

「开关设备」

500 kV GIS内部局放检测及诊断分析

文/浙江省电力公司检修分公司 马国鹏

应用AE法和UHF法诊断了一例500 kV GIS内部局部放电现象，介绍了诊断过程，详细介绍了局放信号源空间定位方法，现场检查结果表明定位的准确性。同时详细分析了此次局部放电发生的原因，对GIS局放在线监测装置设计、运行维护提出了建议。

由于GIS制造工艺以及运输、现场装配等原因，实际GIS中不可避免存在绝缘缺陷，这类缺陷在运行电压作用下会产生局部放电，从而诱发绝缘故障。从运行实践来看，绝缘故障始终是GIS故障中不可忽视的因素，而且，随着电压等级的提高绝缘故障率随之上升。因此特高压GIS的现场绝缘诊断技术愈来愈被制造厂家和用户重视，其中最主要的方法是进行局部放电测量。

GIS内部局放告警情况

1. GIS局放告警现象

2014年1月17日凌晨4时左右，在进行线路复役操作后，某500 kV变电站GIS安装的DMS局放在线监测系统(特高频)报50211刀开关母线侧B相(OCU-4B)、50312刀开关母线侧(OCU-6B)、2号主变出线套管处B相(OCU-5B)、50322线路侧B相(OCU-9B)、OCU-8B局放告警。OCU-8B传感器信号偶尔报警，其中OCU-6B数值最大，相关传感器布置如图1所示，传感器采集的信号如图2所示。

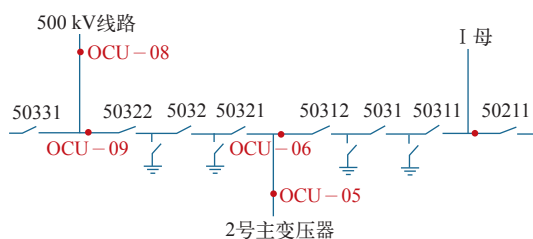
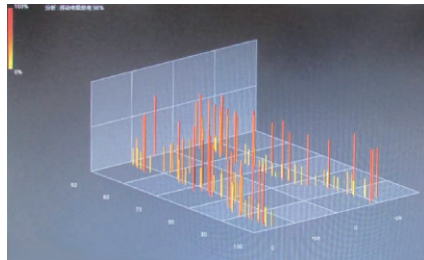


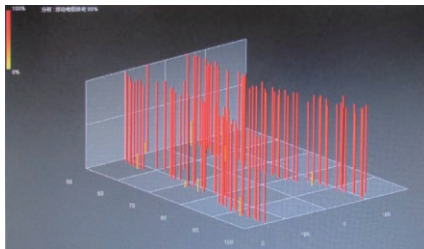
图1 UHF局放报警传感器间隔布置图

2. OCU-6B附近各传感器信号规律

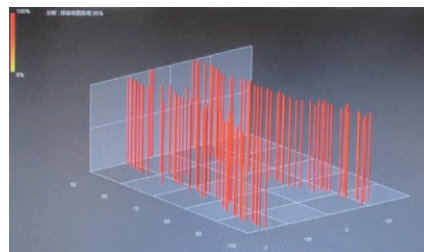
1月18日晚19时左右，OCU-4B、OCU-5B、OCU-9B传感器信号基本消失；OCU-6B传感器信号开始减弱，直至23时30分局放信号基本消失。1月19日下午13:50左右，OCU-4B、



