

五、天气因素（3起）

（一）某某电网某某供电局“7.2”因110kV畲南甲乙线雷击跳闸导致两座110kV变电站失压三级电力安全事件

1. 事件经过

2018年7月2日15时48分，110kV畲南甲线、畲南乙线发生区内A、B相接地故障，保护动作跳两侧开关，重合闸不满足动作条件，导致110kV连江站、110kV塘坝站失压、220kV畲江站110kV母线失压。

7月2日16时6分，110kV永塘甲线由热备用转运行，塘坝站主变恢复送电；16时8分，110kV连塘甲线由热备用转运行，连江站主变恢复送电，然后两站10kV线路恢复供电。经运行人员检查220kV畲江站内设备正常，17时50分，合上畲江站#1主变变中1101、#2主变变中1102开关，畲江站110kV母线恢复正常运行。同时恢复110kV畲连甲、乙线运行。

7月3日上午，故障巡查发现110kV畲南甲乙线#25塔处受雷击，两线A、B相绝缘子串均压环均有放电痕迹，经确认不影响线路运行，11时10分110kV畲南甲线、畲南乙线线路由畲江站侧充电送出，事件片区恢复正常运行方式（见图3-5-1）。

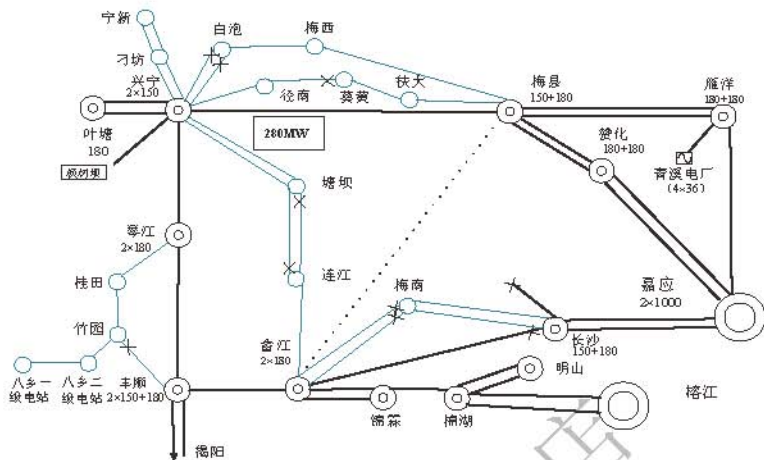


图3-5-1 正常运行方式图

2. 事件定级

依据公司《电力事故事件调查规程》（2014版）中“（19）变电站、配电母线失压或发电厂全停”中“2个110kV变电站失压”，定为三级电力安全事件。

3. 原因分析

（1）直接原因

同塔架设的110kV畲南甲乙线#25塔处遭受雷击，因雷击电流（120.4kA）超出110kV同塔双回线路反击耐雷水平值50kA~61kA（参考GB/T 50064），导致110kV畲南甲乙线同时发生AB短路接地故障跳闸。

根据保护动作信息，梅南站畲南甲线14ms电流差动保护动作、31ms距离I段动作，保护测距13.2km，差流为28.83A（二次值，二次额定电流为5A），达到差动电流高定值2A门槛；

畚南乙线15ms电流差动保护动作、31ms距离I段动作，保护测距14.4km，差流为29.13A（二次值，二次额定电流为5A），达到差动电流高定值2A门槛，重合闸检同期条件不满足，线路保护正确动作。畚江站侧畚南甲线16ms电流差动保护动作，保护测距23.4km，差流为2.87A（二次值，二次额定电流为1A），达到差动电流高定值0.2A门槛；畚南乙线17ms电流差动保护动作、32ms距离I段动作，保护测距18.3km，差流为2.9A（二次值），达到差动电流高定值0.2A门槛，重合闸检同期条件不满足，线路保护正确动作。畚江站集中录波测距结果：故障点距离畚江站侧11.301km，故障相别AB相（梅南站无集中录波装置）。

