

[开关设备]

GIS设备中SF₆气体水分超标问题的原因分析

文/西安西电开关电气有限公司 黄雅玲

在对GIS设备气室中SF₆气体水分进行检测时，一般使用的测量仪器有电解式水分仪和冷凝式露点仪，这两种测量仪器方法原理有所不同，一般情况下对同一样品的测量结果基本一致。但在个别情况下，露点仪和水分仪的测试结果存在很大差异。通过对露点仪检测水分严重超标问题的分析，确定了两种检测方法存在差异的原因是由于GIS设备气室中有干扰测量的其他气体组分。

SF₆气体水分超标对设备安全运行存在一定危害，因此检测GIS设备中SF₆气体水分作为设备验收和运行维护的必检项。DL/T 596—2005《电力设备预防性试验规程》规定，GIS设备中SF₆气体水分含量（20℃的体积分数）应符合表1规定，当气室水分值超标时，需进行原因分析并进行处理。本文介绍一起水分超标问题的情况分析及其处理方法。

表1 SF₆气体水分含量规定（单位：μL/L）

类别	新产品交接试验标准	运行中的产品
有电弧分解的气室	≤150	≤300
无电弧分解的气室	≤250	≤500

某站现场微水超标情况分析

1. 现场微水测量情况

某252 kV GIS站，现场采用边安装边试验的安装方案，所有试验结果合格。在产品投运前使用露点仪测量各气室微水，发现部分气室微水严重超标，测量结果见表2，仅摘取部分气室的测量结果。

2. 现场处理

现场对微水超标气室进行了更换吸附剂、抽真

空以及注新的合格SF₆气体作业，完成以上工作后，使用露点仪测量各气室微水在50 μL/L以内。

表2 微水测量结果（环境温度：36℃、湿度41%）

（单位：μL/L）

气室编号	微水值	气室编号	微水值	气室编号	微水值
气室1	1 200	气室5	1 130	气室9	450
气室2	900	气室6	1 110	气室10	1 250
气室3	880	气室7	560	气室11	800
气室4	760	气室8	1 350	气室12	690

3. 微水持续跟踪

处理完一周后，使用同一露点仪对处理气室微水进行复测，水分达到200~600 μL/L；再过一周后复测，微水值已上升至1 000 μL/L左右。

4. 微水超标原因分析

（1）内部零件吸附水分分析

水分随时间延长异常升高，应是气室内部存在吸湿性很强的零部件长期释放水分所致。分析气室内部结构，超标气室内部为环氧浇铸的绝缘盆子、铝质和铜质导体触头，且绝缘盆子及导体触头结构简单、表面光滑并且不易吸附水分，属于不会长期释放水分零件，基本确定水分不是内装件释放。

(2) 测量仪器的影响

冷凝露点法原理：将置于恒定压力气体氛围中的光洁金属镜面逐步冷却降温时，气体和气体中水分的分压保持不变，直至气体中的水分达到饱和而在镜面形成露（霜）。测定形成露（霜）的瞬间温度，即露点温度。在露点温度下，水的饱和蒸汽压与测定池内气体压力之比，即为以体积分数表示的水分含量。不同的露点温度对应不同的水分含量。气体中水分的含量直接以水分的露点温度表示。此方法缺点是当气室中含有水溶性盐、灰尘和油污，或是气室含有在水分冷凝前凝结的其他气体时，在达到被测气体的露点温度之前有早期冷凝现象发生；优点是属于基本测量，测量准确，仪器比较稳定无漂移。

电解法测量原理：在电解池两极间施加直流电压，气体中的水分被池内吸湿剂五氧化二磷膜层吸收并被电解为氢和氧。电解电流正比于气体中水分含量。此方法的缺点是电解池寿命有限，需要再生；优点是属于绝对测量法，仪器稳定、不漂移。

通过分析水分测量原理，基本确定气体中含有水溶性物质或露点高于水分。梳理气室内部零部件和安装过程，零部件本身不存在可溶性盐、灰尘和油渍。安装过程中，装配人员因清洁度控制不到位可能会在零部件表面存留微量可溶性盐、油渍，可溶性盐和油渍来源于装配人员手部汗渍。也可能有微量灰尘存留在气室内部。以上物质可能在装配过程中产生，装配作业结束气室封闭后，可溶性盐、灰尘及油渍的含量不会发生变化，本次测量值随时间变化，因此排除气室含有可溶性盐、灰尘及油渍的可能。所以应是气室内含有在水分冷凝前凝结的气体，而且这种气体的含量随时间延长而增大，因此推断该气体为某零部件挥发的的气体。研究气室内零部件后，发现可能挥发气体的零部件为密封圈。

