



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

地面用光伏组件 设计鉴定和定型 第2部分：试验程序

Terrestrial photovoltaic (PV) Modules Design Qualification and Type Approval
Part 2: Test procedures

(IEC 61215-2:2021, Terrestrial photovoltaic (PV) Modules Design Qualification
and Type Approval Part 2: Test procedures, IDT)

(征求意见稿)

(本草案完成时间：2024.3.22)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前 言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 试验程序	3
4.1 外观检查 (MQT 01)	3
4.1.1 目的	3
4.1.2 程序	3
4.1.3 要求	3
4.2 最大功率确定 (MQT 02)	3
4.2.1 目的	3
4.2.2 装置	4
4.2.3 程序	4
4.3 绝缘试验 (MQT 03)	4
4.3.1 目的	4
4.3.2 装置	4
4.3.3 条件	4
4.3.4 程序	5
4.3.5 试验要求	5
4.4 温度系数的测量 (MQT 04)	5
4.5 空白条款, 原组件标称工作温度 (NMOT)	6
4.6 标准试验 (测试) 条件下的性能 (MQT 06.1)	6
4.6.1 目的	6
4.6.2 装置	6
4.6.3 STC 下的测量程序 (MQT 06.1)	6
4.7 低辐照度下的性能 (MQT 07)	7
4.7.1 目的	7
4.7.2 装置	7
4.7.3 程序	7
4.8 室外曝露试验 (MQT 08)	7
4.8.1 目的	7
4.8.2 装置	7
4.8.3 程序	8
4.8.4 最后试验	8
4.8.5 要求	8
4.9 热斑耐久试验 (MQT 09)	8
4.9.1 目的	8
4.9.2 热斑效应	8

4.9.3 电池内部连接分类	9
4.9.4 装置	10
4.9.5 程序	10
4.9.6 最后试验	17
4.9.7 要求	17
4.10 紫外预处理试验 (MQT 10)	17
4.10.1 目的	17
4.10.2 装置	17
4.10.3 程序	17
4.10.4 最后试验	18
4.10.5 要求	18
4.11 热循环试验 (MQT 11)	18
4.11.1 目的	18
4.11.2 装置	18
4.11.3 程序	18
4.11.4 最后试验	19
4.11.5 要求	20
4.12 湿冻试验 (MQT 12)	20
4.12.1 目的	20
4.12.2 装置	20
4.12.3 程序	20
4.12.4 最后试验	20
4.12.5 要求	20
4.13 湿热试验 (MQT 13)	21
4.13.1 目的	21
4.13.2 装置	21
4.13.3 程序	21
4.13.4 最后试验	21
4.13.5 要求	21
4.14 引出端强度试验 (MQT 14)	22
4.14.1 目的	22
4.14.2 接线盒牢固度试验 (MQT 14.1)	22
4.14.3 线缆锚固试验 (MQT 14.2)	22
4.15 湿漏电流试验 (MQT 15)	22
4.15.1 目的	22
4.15.2 装置	22
4.15.3 程序	23
4.15.4 要求	23
4.16 静态机械载荷试验 (MQT 16)	23
4.16.1 目的	23
4.16.2 装置	24
4.16.3 程序	24
4.16.4 最后试验	24
4.16.5 要求	24
4.17 冰雹试验 (MQT 17)	25

4.17.1	目的	25
4.17.2	装置	25
4.17.3	程序	26
4.17.4	最后试验	26
4.17.5	要求	27
4.18	旁路二极管试验 (MQT 18)	27
4.18.1	旁路二极管热试验 (MQT 18.1)	27
4.18.2	旁路二极管功能试验 (MQT 18.2)	30
4.19	稳定性试验 (MQT 19)	31
4.19.1	概述	31
4.19.2	稳定的标准定义	31
4.19.3	光致稳定性试验程序	31
4.19.4	其他稳定性程序	32
4.19.5	初始稳定性 (MQT 19.1)	32
4.19.6	最终稳定性 (MQT 19.2)	32
4.19.7	特定应力稳定性 – BO LID (MQT 19.3)	32
4.20	动态机械载荷试验 (MQT 20)	33
4.20.1	目的	33
4.20.2	程序	33
4.20.3	最后试验	33
4.20.4	要求	33
4.21	电位诱导衰减 (PID) 试验 (MQT 21)	33
4.21.1	目的	33
4.21.2	试样	34
4.21.3	装置	34
4.21.4	程序	34
4.21.5	最后试验	34
4.21.6	要求	34
4.22	弯曲试验 (MQT 22)	34
4.22.1	目的	34
4.22.2	装置	35
4.22.3	程序	35
4.22.4	最后试验	35
4.22.5	要求	35
附录 A	(资料性) 机械载荷重量管理装置推荐 (MQT 16)	36

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件等同采用IEC 61215-2: 2021《地面用光伏组件 设计鉴定和定型 第2部分：测试程序》。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国太阳能光伏能源系统标准化技术委员会(SAC/TC90)归口。

本文件起草单位：中国质量认证中心有限公司、中国电子技术标准化研究院、中认南信(江苏)检测技术有限公司、中检集团南方测试股份有限公司、上海市质量监督检验技术研究院、苏州热工研究院有限公司、中国水利电力物资集团有限公司、上海电气集团恒羲光伏科技(南通)有限公司、大唐(海南)新能源开发有限公司、晶澳太阳能科技股份有限公司、安徽华晟新能源科技有限公司、南方电网综合能源股份有限公司等

本文件主要起草人：

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	$1000+2*V_{\text{SYS}}$	大于500或 V_{SYS}
II	否	$2000+4* V_{\text{SYS}}$	大于500或 V_{SYS}
III	否	500	500
0	是	$1.35*(1000+2* V_{\text{SYS}})$	大于500或 V_{SYS}
II	是	$1.35*(2000+4* V_{\text{SYS}})$	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 $400\text{M}\Omega$ 。
- 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 $40\text{M}\Omega\cdot\text{m}^2$ 。

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（ $\Phi_{Isc}=Iscr/Iscf$ ）、开路电压（ $\Phi_{Voc}=Vocr/Vocf$ ）和功率（ $\Phi_{Pmax}=Pmaxr/Pmaxf$ ）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。

