

ICS 27.100

F 24

备案号: 47932-2015

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1359 — 2014

六氟化硫电气设备故障气体 分析和判断方法

The method for analysis and judgement of SF₆ mal-function
gas in electrical equipment

2014-10-15 发布

2015-03-01 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 取样	1
5 六氟化硫故障气体分析	2
6 检测周期	2
7 判断依据	2
8 安全防护和注意事项	3
附录 A (资料性附录) SF ₆ 故障气体检测方法: 气相色谱法	4
附录 B (资料性附录) SF ₆ 故障气体检测方法: 气相色谱质谱联用法	9

六氟化硫电气设备故障气体分析和判断方法

1 范围

本标准规定了六氟化硫(SF₆)电气设备的故障气体分析和判断方法。

本标准适用于以六氟化硫为绝缘介质的断路器、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)、互感器等电气设备故障气体分析和判断。六氟化硫变压器分析方法可参照执行。

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 26860 电气安全工作规程 发电厂和变电站电气部分

DL/T 639 六氟化硫电气设备运行、试验及检修人员安全防护细则

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

3 术语和定义

3.1

六氟化硫分解物 SF₆ decomposition ingredients

六氟化硫电气设备中 SF₆ 气体和其他材料、杂质发生反应生成的固体和气体杂质的统称。

3.2

六氟化硫故障气体 SF₆ mal-function gas

六氟化硫电气设备故障时, SF₆ 气体及其与其他材料、杂质发生反应生成的 SO₂、HF、H₂S、CF₄、CO、CO₂、CS₂、SO₂F₂ 和 SOF₂ 等气体杂质的混合物。

4 取样

4.1 取样方法

六氟化硫电气设备的气体取样应符合 DL/T 1032 的要求。

4.2 取样装置

4.2.1 接头

现场取样所需要的接头材质应采用 316 不锈钢。

4.2.2 管路

取样管路宜采用内径 3mm~6mm、长度不宜过长的不锈钢或聚四氟乙烯管(壁厚不少于 1mm),排气管路宜采用聚乙烯管,并连接有取样袋或取样容器。

4.2.3 取样容器

取样容器应符合下列要求:

- 取样瓶应采用不锈钢瓶或铝合金瓶(内壁涂聚四氟乙烯膜),可承受压力不应低于 1.0MPa,容积宜大于 0.5L。
- 取样袋应采用复合薄膜材料(内膜为聚乙烯),具有自封接头和冲洗阀门,并采用氟橡胶垫,容量宜为 0.5L~2L,壁厚不应小于 0.3mm,密封性能良好。

4.3 样品保存

样品应避免阳光直射，取样后，宜在 48h 内进行试验。

5 六氟化硫故障气体分析

5.1 现场分析

现场分析项目和方法可参照 DL/T 1205 的要求，分析方法见表 1，检测后的 SF_6 气体应回收处理。

表 1 现场分析方法

序号	项 目	方 法
1	SO_2 、 H_2S 、 CO 、 HF 等	检测管法、电化学传感器法、光谱法
2	CF_4	气相色谱—热导检测器法 (GC-TCD)

5.2 实验室分析

实验室分析项目及方法见表 2，检测方法可参照附录 A、附录 B 规定的方法。

表 2 实验室分析方法

序号	项 目	方 法
1	SO_2 、 SOF_2^* 、 SO_2F_2 、 CO 、 CO_2 、 CS_2 、 CF_4 、等	气相色谱法、气相色谱—质谱联用法 (GC-MS)、光谱法
* 由于现有分析方法的局限性，导致 SO_2 、 SOF_2 无法完全区分，因而第 7 章判断依据中涉及的 SO_2 可能包含 SOF_2 。		

