

[故障处理]

光伏发电系统电气设备故障的常见现象与故障处理

文/贾祥林
河南理工大学

在光伏发电系统运行中，电气设备故障会直接影响光伏发电系统的稳定性。因此对光伏发电系统电气设备故障的常见现象，以及光伏发电系统电气设备故障的处理技术展开研究，以明确光伏电站故障解决方法，保障光伏发电系统运行安全。

光伏发电系统建设环境特殊，大风、降雨等天气会使光伏发电设备处于长期损耗状态，面临污染、损伤风险，影响光伏发电系统的电能转换效率，导致电力资源输出不稳定。因此，需掌握光伏发电系统电气设备故障的具体表现，及时处理设备故障问题，加强光伏发电系统运行中的故障监测与控制力度，确保系统运行可靠性。

光伏发电系统电气设备的常见故障

1. 逆变器故障

光伏逆变器故障产生后，逆变器会自动进入自我保护状态，且停止运行，故障排除后自动恢复。

1) 直流电压过高。故障原因是逆变器组件串联数量较多，导致逆变器电压值大于逆变器直流电压上限。

2) 过温降载。逆变器安装区域通风效果不佳，热量无法及时散出，或因长期暴晒导致设备温度过高。热量过高会使逆变器出于自我保护目的而降载。

3) LED显示电压超范围。如并网电压上限出厂设置为“AC195~253 V”，实际电压超出逆变器并网运行的正常电压范围。根据CQC标准，逆变器应符合国家并网标准，见表1。超出标准电压范围

时，逆变器LED将显示电压超范围。

表1 国家并网标准中逆变器输出电压范围

电网电压（电网接口处） U	最大脱网时间 T/s
$20\%U_N \leq U \leq 50\%U_N$	0.1
$50\%U_N \leq U \leq 85\%U_N$	2.0
$85\%U_N \leq U \leq 110\%U_N$	继续运行
$110\%U_N \leq U \leq 135\%U_N$	2.0
$135\%U_N \leq U$	0.05

4) 辅助电源故障/交直流电输入故障。故障现象为逆变器屏幕无显示，故障原因较多，如直流开关未合上、PV输入端子正负两级串接不对应以及组件开路电压值较小等^[1]。

5) 逆变器PDP保护故障。该故障表现为逆变器停止运行、三相电流不平衡等，故障原因是天气、设备老化后导致驱动板、电源板（PD板）损坏，引起逆变器停机。

2. 光伏组件故障

（1）老化故障

在温度、湿度和光照等因素影响下，光伏组件会出现老化故障。故障表现为接线盒故障、光伏电池寿命变短、EVA胶透光率变弱及旁路二极管老化等。光伏组件老化会导致光伏发电系统运行中组件可吸收的辐照量变少，线路串联阻力变大，输出功率变低，使得光伏发电系统性能弱化。

(2) 隐裂故障

光伏组件隐裂故障的主要原因是机械外力、热应力。光伏发电系统中的电池组件会因所承受的热应力、机械外力过大而产生“裂纹”，使太阳能电池“断片或断栅”，影响电池功效，使其短路，或无法输出较大电流，严重时使得光伏组件烧毁，电能输出功率变低^[2]。

(3) 损毁故障

光伏组件损毁故障是指光伏组件局部发热后出现的组件被烧毁现象。光伏电池焊带接触面积小，焊接区域和插接头安装不紧密，汇流条、主线路焊接不到位是引起光伏组件损毁的主要原因。接头线虚接、接线盒短路或断路同样会导致光伏组件局部持续发热，最终烧毁组件，或在电池表面形成热斑，加快组件老化、损毁速度快。

2. 汇流箱故障

(1) 通信故障

光伏发电系统汇流箱的通信模块是应用“RS 485”通信线将汇流箱串接到系统通信管理机内，满足系统输配电时的通信需求。汇流箱通信故障主要表现为通信时断路、通信时有干扰、通信时线路短路等^[3]。造成光伏汇流箱通信故障的原因较多。

1) 通信参数设置不合理，如站址、站波特率等参数。

2) 通信线路接线错误，如线缆虚接、通信屏蔽层线接反等。

3) 接地方式不合理，如采用单点接地方式，通信过程中屏蔽层抗干扰能力较弱。

4) 电缆敷设方法有误。如敷设汇流箱电缆时，未设置RS 485通信电缆的专用通道，直接成束并入逆变器电缆内。

(2) 采样故障

光伏汇流箱采样故障的常见现象为：支路电流、电压过低，部分支路电压为零或所有支路电压为零。现阶段，我国光伏发电系统中的汇流箱为智能汇流箱，采用故障后系统会直接提示、告警，告警逻辑如图1所示。