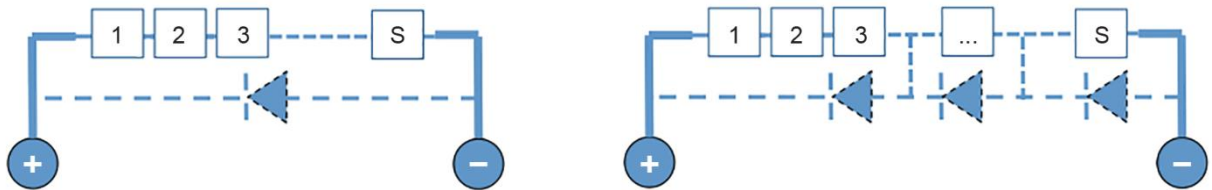
高并联电阻电池：

- 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。

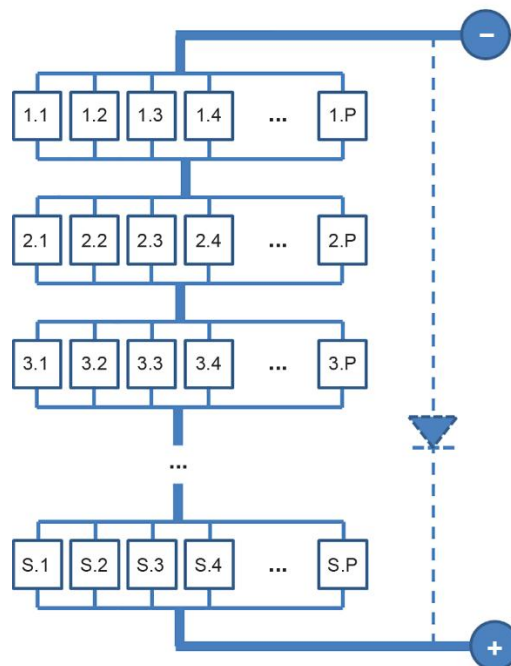


图 2 并串联电路，带可选旁路二极管的并串联连接

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。

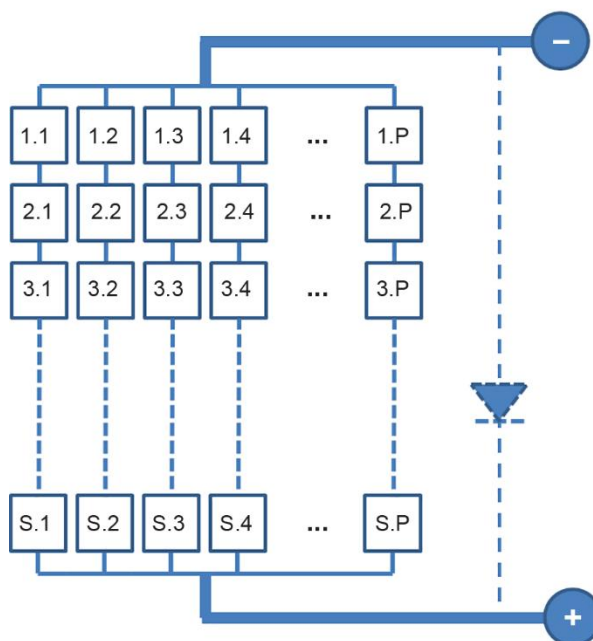


图3 串并联电路，带可选旁路二极管的串并联连接

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。

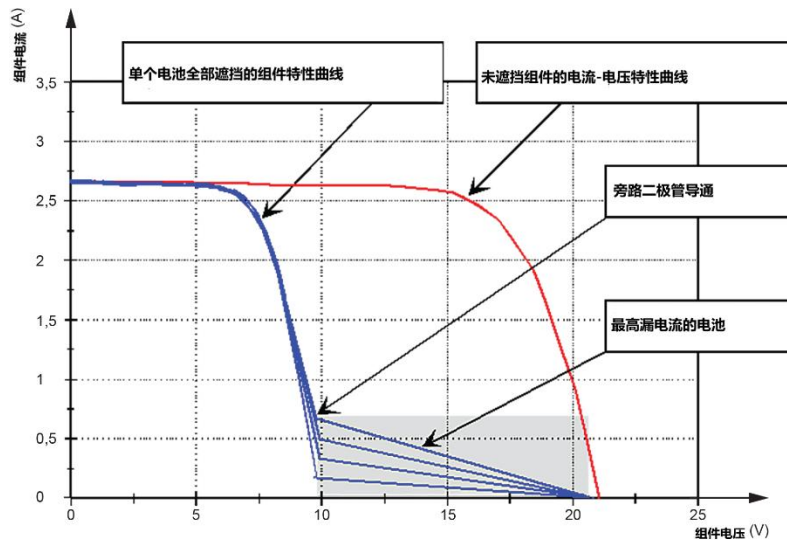


图4 完全遮挡不同电池片时组件的I-V特性

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} 。

- c) 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。
- d) 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。
- e) 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)。

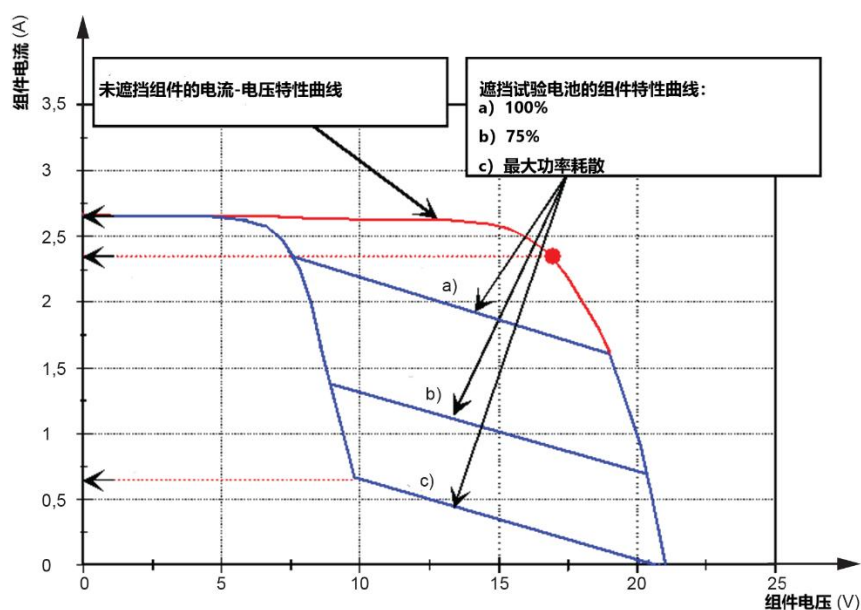


图5 被测电池不同遮挡状态下组件 I-V 特性

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

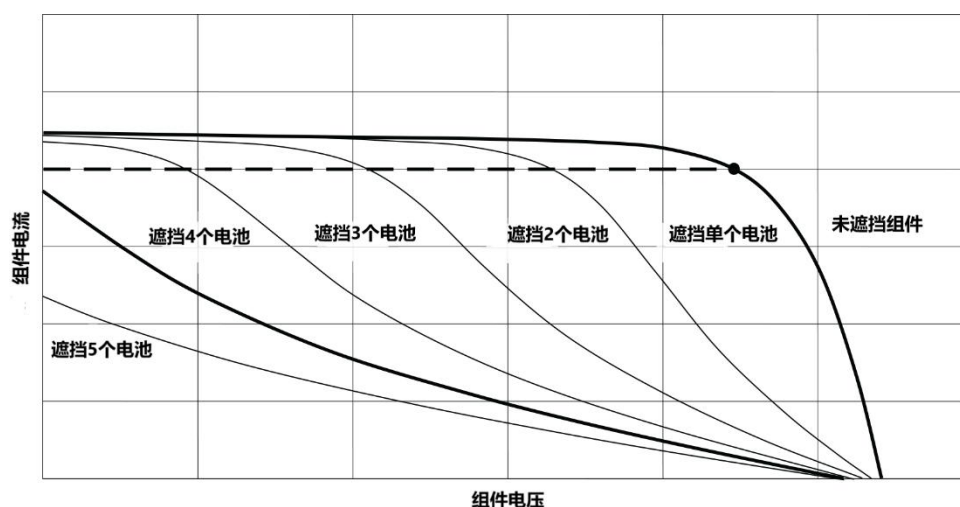
热斑试验在组件长时间暴露于 $(1000 \pm 100) \text{W/m}^2$ 的情况下进行的。

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 $P_{\max 2}$ 。
- 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 $P_{\max 1}$ 。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/m^2 ，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 $\pm 2.0^\circ\text{C}$ ，重复性为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。
- 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。

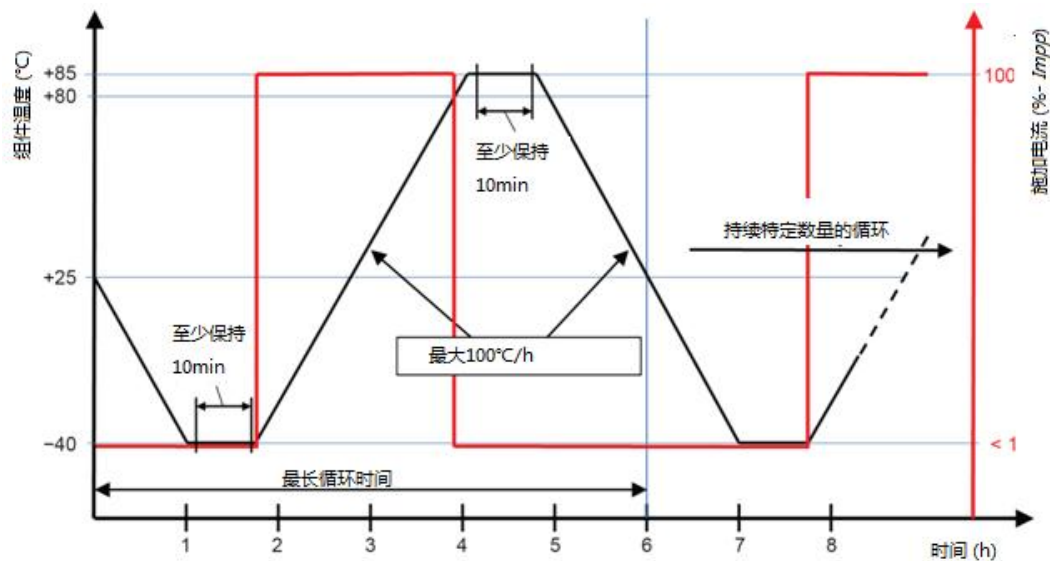


图 7 热循环试验 - 温度和施加电流要求

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。

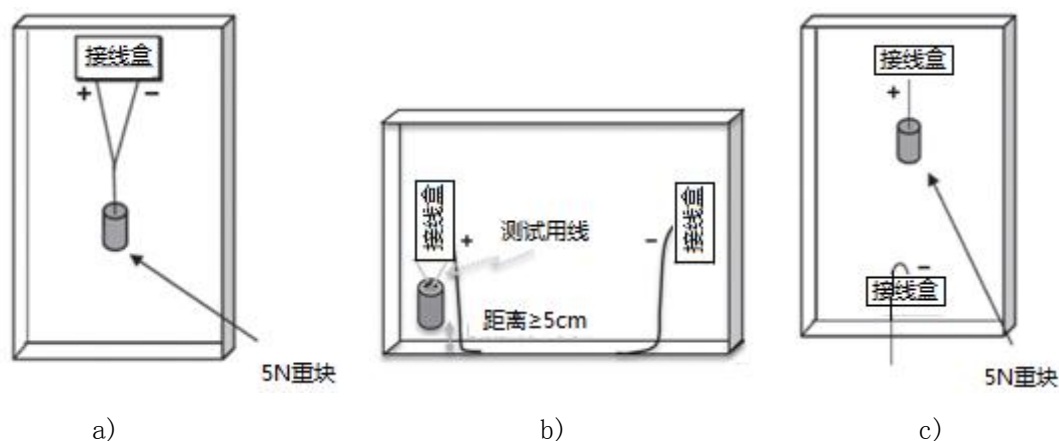


图 8 通过适当的方式将 5N 重物连接到组件接线盒

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。

4.11.5 要求

- a) 试验过程中无电流中断。对于有并联电路的组件，电流中断意味着某一个支路中断。
- b) 无 GB/T XXXX—202X 中规定的严重外观缺陷。
- c) 湿漏电流应满足与初始试验相同的要求。

4.12 湿冻试验 (MQT 12)

