



中华人民共和国国家标准

GB/T 9535—XXXX/ IEC 61215 Second edition:2005

地面用晶体硅光伏组件—设计鉴定和定型

Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules

— Design qualification and type approval

(IEC 61215-2005, IDT)

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

目 次

前 言	III
1 范围和目的	1
2 规范性引用文件	1
3 抽样	1
4 标志	1
5 试验	2
6 合格判据	2
7 严重外观缺陷	2
8 报告	3
9 重新鉴定	3
10 试验程序	5
10.1 外观检查	5
10.2 最大功率确定	6
10.3 绝缘试验	6
10.4 温度系数的测量	7
10.5 电池标称工作温度的测量	8
10.6 标准测试条件和标称工作温度下的性能	14
10.7 低辐照度下的性能	14
10.8 室外曝露试验	15
10.9 热斑耐久试验	15
10.10 紫外预处理试验	19
10.11 热循环试验	20
10.12 湿-冻试验	21
10.13 湿-热试验	22
10.14 引出端强度试验	22
10.15 湿漏电流试验	23
10.16 机械载荷试验	24
10.17 冰雹试验	24
10.18 旁路二极管热性能试验	27
附录 A IEC 61215 第二版对第一版修改	28
图 1 鉴定试验程序	4
图 2 标称工作温度校正因子	11
图 3 参考平板	12
图 4 用参考平板法测量标称工作温度	12
图 5 风速校正因子	14
图 6 A类电池的热斑效应	16
图 7 反向特性	17
图 8 B类电池的热斑效应	17
图 9 串联-并联连接方式	17
图 10 串联-并联-串联连接方式	19
图 11 热循环试验	20
图 12 湿-冻循环	21

图 13	冰雹试验设备	26
图 14	撞击位置示意图	26
表 1	试验条件一览表	5
表 2	冰球质量与试验速度	25
表 3	撞击位置	26

前 言

本标准等同采用 IEC 61215ed2: 2005 《地面用晶体硅光伏组件—设计鉴定和定型》。

《地面用晶体硅光伏组件—设计鉴定和定型》是光伏发电系统中的一项基础标准，我国已在 1999 年正式出版了等同采用 IEC 61215 第一版。目前国际自去年开始普遍使用第二版的标准，为适应我国迅速增长光伏组件生产能力及出口贸易的需要，尽快等同采用 IEC 61215 第二版标准，转化为我国标准是十分有益和必要的。

本标准中的术语与有关标准协调一致。

本标准由中华人民共和国信息产业部提出。

本标准由全国太阳光伏能源系统标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：云南师范大学太阳能研究所，昆明光伏科技有限公司，云南卓业能源科技有限公司，云南天达光伏科技股份有限公司。

本标准主要起草人：李杰慧、刘祖明

地面用晶体硅光伏组件—设计鉴定和定型

1 范围和目的

本标准规定了地面用光伏组件设计鉴定和定型的要求，该组件是在 GB/T 4797.1 中所定义的一般室外气候条件下长期使用。本标准仅适用于晶体硅光伏组件，适用于薄膜光伏组件为已经出版的 GB/T 18911。

本标准不适用于带聚光器的组件。

本试验程序的目的是在尽可能合理的经费和时间内确定组件的电性能和热性能，表明组件能够在规定的气候条件下长期使用。通过此试验的组件的实际使用寿命期望值将取决于组件的设计以及它们使用的环境和条件。

2 规范性引用文件

下列标准所包含的条文，通过在本标准中引用而构成了本标准的条文。标注日期的标准，仅引用的版本有效。未标注日期的标准，可使用最新版本标准（包括任何修订）。

GB/T 2421-1999 电工电子产品基本环境试验规程 总则 (idt IEC 60068-1: 1988)

GB/T 2423.29-1999 电工电子产品基本环境试验规程 试验 U：引出端及整体安装件强度 (idt IEC 60068-2-21)

IEC 60068-2-78: 2001 电工电子产品基本环境试验规程 试验 Cab：恒定、湿热试验方法

GB/T 2829-1987 GB/T 4797.1-1984 电工电子产品自然环境条件 温度与湿度

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

第 1 号修正 (1992)

GB/T 6495.1-1996 光伏器件 第 1 部分：光伏电流—电压特性的测量

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

GB/T 6495.3-1996 光伏器件 第 3 部分：地面用太阳光伏器件的测试原理及标准光谱辐照度数据

(idt IEC 60904-3: 1989)

SJ/T11209-1999 光伏器件 第 6 部分 标准太阳电池组件的技术要求 (idt IEC 60904-6: 1994)

IEC 60904-7: 1998 光伏器件 第 7 部分：光伏器件测试中引入的光谱失配计算

IEC 60904-9: 1995 光伏器件 第 9 部分：太阳模拟器性能要求

IEC 61853: 地面光伏组件的性能试验和能量分级

注：正在考虑中的标准

ISO/IEC 17025: 1999 检测和校准实验室能力的一般要求

3 抽样

从同一批或几批产品中，按 GB/T 2829 规定的方法随机地抽八个(如需要可增加备份)组件用于鉴定试验。这些组件应由符合相应图纸和工艺要求规定的材料和元器件所制造，并经过制造厂常规检测、质量控制与产品验收程序。组件应该是完整的，附带制造厂的贮运、安装和电路连接指示，包括系统最大许可电压。

如果不能接触到标准组件中的旁路二极管，应准备一个特殊的样品来做旁路二极管的热性能试验 (10.18)，旁路二极管的安装应与标准组件相同，并将 10.18.2 要求的温度传感器安装在二极管上。该样品不需要进行图 1 所示程序的其他试验。

如果被试验的组件是一种新设计的样品而不是来自于生产线上，应在试验报告中加以说明(见第 8 章)。

4 标志

每个组件都应有下列清晰而且擦不掉的标志：

- 制造厂的名称、标志或符号；
- 产品型号；
- 产品序号；
- 引出端或引线的极性(可用颜色代码标识)；

- 组件允许的最大系统电压；
- 制造的日期和地点应注明在组件上，或可由产品序号查到。

5 试验

在开始试验前，要将所有组件，包括控制组件，在开路状态下在实际阳光或模拟阳光下照射，使累计辐射量达到 $5\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ 到 $5.5\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

把组件分组，并按图 1 所示的程序按往下的顺序进行鉴定试验。图中每个方框对应本标准的一条。具体试验的方法和要求，包括所需要进行的初始和最终的测试，都在第 10 章中详细规定。

注 1：在试验过程中，一个试验的最终测试作为下一个试验的初始测试时，不需要重复，该试验的初始测试可省略。

在试验中，操作者应严格遵照制造厂关于组件的贮运、安装和连接的要求。如该类组件的已经经过或计划进行未来 IEC 61853 标准检测，则本标准的 10.4、10.5、10.6 或 10.7 的测试可省略。

试验的条件汇总见表 1。

注 2：表 1 的试验要求是作为鉴定的最低要求。如果实验室和组件制造商同意，可以按更高的要求进行试验。

6 合格判据

如果每一个试验样品达到下列各项判据，则认为该组件设计通过了鉴定试验，也通过了定型。

- a) 在标准测试条件下，组件的最大输出功率衰减在每个单项试验后不超过规定的极限，在每组试验后的不超过 8%；
- b) 在试验过程中，无组件呈现断路现象；
- c) 无第 7 章中定义的任何严重外观缺陷；
- d) 试验完成后满足绝缘试验要求；
- e) 每组试验开始时和结束时，湿热试验后满足漏电流试验的要求；
- f) 满足单个试验的特殊要求。

如果两个或两个以上组件达不到上述判据，该设计将视为达不到鉴定要求。如果一个组件未通过任一项试验，取另外两个满足第 3 章要求的组件从头进行全部相关试验程序的试验。假如其中的一个、或两个组件都未通过试验，该设计被判定达不到鉴定要求。如果两个组件都通过了试验，则该设计被认为达到鉴定要求。

7 严重外观缺陷

对设计鉴定和定型，下列缺陷是严重的外观缺陷：

- a) 破碎、开裂、或外表面脱附，包括上层、下层、边框和接线盒；
- b) 弯曲、不规整的外表面，包括上层、下层、边框和接线盒的不规整以至于影响到组件的安装和/或运行；
- c) 一个电池的一条裂缝，其延伸可能导致超过一个电池 10% 以上面积从组件的电路上减少；
- d) 在组件的边缘和任何一部分电路之间形成连续的气泡或脱层通道；
- e) 丧失机械完整性，导致组件的安装和/或工作都受到影响。

8 报告

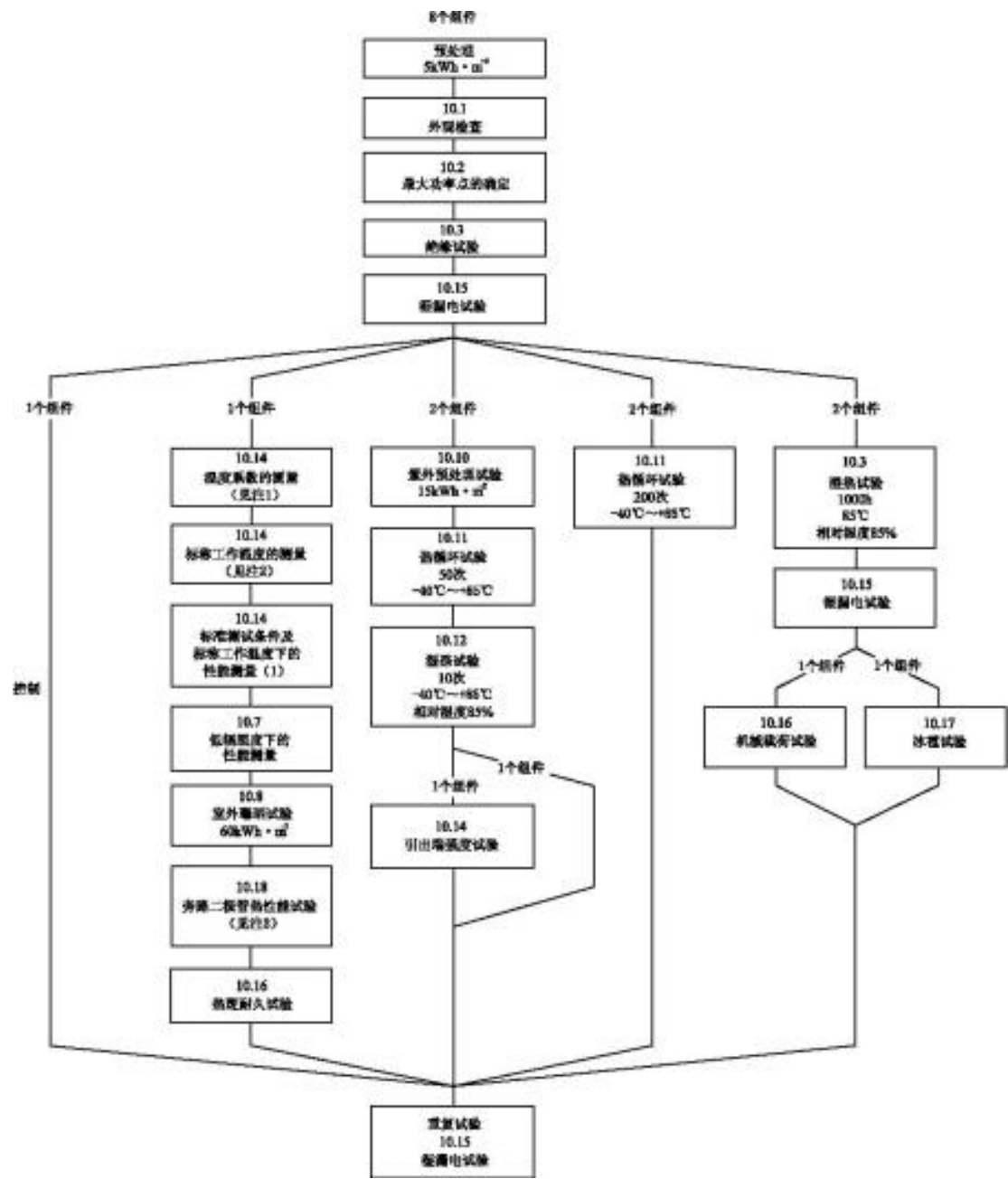
通过定型后，试验机构应给出符合 ISO/IEC17025 要求的正式鉴定试验报告，应包括测定的性能参数，以及任何第一次试验未通过测试和重新试验的详细情况。报告应包含组件的详细规格，每一份证书或报告还应包括下列信息：

