

地面用光伏组件 设计鉴定和定型

第2部分：试验程序

1 范围

本文件规定了适合在露天气候下长期运行的地面光伏组件的设计鉴定要求。组件的使用寿命是否达标取决于其设计、环境和运行条件。测试结果不能被用作预测组件寿命依据。

在98th运行温度超过70℃的气候条件下，建议用户采用 IEC TS 63126 中描述的更高温度的测试条件进行测试。在对预期寿命较低的光伏产品进行认证时，建议用户使用如 IEC TS 63163中所述针对消费者设计的光伏电子产品进行测试。为确保量产组件与用于IEC 61215的测试组件的特性保持一致，建议用户依据IEC 62941对光伏制造进行质量体系核查。

本文件适用于所有地面用平板组件材料，例如晶体硅类型组件以及薄膜组件。

本文件不适用于带聚光器的组件，但可用于低聚光组件（1到3个太阳光）。对于低聚光组件，所有测试应在预先设计的聚光条件下的辐照度、电流、电压和功率等级下进行。

该测试序列的目的是验证组件的电气特性，并在合理的成本和时间内，证明该组件能够承受长时间的户外暴露。加速测试条件是根据经验，基于重现现场观察到的故障所需的条件而设定，并适用于所有类型组件。加速因子可能因产品设计而异，并非所有衰退机制都可能表现出来。有关加速测试方法的更多信息，包括术语定义，请参见 IEC 62506。

由于产生故障所需的时间过长且在大面积组件上施加必要应力条件所需的成本过高，一些长期退化机制只能在零部件测试层面体现。已达到足够成熟度来设置高置信度的通过/失败标准的零部件试验通过补充GB/T XXXX-1-202X表1的方式纳入GB/T XXXX—202X系列。相反，在GB/T XXXX-2中所述的试验程序是在组件上进行的。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2421.1 环境试验 第1部分：概述和指南

GB/T 2423.60 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验U：引出端及整体安装件强度

GB/T 2423.3 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T 6495.4 晶体硅光伏器件I-V实测特性的温度和辐照度修正方法

GB/T 6495.1 光伏器件 第1部分：光伏电流—电压特性的测量

GB/T 6495.2 光伏器件 第2部分：标准太阳能电池的要求

GB/T 6495.3 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

GB/T 6495.7 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

GB/T 6495.8 光伏器件 第8部分：光伏器件光谱响应的测量

GB/T 6495.9 光伏器件 第9部分：太阳模拟器性能要求

GB/T 6495.10 光伏器件 第10部分：线性特性测量方法

GB/T 20047.1 光伏（PV）组件安全鉴定 第1部分：结构要求

GB/T 43057 光伏组件 动态机械载荷试验

GB/T 27025 检测和校准实验室能力的通用要求

GB/T 2423.3-2016环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验

GB/T XXXX-1-202X 地面用光伏组件—设计鉴定和定型—第1部分：测试要求

IEC 60904-1-1 光伏器件 第1-1部分：多结光伏（PV）器件的电流—电压特性的测量（Photovoltaic Devices - Part 1-1: Measurement of Current-voltage Characteristics of Multijunction Photovoltaic Devices）

IEC TS 60904-1-2 光伏器件 第1-2部分：光伏电流—电压特性的测量（Photovoltaic Devices - Part 1-2: Measurement of of Current-voltage Characteristics of Bifacial Photovoltaic Devices）

IEC TR 60904-14 光伏器件 第14部分：标准试验条件下单结光伏组件最大功率输出和报告的生产线测量指南（Photovoltaic Devices - Part 14: Guidelines for Production Line Measurements of Single-junction PV Module Maximum Power Output and Reporting at Standard test Conditions）

IEC 61140 电击防护 装置和设备的通用部分（Protection Against Electric Shock - Common aspects for Installation and Equipment）

IEC 61730-2 光伏（PV）组件安全鉴定 第2部分：试验要求（Photovoltaic（PV）module safety qualification - Part 2: Requirements for testing）

IEC TS 61836 太阳光伏能源系统 - 术语、定义和符号（Solar photovoltaic energy systems - Terms, definitions and symbols）

IEC 62790 光伏组件接线盒 安全要求和试验（Junction boxes for photovoltaic modules - Safety requirements and tests）

IEC TS 62804-1:2015 光伏（PV）组件 - 电位诱导衰减检测的试验方法 - 第1部分：晶体硅（Photovoltaic（PV）modules - Test methods for the detection of potential induced degradation - Part 1: Crystalline silicon）

IEC TS 63163 消费产品的地面光伏（PV）组件—设计鉴定和型式认证（Terrestrial photovoltaic（PV）modules for consumer products - Design qualification and type approval）

IEC 61853 地面光伏组件的性能试验和能量标定（Performance Testing and Energy Rating of Terrestrial Photovoltaic（PV）Modules）

3 术语和定义

IEC TS 61836和GB/T XXXX—202X界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

ISO和IEC在以下地址维护用于标准化的术语数据库：

- IEC电子百科全书：可从<http://www.electropedia.org/>获取
- ISO在线浏览平台：可从<http://www.iso.org/obp>获取

3.1

精确度（测量装置的精确度）

测量装置提供的指示值接近被测量实际值的能力的特性。[符合国际计量词汇表（VIM），5.18]

注1：该术语用于“真值”方法。

注2：当指示值更接近相应的真值时，精确度更高

[来源：GB/T 2900.77-2008，311-06-08]

3.2

控制装置

辐照度传感器（如参考电池或组件），用于检测太阳模拟器的漂移和其他问题。

3.3

稳定的功率输出电平
光伏组件在长期自然阳光下运行的状态。

3.4

重复性（测量结果的重复性）
在相同测量条件下，对同一被测量进行连续测量所得结果之间的一致性程度，即：
- 通过相同的测量程序，
- 由同一位观察者，
- 使用相同的测量装置，
- 在相同条件下使用，
- 在同一实验室，

在相对较短的时间间隔内[\approx VIM, 3.6]。

注1：VIM, 2.5中定义了“测量程序”的概念。

[来源：GB/T 2900.77-2008, 311-06-06]

3.5

Gate 1

如GB/T XXXX—202X所述，组件性能与其铭牌规格之间的通过/失败比较标准。

3.6

Gate 2

如GB/T XXXX—202X所述，组件在经受应力前后性能的通过/失败比较标准。

4 试验程序

下述各小节详细介绍了进行每一项组件鉴定试验（MQT）的具体操作指南。关于资格认证的报告和测试顺序要求，在GB/T XXXX-1标准中进行了阐述。

4.1 外观检查(MQT 01)

4.1.1 目的

检查组件中的任何外观缺陷。

4.1.2 程序

按照GB/T XXXX—202X的规定，在不低于1000 lx的照度下，对每个组件仔细检查。

记录和/或拍摄任何可能属于GB/T XXXX—202X中定义的主要外观缺陷。还需记录和/或拍摄任何裂纹、气泡或分层等的状态和位置，这些缺陷可能会在后续的试验中加剧并对组件性能产生不良影响。记录任何失效原因和相关试验或实验室条件的相关信息。

4.1.3 要求

不应存在GB/T XXXX—202X中定义的主要外观缺陷。

4.2 最大功率确定(MQT 02)

