

[GIS]

电气设备中SF₆气体微水超标原因分析及控制处理措施探讨

文/西安西电开关电气有限公司 徐 晟 杨伟刚

对SF₆气体含水量超标对电气设备性能的影响及危害进行了阐述，对微水超标的原因和控制处理措施进行了分析探讨。

众所周知，常态下SF₆气体无色无味，有良好的绝缘和灭弧性能，SF₆气体在均匀电场下，SF₆的介质强度为同一气压下空气的2.5~3倍，在4 atm (1 atm=0.101 325 MPa)，其介质电强度与变压器油相当。随着电气设备无油化、小型智能化的发展，SF₆气体作为绝缘灭弧介质大量被用于电气设备；但若大气中的水分浸入电气设备内部或固体介质表面受潮，则会导致SF₆气体的绝缘性能显著下降。因此检测控制SF₆气体密度和微水含量是确保电气设备安全可靠运行的主要技术措施之一。

SF₆气体微水超标的危害性

纯净SF₆气体在电气设备运行中，受电弧放电或高温后，会分解成单体的氟、硫和氟硫化化合物，电弧消失后会又化合成稳定的SF₆气体。但若电气设备中SF₆气体微水超标后遭遇气温变化时，过量的水可能会凝结在固体介质表面而发生电气闪络造成设备故障停运，严重时造成高压设备发生爆炸事故；或者受电弧分解的氟硫化化合物会与水反应生成腐蚀性很强的氢氟酸、硫酸和其他毒性很强的化学物质，对高压设备的绝缘材料或金属材料造成腐蚀，使绝缘劣化导致设备故障，严重时可危及维护人员的生命安全。可见微水超标对电气设备的影响危害是非常大的。

1. 水分对开断性能的影响

SF₆气体被电弧分解后，主要成分是正离子

SF₄⁺，其次是正离子SF₂⁺，SF₅及负离子F₂⁺、F⁻和SF⁻。在电弧电流过零之后，这些电离子复合成负极性的SF₆，能使开关断口间的介质强度迅速恢复。然而有水分的存在，对介质强度的恢复就起了阻碍作用，造成介质强度劣化影响开断性能。

2. 水分对绝缘性能的影响

因为高压电气设备中的绝缘件多为环氧树脂，它的工频闪络电压随着表面湿度的增加而迅速下降。尤其当SF₆气体水分超标时，受潮的固体分解物使绝缘件表面绝缘电阻下降，很有可能导致绝缘件高电压击穿。

首先，水分是引起化学腐蚀的主要原因，SF₆气体在常温下是非常稳定的，但是如果水分较多时，温度在200℃左右它就有可能产生水解，即



所生成的氢氟酸(HF)是所有酸中腐蚀性最强的物质，也是对生物机体有强烈腐蚀的剧毒物质；SO₂遇水后生成H₂SO₃也有腐蚀性。

其次，水分含量的多少能极大地影响SF₆在电弧作用下分解的成分和含量，大多生成物水解后会生成强腐蚀性的物质，这些物质都对设备中某些金属或绝缘件产生腐蚀作用，从而降低绝缘水平。

SF₆气体微水超标的原因

SF₆气体微水超标的原因，主要有以下6个方面。

1) SF₆气体水分不合格。造成不合格的主要

原因是运输过程中和存放环境不符合要求或存储时间过长。

2) 高压设备充入SF₆气体时带进水分。高压设备充气时, 安装或检修人员没有按照有关规程和检修工艺操作要求进行操作, 如管路、接口不干燥或装配时作业环境湿度超标等导致水分进入。

3) 绝缘件带入的水分。这种情况主要原因是高压设备装配前对绝缘件未作干燥处理或干燥处理不合格, 或在解体检修时绝缘件暴露在空气中的时间过长而受潮。

4) 吸附剂带入的水分。吸附剂对SF₆气体中水分和各种主要的分解物都具有较好的吸附能力, 如果吸附剂活化处理时间短, 没有彻底干燥, 安装时暴露在空气中时间过长而受潮, 吸附剂可能带入一定量的水分。