(3) 密封圈材料分析

该密封圈的材质为三元乙丙橡胶，其组分为三元乙丙胶、二氧化硅、链烷油及交联剂等，其中采用的交联剂DCP，化学名称为过氧化二异丙苯，化学结构式如图1所示。这种交联剂唯一的缺点是硫化后产生的枯基分解产物有挥发性气体，随时间延长而挥发，分解产物中的二甲基苯醇以蒸汽形式存在，在水分冷凝前冷凝。

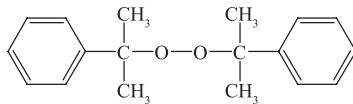


图1 过氧化二异丙苯化学结构式

(4) 试验验证

为验证以上分析，生产两种密封圈：一种为使用交联剂DCP的密封圈，以下简称有交圈；一种为没有DCP的密封圈，以下简称无交圈，装配6个不同形态的试样，进行为期5天的跟踪试验，试验时采用电解式水分仪和冷凝式露点仪分别进行测量。水分实验记录见表3。

表3 水分试验记录 (单位: $\mu\text{L/L}$)

检测日期	试样	试验状态	检测仪器 (试验结果)	
			电解式水分仪	冷凝式露点仪
第1天	1	分支母线装配，有交圈，无吸附剂	806	无穷大
	2	分支母线装配，无交圈，无吸附剂	390	371
第2天	1	分支母线装配，有交圈，无吸附剂	855	无穷大
	2	分支母线装配，无交圈，无吸附剂	204	191.5
	3	单相断路器装配，有交圈，有吸附剂	282	2 476
	4	单相断路器装配，无交圈，有吸附剂	97	62.44
第4天上午	5	有交圈(共3个)在105℃2h条件下烘后，气室无吸附剂，抽真空至115 Pa后充气至0.48 MPa静置20 h后测量	288	1 280
	6	无交圈(共3个)，气室无吸附剂，抽真空至115 Pa，充气至0.48 MPa静置24 h后测量	676	624
第4天下午	5	试样5静置24 h后测量	299	1 393
	6	试样6静置28 h后测量	725	656.8
	5	序号5试样静置44 h后测量	430	1 647
	6	试样6静置48 h后测量	843	732.4

通过比较试样1和试样2，有交圈的气室水分含量比无交圈的气室水分明显偏高，并且使用冷凝露点仪测量的结果异常偏大。试样3和试样4的测量结果进一步说明，即使在有吸附剂的气室内该种差异依然存在。

试样5和试样6的结果表明，交圈气室水分的测

试结果与所用检测仪器和时间有关，使用电解式水分仪检测时，随时间推移水分变化不大，而使用冷凝露点仪检测时，随时间推移水分显著增大。无交圈气室的测量结果相对稳定，进一步说明由于该变量的存在导致试验结果的不同。

5. 现场最终处理结果

鉴于以上分析，建议使用其他方式进行测量，现场使用电解水分仪测量气室水分的结果是合格的。然后进行气室内 SF_6 的纯度测量，气体满足工业 SF_6 的使用要求，因此确认该站气室水分超标的现象是由密封圈使用的交联剂DCP硫化后产生的枯基分解产物随时间延长挥发引起，并且这种挥发的气体化学性质稳定，与 SF_6 不发生反应，也不会因电弧产

生分解，对GIS的运行没有危害。

结束语

为消除检测时的影响因素，制造密封圈时已不使用DCP作为交联剂，其他橡胶制品可能仍会使用该种交联剂。通过本次问题的分析，给GIS设备运行中检测水分提供一定的参考，若在运行中检测到水分异常超标，可以使用两种方法互相佐证，以分析准确原因，制定相应处理办法。本文叙述的案例发生在2007年，该套GIS设备已稳定运行一个大修年限，实际证明该问题不会影响设备长期可靠运行。EA

(收稿日期：2021-08-26)