6 检测周期

运行状态下六氟化硫分解物检测周期宜按电压等级划分，见表 3。

表 3 六氟化硫分解物检测周期

电压等级	检测周期	说 明
500kV 以上	(1) 新设备和大修后应投运 3 月内检测 1 次。 (2) 运行后可每 1 年检测 1 次。 (3) 必要时	必要时包括下列状况： (1) 发生近区短路断路器跳闸时。 (2) 受过电压严重冲击时，如雷击等。 (3) 设备有异常声响、强烈电磁振动响声时。 (4) 局部放电监测发现异常时
66kV 及以上， 500kV 及以下	(1) 新设备和大修后应投运 3 月内检测 1 次。 (2) 运行后可 1 年到 3 年检测 1 次。 (3) 必要时	
66kV 以下	必要时	

7 判断依据

7.1 现场检测应以 SO_2 和 H_2S 两种组分的含量变化为判断依据，其含量注意值见表 4。

表4 SO₂和H₂S的参考注意值

设备类别	判断组分	参考组分	跟踪要求	诊断结果
	SO ₂ μL/L	H ₂ S μL/L		
断路器	3~5	2~5	3个月内复检测一次	疑似缺陷
	5~50	5~20	1个月内复测一次	可能存在缺陷
	大于50	大于20	1周内检测一次	可能存在故障
其他设备	3~5	2~3	3个月内复检测一次	疑似缺陷
	5~30	3~15	1个月内复测一次	可能存在缺陷
	大于30	大于15	1周内检测一次	可能存在故障

7.2 当确定 SO₂ 或 H₂S 含量出现异常变化时,应增加实验室分析,根据六氟化硫分解物中 CO、CF₄ 含量及其他参考指标的变化,结合故障气体分析历史数据、运行工况等对设备状态进行综合诊断,采取相应的措施。

7.3 当设备检出 SO₂F₂ 等其他组分增大时,应及时对设备进行综合分析,同时分析其他相关组分。必要时应结合电气试验、解体分析,检查设备是否存在过热或放电故障。

7.4 当六氟化硫分解物中的 CO、CF₄ 增量变化大于 10%,或出现 CS₂ 时,应缩短检测周期,并结合电气试验和设备运行状况对设备的固体绝缘状态进行综合诊断。

7.5 当发生近区短路故障引起断路器跳闸(额定开断电流以下)时,断路器气室的六氟化硫分解物检测结果应包括开断 48h 后的检测数据。

7.6 六氟化硫分解物分析数据应建立历史记录,至少应包含 HF、SO₂、H₂S、SO₂F₂、CO、CS₂。记录设备交接验收期、运行期等各时段的组分变化情况等,作为设备故障的判断依据。

8 安全防护和注意事项

8.1 在六氟化硫设备区域的工作人员安全防护应符合 DL/T 639 的规定。

8.2 工作人员应按照 GB 26860 的规定,防止压力突变造成管道、分析仪器损坏。

8.3 在整个采样过程,应监控设备内的压力变化,防止由于采样造成设备压力的激烈变化。

8.4 取样中应检查管道、器皿的连接,防止气体泄漏。

8.5 取样过程应防止由于泄漏导致试验人员中毒,试验人员应按规定佩戴防毒面具、防护服和手套。

8.6 试验仪器的尾部排气应使用集气袋或容器存储,实行回收处理。

附录 A

(资料性附录)

SF₆ 故障气体检测方法：气相色谱法

A.1 工作原理

气相色谱法是利用样品中各组分在气相和固相间的分配系数不同，当气态样品被载气带入色谱柱中流动时，各组分在两相间进行反复多次分配，由于固定相对各组分的吸附或溶解能力不同，各组分在色谱柱流动的速度也不同，经过一定的柱长后，彼此分离，按顺序流出色谱柱进入检测器，产生的电信号经放大后，形成色谱图。

气相色谱仪的核心部件是检测器，主要有热导检测器（TCD）、火焰光度检测器（FPD）、氢离子检测器（PDD）等。也可将两（多）个检测器以一定的方式组合在一起，一次得到两（多）个定性定量结果。如 FPD+TCD、PDD+PDD，可对六氟化硫中空气、四氟化碳及硫酰等分解物进行检测，根据各组分的峰面积和被测物对检测器响应的校正系数来确定其浓度。

