# 750 kV断路器局部放电检测定位及诊断分析

**简述750 kV烟墩变电站$SF_6$罐式断路器绝缘放电缺陷检测情况，介绍了针对750 kV超高压$SF_6$罐式断路器超声波和特高频局部放电缺陷的检测流程和定位方法，深入分析该断路器内部放电特征并进行放电原因分析。设备解体结果表明，通过采用超声波和特高频局部放电检测技术，可以实现$SF_6$罐式断路器内部放电缺陷的诊断和定位。**

孙 帆[1] 郑 义[2] 张 勇[1] 刘 刚[1] 公多虎[1]/1.国网新疆电力公司电力科学研究院 2.国网新疆电力公司

孙 帆/助理工程师

*关键词/Keywords*

*750 kV断路器·*
*局放检测·*
*带电检测·*
*故障诊断·*

750 kV $SF_6$罐式断路器具有结构紧凑、灭弧能力强和占地面积少等优点，西电东送第一、第二通道均采用该类型断路器。但由于其各方面工艺要求极高，在设备制造、运输和安装等环节均有可能产生设备安全隐患，造成绝缘缺陷[1]。主要缺陷形式包括：固体绝缘件内局部放电、悬浮电位和自由微粒等。放电过程中会激发电磁波，并产生超声波信号，高能量放电还会伴随$SF_6$气体分解，产生相应的化学产物[2]。目前也较多采用特高频、超声波和气体分解物检测技术对断路器设备进行局部放电故障检测定位[3]。

本文以750 kV烟墩变电站$SF_6$罐式断路器的绝缘缺陷检测诊断案例为基础，介绍了断路器局放故障检测及定位方法及过程，结合设备解体情况详细分析了缺陷产生原因。

## 局部放电检测方法

### 1. 超声波检测

超声波局部放电检测法是利用压电式传感器，接收放电时产生的脉冲波，该方法可通过定位超声波来源确定放电位置，且受周围电磁干扰影响较小，但超声波信号传播途径复杂，且容易受到其他振动信号的干扰[4-5]。

### 2. 特高频法

特高频检测法是通过接收局部放电发生过程中会辐射的特高频电磁波实现对局部放电的有效检测，检测频段一般为300 MHz～3 GHz，常用于GIS设备、全封闭罐式断路器和变压器等设备，但其定位准确度有限，需结合其他方法共同定位局放发生位置[6-7]。

### 3. 声电联合定位

声电联合定位法将超声波、特高频检测技术相结合，首先利用超声波法初步定位放电发生位置，再通过测量空间中不同位置特高频电磁波的传播时差，结合信号传播路径，计算局部放电发生的位置，对放电进行定位。

## 检测结果及分析

2013年7月，采用超声波局放检测仪对750 kV烟墩变电站内罐式断路器进行隐患排查，信号同步至50 Hz，发现7512C相罐式断路器内存在异常超声波信号，疑似局部放电信号。后采用特高频局放检测仪进行监测诊断，确定断路器内存在局部放电缺陷，并采用时差法进行定位。

### 1. 超声波检测结果

该次检测采用AIA－PAC D9241型超声波局方检测仪，测量带宽20～100 kHz，最大灵敏度30 kHz。分别对7512断路器C相罐体外壁共17个点进行检测，测点分布图如图1中数字编号所示，测试结果如



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1、表2所示。7512断路器A、B相罐体各部位超声检测结果基本一致。

