

中华人民共和国国家标准

GB/T 11023—2018
代替 GB/T 11023—1989

高压开关设备六氟化硫气体 密封试验方法

Test method of SF₆ gas tightness for high-voltage switchgear

2018-12-28 发布

2019-07-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 试验项目	4
4.1 概述	4
4.2 常温下的密封试验	5
4.3 高、低温密封试验	5
5 试验方法	6
5.1 定性检漏	6
5.2 定量检漏	6
附录 A (资料性附录) 密封性(信息、实例和指导)	10
附录 B (资料性附录) 定量检漏法举例	13
附录 C (资料性附录) 红外成像探漏原理及图谱示例	17
参考文献	19

前　　言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 11023—1989《高压开关设备六氟化硫气体密封试验方法》，本标准与 GB/T 11023—1989 相比主要技术变化如下：

- 增加了规范性引用文件，并对后续的章条号进行修改（见第 2 章）；
- 增加了“充气隔室”“气体的可控压力系统”等相关术语与定义（见第 3 章）；
- 调整试验项目概述，增加基于相对年漏气率 F_y 限值的允许漏气率 F_p 的计算方法，增加了允许漏气率的限值，给出了获得准确的测量体积的推荐方法，将原附录 A 的内容移入该条并进行修改（见 4.1）；
- 在常温下的密封试验中，增加可接受的周围温度值（见 4.2）；
- 调整高、低温密封试验中与密封试验无关的内容（见 4.3）；
- 在定性检漏中增加了 5.1.4“红外成像探漏”和 5.1.5“质谱检漏”（见 5.1）；
- 调整定量检漏中四种试验方法的顺序，将计算公式调整为使用示踪气体的计算方法，并对充气后静置时间和包扎后时间进行统一规定（见 5.2）；
- 在扣罩法中，增加了补气时间间隔 T 与相对年漏气率 F_y 之间的关系式（见 5.2.2）；
- 在压力降法中，增加了对于气体的可控压力系统的相对年漏气率 F_a 和每天补气次数 N 的计算方法（见 5.2.4）；
- 在附录 A 和附录 B 中增加相关示例（见附录 A、附录 B）；
- 增加了附录 C“红外成像探漏原理及图谱示例”（见附录 C）。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国高压开关设备标准化技术委员会（SAC/TC 65）归口。

本标准起草单位：西安高压电器研究院有限责任公司、国网安徽省电力公司电力科学研究院、国网安徽省电力公司、中国电力科学研究院有限公司、西安西电高压开关有限责任公司、上海天灵开关厂有限公司、ABB（中国）有限公司、上海电气输配电试验中心有限公司、北京科锐配电自动化股份有限公司、上海科石科技发展有限公司、厦门 ABB 高压开关有限公司、新东北电气集团高压开关设备有限公司、平高集团有限公司、川开电气有限公司、西安西电电气研究院有限责任公司、西安西电开关电气有限公司、山东泰开高压开关有限公司、浙江开关厂有限公司、北京北开电气股份有限公司、施耐德电气（中国）有限公司、青岛海洋电气设备检测有限公司。

本标准主要起草人：冯武俊、张子骁、田恩文、张晋波、杨为、朱太云、田宇、柯艳国、刘志强、陈楠、郝宇亮、刘颖、张振乾、李娟、路全峰、谭燕、吴卫东、谢建波、柳一熙、黄辉、胡兆明、王岩、金学江、高二平、张一茗、林麟、高宁、赵国强、姬广辉、杨晓群、李树平、蒋煜、肖风良、周庆清、尹弘彦、张文波、束永林、李贤哲。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 11023—1989。

高压开关设备六氟化硫气体 密封试验方法

1 范围

本标准规定了高压开关设备六氟化硫气体密封的术语和定义、试验项目及试验方法。

本标准规定的试验方法用以测定开关设备/隔室的相对年漏气率。

本标准适用于以六氟化硫气体作为绝缘和/或灭弧介质的高压开关设备的气体密封试验。

注：以其他气体作为操作、绝缘和/或灭弧介质的高压开关设备或其他电气设备（例如六氟化硫电流互感器等）的气体密封试验可参照本标准。

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 11022—2011 高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求

GB/T 15823—2009 无损检测 氮泄漏检测方法

3 术语和定义

GB/T 11022—2011 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 11022—2011 中的某些术语和定义。

3.1

充气隔室 gas-filled compartment

开关设备和控制设备的隔室，隔室内部的气体压力由下列一种系统保持：

- 可控压力系统；
- 封闭压力系统；
- 密封压力系统。

注：几个充气隔室相互间可以永久联接成一公共的气体系统（气密性装配）。

[GB/T 11022—2011, 定义 3.6.6.1]

3.2

气体的可控压力系统 controlled pressure system for gas

自动从外部压缩气源或内部气源补气的空间。

注 1：可控压力系统的实例有空气断路器（气吹断路器）或气动操动机构。

注 2：空间可以由几个永久连接的充气隔室组成。

[GB/T 11022—2011, 定义 3.6.6.2]

3.3

气体的封闭压力系统 closed pressure system for gas

需要时通过人工连接到外部气源进行补气的空间。

注：改写 GB/T 11022—2011, 定义 3.6.6.3。

3.4

气体的密封压力系统 sealed pressure system for gas

在预定的使用寿命期内不需要对气体作进一步处理的空间。

注 1：气体的密封压力系统的组成和试验全部在工厂进行。

注 2：装置被密封时即为预期使用寿命的开始。

注 3：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.4。

3.5

额定充入压力 p_{ne} （或密度 ρ_{ne} ） rated filling pressure p_{ne} （or density ρ_{ne} ）

在投运或自动补压前充入充气隔室的绝缘和/或开合用的压力（或密度），折算到+20 °C、101.3 kPa 的标准大气条件下，可以用相对压力或绝对压力表示。

注：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.5.1。

3.6

报警压力 p_{se} （或密度 ρ_{se} ） alarm pressure p_{se} （or density ρ_{se} ）

用于绝缘和/或开合的压力（或密度），在该压力下可以给出监视信号，折算到+20 °C、101.3 kPa 的标准大气条件下，可以用相对压力或绝对压力表示。

注：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.5.3。

3.7

最低功能压力 p_{me} （或密度 ρ_{me} ） minimum functional pressure p_{me} （or density ρ_{me} ）