4.12.1 目的

确定组件承受高温、高湿以及随后再遭受零度以下温度影响的能力。本试验非热冲击试验。

4.12.2 装置

- a) 气候室，该气候室能自动控制温度和湿度，能容纳一个或多个组件并进行如图 9 所规定的湿冻循环试验。
- b) 在气候室中有安装或支撑组件的装置，并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。
- c) 测量和记录组件温度的装置，精度为 $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$ ，重复性为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- d) 在试验过程中监测通过每一组件内部电流连续性的装置。

4.12.3 程序

- a) 将组件前表面或后表面靠近中间的位置安装适当的温度传感器。如果同时测试同一类型的多个组件，则只需监测其中一块测试组件的温度即可。
- b) 在室温条件下将组件安装到气候室中。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安装方式安装组件。
- c) 将温度监测设备连接至温度传感器。将每块组件与适当的电源连接，组件的正极连接到电源的正极，第二个端子也相应连接。在湿冻试验期间，将连续电流设置为不超过所测 STC 峰值功率电流的 0.5%，如果测得的 STC 电流的 0.5% 小于 100mA，则施加 100mA。
- d) 关闭气候室，使组件完成图 9 所示的 10 次循环。最高和最低温度应在指定温度的 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内，当温度达到最大值 85°C 时，相对湿度应保持在规定值的 $\pm 5\%$ 范围内。组件周围的空气循环必须确保每个被测组件都满足温度循环曲线。
- e) 测试过程中，记录组件温度，并监控组件的电流和电压。

4.12.4 最后试验

组件处于开路状态，在 $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 、湿度小于 75%RH 的环境条件下，恢复 2h 至 4h，重复试验 MQT 01 和 MQT 15。

4.12.5 要求

- a) 试验过程中无电流中断。对于有并联电路的组件，电流中断意味着某一个支路中断。
- b) 无 GB/T XXXX—202X 中规定的严重外观缺陷。
- c) 湿漏电流应满足与初始试验相同的要求。

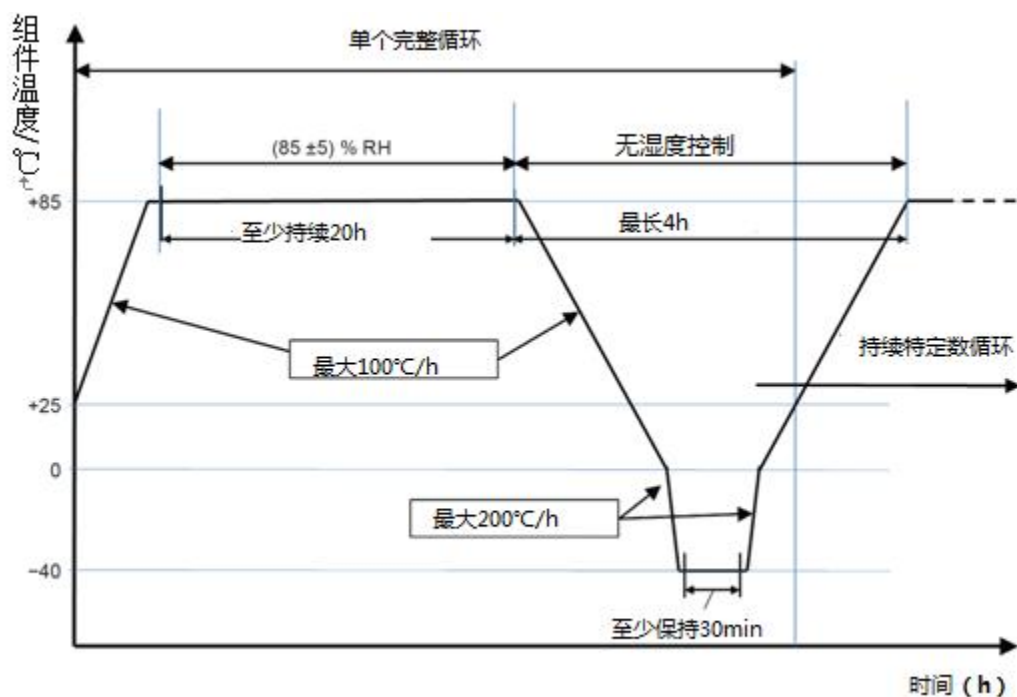


图9 湿冻试验 - 温度和湿度分布

4.13 湿热试验 (MQT 13)

4.13.1 目的

确定组件承受长期湿气渗透的能力。

4.13.2 装置

试验箱要求在GB/T 2423.3-2016条款4.1中列出。

4.13.3 程序

试样进入试验箱并开始测试的过程见GB/T 2423.3-2016条款4.4。同时满足以下规定：

严酷度：

试验温度：(85±2)℃

相对湿度：(85±5)%

试验时间：(1000⁺⁴⁸₀) h

无需进行预处理。

除非某些特殊技术要求部分中提出了施加电流，否则应将组件连接器做短接处理。

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安装方式安装组件。

4.13.4 最后试验

组件处于开路状态，在(23±5)℃、湿度小于75%RH的环境条件下，恢复2h至4h，重复试验MQT 01和MQT 15。

4.13.5 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。

4.14 引出端强度试验 (MQT 14)

4.14.1 目的

确定端子、端子连接以及线缆与组件主体的连接, 耐受常规组装或搬运操作中可能遇到的应力的能力。按照 GB/T XXXX-1:202X 标准中提供的测试流程, 4.14.2 (MQT 14.1) 和 4.14.3 (MQT 14.2) 的测试应在完成 MQT 12 测试后, 在 C 序列中进行。

4.14.2 接线盒牢固度试验 (MQT 14.1)

4.14.2.1 装置

向试样中心施加 40N 力的装置, 同时避免对接线盒产生扭力影响。
将施力装置连接至接线盒时, 不应影响接线盒的正常功能。

4.14.2.2 程序

在平行组件安装面的每个方向上, 逐渐施加 40N 的力并保持 (10 ± 1) s (根据 IEC 60068-2-21), 每次间隔 90° 。

在垂直安装表面的方向上, 逐渐施加 40N 的力, 持续 (10 ± 1) s, 且无任何冲击。

4.14.2.3 最后试验

重复试验 MQT 01 和 MQT 15。

4.14.2.4 要求

试验过程中, 接线盒安装表面上不应有影响其隔离特性的位移出现。

- 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。

4.14.3 线缆锚固试验 (MQT 14.2)

与组件分离的接线盒应按照 IEC 62790 “线缆锚固试验” 进行试验, 并应符合其中的要求。如果接线盒在 GB/T XXXX-202X 测试之前已通过资格预审, 试验报告应注明测试实验室名称和符合要求的日期。线缆锚固试验不适用于连接器一体式接线盒, 因此连接器一体式接线盒不受此要求的限制。试验报告中应注明豁免。

4.15 湿漏电流试验 (MQT 15)

4.15.1 目的

评价组件在潮湿工作条件下的绝缘性能, 验证雨、雾、露水或融雪的湿气不会进入组件回路中的带电部件, 这可能会引起腐蚀、漏电或安全事故。

4.15.2 装置

- a) 一个浅槽或容器, 其尺寸应足够大, 能够将带边框的组件水平放入其内部的溶液中。该浅槽或容器装有符合以下要求的水或溶液:

电阻率：3500 $\Omega \cdot \text{cm}$ 或更小

溶液温度：(22±2) $^{\circ}\text{C}$

溶液深度应能覆盖所有表面，接线盒入口除外。

- b) 装有相同溶液的喷淋装置。
- c) 有限流措施的直流电源，可提供 500V 或组件最大额定系统电压中较大值的电压。
- d) 测量绝缘电阻的设备。

4.15.3 程序

采用推荐的典型现场安装方式进行接线，并确保漏电流不是由连接到组件的装置产生的。

a) 将组件浸没在盛有满足要求溶液的容器内，溶液的深度应能覆盖除接线盒入口外的组件所有表面。线缆入口应用溶液彻底喷淋。如果组件采用了配套连接器，则试验过程中连接器也应进行喷淋。

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

当组件边框保持正电压时，某些组件技术可能容易产生静电极化。在这种情况下，应以相反的方式连接测试设备。如适用，制造商应提供有关静电极化敏感性的信息，并记录在试验报告中。

c) 以不超过 500V/s 的速度将测试设备电压增加至 500V 或组件的最大系统电压（两者中的较高值），保持该电压 2min，然后确定绝缘电阻。

d) 将施加的电压降低至零，并将测试设备的端子短路以释放组件上累积的电压。

e) 在后续测试前，确保将使用过的溶液从组件上冲洗干净。

4.15.4 要求

——对于面积小于 0.1 m^2 的组件，绝缘电阻不小于 400 $\text{M}\Omega$ 。

——对于面积大于 0.1 m^2 的组件，测得的绝缘电阻乘以组件面积应不小于 40 $\text{M}\Omega \cdot \text{m}^2$ 。

4.16 静态机械载荷试验 (MQT 16)

4.16.1 目的

本试验的目的是确定组件耐受最低静态载荷的能力。特定场地所需的最低设计荷载取决于结构、适用的标准、建筑规范、事件发生概率、设计假设和位置/气候，可能需要更高的取样率和其他安全系数 γ_m 。

确定最大可能的试验荷载，例如，试验直至构件失效，不属于本文件的范围。

MQT 16 验证最低试验荷载。制造商的最低设计荷载由上述最低试验荷载反推而来。试验荷载的定义为：

$$\text{试验荷载} = \gamma_m \times \text{设计荷载} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中安全系数 γ_m 至少应 ≥ 1.5 。

