

集中式光伏电站 110kV 送出线路跳闸处理分析

牛林杰

(新华发电定边新能源开发有限公司 陕西榆林 719000)

摘要: 集中式光伏电站大多建设在太阳能资源丰富的沙漠、戈壁、荒漠和偏远山区, 或与农业、牧业、渔业等产业相结合形成农光、牧光、渔光等互补项目。在政策的持续发力和技术的飞速进步下, 对优化我国能源结构, 带动产业发展, 促进经济发展等方面具有强大的推动力作用。集中式光伏电站普遍采用集中监控, 区域检修, 无人值守或少人值守的运维模式。电站大多地理位置偏僻, 交通不便, 地形多样复杂, 运维人员配置较少, 专业技术力量不足, 当电站发生设备跳闸故障后, 如不能及时对设备故障分析处理, 会造成较大的发电量损失和调度机构非计划停运考核。文章以集中式光伏电站的一次故障跳闸实例, 通过分析继电保护装置的动作记录报文和故障录波波形信息, 指导集中式光伏电站运维人员快速排查处理故障, 恢复电站并网运行。

关键词: 集中式光伏电站; 线路跳闸; 继电保护; 故障处理

中图分类号: F42

中宁县 100MW_p 光伏发电项目简称中宁光伏电站，位于宁夏中卫市中宁县工业园光伏园区，装机容量 100MW_p，项目配套建设一座 110kV 升压变电站，升压变电站 110kV 侧采用线变组接线方式，配置一台 100MVA 主变、一回 110kV 送出线路。35kV 侧接线采用单母线接线方式，35kV 集电线路以电缆为主，共计 8 回集电线路接入 110kV 升压变电站 35kV 侧。110kV 出线Ⅱ接至光伏园区东侧美橙光伏电站 110kV 母线，最后送至光伏园区西南侧国网枣园 330kV 变电站。

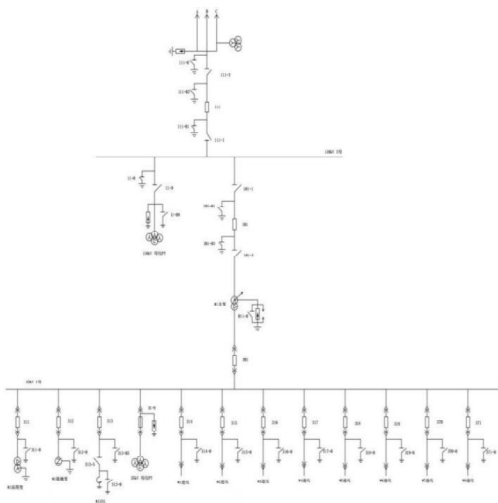


图 1 中宁光伏电站一次系统

1 中宁光伏电站继电保护和安全自动装置配置简介

中宁光伏电站所有继电保护装置均选用微机型保护装置,继电保护和安全自动装置满足可靠性、选择性、灵敏性和速动性的要求。

1.1 110kV 线路保护

配置一套国电南自 PSL-621UD 保护装置,主保护光纤差动保护,三段式相间距离、三段式接地距离及四段式零序方向电流为后备保护,保护装置单独占用光纤纤芯。

1.2 110kV 母线保护

110kV 为线变组接线，不需配置母线差动保护。

1.3 110kV 主变压器保护

配置 1 套主、后备保护各自独立的电气量保护和 1 套非电气量保护，保护配置包括：

主保护：配置一套南瑞继保 PCS-9671D 保护装置，纵差保护。

高压侧后备保护：配置一套南瑞继保 PCS-9681D 保护装置,保护配置复合电压启动的过流保护、间隙零序电流和零序电压保护、零序过流保护、过负荷保护。

低压侧后备保护：配置一套南瑞继保 PCS-9671D 保护装置，保护配置复合电压启动的过流保护、过负荷保护、零序过流保护、零序电压监视。

非电量保护：保护配置主变重瓦斯保护；主变轻瓦斯保护；主变油位异常保护；主变压力释放保护；主变绕组温度高保护；主变油面温度高保护；主变有载调压开关重瓦斯保护；主变有载调压开关压力释放；主变有载调压开关油面温度高保护。

