



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1986 — 2019

六氟化硫混合气体绝缘设备 气体检测技术规范

Technical specification for gas detecting in SF₆
gas mixture insulated equipment

2019-06-04 发布

2019-10-01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言..... II

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 检测项目、检测周期和检测方法..... 1

5 取样..... 2

6 检测..... 2

7 安全注意事项..... 7

8 检测报告..... 7

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由全国电气化学标准化技术委员会（SAC/TC 322）归口。

本标准起草单位：国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司、国网重庆市电力公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网山东省电力公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网湖北省电力有限公司电力科学研究院、河南省日立信股份有限公司、山东中惠仪器有限公司。

本标准主要起草人：祁炯、马凤翔、刘子恩、颜湘莲、姚强、朱洪斌、于乃海、明菊兰、蔡萱、李建国、王勇、季严松、赵跃、程伟、袁平。

本标准为首次发布。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

六氟化硫混合气体绝缘设备气体检测技术规范

1 范围

本标准规定了电气设备中六氟化硫（SF₆）混合气体的检测项目、检测周期和检测方法。
本标准适用于电气设备中 SF₆/CF₄、SF₆/N₂ 混合气体的检测。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 8905 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则
GB/T 11023 高压开关设备六氟化硫气体密封试验方法
DL/T 506 六氟化硫电气设备中绝缘气体湿度测量方法
DL/T 639 六氟化硫电气设备运行、试验及检修人员安全防护导则
DL/T 916 六氟化硫气体酸度测定法
DL/T 918 六氟化硫气体中可水解氟化物含量测定法
DL/T 919 六氟化硫气体中矿物油含量测定法（红外光谱分析法）
DL/T 921 六氟化硫气体毒性生物试验方法
DL/T 1032 电气设备用六氟化硫（SF₆）气体取样方法
DL/T 1205 六氟化硫电气设备分解产物试验方法
DL/T 1823 六氟化硫气体中矿物油、可水解氟化物、酸度的现场检测方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

SF₆ 混合气体 SF₆ gas mixture
SF₆ 气体与另一种气体按一定比例混合的绝缘气体。

3.2

SF₆ 混合气体绝缘设备 SF₆ gas mixture insulated equipment
使用 SF₆ 混合气体作为绝缘介质的电气设备。

3.3

混气比 mixing ratio
SF₆ 混合气体中 SF₆ 占混合气体的体积分数。

3.4

噪声等效温差 noise equivalent temperature difference; NETD
红外热成像系统成像质量的一种客观评价方法。红外热成像仪观察一个低空间频率的圆形或方形靶标时，当其视频信号的信噪比（S/N）为 1 时，目标与背景之间的等效温差。

4 检测项目、检测周期和检测方法

混合气体绝缘设备气体的检测项目、检测周期和检测方法见表 1。

表 1 混合气体绝缘设备气体的检测项目、检测周期和检测方法

序号	检测项目	检测周期	检测方法
1	混气比	1 次/年和必要时	传感器法、气相色谱法
2	湿度	参照 GB/T 8905	冷凝露点法、电阻电容法（DL/T 506）
3	分解产物（SO ₂ 、SOF ₂ 、SO ₂ F ₂ 、CO、CO ₂ 、CF ₄ 、C ₂ F ₆ 、C ₃ F ₈ ）		电化学传感器法、气相色谱法、气体检测管法（DL/T 1205）
4	泄漏		定性检漏（红外成像法）；定量检漏（GB/T 11023）
5	酸度	必要时	酸碱滴定法（DL/T 916）
6	可水解氟化物		比色法、氟离子选择性电极法（DL/T 918）
7	矿物油		红外光谱分析法（DL/T 919）
8	生物毒性		生物试验方法（DL/T 921）
9	空气（SF ₆ /CF ₄ 混合气体）		气相色谱法
10	氧气（SF ₆ /N ₂ 混合气体）		气相色谱法
注：混合气体酸度、可水解氟化物、矿物油含量检测也可依据 DL/T 1823 的规定进行。			

