

# 六氟化硫回收回充净化处理系统的应用研究

刘红志<sup>1</sup>, 彭 柯<sup>2</sup>

(1 四川省电力公司, 四川 成都 610041; 2 四川省电力工业调整试验所, 四川 成都 610072)

**摘 要:**探讨了六氟化硫回收回充净化处理存在的一些问题,介绍了四川省电力公司六氟化硫回收回充净化处理系统在保证回收率、提高回收回充速度、防污染及空气分离、气体净化等方面的优势。

**关键词:**六氟化硫;回收回充;净化处理

**Abstract:** The problems existing in SF<sub>6</sub> gas recycling reuse and purifying are discussed. The advantages of SF<sub>6</sub> recycling reuse and purifying system in Sichuan Electric Power Corporation are briefly introduced, which can guarantee the recycling rate, the efficiency of recycling, the reuse process, air protection, gas separation, gas purifying and so on.

**Key words:** SF<sub>6</sub>; reclaiming and reuse; purifying system

**中图分类号:** TM934 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2011)01-0052-04

## 0 引 言

六氟化硫(SF<sub>6</sub>)是一种具有优良绝缘性能的无色、无味、无毒的不燃气体,且灭弧性能优异,因而被广泛作为电气设备中的保护气体使用<sup>[1]</sup>。

当设备正常动作而产生电弧或异常局部放电时,由于在高温高压的气室中还有少量的水蒸气,六氟化硫气体会分解为一些有剧毒和强腐蚀性物质(HF和SO<sub>2</sub>、SOF<sub>2</sub>、SOF<sub>4</sub>、S<sub>2</sub>O<sub>2</sub>F<sub>4</sub>等),这些物质会腐蚀设备内部金属元件,对设备和人身的安全都有着不同程度的危害。

六氟化硫也是《京都议定书》中规定减排的 6 种温室气体之一,是所有温室气体中破坏程度最高、存在时间最久的一种气体,其增温潜力约是 CO<sub>2</sub> 的 23 900 倍,且在空气中能够存在 3 200 多年<sup>[2]</sup>。

随着电力工业的迅速发展和技术装备水平的提高,大量的六氟化硫断路器及全封闭组合电器不断投入建设和运行。截止目前,最早的六氟化硫电气设备使用期限已超过 20 多年,有的已进行检修,但大多数将逐步进入检修周期,有大量的六氟化硫需要回收处理,六氟化硫气体的回收、利用及防止环境污染是急需解决的课题。

## 1 常见回收回充净化处理的问题<sup>[3]</sup>

目前国内外六氟化硫回收回充净化处理设备普

遍存在六氟化硫气体回收效率不高、回收速度慢、污染严重以及空气难分离、气体净化难以达到国家六氟化硫新气标准要求等技术难题。

### 1.1 指标检测不全面

中国规定充入电气设备中的六氟化硫气体必须经过严格测试,达到《工业六氟化硫》(GB/T 12022-2006)规定的 8 项指标。目前,采用集中回收、回充和处理于一体的设备进行现场回收、处理和回充的工作方式,虽然简化了程序,但是受到时间和地点的限制,8 项指标多数不能全部检测。

目前,中国绝大多数企业对现场回收回充处理气体只经过主要指标(如湿度和气相色谱)检验合格即回充入设备中。但是,这种操作方式是没有国家相关标准的支持。

### 1.2 处理回收率低

目前采用的绝大多数回收回充处理设备对空气的处理效果很差,需要大量排气,导致处理回收率很低。有些处理设备虽然采用液氮冷却,在现场处理时可能会达到空气分离所需的温度,但处理回收率也只能达到 90% 左右。并且,处理过程中直排入大气的气体中夹带着有毒的分解产物,对现场工作人员和环境都会产生不良影响。

### 1.3 处理后的灌瓶效率低

回收回充处理设备通常采用高压灌瓶方式,灌瓶效率受环境影响很大,一般额定 50 kg 的钢瓶只能灌装 20 kg 左右。有些处理设备采用冷凝后利用高度

差灌瓶的方式,这存在着自重不能克服钢瓶内压力进而无法灌瓶的问题。如果采用小型压缩机加增压器从大储液罐中抽入气体以增加压力灌瓶的方式,则有可能使大罐中的空气回溶入已固化处理后的六氟化硫,使经固化处理后再次液化的六氟化硫中空气含量上升。即使采用加气压的方法,也无法彻底解决灌瓶的问题。

