

材料是关键™

减轻多晶硅光伏组件中热斑效应的策略

热斑

热斑是指影响光伏组件的部分高温区。它们会导致局部效率下降，降低输出功率和加速受影响材料的老化（图1）。光伏组件能产生大量电能，当局部区域出现功率损耗时，就可能形成热斑。热斑极不稳定，通常会逐渐加剧，直到以发电量和/或安全性表示的组件性能完全失效。

多晶硅光伏组件中的热斑表示组件结构所用材料承受的附加应力。该应力可能为临时应力，也可能永久存在，这取决于热斑的类型和产生的原因。选择具有更高热稳定性的材料有助于降低热斑引起的性能和安全方面的风险。

组件设计和减轻热斑策略

过去人们已经调查研究了光伏组件形成热斑及易受影响的原因，也制定了测试标准来解决这个问题（见参考文献2）。

在多晶硅光伏组件中，电池通常串联连接，以便让每块6英寸的电池产生约8安培的电流，通过焊带为每块电池提供约0.6伏电压，以增强输出功率（功率 = 电压 * 电流）。这样组件的直流输出电流约8A，电压一般为30-35伏。

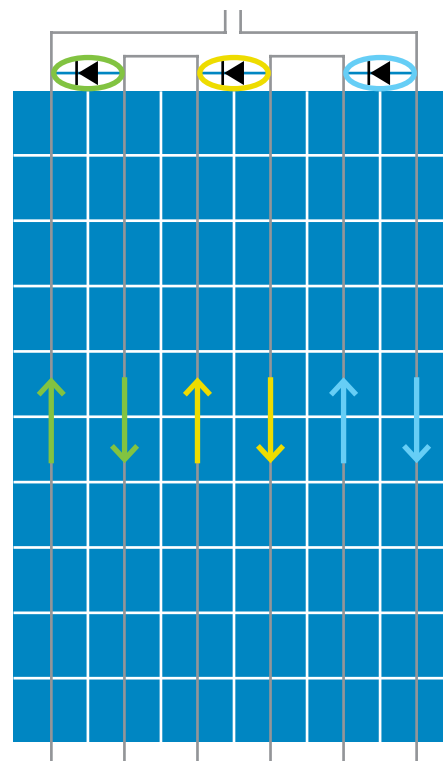


图2. 带旁路二极管防止热斑的多晶硅组件的典型电气连接

- 如果电池不能在其周围产生峰值电流，它将充当一个功率损耗装置（如电阻器）。这种现象称为反向偏压。
- 电阻器通过发热损耗能量，因此反向偏压下的电池将形成热斑。
- 太阳能电池不能产生电流的原因是受到遮挡（投射阴影或有污渍），或因为电池受损，或电池本身性能低下（电池匹配性差）。
- 旁路二极管将20块电池为一组进行隔离。应该将太阳能电池的反向电压限制在10V以下。