5 取样

5.1 现场分析取样

按照检测仪器的要求连接管路, 采用导入式取样, 冲洗管路 3min~5min 后取样检测。

5.2 实验室分析取样

按照 DL/T 1032 的相关规定执行。

6 检测

6.1 混气比检测

6.1.1 传感器法

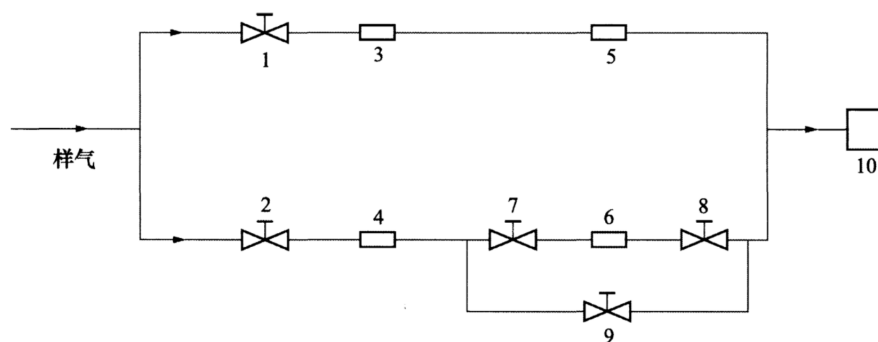
6.1.1.1 方法概要

利用 SF₆ 气体与另一种气体的导热系数或红外吸收特性的差异, 采用热导或红外传感器检测混合气体的混气比; 同时采用氧气传感器 (电化学传感器) 检测气体中的 O₂ 含量。检测流程如图 1 所示。

6.1.1.2 仪器要求

传感器法混气比检测仪, 应具备下列条件:

- a) 检测组分: SF₆、O₂;
- b) 传感器类型: SF₆ 检测宜采用热导或红外传感器, O₂ 检测宜采用电化学传感器;
- c) 检测量程: SF₆ 含量为 0%~100% (体积分数), O₂ 含量为 0%~1% (体积分数);
- d) 检测误差: SF₆ 含量不超过 ±1% (体积分数), O₂ 含量不超过 ±0.1% (体积分数);
- e) 响应时间: ≤1min;
- f) 控温精度: ±0.1℃;
- g) 应具有 SF₆/CF₄、SF₆/N₂ 等可选挡位, 须进行校准后方能使用, 校准周期不应大于 1 年。



说明:

- 1、2 ——流量调节阀;
- 3、4 ——流量传感器;
- 5 ——热导或红外传感器;
- 6 ——氧气传感器;
- 7、8 ——氧气传感器保护阀;
- 9 ——旁路调节阀;
- 10 ——尾气收集装置。

图 1 检测流程示意图

6.1.1.3 环境条件

- a) 温度: $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: $\leq 85\%$ 。

6.1.1.4 检测步骤

按以下检测步骤操作:

- a) 开启仪器电源, 待仪器预热完成后按说明书进行相应设置;
- b) 确认仪器进气口阀处于关闭状态, 连接气源取气口与仪器取样口, 将尾气收集装置与仪器排气口相连;
- c) 测量时, 保持氧气传感器保护阀处于关闭状态, 缓慢开启气路流量调节阀, 打开旁路调节阀, 冲洗管路 3min~5min, 再将气体流量调节至设置范围后打开保护阀, 开始检测, 待检测数据稳定后, 记录 SF_6 、 O_2 检测结果;
- d) 测量完毕后, 仪器应用干燥氮气吹扫 3min~5min, 先关闭氧气传感器保护阀, 再关闭仪器;
- e) 将尾气收集装置中的气体进行回收处理。

