



中华人民共和国国家标准

GB/T 44653—2024

六氟化硫(SF₆)气体的 现场循环再利用导则

Guide for on-site recycling and reuse of sulfur hexafluoride (SF₆) gas

2024-09-29 发布

2025-01-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前言.....Ⅲ

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语和定义.....1

4 循环再利用原则.....2

5 设备及附件.....2

 5.1 SF₆气体回收装置.....2

 5.2 SF₆气体现场净化处理装置.....2

 5.3 SF₆气体现场预处理装置.....2

 5.4 检测装置.....2

 5.5 SF₆气体充气装置.....3

 5.6 连接管路及接头.....3

6 现场循环再利用的分类及处理方式.....3

 6.1 分类.....3

 6.2 回收处理方式.....4

 6.3 循环再利用流程图.....4

7 SF₆气体现场检测.....5

 7.1 检测方法.....5

 7.2 检测要求.....5

8 SF₆气体现场回收.....5

 8.1 回收率要求.....5

 8.2 SF₆气体现场回收方法.....5

 8.3 SF₆气体现场回收技术要求.....6

 8.4 SF₆气体现场回收步骤.....6

9 SF₆气体净化处理.....6

 9.1 净化率要求.....6

 9.2 SF₆气体净化处理技术要求.....6

 9.3 SF₆气体净化处理步骤.....7

10 SF₆气体回充.....7

 10.1 回充技术要求.....7

 10.2 回充步骤.....8

11 安全防护.....8

11.1 SF₆气体的安全使用与管理.....8

11.2 工作人员的安全防护.....8

参考文献.....9



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电气化学标准化技术委员会(SAC/TC 322)归口。

本文件起草单位：国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司、国网山东省电力公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、国网重庆市电力公司电力科学研究院、南京航空航天大学、国网青海省电力公司电力科学研究院、西安交通大学、中电华创(苏州)电力技术研究有限公司、河南日立信股份有限公司、山东中惠仪器有限公司、朗析仪器(上海)有限公司、厦门加华电力科技有限公司。

本文件主要起草人：张晓琴、朱洪斌、丁然、祁炯、齐国栋、黎晓淀、姚强、江军、刘子恩、于乃海、赵科、肖焱艳、周尚虎、张冠军、王海飞、余翔、王晨、刘桃、李博、毕海成、李建浩、游骏标。



六氟化硫(SF₆)气体的 现场循环再利用导则

1 范围

本文件描述了电气设备中六氟化硫(SF₆)气体的现场检测、回收、净化、回充全过程循环再利用方法,规定了 SF₆气体的现场检测、回收、净化、回充的技术指标及安全防护措施。

本文件适用于电气设备中 SF₆气体的现场循环再利用, SF₆混合气体及其他应用场景 SF₆气体的循环再利用参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;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 150.2 压力容器 第2部分:材料
GB/T 150.3 压力容器 第3部分:设计
GB/T 150.4 压力容器 第4部分:制造、检验和验收
GB/T 12022 工业六氟化硫
GB/T 34525 气瓶搬运、装卸、储存和使用安全规定
DL/T 506—2018 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 662.1—2021 六氟化硫气体回收装置技术条件 第1部分:六氟化硫气体回收装置
DL/T 920—2019 六氟化硫气体中空气、四氟化碳、六氟乙烷和八氟丙烷的测定 气相色谱法
DL/T 1205—2013 六氟化硫电气设备分解产物试验方法
DL/T 1353—2014 六氟化硫处理系统技术规范
DL/T 1553 六氟化硫气体净化处理工作规程
DL/T 1823—2018 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
TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程
T/CEC 140—2017 六氟化硫电气设备中六氟化硫气体纯度测量方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

SF₆气体回收 recovery of sulfur hexafluoride gas

将电气设备中 SF₆气体采用专用装置抽出,灌装至储气容器的过程。

3.2

SF₆气体净化处理 purification of sulfur hexafluoride gas

采用物理、化学的方法从 SF₆气体中去除水分、固体颗粒和其他杂质的过程。

3.3

SF₆气体回充 refilling of sulfur hexafluoride gas

使用专用装置将净化处理后检测合格的 SF₆ 气体重新充入设备的过程。

3.4

SF₆气体循环再利用 recycle of sulfur hexafluoride gas

设备中使用过的 SF₆ 气体通过专用装置回收和净化处理,经检测合格回充至设备再次使用的过程。

4 循环再利用原则

开展 SF₆ 电气设备检修、解体、改造及退役等操作时,应根据现场工况,采用不同工艺对设备内 SF₆ 气体进行现场检测、回收、净化和回充,实现 SF₆ 气体循环再利用,做到 SF₆ 气体应收尽收和充分利用。