- a) 标题；
- b) 实验室的名称、地址和完成试验测试的地点；
- c) 报告的每一页均有独特的标识；
- d) 需要时有客户的名称和地址；
- e) 试验完样品的描述和鉴定；
- f) 试验样品的特点和条件；
- g) 需要时标注收到试验样品的日期和试验日期；
- h) 所用试验方法的鉴定；
- i) 相关的取样；
- j) 对试验方法的任何偏离、附加或排除，相关特殊试验的任何其他信息，如环境条件；
- k) 有适当图表和照片支持的测量、检查和推论，包括短路电流、开路电压和最大功率的温度系数，额定工作温度，额定工作温度、标准测试条件及低辐照度下的功率，预紫外辐照试验所用灯的光谱，所有试验后最大功率的衰减，任何观察到的失效；
- l) 试验结果估计不确定度的申明（必要时）；
- m) 签名和标识，或等效识别试验员，其对报告的内容及颁发日期负责；
- n) 对试验仪与相关试验项目结果的申明（必要时）；
- o) 实验室出具的证书或报告应完整采用，只有经实验室书面许可才可部分使用的申明。

制造厂应保存一份证书留作参考。

9 重新鉴定

在组件的设计、材料、元器件或工艺作任何改变时，可能需要重新进行部分或全部鉴定试验来确保产品定型的有效性。



注：
1、如果 IEC 61853 已经测试，可省略。
2、如组件不是设计为敞开式支架安装，在标准中可用太阳能电池的平均平衡结温代替标称工作温度。

图 1 鉴定试验程序

表 1 试验条件一览表

试验	项 目	试 验 条 件
10.1	外观检查	详见列于 10.1.2 的检查
10.2	最大功率确定	见 GB/T 6495.1
10.3	绝缘试验	绝缘体经受直流 1000V 加上两倍系统最大电压 1min。 对于面积小于 0.1m ² 的组件绝缘电阻不小于 400M Ω ，对于面积大于 0.1m ² 的组件，测试绝缘电阻乘以组件面积应不小于 40M Ω m ² ，测试时使用 500V 或最大系统电压的最高值。
10.4	温度系数的测量（见注 1）	详见 10.4 见 IEC 60904-10 的指导
10.5	标称工作温度的测量（见注 1）	总太阳辐照度：800W \cdot m ⁻² 环境温度：20 $^{\circ}$ C 风速：1m \cdot s ⁻¹
10.6	标称工作温度和标准测试条件下的性能	电池温度：25 $^{\circ}$ C 和标称工作温度 辐照度：1000 和 800W \cdot m ⁻² ，标准太阳光谱辐照度分布符合 GB/T 6495.3 规定
10.7	低辐照度下的性能	电池温度：25 $^{\circ}$ C 辐照度：200W \cdot m ⁻² ，标准太阳光谱辐照度分布符合 GB/T 6495.3 规定
10.8	室外曝晒试验	太阳总辐射量：60kWh \cdot m ⁻²
10.9	热斑耐久试验	在最坏热斑条件下，1000W \cdot m ⁻² 辐照度照射 5 h。
10.10	紫外预处理试验	波长在 280nm 到 385nm 范围的紫外辐射为 15kWh \cdot m ⁻² ，其中波长为 280nm 到 320nm 的紫外辐射为 5kWh \cdot m ⁻² 。
10.11	热循环试验	从 -40 $^{\circ}$ C 到 +85 $^{\circ}$ C 50 和 200 次，所加电流为标准测试条件下的最大功率点电流。
10.12	湿-冻试验	从 +85 $^{\circ}$ C，85% 相对湿度到 -40 $^{\circ}$ C 10 次
10.13	湿-热试验	在 +85 $^{\circ}$ C，85% 相对湿度下 1000h
10.14	引出端强度试验	见 GB 2423.29
10.15	湿漏电流试验	详见 10.15 对于面积小于 0.1m ² 的组件绝缘电阻不小于 400M Ω ，对于面积大于 0.1m ² 的组件，测试绝缘电阻乘以组件面积应不小于 40M Ω m ² ，测试时使用 500V 或最大系统电压的最高值。
10.16	机械载荷试验	2400Pa 的均匀载荷依次加到前和后表面 1h，循环三次
10.17	冰雹试验	25mm 直径的冰球以 23.0m \cdot s ⁻¹ 的速度撞击 11 个位置
10.18	旁路二极管热性能试验	75 $^{\circ}$ C，Isc 加上 1h 75 $^{\circ}$ C，1.25 倍 Isc 加上 1h

注：如果这类组件已经未来的 IEC 61853 试验，这些试验可以省略。

10 试验程序

10.1 外观检查

10.1.1 目的

检查组件中的任何外观缺陷。

10.1.2 程序

在不低于 1000 lx 的照度下，对每一个组件仔细检查下列情况：

- 开裂、弯曲、不规整或损伤的外表面；
- 破碎的太阳电池；
- 有裂纹的太阳电池；
- 互联线或接头有缺陷；
- 太阳电池相互接触或与边框接触；
- 粘合连接失效；
- 在组件的边框和电池之间形成连续通道的气泡或脱层；

- 在塑料材料表面有粘污物；
- 引出端失效，带电部件外露；
- 可能影响组件性能的任何情况。

对任何裂纹、气泡或脱层等的状态和位置应作记录和/或照相记录。这些缺陷在后续的试验中可能会加剧并对组件的性能产生不良影响。

10.1.3 要求

对定型来说，除第 7 章中规定的严重外观缺陷外，其它的外观情况是允许的。

10.2 最大功率确定

10.2.1 目的

确定组件在各种环境试验前后的最大功率。试验的重复性是最重要的因数。

10.2.2 装置

- a) 一个光源（自然光或符合 IEC 60904-9 的 B 级或更优模拟器）；
- b) 一个符合 IEC 60904-2 或 IEC 60904-6 的标准光伏器件。如果使用 B 级模拟器，标准光伏器件应为标准光伏组件，该组件应采用与测试样品相同技术制造（有相同光谱相应）并且相同尺寸大小；
- c) 一个合适的支架使测试样品与标准器件在与入射光线垂直的相同平面；
- d) 一个监测测试样品与标准器件温度的装置，要求温度测试准确度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，重复性为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- e) 测试测试样品与标准器件电流的仪器，准确度为读数 $\pm 0.2\%$ 。

10.2.3 程序

按照 GB/T 6495.1 的方法，使用自然光或符合 IEC 60904-9 的 B 级或更优的模拟器，测试组件在特定辐照度和温度条件（推荐范围：电池温度： 25°C 到 50°C ；辐照度： $700\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 到 $1100\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ）下的电流—电压特性。如组件是为特定条件下工作而设计，可以采用与预期工作条件相近的温度及辐照度水平进行测量。为了比较同一个组件在环境试验前后的一系列测试结果，可根据 GB/T 6495.4 规定作温度和辐照度的修正。为了减少修正幅度，应努力使最大功率的测量尽可能在相同工作条件下进行，即对一个特定组件应在尽量相同的温度和辐照度下进行最大功率的测量。最大功率测量重复性必须优于 $\pm 1\%$ 。

10.3 绝缘试验

10.3.1 目的

测定组件中的载流部分与组件边框或外部之间的绝缘是否良好。

10.3.2 装置

- a) 有限流的直流电压源，能提供 500V 或 1000V 加上 10.3.4 c) 规定两倍组件的最大系统电压的电压；
- b) 测量绝缘电阻的仪器。

10.3.3 试验条件

对组件试验的条件：温度为环境温度（见 GB/T 2421），相对湿度不超过 75%。

10.3.4 程序

- a) 将组件引出线短路后接到有限流装置的直流绝缘测试仪的正极。
- b) 将组件暴露的金属部分接到绝缘测试仪的负极。如果组件无边框，或边框是不良导体，将组件的周边和背面用导电箔包裹，再将导电箔连接到绝缘测试仪的负极。
- c) 以不大于 $500\text{V}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速率增加绝缘测试仪的电压，直到等于 1000V 加上两倍的系统最大电压（即由制造商标注在组件上的最大系统电压）。如果系统的最大电压不超过 50V，所施加的电压应为 500V。维持此电压 1min。
- d) 降低电压到零，将绝缘测试仪的正负极短路使组件放电。
- e) 拆去绝缘测试仪正负极的短路。
- f) 以不大于 $500\text{V}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速率增加绝缘测试仪的电压，直到等于 500V 或组件最大系统电压的高值。

维持此电压 2min。然后测量绝缘电阻。

g) 降低电压到零，将绝缘测试仪的正负极短路使组件放电。

h) 拆去绝缘测试仪与组件的连线及正负极的短路线。

注：如果组件无金属边框，也没有上玻璃层，应将金属板如 10.3.4b) 放在组件的正面上重复绝缘试验。

10.3.5 试验要求

- 在步骤 c) 中，无绝缘击穿或表面无破裂现象。
- 对于面积小于 0.1m^2 的组件绝缘电阻不小于 $400\text{M}\Omega$ 。
- 对于面积大于 0.1m^2 的组件，测试绝缘电阻乘以组件面积应不小于 $40\text{M}\Omega\cdot\text{m}^2$ 。

10.4 温度系数的测量

10.4.1 目的

从组件试验中测量其电流温度系数(α)、电压温度系数(β)和峰值功率温度系数(δ)。如此测定的温度系数，仅在测试中所用的辐照度下有效；参见 IEC 60904-10 对组件在不同辐照度下温度系数评价。

