



中华人民共和国国家标准

GB 11012—89
降为 SJ/T 11061-96

太阳能电池电性能测试设备检验方法

Inspection procedures for electrical
performance test equipments
for solar cells

1989-03-31 发布

1990-01-01 实施

国家技术监督局 发布

中华人民共和国国家标准

太阳能电池电性能测试设备检验方法

Inspection procedures of electrical
performance test equipments
for solar cells

GB 11012—89

1 主题内容与适用范围

本标准规定了太阳能电池电性能测试设备技术性能的一般检验方法。

本标准适用于检验各类太阳能电池电性能测试设备,包括测量单体太阳能电池、太阳能电池组件、太阳能电池组合板和太阳能电池方阵的所有类型的电性能测试设备。各类太阳能电池测试设备应根据具体要求有针对性地加以引用。

2 引用标准

- GB 6494 航天用太阳能电池电性能测试方法
- GB 6495 地面用太阳能电池电性能测试方法
- GB 1324 光学零件上真空镀硫化锌氟化镁多层分光膜
- GB 3360 数据的统计处理 均值的估计和置信区间

3 电测系统的检测

3.1 可变负载

3.1.1 电阻可变负载

3.1.1.1 仪器和电路

a. 仪器

函数记录仪:精度不低于 $\pm 0.5\%$ 。

稳压电源:所能提供的电压、电流和功率应不小于被检测试台的电压、电流和功率量程。电压不稳度应不超过 $\pm 0.1\%$,电源内阻应不大于 0.01Ω 。输出交流纹波电压应不大于输出电压的 0.2% 。

限流电阻:阻值根据测试需要确定,但应保证稳压电源安全使用,限流电阻应有足够的功率,以保证不发热损坏。

采样电阻:应选用阻值为限流电阻十分之一以下的精密电阻,并有足够的功率,以保证不致因温升而改变其电阻值。

b. 电路框图

按图1接线。

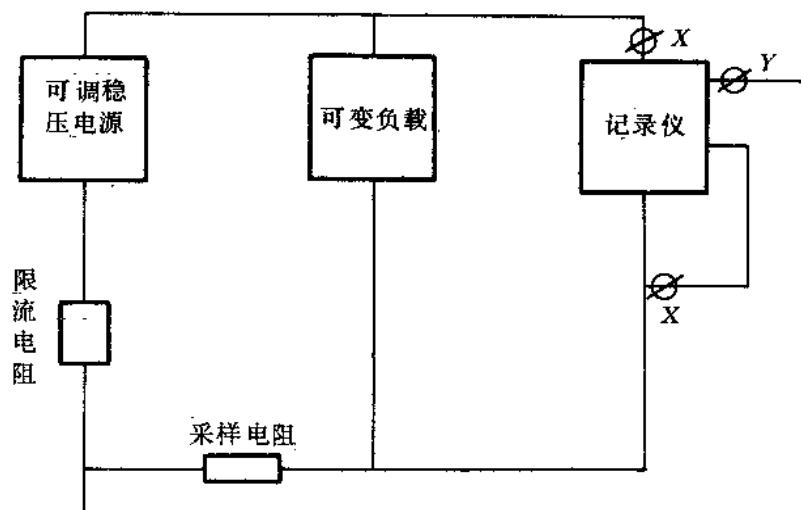


图 1

3.1.1.2 检测

- a. 如负载分若干档,应各档分别检验。并使稳压电源电压与各档量程相对应。
- b. 把可变负载从最大值到最小值连续反复调节三次,把各次描绘的 $I-V$ 特性记录在同一坐标上,得到三条曲线。

3.1.1.3 可变负载应满足以下条件

- a. 按 3.1.1.2b 条测得的三条曲线目视应重合。
- b. $I-V$ 特性曲线连续、平滑、无跳变。
- c. 可变负载两端电压的最小值应小于最大值的 3%,可变负载上电流的最小值应小于最大值的 1%。
- d. 电阻可变负载的额定电流应不小于受检测试台的最大电流量程。