雷电系统记录结果显示，7月2日15时48分48秒前后3分钟110kV畚南甲乙线周边1km范围内共有39次雷电活动记录，其中，15时48分48.799秒，有一幅值为120.4kA（负极性）雷电（大于典型110kV同塔双回线路反击耐雷水平50kA~61kA（参考GB/T 50064））落于距离#25-#26塔732m范围，线路跳闸故障时间、故障点位置与雷电定位系统查询结果及保护信息吻合，同时巡查发现110kV畚南甲线#25塔A相（中相）、B相（下相）复合绝缘子串均压环有雷击放电痕迹，110kV畚南乙线#25塔A相（上相）、B相（下相）复合绝缘子串均压环有放电痕迹，110kV畚南甲乙线#25塔接地引下线连板处有放电痕迹，因此确定本次跳闸为该雷电流（-120.4kA）引起。

（2）间接原因

本次事件的间接原因是系统局部网络受限，被迫采取临时运行方式，发生N-2故障时，造成串供的多个元件同时失压。

7月1日凌晨，由于受220kV梅畚线停电解口入富远站工程、“琴顺线+梅兴线”越限、“琴顺线+梅兴线”断面控制等影响，该片区采取了较为复杂的供电方式：即110kV塘坝站、连江站通过畚江站110kV母线转由长沙站供，断开畚江站#1主变变中1101开关及#2主变变中1102开关。在此运行方式下，110kV畚南甲乙线同时故障跳闸，造成110kV连江站、塘坝站失压和220kV畚江站110kV母线失压。

4. 暴露问题

(1) 风险管控能力需进一步加强，安全意识有待进一步提高

在220kV梅畚线停电前，某局编制了《220kV梅畚线路停电期间负荷控制、相关方式调整及事故处理预案》，对各个负荷阶段提前做好方式调整预安排，进行风险梳理，并予以揭示，但对突发强对流天气预判不足，对该临时方式引起的风险管控缺乏信息化系统的支撑，未采取及时有力的管控措施。

(2) 某局电网网架结构有待进一步完善

220kV兴宁站、叶塘站、琴江站仅依靠220kV梅兴线与220kV琴顺线双回线路供电（为避免电磁环网，枫霍线开环运行），且220kV梅兴线为LGJQ-400导线，限流仅为280WM，220kV梅兴线+琴顺线断面近期由于无法依靠枫树坝机组顶峰减轻负荷，仅能依靠110kV临时方式转供，新增了2个三级事件、1个四级事件风险。

另一方面，受限于网架不完善和梅兴线、兴琴线、琴顺线、畚顺线和梅畚线等220kV线路部分线段线径过小，在正常运行方式下，梅州电网主网存在“梅兴线+琴顺线”、“梅兴

线+梅畚线”、“兴琴线+梅畚线”等十余处负荷控制断面，即便采用了最优的电网风险控制措施仍存在较多的二、三级事件风险。

（二）某某电网某某供电局“9.5”500kV庐桢乙线5022开关非计划性停运三级电力安全事件

1. 事件经过

2018年9月5日14时59分，500kV庐桢乙线线路遭受雷击C相故障，主一、主二电流差动保护动作，11ms发令跳5022、5023开关C相，在51ms时5022、5023开关C相跳开，电弧熄灭68ms后，500kV庐桢乙线线路C相再次故障，此时又出现了故障电流，持续约10ms后消失，在119ms时庐桢乙线主一、主二电流差动保护再次动作出口跳开5022、5023开关三相，闭锁线路重合闸。

9月11日13时00分，完成500kV庐桢乙线5022开关新C相灭弧室的更换和充满合格的SF₆气体。对5022开关进行时间特性、回路电阻、均压电容（绝缘介损、电容量、绝缘电阻）、化学预防性试验，结果合格。19时15分500kV庐桢乙线5022开关送电正常，恢复正常运行方式。

