

分布式光伏电站火灾案例及故障分析

近年来，太阳能发电的应用日趋广泛，发展迅速，而越来越多的问题也开始暴露在人们面前，其中光伏发电系统的火灾问题，特别是与建筑结合的分布式发电系统的火灾，可能造成人身、财产的巨大损失，尤其应引起业内重视。有国外的保险公司数据统计发现：光伏电站中火灾事故以 32%的赔偿金额占比排名第一，雷击过电压事故以 30%的赔偿金额占比紧随其后。但是火灾事故数量仅占比 2%，排名最后，这也表明了火灾事故造成的损失远远高于其它事故。

光伏电站并非洪水猛兽，和家用电力体系一样，都是存在一定风险，但可以通过各种防护措施将事故发生率降至无限趋近于零。研究整个光伏电站的建设，光伏电站火灾危险性较大的设备有汇流箱、逆变器、连接器、配电柜及变压器。我们这里将重点针对分布式光伏电站的火灾源头、起因进行分析：

一、 分布式电站设备问题

随着光伏电站在中国的快速发展，造成了光伏组件、逆变器等光伏设备的低价竞争，也就带来了部件的质量问题，据有关研究表明，部件质量问题大约占据光伏电站整个故障的 50%。据第三方检测认证机构北京鉴衡认证中心相关负责人透露，通过对 400 多个电站的测试发现，光伏组件主要存在热斑，本身工艺隐裂或破损，直流电弧等质量问题。

1. 光伏组件

1.1 热斑效应

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。以下三幅图都属于热斑效应。



图 1-1 方阵之间遮挡



图 1-2 鸟粪遮挡



图 1-3 树荫遮挡

热斑效应的后果使太阳电池组件局部电流与电压之积增大，从而在这些电池组件上产生了局部温升，引起组件自燃。图 1-4：当光伏组件产生热斑效应，发生的自燃现象。图 1-5：德国某光伏电站因光伏组件自燃而引起的火灾。为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。

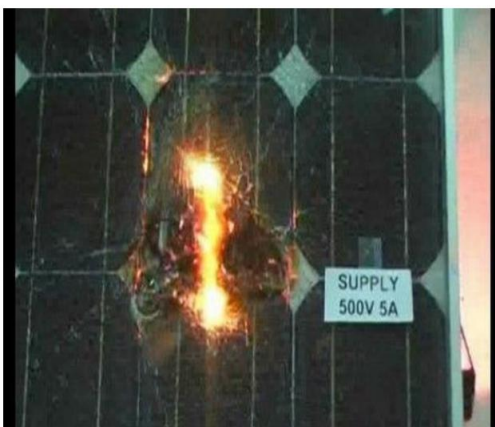


图 1-4 组件自燃现象



图 1-5 某电站组件自燃引起的火灾

1.2 直流电弧

1) 组件焊接面积过小或虚焊：短时间对组件无影响，但长时间易引起电池板的破裂，光伏组件只要接受太阳辐射，就会产生电压，长时间，不仅引起温升损失，降低发电效率，更有甚者，组件出现电阻加大发热或引起电弧都造成组件烧毁，从而引起火灾。（参考图 1-6）

2) 组件接线盒内部接线不良或焊点焊接面积过小：接线盒内引线若未卡紧容易出现打火起火；而焊点焊接面积过小也会导致电阻加大从而造成组件烧毁；引线长时间接触接线盒塑胶件会因受热而造成起火。（参考图 1-7）



