

太阳能检测之光伏组件的热斑效应和试验方法

光伏电池是将太阳光辐射能量直接转换成电能的器件。单个硅晶体光伏电池能得到的最大电压约为 0.6V，最大电流约为 30mA/cm²。因此光伏电池很少单个使用，而是串联或并联起来，以获得所期望的电压或电流。光伏组件正是由多个光伏电池连接和封装而成的产品，是光伏发电系统中电池方阵的基本单元。为了达到较高转换效率，光伏组件中的单体电池须具有相似的特性。在实际使用过程中，可能出现电池裂纹或不匹配、内部连接失效、局部被遮光或弄脏等情况，导致一个或一组电池的特性与整体不协调。失谐电池不但对组件输出没有贡献，而且会消耗其他电池产生的能量，导致局部过热。这种现象称为热斑效应。当组件被短路时，内部功率消耗最大，热斑效应也最严重。

一、热斑效应原理

当然，并不是所有的电池都可以通过调整遮光比例达到最佳阻抗匹配。完全遮光情况下，不同特性的 Y 电池 I-V 曲线如图 3 所示。斜率越低，表明电池的并联电阻越大。考虑 (S-1) 个电池串的最大输出功率点所限定的“试验界限”，根据 I-V 曲线与“试验界限”的交点，把电池分为电压限制型 (A 类) 和电流限制型 (B 类)。A 类电池并联电阻较大，可以通过减少遮光面积，达到最佳阻抗匹配；B 类电池的并联电阻较小，完全遮光已是 Y 电池消耗功率最大的状态。

二、热斑耐久试验

热斑效应可导致电池局部烧毁形成暗斑、焊点熔化、封装材料老化等永久性损坏，是影响光伏组件输出功率和使用寿命的重要因素，甚至可能导致安全隐患。因此，IEC 61215:2005《地面用晶体硅光伏组件设计鉴定和定性》专门设置了热斑耐久试验，以考核光伏组件经受热斑加热效应的能力。

热斑耐久试验过程包括最坏情况的确定、5 小时热斑试验以及试验后的诊断测量，分为以下 4 个步骤。

1、选定最差电池

由于受到检测时间和成本的限制，热斑耐久试验不能针对组件中的每一个电池进行。因此，正式试验之前先比较和选择热斑加热效应最显著的电池。具体方法是，在一定光照条件下，将组件短路，依次遮挡每个电池，被遮光后稳定温度最高者为最差电池片。电池温度可以用热成像仪等仪器测量。对于串联-并联-串联连接方式的大型组件，标准允许随机选择其中 30% 的电池进行比较。

对于串联和串联-并联连接方式的组件，IEC61215 标准给出了两种快速的方法。第一种方法是：将组件短路，不遮光，直接寻找稳定工作温度最高的电池。第二种方法是：将组件短路，依次遮挡每个电池，选择遮光后组件短路电流减少最大的电池。本文推荐采用第二种方法，这主要是考虑到测量短路电流精度较高，测量结果可以用于下一个步骤的判断，而且短路电流跟失谐电池消耗的功率有直接关系。

2、确定最坏遮光比例

选定最差电池之后，还要确定在何种遮光比例下热斑的温度最高。即用一组遮光增量为 5% 的一组不透明盖板，逐渐减少对该电池的遮光面积，监测电池被遮部位背面的稳定温度，看何时达到最高温度。目前最常见的电池规格有 156mm*156mm 和 125mm*125mm 两种，因此实验室需要准备两组不透明盖板。

以上两个步骤所使用的辐射源，可以是稳态太阳模拟器或自然阳光，辐照度不低于 700W/m²，不均匀度不超过±2%，瞬时稳定度在±5%以内。如果气候条件允许，可优先选择自然阳光。南方的实验室在这方面优势明显。以深圳为例，根据气象局统计（表一），年太阳辐射量平均为 5225 MJ/m²，年日照时数平均为 2060 小时，可计算平均太阳辐射强度为 705W/m²。另外，低纬度地区的太阳辐射季节分配相对均匀。实测数据表明，深圳冬季的太阳辐射强度，晴天正午前后仍可达 850 W/m² 以上。这种太阳辐射条件，同样适宜进行光伏组件的另外一个试验项目——电池额定工作温度（NOCT）的测量。

3、5 小时热斑耐久试验

标准要求辐射源为 C 类或更好的稳态太阳模拟器或自然阳光，其辐照度为 1000W/m²±10%。实际上自然阳光很难在 5 小时的长时间内保持 10% 的稳定度，因此须采用稳态太阳模拟器。光谱近似日光的氙灯是最佳选择，全光谱

金卤灯也可以满足光谱要求。须注意灯阵列的设计，使测试平面的辐照不均匀度小于±10%；同时配备稳压电源，保证试验期间辐照不稳定性小于10%。

4、试验后的诊断测量

组件经过热斑耐久试验之后，首先进行外观检查，对任何裂纹、气泡或脱层等情况进行记录或照相。如果发现标准第7章规定的严重外观缺陷，则视为不合格。如果存在外观缺陷但不属于严重外观缺陷，则对另外2块电池重复热斑耐久试验。试验后不再发现外观缺陷，则算合格。此外，组件在标准试验条件下的最大输出功率 P_m 的衰减不能超过5%；绝缘电阻应满足初始试验的同样要求。

解决热斑效应问题的通常做法，是在组件上加装旁路二极管。通常情况下，旁路二极管处于反偏压，不影响组件正常工作。当一个电池被遮挡时，其他电池促其反偏成为大电阻，此时二极管导通，总电池中超过被遮电池光生电流的部分被二极管分流，从而避免被遮电池过热损坏。光伏组件中一般不会给每个电池配一个旁路二极管，而是若干个电池为一组配一个。此时被遮挡电池只影响其所在电池组的发电能力。