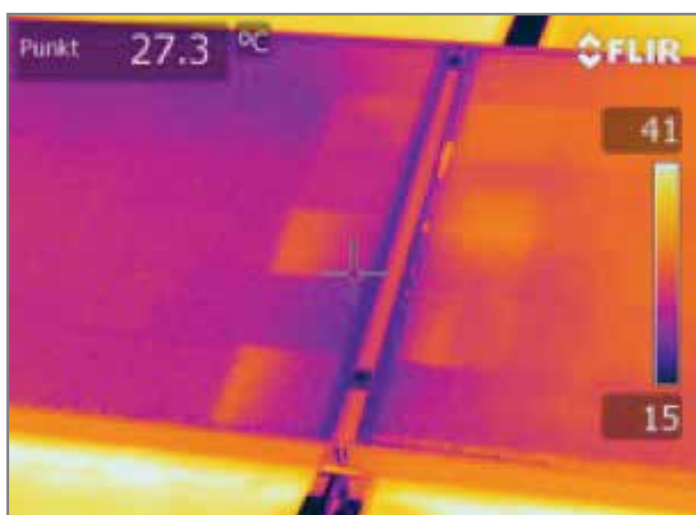


图1. 热斑在这幅红外显示图中很明显，表明此处温度升高，太阳能电池沿着边框受损

材料是关键™

减轻多晶硅光伏组件中热斑效应的策略

热斑形成的原因

形成热斑的原因有多种，包括功能性原因或运行方面的原因。功能性原因可以分以下两种情况。

- 电池不匹配，这是串联连接的太阳能电池的电流发生变化。这种状况是由于电池分拣过程中电池间隔过宽。一般来说，这样应该只会轻微影响性能欠佳的电池上温度。
- 生产过程中太阳能电池可能受损，因为电池在叠片和搬运中会受到多种应力作用。电池的厚度大约为180微米，材质很脆。将太阳能电池连成一串来进行运输、焊接和搬运，然后进行叠片。电池在每个阶段都要受到机械和/或热应力的作用。此后，组件运输和安装时在电池上进一步产生的应力可能会使电池破裂。德国哈梅林的太阳能研究所（ISFH）特别强调，光伏组件平行于地面运输时对太阳能电池将产生特别的损伤（见参考文献3）。

由于运行原因形成的热斑与太阳能发电园区的设计和运行有关，可能包括：

- 工程总承包公司（设计、采购和施工）可能愿意接受冬天的遮蔽条件（在一些特定的地区仅占年发电量的10%）以便在夏季增加发电量。这意味着组件底部那一行太阳能电池在几个月内每天早晚将受到系统性的遮蔽。这对于平行安装于地面（横向）的太阳能电池串尤为重要，这样就可以让旁路二极管正常工作，即便在冬天也能达到10%的发电量。
- 对于安装在屋顶的光伏系统，屋顶的地形有时可能带来挑战。安装设计人员可能要再次确定完全遮蔽太阳能电池是否可行，那样就会给组件增加很多阴影。这种条件可能不满足旁路二极管的运行，将导致温度升高，加速组件损坏。同样，应该对光伏系统周围的树或植物生长加以控制，以避免出现部分遮蔽情况。



图3. 由于“屋顶特征物”（如烟囱）部分遮蔽组件

- 光伏组件在其使用期间可能会受到灰尘、污垢和其它污染物的污染。设计太阳能发电园区来减少这些污染源是有必要的。运营和维护（O&M）公司还应确定是否存在需要清洗的情况，这意味着要定期巡检发电园区。清洗的频率将严重依赖于气候条件和园区周围的地面。例如，意大利南部清洗后的太阳能发电园区，其发电量通常仅在随后几天增加2%，并在之后的数月保持稳定。这种情况下，对组件进行清洗可能就不值得。但是，对于灰尘很多的沙漠环境中的太阳能发电园区，如果不定期对组件进行清洗，可能会损失高达30%的发电量。目前，中东地区发明了干洗方法来为光伏组件除尘，因为该地区缺水。