采样故障产生后，系统自动读取Flash错误值，判定采样芯片故障。确认采样延时时长 T_z 后利用存储远传运行灯、故障信号提示。故障诊断依据是对比实际采样值、标准预设值，二者一致表示无故障，数据不符表示采用故障。

障，数据不符表示采用故障。

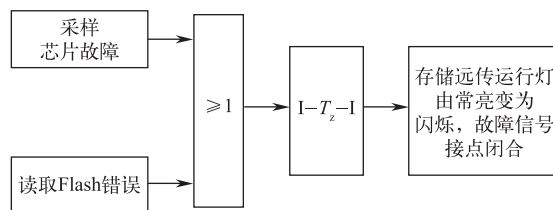


图1 光伏发电系统采样故障告警逻辑图

光伏发电系统电气设备故障的处理技术

1. 逆变器故障处理

(1) 故障处理技术

逆变器故障处理是在识别、诊断故障的基础上，结合具体的故障类型和故障原因，针对性地处理不同的逆变器故障，以逆变器并网、过电压故障为例。

1) 对于直流侧过电压故障。故障原因是光伏组件串联过多、太阳辐射量过高等，故障处理时应优化光伏组件串联设计，定期监测气象数据，规范安装电容、电抗等元器件，及时更换受损器件等^[4]。

2) 对于交流侧过电压故障。故障原因是电网电压波动大、设备受雷击或接地不良等。故障处理要点是修复接地，检查防雷装置，分析过电压原因等。

3) 逆变器电网、并网点连接的线缆规格、材质不合理时，逆变器AC端子测的电压值增大，超出并网电压标准范围后会产生过电压故障。针对该故障，应在逆变器并网时筛选最佳并网点，控制并网距离，预防线损，同时选择线径合适的交流电缆并网。

4) 多台单相逆变器对接相同并网点时，光伏电站电压值波动风险大，应采取“多点并网”方式，将多台单相逆变器分别与电网三相对接。

5) 同一区域光伏发电系统装机容量较大，并网电站数量多时，并网后的电网负载能力减弱，电压抬升，产生并网过电压故障。故障处理时应对应逆变器进行“过电压降载”，避免逆变器脱网。选用逆变器交流线时，其线型应符合单相逆变器线缆敷设要求，且逆变器和并网点之间的交流线损应小于逆变器输出电压2%，见表2。

表2 光伏发电单相逆变器线缆选型参考数据

线型线长/m	20	20~30	30~50	>50
GW1000-NS	2.5	2.5	2.5	6（线缆长度不宜设置过长，以免增加并网时电阻值导致逆变器报错）
GW1500-NS	2.5	2.5	4	
GW2000-NS	2.5	2.5	4	
GW2500-NS	2.5	2.5	6（端子压应减除部分铜丝）	
GW3000-NS	2.5	4		
GW3600-NS	4	6（端子压应减除部分铜丝）		
GW4200-NS	4			
GW5000-NS	4			

(2) 故障处理案例分析

某光伏电站运行期间存在2台逆变器在阴雨天气无法正常并网的情况，经现场排查后提示“PDP故障”，故障统计数据见表3。

表3 某光伏电站逆变器PDP故障统计数据

故障日期	天气背景	故障设备	故障处理方法
X月X日	小雨~大到暴雨	9-B	更换驱动板后恢复运行
X月X日	小雨~中到大雨	26-A	重启后恢复运行
X月X日	小雨~大到暴雨	10-A	重启后恢复运行
X月X日	小雨~多云	2-A	重启后恢复运行

故障产生后，逆变器表现为“故障停机”，提示“PDP故障”。经检测，故障原理是DSP检测到故障模块后自动发出“PDP保护信号”，驱动逆变器停止发波、停止运行。逆变器重启后可自动恢复，但故障次数>5次后，逆变器无法自动恢复。

经现场检查，故障逆变器光纤插接牢固，电源正常，外观无破损，且故障前无过流现象。结合连续阴雨天气出现故障的基本规律，判断故障原因和逆变器机箱防水能力有关，需检查其密封性。故障排查中发现降雨导致逆变器电源板、驱动板遇水后受损。针对该故障，维修人员应检查逆变器机箱打胶、防雨装置的安装情况，密封处理逆变器机箱，同时更换、修理逆变器电源板和驱动板。