1.4 35kV 母线保护

35kV 母线为单母线接线，配置一套南瑞继保 PCS-915AL-G 保护装置。差动保护。

1.5 35kV 集电线保护

35kV 8 条集电线各采用一套南瑞继保 PCS-9611D 保护与测控一体化装置, 具体保护配置: 低电压闭锁的三段式电流保护; 过负荷保护; 零序保护。

1.6 35kV 无功补偿装置本体保护测控装置

35kV 无功补偿装置本体保护由无功补偿装置成套提供，根据无功补偿装置型式配置相应保护。

1.7 接地变压器保护 站用变保护及接地电阻保护

接地变采用一套南瑞继保 PCS-9621D 保护测控一体化装置, 接地变配置三段式相间电流保护、零序电流保护及本体保护。零序电流保护接于接地变压器中性点回路中的零序电流互感器。接地变保护动作于本段母线所

有连接断路器跳闸。接地电阻配置零序电流保护。站用变采用一套南瑞继保 PCS-9621D 保护测控一体化装置,站用变保护配置三段式相间电流保护、零序电流保护、本体保护及过负荷报警。

1.8 防孤岛保护

配置 1 套南瑞继保 PCS-9617 防孤岛保护装置,保护配置低电压保护,过电压保护,低频保护,过频保护,主动式防孤岛联跳保护。为避免非计划停电时,站用电与光伏发电单元形成孤岛运行,由主变低压侧断路器及 110kV 线路断路器联动跳开 35kV 站用电馈线断路器。

1.9 故障录波

配置 1 套南瑞继保 PCS-996R 故障录波装置,完成线路、主变压器各侧及 35kV 系统断路器、隔离开关及继电保护的开关量和模拟量的采集和记录、故障启动判别、信号转换等功能,并能显示、打印及存储以上故障信息,为系统进行详细的故障分析提供可靠的依据。

1.10 安全稳定装置

配置 1 套南瑞继保 RCS-990A 型安全稳定自动装置,实现模拟量、开关量采样;检测接入装置的出线、主变、母线的运行状态和故障类型;与主机通信,上送本站状态量;接受主机命令输出跳闸。

1.11 相量测量装置(PMU)

配置 1 套南瑞继保 PCS-9882 型嵌入式广域相量测量装置(PMU),装置同时具有实时监测、动态数据记录和实时通信功能,配合宁夏电网调度自动化系统主站功能实现。

2 故障前运行方式

中宁光伏电站 110kV 111 锦绣线运行正常;110kV 母线运行正常;110kV #1 主变运行正常;35kV 母线运行正常;35kV #1SVG 运行正常;35kV #1 接地变运行正常;35kV#1 站用变运行正常;35kV#1——#8 汇集线运行正常;400V 站用电系统运行正常;直流系统运行正常;55 个光伏方阵运行正常;其他设备运行正常;无异常告警信息。

3 故障前出力

故障前,中宁光伏电站总出力 58.96MW,110kV 母线电压 U_{ab} : 116.59kV, U_{bc} : 116.27kV, U_{ac} : 116.21kV, 110kV 111 锦绣线电流 I_a :307.86A, I_b :307.34A, I_c :308.11A。

35kV 母线电压 U_{ab} : 36.24kV, U_{bc} : 36.03kV, U_{ac} : 36.26kV, #1 主变低压侧总有功 58.46MW, #1 主变低压侧电流 I_a :932.40A, I_b :932.42A, I_c :931.64A。

4 故障后出力

故障后,中宁光伏电站总出力 0MW,110kV 母线电压 U_{ab} : 0kV, U_{bc} : 0kV, U_{ac} : 0kV, 110kV 111 锦绣线电流 I_a :0A, I_b :0A, I_c :0A。35kV 母线电压 U_{ab} : 0kV, U_{bc} : 0kV, U_{ac} : 0kV, #1 主变低压侧总有功 0MW, #1 主变低压侧电流 I_a :0A, I_b :0A, I_c :0A。

5 损失出力

全站总损失出力 58.96MW;停运逆变器 146 台。

6 事件经过

2020 年 11 月 14 日 12 时 58 分 31 秒,中宁光伏电站 110kV 升压站监控后台报“110kV 111 锦绣线纵差保护动作,110kV 111 锦绣线保护三跳出口”。110kV 111 锦绣线 111 断路器跳闸,35kV #1SVG 313 断路器跳闸。400V 站用电系统自动切换至外接 10kV 备用电源,400V 站用电系统恢复正常。