图 1-6 镇江光伏组件破裂

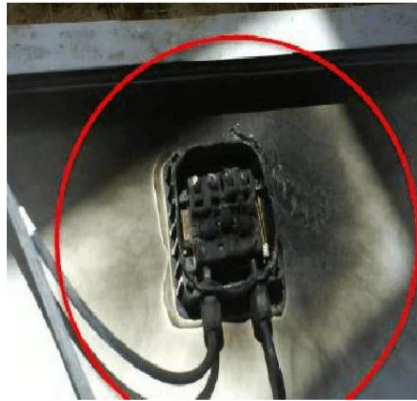


图 1-7 接线盒烧毁

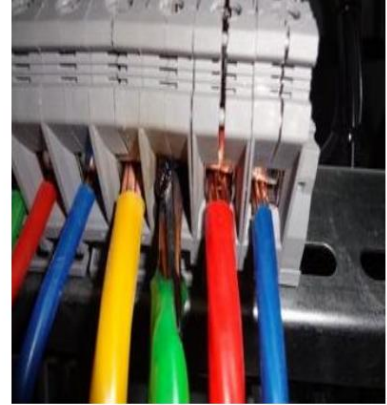


图 1-8 接头松动

据有关研究表明，光伏电站 40% 的火灾都是由于直流电弧引起的，也就是说源头主要集中于直流电源侧，不仅在光伏组件，还包括汇流箱，逆变器等等整个电站的接头，有成千上万个，任何一个接头松了，都有可能造成直流电弧，一有电弧就会引起火灾，这个是已经非常明确了。因此光伏系统的直流电弧的监测与断开也是目前针对频发的火灾的一种防护措施。



图 1-9 直流电弧引起的事故

1.3 光伏组件的工艺质量问题

组件产生气泡：抽真空温度时间过短，温度设定过高或过低，活内部有异物进入，从而产生气泡，这样会影响脱层，严重会导致组件彻底报废。同时还有组件的隐裂问题，这些都是组件本身的工艺质量问题，如果前期不进行严格的把关，都容易引起事故。

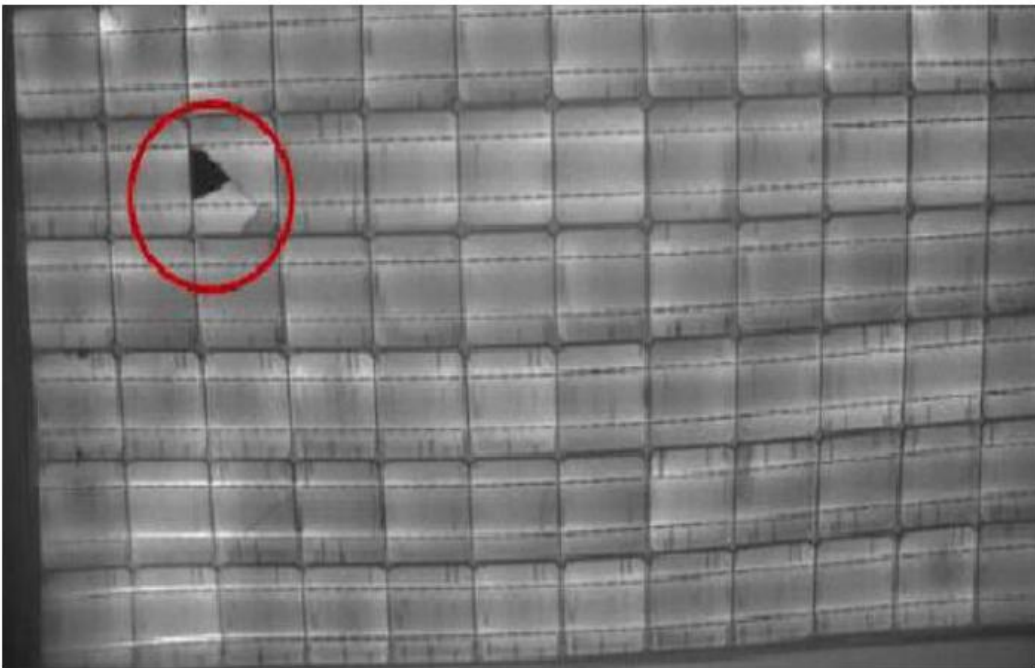


图 1-10 光伏组件的隐裂

2.光伏汇流箱、直流柜



图 1-11 汇流箱烧毁实物照片



图 1-12 直流柜烧毁实物照片

引起汇流箱、直流柜被毁的原因是多方面的：1) 接地不可靠；2) 线缆绝缘电阻过低；3) 连接头接触不良；4) 接线混乱等等。如下图是一些可能出现汇流箱烧毁的错误案例：



图 1-13 镇江项目中汇流箱未接地线



图 1-14 汇流箱接地虚接或老化



图 1-15 汇流箱未分正负极



图 1-16 汇流箱走线混乱

从以上图片，我们也可得出一些结论：在运行前，需要对电站进行绝缘测试和电气检查，进行全面的电站考察，确保电站的安全性。

二、 分布式工程建设施工问题

2.1 连接头接触不良



图 2-1 镇江现场电缆老化造成线路熔断

双芯电缆未压紧，端子与电缆铜丝接触不良，接触电阻过大发热；2) 连接器未包裹防尘，造成沙尘进入，以至于过高的接触电阻造成连接器发热；这都极有可能造成直流电弧，从而成为火灾的源头。



