

光伏电站运行中接地故障报警现象研究

喻 平

中国水利水电第十一工程局有限公司 河南郑州 450001

摘要: 在光伏电站运行过程中，箱逆变一体机是主要设备之一，尤其是箱逆变一体机中的逆变器。光伏电站运行过程中接地故障报警是光伏电站运行维护过程中的常见故障之一。通过对一起光伏组串逆变器报警现象分析研究处理，总结出快速查找光伏电站接地故障的方法，便于电站运行维护人员处理类似故障时借鉴参考，以提升检修效率和设备运行维护管理水平。某光伏电站运行过程中出现接地故障报警，本文通过对逆变器故障因素；光伏支架结构故障因素；电缆故障因素；光伏组件、汇流箱故障因素；防雷接地系统故障因素的分析。从而概括光伏发电过程中接地故障报警的原因及解决方案。

关键词: 箱逆变设备；逆变器；支架；电缆；光伏组件；汇流箱；防雷接地；故障报警

1 引言

某光伏电站总装机容量 50MW，共计 16 个阵区，采用 545W_p 单晶硅组件 + 固定式支架 + 3125kW 箱逆变一体机。每 26 块组件串联为 1 个光伏组串，每 16 路（或 14 路）组串接入 1 台直流汇流箱，每 19 台汇流箱接入 1 台 3125kW 箱逆变一体机设备，将逆变器输出的低压交流电压升至 35kV。以 2 回 35kV 集电线路接至 35kV 开关站的 35kV 侧母线。某日凌晨 4 时 13 分 7# 方阵逆变器发生接地报警现象，共计 6 条。在光伏发电系统中，一旦光伏组件发生接地故障报警，不仅会导致光伏电站无法并网影响发电量，严重的话还会导致整个发电系统的设备故障或人员伤亡。现具体阐述光伏电站发电过程中接地报警的原因及解决方案。

2 光伏电站运行过程中逆变器工作原理

在光伏电站运行中，箱逆变一体机中的逆变器具备接地故障检测功能，在出现接地故障时及时进行报警。^[1] 逆变器绝缘检测功能的基本原理为欧姆定律，即：通过电压激励被测装置，然后测量激励所产生的电流，利用欧姆定律计算出电阻，再通过与标准值进行对比，从而确定绝缘电阻是否正常。如图 1：接地故障检测电路原理图所示：

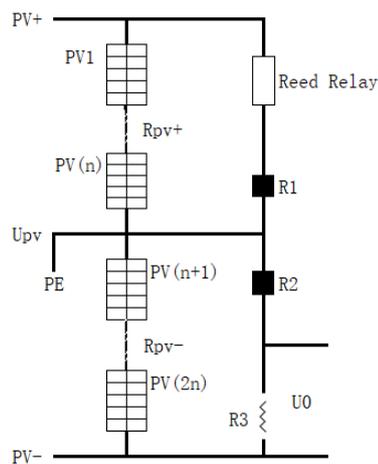


图 1：接地故障检测电路原理图

PV1~PV(2n) 代表的是光伏串； U_{pv} 代表光伏串直流电压； R_{pv+} 代表 PV+ 对地阻抗； R_{pv-} 代表 PV- 对地阻抗；Reed Relay 为继电器；R1、R2、R3 为检测电阻； U_0 代表检测电压。

正常情况下，PV+ 和 PV- 的中心点为 PE，将检测电阻 R1、R2 连接到 PE 上，通过控制继电器 Reed Relay 的通断，得到公式 1：继电器断开；公式 2：继电器闭合

$$\frac{U_{o1}}{R_3} (R_2 + R_3) + \frac{U_{o1}}{R_3} * R_{PV+} + \frac{U_{o1}}{R_3} (R_2 + R_3) = U_{PV1}$$

公式 1：继电器断开

$$\left(\frac{U_{o2}}{R_3} (R_2 + R_3)\right) + \frac{U_{o2}}{R_3} * \frac{R_{PV+} * R_1}{R_{PV+} + R_1} + \frac{U_{o2}}{R_3} (R_2 + R_3) = U_{PV2}$$

公式 2: 继电器闭合

Uo1 和 Uo2 分别代表继电器断开或闭合的检测电压, Upv1 和 Upv2 分别代表继电器断开和闭合时的光伏组串电压。根据以上计算, 可以得出 Rpv+ 和 Rpv- 的值, 然后与标准值进行比较, 即可判断光伏组串绝缘阻抗是否正常, 然后与现场报警现象进行对比, 分析报警原因。

3 原因分析及检查判断

3.1 分析阶段

3.1.1 逆变器故障因素

查看逆变器显示屏或监控系统, 获取逆变器状态、报警信息及故障代码, 初步判断问题所在。检查输入电压和电流, 使用万用表测量逆变器直流侧输入电压和电流, 确认是否在正常范围内。检查交流输出, 测量交流侧电压、频率和电流, 验证逆变器转换功能是否正常。检查散热系统, 观察风扇运行情况和逆变器外壳温度, 确保散热良好。检查内部设置和通信, 确认逆变器配置参数正确, 与监控系统通信正常。

