

六氟化硫 气体回收处理技术 培训教材

张 涛 主 编

李一宁 申红志 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

六氟化硫 气体回收处理技术 培训教材

张 涛 主 编

李一宁 申红志 副主编

王兰兰 张 正 主 审

王宁宁 张 博 李 臻 田 新 曹国慧 参 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

六氟化硫气体的回收处理是变电检修专业的必备技能,正确使用六氟化硫气体回收处理装置与电力系统六氟化硫电气设备的安装、检修、维护、应急抢修等工作密切相关。本教材以工程应用为主线,在简要介绍六氟化硫气体基本性质的基础上,全面介绍了六氟化硫气体回收处理装置的结构原理、技术参数和操作技术,并且对六氟化硫气体回收处理工作的危险点分析、作业指导书以及防护管理等内容进行了重点讲解。

本教材以岗位能力为核心,遵循“知识够用,为技能服务”的原则,避免烦琐的理论推导,可以作为供电企业生产一线辅助作业人员、熟练作业人员和高级作业人员的岗位技能培训教材,也可作为电力专业院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

六氟化硫气体回收处理技术培训教材/张涛主编. —北京:中国电力出版社, 2012. 4

ISBN 978-7-5123-2934-8

I. ①六… II. ①张… III. ①六氟化硫气体-废气-废物综合利用-技术培训-教材 IV. ①X701

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 073635 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 6 月第一版 2012 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×980 毫米 16 开本 16.5 印张 344 千字

印数 0001—3000 册 定价 49.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

Preface

前言

为大力实施“人才强企”战略，加快培养高素质技能人才队伍，南阳电力技工学校按照国家电网公司提出的“集团化运作、集约化发展、精益化管理、标准化建设”的工作要求，充分发挥变电检修实训基地的优势，开发了这本适用于变电检修专业生产技能人员的培训教材。

本培训教材以《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》（Q/GDW 232—2008）为依据，在编写原则上，突出以岗位能力为核心；在内容定位上，遵循“知识够用、为技能服务”的原则，突出针对性，涵盖了电力行业六氟化硫气体回收处理工作相关联的、最新的政策、标准、规程、规定及新设备、新技术、新知识、新工艺，特别注重内容的先进性、实用性、资料性和工具性；在编写方式上，做到深入浅出，避免烦琐的理论推导和验证，可以作为供电企业生产一线辅助作业人员、熟练作业人员和高级作业人员的岗位技能培训教材，也可作为电力院校的教学参考书。

本教材所涉及的六氟化硫气体回收处理装置，是与电力系统六氟化硫电气设备安装、检修、应急抢险、抢修、维护等工作密切相关的重要装置，能实现对六氟化硫电气设备的抽真空、气体回收、气体净化处理、气体循环净化处理、气体净化提纯、气体直接回充输出及压力回充输出等多种功能。该装置各功能单元模块化设计，检修维护方便快捷，移动灵活方便。

本教材以工程应用为主线，全面介绍了六氟化硫气体回收处理装置的技术特点、结构原理、技术参数和操作应用技术。

六氟化硫气体回收处理装置从元件到成套设备，都充分体现了国内相关企业研发的最新技术和产品质量。从设备及其组成元件的基本功能到生产技术、运行维护知识，均有详尽阐述。本教材同时收录了在六氟化硫设备上工作时，常用的六氟化硫气体微水测试仪、六氟化硫气体分解产物测试仪、六氟化硫气相色谱分析仪、XP-1A 六氟化硫气体定性检漏仪、RA920 型六氟化硫综合分析仪、RF-BY01 型钢瓶搬运车等相关设备的最新技术资料，方便现场相关技能人员的参考与查阅。

