

## 简明SF<sub>6</sub>气体处理、回收技术问与答

### ★ SF<sub>6</sub> 气体在电气设备中起何作用

一般的空气断路器、少油断路器或变压器，是靠距离和绝缘材料（如：绝缘油）来实现相与相之间的绝缘的，如：一般的空气断路器隔离和绝缘的是火线和地线，合闸时有时会出现拉弧，如果距离太近或者没有绝缘材料，就会造成短路事故。

相与相之间的距离越大越安全，但体积随之增大，这样人们就采用不同的绝缘材料来隔离相与相之间的拉弧，尽量缩小空气开关的体积。随着断路器的电压电流的增大，普通的绝缘材料不能满足要求，这样六氟化硫就应运而生。

### ★ SF<sub>6</sub> 气体的物理、化学特性

SF<sub>6</sub> 是一种无色无味、无毒和不易燃烧的绝缘性气体其密度是空气的5倍，具有优良的绝缘、灭弧和冷却性能，将其充入高中压开关或和GIS设备内，可以使设备小型化。自1960年以来SF<sub>6</sub> 使不间断的先进输配电成为可能，目前好像还没有别的工艺和方法完全替代SF<sub>6</sub> 绝缘介质。国内外的高中压开关和GIS设备的绝缘材料基本上都采用六氟化硫，随着使用时间的增加，高中压开关、GIS设备中的六氟化硫可能会出现不同程度的泄漏或出现杂质或水份，使绝缘性能下降。因为SF<sub>6</sub> 气体其主要化学特征如下：在标准情况下SF<sub>6</sub> 气体是不活泼的但在开关动作时，但是由于电弧的作用，SF<sub>6</sub> 会发生反应SF<sub>6</sub> → S+F<sub>6</sub>，它们会和一些金属及化合物反应，而反应后的物质又和水分发生二次反应，如 CuF<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O = Cu + 2HF SF<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O = SOF<sub>2</sub> + 2HF。HF是一种高腐蚀性的有毒物质，它可以腐蚀金属和陶瓷及玻璃，从而损害到开关元件，引起其动作上的故障。

为安全可靠，要定期对充SF<sub>6</sub> 气体断路器和GIS等绝缘设备进行检查，如果气体不够就需补充SF<sub>6</sub> 气体，**如果有杂质即分解产物或水分就要对SF<sub>6</sub> 气体进行回收及再生处理再充到绝缘设备中。**

### ★ 为什么要对SF<sub>6</sub> 气体进行回收及再生处理

SF<sub>6</sub> 气体在电力设备中起绝缘介质的作用。但在高温高压的气室中还有少量的水蒸汽，遇设备正常动作而产生拉弧放电或异常局部放电时SF<sub>6</sub> 会分解，其分解物（HF和SO<sub>2</sub>、SOF<sub>2</sub>、SOF<sub>4</sub>、SO<sub>2</sub>F<sub>4</sub>等）中有剧毒和强腐蚀性物质，这些物质会腐蚀设备内部金属元件。水分还会在其表面产生凝结水并附着在绝缘件表面，造成延面闪络，进一步使SF<sub>6</sub>分解，如此形成恶性循环，SF<sub>6</sub> 的绝缘性能随之下降。

纯净的SF<sub>6</sub>虽然是一种无色无味无毒和不易燃烧的气体，但SF<sub>6</sub>的分解物会对人的身体、鼻子、嘴巴和眼睛产生刺激和伤害，通常有毒物质是气室开关动作后产生的，当它排出时，会对人的身体、鼻子、嘴巴和眼睛产生刺激和伤害，如贵州、上海、台湾地区等职业病医院就发现SF<sub>6</sub> 设备监测和维护工作人员吸入SF<sub>6</sub> 断路器泄漏气体而发生中毒事故的报道。并且，SF<sub>6</sub> 及HF对地球的大气层也有很强破坏作用，1997年《京都议定书》中，六氟化硫被列为禁止排放到大气的六种温室气体之一。