5) 透过密封环节渗入的水分。在SF₆高压设备中SF₆气体的压力往往比外界空气压力高几倍, 但外界的水分压力比内部高易造成水分渗入。例如高压设备的额定充气压力为0.5 MPa, SF₆气体水分体积分数为 30×10^{-6} , 则水的压力为 $0.5 \times 30 \times 10^{-6} = 0.015 \times 10^{-3}$ MPa, 外界空气的温度为20℃时, 相对湿度70%, 则水蒸气的饱和压力为 $2.38 \times 10^{-3} \times 0.7 = 1.666 \times 10^{-3}$ MPa, 所以外界空气水压力比内部水分高 $1.666 \times 10^{-3} / 0.015 \times 10^{-3} = 111$ 倍。而水分子呈V形结构, 其等效分子直径仅为SF₆分子的0.7倍, 渗透力极强, 在内外巨大压差作用下, 大气中的水分会逐渐通过密封环节渗入高压设备的SF₆气体中。

6) 高压设备的泄漏点渗入的水分。SF₆高压设备本身就是一个气体承压容器, 若零部件加工制造存在潜在缺陷会导致充气口、气体管路接头、密封法兰盖板、铝铸件壳体砂孔和焊接壳体焊缝等部位隐藏泄漏点, 设备运行过程中这也是水分渗入高压设备内部的主要通道; 空气中水蒸气逐渐渗透到设备内部是一个长期持续缓慢的过程, 时间越长, 渗入的水分就越多, 由此途径进入SF₆气体中的水分占有较大比重。

SF₆气体含水量的控制措施

综上所述运行中的SF₆高压设备, 对于SF₆气体的微水量要求相当严格, 因为它直接影响高压设备的安全运行。若要完全清除SF₆高压设备内SF₆气体中的水分是不可能的, 但是掌握SF₆气体微水超标的原因, 采取相应的预防控制措施, 将SF₆气

体中的水分控制在一定范围内, 是完全可以有效保证和提高高压设备的运行安全可靠。如断路器开断电流大, 电弧温度高和能量大, SF₆气体分解物多, 水分含量相对必须低, 隔离开关、互感器和母线等气室工作不产生电弧分解物, 水分含量相对可以高些。参照GB7674六氟化硫封闭组合电器水分含量规定取断路器气室运行允许值 $\leq 300 \mu\text{L/L}$, 其他气室 $\leq 1\,000 \mu\text{L/L}$, 本文水分处理允许值取值 $\leq 250 \mu\text{L/L}$ 。

如何降低运行中高压设备的SF₆气体含水量, 可采取如下措施。

1) 严格控制SF₆新气质量。根据相关规定SF₆新气应具有厂家名称、灌装日期、批号及质量检验单; 新气到货后应进行复核、检验, 合格后方可使用。存放半年以上的新气, 使用前要检验其微水含量符合标准后方可使用。SF₆气瓶应放置在阴凉干燥、通风良好地方, 防潮防晒, 并不得有水分或油污黏在阀门上, 未经检验合格的SF₆新气瓶和已检验合格的气体气瓶应分别存放, 以免误用。为了保证SF₆气体新气的质量和纯度, 充入高压设备之前进行微水测试, 并要符合SF₆气体新气的质量标准。

2) 加强绝缘件的过程管理。绝缘件出厂时, 如果没有进行特殊密封包装, 安装前又未做干燥处理, 则绝缘件在运行中所释放的水分将在气体含水量占有较大比重。因此绝缘件干燥处理完毕后应立即进行密封包装, 在安装现场未组装的绝缘件应存放在有干燥氮气的容器中或与干燥吸附剂一起封装。

3) 管控密封件的质量。采用渗透率小的密封件, 加强高压设备密封面的加工、组装的质量管理, 密封环节可采用双密封圈密封, 法兰面涂密封胶或加注硅脂等措施保证密封良好。

4) 管控吸附剂的质量。采用高效吸附剂, 使用前进行活化处理, 安装时尽量缩短暴露于大气中的时间, 减少吸附剂自身带入的水分。

5) 严控充气操作。应在晴朗干燥天气进行充气, 并严格按照有关规程和检修工艺操作要求进行操作。充气的管子必须内部干燥, 无油无灰尘, 充气前用新的SF₆气体进行冲洗并废气回收。

6) 加强运行中SF₆气体检漏。高压设备在运行中, 当发现压力表在同一温度下前后两次读数的差值达到0.01~0.03 MPa时应对其气隔全面检漏, 找出漏点消除隐患。