5 设备及附件

5.1 SF₆气体回收装置

SF₆ 气体回收装置技术参数应满足 DL/T 662.1—2021 中 5.1 的要求。

5.2 SF₆气体现场净化处理装置

SF₆ 气体现场净化处理装置技术参数应满足 DL/T 1353—2014 中第 6 章的要求。

5.3 SF₆气体现场预处理装置

在现场采用过滤、吸附的原理对杂质含量高的 SF₆ 气体进行预处理的装置,可有效减少气体中的水分、固体颗粒和分解产物等杂质。

5.4 检测装置

5.4.1 SF₆气体中空气、四氟化碳、六氟乙烷、八氟丙烷检测装置

SF₆ 气体中空气、四氟化碳、六氟乙烷、八氟丙烷检测装置技术参数应满足 DL/T 920—2019 中第 3 章的要求。

5.4.2 SF₆气体湿度检测装置

SF₆ 气体湿度检测装置技术参数应满足 DL/T 506—2018 中第 4 章的要求。

5.4.3 SF₆气体矿物油含量检测装置

SF₆ 气体矿物油含量检测装置技术参数应满足 DL/T 1823—2018 中 3.1.1 的要求。

5.4.4 SF₆气体可水解氟化物含量检测装置

SF₆ 气体可水解氟化物含量检测装置技术参数应满足 DL/T 1823—2018 中 3.1.2 的要求。

5.4.5 SF₆气体酸度检测装置

SF₆ 气体酸度检测装置技术参数应满足 DL/T 1823—2018 中 3.1.3 的要求。

5.4.6 SF₆气体分解产物检测装置

SF₆气体分解产物检测装置技术参数应满足 DL/T 1205—2013 中第 5 章的要求。

5.4.7 SF₆气体纯度检测装置

SF₆气体纯度检测装置技术参数应满足 T/CEC 140—2017 中 5.1.3 或 5.2.2.1 的要求。

5.5 SF₆气体充气装置

可在现场将 SF₆ 气体充至设备中,装置本体极限真空度不大于 10 Pa,充气速度不小于 5 m³/h,最大充气压力不小于 1 MPa。

5.6 连接管路及接头

5.6.1 检测管路应使用不锈钢管或壁厚不小于 1 mm 聚四氟乙烯管,内径为 2 mm~4 mm,管道内壁应光滑清洁。

5.6.2 回收、净化、回充连接管路宜使用聚四氟乙烯管,内径与装置匹配。

5.6.3 接头及阀门应密封良好、操作灵活可靠,材质宜选用不锈钢或铜。

6 现场循环再利用的分类及处理方式

6.1 分类

6.1.1 第一类气体

检测结果满足表 1 要求的 SF₆ 气体或仅湿度不满足表 1 要求的 SF₆ 气体。

注：表 1 中各指标质量要求参考 GB/T 12022 及 DL/T 595。

表 1 关键质量指标技术要求

项目名称	指标
六氟化硫(SF ₆)纯度(质量分数)/10 ⁻²	≥99.9
空气含量(质量分数)/10 ⁻⁶	≤300
四氟化碳(CF ₄)含量(质量分数)/10 ⁻⁶	≤100
湿度(体积分数)/10 ⁻⁶	≤40
酸度(以 HF 计)(质量分数)/10 ⁻⁶	≤0.2
可水解氟化物(以 HF 计)含量(质量分数)/10 ⁻⁶	≤1
矿物油含量(质量分数)/10 ⁻⁶	≤4
二氧化硫(体积分数)/10 ⁻⁶	≤2
硫化氢(体积分数)/10 ⁻⁶	≤2