#### 1.4 处理后的回充存在安全问题

目前一些市售六氟化硫回收回充设备采用简易给钢瓶外装加热套的方式来完成回充功能,这可能会使六氟化硫液体直接回充入设备,由蒸发而形成的低温六氟化硫会导致设备短时的温差变形,可能使设备密封失效,造成泄漏。更为严重的是,加热根本不能使钢瓶中的合格六氟化硫液体变成气体回充,过度受热甚至可能烧焦钢瓶表面,并使钢瓶内压力升高,存在严重的安全隐患。

现场进行气体处理时,必定有部分尾气需要排放。非专业处理中心没有专门用于净化处理六氟化硫气体的场所,各使用单位也缺少专用气体净化处理设备,操作人员的安全仅依靠数量有限的防护服,在现场直接作业可能因为通风等原因危及作业人员身体健康。

有些采用液氮冷却的处理设备,由于液氮本身属于危险化学品,在吊装、储运和使用方面也存在一系列安全问题。

## 2 六氟化硫气体回收回充净化处理系统

四川省电力公司六氟化硫气体回收回充净化处理系统是由六氟化硫净化处理系统和六氟化硫回收回充设备组成。主要的操作模式是通过六氟化硫回收回充设备将电气设备中的六氟化硫运行气体回收,经六氟化硫净化处理系统处理合格后,再通过六氟化硫回收回充设备回充到电气设备中。

### 2.1 六氟化硫净化处理系统

四川省电力公司对 SFCL-I 型六氟化硫气体处理系统进行了应用研究,有效地解决了处理后气体不

达标的问题,对分散回收后的气体经集中处理后达到《工业六氟化硫》(GB/T 12022-2006)要求。

#### 2.1.1 系统组成

处理系统由原气气化单元、净化处理单元、动力单元、尾气深冷分离处理单元等组成。

原气气化单元包含钢瓶倒转装置和专用气化装置。钢瓶倒转装置的作用是使钢瓶中的六氟化硫液体流出。专用气化装置的作用是把流入的六氟化硫液体快速转化为六氟化硫气体进入净化处理单元。

净化处理单元的作用是去除六氟化硫中的低氟化物、固体杂质和部分空气。

动力单元的作用是将净化处理单元中处理过的气体用压缩机打入设备自身的空分装置中,进行液态灌钢瓶。将分离出来的六氟化硫空气混合气打入尾气深冷分离单元深冷容器。

尾气深冷分离处理单元则是对经空气分离出来的尾气提纯。

#### 2.1.2 工作流程

处理系统工作流程图如图 1 所示。

##### (1) 一次处理流程

钢瓶在原气气化单元被倒转装置倒转后,通过带手动球阀的压力软管连接到净化缓冲处理单元。

钢瓶内的低温、高压六氟化硫液体经净化缓冲处理单元换热后变成常温气态,缓冲后减压到 0.6 MPa 左右,流向净化缓冲处理单元吸附塔内,将运行后的六氟化硫中的分解产物及水分等杂质吸附后,通过动力单元压缩机打向深冷单元中进行进一步的空气分离提纯。

同时,利用动力单元间歇抽出深冷单元顶部分离的尾气,并存储在动力单元储气罐内准备进行二次处理。

当深冷单元的尾气分离过程达到设定值后,利用低温液泵将深冷容器内的低温液体抽至钢瓶内。

##### (2) 二次处理流程

当动力单元储气罐的压力达到一定值后,储气罐内的六氟化硫通过带手动球阀的压力软管流入净化缓冲处理单元缓冲罐,由动力单元重新打入深冷单元



图 1 处理系统工作流程图

分离容器中,深冷固化后经净化缓冲处理单元碱液罐,排放二次尾气并抽真空。再将尾气深冷单元的固态六氟化硫回温液化后,利用低温液泵将深冷容器内的低温液体抽至钢瓶内。

### 2.1.3 系统优点

(1) 组合使用变压吸附、空气分离技术,并首次采用机械制冷式尾气深冷分离技术,确保尾气被完全分离,使处理后的气体达到《工业六氟化硫》(GB/T 12022-2006)要求。