3.1.2 光伏支架结构故障因素

光伏支架出现变形、锈蚀、连接松动等问题, 影响组件安装稳定性和发电效率。对光伏支架进行全面的外观检查, 留意是否有明显的变形、裂缝、锈蚀、油漆脱落等现象。对关键部位立柱、横梁、连接件等进行无损检测, 如超声波、磁粉探伤等, 评估其实际承载能力, 结构强度。使用扭矩扳手检查螺栓、螺母等连接件的紧固程度, 确保达到设计要求。光伏组串中某块组件的连接线与支架是否连通; 光伏组串中某块组件的连接专用插头 (MC4) 是否脱落, 进雨水后与支架连通。

3.1.3 电缆故障因素

光伏电缆、直流电缆、动力电缆绝缘电阻下降、局部放电、电缆接头温度异常等, 可能导致电缆短路、接地故障、火灾等严重后果。^[2] 针对三种现象利用仪器仪表进行检查: ①绝缘电阻测量: 使用绝缘电阻测试仪对电缆进行绝缘电阻测量, 判断其绝缘性能是否符合标准要求。②局部放电检测: 对怀疑存在局部放电的电缆, 采用脉冲电流法、超声波法、高频电流法等进行检测, 定位放电位置。③接头温度监测: 使用红外热像仪定期监测电缆接头的温度, 及

时发现过热现象。

3.1.4 光伏组件、汇流箱故障因素

光伏组件、汇流箱等设备内部积尘严重、进水, 都会造成故障报警, 影响设备性能和寿命。由于组件、汇流箱安装在空旷的野外环境, 极易受雷击而使系统产生极端的电涌电压, 设计有防雷器等器件但也不能完全避免高压的产生, 瞬间的高电压将会严重影响直流系统的绝缘性能, 造成正极或负极侧的系统接地, 从而引发逆变器的接地故障报警。除了上述情况外, 绝缘材料不合格, 小动物啃咬导致线缆绝缘损坏, 线缆受尘土潮气腐蚀导致绝缘性能降低, 金属物掉落到元器件上、接线端子松动等均会造成直流侧接地引起逆变器接地报警。

3.1.5 防雷接地系统故障因素的分析

光伏电站防雷接地系统出现接地电阻过高、接地线断裂、接地体腐蚀等问题, 影响电站的防雷、防静电、电气安全性能^[3]。通常有三种检测方式: ①接地电阻测量: 使用接地电阻测试仪对光伏电站的接地系统进行接地电阻测量, 判断其是否符合标准要求。②接地线检查: 检查接地线的连接、敷设、保护等是否符合规范要求, 是否存在断裂、腐蚀、绝缘破损等现象。③接地体检查: 检查接地体的埋设深度、数量、材质、连接等是否符合规范要求, 是否存在腐蚀、松动、接触不良等现象。

3.2 检查判断阶段

3.2.1 检查逆变器

检查逆变器, 可根据故障代码手册进行针对性维修或软件复位。清理逆变器内部灰尘, 改善散热条件。经过测量输入电压和电流在正常范围内。测量交流侧电压、频率和电流, 逆变器转换功能正常。查看逆变器绝缘阻抗值, 该光伏电站箱逆变一体机设备中逆变器绝缘阻抗值出厂时已设置为 0.5MΩ。判断依据如表一:

序号	绝缘阻抗值 R 出厂	检查时绝缘阻抗值 R 检查	检查结果	结论
1	0.5MΩ	> 0.5MΩ	R 检查 > R 出厂	异常
2	0.5MΩ	< 0.5MΩ	R 检查 < R 出厂	异常
3	0.5MΩ	=0.5MΩ	R 检查 = R 出厂	正常

此光伏电站发生接地报警时, 输入密码查看逆变器绝缘阻抗值是 0.5MΩ, 绝缘阻抗值正常。结论箱逆变一体机逆变器绝缘阻抗值正常, 继续检查其他设备、部件、系统。

3.2.2 检查光伏支架

对光伏支架进行全面的外观检查,无明显的变形、裂缝、锈蚀、油漆脱落等现象。对关键部位立柱、横梁、连接件等出厂前已进行无损检测,如超声波、磁粉探伤等。使用扭矩扳手检查螺栓、螺母等连接件的紧固程度,评估其实际承载能力,结构强度符合设计要求。检查光伏之间时发现光伏组串中某块组件的连接线因绝缘层损坏而与支架连通,该部位测量接地电阻为 $18\text{M}\Omega$ 。另光伏组串中某块组件的连接专用 MC4 插头密封差,进雨水后与支架连通,该部位测量接地电阻为 $12\text{M}\Omega$ 。判断依据如表二:

序号	检查部位	绝缘阻抗值 R	检查结果 R 检查	判断依据	结论
1	组串连接线	$0.5\text{M}\Omega$	$18\text{M}\Omega$	R 检查 > R	异常
2	连接专用 MC4 插头	$0.5\text{M}\Omega$	$12\text{M}\Omega$	R 检查 > R	异常

光伏组件的连接线因绝缘层损坏而与支架连通,组件的连接专用 MC4 插头密封性差,内部进雨水后与支架连通,现场两个部位测量电阻值均大于逆变器绝缘阻抗值,初步判断是引起逆变器接地报警原因之一。

3.2.3 检查光伏电缆

采用绝缘电阻测试仪对光伏专用电缆、直流电缆、动力电缆等进行绝缘电阻测量。其中直流电缆、动力电缆绝缘电阻值均为 $0.1\text{M}\Omega$ 。光伏专用电缆共有四根绝缘电阻值均大于逆变器绝缘阻抗值。测量数据如表三:

序号	检查部位	绝缘阻抗值 R	检查结果 R 检查	判断依据	结论
1	光伏电缆①	$0.5\text{M}\Omega$	$9\text{M}\Omega$	R 检查 > R	异常
2	光伏电缆②	$0.5\text{M}\Omega$	$18\text{M}\Omega$	R 检查 > R	异常
3	光伏电缆③	$0.5\text{M}\Omega$	$11\text{M}\Omega$	R 检查 > R	异常
4	光伏电缆④	$0.5\text{M}\Omega$	$5\text{M}\Omega$	R 检查 > R	异常

现场四条光伏专用电缆测量电阻值均大于绝缘阻抗值,通过对近期连续下雨,导致地下湿度增大,初步判断:一是光伏电缆受潮引起逆变器接地报警,二是光伏电缆破损、老化等原因引起逆变器接地报警。需将四条光伏专用电缆晾晒、外观检查,判断报警原因。

3.2.4 检查光伏组件、汇流箱

通过对光伏组件、汇流箱等设备外观检查及测量。已进行内部清洁,保持设备内部干燥,无水雾、结露等现象。已落实无不合格绝缘材料,箱内线缆绝缘完好,线缆未受尘土潮气腐蚀,无金属物掉落到元器件上、接线端子无松动,接线口、通风口、盖板缝隙等进行气密性或水密性测试,确

认其密封性能良好。初步判断该方阵光伏组件、汇流箱等设备运行正常,未产生报警现象。

3.2.5 检查防雷接地系统

通过外观检查光伏组件、支架、逆变器、汇流箱等设备通没有雷击痕迹,如熔断、烧蚀等。检查浪涌保护器、避雷针、接地扁钢等防雷器件的状态和工作性能正常^[4]。使用接地电阻测试仪对光伏电站防雷接地系统绝缘电阻值测量,绝缘电阻值 R 检查 = $0.3\text{M}\Omega$,该绝缘电阻值小于绝缘阻抗值,初步判断防雷接地系统正常。

综合以上情况分析,该光伏电站运行过程中 7# 方阵逆变器发生接地报警现象,共计六条,分别是:①光伏组串中某块组件的连接线因绝缘层损坏而与支架连通;②光伏组串中某块组件的连接专用 MC4 插头密封差,进雨水后与支架连通;③四条光伏专用电缆受气候影响致使电缆受潮或是电缆破损、老化等原因。

4 改进方案及处理结果

经过分析和初步判断,处理方案:将光伏组串中某块组件的连接线因绝缘层损坏而与支架连通,该连接线已更换。光伏组串中某块组件的连接专用 MC4 插头密封差,进雨水后与支架连通,该连接专用 MC4 插头已更换。四条光伏专用电缆经过晾晒后,三条光伏电缆绝缘电阻值已正常,可直接恢复使用;另一条光伏电缆绝缘电阻值仍不符合要求,已更换新光伏电缆。该光伏电站运行过程中 7# 方阵逆变器发生接地报警现象共计六条已全部消除,光伏电站运行正常。

参考文献:

- [1] 王长贵,崔容强,周篁. 新能源发电技术 [M]. 中国电力出版社,2003.
- [2] 邢运民,陶永红. 现代能源与发电技术 [M]. 西安电子科技大学出版社,2007
- [3] 董宏,张飘. 通信用光伏与风力发电系统 [M]. 人民邮电出版社,2008.
- [4] 谢军. 太阳能光伏发电技术 [M]. 机械工业出版社,2021. 光伏与风力发电系统大数据技术应用 [M]. 国网宁夏电力有限公司电力科学研究院. 中国电力出版社,2021.

作者简介:喻平(1985年5月-),性别:女,民族:汉,籍贯:贵州省六枝特区,学历:本科,职称:工程师,研究方向:光伏发电新能源