6.1.1.5 检测结果

取两次平行测定结果的算术平均值作为检测结果, 检测结果以体积分数表示。

6.1.1.6 精密度

两次检测结果的绝对偏差: SF_6 含量不超过 1% (体积分数); O_2 含量不超过 0.1% (体积分数)。

6.1.2 气相色谱法

6.1.2.1 方法概要

采用色谱柱分离 SF_6 、 CF_4 、 N_2 、 O_2 等组分, 通过热导检测器 (TCD) 对各组分气体进行检测。检

测结果以体积分数表示。

6.1.2.2 仪器与材料

- a) 气相色谱仪：应配有 TCD，能够检测 SF₆、CF₄、N₂、O₂ 等组分气体，可以使用外标法和校正规一化法进行数据分析。色谱法典型气路流程见表 2。

表 2 色谱法典型气路流程

流程图	固定相	说明
	色谱柱 1：长约 2m，外径 3mm 的不锈钢管，填充 60 目~80 目 Porapak Q，可分离 SF ₆ 与其他气体； 色谱柱 2：长约 4m，外径 3mm 的不锈钢管，填充 60 目~80 目 13X 分子筛，可分离 CF ₄ 、O ₂ 、N ₂	在十通阀动作图中虚线位置，进样时载气经阀 4-阀 3 带动定量环中样品至阀 10-阀 9 进入色谱柱 1 进行预分离，CF ₄ 、O ₂ 、N ₂ 进入色谱柱 2 分离后进入 TCD 分析，阀复位实线位置后色谱柱 1 中的 SF ₆ 进入 TCD 分析

- b) 载气：氦气，纯度不低于 99.999%。
c) 标准气体：应由国家计量部门授权的单位配制，具有标准物质证书，在有效期内使用。

6.1.2.3 环境条件

- a) 温度：-10℃~40℃；
b) 相对湿度：≤85%。

6.1.2.4 检测步骤

- 按以下检测步骤操作：
- a) 按仪器要求设置色谱仪工作参数，待仪器稳定后备用；
b) 采用外标法对色谱仪进行定量标定，仪器的标定工况应与检测时条件相同，两次标定的重复性不应超过±3%；
c) 连接被测气源取气口与色谱仪取样口，按照色谱仪使用条件，控制被测气体流量，冲洗取样管路和定量环不小于 3min，关闭色谱仪取样口，切换定量环阀门，迅速进样；
d) 记录各组分峰面积（或峰高），分析数据；
e) 检测完毕后，按仪器操作流程关闭色谱仪，关闭电源和各气源。

