



湖北省大型光伏电站灾害风险及防范对策的研究

■ 霍俊¹ 严国刚² 孙霞^{2*} 王晖¹ 陈正洪³ 孟丹³

(1. 湖北安源安全环保科技有限公司; 2. 武汉日新科技股份有限公司; 3. 湖北省气象服务中心)

摘 要: 以湖北省 20 MW 及以上容量的光伏电站为例, 结合湖北省地理、气象条件, 从理论推测及实际受灾案例分析, 筛选出影响湖北省光伏发电工程的致灾因子, 主要有暴雨、洪水、雷电、大风、台风、高温、火灾、低温、冰雪、冰雹、沙尘暴、雾霾、地质灾害、次生灾害等; 并通过分析各致灾因子对光伏电站全寿命周期的影响, 有针对性地提出减灾对策。

关键词: 湖北省; 大型光伏电站; 致灾因子; 灾害风险; 对策

0 引言

随着政策的引导, 我国光伏行业蓬勃发展。据国家能源局 (NEA) 公布的数据显示, 2017 年, 我国光伏新增装机量为 52.83 GW, 光伏累计装机量已达 130 GW, 占全国总发电容量的 7.3%, 新增和累计装机容量均为全球第一。但由于受自然环境等因素的影响, 频发的灾害给光伏电站带来了巨大损失, 光伏电站受灾的报道屡见不鲜。2012 年 6 月, 位于慕尼黑的光伏电站中的太阳能元件遭遇了自燃的问题; 2016 年 7 月, 台北市公馆自来水园区屋顶的光伏组件起火; 2017 年 7 月 1 日, 湖北麻城遭遇特大暴雨袭击, 导致该市多个光伏电站被淹。因此, 科学评估光伏电站各环节的灾害风险, 采取正确的防灾措施, 对减轻灾害, 保障电站、电网安全, 提高太阳能产业经济效益和社会效益具有十分重要的意义。

近年来, 有许多关于灾害对光伏电站的影响

及应对策略方面的研究。在国内, 杨鲲鹏^[1]从规划选址和科学运维两方面分析了光伏电站应如何提高抗灾能力。韦媛^[2]以 2015 年 10 月袭击湛江的台风“彩虹”为例, 探讨了在极限台风影响下光伏电站的状态, 明确了光伏阵列遭遇损失的主要原因, 并给出了一定的防护措施。冯鹤等^[3]分析了光伏发电系统面临的雷电灾害类型及损害概率, 并提出了一套光伏发电系统雷电灾害的风险评估方法, 但并未提出相应的防御对策。张杰等^[4]对大规模光伏电站户外场地的雷击感应电压原理进行了分析, 确定了雷电电波流的数学模型, 计算结果证实, 金属边框和背面铝箔屏蔽等措施能大幅降低光伏组件的感应电压。杨磊等^[5]结合光伏发电系统实例, 计算了雷击引起的损害风险, 得出了感应电压、电流等各个参数之间的关系, 估算了雷电安全距离, 并提出了一套完整可行的雷电防御方案。弋峰^[6]针对海边光伏

收稿日期: 2018-07-09

通信作者: 孙霞 (1987—), 女, 本科, 主要从事光伏电站电气设计方面的研究。425169067@qq.com



电站所遭遇的台风影响问题展开了分析,并进一步论述了元件遭遇的影响及如何避免台风所导致的负面影响,提出光伏组件和逆变器及汇流箱选型、光伏支架及组件连接可抵御 12 级台风的措施。牛海霞等^[7]以新疆某电站为研究对象,通过模拟光伏组件表面不同的积雪厚度,得出了积雪对光伏组件发电量的影响特性。殷代英等^[8]研究了大型光伏电站对共和盆地荒漠区微气候的影响,并得出大型光伏电站使共和盆地荒漠区的湿度增加、风向变得单一、风速减小、土壤温度降低和湿度增加的结论。在国外,Anbu 等^[9]研究了光伏组件故障引起的热斑效应及由其所带来的火灾隐患。