用于绝缘和/或开合的压力（或密度），大于或等于此压力时开关设备和控制设备保持其额定特性，折算到+20 °C、101.3 kPa 的标准大气条件下，可以用相对压力或绝对压力表示。

注：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.5.5。

3.8

绝对漏气率 absolute leakage rate

F

单位时间内泄漏气体的总量。

注 1：以 Pa · m³/s 表示。

注 2：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.5。

3.9

允许漏气率 permissible leakage rate

F_p

制造厂对部件、元件或分装规定的最大允许绝对漏气率，或是使用密封配合图(TC)对连在一个压力系统上的部件、元件或分装规定的最大允许绝对漏气率。

注：以 Pa · m³/s 表示。

[GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.6]

3.10

相对漏气率 relative leakage rate

F_{rel}

在充有额定充入压力（或密度）的系统中，相对于气体总量的绝对漏气率。

注 1：以每年或每天的百分率表示。

注 2：通常用 F_r 表示相对年漏气率，用 F_d 表示相对天漏气率。

注 3：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.7。

3.11

补气时间间隔 time between replenishments

T

为补偿绝对漏气率 F ，当压力（或密度）降至报警值时，人工进行的两次补气间的时间间隔。

注 1：该值适用于封闭压力系统。

注 2：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.8。

3.12

每天补气次数 number of replenishments per day

N

为补偿绝对漏气率 F 的补气次数。

注：该值适用于可控压力系统。

[GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.9]

3.13

压力降 pressure drop

Δp

在不补气的条件下，在给定的时间内由绝对漏气率 F 引起的压力降低。

[GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.10]

3.14

检漏 leakage detecting

检测漏气点和泄漏气体浓度的手段。

注：包括探漏和累计的泄漏量的测量。

3.15

探漏 sniffing

围绕充气隔室缓慢移动检漏仪的探头，或使用其他成像仪器，以定位漏气点的行为。

注 1：常用的成像探漏方法有：红外成像探漏法和激光成像探漏法等。

注 2：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.13。

3.16

累计的泄漏量的测量 cumulative leakage measurement

计及给定总装的所有漏气以确定泄漏率的测量。

注：改写 GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.12。

3.17

密封配合图 tightness coordination chart

TC

由制造厂提供的并在对部件、元件或分装进行试验时使用的检测资料，它说明整个系统的密封性和各个部件、元件和/或分装的密封性之间的关系。

[GB/T 11022—2011，定义 3.6.6.11]

3.18

扣罩法 the buckle cover method

将试品置于封闭的塑料罩或金属罩内，经过一定时间后，测定罩内示踪气体的浓度，并通过计算确定相对漏气率的方法。

3.19

局部包扎法 the partial bandaging method

试品的局部用塑料薄膜包扎，经过一定时间后，测定包扎腔内示踪气体的浓度，并通过计算确定相对漏气率的方法。

3.20

压力降法 the pressure drop method

通过测定开关设备/隔室在一定时间间隔内的压力降，计算相对漏气率的方法。

3.21

挂瓶法 the bottle hanging method

用软胶管连接试品检漏孔和挂瓶,经过一定时间后,测定瓶内示踪气体的浓度,并通过计算确定相对漏气率的方法。

3.22

测量体积 volume of measurement

V-
801

采集泄漏的密封罩与样品之间的容积。

注 1：在该体积中示踪气体的浓度是很低的，罩子一般不需要严密密封。

注 2：用于扣罩法和局部包扎法。

注 3：改写 GB/T 2423.23—2013，定义 3.9。

4 试验项目

4.1 概述

密封试验的目的是证明绝对漏气率 F 不超过周围温度 20 ℃时允许漏气率 F_p 的规定值,或用于确定相对年漏气率满足相关标准或产品技术条件的要求。

基于相对年漏气率 F_r 限值(见 GB/T 11022—2011 的 5.15.3), 周围空气温度 20 ℃时允许漏气率 F_p (Pa · m³/s)的计算如式(1):

式中,

V ——试品气体密封系统容积,单位为立方米(m^3);

p_{re} ——在周围空气温度为 20 ℃时的额定充入压力(相对压力),单位为帕斯卡(Pa)。

如果在周围空气温度回到 20°C 时,漏气率回落至不超过允许漏气率 F_0 的值,则允许极限温度下(如果相关标准要求进行这样的试验)漏气率有所增加。暂时增加的漏气率不应超过表1中的规定值。

表 1 气体系统的允许漏气率

温度 ℃	允许漏气率
运行温度上限值(≥ 40 ℃)	$3F_p$
标准周围温度(20 ℃)	F_p
运行温度下限值(直到并包含-40 ℃的所有值)	$3F_p$
运行温度下限值(小于-40 ℃的所有值)	$6F_p$

试验地点的周围空气温度应在试品高度一半且距试品 1 m 处进行测量。试品高度上的最大温度偏差应不超过 5 K。

密封试验宜在与运行同样的气体和同样的压力(密度)下进行。如果气体本身不可示踪,可以添加额外的示踪气体,例如氦。如果可行,试验宜在完整的系统上进行。如果不可行,试验可以在部件、元件或分装上进行。在此情况下,整个系统的漏气率应利用密封配合图 TC(参见附录 A),由元件漏气率的总和决定(示例参见附录 B 的 B.2)。不同压力的分装间可能的泄漏也应予以考虑。

试验时,气体系统中充入的气体和/或压力可能不同于正常运行中使用的气体和/或压力,尽管如此,对于型式试验,不应采用较低的充入压力,因为这样降低了开关设备密封上施加的应力。应仔细评

估所有与运行条件的偏差来检查它们对测量灵敏度的影响,制造厂应对此提供校正系数加以换算。

应使用累积试验方法来计算漏气率,这种测量方法将给定总装内的所有泄漏都考虑在内以确定漏气率。

累积试验方法的精度取决于三个主要因素：示踪气体探针的灵敏度、测量体积和测量的时间段：

- 如果 SF₆用作示踪气体,推荐最小的灵敏度阈值和分辨率为 0.01 μL/L。
 - 通过采用适当的校准技术可以降低测量体积(V_m)的不确定度,推荐的校准程序由向封闭罩内注入已知数量的示踪气体组成。将少量的示踪气体($V_{injected}$)注入到封闭罩内,注入的气体量应与最大允许泄漏率对应的气体量在同一个数量级。封闭罩内示踪气体浓度 C(μL/L)应在注入前后用探针测量,测量体积计算如式(2):

$$V_m = V_c - V_1 = \frac{V_{\text{injected}}}{\Delta C} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