本培训教材由河南省电力公司南阳电力技工学校张涛主编，河南省电力公司生

产技术部李一宁和河南省日立信股份有限公司申红志为副主编。

其中信阳供电公司变电检修部王宁宁、国家电网中电装备集团平高电气股份有限公司张博、河南省日立信股份有限公司申红志共同编写了第1~6章；河南省电力公司生产技术部李一宁、河南省日立信股份有限公司李臻、南阳电力技工学校曹国慧共同编写了第7章；南阳电力技工学校张涛、河南省日立信股份有限公司申红志、商丘供电公司变电检修部田新共同编写了第8~10章。河南省日立信股份有限公司王兰兰和南阳电力技工学校张正主审。

本培训教材在编写时，参考和引用了有关文献以及河南省日立信股份有限公司生产的六氟化硫气体回收净化装置的大量技术资料。编写过程中，得到了河南省电力公司、南阳电力技工学校、河南省日立信股份有限公司领导、员工的倾力帮助和技术支持，在此深表谢意。

由于编写时间仓促，加之编者的水平有限，教材中难免存在疏漏和谬误之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见，使之不断完善。

编 者

Contents

目 录

前言

第1章 六氟化硫的基本性质 / 1

- 1.1 SF₆气体的基本性质及用途 / 1
- 1.2 SF₆气体及其毒性分解物的允许含量及危害 / 4
- 1.3 SF₆气体的质量标准 / 6

第2章 六氟化硫气体的防护管理 / 10

- 2.1 SF₆气体的防护用品管理与使用 / 10
- 2.2 安全防护 / 11

第3章 六氟化硫气体回收处理作业指导书 / 14

- 3.1 概述 / 14
- 3.2 作业流程及步骤 / 15

第4章 六氟化硫气体回收处理工作危险点分析 / 17

第5章 大型六氟化硫气体回收处理装置 / 19

- 5.1 SF₆气体回收处理装置（内置 700kg 储罐） / 19
- 5.2 SF₆气体回收处理装置（内置 300kg 储罐） / 56

第6章 中型六氟化硫气体回收处理装置 / 108

- 6.1 SF₆气体回收处理装置（内置 220kg 储罐） / 108

6.2 SF₆气体回收处理装置（内置 120kg 储罐）/ 126

第7章 小型六氟化硫气体回收处理装置 / 141

7.1 SF₆气体回收处理装置（内置 68kg 储罐）/ 141

7.2 SF₆气体回收处理装置（X 型储罐）/ 151

第8章 干燥器加热与还原 / 161

第9章 六氟化硫回收方案 / 162

9.1 重庆 SF₆ 气体回收净化处理中心设计方案 / 162

9.2 广西 SF₆ 气体回收净化处理中心设计方案 / 169

9.3 广东 SF₆ 气体回收净化处理中心设计方案 / 183

9.4 产品的优势和现场服务经验 / 203

9.5 SF₆ 回收基地实时监测系统 / 210

9.6 培训和售后服务 / 213

第10章 六氟化硫气体检测设备 / 216

10.1 SF₆ 气体微水测试仪 / 216

10.2 SF₆ 气体分解产物测试仪 / 218

10.3 SF₆ 气相色谱分析仪 / 221

10.4 SF₆ 气体定性检漏仪 / 223

10.5 SF₆ 气体综合分析仪 / 224

10.6 SF₆ 气体红外检漏仪 / 230

10.7 钢瓶搬运车 / 241

附录 A DL/T 639—1997《六氟化硫电气设备运行、试验及检修人员安全防护细则》部分内容 / 243

附录 B 六氟化硫气体回收净化装置技术规范书 / 247

自测试卷及答案 / 252

六氟化硫的基本性质

1.1 SF₆ 气体的基本性质及用途

1.1.1 SF₆ 气体的基本特性

氟是天然化学元素中最活跃的，因此它的化合物有些特殊的性质。穆瓦桑是第一位制备出许多新的氟化物的化学家。1890 年，他用碳跟氟反应，制成许多氟碳化合物，其中最引人注目的是四氟代甲烷，它是利用氟和甲烷、氯仿或四氯化碳的作用而制得的，沸点只有 -15℃。穆瓦桑的这项工作使得他成为 20 世纪合成一系列高效制冷剂的氟碳化合物（即氟里昂）的先驱。

