

[SF₆]

SF₆气体回收装置常见问题分析与处理

文/河南平高电气股份有限公司 张建飞 王玉春 刘朋亮 孟凡青

六氟化硫(SF₆)气体回收装置是SF₆气体电气设备在制造、安装和检修等过程中的必备工具,用来实现电气设备抽真空和设备内SF₆气体的回收、回充。由于制造工艺、使用环境和维护管理等各种因素的影响,SF₆气体回收装置会出现真空度达不到要求、真空泵喷油、无法回收和充气结霜等各种问题。结合现场处理问题的经验,通过对上述常见问题进行原因分析,提供了相应的解决办法和故障预防措施。

六氟化硫(SF₆)气体无色、无味、无毒,具有优良的绝缘性能和灭弧性能,被广泛应用于电气设备中。但是,由于SF₆气体巨大的温室效应(其地球温度化系数GWP是CO₂气体的23 900倍),它的回收处理工作极为重要。

六氟化硫(SF₆)气体回收装置是SF₆气体电气设备的制造、使用及科研等部门从电气设备SF₆气室中回收、净化和储存SF₆气体,并能对设备气室抽真空及充入SF₆气体的专用装置。为实现回收、净化、储存、充气及抽真空等多个功能,回收装置的结构一般都比较复杂,零部件数量多,包含压缩机、真空泵、增压泵、储液罐、加热器、过滤器、减压阀、安全阀、电磁阀、压力表和散热器等,所以其在使用过程中容易出现各种问题。基于SF₆气体回收装置的系统原理,结合多年设计、制造以及现场处理问题的经验,对SF₆气体回收装置常见问题进行分析,找出原因并提供解决办法。

SF₆气体回收装置的系统原理

SF₆气体回收装置主要由回收系统、存储系统、抽真空系统、充气系统和电气控制系统等组成。回收系统一般采用高压液化或冷冻液化原

理,即回收SF₆气体时,根据SF₆的压力温度特性曲线,利用压缩机使之加压,同时通过热交换器使加压的高温气体降温,从而使SF₆气体以液态方式储存到容器里以备下次使用,同时回收系统中设置尘、水过滤器对SF₆气体进行净化处理。抽真空系统较为简单,一般包含真空泵、阀门和真空探头,有些回收装置的抽真空系统还会安装防返油装置,以避免真空泵油返流至电气设备中。充气系统一般包含加热装置、减压阀等,主要由储气容器中的气体压力平衡至电气设备中,如果储气容器中的气体压力与电气设备中的压力平衡后,电气设备中的气体压力仍未达到要求,就需要启动压缩机,将储气容器中的气体加压充入电气设备中。

SF₆气体回收装置的常见问题及解决方法

1. 抽真空系统问题

电气设备在充入SF₆气体前,必须对设备气室进行抽真空,在抽真空过程中,经常会出现以下几种问题。

1) 真空度达不到要求。造成此现象的原因主要有真空泵油故障、管路漏气、真空探头或真空显示故障。

① 真空泵油故障。由于真空泵油故障可直接通过油窗进行观察，所以出现真空度达不到要求时，首先对真空泵油进行排查。真空泵油故障主要有真空泵缺油、油已乳化或变质，这些都会导致真空泵的极限真空下降，进而导致真空度达不到要求。真空泵油一般为浅黄色或无色，透明清亮。观察油窗，如果油位已经接近或低于下限值，就需要尽快补充真空泵油，以防止真空泵长时间在缺油情况下运行，导致旋片磨损或其他故障；如果真空泵油出现黏稠、发白或发黑，则说明油已乳化或变质，需要按真空泵说明书要求更换真空泵油。

② 管路漏气。管路漏气是出现此问题最常见的原因，需要逐段检查。首先断开外部连接软管，封住进气接口，起动抽真空功能进行检查，如果真空度仍达不到要求，则排除电气设备和外部连接软管漏气原因。然后通过开闭阀门，对回收装置的抽真空管路逐段检查，必要时需对管路充注SF₆气体（隔离真空泵等非耐正压零部件），用检漏仪进行检漏。根据现场实际经验，管路漏气常见的有管路焊接部位裂缝、密封垫老化和接头松动等。

③ 真空探头或真空显示故障。此现象出现概率较小，也是最容易忽视的原因。随着电子真空计在回收装置上的大量应用，由于电子真空计质量参差不齐，会出现电子真空计在使用一两年以后，真空值漂移，出现读数不准确的问题。因此，需要经常使用标准真空计对回收装置上的电子真空计进行校准。当然，也有由于使用条件的影响，造成真空探头脏堵而影响真空读数不准确，这时就需要使用酒精对真空探头进行清洗并校准。

2) 真空泵喷油。造成此现象的原因主要有电气设备气室容积过大或气室中气体压力高于大气压。

① 电气设备气室容积过大。在工作压强超过35 000 Pa时，一般的旋片真空泵只可以短时间运行。电气设备气室容积过大，真空泵会长时间处于大气或接近大气状态下工作，负荷大，会出现油雾大、运转声音大等现象，油雾过滤器会很快饱和，导致真空泵油喷出。出现此种情况时，说明此真空泵在这种使用条件下已不适用。如果临时使用，可通过关小阀门调节真空泵进气量来解决此问题；如果长期使用，需要更换为大功率罗

