

# 开关柜局放故障分析

黄 冰

(江苏省电力公司检修分公司南京分部, 南京市建邺区双和园小区双闸变电站 210041)

**摘 要:** 本文对三起使用开关柜局放测量仪测量的开关柜局放数据偏大, 而确定的缺陷进行了描述, 并通过停电开柜检查找出数据超标的原因。

**关键词:** 开关柜局放; 缺油; 异物; 带电检测

## 0 引言

高压开关柜是城市配电网中重要基础设施, 其运行的稳定性直接影响到城市经济的发展, 人民生活水平质量的提高。因此, 开关柜设备的可靠性直接决定了用户供电的可靠性。

状态检修是提高供电设备可靠性的重要技术手段。但是, 开关柜不可能采取像高压变压器、GIS 设备那样的在线监测技术路线, 实现全面、实时的在线监测。因为:

- 1) 高压开关柜数量众多;
- 2) 开关柜的设备造价低;
- 3) 监测设备的成本很高。

据不完全统计, 开关柜故障特征大多表现为绝缘与载流故障上。然而绝缘与载流故障都是与放电现象密切有关的! 因此对开关设备实施放电检测可显著减少故障概率!

## 1 发现问题

表1 开关柜局部放电测量异常统计

变电站	间隔	前部 (db)	后部 (db)	其余 (db)
高旺	302	-4	上23	穿墙套管15
晓庄	356压变	中13	中6	
沿泰	120	-3	下15	
桃花	302		下11	
	366	-4	中22	
经港	B04	-5	上15, 中21	
	365	-4	中20	
	348	-5	中上17	

2013年5月至8月, 江苏省电力公司检修分公司南京分部, 对所辖变电站的所有开关柜进行开关柜局部放电测量, 在对35个有开关柜的变电站的1197面开关柜的测量中, 发现有个别变电站的部分开关柜有局部放电数据偏大的现象, 经过后期的复测,

排除了一部分, 剩下数据偏大的是高旺、沿泰、桃花、晓庄和经港。其中高旺1面, 晓庄1面, 沿泰1面, 桃花1面, 经港4面。具体情况见表1。

## 2 开柜检查

针对以上变电站开关柜局放数据偏大的情况, 分部和调度紧急协商, 对高旺、晓庄、沿泰、桃花四个变电站涉及的开关柜进行停电、开柜检查。

2013年8月16日, 首先对高旺302开关柜进行了检查, 由于开关柜上部以及穿墙套管处数据均偏大, 且在运行中可以听到有节奏的共振声音。此次对开关柜和穿墙套管均进行了较为详细的检查。在检查过程中, 首先在穿墙套管处发现了安装时遗漏的螺丝, 并在打开的开关柜内部发现了用来固定挡板的螺栓有明显松动的迹象, 尤其是开关柜上部, 松动的现象很明显。图1均为在现场开柜检查过程中拍摄到的, 其中圆圈圈出的位置均为松动的螺栓。



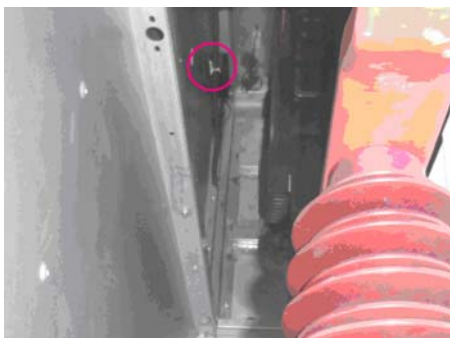


图1 高旺 302 开关柜开仓检查图

随即将穿墙套管附近遗留的螺丝清理干净，并将开关柜内部松动的螺栓进行固定。恢复送电后，开关柜本体上部的局部放电量正常，声音消失，但穿墙套管处局部放电量依然偏大，怀疑穿墙套管存在缺陷，准备申请停电将其进行更换。

2013年8月17日，对桃花变302开关柜进行了开柜检查，在开柜过程中，也发现了安装时遗留在开关柜内部的螺栓，位于开关柜后方电缆仓下部，和局部放电测量发现数据偏大的位置一致。螺栓遗留的位置就是图2红色箭头所指的位置。



图2 桃花 302 开关柜开仓检查图

将螺栓清理并恢复送电后，再次对该开关柜进行局部放电测量，数据恢复正常。

2013年8月18日，对沿泰变120开关柜也进行了开柜检查，同样在开关柜后部电缆仓的支架上，发现了安装时遗留的螺丝，和局部放电测量发现数据偏大的位置一致。螺栓遗留的位置就是图3红色圆圈圈出的位置。



图3 沿泰 120 开关柜开仓检查图

将螺栓清理并恢复送电后，再次对该开关柜进行局部放电测量，数据恢复正常。

2013年8月19日，对晓庄变356压变开关柜进行了开柜检查。在打开开关柜柜门后，发现该开关柜内部压变渗油严重，通过压变本体上的油位指示器，可以观察到该压变内部油位偏低，只有正常时的一半左右，同时对压变的两根高压熔丝进行检查，熔丝两端已呈灰黑状，经过测量发现业已损坏。图4为高压熔丝。