1900 年，穆瓦桑制备出气态的六氟化硫，它的化学性质跟氮气极相似，把它加热到较高温度也不会分解，并不跟熔融的碱反应。20 世纪以来，人们利用六氟化硫的惰性和化学稳定性，把它用作优良的绝缘材料。

化学品中文名称：六氟化硫；化学品英文名称：sulfur hexafluoride；分子结构：S 原子以 sp³d² 杂化轨道成键，分子为正八面体形分子，如图 1-1 所示。

分子式：SF₆；分子量：146.05。

化学性质：六氟化硫具有良好的化学稳定性和热稳定性，在 500℃ 以上赤热状态下也不分解，在 800℃ 以下很稳定，在 250℃ 时与金属钠反应，没有腐蚀性，可以用通用材料，不腐蚀玻璃。SF₆ 有卓越的电绝缘性和灭弧性能，相同条件下，其绝缘能力为空气、氮气的 2.5 倍以上，灭弧能力为空气的 100 倍，而且气体压力越大，绝缘性能越高。六氟化硫的熔点为 -50.8℃，可作为 -45 ~ 0℃ 温度范围内的特殊制冷剂，又因其耐热性好，是一种稳定的高温热载体。六氟化硫无毒，微溶于水，在酒精和醚中溶解得比在水中多一些，不溶于盐酸和氨。水中的溶解度为 5.4 cm³ SF₆/kg H₂O (SF₆ 分压 101.325 kPa, 25℃)。介电常数为 1 002 049 (气体、101.325 kPa、25℃)。在 21.1℃ 时标准压力为 2308 kPa。

物理性质：熔点 (224 kPa) 为 -50.8℃，升华点 (101.325 kPa) 为 -63.7℃。

液体密度 (-50.8℃)：1880 kg/m³。

气体密度 (0℃, 101.325 kPa)：6.52 kg/m³。

相对密度 (气体，空气 = 1, 20℃, 101.325 kPa)：5.114。

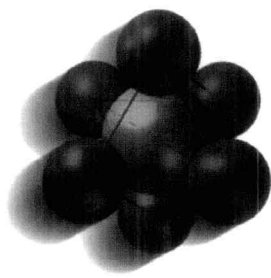


图 1-1 SF₆ 分子结构图

比容 (21.1°C , 101.325kPa): $0.1516\text{m}^3/\text{kg}$ 。

临界温度: 45.5°C , 临界压力: 3759kPa 。

临界密度: $736\text{kg}/\text{m}^3$, 熔化热 (222.35K 、 224kPa): $34.38\text{kJ}/\text{kg}$ 。

汽化热 (-63.8°C , 101.325kPa): $161.61\text{kJ}/\text{kg}$ 。

比热容: $CP = 665.18\text{J}$ (气体 25°C , 101.325kPa)、 $C = 759.14\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ (液体, 225K)。

蒸气压: 680kPa (-20°C)、 1250kPa (0°C)、 2680kPa (30°C)。

黏度 (101.325kPa , 0°C): $0.0142\text{mPa} \cdot \text{s}$, 液体、 229.85K 为 $0.500\text{mPa} \cdot \text{s}$ 。

表面张力 (-50°C): $11.63\text{mN}/\text{m}$ 。

导热系数 (101.325kPa , 0°C): $0.01206\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

折射率 (气体, 0°C , 101.325kPa): 1.000783 。

SF_6 气体相位图如图 1-2 所示。

除基本性质以外, SF_6 还具有以下特性。

(1) 耐电强度高。 SF_6 是强电负性气体, 其分子具有很强的吸附自由电子而形成负离子能力, 因而其耐电强度很高, 在较为均匀的电场中约为空气耐电强度的 2.5 倍左右, 与传统的敞开式电器装置相比, 以压缩的 SF_6 气体为绝缘的组合电器 (GIS) 的空间占有率可大大缩小。图 1-3 为不同介质的电气强度比较。 0.3MPa 的六氟化硫与绝缘油承受的电压强度相当, 压力越高承受电压越高。