10.4.2 装置

需要下列装置来控制 and 测量试验条件：

- a) 后续试验继续使用的电源（自然光或符合 IEC 904-9 的 B 类或更好太阳模拟器）；
- b) 一个符合 IEC 60904-2 或 IEC 60904-6 的标准光伏器件，已知其经过与绝对辐射计校准过的短路电流与辐照度特性。
- c) 能在需要的温度范围内改变测试样品温度的设备。
- d) 一个合适的支架使测试样品与标准器件在与入射光线垂直的相同平面；
- e) 一个监测测试样品与标准器件温度的装置，要求温度测试准确度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，重复性为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- f) 测试测试样品与标准器件电流的仪器，准确度为读数 $\pm 0.2\%$ 。

10.4.3 程序

有两种可接受的测量温度系数的程序。

10.4.3.1 自然光下的程序

a) 仅在满足下列条件时才能在自然光下进行测试：

- 总辐照度至少达到需要进行测试的上限；
- 瞬时振荡（云、薄雾或烟）引起的辐照度变化应小于标准器件测出总辐照度的 2%；
- 风速小于 $2\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

b) 安装标准器件与测试组件共平面，使太阳光线垂直($\pm 5^\circ$ 内)照射二者，并连接到需要的设备上。

注：以下条款描述的测试应尽可能快地在同一天的一、二小时内完成，以减少光谱变化带来的影响。如不能做到则可能需要进行光谱修正。

c) 如果测试组件及标准器件装有温度控制装置，将温度设定在需要的值。

d) 如果没有温度控制装置，要将测试样品和标准器件遮挡阳光和避风，直到其温度均匀，与周围环境温度相差在 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内，或允许测试样品达到一个稳定平衡温度，或冷却测试样品到低于需要测试温度的一个值，然后让组件自然升温。在进行测量前，标准器件温度应稳定在其平衡温度的 $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内。

e) 记录样品的电流—电压曲线和温度，同时记录在测试温度下标准器件的短路电流和温度。如需要在移开遮挡后立即进行测试。

f) 辐照度 G_0 可根据 GB/T 6495.4-1996 从标准光伏器件的短路电流(I_{sc})测试值进行计算，并修正到标准测试条件下的值(I_{rc})。使用标准器件特定的温度系数(α_{rc})进行标准器件温度 T_m 的修正。

$$G_0 = \frac{1000\text{Wm}^{-2} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times \left[1 - \alpha_{rc} (T_m - 25^\circ\text{C}) \right]$$

$$G_0 = \frac{1000\text{Wm}^{-2} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times (1 - \alpha_{rc} (T_m - 25^\circ\text{C}))$$

$$G_0 = \frac{1000 \text{ W m}^{-2} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times (1 - a_{rc} (T_m - 25^\circ \text{C}))$$

式中 a_{rc} 是 25°C 和 1000 W m^{-2} 下的相关温度系数 ($1/^\circ \text{C}$)。

g) 通过控制器或将测试组件交替曝晒和遮挡来调整组件的温度，使其达到和保持所需的温度。也可让测试组件自然加热，如 d) 条款所描述的数据记录程序在加热过程中周期性的应用。

h) 在每组数据记录期间，确保测试组件和标准器件的温度稳定，其变化在 $\pm 1^\circ \text{C}$ 以内；由标准器件测量的辐照度变化在 $\pm 1\%$ 以内。所有数据记录应在 1000 W m^{-2} 或转换到该辐照度的值。

i) 重复步骤 d) 到 h)，组件温度在至少 30°C 所关心的温度范围内，至少有四个相等温度间隔。每个试验条件至少进行三次测试。

10.4.3.2 太阳模拟器下的程序

a) 根据 GB/T 6495.1 确定组件在室温及要求的辐照度下的短路电流。

b) 将测试组件安装在改变温度的设备中，安装标准光伏器件到模拟器光束内，连接到使用仪器上。

c) 将辐照度设定在如 a) 条款确定测试组件的产生短路电流上。使用标准光伏电池使整个试验期间的辐照度维持在该水平。

d) 加热或冷却组件到感兴趣的一个温度，一旦组件达到需要的温度就进行 I_{sc} , V_{oc} 和峰值功率的测量。在至少 30°C 感兴趣温度范围上，以大约 5°C 的温度步长改变组件的温度，重复测试 I_{sc} , V_{oc} 和峰值功率的测量。

注：在每个温度可测量完整的电流—电压特性，以确定随温度变化的最大工作点电压和最大工作点电流。

10.4.3.3 计算温度系数

a) 绘制 I_{sc} , V_{oc} 和 P_{max} 与温度的函数图，建造最小二乘法拟合曲线，使曲线穿过每一组数据。

b) 从最小二乘法拟合的电流、电压和峰值功率的直线斜率计算短路电流温度系数 α ，开路电压温度系数 β 和最大功率温度系数 δ 。

注 1：根据 IEC 60904-10 确定试验组件是否可以认为是线性组件。

注 2：使用该程序测量的温度系数仅在测试的辐照度水平上有效。相对温度系数可用百分数表示，等于计算的 α ， β 和 δ 除以 25°C 时的电流、电压和最大功率值。

注 3：因为组件的填充因子是温度的函数，使用 α 和 β 的乘积不足以表示最大功率的温度系数。

10.5 电池标称工作温度的测量

10.5.1 目的

测定组件的标称工作温度 (NOCT)。

10.5.2 引言

标称工作温度定义为在下列标准参考环境 (SRE)，敞开式支架安装情况下，太阳电池的平均平衡结温：

- 倾角：与水平面夹角 45°
- 总辐照度： 800 W m^{-2}
- 环境温度： 20°C
- 风速： 1 m s^{-1}
- 电负荷：零 (开路)

系统设计者可用标称工作温度作为组件在现场工作的参考温度，因此在比较不同组件设计的性能时该参数是一个很有价值的参数。然而组件在任何特定时间的真实工作温度取决于安装的方式、辐照度、风速、环境温度、天空温度、地面和周围物体的反射辐射与发射辐射。为准确预测组件的性能，上述因素的影响应该考虑进去。

测定标称工作温度两种方法的描述：

第一种称为“基本方法”，能普遍用于所有光伏组件。在组件不是设计为敞开式支架安装时，用制造厂所推荐的方法安装，基本方法仍可测定其在标准参考环境中平衡平均太阳电池结温。

第二种称为“间接方法（参考平板法）”，比第一种方法更快，但仅能应用于与试验时所用的参考平板有同样环境（在一定的风速和辐照度范围内）温度响应的光伏组件。带有前玻璃和后塑料的晶体硅组件属于此类。参考平板的校准采用与基本方法相同的程序。

10.5.3 基本方法

10.5.3.1 原理

在标准参考环境所描述的环境条件范围内，该方法收集电池试验的真实温度数据。数据给出的方式，允许精确和重复地确定标称工作温度。

太阳电池结温(T_j)基本上是环境温度(T_{amb})、平均风速(V)和入射到组件有效表面的太阳总辐照度(G)的函数。温度差($T_j - T_{amb}$)在很大程度上不依赖于环境温度，在 $400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的辐照度以上，基本上线性正比于辐照度。在风速适宜期间，试验要求作($T_j - T_{amb}$)相对于 G 的曲线，取辐照度为标准参考环境辐照度 $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 值时的($T_j - T_{amb}$)值，再加上 20°C ，即可得到初步的标称工作温度值。最后把依赖于测试期间的平均温度和风速的一个校正因子加到初步的标称工作温度中，将其修正到 20°C 和 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时的值。

10.5.3.2 装置

需要下列装置：

a) 敞开式支架，它以特定方式(见 10.5.3.3)支撑被试验组件和辐照度计。该支架应该设计为对组件的热传导最小，并且尽可能小地干扰组件前后表面的热辐射。

注：如组件不是设计为敞开式支架安装，应按制造厂推荐的方式安装。

b) 辐照度计，安装在距试验方阵 0.3 m 内组件的平面上。

c) 能测量至 $0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速和风向的设备，安装在组件上方 0.7 m ，距组件靠东或西 1.2 m 处。

d) 一个温度传感器，具有与组件相近或更短的时间常数，安装在遮光通风良好且靠近风速传感器之处。

e) 电池温度传感器，或国家标准认可的测量电池温度的其它设备，焊在或用有良好导热性能的胶粘在每一个试验组件中部两片电池的背面。

f) 具有测量温度准确度 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的数据采集系统，在不大于 5 s 的间隔内，记录下列参数：

辐照度；

环境温度；

电池温度；

风速；

风向。

10.5.3.3 试验组件的安装

倾角：使试验组件前表面面向赤道，与水平面的倾角为 $45^\circ \pm 5^\circ$ 。

高度：试验组件的底边应高于当地水平面或地平面 0.6 m 以上。

排列：为了模拟组件安装在一个方阵中的热边界条件，试验组件应安装在一个平面阵列内，该平面阵列在试验组件平面的各个方向上延伸至少 0.6 m 。对于随意固定，敞开式安装的组件，应该用黑色铝板或其它同样设计的组件来填充平面阵列的剩余表面。

周围区域：在当地太阳正午前后 4 h 内，组件周围没有遮挡物，可以得到充分的太阳辐照。安装组件的周围地面应是平坦的，或是试验架位于坡顶部，并且对阳光无特殊的高反射率。在试验现场周围有草、其他植物、黑色的沥青或脏迹等是允许的。

10.5.3.4 程序

a) 按 10.5.3.3 的要求，安装组件等装置，确保试验组件开路。

b) 选一无云、少风晴朗的天，记录下列参数为时间的函数：电池的温度、环境温度、辐照度、风速和风向。

c) 剔出在下列情况下记录的数据：

— 辐照度低于 $400 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ；

— 在 10 min 期间记录辐照度变化从最大值到最小值超过 10% 以上之后 10 min 间隔；

— 风速在 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \pm 0.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围以外；

— 环境温度在 $20^\circ\text{C} \pm 15^\circ\text{C}$ 范围以外，或变化超过 5°C ；

— 在风速超过 $4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的疾风之后 10 min 内；

— 风向在东或西 $\pm 20^\circ$ 范围内。

d) 至少选 10 个可采用的数据点，覆盖 $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上的辐照度范围，确保包含当地正午前后的

数据, 作 $(T_J - T_{amb})$ 随辐照度变化的曲线, 通过这些数据点用回归分析做拟合。

- e) 确定在 $800W \cdot m^{-2}$ 时的 $(T_J - T_{amb})$ 值, 加上 $20^\circ C$ 即给出标称工作温度的初步值。
- f) 使用可采用的数据点, 计算平均环境温度 T_{amb} , 平均风速 V , 并从图 2 中定出适当的修正因子。
- g) 修正因子与初步的标称工作温度之和即为组件的标称工作温度值, 它是校正到 $20^\circ C$ 和 $1m \cdot s^{-1}$ 时的值
- h) 在另外二天重复上述程序, 取三个标称工作温度的平均值即得到每个试验组件的标称工作温度。

10.5.4 参考平板法

10.5.4.1 原理

本方法的原理是在相同的辐照度、环境温度和风速条件下比较标准参考平板和试验组件的温度。在标准参考环境下参考平板的稳态温度由 10.5.3 所描述的基本方法测定。

先把试验组件和参考平板的温度差修正到标准参考环境, 再将此值加上标准参考环境下参考平板的平均稳态温度, 即得到试验组件的标称工作温度。实验已证明, 温度差对辐照度的涨落、环境温度和风速的小的变化不敏感。