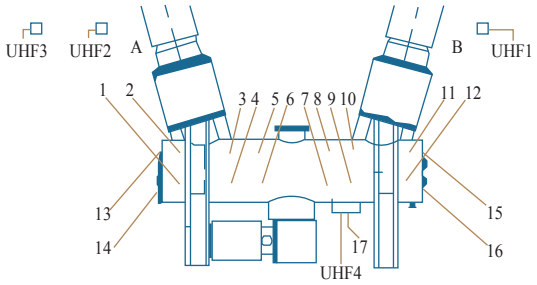


图1　断路器超声检测测点分布

表1　7512 C相合闸运行状态下超声局放测试结果

| 测试点 | RMS | P－P | 测试点 | RMS | P－P |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5.6 | 23.5 | 10 | 2.6 | 12.0 |
| 2 | 8.7 | 30.1 | 11 | 2.2 | 11.2 |
| 3 | 6.0 | 25.0 | 12 | 2.2 | 11.2 |
| 4 | 5.4 | 23.0 | 13 | 9.8 | 34.3 |
| 5 | 5.8 | 24.0 | 14 | 6.5 | 27.1 |
| 6 | 5.0 | 21.0 | 15 | 1.4 | 6.3 |
| 7 | 3.2 | 14.0 | 16 | 1.2 | 5.1 |
| 8 | 3.3 | 14.0 | 17 | 1.0 | 4.8 |
| 9 | 3.0 | 13.5 | 背景0 | 0.3 | 1.0 |

表2　7512 C相热备用状态下超声局放测试结果

| 测试点 | RMS | P－P |
|---|---|---|
| 1 | 5.6 | 23.5 |
| 2 | 8.7 | 30.1 |
| 3 | 6.0 | 25.0 |
| 4 | 5.4 | 23.0 |
| 5 | 5.8 | 24.0 |
| 6 | 5.0 | 21.0 |
| 7 | 3.2 | 14.0 |
| 8 | 3.3 | 14.0 |
| 9 | 3.0 | 13.5 |
| 背景 | 0.3 | 1.0 |

测试数据显示，A套管CT升高座处超声波信号幅值较大，初步认为超声信号源靠近A套管。连续测量方式图谱如图2所示。脉冲测量方式图谱如图3所示。图2显示50 Hz相关系数小于100 Hz相关系数；图3脉冲图谱显示，未见周期三角分布序列，可以初步排除颗粒放电的可能性，疑似为悬浮电位放电或机械振动引起的放电。

为进一步确定局部放电类型，在断路器处于

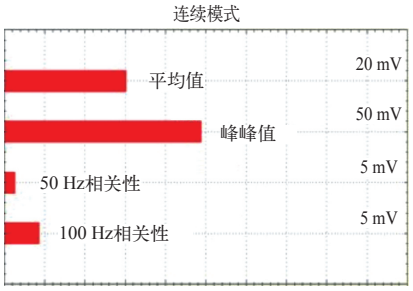


图2　7512 C相超声波连续测量方式图谱

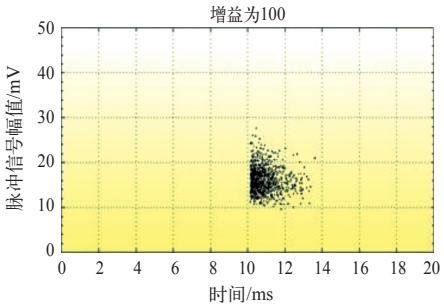


图3　7512 C相超声波脉冲测量方式图谱

热备用状态下开展超声波局部放电检测，测试结果见表2。数据显示，断路器两端有电压并通过电流（运行状态）与断路器两端有电压、无电流（热备用）状态下，超声波测试结果相差较小，故判断该局部放电成因与电流无关，可以排除因电动力造成机械振动产生放电的可能性。

2. 特高频检测结果

为进一步确定断路器内是否存在局部放电现象，采用特高频技术（UHF）法进行检测，并利用断路器内置的传感器及外置传感器进行局部放电定位，设备使用DMS特高频局放检测仪，总增益35 dB，检测带宽100～1 500 GHz，PD时标准确度312 μs，测试图谱如图4、图5所示。

