

# 一起光伏电站集电线路过流保护动作原因分析

杜小军

大唐陕西发电有限公司渭河热电厂, 陕西西安 712085;

## CAUSE ANALYSIS OF OVERCURRENT PROTECTION OPERATION OF COLLECTING LINE IN A PHOTOVOLTAIC POWER STATION

DU-XiaoJun

Datang Shaanxi Power Generation Co., Ltd. Weiher thermal power plant, Xi'an, Shaanxi Province.

**摘要:** 针对某光伏电站两条集电线路电缆单相接地故障造成过流动作跳闸, 结合新能源场站35kV电气系统接线特点, 根据故障录波数据和保护动作行为, 分析集电线路故障发展过程和故障原因, 为新能源场站电气系统安装调试和日常运行维护提供建议, 提高光伏电站的安全性。

**关键词:** 光伏; 过流保护; 动作分析

**ABSTRACT:** According to the characteristics of 35kV electrical system in a new energy field station, according to the fault record data and the protection action, the over-current trip caused by the single-phase earthing fault of two collecting lines in a photovoltaic power station is analyzed, this paper analyzes the fault development process and fault causes of the collector line, and provides suggestions for the installation, commissioning and daily operation maintenance of the electrical system of the new energy field station, so as to improve the safety of the photovoltaic power station.

**Keywords:** Photovoltaic; overcurrent protection; action analysis

## 1 引言

随着能源革命不断深入推进, 我国从能源大国向建设能源强国转变, 能源生产和消费方式实现了清洁、低碳、安全、高效的历史性变革, 步入高质量发展的新征程, 以光伏发电和风力发电为主要代表的新能源发电行业发展前景无限光明, 有望取代传统火电的地位。各发电企业集团未来五至十年, 甚至更长的时间, 都会大力发展光伏发电行业, 实现从传统电力企业向绿色低碳能源企业转型, 到 2025 年非化石能源装机超过 50%, 提前 5 年实现“碳达峰”。在当前环境下, 光伏、风电等项目快速上马, 建设工期缩短、技术力量稀释, 给工程建设质量留下的一系列问题, 工程投产后安全问题频繁出现, 一方面

影响投资收益, 另一方面威胁电网安全运行。本文结合某光伏电站两条集电线路不同相单相接地过流保护动作跳闸的原因分析, 提出新能源场站电气系统安装调试和日常运行维护应关注的问题, 提高设备运行可靠性。

## 2 异常案例

某光伏电站装机容量为 50MW, 电气主接线为变压器-线路单元接线, 35kV 为单母线接线, 配置 1 台 50MVA 的主变压器, 经 1 回 110kV 线路送出至 110kV 变电站。站内设 35kV、110kV 两级电压等级, 共有三条集电线路, 电缆均采用直埋方式进行敷设, 接地变 Z 型接线, 中性点电阻 101 欧姆。

2022 年 5 月 9 日 1: 29, 监控后台报警集电

2 线“35kV 集电 2 线测保 CSD-211AGB 保护动作”、“35kV 集电 2 线测保 CSD-211AGB 过流 1 段动作”，集电 3 线“35kV 集电 2 线测保 CSD-211AGB 保护动作”、“35kV 集电 3 线测保 CSD-211AGB 过流 1 段动作”。检查就地检查保护动作情况：集电 2 线保护装置显示：2022 年 5 月 9 日 01: 29: 21: 810 保护启动，过流 1 段动作、 $I_a=5.08A$ ， $I_b=0.01A$ ， $I_c=0.03A$ ，0.058 秒“过流保护动作返回”；集电 3 线保护装置显示：2022 年 5 月 9 日 01: 29: 21: 820 保护启动，过流 1 段动作、 $I_a=0.01A$ ， $I_b=5.25A$ ， $I_c=0.03A$ ，0.049 秒“过流保护动作返回”。5 月 9 日汇报调度后 16: 27 集电 2 线、3 线转检修状态。事故造成集电 2 线、3 线共 12 台箱变停运。