10.5.4.2 参考平板

参考平板由硬质铝合金制成, 尺寸见图 3, 前表面应涂刷亚光黑漆, 背表面应涂刷亮光白漆。应有达到准确度要求的仪器测量参考平板的温度。采用两组热电偶进行测量的方法见图 3, 将距热电偶结点 25mm 内的绝缘材料去除后, 用导热性能好的电绝缘胶粘剂将热电偶分别粘入刻出的槽内, 最后将两个热电偶剩余部分粘入一个槽内。

至少应制备三块参考平板, 并用 10.5.3 所描述基本方法进行校准。所测定的稳态温度应在 $46^\circ C \sim 50^\circ C$ 范围内, 三个平板温度相差不大于 $1^\circ C$ 。一个参考平板应该不用而作为控制参考。在进行标称工作温度测量之前, 应将参考平板在 10.5.3.4 c) 所规定的条件下的稳态温度和控制平板进行对比, 以探索它们之间热性能是否有变化。如果测得参考平板的温度相差超过 $1^\circ C$, 在试验标称工作温度之前, 应调查其原因, 并作相应的修正。

10.5.4.3 试验地点

选择一周围建筑、树木和地形地貌对风几乎不干扰的平整的地点, 应避免试验平板背后地面或物体的不均匀反射。

10.5.4.4 装置

需要下列装置(见图 4):

- a) 参考平板的数量按 10.5.4.2 规定(比同时试验的组件数目多一个)。
- b) 一个辐照度计或标准太阳电池。
- c) 一个敞开式支架, 支承试验组件、参考平板和辐照度计, 使试验组件前表面面向赤道, 与水平面的倾角为 $45^\circ \pm 5^\circ$ 。每个组件的两侧紧挨着参考平板, 组件的底边距地面约为 1m。该支架应该设计为对组件和参考平板的热传导最小, 并且尽可能少地影响组件前后表面的热辐射。
- d) 能测量至 $0.25m \cdot s^{-1}$ 风速和风向的设备, 安装在组件上方 0.7m, 距组件靠东或西 1.2m 处, 如图 4 所示。
- e) 一个环境温度传感器, 具有与组件相近或更短的时间常数, 安装在遮光、通风良好的盒内、靠近风速传感器之处。
- f) 电池温度传感器, 或国家标准规定的测量电池温度的其它设备, 焊在或用有良好导热性能的胶粘在每一个试验组件中部两片电池的背面。
- g) 具有测量温度准确度 $\pm 1^\circ C$ 的数据采集系统, 在不大于 5s 的间隔内, 记录下列参数:

辐照度;
环境温度;
电池温度;
风速;
风向;

参考平板温度。

准确度: 标称工作温度的总准确度为 $\pm 1K$ 。

10.5.4.5 程序

- a) 如图 4 所示, 安装好装置、组件和参考平板, 确保试验组件开路。

- b) 选一无云、少风、晴朗的天，记录下列参数为时间的函数：试验组件的电池的温度、参考平板的温度、辐照度、环境温度、风速和风向。
- c) 剔出在下列条件中，或该情况发生后 15min 之内记录的数据：
- 辐照度低于 $750\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，或高于 $850\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ；
 - 一个数据记录时辐照度变化超过 $\pm 40\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ；
 - $2\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的风速持续 30s 以上；
 - 风速低于 $0.5\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时；
 - 风向在东或西 $\pm 20^\circ$ 范围内；
 - 参考平板之间温度差超过 1°C 时。
- d) 对选定期间的数据点，计算所有参考平板的平均温度 T_p 。

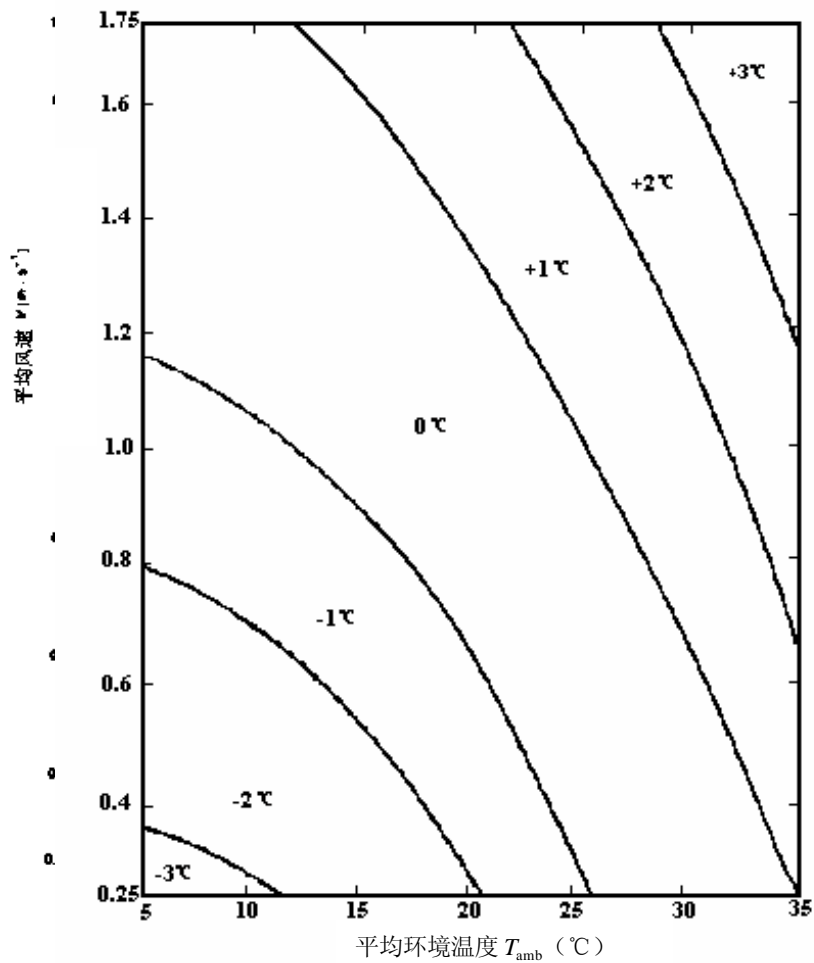


图 2 标称工作温度校正因子

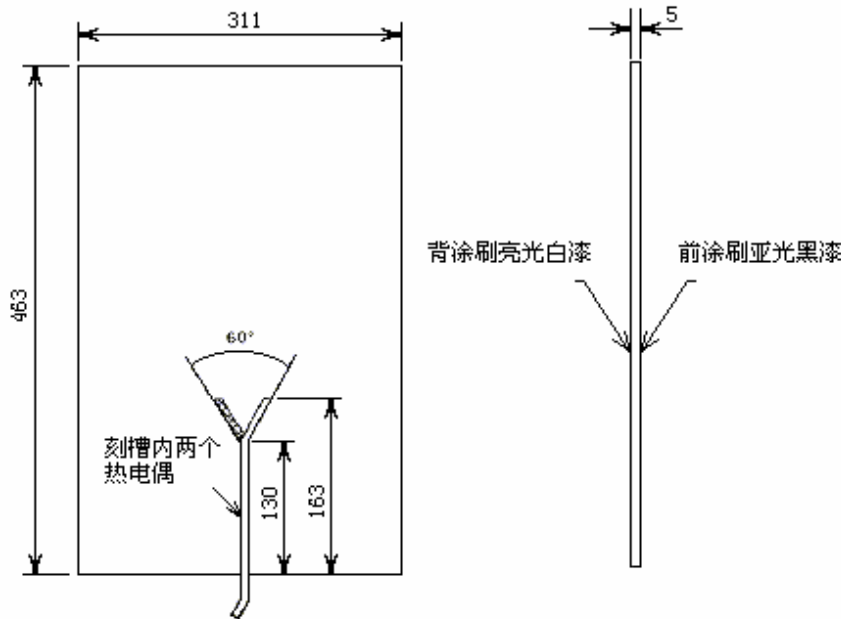


图 3 参考平板

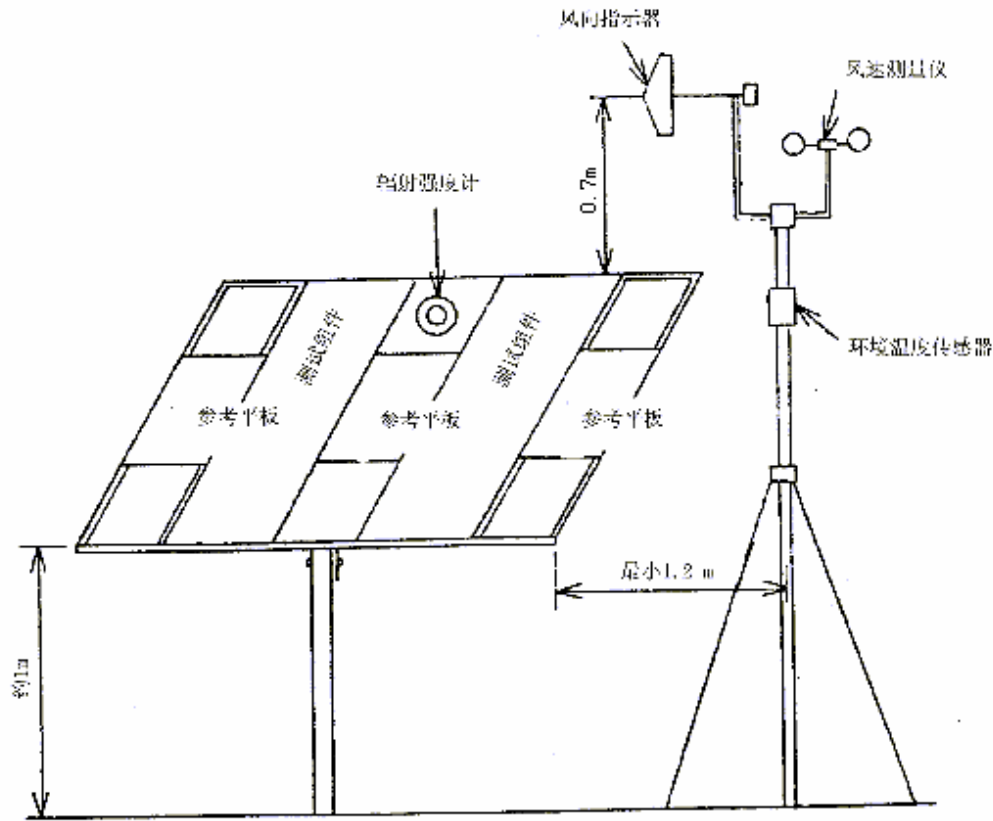


图 4 用参考平板法测量标称工作温度

e) 对每一个组件，对选择期间的每个数据点：

1) 取电池的平均温度为 T_J ，并计算

$$\Delta T_{JP} = T_J - T_P \quad \dots\dots\dots(1)$$

如果 ΔT_{JP} 的变化超过 4°C ，则不能采用参考平板法，应采用 10.5.3 所描述的基本方法。

2) 取所有 ΔT_{JP} 的平均值，即给出 ΔT_{JPm} 。

3) 作如下的计算，将 ΔT_{JPm} 修正到标准参考环境：

$$\Delta T_{JPm}(\text{已修正的}) = (f / B R) \cdot \Delta T_{JPm}(\text{未修正的}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中：