A.2 仪器组成

A.2.1 载气系统：气源、气体净化、气体流量计。

A.2.2 进样系统：进样器、汽化室。

A.2.3 色谱柱和柱温：色谱柱、恒温控制系统。

A.2.4 检测系统：检测器、控温装置。

A.2.5 记录系统：放大器、记录仪、数据处理工作站。

A.3 分析步骤

A.3.1 热导检测器（TCD）

A.3.1.1 要求所采用的气相色谱仪对六氟化硫中空气、四氟化碳的检测限不大于 5×10^{-6} （体积分数）。

A.3.1.2 载气纯度不低于 99.99×10^{-2} （体积分数）的氢气或氦气，流速约 20mL/min 或参照相应的仪器说明书。

A.3.1.3 桥电流大于 150mA 或参照相应的仪器说明书。

A.3.1.4 色谱柱为长约 2m、内径 3mm 的不锈钢填充柱，内装 0.30mm~0.60mm 的涂有癸二酸二异辛酯的硅胶，或为其他等效色谱柱。

A.3.1.5 气体标准样品组分含量与被测组分含量接近，平衡气与热导气相色谱仪载气一致。

A.3.1.6 色谱柱温度、检测器温度、样气流量等其他条件参考仪器说明书。

A.3.1.7 谱图

TCD 色谱图见图 A.1。

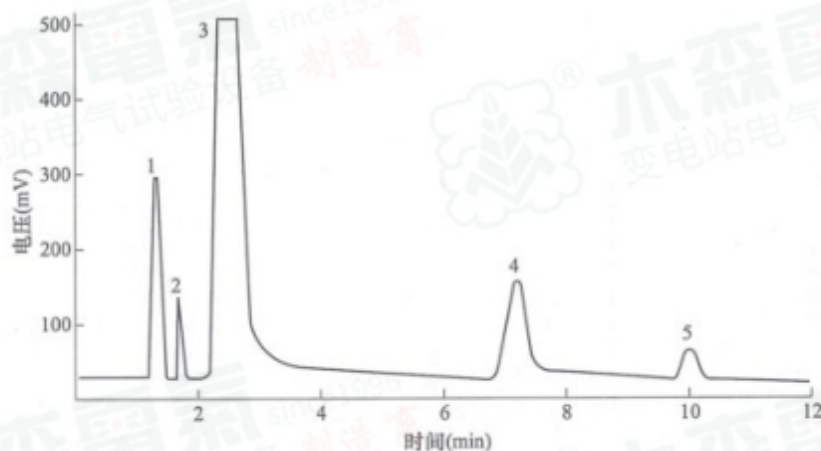
A.3.2 火焰光度检测器（FPD）

A.3.2.1 要求所采用的气相色谱仪对六氟化硫中二氧化硫、硫酰的检测限不应大于 5×10^{-6} （体积分数）。

A.3.2.2 测定条件

载气的纯度不低于 99.99×10^{-2} （体积分数）的氮气、氩气、氦气或氢气，流速约 18.4mL/min 或参照相应的仪器说明书。

燃气的纯度不低于 99.99×10^{-2} （体积分数）的氢气，流速约 75mL/min 或参照相应的仪器说明书。