6.1.2.5 样品色谱图

混合气体典型色谱图如图 2 和图 3 所示。

6.1.2.6 结果计算

6.1.2.6.1 校正规一化法计算气体混气比

体积相对校正因子的计算：以 SF₆ 的体积相对校正因子为 1，测定其他气体 CF₄、N₂、O₂ 等的体积

相对校正因子。使用标准气体（SF₆、CF₄、N₂、O₂）在与分析样品相同的色谱条件下分别注入色谱柱中，按照式（1）计算体积相对校正因子：

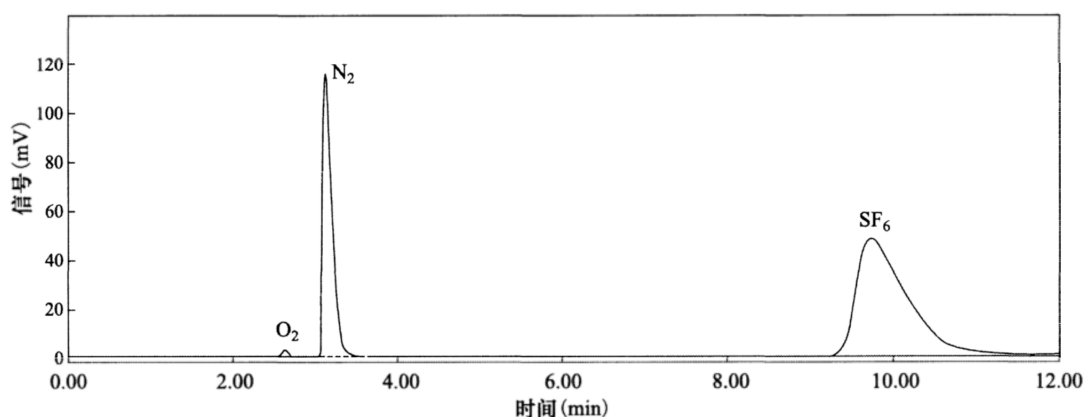


图2 SF₆/N₂混合气体典型色谱图

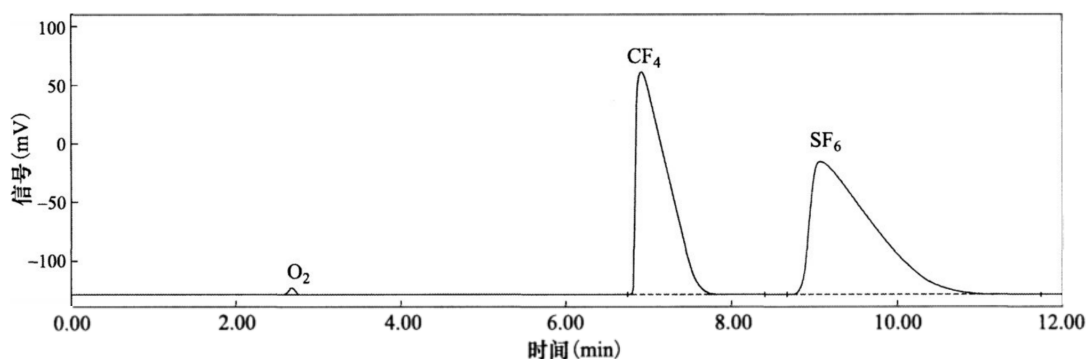


图3 SF₆/CF₄混合气体典型色谱图

$$f_{C_i} = \frac{C_{i,N}}{C_{SF_6,N}} \times \frac{A_{SF_6,N}}{A_{i,N}} \quad (1)$$

式中：

$C_{i,N}$ ——标准样品中 CF₄、N₂、O₂ 的体积分数，%；

$C_{SF_6,N}$ ——标准样品中 SF₆ 的体积分数，%；

$A_{i,N}$ ——标准样品中 CF₄、N₂、O₂ 的响应峰面积，μV·s；

$A_{SF_6,N}$ ——标准样品中 SF₆ 的响应峰面积，μV·s。

各被测组分的体积分数按照式（2）计算：

$$C_i = \frac{A_i \times f_{C_i}}{A_t} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

C_i ——分析样品中组分气体的体积分数，%；

f_{C_i} ——分析样品中组分气体的体积相对校正因子；

A_i ——分析样品中组分气体的响应峰面积，μV·s；

A_t ——分析样品中所有组分气体的响应峰校正面积之和，μV·s。

取两次平行检测结果的算术平均值作为测定结果，检测结果以体积分数表示。

6.1.2.6.2 外标法计算气体混气比

根据各组分出峰的峰面积（或峰高），按式（3）计算混合气体中 SF_6 、 CF_4 、 N_2 、 O_2 等的含量 C_{SF_6} 、 C_{CF_4} 、 C_{N_2} 、 C_{O_2} ：

$$C_i = C_{i,N} \times \frac{A_i}{A_{i,N}} \quad (3)$$

式中：

C_i ——分析样品中组分气体的体积分数，%；

$C_{i,N}$ ——标准样品中组分气体的体积分数，%；

A_i ——分析样品中组分气体的响应峰面积， $\mu\text{V} \cdot \text{s}$ ；

$A_{i,N}$ ——标准样品中组分气体的响应峰面积， $\mu\text{V} \cdot \text{s}$ ， A_i 、 $A_{i,N}$ 也可用峰高 h_i 、 $h_{i,N}$ 代替。