本文件要求的最低设计荷载为 1600Pa，可以得出最低试验荷载为 2400Pa。

制造商可为某些应用条件指定更高的正向（向下）、反向（向上）设计荷载和更高的 γ_m 。制造商应在文件中根据每种安装方法规定设计荷载和 γ_m 。

示例：制造商规定了以下设计荷载：正向 3600Pa 和反向 2400Pa， $\gamma_m = 1.5$ 。试验顺序将包含 3 个循环，每个循环在 5400Pa 正荷载和 3600Pa 负荷载下进行。

每块进行MQT 16试验的组件应按照GB/T XXXX-202X的序列E进行预试验，除非组件是一个额外的、全尺寸的、非常大的组件，可以与代表性样品一起进行试验，如GB/T XXXX-1:202X第4条所述。

注：不均匀雪荷不在本试验之内，可使用IEC 62938:2020。

4.16.2 装置

- a) 一个刚性试验平台，可使组件正面朝上或朝下安装。在制造商规定的安装方法约束下，组件在施加载荷时应能自由偏转。
- b) 测试过程中监测组件电气连续性的装置。
- c) 适当的重量或施压手段，向组件逐渐且均匀地施加载荷。可通过气动方式或砝码施加试验荷载。应垂直于组件表面施加所有力。该装置不得增加组件的刚度（例如，通过大平板施加的力）。
- d) 应均匀、缓慢地在组件表面施加载荷，而不应造成冲击峰值。重量应施加在前面板（如玻璃），不能施加在组件边框或组件的横向支撑轨道上。如果使用重物加载组件，附录 A 的补充建议可以确保质量控制和测试结果的一致性。

注1：手动渐进式加载重物的方式会产生冲击应力，不能代表现场的应力冲击，这种方式是不可取的。

- e) 如果使用活塞（或其他离散式应用）自动化系统加载组件，应在测试报告中记录覆盖率。覆盖率是指吸盘下覆盖的面积（连接到活塞或组件其他接触点）与组件表面积之比。建议覆盖率最小应为 10%，以确保组件上载荷的均匀性。
- f) 试验的环境条件为 $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，相对湿度不超过 75%。

注2：由于大多数粘合剂在高温下性能较差，因此室温是测试的最佳条件。

4.16.3 程序

- a) 给组件施加电流以便在试验过程中连续监测其内部电路的连续性。
- b) 使用制造商规定的方法将组件安装在刚性基础上，包括安装装置（夹子/夹具和任何类型的紧固件）和下面的支撑轨。如果存在不同的方法，则需要单独评估每种安装方法。对于所有安装方法，以最恶劣的载荷方式安装组件。如果存在不同的方法，则需单独评估每一种安装配置。荷载最恶劣情况通常与最大悬臂（悬跨）或最大挠度有关。所有安装配置应遵循制造商对指定安装方式的建议，同时，以固定点之间距离最恶劣的方式安装组件，这通常会使得组件产生最严重的形变。允许组件在 MQT 13 之后平衡 2h 以上再施加载荷。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方式安装组件。
- c) 在前表面缓慢、均匀地施加载荷。整个组件的载荷均匀性应优于测试载荷的 $\pm 5\%$ 。保持此载荷 1 小时。
- d) 在组件背表面执行步骤 c) 中的试验，或向前表面施加向上的载荷。
- e) 重复步骤 c) 和步骤 d) 三次。

4.16.4 最后试验

重复试验MQT 01和MQT 15。

4.16.5 要求

- a) 组件内部连续性无断路情况。
- b) 无 GB/T XXXX—202X 中规定的严重外观缺陷。
- c) 湿漏电流满足与初始试验相同的要求。

4.17 冰雹试验 (MQT 17)

4.17.1 目的

验证组件能经受冰雹撞击的能力。

4.17.2 装置

- 由合适材料构成的用于浇铸所需尺寸冰球的模具，最小直径为 25mm。对于容易发生冰雹的地区，可能需要用表 2 所示较大的冰球进行测试。测试报告应说明冰雹测试所用的冰球直径和测试速度。
- 一台冷冻箱，控制在 $-10^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。
- 一台温度设在 $-4^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内的储存冰球的存储容器。
- 一台发射器，驱动冰球以限定速度 $\pm 5\%$ 撞击组件指定位置。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。
- 一个坚固支架以支撑被测组件，按制造商所描述的方法安装，使碰撞表面与所发射冰球的路径垂直。
- 一台用于测定冰球质量的天平，准确度为 $\pm 2\%$ 。
- 一台测量冰球速度的设备，准确度为 $\pm 2\%$ ，速度传感器距被测组件表面 1m 以内。

作为一个例子，图10示出一组适合的装置，该装置包括水平气动发射器、垂直支承组件的安装件和测速器（利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）。这仅是一个例子，其他设备如弹射器、弹簧驱动装置等也都有成功应用。

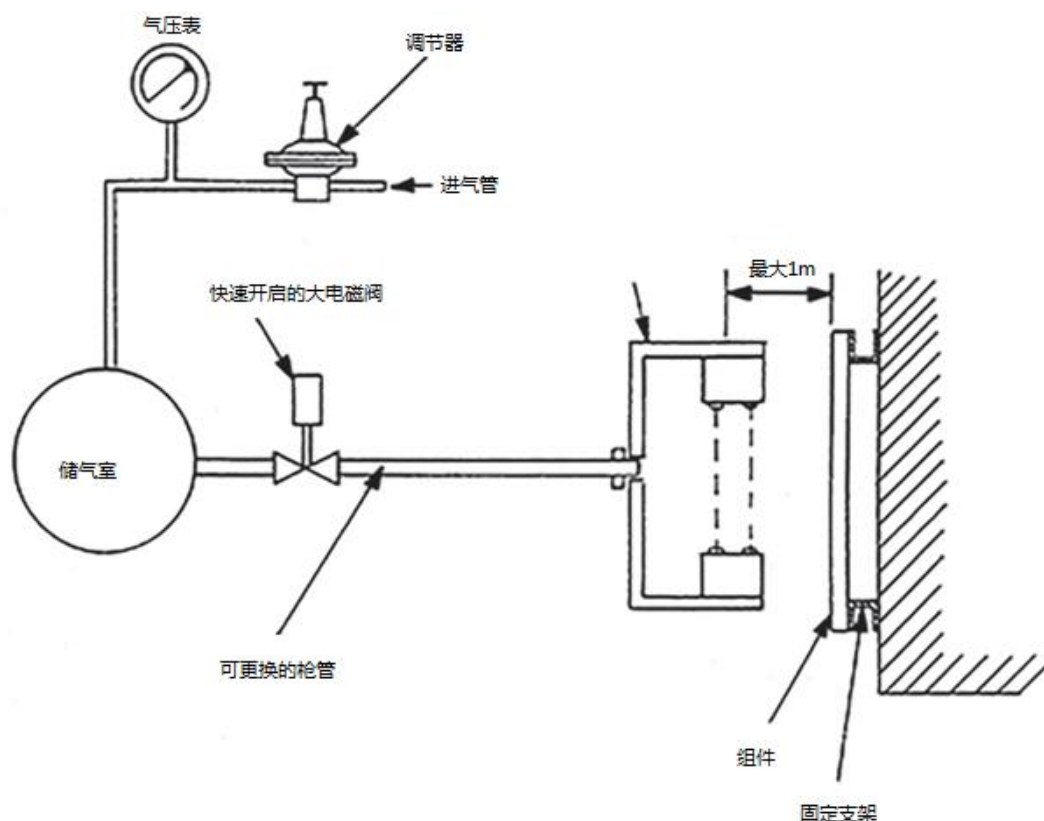


图 10 冰雹试验设备

表 2 冰球质量与试验速度

直径 mm	质量 g	试验速度 m/s	直径 mm	质量 g	试验速度 m/s
25	7.53	23.0	55	80.2	33.9
35	20.7	27.2	65	132.0	36.7
45	43.9	30.7	75	203.0	39.5

4.17.3 程序

- a) 利用模具和冷冻箱制备足够数量所需尺寸的冰球，包括初始调试发射器所需的数量。
- 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中相应的标称值 $\pm 5\%$ 的范围内。
- 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) 按步骤 g) 方法对模拟靶发射几次，调节发射器，直至指定位置上速度传感器所测定冰球速度在表 2 给出的相应冰雹试验速度的 $\pm 5\%$ 范围内。
- f) 根据制造商规范安装组件。组件应处于室温下，撞击面垂直于冰球路径。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附件/安装方式安装组件。如果制造商规定允许在刚性安装条件或柔性安装条件下应用，则应在最坏情况下进行试验。测试配置应记录在测试报告中。
- g) 将冰球从储存容器内取出放入发射器，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) 检查组件碰撞区域是否有破损情况，记录所有可见的撞击影响。与指定位置偏差 10mm 以内是允许的。
- i) 如果组件没有损坏，则对表 3 的其他撞击位置重复进行步骤 g) 和 h)，如图 11 所示。

表 3 撞击位置

撞击编号	位 置
1	组件窗口一角，距组件边缘在一个冰球直径以内。
2	组件一边，距组件边缘一个冰球直径以内。
3、4	内部互连电路上（即电池互连或汇流条）。
5、6	电路边缘（如单个电池片）。
7、8	在组件窗口上，距组件在支架上的安装点半个冰球直径以内。
9、10	在组件窗口上，距上述撞击位置最远的点。
11	对冰雹撞击最易损坏的任意点，如接线盒上方。