图 2-2 汇流箱未封防护泥



图 2-3 接地未完成



图 2- 端子虚接

2.2 电缆走线不规范

光伏电站电缆分布广，无法针对电缆设置固定的灭火装置，因此需要在设计与施工中提前注意安全准备。如下是在实际施工中出现的問題：1) 汇流箱等设备缺少有效的地保护，接地线未连接，一旦有虚接或雷击等会产生对地短接，不仅影响发电效率，更有甚者很可能会造成汇流箱烧毁等严重后果；2) 电缆走线没有安装桥架，也无任何的防护，电缆老化加快，且电缆经过强电流时候，倘若出现电缆破损，会有漏电危险，不仅危害人身健康，更可能造成重大火灾。



图 2-5 电缆不走桥架，无任何保护

2.3 屋顶排水措施缺乏

在分布式光伏电站中，屋顶没有良好的排水措施，电缆也未进行桥架或穿线管的敷设，容易导致常年积水，不仅引起光伏效率的降低，更重要的是导致光伏组件进水，电缆的老化、腐蚀加快，造成漏电火灾的产生。



2-6 镇江项目屋顶积水无法排出



图 2-7 光伏组件进水

三、 火灾防护措施

光伏电站是一个非常细致的工作，需要完整、科学、准确的数据采集、监测、监控、数据传输系统，和现场工作人员的能力（对于隐性故障的判断、排除和隔离主要靠现场工作人员）。通过对光伏电站火灾可能产生的原因的分析，我们就是要找到方法、措施来解决或者是降低电站火灾的发生。

1) 排除光伏组件及其他设备的质量问题和隐患：使用前对组件或者接线盒等进行各项功能测试，结构检查，湿漏电试验，环境试验，升温试验等等，杜绝因质量问题产生的安全隐患；

2) 完善光伏电站的火灾自动监控，报警系统：光伏电站的火灾源头主要是电缆及电气设备。完善的火灾监控预防系统，集电池组件汇流，电参数监控，火灾预警及数据通讯于一体，保证原有功能又达到火灾预警的目的，实现具有火灾预警功能的智能汇流箱。

3) 施工标准管理：所有设备都应有可靠的接地或接零措施，布线应合理，安全，可靠，保证设备和电缆的最大利用率。合理安排施工计划，不一味赶工期，严把质量关。总而言之，光伏电站的质量管理流程是在整个生命周期里实现多点把控，从结合气候应用环境来对材料进行选择，到在制造、安装、运维过程中进行质量管控，涉及方方面面。争取将灾害控制在萌芽状态。

四、 案例参考

4.1 案例 1：苹果公司工厂屋顶太阳能组件火灾

据美国媒体报道：2015 年苹果公司一直引以为傲的位于亚利桑那 Mesa 的工厂屋顶突然起火，现场浓烟四起，光伏组件被烧毁。据报道，Mesa 消防局共出动了 100 多名消防员，花了约 35 分钟扑灭大火。来自 Digital Trends 的消息则指出，消防人员从工厂里解救出了 12 个人，社交媒体 Twitter 上的说法则是，总共解救了 30~40 人。幸运的是，该事故没有人员伤亡。

据了解，起火点似乎是装货码头仓库对面大楼的屋顶光伏组件。这些组件可向当地 14000 户的家庭供应电力。此次大火对屋顶的太阳能电池组件造成了严重破坏。当天，Mesa 的气温今天达到了 33 摄氏度，这可能也是导致火灾的因素之一。



图 4-1 苹果公司工厂屋顶太阳能组件火灾

4.2 案例 2：富华机械组件爆炸

2014 年的最后一天，9 点 30 分左右，顺德富华机械厂发生气体爆炸，巨响之下厂房屋顶被掀。爆炸当场造成 4 人死亡，30 多人受伤。安装在车间屋顶的 26.4MW 光伏项目也被炸出一个长度近 100 米的大窟窿。估计直接被炸飞的光伏组件 500-800 块。受爆炸

产生的冲击波影响，估计有 3000-5000 块组件会造成大面积隐裂或其它破坏，附近至少有 10000 块组件需要重新检测、评估其发电效能。尽管此次爆炸应该可以排除光伏组件的因素，但光伏组件安装在有天然气的车间屋顶，其漏电等因素也成为火灾发生的可能原因。



图 4-2 富华机械屋顶组件爆炸