1—空气；2—CF₄；3—SF₆；4—C₃F₈；5—S₂OF₁₀

图 A.1 SF₆ 气体 TCD 色谱图

助燃气为空气，流速约 100mL/min 或参照相应的仪器说明书。

色谱柱采用毛细管色谱柱（型号为 gaspro 60m×0.32mm×0.1μm）或其他等效色谱柱。

柱箱温度：起始温度为 50℃，以 1℃/min 的速度升温至 55℃；再以 15℃/min 的速度升温至 180℃。

气体标准样品：组分含量与被测组分含量接近，平衡气与带有火焰离子化检测器的气相色谱仪载气一致。

其他条件：色谱柱温度、检测器温度、样气流量等其他条件参考仪器说明书。

A.3.2.3 流程及谱图

FPD+TCD 流程图见图 A.2，FPD 色谱图见图 A.3。

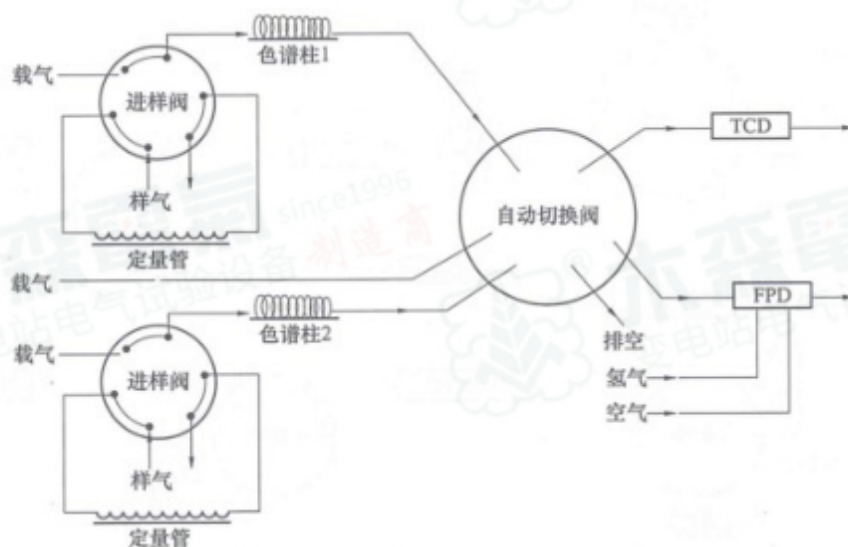


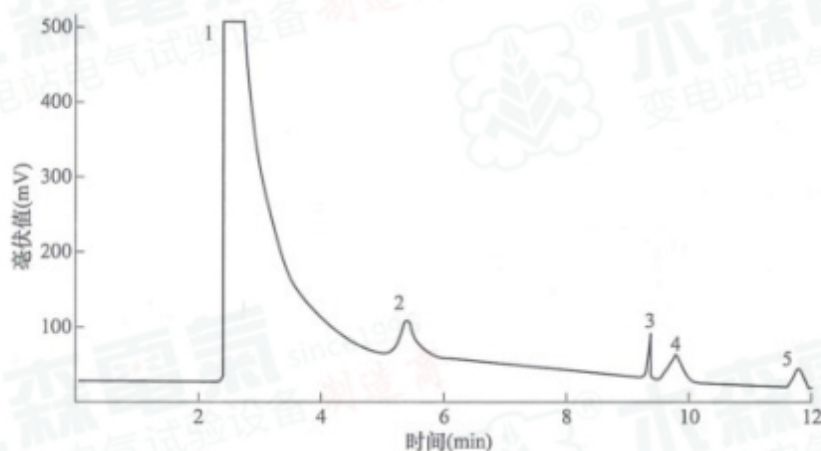
图 A.2 SF₆ 气体 FPD+TCD 流程图

A.3.3 氮离子检测器 (PDD)

A.3.3.1 要求所采用的 PDD 对六氟化硫中二氧化硫、硫酰的检测限不大于 1×10^{-6} （体积分数）。

A.3.3.2 测定条件

色谱柱采用毛细管色谱柱（型号为 Gaspro 60m×0.32mm×0.1μm）和填充柱（4m，50 目～80 目），



1— SF_6 ; 2— SO_2F_2 ; 3— CS_2 ; 4— SO_2 ; 5— S_2OF_{10}

图 A.3 SF_6 气体 FPD 色谱图

或其他等效色谱柱。

柱箱起始温度为 40°C ，维持 8min；再以 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速度升温至 180°C ，维持 5min。