3.1.2 电子负载

3.1.2.1 仪器和电路

- a. 仪器 同 3.1.1.1a 条。
- b. 电路框图 同 3.1.1.1b 条。

3.1.2.2 检测

- a. 同 3.1.1.2a 条。
- b. 同 3.1.1.2b 条。

3.1.2.3 电子负载应满足以下条件

- a. $I-V$ 特性曲线连续、平滑、无跳变。
- b. $I-V$ 特性曲线与电流轴、电压轴相交。
- c. 电流和电压的重复性误差及上下变差满足被检设备的技术要求。
- d. $I-V$ 特性曲线应是直线,可用直尺来检验它是否失真。

3.2 电流、电压测量(包括记录)装置

电流、电压测量装置按 3.2.1 条和 3.2.2 条两种情况检验。

3.2.1 太阳能电池测试设备所选用的电测量指示仪表精度应不低于 0.5 级,以计量部门一年内的检定证明为依据,否则在必要时应按照计量部门所规定的方法进行精度检验。

3.2.2 用微机、集成电路及显示元件装配的电测量装置、应按照对精度相当于 0.5 级电测量指示仪表的要求来检验。

3.3 接线、安装、夹具

3.3.1 太阳能电池电性能测试设备电测部分的接线和安装应符合有关规定。

3.3.2 从太阳能电池到电流测量端的接线电阻应小到能保证在测量短路电流时,被测电池两端的电压不

超过开路电压的 3%。

3.3.3 触针电阻、接触电阻、接线电阻

a. 测试夹具的触针电阻、接触电阻、接线电阻的总和应不大于被测电池串联电阻的 10%。被测电阻的串联电阻应按该夹具所夹太阳电池的串联电阻的最小可能值估算。

b. 接触电阻的测量推荐采用伏安法。

c. 上触针和上电极间的接触电阻,下触针(或板)和底电极间的接触电阻应分别测量。

3.3.4 上、下触针和太阳电池电极的接触电势差应不大于 1mV。测量接触电势的仪表输入电阻应不低于 1000M Ω 。

3.4 控制、采样

3.4.1 自动或半自动测试设备的各种控制机构不受从电源线路引进的电脉冲干扰的影响,必要时可按以下推荐方法作抗扰能力检验,也可按照使用条件另行确定。

抗扰能力检验方法:

把一台在工作的干扰脉冲发生器和受检测试台接在同一供电线路上,检验受检测试台的控制系统能否正常工作,干扰脉冲的波形及输出功率按仪器的抗扰能力指标来确定。

3.4.2 脉冲式测试设备的数据采样线路应在光脉冲的预定设计值附近采样。

3.5 偶然性故障的检测

太阳电池电性能测试设备需要作偶然性故障检验时,推荐采用本条规定。

3.5.1 定义:由偶然因素使测量的误差远大于规定的最大允许误差 3 倍以上时,称为发生“一次偶然故障”。

3.5.2 按表 1 决定接收或拒收。

表 1

偶然性故障次数	总试验时间 h	
	拒收(等于或小于)	接收(等于或大于)
0	—	2.67
1	—	4.32
2	0.36	4.50
3	4.50	—

3.5.3 偶然性故障检验应在无特殊干扰的正常工作环境中进行。

4 人造测试光源的检验

4.1 稳态测试光源

稳态测试应检验光谱特性、辐照度、不均匀度、不稳定性以及辐照准直性。

4.1.1 光谱特性的检验

a. 本标准规定了光谱特性检验的两种方法,即逐点检验及分区间检验。应根据光源的种类和精度要求来选择其中之一。

b. 本标准规定太阳电池性能测试设备只检验相对光谱分布。

4.1.1.1 逐点检验法:本方法用于高精度测试光源的检验

a. 检验的波长范围:0.30~1.10 μm 。

b. 检测点的波长间隔:按 GB 6494 附录 D 和 GB 6495 附录 D 选取检测点,逐点测量出光谱辐照度。

c. 仪器布置:见图 2。

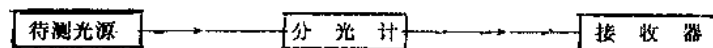


图 2

d. 仪器要求:仪器精度应和检测要求相配合。

分光计:分光计或单色仪的使用波长范围应能覆盖 $0.3 \sim 1.1 \mu\text{m}$, 分光计在各测试波长点的透过率应已知,或进行测定。

接收器:推荐选用与波长无关的中性接收器,也可以选用光谱灵敏度曲线经过标定或精确测定的其它接收器。

4.1.1.2 分区检验法:本方法适用于非高精度测试,尤其适用于非气体放电灯的测试。

a. 区间划分:将 $0.3 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 波长范围划分为六个区间,即 $0.3 \sim 0.5$, $0.5 \sim 0.6$, $0.6 \sim 0.7$, $0.7 \sim 0.8$, $0.8 \sim 0.9$, $0.9 \sim 1.1 \mu\text{m}$ 。

b. 测试点选择:将各区间的中点选为测试点,即 0.4 、 0.55 、 0.65 、 0.75 、 0.85 、 $1.0 \mu\text{m}$ 。

c. 仪器布置:同 4.1.1.1c 条。

d. 仪器要求:同 4.1.1.1d 条,但分光计可以改用透过率已知的窄带滤光片,其通带宽度应不超过 $0.05 \mu\text{m}$ 。

4.1.2 辐照度的检验

4.1.2.1 用标准太阳电池的标定值来检验光源的辐照度。

4.1.2.2 辐照度调节范围:以常规单晶硅标准太阳电池短路电流的标定值为基准,根据短路电流和辐照度成正比关系来检验受检光源的辐照度调节范围。

4.1.2.3 A 级太阳模拟器可以用经计量部门标定的辐射计来检验辐照度。

4.1.3 辐照不均匀度的检验

4.1.3.1 不均匀度的检验应符合 GB 6495 的有关规定。

4.1.3.2 有效辐照面积为正方形、矩形时,应将面积分为若干正方形或矩形小格子,在每个格子中心设一个检测点。

4.1.3.3 有效辐照面积为其它正多边形时,应将检测点沿对角线方向均匀选取。

4.1.3.4 有效辐照面为圆形时,可按它的内接正六边形来考虑。

4.1.3.5 用于测量单体太阳电池的光源,检测格子应不少于 4 个,用于测量组合板的光源检测格子不少于 10 个。

4.1.3.6 组合光源(由两种以上光谱不同的电光源组成)的均匀性应对每一组光分别检验。

4.1.4 不稳定性度的检验

4.1.4.1 检验辐照不稳定性度时,可将检测太阳电池放在有效辐照面内的任一位置,应使检测电池全部位于有效辐照面内。

4.1.4.2 在 1h 内每隔 5min 测量短路电流一次,每次重复测三个数据取平均,共测 12 次,按 GB 6495 的规定计算不稳定性度。

4.1.4.3 短时不稳定性度检验时,检测电池的位置仍按 4.1.4.1 条,用每秒采样两次以上的数字式表测量短路电流,每隔 30s 测一个数据,共测 5min,计算出短时不稳定性度。

4.1.4.4 检验不稳定性度和短时不稳定性度时,检测电池的温度变化应控制在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

