

[GIS]

一起220 kV GIS出线分支母线放电故障分析

文/蔡继朝 范立海 宣勃然 潘海燕 王 正 刘卫林 陈 静
国网冀北电力有限公司廊坊供电公司

气体绝缘组合开关设备（GIS）因其节省空间、便于维护等优势被广泛应用于现代变电站中，其绝缘水平达到交接试验规程要求投运的必要条件。介绍了一起某220 kV变电站交接过程中GIS出线分支母线放电故障的诊断过程，通过二次加压方法确定放电位置，并逐一排除造成放电的可能原因，经开仓检查验证了分析的正确性。最后为避免出现同类故障提出预防性建议。

GIS变电站在国家电网中的普及率逐年提高，有取代传统变电站的趋势，对电力系统的安全稳定运行起着越来越重要的作用。GIS设备（包括避雷器、电流互感器、母线和断路器等元件）集中整合到封闭的金属管道中，布局紧凑，管道内充满SF₆气体，绝缘强度较高，运行可靠。GIS各组成部分从生产厂家运输到现场后进行组装工作，虽然已经通过了出厂试验，但是在运输、安装和调试过程中，可能会对设备的绝缘造成一定的破坏，比如安装过程中操作不规范导致受力不当造成绝缘破坏，对内部的残留物清理不彻底等。所以，投运前必须进行现场交接试验，包括微水试验、老炼试验及局部放电试验等，及时发现各种缺陷，严禁出现故障设备上运行的情况。

由于无法直观地看到GIS设备充气管道的内部情况，因此一旦通过高压试验发现放电故障，快速找到故障位置至关重要。一般常用的GIS故障定位方法有特高频定位技术、超声定位技术和二次加压定位技术等。特高频法通过在法兰处采集到的多路电磁波信号的时间差进行定位，超声法通过捕捉放电点附近的超声信号完成定位。以上两种方法适用于较大型且场地复杂的GIS现场，对试验人员的

检测水平要求很高，还要求布置较多的采样点，投入成本较高。而对于场地相对简洁且紧凑的现场，可根据首次加压情况做出初步判断，通过改变加压地点进行二次加压方式完成定位。这种方式操作简单，但必须减少加压次数以减轻对设备绝缘的破坏。选择何种定位方法要视具体情景而定。

针对一起220 kV GIS出线分支母线放电故障，确定放电位置后，通过进一步分析和解体检查确定放电原因，最后提出预防措施。

故障诊断过程

2022年8月中旬，对某220 kV GIS变电站进行交接试验。在2214间隔出线套管处（见图1）加压进行老炼及交流耐压试验，试验方案为：升压至145 kV，持续5 min；之后升压至252 kV，持续3 min；然后升压至460 kV进行1 min耐压试验；耐压试验通过后，降压至174 kV进行局部放电量检测。A相和C相的老炼及交流耐压试验均一次性通过，局部放电量也在规程要求范围之内。而B相的老炼试验通过后，当继续升压至437 kV时，发生放电现象，立即停止加压。可能存在的原因有：①存在自恢复放电；②绝缘受潮所致；③设备所用材质

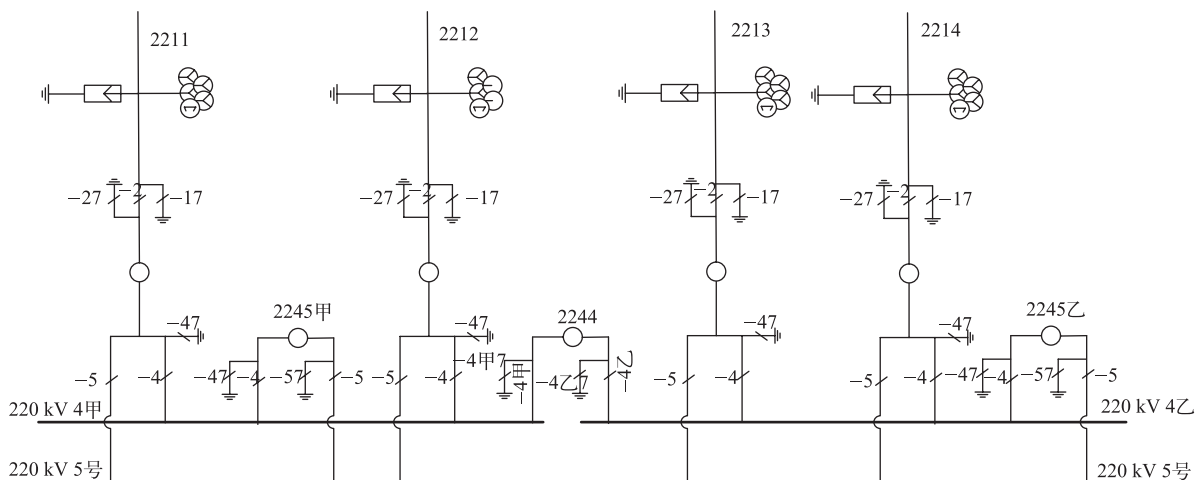


图1 某220 kV GIS 变电站一次系统接线图

具有缺陷（存在气泡或裂纹等）；④GIS内部未清理干净，存在异物导致绝缘强度下降。

为确定此次放电是否为自恢复性放电，需要进行再次加压。如果设备能经受住所加电压，说明通过第一次放电，故障已消除，否则排除自恢复放电的可能。当再次升压至412.5 kV时，发生高压闪络，当即停止加压。

