

# 220 kV 线路多重雷击导致两侧开关断口绝缘击穿分析

彭向阳<sup>1</sup>, 钟定珠<sup>1</sup>, 李凯曼<sup>2</sup>

(1. 广东省电力科学研究院, 广东 广州 510600; 2. 揭阳供电局, 广东 揭阳 522000)

**摘要:** 介绍 220 kV 线路雷击故障、两侧变电设备受损及断路器内部故障的发现、处理过程, 结合线路故障查巡、雷电参数、过电压及继电保护动作时序分析, 确定线路两侧开关雷电侵入波同时受损原因。指出因较短线路遭受多重雷击, 造成开关断口内、外绝缘不能承受侵入波及其反射波的叠加作用而击穿, 灭弧室瓷套在内、外部电弧持续热效应下可能发生爆炸。建议开展 110、220 kV SF<sub>6</sub> 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。

**关键词:** 架空线路; 雷击故障; 线路开关; 雷电侵入波

中图分类号: TM561

文献标志码: A

文章编号: 1001-1609(2009)05-0146-03

## Analysis of Insulation Breakdown of Two Sides Breaker in 220 kV Transmission Line Caused by Multiple Lightning Strikes

PENG Xiang-yang<sup>1</sup>, ZHONG Ding-zhu<sup>1</sup>, LI Kai-man<sup>2</sup>

(1. Guangdong Electric Power Research Institute, Guangzhou 510600, China;

2. Jieyang Power Supply Bureau, Jieyang 522000, China)

**Abstract:** This paper introduces lightning strike fault of 220 kV line, substation equipments damage of two sides and inside trouble discovery of breaker; analysis line fault examination, lightning parameters, overvoltage and time relay protection, and confirms damage causation at the same time of two breakers; indicates that breakers strikes out because of multiple lightning strikes of short line and addition process of lightning intruding waves and its reflect waves. Then the paper suggests to carry out the combined voltage tests of lightning impulse and anti-polarity power frequency voltage test, and adding substation lightning arresters on terminal of 110 kV, 220 kV overhead transmission line of strong lightning area.

**Key words:** overhead transmission line; lightning strike fault; line breaker; lightning intruding waves

### 0 引言

2007 年 8 月 13 日, 揭阳 220 kV 揭棉线遭受连续雷击, 造成线路两侧揭阳站和棉湖站线路开关断口绝缘击穿损坏故障, 其中揭阳站揭棉线开关 B 相断口内绝缘击穿, 棉湖站揭棉线开关 B 相断口外绝缘击穿及灭弧室瓷套爆炸。笔者介绍上述故障经过和处理情况, 分析 220 kV 线路两侧开关遭受雷电侵入波同时受损原因。

### 1 故障经过

故障时棉湖站及揭阳站 220 kV I 母、II 母并列运行, 14 时 43 分 220 kV 揭棉线两侧开关 B 相跳

闸、重合成功, 约 46 s 后揭棉线再次发生故障。其中: 棉湖站侧开关 B 相跳闸、重合闸闭锁, 约 500 ms 后失灵保护跳 220 kV 母联、1 号变高、厂棉线及揭棉线开关, 220 kV I 母失压; 揭阳站侧开关 B 相跳闸、三相无重合, 约 500 ms 后失灵保护跳 220 kV 母联、顺揭线、1 号变高、长揭甲线及揭棉线开关, 220 kV I 母失压。

检查揭棉线两侧变电设备受损情况: 棉湖站开关 B 相灭弧室瓷套爆炸损毁 (见图 1), A 相开关外瓷套炸伤, 揭棉线间隔刀闸及 CT 设备受损; 揭阳站开关三相本体外观正常, 无电弧放电痕迹。两台开关分别为 3AP1-F1、HPL245B1 型 SF<sub>6</sub> 开关, 额定电流分别为 3 150、4 000 A, 2001、2005 年投产, 工频、雷电冲击耐受电压均为 460、1 050 kV。

收稿日期: 2009-04-11; 修回日期: 2009-06-03

作者简介: 彭向阳(1971), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事输电线路及过电压绝缘配合工作。



图1 棉湖站揭棉线开关B相受损情况

## 2 故障处理

### 2.1 棉湖站开关处理

揭棉线雷击造成棉湖站开关断口外绝缘击穿故障过程及原因基本明确,决定实施三相整台更换,同时对揭棉线三相油CT及刀闸等受损设备进行更换。

### 2.2 揭阳站开关故障检测及解体

开关及CT故障后检查无明显异常,起初尚不知开关也在同一故障过程中损坏。但录波分析发现线路两侧变电站保护动作情况、动作时序及录波过程基本相同,两侧开关B相跳闸后断口均再次出现持续电流。考虑到揭棉线长度短,线路雷电波同时向两站传播且衰减较小,揭阳站侧开关很可能同时发生相同故障,即开关断口内绝缘击穿,只是灭弧室瓷套没有爆炸。对开关进行绝缘电阻、导电回路电阻和动作特性试验正常,A、C相开关和B相CT SF<sub>6</sub>气体成分测试结果正常,但开关B相SF<sub>6</sub>气体电弧分解物SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S浓度严重超标,确认B相内绝缘发生强烈电弧放电故障,因此决定对开关实施更换。