故障前运行方式，110kV 线路、1 号主变、1 号接地变、1 号站用变运行正常，集电 1 线带 3、5、6、7 号箱变运行、集电 2 线带 1、2、4、8、9、10 号箱变运行、集电 3 线带 11、12、13、14、15、16 号箱变运行，217 台逆变器运行正常。天气情况：中雨。

### 3 原因分析

#### 3.1 保护动作行为分析

通常 35kV 系统为不接地系统，为防止在单相接地时产生谐振和过电压，提高接地保护灵敏度，采用经接地变接地方式，接地变采用 Z 型接线，接地电阻为 101 欧姆，在发生金属性单相接地时，接地电流限制在 201A。该光伏电站集电线路及接地变过流、零序保护定值如下表 1 所示。

表 1: 接地变和集电线保护定值

Tab 1: Grounding variable and fixed value of collector wire protection

名称	过流 1 段定值 (A)	过流 1 段时间 (s)	零序 1 段定值 (A)	零序 1 段时间 (s)	相 CT 变比	零序 CT 变比
接地变			0.34	0.6		100/1
集电 2 线	4.1	0	0.34	0.3	600/1	100/1
集电 3 线	3.76	0	0.34	0.3	600/1	100/1

集电 2 线和集电 3 线保护装置故障报文如下图 1-1，1-2 所示：

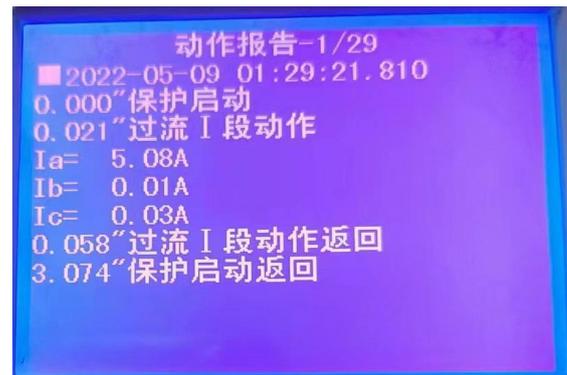


图 1-1: 集电 2 线保护动作报文

Fig1-1: Action packet for collecting power line 2 protection

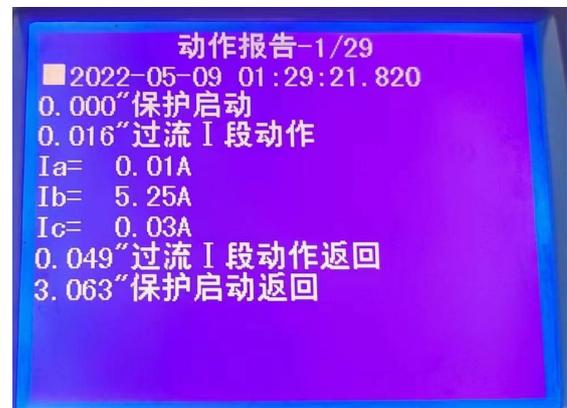


图 1-2: 集电 3 线保护动作报文

Fig1-2: Action packet for collecting power line 3 protection

故障发生时，集电 2 线、集电 3 线过流保护动作，集电 2 线故障相为 A 相，二次电流  $I_a=5.08A$ ，集电 3 线故障相为 B 相，故障二次电流  $I_b=5.25A$ ，均大于过流一段保护定值，过流保护动作切除集电 2 线、集电 3 线。从故障录波报文看出，集电 2 线 A 相和 N 相电流大小相同、方向相同，集电 3 线 B 相和 N 相电流大小相同、方向相同，从主变低压侧故障录波报文看出，AB 两相电流大小相同、方向相反，具有明显两相短路特征，可以判断集电 2 线 A 相和集电 3 线 B 相两相短路故障。在录波启动前 20ms 集电 2 线 A 相和集电 3 线 B 相就出现接地电流，直至故障切除，持续时间在 100ms 以内，集电 2、3 线零序过流保护一段电流定值 0.34A，时间 0.3S，所以零序保护未动作。