当值值班人员立即汇报值班长,值班长立即安排人员检查站内一、二次设备动作情况。初步判断 110kV 111 锦绣线发生故障,线路纵差保护动作。经检查 110kV 111 锦绣线 PSL-621U 线路保护测控装置“纵差保护动作”,“保护三跳出口”动作,故障类型为 B 相接地,故障测距距离故障点 6.635km,110kV 锦绣线 111 断路器在“跳位”。故障录波器录波显示故障时 110kV 母线 U_b 从 66.764kV 突然降低至 7.942kV, U_a 从 67.116kV 突然升高至 73.259kV, U_c 从 66.489kV 突然升高至 71.684kV,故障切除后,三相电压变为 0。故障后 110kV 111 锦绣线电流 I_b 从 307.342A 突然增大至 400.400A,其他两相电流变化不大,故障切除后,三相电流变为 0。

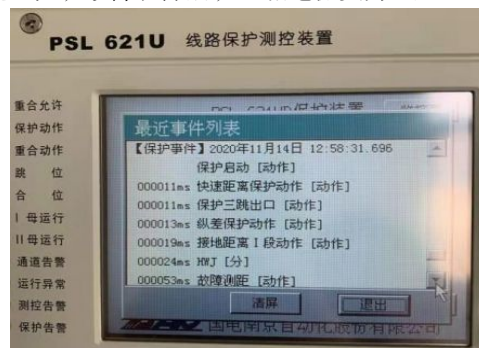


图 2: 本侧纵差保护动作信息

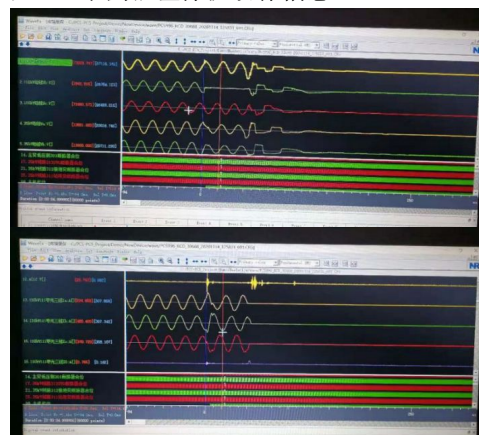


图 3: 本侧故障录波信息

对侧 110kV 美橙变 110kV 111 锦绣线 PSL-621U 线路保护测控装置“纵差保护动作”动作,“保护三跳出口”动作,故障类型为 B 相接地,故障测距距离故障点 0km, 110kV 锦绣线 112 断路器在“跳位”。故障录波器录波显

示故障时美橙变 110kV 母线 Ub 从 66.707kV 突然降低至 9.115kV, Ua 从 67.018kV 突然升高至 72.501kV, Uc 从 66.326kV 突然升高至 71.132kV, 故障切除后, 三相电压恢复正常。故障时 110kV 111 锦绣线电流 Ib 从 307.627A 突然增大至 6990.196A, 其他两相电流变化不大, 故障切除后, 三相电流变为 0。初步判断 110kV 111 锦绣线 B 相发生接地断路故障, 线路纵联差动保护动作, 线路两侧断路器跳闸。

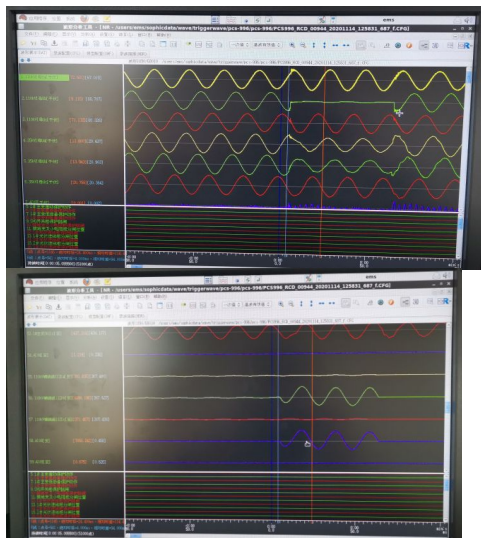


图 4: 对侧故障录波信息

2020 年 11 月 14 日 13 时 08 分, 中宁光伏电站值班长向中卫地调和宁夏区调两级调控中心分别汇报了故障跳闸情况。

经与 110kV 111 锦绣线设计图纸塔基核对, 故障点在 110kV 111 锦绣线 21 号铁塔附近。运维人员到达#21 铁塔后发现锦绣线#21 铁塔上接入美橙变 110kV 电缆 B 相电缆头从伞裙下部击穿, 有灼烧痕迹。