7) 定期对运行中SF₆气体微水量的监视测量。设备安装完毕充气24 h后, 应进行SF₆气体微水量测量, 设备通电后每三个月测量一次, 直至稳定后, 以后每一至三年检测一次微水量。对于微水量超过管理标准的应进行干燥处理。

8) 严格遵守SF₆高压设备的安装作业要求。包括作业环境、作业规程及清洗剂的使用。

9) 充气前气室抽真空。SF₆高压设备在安装、维护时一定要在注入SF₆气体前抽真空, 其目的是降低SF₆高压设备内部的水蒸气含量和对SF₆高压设备定性检漏。

SF₆高压设备水分超标的处理

尽管前期预防措施控制到位, 难免电气设备在运行过程中定期巡检也会发现或智能在线微水检测系统告警某个气室SF₆气体水分超标, 这时也应参照前面所述水分超标的可能因素及时分析查找和确认原因, 并做好应急预案处理。

1. 外部原因处理

首先关闭和拆卸与水分超标气室连接的气体管路, 将连接管路的阀门、接头等连接部件置于80 ℃的烤箱中烘干3 h, 抽真空前再用含水量

≤25 μL/L高纯氮气吹20 min (因为考虑环保, 所以不用SF₆气吹), 保证气体管路的干燥; 同时将抽真空后的气体管路接入麦氏真空计用以监测真空度, 而且在对气室充入氮气的同时, 对设备壳体 and 密封面进行检漏, 检查是否有漏点; 若有漏点必须对其进行修补或更换。

2. 内部原因处理

(1) 绝缘件及内部附着水分的处理

考虑到内部绝缘件受潮及内部附着水分, 对设备进行24 h的长时间抽真空, 并保持133 Pa的较低真空度, 然后充入含水量≤25 μL/L的高纯氮气至产品额定压力下进行检测, 此过程可反复进行。

(2) 利用吸附剂处理水分

通过长时间较高真空度的抽真空后, 设备内部水分含量仍未降到合格范围内, 一是因为靠抽真空无法更有效除去内部绝缘件水分; 二是因为设备内部吸附剂可能受潮。这样就应利用吸附剂处理水分。更换内部吸附剂后, 对设备进行24 h的长时间抽真空, 并保持133 Pa的较低真空度, 然后充入含水量≤25 μL/L的高纯氮气至产品额定压力下进行检测, 此过程可反复进行。

水分处理及充气处理流程如下图所示。

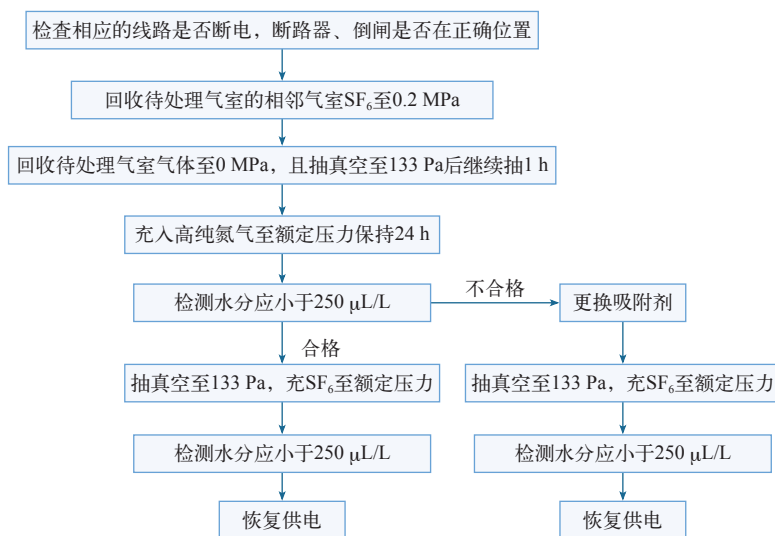


图 水分处理及充气流程图

结束语

随着SF₆电气设备的广泛应用, 电网安全可靠对SF₆电气设备的稳定运行提出更高的要求。而掌握SF₆气体微水超标的原因, 采取相应的预防控制措施, 减少SF₆气体中的水分, 是保证和提高SF₆

高压电气设备安全运行可靠性的重要技术措施之一, 所以应当高度重视SF₆电气设备内部水分含量预防和及时处理。EA

(收稿日期: 2017.07.01)

(编辑: 刘群焱)