基于绝缘、环保，人身安全三方面的原因，对SF<sub>6</sub> 气体进行回收及再生处理是非常有必要的。**绝对不可以把SF<sub>6</sub> 开关中的SF<sub>6</sub> 气体直接排放到空气中！**只能用SF<sub>6</sub> 回收车回收并净化后合格后再注入气室。

### ★ 回收SF<sub>6</sub> 气体前有哪些准备工作？怎样对SF<sub>6</sub> 气体的质量进行检验？回收SF<sub>6</sub> 气体前准备工作的重要性？

回收前的准备工作：一般在两种情况下SF<sub>6</sub> 绝缘设备的SF<sub>6</sub> 气体需要回收。

- 1、了解SF<sub>6</sub> 开关的使用时间，一般开关操作2000次就需要检修。
- 2、到一定的使用年限，对SF<sub>6</sub> 气体要进行检测。如（气体、水分、气体介质）以确定是否需要回收。

基于以上原因，回收前应做如下准备工作：

- 1) **测量分解产物**是要弄清楚开关内含有多少二次分解物，以判断SF<sub>6</sub> 气体的绝缘、灭弧性能是否能保障开关正常运行，并且能够知道开关内是否存在局部放电。
- 2) **测量SF<sub>6</sub> 纯度**，主要是判断SF<sub>6</sub> 纯度低于98%，大家都知道纯度低于98%SF<sub>6</sub> 气体是不能够使用，因为里面分解物和水分太多，不能保障开关正常工作。
- 3) **测量SF<sub>6</sub> 含水量**是要知道开关中SF<sub>6</sub> 气体的含水量，因为大量水分可能在设备内绝缘件表面产生凝结水，附在绝缘见表面，从而造成沿面闪络，大大降低设备绝缘水平，同时水分存在会加速SF<sub>6</sub>在电弧作用下的分解反应，并生成多种具有强烈腐蚀性和毒性的杂质，如氟化氢，引起设备的化学腐蚀，并危及工作人员的人身安全。

# 简明SF<sub>6</sub>气体处理、回收技术问与答

作为优良的绝缘和灭弧介质，SF<sub>6</sub>气体在GIS设备和分离式设备的断路器中得到广泛的应用，为了保证设备的安全运行，以及工作人员的人身安全，必须对SF<sub>6</sub>气体质量进行检察。

首先要检测SF<sub>6</sub>含水量，因为SF<sub>6</sub>气体中含水量过高会引起严重的不良后果，具体表现在两方面：

- 1) 大量水分可能在设备内绝缘件表面产生凝结水，附在绝缘件表面，从而造成沿面闪络，大大降低设备绝缘水平。
- 2) 水分存在会加速SF<sub>6</sub>在电弧作用下的分解反应，并生成多种具有强烈腐蚀性和毒性的杂质，如（HF）氟化氢，引起设备的化学腐蚀，并危及工作人员的人身安全。

其次，对SF<sub>6</sub>气体中二次分解物的分析，因为二次分解物与金属颗粒产生化学反应时，会沉积在开关底部，造成局部放电，并且这种过程是恶性循环，分解后产生的二次分解物会更多，当然这些二次分解物与水发生化学反应时，就会产生金属氟化物、氟化氢、等具有强腐蚀性和剧毒产物，对开关底部进行腐蚀，造成泄露后对工作人员的危害。

所以对于开关中的SF<sub>6</sub>气体质量的长久控制从根本上来说是很有利的，因为这样可以清楚的知道开关中有关SF<sub>6</sub>气体的情况以及开关工作可靠性的信息，并以此来及时判断气体污染情况，并在造成开关故障和严重损坏之前排除隐患。

