

中华人民共和国国家标准

GB/T 6495.10—2012/IEC 60904-10:1998

光伏器件 第10部分:线性特性测量方法

Photovoltaic devices—Part 10:Methods of linearity measurement

(IEC 60904-10:1998, IDT)

2012-12-31 发布

2013-06-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

GB/T 6495《光伏器件》由以下部分组成：

- 第1部分：光伏电流-电压特性的测量；
- 第2部分：标准太阳电池的要求；
- 第3部分：地面用光伏器件的测量原理以及标准光谱辐照度数据；
- 第4部分：晶体硅光伏器件的 $I-V$ 实测特性的温度和辐照度修正方法；
- 第5部分：用开路电压法确定光伏(PV)器件的等效电池温度(ECT)；
- 第7部分：光伏器件测量过程中引起的光谱失配误差的计算；
- 第8部分：光伏器件光谱响应的测量；
- 第9部分：太阳模拟器性能要求；
- 第10部分：线性特性测量方法。

本部分为 GB/T 6495 的第10部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分采用翻译法等同采用 IEC 60904-10:1998《光伏器件 第10部分：线性特性测量方法》。

与本部分规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 9535—1998 地面用晶体硅光伏(PV)组件 设计鉴定和定型(eqv IEC 61215:1993)

本部分由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本部分由全国太阳光伏能源系统标准化技术委员会(SAC/TC 90)归口。

本部分起草单位：上海交大泰阳绿色能源有限公司、中国电子科技集团公司第十八研究所。

本部分主要起草人：于化丛、郭增良、薛世德。

引 言

IEC 60904 由 9 部分组成,其中 8 部分被等同采用为 GB/T 6495,对应关系见本部分的前言。IEC 60904-6:1994 被等同采用为 SJ/T 11209—1999《光伏器件 第 6 部分:标准太阳能电池组件的要求》。

IEC 60904 没有第 4 部分,GB/T 6495 的第 4 部分为等同采用 IEC 60891:1987 制定的 GB/T 6495.4—1996《晶体硅光伏器件的 I - V 实测特性的温度和辐照度修正方法》。

光伏器件

第 10 部分:线性特性测量方法

1 范围

GB/T 6495 的本部分规定了以测试参数来确定光伏器件的任意参数的线性特性程序,主要供校准实验室、组件生产厂家和系统设计者使用。

通过采用线性方程可以实现对光伏组件和系统特性的评价,也可实现从一组温度、辐照度条件下的特性推算出另一组条件下的特性(见 GB/T 6495.4 和 GB/T 18210)。本部分制定了确保线性方程得到满意结果的线性特性要求和测试方法。这些要求限定了可以应用该线性方程的温度及辐照度的变化范围。

本部分描述的测量方法适用于所有的光伏器件,且可以推广应用于在同样技术下的样品或可比较器件上。其应在线性器件所需的全部测试和修正程序之前使用。本部分所用的方法与 GB/T 6495.4 中确定的线性函数类似,此线性(直线)函数是采用最小二乘拟合计算法拟合一组数据点得到的。来自这一函数的数据变化也可以计算出来,并将线性度的偏差用允许的变化百分比来表示。

当满足下述所关注的温度与辐照度范围条件时,才考虑一个光伏器件的线性特性。典型的最小温度范围在 25 °C~60 °C,最小辐照度范围在 700 W·m⁻²~1 000 W·m⁻²。

- a) 对于相对于辐照度变化的短路电流曲线,归一化斜率标准偏差(σ_s/m)小于 0.02;
- b) 对于相对于辐照度对数变化的开路电压曲线,归一化斜率标准偏差(σ_s/m)小于 0.05;
- c) 对于相对于温度变化的开路电压和短路电流曲线,归一化斜率标准偏差(σ_s/m)小于 0.1;
- d) 在特定电压下的一定波长范围的相对光谱响应变化小于 5%。

注 1:许多 IEC 光伏标准要求光谱失配修正,进行光谱响应测量。因此,相对于温度和辐照度的光谱响应的线性特性是很重要的。这对一些新技术如光化学电池有重要意义。

注 2:因为一些器件如非晶硅太阳能电池的相对光谱响应随电压变化较大,所以确定在偏置电压下的线性特性是很重要的。电压值的选择由最终用法决定。如果所关注的方面是最大功率状况,可以选取 V_{max} ;如果是为了校正,(采用)零偏置电压更为合适。