f：辐照度校正因子，等于 800 除以所选定时间内的平均辐照度；

B：环境温度校正因子，从所选定的时间内的平均环境温度 T_{amb} ，利用下表而得到(利用平均环境温度和校正因子的线性关系，来推算 B 是允许的)。

$T_{amb}(^\circ\text{C})$	B
0	1.09
10	1.05
20	1.00
30	0.96
40	0.92
50	0.87

R：风速校正因子，从所选定的时间内的平均风速，利用图 5 来得到。

4) 用下式计算试验组件的标称工作温度

$$\text{标称工作温度} = T_{PR} + \Delta T_{JPm}(\text{已修正的}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中 T_{PR} 是参考平板在标准参考环境下平均稳态温度。

g) 在另外二天重复上述程序，取三个标称工作温度的平均值即得到每个试验组件的标称工作温度。

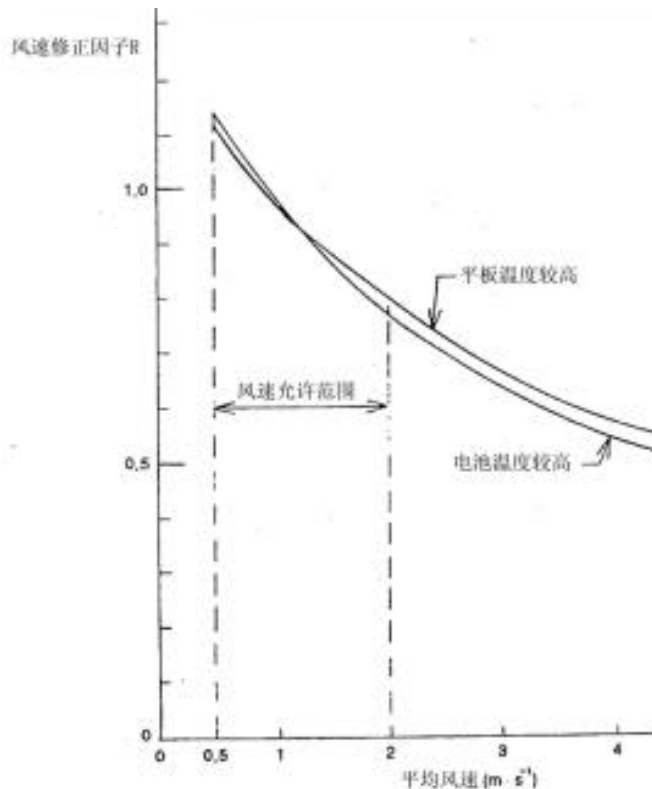


图 5 风速校正因子

10.6 标准测试条件和标称工作温度下的性能

10.6.1 目的

在标准测试条件（ $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ， 25°C 电池温度，GB/T 6495.3 的标准太阳光谱辐照度分布）和标称工作温度和辐照度为 $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，且满足 GB/T 6495.3 的标准太阳光谱辐照度分布条件下，确定组件随负荷变化的电性能。

10.6.2 装置

- 光源（自然光或符合 IEC 904-9 的 B 级或更优太阳模拟器）；
- 一个符合 IEC 60904-2 或 IEC 60904-6 的标准光伏器件。如果使用 B 级模拟器，标准光伏器件应为标准光伏组件，该组件应采用与测试样品同样技术制造（有相同光谱相应）并且同样尺寸大小；
- 一个合适的支架使测试样品与标准器件在与入射光线垂直的相同平面；
- 一个监测测试样品与标准器件温度的装置，要求温度测试准确度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，重复性为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- 测试测试样品与标准器件电流的仪器，准确度为读数 $\pm 0.2\%$ 。
- 测试测试样品与标准器件电压的仪器，准确度为读数 $\pm 0.2\%$ 。
- 能将测试样品温度设定到 10.5 所测试的标称工作温度的设备。

10.6.3 程序

10.6.3.1 标准测试条件

保持组件温度在 25°C ，用自然光或符合 IEC 904-9 要求的 B 级或更优模拟器，按照 GB/T 6495.1 的规定，在 $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 辐照度(用适当的标准电池测定)下，测量其电流-电压特性。

10.6.3.2 标称工作温度

用自然光或符合 IEC 904-9 要求的 B 级或更优模拟器，按照 GB/T 6495.1 的规定，在 $800 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 辐照度(用适当的标准电池测定)下，将组件均匀加热至标称工作温度，测量其电流-电压特性。

如果标准电池的光谱响应与测试组件不相同，用 IEC 60904-7 的方法计算光谱失配修正。

10.7 低辐照度下的性能

10.7.1 目的

依据 GB/T 6495.1 的规定，在 25°C 和辐照度为 $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (用适当的标准电池测定)的自然光或符合 IEC 904-9 要求的 B 级或更优模拟器下，确定组件随负荷变化的电性能。

10.7.2 装置

- 光源（自然光或符合 IEC 904-9 的 B 级或更优太阳模拟器）；
- 一个符合 IEC 60904-2 或 IEC 60904-6 的标准光伏器件。如果使用 B 级模拟器，标准光伏器件应为标准光伏组件，该组件应采用与测试样品同样技术制造（有相同光谱相应）并且同样尺寸大小；
- 一个合适的支架使测试样品与标准器件在与入射光线垂直的相同平面；
- 一个监测测试样品与标准器件温度的装置，要求温度测试准确度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，重复性为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- 测试测试样品与标准器件电流的仪器，准确度为读数 $\pm 0.2\%$ 。
- 测试测试样品与标准器件电压的仪器，准确度为读数 $\pm 0.2\%$ 。
- 能将测试样品温度设定到 10.5 所测试的标称工作温度的设备。

10.7.3 程序

依据 GB/T 6495.1，在 $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 和辐照度为 $200 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (用适当的标准电池测定)的自然光或符合

IEC 904-9 要求的 B 级或更优模拟器下，测量组件的电流-电压特性。用中性滤光器或其它不影响光谱辐照度分布的技术将辐照度降低至特定值（降低辐照度而不影响光谱辐照度分布的技术指导见 IEC 60904-10）。

10.8 室外曝露试验

10.8.1 目的

初步评价组件经受室外条件曝晒的能力，并可使在实验室试验中可能测不出来的综合衰减效应揭示出来。

注：由于试验的短时性和试验条件随环境而变化，对通过本试验组件的寿命做出绝对判断时应特别小心，这个试验仅只能作为可能存在问题的指示。

10.8.2 装置

- a) 太阳辐照度仪，准确优于 $\pm 5\%$ ；
- b) 制造厂推荐的安装组件的设备，使组件与辐照度仪共平面；
- c) 一个组件在标准测试条件工作于最大功率点附近的合适负载。

10.8.3 程序

a) 将电阻性负载与组件相连，用制造厂所推荐的方式安装在室外，与辐照度监测仪共平面。在试验前应安装制造厂所推荐的热斑保护设备。

b) 在 GB/T 4797.1 所规定的一般室外气候条件下，用监测仪测量，使组件受到的总辐射量为 $60\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$ 。

10.8.4 最后试验

重复 10.1、10.2 和 10.3 的试验。

10.8.5 要求

- 无第 7 章规定的严重外观缺陷；
- 最大输出功率衰减应不超过试验前测量值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验的同样要求。

10.9 热斑耐久试验

10.9.1 目的

确定组件承受热斑加热效应的能力，如这种效应可能导致焊接熔化或封装退化。电池不匹配或裂纹、内部连接失效、局部被遮光或弄脏均会引起这种缺陷。

10.9.2 热斑效应

当组件中的一个电池或一组电池被遮光或损坏时，工作电流超过了该电池或电池组降低了的短路电流，在组件中会发生热斑加热。此时受影响的电池或电池组被置于反向偏置状态，消耗功率，从而引起过热。

图 6 描述了由一组串联电池构成的组件的热斑效应，该组件中电池 Y 被部分遮光。Y 消耗的功率等于组件电流与 Y 两端形成的反向电压的乘积。对任意辐照度水平，在短路时消耗的功率最大，此时加于 Y 的反向电压等于组件中其余(S-1)个电池产生的电压，在图 6 中用 Y 的反向 I-V 曲线和(S-1)个电池的正向 I-V 曲线的映象的交点处的阴影矩形来表示最大消耗功率。

由于不同电池的反向特性差别很大，有必要根据其反向特性曲线与图 7 所示的“试验界限区”的交点，把电池分成电压限制型(A 类)或电流限制型(B 类)两类。

图 6 所示的一个损坏或遮光电池的最大功率消耗的情况属 A 类，这种情况发生在反向曲线和(S-1)个电池的正向 I-V 曲线的映象在最大功率点相交。

作为对比，图 8 表示一个 B 类电池在完全遮光时的最大功率消耗。应该注意，此时消耗的功率可能仅是组件总有效功率的一部分。

10.9.3 电池内部连接的分类

光伏组件中的太阳电池可以以下列方式之一进行连接：

串联方式： s 个电池呈单串串联连接(图 6)；

串联-并联连接方式：即将 p 个组并联，每组 s 个电池串联(图 9)；

串联-并联-串联连接方式：即 b 个块串联，每个块有 p 个组并联，每组 s 个电池串联(图 10)。

如果有旁路二极管，由于限制了其所连接电池的反向电压，因此也算做被试验电路的一部分。每一种结构需要一种特殊的热斑试验程序。组件短路时其内部功率消耗最大。

注：当保护电路元件二极管被短路时，其的内部消耗功率最大，此时通常伴随整个组件被短路。如果组件无旁路二极管，应检查制造商的指南，是否有安装旁路二极管前可串联使用的最大组件数量。如果推荐的可串联使用的最大组件数量大于 1，则本部分后续试验应该采用推荐的串联组件来进行，此时在 5h 曝晒过程中，应将提供功率电流设定在 I_{MP} 。

10.9.4 装置

a) 辐射源 1，稳态太阳模拟器或自然光，辐照度不低于 $700\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ，不均匀度不超过 $\pm 2\%$ ，瞬时不稳定度在 $\pm 5\%$ 以内。

b) 辐射源 2，C 级(或更好)的稳态太阳模拟器或自然光，其辐照度为 $1000\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \pm 10\%$ 。

c) 组件 I-V 曲线测试仪。

d) 一组对试验太阳电池遮光增量为 5% 的不透明盖板。

e) 如需要，加一个适当的温度探测器。

10.9.5 程序

在组件试验前应安装制造厂推荐的热斑保护装置。

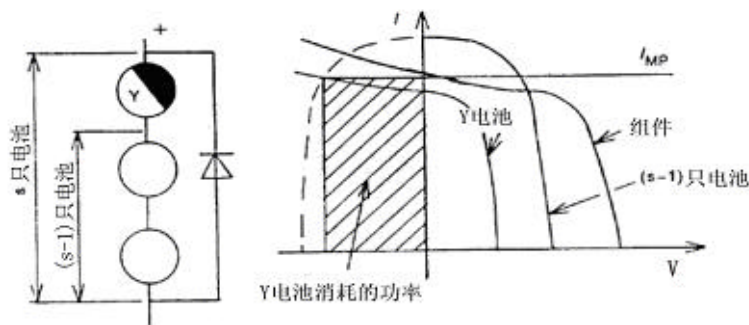


图 6 A类电池的热斑效应

10.9.5.1 串联连接方式

a) 将不遮光的组件在不低于 $700\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的辐射源 1 下照射，测试其 I-V 特性和最大功率点的电流 I_{MP} 。

b) 使组件短路，用下列方法之一选择一片电池：

1) 组件在稳定的、辐照度不低于 $700\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的辐射源 1 照射下，用适当的温度探测器（推荐使用红外照像仪）测定最热的电池。