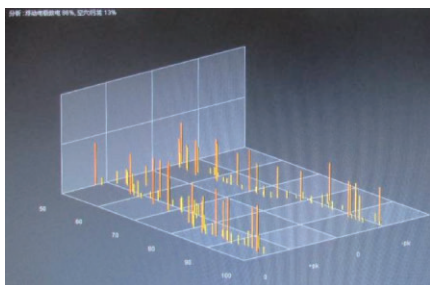
(a) OCU-4B PRPS图谱



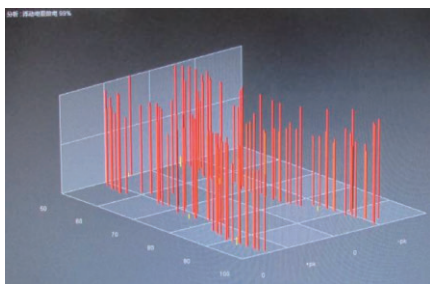
(b) OCU-5B PRPS图谱



(c) OCU-6B PRPS图谱



(d) OCU-8B PRPS图谱



(e) OCU-9B PRPS图谱
图2 局放告警图谱

OCU-5B、OCU-9B、OCU-6B传感器信号再次出现，20时左右局放信号减小至消失。1月20日下午13:30左右，OCU-4B、OCU-5B、OCU-9B、OCU-6B传感器信号再次出现，一直持续至1月21日凌晨零时左右消失。1月22日上午9:30左右，OCU-4B、OCU-5B、OCU-9B、OCU-6B传感器信号再次出现，局放信号一直持续；信号间歇性出现，间隔时间几秒到几十秒不等。

3. OCU-6A、OCU-6C传感器采集的信号

OCU-6A、OCU-6C传感器采集的PRPD图谱如图3所示，可见OCU-6A传感器采集的PRPD图谱相位主要集中在 45° 和 145° ，OCU-6C传感器采集的PRPD图谱相位主要集中在 150° 和 270° ，且大小基本相等，即OCU-6A、OCU-6C传感器采集的UHF信号相位差约 120° ，另外从局放相位特征信息来源，二者采集的信号都不是来自于自身的局放信号。说明OCU-6A、OCU-6C传感器采集的UHF信号来源于同一干扰信号。

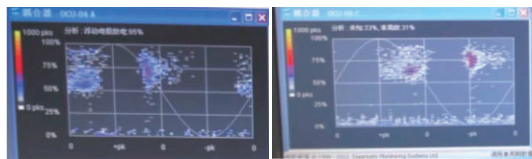


图3 OCU-6A、OCU-6C传感器采集的PRPD图谱

现场实测分析

1. 1月17日检测情况

(1) 超声波检测情况

使用超声波(AE)法对报警区域内的所有设备进行带电检测发现50211刀开关B相、50321刀开关A、B相的AE信号偏大，接近于背景，具体数值如表1所示。其余气室超声波信号均正常。

表1 报警区域AE信号信息

气室	有效值 /mV	周期峰值 /mV	工频分量 /mV	两倍工频 分量/mV
背景	0.2	1.0	0	0
50211刀开关B相	0.5	1.5	0.002 5	0.006
50321刀开关A相	0.4	3.0	0.001 5	0.1
50321刀开关B相	0.4	3.0	0.001 5	0.1

(2) UHF检测情况

使用PDM1000型UHF测试仪对报警相关区域进行测量，发现A、B、C三相均在50321刀开关靠主变出线侧的#1盆和#2盆即达到最大值，如图4所示，呈典型放电图谱，且B相信号最大，与在线监测情况OCU-6B传感器信号最大基本吻合，具体测量数据和相关图谱如表2和图5所示。

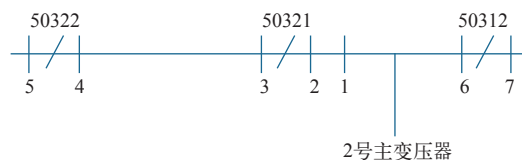


图4 UHF法检测部位示意图

表2 UHF检测数据 (单位: dBm)

	背景	1#盆	2#盆	3#盆	4#盆	5#盆	6#盆	7#盆
A相	-72	-63	-62	-62	-68	-68	-66	-68
B相	-72	-40	-39	-41	-52	-60	-42	-50
C相	-72	-64	-64	-62	-66	-68	-64	-66