但多数研究仅从单方面对光伏电站的灾害进行了分析和对策研究,并未综合分析灾害对于光伏电站的影响及应对策略。因此,本文以湖北省 20 MW 及以上容量的光伏电站为例,结合湖北省地理、气象条件,从理论推测及实际受灾案例中分析,筛选出影响湖北省光伏电站的致灾因子,并提出有针对性的解决方案或措施,为湖北省光伏电站在前期选址建设和后期运维中的合理避险提供参考。

1 致灾因子分析

从理论及实际受灾案例中分析后发现,影响湖北省光伏电站的致灾因子主要有暴雨、洪水、雷电、大风、台风、高温、火灾、低温、冰雪、冰雹、沙尘暴、雾霾、地质灾害等。

1.1 暴雨、洪水

暴雨是气象灾害中最严重、最常发生的灾害之一。暴雨、洪水对光伏电站产生的影响主要为 3 方面:1) 遭遇水灾后,受损的光伏组件可能会出现绝缘不良等故障;2) 光伏系统桩基不稳,特别是支架与地面接触的部分,在雨水长期浸泡的过程中,桩基会出现松动,从而导致阵列倾斜,甚至倒塌;3) 光伏电站周边排水系统存在欠缺,暴雨天气时,排水系统的不完善会导致积水严重,

可能出现光伏逆变器、箱变等设备长时间浸泡于水中的情况,致使设备内部出现短路,导致光伏电站瘫痪。

1.2 雷电

雷击对光伏电站的损害主要有以下几种形式:1) 直击雷击穿光伏组件旁路二极管和 p-n 结;2) 直击雷对逆变器、箱变、开关站等设备元器件造成损害;3) 直击雷对输电线路造成损害;4) 雷电感应过电压对电力设备造成损害;5) 雷电感应过电压损坏监控、计量设备,造成监控不准或计量有误;6) 杆塔、线路等方面会面临由雷电及电涌等问题构成的负面影响,会造成一定的过电压现象。

1.3 大风、台风

大风、台风对光伏电站的危害主要是其会对支架和光伏组件造成直接损害。光伏场区的实际范围相对偏大,支架及组件的数目相对较多,且造价较高,而其自身又相对薄弱,一旦遭遇超过设计强度的大风,经济损失巨大。

另外,大风天气还可对光伏场区的汇流箱、升压站建(构)筑物等造成危害,特别是光伏组件间的连接线,受大风吹拂摇摆,很可能导致接触不良或断路。

由于台风常伴随强降水,所以,若光伏场区的排水措施设计不当,易造成支架、组件及电力设备长期浸水,进一步造成支架桩基不稳、设备绝缘不良等安全隐患。此种灾害导致的后果,与暴雨有灾害导致的后果有部分重叠。

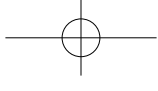
1.4 高温

高温天气对光伏电站主要有以下几种危害:

1) 会造成光伏组件功率损失,从而降低发电量。光伏组件有一项重要参数是峰值功率温度系数,通常情况下,组件的峰值功率温度系数在 $-0.44\%/^{\circ}\text{C} \sim -0.38\%/^{\circ}\text{C}$ 之间,即温度提升的同时,对应的输出功率参数会有所下降。

2) 会影响逆变器关键部件的寿命。

3) 与高湿天气同时存在时,容易产生 PID



效应, 从而造成光伏组件失效, 导致光伏电站的发电量锐减。

1.5 火灾

火灾主要会给光伏电站造成直接经济损失。针对火灾源头及起因进行分类, 可分为光伏电站设备问题、建设施工问题、防护措施问题3个类别。

1.5.1 光伏电站设备问题

由光伏电站设备问题引发的火灾高发事项分别为: 外界野火诱发光伏电站火灾、光伏组件热斑效应、电缆火灾、箱变火灾和其他电力设备问题(主要是接地、绝缘不可靠、雷击、短路等引发火灾)。