6.1.2 第二类气体

检测结果除湿度外至少有一项指标不满足表 1 要求的 SF₆ 气体。

6.2 回收处理方式

6.2.1 第一类气体回收处理方式

现场宜采用带水分和颗粒物滤除模块的 SF₆ 气体回收装置进行回收处理,必要时可串联 SF₆ 预处理装置,经检测合格后直接回充至设备中。

6.2.2 第二类气体回收处理方式

回收后现场宜采用具备过滤、干燥、吸附、低温冷却、精馏等功能的净化处理装置处理,经检测合格后直接回充至设备中;现场不具备处理条件时,回收后运输至 SF₆ 回收处理基地进行净化处理至检测合格待用。

6.3 循环再利用流程图

SF₆ 气体现场循环再利用流程图见图 1。

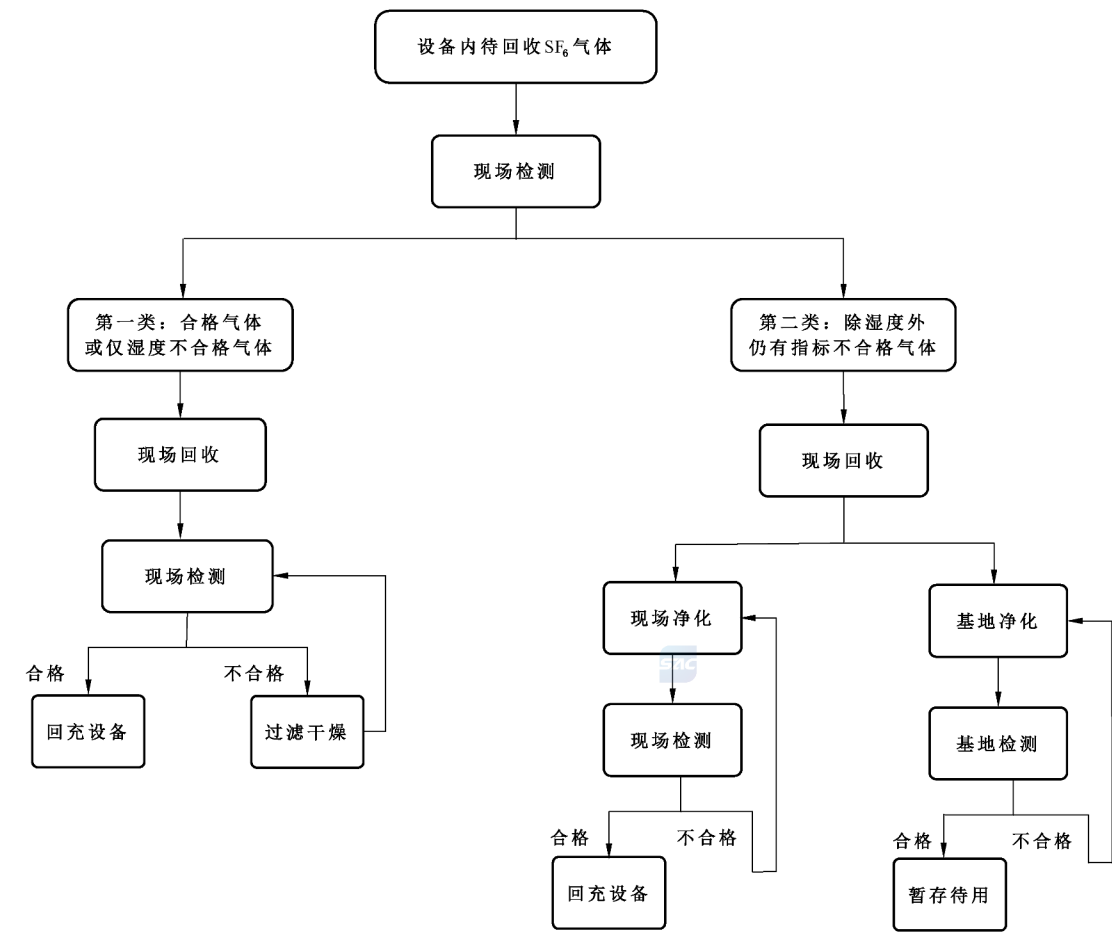


图 1 SF₆ 气体现场循环再利用流程图

7 SF₆气体现场检测

7.1 检测方法

7.1.1 空气、四氟化碳、六氟乙烷、八氟丙烷检测

空气、四氟化碳、六氟乙烷、八氟丙烷按照 DL/T 920 方法检测。

7.1.2 湿度检测

湿度按照 DL/T 506 方法检测。

7.1.3 矿物油含量、可水解氟化物含量、酸度检测

矿物油含量、可水解氟化物含量、酸度按照 DL/T 1823 方法检测。

7.1.4 分解产物检测

分解产物应至少检测 SO₂、H₂S 气体,按照 DL/T 1205 方法检测。

7.1.5 设备内 SF₆气体纯度的检测

设备内 SF₆气体纯度按照 T/CEC 140 方法检测。

7.2 检测要求

7.2.1 回收前气体的检测

回收前对设备内气体按照 7.1 所述方法开展空气、四氟化碳、湿度、矿物油、可水解氟化物、酸度和分解产物检测,并按照 GB/T 12022 规定方法计算纯度,检测结果按照表 1 判定后分类。

7.2.2 净化后气体的检测

净化后气体应满足 GB/T 12022 的要求。

7.2.3 回充后气体的检测

SF₆ 气体充入设备满足规定静置时间后,应开展纯度和湿度检测,纯度(质量分数)应 $\geq 99.7\%$,有电弧分解物气室湿度应 $\leq 150 \mu\text{L/L}$ 、无电弧分解物气室湿度应 $\leq 250 \mu\text{L/L}$ 。

8 SF₆气体现场回收

8.1 回收率要求

SF₆ 气体回收率应 $\geq 96\%$ 。

8.2 SF₆气体现场回收方法

SF₆ 气体现场回收方法分为真空回收法和洗气回收法。