中

V_m ——测量体积, 单位为立方米(m^3);

V_c ——封闭罩容积,单位为立方米(m^3);

V_1 ——试品体积, 单位为立方米(m^3);

V_{injected} — 示踪气体体积, 单位为立方米(m^3);

ΔC ——封闭罩内示踪气体浓度的增量,单位为微升每升($\mu\text{L/L}$)。

为了计算出较准确的测量体积,该程序应重复两次,两次测量的平均值作为测量体积使用。

- 对于气体的可控压力系统，试验时长应足以确定压力降（在充气和补气的压力范围内）。考虑到试验期间周围空气温度的变化，应进行修正。这段时间内补气装置不应工作。

对于气体的封闭压力系统和气体的密封压力系统,如果测量到的漏气率达到了表1的规定值,偏差在 $\pm 10\%$ 以内,就认为密封试验是合格的。在计算补气间隔时间时,应考虑到这一偏差。

型式试验报告宜包括下面这些资料：

- 试品的说明,包括其内部容积和充入气体的性质;
 - 试品状况:包括其分、合闸位置(如果适用的话)及外形、体积(或充气重量);
 - 试验开始和结束时记录的压力和温度,以及补气次数(如果需要);
 - 试验时周围空气温度值;
 - 压力(或密度)控制或监视装置投入和切除的压力整定值;
 - 用来检测漏气率的仪表校准的说明;
 - 测量的结果;
 - 试验气体,以及适用时评定结果的换算因数。

4.2 常温下的密封试验

4.1 的规定适用于本试验。

可接受的试验条件是周围温度在 20 °C±10 °C 的范围内。

4.3 高、低温密封试验

4.3.1 概述

4.1 的规定适用于高、低温密封试验。

注：人工气候室内的温度可能需要稍低于低温试验要求的温度，或者稍高于高温试验要求的温度，以达到封闭罩内要求的试验温度。

如果高、低温密封试验测量有困难,可在高、低温密封试验前、后,进行常温下的密封试验,以确定是否超过周围温度 20 °C 时允许漏气率 F_0 的规定值。

4.3.2 低温密封试验

应按相关产品标准要求,根据产品使用级别将周围空气温度降低到相应的最低周围空气温度(T_L),在周围空气温度稳定在 T_L 后,再测量试品的漏气率。

可控的电加热器宜安装在封闭罩内部,以便在低温试验顺序期间满足规定的温度变化率。

在产品标准要求的完整的低温试验顺序中,在标准允许的两次补气间隔内,试品累积的泄漏不应使试品达到最低功能压力(但是,达到报警压力是允许的)。

4.3.3 高温密封试验

应按相关产品标准要求,根据产品使用级别将周围空气温度升高到相应的最高周围空气温度(T_H),在周围空气温度稳定在 T_H 后,再测量试品的漏气率。

对于高温密封试验,可以通过临时打开封闭罩以满足封闭罩内的温度变化率,因为该时间段内不需要确定漏气率。

在产品标准要求的完整的高温试验顺序中,在标准允许的两次补气间隔内,试品累积的泄漏不应使试品达到最低功能压力(但是,达到报警压力是允许的)。

5 试验方法

5.1 定性检漏

5.1.1 概述

定性检漏仅作为判断试品漏气与否的一种手段,是定量检漏前的预检。定性检漏推荐如下方法。

5.1.2 抽真空检漏

试品抽真空度为 133×10^{-6} MPa,再维持真空泵运转30 min后停泵,30 min后读取真空度A,5 h后再读取真空度B;如果 $B-A$ 值小于 133×10^{-6} MPa,则认为密封性能良好。

5.1.3 检漏仪检漏

试品先充入不小于1%(体积比)的示踪气体,再充入干燥气体至额定充入压力,然后用灵敏度不低于0.01 $\mu\text{L/L}$ 的气体检漏仪对各气室密封部位、管道接头等处进行检漏,检漏仪不应报警。

注:示踪气体可以是运行时充入的气体。

5.1.4 红外成像检漏

试品先充入额定充入压力的六氟化硫气体,再使用红外检漏仪,从试品附近的各个不同角度对试品进行检测,若某个部位的红外成像呈现出动态烟云状态,则认为该位置存在六氟化硫气体泄漏。

红外成像检漏原理及图谱示例参见附录C。

5.1.5 氮质谱检漏

GB/T 15823—2009的附录A和附录B适用。

5.2 定量检漏

5.2.1 概述

应使用累积试验方法来计算漏气率。该方法包括在整个的试品周围搭建相对气密的封闭罩,或在

每个部分、元件或分装周围搭建若干较小且相对气密的封闭罩。试品宜和运行一样充气至额定充入压力。试验包括测量足够时长内封闭罩内示踪气体含量的增量。如果采用了小容积的封闭罩，则测量时间可以减小；对于很大的封闭罩，测量时间可能需要增加。作为主要原则，时间应足够长，使得在最大允许泄漏率的前提下，计算出的封闭罩内示踪气体含量宜为测量设备最小分辨率的至少3倍。

定量检漏所使用的仪器，应能检测出从试品中泄漏的微量示踪气体，其灵敏度应不低于 $0.01 \mu\text{L/L}$ 。

定量检漏时先充入试品的示踪气体应不小于1%（体积分数），然后再充入干燥气体至额定充入压力。

定量检漏可以在整台开关设备/隔室或由密封配合图TC规定的部分、元件或分装上进行。

定量检漏通常采用扣罩法、局部包扎法、压力降法、挂瓶法等方法。

制造厂应在产品说明书中提供试品的体积和充气量。

注：如果使用不同于实际工况下的气体，计算泄漏率时需考虑到气体种类、温度和压力的不同，不同检漏条件的漏率修正参见GB/T 32293—2015的附录A。

定量检漏法的应用示例参见附录B。

5.2.2 扣罩法

扣罩法适用于中、小型高压开关设备适合做罩的场合。

当仪表只能指示气体浓度时，可采用一个封闭罩（如塑料薄膜罩）收集试品的泄漏气体。试品充气至额定充入压力6 h后，对试品进行扣罩，至少24 h后用灵敏度不低于 $0.01 \mu\text{L/L}$ 、经校验合格的气体检漏仪测定罩内示踪气体浓度（视试品的大小测试2~6点，通常是罩的上、下、左、右、前、后共6个点），根据封闭罩中泄漏气体浓度的增量、封闭罩的容积、试品的体积及试验场的大气压力，计算出绝对漏气率 $F(\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s})$ ，计算式见式(3)：

$$F = \frac{\Delta C V_m p_{\text{atm}}}{\Delta t \times \gamma} \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中：