注 3:应注意一些器件的相对光谱响应是随温度和辐照度变化的。这些效应中的一些如 a)和 c)项那样的变化,可以按短路电流非线性考虑,而另一些却不可以。d)项情况下,需要按(短路电流)非线性考虑。

对这些和其他性能参数,确定它们的线性特性的通用程序在第 4 章~第 6 章中。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有修改单)适用于本文件。

GB/T 6495.2—1996 光伏器件 第 2 部分:标准太阳能电池的要求(idt IEC 60904-2:1989)

GB/T 6495.3—1996 光伏器件 第 3 部分:地面用光伏器件的测量原理及标准光谱辐照度数据(idt IEC 60904-3:1989)

GB/T 6495.4—1996 晶体硅光伏器件的 $I-V$ 实测特性的温度和辐照度修正方法(idt IEC 60891:1987)

GB/T 6495.7—2006 光伏器件 第 7 部分:光伏器件测量过程中引起的光谱失配误差的计算

(IEC 60904-7:1998, IDT)

GB/T 6495.8—2002 光伏器件 第8部分:光伏器件光谱响应的测量(IEC 60904-8:1998, IDT)

GB/T 6495.9—2006 光伏器件 第9部分:太阳模拟器性能要求(IEC 60904-9:1995, IDT)

GB/T 18210—2000 晶体硅光伏(PV)方阵 I-V 特性的现场测量(IEC 61829:1995, IDT)

GB/T 18911—2002 地面用薄膜光伏组件 设计鉴定和定型(IEC 61646:1996, IDT)

SJ/T 11209—1999 光伏器件 第6部分:标准太阳电池组件的要求(IEC 60904-6:1994, IDT)

IEC 61215:1993 地面用晶体硅光伏(PV)组件 设计鉴定和定型(Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules—Design qualification and type approval)

3 仪器

3.1 测试仪器

用以下仪器控制和测量测试环境:

- a) 一个测试用的光源(自然光或与 GB/T 6495.9 要求一致的 B 级或优于 B 级的太阳模拟器)。
- b) 任意的可在所关注的范围内改变辐照度的仪器,且不影响相对光谱辐射度分布和空间均匀性,如减光网或中性滤光镜。

注:用于改变辐照度的设备和程序需经过辐射计验证。相对光谱辐射度分布的改变影响标准电池的短路电流变化不超过 0.5%(见 GB/T 6495.7 和 GB/T 6495.8)。公认减光网是应用于大面积光照最好的手段。

- c) 一个已知短路电流与辐照度特性的关系的标准电池,这一关系需依照 IEC 相关标准利用绝对辐射计校准。
- d) 在一定范围内改变被试样品温度所需的仪器。
- e) 一种可控制被测样品和标准电池温度的方法,或移动的遮光物。
- f) 一个合适的用来摆放被测样品和标准电池的固定架,使之在同一平面且与辐照光线垂直。
- g) 一种监测被测样品和标准电池温度的方法,其精确度在 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,可重复性在 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.2 被测样品的仪器

为了完成各性能参数的线性测定,可能需要一个或一个以上的下述仪器:

- a) 用于测量被测样品和标准电池电流的设备,其准确度在 $\pm 0.2\%$ 。
- b) 用于测量被测样品和标准电池电压的设备,其准确度在 $\pm 0.2\%$ 。
- c) 用于依照 GB/T 6495.7 测量被测样品(或一个等同于被测样品)相对光谱响应的设备,其准确度在 $\pm 2\%$ 。

注:GB/T 6495.7 提供了在测试光伏器件过程中引入的光谱失配误差的计算,GB/T 6495.8 为光谱响应测量提供指导。

4 电流和电压线性测量程序

可采用以下两个程序来进行短路电流和开路电压与辐照度和温度的线性关系测试。

4.1 在自然光下的测试程序

4.1.1 在自然光下的测量应当满足下列条件:

- 整个辐照度至少达到测量范围的上限;
- 当标准电池测量时因短暂波动(云、雾、烟)引起的辐照度变化小于整个辐照度的 $\pm 2\%$;
- 风速小于 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

4.1.2 将标准电池与被测样品放置于同一平面,使平面与太阳光线垂直,角度误差小于 $\pm 1^\circ$,并连接必要的测试仪器。

注:以下项目测量时尽量在同一天的几个小时内,以减少光谱变化的影响。否则,需要光谱的修正。

4.1.3 如果被测样品和标准电池设置了温度控制,则调整在期望水平上。如果没有使用温度控制,则要遮蔽被测样品,并让它周围大气温度稳定在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 内。在程序开始前标准电池的平衡温度同样应稳定在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 内。