## ★ SF<sub>6</sub>气体由气态变成液态条件

有关实验资料表明，SF<sub>6</sub>气体在21.1℃时，其密度为6.139g/l，约为空气的5倍，分子量为146.05，SF<sub>6</sub>由21.95%的硫和78.05%的氟组成，SF<sub>6</sub>气体冷冻后成为白色固体，其沸点和熔点很低，在0.1 Mpa下，其升华温度为-63.8℃，在0.22 Mpa下，熔融温度为-50.8℃。常温（20℃）下<2.1Mpa仍为气态，SF<sub>6</sub>临界温度为45.64℃，临界压力为3.8Mpa。因此SF<sub>6</sub>回收车的工作原理是以SF<sub>6</sub>气体物理特性为依据，采用温度与压力的两者相互关系，达到SF<sub>6</sub>气体回收并液化的目的。两者中只要具备其中一项，即温度越低，或者压力越高，最理想的两者都具备，液化速度更快。环境温度是20℃时，SF<sub>6</sub>在压力为2.4 Mpa（绝对压力）时会由气态变成液态，环境温度为36℃的室外，SF<sub>6</sub>开始液化的压力3.0Mpa（绝对压力）。

## ★ 压力液化SF<sub>6</sub>和制冷液化SF<sub>6</sub>气体的区别

SF<sub>6</sub>液化可以增加单位容积内的储蓄量，目前其液化方法有两种：

第一种方式是压力液化。其原理在于SF<sub>6</sub>气体在压力为2.4 Mpa（绝对压力）时会由气态变成液态，可以直接将SF<sub>6</sub>压入钢瓶后液化储存采取这种方式对SF<sub>6</sub>回收车的关键部件特别是压缩机要求极高，但是，这种方式科学，环保。而且由于不用制冷部件，回收车的其体积变小。第二种方式是低温制冷液化法，其原理在于低温下SF<sub>6</sub>会由气态变成液态，环境温度是20℃时，SF<sub>6</sub>在压力为2.4 Mpa（绝对压力）时会由气态变成液态，采用低温液化法，当将SF<sub>6</sub>的液化温度降低到10℃，此时SF<sub>6</sub>对应的液化压力仅为1.65Mpa，降低了系统工作压力。

## ★ SF<sub>6</sub>回收速度跟哪些因素有关系

SF<sub>6</sub>回收车的生产及销售厂家对于自己的回收车的回收能力表叙各有不同；所有客户在选购SF<sub>6</sub>气体回收车时，几乎都很关心回收车的回收速度。那么，到底它与什么有关呢？

压缩机的品牌、功率、连接件的长度、口径大小、材料及工艺，这些都和SF<sub>6</sub>回收车回收SF<sub>6</sub>气体的能力有关。

SF<sub>6</sub>回收时间还与气室的大小（设备本身所装SF<sub>6</sub>的重量）有关。

众所周知，回收车在回收SF<sub>6</sub>气体时，第一阶段都是借助气室和储蓄罐之间的压力差使SF<sub>6</sub>自然的流向储蓄罐，然后启动空压机。（回收车在做气体回收前是整个管路都必须抽真空的。）压缩机的功率大小当然最为重要，但连接件的密封度和平滑度及口径大小和长短，直接影响着SF<sub>6</sub>的空间压力和单位时间内的流量。而一般的销售商家和用户却忽视了这一点，我们始终有这么一个观点——在考虑SF<sub>6</sub>回收车的性能时，应该始终想到的是“回收车和GIS或GCB相连的那一刻起，他们就应该是一个整体，所有对GIS设备和GCB设备的要求都应该同时适用于SF<sub>6</sub>回收车”，这个，才是选择SF<sub>6</sub>回收车的正确标准。