ΔC ——测量时间段内封闭罩内示踪气体浓度的增量，为各测量点的平均值，单位为微升每升($\mu\text{L/L}$)；

V_m ——测量体积， $V_m = V_c - V_1$ ，单位为立方米(m^3)；

V_c ——封闭罩容积，单位为立方米(m^3)；

V_1 ——试品体积，单位为立方米(m^3)；

p_{atm} ——测量期间的大气压力（可以使用 10^5 Pa 的缺省值），单位为帕斯卡(Pa)；

Δt ——测量 ΔC 的间隔时间，单位为秒(s)；

γ ——试品气体容积中示踪气体的体积分数，%。

相对年漏气率 F_r (%/年)计算式见式(4)：

$$F_r = \frac{F \times 31.5 \times 10^6}{V(p_{\text{re}} + 10^5)} \times 100 \quad (4)$$

式中：

V ——试品气体密封系统容积，单位为立方米(m^3)；

p_{re} ——试品的额定充入压力，相对压力值，单位为帕斯卡(Pa)。

补气时间间隔 T (年)计算式见式(5)：

$$T = \frac{(p_{\text{re}} - p_{\text{se}})V}{F \times 31.5 \times 10^6} \quad (5)$$

式中：

p_{se} ——报警压力，相对压力值，单位为帕斯卡(Pa)。

注1：在封闭罩内安装风扇有助于在封闭罩内获得均匀的六氟化硫（或示踪气体）浓度。这主要适用于完整开关设

备周围的大型封闭罩。

注 2：因为封闭罩内部的压力等于其外面的大气压力，因此，封闭罩不需要和压力容器一样气密。

补气时间间隔 T (年)与相对年漏气率 F_r (%/年)之间的关系见式(6):

$$T = \frac{p_{re} - p_{ae}}{p_{re} + 10^5} \times \frac{100}{F_v} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

注 3：已有的数据说明，氦质谱检漏法所测得泄漏率值远高于六氟化硫累积法所测得的泄漏率值。因此，需慎重使用该方法。

5.2.3 局部包扎法

局部包扎法一般适用于组装单元和大型产品的场合。

用塑料薄膜按被试品的几何形状围一圈半,使接缝向上,尽可能构成圆形或方形,经整形后边缘用白布带扎紧或用胶带沿边缘粘贴密封。塑料薄膜与被试品间应保留一定的间隙,试品充气至额定充入压力6 h后,对试品进行包扎,至少24 h后测定包扎腔内示踪气体的浓度。根据式(3)、式(4)、式(5)或式(6)分别计算出试品的绝对漏气率 F 、相对年漏气率 F_y 和补气时间间隔 T 。

5.2.4 压力降法

由于气体的封闭压力系统的漏气率相对较小,压力降法不适用。

压力降法适用于开关设备/隔室漏气量较大时或在运行期间测定漏气率。通过压力降,用式(7)、式(8)分别计算相对年漏气率 F_r (%/年)和补气时间间隔 T (年):

$$F_r = \frac{\Delta p}{p_m + 10^5} \cdot \frac{12}{\Delta t} \times 100 \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

式中：

$$\Delta p = p_1 - p_2;$$

p_1 ——压降前的相对压力(换算到标准大气条件下),单位为帕斯卡(Pa);

p_2 —压降后的相对压力(换算到标准大气条件下),单位为帕斯卡(Pa);

Δt ——压降 Δp 经过的时间, 单位为月。

式中: Δp 与 $p_{\text{re}} - p_{\text{re}}$ 具有相同数量级。

对于气体的可控压力系统,可用式(9)、式(10)计算相对漏气率 F_d (%/天)和每天补气次数 N :

$$F_d = \frac{\Delta p}{p_m + 10^5} \cdot \frac{24}{\Delta t} \times 100 \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

式中，

$$\Delta p = p_1 - p_2;$$

p_1 —压降前的相对压力(换算到标准大气条件下),单位为帕斯卡(Pa);

p_2 —压降后的相对压力(换算到标准大气条件下),单位为帕斯卡(Pa);

Δt ——压降 Δp 经过的时间, 单位为小时(h)。

Δp 与 $p_1 - p_2$ 具有相同的数量级。

5.2.5 挂瓶法

挂瓶法适用于法兰面有双道密封槽的场合。在双道密封圈之间有一个检测孔，试品充气至额定充入压力后，取掉检测孔的螺塞，经 6 h 后，用软胶管分别连接检测孔和挂瓶，24 h 后取下挂瓶，用灵敏度

不低于 $0.01 \mu\text{L/L}$ 的气体检漏仪, 测定挂瓶内示踪气体的浓度, 根据式(11)计算出密封面的绝对漏气率 $F(\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s})$:

$$F = \frac{c \cdot V_2 \cdot p_{\text{atm}}}{\Delta t \cdot \gamma} \times 10^{-6} \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

式中,

c ——挂瓶内示踪气体的浓度,单位为微升每升($\mu\text{L/L}$);

V_2 ——挂瓶容积,单位为立方米(m^3);

P_{atm} ——测量期间的大气压力(可以使用 10^5 Pa 的缺省值), 单位为帕斯卡(Pa);

Δt ——挂瓶时间,单位为秒(s);

γ ——试品气体容积中示踪气体的体积分数, %。

附录 A
(资料性附录)
密封性(信息、实例和指导)

