

多重雷击引起220 kV断路器损坏的事故分析

刘胜军, 李遵守, 周开峰

(保定供电公司, 保定 071000)

摘要: 针对220 kV线路雷击故障时雷电波侵入220 kV变电站内,引起220 kV断路器断口绝缘击穿,导致断路器内部损坏,建议开展110、220 kV SF₆断路器雷电冲击、反极性工频联合电压试验,并在强雷地区变电站110、220 kV架空出线侧加装避雷器保护。这些线路避雷器除了能防止断口内外闪络,也可以保护母线上的其他电气设备,显著地减少雷击的危害。

关键词: 断路器; SF₆气体分解物; 多重雷击; 击穿

中图分类号: TM561

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2012)10-0131-03

Prevention of 220 kV Circuit Breaker Damage Due to Multiple Lightning Strikes

LIU Sheng-jun, LI Zun-shou, ZHOU Kai-feng

(Baoding Power Supply Company, Baoding 071000, China)

Abstract: When a 220 kV transmission line is struck by lightning, lightning waves intrude into 220 kV substation to break down the insulation of 220 kV circuit breaker. Therefore, we suggest to conduct the combined test of lightning impulse voltage and anti-polarity power frequency voltage for 110 kV and 220 kV SF₆ circuit breakers, and equipped the substations in strong lightning area with lightning arresters on outlet terminals of 110 kV and 220 kV overhead transmission lines. These lightning arresters can prevent internal and external flashover at fracture, and can protect other electrical equipments on the bus to significantly reduce the danger of lightning.

Key words: circuit breaker; SF₆'s decomposed gases; multiple lightning strikes; breakdown

0 引言

变电站是电力系统防雷的重要保护设施,如果发生雷击事故,将造成大面积的停电,严重影响社会生产和人民生活。因此要求变电站的防雷措施必须十分可靠。

雷击的来源,一是雷直击于变电站的设备上,变电站对于直击雷的保护一般采取装设避雷针或采用沿变电站进线段一定距离内架设避雷线的方法解决。二是架空线路的雷电感应过电压和直击雷过电压形成的雷电波沿线路侵入变电站,是导致变电站雷害的主要原因。

保定市附近的雷电活动属中等频度,每年在40个雷电日左右,2010年发生了因为线路遭受多重雷击导致220 kV线路断路器断口内部损坏的故障^[1]。现对该故障的过程和原因做简单介绍和分析,以供

参考。

1 故障经过

1.1 故障基本情况

2010年8月31日21时00分49秒受当时保定市附近恶劣天气的影响,220 kV富南Ⅰ线A相遭受雷击形成瞬间接地故障,220 kV南郊变电站2213断路器保护动作,跳开A相断路器,成功开断故障电流后,2213断路器A相断路器处于热备用状态。220 kV南郊变电站2213断路器A相跳开156 ms后,220 kV富南Ⅰ线A相再次遭受雷击,2213断路器A相再次出现约12 ms的故障电流,220 kV富南Ⅰ线两套保护分别三跳、永跳出口,2213三相断路器跳开。

1.2 继电保护动作信息及录波图

0 ms时220 kV富南Ⅰ线A相故障发生,故障电流220 kV南郊变电站侧最大有效值为26 kA,

220 kV 富昌变电站侧为 1.9 kA;

15 ms 时 220 kV 南郊、富昌变电站 RCS931BM 差动动作;

25 ms 时 220 kV 南郊、富昌变电站 PSL603GC 差动动作;

48 ms 时 220 kV 富南 I 线 A 相故障灭弧,220 kV 南郊变电站 2213 断路器 A 相成功切除故障电流;

204 ms 时 220 kV 南郊变电站 2213 断路器 A 相再次出现故障电流,最大有效值为 18 kA;

223 ms 时 220 kV 南郊变电站 RCS931BM 非全相再故障三跳(在跳闸逻辑中);

236 ms 时 220 kV 南郊、富昌变电站 PSL603GC 非全相再故障永跳(在差动保护逻辑中);

252 ms 时 220 kV 南郊变电站 2213 断路器 A 相故障电流自行消失;

260 ms 时 220 kV 富昌变电站 RCS-931BM 收远跳动作三跳;

300 ms 时 220 kV 南郊、富昌变电站 PSL603GC 收远跳动作三跳。

分析表明,全部继电保护动作正确,继电保护动作时序见图 1。

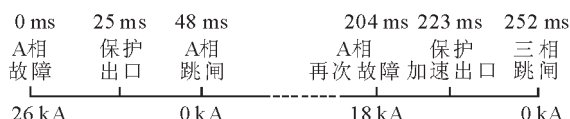


图 1 继电保护动作时序

Fig. 1 Action sequence of relay protection

2213 断路器为苏州 AREVA 高压电气有限公司产品 2007 年 5 月生产的 GL314-252 型产品,2007 年 11 月投入运行。该 220 kV 断路器以往试验数据合格,且未曾发生漏气等缺陷。