4.17.4 最后试验

重复试验MQT 01和MQT 15。

4.17.5 要求

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

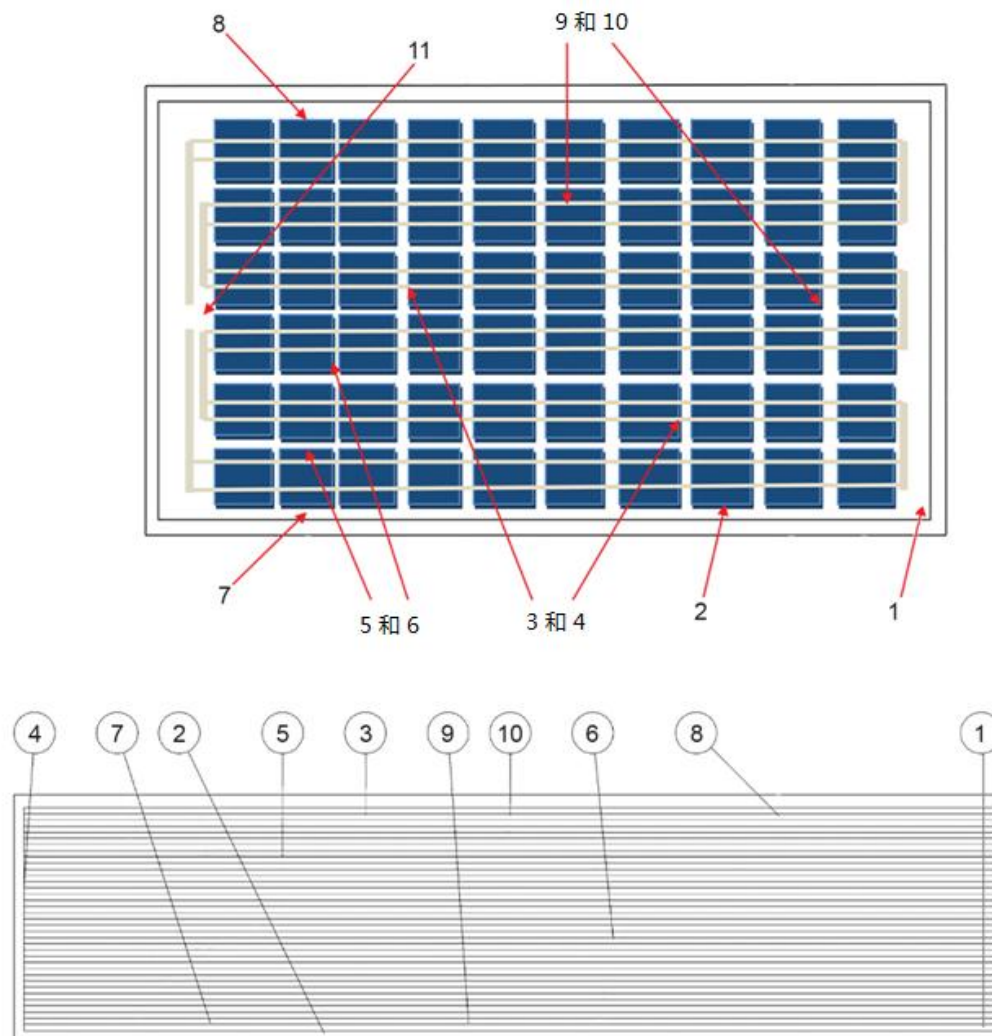


图 11 冰雹试验冲击位置：上图为硅片/电池片技术，下图为单片加工薄膜技术

4.18 旁路二极管试验 (MQT 18)

4.18.1 旁路二极管热试验 (MQT 18.1)

4.18.1.1 目的

评估旁路二极管热设计的充分性和相对长期可靠性，以限制组件热斑效应的不利影响。该试验旨在确定连续运行条件下二极管的温度特性及其最大二极管结温 T_j 。

4.18.1.2 试验样品

如果组件的旁路二极管数量不超过3个，则对所有二极管进行4.18.1.4的正向电压试验和4.18.2的功能试验。如果组件包含三个以上的二极管，则应选择3个旁路二极管进行试验。由测试实验室选择旁

路二极管并选择设计时可能承受最大应力的代表性旁路二极管。测试实验室应在报告中说明选择了哪三个旁路二极管及选择原因。

- a) 当3个以上的二极管嵌入层压件时，选择以下位置的二极管：
 - 1) 最靠近接线盒中心（可能在接线盒下方）。
 - 2) 最靠近组件框架（如果是无框架组件，则为组件边缘）。
 - 3) 最靠近组件中心。
- b) 当接线盒内含有3个以上二极管时，请选择以下位置的二极管：
 - 1) 最靠近接线盒中心。
 - 2) 次靠近接线盒中心。
 - 3) 最靠近接线盒边缘。

如果被测型号组件无法触及旁路二极管，则可为本试验制备一个特殊试样。该试验的二极管应能耐受与标准生产组件相同的热环境，但不一定是带电光伏组件。然后，按正常程序进行试验。该特殊试样仅用于测量4.18.1.4中c)至k)的旁路二极管温度。1.25倍STC短路电流的暴露试验应在全功能组件上进行，然后使用该组件进行4.18.1.5的最终测量。特殊试样应能按上述标准选择的位置对三个旁路二极管进行测试。

4.18.1.3 装置

- a) 将组件加热至 (90 ± 5) °C温度的装置。
- b) 监测组件温度至 ± 2.0 °C精度的装置，以及重复性为 ± 0.5 °C。
- c) 测量旁路二极管结电压 V_D 的方法，精确度为2%。
- d) 在整个试验过程中，施加等于被测组件1.25倍STC短路电流且脉冲宽度不超过1ms的电流的装置，以及监测通过组件的电流装置。对于双面组件，适用电流为GB/T XXXX-202X中规定的高辐照度BSI下短路电流的1.25倍。辐照度BSI下的短路电流可通过辐照度BSI下的测量(MQT 06.1)确定，或通过假设短路电流与辐照度的线性关系（如IEC 60904-10所定义）。如假设为线性，则允许使用Gate1 (I_{sc-STC} 和 $I_{sc-BNPI}$) 测得的 I_{sc} 值和等效辐照度： 1000 W/m^2 、 G_{BNPI} 和 G_{BSI} 计算BSI、 I_{sc-BSI} 处的短路电流。为了推断 I_{sc-BSI} ，这些数量组合如下：

$$I_{sc-BSI} = I_{sc-BNPI} + \frac{(I_{sc-BNPI} - I_{sc-STC})}{G_{BNPI} - 1000 \text{ W/m}^2} * (G_{BSI} - G_{BNPI}) \quad (1)$$

在上述公式中，等效辐照度按照IEC TS 60904-1-2计算，具体如下：

$$G_{BNPI} = 1000 \text{ W/m}^2 + \varphi * 135 \text{ W/m}^2 \quad (2)$$

$$G_{BSI} = 1000 \text{ W/m}^2 + \varphi * 300 \text{ W/m}^2 \quad (3)$$

$$\varphi = \text{Min}(\varphi_{Isc}, \varphi_{Pmax}) \quad (4)$$

4.18.1.4 程序

- a) 将组件中所有的阻断二极管短路。
- 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。对于双面组件，使用GB/T XXXX-202X中定义的高辐照度BSI下的短路电流值。
- c) 将 V_D 和 I_D 的引线连接到两个二极管端子上，如图12所示。如果二极管被封装，则组件制造商应在交付组件之前进行连接。

应注意引线不会导致接线盒散热，从而导致对试验结果的误解。因此，电流连接点应尽可能远离接线盒，电压探针应尽可能小而薄。

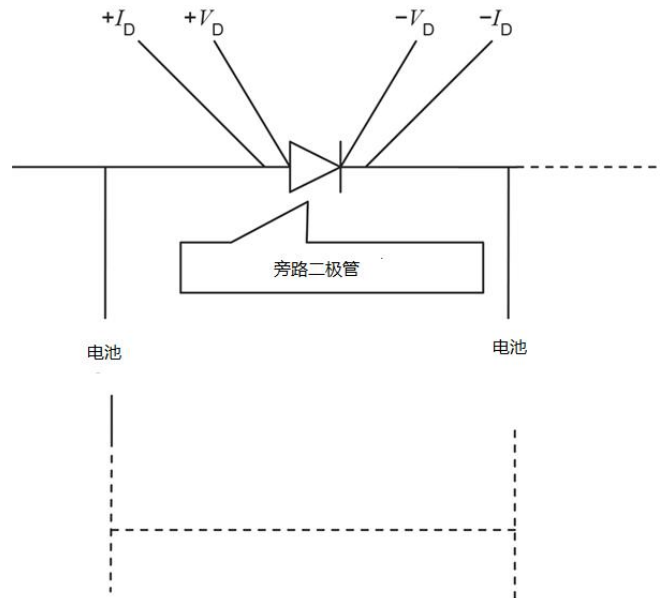


图 12 旁路二极管热性能试验

- d) 将组件和接线盒加热至 $(30 \pm 2)^\circ\text{C}$ 。
- e) 施加等于组件 STC 短路电流的脉冲电流（脉冲宽度 1 ms），测量二极管正向电压 V_{D1} 。对于双面组件，使用高辐照度 BSI 下的短路电流值。
- f) 使用相同的程序，在 $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下测量 V_{D2} 。
- g) 使用相同的程序，在 $(70 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下测量 V_{D3} 。
- h) 使用相同的程序，在 $(90 \pm 2)^\circ\text{C}$ 下测量 V_{D4} 。
- i) 然后，通过 V_{D1} 、 V_{D2} 、 V_{D3} 和 V_{D4} 的最小二乘拟合曲线获得 V_D 与 T_J 的特性。 T_J 假设为步骤 d) 至 i) 接线盒的环境温度。
- j) 将组件加热至 $(75 \pm 5)^\circ\text{C}$ 。向组件施加等于步骤 b) 中确定的短路电流 $I_{sc} \pm 2\%$ 的电流。1 小时后，测量每个选定二极管的正向电压。
- k) 如果组件包含专门设计用于降低二极管工作温度的散热器，则该测试可在散热器达 1000 W/m^2 ， $(43 \pm 3)^\circ\text{C}$ 无风环境下的温度下进行，而不是在 75°C 下进行。
- l) 使用第 i) 项中获得的 V_D 与 T_J 特性，在 $T_{amb}=75^\circ\text{C}$ ，在 j) 中测试期间二极管的 $I_D=I_{sc}$ 时，从 V_D 中获得 T_J 。
- m) 将通过组件的电流增加到 STC 下短路电流 1.25 倍，同时保持组件的温度在 $75^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ ，保持该电流 1 小时。
- n) 保持此电流一个小时。