1) 在光伏电站运营维护阶段, 因杂草清理不及时、清明节期间祭祖烧纸引发野火, 继而烧毁光伏电站的占比最高。

2) 光伏组件热斑效应是指光伏组件在使用过程中, 有一块电池单独被遮挡, 导致被遮挡部位形成短路状态, 使其升温显著超过未被遮盖区域, 造成了因温度过高而产生的暗斑。热斑效应可能造成组件的损坏, 甚至可能引发光伏电站火灾。

3) 光伏场区及升压站内有较多电缆, 主要采用电缆沟敷设。电缆敷设不合理、电缆沟设计不合理、电缆防火措施不合理、运行维护不当都可能导致电缆火灾问题。而且, 电缆在着火后蔓延迅速, 扑灭的难度相对较高, 还会造成连接的仪表及设备的损毁, 导致显著的火灾问题。

4) 由于箱变质量存在潜在缺陷, 变压器抗短路能力不足, 绕组变形绝缘损毁产生匝间、相间短路会引起变压器火灾事故, 雷击导致的过电压击穿绝缘、内部短路、污闪、过热均会引发变压器火灾事故。

5) 汇流箱、逆变器等电力设备接地、绝缘不可靠、内部短路、故障均会引起火灾事故。

1.5.2 建设施工问题及防护措施问题

建设施工问题及防护措施问题若严格按照相关设计、施工规范实施, 基本可以避免。

1.6 低温、冰雪、冰雹

冰雪对光伏电站最主要的影响是冰雪堆积。光伏组件顶部的积雪未及时清理, 使荷载增大, 可能导致光伏组件、承载支架及建(构)筑物发生坍塌。特别是在低温、暴雪条件下, 光伏组件上覆盖的冰雪被冰冻, 来不及融化或掉落, 导致冰雪一层层累加, 若未及时清扫, 最终会导致光伏电站因冰雪负荷超载而发生垮塌。冰雪天气下, 主变压器等户外电气设备长期覆雪还可能导致设备局部短路; 而电气设备上的积雪清扫不符合规程、规范要求还可能导致触电等安全事故的发生。

低温伴随冰雪不仅会影响支架强度, 光伏组件积雪还会对组件造成遮挡, 影响发电量。

冰雹对光伏电站的主要影响是会造成组件的破损。光伏组件、变压器、配电装置等重要设备和设施的抗冰雹冲击性能若未满足要求或日常设备维护不到位, 在冰雹等恶劣天气条件下, 可能会因冰雹冲击导致设备损坏事故。

1.7 沙尘暴

沙尘暴对光伏电站的主要影响是其会使光伏组件上出现灰尘或污渍, 导致组件接收的太阳辐射强度减弱, 降低组件的发电量。早期建成的一些光伏电站, 由于室外逆变器等设备的安全防护等级不高, 设备内部积灰会对绝缘和爬电距离产生不利影响, 造成安全隐患。光伏组件局部灰尘遮蔽可能会导致热斑效应, 损失发电量的同时会造成火灾等安全隐患。风沙较大时, 砂石易损坏光伏组件。

1.8 雾霾

雾霾对光伏电站的主要影响是其会使光伏组件上出现灰尘或污渍, 从而削减组件接收的太阳辐射强度, 进一步影响组件的发电量; 而且灰尘遮蔽还可能造成热斑问题, 在影响发电量的同时还会构成显著的安全隐患。

雾霾天气的空气质量较差, 升压站等设备绝缘表面上会逐渐沉积一些污秽物质, 从而导致变配电装置污秽程度增加, 若清扫不及时, 可能导



致污闪等事故的发生。

1.9 地质灾害

常见的会对光伏电站造成影响的地质灾害包括：地震、崩塌、滑坡、泥石流、地面塌陷、地面沉降和地裂缝等。地质灾害对光伏电站造成的损失是巨大的，会导致光伏场区的各种设备扭曲变形，基础沉降、埋没，甚至完全损毁。