2020 年 11 月 14 日 14 时 10 分, 经中宁光伏电站申请, 中卫地调下发调度指令, 中宁光伏电站将 110kV 111 锦绣线及 111 开关由热备用转检修。14 时 32 分, 中卫地调许可 110kV 111 锦绣线可以开始线路检修工作, 线路检修人员到达现场, 对锦绣线 21 基铁塔逐基登塔开展故障排查及全线巡线工作。经过全面排查, 除发现锦绣线#21 铁塔上接入美橙变 110kV 电缆 B 相电缆头从伞裙下部击穿, 有灼烧痕迹外, 未发现其他故障及安全隐患。



7 故障原因分析

7.1、2020 年 11 月 14 日 12 时 58 分, 天气多云, 气温 7.9℃, 风速 3.6m/s, 光照强度总辐射 503.14W/m², 未发生大雾、雨雪、冰冻、大风等恶劣天气。线路周围无任何施工作业活动。110kV 111 锦绣线#21 铁塔上接入美橙变 110kV 电缆 B 相电缆头从伞裙下部击穿, 造成 110kV 111 锦绣线纵联差动保护动作, 110kV 111 锦绣线两侧 111、112 开关跳闸, 判断故障原因与天气状况无关。

7.2、根据保护动作信息、故障录波信息及现场故障现象。110kV 111 锦绣线#21 铁塔上接入美橙变 110kV 电缆 B 相电缆头从伞裙下部击穿时, 本站锦绣线 PSL-621U 线路保护测控装置采集到的 B 相一次电流为 400.400A, CT 变比为 1200/5, 对应二次电流为 1.69A, 方向为线路指向故障点。对侧美橙变 PSL-621U 线路保护测控装置采集到的 B 相一次电流为 6990.196A, CT 变比为 1200/5, 对应二次电流为 29.13A, 方向为母线指向故障点, 同相序同相位反方向。差动电流为 1.69A+29.13A=30.82A, 110kV 111 锦绣线分相差动动作电流定值为 1.5A。30.82A>1.5A, 差动保护动作, 跳 110kV 111 锦绣线两侧 111、112 断路器, 保护装置动作正确。

7.3 经现场检查, 结合保护动作信息及故障录波信息, 经过分析, 判断故障原因如下:

经过对击穿的 B 相电缆头进行分解检查, 判断故障的主要原因为锦绣线 B 相电缆终端头位于铁塔最顶部, 此位置空间小, 电缆终端头弯曲弧度小受力大, 导致电缆拉筋支撑架与终端头固定点距离较小, 拉筋支撑架铁制抱箍过于靠近终端头应力锥搭接点, 应力锥受力过大, 由于电缆终端头及铝波管(电缆内护套)长时间受挤压伤及到终端绝缘主体, 造成电缆头电场分布不均匀, 在电缆的运行过程中, 电场分布的不均匀是导致电缆头击穿的一个重要原因, 会导致在某个地方出现电场集中, 从而引发放电现象。在电缆头 3 年多时间的运行过程中, 电缆终端头绝缘体各部分所承受的电场强度不均, 最终电场强度达到击穿场强发生放电现象, 导致电缆头击穿。

8 机组涉网性能分析

故障跳闸前, 全站总有功 58.96MW, 总无功 -0.49MVar。

故障跳闸后, 全站总有功 0MW, 总无功 0MVar。故障跳闸后, 中宁光伏电站防孤岛保护装置正确动作, 全站逆变器防孤岛保护正常停机。



图 6: 防孤岛保护信息

9 故障处理及整改情况

9.1 发生跳闸故障后,中宁光伏电站按照调度机构规定的事故/事件汇报流程,由值班长向中卫地调和宁夏区调两级调控中心分别汇报设备故障跳闸情况,保护动作情况 设备损坏情况等信息。

9.2 根据调度运行管理规程,向上级调度管理机构中卫地调申请,中宁光伏电站将 110kV 111 锦绣线及 111 开关由热备用状态转为检修状态,将全站其他设备转为热备用状态,为检修工作布置相应的安全措施。