4.1.5 散射光含量的检验

4.1.5.1 散射光的含量应符合 GB 6494 和 GB 6495 的有关规定。

4.1.5.2 用总辐射表加遮光物来检验散射光含量

a. 先用标准太阳电池把受检光源的辐照度校准到标定值,再将总辐射表置于有效辐照平面的中心,测得辐照度 A 。

b. 用遮光物将垂直照射的光线挡住(不得挡住散射光),测得辐照度 B 。

c. 辐照度之比 B/A 应不大于 25%。

4.2 脉冲式测试光源的特性的检验

4.2.1 光谱特性的检验:同 4.1.1 条。

4.2.2 辐照度的检验:同 4.1.2 条。

4.2.3 辐照不均匀度的检验

4.2.3.1 单个脉冲灯,无聚光装置的测试光源,当光源至有效辐照面的垂直距离大于有效辐照面线度 L 2.3 倍以上时,不均匀度可按表 2 估算。

表 2

距 离 H	不均匀度	距 离 H	不均匀度
$2.3L \leq H \leq 2.5L$	$\leq \pm 5\%$	$3.6L \leq H \leq 4.2L$	$\leq \pm 2\%$
$2.5L \leq H \leq 3L$	$\leq \pm 4\%$	$4.2L \leq H \leq 5L$	$\leq \pm 1.5\%$
$3L \leq H \leq 3.6L$	$\leq \pm 3\%$	$H \geq 5L$	$\pm 1\%$

4.2.3.2 凡属 4.2.3.1 条以外的情况,检验方法同 4.1.3 条。

4.2.4 不稳定度的检验

同 4.1.4 条,但不检验 4.1.4.3 条。

4.2.5 散射光含量的检验

脉冲式测试光源的散射光含量一般不必检验。必须检验时参照 4.1.5.2 条进行,但其中总辐射表用太阳电池代替,即以太阳电池的短路电流值(可用脉冲式测试仪测得)代替总辐射表的读数。

4.3 滤光、反光器件

4.3.1 测试光源不应使用任何机械结构不稳定的滤光和反光装置。

4.3.2 光路附近不允许有影响反光的、不稳定的机械装置,如风翼片等。

4.3.3 凡属可能影响光学性能的各种因素均应排除。

4.3.4 不应使用极易老化、衰退、无法用定期更换的办法来恢复的反光物体和透光物体。

4.3.5 使用光学镀膜零件,其稳定性一般应由制造厂保证,必要时按 GB 1324 的有关规定来检验。

4.4 辐照度调节装置

4.4.1 辐照度应具备粗调和微调装置,调节范围在 $\pm 5\%$ 以内,为微调;超过 $\pm 5\%$ 则为粗调。

4.4.2 辐照度粗调装置应采用机械的或光学的手段,不应采用改变灯光电源的电压、电流等手段。

4.4.3 在辐照度粗调的范围内调节时,应保证其它光学特性仍在允许的范围内变化。

4.4.4 辐照度微调装置允许用任何方法。

4.5 灯光电源

4.5.1 灯光电源分为连续工作型、间歇工作型和脉冲工作型,应按各自的要求检验。

4.5.2 灯光电源应有足够的功率容量,能连续使用 4h 以上。

4.5.3 间歇工作型灯光电源在测试数据采样期间灯光自动开启,采样完毕自动熄灭,在采样期间应保证光脉冲有所需的形状。灯光电源应保证光脉冲的波形和幅值有良好的重复性。

4.5.4 连续工作型灯光的交流纹波系数可用精密示波器来检验。用受检灯光照射太阳电池,从太阳电池回路里取样电阻上取出与光电流成正比的电压。该电压的交流纹波系数 $\Delta U/U$ 应满足要求,其中 ΔU 是交流纹波电压的峰-峰值, U 是直流电压, ΔU 从示波器上读出。

4.6 电光源

电光源的色温、寿命及光谱特性由电光源制造厂保证。必需检验时,色温、寿命可按照轻工部有关标准进行检验。电光源的色温应不低于 2800K(系指在不带任何反光及滤光装置的情况下)。光谱特性的检验方法同 4.1.1 条。

4.7 安装和通风

受检设备的电气、机械结构基本要求应符合有关规定。

5 温控系统

5.1 温控精度的检验

5.1.1 温度计:推荐用点接触式温度计。精确度应不低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

5.1.2 用校准好的温度计测量有效辐照面中心的温度,受检设备连续工作 1h 后再复测一次,验证温度变化范围是否在 $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内。

