

风电场线路跳闸故障的调查分析

李剑兰, 矫旭昌, 毕文革

(国网徐州供电公司, 江苏 徐州 221000)

摘 要: 针对某风电厂线路 A、B 相开关在无保护动作情况下跳闸进行排查, 通过对相关二次回路进行排查分析, 找出了事故发生的原因, 并提出了相关的改进建议。

关键词: 风电场; 误动作; 建议措施

近年来，全球可再生能源的利用率在逐年增长，特别是风能发电，一直是世界上发展最快的。越来越多的风力发电机组的接入，对电网运行的安全性和稳定性也产生了重大的影响，因此，风电场故障的分析排查显得尤为重要。本文针对一起风电线路跳闸故障，进行了详细的调查和分析，并对风电场运行提出了相关的建议。

1 事故情况简介

2009 年 10 月 23 日 17 时 30 分, 某风电场侧 2W33 线路 A、B 相开关在无保护动作情况下跳闸, 200ms 之后南自 PSL603 保护后备三相跳闸动作, 跳开 C 相开关。对侧变电站 2W33 开关未跳闸。(某电场一次接线如图 1 所示)

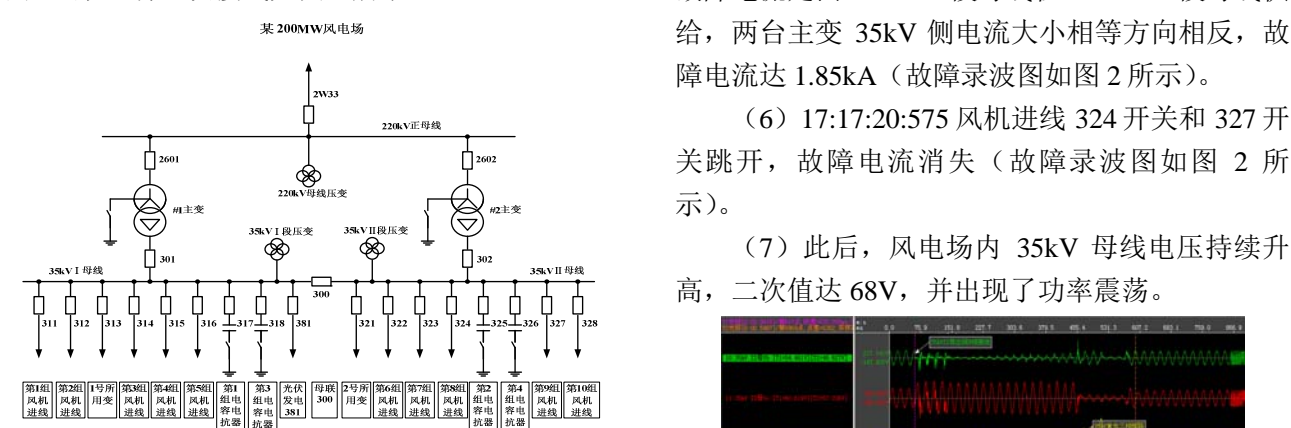


图 1 某风电场一次接线

故障过程中线路故障录波、主变故障录波、线路保护装置均启动了故障录波，依照时间先后顺序动作过程如下：

(1) 17:17:20:062: 35kV II 母出线 B 相发生单相接地, 35kV II 母的 B 相电压下降为零, A、C 相电压升高;

近年来，全球可再生能源的利用率在逐年增长，特别是风能发电，一直是世界上发展最快的。

越来越多的风力发电机组的接入,对电网运行的安全性和稳定性也产生了重大的影响,因此,风电场故障的分析排查显得尤为重要。本文针对一起风电

(3) 17:17:20:108 (44ms) 在无保护动作的情况下,2W33 线路发生 A、B 两相跳闸,A、B 两相电流消失,此后 2W33 线路的 C 相运行;

线路跳闸故障，进行了详细的调查和分析，并对风电场运行提出了相关的建议。

1 事故情况简介

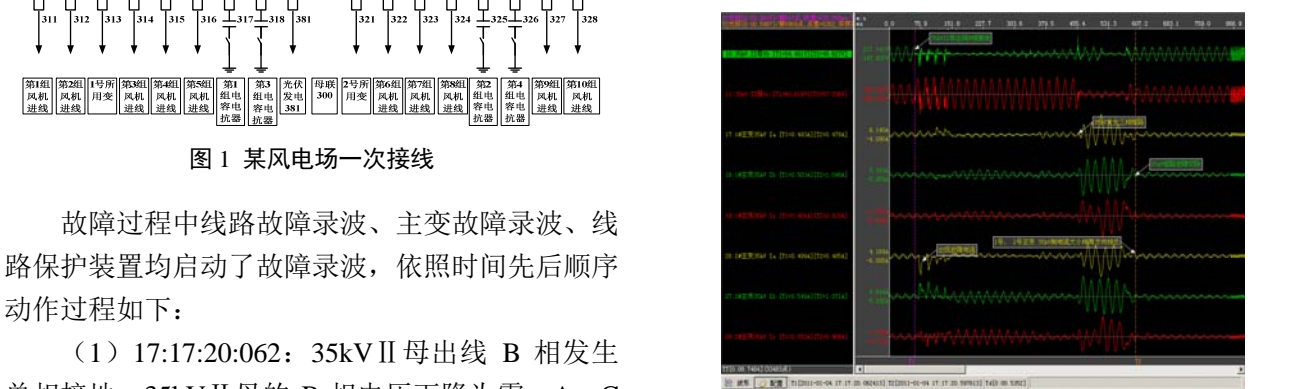
(4) 17:17:20:311，南自 PSL603 保护非全相后备保护动作，发三相跳闸命令，并于 17:17:20:353 跳开 C 相断路器。至此 200MW 风电场失去与变电站的联系，孤网运行；