事后对揭阳站侧B相开关解体,情况如下:灭弧室内发现有很多黑色粉末;静弧触头有龟裂且部分烧损,见图2(a);动弧触头严重烧损,见图2(b);动、静主触头基本完好,没有烧损痕迹。

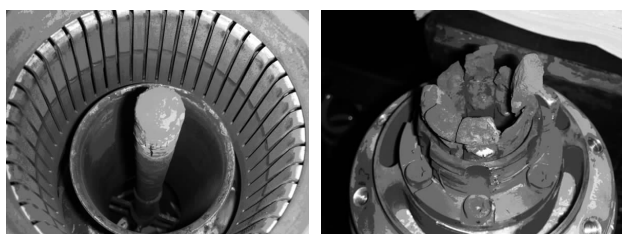


图2 揭阳站揭棉线开关B相灭弧室解体情况

## 3 线路雷电定位及故障查找

揭棉线全长31.7 km,89基杆塔,故障时段揭阳地区雷电极其强烈,雷击造成2人死亡、3人受伤,雷电定位结果:故障时刻14:43:33时,8号塔段落雷一次,雷电流幅值-61.8 kA,与线路第一次故障保护测距2.99 km吻合,该次落雷造成揭棉线第1次跳闸、重合成功;故障时刻14:43:51、14:43:52时,11号塔段落雷两次,雷电流幅值-40.4、-24.8 kA,与线路第2次故障保护测距5.0 km吻合,第1次雷击造成揭棉线第2次跳闸,接着第2次雷击造成揭棉线两侧开关断口击穿;故障时刻8、11号塔只有3次落雷。

线路故障查线情况:在8、11号塔发现雷击故障点,8、11号塔均为双串复合绝缘子,故障点均在B相(上相)。其中11号塔B相双串绝缘子上、下均压环都有明显电弧痕迹,上均压环都被电弧烧蚀残缺,其中一串绝缘子下均压环被电弧烧蚀残缺,绝缘子表面无明显放电痕迹;8号塔B相其中一串绝缘子表面及均压环存在明显放电痕迹,下均压环被电弧烧成一个孔。

## 4 保护动作和录波分析

揭棉线故障时,揭阳站和棉湖站继电保护动作过程和动作时序基本相同,考虑到继电保护动作时延不同及差异,可认为两个站的故障过程同时发生。由于故障点靠近揭阳站侧,揭阳站故障短路电流明显较棉湖站大。

线路B相发生雷击故障时,揭阳站B相短路电流峰值20.6 kA,且波形已发生畸变,棉湖站B相短路电流峰值5.3 kA;揭阳站故障发生504 ms后,B相再次出现短路电流峰值12 kA,棉湖站故障发生443 ms后,B相再次出现短路电流峰值5.9 kA,直至失灵保护切除母线电源后B相故障电流消失。分析表明,全部继电保护动作正确,继电保护动作时序见图3、4。

## 5 线路开关故障原因

揭阳站和棉湖站220 kV揭棉线出线侧(线路终

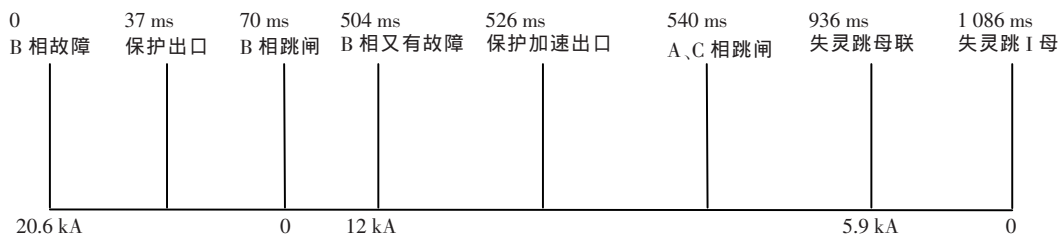


图3 揭阳站继电保护动作时序

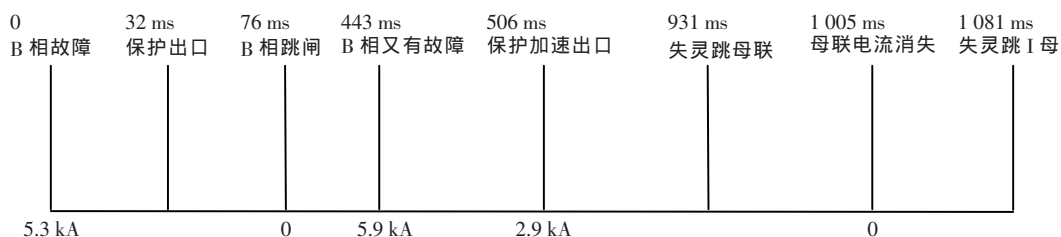


图4 棉湖站继电保护动作时序

端)均未安装避雷器。故障过程中,揭阳站 220 kV I 母避雷器 B 相动作 2 次、C 相动作 1 次,II 母避雷器 B、C 相各动作 1 次,1 号变避雷器 B、C 相各动作 1 次。避雷器动作情况与揭棉线 B 相雷击故障线路进波,以及线路故障点距揭阳站较近相吻合。