故障设备信息：

500kV庐桢乙线5022开关，生产厂家：苏州某高压电气开关有限公司，型号：GL317X，投运日期：2010-10-06。

2. 事件定级

依据公司《电力事故事件调查规程》（2014版）中“（23）

开关非计划停运”中“500kV开关停运24h以上7日以下”，定为三级电力安全事件。

3. 原因分析

(1) 直接原因

线路遭遇连续雷击是造成本次事件的直接原因。

1) 保护动作情况分析

根据保护动作报告和故障录波分析，500kV庐赧乙线线路C相出现2次故障电流，在119ms时线路C相电压突变、C相再次出现持续时间为10ms故障电流。通过分析某电网雷电智能监测系统落雷记录及庐赧乙线C相电压波形，发现庐赧乙线C相电压波形与庐汕乙线（同一串内5021开关）C相电压波形类似，且雷电智能监测系统记录中多次落雷间隔时间与两次线路故障时间间隔基本一致，判断500kV庐赧乙线再次遭受雷击，导致5022开关C相断口被击穿、线路C相再次接地，此时C相再次出现故障电流，保护动作跳开断路器ABC相，闭锁重合闸（见图3-5-2）。

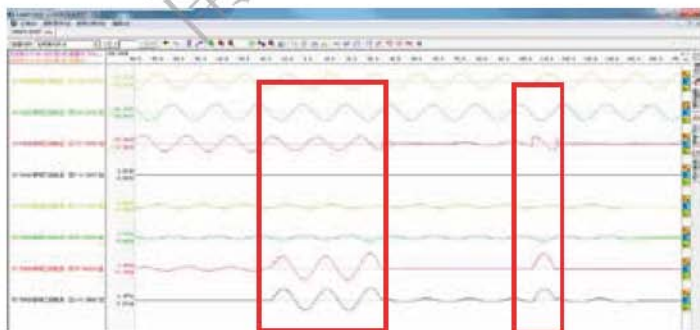


图3-5-2 500kV庐赧乙线故障录波图

2) 线路故障查线结果

巡查发现500kV庐祯乙线N289塔C相绝缘子串的玻璃绝缘子和钢帽上有雷击放电痕迹，绝缘子串外观无破损。（500kV庐祯线2011年5月投产，全线为同塔双回架设。故障的N289杆塔塔型为SZG375，全塔高100.3m，地线保护角为 -1° ，采用29片LXY4-210型玻璃绝缘子，设计工频接地电阻为 30Ω ，故障后实测接地电阻 7.1Ω （见图3-5-3）。



图3-5-3 500kV庐祯乙线N289塔C相雷击放电点

当日故障区域为雷雨大风天气。经雷电定位系统查询，故障发生时，500kV庐祯乙线发生了多次雷电活动记录，有两次落雷地点距离线路52m和264m，落雷地点为289杆塔附近，落雷地点与查线结果相吻合，且两次落雷时间差为119ms，与两次故障电流开始的时间差相吻合，该两次落雷的具体统计信息如

表3-5所示和图3-5-4所示。由此推断，该两次落雷对本次跳闸事件有直接影响。

表3-5 雷电监测信息查询结果报表

对象范围		线路:广东_惠州_500_L庐祓乙线 缓冲区半径(米):1000							
时间范围		雷电:2018-09-0514:59:00 ~ 2018-09-0515:00:00							
序号	时间	经度	纬度	电流(kA)	回击	站数	参与定位的探测站	最近距离(m)	最近杆塔
1	2018-09-05 14:59:57.142	115.1846	23.0914	-26.3	主放电(含5次后续回击)	26	坪地, 松北, 白田, 望埠站(新), 汕头站(新)等	522	289 ~ 290
2	2018-09-05 14:59:57.261	115.1836	23.0921	-19.3	后续第3次回击	26	坪地, 松北, 白田, 望埠站(新), 汕头站(新)等	421	289 ~ 290