(2) 机械制冷式尾气深冷分离技术操作简便、安全,维护方便,仅需供自来水、380 V 用电即可保证长时间连续运转。

(3) 净化处理单元具有吸附剂再生和再生尾气无毒化处理功能。

(4) 可单独处理六氟化硫废气,也可与目前各类现有的国内外回收回充设备配套使用。

(5) 结构设计合理,一用一备的主吸附塔确保设备能连续处理六氟化硫废气。

(6) 辅助吸附塔是对主吸附塔进行再生的装置,真正达到六氟化硫处理过程中的零排放,且再生设备能不停机即可再生主吸附剂,提高设备的使用效率。

(7) 辅助吸附塔可对深冷尾气分离单元中的气体最终处理,实现“零污染”。

(8) 功能强大的无油活塞压缩机,处理能力达到 50 kg/h 以上。

(9) 处理回收率  $\geq 95\%$ 。

(10) 在线纯度和湿度检测仪表可实时监测处理的质量。

## 2.2 六氟化硫回收回充设备

四川省电力公司六氟化硫处理中心配套的专业六氟化硫回收回充设备和六氟化硫辅助回收回充设备,很好地解决了回收回充效率不高、速度慢等问题。

### 2.2.1 功能

设备由回收管路、回充管路及抽真空管路组成。可完成以下功能:设备及钢瓶抽真空功能、六氟化硫气体回收功能、六氟化硫气体回充功能。

气体回收功能:电气设备内低压六氟化硫气体经入口过滤减压阀初步滤除水分及大颗粒杂质,减压至压缩机入口缓冲罐,进入六氟化硫专用无油活塞式压缩机压缩为高压气体,经辅助回收回充设备冷却,灌瓶以液态储存。

气体回充功能:钢瓶内合格的六氟化硫液体经辅

助回收回充设备加热气化,气体经减压后回充到电气设备中。

钢瓶、设备抽真空功能:利用真空泵对相关工作管路抽真空。

### 2.2.2 优点

(1) 考虑周全的抽真空回路,确保系统中任一部位均可被完全抽真空,做到回收回充过程中空气对六氟化硫气体的“污染”最小化。系统中任何管路、通道均可被完全抽真空,尽量减少回收回充过程中空气的带入。

(2) 吸附罐内吸附剂再生回路,连接上处理系统的处理单元后,能够使处理能力已减弱的吸附剂得到及时的再生,或者在彻底处理前抽出吸附罐内的低氟化物在处理单元中的碱液罐中进行处理,确保对环境的零污染。

(3) 空分装置进一步确保回收过程中空气对六氟化硫气体的“污染”最小化。

(4) 回收过程全无油,进口活塞式无油压缩机运行稳定。

(5) 解决了高温回收和低温回充难题,灌瓶和回充能力达到 50 kg/h。

## 3 应用

四川省电力公司六氟化硫处理中心设置六氟化硫气体分析实验室和六氟化硫气体处理车间。

六氟化硫气体分析实验室占地面积 40 m<sup>2</sup>,配备六氟化硫新气验收 8 项指标检测仪器,包括:气相色谱仪、精密露点仪、分解产物分析仪、分光光度计、氟离子浓度计和毒性试验需要的仪器等,可完成六氟化硫新气和处理后气体的分析。

六氟化硫处理车间占地面积 200 m<sup>2</sup>,分为待处理气体存储区、处理设备操作区、待检气体存储区和称重区等,车间配备泄漏报警装置和通风装置。

目前,已多次完成回收、回充和净化处理任务,包括成都电业局六氟化硫废气净化处理,德阳电业局古城变电站 110 kV 断路器六氟化硫回收净化处理和阿坝电力公司二台山变电站 110 kV GIS 断路器六氟化硫回收净化处理及回充等工作。回收净化六氟化硫气体 2 126 kg 处理后的气体达到《工业六氟化硫》规定的新气标准要求,处理回收率达到 95.4%。分析数据见表 1 和表 2。