光伏组件故障处理

1. 故障处理技术

针对光伏组件老化、损毁和隐裂等故障，应加强光伏组件运行维护，结合光伏组件具体的故障问题采取处理措施。

1) 定期清理光伏组件表面灰尘、污垢和杂物，包括背面树枝、杂草。清洁中不得使用腐蚀性清洁剂，不得刮伤、压损光伏组件^[5]。

2) 定期检查光伏组件，发现接线盒烧毁、表面变形和背板变色等情况时立即更换处理。

3) 定期检查光伏组件接地情况，排查接地异常造成的局部发热、电流值异常问题，及时更换光伏组件。

例如，光伏组件支路电流值过低时，应检查组件表面有无遮挡物，无遮挡物时，应通过输出功率、电压检测，分析电流偏低原因。①排查有无二极管损坏、个别组件接线盒损毁、电池片隐裂、汇流条短路等情况。单个组件电压过低会导致光伏组件整体支路电流值变低，确认故障点后更换、检修故障组件。②检查组件串联数量。一般情况下，22块组件可串联为1串，组件安装中串联数量不合理时电压、电流值会出现异常，需调整组件接线，平均串联组件数量。

2. 故障处理案例分析

某光伏组件存在输出电压过低问题，电压过低会导致系统输出功率变低，而光伏发电系统输出功率长期处于过低状态时，光伏组件会面临被击穿的风险。

表4 某光伏组件中汇流箱开路电压值

光伏汇流箱编号	1	2	3	4	5
组串1开压/V	435	475	483	488	280
组串2开压/V	489	480	470	492	305
组串3开压/V	469	367	395	465	311

如表4所示，该光伏组件共有5个汇流箱，汇流箱包含3个组串，组串开路电压值差异明显，部分组串电压值较低。造成该问题的原因包括：①检测时太阳辐射程度不足，导致开路电压较小；②某光伏组件旁路上的二极管、其他组件损坏。故障处理时，应检查各个光伏组件汇流箱组串的开路电压，排查电压值过低的组件。故障定位后检查旁路二极管，更换、维修二极管。

3. 汇流箱故障处理

(1) 通信故障

针对光伏发电系统汇流箱通信故障，应结合故障原因，针对处理通信故障。

1) 基于Modbus通信协议，合理设计站址、波特率。站址应符合上位机的实际情况，波特率可按照汇流箱设置，一般为9 600，汇流箱需逐一编号，如01、02，以此类推。

2) 检查通信线缆接线。汇流箱组网连接时,应确保屏蔽层、A、B层准确与对应端子连接,且符合电缆敷设要求。如使用双绞屏蔽电缆组网时,应将端子屏蔽层剥离干净。通信电缆采用“菊花链”模式连接时,应连续设置屏蔽层,A、B接线正负极相互对应。

3) 优化屏蔽线接地方法。为提升汇流箱通信时的抗干扰能力,屏蔽双绞线有效接地。强电场区域可使用“镀锌管”屏蔽,敷设通信线缆时,控制好信号线、高压线的间距。通信柜内的首个汇流箱内可增加接地线1组,且采用两点接地模式。

(2) 采样故障

采样故障产生后,应逐一检查会造成电压波动的汇流箱组件,如滤波电路、电源模块、浪涌保护器、通信接口和采样板等,排查有无异常。各区域故障排查侧重点不同,浪涌保护器重点检查其接地情况,故障处理时需重新辐射接地线或更换、检修浪涌保护器。通信接口排查内容包括供电电压值的稳定性、波特率的合理性。

4. 设备故障的预防思路

为预防光伏发电系统电气设备故障,定期维护保养电气设备,改善设备运行条件,使其处于安全、良好的运行或备用状态,减少环境因素对设备安全造成的影响,使光伏发电系统运行中的“被动消缺”转换为主动维护,降低光伏电气设备故障率。如针对逆变器异常升温造成的故障问题,通过设备日常维护与管理,使逆变器风道保持通畅,散热风扇接线良好,稳定性运行,保证逆变器散热效

果,预防逆变器升温造成的故障问题。

结束语

综上所述,光伏发电系统是高效应用可再生能源的重要载体,在电力行业有着广阔的发展前景。深入分析光伏发电系统电气设备故障及其处理技术,对完善光伏发电系统安全性能,提升电力生产效率意义重大。因此,本文结合光伏发电系统的常见故障,对其故障处理技术展开分析,希望为我国光伏发电系统运行维护提供参考。EA

(收稿日期:2024-08-25)

参考文献

- [1] 陈晨. 基于机器学习算法的电气设备故障预测与诊断[J]. 中国新技术新产品, 2024(2): 39-41.
- [2] 蔡斯源. 分布式光伏发电系统的状态监测及故障诊断分析[J]. 集成电路应用, 2024, 41(1): 126-127.
- [3] 王凯, 孙义杰. 电力系统电气设备故障自动化智能监测技术[J]. 现代计算机, 2023, 29(22): 35-37+82.
- [4] 徐智华. 正常与故障工况下光伏并网发电系统运行控制技术[J]. 科学技术创新, 2023(26): 56-59.
- [5] 尹治邦. 人工智能在电气设备故障诊断中的应用[J]. 现代制造技术与装备, 2021, 57(2): 185-186.