A.1 密封配合图举例 1

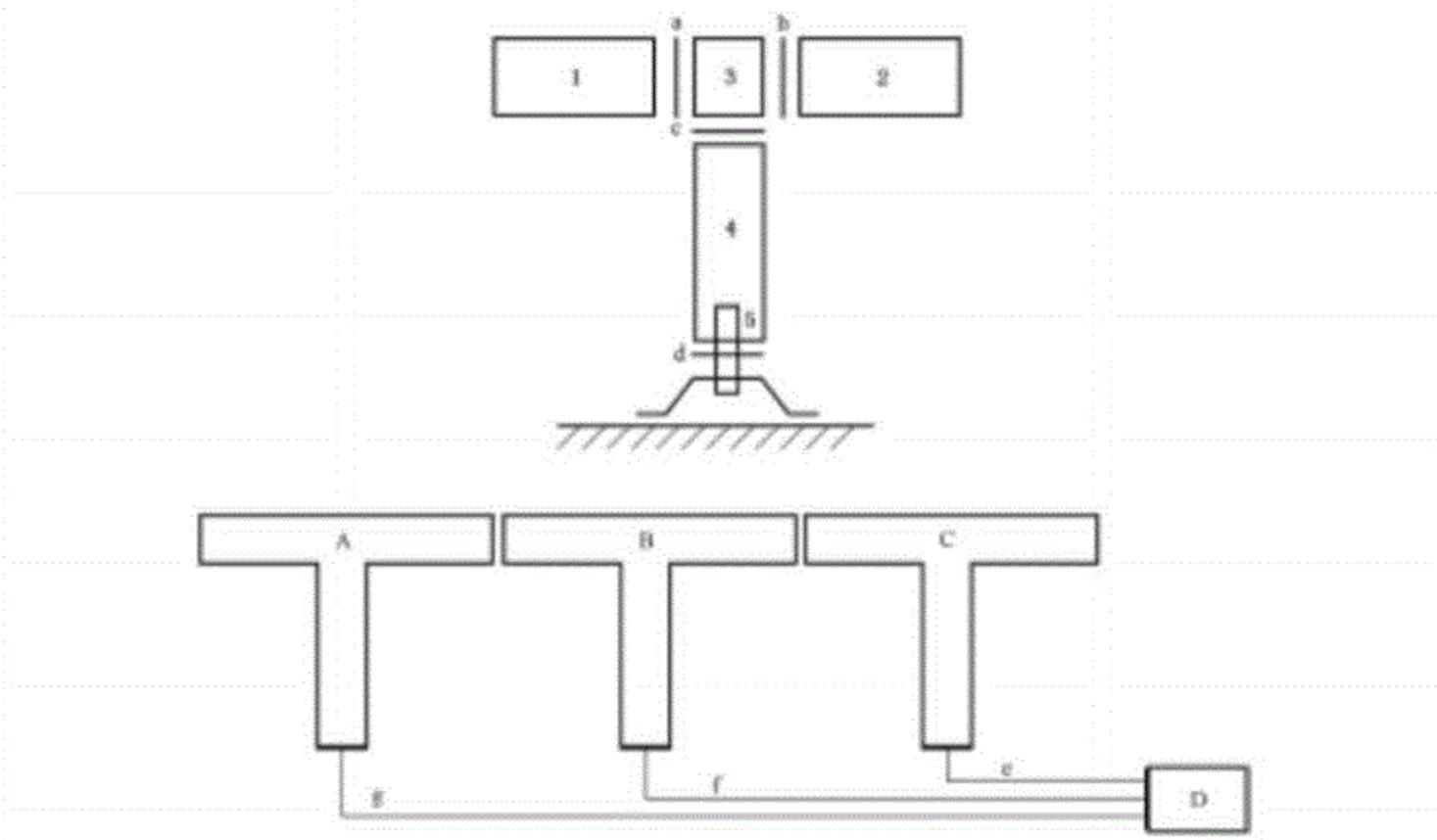


图 A.1 密封配合图

图 A.1 实例: 高压交流六氟化硫断路器(三极, 单压式)。

额定充入压力 p_{re} : 6×10^5 Pa(相对压力);

报警压力 p_{ra} : 5.3×10^5 Pa(相对压力);

试品气体密封系统总容积 V : 0.256 m^3 ;

试验起始/终止时刻周围空气温度: $21.1^\circ\text{C}/18.6^\circ\text{C}$ 。

每极分装部件的密封部位	漏气率($10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)
灭弧室 1	6
灭弧室 2	6
传动箱 3	2
支柱瓷套 4	0.2
操作拉杆 5	2
分装部件间的密封	漏气率($10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)
O型圈 a	0.2
O型圈 b	0.2

O型圈 c	0.2
O型圈 d	0.2
漏气率/每极	17
漏气率/每台	51
控制箱 D(包括阀门, 表计和监测装置)	6
管路 e	0.2
管路 f	0.2
管路 g	0.2
整台断路器总绝对漏气率 F	$57.6 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$

按式(4)计算断路器相对年漏气率 F_y (%/年):

$$F_y = \frac{57.6 \times 10^{-6} \times 31.5 \times 10^6}{(6 \times 10^5 + 10^5) \times 0.256} \times 100 = 1.0$$

按式(5)或式(6)计算断路器补气时间间隔 T(年):

$$T = \frac{(6 \times 10^5 - 5.3 \times 10^5) \times 0.256}{57.6 \times 10^{-6} \times 31.5 \times 10^6} = 10$$

$$T = \frac{p_{re} - p_{se}}{p_{re} + 10^5} \times \frac{100}{F_y} = \frac{6 \times 10^5 - 5.3 \times 10^5}{6 \times 10^5 + 10^5} \times \frac{100}{1.0} = 10$$

A.2 密封配合图举例 2

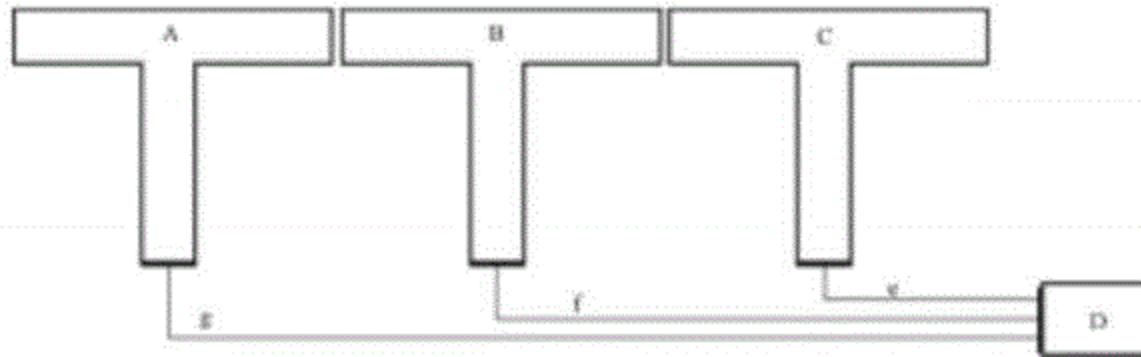


图 A.2 封闭压力系统密封配合图 TC 的实例

图 A.2 实例: 气体绝缘金属封闭开关设备, 单相密封的、三极断路器隔室接到同一个气体系统。

额定充入压力 p_{re} : $6 \times 10^5 \text{ Pa}$ (相对压力);