220 kV 富南 I 线基本参数:与 220 kV 富南 II 线全线路同塔并架,2007 年 11 月投入运行,起点为 220 kV 富昌变电站,终点为 220 kV 南郊变电站,共计 36 基杆塔,全长 10.247 km,全线路无换位,导线型号为 2×LGJ-300/25,地线型号为 OPGW, JLB4-150,耐张串绝缘配置为 XWP2-120 18 片,悬垂串绝缘配置为 FXBW-220/100,排列方式为垂直排列,相序为上部 B 相、中部 A、下部 C 相,防雷保护角为设计不大于 15°。

2 故障检查

2.1 变电站内检查

检修人员到达现场后,检查 2213 断路器外观,无异常。试验人员对 2213 断路器进行 SF₆ 气体分解物分析,结果发现 A 相 H₂S 体积分数为 111.2 μL/L,

SO₂ 体积分数为 35.5 μL/L, B、C 两相 H₂S 和 SO₂ 体积分数均为零,可见 A 相 SF₆ 气体分解物体积分数远远高于 B、C 两相^[2-5]。另外,2213 断路器 A 相 SF₆ 气体含水量为 220 μL/L,低于 300 μL/L 的标准值。

2.2 线路检查

专业人员现场检查发现,220 kV 富南 I 线 33 号耐张塔 A 相引流线悬垂合成绝缘子、32 号直线塔 A 相悬垂合成绝缘子(双串)有雷击放电痕迹,分别见图 2、3。

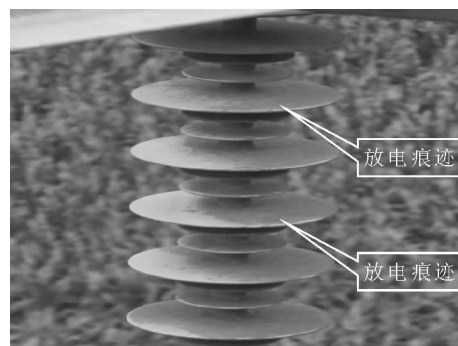


图 2 33 号耐张塔绝缘子放电痕

Fig. 2 Discharge trace on insulation of No.33 strain tower

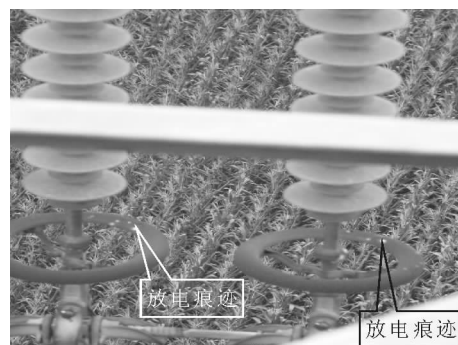


图 3 32 号直线塔绝缘子放电痕迹

Fig. 3 Discharge trace on insulation of No.32 tangent tower

2.3 断路器解体检查

2213 断路器返厂解体后,发现灭弧室内有大量白色粉末,见图 4,并有灼烧痕迹,见图 5。

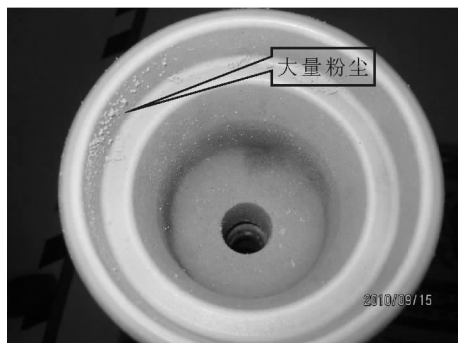


图 4 灭弧室内 SF₆ 气体分解物

Fig. 4 Production of decomposition of SF₆ gas in interrupter

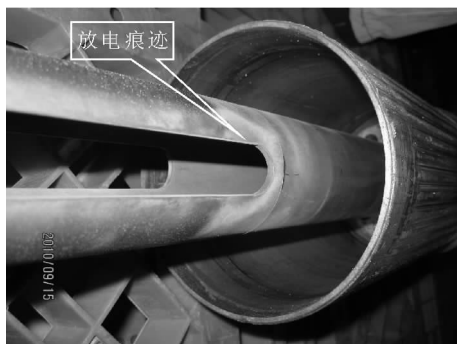


图 5 灭弧室内放电痕迹

Fig. 5 Discharge trace in interrupter

3 原因分析

雷电定位系统显示故障发生时段 30-33 号塔落雷 2 次, 结合外观检查、解体检查、故障录波图及 SF₆ 气体分解物测试结果, 对该 220 kV 断路器损坏原因进行分析, 故障原因如下:

1) 第 1 次出现故障电流。根据录波图及线路查线结果分析, 220 kV 富南 I 线 33 号耐张塔遭受雷击造成绝缘子表面闪络, 故障电流为 26 kA, 持续时间 50 ms, 2213 断路器 A 相成功切除故障电流。

2) 第 2 次出现故障电流。2213A 相切除故障电流后约 156 ms (此时未达到 2213 断路器重合闸 800 ms 动作出口时间, A 相处于断开状态), 该线路 32 号直线塔遭受第二次雷击, 上端金属件对下端均压环直接击穿, 同时雷电波通过线路传递到 220 kV 南郊变电站内, 由于雷击点与变电站距离较短, 约 1.2 km, 雷电波衰减幅度较小, 且 2213 断路器 A 相处于热备用状态, 断路器外侧对于雷电侵入波来说处于无保护状态。根据行波理论, 雷电侵入波在断路器断口外侧发生行波全反射^[6], 所以断路器断口除承受雷电侵入波及其反射波叠加作用外, 还承受母线侧工频电压作用, 极端情况下可能遭遇与侵入波反极性的工频电压峰值叠加作用, 造成 2213 断路器 A 相断口击穿, 重新产生故障电流, 两套保护分别三跳、永跳出口, 跳开三相断路器^[7-8]。

4 预防措施

鉴于近年来保定地区雷电活动频繁的形势, 提出如下改进措施:

1) 对 110、220 kV 变电站运行情况进行排查, 按照《预防多雷地区变电站断路器等设备雷害事故技术措施》的指导意见逐步加装线路避雷器^[9]。

2) 根据几种避雷器的保护特性, 采用性能良好的氧化锌避雷器^[10]。这些线路避雷器除了能防止断

口内外闪络, 也可以保护母线上的其他电气设备。

3) 利用避雷线良好的屏蔽作用防止雷电直击导线以及使最靠近变电站的杆塔具有低的接地电阻以防止反击 (因为这种雷的直击和反击可以在分闸断路器断口处产生波头时间很短的过电压) 等, 也能显著地减少近区雷击的危害^[11-12]。

4) 对于 110、220 kV SF₆ 断路器雷电冲击和工频耐压型式试验, 设备生产厂家有必要考虑断路器在分位时断口承受雷电波和工频电压作用的极端情况, 提高耐雷水平^[13]。

参考文献:

- [1] 张华赢, 杨兰均, 李良书, 等. 投切电容器组专用真空断路器性能研究[J]. 电力电容器与无功补偿, 2011, 32(3): 38-44.
ZHANG Hua-ying, YANG Lan-jun, LI Liang-shu, et al. Study on the performance of special vacuum breaker for switching capacitor banks[J]. Power Capacitor & Reactive Power Compensation, 2011, 32(3): 38-44.
- [2] 季严松, 王承玉. SF₆ 气体分解产物检测技术及其在 GIS 设备故障诊断中的应用[J]. 高压电器, 2011, 47(2): 100-107.
JI Yan-song, WANG Cheng-yu. Measuring technique of SF₆ decomposition products and its application to fault diagnosis of GIS[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(2): 100-107.
- [3] 李晓峰, 霍凤鸣, 甄利. 利用 SF₆ 气体分解物对断路器运行状况进行诊断的方法探讨[J]. 高压电器, 2011, 47(1): 103-105.
LI Xiao-feng, HUO Feng-ming, ZHEN Li. Operational status evaluation of circuit breaker by detecting SF₆ decomposition product[J]. High Voltage Apparatus, 2011, 47(1): 103-105.
- [4] 陈晓清, 彭华东. SF₆ 气体分解产物检测技术及应用情况[J]. 高压电器, 2010, 46(10): 81-89.
CHEN Xiao-qing, PENG Hua-dong. Detection techniques of SF₆ decomposition and application[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(10): 81-89.
- [5] 张若飞, 杜黎明, 张利燕. SF₆ 高压断路器故障分析[J]. 高压电器, 2010, 46(2): 99-102.
ZHANG Ruo-fei, DU Li-ming, ZHANG Li-yan. Fault analysis of SF₆ high voltage circuit breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(2): 99-102.
- [6] 鲁铁成. 电力系统过电压[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009.
LU Tie-cheng. Overvoltage of power system[M]. Beijing: China Water Power Press, 2009.
- [7] 郝建成, 张军阳, 田勇. 线路遭受连续雷击造成断路器事故分析[J]. 高压电器, 2008, 46(10): 105-107.