1.10 由洪水、火灾、地震等引发的次生灾害

洪水、大风、雷电、火灾、地震等灾害发生后，易诱发山体滑坡、泥石流、通信中断、光伏电站停产等次生灾害，造成光伏电站人员、财产的损失。

大型光伏电站可能对当地风向、风速、土壤温度、土壤湿度等微气候有一定影响。在光伏电站建设期和运营维护期，对环境保护工作的疏忽，容易造成站址区域的水土流失。

2 光伏电站灾害风险的防范对策

通过分析光伏电站灾害的成因和对光伏电站造成的影响，针对不同光伏电站致灾因子，可以采取不同的防范措施。

2.1 针对暴雨、洪水多发地区的灾害风险防范对策

对暴雨、洪水多发地区，可采取谨慎选址、考虑适当抬升光伏支架高度、增设排水系统等防护系统、关注短时天气预报等防范对策。

2.1.1 谨慎选址

在暴雨、洪水多发地区建设光伏电站，应综合考虑项目选址地的日照资源等气候、地理和地址情况及水文条件等。在水文条件方面要综合考虑短时最大降水量、积水深度、洪水水位、排水条件等。

2.1.2 适当抬升光伏支架高度

根据积水深度、洪水水位等水文条件，可考虑适当抬升光伏支架高度，以提高组件及其他电气设备的安装高度。

2.1.3 增设排水系统等防护系统

长期浸水会影响光伏支架基础及金属支架的

安全性，因此，需视情况增设排水系统等防护系统。

2.1.4 关注短时天气预报

强降水对光伏电站的影响主要是雨水会浸泡光伏设备，所以，关注短时天气预报，可以提前做好预案，在强降水来临前增设临时排水设施。

2.2 针对雷电多发地区的灾害风险防范对策

针对雷电多发地区，采取的防范对策主要为谨慎选址、做好防雷接地工作。

2.2.1 谨慎选址

在雷电多发地区建设光伏电站，应谨慎选址，尽量避免将电站建设在易受雷击的位置。

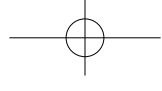
2.2.2 做好防雷接地工作

雷电高危地区，应首先将各元件、构件和地网等方面进行连接处理，进一步形成针对性的接地网；其次，参考光伏发电系统的基础架构及雷电波的具体状态，有针对性地安装对应的浪涌保护器 (SPD)；再利用站内主体建筑——钢混架构的钢筋及金属架构等，与防雷设备有效连接，构成屏蔽体。各个金属外壳有着对应的稳定连接，同时接地组成基本的设备屏蔽，从而令光伏发电系统的线缆及金属管采取对应的敷设处理；同时，还需要在光伏阵列两侧进行接地处理，在防雷区等方面进行电位连接处理等。

2.3 针对大风、台风多发地区的灾害风险防范对策

在大风、台风多发地区建设光伏电站，需结合选址所在地地形和气候条件，并根据当地风荷载数据设计光伏支架，通过合理的结构设计提高光伏阵列抵抗风荷载的变形能力，并增大光伏支架、组件压块等构件强度；采取合理的组件倾角，适当考虑增加挡风板等措施，以确保支架系统的安全和稳定。同时，对光伏支架基础进行分析，必要时需采取增强基础承载力的措施，增设防风拉条，避免光伏支架出现失稳的情况。

光伏组件连接线应配保护套管，光伏支架、



汇流箱、升压站建(构)筑物等应按照当地气象条件考虑抗风能力。

在施工时期,应严格控制安装质量,尤其是组件的连接螺栓、压块,以及光伏支架的连接件等。在运营维护期,应关注短时天气预报,在大风天气来临之前,对螺栓、压块等紧固件进行加固。