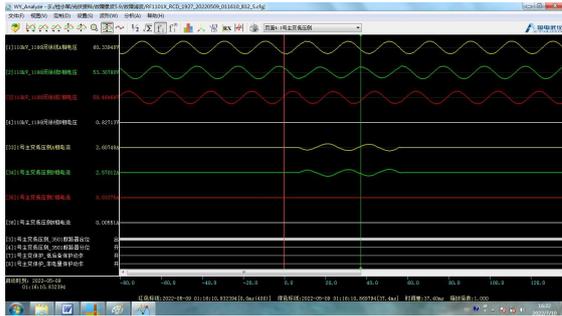


图 2: 主变低压侧电流录波图

**Fig 2: Current recording diagram of low voltage side of main transformer**

### 3.2 保护动作原因分析

现场实际情况为集电 2 线和集电 3 线电缆路径不同, 无距离较近的部位, 两条线路的电缆不同相之间短路不符合现场空间物理位置逻辑。对录波文件进行全面查看分析, 该故障录波报文启动量为 35kV 母线电压突变启动, 启动前 20ms, 35kV 母线电压 A 相 55.26V, B 相 60.34V, C 相 61.76V, N 相 5.98V; 启动前 10ms, 35kV 母线电压 A 相 34.81V, B 相 60.98V, C 相 73.34V, N 相 31.68V; 启动时 0ms, 35kV 母线电压 A 相 13.55V, B 相 46.04V, C 相 88.85V, N 相 55.68V; 可以看出在故障前 A 相电压降低, B 相电压略有升高, C 相电压升高, 故障前 10ms 接地变回路出现零序电流 0.166A, 故障时 A 相电压大幅降低, B 相电压降低, C 相电压升高, 故障时 0ms 接地变回路出现零序电流 0.318A。分析认为集电 2 线和集电 3 线回路对地绝缘薄弱, 首先 A 相对地绝缘降低, 致使 B 相和 C 相电压升高, 然后 B 相对地绝缘迅速下降, 集电 2 线 A 相和集电 3 线 B 相通过大地形成短路, 造成集电 2 线和集电 3 线跳闸。

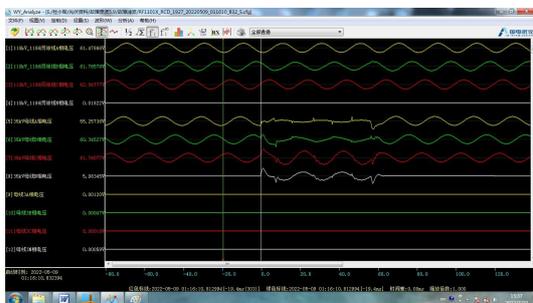


图 3: 录波启动前 20ms 35kV 母线电压录波图

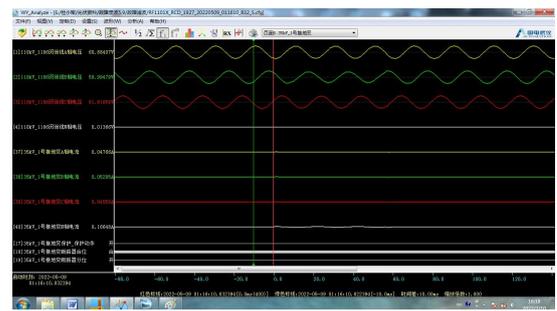
**Fig3: Wave recording diagram of 20ms 35kV bus voltage before wave recording starts**