- a) 真空回收法。采用持续抽气回收的方式使设备(或容器)中的气体绝对压力低于 20 kPa,并满足 SF₆ 气体回收率的要求;按照气体冷却方式分为高压液化、高压外置制冷液化和高压内置制冷液化方式。

b) 洗气回收法。采用向设备(或容器)中补充气体(一般为高纯氮气)后再回收,经过补气回收过程提高回收率。

8.3 SF₆气体现场回收技术要求

8.3.1 储气容器的材料、设计、制造、检验和验收按 GB/T 150.2、GB/T 150.3 和 GB/T 150.4 进行,并应符合 TSG 21 的要求。储气容器内部应清洁,无遗留杂质。内壁应进行防锈处理,外表面漆层应牢固光洁。

8.3.2 回收过程中,气路系统应保持密封性良好,确保不出现气体泄漏。

8.3.3 回收过程中,可按照称重法式(1)或压力法式(2)计算回收率,回收率不低于 8.1 要求值。

$$R = \frac{M_{\text{回}}}{M_{\text{总}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$R = \frac{P_{\text{初}} - P_{\text{终}}}{P_{\text{初}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- R ——SF₆气体回收率;
- M_回——设备检修或退役时 SF₆气体实际回收总量,单位为千克(kg);
- M_总——设备检修或退役前 SF₆气体实际充装总量,单位为千克(kg);
- P_初——设备检修或退役前 SF₆气体初始绝对压力,单位为帕(Pa);
- P_终——设备检修或退役时回收终止绝对压力,单位为帕(Pa)。

8.4 SF₆气体现场回收步骤

8.4.1 按照 7.2.1 开展回收前气体的检测,根据现场 SF₆电气设备工况,选择合适的方法回收 SF₆气体。

8.4.2 使用专用管路,连接电气设备、回收装置和储气容器。故障气室宜与其他气室区别回收,使用单独的管路、回收装置和储气容器。

8.4.3 对回收装置及连接管路进行抽真空自洁处理。

8.4.4 启动回收装置,开始回收。

8.4.5 采用真空回收法回收时,待设备内压力小于 20 kPa 时,根据式(1)或式(2)计算回收率,回收率满足要求后结束回收。

8.4.6 采用洗气回收法回收时,待设备内压力抽到一定值时(宜 50 kPa),向设备内补充气体(一般为氮气)至 0.2 MPa~0.3 MPa,再次回收至一定值(宜低于 50 kPa),根据式(2)计算回收率,回收率满足要求后结束回收。