图4 晓庄 356 压变开关柜内损坏的熔丝

随即对该压变进行补油，并更换已损坏的熔丝，并将压变静置24小时，再次开柜检查时，发现压变本体下端的螺栓上布满了油滴，地面上也有渗油的痕迹，怀疑其内部密封垫圈已经损坏，造成了加油后渗油现象出现。对该间隔恢复送电，进行局部放电测量，数据恢复正常。但由于压变存在隐患，已上报相关专职，择机对其进行更换。

由于负荷紧张，经港变的4个开关柜暂时无法进行开柜检查，已与调度部门商量，在负荷不紧张时进行停电检查。

### 3 原因分析

#### 3.1 开关柜局部放电产生机理

开关柜内部局部放电的种类很多，主要分为内部放电和表面放电两种，并以电磁波、气体等形式

释放能量。

### 3.1.1 内部放电

内部放电存在主要是由于制造过程中绝缘介质内部残留气泡、杂质形成电介质的不均匀,造成气体-固体、液体与固体、固体-固体的复合绝缘。

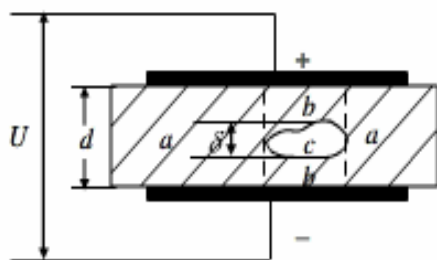


图5 绝缘介质内部残留气泡

就拿介质中残留气泡来说(如图5),通常情况下,气隙中的场强度比介质中的高,而另一方面气体的击穿场强一般都比介质的击穿场强低。因此,在外加电压足够高时,气隙首先被击穿,而周围的介质仍然保持其绝缘特性,电极之间并没有形成贯穿性的通道,只在气泡中形成局部放电。

油隙中也会发生局部放电,不过与气隙相比要在高的多的电场强度下才会发生。

在介质中极不均匀电场分布的情况下,即使在介质中不含有气隙或油隙,只要是介质中的电场分布是极不均匀的,也就可能发生局部放电。例如埋在介质中的针尖电极或电极表面上的毛刺,或其他金属屑等异物附近的电场强度要比介质中其他部位的电场强度高得多。当此处局部电场强度达到介质本征击穿场强是,则介质局部击穿而形成了局部放电。

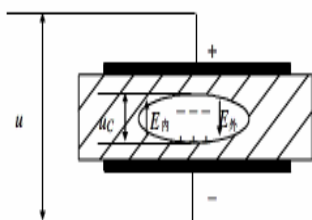


图6 绝缘介质内气隙放电空间电荷分布

在气隙发生放电时,气隙中的气体产生游离,使中性分子分离为带电的质点,在外加电场作用下,正离子沿电场方向移动,电子(或负离子)沿相反方向移动,于是这些空间电荷建立了与外施电场方向相反(如图6),这是气隙内的实际场强为

$$E_c = E_{\text{外}} - E_{\text{内}}$$

即气隙上的电场强度下降了 $E_{\text{内}}$ ,于是气隙中

的实际场强低于气体击穿场强,气隙中放电暂停。在气隙中发生这样一次放电过程的时间很短,约为 $10^{-8}$ 数量级,在油隙中发生这样一次放电过程的时间比较长,可达 $10^{-6}$ 数量级。

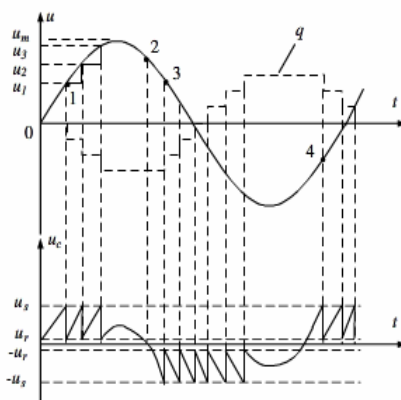


图7 外部电压 $U$ 、空间电荷 $q$ 、气隙电压 $U_c$ 的时间变化图

图7很好地解释了放电过程总在工频电压周期的上升延,即 $0 \sim 90^\circ$ 或 $180 \sim 270^\circ$ (以初始周期为例)。由此可见,在正弦交流电压下,局部放电时出现在外加电压的一定相位上,当外加电压足够高时在一个周期内可能出现多次放电,每次放电有一定间隔时间。

### 3.1.2 表面放电

开关柜中绝缘子、套管等固体绝缘在机械上起固定作用,又在电气上起绝缘作用,其绝缘状况关系到整个开关柜的可靠运行。放电与表面的干燥、潮湿或清洁、污染以及存在凹凸处有较大关系。由于界面电场分布的影响,会产生表面放电、爬电、污闪等放电现象。