棉湖站开关 B 相灭弧室上下两端接线板及金属部分存在明显电弧痕迹及烧熔点,灭弧室内部开关动、静主触头结构保持完好、表面光洁无烧损,动、静弧触头保持完好、无烧损,端部表面圆滑,因正常开断工作电流形成电弧发黑痕迹。金属筒的内外表面光洁光亮、镀层完好,无电弧痕迹。

上述故障现象说明,棉湖站 B 相开关内绝缘正常,灭弧室没有发生电弧放电,灭弧室爆炸是断口外绝缘击穿造成的,而不是断口内绝缘击穿引起。结合保护动作时序和录波、雷电情况,分析棉湖站开关 B 相故障过程和开关爆炸原因如下。

故障时段 14:43 时揭棉线连续遭受雷击,第一次遭受雷击,两侧 B 相开关跳闸、重合成功。紧接着 14:44 时 B 相第 2 次遭受雷击,故障点距揭阳站 5 km, B 相故障短路电流峰值 5.3 kA, 32 ms 保护出口、76 ms 开关位置变为分位,即揭棉线 B 相开关单相跳闸切除故障点, B 相断口处于暂时分闸状态,断口母线侧带电。443 ms 后揭棉线再次遭受雷击、雷电侵入波沿线路 B 相传播至变电站,在处于开路的开关断口处发生行波全反射,断口承受的过电压幅值将增加到侵入波电压的 2 倍,大大高于断口雷电冲击绝缘水平,导致开关断口外绝缘击穿、灭弧室上下法兰间放电,并通过母线向线路侧故障点提供短路电流峰值 5.9 kA,故障电流持续造成失灵保护动作 931 ms 跳母线开关、1081 ms 跳 I 母所有开关。由于故障电流持续时间较长,灭弧室上下法兰金属严重烧损,且电弧燃烧使灭弧室瓷套局部温度骤变,热应力造成瓷套爆裂、B 相极柱解体。可见,棉湖站侧开关 B 相损坏原因,是线路遭受多重雷击,造成开关断口外绝缘不能承受雷电侵入波及其反射波的叠加作用而击穿,并在电弧长时间热效应下灭弧室瓷套爆炸。

揭阳站侧 B 相开关故障过程和损坏原因与棉湖站基本相同,从继电保护动作时间和时序看属于同一次故障过程。揭棉线 B 相雷击单相接地时,线路两侧 B 相开关同时跳闸切除故障电流、两侧 B 相开关分断。线路再次雷击时雷电波同时向线路两侧传播,并在两侧 B 相开关断口发生行波全反射,只是棉湖站开关断口外绝缘击穿灭弧室爆炸,而揭阳站开关断口内绝缘击穿灭弧室没有爆炸。从最近几年全省开关绝缘故障看,开关断口内、外绝缘击穿故障时,开关灭弧室瓷套或爆炸损坏,或保持完好,具体机理有待进一步研究分析。

值得指出的是,在开关处于分断位、线路再次发生雷击故障时,开关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。因此,对于 110、220 kV SF<sub>6</sub> 开关雷电冲击和工频耐压型式试验,有必要提出考虑反极性工频电压叠加作用的要求,据悉目前已有开关厂家对部分型号的断路器进行了上述联合电压试验。

## 6 结语

广东雷电活动强烈、多重雷击经常发生,以及运行方式要求 110 kV 及以上输电线路经常热备用运行,线路雷击造成两侧变电开关断口绝缘击穿事故时常发生,造成设备损坏和停电损失;建议广东地区 110、220 kV 架空线路出线侧加装避雷器保护<sup>[3,4]</sup>,同时开展 110、220 kV SF<sub>6</sub> 开关断口雷电冲击和工频电压联合试验,提高开关断口绝缘水平。

## 参考文献:

- [1] GB/T 14285-2006.继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [2] DL/T 620-1997.交流电气装置的过电压保护和绝缘配合[S].
- [3] 李汉明,陈维江.多雷地区 110 kV 和 220 kV 敞开式变电所的雷电侵入波保护[J].电网技术,2002,26(8):39-43.
- [4] 广东电网公司部门文件(广电生部[2008]140号).关于增装变电站 110~220 kV 出线间隔避雷器的通知[Z].