载气纯度不低于 99.999×10^{-2} （体积分数）的氦气，流速约 $30\text{mL}/\text{min}$ 或参照相应的仪器说明书。

气体标准样品组分含量与被测组分含量接近，平衡气与检测器的气相色谱仪载气一致。

色谱柱温度、检测器温度、样气流量等其他条件参考仪器说明书。

A.3.3.3 流程及谱图

PDD+PDD 流程图见图 A.4，PDD 谱图见图 A.5、图 A.6。

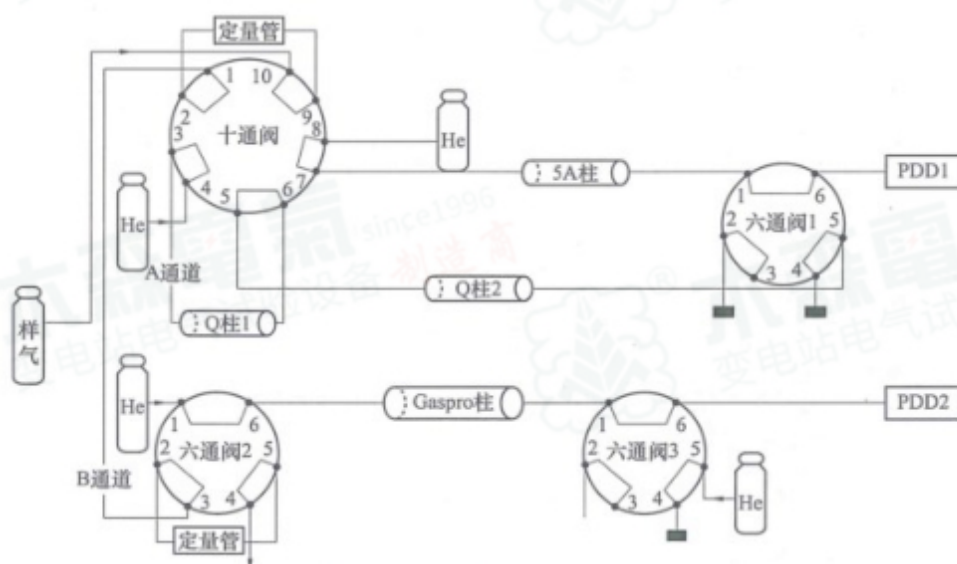
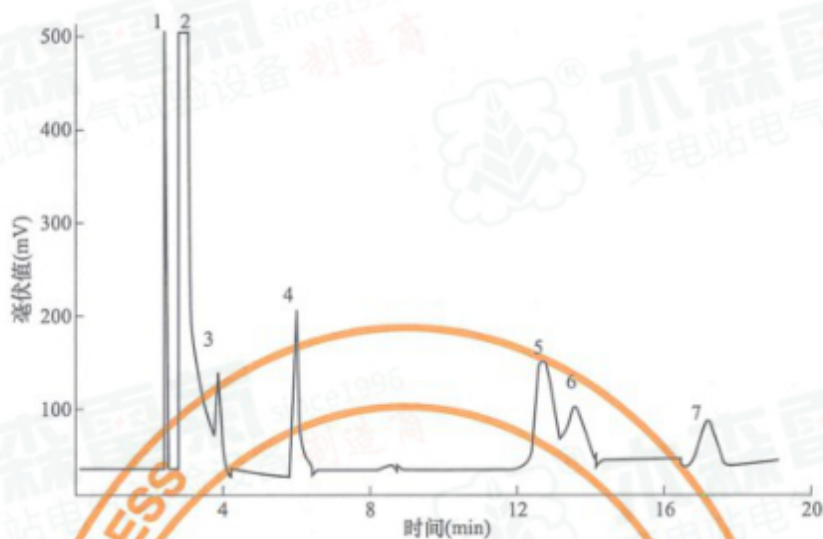


