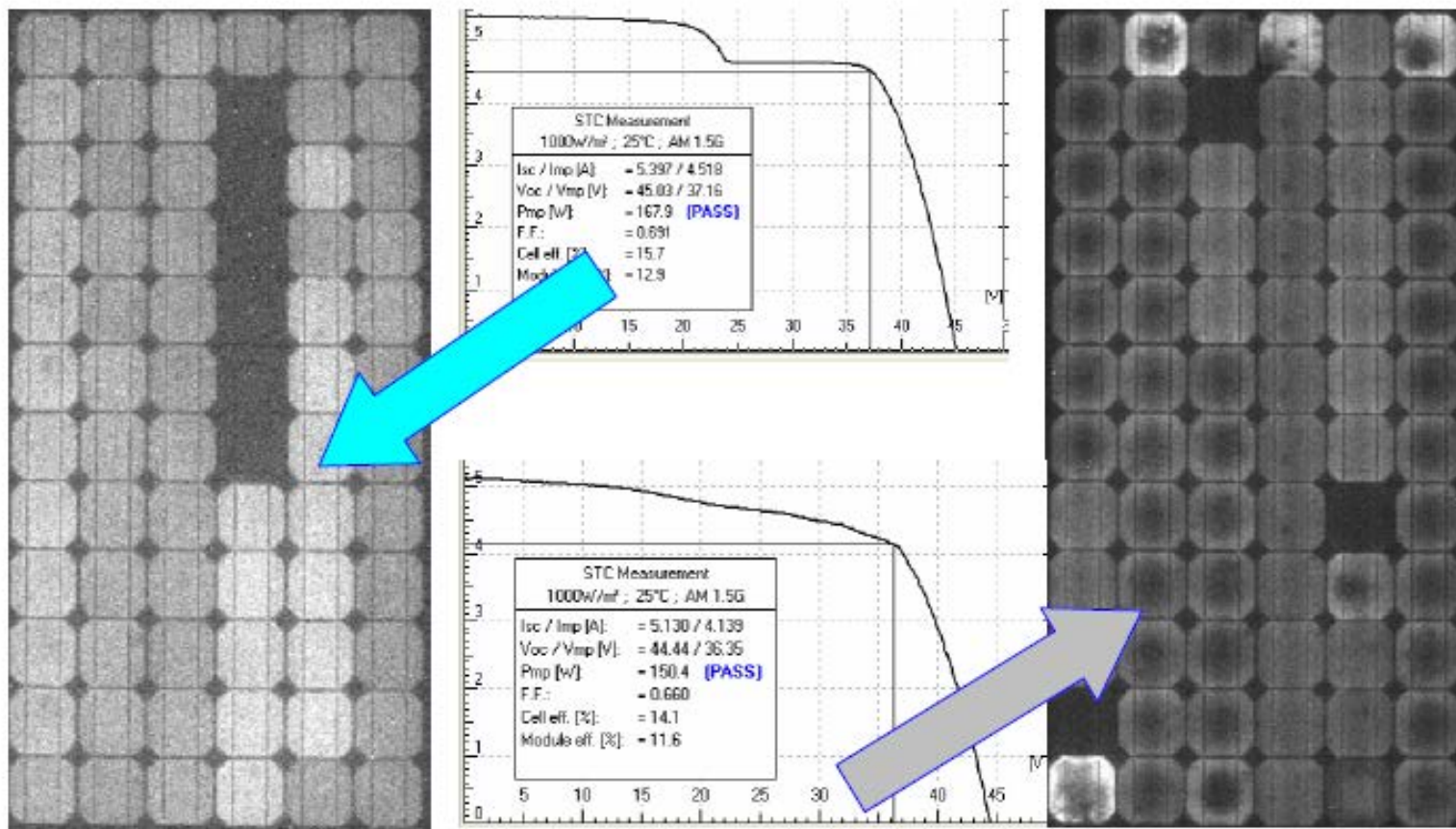
测试仪常见故障

常见故障	可能的原因	解决办法
测量结果异常，没有曲线	正负极性接反	接正确即可
	测量线接触不好或断开	检查接好
测量结果偏小，曲线异常	两支灯管有一支没有亮，灯管老化或相应线路故障	更换灯管或检查相应线路，排除故障
测量结果电压和功率异常	修正温度出错，测量温度与实际温度不符。	在参数调整界面重新校正测量温度



4、相关问题

异常曲线



谢 谢

