

[光伏]

渔光互补光伏电站防雷接地技术的探讨

文/浙江正泰新能源开发有限公司 张建军 李春阳 罗 易 周承军

以“渔光互补”为代表的水上光伏发电系统得以迅速推广，既解决了土地综合利用效益的问题，又有效地利用了闲置的水面资源，产生了较好的环境及经济效益。针对相关项目的组件受雷击的案例，结合水上光伏发电系统的安装形式及结构特征，对雷电危害途径做出分析，提出综合性雷电防护的方案。

随着清洁能源的使用推广，光伏能源的发展已遍布全球各个地区，我国已从“十二五”开始部署光伏新能源的发展规划，随着陆上太阳能的大量推广，对土地资源的占用达到饱和。由此水面光伏能源近几年得到大力开发，利用水域进行光伏电站的建设是比较创新的概念，被各个新能源公司所推崇。各种形式的水面光伏电站建成，如渔光互补光伏电站，通过水上发电、水下养殖，实现一地两用，提高了水面资源的环境效益和经济效益。在贡献清洁能源的同时，对土地、湖泊等资源有效地利用与保护。水面电站无阴影遮挡，水体的自然冷却作业对发电量的提高有着较大的提升，并且对组件清洗的取水非常便捷。因水上光伏系统运行时，容易遭受恶劣天气的影响，如大风、暴雨和雷电等，会对水上光伏系统造成极大的损害。而且，由于在水中，人工维护作业相对于陆上电站的难度加大，成本增高。因此对水上光伏电站的结构设计安全、设备安装和电站运维等的要求较高。以下以浙江省一例渔光互补光伏电站为例进行防雷技术的探讨。

电站系统简介

该渔光互补光伏电站位于浙江省湖州市，项目共计装设303 744块270 Wp多晶硅光伏组件，实

际功率约为82.01 MWp。发电系统采用分块发电、集中并网方案，将系统分成27个约2.5 MWp的光伏并网发电单元。采用24块多晶270 Wp的组件成1组串；每个单元配置1台2 500 kV·A箱式变压器、4台630 kV·A逆变器、32台16汇1的直流汇流箱和480光伏组串；整个光伏厂区分为27个发电单元，合计箱式变压器27台、630 kW逆变器108台、16汇1直流汇流箱864台和303744块组件，总装机容量82 MWp。

本期工程共装82 MWp光伏电池板组件，每个太阳能子系统经汇流后接入逆变器。项目中每4台630 kW逆变器输出的交流电由1台2 500 kV·A就地升压箱式变压器将电压从480 V升至35 kV，再通过4回35 kV光伏集电线路将光伏电能送到升压站升至110 kV，最终通过新建1回110 kV架空线路T接至国家电网110 kV线路。

组件故障分析

该电站于2017年12月并网发电后正常运行，于2018年4月出现133块组件接线盒烧毁，组串无法发电，组件厂家到现场予以更换新组件后发电正常；2018年7月出现多路组串发电电流出现异常减小，经检查发现300多块组件的接线盒发生烧焦或烧毁的故障，导致无法正常发电。

接线盒的一个更重要作用就是保护组件；当阵列中的组件受到乌云、树枝和鸟粪等遮挡物而发生热斑时，旁路在组件中的二极管，利用自身的单向导电性能，将问题电池、电池串旁路掉，保护组件乃至整个阵列，确保能使其保持在必要的工作状态，减少不必要的损失。

如此大数量的组件损坏，对正常运行的光伏电站来说，完全超出了光伏电站组件损耗的范围，属于较严重的生产运维事故。公司派出相关技术人员对故障现场进行了详细的检查，通过监控后台的组串电流数据对电站的异常组串进行逐个梳理，检查出故障分布在多个区域，具体如图1所示。

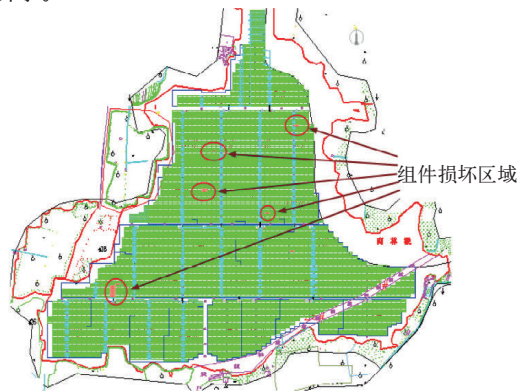
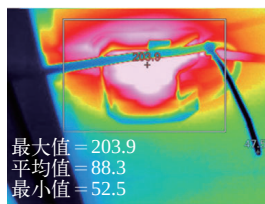