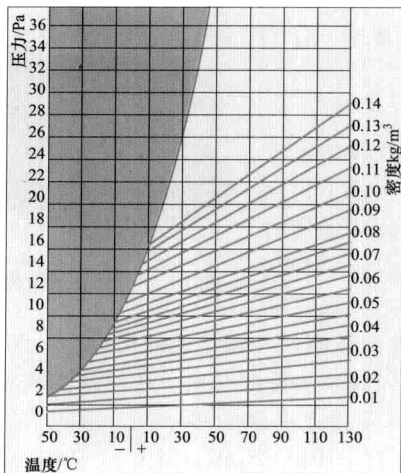


图 1-2 SF_6 气体相位图

说明: 绿色区域为气态; 蓝色区域为液态; 红色曲线表示压力与密度的关系, 同一温度下, 压力越高则密度越大; 当温度升高时压力增大, 密度不变。

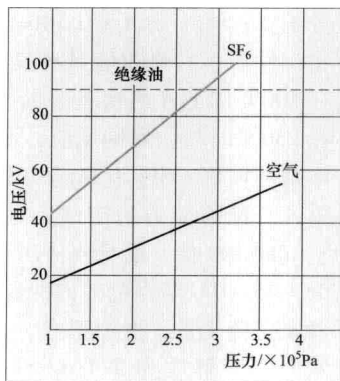


图 1-3 不同介质的电气强度比较

(2) 灭弧能力强。在交流电弧电流过零时, SF_6 气体从导体向绝缘体的转化速度非常快, 即弧隙的介质强度恢复得很快, 实验表明, 静止的 SF_6 气体的电弧时间常数比同样条件下空气的电弧时间常数小两个数量级, SF_6 气体的灭弧能力为空气的 100 倍以上。

(3) 通常无液化问题。现代 SF_6 高压断路器均为单压式, 气压在 0.7MPa 左右, 20℃ 时充气压力为 0.75MPa 时的液化温度为 -25℃, 气压为 0.4MPa 时的液化温度为 -40℃, 所以在大多数工程应用时不必担心 SF_6 气体的液化问题。

(4) 化学稳定性好。纯净的 SF_6 气体是一种无色、无味、无毒和不燃的惰性气体。温度在 180℃ 以下时它与电器设备中材料的相容性和氮气相似。纯 SF_6 气体在温度升高到 500℃ 时也不会分解, 但与金属材料共存时, 则在 200℃ 时就有可能发生微量分解。电弧高温会使 SF_6 气体分解, 但电弧熄灭绝大部分分解物又重新结合成稳定的 SF_6 分子, 只有极少数与游离的金属原子及水发生反应, 产生金属氟化物和硫的低价氟化物。此外火花放电和电晕也会使 SF_6 分解。 SF_6 最大的优点是它不含碳, 因此不会分解出影响绝缘性能的碳粒子, 而且其大部分气态分解物的绝缘性能与 SF_6 相当, 所以不会使气体绝缘性能下降。 SF_6 气体分解物有毒, 但可以用吸附剂加以清除, 只要采取防护安全措施, 不会对运行和检修人员造成危害。

1.1.2 SF_6 气体的用途

SF_6 近年来广泛应用于电力、电子、电气行业和激光、医疗、气象、制冷、消防、化工、军事、宇航、有色冶金、电子设备、雷达波导、粒子加速器、变压器、避雷器等的气绝缘体, 制冷剂、示踪装置、半导体制造中的蚀刻、化学相淀积、标准气、检漏气体、色谱仪的载气、物理研究等。 SF_6 用作电气设备的绝缘介质和灭弧介质, 主要用于变压器、开关、组合电器、互感器、线性加速器、同轴电缆、波导、X 射线设备及电容器中, 此外, 还有避雷器、管道电缆、蓄电器等电气设备也用 SF_6 作绝缘介质。