2.4 针对高温地区的灾害风险防范对策

高温地区的光伏电站应考虑配置携带高精度热成像红外相机及高清可视相机的智能光伏运维无人机,可实时查看光伏电站的实景全貌,并可及时查看光伏组件是否存在热斑、缺失、隐裂等问题,对光伏电站进行精准排查,以保障电站安全稳定的运营。高温地区还应选用散热良好的逆变器,同时其他设备也应做好通风散热工作。

在高温高湿地区,应做好光伏组件负极接地或配备防PID装置,以抑制PID效应。

2.5 针对火灾多发地区的灾害风险防范对策

在光伏电站建设及运营维护期间,应做好场区内的除草工作,尤其是在清明节祭祖烧纸较为集中的时段,应加强宣传和巡查的力度。

在光伏电站设计、建设及运营维护期间,应严控产品、工程质量关,做好消防措施。应根据电气设备不同的性质采取合适的消防方式,消防电源采用双电源或双回路供电。

2.6 针对低温、冰雪、冰雹多发地区的灾害风险防范对策

在低温、冰雪、冰雹多发地区建设光伏电站,可以考虑采取以下防范对策:

1) 对于屋顶光伏项目,设计时应复核原有建(构)筑物的屋面承载力是否适于承受光伏发电项目的新增荷载。

2) 针对低温、冰冻多发地区,应根据当地气象条件,适当增强光伏支架的设计强度。

3) 多雪地区需考虑适当增加光伏支架、建筑屋顶的倾斜度,以利于积雪掉落;可考虑选用双玻双面组件方案。双玻双面组件方案有较为理想的耐候性和双面发电的基础特征,在大雪期间也

有良好的发电表现;而且其能够依靠背面获取基本的反射光,进而实现良好的加热及融化效果;另外,由于玻璃的光滑特性及合理的电站设计,双玻双面组件更有助于雪的自动滑落,从而可进一步减少积雪对组件的影响。

4) 应注意组件与地面需保持一定的高度,避免积雪滑落时堆积在底部,慢慢地积累覆盖整个光伏组件。

5) 运维部门应在雪中、雪后加强对光伏电站的巡检,及时清理积雪,发现问题及时上报。

6) 冰雹过后,若出现组件发电量下降或有其他异常情况发生,应及时检查光伏系统是否受到损伤。

7) 在冰雪、冰雹多发地区,变压器、配电装置等重要设备应尽量放置于室内,或适当增加保护措施。

2.7 针对沙尘暴、雾霾多发地区的灾害风险防范对策

针对沙尘暴、雾霾多发地区,可以考虑采取的防范对策为:1) 在污染严重的情况下,应根据现场情况,适当增加光伏组件的擦洗清洁频次;2) 电气设备可适当使用硅油、硅脂等涂料,合理调节外绝缘的爬电比距。

2.8 针对地质灾害多发地区的灾害风险防范对策

针对地质灾害多发地区,可以考虑采取的防范对策包括谨慎选址及选择合适的光伏保险。

2.8.1 谨慎选址

在光伏电站建设前的调研活动中,要求针对项目场址具体的土壤、气象、环境及构造等要素开展有效的评估。参考项目地点基本的地质信息及构造,在具体的选址环节中需要规避地震及台风等问题构成的影响。

2.8.2 选择合适的光伏保险

在光伏电站建设期间,必须购买建设安装工程一切险,建议补充购买工程延误保险、间接损失保险、商业综合责任险等。

在电站运营维护期间,必须购买财产一切险,建议补充购买营业中断险、光伏系统保证险等。

对于屋顶分布式光伏电站,还需投保公众责任险。

2.9 针对次生灾害的风险防范对策

针对山体滑坡、泥石流、通信中断、光伏电站停产,以及光伏电站可能影响微气候等次生灾害,可以考虑采取以下防范对策:

1) 谨慎选址。在光伏电站的初期调研活动中,应综合评估站址的地质、气候条件,避开洪水、大风、雷暴等灾害多发区域。

2) 关注短时天气预报。在建设运营期间关注短时天气预报,提前做好抗灾预案。

3) 加强安全工作。重视短时天气预报,在灾前、灾后加强安全工作。

4) 购买合适的光伏保险,以降低光伏电站的财产损失。建设期间,必须购买建设安装工程一切险,建议购买间接损失保险、商业综合责任险等。运营维护期间,必须购买财产一切险,建议购买营业中断险、光伏系统保证险等。

5) 做好环境保护工作。在建设及运营期间,应加强对光伏电站的环境监测,做好水土保持及环境保护工作。

(接第 页) 由于电源回路和负载要求的不同,某些特定场合可能不适合采用 π 型滤波器,但可以选择合适的电阻和电容组成 RC 滤波器电路,如图 8 所示。

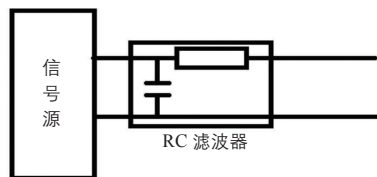


图 8 RC 滤波器电路

图 8 所示的电路可抑制住线路开关、接触器等器件分断时对模拟量信号源造成的电压冲击,还可对 PLC 的输出、输入开关量信号产生的瞬变干扰,起到抑制作用。

3 结论

整体来看,湖北省光伏电站的灾害风险较为多样化,因此,在选址、设计阶段应当综合考虑各灾害风险的影响,从源头上将光伏电站可能遭受灾害的风险降到最低。在后期施工和运营维护的过程中,也要做好风险预估和控制工作,提前做好风险应对预案,以降低灾害给光伏电站造成的损失。

参考文献

- [1] 杨鲲鹏. 光伏电站如何提高抗灾能力 [N]. 中国电力报, 2016-7-16(009).
- [2] 韦媛. “彩虹”台风灾害对太阳能光伏电站损毁性影响原因分析和应对措施 [J]. 通讯世界, 2015, (22): 103 - 105.
- [3] 冯鹤, 谭涌波, 付国振. 并网光伏发电系统雷电灾害风险评估研究 [J]. 科学技术与工程, 2014, 14(33): 313 - 317.
- [4] 张杰, 胡媛媛. 大规模光伏电站的防雷评估及雷击风险管理 [J]. 通信电源技术, 2011, 28(2): 13 - 18.
- [5] 杨磊, 谭涌波, 强玉华, 等. 太阳能光伏发电系统雷电灾害及防御分析 [J]. 高压电器, 2015, 51(6): 0062 - 0067.
- [6] 弋峰. 光伏电站抗台风专题研究 [J]. 山西科技, 2016, 31(6): 66 - 70.
- [7] 牛海霞, 李晓琴, 董正茂. 光伏组件表面积雪及阴天对其发电量预测实验研究 [J]. 包头职业技术学院学报, 2017, 18(2): 8 - 10.
- [8] 殷代英, 马鹿, 屈建军, 等. 大型光伏电站对共和盆地荒漠区微气候的影响 [J]. 水土保持通报, 2017, 37(3): 15 - 21.
- [9] Anbu Pa, Kamal B, Thiruvadigal D J, et al. Fire hazards and overheating caused by shading faults on photo-voltaic solar panel [J]. Fire Technology, 2016, 52(2): 349 - 364. 太阳能

3 结语

本文针对单晶炉设备产线在实际运行中出现的谐波干扰和触点分断干扰这两类电气干扰现象,分析了干扰产生的原因并做了定性判断;在抗干扰措施方面,给出了电气布局与回路保护设计、电气系统内部设计两种方案,都可起到抑制谐波和抑制阶跃性干扰的作用。

随着单晶硅厂的不断扩容及设备自动化程度的提高,电气系统的稳定性与可靠性将面临越来越多的挑战。因此,在电气设计初期,必须以电气特性、电磁兼容性结合使用环境,综合考虑系统的抗干扰能力。太阳能