材料是关键™

减轻多晶硅光伏组件中热斑效应的策略

热斑对组件电气保护的影响

热斑可能带来的后果有多种，从突发性火灾到加速材料老化，在大多数情况下，我们将发现扩散范围更广的温升会导致背板/封装材料组合加速老化（见图4）。

由于电池前部和后部短路而造成的热斑将导致局部高强度发热。这类热斑可能会导致背板融化，引起火灾。

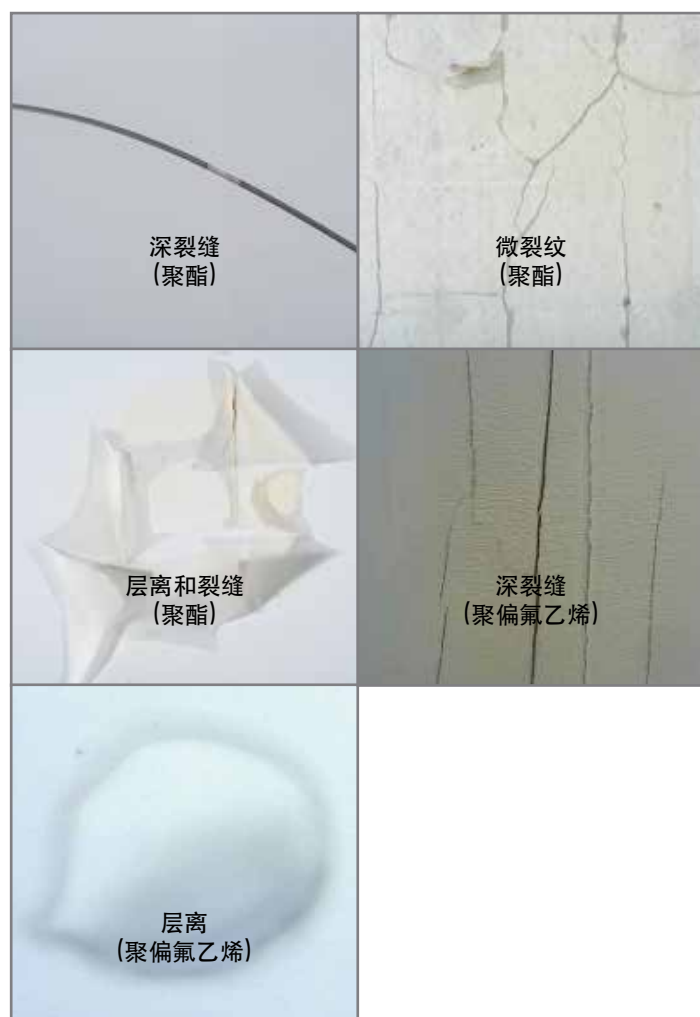
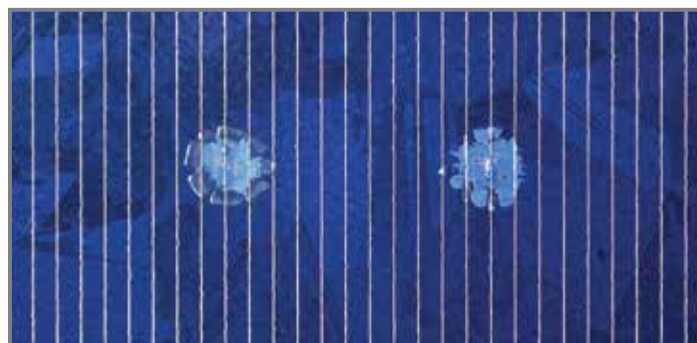


图4. 热斑将加速材料老化。例如，在西班牙，用聚酯和聚偏氟乙烯背板制成的光伏组件露天放置4年就出现裂缝和层离现象。



热斑产生鼓泡



鼓泡导致裂缝



图 5. 聚偏氟乙烯背板上的高强度热斑

材料是关键™

减轻多晶硅光伏组件中热斑效应的策略

减轻热斑的影响

虽然选材不当可能并非是形成热斑的直接原因，热斑的形成可能与制造过程的关系更直接（从电池制造到组件安装和维护），人们已发现某些材料对热斑更敏感。对于临时出现的热斑（如局部遮蔽或污损），重要的是选择能经受这种热斑的材料。

对于背板，有两个可变的因素有利于减小造成永久损伤的可能性。

1. 背板内层的软化可能会降低绝缘层的粘附力，从而影响组件的电气绝缘。
2. 热膨胀系数越小，热斑边缘的应力越小。较大的热膨胀系数可能会增大背板层间剥离的可能性。