8.4.7 卸下储气容器,贴上标签待净化处理。断开电气设备和回收装置连接管路,恢复设备阀口至关闭状态。

9 SF₆气体净化处理

9.1 净化率要求



SF₆气体净化率应≥98%。

9.2 SF₆气体净化处理技术要求

9.2.1 储气容器应符合 8.3.1 的要求。

9.2.2 装有故障气室气体的储气容器宜先连接预处理装置进行预处理,再接入净化处理装置进行净化处理,防止污染净化处理装置。

9.2.3 净化处理过程中,气路系统应保持密封性良好,确保不出现气体泄漏。

9.2.4 净化处理完成后,按照式(3)计算净化率,净化率不低于 9.1 的要求值。

$$P=\frac{M_{\text{净后}}}{M_{\text{净前}}}\times 100\%$$

.....(3)

式中:
P ——SF₆气体净化率;
M_{净后}——净化后得到的 SF₆ 气体量,单位为千克(kg);
M_{净前}——净化前的 SF₆ 气体量,单位为千克(kg)。

9.3 SF₆气体净化处理步骤

9.3.1 净化处理方式选择

按照回收前气体检测结果,根据现场 SF₆ 电气设备工况及所采用的回收方法,选择合适的净化处理方式。

9.3.2 第一类气体的净化处理

在回收过程中利用回收装置或预处理装置直接滤除水分。

9.3.3 第二类气体的净化处理

9.3.3.1 现场直接净化处理

- 9.3.3.1.1 用专用管路连接充有待处理 SF₆ 气体的储气容器和净化处理装置,应确保系统无泄漏。
- 9.3.3.1.2 将待处理的 SF₆ 气体充入缓冲罐,使其从液态转变为气态。
- 9.3.3.1.3 将待处理的 SF₆ 气体通过吸附罐,除去颗粒、水分、矿物油以及可水解氟化物等。
- 9.3.3.1.4 将经过吸附处理的 SF₆ 气体采用液化或固化等分离技术,对杂质气体进行分离。
- 9.3.3.1.5 将处理后的 SF₆ 以液态灌装至抽真空处理后的储气容器,按照 7.2.2 所述开展 SF₆ 净化后气体检测,检测合格的待用,检测不合格的再次净化处理直至合格。
- 9.3.3.1.6 净化处理后排放的尾气中 SF₆ 含量不应大于 500 μL/L。
- 9.3.3.1.7 净化率≥98% 时,残余气体可留在净化处理装置内部。

9.3.3.2 回收处理基地净化处理

现场不具备处理条件时,将充有待处理气体的储气容器送至回收处理基地,按照回收处理基地净化处理规范进行处理,检测合格后待用。

10 SF₆气体回充

10.1 回充技术要求

- 10.1.1 将现场净化处理并检测合格的气体回充至设备,并补充满足 GB/T 12022 要求的气体至额定压力。
- 10.1.2 在对设备进行 SF₆ 气体回充作业时,充气前所有管路、连接部件应清理干净。操作人员应严格按照现场作业指导书进行操作。

10.2 回充步骤

- 10.2.1 按照 DL/T 1553 对充气电气设备进行抽真空处理。
- 10.2.2 使用专用管路,连接待充气电气设备、回充装置(或回收装置回充单元)和储气容器。
- 10.2.3 对回充装置及连接管路进行抽真空自洁处理,抽真空至 133 Pa。
- 10.2.4 启动回充装置进行充气,待充气电气设备内气体压力达到额定压力后,停止充气。
- 10.2.5 按照 7.2.3 开展回充后气体检测,检测结果应满足 7.2.3 要求。

11 安全防护

11.1 SF₆气体的安全使用与管理

- 11.1.1 SF₆气体的安全防护应按照 DL/T 639 的相关规定执行。
- 11.1.2 SF₆储气容器安全使用应按照 GB/T 34525 的相关规定执行。
- 11.1.3 使用过的 SF₆气体储气容器应关紧阀门,戴上瓶帽,应防止剩余气体泄漏。
- 11.1.4 存储和使用 SF₆气体的场所应通风良好,室内场所应有底部强制通风装置和泄漏报警装置,并定期校验。

11.2 工作人员的安全防护

- 11.2.1 工作人员在处理使用过的 SF₆气体时,应配备安全防护用具(手套、防护眼镜、防护服和专用防毒呼吸器)。
- 11.2.2 工作人员充装 SF₆气体时,应戴防护口罩和手套,应避免意外泄漏导致的冻伤,应在上风位置操作。



参 考 文 献

- [1] DL/T 595 六氟化硫电气设备气体监督导则
-