2009 年 10 月 23 日 17 时 30 分，某风电场侧 2W33 线路 A、B 相开关在无保护动作情况下跳闸，200ms 之后南自 PSL603 保护后备三相跳闸动作，跳开 C 相开关。对侧变电站 2W33 开关未跳闸。（某电场一次接线如图 1 所示）

（5）此前，由于 35kV II 母出现某处发生 B 相接地短路，故障一直未切除，造成 A、C 两相电压处于持续高位。在 17:17:20:455 开始 C 相、A 相继对地放电，发生 A、B、C 三相短路故障；且故障电流是由 35kV I 段母线往 35kV II 段母线供给，两台主变 35kV 侧电流大小相等方向相反，故障电流达 1.85kA（故障录波图如图 2 所示）。

(6) 17:17:20:575 风机进线 324 开关和 327 开关跳开, 故障电流消失 (故障录波图如图 2 所示)。

(7) 此后, 风电场内 35kV 母线电压持续升高, 二次值达 68V, 并出现了功率震荡。



单相接地, 35kV II 母的 B 相电压下降为零, A、C 相电压升高

2 故障现象迹象

(1) 35kV 线路 B 相发生单相接地后 3ms, 在 2W33 开关位置接点的开入信号上观察到了明显的干扰现象; 44ms 后, 2W33 A、B 相开关无保护跳闸, 此时 2W33 两套线路保护均未动作, 未发跳闸命令; A、B 相开关跳闸后 200ms, 南自 PSL603 保护非全相后备保护动作发三跳令, 跳开 C 相。35kV 的单相接地故障最后发展为三相短路故障, 于单相接地后 0.5s 由 327、324 开关切除故障。

(2) 操作箱合闸位置灯和运行灯被击穿, 经查操作箱总线背板有灼烧痕迹, 灼烧点在第一、二路开关操作正电源之间。

(3) 接地变 Zn/Yn11 接线, 35kV 侧中性点经消弧线圈接地, 为动态电容补偿方式, 由消弧线圈自动调谐控制柜控制。经查发现直流接触器有电弧灼烧痕迹, 直流励磁线圈外皮烧焦。

从上述现象可以看出, 当 35kV II 母出线发生单相接地故障时, 暂态过电压是引起直流接触器直流线圈烧毁的原因。

3 故障原因分析

(1) 首先判断此故障是否保护误动作⁽¹⁾。2W33 线路开关 A、B 相在区外故障时发生跳闸, 此时两套线路主保护均正确判断无出口跳闸, 因此不是保护误动; 而操作箱发现灼烧痕迹, 据此判断应是操作箱直接出口跳闸。

(2) 经过调查此风电场历次类似故障跳闸事故, 发现操作箱均有原件破坏, 且录波波形中开关量有扰动出现, 据此初步判定为大功率交流电气量侵入, 致使操作箱发生内部电弧闪络或继电器抖动, 导致操作箱误出口跳闸。

(3) 由于近两次跳闸事故均由 35kV 一次系统故障引发, 考虑到站用 400V 动力电源可能在故障时造成与直流系统的绝缘破坏而导致交流电侵入直流系统, 于是锁定排查对象为操作箱屏内和就地开关端子箱内交直流电缆之间的绝缘性能。用 500V 绝缘摇表检查未发现交直流电缆间有绝缘破坏, 但发现第一、第二路操作正电源间绝缘差, 仅有 75 千欧直阻, 试验表明, 第一、第二路操作正电源串电。

(4) 第二阶段对许继操作箱进行了详细的内部检查, 发现两路操作正电源接入的背板插件在拔出

后两路正电源没有交叉, 在插入背板后即出现串电现象, 于是排查总线背板是否有沟通回路。拆卸总线背板发现在第一、第二路操作正电源印刷板间有电弧灼烧痕迹。

(5) 接地变消弧线圈直流接触器有电弧灼烧痕迹, 经现场查看, 消弧线圈接触器设计为直流控制(电源取自直流 II 段母线)和交流控制(电源取自动力电源)两个接触器并列运行方式, 当 35kV 发生单相接地故障后, 保护单元通过接触器将阻尼电阻短接⁽²⁾。由于较大的容性接地电流导致直流接触器短接阻尼电阻时拉弧, 灼烧到直流励磁线圈, 导致大功率交流电气量侵入风电场直流母线, 在绝缘薄弱点放电。经分析, 这就是导致本起跳闸的直接原因。