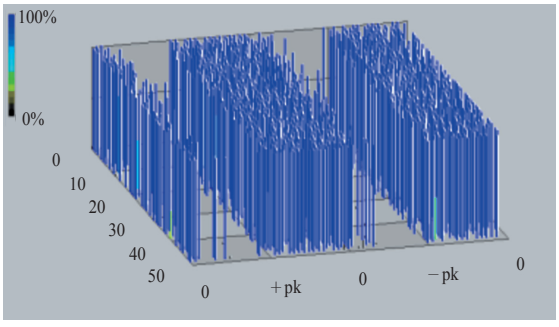


图4　特高频测试异常相图谱



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

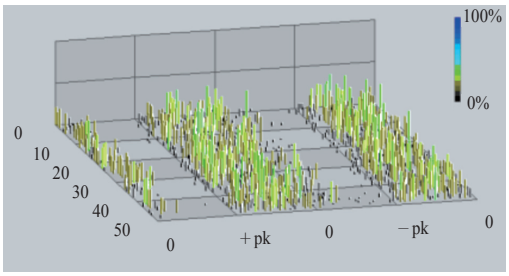


图5 特高频测试正常相图谱

特高频检测捕获到放电信号，排除了由振动引起超声检测异常的可能性，从特高频放电信号波形相位看，第二象限与第四象限放电信号明显，放电信号强度较大，脉冲密集，在一个工频周波内放电信号基本对称，脉冲间隔无规律，数字示波器记录的特高频信号如图6所示。每个周期内的放电信号重复性高，考虑到大部分脉冲信号幅值一致性高，小幅值脉冲少，因此多点金属悬浮放电的可能性较大[9-10]。

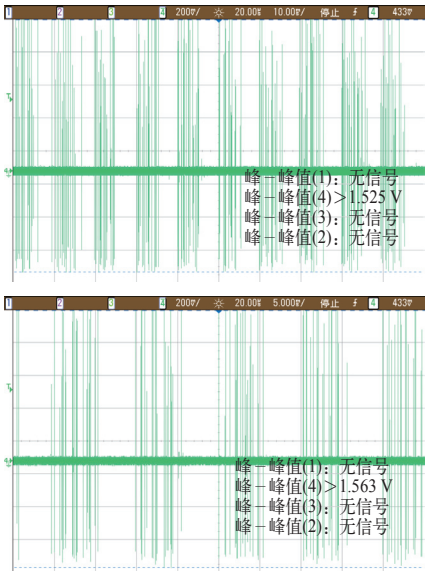


图6 特高频放电信号

### 3. 放电定位

时差法对放电位置进行进一步定位，由于断路器罐体及套管内外屏对特高频信号具有屏蔽效果，所以同时使用外部传感器及内置传感器进行定位，4个测试点均处于同一水平直线（见图1），测试点$UHF_1$、$UHF_2$和$UHF_3$均为外部特高频传感器，$UHF_4$为设备内置传感器。信号可经套管内屏与外屏的间隙及法兰密封圈处传播至外部，经过计算两个传感器的信号的时差，可以判断信号源所处位置，测试图谱如图7所示。经测试信号传播至传感器的时间$UHF_1$＞$UHF_4$＞$UHF_3$＞$UHF_2$，说明放电源位置位于$UHF_2$和$UHF_4$传感器之间，结合超声波检测定位结果，可以进一步确定放电源位于A相套管处。

结合套管结构如图8所示。根据其结构初步判断套管内外屏与套管绝缘支撑件为两个可疑的放电点。

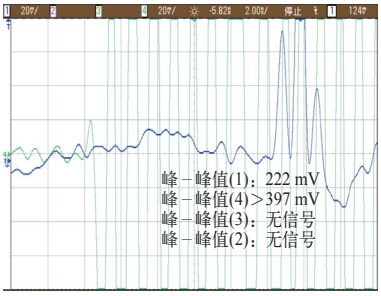


图7 $UHF_1$与$UHF_2$特高频信号时差图谱

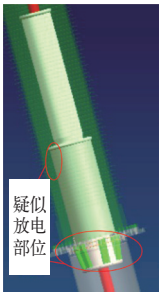


图8 套管疑似放电点

### 4. 故障气体分析

为判断局部放电对断路器内绝缘水平的影响，特对气室内$SF_6$气体成分进行分析，该断路器仅有一个气室，检测时环境温度28 ℃，检测结果如表3所示。

表3 气体成分检测结果

| 气体成分 | 含量/（ml/L） |
|---|---|
| $SO_2$ | 0 |
| $H_2S$ | 0 |
| CO | 0 |
| $CF_4$ | 0 |

检测结果显示，断路器气室内并不含有故障气体成分，可见，虽然局部放电信号明显，但能量较小，未产生故障气体，该局部放电尚未对断路器内绝缘水平造成影响。

## 解体情况

2013年9月，因该断路器局放特征明显，幅值较强，绝缘隐患较大，故决定更换其套管，排除安全隐患，并进行解体，分析其放电原因。经检查，套管内屏与外屏间隙光滑、洁净未发现放电痕迹，如图9所示，但在以下部位发现明显放电痕迹：