4.2.1 目的

确定在稳定后以及各种环境应力试验前后组件的最大功率。

4.2.2 装置

- a) 符合 IEC 60904-1 测量 I-V 特性的装置；
- b) 符合 IEC 60904-2 的光伏参考装置；
- c) 应使用以下两种选项中的至少一种来减少不确定度的光谱失配分量：
 - 执行光谱失配修正。组件的光谱响应度应根据 IEC 60904-8 进行测量。光谱响应数据可能来自执行 GB/T XXXX—202X 的同一实验室，或来自不同实验室。用于获取光谱响应数据的样品可能是测试组件，也可能是使用与测试组件相同的材料清单制成的参考电池。然后应根据 IEC 60904-7 利用太阳模拟器的光谱分布进行光谱失配修正。
 - 使用匹配的参考电池或组件。参考装置应采用与测试组件相同的电池技术，以匹配光谱响应度。对电池或组件的大小没有要求。
- d) 光源：自然阳光或符合 IEC 60904-9 的 CAA 级或更好的太阳模拟器。对于 GB/T XXXX—202X 中定义的超大组件，可使用 CBA 级模拟器；

注1：根据 IEC 60904-9，CBA 级定义为：AM1.5 光谱匹配被归类为 C 级，组件尺寸的辐照不均匀度被归类为 B 级，辐照不稳定性被归类为 A 级。

为了实现高精度的功率测量，太阳模拟器的光谱辐照度分布应覆盖被测光伏器件的光谱响应所涵盖的整个波长范围。参见 IEC TR 60904-14 和 IEC 60904-9:2020。

- e) 合适的支架，以便支撑测试样品和参考装置处于垂直于辐射光束的平面上。

注2：MQT 02 测量程序旨在将不确定度降至最低，例如由经认证的测试实验室执行。较低的要求，例如使用 CAB 级模拟器，可以适用于其他应用，如工厂的质量控制。仅需要重复性的应用，例如在长时间应力前后比较组件性能，可能希望放宽光谱失配校正要求。

4.2.3 程序

使用 4.2.2 中所述的设备，根据 IEC 60904-1，在一组特定的辐照度和温度条件下（推荐的范围是电池温度在 20℃ 和 50℃ 之间，辐照度在 700 W/m² 和 1100 W/m² 之间）确定组件的电流-电压特性。在特殊情况下，当组件设计用于在不同条件下运行时，可使用与预期运行条件类似的温度和辐照度水平测量电流-电压特性。对于线性组件（如 IEC 60904-10 所定义），可根据 IEC 60891 进行温度和辐照度校正，以比较环境试验前后在同一组件上进行的测量值。对于非线性组件（如 IEC 60904-10 中所定义），测量应在规定辐照度的 ±5% 和规定温度的 ±2℃ 范围内进行。但是，应尽一切努力确保在类似的操作条件下进行峰值功率测量，即通过在近似相同的温度和辐照度下对特定组件进行所有峰值功率测量，将校正幅度降至最低。

对于柔性组件，最大功率测定应在柔性组件处于平坦位置时进行测量。

4.3 绝缘试验 (MQT 03)

4.3.1 目的

确定组件的带电部分与可接触部分之间的绝缘是否良好。

4.3.2 装置

- a) 有限流的直流电压源，能够为各种组件施加表 1 第三列中的规定电压；
- b) 测量绝缘电阻的装置。

4.3.3 条件

对组件进行试验的条件：温度为环境温度（见 IEC 60068-1），相对湿度不超过 75%。

施加在组件上的电压应力水平由组件的最大系统电压 (V_{sys})、组件等级以及是否存在胶结接头决定。组件类别的定义取自 IEC 61140, 并在 IEC 61730-1:2016 第4条中与光伏组件相关的内容中进行了讨论。IEC 61730-1:2016 第3.4.2条中给出了胶结接头的定义, 并在 IEC 61730-1:2016 第B.5和B.9条中进行了进一步讨论。本试验中采用的电压应力水平与 IEC 61730-2 MST 16中采用的电压应力水平相同。

4.3.4 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) 如果组件与边框保持正电压时, 某些组件技术可能对静态极化敏感。在这种情况下, 应以相反的方式连接测试仪。如适用, 制造商应提供有关静态极化敏感性的信息, 并记录在试验报告中。
- d) 读取表 1 第三列中的“一分钟预处理”电压 V_{Test1} 。以不超过 500V/s 的速率将测试仪施加的电压增加至等于 V_{Test1} 的最大值。将电压保持在此水平 1 分钟。
- e) 将施加的电压降至零, 将绝缘测试仪的正负极短路, 以释放组件中积聚的电压。
- f) 拆除短路装置。
- g) 读取表 1 第四列中的“两分钟应力”电压 V_{Test2} 。以不超过 500V/s 的速率将测试仪施加的电压增加至 V_{Test2} 的电压。将电压保持在此水平 2 分钟。然后测定绝缘电阻。
- h) 将施加的电压降至零, 将绝缘测试仪的正负极短路, 以释放组件中积聚的电压。
- i) 拆除短路装置并断开组件与测试设备的连接。

表 1 电压等级

组件类别	是否存在胶结接头	1min 预处理 V_{Test1} V	2min 绝缘电阻测量 V_{Test2} V
0	否	$1000+2*V_{SYS}$	大于500或 V_{SYS}
II	否	$2000+4* V_{SYS}$	大于500或 V_{SYS}
III	否	500	500
0	是	$1.35*(1000+2* V_{SYS})$	大于500或 V_{SYS}
II	是	$1.35*(2000+4* V_{SYS})$	大于500或 V_{SYS}
III	是	$1.35*500$	500

4.3.5 试验要求

- a) 无绝缘击穿或表面起痕。
- b) 对于面积小于 $0.1m^2$ 的组件, 绝缘电阻不小于 $400M\Omega$ 。
- c) 对于面积大于 $0.1m^2$ 的组件, 测得的绝缘电阻乘以组件面积应不小于 $40M\Omega \cdot m^2$ 。

4.4 温度系数的测量 (MQT 04)

根据 IEC 60891 标准, 通过组件测量确定电流 (α)、电压 (β) 和峰值功率 (δ) 的温度系数。所确定的系数适用于进行测量时的辐照度条件。关于不同辐照度水平下组件温度系数的评估, 见 IEC 60904-10。对于双面组件, 使用相同的程序确定温度系数, 但应确保没有背面辐照。应覆盖背面, 以使组件非暴露侧的贡献不超过 IEC TS 60904-1-2 规定的“非辐照背景”水平。如果由于组件集成了电子设

备而无法测量开路电压或短路电流，相关的温度系数应报告为“由于组件集成了电子设备，无法测量”。开路电压或短路电流的测量应仅限于直接测量方法，不应使用如外推等其他方法。

注：对于符合IEC 60904-10的线性组件，温度系数在辐照水平的 $\pm 30\%$ 范围内有效。

4.5 空白条款，原组件标称工作温度（NMOT）

组件标称工作温度（NMOT）测试（原名MQT 05）不再是本文件的一部分。保留此子条款，以便在文档的以下子项中，MQT编号与子条款编号匹配。

4.6 标准试验（测试）条件下的性能（MQT 06.1）

4.6.1 目的

确定组件在STC（ 1000 W/m^2 ， 25°C 电池温度，IEC 60904-3参考太阳光谱辐照度分布）条件下电性能随负载变化的情况。MQT 06.1是在STC条件下进行的最大功率测量（MQT 02）的实例。MQT 06.1旨在验证组件铭牌信息，并用于确定应力测试后的功率损耗。不确定度 m_1 应包括光谱不匹配的分量，基于光谱响应的测试或给定技术类型的最坏情况可能性，以及模拟器强度的设置方法。对于铭牌验证，不确定度 m_1 应符合技术特定部分中规定的限值。在确定应力测试的功率损失时，试验的再现性 r 应符合技术特定部分中规定的限值。

4.6.2 装置

- 该装置应符合 4.2.2（MQT 02）的规定；
- 还应配备监测试样和参考装置温度的装置，精确度为 $\pm 1^\circ\text{C}$ ，重复性为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ；
- 对于双面组件的测量，还需要具备以下能力：根据 4.6.2a 条款的要求，使用的辐射源必须能够进行操作，具有可调节的辐照度级别和/或背面辐照功能，从而确保可以通过至少一种 IEC TS 60904-1-2 标准所允许的方法施加 BNPI（定义见 IEC 61215-1:2021）；
- 对于多结组件的测量，模拟器和参考装置应满足 IEC 60904-1-1 规定的附加要求。

