

550kV盆式绝缘子沿面放电通道类型的研究

徐嘉臻¹ 孙国立² 李要锋³ 范国涛⁴ 吴峰鑫⁵

1. 身份证号码: 41042619801111001X
2. 身份证号码: 411423198588112514
3. 身份证号码: 410421198106023515
4. 身份证号码: 410181198512056574
5. 身份证号码: 410411198211283017

摘要: 目前国内GIS制造厂商设计和研发能力日臻成熟完善,各电压等级产品的性能结构也较为稳定。但因作业环境、装配工艺、作业人员素质以及零部件质量等因素的影响,GIS内部可能会混入金属微粒,从而导致其在出厂或现场交接试验时发生绝缘击穿的不良现象。因击穿时的能量普遍较大导致金属微粒被烧蚀殆尽,这也给事后的分析及经验总结增加了困难。面对因为金属微粒引起的绝缘击穿,更多的是针对当前事件的事故分析和原因调查,缺少试验验证。因此通过开展此项目研究,希望能总结相关规律,为以后的放电原因分析提供分析依据。

关键词: GIS; 盆式绝缘子; 放电通道

Study on Surface Discharge Channel Type of 550kV Basin Insulator

Jiazhen Xu¹, Guoli Sun², Yaofeng Li³, Guotao Fan⁴, Fengxin Wu⁵

1. ID No.: 41042619801111001X
2. ID No.: 411423198588112514
3. ID No.: 410421198106023515
4. ID No.: 410181198512056574
5. ID No.: 410411198211283017

Abstract: At present, the design and R&D capabilities of domestic GIS manufacturers are becoming more and more mature, and the performance structure of products of various voltage levels is also relatively stable. However, due to the influence of operation environment, assembly process, quality of operators and parts, metal particles may be mixed in GIS, resulting in insulation breakdown during delivery or on-site handover test. Because the energy during breakdown is generally large, the metal particles are ablated, which also makes it difficult to analyze and summarize experience afterwards. In the face of insulation breakdown caused by metal particles, more are accident analysis and cause investigation for current events, and there is a lack of test verification. Therefore, through the research of this project, we hope to summarize the relevant laws and provide analysis basis for future discharge cause analysis.

Keywords: GIS; Basin insulator; Discharge channel

作者简介:

徐嘉臻(1980-),男,本科,助理工程师,主要从事高压开关的绝缘试验和研究工作。

孙国立(1985-),男,专科,助理工程师,主要从事高压开关的绝缘试验和研究工作。

李帅杰(1991-),男,本科,助理工程师,主要从事高压开关的绝缘试验和研究工作。

引言:

气体绝缘金属封闭开关设备 (GIS) 由于占地面积小、可靠性高, 在电力系统中得到了广泛应用。随着国内电力网络的蓬勃发展, 各个电压等级 GIS 产品的产量也在呈倍增加, 然而 GIS 在生产、试验和交付运行时, 也会面临各种各样的问题, 其中绝缘部件的击穿放电问题较为突出, 造成的影响较大。

550kV 封闭式组合电气中的盆式绝缘子, 其主要作用是支撑导体及分割气室。作为一种基本应用的绝缘部件, 其使用量大, 工作场景应用多种多样。因此选取盆式绝缘子作为研究对象非常具有参考意义。金属微粒引发的盆式绝缘子沿面击穿放电后, 会在绝缘盆沿面形成一道淡黑色的烧蚀痕迹, 一般称之为放电通道。其中一种较为常见的放电通道是从高压导体根部起始, 延伸至绝缘盆边缘, 呈树枝状发散 (本文称之为贯通型放电通道), 此种放电通道较为常见。还有一种放电通道, 起始点位于绝缘盆的中间部位, 延伸至绝缘盆边缘, 呈树枝状发散 (本文称之为半通型放电通道), 与贯通型的放电通道形成较大的区别。金属微粒究竟在哪些部位会诱发这两种截然不同的放电通道, 有待进一步进行研究验证。