通过两次出现的放电声音，初步判断放电位置在2214间隔出线分支母线处。为验证位置判断无误，拉开2214间隔的-4和-5刀开关，重复加压，升压至40 kV时，再次放电。之后更改加压位置至2211间隔B相的出线套管处，带220 kV两条母线和除去2214间隔外的其他间隔，2214间隔只加压到其-2刀开关的断口处（断路器侧），此次耐压通过，由此确定放电位置发生在2214间隔B相-2刀开关至B相出线套管段的分支母线处。

查取2214间隔分支母线1B和2B相气室的微水试验和气体组分试验结果发现（见表1和表2），各组分含量均在我国现行标准要求的范围之内，从而排除绝缘受潮的可能，具体原因还要待开仓解体后进一步确定。

表1 1B相气室各组分含量

微水测试/ ($\mu\text{L}/\text{L}$)	SF_6 纯度/ (10^{-2})	空气含量/ (m/m) (%)	CF_4 含量/ (m/m) (%)
100	99.98	0.007	0.001 9

表2 2B相气室各组分含量

微水测试/ ($\mu\text{L}/\text{L}$)	SF_6 纯度/ (10^{-2})	空气含量/ (m/m) (%)	CF_4 含量/ (m/m) (%)
98	99.98	0.005	0.002 4

开仓检查

8月下旬，相关人员对2214间隔B相分支母线气室进行开仓检查，开仓现场情况如图2所示。解体后发现，故障气室的绝缘盆子表面存在明显的树状爬电痕迹，如图3所示。对绝缘盆子表面进行仔细检查，未发现有裂纹、脱落和气孔等劣化现象，但是在内部桶壁和盆子上发现大量金属粉末，如图4所示。由此可以断定，造成此次放电故障的主因是故障气室内存在大量未清理的残存金属碎屑，导致绝缘强度降低，而非设备本身问题。



图2 开仓现场情况

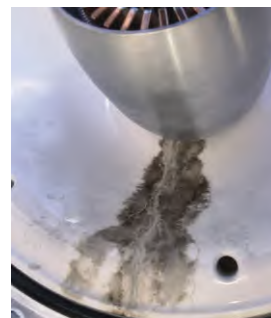


图3 绝缘盆子爬电痕迹



图4 布满粉末的桶壁

故障总结

结合设备出厂与安装过程调查、交接验收和开仓检查结果进行综合分析认为，本次放电故障本质上是由质检人员监管不到位、安装过程中管理缺失以及出厂试验开展不规范导致的隐患未及时发现和排除引起，残留的金属粉末影响了GIS的绝缘水平。现场耐压试验过程中，所加电压使得粉末荷电、带电粉末会在电场作用下向绝缘盆子方向移动，并最终吸附在其表面，盆子上的粉尘缩短了导体与外壳间的绝缘距离。同时积聚的粉尘使周围电场发生畸变，当电压逐渐升高且超过了局部气隙击穿场强时，会引发局部放电，进一步导致绝缘盆子的表面闪络。第二次加压时，再次发生闪络以至形成放电通道，绝缘水平急剧下降，因此，第三次加压至40 kV时就发生了放电。

防范建议

经过分析和总结，为预防类似故障的发生，提出以下建议：

1) 严格管控制造工艺，保证设备的出厂质量。加强对GIS设备从产品设计到出厂安装各个环节的

监管力度，规范出厂试验，避免由于疏忽出现返厂返工的情况，造成经济损失的同时影响按期投运。

2) 绝缘盆子是GIS设备绝缘中的薄弱部分，出厂时做好除尘措施，运行过程中也要结合局部放电带电检测等技术做好监护，发现异常及时采取必要措施。

3) 验收单位应严格按规程开展交接试验，做好投运前的最后一道保障，将各种潜在缺陷排除在并网前，提高设备的运行可靠性。EA

(收稿日期：2022-12-15)

参考文献

- [1] 吴彤，夏天，李红兵，等．一起隔离开关机构失效引起的GIS绝缘故障分析[J]．高压电器，2022，58(3)：210-214.
- [2] 张红莲．一起110kV GIS内置避雷器的故障诊断及原因分析[J]．电瓷避雷器，2012(3)：82-85.
- [3] 刘通，李洪涛，刘建军，等．一起GIS盆式绝缘子应力开裂导致绝缘击穿故障[J]．高压电器，2020，56(2)：240-245.
- [4] 李杰，王辉，郑建，等．特高压GIS设备交接试验击穿放电定位技术研究[J]．山东电力技术，2018，45(7)：11-14.
- [5] 李阳，刘浩军，何冰，等．GIS/GIL内部电弧试验中电弧外部效应检测方法[J]．电气应用，2021，40(2)：61-64.
- [6] 梁瑞雪，刘衡，胡琦，等．GIS/GIL内微米级金属粉尘动力学行为与诱发放电特性研究进展[J]．中国电机工程学报，2020，40(22)：7153-7166.
- [7] 滕昊，蓝海文，杨帆．结合设备多源状态数据的GIS设备局放带电测试异常的分析与处理[J]．电气应用，2021，40(8)：30-35.