报警压力 p_{se} : $5.4 \times 10^5 \text{ MPa}$ (相对压力);

试品气体密封系统总容积 V : 0.27 m^3 ;

试验起始/终止时刻周围空气温度: $23.4 \text{ }^\circ\text{C}/26.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 。

每极分装部件的密封部位	漏气率($10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)
隔室 A	19
隔室 B	19
隔室 C	19
控制箱 D(包括阀门, 表计和监测装置)	2.3
管路 e	0.2

管路 f	0.2
管路 g	0.2
整台断路器总绝对漏气率 F	59.9 Pa · m ³ /s

按式(4)计算断路器相对年漏气率 F_r (%/年):

$$F_r = \frac{59.9 \times 10^{-6} \times 31.5 \times 10^6}{(6 \times 10^5 + 10^5) \times 0.27} \times 100 = 1.0$$

按式(5)或式(6)计算断路器补气时间间隔 T (年):

$$T = \frac{(6 \times 10^5 - 5.4 \times 10^5) \times 0.27}{59.9 \times 10^{-6} \times 31.5 \times 10^6} = 8.6$$

$$T = \frac{p_{re} - p_{se}}{p_{re} + 10^5} \times \frac{100}{F_r} = \frac{6 \times 10^5 - 5.4 \times 10^5}{6 \times 10^5 + 10^5} \times \frac{100}{1.0} = 8.6$$

附录 B
(资料性附录)
定量检漏法举例

B.1 扣罩法

试品为某开关的一极(见图 B.1)。充气至额定充入压力 $3.6 \times 10^5 \text{ Pa}$, 6 h 后, 吹净试品周围的六氟化硫残余气体, 用塑料薄膜罩(图 B.1 中虚线为塑料封闭罩)扣住试品 24 h, 然后用六氟化硫检漏仪检测罩内上、下、左、右、前、后 6 个点六氟化硫气体浓度, 得平均浓度增量为:

$$\Delta C = 0.85 \mu\text{L/L}.$$

$$\text{封闭罩容积 } V_c = 1.6 \text{ m}^3.$$

$$\text{试品种体积 } V_1 = 0.130 \text{ m}^3.$$

$$\text{测量体积 } V_m = V_c - V_1 = 1.6 - 0.130 = 1.470 \text{ m}^3.$$

$$\text{试品气体密封系统容积 } V = 0.065 \text{ m}^3.$$

$$\text{测量 } \Delta C \text{ 的间隔时间 } \Delta t, \text{ s}.$$

$$\text{额定充入压力(20 }^\circ\text{C 时)为 } 3.6 \times 10^5 \text{ Pa(相对压力).}$$

$$\text{试验起始/终止时刻周围空气温度: } 18.6 \text{ }^\circ\text{C}/20.7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

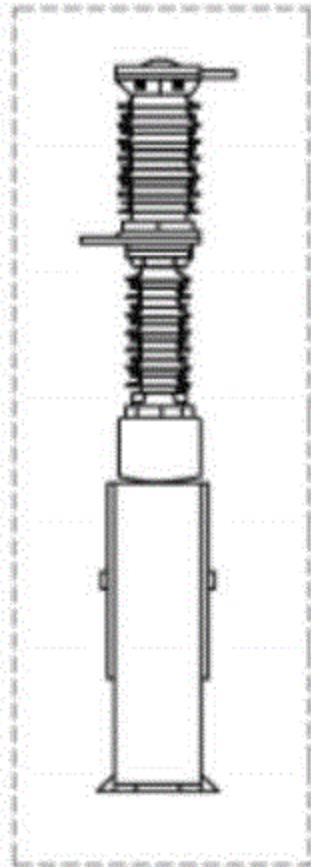


图 B.1 某开关的一极

根据式(3)、式(4)计算出试品的绝对漏气率 $F(\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s})$ 和相对年漏气率 $F_r(\%/\text{年})$:

$$F = \frac{\Delta C V_m P_{\text{atm}}}{\Delta t \times \gamma} \times 10^{-6} = \frac{0.85 \times 1.470 \times 10^5}{60 \times 60 \times 24 \times 1} \times 10^{-6} = 1.45 \times 10^{-6}$$

$$F_r = \frac{F \times 31.5 \times 10^6}{V(P_{re} + 10^5)} \times 100 = \frac{1.45 \times 10^{-6} \times 31.5 \times 10^6}{0.065 \times (3.6 \times 10^5 + 10^5)} \times 100 = 0.153$$

B.2 局部包扎法

试品为某开关的一极,包扎部位见图B.2 编号1~9。充气至额定充入压力 5×10^5 Pa, 6 h后吹净试品周围的六氟化硫残余气体,用塑料薄膜包扎(图B.2中虚线为包扎部位),24 h后用六氟化硫气体检漏仪检测包扎部位六氟化硫气体浓度。