图 6. 灾难性的热斑故障

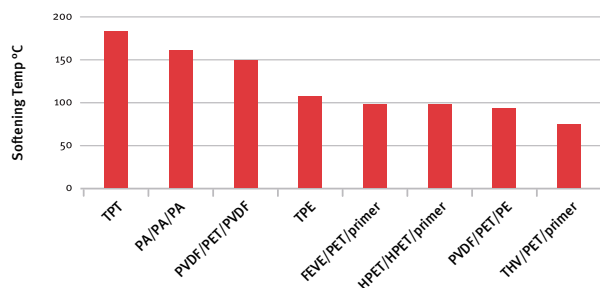


图7. 不同背板结构可以耐受内层熔化的温度，以长期保持粘接和电气绝缘性能

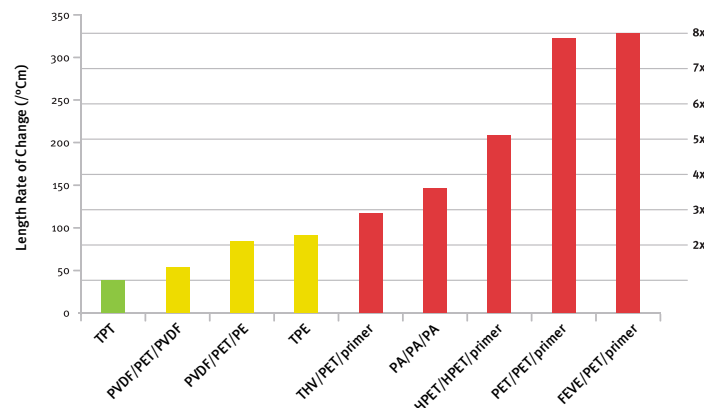


图8. 低热膨胀系数有助于减轻热斑导致的背板层间剥离

背板是光伏组件背面的电气绝缘部件。它通常由几层材料制成，以聚酯（PET）为中心层。聚酯中间层提供主要的电绝缘功能。其它层实现保护和/或粘接功能。杜邦™ 特能® PVF薄膜，用于结构为特能®/PET/特能®（参考图7和图8中的TPT）的三层背板，被公认为是电气绝缘、耐久、防潮、防紫外线和耐高温的最佳组合。杜邦™ 特能® PVF薄膜还可用于对应的单面结构（特能®/PET/粘接层，称为TPE）。粘接层与乙烯醋酸乙烯酯（EVA）密封剂接触，它也被称之为内层。

对于漏电流或电弧造成的高强度热斑，没有材料能经受如此高的温度。一些电池可能更容易产生边缘漏电流。当组件内的焊接汇留条间距离过小，而且乙烯醋酸乙烯酯的含水饱和度与环境湿度达到平衡时，组件内就会产生电弧。这些情况只能在电池分拣和组件设计的时候进行补救，应由组件制造商进行处理。

材料是关键™

减轻多晶硅光伏组件中热斑效应的策略

热斑对安装类型的依赖性

正常情况下太阳能电池和组件要在较高温度下运行，对于屋顶光伏系统来说组件温度通常要比环境气温高40°C以上（见图9）。

屋顶光伏系统中出现热斑可能会进一步加速材料老化，并影响电气安全，另一个难题是大多数情况下热斑对背板的影响并不是很容易发现（例如在倾斜的屋面上）。发电系统的业主如果不了解这样的情况，可能会有严重的电气安全问题。无论如何，通风条件差会导致组件工作温度升高，因而需要采用具有更高热稳定性的材料。

基于杜邦™特能® PVF薄膜的TPT背板具有最佳的热学特性，从而可以减轻热斑产生的影响，这是由于以下三个原因：

1. 最高的背板内层材料熔化温度在较高温下为背板电气绝缘性能提供了稳定的机械性能保障。
2. 最小的背板热膨胀系数降低了热斑边缘应力，减小了热斑对背板电气绝缘功能的破坏。
3. 最佳的耐受紫外线、耐潮和耐热的综合性能。