4.1.4 移开遮挡物(如果使用)并立刻同时读取测试参数 X ,测试被测样品性能参数 Y ,及标准电池的温度和短路电流。

4.1.5 根据 GB/T 6495.4,通过测到的标准电池的电流(I_{sc})和其在 STC 下的校准值(I_{rc})计算辐照度(G_0),再采用下列公式根据标准电池给定的温度修正系数(α_{rc})和温度(T_m)对辐照度(G_0)进行修正:

$$G_0 = \frac{1\,000 \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25)]$$

4.1.6 如果变化的参量是辐照度,在不影响空间均匀性及光谱辐射分布的条件下,按比例系数 K_i 减小被测样品的辐照度,可以采用以下方法:

- 校准的均匀减光网。在进行操作时标准电池应保持不被减光网遮盖,确保随时测得辐照度。此时, K_i 是减光网的校准参数(光透射率)。
- 非校准的均匀减光网法。在测试时,标准电池也应被减光网遮盖。此时, K_i 是标准电池短路电流(I_{sc})与其校准值(I_{rc})的比值。
- 控制入射角法。标准电池也应与被测样品有一样的反射性能,且与被测样品放于同一平面,误差小于 $\pm 1^\circ$ 。在此情况下, K_i 是标准电池短路电流(I_{sc})与其校准值(I_{rc})的比值。

注:减光网的最大网孔应小于标准电池和被测样品的最小尺寸的1%,否则由于放置位置将产生误差。

4.1.7 计算被测样品的辐照度水平(G_i),用下面的公式:

$$G_i = K_i \times G_0$$

其中 G_0 是用 4.1.5 确定的方法测量的。

4.1.8 如果变化的参量是温度,可以采用调节控制器或交替曝光和遮盖被测样品的方法,来获得或保持期望的温度。重复 4.1.4 的数据采集程序,让被测样品自然升温。

4.1.9 在数据采集过程中,确保被测样品和标准电池温度的稳定,保持温度变化小于 $\pm 1^\circ\text{C}$;通过标准电池测量的辐照度保持变化在 $\pm 2\%$ 内。

4.1.10 重复步骤 4.1.4~4.1.9,在测量范围内所选的测试参量应至少包含 4 个近似等值增量。且在每个测试条件下至少测三次。

4.2 在太阳模拟器下的测试程序

注:发散灯如氙灯不能用于直接带隙电池的测量。当温度变化导致带隙变化时,它可以通过该灯光谱的各种发射光谱并引起大的性能漂移。这种影响需通过光谱失配修正或运用合适的遮光器降低到最小。

4.2.1 将被测样品与标准电池放置在模拟器的同一平面,且该平面法线与光束中心线平行,夹角小于 $\pm 2^\circ$ 。连接其他需要的测试设备。

4.2.2 如果被测样品和标准电池安装有温度控制器,将其设置到期望值。如没有安装温度控制器,则允许被测样品和标准电池稳定在室温,并小于 $\pm 1^\circ\text{C}$ 。

4.2.3 通过测到的标准电池的电流(I_{sc})和其在 STC 下的校准值(I_{sc}),设置光谱辐照度在测试平面达到所测量范围的上限。

4.2.4 进行测试并同时读取测试参数(X_i)、被测样品装置参数(Y_i)和以及标准电池的温度和短路电流。

4.2.5 根据 GB/T 6495.4,通过测到的标准电池的电流(I_{sc})和其在 STC 下的校准值(I_{rc})计算辐照度

(G_0),再采用下列公式根据标准电池给定的温度修正系数(α_{rc})和温度(T_m)对辐照度(G_0)进行修正:

$$G_0 = \frac{1\ 000 \times I_{sc}}{I_{rc}} \times [1 - \alpha_{rc}(T_m - 25)]$$

4.2.6 如果变化的参量是辐照度,在不影响空间均匀性及光谱辐射分布的条件下,按比例系数 K_i 减小被测样品的辐照度,可以采用以下方法:

- a) 增加测试平台与光源之间的距离。标准电池与被测样品在同一平台, K_i 是标准电池的短路电流(I_{sc})与其校准值(I_{rc})的比值。
- b) 运用光学透镜。在此情况下, K_i 是标准电池的短路电流(I_{sc})与其校准值(I_{rc})的比值。注意确保透镜对在被测样品和标准电池光谱响应的波长范围内的相对光谱辐照度没有明显的改变。
- c) 控制入射角法。光源与被测样品间的距离应该足够大,限定在倾斜面内辐照度变化小于或等于 0.5%。辐射光应是平行光,标准电池也应与被测样品有一样的反射性能,且与被测样品放于同一平面。在此情况下, K_i 是标准电池短路电流(I_{sc})与其校准值(I_{rc})的比值。
- d) 校准的均匀减光网法。在进行操作时标准电池应保持不被减光网遮挡,确保随时测得辐照度。此时, K_i 是减光网的校准参数(光透射率)。
- e) 非校准的均匀减光网法。在测试时,标准电池也被减光网遮挡。此时, K_i 是标准电池短路电流(I_{sc})与其校准值(I_{rc})的比值。

注:减光网的最大网孔应小于标准电池和被测样品的最小尺寸的 1%,否则由于放置位置将产生误差。

4.2.7 计算被测样品的辐照度(G_i)进行计算。

$$G_i = K_i \times G_0$$

其中 G_0 是用 4.1.5 确定的方法测量的。

4.2.8 如果变化的参量是温度,则通过适当的方法调整(见 GB/T 9535—1998 的 10.4 和 GB/T 18911)。

4.2.9 在数据采集过程中,确保被测样品和标准电池温度的稳定,保持温度变化小于 $\pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 。

4.2.10 重复步骤 4.2.4~4.2.9,在测量范围内所选的测试参量应至少包含 4 个近似等值增量。且在每个测试条件下至少测三次。

5 光谱响应线性特性测试程序

光伏器件的相对光谱响应是利用其光谱响应范围的一系列不同波长的窄带光源照射,测量其短路电流密度和在每一个波长下的辐照度而测得的。进行相对光谱响应测量按 GB/T 6495.7。

5.1 特别考虑事项

5.1.1 前提条件

——在测量非晶硅光伏器件的光谱响应以前,被测器件应按光老炼测试程序(见 GB/T 18911)进行老炼处理(如果适用);

——其他种类的光伏器件也应根据其相应标准满足其不同的前提条件。

5.1.2 本程序适用于测量整个被测样品。否则应采用结构和材料相同的小样品。

注:太阳能电池的光谱响应变化与其封装有关。因此,如果不能测试整个样品组件的光谱响应,那么可以通过测试同样封装方式的太阳能电池得到。

5.1.3 电压影响相对光谱响应,需给出以下定义,它们将在报告结果时使用:

——带负载光谱响应(S_{λ}):在特定负载电压及单位辐照度($\text{A} \cdot \text{W}^{-1}$)下,电流密度与波长的函数关系。

——带负载相对光谱响应($K_1 \cdot S_{\lambda}$):带负载光谱响应与单位波长的最大光谱响应的归一化:

$$K_1 \times S_{v\lambda} = \frac{S_{v\lambda}}{S_{v\lambda\max}}$$

光谱响应测量应在加电压条件下进行,该电压应满足光谱响应数据的使用要求。该电压值应随光谱响应的数据一同给出。

5.2 一般程序

- 5.2.1 设定被测样品的偏置电压达到希望值,并保持电压的波动幅度在 V_{oc} 的 $\pm 3\%$ 以内。
- 5.2.2 设置被测样品温度于一个测试值,并保持温度变化在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 内。
- 5.2.3 光谱响应测量应在白色偏置光下进行,其光谱与 GB/T 6495.3 标准中的 AM1.5 的相对光谱分布接近。设置白色背景光源的辐照度为测试值,并保持其变化幅度小于 $\pm 1\%$ 。
- 5.2.4 在规定的波长区间内测量相对光谱响应。在此条件下(见 GB/T 6495.7 和 GB/T 6495.8),至少测量对应该波长值的相对光谱响应三次。
- 5.2.5 取一新的辐照度值并重复步骤 5.2.3~5.2.4。在关注的范围内所选的测试参量应至少包含 4 个近似等值增量。
- 5.2.6 取一个新的温度值并重复步骤 5.2.2~5.2.5。在关注的范围内所选的测试参量应至少包含 4 个近似等值增量。
- 5.2.7 如果需要,这一程序可在其测试电压下重复进行。

6 线性特性计算

除测试的参数外,在测试过程中,要确保其他任何可变参数保持恒定。温度或辐照度变化较小,可以运用 GB/T 6495.4 在规定的条件下进行分析修正。此方法随着线性关系的建立及更多精确修正系数的确定,需要不断重复、更新。