5.1.3 应在环境温度为 10、25、35 $^{\circ}\text{C}$ 三种环境条件下重复 5.1.2 条。

5.2 调温范围

5.2.1 备有温度系数测量装置的太阳电池测试设备应检验调温范围。

5.2.2 在技术指标所规定的温控范围内取温度上限,温度下限作为两个附加试点,按 5.1 条来检验温控精密度。

5.3 有效温控面积

5.3.1 在有效辐照平面上,温控精度和调温范围都达到规定指标的区域为有效温控区。有效辐照面和有效温控区重合部分称为有效温控面积。

5.3.2 按 5.3.1 条的定义,用 5.1 条规定的方法检验有效温控面积的形状和尺寸。

5.4 温控不均匀度的检验

5.4.1 温控不均匀度 δ 的定义

$$\delta = \frac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{\theta_{\max} + \theta_{\min}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中: $\theta_{\max}$ ——有效辐照面积上的最高温度, $^{\circ}\text{C}$;

$\theta_{\min}$ ——有效辐照面积上的最低温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

5.4.2 $\theta_{\max}$ 、 $\theta_{\min}$ 的确定

将 4.1.3 条的辐照不均匀度检测点改为温度不均匀度检测点,用校准好的接触式温度计轮流测定各检测点的温度,重复三遍。将同一检测点的三个数据取平均值然后挑出 $\theta_{\max}$ 和 $\theta_{\min}$ 。

6 数据处理系统的检验

6.1 仪器和电路

根据需要选用图 3 或图 4 所示的电路。图 3 中标准电阻的阻值根据稳压电源的输出电压及测试台的电流量程来选择。

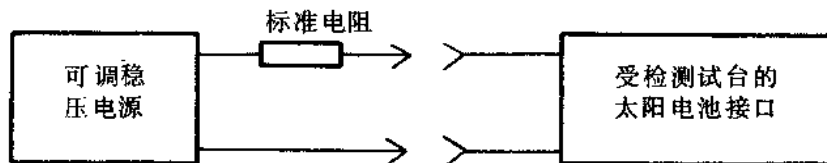


图 3

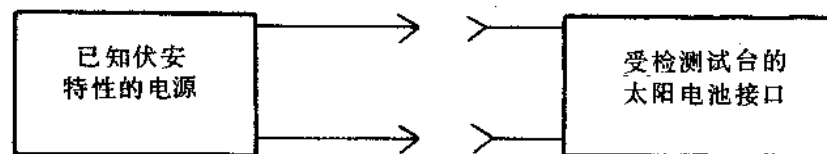


图 4

图 4 中已知伏安特性的电源可选用附录 B 中所推荐的太阳电池模拟电路。

6.2 输出系统

6.2.1 绘图功能检验

按图 3 或图 4 连接电路,并将受检测试台和 X-Y 绘图仪相连。描绘出伏安特性,和已知的伏安特性

相比较可判断绘图功能是否正常。

6.2.2 绘图重复性检验

按 6.2.1 条的操作方法重复进行三次,三条伏安特性应无明显不重合。

6.2.3 显示功能检验

将 X-Y 绘图仪换成显示器。可用和受检测试台配套的专用显示器。也可用通用示波器来观察显示功能是否正常,伏安特性有无明显的畸变。

6.3 打印输出系统

6.3.1 打印功能检验

按 6.1 条连接电路,进行一次测试,打印出各种参数,伏安特性等以检验打印功能,包括有效数字及打印重复性等是否符合要求。

6.3.2 伏安特性不滑度检验

明显偏离打印曲线的点应不超过打印总点数的 5%。

6.3.3 打点密度检验

测量一片填充因子大于 0.60 的太阳电池,打印出伏安特性曲线,应符合以下要求:

- a. 在最佳功率点附近打点的密集程度目视应接近于连续的曲线。
- b. 应能明显地判断伏安特性曲线和坐标轴的交点。

7 设备误差的检验

7.1 设备误差检验的要点

7.1.1 设备误差(精确度)包括系统误差(准确度)及偶然误差(精密度)两部分,应分别检验。

7.1.2 设备误差来源于电测及光测两部分,应分别检验。

7.1.3 设备误差是指各档的满量程误差,不同于实际测量误差。

7.2 电测误差

7.2.1 电测部分的准确度

7.2.1.1 仪器和电路:同 6.1 条。

7.2.1.2 各档的满量程准确度:受检设备的电压、电流测量分若干量程。手动或自动换档,均应分档检验满量程准确度。

a. 电压满量程准确度

按 6.1 条电路图 3,将稳压电源的输出电压调到某一个满量程电压值。用精度比受检测试仪高一级的数字电压表测量输出电压,再用受检设备测量输出电压,以数字电压表的测量结果为基准,求出相对误差。

b. 电流满量程准确度

按 6.1 条电路图 3,令输出电压和标准电阻的比值等于满量程电流,并以该数值为基准,求出所测短路电流的相对误差,即得电流满量程准确度。也可以用精度比受检测试仪高一级的电流表的测量值作为基准。

7.2.1.3 最大输出功率、填充因子、转换效率及其它电压、电流导出量的电测准确度可以按误差传递进行估算。

7.2.1.4 本条不考虑偶然误差,所涉及的测试数据均取算术平均值,重复测量次数应不低于三次。

7.2.2 电测部分的精密度:本标准规定按标准差的估计值 S 来估算测量的精密度,其估算方法参照 GB 3360,取样本大小 $n=10$,即用被检设备对同一测试样品重复测量 10 次,各次测量值为 X_i 。其算术平均值为 $\bar{X}$,则

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \dots\dots\dots (2)$$

于是测量精密度 $\gamma = \pm 1.028 \frac{s}{\bar{X}} \times 100\%$

7.3 光测误差

光测误差是指由光源本身特性引起的,或与光源特性有关的误差,包括光谱失配误差、不稳定误差及辐照度不均匀误差。

7.3.1 不稳定误差包括由不稳定度及短时不稳定度引起的两项偶然误差:

a. 电流不稳定误差:系指由于辐照度不稳定所引起的电流测量误差,采用相对误差。数值上等于不稳定度及短时不稳定度的平方和的平方根值。

b. 电压不稳定误差:系指由于辐照度不稳定所引起的电压测量误差,采用相对误差。计算方法和计算电流不稳定误差相同。

本标准规定,当稳定度不低于 A 级太阳模拟器的指标时,电压不稳定误差按 $\pm 0.3\%$ 估算;当稳定度不低于 B 级太阳模拟器的指标时,电压不稳定误差按 $\pm 0.5\%$ 估算;当稳定度不低于 C 级太阳模拟器的指标时,电压不稳定度按 $\pm 1\%$ 估算。

7.3.2 光谱失配误差:可根据光谱特性、标准太阳电池和待测太阳电池的光谱响应按 GB 6494 的附录 F 进行计算。

7.3.3 辐照不均匀误差:本标准规定太阳电池测试设备一般不给出辐照不均匀误差。

7.4 太阳电池电性能测试设备误差的给出

太阳电池电性能测试设备应按本条的规定给出在额定工作条件下,测试设备的设备误差,即各档的满量程测试误差。

7.4.1 应给出电测部分的精密度。

7.4.2 应给出电测部分的准确度。

7.4.3 电流、电压设备误差应分别给出,其它参数的设备误差按照误差传递原则进行估算。

7.4.4 光谱失配误差及辐照不均匀误差仅在有特殊需要时作为在特定条件下的附加技术指标给出。

7.4.5 光测不稳定误差可按不稳定指标算出,不作为一项独立的误差指标。

7.4.6 各项误差均以相对误差表示。

7.4.7 误差指标的优先数列取:1,1.5,2,2.5,3,5,7,10%。

7.5 关于误差检验的若干规定

7.5.1 受检设备的工作条件应符合制造厂规定,允许一定的稳定时间。

7.5.2 检验误差时所使用的仪器应不影响测量,或影响范围可以准确给出。若由于检验仪器接入而带来的测量误差为 $\pm m\%$,而受检设备的允许误差为 $\pm e\%$,则当受检设备的视在误差不超过 $\pm(e+m)\%$ 时,应认为符合要求。