4 深入理论分析

本起跳闸事故中的交直流串扰问题, 实质上也就是直流回路一点接地问题。因直流系统是通过绝缘监察装置接地的, 正常运行时正负极不允许接地。而交流系统有地线, 一旦交直流发生串扰, 就会相应形成直流回路一点接地。在 220kV 及以上变电站中, 所有由开关引入控制室继电保护设备的交流电流、电压和直流跳闸等回路, 都可能引入干扰电压到基于微电子器件的继电保护设备, 因此二次回路要采用带屏蔽层的电缆, 且要求屏蔽层在开关和控制室两端同时接地。电缆的芯线和屏蔽层之间存在有分布电容, 电缆越长, 分布电容效应越明显。由于屏蔽层两端接地, 实际上这种分布电容也就是电缆芯线对地之间的分布电容。

在直流系统中, 当交流电源串入到直流回路时, 由于长电缆对地分布电容效应的存在, 往往可能导致一些灵敏保护继电器的误动作。当有对地交流电源串入直流正电源侧(如图 3 中 A 点所示)或负母线侧(如图 3 中 C 点所示)时, 就可以通过继电器线圈、蓄电池以及电缆分布电容构成回路(U 为蓄电池电压; TQ 为出口中间继电器)。整个回路的阻抗为 $Z=R+1/(j\omega C_T)$; 加在继电器线圈的电压为:

$$U_R = U_S / [1 + 1/(j\omega RC_T)]$$

式中: U_R 为加在继电器线圈的电压, R 为整个

等值放电回路的等值电阻; C_P 、 C_N 、 C_T 为控制电缆的分布电容; U_g 为串入的交流电压。控制电缆的分布电容 C_T 越大, 加在继电器线圈上电压的有效值就越大。

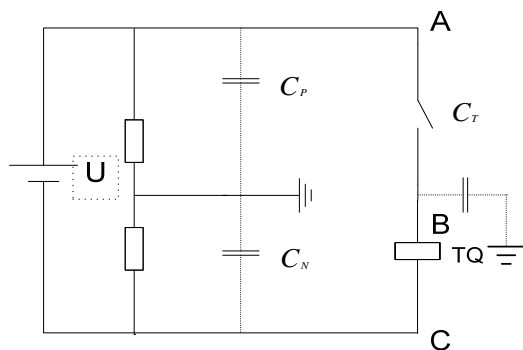


图3 电气回路图

继电器线圈上的电压波形（如图4所示）。若加在继电器线圈上的电压 U_R 在变化过程中高于继电器动作电压 U_D 的时间为 t_0 ，只要 t_0 足够长，超过继电器的动作时间，则继电器就会发生误动作。

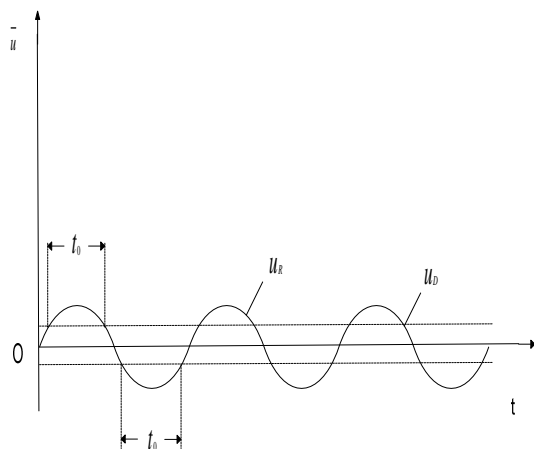


图4 继电器线圈上的电压波形

5 采取的建议及相关措施

(1) 去除接地变消弧线圈直流接触器，改用两个交流接触器（电源分别取自两台接地变的交流系统）。

(2) 因接触器多次出现弧光闪络现象，风电场与消弧线圈厂家和设计院需要充分沟通，拿出合适的整改方案。

(3) 在 35kVII 母 B 相发生单相接地短路之前， $3U_0$ 就达到 12.3V，因此应对变电站的 $3U_0$ 进行监视，预防故障的发生。

(4) 按“反措要点”的要求，提高继电保护装置的出口中间继电器动作电压。对于控制电缆过长的情况，可以考虑采用光缆代替电缆，达到防止误动的目的。

参考文献：

- [1] 贺家李,宋从矩.电力系统继电保护原理[M].北京: 水利电力出版社,1994.
- [2] 电力工程电气设计手册[M].北京: 中国电力出版社,1990.

作者简介：

李剑兰(1971-)，女，江苏徐州人，高级工程师，高级技师，主要从事变电运行管理维护工作。