取两次平行检测结果的算术平均值作为测定结果，检测结果以体积分数表示。

6.1.2.7 精密度

两次检测结果的绝对偏差： SF_6 、 N_2 、 CF_4 含量不超过 0.5%（体积分数）； O_2 含量不超过 0.05%（体积分数）。

6.2 湿度检测

宜使用冷凝露点法或电阻电容法进行检测，检测方法可参照 DL/T 506 规定的测量方法。

6.3 分解产物检测

参照 DL/T 1205 规定的分解产物检测方法对混合气体的分解产物进行检测。

6.4 泄漏检测

6.4.1 定性检漏

6.4.1.1 检测方法

宜使用红外成像法进行混合气体泄漏检测。其原理是利用混合气体中 SF_6 气体对特定波长的光吸收特性与空气相差较大，两者反映的红外影像不同，使泄漏到空气中肉眼看不见的 SF_6 气体在红外探测技术下成像，确定泄漏点。其他原理的 SF_6 气体定性检漏方法也可用于 SF_6 混合气体的泄漏检测。

6.4.1.2 检测环境

- a) 温度： $-15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度： $\leq 85\%$ 。

6.4.1.3 仪器

- a) 噪声等效温差：宜小于 0.05K（环境温度为 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时）；
- b) 检出限： $\leq 1\mu\text{L/s}$ （以纯 SF_6 计）；
- c) 响应时间： $\leq 10\text{s}$ ；
- d) 探测距离：最近探测距离应大于 50cm，最远探测距离应大于等于 20m；
- e) 取景器分辨率： $\geq 320 \times 240$ 像素；

f) 连续工作时间: >4h。

6.4.1.4 检测步骤

按照仪器说明书的操作要求,采用气体泄漏检测仪对混合气体绝缘设备进行泄漏检测。根据检测结果判定设备是否发生气体泄漏。

6.4.2 定量检漏

按照 GB/T 11023 的规定对混合气体绝缘设备进行定量检漏。

6.5 酸度检测

按照 DL/T 916 规定的检测方法对混合气体的酸度进行检测,也可依据 DL/T 1823 规定的检测方法进行混合气体的酸度检测。

6.6 可水解氟化物检测

按照 DL/T 918 规定的检测方法对混合气体中可水解氟化物的含量进行检测,也可依据 DL/T 1823 规定的检测方法进行混合气体中可水解氟化物含量的检测。

6.7 矿物油含量检测

按照 DL/T 919 规定的检测方法对混合气体中矿物油的含量进行检测,也可依据 DL/T 1823 规定的检测方法进行混合气体中矿物油含量的检测。

6.8 生物毒性检测

按照 DL/T 921 规定的检测方法对混合气体进行生物毒性检测。

6.9 SF₆/CF₄ 中空气含量的检测

参照 6.1.2 采用气相色谱法检测 SF₆/CF₄ 中空气的含量。

6.10 SF₆/N₂ 中氧气含量的检测

参照 6.1.2 采用气相色谱法检测 SF₆/N₂ 中氧气的含量。

7 安全注意事项

- 7.1 严格执行有关安全规程,防止压力突变造成管道、检测仪器的损坏。
- 7.2 在检测过程中,应监视被测电气设备内的压力变化,防止压力过低造成的设备告警或闭锁。
- 7.3 在测试过程中,应保证测试现场通风。
- 7.4 试验人员的安全防护应按照 DL/T 639 的有关规定执行。
- 7.5 试验尾气应回收处理。

8 检测报告

检测报告应包括以下内容:

- a) 检测日期、环境温度、大气压力;
- b) 被测设备名称、型号、出厂编号、出厂日期、混合气体成分及其额定含量;
- c) 检测仪器名称、型号、出厂编号、校验日期等;
- d) 检测依据;

- e) 分析操作参数;
 - f) 检测结果;
 - g) 检测时观察到的任何异常现象及说明;
 - h) 检测人员、审核人员、批准人员;
 - i) 用特殊方式检测时, 需注明检测方法和计算方法。
-

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
六氟化硫混合气体绝缘设备
气体检测技术规范
DL/T 1986—2019

*

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>)
北京天泽润科贸有限公司印刷

*

2019年11月第一版 2019年11月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 27千字
印数 001—300册

*

统一书号 155198·1665 定价 15.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究
本书如有印装质量问题,我社营销中心负责退换



中国电力出版社官方微信



电力标准信息微信

为您提供 最及时、最准确、最权威 的电力标准信息



155198.1665