茨泵组来进行抽真空工作。

② 气室中气体压力高于大气压。如果电气设备中的SF₆气体未完全回收或安装前电气设备中的N₂未排出，气室内的压力高于大气压，这时进行抽真空工作，就直接超出了真空泵的工作压力范围。真空泵起动后会出现超负荷运转，真空泵油直接喷出。这种情况下，必须将电气设备里的SF₆气体回收干净或将电气设备中的N₂排出至大气后，再开始抽真空工作。

2. 回收系统问题

电气设备在解体检修前，需要对设备气室内的SF₆气体进行回收，在回收过程中，经常会出现以下问题。

回收气体至一定压力后，出现压力平衡，无法继续回收。造成此现象的原因主要有压缩机吸排气阀片损坏、压缩机活塞环损坏、返气电磁阀密封不严。

1) 压缩机吸排气阀片损坏。压缩机工作时，吸排气阀片的工作频率很高，曲轴每转动一周，吸排气阀片就要开启、关闭一次。如果吸排气阀片的材质不好或在运行过程中由于过热和磨损，就会造成阀片变形翘曲，与阀座贴合面产生缝隙，从而使气体从缝隙泄漏回流，排气量减小，在一定压力下，出现压力平衡。解决吸排气阀片损坏的方法，一般可直接更换阀片。为避免因吸排气阀片损坏导致无法回收，应按压缩机维护保养要求，定期更换吸排气阀。

2) 压缩机活塞环损坏。压缩机工作时，活塞环与气缸不断摩擦，当活塞环磨损量达到一定程度时，活塞环与气缸壁之间出现缝隙，气体从缝隙泄漏回流，排气压力无法达到要求，出现压力平衡，无法继续回收。如图1所示，活塞环已脱出



图1 活塞环磨损

卡槽，磨损变形严重，排气压力无法保证。解决此问题的方法，可直接更换活塞环。为避免因活塞环损坏导致无法回收，应按压缩机维护保养要求，定期更换活塞环。

3) 返气电磁阀密封不严。部分压缩机在停机时要求气缸内压力平衡至进气端，因此安装了返气电磁阀。以瑞士进口某电磁耦合式SF₆气体专用无油压缩机为例，压缩机一、二级排气口与进气口安装了一个常开返气电磁阀，压缩机起动后，其返气电磁阀关闭，SF₆气体经进气口进入压缩机气缸，通过一级、二级压缩变成高压的SF₆气体排出。当返气电磁阀密封不严，在通电后无法完全闭合时，就会出现压缩到高压端的气体通过返气电磁阀回流至低压端，形成内部循环，导致无法回收气体。出现这种情况时，需要拆下返气电磁阀，检查阀体中是否有异物，导致电磁阀无法完全闭合，并进行清理，必要时更换电磁阀。

3. 充气系统问题

电气设备完成抽真空后，试验或运行前，需要向设备气室充注SF₆气体，在充气过程中，经常会出现以下问题。

1) 充气过程中管路结霜。造成此种问题的主要原因是由于充气系统未设计加热装置或加热装置设计不合理。

充气系统加热装置故障或加热装置设计不合理。充气时，储气罐中储存的高压、液态SF₆通过减压充注到电气设备气室中。在液态SF₆汽化和减压过程中，SF₆需要大量吸收热量，如果充气系统加热装置未正常工作，必然会引起管路外表面结霜。当然，如果加热装置设计不合理，如加热功率过小等原因，同样会引起结霜现象。出现这种情况时，需要对加热装置进行检查，排除故障。

2) 气体无法充出。造成此种问题的主要原因是充气系统管路堵塞。

充气系统管路堵塞。气体无法充出的现象出现概率较小，笔者曾遇到过几次这种问题，一般这种问题发生在冬季温度较低的情况下，回收装置用户一般为筒体制造厂。筒体试验的工艺流程一般如图2所示，水压试验后，大多数筒体制造厂未对筒体进行烘干处理就直接进行充气、检漏，完成试验后，使用SF₆气体回收装置进行气体回收。在此过程中，大量水分会随着SF₆气体进入回收装置，充斥在系统管路的各个地方。在冬季温

度较低的情况下，经常出现凝结水结冰导致电磁阀无法正常开启，进而导致气体无法充出。出现这种情况是，需要排除法检查充气管路堵塞点，找出故障阀门，并对阀门内部进行清理。为避免此种问题再次发生，需要在回收装置前端增加前置除水装置，避免水分含量高的SF₆气体进入回收装置系统。



图2 筒体试验工艺流程

故障预防措施

1) 加强日常检查。装置每次运行前，检查仪表指示是否正常；检查真空泵油位是否在允许范围之内，油是否乳化、变质；检查管路是否有泄漏情况；检查储气罐液位是否正常；检查螺栓是否有松动；检查运行时是否有异常噪声、阀门开启和关闭是否正常等。

2) 定期进行维护、检修。定期更换干燥过滤器滤芯、尘滤芯；按真空泵、压缩机和增压泵等维修检修说明，定期进行维护、大修。

结束语

目前，国内SF₆气体回收装置用户，尤其是高压开关制造企业、检修公司等SF₆气体回收装置使用频率高的用户，在使用SF₆气体回收装置时，普遍存在装置运行周期短、检维修频次高的问题。其主要原因就是装置的日常维护保养不够，往往要等到装置出现故障时，才去维修。据统计，严格按维护保养要求对装置进行保养和大修，约有50%左右的故障可以延缓发生，甚至可有效地避免。因此，规范的日常操作、合理的维护保养是SF₆气体回收装置正常运行最基本、也是最重要的保障。EA

(收稿日期：2017.05.27)

(编辑：刘群彦)