图1 贯通型放电通道

Fig.1 Through discharge channel



图2 半通型放电通道

Fig.2 Half through discharge channel

一、试验平台搭建与模型设计

现以 550kV 母线试验样机为试验载体搭建验证试验平台 (如图 3 所示), 金属微粒模型选取材质为铝, 长条状, 长 5mm, 直径 0.2mm。将金属微粒布置在绝缘盆不同场强区位置下, 构建 5 个缺陷模型, 其中包括: 高压导体粘附金属微粒模型、绝缘盆与导体连接处粘附金属微粒模型, 绝缘盆高场强区粘附金属微粒模型, 绝缘盆中场强区粘附金属微粒模型, 绝缘盆低场强区粘附金属微粒模型。



图3 试验平台

Fig.3 Test platform

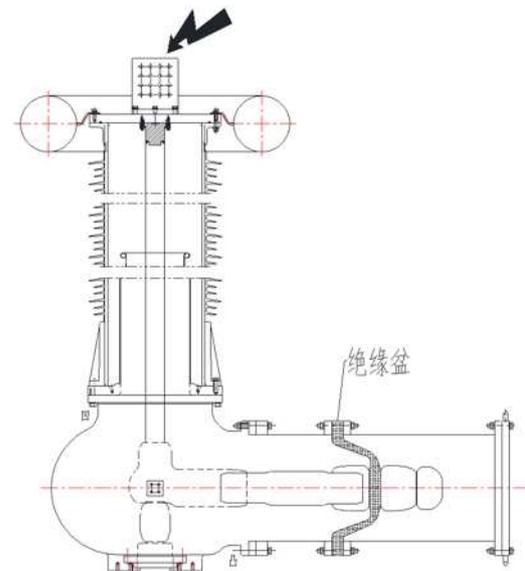


图4 试验姿态图

Fig.4 Test attitude

试验设备:

1. 雷电冲击电压发生器 主要工作参数为:
额定电压 2800kV
额定能量 280kJ
单级电容容量 200kV
2. SF₆ 气体绝缘试验变压器
额定容量 4MVA 1min
一次电压 4kV 一次电流 1000A
二次电压 1000kV 二次电流 4A



图5 2800kV 雷电冲击电压发生器

Fig.5 2800kv Lightning impulse voltage generator



图6 1000kV/4A 六氟化硫气体绝缘试验变压器

Fig.6 1000kV / 4A Sulfur SF₆ gas insulation test transformer

(1) 电场解析

利用ANSYS电场解析软件对550kV盆式绝缘子进行电场强度解析计算, 根据盆式绝缘子场强的高中低分布情况, 选取5个位置(如图4所示), 定义为位置1、位置2、位置3、位置4、位置5, 将金属微粒依次放置在选取的5个位置上, 分别进行模拟雷电冲击试验、工频交流耐压试验。