表 1 净化处理前六氟化硫分析结果

检测项目	回收单位	成都电业局	二台山变电站	古城变电站	标准值
六氟化硫质量分数 /%		99.8953	99.8913	99.8918	$\geq 99.9$
空气质量分数 /%		0.0724	0.0825	0.0711	$\leq 0.04$
四氟化碳质量分数 /%		0.0316	0.0253	0.0365	$\leq 0.04$
水分质量分数 / (mg/kg)		3.2	4.6	2.8	$\leq 5$
酸度 (以 HF 计) 质量分数 / (mg/kg)		0.13	0.15	0.15	$\leq 0.2$
可水解氟化物 (以 HF 计) / (mg/kg)		0.8	0.8	0.6	$\leq 1.0$
矿物油质量分数 / (mg/kg)		2.5	3.4	2.1	$\leq 4$

表 2 净化处理后六氟化硫分析结果

检测项目	回收单位	成都电业局	二台山变电站	古城变电站	标准值
六氟化硫质量分数 /%		99.9925	99.9816	99.9870	$\geq 99.9$
空气质量分数 /%		0.0038	0.0169	0.0071	$\leq 0.04$
四氟化碳质量分数 /%		0.0027	0.0007	0.0056	$\leq 0.04$
水分质量分数 / (mg/kg)		2.0	4.1	2.1	$\leq 5$
酸度 (以 HF 计) 质量分数 / (mg/kg)		0.08	0.11	0.08	$\leq 0.2$
可水解氟化物 (以 HF 计) / (mg/kg)		0.3	0.7	0.3	$\leq 1.0$
矿物油质量分数 / (mg/kg)		0.6	2.9	0.6	$\leq 4$

## 4 结论

六氟化硫气体回收净化处理工作,应综合考虑工作安全、是否符合国家相关规定、运行成本与工期要求等诸多问题。

四川省电力公司六氟化硫气体净化处理系统,可使运行过的六氟化硫气体处理达到《工业六氟化硫》(GB/T 12022-2006)要求,配合专业的六氟化硫回收回收设备和六氟化硫辅助回收回收设备,可以高效安全地完成六氟化硫回收回收工作,具有良好的经济效益和社会效益。

四川省电力公司在六氟化硫回收净化处理工作中形成了“分散回收、集中处理”的管理模式。即检修前回收气体,回收后的气体集中由处理中心处理,经检验达标后回充使用。通过“分散回收、集中处理”的管理,可以实现四川省电力公司六氟化硫设备检修气体的全面回收、全面处理和全面回用。既保证设备检修后的气体质量,又节约大量成本,同时保护本地区环境。

## 参考文献

- [1] 孟玉婵,朱芳菲. 电气设备用六氟化硫的检测与监督 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
- [2] 李建基, 高压开关设备使用技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [3] 刘英卫, 钟世强, 祁炯, 等. 六氟化硫气体回收处理技术及设备 [J]. 电力设备, 2008, 9(8): 14-17.

(收稿日期: 2010-12-01)

(上接第 48 页)

- [1] 张保会, 尹项根. 电力系统继电保护 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] M. Lehtonen and T. Hakola. Neutral Earthing and Power System Protection—Earthing Solutions and Protective Relaying in Medium Voltage Distribution Networks [M]. Vassa Finland: ABB Transmitt Oy, 1996.
- [3] S. Hanninen, M. Lehtonen, T. Hakola, E. Antila, J. Strm and S. Ingman. Characteristics of Earth Faults in Power Systems with a Compensated or an Unearthed Neutral [J]. CIGRE, June 1997, 2161-2165.

- [4] 王安定, 葛耀中. 模量变换技术在反应故障分量的微机保护中的应用研究 [J]. 电力系统自动化, 1988, 12(3): 15-25.
- [5] 和敬涵, 范瑜, 薄志谦, 等. 基于对称分量变换的暂态电流极性方向比较保护算法 [J]. 电工技术学报, 2007, 22(2): 115-120.
- [6] R. Kaczmarek, W.-Y. Huang and P. Bastard. Equivalent Circuit Application to a Phase to Ground Fault Detection in Distribution Networks Without Voltage Measurements [J]. SUPELEC, France, 2004, 481-485.

(收稿日期: 2010-09-15)