6.1 线性特性斜率的计算

对如开路电压与温度或短路电流与辐照度的特性关系,计算其线性关系采用以下方法。

6.1.1 采用最小二乘法计算测试参数的平均值和得到最佳直线拟合的特性。

步骤 1:计算 X 和 Y 数据点的平均值:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}$$

其中 n 是测量次数。

步骤 2:计算最佳拟合直线的斜率 m :

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot Y_i}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

步骤 3:由此可以给出最佳拟合直线也称为回归线:

$$\bar{Y} - Y_i = m \times (\bar{X} - X_i)$$

6.1.2 根据独立数据点相对最佳拟合直线的差计算直线斜率的变化。

步骤 1:计算 ΔY_i ,即在 X_i 位置的数据点与最佳拟合直线的差:

$$\Delta Y_i = (Y_i - \bar{Y}) - m \times (X_i - \bar{X})$$

步骤 2:计算 ΔX_i ,即数据点 X_i 与平均值 \bar{X} 的差:

$$\Delta X_i = (X_i - \bar{X})$$

步骤 3: 根据差分计算全部斜率标准偏差 σ_s :

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum (\Delta Y_i)^2}{(n-2) \sum (\Delta X_i)^2}}$$

6.1.3 根据最佳拟合直线的斜率 m 和斜率标准偏差 σ_s 可得归一化斜率标准偏差:

$$\text{归一化斜率标准差} = \sigma_s/m$$

6.2 光谱响应线性特性的测量

在固定的偏置电压下, 相对于温度(或辐照度)条件下的被测样品的相对光谱响应线性特性的计算采用以下方法。

6.2.1 对于每个波长计算相对光谱响应的平均值 \bar{S}_{λ} , 在此计算中, 分立相对光谱响应值 $S_{\lambda i}$ 是相对于下列条件的相对光谱响应的各个数据点:

- a) 固定温度下的辐照度; 或
- b) 固定辐照度下的温度。

参量 n 是每个条件下的数据点的各自数量:

$$\bar{S}_{\lambda} = \frac{\sum_{i=1}^n S_{\lambda i}}{n}$$

6.2.2 计算 $\Delta S_{\lambda i}$, 即在固定温度(或辐照度)下给定波长间隔, 每个 $S_{\lambda i}$ 数据点与平均值 \bar{S}_{λ} 的差:

$$\Delta S_{\lambda i} = (S_{\lambda i} - \bar{S}_{\lambda})$$

6.2.3 计算在固定温度(或辐照度)下给定波长间隔的标准偏差 σ_{λ} :

$$\sigma_{\lambda} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta S_{\lambda i})^2}{(n-2)}}$$

6.2.4 用波长间隔的标准偏差 σ_{λ} 和在指定的偏置电压和固定温度(或辐照度)下的波长相对光谱响应平均值 \bar{S}_{λ} , 计算相对光谱响应的变化百分比:

$$\text{变化百分比} = 100 \times \sigma_{\lambda} / \bar{S}_{\lambda}$$

6.2.5 对于每个波长间隔重复步骤 6.2.1~6.2.4。

- a) 对于每一个固定温度(辐照度作为变量);
- b) 对于每一个固定辐照度(温度作为变量)。

6.2.6 对于其他偏置电压, 重复步骤 6.2.1~6.2.5。

6.3 线性特性要求

当一个光伏器件按线性特性应用时, 应给出温度、辐照度、电压或其他必要条件的应用范围。界定非线性(变化)的条件是:

- a) 对于相对于辐照度变化的短路电流曲线, 归一化斜率标准偏差(σ_s/m)小于 0.02。
- b) 对于相对于辐照度对数变化的开路电压曲线, 归一化斜率标准偏差(σ_s/m)小于 0.05。
- c) 对于相对于温度变化的开路电压和短路电流曲线, 归一化斜率标准偏差(σ_s/m)小于 0.1。
- d) 在特定电压下的一定波长范围的相对光谱响应变化小于 5%。

中华人民共和国
国家标准
光伏器件

第 10 部分:线性特性测量方法

GB/T 6495.10—2012/IEC 60904-10:1998

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

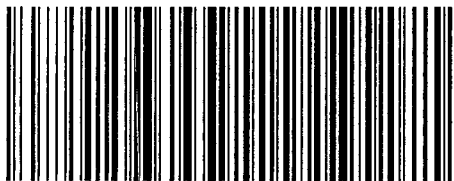
*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 13 千字
2013 年 4 月第一版 2013 年 4 月第一次印刷

*

书号: 155066·1-46794 定价 16.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 6495.10-2012