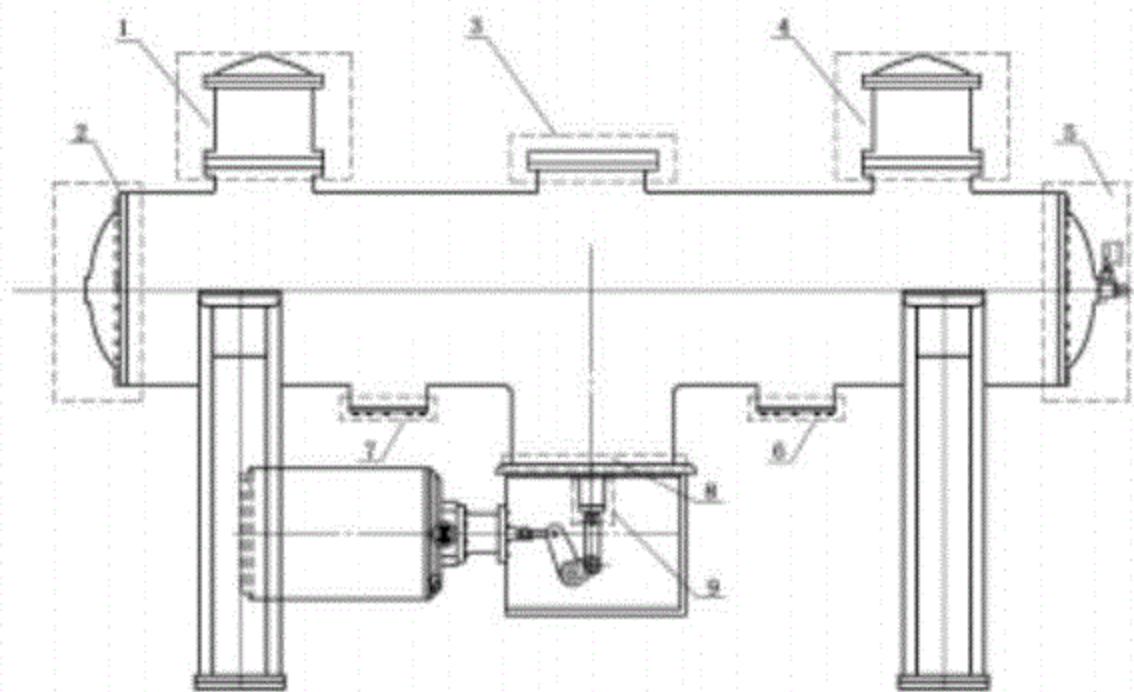


图 B.2 某开关的一极

试品气体密封系统容积 $V: 4.1\text{ m}^3$ 。

六氟化硫额定充入压力为 5×10^5 Pa(20 °C时,相对压力)。

试验起始/终止时刻周围空气温度:18.5 °C/19.6 °C。

测量 ΔC 的间隔时间 $\Delta t, \text{s}$ 。

检测计算结果列于表B.1。

表 B.1 检测计算结果

包扎部位(n)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	总计
测量体积 ($V_n = V_e - V_1$) m^3	0.120	0.054	0.020	0.120	0.070	0.013	0.012	0.056	0.003	—
浓度增量 ΔC $\mu\text{L/L}$	0.8	1.1	0.5	1.3	1.6	0.9	1.0	0.5	1.4	—
绝对漏气率 $F_n \times 10^{-6}$ ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$)	0.110	0.069	0.012	0.181	0.130	0.014	0.014	0.032	0.005	0.567

表B.1中9个包扎部位的绝对漏气率 $F(\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s})$ 之和为:

$$F = \sum F_n = 5.67 \times 10^{-7}$$

根据式(4),表 B.1 中 9 个包扎部位的相对年漏气率 F_r (%/年)为:

$$F_r = \frac{5.67 \times 10^{-7} \times 31.5 \times 10^6}{4.1 \times (5 \times 10^5 + 10^5)} \times 100 = 0.0007$$

B.3 挂瓶法

试品为某开关的 1/2 极,挂瓶位置见图 B.3 编号 1~15。

试品容积为 0.352 m^3 。

六氟化硫额定充入压力为 $6 \times 10^5 \text{ Pa}$ (20 °C时,相对压力)。

试验起始/终止时刻周围空气温度:17.5 °C/18.3 °C。

试品充气至额定充入压力后,经 6 h,用软胶管分别连接检测孔和挂瓶,24 h 后取下挂瓶,用检漏仪测定挂瓶内六氟化硫气体的浓度。

根据式(11)计算密封面的绝对漏气率 F :

$$F = \frac{c \cdot V_2 \cdot p_{\text{atm}}}{\Delta t \cdot \gamma} \times 10^{-6}$$

式中:

c ——挂瓶内六氟化硫气体的浓度,单位为微升每升($\mu\text{L/L}$);

V_2 ——挂瓶容积,单位为 10^{-3} 立方米(10^{-3} m^3);

p_{atm} ——测量期间的大气压力(可以使用 10^5 Pa 的缺省值),单位为帕斯卡(Pa);

Δt ——挂瓶时间,单位为秒(s)。

检测计算结果列于表 B.2。

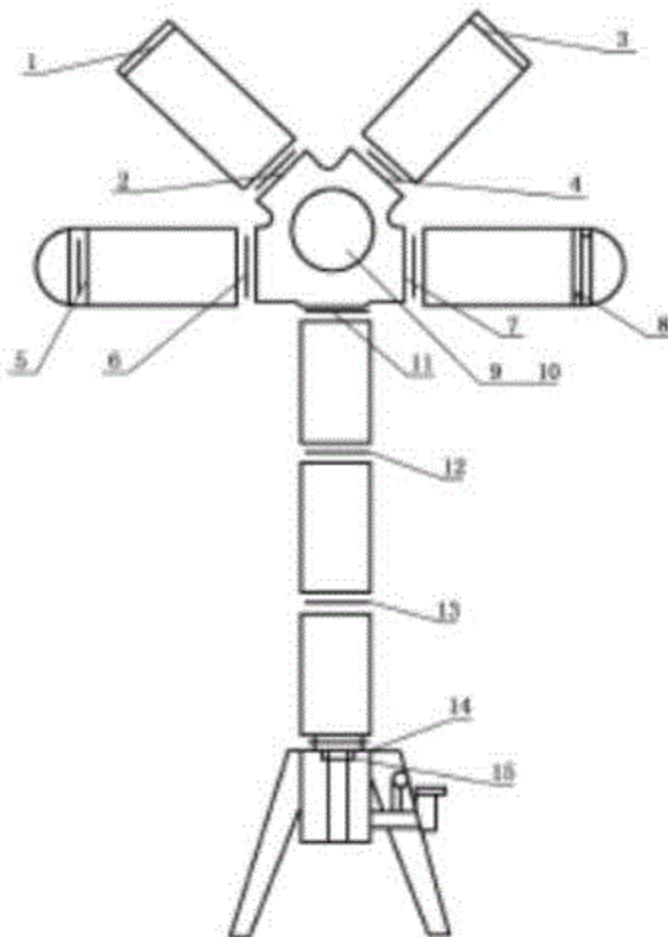


图 B.3 某开关的 1/2 极

表 B.2 检测计算结果

检测位 置(<i>n</i>)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	总计
检测结果 $\times 10^{-6}$ (Pa · m ³ /s)	0.2	0.5	0.3	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	0.5	0.3	0.2	0.5	0.2	0.3	0.5	5.6

表 B.2 中 15 个密封面的绝对漏气率 F (Pa · m³/s)之和为:

$$F = \sum F_n = 5.6 \times 10^{-6}$$

根据式(4),表 B.2 中 15 个密封面的相对年漏气率 F_r (%/年)为:

$$F_r = \frac{5.6 \times 10^{-6} \times 31.5 \times 10^6}{0.352 \times (6 \times 10^5 + 10^5)} \times 100 = 0.07$$