4.6.3 STC 下的测量程序（MQT 06.1）

按照IEC 60904-1规定，使用4.6.2中所述的设备，将组件保持在 $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ ，并在 $(1000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ 的辐照度（通过适当的参考装置测量）下跟踪其电流-电压特性。

依据IEC 60904系列及IEC 60891标准，使用温度系数将组件温度校正至 25°C 。

对于双面组件，应按照IEC TS 60904-1-2的规定进行测量。MQT 06应在STC和BNPI下进行Gate 1判定。每次在STC条件下进行MQT 06测试时，应根据IEC TS 60904-1-2标准，测量短路电流（ $\Phi_{Isc}=I_{scr}/I_{scf}$ ）、开路电压（ $\Phi_{Voc}=V_{ocr}/V_{ocf}$ ）和功率（ $\Phi_{Pmax}=P_{maxr}/P_{maxf}$ ）的STC双相系数。IEC TS 60904-1-2中规定了这些参数的定义、测量方法及描述它们所使用的符号。评估Gate 2（即应力后）时，MQT 06测试仅在BNPI条件下执行。应力测试后，除非MQT应力测试程序中有明确说明，否则无需重新测量双面性系数。在单面照明测量中，可利用测得的预应力双面系数来计算适当的等效强度。在BNPI下执行MQT 06时，只要满足最大不确定度 m_1 的要求，可使用IEC 60891中描述的任何方法将施加的辐照度校正为所需的等效正面辐照度。

注1：使用IEC 60891中的方法，将施加的辐照度校正为所需的等效正面辐照度，可帮助测试人员避免因各组件双面性系数的微小差异而需要对每个组件进行不同的模拟器校准操作。

注2：不要求在BSI条件下进行性能测量。当应力水平依据BSI设定时，可根据MQT中对双面组件利用BSI的具体描述，从较低的光照强度推算电流。

对于柔性组件，应在柔性组件处于平坦（即完全展开）状态时测量最大功率。对于非常大的组件（如 IEC 61215-1:2021所定义），测试实体可在制造商工厂进行测试，但仍应满足4.6.2中规定的要求。

对于多结组件，应按照IEC TS 60904-1-1的规定进行测量。

4.7 低辐照度下的性能（MQT 07）

4.7.1 目的

确定组件在25℃和辐照度为200 W/m²条件下，电性能随负载变化的情况。

4.7.2 装置

a) 该装置应符合 4.2.2（MQT 02）的规定；

该装置还应具有以下能力：

b) 将辐照度调整到 200 W/m²的设备，根据 IEC 60904-10 的要求，应不影响相对光谱辐照度的分布及空间均匀性；

c) 监测测试样品和标准器件的温度的装置，要求温度准确度为±1℃，重复性为±0.5℃；

d) 对于双面组件的测量，还需要以下设备：能够围绕组件边缘安装的挡板，以及一种非反射性覆盖材料，该材料用于暂时遮挡对组件另一面的光照，从而可以分别评估双面组件的前后两面的性能；

e) 对于多结组件的测量，模拟器和参考装置应满足 IEC 60904-1-1 规定的附加要求。

4.7.3 程序

根据IEC 60904-1，使用第4.7.2节中规定的设备，在（25±2）℃和（200±20）W/m²的辐照度下，测量组件的电流-电压特性。应使用中性滤光器或其他不影响光谱辐照度分布的技术将辐照度降低至规定水平（有关在不改变光谱辐照度分布的情况下降低辐照度的技术指导，请参见IEC 60904-10。）

依据IEC 60904系列及IEC 60891标准，使用温度系数将组件温度校正至25℃。

对于柔性组件，应在柔性组件处于平坦（即完全展开）位置时测量最大功率。对于非常大的组件（如 IEC 61215-1:2021所定义），测试实体可在制造商工厂进行测试，但仍应满足4.7.2中规定的要求。

对双面组件，使用挡板和背面遮挡屏，在200 W/m²辐照度下分别对组件的正面和背面进行两次单面测量。依据IEC TS 60904-1-2标准中规定的方法计算低辐照度下的双面系数，但使用的辐照度为200 W/m²，而非1000 W/m²。

对于多结组件，应按照IEC TS 60904-1-1的规定进行测量。

4.8 室外曝露试验（MQT 08）

4.8.1 目的

初步评估组件经受室外条件曝晒的能力，并揭示可能在实验室试验中测不出来的综合衰减效应。

4.8.2 装置

a) 一个开放式支架，以规定的方式固定测试组件及太阳辐射监测设备。支架的设计应尽量减少组件的热传导，并尽量减少对组件前后表面热辐射的干扰。对于不适用于开放式架安装的组件，则应按照制造商的建议安装测试组件；

b) 太阳辐照度监测器，精度为±5%，安装于组件的同一平面上，并且安装位置需距离测试阵列0.3米以内；

c) 指按照制造商的建议，将组件安装在与辐照度监测器共面的位置；

d) 一个可使组件在其最大功率点附件工作的电阻负载或者一个电子最大功率点跟踪器 (MPPT)。

4.8.3 程序

- a) 测试组件的位置应确保其垂直于本地纬度 $\pm 5^\circ$ 。在测试报告中应记录测试组件的安装倾角；
- b) 按照制造商的建议，将电阻负载或电子最大功率点跟踪器连接至组件，并将其安装在室外，与辐照监测器共面。测试组件前，应安装制造商推荐的热斑保护装置；
- c) 对组件进行至少 $60\text{kWh}/\text{m}^2$ 的总辐照测试，辐照量通过监测设备进行测量。根据制造商提供的说明，测试组件在测试期间或测试结束后可进行清洁处理。

4.8.4 最后试验

重复MQT 01和MQT 15的试验。

4.8.5 要求

- a) 无 GB/T XXXX—202X 中规定的严重外观缺陷；
- b) 湿漏电流应满足与初始试验相同的要求。

4.9 热斑耐久试验 (MQT 09)

4.9.1 目的

确定组件承受热斑加热效应的能力，例如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。虽然绝对温度和相对功率损耗不是本试验的标准，但仍使用最严酷的热斑条件来确保设计的安全性。

4.9.2 热斑效应

当组件的工作电流超过遮挡或故障电池或电池组的减少短路电流 (I_{sc}) 时，组件中会发生反向偏置热斑加热。当这种情况发生时，受影响的电池或电池组被迫反向偏置，并将耗散功率，从而导致过热。

如果功耗足够高或局部足够高，则反向偏置电池可能过热，导致（取决于技术）焊接熔化、密封剂、前板和/或背板劣化、上层玻璃、基板和/或覆盖玻璃开裂。正确使用旁路二极管可以防止热斑损坏的发生。

太阳能电池的反向特性可能有很大的不同。电池可以在反向性能受电压限制的情况下具有高并联电阻，也可以在反向性能受电流限制的情况下具有低并联电阻。每种类型的电池都会出现热斑问题，但方式不同。

低并联电阻电池：

- 最差的遮挡情况发生在整片电池（或大部分）被遮挡。
- 由于局部分流，通常采用低并联电阻电池。在这种情况下，由于大量电流在小面积内流动，因此会发生热斑加热。因为这是一种局部化现象，所以这种电池的性能有很大的分散性。当反向偏置时，并联电阻最低的电池极有可能在过高的温度下工作。
- 由于加热是局部的，低并联电阻电池的热斑失效会很快发生。