图1 光伏场区平面图

经技术人员对组串进行现场检测，发现组串电流异常的回路中，均有几块组件的接线盒发热严重，用红外温度检测仪进行现场检测，温度均超过150℃，少数接线盒内部的温度已超过200℃，故障接线盒及红外检测图像如图2所示。



名称	最小	最大	发射率	背景
A0	52.5℃	203.9℃	0.95	22.0℃

图2 接线盒测温图

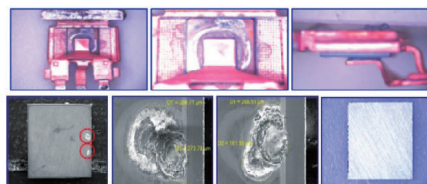
目前要求二极管的结温不能超过200℃，但是不同二极管之间是有差异的，如果二极管的结温过高，不但会导致二极管本身的损坏和使用寿命的降低，而且会给组件带来负面影响，比如EVA脱层、EVA及背板加速老化等不良状况，甚至会引起组件烧毁现象。所以结温测试温度越低越好。

初步判断为组件的质量问题，组件厂家也派人到现场，并对损坏接线盒进行取样，对烧毁的接线盒内的二极管进行送检，委托第三方检测机构对送检样品进行检测分析，共计12个样品，具体分析报告如下。

采用TVR6000D型数显测试仪进行常温电性测试，编号1、13、14材料：引脚从本体根部及本体碳化、开裂，无法测试；编号2~5、8~12材料：正向电压测试无异常，反向电压击穿，反向漏电流达到极大值；编号7材料：正向电压超出规格，反向电压、反向漏电流符合要求；编号6材料：测试符合规格。

根据相关检测结果，分析此次二极管烧毁失效的原因：材料在终端电站使用过程中受到瞬间高电压（如雷击）的冲击，导致内部晶粒烧伤失效，后期长期发热，晶粒受热应力影响硅层脱落破裂，长时间后本体碳化变色，导致永久性损坏。

运维技术人员对组件阵列的接地系统进行全面检查，发现光伏阵列的接地系统存在较多问题，主要体现在：①组串未采用接地措施，只有组件间的接地连接，组串未与支架C型钢进行连接；②组串间接地线连接过短，由于组件被大风吹动，造成接地线铜接头与线缆分离，③部分接地引下线扁钢与组件支架的连接处焊接不牢靠，未进行防腐处理，已严重生锈，导致接触电阻增大。



编号8晶粒正面 晶粒正面局部放大 编号8晶粒背面

图3 二极管内部图

雷电对光伏电站的危害

1) 对太阳能组件的危害。太阳能电池由半导体硅材料制作而成，直击雷主要会对硅材料或体内PN结产生伤害，破坏电池片PN结晶体场，使电池片PN结产生缺陷，引起杂质的迁移，最终会导致半导体寿命下降，影响太阳能电池组件的使用寿命。

2) 对太阳能背板的危害。太阳能背板是一种聚酯薄膜，对电池片起保护和支撑作用。具有水蒸气阻隔性、耐湿热老化性、阻燃性、电气绝缘性及尺寸稳定性。当发生雷击时，雷电在太阳能

电池组件上产生瞬间高压,雷击电流能够使太阳能电池组件背板出现形变、脱层、击穿和烧灼,同时瞬间高温对串并联电池串的焊接点造成脱焊、开焊,甚至造成电池板短路、断路,严重影响电池板的使用。

因为水面光伏系统的光伏组件方阵及逆变升压等设备均安装在水面或附近,由于水面的局地空气湿度较大,大面积的光伏组件方阵较周边物体更易产生雷电梯级因素,导致感应过电压的几率增大,从而受感应雷的侵入机会较频繁。