4.18.1.5 最后试验

重复试验MQT 01, MQT 15和MQT 18.2。

4.18.1.6 要求

- a) 4.18.1.4 k) 中确定的二极管结温 T_j 不得超过二极管制造商规定的连续运行时的最大结温额定值。
- b) 无 GB/T XXXX—202X 中规定的严重外观缺陷。
- c) 湿漏电流满足与初始试验相同的要求。
- d) 根据 MQT 18.2, 试验结束后, 二极管功能正常。

4.18.2 旁路二极管功能试验 (MQT 18.2)

4.18.2.1 目的

本试验的目的是验证试样的旁路二极管在MQT 09和MQT 18.1之后保持功能。如果光伏组件没有旁路二极管, 则可省略该测试。

4.18.2.2 装置

能在1s内测量电流-电压曲线的装置, 如I-V曲线跟踪器, 电压和电流的测量精度分别为开路电压和短路电流的±1%。

4.18.2.3 程序

4.18.2.3.1 概述

可根据以下两种方法之一进行试验。

4.18.2.3.2 方法 A

该程序应在 $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$ 范围内的任何环境温度下进行。试验过程中, 不得对试样进行光照。

- a) 将试样内所有阻塞二极管短路连接。
- b) 某些组件具有并联的旁路二极管电路。在这种情况下, 可能需要安装跨接电缆, 以确保所有电流仅流过一个旁路二极管。
- c) 通过铭牌确定 STC 下试样的额定短路电流。对于双面组件, 使用 STC 下的 I_{sc} 测量值。
- d) 将直流电源 I-V 曲线跟踪器的正极输出端连接至试样的负极端子, 将直流电源 I-V 曲线跟踪器的负极输出端连接至试样的正极端子。此时, 电流反向流经太阳能电池, 正向通过旁路二极管。
- e) 从 0 A 到 $1.25 \times I_{sc}$ 进行电流扫描, 并记录电压。使用步骤 b) 中确定的 I_{sc} 值。

4.18.2.3.3 方法 B

可与最大功率确定 (MQT 02) 一起进行光伏组件连续I-V特性的测量, 完全遮蔽互连电路中的一分子串, 以便“打开”二极管。应在每个子串重复此过程。

4.18.2.4 要求

4.18.2.4.1 方法 A

进行18.2.3.2 d) 的电流扫描时, 确定数据表上声明正向电压对应的最大电流。将该电流下二极管正向电压的测量值定义为VFM, 应满足以下要求:

$$VFM = (N * V_{FMrated}) \pm 10\% \dots\dots\dots (1)$$

式中:

N 代表旁路二极管的数量；
 $V_{FMrated}$ 代表25℃二极管数据表中定义的二极管正向电压。

4.18.2.4.2 方法 B

如果观察到I-V曲线发生弯折，说明被遮挡子串的旁路二极管工作正常。

示例：一个晶硅光伏组件有60个电池和三个串，每个串由一个二极管保护，如果一个串中的电池被遮挡，则功率下降至为大约2/3。

4.19 稳定性试验 (MQT 19)

4.19.1 概述

所有光伏组件都应达到电性能稳定。为此，所有组件应执行一个规定的操作，之后马上测量输出功率。重复该程序和输出功率测量，直到被评估组件达到稳定的功率输出电平。当进行稳定性试验时，模拟太阳光优于自然光。

4.19.2 稳定的标准定义

以下公式是评估组件是否达到稳定电功率输出的标准：

$$(P_{max} - P_{min})/P_{average} < x \dots\dots\dots (1)$$

其中x在本文件系列的特殊技术要求部分中定义。

此处， P_{max} 、 P_{min} 和 $P_{average}$ 被定义为一系列稳定性和MQT 02交替测试时，三次连续输出功率测量所得到的值 P_1 、 P_2 和 P_3 。 $P_{average}$ 是三个测量值 P_1 、 P_2 和 P_3 的平均值。STC条件下的输出功率使用程序MQT 06.1确定。

4.19.3 光致稳定性试验程序

4.19.3.1 室内稳定性试验装置

- a) 符合 IEC 60904-9 的 CCC 级或更好的太阳模拟器。
- b) 一个合适的参考装置，带积分器，用于监测辐照度。
- c) 按照制造商说明，将组件安装在与参考器件共面的位置。
- d) 使用参考组件将辐照度设置在 800 W/m² 和 1000 W/m² 之间。
- e) 在模拟器暴露期间，组件温度应保持在 (50±10) °C 的范围内。所有后续稳定应在与初始稳定相同的温度±2°C 下进行。
- f) 监测组件温度的方法，精度为±2.0°C，重复性为±0.5°C。温度传感器应安装在能代表组件平均温度的位置。
- g) 一个使组件在其最大功率点工作的电阻负载或具备最大功率点跟踪 (MPPT) 的电气装置。

4.19.3.2 室外稳定性试验要求

- a) 一个合适的参考装置，带积分器，用于监测辐照度。
- b) 按照制造商说明，将组件安装在与参考器件共面的位置。
- c) 只有 500W/m² 以上的辐照度水平才能算作检查稳定性所需的总辐照剂量。温度限值在特殊技术要求部分规定。
- d) 监测组件温度的装置，精度为±2.0°C，重复性为±0.5°C。温度传感器应安装在代表组件平均温度的位置。
- e) 一个使组件在其最大功率点工作的电阻负载或具备最大功率点跟踪 (MPPT) 的电气装置。

建议使用最大功率点跟踪装置，例如微型逆变器。

4.19.3.3 程序

- a) 按最大功率确定 (MQT 02) 的方法测试每块组件的输出功率，在允许范围内任何方便的组件温度下测量，该温度可在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内重现，以便将来进行中间测量。
- b) 按照制造商的建议，将负载连接到组件上，并将其与参考组件一起安装在模拟器的测试平面上。
- c) 记录辐照强度、总辐照量、温度和组件的使用的电阻负载。
- d) 按照本文件 MQT 19 特殊技术要求的规定，每个组件至少接受两次辐照，直到其最大功率值稳定。稳定性在 4.19.2 中进行了定义。
- e) 利用 MQT 02 测量输出功率。特殊技术要求部分规定了暴晒(包括 MQT 02 测量)与根据 MQT 06.1 最终确定最大功率之间的时间段。
- f) MQT 02 的中间测量应在大致相等的总辐照量间隔内进行。最低剂量在本文件的特殊技术要求部分中定义。所有中间最大功率测量应在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 范围内的任何方便的组件温度下进行。
- g) 报告总辐照量和达到稳定性的所有参数。对于室外程序，如适用，说明使用的负载类型，并提供温度和辐照度曲线。

4.19.4 其他稳定性程序

可使用其他经过验证的稳定技术。众所周知，使用电流或电压偏置可以在太阳能电池中产生与光辐射类似的效果。该替代稳定程序应由制造商提供。

本条款规定了替代稳定程序的验证过程。

如果根据本程序进行了验证，可使用替代程序代替暴晒。应使用三个组件进行验证。验证应按顺序 A 作为初始稳定进行。按以下操作验证替代程序：

- a) 执行替代程序。
- b) 在特殊技术要求部分规定的最短时间之后且不超过最大时间内测量 MQT 06.1。
- c) 根据特殊技术要求，执行室内光致稳定程序 4.19.3.1。
- d) 在技术特定零件中规定的最小时间后且不超过最大时间内测量 MQT 06.1。

如果对于所有三个被验证组件，上述 b) 和 d) 的两个 MQT 06.1 测量值的变化在 2% 范围内，则认为替代方法有效。如果一个组件不符合通过标准，则该方法不通过。

4.19.5 初始稳定性 (MQT 19.1)

按照 MQT 19 中规定的程序和要求进行初始稳定。如果满足 4.19.2，则达到稳定。

初始稳定用于验证 GB/T XXXX—202X 标准中 7.2.2 (Gate 1) 定义的制造商标签值。

本文件特定技术部分规定了需要进行 MQT 19.1 的组件数量。

4.19.6 最终稳定性 (MQT 19.2)