主要的技术问题是如何确定最低并联电阻电池，以及随后如何确定这些电池的最坏遮挡情况。此过程取决于技术，将在本文件系列的技术特定部分中予以说明。

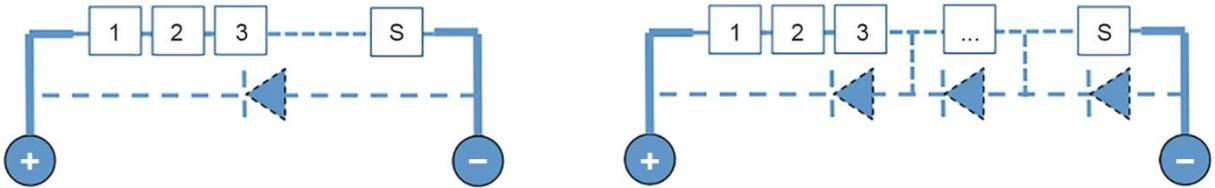
高并联电阻电池：

- 最差遮挡情况发生在电池被部分遮挡。

- 连接处故障和高温的发生比较缓慢。遮挡需要保持一段时间以产生最坏情况下的热斑加热。

4.9.3 电池内部连接的分类

串联连接：在单个串中所有单元的串联连接。参考图1。带有串联电池的组件可由单个（图1，左侧）或多个（图1，右侧）旁路二极管保护。



示例：由一个旁路二极管（左）或三个旁路二极管（右）保护的组件。

图 1 串联电路，带可选旁路二极管的串联连接

并串连接：并联-串联连接，即（S）组电池串联连接，每组（P）个电池并联连接。请参阅图2。

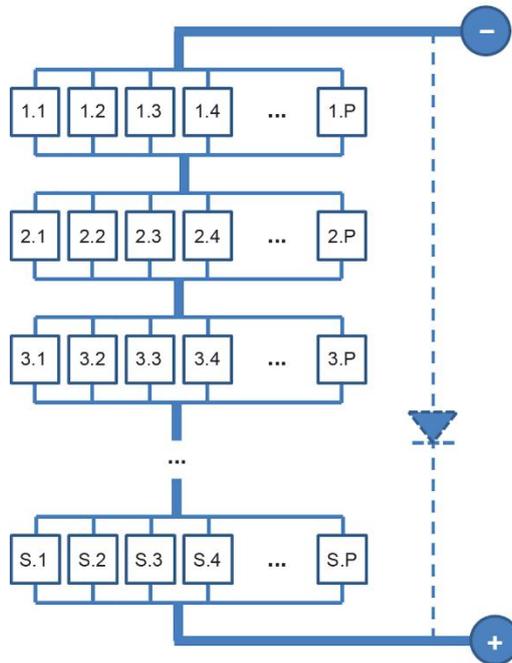


图 2 并串联电路，带可选旁路二极管的并串联连接

串并连接：串联-并联连接方式，即（P）组电池并联连接，每组（S）个电池串联连接。请参阅图3。

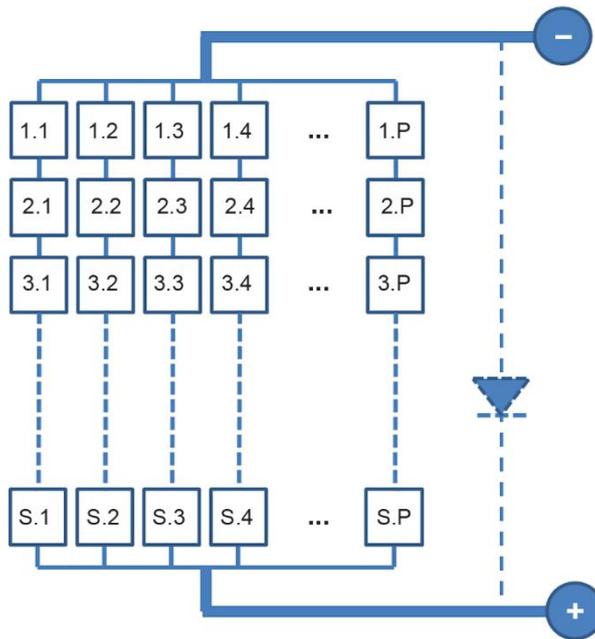


图 3 串并联电路，带可选旁路二极管的串并联连接

每个连接方式都需要特定的热斑耐久试验程序。

4.9.4 装置

- a) 光源：自然阳光或符合 IEC 60904-9 的 BBB 级（或更好）稳态太阳模拟器。任一类型的辐射源的辐照度应为 $(1000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ 。当对组件施加最坏情况遮挡时，该辐射源将用于施加长时间应力。该辐射源可用于遮挡单元的选择，或可选脉冲模拟器（如 4.9.4g 所述）可用于单元选择；

对于双面组件，用于长时间暴露的辐射源应具有可调节的辐照度水平和/或后侧辐照度，以便 BSI（定义见 IEC 61215-1:2021）可通过 IEC TS 60904-1-2 允许的至少一种方法应用。总辐照度公差，无论是单面配置还是双面配置，均不得大于 $\pm 50 \text{ W/m}^2$ ；

- b) 组件 I-V 曲线测试仪；
 c) 电流测量设备；
 d) 用于测试电池遮挡的完全不透明的盖板；
 e) 用于测量和记录组件温度的红外成像仪，其特征分辨率应允许小于一个电池；
 f) 记录辐照度水平、总辐照量和环境温度的设备。

可选项：

- g) 可以选用符合 IEC 60904-9 的 BBB 级或更优的瞬态模拟器，辐照度为 $800\text{--}1000 \text{ W/m}^2$ ，进行 I-V 测量来选择电池，此时电池对热斑加热最为敏感。

4.9.5 程序

4.9.5.1 概述

根据太阳能电池技术和制造工艺，存在两种不同的程序。MQT 09.1通常适用于标准晶体硅等基于晶圆的技术。对于最常见的单片集成薄膜技术（CdTe、CIGS、a-Si），程序MQT 09.2适用。双面组件也将使用MQT 09.1进行测试。

如果使用代表性样品执行MQT 09.1，则代表性样品每个旁路二极管的电池数量应与全尺寸产品相同。根据产生的样本量，该要求可能会对执行测试所需辐射源的选择造成影响。

4.9.5.2 基于硅片技术（WBT）的试验程序 MQT 09.1

该程序的第一步是选择并联电阻最低和最高的电池（详见下文步骤c）、d）和e）。如果组件电路可以触及，则可直接监测通过遮挡电池的电流。如果要测试的光伏组件没有可拆卸的二极管或可接近的电路，可以使用以下非侵入性方法。

所选方法基于获取一块组件每块电池依次遮挡后的一系列的I-V曲线。图4显示了示例组件的一系列I-V曲线。当并联电阻最低的电池被遮挡时，取二极管导通点处泄漏电流最大的曲线。当具有最高并联电阻的电池被遮挡时，取二极管导通点处泄漏电流最小的曲线。

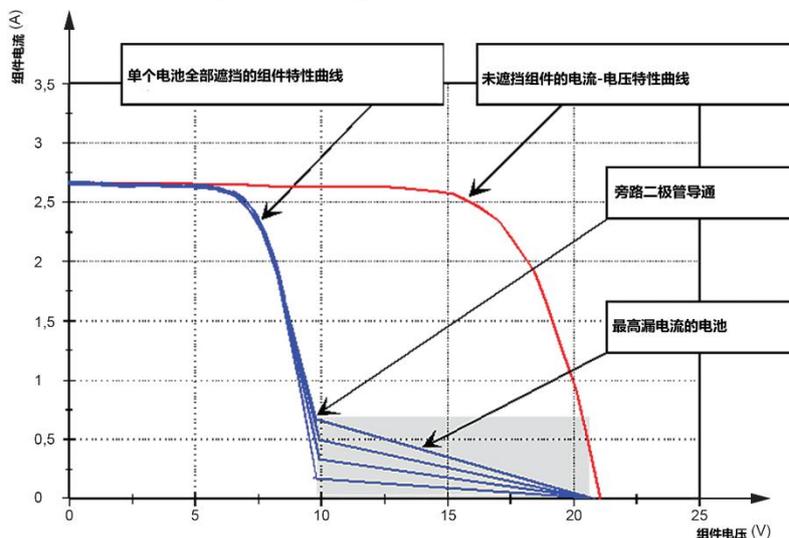


图 4 完全遮挡不同电池片时组件的 I-V 特性

使用以下步骤识别热斑效应电池片：

a) 使用以下方法之一将无遮挡组件暴露在辐照度介于 800 W/m^2 和 1100 W/m^2 之间的光源中：

- 一个瞬态模拟器，组件温度接近室温 (25 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ ；
- 一个稳态模拟器，其中组件温度应在开始测量前稳定在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。
- 太阳光，其中组件温度应在开始测量前稳定在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。