图3-5-4 9月5日雷电定位信息查询结果

3) 过电压仿真分析

为确定两次落雷对断路器过电压水平的影响，采用ATP/

EMTP中提供的J-marti频率相关模型进行了过电压仿真分析。仿真基于庐枞乙线实际情况及避雷器、断路器实际参数设置，仿真模型如图3-5-5所示。

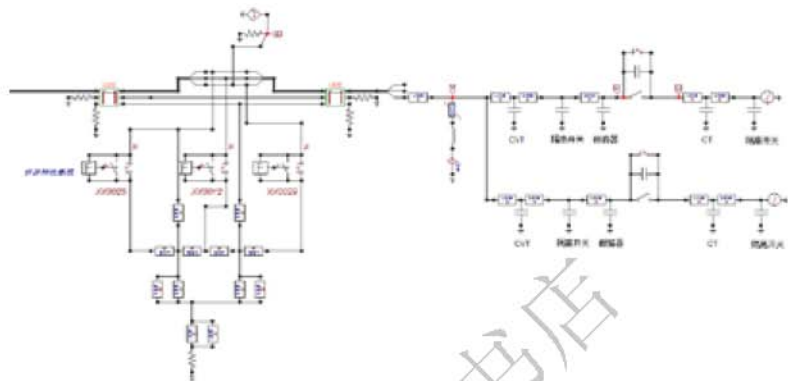


图3-5-5 ATP仿真模型

采用1.2/50 μ s的负极性标准双指数波模型，分别选取不同幅值下的雷电流进行仿真分析。避雷器残压及5022断路器断口电压随雷电流幅值增大的变化规律如图3-5-6所示。

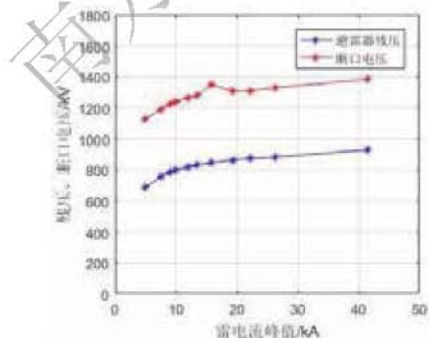


图3-5-6 避雷器残压及断路器断口电压随雷电流幅值增大的变化规律

其中，与本次故障相关的两次落雷造成的避雷器残压及

5022开关断口电压如表3-6所示。可见，第二次雷电流（幅值19.3kA）直击线路时，断路器断口间产生的过电压幅值达1310kV，达到断路器额定雷电冲击耐压水平（1675kV）的80%。

表3-6 不同雷电流幅值下避雷器残压和断口电压幅值

雷电流/kA	避雷器残压幅值/kV	断口电压幅值/kV
-26.3	882	1331
-19.3	864	1310

4) 第二次故障电流持续10ms熄灭的原因

断口重击穿产生第二次故障电流时，虽然开关已处于分闸状态，但由于阿海珐GL317X型断路器采用自能式灭弧，短路电弧的高温会加热自能室内的SF₆气体，使其压力迅速增加，在电流过零点时从喷口急剧喷出，起到吹弧作用，具备一定的灭弧能力，有利于第二次故障电流熄灭。同时外部杆塔闪络绝缘子第二次击穿时，绝缘子表面的电弧过零后在外界风吹等自然条件作用下不稳定也容易熄灭。

综上所述：500kV庐岗站5022开关和5023开关跳闸时500kV庐岗乙线沿线遭受连续多次落雷，其中接地点289杆塔附近两次连续落雷时间间隔119ms，与线路两次故障电流起始时间基本吻合，其中一次雷击造成了线路接地短路故障，线路保护动作正确切除故障，经仿真计算，第二次落雷造成5022开关处过电压达1310kV（额定雷电耐受电压1675kV），由于开关刚刚开断，灭弧室内SF₆绝缘能力未能完全恢复，造成灭弧室绝缘性能下降，导致5022开关C相断口被击穿、线路C相再次接地，此时C相再次出现故障电流，保护动作跳开5022开关ABC相，闭锁重合闸。