2) 在步骤 a) 所规定的辐照度下，依次完全挡住每一个电池，选择一个或其中一个，当它被挡住时，短路电流减小最大。在这一过程中，辐照度的变化不超过 5%。

c) 同样在步骤 a) 所规定的辐照度($\pm 3\%$ 内)下，完全挡住选定的电池，检查组件的 I_{SC} 是否比步骤 a) 所测定的 I_{MP} 小。如果这种情况不发生，就不能确定在一个电池内产生最大消耗功率的条件。此时，继续完全挡住所选择的电池，省略步骤 d)。

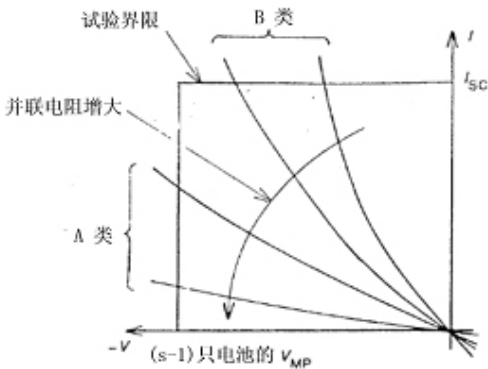


图 7 反向特性

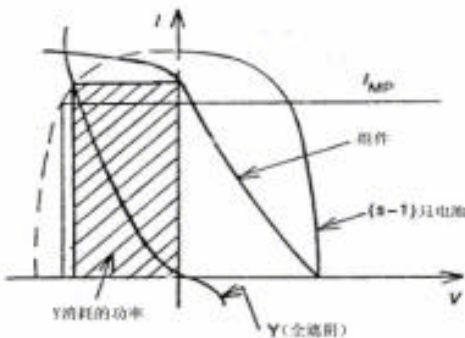


图 8 B类电池的热斑效应

- d) 逐渐减少对所选择电池的遮光面积，直到组件的 I_{SC} 最接近 I_{MP} ，此时在该电池内消耗的功率为最大。
- e) 用辐射源 2 照射组件，记录 I_{SC} 值，保持组件在消耗功率为最大的状态，必要时，重新调整遮光，使 I_{SC} 维持在特定值。在此过程中组件的温度应该在 $50^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 。
- f) 保持此状态经过 5h 的曝晒。

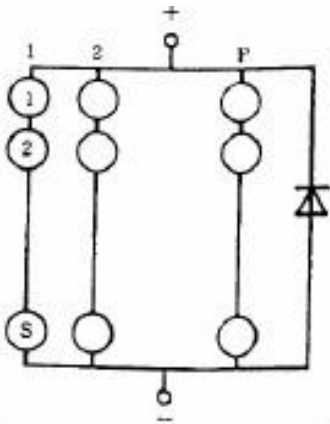


图 9 串联-并联连接方式

10.9.5.2 串联-并联连接方式

a) 将不遮光的组件在不低于 $700\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的辐射源 1 下照射，测试其 I-V 特性，假定所有串联组产生的电流相同，用下列方程计算热斑最大功率消耗时对应的短路电流 I_{SC}^* ：

$$I_{SC}^* = I_{SC} \cdot (p - 1) / p + (I_{MP} / p) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$I_{SC}^* = I_{SC} \cdot (p - p + (I_{MP} / p))$$

式中： I_{SC} ——不遮光组件的短路电流；

I_{MP} ——不遮光组件最大功率点的电流；

p ——组件的并联组数。

b) 使组件短路，用下列方法之一选择一片电池：

1) 组件在稳定的、辐照度不低于 $700\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的辐射源 1 照射下，用适当的温度探测器测定最热的电池。

2) 在步骤 a) 所规定的辐照度下，依次完全挡住每一个电池，选择其中一个，当它被挡住时，短路电流减小得最多。在这一过程中，辐照度的变化不超过 5%。

c) 同样在步骤 a) 所规定的辐照度 ($\pm 3\%$ 内) 下，完全挡住选择的电池，检查组件的 I_{SC} 是否比步骤 a) 所测定的 I_{SC}^* 小。如果这种情况不发生，就不能确定在一个电池内发生最大消耗功率的条件。此时，继续完全挡住所选择的电池，省略步骤 d)。

d) 逐渐减少对所选择电池的遮光面积，直到组件的 I_{SC} 最接近 I_{SC}^* ，此时在该电池内消耗的功率为最大。

e) 用辐射源 2 照射组件，记录 I_{SC} 值，保持组件在消耗功率为最大的状态，必要时，重新调整遮光，使 I_{SC} 维持在特定值。在此过程中组件的温度应该在 $50^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 。

f) 保持此状态经过 5h 的曝晒。

10.9.5.3 串联-并联-串联连接方式

a) 将不遮光的组件短路，并在不低于 $700\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ 的稳定辐射源 1 下照射。随机取组件中至少 30% 的单体电池，依次完全挡住每一个电池，用热成像仪或其他适当的仪器测量该电池的稳定温度。

b) 完全挡住步骤 a) 所发现的温度为最高的一个电池。

c) 在连续监测电池温度时，逐渐减少对该电池的遮光面积，来确定该电池达到最高温度的条件。

d) 保持步骤 c 时的遮光状态，用辐射源 2 照射组件。在此过程中组件的温度应该在 $50^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ 。

f) 保持此状态经过 5h 的曝晒。

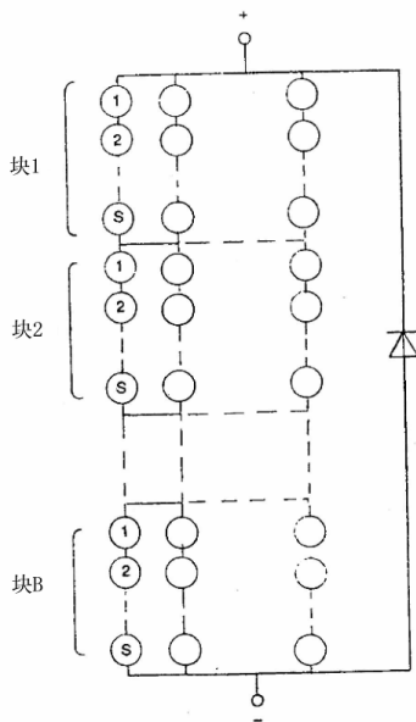


图 10 串联-并联-串联连接方式

10.9.6 最后测试

重复 10.1、10.2 和 10.3 的试验。

10.9.7 要求

应满足下列要求：

- 无第 7 章中规定的严重外观缺陷；
- 最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验同样的要求。

10.10 紫外预处理试验

10.10.1 目的

在组件进行热循环/湿冻试验前进行紫外(UV)辐照预处理以确定相关材料及粘连连接的紫外衰减。

10.10.2 装置

- 在经受紫外辐照时能控制组件温度的设备，组件的温度范围必须在 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- 测量记录组件温度的装置，准确度为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。温度传感器应安装在靠近组件中部的前或后表面，如果同时试验的组件多于一个，只需监测一个代表组件的温度。
- 能测试照射到组件试验平面上紫外辐照度的仪器，波长范围为 280nm 到 320nm 和 320nm 到 385nm，准确度为 $\pm 15\%$ 。
- 紫外辐射光源，在组件试验平面上其辐照度均匀性为 $\pm 15\%$ ，无可探测的小于 280nm 波长的辐射，能产生根据 10.10.3 规定的关注光谱范围内需要的辐照度。

10.10.3 程序

- 使用校准的辐射仪测量组件试验平面上的辐照度，确保波长在 280nm 到 385nm 的辐照度不超过 $250\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ （约等于 5 倍自然光水平），且在整个测量平面上的辐照度均匀性到达 $\pm 15\%$ 。

- b) 安装开路的组件到在步骤 a) 选择位置的测量平面上，与紫外光线相垂直。保证组件的温度范围为 $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 使组件经受波长在 280nm 到 385nm 范围的紫外辐射为 $15\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ ，其中波长为 280nm 到 320nm 的紫外辐射至少为 $5\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ ，在试验过程中维持组件的温度在前面规定的范围。

10.10.4 最后测试

重复 10.1、10.2 和 10.3 的试验。

10.10.5 要求

应满足下列要求：

- 无第 7 章中规定的严重外观缺陷；
- 最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验同样的要求。

10.11 热循环试验

10.11.1 目的

确定组件承受由于温度重复变化而引起的热失配、疲劳和其它应力的能力。

10.11.2 装置

- a) 一个气候室，有自动温度控制，使内部空气循环和避免在试验过程中水分凝结在组件表面的装置，而且能容纳一个或多个组件进行如图 11 所示的热循环试验。
- b) 在气候室中有安装或支承组件的装置，并保证周围的空气能自由循环。安装或支承装置的热传导应小，因此实际上，应使组件处于绝热状态。
- c) 测量和记录组件温度的仪器，准确度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。温度传感器应置于组件中部的前或后表面。如多个组件同时试验，只需监测一个代表组件的温度。
- d) 在试验过程中能对组件加以等于标准测试条件下最大功率点电流的仪器。
- e) 在试验过程中监测通过每一个组件电流的仪器。

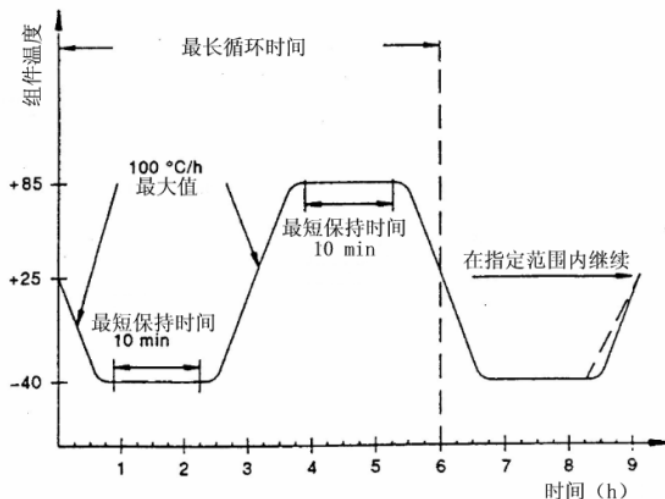


图 11 热循环试验

10.11.3 程序

- a) 在室温下将组件装入气候室。如组件的边框导电不好，将其安装在一金属框架上来模拟敞开式支承架。

b) 将温度传感器接到温度监测仪，将组件的正极引出端接到提供电流仪的正极，负极连接到其负极。在 200 次热循环化试验中，对组件施加等于标准测试条件下最大功率点电流 $\pm 2\%$ 。仅在组件温度超过 25°C 时保持流过的电流。50 次的热循环试验不要求施加电流。

c) 关闭气候室，按图 11 的分布，使组件的温度在 $-40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 和 $+85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 之间循环。最高和最低温度之间温度变化的速率不超过 100°C/h ，在每个极端温度下，应保持稳定至少 10min。除组件的热容量很大需要更长的循环时间外，一次循环时间不超过 6h，循环的次数见图 1 相应的方框。

d) 在整个试验过程中，记录组件的温度，并监测通过组件的电流。

注：有并联电路的组件如果其中一路断开，会引起电压或电流的不连续，但不会导致其为零。

10.11.4 最后试验

在至少 1h 的恢复时间后，重复 10.1，10.2 和 10.3 的试验。

10.11.5 要求

应满足下列要求：

- 在试验过程中无电流中断现象；
- 无第 7 章中规定的严重外观缺陷；
- 最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验同样的要求。