对于双面组件，电池选择的曝光是在组件正面，组件背面被遮盖，以充分限制组件非暴露侧的贡献达到或低于 IEC TS 60904-1-2 中规定的“背面无辐照”水平。

b) 依次对每个电池进行完全遮挡，测量产生的 I-V 曲线，并准备一组如图 4 所示的曲线。对于双面组件，如果使用双面照射，则电池的正面和背面都应完全遮挡。如果使用单面照射，则根据 IEC TS 60904-1-2 中规定的背面无辐照要求来实现背面遮挡。

注：对于 SP，组件 I-V 曲线的变形被添加到全照射平行分段的截面 I-V 曲线中，因此不会达到 V_{oc} 。

- 选择靠近组件边缘的具有最低并联电阻的电池，即泄漏电流最大的电池。
- 选择两个具有最低并联电阻的电池（除 c 中的电池外），即泄漏电流最大的电池。
- 选择并联电阻最大的电池。

- f) 对于双面组件，如果某些电池因设计（如接线盒或背面围挡）而永久遮挡，则还应选择这些电池进行热斑测试。
- g) 通过确定每个选定电池的最坏情况遮挡条件，开始电池测试程序：
- 1) 将无遮挡组件暴露在 800 W/m^2 至 1100 W/m^2 范围内的单面辐照度下。暴露应符合 4.9.5.2 a) 中所述的要求。
 - 2) 在达到 $\pm 5^\circ\text{C}$ 的热稳定后，测量组件 I-V 特性并确定最大功率电流 I_{MP1} （初始性能 P_{MP1} ）。
 - 3) 将组件暴露在符合 4.9.5.2 a) 要求的辐照度下。然后使用下面步骤 4) 中的方法之一确定每个选定电池的最坏遮挡情况。
 - 4) 使用以下方法 i) 至 iii) 中的一种确定每个选定测试电池的最坏遮挡情况。
 - i. 如果可以进入电池电路，则使组件短路并连接电流测量设备，使其仅读取通过被测电池串中的电流。对于每个选定的测试电池，对该电池进行遮挡处理，并确定何种遮挡面积导致通过遮挡电池的电流等于步骤 g) 2) 中确定的未遮挡电池的 I_{MP1} 。这是该电池最糟糕的遮挡情况。
 - ii. 如果无法进入电池电路，则确定最坏遮挡情况的第一个选择涉及绘制 I-V 曲线。取一组 I-V 曲线，每个选定的测试电池在图 5 所示的不同水平上遮挡。确定最坏情况遮挡条件，当通过遮挡电池的电流（旁路二极管打开的点）与 a) 中确定的原始未遮挡的 I_{MP1} 一致时，如图 5 中的曲线 c)，与 a) 中使用的辐照度水平相同。如果所选电池完全遮挡时旁通二极管未接通，则通过完全遮挡电池达到最坏情况下的热斑条件。
 - iii. 如果无法进入电池电路，确定最坏情况遮挡的第二个选项涉及温度测量。使组件短路。在 100% 遮挡条件下依次对每个选定的测试电池进行遮挡处理，并测量电池温度。减少遮挡 10%。如果温度降低，则 100% 遮挡是最坏情况遮挡条件。如果温度升高或保持不变，则继续减少遮挡 10%，直到温度确实降低。使用上一个遮挡级别作为最坏的遮挡情况。
 - 5) 对于 c) 中选择的电池，（即组件边缘并联电阻最低的电池），应进一步规定在长时间曝光期间施加盖板的位置。将组件短路。当电 100% 遮挡时，使用红外摄像机确定电池上的最热点。如果可能，确保在步骤 i) 的长时间曝光期间，该最热点位于照明区域内。
- h) 将步骤 c) 至 f) 中确定的一个选定单元格遮挡化为 g) 中确定的最坏情况。如果将在步骤 i) 中为双面组件使用双面照明，则应在背面对电池进行相同的遮挡；
- i) 使组件短路。将组件暴露在稳态辐照度下。对于单面组件，辐照度应为 $(1000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ 。对于双面组件，辐照度应为 $\text{BSI} \pm 50 \text{ W/m}^2$ 。该试验应在 $(55 \pm 15)^\circ\text{C}$ 范围内的组件温度下进行。
- j) 对于所选电池，按 g) 中确定的最坏情况下的遮挡条件保持 1 小时。如果遮挡电池的温度在 1 小时结束时仍在升高，则继续曝光至 5 小时。
- k) 对在步骤 c) 至 f) 中选择的每个电池重复步骤 h) 至 j)。