9.3 通知线路检修单位,线路检修人员到达现场对锦绣线 21 基杆塔逐基登塔开展故障隐患排查及锦绣线全线巡线工作,详细检查确认故障点,开展抢修工作。

9.4 根据企业内部设备抢修管理流程,联系电缆附件厂家签订采购协议,采购电缆头附件,由厂家协调具备电缆头制作资格的技术人员到达现场重新制作电缆头,新制作电缆头由厂家负责质保 1 年。

9.5 委托具备资质的第三方试验单位完成新制作电缆头各项试验,同时对 A C 两相电缆头也进行试验,试验结果合格。完成电缆上塔安装工作,加装电缆支撑点固定支架,将拉筋支撑点后移并增加电缆保护套。同时对锦绣线 A C 两相电缆重新固定并加装电缆保护套。完成电缆沟填埋 安全措施拆除等各项工作,故障抢修工作全部结束,工作人员全部撤离。

9.6 组织专业技术人员完成本次抢修验收工作,验收结果合格,设备具备送电条件。

9.7 编写电站故障跳闸分析报告和恢复并网申请发送调度机构,按照调度指令恢复设备运行。

9.8 对电站 110kV 111 锦绣线线路及连接电缆进行全面排查,检查架空导线 引流线 绝缘子串 电缆头是否正常,检查杆塔金具及绝缘子串表面是否有污秽。

9.9 定期开展电缆头红外测温工作,并对测试数据进行分析,形成分析报告。发现温度异常时要及时处理,必要时向调度机构申请停电处理。

9.10 加强线路巡检管理工作,对电站送出线路 汇集线等设备按照时间要求认真开展定期巡检工作,发现缺陷及隐患及时消除。认真制定各项安全措施确保电站各设备安全稳定运行,尤其在升温 降温幅度较大季节 鸟类活动频繁季节及特殊天气情况,增加对线路巡检次数,做到认真细致,不留死角。定期召开线路设备运行状态分析会议,制定有针对性的消缺计划。

9.11 严格按照线路的定检周期和定检标准对输电线路开展定检工作。加强电站设备技术监督工作,按时开

展设备预防性试验。

9.12 加强电站电缆头制作等外委检修施工质量管理,做好全过程跟踪监督检查,发现缺陷立即要求停工整改。

9.13 电站采购同型号线路备品备件,确保发现线路缺陷时能及时申请停电处理。

9.14 认真落实调控部门下发的通知文件要求及隐患排查治理方案,认真及时完成各项工作要求,并按时要求进行反馈。

9.15 加强电站安全管理工作,在各设备处张贴醒目的安全告知书,在地理电缆处安装安全警示告知,禁止在地理电缆附近进行机械开挖作业。

9.16 加强电站运维人员教育培训工作,提高运维人员分析判断及处理故障的能力。定期开展事故应急演练,认真开展春秋检 安全月及各项隐患排查治理工作,发现缺陷及隐患及时消除,提高设备运行的可靠性。

结论

集中式光伏电站 110kV 送出线路发生故障跳闸后,应及时向管辖调度机构汇报。组织运维专业技术力量查看收集光伏电站保护装置动作情况报文和故障录波信息,根据故障录波信息和保护装置定值,分析保护装置是否正确动作,引起保护装置动作的原因,判断出可能发生故障的设备,根据故障测距大致确定故障的位置,缩小故障排查范围,为巡检人员提供参考数据,指引巡检人员巡视设备最终找到故障点,及时完成设备故障处理,最大限度减少发电量损失和设备非停造成的调度机构考核。

参考文献:

- [1]刘振宇.陈辉.张艳锋等,某风电场主变跳闸处理分析,《中国设备工程》2017 年 17 期。
 - [2]王文雅.蒲泽伟.吴敏等,光伏电站的运维,《西藏科技》2021 年 2 期。
 - [3]陈俊宇.王建东.蔡福祿,某光伏电站全站跳闸原因分析及处理对策,《云南水力发电》2023 年 6 期。
 - [4]陈文东.郭光森.李宇青,一起站外故障导致光伏电站保护跳闸原因分析,《中国战略新兴产业》2019 年 4 期。
 - [5]常永生,线路光纤差动保护,《石油化工建设》,2023 年 z2 期。
 - [6]刘静.邵能灵.李琨,T 型线路电流差动保护研究,《电力自动化设备》2008 年 10 期。
- 作者简介:牛林杰(1986—),男,汉族,甘肃省庆阳市人,研究方向为风力发电技术、光伏发电技术。