(三) 某某某电网某某供电局“10.20”220kV神州牵引站失压三级电力安全事件

1. 事件经过

2018年10月20日1时13分，雷击同塔架设的220kV红牵 I Ⅱ线架空地线，导致220kV红牵 I、Ⅱ线B相遭受反击，引起线路零序过流Ⅲ段、距离Ⅱ段保护动作跳闸，应用户要求，两条线路不投重合闸。220kV红牵 I、Ⅱ线跳闸造成海南东环铁路有限公司220kV神州牵引站失压。

10月20日1时57分，220kV红牵 I 线强送成功，10月20日13时29分，220kV红牵Ⅱ线强送成功，20kV神州牵引站恢复正常运行方式。

由于10月20日当地天气恶劣，琼海供电局10月21日才利用无人机精飞加人员登塔方式对220kV红牵 I、Ⅱ线进行特巡，发现220kV红牵 I 线N35塔B相绝缘子有放电痕迹、220kV红牵Ⅱ线N35塔B相有放电痕迹。如图3-5-7至图3-5-10。



图3-5-7 220kV红牵 I 线N35塔B相复合绝缘子上有雷击灼伤点



图3-5-8 220kV红牵II线N35塔B相复合绝缘子上有雷击灼伤点



图3-5-9 220kV红牵I、II线相序图

对象主线路-一级所属=海南,二级所属=琼海,三级所属=无,电压等级=220,线路名称=红牵I线,半径=3,未支持线路跨局
时间范围:20181020011000-20181020011600

序号	时间	经度	纬度	电流(kA)	回击	站数	参与定位的探测站	距离(m)	最近杆塔
1	2018-10-20 01:12:16.390	110.2992	18.7065	7.0	无回击	2	五指山新站,屯昌新站	1,653	55
2	2018-10-20 01:13:52.694	110.3334	18.7472	-223.3	有回击	40		2,177	35-36
3	2018-10-20 01:13:53.016	110.3323	18.7600	-41.1	有回击	12		1,197	32-33
4	2018-10-20 01:13:53.141	110.3266	18.7629	-32.1	有回击	12		586	33-34
5	2018-10-20 01:14:43.189	110.3106	18.8148	-69.7	有回击	26		2,860	20-21
6	2018-10-20 01:14:43.299	110.3295	18.8052	-19.6	有回击	6		755	20-21
7	2018-10-20 01:14:43.388	110.3270	18.8247	-4.5	有回击	2	万宁新站,屯昌新站	2,338	19




图3-5-10 雷电监测信息查询结果报表

2. 事件定级

依据公司《电力事故事件调查规程》表A2(19)“220kV用户失压,或2个110kV变电站失压(不含用户站),或5个以上35kV以上变电站失压”,属于三级电力安全事件。

3. 原因分析

(1) 直接原因

雷电击中220kV红牵I、II线N35塔地线,造成I、II线B相同时遭受反击引起线路跳闸。

(2) 间接原因

因用户要求220kV红牵I、II线不投入重合闸,在非永久性故障的情况下无法通过重合闸恢复运行。

4. 暴露问题

(1) 未充分考虑220kV双回线路设计标准、绝缘子耐雷性

能等差异防雷需求，同塔双回线路容易因雷害造成同时跳闸。

(2) N35塔地线保护角为 13° ，虽然满足1999版线路设计规程要求的 $<20^{\circ}$ ，但是仍未能躲过线路落雷的反击，需要考虑减小接地线的防雷保护角，或采取其他可靠的防雷措施。

南方电力书店