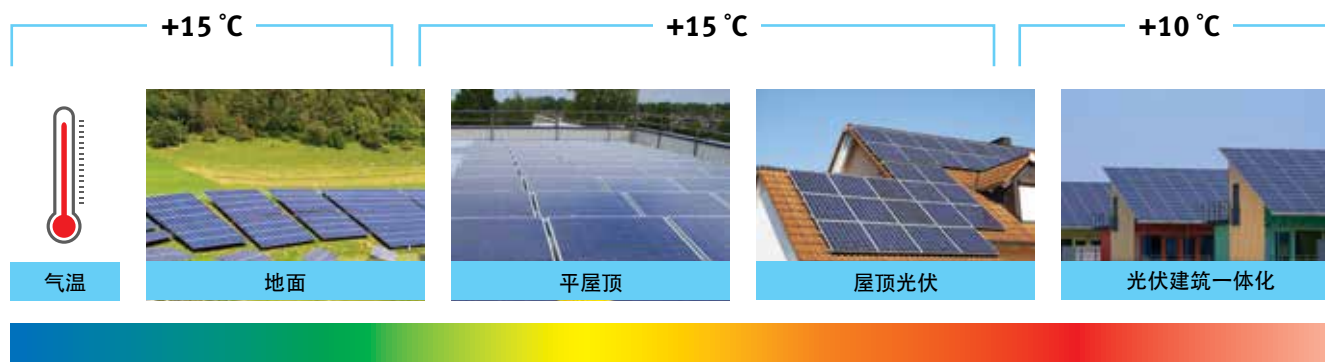


图9. 适用于各种太阳能装置的温度水平

来源：光伏组件中的蠕变：聚合材料和组分的稳定性研究(2010)第35届IEEE光伏专家会议(PVSC '10)，檀香山。David C. Miller, Michael Krempe, Stephen Glick 和 Sarah Kurtz. Viridian Solar 2014年1月(5)

材料是关键™

减轻多晶硅光伏组件中热斑效应的策略

结论

热斑绝对是太阳能电站不希望出现的，且热斑通常还伴随着功率损耗（见参考文献5）。任何功率损耗对系统所有者来说都意味着更低的投资回报率和更高的度电成本（LCOE）。然而一些热斑是可以人为补救的，而其它热斑则对组件具有不可逆的损伤。

热斑会使光伏组件材料承受应力，最终可能会加速材料老化和降解，以致于降低组件功率输出；更重要的是，还会降低了组件的安全性，并且可能导致发电装置和系统受损。因此，鉴别热斑具体情况，通过消除部分遮挡或定期进行清洗对可避免出现的热斑进行补救显得非常重要。如果已经慎重地选择了组件材料，由于部分遮挡或污损造成的轻微热斑不会导致组件即刻出现损伤。这就给运营和维护人员提供了通过红外（IR）热像仪来检测热斑所需的时间，比如在出现显著损伤前补救这种状况。

参考文献:

- (1). “现场观测的光伏组件失效 - 焊接接缝和旁路二极管失效”，Kazuhiko Kato, 第25届欧盟光伏太阳能会议（2010）
- (2). “热斑敏感性光伏组件测试”，E. Molenbroek, D.W. Waddington, K.A. Emery. IEEE会议, 1991, 547 - 552
- (3). “多晶硅光伏组件的裂缝统计”，M. Kontges, 第26届欧盟光伏太阳能会议（2011）
- (4). “背板和组件的耐用性和性能以及长期现场使用组件的加速测试比较”，W.J. Gambogi, 第28届欧盟光伏太阳能会议（2013）
- (5). “工作条件下光伏发电装置红外成像的稳定性”，C.I. Buerhop, 太阳能材料和太阳能电池 107（2012），154-164
- (6). 光伏组件中的蠕变：聚合材料和组分的稳定性研究（2010）第35届IEEE光伏专家会议（PVSC '10），檀香山。David C. Miller, Michael Krempe, Stephen Glick 和 Sarah Kurtz. Viridian Solar 2014年1月
- (7). “光伏组件高温耐受评估”，S. Kurtz, K. Whitfield, G. Tamizhmani, M. Koehl, D. Miller, J. Joyce, J. Wohlgemuth, N. Bosco, M. Kempe 和 T. Zgonena, 光伏组件高温耐受评估光电电压进展：研究与应用第19卷，第8期：第954页-第965页，2011年12月

有关降低光伏组件出现热斑风险的更多信息，请联系您当地的杜邦光伏解决方案代表。

欧洲、中东和非洲

Dr. Lucie Garreau-Iles
lucie.garreau-iles@dupont.com
+41 (0)22 7176622

北美

Dr. Alexander Bradley
alexander.z.bradley@dupont.com
+1 302 999 4734

印度

Rahul Khatri
rahul.khatri@dupont.com
+91 8800677768

亚太地区

Chiou-Fu Wang
chiou-fu.Wang@dupont.com
+86 21 28921214