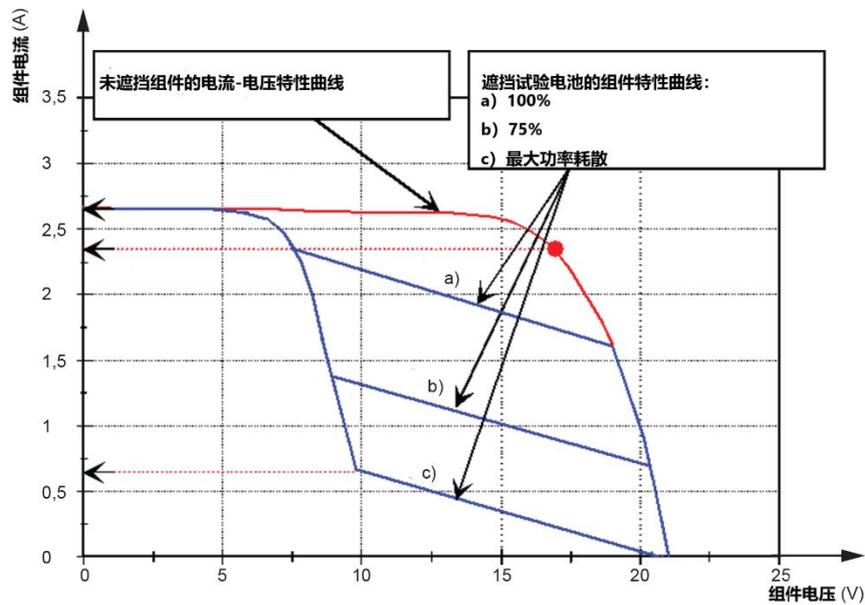


图5 被测电池不同遮挡状态下组件 I-V 特性

4.9.5.3 单片集成 (MLI) 薄膜技术的试验程序 MQT 09.2

4.9.5.3.1 概述

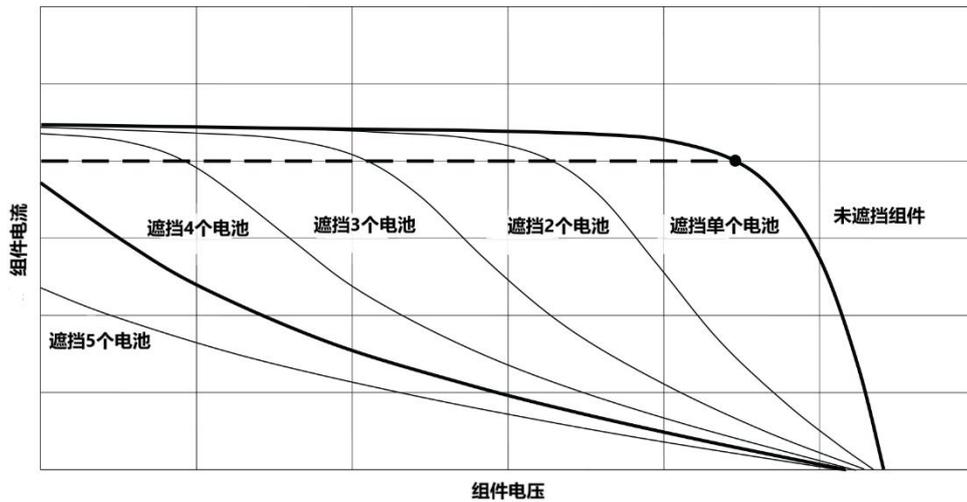
热斑试验在组件长时间暴露于 $(1000 \pm 100) \text{W/m}^2$ 的情况下进行的。

注：串联MLI薄膜电池的互连电路中通常不包括旁路二极管。因此，遮挡电池的反向电压不受限制，组件电压可以迫使一组电池反向偏置。

MLI薄膜组件的电气性能会受到短期遮挡的负面影响。应注意，设置最坏情况条件和热斑耐久性试验产生的影响应明确分开。为此目的，收集 $P_{\text{max}1}$ （应用任何遮挡之前）、 $P_{\text{max}2}$ （通过遮挡识别最坏情况后）和 $P_{\text{max}3}$ （应用扩展应力之后）的值。

4.9.5.3.2 串联连接

图6显示了当不同数量的电池被完全遮挡时，由电池串联而成的MLI薄膜组件中的热斑效应。遮挡电池中消耗的功率等于组件电流与遮挡电池组中产生的反向电压的乘积。对于任何辐照度水平，当遮挡电池上的反向电压等于组件中剩余照明电池产生的电压时（最坏情况遮挡条件），最大消耗功率。此时，被遮挡组件的短路电流等于未遮挡组件的最大功率电流。



注：在本例中，最坏情况下的遮挡条件是同时遮挡4个单元格。

图6 具有串联电池的MLI薄膜组件中的热斑效应

应使用以下方法选择要遮挡的单元，并确定仅串联组件（情况）的最坏遮挡条件。

- a) 使用以下方法之一，将无遮挡组件暴露于光源中，使组件表面的总辐照度达到 800 W/m^2 至 1100 W/m^2 。
 - 一个瞬态模拟器，组件温度接近室温 (25 ± 5) $^{\circ}\text{C}$ 。
 - 一个稳态模拟器，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。
 - 太阳光，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。
- b) 达到热稳定后，测量组件 I-V 特性并确定最大功率电流 I_{MP1} 和最大功率 P_{max1} 。确定最大功率电流范围 ($I_{\text{min}} < I < I_{\text{max}}$)，其中 I_{max} 为无遮挡组件的最大功率电流， I_{min} 为 $0.95I_{\text{max}}$ 。此电流范围命名为 $I^{(*)}$ 。
- c) 测量下一步中描述的每个位置的短路电流。
- d) 从组件的一个边缘开始，使用不透明的盖板将一个电池完全遮住。平行于电池移动盖板，增加被遮挡组件的面积（遮挡电池数量），直到短路电流落在非遮挡组件的电流范围内。在这些条件下，最大功率在选定的电池组内消耗（见图6）。短路电流测量间隔的最大步长为一个电池的宽度。盖板最小宽度为两个电池的宽度。如果需要遮挡少于两个电池才能获得规定范围内的电流，则盖板宽度应固定为最小值。如果对某些数量的“n”电池进行遮挡处理导致电流过高，并且如果对 n+1 电池进行遮挡处理导致电流过低，则应选择更窄的盖板宽度（n 个电池）。
- e) 在组件上缓慢移动不透明盖板（尺寸见上文 d），并测量每个位置的短路电流。短路电流测量间隔的最大步长为盖板宽度（因此，在该步骤中，组件中的每个电池都应被遮挡过。）如果在某个位置短路电流低于规定的电流范围 $I^{(*)}$ ，则以一个单元宽度的增量减小盖板的尺寸，直到电流再次在所需范围内。如果在此过程中的任何时候，盖板宽度减小到其两个单元宽度的最小值，则其尺寸不得进一步减小，并且在组件上移动盖板的过程完成。如果对某些数量的“n”单元进行遮挡处理导致电流过高，并且如果对 n+1 单元进行遮挡处理导致电流过低，则应选择较窄的盖板宽度（n 个单元）。在此过程中，辐照度的变化不得超过 $\pm 2\%$ 。任何时候都不得使盖板变大，即在步骤 g) 期间，如果短路电流超过 $I^{(*)}$ 的上限，则盖板宽度应保持不变。
- f) 覆盖物的最终宽度，以及受最终遮罩宽度影响的每个区域中显示最低电流的位置，决定了导致最坏情况下遮挡条件的最小遮挡区域。这是用于热斑测试的遮挡区域。

- g) 拆下盖板并目视检查组件。
- 注：步骤d)和e)中电池的反向偏压操作可能导致PN结击穿，并导致可见斑点不规则地分布在组件区域。这些缺陷会导致最大输出功率下降。
- h) 重新测量组件 I-V 特性并确定最大功率 P_{max2} 。
- i) 将盖板放在组件上。将盖板放在步骤 e) 和 f) 中确定的位置。
- j) 使组件短路，包括监控组件电流的方法，例如电流表。
- k) 将组件暴露在稳态辐射源下，总辐照度为 $(1000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ ，在组件表面使用以下方法之一：
- 一个稳态模拟器，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内。
 - 太阳光，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内。
- l) 该试验应在 $(55 \pm 15)^\circ\text{C}$ 范围内的组件温度下进行。关注 I_{sc} 的值，并保持组件电流高于 I^* 的下限。如果 I_{sc} 低于 I^* 的下限，则以一个单元格宽度的增量减小遮罩宽度，直到 I_{sc} 再次超过 I^* 的下限。如果电流低于所需范围，但盖板已经是最小宽度，则不应进行调整。
- m) 在这种条件保持总暴露时间 1 小时。
- n) 在耐久性试验结束时，使用以下方法确定遮挡电池片上最热的区域：红外摄像机或适当的温度检测器。

4.9.5.3.3 串并连接

图3说明了串并联连接，即P串并联连接，每个P串串联S单元。

如果组件为串联-并联型（串并连接），应使用以下方法选择要遮挡的单元，并确定最坏情况遮挡条件。

- a) 使用以下方法之一，将无遮挡组件暴露于光源中，使组件表面的总辐照度达到 800 W/m^2 至 1100 W/m^2 。
- 一个瞬态模拟器，组件温度接近室温 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。
 - 一个稳态模拟器，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内。
 - 太阳光，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内。
- b) 达到热稳定后，测量组件 I-V 特性并确定最大功率电流 I_{MP1} 和最大功率 P_{max1} 。确定最大功率电流范围 $(I_{min} < I < I_{max})$ ，其中 I_{max} 为无遮挡组件的最大功率电流， I_{min} 为 $0.95 I_{max}$ 。
- c) 然后根据以下公式计算可接受的最大功率电流范围 I^* 。
- $$I_{min}/N + I_{sc} \cdot (N-1)/N < I^* < I_{max}/N + I_{sc} \cdot (N-1)/N$$
- 其中 N 是组件的并连串数。
- d) 选择要测量的子串。以下标准用于选择在延长应力期间可能经历更高温度的子串。如果部分接线盒位于组件发电区域的后面，请选择接线盒区域最大部分前面的子串。如果接线盒区域在两个子串之间等分，或者组件在两个不同的子串上包含两个接线盒，请选择位于接线盒区域一半前面的任一子串。如果接线盒不位于组件发电部分的后面（例如，接线盒位于边缘删除区域），请选择位于组件标签最大部分前面的子串。如果接线盒或标签的任何部分都不位于组件发电区域的后面，请选择离组件几何中心最近的子串。
- e) 测量下一步中描述的每个位置的短路电流。
- f) 从组件的一个边缘开始，使用不透明的盖子将选定子字符串的一个单元格完全遮住。平行于电池移动盖子，增加遮挡子串组件面积（遮挡电池数量），直到短路电流落在电流范围 I^* 内。在这些条件下，最大功率在选定的电池组内消耗（见图 6）。短路电流测量之间的最大步长为 一个单元宽度。最小遮罩宽度为两个单元格宽度。如果需要遮挡少于两个电池才能获得规定范围内的电流，则遮罩宽度应固定在最小值。如果对某些数量的“n”单元进行遮挡处理