(1) 全封闭组合电器 (GIS) 是把整个变电站的设备, 包括断路器、隔离开关、母线、电流电压互感器等, 全部封闭在一个接地的金属外壳内, 壳内充装 0.3 ~ 0.5MPa 压力的 SF_6 气体。其优点是大大缩小占地面积, 由于全部设备封闭在接地外壳之中, 减小了自然环境条件对设备的影响, 运行更加安全可靠, 检修周期可长达 10 ~ 15 年。GIS 已成为当今发展趋势, 如图 1-4 所示。

(2) SF_6 断路器是采用 SF_6 气体作为绝缘介质和灭弧介质的高电压断路器。由于 SF_6 气体具有优异的绝缘性能和灭弧性能, 使高压断路器无论在体积、质量、容量、维修工作上都比油断路器优良。近年来新投产的断路器几乎均采用了 SF_6 断路器, 如图 1-5 所示。

(3) SF_6 变压器无论在安全运行的可靠性, 防火、防爆、噪声控制、节能、缩小占地面积、减少自重和防止油污染等方面都胜于传统的油变压器。但由于 SF_6 的导热性能不如绝缘油, 冷却效果差, 使 SF_6 变压器的应用受到限制, 目前只有在城市的特殊变电站中使用。以 SF_6 气体为绝缘介质的电压、电流互感器已开始广泛应用, 如图 1-6

所示。

(4) SF₆ 电缆是以 SF₆ 为绝缘介质的输电线。由于以绝缘油和绝缘纸为介质的传统输电电缆的介电常数大, 充电电流也大, 并且随着线路长度的增加而正比例地上升, 所以其输电容量和临界长度受到限制。SF₆ 电缆比较适合在发电厂和水电站应用, 如图 1-7 所示。



图 1-4 全封闭组合电器 (GIS)

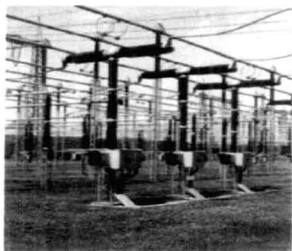


图 1-5 SF₆ 断路器 (GCB)



图 1-6 SF₆ 变压器 (互感器, GIT)

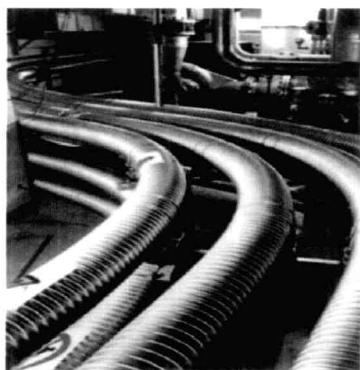


图 1-7 SF₆ 高压电缆 (GIC)

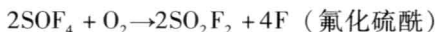
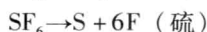
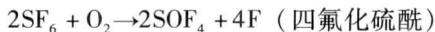
1.2 SF₆ 气体及其毒性分解物的允许含量及危害

1.2.1 SF₆ 分解物的来源

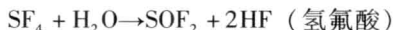
SF₆ 分解物的来源主要有以下几点。

(1) 电器设备内的 SF₆ 气体在高温电弧发生作用时而产生的某些有毒产物。例如: SF₆ 气体在电弧中的分解和与氧的反应为

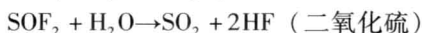




(2) 电器设备内的 SF_6 气体分解物与其内的水分发生化学反应而生成某些有毒产物

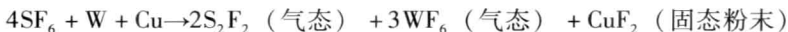
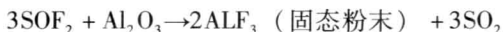
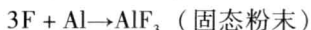
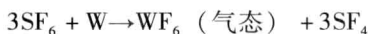