(3) SF₆分解物检测情况

对局放量值相对较大气室进行了SF₆分解物测量，均未检测到SO₂和H₂S。

2. 1月24日检测结果

再次对相应气室开展AE检测，检测结果与17日检测结果相近。

对相应气室进行SF₆成分分析，未检测出SO₂和H₂S分解物。

3. 检测结果分析

根据在线监测及便携式带电监测结果，可得如下结论。

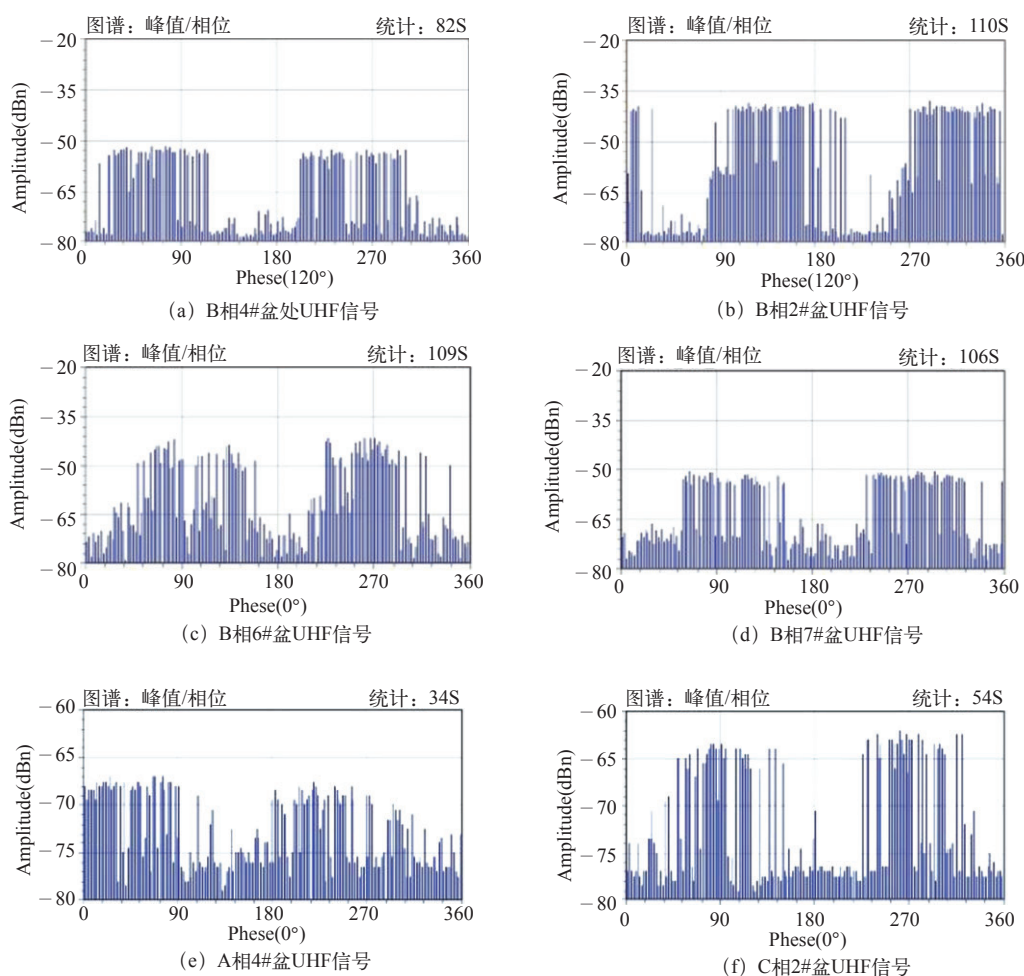


图5 UHF检测图谱

1) OCU-6B传感器采集的信号来源于内部信号, 信号类型为悬浮放电。

2) OCU-6A、OCU-6C传感器信号来源于B相信号源通过盆子透出的信号, OCU-4B、OCU-5B、OCU-8B、OCU-9B传感器采集的信号都来源于OCU-6B传感器附近局放源。

局放信号源空间定位

1. UHF局放信号时差精确定位原理

采用高速数字示波器的带电测量装置, UHF传感器信号经放大后直接接入高速数字示波器。需要有2个UHF传感器, 2个UHF传感器间距离 L , 放电源距UHF传感器1距离 x , 放电源距UHF传感器2距离 $L-x$ 。示波器上检测波形时差 Δt 。

$$\Delta t = t_2 - t_1 = (L-x)/c - x/c$$

$$x = (L - c\Delta t)/2$$

式中, c 为GIS中电磁波等效传播速度。

将传感器分别放置在GIS上两个相邻的测点位

置, 根据放电检测信号的时差, 利用上面的公式即可计算得到局放电源具体位置。

2. 信号源的现场精确定位

2#盆子处UHF传感器采集的信号领先3#盆子处UHF传感器采集的信号约1 ns; 2#盆子处UHF传感器采集的信号领先6#盆子处UHF传感器采集的信号约8 ns; 3#盆子处UHF传感器采集的信号领先6#盆子处UHF传感器采集的信号约7 ns; 3#盆子处UHF传感器采集的信号领先4#盆子处UHF传感器采集的信号约18 ns; 2#盆子处UHF传感器采集的信号领先4#盆子处UHF传感器采集的信号约20 ns。