图 4-1: 录波启动前 10ms 接地变电流录波图

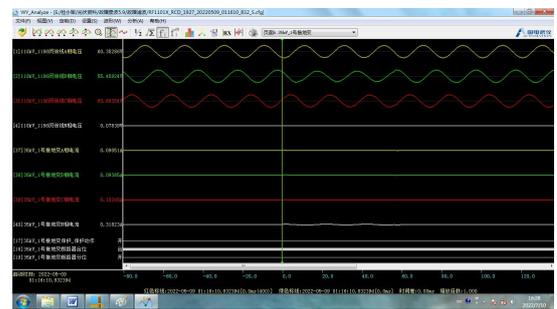
**Fig 4-1: Grounding variable current recording 10ms before recording start**


图 4-2: 录波启动前 0ms 接地变电流录波图

**Fig 4-2: Ground variable current recording diagram 0ms before recording start**

### 3.3 现场检查情况

根据分析的原因对集电线路现场电缆路径进行巡视, 未发现电缆路径上方有施工痕迹。对集电 2 线、集电 3 线电缆进行分段解列。

对集电 2 线一次舱开关 3512 至 8 号箱变 2J8B 开关之间段进行电缆主绝缘绝缘电阻试验, 试验结果为 A 相电缆绝缘低, 判断为集电 2 线 A 相电缆接地故障。经电缆故障查找检测, 集电 2 线故障点位于升压站至 8 号箱变之间, 升压站外 400 米处碎石路下方, 该碎石路尽头为一采石场, 采石场车辆通过该路径进行进出, 埋设于路面下方的集电线路电缆运行中长期受到上部车辆碾压, 因回填土中包含大量石头, 埋深不够, 且无保护盒, 造成电缆中间头受力不均匀, 使得中间头破损, 绝缘失效, 造成电缆接地故障。

对集电 3 线一次舱开关 3513 至 3 号箱变 3J11B 开关之间段进行电缆主绝缘绝缘电阻试验, 试验结果为 B 相电缆绝缘低, 判断为集电 3 线 B 相电缆接地故障。经电缆故障查找检测, 集电 3 线故障点位于 11 号箱变至升压站之间, 距离 11 号箱变 400 米处的桔林处, 故障接头位于河道附近, 湿度较大, 开挖后发现电缆接头有击

穿放电痕迹。

另外,通过本次故障对 35kV 接地变保护回路进行检查,该设备配置速断、过流、零序等保护,但保护的跳闸出口方式仅仅跳自身开关,在 35kV 系统发生单相接地故障时无法起到总后备的作用,若某线路发生接地故障,保护拒动故障无法切除,在系统产生谐振过电压,无后备保护可切除,长时间运行将损坏其他设备绝缘,甚至发展成相间故障造成设备损坏事故。

### 3.4 电缆故障原因分析

电缆头制作工艺不良。该光伏电站采用的电缆中间接头均为冷缩电缆中间接头,该接头在雨天和湿度大于 70%时,不能制作,且制作人员要按照一定工艺进行制作。集电线路 3 电缆本次故障接头位于河道附近,湿度较大,施工人员在电缆中间接头进行施工的过程中,施工质量不佳造成电缆在运行过程中潮气等渗入电缆中间接头中造成该处电缆绝缘薄弱,最终造成电缆故障。

电缆敷设施工质量不良。该光伏电站集电线路按照设计院图纸要求,“电缆敷设采用直埋;红线内电缆埋深不小于 0.7m,红线外埋深不小于 1.2m,过路处需穿镀锌钢管保护;沟底应铺筛过的土;沿全长以砖或水泥板遮盖。”以及施工图中要求中间头均需安装电缆中间接头保护盒对中间接头进行防护。现场实际情况为:电缆埋深不够设计和规范要求,电缆最高点距离地面仅 5cm。电缆过路处未穿镀锌钢管保护,电缆沟底未按照要求铺筛过的土和沿全长以砖或水泥板遮盖,电缆中间接头处未按照要求安装电缆中间接头保护盒。故障时,当地中雨,由于雨水的浸泡,集电 2 线电缆 A 相对外放电,引起母线电压波动后造成集电 3 线 B 相放电,形成 A、B 相之间相间短路,造成集电 2 线、3 线过流 I 段保护动作跳闸。电缆挖出后发现电缆护套有多处破损,电缆护套与线芯之间存在积水,说明电缆在长期运行中,电缆护套受外力作用或电缆敷设工艺不良造成电缆护套破损。