7.5.3 检验稳定度时,应在规定的工作条件下进行,不允许采取附加的稳定措施或触动设备内部调节机构。

7.5.4 误差检验一般按满量程进行,也可以按技术要求在一些具有代表性的离散点上进行(例如,开路、短路、最大功率点等)。

7.5.5 用于野外自然阳光下测试的太阳电池测试仪应具有足够宽的额定工作温度范围,并给出温升误差。必要时需进行检验,检验的方法与一般电子仪器相同,可按有关标准进行。

附录 A

温度系数,串、并联电阻的误差检验

(补充件)

A1 温度系数的测量误差根据短路电流 I_{sc} 、开路电压 V_{oc} 的电测误差及温控精度按误差传递公式估算。

A2 温度系数的设备误差按 I_{sc} 、 V_{oc} 的满量程电测误差及温控精度按误差传递公式估算。

A3 串联电阻测量误差的检验

用受检设备先测定一片太阳能电池的串联电阻 R_s , 把一个标准电阻和太阳电池串联后, 再测定出串联电阻 R_g , 则 $R_g - R_s$ 为标准电阻的测量值, 以标准电阻的标定值为基础, 可求出标准电阻的测量误差。该值即为与标准电阻同数量级的串联电阻的测量误差。

A4 取阻值为 0.01, 0.1 和 1Ω 的三个标准电阻, 取三片太阳电池, 要求它们的串联电阻分别和这三个标准电阻的阻值接近或属于同一数量级。按 A3 条分别求出测量误差, 并以此作为受检设备测量串联电阻的设备误差。

A5 并联电阻测量误差的检验

仿照 A3 条但将串联改为并联。

A6 仿照 A4 条但标准电阻取为 100Ω、1kΩ、10kΩ, 并以此作为受检设备测量并联电阻的设备误差。

附录 B

太阳电池的模拟

(参考件)

B1 目的

为了检验太阳电池测试台电测部分的技术性能,可以采用模拟太阳电池的方法来避免光测部分的影响。

B2 原理

依照太阳电池的集中参数电路,可以用恒流源、稳压电源、二极管、串联电阻来模拟单体太阳电池或组件。

B3 测量仪器

恒流电源、稳压电源、电阻箱(或若干固定电阻)、二极管、或避光放装置太阳电池。

B4 模拟电路

根据调试需要可选用以下两种模拟电路中的任一电路,也可根据实际要求作适当的简化。

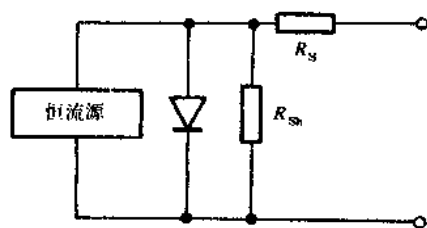


图 B1

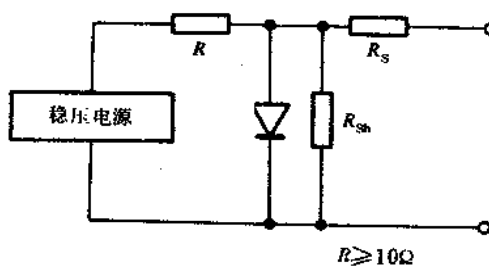


图 B2

附加说明:

本标准由西安交通大学、机械电子工业部十八所负责起草。

本标准主要起草人:黄嘉豫。