目前,国内水面光伏电站系统的防雷技术主要还是借鉴地面光伏系统的防雷技术要求。水面阵列区域主要是利用光伏组件的铝合金金属边框及其组成的法拉第笼作为接闪器,利用光伏组件的金属安装支架及接地体作为引下线。光伏组件的所有金属支架都要进行等电位连接,每个光伏组串都要保证至少有两端的接地,接地网经 $50\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ 热镀锌扁钢引入水底淤泥以下至少 1 m ,接地装置的冲击接地电阻值不大于 $4\ \Omega$,做好防腐处理等,设置的引下线的平均间距不大于 20 m ,具体如图4所示。

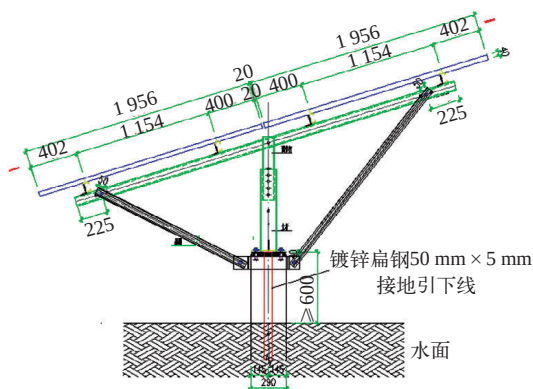


图4 阵列支架的接地图

光伏阵列的防雷措施

1) 等电位连接的方案,光伏组件通过安装支架的金属部分相互连通,形成良好的电气回路,确保边框的等电位连接,可以利用金属支架作为接地的可靠连接点。光伏组串的接地点与接地环网要保证至少两点可靠连接,接地线接头进行镀锡处理,避免因潮湿而氧化后断裂,导致接地失效。

2) 对光伏阵列区域的支架进行接地电阻的测试,检查接地极引下镀锌扁钢焊接点的焊接质量,对焊接点的防腐处理要采取重视的态度,确保接地极的使用年限得到保障,定期检测光伏支

架的接地电阻值应不大于 $4\ \Omega$ 。

3) 近年来关于光伏电站受雷击的报告显示,直击雷直接打到太阳能组件上的概率并不常见,光伏电站中的阵列区域不设防直击雷保护的方案是经济且完全可行的,但针对水上光伏电站,在受到雷击时,让雷电迅速、安全地流入大地才是最安全可靠的方案。所以,采用布置避雷针的方案也非完全不可。首先可以利用“滚球法”计算出所需要保护的半径,并提前在系统中安装带有自动控制系统的移动可升降式避雷针,天气情况良好时,避雷针自动隐藏在组件阵列中,不会对光伏组件产生热斑等影响。遇到雷暴日发生期间,通过相关气象监测预警后,避雷针会自动升到设定高度以达到保护光伏阵列的目的。此类方法目前处于实验阶段,受技术的成熟性和制造成本的制约,还未能达到在水面电站普遍应用的程度,可在经常受雷击的区域进行小规模试验。

4) 光伏电站受感应雷损坏的几率较大,目前采用电涌保护器(SPD)进行保护,电涌保护器是否安装对感应雷过电压的影响很大,对于SPD的防护措施研究得出,在汇流箱或逆变器侧加装一组SPD装置保护时,设备的过电压概率相对较高,而加装两组SPD装置保护时,设备的过电压概率降低很多,有明显的效果;汇流箱或逆变器侧的SPD对限制雷电过电压有着较大的钳制作用。因此,加装SPD保护装置的措施也是防雷保护的重要手段。

结束语

大型渔光互补光伏电站的防雷保护措施目前尚无明确的国家标准,从电站组件及设备遭受雷击损毁并影响电站正常运行的角度出发,针对水上光伏电站的防雷方案设计是十分必要的。防雷设计应综合参考建筑物防雷设计规范等国家行业规定,在保障防雷安全的前提下,明确电站不同建筑、设备的防雷重点,按照最佳性价比确定防雷方案。结合当地地形、天气条件及雷暴等因素,合理选择相应最优的防雷设计方案。随着光伏发电领域的技术发展,应不断采取新技术、新材料以及有效措施来优化、完善电站防雷措施,以取得光伏电站最大的经济效益。EA

(收稿日期:2018.11.09)

(编辑:朱金凤)