例如: SF_6 气体分解物与水的继发性反应



(3) 电气设备内的 SF_6 气体及分解物与电极 ($\text{Cu} - \text{W}$ 合金) 及金属材料 (Al 、 Cu) 反应而生成某些有毒产物。

例如: SF_6 气体及分解物与电极或其他材料反应为



(4) 电器设备内的 SF_6 气体及分解物与绝缘材料反应而生成某些有毒产物。如与含有硅成分的环氧酚醛玻璃丝布板 (棒、管) 等绝缘件, 或以石英砂、玻璃作填料的环氧树脂浇注件、模压件以及瓷瓶、硅橡胶、硅脂等起化学作用, 生成 SiF_4 、 $\text{Si}(\text{CH}_3)_2\text{F}_2$ 等产物。

1.2.2 SF_6 分解物的毒性及其在工作场所中的允许含量

(1) 氟化亚硫酰 (SOF_2)。无色剧毒气体, 能侵袭肺部, 引起肺组织急性水肿, 影响气体交换, 使肺部缺氧充血而导致窒息性死亡。它有强烈的恶心臭味, 可作为警告信号之用。白鼠和兔子的致死浓度为 10×10^{-6} 和 50×10^{-6} (V/V)。

(2) 氟化硫酰 (SO_2F_2)。痉挛性化合物, 无色无嗅, 在较高浓度下对肺组织有刺激作用, 引起肺泡出血。白鼠和兔子的致死浓度为 200×10^{-6} 和 400×10^{-6} (V/V)。

(3) 四氟化硫 (SF_4)。无色气体, 有类似 SO_2 的刺激性臭味, 毒性与“光气”相当, 对肺有侵害作用。

(4) 二氟化硫 (SF_2)。沸点 35°C , 极不稳定, 受热后更加活泼, 易水解生成 S 、 O_2 、 HF 等, 其毒性与 HF 相当。

(5) 氟化硫 (S_2F_2)。常温下为无色气体, 具有很强的毒性, 遇水后生成 HF , 对呼吸系统有类似“光气”的破坏性作用。

(6) 氟化氢 (HF)。无色气体或液体, 具有强烈的刺激性臭味, 极易溶解于水,

形成氢氟酸，对一般材料具有较强的腐蚀性。HF 对皮肤、黏膜有强烈的刺激作用，并能引起肺水肿、肺炎等。

(7) 十氟化二硫 (S_2F_{10})。常温、常压下为无色易挥发液体，是剧毒物质，毒性约为 SOF_2 的 300 倍。 S_2F_{10} 主要侵袭肺部，引起肺出血和肺水肿。白鼠的致死浓度为 1×10^{-6} (V/V)。

(8) 三氟化铝 (AlF_3)。白色粉末状，通常吸附了大量的有毒气态分解产物，故应被视为具有强烈腐蚀性和毒性的物质。 AlF_3 粉尘可刺激皮肤引起皮疹，对呼吸系统及肺部均有侵袭作用。

(9) 十氟化二硫一氧 ($S_2F_{10}O$)。剧毒物质，对肺组织有强烈侵袭作用。白鼠的致死浓度为 20×10^{-6} (V/V)。

1.2.3 SF_6 气体的危害

长期以来，由于对 SF_6 气体的使用、管理不善而导致许多有毒、有腐蚀性气体和固体分解物被排放到大气中，不但给我们赖以生存的环境造成了难以挽救的污染和破坏，同时还危及电器设备的正常运行和人们的身体健康。

(1) 健康危害。 SF_6 纯品基本无毒，但产品中如混杂低氟化硫、氟化氢，特别是十氟化硫时，则毒性增强。

(2) 环境危害。在 1997 年防止全球变暖的京都议定书中，将包括 SF_6 气体在内的 6 种气体列为温室效应气体，它们对温室效应的影响依次为 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、PFC、HFC、 SF_6 。其中 CO_2 气体对温室效应的影响最大，占 64%，而 SF_6 气体的影响为最小，仅占 0.07%。