## ★ 雷格公司SF<sub>6</sub>气体回收车选用全密封无油的SF<sub>6</sub>压缩机

无油即压缩机里不存在一滴油，这种技术适用于高度安全性的生产过程，如电力系统SF<sub>6</sub>气体的回收，IEC60480对SF<sub>6</sub>气体中的矿物油杂质含量有严格的限制，以保证SF<sub>6</sub>气体的纯度，SF<sub>6</sub>压缩机是SF<sub>6</sub>气体回收系统中的核心部件，类似飞机和汽车的发动机一样，非常重要！应采用无油压缩机保证回收气体的质量，能极大地减少处理和过滤的成本，安

# 简明SF<sub>6</sub>气体处理、回收技术问与答

全性和成本效益是该技术获得成功的支柱。瑞士 HAUG 公司以制造高品质的六氟化硫 (SF<sub>6</sub>) 气体压缩机而闻名。许多国际上有名的六氟化硫气体回收装置制造商如德国DILO公司都使用HAUG 特殊气密封压缩机作为其产品的核心部件。HAUG 公司成立于1896年。从1925年起HAUG 公司成为空气和气体工艺活塞式压缩机制造商。至今已有超过40000台HAUG 压缩机使用在全世界的众多行业领域里。优异的产品质量和可靠性使得HAUG 压缩机在全世界获得了广泛的认可。通过持续的研发, HAUG 压缩机性能不断地提高, 从而更加满足客户和环保的要求。所有 HAUG 压缩机在出厂之前都经过了严格的运行和气密封测试。质量和工艺管理通过了ISO 9001: 2008质量体系管理认证。在全无油运行, 气密封和可靠性这几个方面, HAUG 活塞式六氟化硫气体回收压缩机是您最佳的选择。其它品牌的压缩机无法将这些优异的性能集为一体。由于采用了适于干式运行的特殊材料, HAUG 压缩机全无油运行是绝对清洁和可靠的。性能优异的材料和耐久性使HAUG 全无油压缩机运行可靠的秘密所在。HAUG 全无油压缩机由于是无油干式运行, 因而可以保证经压缩机回收的气体的清洁和高纯度。采用HAUG 全无油压缩机可保证气体回收长期平稳进行, 而不会有油污或气体泄漏带来的停机或额外费用。六氟化硫 (SF<sub>6</sub>) 气体是一种无色, 无味, 基本无毒的卤素化合物, 对于环境会产生非常负面的影响。六氟化硫属于温室效应气体, 在大气中可稳定存在达3200年, 其温室效应是等量二氧化碳的23900倍。在1997年《京都议定书》中, 六氟化硫被列为禁止排放到大气六种温室气体之一。安全使用六氟化硫及防止将其排放到大气中是全社会关注的重大环保主题安全使用六氟化硫及防止将其排放到大气中是全社会关注的重大环保主题。因此安全使用六氟化硫气体, 推广使用气密封无油压缩机, 对六氟化硫气体清洁回收再利用显得至关重要。HAUG压缩机的泄漏率低于0.0001毫巴升/秒—这意味着实际上无气体泄漏。HAUG 六氟化硫气体压缩机运行排气压力能达50 巴高排气压力能在各种环境条件下使六氟化硫液化, 而无需加冷冻装置HAUG 压缩机能在最高9 巴(绝压)的进气压力下运行, 因而能达到最高的运行效能HAUG六氟化硫气体压缩机的另一个重要的优点是能在最高9巴(绝压)的进气压力下运行, 进气压力无需减压阀减压。因而HAUG压缩机的运行效能更高, 缩短了气体回收时间。与市场化上其它品牌的压缩机相比, HAUG压缩机回收六氟化硫气体的速度要快许多。雷格公司的大、中型压缩机全部采用瑞士HAUG全密封无油的SF<sub>6</sub>压缩机。