10.12 湿-冻试验

10.12.1 目的

确定组件承受高温、高湿之后以及随后的零下温度影响的能力。本试验不是热冲击试验。

10.12.2 装置

a) 一个气候室，有自动温度和湿度控制，能容纳一个或多个组件进行如图 12 所规定的湿-冻循环试验。

b) 在气候室中有安装或支承组件的装置，并保证周围的空气能自由循环。安装或支承装置的热传导应小，因此实际上，应使组件处于绝热状态。

c) 测量和记录组件温度的仪器，准确度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。如多个组件同时试验，只需监测一个代表组件的温度。

d) 在整个试验过程中，监测每一个组件内部电路连续性的仪器。

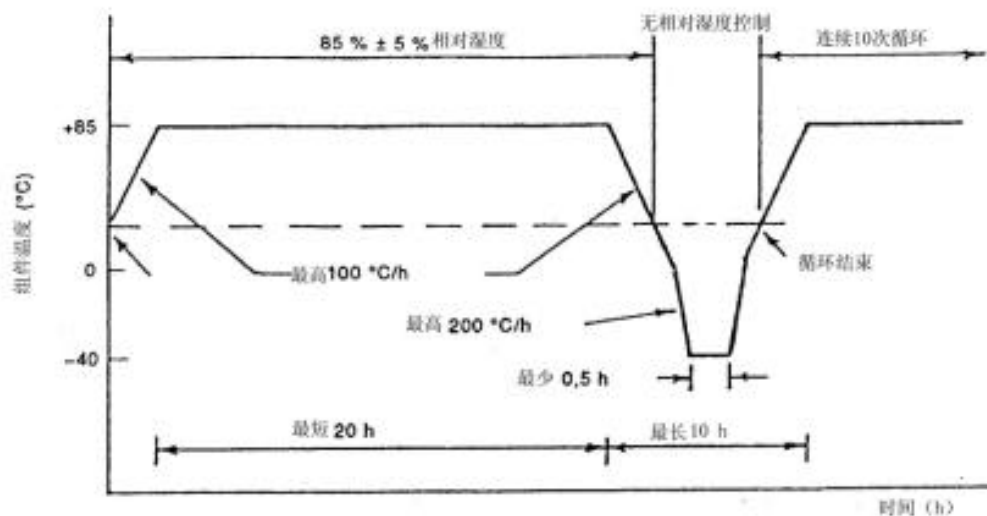


图 12 湿-冻循环

10.12.3 程序

- a) 将温度传感器置于组件中部的前或后表面。
- b) 在室温下将组件装入气候室。
- c) 将温度传感器接到温度监测仪。
- d) 关闭气候室，使组件完成如图 12 的所示的 10 次循环。最高和最低温度应在所设定值的 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内，室温以上各温度下，相对湿度应保持在所设定值的 $\pm 5\%$ 以内。
- e) 在整个试验过程中，记录组件的温度。

10.12.4 最后试验

在 2h 到 4h 的恢复时间后，重复 10.3 的试验，再重复 10.1 和 10.2 的试验。

10.12.5 要求

应满足下列要求：

- 无第 7 章中规定的严重外观缺陷；
- 最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验同样的要求。

10.13 湿-热试验

10.13.1 目的

确定组件承受长期湿气渗透的能力。

10.13.2 程序

试验应根据 IEC 60068-2-78 并满足以下规定：

a) 预处理

将处于室温下没有经过预处理的组件放入气候室中。

b) 严酷条件

在下列严酷条件进行试验：

试验温度： $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

相对湿度： $85\% \pm 5\%$

试验时间：1000h

10.13.3 最后试验

组件经受时间为 2h 至 4h 恢复期后，重复 10.3 和 10.15 的试验，再重复 10.1 和 10.2 的试验。

10.13.4 要求

应满足下列要求：

- 无第 7 章中规定的严重外观缺陷；
- 最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验同样的要求。

10.14 引出端强度试验

10.14.1 目的

确定引出端及其与组件体的附着是否能承受正常安装和操作过程中所受的力。

10.14.2 引出端类型

考虑三种类型的组件引出端：

- A 型：直接自电池板引出的导线；
- B 型：接线片、接线螺栓、螺钉等；
- C 型：接插件。

10.14.3 程序

预处理：在标准大气条件下进行 1h 的测量和试验。

10.14.3.1 A 型引出端

拉力试验：如 GB/T 2423.29 Ua 的试验所述，满足下列条件：

- 所有引出端均应试验；
- 拉力不能超过组件重量。

弯曲试验：如 GB/T 2423.29 Ub 的试验所述，满足下列条件：

- 所有引出端均应试验；
- 用方法 1 实施 10 次循环(每次循环为各相反方向均弯曲一次)。

10.14.3.2 B 型引出端

拉力和弯曲试验：

- a) 对于引出端暴露在外的组件应与 A 型引出端的试验一样，试验所有引出端；
- b) 如果引出端封闭于保护盒内，则应采取如下程序：

— 将组件制造厂所推荐型号和尺寸的电缆切为合适的长度，依其推荐方法与盒内引出端相接，利用所提供的电缆夹小心将电缆自密封套的小孔中穿出。盒盖应牢固放置原处，再按 A 型引出端的试验方法进行试验。

转矩试验：如 GB/T2423.29 Ud 的试验所述，满足下列条件：

- 所有引出端均应试验；
- 严酷度 1。

除永久固定的指定设计外，螺帽、螺丝均应能松启。

10.14.3.3 C 型引出端

将组件制造厂推荐型号和尺寸的电缆切为合适的长度与接插件线盒输出端相接，然后按与 A 型引出端相同的试验方法进行试验。

10.14.4 最后试验

重复试验 10.1 和 10.2。

10.14.5 要求

应满足下列要求：

- 无机械损伤现象；
- 最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验同样的要求。

10.15 湿漏电流试验

10.15.1 目的

评价组件在潮湿工作条件下的绝缘性能，验证雨、雾、露水或溶雪的湿气不能进入组件内部电路的工作部分，如果湿气进入可能会引起腐蚀、漏电或安全事故。

10.15.2 装置

- a) 一个浅槽或容器，其尺寸应足够大到能将组件及边框水平放入其中的溶液，有符合以下要求的水或溶液

电阻率：不大于 $3500 \Omega \cdot \text{cm}$

表面张力：不大于 3Nm^{-2}

温度： $22^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$

溶液深度应有效覆盖所有表面，不要泡到没有为浸泡而设计的引线盒入口。

- b) 有相同溶液的喷淋装置。
- c) 可提供 500V 或组件系统电压的较大值、有电流限制的直流电源。
- d) 测量绝缘电阻的设备。

10.15.3 程序

所有连接应代表推荐现场安装接线情况，并小心确保漏电流不起源于连接组件的仪器设备。

- a) 在盛有要求溶液的容器内淹没组件，其深度应有效覆盖所有表面，不要泡到没有为浸泡而设计

的引线盒入口。引线入口应用溶液彻底喷淋。如果组件是用接插件连接器，则试验过程中接插件应浸泡在溶液中。

b) 将组件输出端短路，连接到测试设备的正极，使用适当的金属导体将测试液体连接到测试设备的负极。

c) 以不超过 $500\text{V}\cdot\text{s}^{-1}$ 的速度增加测试设备所施加的电压直到 500V ，保持该电压 2min ，测试绝缘电阻。

d) 减低电压到零，将测试设备的引出端短路，以释放组件内部的电压。

10.15.4 要求

应满足下列要求：

- 对于面积小于 0.1m^2 的组件绝缘电阻不小于 $400\text{M}\Omega$ 。
- 对于面积大于 0.1m^2 的组件，测试绝缘电阻乘以组件面积应不小于 $40\text{M}\Omega\cdot\text{m}^2$ 。

10.16 机械载荷试验

10.16.1 目的

确定组件经受风、雪或覆冰等静态载荷的能力。

10.16.2 装置

- a) 一个能使组件正面朝上或朝下安装的刚性试验平台，并能使组件在加上负荷时能自由偏转。
- b) 试验过程中监测组件内部电路的连续性的仪器。
- c) 合适的重量或压力，能逐渐均匀增加负荷。

10.16.3 程序

a) 装备好组件以便于试验过程中连续监测其内部电路的连续性。

b) 用制造厂所述的方法将组件安装于一坚固支架上。(如果有几种方法，采用最差的一种，其固定点间距离为最大。)

c) 在前表面上，逐步将负荷加到 2400Pa ，使其均匀分布。(负荷可采用气动加压，或覆盖在整个表面上重量，对于后一种情况，组件应水平放置。) 保持此负荷 1h 。

d) 在背表面上重复上述步骤。

e) 重复步骤 c) 和步骤 d) 三次。

注：对于阵风安全系数 3， 2400Pa 对应于 $130\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ 风速的压力(约 $\pm 800\text{Pa}$)。若要试验组件承受冰和雪重压的能力，则本试验最后一次循环，加于组件前表面的负荷应从 2400Pa 增至 5400Pa 。

10.16.3 最后试验

重复 10.1、10.2 和 10.3 的试验。

10.16.4 要求

应满足下列要求：

- 在试验过程中无间断断路现象；
- 无第 7 章中规定的严重外观缺陷；
- 标准测试条件下最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验的同样要求。

10.17 冰雹试验

10.17.1 目的

验证组件能经受住冰雹的撞击。

10.17.2 装置

a) 用于浇铸所需尺寸冰球的合适材料的模具。标准直径为 25mm ，对特殊环境可用表 2 所列其它尺寸。

- b) 一台冷冻箱，控制在 $-10^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。
- c) 一台温度在 $-4^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内的储存冰球的存储容器。
- d) 一台发射器，驱动冰球以所限定速度(可在 $\pm 5\%$ 范围内)撞击在组件指定的位置范围内。只要满足试验要求，冰球从发射器到组件的路径可以是水平、竖直或其他角度。
- e) 一坚固支架以支撑试验组件，按制造厂所描述的方法安装，使碰撞表面与所发射冰球的路径相垂直。

表 2 冰球质量与试验速度

直径 mm	质量 g	试验速度 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	直径 mm	质量 g	试验速度 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
12.5	0.94	16.0	45	43.9	30.7
15	1.63	17.8	55	80.2	33.9
25	7.53	23.0	65	132.0	36.7
35	20.7	27.2	75	203.0	39.5