图 A.4 SF_6 气体 PDD+PDD 流程图

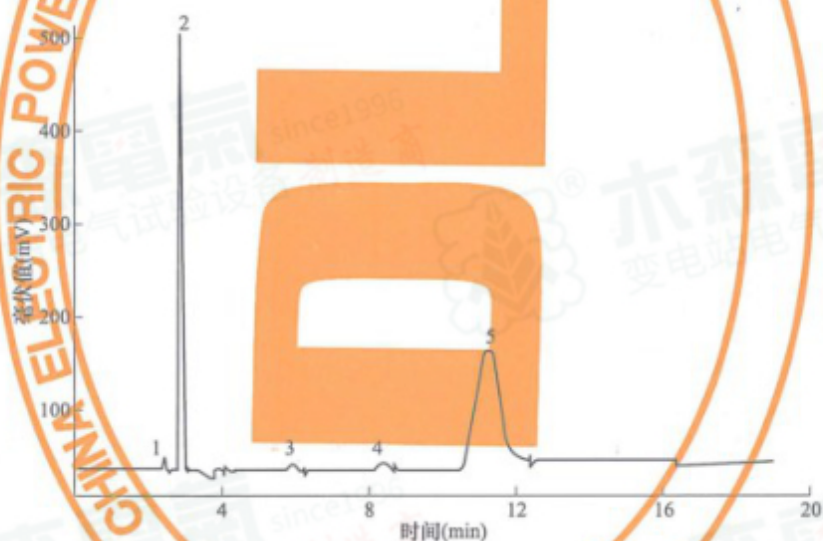
A.3.4 检测结果处理

A.3.4.1 TCD 和 PDD 检测组分结果计算：检测结果计算采用外标定量法。各组分含量按式 (A.1) 计算。



1—O₂; 2—SF₆; 3—H₂S; 4—SO₂F₂; 5—CS₂; 6—SO₂; 7—S₂O₂F₁₀

图 A.5 SF₆ 气体 PDD 色谱图 1



1—O₂; 2—H₂; 3—CO; 4—CF₄; 5—CO₂

图 A.6 SF₆ 气体 PDD 色谱图 2

$$C_i = \frac{A_i}{A_s} \times C_s \quad (\text{A.1})$$

式中: C_i ——试样中被测组分 i 的含量, $\mu\text{L/L}$;

A_i ——试样中被测组分 i 的峰面积, $\mu\text{V} \cdot \text{s}$;

C_s ——标气中被测组分 i 的含量, $\mu\text{L/L}$;

A_s ——标气中被测组分 i 的峰面积, $\mu\text{V} \cdot \text{s}$ 。

A.3.4.2 FPD 检测组分结果计算: 检测结果计算采用外标定量法。各组分含量按式 (A.2) 计算。

$$C_i = \frac{\sqrt{A_i}}{\sqrt{A_s}} \times C_s \quad (\text{A.2})$$

式中: C_i ——试样中被测组分 i 的含量, $\mu\text{L/L}$;

A_i ——试样中被测组分 i 的峰面积, $\text{pA} \cdot \text{s}$;

C_s ——标气中被测组分 i 的含量, $\mu\text{L/L}$;

A_s ——标气中被测组分 i 的峰面积, $\text{pA} \cdot \text{s}$ 。

取平行两次检测结果的算术平均值作为检测结果。

附录 B (资料性附录)

SF₆故障气体检测方法：气相色谱质谱联用法

B.1 工作原理

如上所述，气相色谱法是一种以气体作为流动相的柱色谱分离分析方法，适合对气体组分分离后进行定量分析。

质谱法是将样品分子置于高真空的离子源中，使其受到高速电子流或强电流等作用，失去外层电子而生成分子离子，或化学键断裂生成各种碎片离子，经加速电场的作用形成离子束，进入质量分析器，再利用电场和磁场使其发生色散、聚焦，获得质谱图。根据质谱图提供的信息对物质进行定性、定量分析。