2#盆子和1#盆子间距0.7 m左右, 2#盆子处UHF传感器采集的信号领先1#盆子处UHF传感器采集的信号约2 ns, 说明信号源不在2#盆子和1#盆子间。

在2#盆子两侧同一水平高度、相位差 180° 处放置两个UHF传感器, 示波器显示两路信号同时到达, 说明信号源位于两个传感器的中垂面上,

即中心导体所在平面；在2#盆子上下两端放置两个UHF传感器，示波器显示底端传感器先于顶端传感器约0.5 ns。

结合示波器定位信号可定位出信号源位于50321刀开关静触头处。

现场处理

50321刀开关B相静触头侧屏蔽罩内部导体与绝缘件紧固螺栓共6颗，开孔检查发现其中1颗螺栓碟形平垫底部有异常物，异常物呈粉末状，该异常物覆盖在螺栓紧固标识线上。如图6和图7所示。用万用表检测该螺栓与导体间不导通，其余螺栓与导体均导通。



(a) 局部放电点螺栓



(b) 正常螺栓

图6 50321闸刀局放点

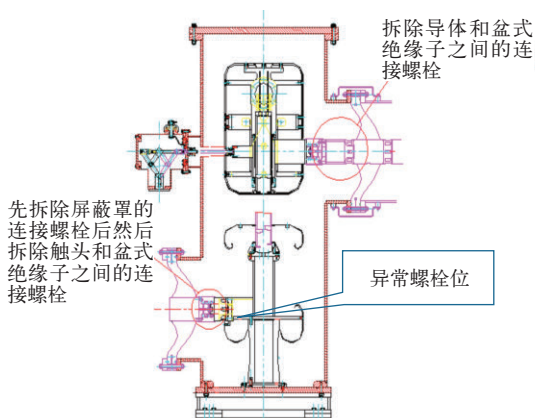


图7 异常螺栓位置示意图

检测异常部位的紧固螺栓力矩，在施加200 N·m力矩时，螺栓旋进180°，说明该螺栓在紧固时未能按要求紧固到位。

对螺栓下部呈粉末状异物进行化学分析，结果如表3所示。

表3 螺栓异物化学成分分析结果

元素名称	氟	铁	铝	氧	硅
含量 (%)	45.45	29.49	16.76	4.72	1.68

异常螺栓悬浮电位产生原因分析

50321刀开关静侧导体与支持绝缘子通过6个M20螺栓紧固连接，为防止在操作及运输过程振动导致松动，在螺栓处加装碟垫及涂243乐泰厌氧胶。螺栓、碟垫及螺孔等部位有较多的粉状异物是由于在螺栓紧固时涂覆的厌氧胶过量，且经悬浮电位产生局部放电并经化学反应所致。

由于涂覆的厌氧胶过量及螺栓未能拧紧，导致螺纹连接部位涂覆的厌氧胶无法固化（因为螺栓未能紧固到位，厌氧胶仍与空气接触故厌氧胶为液态），隔离开关单位在充入SF₆气体前的抽真空过程，将螺纹连接部位涂覆的厌氧胶吸出，导致异物覆盖在螺栓紧固标识线上，由于该部位产生悬浮电位，在电压作用下导致局部放电产生，溢出的厌氧胶及相关连接件在局部放电的电弧作用下产生含有较多微量元素的粉末状异物。

GIS局放在线监测装置设计、运行维护建议

1) GIS盆式绝缘子应满足正常运行能够屏蔽外部干扰，GIS内部局放时可以接收内部局放信号。

2) 针对GIS内置式局放传感器至光电转换器之间电缆易受外部干扰影响的实际，采用屏蔽效果较好的铠装电缆，以避免造成GIS局放在线监测误告警。

3) 定期采用陡脉冲发生器连接局放传感器往GIS里面注入模拟局放信号，看相关的局放传感器检测到信号，能否在局放软件中正常显示，从而对每个传感器进行检查，这样能够完成对整套系统正常运行的检查。EA

(收稿日期：2014.09.05)

(编辑：刘群彦)