

太阳能电池组件“热斑效应”分析

随着科技日新月异的发展，光伏发电技术在国内外均得到了广泛的应用，其应用形式多种多样，应用场所分布广泛，主要用于大型地面光伏电站、住宅和商用建筑物的屋顶、建筑光伏建筑一体化、光伏路灯等。在这些场所，不可避免的会出现建筑物、树荫、烟囱、灰尘、云朵等对太阳能电池组件造成遮挡。因此，人们关心的是此类情况对太阳能电池的发电效率影响有多大，又该如何解决。

在实际应用中，太阳能电池一般是由多块电池组件串联或并联起来，以获得所期望的电压或电流的。为了达到较高的光电转换效率，电池组件中的每一块电池片都须具有相似的特性。在使用过程中，可能出现一个或一组电池不匹配，如：出现裂纹、内部连接失效或遮光等情况，导致其特性与整体不协调。

在一定条件下，一串联支路中被遮蔽的太阳电池组件，将被当作负载消耗其他有光照的太阳电池组件所产生的能量。被遮蔽的太阳电池组件此时会发热，这就是热斑效应。这种效应能严重的破坏太阳电池。有光照的太阳电池所产生的部分能量，都可能被遮蔽的电池所消耗。为了防止太阳电池由于热斑效应而遭受破坏，最好在太阳电池组件的正负极间并联一个旁路二极管，以避免光照组件所产生的能量被受遮蔽的组件所消耗。

关于组件热斑产生的原因、问题电池的来源及相应对策

(一)组件热斑产生的原因

光伏组件的核心组成部分是太阳电池，一般说来，每个组件所用太阳电池的电特性要基本一致，否则将在电性能不好或被遮挡的电池（问题电池）上产生所谓热斑效应。

为防止热斑产生应该在每一片电池上都并联一个旁路二极管，在当电池发生问题或被遮挡时，其它电池产生的大于问题电池的电流将被旁路二极管旁路。而事实上，在每一片电池上都并联一个二极管是不现实的。一般在组件上是 18 片（36 片或 54 片电池串联的组件）或 24 片（72 片电池串联的组件）电池串联后并联一个二极管。

可以想象，当这 18 片或 24 片电池中产生的电流不一致时，也就是有问题电池存在时，通过这串电池的电流将在问题电池上引起热斑。若电池串与串之间电流不一致，可以在接了旁路二极管的组件特性曲线上看到所谓台阶曲线或异常曲线。

如果组件内太阳电池性能本来就不一致，必然导致组件发生热斑现象。我们可以通过组件的输出特性曲线和红外成像看到组件热斑现象的存在。

若是由于组件内太阳电池光衰减后效率下降，引起的组件内太阳电池性能不一致。我们可以通过测试组件衰减前和衰减后的输出特性曲线以及红外成像看到组件在光照前后发生的变化。

若组件未接旁路二极管，即使有问题电池存在，组件的输出特性曲线也看不

到台阶曲线，但短路电流应比正常组件要小，这表明热斑现象存在。

(二)问题电池的来源

1. 硅材料自身的缺陷
2. 电池制造的原因
 - 1) 去边不彻底、边缘短路
 - 2) 去边过头，P型层向N型层中心延伸，边缘栅线引起局部短路
 - 3) 烧结不良，正电极或背电极与硅片接触不良，串联电阻增大
 - 4) 烧结过度，即将使PN结烧透，短路

以上几种有可能在分选测试时尚未暴露，而做成组件后在长期的使用过程中，逐渐变化而导致愈演愈烈

3. 同一档次的电池片性能不一致
 - 1) 电池分选测试时的误判
 - a) 分选测试仪自身误差
 - b) 测试仪与测试仪之间的差异
 - c) 分选测试仪的误动作
 - 2) 电池自身的衰减不一致
 - 3) 人为的混片

如电池上信息不准确，有可能贴错标签、混包，电池外观检验时的混片等

4. 组件制造的原因
 - 1) 焊接前混片或补片时混片
 - 2) 电池片自身的隐裂
 - 3) 手工焊接过程造成的裂片或隐裂片，机器焊接曲线异常的比例一般小于手工焊接
 - 4) 虚焊，每天的巡检报告中几乎都有焊接不良的报道
 - 5) 组件生产过程中产生的隐裂，如玻璃弯曲引起裂片或温度过高时装框，万向球顶裂电池
 - 6) 返修组件时的焊接不良，互连条之间的搭接，接触电阻大
 - 7) 组件中异物引起短路
 - 8) 焊背面时，正面互连条脱开，使互连条与电池间存在锡粒，层压造成电池破裂

(三)已经采取的措施

1. 电池生产线采用72片一包的包装，避免组件生产线再次数片带来的混片
2. 电池生产线先外观检验，后测试分选，防止测试分选后再外观检验造成混片
3. 组件生产时用整包的电池片，不用散包，防止混片
4. 组件补片原则，一定要补同一档次的电池，（正在准备试75片一包的试验）
5. 焊接前检查隐裂片
6. 焊串模板定期检查，防止互连条脱焊
7. 严格检查异物
8. 加强虚焊检查，防止虚焊
9. 搬运时尽量减少玻璃弯曲
10. 大组件采用4毫米玻璃，以减少弯曲，增加强度

11. 搬运周转车改为玻璃垂直放置
12. 不允许 $>50^{\circ}\text{C}$ 时装框
13. 返修时不允许互连条对接
14. 散包电池必须重新分选测试，凑成整包后再做组件
15. 库存超过一定期限的电池在做组件前应经过二次分选测试
16. 测试时，组件一定要在规定温度范围内
17. 给出发现曲线异常后的处理方法，防止不良组件流到客户手中
18. 电池先光衰减后再分选测试（正在试验实施中）

虽然采取了以上部分措施，目前曲线异常依然存在，很多组件都有不同程度的热斑，有些措施实施起来有些难度，进展还需要时间和相关设备，还有措施实施的还不彻底。如何保证每个组件都用一包 72 片或 54 片同一档次的电池，且不会衰减，仍然需要持续改进。

光伏组件的热斑效应和试验方法

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，过程分为以下 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。不过大部分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 $700\text{W}/\text{m}^2$ ，不均匀度不超过 $\pm 2\%$ ，瞬时稳定度在 $\pm 5\%$ 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。

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 $1000\text{W}/\text{m}^2 \pm 10\%$ 。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 $\pm 10\%$ ；同时配备稳压电源，保证试验期间辐照不稳定度小于 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。

总结：

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。