## ★ 无油的SF<sub>6</sub> 气体回收车和有油SF<sub>6</sub> 回收车的区别

我们知道SF<sub>6</sub>回收车, 按回收系统是否有油可分为无油回收及有油回收两种, 回收SF<sub>6</sub>气体的目的是: **保持SF<sub>6</sub> 气体的绝缘性能, 环保, 循环使用SF<sub>6</sub>以节约成本**, SF<sub>6</sub>回收车和SF<sub>6</sub>断路器或GIS相连的那一刻起, 他们就应该是一个整体, 所有对GIS设备和SF<sub>6</sub>断路器设备的要求都应该同时适用于SF<sub>6</sub>回收车, 无油回收的SF<sub>6</sub>气体回收车从根本上完全满足这些要求的同时, 还充分考虑到现场工作中的一些问题。应该说是从设计SF<sub>6</sub>回收车开始无油回收的安全理念就领先于有油回收的SF<sub>6</sub>回收车, 即SF<sub>6</sub>断路器及GIS和GCB是不允许有油的, SF<sub>6</sub>回收车回收的系统就必须是无油的。有油回收系统的SF<sub>6</sub>回收车是考虑SF<sub>6</sub>气体为惰性气体, 与油不相溶。但是现场碰到的问题是当使用有油系统SF<sub>6</sub>回收车回收SF<sub>6</sub>时油气(雾)随SF<sub>6</sub>进入气瓶或储气罐回充SF<sub>6</sub>时, 这些油气(雾)同样会随SF<sub>6</sub>进入气室。为了解决系统内油的污染, 国内外制造厂商, 想尽一切办法, 通过粗、细油过滤器, 采用洗涤式、离心式、填料式、过滤式等, 来阻止油并回收到曲轴箱内, 由最初三级油过滤器发展到5-6级, 但是都不能阻止油的污染, 油过滤器拆装更换相当麻烦, 处理不当满地都是油污, 还必须及时添加润滑油, 确保压缩机的正常运行使用周期大约半年~一年, 当气体温度较高, 油分离效果差, 进一步恶化系统。多数油气分离过滤器理论上能够容易分离油和SF<sub>6</sub>气体, 实际上并不能彻底清除油分, 并且还存在一定的风险只能接近无油而不能确保100%无油, 老实说, 油的污染对制造厂商, 对高压开关厂或供电局都是一块心病, 更重要的如果回充时把油气(雾)带进SF<sub>6</sub>断路器及GIS和GCB气室的处理, 费时麻烦不说, 责任的划分更是无法说清楚。

## ★ SF<sub>6</sub>回收车上为什么一定要装电磁真空装置

电磁真空装置是雷格公司SF<sub>6</sub>气体回收车一项特别设计。其主要作用是: **当客户在使用SF<sub>6</sub>回收车时, 空压机或真空泵工作时突然发生人为或故障断电, 如果您使用的是有油的空压机或真空泵, 那么空压机或真空泵中的油也会回流进入气室**。这时候再去进行气室的油处理, 费时麻烦不说, 责任的划分更是无法说清楚。雷格公司设计的SF<sub>6</sub>回收车会自动启动电磁真空装置内止回阀, 防止空压机或真空泵中的油回流, 免除用户后果之忧。

# 简明SF<sub>6</sub>气体处理、回收技术问与答

## ★ 在验收SF<sub>6</sub>气体回收车时，为什么一定要做抽真空实验

我们知道：回收车和GIS或GCB相连的那一刻起，他们就应该是一个整体，所有对GIS设备和GCB设备的要求都应该同时适用于SF<sub>6</sub>回收车。充SF<sub>6</sub>设备，不管是GIS还是GCB都不允许漏气，那么SF<sub>6</sub>回收车和连接件及接头都不允许泄漏。否则，SF<sub>6</sub>和空气都有可能进入气室或进入实验现场。同时，购买SF<sub>6</sub>气体回收车，实际上是购买回收车及连接件和接头转接头。她们是一体的，无论结构还是性能。也就是说，在验收SF<sub>6</sub>回收车时，应该同时验收其附件的质量和适用性——看能否对不同品牌型号的充SF<sub>6</sub>的设备进行连接和回收。