导致电流过高，并且如果对 n+1 单元进行遮挡处理导致电流过低，则应选择较窄的遮罩宽度（n 个单元）。

- g) 在组件上缓慢移动不透明盖板（尺寸见上文 f），并测量每个位置的短路电流。短路电流测量之间的最大步长为盖板宽度（因此，在该步骤中，组件中的每个单元应在某个点上被遮挡。）如果在某个位置，短路电流低于规定的电流范围 I^* ，则以较小的增量减小盖子的尺寸，直到电流再次在所需范围内。如果在此过程中的任何时候，盖板宽度减小到其两个单元宽度的最小值，则其尺寸不得进一步减小，并且在组件上移动盖板的过程完成。如果遮挡一定数量的“n”单元导致电流过高，如果遮挡 n+1 单元导致电流过低，则应选择较窄的遮罩宽度（n 个单元）。在此过程中，辐照度变化不得超过 $\pm 2\%$ 。任何时候都不得使盖板变大，即在步骤 g) 期间，如果短路电流超过 I^* 的上限，则盖板宽度应保持不变。
- h) 覆盖层的最终宽度，以及子串内显示受最终遮罩宽度影响的每个区域的最低电流的位置，确定导致最坏情况下遮挡条件的最小遮挡区域。这是用于热点测试的遮挡区域。
- i) 拆下盖板并目视检查组件。

注：步骤 f) 和 g) 中电池的反向偏压操作可能导致结击穿，并导致可见斑点不规则地分布在组件区域。这些缺陷会导致最大输出功率下降。

- j) 重新测量组件 I-V 特性并确定最大功率 $P_{\max 2}$ 。
- k) 将盖放在组件上。将盖放在步骤 g) 和 h) 中确定的位置。
- l) 使组件短路，包括监测组件电流的方法，如电流表。
- m) 将组件暴露在稳态辐射源下，在组件表面提供 $(1000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ 的总辐照度。这可以通过以下方式实现：
- 一个稳态模拟器，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内。
 - 太阳光，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内的阳光。
- 该试验应在 $(55 \pm 15)^\circ\text{C}$ 范围内的组件温度下进行。注意 I_{sc} 的值，并保持组件电流高于 I^* 的下限。如果 I_{sc} 低于 I^* 的下限，则以一个单元格宽度的增量减小盖板宽度，直到 I_{sc} 再次超过 I^* 的下限。如果电流低于所需范围，但盖板已经是最小宽度，则不应进行调整。
- n) 保持这些条件进行 1h 的曝晒。
- o) 在耐久性试验结束时，使用红外摄像机或适当的温度检测器确定遮挡电池上的最热区域。

4.9.5.3.4 并联连接

如果并联-串联型组件（并联连接）具有不可访问的内部单元电路，但不包含内部旁路二极管或等效的反向偏置保护装置，则应使用以下方法选择要遮挡的单元，并确定最坏情况下的遮挡条件。

- a) 将无遮挡组件暴露在组件表面的总辐照度为 800 W/m^2 至 1100 W/m^2 。这可以通过以下方式实现：
- 一个瞬态模拟器，组件温度接近室温 $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。
 - 一个稳态模拟器，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内。
 - 太阳光，开始测量前，组件温度应稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内。
- 达到热稳定后，测量组件 I-V 特性并确定最大功率 $P_{\max 1}$ 。
- b) 将组件暴露在稳态辐射源下，在组件表面提供总辐照度 $(1000 \pm 100) \text{ W/m}^2$ 。该试验应在 $(55 \pm 15)^\circ\text{C}$ 范围内的组件温度下进行。
- c) 将组件短路，并在组件中随机遮挡一个块。对试块内至少 10% 的电池进行遮挡处理，并对试块的增加区域进行遮挡处理，直到使用热成像设备或其他适当方法确定最高温度。
- d) 重新测量无遮挡组件 I-V 特性，并确定最大功率 $P_{\max 2}$ 。
- e) 使用步骤 c) 中的遮挡，并保持这些条件进行 1h 的曝晒。

在耐久性试验结束时，使用红外摄像机或适当的温度检测器确定遮挡电池上的最热区域。

4.9.6 最后试验

重复MQT 01、MQT02、MQT03和MQT 15的试验。

4.9.7 要求

- a) 无 GB/T XXXX—202X 中规定的严重外观缺陷，尤其要检查焊接熔化、外壳开口、分层和烧斑的迹象。如果严重损坏但不属于严重外观缺陷，则在同一组件内的另外两个电池上重复测试。如果这两个电池周围没有可见损坏，则组件类型通过热斑耐久试验；
- b) 验证组件 I-V 特性，但 MQT 02 功率结果（Gate 2）的损耗，不能作为的通过/失败的判定依据；
- c) 绝缘试验结果应结果满足初始试验同样的要求；
- d) 湿漏电流应结果满足初始试验同样的要求；
- e) 应在试验报告中注明因确定最坏情况遮挡而造成的任何损坏。

4.10 紫外预处理试验（MQT 10）

4.10.1 目的

在热循环/湿冻试验之前，对组件进行紫外线（UV）辐射预处理，以确定易受紫外线降解的材料和粘合剂。

注：MQT 10旨在检测组件对紫外线降解的总敏感性，因为与现代组件的典型寿命预期相比，剂量很小，且未严格规定紫外线源的波长分布。将MQT 10应用于其他目的（例如比较退化研究）的文件应考虑为实现这些目标需要哪些额外要求。

4.10.2 装置

- a) 一个带有紫外线光源和待测组件安装的温控测试设备，该设备应具备将组件温度维持（ 60 ± 5 ）℃的能力。
- b) 测量并记录组件温度的装置，准确度为 ± 2 ℃，重复性为 ± 0.5 ℃。温度传感器应安装在靠近组件中部的上表面或后表面，不阻挡任何紫外线入射到组件内电池上。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。
- c) 能测试照射到组件试验平面上的紫外辐照度的装置，波长范围为 280nm 到 320nm 和 320nm 到 400nm，准确度为 $\pm 15\%$ 或更佳。
- d) 一个紫外光源，在测试组件的平面上生成辐照度均匀性为 $\pm 15\%$ 的紫外辐射，在 280 纳米以下波长不产生辐照度，并且能够根据 4.10.3 条款定义的不同光谱区域的需求，提供必要的总辐照度。
- e) 依照制造商建议，组件在测试过程中应处于短路或开路状态。测试报告中需明确记录本次测试采用的电路条件。