附录 C
(资料性附录)
红外成像探漏原理及图谱示例

C.1 红外成像探漏原理

较空气而言, SF₆气体对特定波长(10.6 μm)的红外光谱吸收特性较强, 当物体发出的红外辐射通过空气和 SF₆气体时, 两者反映的红外影像将不同, 泄漏气体出现区域的影像将以可见的动态烟云的形式反映出来, 从而可直观、准确的发现并定位漏点。红外成像探漏可远距离、非接触地对设备漏点进行检测, 无需设备停电, 特别适用于现场设备 SF₆气体泄漏的检测与漏点定位。图 C.1 给出了红外成像探漏的原理图。

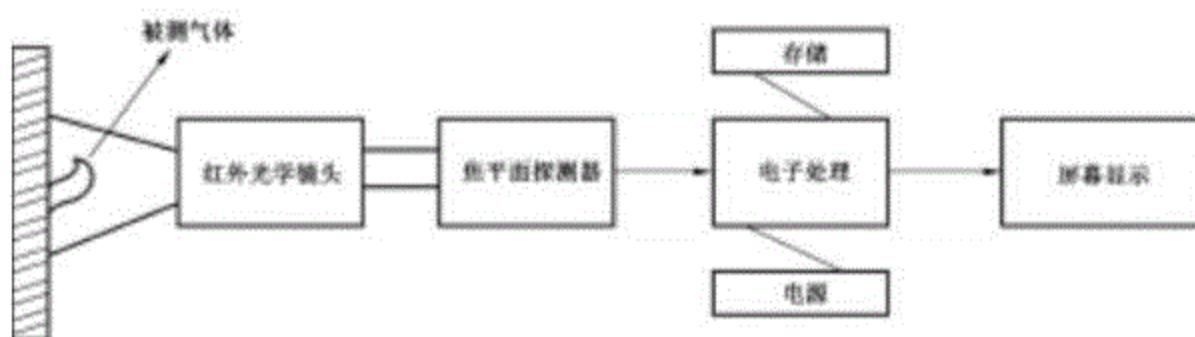


图 C.1 红外成像探漏原理

C.2 红外成像探漏图谱示例

图 C.2 和图 C.3 分别给出了红外成像探漏法检测到的断路器和 GIS 的漏气图谱示例。

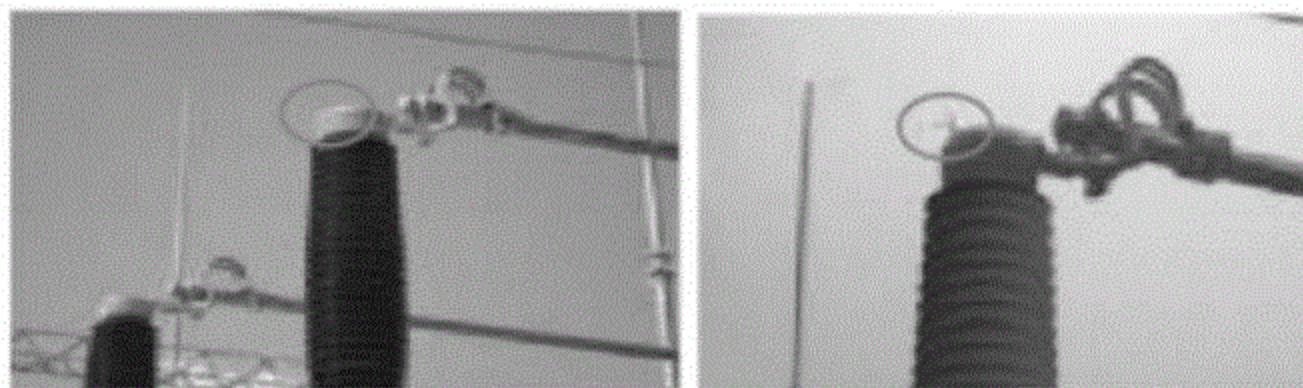


图 C.2 断路器顶部漏气

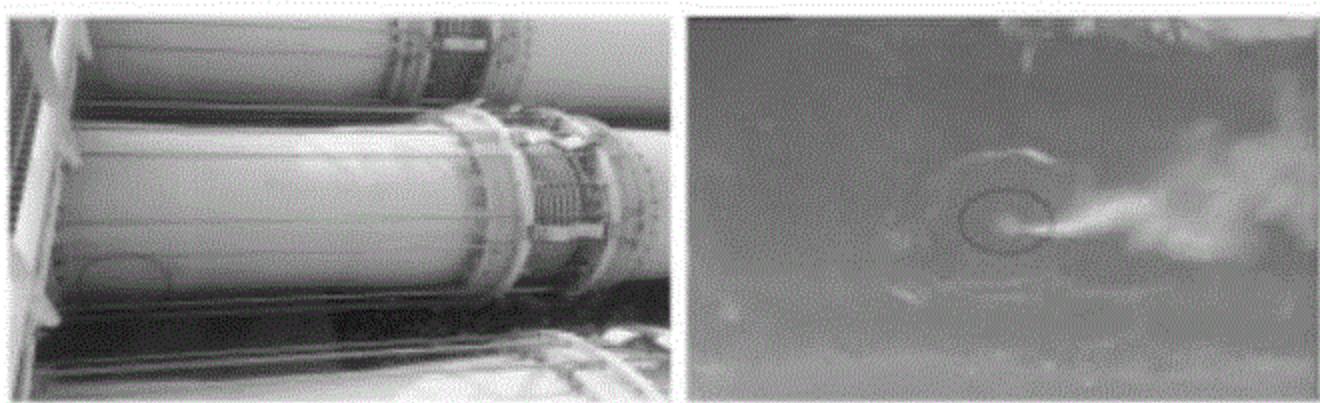


图 C.3 GIS 罐体砂眼漏气

参 考 文 献

- [1] GB/T 2423.23—2013 环境试验 第2部分: 试验方法 试验Q: 密封(IEC 60068-2-17: 1994, IDT)
- [2] GB/T 2900.20—2016 电工术语 高压开关设备和控制设备(IEC 60050(441): 1984, MOD)
- [3] GB/T 32293—2015 真空技术 真空设备的检漏方法选择
- [4] IEC/TR 62271-306: 2012 高压开关设备和控制设备 第306部分: IEC 62271-1、IEC 62271-100以及交流断路器相关的其他IEC标准的导则(Guide to IEC 62271-100, IEC 62271-1 and other IEC standards related to alternating current circuit-breakers)