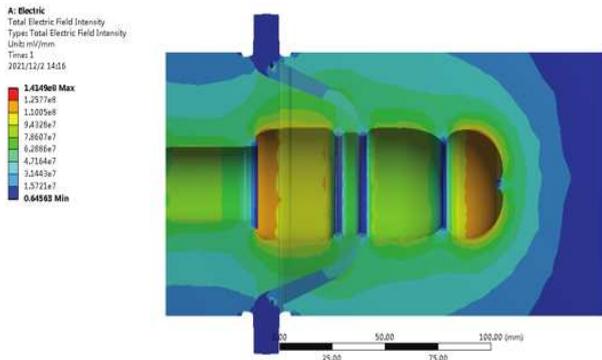


图7 试验母线电场分布

Fig.7 Electric field distribution of test bus

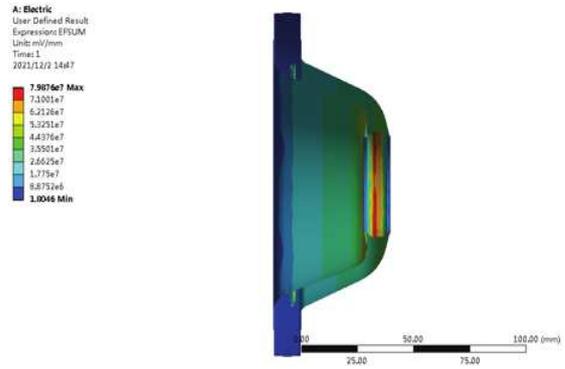


图8 550kV 盆式绝缘子电场分布

Fig.8 Electric field distribution of 550kV pot insulator

(2) 试验方案

将金属微粒根据图示依次放置在位置1-位置5上, 通过雷电冲击发生器和工频变压器对其进行试验, 验证不同位置下的金属微粒对绝缘盆放电通道的影响。

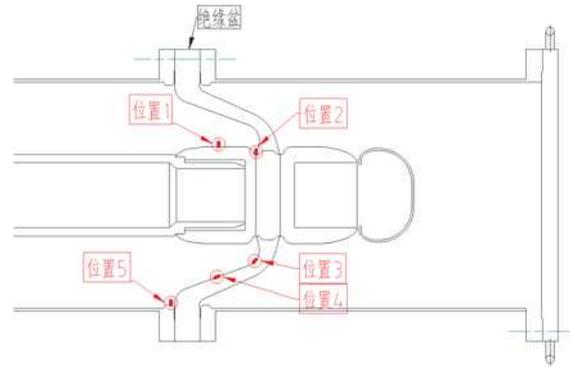


图9 金属微粒放置位置示意图

Fig.9 Schematic diagram of placement position of metal particles

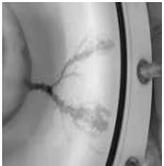
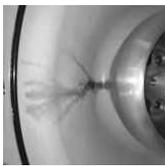
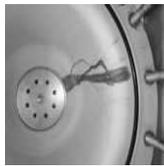
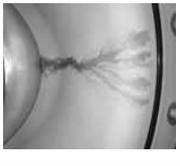
二、验证试验结果

经过多次试验总结, 金属微粒位于不同位置下造成的绝缘盆沿面闪络, 特征较为明显, 如表1所示。

表1 金属微粒在不同位置下引发的放电通道

Table 1 Discharge channels caused by metal particles at different positions

位置	雷电冲击 正极性	雷电冲击 负极性	交流工频
位置 1			
位置 2			

位置	雷电冲击 正极性	雷电冲击 负极性	交流工频
位置 3			
位置 4			

位置5因金属微粒处于低场强区,验证过程中未引发绝缘盆沿面放电,故无图形数据。

三、验证试验结论

1. 放电通道的类型

经多轮试验验证发现:位置1处引发的放电通道呈现半通型,同时金属微粒位于高压导体的位置上有较明显的烧蚀痕迹;位置2及位置3处引发的放电通道呈现贯通型,金属微粒在被电弧烧蚀时,会在绝缘盆上留下碳化痕迹;位置4处引发的放电通道较不稳定,时有呈现半通状时有呈现贯通状,半通状的放电通道只有在雷电冲击负极性下才会发生。

2. 贯通型放电通道产生的规律

(1) 位置2和位置3贯通型放电通道

位置2和位置3的放电通道都是从高压端到地端的贯通型放电通道,贯通型的放电通道的产生分为两个阶段。第一阶段是高压端首先对异物放电,这个阶段的放电痕迹呈现的状态是窄且集中的碳化通道,第二阶段是从异物位置向地端发散延伸,这个阶段的放电痕迹呈现树枝状的碳化通道。具体放电通道图片如下图所示:



图10 位置2放电通道图片

Fig.10 Picture of discharge channel at position 2

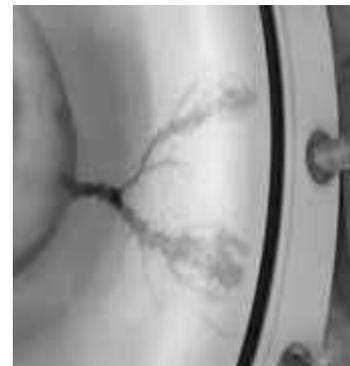


图11 位置3放电通道图片

Fig.11 Picture of discharge channel at position 3

(2) 位置4贯通型放电通道

位置4贯通型放电通道的产生说明一个重要问题,在绝缘盆上存在异物时,第一阶段高压端对异物放电时,存在一个突破绝缘盆表面绝缘裕度和突破SF₆气体间隙绝缘裕度的临界点,在这个临界点以上时,高压端带电后,异物上的电场集聚首先突破绝缘盆表面绝缘裕度,高压端通过绝缘盆表面对异物放电,留下不太分散但是也不集中的黑色放电通道,然后集中在异物上的电能继续向地端释放,留下分散的树枝状黑色放电通道。具体放电图片如下图所示:



图12 位置4贯通型放电通道

Fig.12 Position 4 through discharge channel

3. 半通型放电通道产生的规律

(1) 位置1半通型放电通道

位置1的放电通道都是半通型的放电通道半通型的放电通道的产生也主要分为两个阶段。第一阶段是存在异物的高压端位置1因为异物存在造成这个位置电场场强集聚,集聚的场强首先突破SF₆气体间隙的绝缘裕度,对绝缘盆放电,在绝缘盆上产生一个黑色印记。然后是第二阶段,第一阶段突破SF₆气体间隙绝缘裕度释放在绝缘盆上的电能,在绝缘盆上灼烧完后,继续向地端释放电能,在绝缘盆上产生发散状的树枝状放电通道。具体放电通道图片如下图所示:



图13 位置1放电通道图片

Fig.13 Picture of discharge channel at position 1

(2) 位置4半通型放电通道

位置4的放电通道大多数都是半通型的放电通道,但是在位置4的试验中,我们也发现一次贯通型的放电通道。

位置4半通型的放电通道的产生跟位置1相似,也分为两个阶段,第一阶段是放置在绝缘盆上位置4的异物因为高压端带电,感应出一个区别于周围的高电场强度集聚点,随着高压端电压的不断升高,位置4异物电场集聚越来越强,最终突破SF₆气体间隙的绝缘裕度,高压端对异物放电,异物灼烧留下黑色印记。第二阶段是释放在异物的电能继续向地端释放,在绝缘盆上产生发散状的树枝状黑色放电印记。具体放电通道图片如下图所示:



图14 位置4半通型放电通道

Fig.14 Position 4 half pass discharge channel

4. 雷电冲击和工频耐压放电通道的区别

雷电冲击产生的放电图形和工频耐压产生的放电图形之间的区别。因为工频耐压放电的能量比雷电冲击耐压放电的能量大很多,因此雷电冲击耐压放电的放电通道图形都是树枝状的浅黑色痕迹,工频耐压放电的放电通道图形都是不分散的又宽又直的重黑色放电通道,放电通道灼烧痕迹明显,区别于雷电冲击放电只有异物位

置灼烧明显。



图15 雷电冲击产生的放电图片

Fig.15 Discharge picture generated by lightning impulse



图16 工频耐压产生的放电图片

Fig.16 Discharge generated by power frequency withstand voltage

四、结论

通过典型异物在550kV盆式绝缘子上放电通道的研究,我们对引起盆式绝缘子沿面闪络放电的主要因素和主要位置有了一定的认识,对盆式绝缘子沿面放电通道的规律有了一些基本的了解。通过本研究,可以对装配人员清擦点检盆式绝缘子的作业进行指导,减少盆式绝缘子出现闪络放电的概率,促进了生产效率的提高。

参考文献:

- [1]张仁豫,陈昌渔,王昌长.高电压试验技术(第三版).清华大学出版社[M],2009:2-3
- [2]Zhang Renyu, Chen Changyu, Wang Changchang. High-voltage Testing Technology (Third edition). Tsinghua University Press[M],2009:2-3
- [3]陈庆国,张乔根,魏新劳,等.SF₆气体中的击穿概率与放电随机模型[J].高压电器,2000,6(5)15-16.
- [4]Chen Qingguo, Zhang Qiaogen, Wei Xinlao, et al. Random model of breakdown probability and discharge in SF₆ gas[J]. High Voltage Apparatus, 2000, 6(5)15-16.