4.10.3 程序

- a) 使用已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 400nm 的辐照度不超过 250 W/m^2 （约等于 5 倍的自然光水平），且在整个测量平面上辐照度均匀性到达 $\pm 15\%$ 。
- b) 根据 4.10.2e) 中的建议，对组件短路或断路。将其安装在测试平面内根据步骤 a) 选择的位置，垂直于 UV 辐照度光束。确保组件温度传感器读数为（ 60 ± 5 ）℃。对于柔性组件，应根据制造商文件，在试验期间使用规定的基材和粘合剂或连接/安装方式安装组件。

- c) 使组件正面经受波长范围在 280nm 到 400nm 之间的紫外辐射至少 15kWh/m²，其中波长为 280nm 到 320nm 的紫外辐射为总紫外辐射能量的 3%-10%，在试验过程中将组件温度维持在前面规定的范围内。

对于双面组件，在组件背面重复上述紫外线辐射程序。

4.10.4 最后试验

重复MQT 01和MQT 15的试验。

4.10.5 要求

- 无 GB/T XXXX—202X 中规定的严重外观缺陷；
- 湿漏电流应满足与初始试验相同的要求。

4.11 热循环试验 (MQT 11)

4.11.1 目的

确定组件承受由温度反复变化引起的热失配、疲劳和其他应力的能力。

4.11.2 装置

- 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 7 所示的热循环试验。
- 气候室中安装或支撑组件的装置，保证周围的空气能自由循环。安装或支撑装置的热传导应小，实际上，应使组件处于绝热状态。
- 测量和记录组件温度的装置，准确度为±2.0℃，重复性为±0.5℃。
- 施加持续电流的装置，电流值在本文件特殊技术要求部分中定义。
- 监测试验过程中流经每一组件电流的装置。
- 一个连接于组件电气终端导线的 5N 重物。

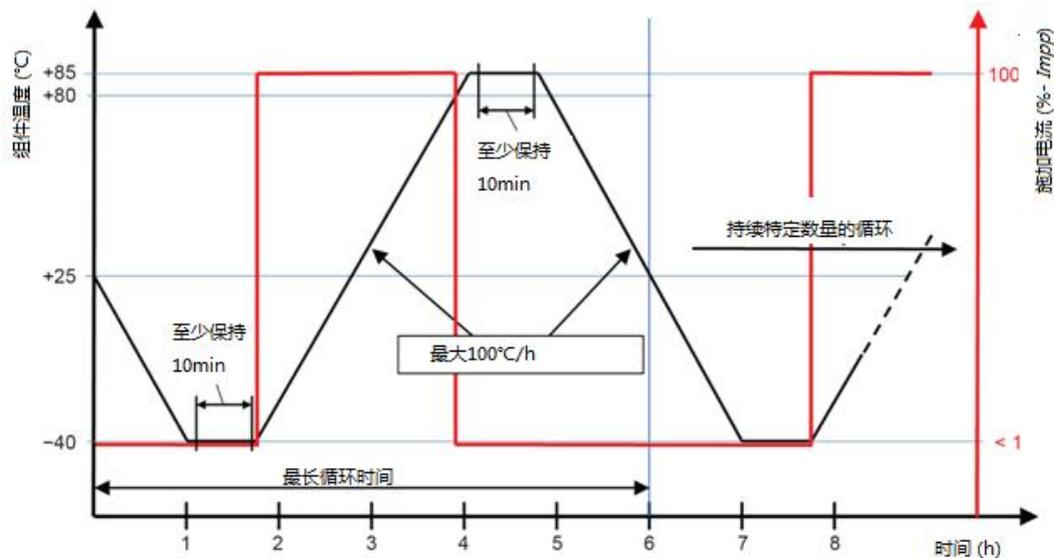


图 7 热循环试验 - 温度和施加电流要求

4.11.3 程序

- a) 将一个合适的温度传感器连接到组件正面或背面靠近中间的位置。如果一个以上同类型组件同时试验，只需监测其中一个组件的温度。
 - b) 在室温下将组件装入气候室。使用以下两个选项之一，将一 5N 重物挂在接线盒上。如图 8a 所示，可利用每个组件的电气端子引线连接重物，使其垂直悬挂在接线盒上。如图 8b 所示，也可以由测试人员引入导线将重物连接到接线盒上。由测试人员引入的导线不得连接到接线盒盖上。无论采用哪种方式，重物均不得碰撞或损坏组件背面，且在试验开始时，重物应至少高于地板或组件边框 5 cm，如图 8b 所示。如果每个组件有多个类似的接线盒，只需对一个接线盒连接重物，如图 8b) 或图 8c) 所示。然而，如果接线盒的设计不同，则每个接线盒应独立承载重物。
- 对于柔性组件，试验期间应根据制造商文件，使用规定的基材和粘合剂或附件/安装方式安装组件。
- c) 将温度监测设备连接到温度传感器。将每个组件的正极引出端连接到电流源正极，负极引出端连接到其负极。在热循环试验期间，在从 -40°C 至 $+80^{\circ}\text{C}$ 的加热阶段对组件施加 4.11.2 d) 特殊技术要求的连续电流。在冷却、 -40°C 保持阶段和高于 80°C 时，连续电流应减少至不超过所测 STC 峰值功率电流的 1.0%，以监测连续性。如果温度在最低温度时上升过快（超过 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ），则可以延长电流的启动点，直至温度到 -20°C 。
 - d) 关闭气候室，按照图 7 所示，使组件温度在 $(-40 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 和 $(+85 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ 之间循环。最低和最高温度之间温度变化速率不超过 $100^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，在每个极端温度下应保持稳定至少 10 min。单个循环时间不得超过 6 h，除非组件具有较高的热容性需要更长的循环时间。循环次数见 GB/T XXXX—202X 图 2 中的相关序列。组件周围的空气循环应保证在试验中每块组件满足温度循环图的要求。
 - e) 在整个试验过程中，记录组件的温度并监控通过组件的电流。在试验报告中记录在高温和低温下的实际驻留时间。

注：在具有并联电路的组件中，一个支路的开路将导致电压不连续，但不会导致电流为零。

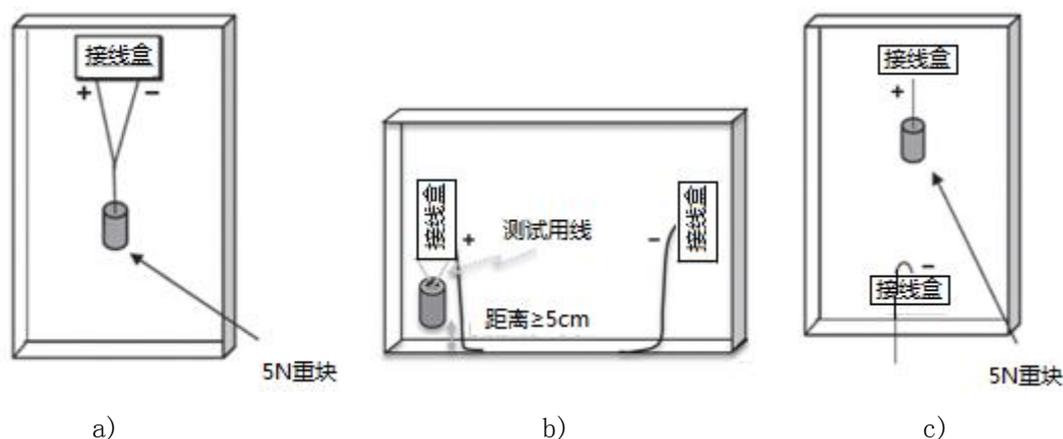


图 8 通过适当的方式将 5N 重物连接到组件接线盒

a) 电气端子引线, b) 或用于连接的线, 以及 c) 仅使用一个接线盒

4.11.4 最后试验

组件处于开路状态，并在 $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的室温和低于 75%RH 的环境下至少恢复 1 小时之后，重复 MQT 01 和 MQT 15 的试验。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/056032225040010110>