气相色谱质谱联用法则是将气相色谱和质谱通过接口连接起来，气相色谱将复杂混合物分离成单组分后进入质谱进行分析检测。该方法能充分发挥二者的优势，兼具气相色谱的高分辨率和质谱的高灵敏度，特别适用于复杂组分的分离与鉴定。气相色谱质谱联用法可实现对六氟化硫中杂质或分解物的有效检测，即使各组分在气相色谱中不能完全分离也不影响定性定量结果。

B.2 仪器配置与测定条件

色谱柱采用毛细管色谱柱，型号为 gaspro 30m×320μm×0.35μm。

柱箱起始温度为 50℃，以 1℃/min 的速度升温至 55℃；再以 15℃/min 的速度升温至 180℃，维持 7min。

进样口压力 50kPa；分流模式（5:1）。

载气纯度不低于 99.99×10^{-2} （体积分数）的氮气，流速约 18.4mL/min 或参照相应的仪器说明书。

离子源温度 160℃；接口温度 150℃。或参照相应的仪器说明书。

检测方式为 SIM 方式。

B.3 流程图和谱图

GC-MS 流程图见图 B.1，GC-MS 色谱图见图 B.2。

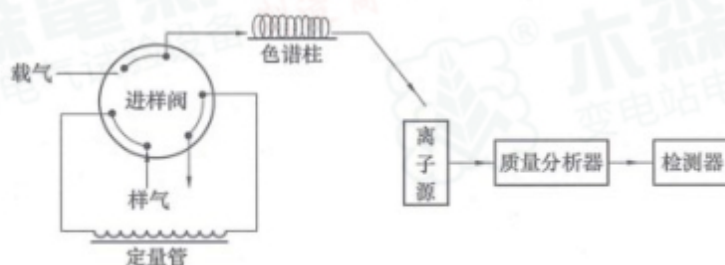


图 B.1 GC-MS 流程图

B.4 检测结果处理

检测结果计算采用外标定量法。各组分含量按式（B.1）计算。

$$C_i = \frac{A_i}{A_s} \times C_s \quad (\text{B.1})$$

式中： C_i ——试样中被测组分 i 的含量， $\mu\text{L/L}$ ；
 A_i ——试样中被测组分 i 的峰面积， $\mu\text{V} \cdot \text{s}$ ；
 C_s ——标气中被测组分 i 的含量， $\mu\text{L/L}$ ；
 A_s ——标气中被测组分 i 的峰面积， $\mu\text{V} \cdot \text{s}$ 。

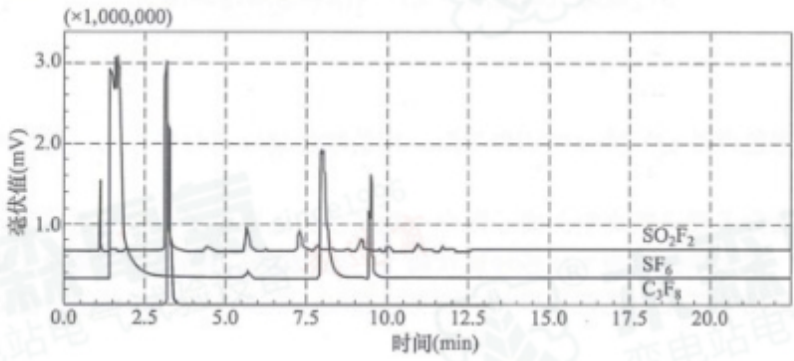


图 B.2 GC-MS 色谱图

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
六氟化硫电气设备故障气体
分析和判断方法
DL/T 1359—2014

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>)

北京九天众诚印刷有限公司印刷

2015年4月第一版 2015年4月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 0.75印张 22千字
印数 0001—3000册

统一书号 155123·2468 定价 9.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪
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



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.2468