(下转第 137 页)

- [3] 胡红光. 隔离开关触头结构与发热原因分析[J]. 高压技术, 2001, 21(5): 72-74.
HU Hong-guang. The contact structure and analysis of the causes of fever of disconnector[J]. High Voltage Engineering, 2001, 21(5): 72-74.
- [4] 肖 辉, 吴学斌, 曾祥君. GW16/17 型隔离开关在运行中出现的问题及解决方案[J]. 长沙电力学院学报(自然科学版), 2005(3): 18-20.
XIAO Hui, WU Xue-bin, ZENG Xiang-jun. The problems and solutions in operation of type GW16/17 disconnector[J]. Changsha University of Electric Power (Natural Science), 2005(3): 18-20.
- [5] 钟振蛟. 户外隔离开关导电回路过热的原因及对策[J]. 高压电器, 2005, 41(4): 307-309.
ZHONG Zhen-jiao. Overheating causes and countermeasures of the conductive circuit of the outdoor disconnector[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(4): 307-309.
- [6] 于 波, 王伟斌, 孟 辉. GW16/17 型隔离开关运行中存在的问题及检修[J]. 东北电力技术, 2006(11): 32-35.
YU Bo, WANG Wei-bin, MENG Hui. The problems and maintenance in operation of type GW16/17 disconnector[J]. Northeast Electric Power Engineer, 2006(11): 32-35.
- [7] 龚 曜, 孙云生, 陈建军, 等. 京津唐电网 500 kV 开关设备运行情况分析[J]. 华北电力技术, 2003(12): 47-51.
GONG Yao, SUN Yun-sheng, CHEN Jian-jun, et al. Analysis of the operation of 500 kV switchgear of Beijing-Tianjin-Tangshan power grid[J]. North China Electric Power Engineer, 2003(12): 47-51.
- [8] 李海明, 杨晓新. 乌丹变电所 GW10-252W 隔离开关故障原因分析[J]. 东北电力技术, 2006(6): 24-28.
LI Hai-ming, YANG Xiao-xin. Failure analysis of GW10-252W disconnector in Wudan substation[J]. Northeast Electric Power Engineer, 2006(6): 24-28.
- [9] 黎 斌. SF₆ 高压电器设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003.
LI bin. SF₆ high-voltage electrical design[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2003.
- [10] GB/T 11022—1999. 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求[S].
GB/T 11022—1999. Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards[S].
- 程风华(1968—), 男, 工程师, 长期从事各类隔离开关和接地开关产品的研发和制造。

(上接第 133 页)

- HAO Jian-cheng, ZHANG Jun-yang, TIAN Yong. Faults analysis of circuit-breaker caused by continuous lightning strike on line[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(10): 105-107.
- [8] 许沛丰, 高军委, 张予洛, 等. 对断路器电容器电容及介损测量预试方法的探讨[J]. 电力电容器, 2007, 28(4): 53-56.
XUE Pei-feng, GAO Jun-wei, ZHANG Yu-luo, et al. Discussion about the way to measure capacitance and dielectric loss of circuit breaker[J]. Power Capacitor, 2007, 28(4): 53-56.
- [9] 李汝彪, 张东波. 高压断路器雷击损坏故障分析与措施[J]. 高压电器, 2008, 44(5): 466-468.
LI Ru-biao, ZHANG Dong-bo. Analysis of circuit breaker failures due to lightning stroke[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(5): 466-468.
- [10] 周泽存. 高压技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
ZHOU Ze-cun. High-tension technology[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [11] 陶荣明, 陈梁金. 一起雷击 220 kV 线路引起开关设备故障的计算分析[J]. 高压电器, 2008, 44(5): 428-431.
TAO Rong-ming, CHEN Liang-jin. Calculation and analysis of a switchgear fault caused by lightning strike on 220 kV transmission lines[J]. High Voltage Apparatus, 2008, 44(5): 428-431.
- [12] 李志兵, 许沛丰, 刘华伟, 等. 断路器电容器介损随电压变化关系研究[J]. 电力电容器, 2007, 28(6): 26-30.
LI Zhi-bing, XU Pei-feng, LIU Hua-wei, et al. Research on dielectric loss variation of circuit-breaker capacitors with voltage[J]. Power Capacitor, 2007, 28(6): 26-30.
- [13] 孟铮铮, 钟 磊. 断路器联合加压试验的建模与仿真[J]. 高压电器, 2010, 46(1): 32-39.
MENG Zheng-zheng, ZHONG Lei. Modelling and simulation of combined voltage test for breaker[J]. High Voltage Apparatus, 2010, 46(1): 32-39.
- 刘胜军(1974—), 男, 硕士研究生, 电气工程师, 从事技术监督专业管理工作。

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!