按照 MQT 19 中规定的程序和要求进行最终稳定。如果满足 4.19.2，则达到稳定。

执行 GB/T XXXX—202X 条款 7.2.3 (Gate 2) 判定标准中规定的试验后，进行最终稳定以确定试验期间组件的衰减。

如果未另行说明，序列 A、C 和 E 中的所有组件都必须接受 MQT 19.2 测试。

4.19.7 特定应力稳定性 – BO LID (MQT 19.3)

4.19.7.1 概述

有些应力条件可能以非典型场效应的方式改变半导体的缺陷状态,而且与应力试验所针对的退化机制无关。此时,需要一个特殊的应力稳定性试验,以便在应力之前或之后将缺陷设置为可再现状态。特殊技术要求部分规定了哪种条件下可采用特定应力稳定。

MQT 19.3描述了能够使导致硼-氧光致衰减的缺陷再现的稳定性程序。该程序仅在IEC 61215-1-1:2021试验流程有特别指出的情况下使用。

4.19.7.2 BO LID 特定应力稳定性试验装置

- a) 自动温度控制的气候室。
- b) 用于在气候箱中安装或支撑组件的装置,以使周围空气自由循环。安装件或支架的热传导应较低,因此,出于实际目的,组件应进行热隔离。
- c) 用于测量和记录组件温度的测量装置,精度为 $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$,重复性为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。
- d) 在整个试验过程中施加等同组件短路电流 I_{sc} 电流的装置。

4.19.7.3 程序

- a) 在室温下将组件安装在气候室内。
- b) 将温度监测装置连接至温度传感器。组件的正极端子连接至电源的正极端子,第二个端子也相应连接,将每个组件连与适当的电源连接。
- c) 关闭气候室,向每个组件施加 $I_{sc} \pm 5\%$ 的电流。一个箱体中多个组件的施加电流可以不同。
- d) 设置温度限值,使每个组件的温度达到 $(80 \pm 5)^{\circ}\text{C}$,且不超过 85°C 。
- e) 将电流和温度保持在步骤 c) 和 d) 中规定的限值内 $(48 \pm 2) \text{ h}$ 。

4.20 动态机械载荷试验 (MQT 20)

4.20.1 目的

本试验的目的是评估组件内的零部件是否对较低水平的机械应力十分敏感。不耐受低水平机械应力的原因很可能是由于组件组装过程中损害了组件的完整性(例如,焊汇流条对电池施加的应力过大从而产生微裂纹)。太阳能电池、互连条、电气连接和边缘密封等零部件都可通过循环动态机械载荷试验(DML)进行评估。

4.20.2 程序

试验参照IEC TS 62782进行。

4.20.3 最后试验

重复试验MQT 01和MQT 15。

4.20.4 要求

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

4.21 电位诱导衰减 (PID) 试验 (MQT 21)

4.21.1 目的

本试验的目的是测量组件耐受外加系统电压导致衰减的能力,也称为电位诱导衰减 (PID)。

注:该测试不是为评估极化机制的PID (PID-p) 而设计,因此可能无法检测到PID-p。

4.21.2 试样

如果组件的文件和铭牌中规定组件仅能在一种对地极性电压的组串中使用(组串的一个端子接地),则用于测试的组件数量应减半,并且仅在规定极性下施加应力。选择4块符合GB/T XXXX—202X第4章的样品进行测试(组件文件声明或允许的每一种系统电压极性选2块组件)。如未明确规定组串只能采用一种方式接地,则应在两种极性下进行试验。如果仅测试两个组件(即仅允许一种极性),则未进行MQT 21的两个组件仍需按测试流程(GB/T XXXX—202X,图2)进行试验,直至MQT 21,无需进行后续测试。也就是说,两个未使用的组件应满足Gate 1,但不需要满足Gate 2的要求。

如果光伏组件提供或规定了与特定接地装置一起使用的要求,则该接地装置应包括在内并将其视为试样的一部分。如果光伏组件提供或规定了采用某种安装方式的要求,可能会对组件接地产生附加影响,则该安装方式也应视为试样的一部分。

4.21.3 装置

应使用IEC TS 62804-1:2015, 4.3.1中所述的装置进行试验。

4.21.4 程序

按照IEC TS 62804-1:2015第4.3.2节规定的应力方法,利用环境箱在湿热条件下进行试验,并符合以下规定

严酷性:

组件温度: $85^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

试验箱相对湿度: $85\% \pm 3\% \text{RH}$

停留时间: 在上述温度和相对湿度下96小时(不包括未稳定时间)

电压: 在上述规定的停留时间和温度降至环境温度期间,向组件施加额定系统电压和极性。

4.21.5 最后试验

重复试验MQT 01和MQT 15。MQT 15应在4.21.4所述试验结束后8h内进行。

根据GB/T XXXX—202X图2所示的测试流程,组件在PID测试(MQT 21)后应进行MQT 19.2、MQT 06.1(包括Gate 2)和MQT 03。为验证Gate 2而进行MQT 06.1试验时,应重新测量双面系数。序列F的组件在测试流程结束时无需重复MQT 15。为最大限度提高部分可逆PID的复现性,进行PID后续试验(即MQT 19.2、MQT 6.1、MQT 03)期间,组件应在受控条件下储存。在这些测试步骤之间,组件应在房间内、暗室条件以及 25°C 或以下的温度下进行保存。对于PID后续试验,MQT 21结束至MQT 19.2开始的时间间隔不得超过48h。MQT 19.2和MQT 06.1之间的时间限制应为48h或特殊技术稳定程序中规定的时间限制,以较短者为准。

4.21.6 要求

- a) 无GB/T XXXX—202X条款8中规定的严重外观缺陷。
- b) 湿漏电流满足与初始试验相同的要求。

4.22 弯曲试验(MQT 22)

4.22.1 目的

本试验目的是验证柔性组件是否可以卷起(无损坏),以形成制造商规范中制造商定义的至少在一个方向上的曲率半径。如果制造商的安装指南允许在多个方向上弯曲,则应使用最坏情况。如GB/T XXXX—202X第4章所述,可在代表性样品上进行试验。

注：一旦定义了曲率半径，只要“代表性样品”和较长组件之间的厚度相同，弯曲应力就相同。

4.22.2 装置

- a) 直径为组件制造商规定曲率半径两倍的圆柱体。柔性组件将在此圆柱体上弯曲。
- b) 测试过程中监测组件电气连续性的装置。
- c) 进行试验的环境条件为 $(25 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 。

4.22.3 程序

- a) 配备组件，以便在测试过程中连续监测内部电路的电气导通性。
- b) 从指定曲率半径的圆柱体上方的扁平/平面位置起滚动柔性组件。如果组件足够大，则其在圆柱体上的滚动角度应超过 360° 。
- c) 将柔性组件展开回到扁平/平面位置。
- d) 重复 b) 和 c) 25 次。

4.22.4 最后试验

重复试验MQT 01和MQT 15。

4.22.5 要求

- a) 当按 MQT 11 施加和监测连续电流时，测试期间应未检测到间歇性断路故障。
- b) 无 GB/T XXXX—202X 中规定的严重外观缺陷。
- c) 湿漏电流满足与初始试验相同的要求。

附录 A

(资料性)

机械载荷重量管理装置推荐 (MQT 16)

众所周知, MQT 16 试验过程中引入的许多干扰因素可能会使组件产生不应有的故障。这些因素包括载荷的不均匀性、放置重物时产生的周期性压力峰值、装载频率、重物袋、袋内的流动介质以及载荷工程学。在缺少自动化系统 (例如, 气动系统) 将全部载荷以受控、均匀地方式放置在测试组件上的情况下, 本附录给出了测试方法质量控制的建议。

可采用图 A. 1 所示的龙门起重机, 将整个载荷可控、均匀地放置在试验组件上。龙门起重机搭配变频电机控制载荷在组件上的放置速度。起重机应能够处理预期载荷, 有足够的空间容纳载荷制具, 能够将载荷制具提升至安装支架上方、然后放在光伏组件 (固定在安装支架上) 上。