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1）绝缘支撑构件的部分紧固屏蔽筒的沉头螺栓及对应螺孔内（6个螺栓中有5个发现有放电痕迹），具体如图10所示。

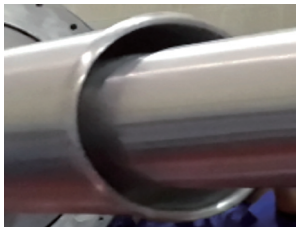

图9　内外屏间隙无放电痕迹

图10　树脂绝缘支撑件螺孔放电情况

2）内屏蔽筒底部绝缘支撑件均压环缝隙处，以上部位均有明显放电痕迹并发现黑色金属粉末，套管其余部分均无异常，判断绝缘支撑构件沉头螺栓、螺孔处为局部放电点，具体如图11所示。此外，存在放电情况的螺栓表面均呈黑色，但并未发现螺栓松动的情况。经过对沉头螺栓、螺孔的详细检查，发现螺孔有脱丝现象，具体如图12所示。认为是在装配过程中螺孔与螺栓安装位置不当，强行紧固导致螺孔脱丝产生金属碎屑包绕，导致放电。

图11　底部均压环缝隙放电痕迹

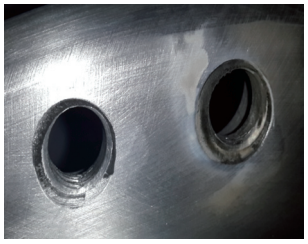

图12　均压环螺孔放电痕迹

## 放电原因分析及建议

综合超声、特高频测试情况及解体检查结果情况，该套管内部局部放电的性质为典型的多点悬浮电位放电，因发现及时，持续时间较短，未形成烧蚀成洞的严重危害。而由于解体时没有发现明显的螺栓松动现象，大部分螺栓力矩足够，故基本排除由于导体松动造成悬浮电位放电的可能性。

经分析，认为造成本次局部放电的原因主要为螺孔脱丝产生金属碎屑导致。禁固螺栓时，在螺栓、螺孔位置偏移的情况下，工作人员强行拧紧螺栓，导致螺孔脱丝，产生的碎屑缠绕、包裹在螺栓周围，因金属碎屑的存在发生悬浮电位放电，最终形成了均压环、绝缘支撑件等部位的放电痕迹，并且逐步积累金属粉末。

## 结束语

超声波及特高频局部放电检测技术，由于其检测机理的不同，单一使用某一项技术无法满足设备状态检测的要求，但结合二者技术特点，互为补充，相互印证，可对$SF_6$罐式断路器局部放电缺陷进行有效检测、诊断和定位。因此，不同方法之间的互相补充为设备状态检修提供了可靠的技术数据，提高了电气设备运维的工作效率。

### 参考文献

[1] 董宪军．电气设备状态维修策略研究 [J]．企业技术开发，2009，28 (2)：15．

[2] 罗学琛．$SF_6$气体绝缘全封闭组合电器 (GIS) [M]．北京：中国电力出版社，1998．

[3] 张伟平，陈庆祺，谢建荣，等．开关柜局部放电同步联合检测技术的应用 [J]．电气应用，2013，32 (13)：64-67．

[4] 刘勋．外联网络对大型变压器中局放信号传播影响的仿真分析 [J]．电气应用，2011，30 (7)：60-65．

[5] 胡涛，刘海峰，杜大全．550 kV罐式断路器局部放电在线监测 [J]．高压电器，2008，44 (4)：378-380．

[6] Gupta N，Ramu T S．Estimation of partial dischargeparameters in GIS using acoustic emission techniques [J]．Journal of Sound and Vibration，2001，247 (2)：243-260．

[7] Baumgartner R，Fruth B．Partial discharge part X：PD in gas insulated substations-measurement and practical considerations [J]．IEEE Electrical Insulation Magazine，1992，8 (1)：16-27．

（收稿日期：2015－02－05）EA



(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net