施工质量验收不到位。查阅电缆沟道回填开挖记录,记录中电缆沟道开挖深度为:1.2 米,与现场实际不符。记录中电缆沟道回填结构为:铺砂盖砖,与现场实际不符。

绝缘监督不到位。未见交接试验和预防性试验电缆绝缘试验报告。

## 4 防范措施

### 4.1 提高管理人员专业水平

加强施工管理人员的管理和培训,实现对工程质量的有效控制。只有施工管理人员熟练掌握工艺流程,才能保证在施工过程中严格遵守工艺流程、保证验收内容、保证施工质量验收工作有章可依。

### 4.2 完善保护设计

新能源场站快速建设,技术人员经验不足,对规程理解不够深刻,造成保护设计缺陷,扩大事故。在工程设计、安装和调试的各阶段执行技术规程要求,接地变压器电源侧配置电流速断保护、过电流保护作为内部相间故障的主保护和后备保护;配置两段式零序电流保护,作为接地变压器单相接地故障的主保护和系统各元件单相接地故障的总后备保护;在汇集母线分段断路器断开的情况下,接地变压器电流速断保护、过电流保护及零序电流保护动作后跳所接母线的断路器,防止出现绝缘事故。

### 4.3 优化电缆设计

在设计阶段应根据现场实际情况对电缆设计进行优化。农光互补的项目,在光伏厂区内应有防止农业生产对电缆安全运行造成影响措施,能够采用桥架的应采用桥架,厂外能够采用架空线路的,在不影响环境评估的情况下应采用架空线路。

### 4.4 规范施工过程管理

电缆施工阶段,严格按照相关技术规范要求施工,保证电缆的直埋深度和防护满足技术规范要求,尤其是对隐蔽工程的每个施工环节,都要严格遵循规范要求施工,并规范验收环节,确保验收内容、过程、资料真实可靠。

### 4.5 做好绝缘监督管理

电气设备的绝缘事故造成主设备损坏的情况下,恢复正常运行的时间长,严重影响电力系统安全运行。做好绝缘监督工作严格执行交接和预防性试验项目和标准,及时发现并消除电气设备绝缘缺陷和薄弱环节,绝缘监督在设计、制造、安装、调试全过程中参与项目建设,提高设备健康水平,预防绝缘事故的发生。

## 5 结语

我国加快推进大型风电光伏基地等重大项目建设，2021年，可再生能源新增装机1.34亿千瓦，占全国新增发电装机的76.1%。新能源电站的快速发展，各发电集团新能源项目快速建设，工期缩短，工程建设期间的质量把关不严，对后期运行维护和安全运行遗留诸多问题。为保证新能源发电的健康有序发展，各企业在建设和运维过程中配置合格的专业技术人员全过程参与项目管理，严格遵守电力建设和运行维护的技术规范，保证新能源项目既投产、既稳定、既盈利，按期完成“碳达峰”和“碳中和”目标任务，努力推动可再生能源高质量跃升。

### 参 考 文 献

[1] 光伏发电站继电保护技术规范. GB/T 32900-2016, 中国标准书号[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016: 5.6

收稿日期:

作者简介:

杜小军(1975-), 男, 本科, 高级工程师, 西安交通大学电力系统及其自动化专业毕业, 从事电气技术管理工作, 擅长继电保护定值计算、现场异常处理和缺陷分析。通讯地址: 陕西省西咸新区秦汉新城正阳街道办, 邮编: 712085, E-mail: duxj75@163.com, 手机: 15291036690