

T/CMEEEA

团 体 标 准

T/CMEEEA XXX—2025

开关柜内部绝缘缺陷伴生特征气体检测技术规范

Technical specification for detecting characteristic gases associated with insulation defects inside switchgear

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2025 – XX – XX 发布

2025 – XX – XX 实施

中国机电设备工程协会 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 检测原理 1

5 检测项目 2

6 检测仪器设备 2

7 检测环境条件 2

8 检测步骤 3

9 安全要求 3

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。

本文件由贵州电网有限责任公司局铜仁供电局提出。

本文件由中国机电设备工程协会归口。

本文件起草单位：贵州电网有限责任公司局铜仁供电局。

本文件主要起草人：XXX。

开关柜内部绝缘缺陷伴生特征气体检测技术规范

1 范围

本文件规定了开关柜内部绝缘缺陷伴生特征气体检测的检测原理、检测项目、检测仪器设备、检测环境条件、检测步骤、安全要求。

本文件适用于开关柜内部绝缘缺陷伴生特征气体检测。

2 规范性引用文件

本文件没有规范性引用文件。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

开关柜 switchgear

以金属或其他绝缘材料制成封闭外壳，内部装有开关、控制、保护、测量及母线等成套电器元件，用于电力系统中接受和分配电能，并对线路及设备实行控制、保护、监测的成套装置。

3.2

绝缘缺陷伴生特征气体 characteristic gases associated with insulation defects

开关柜内部固体绝缘材料因局部放电、过热或电弧作用分解产生的，与缺陷类型及严重程度密切相关的痕量气体。

4 检测原理

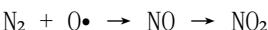
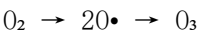
4.1 概述

开关柜绝缘缺陷气体检测技术基于局部放电（PD）和局部过热引发的空气分解及固体绝缘材料劣化的化学机理。

4.2 核心原理

4.2.1 故障气体生成机制

在电场作用下，开关柜内氮气（N₂）、氧气（O₂）、氢气（H₂）、氧元素（O）发生电离，生成臭氧（O₃）、一氧化氮（NO）、二氧化氮（NO₂）、一氧化碳（CO）等特征气体。反应路径如下：



有机绝缘材料碳化释放 CO。

4.2.2 气体缺陷关联模型

通过实验建立缺陷类型与气体组分的对应关系。

5 检测项目

5.1 特征气体组分及浓度

通过检测测定下列气体浓度：

- a) 核心气体：CO、NO₂、O₃；
- b) 辅助气体：二氧化硫（SO₂）、氟化氢（HF）、甲烷（CH₄）。

5.2 缺陷类型诊断

根据气体浓度组合区分开关柜典型缺陷，缺陷类型见表 1。

表 1 缺陷类型

缺陷类型	CO/NO ₂ 比值	O ₃ 浓度
固体金属突出物	1.5~1.7	2~7
绝缘子气隙	2.0~2.2	5~9
绝缘子表面脏污	1.2~1.3	6~8
自由金属微粒	0.5~0.6	7~8

5.3 绝缘劣化程度评估

基于产气速率和放电量累积值，结合神经网络模型（BP 神经网络）评估绝缘劣化等级。

注：放电量累积值 Q_{ave} = 平均单次放电量×重复率。

5.4 气体扩散规律验证

通过软件仿真分析开关柜内气流分布，确保检测点（通风口）能有效捕获特征气体。

6 检测仪器设备

- 6.1 电化学传感器：检测 CO、NO₂、O₃ 气体浓度，精度为 ±5%。
- 6.2 红外传感器：检测 SF₆ 分解气体 SO₂、HF 的气体浓度。
- 6.3 温湿度传感器：实时修正气体浓度，湿度精度为 ±5%RH，温度精度为 ±2℃。。
- 6.4 数据采集系统。
- 6.5 气体分析仪：在线监测 CO、NO、NO₂，精度为 0.1 μL/L。
- 6.6 气相色谱质谱联用仪：精确分析有机物。
- 6.7 局部放电校准系统：脉冲电流法校准缺陷模型，精度为 ±5%。
- 6.8 模拟缺陷平台：切换表 1 所示缺陷模型。

7 检测环境条件

7.1 检测环境应符合下列要求：

- a) 温度：20℃±2℃；
- b) 湿度：50%RH±5%RH；
- c) 工频磁场：≤100 A/m；
- d) 射频场强：≤3 V/m。

7.2 检测前应使用粒径大于 0.5 μm 的滤芯多次过滤粉尘。

7.3 检测仪外壳应采用镀锌钢板屏蔽。

7.4 检测期间应避免强烈振动、强电磁场及腐蚀性气体。

8 检测步骤

8.1 开机准备

8.1.1 清洁开关柜气室，用乙醇擦拭开关柜内壁去除油污。

8.1.2 连接温湿度传感器，将开关柜内抽真空，然后充入干燥空气（露点不大于 40℃）使湿度达到 50%RH。

8.1.3 将传感器预热 30 min，通入标准气体校准零点及量程。

注：标准气体指 N₂ 中 0.000 5%VOL CO。

8.2 缺陷模拟与放电校准

8.2.1 使用模拟缺陷平台模拟表 1 所示 4 种开关柜缺陷。

8.2.2 启动检测装置，每 15 min 采集气体样品，同步记录气体浓度。

8.3 数据关联分析

8.3.1 导入气体浓度时序数据至支持向量机（SVM）模型，输出缺陷类型的概率。

8.3.2 结合 BP 神经网络，输入 CO 斜率、NO₂ 峰值、 Q_{ave} ，评估劣化等级。

8.3.3 对比气相色谱质谱联用仪结果验证特征气体。

8.4 检测报告生成

8.4.1 检测完成后，应及时、准确地形成检测报告，报告内容包括：

- a) 检测目的；
- b) 检测时间；
- c) 检测地点；
- d) 开关柜编号；
- e) 检测仪器设备及校准信息；
- f) 检测依据；
- g) 检测内容；
- h) 检测条件；
- i) 检测方法；
- j) 检测结果；
- k) 结果分析与判断等。

8.4.2 检测报告应经检测人员、审核人员签字确认，并归档保存。

9 安全要求

9.1 人员

9.1.1 检测人员应具备电气设备检测相关专业知识和经验，熟悉开关柜的结构、原理及运行特性。

9.1.2 检测人员应接受过专门的特征气体检测培训，掌握检测仪器设备的操作方法、气体采集流程及安全注意事项。

9.1.3 检测人员应具有现场工作经验，熟悉各种影响试验结论的原因及消除方法，并能遵守电力生产和工作现场的相关安全管理规定。

9.1.4 检测人员应正确穿戴绝缘手套、护目镜、防护服、防毒面具等个人防护用品。

9.2 检测环境

9.2.1 若开关柜安装在室外，检测工作应在良好的天气下进行。遇雷、雨、雪、雾等恶劣天气时，不应在室外进行检测工作。

9.2.2 若开关柜安装在室内，室内应有良好的通风系统。

9.3 操作过程

9.3.1 检测时，检测人员应与设备带电部位保持安全距离。

9.3.2 检测过程中，应防止误碰误动设备，避免踩踏气体管道及其他二次线缆。

9.3.3 在进行气体采集前，应认真检查气体管路、检测仪器与设备的连接，并选择适当接头，确保连接紧密，防止气体泄漏。

9.3.4 当发生故障引起有毒气体外溢时，检测人员应立即撤离事故现场，到安全区域躲避，并及时报告相关部门进行处理。