《化学危险物品安全管理条例》(1987 年 2 月 17 日国务院发布)、《化学危险物品安全管理条例实施细则》(化劳发 [1992] 677 号)、《工作场所安全使用化学品规定》([1996] 劳部发 423 号)等法规，针对化学危险品的安全使用、生产、储存、运输、装卸等方面均作了相应规定。GB 13690—2009《化学品的分类和危险性公示通则》标志将该物质划为第 2.2 类不燃气体。GB 8777—1988《车间空气中六氟化硫卫生标准》，规定了车间空气中该物质的最高允许浓度及检测方法，规定工作场所中 SF_6 气体的含量最大不可超过 $6000\text{mg}/\text{m}^3$ 。

1.3 SF_6 气体的质量标准

1.3.1 SF_6 新气的质量控制标准

为了保证 SF_6 气体的质量，国际电工委员会 (IEC) 和许多国家及生产厂家都有关于 SF_6 气体的产品质量标准，见表 1-1。

表 1-1 国标、IEC 标准有关 SF₆ 新气质量标准比较

指标名称	GB 12022		IEC 60376	
	—1989 (作废)	—2006 (现行)	—1971 (作废)	—2005 (现行)
四氟化碳 (CF ₄)	≤0.05%	≤0.04%	≤0.05%	≤0.2%
空气 (N ₂ + O ₂)	≤0.05%	≤0.04%	≤0.05%	≤0.24%
湿度 (H ₂ O)	≤8 × 10 ⁻⁶	≤5 × 10 ⁻⁶ (-49.7℃)	≤15 × 10 ⁻⁶	≤25 × 10 ⁻⁶ (-36℃)
酸度 (以 HF 计)	≤0.3 × 10 ⁻⁶	≤0.2 × 10 ⁻⁶	≤0.3 × 10 ⁻⁶	≤1 × 10 ⁻⁶
可水解氟化物 (以 HF 计)	≤1.0 × 10 ⁻⁶	≤1.0 × 10 ⁻⁶	≤1.0 × 10 ⁻⁶	—
矿物油	≤10 × 10 ⁻⁶	≤4 × 10 ⁻⁶	≤10 × 10 ⁻⁶	≤10 × 10 ⁻⁶
纯度 SF ₆	≥99.8%	≥99.9%	≥99.8%	≥99.7% (液态时测试)
毒性试验	无毒	无毒	无毒	无毒

1.3.2 SF₆ 运行气的质量控制指标

行业标准 DL/T 596—1996《电力设备预防性试验规程》中对运行中 SF₆ 气体的试验项目、周期提出了新的要求,将 SF₆ 电气设备中气体质量监督的范围扩大了,见表 1-2。

表 1-2 运行中 SF₆ 气体的实验项目和要求

序号	项 目	要 求
1	湿度 (20℃ 体积分数/10 ⁻⁶)	(1) 灭弧气室大修后不大于 150, 运行中不大于 300 (2) 其他气室大修后不大于 250, 运行中不大于 500
2	密度/(kg/m ³)	6.16
3	毒性	无毒
4	酸度 (质量分数/10 ⁻⁶)	≤0.3
5	四氟化碳 (质量分数, %)	大修后 ≤0.05, 运行中 ≤0.1
6	空气 (质量分数, %)	大修后 ≤0.05, 运行中 ≤0.2
7	可水解氟化物 (质量分数, 10 ⁻⁶)	≤1.0
8	矿物油 (质量分数, 10 ⁻⁶)	≤10

1.3.3 运行变压器 SF₆ 质量标准

行业标准 DL/T 941—2005《运行中变压器用六氟化硫质量标准》规定了 110kV 及以上运行中变压器用 SF₆ 气体的质量标准。运行中电流互感器用 SF₆ 气体可参照执行, 见表 1-3。