- f) 一台天平来测定冰球质量，准确度为 $\pm 2\%$ 。
 - g) 一台测量冰球速度的设备，准确度为 $\pm 2\%$ ，速度传感器距试验组件表面 1m 以内。
- 作为一个例子，图 13 示出一组适合的装置，包括：水平气动发射器、垂直支承组件的安装和测速器(用电子技术测量冰球穿过两光束间距离所用时间来测量其速度)。其他设备如弹射器、弹簧驱动装置等能象该例子成功的使用。

10.17.3 程序

- a) 利用模具和冷冻箱制备足够试验所需尺寸的冰球，包括初调发射器所需数量。
- b) 检查每个冰球的尺寸、质量及是否碎裂，可用冰球应满足如下要求：
 - 肉眼看不到裂纹；
 - 直径在要求值 $\pm 5\%$ 范围内；
 - 质量在表 2 中相应标称值 $\pm 5\%$ 范围内。
- c) 使用前，置冰球于储存容器中至少 1h。
- d) 确保所有与冰球接触的发射器表面温度均接近室温。
- e) 用下述步骤 g) 的方法对模拟靶试验发射几次，调节发射器，使前述位置上的速度传感器所测定的冰球速度在表 2 中冰雹相应试验速度的 $\pm 5\%$ 范围内。
- f) 室温下安装组件于前述的支架上，使其碰撞面与冰球的路径相垂直。
- g) 将冰球从储存容器内取出放入发射器中，瞄准表 3 指定的第一个撞击位置并发射。冰球从容器内移出到撞击在组件上的时间间隔不应超过 60s。
- h) 检查组件的碰撞区域，标出损坏情况，记录下所有看得见的撞击影响。与指定位置偏差不大于 10mm 是可接受的。
- j) 如果组件未受损坏，则对表 3 中其他撞击位置重复步骤 g) 和 h)，如图 14 所示。

10.17.4 最后试验

重复 10.1, 10.2 和 10.3 的试验。

10.17.5 要求

应满足下列要求：

- 无第 7 章中规定的严重外观缺陷；
- 最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验的同样要求。

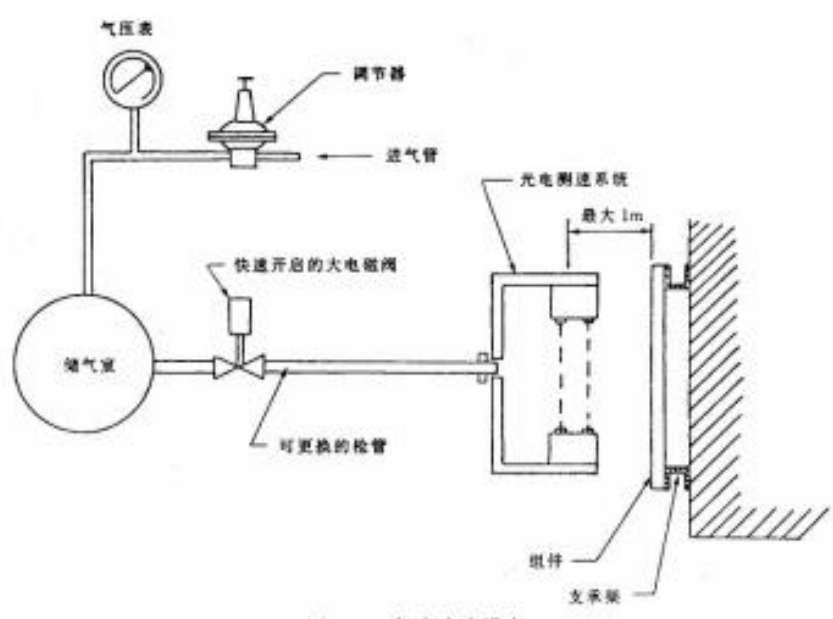


图 13 冰雹试验设备

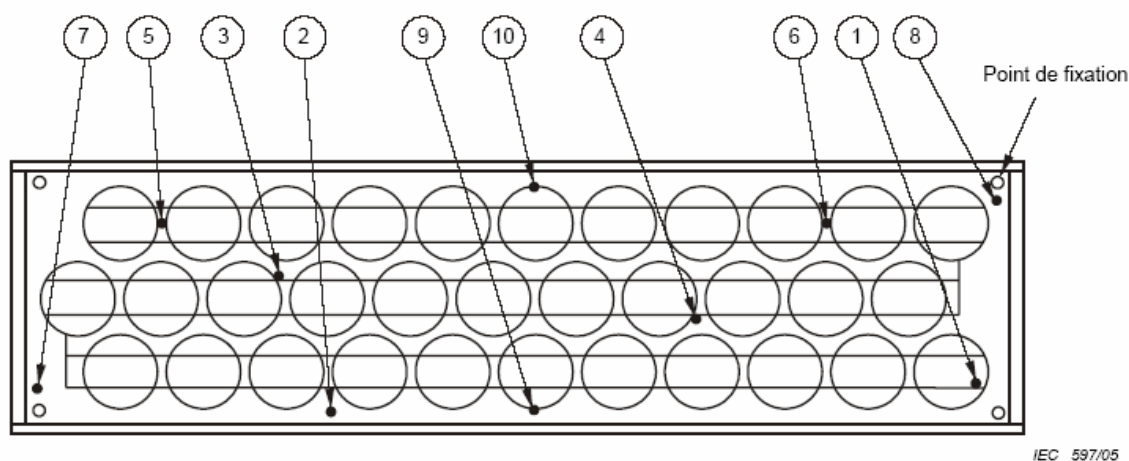


图 14 撞击位置示意图

表 3 撞击位置

撞击编号	位 置
1	组件窗口一角，距边框 50mm 以内。
2	组件一边，距边框 12mm 以内。
3, 4	单体电池边沿上，靠近电极焊点。
5, 6	在组件窗口上，距组件在支架上的安装点 12mm 以内。
7, 8	电池间最小空间上的点。
9, 10	在组件窗口上，距第 7 次和第 8 次撞击位置最远的点。
11	对冰雹撞击最易损坏的任意点。

10.18 旁路二极管热性能试验

10.18.1 目的

评价旁路二极管的热设计及防止对组件有害的热斑效应性能相对长期的可靠性。

注：如果不能接触到试验组件类型的旁路二极管，应准备一个特殊的样品来做本试验，旁路二极管的安装应与试验的标准组件相同，但可以在试验过程中对该二极管进行温度测量。试验将照常进行。该样品不需要进行程序的其他试验。

10.18.2 装置

- a) 能加热组件 $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的装置。
- b) 测量和记录组件温度的仪器，准确度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- c) 测量组件提供的任何旁路二极管温度的装置，应注意尽量减少对二极管特性或热传导途径的改变。
- d) 在整个试验过程中，对组件通以等于标准测试条件下短路电流 1.25 倍电流，并监测通过组件电流的仪器。

10.18.3 程序

- a) 将组件中隔离二极管短路。
- b) 从商标或说明书中确定组件在标准测试条件下的额定短路电流。
- c) 做好试验过程中测量旁路二极管温度的准备。
- d) 采用制造商推荐的最小规格的导线连接组件的输出端，按制造商推荐的方法与接线盒相连，盖上接线盒盖。

注：有的组件安装有重叠的旁路二极管，此时需要一连线以确保电流只流过一个二极管。

- e) 加热组件到 $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，对组件施加等于标准测试条件下短路电流 $\pm 2\%$ 的电流，1h 后测量每个旁路二极管的温度。利用二极管制造商提供的信息从测量的壳温及二极管消耗的功率，利用下列方程计算结温，：

$$T_j = T_{case} + R_{THjc} \cdot U_D \cdot I_D$$

$$T_j = T_{case} + R_{THjc} + U_D + I_D$$

式中：

T_j ：结温；

T_{case} ：壳温；

R_{THjc} ：热阻

U_D ：压降

I_D ：电流

注：如果组件包含特殊的二极管散热设计来降低二极管的工作温度，本试验可在散热片在 $1000\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ 辐照度下达到温度进行，无风的环境温度为 $43^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ ，而非 75°C 。

- f) 增加通以组件电流到标准测试条件下短路电流 1.25 倍，同时保持组件的温度在 $75^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，保持通过组件电流 1h。
- g) 验证二极管仍能工作。

10.18.4 最后试验

重复 10.1，10.2 及 10.3 的试验。

10.18.5 要求

应满足如下要求：

- 在 10.18.3e) 确定的二极管结温不超过二极管制造商最高额定结温；
- 无第 7 章中规定的严重外观缺陷；
- 最大输出功率的衰减不超过试验前测试值的 5%；
- 绝缘电阻应满足初始试验的同样要求。
- 在结束试验后二极管仍能工作。

附录 A IEC 61215 第二版对第一版修改

(资料性附录)

a) 10.15 节(扭曲试验)被删除

该试验原是为确保满足喷气实验室(JPL)设计的安装系统而发展的, 实际测试中没有组件不通过。

b) 增加了新的 10.15 节(湿漏电流试验)

在湿热环境中存放 2h 至 4h 进行最初和最后的试验。

这是 IEC 61646 最重要的增加, 该试验能发现视觉观察不到针孔和定界。

c) 增加了新的 10.18 节(旁路二极管热性能试验)

现场旁路二极管的失效常与过热相联系, 本试验确定在最坏的情况下二极管有多热, 并与其额定温度进行比较。

d) 第 8 章(报告)增加了 ISO/IEC 17025 的要求。

e) 10.2 节用了新标题“最大功率的确定”

这使实验室能在测试前后选择不同于标准测试条件的一系列条件, 这种做法增加了可重复性, 特别是对室外测量时使外推降到最低。

f) 10.3 节(绝缘试验)通过标准已经修改, 与组件的面积相关。

g) 10.4 节包含了室外方法, 也写入了 IEC 60904-10 参考。

h) 在 10.5 测量标称工作温度中进行了澄清修改, 采用 45° 倾角, 而不用纬度倾角。

i) 10.6 节的标题现为“标准测试条件和标称工作温度下的性能”, 因为 10.2 已不在限制为标准测试条件。

j) 10.10 节的标题现为“紫外预处理试验”

辐照水平采用原来的规定, 而不是 IEC 61345 中规定的值。

k) 10.11 节(热循环试验)和 10.12 节(湿-冻试验)进行了修改, 取消了试验过程中对接地的监测要求, 许多实验室提出了该建议。他们报告说这是个困难的要求, 并且也从未观察到失败。似乎是何种对地的短路会被后续的干绝缘试验或湿漏电流试验所发现。

l) 10.11 节(热循环试验)修改为在室温以上对组件施加峰值功率电流, 这种做法是对现场真实失效的模拟, 在没有电流通过时, 热循环试验发现不了的故障, 一有电流通过即失效。这是真实的试验, 因为大多数热的晴天, 组件都有电流通过。

m) 10.12 节(湿-冻试验)修改为取消了两室的方法。主要的实验室没有采用两室的方法, 并争论如采用该方法其严酷度是不同的。

n) 10.16 节(机械载荷试验)修改进行三次循环, 提供了可选择的更高载荷, 雪载荷。增加循环次数是因为有组件在第三次循环失效的报告, 而三次循环是 ASTM 机械载荷试验所要求。