## ★ SF<sub>6</sub>气体回收车前置过滤器的作用？它的组成及能力？

SF<sub>6</sub>气体回收车前置过滤器的作用就是为了提高回收的SF<sub>6</sub>气体纯度，过滤掉更多的分解物。当SF<sub>6</sub>使用很长年限时，其分解的物质相对就会很多，光靠回收车本身的过滤器很难把气体完全过滤干净，为确保回收气体的纯度能够达到再生再利用的作用，在SF<sub>6</sub>气体回收车前安置前置过滤器就非常有必要了。有必要说明的是，这一点是所有SF<sub>6</sub>回收车的共性。而且，安置前置过滤器还可以延长SF<sub>6</sub>回收车上滤芯的使用年限和次数。

前置过滤器包含干式过滤器和粉尘过滤器。干式过滤器主要用于对SF<sub>6</sub>中水份和SF<sub>6</sub>分解物中气态物质的过滤，如SF<sub>4</sub>、HF、SO<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、SOF<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>和CF<sub>4</sub>；使水分含量达到10ppm以下。滤材是氧化铝和分子筛。粉尘过滤器主要用于对SF<sub>6</sub>气体中固态的粉尘和分解物的过滤。对于直径≥1um的粉尘，阻挡率为100%。

## ★ 为什么气室被抽真空度越高，回收处理SF<sub>6</sub>的效果越好

通常，抽真空抽的越彻底（真空度越高），气室内的水分和固体颗粒就越少。再回充时SF<sub>6</sub>的纯度就越有保障，绝缘性能就越好。所以，SF<sub>6</sub>回收车的一个重要指标是它能抽真空到何种程度？一般使用有油压缩机SF<sub>6</sub>回收再生系统仅能达到1 bar，而雷格公司的SF<sub>6</sub>气体回收再生系统能达到小于1 mbar，甚至更低，从而使气室更干净。

## ★ 购买SF<sub>6</sub>回收车前注意事项

- 1、供应商提供的回收车是否设计专为回收六氟化硫气体？
- 2、供应商提供的六氟化硫回收是否使用无油SF<sub>6</sub>压缩机？
- 3、供应商提供的六氟化硫回收车回收极限（最终）真空度？
- 4、考虑被六氟化硫回收车是否需要带压力容器？
- 5、考虑被回收六氟化硫气体的压力容器有多大？
- 6、回收现场供六氟化硫回收车使用的电源情况？
- 7、考虑被回收六氟化硫气体是气态或液态储存？
- 8、回收气体的时间是否是一项重要的指标，即是否要求要在指定时间里完成回收六氟化硫及再回充到绝缘容器里？
- 9、是否对全自动回收装置感兴趣，以避免人为操作错误？
- 10、回收装置是否需要加装防盗和防雨等全天候装置？
- 11、用户是否怀疑在其高压开关或装有六氟化硫的贮存容器中已产生杂质气体，若回答是肯定的，推荐用户选用GL型SF<sub>6</sub>气体预过滤器？
- 12、用户是否希望从高压开关中抽取六氟化硫时，要抽致某一特定水平？
- 13、实际使用中是否需要将回收车用拖车从一个工作点拖至另一个工作点？
- 14、六氟化硫回收装置供应商雷格公司在标准产品配置中会提供3米6长的输气管，用户实际需要是否要求更长？
- 15、对回收车体，用户喜欢何种颜色，白色，淡黄，黄色，天兰色，深兰色，黑色，还是其它颜色，用户可提供色样而专门为其制作？
- 16、用户希望回收装置配备何种附件（请提供附件清单供用户参考）？
- 17、用户是否希望额外购买一套零件，以备不时之需？
- 18、用户是否希望考虑购买一套SF<sub>6</sub>检测仪器检测回收SF<sub>6</sub>气体的质量？
- 19、用户是否需要培训？
- 20、用户需要怎样的产量维护保证，是一年工厂标准保证，还是要求一年以上或终身维护保证？