表 1-3 运行变压器 SF₆ 质量标准

序号	项 目	要 求
1	泄漏 (年泄漏率, %)	≤0.1 (可按每个泄漏点不大于 30μL/L 执行)
2	湿度 (20℃, 101 325Pa)	(1) 箱体和开关 ≤35℃ * (相当于 220μL/L) (2) 电缆箱等其余部位 ≤30℃ (相当于 375μL/L)
3	空气 (质量分数, %)	≤0.2
4	四氟化碳 (质量分数, %)	比原始测定值大 0.01% 时应引起注意
5	SF ₆ 纯度 (%)	≥97%
6	矿物油 (质量分数, 10 ⁻⁶)	≤10
7	可水解氟化物 (以 HF 计, 质量分数, 10 ⁻⁶)	≤1.0
8	有关杂质组分 (CO ₂ 、CO、HF、SO ₂ 、SF ₄ 、SOF ₂ 、SO ₂ F ₂ , 10 ⁻⁶)	报告 (监督其增长情况)

* 该温度表示露点温度。

1.3.4 SF₆ 回收再利用气体的控制标准

(1) 国内标准。GB/T 8905—1996《六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则》中 7.4.7 条规定: 回收的六氟化硫气体, 经分析湿度不符合新气质量标准时, 必须净化处理, 经确认合格后方可再用。

DL/T 639—1997《六氟化硫电气设备运行、试验及检修人员安全防护细则》中 4.4.1 条规定: “对欲回收利用的六氟化硫气体, 需进行净化处理, 达到新气质量标准后方可使用。”

(2) IEC 标准。IEC 60480—2004《Guidelines for the checking and treatment of sulfur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment and specification for its reuse》(从电气设备中取出六氟化硫的检验和处理指南及其再使用规范) 中第 29 页表 2 规定了再用 SF₆ 气体中杂质最大允许值, 具体控制指标见表 1-4。

表 1-4

再用 SF₆ 气体中杂质的最大允许值

杂 质	最大允许值	
	气室绝对压力 <200kPa	气室绝对压力 >200kPa
空气和（或）四氟化碳	3%（体积比）（对于混合气体，可由设备制造商具体指定）	
水分	95mg/kg（750μL/L 或 -23℃）	25mg/kg（200μL/L 或 -36℃）
矿物油	10mg/kg	
总活性气体分解物	50μL/L 或 12μL/L（SO ₂ + SOF ₂ ）或 2512μL/L（HF）	

注 如果与气体接触的为无油设备或系统，矿物油含量可不必测试。

六氟化硫气体的防护管理

2.1 SF₆气体的防护用品管理与使用



图 2-1 SF₆专用防护服

说明：SF₆专用防护服，是全新的轻盈织物，具有超强的化学防护性能。专门为防护 SF₆ 气体设计，并可防酸、碱及大部分有机物，符合国际标准 EN1149 规定，穿着轻便、舒适、适合人体活动。

防护用品管理与使用要求如下。

(1) SF₆气体的操作工作人员应配备安全防护用品，应有专用防护服（见图 2-1）、防护面罩（见图 2-2）、氧气呼吸器、手套（见图 2-3）、防护眼镜及防护脂等。安全防护用品必须符合国家有关规定。

(2) 安全防护用品应存放在清洁、干燥、阴凉的专用柜中，设专人保管并定期检查，保证其随时处于备用状态。

(3) 凡使用氧气呼吸器和防毒面具的人员要先进行体格检查，尤其是要检查心脏和肺功能，功能不正常者不能使用上述用品。

(4) 工作人员佩戴氧气呼吸器和防毒面具进行工作时，要有专门监护在现场监护，以防出现意外事故。



图 2-2 SF₆专用防护面罩

说明：SF₆专用防护面罩，是单眼式全面罩过滤式防护面具，能确保操作人员的呼吸器官、眼睛及面部皮肤不受损伤，具有视野广阔、视觉性能好、穿戴灵活舒适等优点。



图 2-3 SF₆工作鞋、工作手套

说明：SF₆工作鞋、工作手套有效防护氧化硫、氟化氢、十氟化硫等 SF₆ 分解物，穿着舒适、轻便、耐用。