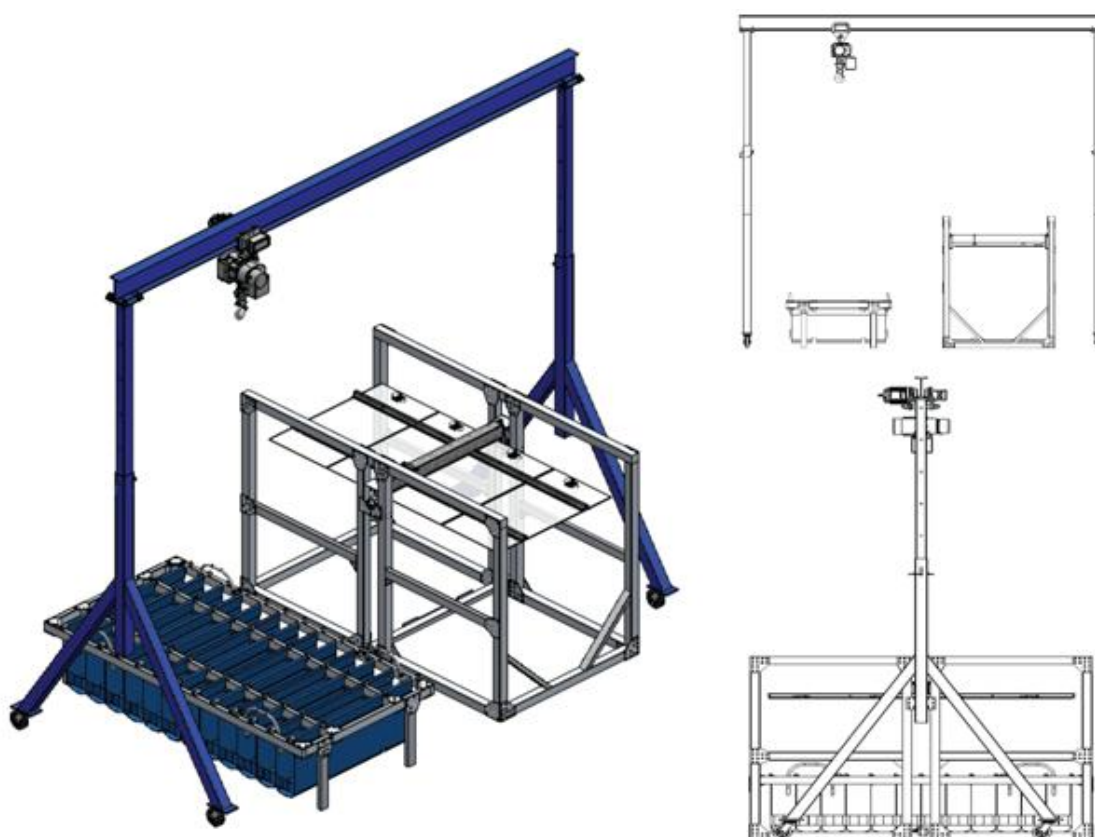


图 A. 1 龙门起重机安装支架和载荷制具的三维视图 (图左)、前视图 (右上) 和侧视图 (右下)

安装支架应按制造商的要求安装组件, 提供足够的空间以便将载荷放置在组件表面。如图 A. 2 所示, 组件安装在一个带有中央扭矩杆跟踪器的固定装置上。图 A. 2 示例中的支架采用 T 形槽铝型材制造。图 A. 3 给出了安装支架的侧视图, 该图显示了一个旋转机构, 该机构能在不拆除紧固件的情况下轻松翻转组件, 向另一侧加载。在固定倾斜结构中安装基于主梁的跟踪器或檩条作为替代布置也是可以的。

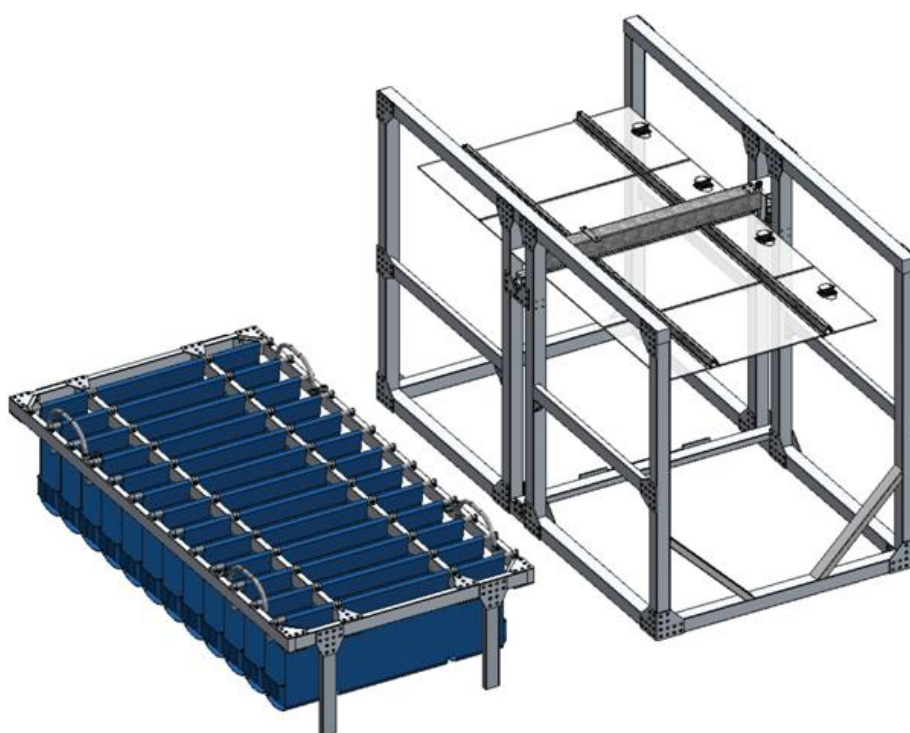


图 A.2 安装支架（右）和载荷制具（左）的 3D 视图

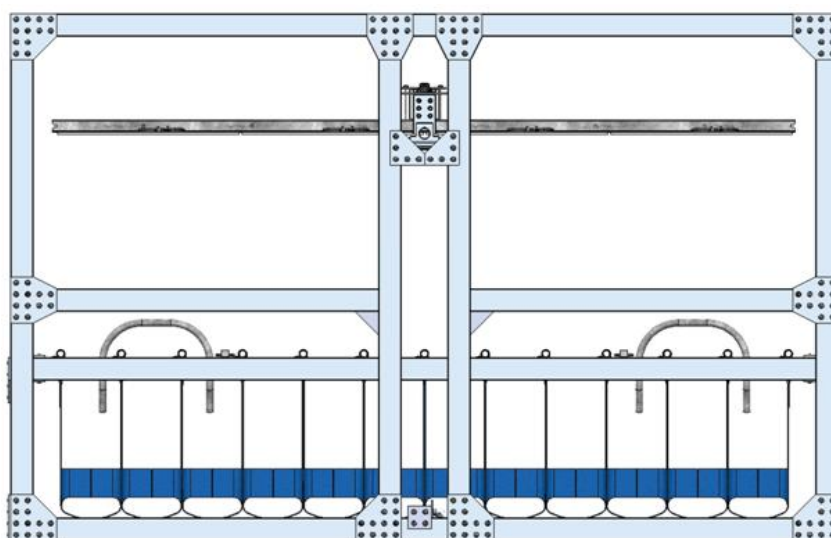


图 A.3 安装支架和载荷制具的 2D 视图

图A.4和图A.5显示了带有可装配通道载荷制具的更多细节。装配通道由厚防水油布和胶带制成，由横杆支撑。横杆可在安装支架的T形槽轨道上移动，通过U形夹夹紧，这样就可以避开组件边框的加强筋，防止载荷施加到上面。保证荷载不会施加在边框上非常重要。安装支架的腿长应小于通道深度，这样可以保证在腿接触之前，重量全部施加到承载表面。

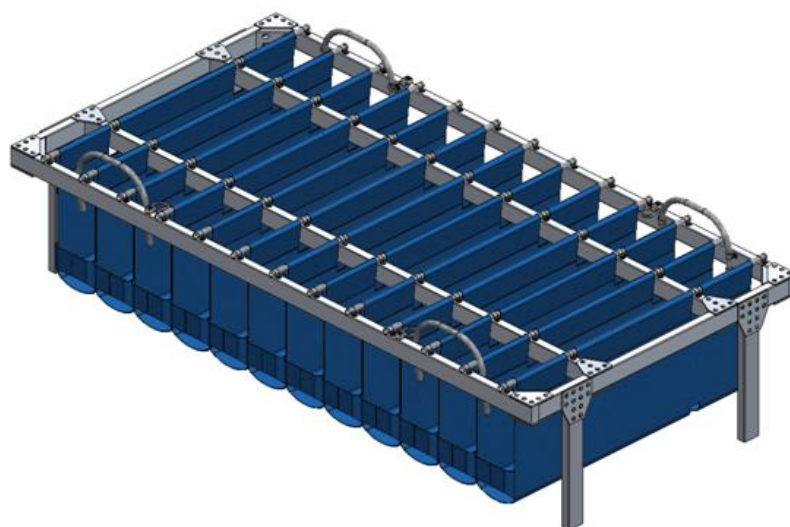


图 A.4 装载夹具的三维视图

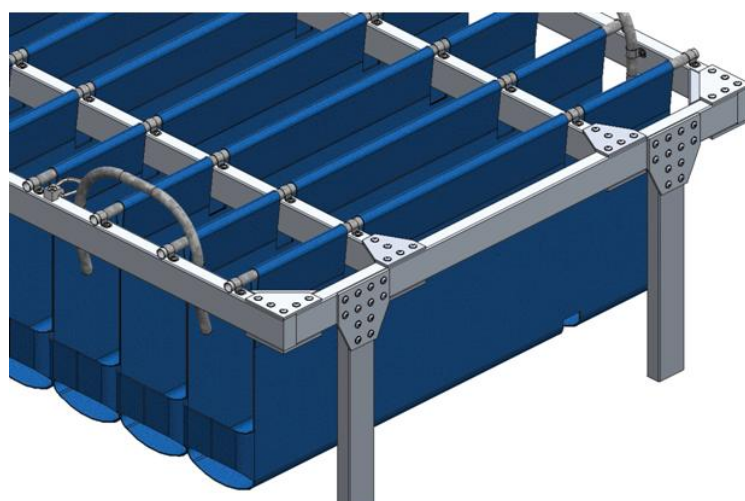


图 A.5 装载夹具的特写图

用作载荷的介质可能有多种（铅丸、沙子、金属颗粒、砖等），建议使用某种形式的金属颗粒作为载荷介质。柱状袋应由能承受重物的材料制成，以保持其形状和表面积。所选袋子的大小和形状应符合人体工程学，放置的重物应不超过10千克。每个袋子应填充相同的介质，放入通道之前用校准过的秤对介质称重确保组件上的载荷分布均匀。每个通道应放置相同的重量，以满足试验中规定的载荷均匀性 $< 5\%$ 。