## 3.2 测量原理

高压电气设备发生局部放电时,放电量往往先聚集在与接地点相邻的接地金属部位,形成对地电流,在设备的金属表面上传播。对于内部放电,放电量聚集在接地屏蔽的内表面,屏蔽连续时在设备外部很难检测到放电信号,但屏蔽层通常在绝缘部位、垫圈连接、电缆绝缘终端等部位不连续,局部放电的高频信号会由此传输到设备屏蔽外壳。根据麦克斯韦电磁场理论,局部放电现象的发生产生出变化的电场,变化的电场激起磁场,而变化的磁场

又会感应出电场，这样，交变的电场与磁场相互激发并向外传播，形成了电磁波。

局部放电过程中往往伴随有电磁波、超声波、光、臭氧、热等物理或化学现象以及相应的过程，但是我们检测时往往以电磁波和超声波为主要的检测指标。局部放电前，开关柜内放电点周围的电场应力、介质应力、粒子力处于相对平衡状态。局放是一种快速的电荷释放或迁移过程，导致放电点周围的电场应力、机械应力与粒子力失去平衡状态而产生振荡变化过程。机械应力与粒子力的快速振荡导致放电点周围介质的振动现象，从而产生声波信号。

通过这次开关柜局部放电测量，以及对出现数据偏大的开关柜的开柜处理可以发现，除去晓庄是因为压变缺油外，基本上在数据偏大的的这些开关柜内都找到了些可能影响开关柜内部电场分布的东西，正是这些物件的存在，使得开关柜内部在这一点上电场畸变，并向外释放出来放电信号，被我们用相应的超声局放仪器测出。而晓庄变压变开关柜内也是因为存在压变缺油，而使得压变内部存在空腔放电，产生了放电信号，通过电磁波向外传递，被超声波局放仪器测出。

## 4 结论与建议

(1) 通过以上开关柜局放数据偏大发现和处理过程可以发现，造成这些开关柜局放数据异常的原因，除去晓庄变是因为压变缺油，以及高压熔丝损坏外，其余均是在开关柜内部发现了异物，或是开关柜内部有松动，从而使得局放数据不合格；

(2) 施工单位的选择也很重要，最好能选择那些有经验、管理到位，工艺好的施工单位。并且在设备安装过程中，要抓紧安装质量管理，杜绝在安装中使设备出现暗伤的可能。尤其是在安装开关柜的过程，基本上都是一次性上很多面柜子，现场交叉施工，这时就容易将一些杂物遗留在开关柜内部，就需安装人员具备责任心。同时在安装过程中，施工人员和监理人员应该对施工管理再进行进一步的管控，避免再次出现遗留杂物的情况；

(3) 晓庄变的开关柜是因为压变缺油造成的数据偏大，由于压变放置于开关柜内部。无论是运行人员，或是检修人员在不开柜的情况下，均无法准确观测到压变油面的位置，建议在开关柜上开一个专门观测油位的观察窗，避免其他开关柜内部的压

变出现相同的问题。这次是由于开关柜局放试验发现了隐患，如果没有发现，压变在长期缺油的状态下运行，就会产生更大的事故。

(4) 由于开关柜设备的独特性，使得其不像敞开式设备那样可以通过表面观察就能发现一些隐患、开关柜的隐患大多数都是隐藏在柜体内部的。常规的检修、试验手段有时已经不能完全满足对其状态的把握，这就需要引入更多先进的技术来进行检修、试验，而开关柜局放测量就为我们提供了一个良好的手段。通过这次的检测，我们发现了以上的隐患，未来应该引入更多的新技术来填补传统试验的不足。

## 5 结束语

随着南京地区电网规模的不断扩大，变电站内设备越来越多，传统的检修、试验工作已经不能适应现在的情况。结合国网公司正在大力推广的状态检修工作，应逐步减少设备的停电检修工作，改成进行更加有效判断设备状态的带电测试工作（如红外、紫外、局放测量），并增加在线监测在电网系统中应用的规模。这样不仅可以减少检修、试验的工作量，还可以随时对设备状态进行监测，避免小缺陷发展成大事故。

### 参考文献：

- [1] 江苏省电力局,江苏省电力试验研究所.电气试验技能培养教材[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [2] 江苏省电力公司.输变电设备交接和状态检修试验规程[Z].南京:江苏省电力公司,2010.
- [3] 李建明,朱康.高压电气设备试验方法[M].北京:中国电力出版社,2001.
- [4] 陈衡,侯善敬.电力设备故障红外诊断[M].北京:中国电力出版社,1999.
- [5] DL/T664-2008, 带电设备红外诊断应用规范[S].
- [6] 赵智大.高电压技术（第二版）[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [7] 王圣.便携式多功能局部放电检测仪的原理及应用[J].高电压技术,1994,20(1).

### 作者简介：

黄 冰（1981—）男，工程师，从事高压电气试验及试验方法研究。